

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA DÜMBÜLDEK TERMAL SUYUNUN
HİDROJEOLJİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve NART

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURSA DÜMBÜLDEK TERMAL SUYUNUN
HİDROJEOLJİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve NART
505101306**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. H. Tolga YALÇIN

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505101306 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Merve NART (ŞAŞMAZ)**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Bursa Dümbüldek Termal Suyunun Hidrojeolojisi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. H. Tolga YALÇIN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Malik GÖZÜBOL

İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : **28 Nisan 2015**
Savunma Tarihi : **3 Haziran 2015**

Eşime,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı yöneten ve yönlendiren Doç. Dr. Tolga YALÇIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Gerekli bilgilere ulaşmamı sağlayan Cafer SARIYILDIZ'a, verilerin temini konusunda yardımlarını esirgemeyen MTA'da görevli jeoloji mühendislerinden Emine ÖZKAN KOÇ'a ve değerli çalışma arkadaşlarına, yardımlarından dolayı mesai arkadaşım Fatih BÜYÜK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Arazi çalışmalarım sırasında beni yalnız bırakmayan, desteklerini her zaman hissettiğim canım aileme, tez yazımı sırasında beni destekleyen eşim Alican NART'a çok teşekkür ederim.

Haziran 2015

Merve NART
(Jeoloji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Çalışma Yöntemleri.....	1
1.3 Çalışma Alanının Tanıtılması.....	2
1.3.1 Coğrafi konum	2
1.3.2 Morfoloji ve akarsular.....	2
1.3.3 İklim ve bitki örtüsü	3
1.3.4 Nüfus ve yerleşim	4
1.3.5 Ekonomik durum.....	4
2. GENEL JEOLJİ	5
2.1 Önceki Çalışmalar	5
2.2 Bölgesel Jeoloji	7
2.3 İnceleme Alanının Jeolojisi.....	8
2.3.1 Karakaya karmaşığı.....	9
2.3.1.1 Orhanlar grovağı	10
2.3.2 Çataldağ graniti	11
2.3.3 Göbel formasyonu	12
2.3.3.1 Mudamköy volkanitleri	14
2.3.4 Pliyosen çökelleri	14
2.3.5 Alüvyon ve yamaç molozu	15
2.4 Yapısal Jeoloji	17
2.4.1 Tabakalanma	17
2.4.2 Uyumsuzluk	17
2.4.3 Faylar	18
2.4.4 Çatlak sistemi	18
2.5 Depremsellik	19
3. HİDROJEOLJİ	23
3.1 Hidroloji	23
3.1.1 Yağış	23
3.1.2 Sıcaklık ve buharlaşma - terleme	24
3.1.3 Meteorolojik bütçe	25
3.2 Su Noktaları.....	30
3.2.1 Akarsular	31

3.2.2 Sondaj kuyuları	31
3.2.3 Su kaynakları.....	32
3.3 Jeolojik Birimleri Hidrojeolojik Özellikleri	33
3.3.1 Pekışmemiş formasyonlar	33
3.3.1.1 Yaygın ve zengin taneli akiferler (Gç1).....	33
3.3.1.2 Yerel ve ilişkisiz taneli akiferler (Gç2).....	33
3.3.2 Pekışmiş formasyonlar	33
3.3.2.1 Yerel taneli akifer (Gç3)	33
3.3.2.2 Çatlaklı zayıf akifer (Gç4).....	33
3.3.2.3 Çatlaklı çok zayıf akifer (Gçz).....	34
4. HİDROJEOKİMYA	35
4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Genel Kimyasal Özellikleri	35
4.2 Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri	36
4.2.1 Sertlik	36
4.2.2 Hidrojen iyon konsantrasyonu pH.....	36
4.2.3 Özgöl elektriksel iletkenlik (EC)	37
4.2.4 Toplam çözünmüş madde (TDS)	38
4.3 İnceleme Alanındaki Suların Anyon-Katyon Özellikleri.....	39
4.3.1 Sodyum (Na)	39
4.3.2 Potasyum	39
4.3.3 Kalsiyum	40
4.3.4 Magnezyum.....	40
4.3.5 Karbonat ve bikarbonat	40
4.3.6 Sülfat	41
4.3.7 Klorür	41
4.3.8 Silis.....	42
4.4 İnceleme Alanındaki Suların İz Element İçerikleri	42
4.4.1 Bor.....	42
4.4.2 Alüminyum.....	43
4.4.3 Demir.....	43
4.4.4 Mangan.....	43
4.4.5 Flor	43
4.4.6 Lityum, rubidyum, sezyum (Li+, Rb+, Cs+):	43
4.4.7 Stronsiyum	44
4.4.8 Bromür	44
4.5 İnceleme Alanındaki Suların Fasiyes Tipi ve Sınıflaması	44
4.5.1 Uluslararası hidroloji birliğine göre suların sınıflaması.....	44
4.5.2 Piper' e göre suların sınıflaması.....	45
4.5.3 Schoeller (1955)' e göre suların sınıflaması	46
4.6 İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilme Özellikleri.....	48
4.6.1 Standartlara göre suların kullanıma uygunluğu	48
4.6.2 Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)	50
4.6.3 Sodyum yüzdesi (%Na).....	51
4.6.4 Schoeller içilebilirlik diyagramı.....	52
4.6.5 ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.....	52
4.6.6 Wilcox diyagramı.....	54
4.7 Mineral Doygunluk İndeksi.....	55
4.8 Jeotermometre	59
4.8.1 Niteliksel jeotermometreler.....	60

4.8.2 Silis jeotermometreleri	61
4.8.3 Katyon jeotermometreleri	62
5. DÜMBÜLDEK JEOTERMAL ALANI.....	65
5.1 Oluşum Modeli.....	65
5.1.1 Beslenme	66
5.1.2 Hazne kaya.....	67
5.2 Kullanım Olanakları	71
5.2.1 Kaplıca olarak kullanımı	71
5.2.2 Enerji potansiyeli	72
5.2.3 Kullanımında karşılaşılabilecek sorunlar	73
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR	81
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

°C	: Santigrat derece
Dİ	: Doygunluk İndeksi
meq/l	: Miliekivalen/ litre
mg/l	: Miligram/litre
MI	: Maturity İndex (Olgunluk İndeksi)
pH	: Asitlik değeri
ppb	: Milyarda bir
ppm	: Milyonda bir
TDS	: Toplam Çözünmüş Katı
TSE	: Türk Standardları Enstitüsü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Mustafakemalpaşa meteorolojik verileri (1970 – 2012)	26
Çizelge 3.2 : Mustafakemalpaşa için PENMAN yöntemi ile hazırlanan potansiyel buharlaşma hesap çizelgesi	27
Çizelge 3.3 : Mustafakemalpaşa için PENMAN yöntemi ile hazırlanan gerçek buharlaşma değerleri (1970-2012)	28
Çizelge 4.1 : İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları	35
Çizelge 4.2 : Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci,1991)	36
Çizelge 4.3 : İnceleme alanındaki suların sertlik sınıflaması	36
Çizelge 4.4 : pH'a göre suların sınıflaması (TSE-266)	37
Çizelge 4.5 : Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Wilcox,1955).....	37
Çizelge 4.6 : Suların TDS değerine göre sınıflaması (USSL,1954)	38
Çizelge 4.7 : Uluslararası Hidroloji Birliği sınıflaması	44
Çizelge 4.8 : Schoeller (1955)'e göre sınıflama	47
Çizelge 4.9 : İnceleme alanındaki suların anyon ve katyon bolluk sıralanışı.....	48
Çizelge 4.10 : Ulusal ve uluslararası standartlara göre elementlerin sınır değerleri .	49
Çizelge 4.11 : SAR oranına göre suların sınıflaması.....	51
Çizelge 4.12 : Wilcox, 1955' e göre %Na oranına bağlı sınıflama.	51
Çizelge 4.13 : ABD Tuzluluk Laboratuvarı EC ve SAR değerlerine göre sınıflama	52
Çizelge 4.14 : İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk indeksleri.....	56
Çizelge 4.15 : İnceleme alanındaki sıcak suyun sıcaklığa bağlı mineral doygunluk indeksi değişimi.....	59
Çizelge 4.16 : Silis jeotermometreleri	61
Çizelge 4.17 : Katyon jeotermometreleri.....	64
Çizelge 5.1 : Ryznar İndeksine göre jeotermal akışkanın kabuklaşma ve korozyon eğilimi.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil 2.1 : Türkiye'nin Tektonik Haritası (Okay ve Tüysüz, 1999).....	7
Şekil 2.2 : İnceleme Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Ergül ve diğ., 1986'dan sadeleştirilmiştir).	9
Şekil 2.3 : Orhanlar Grovağı İçerisindeki Kireçtaşları (Bakış yönü D)	11
Şekil 2.4 : Çataldağ Graniti (Bakış yönü GD).....	12
Şekil 2.5 : Göbel Formasyonu (Bakış yönü KB).....	13
Şekil 2.6 : Mudamköy Volkanitleri (Bakış yönü KD).....	15
Şekil 2.7 : Pliyosen Çökelleri (Bakış yönü D).....	16
Şekil 2.8 : Alüvyon	16
Şekil 2.9 : Göbel Formasyonundaki Kireçtaşlarında Görülen Tabakalanma	17
Şekil 2.10 : Bölgede görülen faylanma.....	18
Şekil 2.11 : Çataldağ Granitinde görülen çatlak takımları	19
Şekil 2.12 : Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait faylar ve bölgede gelişen havzalar (Selim, 2004).	20
Şekil 2.13 : Bölgenin Aletsel Dönem Deprem Etkinliği ($M \geq 5,0$) (www.koeri.boun.edu.tr)	21
Şekil 2.14 : Uğurlupınar-Mustafakemalpaşa ($M = 4,5$) depremi lokasyon haritası (www.koeri.boun.edu.tr)	21
Şekil 3.1 : Eklenik sapma ile bulunan yağış ve kurak dönemler	24
Şekil 3.2 : Yağış ve PE aylık değişimi	29
Şekil 3.3 : Rezerv suyun yağış, PE ve gerçek PE ile değişimi	29
Şekil 3.4 : İnceleme alanındaki su noktaları ve drenaj ağı haritası	30
Şekil 3.5 : Akarca deresinden görünüm.....	31
Şekil 3.6 : Dümbüldek sıcak su sondaj kuyusu	32
Şekil 3.7 : Mineralli su kuyusu	32
Şekil 4.1 : Piper Diyagramına göre suların sınıflandırılması (Back, 1961).	45
Şekil 4.2 : İnceleme alanındaki suların Piper'e göre sınıflaması.....	46
Şekil 4.3 : İnceleme alanındaki suların Schoeller grafiği.....	47
Şekil 4.4 : İnceleme alanındaki suların içilebilirlik diyagramı.....	53
Şekil 4.5 : İnceleme alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	54
Şekil 4.6 : İnceleme alanındaki suların Wilcox Diyagramı	55
Şekil 4.7 : İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların mineral doygunluk indeksi grafığı	57
Şekil 4.8 : İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk indeksi grafiği.....	57
Şekil 4.9 : İnceleme alanındaki sıcak suyun sıcaklığa bağlı mineral doygunluk indeksi değişim grafiği	59
Şekil 4.10 : Giggenbach (1988)'e göre suların sıcaklık grafiği.....	63
Şekil 5.1 : Jeotermal sistem unsurları (www.geothermal.marin.org)	66
Şekil 5.2 : Dümbüldek jeotermal alanının oluşum modeli	70
Şekil 5.3 : Dümbüldek Kaplıcası görünüm	71

BURSA DÜMBÜLDEK TERMAL SUYUNUN HİDROJEOLOJİSİ

ÖZET

“Bursa Dümbüldek Termal Suyunun Hidrojeoloji” adlı tez inceleme alanında yer alan sıcak, mineralli ve soğuk suların hidrojeolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapmak amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilimdalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışma alanı 1/25000 ölçekli topografik haritada Bursa İ20 b2 paftasında yer almaktadır. Saha çalışmalarında bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası revize edilmiştir.

İnceleme alanı ve çevresi Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Birimler yaşlıdan gence doğru Permien yaşlı kireçtaşı blokların yer aldığı Triyas yaşlı Orhanlar Grovağı, Oligosen yaşlı Çataldağ Graniti, Miyosen yaşlı Göbel formasyonu ve bu formasyon ile eş yaşlı olan Mudamköy volkanitleri, Pliyosen yaşlı göl sedimentleri ile tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarıdır.

İnceleme alanında yer alan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre pekişmemiş formasyonlar, yaygın ve zengin akiferler ile yerel ve ilişkisiz akiferler olmak üzere; pekişmiş formasyonlar ise yerel taneli, çatlaklı zayıf ve çatlaklı çok zayıf formasyonlar olarak sınıflandırılmıştır ve bölgenin hidrojeoloji haritası yapılmıştır.

İnceleme alanında yeraltısuyu kalitesini belirlemek amacı ile bu çalışma kapsamında temsili noktalardan alınan su örneklerinin analizlerinden ve diğer sondaj kuyularının açıldıkları tarihlerde yapılan kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları kullanılarak hidrojeokimya haritası oluşturulmuştur. Ayrıca yeraltısuları içilebilirlik ve kullanılabilirlik amaçlarına yönelik (Piper, Scholler ve Scholler içilebilirlik diyagramları; Wilcox ve ABD Tuzluluk laboratuvarına göre) sınıflandırılmıştır.

Uluslararası Hidrojeoloji Birliğine göre yapılan sınıflamada sıcak ve mineralli sular Na-Ca-HCO₃, soğuk sular ise genel olarak CaHCO₃ tipinde olduğu belirlenmiştir. Piper diyagramına göre sıcak su Na+K tipli bikarbonatlı su, mineralli su Na-Ca-Mg bikarbonatlı su ve soğuk sular ise Ca+Mg bikarbonatlı sular sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bölgede yer alan diğer soğuk sular ile inceleme alanında yer alan suların aynı kimyasal özellikleri göstermesi beslenme alanlarının aynı olduğunu göstermektedir.

Dümbüldek Termal alanı için yapılan jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal veriler değerlendirilerek Dümbüldek Termal alanının oluşum modeli, kullanım alanları, enerji potansiyeli ve kullanımında karşılaşılan sorunlar üzerinde durulmuştur.

HYDROGEOLOGY OF BURSA DÜMBÜLDEK THERMAL WATER

SUMMARY

This study has been prepared as Master of Science thesis to clarify geological and hydrogeological characteristics of Bursa Dümbüldek Thermal Water in Applied Geology Engineering Department of the Institute of Science and Technology of Istanbul Technical University.

The study area is located in the South Marmara in the NW Turkey. 1:25000 scaled Bursa İ20 b2 sheet was used. The study area is in the south region of Bursa.

In this study, a hydrogeological investigation has been performed for Bursa Dümbüldek Thermal Water and surrounding region. The obtained results were given on related tables and charts. In this study, it has been investigated as detailed geological, hydrological and hydrogeological features of Dümbüldek Water. During the field study, 1/25000 scaled geological map of the region has been revised.

In order to prepare the geological map, 1/25000 scaled topographic maps, geological compass, geologist hammer and GPS is used. The geology of the whole region was investigated by field studies. The formation of boundaries were determined, also the photographs of the existing units were taken during this stage and interpreted. Within the scope of this study, the previously-conducted General Geology data of a region including the Mustafakemalpaşa have been transferred to the digital medium by using CorelDrawX5 software. Systematic geological cross-sections of the region were prepared by using field measurements and observations for the Dümbüldek Thermal area.

The study area and its surroundings are composed of Mesozoic and Cenozoic units. The units from older to younger are Triassic Orhanlar Greywacke including Permian Limestone blocks, Oligocene Cataldağ Granite, Miocene Göbel formation and Mudamköy volcanics contemporaneous with this formation, Pliocene lake sediments and Quaternary alluvium and slope rubbles unconformably overlying over all these units.

According to various parameters and hydrological measurements from Meteorological Stations in the study area, groundwater budget was calculated for Mustafakemalpaşa. The study area has an annual precipitation of 581.70 mm.

Taking into consideration lithological and structural characteristics in the study area, the units are divided into different hydrogeological areas according to the characteristics such as pores, pore sizes, voids. Geological units in the study area, based on their physical and hydrological characteristics, are grouped as unconsolidated formations (common - rich aquifers, unrelated to local aquifers), and consolidated formations (local granular aquifers, aquifers are weak, very weak aquifers) to be evaluated. Hydrogeological map of the region were made in the light of this information.

The groundwater quality in the different aquifers was described by chemical analyses of the water obtained from thermal, mineral water and cold waters. Using these data an attempt was made to present a synopsis of the hydrochemical conditions in the

investigated area. Water samples from the thermal water, mineral water and cold waters were collected at October of 2012. In order to find out the hydrogeochemical features and groundwater quality and all water samples taken from representative locations in the thermal area were analysed.

In-situ analyses such as T, pH, and electrical conductivity have been performed during field studies. In order to represent aquifer characteristics, samples obtained from thermal water, mineral water, stream and springs within the research area from 5 locations, have been examined. Thermal and mineral water show acidic characteristics, cold waters show alkaline characteristics according to samples pH values, having regard to EC values, hot and mineral waters are ranked as “suspicious waters” while cold waters are ranked as “good waters”. According to TDS ingredients hot and mineral waters are ranked as “very salty waters”, while cold waters are ranked as “bitterish water”. Moreover, water samples have been analysed for their anions, cations and some trace element contents.

Hydrogeochemical map was constructed by using the results of chemical analysis. Furthermore, hydrochemical map gives an insight in the quality of water in the investigation area.

To determine the quality of the groundwater, results of chemical analysis were used by using groundwater samples and boreholes in the studied area. According to the chemical analysis results Wilcox, USA Salinity Laboratory, Piper and Schoeller Diagram has been used and classified.

Hydrochemical analysis results of water are evaluated using Piper diagram and water types are determined. Piper and Schoeller Semi-logarithmic diagrams are both used in order to specify the dominant lithology in the formation chemical composition, and to classify water samples with respect to their chemical composition.

Results indicate that they thermal and natural mineral water have $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ and $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ anions and cations which show that sedimentary and volcanic rocks are dominant in the formation of chemical composition. Cold waters generally have $r\text{Ca} > r(\text{Na}+\text{K}) > r\text{Mg}$ and $r(\text{HCO}_3) > r\text{Cl} > r\text{SO}_4$ anions and cations which show that carbonate rocks are dominant in the formation of chemical composition.

Classifications are specified according to International Association of Hydrogeology, hereunder types of hot and mineral waters are Na-Ca-HCO₃ type and types of cold waters are generally CaHCO₃ type. According to Piper Diagram hot waters are ranked as Na+K type bicarbonate water, mineral waters are ranked as Na-Ca-Mg type bicarbonate water and cold waters are ranked as Ca+Mg type bicarbonate water classes. According to Schoeller diagram which was made as a result of the chemical analysis of the samples which were taken from the waters in the investigation area, waters are same origin, same aquifer and same feeding ground. Other cold water sources located in same region shows similar chemical properties with the water sources in study area, indicates that recharge areas of this sources are the same.

When Sodium Absorption Rate (SAR) is an important parameter for agriculture activities, SAR values has calculated and categorized. Due to SAR values of all waters are smaller than ten (<10), all hot, cold and mineral waters located in study area are classified as “excellent” water quality. NA % rate decreases soil permeability. In view of this rate classification of waters are as; hot waters are “permissible”, mineral waters are “suspicious” and cold waters are “good”.

In the region, in order to determine the suitability of water for irrigation U.S. Salinity Laboratory and Wilcox diagrams are used. In respect to Wilcox classification, thermal

and mineral waters from the resources are grouped as doubtful, cold waters are grouped as good and very good. As to USA Salinity Laboratory thermal and mineral waters are grouped as C4S1, cold waters are grouped as C1S1 and C2S1.

According to the result of SiO₂ geothermometer, the reservoir temperature is 118,2 °C. When all data are evaluated for Dömbüldek Thermal area, the most important sources feeding the geothermal system are meteoric waters and surface and ground waters. Meteoric, surface and ground waters are soaked into deep by the help of cracks and fractures of granites located in study area, alluvium and Neogene formations. Waters that filtered to deep, heated by geothermal gradient and heated water re-reach to surface again using crack and fault surfaces.

According to geochemical analysis, Pliocene and Miocene lake sediments and volcanics are reached the conclusion that as reservoir rocks of Dömbüldek geothermal region.

Regarding the use of facilities, at this temperature geothermal resources in general-purpose thermal health tourism, greenhouse and have the potential to be used for housing heating. Dömbüldek thermal springs are used in present for the purpose of tourism and health.

Energy potential of Dömbüldek Thermal springs is 3.68 MW while value calculated on 35 °C base which is the end-use temperature.

1. GİRİŞ

Bursa ili, eski zamanlardan günümüze kadar çok iyi bilinen ve kullanılan jeotermal potansiyele sahiptir. Ancak bu potansiyeli çoğunlukla termal turizm amaçlı kullanılmakta ve mevcut potansiyelinden yeterince yararlanılmamaktadır. Bursadaki jeotermal potansiyelin varlığını araştırmak ve bu potansiyeli yeryüzüne çıkarmak artan enerji ihtiyacının yenilenebilir enerji ile karşılanması açısından önemlidir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. "Bursa Dömböldek Termal Suyunun Hidrojeoloji" isimli tez kapsamında inceleme alanında yer alan sıcak, mineralli ve soğuk suların hidrojeolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu veriler değerlendirilerek bölgedeki suların sınıflaması, içilebilir ve kullanılabilir özellikleri, mineral doygunlukları, hazne sıcaklıklarının tahmini, oluşum modeli ve kullanım alanlarına yönelik potansiyelin tespiti ve kullanımında karşılaşılabilecek sorunların belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturur.

1.2 Çalışma Yöntemleri

Bu çalışma; ofis, arazi ve laboratuvar çalışmaları olarak üç aşamada hazırlanmıştır. Ofis çalışmaları kapsamında çalışma alanı ve mevcut su kaynakları hakkında literatür çalışması yapılmıştır. Çalışma alanının 1/25.000'lik topoğrafik ve jeoloji haritaları elde edilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında 1/25.000 ölçekli Bursa İ20-b2 paftası kullanılarak; jeolog pusulası, gps, fotoğraf makinesi, lup, Hanna marka EC, pH ölçüm cihazlar, seyreltik HCl asit vb. gereçler ile dokanakların izlenmesi yöntemiyle çalışma alanının ayrıntılı jeoloji haritası hazırlanmış, arazide birimlerden numuneler alınmıştır. Ayrıca belirlenen su noktalarından sıcak ve soğuk su örnekleri alınmıştır.

Sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik ölçümleri arazide yerinde yapılmıştır. Laboratuvar çalışmaları olarak, bölgeden alınan sıcak, mineralli su ve soğuk su örneklerine ait ana-iz element (72 element) tayini ve flor analizleri ACME Analytical Laboratories Ltd. (Kanada) tarafından yapılmıştır. Anyon analizleri ise İTÜ Hidrojeoloji Laboratuvarında spektrofotometre ve titrasyon cihazları kullanılarak yapılmıştır.

Analizi yapılan su örnekleri, hidrojeokimyasal programlar (Aquachem- Calmbach, 1997; Aqqa; Phreeqci - Parkhurst ve Appela, 1999) ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. Bu programlar yardımıyla çalışma alanındaki sıcak, mineralli ve soğuk suların jeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Excel, Word, Corel Draw X5 paket programları da raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesi ile haritaların çiziminde kullanılmıştır.

1.3 Çalışma Alanının Tanıtılması

İnceleme alanının coğrafi konumu, morfolojisi, nüfus ve yerleşim özellikleri, iklim ve bitki örtüsü, ulaşım durumu ve ekonomisi bu başlık altında bahsedilecektir.

1.3.1 Coğrafi konum

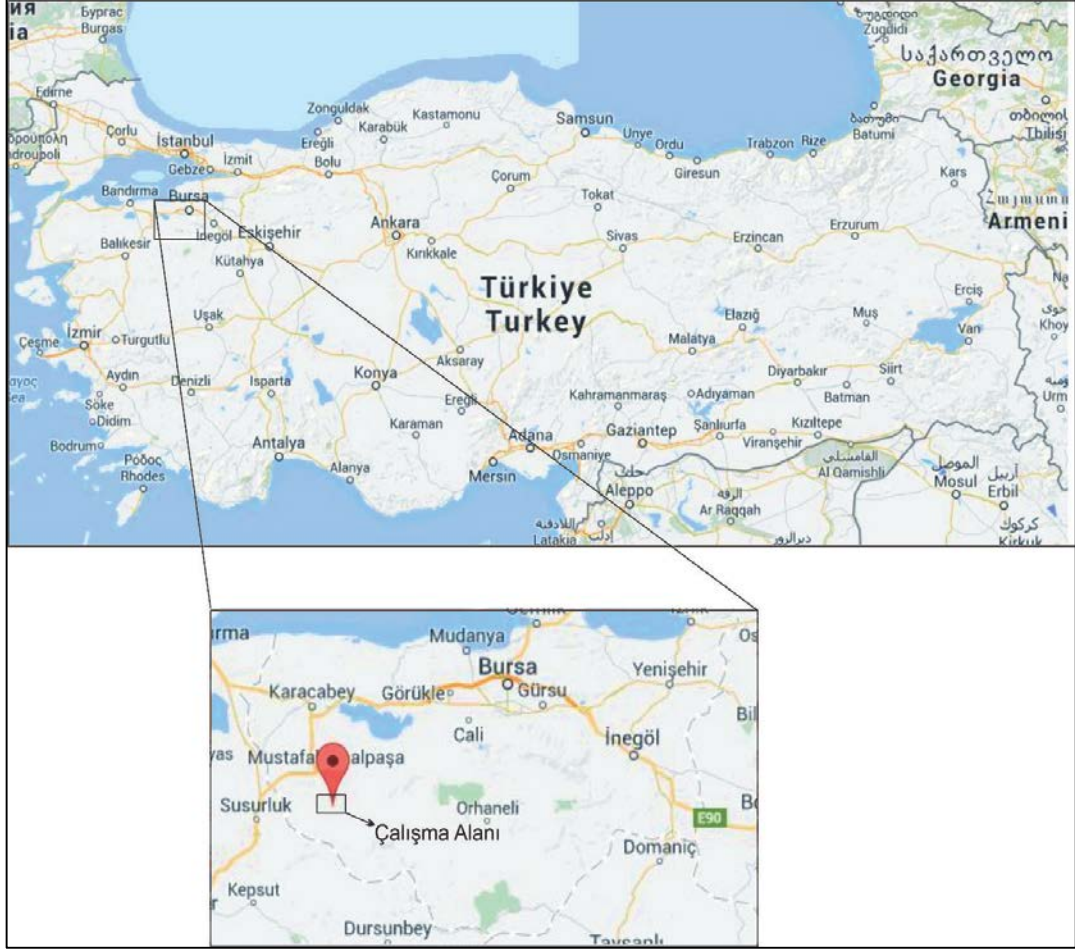
Bursa İli Marmara Bölgesinin Güney Marmara bölümünde yer alan, kuzeyinde Marmara Denizi ve Yalova, kuzeydoğuda Kocaeli ve Sakarya, doğuda Bilecik, güneyde Kütahya ve batıda Balıkesir illeri ile sınırlı ilimizdir.

Çalışma alanı ise Bursa İli Mustafakemalpaşa İlçesi'ne bağlı, ilçenin güneyinde yer alan Akarca köyündedir. Çalışma alanının genel konumunu gösteren yer bulduru haritası Şekil 1.1' de verilmiştir.

1.3.2 Morfoloji ve akarsular

Mustafakemalpaşa İlçesi'nin yüzölçümü 1621 km² dir. İlçenin denizden yüksekliği 25 ile 40 m'dir. Güney kısımları ise 400-500 metredir. İnceleme alanı çevresinde Mantarlık T. (109 m), Kumluyol T. (146 m), Huğla T. (431 m), Kısırakada T. (621 m) ve Kavaklıyayla Tepe (634 m)' leri bulunmaktadır. İnceleme alanı dışında ise bölgenin en yüksek noktası Çataldağı'dır (1336 m).

Çalışma alanı olan Akarca Köyü'nde Akarca Deresi geçmekte ve Kocaçay Deresi ile birleşmektedir. İkincil olarak Kocadere, Kocalan, Sarp, Değirmen ve Çiğduren dereleri bulunmaktadır.



Şekil 1.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.3.3 İklim ve bitki örtüsü

İnceleme alanın Akdeniz iklimi özellikleri yanı sıra Karadeniz iklimine de geçiş gösterir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlı geçmektedir. Uzun yıllar sıcaklık değerleri +43.8°C ile -19.2°C arasında seyrederek. Yağış miktarları ise 1349 mm ile 510,8 mm arasındadır. Ortalama yağışlı gün sayısı 112 gündür. Yıllık ortalama yağış miktarı 691 mm(kg/m²)'dir (MGM, 2015).

Yüzölçümü 1621 km² olan Mustafakemalpaşa İlçesi'nin 79.633 Ha ormanlıktır. Ormanların çoğu yapraklarını döken ağaçlardır. Orman sınırından sonra ağaç yükseklikleri yavaş yavaş alçalarak fundalıklara geçiş gösterir. Buraları mera olarak

kullanılır. Geri kalan arazi tarıma elverişlidir. Her türlü tarım yapılmaktadır. (Mustafakemalpaşa Kaymakamlığı, 2015)

1.3.4 Nüfus ve yerleşim

Türkiye İstatistik Kurumu 2014 verilerine göre ilçe nüfusu 50212 kişi kadın 49439 erkek toplam 99651 kişidir (Bursa Valiliği, 2015).

Mustafakemalpaşa ilçesine bağlı 6 belde ve 104 köy bulunmaktadır.

1.3.5 Ekonomik durum

Bursa'nın en gelişmiş tarım ilçesi olan Mustafakemalpaşa'da toplam yüzölçümünün %36' sı ekilebilir tarım alanıdır. Neredeyse her türlü tarım bitkisi yetiştirilebilen ilçede tarla, endüstri, yem bitkileri başta olmak üzere meyve-sebze ekimi de yapılmaktadır.

Ayrıca ilçede salça, konserve, meyve suyu fabrikaları, un, yem fabrikaları ile çok sayıda süt ve süt ürünleri işletmeleri de bulunmaktadır.

İlçe sınırları içerisinde bulunan ve bu çalışmanın da konusu olan Dömbüldek (Tümbüldek) Kaplıcası ve kayın ormanları arasında yer alan Suçtu Şelalesi bölgenin turist çeken unsurlarının başında gelir.

İlçede bulunan önemli maden kaynaklarından biri bor madenidir. Eti Bor Kestelek İşletmesi Mustafakemalpaşa İlçesi, Kestelek Köyü'nde yer almaktadır. Devecikonağı Köyü'nde yer alan linyit yatakları da işletilmektedir. Çoğu Mustafakemalpaşa ilçesinde yer alan mermer ocaklarında üretilen ve piyasada Bursa Beji (koyu bej), Emperador ve Kemalpaşa Beyazı olarak adlandırılan mermer blokları Çin başta olmak üzere yabancı ülkelere ihraç edilmektedir. (Bursa İl Durum Çevre Raporu, 2011; İl Çevre Düzeni Planı, 2011).

2. GENEL JEOLJİ

2.1 Önceki Çalışmalar

Ketin (1947): Uludağ'ın esas yapısını kristalin şistler ile granit plutonların oluşturduğunu, bunların üzerinde Permokarbonifer tabakaların ve Neojen kara çökellerinin bulunduğunu belirtmiştir. Neojen sırasında riyolitik lav ve tuf akıntılarının oluştuğunu açıklamıştır.

Erişen ve Öngür (1976): “Bursa Kenti Sıcak Su Kaynakları Hidrojeoloji Etüdü” adlı çalışmalarında Bursa şehrine ait sıcak su kaynaklarının yanı sıra bölgenin jeoloji ve tektonik özelliklerini incelemişlerdir. Kentteki sıcak suları Batı Çekirge grubu ve Doğu Kaynarca grubu olarak ikiye ayırmışlardır. Bu suların mineral içeriği fakir (akroterm) nitelikli ve Çekirge grubunun 40 – 50 °C, Kaynarca grubunun 60 – 85 °C sıcaklıklarını belirtmişlerdir. Bu sıcak suların aynı orijinli olduklarını, ancak temasta oldukları litolojilerin ve buldukları kot farklılığı nedeniyle farklı fiziksel ve kimyasal özellikler sunduklarını belirtmişlerdir. Sıcak suların koruma alanları, tesisleri, şifa özellikleri ve yararlanma olanaklarından bahsetmişlerdir.

Yalçınkaya ve diğ. (1980): “Mustafakemalpaşa (Bursa) ve Dolayının Jeolojisi” isimli çalışmada bölgede yer alan birimlerin stratigrafisi, litolojik özellikleri, yaşları ve oluşum ortamları hakkında ayrıntılı olarak incelemiş ve bu birimler hakkında geniş bilgiler vermiştir.

Pehlivan ve diğ. (1995): Marmara Bölgesi termomineralli kaynakların içilebilirliği ve insan sağlığına etkisi üzerine yaptıkları çalışmalarında Marmara Bölgesindeki kaynakların kimyasal analiz sonuçları karşılaştırılmış, içilebilirlikleri; Schoeller içilebilirlik ve Çevre Kanunu Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre kalite sınıfları diyagramlarına göre belirtilmiştir. Termomineralli kaynakların iyonlar için müsaade edilen sınır değerleri WHO ve TSE standartlarına göre karşılaştırmaları yapılarak halk sağlığına olumlu/olumsuz yönde olabilecek etkileri değerlendirilmiştir.

Imbach (1997): Bursa'da derin yeraltı suyu çevrimi üzerine yaptığı çalışmada, bölgede farklı fiziksel ve kimyasal özellikte iki farklı çevrim sistemi olduğunu,

bunların 82 °C (1207 mg/l TDS) ve 46 °C (504 mg/l) sıcaklıklı olarak gözleendiği bilgisini vermektedir. Su sıcaklıklarının derinlerde yaklaşık 100 °C ve 50 °C olduğunu belirten araştırmacı, kalsit çözümleri ve silikat hidrolizinin su-kaya ilişkilerinde baskın olduğunu vurgulamaktadır.

MTA (2005): Türkiye için hazırlanmış olan jeotermal envanterde Bursa ilindeki sıcak su kaynaklarının bir kısmı etüt edilmiş ve bu kaynakların kimyasal analiz sonuçlarına değinilmiştir.

Haklıdır (2007): Doktora tezi kapsamında yapılan çalışmada Bursa İli ve çevresindeki termal, maden ve yer altı sularının jeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Sıcak sularda yapılan duraylı izotop çalışmaları sonucu bileşimlerinin soğuk sularinkine benzerlik göstermekte olduğunu, bu benzerliğin sıcak suların Uludağ'ın yüksek kesimlerinden beslendiğini, Bursa Ovasının binlerce metre derinliklerine dek jeotermal gradyan etkisiyle ısınarak yükselerek, kırık sistemlerinin etkisiyle yüzeye çıktığı sonunca varmıştır. Su çevrimin hızlı gerçekteşmesi ve soğuk su karışımları nedeniyle sıcak sularda belirgin su-kaya etkileşimi gözlenmediği daha çok su-su karışım etkisi gözleendiğini belirtmiştir. Buna karşın maden sularında ise granit ve gnays konglomeralarının su ile etkileşimiyle belirgin bir su-kaya etkileşimi gözleendiği sonucuna varılmıştır.

Ertürk (2010): "Bursa İli Jeotermal Potansiyeli" adlı yüksek lisans tezinde, Bursa İli'nde yer alan jeotermal kaynaklara ilişkin bilgileri derlemiş ve kimyasal analizlerle jeotermal suların sınıflamalarını yapmıştır. Ayrıca, bölgedeki jeotermal suların enerji açısından potansiyelini değerlendirmiştir.

Ünal (2013): Yüksek lisans tezi kapsamında Mustafakemalpaşa (Bursa) ve Susurluk (Balıkesir) arasında mostra veren magmatik kayaların jeolojisi ve petrolojisi üzerine çalışmıştır. İnceleme alanındaki birimleri yaşlıdan gence; a) Temel kayaları b) Çataldağ graniti c) Çökel Topluluk ve d) Alüvyon olarak sıralamıştır. Çataldağ graniti üzerinde ayrıntılı çalışmaları yaparak özellikleri, yaşı ve tektoniği hakkında bilgiler vermiştir.

olarak adlandırdıkları birimin şiddetlice deforme olmuş, kısmen metamorfizma geçirmiş Permian ve Triyas yaşta klastik ve volkanik serilerden oluştuğunu belirtmiştir (Okay ve diğ., 2004). Yaptıkları inceleme sonucunda Karakaya Kompleksini iki bölüm olarak tanımlamışlardır. Buna çalışmaya göre, yapısal ve stratigrafik olarak altta yer aldığı belirtilen Alt Karakaya Kompleksi, Paleozoyik sonu veya Triyas'ta yeşilist ve mavişist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş mafik lav, mafik piroklastik kaya, şeyl ve kireçtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Üst Karakaya Kompleksi ise şiddetli deforme olmuş Permian veya Triyas yaşta klastik, volkanoklastik ve volkanik kayalardan oluşur. Üst Karakaya Kompleksi içinde çok sayıda Karbonifer ve Permian yaşta ortama yabancı kireçtaşı blokları yer aldığı belirtilmiştir. Bölgede yer alan granitoidler, Paleosen-erken Eosen süresince Sakarya Kıtası ile Anatolid-Torid platformunun çarpışması sonucu oluşan Alpin orojenezine bağlı olarak Oligosen-Miyosen döneminde yerleşmiştir (Delaloye ve Bingöl, 2000; Okay ve diğ. 2008). Çarpışma sonucunda bölge yükselmeye başlamış ve ardından aşınmalar meydana gelmiştir. Daha sonra ise Neojen volkanosedimenter birimler uyumsuz olarak çökelmiştir (Erişen ve Öngür, 1976). Kuzey Anadolu Fayı sebebiyle morfolojisi değişen bölgede yamaç molozu, akarsu yelpazesi, travertenler ve alüvyon birimleri oluşmuştur. Bu birimler tüm birimlerin üzerinde diskordan olarak bulunmaktadır.

2.3 İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme alanında Mesozoyik ve Senozoik yaşlı birimler görülmektedir. Bölgedeki en yaşlı birim Karakaya Karmaşığında ait olan içerisinde kireçtaşı blokları görülen Triyas yaşlı Orhanlar Grovağıdır. Yüzeyleyen bu birim Oligosen yaşlı Çataldağ Graniti (Olgr) tarafından kesilmektedir. Temel kayaların üzerine ise Neojen yaşlı tabanda konglomera ile başlayan kil, killi kireçtaşı, kireçtaşı marn aralanmalı ve yer yer eş yaşlı tuf, andezitik lav katkılı birim uyumsuz olarak yer almaktadır. Tüm bu birimler üzerine de Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu uyumsuzlukla gelmektedir. Bölgedeki birimler aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmış olup yapılan jeoloji haritası EK A'da sunulmuştur. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti Şekil 2.2' de verilmiştir.

2.3.1 Karakaya karmaşığı

Bingöl ve diğ.(1973) tarafından adlandırılan formasyon kırıntılı kayalar ve içerisinde bulunan kireçtaşı bloklarından oluşmuştur. Daha sonra yapılan araştırmalarda ise formasyon, Karakaya Karmaşığı olarak isimlendirilmiştir. Alt Karakaya ve Üst Karakaya olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Yapısal ve muhtemelen stratigrafik olarak altta yer alan Alt Karakaya Kompleksi, Paleozoyik sonu veya Triyas'ta yeşilist ve mavişist fasiyesinde metamorfizma geçirmiş mafik lav, mafik piroklastik kaya, şeyl, ve kireçtaşı araldanmasından oluşmuştur.

Üst Karakaya Kompleksi ise şiddetli deformasyon geçirmiş Permian veya Triyas yaşta klastik, volkanoklastik ve volkanik kayalardan oluşur (Okay ve diğ., 2004; Tekeli, 1981).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	Açıklamalar
SENOZOYİK	KUVATERNER		Alüvyon	Qal		Çakıl, kum, kil,silt
			Yamaç Molozu	Qym		Blok,kum,kil
	TERSİYER	PLİYOSEN	Pliyosen Çökelleri	Pl		Uyumsuzluk Çakıltaş, kumtaş, kiltaş killi kireçtaş ve piroklastikler
		MIYOSEN	Göbel Formasyonu Mudamköy Volkanit Üyesi	Mi		Uyumsuzluk Çakıltaş, kumtaş, kiltaş killi kireçtaş, kömür, bor Andezit, dasit, bazalt ve piroklastikler
MESOZOYİK	TRİYAS	ALT TRİYAS	Karakaya Karmaşığı Orhanlar Grovağı	Olgr Trk		Uyumsuzluk Çataldağ Graniti Granit, granodiyorit Konglomera, kumtaş, çamurtaş ve içinde Permian yaşta kireçtaş blokları

Şekil 2.2 : İnceleme Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti (Ergül ve diğ., 1986'dan sadeleştirilmiştir).

2.3.1.1 Orhanlar grovağı

Brinkman (1971) tarafından “Orhanlar Tabakaları” olarak adlandırılan birim, Okay ve diğ.(1990) tarafından “Orhanlar Grovağı” olarak tanımlanmış ve haritalanmıştır. İnceleme alanının güney doğusunda ve güney batısında görölmektedir. Şapçı köyü civarında görölen mostrada birim kırıntılı kayalar ve içerisinde bulunan kireçtaşı bloklarından oluşmuştur (Şekil 2.3). Litolojisine göre griden bej renge kadar değişik renklerde görölmektedir. Genel olarak çamurtaşı ve kumtaşından oluşan birim içerisinde grovak, çakıltaşı, kuvarsit, radyolarit ile sleyt bantları ve mercekleri görölür (Ergöl ve diğ., 1986). İçinde blok olarak bulunan gri-siyahımsı gri renkli rekristalize kireçtaşları bulunmaktadır. Bloklu oluşu formasyonun en belirgin özelliğidir.

Oligosen yaşı Çataldağ Graniti ile dokanağı faylıdır. Üzerine Miyosen ve Pliyosen yaşı formasyonlar uyumsuz olarak gelir.

Birim içerisinde herhangi bir fosil bulgusuna rastlanamamıştır. Ancak daha önceki çalışmalarda bloklar içerisinde Rauserella sp., Neoschwagerina sp., Neooschwagerina craticulifera, Parafusulina sp., Verbeckina sp., Geinitzina sp., Earlandia sp., Glomospira sp., Sphairionia sp., Climacammina sp., Cribrogenerina sp., Nankinella sp., Hemigordius sp., Yangchienia sp., Pseudoendothyra sp. fosilleri de içermektedir. Bu fosiller kireçtaşı bloklarının Alt Permiyen- Üst Permiyen yaşında olduğuna işaret etmektedir. Orhanlar Grovağı'nın yaşı önceki çalışmalara göre Alt Triyas'tır.

Malzemesini hem kıtadan, hem yaydan, hem de orojenik kuşaktan alan birim yaygın ve büyük boyutlarda kireçtaşı blokları içerdiiğinden ve makaslamalardan yoğun bir şekilde etkilenmesinden dolayı tektonik olarak aktif bir ortamda oluşmuştur. Günümüz hendek zonlarında da benzer stratigrafik, litolojik ve petrografik özellikte istiflere rastlanmasından dolayı birimin hendek çökellerinin yoğun olduğu eklenir prizmayı temsil ettiği tahmin edilmektedir (Akyüz, 1995; Ergöl ve diğ., 1986).



Şekil 2.3 : Orhanlar Grovağı İçerisindeki Kireçtaşları (Bakış yönü D)

2.3.2 Çataldağ graniti

Birim, Yalnkaya ve diğ. (1980) tarafından Çataldağ Graniti olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanının güneyinde yer almaktadır (Şekil 2.5). Yeşilimsi, beyazımsı, grimsi renklere, bol eklemli, kenar zonları yapraklanmalı ve gnaysik karakterde, yersel olarak siyenogranit, granit porfir, özelliğinde, apolit ve pegmatit damarları ile kesilmiş, dokanakta Kontakt Metamorfizma zonu oluşturmuş bileşimi ise granit granodiyorit arasında değişmektedir. Kayaç içerisinde kuvars, mikroklin, biyotit az apatit gözlenmektedir. Granitin, kenar zonlarında, temel birimlerle keskin dokanak göstermesi, yerleşme derinliğinde magmanın hızlı soğuduğuna ilişkin olarak yer yer porfirik dokuda oluşu ve yine kontakt zonunda Albit-Epidot-Hornfels fasiyesinde sınırlı, dar bir kontakt metamorfizma göstermesi, dokanaktan uzaklařtıķa bu etkinin dereceli olarak azalıp olağan evre kayaçlarına geçilmesi granitin, bir Epizon Graniti olduğunu gösterir. Hornblend-Hornfels fasiyesine geçilmemesi, kontakt metamorfizmanın, Albit- Epidot-Hornfels fasiyesi sınırları içerisinde kaldığını gösterir.

Yeşilimsi, grimsi, beyazımsı, renklerde, bol eklemli, kenar zonları gnaysik karakterde, Çataldağ Graniti, genç Miyosen çökelleri ile diskordan olarak örtülmüştür.

Çalışma alanında dokanakta olduğu Karakaya Grubunun serilerini kesmiş ve oluşturduğu kontakt metamorfizma ile Karakaya Grubunu oluşturan serilerin şistleşmesine ve mermerleşmesine neden olmuştur.

Çataldağ Granitinin yaşı radyometrik yaş tayinine göre Oligosen olarak bulunmuştur. (Yalçınkaya, 1980; Bingöl ve diğ., 1973).



Şekil 2.4 : Çataldağ Graniti (Bakış yönü GD)

2.3.3 Göbel formasyonu

Pehlivan ve diğ. (2011) tarafından adlandırılan birim, inceleme alanında geniş bir yayılım gösterir. Formasyon, temele ait birimlerin çakılları ile başlar, kumtaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı litolojilerin yanal ve düşeyde geçişlerinin olduğu bir istif ile devam eder. Çakılların yoğun olduğu ve kumlu ara seviyelerin bulunduğu örgülü akarsu çökeli ile başlayan birimde çakıllar kötü boylanmalı, yer yer tutturulmamıştır. Kanal dolgusu ve çapraz tabakalanmalı sedimanter yapılar oldukça fazladır. Kumtaşları içerisinde küçük ölçekte kıvrımlanmalar görülmektedir.

Birim daha üst ve yanlarda giderek ince-orta tabakalı bej-sarımsı beyaz renkli killi kireçtaşları ve bunlarla ardalanmalı gri, yeşilimsi, kirli beyaz renkli kıltaşı ve silttaşına geçer (Şekil 2.5). Menderesli akarsu ve gösel ortama geçişi işaret eden bu seviyelerde inceleme alanındaki mostralarda görülmesi de formasyon içerisinde kömür ve bor gelişimleri bulunmaktadır. Kireçtaşlarında yer yer limonitleşme görülmektedir.

Bu çökel kayalarla eş yaşlı olduğu düşünülen andezit, dasit ve yer yer bazaltik volkanik kayalarla ve tüflerle girik olarak görülür. Bu birim Mudamköy Volkanit üyesi başlığı altında ayrıca anlatılacaktır.

Göbel Formasyonu, temel kayalar üzerine açılal diskordansla gelir. Üzerine Geç Miyosen- Pliyosen ve/veya Kuvaterner birimleri uyumsuz olarak çökelmiştir.

Çalışma alanında fosil bulgusuna rastlanmamıştır. Önceki çalışmalarda Orta Miyosen yaşı bulunmuştur. (Ergül ve diğ., 1986). Ancak, birimin alt kesimini temsil etmemesinden dolayı Pehlivan ve diğ. (2011) tarafından Orta - Geç(?) Miyosen olarak belirtilmiştir.



Şekil 2.5 : Göbel Formasyonu (Bakış yönü KB)

2.3.3.1 Mudamköy volkanitleri

İlk kez Yalçinkaya ve diğerleri (1980) tarafından Mudamköy volkanitleri olarak adlanan birim, Pehlivan ve diğerleri (2011) tarafından Mudamköy volkanit üyesi olarak tanımlanmıştır.

Andezit, dasit, bazalt ve bunların tuf ve aglomeralarından oluşan birim beyaz, gri açık mor renkli görülmektedir.

İnceleme alanında yaygın olarak Göbel formasyonu içerisinde ve üst düzeylerinde tüfler görülmektedir (Şekil 2.6). Birim içerisindeki tüfler bozunma sonucu kaolinleşme göstermektedir. Bölgede görülmese de lavlar plajioklas, mika ve az kuvars içermektedir. Plajioklaslar esas itibariyle oligoklas-andezin kompozisyonundadır.

Mikalar ise biyotitten oluşmakta ve bozuşma göstermektedir. Hamuru volkanik cam ve plajioklas mikrolitlerinden ve çok az sanidin mikrokristallerinden oluşmuş, yer yer silisleşme göstermektedir. Volkanit üye Neojen yaşlı sedimanter birim olan Göbel formasyonu ile arakatlı olmasından dolayı yaşı Neojen olarak belirlenmiştir.

2.3.4 Pliyosen çökelleri

Birim çakıltaşı, kumtaşı, tuf ve kireçtaşından oluşmaktadır. Sarımsı, kirli beyaz, grimsi renklerde görülmektedir. Çalışma alanında Akarca Köyü'nün güneydoğusunda rastlanmaktadır.

Birim, değişik boyutta ve kötü boylanmalı, çimentoyla tutturulmuş çakıltaşı ile başlar. Yer yer eski çökeller üzerine çakıltaşı olmaksızın kumtaşı ile başlar. Kumtaşları ince, orta belirgin laminalanma ve tabakalanma sunmaktadır. Tüfler belirgin tabakalanmalıdır (Şekil 2.7).

Kireçtaşları ince ve orta tabakalanmalı, yer yer tabakalanmasızdır. Önceki incelemelerde birim kalınlığının 100 metreye kadar ulaştığı belirtilmiştir.

Altta yer alan Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimlerle uyumsuz olarak yer alır. İncelemede fosil bulgusuna rastlanmamıştır. Ancak önceki çalışmalarda birimin kireçtaşı seviyelerinden; *Campylaea* sp., *Gastropoda* indet., *Opercule* tespit edilmiştir. Buna göre yaşı Pliyosen olarak belirlenmiştir (Ergül ve diğ., 1980; Ergül ve diğ., 1986).

2.3.5 Alüvyon ve yamaç molozu

İnceleme alanında tutturulmamış çakıl, kum, kil den oluşan alüvyon, kötü boylanmalı ve dereceli, köşeli ve farklı litolojilere sahip çakıl ve kumlardan oluşmaktadır. Özellikle Kocaçay Deresi civarında görülen yamaç molozu ise blok, çakıl ve kum yığınlarının yanı sıra toprak ara katkılarında oluşmaktadır. Neojen yaşlı birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alırlar (Şekil 2.8).



Şekil 2.6 : Mudamköy Volkanitleri (Bakış yönü KD)



Şekil 2.7 : Pliyosen Çökelleri (Bakış yönü D)



Şekil 2.8 : Alüvyon

2.4 Yapısal Jeoloji

2.4.1 Tabakalanma

Bölgede yer alan Neojen yaşlı sedimanter kayaçlar tabakalanma göstermektedir. Göbel Formasyonunda ölçülen tabakalanmalar K60B 15GB, K45B 25GB, K80D 12GD, K80B 30GB, K65D 10GD, K85D 20GD şeklindedir (Şekil 2.9). Pliyosen yaşlı birimler de belirgin tabakalanma göstermekte olup birime ait tabaka doğrultu ve eğimler, K60D 18GD, K85D 25GD, K40B 6KD olarak ölçülmüştür.

2.4.2 Uyumsuzluk

İnceleme alanında yer alan Neojen yaşlı sedimanter kayaçlar temelde yer alan Karakaya Karmaşığı ve sokulum kayacı olan Çataldağ Graniti üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Miyosen yaşlı Göbel formasyonu ile Mudamköy formasyonu da birbirleri ile uyumsuz olarak yer alır. Pliyosen çökelleri de Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu birimleri ise tüm bu birimler üzerinde uyumsuz olarak çökelmiştir.



Şekil 2.9 : Göbel Formasyonundaki Kireçtaşlarında Görünen Tabakalanma

2.4.3 Faylar

İnceleme alanındaki birimler bölgedeki tektonik faaliyetlerden etkilenmiştir. Birimler içerisinde küçük faylanmalar görülmektedir. Bunun yanında bölgede normal faylar görülmektedir (Şekil 2.10). Sıcak ve mineral su çıkışlarının gözlemlendiği alanların faya bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir.

2.4.4 Çatlak sistemi

İnceleme alanında görülen Çataldağ granitinde çatlak takımları görülmektedir. Alınan ölçümlerde doğrultu ve eğimler K75B 75KD, K5D 85KB ve K70B 53KD olarak ölçülmüştür (Şekil 2.11). Göbel Formasyonunda görülen çatlak takımları da genel olarak KB yönlü olup K12B 78GB, KG 80D, K40B 58KD ve K80B 45KD ölçümler alınmıştır.



Şekil 2.10 : Bölgede görülen faylanma



Şekil 2.11 : Çataldağ Granitinde görülen çatlak takımları

2.5 Depremsellik

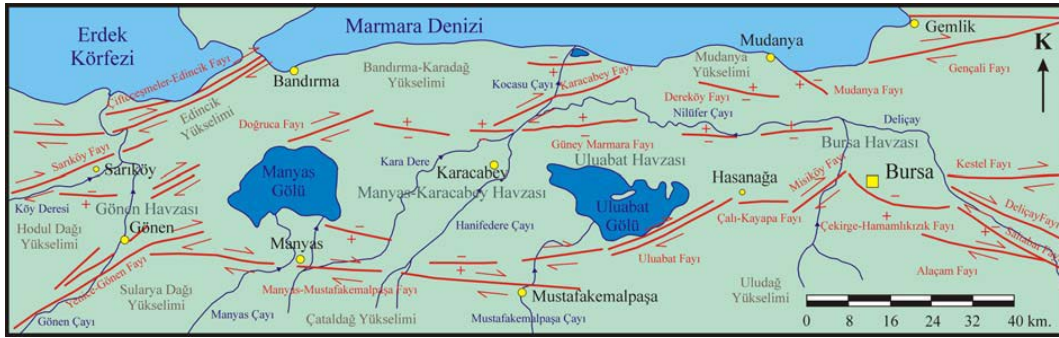
Bursa İli 1. ve 2. dereceden deprem kuşağında Güney Marmara Bölgesi'nde yer almakta ve bu sebeple sismik aktivite yoğun olarak gözlenmektedir. Güney Marmara Bölgesi'nde sismik aktiviteye Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait faylar neden olduğu bilinmektedir. Güney kol üzerinde meydana gelen tarihsel ve aletsel dönemlerdeki depremler Yenice-Gönen, Manyas-Mustafakemalpaşa, Uluabat ve Bursa fayları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Tarihsel dönemdeki depremler MS 33-1900 yılları arasında 33, 170, 543, 1851a, 1851b, 1855a ve 1855b tarihlerde bölgede bilinen ve tarihsel kayıtlara geçmiş, en önemli hasar yapıcı ve yıkıcı depremlerdir. Bunlardan 1851 ve 1855 yıllardaki depremlerin Mustafakemalpaşa-Bursa arasında meydana geldiği belirtilmektedir.

Aletsel dönemdeki depremler ise 1900 ve sonrası yıllarda 1953 Yenice-Gönen depremi (M=7,2), 1964 Manyas depremi (M=6,9), 1969 Gönen depremi (M=5,6) ve 2003 Manyas Gölü depremleridir (M=5,1). Bunlardan 1953, 1969 ve 2003 depremleri Yenice-Gönen fayının kuzey kolu üzerinde oluşmuştur. Yenice-Gönen fayının kuzey kolu sıçramalı ve bindirme bileşenli sağ yanal atımlıdır. Gönen havzasında meydana

gelen bu depremler, havzada sıkışma ile oluşan basınç sırtı yapılarını oluşturmuştur. 1964 depremi ise, Yenice- Gönen fayının güney kolu üzerinde meydana gelmiş ve Manyas Gölü'nün güneyindeki yerleşim alanlarını hasara uğratmıştır. Yenice-Göner fayının güney kolu ise normal bileşenli sağ yanal atımlıdır. Manyas-Karacabey havzasında meydana gelen 1964 Manyas depremi, havzanın pull-apart olarak açılması nedeniyle oluşmuştur. Aletsel döneme ait depremler için yapılan fay düzlemi çözümleri, özellikleri ile benzerlik sunmaktadır. KAF'ın güney koluna ait diğer faylardan Manyas-Mustafakemalpaşa fayı ve Uluabat fayı normal bileşenli sağ yanal atımlı, Bursa fayı ise normal faydır (Selim, 2004) (Şekil 2.12).

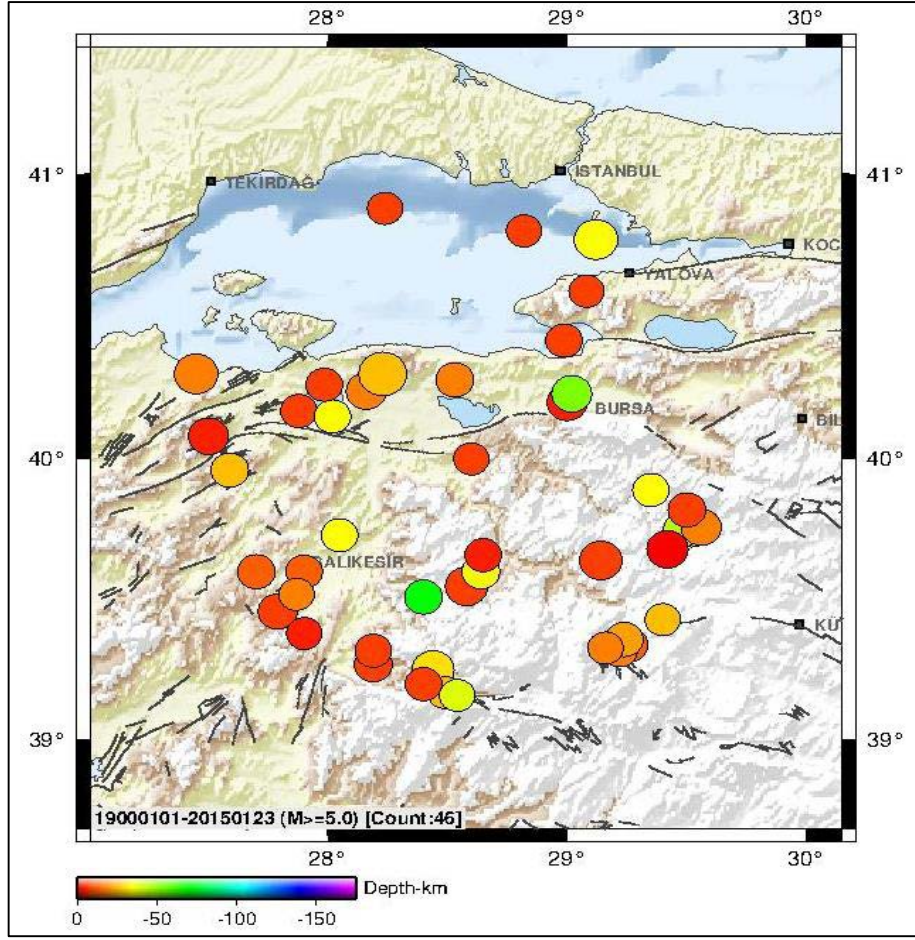
Bölgedeki depremler hem doğrultu atımlı hem normal bileşenli doğrultu atımlı hem de eğim atımlı faylar üzerinde meydana gelmektedir. Bu durum Güney Marmara Bölgesi'ndeki Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolunu oluşturan fayların her an hareket edebilecek kadar aktiviteye sahip olduğunu göstermektedir.



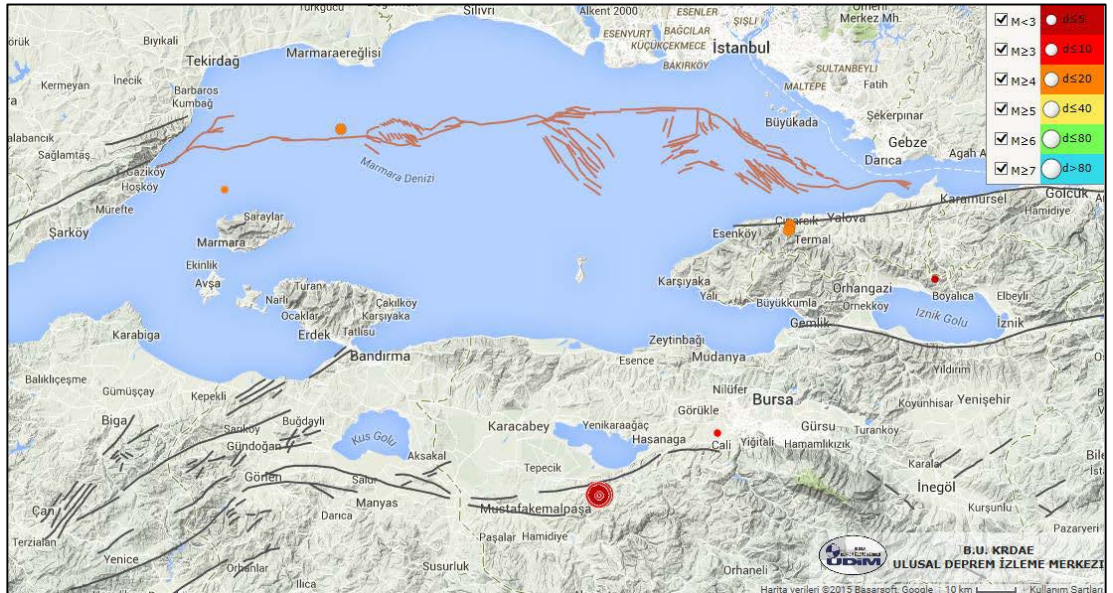
Şekil 2.12 : Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait faylar ve bölgede gelişen havzalar (Selim, 2004).

Son yıllarda yapılan gözlemlerde, Marmara bölgesinde bulunan değişik tektonik kaynakların yılda $M \geq 5,0$ büyüklüğünde yaklaşık 5 deprem ürettiği bilinmektedir (Şekil 2.13).

Bölgede en son 23 Ocak 2015 tarihinde Uğurlupınar - Mustafakemalpaşa'da büyüklüğü $M_I = 4,5$ olan orta şiddette bir deprem meydana gelmiştir. Depremin odak derinliği 5 km civarında olup sığ odaklı bir depremdir (Şekil 2.14).



Şekil 2.13 : Bölgenin Aletsel Dönem Deprem Etkinliği ($M \geq 5,0$)
(www.koeri.boun.edu.tr)



Şekil 2.14 : Uğurlupınar-Mustafakemalpaşa ($M = 4,5$) depremi lokasyon haritası (www.koeri.boun.edu.tr)

Kandilli Rasathanesi tarafından yapılan hızlı fay bilgisi çözümleri, depremin genel doğrultusu Doğu-Batı gidişli tali bir normal fayın kırılması sonucu meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Bu ise bölgede Batı Anadolu'daki açılma rejiminin etkili olduğunu göstermektedir.

Bölgede zaman zaman bu tür hafif şiddette ve hissedilebilir türde depremler meydana gelmektedir. Gemlik ve çevresi I. Derece Deprem Bölgesi içerisinde yer almaktadır. (Boğaziçi Üniversitesi, 2015).

3. HİDROJEOLOJİ

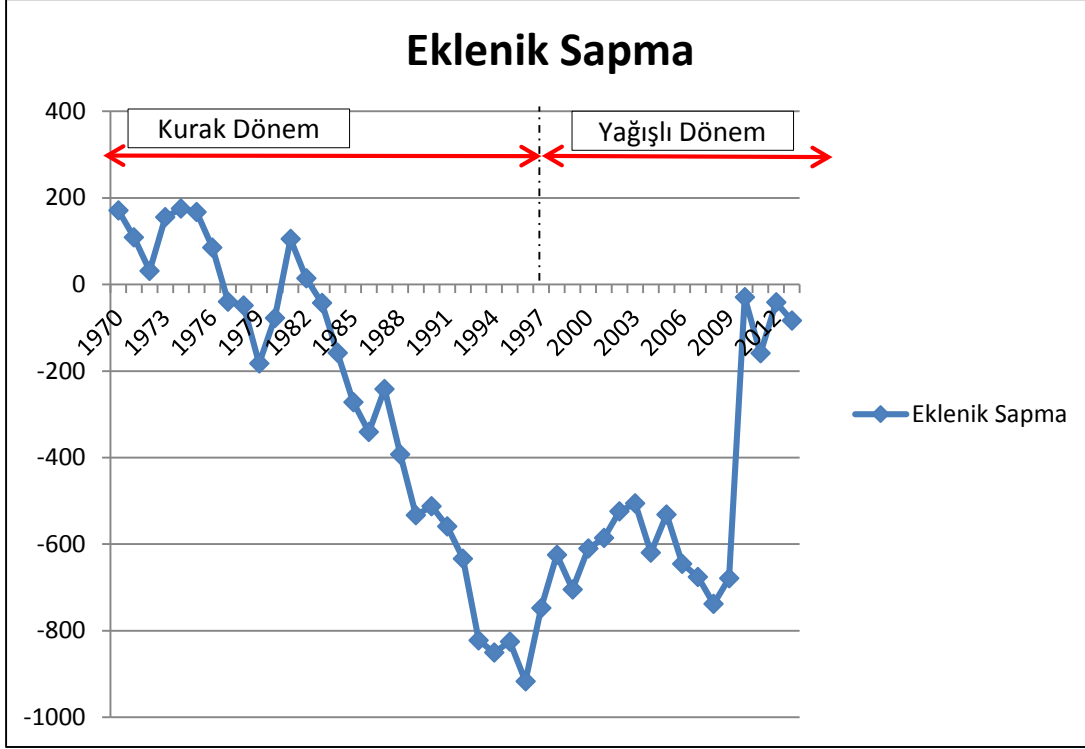
3.1 Hidroloji

Çalışma alanında Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı Mustafakemalpaşa istasyonu kayıt yapmadığı için, Bandırma (17114), Balıkesir (17152) ve Yenişehir (17678) Meteoroloji İstasyonlarının 1970-2012 yılları arasında aylık yağış ortalaması, ortalama sıcaklık, en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, güneşlenme süresi, bağıl nem ve rüzgar hızı verileri aritmetik ortalama yöntemi kullanılarak inceleme alanı için hesaplanmıştır. Bu veriler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1.1 Yağış

Yağış, hidrolojik döngünün birincil kaynağıdır. Yeryüzüne yağmur, kar, dolu şeklinde düşen yağışın türü ve miktarı rüzgâr hızı, sıcaklık ve basınç gibi iklimsel etkenlere bağlı olarak değişir. Yağış miktarındaki değişimlerin bilinmesi hidrolojik çalışmalar ve su planlamaları için oldukça önemlidir. Bir noktaya düşen yağışın derinliği yağışölçer veya pluviyometre denilen standart aletlerle ölçülür. Yağış miktarı birim alana düşen yağış derinliği (mm) veya ağırlığı olarak (kg/m^2) olarak ifade edilir (Yolcubal, 2015).

Meteorolojik verilere göre, inceleme alanında yıllık ortalama yağış miktarı 581,70 mm, yağışın en fazla olduğu aylar Kasım - Aralık ve Ocak, yağışın en az olduğu aylar ise Haziran – Temmuz - Ağustos ve Eylül aylarıdır. Yağışın en fazla olduğu Aralık ayında yağış miktarı 87,63 mm, en az olduğu Ağustos ayında ise 13,53 mm’dir. Bursa İli için Meteoroloji arşivinden alınan uzun dönem yağış verilerine göre eklenik sapma değerleri ve yağış verileri değerleri kullanılarak yağışlı- kurak dönemleri gösteren grafik hazırlanmıştır (Şekil 3.1). Buna göre Mustafakemalpaşa İlçesinin meteorolojik verilerine göre 1970-1997 yılları arası kurak dönem, 1997-2012 yılları arası ise yağışlı dönem olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.1 : Eklenik sapma ile bulunan yağış ve kurak dönemler

3.1.2 Sıcaklık ve buharlaşma - terleme

İnceleme alanında 1970-2012 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık 13,83 °C' dir. En sıcak aylar Temmuz (23,8°C) ve Ağustos (23,04°C) ,en soğuk aylar ise Ocak (4,5°C) ve Şubat (5,1°C) aylarıdır.

Buharlaşma, hidrolojik döngüde su transferinin ana sürecini oluşturmaktadır. Katı veya sıvı fazda olan suyun su buharı haline dönüşmesi ve atmosfere karışması sürecine buharlaşma denir. Solar radyasyon, buharlaşma yüzeyi ile onu üzerleyen hava arasındaki buhar basıncı farkı, sıcaklık, rüzgâr hızı ve atmosferik basınç gibi meteorolojik faktörler ve buna ek olarak enlem, yükseklik, buharlaşma yüzeyi ve buharlaşan suyunun kimyası gibi diğer faktörler buharlaşmayı denetler. Buharlaşma miktarı; solar radyasyon, su ve hava arasındaki buhar basıncı farkı ve rüzgar hızı ile doğru orantılı; suyun erimiş tuz içeriği, atmosferik basınç ve havanın nem oranı ile ise ters orantılıdır. Terleme veya transpirasyon ise bitkilerin kökleri ile aldıkları suyu yaprakları ile atmosfere su buharı şeklinde bırakmalarınıdır. Evapotranspirasyon (ET) ise su buharının bitkilerin yüzeyinden ve topraktan olan birleşik kaybına denir. Saha koşullarında buharlaşmayı terlemeden tamamen ayırmak mümkün değildir. Aslında

hidrolojik bütçe analizlerinde önemli olan su havzasından olan toplam su kaybının veya evapotranspirasyonun bilinmesidir.

Potansiyel buharlaşma- terleme en fazla Mayıs, Haziran Temmuz ve Ağustos aylarında görülmektedir. Buharlaşmanın en fazla olduğu Temmuz ayında ortalama 137,34 mm' dir.

3.1.3 Meteorolojik bütçe

Mustafakemalpaşa meteorolojik verileri kullanılarak Penman yöntemi ile bölgenin potansiyel buharlaşma değeri mm.su.gün⁻¹olarak belirlenmiştir. Her ayın gün sayısı göz önüne alınarak aylık, bunların toplamları ile de yıllık potansiyel buharlaşma değeri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada potansiyel buharlaşma Temmuz ayında 137,34 mm.su/ay ile en yüksek, Ocak ayında ise 1,97 mm.su/ay ile en düşük olduğu görülmektedir. Toplam yıllık potansiyel buharlaşma değeri 711,70 mm.su/yıl olarak bulunmuştur.

Potansiyel buharlaşma hesaplanması sonrası yine Penman yöntemi ile zeminin suya doygunluğunun aylara göre değişimi göz önünde bulundurularak bölgenin gerçek buharlaşma değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3.2) Bu verilere göre, Ekim ayından Mart ayına kadar yağış, burharlaşma ve terlemeden fazladır. Ekim-Mart ayları arası toplam yağış 402,2 mm olmasına karşı EP değeri 62,3 mm'dir. Böylece 339,9 mm yağış fazlası teoride 100 mm olarak faydalı su yedeğini tamamlamakta ve geri kalan 239,9 mm yağış fazlası yeraltısuyunu beslemektedir. Meteorolojik su bilançosu çerçevesinde elde edilen gerçek buharlaşma değeri 101,05 mm.su/yıl ile Mayıs ayı en yüksek, Ocak ayında 1,97 mm.su/yıl ile en düşük olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bölgedeki yıllık gerçek buharlaşma değeri 381,34 mm.su/yıl olarak bulunmuştur (Çizelge 3.3).

Mustafakemalpaşa Havzası yaklaşık olarak 10101,72 km² drenaj alanına sahiptir (Özsoy, 2007). Yıllık yağış miktarı ise 581,70 mm'dir. Mustafakemalpaşa Havzası'na düşen ortalama yağış miktarı 5876,17x10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki en önemli boşalım elemanları buharlaşma ve akıştır. Gerçek buharlaşma değeri 381,34 mm değeri ile 3852,18x10⁶ m³/yıldır. Havzanın toplam beslenimi 2023,99x10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1 : Mustafakemalpaşa meteorolojik verileri (1970 – 2012)

MUSTAFAKEMALPAŞA METEOROLOJİ VERİLERİ												
PARAMETRE	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ortalama Sıcaklık (°C)	4,5	5,1	7,5	12,4	17,0	21,6	23,8	23,4	19,8	15,0	9,7	6,2
Max Sıcaklık Ortalaması (°C)	8,6	9,7	12,9	18,4	23,0	27,6	29,6	29,4	26,3	20,9	14,9	10,0
Min sıcaklık Ortalaması (°C)	0,9	1,0	2,8	6,7	10,6	14,5	17,2	17,4	13,5	9,9	5,4	2,8
Toplam Yağış Ortalaması (mm)	70,60	57,10	52,77	54,07	41,47	26,43	14,47	13,53	29,53	59,63	74,47	87,63
Ortalama Nem (%)	78,2	75,4	73,0	69,8	68,6	63,4	62,9	65,1	66,0	72,0	75,8	78,6
Potansiyel Buharlaşma- Terleme	2,35	15,88	39,58	101,23	125,19	137,06	114,05	67,52	34,05	8,28	2,30	2,35
Ortalama Güneşlenme	3,09	3,30	4,41	5,92	8,04	9,95	10,77	9,90	8,04	5,34	3,68	2,29
Ortalama Rüzgâr Hızı U10(m_sn)	2,53	2,77	2,67	2,17	2,10	2,20	2,83	3,03	2,50	2,30	2,17	2,53

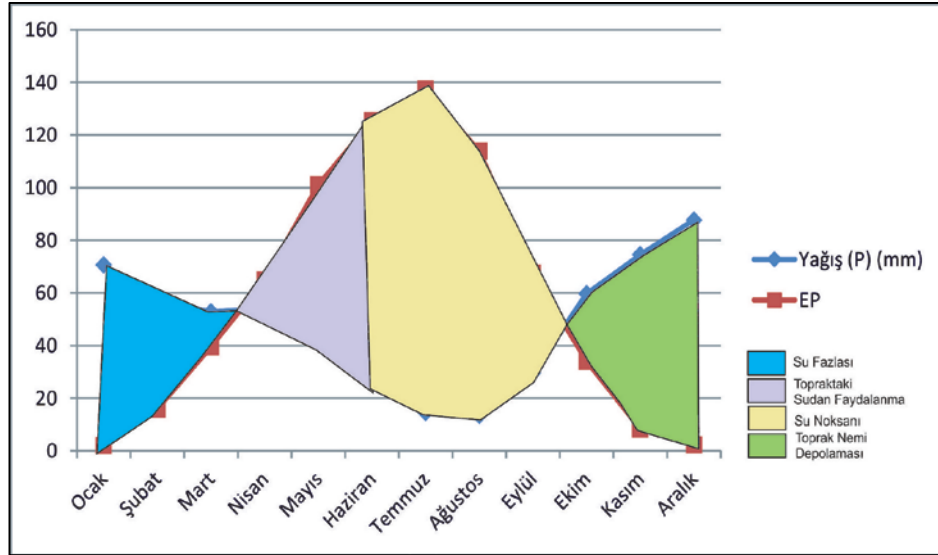
Çizelge 3.2 : Mustafakemalpaşa için PENMAN yöntemi ile hazırlanan potansiyel buharlaşma hesap çizelgesi

POTANSİYEL BUHARLAŞMA												
HESAPLAMA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SICAKLIK(°C)	4,5	5,1	7,5	12,4	17,0	21,6	23,8	23,4	19,8	15,0	9,7	6,2
A	0,95	0,97	1,11	1,44	1,85	2,37	2,74	2,68	2,15	1,66	1,25	1,04
RA(mm.su/gün)	6	8,3	11,3	13,9	16	16,9	16,4	14,6	12	9,5	6,8	5,5
n(saat/gün)	3,2	3,3	4,4	5,9	8,0	10,0	10,8	9,9	8,0	5,3	3,7	2,3
N(saat/gün)	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15	14,7	13,8	12,5	11,2	10	9,3
Rc(mmsu/gün)	1,64	2,18	3,25	4,43	5,85	6,91	7,17	6,29	4,80	3,15	1,95	1,30
B	11,9	12,0	12,5	13,5	14,4	15,3	15,8	15,7	15,0	14,0	12,9	12,2
RH	0,78	0,75	0,73	0,70	0,69	0,63	0,63	0,65	0,66	0,72	0,76	0,79
ea(mmHg)	6,31	6,58	7,77	10,79	14,52	19,33	22,09	21,57	17,31	12,78	9,02	7,11
RB	1,65	1,61	1,85	2,08	2,34	2,54	2,60	2,51	2,08	1,78	1,35	1,65
U10(m/sn)	2,53	2,77	2,67	2,17	2,10	2,20	2,83	3,03	2,50	2,30	2,17	2,53
U2(m/sn)	1,28	1,53	1,43	0,94	0,88	0,97	1,60	1,84	1,25	1,06	0,94	1,28
Ea	0,49	0,57	0,75	1,15	1,61	2,49	2,90	2,68	1,27	0,77	0,54	0,49
E(mm.su/gün)	0,06	0,57	1,28	2,17	3,26	4,18	4,43	3,67	2,25	1,09	0,27	0,07
Ep(mm.su/ay)	1,97	15,89	39,54	64,85	101,05	125,37	137,34	113,79	67,46	33,97	8,22	2,55
Ep(mm.su/yıl)	711,70											

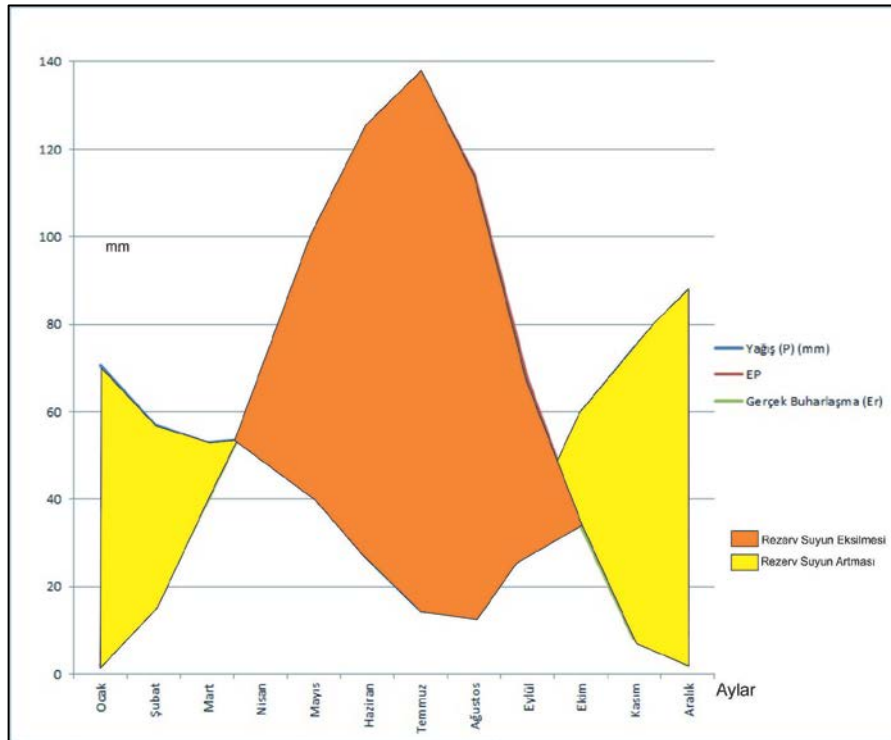
Çizelge 3.3 : Mustafakemalpaşa için PENMAN yöntemi ile hazırlanan gerçek buharlaşma değerleri (1970-2012)

HESAPLAMA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
SICAKLIK(°C)	4,5	5,1	7,5	12,4	17,0	21,6	23,8	23,4	19,8	15,0	9,7	6,2	
Yağış (P) (mm)	70,60	57,10	52,77	54,07	41,47	26,43	14,47	13,53	29,53	59,63	74,47	87,63	581,70
EP	1,97	15,89	39,54	64,85	101,05	125,37	137,34	113,79	67,46	33,97	8,22	2,25	711,70
(P-Ep)	68,25	41,22	13,19	-10,78	-59,58	-98,94	-122,87	-100,26	-37,93	25,66	66,25	85,38	-
Rezervuar Suyu (R)	100	100	100	89,22	29,64	0	0	0	0	25,66	91,91	100	-
Gerçek Buharlaşma (Er)	1,97	15,89	39,54	64,85	101,05	56,07	14,47	13,53	29,53	33,97	8,22	2,25	381,34
Eksik Su (mm)	0	0	0	0	0	69,3	122,87	100,26	37,93	0	0	0	330,36
Fazla Su (mm)	68,63	41,21	13,23	0	0	0	0	0	0	0	0	77,29	200,36
Akış (A)	53,64	47,42	30,33	15,16	7,58	3,79	1,90	0,95	0,47	0,24	0,12	38,565	200,24
Yağışın akışa göre açığı	16,96	9,68	22,44	38,91	33,89	22,64	12,57	12,58	29,06	59,39	74,35	48,99	381,45

Çizelge 3.3 de verilen Penman yöntemi ile hazırlanan gerçek buharlaşma değerlerine göre yağış ve PE aylık değişim grafikleri 3.2 ve 3.3’de verilmiştir. Şekil 3.2’e göre Haziran ve Eylül ayları arasında su noksanı görülmektedir. Şekil 3.3’ de rezerv suyu Ekim ayından itibaren artmaya başlamaktadır.



Şekil 3.2 : Yağış ve PE aylık değişimi



Şekil 3.3 : Rezerv suyun yağış, PE ve gerçek PE ile değişimi

3.2.1 Akarsular

İnceleme alanı yakınlarında birincil olarak Kocaçay Deresi; inceleme alanı içerisinde Mustafakemalpaşa Deresine bağlanan ve Dümbüldek kaplıcasının yakınlarından geçen, debisi mevsimsel olarak değişen Akarca Deresi bulunmaktadır (Şekil 3.5). D3 olarak numaralandırılmış su numunesi Akarca deresine aittir. İkincil olarak Kocadere, Kocalan, Sarp, Değirmen ve Çiğdüren dereleri bulunmaktadır.



Şekil 3.5 : Akarca deresinden görünüm

3.2.2 Sondaj kuyuları

Dümbüldek Kaplıcası'nda 1994 yılında MTA tarafından açılmış olan bir adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 3.6). Sondaj kuyusu 40 metre derinlikte açılmış olup, kaynak deniz seviyesinden 79 m yüksekliktedir.

Buradan alınan su numunesi D1 olarak numaralandırılmıştır. Yapılan ölçümlerde debisi 55 lt/sn, sıcaklığı 51 °C, EC' si 2880 µS ve pH' ı 6,5 olarak belirlenmiştir. Sondaj kuyusu kaplıcanın karşısında yer almaktadır.



Şekil 3.6 : Dumbüldek sıcak su sondaj kuyusu

3.2.3 Su kaynakları

İnceleme alanı ve çevresinde düşük debili çok sayıda soğuk su kaynağı bulunmaktadır. Ayrıca, inceleme alanının yakınlarında Akarca deresinin hemen yanında küçük bir alanda (yaklaşık 2,5 m²) mineralli su çıkışı gözlenmektedir (Şekil 3.7). Mineralli su örneği D2 olarak, diğer soğuk su örnekleri ise D4 ve D5 olarak numaralandırılmıştır.



Şekil 3.7 : Mineralli su kuyusu

3.3 Jeolojik Birimleri Hidrojeolojik Özellikleri

3.3.1 Pekişmemiş formasyonlar

3.3.1.1 Yaygın ve zengin taneli akiferler (Gç1)

Çalışma alanında akifer özelliği gösteren birim, litolojisi çakıl, kum, kil ve siltten oluşan alüvyondur. Birim, içerisindeki çakıl ve kum seviyelerinde su bulundurmasıyla önemli bir akiferdir. Alüvyonu oluşturan malzemelerin boyutuna, dizilişine, kil ve silt seviyelerinin azlığı ve çokluğu, çimentolanma durumuna göre alüvyonda açılan kuyuların verimi değişmektedir. Hidrojeoloji haritasında (EK B) bu birim koyu mavi renkli olarak gösterilmiştir.

3.3.1.2 Yerel ve ilişkisiz taneli akiferler (Gç2)

İnceleme alanında tutturulmamış veya gevşek tutturulmuş, genellikle blok, çakıl, kum, silt ve kilden oluşan yamaç molozu gözenekliliğe sahip geçirimli birimlerdir. Bu birim Hidrojeoloji haritasında (EK B) açık mavi renk ile temsil edilmektedir.

3.3.2 Pekişmiş formasyonlar

3.3.2.1 Yerel taneli akifer (Gç3)

İnceleme alanında yer alan Miyosen ve Pliyosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn ve kil ardalanmalı karasal Neojen çökelleri ile andezit, riyolit, bazalt, tüf ve aglomeralardan oluşan volkanitler bölgede sığ su sondajlarında su verimi yönünden olumlu sonuçlar vermiş olsa da killi ve marnlı seviyelerde su tutma ve iletme özellikleri zayıf olduğundan bölgesel yeraltı suyu bulduran birimler olarak sınıflandırılmıştır. Hidrojeoloji haritasında (EK B) çok açık kahve renk ile gösterilmiştir.

3.3.2.2 Çatlaklı zayıf akifer (Gç4)

Granitler genel olarak su iletimi zayıf ve su bulundurmayan birimler olarak nitelendirilmektedir. İnceleme alanında görülen granitler yerel olarak gelişmiş kırık ve çatlak sistemlerine sahiptir. Gelişen bu sistemler kayada su dolaşımına izin vermekte olup birim, çatlaklı zayıf akifer olarak sınıflandırılmıştır.

Bu birimler hidrojeoloji haritasında (EK B) açık kahve renk ile gösterilmiştir.

3.3.2.3 atlaklı çok zayıf akifer (Gez)

Triyas yaşı Karakaya Formasyonu içerisinde yer alan Orhanlar Grovağı su dolaşımlı açısından olumsuz özellik taşımaktadır. Formasyona ait birimlerin yanal ve dūşey devamlılıklarının olmaması bunun en bŸyŸk nedenidir. Bu formasyon içerisinde bulunan kireçtaşı blokları litolojik olarak su taşıma özelliği bulundursa da birim inceleme alanı için yeraltı suyu bulundurmayan birim olarak sınıflandırılmıştır. Hidrojeoloji haritasında (EK B) koyu kahve olarak gösterilmiştir.

4. HİDROJEOKİMYA

4.1 İnceleme Alanındaki Sıcak ve Soğuk Suların Genel Kimyasal Özellikleri

Çalışma alanında yer alan sıcak ve mineralli sularla soğuk suların hidrojeokimyasal özelliklerinin ortaya çıkarılması amacıyla örnekleme çalışması yapılmıştır. Alınan örnekler ana-iz element ve flor analizleri yapılmak üzere 2012 yılında ACME Laboratuvarı (Kanada) 'na gönderilmiştir. Ayrıca, sıcaklık, pH ve EC değerlerinin belirlenmesi için yerinde ölçümler yapılmıştır. Yapılan bu analiz ve ölçümlerin sonuçları Çizelge 4.1'de sunulmuştur. Ayrıca karşılaştırma yapılması açısından inceleme alanının civarındaki kuyuların kimyasal değerleri değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.1 : İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçları

Örnek No	D1	D2	D3	D4	D5
T (°C)	51,2	17,5	19,4	20,8	12,3
pH	6,8	6,5	7,5	8,8	7,9
EC(µS/cm)	2880	2910	556	586	80
TDS (mg/l)	1843,2	1862,4	355,8	375,0	51,2
Na (mg/l)	332,52	365,30	50,56	6,99	8,36
Ca (mg/l)	112,95	307,12	61,60	102,71	9,06
Mg (mg/l)	18,03	48,91	11,09	4,14	1,30
K (mg/l)	48,24	58,62	9,49	0,98	0,89
Cl (mg/l)	54,76	57,14	26,19	19,04	12,28
SO ₄ (mg/l)	15,00	30,00	45,00	10,00	<0,1
HCO ₃ (mg/l)	1354,32	2103,83	316,12	320,26	54,12
SAR	7,67	5,10	1,5	0,18	0,68
%Na	68,8	47,3	37,9	5,7	40,9
Fr ⁰	35,60	96,83	19,94	27,37	2,79
Fo	993,00	1102,12	155,28	20,80	24,32
SiO ₂ (mg/l)	70	63,31	23,93	12,49	40,07
Li (ppb)	653,10	1107,7	89,6	3,6	2,7
F (ppb)	1305	1030	208	87	70
B (ppb)	1209	2084	201	19	<5
Fe (ppb)	<10	<10	<10	<10	<10
Al (ppb)	<1	>1	7	<1	<1
Br (ppb)	108	168	48	52	25
Mn (ppb)	110,73	700,11	0,72	<0,05	0,18
Ba (ppb)	1351,68	509,48	160,29	2,28	3,19
Cr (ppb)	26,7	47,0	18,2	8,7	1,6
Cs (ppb)	53,49	56,18	4,84	1,75	<0,01
Cu (ppb)	1,2	1,5	1,5	0,4	0,3
Rb (ppb)	215,25	263,47	28,70	4,24	0,23
Sr (ppb)	1150,95	1771,24	286,93	97,66	107,95
Zn (ppb)	3,0	0,9	0,6	<0,5	13,8

4.2 Suların Yerinde Ölçülen Parametreleri

4.2.1 Sertlik

1 Fransız sertlik derecesi= 1 lt suda, 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşdeğer diğer sertlik verici iyonların bulunmasıdır. Fransız sertliğinin bulunması için Ca ve Mg değerleri mg/l olarak alınır (Çizelge 4.2) ve aşağıdaki formül uygulanır;

$$\text{Toplam Sertlik} = 0,25\text{Ca}+0,41\text{Mg} \quad (\text{Todd},1980) \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 : Suların sertliklerine göre sınıflandırılması (Şahinci,1991)

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

İnceleme alanında bulunan suların sertliği 2,80-96,83 Fr^o arasında çok yumuşak sulardan çok sert sulara kadar değişmektedir. Sıcak, mineralli ve soğuk suların sertlik sınıflaması aşağıda Çizelge 4.3’de verilmiştir. Buna göre sıcak su 35,63 Fr^o ile oldukça sert sular, mineralli su 96,83 Fr^o ile çok sert sular sınıfında yer almaktadır. Soğuk sular ise 2,80-27,37 Fr^o arasında olup suların sertlikleri çok yumuşak sulardan oldukça sert sulara kadar değişebilmektedir. Çevrede yer alan diğer soğuk suların sertlikleri 22,3-68,1 arasında olup, sınıfı oldukça sert sularda çok sert sulara kadar değişmektedir.

Çizelge 4.3 : İnceleme alanındaki suların sertlik sınıflaması

Örnek No	Kaynak Türü	Sertlik (Fr ^o)	Suyun Sınıfı
D1	Sıcak	35,63	Sert
D2	Mineralli	96,83	Çok Sert
D3	Soğuk	19,95	Az Sert
D4	Soğuk	27,37	Oldukça Sert
D5	Soğuk	2,80	Çok Yumuşak

4.2.2 Hidrojen iyon konsantrasyonu pH

pH, su içerisindeki Hidrojen (H⁺) ve Hidroksil (OH⁻) iyonlarının konsantrasyonları arasındaki dengeye bağlı olarak asidite ve alkaliteyi belirler. pH değeri 7’nin altında olan sular asit özellik kazanırken pH değeri 7’nin üstündeki sular ise bazik karakter

kazanırlar (Erguvanlı & Yüzer, 1973). 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. TSE-266 standardında pH'a göre sınıflandırma Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : pH'a göre suların sınıflaması (TSE-266)

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

İnceleme alanında yer alan suların pH 6,5-8,5 arasında değişmektedir. Bölgede yer alan sıcak ve mineralli sular asit karakterli, soğuk sular ise bazik karakterli sular sınıfındadır. Çevredeki diğer soğuk sular da bazik karakterdedir.

4.2.3 Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Toplam İyon Konsantrasyonuna bağlı olarak 1cm³ suyun +25°C de elektrik akımını iletmesi EC olarak ifade edilir. EC birimi genellikle santimetrede mikromhos (µmho/cm) veya mikrosiemens (µS/cm) dir. İletkenlik, suyun temas ettiği kaya türüne, içeriğindeki çözülmüş madde miktarına ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sıcak sular da EC değeri daha yüksektir. Ayrıca granitik kayalarla temas halinde olan suların iletkenlik değeri düşük, killi kayalar ile temas halindeki yüzey ve yer altı sularında ise EC değerleri yüksektir (Şen, 2014). Suyun iletkenliği, su kalitesinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek EC değerine sahip sular insani amaçlı tüketime ve sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) sınıflaması Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

Çizelge 4.5 : Suların özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerine göre sınıflandırılması (Wilcox,1955)

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

İnceleme alanındaki sıcak sıcak ve mineralli sularda EC değeri 2880-2910 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değer aralığında ve şüpheli sular sınıfına girmektedir. Soğuk sularda ise bu değer, 80- 556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. Soğuk sular ise çok iyi ile kullanılabilir su sınıfları arasında yer almaktadır. Çevrede yer alan diğer soğuk suların EC değerleri 505- 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası değişmekte olup, iyi-kullanılabilir sular olarak sınıflandırılmıştır.

4.2.4 Toplam çözünmüş madde (TDS)

Toplam çözünmüş madde miktarı, su içerisinde çözülmüş halde bulunan katyon, anyon, ağır metal ve az miktarda organik madde içerir. TDS, kayalarda bulunan farklı minerallerin çözünürlüklerine bağlıdır. Dünya sağlık örgünü verilerine göre kabul edilebilir sınır 500 olmasına rağmen maksimum sınır 1500 mg/l olarak belirlenmiştir. (WHO,2006).

Suların toplam çözünmüş katı miktarı değerine göre sınıflaması Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Suların TDS değerine göre sınıflaması (USSL,1954)

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

Toplam çözünmüş madde miktarı ile elektriksel iletkenlik arasında bulunan formül aşağıda verilmiştir (Hem, 1970).

$$\text{TDS} = \alpha * \text{EC} \quad (4.2)$$

α , 0,54 - 0,96 arasında değer alabilmektedir. Bu çalışmadaki hesaplamalarda 0.64 olarak alınmıştır.

İnceleme alanındaki sular için hesaplanan TDS değerlerine bakıldığında, sıcak ve mineralli sularda bu değer 1843 - 1862 arasındadır. Bu sular “Çok Tuzlu Su” sınıfına girmektedir. Soğuk sular ise 51,2 - 355 mg/l değer aralığı ile “Tatlı Su” ile “Acımsı Su” sınıflarına girmektedir.

İnceleme alanında yer alan suların kimyasal analiz verileri ile çevresindeki soğuk su kuyularının açıldığı tarihteki kimyasal verilerine dayanılarak Hidrojeokimya haritası hazırlanmıştır (EK C).

4.3 İnceleme Alanındaki Suların Anyon-Katyon Özellikleri

4.3.1 Sodyum (Na)

Sularda Alkali metal olarak en fazla bulunan en önemli elementtir. Sulardaki sodyumun kaynağı evaporitik kayalar, feldispat ve sodyum plajiyoklaslardır. Evaporitlerle temas halinde olan sularda sodyum konsantrasyonu 100000 ppm e kadar ulaşabilmektedir. Deniz suyunda en çok bulunan katyon olan sodyumun miktarı 10.000 ppm civarındadır (Şen, 2014). Magmatik kayalarda sodyum potasyumdan daha fazla bulunurken, sedimanter kayalarda sodyum daha az bulunmaktadır (Hem, 1992). Yeraltı suları özellikle killi topraklarda sulama suyu olarak kullanılacaksa sodyum miktarı oldukça önemlidir. Killi topraklar sodyum oranı yüksek sular ile sulandıklarında, toprakta baz değişimi sonucu sodyum miktarı artış gösterir. Bunun sonucu olarak topraktaki geçirimsizlik azalır. Ayrıca, sodyumun insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi görülmemesine rağmen kalp ve böbrek rahatsızlığı olan kişilerin bu tür suları devamlı içmemesi önerilmektedir. (Erguvanlı ve Yüzer, 1987).

Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun sodyum miktarı 332,52 mg/l ve mineralli suyun sodyum miktarı 365,30 mg/l' dir. Soğuk sularda ise sodyum miktarı 6,99-50,56 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.2 Potasyum

Alkali metal element olan potasyum birçok özelliği ile sodyumla benzerlik göstermektedir. Yeraltı sularında potasyumun kaynağı esas olarak feldispatlar, mikalar ve kil mineralleridir. Doğal sularda potasyum konsantrasyonu 10 ppm den azdır (Chow, 1964; Şen, 2014).

Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun potasyum miktarı 48,24 mg/l ve mineralli suyun potasyum miktarı 58,62 mg/l dir. Soğuk sularda ise 0,89 - 9,49 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.3 Kalsiyum

Kalsiyumun yerkabuğunda bolluğu nedeniyle sulardaki konsantrasyonu yüksektir. Yeraltısularındaki kalsiyumun kaynağı, kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, flüorit gibi silikatlı olmayan mineraller ile albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun çözünmesidir. Atmosfer basıncının ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak sudaki kalsiyum miktarı da artış gösterir. Yeraltısularında kalsiyum miktarı 10-100 mg/l arasında değişmektedir. Magmatik kayalarla ilişkili sulara 30 ppm; sedimanter kayalarda 100 ppm; karbonat akiferlerde 300 ppm; evaporitik kayalarda ise 600 ppm'e kadar değişen miktarlarda görülmektedir. Ca iyonu Na iyonunun yerini alabilmektedir. Bu durumda sodyum yüzdesi azalacağından topraktaki tuzlanma miktarı da azalmış olur (Erguvanlı & Yüzer, 1973; Şen, 2014).

Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun kalsiyum miktarı 112,95 mg/l ve mineralli suyun kalsiyum miktarı 307,12 mg/l dir. Soğuk suların ise 9,06 - 102,71 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.4 Magnezyum

Magnezyumda tıpkı kalsiyum gibi kaya ve topraktan serbestçe çözünebilirler. Yeraltı sularındaki magnezyumun kaynağı dolomit, magnetit ve mikalardır. Magnezyum, okyanus ve haliçlerde, kalsiyuma oranla daha yüksek miktarlarda bulunur. Yeraltı sularında 10 - 100 mg/l arasında değişen konsantrasyonlarda bulunmaktadır. 125 mg/l'yi aşması durumunda sular acılaşmakta ve içilememektedir. Daha fazlası ise bağırsak hastalıklarına sebep olmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987; Şen, 2014).

Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun magnezyum miktarı 18,03 mg/l ve mineralli suyun magnezyum miktarı 48,91 mg/l dir. Soğuk suların ise 1,30 - 11,09 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.5 Karbonat ve bikarbonat

Yeraltısularında karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki karbondioksitten ve karbonatlı kayaların erimesinden oluşmaktadır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973). Doğal sulardaki karbonat konsantrasyonu, derin sulardaki karbondioksit kısmi basıncına (PCO_2) ve çözeltinin pH değerine bağlıdır. pH değeri yaklaşık 6-10 arasında ise çözeltide HCO_3^- baskın, 3,8 ve daha düşük pH değerlerinde karbonik asit

(H_2CO_3), pH'in 8 ve daha fazla olduğu alkali sularda ise CO_3^{-2} baskın iyondur (Nicholson, 1993). Bölgedeki suların pH değerleri 8'in altındadır. Bu nedenle bölgedeki sularda karbonat bikarbonat formundadır.

Yeraltı sularındaki karbonat miktarı 10-800 mg/l arasında değişebilmektedir. Sulama sularında bulunan karbonat bitkiler için yararlı olsa da fazlası toprakta kireç birikmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda toprakta sodyum artışı gerçekleşir.

Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun bikarbonat miktarı 1354,32 mg/l ve mineralli suyun bikarbonat miktarı 2103 mg/l dir. Soğuk suların ise 54,12- 320,26 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.6 Sülfat

Yeraltı sularındaki sülfatın kaynağı evaporitler, özellikle anhidrit ve jipslerdir; volkanik patlamalar, magmatik kayalardaki 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. Derin kökenli jeotermal sularda sülfat miktarı genelde düşük olup 50 mg/L'den azdır.

Hidrojen sülfürün oksidasyonu arttıkça sülfat miktarında artış gözlenebilmektedir. Yüzey sularında sülfat miktarı suların yüzeye yakın buharlaşması sonucu yüksektir. İçme sularındaki sülfat miktarı 25-250 mg/L arasındadır.

Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun sülfat miktarı 15,00 mg/l ve mineralli suyun sülfat miktarı 30,00 mg/l'dir. Soğuk suların ise 0,1-45 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.7 Klorür

Yeraltı sularındaki klorür sedimanter kayalardan özellikle de evaporitlerden, bunun dışında yağmur ve deniz suyundan kaynaklanmaktadır. Klorür konsantrasyonundaki azalma yeraltısuyuna tatlı su girişiminin belirteci olarak kullanılabilir. 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. Yağmur sularında 1 mg/l olan klorür miktarı, deniz suyunda 20000 mg/l ye kadar artış gösterir (Erguvanlı ve Yüzer,1987; Şen,2014; Nicholson,1993). Çalışma alanında örneklenen sıcak suyun klorür miktarı 54,76 mg/l ve mineralli suyun klorür miktarı 57,14 mg/l'dir. Soğuk suların ise 14,28 - 26,19 mg/l arasında değişmektedir.

4.3.8 Silis

Silis yerkabuğunda en fazla bulunan elementtir. Jeotermal sistemlerdeki konsantrasyonu ise farklı silis minerallerinin çözünürlükleri tarafından kontrol edilir. Suda zor çözünmesi sebebiyle yeraltı sularında 20 mg/l den az miktarlarda bulunmaktadır. Silis miktarı, hazne kayaç sıcaklıklarının bulunması amacıyla jeotermometre hesaplamalarında kullanılan önemli bir parametredir (Erguvanlı ve Yüzer,1987; Nicholson,1993).

İnceleme alanında yer alan soğuk sulardaki silis miktarı >20 mg/l dir. Buna sebep olarak soğuk sular ile bölgede yer alan sıcak ve mineralli suların karışmış olduğu düşünülmektedir.

4.4 İnceleme Alanındaki Suların İz Element İçerikleri

4.4.1 Bor

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 kayaçlarla ilişkilendirilebilir. Andezitik kayaçlarla ilişkilendirilen sulardaki bor konsantrasyonu diğer volkanik kayaçlarla ilişkilendirilen sulara oranla daha yüksektir. Cl/B oranı ortak rezervuar kayaç belirlemede kullanılmaktadır. Yeraltısularındaki miktarı 1mg/l den azdır. Sulama sularında fazla bulunması bitkilere zarar verebilmektedir. İçme sularında ise 30 mg/l ye kadar konsantrasyonu zararlı olarak nitelendirilmez.

4.4.2 Alüminyum

Klorürlü sulara çok düşük seviyelerde (<0,02 mg/l) bulunan element genellikle tespit edilemez. Rezervuardaki konsantrasyonları genellikle < 2 mg/l' dir. Asidik sulara kayalardaki ayrışma sonucu alüminyum miktarı yüksek olabilir.(Nicholson, 1993).

4.4.3 Demir

Asidite ve tuzluluğun artması ile sulara yüksek konsantrasyonlarda bulunan demir, klorürlü sulara oldukça düşük seviyelerde (0,001-1 mg/l) gözlenir. Derin ve yüksek sıcaklıklı sistemlerde (>180°C) pirit ile dengededir. Bu sıcaklığın altında ise demir dengesi akışkanın soğuması veya kaynaması sırasında çökelen ve aşırı doymun hale gelen markazit ve pirotin mineralleri tarafından kontrol edilir. İçme ve kullanma sularında 0,1 mg/l'yi geçmemesi istenmektedir (Erguvanlı ve Yüzer,1987; Nicholson,1993).

4.4.4 Mangan

Mangan, piroluzit (MnO₂), manganit (MnOOH) ve rodokrozit (MnCO₃) içeren mineraller ile ilgilidir. Jeotermal sistemlerde ise genellikle 0,01 mg/l aşmayan miktarlarda bulunmaktadır. Mangan içme sularında istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olur.(Nicholson, 1993; Akgiray, 2003).

4.4.5 Flor

Flourit veya flouritli kayalardan meydana gelir. Jeotermal sistemlerde genellikle <10 mg/l miktarlara görülmektedir. Konsantrasyonu, su-kayaç etkileşimi ve floritin çözünebilirliği ile sınırlıdır. Yüksek flor konsantrasyonu düşük kalsiyum miktarı ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca, flor konsantrasyonu, sedimanter kayalarla ilişkili sulara oranla volkanik kayalarla (riyolit, pumis, obsidyen) ilişkili sulara daha yüksek miktarlarda bulunur. (Nicholson,1993; Mahon, 1964).

4.4.6 Lityum, rubidyum, sezyum (Li+, Rb+, Cs+):

Nadir alkali grubunda olan bu elementler suda çözünebilirler ve genellikle Klor ve Bor ile birlikte suları karakterize etmek için kullanılırlar. Bu minerallerin konsantrasyonları jeotermal akışkanın yüzeye hareketi ve yanıl akışın artışıyla azalma gösterirler. Tipik konsantrasyon değerleri Li+ için <20 mg/l, Rb ve Cs için <2 mg/l

olarak belirtilmektedir. Yüksek konsantrasyonlar (1 - 10 mg/l) riyolitik ve andezitik; düşük konsantrasyonlar (>0,1 mg/l) ise bazaltik kayalarla ilişkilendirilebilir (Nicholson, 1993).

4.4.7 Stronsiyum

Kimyasal özellikleri kalsiyumla benzerlik gösteren stronsiyum, jeokimyasal sistemlerde kalsiyumla birlikte bulunur. Stronsiyumun başlıca mineralleri sölestin (SrSO_4) ve Strantianite (SrCO_3)'dir. Yeraltısularında 0,01 - 0,1 mg/l arasında stronsiyum bulunur (Şahinci,1986).

4.4.8 Bromür

Deniz suyu girişinin gözlemlendiği jeotermal sistemler hariç diğer jeotermal sistemlerde düşük miktarlarda bulunur. Br/Cl ve Br/I oranları deniz suyu karışımını belirlemede kullanılmaktadır (Nicholson, 1993).

4.5 İnceleme Alanındaki Suların Fasiyes Tipi ve Sınıflaması

4.5.1 Uluslararası hidroloji birliğine göre suların sınıflaması

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH,1979)'nin öngördüğü sınıflamada suda çözülmüş anyon ve katyonlardan bollukları %20'yi aşanlar, sırasıyla önce katyonlar sonra anyonlar yazılarak su tipi belirlenmektedir. Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının baskın iyon sıralaması ve bu sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri Çizelge 4.7' de verilmiştir. Tabloda yer almayan çevredeki diğer soğuk su kaynaklarından biri hariç diğerleri Ca-Mg-HCO₃ tipinde olup inceleme alanındaki soğuk sularla benzerlik göstermektedir (Tolga Yalçın, sözlü görüşme, 2015).

Çizelge 4.7 : Uluslararası Hidroloji Birliği sınıflaması

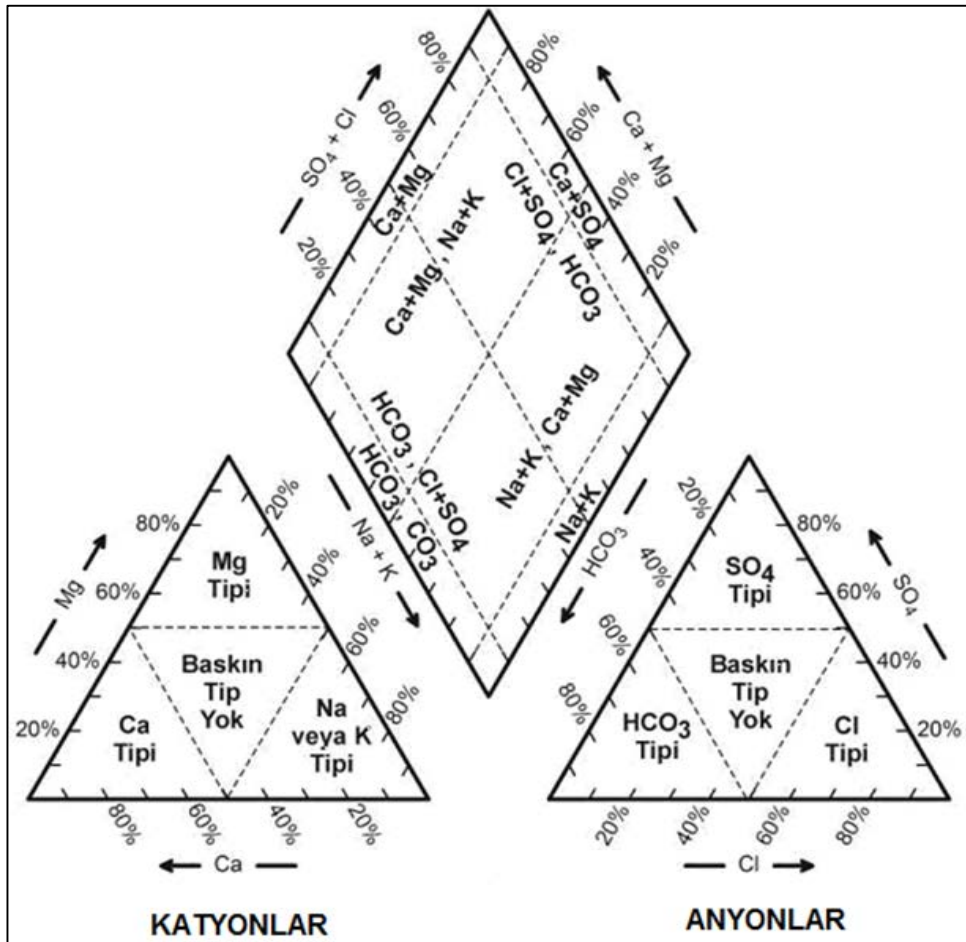
Örnek No	Kaynak	Sınıfı
D1	Termal Su	Na-Ca-HCO ₃
D2	Mineralli Su	Na-Ca-HCO ₃
D3	Soğuk Su	Ca-Na-HCO ₃
D4	Soğuk Su	Ca-HCO ₃
D5	Soğuk Su	Ca-Na-HCO ₃

4.5.2 Piper' e göre suların sınıflaması

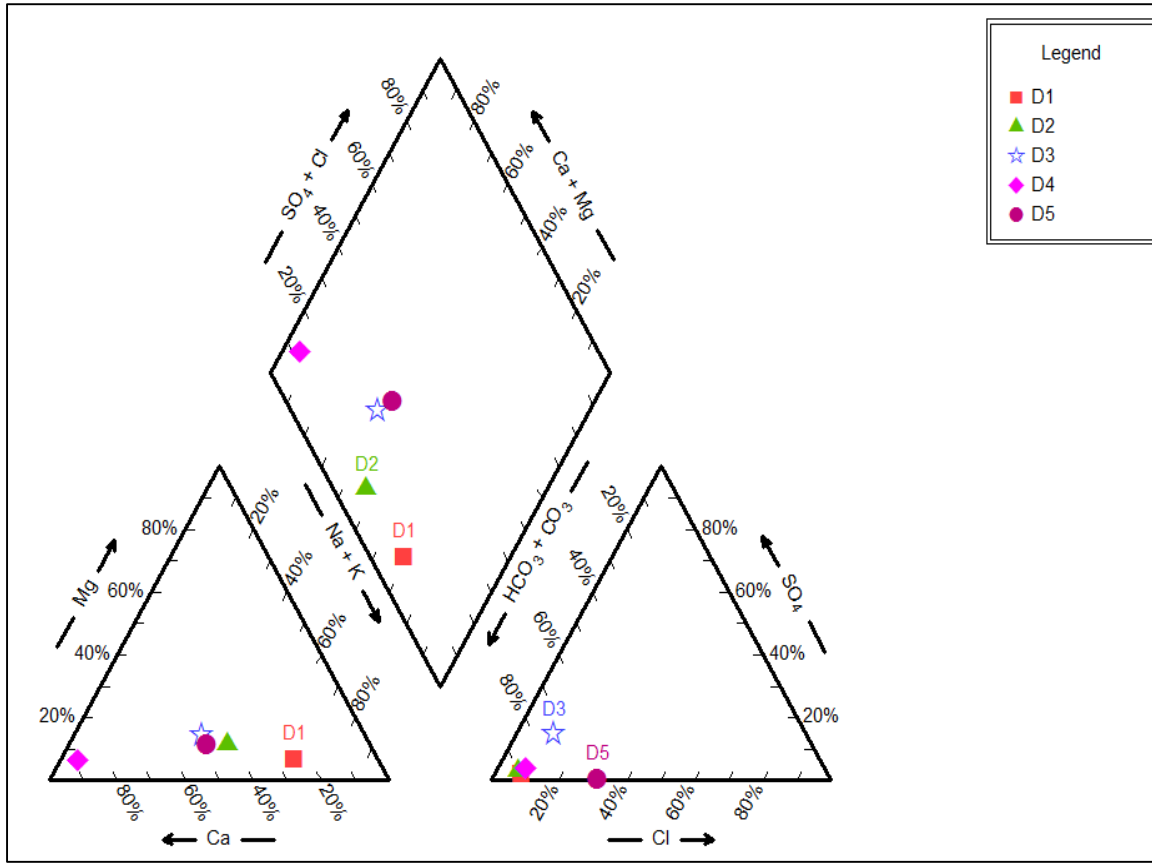
Anyon ve katyonların tek bir grafikte görülebilmesi nedeniyle hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biridir. Piper diyagramı, anyon ve katyonların %mek/l değerlerinin bulunduğu iki eşkenar üçgen ve bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır (Şekil 4.1). İyonların %mek/l değerleri anyon ve katyon eşkenar üçgenlerinde işaretlenir. Daha sonra bu noktalar eşkenar dörtgende kesleştirilerek suların sınıflamaları yapılır.

İnceleme alanındaki sularda yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre Aquachem programı yardımı ile yapılan Piper diyagramı şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Buna göre bölgedeki sıcak su Na veya K tipli bikarbonatlı sular grubundadır. Mineralli su Na-Ca-Mg bikarbonatlı sular, soğuk sular da genel olarak Ca-Mg bikarbonatlı sular sınıfında yer almaktadırlar.



Şekil 4.1 : Piper Diyagramına göre suların sınıflandırılması (Back, 1961).



Şekil 4.2 : İnceleme alanındaki suların Piper'e göre sınıflaması.

4.5.3 Schoeller (1955)' e göre suların sınıflaması

Suların kökenlerini belirlemede kullanılan Schoeller diyagramında, Ca, Na, K, Mg, Cl, SO₄, HCO₃ iyonlarının derişimleri mek/l olarak yarı logaritmik grafik ile gösterilmektedir. Böylece her su örneğine ait farklı iyon derişimlerinin oluşturduğu profil, su örneklerindeki benzerliklerin ve farklılıkların görülebilmeye imkân sağlamaktadır. Schoeller suları; klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre sınıflamaktadır. Bu sınıflama aşağıdaki Çizelge 4.8' de verilmiştir.

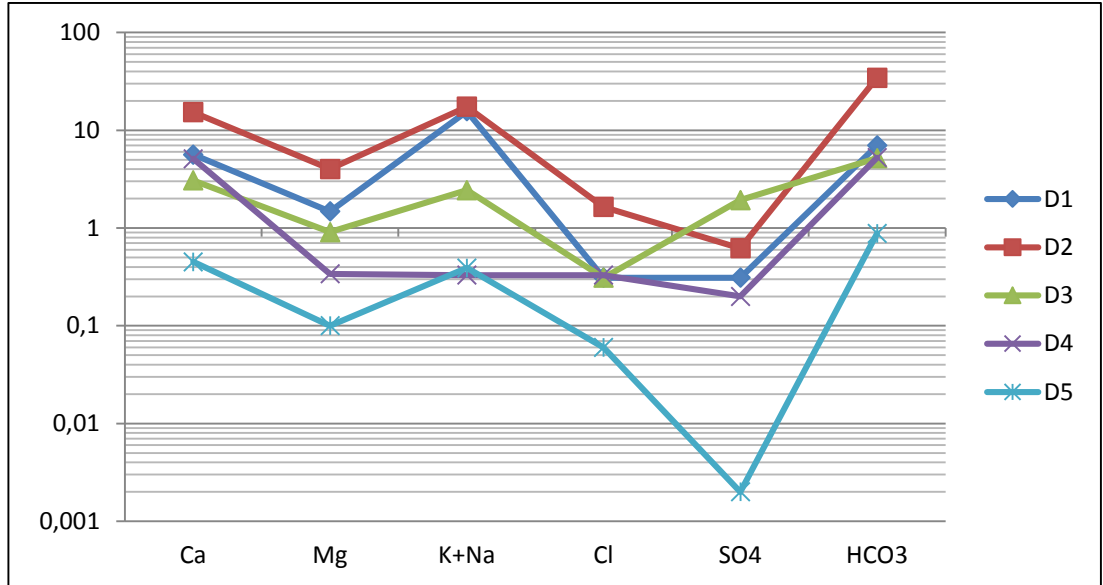
İnceleme alanında yer alan sıcak su, Scholler (1955)' e göre “Olağan Klorürlü”, “Olağan Sülfatlı” ve “Hiperkarbonatlı” sular sınıfında yer almaktadır.

Mineralli su ise, “Olağan Klorürlü”, “Olağan Sülfatlı” ve “Hiperkarbonatlı” sular sınıfında yer alır.

İnceleme alanında bulunan soğuk sular ise ‘‘Olağan Klorürlü’’, ‘‘Olağan Sülfatlı’’ ve biri hariç ‘‘Olağan Karbonatlı’’ sular sınıfındadır. Soğuk suların biri ise ‘‘Hipokarbonatlı’’ su sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 4.8 : Schoeller (1955)’e göre sınıflama

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



Şekil 4.3 : İnceleme alanındaki suların Schoeller grafiği

İnceleme alanındaki suların analiz verileri Schoeller diyagramına aktarılmış ve suların iyon dizilimleri grafiksel Şekil 4.3’ de, anyon ve katyonların bolluklarına göre sıralanışı ise Çizelge 4.9’ da verilmiştir.

Grafikte de görüldüğü üzere çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların iyon dağılımları benzerlik göstermektedir. Bu durumda suların aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip olabileceği yorumu yapılabilir.

Tabloda yer alan suların anyon ve katyon iyonlarının dizilimlerine baktığımızda bazı farklılıklar görülmektedir. Bunun nedeni, suların kaynaklarını oluşturan değişik türdeki (atmosferik, juvenil ve karışık) sular yerin derinliklerine inerken, ikincil ortamda dolaşırken ve yüzeye hareket ederken temas ettikleri kayaçların litolojik özellikleri, tektonik yapıları, jeokimyasal özellikleri ve ayrışma dereceleri gibi etkenler sonucu farklı iyonlar yüklenmeleridir (Pehlivan ve Yılmaz, 2005).

Çizelge 4.9 : İnceleme alanındaki suların anyon ve katyon bolluk sıralanışı

Örnek No	Kaynak Türü	Katyon	Anyon
D1	Sıcak	r(Na+K)> rCa> rMg	r(HCO ₃)> rCl> rSO ₄
D2	Mineralli	r(Na+K)> rCa> rMg	r(HCO ₃)> rCl> rSO ₄
D3	Soğuk	rCa> r(Na+K)> rMg	r(HCO ₃)> rSO ₄ > rCl
D4	Soğuk	rCa> rMg > r(Na+K)	r(HCO ₃)> rCl> rSO ₄
D5	Soğuk	rCa> r(Na+K)> rMg	r(HCO ₃)> rCl> rSO ₄

4.6 İnceleme Alanındaki Suların İçilebilme ve Kullanılabilirlik Özellikleri

4.6.1 Standartlara göre suların kullanıma uygunluğu

Sular sahip oldukları fiziksel ve kimyasal özelliklere göre kullanımlarının belirlenmesi amacıyla bazı ulusal ve uluslararası standart parametrelere dayalı olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular ile soğuk su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen veriler, Çizelge 4.10’da verilen tablodaki sınır değerler ile karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların pH değerleri 6,5 - 6,7 arası olup asidik bileşimlidir. Bölgedeki soğuk suların ise bazik bileşimli olup pH’ları 7,5 - 8,8 arasında

değişmektedir. Bölgedeki soğuk suların EC değerlerine bakıldığında 80 - 556 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında olup TS-266 içme suyu sınır değerleri içerisinde dir.

Çizelge 4.10 : Ulusal ve uluslararası standartlara göre elementlerin sınır değerleri

Parametreler	TS 266 2005	EPA 2002	WHO 2004	TSE 9130 Mineralli Sular 2010	Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği 2004	Kaplıca Suları Yönetmeliği 2001
Sıcaklık	25	-	-	-	-	-
pH	6,5<pH<9,5	6,5<pH<8,5	6,5<pH<8,5	-	-	-
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2500	-	2500	-	-	-
Na ⁺ (mg/l)	200	-	-	-	-	-
K ⁺ (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Ca ⁺² (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Mg ⁺² (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Cl ⁻ (mg/l)	-	250	250	-	-	-
SO ₄ ⁻² (mg/l)	250	250	250	-	-	-
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	-	-	-	-	-	-
Sb ⁺ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	5	6	5	5	5	5
Ag ⁺ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	-	-	-	-	-	-
Al ⁺³ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	200	200	200	200	200	200
As ⁺ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	10	10	10	10	10	-
B ⁺³ ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1000	-	2000	30000	30000	-
Cd ($\mu\text{g}/\text{l}$)	5	5	3	3	3	3
Cr ($\mu\text{g}/\text{l}$)	50	-	50	50	50	50
Fe ($\mu\text{g}/\text{l}$)	200	300	300	-	-	-
Cu ($\mu\text{g}/\text{l}$)	2000	1300	2000	1000	1000	-
Mn ($\mu\text{g}/\text{l}$)	50	-	100	500	500	-
Hg ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1	2	-	1	1	1
Ni ($\mu\text{g}/\text{l}$)	20	-	20	20	20	50
Pb ($\mu\text{g}/\text{l}$)	10	15	10	10	10	10
Se ($\mu\text{g}/\text{l}$)	10	50	10	10	10	-
F ($\mu\text{g}/\text{l}$)	1500	4000	1500	5000	5000	-
Ba ($\mu\text{g}/\text{l}$)	-	2000	-	1000	1000	-

Birincil ve ikincil iyon içeriklerine bakıldığında bölgedeki soğuk sular verilen sınır değerlerin altında kalmakta olup standartlara uygundur. Sıcak ve mineralli sular ise TS-226 standardına göre değerlendirilmemektedir.

TS 9130 Mineralli sular standardına göre; en az 600 mg/l HCO₃ içeren sular “bikarbonatlı sular”, en az 150 mg/l kalsiyum içeren sular ”kalsiyumlu sular” ve en az 200 mg/l sodyum içeren sular “sodyumlu sular” olarak sınıflandırılır. Bu durumda bölgedeki minerali su TSE 9130 standardına göre “sodyumlu-kalsiyumlu-bikarbonatlı su” grubunda yer almaktadır. Bu mineraller için bir üst limit belirlenmemiştir.

Kimyasal analizlere göre, ikincil iyonlar ve istenmeyen maddeler açısından değerlendirildiğinde alandaki soğuk sularda Sb⁺ miktarı 0,05-1,66 µg/l, As miktarı 0,7-3,8 µg/l, B⁺ miktarı 5-201 µg/l, Cd miktarı <0,05 µg/l, Cr miktarı 1,6-18,2 µg/l, Flor miktarı 700-208 µg/l, Mn 0,05-0,72 µg/l, Ni miktarı 0,2-2,8 µg/l, Pb miktarı 0,1-0,5 µg/l, Se miktarı <0,5 µg/l, Ba 2,28-160,29 ug/l arasında değişmekte olup sınır değerlerin altındadır.

Sıcak ve mineralli sularda ise Sb⁺ miktarı 0,05-0,50 µg/l, As miktarı 0,5-5,4 µg/l, B⁺ miktarı 1209-2084 µg/l, Cd miktarı <0,05 ug/l, Cr miktarı 26,7 - 47,0 µg/l, Flor miktarı 1030-1305 µg/l, Mn 110,73 - 700,11 µg/l, Ni miktarı 0,2-3,2 µg/l, Pb miktarı <0,1 µg/l, Se miktarı <0,5-0,9 µg/l, Ba 509,48-1351,68 µg/l arasındadır.

4.6.2 Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

Suyun tarımsal sulama faaliyetlerinde kullanımı için önemli bir parametredir. Toprağın Na emilim derecesini yansıtır. Bilindiği gibi sudaki Na⁺, Ca²⁺ ve Mg²⁺ minerallerinin yerini alabilmektedir. Uzun vadede Sodyum konsantrasyonu toprak yapısını bozabilir ve toprağın geçirgenliğini ve infiltrasyonunu azaltabilir (Todd,1980). Sodyum adsorpsiyon oranı bitkiler için alkali/Sodyum tehlikesinin ölçüsüdür ve aşağıdaki formülle tahmin edilebilir.

$$\text{SAR (Sodyum Adsorbsiyon Oranı)} = \text{Na} / \sqrt{\frac{\text{Ca}+\text{Mg}}{2}} \quad (4.3)$$

Formülde

Ca ve Mg meq/l olarak ifade edilir.

SAR oranına bağı sınıflama ise aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11 : SAR oranına göre suların sınıflaması

SAR	Sınıf
<10	Mükemmel
10-18	İyi
18-26	İzin verilebilir
>26	Uygun Değıl

İnceleme alanında SAR değıerleri soğıuk sularda 0,18 - 1,55, sıcak ve mineralli sularda ise 7,67 - 5,10 arasında değıişmektedir. Bu değıerlere göre inceleme alanındaki sular “Mükemmel” su sınıfına girmektedir. Çevredeki diğer soğıuk suların SAR değıerleri 0,39 – 1,39 arasında değıişmekte olup, “Mükemmel” sular sınıfındadır.

4.6.3 Sodyum yüzdesi (%Na)

Sodyum iyonu konsantrasyonu, toprağıın geğıirgenliğıini azaltması bakımından önemlidir. Bu oranın yüksek olması toprağıın verimsizleşmesine sebep olmaktadır. %Na oranı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Sınıflama Çizelge 4.12’de verilmiştir.

$$\%Na = (rNa + rK) * 100 / (rNa + rK + rCa + rMg) \quad (4.4)$$

r= mek/l

Çizelge 4.12 : Wilcox, 1955’ e göre %Na oranına bağı sınıflama.

%Na	Sınıf
<20	Mükemmel
20-40	İyi
40-60	İzin verilebilir
60-80	şüpheli
>80	Uygun değıl

İnceleme alanında % Na oranlarına bakıldığında soğıuk sularda 5,6-40,8 arasında olup “İyi” su sınıfındadır. Sıcak ve mineralli sulara ise 47,3-68,8 arasında değıişmekte olup “İzin verilebilir- şüpheli” sular sınıfındadır.

4.6.4 Schoeller içilebilirlik diyagramı

İnceleme alanından alınan sıcak, mineralli ve soğuk suların içme standartlarına uygun olup olmadığını belirlenmesi amacıyla elde edilen kimyasal analiz sonuçları Schoeller içilebilirlik diyagramı üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4.4).

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.

4.6.5 ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

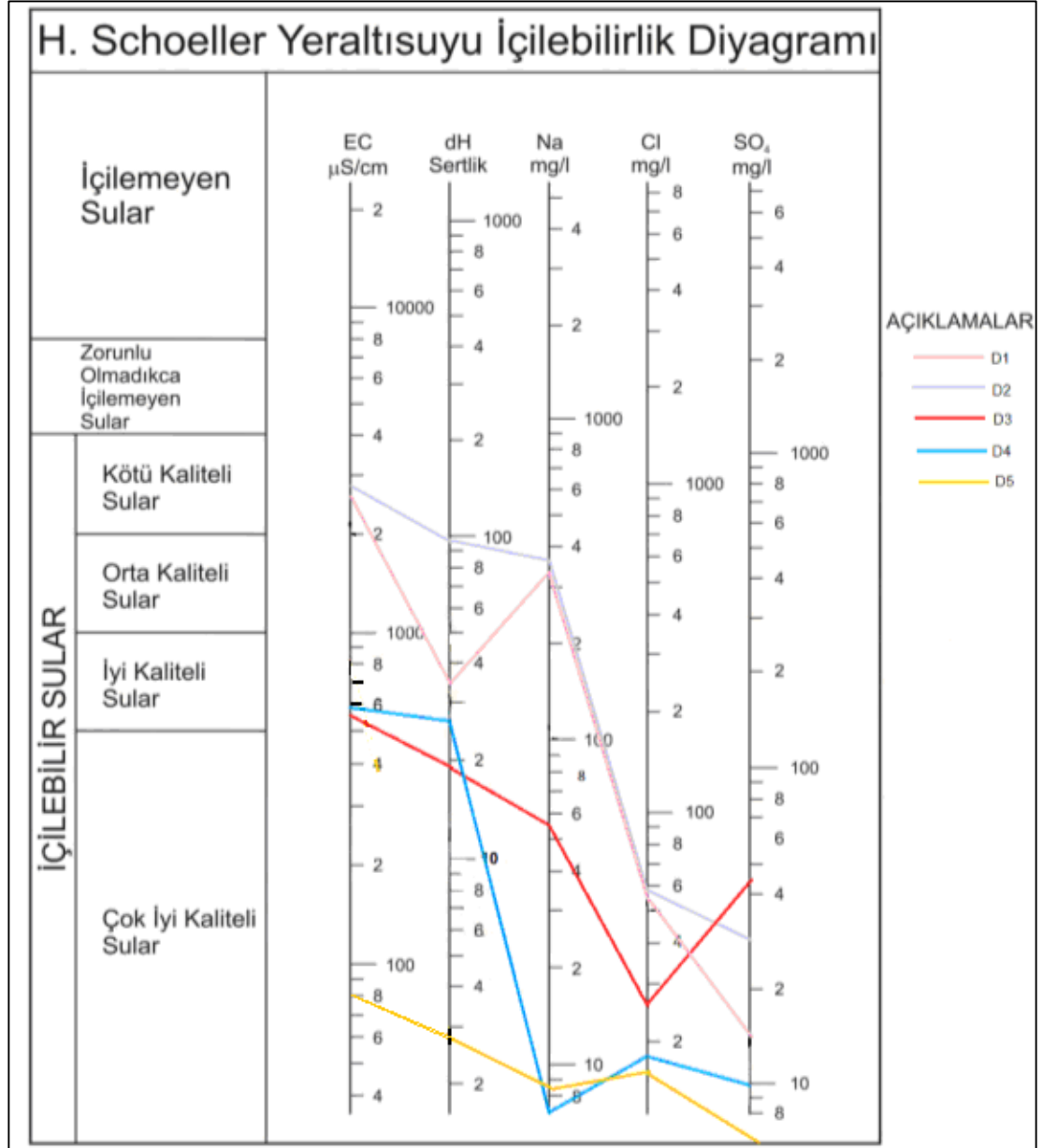
Suların kullanılabilme özelliklerine göre sınıflamasında kullanılan ABD tuzluluk diyagramında yatay ekseninde elektriksel iletkenlik (EC), düşey ekseninde SAR değerleri işaretlenmektedir. ABD Tuzluluk diyagramında bulunan EC ve SAR değerlerinin anlamları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13 : ABD Tuzluluk Laboratuvarı EC ve SAR değerlerine göre sınıflama

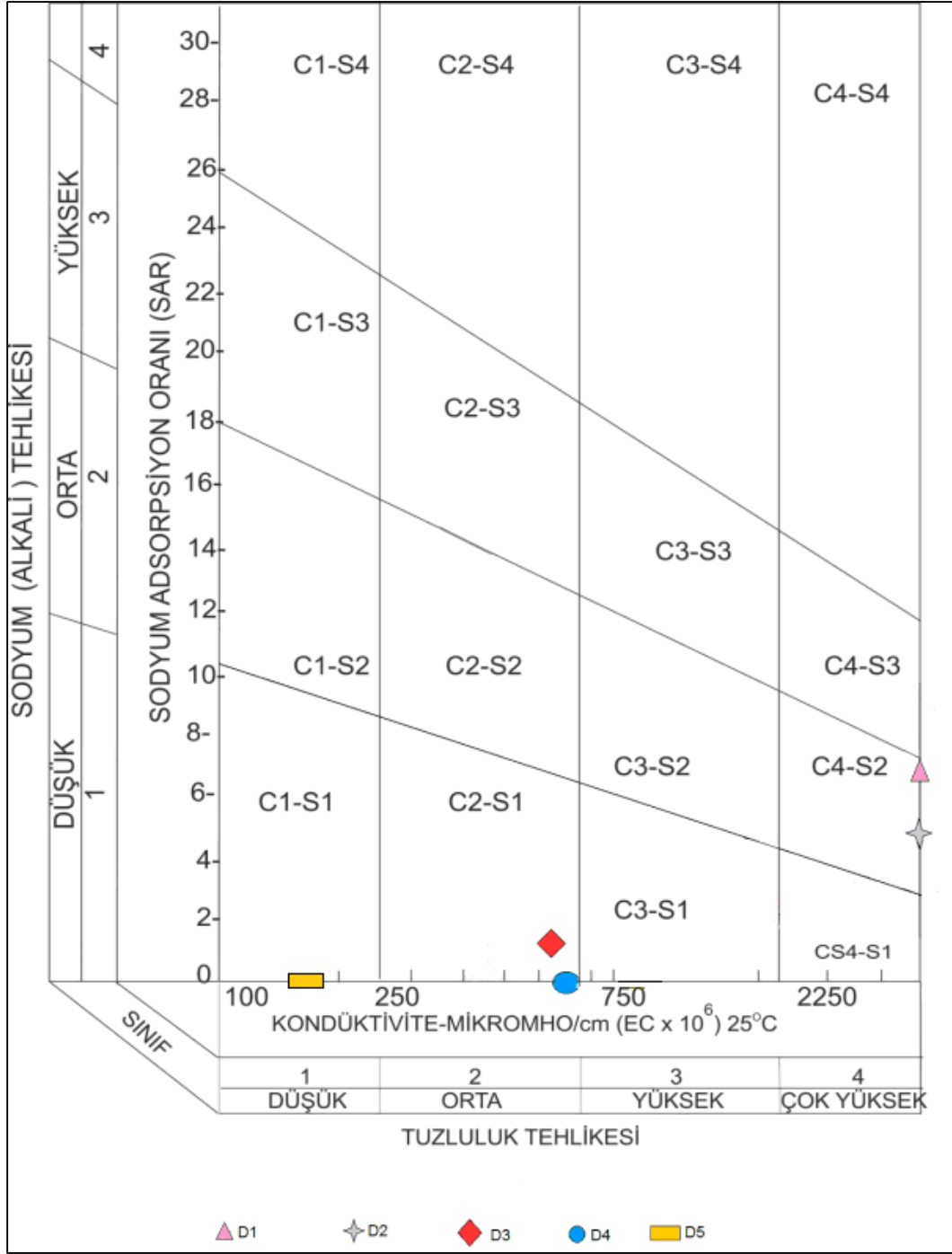
	Sınıf	Değer Aralığı	Açıklama
EC ($\mu\text{mho/cm}$)	C1	0-250	Az Tuzlu
	C2	250-750	Orta Derece Tuzlu
	C3	750-2250	Yüksek Tuzlu
	C4	2250-5000	Çok Yüksek Tuzlu
SAR	S1	-	Az Sodyumlu
	S2	-	Orta Sodyumlu
	S3	-	Yüksek Sodyumlu
	S4	-	Çok Yüksek Sodyumlu

Tabloda görüldüğü gibi 16 sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanındaki sıcak, mineralli ve soğuk suların sulama suyu olarak sınıflaması Şekil 4.5’de verilmektedir. Buna göre sıcak ve mineralli sular (D1,D2) C4-S2 grubu çok yüksek tuzlu orta sodyumlu sınıfına girmektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Yüksek permeabilite, çok iyi drenaj, tam yıkamayı sağlayacak kadar bol sulama ve tuzluluğa çok dayanıklı bitki seçimi gibi özel hallerde kullanılabilir. Fazlaca değişebilir sodyum var demektir. Geçirimli veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir.

İnceleme alanındaki yüzey suyu C2-S1, soğuk sular ise C1-S1 ve C2-S1 sınıflarındadır. C2-S1 sınıfı sular orta derece tuzlu düşük sodyumlu olarak tanımlanır. Genel olarak sulamaya uygundur. Ancak, drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Bu alanlarda tuz kontrolleri yapılarak kullanılabilirler. C1-S1 sınıfı sular ise düşük sodyumlu düşük tuzlu su sınıfı olarak tanımlanır. Sulama amaçlı kullanıma uygun sulardır.



Şekil 4.4 : İnceleme alanındaki suların içilebilirlik diyagramı

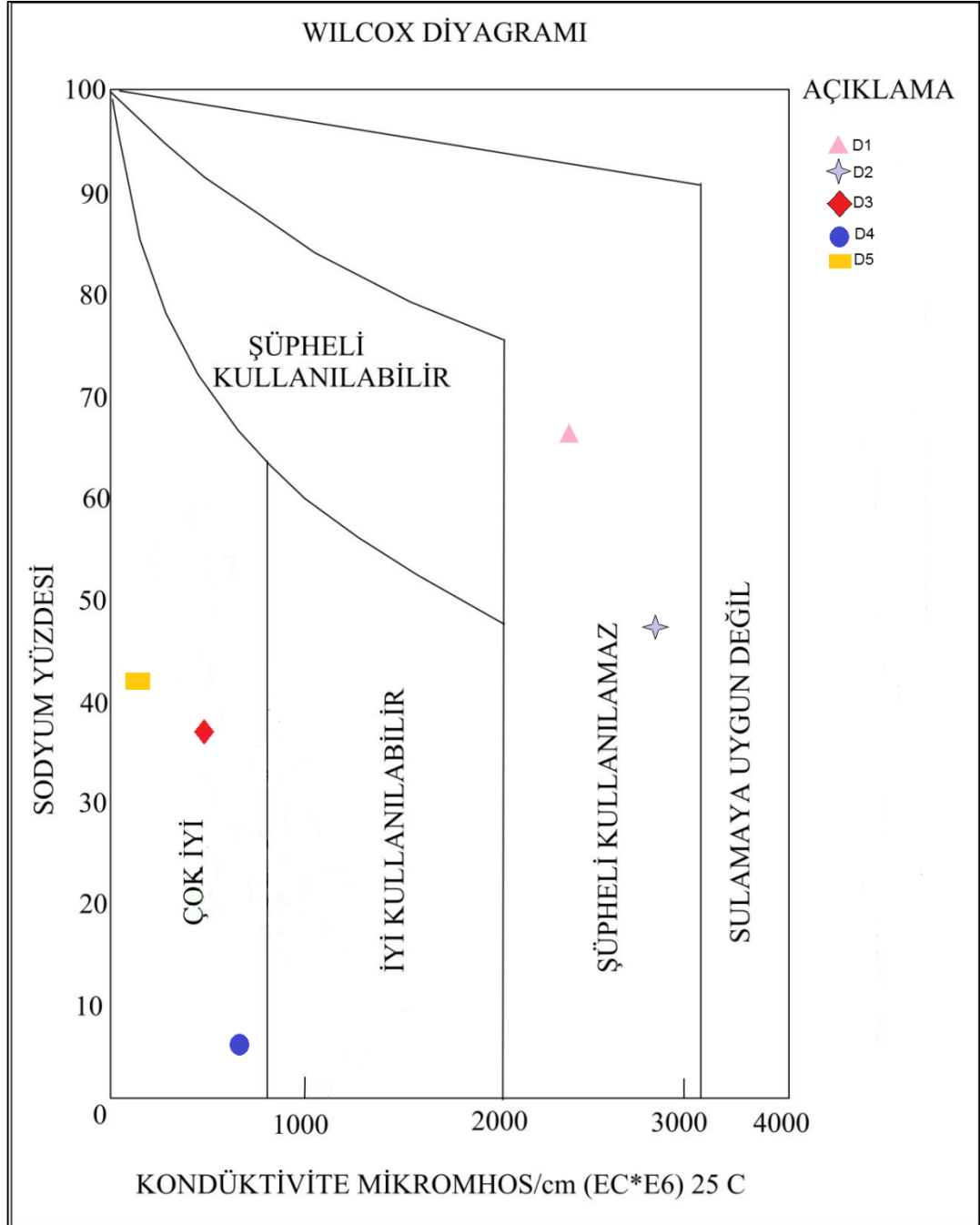


Şekil 4.5 : İnceleme alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı

4.6.6 Wilcox diyagramı

Wilcox diyagramında analizler sonucu elde edilen EC değeri ile Sodyum yüzdesi grafikte ait oldukları eksenlere yerleştirilir ve kesişimleri alınır. Bu diyagram suların sulama suyu olarak, sulamaya uygun değil, şüpheli kullanılamaz, şüpheli kullanılabilir, iyi kullanılabilir ve çok iyi olmak üzere 5 sınıfa ayrılmaktadır.

İnceleme alanında yer alan Dümbüldek kaplıcasına ait sıcak su ile mineralli su şüpheli kullanılmaz sınıfta, soğuk sular ise çok iyi sular sınıfında yer almaktadırlar (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : İnceleme alanındaki suların Wilcox Diyagramı

4.7 Mineral Doygunluk İndeksi

Suların mineral doygunlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile ilişkilidir. Her mineral için özellikle

sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içeren logaritmik bir kavramdır. Mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması suların üretim ve iletimi aşamasında oluşabilecek çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır (Tarcan, 2002).

Dİ veya SI ($\log Q/K$) = 0 ise Su ilgili mineral ile dengededir (doygundur).

Dİ veya SI ($\log Q/K$) > 0 ise Su ilgili mineralle aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliindedir).

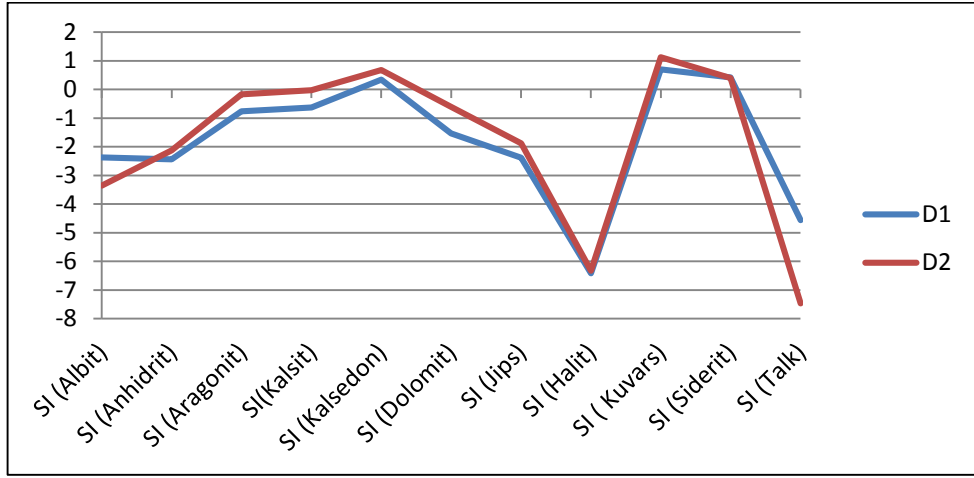
Dİ veya SI ($\log Q/K$) < 0 ise Su ilgili mineralle doygun değildir (mineral çözüdürücü özelliindedir).

İnceleme alanında yer alan sıcak, mineralli ve soğuk su kaynaklarının mineral doygunluk indeksleri yüzeydeki pH ve sıcaklık değerlerine göre Aquachem programı yardımı ile hesaplanmış ve Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14 : İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk indeksleri

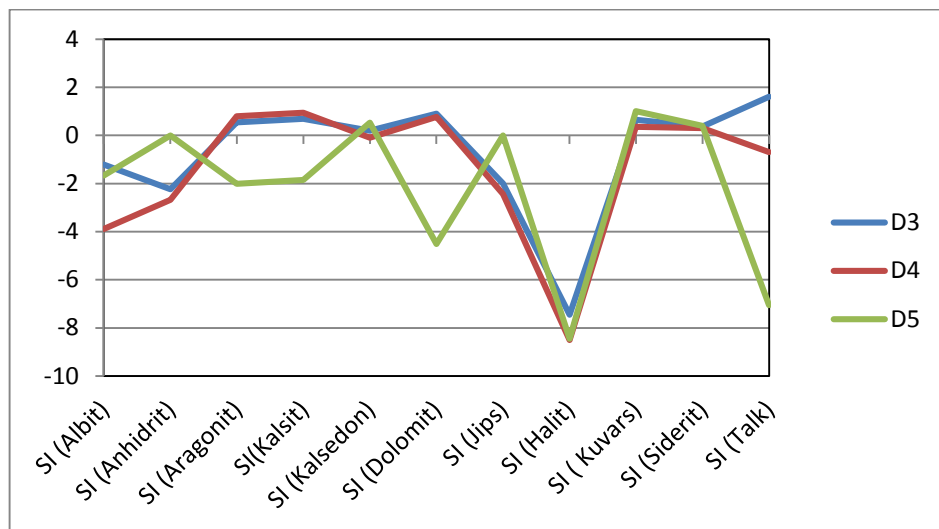
Örnek	D1	D2	D3	D4	D5
Kaynak Türü	Sıcak	Mineralli	Soğuk	Soğuk	Soğuk
Sıcaklık	51°C	17°C	20°C	20°C	12°C
pH	6.8	6.5	7.5	8.8	7.9
Minerallerin Doymuluk İndeksi Değerleri					
SI (Albit)	-2,3762	-3,3582	-1,2066	-3,8856	-1,6631
SI (Anhidrit)	-2,5296	-2,1235	-2,2351	-2,6698	-
SI (Aragonit)	-0,2604	-0,1738	0,5409	0,7936	-2,0089
SI (Kalsit)	-0,1338	-0,0241	0,6891	0,9411	-1,8554
SI (Kalsedon)	0,3445	0,6749	0,201	-0,0939	0,5323
SI (Dolomit)	-0,5314	-0,6109	0,907	0,7637	-4,5089
SI (Jips)	-2,4707	-1,8803	-1,9951	-2,4327	-
SI (Halit)	-6,4372	-6,3227	-7,4494	-8,5072	-8,4522
SI (Kuvars)	0,6991	1,1296	0,6492	0,351	1,0037
SI (Siderit)	0,765	0,3995	0,3763	0,3083	0,3908
SI (Talk)	-4,7862	-7,4654	1,6017	-0,6877	-7,0508

Buna göre Dmblde kaplıcasına ait sıcak su ile mineralli suyun kalsedon, kuvars ve siderit için çöktürücü, diğeri için çözündürücü etkisi bulunmaktadır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların mineral doygunluk indeksi grafiği

Soğuk sular için yapılan hesaplamalar yüzeyde ölçülen sıcaklık koşullarında değerlendirilmiştir. Çizelge 4.14'da soğuk sularda oluşabilecek olan bozuşma minerallerinin doygunluk indeksi değerleri Aquachem bilgisayar programında oluşturulmuştur. İnceleme alanı ve civarındaki çeşitli yerlerden alınan soğuk suların doygunluk indeksi değerleri incelendiğinde genel olarak albit, anhidrit, jips, halit, talk için sıfırın altı, aragonit, kalsit, dolomit, kuvars, siderit için sıfırın altı veya üstü değerler vermektedir. Sıfırın altında değere sahip mineraller için çözündürücü, üzerindeki değerler için çöktürücü özelliğe sahiptir (Şekil 4.8).

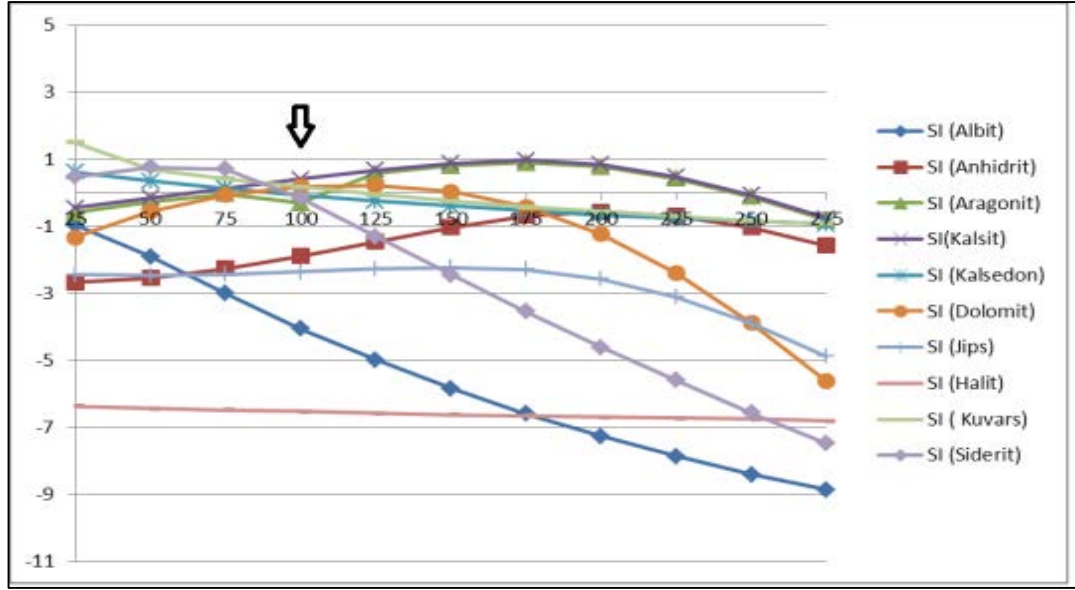


Şekil 4.8 : İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk indeksi grafiği

Hesaplamaların yorumlanmasında minerallerin doygunluk indeksi değerleri sıcaklığa bağlı olarak değiştiklerinden, birden fazla mineral doğrusunun denge doğrusu olan $Dİ=0$ doğrusunu belirli sıcaklıkta kesmesi durumunda bu kesişim sıcaklığının hazne kaya sıcaklığı hakkında bilgi verdiği belirtilmektedir. $Dİ$ denge doğrusunun aşağısında (negatif kısımda) geręekleřen kesişmeler farklı sıcaklıktaki akışkanların karışımını ve dolayısıyla bu akışkanların sıcaklıklarını belirtebilir. Denge doğrusunun yukarısında geręekleřen kesişimler ise sudan buhar ayrılması ile farklı sıcaklık karışımlarını gosterebilir (Tarcan, 2002). Buna gore, mineral denge-sıcaklık ilişkisine yonelik doygunluk indeksi hesaplamaları aynı zamanda jeotermometre olarak kullanılabilir.

Bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişiminin saptanmasında pH sabit tutulmuş ve yeni sıcaklıklara gore doygunluk indeksi değerleri Aquachem programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu çalışmada sıcaklığa gore değişen doygunluk indeksi ($Dİ$)-Sıcaklık grafikleri oluşturulmuştur. Sıcaklık değerleri 25°C’de bir değiştirilerek 25-275°C arası için irdelenmiştir (izelge 4.15).

Bozuşma minerallerinin sıcaklıkla değişimlerine bakıldığında, siderit, albit, halit, kuvars, kalsedon minerallerinde sıcaklığın artışına bağlı olarak azalma gorulmektedir. Anhidrit, kalsit, dolomit, aragonit, jips minerallerine ise sıcaklık artışına bağlı olarak once bir artış daha sonra azalma gorulmektedir. Minerallerin oluşturduğu Doygunluk İndeksi ($Dİ$) eğrileri belli sıcaklıklarda kesişmektedir. Buna gore Dumbuldekin sıcak suyunun akifer sıcaklığının 100-125 °C arasında olabileceği sonucu çıkarılabilir. (şekil 4.9).



Şekil 4.9 : İnceleme alanındaki sıcak suyun sıcaklığa bağlı mineral doygunluk indeksi değişim grafiği

Çizelge 4.15 : İnceleme alanındaki sıcak suyun sıcaklığa bağlı mineral doygunluk indeksi değişimi

DI Örneği	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
DI (Albit)	-0,96	-1,91	-3,01	-4,06	-4,99	-5,84	-6,59	-7,26	-7,87	-8,41	-8,87
DI (Anhidrit)	-2,67	-2,54	-2,26	-1,89	-1,47	-1,04	-0,70	-0,56	-0,69	-1,03	-1,57
DI (Aragonit)	-0,60	-0,27	-0,03	-0,31	0,58	0,80	0,89	0,78	0,42	-0,12	-0,82
DI (Kalsit)	-0,45	-0,15	0,14	0,41	0,67	0,88	0,97	0,84	0,48	-0,07	-0,77
DI (Kalsedon)	0,62	0,35	0,13	-0,07	-0,25	-0,40	-0,53	-0,66	-0,76	-0,85	-0,93
DI (Dolomit)	-1,34	-0,55	-0,06	0,19	0,22	0,04	-0,42	-1,24	-2,41	-3,89	-5,63
DI (Jips)	-2,45	-2,47	-2,43	-2,36	-2,28	-2,23	-2,29	-2,57	-3,12	-3,90	-4,88
DI (Halit)	-6,37	-6,44	-6,48	-6,53	-6,58	-6,62	-6,65	-6,69	-6,72	-6,76	-6,81
DI (Kuvars)	1,05	0,71	0,42	0,17	-0,05	-0,25	-0,42	-0,57	-0,70	-0,83	-0,92
DI (Siderit)	0,48	0,76	0,71	-0,15	-1,31	-2,45	-3,55	-4,61	-5,60	-6,57	-7,48

4.8 Jeotermometre

Jeotermal sular rezervuarda farklı sıcaklık ve basınç altında bulunurlar. Burada kaldıkları süre içerisinde su-kayaç etkileşmesi sonucu kimyasal bileşimlerini kazanırlar. Yüze çıkışları sırasında da temas ettikleri kayalarla 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 ve diğ., 2006).

Rezervuardaki suyun sıcaklığı yüzeydeki sıcaklığından fazladır. Bu suların sıcaklığı, yüzeye çıkarken kattetikleri mesafeye ve suyun debisine bağlı olarak değişir. Örneğin, bir yüzeye çıkan suyun sıcaklığı, yeraltında katettiği yol kısa ve debisi yüksekse sıcaklığı o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır (Tarcan, 2002).

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 karışma olabilir.

Jeotermometreleri Niteliksel, Silis ve Katyon Jeotermometreleri olarak 3 grupta inceleyeceğiz.

4.8.1 Niteliksel jeotermometreler

Niteliksel jeotermometreler, sudaki uçucu elementlerin konsantrasyonuna ve dağılımlarına bağlıdır. Elementlerin yüksek konsantrasyonları yer altı kaynama noktalarının yanı sıra nispeten sığ ısı kaynağını da işaret edebilmektedir. Tonani (1970)'e göre, yüzey sularında B, NH₄, H₂S, Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As gibi elementlerin yüksek konsantrasyonları derinlerde meydana gelen kaynamayı işaret etmektedir. Elementler buhar fazında parçalanmakta ve yukarıya taşınarak sığ sular içerisinde bulunmaktadır. White ve diğ. (1971)' e göre ise olan sığ sulardaki bu uçucu elementlerin yüksek konsantrasyonları buhar egemen sistemlerin en karakteristik özelliğidir. Mahon (1970)' e göre, Cl/SO₄ ve Cl/F oranlarının yüksek oluşu yüksek sıcaklıklı sistemleri işaret eder. Sigvaldason ve Cuéllar (1970)' e göre termal gazlar içerisindeki hidrojenin konsantrasyonu sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça hidrojen içeriği de artmaktadır. Cl/(HCO₃ + CO₃) oranının yüksek olması farklı akiferlerden gelen suları ayırt etmede kullanılır. Rezervuar sıcaklığı yüksekse bu oran da yüksektir (Fournier and Truesdell, 1970).

4.8.2 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 yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi oluşması nedeniyle sıcaklığı 225 °C nin üzerindeki rezervuar kayalardan gelen sulara 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 aşağıda verilmiştir (Tarcan, 2002).

Çalışmada kullanılan silis jeotermometreler Çizelge 4.16’de verilmiştir.

Çizelge 4.15 : Silis jeotermometreleri

Jeotermometre Türü	Bağıntılar	Referanslar	Hesaplanan Sıcaklıklar
SiO ₂ (Amorf silis)	$t=731/(4.52-\log \text{SiO}_2) -273.15$	Fournier,1977	<51
SiO ₂ (a Kristobalit)	$t=1000/(4.78-\log \text{SiO}_2) -273.15$	Fournier,1977	67,6
SiO ₂ (b Kristobalit)	$t= 781/(4.51-\log \text{SiO}_2) -273.15$	Fournier,1977	<51
SiO ₂ (Kalsedon)	$t= 1032/(4.69-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier,1977	89,6
SiO ₂ (Kuvars)	$t= 1309/(5.19-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier,1977	118,2
SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1522/(5.75-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Fournier,1977	116,6
SiO ₂ (Kalsedon)	$t= 1112/(4.91-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Annorsson ve diğ., 1983a	89,7
SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1264/(5.31-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Annorsson ve diğ., 1983a	91,7
SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1021/(4.69-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Annorsson ve diğ., 1983a	85,7
SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1164/(4.9-\log \text{SiO}_2)-273.15$	Annorsson ve diğ., 1983a	107,8
SiO ₂	$t= 1498/(5.7-\log \text{SiO}_2) -273.15$	Annorsson ve diğ., 1983a	115,4

SiO₂ derişimleri mg/l olarak alınmıştır.

Tabloda yer alan amorf silis (Fournier,1977), kristobalit (Fournier, 1977), kalsedon (Fournier,1977) silis jeotermometreleri yüzeydeki sıcaklığından daha düşük veya yüzey sıcaklığına yakın değerler vermişlerdir. Kuvars (Fournier, 1977)

jeotermometresine göre Dmbldek termal alanı için akifer sıcaklık değeri 118,2 °C olarak hesaplanmıştır.

4.8.3 Katyon jeotermometreleri

Na-K konsantrasyonları ve oranları genellikle Na-Plajyoklas ve K-Feldispat arasında Na-K iyonlarının değişimi sonucunda belirlenir. Bu tür reaksiyonlarda çözünmüş bileşenlerin oranı denge sıcaklığının değişmesine bağlı olarak değişmektedir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat klmelerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{Ca}/Na)$ değerinin 0,5 ten az olması koşulları aranmalıdır. Bu jeotermometreler suda fazla miktarda Ca^{++} iyonu bulunuyorsa, akifer (hazne) sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 200 °C ve üzeri sıcaklıklardaki akiferden gelen sularda daha iyi sonuçlar vermektedir.

Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların akifer (hazne) sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayaçlarla olan denge durumlarının belirlenmesi için bulunan ve Fournier (1990) tarafından geliştirilen Na-K-Mg diyagramı ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hızlı olarak yorumlanabilmekte, hem de katyon jeotermometre uygulamalarının geçerliliği kontrol edilmektedir.

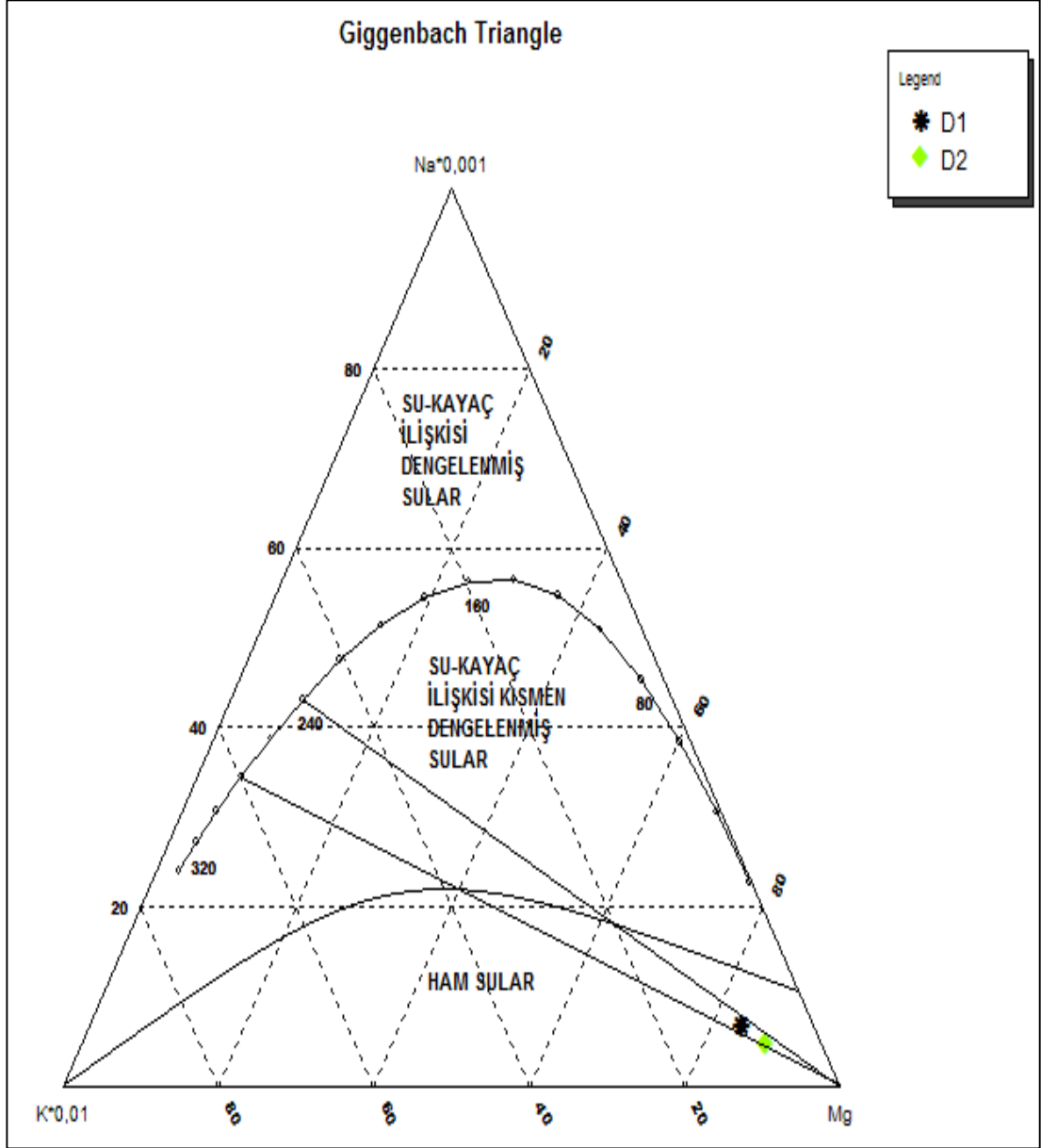
Giggenbach (1988)'in hazırladığı ve daha sonra Fournier (1990) tarafından revize edilen bu diyagramda sular içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/L değerlerine göre sınıflandırılır. Buna göre diyagram  bölgeden oluşmaktadır. I. bölgede; Su kayaç ilişkisi bakımından dengedeki sular, II. Bölgede; Kısım dengelenmiş sular ve III. Bölgede; ham sular bulunmaktadır. Fournier (1990), II. ve III. bölgelerin ayırımını, oluşturduğu "Olgunluk derecesi" (Maturity index) kavramına dayandırmıştır. Olgunluk indeksi aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.

$$(MI) = [0,315\log(K^2/Mg)] - [\log(K/Na)] \quad (\text{Giggenbach, 1988}) \quad (4.5)$$

Olgunluk indeksi (MI) 2,0'in altında bulunan sular ham sular sınıfına girerken (III. Bölge), olgunluk indeksi değeri 2,0'in üzerinde bulunan sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmış, su-kaya ilişkisi dengede olan sular sınıfına girmektedir (I. ve II. Bölge). Burada bahsedilen olgunlaşma su-kayaç arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir. Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için

örneklerin mg/L değerlerinin diyagramda dengelenmiş sular sınıfına (I.bölge) düşmesi gerekmektedir.

Alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları mg/l cinsinden hesaplanarak diyagrama yerleştirilmiştir (Şekil 4.10). Ancak suların “ham sular” sınıfında yer alıyor olması (III. Bölge) bu değerlerin sağlıklı olmadığını göstermektedir (Giggenbach, 1988).



Şekil 4.10 : Giggenbach (1988)'e göre suların sıcaklık grafiği

Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen birçok kimyasal jeotermometre bağıntıları Çizelge 4.17’de gösterilmiştir. İnceleme alanı için fikir vermesi açısından uygulanan katyon jeotermometreleri akifer sıcaklığı olarak 197,33 - 263,86 °C aralığında oldukça

yüksek değerler vermişlerdir. Bölgedeki suların MI<2 olması ve diyagramda “ham sular” sınıfına düşmesi sebebiyle Na/K jeotermometre sonuçlarının güvenilir olmayacağı sonucu çıkmaktadır.

Çizelge 4.16 : Katyon jeotermometreleri

Katyon Jeotermometreleri	Bağıntılar	Değinilen Belgeler	Hesaplanan Sıcaklıklar
Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983b	253,55
Na/K	$t = 1319 / (1,699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983b	246,67
Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983b	231,92
Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976	231,74
Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979	251,10
Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Nieva ve Nieva, 1987	237,16
Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983	263,86
Na/K (mmol)	$t = 908 / (0.692 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979	242,18
Na-K-Ca(mmol)	$t^{\circ}\text{C} = 1647 / \{ \log(\text{Na/K}) + \beta [\log(\sqrt{\text{Ca/Na}} + 2,06) + 2,47] \} - 273$	Fournier ve Truesdell (1973)	197,33

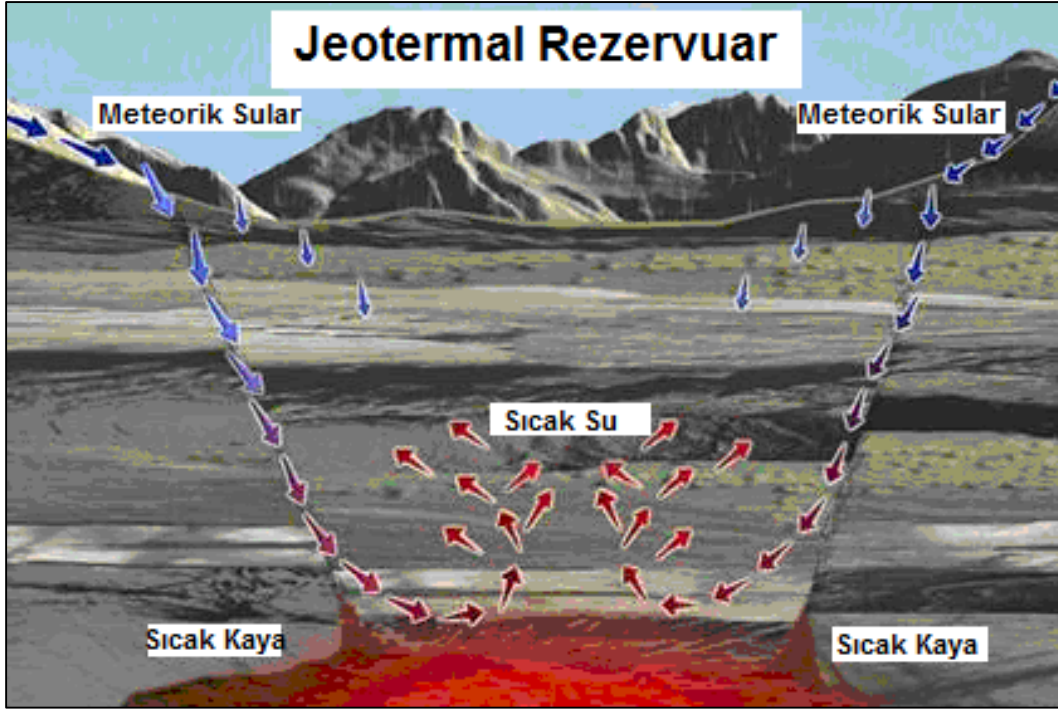
5. DÜMBÜLDEK JEOTERMAL ALANI

Önceki bölümlerde inceleme alanının jeolojisi, tektoniği, birimlerin hidrojeolojik özellikleri, suların kimyasal özellikleri, kullanılabilirlikleri, mineral doyunlukları ve tahmini sıcaklık değerlerinden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise inceleme alanında yer alan sıcak suyun oluşum modeli, hazne kaya ve rezervuar kaya özellikleri ile kullanımı ve sonrasında oluşabilecek sorunlar hakkında bilgi verilmiştir.

5.1 Oluşum Modeli

Isıtıcının varlığı, hazne kayaç, örtü kayaç ve suların derinlere süzülmesini sağlayacak fay ve kırıklar jeotermal sistemin ana unsurlarıdır (Şekil 5.1). Jeotermal sistemi besleyen en önemli kaynaklar meteorik sular olarak tanımlanan kar ve yağmur sularıdır. Beslenme alanından kırıklar vasıtasıyla derinlere süzülen su hem jeotermik gradyanla (her 33m de 1 °C lik artış) hem de ısıtıcı kayanın içerisindeki radyoaktif elementlerin reaksiyonları sonucu açığa çıkan ısı sonucu ısınır ve ısınan sular zayıf zonlardan tekrar yüzeye çıkarlar.

İnceleme alanı önceki çalışmalarda tektonik açıdan D-B uzanımlı normal fay bileşeni ağırlıklı olan fayların oluşturduğu bir graben alanı olarak tanımlanmaktadır. Kuzey Anadolu Fayının batı uzanımı olan bu bölge, doğrultu atımlı fay niteliğini kaybederek normal bileşimli fay özelliği kazanmıştır. Bölgede yapılan sondaj çalışmaları da Dümbüldek jeotermal alanında birbirine paralel normal atımlı basamak faylarının hakim olduğunu göstermektedir. Sondajın yapıldığı Dümbüldek kaplıcası ve onun kuzeyinde yer alan Mustafakemalpaşa Ovası doğu-batı uzanımlı çoğunlukla kuzeye eğimli fayların kontrolü altında olduğu önceki çalışmalarda belirtilmiştir. Çok genç olan bu fayların Pliyosen ve/veya daha genç olabileceği düşünülmektedir. Manyas'ın batısından başlayan kırık sisteminin, Mustafakemalpaşa'nın güneyinden geçerek Dümbüldek kaplıcası alanından doğu yönünde devam ettiği ve bu kırık hatları sıcak suların yüzeye taşınması ile doğrudan ilişkili olduğu önceki çalışmalarda ortaya konmuştur (Özbayrak,1994).



Şekil 5.1 : Jeotermal sistem unsurları (www.geothermal.marin.org)

İnceleme alanında yer alan granitlerde bulunan kırık ve çatlaklar ile alüvyon ve Neojen yaşlı formasyonlar, meteorik, yüzey ve yeraltı sularının yerin derinliklerine süzülmesini sağlamaktadır. Derinliklere süzülen sular, jeotermik gradyana bağlı olarak ısınıp kırık, çatlak ve fay yüzeylerini kullanarak tekrar yüzeye ulaşmaktadır.

5.1.1 Beslenme

Jeotermal sistemin beslenme alanını hem jeolojik yapılar hem de morfolojik yapılar birlikte destekler. Jeotermal alanın beslenmesi meteorik sular, yerüstü ve yeraltı suları tarafından sağlanmaktadır. İnceleme alanında yeraltı sularını besleyen en önemli kaynaklar ise akarsular ile yağmur ve kar sularıdır. İnceleme alanının güney ve güneybatısında yer alan Çataldağ Graniti bölgenin hem yüksek alanlarını hem de soğuk su akiferini oluşturmaktadır. Burada yer alan meteorik sular kırık ve çatlaklardan derinlere süzülürler. İnceleme alanının kuzey doğusunda ise diğer bir soğuk su akiferi olan alüvyonlar yer almaktadır. Buradaki yüzey ve yeraltı sular da yerin derinliklerine süzülerek jeotermal alanı beslemektedir.

Son olarak Neojen yaşlı çökeller de meteorik suların yerin derinliklerine süzülmesiyle jeotermal alanın beslenmesini sağlar.

5.1.2 Hazne kaya

Jeotermal sistemleri oluşturan unsurlardan bir diğeri de gözenekli ve geçirimli olması sebebiyle yer altına süzülen suları depolanabilecek kayaçların varlığıdır. Kayaçların gözenekli ve geçirimli olması litolojik özelliklerine bağlıdır. Bunun yanında bölgenin geçirmiş olduğu tektonizmalar sonucu kayaçlar bu özellikleri ikincil olarak da kazanabilmektedir. Sularda yapılan hidrokimyasal analizler hazne kayaç hakkında ipuçları vermektedir.

İnceleme alanında yapılan hidrojeokimyasal sonuçlar incelendiğinde Dümbüldek jeotermal alanında yer alan su NaHCO_3 tipindedir. Mineral doygunluk indeksi hesaplamalarında ise kuvars ve kalsedon minerallerine doygundur. Su içerisinde Na miktarının yüksek olması volkanik kayaçların içerdiği sodyum plajioloklasların çözünmesi ile ilişkilendirilebilir. HCO_3 iyonu ise yağmur sularının CO_2 etkisi ile karbonatlı kayaçları çözmesiyle suda CO_3 ve HCO_3 'ın zenginleşmesi sonucu meydana gelmektedir. Ayrıca yüksek HCO_3 derişimi soğuk sular ile karışımın bir göstergesidir. Yine pH'ın asidik karakterli oluşu CO_2 derişimi dolayısıyla HCO_3 miktarından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sistemlerde Ca derişimi <50 ppm'dir. Dümbüldek sıcak suyu içerisinde ise 112 mg/l derişimli kalsiyum varlığı bu jeotermal alanının çok yüksek sıcaklıklı bir sistem olmadığını göstermektedir. Ca iyonu ise albit, anortit, piroksen, amfibol gibi silikat minerallerinde yer alan kalsiyumun eritilmesi ile suya geçmiş olabilir. Na/K oranının 15'e yakın ve daha az olması akışkanın yeryüzüne çıkış hızının yüksek olduğunu göstermektedir. Na/K oranına bakıldığında 15'den küçük değer vermesi Dümbüldek jeotermal alanının yüzeye çıkış hızının yüksek olduğunu gösterir. Kuvarsa doygun oluşu bölgede yer alan Neojen yaşlı çökeller ile eş yaşlı olan volkanik kayaçlar (andezit, riyolit, bazalt) ile ilişkilendirilebilir (Eroğlu ve Aksoy, 2003). Sıcak sudaki florür oranına bakıldığında bölgedeki soğuk sulardan yüksek olduğu görülmektedir. Florürün kökeni andezitik tüfler ve biyotitlerden kaynaklanmaktadır. Mg derişimi genel olarak jeotermal sistemlerde 0,01-0,1 ppm arasındadır. Daha yüksek derişimler yüzeye yakın kayaçlardan veya sığ sularda karışımı göstermektedir.

Dümbüldek jeotermal alanında ise Mg derişiminin 18 mg/l olması termal suyun yüzeye yakın kayaç veya sığ sular ile karıştığına işaret etmektedir. Yukarıda yer alan analiz sonuçlarına göre, bölgede yer alan Pliyosen ve Miyosen yaşlı göl sedimentleri

ve volkanikler Dümbüldek jeotermal alanı için hazne kayaç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Suyun geldiği derinlik, yükselirken kaybettiği sıcaklık ve soğuk karışımları ihmal edilirse şu eşitlikle hesaplanır:

$$D = (S_k - S_o) * J_g + Y_k \quad (\text{Canik, 1980}) \quad (5.1)$$

Burada,

S_k = Kaynak sıcaklığı,

S_o = Ortamın yıllık sıcaklık ortalaması,

J_g = Ortalama Jeotermik gradyan,

Y_k = Atmosferik olayların etkisi ile jeotermik gradyan artışının olmadığı yüzey kuşağını ifade etmektedir.

Dümbüldek jeotermal sıcaklığı 51°C , yıllık ortalama sıcaklık $14,5^{\circ}\text{C}$ olarak, ortalama jeotermik gradyan 100 m'de 3°C olarak alınmıştır. Yüzey kuşağı ise 100 m olarak kabul edilmiştir. Buna göre Dümbüldek için hazne kayaç derinliği yukarıdaki formülden yararlanılarak;

$$D = (51 - 14,5) * 33 + 100 = 1304 \text{ m olarak bulunmuştur.}$$

Formül değerleri;

$k = 118^{\circ}\text{C}$ kuvars jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı ve

$S_o = 51^{\circ}\text{C}$ kaynak sıcaklığı olarak hesaplırsak hazne kaya derinliği,

$$D = (118 - 51).33 + 100 = 2311 \text{ m olarak da bulunabilir.}$$

Bir başka formülde (Tosun, 2014) ise;

$$T_r = T_y + J_g * D \quad (5.2)$$

T_r = Rezervuar sıcaklığı,

T_y = Ortalama yüzey sıcaklığı,

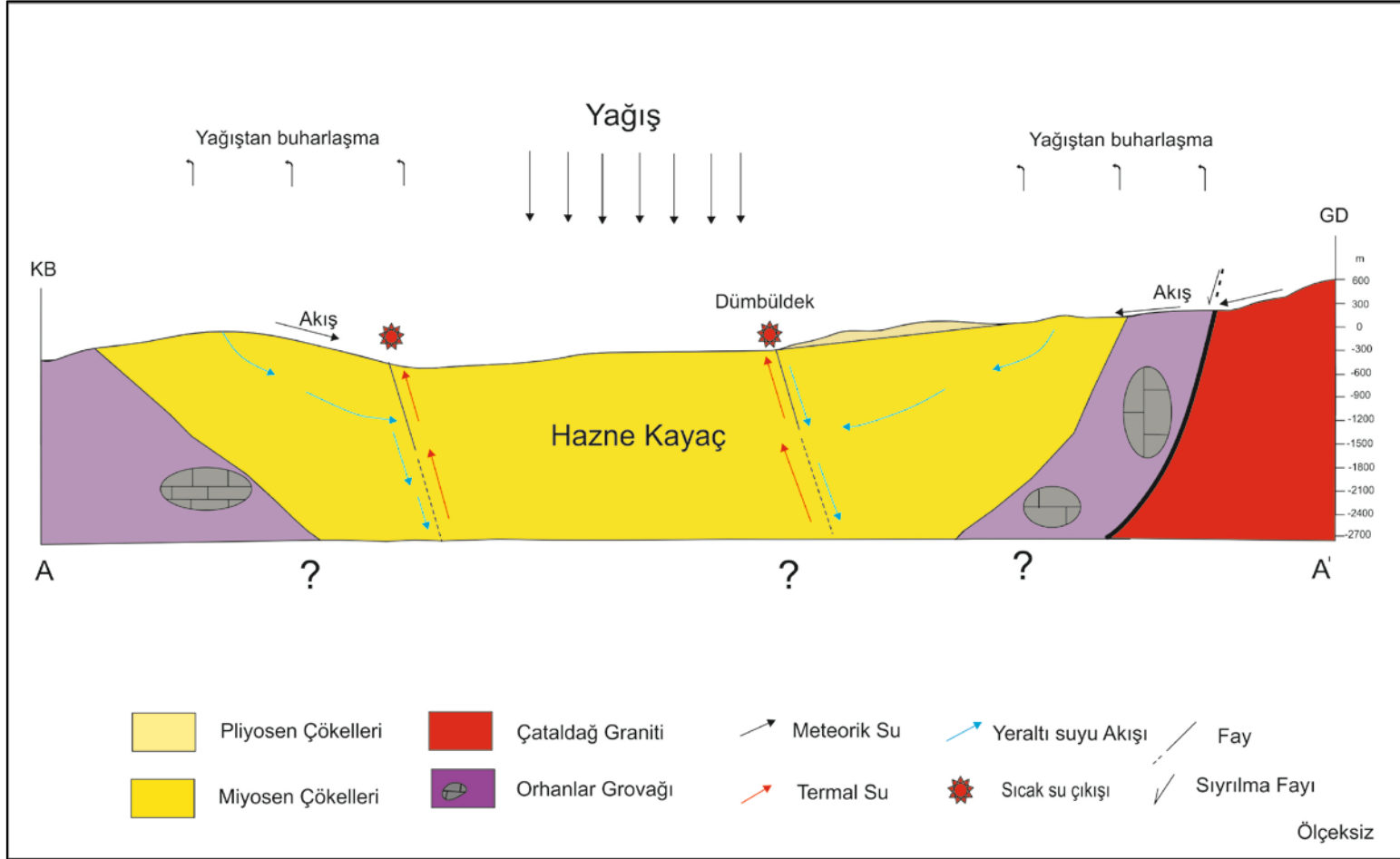
J_g = Ortalama Jeotermik gradyan ($3/100$),

D = Hazne kaya derinliğini ifade edecek olursa formül;

5.2'deki gibi yazılır ve formülde rezervuar sıcaklığı değeri olarak kuvars jeotermometresi sonucu elde edilen 118°C olarak alınırsa;

$118 = 14,5 + 0,03 * D$ olur. Buradan $D = 3450$ m olarak bulunur.

Bölgenin aktif tektonik yapısı dikkate alındığında, jeotermik gradyana bağlı olarak hazne kayaç derinliğinin 3500 den daha sığ bir derinlikte olacağı sonucuna varılmıştır. Yukarıdaki bilgiler ışığında çizilen Dümbüldek Jeotermal alanının modeli Şekil 5.2'de sunulmuştur.



şekil 5.2 : Düzümlüdeok jeotermal alanının oluşum modeli

5.2 Kullanım Olanakları

Dümbüldek kaplıcasının sıcaklığı 51°C olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar genel olarak sağlık amaçlı termal turizm, sera ve konut ısıtımında kullanılacak potansiyele sahiptirler. Dümbüldek kaplıcasından termal turizm ve sağlık amaçlı olarak yararlanılmaktadır (Şekil 5.3).

5.2.1 Kaplıca olarak kullanımı

Yapılan analizler sonucu Dümbüldek kaplıca suyu Sodyum Kalsiyum Bikarbonatlı sular sınıfında yer almaktadır. Balneolojide bikarbonatlı sular toplam mineral içerikleri 1 g/l' nin, bikarbonat içerikleri ise % 20 milival'in üzerinde olan doğal sular olarak tanımlanmaktadır. Bikarbonatlı suların balneoterapide içme kürlerinde kullanımlarında litrelerinde en az 1300 mg bikarbonat içerdikleri zaman etkili olduklarını gösteren klinik ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Sodyum bikarbonatlı sular, mide ve ince bağırsak fonksiyonel rahatsızlıklarında, kronik ve rezidüel ülser ile kronik idrar yolları enfeksiyonlarında destekleyici tedavi amaçlı kullanılabilir (Karagülle, 2002).



Şekil 5.3 : Dümbüldek Kaplıcası görünüm

Dümbüldek jeotermal alanında belediye tarafından işletilen ve son yıllarda yenilenen iki kubbeli hamam yer almaktadır. Konaklamak için, belediye tarafından 15 günlük dönemler halinde kiraya verilen 30 civarında küçük daireler ve odalar bulunmaktadır. Bursa ve çevre illerden gelen misafirlerine hizmet vermektedir (Şekil 5.3).

5.2.2 Enerji potansiyeli

Çalışma alanındaki sıcak su kaynaklarının debi ve yüzey sıcaklıklarından hesaplanan termal enerji;

$$E = (T_k - T_0) * Q * c * \rho \quad (5.3)$$

temel formülünden hesaplanmakta olup birimlerin açıklaması;

T_k =Kaynak sıcaklığı

T_{ks} =Kullanım sıcaklığı

T_0 =ortalama yüzey sıcaklığı

Q = kaynak debisi (l/sn)

c = suyun ısı kapasitesi (J/kg °C; 4.18)

ρ = suyun yoğunluğu (kg/m³; 1) şeklindedir.

Buna göre;

İnceleme alanı kaynak debisi (Q) $55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sn}$,

Ortalama yüzey sıcaklığı (T_0) $14,5^\circ\text{C}$ alınarak;

Dümbüldek termal enerjisi $E = (51 - 14,5) * 55 \cdot 10^{-3} * 1 * 4,18 = 8,39 \text{ MW}$ olarak bulunmaktadır.

Buna karşın, MTA(2005) tarafından Türkiye jeotermal kaynakları envanterinde aynı formülde ortalama yüzey sıcaklığı yerine jeotermalin kullanım sıcaklığı olan (T_k) = 35°C alınmış ve formül 5.3;

$$E = (T_{\text{kaynak sıcaklığı}} - T_{ks}) \cdot Q \cdot c \cdot \rho$$

olarak hesaplandığında Dümbüldek jeotermal alanı potansiyeli,

$$E = (51 - 35) * 55 \cdot 10^{-3} * 1 * 4,18 = 3,68 \text{ MW}$$
 olarak belirlenmiştir.

Yukarıda yapılan hesaplamalar sonunda alanın termal enerji potansiyeli 8,39 MW olarak hesaplanmış olmasına rağmen MTA tarafından kullanım dayalı olarak yapılan hesaplama sonucu bulunan 3,68 MW değeri Dömböldek jeotermal alanının termal enerjisi olarak kabul edilmiştir.

5.2.3 Kullanımında karşılaşılabilecek sorunlar

Jeotermal sistemlerin kullanımı sırasında en çok karşılaşılan sorunların başında kabuklanma ve korozyon gelmektedir. Bunlar tesislerin ve sistemlerin ömrünü, verimliliğini ve ekonomisini etkileyen faktörlerdir.

Kabuklanma, su içerisindeki iyonların çözünmesiyle suyun bu iyonların oluşturduğu bileşiklere doymuş hale gelmesi sonucu oluşmaktadır.

Mineral kabuklarının oluşumu suyun belli bir mineral ile ulaştığı doymuşluk derecesine, sıcaklık ve basınç değişim hızına ve suyun pH derecesine bağlıdır. Bir mineralin sudaki çözünürlüğü ise pH, sıcaklık, basınç, redoks potansiyeli ve çözeltideki maddelerin konsantrasyonlarına bağlıdır. Ayrıca su içerisindeki çözünmüş haldeki gazlar da sıcaklık ve basıncın değişimi sonucu suyun pH'ını değiştirmekte olup bu durum mineral çözünme hızını ve miktarını etkilenmektedir. Orta ve düşük sıcaklıklı jeotermal sistemlerde yaygın olarak CaCO₃ kabuklaşması görülmektedir. CaCO₃ genel olarak suda kalsit ve aragonit az olarak da vaterit formlarında bulunur. Karbonat minerallerinin çözünürlüğü ortamın pH değeri ve CO₂ çözünürlüğünden etkilenmektedir. CO₂ kaybı ve bununla bağlantılı olarak pH'ın artışı kalsit çökmesinin ana sebebidir. Silika içerikli kabuklaşma ise düşük ve orta dereceli sularda yaygın değildir. Bu tür kabuklanma genellikle evyelerde ve havuzlarda çökelebilmektedir. Bunun sebebi ise buharlaşan suyun geride bıraktığı minerallerdir.

Jeotermal akışkanın kabuklaşma ve korozyona eğilimi pek çok yöntemle belirlenebilir. Langelier ve Ryznar Index yöntemleri ile jeotermal akışkanın kalsiyum karbonat kabuklaşma eğilimi nitel olarak tahmin edilebilmektedir (Aygün,2005).

Langelier doymuşluk indeksi (LSI) :

$$LSI = pH - pH_s \quad (5.4)$$

Negatif LSI değeri akışkanın korozyon, pozitif değer ise kabuklaşma eğilimini belirler.

Ryznar kararlılık indeksi ise (RSI) :

$$RSI=2*pHs-pHa \quad (5.5)$$

Burada:

pHs = bu pH'ın üzerinde kalsiyum karbonat çökmesi

pHa = akışkanın ölçülen pH'ı

Açıklamalar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Ryznar İndeksine göre jeotermal akışkanın kabuklaşma ve korozyon eğilimi

Ryznar İndeks	Akışkanın Eğilimi
< 4.0	Aşırı kabuklaşma
4.0 to 5.0	Kuvvetli kabuklaşma
5.0 to 6.0	Orta derecede kabuklaşma
6.0 to 7.0	Az kabuklaşma veya korozyon
7.0 to 7.5	Etkili korozyon
7.5 to 9.0	Ağır korozyon
> 9.0	Kabul edilemez korozyon

Buna göre yapılan hesaplamalar sonucunda Dümbüldek termal alanı için pHs değeri 6,2 ve RSI değeri ise 5,5 olarak bulunmuştur. Bu değer Dümbüldek termal alanının CaCO₃ için orta derece kabuklaşma eğiliminde olduğunu gösterir. Buna ek olarak Dümbüldek Kaplıca suyu için mineral doygunluk indeksi hesaplamaları önceki bölümlerde yapılmıştır.

Çizelge 2.17 de görülmektedir ki Dümbüldek sıcak suyunun mineral doygunluk indeksi kuvars ve kalsedon için sıfırdan büyüktür. Bu değer mineraller için çöktürücü özellikte olup alanda silika içerikli kabuklaşma görüleceği sonucuna varılmıştır.

Kabuklaşma sorununun önlenmesi için tek bir önleme işlemi yetersiz olabilmektedir. Uygulanan yöntemlerin başında kuyu pH ve basıncının karbonat-bikarbonat dengesini sağlayacak şekilde sabit tutulması, gaz kaçışlarını engellenmesi için kuyu basıncının sabit tutulması ve çeşitli kimyasal (inhibitörlerin) kullanılması gelmektedir.

Bunlara ek olarak, silika çökelimi HCl ilavesi ile pH'ın 5'in altına düşürülmesi veya NaOH enjeksiyonu ile pH'ın hızlı bir şekilde yükseltilmesi ile önlenmektedir (Aksoy, 2005)

Korozyon ise metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal ve elektrokimyasal tepkimeleri sonucu bozunumları olarak tanımlanabilir (Aygün,2005) Korozyon metal elemanları etkilemesinin yanı sıra derin kuyularda çimentoların bozunmasına ve betonun mukavemetinin azalmasına sebep olmaktadır (Çakır,2005) Jeotermal sularda önemli korozyon yapıcılar hidrojen iyonu, hidrojen sülfür, karbondioksit, oksijen ve demirdir

50 ppb üzerinde oksijenin varlığı oyulma türü korozyona sebep olurken, pH'ın 8'e eşit veya büyük olması korozyon hızını artırmaktadır. CO₃ varlığı pH değerini düşürür ve bu durumda korozyon artar. Hidrojen sülfür ile Cl jeotermaller için en tehlikeli korozyon türü olan gerilme korozyonu çatlamaşının oluşmasına sebep olmaktadır. Kabuk çökmesi metal korozyonunu etkilemektedir. H₂S, O₂ veya CO₂ ihtiva eden sularda her türlü çökelmenin varlığı olası korozyonun şiddetini arttırmaktadır.

Dümbüldek termal alanı için korozyon sorunu ile karşılaşılmamıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilimdalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan "Bursa Dömbüldek Termal Suyunun Hidrojeoloji" adlı tez kapsamında Bursa İli sınırları içerisinde yer alan bölgenin jeolojisi ve bölgede yer alan sıcak, mineralli ve soğuk suların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bu inceleme sonucu aşağıda yer alan sonuçlara ulaşılmıştır.

İnceleme alanı ve çevresi Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerden oluşmaktadır. Birimler yaşlıdan gence doğru Permian yaşlı kireçtaşı blokların yer aldığı Triyas yaşlı Orhanlar Grovağı, Oligosen yaşlı Çataldağ Graniti, Miyosen yaşlı Göbel formasyonu ve bu formasyon ile eş yaşlı olan Mudamköy volkanitleri, Pliosen yaşlı göl sedimentleri ile tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarıdır.

Havzada bulunan meteoroloji istasyonlarının istasyonu çalışmadığı için diğer istasyonlardan alınan veriler ile yağış, buharlaşma-terleme ve sıcaklık verileri değerlendirilmiştir. Bu istasyonların verileriyle yıllık ortalama yağıştan eklenik sapma grafiğine göre havzanın yağışlı ve kurak dönemleri belirlenmiştir. 1970-1997 yılları arası kurak dönem, 1997-2012 yılları arası yağışlı dönemdir. Penman yöntemi ile havzanın su bilançosu hazırlanmış, potansiyel buharlaşma-terleme 711,70 mm, gerçek buharlaşma-terleme ise 381,34 mm bulunmuştur.

İnceleme alanında bulunan en önemli akarsular Akarca ve Kocaçay Dereleridir. Bölgede 1994 yılında MTA tarafından açılan sıcak su sondaj kuyusundan sonra sıcak suyun çıkış yaptığı diğer kaynaklar kurumuştur. Sıcak suyun yakınlarında bir de mineralli su kaynağı bulunmaktadır.

İnceleme alanında yer alan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre Pekişmemiş formasyonlar, yaygın ve zengin akiferler ile yerel ve ilişkisiz akiferler olmak üzere; Pekişmiş formasyonlar ise yerel taneli akifer, çatlaklı zayıf akifer ve çatlaklı çok zayıf akifer olarak sınıflandırılmıştır.

Buna göre, alüvyonlar yaygın ve zengin akiferler, yamaç molozu yerel ve ilişkisiz akiferler, Miyosen ve Pliyosen yaşlı karasal çökeller, volkanitler yerel taneli akifer, Oligosen yaşlı granit çatlaklı zayıf akifer ve Karakaya Kompleksine ait olan Orhanlar Grovağı ise çatlaklı çok zayıf akifer olarak tanımlanmıştır.

Suların genel kimyasal özellikleri incelendiğinde bölgede yer alan sıcak ve mineralli sular pH sınıflamasında asidik karakterli iken soğuk suların bazik karakterli olduğu belirlenmiştir. Sertlik sınıflamasında sıcak su kaynağı oldukça sert sular sınıfında yer alırken mineralli su çok sert sınıfında yer alır. Soğuk sular ise çok yumuşak sulardan oldukça sert sulara kadar değişebilmektedir.

EC değerleri göz önüne alındığında Sıcak ve minerali sular “şüpheli sular” sınıfına girerken soğuk sular ise “iyi- kullanılabilir sular” sınıfında yer almaktadırlar. TDS içeriklerine göre ise sıcak ve mineralli sular “Çok Tuzlu Su” sınıfında, soğuk sular ise ‘Tatlı Su’ ile “Acımsı Su” sınıfları arasında oldukları belirlenmiştir.

Uluslararası Hidrojeoloji Birliğine göre yapılan sınıflamada sıcak ve mineralli sular Na-Ca-HCO₃, Soğuk sular ise genel olarak CaHCO₃ tipindedir. Piper diyagramına göre sıcak su Na+K tipli bikarbonatlı su, mineralli su Na-Ca-Mg bikarbonatlı su ve soğuk sular ise Ca+Mg bikarbonatlı sular sınıfında yer almaktadırlar. Bölgedeki yer alan diğer soğuk sular inceleme alanında yer alan sularla aynı kimyasal özellikleri göstermesi beslenme alanlarının aynı olduğunu işaret etmektedir.

Schoeller grafiğine bakıldığında suların genel olarak iyon dağılımlarında benzerlik göstermesi bu suların aynı köken, aynı akifer ve beslenme alanına sahip olduğunu göstermektedir. Bazı farklılıklar ise suların kaynağını oluşturan suların dolaşım sırasında temas ettikleri kayaların litolojik, jeokimyasal ve ayrışma dereceleri gibi etkenler sonucu değişik iyon yüklenmeleri sonucu oluşmuştur.

Ulusal ve Uluslararası standartlara göre suların fiziksel ve kimyasal değerleri belirlenen limit değerlerin altındadır.

SAR, tarımsal faaliyetler için önemli parametre olması sebebiyle suların SAR değerleri hesaplanmış ve sınıflandırma yapılmıştır. Tüm suların SAR değerleri <10 olması sebebiyle inceleme alanında yer alan sıcak, mineralli ve soğuk suların tamamı “mükemmel” su sınıfına girmektedir. % Na oranı da toprağın geçirgenliğini azaltmaktadır. Bu değer göz önüne alındığında sıcak su “İzin verilebilir”, mineralli su “Şüpheli” ve soğuk sular ise “İyi” sular sınıfına girmektedir.

Schoeller İçilebilirlik Diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak, mineralli ve soğuk sular “İçilebilir Sular” sınıfında yer almaktadır. ABD Tuzluluk diyagramına göre sıcak ve mineralli sular C4-S2, soğuk sular ise C2-S1 ve C1-S1 sınıfındadırlar.

Wilcox diyagramına göre, inceleme alanında yer alan Dümbüldek kaplıcasına ait sıcak su ile mineralli su “Şüpheli kullanılmaz” sınıfında, soğuk sular ise ”İyi kullanılabilir-Çok İyi“ sular sınıfında yer almaktadırlar.

Suların mineral doygunluk indeksi hesaplanmıştır. Buna göre, bölgedeki sıcak ve mineralli suyun kalsedon, kuvars ve siderit için çöktürücü, diğerleri için çözündürücü etkisi bulunmaktadır. Soğuk suların doygunluk indeksi değerleri incelendiğinde genel olarak albit, anhidrit, jips, halit, talk için sıfırın altı, aragonit, kalsit, dolomit, kuvars, siderit için sıfırın altı veya üstü değerler vermektedir. Ayrıca mineral doygunluk indeksi değerleri sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için birden fazla mineral doğrusunun denge doğrusu olan $Dİ=0$ doğrusunu belirli sıcaklıkta kesmesi durumunda bu kesişim sıcaklığının hazne kaya sıcaklığı hakkında bilgisi verdiği belirtilmektedir. Buna göre Dümbüldek sıcak suyunun akifer sıcaklığının 100-125 °C arasında olabileceği sonucu çıkarılabilmektedir.

İnceleme alanındaki suyun kuvars, kalsedon için çöktürücü olması kullanılacak jeotermometrenin de hangisi olması gerektiği konusunda belirleyicidir. Buna göre inceleme alanında Silis jeotermometrelerinin kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar vereceği sonucuna varılmıştır. Buna göre Dümbüldek termal suyunun akifer sıcaklığı 118,2 °C olarak belirlenmiştir. Suların Gigenbach (1988)’e göre “Ham Sular” sınıfında yer alması ve hesaplanan Olgunluk İndeksi değerinin 2’den küçük değerde olması kanyon jeotermometrelerinin doğru sonuç vermeyeceğini göstermiştir.

Dümbüldek Termal alanı için tüm veriler değerlendirildiğinde, jeotermal sistemi besleyen en önemli kaynaklar meteorik sular ve bununla birlikte yerüstü ve yeraltısularıdır. İnceleme alanında yer alan granitlerde bulunan kırık ve çatlaklar ile alüvyon ve Neojen yaşlı formasyonlar, meteorik, yüzey ve yeraltı sularının yerin derinliklerine süzülmesini sağlamaktadır. Derinliklere süzülen meteorik, yüzey ve yeraltı suları, jeotermik gradyana bağlı olarak ısınmakta ve kırık, çatlak ve fay yüzeylerini kullanarak tekrar yüzeye ulaşmaktadır.

Jeokimyasal incelemelere göre bölgede yer alan Pliyosen ve Miyosen yaşlı göl sedimentleri ve volkanikler Dümbüldek termal alanı için hazne kayaç olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hazne kayaç derinliğinin ise 3500 m den daha az derinlikte olacağı sonucuna varılmıştır.

Kullanım olanaklarına bakıldığında genel olarak bu sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar sağlık amaçlı termal turizm, sera ve konut ısıtımında kullanılacak potansiyele sahiptirler. Dümbüldek kaplıcasından termal turizm ve sağlık amaçlı olarak yararlanılmaktadır.

Balneolojik ve kaplıca amaçlı olarak kullanılan sodyum bikarbonatlı sular, mide ve ince bağırsak fonksiyonel rahatsızlıklarında, kronik ve rezidüel ülser ile kronik idrar yolları enfeksiyonlarında destekleyici tedavi amaçlı kullanılabilir. Son zamanlarda yenilenen Dümbüldek Kaplıcası Bursa ve çevre illerde gelen misafirlere hizmet vermektedir.

Enerji potansiyeli, son kullanım sıcaklığı olan 35⁰C baz alınarak hesaplandığında 3,68 MW değerindedir.

Tesislerin ve sistemlerin ömrü, verimliliği ve ekonomikliği jeotermal sistemlerin kullanımı esnasında karşılaşılan kabuklanma ve korozyon sorunlarına bağlıdır. İnceleme alanı için yapılan hesaplamada Ryznar İndeksi 5,3 olarak bulunmuş ve orta derece kalsiyum karbonat kabuklaşması görüleceği belirlenmiştir. Ayrıca inceleme alanı için hesaplanan mineral indeksi değerlerine göre de bölgede silika içerikli kabuklaşma görüleceği sonucuna varılmıştır.

Dümbüldek termal alanının enerji potansiyeli ve kullanım olanakları göz önüne alınarak yeni tesislerin geliştirilmesi gerekmektedir. Ancak kullanımı sırasında oluşabilecek sorunların önlenmesi amacıyla gerekli çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akçiray, Ö.**, (2003). *İçme Suyu Ve Su Arıtımı. Suyumuzun Geleceği Ve Türkiye Su Politikaları*, 22 Mart Dünya Su Günü paneli, Zekai Şen, Sevinç Sırdaş (Editör), Bildiriler, s. 62-75, İstanbul.
- Aksoy, N.**, (2005). Jeotermal Su Kullanımında Kabuklaşma ve Korozyon Problemleri, Jeotermal Enerji Semineri, TESKON, sayfa 143-153.
- Akyüz, S.**, (1995). Manyas-Kepsut-Susurluk (Balıkesir) Çevresinin Jeolojisi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- Aygün, H.**, (2005). *Jeotermal Su Kullanımında Kabuklaşma ve Korozyon Problemleri*, Jeotermal Enerji Semineri, TESKON, sayfa 423-445.
- Back, W.**, (1961). *Techniques for mapping of hydrochemical facies*. US Geol Surv Prof Pap 424-D, 380-382.
- 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.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer B.** (1973). *Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri*, 50. Yıl Yer Bilimleri Kongresi Tebliğler, Ankara. s. 70-76
- Brinkmann, R.**, (1971). Jungpalaeozoikum und alteres Mesozoikum in NW Anatolien. *Maden Tetkik ve Arama Enstit.s. (MTA) Dergisi*. 76, 56-67.
- Calmbach, L.**, (1997). Aquachem Computer Code-Version 3.7.42, Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada.
- Canik, B.**, (1980). Bolu Bıçak Su Kaynaklarının Hidrojeoloji İncelemesi. Doçentlik tezi S. Ü. Fen Fak. Yayın No: 1 Konya
- Chow, V.T.**, (1964). *Handbook of Applied Hydrology. Sec. 11: Evapotranspiration*. Mc-Graw Hill Co., New York, pp. 11-38.
- Çakır, A.**, (2005). *Jeotermal Su Kullanımında Kabuklaşma ve Korozyon Problemleri*, Jeotermal Enerji Semineri, TESKON, sayfa 303-316.
- Delaloye, M. & Bingöl, E.** (2000). Granitoyids From Western And Northern Anatolia: Geochemistry and Modelling of Geodynamic Evolution. *International Geology Review*, 42, 241-268.

- Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik.** Resmi Gazete, 25657, Aralık 2004.
- Doğdu, M.Ş. ve Kırmızıtaş, H.** (2006). Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Sıcaksuyunun Oluşumu ve Rezervuar Sıcaklığının Tahmini. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*. 30, 1.
- EPA,** (2002). U.S. EPA, Standart Methods For The Examination Of Water And Wastewater American Publish Health Assoc.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E.,** (1987). *Yeraltı Suları Jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, 238-260 s., İstanbul.
- Ergül, E., Gözler, Z., Akçören, F.,** (1986). 1:100.000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye jeoloji Haritaları Serisi, Balıkesir F-6 paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Ergül, E., Öztürk, Z., Gözler, Z., Akçören, F.,** (1980). *Balıkesir İli Marmara Denizi arasının Jeolojisi*, MTA Rapor Derleme No: 6760, yayımlanmamış.
- Erişen, B. ve Öngür, T.,** (1976). *Bursa Kenti Sıcak Su Kaynakları Etüdü*, MTA Raporu.
- Eroğlu, A., Aksoy, N.,** (2003). *Jeotermal suların Kimyasal Analizi*, Jeotermal Enerji Semineri Seminer Bildirisi, s. 149-151.
- Ertürk, D.,** (2010). Bursa İli Jeotermal Potansiyeli, , S.D.Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Fournier, R. O.,** (1977). *A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In: Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.*
- Fournier, R. O.,** (1979). *A revised equation for the Na-K geothermometer. Geothermal Res. Council Trans., 3, 221-224.*
- Fournier, R. O.,** (1990). *The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. Geoth. Res. Counc. Trans., 14, 1421-1425.*
- Fournier, R. O. and Truesdell, A. H.** (1970). *Geochemical indicators of subsurface temperature applied to hot spring waters of Yellowstone National Park, Wyoming, U.S.A. (Proc. U.N. Symp. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970). Geothermics Sp. iss. 2, 2, pp. 529-535.*
- Fournier, R. O., Truesdell, A.H.,** (1973). *An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. Geochimica et Cosmochimica Acta, 37, 1255-1275.*
- Giggenbach, W. F.** (1988). *Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. Geochimica et Cosmochimica Acta, 57, 2749-2765.*
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B. L., Truesdell, A. H.,** (1983). *Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. Geothermics, 5, 51-62.*
- Hem, J. D.,** (1970). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geol. Survey. Water Supply Paper 1473. pp. 363.*

- IAH (International Association of Hydrogeologists)**, (1979). Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500,000, IAH, United Kingdom.
- Imbach, T.** (1997). *Deep Groundwater Circulation in The Tectonically Active Area of Bursa Northwest Anatolia, Turkey*. Geothermics, 26; 2;251–278.
- Kaplıcalar Yönetmeliği**. Resmi Gazete, 24472, Temmuz 2001.
- Karagülle, M.**, (2002). *Balneoloji ve Kaplıca Tıbbı*, Nobel Tıp Kitapevi, 191-193 s., İstanbul.
- Ketin, İ.**, (1947). *Uludağ Masifinin Tektoniği Hakkında (Über Die Tektonik Des Uludag Massivs)*. Bull. Geol. Soc. Turk.1, 61-88.
- Mahon, W. A. J.**, (1964). *Fluorine in the natural thermal waters of New Zealand*. N.Z. J. Sci., 7, 3-28.
- Mahon, W. A. J.**, (1970). *Chemistry in the exploration and exploitation of hydrothermal systems (Proc. U.N. Symp. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970)*, Geothermics Sp. iss. 2, 2, 1310-1322.
- MTA**, (2005). *Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri*, Ankara, 220-223.
- Nicholson, K.**, (1993). *Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques*, Springer- Verlag, Chapter 2, pages 45-50.
- Nieva, D., Nieva, R.**, (1987). *Development in geothermal energy in Mexico, part 12- A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources*. Heat recovery systems and CHP, 7, 243-258.
- Okay, A. I., Bozkurt, E., Satır, M., Yigitbaş, E., Crowley, Q. G., Shang, C. K.**, (2008). *Defining the southern margin of Avalonia in the Pontides: geochronological data from the Late Proterozoic and Ordovician granitoids from NW Turkey*. Tectonophysics 461, 252–264
- Okay, A. I., Göncüoğlu, M. C.**, (2004). *Karakaya Complex: a review of data and concepts*. Turkish Journal of Earth Sciences 13, 77–95
- Okay, A. I., Satır, M., Siebel, W.**, (2006a). *Pre-Alpide orogenic events in the Eastern Mediterranean region, European Lithosphere Dynamics*. Memoir of the Geological Society London 32, 389–405
- Okay, A. I., Satır, M., Tüysüz, O., Özkan-Altınır, S., Altınır, D., Sherlock, S., Eren, R.H.**, (2006b). *Cretaceous and Triassic subduction-accretion, HP/LT metamorphism and continental growth in the Central Pontides, Turkey*. Geological Society of America Bulletin 118, 1247–1269.
- Okay, A. I., Siyako, M., Bürkan, K. A.**, (1990). *Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Teknik Evrimi*, TPJD Bülteni, 211, 83-121.
- Okay, A. I., Tüysüz, O.**, (1999). *Tethyan sutures of northern Turkey*. In “The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine orogen” Geological Society of London, Special Publication 156, 475-515.
- Özbayrak, İ. H.**, (1994). MTA, Mustafakemalpaşa Tümbüldek-1 sıcak su sondajı Kuyu Bitirme

- Özsoy, G.**, (2007). Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Teknikleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Doktora Tezi
- Parkhurst, D. L., Appelo, C. A. J.**, (1999). User's Guide to PHREEQC (Version 2-A) Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations.
- Pehlivan, R., Yılmaz, O.**, (1995). Marmara Bölgesi Termomineral Kaynaklarının İçilebilirliği ve İnsan Sağlığına etkisi, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, s. 21-27, Ankara.
- Pehlivan, R., Yılmaz, O.**, (2005). *Hidrojeokimya*, İstanbul Üniversitesi Yayını, S. 52-62, İstanbul.
- Pehlivan, Ş., Duru, M., Kanar, F., Kandemir, Ö.**, (2011). 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, Çanakkale H 17 paftası No 101, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, No:156. Ankara.
- Piper, A. M.**, (1953). A graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. US Geol. Survey. Ground Water Note, 12.
- Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Truesdell, A. H.**, (1976). Summary of section III geochemical techniques in exploration. In: Geothermal Resources. San Francisco, 1975, Vol.1, Washington D.C., U. S. Government Printing Office, iii-ixxxix.
- Selim, H. H.**, (2004). Kuzey Anadolu Fayı'nın güney koluna ait Yenice-Gönen, Manyas-Mustafakemalpaşa, Uluabat ve Bursa faylarının morfolojik, sismolojik ve jeolojik özellikleri. İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, xxvi+226s, İstanbul.
- Selim, H. S., Tüysüz, O. ve Barka, A. A.**, (2006). Güney Marmara bölümünün neotektoniği, *İTÜ Dergisi Mühendislik/d*, C.5, S.1, K.2, ss. 151-160, İTÜ Avrasya YerBilimleri Enstitüsü, 34469, Ayazağa, İstanbul.
- Sigvaldason, G. E. and Cuellar, G.** (1970) *Geochemistry of the Ahuachapfin thermal area, El Salvador, Central America (Proc. U.N. Syrup. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970)*, Geothermics 2, 2, pp. 1392-1398.
- Şahinci, A.** (1986). *Yeraltı Suları Jeokimyası*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fak., İzmir.
- Şahinci, A.**, (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*, Reform Matbaası. 548 s. 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.
- Tekeli, O.**, (1981). *Subduction complex of pre-Jurassic age, northern Anatolia, Turkey*. Geology 9, 68-72.
- Tonani, F.** (1970) *Geochemical methods of exploration for geothermal energy (Proc. U.N. Symp. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, 1970)*. Geothermics Sp. iss. 2, 1,492-515.

- Tonani, F.**, (1980). *Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration*. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp.,Strasbourg, 428-443.
- Tood, D. K.**, (1980). *Ground Water Hydrogeology*, John Wiley and Sons.
- Topuz, G., Altherr, R., Kalt, A., Satır, M., Werner, O., Schwartz, W. H.**, (2004). *Aluminous granulites from the Pulur Complex NE Turkey: a case of partial melting, efficient melt extraction and crystallisation*. Lithos 72, 183–207.
- Topuz, G., Altherr, R., Schwartz, W. H., Dokuz, A., Meyer, H. P.**, (2007). *Variscan amphibolites-facies rocks from the Kurtoglu metamorphic complex (Gümüş, hane area, Eastern Pontides Turkey)*. International Journal of Earth Sciences 96, 861–873.
- TSE**, (2005). Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TSE**, (2010), Doğal Mineralli Sular, TSE 9130, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tut Hakkıdır, F. S.**, (2007). Bursa ili ve çevresindeki termal ve maden ve yeraltısularının jeokimyasal incelenmesi, DEÜ. Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, İzmir.
- USSL**, (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA, Handbook, vol. 60, p. 147
- Ustaömer, P. A., Ustaömer, T., Robertson, A.**, (2012). Ion probe U–Pb dating of the central Sakarya basement: a peri-Gondwana terrane intruded by Late Lower Carboniferous subduction/collision-related granitic rocks. *Turkish Journal of Earth Sciences* 21, 905–932.
- Ünal, A.**, (2013). Mustafakemalpaşa (Bursa) ve Susurluk (Balıkesir) Arasında Mostra Veren Magmatik Kayaçların Jeolojisi ve Petrolojisi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- White, D. E.**, (1970). Geochemistry applied to the discovery, evaluation and exploitation of geothermal energy resources, *Geothermics*, Special Issue 2, (1), ss. 58-80.
- White, D. E., Muffler, L. J. P. and Truesdell, A. H.** (1971) *Vapor-dominated hydrothermal systems compared to hot-water systems*. Econ. Geol. 66, 75.
- WHO**, (2004). World Health Organisation (WHO), Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Resolution WHA55.
- WHO**, (2006). World Health Organisation (WHO), Guidelines for drinking water quality, First addendum to third edition, vol. 1, Recommendations, WHO Publ., Geneva, p. 221-459..
- Wilcox, L. V.**, (1955). Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of Agriculture. Cire. 969, Washington D.C.,USA, p. 19.
- Yalçın, H. T.**, (2011). Bursa 1/100000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı Yerbilimleri Raporu, İTÜ döner Sermaye İşletmeleri.
- Yalçın, H. T.**, (2015). Kişisel görüşmeler, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Doç. Dr.

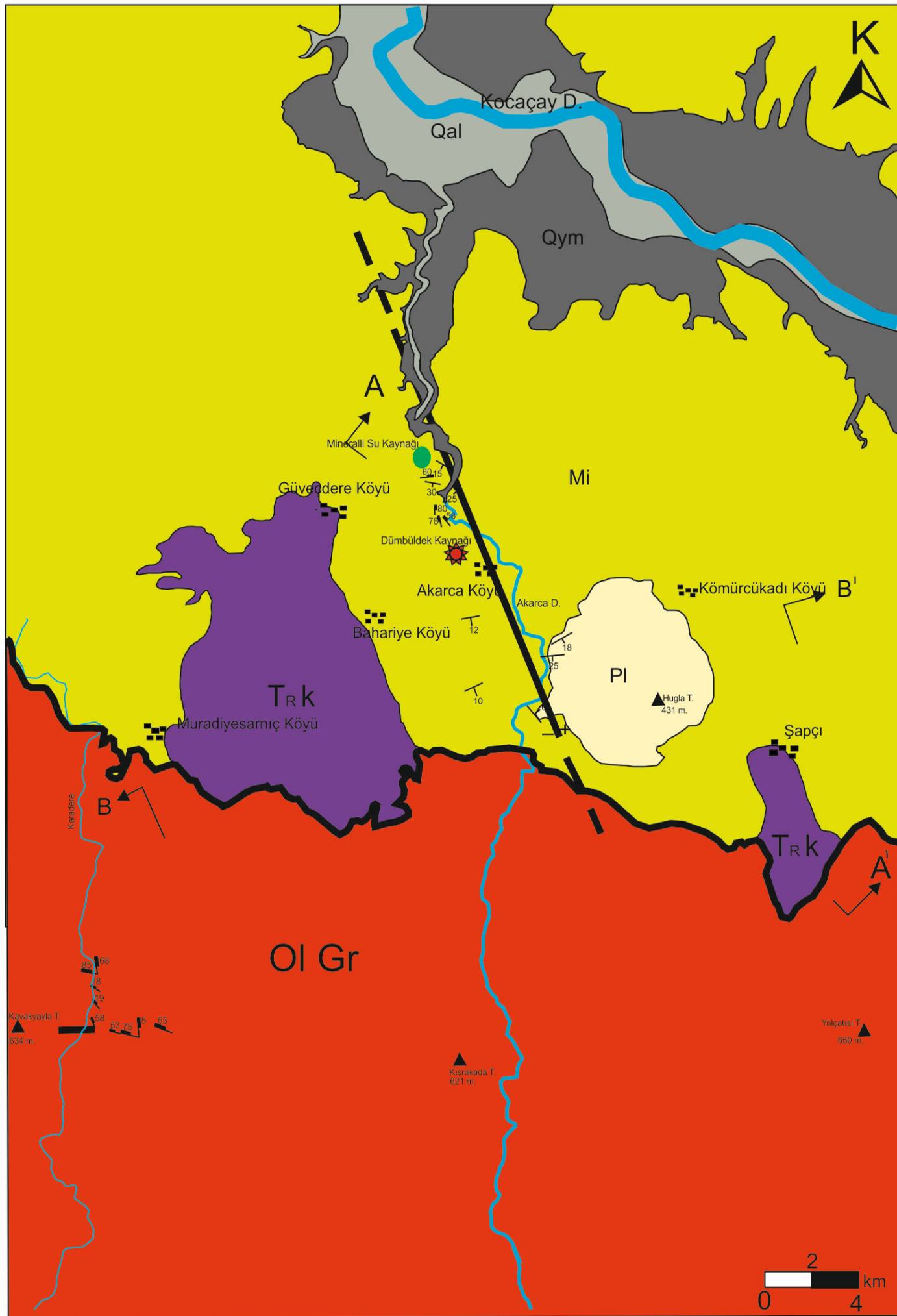
- Yalçınkaya, S., Afşar Ö. P.,** (1980). Mustafakemalpaşa (Bursa) ve Dolayının Jeolojisi, MTA., Rapor No. 6717, Ankara.
- Yılmaz, I.,** (1977). *Sancaktepe (Kocaeli yarımadası) granitinin mutlak yaşı ve jenezi.* Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 20, 17–20 (in Turkish).
- Tosun, E.,** (2014), Jeotermal Enerji ve Örnek Proje Alaşehir JES-1, alındığı tarih: 26.04.2015, adres:
[http://www.academia.edu/11845442/Jeotermal Enerji ve %C3%96rn_ek_Proje - Ala%C5%9Fehir JES1](http://www.academia.edu/11845442/Jeotermal_Enerji_ve_%C3%96rn_ek_Proje_-_Ala%C5%9Fehir_JES1).
- Yolcubal, İ.,** (2015), Hidrojeoloji Ders Notları, alındığı tarih: 22.02.2015, adres:
http://jeoloji.kocaeli.edu.tr/yuklemeler/ders_notlari/hidrojeoloji/hidrojeoloji_ders_notlari.pdf
- Url-1** <<http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=BURSA>>, alındığı tarih: 09.04.2015.
- Url-2** <<http://www.bursa.gov.tr/icerik/240/nufus.html>> alındığı tarih: 27.01.2015.
- Url-3** <http://www.mustafakemalpaşa.gov.tr/default_b0.aspx?content=1> alındığı tarih:22.02.2015.
- Url-4** <<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst5.asp>> alındığı tarih: 01.03.2015
- Url-5** <<http://www.geothermal.marin.org>> alındığı tarih: 01.03.2015.

EKLER

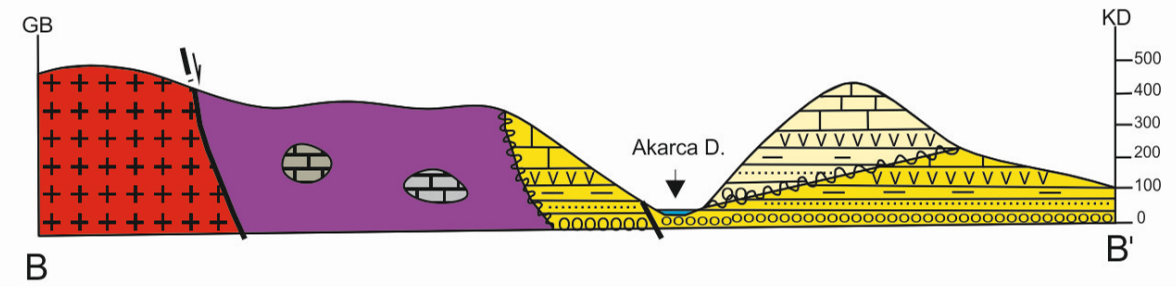
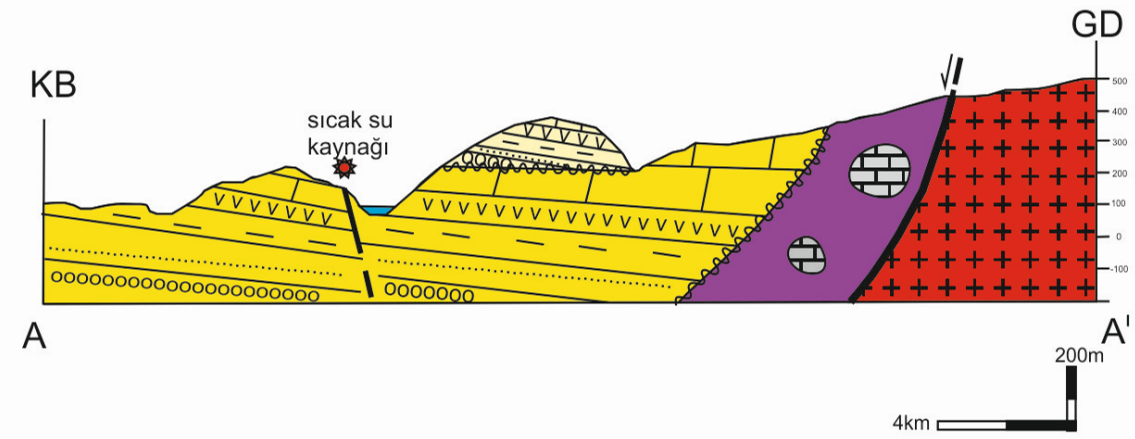
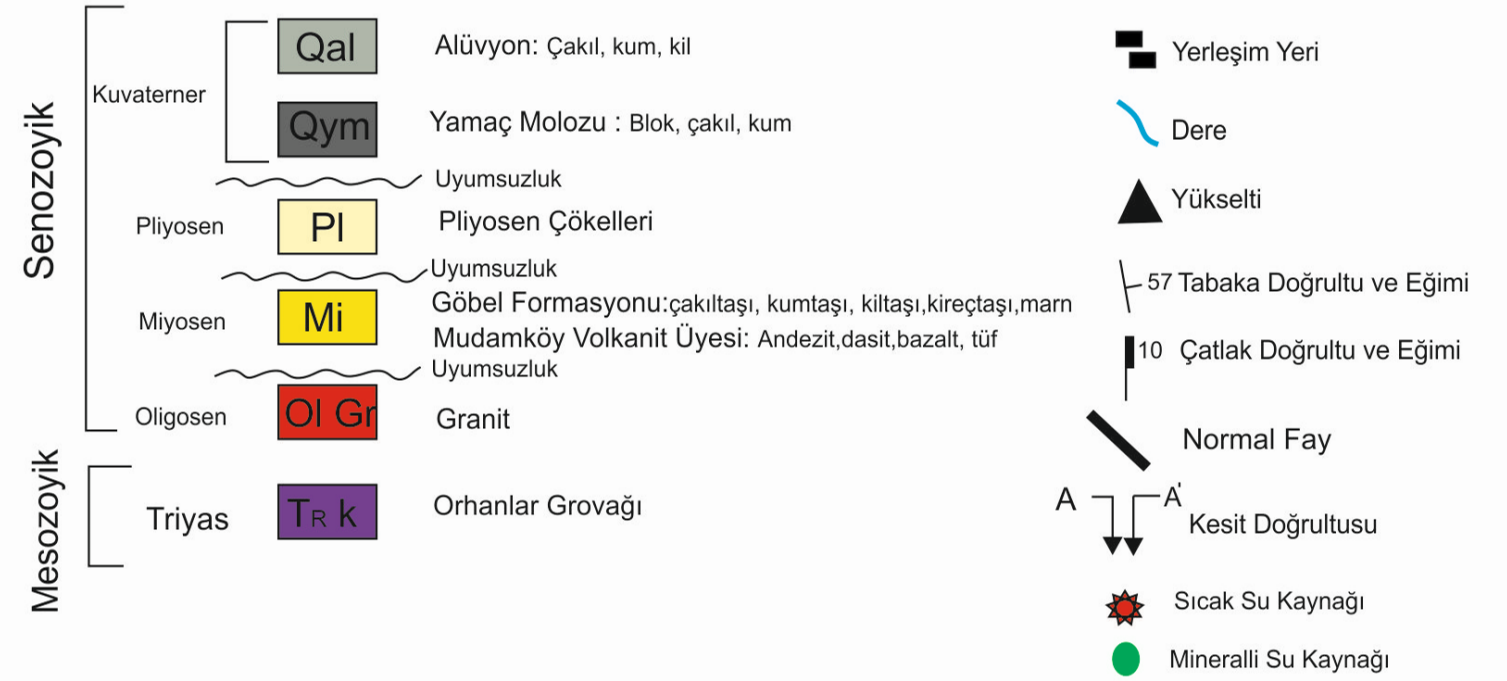
EK A: Bursa Dmbldek Termal Alanının Jeoloji Haritası ve Enine Kesitleri

EK B: Bursa Dmbldek Termal Alanının Hidrojeoloji Haritası ve Enine Kesiti

EK C: Bursa Dmbldek Termal Alanının ve evresinin Hidrojeokimya Haritası



Açıklamalar



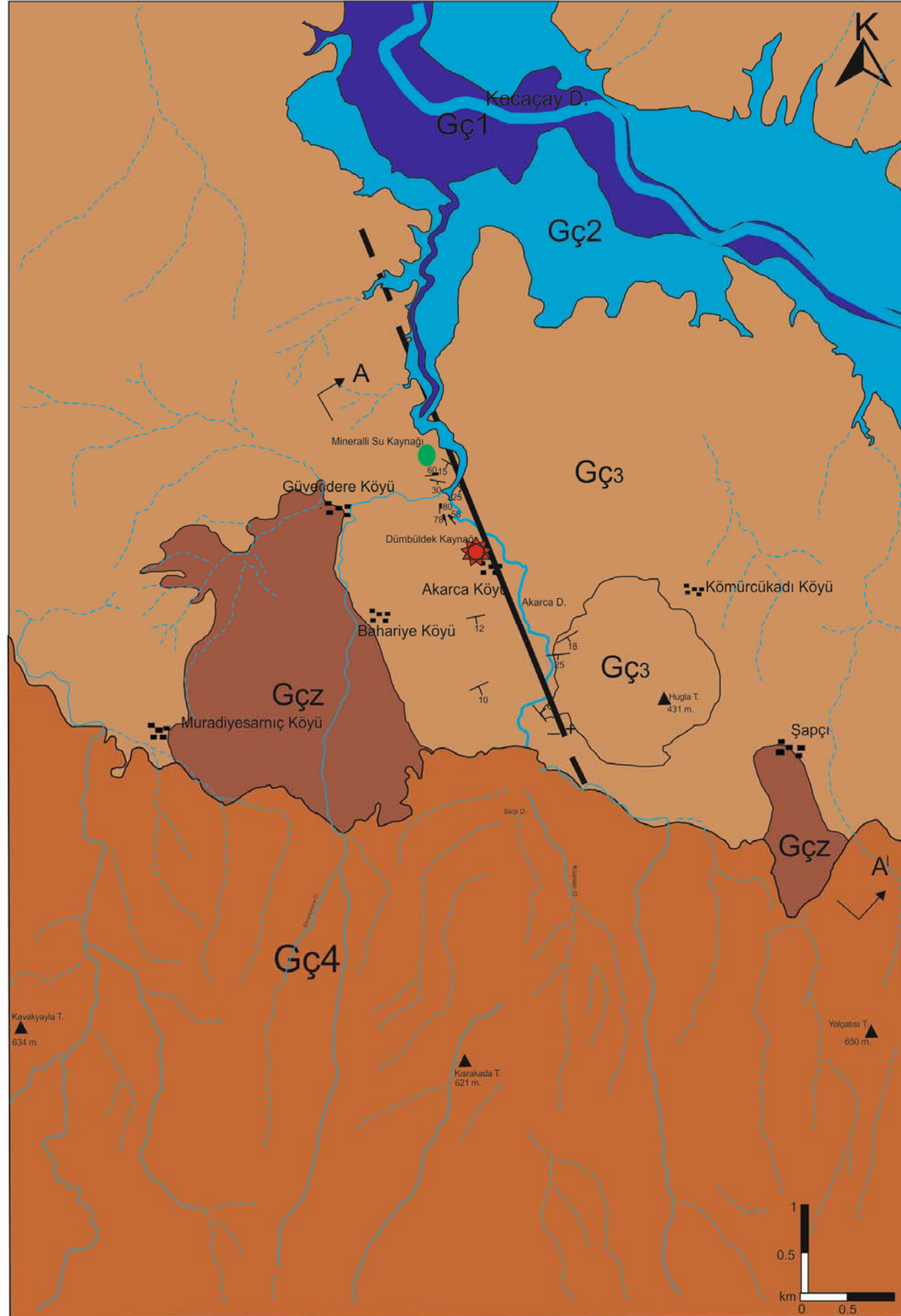
Bursa Düzümlük Termal Alanının
Jeoloji Haritası ve Enine Kesitleri

YAPAN MERVE NART

TARİH HAZİRAN 2015

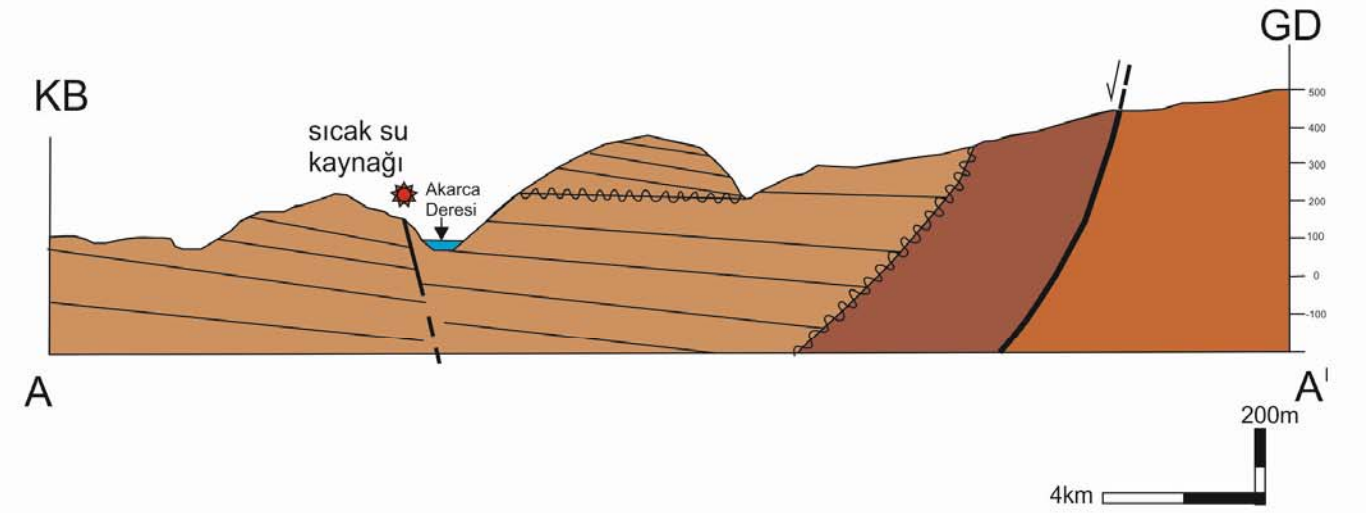
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MADEN FAKÜLTESİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

EK A



Açıklamalar

- | | | | |
|------------|---------------------------|--|-----------------------------|
| Gç1 | Yaygın ve Zengin Akifer | | Yerleşim Yeri |
| Gç2 | Yerel ve İlişkisiz Akifer | | Dere |
| Gç3 | Yerel Taneli Akifer | | Yükselti |
| Gç4 | Çatlaklı Zayıf Akifer | | 57 Tabaka Doğrultu ve Eğimi |
| Gçz | Çatlaklı Çok Zayıf Akifer | | 10 Çatlak Doğrultu ve Eğimi |
| | | | Normal Fay |
| | | | Kesit Doğrultusu |
| | | | Sıcak su kaynağı |
| | | | Minerali su kaynağı |



BURSA DÜMBÜLDEK TERMAL ALANININ HİDROJEOLJİ HARİTASI ve KESİTİ

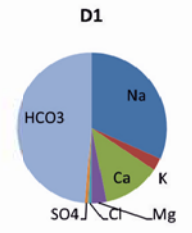
YAPAN	MERVE NART	EK B
TARİH	HAZİRAN 2015	

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MADEN FAKÜLTESİ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Açıklamalar

-  Yerleşim Yeri
-  Akarsu
-  Formasyon Sınırı

-  Mineralli Su Kaynağı
-  Termal Su Kaynağı
-  Yüzey Su Kaynağı
-  Soğuk Su Kaynağı
-  Soğuk Su Kuyuları



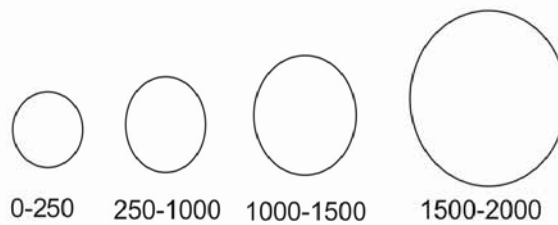
Suların %mek/l değerleri grafiği

-  Gç1 Yaygın ve Zengin Akifer
-  Gç2 Yerel ve İlişkisiz Akifer
-  Gç3 Yerel Taneli Akifer
-  Gç4 Çatlaklı Zayıf Akifer
-  Gçz Çatlaklı Çok Zayıf Akifer

JEOLojİK BİRİMLER

-  Gç1+Gç2 Kuvaterner Alüvyon-Yamaç Molozu
-  Gç3 Neojen Gölsel Çökeller ve Volkanikler
-  Gç4 Oligosen Granit
-  Gçz Triyas Karakaya Karmaşığı

TDS Miktarı



BURSA DÜMBÜLDEK TERMAL ALANI VE ÇEVRESİNİN HİDROJEOKİMYA HARİTASI

YAPAN	Merve NART	EK C
TARİH	HAZİRAN 2015	
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MADEN FAKÜLTESİ JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ		

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Merve NART (ŞAŞMAZ)

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy, 1986

Eğitim:

Lisans: İstanbul Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2005 – 2010)

Mesleki Deneyim:

Zemher Zemin Araştırma- Jeoloji Mühendisi (2011-2012)

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı- ETK Uzman Yrd. (2013-Halen)

