

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYAAĞIL (UŞAK) TERMAL SULARININ HİDROJEOLJİ İNCELEMESİ**



**Hayriye YURT**

**Danışman  
Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2017**



©2017[Hayriye YURT]

## TEZ ONAYI

Hayriye YURT tarafından hazırlanan "**Kayaağıl (Uşak) Termal Sularının Hidrojeoloji İncelemesi**"adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. İskender SOYASLAN**  
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Simge VAROL**  
Süleyman Demirel Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Prof.Dr.Yasin TUNCER** .....

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Hayriye YURT**



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	7
3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması .....	7
3.2. Çalışma Yöntemleri.....	8
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	10
4.1. Stratigrafi.....	10
4.1.1. Paleozoyik.....	10
4.1.1.1. Eşme Formasyonu (Pzşe) .....	12
4.1.2. Miyosen .....	12
4.1.2.1. Kürtköyü Formasyonu (Thk) .....	12
4.1.2.2. Yeniköy Formasyonu (Thy) .....	13
4.1.2.3. Karaboldere volkanitleri (Thv).....	14
4.1.3. Pliyosen .....	15
4.1.3.1. Ahmetler Formasyonu (Tia) .....	15
4.1.3.2. Beydağı volkanitleri (Tibv) .....	16
4.1.3.3. Ulubey Formasyonu (Tiu).....	17
4.1.4. Kuvaterner .....	18
4.1.4.1. Asartepe Formasyonu (Qat) .....	18
4.1.4.2. Alüvyon (Qal).....	18
4.2. Tektonik ve Paleocoğrafik Evrim .....	18
4.3. Hidroloji .....	21
4.3.1. Yağış ve Sıcaklık .....	21
4.3.2. Buharlaşma .....	22
4.4. Hidrojeoloji.....	26
4.4.1. Su noktaları.....	26
4.4.1.1. Akarsular .....	26
4.4.1.2. Karaağaç göleti.....	28
4.4.1.3. Kaynaklar .....	28
4.4.1.4. Sondaj kuyuları .....	29
4.4.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri .....	30
4.4.2.1. Geçirimli birimler.....	30
4.4.2.2. Az geçirimli birimler .....	31
4.4.2.3. Geçirimsiz birimler .....	32
4.5. Hidrojeokimya.....	32
4.5.1. Yeraltısularının iyon özellikleri.....	33
4.5.1.1. Sertlik.....	35

4.5.1.2. Hidrojen iyonuaktivitesi (pH) .....	36
4.5.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC).....	36
4.5.1.4. Toplam çözünmüş madde (TDS).....	37
4.5.2. Suların anyon-katyon özellikleri .....	38
4.5.2.1. Sodyum (Na <sup>+</sup> ) .....	38
4.5.2.2. Kalsiyum (Ca <sup>+2</sup> ).....	40
4.5.2.3. Potasyum (K <sup>+</sup> ) .....	40
4.5.2.4. Magnezyum (Mg <sup>+2</sup> ).....	41
4.5.2.5. Karbonat (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> ) ve Bikarbonat (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ).....	41
4.5.2.6. Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ).....	42
4.5.2.7. Klorür (Cl <sup>-</sup> ).....	42
4.5.3. Suların iz element içerikleri.....	43
4.5.3.1. Alüminyum (Al) .....	43
4.5.3.2. Arsenik (As).....	44
4.5.3.3. Bor (B) .....	45
4.5.3.4. Krom (Cr) .....	45
4.5.3.5. Demir (Fe).....	46
4.5.3.6. Mangan (Mn).....	46
4.5.3.7. Nikel (Ni) .....	47
4.5.3.8. Kurşun (Pb) .....	47
4.5.4. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması.....	48
4.5.4.1.Suların iyon karakteristikleri .....	48
4.5.4.2. Schoeller (1955'e) göre suların sınıflandırılması.....	49
4.5.4.3. Piper diyagramına göre suların sınıflaması.....	49
4.5.4.4. Gibbs diyagramına göre suların sınıflaması .....	51
4.5.5. Suların içilebilme ve kullanılabilme özellikleri.....	52
4.5.5.1. Standartlara göre suların kullanıma uygunluğu .....	52
4.5.5.2. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR).....	54
4.5.5.3. Sodyum iyon yüzdesi (%Na) .....	55
4.5.5.4. Schoeller içilebilirlik diyagramı .....	55
4.5.5.5. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.....	56
4.5.5.6. Wilcox diyagramı .....	59
4.5.6. Suların mineral doyumluk indeksi.....	60
4.5.7. Jeotermometre uygulamaları.....	61
4.5.7.1. Silis jeotermometreleri.....	62
4.5.7.2. Katyon jeotermometreleri.....	63
4.5.7.3.Sıcaklık-mineral denge diyagramı jeotermometresi.....	65
4.5.8. Kavramsal hidrotermal model.....	66
4.5.9. Suların izotop özellikleri.....	71
5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	73
KAYNAKLAR .....	77
EKLER.....	82
EK-1. KAYAAĞIL (UŞAK) JEOLJİ HARİTASI VE KESİTİ.....	83
EK-2. KAYAAĞIL (UŞAK) HİDROJEOLJİ HARİTASI .....	84
ÖZ GEÇMİŞ.....	85

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## KAYAAĞIL (UŞAK) TERMAL SULARININ HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ

Hayriye YURT

Süleyman Demirel Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

Bu çalışmada Uşak İlinde bulunan Kayaagıl ve Karaağaç köyleri çevresinin hidrojeolojisi ve bölgede yer alan sıcak - soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. İnceleme alanının temelinde yer alan Paleozoyik yaşlı Eşme formasyonunu oluşturan şistler ve şistler içerisindeki mermer bantları hidrotermal sistemin ana hazne kayacını, Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı birimlerin geçirimsiz seviyeleri örtü kayacı, faylanma ile gelişen kırık hatları ise akışkanları yüzeye taşıyan akım yollarını oluşturmaktadır. Bölgede derinlere süzülen yeraltısuları, jeotermik gradyana bağlı olarak ısınmaktadır.

İnceleme alanında termal suların Na-HCO<sub>3</sub>, soğuk suların Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, karışım sularının ise Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Termal sularda Na artışı suların sıcaklığı ve kaya-su etkileşim sürecine bağlıdır. Kayaagıl termal suyu albit, analsim, aragonit, kalsit, barit, kalsedon, kristobalit, dolomit, florit, jipsit, kuvars ve sanidin minerallerine doygundur. Termal suların silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 102-147 °C arasındadır. Ayrıca, yeraltısularının Al, As, B, Fe, Cd, Cr, Mn, Ni ve Pb gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Termal ve karışım sularında As artışı suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Soğuk sulardaki As artışının kaynak sularının etkileşim halinde bulunduğu volkanik kayalar ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminde kaynaklandığı düşünülmektedir. Sularda tespit edilen ekstrem Al ve Mn değerleri antropojenik kökenli faaliyetlerden kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Termal su, hidrojeoloji, hidrojeokimya, Kayaagıl, Uşak

**2017, 85 sayfa**

## ABSTRACT

M.Sc. Thesis

### HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF KAYAAĞIL (UŞAK) THERMAL WATERS

HayriyeYURT

Süleyman Demirel University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

In this study, hydrogeology of Kayaağıl and Karaağaç villages in Uşak province and hydrogeochemical properties of thermal and cold waters were investigated. The Paleozoic aged Eşme formation which are formed schists and marble bands are the main reservoir rocks of the hydrothermal system, the impermeable levels of the Tertiary and Quaternary units constitute the cover rocks and the fracture lines developed by the faulting are the flow paths carrying the fluids to the surface. Groundwater infiltrating to deep in the region heat due to the geothermal gradient.

In the study area, it was determined that the thermal waters are Na-HCO<sub>3</sub>, the cold waters Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> and the mixed waters are Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> waters. The increase of Na in the thermal waters depends on the water temperature and the rock-water interaction process. Kayaağıl thermal water is saturated with albite, analsim, aragonite, calcite, barite, calcite, cristobalite, dolomite, fluorite, gypsum, quartz and sanidine minerals. The reservoir temperatures of the thermal waters are calculated as 102-147 °C according to the silica geothermometers. In addition, trace metal contents of groundwater such as Al, As, B, Fe, Cd, Cr, Mn, Ni and Pb were also researched. The increase of As in the thermal and mixture waters is directly proportional to the water temperature. The increase of As in the cold waters originated from water-rock interaction. The extremes Al and Mn values of water are due to the anthropogenic activities.

**Keywords:** Thermal water, hydrogeology, hydrogeochemistry, Kayaağıl, Uşak

**2017, 85 pages**

## TEŞEKKÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalı, Hidrojeoloji bilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışma 2016-2017 eğitim-öğretim yılında Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ danıőmanlıđında yapılmıştır.

Tezin tüm aőamalarında emek ve mesai harcayarak bana yardımcı olan, özenli değerlendirmeleri ile çalışmama ışık tutan ve tezimi yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman destekçim olan aileme teşekkür ederim.

Ayrıca, 4604-YL1-16no'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Hayriye YURT  
ISPARTA, 2017

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası .....	8
Şekil 4.1.İnceleme alanının sütun kesiti.....	11
Şekil 4.2. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Uşak DMİ).....	23
Şekil 4.3. İnceleme alanında sıcaklık ve yağışın aylara göre dağılım grafiği .....	23
Şekil 4.4. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp' nin aylık değişim grafiği .....	26
Şekil 4.5. İnceleme alanının drenaj ağı haritası .....	27
Şekil 4.6. Karaağaç göletinin uydu görüntüsü üzerindeki konumu .....	28
Şekil 4.7. Kuyu logları.....	30
Şekil 4.8. Hidrojeokimya haritası .....	34
Şekil 4.9. Piper diyagramı.....	51
Şekil 4.10. Gibbs diyagramı.....	52
Şekil 4.11. H. Schoeller içilebilirlik diyagramı .....	57
Şekil 4.12. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı .....	58
Şekil 4.13. Wilcox diyagramı .....	59
Şekil 4.14. Na-K-Mg üçgen diyagramı .....	64
Şekil 4.15. Sıcaklık- mineral denge diyagramı.....	66
Şekil 4.16. İnceleme alanı ve çevresinin çizgisellik haritası.....	69
Şekil 4.17. Kayaagıl jeotermal alanı kavramsal modeli.....	70
Şekil 4.18.İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı.....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Uşak DMİ'nda ölçülen yıllık ortalama yağış verileri.....	22
Çizelge 4.2. Uşak Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite Buharlaşma-Terleme Bilançosu.....	25
Çizelge 4.3. Jeotermal kuyuların özellikleri.....	29
Çizelge 4.4. Su örneklerinin yerinde ölçüm ve iyon özellikleri.....	35
Çizelge 4.5. Fransız sertlik sınıflaması .....	36
Çizelge 4.6. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması.....	36
Çizelge 4.7. Suların TDS değerine göre sınıflaması .....	37
Çizelge 4.8. Su örneklerinin anyon-katyon analiz sonuçları.....	39
Çizelge 4.9. Suların iz element içerikleri.....	44
Çizelge 4.10. İnceleme alanındaki suların iyon dizilimi .....	49
Çizelge 4.11. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması.....	50
Çizelge 4.12. Ulusal ve uluslararası standartlara göre elementlerinsınır değerleri.....	54
Çizelge 4.13. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması.....	55
Çizelge 4.14. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması.....	58
Çizelge 4.15. Suların mineral doygunluk indeksi değerleri.....	61
Çizelge 4.16. Silis jeotermometreleri .....	63
Çizelge 4.17. Katyon jeotermometreleri .....	65
Çizelge 4.18. Kayağıl termal sularının çevresel izotop analizleri .....	72

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	Aluminyum
As	Arsenik
B	Bor
Ca <sup>++</sup>	Kalsiyum
Cl <sup>-</sup>	Klorür
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	Karbonat
Cr	Krom
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel İletkenlik
Etr	Gerçek Buharlaşma-Terleme
Etp	Potansiyel Buharlaşma-Terleme
Fe	Demir
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat
K	Hidrolik İletkenlik
K <sup>+</sup>	Potasyum
mek	miliekivalen
Mg <sup>++</sup>	Magnezyum
mg	Miligram
Mn	Mangan
µS	Mikrosiemens
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Na <sup>+</sup>	Sodyum
NH <sub>3</sub>	Amonyak
Ni	Nikel
NO <sub>3</sub>	Nitrat
P	Yağış
pH	Hidrojen İyonu Aktivitesi
Pb	Kurşun
Q	Debi
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Sülfat
T	Sıcaklık
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
WHO	World Health Organization

## **1. GİRİŞ**

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bunları yeterli düzeyde değerlendirememektedir. Jeotermal kaynakların optimum düzeyde kullanım teknolojilerinin araştırılabilmesi için uygun araştırma yöntem ve ekibiyle ayrıntılı incelemelerin yapılması zorunludur. Günümüzde jeotermal kaynaklar, bulunduğu bölgenin sosyoekonomik kalkınmasında önemli itici güçlerden birisidir. Bu açıdan bakıldığında Türkiye'nin farklı bölgelerinde jeotermal potansiyelin yüksek olduğu yerlerin sayısı oldukça fazladır. Yapılacak ayrıntılı çalışmalarla hem yeni sahaların bulunması hem de mevcut sahalardan en iyi nasıl yararlanılabileceğinin ortaya konması gerekmektedir. Bugün için mevcut sahalarda enerji üretimi, sera ve konut ısıtılması, termal turizm gibi alanlarda ekonomik faaliyetler sürdürülmektedir.

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Ayşen Davraz'ın yürütücülüğündeki 4604-YL1-16 nolu ve "Kayaagıl (Uşak) Termal Sularının Hidrojeoloji İncelemesi" başlıklı BAP projesi kapsamında yüksek lisans tez çalışması olarak yürütülmüştür.

### **1.1. Çalışmanın Amacı**

Çalışmada, Uşak ilinde Kayaagıl ve Karaağaç köyleri arasında 2010 yılında bulunan jeotermal alanın jeolojik, hidrojeolojik incelemesi, termal suların oluşumu ve bölgedeki sıcak- soğuk yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin tespiti ile hidrotermal sistemin tanımlanması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, inceleme alanında ayrıntılı jeoloji ve hidrojeoloji çalışmaları ile bölgede jeotermal sistem tanımlanarak oluşum modeli geliştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile desteklenen araştırmada su örnekleri alınmış suların sınıflaması, içilebilme ve kullanılabilme özellikleri, mineral doygunlukları, hazne sıcaklıklarının tahminine yönelik hesaplamalar yapılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnceleme alanı ve çevresinde farklı araştırmacılar tarafından jeolojik, hidrojeolojik ve jeotermal amaçlı araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Ercan vd. (1978), Uşak bölgesinde bulunan Neojen havzaların jeolojisinin incelendiği çalışmada, Uşak yöresinde Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı karasal çökeller ve volkanik ürünlerin geniş alanlarda yüzelediği belirtilmiştir. Bölgede temeli Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfileri oluşturmaktadır. Bu metamorfiklerde üç ana birim ayırtlanmıştır. Çalışmada beş ayrı volkanik evre saptanmış ve volkanizma ürünleri tanımlanmıştır. Ayrıca, karasal havzaların fasiyesleri ve paleocoğrafyaları ortaya çıkarılmış olup, bu havzalarda toplam yaklaşık 1900 m kalınlıkta çökel oluştuğu saptanmıştır. Bölgede Miyosen'in ortamsal olarak eski masif kenarlarında bir alüvyon yelpazesi ile başladığı, çok yaygınlaşan ırmak yatakları ile süregeldiği ve yersel küçük yüzlek gölcüklerle sona erdiği belirtilmiştir. Pliyosen'in yine eski masif kenarlarında bir yamaç molozu ile başladığı, yaygın ırmak yatakları ve yersel küçük yüzlek göllerle süregeldiği ve bütün bölgeyi kapsayacak büyüklükte derin gölle sona erdiği tespit edilmiştir. Kuvaterner ise yeni ırmak yatakları ile günümüze kadar süregelmektedir. Bu alışma ile bölgede ilk kez Miyosen ve Pliyosen karasal ostracod fosilleri saptanmış, ayrıca zengin yaprak ve balık fosilleri bulunmuştur.

Davraz (2008),Uşak civarındaki sıcak suların hidrojeokimyasal ve hidrojeoloji incelemesinin yapıldığı çalışmada bölgedeki sıcak suların 33-63  C arasında değişen sıcaklıklarda olduğunu, bu suların bölgedeki fay uzanımları boyunca boşalım gösterdiği ve farklı hidrojeokimyasal fasiyeste olduklarını belirtilmiştir. Bu alışmada Aksaz, Hasköy, Hamamboğazı, Örencik ve Emirfakı sıcak su kaynakları ile Danadamları mineralli su kaynakları incelenmiştir. İnceleme alanında Menderes metamorfik kayaçlarını oluşturan gnays, şist ve mermerler temeli oluşturmaktadır ve bölgede en derin rezervuardır. Menderes metamorfik kayaçları üzerinde uyumsuz olarak bulunan Pliyosen yaşlı Ulubey formasyonu

bölgede ikincil rezervuar kayacı oluşturmaktadır. Formasyon görsel kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu kayaçlardaki çatlaklar ve faylar vasıtasıyla termal sular yeryüzüne ulaşmaktadır. Uşak jeotermal sisteminin örtü kayacı geçirimsiz özellikteki Neojen kayaçlardır. Araştırmada uzaktan algılama çalışmaları ile çizgiselliklerin major yönlerinin B-D ve KD-GB olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada termal suların Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, Ca-Na-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> hidrojeokimyasal fasiyeste oldukları belirlenmiştir. Termal suların kimyasal yapısında baskın olan kaya su etkileşimi süreçleri karbonat çözünürlüğü ve Na ile Ca arasında gerçekleşen iyon değişim reaksiyonlarıdır. Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipine sahip soğuk sular jeotermal akifer içerisinde derin dolaşım sırasında Na-HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> tipi termal suları oluşturmaktadır. Bölgede termal ve soğuk suların izotopik bileşimi suların meteorik kökenli olduklarını göstermektedir.

Erdemli (2008), Bu çalışmada, Uşak ilinin önemli su kaynaklarından biri olan Ulubey akifer sisteminin karakterize edilmesi ve modellenmesi yapılmıştır. Yüksek lisans tezi olarak yürütülen çalışmada matematiksel bir yeraltısuyu akım modeli oluşturulmuş kararlı akım koşulları altında kalibre edilmiştir. Oluşturulan bu model, yeraltısuyu bütçesindeki eksik bileşenlerin hesaplanmasının yanısıra gelecekte artması öngörülen sulama ve kullanma suyu taleplerini karşılamak amacıyla yapılacak ek çekimlerin sisteme olan etkilerini test etmek amacıyla da kullanılmıştır.

Akkaş (2010), Hamamboğazı jeotermal sahasında su ve toprak kirlilik etkilerinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında Hamamboğazı jeotermal akışkanından, sıcak suyun karıştığı Hamamboğazı dere suyundan ve çevredeki soğuksu kuyularından toplanan 16 adet su örneğinde arsenik, bor ve flor konsantrasyonları ve sıcak suların oluşturduğu sedimanlardan alınan toprak örneklerinde As, B ve F analizleri yapılmıştır. Sulama suyu olarak kullanılan Hamamboğazı Deresinin As, B ve F konsantrasyon değerleri su kirliliği kontrol yönetmeliğinde izin verilebilen maksimum değerlerin çok üzerinde bulunduğundan sulama suyu olarak kullanılması tarımda hassas olan ürünlere

zarar verebileceği belirlenmiştir. Ayrıca, İnsani tüketim amaçlı sular yönetmeliğindeki limit değerlere göre de Hamamboğazı kaplıca sularının içme kuru olarak ve yeraltı suyundan elde edilen soğuk suyun ise içme ve kullanma amaçlı olarak da kullanılması sağlık sorunlarına neden olabileceği belirtilmiştir. Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak suların As, B ve F değerleri Batı Anadolu'da yer alan diğer jeotermal sahalardaki sıcak su örneklerine ait As, B ve F değerleri ile mukayese edilmiştir. Batı Anadolu'daki jeotermal aktiviteler çoğunlukla Büyük Menderes ve Gediz Graben sistemlerine bağlı olarak gelişmiştir. Yapılan karşılaştırma da Hamamboğazı jeotermal sahasına ait su örneklerinin As ve B ve F içeriğinin diğer jeotermal sahalardaki suların As, B ve F değerlerine göre daha yüksek, bir kısmına göre ise daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir. Jeotermal kaynağın çevresinde çökelen sedimanların As, B ve F içeriğinin belirlenmesi amacıyla 4 adet noktadan toprak numunesi alınmış yapılan analizlerde sedimanlardaki As miktarı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın 50 A.B.D eyaletinde belirlediği limit değerden yaklaşık 10 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle Hamamboğazı sıcak sularının üzerine aktığı tarım arazilerindeki toprak yapısında oluşturacağı As kirliliği çok ciddi boyutta olacağı belirtilmiştir. Ayrıca, sedimanlardaki B ve F içeriği toprak standart değerlerinin çok üzerinde olduğundan sıcak suların tarım arazilerinde B ve F kirliliğine de neden olmaktadır.

Gökgöz vd. (2011), tarafından yapılan projede Uşak il sınırları içinde yer alan Emirfakı, Örencik, Aksaz, Hasköy, Karaağaç, Hamamboğazı ve Kızılcaören jeotermal sahaları çalışılmıştır. Bu sahalarda sıcaklıkların 23-71 °C, elektriksel iletkenlik değerlerinin 2500-4000  $\mu\text{ho}/\text{cm}$  olduğu belirtilmiştir. Bu sahalardaki jeotermal akışkan tipleri Ca-Na-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>, Na-Ca-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, Na-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> ve Na-Ca-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> şeklinde dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Tüm jeotermal suların kökeninin meteorik olduğu ve yeraltında kalış zamanlarının 50 yıldan daha fazla olduğundan bahsedilmektedir. Bölgede rezervuar kayalar Hamamboğazı ve Kızılcaören sahalarında ultramafik birimler, diğer sahalarda ise Paleozoyik mermer, şist ve

ikincil olarak Neojen kireçtaşlarıdır. Termal sular rezervuar kayaçlarıyla kimyasal dengeye erişmemişlerdir. Jeotermometre hesaplamalarına göre sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının 44- 129 °C arasında olduğu belirlenmiştir. Termal sularda egemen gaz CO<sub>2</sub>'dir. İnceleme alanı termal suları başlıca kalsit ve ikincil olarak aragonit çökeltme özelliğine sahip olduğu belirtilmektedir. Çalışmada Uşak ili jeotermal alanlarının jeolojik ve tektonik yapısının ayrıntılı olarak incelenmiş ve bu sahaların kavramsal hidrojeokimyasal modellemesi yapılmıştır.

Polat ve Güney (2013), Bu çalışmada Uşak ili arazisindeki karstik şekiller ile bunların oluşmasında ve gelişmesinde etkili olan fiziki coğrafya faktörleri incelenmiştir. Uşak ili arazisinde karstik gelişim için uygun olan litolojiye sahip yerler jeoloji haritasından yararlanılarak tespit edilmiştir. Litolojik birim, iklim ve bitki örtüsü bakımından karstlaşma için uygun şartlar taşıyan yerlerde lapy, dolin, flüvio-karstik şekiller, travertenler ve mağaralar gibi karst topoğrafyası şekilleri gelişmiştir. Çalışma kapsamında karstlaşma ile ilgili olarak araştırma alanının jeolojisi, jeomorfolojisi, hidroğrafyası, iklimi, bitki ve toprak örtüsü üzerinde genel özellikleri ile durulmuş, daha sonra Uşak ili arazisinde görülen karst topografyasının unsurları tek tek ele alınarak oluşumları, gelişimleri incelenip fiziki coğrafya şartlarıyla ilişkileri araştırılmıştır.

Akar (2014), Bu çalışmada, Uşak ili ve çevresinden alınan toprak, su ve sediment örneklerinde doğal radyasyon ölçümleri yapılarak bölgenin doğal radyoaktivitesi belirlenmiştir. Çalışma bölgesinden alınan 261 toprak ve 23 sediment örneğinin pH ve iletkenlik, değerleri belirlendikten sonra toprak ve sediment örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonu gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Toprak örneklerinin K-40, U-238 ve Th-232 aktivite konsantrasyonu değerleri kullanılarak, toprakların radyum eşdeğeri hesaplanmıştır. Topraklar ilçe sınırları göz önüne alınarak ayrıldıktan sonra, ilçelere göre 1 metre yükseklikte soğurulan doz hızı ve yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Toprak ve sediment örneklerinde CR-39 iz kazıma dedektörleri kullanılarak radon konsantrasyonu ve radon soluma hızı

belirlenmiştir. Ayrıca toprak örnekleri için soğurulan doz hızı ve efektif radyum sonuçları için izodoz haritaları çizilmiştir. İnceleme alanından alınan 165 su örneğinin alkalite, pH, iletkenlik, Eh ve tuzluluk değerleri tespit edildikten sonra, kollektör yöntemi kullanılarak su örneklerinin radyum aktivitesi, CR-39 iz kazıma dedektörleri kullanılarak suların radon konsantrasyonu, radon soluma hızı ve efektif radyum aktivitesi belirlenmiştir. Sularda ölçülen radon konsantrasyonu ve etkin radyum aktivitesinden, yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. Çalışmaya ilave olarak Uşak Merkez ilçe, Eşme, Ulubey, Karahallı, Sivaslı, Banaz ilçeleri ve Örencik ve Fakılı köylerinde bina içi radon konsantrasyonu ölçümü CR-39 nükleer iz kazıma dedektörleri kullanılarak yapılmış ve bina içi radondan gelen yıllık etkin doz eşdeğeri hesaplanmıştır. İnceleme alanında yaşayanların maruz kaldıkları toplam dozun, bina içi radon konsantrasyonundan gelen doz, toprak ve sudan gelen dozlara göre dağılım grafikleri oluşturulmuştur.

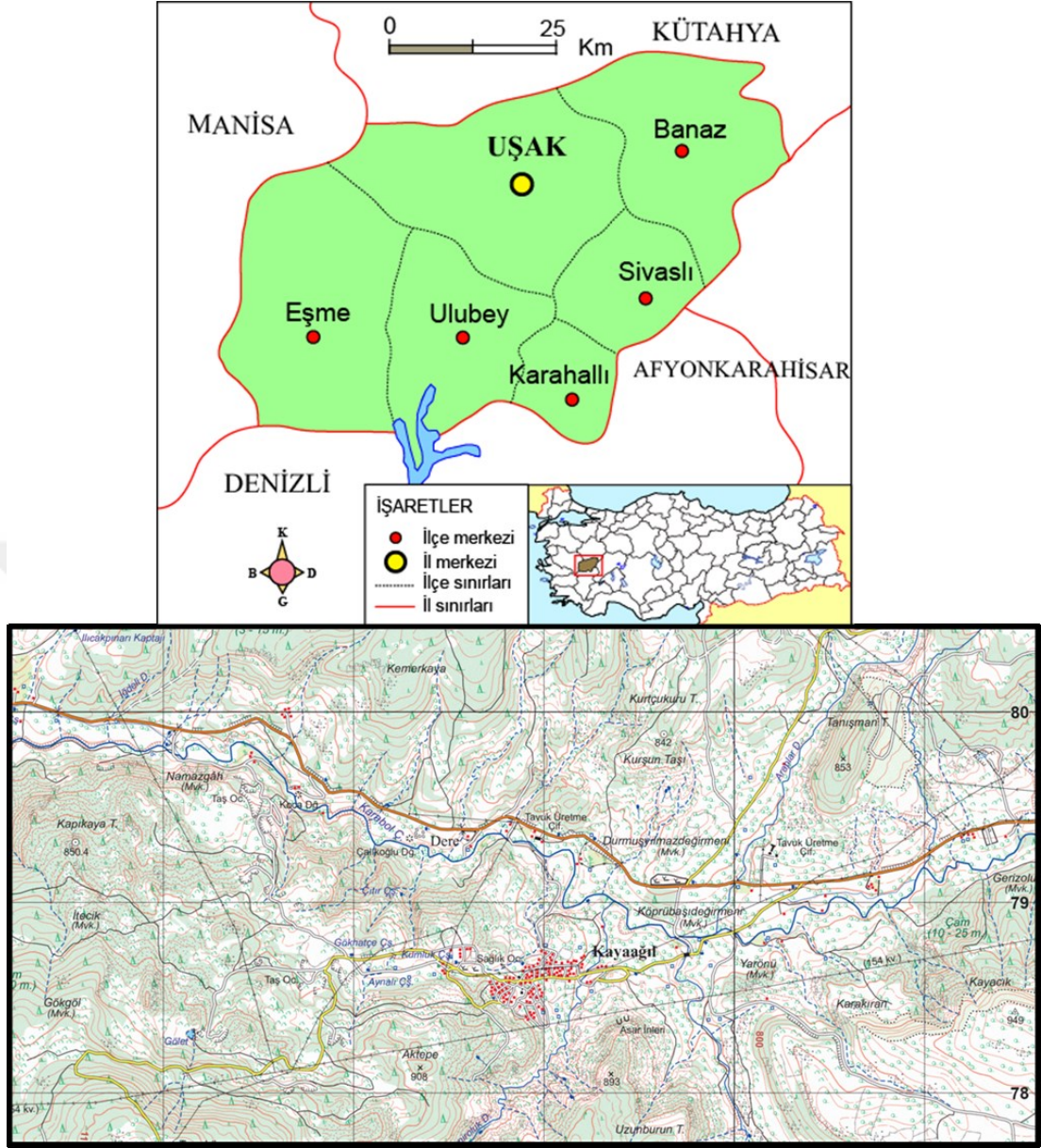
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

Uşak ili Ege Bölgesinin İç Batı Anadolu bölümü olarak adlandırılan ve bölgenin İç Anadolu'ya doğru sokulmuş olan kısmında yer almaktadır. İnceleme alanı; Uşak İl merkezinin yaklaşık 10 km güneybatısında, Uşak ili Kayaağıl, Karaağaç ve Eskisaray köyleri civarını kapsamaktadır (Şekil 3.1).

Uşak ilinin % 37.5'i dağlık, %5.4'ü ovalık, % 57.1'i ise plato ve dalgalı arazilerden oluşmaktadır (Kara vd., 2010). Bölgede ortalama yükselti 750-800 m olup inceleme alanının ortasından Karabol çayı geçmektedir. İnceleme alanı genelinde en yüksek tepeler Kapıkaya T (850 m) ve Kurtçukuru T (842 m)'dir. Araştırma sahası Gediz havzası sınırları içinde kalmaktadır. Kayaağıl köyü çevresindeki en önemli dere Gediz nehrinin en doğudaki kollarından biri olan Karabol çayıdır. Karabol çayı, Kayaağıl köyü arazisinden doğu batı yönlü olarak geçmekte, Güre yakınlarında kuzeye yönelerek Gediz nehrine güneyden katılmaktadır. Karabol çayına araştırma sahasında güneyden Demiroluk ve kuzeyden de Araplar dereleri katılmaktadır. Karabol çayı, daha doğudaki yukarı kesimlerinde Ilıcaksu adıyla da anılmaktadır.

İnceleme alanı İç Anadolu'nun karasal iklimi ile Ege kıyılarının yumuşak iklimi arasında bozulmuş Akdeniz ikliminin tesiri altındadır. Uşak ilinde Akdeniz iklimi ile Akdeniz dağ iklimi arasında bir geçiş iklimi özelliği gözlenmektedir Atalay (2011). Bölgede kışlar Ege kıyılarına nazaran daha sert geçerken, yazlar daha serindir. Ancak hem yaz hem de kış sıcaklıkları İç Anadolu'ya nazaran daha yüksek seyretmektedir.



Şekil 3.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

### 3.2. Çalışma Yöntemleri

Kayağıl jeotermal alanının hidrojeolojik özelliklerinin tespiti için gerçekleştirilen bu çalışmada Jeoloji, Hidroloji, Hidrojeoloji ve Hidrojeokimya amaçlı çalışma yöntemleri uygulanmıştır. Her bir araştırma alanı için yapılan çalışmalar ve izlenen yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

**Jeoloji:**İnceleme alanı 1/100000 ölçekli Uşak K22, 1/25000 ölçekli K22-c1, c2, d2, d3 paftalarında yer almaktadır. Bölgenin jeoloji haritası önceki çalışmalar ve saha araştırmaları ile hazırlanmıştır. Haritalar CorelDRAW-X12 yazılımı kullanılarak çizilmiştir. Yüzeyleyen litolojik birimlerin özellikleri ayrıntılı olarak sunulmuştur.

**Hidroloji:**İnceleme alanının iklimsel özelliklerinin tanımlanabilmesi için Uşak Devlet Meteoroloji istasyonundan alınan uzun yıllara ait yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak ortalama yağış ve buharlaşma hesaplamaları yapılmıştır.Ayrıca, hazırlanan eklenik sapma grafiği ile inceleme alanında iklim değişim trendi yorumlanmıştır.

**Hidrojeoloji:** İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre hidrojeolojik sınıflaması yapılarak haritalanmış ve akifer birimler tanımlanmıştır.Kayaagıl termal su sisteminin ısı kaynağı, hazne kaya ve örtü kayacı tanımlanarak hidrojeolojik kavramsal modeli oluşturulmuştur.

**Hidrojeokimya:**Bu bölümde, yeraltısularının kimyasal yapısının belirlenmesi amacıyla sıcak ve soğuk su kaynaklarından alınan su örneklerinin kimyasal analizleri; Bureau Veritas (Kanada) ve Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası laboratuvarlarında APHA, AWWA ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde yaptırılmıştır. Ayrıca, suların kuyu başında sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri HANNA çok parametrelili ölçüm cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar farklı grafik ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

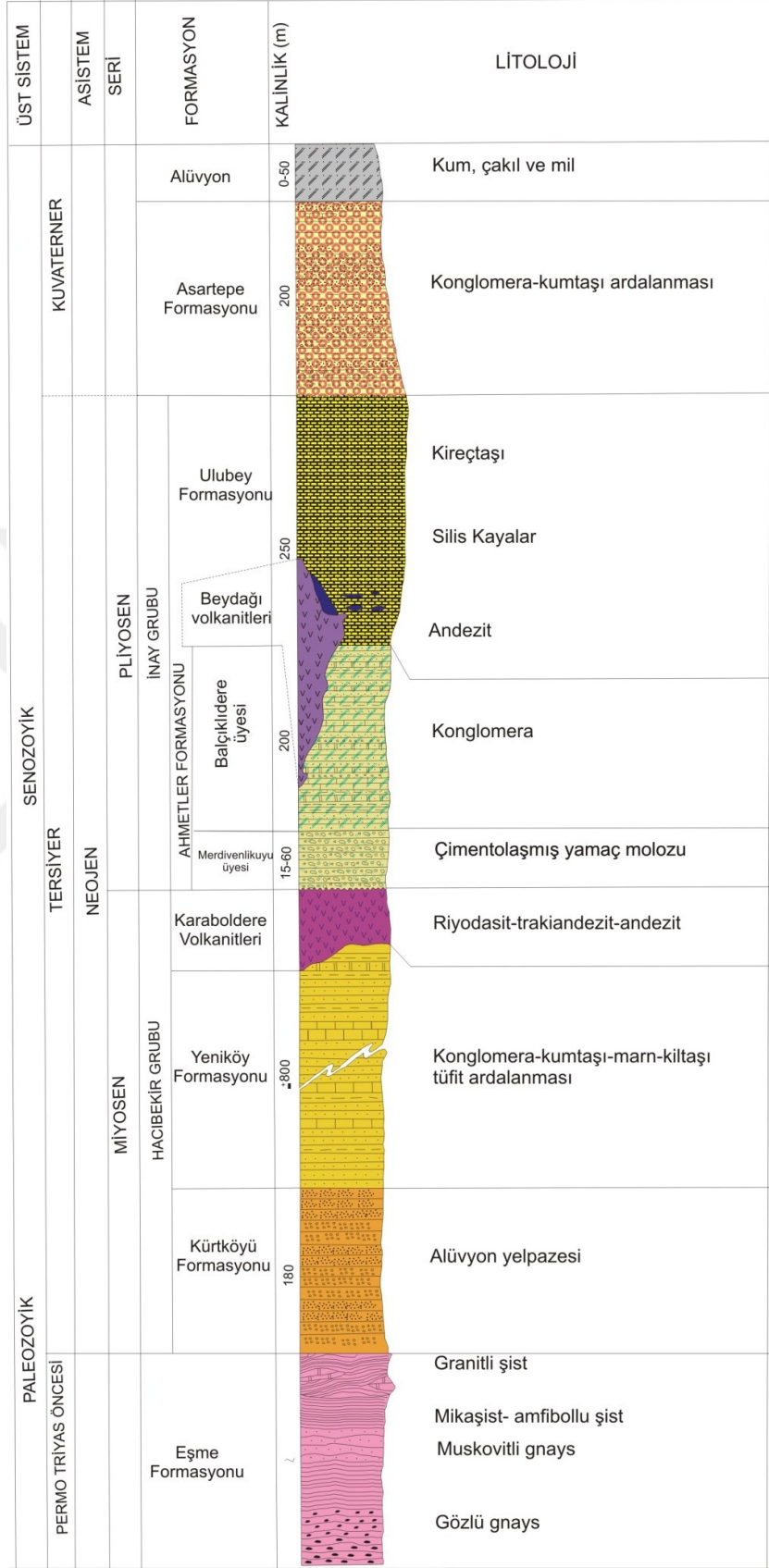
### 4.1. Stratigrafi

İnceleme alanında yüzeyleyen litolojik birimlerin özellikleri, diğer birimler ile olan alt-üst ilişkileri ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bölgede yapılmış önceki çalışmalardan yararlanılmıştır. Bu araştırmalar ayrıntılı olarak incelenmiş ve elde edilen bulgular arazi gözlemleri ile desteklenmiştir. Kayaağıl köyü ve çevresinin jeoloji haritası CorelDRAW-X12 yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında 1/50000 ölçekte çizilmiştir (Ek-1).

Uşak ili çevresinde Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı karasal çökeller ve volkanik ürünler geniş alanlarda yüzeylemektedir. İnceleme alanında temel, Menderes Masifi metamorfitlelerinin Paleozoyik yaşlı örtü şistleriyle temsil edilmektedir. Ercan vd. (1978), bölgede yüzeyleyen Neojen yaşlı birimleri Hacıbekir ve İnay grubu olmak üzere başlıca iki gruba ayırmıştır. Temel birimler üzerine uyumsuzlukla Miyosen yaşlı Hacıbekir grubuna ait Karaboldere volkanitleri, Yeniköy ve Kürtköyü formasyonları gelmektedir. Neojen birim alüvyon yelpazesi çökelleri olan Kürtköyü formasyonu (Alt Miyosen) ile başlar. Üste gelen Yeniköy formasyonu (Orta-Üst Miyosen) 800 m kalınlığı aşkın akarsu ortamı çökelleridir. Miyosen, çeşitli lavlardan oluşan Karaboldere volkanitleri ile sona erer. Hacıbekir grubu üzerinde Pliyosen yaşlı İnay gruba ait Ulubey formasyonu, Ahmetler formasyonu ve Beydağı volkanitleri yüzeylemektedir. Kayaağıl köyü güneyindeki İtecek tepe ve civarında gözlenen volkanitler Erken-Orta Miyosen (~15 my) yaşlı genellikle aglomeralarla temsil olunan trakiandezitler ve ignimbiritlerden oluşmaktadır (Şekil 4.1; Ercan vd., 1978; Gökgez vd., 2011).

#### 4.1.1. Paleozoyik

Eşme formasyonu bölgede temeli oluşturan Menderes Masifi metamorfitleleri grubu içinde yer almaktadır.



Şekil 4.1. İnceleme alanının sütun kesiti (Ölçeksiz)

#### **4.1.1.1. Eşme Formasyonu (Pzşe)**

Menderes Masifinin örtü şistlerinden ve mermer mercceklerinden oluşan bu birim Ercan vd., (1978) tarafından Eşme formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Birim inceleme alanında Kayaağıl köyü kuzeyinde küçük bir alan ile güneyinde geniş bir alanda gözlenmektedir. Formasyonun alt seviyelerinde granitik gnayslarla yanal ve dikey geçişli olan gözlü gnayslar bulunur. Bunlar iri feldispat ve kuvars gözlü, yer yer turmalinli kuvars damarlı olup yer yer de diyasporit, hematit ve magnetit içerirler. Daha üste doğru ince taneli gnayslar ve bunların üzerinde de mikaşist, amfibol şist, granatlı şist, kloritli şist, kalkşist v.b. yer yer de ince mermer bant ve düzeyleri içeren çeşitli şistler izlenir. Bu birimler ayrıntılı olarak ayırtlanmamış ve bütünüyle Eşme formasyonu adı altında toplanmıştır.

Eşme formasyonunun alt dokanak ilişkisi saptanamamış olup, üst dokanakta Kürtköyü ve Yeniköy formasyonları ile uyumsuzdur. Formasyonun yaşı daha önceki yapılan incelemelere (Ercan vd., 1978) dayandırılarak Paleozoyik'dir.

#### **4.1.2. Miyosen**

Bölgede Miyosen birimleri Hacıbekir grubu olarak tanımlanmaktadır (Ercan vd., 1978). İnceleme alanında bu grup içerisinde bulunan Kürtköyü ve Yeniköy formasyonları ile Karaboldere volkanitleri görülmektedir.

##### **4.1.2.1. Kürtköyü Formasyonu (Thk)**

Kürtköyü formasyonu inceleme alanında Çukurağıl köyü güneyinde küçük bir alanda bulunmaktadır. Hacıbekir grubunun tabanında alüvyon yelpazesi ürünü olan Kürtköyü formasyonu serpantin, radyolarit, şist, kuvars, mermer ve dolomit çakıllıdır. Formasyon, yer yer kötü boylanmalı genellikle iri taneli fosilsiz çapraz katmanlı ve seyrek laminalı olup katman kalınlığı 1-500 cm arasında değişmektedir. Birim genellikle yeşil, kırmızı renklidir (MTA, 1980).

Kürtküyü formasyonu dentritikleri, bütünüyle bir karasal alüvyon yelpazesi ortamında oluşmuş, eski akarsuların temel kayalardan kopardıkları kırıntıları fazla taşımadan masif eteklerine uygun yerlerde, özellikle ofiyolitli melanj birimleri yakınlarında bir yelpaze şeklinde depolanmıştır. Katmanların eğimi az olup 15°yi geçmez. Bütünüyle 180 metreyi aşan bir kalınlıktadır. Kürtküyü formasyonu üzerinde uyumlu olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı çökeller yer aldığından, yaşının Alt Miyosen olduğu varsayılmıştır (Ercan vd., 1978).

#### 4.1.2.2. Yeniköy Formasyonu (Thy)

Formasyon inceleme alanında Kayaagıl köyü batısı, Karaağaç köyü civarında ve Karabol mevki batısında geniş alanlarda yüzeylemektedir. Birim koyu sarı turuncu renkli, konglomera, kumtaşı, kiltası, tüfit ve killi kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyon, akarsuların taşıdıkları eski kayaların kırıntılarını, yataklarının uygun yerlerinde düzgün katmanlı olarak yığılmasıyla oluşmuştur. Birim, 800 m'yi aşkın bir kalınlıkta olup, yer yer düzlemsel ve tekne biçiminde çapraz tabakalanma, laminalanma, oygu, dolgu yapıları, kuruma çatlakları ve akıntı izleri sunmaktadır. Killi düzeylerde bitki kök ve parçaları görülür. Formasyon içerisinde yer yer kömür bantları izlenmektedir.

Formasyonun üst kısımlarındaki düzeylerden alınan bazı örneklerde bulunan Ostracod fosilleri (*Cyprinotus cf. salinus Brady*, *Potamocypris cf. fulva Brady*, *Candona cf. angusta Ostermeyer*, *Pontoniella sp.*) tespit edilmiştir. Bölgede, Miyosen çökellerinden kolaylıkla ayırtlanabilen ve Alt Pliyosen'de başlayan bol fosilli Pliyosen çökelleri grubu daha üstte uyumsuz olarak yer aldığından Yeniköy formasyonunun yaşının bütünüyle Orta-Üst Miyosen olduğu belirlenmiştir (Ercan vd., 1978).

#### 4.1.2.3. Karaboldere volkanitleri (Thv)

Birim inceleme alanında Karaağaç köyü ve çevresi ile Kayaagıl köyü kuzeydoğusunda trakiandezitik- andezitik lav, tuf ve aglomeralar; Karabol mevki batısı Yeldeğirmeni tepe civarında tefritik lav düzeyleri ve Çukurağıl köyü güneydoğusunda ise riyolitik lav ve tuf seviyeleri şeklinde yüzeylemektedir.

Birim, riyodasit, trakiandezit, andezit ve tefrit gibi çeşitli lav, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. İnceleme alanında Karaboldere volkanitleri ve bunların tefritik lav ile trakiandezitik birimleri gözlenmektedir. Sahada trakiandezitlerdeki iri sanidin kristalleri ve tefritik lavlardaki küresel ayrışma tipik olarak göze çarpmaktadır. Yer yer asidik, yer yer de bazik volkanitlerin bulunması, volkanizmanın birkaç evreli olma olasılığını göstermektedir. Volkanizmanın bitiminden sonra, volkan bacaları civarından ve çeşitli çatlaklardan gelen sıcak ve silisce doymun eriyikler soğuyarak katılmış ve volkanitler üzerinde yer almışlardır. Karaboldere volkanitleri ile bölgede Miyosen sona ermektedir (Ercan vd., 1978).

**Riyodasitler (Thkv1A-1B):** Genellikle volkanik cam, feldispat mikrolit ve mikrokristallerinden oluşan ve aşırı kil mineralleşmesi gösteren bir hamur içinde yer alan kuvars, oligoklas ve daha az sanidinden oluşmuştur. Mafik mineraller limonitleşmiştir.

**Trakiandezitler- Andezitler (Thkv2A-2B):** Genellikle hiyalokristalin porfiritik dokuda volkanik camdan oluşan bir hamur maddesi ve kuvars, oligoklas, andezin, sanidin, biyotit ve yersel hipersten fenokristallerinden oluşmaktadır. Andezitler ise porfiritik dokulu fenokristaller halinde oligoklas, andezin ve biyotit içermekte olup, bunlar volkanik cam ve plajiyoklas mikrolitlerinden oluşan bir hamur içinde yüzmektedirler.

**Tefritler (Thkv3):** Genellikle hiyalopilitik dokuda, ince taneli lösit, fenokristaller halinde ojit, iğnecikler şeklinde biyotit, arasıra idiomorf nefelin, çok az plajiyoklaz mikrolitleri ve bunların aralarını dolduran camdan oluşmuştur.

#### **4.1.3. Pliyosen**

Bölgede Pliyosen İnay grubundan oluşmaktadır. İnay grubu, Ahmetler formasyonu, Beydağ volkanitleri ve Ulubey formasyonundan oluşmaktadır. İnceleme alanında Ahmetler formasyonunun Merdivenlikuyu ve Balçıklıdere üyeleri görülmektedir.

##### **4.1.3.1. Ahmetler Formasyonu (Tia)**

İnceleme alanında Pliyosen, Ahmetler formasyonu ile başlamakta olup içinde 3 üye ayırtlanmıştır. Bu üyeler alttan üste doğru sırasıyla Merdivenlikuyu üyesi, Balçıklıdere üyesi ve Gedikler üyesidir. İnceleme alanında Balçıklıdere üyesi Kayaağıl köyü batısında Eskisaray köyü civarında ve Çukurağıl köyü güneybatısı ve güneyde Akkeçili köyü doğusunda gözlenmektedir. Merdivenlikuyu üyesi ise Karaağaç köyü doğusunda ve Çukurağıl köyü güneydoğusunda yüzeylemektedir. 3 üyeye ayırtlanan Ahmetler formasyonu bütünüyle Alt Pliyosen yaşlıdır (Ercan vd., 1978).

**Merdivenlikuyu üyesi (Tiam):** Eski masif kenarlarında aşırı sellenme ve çekim kaymaları yoluyla oluşan yamaç molozlarıdır. En çok 50-60 m kalınlıkta olup Pliyosen çökellerinin tabanında yer alırlar. Köşeli metamorfik çakıl ve blokları içermekte olup düzgün bir katmanlanma göstermez. Fosil içermezler. Ancak üzerlerindeki fosilli Alt Pliyosen yaşlı çökellerle eş yaşlıdırlar.

**Balçıklıdere üyesi (Tiab):** Birim, salt metamorfitlerden geç aldığı yerlerde açık mavi yeşilimsi renkte ve tek kökenli konglomera, kumtaşı, tüfit, kıltaşı, marn ve kireçtaşı araldanmasından oluşmaktadır. Bu üye metamorfitlerin

yanısıra Miyosen çökelleri ve eşyaşı Beydağı volkanitlerinden de gereç aldığı yerlerde, çok kökenli konglomera, kumtaşı, tüfit, kıltaşı, marn ve kireçtaşı ardalanması şeklinde olup beyaz, açık sarı renktedir. Salt tüfit düzeylerinin kalın olduğu yerlerde de peribacaları biçiminde aşınma şekilleri görülür. Bütün katmanlar yatay ve yataya yakın olup, en çok 15° lik eğim sunarlar. 200 m kalınlığa sahip olan birim genellikle beyaz, açık sarı renkli ve yatay katmanlıdır. Konglomera ve kumtaşlarında yer yer mercek ve düzeyler şeklinde ikincil uranyum cevherleşmeleri vardır. Sahada tipik, peribacaları biçiminde aşınma şekilleri sunarlar (Ercan vd., 1978). Karaağaç ve Kayaagıl köyleri çevresindeki sahada tüfler üzerinde badlands topografyasının geliştiği yerlere rastlanır. Bu kısımlarda yer yer peribacası oluşumları görülmektedir (Deniz, 2016).

#### **4.1.3.2. Beydağı volkanitleri (Tibv)**

Birim andezitik lav (Tibv), tuf ve aglomeralardan (Tibv1) oluşmaktadır. Bu seviyeler jeoloji haritasında ayrı olarak gösterilmiştir. Ayrıca, volkanit birimi içerisinde Çukurağıl köyü doğusunda Sevrat tepe civarında gözlenen silis kayaları (Si) düzeyleri de ayırtlanmıştır. Beydağları volkanitleri Kayaagıl köyü güney ve batısında geniş alanlarda yüzeylemektedir.

Pliyosen boyunca süregelen ve salt andezitik lav, tuf ve aglomeraları içeren volkanizma olup eş yaşlı Ahmetler formasyonuna zaman zaman gereç vermiştir. Ulubey formasyonunun alt düzeyleri ile de yer yer yanal geçişlidir. Tuf ve aglomeralar içinde yer yer hidrotermal manganez zuhurları bulunmaktadır. İnceleme alanında lav ve aglomeralar mor-pembe renkte, tüfler ise beyaz sarımsı renklerde görülmektedir. Tüfler yer yer birincil uranyum cevherleşmeleri göstermektedir. Özellikle tüfler, Ahmetler formasyonunun tortullarının oluşumu sırasında yer yer çökeltim katılarak tüfit düzeylerini oluşturmuşlar, yer yer de volkan bacaları yörelerinde, karada km boyutunda yayılarak yığılmışlardır. Aglomeralar, volkan bacaları yörelerinde çeşitli boyutlarda andezit parçaları, yer yer metamorfit kaya parçaları ve tuf gerecinden oluşmuşlardır. Yer yer katmanlanma sunarlar. Andezitler (Biyotitli

andezit, ojitli andezit, lökoandezit, biyotitli hyaloandezit v.b.) genellikle porfiritik yapı ve hiyalopilitik doku gösterirler Fenokristaller andezin, biyotit, bazen zonlu yapı gösteren oligoklaz ve idiomorf kristaller halindeki ojittir. Hamur maddesi volkanik cam, plajiyoklas mikrolitleri, ojit ve biyotit mikrokristalleri ve az opak mineralden oluşur. Hamur maddesinde kil mineralleşme ve limonitleşme görülmektedir. Tüfler yer yer birincil uranyum cevherleşmesi göstermektedir (Ercan vd., 1978).

#### 4.1.3.3. Ulubey Formasyonu (Tiu)

Formasyon inceleme alanında geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Formasyon, kalın ve genellikle yatay tabakalı, pembe, gri-beyaz renkli, yer yer silisleşmiş, yaklaşık 250 m kalınlıkta olan gösel kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları içerisinde yer yer killi marnlı düzeyler bulunmaktadır. Gösel kireçtaşları yer yer killi, marnlı düzeyler içerir ve kalın, düzgün, yatay ve yataya yakın katmanlanma gösterirler. Alt düzeylerde genellikle kumlu kireçtaşları, daha üste doğru açık pembe renkli kireçtaşları ve en üst düzeylerde ise gri, beyaz renkli kireçtaşları yer alırlar. Yer yer silisleşmişlerdir. Kireçtaşları gösel ortamda oluşurken çevredeki eş yaşlı volkanlardaki (Beydağı volkanitleri) çatlaklardan sıcak ve SiO<sub>2</sub> ile doymuş eriyikler gelmiş ve göle karışmışlardır. Bu geniş aralıklı olduğundan, silisler kireçtaşları içinde ardışıklı durumdadır. Yer yer de yumrular şeklinde görülürler. Bu silisler göldeki diyatomelerin fazlaca gelişmesine neden olmuş ve kireçtaşları içinde yer yer diyatomit mercikleri de oluşmuştur. Gösel kireçtaşlarında bulunan Gastrapoda ve Lamelli branchiata fosilleri (*Theodoxus cf. soceni* Jekeiius, *MSeromelania ptyeophora* Prus, *Planorbarius thiollierei* Michaud, *Planorbarius cf. eorneus* Linne, *Planorbarius cornu* Brogriart, *Buiimus phrygieus* Fischer, *Campylaea cf. bolivari* Gomez, *Lymnaea aff. palustris* Müller, *Helix cf. vemensis* Toulou) ile ostracod fosilleri (*Ilyocypris cf. gibba* Rhamdor, *Cyprinotus cf. Salinus* Brady, *Candona cf. neglecta* Sars, *Candona angulata* Müller, *Candona cf. fabaeformis* Fischer, *Metacypris* sp.) tespit edilmiştir (Ercan vd., 1978). Ulubey formasyonu Ahmetler formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunur.

#### **4.1.4. Kuvaterner**

##### **4.1.4.1. Asartepe Formasyonu (Qat)**

Birim inceleme alanının kuzeyinde yüzeylemektedir. Formasyon genellikle kızıl ve turuncu, yer yer beyaz, gevşek kireç, tüf, kil çimentolu, orta-kalın tabakalanma, çok kökenli, yarı yuvarlaklaşmış, çakıllı konglomera ve kumtaşı ardalanması şeklinde olup yer yer de ince marnlı, kireçli düzeyler içeren ve akarsu ortamında oluşan çökellerdir. Bölgedeki Pliyosen gölleri çekilip kuruduktan sonra gelişen akarsuların, daha yaşlı kaya birimlerinden kopardıkları kırıntıları yataklarının uygun yerlerinde katmanlı olarak yığılmasıyla oluşmuşlardır. Birim içinde akarsu sistemine ilişkin sığ su birikintilerinde oluşmuş sedimanter mangan yatakları gözlenmiştir. Daha yaşlı birimlerden taşınmış kırık gastrapod ve omurgalı fosil parçaları içerirler. Kendine özgü fosil içermemesine karşın, alttaki Ulubey formasyonunun yaşı Üst Pliyosene kadar çıktığından, daha sonra da bir volkanik evre saptandığından ve Asartepe formasyonu bu birimler üzerinde uyumsuz olarak yer aldığından Alt Kuvaterner yaşı verilmiştir. Kalınlığı en çok 200 m'dir. Uşak ve Eşme yöresinde çok geniş alanlarda yüzeylemektedir (Ercan vd., 1978).

##### **4.1.4.2. Alüvyon (Qal)**

İnceleme alanında Karabol çayı yatağı boyunca gözlenen birim tutturulmamış kil, kum, çakıl, silt birimlerinden oluşmaktadır. Çalışma alanında Karabol çayı alüvyonunda sulama amaçlı sığ kuyular mevcuttur.

#### **4.2. Tektonik ve Paleocoğrafik Evrim**

Bölgede geniş alanlarda yüzlekler veren Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı kaya birimleri, temeli oluşturan Menderes masifinin yükselme devinimlerinden büyük ölçüde etkilenmiştir. Bu sürekli yükselme devinimlerinin kanıtları, orojenik devinim olmamasına karşın karasal çökellerin kıvrımlanmaları ve eğim kazanmaları, Tersiyer'de oluşan ve günümüzde bile etkinliğini koruyan

grabenler (Salihli-Alaşehir grabeni) pek çok sayıda fay dizgeleri, deprem ve volkanizma yönünden aşırı etkinlik, akarsuların yan aşındırmaya oranla çok hızlı şekilde derine kazmaları, günümüzde çok yükseklerde gözlü gnaysların yüzlekler vermesi ve masif bölgesinin çevresine oranla fazla yüksek olmamasına karşın üzerinden çok büyük ölçüde Mesozoyik örtünün aşınma ile yok olmasıdır (Ercan vd., 1978).

İnceleme alanı Miyosen öncesinde de olasılıkla karasal özellikteydi. Ancak, paleocoğrafik durumu belirleyen verileri saptamak olanağı yoktur. Miyosen'de coşkun yağmurlarla beslenen güçlü bir akarsu rejimi gelişmeye başlamıştır. Özellikle metamorfitlelerin ve melanj birimlerinin oluşturduğu tepelerden ardışık sellerle kopan parçalar (büyük bir olasılıkla Alt Miyosen'de) eteklerde alüvyon yelpazelerini oluşturmuştur (Kurtköyü formasyonu). Bu oluşuklar düzensiz dağılımlı olmakla birlikte daha çok inceleme alanı kuzeyindeki Murat dağına yakın yörelerde (Uşak kuzeyi Hacibekir-Kurtköyü arasında, Banaz batısında vb.) bulunurlar. Alüvyon yelpazelerinden sonra Orta Miyosen'de oluşmaya başlayan ırmak yatakları Uşak yöresinde çok geniş yer kaplarlar. Akarsular, konglomera, kumtaşı, marn, kiltası, kireçtaşı, tüfit araldanmalarını oluşturmuşlardır (Yeniköy formasyonu). Uşak kuzeyinde büyük bir antiklin oluşturan metaforfitler ve melanj birimleri bu ırmak çökellerine kaynak olmuşlardır. Akıntı yönleri masiften havza ortasına doğrudur (Ercan vd., 1978).

Orta Miyosen'de başlayan volkanizmanın (Dikendere volkanitleri) ürünleri de yer yer ırmak çökellerine geç olmuşlardır. Üst Miyosende bitümlü şeyl, kömür ve jipsleri oluşturan küçük sığ gölcükler gelişmiştir (Küçükderbent formasyonu) bunlar da yersel olarak daha çok Uşak'tan 15 km kuzeybatıda Yeniköy ve Küçükderbent köyleri yöresinde yer almışlardır. Ayrıca, Uşak GB'nda İlyash köyünde de kömürlü gölsel oluşukların bulunuşu bölgenin diğer kısımlarında da olasılıkla Pliyosen'le örtülü Üst Miyosen tatlı su gölcüklerinin bulunabileceğini belirler. Bu gölcükler Üst Miyosen'de iklimin kuraklaşmasıyla kurumuşlar ve jipsler oluşmuşlardır. Üst Miyosen sonlarında özellikle havza ortasında ve kuzeydoğusunda yoğunlaşan volkanizmayla (Karaboldere volkanitleri) birlikte

Menderes masifinin tüm Tersiyer boyunca süregelen yükselme devinimleri azalmış, gerilim kuvvetleriyle Miyosen tortuları kıvrımlanmış ve eğim kazanmışlardır (Ercan vd., 1978).

Üst Miyosen sonunda küçük göllerin kurummasından sonra taşlaşan kaya birimleri üzerinde Alt Pliyosen'de yeni bir güçlü ırmak rejimi oluşmuştur (Ahmetler formasyonu). Bu dönemde, tepelerin eteklerinde çekim kaymaları ve aşırı sellenme ile yamaç molozları oluşmuştur (Merdivenli kuyu üyesi). Tüm Pliyosen boyunca yaygın ve şiddetli olan andezit volkanizması (Beydağı volkanitleri) hem ırmak yatakları çökelleri oluşumuna tuf gereci vererek katılmış, hem de volkanik tepeleri oluşturarak akarsular için uygun morfolojileri meydana getirmiştir. Bu nedenle Alt Pliyosen'deki ırmak çökelleri (Balçıklıdere üyesi) daha çok volkanik tepelerin eteklerindedir (Beydağı, Kışladağı, İtecek tepe vb). Bölgenin batısında oluşan ırmak çökelleri ise salt metamorfitten geç almışlardır. Ayrıca bu metamorfitten bölgenin kuzeybatısında her iki tarafındaki Pliyosen ırmak çökellerinin özelliklerini değiştiren bir set oluştururlar. Alt Pliyosen sonunda bölgede bitümlü şeyller içeren yersel küçük göller gelişmiştir (Gedikler üyesi). Alt Pliyosen sonunda bölgede çok geniş yer kaplayan derin bir göl oluşmuş ve Üst Pliyosen'e kadar konumunu korumuştur. Pliyosen boyunca süregelen volkanizmadan zaman zaman silisli eriyikler gölün içine akmıştır. Ulubey formasyonu, volkan yakınlarında yer yer silisifiye kireçtaşlarından oluşur. Üst Pliyosen sonlarında daha çok bölgenin kuzeyinde bazaltik volkanizma etkindir (Payamtepe volkanitleri). Pliyosen boyunca yavaşlamış olan Menderes masifinin bölgesel yükselme devinimleri Pliyosen sonunda yeniden artmıştır. Yükselmenin oluşturduğu gerilim kuvvetleri Miyosen'de güçlü olmadıklarından Pliyosen çökelleri kıvrımlanamamış, ancak masif kenarlarında en çok 15-20° lik eğim kazanmışlar, yer yer de genellikle D-B yönlü eğim atımlı faylar oluşmuştur. Üst Pliyosen sonunda göl kurumuş, taşlaşan Pliyosen çökelleri üzerinde Alt Kuvaterner'de yeni bir ırmak yatağı dönemi başlamıştır (Asartepe formasyonu). Bu yeni ırmak çökelleri Uşak yöresinde geniş alanlarda yüzeylemektedir. Ayrıca, Kuvaterner'de volkanik etkinlikte süre gelmiştir (Kula volkanitleri) (Ercan vd., 1978).

### 4.3. Hidroloji

Bu bölümde inceleme alanında gözlenen genel iklim koşullarınayönelik değerlendirilmeler yapılmıştır.Bu değerlendirmelerde Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı Uşak istasyonunda ölçülen yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır.

#### 4.3.1. Yağış ve Sıcaklık

Yağış hidrolojik döngünün birincil kaynağı ve genel olarak yeraltısuyu kaynaklarının en önemli beslenme elemanıdır. Uşak DMİ'nde 1960-2016 yılları arasında ölçülen aylık yağış verilerine göre, inceleme alanında yıllık ortalama yağış miktarı 548.2 mm olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Yağışın en fazla olduğu aylar Aralık, Ocak ve Şubat, yağışın en az olduğu aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Yağışın en fazla olduğu Aralık ayında yağış miktarı 81.7 mm, en az olduğu Ağustos ayında ise 9.6 mm'dir (<https://www.mgm.gov.tr> MGM, 2017 ).

Uşak DMİ'nda ölçülen yıllık yağışın zamansal değişimi ve iklim trendinin belirlenmesi amacıyla ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır (Şekil 4.2). Grafikte 1960-1970 yılları arası yağışlı dönem, 1970-1976 yılları arası kurak dönem, 1976-1980 yılları arası yağışlı dönem, 1980-1995 yılları arası kurak dönem, 1995-2003 yılları arası yağışlı dönem, 2003-2007 yılları arası kurak dönem, 2007-2016 yılları arası yağışlı dönemi temsil etmektedir (Şekil 4.2).

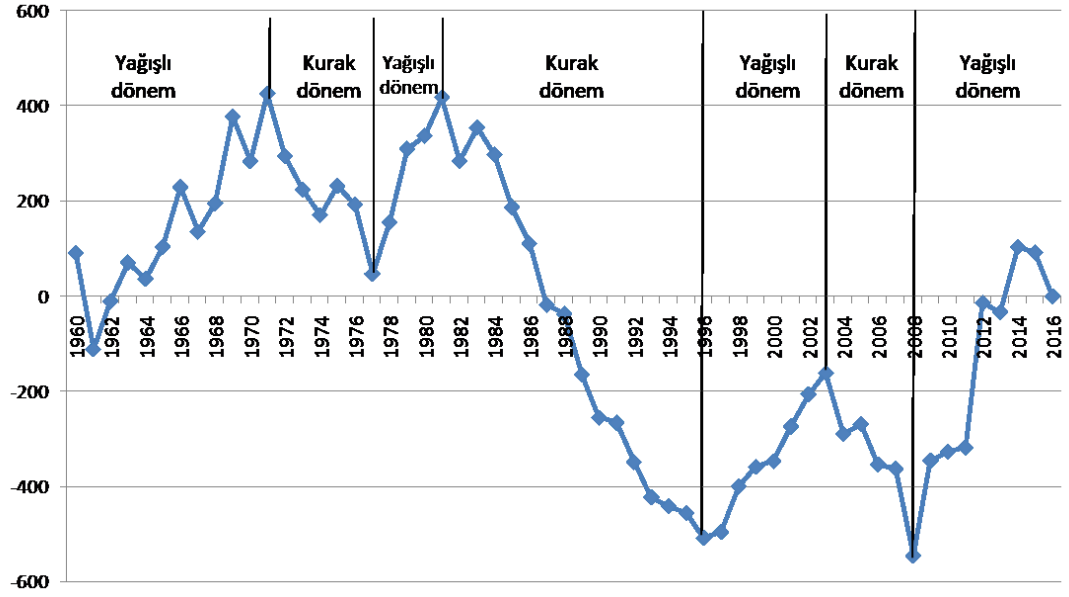
İnceleme alanında 1960-2016 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık 12.52<sup>0</sup>C'dir. En sıcak aylar Temmuz (23.5 <sup>0</sup>C) ve Ağustos (23.5 <sup>0</sup>C) ,en soğuk aylar ise Ocak (2.2 <sup>0</sup>C) ve Şubat (3.2 <sup>0</sup>C) aylarıdır (<https://www.mgm.gov.tr> MGM, 2017). Uşak DMİ'na ait uzun yıllar ortalama aylık yağış ve sıcaklık dağılım grafiği Şekil 4.3'de sunulmuştur.

### 4.3.2. Buharlaşma

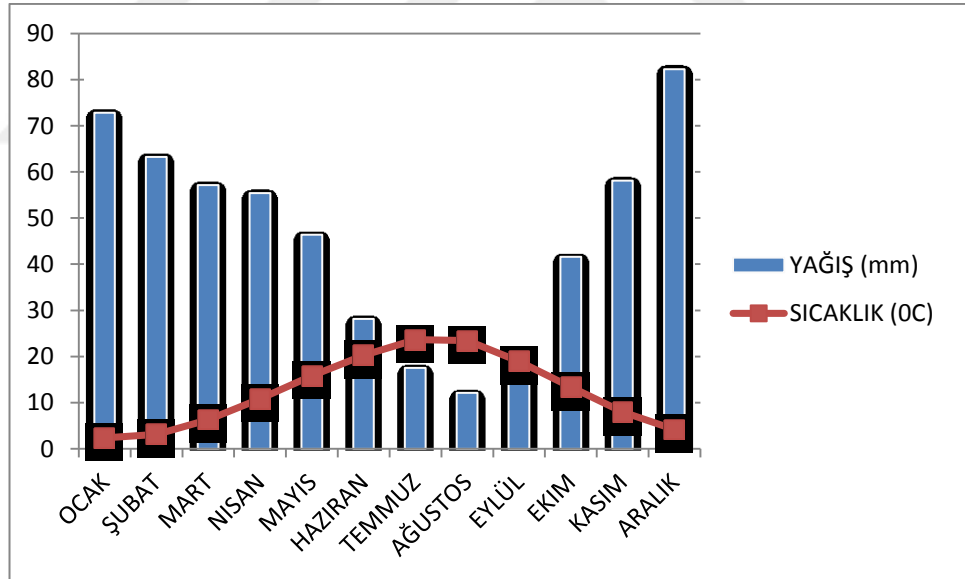
Uşak DMI'de 1960-2016 yılları arasında ölçülen aylık ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak gerçek ve potansiyel buharlaşma değerleri Thornthwaite yöntemi ile hesaplanmıştır. Thornthwaite denestirmeli su bilançosu verilerine göre, toplam ortalama yıllık yağış miktarı (P) 554.89mm,potansiyel buharlaşma (Etp) değeri 1231.47 mm ve gerçek buharlaşma (Etr) değeri ise 380.63 mm'dir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.1. Uşak DMI'nda ölçülen yıllık ortalama yağış verileri (mm)

Yıl	Yağış miktarı	Yıl	Yağış miktarı	Yıl	Yağış miktarı
1960	639.2	1979	703.1	1998	644.2
1961	346.5	1980	575.7	1999	589.2
1962	649	1981	628.8	2000	560
1963	629.5	1982	414.2	2001	621.3
1964	514	1983	618.6	2002	616
1965	615.3	1984	491.6	2003	592.9
1966	673.7	1985	437.7	2004	419.6
1967	454.7	1986	471.6	2005	569.3
1968	607.5	1987	419	2006	463.6
1969	731.4	1988	529.5	2007	538.6
1970	453.7	1989	420.4	2008	365.4
1971	690.1	1990	457.5	2009	748.5
1972	416.8	1991	538	2010	566.5
1973	477.8	1992	465.4	2011	557.9
1974	494.7	1993	474.2	2012	852
1975	609.5	1994	529.3	2013	528.9
1976	509.4	1995	533.4	2014	684.7
1977	402.4	1996	496.7	2015	536.6
1978	656.2	1997	560.2	2016	456.3



Şekil 4.2. Ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği (Uşak DMI)



Şekil 4.3. İnceleme alanında sıcaklık ve yağışın aylara göre dağılım grafiği

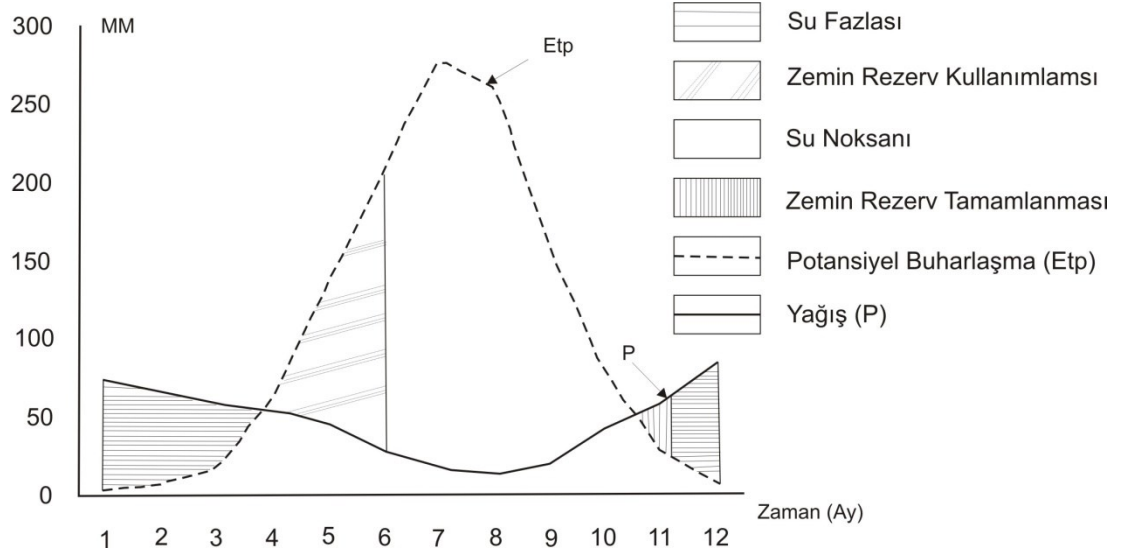
Hazırlanan yağış ve Etp değişim grafiğine göre genel olarak yağış miktarları, Nisan ayı sonuna kadar Etp değerlerinden fazladır (Şekil 4.4). Bu nedenle, bu dönemde Etp, Etr'e eşittir ve gerçekleşen buharlaşmalardan sonra geriye kalan miktar su fazlası (174.78 mm) olarak kaydedilmiştir. Mayıs ayı boyunca yağış

miktarı ise Etp miktarından az gerçekleşmiştir. Bu nedenle Mayıs ayında 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervinden kullanılmaya başlanmıştır. Mayıs ayı sonundan Ekim ayı sonuna kadar su noksanı (850.84 mm) başka bir ifadeyle tarımsal su açığı gerçekleşmektedir. Zemin rezervi Kasım ayından itibaren tamamlanmaya başlamıştır. Bu hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın yaklaşık olarak %68'ine karşılık gelen 380.63 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında görülen yağış fazlası toplam yağışın % 31'idir.



Çizelge 4.2. Uşak Meteoroloji İstasyonu için hazırlanan Thornthwaite Buharlaşma-Terleme Bilançosu

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık sıcaklık (°C)	2.33	3.14	6.35	10.82	15.84	20.27	23.63	23.44	18.95	13.38	7.97	4.17	
Aylık endeks ( <i>i</i> )	0.31	0.49	1.43	3.21	5.73	8.32	10.49	10.37	7.51	4.43	2.02	0.75	55.06
Etpv (mm)	2.91	4.89	16.48	5.63	132.47	207.51	278.87	259.16	156.27	78.11	26.97	8.20	1231.47
Yağış (mm)	72.81	63.28	57.13	55.42	46.43	28.18	17.56	12.14	19.81	41.64	58.12	82.29	554.89
Zemin rezervi (mm)	100	100	100	95.79	9.75	0	0	0	0	0	31.75	100	
Etr (mm)	2.91	4.89	16.48	59.63	132.47	37.93	17.56	12.14	19.81	41.64	26.97	8.20	380.63
Zemin rezerv Değişimi (mm)				-4.21	-86.04	-9.75					+31.75	+68.25	
Su Noksanı (mm)						169.58	261.31	247.02	136.46	36.47			850.84
Su Fazlası (mm)	69.9	58.39	40.65									5.84	174.78
Enlem düz Katsayısı	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85	



Şekil 4.4. Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği

#### 4.4. Hidrojeoloji

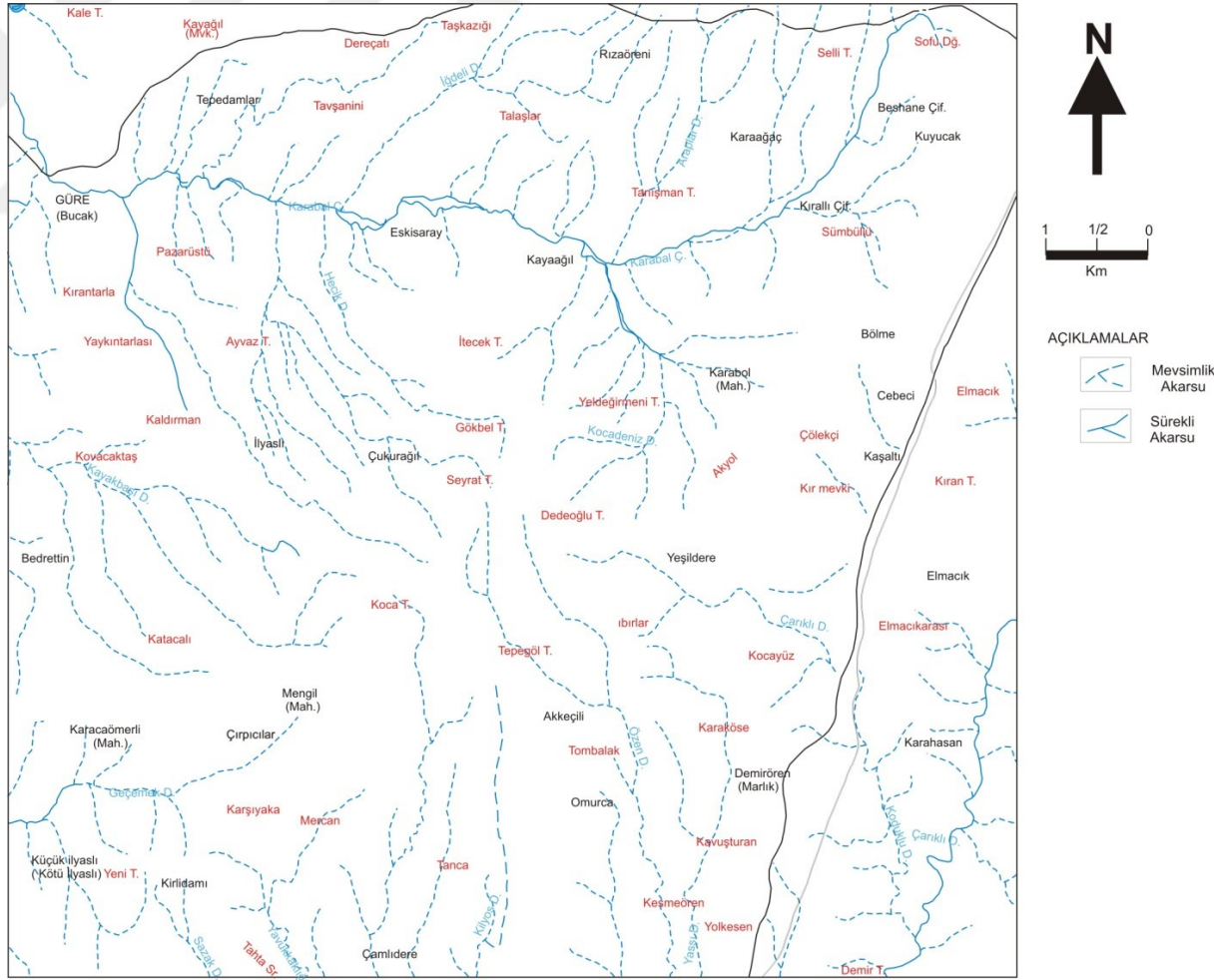
Bu bölümde su noktaları ve litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ve Kayağıl (Uşak) jeotermal alanının oluşum modeli tartışılmıştır.

##### 4.4.1. Su noktaları

İnceleme alanında gözlenen önemli yüzeysel akışlar, kaynaklar ve sondaj kuyularına ait bilgiler sunulmuştur.

##### 4.4.1.1. Akarsular

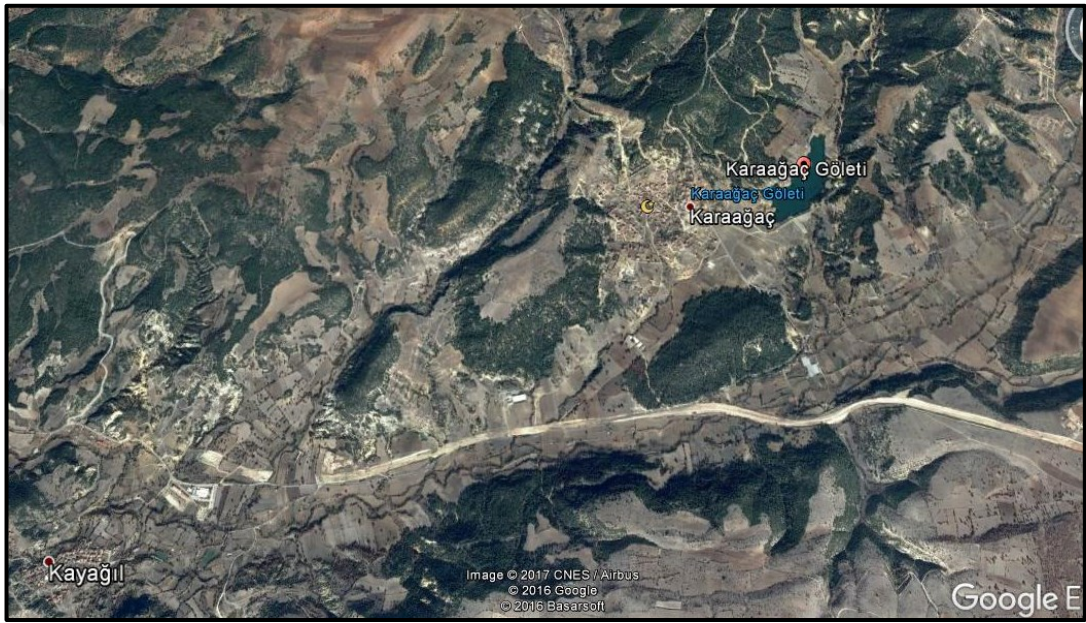
Gediz havzası sınırları içinde kalan inceleme alanında çok sayıda sürekli ve mevsimlik dere bulunmaktadır (Şekil 4.5). Kayağıl köyü çevresindeki en önemli dere Gediz nehrinin en doğudaki kollarından biri olan Karabol çayıdır. Karabol çayı, Kayağıl köyü arazisinden kabaca doğu batı yönlü olarak geçmekte, Güre yakınlarında kuzeye yönelerek Gediz nehrine güneyden katılmaktadır. Karabol çayına araştırma sahasında güneyden Demirogluk ve kuzeyden de Araplar dereleri katılmaktadır. Karabol çayı, daha doğudaki yukarı kesimlerinde Ilıcaksu adıyla da anılmaktadır.



Şekil 4.5. İnceleme alanının drenaj ağı haritası

#### 4.4.1.2. Karaağaç göleti

Karaağaç göleti, inceleme alanının kuzeydoğusunda DSİ 2. Bölge Müdürlüğü tarafından sulama amaçlı olarak yapılmıştır (Şekil 4.6). Gölet 1993 yılında işletmeye açılmıştır. Karaağaç göletinin göl alanı 0.235 km<sup>2</sup>, depolama hacmi 1.44 hm<sup>3</sup> ve göletin aktif hacmi 1.21 hm<sup>3</sup>'dür. Gölete Karabol deresi suyu verilmekte olduğundan göletin doğusunda kalan bölümde dere akışı oldukça azdır.



Şekil 4.6. Karaağaç göletinin uydu görüntüsü üzerindeki konumu

#### 4.4.1.3. Kaynaklar

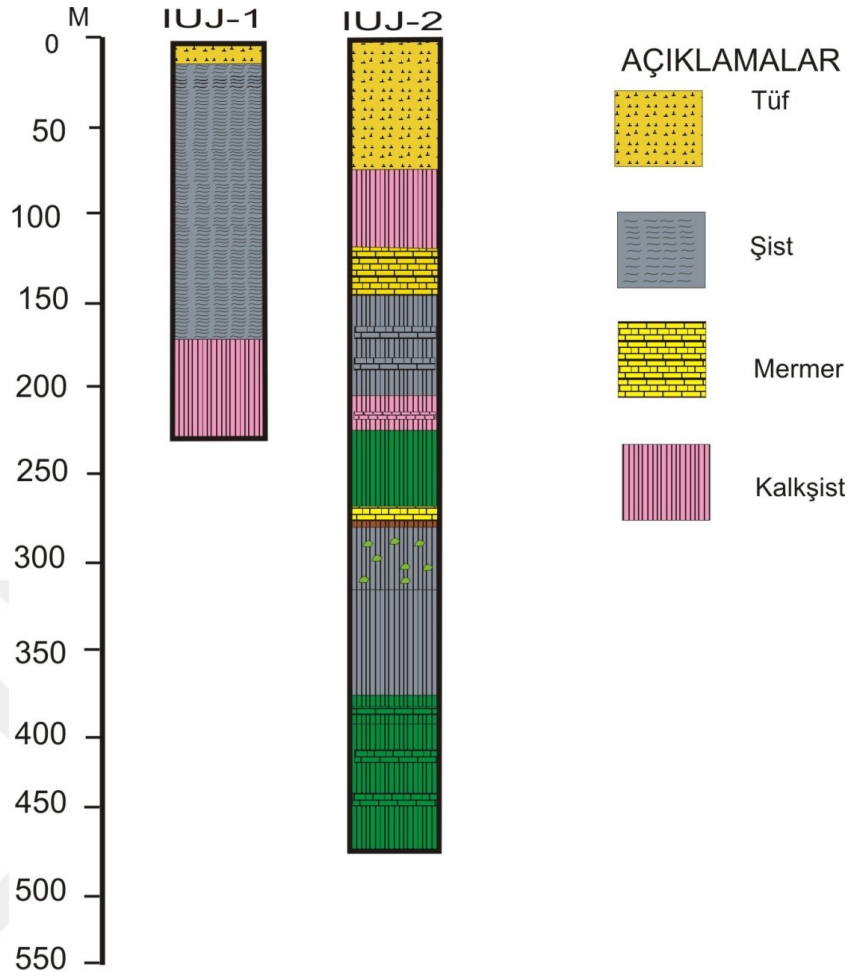
İnceleme alanında çok sayıda debileri 0.5 l/s'den küçük kaynak bulunmaktadır. Kaynaklar genelde yöre halkı tarafından çeşme olarak kullanılmaktadır. Kaynaklar genel olarak andezitlerin kırıklı-çatlaklı seviyeleri ile tuf-şist dokanağından boşalmaktadır. Arazi çalışmaları sırasında söz konusu kaynak sularında fiziksel ölçümler yapılmış, alanı tanımlayabilecek kaynaklardan su örnekleri alınmıştır.

#### 4.4.1.4. Sondaj kuyuları

İnceleme alanında Karabol deresi alüvyonunda sulama amaçlı açılmış sığ kuyular mevcuttur. Kayaağıl köyü kuzeyinde termal tesis yolu üzerinde bulunan çiftliklerde (Özdemirler ve Ahmetler çiftlikleri) sulama ve kullanma amaçlı açılan kuyularda sıcak sulara rastlanmıştır. Kayaağıl termal tesisleri civarında 4 adet jeotermal sondaj kuyusu bulunmaktadır. IUJ-1 (Alparslan), IUJ-2 (Alperen) ve IUJ-4 nolu kuyular üretim kuyusu .olarak değerlendirilmekte olup, 750 m derinliğindeki IUJ-3 kuyusu reenjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır. Üretim kuyularından sadeceIUJ-2 nolu kuyu kullanılmakta olup, diğer kuyular yedek olarak bekletilmektedir. IUJ-4 kuyusunda üretim için gerekli olan altyapı henüz oluşturulmamıştır. Gerek duyulması halinde ileriki tarihlerde hazır duruma getirilmesi planlanmaktadır. Uşak Belediyesi tarafından hazırlanan raporda (Akgöz, 2011), IUJ-5 kuyusu Kayaağıl termal tesislerinden yaklaşık 4-5 km doğuda olup, 800 m derinliğinde açılmış, kuyu içi sıcaklık ölçüsü alınmış ve kuyunun daha verimli olması için birkaç işlemin yapılması gerektiği belirtilmiştir. IUJ-5 nolu kuyuda da herhangi bir üretim faaliyeti yoktur. Sondaj kuyularının derinlikleri 220-800 m arasında, debileri 60-220 l/s arasında ve suların sıcaklıkları 47.5-72 °C arasındadır (Çizelge 4.3). Kuyulara ait loglar Şekil 4.7'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Jeotermal kuyuların özellikleri

Kuyu no	Amaç	Koordinat	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Açılış yılı	Statik seviye (m)
IUJ-1	Üretim	699305 4279515	270	47.5	220	2010	15
IUJ-2	Üretim	699315 4279186	468	50	60	2010	6.10
IUJ-3	Reenjeksiyon	699585 4279255	750	50	90	2012	
IUJ-4	Üretim	699265 4279170	220	51	180	2013	
IUJ-5	Araştırma	703181 4279924	800	72	---	2015	



Şekil 4.7. Kuyu logları

#### 4.4.2. Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

İnceleme alanındaki litolojik birimler su taşıma ve geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz birimler olmak üzere üç farklı hidrojeolojik grupta tanımlanmış ve bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Ek-2).

##### 4.4.2.1. Geçirimli birimler

İnceleme alanında gözlenen başlıca geçirimli litolojik birimler Eşme formasyonu (Gç1), Karaboldere volkanitlerinin andezit seviyeleri (Gç2), Ulubey formasyonu (Gç3) ve alüvyondur (Gç4).

İnceleme alanında sıcak su akiferi olan birimler Paleozoyik yaşı Eşme formasyonunun kırıklı çatlaklı ve mermer bantlı şistleri içeren seviyeleri ile Miyosen yaşı Karaboldere volkanitlerine ait andezitlerin kırıklı çatlaklı seviyeleridir. Eşme formasyonuna ait şistler genelde geçirimsiz olmalarına karşın, rijit litolojilerden oluşan ve yoğun kırıklı, yüzeye yakın ayrılmış kesimler yeraltısuyu içerebilir. Şistler tektonizmanın da etkisiyle kırıklı çatlaklı bir yapı kazanmış ve ikincil gözeneklilik gelişmiştir (Gökgöz vd., 2011). Ayrıca, inceleme alanının kuzeyinde şistlerden boşalan soğuk su kaynakları ile inceleme alanında andezitlerin kırıklı-çatlaklı seviyeleri ile tuf-şist dokanağından çok sayıda mevsimsel ve sürekli soğuk su kaynağı boşalımları da gözlenmektedir.

Ulubey formasyonuna ait gösel kireçtaşları ise erime boşluklu bir yapı göstermekle birlikte stratigrafik olarak üstte yer alması nedeniyle soğuksu akiferi olarak düşünülmektedir. Ulubey formasyonu Uşak ilinin hemen hemen güney yarısı için en önemli soğuk su akiferlerinden birisidir. İnceleme alanı ve çevresinde bu formasyondan kaynak boşalımları ve kuyular vasıtasıyla yeraltısuyu elde edilmektedir. İnceleme alanının güneydoğusunda Aksaz civarındaki yerleşim yerleri içme ve kullanma suyu ihtiyaçlarının büyük bölümünü çok sayıdaki sondajlar yada kaynaklar yoluyla Ulubey formasyonundankarşılamaaktadır (Gökgöz vd., 2011). Gevşek tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutundaki malzemedan ve bunların farklı kombinasyonlarından oluşan alüvyon birim özellikle çakıl ve kumlu seviyelerinde yeraltısuyu bulundurmaktadır. İnceleme alanında Karabol deresi yatağında bulunan alüvyonlar içerisinde sulama amaçlı açılmış sığ kuyular mevcuttur.

#### **4.4.2.2. Az geçirimli birimler**

İnceleme alanında su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikleri taşıyan Asartepe, Ahmetler ve Yeniköy formasyonları az geçirimli birimler olarak ayırtlanmıştır. Asartepe formasyonu kumtaşı ve konglomera ardalanmasından oluşmaktadır. Ahmetler formasyonu konglomera, kumtaşı,

tüfit, kıltaşı, marn seviyeleri içeren Balçıklıdere üyesi ve çimentolanmış yamaç molozu olan Merdivelikuyu üyesinden oluşmaktadır. Yeniköy formasyonu ise konglomera, kumtaşı, kıltaşı, tüfit ve killi kireçtaşı birimlerini içermektedir. Bu formasyonlardaki kumtaşı ve konglomera düzeyleri yayılımları ve kalınlıkları oranında yersel olarak yeraltısuyu içerebilmektedir. Formasyonlar içerisinde bulunan diğer litolojilerin geçirimsiz özellikte olması akifer olabilme kapasitelerini kısıtlamaktadır.

Ayrıca, andezit, tuf ve aglomeralardan oluşan Beydağları volkanitleri de bu grup içerisinde değerlendirilmiştir. Andezit ve tuf seviyeleri kırıklı çatlaklı yapıya sahip oldukları durumlarda yeraltısuyu bulundurabilmektedirler. Ancak, inceleme alanı ve çevresinde bu formasyonlardan yeraltısuyu alınmamaktadır. Bu nedenle söz konusu birimler az geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

#### **4.4.2.3. Geçirimsiz birimler**

Kürtköyü formasyonu serpantin, radyolarit, şist, kuvars, dolomit ve mermer çakıllı alüvyon yelpazesidir. Formasyon içerisinde bulunan litolojilerin akifer özelliği taşımamaları nedeniyle Kürtköyü formasyonu geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

#### **4.5. Hidrojeokimya**

Kayaağıl (Uşak) Jeotermal alanında yer alan sıcak ve soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin tespiti amacıyla Eylül-2016 tarihinde, Kayaağıl termal tesisi ve çevresinde bulunan termal su kuyuları, sığ derinlikteki şahıs sondaj kuyuları ve soğuk su kaynaklarından su örnekleri alınmıştır. Su örneğialımı işlemleri sırasında Hanna marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC), hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve toplam çözünmüş katı madde (TDS) değerleri yerinde ölçülmüştür. Örnek alımında 100-250 ml'lik polietilen şişeler kullanılmıştır. Su örneklerinin anyon, nitrat, nitrit ve amonyak analizleri

Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum laboratuvarında, katyon ve ağır metal analizleri Bureau Veritas Commodities Canada Ltd. (Kanada) laboratuvarında yaptırılmıştır.

#### **4.5.1. Yeraltısularının iyon özellikleri**

İnceleme alanında yeraltısuyunun kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla sıcak su sondajları ve kaynaklardan alınan su örneklerinin kimyasal analizleri yaptırılmıştır. Kimyasal analizlerde katyonlar ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ), anyonlar ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ), hidrojen iyonu aktivitesi (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş katı madde (TDS), sodyum yüzdesi (%Na), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sertlik gibi kimyasal özellikler tespit edilmiştir. Su örneklerinin yerinde ölçüm ve iyon özellikleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. U1 örneği Kayaağıl termal tesislerinde kullanılan sondaj kuyusundan alınmıştır. Uşak Belediyesi tarafından yapılan işletme projesi raporunda IUJ-2 kuyusunu temsil etmektedir. U2 ve U9 örnekleri bölgede bulunan soğuk su kaynaklarına aittir. Diğer su örnekleri ise, Kayaağıl termal tesis yolu üzerinde şahıslar tarafından açılmış sığ derinliğe sahip sondaj kuyularından alınmıştır. Bu kuyular karışım sularını temsil etmektedir.

Çalışmada su örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır (Şekil 4.8). Haritada her su örneğine ait toplam iyon konsantrasyonlarına göre belirlenen daireler üzerinde örneğin anyon ve katyon değerleri yerleştirilmiştir. Sıcak suların toplam iyon içeriği 8.22-57.56 mek/l, soğuk suların ise 6.29-7.94 mek/l değerleri arasındadır. İnceleme alanında sıcak suların sıcaklık değeri 44.8-50 °C, soğuk suların 19.4-23 °C ve karışım sularının ise 27.5-36.5 °C arasında değişmektedir (Çizelge 4.4).



Çizelge 4.4. Su örneklerinin yerinde ölçüm ve iyon özellikleri

Örnek No	EC $\mu\text{S/cm}$	Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	pH	TDS $\text{mg/l}$	%Na	SAR	Sertlik $\text{Fr}^{\circ}$
U1	5250	44.8	6.83	2620	68.75	14.72	76.75
U2**	770	23.4	7.04	390	8.04	0.33	35.85
U4	1530	30.1	6.41	770	7.6	0.08	62.7
U5	1250	33.4	6.63	630	8.06	0.43	58.2
U6	960	36.5	6.76	490	7.22	0.31	44.35
U7	1060	27.6	6.90	530	6.36	0.30	48.5
U8	840	27.5	6.36	420	6.34	0.26	36.1
U9**	650	19.4	7.06	320	3.58	0.13	32.15
IUJ-1*	4255	48	6.46	2127	67.18	12.96	69.2
IUJ-2*	4180	50	6.76	2090	64	11.97	78.95

\*Analizler 2011 yılında Uşak Belediyesi tarafından yaptırılmıştır (Akgöz, 2011).

\*\* Kaynak suyu

#### 4.5.1.1. Sertlik

1 Fransız sertlik derecesi 1lt suda, 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunması şeklinde tanımlanmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Ülkemizde suların sertliği için 'Fransız Sertlik Derecesi ( $\text{Fr}^{\circ}$ )' kullanılmaktadır. Sertlik değerini aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplamak mümkündür.

$$\text{Toplam Sertlik} = 0.25\text{Ca} + 0.14\text{Mg} \quad (\text{Todd, 1980}) \quad (4.1)$$

Bu formülde Ca ve Mg değerleri  $\text{mg/l}$  alınmalıdır.

$$\text{Toplam Sertlik} = 5(\text{rCa} + \text{rMg}) \quad (\text{Şahinci, 1991}) \quad (4.2)$$

Bu formülde Ca ve Mg değerleri  $\text{mek/l}$  alınmalıdır.

İnceleme alanında sertlik değeri sıcak sularda 69.2-79.85  $\text{Fr}^{\circ}$ , karışım sularında 36.1-62.7  $\text{Fr}^{\circ}$  ve soğuk sularda ise 32.15-35.85  $\text{Fr}^{\circ}$  arasında değişmektedir. Suları sertlik derecelerine göre sınıflandıran pek çok sınıflandırma olmakla birlikte bunlardan ülkemizde de en çok kullanılanı Fransız sertlik sınıflamasıdır (Çizelge 4.5). İnceleme alanında yeraltıları

Fransız sertlik derecesine göre **Sert** su sınıfı ile **ÇokSert** su sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Fransız sertlik sınıflaması (Şahinci, 1991)

Konsantrasyon	Sertlik Derecesi
0.0 – 7.2	Çok yumuşak
7.2 – 14.5	Yumuşak
14.5 – 21.5	Az sert
21,5 -32.5	Oldukça sert
32,5 – 54	Sert
54 <	Çok sert

#### 4.5.1.2. Hidrojen iyonuaktivitesi (pH)

Hidrojen iyonu aktivitesi, su içerisindeki Hidrojen (H<sup>+</sup>) ve Hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyonlarının konsantrasyonları arasındaki dengeye bağlı olarak asidite ve alkaliniteyi belirler. Yeraltı suları, genel olarak pH<7 olan asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları pH>8 olan bazik özellikteki sulardır (Çizelge 4.6). İçme suları için pH değeri 6.5-8.5 arasında sınırlandırılmaktadır (WHO, 2004). Düşük pH'a sahip sular aşındırıcı özellikler gösterirken, yüksek pH'a sahip sular kabuk bağlayıcıdır.

Çizelge 4.6. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

pH	
>8.5	Bazik
8.5 – 7	Bazik karakterli
7	Nötr
7 – 4.5	Asit karakterli
4.5	Asidik

Bu sınıflamaya göre inceleme alanında yeraltı sularının pH değeri 6.46-7.06 arasında değiştiği için **Asit karakterli** olarak tanımlanmıştır (Çizelge 4.4, 4.6).

#### 4.5.1.3. Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Özgül elektriksel iletkenlik, +25 °C deki 1 cm<sup>3</sup> suyun iletkenliğidir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). İletkenlik, suyun temas ettiği kaya türüne, içeriğindeki çözünmüş

madde miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sıcak sulara EC değeri daha yüksektir. Ayrıca granitik kayalarla temas halinde olan suların iletkenlik değeri düşük, killi kayalar ile temas halindeki yüzey ve yeraltısularında ise EC değerleri yüksektir (Şen, 2014). Su kalitesinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılan özgül elektriksel iletkenlik (EC) suyun elektriği iletebilme yeteneğidir. Sıcaklık ve iyon konsantrasyonunun artışı ile doğru orantılı olarak suların elektriksel iletkenlikleri artmaktadır (Şahinci, 1991). İnceleme alanında sıcak suların EC değeri 4180-5250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , soğuk suların 650-770  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve karışım sularının ise 840-1530  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir (Çizelge 4.4).

#### 4.5.1.4. Toplam çözünmüş madde (TDS)

Toplam çözünmüş madde miktarı, su içerisinde çözünmüş halde bulunan kation, anyon, ağır metal ve az miktardaki organik maddeyi temsil eder. TDS, kayalarda bulunan farklı minerallerin çözünürlüklerine bağlıdır. TDS, genellikle iletkenlikle ilişkilendirilerek suyun iyon yükünün, tuzluluğunun ya da kirliliğinin değerlendirilmesi için kullanılır. TDS değeri arazide problemler yardımıyla ölçülmektedir. Ayrıca, TDS ile EC arasında ilişkiyi tanımlayan formül aşağıda verilmiştir (4.3; Hem, 1970).

$$\text{TDS (mg/l)} = \text{EC (İletkenlik)} \times (0.55-0.70) \quad (4.3)$$

Bu çalışmada yerinde ölçüm sonuçları kullanılmıştır. Suların TDS değerine göre sınıflaması Çizelge 4.7'de verilmiştir. İnceleme alanında sıcak sular **Çok Tuzlu Su**, soğuk sular **Acımsı Su**, karışım suları ise **Tuzlu Su** sınıfında bulunmaktadır.

Çizelge 4.7.Suların TDS değerine göre sınıflaması (USSSL, 1954)

TDS (mg/l)	Sınıf
<200	Tatlı Su
200-500	Acımsı Su
500-1500	Tuzlu Su
>1500	Çok Tuzlu Su

#### 4.5.2. Suların anyon-katyon özellikleri

İnceleme alanında suların anyon-katyon analiz sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

##### 4.5.2.1. Sodyum (Na<sup>+</sup>)

Sodyum, alkali metaller (Li, Na, K, Rb, Cs) arasında yer kabuğunda en fazla bulunan iyondur. Doğada çökelmiş evaporitler, kayalar içinde bulunan bazı mineraller (feldispat, plajiyoklas, nefelin, sodalit, stilbit, natrolit gibi) yağış suları tarafından kimyasal bozunuma uğratarak sodyum iyonları yeraltı ve yüzey sularına ulaşır (Şahinci, 1991). Yeraltı sularına en çok plajiyoklasların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışır. Magmatik kayalarda sodyum potasyumdan daha fazla bulunurken, sedimanter kayalarda sodyum daha az bulunmaktadır (Hem, 1985). Yeraltı sularında sodyumun bulunuşu mineral cinsine ve miktarına, pH'a, bozunum süresine, yeraltı suyu akım hızına, ortamdaki kalsiyum iyon değişimine, yapay ve doğal kirlenme gibi etkenlere bağlıdır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında sıcak suların Na içeriği 773.10-940.7 mg/l, soğuk sularda 5.58-14.54 mg/l ve karışım sularında 11.40-24.15 mg/l arasında değişmektedir. Sıcak sularda Na artışı suların sıcaklığı ve kaya-su etkileşim sürecine bağlıdır. Karışım sularında ise Na içeriği yüksek sıcak suların soğuk sulara etkisi rol oynamaktadır.

Çizelge 4.8. Su örneklerinin anyon-katyon analiz sonuçları

Kuyu No	Na <sup>+</sup> mg/l	K <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	F mg/l	NO <sub>3</sub> mg/l	Toplam anyon mek/l	Toplam katyon mek/l	% hata
U1	940.7	126.54	217.91	54.44	95.01	660.65	2501.0	2.28	0.00	57.56	59.73	1.85
U2**	14.54	1.16	91.82	31.54	17.58	7.26	427.0	0.13	17.74	7.94	7.84	-0.61
U4	24.15	8.74	167.13	51.2	7.56	420.15	302.8	0.27	0.00	13.91	13.81	-0.36
U5	23.98	8.23	158.27	45.46	7.77	414.63	298.9	0.25	0.03	13.77	12.89	-3.27
U6	15.11	4.94	118.37	36.01	8.48	186.83	305.0	0.24	0.00	9.14	9.66	2.77
U7	15.73	11.75	122.83	43.38	11.28	255.68	292.8	0.17	0.00	10.45	10.68	1.11
U8	11.40	6.22	111.92	19.97	5.03	281.68	134.20	0.34	0.00	8.22	7.89	-2.07
U9**	5.58	0.74	98.77	18.25	4.53	5.06	353.80	0.23	14.88	6.29	6.69	3.13
IUJ-1*	783.38	109.89	202.57	45.48	61.39	374.68	2316.77	5.59	--	47.5	50.74	3.29
IUJ-2*	773.10	120.41	226.82	54.41	85.27	503.91	2157.01	3.88	--	48.25	52.51	4.22

\*Analizler 2011 yılında Uşak Belediyesi tarafından yaptırılmıştır (Akgöz, 2011).

\*\* Kaynak suyu

#### 4.5.2.2. Kalsiyum (Ca<sup>2+</sup>)

Yeraltısularında kalsiyumun kökeni kalsit, aragonit, dolomit, anhidrit ve jipstir. Ayrıca, mağmatik ve metamorfik kaya mineralleri olan apatit, vollastonit, fluorit, amfibol ve piroksen grupları ile bazı feldispatların bozunumundan ortaya çıkan Ca iyonları yeraltısularına geçer. Kalsiyum ağırlık yüzdesi bakımından yer kabuğunda oksijen, silisyum, aliminyum ve demirden sonra beşinci sırayı almaktadır. Kalsiyum mağmatik ve metamorfik kaya minerallerinde bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak sudaki kalsiyum miktarı da artış gösterir. Suda çözülmüş CO<sub>2</sub> miktarı arttıkça kalsiyumun çözünürlüğü yükselir.

Jeotermal sulardaki Ca derişimi, doğada yaygın olarak gözlenen CaCO<sub>3</sub> (kalsit, aragonit), CaSO<sub>4</sub> (anhidrit, jips), CaF<sub>2</sub> (florit) ve diğer kalsiyum minerallerinin ortamdaki çözünürlüğü ile ilgilidir. CO<sub>2</sub> gazının kısmi basıncı CaCO<sub>3</sub>'ün çözünürlüğü ve çökmesini etkiler. Ortam basıncı CO<sub>2</sub>'in kısmi buhar basıncının altına düşerse, serbest kalan CO<sub>2</sub> açığa çıkar ve ortamdaki CaCO<sub>3</sub> çökeler. Yüksek sıcaklığa sahip sistemlerde, sıcak su içerisinde çözülmüş Ca derişimi genellikle 50 mg/l'den küçüktür (Nicholson, 1993).

İnceleme alanında sıcak suların Ca içeriği 202.57-226.82 mg/l, soğuk sularda 91.87-98.77 mg/l ve karışım sularında 111.92-167.13 mg/l arasında değişmektedir. Sıcak sularda Ca artışı suların sıcaklığı ile ilişkilidir. Kaya ağıl sıcak suyu içerisinde ise 200 mg/l civarında kalsiyum varlığı bu jeotermal alanının çok yüksek sıcaklıklı bir sistem olmadığını göstermektedir.

#### 4.5.2.3. Potasyum (K<sup>+</sup>)

Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarlarda bulunurken, mağmatik kayalarda sodyum, çökel kayalarda ise potasyum egemendir. Ayrıca, mağmatik ve metamorfik kayalardaki minerallerden mika, lösit, feldispat ve nefelin de bol miktarda potasyum içermektedir. Yeraltında

bulunan potasyum miktarı, potasyum içeren minerallerin (K-feldispatlar gibi) bozunumuna, duraylı potasyum minerallerinin oluşumuna (illit), iyon değişimine ve gözenek sularının yeraltısularını beslemesine bağlıdır. Kayaların bileşimindeki minerallerin bozunumu, suyun sıcaklığına bağlıdır. Sıcak sularda ise potasyum derişimi sıcaklıkla artmaktadır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında sıcak suların K içeriği 109.89-126.54 mg/l, soğuk sularda 0.74-1.16 mg/l ve karışım sularında 4.94-11.75 mg/l arasında değişmektedir. K artışı suların sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir.

#### **4.5.2.4. Magnezyum (Mg<sup>+2</sup>)**

Magnezyumun hammaddesi dolomit, magnezit, deniz suyu, tuz çökelleri ve tuz gölleridir. Magnezyum yerkabuğunda % 2'lik bir oranla sekizinci sırada yer almaktadır. Yeraltısularında bulunan magnezyumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit mineralleridir. Yeraltısularında magnezyum iyonları, kalsiyum iyonlarına oranla daha az bulunmaktadır. Yerkabuğunda da magnezyum iyonlarının kalsiyum iyonlarından daha az olması, dolomitlerin suda az çözünmesine bağlıdır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında sıcak suların Mg içeriği 45.48-54.44 mg/l, soğuk sularda 18.25-31.54 mg/l ve karışım sularında 19.97-51.2 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8).

#### **4.5.2.5. Karbonat (CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) ve Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Yeraltısularında karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğunluğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaçların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Doğal sulardaki karbonat konsantrasyonu, derin sulardaki karbondioksit kısmi basıncına (PCO<sub>2</sub>) ve çözeltinin pH değerine

bağlıdır. pH değeri yaklaşık 6-10 arasında ise çözeltilerde  $\text{HCO}_3$  baskın, 3.8 ve daha düşük pH değerlerinde karbonik asit ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), pH'ın 8 ve daha fazla olduğu alkali sularda ise  $\text{CO}_3$  baskın iyondur (Nicholson, 1993). Bölgedeki suların pH değerleri 8'in altındadır. Bu nedenle bölgedeki sularda karbonat bikarbonat formundadır.

İnceleme alanında sıcak suların  $\text{HCO}_3$  içeriği 2157.01-2501 mg/l, soğuk sularda 353.80-427 mg/l ve karışım sularında 134.20-302.8 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8).

#### **4.5.2.6. Sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ )**

Yeraltısularındaki sülfatın kaynağı evaporitler, özellikle anhidrit ve jipslerdir; volkanik patlamalar, magmatik kayalarındaki bozuşma, organik maddeler de doğal sülfat kaynakları arasındadır. Bunların yanında evsel ve endüstriyel atıkların depolandıkları alanlardaki sızıntı sularının toprağa karışması, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan sülfür gazları, asit yağmurları yüzey ve yeraltı sularındaki sülfat konsantrasyonunu arttırmaktadır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçebilmektedir. Kurak bölgelerde yeraltısularında genellikle sülfat iyonu fazladır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında sıcak suların  $\text{SO}_4$  içeriği 374.68-660.65 mg/l, soğuk sularda 5.06-7.26 mg/l ve karışım sularında 186.83-420.15 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8).

#### **4.5.2.7. Klorür ( $\text{Cl}^-$ )**

Klorür halojen grubunun (F, Cl, Br, I) bir elementidir ve diğerlerine oranla doğada daha fazla bulunmaktadır. Yeraltısularındaki klorür sedimanter kayalardan özellikle de evaporitlerden, bunun dışında yağmur ve deniz suyundan kaynaklanmaktadır. Konsantrasyondaki artış ise deniz suyu gibi daha

tuzlu suların yeraltısuyuna girişi, kayalardan tuz çözünmesi ve sığ akiferlerde buharlaşma sonucu oluşabilmektedir. Ayrıca, yüksek klorür konsantrasyonu derin rezervuardan beslenimi işaret etmektedir.

İnceleme alanında sıcak suların Cl içeriği 61.39-95.01 mg/l, soğuk sularda 4.53-17.58 mg/l ve karışım sularında 5.03-11.28 mg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.8).

#### **4.5.3. Suların iz element içerikleri**

Doğal sularda majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry, 1979). Doğal sulara evsel ve endüstriyel atık sular ve madencilik faaliyetleri atıklarının aracılığı ile bazen önemli miktarlarda ağır metaller katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta olduğu litolojik birimlerin minerolojik yapısı da, sulardaki iz element içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır (Türker, 2006).

İnceleme alanındaki sularda birincil (major) iyon analizleri ile birlikte ikincil ve üçüncül iyonların analizleri de yapılmıştır. Bu bölümde alüminyum (Al), arsenik (As), bor (B), demir (Fe), kadmiyum (Cd), krom (Cr), mangan (Mn), nikel (Ni) ve kurşun (Pb) iyonları ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Çizelge 4.9). Su örneklerinin iz element analizleri Bureau Veritas (Kanada) Laboratuvarında yaptırılmıştır.

##### **4.5.3.1. Alüminyum (Al)**

Alüminyum, yer kabuğunda önemli miktarda (% 8.6) olmasına karşın, az çözünmesi nedeniyle, yeraltısularında önemsiz miktarda bulunmaktadır. pH 5-9 arasında olan yeraltısularının alüminyum içeriği 1 mg/l'den azdır. Genellikle, yeraltısularında 0.005-0.3 mg/l arasında alüminyum izlenirken asit sularda bu değer 100 mg/l'e erişebilmektedir. Alüminyumun suda az bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1991).

Çizelge 4.9. Suların iz element içerikleri

	U1	U2**	U4	U5	U6	U7	U8	U9**	TSE-266 (2005)	WHO (2011)
Al	<600	2	13	2	6	554	37996	3	200	900
As	<3000	8.5	28.5	54.6	37.4	116.5	183.8	52.2	10	10
B	6217	19	82	75	41	103	43	13	1000	2400
Br		90	37	44	52	65	30	34	---	---
Cd	<700	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	5	3
Cr	<300	17.9	1.2	2.5	3	4.5	2.5	3.7	50	50
Cu	<80	0.3	3.5	2.6	1.4	2.6	2.2	0.8	2000	2000
Fe	<10000	<10	4432	579	1130	3698	20849	<10	200	---
Li	1157	4.2	36.2	21.5	11.8	23.5	9.4	9.6	---	---
Mn	166	0.17	318.42	139.80	145.9	100.62	408.56	0.31	50	---
Ni	<300	4.2	122.5	0.3	<0.2	12.0	13.8	1.6	20	70
P	<4000	<10	79	55	15	133	1031	20	----	---
Pb	<4000	0.1	0.7	0.2	<0.1	2	0.8	0.3	10	10
S	200	4	199	116	56	71	83	2	---	---
Sr	4632	330.37	1099.71	786.74	565.04	1162.25	568.04	450.06	---	---
U	<3000	1.07	1.07	0.33	0.30	0.25	1.35	1.94	---	30
Zn	<300	<0.5	46.5	7.8	1.9	47.8	196.1	5.5	---	---

İnceleme alanında sıcak suların Al içeriği <600 µg/l, soğuk sularında 2-3 µg/l ve karışım sularında 2-37996 µg/l arasında değişmektedir(Çizelge 4.9).Alüminyumun ekstrem değerinin tespit edildiği U8 örneği termal tesislerin hemen yakınında bulunan bir çiftlikten alınmıştır. Bu çiftlikte meyve ve sebze üretimi yapılmaktadır. Al artışının karışım suyu olması yanısıra antropojenik kökenli olarak tarımsal faaliyetlerden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

#### 4.5.3.2. Arsenik (As)

Element halindeki arsenik suda çözünmezken inorganik arsenik tuzları, pH ve iyonik ortama bağlı olarak suda çözünür. Kalkofil bir element olan arsenik, hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co, Fe gibi elementlerle, Ni-Cu sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında (Cu, V, U, Ag gibi elementlerle), fosfatlı kayalarda, oksitlerde gözlenmektedir. As doğada hem doğal hem de antropojenik (dış kökenli kirlilik) kaynaklı olarak bulunabilmektedir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında sıcak suların As içeriği <3000 µg/l, soğuk sularında 8.5-52.2 µg/l ve karışım sularında 28.5-183.8 µg/l arasında değişmektedir(Çizelge 4.9). Sıcak ve karışım sularında As artışı suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Soğuk

sulardaki As artışının kaynak sularının etkileşim halinde bulunduğu volkanik kayalar ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminde kaynaklandığı düşünülmektedir. İçme suyu standartlarında arsenik için sınır değeri 2006 yılına kadar 50 µg/l olarak kabul edilmekte idi. 2006 yılında yapılan yeni düzenlemelerde Türkiye’de ve uluslararası standartlarda sınır değeri 10 µg/l’ye düşürülmüştür. İnceleme alanında U2 nolu kaynak suyu örneği hariç tüm su örneklerinin As için verilen içme suyu sınır değerini aştığı görülmektedir.

#### **4.5.3.3. Bor (B)**

Bor yerkürede az rastlanan elementlerden biridir. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor, hidrotermal ortamlarda hızlı göç eder (Şahinci, 1991). Borik asit olarak da adlandırılan bor jeotermal çalışmalarda önemli bir tanımlama parametresidir. Klorürlü sular genellikle 10-50 mg/l oranında bor içermektedir. Çok yüksek bor konsantrasyonlu (800-1000 mg/l) sular ise organik maddece zengin sedimanter kayalarla ilişkilendirilebilir. Andezitik kayalarla ilişkilendirilen sulardaki bor konsantrasyonu diğer volkanik kayalarla ilişkilendirilen sulara oranla daha yüksektir. İnceleme alanında sıcak suların B içeriği 6217 µg/l, soğuk sularda 13-19 µg/l ve karışım sularında 41-103 µg/l arasında değişmektedir(Çizelge 4.9).

#### **4.5.3.4. Krom (Cr)**

Doğal sularda çok az çözünebilen krom, çok oksitleyici ve asidik ortamlarda kromat iyonu şeklinde bulunabilmektedir. Magmatik kayalarda minör bileşen olarak, özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda bulunur(Şahinci, 1991). Doğal suların sahip olduğu pH aralığında hemen hemen tamamen Cr<sup>+6</sup> şeklinde bulunur (McNeely vd., 1979; Grove and Stollenwerk, 1985). Çözünürlüğünün düşük olması nedeniyle, kromun sulardaki derişimi genellikle düşüktür. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 mg/l'nin altındadır (Hem, 1985). Bununla birlikte bu değerin oldukça üzerinde krom içeren doğal yeraltısularına da rastlanmaktadır.İnceleme alanında sıcak suların Cr içeriği <300 µg/l, soğuk

sularda 3.7-17.9 µg/l ve karışım sularında 1.2-4.5 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.9).

#### **4.5.3.5. Demir (Fe)**

Magmatik kayaç minerallerinden piroksenler, amfiboller, biyotit, magnetit ve olivinin yanı sıra metamorfik ve sedimanter kayaçlardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunur (McNeely vd., 1979). Fiziksel ve kimyasal ayrışma, tortullaşma, diyajenez ve redoks tepkimelerinin farklılığı, demirin kayalarda bulunuş miktarını etkiler. Karbonlu kayaçlardan gelen sularda (kömür, linyit, turba gibi) genellikle asit ve organik maddeler nedeniyle fazla miktarda demir iyonları izlenebilmektedir. Genellikle kireçtaşı ve dolomitlerden gelen suların pH'ı 7'den büyük olduğu için, çok az demir iyonları içerirler (Şahinci, 1991). İnceleme alanında sıcak suların Fe içeriği <10000 µg/l, soğuk sularda <10 µg/l ve karışım sularında 579-20849 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.9). Sulardaki Fe artışı sıcak su karışımı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

#### **4.5.3.6. Mangan (Mn)**

Mangan genel olarak metamorfik ve magmatik kayaçlarda olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur. Doğada yaygın olarak bulunan Mn'in sudaki çözünürlüğü Eh-pH etkisinde olup asidik ve hafif alkali sularda +2 değerlikli, alkali sularda ise +4 iyonu şeklinde bulunmaktadır. Mangan asidik sularda 1 mg/l'den daha fazla oranlarda bulunabilmekte ve uzun süre suda çökelmeden kalabilmektedir. Sıcak sularda mangan miktarı çok fazla olabilir. Yeraltısularında ise genellikle 0.2 mg/l'den az miktarda mangan bulunmaktadır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında sıcak suların Mn içeriği 166 µg/l, soğuk sularda 0.17-0.31 µg/l ve karışım sularında 100.62-408.56 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.9). Sıcak su kuyusundan alınan örnekte Mn içeriğinin düşük olması ve karışım

sularının alındığı kuyuların çiftlikler içerisinde bulunması, bu sulardaki Mn artışının antropojenik (tarım ve hayvancılık) kökenli olduğunu düşündürmektedir.

#### **4.5.3.7. Nikel (Ni)**

Nikel daha çok ultrabazik ve bazik kayaç mineralidir. Ancak asidik kayaçlarda da çok az miktarlarda bulunmaktadır. Nikel magmatik kayaçlarda bulunan birçok mineralin yapısında bulunmaktadır. Olivin nikel içeren başlıca mineraldir. Magmatik kayaçların bozunmasıyla oluşan sedimanter kayaçlar ve toprak bir miktar nikel içerir (Goldschmidt, 1958; Rankama ve Sahama, 1964). Sulardaki nikel; kayaçlardan, topraktan, nikel cevherlerinin işlenmesinden ve fosil yakıtların kullanımından kaynaklanır. Sularda kolloidal veya çözülmüş halde bulunur. Sudaki nikel miktarı pH ve alınan örneğin derinliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Doğada nikel, doğal olarak bulunabileceği gibi insan aktiviteleri sonucu da karşımıza çıkmaktadır (Şahinci, 1991; Kartal vd., 2004). İnceleme alanında sıcak suların Ni içeriği <300 µg/l, soğuk sularda 1.6-4.2 µg/l ve karışım sularında <0.2-122.5 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.9).

#### **4.5.3.8. Kurşun (Pb)**

Kurşunun başlıca minerali galendir (PbS). Kurşun elementinin magmatik ve tortul kayaçlarda bulunma oranı değişkendir. Antropojenik kökenli kurşun kirliliği özellikle araçların egsoz gazlarından ve fabrika ile konutlarda yakılan kömürlerden kaynaklanabilmektedir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında sıcak suların Pb içeriği <4000 µg/l, soğuk sularda 0.1-0.3 µg/l ve karışım sularında <0.1-2 µg/l arasında değişmektedir (Çizelge 4.9).

#### 4.5.4. Suların hidrojeokimyasal sınıflaması

Suların kimyasal özellikleri kullanılarak yapılan sınıflamalar ile hidrojeokimyasal fasiyes tipleri belirlenmektedir. Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği sıcak ve mineralli sular komisyonu çalışmaraporunda belirtilen sınıflamada ise suda çözünmüş başlıca iyonlar anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine mek/l olarak %20'den fazla çözünmüş bulunaniyonlar (önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak) su tipini belirlemektedir (Tarcan, 2002). Fasiyesi belirlemek için derişim değerlerini grafik olarak gösteren pek çok yöntem vardır (Hem, 1985; Şahinci, 1991). Bu çalışmada Piper (1944), Schoeller (1955) ve Gibss (1973) diyagramları kullanılmıştır.

##### 4.5.4.1. Suların iyon karakteristikleri

Çalışma sahasındaki sıcak ve mineralli su kaynakları ile soğuk suyun iyon içeriklerinin mek/l derişimine göre hakim iyon sıralaması Çizelge 4.10'de sunulmuştur. Suların kimyasal yapısı beslenme havzasındaki kayaçların kimyasal bileşimi, akış yolunun hidrojeolojik özellikleri ve etkileşim zamanı ile yakından ilişkilidir. İnceleme alanında sıcak sularda başlıca katyon Na'dur. Daha sonra Ca ve Mg gelmektedir. Anyonlarda ise HCO<sub>3</sub> en yüksek gözlenen anyon olup bunu SO<sub>4</sub> ve Cl anyonları takip etmektedir. Bölgede soğuk suları temsil eden kaynak sularında (U2, U9) egemen katyonlar Ca ve Mg, egemen anyon ise HCO<sub>3</sub>'dir. Karışım suları olarak nitelendirilen diğer su örneklerinde Ca baskın katyon olup örneklerin genelinde SO<sub>4</sub> baskın anyondur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. İnceleme alanındaki suların iyon dizilimi

Örnek No	Kasyon dizilimi	Anyon dizilimi	Su Sınıfı
U1	Na>Ca>Mg>K	HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl	Na-HCO <sub>3</sub>
U2	Ca>Mg>Na>K	HCO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
U4	Ca>Mg>Na>K	SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
U5	Ca>Mg>Na>K	SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
U6	Ca>Mg>Na>K	HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
U7	Ca>Mg>Na>K	SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
U8	Ca>Mg>Na>K	SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl	Ca-Mg-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
U9	Ca>Mg>Na>K	HCO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
IUJ-1	Na>Ca>Mg>K	HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl	Na-HCO <sub>3</sub>
IUJ-2	Na>Ca>Mg>K	HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl	Na-HCO <sub>3</sub>

#### 4.5.4.2. Schoeller (1955'e) göre suların sınıflandırılması

Schoeller'in (1955) sınıflamasında suların klorür, sülfat ve karbonat-bikarbonat içerikleri dikkate alınmaktadır (Çizelge 4.11). Schoeller'in (1955) klorür sınıflamasına göre, su örneklerinin tamamı '**Olağan klorürlü sular**', sülfat sınıflamasına göre, soğuk sular ile karışım sularının bir kısmı '**Olağan sülfatlı sular**', sıcak sular ve U4-U5 nolu karışım suyu örnekleri '**Oligosülfatlı sular**'; karbonat-bikarbonat miktarına göre soğuk sular ve karışım suları '**Olağan karbonatlı sular**', sıcak sular '**Hiperkarbonatlı sular**' sınıflarında yer almaktadır.

#### 4.5.4.3. Piper diyagramına göre suların sınıflaması

Piper diyagramı suların genel anyon-kasyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kayağıl jeotermal alanı sıcak su örnekleri (U1, IUJ-1, IUJ-2), alkali elementler (Na+K) alkali toprak elementlerden (Ca+Mg) büyük, güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) zayıf asit köklerinden (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) küçük ve karbonat alkaliler % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Sıcak sular Na-HCO<sub>3</sub> hidrojeokimyasal fasiyesindedir (Şekil 4.9).

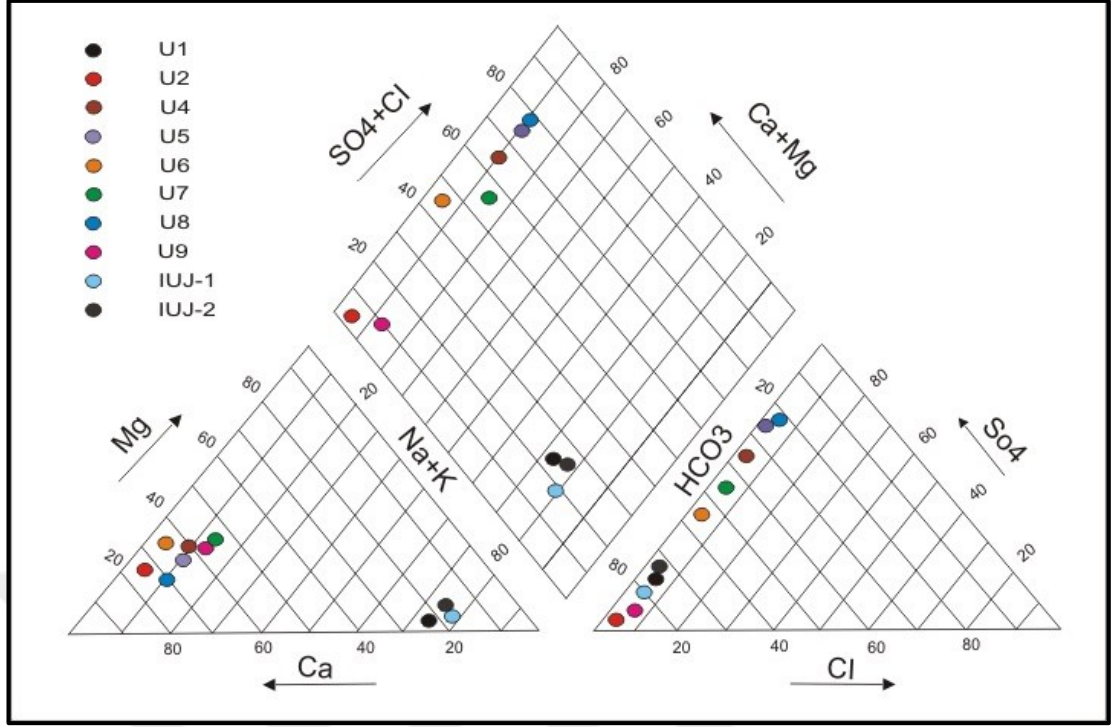
Çizelge 4.11. Schoeller (1955)'e göre su sınıflaması

Klorür Sınıflaması		Sülfat Sınıflaması		Karbonat-Bikarbonat Sınıf.	
Su sınıfı	Klorür miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Sülfat miktarı (mek/l)	Su sınıfı	Karbonat-Bikarbonat miktarı (mek/l)
Hiperklorürlü Sular	>700	Hiposülfatlı Sular	>58	Hiperkarbonatlı Sular	>7
Klorotalasik Sular	420-700	Sülfatlı Sular	24-58	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
Klorürce zengin sular	140-120	Oligosülfatlı Sular	6-24	Hipokarbonatlı Sular	<2
Orta Klorürlü Sular	40-140	Olağan Sülfatlı Sular	<6		
Oligoklorürlü Sular	15-40				
Olağan Klorürlü Sular	<15				

Soğuk su örnekleri olan U2 ve U9 ile U6 karışım suyu örneği,alkali toprak elementler (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) büyük, güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) zayıf asit köklerinden (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) küçük ve karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir. Soğuk sular Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfındadır (Şekil 4.9).

Karışım suyu olarak nitelendirdiğimiz U4, U5, U7 ve U8 örnekleri, alkali toprak elementler (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) büyük, güçlü asit kökleri (Cl+SO<sub>4</sub>) zayıf asit köklerinden (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) büyük ve karbonat olmayan sertliği % 50'den fazla olan sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> hidrojeokimyasal fasiyestedir (Şekil 4.9).

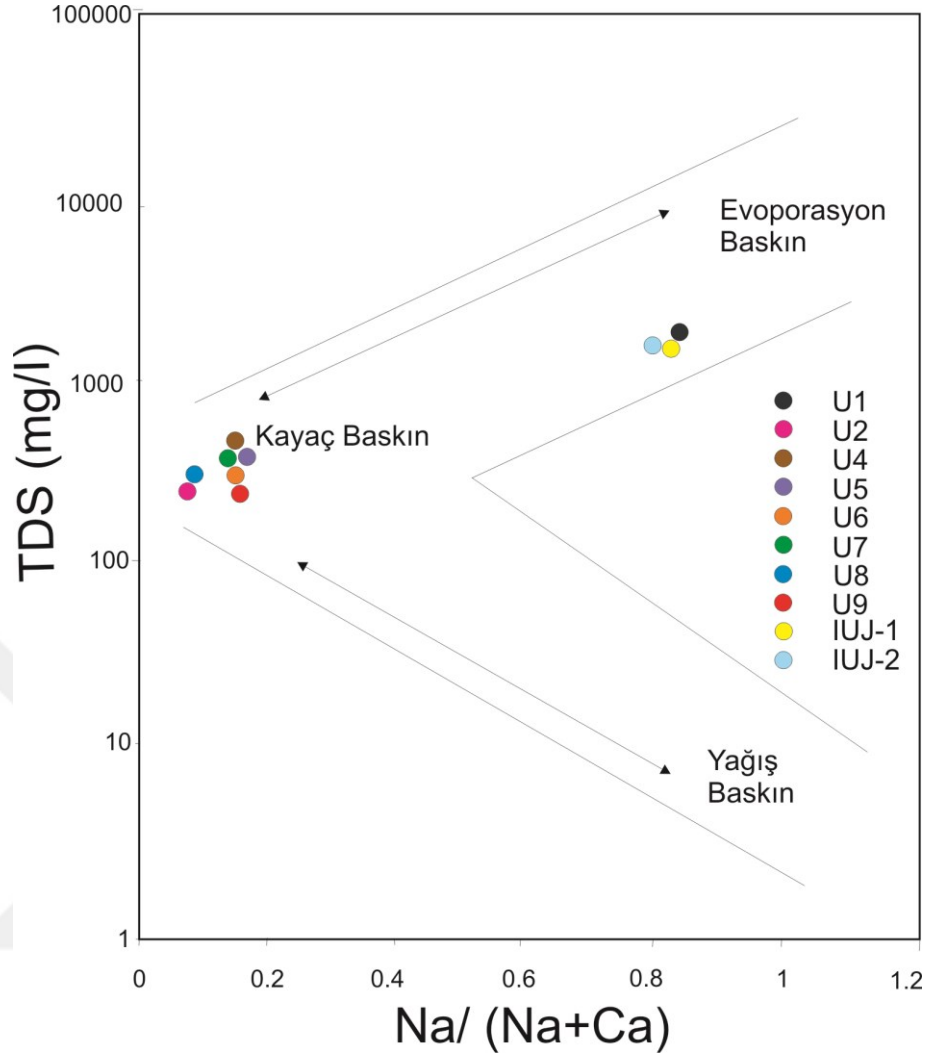
Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipi soğuk yeraltısuları jeotermal sistemlerde rezervuar kayaçların çözünmesi ve iyon değişimi reaksiyonları ile Na, HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> tipinde sıcak sulara dönüşmektedir (Mahon vd., 1980). Derin dolaşımli jeotermal sıvılar genellikle yüksek Na içeriğine sahiptir (Davraz ve Şener, 2006).



Şekil 4.9. Piper diyagramı

#### 4.5.4.4. Gibbs diyagramına göre suların sınıflaması

Gibbs (1973) diyagramı, sudaki iyonik oranları kullanarak, suyun yapısındaki bileşimi ve kökenini tanımlayan bir sınıflama ortaya koymaktadır. Gibbs diyagramına göre suların geneli '**Kayaç Baskın**' bölgede yer almaktadır. Bu durum, su ile direkt ilişkili olan kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışmasının olduğunu göstermektedir. Kayağıl sıcak su kuyularına ait örnekler (U1, IUJ-1, IUJ-2) ise '**Evaporasyon Baskın**' bölgede yer almaktadır. Sıcak suya ait bu örneğin mağmatizma kökenli olduğunu göstermektedir. Bu sebeple su yoğun buharlaşma etkisi altında kalmış ve çözülmüş toplam iyon miktarı da oldukça yükselmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Gibbs diyagramı

#### 4.5.5. Suların içilebilme ve kullanılabilme özellikleri

##### 4.5.5.1. Standartlara göre suların kullanıma uygunluğu

İnceleme alanındaki suların yerinde ölçüm sonuçları ile anyon-kasyon ve iz element içerikleri ulusal ve uluslararası standartlar ile karşılaştırılarak içme ve kullanma suyu kullanıma uygunlukları araştırılmıştır. Bu değerlendirmede TS-266 (2005) Türk İçme suyu, Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011), Amerika İçme suyu (EPA, 2012) ve TS-9130 Mineralli Su (2010) standartları ile 25657 sayılı Doğal Mineralli Sular (2004) ve 25730 sayılı İnsani Tüketim Amaçlı Sular (2005) yönetmelikleri kullanılmıştır (Çizelge 4.12).

İnceleme alanındaki suların pH değerleri 6.36-7.04 arasında değişmektedir. Suların pH değerleri içme suyu ve evsel kullanımlar için Çizelge 4.12'de verilen standart ve yönetmeliklere uygundur. Suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri sıcak su örnekleri dışında tüm standart ve yönetmeliklere uygundur. Su örneklerinin anyon-katyon analizleri açısından bazı standart ve yönetmeliklerde Na, SO<sub>4</sub> ve Cl içerikleri için sınır değer verilmiştir. Suların Na içeriklerinin sıcak su örnekleri hariç uygun olduğu Cl içerikleri açısından ise bütün su örneklerinin standart ve yönetmeliklere uyduğu görülmektedir. Suların SO<sub>4</sub> içerikleri sıcak ve karışım sularının bir kısmında sınır değer olarak verilen 250 mg/l değerini aşmaktadır.

İnceleme alanında su örneklerinin As içerikleri 8.5 ve 3000 µg/l arasında değişmektedir. U2 hariç tüm suların As içeriklerinin standart ve yönetmeliklerde verilen sınır değer (10 µg/l) üzerinde olduğu görülmektedir. Benzer şekilde kaynak suları olan U2 ve U9 örnekleri dışındaki bütün su örneklerinin Fe içerikleri sınır değerlerin üzerindedir. Suların Mn içerikleri (U2 ve U9 hariç) TS-266 (2005) ve EPA (2012) içme suyu sınır değerlerinin üzerindedir. Sıcak su örneği olan U1 nolu örneğin hemen hemen bütün iz element içeriği değerleri ulusal ve uluslararası içme suyu standartlarının üzerindedir.

Çizelge 4.12. Ulusal ve uluslararası standartlara göre elementlerin sınır değerleri

	TS-266 (2005)	WHO (2011)	EPA (2012)	TS -9130 Mineralli Sular 2010	Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği 2004	İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yön. 2005
Sıcaklık	25	---	---	---	---	---
pH	6.5-9.5	6.5-8.5	6.5-8.5	---	---	6.5-9.5
EC (µS/cm)	2500	2500	---	---	---	2500
Na <sup>+</sup> (mg/l)	200	---	---	---	---	200
K <sup>+</sup> (mg/l)	---	---	---	---	---	---
Ca <sup>+2</sup> (mg/l)	---	---	---	---	---	---
Mg <sup>+2</sup> (mg/l)	---	---	---	---	---	---
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	---	---	250	---	---	250
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/l)	250	---	250	---	---	250
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	---	---	---	---	---	---
Al (µg/l)	200	900	50-200	200	200	200
As (µg/l)	10	10	10	10	10	10
B (µg/l)	1000	2400	---	30000	30000	1000
Ba (µg/l)	---	---	2000	1000	1000	---
Cd (µg/l)	5	3	5	3	3	5
Cr (µg/l)	50	50	100	50	50	50
Cu (µg/l)	2000	2000	1000	1000	1000	2000
F (µg/l)	1500	---	2000	5000	5000	1500
Fe (µg/l)	200	---	300	---	---	200
Hg (µg/l)	1	---	2	1	1	1
Mn (µg/l)	50	---	50	500	500	50
Ni (µg/l)	20	70	---	20	20	20
Pb (µg/l)	10	10	---	10	10	10
Se (µg/l)	10	---	50	10	10	10
U (µg/l)	---	30	---	---	---	---
Zn (µg/l)	---	---	5000	---	---	---

#### 4.5.5.2. Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)

Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanıma uygunluğun belirlenmesinde en çok yararlanılan ölçütlerden biridir (Çizelge 4.13). Sulama suyu kalitesinin belirlenmesi açısından önemli bir kriter olan sodyum miktarı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltmakta ve sulama işleminden sonra toprak yüzeyinde kabuksu yapıların oluşmasına neden olmaktadır. SAR oranı aşağıda verilmiş formül ile hesaplanmaktadır (4.4). Bağıntıda iyonların mek/l değerleri kullanılır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{(rCa^{++} + rMg^{++})/2}} \quad (4.4)$$

Çizelge 4.13. Sulama sularının SAR değerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991; Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

SAR	SINIF
<10	Çok iyi özellikte sulama suları
10- 18	İyi özellikte sulama suları
18- 26	Orta özellikte sulama suları
> 26	Kötü özellikte sulama suları

İnceleme alanında soğuk ve karışım sularının SAR değerleri 0.08-0.43 arasında **Çok iyi özellikte sulama suyu** sınıfında, sıcak suların ise 11.97-14.72 arasında **İyi özellikte sulama suyu** sınıfında yer almaktadır.

#### 4.5.5.3. Sodyum iyon yüzdesi (%Na)

Yeraltısuyunun sulama suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılan diğer bir özellikte sodyum yüzdesidir. Özellikle tuzlu sulardaki Na<sup>+</sup>, zemindeki Ca<sup>+</sup> iyonları ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini azaltır ve havalanmasını engeller. Böylece dolaylı olarak bitkilerin gelişmesi yavaşlamaktadır. Bu nedenlerle, %Na değerinin sınır değerleri aşmaması istenmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). %Na değeri iyonların mek/l değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntıdan (4.5) hesaplanır.

$$\%Na = \frac{rNa^+}{rNa^+ + rCa^{++} + rMg^{++} + rK^+} \times 100 \quad (4.5)$$

İnceleme alanında soğuk ve karışım sularının % Na değerleri 3.58-8.04 arasında sıcak suların ise 64-68.75 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4).

#### 4.5.5.4. Schoeller içilebilirlik diyagramı

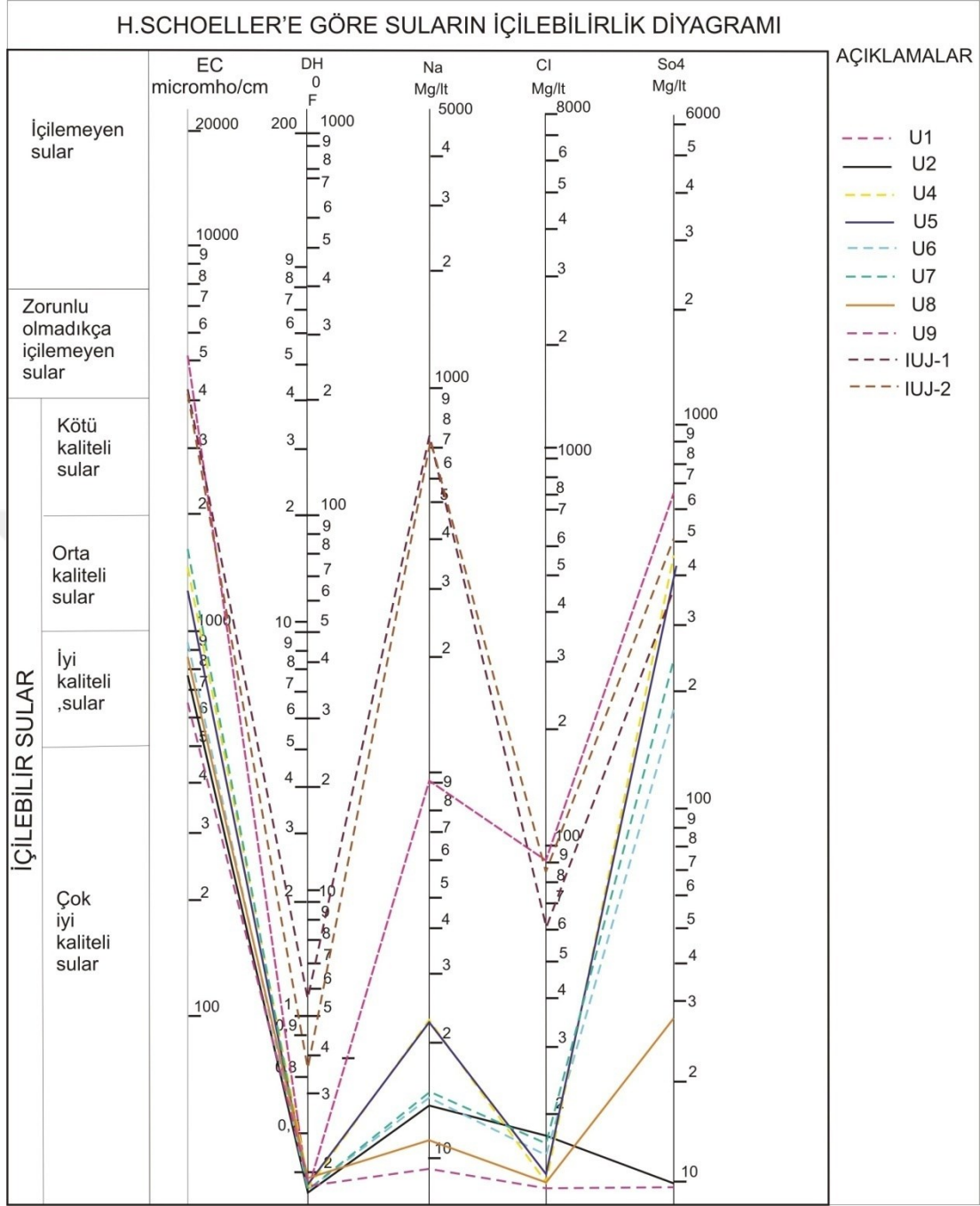
İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek için H. Schoeller içilebilirlik diyagramı kullanılmıştır (Şekil 4.11). İnceleme alanından alınan sıcak, karışım ve soğuk sular bu diyagrama göre bölgedeki sıcak ve mineralli sular ile soğuk sular "İçilebilir Sular" sınıfında yer almaktadır.

Ancak, EC değerinin sıcak ve mineralli sularda yüksek olması sebebiyle bu suların kullanımında dikkat edilmesi gerekmektedir.

#### 4.5.5.5. ABD tuzluluk laboratuarı diyagramı

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde genel olarak ABD tuzluluk laboratuarı diyagramından yararlanılmaktadır. Bu diyagramda EC ve SAR değerlerine göre 16 ayrı kategori bulunmaktadır. Bu kategorilerin anlamları oluşturulurken C1, C2, C3 ve C4 tuzluluğa göre alt sınıfları, S1, S2, S3 ve S4 ise sodyum miktarına göre alt sınıfları oluşturmaktadır (Çizelge 4.14).

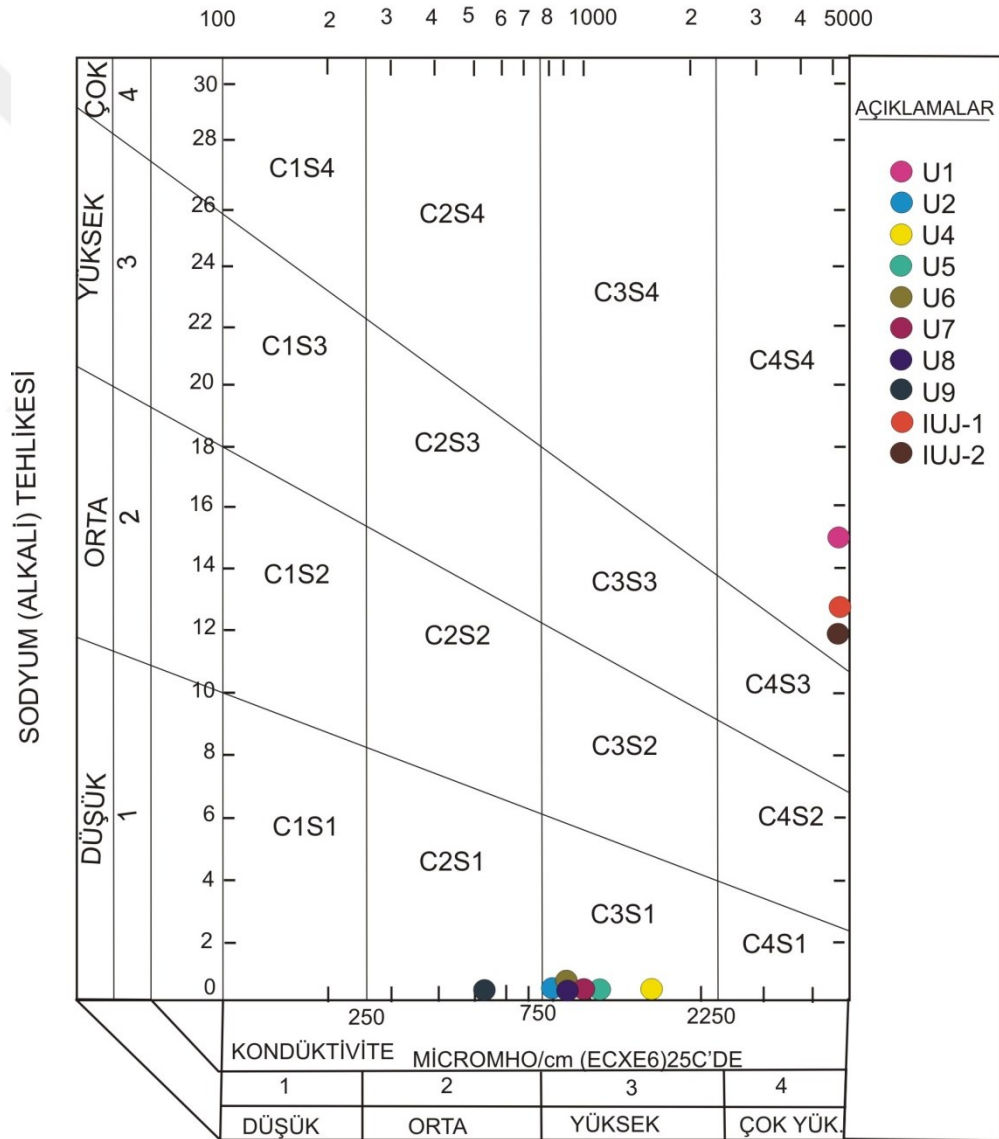
Bu diyagrama göre inceleme alanındaki sıcak sular çok fazla tuzlu ve orta derecede sodyumlu suları temsil eden '**C<sub>4</sub>S<sub>4</sub>**' sınıfında yer almaktadır. U9 rneği hariç diğer rnekler EC değerlerindeki artış nedeniyle fazla tuzlu ve az sodyumlu suları temsil eden '**C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>**' sınıfında bulunmaktadır (şekil 4.12).



Şekil 4.11. H. Schoeller içilebilirlik diyagramı

Çizelge 4.14. Suların tuzluluk ve sodyum miktarlarına göre sınıflaması (ABD tuzluluk lab. diyagramı; Şahinci, 1991)

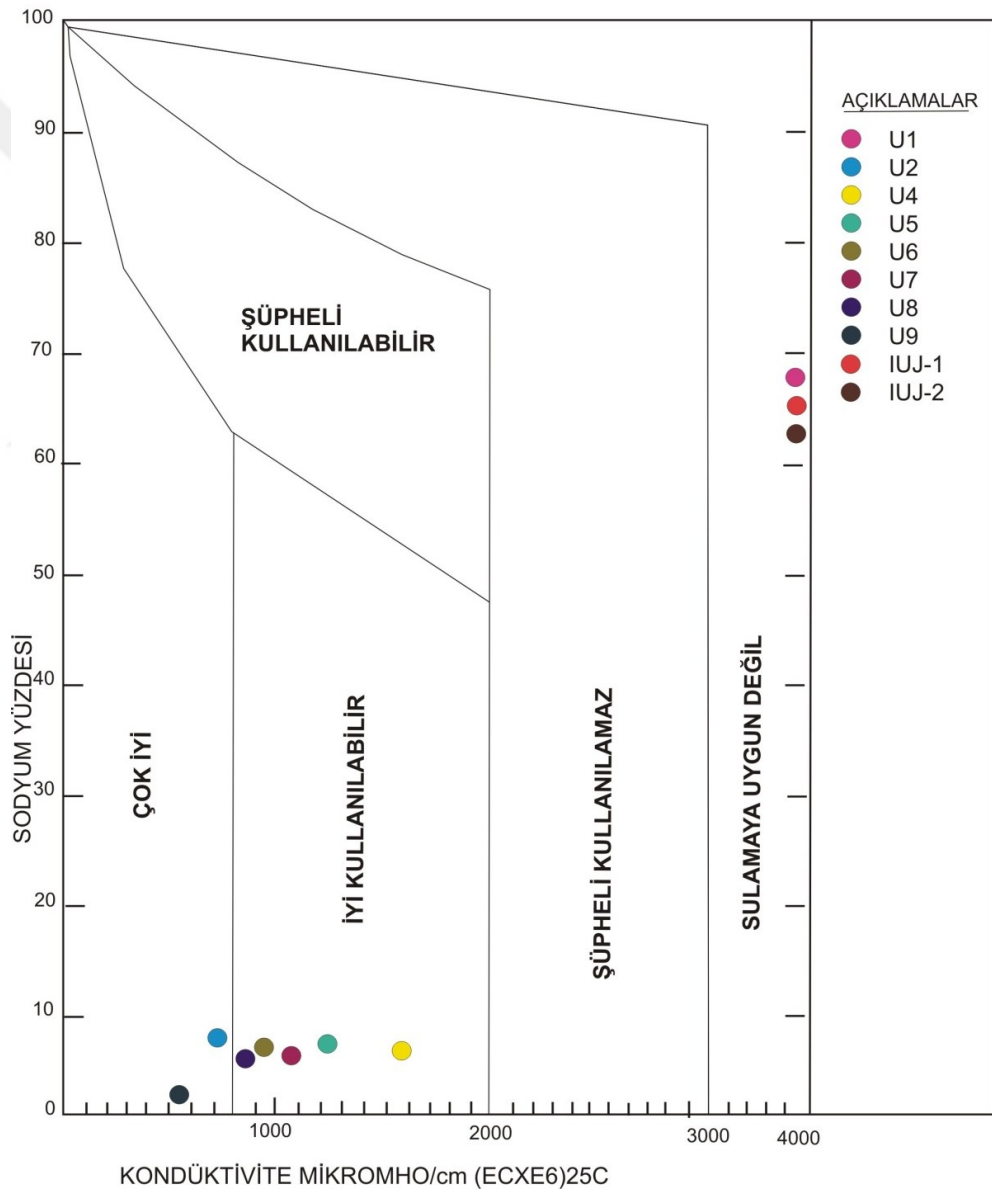
<b>C1</b>	<b>Az tuzlu su.</b> Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir
<b>C2</b>	<b>Orta tuzlulukta su.</b> Orta derecede suya ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılabilir.
<b>C3</b>	<b>Fazla tuzlu su.</b> Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.
<b>C4</b>	<b>Çok fazla tuzlu su.</b> Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenaj yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetişebilir.
<b>S1</b>	<b>Az sodyumlu su.</b> Sodyuma karşı duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarım için uygun
<b>S2</b>	<b>Orta derecede sodyumlu su.</b> Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.
<b>S3</b>	<b>Fazla sodyumlu su.</b> Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir
<b>S4</b>	<b>Çok fazla sodyumlu su.</b> Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz



Şekil 4.12. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

#### 4.5.5.6. Wilcox diyagramı

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğini belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramda suların EC değerleri ile % Na değerleri sınıfların belirlenmesinde kullanılan parametrelerdir. İnceleme alanındaki sıcak sular '*sulamaya uygun olmayan*' su sınıfında yer almaktadır. Diğer sular ise U9 ve U2 örnekleri hariç '*iyi kullanılabilir sular*' sınıfındadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Wilcox diyagramı

#### 4.5.6. Suların mineral doygunluk indeksi

Yeraltısularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabilmek için olanağı sağlamaktadır. Bu amaçla yeraltısuyunda çeşitli minerallerin doygunluk durumlarının araştırılması gerekmektedir. Doygunluk indeksi (Saturation Index, SI): iyonik aktivite çarpımı (IAP) ile tepkime denge sabitinin (K) oranı şeklinde gösterilen  $(\log IAP/K)$  logaritmik bir ifadedir. Sularda her mineral için özellikle sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içermektedir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

SI  $(\log IAP/K)=0$  ise su ilgili mineral ile dengededir.

SI  $(\log IAP/K)>0$  ise su ilgili minerale aşırı doygunudur (mineral çökeltici özelliktedir).

SI  $(\log IAP/K)<0$  ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

İnceleme alanında yeraltısularına ait kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Solmineq 88 (Kharaka vd., 1988) bilgisayar programı yardımıyla mineral doygunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Sularının boşalım sıcaklıkları ve arazide ölçülen pH değerine göre belirlenen mineral doygunluk indeksi değerleri Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Kayağıl termal suyu albit, analsim, aragonit, kalsit, barit, kalsedon, kristobalit, dolomit, florit, jipsit, kuvars ve sanidin minerallerine doygunudur. Sıcak su kaynağının kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doygun olması karstik akifer ve ofiyolitik birimlerle etkileşimlerine işaret etmektedir. Karışım suları olarak nitelendirdiğimiz ve sığ derinlikteki kuyulardan alınan sıcak su örneklerinden U4, U7, U8 örneği adularya, albit, analsim, andezit, barit, kalsedon, kristobalit, kuvars, sanidin ve jipsit minerallerine doygunudur. U5 ve U6 örnekleri ise barit, kalsedon, dolomit, jipsit ve kuvars minerallerine doygun olup bu mineralleri çökeltici özelliktedir. Sığ derinlikte açılmış bu kuyulardan

alınan örneklerdeki farklılıklar sığ derinlikteki yeraltısuyunun etkileşimde olduğu kayaç türlerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında soğuk su örnekleri olan U2 ve U9 örnekleri ise kalsit, dolomit ve jipsit minerallerine doygundur. Bu durum soğuk suların kireçtaşı birimleri ile etkileşimlerine işaret etmektedir. Kaynakların çıkış bölgesinin jeolojik özellikleri dikkate alındığında soğuk suların Jipsit mineraline doygun olması Al elementinin volkanik kayaçlarla etkileşimden kaynaklandığını göstermektedir.

Çizelge 4.15. Suların mineral doygunluk indeksi değerleri

	U1	U2	U4	U5	U6	U7	U8	U9
<b>Adularya</b>	-1.87	-1.520	<b>1.009</b>	-0.288	-0.545	<b>2.950</b>	<b>2.162</b>	-2.040
<b>Albit</b>	<b>2.09</b>	-1.440	<b>0.437</b>	-0.807	-1.034	<b>2.077</b>	<b>3.014</b>	-0.637
<b>Analsim</b>	<b>1.93</b>	-1.096	<b>0.334</b>	-0.739	-0.774	<b>2.019</b>	<b>2.700</b>	-0.601
<b>Andezit</b>	-0.870	-3.605	-1.770	-3.67	-2.902	<b>0.780</b>	<b>1.776</b>	-2.685
<b>Anhidrit</b>	-0.994	-3.020	-1.061	-1.69	-1.410	-1.380	-1.334	-3.101
<b>Aragonit</b>	<b>0.830</b>	-0.079	-0.549	-0.348	-0.221	-0.230	-1.132	-0.104
<b>Kalsit</b>	<b>0.953</b>	<b>0.062</b>	-0.413	-0.216	-0.091	<b>0.092</b>	-0.995	<b>0.041</b>
<b>Barit</b>	<b>0.025</b>	-1.007	-0.013	<b>0.065</b>	<b>0.281</b>	<b>0.234</b>	<b>0.428</b>	-0.180
<b>Kalsedon</b>	<b>0.77</b>	-0.159	<b>0.265</b>	<b>0.106</b>	-0.081	<b>0.055</b>	<b>0.489</b>	<b>0.170</b>
<b>Kristobalit</b>	<b>0.27</b>	-0.358	<b>0.100</b>	-0.045	-0.221	<b>0.701</b>	<b>0.312</b>	-0.054
<b>Dolomit</b>	<b>2.852</b>	<b>1.025</b>	-0.060	<b>0.414</b>	<b>0.729</b>	-2.141	-1.407	<b>0.632</b>
<b>Florit</b>	<b>0.156</b>	-2.380	-1.861	-1.801	-1.917	<b>4.198</b>	-2.828	-1.713
<b>Jipsit</b>	<b>1.25</b>	<b>1.967</b>	<b>2.397</b>	<b>1.387</b>	<b>1.540</b>	-1.112	<b>5.46</b>	<b>2.338</b>
<b>Jips</b>	-0.865	-2.717	-0.813	-0.849	-1.215	-8.376	-1.065	-2.764
<b>Halit</b>	-5.801	-8.034	-8.156	-8.381	-8.526	<b>0.441</b>	-8.859	-9.173
<b>Kuvars</b>	<b>0.98</b>	-1.430	<b>0.483</b>	<b>0.333</b>	<b>0.152</b>	<b>3.015</b>	<b>0.698</b>	<b>0.345</b>
<b>Sanidin</b>	<b>1.10</b>	-1.007	<b>1.061</b>	-0.251	-0.521	<b>0.234</b>	<b>2.228</b>	-1.918

#### 4.5.7. Jeotermometre uygulamaları

Jeotermometre, jeotermal alanlardan çıkan akışkanların içerdikleri iyon oranları, iyon değişimleri, izotop vb. özelliklerinden yararlanılarak akifer içerisindeki akışkan sıcaklığını tahmin etme yöntemidir. Jeotermal sular rezervuarda farklı sıcaklık ve basınç altında bulunurlar. Rezervuarda kaldıkları süre boyunca su-kayaç etkileşimi sonucu kimyasal bileşimlerini kazanırlar. Yüze çıkışları sırasında da temas ettikleri kayaçlarla etkileşime geçmeleri sonucunda sularda kimyasal değişimler meydana gelir. Jeotermal suların yerin derinliklerinden yüze çıkışları süresince kazandıkları bu kimyasal içerikler jeotermometre denklemlerinde kullanılarak rezervuar sıcaklıkları

hesaplanabilmektedir (Doğdu, 2004). Rezervuardaki suyun sıcaklığı yzeye sıcaklığından fazladır. Bu suların sıcaklığı, yzeye çıkarken kat ettikleri mesafeye ve suyun debisine bağlı olarak değişir.

Jeotermal sistemlerde rezervuar sıcaklığının tahmini için çeşitli kimyasal jeotermometreler geliştirilmiştir. Bu jeotermometreler rezervuarda bulunan mineral ile çözünme dengesine bağlı belirli sıcaklıkların tahminine dayalıdır. Aynı kimyasal bileşenler kullanılmasına rağmen, aynı sıvı için farklı jeotermometreler farklı sonuçlar vermektedir. Bu farklılıkların sebebi sıcaklık, su içerisindeki mineral-çözünme dengesi, akış sırasında soğuk su ile karışım olabilir (Tarcan, 2002; Nart, 2015).

#### **4.5.7.1. Silis jeotermometreleri**

Kuvars çözünürlüğüne bağlı olarak geliştirilen jeotermometreler, rezervuar sıcaklığının saptanmasında kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225  C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermelerine karşın daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökeli mi oluşması nedeniyle sıcaklığı 225  C'nin üzerindeki rezervuar kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla doğru orantılı olarak çözünürlüğü artış gösterir. Bu özelliğe dayandırılarak hazırlanan jeotermometre bağıntıları (Tarcan, 2002). ve Kayaağıl termal suyunun silis jeotermometre sonuçları izelge 4.16'da verilmiştir.

Silis jeotermometresi hesaplamalarında bu çalışmada örnek alınan U1 rneği (Kayaağıl tesisi altında termal kuyu) ve Uşak Belediyesi tarafından açılan IUJ-1 (Alparıslan) ve IUJ-2 (Alperen) termal kuyularında 2010 yılında yaptırılan SiO<sub>2</sub> analiz sonuçları kullanılmıştır. Hesaplamalarda SiO<sub>2</sub> değerı U1 için 114.82 mg/l, IUJ-1 için 94.97 mg/l ve IUJ-2 rneği için 120 mg/l alınmıştır. Hesaplamalarda amorf silis ve kristobalit silis jeotermometreleri yzeye sıcaklığından daha

düşük veyayüzey sıcaklığına yakın değerler vermişlerdir. Diğer silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 102-147 °C arasındadır (Çizelge 4.16).

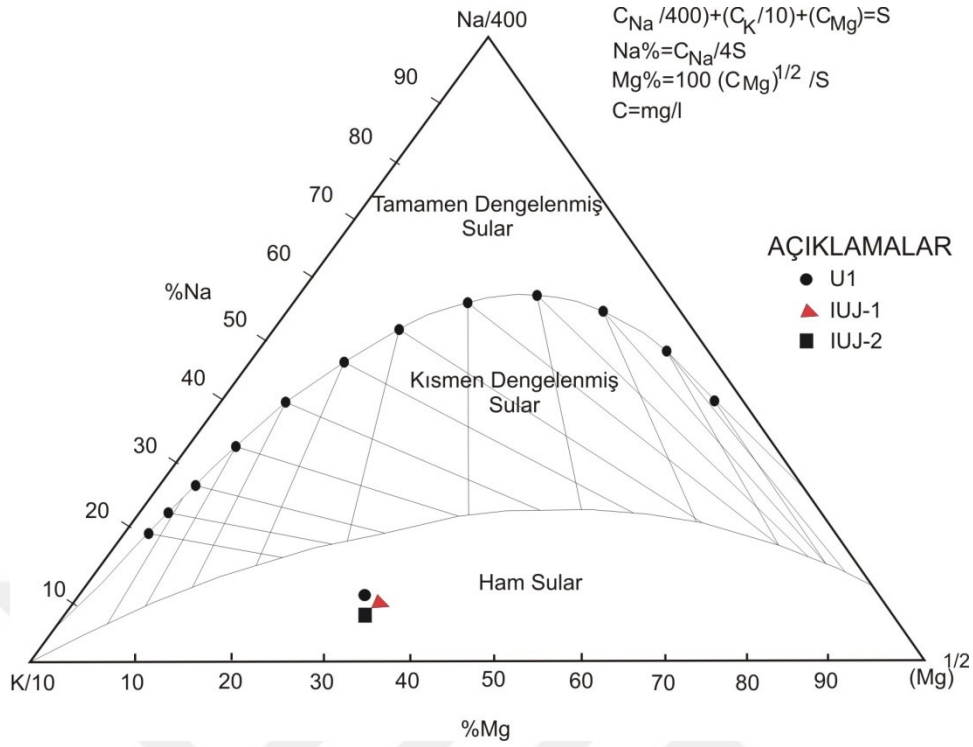
Çizelge 4.16. Silis jeotermometreleri

Jeotermometre	Bağıntılar	Hesaplanan Sıcaklıklar		
		U1	IUJ1	IUJ2
SiO <sub>2</sub> (Amorf silis)*	$t=731/(4.52-\log\text{SiO}_2)-273.15$	24	13.51	26.32
SiO <sub>2</sub> ( $\alpha$ -kristobalit)*	$t=1000/(4.78-\log\text{SiO}_2)-273.15$	94.49	82.72	97.08
SiO <sub>2</sub> ( $\beta$ -kristobalit)*	$t=781/(4.51-\log\text{SiO}_2)-273.15$	45.62	34.33	48.11
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)*	$t=1032/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	119.24	106.26	122.10
SiO <sub>2</sub> (Kuars)*	$t=1309/(5.19-\log\text{SiO}_2)-273.15$	145.06	133.37	147.61
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı)*	$t=1522/(5.75-\log\text{SiO}_2)-273.15$	111.19	129.49	141.45
SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)**	$t=1112/(4.91-\log\text{SiO}_2)-273.15$	117.02	105.08	119.64
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı)**	$t=1264/(5.31-\log\text{SiO}_2)-273.15$	115.77	105.29	118.06
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı)**	$t=1021/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	115.06	102.21	117.88
SiO <sub>2</sub> (Kuars buh. kaybı)**	$t=1164/(4.9-\log\text{SiO}_2)-273.15$	136.70	124.11	139.46
SiO <sub>2</sub> **	$t=1498/(5.7-\log\text{SiO}_2)-273.15$	138.38	128.45	140.54

\*Fournier,1977; \*\* Annorsson vd., 1983a; SiO<sub>2</sub> derişimleri mg/l olarak alınmıştır.

#### 4.5.7.2. Katyon jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine dayalıdır.Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için bulunan ve Giggenbach and Corrales (1992)tarafından geliştirilen Na-K-Mg diyagramı ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği kontrol edilmektedir.Diyagramda sular içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l değerlerine göre sınıflandırılmakta ve "Su kayaç ilişkisi bakımından dengedeki sular", "Kısmen dengelenmiş sular" ve "Ham sular" olmak üzere üç bölge bulunmaktadır. Giggenbach (1988), geliştirdiği Na-K-Mg üçgen diyagramında; su kayaç ilişkisinin dengede olmadığı ham (olgun olmayan) sular bölgesine düşen suların katyon jeotermometre sonuçlarına şüphyle bakılması gerektiğini söylemiştir. İnceleme alanında Kayağıl jeotermal alanında bulunan sıcak su örnekleri bu diyagramda "ham (olgun olmayan) sular" bölgesine düşmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Na-K-Mg üçgen diyagramı (Giggenbach and Corrales, 1992)

Farklı araştırmacılar tarafından önerilen katyon jeotermometre bağıntıları Çizelge 4.17'de gösterilmiştir. İnceleme alanı için fikir vermesi açısından uygulanan katyon jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklığı 217 - 270 °C aralığında oldukça yüksek değerlerdedir. İnceleme alanında suların Na-K-Mg üçgen diyagramında "ham sular" bölgesinde olması sebebiyle Na/K jeotermometre sonuçları güvenilir olmayacaktır.

Sodyum ve potasyum, jeokimya değerlendirmelerinde çok karşılaşılan katyonlardır. Sıcak sularda Na/K oranı 10'dan büyüktür. Na/K oranının 15'e yakın ve küçük olması, akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğu yukarı akış (up flow) bölgesini gösterir. Daha yüksek değerler ise yanal akışları ve yüzeye yakın kondüktif soğumayı belirtmektedir (Nicholson, 1993). Na/K oranına bakıldığında 15'den küçük değer vermesi Kayağıl jeotermal alanının yüzeye çıkış hızının yüksek olduğunu gösterir.

Çizelge 4.17. Katyon jeotermometreleri

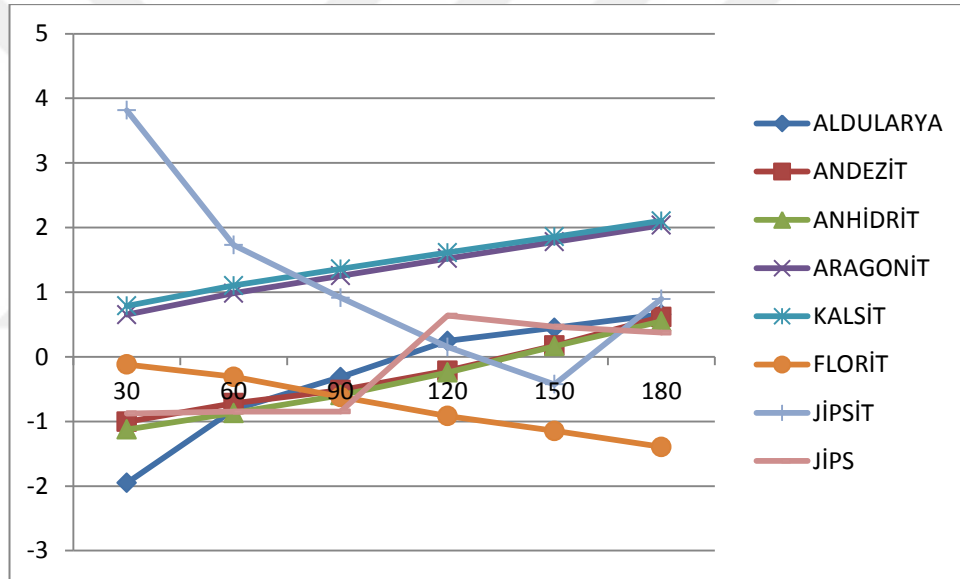
Jeotermometre	Bağıntılar	Hesaplanan Sıcaklıklar		
		U1	IUJ1	IUJ2
Na/K oranı		7.43	7.13	6.42
Na/K <sup>a</sup>	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	244.32	250.12	263.05
Na/K <sup>a</sup>	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	240.27	244.30	253.18
Na/K <sup>a</sup>	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	221.75	228.14	242.44
Na/K <sup>b</sup>	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	222.50	228.31	241.27
Na/K <sup>c</sup>	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	244.06	248.49	258.29
Na/K <sup>d</sup>	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	230.26	217.36	244.19
Na/K <sup>e</sup>	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	257.38	261.46	270.45
K/Mg <sup>e</sup>	$t = 4410 / (13.95 - \log K^2/\text{Mg}) - 273.15$	110.92	109.33	109.32

<sup>a</sup>Annorsson vd., 1983b; <sup>b</sup>Truesdell,1976; <sup>c</sup>Fournier, 1979; <sup>d</sup>Nieva ve Nieva, 1987; <sup>e</sup>Giggenbach vd.,1983

#### 4.5.7.3.Sıcaklık-mineral denge diyagramı jeotermometresi

Reed ve Spycher (1984) tarafından jeotermal alanlardaki hazne kaya sıcaklığının tahmin edilmesi için önermiş oldukları bu yöntem sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişimi esasına dayalıdır. Minerallerin denge sabitleri hem sıcaklıkla hem de basınçla ilişkilidir. Ancak alterasyon minerallerinin denge sabitlerinin değişiminde basıncın etkisi (0-200 bar arası) oldukça sınırlıdır (Annorsson vd., 1983b).Bu gerçekten yola çıkılarak her bir su için sıcaklığın bir fonksiyonu olan pek çok hidrotermal mineral ile denge durumları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi ile oluşturulan sıcaklık-mineral denge diyagramı geliştirilmiştir (Reed ve Spycher, 1984).Bu yöntem suyun kimyasal analizi sonucunda çeşitli mineraller ile bu minerallerin her bir sıcaklık değerinde ayrı ayrı doygunluk indekslerinin hesaplanması ve bu sıcaklık değerleri ile doygunluk indeksi değerlerinin bire bir doğrularını içeren mineral denge diyagramlarının çizilerek yorumlanması ilişkisine dayanır. Bu yorumlamada, minerallerin çözünürlük denge sabitleri sıcaklıkla yakın ilişkili olduğundan, bir grup mineral doğrusu denge doğrusunu (SI=0 doğrusunu) belirli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa, bu doğruların kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değeri en iyi akifer sıcaklığını vermektedir (Tarcan, 2002).

Solmineq.88 (Kharaka et al., 1988) bilgisayar programı kullanılarak, her bir mineral için çeşitli sıcaklıklarda (1 atm basınç koşulunda) doygunluk indeksleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerlerine karşılık gelen doygunluk indeksi değerleri, her bir mineral ve sıcaklık için en iyi doğrusal ilişki verecek şekilde doğruları çizilerek “Sıcaklık-Mineral Denge” diyagramları oluşturulmuştur. Kayağıl jeotermal sularından alınan U1 örneği için sıcaklık-mineral denge diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 4.15). Bu diyagramda mineral doygunlukları 0 doğrusuna yakın yerde kesiştiği için hazne kaya sıcaklığı 100-150 °C arasında olduğu görülmektedir. Diğer silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları ile benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Sıcaklık- mineral denge diyagramı

#### 4.5.8. Kavramsal hidrotermal model

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yüzey ve yeraltı sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlardan oluşan akışkandan elden edilen enerjidir. Jeotermal enerji kaynakları; düşük (20-70 °C), orta (70-150 °C) ve yüksek (150 °C'dan yüksek) entalpili olmak üzere genelde üç gruba ayrılmaktadır. Ülkemizin

önemli jeotermal enerji merkezlerinden olan Uşak ilinde yer alan Emirfakı, Örencik, Aksaz, Hasköy, Kayaağıl (Karaağaç), Hamamboğazı ve Kızılcaören jeotermal sahalarındaki akışkan sıcaklıkları 71 °C (Hamamboğazı) ile 23 °C (Kızılcaören) arasında değişmektedir (Gökgöz vd., 2011). Uşak ilindeki jeotermal alanlar düşük entalpili jeotermal sistemlere dahil edilebilir. Jeotermal bir alanda hidrotermal sistem; beslenme, ısı kaynağı, rezervuar (hazne) kayacı ve örtü kayacından oluşmaktadır. Jeotermal sistemi besleyen en önemli kaynaklar meteorik sular olarak tanımlanan kar ve yağmur sularıdır. Yerin derinliklerine süzülen meteorik kökenli sular, magmatik sokulumlarla temasa geçerek ısınmakta ve faylar aracılığıyla veya alçalan soğuk su ile yükselen sıcak su arasındaki yoğunluk farkından oluşan basınç kuvveti ile yükselmektedir (Grant vd., 1982; Akan, 2002).

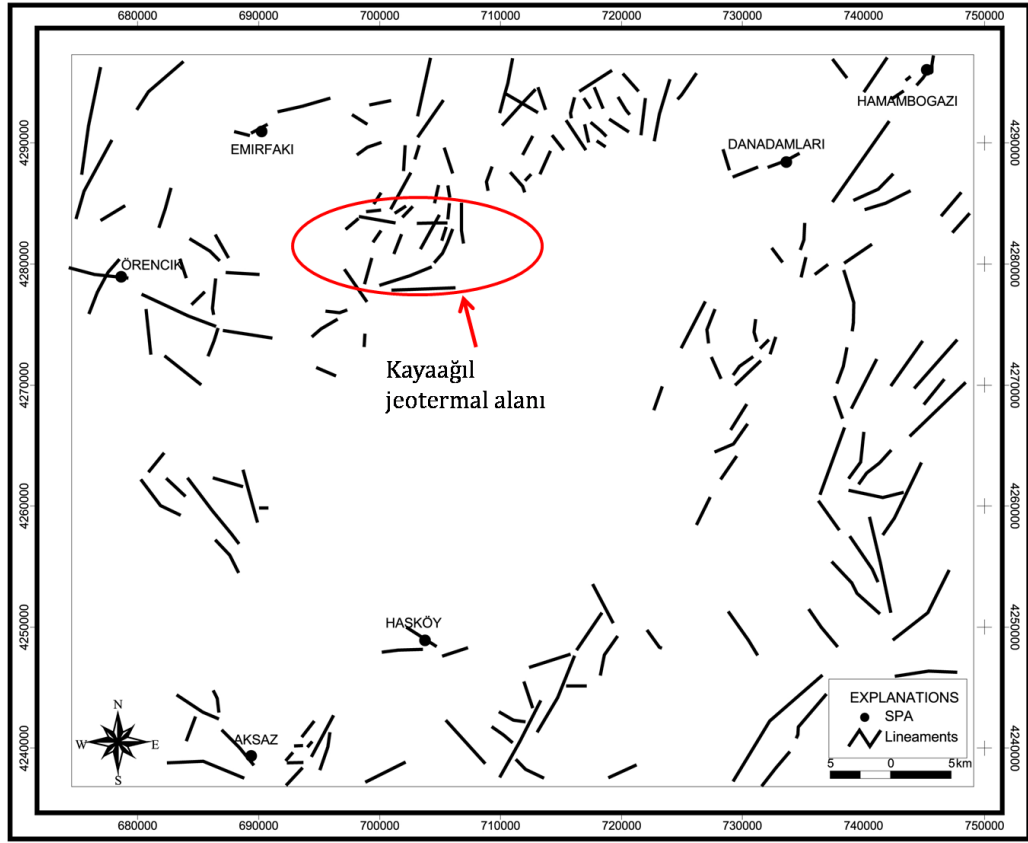
**Isı kaynağı:** Jeotermal sistemlerde ısı kaynakları, yüksek sıcaklıkta yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen magmatik sokulumlar, düşük sıcaklıklı sistemlerde derinlikle birlikte artan jeotermal gradyan ile kabuksal kayalarda bulunan yüksek miktardaki radyasyon, ekzotermik kimyasal reaksiyonlar, erimiş kayaların katılaşması veya kristalleşmesi sırasında açığa çıkan ısı ve faylar aracılığı ile yükselerek akifere giren sıcak magmatik gazlardır (Armstead, 1978). Bu faaliyetler jeotermal alanın bulunduğu bölgede ısı akısının yükselmesine neden olmaktadır. Jeotermal bir sistemde ısı, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon olmak üzere üç yolla taşınmaktadır (Domenico ve Schwartz, 1990; Akan, 2002).

Kayaağıl (Uşak) hidrotermal sisteminin ısı kaynağı muhtemelen volkanik etkinliktir. Uşak civarında volkanizma Kuvaterner'den Miyosen'e kadar devam etmiştir. Kuvaterner Kula volkanitleri Kayaağıl köyü kuzeyinde gözlenmektedir. En genç volkanizma olarak bilinen Kula bazaltları Kütahya ve Uşak civarını etkilemektedir (İça, 1979). Ayrıca, Batı Anadolu genişleme alanı bir dizi graben ve yaygın Neojen yaşlı volkanikler (Kuvaterner volkanizması yalnızca Kula çevresindeki bir alanla sınırlıdır), kabuksal incelleme (Mc Kenzie, 1978; Makris, 1985) ve dünya ortalamasının üstündeki yüksek ısı akışı değerleri ile

karakterizedir (Tezcan, 1979; Mutlu ve Guleç, 1998) Bu nedenle genç jeotermal faaliyetler Uşak jeotermal sisteminin kaynağı olabilir (Davraz, 2008).

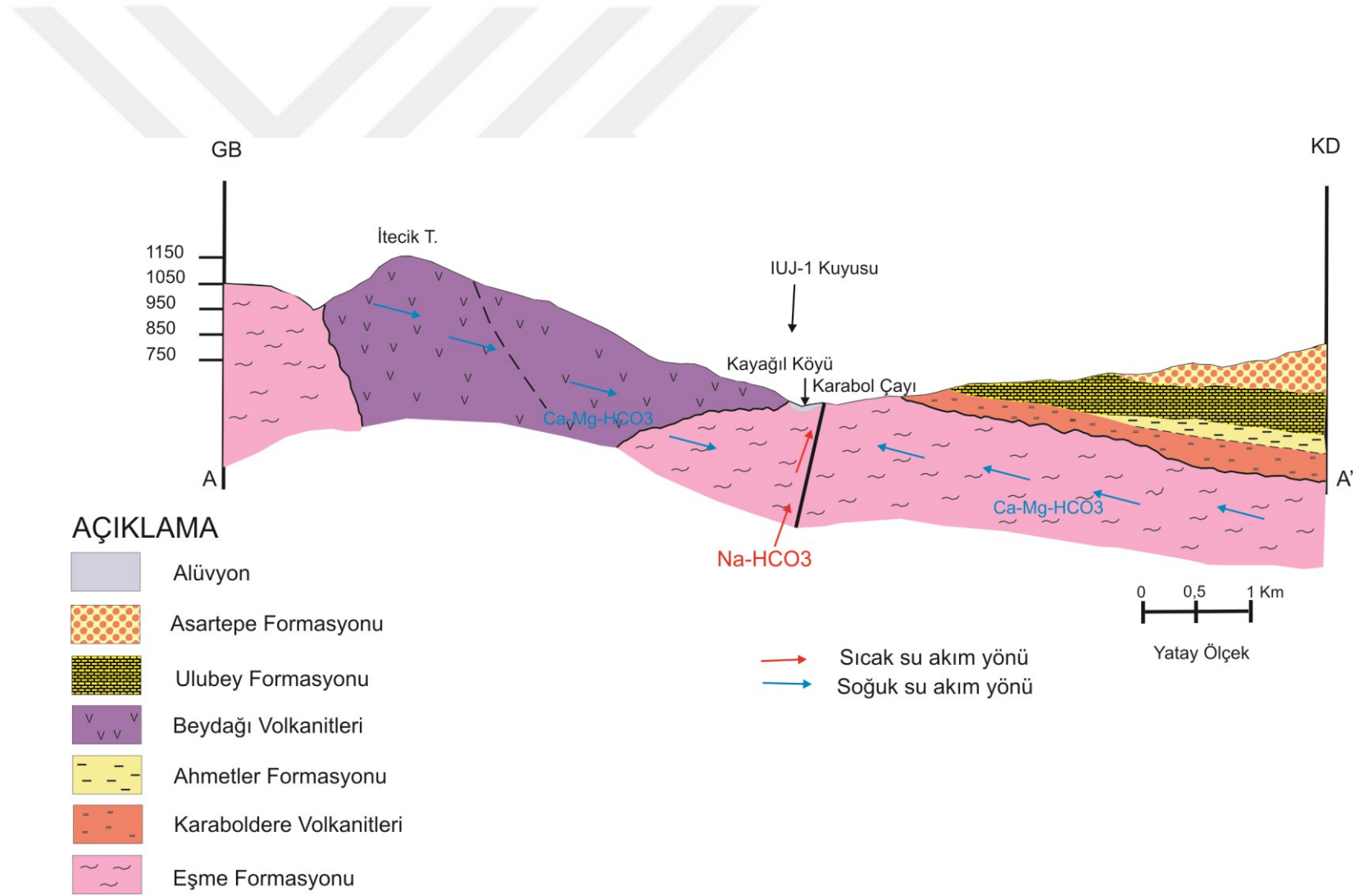
**Hazne kaya;**Jeotermal sistemleri oluşturan unsurlardan biri de derinlere süzülen yeraltısularının depolanabileceği gözenekli ve geçirimli kayalardan oluşan hazne (rezervuar) kayacın varlığıdır. Kayaların gözenekli ve geçirimli olması litolojik özelliklerinin yanısıra sonradan bazı faktörlerin etkilemesi sonucu ikincil olarak da ortaya çıkabilmektedir. Davraz (2008) tarafından Uşak ilindeki termal suların hidrojeolojik -hidrojeokimyasal incelemelerinin yapıldığı çalışmada Uşak il merkezi ve çevresinde ana çizgisellik (faylar, kıvrım eksenleri, çatlak sistemleri vb.) doğrultusunun D-B ve KD-GB yönünde olduğu belirlenmiştir. İl merkezi çevresinde bulunan Hamamboğazi, Emirfakı termal suları ile Danadamları mineralli su kaynakları KD-GB doğrultulu, Aksaz termal su çıkışları KB-GD doğrultulu, Hasköy kaynakları ise D-B doğrultulu fay sistemlerinden boşaldığı tespit edilmiştir (Davraz, 2008). Bu harita üzerinde Kayağıl köyü ve çevresinde D-B ve KD-GB yönlü çok sayıda tali fayın olduğu görülmektedir (Şekil 4.16). Bu faylar vasıtasıyla meteorik kökenli sular yeraltına süzülmemekte ve jeotermal gradyan ile ısınarak tekrar yeryüzüne ulaşmaktadır.

Beslenme alanında, inceleme alanının kuzeyinde yüksek kotları oluşturan mermerler ile güney - güneydoğusunda yüzeyleyen volkanik birimlere ait andezitik ve piroklastik birimler ile gölsel kireçtaşları bulunmaktadır. İnceleme alanında Eşme formasyonunu oluşturan ve tektonizmanın etkisiyle kırıklı çatlaklı yapı kazanan şistler ile şistler içerisindeki mermer bantlarının hazne kaya olduğu düşünülmektedir. Bu kayalardaki kırıklar ve faylar derinlerde ısıtılan suyun dolaşımını kolaylaştırmaktadır.



Şekil 4.16. İnceleme alanı ve çevresinin çizgisellik haritası (Davraz, 2008'den değiştirilerek alınmıştır)

**Örtü kaya:** Hidrotermal sistemlerde ısının korunabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük termal iletkenliğe ve geçirimsizliğe sahip bir örtü kayacın olması gerekmektedir (Türker, 2006). Jeotermal alanlarda izlenen fümerol ve sıcak su kaynakları hazne kayanın tümüyle korunmadığını, örtü kayanın ideal olmadığını gösterir. Uşak civarında Neojen birimler düşük geçirimsizliğe sahip olmaları nedeniyle iyi bir örtü kayacı özelliği taşımaktadırlar. Kayaagil jeotermal alanı için oluşturulan kavramsal model Şekil 4.17'de verilmiştir. İnceleme alanında yapılan hidrojeokimyasal sonuçlar incelendiğinde Kayaagil jeotermal alanının yer alan su  $\text{NaHCO}_3$  tipindedir. Su içerisinde Na miktarının yüksek olması şistlerin içerdiği sodyum plajoklasların çözünmesi ile ilişkilendirilebilir.  $\text{HCO}_3$  iyonu ise yağmur sularının  $\text{CO}_2$  etkisi ile karbonatlı kayaları çözmesiyle suda  $\text{CO}_3$  ve  $\text{HCO}_3$ 'ün zenginleşmesi sonucu meydana gelmektedir.



Şekil 4.17. Kayağıl jeotermal alanı kavramsal modeli

#### 4.5.9. Suların izotop özellikleri

Yeraltısuyu sistemlerinde kullanılan başlıca izotoplar  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  ve  $^3\text{H}$  izotoplarıdır. Bunlardan  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  gibi duraylı izotoplar hidrolojik koşullar ve akışkanı etkileyen süreçlerin değerlendirilmesinde belirgin bir rol oynamaktadır. Öte yandan,  $^3\text{H}$  gibi radyoaktif izotoplar, yaş tayini ve jeotermal rezervuarlara güncel soğuksu karışımının belirlenmesi gibi özel problemlerde yaygın olarak uygulanmaktadır (Akan, 2002)

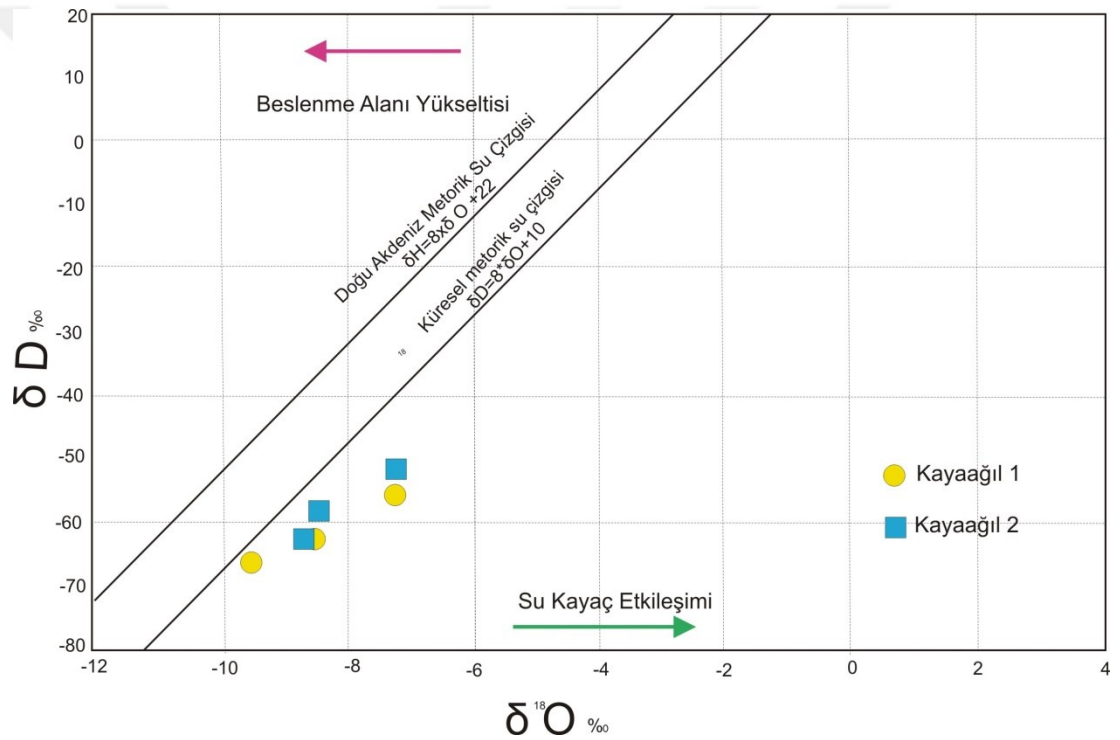
Günümüzde suların kökeni ve yüzeye çıkış mekanizması ile ilgili ayrıntılı bilgi edinmek amacıyla izotop tekniklerinin kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Bir elementin atom numarası aynı, kütle numarası farklı atomlarına **izotop** denir. İzotoplar, kararlı ve radyoaktif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararlı izotoplar kararlı bir çekirdek yapısına sahiptirler, kapalı bir sistemde kararlı izotopların atomik konsantrasyonlarında hiçbir değişiklik olmaz. Radyoaktif izotopların çekirdekleri ise kararsız bir yapıya sahiptir ve zamanla parçalanarak başka elementlerin izotoplarına dönüşürler.

Kayaağıl termal sularının izotop içeriklerinin değerlendirilmesi için Gökgöz vd., (2011) tarafından yapılan çalışmada analiz edilen izotop içerikleri kullanılmıştır (Çizelge 4.18). Bu analiz sonuçları kullanılarak su örneklerine ait  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  diyagramı çizilmiştir. Diyagramda köken değerlendirmesi için *Küresel Meteorik Su Çizgisi* ( $\delta^2\text{H} = 8x\delta^{18}\text{O}+10$ ; Craig, 1961) ve *Doğu Akdeniz Meteorik Su Çizgisi* ( $\delta^2\text{H} = 8x \delta^{18}\text{O}+22$ ; Gatt ve Carmi, 1970) doğruları kullanılmıştır (Şekil 4.18).Küresel Meteorik Su çizgisi buharlaşma etkisi altında olmayan atmosferik suları temsil etmektedir (Craig 1961; Gat ve Carmi, 1987). Örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  diyagramları üzerindeki konumları *Küresel (Dünya) Meteorik Su Çizgisi*'nin sağına düşmekte ve meteorik kökene işaret etmektedir (Şekil 4.17). $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  grafiğinde Kayaağıl termal sularında  $\delta^{18}\text{O}$  zenginleşmesi görülmektedir. Jeotermal sistemlerde  $^{18}\text{O}$  izotopunun değeri rezervuar kayacı ve derin döngülü meteorik sular arasındaki ilişkiye bağlı olarak değişmektedir.  $^{18}\text{O}$  izotopunun artış miktarı su sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Kayaçların bünyesinde yeterli

hidrojen bulunmaması nedeniyle yalnızca su bünyesinde yer alan oksijen ile kayaların bünyesinde bulunan oksijen izotopu yer değiştirmektedir (Truesdell ve Hultson, 1980). Kaya-su etkileşimi sonucunda kayaçta bulunan  $^{18}\text{O}$  izotopu su molekülüne geçmektedir.

Çizelge 4.18. Kayağıl termal sularının çevresel izotop analizleri (Gökgöz vd., 2011)

Örnek Adı	Oksijen-18 ( $\delta^{18}\text{O}$ )			Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ )		
	10/2008	05/2009	08/2010	10/2008	05/2009	08/2010
Kayağıl-1	-7.74	-8.8	-9.2	-56.0	-62.0	-65.0
Kayağıl-2	-7.46	-8.4	-8.7	-53.5	-58.0	-62.0



Şekil 4.18. İnceleme alanındaki suların  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  diyagramı

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan "*Kayaağıl (UŞAK) Termal Sularının Hidrojeoloji İncelemesi*" adlı tez kapsamında Uşak İli sınırları içerisinde yer alan Kayaağıl ve Karaağaç köyleri çevresinin jeolojisi, bölgede yer alan termal, mineralli ve soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir.

Uşak ili çevresinde Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı karasal çökeller ve volkanik ürünler geniş alanlarda yüzeylemektedir. İnceleme alanında temel, Menderes Masifi metamorfitlelerinin Paleozoyik yaşlı örtü şistleri olan Eşme formasyonu ile temsil edilmektedir. Neojen yaşlı birimler Hacıbekir ve İnay grubu olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Temel birimler üzerine uyumsuzlukla Miyosen yaşlı Hacıbekir grubuna ait Karaboldere volkanitleri, Yeniköy ve Kürtköyü formasyonları gelmektedir. Bölgede, Miyosen çeşitli lavlardan oluşan Karaboldere volkanitleri ile sona ermektedir. Hacıbekir grubu üzerinde Pliyosen yaşlı İnay gruba ait Ulubey formasyonu, Ahmetler formasyonu ve Beydağları volkanitleri yüzeylemektedir. Kuvaterner birimler ise Asartepe formasyonu ve alüvyondan oluşmaktadır.

İnceleme alanındaki litolojik birimler su taşıma ve geçirgenlik özelliklerine bağlı olarak geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz birimler olmak üzere üç farklı hidrojeolojik grupta tanımlanmıştır. Eşme formasyonu, Karaboldere volkanitlerinin andezit seviyeleri, Ulubey formasyonu ve alüvyon geçirimli litolojik birimler olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında sıcak su akiferi olan birimler Paleozoyik yaşlı Eşme formasyonunun kırıklı çatlaklı ve mermer bantlı şistleri içeren seviyeleri ile Miyosen yaşlı Karaboldere volkanitlerine ait andezitlerin kırıklı çatlaklı seviyeleridir. Bölgedebenzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Asartepe, Ahmetler ve Yeniköy formasyonları az geçirimli birimler olarak ayırtlanmıştır. Serpantin, radyolarit, şist, kuvars, dolomit ve mermer çakıllı alüvyon yelpazesi olan Kürtköyü formasyonu geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

Uşak DMİ'nda 1960-2016 yılları arasında ölçülen aylık yağış verilerine göre, inceleme alanında yıllık ortalama yağış miktarı 548.2 mm olarak belirlenmiştir. Uşak DMİ'nda ölçülen yıllık yağışın zamansal değişimi ve iklim trendinin belirlenmesi amacıyla ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği hazırlanmıştır. Grafikte 1960-1970 yılları arası yağışlı dönem, 1970-1976 yılları arası kurak dönem, 1976-1980 yılları arası yağışlı dönem, 1980-1995 yılları arası kurak dönem, 1995-2003 yılları arası yağışlı dönem, 2003-2007 yılları arası kurak dönem, 2007-2016 yılları arası yağışlı dönemi temsil etmektedir. Aynı dönemde Thornthwaite yöntemi ile hesaplanan potansiyel buharlaşma değeri 1231.47 mm ve gerçek buharlaşma değeri ise 380.63 mm'dir.

Kayaağıl termal tesisi ve çevresinde bulunan termal su kuyuları, sığ derinlikteki şahıs sondaj kuyuları ve soğuk su kaynaklarından Ekim-2016 döneminde su örnekleri alınmıştır. İnceleme alanında termal suların sıcaklık değeri 44.8-50 °C, soğuk suların 19.4-23 °C ve karışım sularının ise 27.5-36.5 °C arasındadır. Termal suların toplam iyon içeriği 8.22-57.56 mek/l, soğuk suların ise 6.29-7.94 mek/l değerleri arasındadır. Termal suların EC değeri 4180-5250 µS/cm, soğuk suların 650-770 µS/cm ve karışım sularının 840-1530 µS/cm arasında değişmektedir. Sular sertlik derecesine göre "*Sert - Çok Sert*"su sınıfında ve 6.46-7.06 arasındaki pH değerleri ile "*Asit karakterli*" suları temsil etmektedir.

İnceleme alanında termal sularda başlıca katyon sodyumdur. Termal sularda Na artışı suların sıcaklığı ve kaya-su etkileşim sürecine bağlıdır. Termal sularda HCO<sub>3</sub> en yüksek gözlenen anyon olup bunu SO<sub>4</sub> ve Cl anyonları takip etmektedir. Soğuk suları temsil eden örneklerde egemen katyonlar Ca ve Mg, egemen anyon ise HCO<sub>3</sub>'dür. Karışım sularında ise Ca baskın katyon olup örneklerin genelinde SO<sub>4</sub> baskın anyondur. Piper diyagramına göre sıcak sular Na-HCO<sub>3</sub>, soğuk sular Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, karışım suları ise Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> hidrojeokimyasal fasiyestedir. Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipi soğuk yeraltısuları jeotermal sistemlerde rezervuar kayaların çözünmesi ve iyon değişimi reaksiyonları ile Na, HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> tipinde sıcak

sulara dönüşmektedir. Gibbs diyagramına göre soğuk ve karışım suları '*Kayaç Baskın*' bölgede, sıcak sular ise '*Evaporasyon Baskın*' bölgede yer almaktadır.

Ayrıca, yeraltısularının Al, As, B, Fe, Cd, Cr, Mn, Ni ve Pb gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Sıcak ve karışım sularında As artışı suyun sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Soğuk sulardaki As artışının kaynak sularının etkileşim halinde bulunduğu volkanik kayalar ile ilişkili olarak kaya-su etkileşiminde kaynaklandığı düşünülmektedir. İnceleme alanında U2 nolu kaynak suyu hariç tüm su örneklerinin As içeriği içme suyu standartlarında verilen sınır değeri aşmaktadır. Alüminyumun ekstrem değerinin tespit edildiği U8 örneği termal tesislerin hemen yakınında bulunan bir çiftlikten alınmıştır. Bu çiftlikte meyve ve sebze üretimi yapılmaktadır. Al artışının antropojenik kökenli olarak tarımsal faaliyetlerden de kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sulardaki Fe artışı termal su karışımı ile doğru orantılıdır. Yüksek Mn içerikleri tez kapsamında karışım suları olarak nitelendirilen çiftlikler içerisinde açılmış kuyularda tespit edilmiştir. Karışım suyu örneklerindeki Mn artışının antropojenik (tarım ve hayvancılık) kökenli olduğu düşünülmektedir.

Sularının boşalım sıcaklıkları ve arazide ölçülen pH değerine göre belirlenen mineral doygunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Kayağıl termal suyu albit, analsim, aragonit, kalsit, barit, kalsedon, kristobalit, dolomit, florit, jipsit, kuvars ve sanidin minerallerine doygunudur. Sıcak su kaynağının kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doygun olması karstik akifer ve ofiyolitik birimlerle etkileşimlerine işaret etmektedir. İnceleme alanında soğuk su örnekleri olan U2 ve U9 örnekleri ise kalsit, dolomit ve jipsit minerallerine doygunudur. Bu durum soğuk suların kireçtaşı birimleri ile etkileşimlerini göstermektedir.

Hesaplamlarda amorf silis ve kristobalit silis jeotermometreleri yüzeydeki su sıcaklığından daha düşük veya yüzey sıcaklığına yakın değerler vermiştir. Diğer silis jeotermometrelerine göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 102-147 °C arasındadır. Katyon jeotermometreleri ile hesaplanan akifer sıcaklığı ise 217 - 270 °C aralığındadır. İnceleme alanında suların Na-K-Mg üçgen diyagramında

'ham sular' bölgesinde olması sebebiyle Na/K jeotermometre sonuçları güvenilir olmayacaktır.

Kayaağıl (Uşak) hidrotermal sisteminin ısı kaynağı muhtemelen volkanik etkinliktir. İnceleme alanında Eşme formasyonunu oluşturan ve tektonizmanın etkisiyle kırıklı çatlaklı yapı kazanan şistler ve şistler içerisindeki mermer bantları hazne kaya özelliğindedir. Bu kayalarındaki kırıklar ve faylar derinlerde ısıtılan suyun dolaşımını kolaylaştırmaktadır. Derinlere süzülen yüzey ve yeraltı suları, jeotermik gradyana bağlı olarak ısınmakta ve kırık, çatlak ve fay yüzeylerini kullanarak tekrar yüzeye ulaşmaktadır. Bölgede Neojen birimler düşük geçirimsizliğe sahip olmaları nedeniyle iyi bir örtü kayacı özelliği taşımaktadırlar.

Suların kökeni ile ilgili bilgi edinmek için yapılan izotop analizi sonuçlarına göre, tüm örneklerin  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  diyagramları üzerindeki konumları meteorik kökene işaret etmektedir. Kayaağıl termal sularında  $\delta^{18}\text{O}$  zenginleşmesi görülmektedir

## KAYNAKLAR

- Akan, B., 2002. Jeotermal Sistemlerde Isı Taşınımının Modellenmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 26 (2):3-16
- Akar, Ö., 2014. Uşak İli ve Çevresinin Doğal Radyoaktivitesinin ve Yıllık Etkin Doz Eşdeğerinin Belirlenmesi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 271 s (yayınlanmamış)
- Akgöz, R., 2011. Uşak-Merkez-Kayaağıl Köyü-Kurşuntaşı Mevkii, 2011/64-02 Numaralı Arama Ruhsatı İşletme Projesi, Uşak Belediyesi (yayınlanmamış)
- Akkaş, B., 2010. Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Jeotermal Sahasında Su ve Toprak Kirlilik Etkilerinin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 63 s.
- Armstead, C.H., 1978. Geothermal Energy, Its Past, Present and Future Contributions to the Energy Needs of Man, E&F.N. Spon Ltd, London.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., and Svavarsson, H., 1983a. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland-II. Mineral Equilibria and Independent Variables Controlling Water Compositions. Geochim. Cosmochim. Acta, 47, 547-566.
- Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983b. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. Geochim. Cosmochim. Acta, 46, 1513-1532.
- Atalay, İ. 2011. Uşak İlinin Doğal Ortam Özellikleri. Öntuğ, M., İnel Y. (Ed.) II. Uşak Sempozyumu 13-15 Ekim 2011 Cilt 1 (pp. 1-21) Uşak: Uşak İli Kalkınma Vakfı
- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain. U.S. Geol. Survey Professional paper, 498-A, 42p.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. Science, 133, 1833-1834.
- Davraz, A. ve Şener, E., 2006. Gebeler Kaplıcasının (Fethiye-Muğla) Hidrojeolojisi ve Hidrojeokimyası, Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş uygulamalar Sempozyumu, Bildiriler kitabı 347-356, Denizli
- Davraz, A., 2008. Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigations of Thermal Waters in the Uşak Area (Turkey). Environ Geol, 54:615-628.
- Deniz, M., 2016. Termal Turizm Açısından Kayaağıl Termal Tesisleri (Uşak). Tarih Okulu Dergisi (TOD), 9(25):311-349

- Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmeliği, 2004. Resmi Gazete, 25657, Aralık 2004.
- Doğdu, M.Ş., 2004. Jeotermal Suların Rezervuar Sıcaklığının Tahmininde Kullanılan Jeotermometre Hesaplamaları için Bilgisayar Programı, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 28(2):1-12.
- Domenico, P. A., Schwartz, F. W., 1990. Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley&Sons, Canada, 317-357.
- EPA, 2012. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, EPA 822-S-12-001. Office of Water US Environmental Protection Agency, Washington
- Ercan, T., Dinçel, A., Metin, S., Türkecan, A., Günay, E., 1978. Geology of the Neogene Basins in Uşak Region. Bulletin of the Geological Society of Turkey, 21: 97-106 (in Turkish)
- Erdemli, B., 2008. Ulubey Akifer Sisteminin (Uşak-Türkiye) Modellenmesi ve Yeraltıuları Yönetim Planı Geliştirilmesi. ODTÜ Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans tezi, 165 s.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltıuları Jeolojisi. İTÜ Maden Fakültesi yayınları, İstanbul.
- Fournier, R.O., 1977. A Review of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems. In: Proceedings of the Sym. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.
- Fournier, R.O., 1979. A Revised Equation for the Na-K Geothermometer. Geothermal Res. Council Trans., 3: 221-224.
- Freeze, A.R. and Cherry A.J.,1979. Groundwater by Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632 London UK.
- Gat J. R., Carmi I. 1987. Effect of Climate Changes on The Precipitation Patterns and Isotopic Composition of Water in a Climate Transition Zone: Case of the Eastern Mediterranean Sea Area, the Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologie Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168, 513- 523.
- Gat, J., Carmi, I. 1970. Evaluation of The Isotopic Composition of Atmospheric Waters in The Mediterranean Sea Area. Journal of Geophysical Research, 75, 3039-3048.
- Gibbs, R.J., 1973. Mechanisms to Trace Metal Transport in Rivers. Science, 180:71-173.

- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal Solute Equilibria: Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., Corrales, R.S., 1992. The Isotopic and Chemical Composition of Waters and Steam Discharges from Volcanic-Magmatic-Hydrothermal Systems of the Guanacoste Geothermal Province, Costa Rica. *Applied Geochemistry*, 7: 309-332.
- Giggenbach, W.F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L., Truesdell, A.H., 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, India. *Geothermics*, 5: 51-62.
- Goldschmidt, V.M., 1958. *Geochemistry*: Oxford Univ. Press. London, 730p.
- Gökgöz, A., Özkul, M., Kaya, A., Hançer, M., Baykara, O., Örü, Z., Akın, T., Minissale, A. Vaselli, O., 2011. Farklı Rezervuarlara Sahip Uşak İli Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrojeokimyasal Modellenmesi, 108Y016 nolu TÜBİTAK Projesi raporu
- Grant, MA., Donaldson, I.G., Bixley, P.F. 1982. *Geothermal Reservoir Engineering*. Academic Press,, New York, 369 p.
- Grove, D. B., Stollenwerk, K. G., 1985. Modeling the Rate-Controlled Sorption of Hexavalent Chromium. *Water Resources Research*, 21(11): 1703-1709
- Hem, J. D., 1970. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geol. Survey. Water Supply Paper 1473. pp. 363.
- Hem, J.D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, U.S. Geological Survey, Alexandria, VA22304, USA, 263p.
- İça, M., 1979. Geology and Hydrogeology Investigations of Uşak-Eşme-Örencik spa. *J Geol Eng Ankara*, 37-46.
- İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, 2005. Resmi Gazete Tarihi: 17.02.2005, Resmi Gazete Sayısı: 25730
- Kara, H., Şahin Dönmez, M. Ay, Ş., 2010. İklim Değişikliğinin Uşak'ta Tarım Ürünlerine Etkisi. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi* 3(1):39-46.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Affarwall, P.K., Perkins, E.H., De Braall, J.D., 1988. SOLMINEQ (a computer program code for geochemical modelling of water-rock interactions). In: US Geological Survey Water Investigations, Report 88-4227
- Mahon, W.A.J., Klyen, L.E. and Rhode, M., 1980. Natural Sodium-Bicarbonate-Sulphate Hot Waters in Geothermal Systems: Chinetsu. *Jpn. Geothermal Energy Association*, 17, 11-24.

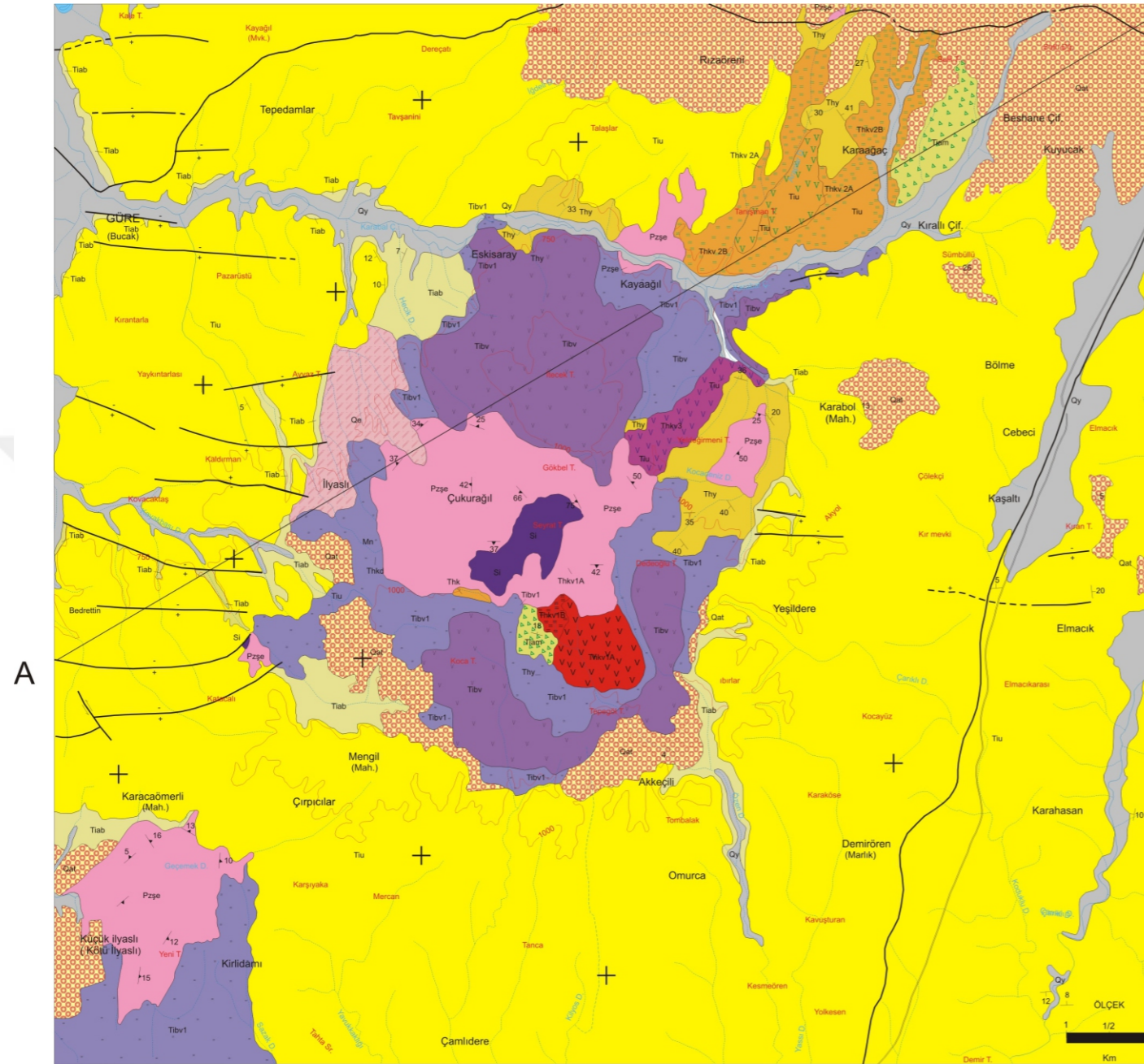
- Makris, J., 1985. Geophysical and Geodynamic Implications for the Evolution of the Hellenides. In: Stanley DI, Wezel FC (eds) Geological Evolution of the Mediterranean Basin. Springer, New York, pp 23–269.
- Mc Kenzie, D.P., 1978. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean and the Surrounding Regions. *Geophys J R Astron Soc* 55:217–254
- McNeely, R.N., Neimanis, V.P., Dwyer, L., 1979. Water Quality Sourcebook-A Guide to Water Quality Parameters. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada, 88 p.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Erişim Tarihi: 15.05.2017  
<https://www.mgm.gov.tr>
- MTA, 1980. 1:50.000 Ölçekli Jeoloji Haritası Serisi, Uşak-K22-c (Derleyenler: Tuncay Ercan ve Ali Dinçel)
- Mutlu, H., Guleç, N., 1998. Hydrogeochemical Outline of Thermal Waters and Geothermometry Applications in Anatolia (Turkey). *J Volcanol Geotherm Res* 85:495–515.
- Nart, M., 2015. Bursa Dümbüldek Termal Suyunun Hidrojeolojisi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi, 119 s.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids: Chemistry and Exploration Techniques, Springer- Verlag, 263 pages
- Nieva, D., Nieva, R., 1987. Developments in Geothermal Energy in Mexico, Part 12- Acationic Composition Geothermometer for Prospecting Geothermal Resources. *Heat Recovery Systems*, 7:243-258
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. *Transactions - American Geophysical Union*, 25, 914-928.
- Polat, S. ve Güney, Y., 2013. Uşak İli Arazisinde Karstik Şekiller. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 440-475.
- Rankama K., Sahama Th.G., 1964. Geochemistry. The University of Chicago Press, Chicago and London, 912 pp
- Reed, M., Spycher, N., 1984. Calculation of pH and Mineral Equilibria in Hydrothermal Waters With Application to Geothermometry and Studies of Boiling and Dilution, *Geochim., Cosmochim., Acta*, 48, 1479-1492.
- Schoeller, H., 1955. Gechemie des eaux Souterranes. *Rev. Inst. Franc. Petrole*, Paris, 10, 3-4.
- Şahinci ,A.,1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, Bölüm 2, 33, İzmir.

- Şen, Z., 2014. Practical and Applied Hydrogeology, 1st Edition, Chapter 5, pp. 279-339, Elsevier.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal Su Kimyası Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, Yaz Okulu Ders Kitabı. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Tezcan, A.K., 1979. Geothermal Studies, Their Present Status and Contribution to Heat Flow Contouring in Turkey. In: Cermac V, Rybach L (eds) Terrestrial Heat Flow in Europe. Springer, Berlin, pp 283–292.
- Tood, D. K., 1980. Ground Water Hydrogeology, John Wiley and Sons, 552 pages.
- Truesdell, A.H. and Hulston, J.R., 1980. Isotopic evidence of geothermal systems, Chapter 5, P. Fritz and J.-Ch Fontes (Eds.) Handbook of Environmental Geochemistry, The Terrestrial Environment, A., Elsevier Amsterdam, The Netherlands: 179-226
- Truesdell, A.H., 1976. Summary of Section III Geochemical Techniques in Explanation. In: Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources. San Francisco, V.1, Washington DC, US Government Printing Office
- TSE, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 Sayılı Standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.
- TSE, 2010. Doğal Mineralli Sular, TSE 9130, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türker, H.Ö., 2006. Sarıkaya (Yozgat) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe.Üni. Fen Bil. Enst., Ankara.
- USSL, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA, Handbook, vol. 60, p. 147
- WHO, 2004. World Health Organisation (WHO), Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Resolution WHA55.
- WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th edn. World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 9789241548151
- Wilcox, L. V., 1955. Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of Agriculture. Cire. 969, Washington D.C., USA, p. 19.

## EKLER



# EK-1. KAYAAĞIL (UŞAK) JEOLJİ HARİTASI VE KESİTİ



A

A'

KUVATERNER

Qy : Yeni alüvyon  
Qe : Eski alüvyon  
UYUMSUZLUK

Qa1  
Asartepe Formasyonu  
UYUMSUZLUK

Tiu  
Ulubey Formasyon

Tiab  
Ahmetler Formasyonu  
Tiam : Merdivenlikuyu Üyesi  
Tiab : Balçıkdere Üyesi

Thk  
Karaboldere Volkanitleri  
Thk 1A: Riyodasitik lav  
Thk 1B: Riyodasitik tüf

Thy  
Yeniköy Formasyonu

Thk  
Kürt Köyü Formasyonu

Pzşe  
Eşme Formasyonu

Dokanak  
Fay (Eğim atımlı (-) : Düşen taraf (+) : Yükselen taraf)

Olası fay  
Tabaka doğrultusu ve eğimi

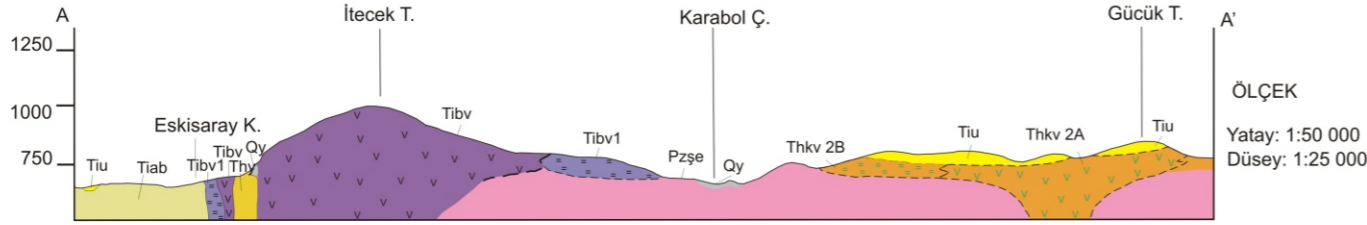
Yatay tabakalanma  
Yapraklanma doğrultusu ve eğimi

Karayolları  
Dereler



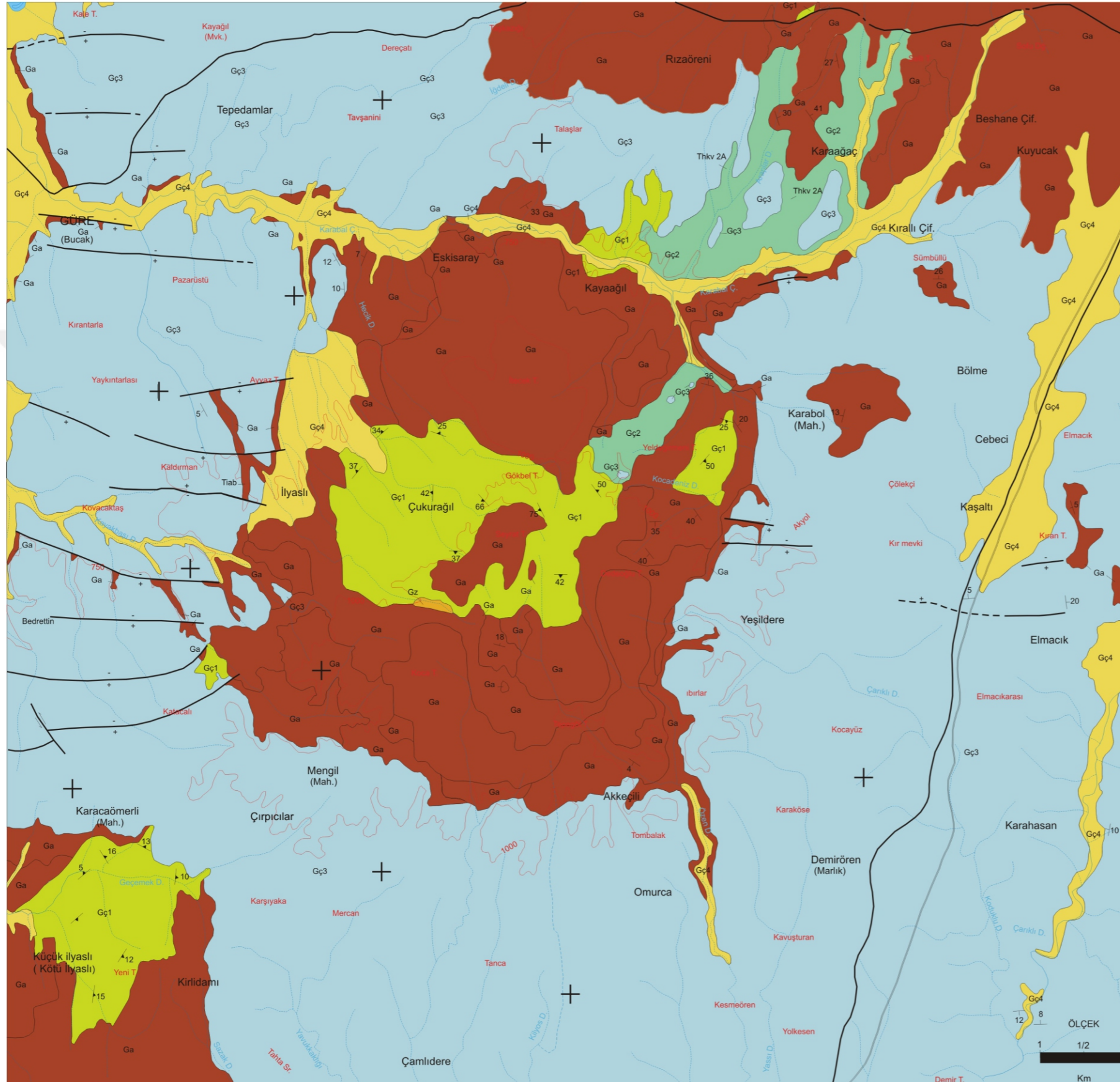
İNAY GRUBU  
PLİYOSEN

HACİBEKİR GRUBU  
MİYOSEN



**EK-A-1 Kayağıl (Uşak) Jeoloji Haritası ve Jeoloji Kesiti**  
Hayriye YURT - 2017  
Bu harita MTA 1980' den yararlanarak yapılmıştır.

## EK-2. KAYAAĞIL (UŞAK) HİDROJEOLOJİ HARİTASI



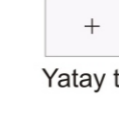
- Geçirimli Birim (Gç1)
- Geçirimli Birim (Gç2)
- Geçirimli Birim (Gç3)
- Geçirimli Birim (Gç4)
- Az Geçirimli Birim (Ga)
- Geçirimsiz Birim (Gz)



Dokanak



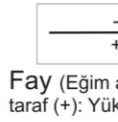
Olası fay



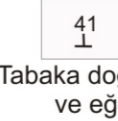
Yatay tabakalanma



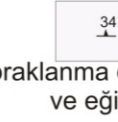
Karayolları



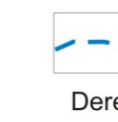
Fay (Eğim atımlı (-) : Düşen taraf (+): Yükselen taraf)



41  
Tabaka doğrultusu ve eğimi



34  
Yapraklanma doğrultusu ve eğimi



Dereler

**EK-A-2 Kayağıl (Uşak) Hidrojeoloji Haritası**

Hayriye YURT - 2017

## ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hayriye YURT  
Doğum Yeri ve Yılı : Sivaslı/UŞAK / 1991  
Medeni Hali : Bekar  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : hayriyeyurt@hotmail.com



## Eğitim Durumu

Lise : Sivaslı Lisesi (2006-2010)  
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği  
Bölümü, 2014.

## Mesleki Deneyim

BM LAB Deney ve Yapı Malzemeleri Test Laboratuvarı /  
UŞAK (2015)

Uşak Saraçoğlu Yapı Denetim (2015-2016).