

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA ORHANELİ BÖLGESİ, SADAĞ VE
CİVARININ HİDROJEOLOJİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir ERKUT

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tolga YALÇIN

KASIM 2016

**BURSA ORHANELİ BÖLGESİ, SADAĞ VE
CİVARININ HİDROJEOLOJİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emir ERKUT

(505111307)

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tolga YALÇIN

KASIM 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111307 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi EMİR ERKUT ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BURSA ORHANELİ BÖLGESİ, SADAĞ VE CİVARININ HİDROJEOLOJİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. H. Tolga YALÇIN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ali Malik GÖZÜBOL**
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 10.09.2016

Savunma Tarihi :14.11.2016

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında bana verdiği destek ve gösterdiği sabır sayesinde bugünlere gelmemi sağlayan saygıdeğer hocam Doç.Dr.H.Tolga Yalçın'a, tüm bu aşamalarda her daim yanımda olan ve hiçbir yardımını esirgemeyen Naz Serter'e ve aileme,

Çok teşekkür ederim.

Kasım 2016

Emir Erkut
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1 GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Çalışma Yöntemleri.....	1
1.3 Çalışma Alanının Tanıtılması.....	2
1.3.1 Coğrafi konum	2
1.3.2 Ulaşım	3
1.3.3 Morfoloji	4
1.3.4 İklim ve bitki örtüsü	4
1.3.5 Nüfus ve yerleşim	4
1.3.6 Ekonomik durum.....	4
2 GENEL JEOLOJİ.....	7
2.1 Önceki Çalışmalar	7
2.2 Bölgesel Jeoloji	7
2.3 İnceleme Alanının Jeolojisi	8
2.3.1 İnönü mermeri	12
2.3.2 Kocasu formasyonu.....	13
2.3.3 Orhaneli granitoidleri	17
2.3.4 Alüvyon ve yamaç molozu	19
2.4 Yapısal Jeoloji	19
2.4.1 Uyumsuzluk	19
2.4.2 Faylar	20
2.4.3 Çatlak sistemi	20
2.4.4 Tabakalanma	20
3 HİDROJEOLOJİ	21
3.1 Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi.....	21
3.1.1 Yağış	21
3.1.2 Sıcaklık ve buharlaşma - terleme	26
3.1.3 Meteorolojik bütçe	26
3.2 Su Noktaları.....	26
3.2.1 Akarsular	28
3.2.2 Kaynaklar	30
3.3 Litolojinin Hidrolojik Özellikleri.....	33
3.3.1 Pekişmiş formasyonlar	33

3.3.1.1 Karstik akifer	33
3.3.1.2 Çatlaklı zayıf akifer	33
3.3.2 Pekışmemiş formasyonlar	34
3.3.2.1 Yaygın ve zengin taneli akifer	34
3.3.2.2 Yerel ve ilişkisiz taneli akifer.....	34
4 HİDROJEOKİMYA	37
4.1. İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk suların Genel Kimyasal Özellikleri	37
4.2. Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri	44
4.2.1 Sertlik	44
4.2.2 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH).....	45
4.2.3 Özgöl elektriksel iletkenlik (EC)	45
4.3. İnceleme Alanında ki Suların Anyon-Katyon Özellikleri	46
4.3.1 Sodyum (Na)	46
4.3.2 Potasyum (K).....	46
4.3.3 Kalsiyum (Ca)	47
4.3.4 Magnezyum (Mg).....	47
4.3.5 Bikarbonat (HCO_3).....	48
4.3.6 Sülfat (SO_4)	48
4.3.7 Klorür (Cl).....	48
4.3.8 Silis (SiO_2)	49
4.4 İnceleme Alanındaki İz Element İçerikleri.....	49
4.4.1 Bor (B).....	49
4.4.2 Alüminyum (Al).....	50
4.4.3 Demir (Fe).....	50
4.4.4 Mangan (Mn).....	50
4.4.5 Lityum, Rubidyum, Sezyum (Li, Rb, Cs)	50
4.4.6 Stronsiyum (Sr)	51
4.4.7 Bromür (Br).....	51
4.5 İnceleme Alanındaki Suların Fasiyes Tipi ve Sınıflandırması	51
4.5.1 Uluslararası Hidroloji Birliğine göre suların sınıflandırılması	51
4.5.2 Piper'e göre suların sınıflandırılması.....	52
4.5.3 Schoeller (1995) göre suların sınıflandırılması.....	53
4.6 İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri	55
4.6.1 Standartlara göre suların kullanıma uygunluğu	55
4.6.2 Sodyum Absorpsiyon Oranı (SAR)	57
4.6.3 Sodyum yüzdesi (% Na).....	57
4.6.4 Schoeller içilebilirlik diyagramı	58
4.6.5 ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.....	60
4.6.6 Wilcox diyagramı	62
4.7 Jeotermometre	63
4.7.1 Niteliksel jeotermometreler	64
4.7.2 Silis jeotermometresi.....	69
4.7.3 Katyon jeotermometreleri.....	69
4.8 Karışım Modelleri.....	72
5. ORHANELİ SADAĞ BÖLGESİNİN JEOTERMAL YORUMLANMASI... 75	
5.1 Oluşum Modeli.....	75
5.1.1 Beslenme	76
5.1.2 Hazne kaya	76
5.1.3 Dolaşım, ısınma ve boşalım	77
5.2 Kullanım Olanakları	78

5.2.1 Enerji potansiyeli	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR	87
EKLER.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

°C	: Santigrat
EC	: Elektriksel İletkenlik
Fr	: Fransız Sertliği
GD	: Güneydoğu
GPS	: (Global Positioning System) Küresel Konumlama Sistemi
KB	: Kuzeybatı
km	: Kilometre
l/sn	: Litre / saniye
m	: Metre
mek/l	: Miliekivalen / litre
mg/l	: Miligram / litre
mm	: Milimetre
pH	: H ⁺ iyonu konsantrasyonu
ppm	: Milyonda bir
ppb	: Milyarda bir
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranı
Sn	: Saniye
t	: Sıcaklık
TDS	: Toplam Çözünmüş Katı
WHO	: (World Health Organization) Dünya Sağlık Örgütü
µS/cm	: Mikrosiemens / santimetre
µg/l	: Mikrogram / litre

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Orhaneli ilçesi Penman yöntemi ile hazırlanan 1990-2010 yılları arası veriler	22
Çizelge 3.2: Orhaneli ilçesi Penman yöntemi ile hazırlanan 1990-2010 yılları arası su bilançosu verileri	23
Çizelge 3.3: Çalışma alanında bulunan Keles Meteoroloji İstasyonuna ait 1990-2010 yılları arası yağış verileri.....	24
Çizelge 4.1: İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları	37
Çizelge 4.2: Sadağ sıcak su kaynağı majör iyonları	38
Çizelge 4.3: Sadağ sıcak su kaynağı eser elementleri ($\mu\text{g/L}$)	38
Çizelge 4.4: Sadağ soğuk su kaynağı majör iyonları.....	39
Çizelge 4.5: Sadağ soğuk su kaynağı eser elementleri ($\mu\text{g/L}$).....	39
Çizelge 4.6: Hamamlar sıcak su kaynağı majör iyonları	40
Çizelge 4.7: Hamamlar sıcak su kaynağı eser elementleri ($\mu\text{g/L}$).....	40
Çizelge 4.8: Hamamlar soğuk su kaynağı majör iyonları.....	41
Çizelge 4.9: Hamamlar soğuk su kaynağı eser elementleri ($\mu\text{g/L}$).....	41
Çizelge 4.10: Değirmençarkı su kaynağı majör iyonları	42
Çizelge 4.11: Değirmençarkı su kaynağı eser elementleri ($\mu\text{g/L}$)	42
Çizelge 4.12: Sineklikaya su kaynağı majör iyonları	43
Çizelge 4.13: Sineklikaya su kaynağı eser elementleri ($\mu\text{g/L}$)	43
Çizelge 4.14: Suların sertliklerine göre sınıflandırılması	44
Çizelge 4.15: İnceleme alanındaki suların sertlik sınıflandırılması.....	44
Çizelge 4.16: pH'a göre suların sınıflandırılması.....	45
Çizelge 4.17: Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması	45
Çizelge 4.18: Uluslararası Hidroloji Birliği sınıflandırılması	52
Çizelge 4.19: Schoeller (1955)'e göre sınıflandırma.....	54
Çizelge 4.20: İnceleme alanındaki suların anyon ve katyon bolluk sıralanışı.....	55
Çizelge 4.21: Ulusal ve uluslararası standartlara göre elementlerin sınırları	56
Çizelge 4.22: SAR oranlarına göre suların sınıflandırması	57
Çizelge 4.23: Wilcox, 1955' e göre %Na oranına bağlı sınıflama	58
Çizelge 4.24: ABD Tuzluluk laboratuvarı EC ve SAR değerlerine göre sınıflandırma	60
Çizelge 4.25: Silis Jeotermometreleri.....	69
Çizelge 4.26: Sadağ jeotermal suyu için katyon jeotermometreleri	72

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2: Çalışma alanının ulaşım haritası	3
Şekil 2.1: Bölgesel Jeoloji	8
Şekil 2.2: Bölgenin stratigrafik kesiti	9
Şekil 2.3: Bölgenin jeolojik haritası	10
Şekil 2.4: Bölgenin jeolojik enine kesiti.....	11
Şekil 2.5: İnönü Mermeri KB bakışı (Sineklikaya mineralli su noktası)	12
Şekil 2.6: İnönü Mermerinde ki kristalli yapının mikroskop görünümü çift nikol ...	13
Şekil 2.7: Ağaçhisar dolayı Kocasu Formasyonu Güneybatı bakışı.....	14
Şekil 2.8: Belenoluk civarı Kocasu formasyonu	14
Şekil 2.9: Ağaçhisar dolayı Güneydoğu bakışı.....	15
Şekil 2.10: Kocasu formasyonuKireçtaşı içerisindeki metamorfik yapının çift nikol mikroskop görüntüsü.....	15
Şekil 2.11: Kocasu formasyonunda bulunan minerallerin mikroskopta çift nikol görüntüsü.....	16
Şekil 2.12: Kocasu formasyonunda bulunan minerallerin mikroskopta çift nikol görüntüsü.....	16
Şekil 2.13: Sadağ deresi doğu bakışı	17
Şekil 2.14: Sadağ deresi batı bakışı	18
Şekil 2.15: Orhaneli formasyonuna ait granitin mikroskopta çift nikol görüntüsü ...	18
Şekil 2.16: Orhaneli formasyonuna ait granitin mikroskopta çift nikol görüntüsü....	19
Şekil 3.1: Keles Meteoroloji istasyonu verilerinden ortalama eklenik sapma grafiği.	24
Şekil 3.2: Penman yöntemi ile hazırlanan yağış ve potansiyel buharlaşmanın aylık değişim grafiği	25
Şekil 3.3: Penman yöntemi ile hazırlanan yağış ve gerçek buharlaşmanın aylık değişim grafiği	25
Şekil 3.4: Bölgenin Drenaj haritasıBölgenin havza sınırları	27
Şekil 3.5: Uygulama alanındaki su noktaları	27
Şekil 3.6: Bölgenin havza sınırları.....	28
Şekil 3.7: Adırmaz Deresi görünümü	28
Şekil 3.8: Orhaneli deresi yukarıdan görünümü	29
Şekil 3.9: İnceleme bölgesi soğuk su kaynağı	29
Şekil 3.10: İnceleme bölgesindeki soğuk su kaynağı	30
Şekil 3.11: Su Noktası SA1: Sadağ Sıcak Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri.....	30
Şekil 3.12: Su Noktası SA2: Sadağ Soğuk Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri	31
Şekil 3.13: Su Noktası SA3: Hamamlar Sıcak Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri.....	31
Şekil 3.14: Su Noktası SA4: Hamamlar Soğuk Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri ...	32
Şekil 3.15: Su Noktası SA5: Değirmençarkı Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri	32
Şekil 3.16: Su Noktası SA6: Sineklikaya Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri.....	33
Şekil 3.17: Bölgenin hidrojeoloji haritası	35
Şekil 4.1: Sadağ sıcak su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri	38
Şekil 4.2: Sadağ soğuk su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.....	39

Şekil 4.3: Hamamlar sıcak su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri	40
Şekil 4.4: Hamamlar soğuk su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri	41
Şekil 4.5: Değirmençarkı su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri	42
Şekil 4.6: Sineklikaya su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri	43
Şekil 4.7: Piper Diagramına göre suların sınıflandırılması.....	52
Şekil 4.8: İnceleme alanındaki suların Piper Diagramına göre sınıflandırılması	53
Şekil 4.9: İnceleme alanındaki suların Schoeller grafiği	55
Şekil 4.10: İnceleme alanında ki suların Schoeller'e göre içilebilirlik diagramı.....	59
Şekil 4.11: İnceleme alanında ki suların ABD Tuzluluk laboratuvarı diagramı	61
Şekil 4.12: İnceleme alanında ki suların Wilcox diagramı	62
Şekil 4.13: Major iyonların Cl ve birbirleri ile ilişkileri	65
Şekil 4.14: Major iyonların Cl ve birbirleri ile ilişkileri (2)	66
Şekil 4.15: Eser elementlerin Cl ile ilişkileri	67
Şekil 4.16: Eser elementlerin Cl ile ilişkileri (2)	68
Şekil 4.17: Gigenbach diyagramı.....	71
Şekil 4.18: 10K / (10K+Na) - 10Mg / (10Mg+Ca) Diyagramı.....	71
Şekil 4.19: Klor-Entalpi diyagramı.....	73
Şekil 4.20: SiO ₂ / Entalpi diyagramı.....	73
Şekil 5.1: Jeotermal sistem unsurları	75
Şekil 5.2: Oluşum modeli	79
Şekil 5.3: Aslanlı Kaplıcası görünüm	80
Şekil 5.4: Hamamlar bölgesi Roma hamamı içi	80
Şekil 5.5: Hamamlar bölgesi Roma hamamı çevresi	80

BURSA ORHANELİ BÖLGESİ, SADAĞ VE CİVARININ HİDROJEOLOJİSİ

ÖZET

Bursa Orhaneli Sadağ ve Civarının Hidrojeolojisi adlı tez: çalışma bölgesinde bulunan termal, mineralli ve soğuk suların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılması amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma alanı Kütahya İ21 b1- b3 ve İ22 a2-a4 paftalarının 1/25000 ölçekli topografik haritalarında bulunmaktadır. Ayrıca bölgenin 1/100000 ölçekli, kabartmalı, sayısallaştırılmış jeoloji haritası incelenmiştir. Çalışma alanının genel özellikleri anlatılmış ve bölge hakkında fikir edinilmesi amaçlanmıştır.

İnceleme alanında Paleozoik – Mesozoik yaşlı mermerler, Kretase yaşlı metamorfik kireçtaşları ve granitler bulunmaktadır. Bunlardan hariç birimler Kuvarterner yaşlı alüvyonlar ve yamaç molozlarıdır. İnceleme alanının jeolojik yapısı hakkında bilgi verilmiştir. Bilgilerin anlaşılır olması için inceleme alanının jeolojik haritası ve stratigrafik tabloları oluşturulmuş ve termal suları içine alacak güzergâhlarda jeolojik enine kesitler hazırlanmıştır. Ayrıca inceleme alanının jeolojik evrimi hakkında bilgi verilmiş ve bölgenin depremsellik durumları açıklanmıştır.

İnceleme alanında yer alan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Pekişmemiş formasyonlar yaygın ve zengin akiferler, ilişkisiz akiferler olarak ayrılmışken pekişmiş formasyonlar bölgesel yeraltı suyu bulunduran ve çatlaklı akiferlerler olarak sınıflandırılmıştır ve bölgenin hidrojeoloji haritası yapılmıştır.

İnceleme alanının hidrolojisini algılamak için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne başvurulmuştur. Orhaneli istasyonu uzun süredir çalışmadığından civardaki diğer istasyonlar araştırılmış ve veri paketleri talep edilmiştir. 3 istasyon verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır ancak Keles istasyonu haricindeki istasyonlarda ortalamaları etkileyecek oranda veri eksikleri olduğundan sadece Keles istasyonunun verileri kullanılmıştır. Veri paketleri Penman yöntemi ile hesaplanıp meteorolojik bütçe oluşturulmuştur.

İnceleme alanında bulunan suların sınıflandırılması için bölgedeki yeraltı sularını tems il eden kaynaklardan alınan numunelerin analizlerinden kimyasal veriler elde edilmiştir. Elde edilen kimyasal verilere göre Piper, Scholler ve Scholler İçilebilirlik, Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramlarına göre sınıflandırılmıştır. Yapılan sınıflandırmalar ışığında suların kullanılabilirlik, köken, tarımsal faaliyete uygunluk, içilebilirlik özellikleri incelenmiş ve açıklanmıştır. Aynı zamanda farklı jeotermometreler ile rezervuar sıcaklıkları tahmin edilmiştir. Cl/Entalpi diyagramıyla soğuk su karışım yüzdeleri belirlenmiş, SiO₂/Entalpi diyagramıyla ise karışım öncesi rezervuar sıcaklıkları hesaplanmaya çalışılmıştır.

Bölgede iki sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bu kaynakların su tipleri belirlenmiştir. İki kaynak için ayrı ayrı beslenme, dolaşım ve ısınma, boşalım koşulları belirlenmiş ve bu koşullar üzerinden ayrı ayrı iki model oluşturulmuştur. Model oluşumundan sonra suların ayrı ayrı enerji potansiyelleri hesaplanmıştır.

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE BURSA ORHANELİ SADAĞ THERMAL WATER

SUMMARY

This study has been prepared as Master of Science thesis including hydrogeological investigations of the Bursa Orhaneli Sadağ thermal water and Ağaçhisar region Hamamlar thermal water. Thesis written in Applied Geology Engineering Department of Institute of Science and Technology of Istanbul Technical University.

The study area is located in Bursa where is in the South of Marmara. Location is at South East of Bursa which is border to Kütahya. 1:25000 scaled Kütahya i21 b1- b3 ve i22 a2-a4 sheet area used for studies.

In this study, a hydrogeological and hydrogeochemical investigations are performed for Bursa Orhaneli region Sadağ thermal water and Ağaçhisar region Hamamlar thermal water and surrounding regions. Processed results were given on related tables and charts. At study, geological, hydrogeological and hydrological features investigated and identified for Orhaneli Sadağ thermal water and Ağaçhisar Hamamlar thermal water.

Kütahya i21 b1- b3 and i22 a2-a4 sheets are used for preparing geological map and Bursa city environment layout plan map which is made for Bursa municipality scaled 1/100000 and made by ITU. Also geologist hammer, GPS and compass used to prepare geological map. After this information obtained in the field formation boundaries were determined and photographs are taken. Also photographs are taken from water resources and strange topographical areas. All this information transformed to 1/25000 scaled geological map.

After preparation and field works all data processed at computer with Office 2013 and geological map and other figures prepaid at Corel Draw X8 program. Systematic geological cross – sections of the region were prepared by using field measurements and observations for both of Sadağ thermal water and Hamamlar thermal water.

Thesis area has 5 different lithologies. The order from older to younger firstly Triassic marble comes at the bottom of the area. After that the younger one is Createceous metamorphic limestone .This formation is most abundant in the area. After metamorphic limestone there is granite in the field which is Eocene . This granite comes after all of them but it cuts all formations with unconformities. At the top Quarterner alluviums and slope rubbles overlies over all of these units.

According to parameter sets taken from Meteoroloji Genel Müdürlüğü who have several measurement stations at the field gave hydrological clues for thesis area. Orhaneli station not working for several years so other stations as Keles, Tavşanlı, Dursunbey station measurements sent by MGM but they had a lot of missing parameters so for calculations for hydrogeology such as Penman method only done with Keles station measurements. At field average air temperature is 9,6°C. The study area has an annual precipitation of 734,9 mm. Potential evaporation is 508.4

mm and real evaporation 381 mm. These values calculated with PENMAN method. At May to August evaporation is more than rain fall. This means water less comes in to the system and field gives its own water to fulfill the lack. At September to April there is more rainfall then evaporation. Field saturated to water.

At Turkey lands average percolatio rate is 35 which is 123.8 mm. Whole area is 273.67 km² and the total estimated recharge of the basin from precipitation is 33.880 x 10⁶ m³ for a year.

Waters have physical and chemical specialties. Physicals are Flow Rate PH EC and Temperature. Sadağ thermal waters physical specialties are 3.5 L/s PH is 8.4 EC μS/cm is 2400 and temperature is 55.2 °C. Sadağ waters physical specialties are 5 L/s PH is 8.7 ECμS/cm is 360 and temperature is 15.2 C. Hamamlar thermal waters physical specialties are 1.5 L/s PH is 7.1 EC μS/cm is 1560 and temperature is 38 °C. Hamamlar waters physical specialties are 8 l/sn PH is 8.7 EC μS/cm is 870 and temperature is 18.2 °C. Değirmençarkı mineral waters physical specialties are 10 l/sn PH is 7.1 EC μS/cm is 630 and temperature is 19.2 °C. Sineklikaya mineral waters physical specialties are 4 L/s PH is 7.2 EC μS/cm is 606 and temperature is 20.2 °C.

Units are divided into different lithological and structural characteristics in study area as they divided into different hydrogeological areas according to the characteristics such as pores, pore size, voids. Geological units in the study area based on their physical characteristics are grouped as unconsolidated formations, USA consolidated formations to be evaluated. Unconsolidated formations means rich aquifers common, unrelated to local aquifers and consolidated formations means local granular aquifers, aquifers are weak and very weak aquifers. This informations shown at hydrogeological map for better understanding.

Field analyses on water which are temperature, acidity and electrical conductivity have been performed at both of thermal water and mineral water. These analyses have been done because waters needed to be separated for characteristics. Thermal and cold water shown acidic values having regard to EC values, hot and mineral waters are ranked as ‘good waters’. According to TDS values waters are ranked as ‘very salty water’. Other values for drinkability, usage for agriculture or for health services. Other subject of chemical analysis is describing the groundwater quality in different aquifers for thermal, mineral and cold waters. Waters have a chemical characteristics. Anions are Ca, K, Mg, Na and cations are SO₄, Cl and HCO₃. Sadağ thermal waters anion parameters are Ca116.68 mg/l, K 6.4mg/l, Mg 0.59mg/l, Na 222.67mg/l and SO₄ 450mg/l, Cl 22.38mg/l, HCO₃ 8.22mg/l are cation parameters. Sadağ waters anion parameters are Ca 49.02mg/l, K 3.2mg/l, Mg 11.14mg/l, Na 20.65mg/l and SO₄ 55mg/l, Cl 17.61mg/l, HCO₃ 2.72mg/l are cation parameters. Hamamlar thermal waters anion parameters are Ca 264.10mg/l, K 3.02mg/l, Mg 45.84mg/l, Na 21.16mg/l and SO₄ 520mg/l, Cl 8.09mg/l, HCO₃ 6.96mg/l are cation parameters. Hamamlar waters anion parameters are Ca 102.66mg/l, K 3.39mg/l, Mg 64.74mg/l, Na 16.13mg/l and SO₄ 210mg/l, Cl 19.49mg/l, HCO₃ 6.39mg/l are cation parameters. Sineklikaya mineral waters anion parameters are Ca 94.96mg/l, K 0.71mg/l, Mg 12.97mg/l, Na 4.15mg/l and SO₄ 10mg/l, Cl 17.61mg/l, HCO₃ 5.32mg/l are cation parameters. Degirmencarkı mineral waters anion parameters are Ca 93.90mg/l, K 10mg/l, Mg 16.75mg/l, Na 5.58mg/l and SO₄ 10mg/l, Cl 16.19mg/l, HCO₃ 5.38mg/l are cation parameters.

Other methods to determine the quality of the groundwater is chemical analysis results Wilcox, USA Salinity Laboratory, Piper and Schoeller Diagram. Hydro chemical analysis results of water evaluated using diagrams and water are determined.

Within these results of the geothermal system can be modelled. Hydro geochemical varies says that water is going down with faults and discontinuities at reservoir rocks and increase its temperature. After temperature increased water emerges to ground within the faults and discontinuities.

The chemical results show that the reservoir rock is granite because SO_4 is very high in thermal waters. It can take SO_4 from sulfides, such as pyrite. Also Ca is high in water chemicals. This means when water flowing down reservoir rock it interacts with limestones and marbles. Hamamlar thermal waters HCO_3 has a high percentage in cations and it can only be in meteoric waters. This result means that Hamamlar water mixes with meteoric waters.

1. GİRİŞ

Jeotermal sular, yer kabuğunun ısısının suya geçmesi ile oluşan, bünyesinde belirli oranlarda mineraller bulunduran termal sulardır. Bir suyun jeotermal olarak adlandırılabilmesi için suyun ısınıyını yerkabuğundan alması ve hava sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta ölçümlenmesi gerekmektedir. Bu sıcaklık değeri Türkiye’de 20 santigrat derece olarak kabul görmektedir (Kaplıcalar Yönetmeliğı, 2001).

Çalışmanın yapıldığı bölge olan Bursa' ya bağılı Orhaneli ilçesinde Sadağ ve Ağaçhisar bölgeleri jeotermal su kaynakları bulundurmaktadır. Bölgedeki iki jeotermal kaynak da Roma döneminde hamam işletmesi olarak kullanılmış ve uzun süre atıl olarak bırakılmıştır. Sadağ bölgesindeki sıcak su kaynağı yerel turistik işletme tarafından kullanılmakta olup Ağaçhisar herhangi bir iyileştirme yapılmadan bölgedeki köylülerce kullanılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı’ndan Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. “Bursa Orhaneli Bölgesi, Sadağ ve civarının hidrojeolojisi” isimli tez kapsamında inceleme alanında yer alan sıcak, mineralli ve soğuk suların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu veriler dayanılarak bölgedeki soğuk suların kullanılabilme ve içilebilme; sıcak suların ise ana haznenin özelliklerinin incelenmesi ve endüstriyel kullanılabilme şekillerinin irdelenmesi amacı güdülmüştür.

1.2 Çalışma Yöntemleri

Sadağ ve Ağaçhisar Termal Sularının ve bölgenin Jeolojik, Hidrolojik, Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal olarak etüdünü hedef alan bu çalışmada, yeraltı suyu potansiyeli ve niteliğı belirlemek için çalışma yöntemleri ofis, saha ve laboratuvar

alışmaları olmak üzere üç basamakta çalışılmıştır.

Ofis araştırmalarında uygulama alanı hakkında bilgi toplanmıştır. Bölgenin 1/100000 ölçekli, kabartmalı, sayısallaştırılmış jeoloji haritası ve ilgili çalışması ile Kütahya İ21 b1- b3 ve İ22 a2-a4 paftalarının 1/25000 ölçekli haritaları tez danışmanı Doç.Dr. H. Tolga YALÇIN tarafından verilmiş olup saha öncesi ön inceleme yapılmıştır. Doç. Dr. H. Tolga YALÇIN tarafından bölgedeki sıcak ve soğuk suların koordinatları verilmiş olup arazide numune alınacak lokasyonlar belirlenmiştir.

Arazi çalışmalarında yukarıda bahsedilen topoğrafik haritalar ve jeoloji haritaları kullanılmıştır. Jeoloji haritası; GPS, fotoğraf makinesi, jeolog pusulası, lup, EC (Hanna Marka), pH ölçüm cihazları kullanılmış olup, sahadan örnekler alınmıştır. Önceden belirlenmiş olan loksayonlardan ise sıcak ve soğuk su örnekleri toplanmıştır. Sıcaklık, pH değeri ve elektriksel geçirgenlik değerlendirmeleri ise sahada yerinde gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar alışmaları olarak ise, araziden alınan mineralli su, sıcak ve soğuk su örneklerine ait 72 element (ana-iz element) tayini ACME Analytic Laboratories Ltd. (Kanada) tarafından gerçekleştirilmiştir. Anyon özümlemeleri ise İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrojeoloji Laboratuvarında spektrofotometre ve titrasyon aygıtları ile gerçekleştirilmiştir. Analizi uygulanan su örnekleri değerlendirmeye alınarak yorumlanmıştır. Microsoft Office ve Corel Draw X8 paket programları ise ifadeleme için, şekil ve grafiklerin çizilmesi için haritaların oluşturulmasında yardımcı olmuştur.

1.3 Çalışma Alanının Tanıtılması

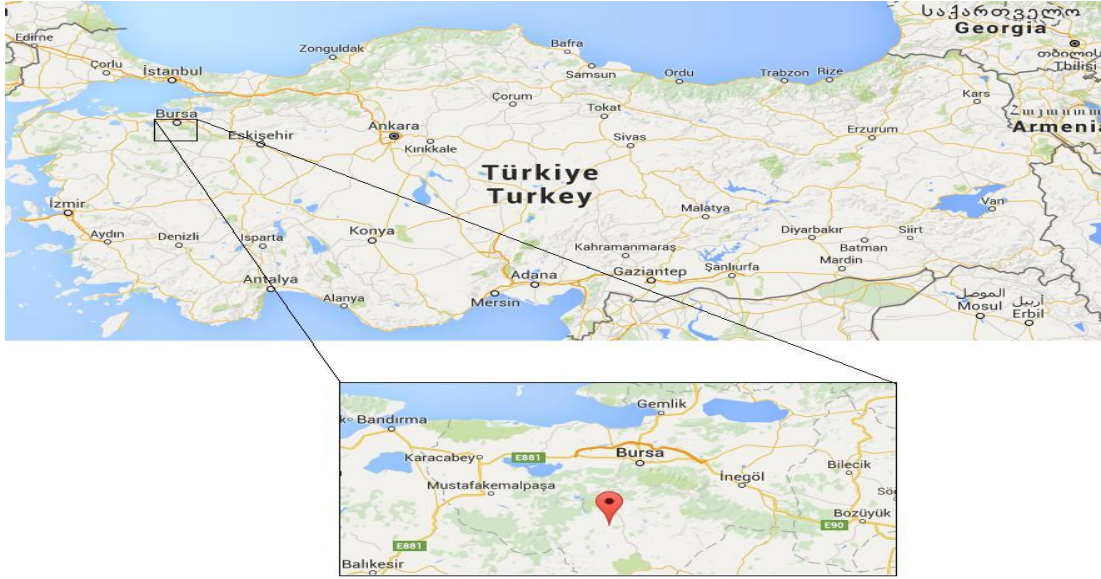
Bu kısımda bölgenin coğrafi pozisyonu, ulaşımı, morfolojisi, iklim-bitki örtüsü, ekonomik durumu, nüfus ve yerleşim özellikleri değerlendirmeye alınacak olup, bu başlık altında açıklanmaya çalışılacaktır.

1.3.1 Coğrafi konum

Bursa ili, Marmara bölgesinin güney kısmında bulunan, kuzeyinde Yalova ve Marmara Denizi, kuzeydoğuda Kocaeli ve Sakarya, doğuda Bilecik güneyde Kütahya ve batıda Balıkesir illeri ile komşu konumdadır.

Tezin alışma alanı ise Bursa İli Orhaneli ilçesine bağlıdır. Orhaneli ilçesi Bursa İl'inin Kütahya sınırındadır. İlçenin 6 km batısında bulunan Sadağ köyü ve 9 km güneydoğusunda bulunan Ağaçhisar köyü çalışma alanında sıcaksulara en yakın

yerleşim yerleridir. Çalışma alanının genel konumu ve yer bulduru haritası Şekil 1.1’ de verilmiştir.



Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.

1.3.2 Ulaşım

Bölgeye ulaşım karayolu ile sağlanmaktadır. Bursa merkezi ile Harmancık' ı bağlayan yol güzergâhında bulunan Orhaneli'nin diğer bölgelerle bağlantısı zayıftır. Kendi köylerine toprak yollarla bağlanır. Orhaneli merkezinden köylerine vasıta bulunmamaktadır. Bursa merkezinden Orhaneli ilçesine otobüs saat başı Bursa otobüs terminalinden kalkmaktadır. Çalışma alanının ulaşım haritası Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2: Çalışma alanının ulaşım haritası.

1.3.3 Morfoloji

Orhaneli ilçesinin yüzölçümü 764 km²'dir. İlçe merkezinde rakım 600 metredir. Bölgede Kırkbelen tepesi(1250m),Kırçal tepesi (1050m), Soraklar tepesi (1350m), Keçitarla tepesi (1050m), Küçükyapraklı tepesi (1050m) bulunmaktadır. Bölgede Sadağ Milli Tabiat parkı mevcuttur. Bu vadi şeklindeki tabiat parkı arazinin Güneybatısında olup Güneydoğusunda ise yine çok derin bir vadi mevcuttur. Bölgenin dereleriOrhaneli deresi, Sadağ deresi ve Adırnaz deresi olarak bilinir.

1.3.4 İklim ve bitki örtüsü

İnceleme alanında hem Akdeniz hem Ege ve Marmara iklim özellikleri geçişli hava şartları gösterir. Yazları Akdeniz iklimi, kışları daha çok Ege ve Marmara'nın kırsal iklimine yakın özellikler gösterir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan verilere göre en yüksek sıcaklık +43,8 °C, en düşük sıcaklık ise -19,2 °C ölçülmüştür. Yağış miktarları ise 1349 mm ile 510,8 mm arasında seyretmektedir. Yağışlı gün sayısı ise senede ortalama 112 gündür. Yıllık yağış miktarı 734,9 mm (kg/m²)'dir.

Yüzölçümü 764 km² olan Orhaneli İlçesi'nin dağlık kesimleri kızılçam, karaçam, meşe, ardıç ormanları ile kaplıdır.

1.3.5 Nüfus ve yerleşim

2 belde, 53 köy ve 6 mahalleden oluşan Orhaneli ilçesinde, Türkiye İstatistik Kurumu 2014 verilerinden edinilen kaynaklara göre toplamda 21563 kişi yaşamaktadır. Bu sayının 11033'ü kadın, 10530'u ise erkektir. Yine bu sayının yaklaşık olarak %96'sı ise şehirde ikamet ederken, kalan %4'lük kesim köylerde bulunmaktadır (Bursa Valiliği, 2015). Uygulama alanı olan Sadağ Köyünde ise 2014 verilerine göre 82 kişi yaşamaktadır.

1.3.6 Ekonomik durum

Bursa şehrinde gözlemlenen endüstriyel ilerleme, Orhaneli'nde görülmemektedir. Bunun asıl sebepleri ise ulaşım ve coğrafi olarak uzaklık olarak görülmektedir. Orhaneli kuşuçuşu mesafe olarak bağlı bulunduğu Bursa merkeze yakın olmasına rağmen, lokasyon olarak Uludağ'ın güney tarafında yer almasından dolayı, sanayi tesislerinden oldukça kopmuş olarak görünmektedir. Bu sebeple ekonomisi büyük ölçüde tarımdan sağlayan Orhaneli ilçesinde en çok vişne, ceviz, elma gibi meyve

ağaçları tercih edilmektedir. Meyve ağaçlarını tercih etmeyen kesimin daha çok dönemsel sebze ektiği gözlenmiştir. Bölgenin toprağının demir içeriğinin yüksek olması, bölgede daha çok demiri seven bitkilerin yetişmesini elverişli kılmıştır. Bunlara ek olarak hayvancılık da halkın önemli gelir kaynaklarından biridir. Sığır ve merinos koyunu hayvancılığın başlıca önde gelen kaynaklarındandır.

Bölgede linyit kömürü çıkartılmakta ve termik santralde işlenmektedir. Yakın gelecekte termik santralden buharlaşmış suyun dikey bacalarla soğutulması yerine yatay hatlarla çevrede kurulan sistemlerle köylü kullanımına açılacağı, bu sıcak sular sayesinde seracılığın önünün açılacağı gözlemlenmiştir.

2. GENEL JEOLojİ

2.1 Önceki Çalışmalar

MTA (2005): Tüm Türkiye'yi kapsayan jeotermal çalışmada Bursa bölgesindeki sıcak suların bir kısmı etüd edilmiştir.

Okay (2004): Tavşanlı zonu ve etrafının detaylı incelenmesi yapılmış, YB/DS metaformizmasında gelişen mineral değişimlerini ve bölgenin tektonik evrimini incelemiştir.

Nart (2015): Bursa Dömböldek jeotermal suyunun hidrolojisi isimli yüksek lisans çalışmasında bölgenin sıcak, soğuk ve mineralli sularını sınıflandırmış, sıcak suyun enerji potansiyeli hakkında değerlendirmelerde bulunmuştur.

Bu çalışmalar haricinde bölge eskiden beri bilimsel anlamda ilgi çeken bir alan olduğundan değişik zamanlarda farklı amaçlarla çalışmalar oluşturulmuştur. Bu çalışmaların bir kısmı Ketin(1947), Erişen ve Öngür(1976), Pehlivan ve diğ. (1995), Imbach (1997), Ertürk (2010) ve İTÜ(2011) olarak kronolojik sırayla verilmiştir.

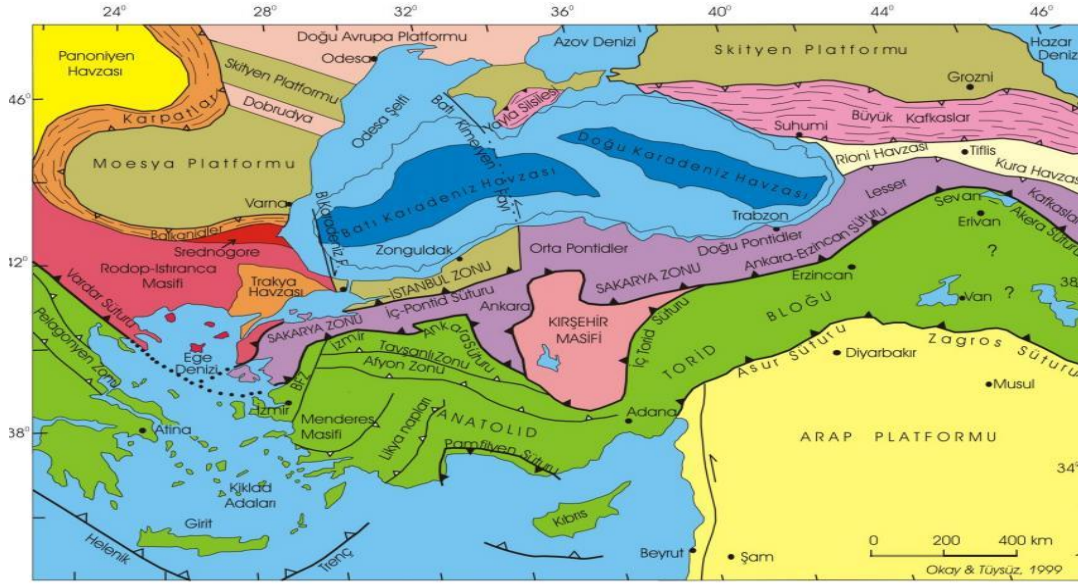
2.2 Bölgesel Jeoloji

Genel olarak Bursa İli Sakarya ilinde yer almaktadır. İncelenen bölgede Tavşanlı zonunda yer almaktadır. Tavşanlı zonu, Anatolid-Torid bloğunda kuzey ucunda bulunan ve Kretase'de yüksek basınç- düşük sıcaklık koşullarında metamorfizma geçirmiş bir bölgeyi oluşturur.

Tavşanlı zonu D-B güzergâhında 280km uzanır. Petrolojik, stratigrafik ve jeokronolojik veriler ışığında Tavşanlı zonu Anatolid- Torid bloğunun geç Kretase zamanlarında bir dalma-batma zonu içinde olan ve daha sonra tekrar yüzeye yükselen kesimini temsil eder. Tavşanlı zonunun Türkiye'deki yeri Şekil 2.1' de gösterilmiştir.

Tavşanlı zonu 4 tektonostratigrafik birimine ayrılmıştır. Bu birimler Orhaneli grubu, Ofiyolitik Melanj, Ofiyolit, Eosen yaşlı çökel kayalar ve Eosen yaşlı Granitoidlerdir.

Orhaneli grubu baskın olarak metasedimenter kayalardan yapılmış düzenli bir stratigrafi istifi oluşturmıştır (Okay, 2004).



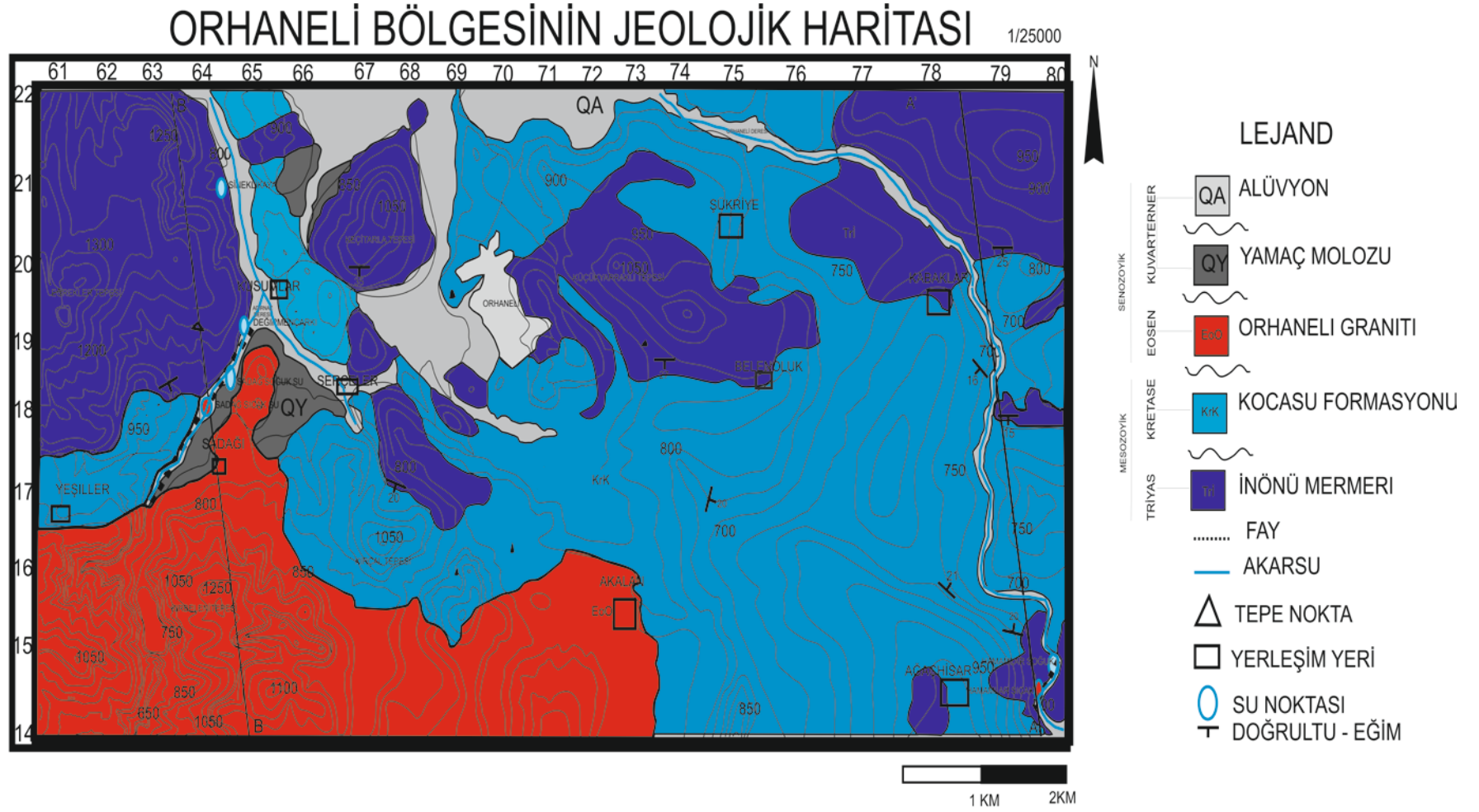
Şekil 2.1: Bölgesel jeoloji (Okay& Tüysüz, 2006).

2.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

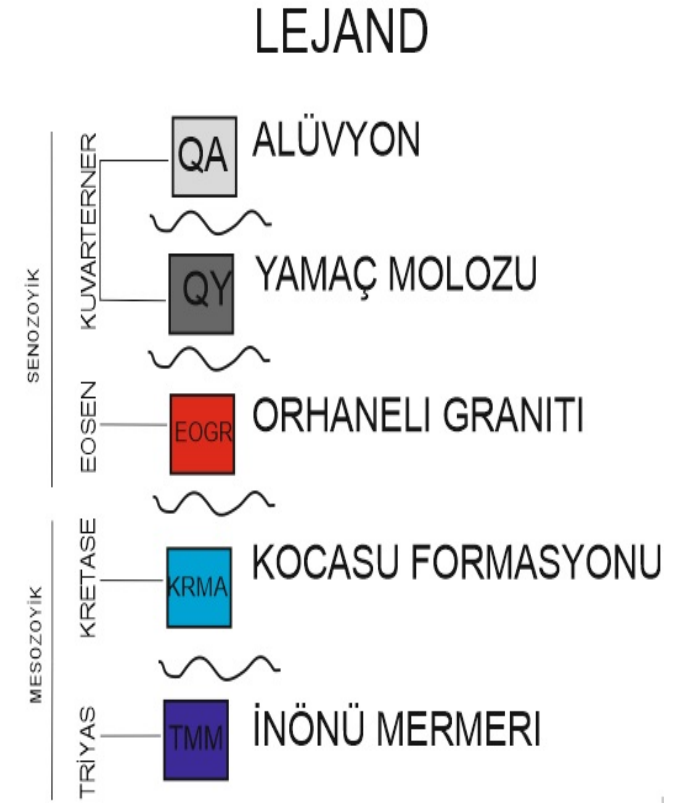
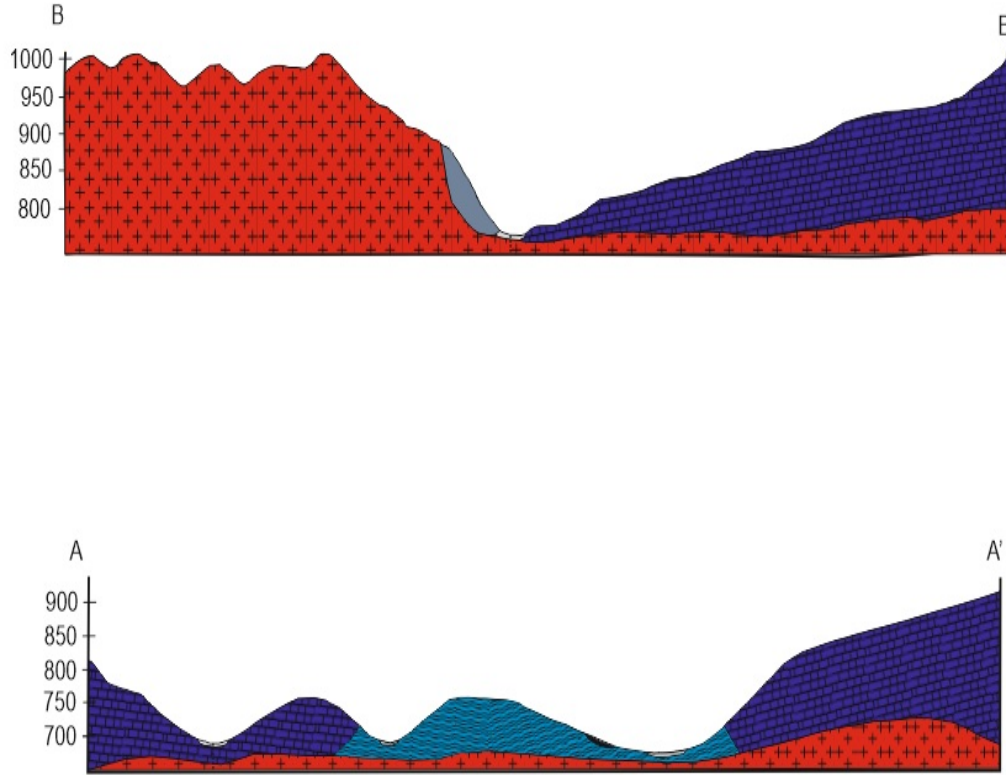
İnceleme alanında litolojik olarak 5 birim bulunmaktadır. Bölgenin yaşlı litolojisi Triyas yaşlı İnönü mermeridir. Arazinin büyük bir kısmında yüzlek verir. Arazinin Güneydoğu bölümünde daha yoğundur. Bu birimin üstüne Kretase yaşlı kireçtaşıdır. Daha çok rakımı yüksek yerlerde görülür ve diğer birimlere göre çalışma alanında daha seyrek. Çalışma alanının daha çok Kuzeyinde görülür. Bu iki birimi Eosen yaşlı Orhaneli granitleri keser. Orhaneli granitleri çalışma alanının Güneybatısında yer alır. Bu birimlerden hariç bölgede Kuvarterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlar bulunur. Çalışma alanında akarsu etraflarında toplanmışlardır. Bölgenin stratigrafik kesiti Şekil 2.2 bölgenin jeoloji haritası Şekil 2.3 ve jeolojik haritanın enine kesiti Şekil 2.4 aşağıda gösterilmiştir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
MESOZOYİK	SENOZOYİK	KUVARTERNER	Qal		Alüvyon
			Qym		Yamaç molozu
	KRETASE	ERKEN KRETASE	Krm		Kocasu Formasyonu
	TRİYAS	Geç TRİYAS	T _{rm}		Eosen yaşlı granitoid, Orhanlı Graniti
					İnönü Memeri

Şekil 2.2: Bölgenin stratigrafik kesiti.



Şekil 2.3: Bölgenin Jeolojik haritası.



Şekil 2.4: Bölgenin jeolojik enine kesiti.

2.3.1 İnönü mermeri

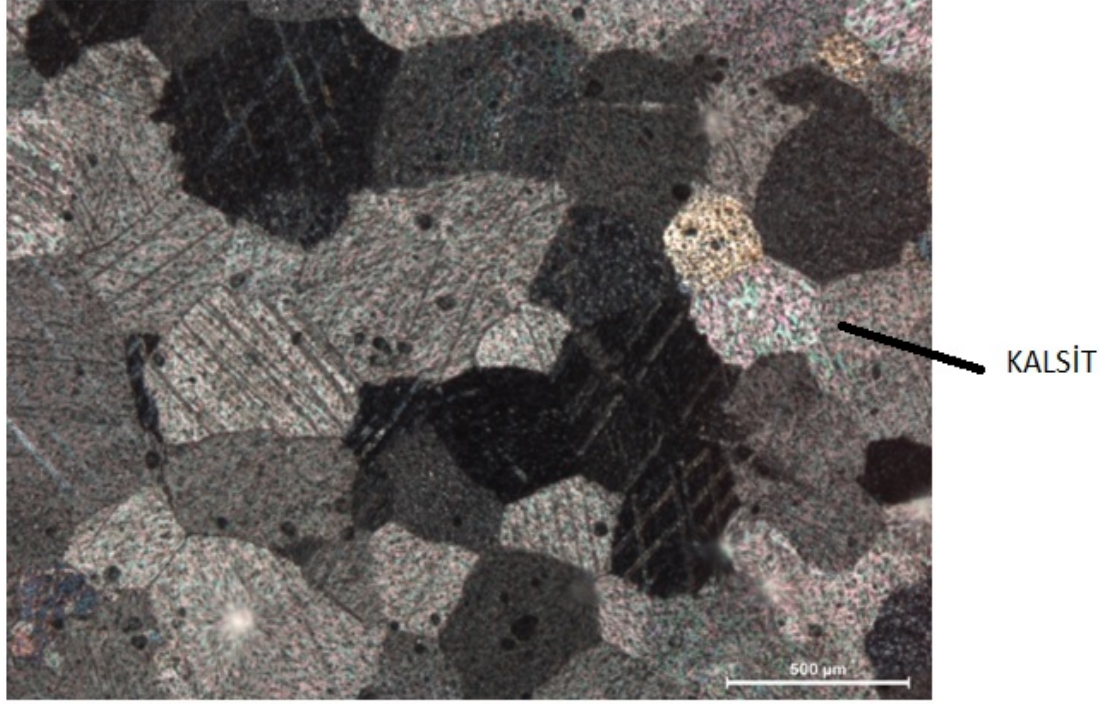
Servais, 1982 tarafından adlandırılan İnönü mermeri beyaz, açık gri, bej, masif, yer yer çört katmanlı karbonatlardan yapılmıştır. İnönü mermeri kilometrelerce yapısal kalınlık göstermekle birlikte yer yer bantlı, seyrek çörtlü araseviyeli karbonatlardan oluşur. İnönü mermeri sahada Orhaneli'nin doğusunda ve güneybatısında bulunur (Okay, 2009).

Orhaneli güneyinde karşımıza çıkarken bej, beyaz gözüken kısımlar Sadağ bölgesinin Kuzey kısımlarında yer alır (Şekil 2.5). İnönü mermeri tüm kristalli, orta taneli, kristalleşme koşulları Kocasu formasyonundan farklıdır. Kayaç tanelerinin tümü birbirine kenetlenmiştir. Kayaç içinde çatlak gözlenmez. Demir ayrışmasından kaynaklı siyahımsı – kahve boyama izlerine rastlanır. Tam kristalleşmiş kalsit tanelerinde erime boşluğu gözüktür. Ancak bu kalsit taneleri diğerlerine göre daha kirlidir. Kirliliğin sebebi muhtemelen çok ince boyutlu (kil boyutu) taneler olabilir. En iri tane 1 mm, en ince tane ise 0,1 – 0,2 mm arasındadır (Şekil 2.6).

İnönü mermeri Kocasu formasyonu ile parakonformite göstermekle bölgede Eosen yaşlı granitoid (Orhaneli granitoidi) tarafından kesilmiştir. Mermerin yaşının Geç Triyas veren konodotlar bulmuşlardır (Okay, 2004).



Şekil 2.5: İnönü mermeri KB bakisi (Sineklikaya mineralli su noktası).



  kil 2.6: İ     mermerindeki kristalli yapının mikroskop görünümü çift nikol.

2.3.2 Kocası formasyonu

Formasyon ismi Aral Okay (1981) tarafından verilmiş olup, formasyon baskın olarak kuvars mika  istlerden oluşmuş düzenli bir metamorfik kireçtaşıdır. Mikaşistler orta taneli,sert, ince bandlı, gri, açık gri renkte kayalar yaparlar.Kocası formasyonu'nun özellikleri istifin metamorfizma geçirmeden önce kumtaşı- şeyl ardalananması oldu  ğunu gösterir ancak kayaç tümü ile rekristalize olduğundan ilksel özelliklerini yitirmiştir (Okay, 2009).

Çalışma alanında Orhaneli ilçesinin kuzeyinde ve güneyinde, alanın büyük bir kısmını kaplayacak biçimde istiflenmiştir. Oldukça geniş alanda gözlemlenen Kocası formasyonunda metamorfizmanın etkisiyle si  tlerde oluşan kıvrımlar sıkça gözlenmiştir (  kil 2.7). Sahada bej, kahverengi, uçuk mavi renklerinde gözlenen formasyonun kalınlığı Ağaçhisar bölgesinde 10 metreye kadar yüzlek verir (  kil 2.8) ve (  kil 2.9). Sahadan alınan numunelerin ince kesitlerinin hazırlanarak laboratuvarda incelenmesinde formasyon önceden mikritik bir matristen oluşan kireçtaşı daha sonra basınç ve sıcaklık değiştiğinde yeniden kristalleşip ince – orta taneli rekristalize kireçtaşına dönüşmüştür. Kayacı oluşturana kalsit taneleri sıkı dokulu ve kenetlenme iyi olduğundan kayaç boşlukları nadir gözlemlenir. Yer yer kirli sarı renkte demir ayrışmalarına rastlanır ki bu da serinin diğer kısımlarındaki

killi serinin bir sonucudur. Kuvars mikaşistleri bol muskovit nadir biyotit minerallerinden meydana gelir. Genellikle muskovitler kuvarsların etrafında yönlü şişti doku gösterirler. Kuvarslar kırıklanmış, çok farklı büyüklüklerde izlenirler. Mikalarda bükülme ve kıvrılmalar aşırı düzeydedir. Bolluk sırasına göre diğer mineraller ise Klorit, Amfibol (bir kısmı Glokofan)' dır. En iri tane 0,5 mm en ince tane ise 0,05-0,06mm boyutlarındadır (Şekil 2.10), (Şekil 2.11), (Şekil 2.12).

İnönü mermeriyle ve neojen çökellerle parakonformite ilişkisi bulunan formasyonun Orhaneli granitoidleriyle diskonfomite ilişkisi bulunmaktadır. Tavşanlı zonunun hem tektonik hem stratigrafik olarak en altında bulunan birim olan Kocasu formasyonunun yaşlandırma için yapılan litolojiden örnek alma ve korelasyon yöntemleriyle yaşının Erken- Orta Kretase olduğu tespit edilmiştir (Okay, 2004).



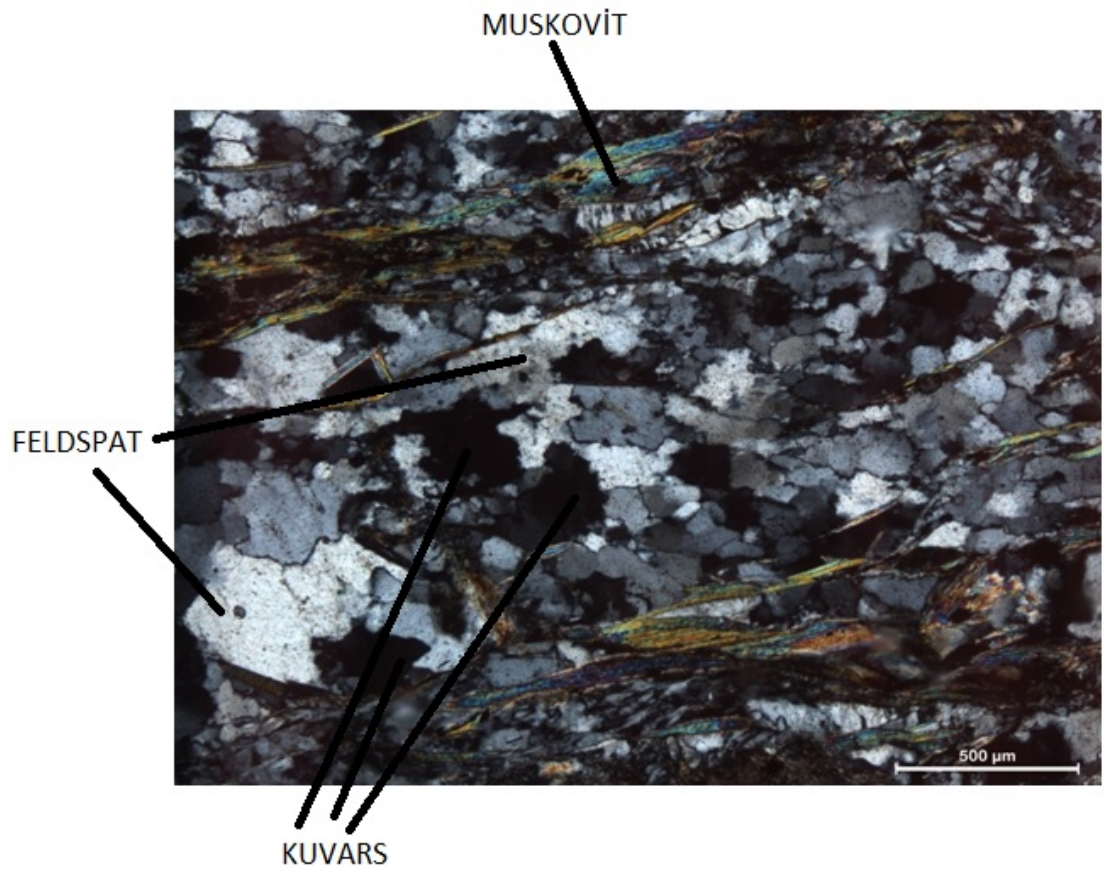
Şekil 2.7: Ağaçhisar dolayısı Kocasu Formasyonu Güneybatı bakışı.



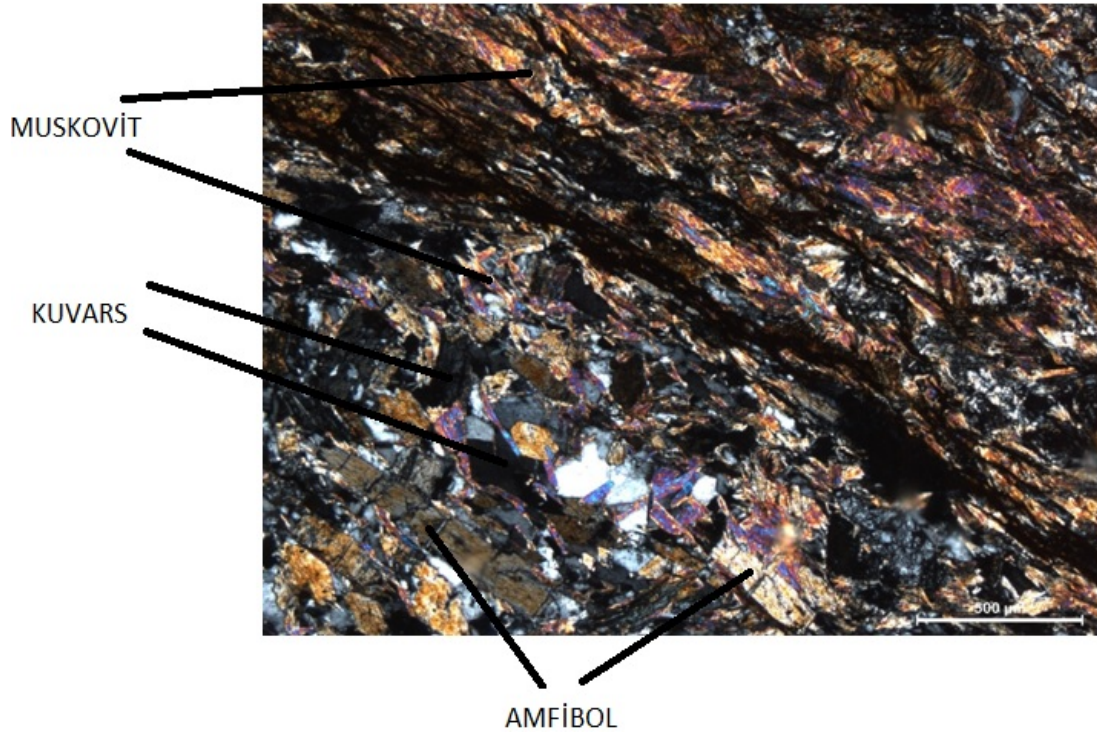
Şekil 2.8: Belenoluk civarı Kocasu formasyonu.



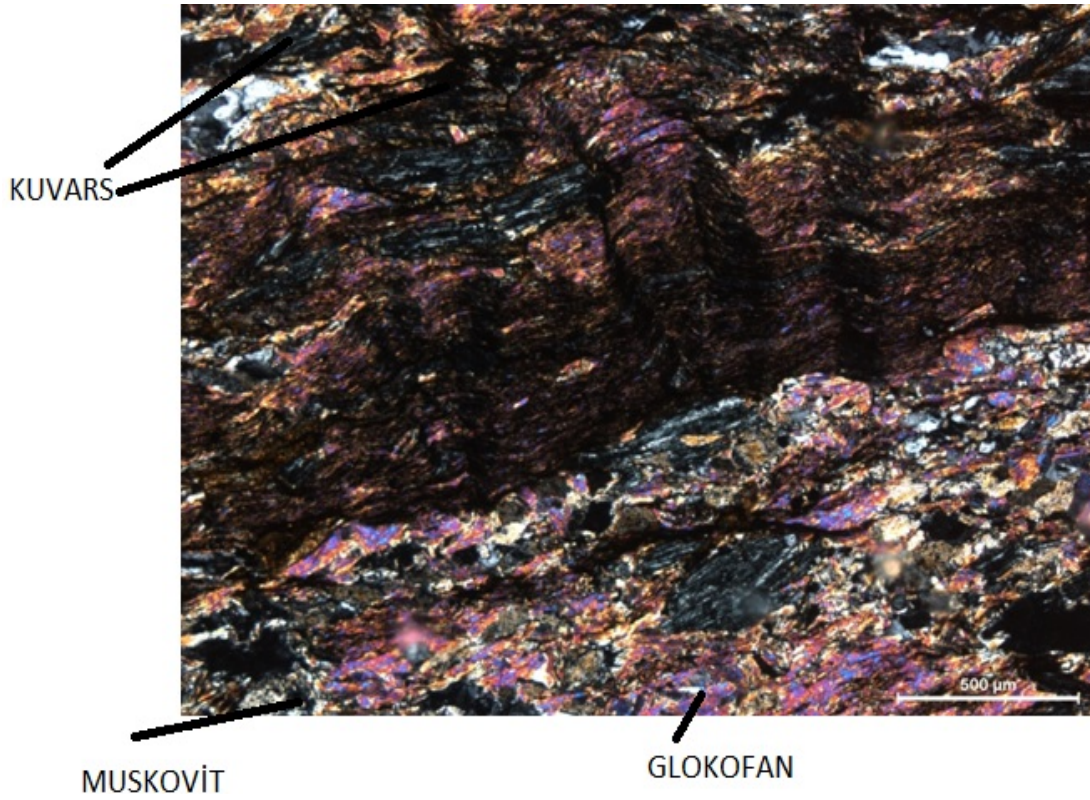
Şekil 2.9: Ağaçhisar dolayı Güneydoğu bakışı.



Şekil 2.10: Kocasu formasyonu Kireçtaşı içerisindeki metamorfik yapının çift nikol mikroskop görüntüsü.



Şekil 2.11: Kocasu formasyonunda bulunan minerallerin mikroskopta çift nikol görüntüsü.



Şekil 2.12: Kocasu formasyonunda bulunan minerallerin mikroskopta çift nikol görüntüsü.

2.3.3 Orhaneli granitoidleri

Eosen'de denizel çökelimle beraber plütonik girişlerde Tavşanlı bölgesine sokulmuştur. Bursa'ya kadar BKB-DGD yönlerinde sırlanır. Yapılan petrolojik ve petrokimyasal incelemeler sonucunda oluşum derinliği 30km'den daha sığ olduğu bulunmuştur (Okay, 2004).

İnceleme sahasının güney – güneybatısında yer alan granitodiler kıvılcık kahve, yer yer açık gri, koyu gri olarak gözlemlenir (Şekil 2.13). Çok çatlaklı bir yapısı bulunan granitoidler özellikle Sadağ köyünün güneyinde 30 – 40 metrelere varan vadide çok net biçimde gözlemlenirler (Şekil 2.14). Vadi boyunca yüründüğünde çatlak takımları ve faylanma izleri açıkça görülmektedir. İncelemek için ince kesit yapıp bakıldığında porfirik doku hemen göze çarpar. İçinde kuvars, alkali feldspat, plajiyoklas, kloritleşmeye başlamış biyotit (metamorfizma sonucu oluşmuş) gözlenir. Kuvarslar dalgali yapı – sönme gösterirler. Tektonik deformasyon geçirdiği anlaşılan kayacın kontak zonundan numune alınmıştır. Kontak zonunda gelişmiş epidotlar gözlenmiştir. Tam kontakta ince taneli ince taneli hat gelişmiştir. Kontakta kenara doğru ise orta Kristal taneli epidotlar gelişmiştir. İnce dağınık kuvarslar 0,002 – 0,005 mm arasındadır. İri taneli kuvarslar ise 1 – 1,5 mm arasındadır. Üst üste eklenmiş alkali feldspatların ortalama boyları 1 mm iken epidot ve kloritlerin boyutları 0,001 – 0,003 – 0,005 mm arasında değişir. Plajiyoklasların boyutları ortalama 1 mm'dir (Şekil 2.15), (Şekil 2.16).

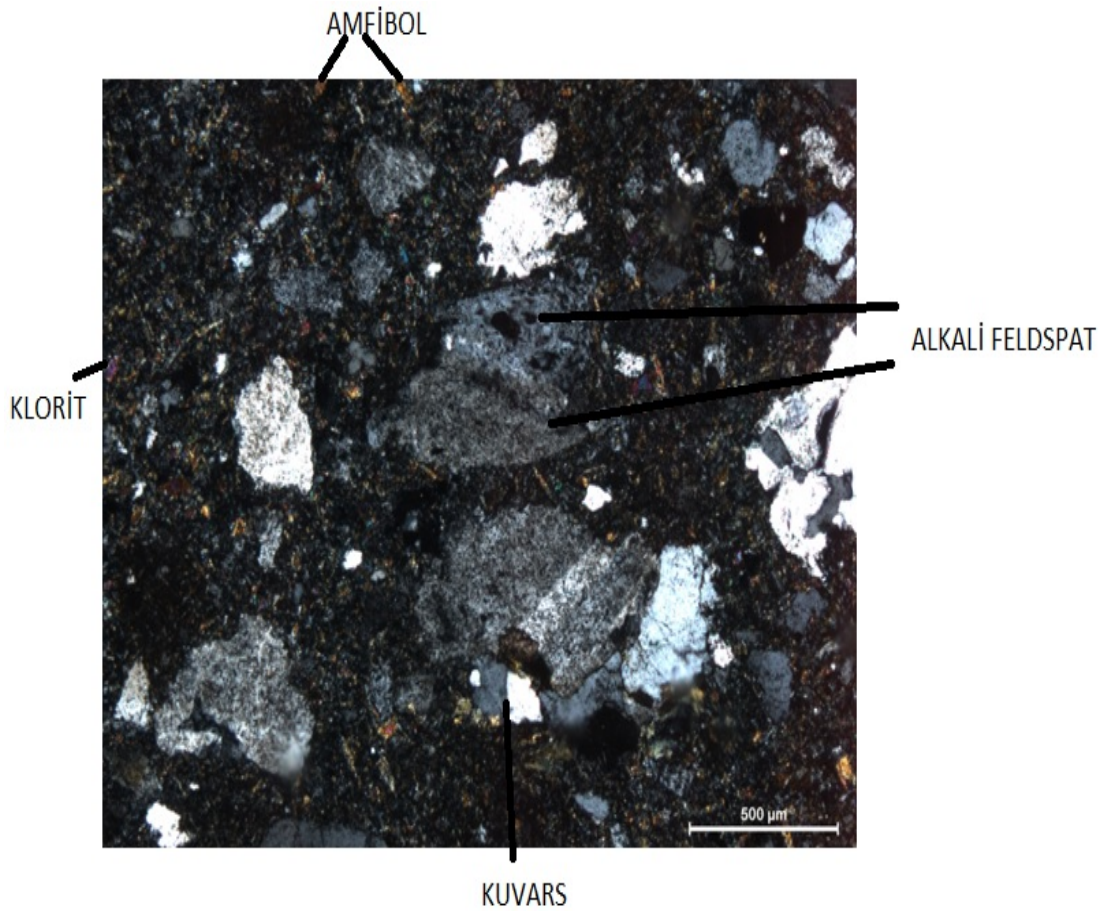
Granodiyorit bileşimi olan sokulumların yaşı erken-orta Eosen olarak tahmin edilmektedir (Okay, 2004).



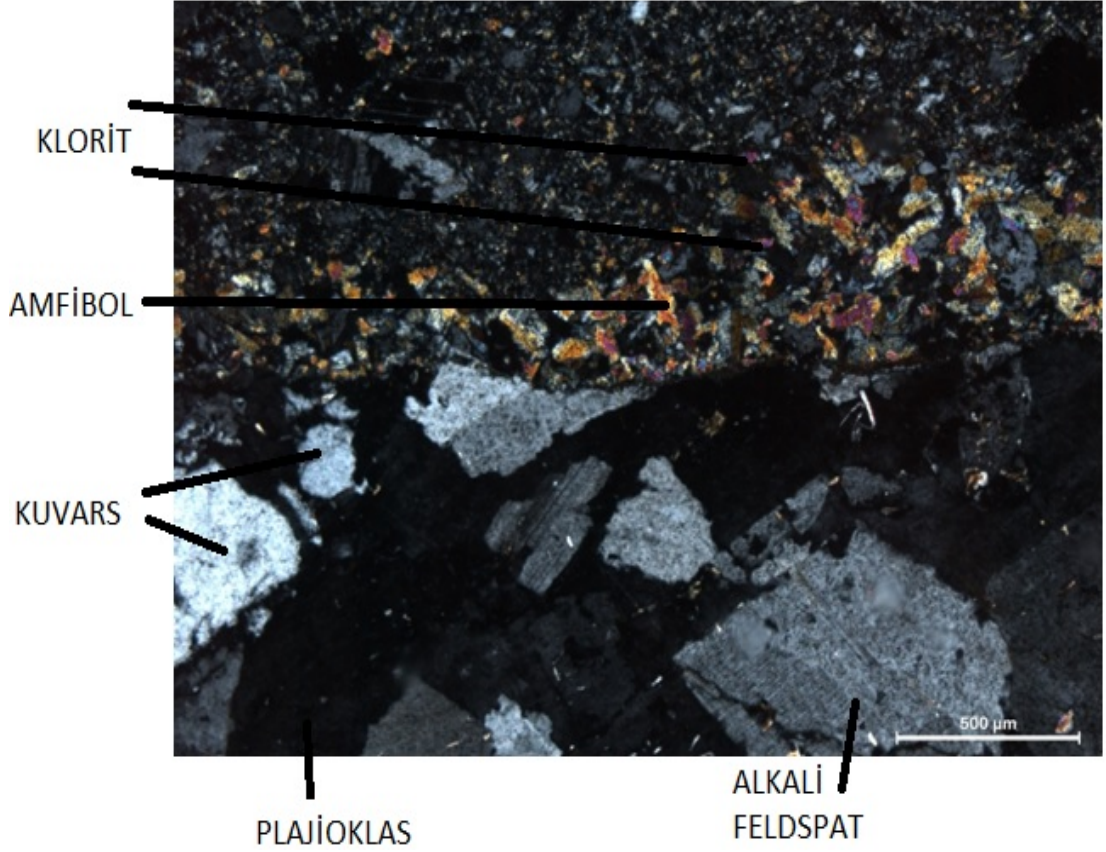
Şekil 2.13: Sadağ deresi doğu bakışı.



Şekil 2.14: Sadağ deresi batı bakışı.



Şekil 2.15: Orhaneli formasyonuna ait granitin mikroskopta çift nikol görüntüsü.



Şekil 2.16: Orhaneli formasyonuna ait granitin mikroskopta çift nikol görüntüsü.

2.3.4 Alüvyon ve yamaç molozu

Bölgedeki alüvyonlar tutturulmamış, kötü boylanmalı ve dereceli, köşeli ve farklı litolojilere sahip çakıl, kil ve kumdan oluşmaktadır.

Bölgede görülen yamaç molozu ise blok, çakıl ve kumun yanı sıra toprak ara katkılarından oluşmaktadır. Neojen yaşlı birimler üzerimde uyumsuz olarak yer alırlar.

2.4 Yapısal Jeoloji

2.4.1 Uyumsuzluk

Çalışma alanında yer alan Triyas yaşlı İnönü mermeri ile Kretase yaşlı Kocasu formasyonu ile uyumsuzluk gösterir. Aynı zamanda Eosen yaşlı granit sokulumu da diğer iki birime uyumsuz olarak yerleşmiştir. Kuvarterner yaşlı yamaç molozları ve alüvyonlar ise tüm birimlere uyumsuz olarak yerleşmiştir.

2.4.2 Faylar

Çalışma alanındaki tektonik olaylar fayların oluşumunda etki göstermiştir. Arazinin kuzeybatısında ve güneydoğusunda fay olabileceği ihtimali üzerinde durulmuştur. Hem bölgenin morfolojik yapısı hem de bölgeden çıkan sıcak suların hem beslenme hem de çıkış için buradaki fayları kullandığı düşünülmüştür.

2.4.3 Çatlak sistemi

Çalışma alanında bulunan Eosen yaşlı granitlerde çatlak takımları gözlemlenmiştir. Arazinin güneydoğusunda bulunan granitlerin Sadağ kanyonu civarında gözlemlenen kısmında çatlakların KB – GB yönünde geliştiği gözlemlenmiştir.

2.4.4 Tabakalanma

Çalışma alanında yer alan Kocasu formasyonu olan Kretase yaşlı kretase yaşlı kireçtaşı tabakalanmalar bulunmaktadır. Tabakalanma farklı lokasyonlarda farklı ölçümlenmiştir. Arazinin batısında D-B doğrultulu 20 – 30 derece arasında güneye doğru ölçümlenen doğrultu ve eğimler, arazinin doğusunda ve güneydoğusunda KB – GB yönünde 25 – 35 derece arasında kuzeye doğru ölçülmüştür. Arazinin kuzeydoğusunda ise yeniden D-B doğrultulu 25 derecelik güneye eğim ölçülmüştür.

3. HİDROJEOLOJİ

3.1 Meteorolojik Verilerin Değerlendirilmesi

Sular yeryüzünde devamlı hareket halindedirler. Bu hareket farklı şekillerde yağışlar, yağın suyun bölgedeki arazide emilimi, buharlaşma ve terleme yoluyla tekrar atmosfere dönüşü olarak özetlenebilir. Atmosfere geri dönmeyen sular ise ya yer üstünden akarak ilerlerler ya da yeraltı sularına karışırlar. Basit bir matematikle yağış; buharlaşma, süzülme ve akışın toplamıdır. Bu bilgiler ışığında suyun hareketlerinin incelenmesi için bu verilerin incelenmesi ve yorumlanması gereklidir. Orhanlı bölgesindeki istasyon uzun süredir işlememektedir. Bölgeye en yakın Keles (17659) istasyonundan alınan 1990 – 2010 yılları arasının verileri Çizelge 3.1’de tablo haline getirilmiştir.

3.1.1 Yağış

Yağış döngünün en önemli kaynaklarından biridir. Bölgenin beslenmesi açısından yüksek öneme sahip yağış dolu, kar yağmur gibi farklı şekillerde görülmektedir. Yağışın miktarları bölgenin yapısından kaynaklı değişiklikler gösterebilir. Yağış miktarını yağışların türü, yağış miktarı, sıcaklık, yükseklik, rüzgâr gibi etkenler belirler. Bu düşen yağışların derinliği ise plüviyometre veya yağışölçer diye isimlendirilen aletlerle ölçülmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’ne bağlı istasyonlar bu araştırmaları yapmaktadır. Birim alana düşen yağış derinliği (mm) ya da ağırlığı (kg/m^2), yağış miktarı olarak adlandırılır. Yağışın hesaplanması ve tahmin edilmesi bölgede yapılan tarım amaçlı su çalışmalarında oldukça önemlidir.

Çalışma alanında ki geçmiş sonuçlar incelendiğinde yıllık yağışın mm olduğu gözlenmiştir. En yüksek yağış aldığı ay Aralık ayı ve 97mm miktar olan yağış, Ağustos ayında 17mm miktar ile en düşük düzeyde seyretmiştir (Şekil 3.2). 20 yıllık veriler ışığında yıllık ortalama yağış değeri 734,9 mm olarak belirlenmiştir. (Çizelge 3.2). Ayrıca bölgenin eklenik sapma grafiği de Çizelge 3.3 ve Şekil 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Orhaneli ilçesi Penman yöntemi ile hazırlanan (1990-2010 yılları arası veriler) potansiyel buharlaşma.

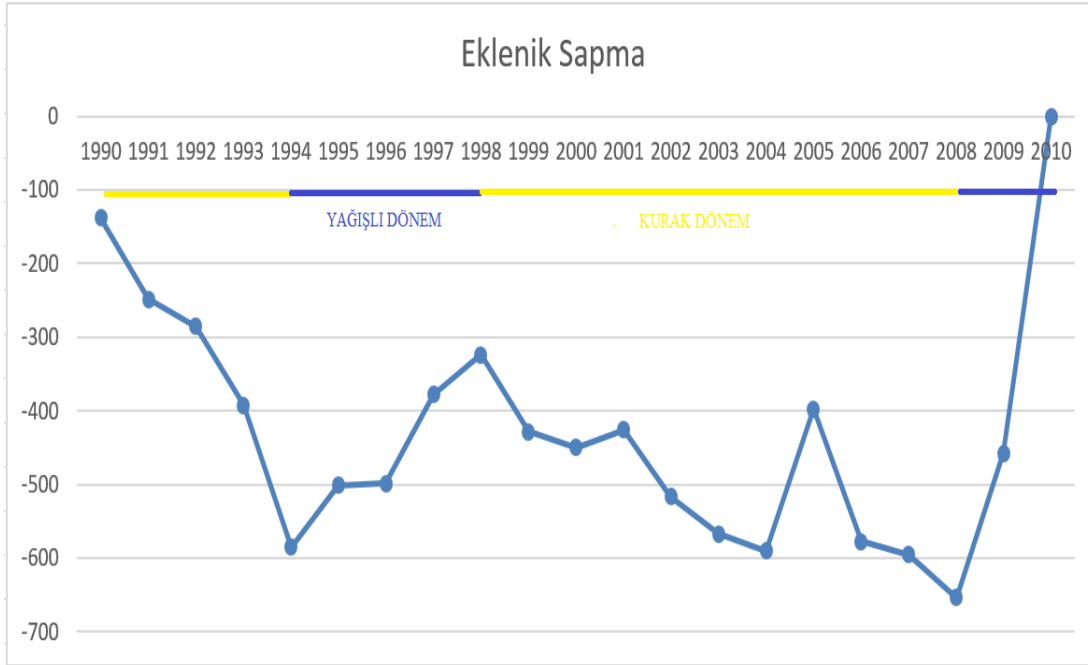
KELES 1990 - 2010	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SICAKLIK	0.295	0.475	3.43	8	12.85	16.81	19.38	19.54	15.1	11.3	5.9	2.1
A	0.761	0.768	0.895	1.137	1.474	1.827	2.102	2.121	1.664	1.356	1.018	0.835
RA(mm.su/gün)	5.9	8.1	10.9	13.8	15.9	16.9	16.3	14.6	12	9.1	6.4	5.6
n(saat/gün)	3.05	3.64	5.00	5.96	8.36	10.11	11.29	10.67	8.37	5.87	3.80	2.25
N(saat/gün)	9.6	10.6	11.8	13.3	14.4	15.2	14.8	13.7	12.4	11.1	9.9	9.2
Rc(mmsu/gün)	1.57	2.24	3.38	4.41	5.95	6.92	7.33	6.66	4.96	3.21	1.88	1.32
B	11.06	11.1	11.69	12.6	13.57	14.36	14.88	14.91	14.02	13.26	12.18	11.42
RH	0.68	0.68	0.63	0.63	0.59	0.56	0.54	0.53	0.57	0.62	0.66	0.71
ea(mmHg)	4.68	4.74	5.86	8.04	11.11	14.34	16.86	17.03	12.86	10.03	6.96	5.33
RB	1.69	1.796	2.154	2.241	2.734	2.999	3.31	3.396	3.091	2.524	1.969	1.393
U10(m/ sn)	1.95	2.03	2.22	2.095	2.025	2.015	2.08	2.105	2.432	1.9	1.76	1.8476
U2(m/sn)	0.76	0.82	0.99	0.88	0.82	0.81	0.87	0.89	0.75	0.72	0.62	0.68
Ea	0.305	0.343	0.573	0.712	1.001	1.379	1.821	1.927	1.122	0.745	0.4	0.287
E(mm.su/gün)	0.122	0.388	0.88	1.489	2.322	3.021	3.31	2.837	1.59	0.712	0.151	0.123
Ep(mm.su/ay)	3.652	11.629	26.388	44.655	69.663	90.617	99.285	85.106	47.692	21.368	4.533	3.696
Ep(mm.su/yıl)	508.285											

Çizelge 3.2: Orhaneli ilçesi Penman yöntemi ile hazırlanan (1990-2010 yılları arası)su bilançosu verileri.

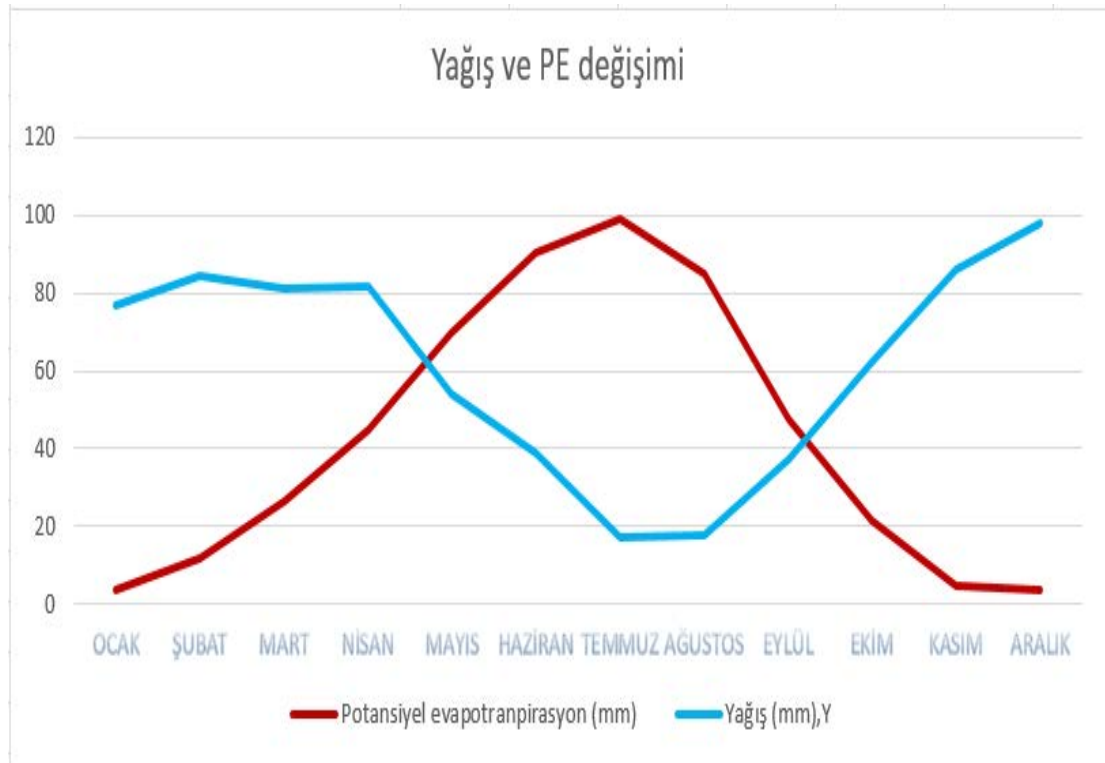
SU BİLANÇOSU													
Yöntem: Penman					Toprağın rezerv su kapasitesi (mm):100								
Yağış istasyonu : KELES 1990 / 2010													
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Sıcaklık(oC)	0.3	0.5	3.4	8	12.9	16.8	19.4	19.5	15.1	11.3	5.9	2.1	9.6
Potansiyel evapotranpirasyon (mm)	3.7	11.6	26.4	44.7	69.7	90.6	99.3	85.1	47.7	21.4	4.5	3.7	508.4
Yağış (mm),Y	77	84.2	81.2	81.6	54.3	38.8	17.2	17.5	37.2	62.3	85.8	97.8	734.9
Y-EP	73.3	72.6	54.8	36.9	-15.4	-51.8	-82.1	-67.6	-10.5	40.9	81.3	94.1	226.5
Rezevr su (mm)	100	100	100	100	84.6	32.8	0	0	0	40.9	100	100	-
Gerçek Evapotranspirasyon (mm)	3.7	11.6	26.4	44.7	69.7	90.6	50	17.5	37.2	21.4	4.5	3.7	381
Eksik su (mm)	0	0	0	0	0	0	49.3	67.6	10.5	0	0	0	127.4
Fazla su (mm)	73.3	72.6	54.8	36.9	0	0	0	0	0	0	22.2	94.1	353.9
Akış (mm)	60.2	66.4	60.6	48.7	24.4	12.2	6.1	3	1.5	0.8	11.5	47.1	342.5
Akışın yağışa göre açığı (mm)	16.8	17.8	20.6	32.9	29.9	26.6	11.1	14.5	35.7	61.5	74.3	50.8	392.5

Çizelge 3.3: Çalışma alanında bulunan Keles Meteoroloji İstasyonuna ait 1990-2010 yılları arası yağış verileri.

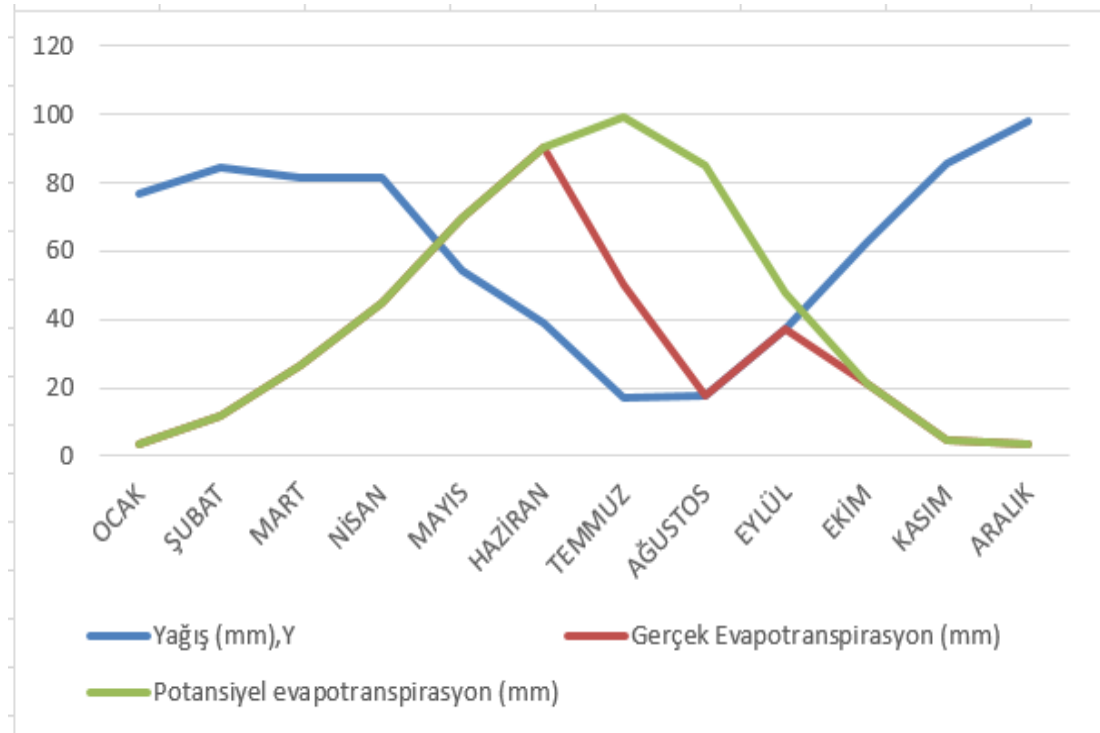
Yıllar	Yıllık Ortalama Yağış mm	Eklenik Sapma
1990	596,7	-138,2
1991	620,8	-248,57
1992	694,1	-285,64
1993	624,1	-392,81
1994	538,9	-585,08
1995	815,2	-501,05
1996	733,9	-498,32
1997	851,9	-377,59
1998	785,1	-323,66
1999	626,1	-428,73
2000	709,9	-450,01
2001	755,4	-425,77
2002	639,9	-517,04
2003	681,1	-567,11
2004	707,6	-590,68
2005	924,4	-397,45
2006	551,3	-577,32
2007	713,3	-595,19
2008	673,1	-653,26
2009	926,6	-457,83
2010	1189,2	0



Şekil 3.1: Keles Meteoroloji istasyonu verilerinden ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği.



Şekil 3.2: Penman yöntemi ile hazırlanan yağış ve potansiyel buharlaşmanın aylık değişim grafiği.



Şekil 3.3: Penman yöntemi ile hazırlanan yağış ve gerçek buharlaşmanın aylık değişim grafiği.

3.1.2 Sıcaklık ve buharlaşma - terleme

Bölgede 1990-2010 yılları arasındaki ortalama sıcaklık 9.5 °C'dir. En sıcak ay 19,5 °C ile Temmuz, en soğuk ay ise 0 °C ile Ocak'tır.

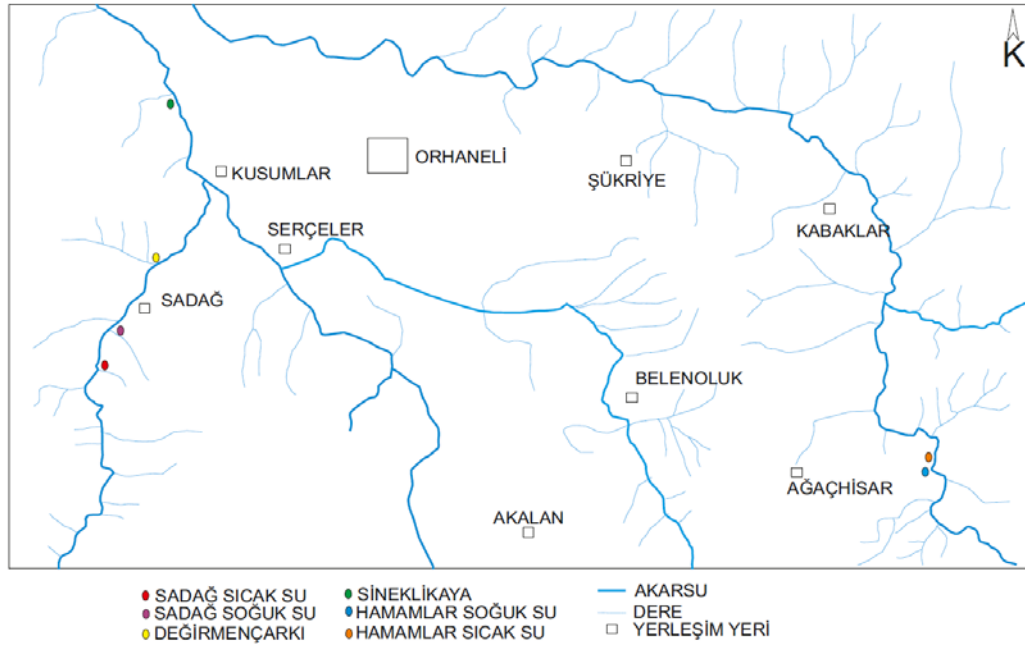
Buharlaşmalar, su döngüsünde transfer aşamasında ana kısımlardan birini oluşturmaktadır. Sıvı ya da katı fazda bulunan suyun, su buharına dönüşüp gaz haline geçerek atmosfer ortamına karışması olayına buharlaşma denir. Serbest yüzeylerden olan buharlaşmalara evaporasyon adı verilirken, bitkilerden gerçekleşen terleme durumuna ise transpirasyon denir. Buharlaşmayı etkileyen durumlar ise basınç farkları, rüzgârın hızı, ortam sıcaklıkları, enlem, buharlaşacak olan suyun kimyasal durumu ve buharlaşma yüzeyidir. Buharlaşmadaki miktar; solar radyasyon, basınç farkı ve rüzgar hızı ile paralel hareket ederken, suyun tuz içeriği, açık hava basıncı ve havada bulunan nem oranı ile ters orantılı olacak şekilde hareket etmektedir. Potansiyel buharlaşma 508,4 mm olmakla beraber gerçek buharlaşma 381 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.3).

3.1.3 Meteorolojik bütçe

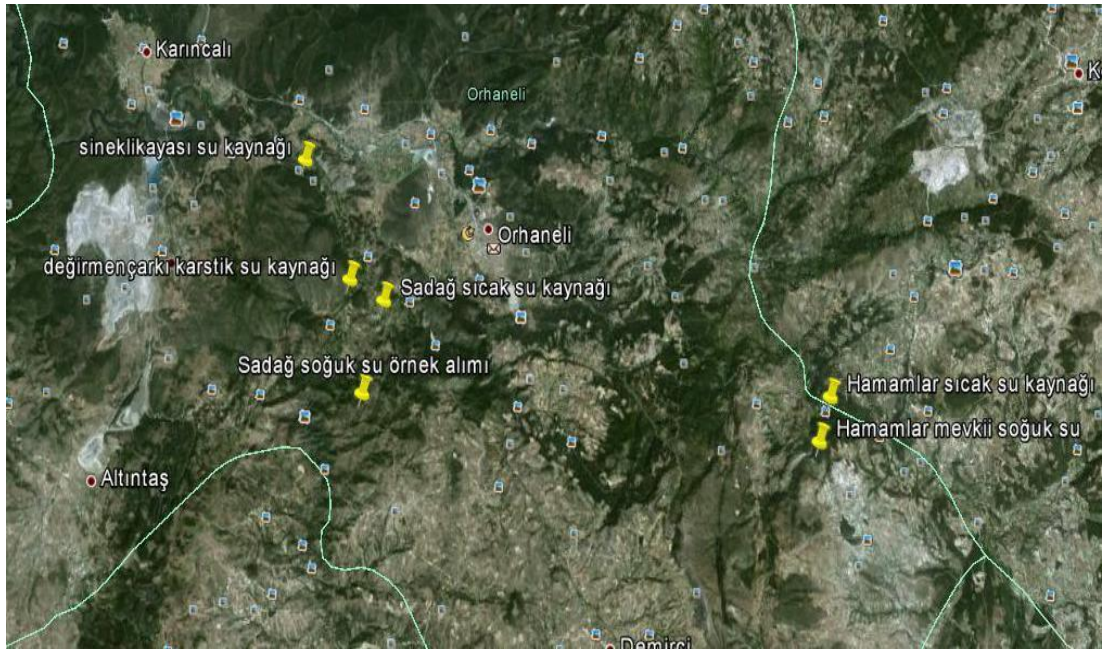
İstasyon verileri Penman yöntemi ile işlenerek bölgenin aylık ve yıllık olarak istenilen verileri düzenlenmiştir. Elimizde iki ayrı havza bulunmaktadır (Şekil 3.6). Sadağ tarafındaki havza 246,7 km²'dir ve Ağaçhisar tarafındaki havza ise 189,8 km²'dir. Elimizde havza dışı beslenme ve karstik boşalım gibi veriler olmadığından havzanın süzülme verisi bütçeleme esas olmuştur. Türkiye'de arazinin süzebilme katsayısı %35 olarak kabul edilir (Yalçın,T,2015 sözlü görüşme). Yağış ve gerçek buharlaşmaların birbirinden farkı 353,9 mm 'dir. Süzülme katsayısı ile çarpıldığında rakam 123,8 mm olarak bulunmaktadır. Sadağ havzasının yüzey alanı ile çarpıldığında 31,235 x 10⁶ m³/yıl olarak bulunan yeraltına geçen su Ağaçhisar havzasında 19,088 x 10⁶ m³/yıl olarak hesaplanır.

3.2 Su Noktaları

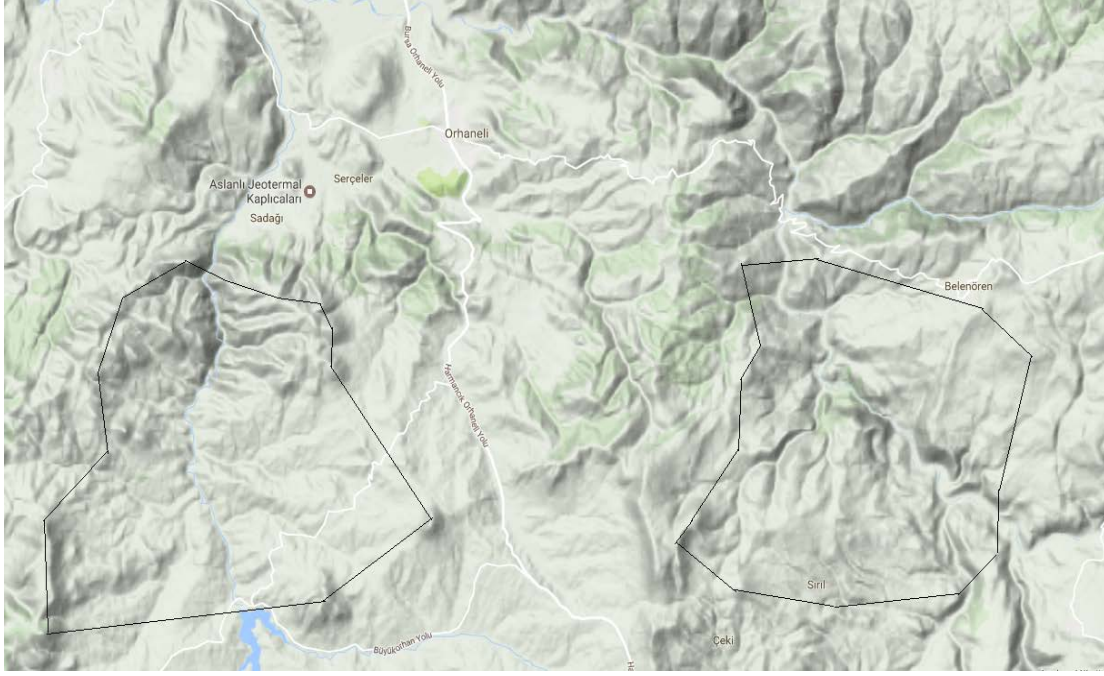
Bu kısım uygulama alanında bulunan akarsular, sondaj kuyuları ve kaynaklar ile ilgili bilgiler içermektedir. Bölgenin drenaj haritası oluşturulmuş Şekil 3.4'de olup örnek alınan noktalar ise haritada işaretlenmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.4: Bölgenin Drenaj haritası.



Şekil 3.5: Uygulama alanındaki su noktaları.



Şekil 3.6: Bölgenin havza sınırları.

3.2.1 Akarsular

Çalışılan bölge su açısından oldukça zengin bir bölgedir. İnceleme alanında Kocası dersi, Orhaneli deresi (Şekil 3.8), Sadağ deresi (Şekil 3.9) ve Adırnaz deresi (Şekil 3.7) adında akarsular mevcuttur. Özellikle Sadağ ve Adırnaz dereleri turistik olarak ilgi çekmekle beraber Adırnaz deresinin sularını toplamak amacıyla sulama barajı planlanmaktadır.



Şekil 3.7: Adırnaz Deresi görünümü.



Şekil 3.8: Orhaneli deresi yukarıdan görünümü.



Şekil 3.9: İnceleme bölgesi soğuk su kaynağı.

3.2.2 Kaynaklar

İnceleme alanında ve çevresinde pek çok kaynak bulunmaktadır. Değirmençarkı ve Sineklikaya noktaları ise mineralli su kaynakları barındırmaktadır (Şekil 3.10). Numune alınan kaynakların resimleri ile beraber arazi ölçümleri Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.10: İnceleme bölgesindeki soğuk su kaynağı.



Su Noktası SA1: Sadağ Sıcak Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri	
Arazi Ölçümleri	
Koordinatlar (m)/ Kot (m) : 39.923414,28.926171 / 700m	
Debi (l/sn) : 3,5	EC(μ S/cm) : 2400
pH: 8,4	Sıcaklık ($^{\circ}$ C): 55,2

Şekil 3.11: Su Noktası SA1: Sadağ Sıcak Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri.



Su Noktası SA2: Sadağ Soğuk Su Kaynağı - Fiziksel Özellikleri	
Arazi Ölçümleri	
Koordinatlar (m)/ Kot (m) : 39.884171,28.916635 /600m	
Debi (l/sn) : Ölçümlenemedi	EC(μ S/cm) : 360
pH: 8,7	Sıcaklık ($^{\circ}$ C): 15,2

Şekil 3.12: Su Noktası SA2: Sadağ soğuk su kaynağı - Fiziksel özellikleri.



Su Noktası SA3: Hamamlar Sıcak Su Kaynağı – Fiziksel Özellikler	
Arazi Ölçümleri	
Koordinatlar (m)/ Kot (m) : 39.910614,29.085553/700m	
Debi (l/sn) : 1,5	EC(μ S/cm) : 1560
pH: 7,1	Sıcaklık ($^{\circ}$ C): 38

Şekil 3.13: Su Noktası SA3: Hamamlar sıcak su kaynağı - Fiziksel özellikleri.



Su Noktası SA4: Hamamlar Soğuk Su Kaynağı – Fiziksel Özellikler

Arazi Ölçümleri

Koordinatlar (m)/ Kot (m) : 39.910614,29.085553/ 700m

Debi (l/sn) : Ölçümlenemedi

EC(μ S/cm) : 870

pH: 8,7

Sıcaklık ($^{\circ}$ C): 18,2

Şekil 3.14: Su Noktası SA4: Hamamlar soğuk su kaynağı - Fiziksel özellikleri.



Su Noktası SA5: Değirmençarkı Su Kaynağı – Fiziksel Özellikler

Arazi Ölçümleri

Koordinatlar (m)/ Kot (m) : 39.899015,28.933340 / 650m

Debi (l/sn) : 10

EC(μ S/cm) : 630

pH: 7,1

Sıcaklık ($^{\circ}$ C): 19,2

Şekil 3.15: Su Noktası SA5: Değirmençarkı su kaynağı - Fiziksel özellikleri.



Su Noktası SA6: Sineklikaya Su Kaynağı – Fiziksel Özellikleri

Arazi Ölçümleri	
Koordinatlar (m)/ Kot (m) : 39.938375,28.910459/ 800m	
Debi (l/sn) : 1,5	EC(μ S/cm) : 606
pH: 7,2	Sıcaklık ($^{\circ}$ C): 20,2

Şekil 3.16: Su Noktası SA6: Sineklikaya su kaynağı - Fiziksel özellikleri.

3.3 Litolojinin Hidrolojik Özellikleri

3.3.1 Pekişmiş formasyonlar

3.3.1.1 Karstik akifer

İnceleme alanında yer alan Kretase yaşlı metamorfik kireçtaşı çatlaklı bir yapıda olup aynı zamanda karstik yapıda oluşları birbiriyle ilişkili güçlü akiferler oluştururlar. Aynı zamanda bölgedeki Triyas yaşlı mermerlerde karstik yapılar oluşturmaya elverişlidirler. Hidrojeoloji haritasında yeşil ile gösterilmiştir (Şekil 3.17).

3.3.1.2 Çatlaklı zayıf akifer

Bölgede bulunan Eosen yaşlı granitler çok gelişmiş kırık sistemine sahiptirler. Birim de bulun ana kırık ve çatlaklardan su geçebildiğinden bölgedeki granitler çatlaklı zayıf akifer olarak adlandırılmıştır

Hidrojeoloji haritasında açık kahverengi ile gösterilmiştir (Şekil 3.17).

3.3.2 Pekışmemiş Formasyonlar

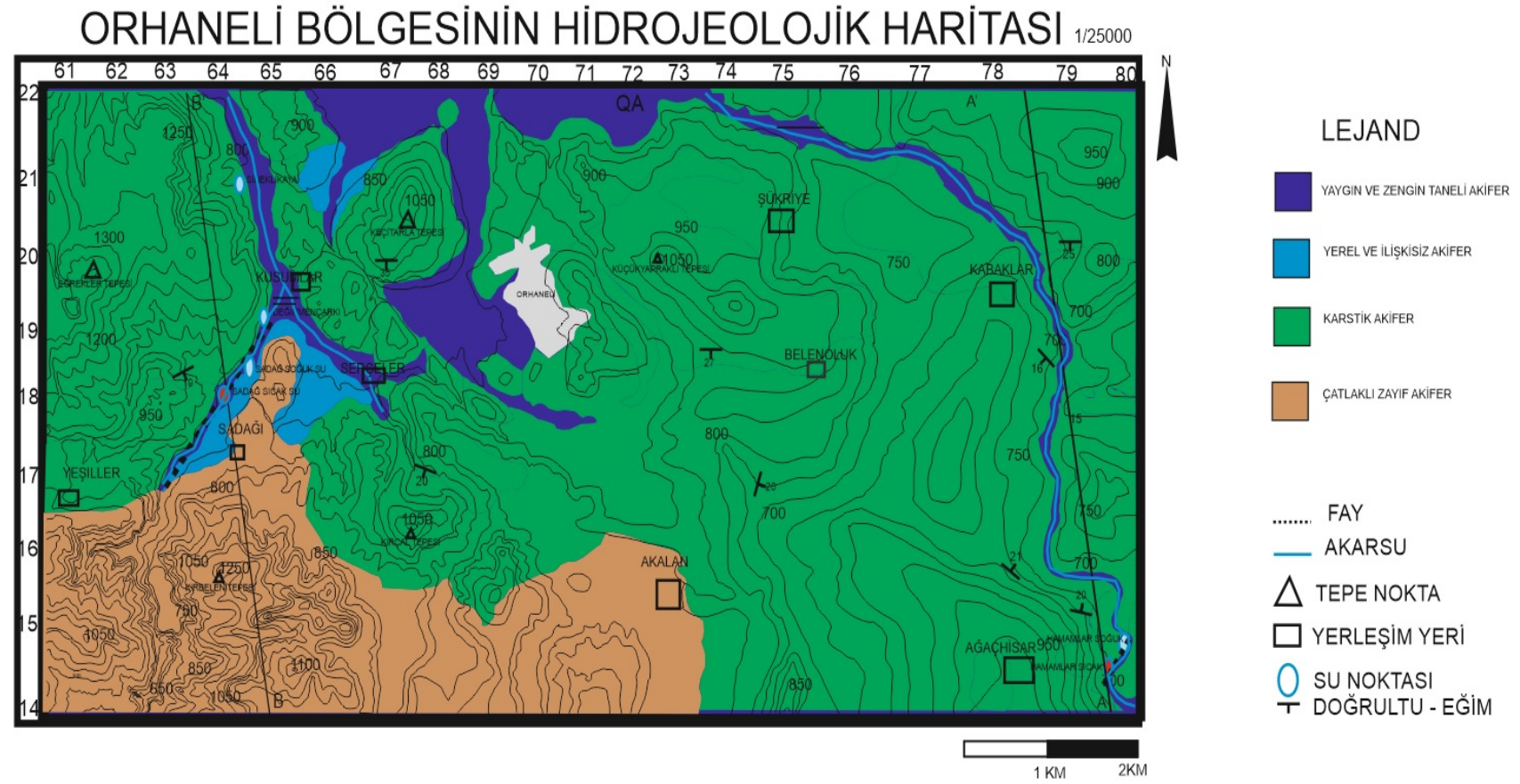
3.3.2.1 Yaygın ve zengin taneli akifer

Alüvyon bölgedeki zengin akifer özelliğı gösteren birimdir. Alüvyon içinde çakıl, kum, kil ve silt barındırır.

Hidrojeoloji haritasında koyu mavi ile gösterilmiştir (Şekil 3.17).

3.3.2.2 Yerel ve ilişkisiz taneli akifer

Tutturulmamış veya gevşek bulunan yamaç molozları geçirimli birimdir. Blok, çakıl, kum, silt ve kil barındıran yamaç molozu hidrojeoloji haritasında açık mavi gösterilmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17: Bölgenin hidrojeoloji haritası

4. HİDROJEOKİMYA

4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Genel Kimyasal Özellikleri

Laboratuvar sonuçları ve yerinde yapılan ölçümlerin eklenmesiyle tablolar (Çizelge 4.1) (Çizelge 4.2), (Çizelge 4.3), (Çizelge 4.4), (Çizelge 4.5), (Çizelge 4.6), (Çizelge 4.7), (Çizelge 4.8), (Çizelge 4.9), (Çizelge 4.10), (Çizelge 4.11), (Çizelge 4.12), (Çizelge 4.13) ve şekiller (Şekil 4.1), (Şekil 4.2), (Şekil 4.3), (Şekil 4.4), (Şekil 4.5), (Şekil 4.6) oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1: İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek No:	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	SA6
T (°C)	55,20	15,20	38,00	18,20	19,20	20,20
pH	8,40	8,70	7,10	8,70	7,10	7,20
EC (µS/cm)	2.400,00	360,00	1.560,00	870,00	630,00	606,00
Na (mg/l)	222,67	20,65	21,16	16,13	4,15	5,58
K (mg/l)	6,40	3,22	3,02	3,39	0,71	0,99
Ca (mg/l)	166,68	49,02	264,10	102,66	94,96	93,90
Mg (mg/l)	0,59	11,14	45,84	64,74	12,97	16,75
Cl (mg/l)	22,38	17,61	8,09	19,49	17,61	16,19
SO ₄ (mg/l)	450,00	55,00	520,00	210,00	10,00	10,00
HCO ₃ (mek/l)	8,22	2,72	6,96	6,39	5,32	5,38
SAR	4,73	0,69	0,32	0,31	0,11	0,14
%Na (mek/l)	53,11	20,59	5,10	6,20	2,99	4,01
Sio ₂ (mg/l)	72,14	21,38	34,65	22,83	13,89	17,36
Mn (ppb)	26,31	1,04	0,26	<0.05	<0.05	<0.05
Sr (ppb)	5.938,74	471,28	3.611,37	858,18	203,27	216,42
Fr°Sertlik	41,91	16,82	84,82	52,21	29,06	30,34
Li (ppb)	197,90	3,60	33,10	26,60	3,80	6,30
B (ppb)	318,00	22,00	153,00	110,00	16,00	21,00
Fe (ppb)	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Al (ppb)	5,00	<1	<1	<1	<1	<1
Br (ppb)	56,00	24,00	20,00	19,00	19,00	24,00
Ba (ppb)	36,75	67,19	33,52	95,65	25,08	30,79
Cr (ppb)	<0.5	3,50	5,00	5,90	6,00	6,70
Cs (ppb)	19,10	0,12	6,87	2,12	0,22	0,46
Cu (ppb)	10,80	2,60	7,70	3,70	0,80	0,70
Rb (ppb)	40,18	1,25	10,95	5,78	1,37	2,24
Zn (ppb)	7,00	3,10	3,90	1,90	<0.5	<0.5

Çizelge 4.2: Sadağ sıcak su kaynağı majör iyonları.

Birim	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
mg/l	222,67	6,4	166,68	0,59	22,4	450	
mek/L	9,68	0,2	8,334	0,049	0,63	9,37	8,22
%mek/L	53,11	0,9	45,72	0,27	3,46	51,4	45,11

Suyun tipi :Na-Ca-SO₄- HCO₃

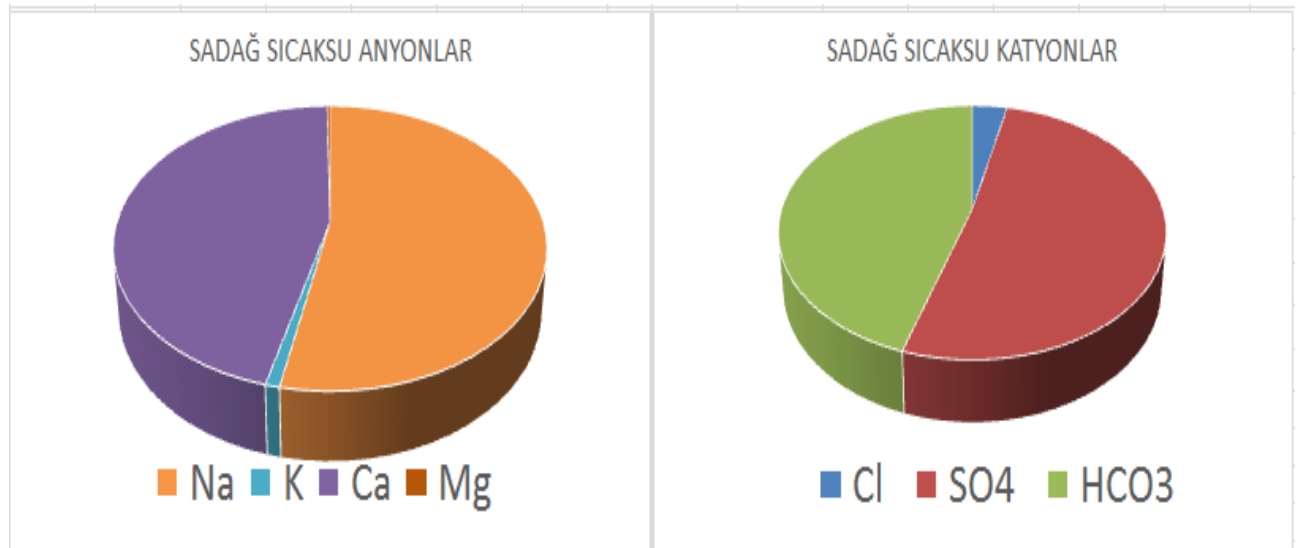
SAR: 4,72

SiO₂: 72,13mg/l

Rezervuar Sıcaklığı: 119,94°C

Çizelge 4.3: Sadağ sıcak su kaynağı eser elementleri (µg/L).

	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L
Ag	<0.05	Cu	10,8	Lu	<0.01	S	300	V	0,4
Al	5	Dy	<0.01	Mo	24	Sb	0,39	W	119,9
As	20,8	Er	<0.01	Na	222,6	Sc	6	Y	<0.01
Au	<0.05	Eu	<0.01	Nb	<0.01	Se	<0.5	Yb	<0.01
B	318	Fe	<10	Nd	<0.01	Si	33708	Zn	7
Ba	36,75	Ga	0,56	Ni	<0.2	Sm	<0.02	Zr	0,03
Be	0,15	Gd	<0.01	P	<10	Sn	<0.05		
Bi	<0.05	Ge	4,95	Pb	0,2	Ta	<0.02		
Br	56	Hf	<0.02	Pr	<0.2	Tb	<0.01		
Cd	<0.05	Hg	<0.1	Pt	<0.01	Te	<0.05		
Ce	<0.01	Ho	<0.01	Rb	40,18	Th	<0.05		
Co	<0.02	In	<0.01	Re	<0.01	Ti	<10		
Cr	<0.5	La	<0.01	Rh	0,09	Tm	<0.01		
Cs	19,1	Li	197,9	Ru	0,14	U	0,66		



Şekil 4.1: Sadağ sıcak su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.

Çizelge 4.4: Sadağ soğuk su kaynağı majör iyonları.

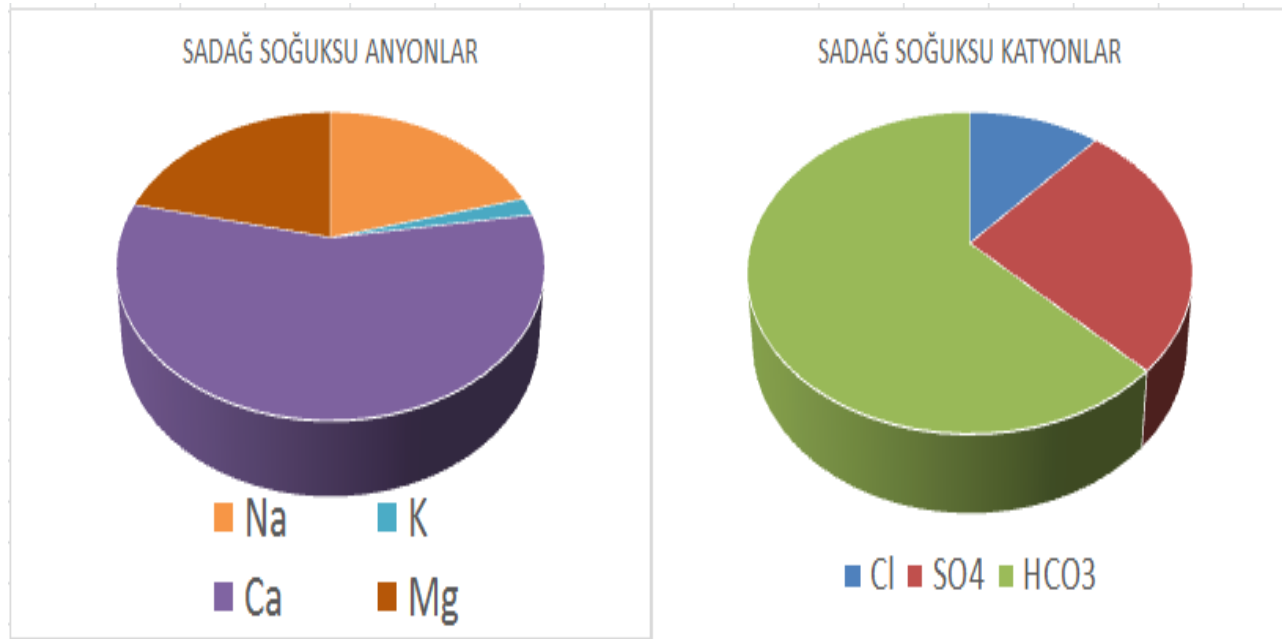
Birim	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
mg/l	20,65	3,22	49,02	11,14	18	55	-
mek/L	0,8978	0,08	2,451	0,928	0,5	1,15	2,718
% mek/L	20,59	1,89	56,22	21,29	11,4	26,3	62,34

Suyun tipi :Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄ SAR: 0,69

SiO₂: 21,38 mg/l

Çizelge 4.5: Sadağ soğuk su kaynağı eser elementleri (µg/L).

Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L
Ag	<0.05	Cu	2,6	Lu	<0.01	S	15	V	1,7
Al	<1	Dy	<0.01	Mo	2,5	Sb	0,06	W	6,46
As	1,3	Er	<0.01	Na	20,65	Sc	2	Y	<0.01
Au	<0.05	Eu	<0.01	Nb	<0.01	Se	<0.5	Yb	<0.01
B	22	Fe	<10	Nd	<0.01	Si	9994	Zn	3,1
Ba	67,19	Ga	<0.05	Ni	<0.2	Sm	<0.02	Zr	<0.2
Be	<0.05	Gd	<0.01	P	35	Sn	<0.05		
Bi	<0.05	Ge	<0.05	Pb	0,2	Ta	<0.02		
Br	24	Hf	<0.02	Pr	<0.2	Tb	<0.01		
Cd	<0.05	Hg	<0.1	Pt	<0.01	Te	<0.05		
Ce	<0.01	Ho	<0.01	Rb	1,25	Th	<0.05		
Co	0,03	In	<0.01	Re	<0.01	Ti	<10		
Cr	3,5	La	<0.01	Rh	<0.01	Tm	<0.01		
Cs	0,12	Li	3,6	Ru	<0.05	U	3,34		



Şekil 4.2: Sadağ soğuk su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.

Çizelge 4.6: Hamamlar sıcak su kaynağı majör iyonları.

Birim	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
mg/l	21,16	3,02	264,1	45,84	8,09	520	-
mek/L	0,92	0,07	13,21	3,82	0,23	10,8	6,96
% mek/L	5,1	0,43	73,27	21,2	1,26	60,1	38,63

Suyun tipi : Ca-Mg-SO₄-HCO₃

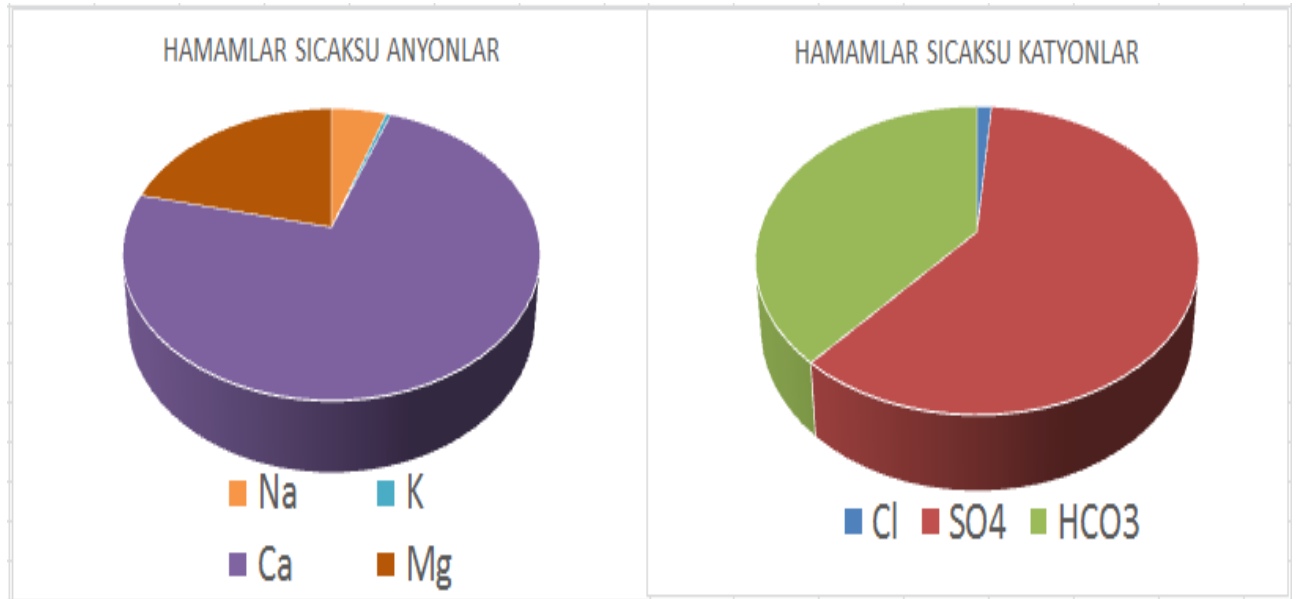
SAR: 0,31

SiO₂: 34,65mg/l

Rezervuar Sıcaklığı: 85,97°C

Çizelge 4.7: Hamamlar sıcak su kaynağı eser elementleri (µg/L).

Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L
Ag	<0.05	Cu	7,7	Lu	<0.01	S	220	V	0,4
Al	<1	Dy	<0.01	Mo	3,1	Sb	0,28	W	2,09
As	18,5	Er	<0.01	Na	21,16	Sc	3	Y	<0.01
Au	<0.05	Eu	<0.01	Nb	<0.01	Se	<0.5	Yb	<0.01
B	153	Fe	<10	Nd	<0.01	Si	16192	Zn	3,9
Ba	33,52	Ga	<0.05	Ni	<0.2	Sm	<0.02	Zr	<0.2
Be	<0.05	Gd	<0.01	P	<10	Sn	<0.05		
Bi	<0.05	Ge	0,4	Pb	<0.01	Ta	<0.02		
Br	20	Hf	<0.02	Pr	<0.2	Tb	<0.01		
Cd	<0.05	Hg	<0.1	Pt	<0.01	Te	<0.05		
Ce	<0.01	Ho	<0.01	Rb	10,95	Th	<0.05		
Co	<0.02	In	<0.01	Re	<0.01	Ti	<10		
Cr	5	La	<0.01	Rh	0,05	Tm	<0.01		
Cs	6,87	Li	3,31	Ru	0,13	U	1,11		



Şekil 4.3: Hamalar sıcak su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.

Çizelge 4.8: Hamamlar soğuk su kaynağı majör iyonları.

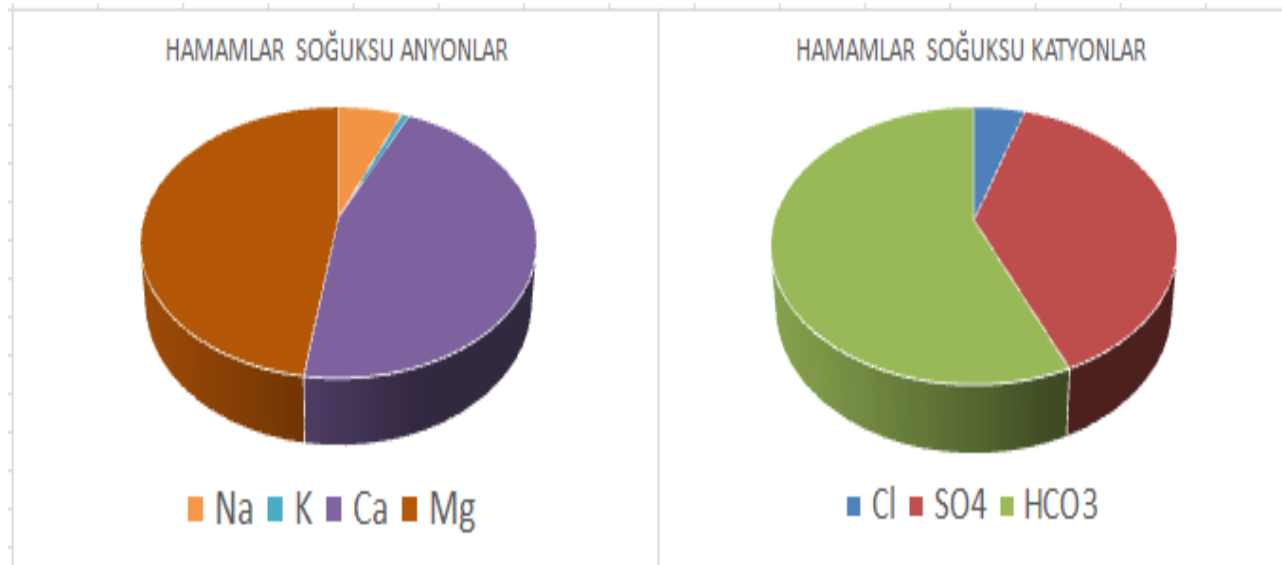
Birim	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
mg/l	16,13	3,39	102,7	64,74	19,5	210	-
mek/l	0,7013	0,09	5,133	5,395	0,55	4,38	6,392
% mek/l	6,2	0,77	45,36	47,67	4,85	38,7	56,49

Suyun tipi : Mg-Ca-HCO₃-SO₄ SAR: 0,30

SiO₂: 22,83mg/l

Çizelge 4.9: Hamamlar soğuk su kaynağı eser elementleri (µg/L).

Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L
Ag	<0.05	Cu	3,7	Lu	<0.01	S	74	V	2,2
Al	<1	Dy	<0.01	Mo	1,9	Sb	1,14	W	0,7
As	35,8	Er	<0.01	Na	16,13	Sc	2	Y	<0.01
Au	<0.05	Eu	<0.01	Nb	<0.01	Se	<0.5	Yb	<0.01
B	110	Fe	<10	Nd	<0.01	Si	10670	Zn	1,9
Ba	95,65	Ga	<0.05	Ni	28,1	Sm	<0.02	Zr	0,03
Be	<0.05	Gd	<0.01	P	175	Sn	<0.05		
Bi	<0.05	Ge	<0.05	Pb	<0.01	Ta	<0.02		
Br	19	Hf	<0.02	Pr	<0.2	Tb	<0.01		
Cd	<0.05	Hg	<0.1	Pt	<0.01	Te	<0.05		
Ce	<0.01	Ho	<0.01	Rb	5,78	Th	<0.05		
Co	0,03	In	<0.01	Re	<0.01	Ti	0,11		
Cr	5,9	La	<0.01	Rh	0,02	Tm	<0.01		
Cs	2,12	Li	26,6	Ru	0,13	U	3,22		



Şekil 4.4: Hamamlar soğuk su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.

Çizelge 4.10: Değirmençarkı su kaynağı majör iyonları.

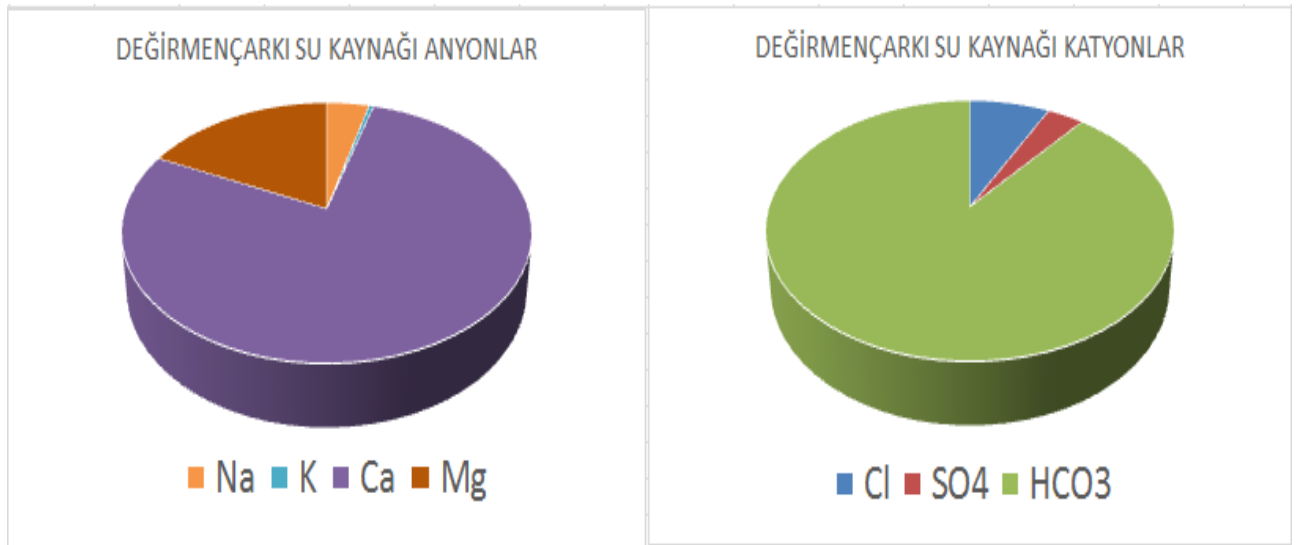
Birim	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
mg/l	4,15	0,71	94,96	12,97	17,6	10	-
mek/l	0,1804	0,02	4,748	1,081	0,5	0,21	5,323
% mek/l	2,99	0,3	78,77	17,93	8,23	3,46	88,31

Suyun tipi : Ca-HCO₃ SAR: 0,10

SiO₂: 13,89mg/l

Çizelge 4.11: Değirmençarkı su kaynağı eser elementleri (µg/L).

Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L
Ag	<0.05	Cu	0,8	Lu	<0.01	S	4	V	0,9
Al	<1	Dy	<0.01	Mo	0,2	Sb	<0.05	W	0,31
As	2,6	Er	<0.01	Na	4,15	Sc	2	Y	<0.01
Au	<0.05	Eu	<0.01	Nb	<0.01	Se	<0.5	Yb	<0.01
B	16	Fe	<10	Nd	<0.01	Si	6491	Zn	<0.5
Ba	25,08	Ga	<0.05	Ni	<0.02	Sm	<0.02	Zr	<0.02
Be	<0.05	Gd	<0.01	P	<10	Sn	<0.05		
Bi	<0.05	Ge	<0.05	Pb	<0.01	Ta	<0.02		
Br	19	Hf	<0.02	Pr	<0.2	Tb	<0.01		
Cd	<0.05	Hg	<0.1	Pt	<0.01	Te	<0.05		
Ce	<0.01	Ho	<0.01	Rb	1,37	Th	<0.05		
Co	<0.02	In	<0.01	Re	<0.01	Ti	<10		
Cr	6	La	<0.01	Rh	0,02	Tm	<0.01		
Cs	0,22	Li	3,8	Ru	0,13	U	1,34		



Şekil 4.5: Değirmençarkı su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.

Çizelge 4.12: Sineklikaya su kaynağı majör iyonları.

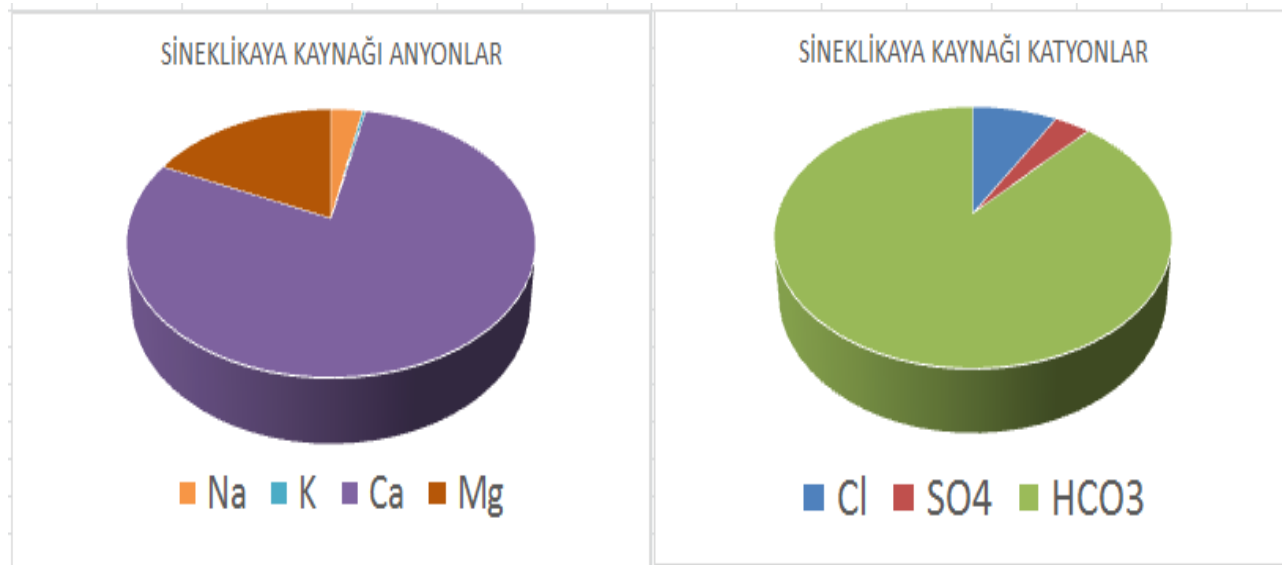
Birim	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
mg/l	5,58	0,99	93,9	12,97	16,2	10	-
mek/l	0,2426	0,03	4,69	1,081	0,46	0,21	5,379
% mek/l	4,01	0,42	77,68	17,88	7,55	3,45	89,01

Suyun tipi : Ca-HCO₃ SAR: 0,14

SiO₂: 17,36 mg/l

Çizelge 4.13: Sineklikaya su kaynağı eser elementleri (µg/L).

Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L	Element	µg/L
Ag	<0.05	Cu	0,7	Lu	<0.01	S	4	V	0,8
Al	<1	Dy	<0.01	Mo	0,2	Sb	<0.05	W	0,23
As	4,3	Er	<0.01	Na	5,58	Sc	2	Y	<0.01
Au	<0.05	Eu	<0.01	Nb	<0.01	Se	<0.5	Yb	<0.01
B	21	Fe	<10	Nd	<0.01	Si	8114	Zn	<0.5
Ba	30,76	Ga	<0.05	Ni	<0.02	Sm	<0.02	Zr	<0.02
Be	<0.05	Gd	<0.01	P	<10	Sn	<0.05		
Bi	<0.05	Ge	<0.05	Pb	<0.01	Ta	<0.02		
Br	24	Hf	<0.02	Pr	<0.2	Tb	<0.01		
Cd	<0.05	Hg	<0.1	Pt	<0.01	Te	<0.05		
Ce	<0.01	Ho	<0.01	Rb	2,24	Th	<0.05		
Co	<0.02	In	<0.01	Re	<0.01	Ti	<10		
Cr	6,7	La	<0.01	Rh	<0.01	Tm	<0.01		
Cs	0,46	Li	6,3	Ru	<0.05	U	1,88		



Şekil 4.6: Sineklikaya su kaynağı anyon ve katyon pasta grafikleri.

4.2 Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri

4.2.1 Sertlik

1 litre suda 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya diğer sertlik verici iyonların bulunması Fransız Sertlik derecesi olarak adlandırılır. Fransız sertliği; Ca ve Mg değerlerinin (mg/l) aşağıda ki formülle uygulandığında çıkan sonuçların verilen Çizelge 4.14 üzerinden yorumlanarak sınıflandırılmasıdır.

Çizelge 4.14: Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).

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

Bölgede numuneleri alınan sular Fransız sertlik derecesine göre incelendiğinde düşük değer 16.82 SA1 olup tabloya göre 'Az sert su' sınıfında olmakla beraber en yüksek değer 84.82 ile SA3 olarak 'Çok sert su' sınıfında yer almıştır (Çizelge 4.15). Aynı bölgelerden alınan sıcak ve soğuk su örneklerine bakıldığında ise; termal suların Fransız Sertlik değerleri soğuk sulardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Aynı zamanda mineralli su örnekleri ise 'Oldukça sert su' sınıfında bulunmaktadır.

Çizelge 4.15: İnceleme alanındaki suların sertlik sınıflandırılması.

Örnek No:	Kaynak Türü	Sertlik Fr°	Suyun Sınıfı
SA1: Sadağ sıcak su kaynağı	Termal	41.91	Sert
SA2: Sadağ soğuk su kaynağı	Soğuk	16.82	Az Sert
SA3: Hamamlar sıcak su kaynağı	Termal	84.82	Çok sert
SA4: Hamamlar soğuk su kaynağı	Soğuk	52.21	Sert
SA5: Değirmençarkı su kaynağı	Mineralli	29.06	Oldukça Sert
SA6: Sineklikaya su kaynağı	Mineralli	30.34	Oldukça Sert

4.2.2 Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH)

pH, su içerisindeki Hidrojen (H^+) ve Hidroksil (OH^-) iyonlarının konsantrasyonları arasındaki dengeye bağlı olarak asidite ve alkaliteyi belirler (**Çizelge 4.16**) (Erguvanlı & Yüzer, 1987). PH değeri 7'nin altında olan sular asit özellik kazanırken pH değeri 7 nin üzerinde ki sular bazik değer kazanır. İçme suları için pH değeri 6.5-8.5 arasında sınıflandırılmaktadır (WHO, 2004).

Çizelge 4.16: pH'a göre suların sınıflandırılması.

pH	Sınıfı
>8,5	Bazik
8,5-7,0	Bazik Karakterli
7,0	Nötr
7,0-4,5	Asit Karakterli
<4,5	Asit

Çalışılan bölgede yer alan suların pH değerleri 7.10 ve 8.7 arasında değişmekte olup hepsi bazik özelliktedir. Bölgede ki termal ve mineralli sular WHO değerlerine göre içme suyu pH'ına sahiptirler.

4.2.3 Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

EC; $1cm^3$ suyun $+25^{\circ}C$ de elektrik akımını iletmesi olarak tanımlanmaktadır. Doğada bulunan elektriksel iletkenlikleri; suların temas ettikleri kayalara, sıcaklıklarına ve sıcaklıkları dolayısıyla kayalardan çözdükleri madde miktarına göre değişir. Suyun sıcaklığı arttıkça, çözülmüş madde miktarı arttığı için suyun sıcaklığı ile EC'nin doğru orantısı bulunmaktadır. (**Çizelge 4.17**)'de görüldüğü üzere EC değerinin su kalitesi ile ters orantı bulunmaktadır.

Çizelge 4.17: Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Wilcox, 1955).

EC	Sınıf
<250	Çok İyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	Şüpheli
>3000	Kullanılmaz

Arazide yapılan yerinde ölçümlere göre SA1 termal suyu 2400 ve 1560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile en yüksek ECdeğerine sahip olarak 'Şüpheli' ve 'Kullanılabilir' sınıfta yer almaktadır. 360 ve 870 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile soğuk sular ise 'İyi' ve 'Kullanılabilir' EC değerine sahip sınıfta yer almaktadır.

4.3 İnceleme Alanındaki Suların Anyon-Kasyon Özellikleri

4.3.1 Sodyum (Na)

Sodyum, sulara en çok bulunan ve suların farklı sınıflandırma sistemlerinde kategorilendirilirken en çok dikkat edilen elementlerdendir. Sodyum elementi hazinede evaporitik kayalar yada feldspat ve plajiyoklas içeren kayalar içi iletişim halinde olan sulara yüksek orada görüldüğü bilinir. Evaporitik kayalarla temasta olan sulara 10.000 ppm sodyum bulunabilir (Şen. 2014).

Sodyum suların sulama suyu olması ve kullanılacak toprak çeşidinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Killi topraklarda kullanılan sodyumlu sular toprağın geçirgenliğini azaltır.

Çalışma alanında bulunan termal sulara ki sodyum değerleri diğer örneklerden daha yüksektir. SA1 termal suyu değeri 222,67 mg/l iken SA2 termal suyu değeri 20.65 mg/l'dir. Soğuk su değerleri 21.16 ve 16.19 mg/l arasında değişmektedir. Mineralli su örneklerinde değerler 4.15 – 5.58 mg/l bulunmaktadır.

4.3.2 Potasyum (K)

Potasyum alkali özellikli bir element olup, Piper diyagramında sodyumla aynı kısımda olmasının sebebi çokça özelliğinin aynı olmasıdır. Hazne kayalar da bulunan feldspat, kil mineralleri ve mikalar suya potasyum veren elementlerdir. Doğal sulara potasyum konsantrasyonu 10ppm'den azdır (Chow, 1964; Şen. 2014; Nart. 2015).

Çalışma alanında ki minerali sulara ki Potasyum değeri 1ppm'nin altında olarak en düşük seviyeye sahiptirler. SA1 örneği 6.40mg/l değeri ile yüksek bir potasyum değerine sahip iken diğer termal ve soğuk su değerleri 3.39-3.02mg/l arasında değişmektedir.

4.3.3 Kalsiyum (Ca)

Kalsiyum bol ve kolay bulunan elementlerdendir. Kayaçlarda bolca bulunmasının sebebiyle sular da yüksek oranlarda bulunmaktadır. Basınç ve sıcaklık artıkça ortamdan süzülüp suya geçen kalsiyum oranında artmaktadır. Ortamdan geçen kalsiyumların kaynağını silikatlı ve silikatsız mineraller olarak ayırmak mümkündür. Silikatlı olanlar amfibol, albit, anorlit, piroksendir; silikatsızlar ise jips, anhidrit. Flüorit, dolomit, aragonit gibiminerallerdir. Kalsiyumun geçişi aynı zamanda kayaçların oluşum kaynağı ile ilgilidir. Magmatik kayaçlarla ilişik sular da 100 ppm; karbonatlı akiferlerden 300 ppm, evaporisyonla oluşmuş evaporitik kayaçlarla temas halinde ki sular da ise 600ppm e kadar çıkabilen konsantrasyonlarda kalsiyum gözükmektedir.

Kalsiyum, sodyum iyonunun yerini alabildiğinden doyumunkonsantrasyonu azalacak, toprağın tuz oranı düşecektir (Erguvanlı & Yüzer, 1987; Şen, 2014; Nart, 2015).

Çalışma alanında bulunan termal suların Kalsiyum içeriği diğer örneklerden 166.68-264.10 mg/l değerleri ile daha yüksek bulunmaktadır. Soğuk su örnekleri 49.02-104.06 mg/l aralığında bulunmakta ve mineralli sular 93.96-94.96 mg/l olarak bulunmaktadır.

4.3.4 Magnezyum (Mg)

Magnezyum kayaçlarda ki magnelit, dolomit ve mikalardan suya geçmektedir. Magnezyum okyanuslarda ve haliçlerde Kalsiyuma göre yüksek konsantrasyonda bulunmaktadır. Genellikle yer atı sularında 10-100mg/l konsantrasyonunda bulunan magnezyum 125 mg/l'yi geçtiği taktirde suyu acılaştırmakta ve içimini zorlaştırmaktadır (Erguvanlı & Yüzer, 1987; Şen, 2014; Nart, 2015).

Çalışma alanında bulunan soğuk suların aynı bölgede ki termal sulara göre magnezyum içeriklerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bölgede ki mineralli suların magnezyum değerleri 12.97 – 16.75 mg/l olarak değişmekle birlikte SA1 termal su örneğinin magnezyum içeriği 0.59 mg/l olmaktadır.

4.3.5 Bikarbonat (HCO_3)

Yer altı sularında bulunan karbonat ve bikarbonat iyonları genellikle karbonat içerkilimineral bulunduran kayaçların çözünmesinden ve toprakta bulunan karbondioksitten oluşur (Erguvanlı & Yüzer, 1987; Şen, 2014; Nart, 2015).

Suların pH değerleri ile çözeltilerde ki iyonların bağıntıları vardır. Alkali sularda 8 veya daha yüksek pH değerinde CO_3^{2-} iyonu baskındır. Ph değeri 3.8 ve daha düşük ise H_2CO_3 , 6-10 arasında ise HCO_3^- iyonu baskındır (Nicholson, 1993).

Çalışma bölgesinde ki SA2 örneği 2.72 mek/l ile en düşük bikarbonat seviyesine sahiptir. Bölgede bulunan soğuk suların bikarbonat ve kalsiyum içerikleri termal sulara oranla daha yüksektir. Bölgede ki suların pH değerleri 7.10 – 8.70 aralığında olduğundan HCO_3 iyonunun baskın olarak bulunmaktadır.

4.3.6 Sülfat (SO_4)

Sülfat yeraltı sularında evaporitik kayaçlarda ve içerisinde jips ve anhidrit bulunduran litolojilerden geçer. Sülfür yer kürede özellikle de lavların içerisinde bol miktarda bulunan bir elementtir. Volkanik patlamalarda ya da magmatik kökenli kayaçlarda bulunan sülfür (pirit vs gibi mineraller) atmosferik koşullarla birleştiğinde sülfata dönüşmektedir. Organik aktiviteler ve fosil yakıtların tüketimi sülfürü ve dolayısıyla sülfatı arttırmaktadır.

Atmosferik koşullara yaklaştıkça sülfat oranı artmaktadır. Sülfat derin jeotermal sularda 50 mg/l az iken, yüzey sularında 25-250 mg/l olabilmektedir.

Çalışma alanında bulunan mineralli su örneklerinde ki sülfat miktarı en düşüktür ve 10 mg/l olarak ölçülmüştür. Mineralli sularda ki bu sabit değerle beraber termal ve soğuk sularda değişim göstermektedir. SA3 termal su örneğinde 520 mg/l ile en yoğun sülfat değeri bulunmaktadır. Aynı bölgeden alınan su örneklerinde ise termal suların sülfat oranları soğuk sulara nazaran daha yüksek bulunmaktadır.

4.3.7 Klorür (Cl)

Klorür denizel kökenli sedimenter kayaçlardan ve evaporitlerden suya geçer. Yeraltı suyuna genelde denizel beslemelerin karışmasından kaynaklı klor yükselebilir. Tatlı su karışımların da klorür konsantrasyonunda düşüş yaratacağından ani klorür

değişimleri ortamda denizel ya da tatlı su beslemelerini belirtir. Yağmur suyunda 1 mg/l olan klorür deniz suyunda 20.000 mg/l olmaktadır (Erguvanlı & Yüzer, 1987; Şen, 2014; Nart, 2015, Nicholson, 1993).

Çalışma alanında alınan su örneklerinden SA1 termal suyu 22.38 mg/l ile en yoğun klorür oranına sahiptir. Bölgede bulunan diğer termal, soğuk ve mineralli sulara değerler 19.49 ile 8.09mg/l arasında değişmekte olup yüksek oranda farklılıklar bulunmamaktadır.

4.3.8 Silis (SiO₂)

Silis özellikle jeotermal sistemlerin araştırılmasında, haznede ki sıcaklık tahminlerinde, jeotermal hesaplamalarda çok sayıda kullanılmaktadır. Bu kullanım silis içeren farklı minerallerin çözünürlük oranların hesaplanması ile ilişkilidir (Nart, 2015).

Çalışma alanında bulunan mineralli su örnekleri en düşük silis oranlarını bulundurmaktadır. Bölgede ki termal suların silis oranları soğuk sulara göre daha yüksektir. En yüksek silis oranı 72.14mg/l ile SA1 termal suyunda bulunmaktadır.

4.4 İnceleme Alanındaki İz Element İçerikleri

4.4.1 Bor (B)

Bor özellikle sıcak su araştırmalarında önemli bir tanım kıstasıdır. İçerdiği bor oranı köken hakkında bilgiler vermektedir. 10-50 mg/l bor içeren sular klorlu sular olmakla beraber 800-1000 mg/l içeren suların Organik içeriği yüksek çökeltili kayaçlar olabilir. Klorür / Bor oranı rezerv kayanın belirlenmesinde kullanılır; 30 mg/l ye kadar insan sağlığı açısından tüketimine uygundur. Tarım amaçlı kullanımda fazla bulunması bitkilerin zararına olabilmektedir.

Çalışma alanında bulunan mineralli su örnekleri 16 ve 21 ppb ile en düşük değerine sahip olarak bölgede ki Bor açısından içilebilecek sulardır. SA1 termal suyu örneği 318 ppb ile en yüksek bor oranına sahiptir. Aynı noktadan alınan termal ve soğuk su bor oranlarına bakıldığında ise termal sular daha yüksek miktarda bor elementi içermektedirler.

4.4.2 Alüminyum (Al)

Alüminyum; suda yer kabuğunda bulunduğu miktardan çok daha az konsantrasyonda bulunur. Klorürlü sularda 0.02 mg/l diğer sularda da 2 mg/l 'den az bulunur. Asidik suların çözücülük değerlendirmeleri farklılık sonucu alüminyum miktarı yüksek olabilir (Nicholson, 1993).

Çalışma alanında SA1 termal suyu 5 ppb ile en yüksek alüminyum oranına sahipken diğer bütün örnekler 1 ppb'nin altındadır.

4.4.3 Demir (Fe)

Demir klorlu sularda düşük seviyede bulunur. Asidite ve tuzluluğu artan sularda ise yüksek oranda bulunur. Demir, makozit ve pirotin minerallerinin sıcaklık ve basınç altında çökmesi veya aşırı doymun hale gelmesi ile kontrol edilir. Pirit minerali ise derin ve yüksek sıcaklı (180°C) ile dengededir. Demir içme sularında 0.1 mg/l değerini geçmemelidir (Erguvanlı & Yüzer, 1987; Nicholson, 1993).

Çalışma alanında ki sularda yapılan analizler sonucunda hepsinin demir içeriklerini 10ppb değerinin altındadır.

4.4.4 Mangan (Mn)

Pirolozit (MnO_2), manganit ($MnOOH$) ve Rodokrozit ($MnCO_3$); mangan ile ilişkilendirilen minerallerdir. Mangan düzeyi termal su kaynaklarında 0.01 mg/l'yi genellikle aşmaz.

Mangan içme sularında bulunması istenmeyen bir elementtir ve suya bulanıklık ve istenmeyen renk verir (Nicholson, 1993; Akgiray 2003).

Çalışma alanında bulunan SA1 termal suyunun içerisinde 26.31 mg/l ile en fazla mangan içermektedir. SA4 soğuk suyu ve mineralli suların mangan içeriği ise 0.05mg/l den daha düşüktür.

4.4.5 Lityum, Rubidyum, Sezyum (Li, Rb, Cs)

Klor ve bor ile kullanılan bu alkali elementler suda çözünürler ve su karakterizasyonunda işlev görürler. Bu minerallerin oranları termal suların yüzeye yanal akışı hareketleriyle değişim gösterirler. Ortalama konsantrasyon değeri Li için <20 mg/l, Rb ve Cs iyonları için <2 mg/l olarak belirtilmiştir. Yüksek

konsantrasyonlarda (1-10mg/l) riyoitik ve andezitik kayalarda görülebilirken, düşük konsantrasyonu >0.1 mg/l değeri ile benzaltik kayalarda bulunabilirler (Nicholson, 1993; Nart, 2015).

Çalışma alanında bulunan mineralli su kaynakları ve soğuk su kaynağı olan SA2 örneklerinde Lityum ve Sezyum iyonları için normal değerlerde bulunmakta iken Rubidyum iyonu için sadece SA2 ve SA5 örnekleri normal değerler içerisindedir. SA1 termal suyu 3 elementinde yüksek konsantrasyon değerlerinin üzerinde barındırmaktadır.

4.4.6 Stronsiyum (Sr)

Termal sularda kalsiyumla beraber bulunan stronsiyum kalsiyum benzeri kimyasal özelliklere sahiptir. Stronsiyum 0.01 – 0.1 mg/l oranlarında yeraltı sularında bulunur ve sölestin (SrSO₂), strantianite (SrCO₃) minerallerini içerir (Şahinci, 1986).

4.4.7 Bromür (Br)

Jeotermal sistemlerde konsantrasyonu az olan Bromür Br/Cl ve Br/ I oranları ile deniz suyu oranları belirlemede yararlanılır. Deniz suyu girişi olan jeotermal sistemlerde bromür yüksek oranda görülür. (Nicholson, 1993)

4.5 İnceleme Alanındaki Suların Fasiyes Tipi ve Sınıflandırması

4.5.1 Uluslararası hidroloji birliğine göre suların sınıflandırılması

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) suları şu şekilde sınıflandırır; önce suda çözünmüşlük oranı %50'den yüksek katyonlar ve anyonlar daha sonrada %20'den yüksek çözünmüş katyonlar ve anyonların yazılması ile yapılır. %50 den fazla oranda bulunan elementlerin altı çizilir. **Çizelge 4.18** araştırma bölgesinde bulunan suların IAH sınıflandırılmasıdır. Bölgede bulunan sular 3 tipte toplanmıştır. Sıcak sular bir kümede toplanırken sıcak suların yakınlarındaki soğuk su kaynakları başka bir kümede toplanırlar. Bölgede bulunan mineralli sular ise kendi aralarında kümelenmektedir.

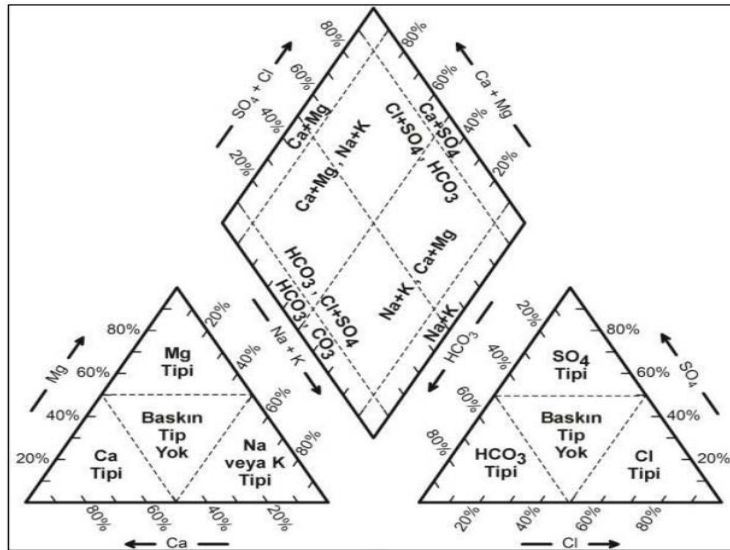
Çizelge 4.18: Uluslararası Hidroloji Birliği sınıflandırılması.

Örnek No.	Kaynak	%mek/l
SA1- Sadağ Sıcak Su Kaynağı	Termal	Na-Ca-SO ₄ - HCO ₃
SA2- Sadağ Soğuk Su Kaynağı	Soğuk	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄
SA3- Hamalar Sıcak Su Kaynağı	Termal	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
SA4- Hamam Soğuk Su Kaynağı	Soğuk	Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄
SA5- Değirmençarkı Su kaynağı	Mineralli	Ca-HCO ₃
SA6- Sineklikaya Su kaynağı	Mineralli	Ca-HCO ₃

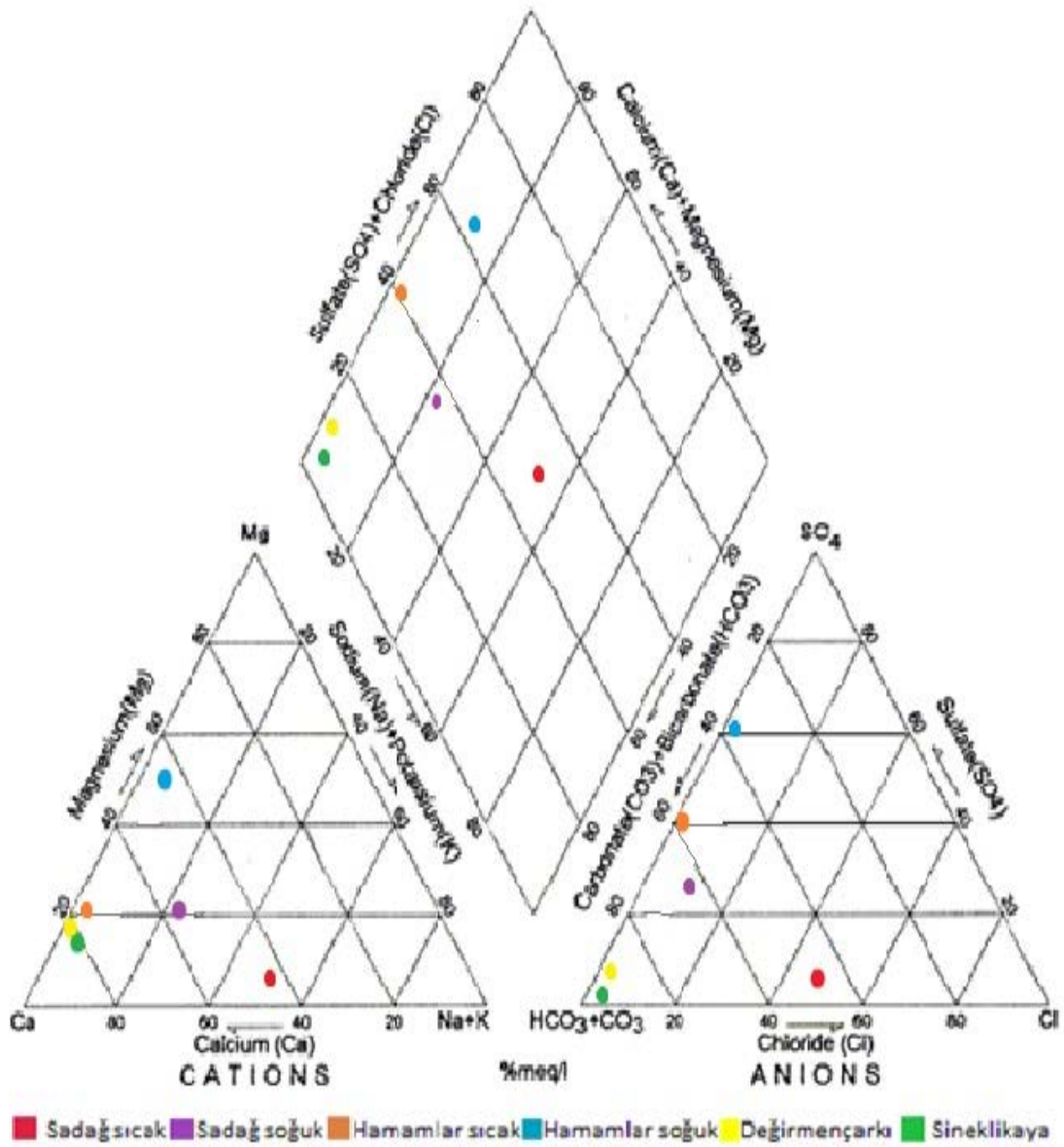
4.5.2 Piper'e göre suların sınıflandırılması

Hidrojeolojide anyon ve katyonların tek bir grafikte olmasını sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. mek/l değeri ile anyon ve katyonların eşkenar üçgen üzerinde baskın tipleri ile gösterilerek bir eşkenar dörtgen üzerinde kesiştirilmesi ile ilişkilendirilir.

Bölgedeki suların analiz sonuçları ile Piper diyagramına göre bölgedeki sulardan termal olanlar sülfatlı sular, mineralli ve sülfatlı sular magnezyum ağırlıklı sulardır (Şekil 4.8).



Şekil 4.7: Piper Diagramına göre suların sınıflandırılması (Back 1961).



Şekil 4.8: İnceleme alanındaki suların Piper Diagramına göre sınıflandırılması.

4.5.3 Schoeller (1995) Göre Suların Sınıflandırılması

Schoeller diyagram sınıflandırılmasında sular, klorür, sülfat ve karbonat içeriklerine göre sınıflandırılmaktadırlar. Diyagramda Ca, Na, K, Mg, Cl, SO₄ ve HCO₃ iyonları mek/l değeri ile derişimleri yarı logaritmik grafikte gösterilir. Aynı grafik üzerinde pek çok farklı su örneğinin iyon deriş mi üzerine konsantrasyon farklılıkları görülebilir. Schoeller diyagram sınıflandırılması Çizelge 4.19’de bulunmaktadır.

Çizelge 4.19: Schoeller (1955)'e göre sınıflandırma.

Klorür sınıflaması	
Klorür Sınıflanması	Klorür Miktarı (mek/l)
Hiperklorürlü Sular	>700
Klorotalasik Sular	420-700
Klorürce Zengin Sular	140-420
Orta Klorürlü Sular	40-140
Oligoklorürlü Sular	15-40
Olağan Klorürlü Sular	<15
Sülfat sınıflaması	
Sülfat Sınıflanması	Sülfat Miktarı (mek/l)
Hiposülfatlı Sular	>58
Sülfatlı Sular	24-58
Oligosülfatlı Sular	6 - 24
Olağan Sülfatlı Sular	<6
Karbonat sınıflaması	
Karbonat-Bikarbonat Sınıflanması	Karbonat-Bikarbonat Miktarı (mek/l)
Hiperkarbonatlı Sular	>7
Olağan Karbonatlı Sular	2 - 7
Hipokarbonatlı Sular	<2

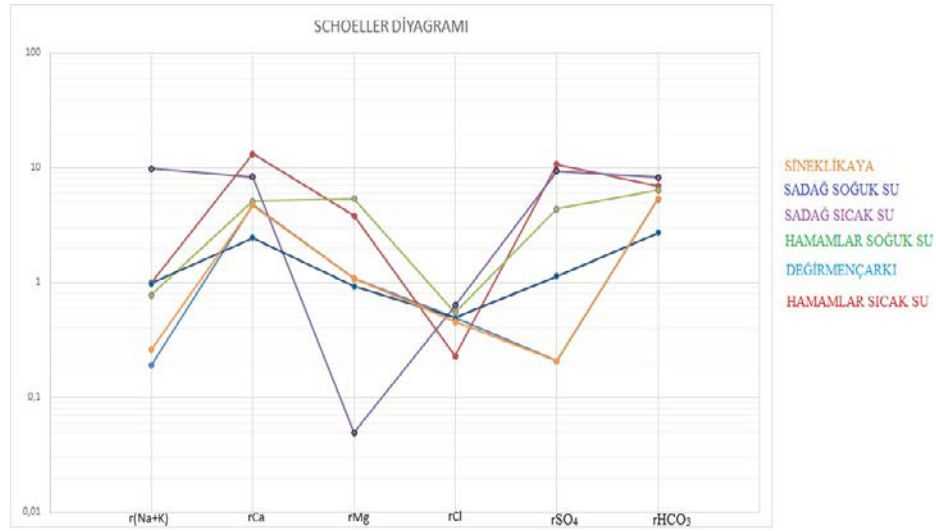
Bölgedeki örneklerden termal sular oligosülfatlı sular sınıflandırılmasında girerken diğer su örnekleri olağan sülfatlı sular olarak sınıflandırılmaktadır. Bölgedeki Sadağ sıcak suyu hariç tüm su örnekleri Schoeller'e göre olağan karbonlu sular iken, Sadağ sıcak suyu 8.22 mek/l değerleri ile hiperkarbonatlı sular sınıflandırılmasında bulunmaktadır.

Bölgedeki örnek su kaynaklarından alınan kimyasal analizleri ile elde edilmiş mek/l değeri ile olan iyon dizilimleri Şekil 4.9'de Schoeller diyagramına uygulanmıştır. Çizelge 4.20'de örneklerin anyon ve katyon konsantrasyonlarına göre sıralanışları verilmiştir.

Şekil 4.9'de yer alan numunelerin katyon ve anyon dizilimleri birbirine paralel gitmektedir. Bunun sebebi suların kaynakları gösterilebilir. Hamamlar sıcak suyu ise farklı bir alandan beslenmektedir.

Çizelge 4.20: İnceleme alanındaki suların anyon ve katyon bolluk sıralanışı.

Örnek No	Kaynak	Katyon	Anyon
SA1- Sadağ Sıcak Su Kaynağı	Termal	$r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Ca} > r\text{Mg}$	$r\text{SO}_4 > r(\text{HCO}_3) > r\text{Cl}$
SA2- Sadağ Soğuk Su Kaynağı	Soğuk	$r\text{Ca} > r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Mg}$	$r(\text{HCO}_3) > r\text{SO}_4 > r\text{Cl}$
SA3- Hamalar Sıcak Su Kaynağı	Termal	$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r(\text{Na}+\text{K})$	$r\text{SO}_4 > r(\text{HCO}_3) > r\text{Cl}$
SA4- Hamam Soğuk Su Kaynağı	Soğuk	$r\text{Mg} > r\text{Ca} > r(\text{Na}+\text{K})$	$r(\text{HCO}_3) > r\text{SO}_4 > r\text{Cl}$
SA5- Değirmençarkı Su kaynağı	Mineralli	$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r(\text{Na}+\text{K})$	$r(\text{HCO}_3) > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$
SA6- Sineklikaya Su kaynağı	Mineralli	$r\text{Ca} > r\text{Mg} > r(\text{Na}+\text{K})$	$r(\text{HCO}_3) > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$



Şekil 4.9: İnceleme alanındaki suların Schoeller grafiği.

4.6 İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri

4.6.1 Standartlara Göre Suların Kullanıma Uygunluğu

Doğadaki farklılıkları daha rahat anlayabilmek için yaptığımız standardizasyonlar su içinde geliştirilmiştir. Sular içerdikleri elementler ve fiziksel özellikleri ile sınıflandırılırlar. Bölgede bulunan soğuk, termal ve mineralli su kaynakları (Şekil 4.21) belirtilen sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanında alınan örneklerin pH değerleri 7.10 ile 8.70 arasında değişmekte olup hepsi bazik özelliklidir. Bölgedeki soğuk suların değerleri 360-870 $\mu\text{g/l}$ ile TS266 sınır değeri olan 2500 $\mu\text{g/l}$ 'nin altında ve standartta uygundur. Bununla beraber Termal ve mineralli sular farklı standartlarda değerlendirilmektedir.

TSE 9130 Mineralli sular standardına göre mineralli sular HCO_3 , kalsiyum ve sodyum içeriklerine göre üst sınır olmadan sınıflandırılır. Değirmençarkı ve Sineklikaya su noktalarından alınan örneklerde kalsiyum alt sınırı olan 150 mg/l ve sodyum alt sınırı olan 200 mg/l değerlerinden az kalsiyum ve sodyum içermektedirler.

Su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analizleri sonucunda ikincil iyonlar ve istenmeyen maddeler açısından içerikleri şu şekildedir; Sb^+ miktarı 0.06-1.14 $\mu\text{g/l}$, Al miktarı 1 $\mu\text{g/l}$ 'den az, B^+ miktarı 11-22 $\mu\text{g/l}$, Cd miktarı 0.05 $\mu\text{g/l}$ 'den az, Cr miktarı 3.5-5.9 $\mu\text{g/l}$, Hg miktarı 0.1 $\mu\text{g/l}$ 'den az, Pb miktarı 0.1 $\mu\text{g/l}$ 'den az, Se miktarı 0.5 $\mu\text{g/l}$ 'den az olmak üzere olup sınır değerlerin altındadır. Bunun ile beraber Hamamlar soğuk suyunda ki As değeri 35.8 $\mu\text{g/l}$ olup sınır değerlerinin üzerindedir.

Sıcak ve Mineralli suların standart değerleri çerçevesinde incelendiğinde ise; Sb^+ miktarı 0.05 $\mu\text{g/l}$ 'den az – 0.39 $\mu\text{g/l}$, Al miktarı 1 $\mu\text{g/l}$ 'den az - 5 $\mu\text{g/l}$, Cd miktarı 0,05 $\mu\text{g/l}$ 'den az, Cr miktarı 0.5 $\mu\text{g/l}$ 'den az – 6.7 $\mu\text{g/l}$, Hg miktarı 0.1 $\mu\text{g/l}$ 'den az, Pb miktarı 0.1 $\mu\text{g/l}$ 'den az – 0.2 $\mu\text{g/l}$, Se miktarı 0.5 $\mu\text{g/l}$ 'den az Ba miktarı 25,8- 36,75 $\mu\text{g/l}$ arasında değişmekte olup sınır değerlerinin altındadır.

Çizelge 4.21: Ulusal ve uluslararası standartlara göre elementlerin kullanım için sınır değerleri.

Parametre	Birim	TSE-(266)		WHO
		Tavsiye Edilen	Maksimum İzin Verilen	
Amonyak	mg/l	0,05	0,5	1,5
Nitrat	mg/l	25	50	50
Nitrit	mg/l	-	0,1	0,2
Alüminyum	$\mu\text{g/l}$	50	200	200
Bor	$\mu\text{g/l}$	1000	2000	500
Mangan	$\mu\text{g/l}$	50	200	50
Bakır	$\mu\text{g/l}$	100	3000	2000
Çinko	$\mu\text{g/l}$	100	5000	3000
Fosfor	$\mu\text{g/l}$	400	5000	-
Florür	$\mu\text{g/l}$	-	1500	1500
Baryum	$\mu\text{g/l}$	100	300	700
Kadmiyum	$\mu\text{g/l}$	-	5	3
Krom	$\mu\text{g/l}$	-	50	50
Nikel	$\mu\text{g/l}$	-	50	20
Kurşun	$\mu\text{g/l}$	-	10	10

4.6.2 Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR)

Sodyum Absorbsiyon Oranı toprağın sodyum içeriğine göre şekillenir. Sodyum toprakta kalsiyum ve magnezyum minerallerinin yerini alabildiğinden, toprakta çok fazla birikmesi toprağın geçirgenlik filtreleme özelliklerini olumsuz yönde etkileyecektir.

$$\text{SAR (Sodyum Absorbsiyon Oranı)} = \text{Na} / \sqrt{[\text{Ca} + \text{Mg}]} \text{ } 1/2$$

SAR değeri yukarıda ki formül ile hesaplanır; Ca ve Mg meq/l olarak ifade edilir.

Yukarıda ki formülde hesaplanan SAR değeri Çizelge 4.22’den yorumlanarak sular sınıflandırılabilir.

Çizelge 4.22: SAR oranlarına göre suların sınıflandırması.

SAR	SINIF
<10	Mükemmel
10-18	İyi
18-26	İzin verilebilir
>26	Uygun Değil

Çalışma alanından alınan su soğuk örneklerinde SAR değeri 0.31-0.69 olarak “mükemmel” su sınıflandırılmasında bulunmaktadır. Yine bölgede sıcak ve mineralli su örneklerindeki SAR değeri 0.11-4.73 arasında değişmekte olup “mükemmel” su sınıfında bulunmaktadır.

4.6.3 Sodyum Yüzdesi (% Na)

Sodyumun birikmesinin toprakta yarattığı kötü etkiler SAR başlığında bahsedilmiştir. Yüksek yüzdeli sodium toprağı verimsizleştirir. %Na oranına bağlı sınıflandırma Çizelge 4.23’de gösterilmiştir.

$$\%Na = (rNa + rK) * 100 / (rNa + rK + rCa + rMg)$$

%Na değeri yukarıdaki formülle hesaplanır ve r= mek/l’dir.

Çizelge 4.23: Wilcox, 1955' e göre %Na oranına bağlı sınıflama.

%Na	Sınıf
<20	Mükemmel
20-40	İyi
40-60	İzin verilebilir
60-80	Şüpheli
>80	Uygun Değil

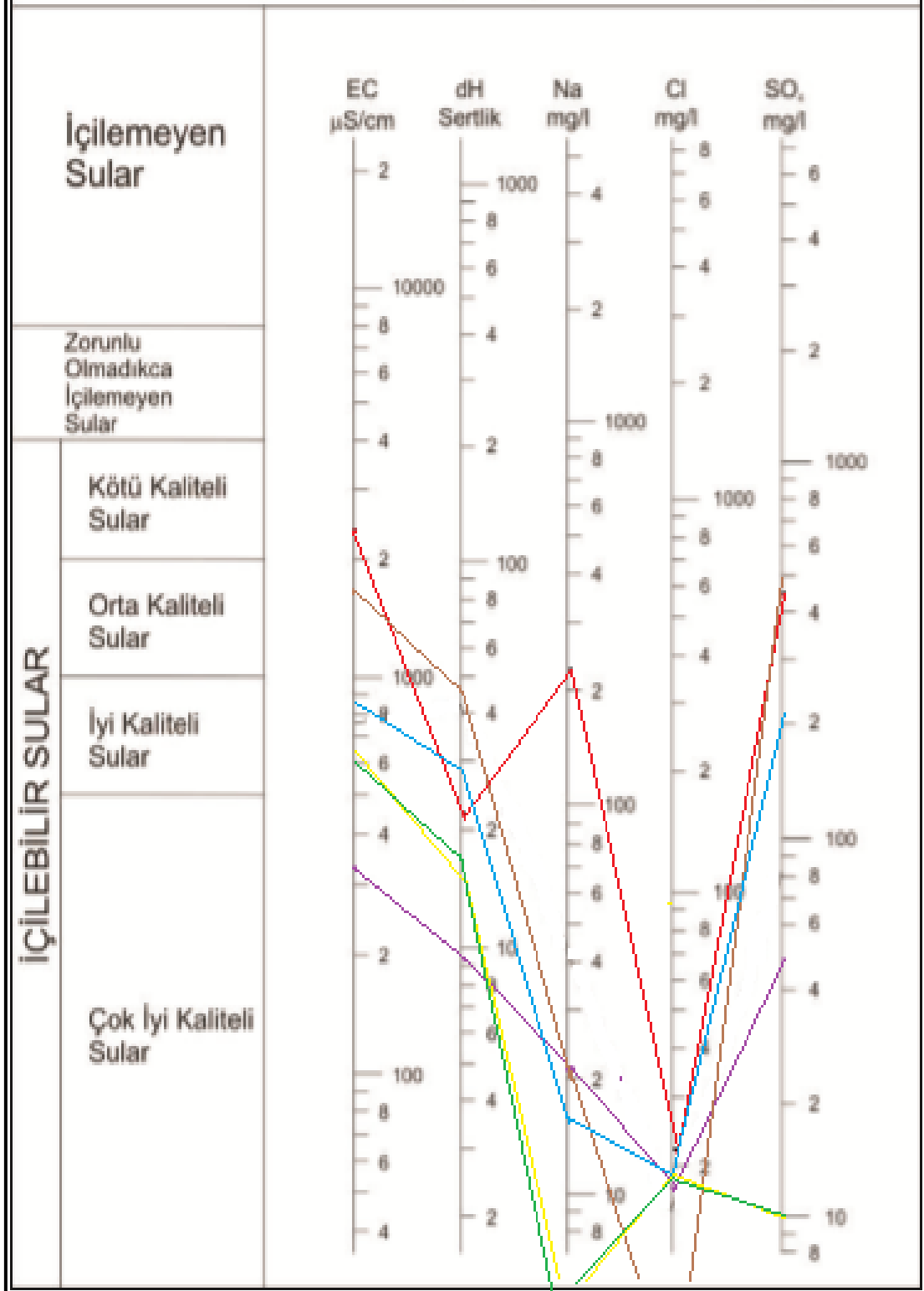
Çalışma alanından alınan mineralli su örneklerinde %Na seviyeleri “Mükemmel” su sınıfına girmektedir. Hamamlar bölgesinden alınan soğuk ve sıcak su örnekleri de %Na değerlerine göre “mükemmel” sınıfına girmektedir. Bununla beraber Sadağ bölgesinden alınan sıcak su örneği 53.11 %Na değeri ile “İzin verilebilir”, soğuk su örneği ise 20.59 %Na değeri ile “İyi” olarak sınıflandırılmaktadır.

4.6.4 Schoeller İçilebilirlik Diyagramı

Suların içme standartlarını sağlayıp sağlamadıkları belirlemek amacıyla kullanılan diyagramdır. İnceleme bölgesinden alınan mineralli, sıcak ve soğuk suların kimyasal numune analiz sonuçları yerine konulup oluşturduğu Schoeller içilebilirlik diyagram Şekil 4.10’da görülmektedir.

Bu diyagrama göre bölgedeki örnek alınan suların tümü klorür değerleri bakımından çok iyi derecede içilebilir sulardır. Mineralli su örnekleri, EC değeri dışında çok iyi içilebilir kategorine girerken; Sadağ sıcak suyu genel olarak orta kaliteli su değerleri göstermektedir. Sadağ soğuk suyu çok iyi kaliteli içme suyu özellikleri gösterirken Hamamlar soğuk suyu iyi kaliteli içme suyu özellikleri gösterdiği görülmektedir.

H. Schoeller Yer Altı Suyu İçilebilirlik Diyagramı



■ Sadağ sıcak ■ Sadağ soğuk ■ Hamamlar sıcak ■ Hamamlar soğuk ■ Değirmençarkı ■ Sineklikaya

Şekil 4.10: İnceleme alanındaki suların Schoeller’e göre içilebilirlik diagramı.

4.6.5 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

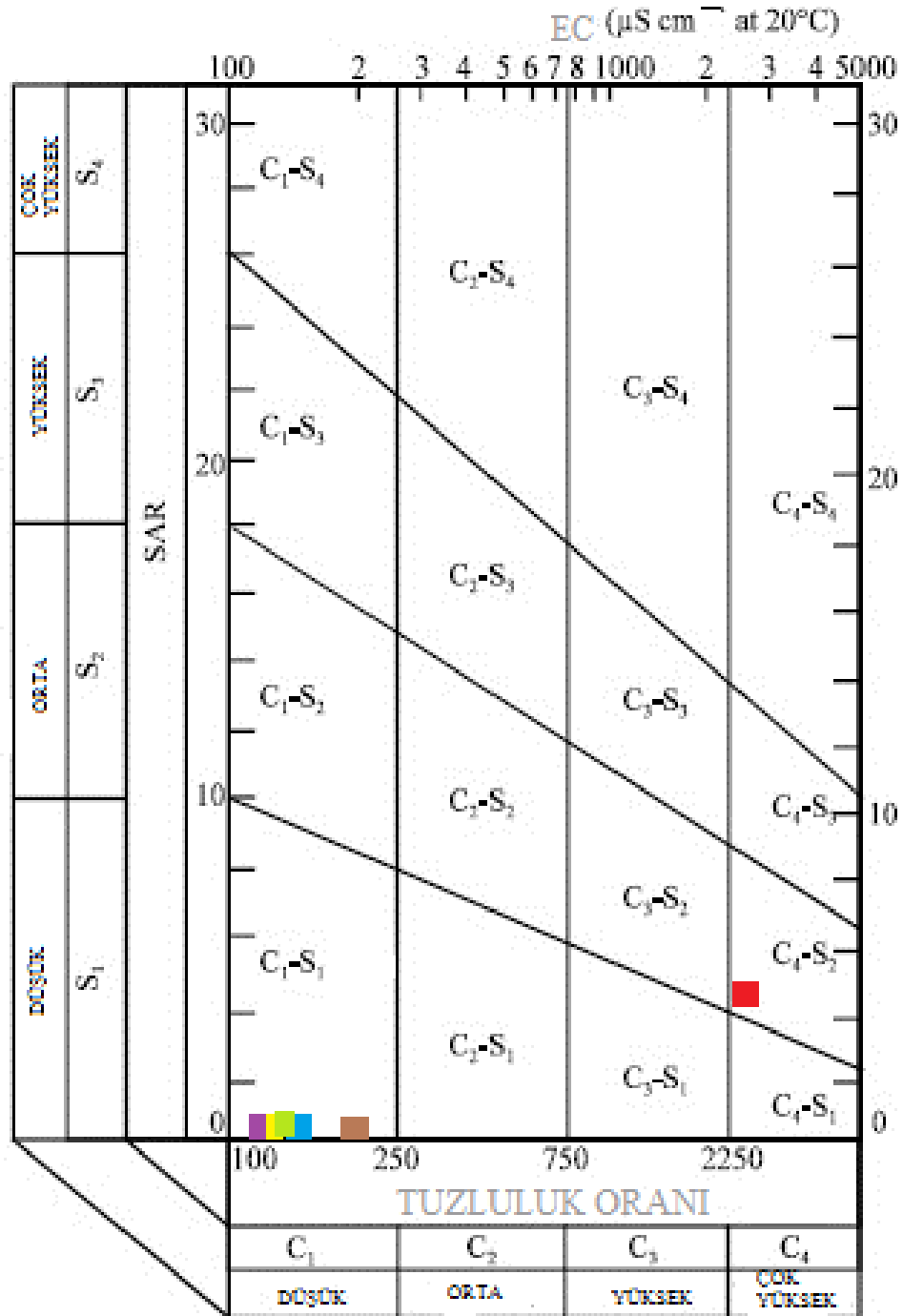
Suların elektriksel iletkenlik (EC) ve sodyum absorsiyon oranı (SAR) ile bağıntılı olarak hazırlanan bu diyagram suların kullanılabilme özelliklerini göre gruplandırmada kullanılır. ABD Tuzluluk diyagramında kullanılan EC ve SAR değerleri **Çizelge 4.24** ‘de belirtilmiştir.

Çizelge 4.24: ABD Tuzluluk laboratuvarı EC ve SAR değerlerine göre sınıflandırma.

	Sınıf	Değer Aralığı	Açıklama
EC (µmho/cm)	C1	0-250	Az Tuzlu
	C2	250-750	Orta Derece Tuzlu
	C3	750-2250	Yüksek Tuzlu
	C4	2250-5000	Çok Yüksek Tuzlu
SAR	S1	-	Az Sodyumlu
	S2	-	Orta Sodyumlu
	S3	-	Yüksek Sodyumlu
	S4	-	Çok Yüksek Sodyumlu

Suyu 16 gruba ayıran bu diyagramda elde edilen sonuçlar ile inceleme bölgesinden alınan su örnekleri verileri ile Şekil 4.11 hazırlanmıştır.

Bu diyagrama göre bölgedeki örnek alınan suların tümü az tuzlu ve az sodyumludur. Sadece Sadağ sıcak suyu çok yüksek tuzlu- orta sodyumlu çıkmaktadır.



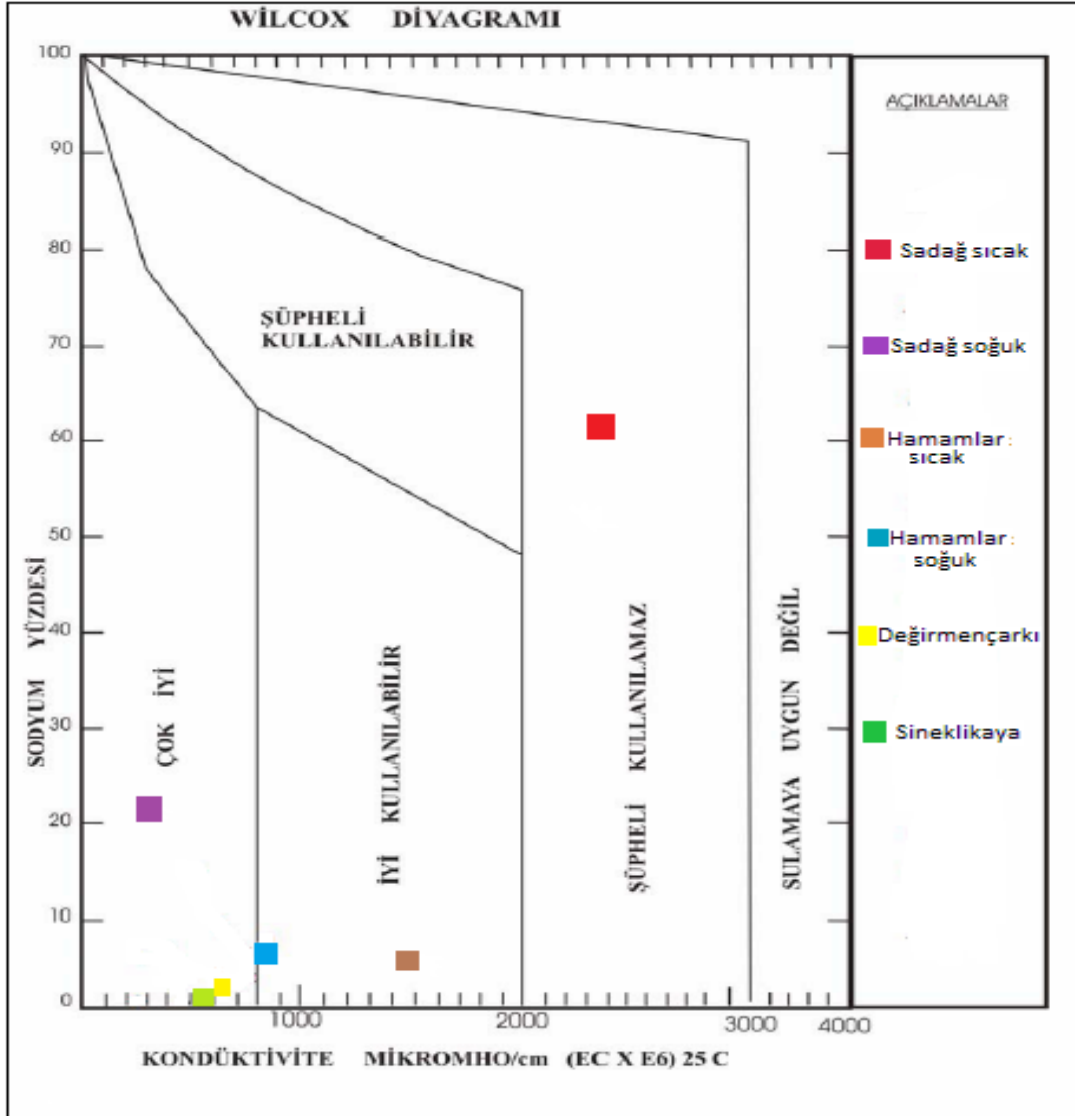
■ Sadağ sıcak ■ Sadağ soğuk ■ Hamamlar sıcak ■ Hamamlar soğuk ■ Değirmençarkı ■ Sineklikaya

Şekil 4.11: İnceleme alanındaki suların ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramı.

4.6.6 Wilcox diyagramı

Analizler sonucu elde edilen Elektriksel iletkenlik (EC) ve %Na değerleri grafikte ait oldukları yere yerleştirilir ve kesişimleri alınarak Wilcox diyagramı oluşturulur. Bu diyagram suları 5 ana sınıfa ayırmaktadır bunlar; sulama suyu, sulamaya uygun değil, şüpheli kullanılmaz, şüpheli kullanılabilir, iyi kullanılabilir ve çok iyidir.

Çalışma alanından alınan örnek suların analiz değerleri ile yapılan Şekil 4.12 incelendiğinde; mineralli sular ve Sadağ soğuk suyu çok iyi olarak değerlendirirken; Hamamlar bölgesinin suyu iyi kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir. Sadağ sıcak suyu Wilcox diyagramına göre şüpheli kullanılmaz su değerleri göstermiştir.



Şekil 4.12: İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagram

4.7 Jeotermometre

Su bilinen en genel çözücü maddedir. Çözücü maddenin çözme miktarını sıcaklık ve basınç doğru orantıyla bağıntılıdır. Jeotermal sistemlerde de bu bağıntı geçerlidir. Sıcaklık ve basıncın artması suyun çözme gücünü artırırken suyun doygunluğu ters oranlıdır. Aynı zamanda çözünen maddelerinde yeterli ve çözünmeye hazır miktarı da bulunmaları önemlidir.

Haznedeki sıcaklık ve basınç gibi ortamsal faktörler hazne kayanın kimyasal içeriği ve çözünmeye yatkınlığı suyun kimyasını belirler. Jeotermal sular yüzeye çıkarken diğer kayalarla da iletişim halindedir. Bu alanlarda çözme-çözünme yaşanır ancak parametrelerle bağlıdır.

Jeotermometrelerin esas amacı haznedeki suyun sıcaklığının tahmini ve hazne kaya ile ilişkisidir. Yerin altında basınç ve sıcaklıkla ısınan sular yüzeye çıkana kadar hem karışarak hem de dışarıya ısı vererek soğurlar. Jeotermal sistemlere sondaj ile erişmeden önce elde edilen sonuçlar ile kullanılabilirliğinin sorgulanması daha sağlıklı sonuçlar verecektir. Jeotermal sistemlerde rezerv sıcaklığın tayini için bu parametrelerden yola çıkılarak kimyasal jeotermometreler geliştirilmiştir.

Niteliksel jeotermometreler, sudaki uçucu elementlerin bulunma yüzdelerine ve hangi elementlerin bulunduğu bakılarak rezervin özelliklerini tayin eder. Sistemlerin niteliksel özelliklerini tahmin edebilir. Bazı elementlerin bölgedeki diğer sulardan aşırı yüksek oluşu bölgede bir ısınmaya işaret eder (Tonani, 1970).

Kasyon jeotermometreleri, kasyon iyonlarının konsantrasyonu ile ilişkili jeotermometrelerdir. Genellikle plajiyoklas feldispat arasındaki Na-K iyonlarının değişimi sonucunda belirlenen Na/K jeotermometreleri 200 °C' ve üzeri sıcaklıklarda, alkali klorürlü ve alkali nötr sularda daha iyi sonuçlar verir (Tarcan, 2002).

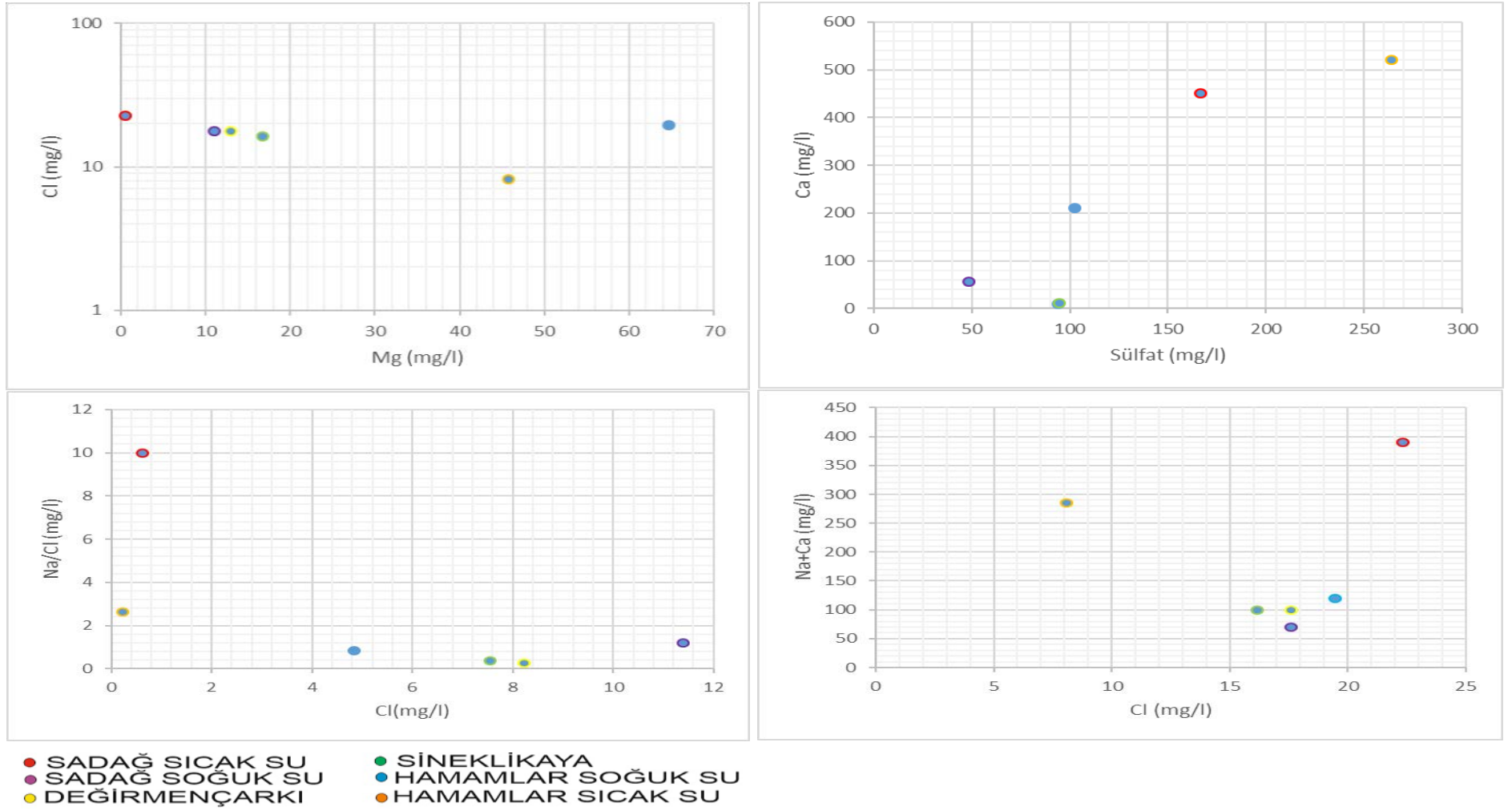
Jeotermal sistemlerde sıcak suların rezerv sıcaklıklarının saptanması ve kimyasal dengelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Giggenbach (1988) katyon jeotermometreleri ile ilgili bir diyagram oluşturmuş, daha sonra Fournier (1990) tarafından bu diagram geliştirilmiştir.

Silis jeotermometreleri ise rezervuar sıcaklığı kimyasal tepkimeye etkisi ve rezervden yüzeye çıkarkenki enerji kaybından yararlanılarak hazırlanmıştır. Farklı silis jeotermometreleri farklı sıcaklıklarda daha iyi sonuç vermektedir (Tarcan, 2002)

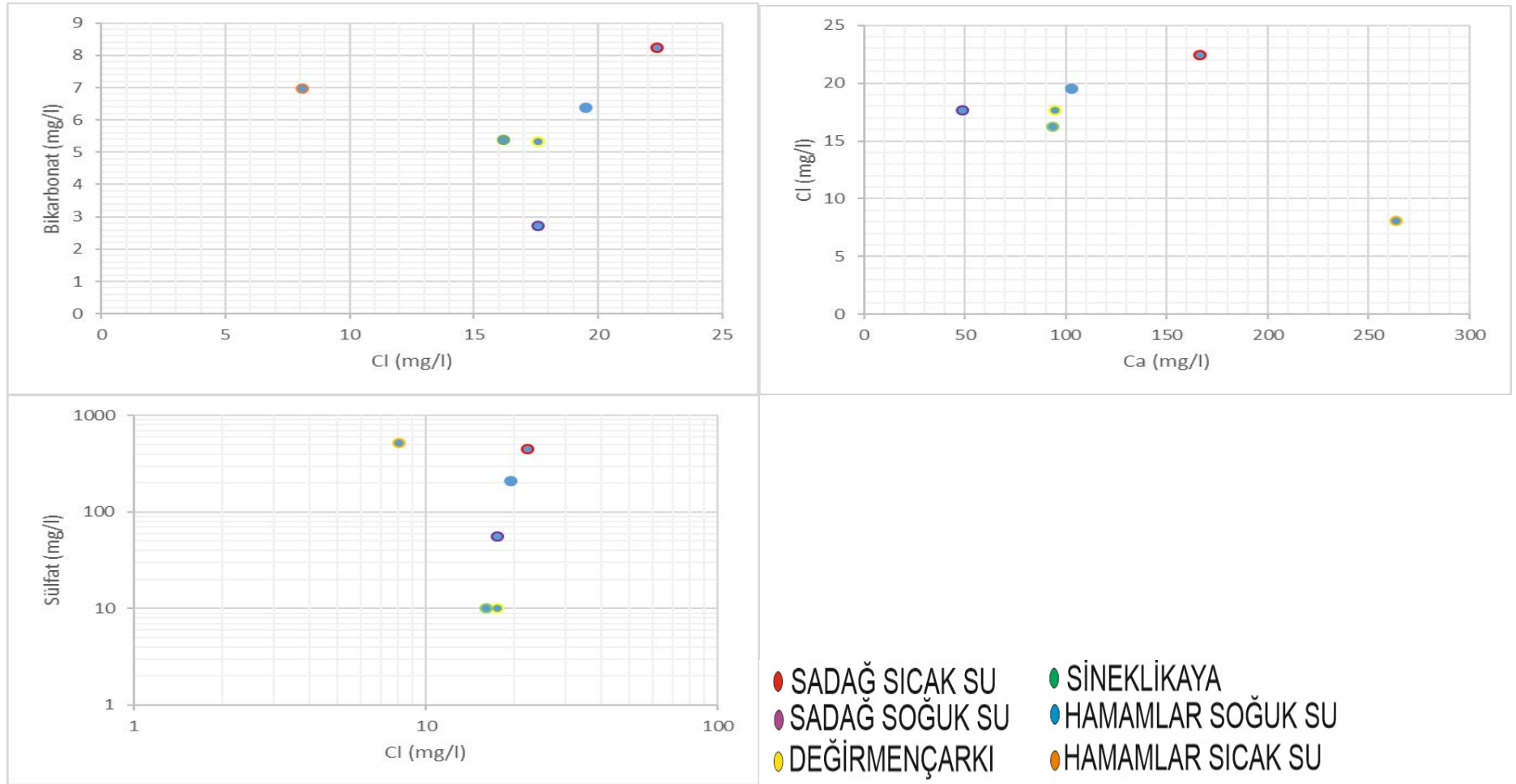
4.7.1 Niteliksel jeotermometreler

Niteliksel jeotermometreler elementlerin ve moleküllerin birbirleriyle olan ilişkilerini esas alır. Akifer sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren SiO_2 'dir. Yüksek sıcaklıklarda bile kuvars olarak çökelen SiO_2 özellikle 180°C sıcaklık altında hızla çökelime başlar. Klorür, sıcak su sistemi ile buhar sistemini ayıran en önemli kriterdir. Klorür tuzları sıcak sularda bolca çözünürler ve 400°C de bile klorür tuzlarının uçuculuğu önemsizdir. Bu nedenle, düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır, 50 ppm in üzerinde klorür izlenirse sıcak su sistemini belirler. Bir diğer bakılabilecek konu ise eser elementlerdir. Bölgeden alınan numunelerin tahlil sonuçları incelendiğinde bazı değerlerin özellikle diğerlerinden fazla olduğu hemen göze çarpar. Bu elementler B, Cs, Li, S, Cu, Sr, Rb olup elementlerin suda fazla bulunması, akifer sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir. İnceleme alanındaki değerler Excel programı yardımıyla tablolaştırıldığında eser elementlerin Sadağ sıcak suyunda ve Hamamlar sıcak suyunda anlamlı bir şekilde yüksek olduğu hemen göze çarpar. Hamamlar ilk bakışta tüm değerler bazında düşük gözükse de Hamamlar soğuk suyunun bir sıcak su olmamasına rağmen bu değerlerinin yüksek oluşu sıcak suyun yükselirken soğuk suyla karıştığı ön görülebilir. Grafikler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16' da verilmiştir. Cl/HCO_3 oranı yüksek ise akifer sıcaklığı fazla olabilir (Fournier ve Truesdell, 1970). Cl/SO_4 oranı yüksekse akifer sıcaklığı yüksektir. Mg/Cl Oranı oranı küçük ise akifer sıcaklığı yüksek olabilir. $\text{Ca}/$ oranı yüksekse sıcaklık yüksek demektir. Na/Cl oranı yüksek ise akifer sıcaklığı yüksektir. Aynı zamanda Ca/Cl oranı da sıcak suya işaret eder. $\text{Na}+\text{Ca}/\text{Cl}$ oranı yüksek olması iki sıcak su diyagramının birleşimidir. Bu çalışmalar Şekil 4.13 ve Şekil 4.14' de çizilmiştir. Klor ile yapılan diyagramların hepsindeki ortak sonuç belirgin biçimde Sadağ diğer sulardan ayrılmakta ve sıcak kökenli olduğunu belirtmektedir. Hamamlar sıcak suyu için ise aynısını söylemek mümkün değildir. Belirgin biçimde tüm grafiklerde ayrık çıksada

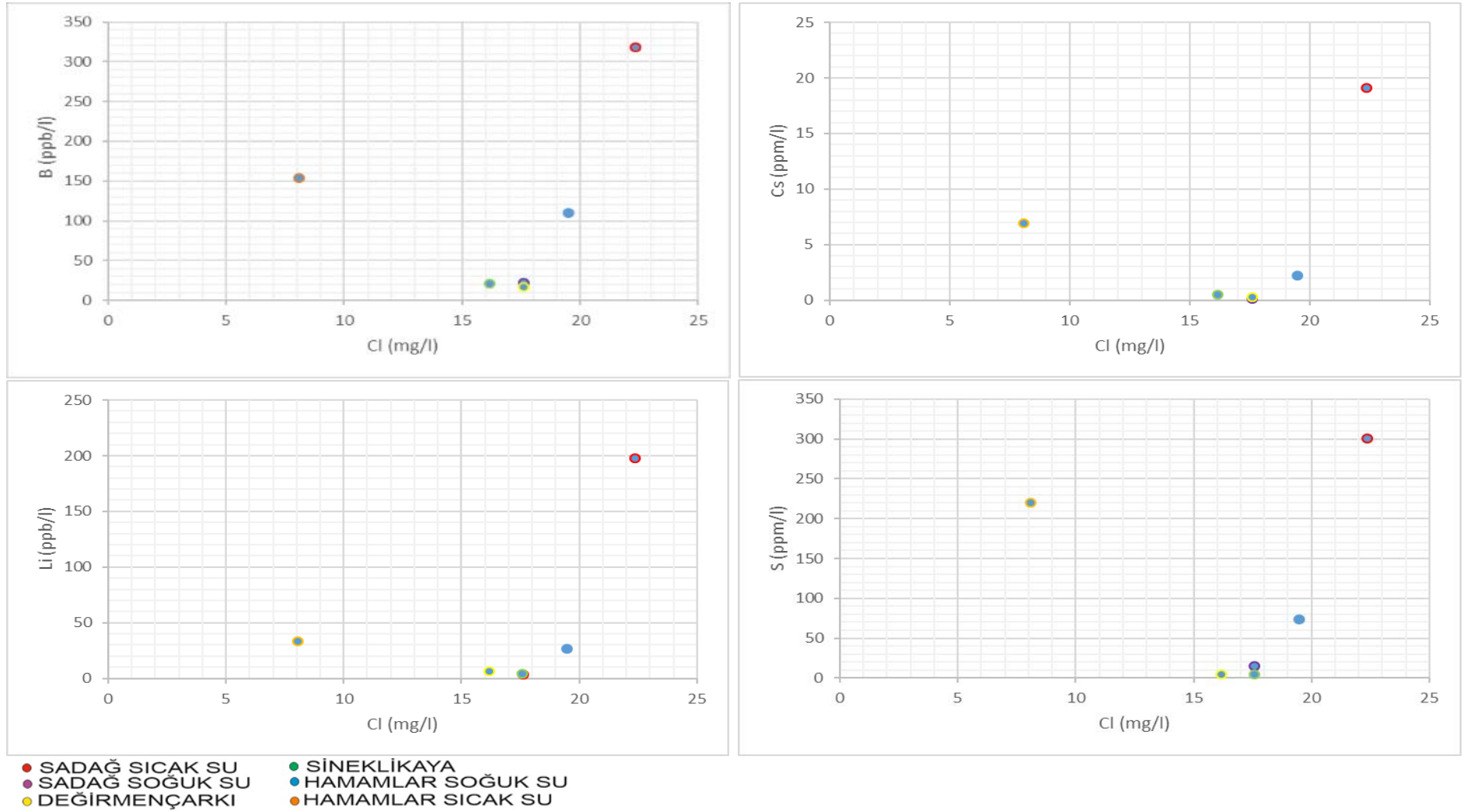
yanındaki akarsudan alınan Hamamlar soğuk su örneğinin hem bölgedeki soğuk sulardan çok sıcak sulara yaklaşmış olması hem de Hamamlar sıcak suyunun soğuk su kümesine yaklaşmış olması bir karışım olduğu teyitlemektedir.Eser elementlerde olduğu gibi bundan da sıcak suyun yükselirken karışmış olması en mantıklı öngörü olacaktır.Sadağ soğuk suyuna da bir karışım dan bahsedilebilir ancak soğuk su sıcak suyla karışmamış ya da çok az karışmış, sıcak su soğuk suyun beslenim alanına girmiş olmalıdır.



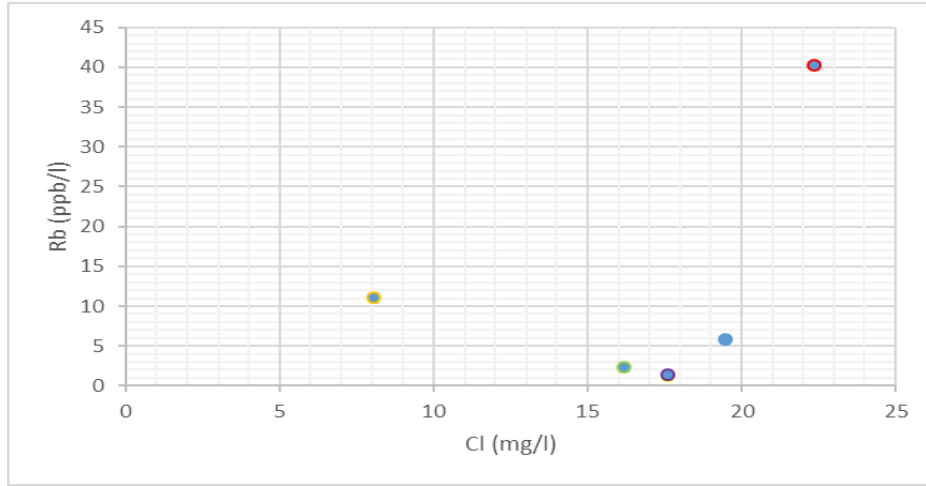
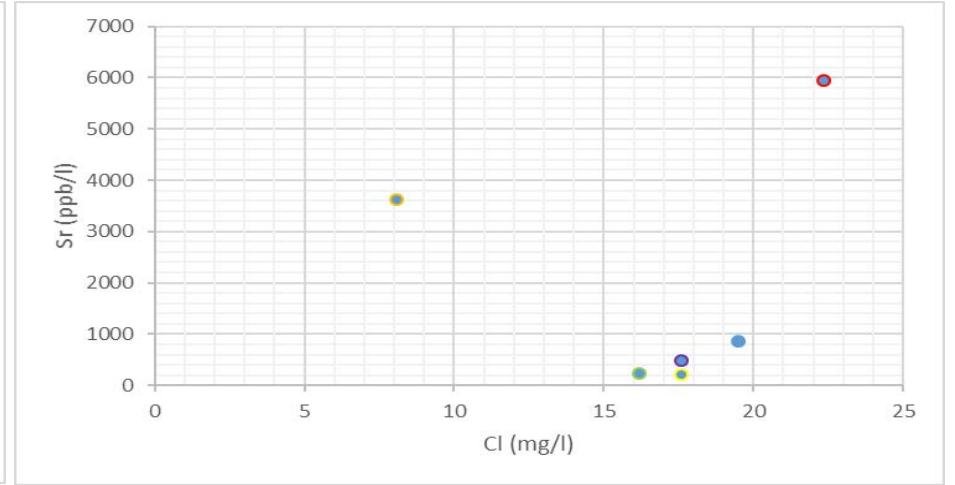
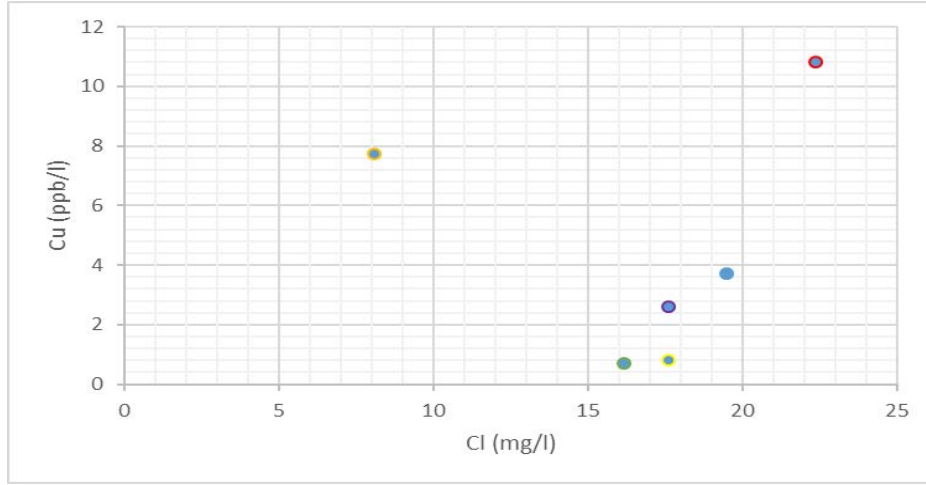
Şekil 4.13: Major iyonların Cl ve birbirleri ile ilişkileri.



Şekil 4.14: Major iyonların Cl ve birbirleri ile ilişkileri (2).



Şekil 4.15: Eser elementlerin Cl ile ilişkileri.



- SADAĞ SICAĞ SU
- SİNEKLİKAYA
- SADAĞ SOĞUK SU
- HAMAMLAR SOĞUK SU
- DEĞİRMENÇARKI
- HAMAMLAR SICAĞ SU

Şekil 4.16: Eser elementlerin Cl ile ilişkileri (2).

4.7.2 Silis jeotermometresi

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

Sadağ termal suyu için yapılan hesaplamalarda 116,76 °C – 119,72 °C arasında değer alınırken Hamamlar termal suyu için çok daha düşük sıcaklıklar olan 85,45- 86,92 °C değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplama kullanılabilecek başka silis jeotermometreleri de bulunmakta olup sahada bulunan sıcak sularla alakalı sadece iki jeotermometre alakalı sonuç verecektir. Yapılan hesaplamalar Çizelge 4.25' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.25: Silis jeotermometreleri.

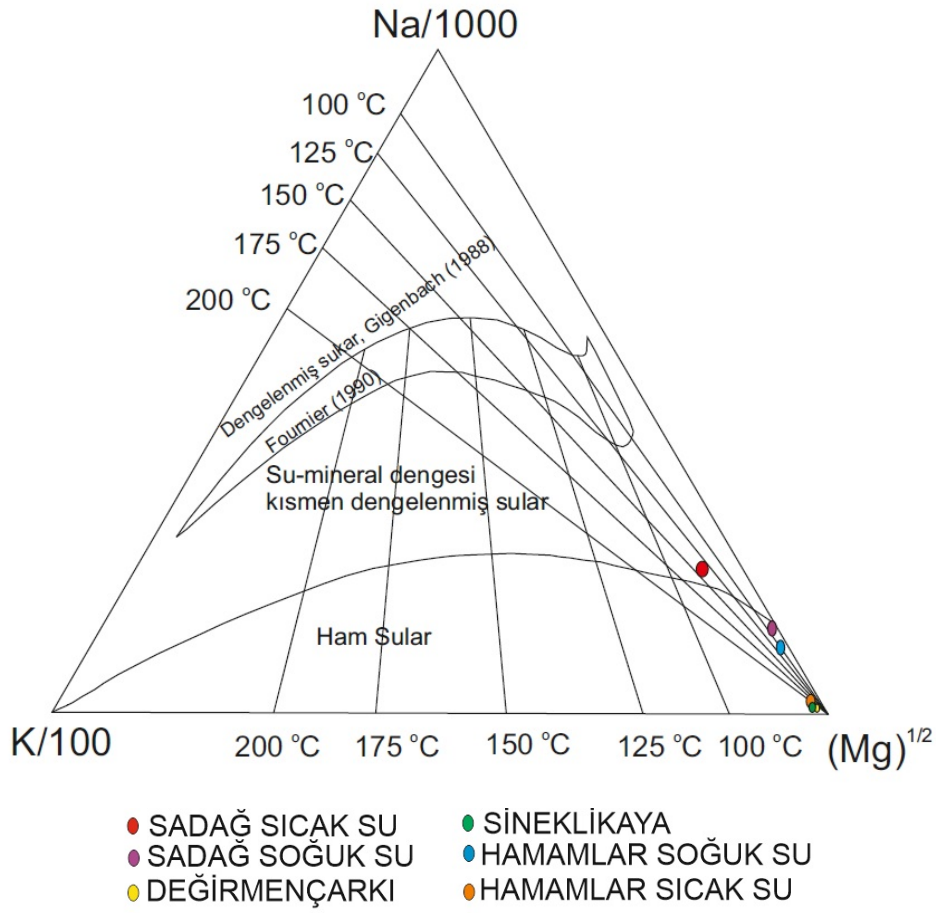
Jeotermometre	Formül	Formülü Bulan	Sadağ	Hamamlar
SO ₂ (Kuvars)	$t=1309/(5,2-\log(\text{SiO}_2))-273,15$	Fournier,1977	119,72 °C	85,45 °C
SiO ₂	$t=1498/(5,7-\log(\text{SiO}_2))-273,15$	Annorsson ve diğ.,1983	116,76 °C	86,92 °C

4.7.3 Katyon jeotermometreleri

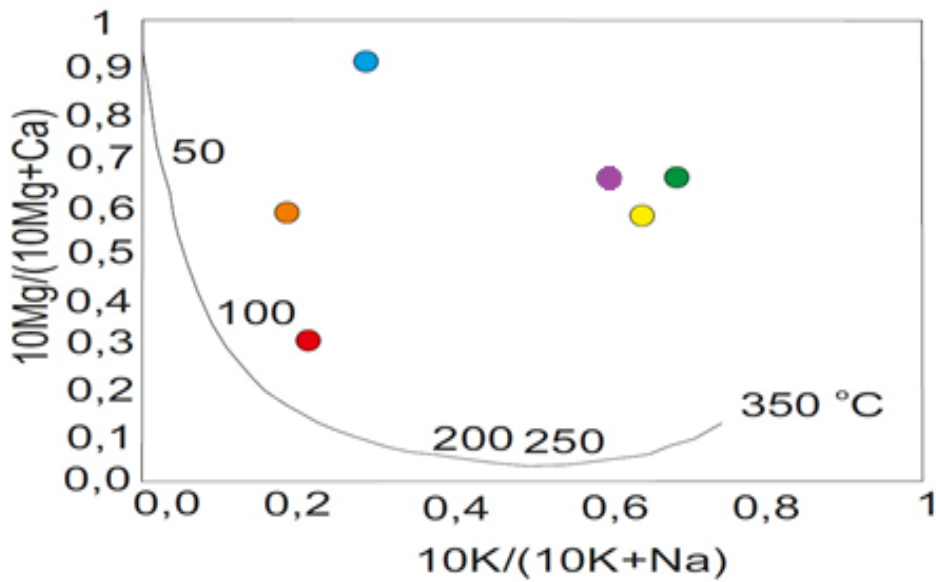
Jeotermometrelerin sıcak suyun kimyasal yapısına bağlı olarak katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliğinin saptanması amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından diyagramlar geliştirilmiştir.. Bu diyagramlar ile hem hızlı bir şekilde jeotermometre sonuçları görülebilmekte, hem de katyon jeotermometre bağıntılarının geçerliliği sınanabilmektedir. Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de daha önce belirtildiği gibi katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği sınanmaktadır. Fournier (1990) bu diyagram üzerinde bazı revizyonlar yaparak, en güvenilir

sonuçların bu üçgen diyagramdan oluşan jeotermometre uygulaması ile alınabileceğini vurgulamıştır. Diyagram sular açısından 3 bölgeye ayrılmaktadır. Bölgeler su ve kayaç ilişkisinin durumlarına göre belirlenir. Bölgeler su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olarak ayrılır. MI (Olgunlaşma İndeksi = Maturity Index) 2.0' dan az olduğu durumlarda sular olgunlaşmamış sular; sonuç daha yüksek çıktığında ise olgunlaşmış sular kısmına girmektedir.

Olgunlaşma indeksi; $MI = 0.315 \log [(K^2 / Mg) - \log (K/Na)]$ bağıntısıyla tanımlanmıştır. Bu bağıntıdan elde edilen sonuca göre Sadağ termal suyunun olgunlaşma indeksi 2,12; Hamamlar sıcak suyunun olgunlaşma indeksi ise 0,62 olarak hesaplanmıştır. Hamamlar sıcak suyunun olgunluk indeksi 2'den küçük olduğundan katyon jeotermometrelerinde anlamlı bir sonuç çıkamayacağı sonucuna varılmıştır. Giggenbach (1988) ham sular bölümüne düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir. Fournier (1990) ise diyagram üzerinde benzer yorumlar yapmakta, yaptığı revizyonla kısmen dengelenmiş alan ile tam dengelenmiş alan sınırını biraz daha aşağıya kaydırmıştır (Janik vd., 1992). Mineralli sular diyagramda Mg bölgesine yakın durmaktadır. Onlarla beraber ilginç bir şekilde Hamamlar sıcak suyuda Mg ye yakın durmakta, Hamamlar soğuk suyu ve Sadağ soğuk suyu kısmen dengelenmiş alana daha yakın durmaktadır (Şekil 4.17). Sadağ sıcak suyu ise kısmen dengelenmiş sular kısmında bulunmaktadır. Sadağ sıcak suyu ve Hamamlar sıcak suyu olgunlaşmış bölgede çıkmadığından NA/K jeotermometrelerinin verdiği sonuçlar göz önüne alınmayacaktır. Sadağ sıcak suyu Gigenbach diyagramına göre 125-150 °C aralığındadır. Hamamlar suyunun hem olgunluk indeksinin düşüklüğü hem de ham sular sınıfına girmiş olmasından kaynaklı Na/K jeotermometleri hesaplanmamış, sadece Sadağ sıcak suyu hesaplamalarına yer verilmiştir (Çizelge 4.26). Çıkan sıcaklık sonuçlarının aritmetik ortalaması 115,94 °C'dir. Şekil 4.18'de görüldüğü üzere Sadağ termal suyu ısı eğrisine en yakın olmakla 100-200 ° C aralığındadır. Hamamlar denge eğrisine uzaktır ve sıcaklık aralığı 50-100 ° C aralığındadır.



Şekil 4.17: Gigenbach diyagramı.



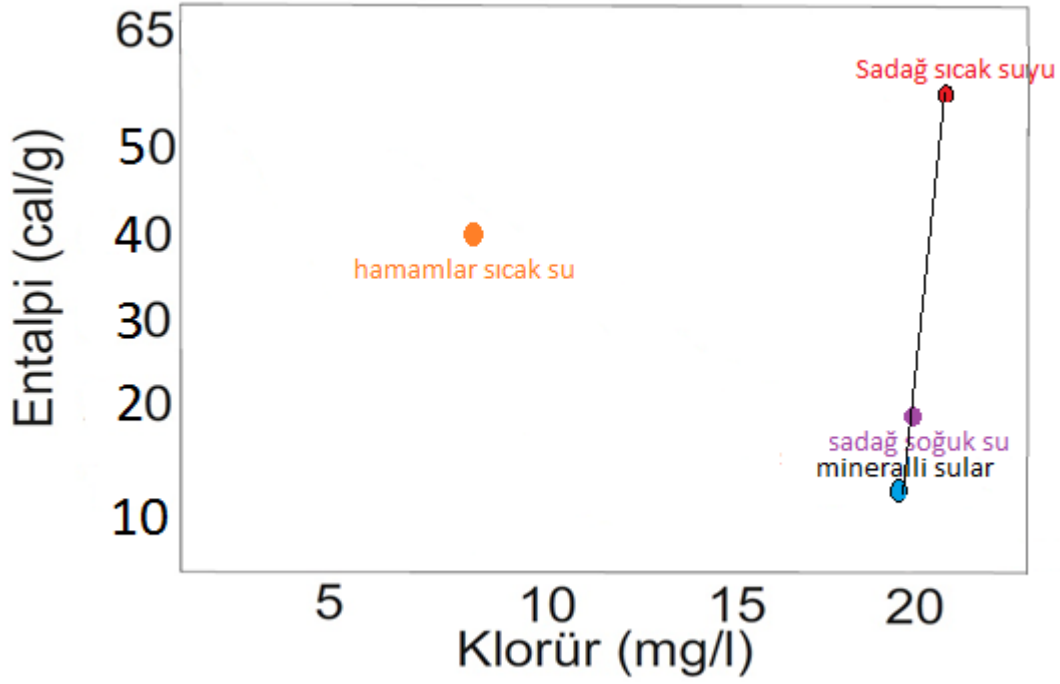
Şekil 4.18: 10K / (10K+Na) - 10Mg / (10Mg+Ca) Diyagramı.

Çizelge 4.26: Sadağ jeotermal suyu için katyon jeotermometreleri.

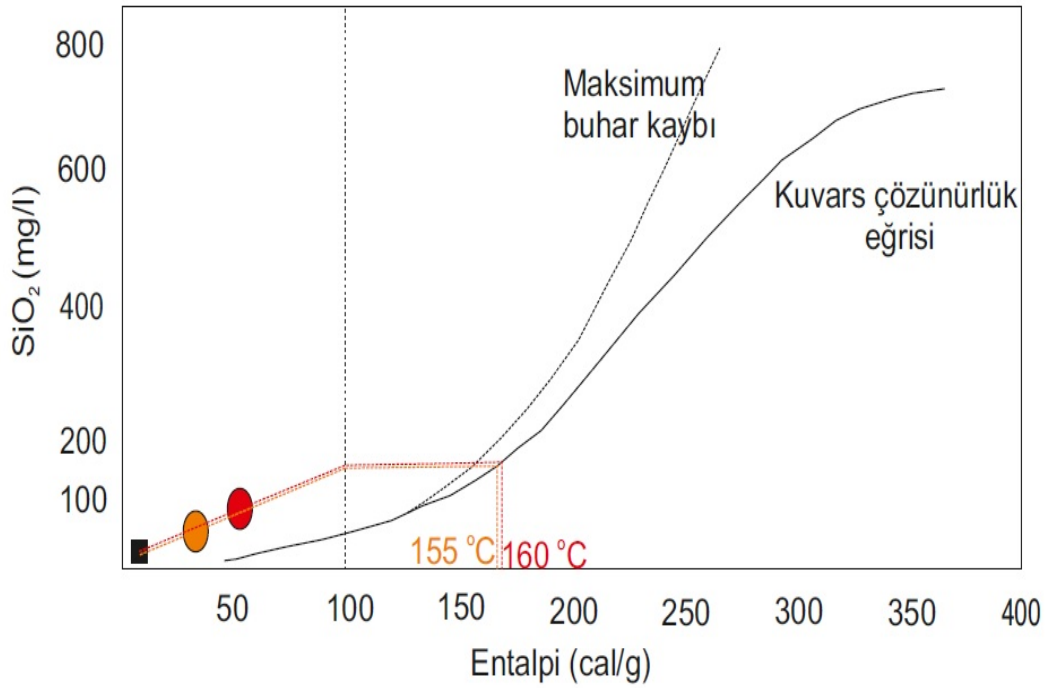
Jeotermometre	Formül	Sadağ termal su
Na/K	$t=933/(0,933+\log(\text{Na/K})-273,15)$	103,9 °C
Na/K	$t=1319/(1,699+\log(\text{Na/K})-273,15)$	133 °C
Na/K	$t=777/(0,7+\log(\text{Na/K})-273,15)$	73,5 °C
Na/K	$t=856/(0,857+\log(\text{Na/K})-273,15)$	83,75 °C
Na/K	$t=1217/(1,483+\log(\text{Na/K})-273,15)$	129,25 °C
Na/K	$t=1178/(1,470+\log(\text{Na/K})-273,15)$	116,35 °C
Na/K	$t=1390/(1,750+\log(\text{Na/K})-273,15)$	149,15 °C
Na/K (mmol)	$t=908/(0,692+\log(\text{Na/K})-273,15)$	133,4 °C

4.8 Karışım Modelleri

Jeotermal sular rezervuardan yukarı çıkarken meteorik sularla karışabilirler. Önceki bölümlerde de yapılan çalışmalar özellikle bölgedeki Hamamlar sıcak suyunun soğuk suyla karıştığı şüphesini oluşturmuştur. Karışımların değiştirdiği kimyasal içerikleri kullanarak ne kadar karışımın olduğu veya karışım öncesi sıcaklıklar hakkında fikir sahibi olunabilmektedir. Karışım ile ilgili çalışmada Entalpi -Klorür ve Entalpi-Silis karışım modellerine değinilmiştir. Fournier (1977) hazne kaya sıcaklığını ve sıcak-soğuk su karışım oranlarını bulmak için klorür karışım modelini önermiştir. Diyagramdan elde edilen sonuç karışımı desteklemektedir. Diyagrama göre Hamamlar sıcak suyunun bölgede karıştığı bir su yoktur. Sadağ soğuk suyuna bakıldığında ise %18,7' lik bir sıcak su karışımı olduğu belirlenmiştir. Karışımından önceki sıcaklıkların tahmini için silis sıcaklık diyagramı incelenmiştir. Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının olduğu ve olmadığı her iki durumda da uygulanabilmektedir (Fournier, 1977). Değerler uygun bir şekilde yerleştirildiğinde Sadağ sıcak suyunun rezervuar sıcaklığının 160 °C, Hamamlar sıcak suyunun rezervuar sıcaklığının ise 155 °C olması gerektiği öngörülmüştür.



Şekil 4.19: Klor-Entalpi diyagramı.



- | | |
|------------------|---------------------|
| ● SADAĞ SICAK SU | ● SİNEKLİKAYA |
| ● SADAĞ SOĞUK SU | ● HAMAMLAR SOĞUK SU |
| ● DEĞİRMENÇARKI | ● HAMAMLAR SICAK SU |

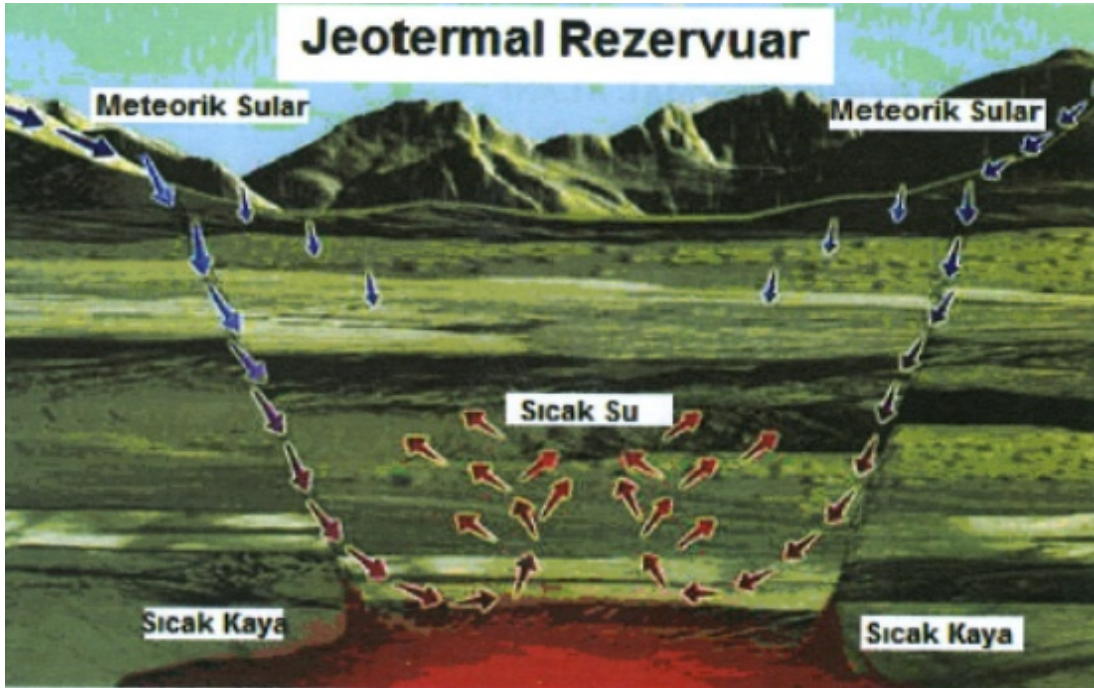
Şekil 4.20: SiO₂ / Entalpi diyagramı.

5. ORHANELİ SADAĞ BÖLGESİNİN JEOTERMAL YORUMLANMASI

Önceki bölümlerde alanın jeolojisi, hidrolojisi, hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasal özelliklerden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise geçtiğimiz bölümlerde anlatılan verilerin ışığında bölgenin jeotermal modelinden bahsedilecektir.

5.1 Oluşum Modeli

Bir suyun jeotermal su sayılabilmesi için suyun ortam sıcaklığından daha yüksek olması gerekmektedir. Suyun bu sıcaklığa gelmesi için bir ısıtıcı kaynağa ihtiyaç duyar. Isıtıcı kaynak hem her 33 metrede 1 C⁰'lık sıcaklık artışı yani jeotermik gradyan olabilir hem de kayacın içindeki radyoaktivite sonucu ortaya çıkan ısı sayesinde olabilir. Meteorik suların ısıtıcı kaynağa inmesinde kırık ve çatlak takımları önemli rol oynarken alanda bulunan K - G uzanımlı faylar iki kaynağı da hem besleyen suların ısıtıcı kaya ile ilişki kurmasında fayda sağlarlar hem de tekrar yüzeye çıkmalarına yardım eder (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Jeotermal sistem unsurları (Nart, 2015).

5.1.1 Beslenme

Jeotermal sistemlerde beslenme alanı topografya ve bölge jeolojisi tarafından oluşturulur. Meteorik sular ve yeraltı suları beslenimde etkilidir.

Beslenme alanında mermer hem de granit bulunmaktadır. Bölgenin merkezinde bulunan granitte ki yoğun çatlaklı yapı ve fay suyun hazne kayaya inmesine izin vermektedir. Bölgenin kuzeyinde bulunan kireç taşı ise karstik yapısı ile suların hazne kayaya inmesine elveriş sağlamaktadır.

Hamamlar bölgesinde ki termal suyun beslenme alanı içersinde kireç taşı ve mermer bulunmaktadır. Ancak haritada görülmeyen ve kimyasal özelliklerinden kaynaklı olarak granit ile ilişkisi bulunmaktadır.

5.1.2 Hazne Kaya

Sular süzöldükten sonra ısınmak için bir yerde depolanmaları gereklidir. Depolanabilmek için uygun jeolojik yapılarında bulunması gereklidir. Bu bölgede hazne kaya olan granitler ince kesitlerde göröldüğü üzere yüksek porfirik yapıdadır. Aynı zamanda yapılan kimyasal analizlerden de bazı ipuçları elde edilebilmektedir.

Sadağ termal suyunun hidrokimyasal verileri incelendiğinde su tipinin Na-Ca-SO₄-HCO₃ olduğı görölmüştür. Su içerisinde Na miktarının yüksek olması volkanik kayaçların içerdığı sodyum plajioklaslar ve alkali feldispatlar çözünmesi ile ilişkilendirilebilir. Aynı zamanda kayaç içerisinde bulunan epidotlar Ca çözünmesi ile ilişkilendirilebilir. Suda ki SO₄ yoğunluğunun sebebi ise suyun ferro-silikatları çözerek SO₄ olarak bünyesinde barındırmasıdır. Sadağ suyunun kation içerikleri incelendiğinde SO₄ %51 mek/l, HCO₃ ise %45 mek/l içermektedir. Bu yakın değerlere sahip olan bölgedeki suyun meteorik su ve termal suyun yeraltında karışması sonucu oluşmuştur.

Hamamlar termal suyunun hidrojeokimyasala incelemesinde suyun tipi Ca-Mg-SO₄-HCO₃ olarak belirlenmiştir. Kalsiyum ve magnezyum içeriğı kireçtaşı ve mermerden süzömesinden kaynaklı yüksek değerlere sahiptir. Suyu süzen kayaçlarda aynı zamanda klorit, biyotit ve glokofan mineralleri olduğundan suyun Magnezyum miktarı anlamlı oranda artmıştır. SO₄ içeriğı ise hazne kayanın granit oluşundan yüksek miktardadır. HCO₃ değerindeki yükseklik ise meteorik sularla karışmasından kaynaklıdır.

5.1.3 Dolaşım, ısınma ve boşalım

Orhaneli bölgesinin yıllık yeryüzü sıcaklık ortalaması ise $9,6^{\circ}\text{C}$ 'dir. Rezerv sıcaklığından yerüzü sıcaklık ortalamasını çıkartarak elde edilen değerde jeotermik gradyan ile çarpılır. Atmosferik olayların etkisi ile jeotermik gradyan artışının olmadığı yüzey kuşağını ifade eden Y_k değeri 100 m olarak sabit alınır ve çarpılan değere eklenmesi sonucu rezervuar derinlikleri hesaplanmaktadır.

Sadağ bölgesindeki termal suyun rezervuar sıcaklığı önceki bölümlerde yapılan çalışmalarla belirlendiğinde $100^{\circ}\text{C} - 130^{\circ}\text{C}$ arasındadır. Kuvars jeotermometresi ile belirlenen sıcaklık ise $119,72^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu şekilde hesaplanan Sadağ termal suyunun rezervi 3,7 km derinlikte bulunmaktadır. Yapılan karışım öncesi sıcaklık çalışmasında 160°C bulunan rezervuar sıcaklığı baz alınır ise derinlik 4,9 km olmalıdır. Az da olsa bir karışımından söz edebileceğimizden kaynaklı 3,7 ile 4,9 km derinlik arasında bir bölgede haznemiz bulunmaktadır.

Hamamlar bölgesinde bulunan bölgedeki termal suyun rezervuar sıcaklığı 70°C ile 95°C arasındadır. Kuvars jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı $85,45^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu şekilde hesaplanan Hamamlar termal suyunun rezervi 2,6 km derinlikte olmalıdır. Su çok fazla karışım geçirdiğinden sonucun doğruluğuna şüphe ile bakmak gerekebilir. Eğer karışım modellerinden çıkan rezervuar sıcaklığını 155°C kabul edersek derinlik 4,7 km olacaktır. Bu yüzden haznemiz 2,6 ile 4,7 km arasındadır (Şekil 5.2).

Sadağ termal suyu milli tabiat koruma parkı içerisinde 39.923414,28.926171 kordinatları dahilinde 700m yükseklikten boşalmaktadır. Kanyonu meydana getiren granitler faylanma sayesinde ikiye bölünmüş ve termal su ise bu fayın içerisinde çıkmaktadır (Şekil 5.2).

Hamamlar termal suyu Ağaçhisar köyünün güneydoğusunda hamamlar mevkiinden çıkmaktadır. Bölgeye eski Roma hamamları bulunduğu için Hamamlar denmektedir. Kordinatları ise; 39.910614,29.085553 olup yüksekliği 700m'dir. Bu bölgede İnönü mermeri içerisinde geçen bir fay bölgeyi yine kanyon haline getirmiştir ve termal su buradan boşalmaktadır.

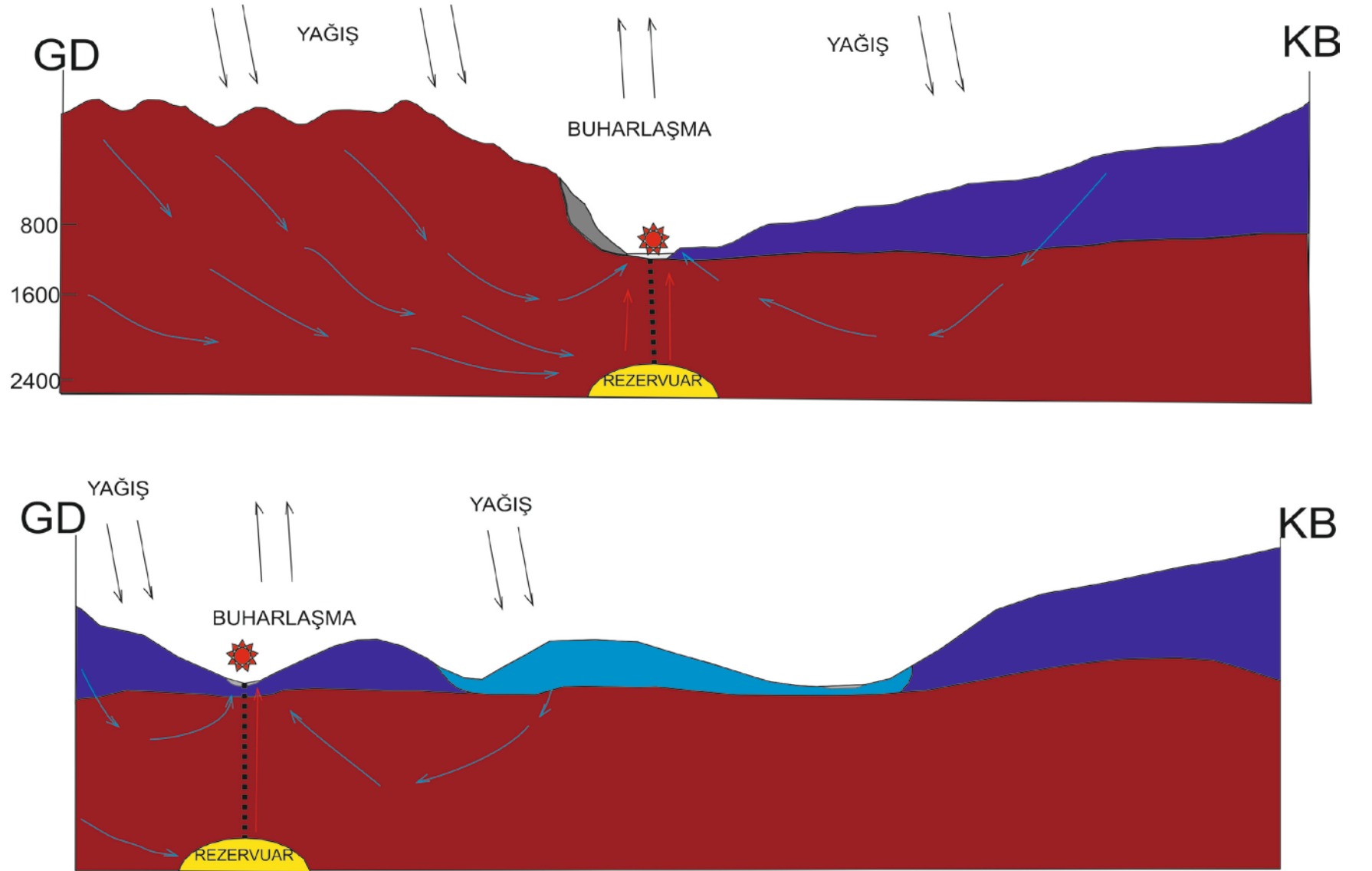
5.2 Kullanım Olanakları

Jeotermal kaynaklar sağlık, termal turizm, sera veya konut ısıtmacılığında kullanılacak potansiyele sahiptirler.

Sadağ Termal suyunun kullanıldığı Aslanlı kaplıcasının yüzey su sıcaklığı 55,2 °C' dir. Sadag sıcak suyunun debisi 3.5l/sn dir.Aslanlı kaplıcaları termal turizm ve sağlık amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 5.3).

Sadağ jeotermal suyunu 2009 yılında aldığı ruhsatla kullanan Arslanlı jeotermal tesisinde 32 adet apart bulunmaktadır. Her apart 4 kişilik olmakla beraber suyun verimli kullanılabilmesi için herkese günde 1 kere kullanım hakkı verilmiştir.Aynı anda kaç kişinin kullanabileceği konusunda bir bilgi alınamamış olup günlük 120 – 150 kişi arasında kullanımın sıkıntı yaratmayacağı bilgisi alınmıştır.

Ağaçhisar Hamamlar mevkii ise tarihi Roma hamamlarını içermektedir. Yüzey su sıcaklığı 38°C olan hamamlarsıcak suyunun debisi 1.5 l/sn olup çevresinde bir sosyal tesis bulunmamakla beraber yöre halkı tarafından halen kullanılmaktadır (Şekil 5.4), (Şekil 5.5). Bulunduğu arazi şartlarından kaynaklı bir tesis kurulması oldukça zor olup Orhaneli İlçesi Kaymakamıyla yapılan sözlü görüşmede oradaki suyun taşınarak Orhaneli civarına yapılacak bir devlet destekli jeotermal hastane – otel projesinden bahsedilmiştir. Ancak gerek suyun pompalanması ve boruların tıkanması; dış etkilere korunma zorluğu projeden vazgeçirmiştir.Suyun izlenecek güzergâhtaki ısı kaybı yüzünden tekrar ısıtılacak olması da düşünülen projenin rafa kalkmasını sağlamıştır.



Şekil 5.2: Oluşum modeli.



Şekil 5.3: Aslanlı Kaplıcası görünüm.



Şekil 5.4: Hamamlar bölgesi Roma hamamı içi.



Şekil 5.5: Hamamlar bölgesi Roma hamamı çevresi.

5.2.1 Enerji potansiyeli

Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının 3 farklı enerji potansiyeli incelenecektir. Rezervuarın enerjisi, sıcak suyun kaynak çevresine yaydığı enerji ve sıcak suyun kullanılabilir enerjisi olarak potansiyel enerjiler hesaplanacaktır.

İlk olarak rezervuar enerjisi incelenecektir.

$E = (T_{\text{rezervuar sıcaklığı}} - T_0) \cdot Q \cdot c \cdot \rho$ temel formülünden hesaplanmakta olup simgelerin açıklaması;

T_0 = Ortalama yüzey sıcaklığı

Q = Kaynak debisi (lt/sn)

c = Suyun ısıl kapasitesi

ρ = suyun yoğunluğu (kg/m^3 ; 1) şeklindedir.

Bölgenin kaynak debisi;

Sadağ Termal su noktası; (Q) $35 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sn}$ ve ortalama yüzey sıcaklığı (T_0) $9,6^\circ\text{C}$

$E = (119,72 - 9,6) \cdot 35 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 4,18 = 1,61 \text{ MW}$ 'dır. Ancak eğer rezervuar sıcaklığını 160°C alırsak sonuç $2,19 \text{ MW}$ olacaktır.

Hamamlar Termal su noktası; (Q) $15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sn}$ ve ortalama yüzey sıcaklığı (T_0) $9,6^\circ\text{C}$

$E = (85,45 - 9,6) \cdot 15 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 4,18 = 0,47 \text{ MW}$ 'dır. Hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklığı 155°C olduğundan tahmini enerjisi $0,9 \text{ MW}$ olacaktır

Hesaplamalar dâhilinde; Sadağ termal suyunun enerji potansiyeli $1,61 \text{ MW}$ ile $2,19 \text{ MW}$ arasında hesaplanmıştır. Hamamlar termal suyunun enerji potansiyeli ise $0,47 \text{ MW}$ ile $0,9 \text{ MW}$ arasında bulunmuştur.

Suyun kaynak bölgesinde soğurken yaydığı enerjiyi hesaplar isek;

$E = (T_{\text{kaynak sıcaklığı}} - T_0) \cdot Q \cdot c \cdot \rho$ temel formülünden hesaplanır. Buradan sonuç;

$E_{\text{sadağ}} = (55,20 - 9,6) \cdot 35 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 4,18 = 0,67 \text{ MW}$ 'dır.

$E_{\text{hamamlar}} = (38,00 - 9,6) \cdot 15 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 4,18 = 0,42 \text{ MW}$ 'dır.

Sıcak suların enerji kullanımı bakımından potansiyel enerjileri hesaplanır ise;

$$E=(T_{\text{rezervuar sıcaklığı}}-T_{\text{eşanjör alt limit}}) \cdot Q \cdot c \cdot \rho$$

Bu formülde kullanılan eşanjör alt limitinin anlamı ısı değişiminde kullanılan eşanjör adlı mekanizmanın ısıdan enerji elde edebildiği alt limittir. Bu limit 35 °C olarak alınmıştır. Bu sistemde kullanılan teknoloji ve malzeme kalitesine göre değişmekle beraber günümüzdeki en yüksek verim göz önünde bulundurulmuştur (Yalçın,T. 2016). Formüldeki değerler yerlerine konurlar ise;

$$E_{\text{sadağ}}=(119,92-35) \cdot 35 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 4,18= 1,24 \text{ MW'dır}$$

$$E_{\text{hamamlar}}=(85,45-35) \cdot 35 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 4,18= 0,74 \text{ MW'dır}$$

Aynı zamanda SiO₂ jeotermometresinden tahmin edilen rezervuar sıcaklıklarından tahmin edilen değerlerle hesaplama yapılırsa Sadağ sıcak suyunun enerji değeri 1,83MW olup Hamamların enerji potansiyeli ise 1,76 MW'dır.Tabi ki bu değerlerin elde edilebilmesi için rezervuar derinliklerine kadar gerekli mühendislik çalışmaları yapılmalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan ‘Bursa Orhaneli Sadağ ve Civarının Hidrojeolojisi’ adlı tez kapsamında Bursa İli sınırları içerisinde yer alan bölgenin jeolojisi, hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası incelenmiştir. İncelemeler sonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

İnceleme alanında Triyas yaşlı mermerler ve Kretase yaşlı metamorfik kireçtaşları vardır. Bu formasyonları kesen Eosen yaşlı granitler mevcuttur. Litoloji yapısı 1990-1994 ve 1998-2008 yılları arasında kurak dönem, 1995-1997 ve 2008-2010 yılları arası yağışlı dönem olarak belirlenmiştir. Bölgenin ortalama sıcaklığı 9,5 derecedir. Bölgenin en sıcak ayı 19,5 derece ile Temmuz olup en soğuk ay ise 0 derece ile Ocak’tır. Potansiyel buharlaşma 508,4 mm, gerçek buharlaşma 381mm, ortalama yağış 734,9 mm’ dir. Ortalama yağış ve gerçek evaporasyon farkı 353,9 mm olup, süzülme katsayısı %35 alındığında 123,8 mm olarak süzülme hesaplanmıştır.

İnceleme alanında birimler pekişmiş ve pekişmemiş formasyonlar olarak ikiye ayrılmışlardır. Pekişmiş formasyonlar ise karstik akifer ve çatlaklı zayıf akifer olarak ayrılmıştır. Karstik akifer Kocasu formasyonu ve Triyas yaşlı mermerler olarak sınıflanmıştır. Çatlaklı zayıf akifer olarak ise Eosen yaşlı granitler sınıflanmıştır. Pekişmiş formasyonlar yaygın ve zengin taneli akifer; yerel ve ilişkisiz taneli akifer olarak ayrılmıştır. Yaygın ve zengin taneli akifer olarak alüvyon; yerel ve ilişkisiz taneli akifer olarak ise yamaç molozu sınıflandırılmıştır.

Bölgedeki suların PH’ları 7,1 ve 8,7 arasında değişmekte olup bazik karakterli ve bazik sular sınıfına girmektedirler. Bölgedeki sıcak sular çok sert su sınıfında bulunurken mineralli sular az sert su sınıfında yer alır. EC değerleri göz önüne alındığında sıcak sular şüpheli ve kullanılabilir sınıfında yer alırken soğuk sular iyi ve kullanılabilir sınıfında yer almaktadır. Uluslararası Hidroloji Birliği sınıflandırmasına göre Sadağ sıcak su kaynağı Na-Ca-SO₄- HCO₃ sınıfında yer alır.

Sadağ soğuk suyu ise $\text{Ca-Mg-Na-HCO}_3\text{ SO}_4$ sınıfındadır. Hamamlar sıcak suyu $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ sınıfında yer almakta olup Hamamlar soğuk suyu $\text{Mg-Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ olarak adlandırılır. İki mineralli su da Ca-HCO_3 tipindedir. Bölgedeki sular SAR değeri bakımından incelendiğinde hepsi mükemmel sınıfında çıkmaktadır. %Na'lara bakıldığında Sadağdan alınan sıcak su izin verilebilir, Sadağdan alınan soğuk su örneği iyi, geri kalan su örnekleri mükemmel çıkmıştır. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre Sadağ sıcak suyu orta kaliteli, diğer sular çok kaliteli içme suyu olarak karşımıza çıkmıştır. Hamamlar bölgesindeki sıcak su ise iyi kaliteli olarak çıkmıştır. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre örneklenen tüm sular az tuzlu ve az sodyumludur. Sadece Sadağ sıcak suyu çok yüksek tuzlu – orta sodyumlu çıkmaktadır. Wilcox diyagramına göre Sadağ sıcak suyu şüpheli kullanılamaz çıkarken Hamamlar bölgesinden alınan sıcak ve soğuk sular iyi kullanılabilir çıkmıştır. Diğer mineralli sular ise çok iyi çıkmıştır.

Mg/Cl , Ca/SO_4 , Na/Cl , Na+Cl/Cl , HCO_3 , Ca/Cl diyagramlarında ve B, Cs, Li, S, Cu, Sr, Rb eser element diyagramlarının hepsinde Sadağ sıcak suyu kendini tam anlamıyla belli ederken Hamamlar sıcak suyundan ve soğuk suyundan bir karışım olduğu anlaşılmıştır. Oluşan karışım ısınmış suyun yüzeye çıkma evresinde gerçekleşmiştir. Sadağ soğuk suyu ise diğer mineralli sulardan kendini ayırmış olmakla beraber Hamamlar sıcak suyunun başka bir bölgeden beslendiği anlaşılmaktadır. Silisyum jeotermometrelerinden çıkan sonuçların Sadağ sıcak suyu için sıcaklık değeri $119,72^\circ\text{C}$ olup Hamamlar Sıcak suyunun sıcaklık değeri ise $85,45^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Sıcak suların Doygunluk İndekslerine göre Sadağ sıcak suyu doymuş, Hamamlar sıcak suyu ise Ham sular sınıfında çıkmıştır. Gigenbach diyagramlarına göre Sadağ sıcak suyu kısmi doymuş ve $125 - 150^\circ\text{C}$ olarak değerlendirilmişken Hamamlar ham sular kısmına denk gelmiş ve sıcaklık olarak mantıklı bir değer vermemiştir. Ayrıca Sadağ sıcak suyunun da diyagramdaki yerinden kaynaklı Na/K jeotermometreleri hesaplamalara alınmamıştır. Hamamlar ham su olduğundan Na/K 'da anlamsız sonuçlar elde edilmiştir. Cl ve SiO_2 /Entalpi karışım modellerine göre Hamamlar sıcak suyu %72,4 derişimde iken Sadağ soğuk suyuna %18,7'lik bir sıcak su karıştığı hesaplanmıştır. Karışımdan önceki Sadağ sıcak suyunun rezervuar sıcaklığı 160°C iken Hamamların rezervuar sıcaklığı 155°C olarak ölçülmüştür.

Sadağ bölgesindeki sıcak su granitten ve bölgedeki kireçtaşıdan beslenmektedir ve granit rezerv kayasında ısınmaktadır. Hamamlarda ise mermer ve kireçtaşıdan süzülen sular sahada gözükmeyen ancak kimyasal incelemeler sonucu anlaşılan granit rezervuar kayasında ısınmaktadır. Sadağ termal suyunun rezervuar enerji potansiyeli 1,61 MW ile 2,19 MW arasında hesaplanmıştır. Hamamlar termal suyunun rezervuar enerji potansiyeli ise 0,47 MW ile 0,9 MW arasında bulunmuştur. Suyun kaynak bölgesinde soğurken yaydığı enerji 0,67 MW ve 0,42 MW olarak hesaplanır.

Sıcak suların enerji kullanımı bakımından potansiyel 1,24 MW ve 0,74 MW'dır. Aynı zamanda SiO₂ jeotermometresinden tahmin edilen rezervuar sıcaklıklarından tahmin edilen değerlerle hesaplama yapılırsa Sadağ sıcak suyunun enerji değeri 1,83 MW olup Hamamların enerji potansiyeli ise 1,76 MW'dır.

Kullanım olanaklarına bakıldığında iki termal su da termal turizm olarak kullanılabilir.. Sadağ suyunu kullanan Aslanlı otelinin 32 apart odası olup odalar 4 kişiliktir. Otel yetkilileriyle konuşulduğunda Sadağ jeotermal suyunun 120 150 kişi arasında bir kapasitesi olduğu söylenmiştir. Sadağ termal suyunu kullanan hâlihazırda bir tesis olmakla beraber gerekli yatırım yapıldığında Hamamlar termal suyunda tesisleşmiş bir biçimde hizmete sunulabilecektir. Elde edilen enerjiler ve debilere bakıldığında Hamamlar sıcak suyunu taşımaz bir sistemle ancak günlük 40 – 45 kişi kullanabilecektir. Taşıma ile daha düz ve ulaşımı kolay bir bölgeye iletilir ise verim daha da düşecektir ve uzaklığa bağlı olarak hem soğuma engellemek için ek önlem hem de soğumuş suyun ısınması için ek sistem kurulması gerekecektir.

KAYNAKLAR

- Akgiray, Ö.**, (2003). İçme Suyu ve Su Arıtmı, Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları, *22 Mart Dünya Su Günü Paneli*, Zekei Şen, Sevinç Sırdaş (Editör), Bildiriler, s.62-75, İstanbul.
- Back, W.**, (1961). Techniques For Mapping of Hydrochemical Facies. *US Geol Surv Prof Pap* 424 – D, 380-382.
- Chow, V. T.**, (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. Sec. 11: Evapotranspiration. Mc-Graw Hill Co., New Yor, pp. 11-38.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E.**, (1987). *Yeraltı Suları Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, 238-260 s., İstanbul.
- Erişen, B. ve Öngür, T.**, (1976). Bursa Kenti Sıcak Su Kaynakları Etüdü, *MTA Raporu*
- Ertürk, D.**, (2010). Bursa İli Jeotermal Potansiyeli, S.D.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Fournier, R. O., and Truesdell, A. H.**, (1970). Geochemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. (Proc. U.N. Symp. On the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970). *Geothermics Sp.* İss.2.2. pp.529-535.
- Fournier, R.O.**, (1977). A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In: Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, *Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Fournier, R.O.**, (1977). 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.**, (1990). *The Interpretation of Na-K-Mg Relations in Geothermal waters*. Geoth. Res. Counc. Trans., 14,1421-1425.
- Gigenbach, W.F.**, (1989). Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57,2749-2765.
- Hem, J. D.**, (1970). Study and Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geol. Survey. *Water Supply Paper* 1473. Pp.363.
- Imbach, T.**, (1997). Deep Groundwater Circulation in the Tectonically Active Area of Bursa Northwest anatolia, Turkey. *Geothrmics*, 26:251-278.

- Janik, J.C., Goffy, F., Fahlquist, L., Adams, A.I., Roldan-M.A., Chipera, J.S., Trujillo, P.E., Counce, D.,** (1992). Hydrogeochemical exploration of geothermal prospects in the Tecuamburro volcano region, Guatemala. *Geothermics*, 21 (4), 447-481.
- Kaplıcalar Yönetmeliği** (2001). Resmi Gazete 24.07.2001.
- Ketin, İ.,** (1947). Uludağ Masifinin Tektoniği Hakkında (Über Die Tektonik des Uludag Massivs). *Bull. Geol. Soc. Turk.* 1,61-88.
- MTA,** (2005). *Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri*, Ankara, 220-223.
- Mahon, W. A. J.,** (1970). Chemistry in the Exploration and Exploitation of Hydrothermal systems (Proc. U.N. Symp. On The Development and Utilization of geothermal Resources, Pisa, 1970), *Geothermics Sp. İss.* 2, 2, 1310-1322.
- Nart, M.,** (2015). *Bursa Dümbüldek Termal Suyunun Hidrojeolojisi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Nicholson, K.,** (1993). *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Springer-Verlag, Chapter 2, Pg. 45-50
- Okay A.I.,** (2004). Karakaya Complex: a Review of Data and Concepts. *Turkish Journal of Earth Science* 13, 77-95
- Okay A.I., Tüysüz, O., ve diğ.** (2006). Cretaceous and Triassic Subduction-Accretion, HP/LT Metamorphism and Continental Growth in The Central Pontides, Turkey. *Geological Society of American Bulletin* 118, 1247-1269
- Okay A.I,** (2009). Tavşanlı zonu: Anatolid – Torid Bloku’nun Dalma Batmaya Uğramış Kuzey Ucu, *MTA Dergisi*.
- Pehlivan, R.,ve diğ.** (1995). Maramara Bölgesi Termomineral Kaynaklarının İçilebilirliği ve İnsan Sağlığına Etkisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, s.21-27, Ankara.
- Piper, A.M.,** (1953). *A Graphic Procedure in The Geochemical Intrpretation of Water Analyses*. US Geol. Survey. Ground Water Note, 12.
- Sigvaldason, G. E. And Cuellar, G.** (1970). Geochemistry of the Ahuachapfin Thermal Area, El Salvador, Central America (Proc. U.N. Syrup on the Development and Utulization of Geothermal Resources, Pisa, 1970), *Geothermics* 2, 2, pp. 1392-1398.
- Şahinci, A.,** (1986). *Yeraltı Suları Jeokimyası*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fak., İzmir.
- Şahinci, A.,** (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*, Reform Matbaası. S.548. İzmir.
- Şen, Z.,** (2014). *Practical and Applied Hydrogeology*, 1st Edition, Chapter 5, pp,279-339, Elsevier.
- Tonani, F.,** (1970). Geochemical Methods of Exploration for Geothermal Energy (Proc. U.N. Symp. On the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970). *Geothermics Sp. İss.*2, 1, 492-515.

WHO, (2004). Word Health Organisation (WHO), Global Strategy on Diet, *Physical Activity and Health Resolution WHA55*.

Wilcox, L. V., (1955). *Classification and Use of Irrigation Waters*. US Department of Agriculture. Cire. 969, Washington D.C. USA, p.19.

İTÜ (2011). Bursa İl Çevre Düzeni Planındaki Yerbilimleri Raporu

Url-1 <<http://www.bursa.gov.tr/icerik/240/nufus.html>> erişim tarihi: 04.09.2014

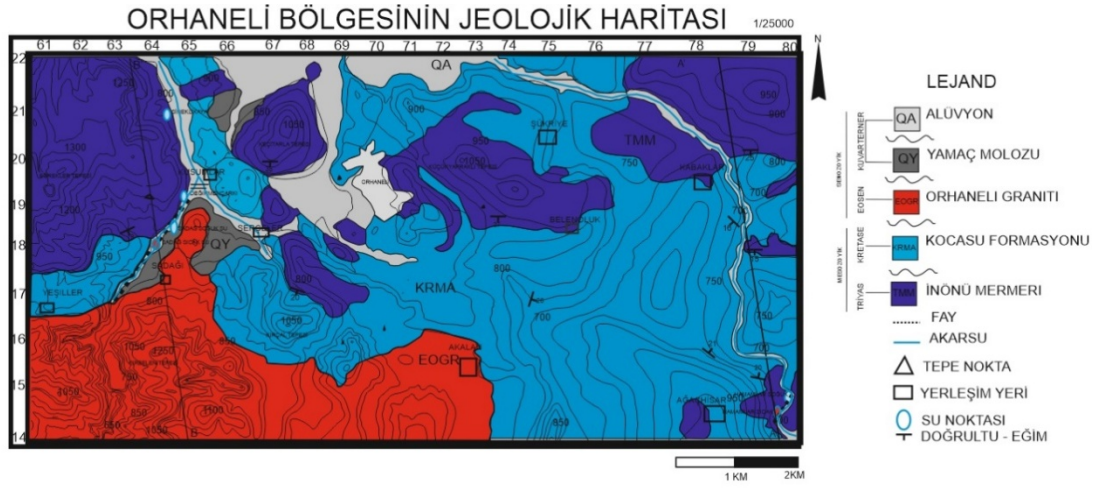
Url-2 <[http://www.bursa.gov.tr/icerik/244/yüzölçümü.html](http://www.bursa.gov.tr/icerik/244/yuzolcümü.html)> erişim tarihi: 04.09.2014

Url- <<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst5.asp>> erişim tarihi: 14.01.2015

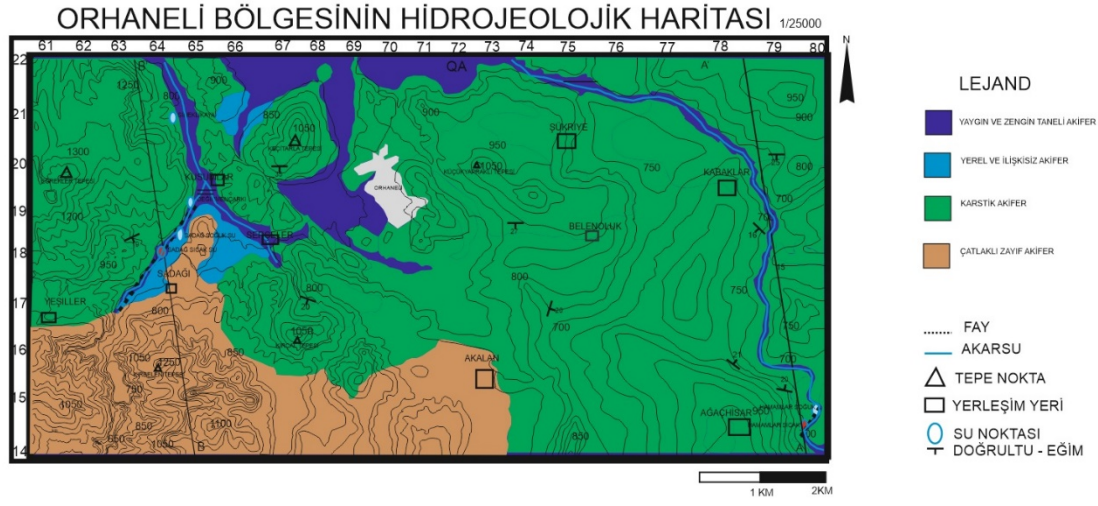
EKLER

EK : Haritalar

EK – A Bursa Orhaneli Sadağ ve Hamamlar Bölgesi Jeoloji Haritası ve Kesitleri



EK – B Bursa Orhaneli Sadağ ve Hamamlar Bölgesi Hidrojeoloji Haritası



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Emir Erkut
Doğum Tarihi ve Yeri : 1987, İstanbul
E-posta : emirerkut@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : : 2005-2011 İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013'ten beri Emaar Square Libadiye şantiyesinde kalite kontrol şefi olarak çalışmaktayım.