

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENİZLİ-TEKKEHAMAM JEOTERMAL
SAHASININ HİDROJEOLojİK OLARAK
İNCELENMESİ

Eşref KANLI

Eylül, 2013
İZMİR

DENİZLİ-TEKKEHAMAM JEOTERMAL SAHASININ HİDROJEOLÖJİK OLARAK İNCELENMESİ

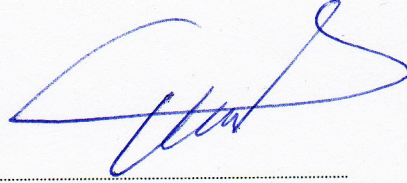
**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

Eşref KANLI

**Eylül, 2013
İZMİR**

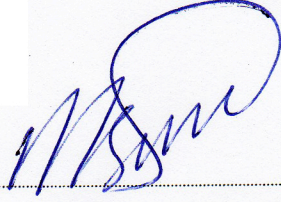
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EŞREF KANLI, tarafından **PROF.DR. ÜNSAL GEMİCİ** yönetiminde hazırlanan “**DENİZLİ-TEKKEHAMAM JEOTERMAL SAHASININ HİDROJEOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Ünsal Gemici

Yönetici



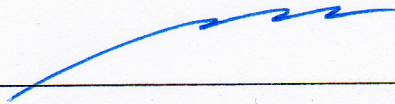
Prof. Dr. Müjgan SAK

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Gülşen TARCAN

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Ayşe OKUR
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans Tez konusunu öneren, çalışmanın her safhasında değerli görüş ve bilimsel katkılarını esirgemeyen, tezin tamamlanmasında maddi ve manevi destek olan sayın danışman hocam Prof. Dr. Ünsal GEMİCİ'ye ve Prof. Dr. Gültekin TARCAN'a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma TÜBİTAK 109Y315 nolu proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen sevgili hocam Yrd. Doç. Dr. Tuğbanur ÖZEN'e ve Öğr. Gör. Dr. Cem KINCAL'a desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm yaşantım boyunca bana maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen annem Gülşen KANLI'ya, babam Salih KANLI'ya ve tezimin her aşamasında bana destek olan eşim Kamile Bilge KANLI'ya teşekkür ederim.

Eşref KANLI

DENİZLİ-TEKKEHAMAM JEOTERMAL SAHASININ HİDROJEOLÖJİK OLARAK İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışma Denizli ili Tekkehamam jeotermal sahası ve yakın çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik incelemelerini kapsamaktadır. Tekkehamam sahası Denizli ili kuzeybatısında, Kızıldere jeotermal sahasının güneyinde, Yenicekent ve Gölemezli jeotermal sahalarının ise güneybatısında ve Büyük Menderes Grabeni'nin doğu kesimde yer almaktadır. Çalışma alanında sırasıyla; Paleozoik yaşlı Menderes Masifi Metamorfikleri, Neojen yaşlı Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu, Kolonkaya Formasyonu ve Tosunlar Formasyonu yer alır. Bunların hepsinin üzerinde ise Alüvyon ve Alüvyal Yelpezeler yüzlek vermektedir. Çalışma alanında Sazak Formasyonu ve Menderes Masifi Metamorfikleri jeotermal suların hazne kaya özelliğini gösterirken, Alüvyon soğuk suların haznesini oluşturur. Menderes Masifine ait şistler, Kolonkaya ve Tosunlar Formasyonları da örtü kayadır.

Çalışma alanındaki üç farklı soğuk su kaynağından toplam yedi adet, dört sıcak su kaynağından ise toplam on sekiz adet sıcak su örneği alınmış, katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. İnceleme alanındaki sular genel olarak $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipindedir. Örneklemesi yapılan sıcak suların EC'ye göre sınıflaması yapıldığında; "şüpheli-kullanılamaz" bölümde yer aldığı gözlenirken, soğuk suların "kullanılabilir" bölümde yer aldığı gözlenmiştir. Çalışma alanındaki sıcak sulara jeotermometre analizleri uygulanmış ve çizilen diyagramlarda sıcak suların olgunlaşmamış (ham) sular grubuna girdikleri saptanmıştır. Tüm jeotermometre sonuçları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların hazne kaya sıcaklıkları 48-283°C arasında tahmin edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Sarayköy, Tekkehamam, hidrojeoloji, hidrojeokimya, jeotermal

HYDROGEOLOGIC INVESTIGATION OF THE TEKKAHAMAM (DENIZLI) GEOTHERMAL FIELD

ABSTRACT

This study contains hydrogeological, hydrogeochemical and isotopic investigations of Denizli Tekkehamam geothermal field and nearby that field. Tekkehamam geothermal field is located at northwest of Denizli city, south of Kizildere geothermal field, southeast of Yenicekent-Gölemezli geothermal fields and east section of Buyuk Menderes Graben. In the study area there are, with this order, Paleozoic Menderes Massive metamorphics, and Neogene Kızılburun, Sazak, Kolonkaya and formations. Alluvium and alluvial fan cover all the units. In the study area, while Sazak Formation and Menderes Massive Metamorphics are the reservoir of the geothermal system, alluvium is the aquifer of the cold waters. The schists of Menderes Massive rocks and Kolonkaya and Tosunlar formations are the cap rock of the geothermal systems.

Seven cold water samples were taken from three different cold water source in the working field and also in total eighteen hot water samples were taken from four different hot water source and cation and anion analysis were done. The examined types of water are generally in the type of Na-SO₄-HCO₃. When the examined hot waters were classified according to the Electrical Conductivity, it was seen that they were classified as ‘suspicious-cannot be used’, but the cold waters were classified as ‘can be used’. Working field’s hot waters were exposed to geothermometer analysis and it was seen that the hot waters were classified as immature, crude. When all geothermometer results and available wells’ reservoir heats are considered together, It is estimated that geothermal waters’ chamber rock heat is 48-283°C.

Keywords: Saraykoy, Tekkehamam, hydrogeology, hydrogeochemistry, geothermal

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Çalışma Alanının Yeri	1
1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler	1
1.3.1 Örneklem	3
1.4 Coğrafya	4
1.4.1 Konumu	4
1.4.2 Morfoloji	4
1.4.3 İklimi ve Bitki Örtüsü	5
1.4.4 Yağış ve Sıcaklık	6

BÖLÜM İKİ – JEOLojİ 9

2.1 Genel Jeoloji	9
2.2 Stratigrafi	11
2.2.1 Paleozoyik	12
2.2.1.1 Menderes Masifi Metamorfitleri	12
2.2.2 Senozoyik	15
2.2.2.1 Kızılburun Formasyonu	15
2.2.2.2 Sazak Formasyonu	16
2.2.2.3 Kolonkaya Formasyonu	17

2.2.2.4 Tosunlar Formasyonu	18
2.2.2.5 Alüvyon	19
2.2.2.6 Alüvyal Yelpaze	19
2.3 Yapısal özellikler	19
2.3.1 Ege Bölgesinin Aktif Tektonizması	19
2.3.2 Ege'deki Kıtasal Genişlemenin Oluşumu Konusunda İleri Sürülen Modeller.....	20
2.3.2.1 Tektonik kaçma modeli	20
2.3.2.2 Yay ardı açılma modeli.....	21
2.3.2.3 Orojenik çökme modeli	21
2.3.2.4 İki safhalı grabenleşme modeli.....	21
2.3.2.5 Çekirdek kompleksi modeli.....	22
2.3.3 Büyük Menderes Grabeni	22
BÖLÜM ÜÇ – HİDROJEOLOJİ	25
3.1 Kapsam ve Yöntem.....	25
3.2 Su noktaları.....	25
3.2.1 Soğuk Su Noktaları	25
3.2.2 Sondaj Kuyuları	26
3.2.3 Kaynaklar	26
3.2.4 Sıcak Su Noktaları.....	26
3.2.5 Sıcak ve Mineralli Su Sondajları.....	27
3.2.6 Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları (Kaplıcalar).....	27
3.3 Kayaçların hidrojeolojik özellikleri	27
3.4 Meteorolojik Su Bütçesi	28
3.5 İzotop Jeokimyası	31
3.6 Kabuk Kayaç Örneklerinin Mineralojik Değerlendirilmesi	35
3.6.1 X- ışını difraksiyonu (XRD)	35

BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOKİMYA 40

4.1 Amaç ve Yöntem	40
4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sulardaki Çözünmüş Başlıca İyonlar ..	44
4.2.1 Kalsiyum (Ca^{++})	44
4.2.2 Magnezyum (Mg^{++}).....	44
4.2.3 Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+})	46
4.2.4 Klorür (Cl^{-}).....	47
4.2.5 Bikarbonat (HCO_3^{-})	47
4.2.6 Sülfat (SO_4^{-}).....	48
4.2.7 Silisyum (Si^{+2}).....	48
4.3 İnceleme Alanındaki Sıcak ve mineralli sularla Soğuk Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar	49
4.4 Suların Fiziksel Özellikleri	58
4.4.1 Suların Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) Değerleri	59
4.4.2 Suların Sertliği	59
4.4.3 Suların pH Değerleri	61
4.4.4 Suların Elektriksel İletkenlik (EC) Değerleri.....	61
4.5 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri...	62
4.6 Sulama Sularının Wilcox’a Göre Sınıflaması.....	66
4.7 Sıcak ve Mineralli Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması	69
4.8 Suların Mineral Doygunluk İndeksleri	75
4.9 Jeotermometre Uygulamaları.....	80
4.9.1 Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları.....	80
4.9.1.1 Silis Jeotermometreleri	81
4.9.1.2 Katyon Jeotermometreleri	82
4.9.1.3 Birleşik Jeotermometre Uygulamaları	85

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR..... 89

KAYNAKLAR 93

EKLER..... 102

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Çalışma alanı yerbulduru haritası	2
Şekil 1.2 İnceleme alanı sıcak su kuyusundan numune alımı	4
Şekil 1.3 Denizli il merkezindeki sıcaklık ve yağış dağılımları, yıllık sıcaklık ve yağış ortalamalarından eklenik sapma eğrileri	7
Şekil 1.4 1970-2012 Denizli ili yıllık yağış dağılımı	7
Şekil 2.1 Sarayköy-Buldan alanının jeolojik blok diyagramı	10
Şekil 2.2 Denizli havzasının jeoloji haritası ve çalışma sahası örnekleme noktaları. 11	
Şekil 2.3 İnceleme alanı genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti	13
0Şekil 2.4 Denizli havzasında yapılan önceki çalışmaların stratigrafik karşılaştırmaları	14
Şekil 2.5 Türkiye'nin neotektonik haritası	20
Şekil 2.6 Batı Anadolu grabenlerinin basitleştirilmiş haritası	23
Şekil 2.7 İnceleme alanının tektonik haritası	24
Şekil 3.1 İnceleme alanında yer alan ve bu çalışma kapsamında örneklenerek incelenen sıcak ve soğuk su noktalarının yerleri	26
Şekil 3.2 Denizli il merkezine ait su bütçesi grafiği	30
Şekil 3.3 İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi	33
Şekil 3.4 Tekkehamam İnaltı hamamı kabuk örneğinin XRD mineral içeriği	37
Şekil 3.5 İnaltı hamamı ooid (inci) örneğinin XRD mineral içeriği	37
Şekil 3.6 İnaltı hamamı peloid örneğinin XRD mineral içeriği	38
Şekil 3.7 Umut termal karşısı gölet kuru sediman örneğinin XRD mineral içeriği ...	38
Şekil 3.8 Umut termal karşısı gölet sediman örneğinin XRD mineral içeriği	39
Şekil 3.9 Büyük Menderes Karaağaç çevresi sediman örneğinin XRD mineral içeriği	39
Şekil 4.1 İnceleme sahasının dönemlere göre yeraltı suları sıcaklıklarını gösterir temsili harita	59
Şekil 4.2 İnceleme alanındaki suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre diyagram üzerindeki gösterimi (ABD Tuzluluk Diyagramı)	65
Şekil 4.3 Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflaması	68

Şekil 4.4 İnceleme alanında yeralan sıcak suların Piper üçgen diyagramındaki görünümü	72
Şekil 4.5 İnceleme alanında yer alan bazı sıcak suların yarı logaritmik Schoeller diyagramındaki görünümü	73
Şekil 4.6 İnceleme alanındaki sıcak suların Cl-SO ₄ -HCO ₃ üçgen diyagramındaki görünümü	74
Şekil 4.7 Babacık Hamamı 3A nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği	77
Şekil 4.8 Çavuşoğlu Hamamı 5A nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği	77
Şekil 4.9 İnaltı Hamamı 7D nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği	78
Şekil 4.10 Umut Termal 8A nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği	78
Şekil 4.11 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü ve su kayaç denge sıcaklıkları	87

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 1970-2012 yılları arası Denizli ili aylık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri	8
Tablo 3.1 Denizli il merkezi meteoroloji verilerine göre 1970 – 2012 dönemine ait su bütçesi	29
Tablo 3.2 Çalışma alanında örnekleme yapılan sulara ait izotop sonuçları	32
Tablo 4.1 İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suların kimyasal ve bazı fiziksel özellikleri.....	42
Tablo 4.2 İnceleme alanında yer alan soğuk suların kimyasal ve bazı fiziksel özellikleri	43
Tablo 4.3 Büyük Menderes Nehri'nden örnekleme yapılan sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerler.....	45
Tablo 4.4 İnceleme alanından örnekleme yapılan sıcak sondaj sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerler.....	45
Tablo 4.5 İnceleme alanında örnekleme yapılan tüm suların bazı özelliklerine ait istatistiksel değerler.....	45
Tablo 4.6 İnceleme alanı soğuk sularının eser element miktarlarını gösterir tablo ...	50
Tablo 4.7 İnceleme alanı sıcak sularının eser element miktarlarını gösterir tablo.....	50
Tablo 4.8 Soğuk suların majör element miktarlarının TS 266'ya göre içilebilirlik limitleri.....	53
Tablo 4.9 TS 266 standartlarına göre içme ve kullanma sularının (A) ve Birleşik Devletler Halk Sağlığı Merkezi İçme suyu standartları (B).....	54
Tablo 4.10 TS 266 (1997) standartları, World Health Organisation (WHO) Dünya Sağlık Örgütü içme ve kullanma suyu standartları ve kaplıca yönetmeliği.....	55
Tablo 4.11 Çalışma alanında yer alan su kaynak ve kuyularının UTM koordinatları	58
Tablo 4.12 Suların sertliklerine göre sınıflandırılması	60
Tablo 4.13 İnceleme sahası su örneklerinin toplam kalsiyum sertlik değerleri ve sınıfları	60
Tablo 4.14 İnceleme alanı suları pH değerleri	61

Tablo 4.15 Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması ...	62
Tablo 4.16 İnceleme alanı su örneklerinin EC değerlerine göre sınıflaması	62
Tablo 4.17 Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması	63
Tablo 4.18 İnceleme alanı su örneklerinin SAR değerlerine göre sınıflaması	63
Tablo 4.19 Suların köpürme katsayısı değerine (Fo) göre sınıflaması	64
Tablo 4.20 İnceleme alanı suları kaynarken köpürme katsayıları ve köpürme sınıfları	64
Tablo 4.21 Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması.....	66
Tablo 4.22 Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflaması.....	66
Tablo 4.23 Sulama sularının Wilcox sınıflamasında bor miktarına göre sınıflandırılması	67
Tablo 4.24 İnceleme sahası su örneklerinin Wilcox sulama suyu sınıflamasına göre değerlendirilmesi.....	67
Tablo 4.25 Örneklemesi yapılan sulara ait fasiyes tipi sınıflamaları.....	70
Tablo 4.26 İnceleme alanına ait su örneklerinde çökel ürünü olarak rastlanabilecek bazı minerallerin belirtilen sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri.....	76
Tablo 4.27 Silis (SiO ₂) jeotermometreleri ve bağıntıları	82
Tablo 4.28 Hesaplaması yapılan Silis (SiO ₂) jeotermometre bağıntıları	83
Tablo 4.29 Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları.....	84
Tablo 4.30 Hesaplaması yapılan Na/K jeotermometre bağıntıları.....	86
Tablo 4.31 Olgunlaşma indeksi (MI) değerleri.....	88

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

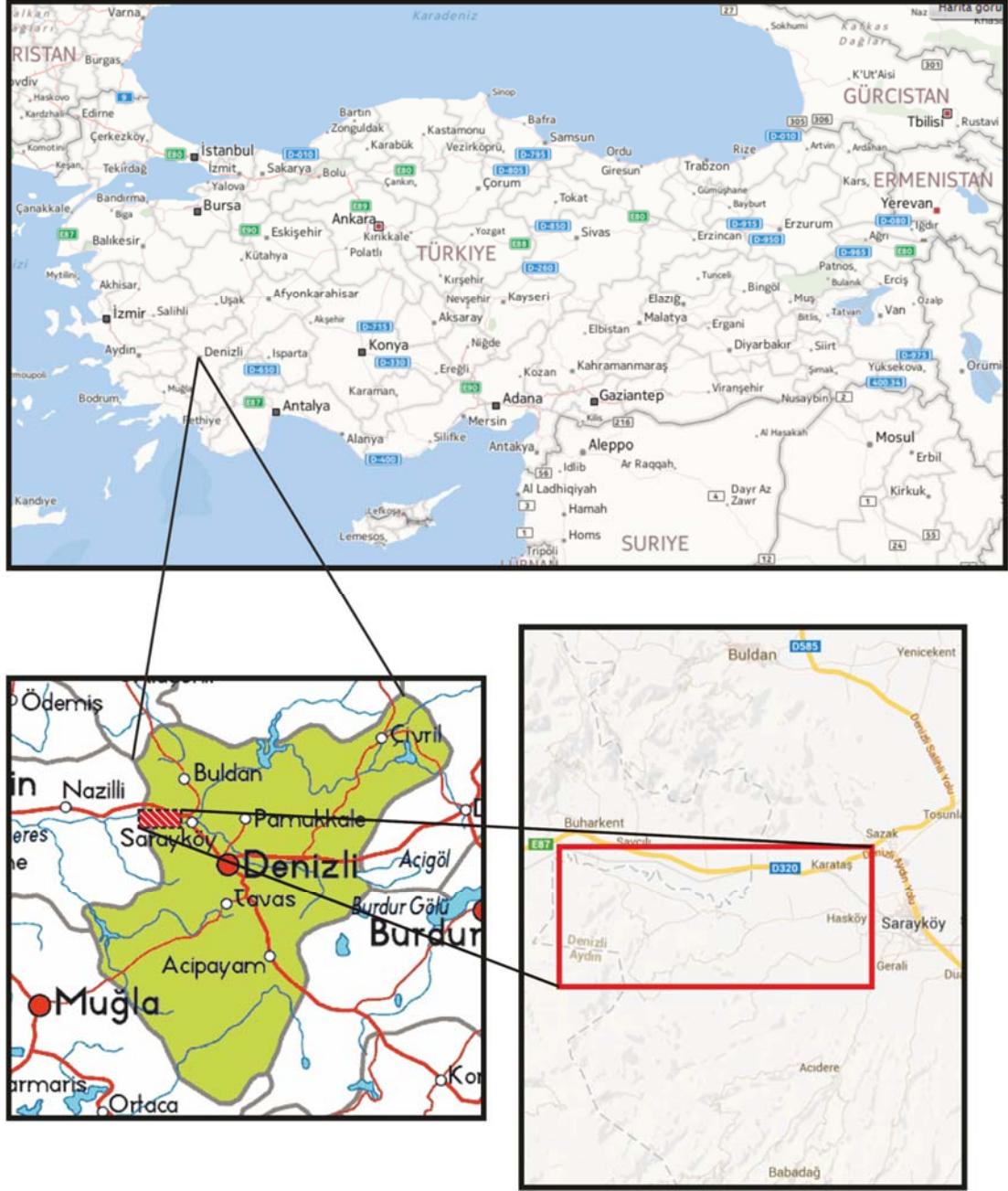
Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Tez kapsamında, Denizli-Tekkehamam jeotermal sahasının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Buna göre çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların kökeni, yeraltı suları ile ilişkileri, karışım oranları, hidrojeokimyasal özellikleri, kullanılabilirlikleri, akifer sıcaklıklarının tahmini ve kullanım alanlarına yönelik potansiyelin tespiti bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.2 Çalışma Alanının Yeri

Denizli ili içerisinde yer alan Sarayköy ilçesine bağlı Tekkehamam'ın kuzeyinde Buldan ve güneyinde Babadağ ilçeleri yer almaktadır (Şekil 1.1). Çalışma sahasına ulaşım Denizli-Aydın karayolu ile sağlanmaktadır. Çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Denizli M21-a1, M21-b1 ve M21-b2 paftaları içerisinde UTM 35S 0653000-0669000 boylamları ile 4197000-4203000 enlemleri arasında yer alır. İnceleme sahası içerisinde çok fazla yerleşim yerleri bulunmamakta, daha çok jeotermal turizm işletmeleri yer almaktadır. Büyük Menderes Grabeni'nde bulunan birçok jeotermal sahadan bir tanesi olan Tekkehamam sahası Denizli ili kuzeybatısında, Kızıldere jeotermal sahasının güneyinde, Yenicekent ve Gölemezli jeotermal sahalarının ise güneybatısında ve Büyük Menderes Grabeni'nin doğu kesimde konumlanmaktadır. (Şekil 1.1).

1.3 Çalışmada Uygulanan Yöntemler

Bu çalışma; ofis, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak üç aşamada hazırlanmıştır. Ofis çalışmaları kapsamında çalışma alanı ve mevcut su kaynakları hakkında literatür çalışması yapılmıştır. Çalışma alanının 1/25.000'lik topoğrafik ve jeoloji haritaları elde edilmiştir. Arazi çalışmasında ise jeolojik formasyonlar gözlemlenmiş, mevcut su



Şekil 1.1 Çalışma alanı yerbulduru haritası

kaynakları gözlemlenerek örnek alınacak su noktaları ve su kaynaklarının beslenme ve boşalım alanları belirlenmiştir. Arazi çalışması sırasında belirlenen su noktalarından sıcak ve soğuk su örnekleri alınmıştır.

Suların bazı fiziksel ve kimyasal parametreleri: Eh, sıcaklık, pH, bikarbonat (HCO_3) ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri arazide yerinde yapılmıştır. Kimyasal içerik için (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , HCO_3 , alkalinite, CO_3 , SiO_2 , Al, Fe) ikişer adet örneklenerek su örneklerinin kimyasal analizleri ACME Analitik Laboratuvarına (Kanada) ve DEÜ Çevre Mühendisliği Analitik Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Su kimyası sonuçları, Aquachem 3.70 (Lukas Calmbach, 1997) ve Phreeqci (Parkhurst & Appela, 1999) hidrojeokimyasal programlar ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu programlar yardımıyla çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların akiferdeki jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Word, Excel, MapInfo 11.5, Surfer 11 ve Corel Draw X5 programları da raporun yazımında, harita, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

1.3.1 Örnekleme

Sıcak ve soğuk suların örneklenmesinde polietilen 50 ml ve 500 ml'lik yeni örneklem kapları kullanılmıştır. Bu kaplar kullanım öncesinde örnek alınacak su ile en az üç kez çalkalanmıştır. Katyonlar ve anyonlar için farklı örnek alımı yapılmıştır (Şekil 1.2). Katyon örneği alınırken 50 ml'lik polietilen şişe içerisine hava kabarcığı olmayacak şekilde örnek süzülerek koyulmuştur ve içine pH 2'nin altına düşecek şekilde birkaç damla Nitrik asit (HNO_3) ilave edilmiştir. Nitrik asit; iyonların bağlanarak farklı değerlerin ortaya çıkmasını önlemek amacıyla konulmaktadır. Anyon örneklemesine asit konmamış ve su 500 ml'lik polietilen şişe içerisine hava kabarcığı olmayacak şekilde konulmuştur. Örneklemesi yapılan sıcak sular havayla temas ettiğinde bünyesinde barındırdığı gazlar serbest hale geçer ve ortamdan ayrılır. Gazların ortamdan ayrılması suyun bazikleşmesine sebep olduğundan Bikarbonat (HCO_3) ölçümü arazide yapılmıştır. Sülfür (SO_4) ve Klorür (Cl) zamana karşı daha dayanıklıdır. Örnekler +4°C sıcaklıkta muhafaza edilmelidir.



Şekil 1.2 İnceleme alanı sıcak su kuyusundan numune alımı

1.4 Coğrafya

1.4.1 Konumu

Denizli, Anadolu Yarımadasının güneybatı, Ege Bölgesinin doğusunda yer almaktadır. Ege, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgeleri arasında bir geçit durumundadır. Denizli ilinin, her üç bölge üzerinde de toprakları vardır. Denizli ili $28^{\circ} 30' - 29^{\circ} 30'$ doğu meridyenleri ile $37^{\circ} 12' - 38^{\circ} 12'$ kuzey paralelleri arasında yer alır. Doğudan Burdur, Afyon, batıdan Aydın, Manisa, kuzeyden Uşak, güneyden Muğla illeri ile komşudur. İlin yüzölçümü 11.868 km^2 'dir, il Türkiye'nin yaklaşık %1,5'ini ve Ege Bölgesinin %18,5'ini oluşturmaktadır. Merkezin denizden yüksekliği 354 metredir. Deniz yüzeyine en yakın yer 170 metre rakımla Sarayköy ilçesi, en uzak yer ise 1350 metre rakımla Çameli ilçesidir.

1.4.2 Morfoloji

İl yüzey şekilleri bakımından dalgalıdır. Alçak ve yüksek ovalar, yaylalar ve dağlar birbirini tamamlar. İl topraklarının yaklaşık %47,1'ini dağlar, %28,2'sini ovalar, %23,2'sini platolar ve %1,5'ini ise yaylalar oluşturmaktadır.

Batı Anadolu'nun ve Denizli'nin en yüksek dağı Honaz 2571 m. yüksekliğe sahiptir. Karcı (2308 m.), Akdağ (2449 m.), Bozdağ (2421 m.), Eşeler (2254 m.), Bulkaz (Burkaz) (1990 m.), Elmadağ (1805 m.), Büyük Çökelez (1340 m.) ve Beşparmak (1307 m.) ilin diğer önemli dağlarıdır.

Büyük Menderes ve Çürüksu Vadisi boyunca kademeler halinde alçalan Çardak, Çivril, Baklan, Kaklık, Böceli, Denizli (Çürüksu) ve Sarayköy (Büyük Menderes) Ovaları ile yayla görünümlü Acıpayam, Tavas, Eksere Ovaları, Karayayla, Çameli, Uzunpınar, Yoran, Şahman Süleymaniye, Kuyucak Yaylası ilin düzlüklerini oluşturur. Vadi olarak ise verimli ovaların sıralandığı Büyük Menderes ve Çürüksu Vadileri, Akçay Vadisi, Gireniz ve Kelekçi Vadileri gösterilebilir.

İl genel olarak akarsu bakımından yoksun sayılmaz. İl sınırından dışarıya çıkanlar olduğu gibi içinden akarak büyük nehirleri besleyenleri de vardır. En büyük akarsuyu Ege Bölgesinin üç büyük nehrinden biri olan Büyük Menderes'tir. Toplam uzunluğu 529 km. olan nehrin Denizli ili sınırlarındaki uzunluğu 194 km. ve ortalama debisi ise 44,32 m³/sn'dir. Çürüksu, Dalaman (Gireniz Çayı), Akçay (Bozdağan) Çayı, Yenidere, Gökpınar Çayı, Kufi Çayı, Derbent Çayı, Hamam Çayı ve Bağnaz Çayı ilde yer alan başlıca akarsulardandır.

İlin en büyük gölü ise Acıgöl (Çardak Gölü)dür, 44,32 km² yüz ölçümüne sahiptir. Denizli İlinin Çardak ilçesi ile Afyon İlinin Dazkırı ilçesi arasındaki graben arazide dünyanın en temiz sodyum sülfat tuzunun elde edildiği (toksik madde içermeyen) bir göldür. Doğal yapısı ile flamingo, ördek gibi yaklaşık otuz tür kuşun yaşadığı kuş cennetidir. Sodyum sülfat tuzu göl kenarında kurulan işletmeler tarafından değerlendirilmektedir. Beylerli (Çaltı) Gölü, Karagöl, Süleymaniye Gölü, Kartal Gölü ve Işıklı Baraj Gölü ilin diğer önemli göllerini oluşturmaktadır.

1.4.3 İklimi ve Bitki Örtüsü

Denizli'de, Ege Bölgesinde olmasına rağmen, iklim olarak Ege Bölgesi'nin iklimi tamamen görülmez. Kıyı kesimlerinden iç bölgelere geçit yerinde olduğundan az da olsa iç bölgelerin iklimi hissedilir. Denizli meteoroloji istasyonundan alınan ölçüm

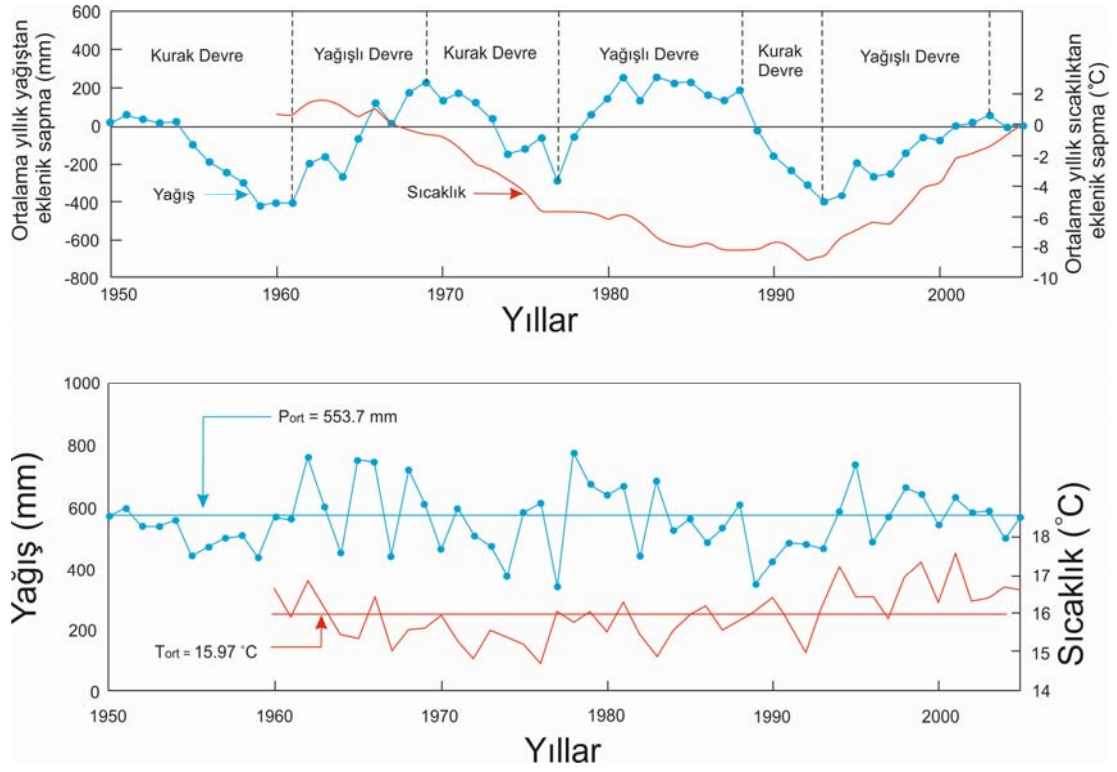
değerlerine göre Denizli yöresinde ortalama yüksek sıcaklık 34,5°C, ortalama düşük sıcaklık ise 2,2°C civarındadır. Bu değerler yaz aylarında 40°C'ye kadar yükselir, kışın ise -10°C'ye kadar düşer. Esasen Denizli, iklimi yönünden İç Anadolu Bölgesine yakın değerler vermektedir.

İlde, genel olarak, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. En çok yağış Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında görülmektedir. Aralık ayında m²'ye düşen ortalama yağış miktarı 90 mm'dir. Yağışlı gün sayısı yıllık ortalama 80 gündür. Ortalama yıllık nem oranları Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında %50'nin altında seyrederken, diğer aylarda artmakta, Aralık ve Ocak aylarında %70'ten fazla nem olmaktadır. Buhar basıncının en yüksek olduğu dönem ise yaz aylarıdır. Yükseklik arttıkça iklim sertleşmektedir.

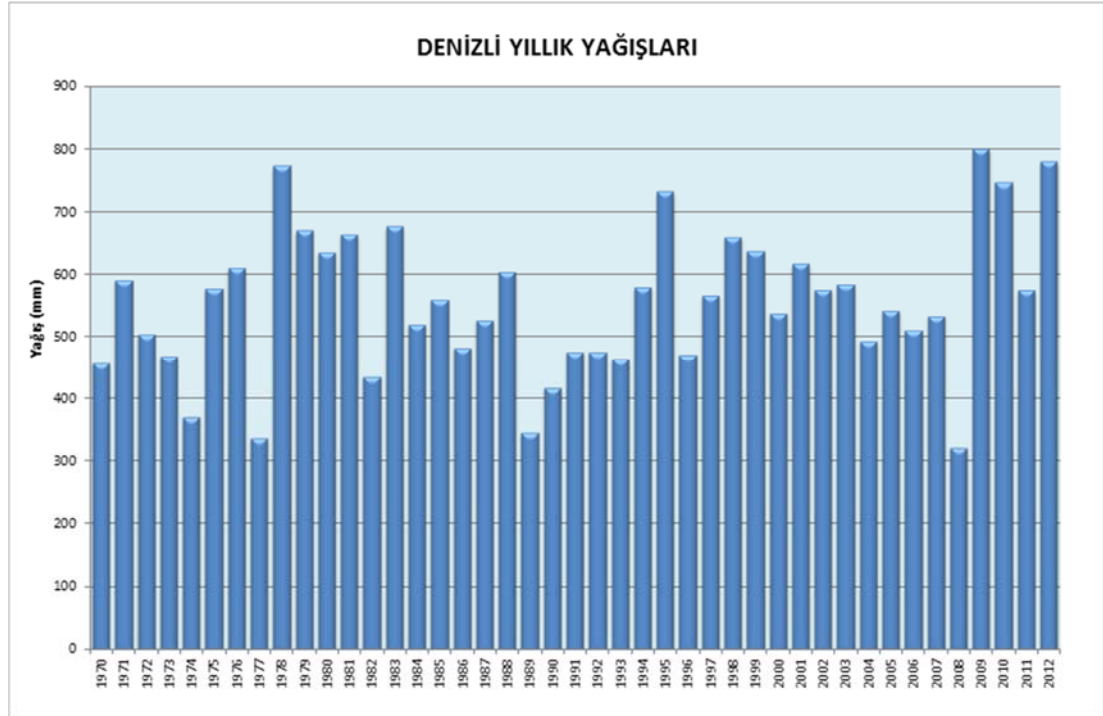
Var olan hava koşulları, yörede Karadeniz Bölgesinin bitki örtüsü çeşitleri olan kızılğaç, ıhlamur, fındık, kestane, söğüt, eğrelti gibi türlerin yetişmesine ve karışıma girmesine olanak sağlar. Bölgenin yerel ağaç ormanları ise, denizden yüksekliğe bağlı olarak, dikey tabakalaşma oluşturur. Kızılçamla başlayan dikey yayılım 850 metrelerde yerini karaçama bırakarak, yükseklerde toros sediri ve daha sonra çeşitli ardıc türleri ile alpin çam sınırına ulaşır. Buradan itibaren çayırlaşma başlar ve orman örtüsü son bulur.

1.4.4 Yağış ve Sıcaklık

Denizli'de yıllık toplam yağış ortalaması 551,1 mm'dir. En az yağış Ağustos (8,9 mm), en fazla yağış ise Aralık (81,5 mm) ayında olur. Yıllık ortalama hava sıcaklığı 16,2°C'dir. Temmuz ayı en sıcak (27,6°C), Ocak ayı en soğuk (5,9°C) aylardır (Tablo 1.1). En yüksek sıcaklık 44,4°C ile 15 Ağustos 2007 ve en düşük sıcaklık -11,4°C ile 09 Şubat 1965 tarihinde kaydedilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü [MGM], 2013). Denizli ilindeki 1950-2005 yıllarına ait yağış ve sıcaklık değerlerinden yararlanılarak çizilmiş olan ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma ve ortalama yıllık sıcaklıktan eklenik sapma grafikleri verilmiştir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3 Denizli il merkezindeki sıcaklık ve yağış dağılımları, yıllık sıcaklık ve yağış ortalamalarından eklenik sapma eğrileri (Şengün, R., 2011)



Şekil 1.4 1970-2012 Denizli ili yıllık yağış dağılımı (MGM, 2013)

Şekil 1.3'te verilen 1950 ve 2005 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık eklenik sapma grafiğine bakıldığında ise yağış eğrisinin neredeyse her sekiz dokuz yılda bir periyodik bir salınım yaptığı, yıllık sıcaklık ortalamasının ise 1993'den itibaren düzenli bir şekilde artış gösterdiği göze çarpmaktadır.

Denizli ili yıllık yağış dağılımı incelendiğinde (1970-2012) son dört yıldaki yağışın ortalama değer üzerinde seyrettiği görülmektedir. 2008 yılında ise son 42 yılın en düşük ortalama yağışı gerçekleşmiştir (Şekil 1.4).

Tablo 1.1 1970-2012 yılları arası Denizli ili aylık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri (<http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DENIZLI>)

DENİZLİ	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1970-2012)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	5.9	6.9	10.1	14.6	19.9	24.8	27.6	27	22.5	16.8	11.1	7.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.6	12.0	16.0	20.6	26.3	31.4	34.5	34.3	30	23.7	16.9	11.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	2.2	2.8	5.2	9.1	13.3	17.6	20.3	19.9	15.9	11.4	6.7	3.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	3.5	4.3	5.5	6.5	9.1	11.2	11.5	11	9.2	6.4	4.6	3.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.9	10.9	10.8	10.6	8.2	4.6	2	1.9	2.8	5.9	7.7	11.3
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m ²)	76.1	76.4	63	55.9	39.1	24.1	16.5	8.9	11.5	37.2	60.8	81.5
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1970-2012)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	22.6	25.9	30.8	35.8	37	42.4	43.9	44.4	41.6	34.4	29.3	25.1
En Düşük Sıcaklık (°C)	-9.5	-10.5	-7	-2	2.7	7.9	13.1	12	6.6	-0.8	-4.2	-6.3

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ

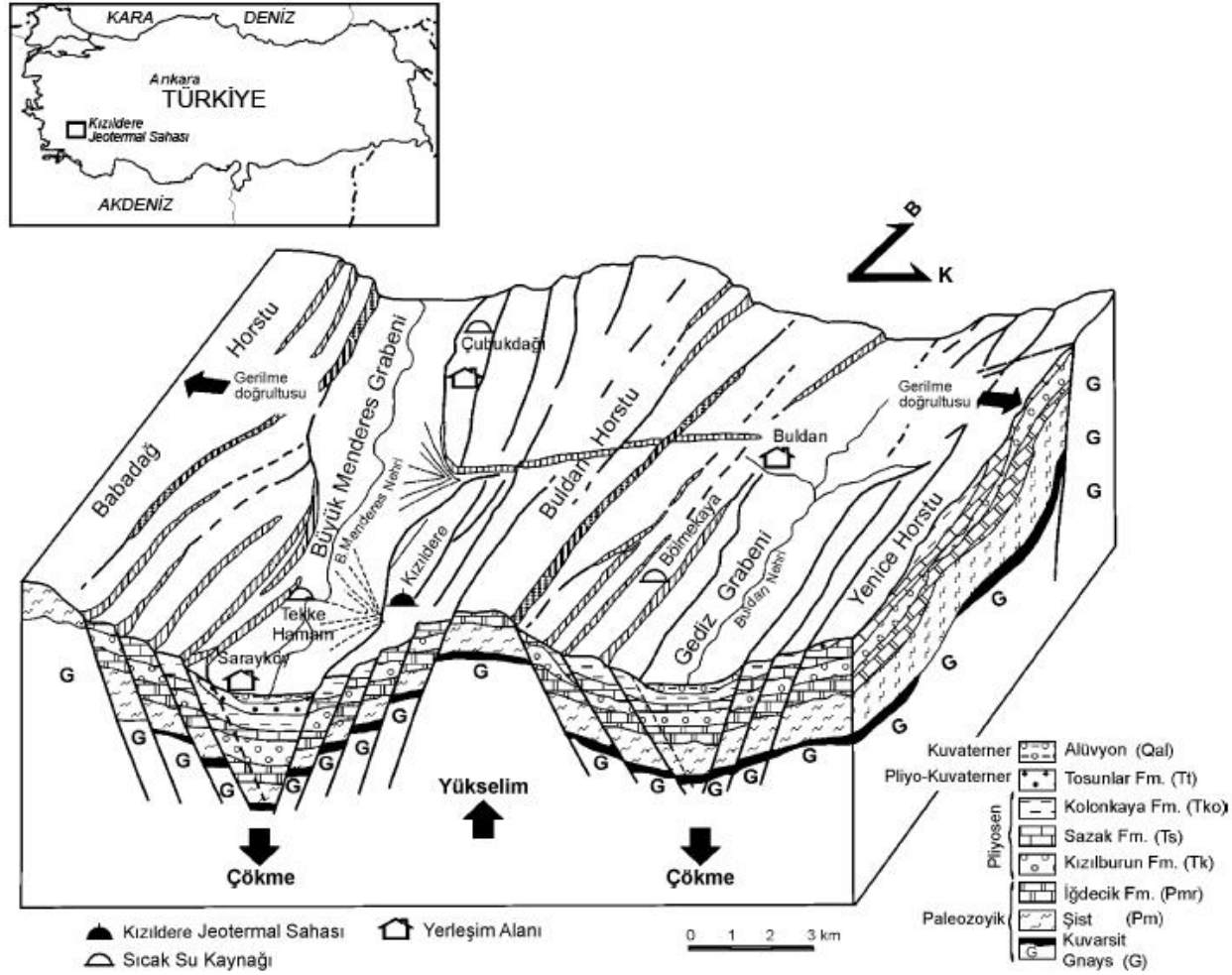
2.1 Genel Jeoloji

Sarayköy-Buldan alanındaki Kızıldere jeotermal sahası Büyük Menderes Grabeni'nin kuzeyindeki ana fay ile ilişkili iken Tekkehamam sahası Büyük Menderes Grabeni'ni güneyinde ana fay boyunca gelişmiştir (Şekil 2.1). Grabenin diğer alanlarında olduğu gibi, Tekkehamam sahası temeli, Menderes Masifi metamorfik kayalarından oluşmaktadır: gözlü gnayslar, şistler ve altere kuvarsitler, mikaşistler ve mermerlerden oluşmaktadır (Şekil 2.1).

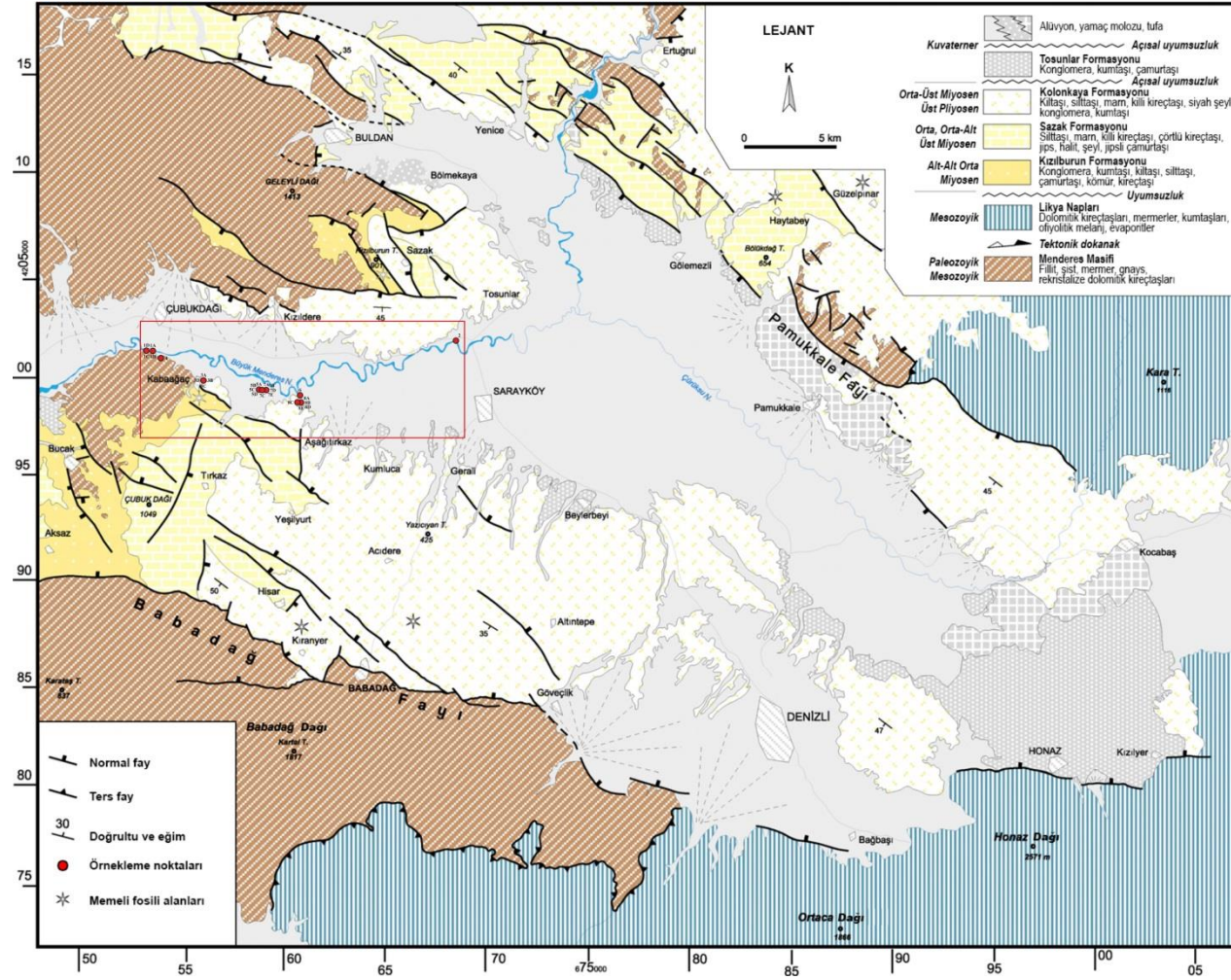
Bu kayalar dört litolojik birime (Şimşek, 1985) ayrılan nehirsel ve gölsel Pliyosen sedimanları tarafından üzerlenmektedir (Şekil 2.1 ve 2.2). Bunlar tabandan yukarı doğru; Kızılburun Formasyonu (Tk) 200 m. kalınlığında kırmızı-kahverengi ardalı konglomeralardan, kumtaşlarından, şeyllerden ve linyit katmanlarından; Sazak Formasyonu (Ts) 100-250 m. kalınlıklı ara katmanlı gri kireçtaşlarından, marnlardan ve silttaşlarından; Kolonkaya Formasyonu (Tko), 350-500 m. kalınlığında sarımsı-yeşil marnlardan, silttaşlarından ve kumtaşlarından, Tosunlar Formasyonu (Tt) yaklaşık 500 m. kalınlıkta altere olmuş az konsolide konglomeralar, kumtaşları ve fosilli kil birimleri içeren çamurtaşları karışımından oluşmaktadır.

Kuvaterner yaşlı alüvyon ise sedimanter birimleri uyumsuzlukla üzerlemektedir. Ayrıca kuvaternerde Alüvyon yelpazeleri de gelişmiştir (Şimşek, 1984).

Bölgesel jeolojik yapı Büyük Menderes Grabeni ile ilişkili D-B uzanımlı faylar tarafından kontrol edilmektedir, fakat bazı KB-GD uzanımlı aktif faylar, metamorfik temelin kuzey ve güney yansılardan açılmasına ve yükselimine neden olmaktadır (Şimşek, 2005).



Şekil 2.1 Sarayköy-Buldan alanının jeolojik blok diyagramı (Şimşek,1985'ten düzenlenmiştir)



Şekil 2.2 Denizli havzasının jeoloji haritası ve çalışma sahası örnekleme noktaları (Alçıçek, 2007'den alınıp değiştirilmiştir)

2.2 Stratigrafi

İnceleme alanında yüzeyleyen birimler; Paleozoik yaşı Menderes Masifi Metamorfikleri değişik kesitlerde tabandan tavana doğru, çeşitli gnayslar, şistler, kuvarsit ve mermerlerden, Senozoyik yaşı Kızılburun Formasyonu çakıltası ve kumtaşlarından, Sazak Formasyonu kireçtaşı ve marnlardan, Kolonkaya Formasyonu marn ve kumtaşlarından, Tosunlar Formasyonu bloklu çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşmuş, Kuvaterner yaşı birimler ise Alüvyon, Alüvyon Yelpazesi şeklinde gelişmiştir (Şimşek, 1984) (Şekil 2.3 ve 2.4).

2.2.1 Paleozoyik

2.2.1.1 Menderes Masifi Metamorfikleri

Bölgedeki en yaşı birimler Menderes Masifinin Paleozoik yaşı metamorfik kayalarıdır. Çalışma sahası batısında Kabağağaç mevkiinde gözlenen Neojen öncesi temel kayaları Büyük Menderes Grabeni'ni kuzeyden ve güneyden çevreleyen dağlık alanlarda yüzeyleyler. Bu dağlık alanlar aynı zamanda horst alanlarıdır. Metamorfiklerin çekirdek kısımları gnayslarla, örtü kısımları ise çeşitli şistler ve mermerlerle temsil edilir.

Menderes Masifine ait “gnays, kuvarsit, kalkışist, klorit, biyotit, muskovitşist ve mermerlerden oluşan bu metamorfikler, almandin-amfibolit ve yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirmişlerdir. Bölgede fibroblastik gnays ve gözlü gnayslar yaygın olup bölgedeki birimlerin altında yer alır. Gnayslar içindeki pegmatoid damarlarının varlığı ve inceleme alanı çevresinde migmatitlerin gözlenmiş olması, Gökgöz (2004) tarafından bölgede yüksek derecede metamorfizma koşullarına ulaşıldığı olarak yorumlanmıştır.

İnceleme alanında Menderes Masifini tabanı oluşturan gözlü gnaysların üzerine, gnays kuvarsit ve mikaşist ardalanmasından sonra çeşitli şistler gelir. Bu birimin ortak özelliği, aşağı yukarı tüm seviyelerde az veya çok granat ve biyotit içermesidir. Çeşitli şistlerden oluşan bu birimde yanal ve dikey geçişler görülmektedir.

Y A Ş	FORMASYON VE KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
Kuvaterner	Alüvyal yelpaze, alüvyon, traverten		Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, traverten
Orta-geç Miyosen Geç Pliyosen	Tosunlar Formasyonu (50- 250m)		AÇISAL UYUMSUZLUK Az pekleşmiş çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı AÇISAL UYUMSUZLUK
	Kolonkaya Formasyonu (200-500m)		Memeli fosili; Tosunlar, Kıranyer Konglomera, kumtaşı, silttaşı Memeli fosili; Babadağ, Güzelpınar ve Mahmutgazi Az pekleşmiş kumtaşı, kilttaşı, silttaşı, siyah şeyl, marn, killi kireçtaşı Çamurtaşı, silttaşı, marn
	Sazak Formasyonu (150-300m)		Jips, halit, jipsli çamurtaşı ve şeyl Çörtlü kiraçtaşı Memeli fosili; Pamukkale, Haytabey Kilttaşı, silttaşı, marn, çamurtaşı, killi kiraçtaşı
Erken-Orta erken Miyosen	Kızılburun Formasyonu (300-450m)		Memeli fosili; Bostanyeri ve Kabağağaç Kömür, killi kireçtaşı Konglomera, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı
Paleozoik	Menderes Masifi		UYUMSUZLUK Mermer, kuvarşit, çeşitli şist aralanması Kalk şist, biyotit şist, klorit şist, muskovit şist, gnays, fillit, rekristalize dolomitik kireçtaşı

Şekil 2.3 İnceleme alanı genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Alçıçek, 2007, Şengün, 2011)

		Grancy 1937	Nebert 1958	Becker- Platen 1970	Kastelli 1971	Öngür 1971	Taner 1974a, b, 1975	Şimşek 1984	Sun 1990	Sözbilir 1997	Taner 2001	Koçyiğit 2005	Westaway 2005	Kaymakçı 2006	Bu çalışma
Miyosen	Holosen	0.011	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon, traverten	Alüvyon	Alüvyon, traverten	Alüvyon, traverten	Alüvyon	Alüvyon, traverten	Güncel graben dolgusu Güncel yelpaze-bant binkintileri Güncel alüvyal yüzey binkintileri	Asartepe fm.	Kuvaterner birimler	Alüvyon, alüvyal yelpaze
		Pleyistosen			Çakıl, kum, silt				Asartepe fm.	Asartepe fm.					
		1.80						Tosunlar fm.							
	Ü	Gelasien	?	Tatlı su katmanları	Milet	Tatlı su Denizli kil-kumtaşı formasyonu	Konglomera, kumtaşı, marn		Ulubey fm.	Belevi fm.	Alüvyon, traverten	Sarı-kırmızı flüvyal konglomera	Belevi fm.	Pliyosen birimler	Kolonkaya fm.
		Piasensien													
	A	Zankliyen	Tuzlu-acı su katmanları	Tuzlu-acı su katmanları	Yatağan	Karaisalı Tatlı su	Konglomera, kumtaşı, marn	Kolankaya fm.	Kolankaya fm.	Kızılburun fm.	Konglomera, kumtaşı, marn	Tuzlu-acı sular tarafından kumtaşı- silttaşı alterasyonu, konglomera mercekleri, traverten	Üst Miyosen Birimleri	Alt-Orta Miyosen Birimleri	Sazak fm.
	Ü	5.33				Denizel Tuzlu-acı su	Manastır kong. üyesi		Sazak fm.	Kızılburun fm.	Konglomera, kumtaşı, marn	Flüvyal konglomera	?	Kızılburun fm.	Sazak fm.
		Messiniyen	Kömür, marn, kum, kil	?	Sekköy										
	O	Tortaniyen	Tatlı su nehir kırıntıları	?	Turgut	Babadagı kçt-marn fm.	Ahıllı marn üyesi			Sedimentasyon yok	Konglomera				
		11.60													
		Serravaliyen													
	A	Langiyen				Hisar kçt. üyesi				Sağdere					
		15.97													
		Burdigaliyen													
	A	Akitaniyen								Çaykavuştu					
		23.03													
	Miyosen öncesi anakaya														

0Şekil 2.4 Denizli havzasında yapılan önceki çalışmaların stratigrafik karşılaştırmaları (Alçıçek, 2007'den alınıp değiştirilmiştir)

Mikaşist olarak tanımlanan seviyeler kuvars-biyotit-biyotit-klorit-albit-kalsit-granat şistlerden oluşmaktadır. Mikaşist-kuvarsit-mermer ardalanmasından oluşan birime, Şimşek (1984) tarafından İğdecik Formasyonu adı verilmiştir. Birimi oluşturan mikaşist, kuvarsit ve mermer katmanları birbiri ile geçişlidir.

Şistler içinde önce kalkıştiller, daha üstte orta-kalın katmanlı mermerler gözlenmektedir. Mermerler; genellikle koyu gri ve beyaz renkli, iri kristalli, mikalı, kırılğan, bol eklemlili, belirgin katmanlıdır.

Kuvarsitler genellikle, gnaysların üzerinde ve şistlere geçiş zonunda görülmektedirler. Kuvarsitler; beyaz, sert, keskin, kırıklı, ince ve orta katmanlı, bol eklemlili ve kırıklı ve çoğunlukla mikalıdır.

2.2.2 Senozoyik

2.2.2.1 Kızılburun Formasyonu

İnceleme alanında kendisinden yaşlı tüm birimleri aşısali uyumsuzlukla örten Kızılburun Formasyonu, bloklu çakıltaşı, çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, silttaşı gibi kaya türlerinden oluşur ve yer yer killi-kireçtaşı ara katkıları bulundurur. Adlama ilk kez Şimşek (1984) tarafından yapılmıştır. Formasyon adını Kızılburun Tepe'den almaktadır. Formasyon bazı bölgelerde killi kireçtaşı, kil, mikalı-killi kireçtaşı-kumtaşı, killi kireçtaşı, çakıltaşı, kum ve çakıldan oluşan bir istif de sunmaktadır.

Çalışma sahası güneybatı kesimde gözlenen bu formasyondan derlenen makro ve mikro fosillere dayanarak bu formasyona değişik araştırmacılar tarafından farklı yaşlar verilmiştir.

Formasyonun yaşı Grancy (1937)'e göre Sarmasiyen, Nebert (1956)'e göre Alt Pliyosen, Kastelli (1971)'ye göre Alt Pliyosen, Sun (1990)'a göre Üst (Erken) Miyosen, Sözbilir (1994)'e göre Geç Miyosen- Erken Pliyosen'dir.

Kızılburun Formasyonu yer yer linyit seviyeleri içerir. Sun (1990)'un linyitli seviyelerden aldıkları örneklerde Dr. Funda Akgün tarafından yapılan determinasyonda formasyonun yaşı Üst Miyosen olarak yorumlanmıştır. Neotektonik dönemde bölgenin paleocoğrafik gelişimi göz önüne alındığında, Kızılburun Formasyonu'nun yaşı Geç Miyosen- Erken Pliyosen olarak belirlenmiştir (Kumsar, H., Aydan, Ö., Tano, H., Çelik, S.B., 2008).

Formasyonu yer yer Sazak, yer yer Kolonkaya Formasyonları üstler. Bu formasyonlar ile dokanakları bazı yerlerde tektoniktir.

Kızılburun Formasyonun tabanında çakıllar yer alır. Çakıllar yarı yuvarlaktır. Elemanlar çoğunlukla şist, mermer ve kuvarsit bileşenlidir. Formasyon üste doğru kendinden daha yaşlı Tersiyer çökellerinin çakıllarını da göstermektedir. Formasyonun gözlendiği tüm alanlar tabanda bloklu çakıltaşı, çakıllı kumtaşı içermektedir. Yanal süreklilik kalınlık artışıyla doğru orantılı olup, çok kalın yataklanmalar da gözlenmektedir.

Gerek alüvyon yelpazesi, gerekse örgülü ırmak çökellerinin kırmızımsı kahve ve sarımsı renklere sahip olması ortamda oksidasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. Formasyon bazı bölgelerde killi kireçtaşı, kil, mikalı-killi kireçtaşı-kumtaşı, killi kireçtaşı, çakıltaşı, kum ve çakıldan oluşan bir istif de sunmaktadır.

2.2.2.2 Sazak Formasyonu

Kızılburun Formasyonu üzerine geçişli bir dokanakla gelen, alttan üste doğru kıltaşı, silttaşı, killi-kireçtaşı, masif kireçtaşlarından oluşan karasal-gölsel çökeller 'Sazak Formasyonu' olarak tanımlanmıştır. Adlanma ilk kez Şimşek (1984) tarafından kullanılmış olup, formasyon adını Sazak Köyü'nden almaktadır. Çalışma alanının güneybatısında yüzlek veren birim, Çubukdağı'nda, Hisar, Tırkaz ve Aşağıtırkaz yerleşim yerlerinde yayılım göstermektedir.

Sazak Formasyonu kireçtaşlarında silisleşmeler belirgindir. Birim ayrıca evaporatik ortam ürünü olan jipsler de içermektedir. Bütün bu verilere dayanarak, Sazak

Formasyonunun Neotektonik dönemde grabenleşme etkisinde gelişen karasal-gölsel bir ortamda çökeldiğini söyleyebiliriz. Diğer bir ifadeyle birimin düşük enerjili bir göl ortamında çökeldiği ve içerdği fosil türünden de gölün derin olmadığı anlaşılmaktadır.

Bölgede Geç Miyosen'den sonraki tektonik rejime bağlı olarak oluşan normal fay takımlarının çöküntü alanlarında meydana gelen göl ve/veya göllerde sedimantasyonu başlattığı, ayrıca Sazak Formasyonu'nun Kızılburun Formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olduğu düşünüldüğünde bu formasyonun yaşının Geç Miyosen- Erken Pliyosen olabileceği anlaşılmaktadır.

Nitekim Sözbilir (1994), formasyonun yaşının Geç Miyosen-Erken Pliyosen olabileceğini belirtmektedir. Bölgedeki yaygın traverten oluşumları, normal fay takımlarının oluşumu ile birlikte sıcak su kaynaklarının da çıkmaya başladığını göstermektedir (Kumsar, H., Aydan, Ö., Tano, H., Çelik, S.B., 2008).

2.2.2.3 *Kolonkaya Formasyonu*

Sazak Formasyonu'nun üzerine geçişli bir dokanakla gelen kiltası, silttaşı, kireçtaşı ve killi-kireçtaşı ara seviyeleri içeren egemen kumtaşı istifine 'Kolonkaya Formasyonu' ismi verilmiştir. Adlamayı ilk kez Şimşek (1984) kullanmıştır. Formasyon adını Kolonkaya Tepe'den almaktadır.

Kolonkaya Formasyonu, çalışma alanı civarında Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey ve güney kesimlerinde gözlenmektedir. Formasyonda egemen olan kayalar, killi-kireçtaşı, kiltası, mikalı-killi kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası, Gastropodlu tatlisu kireçtaşı, kum ve çakıllardır. Bu istifte kumtaşları egemendir ve genellikle sarımsı ya da boz renklidirler.

Tabakalar ince-orta katmanlıdır. Genellikle paralel bazı yerlerde de çapraz tabakalanma göstermektedir.

Stratigrafik ilişki yönünden, Kolonkaya Formasyonu alttaki Sazak Formasyonu ile bazı yerlerde geçişli, bazı yerlerde tektonik bir dokanağa sahiptir. Formasyon, iyi

boylanmalı kumtaşı, kıltaşı, killi-kireçtaşı ve kireçtaşı içeriklidir. Ayrıca oygu-dolgu yapıları, çapraz tabakalanma ve kaval yapıları, dalga ripılları görülmektedir. İçerdiği fosil türlerinden de giderek çökelme ortamının, düşük enerjili bir göl ortamı olduğunu ve zaman zaman gölü besleyen akarsuların göl içinde etkinliklerini sürdürdükleri söylenebilir.

2.2.2.4 Tosunlar Formasyonu

Başlıca alacalı kırmızı ve sarımsı çakıltaşı, kumtaşı, fosilli kıltaşıdan oluşan formasyon Sarayköy civarında inceleme alanının güneydoğusunda gözlenmektedir. Çakıl taşının bileşen taneleri gnays, çeşitli şist, kuvarsit, mermer, Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, Kızılburun, Sazak ve Kolonkaya formasyonları'na ait çakıl ve bloklardır. Birim az pekleşmiş olup, taneler kötü-iyi arasında yuvarlaklaşmıştır. Katmanlanma belirsiz ya da az belirgindir. Kumtaşı ve silttaşlarının rengi biraz daha koyu ve kırmızımsı sarımsı tondadır. İnce orta katmanlı olan kumtaşları ve silttaşları içinde çakıltaşı düzeyleri de gözlenir. Birimin belirgin özellikleri düşük kotlarda bulunması, az pekişmiş, dayanımsız olmaları ve belirsiz katmanlanma sunmalarıdır. Katmanlar genelde yatay olup kalınlıkları 90 cm'dir (Gökgöz, 1994).

İri blokların da bu birim içinde yer almaları, gereçlerin çok yakından ve kısa sürede taşındığını gösterir. Bundan dolayı üst Pliyosen öncesi topografyanın durumuna ve su dışında kalan alanların litolojilerine göre Pliyo-Kuvaterner'de farklı alanlarda farklı birimler çökelmiş ve kısa mesafede çökel bileşeni değişebilmiştir (Şimşek, 1984).

Alt dokanağı Kızılburun, Sazak ve Kolonkaya formasyonları veya doğrudan Menderes Masifinin Metamorfikleri üzerine aşıl uyumsuz, üst dokanağı traverten ve alüvyonlarla uyumsuzdur. Can (1966), Buldan'ın kuzeydoğusunda Alacaoğlu'nda, birimden aldığı numuneden çıkan fosillere göre yaşı Üst Pliyosen, ortamı ise az tuzlu olarak belirlemiştir. Geniş alanlar kaplayan gevsek tutturulmuş kaba elemanlı çakıltaşı alanları çok genç birim görünümündedir. Bu verilere göre birimin yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilmiştir. (Şimşek,1984)'e göre de Tosunlar formasyonu Üst Pliyosen- Kuvaterner yaşlı olmalıdır.

Tosunlar formasyonu, graben ve horstları oluşturan büyük atımlı faylarla birlikte gelişmiştir. En büyük atımlı faylar önünde en geniş yayılımı görülmektedir. Bu birimi oluşturan katmanlardaki iri blok ve çakıllar, eski topoğrafyadan havzaya çok yakın yükseklikten taşınmış olduğu belirlenmiştir. Birim köşeli, iri taneli, bloklu, gevsek tutturulmuş, az belirgin katmanlı veya katmansız, kötü boylanmalı olduğu alanlarda yığılma ve selinti çökelti halindedir. Bazı yerlerde de sığ göl ve akarsu ortamında çökelebilmektedir. Buralarda belirgin katmalı, kumlu, killi, oldukça iyi boylanmalı, derecelenmeli ve fosillidir (Şimşek,1984).

2.2.2.5 Alüvyon

Alüvyonlar, Kızıldere sahası ile çalışma sahasını ayıran Büyük Menderes Nehri'nin her iki kenarında yayılım gösterir. Özellikle çakıltası, kumtaşı, kıltaşı aralanmasının üzerinde birimlerin ayrışma durumuna göre değişik kalınlıklarda bulunur. Alüvyon birimi, dere yatakları peridotit, kireçtaşı, şist kökenli çakıllarla, daha ince taneleri içeren karışımlar olarak gözlenir. Birimin kalınlığı 50-100 m arasında değişir. Eski alüvyon taraçaları; yassı veya köşeli çakıllı, kumlu, siltli, killi olup yer yer gevşek tutturulmuştur.

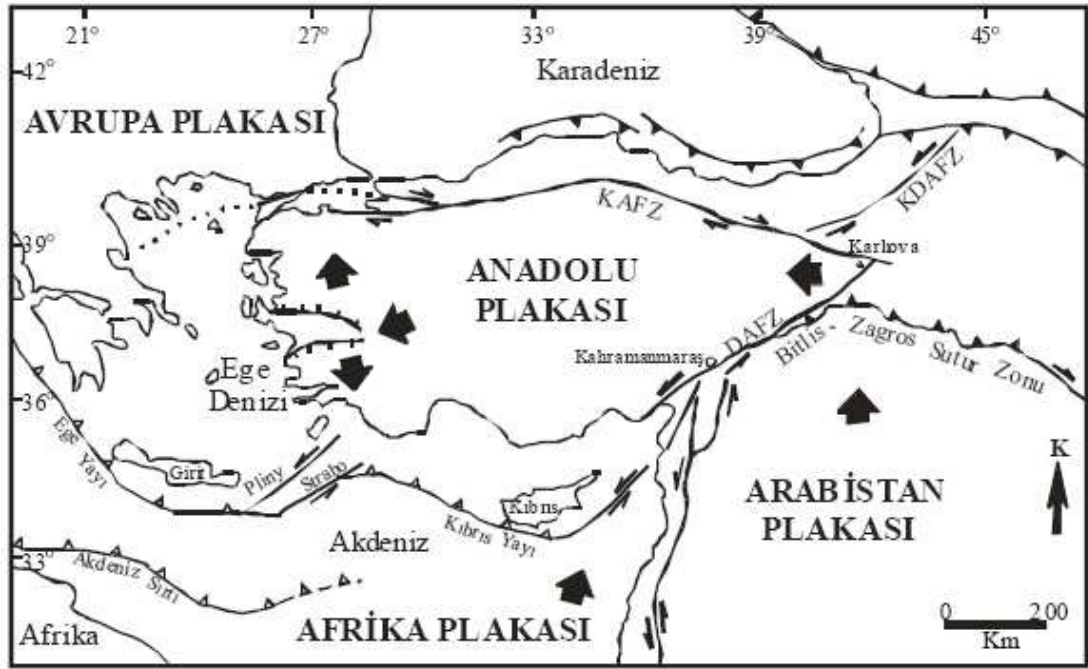
2.2.2.6 Alüvyal Yelpaze

İnceleme alanında Aşağıtırkaz'da, Gerali Kasabasının kuzeyinde, Kızıldere ve Çubukdağı kesimlerinde gözlenir. Çok az blok, çakıl, kum, silt ve kil boyutundaki malzemelerden oluşmuştur.

2.3 Yapısal özellikler

2.3.1 Ege Bölgesinin Aktif Tektonizması

Ege Bölgesi tektonik hareketler yönünden oldukça aktif bir bölge niteliğindedir. Batı Anadolu'da Senozoyik tektoniği ile yer kabuğunda önce bir sıkışma daha sonra da bir gerilme meydana gelmiştir (Şekil 2.5) (Şengör 1979). Ege Bölgesindeki aktif tektonizmanın kaynağı olan hareketler tanımlanırken çok farklı görüşler ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.5 Türkiye'nin neotektonik haritası (Barka vd. 1995'ten değiştirilerek)

2.3.2 Ege'deki Kıtasal Genişlemenin Oluşumu Konusunda İleri Sürülen Modeller

Ege bölgesindeki gerilmenin başlangıcı, yası ve oluşum evreleri hakkında çeşitli araştırmacılar tarafından değişik modeller ortaya konmuştur. Bunlar:

2.3.2.1 Tektonik kaçma modeli

Dewey ve Şengör (1979)'e göre Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı'nın sınırlandığı Anadolu Bloğu'nun batıya kaçıışı Geç Serravaliyen'den (12 my) beri devam etmektedir. Bu modele göre Arabistan Plakası'nın Avrasya Levhası'yla Güneydoğu Anadolu'da Bitlis Kenet Kuşağı boyunca çarpışmasından sonra Anadolu Levhası önce kalınlaşmaya başlamış daha sonra da Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Bu hareketin sonucu olarak da Batı Anadolu'da D-B yönlü bir sıkışma buna karşılık K-G yönlü bir genişleme meydana gelmiştir (Şengör ve Kidd 1979. Şengör ve Yılmaz 1981. Şengör ve diğ. 1984).

2.3.2.2 *Yay ardı açılma modeli*

Bu model Le Pichon ve Angelier (1979) tarafından savunulmaktadır. Modele göre Afrika Levhası'nın kuzey kenarının Helenik Yay boyunca kuzeye dalması ve dalan levhanın dönme noktasının geriye hareketiyle (roll-back) üst levhada bir genişleme yaratması sonucu Ege bölgesinde Geç Serravaliyen-Tortoniyen'de K-G kabuksal bir genişleme olmuştur.

2.3.2.3 *Orojenik çökme modeli*

Bu model Ege bölgesi için Dewey (1988) tarafından Geç Miyosen'de görülen genişlemeli tektoniği açıklamak için önerilmiştir. Ancak Seyitoğlu ve Scott (1991, 1992) ve Seyitoğlu (1996) Batı Anadolu'da D-B gidişli grabenler ve diğer havzalardan elde ettikleri palinolojik ve izotopik yaş verileri ile genişlemeli tektoniğin başlangıcını Erken Miyosen olarak belirlemişlerdir. Bu zaman dilimi, hem tektonik kaçma modelinin neden sonuç ilişkisine hem de yay ardı açılma modelinin Le Pichon ve Angelier (1979) tarafından öne sürülen zamanlamasına uymamaktadır. Sonuç olarak Paleosen'deki çarpışma sonucu İzmir-Ankara-Erzincan-Neotetis Keneti boyunca Anadolu Levhası'nın kısalıp kalınlaşmasıyla, Geç Oligosen-Erken Miyosen'de aşırı kalınlaşan kabuğun yayılması sonucu genişlemeli tektonik rejimin başladığı belirtilmiştir.

Değişik araştırmacılar tarafından, yukarıda anlatılan üç modeldeki bilgiler temel alınarak aşağıdaki iki model ortaya konulmuştur.

2.3.2.4 *İki safhalı grabenleşme modeli*

Koçyiğit ve diğ. (1999) ve Koçyiğit (2000) tarafından savunulan bu modelde Batı Anadolu'da grabenleşmenin iki evreli olarak meydana geldiği anlatılmıştır. Birinci evre Miyosen-Erken Pliyosen olup bu evrede grabenlerin oluşumunda “orojenik çökme” rol oynamış ve ikinci evre olan Pliyosen-Kuvaterner'de ise Anadolu Bloğunun batıya kaçışı ile ilgili olarak gerçekleşen K-G doğrultulu açılmanın ikinci safhası meydana gelmiştir.

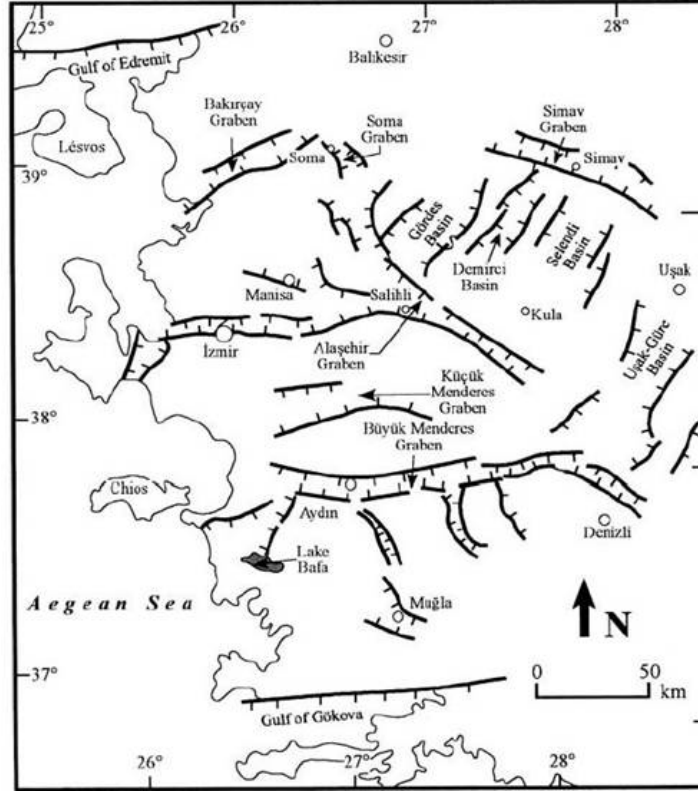
2.3.2.5 Çekirdek kompleksi modeli

Metamorfik çekirdek kompleksleri ABD'nin batı kenarında tanımlanmıştı ve düşük açılı sıyrılma (detachment) fayları ile 20 km derinlikte sınırlı oltamdaki kayaların kırılma ortamına ve yüzeye ulaşmalarını açıklar. Batı Anadolu'da Menderes Masifi'nin bir çekirdek kompleksi olduğu Bozkurt ve Park (1994). Verge (1993) tarafından belirtilmiş olsa da kapsamlı bir modelin sunulması için 2003 yılına kadar beklenmesi gerekmiştir. Ring ve diğ. (2003)'de Menderes Masifi'ni güneye eğimli Likya Sıyrılma Fayı ve kuzeye eğimli Simav Sıyrılma Fayı (Işık ve diğ. 1997; Işık ve Tekeli 2001) ile Oligosen'de simetrik çekirdek kompleksi olarak tanımlar. Orta Menderes Masifi ise kuzey ve güney Sıyrılma Fayları ile yine simetrik olarak yüzeyler (Ring ve diğ. 2003). Buna karşın Seyitoğlu ve diğ. (2004) Menderes Masifi'ni Oligosen'de bir asimetrik çekirdek kompleksi olarak görür. Ana ayrılma fayı kuzeye eğimli Datça-Kale Fayı'dır ve düşen blokta Oligosen Kale Havzası gelişmiştir. Datça-Kale ana ayrılma fayının bükülerek yükselmesi sonucu Erken Miyosen'de Menderes Masifi yüzeyler ve bu fayın kuzeydeki parçası Simav Sıyrılma Fayı'dır. Dom şeklini almış olan masif Erken Miyosen'de kuzeye eğimli Alaşehir Fayı ve güneye eğimli Büyük Menderes Fayı ile parçalanır ve bunların dönerek düşük açılı hale gelmeleri ile Pliyosende bu sefer simetrik çekirdek kompleksi şeklinde orta Menderes Masifi yüzeyler (Seyitoğlu ve diğ. 2004).

2.3.3 Büyük Menderes Grabeni

Batı Anadolu K-G yönünde genişleyen sismik yönden aktif bir kabuğa sahiptir (Dewey ve Şengör 1979, Şengör 1987). Bu genişleme kuvvetleri etkisinde şekil değiştiren Batı Anadolu üst kabuğu yaklaşık D-B uzanımlı grabenlerin sınırladığı normal faylarla kırılmıştır. Bu çöküntülerin en önemlilerinden biri Büyük Menderes Grabeni'dir (Şekil 2.6).

Anadolu plakası genel olarak dört ana yapısal zon tarafından denetlenmektedir (Dewey ve Şengör, 1979). Bunlar: Bitlis Kenet Kuşağı, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Batı Anadolu Graben Sistemi'dir.



Şekil 2.6 Batı Anadolu grabenlerinin basitleştirilmiş haritası (Bozkurt, 2001)

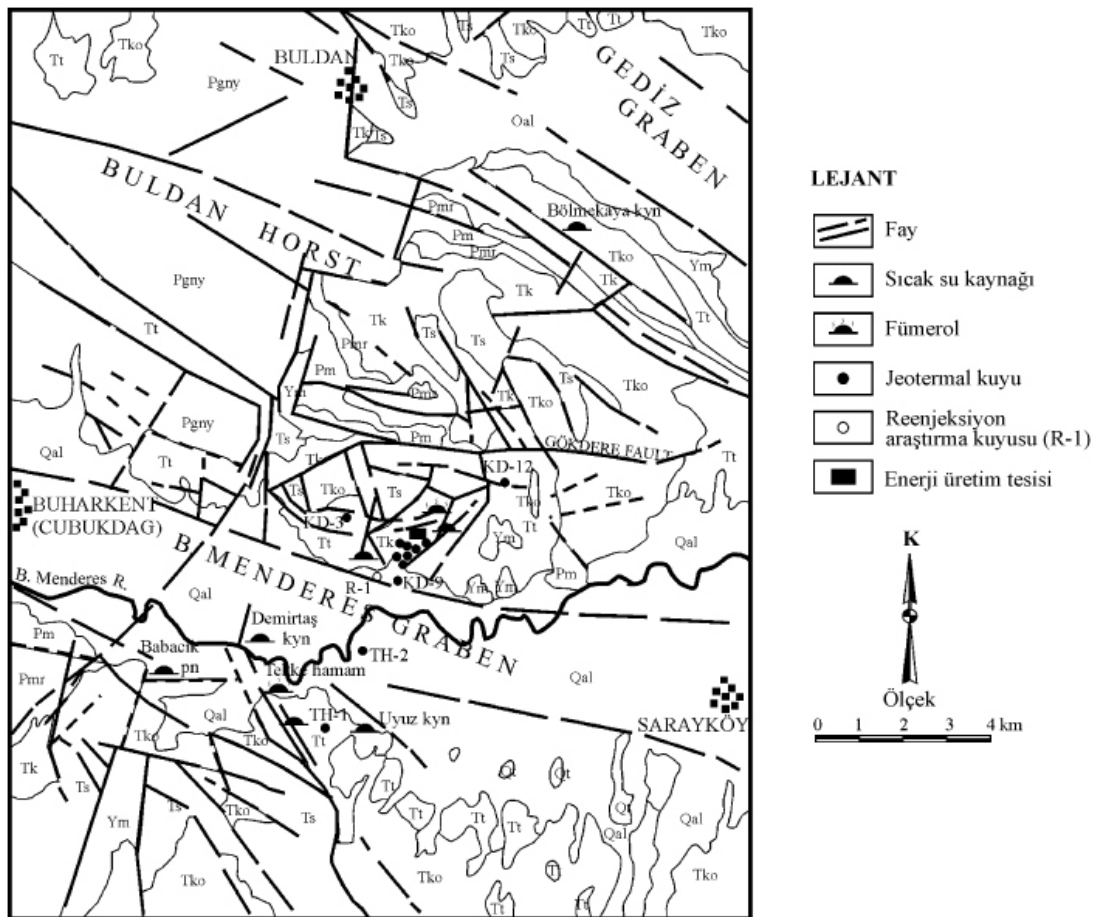
Bitlis Kenet Kuşağı, Orta Miyosen’de Arap ve Anadolu plakalarının çarpışması sonrası ortaya çıkmıştır ve bu aktivite hala devam etmektedir. KAF ve DAF, Arap plakasının kuzeye doğru hareketi sonucu meydana gelen doğrultu atımlı faylardır. Çalışma alanında da olduğu gibi, Batı Anadolu’daki açılma rejimi, Anadolu’nun doğusundan Anadolu plakasını KAF ve DAF hattı (Dewey ve Şengör, 1979) boyunca batıya doğru iten, Arap plakasının kuzeye doğru olan sıkıştırma rejimiyle yakından ilişkilidir. Bu olay sonucu Batı Anadolu’da D-B sıkıştırma etkisiyle K-G yönlü açılmaya bağlı olarak Batı Anadolu Graben sistemleri gelişmektedir. Seyitoğlu ve Scott (1992), Batı Anadolu’daki bu genişlemenin büyük olasılıkla Alt Miyosen’de geliştiğini söylemektedir. D-B uzanımlı grabenler (Örn. Büyük Menderes ve Gediz Grabenleri) Türkiye batısının belirgin yapısal özelliklerini sunmaktadır (Bozkurt ve Sözbilir, 2004).

Büyük Menderes Grabeni 150 km’lik uzunluk ve 10-20 km genişliğe sahip olan aktif normal faylarla sınırlı D-B doğrultulu bir çöküntüdür (Paton 1992). Grabenin doğrultusu Ortaklar’dan itibaren değişir ve Söke’ye doğru KD-GB doğrultusunda

uzanır. Graben Buldan'ın doğusunda Alaşehir Grabeni ile kesişir ve Sarayköy'den itibaren Denizli havzasına değişir (Westaway 1993).

Bölgede genişleme tektoniğine bağlı olarak çok sayıda fay bulunmaktadır. Horst ve grabenlerin oluşmasına neden olan bu faylanmalar Tekkehamam Jeotermal sisteminin de oluşumunda en önemli faktörlerden birini oluştururlar.

Şekil 2.7'de alanın fay ve kırık sistemleri sunulmuştur.



Şekil 2.7 İnceleme alanının tektonik haritası (Şimşek ve Yıldırım, 2005'ten değiştirilerek)

BÖLÜM ÜÇ

HİDROJEOLOJİ

3.1 Kapsam ve Yöntem

İnceleme alanının hidrojeolojik özelliklerinin ortaya çıkartılması için yöredeki soğuk ve sıcak yeraltı suları ayrı ayrı ele alınarak incelenmiştir. Bu kapsamda akifer türleri, kayaçların hidrojeolojik özellikleri, sıcak ve soğuk su noktalarının dağılımları belirlenmiştir. Buradaki su noktalarından elde edilen örneklerin kimyasal analizleri ACME Analitik Laboratuvarına (Kanada) ve DEÜ Çevre Mühendisliği Analitik Laboratuvarı'nda tahlil edilerek sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri belirlenmiş ve yorumlanmıştır. Kimyasal tahliller TS- 266 (1970) ve APHA-AWWA-WPCF (1975) standartlarına göre yapılmıştır. Katyonlar için atomik absorpsiyon, anyonlar için titrasyon ve gravimetrik yöntemler kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal çalışmalar, suların sınıflanmasını, fasiyes tiplerinin belirlenmesini, iyonlar arası ilişkilerin, kökenlerinin, doygunluk indisi değerlerinin ve alterasyon minerallerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Sıcak ve soğuk suların karışım oranları, deniz suyu girişi, kullanılabilişlikleri, suların radyoaktif ve izotopsal özellikleri saptanmıştır. Ayrıca, Tekkehamam Jeotermal sisteminin potansiyeline ilişkin incelemeler ile hazne sıcaklıklarının çeşitli yöntemlerle saptanmasına yönelik çalışmalar hidrojeolojik incelemeler kapsamında yapılan diğer çalışmalardır.

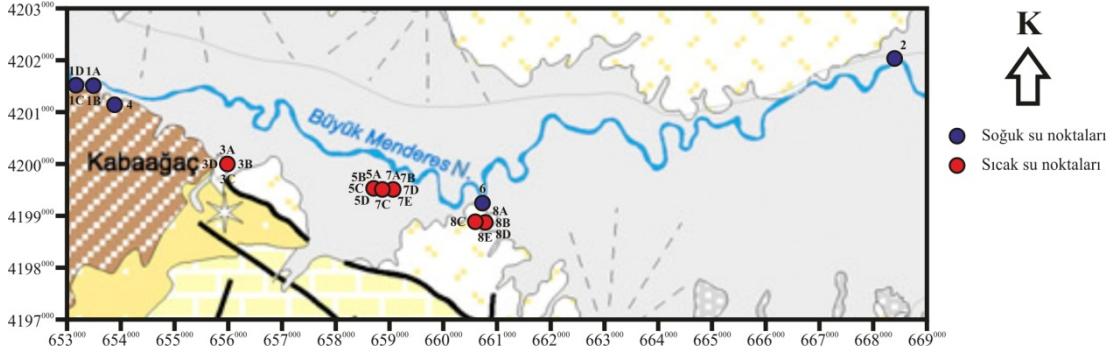
3.2 Su noktaları

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, kökenlerinin araştırılması, birbirleri ile olan ilişkileri, potansiyelleri, kirlenmelerinin incelenmesi amacıyla sondaj, kaynak ve adi kuyulardan su örnekleri alınmıştır. Örneklenen yeraltı suları soğuk yeraltı suları ve sıcak yeraltı suları olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır (Şekil 3.1).

3.2.1 Soğuk Su Noktaları

Soğuk yeraltı sularına ait örneklemeler Sahada geniş yayılımı olan Büyük Menderes nehrinden ve arazide oldukça kısıtlı sayıda olan bazı kaynaklardan elde

edilmiştir. Örnekler Büyük Menderes nehrinden (1A, 1B, 1C, 1D, 2), Çelik Çeşme Kaynağından (4) ve Umut termal otel karışışındaki göllenmeden (6) elde edilmiştir. (Şekil 3.1). Tüm anlatımlarda bu numaralar kullanılmıştır.



Şekil 3.1 İnceleme alanında yer alan ve bu çalışma kapsamında örneklenerek incelenen sıcak ve soğuk su noktalarının yerleri

3.2.2 Sondaj Kuyuları

Tekkehamam yöresi ve çevresinde jeotermal turizm ve jeotermal kaynaklardan enerji üretimi ve ısınma amacıyla çok sayıda sondaj kuyusu açılmıştır. Bunlardan TH-1 (116°C) ve TH-2 (147°C) nolu kuyular MTA tarafından açılmıştır. Tekkehamam yöresinde kullanma amaçlı açılan bazı sığ kuyulardan da sıcak-mineralli sular elde edilmiş ve şahıslar bu kuyulardan elde ettikleri suları jeotermal turizm yaparak değerlendirmektedir.

3.2.3 Kaynaklar

İnceleme alanında az sayıda soğuk su kaynağı yer almaktadır. Bu kaynaklar Şekil 3.1’de 4 ve 6 nolu su örnekleri olarak gösterilmişlerdir. 4 no’lu kaynak Çelik Çeşme Kaynağıdır.

3.2.4 Sıcak Su Noktaları

Tanım olarak “Sıcak ve mineralli su”, sıcaklığı 20°C’den fazla ve litrede 1 gramdan çok erimiş madde içeren sudur. İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sular sondajlardan ve kaynaklardan örneklenmiştir.

3.2.5 Sıcak ve Mineralli Su Sondajları

İnceleme alanında MTA tarafından açılmış olan 2 adet derin sıcak ve mineralli su sondajı yer almaktadır. Bu sondajlardan TH-1 sondajı 615,5 m., TH-2 sondajı ise 2001 m. derinliktedir. Bunların haricinde yöre halkı ve bazı otellerin sıcak su temini amacıyla açtırdıkları sondajlarından örneklenme yapılmıştır (3A, 3B, 3C, 3D, 5A, 5B, 5C, 5D, 7A, 7B, 7C, 7D, 7E, 8A, 8B, 8C, 8D ve 8E nolu sondajlar) (Şekil 3.1).

3.2.6 Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları (Kaplıcalar)

İnceleme alanı içersinde İnaltı mevkiinde sıcak ve mineralli su kaynakları yer almaktadır. Üzerine bina yapılarak “Kaplıca” haline getirilen bu kaynaklara ait termal sular örneklenerek hidrojeokimyasal özellikleri saptanmıştır. Bu şekilde kaplıca olarak oluşturulan sadece İnaltı Hamamı sıcak su kaynağıdır (Şekil 3.1).

3.3 Kayaçların hidrojeolojik özellikleri

Çalışma alanı ve çevresinde temel kaya Menderes Masifi’nin metamorfik kayaçlarından oluşmaktadır. Masif içerisinde bulunan mermerler ise ana hazne kayayı oluştururlar. Mermerler yer yer erime boşluklu olup, tektonik etkilerle çatlaklı kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Bu özelliklerinden dolayı yüksek porozite ve permeabilite gösterirler. Mermerler altında ve üstünde yer alan mikaşistler daha düşük porozite ve permeabiliteye sahiptirler. Şistler bu özellikleri ile örtü kaya konumundadırlar (Karahan ve diğ., 2000).

Gnayslar çalışma alanında gerek faylanma, gerekse mermerlerle yakın ilişkide bulunmaları nedeni ile yüksek porozite ve permeabilite gösterebilmektedirler (Karamandere, 1989). Temel birimler üzerine gelen Neojen tortullarının gevşek tutturulmuş kumlu, çakıllı bölümleri yüksek porozite ve permeabiliteye sahip olup hazne özelliği gösterirler. Bu birimlerin sıkı tutturulmuş bölümleri ile killi seviyeleri ise örtü kaya konumundadır (Karahan ve diğ., 2000).

3.4 Meteorolojik Su Bütçesi

Bu kısımda çalışma sahasının yağış, sıcaklık ve iklimsel özellikleri incelenmiş, 1970-2012 yılları arasında tutulan meteorolojik kayıtlardan yararlanılarak su bilanço tablosu hazırlanmış ve sonuçları yorumlanmıştır. Değerlendirmelerde incelenen jeotermal sahalara yakın mesafede olan ve uzun süreli ve güvenilir ölçümlerin yapıldığı Denizli Devlet Meteoroloji İstasyonu'nun meteorolojik verileri kullanılmıştır.

Denizli il merkezi için 1970-2012 dönemi ortalaması ve 2012 yılındaki potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme değerleri, karşılaştırma için Thornthwaite yöntemi ile hesaplanmıştır (Tablo 3.1).

Thornthwaite'ın aylık potansiyel buharlaşma- terlemeyi (ETP) veren formülü;

$$ETP = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

$$I = \sum i, \quad i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514} \quad \text{şeklindedir. Formülde;}$$

i : Sıcaklık indisi,

t : Aylık sıcaklık ortalaması (°C)

ETP : Aylık potansiyel buharlaşma- terleme miktarı (mm)

a : $6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1,79 \times 10^{-2} \times I + 0,492$ 'dir.

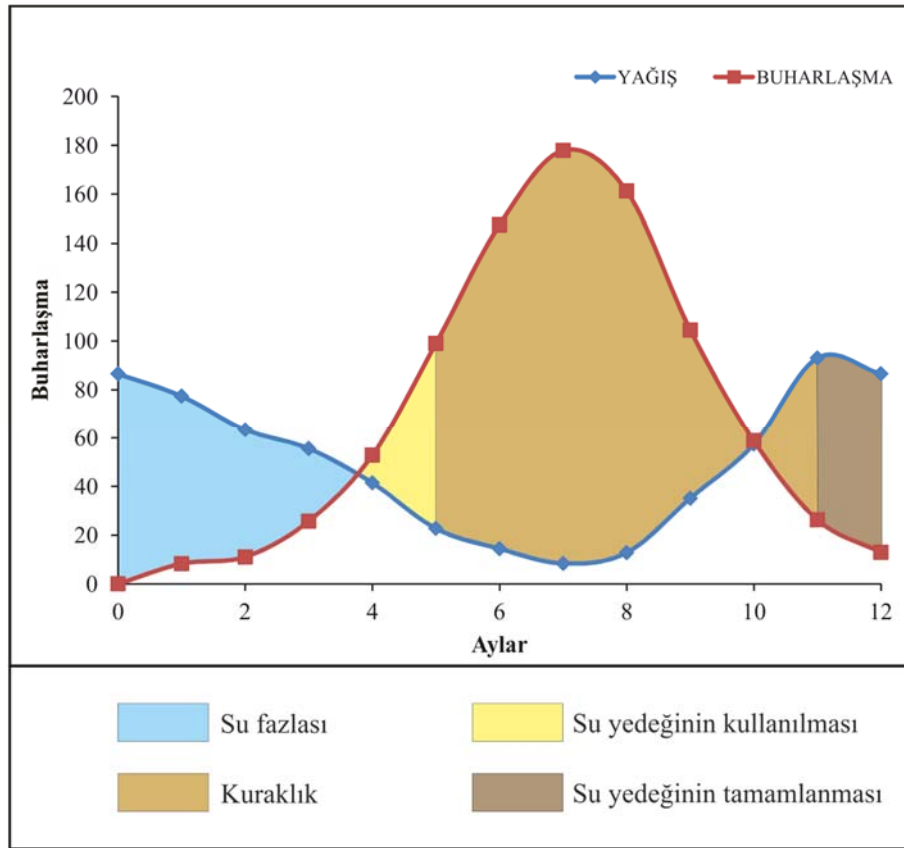
Bu yöntemle, 1970-2012 yılları için yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (ETP) 783,99 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 371,94 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.1). Nisan ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle ETP, Etr'ye eşit olur. Yağış fazlası 195,86 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçer, bir kısmı da yeraltına süzülür. Kasım ayı ortasından sonra yağış ETP'den fazladır. Aralık ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar.

Tablo 3.1 Denizli il merkezi meteoroloji verilerine göre 1970 – 2012 dönemine ait su bütçesi (Thornthwaite yöntemiyle enlem değeri 38 olarak hesaplanmıştır)

AYLAR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	5,8	6,9	10,0	14,6	19,7	24,7	27,4	26,9	22,4	16,8	11,4	7,6	-----
Sıcaklık İndisi	1,25	1,63	2,86	5,07	7,97	11,23	13,14	12,78	9,68	6,26	3,48	1,88	77,23
P-ETP (mm) Potansiyel Buharlaşma Terleme	9,76	13,17	24,99	48,01	80,51	118,94	142,26	137,81	100,48	61,17	31,33	15,56	783,99
Enlem Düzeltme Katsayısı	0,85	0,84	1,03	1,11	1,23	1,24	1,255	1,175	1,04	0,96	0,84	0,825	-----
ETP (Düzeltilmiş) (mm) Düzeltilmiş Buharlaşma Terleme	8,30	11,06	25,74	52,81	99,02	147,49	177,82	161,24	104,50	58,72	26,31	12,92	885,93
Yağış (P) (mm)	86,5	77,3	63,4	55,5	41,4	22,7	14,4	8,4	12,8	35,1	57,3	93	567,80
Zemin Rezervi (mm)	100	100	100	100	42,38	0	0	0	0	0	30,98	100	573,36
Gerçek Buharlaşma (mm)	8,30	11,06	25,74	52,81	99,02	65,08	14,40	8,40	12,80	35,10	26,31	12,92	371,94
Su Noksanı (mm)	0	0	0	0	0	82,41	163,42	152,84	91,70	23,62	0	0	513,99
Su Fazlası (mm)	78,20	66,24	37,66	2,69	0	0	0	0	0	0	0	11,07	195,86
YAS'na Sızan Su (I)	41,92	54,08	45,87	24,28	12,14	6,07	3,03	1,52	0,76	0,38	0,19	5,63	195,85

Bu hesaplamalara göre yıllık toplam yağışın %65,5'ine karşılık gelen 371,94 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Aralık aylarında görülen yağış fazlası toplam yağışın %34,5'idir. Bu durumda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır.

Aralık ayı sonundan nisan ayı başlarına kadar geçen sürede zemin rezervi ve yağış parametrelerine bakıldığında su fazlası dönem olarak göze çarpmaktadır. Buradaki su fazlası 195,86 mm'dir. Nisan ayından mayıs ayına kadar geçen sürede ise teorik olarak 100 mm olarak alınan su yedeğinin kullanıldığı dönemdir. Mayıs ayından ekim ayına kadar geçen süre zemin rezervinin tükendiği aylardır, bu aylarda tarımsal su açığı gözlenmektedir. Mayıs ayından ekim ayı sonuna kadar geçen süre ise "kurak dönem" olarak adlandırılabilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Denizli il merkezine ait su bütçesi grafiği

1970-2012 yılları arasındaki Denizli Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak yapılan su bütçesi hesaplamalarına göre yıllık 195,86 mm'lik suyun yeraltına

süzüldüğü hesaplanmıştır. Buna göre Denizli il merkezi istasyonu için yıllık yağış miktarı 567,8 mm üzerinden hesaplanırsa, $195,86 / 567,8 = 0,345$ değeri bulunur. Yapılan hesaplamalarla elde edilen veriler ışığında, Denizli Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yıllık yağışın % 34,5'i yeraltına süzölmektedir.

3.5 İzotop Jeokimyası

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 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) izotopları genel olarak jeotermal akışkan kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılır. İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. Diğer bütün suların izotop değerleri, δ değeri sıfır kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)'a göre ölçölmektedir.

İzotoplar; sıcaklık ve su kayaç etkileşimine hassasiyetlerinden dolayı jeotermal araştırmalarda etkin bir akifer izleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Tritiyum izotopları termal suların kökeni, yaşı, beslenme alanı, yüksekliği ve yeraltında kalış sürelerini tahmin etmede kullanılır.

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynaklara ait sıcak su örnekleri Duraylı Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Tritiyum içerikleri bakımından incelenmiş, analiz sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir. Bu verilere göre yeraltı suyunun dolaşım sistemi ve hidrojeolojik özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Duraylı izotop analiz sonuçları ve örnekleme sırasında ölçölen fiziksel ve kimyasal parametrelere ilişkin bilgiler Tablo 3.2'de verilmiştir. Tabloda göröldüğü üzere termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -57,52 ile -49,96 arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -7,87 ile -5,09 arasında değişim göstermektedir. Çalışma alanındaki termal suların tritiyum içerikleri 0,01 ile 2,74 TU arasındadır.

Tablo 3.2 Çalışma alanında örnekleme yapılan sulara ait izotop sonuçları

N o	Örnekleme yeri	Ölç. T. (°C)	EC (µS/cm)	δ ² H ‰SMOW	St. Sap.	δ ¹⁸ O ‰SMOW	St. Sap.	T(TU)	TU hata
1	Umut Termal	78,4	3310	-57,52	0,18	-7,73	0,20	0,01	0,25
2	B. Mend. Ahmetli Köp.	21,0	1653	-51,36	0,49	-7,87	0,19	2,74	0,31
3	İnaltı Hamamı	50,6	3880	-54,34	0,57	-5,09	0,55	0,32	0,26
4	Çavuşoğlu Hamamı	73,7	3870	-54,91	0,51	-5,70	0	0,96	0,29
5	Babacık Kaynağı	48,0	3080	-51,93	0,32	-6,67	0,11	0,55	0,28
6	İnaltı Yeni Sondaj	42,0	4410	-49,96	0,07	-7,54	0,63		

Trityum atomları doğada $1,10^{-15}$ oranında bulunur. Su içerisindeki trityum konsantrasyonu trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması “1 Trityum Birimi (TU)” olarak tanımlanır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle yeraltı sularının bağlı yaşının (eskilik derecesi) belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002).

Trityum analizlerine göre sular başlıca üç grup altında toplanır. Birinci grupta yer alan sular 0 (sıfır) trityum değeri ile nükleer denemeler öncesi yağışlardan (1952 öncesi) beslenmiş sulardır. İkinci grup sular ise trityum içeriği 4 TU'dan büyük olan 5 - 10 yıllık dolaşım süreli güncel (modern) sulardır. Üçüncü grup ise sıcak suların da içinde yer aldığı 2 - 4 TU değerli sulardır. Bu suların genç yağışlardan ve eski yağışlardan beslenmiş yarı-güncel sular oldukları söylenebilir (Burçak ve diğ., 2005).

Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki vardır. $[\delta D = A \cdot \delta^{18}O + B]$ bağıntısına göre A (eğim) ve B (döteryum fazlası) değeri, hidrolojik döngü boyunca buharlaşma, nem, yağış, iklim koşullarına ve coğrafi konuma bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su vardır. ^{18}O ve $D(^2H)$ izotoplarının bu özellikleri, yeraltı sularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

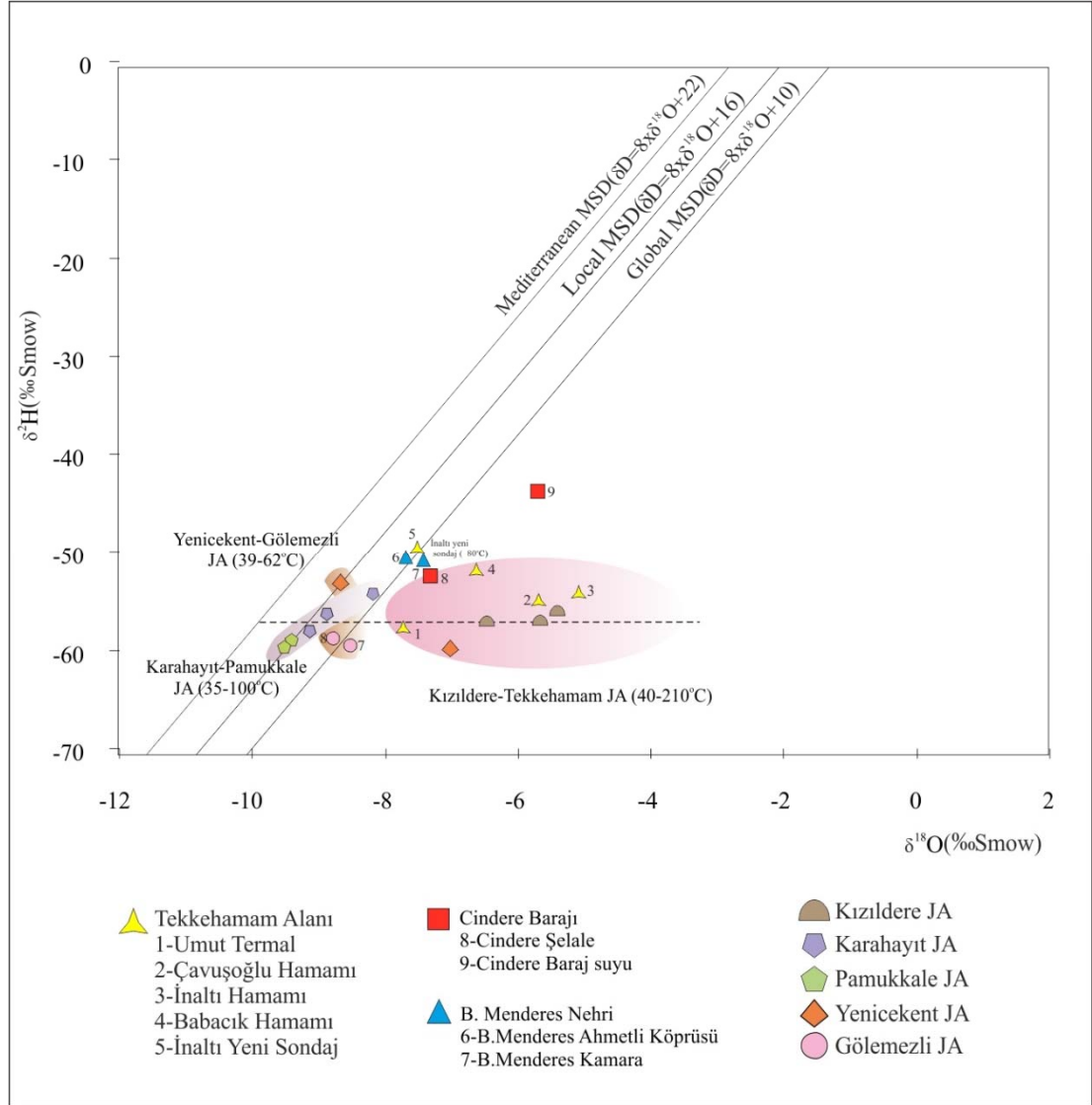
Bu çalışmada global meteorik su doğrusu, yerel meteorik su doğrusu ve Akdeniz meteorik su doğrusu kullanılmıştır (Şekil 3.3). Su doğrularının denklemleri ve

referansları aşağıdaki gibidir;

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

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

Yerel Meteorik Su Doğrusu; $\delta D = 8 * \delta^{18}O + 16$ ‰ (SMOW) (Şimşek, 2003)



Jeotermal akiferlerde gözlenen ^{18}O zenginleşmesi, sıcaklığın etkisiyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimi sonucunda kayaç ve yeraltı suyu arasındaki izotop takas sürecidir. Bu zenginleşme ^{18}O izotopu bakımından zengin kayaçlar ile jeotermal akışkan arasındaki etkileşim sonucunda, jeotermal akışkanın izotopik bileşiminin

pozitif ^{18}O değerlerine doğru yönelmesidir. Hidrojen ise kayaçların ana bileşenlerinden biri olmadığından kayaç-akışkan etkileşimi jeotermal suların ^2H değerleri üzerinde bir değişikliğe neden olmamaktadır. Dolayısıyla $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramında jeotermal sapma olarak tanımlanan, jeotermal suların $\delta^{18}\text{O}$ eksenine paralel bir şekilde daha pozitif $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine yönelme oluşmaktadır.

Jeotermal akiferlerde su-kayaç etkileşimi sonucunda meydana gelen ^{18}O zenginleşmesi; su ve kayacın $\delta^{18}\text{O}$ değerine, ayrışma şiddetine (sıcaklık, mineraloji) ve su/kayaç oranına bağlıdır. ^{18}O izotopunun, mineral-su arasındaki denge ayrışma sabiti (α) aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\alpha^{18}\text{O}_{\text{mineral-su}} = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{mineral}} / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{su}}$$

Ayrışma sabiti (α), sıcaklığın artması ile azalmakta, başka bir ifadeyle mineral fazından su fazına geçen $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranı sıcaklık ile birlikte artmaktadır. Bununla birlikte izotop takas hızı sıcaklıkla orantılı olarak yükselmektedir. Jeotermal sularda ^{18}O zenginleşmesi suyun etkileşimde bulunduğu kayacın ^{18}O içeriğine de bağlıdır. Jeotermal sapma, ^{18}O bakımından zengin karbonatlı akiferlerde daha şiddetlidir (Truesdell ve Hulston, 1980).

Şekil 3.3'e bakıldığında Kızıldere-Tekkehamam JA (40-242 °C) sularının, Yenicekent-Gölemezli ve Karahayıt-Pamukkale JA'larına göre $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleştiği görülmektedir. Önceki çalışmalarda Denizli-Aydın yöresindeki sularda doğudan batıya doğru $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesi belirtilmiştir. Batıya doğru gerçekleşen akım boyunca zenginleşme süreci dolaşım süresinin artması ile devam etmektedir. Termal yeraltı suyu akımı boyunca kuzeydeki horst alanlarından gelen beslenimler nedeniyle meydana gelen seyrelme sürecinin jeotermal sapmanın şiddetinin azalmasına neden olduğu sanılmaktadır. Aynı zamanda kuzeydeki horst alanlarından gelen beslenim, döteryum içeriklerinde D-B yönünde artışın gerçekleşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

İnceleme alanı içerisinde yeralan izotop analizi yapılmış sular grafiğe aktarılmıştır. Buna göre inceleme alanının yakınında bulunan Yenicekent-Gölemesli ve Karahayıt-Pamukkale jeotermal alanlarıdaki sular meteorik kökenlidir.

Kızıldere-Tekkehamam jeotermal alanındaki termal sular global meteorik sulardan oluşmaktadır. Alanda su kayaç etkileşiminin Yenicekent-Gölemesli ve Karahayıt-Pamukkale jeotermal alanlarıdaki termal sulardan uzun sürmesine ve farklı özellikte olmasına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleştiği ve bir doğru üzerinde yer aldığı belirlenmiştir (Şekil 3.3).

3.6 Kabuk Kayaç Örneklerinin Mineralojik Değerlendirilmesi

3.6.1 X-ışını difraksiyonu (XRD)

Jeotermal alan ve çevresinden alınan örneklerin mineral parajenezlerinin belirlenmesi için X-ışını difraksiyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. X-ışını Difraksiyon (XRD) spektroskopisi, X-ışını denilen ultraviyole ışıdan daha kuvvetli olarak bilinen fakat gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizdir. XRD denilen aletler ile yapılan çalışmalarda örnek türüne göre hangi minerallerden oluştuğu saptanır. Çalışma prensibi olarak öğütülmüş numuneye X-ışını göndererek kırılma ve dağılma verilerinin toplanması şeklinde söylenebilir. Kristal yapısına göre ışını farklı açılarda ve şiddette kıran örnekler çok hassas biçimde ve çok kısa sürede izlenebilmektedir. X-ışını difraktometresinin çalışma prensibi kristaldeki örgü parametreleri ile aynı mertebede dalga boyuna sahip x-ışını dalgalarının kristal ile kırınımına uğraması olayına dayanır. X-ışını jeneratöründe bakır hedeften yayılan karakteristik x-ışınlarından genellikle $K\alpha_1$ kullanılır. Dalga boyu $1,544 \text{ \AA}$ dur. Sistemde x-ışını tüpünü takiben uygulamaya yönelik olarak farklılaşan x-ışını optiği kullanılır. Bu optik monokromatörler ve silt'lerden oluşur. Kırınımına uğrayan x-ışını demetini algılayan tarafta ise bir sayıcı detektör bulunur.

Analizi yapılacak örnek öncelikle öğütücülerde veya agat havanda 200 mesh (22 mikron) altına geçecek boyutta toz haline getirilerek hazırlanır. Bu sırada havan veya öğütücünün temiz olması oldukça önemlidir. Öğütme esnasında 1-2 gram olması

yeterlidir. Toz haline getirilen örnek en az yönlendirme ile dik preslenerek analize uygun hale getirilir. Tüm kayaç mineral içeriği İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezi laboratuvarında X-ışını difraktometre cihazı (Phillips X'Pert Pro marka, Ni-filtreli, CuK α 30kV, 40mA ortamında) hizmet alımı yapılarak belirlenmiştir. Tarama hızı 2°/dak olarak alınmıştır. Örneklerin mineral içerikleri niteleyici olarak verilmiştir. Yukarıdaki yöntemle mineral yüzdesi vermek mümkün değildir.

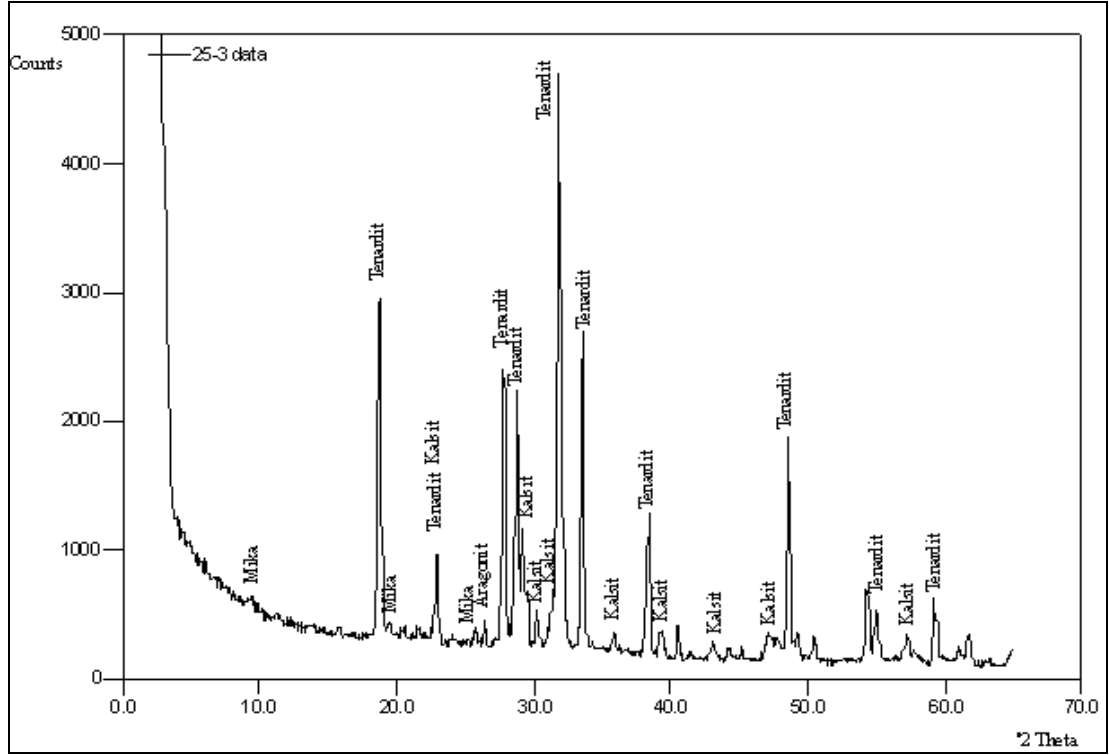
Tekkehamam Jeotermal alanından alınan 6 adet örneğin mineral parajenezlerinin belirlenmesi için X-ışını difraksiyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9).

Tekkehamam İnaltı Hamamı'na ait örneğin mineral parajenezi Şekil 3.4'te verilmektedir. Şekil 3.4'te verilen örnek tenardit içeriği nedeniyle farklıdır. Kalsit ve aragonit miktarı azdır. Mika diğer detritik bileşendir.

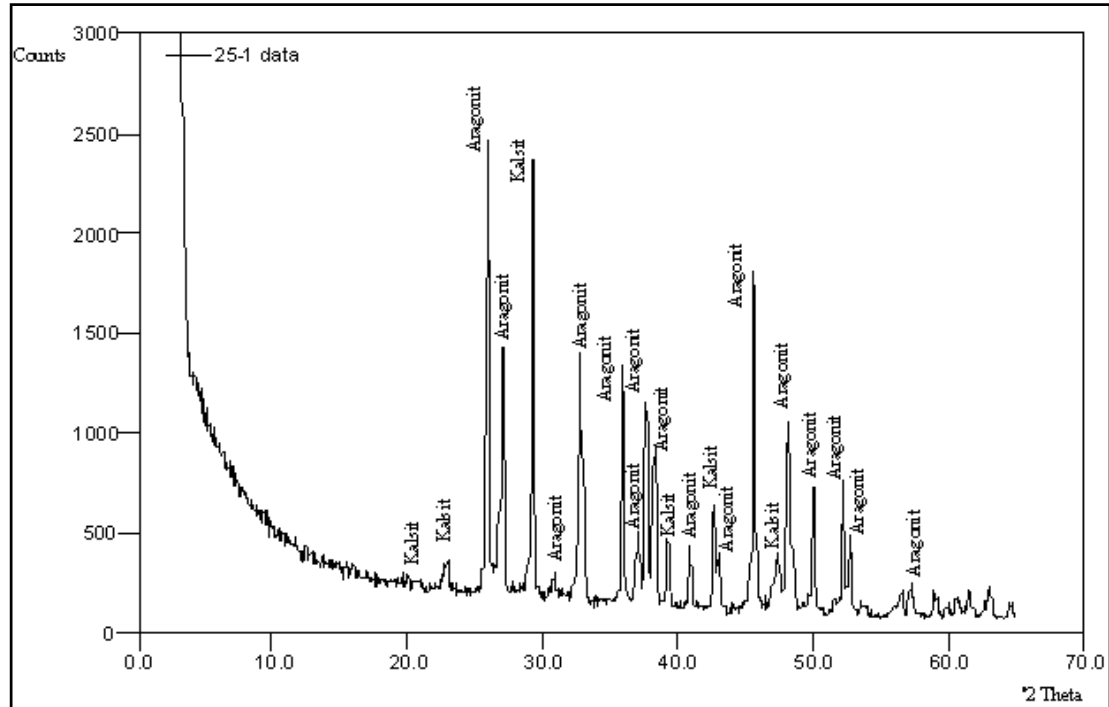
İnaltı Hamamı ooid (inci) örneğinde (Şekil 3.5) aragonit baskın karbonat mineralidir. Kalsit, aragonit'e eşlik etmektedir. İnaltı Hamamı peloid örneğinde (Şekil 3.6) kalsit baskındır.

Umut termal karşısı gölet kuru sediman örneği (Şekil 3.7), Umut termal karşısı gölet sediman örneği (Şekil 3.8), ve B.Menderes Karaağaç çevresi sediman örneği (Şekil 3.9) arasında en ilginç Şekil 3.8'de Umut termal karşısı gölet sediman örneğinin opal-CT içeriğidir.

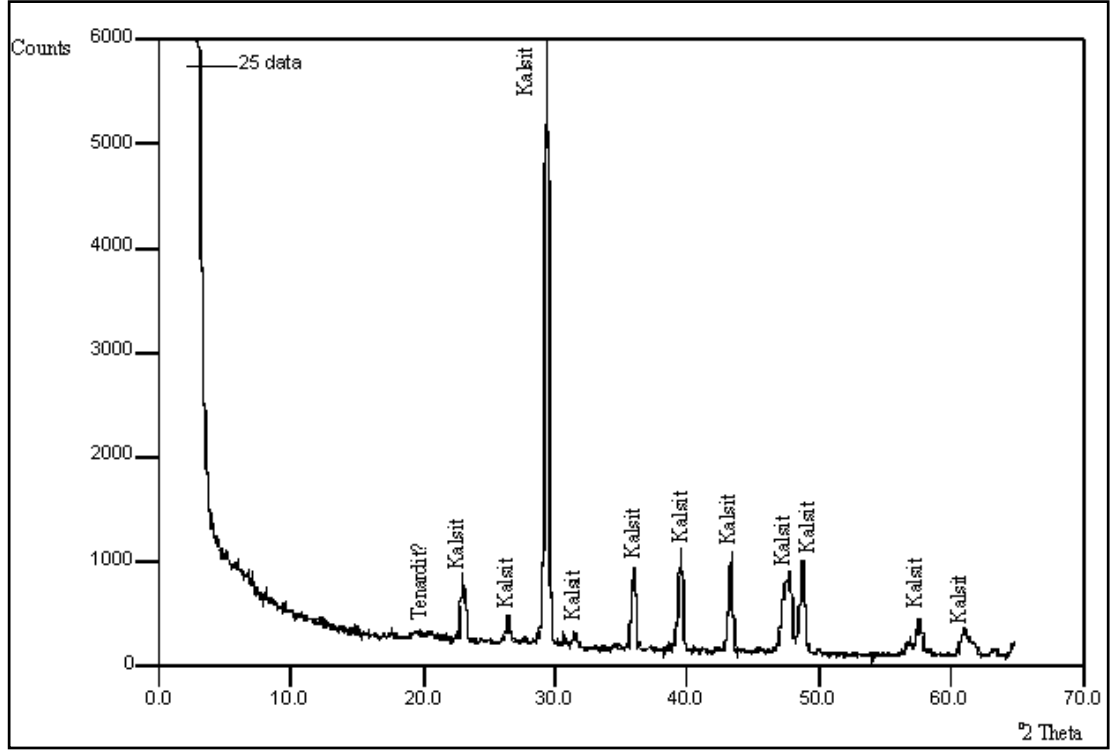
Şekil 3.7'de baskın mineral kalsit iken aragonit ve mika eşlik eden minerallerdir. Şekil 3.8'de verilen örnekte baskın mineral kalsit, aragonit, opal-CT ve mika eşlik eden minerallerdir. Büyük Menderes Karaağaç çevresi sediman örneğinin (Şekil 3.9) XRD mineral içeriğine bakıldığında baskın mineralin kuvars, kalsit, simektit ve mika minerallerinin ise eşlik eden mineraller olduğu görülmektedir.



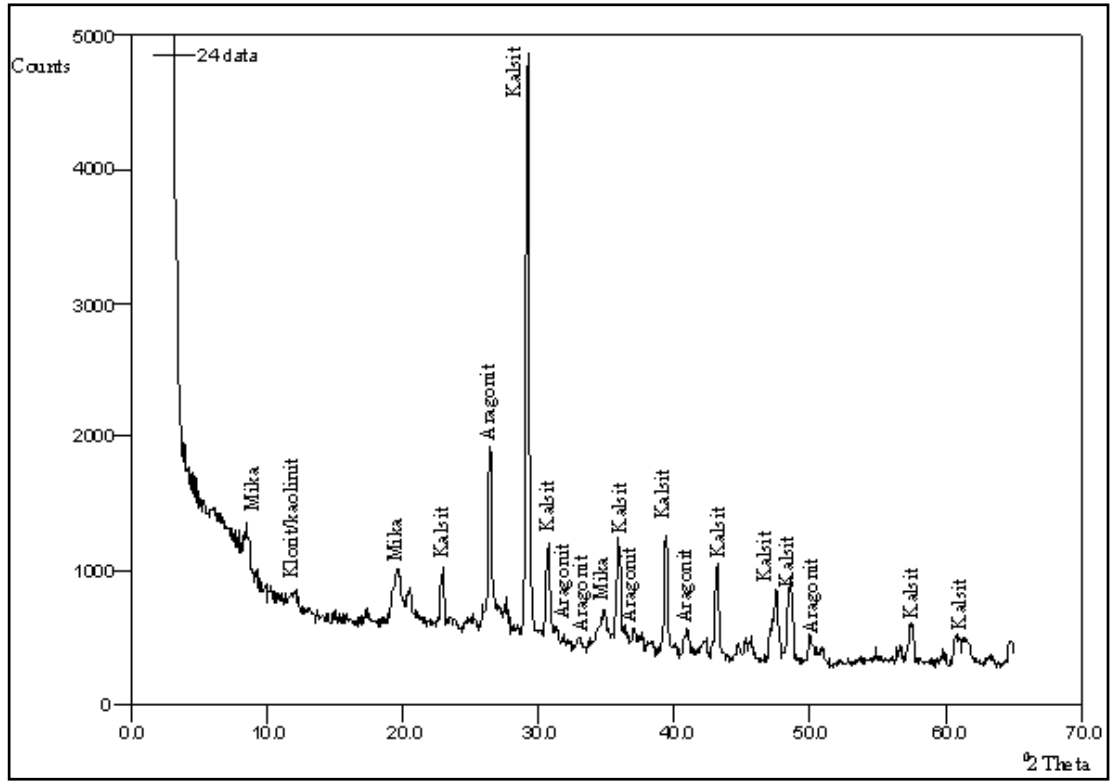
Şekil 3.4 Tekkehamam İnalı hamamı kabuk örneğinin XRD mineral içeriği



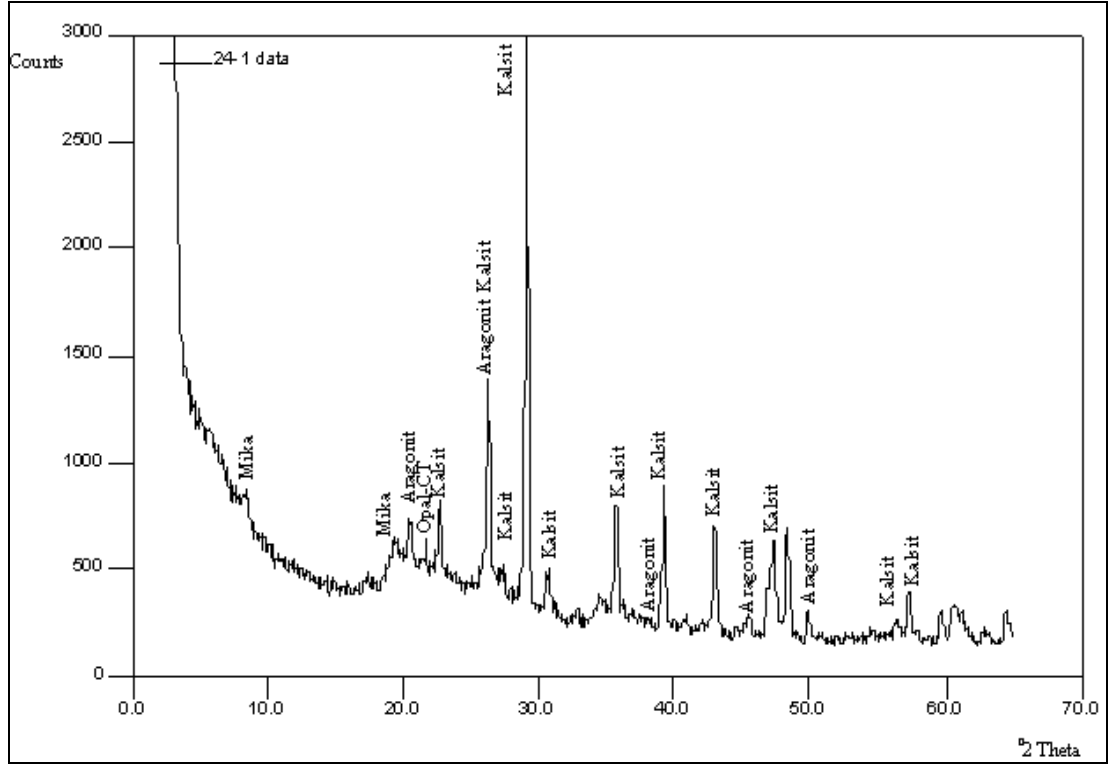
Şekil 3.5 İnalı hamamı ooid (inci) örneğinin XRD mineral içeriği



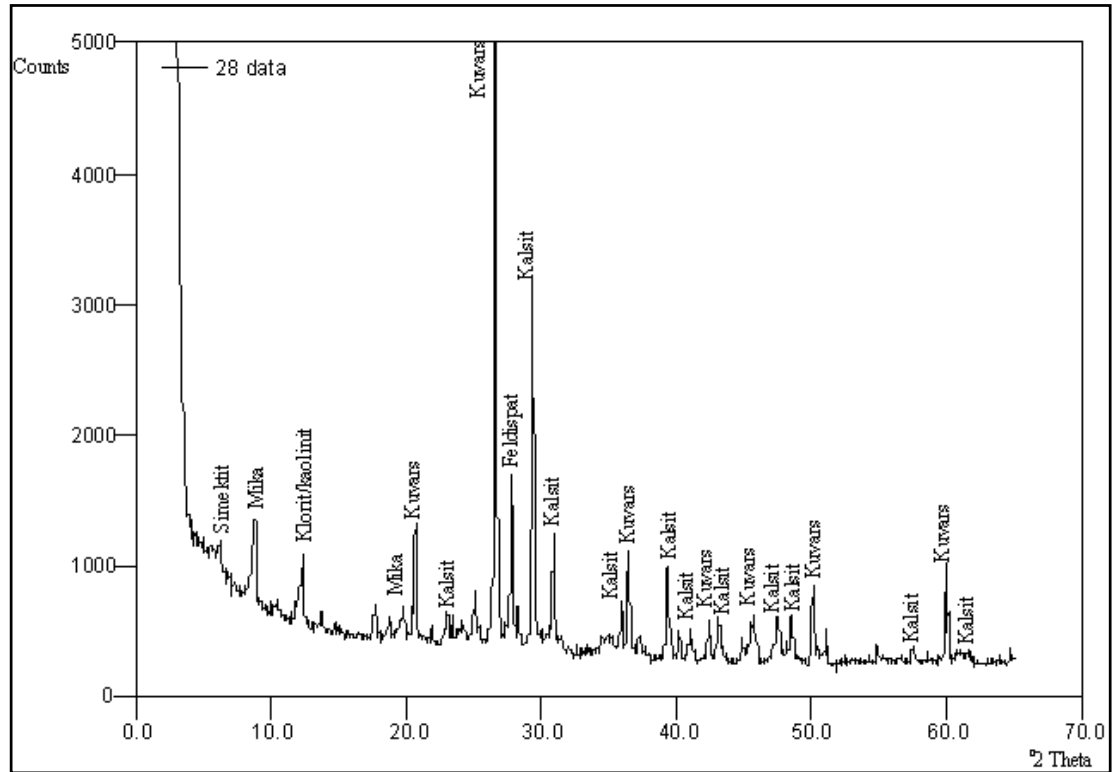
Şekil 3.6 İnaltı hamamı peloid örneğinin XRD mineral içeriği



Şekil 3.7 Umut termal karşısı gölet kuru sediman örneğinin XRD mineral içeriği



Şekil 3.8 Umut termal karşısı gölet sediman örneğinin XRD mineral içeriği



Şekil 3.9 Büyük Menderes Karaağaç çevresi sediman örneğinin XRD mineral içeriği

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOKİMYA

4.1 Amaç ve Yöntem

Tekkehamam jeotermal alanındaki kaynak ve kuyulardan elde edilen suların sıcaklık, pH, EC, HCO_3 değerlerinin arazide, kimyasal değerlerinin laboratuvar ortamında belirlenmesiyle, sıcak ve mineralli sularla soğuk suların kökeni, yeraltı suları ile ilişkileri, karışım oranları, hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, kullanılabilirlikleri, akifer sıcaklıklarının tahmini ve kullanım alanlarına yönelik potansiyelin tespiti bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya çıkartılması amacıyla örneklenerek kimyasal analizler yapılmıştır. Kimyasal analizlerde suların pH ve EC değerleri ve major iyonları ile bazı su örneklerinin ikincil ve üçüncül iyonları saptanmıştır. Suların kimyasal analiz değerleri Tablo 4.1 ve Tablo 4.2’de sunulmuştur. Suların gerek hesaplamalar sonucunda elde edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri gerekse de çeşitli grafiklere bağlı olarak saptanan özellikleri dikkate alınarak inceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk sular incelenmiştir. Piper Üçgen diyagramı, Schoeller Yarı Logaritmik diyagramı, ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramı, Wilcox diyagramı, üçgen diyagramlar bu çalışmada kullanılan diyagramlardır.

İnceleme alanındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin saptanmasında, suların doygunluk indisi değerlerinin hesaplanmasında ve istatistiksel değerlendirmeler, bazı grafiklerin oluşturulması (Piper Üçgen diyagramı, korelasyon grafikleri, üçgen diyagramlar, jeotermometre grafiği gibi) AquaChem programından yararlanılmıştır. Ayrıca, Ek I, II’de sunulan tablolar Excel’de oluşturulmuştur.

Yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmelerde suda çözünmüş başlıca iyonlardan her birinin litre de miligram (mg/l) olarak analiz edilen derişimleri kullanılarak, litre de mili eşdeğer ağırlık ($\text{miliekivalan/l} = \text{meq/l}$), molarite (mol/l), anyon ve katyonların

yüzdeleri (% meq/l), iyon etkinlik katsayıları (F), iyon etkinlikleri (AC) hesaplanmıştır. Sulardaki iyonlaşma gücü, bazı iyon oranları, doygunluk indeksleri vb. gibi aşağıda çok kısa bir şekilde özetlenen bazı hidrojeokimyasal hesaplamalar ve grafiksel gösterimler Excel'e adapte edilmiştir. Bu şekilde hız ve kolaylık kazandırılan hidrojeokimyasal değerlendirmelerde iyonların yalnızca mg/l değerleri yerine konularak tablolar ve grafikler elde edilmiştir.

Tablolardaki hesaplamalarda kullanılan bazı bağıntılar aşağıda kısaca özetlenmiştir. İyonlaşma Gücü (I): (C =molarite, Z =değerlik). İyon etkinlik katsayılarının (F 'nin) hesabı için Debye-Hückel ve Davies bağıntıları kullanılmıştır. I =iyonlaşma gücüdür. Bu tablolarda ayrıca su örneğinin toplam katyon ve anyon miktarları (mg/l ve meq/l olarak), SAR (=sodyum adsorpsiyon oranı), doyma indisleri (25°C ve 1 atm koşullarında kalsit, dolomit ve jips için), F_o (köpürme katsayısı), sertliği gibi özellikleri de hesaplanmış ve sunulmuştur. Suların kimyasal tahlillerinde yapılabilecek hatalar (e) anyon katyon dengesinden $e=(\Sigma \text{Katyon} - \Sigma \text{Anyon} / \Sigma \text{ iyon}) \times 100$ (meq/l) bağıntısıyla hesaplanabilir. Hata yüzdesinin genellikle %5' den düşük olması istenir (Fetter,1994).

Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, arası etkileşimlerini araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrokimyasal fasiyes tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrokimyasal fasiyes kavramı suların içerdikleri başlıca iyonlarının oranlarına dayalı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır ve ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere meq/l cinsinden % 50 den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak % 50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflamasında ise suda çözünmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere meq/l olarak % 20'den fazla çözünmüş bulunan iyonlar su tipini belirlemektedir (Başkan & Canik, 1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı AIH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır.

Tablo 4.1 İnceleme alanında yeralan sıcak ve mineralli suların kimyasal ve bazı fiziksel özellikleri (değerler mg/l; TÇK=toplam çözünmüş katı; EC=elektriksel iletkenlik; SAR=sodyum adsorbsiyon oranı; Fo=köpürme katsayısı; S=sondaj kuyusu; K=kaynak)

Örnek No ve Tipi	TÇK (mg/l)	Tarih	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁼	SO ₄ ⁼	Si ⁺⁺	%Na+K	SAR	Sertlik (Fr)	Fo	Fasiyes
3A S	3378,0	21.09.2010	6,1	3080	568	58	276	108	904	51	1413	83.062	62.0	7,34	113,30	1647,52	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
3B S	3205,0	17.02.2011	6,41	3150	562	49	273	98	798	51	1374	86.334	62.2	7,42	108,44	1613,38	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
3C S	3829,1	06.12.2011	6,3	3460	837,8	18,07	57,4	54,8	905	73	1883	64.692	88.4	18,98	36,87	2295,47	Na-SO ₄ -HCO ₃
3D S	3559,0	19.03.2012	6,24	3350	510	13,98	156	113	822	71	1873	80.164	66.1	7,59	85,42	1403,28	Na-SO ₄ -HCO ₃
5A S	3843,3	21.09.2010	7,2	3870	1128	98	14,9	3,4	1161	61	1377	87.783	98.5	68,59	5,12	3237,56	Na-SO ₄ -HCO ₃
5B S	3617,5	17.02.2011	7,5	3900	1030	93	15,5	5	1110	62	1302	88.111	98.2	58,21	5,92	2963,29	Na-SO ₄ -HCO ₃
5C S	4290,1	06.12.2011	7,47	4111	1203,4	114,5	23,3	2,9	1256	86	1604	77.126	98.1	62,53	7,01	3473,82	Na-SO ₄ -HCO ₃
5D S	4138,5	19.03.2012	8,36	4410	967,3	171,5	123	40,7	1153	88	1595	90.588	87.4	19,32	47,44	2950,80	Na-SO ₄ -HCO ₃
7A S	3664,8	21.09.2010	7,4	3880	1070	91,1	22,9	4,8	637	54	1785	109.332	97.7	53,08	7,69	3067,37	Na-SO ₄ -HCO ₃
7B S	3378,1	17.02.2011	7,22	3990	998	91	31,1	8	611	55	1584	107.556	96.5	41,29	11,05	2873,00	Na-SO ₄ -HCO ₃
7C S	3448,5	17.02.2011	8	3710	1045	95	8,5	7	616	60	1617	108.958	98.7	64,28	5,00	3007,73	Na-SO ₄ -HCO ₃
7D S	4222,9	06.12.2011	7,47	4350	1246,7	125,8	22,1	2,3	714	110	2002	96.992	98.3	67,47	6,46	3613,13	Na-SO ₄ -HCO ₃
7E S	4437,4	19.03.2012	7,12	4410	913,6	223,1	72,1	17,6	1081	118	2012	98.207	92.7	25,02	25,23	2908,92	Na-SO ₄ -HCO ₃
8A S	3303,4	21.09.2010	8,2	3310	894	93,1	72	8,3	1178	78	980	86.662	92.5	26,60	21,38	2596,72	Na-SO ₄ -HCO ₃
8B S	3280,5	17.02.2011	8,2	3190	871	98	67,5	9	1201	80	954	88.111	92.7	26,43	20,55	2544,47	Na-SO ₄ -HCO ₃
8C S	3096,8	17.02.2011	7,87	2980	803	95	85,8	9	1113	85	906	82.735	90.5	22,04	25,11	2355,09	Na-SO ₄ -HCO ₃
8D S	4028,0	06.12.2011	8,1	3670	1191	0,661	171	46,3	1286	85	1248	84.091	84.6	20,85	61,72	3213,27	Na-SO ₄ -HCO ₃
8E S	3190,6	19.03.2012	8,23	3440	796,6	124,6	21,2	2,2	904	89	1253	103.536	97.5	44,02	6,19	2396,89	Na-SO ₄ -HCO ₃

Tablo 4.2 İnceleme alanında yeralan soğuk suların kimyasal ve bazı fiziksel özellikleri (değerler mg/l; TÇK=toplam çözünmüş katı; EC=elektriksel iletkenlik; SAR=sodyum adsorbsiyon oranı; Fo=köpürme katsayısı; N=nehir; K=kaynak; G=göllenme)

Örnek No ve Tipi	TÇK (mg/l)	Tarih	pH	EC	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁼	SO ₄ ⁼	Si ⁺⁺	%Na+K	SAR	Sertlik (Fr)	Fo	Fasiyes
1A N	1297,6	21.09.2010	7,75	1427	138	9,08	132	89,5	427	100	402	13.649	39.9	2,27	69,76	390,28	Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
1B N	2335,2	17.02.2011	7,8	2311	214	14,21	239	156	583	220	909	20.847	36.6	2,65	123,82	605,47	Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
1C N	1348,3	06.12.2011	7,8	2170	78,55	131,9	81,5	62,3	427	84	483	17.903	59.4	1,59	45,97	474,97	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃
1D N	1539,6	19.03.2012	7,88	1590	131,3	2,724	289	65,6	397	92	562	29.027	27.4	1,81	99,10	359,53	Ca-Na-Mg-SO ₄ -HCO ₃
2 N	2249,9	17.02.2011	8,32	213	199	11,86	259	146	594	233	807	26.971	34.2	2,45	124,69	560,33	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃
4 K	709,7	17.02.2011	7,2	712	23	19,33	101	39,4	351	17	159	9.723	23.2	0,49	41,41	100,59	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
6 G	11012,9	21.09.2010	9	12240	3646	384,8	15,7	52,4	1273	418	5223	21.595	98.3	99,36	25,48	10600,39	Na-SO ₄

4.2 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Sulardaki Çözünmüş Başlıca İyonlar

İnceleme alanında yer alan gerek sıcak gerekse de soğuk yer altı sularının iyonlarının derişimleri suyun kökeni, akifer sistemleri, karışım oranları hakkında bilgi verebilmektedir. Bu amaçla bu bölümde su örneklerinin başlıca iyonlarının en yüksek ve en düşük değerleri ile ortalama ve standart sapma değerleri verilerek irdelenmiştir. Hesaplamalar AquaChem bilgisayar programı yardımı ile yapılarak elde edilen değerler Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5'te sunulmuştur.

4.2.1 Kalsiyum (Ca^{++})

Kalsiyum yer altı sularına kalsiti aragonit, dolomit, jips, anhidrit, flüorit gibi silikatlı olmayan minerallerin ve albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun eritilmesi ile karışabilir (Erguvanlı & Yüzer, 1973). Hareketli ve hafif tuzlu sularda genellikle bol miktarlarda bulunur. Suyun pH değeri suyun içersindeki kalsiyum iyonlarının miktarlarını ve çökelimini doğrudan etkiler. pH değeri artarsa CO_3/HCO_3 oranı büyür ve kalsit çökelimi gözlenir. Soğuk yeraltı sularında kalsiyum değeri 10-100 mg/l arasındadır. Kalsiyum sodyum değeri yüzdesini azalttığından sulama sularında önemli olan sodyum yüzdesi değerini düşürür. Karbondioksit kısmi basıncı da kalsiyum çökeliminde etkilidir. Karbondioksitin ortamdan uzaklaşması kalsit çökelimine neden olur. Bu nedenle yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde kalsiyum içeriği genelde düşük değerlerdedir.

İnceleme alanı Büyük Menderes Nehri sularında kalsiyum iyonu miktarı 81,5-289 mg/l arasında olup ortalama 200,1 mg/l'dir. Yöredeki sıcak yeraltı sularında kalsiyum miktarı 8,5-276 mg/l arasında olup ortalama değeri 84,07 mg/l'dir. Sahadan alınan tüm su örneklerinde ise kalsiyum değeri 8,5-289 mg/l arasında olup ortalama 105,22 mg/l'dir. (Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5).

4.2.2 Magnezyum (Mg^{++})

Yeraltı sularına magnezyum iyonu dolomit, evaporit, magmatik kaya minerallerinden (olivin, biyotit, hornblendi ojit) ve serpantinleşme sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın eritilmesi ile karışır. Yeraltı sularında magnezyum değeri

Tablo 4.3 Büyük Menderes Nehri'nden örneklenen sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerler

	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
K^+	2.724	131.9	33.955	54.921
Mg^{++}	62.3	156	103.88	44.417
Ca^{++}	81.5	289	200.1	88.867
Na^+	78.55	214	152.17	54.937
Cl^-	84	233	145.8	74.028
$SO_4^{=}$	402	909	632.6	216.422
$HCO_3^{=}$	397	594	485.6	94.809
SiO_2	37.947	80.703	60.274	17.663
pH	7.75	8.32	7.87	8.29
EC	213	2311	1542.2	831.792
Sertlik (Fr)	45.962	124.678	92.657	34.431
SAR (%)	1.594	2.646	2.156	0.44

Tablo 4.4 İnceleme alanından örneklenen sıcak sondaj sularının bazı özelliklerine ait istatistiksel değerler

	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
K^+	0.661	223.1	91.856	53.804
Mg^{++}	2.2	113	30.017	38.619
Ca^{++}	8.5	276	84.072	84.466
Na^+	510	1246.7	924.189	219.752
Cl^-	51	118	75.389	19.394
$SO_4^{=}$	906	2012	1486.778	346.603
$HCO_3^{=}$	611	1286	969.444	229.534
SiO_2	179.861	303.97	250.846	33.142
pH	6.1	8.36	6.832	6.617
EC	2980	4410	3681.167	463.036
Sertlik (Fr)	5	113.288	33.324	35.856
SAR (%)	7.34	68.596	35.616	21.921

Tablo 4.5 İnceleme alanında örneklenen tüm suların bazı özelliklerine ait istatistiksel değerler

	Minimum	Maximum	Ortalama	Standart Sapma
K^+	0.661	384.8	89.093	83.896
Mg^{++}	2.2	156	46.06	47.731
Ca^{++}	8.5	289	105.22	94.421
Na^+	23	3646	842.61	703.18
Cl^-	17	418	100.84	81.061
$SO_4^{=}$	159	5223	1412.28	945.633
$HCO_3^{=}$	351	1286	860.08	308.068
SiO_2	27.031	303.97	196.147	94.253
pH	6.1	9	6.953	6.674
EC	213	12240	3476.96	2143.938
Sertlik (Fr)	5	124.678	45.199	41.231
SAR (%)	0.492	99.368	30.069	27.611

1-40 mg/l arasında değişmektedir ve genelde kalsiyum miktarından daha azdır. Ultrabazik kayalardan gelen sulara ise magnezyum iyonu değeri kalsiyum iyonu değerinden daha fazla olabilmektedir. Çok yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde magnezyumun ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit ve özellikle klorit tarafından soğurulması nedeniyle magnezyum miktarları çok düşük değerlere inebilmektedir (0,1 mg/l gibi). Sıcak sulardaki daha yüksek magnezyum içerikleri ise sıcak suların soğuk sularla karışımından veya yan kayaç ile reaksiyonundan kaynaklanmaktadır.

İnceleme alanı Büyük Menderes Nehri sularında magnezyum miktarı 62,3-156 mg/l arasında olup ortalama 103,88 mg/l'dir. Yöredeki sıcak yeraltı sularında magnezyum miktarı 2,2-113 mg/l arasında olup ortalama değeri 30,02 mg/l'dir. Sahadan alınan tüm su örneklerinde ise magnezyum değeri 2,2-156 mg/l arasında olup ortalama 46,06 mg/l'dir. (Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5).

Doğal sulara magnezyum iyonu miktarı kalsiyum iyonu miktarından azdır ve inceleme alanında da bu karakter gözlenmektedir.

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

Sodyum yeraltı sularına plajyoklasların, evaporatik minerallerin (halit vb.) ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Ayrıca kıyı akiferlerinde yeraltı sularına deniz suyundan sodyum ve potasyum karışmaktadır. Sıcak sulara Na ve K içerikleri sıcaklığa bağlı olarak gelişen mineral su dengesine bağlıdır. Bu oran Na/K jeotermometrelerinin geliştirilmesinde temel olmaktadır. Jeotermal sistemlerde başlıca katyonlardan biridir ve miktarı 200-2000 mg/l arasında değişir. Düşük Na/K oranı yüzeye hızlı bir şekilde ulaşan sıcak sulara gözlenir. Yüksek Na/K oranı ise yatay bir hareketin, yüzeye yakın kesimlerdeki reaksiyonların ve kondaktif soğumanın etkisindedir.

Büyük Menderes sularındaki ortalama sodyum iyonu değeri 152,17 mg/l olup bu sulara değerler 78,55-214 mg/l arasında değerler gözlenmektedir. Sıcak yeraltı sularında ise bu değer 510-1246,7 mg/l dolayında olup 924,2 mg/l ortalama değere

sahiptir. İnceleme sahası tüm verilere bakıldığında sodyum iyonu değeri 842,6 mg/l ortalama ve 23-3646 mg/l değerleri arasındadır. Benzer şekilde potasyum miktarları açısından da soğuk ve sıcak yeraltı sularında büyük farklılıklar gözlenmektedir. Soğuk yeraltı sularında 2,72-131,9 mg/l arasında değişen potasyum ortalama 33,96 mg/l değere sahiptir. Sıcak sularda ise potasyum değerleri 0,66-223,1 mg/l arasında değişmekte olup 91,86 mg/l ortalama değere sahiptir. İnceleme alanı geneline baktığımızda 0,66-384,8 mg/l değerleri arasında olan potasyumun ortalama değeri 89,09 mg/l'dir. Genel ortalamanın sıcak yeraltı sularına yakın bir değer sergilemesinin, Umut termal civarı göletten evaporasyon sonucu iyon konsantrasyonundaki artıştan kaynaklandığı söylenebilir (Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5).

4.2.4 Klorür (Cl^-)

Yeraltı sularındaki klorür deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyu ile atmosferden gelmektedir. Genel olarak magmatik kayalardan doğal sulara taşınan klorür önemsizdir. Klorür tuzlarının büyük kaynağı evaporitlerdir. Deniz suları da yeraltı sularına klorür veren en büyük kaynaklardan biridir. Yağmur sularında klorür miktarı 1-25 mg/l olup bu değer deniz sularına 20000 mg/l'ye ulaşır. Deniz suyu karışımli sıcak ve mineralli sular dışındaki sulardaki yüksek klorür içeriği sıcak akışkanın derinden geldiğini göstermektedir. Düşük klorür oranı ise bu sulara soğuk yeraltı suları karışmasındandır.

İnceleme alanındaki sıcak sulara ait klorür değerleri 51-118 mg/l dolayında olup ortalama 75,4 mg/l'dir (Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5). Büyük Menderes sularında ise klorür değerleri 84-233 mg/l dolayında olup ortalama 145,8 mg/l'dir. Saha genelinde ise klorür değeri 17-418 mg/l aralığında ve 100,84 mg/l ortalamadadır. Bu değerlere bakılarak sularda anormal derecede klorür olmadığı, mevcut klorürün doğal sularla taşınarak geldiği söylenebilir.

4.2.5 Bikarbonat (HCO_3^-)

Yeraltı sularındaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanlı &

Yüzer, 1973). Doğal sulardaki bikarbonat miktarı suyun pH ve CO₂ değerine bağlıdır. pH'nın 6-10 arasında olması durumunda bikarbonat baskın iyon olup daha düşük pH değerlerinde karbonik asit (H₂CO₃) egemen iyondur. Daha yüksek pH değerlerinde ise karbonat baskın olarak gözlenir.

Büyük Menderes Nehri sularında bikarbonat 397-594 mg/l arasında değişir ve 485,6 mg/l gibi bir ortalama değere sahiptir. Sıcak yeraltı sularındaki bikarbonat miktarları 611-1286 mg/l arasında değişmekte olup ortalama 969,44 mg/l olarak hesaplanmıştır. Bu artışın karbonatlı kayaçların erimesi sonucu gerçekleştiği söylenebilir. Saha genelinde bikarbonat miktarı 351-1286 mg/l arasında değişmekte ve 860,08 mg/l ortalama değere sahiptir. (Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5).

4.2.6 Sülfat (SO₄⁼)

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritlerden ileri gelmektedir. İçme sularındaki sülfat miktarı 25-250 mg/l arasındadır. Derin kökenli jeotermal sularda sülfat içerikleri genelde düşük olup 50 mg/l'den azdır. Hidrojen sülfürün oksidasyonu sonucunda artış gözlenebilmektedir.

Büyük Menderes Nehri sularında sülfat iyonu değeri 402-909 mg/l aralığında ve 632,6 mg/l dolayındadır. Sıcak yeraltı sularında ise 906,2012 mg/l arasında değişen sülfat iyonu ortalama 1486,8 mg/l olarak bulunmuştur. Saha genelindeki sulara bakılınca 1412,3 mg/l ortalama sülfat iyonu mevcuttur (Tablo 4.3, 4.4 ve 4.5).

4.2.7 Silisyum (Si⁺²)

Silis anlamı SiO₂ 'dir ve doğal sularda silisyumun (Si) yerine kullanılır ancak SiO₂ hidratlaşmış halde H₄SiO₄ veya Si(OH)₄ şeklindedir. Doğal sularda çözünmüş silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan gelmektedir. Doğal sularda silis miktarı, genellikle 1–30 mg/l arasındadır. Yüzey sularında ortalama 14 mg/l, yeraltı sularında ise 17 mg/l 'dir. Silisin çözünürlüğünü etkileyen bir diğer neden pH'dır. Silis asit ortamda çok az çözünür. pH'nın yükselmesi ile silisin çözünürlüğü artar, pH 9'un üzerinde ise silis önemli miktarda çözünür. Si konsantrasyonu, deniz

suyunda 0,0017 mg/l, nehir suyunda 0,002 mg/l, kirlenmemiş yeraltı sularında <0,001–0,05 mg/l ve jeotermal sularda ise >12 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

Çalışma alanında örnekleme yapılan suların bünyesindeki silisin kaynağı Sazak Formasyonunun silisifiye seviyeleri ve Menderes Masifi Metamorfikleri olabilir. Sıcak su örneklerindeki silisyum (Si^{+2}) miktarları 64,69 mg/l ile 109,33 mg/l değerleri arasında değişirken (Tablo 4.1), soğuk su örnekleri 9,72 mg/l ile 29,03 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 4.2). Analizi yapılan tüm sulardaki ortalama SiO_2 değeri ise 196,15 mg/l'dir (Tablo 4.5).

4.3 İnceleme Alanındaki Sıcak ve mineralli sularla Soğuk Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar

Yöredeki sıcak ve mineralli sulardan ve soğuk yeraltı sularından alınan örneklerde eser element tahlilleri yapılmıştır. Eser element tayinine yönelik kimyasal tahlillerde suların As, B, Li, Ba, Sr içerikleri mg/l olarak saptanmıştır (Tablo 4.6 ve 4.7).

TS 266 (1997)'ye göre yer altı suları için belirlenen özellikler Tablo 4.9'da sunulmuştur. İçme ve kullanma suları TS 266'ya göre Kaynak (memba) suları dışındaki içme ve kullanma suları (Sınıf-1) ve Kaynak (memba) suları (Sınıf-2) olmak üzere başlıca iki gruba ayrılmıştır. İnceleme alanındaki soğuk yeraltı suları sondaj ve adi kuyulardan elde edildiğinden Tablo 4.9 (A)'da Sınıf-1 ile ilgili sınır değerler sunulmuştur. Ayrıca Birleşik Devletler Halk Sağlığı Merkezi tarafından önerilen içme suyu standartları da (Soliman vd., 1997) Tablo 4.9 (B)'de karşılaştırma amacı ile verilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme ve kullanma suyu standartları ve kaplıca yönetmeliği Tablo 4.10'da sunulmuştur.

Başlıca iyonlarda olduğu gibi yeraltı sularının ikincil iyonları da suların kökeni, hidrojeokimyasal evrimleri ve kullanılabilirlikleri hakkında bilgi vermektedir.

Arsenik (As) Arsenik kalkofil bir element olup hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co gibi elementlerle, Ni-Co sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında

Tablo 4.6 İnceleme alanı soğuk sularının eser element miktarlarını gösterir tablo

NO	Örnekleme Yeri ve Adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	As	B	Li	Ba	Sr
1A	B.Menderes Nehri	23.0	7.75	1427	0.021	0.617	0.089	0.059	2.380
1B	B.Menderes Nehri	14.0	7.80	2311	0.026	1.086	0.171	0.041	5.400
1C	B.Menderes Nehri	12.0	7.80	2170	0.032	0.990	0.151	0.039	5.282
1D	B.Menderes Nehri	16.0	7.88	1590	0.024	1.500	0.107	0.083	3.336
2	B.Menderes Nehri	16.0	8.32	213	<3	0.636	0.091	0.049	5.240
4	Çelik Çeşme	10.0	7.20	712	0.098	0.085	0.029	0.055	0.250
6	Göl	33.0	9.00	12240	1.787	68.062	13.433	0.028	8.430
	ORTALAMA	17.7	7.96	2952	0.331	10.425	2.010	0.051	4.331

Tablo 4.7 İnceleme alanı sıcak sularının eser element miktarlarını gösterir tablo

NO	Örnekleme Yeri ve Adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	As	B	Li	Ba	Sr
3A	Babacık Hamamı	52.0	6.10	3080	0.075	17.151	2.311	0.033	11.910
3B	Babacık Hamamı	46.0	6.41	3150	<3	10.631	1.680	0.035	12.170
3C	Babacık Hamamı	48.0	6.30	3460	0.081	8.550	1.402	0.029	22.250
3D	Babacık Hamamı	53.0	6.24	3350	0.637	11.080	1.538	0.033	11.310
5A	Çavuşoğlu Hamamı	67.0	7.20	3870	0.929	27.361	4.799	0.054	2.390
5B	Çavuşoğlu Hamamı	66.0	7.50	3900	<3	19.429	2.904	0.055	2.530
5C	Çavuşoğlu Hamamı	74.0	7.47	4111	0.816	16.340	1.797	0.055	6.112
5D	Çavuşoğlu Hamamı	42.0	8.36	4410	0.815	17.500	2.696	0.023	3.736
7A	İnaltı Hamamı-1	68.0	7.40	3880	1.507	28.387	1.388	0.028	4.900
7B	İnaltı Hamamı-1	45.0	7.22	3990	<3	20.378	1.266	0.028	5.490
7C	İnaltı Hamamı-2	76.0	8.00	3710	<3	20.335	1.304	0.028	2.790
7D	İnaltı Hamamı-1	51.0	7.47	4350	1.245	17.320	0.871	0.037	10.700
7E	İnaltı Hamamı-1	42.0	7.12	4410	1.050	19.720	2.804	0.058	2.422
8A	Umut Termal-1	95.0	8.20	3310	0.098	13.638	2.615	0.029	4.150
8B	Umut Termal-1	83.0	8.20	3190	<3	15.086	2.843	0.028	4.960
8C	Umut Termal-2	75.0	7.87	2980	<3	12.693	2.820	0.028	5.270
8D	Umut Termal-1	66.0	8.10	3670	0.955	13.270	1.880	0.027	9.407
8E	Umut Termal-1	78.0	8.23	3440	0.323	15.110	2.664	0.027	4.558
	ORTALAMA	62.6	7.41	3681	0.711	16.888	2.199	0.035	7.059

bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda ve oksitlerde izlenir. Yeraltı sularında yüksek arsenik konsantrasyonunun en önemli nedeni fillosilikat, demiroksit ve sülfid minerallerinden ayrılan arseniktir. Magnetit ve ilmenitlerde arsenik boldur. Bazalt ve diyabazlarda ortalama 2 ppm, gabrolarda 1,4 ppm, nötr kayalarda 2,1 ppm, granitlerde 1,5 ppm arsenik bulunur. Açık deniz çökellerinde arsenik, karbonlu maddelerde boldur. Arsenik kil ve şeylde 13 ppm, kumtaşları, çörtler, karbonat ve

dolomitlerde 1 ppm, fosfatlı kayalarda 21 ppm, göl çökellerinde 15 ppm, denizel pelajik kırmızı çamurtaşlarında 11 ppm kadardır (Şahinci, 1991).

Çalışma alanında örnekleme yapılan soğuk suların arsenik miktarları 0,021 mg/l ile 1,787 mg/l arasında, ortalama 0,331 mg/l iken (Tablo 4.6), sıcak suların arsenik miktarları 0,075 mg/l ile 1,507 mg/l arasında değişim göstermekte ve ortalama 0,711 mg/l'dir (Tablo 4.7).

İçme ve kullanma suları standartlarına göre suda bulunan maksimum arsenik miktarı 0,05 mg/l olması gerekir. Dünya sağlık örgütü (WHO) içme ve kullanma suyu standartına göre; suyun arsenik içeriğinin Avrupa standartları ve uluslararası standartlarda 0,05 mg/l olması gerektiğini belirtmiştir (TS 266) (Tablo 4.9).

Bor (B) Suyun pH'ına bağlı olarak, Bor'un bulunuş şekli değişir. Asitli sularda (pH 6'dan az) ortoborik asit egemendir. Nötr ve alkali (pH 11'den yukarı) doğal sularda tetrapenta-hekza ve diğer poliboratlar gözlenir. Alkali metal boratlar fazla, geri kalan boratlar suda çok az çözünürler. Süperjenlerde (tuz göllerinde), boratların çökmesi kalsiyum ve magnezyum etkisindedir. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor, hidrotermal ortamlarda hızlı, süperjenlerde (tuz göllerinde) yavaş göç eder. Borik asit, sıcak sularda çok, soğuk sularda az çözünür. Derin yeraltı sularında yüzlerce mg/l, bazı durumlarda 1 mg/l den fazla bor bulunabilir. Bor tipik halojen elementtir, buharlaşma ile yığılır, özellikle, sodalı (alkali) ortamlarda göçü hızlıdır. Çünkü, borun çökmesini etkileyen kalsiyum ve magnezyum, sodalı sularda çok az bulunur. Kurak iklimlerdeki akarsularda bor miktarı, nemli iklimlere oranla daha fazladır. Yağışsız yörelerdeki sularda bor $1E-5$ - $9E-5$ g/L arasındadır (Yurttaş, 2008).

Çalışma alanında örnekleme yapılan soğuk suların bor miktarları 0,085 mg/l ile 68,062 mg/l arasında, ortalama 10,425 mg/l iken (Tablo 4.6), sıcak suların bor miktarları 8,55 mg/l ile 28,387 mg/l arasında değişim göstermekte ve ortalama 16,888 mg/l'dir (Tablo 4.7).

Lityum (Li) Lityum maden ve kaplıca sularında genelde az bulunur. Lityum'un yerin derinliklerinden yüzeye doğru derişim miktarının yükselişı belirgin değıldir ve fazla bulunması zehirleyici etki yaptığından fazla bulunması istenmez.

Çalışma alanında örnekleme yapılan soğuk suların lityum miktarı ortalama 2,01 mg/l iken, 0,029 mg/l ile 13,433 mg/l arasında değışmekte (Tablo 4.6), sıcak suların lityum miktarı ortalaması 2,199 mg/l iken, 0,871 mg/l ile 4,799 mg/l arasında değışim göstermektedir (Tablo 4.7).

Baryum (Ba) İki değıerlikli elementler arasında iyon yarıçapı en büyük olan Ba^{+2} , iyonik bağ kurar. Mağmatik kayalarda genellikle Baryum minerallerine rastlanmaz fakat birçok silikat mineral yapılarında dağınik şekilde özellikle feldispat ve mikalarda izomorfizma ile potasyum ve kalsiyumun yerine geçer. Apatit ve kalsit büyük miktarda K-feldispatta ise önemli oranda baryum bulunur. Biyotit, Amfibol ve Proksen'de genel olarak baryum içerir. Mağmatik kayalarda Baryum miktarı SiO_2 oranına bağılı olarak artar. Dünitlerde ortalama 8,8 ppm, peridotitlerde 25 ppm, gabrolarda ve karasal toleitik bazaltlarda 246 ppm, okyanus toleitik bazaltlarda 14,5 ppm, alkali bazaltlarda 613 ppm baryum bulunur (Şahinci, 1991). İnceleme alanında baryum Menderes Masifi Metamorfikleri'nden kaynaklı olarak bulunabilir.

Çalışma alanında örnekleme yapılan soğuk suların baryum miktarı ortalaması 0,051 mg/l iken 0,028 mg/l ile 0,083 mg/l arasında değışmekte (Tablo 4.6), sıcak suların baryum miktarları 0,023 mg/l ile 0,058 mg/l arasında değışim göstermekte ve ortalama 0,035 mg/l'dir (Tablo 4.7).

Stronsiyum'un (Sr) Kimyasal özellikleri kalsiyuma benzeyen stronsiyum, jeokimyasal sistemlerde kalsiyumla birlikte bulunur. Stronsiyum, çamur ve şeyllerde, asidik magmatik kayalarda, derin klorürlü tuzlu sularda ve hidrosferde kalsiyuma göre daha çok yığışır. Karbonatlı kayalarda klarkı %0,2 kadardır. Stronsiyumun başlıca mineralleri sölestin ($SrSO_4$) ve Strantianite ($SrCO_3$)'dir. Sudaki stronsiyum, buharlaşma nedeniyle doygunluğa eriştiğı zaman $SrSO_4$ şeklinde çökeler. Çökme ortamı jipse benzediğı için genellikle jips oluşumlarıyla birlikte sölestin oluşumlarına

da rastlanır. Yeraltısularında 0.01-0.1 mg/l arasında stronsiyum bulunur. Bu düşük değerin nedeni sölestinin çözünürlüğünün jipse göre daha az olmasıdır. 20°C’de sölestinin çözünürlüğü 0,132 g/l, jipsin ise 2 g/l’dir (Şahinci,1986).

Çalışma alanında örnekleme yapılan soğuk suların stronsiyum miktarı ortalaması 4,331 mg/l, 0,25 mg/l ile 8,43 mg/l arasında değişirken (Tablo 4.6), sıcak suların stronsiyum miktarları 2,39 mg/l ile 22,25 mg/l arasında değişir ve ortalama 7,059 mg/l’dir (Tablo 4.7).

Soğuk sulardaki majör element miktarları TS 266’ya göre irdelendiğinde içilebilme sınırları içerisinde olmadığı gözlenir (Tablo 4.8). Ancak 4’nolu örnek olan Çelik Çeşme Kaynağı potasyum miktarı haricinde içilebilir limitlerdedir. Sıcak ve mineralli suların ise element değerleri daha da yüksektir. Bu durum akiferdeki sıcak akışkanın yan kayaç ile kimyasal reaksiyonundan kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.8 Soğuk suların majör element miktarlarının TS 266’ya göre içilebilirlik limitleri.

Fizikokimyasal Özellikler	Tavsiye Edilen Değer	Maksimum Değer	1A	1B	1C	1D	2	4	6
Sıcaklık (°C)	12	25	23	14	12	16	16	10	33
PH	6.5 - 8.5	6.5 - 9.2	7.75	7.8	7.8	7.88	8.32	7.2	9
İletkenlik (imho/cm)	400	2000	1427	2311	2170	1590	213	712	12240
Klorür (mg/l)	25	600	100	220	84	92	233	17	418
Sülfat (mg/l)	25	250	402	909	483	562	807	159	5223
Kalsiyum (mg/l)	100	200	132	239	81.5	289	259	101	15.7
Magnezyum (mg/l)	30	50	89.5	156	62.3	65.6	146	39.4	52.4
Sodyum (mg/l)	20	175	138	214	78.55	131.3	199	23	3646
Potasyum (mg/l)	10	12	9.08	14.21	131.9	2.724	11.86	19.33	384.8

Tablo 4.9 TS 266 standartlarına göre içme ve kullanma sularının (A) ve Birleşik Devletler Halk Sağlığı Merkezi İçme suyu standartları (B)

	Tavsiye Edilen Değer	Maksimum Değer
(A) (TS 266)		
Fizikokimyasal özellikler		
Sıcaklık (°C)	12	25
PH	6.5 - 8.5	6.5 - 9.2
İletkenlik (İmho/cm)	400	2000
Klorür (mg/l)	25	600
Sülfat (mg/l)	25	250
Kalsiyum (mg/l)	100	200
Magnezyum (mg/l)	30	50
Sodyum (mg/l)	20	175
Potasyum (mg/l)	10	12
Alüminyum (mg/l)	0.05	0.2
Kurutma Kalıntısı (mg/l)	-	1500
Suda Fazla Miktarda Bulunması İstenmeyen İkincil İyonlar		
Nitritler (mg/l)		
Nitritler (mg/l)		
Bor (mg/l)	1	2
Demir (mg/l)	0.05	0.2
Mangan (mg/l)	0.02	0.05
Bakır (mg/l)	0.1-3	3
Çinko (mg/l)	0.1 - 5	5
Askıda madde (mg/l)	-	1
Baryum (mg/l)	0.1	0.3
Gümüş (mg/l)	-	0.01
Toksik Maddeler		
Arsenik (mg/l)	-	0.05
Kadmiyum (mg/l)	-	0.005
Siyanürler (mg/l)	-	0.05
Krom (mg/l)	-	0.05
Civa (mg/l)	-	0.001
Nikel (mg/l)	-	0.05
Kurşun (mg/l)	-	0.05
Antimon (mg/l)	-	0.01
Selenyum (mg/l)	-	0.01
(B)		
Flor (µg/l)		1
Kurşun (mg/l)		0.1
Selenyum (mg/l)		0.05
Krom (mg/l)		0.05
Arsenic (mg/l)		0.05
Demir (mg/l) + Mangan (mg/l)		0.3
Magnezyum (mg/l)		125
Klorür (mg/l)		250
Sülfat (mg/l)		250
Bakır (mg/l)		3.0
Çinko (mg/l)		15
Buharlaştırma Kalıntısı (mg/l)	500	1000

Tablo 4.10 TS 266 (1997) standartları, Word Health Organisation (WHO) Dünya Sağlık Örgütü içme ve kullanma suyu standartları ve kaplıca yönetmeliği

TS 266		En düşük değer	En yüksek değer
Zehirli Maddeler	Kurşun	-	0.05 mg/l
	Selenyum	-	0.01 mg/l
	Arsenik	-	0.05 mg/l
	Krom	-	0.05 mg/l
	Siyanür	-	0.2 mg/l
	Kadmiyum	-	0.01 mg/l
Sağlığa etki eden maddeler	Florür (F)	1.0 mg/l	1.5 mg/l
	Nitrat (NO ₃)	-	45 mg/l
İçilebilme özelliğine göre maddeler	Renk	5 birim	50 birim
	Bulanıklık	5 birim	25 birim
	Koku ve tat	Kokusuz normal	Kokusuz normal
	Buharlaştırma kalıntısı	500 mg/l	2500 mg/l
	Demir(Fe)	0.3 mg/l	1 mg/l
	Mangan(Mn)	0.1 mg/l	0.5 mg/
	Bakır(Cu)	1 mg/l	1.5 mg/l
	Çinko(Zn)	5 mg/l	15 mg/l
	Kalsiyum(Ca)	75 mg/l	200 mg/l
	Magnezyum(Mg)	50 mg/l	150 mg/
	Sülfat(SO ₄)	200 mg/l	400 mg/l
	Klorür(Cl)	200 mg/l	600 mg/l
	pH	7-8,5	6.5 - 9.2
	Fenolik Maddeler	-	0.002 mg/l
	Alkali Benzin Sülfonat	0.5 mg/l	1 mg/l
Kirlenmeyi Belirten Maddeler	Toplam Organik Madde	3.5 mg/l	-

Tablo 4.10 (devamı) Dünya Sağlık Örgütü (WHO) içme ve kullanma suyu standartları

WHO		Uluslararası		Avrupa
Fiziksel ve Kimyasal Parametreler		Standart	Hedef	Standart
Bulanıklık	FTU	25	5	-
Renk		50	5	-
Koku ve Tat		Hissedilmeyecek		-
Hidrojen Sülfür	mg/l	-	-	0.05
Çinko	mg/l	15	5	5
Bakır	mg/l	1.5	0.05	0.05
Demir	mg/l	1	0.1	0.1
Mangan	mg/l	0.5	0.05	0.05
Amonyum	mg/l	-	-	0.05
Klorür	mg/l	600	200	600
Kalsiyum	mg/l	200	75	-
Sülfat	mg/l	400	200	250
Fenol Bileşikleri	mg/l	0.002	0.001	0.001
pH	mg/l	6.5 - 9.2	7 - 8,5	-
Toksit Maddeler				
Arsenik	mg/l	0.05	-	0.05
Baryum	mg/l	-	-	-
Kadmiyum	mg/l	0.01	-	0.01
Krom	mg/l	-	-	0.05
Kurşun	mg/l	0.1	-	0.1
Siyanür	mg/l	0.05	-	0.05
Magnezyum	mg/l	125	-	125
Civa	mg/l	0.001	-	-
Nitrat	mg/l	45	-	100
Selenyum	mg/l	0.01	-	0.01
Gümüş	mg/l	-	-	-

Tablo 4.10 (devamı) kaplıca yönetmeliği

Kaplıca Yönetmeliği	
Kimyasal Özellikleri	
Katyonlar	
Sodyum	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Potasyum	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Amonyum	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu***
Magnezyum	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Kalsiyum	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Mangan	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Demir	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Anyonlar	
Fluorür	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu*
Klorür	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Bromür	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
İyodür	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Nitrit	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu(0.05 mg/l)***
Nitrat	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu(45 mg/l)***
Sülfat	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Hidrojenfosfat	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Bikarbonat	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Hidrojen Sülfür	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Fosfat	mg/l ve mEq /L konsantrasyonu
Eser Elementler	
Arsenik	mg/l
Kadmiyum	mg/l (0,003 mg/l)**
Krom	mg/l (0,05 mg/l)**
Civa	mg/l (0,001 mg/l)**
Nikel	mg/l (0,05 mg/l)**
Kurşun	mg/l (0,01 mg/l)**
Antimon	mg/l (0,01mg/l)**
Selenyum	mg/l (0,005 mg/l)**
Baryum	mg/l
Bakır	mg/l
Çinko	mg/l
Kobalt	mg/l****
Molibden	mg/l****
Vanadyum	mg/l****
Kalay	mg/l****
Gümüş	mg/l****
Alüminyum	0.2 mh/L
Kirlilik Belirten Zehirli Maddeler	
Siyanid	mg/l (0.01 mg/l)**

4.4 Suların Fiziksel Özellikleri

Tekkehamam jeotermal sahasının incelendiği bu raporda; örneklemeler 2010 ve 2012 yılları arasında, dönemsel olarak yapılmıştır. Örnekleme çalışması bölgedeki tüm kuyulardan yapılmak istense de, sadece yapılması mümkün olan kuyularda gerçekleştirilebilmiştir. Kuyulara ve kaynaklara ait UTM koordinatları Tablo 4.11’de sunulmuştur. Suların Elektriksel İletkenlik (EC), Sıcaklık (T), pH gibi parametrelerinin ölçümü örnekleme yapıldığı noktada gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.11 Çalışma alanında yer alan su kaynak ve kuyularının UTM koordinatları

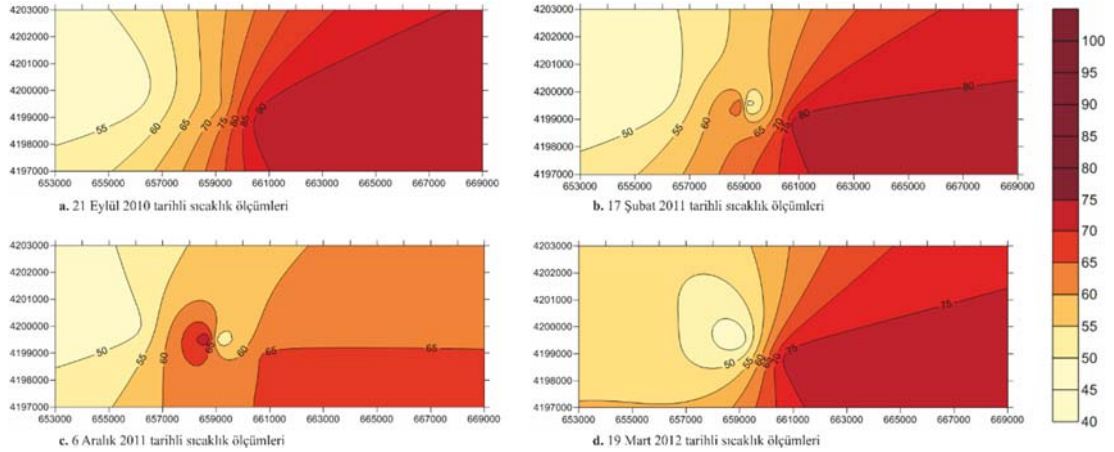
No	Lokasyon	Örnek No	Kökeni	UTM	Boylam (D)	Enlem (K)	Kot (m)
1	B.Menderes Nehri	1A	Yüzey	35 S	653487	4201427	128
2	B.Menderes Nehri	1B	Yüzey	35 S	653487	4201427	128
3	B.Menderes Nehri	1C	Yüzey	35 S	653173	4201515	134
4	B.Menderes Nehri	1D	Yüzey	35 S	653173	4201515	134
5	B.Menderes Nehri	2	Yüzey	35 S	668425	4202385	137
6	Babacık Hamamı	3A	Kuyu	35 S	655975	4199998	139
7	Babacık Hamamı	3B	Kuyu	35 S	655975	4199998	139
8	Babacık Hamamı	3C	Kuyu	35 S	655979	4200002	135
9	Babacık Hamamı	3D	Kuyu	35 S	655979	4200002	135
10	Çelik Çeşme	4	Kaynak	35 S	653893	4201150	132
11	Çavuşoğlu Hamamı	5A	Kuyu	35 S	658707	4199525	136
12	Çavuşoğlu Hamamı	5B	Kuyu	35 S	658707	4199525	136
13	Çavuşoğlu Hamamı	5C	Kuyu	35 S	658707	4199524	136
14	Çavuşoğlu Hamamı	5D	Kuyu	35 S	658707	4199525	136
15	Göl	6	Yüzey	35 S	660735	4199243	134
16	İnaltı Hamamı-1	7A	Kuyu	35 S	659070	4199504	136
17	İnaltı Hamamı-1	7B	Kuyu	35 S	659070	4199504	136
18	İnaltı Hamamı-2	7C	Kuyu	35 S	658870	4199504	136
19	İnaltı Hamamı-1	7D	Kuyu	35 S	659071	4199507	138
20	İnaltı Hamamı-1	7E	Kuyu	35 S	659071	4199507	138
21	Umut Termal-1	8A	Kuyu	35 S	660792	4198875	154
22	Umut Termal-1	8B	Kuyu	35 S	660792	4198875	154
23	Umut Termal-2	8C	Kuyu	35 S	660601	4198880	155
24	Umut Termal-1	8D	Kuyu	35 S	660773	4198856	150
25	Umut Termal-1	8E	Kuyu	35 S	660773	4198856	150

4.4.1 Suların Sıcaklık (°C) Değerleri

Su sıcaklığı birçok parametreye bağlı olarak değişebilir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonunca, sıcaklığı 20°C'den fazla olan suları “sıcak su” olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanındaki suların sıcaklıkları 10 °C ile 95 °C arasında değişmektedir. Örneklerden Büyük Menderes Nehri (1A-B-C-D ve 2), Çelik çeşme kaynak suyu (4) haricindeki tüm sular sıcak su grubuna girmektedir.

Kuyulardan elde edilen sıcak yeraltı suları örneklerinin arazide ölçülmüş sıcaklıkları kullanılarak inceleme sahası genelindeki sıcak suların temsili bir haritası çıkarılmıştır (Şekil 4.1). Şekilde de görüldüğü gibi saha genelinde yeraltı sularının sıcaklıklarında doğuya doğru bir artış söz konusudur. Elde edilen bu haritanın gerçeğe yakın sonuç vermesi ancak sahada birbirinden farklı noktalardan daha fazla örnekleme yapılarak mümkündür.

Ayrıca sıcak yeraltı sularının elde edildiği kuyuların derinlikleri de önemli bir faktördür ve bu haritalarda dikkate alınmamıştır.



Şekil 4.1 İnceleme sahasının dönemlere göre yeraltı suları sıcaklıklarını gösterir temsili harita

4.4.2 Suların Sertliği

Sularda sertlik iki şekilde gözlenmektedir. Bikarbonatların oluşturduğu geçici sertlik ve kalsiyum magnezyum sülfatların oluşturduğu kalıcı sertliktir. Geçici sertlik

kaynatıldığında karbonat minerallerinin çökmesi nedeniyle giderilebilmektedir. Ca ve Mg, SO₄, Cl ve NO₃ gibi diğer tuzlarından ileri gelen sertlik ise kaynatılarak giderilmez ve kalıcı sertlik adını alır. Suların sertliğinin belirlenmesi için Alman, İngiliz, Fransız ve USA sertliklerine ait sınıflamalar bulunmaktadır. Analizi yapılan sular Fransız sertliğine göre sınıflanmıştır (Tablo 4.13).

Fransız sertliğine göre suların sertliği “Sertlik = 5 x (rCa⁺⁺ + rMg⁺⁺) (r = mek/L)” bağıntısıyla hesaplanır, hesaplanan sonuçlar Tablo 4.12’ye göre sınıflandırılır.

Tablo 4.12 Suların sertliklerine göre sınıflandırılması

Fransız Sertliği	Suyun Sınıfı
0,0-7,2	Çok Yumuşak
7,2-14,5	Yumuşak
14,5-21,5	Az Sert
21,5-32,5	Oldukça Sert
32,5-54	Sert
54’ten fazla	Çok Sert

Tablo 4.13 İnceleme sahası su örneklerinin toplam fransız sertlik değerleri ve sınıfları

ÖRNEKLEME YERİ	ÖRNEK NO	TOPLAM FRANSIZ SERTLİK DEĞERİ	TOPLAM FRANSIZ SERTLİK SU SINIFI	ÖRNEKLEME YERİ	ÖRNEK NO	TOPLAM FRANSIZ SERTLİK DEĞERİ	TOPLAM FRANSIZ SERTLİK SU SINIFI
B.Menderes Nehri	1A	69.76	ÇOK SERT	Çavuşoğlu Hamamı	5D	47.44	SERT
B.Menderes Nehri	1B	123.82	ÇOK SERT	Göl	6	25.48	OLDUKÇA SERT
B.Menderes Nehri	1C	45.97	SERT	İnaltı Hamamı-1	7A	7.69	YUMUŞAK
B.Menderes Nehri	1D	99.10	ÇOK SERT	İnaltı Hamamı-1	7B	11.05	YUMUŞAK
B.Menderes Nehri	2	124.69	ÇOK SERT	İnaltı Hamamı-2	7C	5.00	ÇOK YUMUŞAK
Babacık Hamamı	3A	113.30	ÇOK SERT	İnaltı Hamamı-1	7D	6.46	ÇOK YUMUŞAK
Babacık Hamamı	3B	108.44	ÇOK SERT	İnaltı Hamamı-1	7E	25.23	OLDUKÇA SERT
Babacık Hamamı	3C	36.87	SERT	Umut Termal-1	8A	21.38	AZ SERT
Babacık Hamamı	3D	85.42	ÇOK SERT	Umut Termal-1	8B	20.55	AZ SERT
Çelik Çeşme	4	41.41	SERT	Umut Termal-2	8C	25.11	OLDUKÇA SERT
Çavuşoğlu Hamamı	5A	5.12	ÇOK YUMUŞAK	Umut Termal-1	8D	61.72	ÇOK SERT
Çavuşoğlu Hamamı	5B	5.92	ÇOK YUMUŞAK	Umut Termal-1	8E	6.19	ÇOK YUMUŞAK
Çavuşoğlu Hamamı	5C	7.01	ÇOK YUMUŞAK				

4.4.3 Suların pH Değerleri

pH suların asitlik veya bazlık durumunu gösteren logaritmik bir ölçüdür. Çözeltide bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu ifade eder. OH^- derişimi H^+ derişiminden fazla olan sular ($pH > 7$) bazik iken, H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla olan sular ($pH < 7$) asidik karakterdedir. Saf su H^+ ve OH^- iyonları açısından dengededir ve pH değeri 7 dir.

Çalışma alanındaki soğuk suların pH değerleri; 7,75 ile 9,00 arasında iken sıcak suların ise 6,10 ile 8,36 arasında ölçülmüştür (Tablo 4.14).

Tablo 4.14 İnceleme alanı suları pH değerleri

ÖRNEKLEME YERİ	NO	pH	ÖRNEKLEME YERİ	NO	pH	ÖRNEKLEME YERİ	NO	pH
B.Menderes Nehri	1A	7.75	Çelik Çeşme	4	7.20	İnaltı Hamamı-2	7C	8.00
B.Menderes Nehri	1B	7.80	Çavuşoğlu Hamamı	5A	7.20	İnaltı Hamamı-1	7D	7.47
B.Menderes Nehri	1C	7.80	Çavuşoğlu Hamamı	5B	7.50	İnaltı Hamamı-1	7E	7.12
B.Menderes Nehri	1D	7.88	Çavuşoğlu Hamamı	5C	7.47	Umut Termal-1	8A	8.20
B.Menderes Nehri	2	8.32	Çavuşoğlu Hamamı	5D	8.36	Umut Termal-1	8B	8.20
Babacık Hamamı	3A	6.10	Göl	6	9.00	Umut Termal-2	8C	7.87
Babacık Hamamı	3B	6.41	İnaltı Hamamı-1	7A	7.40	Umut Termal-1	8D	8.10
Babacık Hamamı	3C	6.30	İnaltı Hamamı-1	7B	7.22	Umut Termal-1	8E	8.23
Babacık Hamamı	3D	6.24						

İnceleme alanında Babacık Hamamı (3A-B-C-D) suları asidik, diğer tüm sular bazik karakter sergilemektedir.

4.4.4 Suların Elektriksel İletkenlik (EC) Değerleri

Elektriksel iletkenlik cisimlerin elektriği iletme özelliği olup 1 cm³ suyun elektriksel iletkenliğine özgül elektriksel iletkenlik denir. Özgül elektriksel iletkenlik mikromho/cm olarak ifade edilir. Suyun özgül iletkenliği iyon cinsine, derişimine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Tablo 4.15 Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

EC (mikromho/cm)	Sınıf
<250	Çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılmaz

Tablo 4.16 İnceleme alanı su örneklerinin EC değerlerine göre sınıflaması

ÖRNEKLEME YERİ	NO	EC	SINIFLAMASI	ÖRNEKLEME YERİ	NO	EC	SINIFLAMASI
B.Menderes Nehri	1A	1427	KULLANILABİLİR	Çavuşoğlu Hamamı	5D	4410	KULLANILAMAZ
B.Menderes Nehri	1B	2311	ŞÜPHELİ	Göl	6	12240	KULLANILAMAZ
B.Menderes Nehri	1C	2170	ŞÜPHELİ	İnaltı Hamamı-1	7A	3880	KULLANILAMAZ
B.Menderes Nehri	1D	1590	KULLANILABİLİR	İnaltı Hamamı-1	7B	3990	KULLANILAMAZ
B.Menderes Nehri	2	213	ÇOK İYİ	İnaltı Hamamı-2	7C	3710	KULLANILAMAZ
Babacık Hamamı	3A	3080	KULLANILAMAZ	İnaltı Hamamı-1	7D	4350	KULLANILAMAZ
Babacık Hamamı	3B	3150	KULLANILAMAZ	İnaltı Hamamı-1	7E	4410	KULLANILAMAZ
Babacık Hamamı	3C	3460	KULLANILAMAZ	Umut Termal-1	8A	3310	KULLANILAMAZ
Babacık Hamamı	3D	3350	KULLANILAMAZ	Umut Termal-1	8B	3190	KULLANILAMAZ
Çelik Çeşme	4	712	İYİ	Umut Termal-2	8C	2980	ŞÜPHELİ
Çavuşoğlu Hamamı	5A	3870	KULLANILAMAZ	Umut Termal-1	8D	3670	KULLANILAMAZ
Çavuşoğlu Hamamı	5B	3900	KULLANILAMAZ	Umut Termal-1	8E	3440	KULLANILAMAZ
Çavuşoğlu Hamamı	5C	4111	KULLANILAMAZ				

İnceleme alanındaki kuyulardan alınan suların EC değerlerine göre sınıflaması yapıldığında; Büyük Menderes Nehri Ahmetli Köprüsü (2 nolu) civarındaki suyun Çok İyi, Çelik Çeşme (4 nolu) suyunun İyi, Büyük Menderes 1A, 1D nolu örneklerin Kullanılabilir, 1B, 1C, 8C numaralı örneklerin Şüpheli – Kullanılmaz, diğer tüm su örneklerinin Kullanılmaz olduğu saptanmıştır (Tablo 4.16).

4.5 Sıcak ve Soğuk Yeraltı Sularının İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

Yöredeki yeraltı sularının içme ve kullanıma uygunluğu suların EC, SAR, Sodyum yüzdesi, Çözünmüş madde miktarı, köpürme katsayıları (Fo) ve bazı diyagramlar yardımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

$$\% rNa = [(rNa + rK) \times 100 / (rNa + rK + rCa + rMg)]$$

SAR = $rNa / [(rCa^{++} + rMg^{++}) / 2]^{0.5}$ bağıntısı ile bulunur. r = mek / L ' dir. Tablo 4.17'deki gibi sınıflandır.

Tablo 4.17 Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması (Şahinci, 1991a)

SINIF	SAR
Çok iyi özellikte sulama suları	<10
İyi özellikte sulama suları	10-18
Kullanılabilir özellikte sulama suları	18-26
Kullanılmaz özellikte sulama suları	>26

Tablo 4.18 İnceleme alanı su örneklerinin SAR değerlerine göre sınıflaması

NO	Örnekleme Yeri ve Adı	SAR	SAR Sulama Suyu Değerlendirmesi	NO	Örnekleme Yeri ve Adı	SAR	SAR Sulama Suyu Değerlendirmesi
1A	B.Menderes Nehri	2.273	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	6	Göl	99.360	KÖTÜ ÖZELLİKTE
1B	B.Menderes Nehri	2.645	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	7A	İnaltı Hamamı-1	53.079	KÖTÜ ÖZELLİKTE
1C	B.Menderes Nehri	1.594	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	7B	İnaltı Hamamı-1	41.294	KÖTÜ ÖZELLİKTE
1D	B.Menderes Nehri	1.814	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	7C	İnaltı Hamamı-2	64.277	KÖTÜ ÖZELLİKTE
2	B.Menderes Nehri	2.451	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	7D	İnaltı Hamamı-1	67.467	KÖTÜ ÖZELLİKTE
3A	Babacık Hamamı	7.340	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	7E	İnaltı Hamamı-1	25.018	ORTA ÖZELLİKTE
3B	Babacık Hamamı	7.424	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	8A	Umut Termal-1	26.595	KÖTÜ ÖZELLİKTE
3C	Babacık Hamamı	18.979	ORTA ÖZELLİKTE	8B	Umut Termal-1	26.432	KÖTÜ ÖZELLİKTE
3D	Babacık Hamamı	7.590	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	8C	Umut Termal-2	22.042	ORTA ÖZELLİKTE
4	Çelik Çeşme	0.492	ÇOK İYİ ÖZELLİKTE	8D	Umut Termal-1	20.853	ORTA ÖZELLİKTE
5A	Çavuşoğlu Hamamı	68.593	KÖTÜ ÖZELLİKTE	8E	Umut Termal-1	44.024	KÖTÜ ÖZELLİKTE
5B	Çavuşoğlu Hamamı	58.206	KÖTÜ ÖZELLİKTE				
5C	Çavuşoğlu Hamamı	62.534	KÖTÜ ÖZELLİKTE				
5D	Çavuşoğlu Hamamı	19.319	ORTA ÖZELLİKTE				

İnceleme alanında yapılan su örneklemelerinde; 1A, 1B, 1C, 1D, 2, 3A, 3B, 3D, 4 nolu örneklerin SAR değerlerine göre “Çok İyi özellikte sulama suları” sınıfında, 3C, 5D, 7E, 8C, 8D nolu su örneklerinin “Orta özellikte sulama suları” sınıfında ve diğer tüm suların “Kötü özellikte sulama suları” sınıfında oldukları belirlenmiştir (Tablo 4.18).

Suların kaynarken köpürme katsayısı (F_o) = $62 \text{ rNa}^+ + 78 \text{ rK}^+$ ($r = \text{mek/L}$) bağıntısıyla bulunur ve sular köpürme katsayısı değerine göre Tablo 4.19'daki gibi sınıflanır.

Tablo 4.19 Suların köpürme katsayısı değerine (F_o) göre sınıflaması (Şahinci, 1991a)

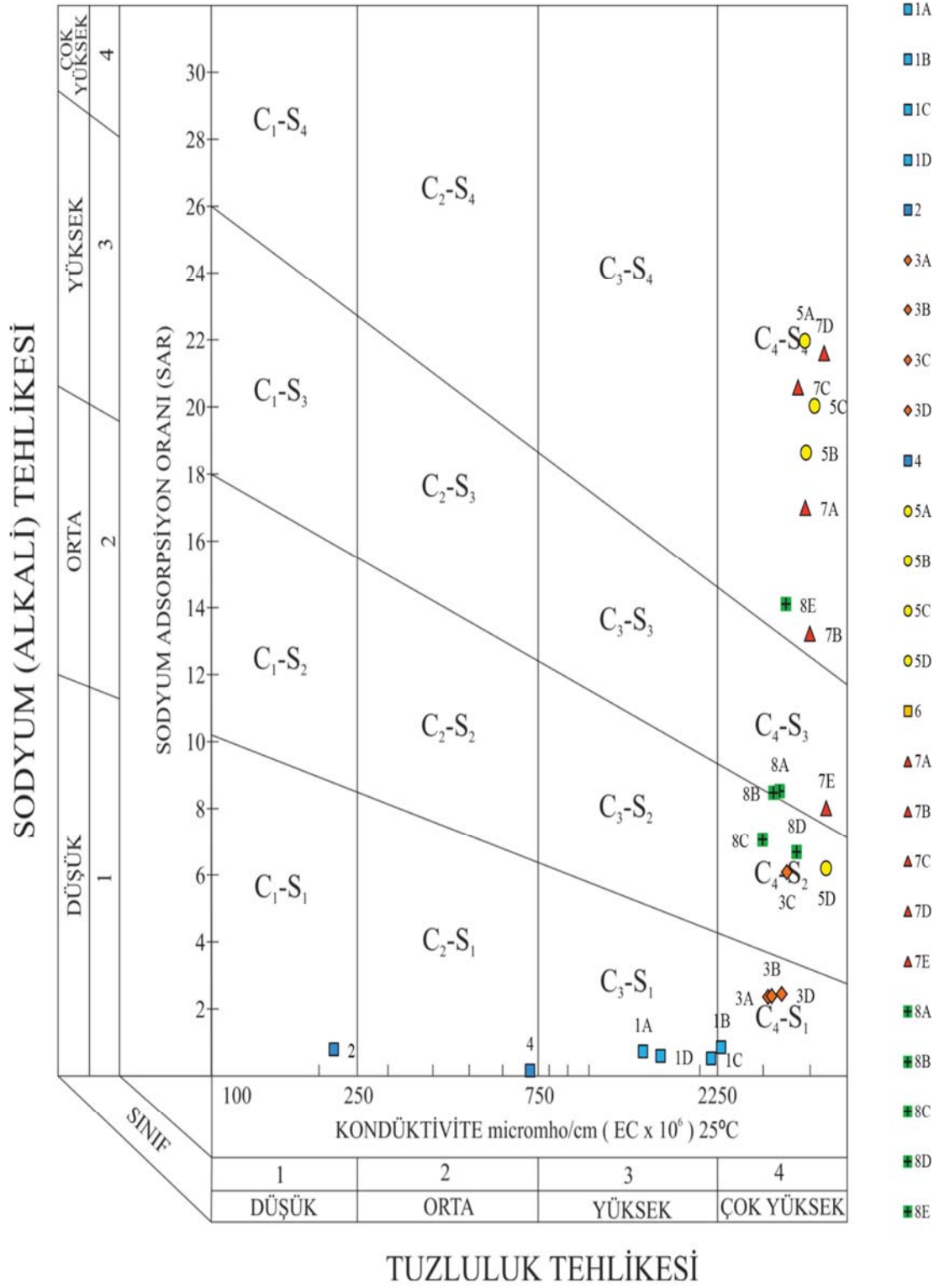
Suların Kaynarken Davranışı	F_o (mek/l)
Kaynarken Köpürmeyen Su	< 60
Kaynarken Köpüren Su	60-200
Kaynarken Çok Köpüren Su	200 >

Tablo 4.20 İnceleme alanı suları kaynarken köpürme katsayıları ve köpürme sınıfları

NO	Örnekleme Yeri ve Adı	F_o Köpürme Katsayısı	F_o Köpürme Sınıfı	NO	Örnekleme Yeri ve Adı	F_o Köpürme Katsayısı	F_o Köpürme Sınıfı
1A	B.Menderes Nehri	390.28	Çok Köpüren Su	6	Göl	10600.386	Çok Köpüren Su
1B	B.Menderes Nehri	605.47	Çok Köpüren Su	7A	İnaltı Hamamı-1	3067.3732	Çok Köpüren Su
1C	B.Menderes Nehri	474.97	Çok Köpüren Su	7B	İnaltı Hamamı-1	2873.0004	Çok Köpüren Su
1D	B.Menderes Nehri	359.53	Çok Köpüren Su	7C	İnaltı Hamamı-2	3007.7323	Çok Köpüren Su
2	B.Menderes Nehri	560.33	Çok Köpüren Su	7D	İnaltı Hamamı-1	3613.1324	Çok Köpüren Su
3A	Babacık Hamamı	1647.52	Çok Köpüren Su	7E	İnaltı Hamamı-1	2908.9219	Çok Köpüren Su
3B	Babacık Hamamı	1613.38	Çok Köpüren Su	8A	Umut Termal-1	2596.7173	Çok Köpüren Su
3C	Babacık Hamamı	2295.47	Çok Köpüren Su	8B	Umut Termal-1	2544.465	Çok Köpüren Su
3D	Babacık Hamamı	1403.28	Çok Köpüren Su	8C	Umut Termal-2	2355.0942	Çok Köpüren Su
4	Çelik Çeşme	100.59	Köpüren Su	8D	Umut Termal-1	3213.269	Çok Köpüren Su
5A	Çavuşoğlu Hamamı	3237.56	Çok Köpüren Su	8E	Umut Termal-1	2396.8855	Çok Köpüren Su
5B	Çavuşoğlu Hamamı	2963.29	Çok Köpüren Su				
5C	Çavuşoğlu Hamamı	3473.82	Çok Köpüren Su				
5D	Çavuşoğlu Hamamı	2950.80	Çok Köpüren Su				

Tablo 4.20'de de görüldüğü gibi sadece Çelik Çeşme suyu (4 nolu) kaynarken köpüren su, diğer tüm sular kaynarken çok köpüren su sınıfındadır.

Sodyum iyonu yüzdesi (% Na) ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) sulama suları sınıflamasında kullanılan önemli bir özelliktir. Sulama suları sınıflandırılmasında en çok ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılır. Bu Diyagram için suyun 25°C'deki kondüktivitesi ve sodyum adsorbsiyon oranının bilinmesine gerek vardır. Tablo 4.21'de suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 4.2 İnceleme alanındaki suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre diyagram üzerindeki gösterimi (ABD Tuzluluk Diyagramı)

Tablo 4.21 Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması.

Tuzluluğa Göre Alt Sınıflar	C1	Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.
	C2	Orta tuzlulukta su. Orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılmaz
	C3	Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
	C4	Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenajı yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetiştirilebilir.
Sodyum Miktarına Göre Alt Sınıflar	S1	Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun.
	S2	Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun
	S3	Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.
	S4	Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz.

ABD Tuzluluk diyagramına göre, inceleme alanındaki suların geneli C₄-S₄, C₄-S₂, C₄-S₁ ve C₄-S₂ (Çok tuzlu ve farklı sodyum içerikli sular) grubundadır.

1A, 1C, 1D örnekleri C₃-S₁ (Fazla tuzlu ve az sodyum içerikli sular) grubuna, 4 nolu örnek ise C₂-S₁ (Orta tuzlu ve az sodyumlu sular) grubuna, 2 nolu örneğe bakıldığında C₁-S₁ (Az tuzlu ve az sodyumlu sular) grubuna girmektedir.

4.6 Sulama Sularının Wilcox'a Göre Sınıflaması

Wilcox sulama sularının % Na, klorür, sülfat, bor ve elektriksel iletkenliğe karşı duyarlılıklarına göre sınıflar (Tablo 4.22 ve Tablo 4.23).

Tablo 4.22 Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflaması (Şahinci, 1991)

Suyun Sınıfı	%Na	rCl ⁻	rSO ₄ ⁼	EC(µmho/cm)
Çok iyi	<20	<4	<4	<250
iyi	20-40	4-7	4-7	250-750
Kullanılabilir	40-60	7-12	7-12	750-2000
Şüpheli	60-80	12-20	12-20	2000-3000
Kullanılmaz	>80	>20	>20	>3000

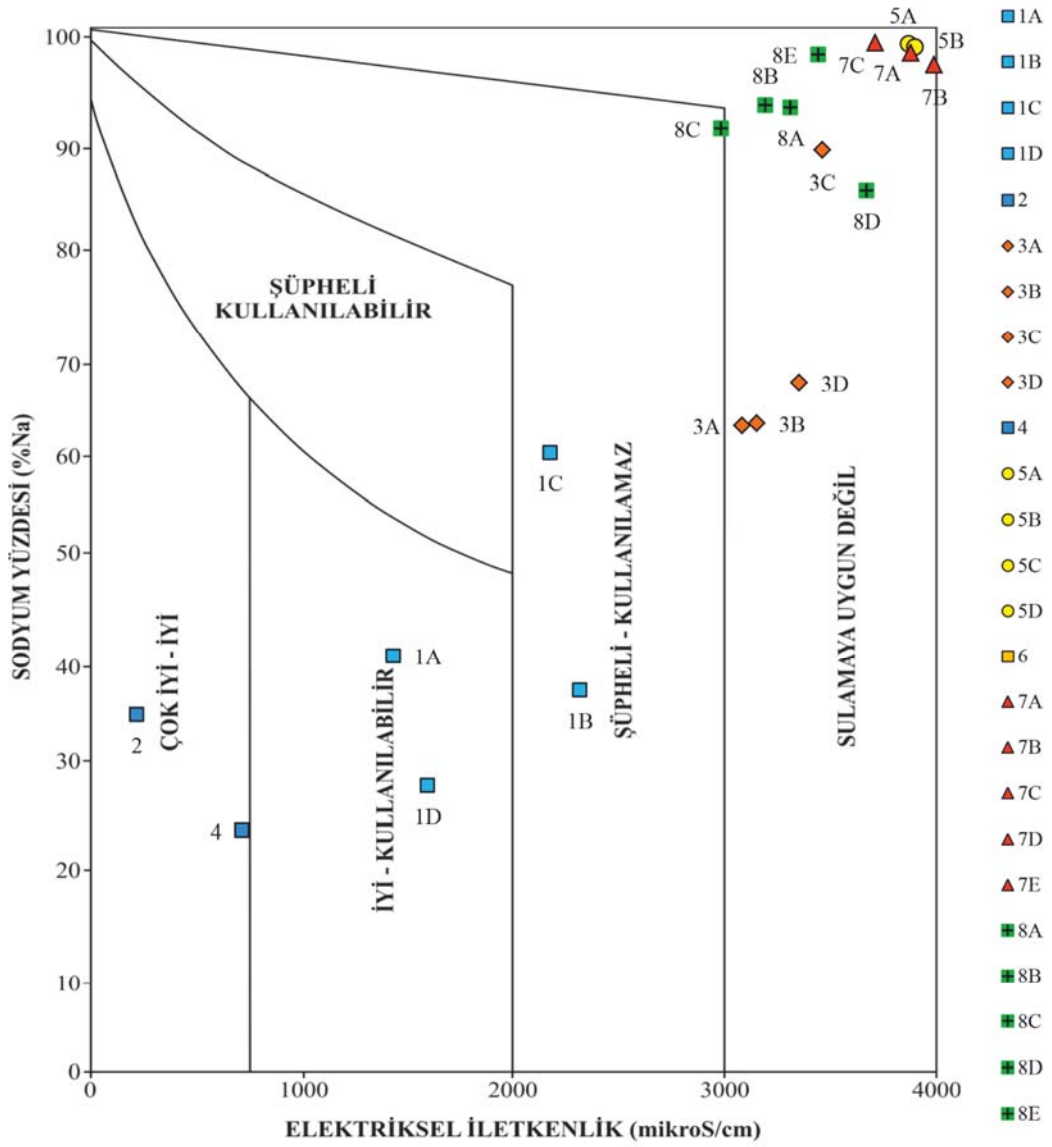
Tablo 4.23 Sulama sularının Wilcox sınıflamasında bor miktarına göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

Suyun Sınıfı	Suda bulunan Bor (mg/l)		
	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Az dayanıklı bitkiler
Çok iyi	<0,33	<0,36	<1
İyi	0,33-0,67	0,67-1,33	1,00-2,00
Kullanılabilir	0,67-1,00	1,33-2	2,00-3,00
Şüpheli	1,00-1,25	2-2,5	3,00-3,75
Kullanılmaz	>1,25	>2,5	>3,75

Tablo 4.24 İnceleme sahası su örneklerinin Wilcox sulama suyu sınıflamasına göre değerlendirilmesi

SULAMA SULARININ WILCOX'A GÖRE SINIFLAMASI					SUDA BULUNAN BOR (mg/l)		
NO	%Na	rCl	rSO4	EC (µS/cm)	Duyarlı Bitkiler	Yarı Dayanıklı Bitkiler	Az Dayanıklı Bitkiler
1A	İyi	Çok İyi	Kullanılabilir	Kullanılabilir	İyi	Çok İyi	Çok İyi
1B	İyi	İyi	Şüpheli	Şüpheli	Şüpheli	İyi	İyi
1C	Kullanılabilir	Çok İyi	Kullanılabilir	Şüpheli	Kullanılabilir	İyi	Çok İyi
1D	İyi	Çok İyi	Kullanılabilir	Kullanılabilir	Kullanılmaz	Kullanılabilir	İyi
2	İyi	İyi	Şüpheli	Çok İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi
3A	Şüpheli	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
3B	Şüpheli	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
3C	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
3D	Şüpheli	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
4	İyi	Çok İyi	Çok İyi	İyi	Çok İyi	Çok İyi	Çok İyi
5A	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
5B	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
5C	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
5D	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
6	Kullanılmaz	Kullanılabilir	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
7A	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
7B	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
7C	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
7D	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
7E	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
8A	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
8B	Kullanılmaz	Çok İyi	Şüpheli	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
8C	Kullanılmaz	Çok İyi	Şüpheli	Şüpheli	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
8D	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz
8E	Kullanılmaz	Çok İyi	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz	Kullanılmaz

Suda bulunan Bor miktarına göre sulama sınıfı yapıldığında; 1B nolu örneğin duyarlı bitkiler için “şüpheli” 1D nolu örneğin “kullanılamaz” olduğu diğer bütün soğuk suların, her tip bitki sulamasına uygun olduğu, termal sulardan ise sulama suyu olarak kullanımın elverişsiz olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanı tüm su örnekleri Şekil 4.3’te elektriksel iletkenlik (EC) miktarına dayalı suların sulama amacıyla kullanıma uygunluğunu belirten Wilcox diyagramında gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Sulama sularının Wilcox’a göre sınıflaması

Wilcox diyagramına göre (Şekil 4.3) 2 ve 4 nolu örnekler sulama suyu bakımından “Çok İyi-İyi”, 1A ve 1D nolu örnekler “İyi-Kullanılabilir”, 1B-1C nolu örnekler “Şüpheli-Kullanılamaz”, diğer tüm örnekler “Kullanılamaz” sınıfındadır.

4.7 Sıcak ve Mineralli Suların Fasiyes Tipleri ve Sınıflaması

Yöredeki sıcak ve mineralli suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanındaki kaynaklardan ve MTA’nın ve şahısların açmış olduğu sondajlardan su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin kimyasal analiz değerleri incelenerek sıcak suların fasiyes tipleri, doygunluk değerleri ve kullanılabilirlikleri belirlenmiştir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflamasında ise suda çözünmüş başlıca anyon ve katyonlardan ayrı ayrı olmak üzere mek/L olarak %20’den fazla çözünmüş bulunan iyonlar su tipini belirtmektedir (Baskan ve Canik, 1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı IAH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır. Bu sınıflamaya göre termal sular genel olarak $\text{Na} > \text{Ca} > \text{Mg}$ ve $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3 > \text{Cl}$ şeklinde olup $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipini yansıtmaktadırlar. Soğuk sular ise genel olarak baskın iyon içermeyen su tipindelerdir.

Çalışma alanında bu amaçla 18 tanesi termal, 7 tanesi soğuk su olacak şekilde, değişik dönemlerde toplam 7 kaynaktan 25 adet su örnekleme yapılmıştır. Çalışma sahasındaki kuyulardan elde edilen termal suların %90’ı $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ tipindedir. Sadece Babacık Hamamı 3A ve 3B örneklerinde su tipi $\text{Na-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ olarak farklılık göstermektedir (Tablo 4.25).

Soğuk sulara bakıldığında fasiyeslerde farklılıklar göze çarpmaktadır. Büyük Menderes Nehrinden alınan 1A ve 1B nolu örnekler $\text{Mg-Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ fasiyesini, 1C nolu örnek $\text{Mg-Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ fasiyesini, 1D nolu Büyük Menderes Nehri örneği $\text{Ca-Na-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ fasiyesini ve 2 nolu Ahmetli köprüsü örneğinin $\text{Ca-Mg-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ tipinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Çelik Çeşme (4 no’lu) örneği $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ tipinde ve Umut termal karşısı gölet (6 no’lu) örneği ise Na-SO_4 tipindedir (Tablo 4.25).

Tablo 4.25 Örnekleme yapılan sulara ait fasiyes tipi sınıflamaları

Örnek	Lokasyon	Fasiyes tipi
1A	Büyük Menderes Nehri	Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
1B	Büyük Menderes Nehri	Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃
1C	Büyük Menderes Nehri	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃
1D	Büyük Menderes Nehri	Ca-Na-Mg-SO ₄ -HCO ₃
2	Büyük Menderes Nehri Ahmetli Köprüsü	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃
3A	Babacık Hamamı	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
3B	Babacık Hamamı	Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃
3C	Babacık Hamamı	Na-SO ₄ -HCO ₃
3D	Babacık Hamamı	Na-SO ₄ -HCO ₃
4	Çelik Çeşme Kaynağı	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
5A	Çavuşoğlu Hamamı	Na-SO ₄ -HCO ₃
5B	Çavuşoğlu Hamamı	Na-SO ₄ -HCO ₃
5C	Çavuşoğlu Hamamı	Na-SO ₄ -HCO ₃
5D	Çavuşoğlu Hamamı	Na-SO ₄ -HCO ₃
6	Gölet	Na-SO ₄
7A	İnaltı Hamamı-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
7B	İnaltı Hamamı-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
7C	İnaltı Hamamı-2	Na-SO ₄ -HCO ₃
7D	İnaltı Hamamı-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
7E	İnaltı Hamamı-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
8A	Umut Termal-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
8B	Umut Termal-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
8C	Umut Termal-2	Na-SO ₄ -HCO ₃
8D	Umut Termal-1	Na-SO ₄ -HCO ₃
8E	Umut Termal-1	Na-SO ₄ -HCO ₃

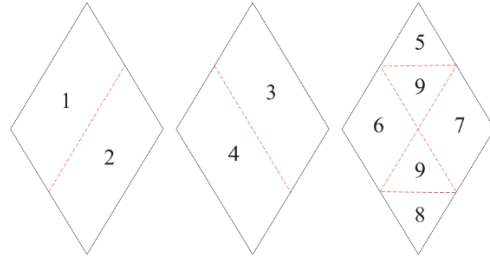
Piper (üçgen) ve Schoeller (yarı logaritmik) diyagramları gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır.

Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların büyük bir kısmının sodyum, sülfat ve bikarbonatlı su tipini yansıttıkları görülmektedir. Diğer sıcak sular ise sodyum, kalsiyum, sülfat ve bikarbonatlı sulardır (Şekil 4.4). Piper sınıflamasında yöredeki sodyum sülfatlı sular karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan (7 nolu) alana düşmektedir. Diğerleri ise iyonların hiç birisi %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girerler.

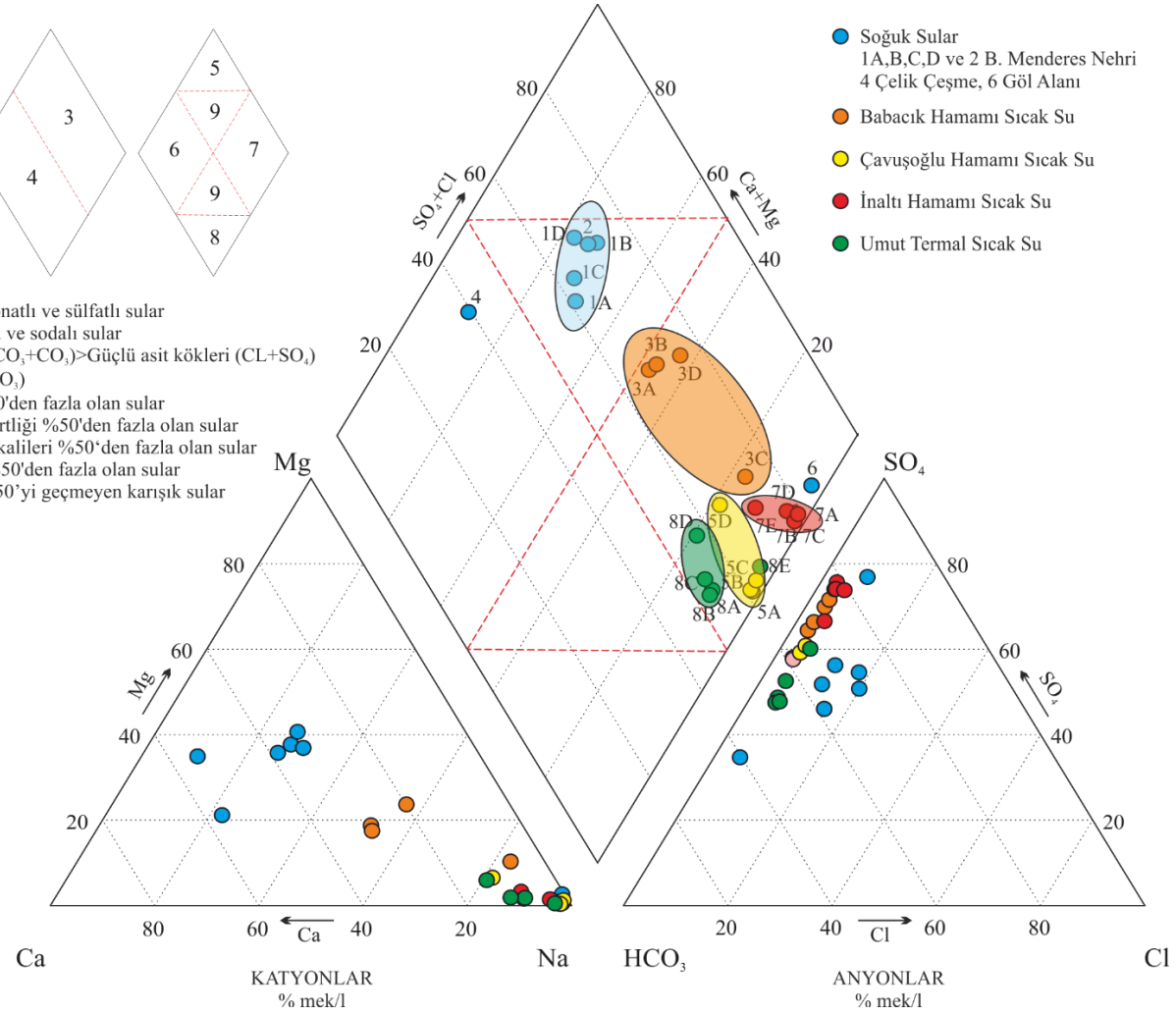
Schoeller diyagramı; Bu diyagramda yatay eksene belirli aralıklar ile iyonlar sıralanır. Düşey eksen logaritmik ölçeklidir. Bir su örneği, bu diyagramda gösterilirken, her iyonun mek/L değeri, kendine ait logaritmik eksende işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir. Birleştirilen noktalar, kırık çizgileri oluşturmakta ve bu çizgiler bir su örneğini temsil etmektedir. Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı akifere ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. İnceleme alanına ait suların schoeller diyagramında yorumlanması Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Schoeller diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların kalsiyum ve magnezyum miktarlarında farklılık olmasına rağmen, sodyum+potasyum, klorür, sülfat değerleri birbirine çok yakındır ve $\text{Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ fasiyesinin baskınlığı gözlenmektedir. Soğuk sular da aynı şekilde birbirine yakın değerler sergilemektedir.

Suların schoeller diyagramına bakıldığında Çelik Çeşme Kaynağı (4 nolu) ve Umut termal karşısı gölet (6 nolu) suların diğer sulardan farklılığı göze çarpmaktadır. 4 no'lu örneğin kaynak suyu olmasına, 6 no'lu su ise evaporasyon sonucu iyon değişimi artışına bağlı olarak diğer sulardan farklılık göstermektedir.

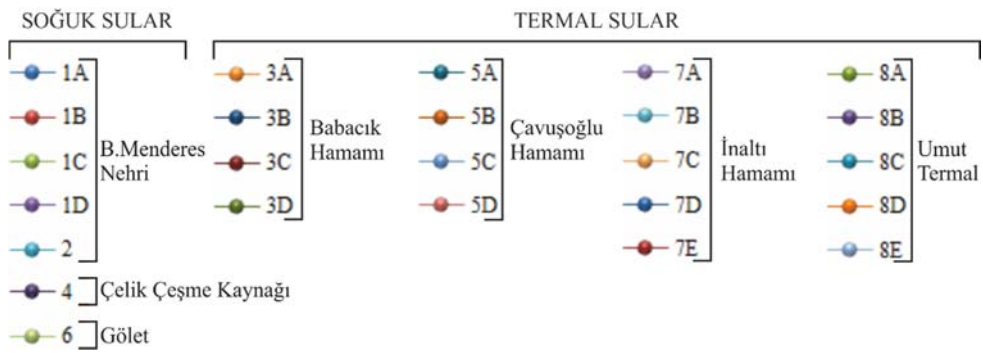
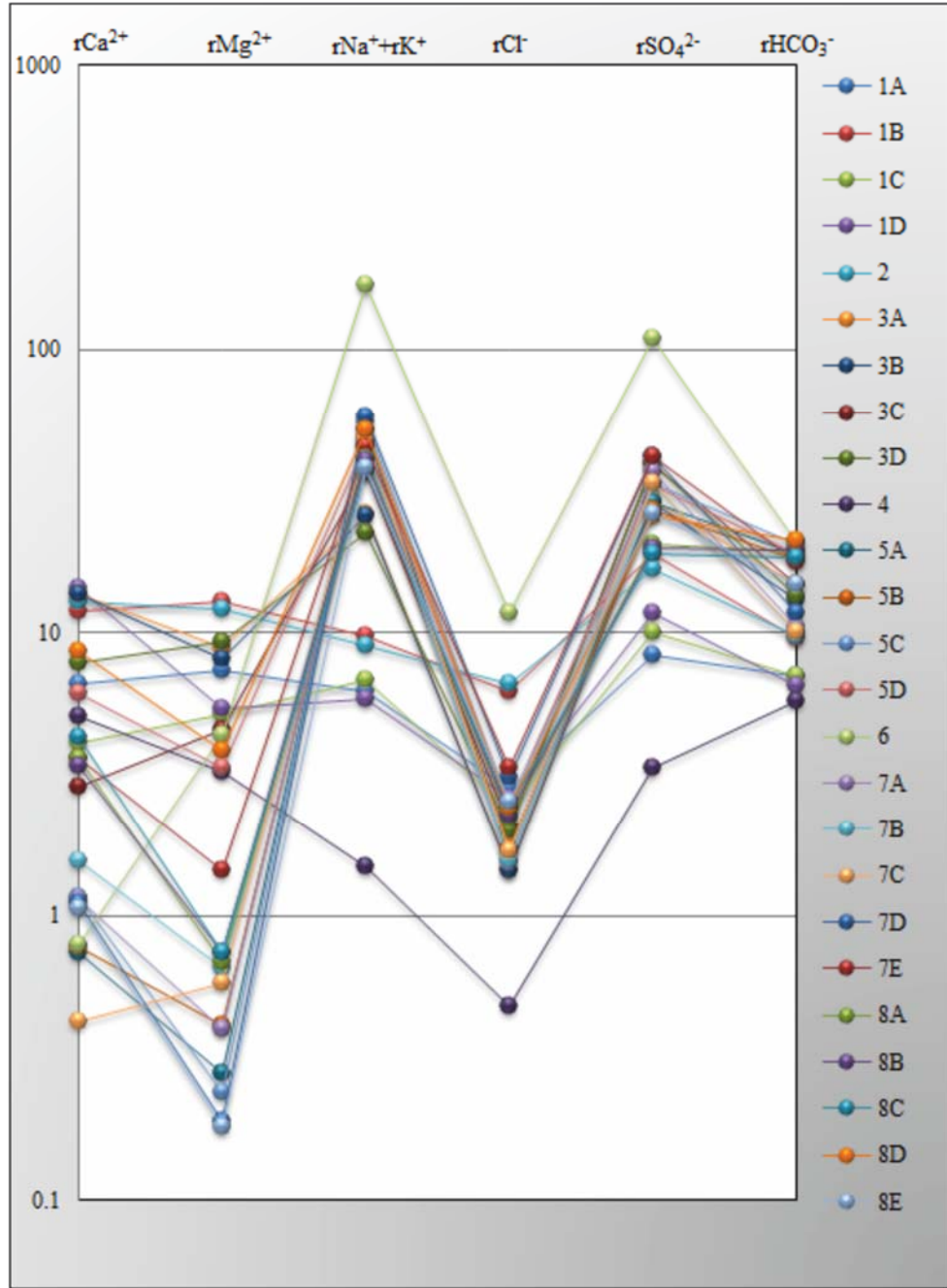
Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeokimyasal fasiyes tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına bağlı olarak



- 1-Ca+Mg>Na+K.karbonatlı ve sülfatlı sular
- 2-Na+K>Ca+Mg,Tuzlu ve sodalı sular
- 3-Zayıf asit kökleri ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$)>Güçlü asit kökleri ($\text{Cl} + \text{SO}_4$)
- 4- $(\text{Cl} + \text{SO}_4) > (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)$
- 5-Karbonat sertliği %50'den fazla olan sular
- 6-Karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular
- 7-Karbonat olmayan alkalileri %50'den fazla olan sular
- 8-Karbonat alkalileri %50'den fazla olan sular
- 9-İyonların hiçbirisi %50'yi geçmeyen karışık sular



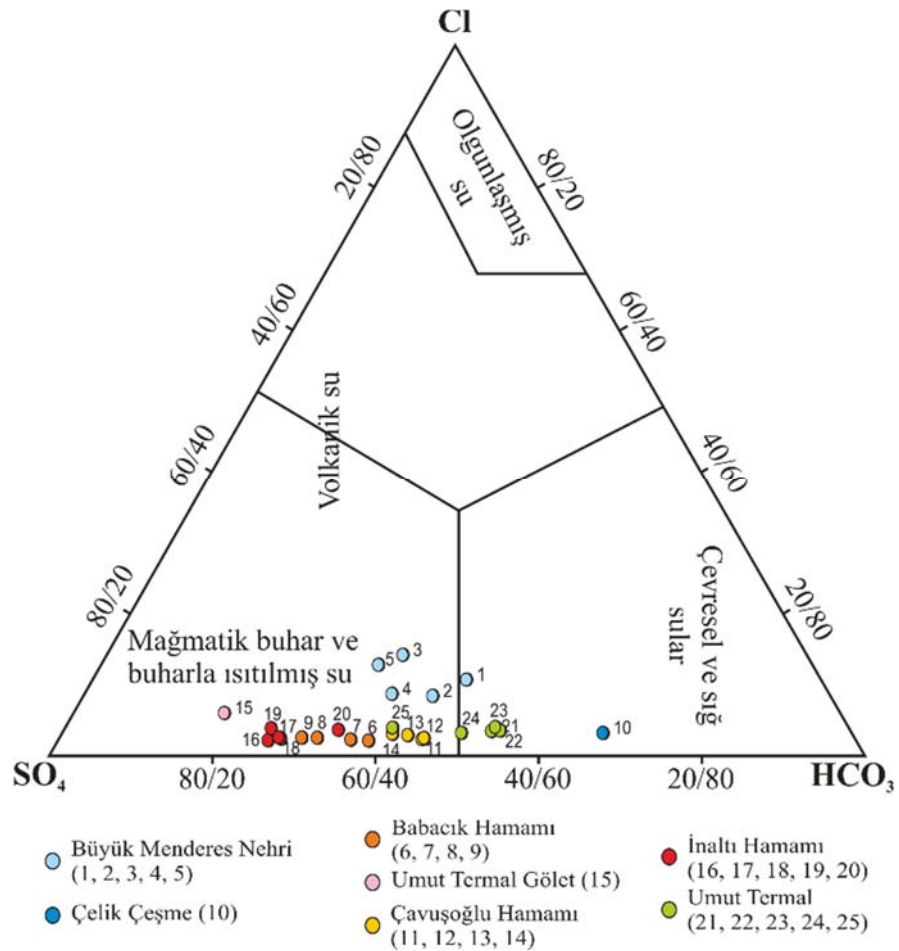
Şekil 4.4 İnceleme alanında yeralan sıcak suların Piper üçgen diyagramındaki görünümü



Şekil 4.5 İnceleme alanında yer alan bazı sıcak suların yarı logaritmik Schoeller diyagramındaki görünümü

sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/L cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Sıcak ve mineralli suların diğer bir sınıflaması da başlıca anyonlara göre (Cl, HCO₃, SO₄) yapılabilmektedir (Giggenbach, 1991) (Şekil 4.6). Bu sınıflamaya göre yöredeki sıcak ve mineralli sular kuyulardan elde edilmekte ve sülfat içeriği yüksek olarak bulunmaktadır. Bu sulardaki sülfat içeriğinin fazlalığı Sazak formasyonunun evaporitik ortam ürünü olan jipsli seviyelerinden kaynaklanmaktadır. Daha sık sondajlardan Neojen kayaçların oluşturduğu akiferlerden alınan sıcak sular ise soğuk yer altı suları ile belli oranlarda karışmaları nedeniyle seyreltik bikarbonatlı sular olarak gözlenmektedirler (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 İnceleme alanındaki sıcak suların Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramındaki görünümü (Giggenbach, 1991)

4.8 Suların Mineral Doygunluk İndeksleri

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

Genellikle çökel ürünü olarak gözlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin farklı sıcaklık değerlerinde mineral doymunluk indekslerinin hesaplanması ve diyagramının çizilmesi, bu sorunların önlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Bunun için kullanılan mineral sıcaklık diyagramlarında Pozitif doymunluk indeksi çökeltici özelliği, negatif doymunluk indeksi ise çözündürücü özelliği ifade etmektedir.

Bu alışmada Aquachem programı yardımıyla minerallerin farklı sıcaklık değerlerindeki doymunluk indeksi değerleri saptanmıştır ($SI = \log Q/K$). Mineral doymunluk indeksi hesaplamalarında basınç 1 atm olarak alınmış ve pH sabit tutulmuştur. Saptanan bu değerler Excel programına aktarılarak mineral sıcaklık denge diyagramı oluşturulmuştur. Diyagramın oluşturulmasında sıcaklık değerleri her 30°C’de bir arttırılmış ve grafiğin 30-180°C arasında yer alması sağlanmıştır (Tablo 4.26). Kalsit, Dolomit ve Jips gibi minerallerin doymunluk indeksi değerleri elde hesaplanmış ve EK-1 ve EK-2’de her örnek için ayrı ayrı olacak şekilde verilmiştir. EK-1 ve EK-2’de de kullanılan doymunluk indeksi bağlantıları aşağıdaki gibidir;

$$\text{Kalsit Doymunluk İndeksi (SIc)} = \log [(aCa^{++})(aHCO_3^-) K_2 / Kc. 10^{-pH}]$$

$$\text{Dolomit Doymunluk İndeksi (SID)} = \log [(aCa^{++})(aMg^{++})(aHCO_3^-)^2 (K_2)^2 / KD 10^{-pH}]$$

$$\text{Jips Doymunluk İndeksi (SIJ)} = \log [(aCa^{++})(aSO_4^{--}) / Kj]$$

Mineral sıcaklık denge diyagramı irdelendiğinde, bazı minerallerin denge konumundayken keşiştiği noktalar gözlenmektedir. Bu noktaların sıcaklık değerleri hazne kaya sıcaklığı olarak yorumlanabilir. Yorumlamaların daha net yapılabilmesi amacıyla diyagram üzerindeki noktalar karşılık geldiği sıcaklık değeriyle gösterilmiştir (şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10).

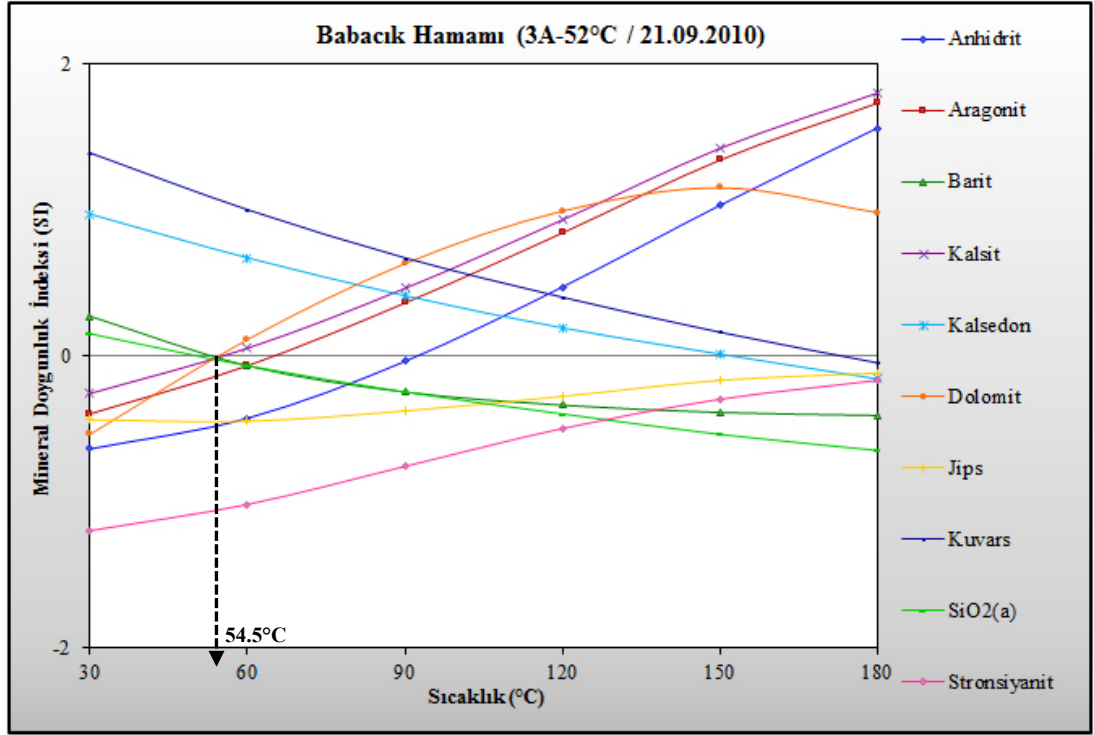
Tablo 4.26 İnceleme alanına ait su örneklerinde çökel ürünü olarak rastlanabilecek bazı minerallerin belirtilen sıcaklıklardaki doygunluk indeksleri

Babacık Hamamı 3A - 52°C / 21.09.2010										
Sıcaklık (°C)	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO ₂ (a)	Stronsiyanit
30	-0.64	-0.40	0.27	-0.26	0.97	-0.54	-0.44	1.39	0.15	-1.20
60	-0.43	-0.07	-0.07	0.05	0.67	0.11	-0.45	1.00	-0.07	-1.02
90	-0.04	0.36	-0.25	0.46	0.41	0.63	-0.38	0.67	-0.25	-0.76
120	0.47	0.84	-0.34	0.93	0.19	0.99	-0.28	0.40	-0.40	-0.50
150	1.03	1.34	-0.39	1.42	0.01	1.15	-0.17	0.16	-0.54	-0.30
180	1.56	1.73	-0.41	1.80	-0.16	0.98	-0.12	-0.05	-0.65	-0.17

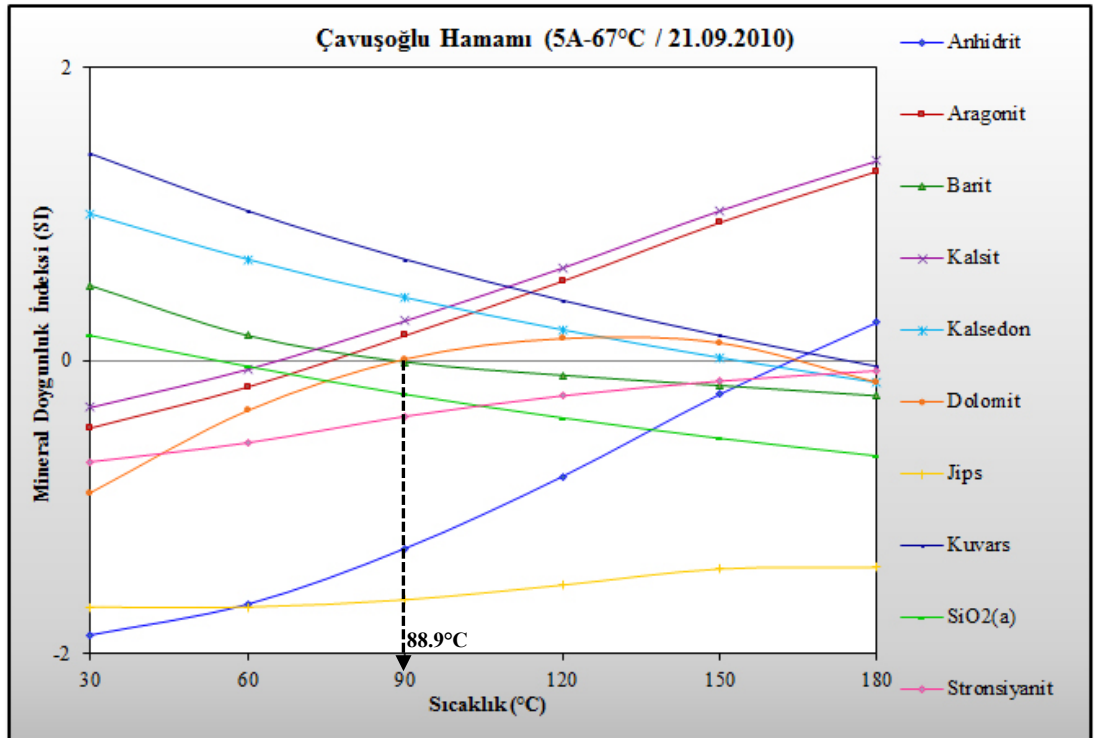
Çavuşoğlu Hamamı 5A - 67°C / 21.09.2010										
Sıcaklık (°C)	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO ₂ (a)	Stronsiyanit
30	-1.87	-0.46	0.51	-0.32	1.00	-0.90	-1.68	1.41	0.17	-0.69
60	-1.66	-0.18	0.17	-0.06	0.69	-0.34	-1.68	1.02	-0.04	-0.56
90	-1.28	0.17	-0.01	0.27	0.43	0.01	-1.63	0.69	-0.23	-0.38
120	-0.79	0.54	-0.10	0.63	0.21	0.15	-1.53	0.41	-0.39	-0.24
150	-0.23	0.94	-0.17	1.02	0.02	0.12	-1.42	0.17	-0.53	-0.14
180	0.26	1.29	-0.24	1.36	-0.15	-0.15	-1.41	-0.04	-0.65	-0.07

İnaltı Hamamı 7D - 51°C / 06.12.2011										
Sıcaklık (°C)	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO ₂ (a)	Stronsiyanit
30	-1.61	-0.26	0.41	-0.12	1.04	-0.85	-1.41	1.45	0.22	0.00
60	-1.40	-0.04	0.08	0.08	0.73	-0.43	-1.42	1.06	0.00	0.08
90	-1.01	0.23	-0.06	0.34	0.47	-0.24	-1.36	0.73	-0.19	0.23
120	-0.51	0.55	-0.10	0.64	0.25	-0.23	-1.26	0.45	-0.35	0.37
150	0.06	0.92	-0.11	1.00	0.06	-0.33	-1.13	0.21	-0.48	0.48
180	0.62	1.29	-0.12	1.36	-0.11	-0.61	-1.05	0.00	-0.61	0.55

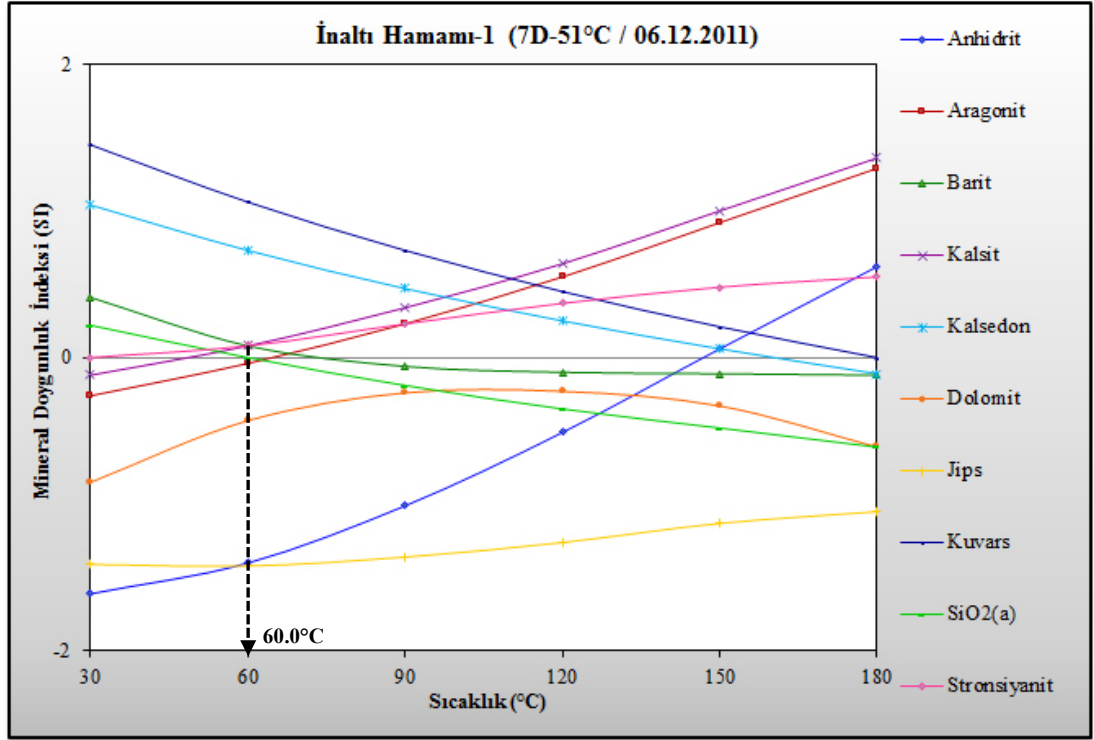
Umut Termal 8A - 95°C / 21.09.2010										
Sıcaklık (°C)	Anhidrit	Aragonit	Barit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Kuvars	SiO ₂ (a)	Stronsiyanit
30	-1.37	1.71	0.16	1.85	0.92	3.20	-1.17	1.33	0.10	1.10
60	-1.17	1.68	-0.18	1.80	0.62	3.16	-1.19	0.95	-0.12	0.93
90	-0.78	1.69	-0.34	1.80	0.37	2.89	-1.13	0.63	-0.29	0.81
120	-0.26	1.84	-0.42	1.93	0.15	2.55	-1.00	0.36	-0.44	0.72
150	0.34	2.11	-0.47	2.19	-0.04	2.21	-0.85	0.12	-0.58	0.66
180	0.90	2.40	-0.53	2.47	-0.21	1.72	-0.77	-0.10	-0.70	0.62



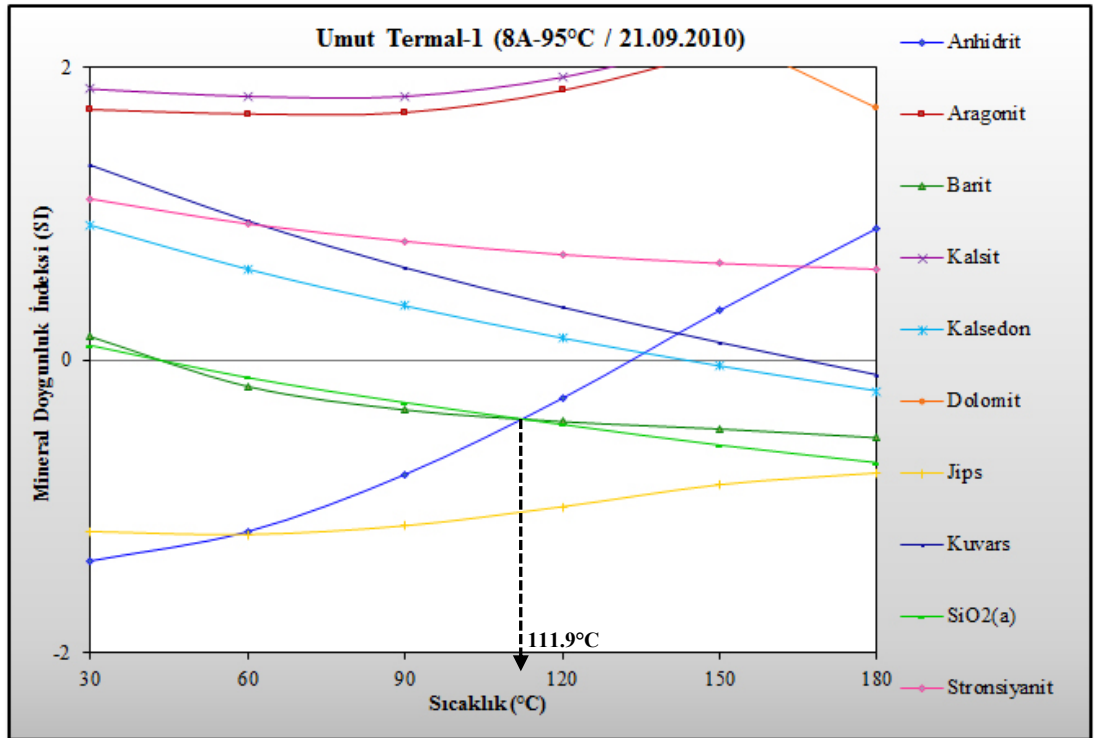
Şekil 4.7 Babacık Hamamı 3A nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği



Şekil 4.8 Çavuşoğlu Hamamı 5A nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği



Şekil 4.9 İnaltı Hamamı 7D nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği



Şekil 4.10 Umut Termal 8A nolu örneğin farklı sıcaklıklarda mineral doygunluk indeksi grafiği

Babacık Hamamı (3A) ve Çavuşoğlu Hamamı (5A) sularının mineral doygunluk indekslerine bakıldığında birbirine yakın değerler gözlenmektedir. Buna göre 3A nolu suyun; tüm sıcaklıklarda çökelttiği mineral yoktur. Aragonit, Kalsit, Dolomit 60°C üzerinde, Anhidrit 90°C üzerinde doymamış hale geçmektedir. 3A suyu Barit ve SiO₂'in 60°C, Kalsedon'un 150°C, Kuvars'ın 175°C üzerinde çözünürlük artışını sağlamaktadır. Jips ve Stronsiyanit mineralleri ise tüm sıcaklıklarda doymamış özelliktedir (Şekil 4.7).

5A nolu suyun ise; aynı şekilde tüm sıcaklıklarda çökelttiği mineral yoktur ve Jips ve Stronsiyanit mineralleri ise tüm sıcaklıklarda doymamış özelliktedir. Aragonit 75°C, Kalsit 60°C, Dolomit 90°C üzerinde, Anhidrit 150°C üzerinde doymamış hale geçmektedir. 5A suyu Barit'in 60°C, SiO₂'in 90°C, Kalsedon'un 160°C, Kuvars'ın 178°C üzerinde çözünürlüğünü arttırmaktadır (Şekil 4.8).

İnaltı Hamamı (7D) su örneğinin mineral doygunluk indeksi incelendiğinde; Kuvars minerali hariç, suda yine tüm sıcaklık değerlerinde doygunluk gösteren mineral bulunmamaktadır. Bu örnekte Jips ve Dolomit mineralleri tüm sıcaklıklarda doymamış özellik sergilemektedir. Anhidrit 145°C üzerinde, Kalsit, Stronsiyanit 60°C üzerinde, Aragonit 70°C üzerinde doymamış özellik kazanmaktadır. SiO₂ ve Barit'in 60°C üzerinde, Kalsedon'un ise 170°C üzerinde sudaki çözünürlüğü artmaktadır ve çökel halinden uzaklaşmaktadır (Şekil 4.9).

Umut termal (8A) su örneğinde; yine Jips tüm sıcaklıklarda doymamış olarak yer almaktadır. Suda SiO₂ ve Barit'in 45°C üzerinde, Kalsedon'un 145°C üzerinde, Kuvars'ın ise 170°C üzerinde çözünürlükler artmaktadır. Anhidrit 130°C üzerinde çökel olarak yer almaktadır. Diğer örneklerin aksine Umut termal su örneğinde Stronsiyanit, Kalsit, Aragonit ve Dolomit suda tüm sıcaklıklarda doymamış olarak bulunmakta ve çökel oluşturuucu mineraller olarak belirlenmektedir (Şekil 4.10).

Saha genelinde Kalsit ve Aragonit mineralleri baskın karbonat minerallerdir. İnaltı ve Umut Termal örneklerinin “Bölüm 3.6 Kabuk Kayaç Örneklerinin Mineralojik Değerlendirilmesi”nde verilen XRD analizlerinde de, mineral doygunluk indeksi grafiğine benzer sonuçların çıktığı gözlenmektedir.

4.9 Jeotermometre Uygulamaları

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

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

Her jeotermometre kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıtır, bu nedenle bazı jeotermometreler yapılan hesaplamalarda afaki değerler vermiştir. Bu duruma yüzeyde ölçülen sıcaklık değerinden daha düşük akifer sıcaklığı veren K-Mg jeotermometresi bir örnektir. Amorf Silis (Fournier 1977), Amorf Silis (Amorsson, 1995), Alfa ve Beta Kristobali (Fournier 1977) ve Magonit (Gislason ve diğ., 1996) gibi Silis jeotermometreleri de benzer olumsuz sonuçları verdiğinden tablolarda gösterilmemiştir.

Jeotermometre hesaplamalarında ve grafik çizimlerinde Aquachem programı kullanılmıştır. Grafik ve tablo sonuçları dikkatli bir şekilde irdelenmiş ve yorumlamanın daha gerçekçi sonuçlara ulaşması hedeflenmiştir. Çalışma alanına ait rezervuar kayacın sıcaklığının belirlenmesinde SiO₂, Na-K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg-Li jeotermometrelerinden yararlanılmıştır.

4.9.1 Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Çalışma alanında seçilmiş olan sıcak su örneklerinin, akifer sıcaklıklarını hesaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal reaksiyonlar açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan biri; mineralin sıcaklığa bağlı

çözünürlüğünü temel alan jeotermometre yani Silis jeotermometreleri, diğeri ise çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion exchange) reaksiyonlarına dayanan jeotermometre yani katyon jeotermometreleridir (Na-K, Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Doğdu, 2004).

4.9.1.1 Silis Jeotermometreleri

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

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

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

Tablo 4.27 Silis (SiO₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

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

Çalışma alanında örnekleme yapılan sıcak ve mineralli suların analiz sonuçları kullanılarak silis jeotermometre hesaplamaları yapılmış ve hesaplamada kullanılan bağıntılar Tablo 4.27’de verilmiştir. Amorf Silis (Arnorsson, 1995), Silis (Kalsedon)-Silis (Kuars) (Fournier ve Potter, 1982), Magonit (Gislason ve diğ. 1996) ve Silis (Kalsedon) (mol/kg) jeotermometreleri ölçülen su sıcaklığından daha düşük ya da negatif değerler içerdğinden tabloya eklenmemiştir. Tablo 4.28’de görüldüğü üzere silis jeotermometreleri ile sıcak suların akifer sıcaklıkları 34°C ile 191°C arasında değışmektedir. İnceleme alanındaki sıcak suların akifer sıcaklıkları için SiO₂ (β Kristobalit), SiO₂ (Amorf silis), SiO₂ (α Kristobalit) jeotermometrelerinin daha güvenilir sonuçlar verdiğı görülmektedir.

4.9.1.2 Katyon Jeotermometreleri

Bir çözeltildeki iyonların aynı yüklü başka iyonlarla yer değıştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir. Na/K jeotermometresi, Na–K–Ca Jeotermometresi ve Magnezyum Düzeltmeli Na–K–Ca Jeotermometresi katyon jeotermometrelerine birer örnektir. Her jeotermometre bağıntısı kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıttğından, aynı element kullanılmasına karşın farklı formüller doğmuştur (Tablo 4.29). Mutlu 1999’a göre; katyon jeotermometreleri, belirli çözülmüş elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değışim reaksiyonlarını esas almaktadır. Oluşum birlikteliğı gösteren alkali

Tablo 4.28 Hesaplaması yapılan Silis (SiO₂) jeotermometre bağıntıları (Tüm derişimler mg/l'dir, kırmızı renkler; ölçülen sıcaklığın %50 fazlasına kadar değerleri, pembe renkler; ölçülen sıcaklığın %50-100 fazlası değerleri, açık pembe renkler; ölçülen sıcaklığın %100-200 fazlası olan değerleri göstermektedir)

İnceleme Sahası Örnek No		3A	3B	3C	3D	5A	5B	5C	5D	7A	7B	7C	7D	7E	8A	8B	8C	8D	8E	
Jeotermometre / Örnekleme Sıcaklığı °C		52°C	46 °C	48 °C	53 °C	67 °C	66 °C	74 °C	42 °C	68 °C	45 °C	76 °C	51 °C	42 °C	95 °C	83 °C	75 °C	66 °C	78 °C	
1	SiO ₂ (Amorf silis)	49	51	34	47	52	53	44	54	67	66	66	59	59	51	53	49	50	63	
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	122	125	106	120	126	126	117	128	142	140	141	133	134	125	126	122	123	138	
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	72	75	57	70	76	76	68	78	92	90	91	83	84	75	76	72	73	88	
4	SiO ₂ (Kalsedon)	150	153	132	147	154	154	144	156	171	170	171	162	163	153	154	149	151	167	
5	SiO ₂ (Kuvars)	172	175	156	170	176	176	167	178	191	190	191	182	183	175	176	172	173	187	
6	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	162	164	149	160	165	165	158	166	177	176	177	170	171	164	165	161	162	174	
7	SiO ₂ (Kalsedon kond.soğ.)	145	147	128	142	149	149	140	151	164	163	164	156	157	148	149	145	146	160	
8	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	140	142	126	138	143	143	136	145	157	156	156	149	150	142	143	140	141	153	
9	SiO ₂ (Kuvars buhar kavbı)	145	148	127	143	149	150	140	152	167	165	166	157	158	148	150	145	146	162	
10	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	166	169	149	164	170	170	161	172	187	185	186	177	178	169	170	166	167	182	
11	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	161	163	148	159	164	164	157	166	177	176	176	170	170	163	164	161	162	173	
	Minimum Değer	49	51	34	47	52	53	44	54	67	66	66	59	59	51	53	49	50	63	34
	Maksimum Değer	172	175	156	170	176	176	167	178	191	190	191	182	183	175	176	172	173	187	191

feldspatlar arasındaki Na^+ ve K^+ değişimi katyon jeotermometrelerinin esas alındığı temel için verilebilecek en güzel örnektir.

Na/K jeotermometreleri suda fazla miktarda Ca^{++} iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log (\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na})$ değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuçlar vermektedir (Özen, 2002).

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

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

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

Tablo 4.29 Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Na/K Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1	Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
2	Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
3	Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
4	Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976
5	Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979b
6	Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Nieva ve Nieva, 1987
7	Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
8	Na/K (mmol)	$t = 908 / (0.692 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979a

Tablo 4.29 (devamı) Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

9	K/Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log K^2/Mg) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
10	Li/Mg	$t = 2200 / (5.470 - \log (Li/Mg^{0.5})) - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
11	Na/Li	$t = 1590 / (0.779 + \log (Na/Li)) - 273.15$	Kharaka vd., 1982
12	Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t = 1000 / (0.389 + \log (Na/Li)) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
13	Na/Li (mmol) Cl>0.3	$t = 1195 / (0.130 + \log (Na/Li^{0.5})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
14	Na/Ca	$t = 1096.7 / 3.08 - \log (Na/Ca^{0.5}) - 273.15$	Tonani, 1980
15	K/Ca	$t = 1930 / 3.861 - \log (K/Ca^{0.5}) - 273.15$	Tonani, 1980

Tablo 4.30’da Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları verilmiştir. Suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre 48°C’den 283°C’ye kadar çok çeşitli akifer sıcaklık değerleri elde edilmiştir. 12 ve 13 nolu Na/Li, 14 nolu N/Ca ve 15 nolu K/Ca jeotermometreleri ile İnaltı Hamamı 7E ve Umut Termal 8D nolu sular, ölçülen su sıcaklığından daha düşük, negatif veya çok yüksek değerler içerdiğinden tabloya eklenmemiştir. İnceleme alanındaki sıcak suların kaynak çıkış sıcaklıkları göz önüne alındığında bu alandaki sıcak suların akifer sıcaklıkları için Na/K jeotermometrelerinin güvenilir sonuçlar vermediği görülmektedir.

4.9.1.3 Birleşik Jeotermometre Uygulamaları

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

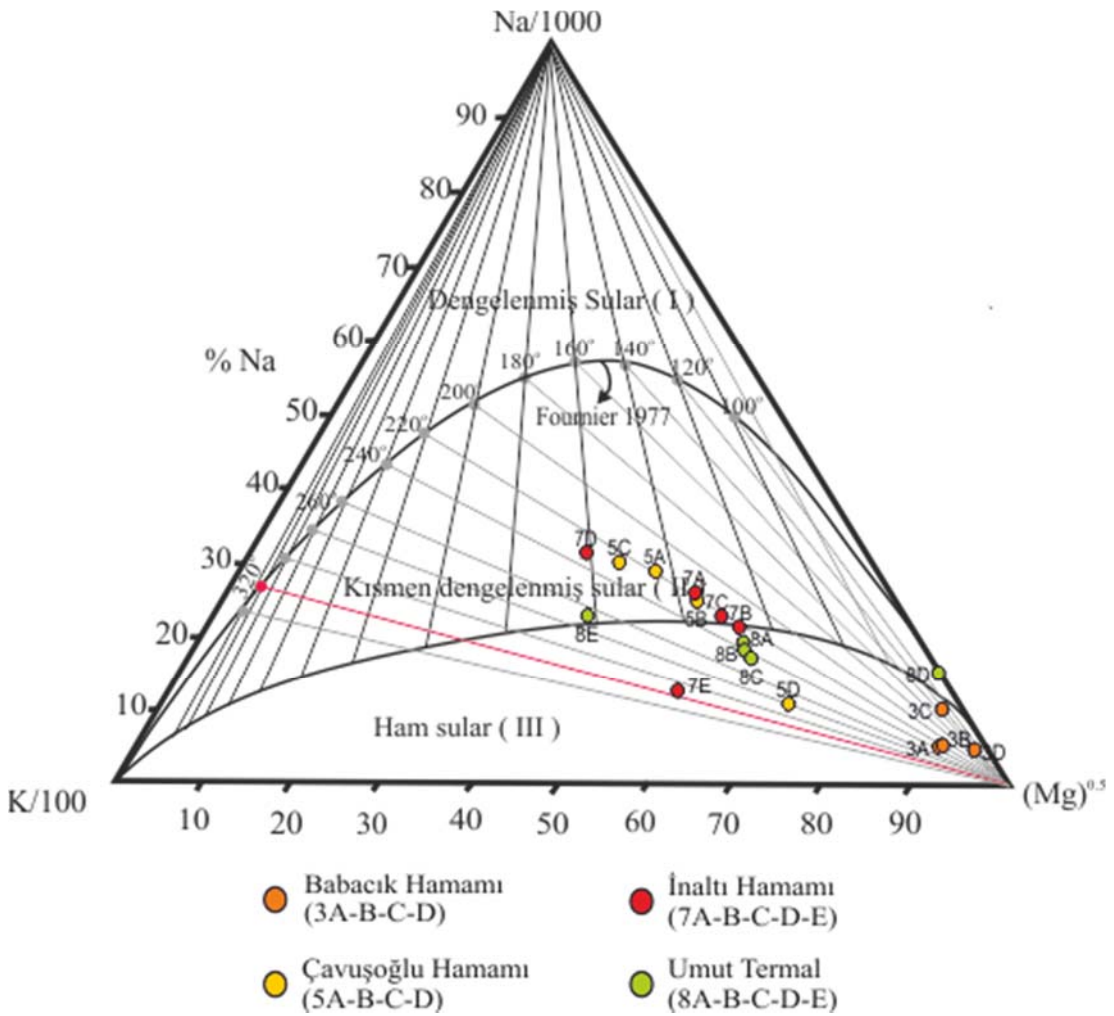
Giggenbach (1988)’ın hazırladığı bu diyagramı Fornier 1990 yılında revize etmiş ve diyagram şimdiki halini almıştır. Buna göre diyagram üç bölgeden oluşmaktadır. I. bölgede; Su kayaç ilişkisi bakımından dengedeki sular, II. Bölgede; Kısmen dengelenmiş sular ve III. Bölgede; ham sular bulunmaktadır. Fornier II. ve III. bölgelerin ayrımını, oluşturduğu “Olgunluk derecesi” (Maturity index) kavramına dayandırmıştır (Tablo 4.31). Olgunluk indeksi (MI) 2.0’ın altında bulunan sular ham sular sınıfına girerken (III. Bölge), olgunluk indeksi değeri 2.0’ın üzerinde bulunan

Tablo 4.30 Hesaplaması yapılan Na/K jeotermometre bağıntıları (Tüm derişimler mg/l'dir, kırmızı renkler; ölçülen sıcaklığın %50 fazlasına kadar değerleri, pembe renkler; ölçülen sıcaklığın %50-100 fazlası değerleri, açık pembe renkler; ölçülen sıcaklığın %100-200 fazlası olan değerleri göstermektedir)

İnceleme Sahası Örnek No		3A	3B	3C	3D	5A	5B	5C	5D	7A	7B	7C	7D	8A	8B	8C	8E	
Jeotermometre / Örnekleme Sıcaklığı °C		52	46	48	53	67	66	74	42	68	45	76	51	95	83	75	78	
1	Na/K	197	181	78	92	181	185	190	262	179	186	185	196	199	207	213	246	
2	Na/K	217	205	119	131	205	208	212	265	203	208	208	216	219	225	229	253	
3	Na/K	186	168	55	70	168	172	178	262	166	173	173	185	189	198	204	243	
4	Na/K	190	173	66	81	173	177	183	259	171	178	178	189	192	201	207	242	
5	Na/K	228	214	119	133	214	217	222	283	212	218	218	227	230	237	241	269	
6	Na/K	206	193	102	115	192	195	200	257	191	196	196	205	207	214	218	244	
7	Na/K	234	222	134	147	221	224	228	283	220	225	225	233	236	242	246	271	
8	Na/K*	202	185	78	92	185	189	194	270	183	190	189	200	204	212	218	253	
9	K-Mg	81	78	62	48	147	139	155	124	139	130	134	163	130	131	130	163	
10	Li/Mg	184	195	190	202	101	121	127	157	144	156	153	148	132	131	131	111	
11	Na/Li	228	208	174	209	232	204	168	206	161	159	159	131	207	214	219	215	
	Minimum Değer	81	78	55	48	101	121	127	124	139	130	134	131	130	131	130	111	48
	Maksimum Değer	234	222	190	209	232	224	228	283	220	225	225	233	236	242	246	271	283

sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmış, su-kaya ilişkisi dengede olan sular sınıfına girmektedir (I. ve II. Bölge). Burada bahsedilen olgunlaşma su-kaya arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir. Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için örneklerin mg/l değerlerinin diyagramda dengelenmiş sular sınıfına (I. bölge) düşmesi gerekmektedir.

$$\text{Olgunluk indeksi (MI)} = [0.315 \log (K^2/Mg)] - [\log (K/Na)] \text{ (Giggenbach, 1988)}$$



Şekil 4.11 İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki görünümü ve su kayaç denge sıcaklıkları

Tablo 4.31 Olgunlaşma indeksi (MI) değerleri

Örnek No	3A	3B	3C	3D	5A	5B	5C	5D	7A
Ölçülen Sıcaklık	52°C	46°C	48°C	53°C	67°C	66°C	74°C	42°C	68°C
(MI)	1.46	1.50	1.91	1.64	2.15	2.06	2.17	1.65	2.09

Örnek No	7B	7C	7D	7E	8A	8B	8C	8D	8E
Ölçülen Sıcaklık	45°C	76°C	51°C	42°C	95°C	83°C	75°C	66°C	78°C
(MI)	1.99	2.02	2.20	1.70	1.93	1.90	1.87	2.62	2.02

İnceleme sahasından örneklenen numunelerin kimyasal analiz sonuçları mg/l cinsinden hesaplanarak diyagrama yerleştirilmiştir. Buna göre çalışma alanında örnekleme yapılan sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları 80°C ile 320°C arasında değişmektedir (Şekil 4.11). Ancak suların Ham Sular (III. Bölge) ve Kısmen Dengelenmiş Sular (II. Bölge) sınıfında yer alıyor olması, elde edilen sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır (Giggenbach, 1988).

BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

İnceleme alanı Batı Anadolu temel kaya topluluklarından olan Menderes Masifi içinde yer alır. Menderes Masifi üzerine uyumsuzlukla ve sırasıyla Senozoyik yaşlı Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu, Kolonkaya Formasyonu ve Tosunlar Formasyonu gelir. En üstte Kuvaterner yaşlı Alüvyon ve Alüvyal Yelpazeler yer alır. Açılmaya bağlı gelişen horst graben tektonizması derin kırıklara ve kıtasal kabuğun incelmesine neden olmuştur. İncelen kabuktan kırıklar vasıtasıyla yükselen mağma, jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur. Kuvaterner yaşlı Alüvyon, Sazak Formasyonundaki ait silisifiye kireçtaşları ve Menderes Masifine ait bol kırık çatlaklı şist ve mermerler hazne kaya özelliği gösterirken, Kolonkaya ve Tosunlar Formasyonları Sazak formasyonunu ve Menderes masifini üzerleyerek örtü kaya özelliği gösterir.

Büyük Menderes Grabeni üzerinde yer alan birçok jeotermal sahadan bir tanesi olan Tekkehamam jeotermal sahası, Büyük Menderes Grabeni'nin güneyindeki ana fay boyunca gelişmiştir.

Denizli ili yıllık yağış dağılımı incelendiğinde (1970-2012) son üç yıldaki yağışın ortalama değer üzerinde seyrettiği görülmektedir. Bu verilere göre Denizli ili en düşük yağış ortalamasını 2008 yılında almıştır. Denizli'de yıllık toplam yağış ortalaması 551,1 mm'dir. En az yağış Ağustos (8,9 mm), en fazla yağış ise Aralık (81,5 mm) ayında olur. Yapılan hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın %34.5'i yeraltına süzölmektedir.

1950 ve 2005 yılları arasındaki yağış ve sıcaklık eklenik sapma grafiğine bakıldığında ise yağış eğrisinin neredeyse her sekiz dokuz yılda bir periyodik bir salınım yaptığı, yıllık sıcaklık ortalamasının ise 1993'ten itibaren düzenli bir şekilde artış gösterdiği saptanmıştır. Aralık ayı sonundan Nisan ayı başlarına kadar geçen sürede zemin rezervi ve yağış parametrelerine bakıldığında su fazlası dönem olarak göze çarpmaktadır. Nisan ayından Mayıs ayına kadar geçen süre ise su yedeğinin

kullanıldığı dönemdir. Mayıs ayından Ekim ayına kadar geçen süre zemin rezervinin tükendiği aylardır, bu aylarda tarımsal su açığı gözlenmektedir.

İnceleme sahasında 18 tanesi termal, 7 tanesi soğuk su olmak üzere 7 farklı su noktasından yağışlı ve kurak dönemde toplam 25 adet su örnekleme yapılmıştır. Tekkehamam sıcak suları incelendiğinde genel olarak Na-SO₄-HCO₃ su tipinde olduğu saptanmıştır. Babacık hamamı 3A ve 3B nolu sıcak suları genel fasiyesin yanında; Na-Ca-SO₄-HCO₃ su tipi sergilemektedir. Umut termal karşısı göllenmeden alınan su örneği ise evaporasyona bağlı olarak Na-SO₄ su tipindedir. Çalışma alanında Büyük Menderes Nehrinden alınan ve diğer yüzey soğuk suları baskın iyon içermeyen su tipindedirler.

Bölgeden alınan soğuk suların pH değerleri; 7,75 ile 9,00 arasında ve bazik karakter sergilerken sıcak suların pH değerleri ise 6,10 ile 8,36 arasındadır ve sadece Babacık Hamamı Kaynağı (3A,B,C,D) suları asidik karakter sergilemektedir.

İçme suyu sınıflamasına göre sadece 4 nolu örnek olan Çelik Çeşme Kaynağı'nın suyu potasyum miktarı (19.33>12 mg/l) dışında, majör iyon miktarlarına göre içilebilir sınıfta diğer sular içilemez sınıftadır.

Sularının analiz sonuçları EC'ye göre değerlendirilmiş ve örnek alınan sulardan 2 nolu Büyük Menderes Nehri Ahmetli köprüsü suyu ile 4 nolu Çelik Çeşme Kaynak suyu çok iyi-iyi, Büyük Menderes Nehri 1A ve 1D nolu sular kullanılabilir, Büyük Menderes Nehri 1B ve 1C nolu sular ile Umut termal 8C nolu kuyunun suları şüpheli ve diğer tüm suların kullanılamaz olduğu tespit edilmiştir.

Duraylı izotop analiz sonuçlarına göre termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -57,52 ile -49,96 arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -7,87 ile -5,09 arasında değişim göstermektedir. $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ sonuçlarına göre sular global meteorik kökenlidir. Çalışma alanındaki termal suların trityum içerikleri 0,01 ile 2,74 TU arasındadır.

Piper sınıflamasında yöredeki sıcak sular, sodyum sülfatlı sular karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan (7 nolu alan) sınıfındadırlar. Soğuk sular ise iyonların

hiç birisi %50'yi geçmeyen karışık sular (9 nolu alan) sınıfına girerler. Diğer sulardan farklı olarak sadece 4 nolu örnek olan Çelik Çeşme Kaynağı karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan sular (6 nolu alan) sınıfındadır.

Schoeller diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların kalsiyum ve magnezyum miktarlarında farklılık olmasına rağmen, sodyum+potasyum, klorür, sülfat değerleri birbirine çok yakındır ve saha genelinde Na-SO₄-HCO₃ fasiyesinin baskınlığı gözlenmektedir. 4 no'lu Çelik Çeşme kaynağı örneğinin kaynak suyu olmasına, 6 no'lu Gölet suyunun ise evaporasyon sonucu iyon derişimi artışına bağlı olarak diğer sulardan farklılık göstermektedir.

Alınan tüm örneklerdeki çeşitli minerallerin doygunluk indeksi değerlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri incelendiğinde kalsit ve aragonit mineralleri su ile doygun özelliktedir (SI>0). Amorf silis tüm diyagramlarda doygunluk altı değerler vermekte olup su bu minerali çözündürücü özelliktedir. Ayrıca çalışma alanındaki kuyuların boru dış ve iç çeperlerinden alınan kabuk örneklerinin XRD sonuçları incelendiğinde Kalsit ve Aragonit mineralleri saha genelinde baskın karbonat minerallerdir ve çökeltme eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Sahadaki sıcak suların kullanımları sırasında üretim ve iletim hatlarında bu mineraller çökeltelerak kabuklaşma problemine neden olabilir ve kabuklaşmaya karşı uygun inhibitörlerin kullanılması gereklidir.

Silis jeotermometreleri ile sıcak suların akifer sıcaklıkları 34°C ile 191°C arasında değişmektedir. Na/K jeotermometrelerinde sıcak suların akifer sıcaklıkları 48°C 283°C aralığında hesaplanmıştır. İnceleme alanındaki sıcak suların kaynak çıkış sıcaklıkları ve açılan jeotermal kuyuların akifer sıcaklıkları göz önüne alındığında bu alandaki sıcak suların akifer sıcaklıkları için SiO₂ (β Kristobalit), SiO₂ (Amorf silis) ve SiO₂ (α Kristobalit) jeotermometrelerinin daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir.

Yapılan örneklemelerin kimyasal analiz sonuçları diyagrama yerleştirilerek birleşik jeotermometre hesabı yapılmış ve sıcak suların 80°C ile 320°C arasında hazne kaya sıcaklığına sahip olduğu gözlenmiştir. Ancak suların ham sular-kısmen dengelenmiş

sular sınıfında yer alıyor olması bu suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini göstermektedir (Giggenbach, 1988).

İnceleme alanı Kızıldere-Tekkehamam jeotermal sahası içinde yer almaktadır. Bu sahanın tipik özelliklerini gösterir. Şiddetli tektonik (Faylı), yoğun alterasyon emareli, kükürt ve sıcak su çıkışları olan bir bölgedir. Bölge soğuk yeraltısuyu potansiyeli bakımından çok sınırlı bir alandır. Keson kuyular bu bölgede çok sığda, çok azda olsa soğuk suyun var olduğunu göstermektedir. Kızıldere jeotermal sahadaki mevcut jeotermal potansiyelin Tekkehamam jeotermal sahasına göre daha yüksek olmasına karşın, Tekkehamam sahasında da sığ derinliklerde orta-yüksek sıcaklıklı sular elde edilebilmektedir. Böylelikle daha düşük maliyetlerle seracılık, termal turizm, kurutma veya konut ısıtma amaçlarına yönelik yatırımlar yapılabilir.

Çalışma sahasında mevcut jeotermal kuyularda re-enjeksiyon yapılmadığı gözlenmiştir. Umut termal karşısı göllenmenin bu şekilde atıl sulardan oluştuğu düşünülmektedir. Bu sular jeotermal sisteme döndürülmediği gibi, yüksek tuzluluk nedeniyle çevreye de zarar vermektedir. Atık termal suların kullanıldıktan sonra tekrar sisteme kazandırılması için re-enjeksiyon uygulaması mutlaka yapılmalı ve sistemin sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- Alçiçek, H., Varol, B., Özkul, M., (2007). Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli basin of SW Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, 202, 598-599.
- APHA-AWWA-WPCF (1975). Standard methods for the examination of water and wastewater. 14th edition. *American public health association*. Washington. 1193 p.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., (1983). The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. The United States of America, 567-577.
- Back, W., (1966). Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of atlantic coastal plain. *U. S. Geological Survey Professional Paper* 498-A.
- Barka, A.A., Reilinger, R., Şaroğlu, F., and Şengör, A.M.C., (1995)a. The Isparta Angle: Its importance in the neotectonics of the Eastern Mediterranean Region. *In, Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region*, İzmir-TURKEY, 3-19.
- Başkan, E. ve Canik, B., (1983). Türkiye sıcak ve mineralli sular haritası, *Ege Bölgesi Maden Tetkik Arama Enstitüsü Yayınları*, No: 189.
- Bozkurt E. ve Sözbilir H. (2004). “Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey” *Geological Magazine*, 141, 1, 63-79.
- Bozkurt, E. ve Park R.G., (1994). Southern Menderes massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey, *Journal of the Geological Society*, 151, 213–216.

- Bozkurt, E., (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.
- Burçak, M., Yıldırım, N., ve Kılıç, A.R., (2005). Gediz (Kütahya) sahasının jeotermal özellikleri ve ısı kaynağı araştırmaları, 58. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri özleri kitabı*, 1-2.
- Can, A., (1966). Menderes Masifi Buldan Bölgesine Ait Jeolojik Etüd, *Maden Tetkik Arama Rapor No: 5192*, Ankara
- Çifter, C. ve Sayın, M., (2002). İzotopların hidrolojide kullanılması. 1. *Ulusal hidrolojide izotop tekniklerinin kullanılması sempozyumu*, 21-25 Ekim 2002, 1-14, Adana.
- D'Amore, F. ve Arnórsson, S., (2000). Geothermometry. S. Arnórsson, (Ed.). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use (152-199). *International Atomic Energy Agency*, Vienna, 351.
- Dewey, J.F. (1988). Extensional collapse of orogens. *Tectonics*, 7, 1123-1139.
- Dewey, J.F., ve Şengör, A.M.C., (1979). Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonic in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin*, 90, 84-92.
- Doğdu, M.Ş., (2004). Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, *Maden Tetkik Arama*, 2005.
- Erguvanlı, K.ve Yüzer, E. (1973). Yeraltı suları jeolojisi (hidrojeolojisi) *İstanbul Teknik Üniversitesi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü*, Maçka, İstanbul.
- Fetter, C.W., (1994). Applied Hydrogeology, 3rd edition. *Macmillan College Publishing, Inc.*, New York, 616.

- Fouillac, C. ve Michard, G., (1981). Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. *Geothermics*, 55-70.
- Fournier, R.O., (1977a). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In: Proceedings of the *Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Fournier, R.O., (1977b). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. In: Proceedings of the *Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 199-210.
- Fournier, R.O., (1979). "A revised equation for the Na/K geothermometer" *Geothermal Resources Council Transactions*, 3, 221-224.
- Fournier, R.O., (1990). The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. *Geothermal Resources Council Transactions*, 14, 1421-1425.
- Fournier, R.O. ve Truesdell, A.H. (1973). An Empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37, 515-525.
- Gat. J.R., Carmi, I. (1970). Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. *Journal of Geophysical Research*, 75, 3039-3048.
- Giggenbach, W.F., (1988). Geothermal solute equilibria. Deviation of the Na-K-Mg-Ca geothermometers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., (1991). Chemical techniques in geothermal exploration. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (Co-ordinator D'Amore, F). *United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) / United Nations Development Programme (UNDP) Centre on Small Energy Resources*, Rome, 119-144.

Gökgöz, A., (1994). Pamukkale Karahayıt-Gölemezli Hidrotermal Karstının Hidrojeolojisi, Doktora Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü., 263 s. ,Isparta (yayımlanmamış).

Gökgöz, A., (2004). Buldan Yöresi (Denizli) Metamorfik Kayaçlarının Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 96 s., Denizli.

Grancy, W.C., (1937). "Lignitstudie in vilayet Denizli und östlich Nazilli", Bull. Mineral Res. Expl. Direct. *Maden Tetkik Arama Rapor No: 168*, 25, Ankara, Turkey.

IAH (The International Association of Hydrogeologists). Uluslararası Hidrojeologlar Birliği.

Işık, V., Tekeli, O., (2001). Late orogenic crustal extension in the northern Menderes massif (western Turkey): Evidences for metamorphic core complex formation. *International Journal of Earth Sciences* 89, 757-765.

Işık, V., Tekeli, O., Cemen, I., (1997). Mylonitic fabric development along a detachment surface in northern Menderes massif, western Anatolia, Turkey. *The Geological Society of America*, Annual Meeting, Abstracts with programs 29, A-220.

Karahan, Ç., Kara, İ., Özkan, R., Ceyhan, S., (2000). Aydın- Alangüllü –Bozköy sıcaksu sondajı (A-2) Kuyu bitirme raporu. *Maden Tetkik Arama derleme no 10469*.

Karamandere, İ.H., Aksoy N, Çiçekli K., (1989). Aydın Alangüllü(A-1) sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu, *Maden Tetkik Arama derleme no 8725*.

Kastelli, M., (1971). "Denizli-Sarayköy-Çubukdağ-Karacasu alanının jeolojik incelemesi", *Maden Tetkik Arama Rapor No: 4573*, 32, Ankara, Turkey.

- Kharaka, Y. K., Lico, M. S. ve Law, L. M., (1982). Chemical geothermometers applied to formation waters Gulf of Mexico and California Basins, *American Association of Petroleum Geologists*, 66, 558.
- Khraka, Y.K. ve Mariner, R.H., (1989). Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. *Springer Verlag*, 99-117.
- Koçyiğit, A., (2000). Güneybatı Türkiye'nin depremselliği, *Batı Anadolu'nun depremselliği Sempozyumu*, 30-38.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., ve Bozkurt, E., (1999). Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey, *Journal of Geological Society*, London, 156, 605-616.
- Kumsar, H., Aydan, Ö., Tano, H. ve Çelik, S.B., (2008). 23-26 Temmuz 2003 Buldan (Denizli) depremlerinin mühendislik incelemesi. Pamukkale Üniversitesi, Ekin Yayınevi, 118 s (in Turkish).
- Le Pichon, X., ve Angelier, J., (1979). The Hellenic arc and trench systems: a key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area, *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) (2013). Denizli ili yıllık yağış dağılımı, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DENIZLI>
- Nebert, K., (1956). Denizli Pliosen teressübatı ve bunların Batı Anadolu tatlı su Neojen stratigrafisi için ehemmiyeti", *Maden Tetkik Arama sayı: 51*, 7-20.
- Nieva, D. & Nieva, R., (1987). Development in geothermal energy in Mexico, Par 12- A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. *Heat recovery systems and CHP*, 7, 243-258.

- Özen, T., (2002). Dikili sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeolojik incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 57-59.
- Paton, S.M., (1992). The relationship between extension and volcanism in western Turkey, the Aegean Sea and central Greece, PhD thesis, Cambridge University.
- Piper, A.M., (1953). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *United States Geological Survey, Ground Water, No:12*.
- Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R., Gessner, K., (2003). Tectonic denudation of a Late Cretaceous–Tertiary collisional belt regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of western Turkey. *Geological Magazine* 140 (4), 1–21.
- Schoeller, H., (1962). Les eaux souterraines, Masson et cie, Paris.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., (1991). Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine* 128, 155–166.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Çemen, İ., (2004). Complete Tertiary exhumation history of the Menderes massif, western Turkey: an alternative working hypothesis. *Terra Nova* 16, 358–363.
- Seyitoğlu, G., Scott, B.C. ve Rundle, C.C., (1992). Timing of the Cenozoic extensional tectonics in western Turkey, *The Geological Society of London*, 149, 533-538.
- Soliman, V.S., de Jesus, S.C. Basmayor, L.O. Dioneda, N.W. (1997). Coastal Resource Management Issues in San Miguel Island, Tabaco Albay. *R&D Journal Vo. X December 997*, 12-20.
- Sözbilir, H., (1994). Kaklık (KD Denizli) Çevresindeki Mesozoyik – Tersiyer İstiflerinin Stratigrafisi ve Çökelme Ortamları. Isparta, *VIII Mühendislik Haftası Bil. Özetleri*, Sayı. 3.

- Sun, S., (1990). "Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları", *Maden Tetkik Arama Rapor No: 9985, 92*, Ankara, Turkey.
- Şahinçi, A., (1986). Yeraltı suları jeokimyası, *MM/JEO – 86*, İzmir.
- Şahinçi, A., (1991). Doğal suların jeokimyası. İzmir : Reform matbaası, 546-548.
- Şahinçi, A., (1991a). Doğal suların jeokimyası. İzmir : Reform matbaası, 548.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., (1981). Tethyan Evolution of Turkey: A *Plate Tectonic Approach. Tectonophysics, 75*, 181-241.
- Şengör, A.M.C., (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance, *The Geological Society of London 136*, 269-282.
- Şengör, A.M.C., (1987). Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. In: Coward M.P., Dewey J.F., Hancock P.L. (Eds.), *Continental Extensional Tectonics, Geological Society Special Publication no. 28, Geological Society, London*, 575–589.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., Akkök, R., (1984). Timing of tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for PanAfrican basement in Turkey. *Tectonics 3*, 693–707
- Şengör, A.M.C., ve Kidd, W.S.F., (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish Iranian Plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics, 55*, 361-376.
- Şengör, A.M.C., ve Yılmaz, Y., (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics, 75*, 181-241.

- Şengün, R., (2011). Yenicekent ve Gölemezli çevresinin hidrojeolojisi bitirme tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi (Yayınlanmamış). 13-54.
- Şimşek, Ş., (2005). Research on Isotope Techniques for Exploitation of Geothermal Reservoirs in Western Turkey, Use of Isotope Techniques to Trace the Origin of Acidic Fluids in Geothermal Systems, *IAEA TECDOC Publication, (2005)*, 155-169.
- Şimşek, Ş., (1984). Denizli-Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, *Maden Tetkik Arama Raporu, No:7846*. (Yayınlanmamış).
- Şimşek, Ş., (1984). Denizli Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi, Doktora Tezi. 145-161.
- Şimşek, Ş., (1985). Geothermal model of Denizli, Saraykoy-Buldan area. *Geothermics 14*, 393–417.
- Şimşek, Ş., (2003). Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes graben, Turkey. *Geothermics, 32*, 669-678.
- Şimşek, Ş., Yıldırım, N., Gülgör, A., (2005). Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power project, Turkey. *Geothermics 34*, 239–256.
- Tarcan, G., (2002). Jeotermal su kimyası, jeotermalde yerbilimsel uygulamalar, yaz okulu ders kitabı, JENERUM Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın No:306, 198-245.
- Tonanni, F., (1980). Some remarks of the application of geochemical techniques in geothermal exploratin. Proceedings, *Advances in European geothermal research second symposium, Strasbourg*, 428-443.

Truesdell, A. H., (1976). Summary of section III geochemical techniques in geothermal exploration. In: Proceedings. II: United Nations symposium on the development and use of geothermal resources. San Francisco, 1975, Washington D.C., *U. S. Government Printing Office*.

TS-266 (1997). Türk Standartları İçme Suları. UDK 663.7.543, 32.

Verge, N.J. (1993). The exhumation of the Menderes Massif metamorphic core complex of western Anatolia. *Terra Abstracts* 5, 249.

Westaway, R., (1993). Neogene evolution of the Denizli region of Western Turkey. *Journal of Structural Geology*, 15, 37-53.

Wilcox, L.V., (1955). Classification and Use of Irrigation Water. United States Department of Agriculture. 969-19.

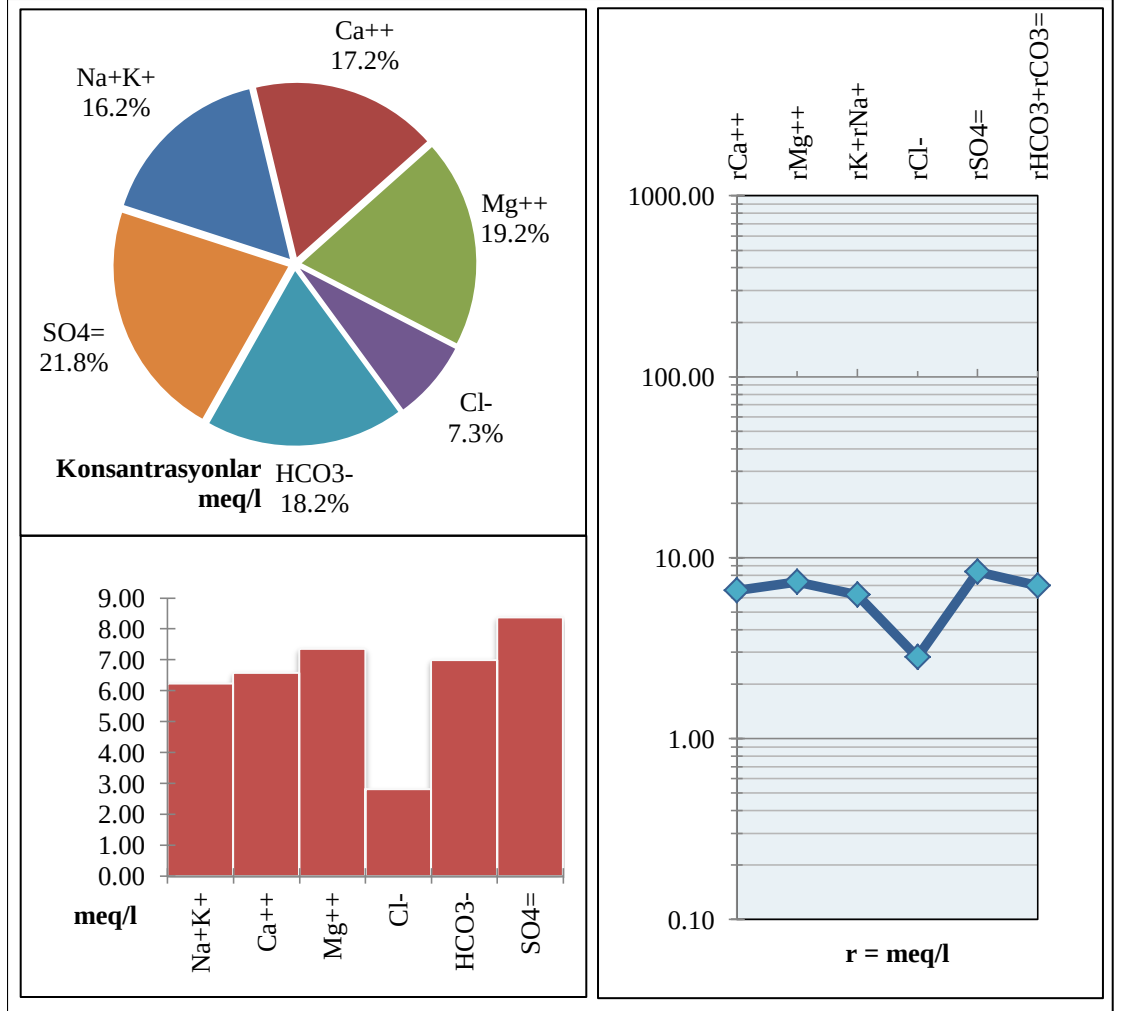
WHO (World Health Organisation). Dünya Sağlık Örgütü İçme ve Kullanma suları standardı.

EKLER

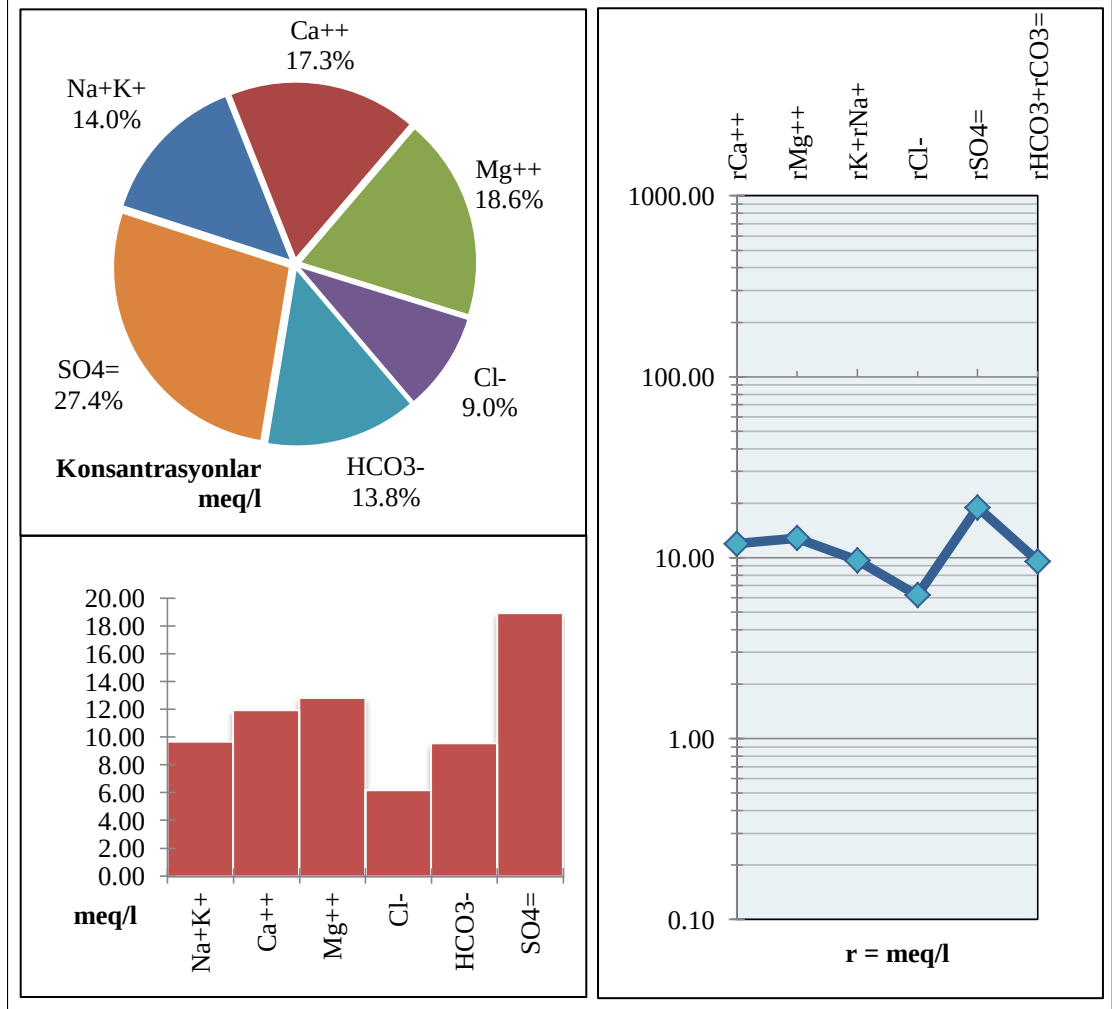
EK - I

SOĞUK SULARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

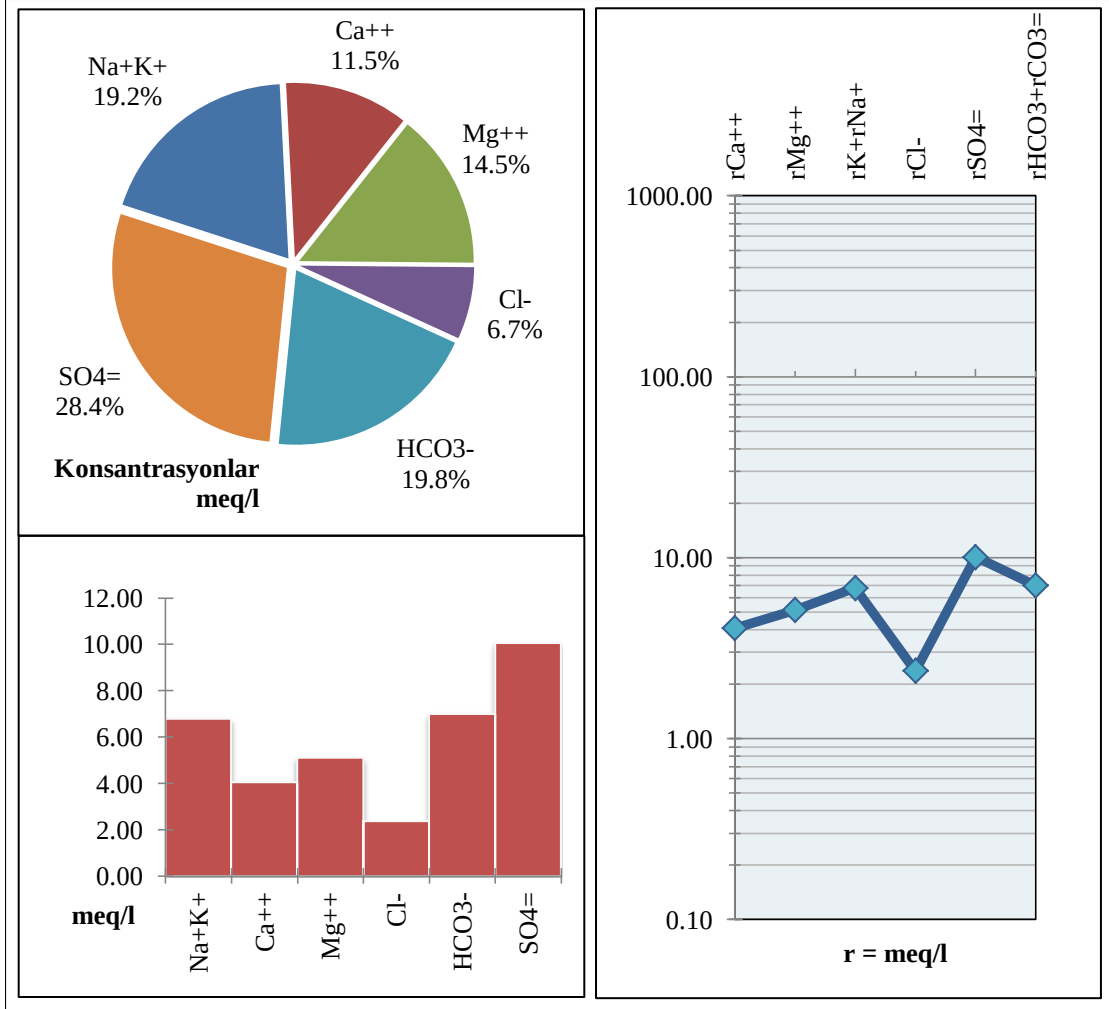
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			1A / 35S 0653487-4201427 128m.			pH(-logH)		7.75
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			21.09.2010	B.Menderes Nehri		EC(μmho/cm)		1427
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	138	6.00	29.74	37.4	0.00600	0.0030	0.85	0.0051
K ⁺	9	0.23	1.15	2.5	0.00023	0.0001	0.84	0.0002
Ca ⁺⁺	132	6.59	32.64	35.8	0.00329	0.0066	0.54	0.0018
Mg ⁺⁺	90	7.36	36.47	24.3	0.00368	0.0074	0.57	0.0021
Cl ⁻	100	2.82	15.49	10.8	0.00282	0.0014	0.84	0.0024
HCO3 ⁻	427	7.00	38.48	46.0	0.00700	0.0035	0.85	0.0059
SO4 ⁼	402	8.38	46.03	43.3	0.00419	0.0084	0.52	0.0022
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				20.182	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			368.6
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				18.194	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			929.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				38.376	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1297.6
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.030	% e (Hata Yüzdesi)			5.18
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				2.273	Sertlik (Fr)			69.74
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.183	rCa/rMg Oranı			0.89
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.937	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.80
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.982	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.16
Fo (Köpürme Katsayısı)				390.3	Si (mg / l)			13.649
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			0.617



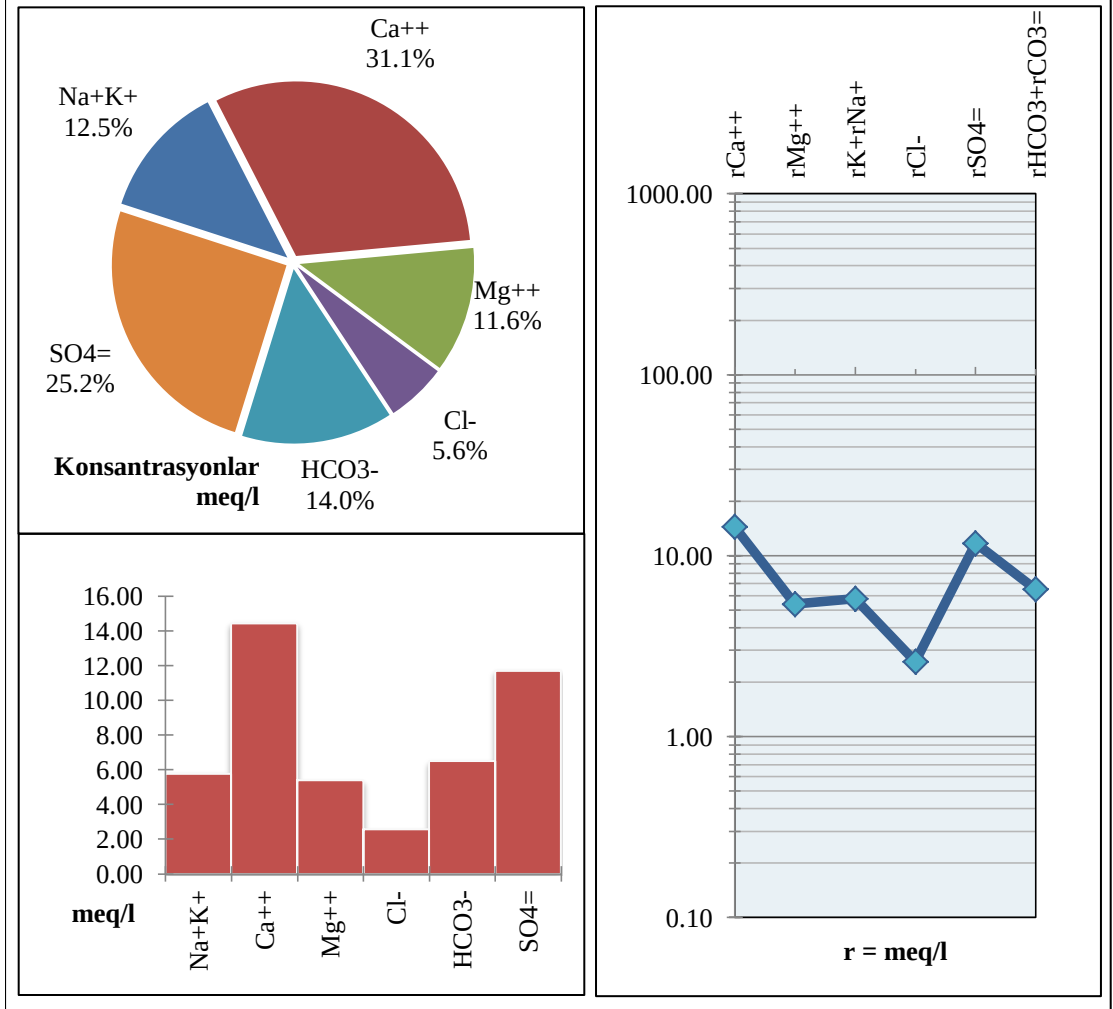
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			1B / 35S 0653487-4201427 128m.			pH(-logH)		7.8
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	B.Menderes Nehri		EC(μmho/cm)		2311
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	214	9.31	27.04	34.3	0.00931	0.0047	0.81	0.0075
K ⁺	14	0.36	1.06	2.3	0.00036	0.0002	0.80	0.0003
Ca ⁺⁺	239	11.93	34.64	38.3	0.00596	0.0119	0.47	0.0028
Mg ⁺⁺	156	12.83	37.26	25.0	0.00641	0.0128	0.50	0.0032
Cl ⁻	220	6.20	17.87	12.9	0.00620	0.0031	0.80	0.0050
HCO3 ⁻	583	9.56	27.55	34.1	0.00956	0.0048	0.81	0.0077
SO4 ⁼	909	18.94	54.58	53.1	0.00947	0.0189	0.43	0.0041
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				34.428	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			623.2
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				34.696	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			1712.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				69.124	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			2335.2
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.056	% e (Hata Yüzdesi)			-0.39
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				2.646	Sertlik (Fr)			123.78
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.218	rCa/rMg Oranı			0.93
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.295	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.34
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.337	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.09
Fo (Köpürme Katsayısı)				605.5	Si (mg / l)			20.847
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			1.086



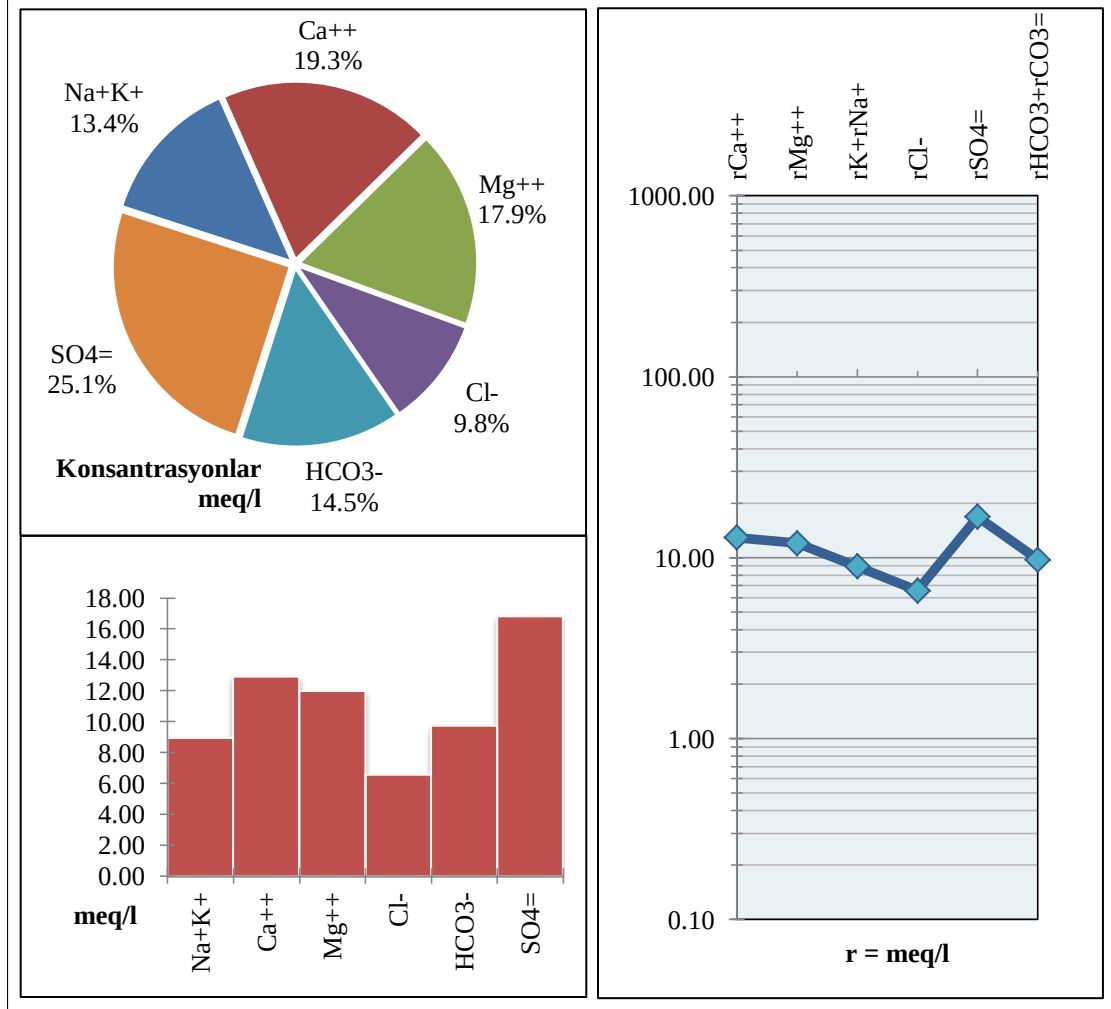
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			1C / 35S 0653173-4201515 134m.			pH(-logH)		7.8
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			06.12.2011	B.Menderes Nehri		EC(µmho/cm)		2170
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ²	F	AC
Na ⁺	79	3.42	21.37	22.2	0.00342	0.0017	0.85	0.0029
K ⁺	132	3.38	21.15	37.2	0.00338	0.0017	0.85	0.0029
Ca ⁺⁺	82	4.07	25.44	23.0	0.00203	0.0041	0.56	0.0011
Mg ⁺⁺	62	5.12	32.04	17.6	0.00256	0.0051	0.58	0.0015
Cl ⁻	84	2.37	12.19	8.5	0.00237	0.0012	0.85	0.0020
HCO ₃ ⁻	427	7.00	36.03	43.0	0.00700	0.0035	0.85	0.0060
SO ₄ ⁼	483	10.06	51.79	48.6	0.00503	0.0101	0.53	0.0027
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				15.989	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			354.3
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				19.430	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			994.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				35.419	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1348.3
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.027	% e (Hata Yüzdesi)			-9.72
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				1.594	Sertlik (Fr)			45.95
rCl / (rSO₄+rHCO₃) Oranı				0.139	rCa/rMg Oranı			0.79
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.791	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			-0.91
SIId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.861	LogPCO₂(CO₂) Kısmi Basıncı			-2.20
Fo (Köpürme Katsayısı)				475.6	Si (mg / l)			17.903
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Ca-Na-Mg-SO ₄ -HCO ₃					B⁺⁺⁺ (mg / l)			0.990



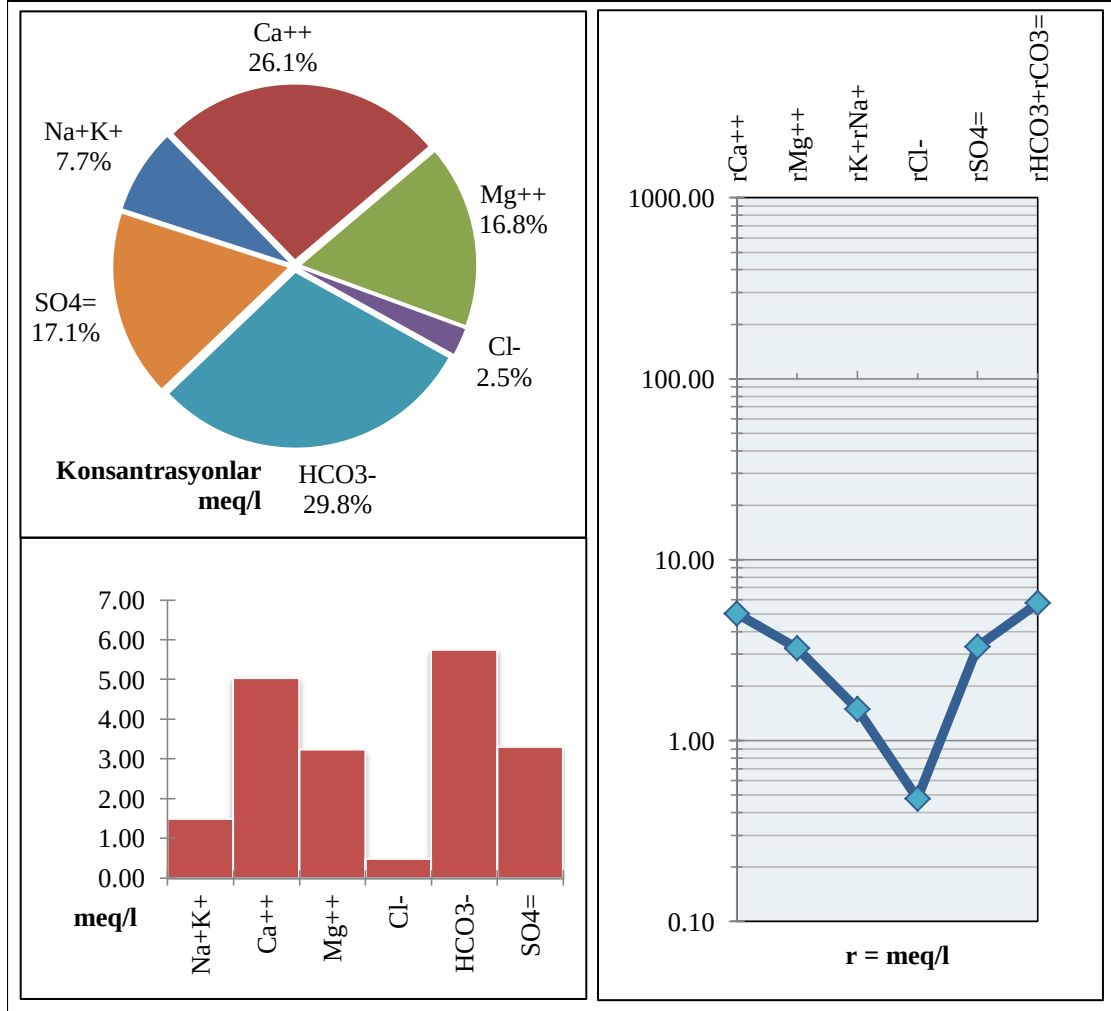
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			1D / 35S 0653173-4201515 134m.			pH(-logH)		7.88
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			19.03.2012	B.Menderes Nehri		EC(μmho/cm)		1590
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	131	5.71	22.31	26.9	0.00571	0.0029	0.83	0.0048
K ⁺	3	0.07	0.27	0.6	0.00007	0.0000	0.82	0.0001
Ca ⁺⁺	289	14.42	56.34	59.1	0.00721	0.0144	0.51	0.0037
Mg ⁺⁺	66	5.39	21.08	13.4	0.00270	0.0054	0.54	0.0015
Cl ⁻	92	2.59	12.46	8.8	0.00259	0.0013	0.82	0.0021
HCO3 ⁻	397	6.51	31.27	37.8	0.00651	0.0033	0.83	0.0054
SO4 ⁼	562	11.71	56.26	53.5	0.00585	0.0117	0.48	0.0028
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				25.597	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			488.6
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				20.810	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			1051.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				46.407	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1539.6
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.039	% e (Hata Yüzdesi)			10.32
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				1.814	Sertlik (Fr)			99.08
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.142	rCa/rMg Oranı			2.67
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.343	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.37
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.152	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.33
Fo (Köpürme Katsayısı)				359.5	Si (mg / l)			29.027
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			1.500



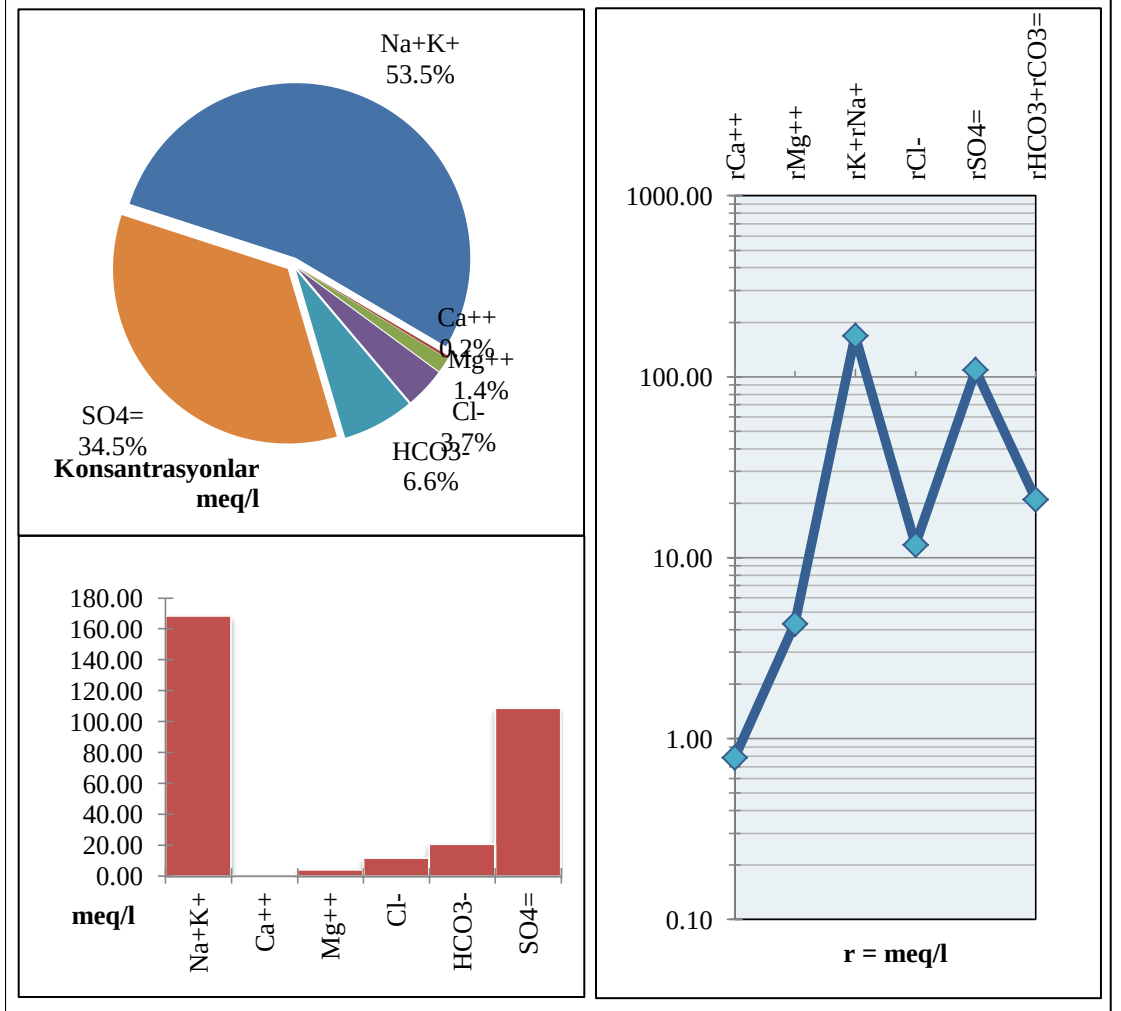
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			2 / 35S 0668425-4202385 137m.			pH(-logH)		8.32
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	B.Menderes Nehri		EC(μmho/cm)		213
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	199	8.66	25.54	32.3	0.00866	0.0043	0.81	0.0070
K ⁺	12	0.30	0.90	1.9	0.00030	0.0002	0.80	0.0002
Ca ⁺⁺	259	12.92	38.13	42.1	0.00646	0.0129	0.47	0.0031
Mg ⁺⁺	146	12.01	35.43	23.7	0.00600	0.0120	0.51	0.0031
Cl ⁻	233	6.57	19.83	14.3	0.00657	0.0033	0.80	0.0053
HCO3 ⁻	594	9.74	29.40	36.4	0.00974	0.0049	0.81	0.0079
SO4 ⁼	807	16.81	50.77	49.4	0.00841	0.0168	0.43	0.0036
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				33.891	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			615.9
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				33.117	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			1634.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				67.008	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			2249.9
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.054	% e (Hata Yüzdesi)			1.15
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				2.452	Sertlik (Fr)			124.65
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.247	rCa/rMg Oranı			1.08
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.863	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.34
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.873	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.60
Fo (Köpürme Katsayısı)				560.4	Si (mg / l)			26.971
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Mg-Ca-Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			0.636



Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			4 / 35S 0653893-4201150 132m.			pH(-logH)		7.2
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	Çelik Çeşme		EC(μmho/cm)		712
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	23	1.00	10.23	12.6	0.00100	0.0005	0.88	0.0009
K ⁺	19	0.50	5.07	10.6	0.00050	0.0002	0.88	0.0004
Ca ⁺⁺	101	5.04	51.55	55.3	0.00252	0.0050	0.63	0.0016
Mg ⁺⁺	39	3.24	33.14	21.6	0.00162	0.0032	0.64	0.0010
Cl ⁻	17	0.48	5.02	3.2	0.00048	0.0002	0.88	0.0004
HCO3 ⁻	351	5.75	60.28	66.6	0.00575	0.0029	0.88	0.0051
SO4 ⁼	159	3.31	34.70	30.2	0.00166	0.0033	0.61	0.0010
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				9.776	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			182.7
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				9.546	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			527.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				19.322	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			709.7
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.015	% e (Hata Yüzdesi)			1.19
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				0.492	Sertlik (Fr)			41.40
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.053	rCa/rMg Oranı			1.56
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.264	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1.19
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.184	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1.67
Fo (Köpürme Katsayısı)				100.7	Si (mg / l)			9.723
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄				B ⁺⁺⁺ (mg / l)			0.085	



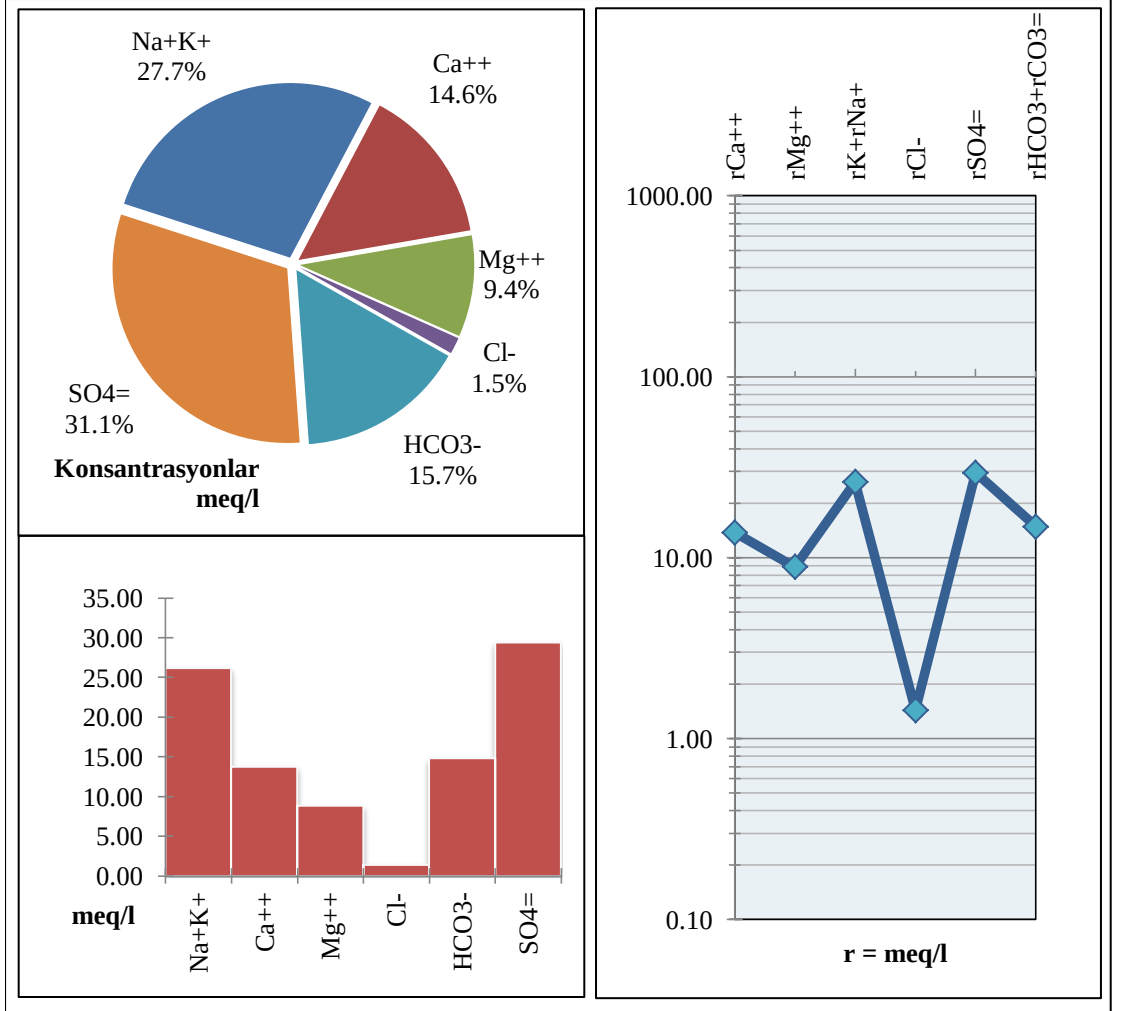
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			6 / 35S 0660735-4199243 134m.			pH(-logH)		9
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			21.09.2010		Göl	EC(µmho/cm)		12240
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	3646	158.59	91.38	89.0	0.15859	0.0793	0.71	0.1132
K ⁺	385	9.87	5.69	9.4	0.00987	0.0049	0.69	0.0068
Ca ⁺⁺	16	0.78	0.45	0.4	0.00039	0.0008	0.32	0.0001
Mg ⁺⁺	52	4.31	2.48	1.3	0.00215	0.0043	0.38	0.0008
Cl ⁻	418	11.78	8.33	6.0	0.01178	0.0059	0.69	0.0081
HCO ₃ ⁻	1273	20.87	14.75	18.4	0.02087	0.0104	0.71	0.0149
SO ₄ ⁼	5223	108.81	76.92	75.5	0.05441	0.1088	0.26	0.0141
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				173.550	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				141.463	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				315.013	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.214	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				99.385	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.091	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.434	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.848	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				10602.2	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



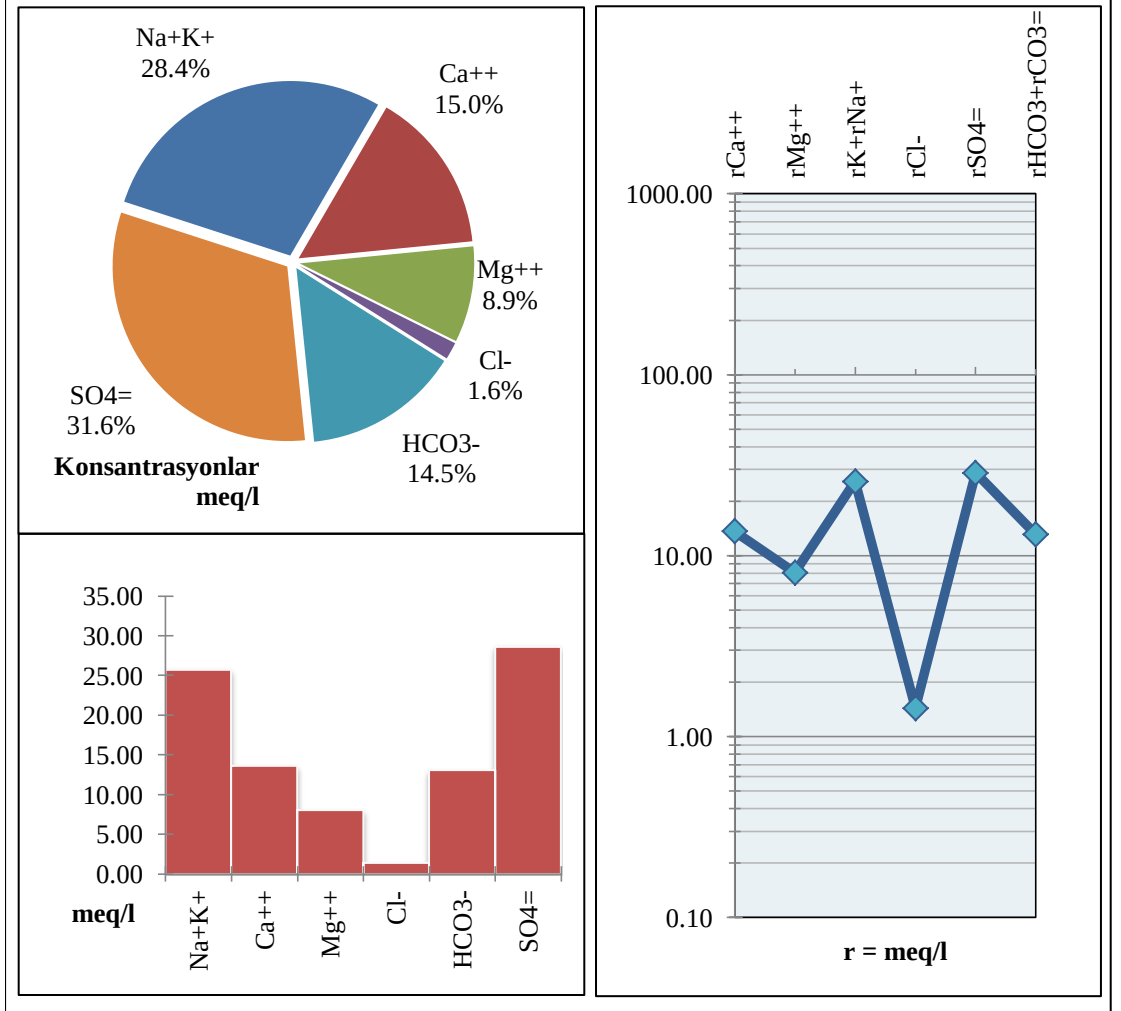
EK - II

SICAK SULARIN HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

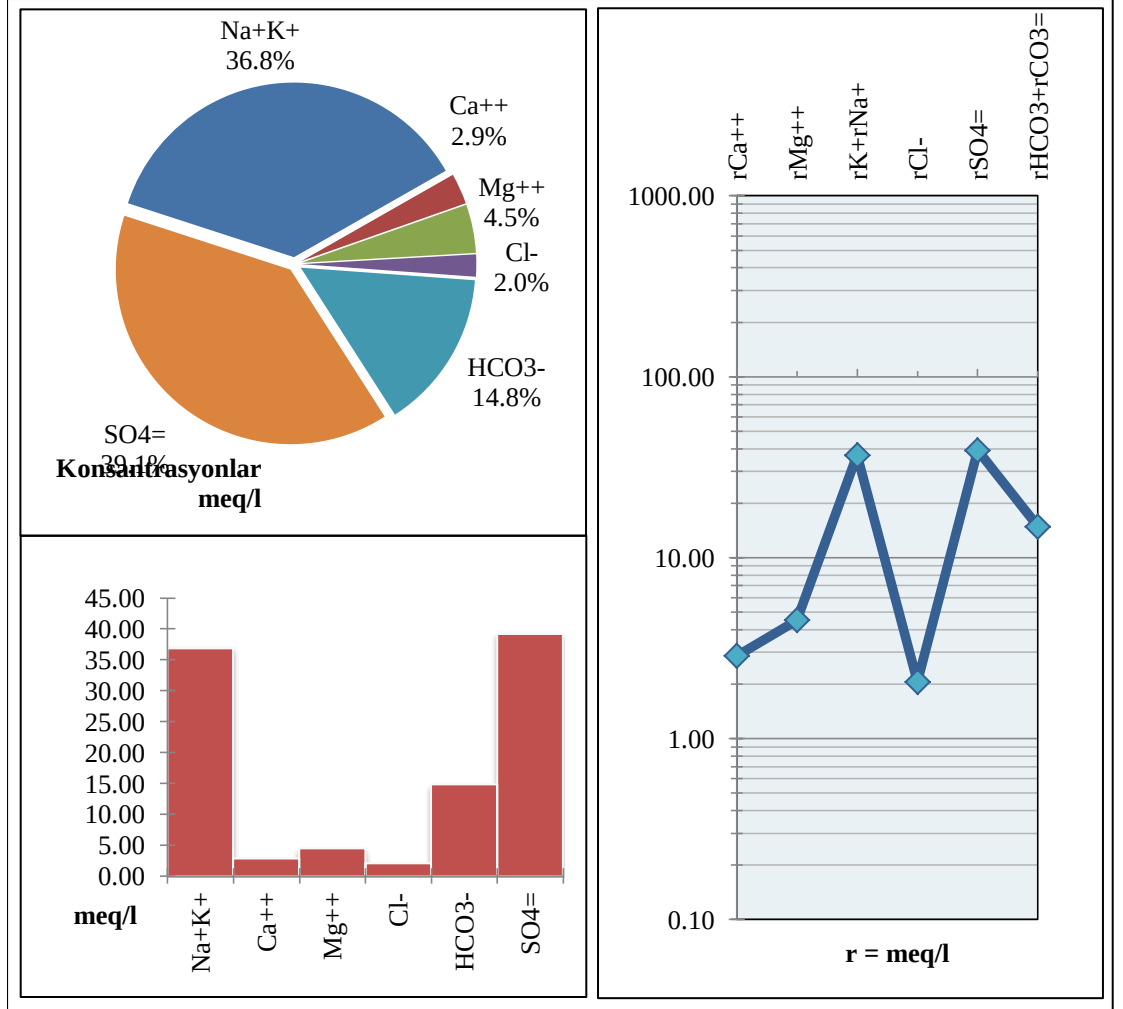
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			3A / 35S 0655975-4199998 139m.			pH(-logH)		6.1
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			21.09.2010	Babacık Hamamı		EC(μmho/cm)		3080
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	568	24.71	50.58	56.2	0.02471	0.0124	0.79	0.0196
K ⁺	58	1.49	3.04	5.7	0.00149	0.0007	0.78	0.0012
Ca ⁺⁺	276	13.77	28.19	27.3	0.00689	0.0138	0.44	0.0030
Mg ⁺⁺	108	8.88	18.18	10.7	0.00444	0.0089	0.48	0.0021
Cl ⁻	51	1.44	3.15	2.2	0.00144	0.0007	0.78	0.0011
HCO ₃ ⁻	904	14.82	32.43	38.2	0.01482	0.0074	0.79	0.0117
SO ₄ ⁼	1413	29.44	64.42	59.7	0.01472	0.0294	0.39	0.0058
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				48.848	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1010.0
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				45.695	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2368.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				94.542	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3378.0
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.073	% e (Hata Yüzdesi)			3.33
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				7.341	Sertlik (Fr)			113.27
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.032	rCa/rMg Oranı			1.55
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.192	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.15
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.258	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-0.21
Fo (Köpürme Katsayısı)				1647.8	Si (mg / l)			83.062
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			17.151



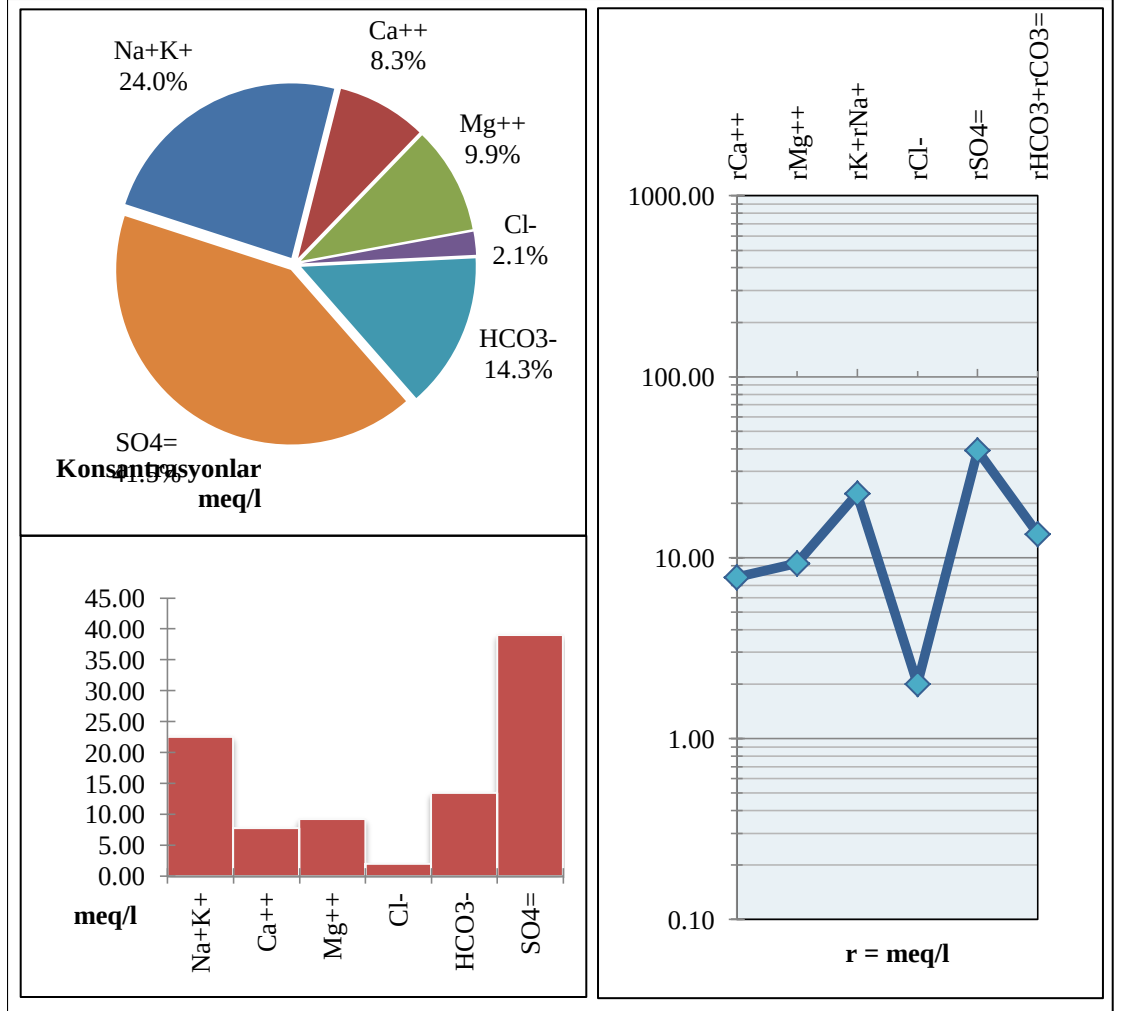
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			3B / 35S 0655975-4199998 139m.			pH(-logH)		6.41
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	Babacık Hamamı		EC(μmho/cm)		3150
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	562	24.45	51.59	57.2	0.02445	0.0122	0.79	0.0194
K ⁺	49	1.26	2.65	5.0	0.00126	0.0006	0.78	0.0010
Ca ⁺⁺	273	13.62	28.75	27.8	0.00681	0.0136	0.44	0.0030
Mg ⁺⁺	98	8.06	17.01	10.0	0.00403	0.0081	0.48	0.0019
Cl ⁻	51	1.44	3.33	2.3	0.00144	0.0007	0.78	0.0011
HCO3 ⁻	798	13.08	30.32	35.9	0.01308	0.0065	0.79	0.0104
SO4 ⁼	1374	28.63	66.35	61.8	0.01431	0.0286	0.40	0.0057
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				47.384	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			982.0
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				43.144	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2223.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				90.528	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3205.0
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.070	% e (Hata Yüzdesi)			4.68
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				7.424	Sertlik (Fr)			108.41
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.034	rCa/rMg Oranı			1.69
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.066	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.16
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.020	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-0.57
Fo (Köpürme Katsayısı)				1613.6	Si (mg / l)			86.334
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-Ca-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			10.631



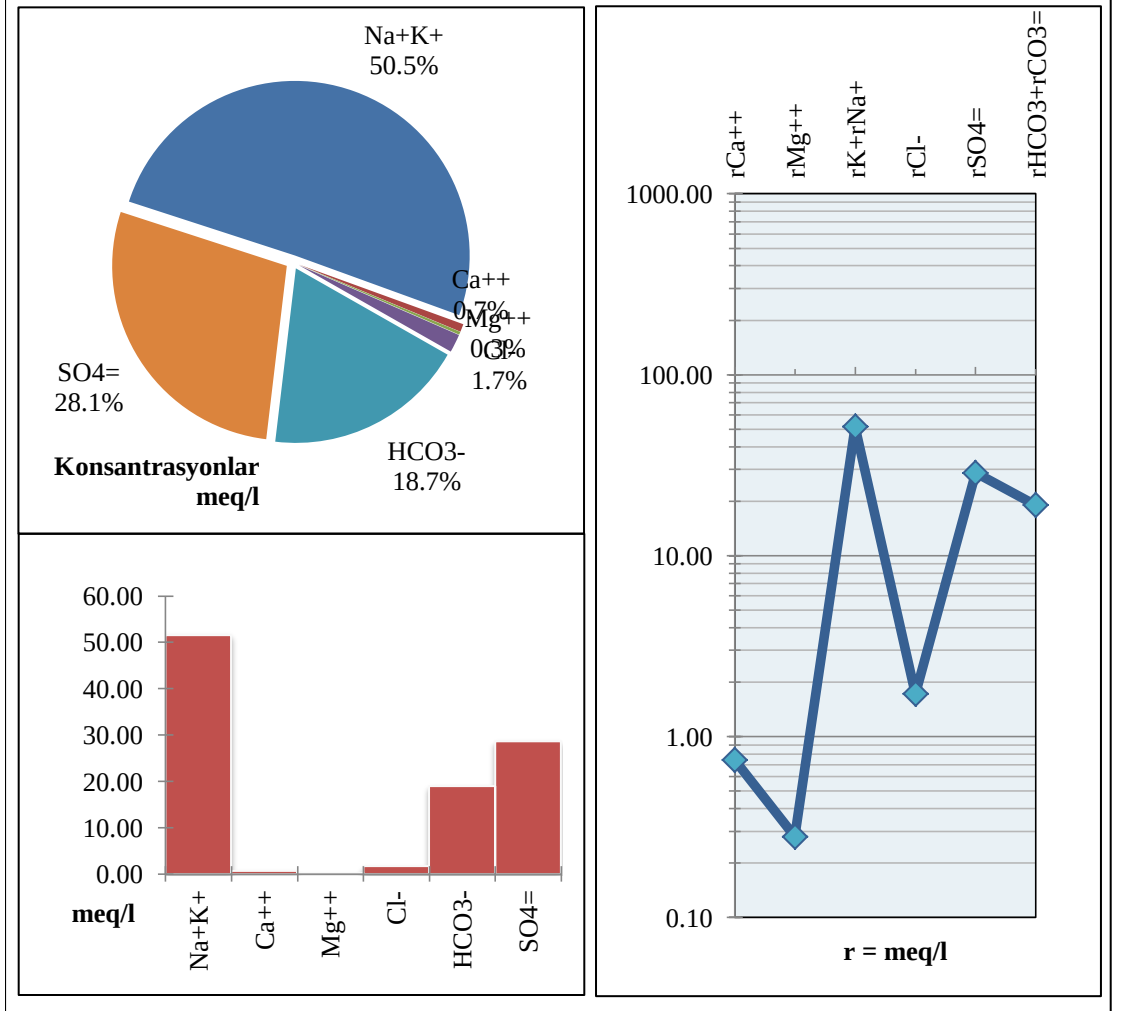
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			3C / 35S 0655979-4200002 135m.			pH(-logH)		6.3
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			06.12.2011	Babacık Hamamı		EC(µmho/cm)		3460
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	838	36.44	82.31	86.5	0.03644	0.0182	0.79	0.0288
K ⁺	18	0.46	1.05	1.9	0.00046	0.0002	0.78	0.0004
Ca ⁺⁺	57	2.86	6.47	5.9	0.00143	0.0029	0.44	0.0006
Mg ⁺⁺	55	4.51	10.18	5.7	0.00225	0.0045	0.48	0.0011
Cl ⁻	73	2.06	3.67	2.6	0.00206	0.0010	0.78	0.0016
HCO3 ⁻	905	14.84	26.44	31.6	0.01484	0.0074	0.79	0.0117
SO4 ⁼	1883	39.23	69.90	65.8	0.01961	0.0392	0.39	0.0077
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				44.276	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			968.1
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				56.123	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2861.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				100.399	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3829.1
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.073	% e (Hata Yüzdesi)			-11.80
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				18.983	Sertlik (Fr)			36.85
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.038	rCa/rMg Oranı			0.64
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.674	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.71
SId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.546	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-0.41
Fo (Köpürme Katsayısı)				2295.5	Si (mg / l)			64.692
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			8.550



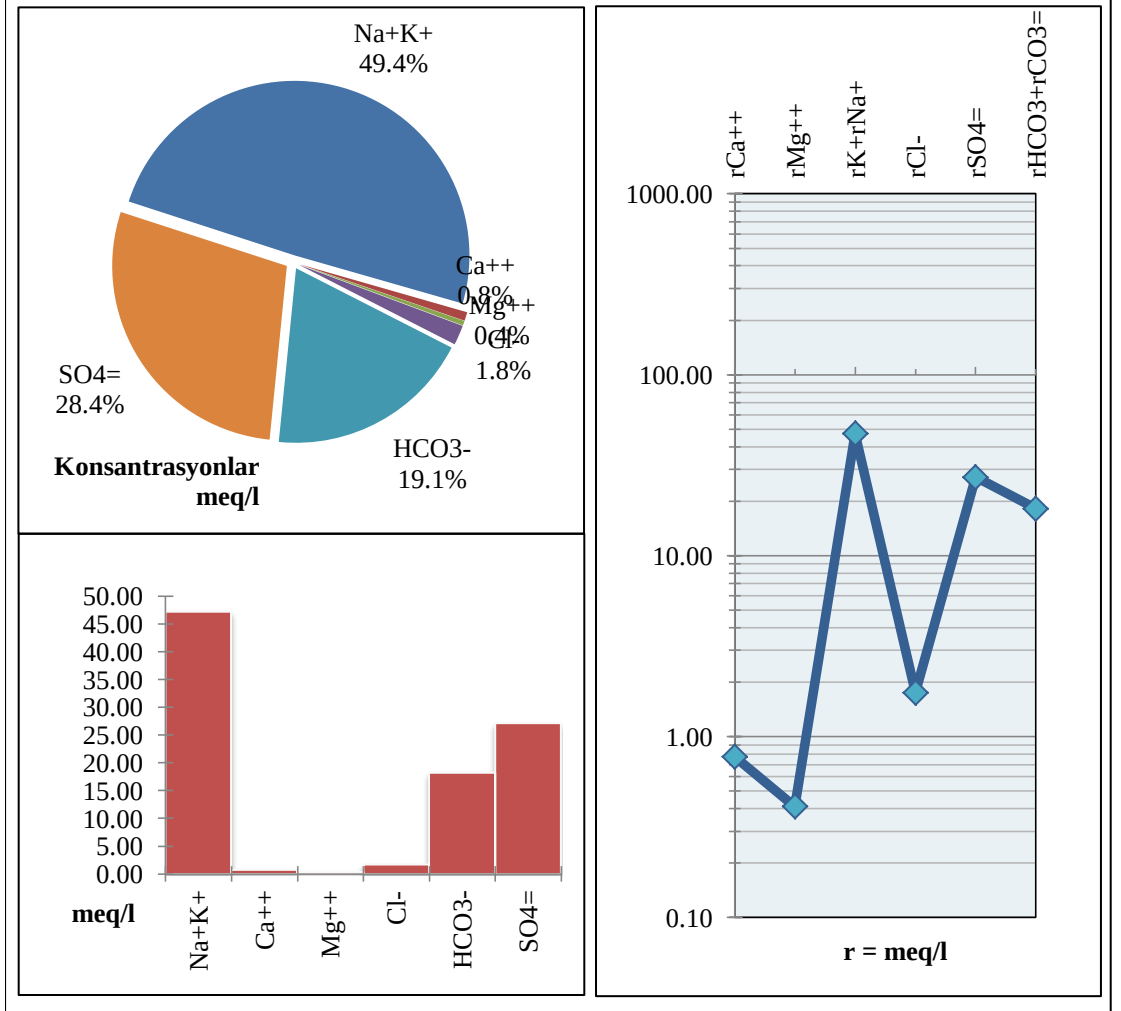
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			3D / 35S 0655979-4200002 135m.			pH(-logH)		6.24
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			19.03.2012 Babacık Hamamı			EC(µmho/cm)		3350
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	510	22.18	55.99	64.3	0.02218	0.0111	0.79	0.0175
K ⁺	14	0.36	0.90	1.8	0.00036	0.0002	0.78	0.0003
Ca ⁺⁺	156	7.78	19.65	19.7	0.00389	0.0078	0.43	0.0017
Mg ⁺⁺	113	9.29	23.46	14.3	0.00465	0.0093	0.47	0.0022
Cl ⁻	71	2.00	3.67	2.6	0.00200	0.0010	0.78	0.0016
HCO ₃ ⁻	822	13.48	24.73	29.7	0.01348	0.0067	0.79	0.0106
SO ₄ ⁼	1873	39.02	71.60	67.7	0.01951	0.0390	0.39	0.0076
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				39.619	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				54.497	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				94.117	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.075	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				7.592	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.038	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.344	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.277	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				1403.3	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



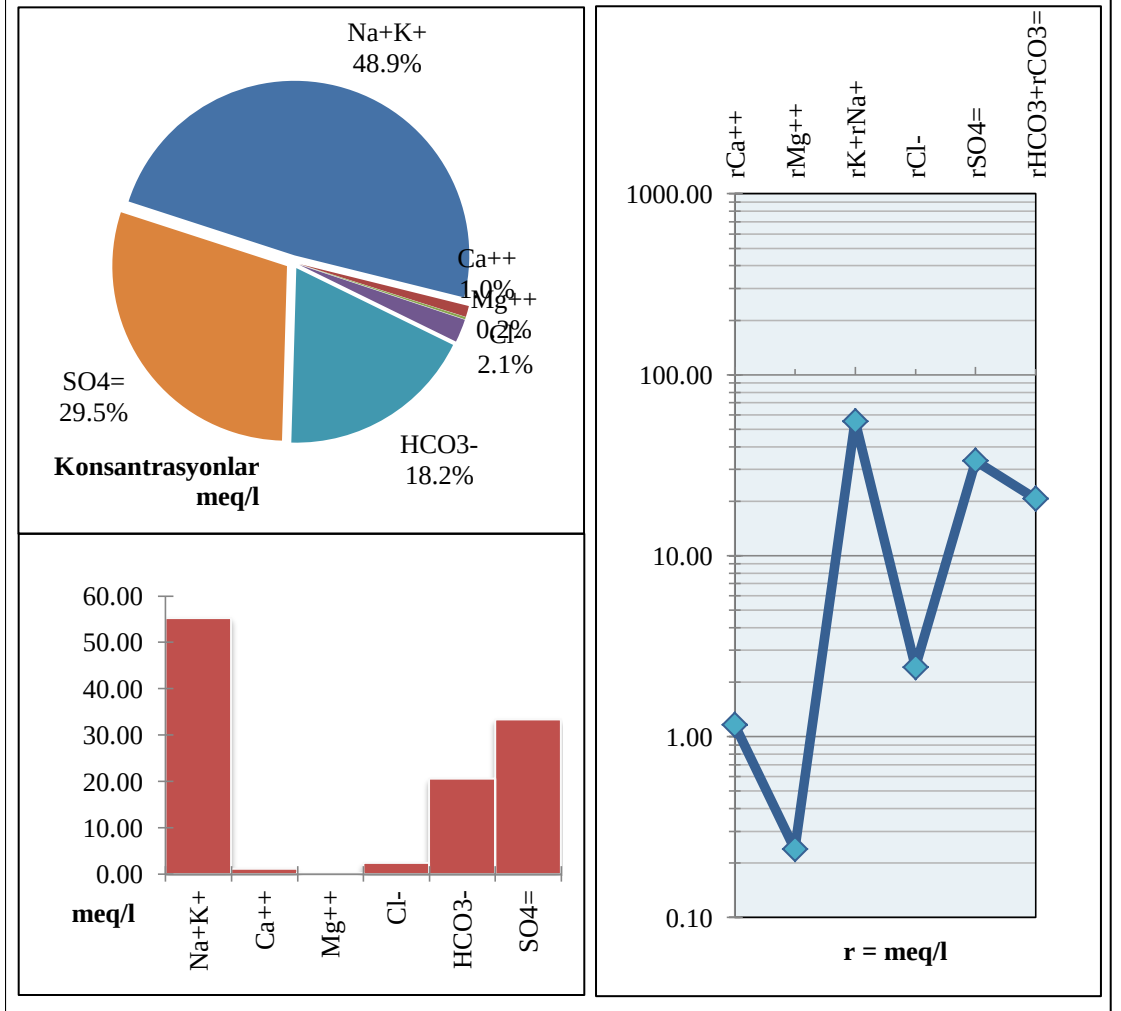
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			5A / 35S 0658707-4199525 136m.			pH(-logH)		7.2
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			21.09.2010	Çavuşoğlu Hamamı		EC(μmho/cm)		3870
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1128	49.06	93.28	90.7	0.04906	0.0245	0.80	0.0392
K ⁺	98	2.51	4.78	7.9	0.00251	0.0013	0.79	0.0020
Ca ⁺⁺	15	0.74	1.41	1.2	0.00037	0.0007	0.45	0.0002
Mg ⁺⁺	3	0.28	0.53	0.3	0.00014	0.0003	0.49	0.0001
Cl ⁻	61	1.72	3.48	2.3	0.00172	0.0009	0.79	0.0014
HCO3 ⁻	1161	19.03	38.50	44.7	0.01903	0.0095	0.80	0.0152
SO4 ⁼	1377	28.69	58.03	53.0	0.01434	0.0287	0.41	0.0058
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				52.601	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1244.3
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				49.440	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2599.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				102.040	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3843.3
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.066	% e (Hata Yüzdesi)			3.10
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				68.600	Sertlik (Fr)			5.12
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.036	rCa/rMg Oranı			2.66
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.234	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1.40
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.419	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1.20
Fo (Köpürme Katsayısı)				3238.0	Si (mg / l)			87.783
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			27.361



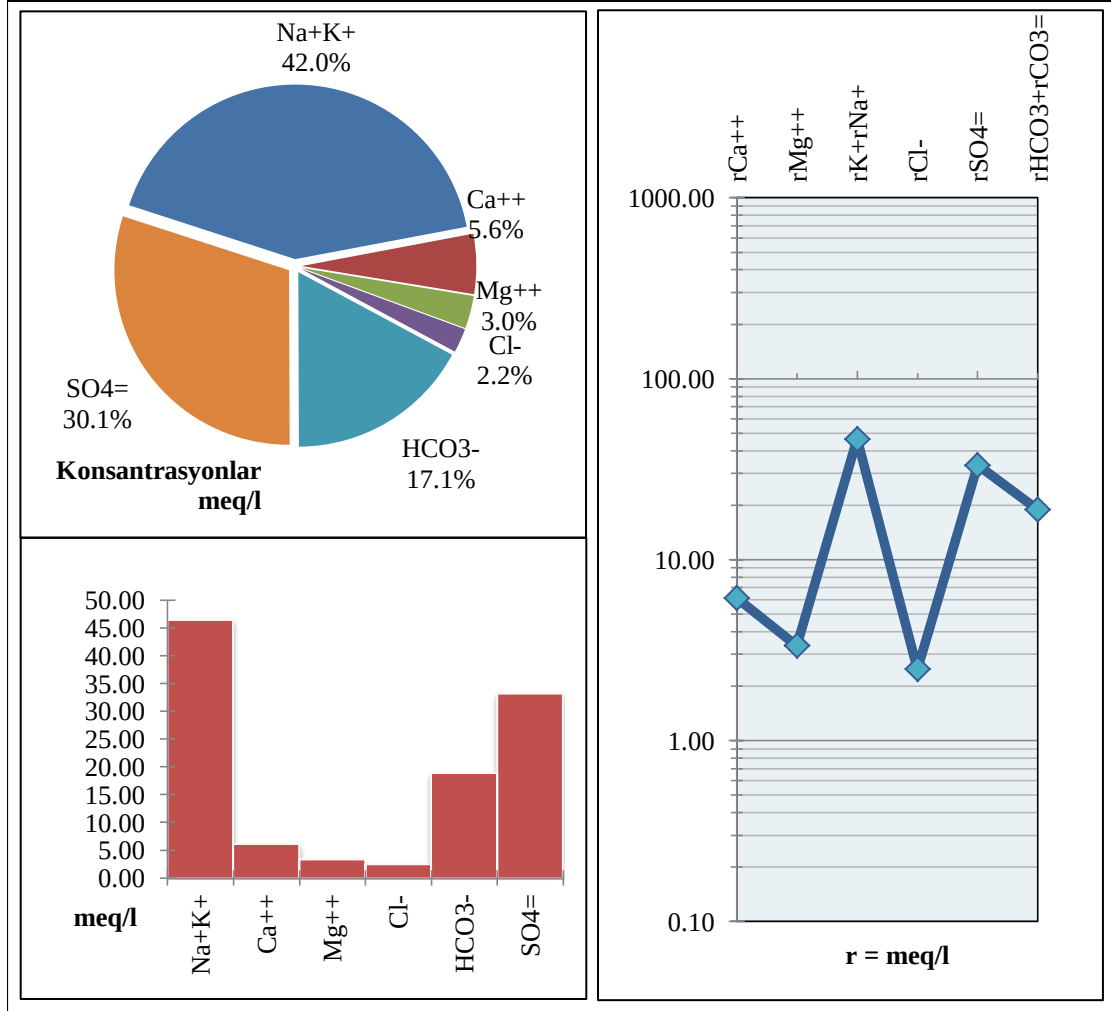
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			5B / 35S 0658707-4199525 136m.			pH(-logH)		7.5
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	Çavuşoğlu Hamamı		EC(μmho/cm)		3900
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ²	F	AC
Na ⁺	1030	44.80	92.62	90.1	0.04480	0.0224	0.80	0.0360
K ⁺	93	2.38	4.93	8.1	0.00238	0.0012	0.79	0.0019
Ca ⁺⁺	16	0.77	1.60	1.4	0.00039	0.0008	0.46	0.0002
Mg ⁺⁺	5	0.41	0.85	0.4	0.00021	0.0004	0.49	0.0001
Cl ⁻	62	1.75	3.71	2.5	0.00175	0.0009	0.79	0.0014
HCO ₃ ⁻	1110	18.20	38.66	44.9	0.01820	0.0091	0.80	0.0146
SO ₄ ⁼	1302	27.13	57.63	52.6	0.01356	0.0271	0.42	0.0056
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				48.371	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				47.069	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				95.441	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.062	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				58.213	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO₄+rHCO₃) Oranı				0.039	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.073	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SIId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.038	LogPCO₂(CO₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				2963.7	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B⁺⁺⁺ (mg / l)			



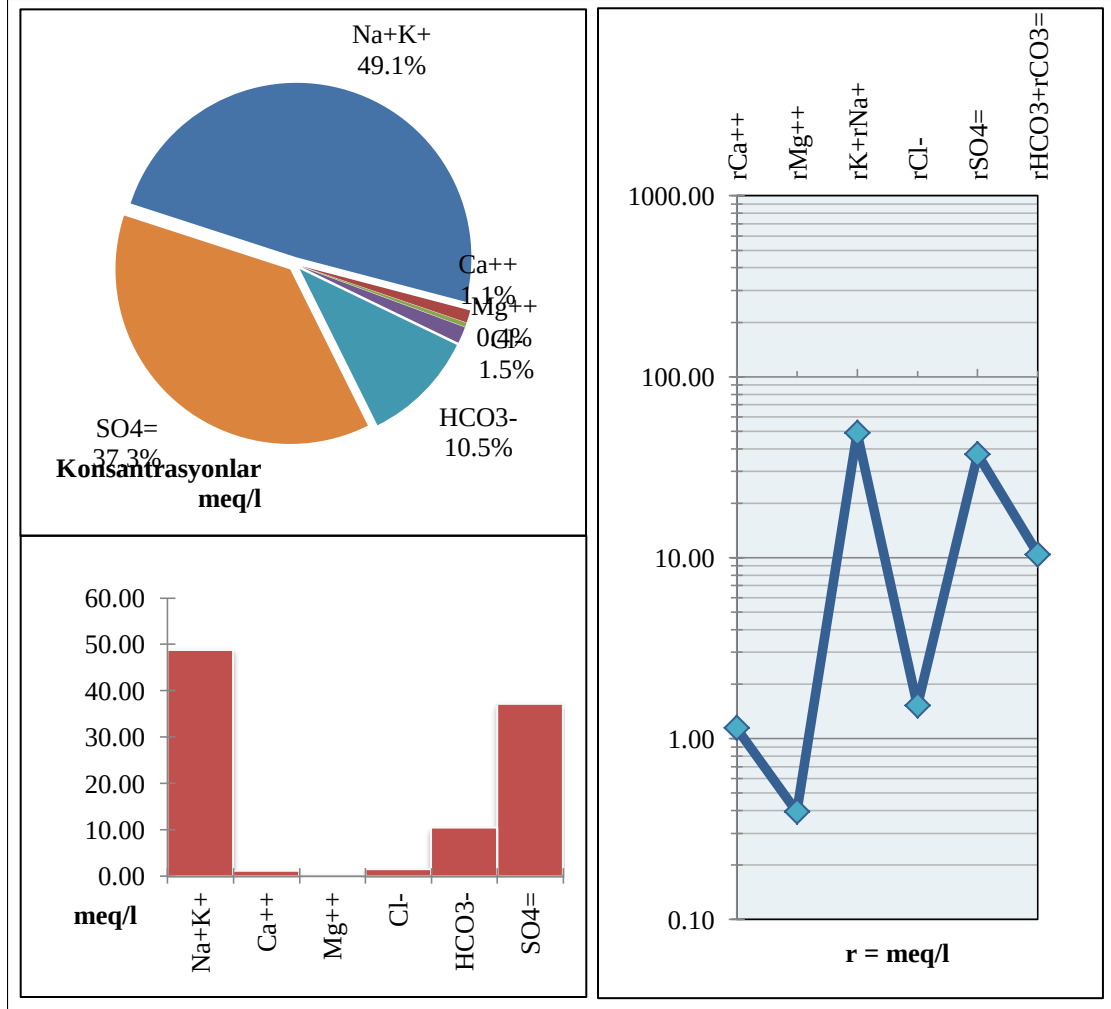
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			5C / 35S 0658707-4199524 136m.			pH(-logH)		7.47
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			06.12.2011	Çavuşoğlu Hamamı		EC(μmho/cm)		4111
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1203	52.34	92.35	89.5	0.05234	0.0262	0.79	0.0414
K ⁺	115	2.94	5.18	8.5	0.00294	0.0015	0.78	0.0023
Ca ⁺⁺	23	1.16	2.05	1.7	0.00058	0.0012	0.44	0.0003
Mg ⁺⁺	3	0.24	0.42	0.2	0.00012	0.0002	0.48	0.0001
Cl ⁻	86	2.42	4.30	2.9	0.00242	0.0012	0.78	0.0019
HCO3 ⁻	1256	20.59	36.49	42.6	0.02059	0.0103	0.79	0.0163
SO4 ⁼	1604	33.42	59.22	54.4	0.01671	0.0334	0.39	0.0065
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				56.682	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1344.1
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				56.431	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2946.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				113.112	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			4290.1
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.074	% e (Hata Yüzdesi)			0.22
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				62.538	Sertlik (Fr)			7.01
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.045	rCa/rMg Oranı			4.88
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.246	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1.17
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.069	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1.44
Fo (Köpürme Katsayısı)				3474.4	Si (mg / l)			77.126
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			16.340



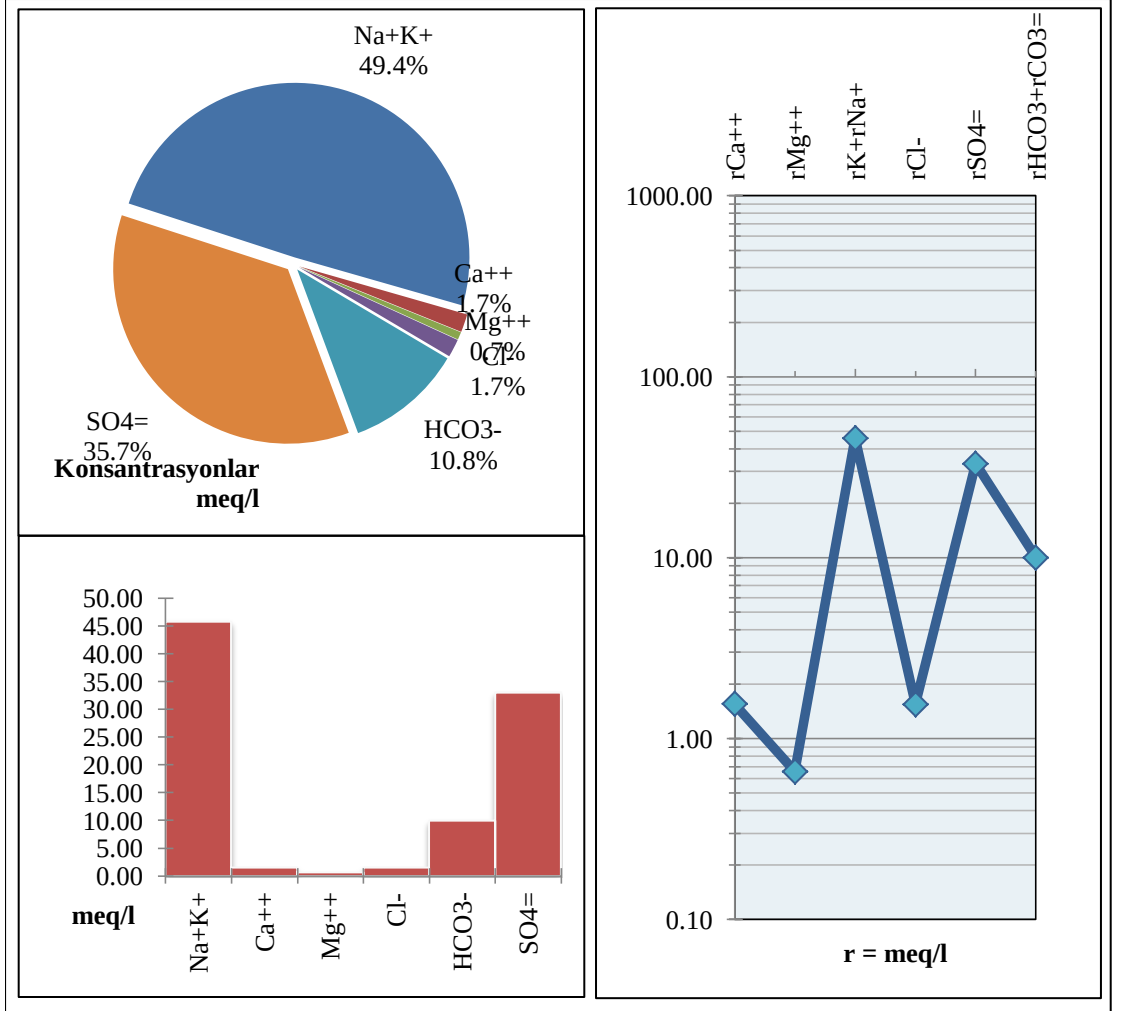
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			5D / 35S 0658707-4199525 136m.			pH(-logH)		8.36
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			19.03.2012	Çavuşoğlu Hamamı		EC(μmho/cm)		4410
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	967	42.07	75.19	74.3	0.04207	0.0210	0.79	0.0332
K ⁺	172	4.40	7.86	13.2	0.00440	0.0022	0.78	0.0034
Ca ⁺⁺	123	6.14	10.97	9.4	0.00307	0.0061	0.43	0.0013
Mg ⁺⁺	41	3.35	5.98	3.1	0.00167	0.0033	0.47	0.0008
Cl ⁻	88	2.48	4.54	3.1	0.00248	0.0012	0.78	0.0019
HCO3 ⁻	1153	18.90	34.61	40.7	0.01890	0.0095	0.79	0.0149
SO4 ⁼	1595	33.23	60.85	56.2	0.01661	0.0332	0.39	0.0064
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				55.957	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		1302.5	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				54.611	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		2836.0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				110.568	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		4138.5	
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.077	% e (Hata Yüzdesi)		1.22	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				19.321	Sertlik (Fr)		47.42	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.048	rCa/rMg Oranı		1.83	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.816	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)		-0.46	
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.714	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-2.37	
Fo (Köpürme Katsayısı)				2951.6	Si (mg / l)		90.588	
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)		19.720	



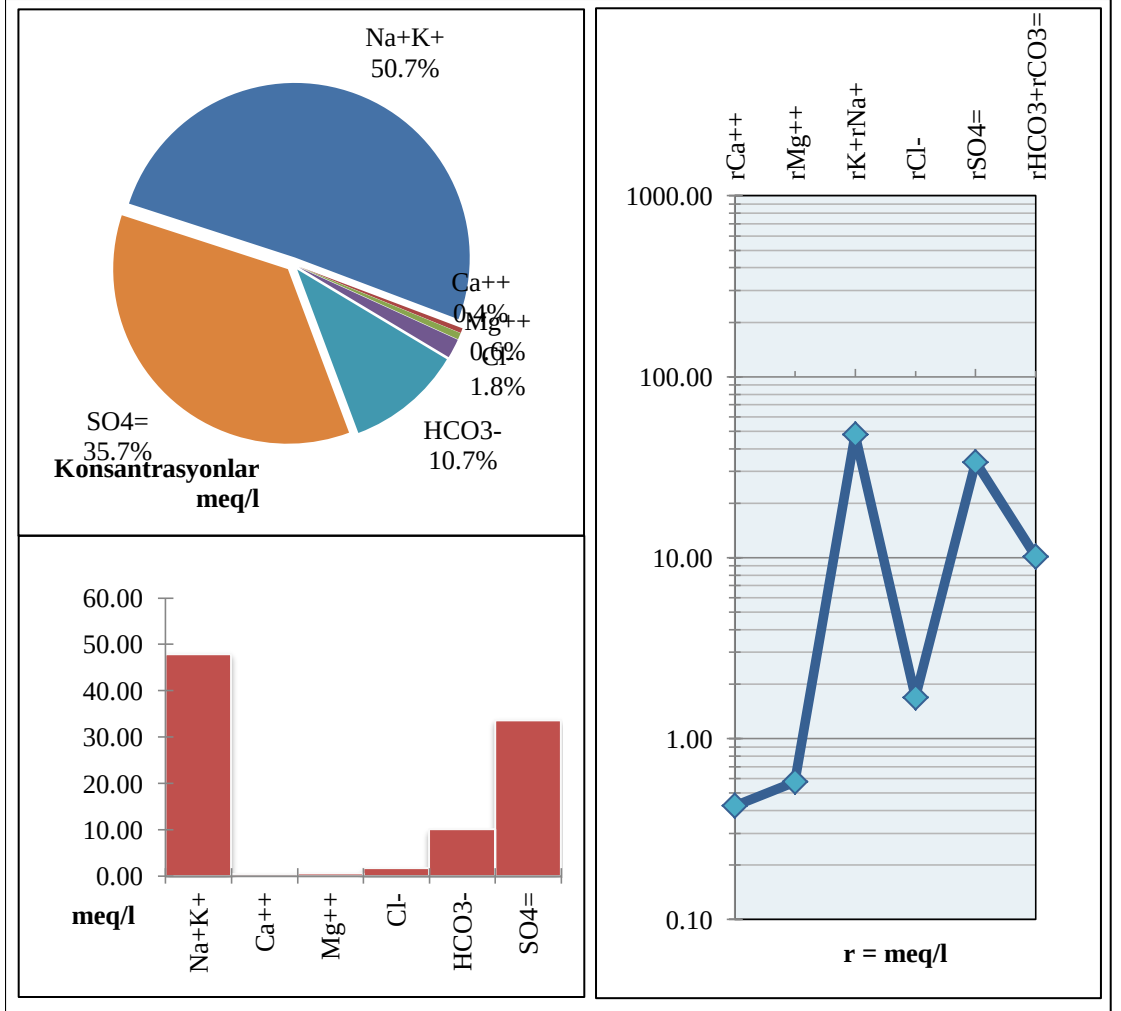
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			7A / 35S 0659070-4199504 136m.			pH(-logH)		7.4
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			21.09.2010	İnaltı Hamamı-1		EC(μmho/cm)		3880
İ YON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1070	46.54	92.32	90.0	0.04654	0.0233	0.80	0.0370
K ⁺	91	2.34	4.63	7.7	0.00234	0.0012	0.78	0.0018
Ca ⁺⁺	23	1.14	2.27	1.9	0.00057	0.0011	0.44	0.0003
Mg ⁺⁺	5	0.39	0.78	0.4	0.00020	0.0004	0.48	0.0001
Cl ⁻	54	1.52	3.10	2.2	0.00152	0.0008	0.78	0.0012
HCO3 ⁻	637	10.44	21.25	25.7	0.01044	0.0052	0.80	0.0083
SO4 ⁼	1785	37.19	75.66	72.1	0.01859	0.0372	0.40	0.0074
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				50.415	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1188.8
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				49.152	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2476.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				99.567	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3664.8
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.069	% e (Hata Yüzdesi)			1.27
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				53.083	Sertlik (Fr)			7.69
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.032	rCa/rMg Oranı			2.89
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.116	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1.11
SId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.319	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1.66
Fo (Köpürme Katsayısı)				3067.8	Si (mg / l)			109.332
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			28.387



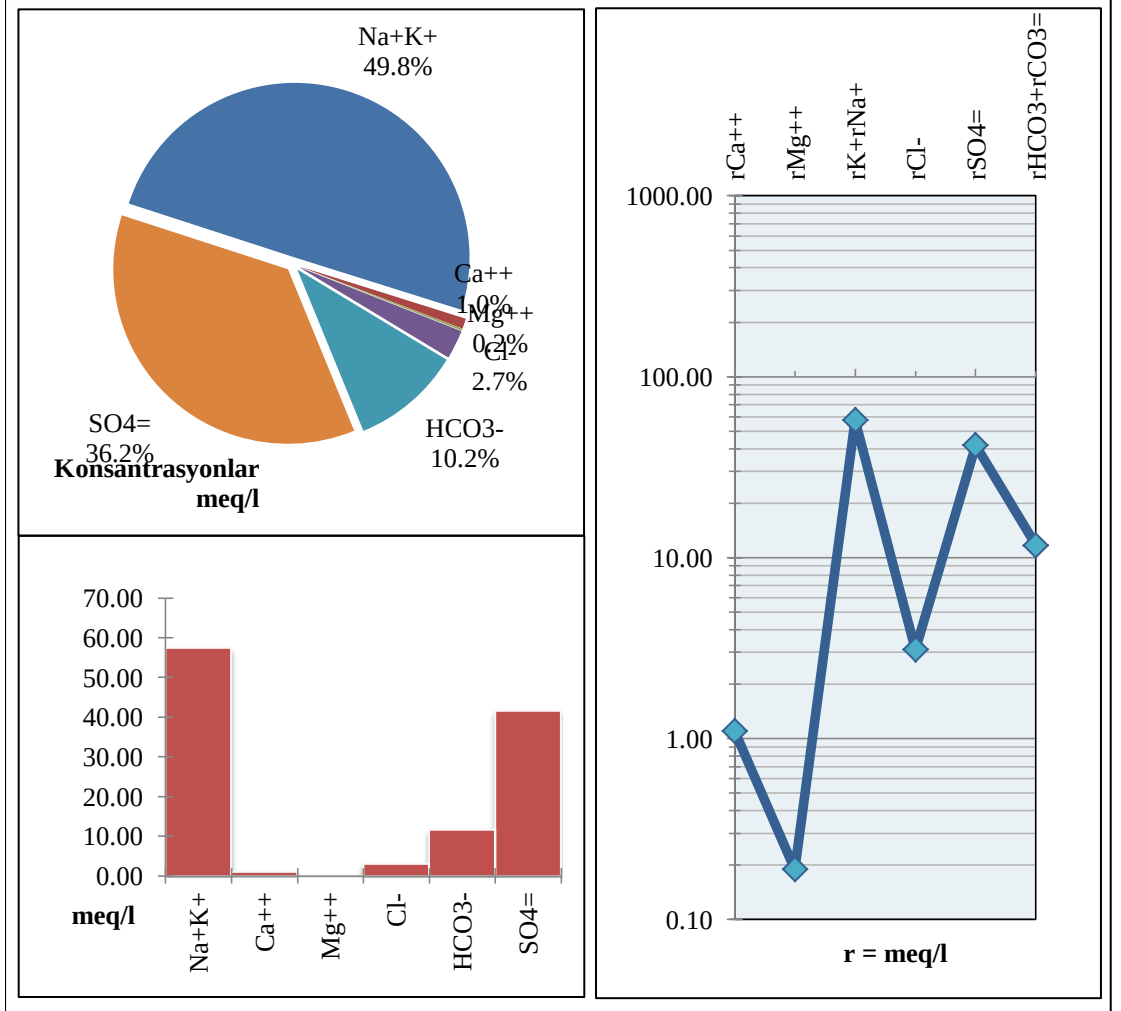
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			7B / 35S 0659070-4199504 136m.			pH(-logH)		7.22
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	İnaltı Hamamı-1		EC(μmho/cm)		3990
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	998	43.41	90.53	88.5	0.04341	0.0217	0.80	0.0348
K ⁺	91	2.33	4.87	8.1	0.00233	0.0012	0.79	0.0018
Ca ⁺⁺	31	1.55	3.24	2.8	0.00078	0.0016	0.45	0.0004
Mg ⁺⁺	8	0.66	1.37	0.7	0.00033	0.0007	0.49	0.0002
Cl ⁻	55	1.55	3.48	2.4	0.00155	0.0008	0.79	0.0012
HCO3 ⁻	611	10.02	22.48	27.2	0.01002	0.0050	0.80	0.0080
SO4 ⁼	1584	33.00	74.05	70.4	0.01650	0.0330	0.41	0.0068
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				47.953	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1128.1
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				44.567	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2250.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				92.520	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3378.1
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.064	% e (Hata Yüzdesi)			3.66
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				41.298	Sertlik (Fr)			11.05
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.036	rCa/rMg Oranı			2.36
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.169	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1.01
SId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.328	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1.50
Fo (Köpürme Katsayısı)				2873.4	Si (mg / l)			107.556
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			20.378



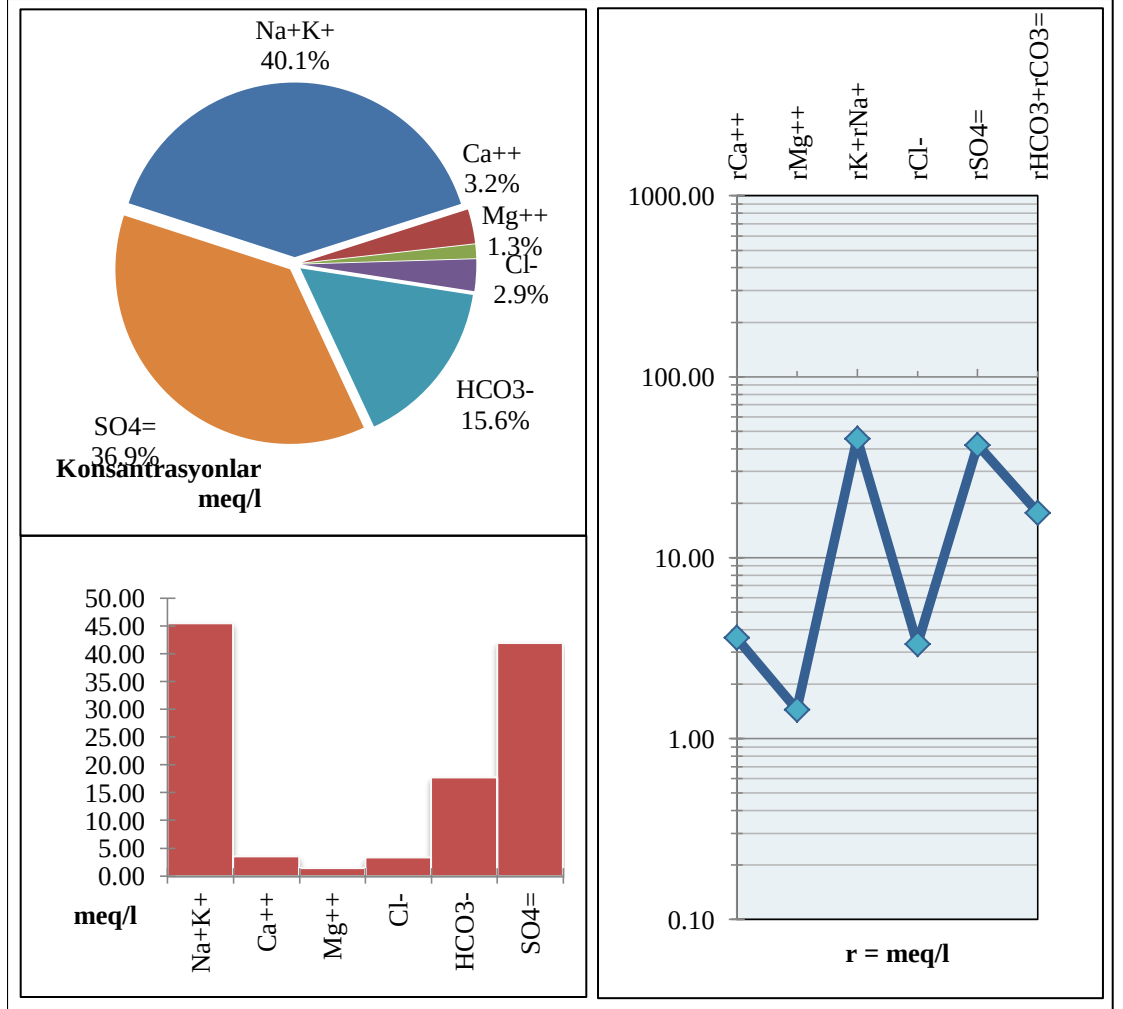
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			7C / 35S 0658870-4199504 136m.			pH(-logH)		8
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	İnaltı Hamamı-2		EC(μmho/cm)		3710
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1045	45.45	92.97	90.4	0.04545	0.0227	0.80	0.0364
K ⁺	95	2.44	4.98	8.2	0.00244	0.0012	0.79	0.0019
Ca ⁺⁺	9	0.42	0.87	0.7	0.00021	0.0004	0.45	0.0001
Mg ⁺⁺	7	0.58	1.18	0.6	0.00029	0.0006	0.49	0.0001
Cl ⁻	60	1.69	3.72	2.6	0.00169	0.0008	0.79	0.0013
HCO3 ⁻	616	10.10	22.21	26.9	0.01010	0.0050	0.80	0.0081
SO4 ⁼	1617	33.69	74.08	70.5	0.01684	0.0337	0.41	0.0069
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				48.890	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1155.5
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				45.477	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2293.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				94.367	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3448.5
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.065	% e (Hata Yüzdesi)			3.62
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				64.289	Sertlik (Fr)			5.00
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.039	rCa/rMg Oranı			0.74
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.050	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			-1.57
SIId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.143	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.27
Fo (Köpürme Katsayısı)				3008.2	Si (mg / l)			108.958
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			20.335



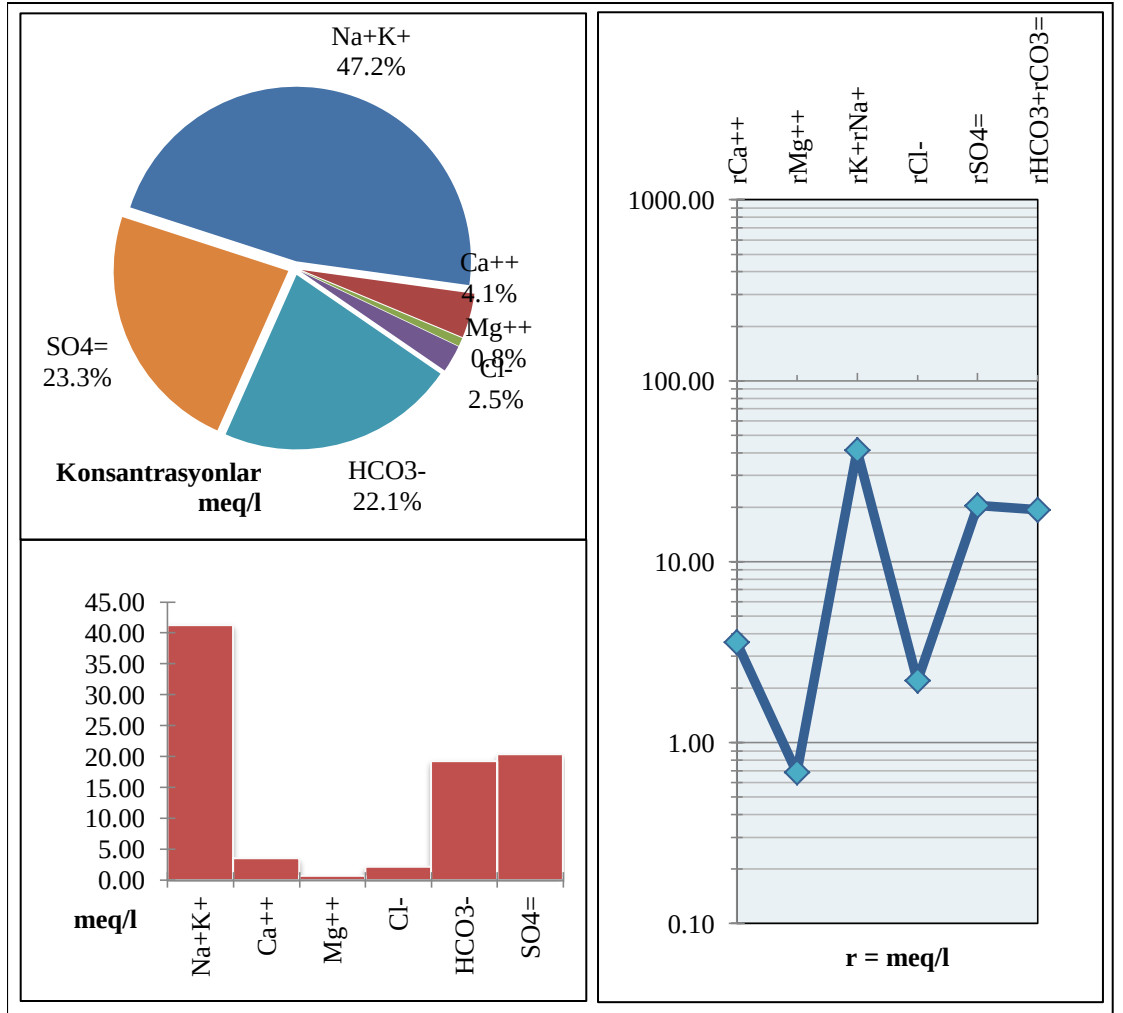
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			7D / 35S 0659071-4199507 138m.			pH(-logH)		7.47
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			06.12.2011 İnaltı Hamamı-1			EC(μmho/cm)		4350
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1247	54.23	92.31	89.2	0.05423	0.0271	0.79	0.0426
K ⁺	126	3.23	5.49	9.0	0.00323	0.0016	0.77	0.0025
Ca ⁺⁺	22	1.10	1.88	1.6	0.00055	0.0011	0.43	0.0002
Mg ⁺⁺	2	0.19	0.32	0.2	0.00009	0.0002	0.47	0.0000
Cl ⁻	110	3.10	5.49	3.9	0.00310	0.0016	0.77	0.0024
HCO ₃ ⁻	714	11.70	20.71	25.3	0.01170	0.0059	0.79	0.0092
SO ₄ ⁼	2002	41.71	73.80	70.8	0.02085	0.0417	0.38	0.0080
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				58.746	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				56.514	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				115.259	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.079	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				67.471	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.058	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0.032	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0.386	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				3613.7	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



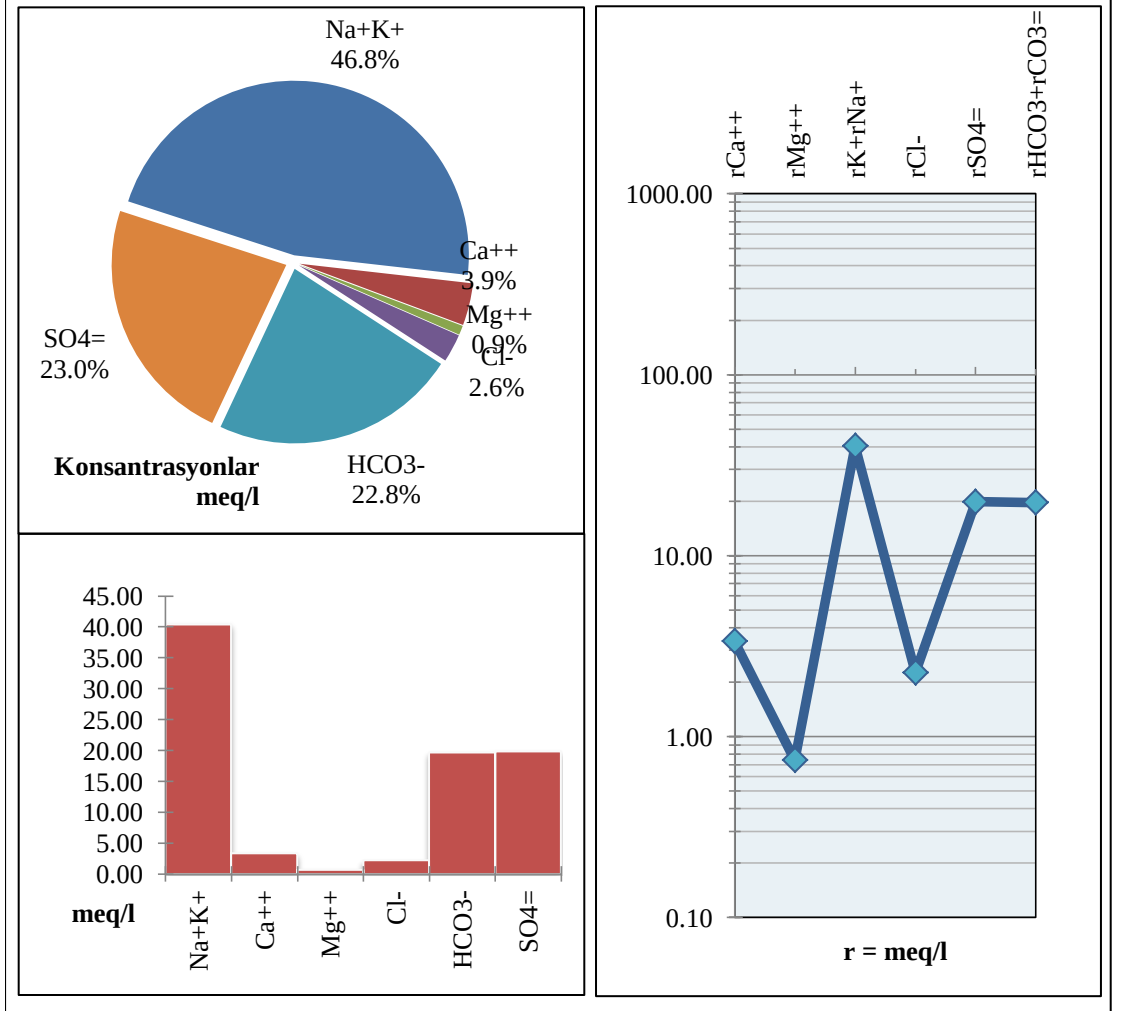
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			7E / 35S 0659071-4199507 138m.			pH(-logH)		7.12
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			19.03.2012 İnaltı Hamamı-1			EC(μmho/cm)		4410
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	914	39.74	78.68	74.5	0.03974	0.0199	0.79	0.0312
K ⁺	223	5.72	11.33	18.2	0.00572	0.0029	0.77	0.0044
Ca ⁺⁺	72	3.60	7.12	5.9	0.00180	0.0036	0.43	0.0008
Mg ⁺⁺	18	1.45	2.87	1.4	0.00072	0.0014	0.47	0.0003
Cl ⁻	118	3.33	5.28	3.7	0.00333	0.0017	0.77	0.0026
HCO ₃ ⁻	1081	17.72	28.15	33.7	0.01772	0.0089	0.79	0.0139
SO ₄ ⁼	2012	41.92	66.57	62.7	0.02096	0.0419	0.38	0.0080
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				50.505	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				62.964	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				113.469	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.080	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				25.020	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.056	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.309	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.141	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				2910.0	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			17.500



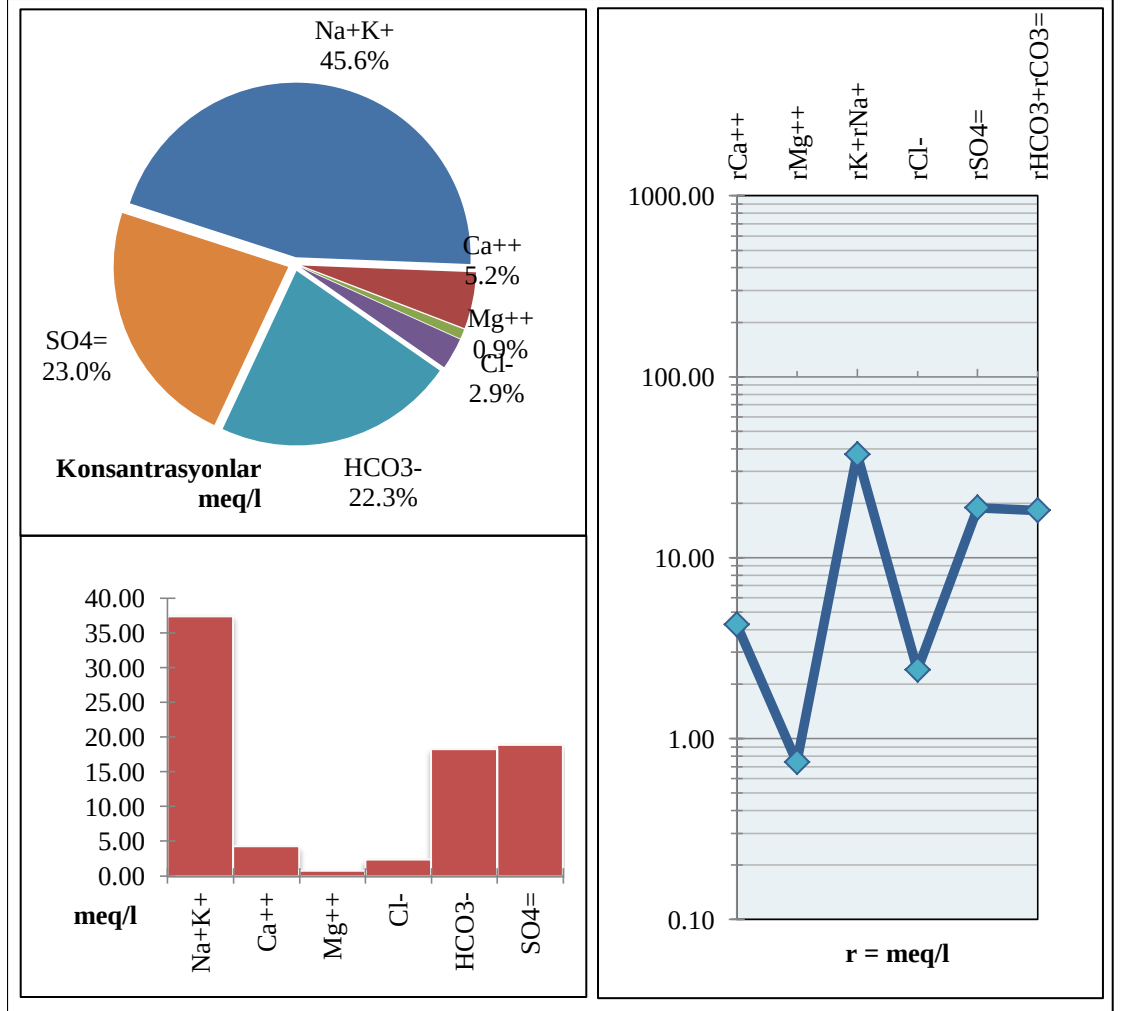
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			8A / 35S 0660792-4198875 154m.			pH(-logH)		8.2
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			21.09.2010			Umut Termal-1		EC(μ mho/cm)
								3310
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	894	38.89	85.37	83.8	0.03889	0.0194	0.81	0.0315
K ⁺	93	2.39	5.24	8.7	0.00239	0.0012	0.80	0.0019
Ca ⁺⁺	72	3.59	7.89	6.7	0.00180	0.0036	0.47	0.0008
Mg ⁺⁺	8	0.68	1.50	0.8	0.00034	0.0007	0.50	0.0002
Cl ⁻	78	2.20	5.24	3.5	0.00220	0.0011	0.80	0.0018
HCO ₃ ⁻	1178	19.31	46.06	52.7	0.01931	0.0097	0.81	0.0156
SO ₄ ⁼	980	20.42	48.70	43.8	0.01021	0.0204	0.43	0.0044
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				45.549	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				41.927	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				87.476	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.056	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				26.597	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.055	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.480	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SIId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.145	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				2597.2	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



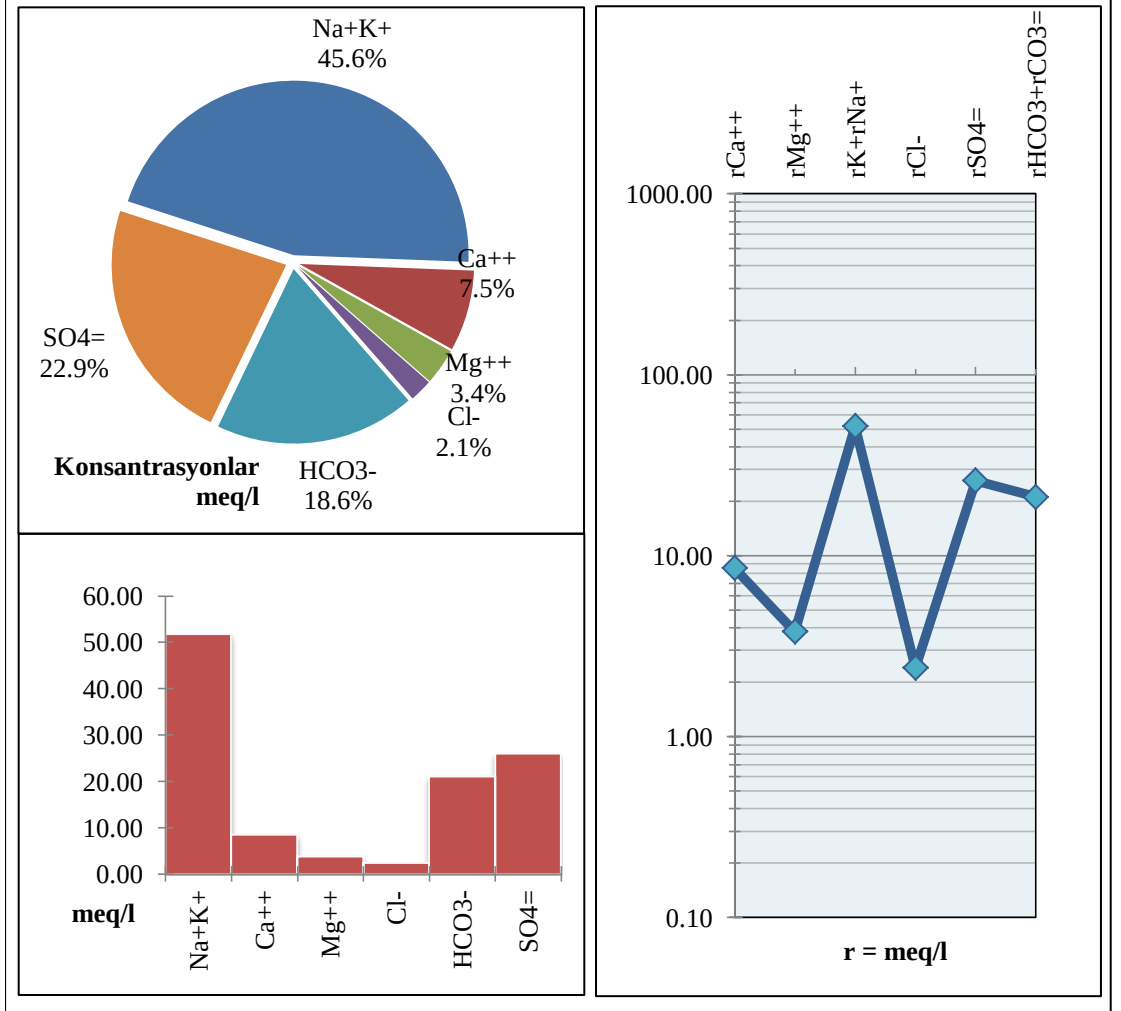
Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			8B / 35S 0660792-4198875 154m.			pH(-logH)		8.2
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	Umut Termal-1		EC(μmho/cm)		3190
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	871	37.89	85.12	83.3	0.03789	0.0189	0.81	0.0307
K ⁺	98	2.51	5.65	9.4	0.00251	0.0013	0.80	0.0020
Ca ⁺⁺	68	3.37	7.57	6.5	0.00168	0.0034	0.47	0.0008
Mg ⁺⁺	9	0.74	1.66	0.9	0.00037	0.0007	0.51	0.0002
Cl ⁻	80	2.25	5.39	3.6	0.00225	0.0011	0.80	0.0018
HCO3 ⁻	1201	19.69	47.08	53.7	0.01969	0.0098	0.81	0.0160
SO4 ⁼	954	19.88	47.53	42.7	0.00994	0.0199	0.43	0.0043
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				44.507	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1045.5
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				41.818	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2235.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				86.326	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3280.5
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.055	% e (Hata Yüzdesi)			3.11
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				26.434	Sertlik (Fr)			20.54
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.057	rCa/rMg Oranı			4.55
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.463	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.86
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.160	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.18
Fo (Köpürme Katsayısı)				2544.9	Si (mg / l)			88.111
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			15.086



Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			8C / 35S 0660601-4198880 155m.			pH(-logH)		7.87
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			17.02.2011	Umut Termal-2		EC(μmho/cm)		2980
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	803	34.93	82.41	80.9	0.03493	0.0175	0.81	0.0284
K ⁺	95	2.44	5.75	9.6	0.00244	0.0012	0.80	0.0020
Ca ⁺⁺	86	4.28	10.10	8.6	0.00214	0.0043	0.48	0.0010
Mg ⁺⁺	9	0.74	1.75	0.9	0.00037	0.0007	0.51	0.0002
Cl ⁻	85	2.40	6.06	4.0	0.00240	0.0012	0.80	0.0019
HCO3 ⁻	1113	18.25	46.17	52.9	0.01825	0.0091	0.81	0.0148
SO4 ⁼	906	18.88	47.76	43.1	0.00944	0.0189	0.44	0.0041
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				42.386	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			992.8
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				39.517	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2104.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				81.902	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3096.8
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.053	% e (Hata Yüzdesi)			3.50
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				22.043	Sertlik (Fr)			25.11
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.065	rCa/rMg Oranı			5.78
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.210	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			-0.77
SI _d (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.854	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1.88
Fo (Köpürme Katsayısı)				2355.6	Si (mg / l)			82.735
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			12.693



Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			8D / 35S 0660773-4198856 150m.			pH(-logH)		8.1
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			06.12.2011	Umut Termal-1		EC(μmho/cm)		3670
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	1191	51.81	80.74	84.5	0.05181	0.0259	0.79	0.0409
K ⁺	1	0.02	0.03	0.0	0.00002	0.0000	0.78	0.0000
Ca ⁺⁺	171	8.53	13.30	12.1	0.00427	0.0085	0.43	0.0018
Mg ⁺⁺	46	3.81	5.93	3.3	0.00190	0.0038	0.47	0.0009
Cl ⁻	85	2.40	4.84	3.2	0.00240	0.0012	0.78	0.0019
HCO3 ⁻	1286	21.08	42.61	49.1	0.02108	0.0105	0.79	0.0166
SO4 ⁼	1248	26.00	52.55	47.7	0.01300	0.0260	0.39	0.0050
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				64.163	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			1409.0
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				49.478	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2619.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				113.640	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			4028.0
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.076	% e (Hata Yüzdesi)			12.92
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				20.856	Sertlik (Fr)			61.70
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.051	rCa/rMg Oranı			2.24
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				1.748	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-0.42
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				1.602	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.06
Fo (Köpürme Katsayısı)				3213.2	Si (mg / l)			84.091
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			13.270



Örnek Adı ve Yeri (X/Y) :			8E / 35S 0660773-4198856 150m.			pH(-logH)		8.23
Örnekleme Tarihi ve Kaynak:			19.03.2012	Umut Termal-1		EC(μmho/cm)		3440
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	797	34.65	88.66	84.3	0.03465	0.0173	0.81	0.0281
K ⁺	125	3.19	8.17	13.2	0.00319	0.0016	0.80	0.0026
Ca ⁺⁺	21	1.06	2.71	2.2	0.00053	0.0011	0.47	0.0002
Mg ⁺⁺	2	0.18	0.46	0.2	0.00009	0.0002	0.51	0.0000
Cl ⁻	89	2.51	5.78	4.0	0.00251	0.0013	0.80	0.0020
HCO3 ⁻	904	14.82	34.12	40.2	0.01482	0.0074	0.81	0.0120
SO4 ⁼	1253	26.10	60.10	55.8	0.01305	0.0261	0.43	0.0056
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				39.084	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			944.6
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				43.432	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			2246.0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				82.516	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			3190.6
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0.055	% e (Hata Yüzdesi)			-5.27
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				44.027	Sertlik (Fr)			6.19
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0.061	rCa/rMg Oranı			5.85
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0.867	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			-1.24
SIId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				0.509	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2.33
Fo (Köpürme Katsayısı)				2397.5	Si (mg / l)			103.536
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Na-SO ₄ -HCO ₃					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			15.110

