

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DOĞANBAĞI (SİVRİCE, ELAZIĞ) SICAK VE MİNERALLİ SU
KAYNAĞI'NIN HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ

Yelda YALÇIN

Yüksek Lisans Tezi

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bilim Dalı

OCAK 2020

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

DOğANBAğI (SİVRİCE, ELAZIğ) SICAK VE MİNERALLİ SU
KAYNAğI'NIN HİDROJEOLOğI İNCELEMESİ

Tez Yazarı
Yelda YALÇIN

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi zlem ÖZTEKİN OKAN

OCAK 2020
ELAZIğ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi

Yazarı: Yelda YALÇIN

İlk Teslim Tarihi: 24.12.2019

Savunma Tarihi: 24.1.2020

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
İkinci Danışman:		Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç.Dr. Özlem ERDEM Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Unvan Adı SOYADI ... Üniversitesi, ... Fakültesi	Onayladım
Üye:	Unvan Adı SOYADI ... Üniversitesi, ... Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Soner ÖZGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı’nın Hidrojeoloji İncelemesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

24/1/2020

Yelda YALÇIN



ÖNSÖZ

Elazığ ili Sivrice ilçesi Doğanbağı Köyü'ne yaklaşık 500 m mesafede bulunan Doğanbağı sıcak ve mineralli su kaynaklarının sıcaklıkları 24.6 °C ile 29.5 °C arasındadır. Tezin amacı Doğanbağı sıcak ve mineralli su kaynağının yapılan hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal çalışmalar ile kökenini belirlemek, suyun kimyasal bileşiminin litoloji ile ilişkisini belirlemek, oluşum mekanizmasını ortaya çıkararak bir oluşum modeli oluşturmak ve sıcak ve mineralli suyun hazne kaya sıcaklığını uygun jeotermometreler ile tahmin edip, bu su kaynağının kullanım alanlarını ortaya çıkarmaktır.

Yürütülen bu çalışmanın tüm aşamalarında yardımını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinin kapısını her zaman açık tutan saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÖZTEKİN OKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmaları esnasında toplanan kayaç örneklerinin tanımlanmasına ve ince kesitlerinin yorumlanmasına yardım eden Syn. Prof. Dr. Feyzi BİNGÖL'e ve Prof. Dr. Melahat BEYARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezin birçok aşamasında yardımcı olan Yüksek Jeoloji Mühendisi Fatma AYDINOĞLU'na, Sevcan NAMLI'ya ve zorlu arazi koşullarında destekte bulunan Syn. Arş. Gör. Dr. Mehmet KÖKÜM'e ve Jeoloji Mühendisliği son sınıf öğrencisi Güven KIRMIZITARLA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji Anabilim dalında yüksek lisans tez konusu olarak hazırlanmış “Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF.19.03 numaralı proje desteği ile yürütülmüştür. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü'ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimine teşekkür ederim.

Yelda YALÇIN
ELAZIĞ, 2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı.....	3
1.2. Çalışma Alanının Tanıtımı	4
1.3. Önceki Çalışmalar	6
2. MATERYAL VE METOT	9
2.1. Ön Arazi Çalışmaları:	9
2.2. Arazi Çalışmaları:	9
2.3. Laboratuvar Çalışmaları:	10
2.4. Büro Çalışmaları	11
3. İNCELEME ALANININ JEOLojİSİ	12
3.1. Pütürge Metamorfitleri (Permo–Triyas).....	12
3.2. Maden Karmaşığı (Orta Eosen).....	16
3.3. Kömürhan Ofiyoliti (Üst Kretase):	18
3.4. Alüvyon ve Güncel Alüvyonlar (Pliyo Kuvaterner)	19
3.5. Yapısal Jeoloji.....	19
4. BULGULAR	22
4.1. Hidrojeoloji	22
4.2. Hidrojeokimya	22
4.2.1. İnceleme alanındaki suların doygunluk indislerinin hesaplanması:	30
4.2.2. Çalışma alanındaki suların İzotop analiz sonuçları:	32
5. TARTIŞMA.....	33
5.1. Suların Majör Anyon ve Katyonlarının Kökenleri, Mevsimsel Değişimleri ve Çeşitli Değerlere Göre Sınıflandırılması	33
5.2. Suların Kimyasal Analizlerinin Diyagramlarda Değerlendirilmesi	39
5.2.1. Schoeller diyagramı	40
5.2.2. Piper diyagramı.....	43
5.3. İnceleme alanındaki suların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması.....	46
5.3.1. Sıcaklık	46
5.3.2. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH).....	48
5.3.3. Suların Elektriksel İletkenlikleri (EC)	50
5.4. Kabuklaşma.....	52
5.5. İzotop Hidrolojisi	52
5.5.1. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ Diyagramı	53
5.5.2. Trityum (^3H)- EC ve Trityum- Sıcaklık İlişkisi	53

5.6. Jeotermometre Uygulamaları	55
5.6.1. Katyon Jeotermometreleri:.....	56
5.6.2. Silis Jeotermometreleri:	59
5.6.3. Karışım Modelleri.....	60
5.7. İncelenen Suların Standartlarla Karşılaştırılması	62
5.8. Doğanbağı Jeotermal Alanının Kavramsal Modeli	68
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ	80



ÖZET

Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi

Yelda YALÇIN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2020, Sayfa: xviii + 77

Doğanbağı sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi konulu bu çalışmanın amacı, inceleme alanı içerisindeki sıcak ve mineralli suların kökenlerini belirlemek, suların kimyasal bileşiminin litolojiyle ilişkisini açıklamak ve oluşum mekanizmasını ortaya çıkararak bir oluşum modeli oluşturmaktır.

Çalışma kapsamında, inceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular ve soğuk sulardan yağışlı (Nisan, 2019) ve kurak (Eylül, 2019) dönemlerde olmak üzere iki kez su örnekleri alınarak ayrıntılı kimyasal analizleri ile izotop analizleri yapılmıştır. İncelenen suların sıcaklıkları yağışlı dönemde 15.3 °C ile 29.5 °C arasında, kurak dönemde ise 12.6 °C ile 29.2 °C arasındadır. Sularda bulunan baskın katyon Ca^{+2} , baskın anyon ise HCO_3^{-} 'dir. Yağışlı ve kurak dönemde yapılan izotop analiz sonuçlarına göre incelenen sular, Akdeniz meteorik su doğruları üzerinde ve yakınında yer aldığından, meteorik kökenlidirler.

Doğanbağı jeotermal alanı için, silis jeotermometreleri ile tahmin edilen hazne kayaç sıcaklıkları 28,30°C ile 117,58°C arasında olup, bu tahmini sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda Doğanbağı sıcak ve mineralli (DSM) sularının konut, sera ısıtmacılığı ve soğutulularak da kaplıca amaçlı kullanımlar için uygun olduğu belirlenmiştir.

Doğanbağı jeotermal sisteminin örtü kayaçları Pütürge Metamorfikleri'ne ait şist ve fillitler iken hazne kayası ise aynı birime ait rekristalize kireçtaşlarıdır. Doğanbağı jeotermal sistemi yarı kapalı özelliktedir. DSM su kaynakları, meteorik suların bölgedeki fayların kontrolünde derinlere süzülerek ısınması ve yine sözü edilen fayların kontrolünde yüzeylemesi şeklinde oluşmuştur. İncelenen sıcak ve mineralli suların ısınmasındaki temel etken jeotermik gradyandır.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, Sivrice, Doğanbağı, Hidrojeoloji, Sıcak ve Mineralli Su, Hidrojeokimya

ABSTRACT

Hydrogeology Investigation Of Hot And Mineral Water Source In DOĞANBAĞI (Sivrice, Elazığ)

Yelda YALÇIN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

January 2020, Pages: xviii + 77

The aim of this study on the hydrogeology study of Doğanbağı hot and mineral water resources is to determine the origins of hot and mineral waters within the study area, to explain the relationship of the chemical composition of the waters with the lithology and to create a formation model by revealing the formation mechanism.

Within the scope of the study, water samples were taken twice from the hot and mineral waters and cold waters in the study area during rainy (April, 2019) and arid (September, 2019) periods, and detailed chemical analyzes and isotope analyzes were performed. The temperatures of the studied waters are between 15.3 °C and 29.5 °C in the rainy period and between 12.6 °C and 29.2 °C in the dry period. The dominant cation in the waters is Ca^{+2} , and the dominant anion is HCO_3^{-} . The waters examined according to the results of the isotope analysis performed in the rainy and dry periods are meteoric originated because they are located on and near the Mediterranean meteoric water lines.

For Doğanbağı geothermal area, the reservoir rock temperatures estimated by silica geothermometers are between 28,30°C and 117,58°C. Considering these estimated temperatures, Doğanbağı hot and mineral (DSM) waters are suitable for residential, greenhouse heating and hot spring use by cooling. It has been identified.

While the cover rocks of Doğanbağı geothermal system are schist and phyllites belonging to Pütürge Metamorphics, reservoir rock is recrystallized limestones of the same unit. Doğanbağı geothermal system is semi-closed. DSM water resources are formed by the heating of meteoric waters under the control of the faults in the region and their surface surface under the control of the mentioned faults. The main factor in the warming of hot and mineral waters studied is geothermic gradient.

Keywords: Elazığ, Sivrice, Doğanbağı, Hot and Mineral Water, Hydrogeology, Hydrogeochemistry.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1. MTA jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası	2
Şekil 1.2. İnceleme alanı yer bulduru haritası	4
Şekil 1.3. İnceleme alanının coğrafya ve bitki örtüsüne ait görseller	5
Şekil 2.1. Su örnekleme çalışmalarına ait görüntüler	9
Şekil 3.1. İnceleme alanının jeoloji haritası.....	13
Şekil 3.2. Akseki Köyü'nün yaklaşık 1km GD'sunda yol yarmasında Pütürge Metamorfitle'ne ait şistler	14
Şekil 3.3. Doğanbağı Köyü Goncapınarı Dere içerisindeki Pütürge Metamorfitle'ne ait grafit şistlere ait görünüm	15
Şekil 3.4. Pütürge Metamorfitle'nde gelişen çatlaklardaki ikincil kuvars dolguları ve limonit oluşumları (Akseki Köyü'nün yaklaşık 1km GD'sunda yol yarması Koordinat:.....	15
Şekil 3.5. Uslu Köyü batı girişi yol yarmasında yüzeyleyen metamorfitle'ne ait altere olmuş gnayslar ..	16
Şekil 3.6. Akseki- Fenk karayolu doğusunda, Maden Karmaşığı içerisinde gözlenen alterasyon kuşakları	17
Şekil 3.7. Akseki Fenk karayolu üzerinde yüzeyleme veren Maden Karmaşığı'na ait oldukça altere olmuş birimler	18
Şekil 3.8. Doğanbağı-Kalaba yolu 04.04.2019 tarihinde meydana gelen depremden sonra oluşan heyelandan bir tanesine ait görünüm.....	20
Şekil 3.9. a) Goncapınarı deresi içerisinde Pütürge Metamorfitle'ne ait rekristalize kireçtaşları, fillit ve şistlerde ölçülen çatlak yönelimlerine ait gül ve b) kontur diyagramları.....	21
Şekil 5.1. İncelenen suların majör anyon ve katyonlarının dönemsel değişim grafikleri	36
Şekil 5.2. İncelenen suların yağışlı dönem Schoeller diyagramı	40
Şekil 5.3. İncelenen suların kurak dönem Schoeller diyagramı.....	41
Şekil 5.4. İncelenen suların yağışlı dönem Piper diyagramı	44
Şekil 5.5. İncelenen suların kurak dönem Piper diyagramı	45
Şekil 5.6. Çalışma alanındaki suların sıcaklıklarının yağışlı ve kurak dönemlerindeki değişimleri.....	48
Şekil 5.7. Çalışma alanındaki suların pH değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri.....	49
Şekil 5.8. Çalışma alanındaki suların EC değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri	50
Şekil 5.9. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı (yağışlı ve kurak dönem)	53
Şekil 5.10. İncelenen suların Trityum-EC diyagramı	54
Şekil 5.11. İncelenen suların Trityum- Sıcaklık diyagramı	55
Şekil 5.12. Doğanbağı sıcak ve mineralli suların kurak dönemde Na- K- Mg üçgen diyagramındaki dağılımları	59

Şekil 5.13. Sıcak akışkan (sıcak su+buhar) ve soğuk yeraltı sularının karışım varsayımlarını açıklayan şematik modeller.	61
Şekil 5.14. Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının silis-entalpi diyagramı	61
Şekil 5.16. İncelenen sıcak ve soğuk sularda Mn, Al, As, Ni, Fe ve Cr konsantrasyonları arasındaki ilişki	66
Şekil 5.17. İncelenen sularda As konsantrasyonunun Fe ve SO ₄ konsantrasyonları ile ilişkisi	66
Şekil 5.18. Sıcak ve soğuk sularda Na, K, Si, Al ve Fe konsantrasyonları arasındaki ilişki	67
Şekil 5.19. Doğanbağı jeotermal alanının kavramsal model	69



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 4.1. Yağışlı (Nisan,2019) ve kurak (Eylül,2019) dönemlerde incelemeleri yapılan su örneklerinin lokasyon bilgileri	23
Tablo 4.2. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların yağışlı dönem metal ve iz element sonuçları	26
Tablo 4.4. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların kurak dönem kimyasal analiz sonuçları	28
Tablo 4.5. İnceleme alanındaki suların yağışlı (Nisan,2019) dönem doygunluk indisleri.....	31
Tablo 4.6. İncelenen suların izotop analiz sonuçları.....	32
Tablo 5.1. Yağışlı ve kurak dönemde örneklenen suların kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri	42
Tablo 5.2. Çalışma alanındaki suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması	47
Tablo 5.3. Suların pH'larına TS-266 içme suyu standartlarına göre sınıflandırılması	48
Tablo 5.4. Çalışma alanındaki suların pH değerleri ve sınıf aralıkları	49
Tablo 5.5. İnceleme alanındaki suların EC değerleri ve sınıf aralıkları.....	51
Tablo 5.6. Sıcak ve mineralli suların hazne kayaç sıcaklıklarının tahmininde kullanılan jeotermometre eşitlikleri.....	56
Tablo 5.7. Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular için hesaplanan katyon jeotermometreleri °C, yağışlı dönem)	57
Tablo 5.8. İncelenen suların hesaplanan katyon jeotermometreleri (°C, kurak dönem)	58
Tablo 5.9. Sıcak suların analiz sonuçlarına göre silis jeotermometreleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları (°C, yağışlı dönem)	60
Tablo 5.10. İncelenen soğuk suların Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği'nin içme suları standartları üst sınır değerleri ile karşılaştırılması.	63
Tablo 5.11. İncelenen sıcak suların Sağlık Bakanlığı Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği'ne göre ihtiva edecekleri maddelerin üst sınır değerleri ile karşılaştırılması	64

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler	
Al	:Alimünyum
As	:Arsenik
B	:Bor
Ba	:Baryum
Br	:Brom
Ca	:Kalsiyum
Cd	:Kadmiyum
Cl	:Klorür
CN	:Siyanür
Co	:Kobalt
CO₂	:Karbondioksit
Cr	:Krom
Cs	:Sezyum
Cu	:Bakır
F	:Florür
Fe	:Demir
²H	:Döteryum
³H	:Tritiyum
¹⁸O	:Oksijen 18
HCO₃	:Bikarbonat
Hg	:Civa
K	:Potasyum
La	:Lantan
Li	:Lityum
Mg	:Magnezyum
Mn	:Mangan
Mo	:Molibden
Na	:Sodyum
Ni	:Nikel
NO₃	:Nitrat
NO₂	:Nitrit
P	:Fosfor
Pb	:Kurşun
Rb	:Rubidyum
S	:Kükürt
Sb	:Antimon

Sc	:Skandiyum
Se	:Selenyum
Si	:Silisyum
Sn	:Kalay
Sr	:Stronsiyum
SO₄	:Sülfat
SO₃	:Sülfat
Zn	:Çinko
Zr	:Zirkonyum

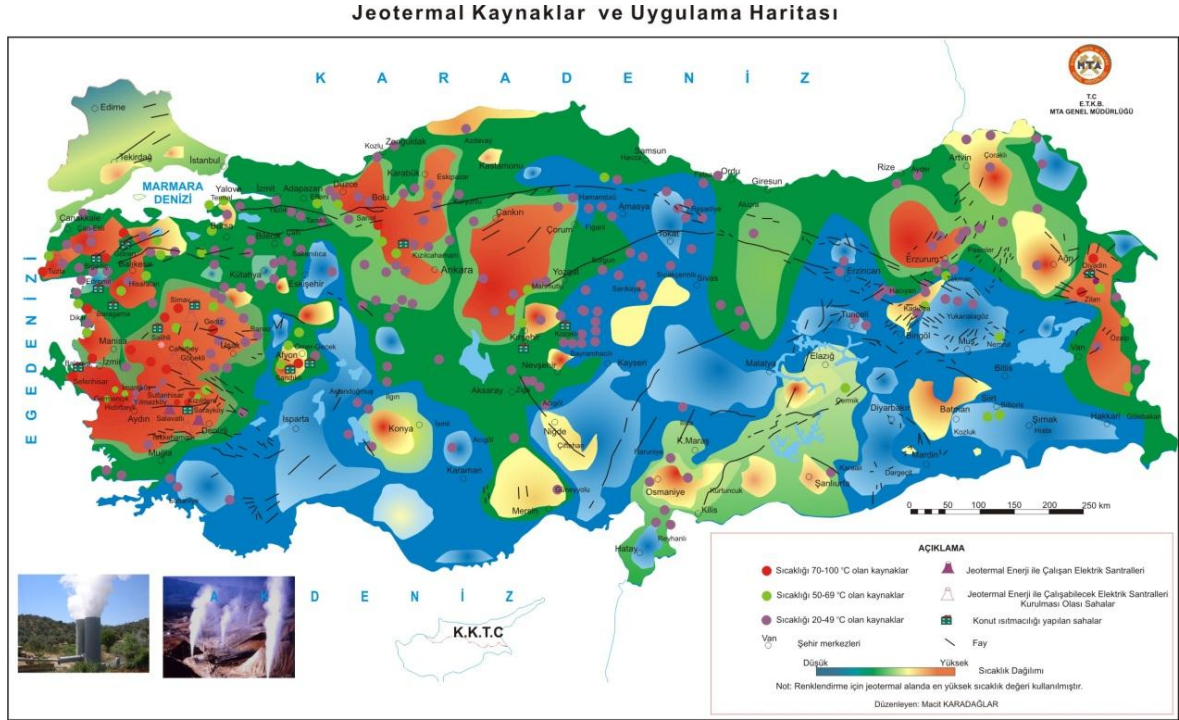
Kısaltmalar

Dİ	: Doygunluk İndeksi
DAFS	: Doğu Anadolu Fay Sistemi
DSİ	: Devlet Su İşleri Müdürlüğü
EC	: Elektriksel İletkenlik
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu
ICP-MS	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer
mek	: Miliekivalan
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
DSMS	: Doğanbağı Sıcak ve Mineralli Suları

1. GİRİŞ

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli girdilerinden olan jeotermal enerji, tüm ülkelerin gündeminde en çok tartışılan konularından birisidir. Özellikle 1973 ve 1978 yıllarında meydana gelen petrol fiyatlarındaki artışlardan sonra enerji ucuz kaynak olma özelliğini kaybetmiştir. Doğada bulunan enerji kaynaklarının pek çoğunun tüketilebilir özellikte olması, söz konusu bu enerji kaynaklarına yeterince sahip olmayan veya enerji maliyetleri sürekli artan birçok ülkede alternatif enerji kaynağı arama ve geliştirme çalışmalarının sürdürülmesine neden olmuştur (Öztürk ve Kaya, 2015).

Önemli bir jeotermal kuşak üzerinde yer alan ülkemizin potansiyeli hakkında farklı görüşler bulunmakla birlikte, MTA tarafından 2011 yılı itibarıyla tespit edilen yaklaşık 200 adet jeotermal sahanın %6'sının elektrik, %39'unun konut ısıtması ve %55'nin ise kaplıca vb. gibi diğer kullanımlar için uygun olduğu bilinmektedir (Alan, 2010). Ülkemiz jeolojik yapısındaki çeşitlilik dikkate alındığında, jeotermal kaynakların belli yöre ve bölgelerde yer aldığı, jeotermal sistemlerin genç tektonik ve volkanik faaliyetlere bağlı olarak geliştiği gözlenmektedir (Dağıstan, 2012). Özellikle Batı Anadolu, ülkemiz jeotermal kaynaklarının oldukça yoğun olduğu bölgedir. Burada gelişen graben sistemleri ülkemizin yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlarına sahiplik etmektedir. Batı Anadolu'daki yüksek ısı içeren rezervuarlara sahip jeotermal alanlara karşılık, Orta ve Doğu Anadolu'da düşük ve orta sıcaklıklı alanlar yer almaktadır. Elazığ il sınırları içerisinde yer alan Doğanbağı sıcak ve mineralli su kaynak alanı ve yakın çevresi de Doğu Anadolu bölgesindeki düşük sıcaklıklı sistemler arasındadır (Şekil 1.1). Çalışma alanı ve yakın çevresi, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile bu fay zonunun segmentlerinin yer aldığı tektonik açıdan oldukça şiddetli ve yoğun etkilere maruz kalmış bir bölgedir. Bu çalışmanın konusu Türkiye'nin önemli doğrultu atımlı faylarından birisi olan DAF ve segmentleri üzerinde bulunan düşük sıcaklıklı Doğanbağı sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesidir.



Şekil 1.1. MTA jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita>)

Çalışma kapsamında sıcak ve mineralli sular ile birlikte soğuk su kaynakları ve yüzey suları (dere, akarsu) da, örneklenmiştir. Sıcak ve mineralli sular, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısınin oluşturduğu, sıcaklığı sürekli 20°C’den fazla ve çevresindeki yeraltı ve yüzey sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sulardır (Öztürk ve Kaya, 2015).

Soğuk ve mineralli su ise yer kabuğunun farklı derinliklerinde, uygun jeolojik koşullarda doğal olarak oluşan bir veya daha fazla kaynaktan yeryüzüne kendiliğinden çıkan veya çıkarılan, mineral içeriği ve diğer bileşenleriyle tanımlanan; tedavi, şifa amaçlarıyla da kullanılan içmece suyu, şifalı su ve benzeri adlarla anılan soğuk doğal suları ifade eder (Resmi Gazete, 2007).

Jeotermal enerjinin diğer enerji türlerine göre üstünlükleri;

- ✓ Diğer enerji türlerine göre daha uzun ömürlüdür, tükenmezdir,
- ✓ Jeotermal enerjini maliyeti daha ucuzdur,
- ✓ Çevre dostudur,
- ✓ Tedavi amaçlı kullanıldığında içerisindeki minerallerle birçok hastalıkların tedavisinde kullanılır,
- ✓ Jeotermal sektörünün ülke çapında yayılması petrole olan bağımlılığı azaltacaktır,

- ✓ Jeotermal akışkanın içerdiği kimyasal maddelerin, uygun tekniklerle akışkanların alınması ekonomiye borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su (D_2O), amonyum sülfat, kuru buz (CO_2 buzu) gibi endüstriyel maddeler elde edilebilir.

Bu çalışma kapsamında çalışma alanı içerisindeki sıcak ve mineralli suların kökeni, kalitesi ve kullanım olanakları araştırılmış ve kimyasal bileşimleri çeşitli standartlarla karşılaştırılıp içme amaçlı mineralli su olarak kullanılabilirlikleri ortaya çıkarılmıştır. Mineralli sular önceden yapılmış oldukça sınırlı sayıdaki çalışmada sadece majör anyon, katyon, bazı metal konsantrasyonları ile radyoaktivite analizleri yapılarak sağlığa etkileri anlamında değerlendirilmiştir (Öztürk ve Kaya, 2015). Bu çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak yeni mineralli su kaynakları da değerlendirilerek mineralli sulardan yağışlı (Nisan, 2019) ve kurak (Eylül, 2019) dönemlerde olmak üzere iki kez su örnekleri alınarak ayrıntılı kimyasal analizleri yapılmıştır. Ayrıca suların kökenini, yaşını belirlemek için yağışlı ve kurak dönemde alınan su örneklerinde izotop analizleri yapılmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Alp - Himalaya kuşağında yer alan Türkiye sıcak su potansiyeli bakımından oldukça zengin bir coğrafyaya sahiptir. Ancak yapılan bilimsel çalışmaların yetersizliği nedeniyle suların özellikleri yeterince bilinmemektedir. Bu çalışmanın amacı, Doğanbağı sıcak ve mineralli su kaynaklarının ayrıntılı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar ile kökenini belirlemek, suyun kimyasal bileşiminin litolojiyle ilişkisini açıklamak, oluşum mekanizmasını ortaya çıkararak bir oluşum modeli oluşturmak ve sıcak ve mineralli suyun hazne kaya sıcaklığını uygun jeotermometreler ile tahmin edip, sıcak suların kullanım alanlarını ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla çalışma alanı içerisinde bulunan sıcak ve mineralli sular ile diğer soğuk sulardan örnekler alınarak kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan hidrojeoloji çalışmalara bağlı olarak yağışlı dönemi temsil edecek şekilde Nisan (2019) ayında, kurak dönemi temsil edecek şekilde de Eylül (2019) ayında su örnekleri alınarak kimyasal ve izotop çalışmaları yapılmıştır (Güven, 2013; Yiğit, 2016). Su örneklerinin sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC) gibi özellikleri yerinde, örnekleme yapılırken aletsel olarak belirlenmiştir. Suların majör anyon ve katyon analizleri yağışlı ve kurak dönemde, metal ve iz elementleri analizleri ise sadece yağışlı dönemde yapılmıştır. İncelenen suların izotop analizleri (Oksijen-18, Döteryum ve Trityum içerikleri) ise her iki dönemde yapılmış ve suların kökenleri, yeraltında kalış süreleri ve yaşları belirlenmiştir. Sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları kimyasal analizler yardımıyla, sisteme uygun jeotermometre eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır.

1.2. Tez Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı Elazığ ili Sivrice ilçesinin yaklaşık 50 km KB'sında, 1/25000 ölçekli L42-a2, L42-a3 ve L42-a4 paftalarında yer almaktadır(Şekil 1.2, Şekil 1.3).



Şekil 1.2. İnceleme alanı yer bulduru haritası

İnceleme alanının coğrafyası oldukça engebeli ve sarp bir arazi yapısına sahiptir. İnceleme alanının denize olan yükseklikleri 858 m ile 1608 m arasında değişmektedir. Sismik açıdan bölgenin en aktif yapısına sahiptir bu nedenle litolojilerdeki alterasyonlara arazi çalışmaları boyunca sıkça rastlanmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan Uslu köyüne ulaşım asfalt bir karayolu ile sağlanmakta iken diğer su örnekleme noktalarının bulunduğu köy ve mezralara ise ulaşım stabilize yollarla olmaktadır.

İnceleme alanı barajların etkisi ile çok sert geçmeyen bir karasal iklim yapısına sahiptir. Bu iklim yapısı yazları sıcak ve kurak kışları ise soğuk ve yağışlıdır. Bu iklimin getirdiği bitki örtüsü de ilkbaharda yağışlarla beraber yeşeren, yaz sıcakları ile kuruyan bozkır bitki örtüsüne ile çevrilir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. İnceleme alanının coğrafya ve bitki örtüsüne ait görseller

Yöre halkı köylerde, çoğunlukla mevsimsel olarak ikamet etmektedir. Köy ve mezralara ulaşım kış aylarında çok zor olduğu için özellikle Uslu Köyü'nün batısında bulunan Akseki, Kalaba, Fenk, Doğanbağı gibi köy ve mezralarda yaşayan insanlar çoğunlukla yaz aylarında buralarda yaşamaktadırlar. Jeolojik yapısından dolayı oldukça sarp bir araziye sahip olan bölgede tarım yok denecek kadar azdır ve yaşayan kalıcı nüfus geçimini genellikle hayvancılıktan sağlamaktadır.

1.3. Önceki Çalışmalar

Ercan (1979) tarafından DAFS üzerinde Hazar Gölü ile Pütürge arasında meydana gelen mikro depremler çalışılmış ve fay düzlemi çözümleri üzerinde yaptığı çalışmalar ile fayın sol yanal karakteri ortaya konmuştur. Araştırmacı yaptığı çalışmalara dayanarak fay üzerinde; 30 yıl içerisinde %100 olasılıkla 5’den büyük, %26 olasılıkla 6’dan büyük ve 100 yıllık dönem içerisinde %63 olasılıkla 6’dan büyük bir deprem olabileceğini önermiştir.

Çetindağ vd. (1991) İspendere (Malatya) sıcak ve mineralli sularının, İspendere ofiyoliti ile andezitik volkanoklastik bir fliş niteliğindeki birimin dokanağından yaklaşık K-G yönlü bir fay boyunca açığa çıktığını, jeotermik gradyanla ısınan suların iç kökenli CO₂, Rn gibi gazlar içerdiklerinden karışık kökenli sular olduklarını belirtmişlerdir.

Gürocak (1993)’ın Sivrice ve çevresinde yapmış olduğu çalışmada Karbonifer (?)Permiyen-Triyas yaşlı Pütürge Metamorfitle’rinin gabro, diyabaz, bazalt ve andezitten oluştuğu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı’nın ise gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve killerden oluştuğu belirtilmiştir.

Kaya (1992), Gezin – Maden (Elazığ) çevresinde yapmış olduğu çalışmada bölgenin 1/25000 ölçekli ayrıntılı jeolojik haritasını hazırlamıştır.

Aksoy (1993), Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri başlıklı çalışmasında, daha yaşlı olan Permo-Triyas yaşlı Metamorfik kayaçların, kendisinden daha genç Senoniyen yaşlı magmatik birimler üzerine tektonik olarak geldiğini ve bunun bölgede etkin olan sıkışma nedeniyle olduğunu açıklamıştır.

Erdem (1994) tarafından Pütürge Metamorfitle’rinin petrografik ve petrolojik incelemesi yapılmıştır. Pütürge Metamorfitle’rinin gözlü gnays ve granitik gnays gibi kayaçlarının köken olarak çarpışma graniti oldukları belirlenmiş, gözlü gnays ve granitik gnaysları veren çarpışmanın en az Permiyen öncesi olması gerektiği belirtilmiştir. Gözlü gnayslar ve diğer metamorfik birimlerdeki kırıklar ile mikaşist, kalkışist ve rekristalize kireçtaşlarındaki şistozite ve tabaka duruşu gibi düzlemsel yapılardan alınan ölçülerin gül ve kontur diyagramlarında değerlendirilmesi sonucu masifin en az iki deformasyon evresi geçirdiği ve ikinci deformasyonun birinci evreye ait izleri kısmen sildiği belirlenmiştir.

Çetindağ (1996), Elazığ’ın 25 km KD’sunda bulunan Gurbet Mezrası sıcak ve mineralli su kaynağını Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (AIH)’ne göre Na⁺, HCO₃, Cl⁻’lü sıcak ve mineralli su olarak sınıflandırmıştır. Araştırmacı çalışmasında sulara bulunan Na⁺ iyonunun kökeninin, Na⁺ içeren feldspat ve plajiyoklasların sular tarafından kimyasal bozumunu ile ilişkili olmasının yanı sıra Na⁺ ile birlikte Cl⁻ iyonunun da yüksek olmasından dolayı bu iyonların bir bölümünün iç kökenli olabileceğini belirtmektedir. Kaynak suyunda en fazla bulunan anyonlardan bikarbonatın (HCO₃⁻) kökenini ise Kırkgeçit Formasyonu’nun kireçtaşı seviyeleri ile CaCO₃ çimentolu

kumtaşları ve çakıltası seviyelerindeki CaCO_3 oluşuklarının yağış suları ile çözünmesine bağlamıştır.

Beyarslan (1996), Hazar Gölü'nün batısından başlayıp Kömürhan Köprüsü'ne kadar uzanan Kömürhan Ofiyolit Birimi'nin, petrografik ve petrolojik incelemesini yapmıştır.

Çetindağ (1997). "Elazığ yakın çevresindeki bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri" başlıklı çalışmada, havzadaki kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların HCO_3^- , Ca^{+2} ve Mg^{+2} olduğunu, Piper diyagramlarında magmatik kayalardan beslenen kaynak sularının karışık sular bölgesinde gruplandığını belirtmiştir.

Turan ve Gürocak (1997), Sivrice (Elazığ) çevresinde yaptıkları çalışmada, Hazar Gölü'nün oluşturduğu çöküntü alanın çek-ayır mekanizması ile çökmediğini, fay zonunun güney bloğunda etkili olan çekme tektoniği rejimi ve buna bağlı tek yanlı (asimetrik) bir grabenleşmenin de burada önemli bir rol oynadığını belirtmektedirler. Araştırmacılar; çekme rejiminin oluşturduğu tek yanlı grabenleşme ile kuzeyde Hazar Gölü havzası iyice çökerken güneyde zirvesi 2347 m yüksekliğinde olan muazzam Hazarbaba Dağı yükseliminin ortaya çıktığını ve bu hali ile Hazarbaba Dağı yükseliminin doğrultu atımlı fay zonu içinde gelişen negatif bir çiçek yapısı olarak düşünülebileceğini de belirtmişlerdir.

Öztekin ve Çetindağ (2000), Elazığ il merkezi ve yakın çevresindeki içme ve kullanma sularının hidrojeokimyasal özelliklerini inceledikleri çalışmalarında bölgede su taşıyan formasyonların Keban Metamorfikleri, Elazığ Magmatikleri, Seske Formasyonu, Kırkgeçit Formasyonu, Pliyosen çakıltıları ile silt ve kumtaşları olduğunu belirtmişlerdir.

Öztekin Okan (2004)'ün Kolan jeotermal alanında yapmış olduğu çalışmada, Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri'nin sıcak ve mineralli suların akiferi, Alibonca formasyonuna ait killi ve marnlı seviyelerin ise sıcak su akiferinin örtü kayaları olduğunu belirtmiştir. Çalışmada, Üst Miyosen- Pliyosen yaşlı volkanizmayı oluşturan ve derinlerde soğumakta olan magmatik sokulumların Kolan sıcak ve mineralli su kaynaklarının ısı kaynağını oluşturduğundan bahsedilmektedir.

Rızaoğlu (2006) yaptığı çalışmada Kömürhan ofiyolitini oluşturan kayalar grubuna ait yüzleklerin esas olarak Malatya-Elazığ karayolu boyunca Kömürhan köprüsünden itibaren başlamakta ve Sivrice (Elazığ) batısına kadar devam etmekte olduğunu ve ofiyolitik birimin Kömürhan köprüsü güneyinde Orta Eosen yaşlı Maden Kompleksi üzerine bindirmeli dokanak ilişkisi ile geldiğini belirtmiştir.

Aksoy v.d. (2007), çalışma alanının içerisinde bulunduğu Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerinde yer alan Hazar Gölü Havzası'nda yapmış oldukları incelemede, doğrultu atımlı fayın geometrisini negatif çiçek yapısı olarak tanımlamışlardır.

Öztürk (2008)'ün "Hazar Gölü (Sivrice-Elazığ) doğusundaki manganez cevherleşmelerinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi" başlıklı yüksek lisans tez

çalışmasında Maden Karmaşığı ile ilişkili Mn cevherlerinde MnO ile Fe₂O₃, MgO, TiO₂ ve Cr₂O₃ arasında pozitif korelasyon, SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO, K₂O ve P₂O₅ arasında ise negatif korelasyonlar görüldüğü belirtilmiştir. Çalışmada Pütürge Metamorfitleri'nin genellikle gözlü gnays, biyotit sist, amfibolışist, amfibolit, granitik gnayslar ve profilitle makaslanma zonu kayaçlarından oluşan Alt Birlik ile muskovitışist, distenli kuvarsit damarları, stavrolit muskovit şist, granatlı mikaışistler, kalkışist ve mermerden oluşan Üst Birlik kayaçlarından oluştuğunu belirtmiştir.

Kaygılı (2010), Gözeli- Sivrice (Elazığ) çevresinde yapmış olduğu drenaj jeokimyası çalışmasında Maden Karmaşığı'nın çamurtaşları içerisinde merccekler şeklinde Fe, Mn ve Cu cevherleşmelerinin bulunduğunu, bu cevherleşmelerin başlıca minerallerinin ise hematit, piroluzit, pirit, azurit, malahit ve limonit olduğunu belirtmiştir.

Güven (2013), Hazar Gölü çevresinin hidrojeolojisini konu alan çalışmasında, Maden Grubu'na ait volkaniklerin birincil gözenekliliklerinin oldukça düşük olduğunu, bu kayaçların bölgedeki etkin tektonik faaliyetler nedeniyle kırıklı-çatlaklı bir yapı kazanarak ikincil porozite ve perbeabiliteye sahip olduklarını ve bu birim içerisindeki yeraltı suyu akım yönünü kırık-çatlak dağılımları ile fay hatlarının kontrol ettiğini belirtmiştir.

Yiğit (2016), tez konusunu oluşturan alanın doğusunda yer alan Gezin Beldesi ve yakın çevresinde yapmış olduğu çalışmada, bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak ikincil geçirimsizlik kazanan Guleman ofiyolitlerine ait birimler ile Maden Karmaşığı'na ait volkanitlerin yeraltı suyu taşıyan birimler olduklarını belirtmiştir.

Köküm (2017), "Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu-Uslu (Elazığ) Arasındaki Kesiminin Kinematik Analizi" isimli doktora tezinde DAFS'nin Palu-Uslu arasındaki bölümünde 17 farklı istasyonda doğrudan fay düzlemi üzerinden toplamda 192 adet kinematik veriyi toplayarak fay kinematik analiz çalışmalarını yürütmüştür.

Aydinoğlu (2019), Elazığ İl Merkezi ve yakın çevresindeki mineralli suların aktif tektonik hatlarla ilişkili olup, oluşumlarının faylara bağlı olduğunu belirtmiştir. Araştırmacı mineralli suların akifer formasyonlarının metamorfitlere ait rekristalize kireçtaşları ile oldukça kırık ve çatlaklı magmatik kayaçlar olduğunu ve mineralli suların kırıklı, çatlaklı ve tektonizmanın etkili olduğu kayaç toplulukları içerisinde uzunca bir süre hareket etmeleri nedeniyle iyon içerikleri ve elektriksel iletkenliklerinin oldukça yüksek değerlere ulaştığı sonucuna varmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

“Doğanbağı (Sivrice, Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı’nın Hidrojeoloji İncelemesi” başlıklı bu çalışma ön arazi, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara başlamadan önce çalışma alanına hem keşif hem de ulaşım durumunu gözlemlemek amacıyla ön arazi çalışması gerçekleştirilmiş, su örnekleri alınabilecek lokasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Ek olarak bu süreçte ve tez çalışması sonuna kadar çalışma konusunu ve alanını konu alan tez, makale, proje gibi çalışmalar incelenmiştir. Ön arazi çalışması tamamlandıktan sonra arazi, laboratuvar ve büro çalışması yapılarak çalışma sonuçlandırılmıştır.

2.1. Ön Arazi Çalışmaları:

Ayrıntılı arazi çalışmalarına başlamadan önce çalışma alanı içerisinde bulunan yerleşim yerlerine, sıcak ve mineralli suların alınacağı noktalara ulaşım durumunu tespit etmek amacıyla ön arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar dâhilinde bazı su örnekleme lokasyonları da kabaca belirlenerek GPS yardımı ile koordinatları alınmıştır.

2.2. Arazi Çalışmaları:

Arazi çalışmaları kapsamında yağışlı dönemi temsil edilen Nisan (2019) ayında 12 su noktasından kurak dönemi temsil edilen Eylül (2019) ayında ise 20 su noktasından örnekler alınmıştır. Su örnekleme noktalarının lokasyon bilgileri GPS yardımı ile belirlenmiştir. Örneklenen suların pH, Sıcaklık (T), ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, kalibrasyonu daha önceden yapılan YSI marka Orion 63 model çoklu parametre ölçüm cihazı ile yerinde ölçülmüştür (Şekil 2.1). Cihazın ucunda bulunan ölçüm probu ölçüm öncesi ve sonrasında saf su ile yıkanarak temizlenmiştir.



Şekil 2.1. Su örnekleme çalışmalarına ait görüntüler



Şekil 2.1. Su örnekleme çalışmalarına ait görüntüler (devamı)

İzotop analizleri için (^2H (Döteryum), ^3H (Trityum), ^{18}O) su örneklemleri yapılırken 1,5 lt'lik plastik şişeler kullanılmış örnekleme sonrasında da sular güneş ışığına maruz kalmayacak şekilde muhafaza edilmiştir. Majör anyon ve katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^-) analizleri için çift kapaklı 500 ml'lik polietilen şişeler kullanılmış ve örnekleme esnasında herhangi bir koruyucu ilavesi yapılmamıştır. Metal ve iz elementler analizleri için su örnekleri çift kapaklı 50 ml'lik polietilen şişelere örnekleme sonrası oluşacak reaksiyonları önlemek ve $\text{pH} < 2$ olacak şekilde suyun pH 'ını düşürmek için koruyucu ilave edilerek alınmıştır. Koruyucu olarak derişik nitrik asit (HNO_3) kullanılmıştır.

Örnekleme yapılırken su örnekleme şişe ve kapakları en az 3 kez örnekleme yapılacak su ile çalkalanarak temizlenmiştir. Su örnekleri mümkün olan en kısa sürede analize gönderilmiş ve analize gönderilinceye kadar $+4\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki buzdolabında muhafaza edilmiştir.

İnceleme alanında farklı birimlerden kayaç ve toprak (alterasyon zonlarından alınan örnekler) örnekleri alınıp yorumlanmıştır. Kayaç örnekleri alınırken yüzeyde altere olmuş zonlar tercih edilmemiştir. Alterasyon zonlarını temsil eden toprak örnekleri plastik poşetlere alınmıştır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları:

Nisan (2019) ve Eylül (2019) aylarında örneklenmesi tamamlanan su numunelerinin asitleme ve etiketleme çalışmaları arazide yerinde yapılmıştır. Alınan su örneklerinin majör anyon ve katyon analizleri DSİ 9. Bölge Müdürlüğü'nde DIONEX ICS 1000 cihazı ile, metal ve iz element analizleri ise Kanada'da ACME Laboratuvarları'nda ICP-MS (İnductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) cihazı ile yapılmıştır. Suların izotop analizleri DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) standartlarında Micromass 602C Kütle Spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.

Kayaçların ince kesitleri Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında hazırlanmıştır.

2.4. Büro Çalışmaları

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler çalışmanın amacı doğrultusunda büro çalışmaları ile değerlendirilerek yorumlanmıştır. İnceleme alanının jeoloji haritası çizilirken Adobe Illusrator CS6 programı, su ve kayaç örnekleme haritaları oluştururken de Google Earth programları kullanılmıştır.

Suların kimyasal analiz sonuçlarının diyagramlara (Piper, Schoeller, Giggenbach) aktarılmasında AquaCHEM 3.70 programından, mineral doygunluk indislerinin hesaplanmasında ise Phreeqc Interactive 3.4.0 programından yararlanılmıştır. Çeşitli diyagram ve şekillerin bütünsel olarak gösteriminde Adobe Illustrator CS6 çizim programından yararlanılmıştır. Tabloların oluşturulması ile jeotermometre hesaplamalarında ise Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

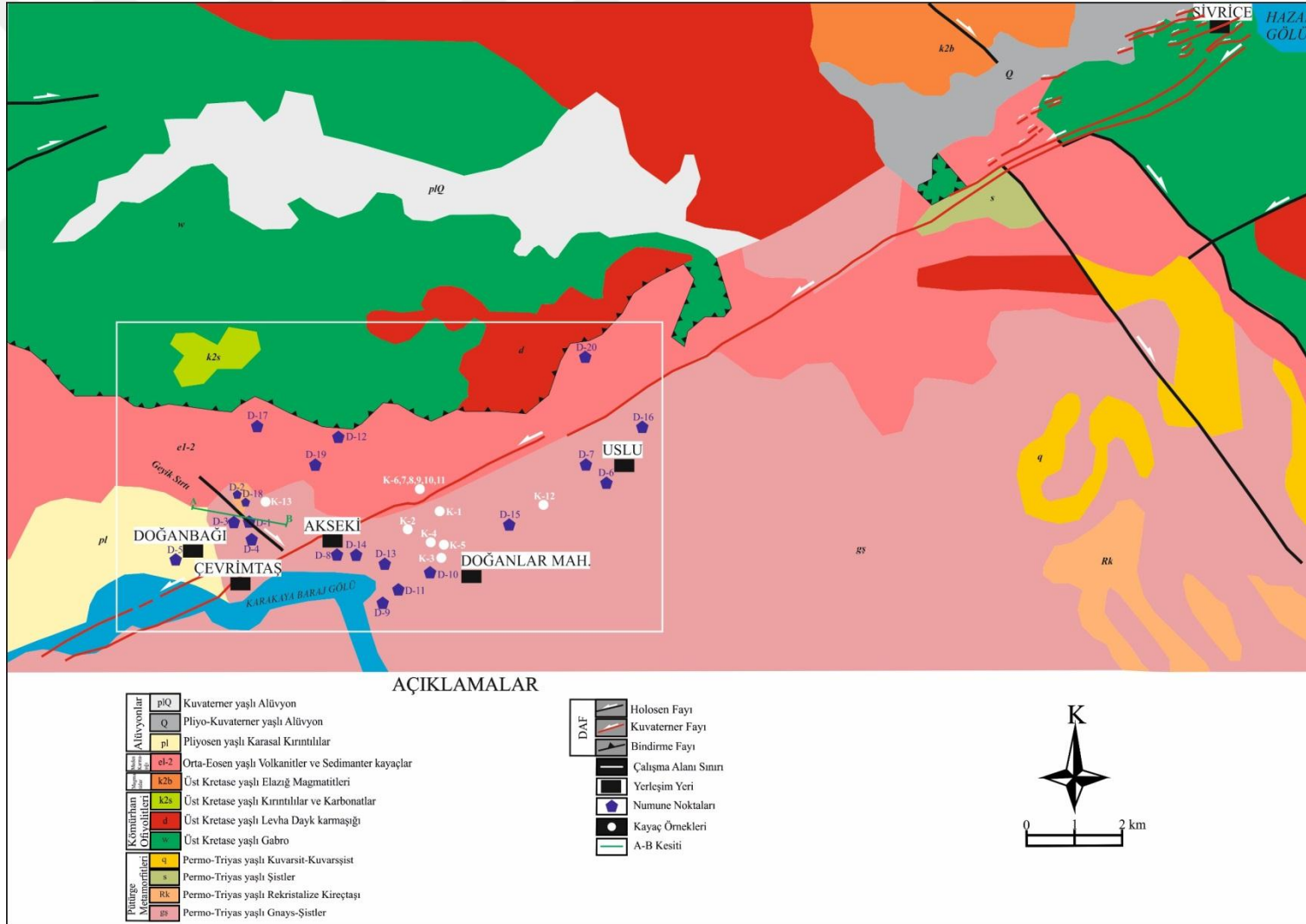
3. İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanında yaşıdan gence doğru Permo-Triyas yaşlı Pütürge Metamorfitlei, Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ve Pliyo Kuvaterner yaşlı alüvyon ve güncel alüvyon bulunmaktadır (Şekil 3.1).

3.1. Pütürge Metamorfitlei (Permo–Triyas)

Pütürge Metamorfitlei ismini Malatya’ nın Pütürge ilçesinden almıştır. Doğı Toroslar’ da yapılan birçok çalışmada Pütürge Metamorfitlei/Pütürge Masifi olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.1).

Çalışma alanında en fazla yüzeyleme veren birim Pütürge Metamorfitlei olup Hazar Gölü güneybatısından Doğanbağı’na kadar uzanım göstermektedir. Pütürge Metamorfitlei bölgede alttan üste doğru sıralanacak olursa, en altta masifin çekirdeğini oluşturan gözlü gnayslar, gözlü gnaysların üzerinde biyotitşist, amfibolitşist arılanması ile kristalleri 1-2 mm’yi geçmeyen granatlar içeren granatlı mikaşist ve bunlar arasında yer yer granitik gnayslar bulunmaktadır. Bu birimlerin üzerine profillitli bir makaslanma zonu gelmektedir. Makaslanma zonu üzerine, muskovitşist, stavrolitli muskovit, kuvarşist, granatlı mikaşist ve en üstte ise kalkşist-mermer birimi yer almaktadır (Erdem,1994) (Şekil 3.2).





Şekil 3.2. Akseki Köyü'nün yaklaşık 1km GD'sunda yol yarmasında Pütürge Metamorfitleri'ne ait şistler (Koordinat: 37S511362D, 4245157K)

İnceleme alanında Pütürge Metamorfitleri'ne ait kalkşitlerde tabakalanmaya paralel olarak gelişmiş oldukça belirgin şistoziteler gelişmiştir (Gürocak, 1993). Bu alanda yüzeyleme gösteren Pütürge Metamorfitleri daha çok düşük-orta sıcaklıklı metamorfizma altında kalmış grafit-fillit arası yapılardan oluşmaktadır. Metamorfik birimlere ait kayaçlar yoğun bir şekilde deformasyon geçirmişlerdir. Yoğun deformasyon peridotitlerde kontakt zonlarında gnaysik ve şisti bir doku ile karakterize olurken, taban seviyelerinde göreceli olarak daha az deformasyon geçirmiş kayaçlar (fillit-sleyt) mevcuttur (Rızaoğlu,2006).

Pütürge Metamorfitleri inceleme alanında kendinden daha genç olan Kömürhan Ofiyoliti ve Maden Karmaşığı ile tektonik dokanak oluştururken, Üst Kretase yaşlı Kömürhan Ofiyolitleri çalışma alanında litolojik olarak klinopiroksenli gabro ve diyorit gibi derinlik kayaçları, bazalt ve andezit gibi yüzey kayaçları ve bunları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır (Şekil 3.1.) (Güzel, 1997).

İnceleme alanından alınan K-1,2,3,4,5 (Şekil 3.2, 3.3, 3.4) numaralı örnekler Pütürge Metamorfitleri'ne ait olup düşük metamorfizma etkisinde kalmış, genellikle şistler ve fillitlerdir (Şekil 3.1). Alanda yüzeyleme gösteren kayaçlardan alınan örneklerde makroskobik olarak yer yer muskovitlere rastlanılmıştır. İncelenen kayaçlar demir (Fe) minerallince zengin olduğu için kayaç yüzeylerinde limonitleşme oluşmuştur (Şekil 3.4) (Prof. Dr. A. Feyzi Bingöl ve Prof. Dr. Melahat Beyarslan ile sözlü görüşme).



Şekil 3.3. Doğanbağı Köyü Goncapınarı Dere içerisindeki Pütürge Metamorfitleleri'ne ait grafit şistlere ait görünüm (Koordinat: 37S507822 D, 4245765 K)



Şekil 3.4. Pütürge Metamorfitleleri içinde gelişen çatlaklardaki ikincil kuvars dolguları ve limonit oluşumları (Akseki Köyü'nün yaklaşık 1km GD'sunda yol yarması Koordinat: (37S511362D, 4245157K)

Uslu köyü batı girişindeki yol yarmasından alınan K-12 (şekil 3.5) numaralı kayacın ince kesitinin yapılan mikroskop incelemesinde kayacın altere olmuş gnays olduğu belirlenmiştir. K-12 nolu kayacın ince kesitinde altere olmuş plajiyoklaslar, şekilsiz ve yer yer albit ikizlenme izleri gözlenmiştir. Ayrıca kayaç içerisindeki biyotitler uzamış kristaller şeklinde bulunmakta olup aralarda da küçük kuvars kristalleri tespit edilmiştir. Biyotitler oksitlenmiş ve kloritleşmiştir.



şekil 3.5 Uslu Köyü batı girişi yol yarmasında yüzeyleyen metamorfitle ait altere olmuş gnayslar (Koordinat: 37S512727D, 4246091K)

Goncapınarı Deresi içi sağ yamacından alınan K-13 nolu kayaç örneğinin ince kesiti minerallerin oldukça küçük kristaller halinde olduğu ve kayacın fillit olduğu belirlenmiştir. Oksitleşme, kloritleşme, karbonatlaşmaların yaygın şekilde izlendiği ve çatlakları dolduran kalsit dolguların olduğu belirlenmiştir.

3.2. Maden Karmaşığı (Orta Eosen)

Birim ilk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964), tarafından “Maden Birimi” olarak adlandırılmıştır. Özkaya (1978), birimi “Sason-Baykan Grubu” olarak tanımlarken, Sungurlu (1974) ve Baştuğ ve Açıkbăș (1975), aynı birim için “Baykan Karmaşığı” ismini kullanmışlardır. Erdoğan (1977, 1982) “Maden Grubu” olarak tanımlarken, birim İlk defa Perinçek (1979) tarafından “Maden Karmaşığı” olarak adlandırılmıştır. Maden Karmaşığı, çalışma alanının kuzeydoğusu ile batısında yüzeyleme vermektedir (şekil 3.1). Sedimanter kayaçlar içerisinde gözlenen volkanitlerden dolayı karışık bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada da birim Maden Karmaşığı olarak adlandırılmıştır (Kaya, 1992) . Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, tabanda bordo şarabi renkli bazaltlar ile bunların içerisinde ve üstünde yer alan Pütürge

Metamorfitle ve Kömürhan Ofiyoliti'ne ait olistolitik bloklar, andezit ve bazaltlar ile bunları kesen diyabaz dayklarından oluşan bir litoloji sunar (Güzel, 1997).

İnceleme alanında Maden Karmaşığı içerisinde bordo/şarabi, yeşil, gri, beyaz tonlarda alterasyon zonları gözlenmiştir (Şekil 3.6, Şekil 3.7). Birim içerisinde yaygın bir şekilde karbonatlaşma, limonitleşme ve kloritleşme şeklinde alterasyon gözlenmiştir. Alterasyon zonlarından alınan toprak ve sağlam kaya örnekleri (K-6,7,8,9,10,11 numaralı örnekler) incelendiğinde örneklerin bölgedeki tektonik hareketlere ve Kömürhan Ofiyolitleri ile Maden Karmaşığı arasındaki bindirmeye bağlı olarak oldukça altere olduğu belirlenmiştir. Şarabi renkli alterasyon zonundan alınan örneklerin Maden Karmaşığı'na ait bazaltlar olduğu belirlenmiştir. Aynı bölgeden alınan bazı kayaçların (K-8 ve K-10 nolu örnekler) ise volkanosedimanter birimler olduğu tespit edilmiştir. Maden Karmaşığı'na ait volkanosedimanter kayaç örneklerinde Fe bileşenli minerallerde limonitleşmelere rastlanmıştır. Ayrıca kayaç örneklerinin bir kısmında makroskopik boyutta kloritleşmeler gözlenmiştir (Prof. Dr. A. Feyzi Bingöl ve Prof. Dr. Melahat Beyaraslan ile sözlü görüşme).



Şekil 3.6. Akseki- Fenk karayolu doğusunda, Maden Karmaşığı içerisinde gözlenen alterasyon kuşakları (Koordinat: 37S510878D, 4246374K)



Şekil 3.7. Akseki Fenk karayolu üzerinde yüzeyleme veren Maden Karmaşığı'na ait oldukça alttere olmuş birimler (Koordinat: 37S510878D, 4246374K)

3.3. Kömürhan Ofiyoliti (Üst Kretase):

Ofiyolit kelimesi Yunanca aslına göre "ofics" yılan ve "ofiyolit" yılan taşı anlamına gelmektedir. Genellikle ultramafik ve mafik kayalardan oluşan belirli bir kaya grubuna verilen isim olan ofiyolitlere eşanlamlı olarak yeşil kayalar (green rocks), ofiyolit topluluğu (ophiolite suite/ophiolite sequences), ofiyolit birliği (ophiolite association) ve ofiyolit karmaşığı (ophiolite complex) şeklinde değişik isimler de verilmektedir (Çapan, 1977; Rızaoğlu, 2006).

İlk defa Yazgan (1984) tarafından Kömürhan Ofiyoliti olarak adlandırılan birim, Hazar Gölü'nün batısından başlayıp, Kömürhan Köprüsü'ne kadar uzanmaktadır. Kömürhan Ofiyoliti çalışma alanında özellikle gabro, diyabaz daykları, piroksenit, dünit ve gabroları keser durumda verlit ve plajiyoklaslı verlit intrüzyonlarından oluşmaktadır (Beyarslan, 1996). Kömürhan Ofiyolitleri çalışma alanının özellikle kuzey ve batı kesimlerinde gözlenmektedir. Kuzey ve Kuzeybatı kesimlerinde özellikle gabrolarla temsil edilen birim Maden Karmaşığı üzerine tektonik olarak gelmekte, ayrıca Doğu Anadolu Fay zone ile Maden Karmaşığı ve Pütürge Metamorfikleri'nden ayrılmaktadır.

Birime ait levha dayk karmaşığı, birbiri içerisine girmiş çok sayıda dayktan oluşmuştur. Ve daykların doğrultusu, yaklaşık olarak tekil dayklara paraleldir. Dayk karmaşığını oluşturan diyabazların bir kenarında soğuma nedeniyle, çok ince taneli doku izlenirken, diğer kenarında tane boyları daha büyüktür (Beyarslan, 1996).

3.4. Alüvyon ve Güncel Alüvyonlar (Pliyo Kuvaterner)

İnceleme alanında yüzeyleyen alüvyonlar; eski alüvyonlar ve güncel alüvyonlar olmak üzere ayrı ayrı ele alınmış ve haritalanmıştır (Şekil 3.1) (Güzel, 1997).

Kendinden daha yaşlı Kömürhan Ofiyoliti ile Maden Karmaşığı'nı uyumsuz olarak örten birim; kötü boylanmalı çakıltası, kumtaşı ve kıltaşı ile temsil edilmektedir. Taneleri genellikle gevşek tutturulmuş olan bu alüvyonlar, yatay bir tabakalanma göstermektedirler. Alüvyonlar içerisinde birime yaş verebilecek fosil bulunmamış, ancak temsil ettiği stratigrafik konum ve çeşitli araştırmacıların görüşlerine dayanılarak birime olası Pliyo (?) - Kuvaterner yaşı verilmiştir (Güzel, 1997).

İnceleme alanındaki güncel alüvyonlar dere yataklarındaki çakıl kil ve silt birikintisi şeklinde gözlenmektedir. Çakıl, kil ve silt boyutundaki tanelerden oluşan alüvyon malzemesi; tutturulmamış depolanmalar biçimindedir. Bu alüvyonlar kendinden daha yaşlı olan Pütürge Metamorfikleri, Kömürhan Ofiyolitleri ve Maden Karmaşığı'nı uyumsuz olarak örter (Güzel, 1997).

3.5. Yapısal Jeoloji

Elazığ ve çevre ilçeleri Alp Himalaya dağ oluşum kuşağının Doğu Akdeniz bölgesindeki Doğu Toroslar üzerinde yer almaktadır. Bu kuşak üzerinde Paleozoyik'ten Kuvaterner'e olan farklı yaşlardaki kayaç oluşumlarını içermektedir. Türkiye'nin en önemli ve aktif faylarından birisi olan Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) birçok araştırmacı tarafından 1960'lı yıllardan beri incelenmektedir.

Doğu Anadolu Fay Sistemi, 580 km uzunluğu ve yer yer 4-25 km genişlikte olup Karlıova (Bingöl)'den başlayıp Antakya'ya kadar uzanan yaklaşık KD-GB uzanımlı bir kuşaktır. DAFS, Karlıova-Bingöl Fayı (uzunluğu yaklaşık 65 km), Palu-Sincik Fayı, Palu-Hazar Fayı (uzunluğu yaklaşık 50 km), Hazar-Sincik Fayı (uzunluğu yaklaşık 85 km), Çelikhhan-Gölbaşı Fayı (uzunluğu 50 km) ve Gölbaşı-Türkoğlu Fayı (uzunluğu 90 km) segmentlerinden oluşmaktadır (Şaroğlu vd., 1992a).

20. yy'da hasar yapıcı deprem üretmeyen bu fay kuşağının ilerleyen zamanlarda hasar yapıcı depremler üretmesi beklenmektedir (Alyamaç ve Erdoğan, 2007).

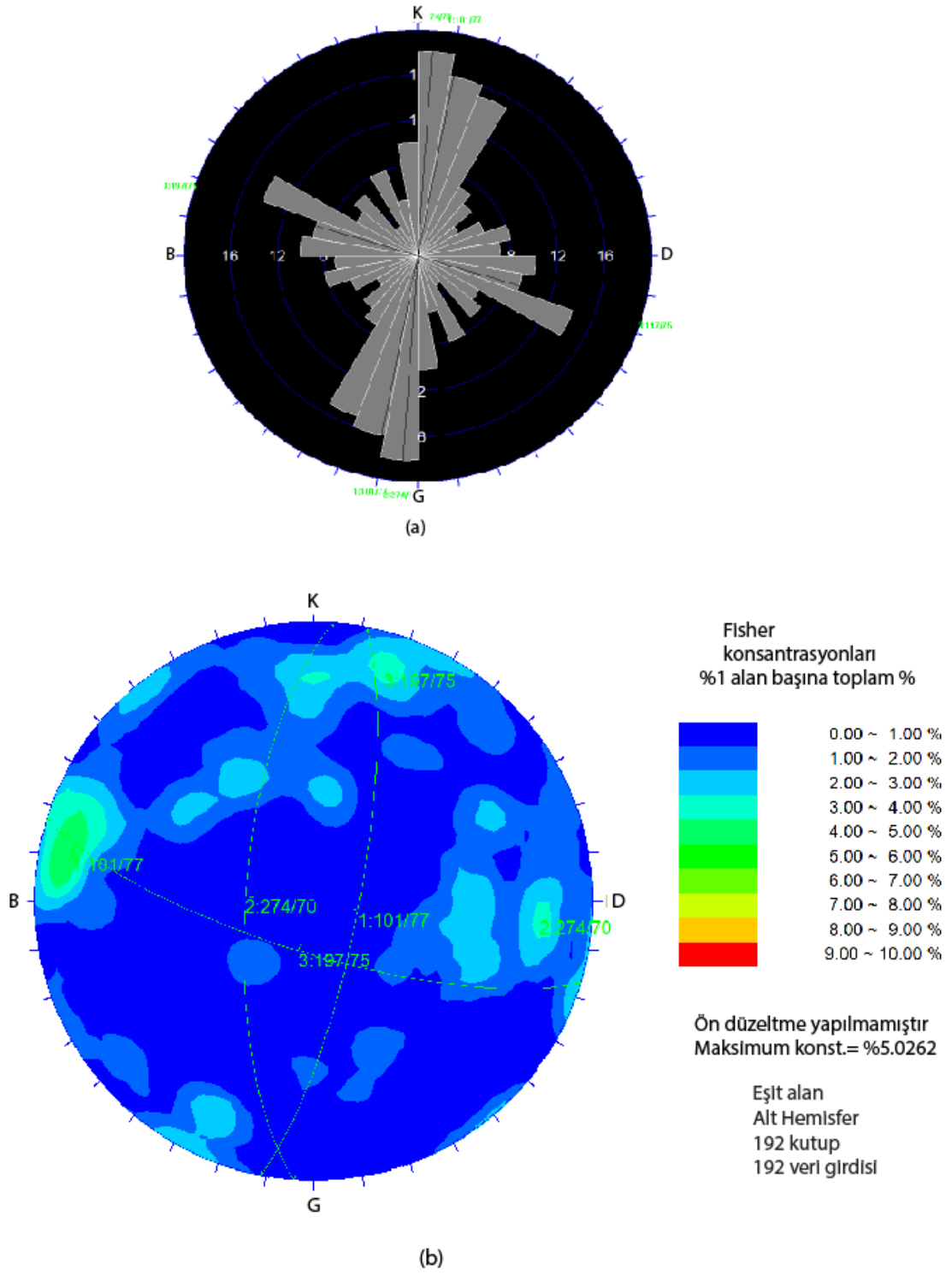
İnceleme alanında 04.04.2019 tarihinde gerçekleşen 5.2 şiddetindeki Doğanbağı (Sivrice) depreminde Doğanbağı-Kalaba yolu üzerinde üç farklı noktada heyelan meydana gelmiş ve iki köy arasındaki ulaşım uzun bir süre sağlanamamıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Doğanbağı-Kalaba yolu 04.04.2019 tarihinde meydana gelen depremden sonra oluşan heyelandan bir tanesine ait görünüm

Çalışma alanında tektonik amaçlı çalışmalarda bölgedeki çizgisel yapıların ana yönelimlerinin $K75^{\circ}D$ olduğu belirlenmiştir. Alanda bulunan fay düzlemlerinden ölçülen fay kayma verilerinin kinematik analizleri, bölgede en az üç farklı deformasyon evresinin olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma alanındaki en yaşlı deformasyon evresi Geç Oligosen- Orta Miyosen (25-11 my) aralığında gerçekleşmiş olup bu evrede Neotetis'in güney koluna ait dalan litosfer kopmuş ve üstteki levhada KB-GD doğrultulu genişleme rejimi etkin olmuştur. Geç Miyosen-Pliyosen zamanında etkili olan çarpışma sonrası sıkışmaya bağlı olarak, ikinci deformasyon evresinde ise bölgede KB-GD doğrultulu sıkışma etkin olmuştur. Çalışma alanındaki en genç deformasyon evresi ise günümüzde etkin olan KD-GB doğrultulu sıkışma ile karakterize edilir. Geç Pliyosen'den itibaren etkin olan bu evrede ise DAFS ve birçok doğrultu atımlı fay aktif hale geçmiştir (Köküm, 2017).

Doğanbağı sıcak ve mineralli suları (DSMS) Goncapınarı Deresi'nin sağ ve sol yamaçlarından farklı noktalardan kaynak şeklinde yüzeye çıkmaktadır. Goncapınarı Deresi vadisi içerisinde yüzeyleme veren Pütürge Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşları, fillit ve şistler bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Bu birimlerin içerdiği 192 çatlaktan alınan yönelim ölçüleri stereografik projeksiyon tekniğiyle DIPS (Diedrichs ve Hoek, 1989) bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve bu kayaçların yoğun olarak 3 eklem seti içerdiği belirlenmiştir (Şekil 3.9). Çizilen kontur ve gül diyagramları incelendiğinde çalışılan birimde çatlakların KD-GB ve KB-GD doğrultularında yoğunlaştıkları ve eklem setlerinin duruşları, yoğunluğuna göre 101/77, 274/70 ve 197/75 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9. a) Goncapınarı deresi içerisinde Pütürge Metamorfitleri'ne ait rekristalize kireçtaşları, fillit ve şistlerde ölçülen çatlak yönelimlerine ait gül ve b) kontur diyagramları

4. BULGULAR

Tez kapsamında yapılan arazi çalışmaları ve kimyasal analizler sonucunda hidrojeoloji ve hidrojeokimya bulguları elde edilmiştir.

4.1. Hidrojeoloji

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının akifer formasyonu Pütürge Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarıdır. Soğuk ve mineralli suların akifer formasyonlarını ise Maden Karmaşığı ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait kayaçlar oluşturmaktadır.

Pütürge Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarının birincil gözenekleri oldukça düşüktür. Ancak, bu birim bölgede meydana gelen aktif tektonizmaya ilişkili olarak oldukça çatlaklı ve kırıklı bir yapı kazanmıştır. Bu nedenle bu kayaçlarda ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik oldukça yüksek olup, su depolayabilmektedir (Çetindağ, 1989; Öztekin Okan, 2004).

Soğuk su akiferleri Maden Karmaşığı'na ait volkanitler ile volkanosedimanter kayaçlardır. Aynı zamanda, Kömürhan Ofiyoliti'ne ait gabro, piroksenit, dünit, verlit gibi kayaçlar da çalışma alanında soğuk su akiferlerini oluşturmaktadır. Maden Karmaşığı ve Pütürge Metamorfikleri'ne ait kayaçlar bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak çatlaklı akifer özelliği kazanmışlardır (Yiğit, 2016). Çalışma alanı içerisinde bulunan Pliyo Kuvarterner yaşlı alüvyonlar ile güncel dere alüvyonları oldukça yüksek verimli gözenekli akiferleri oluşturmaktadır (Öztekin Okan ve Güven, 2018).

4.2. Hidrojeokimya

Çalışma kapsamında su örneklemeleri yağışlı ve kurak dönemlerde yapılmıştır. Yağışlı (Nisan, 2019) ve kurak dönemde (Eylül, 2019) alınan suların örnekleme haritası Şekil 4.1'de, su örnekleme lokasyon bilgileri ise Tablo 4.1'de verilmiştir. Çalışma kapsamında örneklenen sular "D" simgesi ile gösterilmiştir. Yağışlı dönemde alınan su örneklerinde "YD" simgesi, kurak dönemde alınan su örneklerinde ise "KD" simgesi kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Yağışlı (Nisan,2019) ve kurak (Eylül,2019) dönemlerde incelemeleri yapılan su örneklerinin lokasyon bilgileri

Örnek Numarası	Örnek Yeri	Lokasyon Bilgileri	Rakım (m)
D-1	Goncapınarı Deresi sol sahilindeki su kaynağı	37s507822 E 4245765 N	865
D-2	Goncapınarı Deresi sağ yamacındaki su kaynağı	37s507853 E 4245918 N	858
D-3	Goncapınarı Deresi sağ sahilinde sızıntı şeklinde akan su kaynağı	37s507853 E 4245918 N	858
D-4	Goncapınarı Deresi karışım sonrası dere suyu örneği	37s507824 E 4245959 N	860
D-5	Doğanbağı köy çeşmesi	37s5068998 E 4245038 N	855
D-6	Uslu köyü su kaynağı	37s513831 E 4246915 N	1382
D-7	Uslu köy çeşmesi	37s513681 E 4246940 N	1365
D-8	Akseki köy çeşmesi	37s510136 E 4245546 N	1040
D-9	Doğanlar Mah. soğuk su kaynağı	37s511334 E 4245159 N	1042
D-10	Doğanlar Mah. çeşmesi	37s511073 E 4244477 N	1073
D-11	Doğanbağı Mah. Dere içi soğuk su kaynağı	37s511387 E 4245198 N	1056
D-12	Fenk Mezrası soğuk su kaynağı	37s510131 E 4247115 N	1267
D-13	Akseki köy girişi çeşme suyu	37s510344 E 4245421 N	1058
D-14	Akseki köy çeşmesi sondaj suyu	37s510144 E 4245539 N	1028
D-15	Uslu köyü çıkışı çeşme suyu	37s512330 E 424586 N	1318
D-16	Uslu köyü doğu girişi çeşme suyu	37s515753 E 4247631 N	1427
D-17	Kalaba köyü doğu girişi su kaynağı	37s508268 E 4247262 N	1253
D-18	Goncapınarı Deresi karışım öncesi su örneği	37s507853 E 4245918 N	858
D-19	Kalaba köyü çıkışı çeşme suyu	37s509524 E 4246750 N	1227
D-20	Kösebayır köyü Alyaspar mezarası çeşme suyu	37s514826 E 42492584 N	1608



Şekil 4.1. Çalışma kapsamındaki su örnekleme noktalarını gösteren örnekleme haritası (taban görüntüsü Google Earth'den alınmıştır).

Çalışma kapsamında, alınan suların majör anyon, katyon, metal ve iz element analiz sonuçları Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların yağışlı dönem kimyasal analiz sonuçları

Örnek Numarası	pH	Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		HCO ₃ ⁻	
		T(°C)	EC (µS/cm)	mg/L	(mek /L)	mg/L	(mek /L)	mg/L	(mek /L)	mg/L	(mek /L)	mg/L	(mek /L)	mg/L	(mek /L)	mg/L	(mek /L)
YD-1	6	27.5	1815	163,32	8,15	75,55	6,22	141,56	6,16	28,57	0,73	49,81	1,40	124,00	2,58	968,67	15,88
YD-2	6.19	29.5	3086	255,20	12,74	93,06	7,66	339,07	14,75	53,89	1,38	138,86	3,92	161,33	3,36	1742,00	28,55
YD-3	6.21	26.5	2812	248,12	12,38	99,20	8,16	313,56	13,64	50,29	1,29	125,93	3,55	188,64	3,93	1684,69	27,61
YD-4	7.92	17.9	442.6	56,73	2,83	18,44	1,52	29,79	1,30	4,24	0,11	13,20	0,37	33,14	0,69	301,94	4,95
YD-5	6.21	18.2	123.9	21,79	1,09	3,93	0,32	3,48	0,15	0,17	0,00	5,18	0,15	14,21	0,30	114,61	1,88
YD-6	6.2	15.3	458	67,68	3,38	30,88	2,54	6,35	0,28	0,61	0,02	6,98	0,20	160,12	3,33	185,48	3,04
YD-7	5.92	15.9	50	8,87	0,44	2,22	0,18	2,06	0,09	0,19	0,00	4,99	0,14	11,82	0,25	48,68	0,80
YD-8	6.78	17.4	357.5	56,50	2,82	17,61	1,45	5,88	0,26	0,42	0,01	5,17	0,15	81,59	1,70	203,35	3,33
YD-9	7.04	15.9	429.3	74,66	3,73	25,39	2,09	3,68	0,16	0,45	0,01	6,21	0,18	156,03	3,25	200,27	3,28
YD-10	6.2	23.8	660	72,64	3,62	31,87	2,62	5,60	0,24	0,71	0,02	7,64	0,22	70,61	1,47	314,26	5,15
YD-11	6.1	17.3	884	151,95	7,58	49,31	4,06	4,49	0,20	0,58	0,01	6,33	0,18	386,02	8,04	203,35	3,33
YD-12	6.51	19.8	273.9	21,79	1,09	7,86	0,65	4,06	0,18	0,11	0,00	5,57	0,16	13,46	0,28	99,82	1,64

Tablo 4.3. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların yağışlı dönem metal ve iz element sonuçları

Örnek Numarası	Al	As	B	Ba	Br	Co	Cr	Cs	Cu	Fe	La	Li	Mn	Mo
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
YD-1	19016	2077,1	1940	107,10	349	24,98	83,5	37,2	65,4	31766	2,79	396,0	471,72	0,3
YD-2	128	1761,9	3933	74,60	914	<0.02	4,6	73,38	1,3	2041	<0.01	763,3	72,84	0,1
YD-3	770	7168	3677	110,40	859	3,46	3,6	66,08	4,9	18078	0,32	694,1	228,31	0,4
YD-4	262	307,7	360	18,59	83	0,74	3,7	6,87	3,0	1404	0,07	65,7	62,69	1,3
YD-5	73	1,9	5	2,03	9	0,03	1,5	<0.01	0,60	46	<0.01	0,1	1,09	0,4
YD-6	476	1,3	12	40,56	15	22,67	1,1	0,04	2,4	13935	1,11	14,3	1494,6	0,4
YD-7	228	<0.5	<5	4,41	9	0,08	0,8	<0.01	0,5	139	0,05	1,3	3,63	0,1
YD-9	125	<0.05	9	17,93	11	0,06	<0.05	<0.01	1,2	108	<0.01	6,1	2,02	1,6
YD-10	98	1,4	22	33,93	54	0,03	1,3	<0.01	0,9	55	<0.01	8,2	0,59	1,9
YD-11	341	3,5	8	19,22	13	0,35	0,8	0,03	4,2	16467	0,46	15,8	314,01	0,7
YD-12	120	1,7	8	0,63	11	0,09	2,5	<0.01	0,5	51	<0.01	0,1	2,32	0,4

Tablo 4.3. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların yağışlı dönem metal ve iz element sonuçları (devamı)

Örnek Numarası	Ni	P	Pb	Rb	S	Sb	Sc	Se	Si	Sn	Sr	Zn	Zr
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
YD-1	59,8	1235	7,9	107,05	42	1,71	15	2,8	32272	0,07	8470,3	77,4	8,46
YD-2	<0.2	50	<0.2	196,61	55	<0.05	2	6.0	9366	0,06	16766	2,8	3,29
YD-3	2,5	225	1,2	183,55	67	1,72	3	6,1	10850	0,08	15465	14,9	1,76
YD-4	0,9	111	0,7	18,28	11	0,35	3	1,1	10918	0,08	1430.57	41,1	0.10
YD-5	<0.2	68	0,5	0,11	4	<0.05	2	<0.05	8735	0,16	39,24	10,9	<0.02
YD-6	42,7	106	2,1	0,61	49	0,35	2	<0.05	8246	0,12	129.10	37,3	0,03
YD-7	0,5	125	0,7	0,23	3	<0.05	1	<0.5	5474	0,15	30,46	4,5	0,05
YD-9	0,6	106	0,5	0,21	52,00	<0.05	1	1,3	6032	0,16	254,88	5,7	<0.02
YD-10	<0.2	130	0,3	0,13	24,00	0,15	2	2,6	9197	0.10	250,21	3,3	<0.02
YD-11	3,6	110	0,7	0,52	125,00	<0.05	2	<0.05	8622	0,19	472,86	6,9	0,05
YD-12	<0.2	77	0,2	0,04	3	0,09	1	<0.05	9235	0,06	45,63	2,9	<0.02

Tablo 4.4. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların kurak dönem kimyasal analiz sonuçları

Örnek Numarası	pH	Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		HCO ₃ ⁻	
		T (°C)	EC (µS/cm)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)
KD-1	6.16	27.1	1784	77.24	3.85	36.05	2.97	73.08	3.18	15.3	0.39	17.79	0.5	38.45	0.8	1054.94	17.29
KD-2	6.45	29.2	2896	250.1	12.48	90.39	7.44	321	13.98	50.4	1.29	130.2	3.67	159.3	3.32	2190.59	35.91
KD-3	6.99	24.6	894	127.2	6.35	44.6	3.67	147.36	6.41	23.4	0.6	55.00	1.55	75.21	1.57	1223.78	20.06
KD-4	7.59	22.3	1448	125.78	6.28	44.88	3.69	132.81	5.78	20.9	0.54	37.53	1.06	52.86	1.10	1038.3	17.02
KD-5	8.5	23.5	152.1	23.43	1.17	3.83	0.32	3.94	0.17	0.21	0.01	5.06	0.14	13.47	0.28	113.38	1.86
KD-6	6.22	14.1	382	35.25	1.76	17.29	1.42	21.00	0.91	0.75	0.02	5.79	0.16	48.42	1.01	272.36	4.46
KD-7	7.57	19.8	82.3	11.30	0.56	3.75	0.31	2.86	0.12	0.37	0.01	5.04	0.14	12.80	0.27	102.29	1.68
KD-8	8.12	19.7	196.2	26.10	1.30	9.77	0.80	5.27	0.23	0.21	0.01	4.47	0.13	14.54	0.30	179.31	2.94
KD-9	7.19	17.2	549	96.36	4.81	31.93	2.63	4.58	0.20	0.51	0.01	6.42	0.18	208.97	4.35	297.63	4.88
KD-10	7.79	22.9	435.7	61.03	3.05	21.83	1.8	7.25	0.32	0.36	0.01	5.96	0.17	101.4	2.11	248.33	4.07
KD-11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
KD-12	9.2	19.5	177	20.53	1.02	5.76	0.47	3.56	0.16	0.20	0.01	5.13	0.14	11.95	0.25	146.04	2.39

Tablo 4.4. Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların kurak dönem kimyasal analiz sonuçları (devamı)

Örnek Numarası	pH	Sıcaklık	Elektriksel İletkenlik	Ca ⁺²		Mg ⁺²		Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻		SO ₄ ⁻²		HCO ₃ ⁻	
		T (°C)	EC (µS/cm)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)	mg/L	(mek/L)
KD-13	8.14	18.7	188	27.43	1.37	10.33	0.85	5.69	0.25	0.57	0.01	5.51	0.16	14.22	0.30	213.82	3.50
KD-14	7.88	20.3	523	81.12	4.05	24.93	2.05	7.88	0.34	0.80	0.02	5.35	0.15	138	2.87	317.96	5.21
KD-15	7.92	25.3	140	16.08	0.8	6.04	0.5	6.36	0.28	0.30	0.01	5.37	0.15	12.32	0.26	112.76	1.85
KD-16	7.82	17.8	217.8	37.62	1.88	9.53	0.78	4.75	0.21	0.53	0.01	5.56	0.16	15.26	0.32	235.39	3.86
KD-17	8.97	16.1	222	37.83	1.89	10.37	0.85	4.86	0.21	0.38	0.01	5.52	0.16	15.04	0.31	206.43	3.38
KD-18	7.89	18.6	325.6	53.22	2.66	14.63	1.2	6.5	0.28	0.41	0.01	5.87	0.17	20.95	0.44	308.72	5.06
KD-19	8.26	12.6	189.3	25.42	1.27	6.82	0.56	4.54	0.2	0.31	0.01	4.49	0.13	14.58	0.3	150.35	2.46
KD-20	8.43	14.3	94.2	15.31	0.76	6.93	0.57	3.76	0.16	0.22	0.01	4.5	0.13	12.19	0.25	111.53	1.83

Yağışlı dönemde suların sıcaklıkları 15.3° ile 29.5 °C arasında değişim göstermektedir (Tablo 4.2). İncelenen suların pH'ları yağışlı dönemde 6 ile 7.5 arasında, EC değerleri ise 50-3086 µS/cm arasında değişim göstermektedir (Tablo 4.2). Kurak dönemde incelenen suların sıcaklıkları 12.6° ile 29.2° arasında, pH'ları 6.16 ile 9.2 arasında, EC değerleri ise 82.3- 2896 µS/cm arasında değişim göstermektedir (Tablo 4.4).

Yağışlı dönemde (Nisan, 2019) incelenen suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonu 8,87- 255,20 mg/l; Mg^{+2} iyon konsantrasyonu 2,22- 99,20 mg/l; Na^+ iyon konsantrasyonu 2,06- 339,07 mg/l; K^+ iyon konsantrasyonu 0,17- 53,89 mg/l; Cl^- iyon konsantrasyonu 5,17 – 138,86 mg/l; SO_4^{-2} iyon konsantrasyonu 13,46- 386,02 mg/l; HCO_3^- iyon konsantrasyonları ise 48,68- 1742,00 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 4.2).

Kurak dönemde (Eylül, 2019) incelenen suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonu 11,30- 250,00 mg/l; Mg^{+2} iyon konsantrasyonu 3,75- 90,39 mg/l; Na^+ iyon konsantrasyonu 2,86- 321 mg/l; K^+ iyon konsantrasyonu 0,20- 50,4 mg/l; Cl^- iyon konsantrasyonu 4,47- 130,00 mg/l; SO_4^{-2} iyon konsantrasyonu 11,95- 159,3 mg/l; HCO_3^- iyon konsantrasyonları ise 11,38- 2190,59 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 4.4).

Genel olarak incelenen Doğanbağı sıcak ve mineralli suların (D-1, D-2, D-3) EC değerleri her iki dönemde de soğuk sulardan yüksektir. Aynı zamanda Doğanbağı sıcak ve mineralli suların metal ve iz element içerikleri soğuk sulara oranla daha yüksektir.

4.2.1. İnceleme alanındaki suların doygunluk indislerinin hesaplanması:

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 (DI) 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 doygun (mineral çökeltici özelliktedir).

Dİ veya SI ($\log Q/K$)<0 ise Su ile ilgili mineral ile doygun değildir (mineral çözündürücü özelliktedir).

İnceleme alanında, yağışlı dönemde örneklenen suların hesaplanan doygunluk indisleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. İnceleme alanındaki suların yağışlı (Nisan,2019) dönem doygunluk indisleri

Örnek Numaraları		YD-1	YD-2	YD-3	YD-4	YD-5	YD-6	YD-7	YD-9	YD-10	YD-11	YD-12
Sıcaklık		27.5	29.5	26.5	17.9	6.21	15.3	15.9	15.9	23.8	17.3	19.8
pH		6	6.19	6.21	7.92	18.2	6.2	5.92	7.04	6.2	6.1	6.51
EC		1815	3086	2812	442.6	123.9	458	50	429.3	660	884	273.9
Mineral	Kimyasal formül	Doygunluk İndisleri										
Alüminyum Hidroksit	Al(OH) ₃	1.86	1.89	0.56	-0.83	-0.3	0.48	-0.07	-0.23	-0.27	0.21	-0.06
Alunit	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	11.37	11.12	7.53	-3.31	1.45	6.43	3.17	1.59	2.88	*	0.90
Anhidrit	CaSO ₄	-1.73	-1.54	-1.43	-2.54	-3.13	-1.86	-3.56	-1.82	-2.1	-1.27	-3.16
Aragonit	CaCO ₃	-0.52	0.07	0.07	0.49	-1.94	-1.44	-2.99	-0.5	-1.02	-1.20	-1.68
Ca-Montmorillonit	Ca _{0.165} Al _{2.33} Si _{3.67} O ₁₀ (OH) ₂	11.13	9.22	6.51	4.21	4.45	6.4	4.21	4.49	4.39	*	*
Kalsit	CaCO ₃	-0.38	0.21	0.21	0.64	-1.79	-1.29	-2.84	-0.35	-0.88	-1.05	-1.53
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	-0.71	0.38	-0.7	1.05	-4.06	-2.7	-6.06	-0.95	-1.79	-2.36	-3.22
Gibsit	Al(OH) ₃	4.53	4.54	3.23	1.93	2.45	3.26	2.7	2.54	2.43	*	*
Götit	FeOOH	6.32	5.65	3.48	9.04	3.94	6.08	3.47	6.49	4.16	*	*
Halit	NaCl	-6.78	-5.98	-9.05	-7.96	-12.27	-8.92	-9.5	-9.21	-8.94	-9.14	-9.18
Hematit	Fe ₂ O ₃	14.67	13.33	8.97	20.06	9.85	14.13	8.9	14.95	10.33	13.80	*
K-feldispat	KAlSi ₃ O ₈	3.47	2.28	1.24	0.83	-2.03	-0.68	-2.55	-1.12	-1.54	-1.11	-1.66
K Mika	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	18.15	17	13.32	10.26	8.45	11.4	8.41	9.52	8.93	*	*
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	11.24	10.16	7.74	5.34	6.19	7.84	6.35	6.11	6.06	*	*
Kuvars	SiO ₂	0.68	0.12	0.22	0.34	0.25	0.27	0.08	0.12	0.18	0.26	0.25
Siderit	FeCO ₃	0.95	0.06	-1.99	-0.18	-2.27	0.21	-2.42	-1.04	-1.86	0.18	-1.96
Silvit	NaCl	-7.04	-6.36	-9.41	-8.34	-10.11	-9.46	-10.06	-9.64	-9.39	-9.56	-10.28

(* = hesaplanmadı)

İncelenen suların yağışlı dönem mineral doygunluk indisleri incelendiğinde suların genel olarak alunit, Ca-montmorillonit, hematit, götit, gipsit, mika, kaolinit, kuvars, siderit minerallerine doygun olup bu mineralleri çöktürme eğiliminde; anhidrit, dolomit, halit, silvit minerallerine ise doygun olmayıp bu mineralleri çözme eğiliminde oldukları belirlenmiştir (Tablo 4.5).

4.2.2. Çalışma alanındaki suların izotop analiz sonuçları:

İncelenen suların izotop analiz sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir. Suların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri -8,29 ‰ ile -10,49 ‰ arasında değişirken, $\delta^2\text{H}$ (döteryum) içerikleri -47,47 ‰ ile -65,68 ‰ arasında, $\delta^3\text{H}$ (trityum) içerikleri ise 0,00 ile 4,99 TU arasında değişmektedir.

Tablo 4.6. İncelenen suların izotop analiz sonuçları

Örnek Numarası	YAĞIŞLI DÖNEM			KURAK DÖNEM		
	Oksijen-18	Döteryum	Trityum	Oksijen-18	Döteryum	Trityum
	$\delta(\text{‰})$	$\delta(\text{‰})$	T.U	$\delta(\text{‰})$	$\delta(\text{‰})$	T.U
D-1	-9.94	-60.41	0	-10.00	-62.08	1.06
D-2	-10.49	-65.68	0	-10.50	-66.71	1.51
D-4	-9.25	-55	4.33	*	*	*
D-5	-9.83	-58.28	4.99	-10.07	-60.59	5.15
D-7	-9.38	-54.85	4.47	-9.51	-56.85	4.4
D-9	*	*	*	-9.31	-55.07	3.96
D-10	-8.29	-47.47	4.49	*	*	*
D-11	-9.22	-53.27	4.59	*	*	*
D-12	-9.34	-56.08	4.61	*	*	*
D-17	*	*	*	-9.68	-57.33	3.67
D-18	*	*	*	-8.95	-54.05	4.38
D-20	*	*	*	-9.40	-57.41	6.55

(*hesaplanamadı)

5. TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular çeşitli diyagramlar yardımıyla değerlendirilerek yorumlanmıştır

5.1. Suların Majör Anyon ve Katyonlarının Kökenleri, Mevsimsel Değişimleri ve Çeşitli Değerlere Göre Sınıflandırılması

Yeraltı suyu içerisinde bulunan başlıca katyonlar, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , anyonlar ise Cl^- , SO_4^{2-} ve HCO_3^- tır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun temasta olduğu kayacın kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığına, ortamın basıncına, iyon etkinliğine, ortamın pH'ına bağlıdır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşımaktadır (Yüksel, 2007; Aydınoglu, 2019).

Kalsiyum (Ca^{+2}) içeren mineraller yerkabuğunda en fazla bulunan mineraller olmasından dolayı yeraltı suları içerisinde de yoğun konsantrasyona sahip elementler arasındadır. Yeraltı suları içerisindeki Ca^{+2} 'nin kaynağı, kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, flüorit gibi silikatlı olmayan mineraller ile albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerdeki Ca^{+2} 'nin çözünmesidir (Nart, 2015). Sular içerisindeki Ca^{+2} miktarının artması suyun tadını değiştirir, sabunun köpürmesini azaltır ve dış sağlığı açısından önemli bir iyondur. Sulama sularında kalsiyum oranının yüksek olması sodyum oranını azalttığı için bitki gelişimlerine açısından oluşacak zararları önlemektedir (Demir, 2008).

Magnezyum (Mg^{+2}) bileşenli mineraller Ca^{+2} bileşenli minerallere benzer şekilde yerkabuğunda fazla bulundukları için yeraltı sularında da fazlaca rastlanan elementler arasındadır. Yeraltı suları içerisinde bulunan Mg^{+2} derişimi, suyun içinden geçtiği başta ferromagnezyen mineraller içeren ultrabazik kayalar olmak üzere dolomitin çözünürlüğü ile ilgilidir (Demiroğlu ve Örgün, 2016). Mg^{+2} 'un yeraltı suları içerisindeki konsantrasyonu 10 - 100 mg/l değişim göstermektedir. 125 mg/l'tyi aşması halinde suyun tadında meydana gelen acılaşma nedeni ile içilememektedir. 125 mg/l't aşması durumunda ise bağırsak hastalıklarına rastlanmaktadır (Ergüvanlı ve Yüzer, 1987; Şen, 2014; Nart, 2015).

Sodyum (Na^+), yerkabuğunda en fazla bulunan elementlerdendir. Yeraltı sularının Na^+ içeriği ana kayaktan plajiyoklasların ayrışması veya kil minerallerinin içerisinde yer alan Ca^{+2} ve Na^+ iyonlarının yer değiştirmesine bağlıdır. Magmatik kayalar içerisinde dolaşım yapan sular içerisinde Na^+ oranı daha yüksek iken, sedimanter kayalar içerisinde bulunan sular içerisinde daha az bulunmaktadır. Na^+ 'un toplam katyona oranı tarımsal açıdan önemlidir. Killi arazilerde, sulama suyu olarak kullanılacak suların sodyum değeri oldukça önemlidir. Sodyum oranı yüksek sular ile killi arazilerin sulanması, su-toprak etkileşimi ile sodyum değerinin arttırır ve bu sodyum değerinin

yükselmesi ile toprağın geçirirmliliği azalır. Sulardaki sodyum fazlası, tuzlu su tadına neden olur. Sulardaki Sodyum oranının insan sağlığı üzerindeki etkilerine bakacak olursak bu değerin olumsuz etkileri yoktur, fakat kalp, böbrek ve tansiyon rahatsızlığı olan kişilerin sodyum oranı yüksek suları sürekli tüketmemeleri önerilmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987; Nart,2015; Demer, 2008).

Potasyum (K^+) birçok özelliği bakımından sodyum ile benzerlik gösterir. Ancak sodyum magmatik kayaçlar içerisinde potasyum ise sedimanter kayaçlarda daha fazla yer almaktadır. Yeraltı sularında ise potasyumun kaynağı feldispat, mika ve kil mineralleridir. Doğal sulardaki K^+ değeri en fazla 20 ppm iken, sıcak sularda bu değer 200 ppm'e kadar çıkabilmektedir (Şubaşı, 2019).

Bütün doğal sularda klorür (Cl^-) bulunur. Cl^- tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan sularda en çok bulunan iyonlardan biridir. Suyun tadına etki eden önemli bir iyondur (Şahinci, 1991). Yeraltı sularında Cl^- değerinde görünen azalma yeraltı suyuna tatlı su girişiminin olduğunu gösterir. Cl^- değerindeki artış ise, deniz suyu gibi tuzlu suların yeraltına girişini, kayaçların tuz çözünmesinin olduğunu, sık akiferde buharlaşma olduğunu ayrıca derin rezervuardan beslendiğini göstermektedir (Nart, 2015; Demer, 2008).

Yeraltı sularında sülfatın (SO_4^{2-}), en önemli kaynağı anhidrit ve jipstir, bunun yanında volkanik patlamalar, magmatik kayaçların bozunumu ve organik maddelerde sülfat değerini etkileyen önemli etkenler arasındadır. Ayrıca evsel ve endüstriyel atıkların depolandıkları alandaki suların toprağa karışması fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan sülfür gazları, asit yağmurları yüzey ve yeraltı sularındaki sülfat değerlerini etkilemektedir (Nart, 2015).

Yeraltı sularındaki CO_3^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kütlelerin erimesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla CO_3^{2-} ve HCO_3^- miktarı CO_2 miktarına ve suyun pH'ına bağlıdır. pH değeri 6-10 arasında ise, HCO_3^- baskın, 3-8 ve daha düşük pH değerlerinde karbonik asit, pH değerinin 8 ve daha üzerinde olduğu sularda karbonat baskın iyondur (Nart, 2015).

İncelenen sularda Ca^{+2} iyonunun kökenini, bölgede yaygın yüzeyleme veren metamorfik ve magmatik kayaçlardaki albit, anortit, piroksenit ve amfibol gibi silikat minerallerinin bünyesinde bulunan Ca^{+2} iyonunun çözünmesi oluşturmaktadır. Ayrıca, bölgedeki aktif tektonizma ile ilişkili olarak çalışma alanında yüzeyleme veren kayaçların kırık ve çatlakları içerisinde oluşmuş ikincil kalsit oluşumları da sulardaki Ca^{+2} iyonunun kökenini oluşturmaktadır.

İnceleme alanındaki sularda bulunan Mg^{+2} iyonunun kökenini Pütürge Metamorfitle, Kömürhan Ofiyolitleri ve Maden Karmaşığı' na ait kayaçlar içerisinde bulunan olivin, biyotit, horblend gibi magnezyum bileşenli minerallerin çözünmesi oluşturmıştır.

İncelenen sularda Na^+ 'nın kaynağı, bölgede bulunan magmatik ve metamorfik kayaçlar içerisindeki Na^+ lu feldispatların çözünmesiyle ilişkilidir. K^+ , çalışma alanında yüzeyleme veren

magmatik ve metamorfik kayaçların bünyesinde bulunan mika ve feldispat minerallerinin çözünmesiyle yeraltı sularına geçmiş olmalıdır.

Çalışma alanındaki yeraltı sularında Cl^- iyonunun kaynağı yağış suları ile metamorfik ve magmatik kayaçlar içerisindeki Cl^- bileşenli minerallerin (feldispatoid, sodalit, klorapatit gibi) çözünmesidir. Sulardaki SO_4^{2-} iyonu, metamorfik ve magmatik kayaçların içerisinde bulunan piritin (FeS_2) oksidasyonu ile oluşan FeSO_4 ile ilişkili olmalıdır. HCO_3^- iyonu ise çalışma alanında yeraltı sularına bölgede geniş alanlarda yüzeylemeler veren magmatik ve metamorfik kayaçların bünyesindeki silikat mineralleri ile çatlaklar içerisindeki ikincil kalsit dolgularının CO_2 'li sular tarafından çözünmesi sonucu geçmiştir.

Çalışma kapsamında D-1'den başlanarak D-12'ye kadar numaralandırılan sular hem yağışlı hem de kurak dönemde örneklenmiştir (D-11 numaralı su örneği kurak dönemde örneklenememiştir). D-13 ile D-20 arasında numaralandırılmış soğuk sular ise sadece kurak dönemde örneklenmiştir. Bu nedenle bu başlık altında D-1 ile D-12 numaralı su örnekleri arasındaki suların dönemsel karşılaştırılması yapılmıştır. Bunun yanında, sadece kurak dönemde örneklenen sular da ilgili grafikler üzerinde gösterilmiştir.

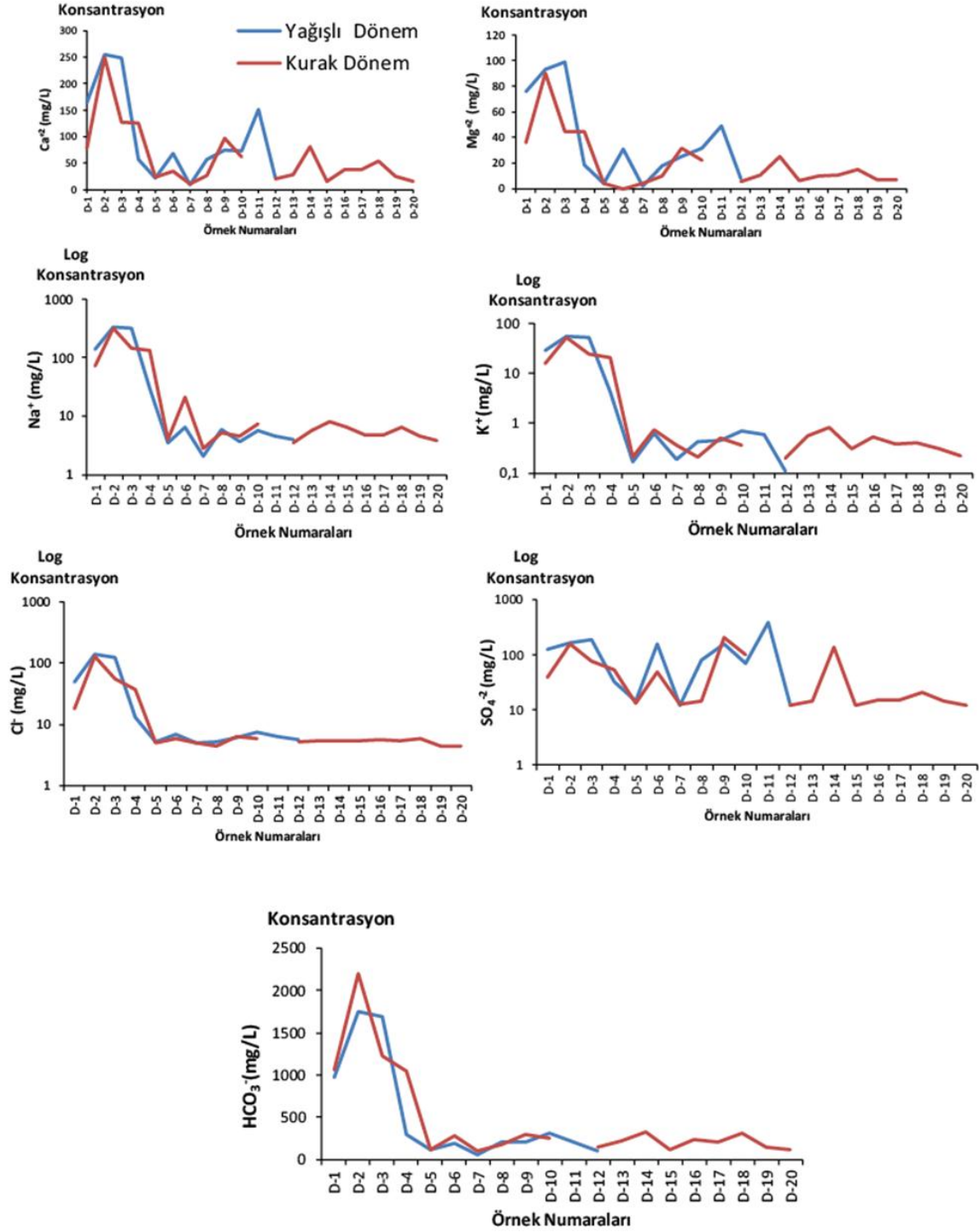
Çalışma alanında incelenen suların majör anyon ve katyon konsantrasyonlarının dönemsel değişimleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Genel olarak suların Na^+ , K^+ ve Cl^- konsantrasyonlarında dönemsel olarak belirgin farklılıklar gözlenmemiş olup diğer majör iyonlarda dönemsel farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 5.1).

İncelenen sularda Ca^{+2} konsantrasyonu yağışlı dönemde 8,87- 248,12 mg/L arasında değişirken, kurak dönemde 11,30-250 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 5.1). Hem yağışlı hem de kurak dönemde en yüksek Ca^{+2} konsantrasyonu Doğanbağı sıcak ve mineralli sularında belirlenmiştir.

İncelenen sıcak ve mineralli suların akiferi Pütürge Metamorfikleri'ne ait rekrystalize kireçtaşlarıdır. Sıcak ve mineralli sulardaki yüksek konsantrasyondaki Ca^{+2} iyonunun kökenini rekrystalize kireçtaşlarının yaklaşık %90'dan fazlasını oluşturan kalsitin çözünmesi oluşturmaktadır (Erdem, 1994). D-1 ve D-3 numaralı sıcak ve mineralli suların Ca^{+2} konsantrasyonları yağışlı dönemde daha yüksek olup, bu durum bu suların yağışlardan daha fazla etkilendiğini, soğuk sularla daha fazla karıştığını göstermektedir. D-4 numaralı dere suyu örneğinin Ca^{+2} konsantrasyonu (128,8 mg/L), sıcak ve mineralli su kaynaklarının dereye karışımından sonra alındığından, özellikle yüzeysel akışın yavaş olduğu kurak dönemde daha yüksektir.

Soğuk suların Ca^{+2} konsantrasyonları yağışlı dönemde 8,87 – 255,20 mg/L kurak dönemde ise 250,1 – 11,30 mg/L arasındadır. D-6 ve D-8 numaralı soğuk suların Ca^{+2} konsantrasyonları yağışlı dönemde daha yüksektir. Bu suların beslenme alanlarında metamorfiklere ait gnayslar, biyotit şistler, muskovit şistler, amfibolit şistler bulunmaktadır. Pütürge Metamorfikleri'ne ait gnayslarda ortalama %1,86, amfibolit ve amfibolit şistlerde ise ortalama % 3,4 CaO bulunmaktadır

(Erdem, 1994). D-6 ve D-8 numaralı soğuk sulara yağışlı dönemde daha yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen Ca^{+2} iyonu, amfibolit, amfibolit şist ve gnayların bünyesinde bulunan Ca^{+2} 'lu minerallerin ve çatlaklar içerisindeki ikincil kalsit dolgularının yağışlı dönemde CO_2 'li sularla çözündürülmesiyle ilişkili olmalıdır.



Şekil 5.1. İncelenen suların majör anyon ve katyonlarının dönemsel değişim grafikleri

D-12, D-17, D-19 ve D-20 numaralı soğuk sular da ise Ca^{+2} iyonu Maden Karmaşığı'na ait volkanik ve volkanosedimanter kayalar ile Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait ultrabazik kayaların bünyesinde bulunan Ca^{+2} 'lu minerallerin (piroksen, amfibol, feldspat ve plajiyoklas) çözünmesiyle suya geçmiş olmalıdır. Maden Karmaşığı'na ait bazalt ve andezitlerde CaO ortalama % 5,51, Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolarda ise ortalama %10.06'dır (Beyarslan, 1996; Kılıç, 2005).

İnceleme alanı içerisinde yağışlı dönemde Mg^{+} konsantrasyonu 2,22 – 99,20 mg/L arasında değişirken, kurak dönemde 3,75 – 90,39 mg/L arasında değişim göstermiştir (Şekil 5.1).

İncelenen sular da Mg^{+2} konsantrasyonu D-4, D-7 ve D-9 numaralı su örneklerinde kurak dönemde, diğer sular da ise yağışlı dönemde yüksektir. D-4 numaralı dere suyu örneğı sıcak ve mineralli sularla karışım sonrası örneklendiğinden bu sudaki Mg^{+2} konsantrasyonu kurak dönemde daha yüksektir. D-7 ve D-9 numaralı soğuk sular da kurak dönemde daha yüksek konsantrasyonlarda Mg^{+2} iyonunun bulunması daha yavaş yeraltı suyu akım hızı ve buna bağı olarak artan su-kayaç etkileşimi ile ilişkili olmalıdır. Pütürge Metamorfitle'ne ait amfibolit ve amfibolit şistlerdeki MgO miktarı ortalama % 6.46, gnayslarda ise ortalama %1.81'dir (Erdem, 1994).

Beslenme alanlarında Maden Karmaşığı'na ait volkanikler ile volkanosedimanter kayalar ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabro, diyabaz ve amfibolitler bulunan D-12, D-17, D-19 ve D-20 numaralı sular da Mg^{+2} 'nin kökenini bu kayaların bünyesinde bulunan Mg 'lu minerallerin (olivin, biyotit, hornblend) çözünmesi oluşturmaktadır. Maden Karmaşığı'na ait bazalt ve andezitlerde MgO ortalama değeri % 7.67 iken Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabrolarda ise %8,12'dir (Beyarslan, 1996; Kılıç, 2005).

İnceleme alanındaki yağışlı dönem sıcak sularının (D-1, D-2, D-3) Na^{+} iyon değeri 141.56 – 339.07 mg/L, soğuk sular da 2.06 – 29.79 mg/L arasında değişirken, kurak dönemdeki sıcak suların Na^{+} iyon değeri 73.08 – 321 mg/L, soğuk sular da bu değer 2.86 – 132.81 mg/L arasında değişim göstermektedir.

Genel olarak incelenen sıcak ve soğuk sular da Na^{+} iyonu dönemsel olarak belirgin farklılık göstermemekle birlikte kurak dönemde biraz daha yüksektir. Na^{+} iyonu incelenen sulara çalışma alanında geniş yüzeylemeler veren Pütürge Metamorfitle, Maden Karmaşığı ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait kayalar içerisindeki Na^{+} 'lu feldspatların çözünmesi sonucu geçmiştir. Ayrıca çalışma alanı içerisindeki Kömürhan Ofiyoliti ile Maden Karmaşığı arasındaki bindirme ve aktif faylar boyunca oluşan Na^{+} bileşenli alterasyon ve kil mineralleri de sulardaki Na^{+} 'un diğer bir kaynağıdır.

İnceleme alanı içerisinde yağışlı dönemde Na^{+} konsantrasyonu 2.06 – 339.07 mg/L arasında değişirken, kurak dönemde 3,56 – 147.36 mg/L arasında değişim göstermiştir (Şekil 5.1).

K⁺ iyonu Doğanbağı sıcak ve mineralli sularında yağışlı dönemde kurak döneme oranla daha yüksek konsantrasyonlardadır (Şekil 5.1). Bunun nedeni sıcak suların pH'ının yağışlı dönemde daha yüksek olması ve suyun daha agresif özellikte olması ile ilişkili olabilir.

D-6, D-9 ve D-14 numaralı soğuk suların K⁺ konsantrasyonları diğer soğuk sulara oranla daha yüksektir. Bu soğuk suların akifer kayaçları Pütürge Metamorfikleri'ne ait gnayslar ile şistlerdir. Şistlerin geçirimsizlikleri genellikle düşük ve kristal boyutlarının küçük olması yeraltı suları ile kayacın temas yüzeyi ve süresinin artmasına neden olmaktadır. Gnays ve şistlerden beslenen D-6, D-9 ve D-14 numaralı sular daha uzun süre K-feldispat mineralleri ile dokanak halinde bulunduklarından K⁺ iyon konsantrasyonu bu sulara daha yüksektir. Pütürge Metamorfikleri'ne ait amfibolit şist ve amfibolitlerde yapılan kimyasal analizlerde K₂O ortalaması %0.74, gnayslarda ise ortalama % 1.95 olarak belirlenmiştir (Erdem, 1994). İncelenen sıcak ve soğuk sularda K-mika minerallerine aşırı doymun olmaları sulardaki K⁺'un alterasyon ve kil mineralleri ile de ilişkili olduğunu göstermektedir (Tablo 4.5).

İnceleme alanındaki sıcak suların Cl⁻ iyon değeri yağışlı dönemde 49.81 – 138.86 mg/L, soğuk sularda 5.17 – 13.20 mg/L arasında değişirken, kurak dönemde sıcak suların Cl⁻ iyon değerleri 17.79 – 130.2 mg/L, soğuk sular ise 5.04 – 37.53 mg/L arasında değişim göstermektedir.

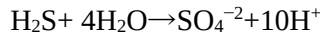
Sularda incelenen diğer iyonlara benzer şekilde Cl⁻ iyonu D-1 ve D-3 numaralı sıcak ve mineralli sularda yağışlı dönemde daha yüksektir. Soğuk sularda ise belirgin bir dönemsel değişim gözlenmemiştir (Şekil 5.1). Cl⁻'ün kaynağı Pütürge Metamorfikleri'ne ait gnays, Maden Karmaştırı'na ait volkanikler, Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait gabro, diyabazların bünyesinde bulunan biyotitin hidrolizi ve bölgedeki bindirme ve diğer faylar boyunca oluşan alterasyon minerallerinin oluşumları sırasındaki su kayıpları ile ilişkilidir (Stober ve Bucher, 1999; Iwatsuki vd., 2005; Aydınoglu, 2019). Yağış suları az çok Cl⁻ ihtiva ederler. Yeraltına süzülen bu sular yolları boyunca geçtikleri kayaçların içindeki Cl⁻ tuzlarını çözündürerek Cl⁻ bakımından zenginleşirler (Şahinci, 1991). Dolayısıyla incelenen sıcak ve soğuk sularda Cl⁻'ün diğer bir kaynağı da yağış sularıdır (Öztekin Okan, 2004).

İnceleme alanındaki sıcak suların SO₄⁻² iyon değeri yağışlı dönemde 124.00 – 188.64 mg/L, soğuk sularda 11.82 – 386.02 mg/L arasında değişirken, kurak dönemde sıcak suların SO₄⁻² iyon değerleri 38.45 – 159.3 mg/L, soğuk sular ise 11.95 – 208.97 mg/L arasında değişim göstermektedir.

Suların SO₄⁻² konsantrasyonları dönemsel değişimler göstermekte olup genel olarak yağışlı dönemde daha yüksektir (Şekil 5.1). Sularda yüksek oranda SO₄⁻² iyonun bulunması magmatik ve metamorfik kayaçların bünyesindeki piritin (FeS₂) oksidasyonu ile oluşan FeSO₄ olmalıdır. Sulardaki yüksek SO₄⁻² konsantrasyonları, özellikle asidik ve sülfatlı sularda, H₂S'in oksidasyonu sonucu oluşan H₂SO₄ üretimi ile de açıklanabilir (Cruz vd., 2010). Pütürge Metamorfikleri'ne ait gnays ve şistlerden beslenen bazı soğuk suların (D-6, D-9, D-10, D-11, D-15) SO₄⁻²

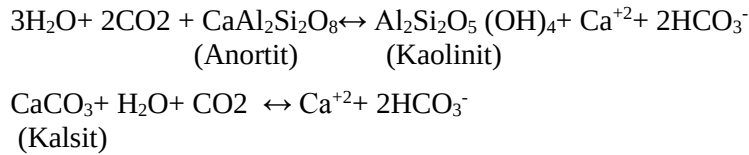
konsantrasyonları diğer soğuk sulara göre daha yüksektir. Bu sulardaki yüksek SO_4^{-2} konsantrasyonları daha uzun ve derin yeraltı suyu akımına bağlı olarak artan su-kayaç etkileşim süresi ile ilişkili olabilir.

Doğanbağı jeotermal alanında örneklenen D-1 ve D-3 numaralı sıcak ve mineralli suların SO_4^{-2} konsantrasyonlarında yağışlı dönemde belirgin bir artış gözlenirken D-2 numaralı sıcak ve mineralli suda belirgin bir değişim meydana gelmemiştir (Şekil 5.1). Bunun nedeni D-2 numaralı sıcak ve mineralli suyun soğuk sular ile karışımının çok düşük olmasıdır. Doğanbağı sıcak ve mineralli sulara SO_4^{-2} 'ın diğer bir kaynağı da faylar boyunca yukarıya doğru yükselen derin kökenli H_2S gazının aşağıdaki reaksiyona göre oksitlenmesi sonucu oluşan SO_4^{-2} olabilir (Öztekin Okan, 2004; Pasvanoğlu ve Chandrasekharam, 2011; Liu vd., 2017):



İnceleme alanındaki sıcak suların HCO_3^- iyon değeri yağışlı dönemde 1054.94 – 2190.59 mg/L, soğuk sulara 102.29 – 1038.3 mg/L arasında değişirken, kurak dönemde sıcak suların HCO_3^- iyon değerleri 968.07 – 1742.00 mg/L, soğuk sular ise 48.68 – 314.26 mg/L arasında değişim göstermektedir.

Sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların HCO_3^- konsantrasyonları genel olarak kurak dönemde daha yüksek değerlere sahiptir. Sulara kurak dönemde belirlenen HCO_3^- iyonu incelenen yeraltı sularına kırık ve çatlaklar içinde gelişmiş olan ikincil kalsitin ve Pütürge Metamorfikleri, Maden Karmaşığı ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait kayaçların bünyesinde bulunan plajiyoklas minerallerinin CO_2 'nin etkisi ile aşağıdaki kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak çözünmesi ile geçmiş olmalıdır (Walter vd., 2017):



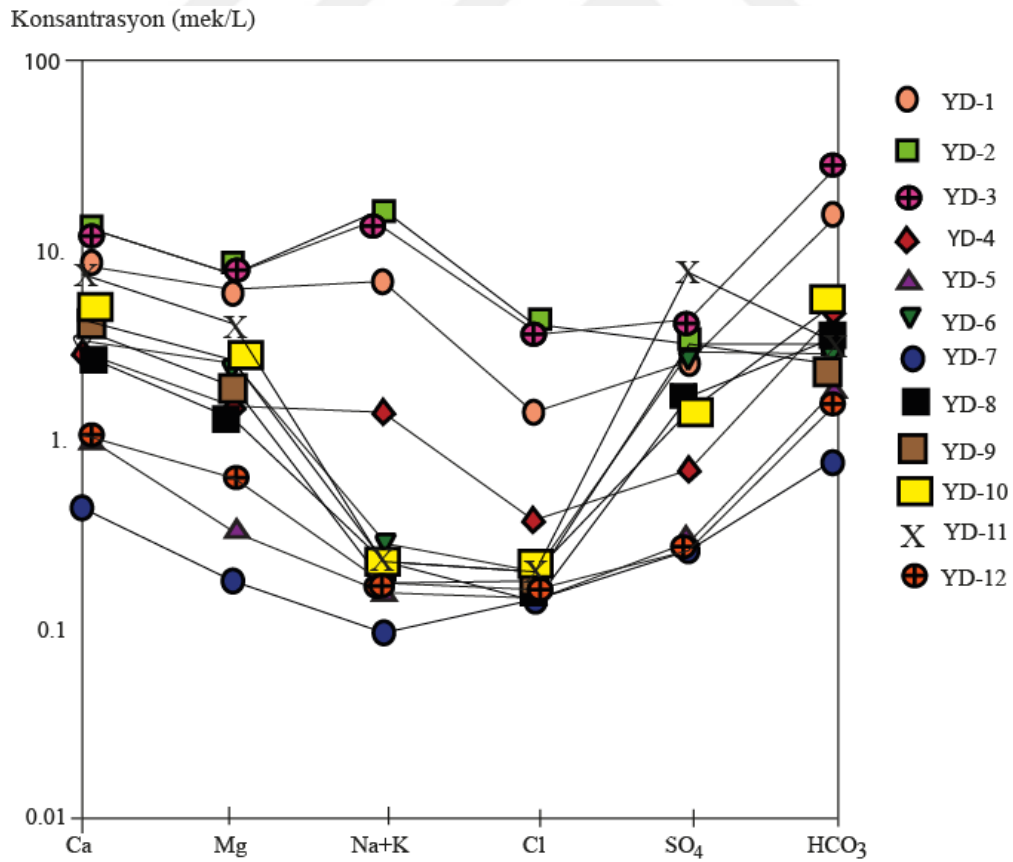
5.2. Suların Kimyasal Analizlerinin Diyagramlarda Değerlendirilmesi

Hidrojeokimya çalışmalarında farklı akiferlere ait yeraltı suyu örneklerinin ayırt edilmesinde, yeraltı suyunda akım yolu boyunca meydana gelecek hidrokimyasal değişimlerin incelenmesinde, yeraltı sularının hidrojeokimyasal olarak kökeninin belirlenmesinde, farklı yeraltı suyu örneklerinin birbirleri ile olan ilişkilerin tespit edilmesinde, çeşitli diyagramlar kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanı Piper (1944) ve Schoeller (1962) diyagramlarıdır.

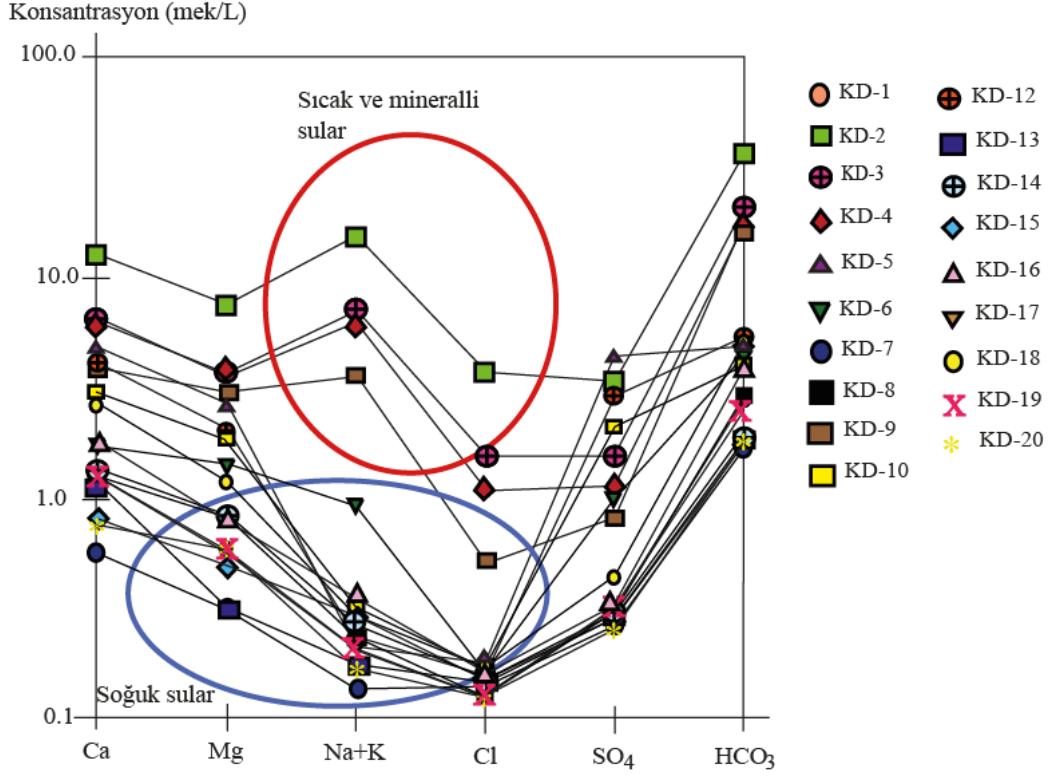
5.2.1. Schoeller diyagramı

Çalışma kapsamında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya çıkarmak, anyon ve katyon miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirilebilmesi için yarı logaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır. Sınıflama yapılırken, düşey eksen logaritmik, yatay eksen aritmetik ölçekli olan diyagram üzerine sırasıyla Ca^+ , Mg^+ , $\text{Na}^+ \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^- ve HCO_3^- iyonlarının mek/L değerleri işaretlenerek birleştirilir. Böylece suların kimyasal özellikleri kırık çizgilerle tanımlanmış olur. Yarı logaritmik diyagramda farklı kökenli sular hemen ayırt edilebilir (Şahinci, 1991). Ayrıca bu diyagramlarda benzer kökenli sular, benzer kırık çizgiler oluştururlar. Schoeller yarı logaritmik diyagramda benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip suların iyonlarını birleştiren doğrular birbirine paraleldir.

İncelenen suların yağışlı ve kurak dönem kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramları Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’de verilmiştir. Schoeller diyagramları değerlendirildiğinde sıcak ve mineralli sular ve soğuk suların kendi aralarında benzer kökenli olduğu görülmektedir. Sıcak ve mineralli sular (D-1, D-2, D-3) aynı akiferden gelmektedir (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3).



Şekil 5.2. İncelenen suların yağışlı dönem Schoeller diyagramı



Şekil 5.3. İncelenen suların kurak dönem Schoeller diyagramı

Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının rezervuar kayacı Pütürge Metamorfikleri'nin rekristalize kireçtaşlarıdır. D-9 numaralı suyun da majör anyon ve katyonlarını birleştiren doğruların sıcak ve mineralli sulara paralellik göstermesi bu suyun da rekristalize kireçtaşlarından beslendiğini göstermektedir.

Soğuk suların (D-5, D-6, D-7, D-8, D-11, D-12, D-13, D-14, D-15, D-16, D-17, D-18, D-19, D-20) majör anyon ve katyonlarını birleştiren doğruların da birbirine paralel olmaları bu suların benzer litolojideki birimlerden beslendiklerini işaret etmektedir. Çalışma alanındaki soğuk su akiferleri bölgede yüzeyleyen çatlaklı metamorfik ve magmatik kayaçlardır.

Çalışma kapsamında incelenen suların su tipleri AquaChem bilgisayar programı yardımıyla belirlenmiştir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Yağışlı ve kurak dönemde örneklenen suların kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri

Örnek Numarası	Su Tipi	Su Tipi
	Yağışlı Dönem	Kurak Dönem
D-1	Ca-Mg-Na-HCO ₃	Ca-Na-Mg-HCO ₃
D-2	Na-Ca-Mg-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃
D-3	Na-Ca-Mg-HCO ₃	Na-Ca-HCO ₃
D-4	Na-Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Na-Mg-HCO ₃
D-5	Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
D-6	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
D-7	Ca-HCO ₃ -SO ₄	Ca-HCO ₃
D-8	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃
D-9	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
D-10	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
D-11	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	*
D-12	Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
D-13	*	Ca-Mg-HCO ₃
D-14	*	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
D-15	*	Ca-Mg-HCO ₃
D-16	*	Ca-Mg-HCO ₃
D-17	*	Ca-Mg-HCO ₃
D-18	*	Ca-Mg-HCO ₃
D-19	*	Ca-Mg-HCO ₃
D-20	*	Ca-Mg-HCO ₃

(*: örnek alınmadı)

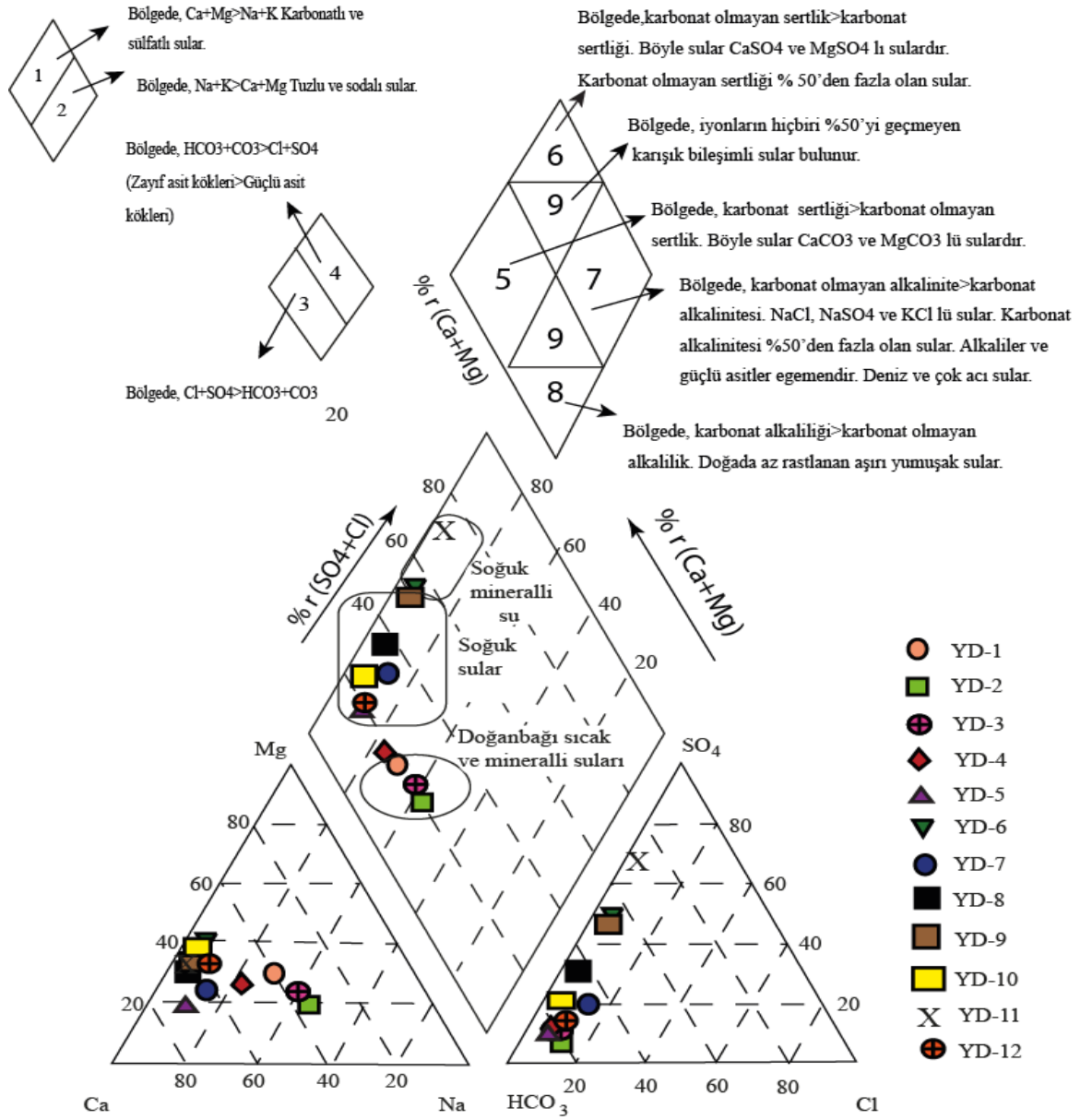
Yağışlı dönemi temsil eden Nisan (2019) ayında D-1 numaralı su Ca-Mg-Na-HCO₃ tipinde, D-2, D-3 ve D-4 numaralı sular Na-Ca-Mg-HCO₃ tipinde, D-5 numaralı su Ca-HCO₃, D-6 ve D-11 numaralı sular Ca-Mg-SO₄-HCO₃, D-7 numaralı su Ca-HCO₃-SO₄, D-8, D-9 ve D-10 numaralı sular Ca-Mg-HCO₃-SO₄, D-12 numaralı su ise Ca-Mg-HCO₃ tipindedir.

Kurak dönemi temsil eden Eylül (2019) ayında ise, D-1 numaralı su örneği Ca-Na-Mg-HCO₃ tipinde, D-2 ve D-3 numaralı örnekler Na-Ca-HCO₃ tipinde, D-4 numaralı örnek Ca-Na-Mg-HCO₃ tipinde, D-5 ve D-7 numaralı sular Ca-HCO₃ tipinde, D-6, D-9, D-10 ve D-14 numaralı örnekler Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tipinde ve son olarak D-8, D-12, D-13, D-15, D-16, D-17, D-18, D-19 ve D-20 numaralı örnekler Ca-Mg-HCO₃ tipinde yer almaktadırlar.

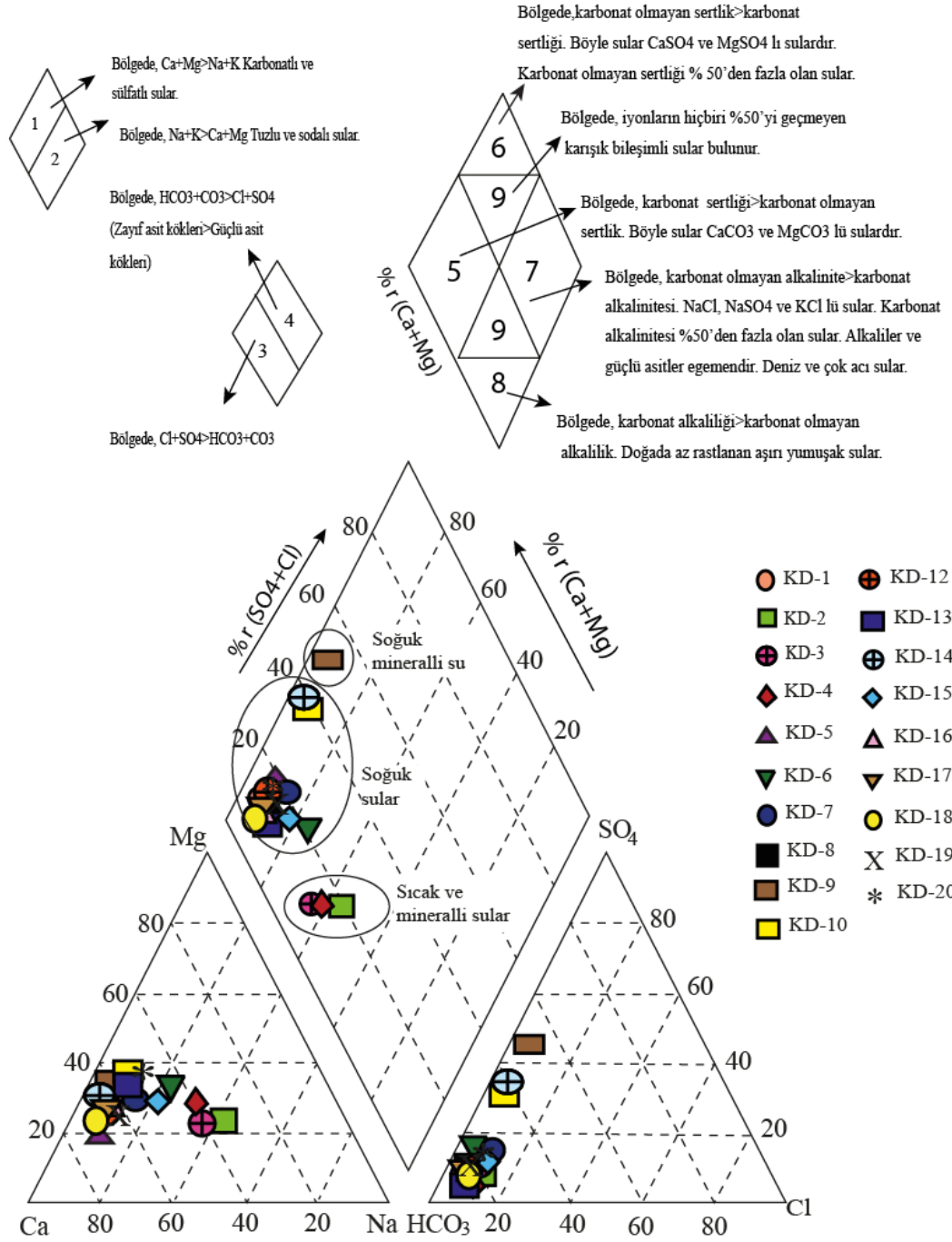
5.2.2. Piper diyagramı

Piper diyagramı gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan bir diyagramdır (Piper, 1944). Piper diyagramı, % mek/L cinsinden anyon ve katyonların ayrı ayrı gösterildiği iki üçgenden ve tüm iyonların ortak gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin saptanması, eşkenar dörtgen ise suların sınıflandırmasına ve karşılaştırılmasına yardımcı olmaktadır.

Yağışlı ve kurak dönem kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Piper diyagramlarında soğuk su örneklerinin genel olarak 5. bölgede gruplandığı görülmektedir (Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Bu bölgedeki suların karbonat sertliği %50'den fazla olup bunlar CaCO_3 ve MgCO_3 'lü sulardır. İncelenen soğuk suların hazne kayaçları volkanitler ile ofiyolitlere ait çeşitli kayaç grupları ise de bu birimler içerisinde tektonizmaya bağlı oluşan kırık ve çatlaklardaki kalsit dolguları ayrıca suların beslenme alanlarında karbonatlı kayaçların bulunması incelenen sularda Ca^{+2} ve HCO_3^{-} 'ün baskın iyonlar haline gelmesine neden olmuştur. D-9 numaralı su örneği ise 9. bölgede bulunmakta olup bu bölgedeki su iyonlarının hiçbirini %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sulardır. Sadece yağışlı dönemde örneklenen D-11 ise 6. bölgede bulmakta olup bu bölgedeki suların karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olup CaSO_4 ve Mg SO_4 'lü sulardır (Şekil 5.4). Yağışlı ve kurak dönemde D-1, D-2 ve D-3 numaralı sıcak ve mineralli suların diyagramlar üzerinde 9. Bölgeye doğru yönelmeleri bu suların soğuk sularla karıştığını göstermektedir.



Şekil 5.4. İncelenen suların yağışlı dönem Piper diyagramı



Şekil 5.5. İncelenen suların kurak dönem Piper diyagramı

5.3. İnceleme alanındaki suların çeşitli kriterlere göre sınıflandırılması

5.3.1. Sıcaklık

Yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklığı 20 °C’den fazla olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir (Türker ve Yıldız, 2008).

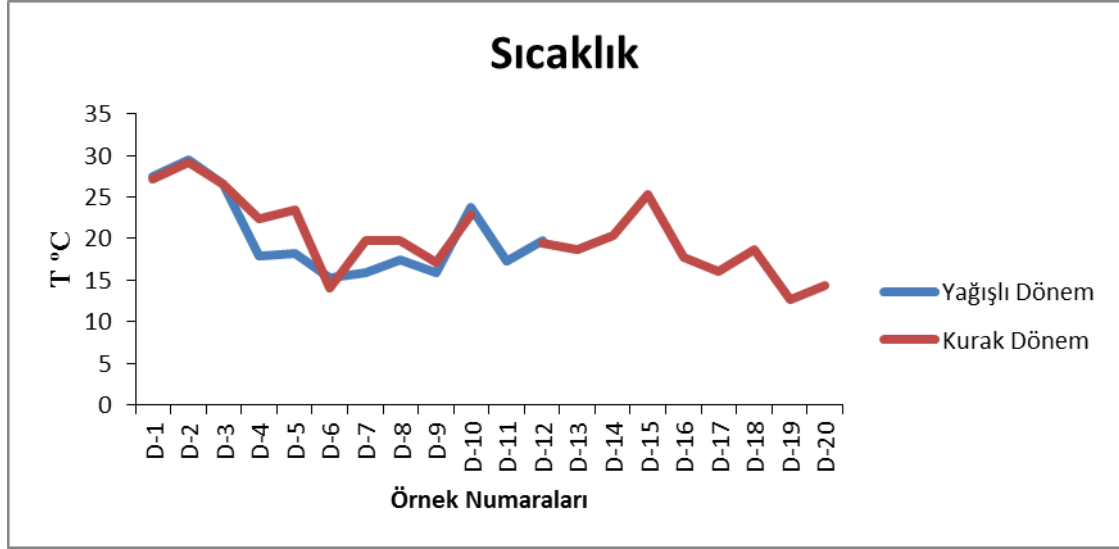
Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması çeşitli sınıflara ayrılmıştır. Ancak genel olarak suların sınıflandırılması çalışma alanının ortalama sıcaklığına bağlıdır. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (AIH) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu’nca sıcaklığı 20°C’den fazla olan sular “sıcak su” olarak tanımlanmaktadır. İçerisinde 1000 mg/l’den fazla erimiş madde içeren sular ise “mineralli su” olarak adlandırılmaktadır. Araştırmacıların çoğu, bölgenin yıllık sıcaklık ortalamasından 6 °C daha sıcak olan yeraltı sularını “sıcak su” olarak tanımlarlar (Canik, 1998). Bu tanımlamaya göre Elazığ ili için, sıcaklığı 20.7 °C’nin üzerindeki yeraltı suları sıcak su olarak değerlendirilir (Aydınoğlu, 2019). Bu tanıma göre inceleme alanında D-1, D-2, D-3 ile gösterilen Doğanbağı sıcak ve mineralli sularından başka sıcaklıkları 20,7 °C’nin üzerinde bulunan sular D-4, D-5, D-10, D-14 ve D-15 nolu sulardır (Tablo 5.2). Bu sulardan D-10 nolu su bir kaynak suyu olup sıcak su olarak değerlendirilirken diğerleri sıcak su olarak değerlendirilmemiştir. D-4 nolu dere suyu sıcak sular ile karıştıktan sonra alındığından, yüzeysel akış hızının daha zayıf olduğu kurak dönemde örneklendiğinden ve bu dönemde hava sıcaklığının da yüksek olmasından dolayı yüksek sıcaklık değerindedir. D-5, D-10, D-14 ve D-15 nolu su örnekleri ise köylerdeki çeşmelerden alınmış olup, çeşmelere daha uzak ve yüksek kotlardan isale hattı ile bazı yerlerde de açıkta, borular ile taşınmaktadır. Bu nedenle bu suların da sıcaklıkları yüksektir ancak çalışma kapsamında sıcak su olarak değerlendirilmemiştir.

Tablo 5.2. Çalışma alanındaki suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması

Örnek Numarası	Yağışlı Dönem Sıcaklık °C Nisan (2019)	Kurak Dönem Sıcaklık °C Eylül (2019)
D-1	27.5	27.1
D-2	29.5	29.2
D-3	26.5	24.6
D-4	17.9	22.3
D-5	18.2	23.5
D-6	15.3	14.1
D-7	15.9	19.8
D-8	17.4	19.7
D-9	15.9	17.2
D-10	23.8	22.9
D-11	17.3	*
D-12	19.8	19.5
D-13	-	18.7
D-14	-	20.3
D-15	-	25.3
D-16	-	17.8
D-17	-	16.1
D-18	-	18.6
D-19	-	12.6
D-20	-	14.3

(-: yağışlı dönemde örnek alınmadı, *=örnek noktası kuruduğu için örnek alınamadı, koyu renkte kabartmalı ile gösterilenler sıcak sulardır)

Tablo 5.2’de verilen sıcaklık değerlerini incelendiğinde Doğanbağı sıcak ve mineralli suların sıcaklıklarında dönemsel bir değişim belirlenmemiştir. Soğuk suların sıcaklık değerleri ise genel olarak kurak dönemde daha yüksektir (Şekil 5.6). Sıcaklıkların yağışlı dönemde daha düşük olması incelenen suların yağışlardan etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca topoğrafik olarak daha üst kotlardan örneklenen D-19 ve D-20 nolu suların sıcaklıkları diğer sulara nazaran daha düşüktür (Canik, 1998) (Tablo 5.2).



Şekil 5.6. Çalışma alanındaki suların sıcaklıklarının yağışlı ve kurak dönemlerindeki değişimleri

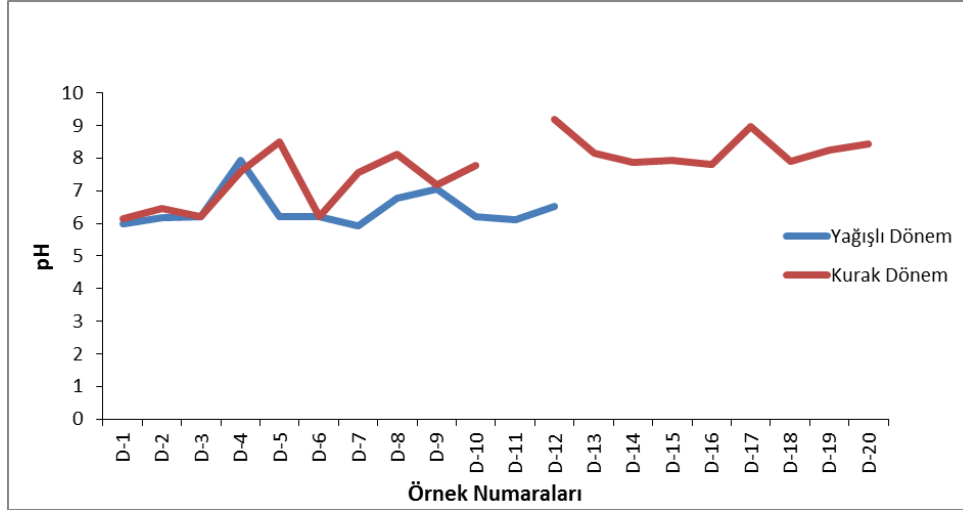
5.3.2. Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)

pH, suların asidik ve bazik özelliklerini belirlemede kullanılan en önemli referans değerlerinden birisidir. Bu değerleri belirlerken sular içerisindeki Hidrojen (H^+) ve Hidroksil (OH) iyonlarının arasındaki konsantrasyon dengeye bağlıdır. Sular içerisindeki pH değeri; pH >7 olan sular bazik karakterli, pH<7 olan sular asidik karakterli sulardır (Erguvanlı & Yüzer, 1973; Nart,2015). Soğuk su kaynaklarının içme amaçlı kullanılması için pH değerlerinin 6,5-8,5 arasında olması gerekir (WHO, 2004). İçme amaçlı kullanılacak soğuk suların pH değerlerine göre sınıflandırılması TS-266 standardı ile genel olarak belirlenmiştir (Tablo 5.3).

Tablo 5.3. Suların pH'larına TS-266 içme suyu standartlarına göre sınıflandırılması

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

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular hem yağışlı hem de kurak dönemde asidik özelliktedir (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Çalışma alanındaki suların pH değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri

Çatlaklı akiferlerden beslenen soğuk sular ise genel olarak yağışlı dönemde asidik, kurak dönemde ise bazik karakterdedir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. Çalışma alanındaki suların pH değerleri ve sınıf aralıkları

Örnek Numarası	Yağışlı Dönem pH Nisan (2019)	Sınıflandırılması	Kurak Dönem pH Eylül (2019)	Sınıflandırılması
D-1	6	Asit Karakterli	6,16	Asit Karakterli
D-2	6,19	Asit Karakterli	6,45	Asit Karakterli
D-3	6,21	Asit Karakterli	6,21	Asit Karakterli
D-4	7,92	Bazik Karakterli	7,59	Bazik Karakterli
D-5	6,21	Asit Karakterli	8,5	Bazik Karakterli
D-6	6,20	Asit Karakterli	6,22	Asit Karakterli
D-7	5,92	Asit Karakterli	7,57	Bazik Karakterli
D-8	6,78	Asit Karakterli	8,12	Asit Karakterli
D-9	7,04	Bazik Karakterli	7,19	Bazik Karakterli
D-10	6,2	Asit Karakterli	7,79	Bazik Karakterli
D-11	6,1	Asit Karakterli	*	*
D-12	6,51	Asit Karakterli	9,2	Bazik
D-13	-	-	8,14	Bazik Karakterli
D-14	-	-	7,88	Bazik Karakterli
D-15	-	-	7,92	Bazik Karakterli
D-16	-	-	7,82	Bazik Karakterli
D-17	-	-	8,97	Bazik
D-18	-	-	7,89	Bazik Karakterli
D-19	-	-	8,26	Bazik Karakterli
D-20	-	-	8,43	Bazik Karakterli

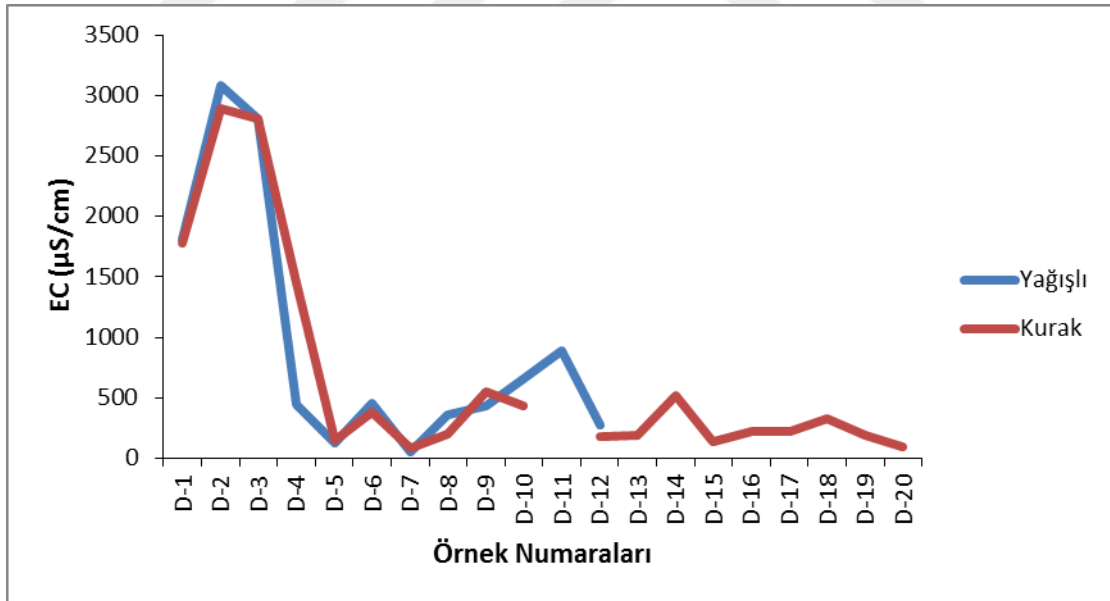
(-=yağışlı dönemde örnek alınmadı, *=örnek noktası kuruduğu için örnek alınamadı)

Çalışma alanında örnekleme yapılan sıcak, mineralli ve soğuk suların değerleri ve sınıf aralıkları Tablo 5.4 ve Şekil.5.7.'de verilmiştir. 20 farklı noktada örnekleme yapılan suların pH değerleri 5,92-9,2 arasında değişmektedir. Yağışlı dönemde incelenen sular genellikle asidik karakterli iken, kurak dönemde örneklenen sular ise Bazik- Bazik Karakterlidir.

İnceleme alanındaki 5 ve 7 numaralı örnek lokasyonlarında yerinde ölçümlemesi yapılan suların pH değerleri yağışlı dönemde asit karakterli iken, kurak dönemde bazik karakter özelliği göstermiştir. Bunun nedeni ise kurak dönemde sular içerisindeki CO₂ 'nin konsantrasyonunun azalmasından kaynaklanmaktadır.

5.3.3. Suların Elektriksel İletkenlikleri (EC)

Elektriksel İletkenlik (EC), suların elektriği iletme özelliğidir. Elektriksel iletkenliğin birimi genellikle $\mu\text{S}/\text{cm}$ ile ölçülür. Suların geçiş yaptığı kayaç ve minerallerin türü, sıcaklıkları, çözülmüş madde miktarları elektriksel iletkenlik değerini etkilemektedir. Elektriksel iletkenlik değerinin yüksek olduğu sular içilebilme özelliğine sahip değildir, bu değer yüksek olması o bölgede bulunan suların kirli olduğunun veya deniz suyunun karıştığına göstergesidir. Suların elektriksel iletkenlik aralıklarına göre sınıflandırılması aşağıdaki tabloda belirtilmiştir (Tablo 5.5).



Şekil 5.8. Çalışma alanındaki suların EC değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri

Tablo 5.5. İnceleme alanındaki suların EC değerleri ve sınıf aralıkları

Örnek Numarası	Yağışlı Dönem $\mu\text{S/cm}$	Kurak Dönem $\mu\text{S/cm}$
D-1	1815	1784
D-2	3086	2896
D-3	2812	2812
D-4	442.6	1448
D-5	123.9	152.1
D-6	458	382
D-7	50	82.3
D-8	357.5	196.2
D-9	429.3	549
D-10	660	435.7
D-11	884	*
D-12	273.9	177
D-13	-	188
D-14	-	523
D-15	-	140
D-16	-	217.8
D-17	-	222
D-18	-	325.6
D-19	-	189.3
D-20	-	94.2

(-=yağışlı dönemde örnek alınmadı, *=örnek noktası kuruduğu için örnek alınamadı)

Her iki dönemde incelenen suların sınıflandırılma aralıkları Tablo 5.5 ve Şekil 5.8’de belirtilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında yerinde ölçümlenen EC değerlerinde yağışlı Nisan (2019) ve kurak Eylül (2019) dönemde genel olarak belirgin farklılıklar meydana gelmemiştir.

EC değerlerinin yağışlı ve kurak dönemde 1448 $\mu\text{S/cm}$ – 3086 $\mu\text{S/cm}$ arası olarak gözlemlendiği D-1, D-2, D-3, D-4 lokasyonundaki örnek noktaları, sıcak ve mineralli suyu temsil eden Goncapınarı Deresi’nde bulunmaktadır. Diğer örnek lokasyonları ise soğuk kaynak sularını ve mineralli suları temsil etmektedir. Bu suların elektriksel iletkenlik aralıkları 50 $\mu\text{S/cm}$ - 888 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların bulunduğu alandaki değerlerin yüksek olmasının nedeni sıcak suların elektriksel iletkenlik değerlerinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Kurak dönemde EC değerleri artış gösteren suların nedeni, bu dönemde su-kayaç etkileşiminin artmasıdır.

5.4. Kabuklaşma

Sularda kabuklaşma oluşumu; suyun belli bir mineral ile ulaştığı doygunluk derecesine, sıcaklık ve basınç değişim hızına ve suyun pH derecesine bağlıdır (Arnorsson, 1995; 2000; Tarcan, 2001; Tarcan vd., 2015). Çözünürlüğü kontrol eden bu parametrelerdeki değişime bağlı olarak suda çözünmüş maddeler çökerek değişik şekillerde kabuk oluşturabilirler. Kabuklaştırıcı özellikteki sular bulunduğu ortamlarda kabuk şeklinde bir katman oluşturarak sondaj ve iletim borularında daralma ve hacim azalmasına neden olur. Bu da üretim kaybı nedeniyle ekonomik problemlere yol açar. Genelde sıcak ve mineralli suların üretim ve kullanımlarında, kimyasal bileşimlerine göre, silikat, karbonat ve sülfat kabuklaşmaları ile karşılaşılır. Dünyadaki pek çok jeotermal sistemde en yaygın kabuklaşma mineralleri kalsit ve amorf silistir (Arnorsson, 1989; Armannsson, 1989; Kristmannsdottir, 1989; Başaran ve Gökgöz, 2017).

Kaynak sularındaki pH'ın 6 ile 8 arasında olduğu ve Ca^{+2} iyonu konsantrasyonunun birkaç ppm'i bulduğu her sıcak ve mineralli suda CaCO_3 kabuklaşması görülür. Bunun nedeni, kuyunun üretime geçmesiyle birlikte basıncın, dolayısıyla CO_2 gazı kısmi basıncının düşmesi ve yeni basınç dengesi koşuluna uyacak şekilde,



sıvı ortamdan atmosfere doğru CO_2 gazı kaybı ile, pH yükselmesi ve suda erimeyen CaCO_3 kimyasal tuzunun oluşarak sıvı ortamı terk etmesidir (Canik vd., 2000).

Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının kaynak noktası sıcaklıklarına göre hesaplanan doygunluk indislerine göre sular kalsit, aragonit, kuvars, K-feldspat, Ca-montmorillonit, gibsit, götit, hematit, K-mika ve kaolinit minerallerine doygundur (Tablo 4.5). Sıcak ve mineralli suların üretim ve işletim aşamalarında bu mineraller çökerek iletim borularında kabuklaşma sorunu oluşturacağı söylenebilir.

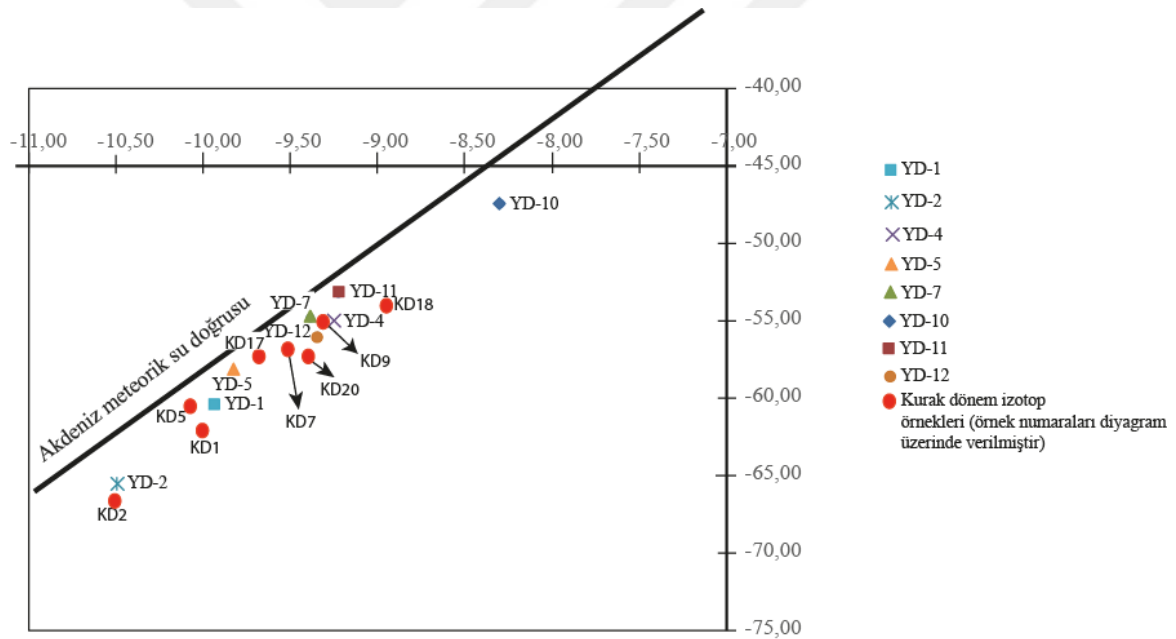
5.5. İzotop Hidrolojisi

Çevresel izotoplar doğada doğal olarak oluşan izotoplardır. Çevresel izotoplardan su moleküllerini oluşturan hidrojen ve oksijen izotopları, hidrojeolojik sistemde su ile birlikte hareket ettiklerinden ve kimyasal süreçlerden çoğunlukla etkilenmediklerinden, ideal birer izleyici durumundadır (Pasvanoğlu, 2015).

Yağışların kararlı izotop değişimlerine neden olan etkiler; mevsimsel, karasal, enlem, miktar ve yüksekliktir. Suyun yeryüzündeki döngüsüne bağlı olarak gelişen buharlaşma, yağış, erime ve yüzey akış olaylarının her biri oksijen-18 ve hidrojen izotoplarını etkilemektedir. Bu nedenle hidrojeolojik döngünün karmaşıklığına karşın $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerlerindeki değişim takip edilebilmektedir (Clark ve Fritz 1997).

5.5.1. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ Diyagramı

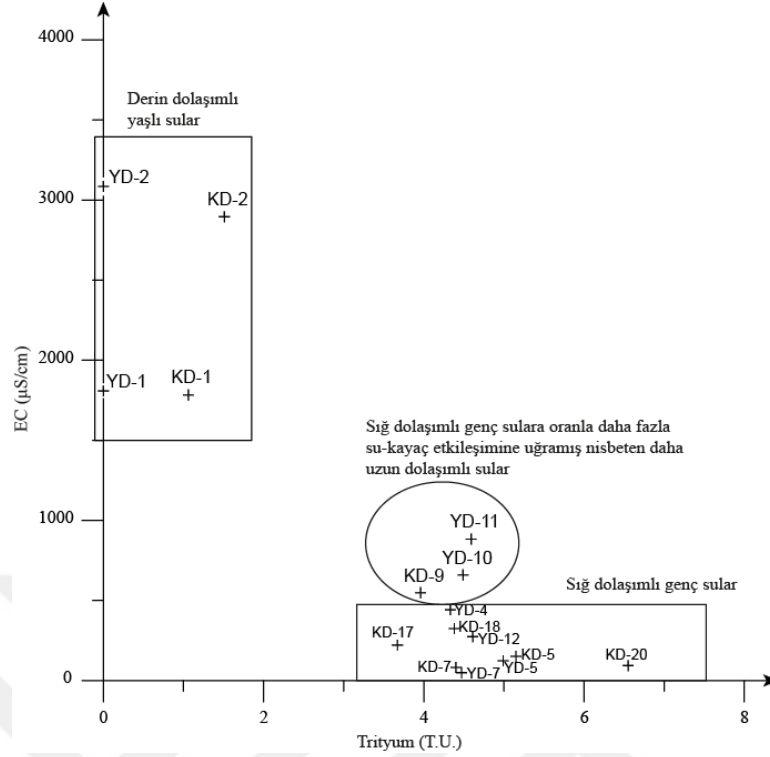
İnceleme alanına ait yağışların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ve içeriklerinin uzun süreli ölçümleri yapılamadığından yerel meteorik su doğrusu belirlenememiştir. Bu çalışmada denklemi $\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+22$ olan Akdeniz meteorik su doğrusu referans yağış doğrusu olarak kullanılmıştır (Şekil 5.9). İncelenen sular Akdeniz meteorik su doğrusu üzerinde ve yakınında yer aldığından, meteorik kökenlidirler. Doğanbağı sıcak ve mineralli suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinde dönemsel olarak bir farklılık belirlenmemiştir. Soğuk suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ bileşimleri sıcak sularinkine oranla daha yüksektir. Sıcak suların daha negatif $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri bu suların daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiklerini göstermektedir (Fırat Ersoy ve Çalık Sönmez, 2014). D-10 numaralı sıcak su diğer sıcak ve soğuk sulara oranla daha pozitif $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ bileşimi ile daha düşük kotlara düşen yağışlardan beslenmektedir. Ayrıca, D-10 numaralı sıcak suyun, D-1 ve D-2 numaralı sıcak sulardan farklı olarak soğuk sulara yakın konumlanması bu suya güncel meteorik suların karıştığını işaret etmektedir (Arslan, 2016).



Şekil 5.9. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı (yağışlı ve kurak dönem)

5.5.2. Tritiyum (^3H)- EC ve Tritiyum- Sıcaklık İlişkisi

Doğanbağı sıcak ve mineralli suları (D-1 ve D-2) oldukça düşük trityum içerikleri (0,00- 1, 51 TU) ile daha yüksek trityum içeriğine sahip soğuk sulardan (3,67-6,55 TU) ayrılmaktadırlar (Tablo 4.6). Yağışlı ve kurak dönemler için trityum ve elektriksel iletkenlik (^3H -EC) ilişkisi Şekil 5.10'da verilmiştir.

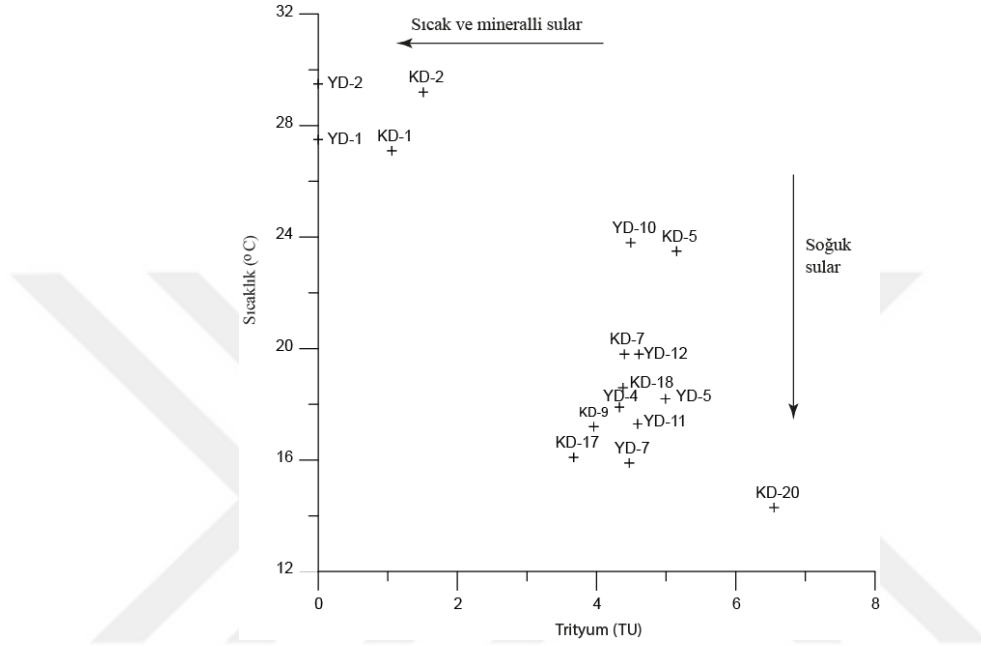


Şekil 5.10. İncelenen suların Trityum-EC diyagramı

Yüksek trityum içeriğine sahip soğuk sular sığ dolaşımlarına bağlı olarak daha düşük EC değerlerine sahiptir. Çalışma alanında en yüksek trityum içeriğine sahip D-20 numaralı soğuk su kaynağı bölgedeki en kısa yeraltı suyu dolaşımına sahip olup, yüksek trityum içeriği ile bölgenin güncel yağışlarının trityum bileşimini temsil ettiği söylenebilir. D-1 ve D-2 numaralı sıcak ve mineralli sular ise oldukça düşük trityum ve akifer içerisinde daha uzun süre kalışın sonucu olan yüksek EC içerikleri ile karakteristiklerdir (Arslan, 2016). Çalışma alanındaki suların ^3H -EC ilişkisini gösteren diyagramda düşük trityum içeriğine sahip sıcak ve mineralli sular derin dolaşımli yaşlı suları temsil ederken, yüksek trityum içeriğine sahip soğuk sular ise sığ dolaşımli genç suları temsil etmektedirler (Pasvanoğlu ve Chandrasekharam, 2011) (Şekil 5.10). D-18 numaralı dere suyu sıcak ve mineralli suların dereye karışmadığı düşünülen bir noktadan alınmıştır. Bu suyun trityum içeriği ile EC değeri soğuk sularinkine benzerdir. D-4 numaralı dere suyu ise sıcak ve mineralli suların dereye karışımlarından sonraki bir noktada örneklenmiştir. Bu su, gerek yamaçlardan gerekse akarsu tabanından sızıntı ve kaynaklar şeklinde çıkan ve dere suyuna karışan sıcak ve mineralli sulardan olan karışımlar nedeniyle daha yüksek EC değerlerine sahip karışım sularını temsil etmektedir.

Aynı diyagramda D-9, D-10 ve D-11 numaralı sular ise diğer soğuk sulara göre daha yüksek EC içerikleri ile daha uzun süre su-kayaç etkileşimine uğramış daha uzun dolaşımli sularıdır.

İncelenen suların Trityum- sıcaklık diyagramında da düşük trityum ve yüksek sıcaklık değerlerine sahip D-1 ve D-2 numaralı sıcak ve mineralli sular oldukça belirgin bir şekilde soğuk sulardan ayrılmışlardır. Yağışlı dönemde sığ dolaşımli soğuk suların (örn. D-5 ve D-7), güncel yağışların etkisinden dolayı sıcaklıklarının düştüğü, kurak dönemde ise arttığı ve trityum içeriklerinde ise herhangi bir değişimin olmadığı Şekil 5.11’de görülmektedir.



Şekil 5.11. İncelenen suların Trityum- Sıcaklık diyagramı

5.6. Jeotermometre Uygulamaları

Yeni jeotermal sahaların araştırılması, mevcut jeotermal sahaların potansiyellerinin belirlenmesi için jeotermal çalışmaları çok önemlidir. Yeraltından yeryüzüne doğru yükselen sıcak ve mineralli suların, kayaç etkileşimleri, ısı alışverişleri, soğuk su ile temasları gibi durumlar bu suların yeryüzüne çıktıktan sonraki sıcaklığının hazne kayadaki sıcaklıktan daha düşük olmasına neden olmaktadır. Ayrıca bu suların yeryüzüne ulaşırken kat ettiği yol ne kadar kısa ve çıkış hızı o kadar yüksek ise suyun sıcaklığı hazne kaya sıcaklığına bir o kadar yakındır (Şahinci, 1991; Subaşı, 2019). Jeotermometrelerle rezervuar sıcaklığının veya başka bir deyişle termal suyun ilksel sıcaklığının hesaplanması, suda bulunan iyon, gaz ve/veya izotop içeriklerinin hangi sıcaklıkta termal sudaki çözünürlüğe veya iyon takasına sahip olabileceğinin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal reaksiyonlar açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan ilki bir mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan jeotermometreler (silis jeotermometreleri), ikincisi ise çözülmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion exchange) reaksiyonlarına dayanan katyon jeotermometreleridir (Na-K, Na-Ca, Na-K-

Ca, K-Mg, Li-Na vb.) (Fournier, 1991). Jeotermal araştırmalarda rezervuar sıcaklığının hesaplanmasında kullanılan eşitliklerde yer alan kimyasal parametrelerin (SiO₂, Na, Ca, Mg, K, Li vb.) rneklemesinin ve analizinin daha kolay olması nedeniyle yaygın olarak silis katyon jeotermometreleri tercih edilmektedir (Aydınoğlu, 2017).

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları katyon ve silis jeotermometreleri kullanılarak tahmin edilmiştir.

5.6.1. Katyon Jeotermometreleri:

Katyon jeotermometreleri Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺² arasında meydana gelen iyon reaksiyonlarının değişimine bağlıdır. Bu jeotermometrelerin hesaplanması denge sabiti (K) ile oluşum sıcaklığı ilişkisidir. Bu iyon değişimleri göz önüne alınarak birçok araştırmacı tarafından jeotermometre eşitlikleri oluşturulmuştur (Tablo 5.6).

Tablo 5.6. Sıcak ve mineralli suların hazne kayaç sıcaklıklarının tahmininde kullanılan jeotermometre eşitlikleri (ztekin Okan, 2004)

Jeotermometreler	Bağıntılar	Kaynak
1. SiO ² (Amorf silis)	$t = 731 / (4,52 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier,1977
2. SiO ² (Kristobalit)	$t = 1000 / (4,78 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier ,1977
3. SiO ² (Kristobalit)	$t = 781 / (4,51 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
4. SiO ² (Kalsedon buhar kaybı yok)	$t = 1032 / (4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
5. SiO ² (Kuars)	$t = 1309 / (5,19 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
6. SiO ² (Kuars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5,75 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier 1977
7. SiO ² (Kalsedon buhar kaybı)	$t = 1182 / (5,09 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Fournier, 1977
8.SiO ² (Kalsedon, cond. soğ.)	$t = 1112 / (4,91 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983b
9. SiO ² (Kalsedon 100 C adyabatik buhar kaybı)	$t = 1264 / (5,31 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983b
10. SiO ² (Kalsedon buhar kaybı)	$t = 1021 / (4,69 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983b
11. SiO ² (Kuars buhar kaybı)	$t = 1164 / (4,9 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983b
12.SiO ² (Kuars 100 C adyabatik buhar kaybı)	$t = 1498 / (5,7 - \log \text{SiO}_2) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983b
(t<250°C ve SiO2 derişimi mg/l'dır)		
13. Na/K	$t = 933 / (0,933 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983b
14. Na/K	$t = 1319 / (1,699 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Arnorrsson vd. 1983a
15. Na/K	$t = 777 / (0,70 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier ve Truesdell 1974
16. Na/K	$t = 856 / (0,857 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Truesdell 1976
17. Na/K	$t = 1217 / (1,483 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier 1979b
18. Na/K	$t = 1178 / (1,470 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Nieva ve Nieva 1987
19. Na/K	$t = 1390 / (1,750 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Giggenbach vd. 1983
20 Na/K	$t = 833 / (0,780 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Tonani 1980
21. Na/K	$t = 908 / (0,692 + \log \text{Na/K}) - 273,15$	Fournier 1979a
Na/K derişimleri mg/l , son eşitlikte ise mol/l		
22. K/Mg (mg/l)	$t = 4410 / (13,95 - \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273,15$	Giggenbach 1988
23. Na-K-Ca (mol/l)	$t = 1647 / (\log \text{Na/K} + \log \text{Ca/Na} + 2,47) - 273,15$	Fournier ve Truesdell 1973
24. Na-K-Ca (R) (mek/l) (Magnezyum düzeltmeli)	$R = (\text{Mg/Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$	Fournier ve Potter 1979
25.Li/Mg (mg/l)	$t = 2200 / (5,470 - \log (\text{Li/Mg} \cdot 0,5)) - 273,15$	Kharaka ve Mariner 1989
26.Na/Li (mg/l)	$t = 1590 / (0,779 + \log (\text{Na/Li})) - 273,15$	Kharaka vd. 1982

Jeotermal sahalarda kullanılan Na-K katyon jeotermometre eşitlikleri eğer suların derinlerdeki sıcaklıkları 200°C'den az olması ve kil minerallerindeki iyon değişimi olması halinde güvenilir sonuçlar vermemektedir. Bunun yanı sıra Giggenbach (1991) tarafından oluşturulmuş olan Na-K-Mg üçgen diyagramı kullanılarak katyon jeotermometresinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanmayacağını veya güvenilir sonuçlar verip/vermeyeceği kontrol edilebilir. Giggenbach (1988)'ın çalışmasına göre “olgun olmayan (denge halinde olmayan)” seyreltilmiş jeotermal sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığının kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olmadığını, fakat “olgun olan (denge durumunda olan) sular” hattında ve üzerinde yer alan jeotermal suların katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuç vereceğini belirtmiştir. Sıcak sulara olan soğuk su karışımı, sistemde potasyum metasomatizmasına neden olması ve sistemden K^+ iyonunun ayrılması, katyon jeotermometrelerinin doğru sonuç vermesini engellemektedir (Şimşek vd., 1997).

Çalışma alanı içerisinde bulunan 20 °C ve üzeri sıcaklıktaki sıcak ve mineralli suların katyon jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları yağışlı dönem için 63.01 °C ile 295.35°C arasında iken kurak dönemde 26.35 °C ile 345.59 °C arasındadır (Tablo 5.7, 5.8). DSM sularını besleyen hazne kayadaki akışkan sıcaklığının Na-K jeotermometre sonuçlarına göre 224.54°C ile 291.58°C arasında alabileceği, K-Mg jeotermometre sonuçlarına göre ise 26.35°C ile 69.06°C arasında olabileceği belirlenmiştir. Hazne kaya sıcaklığı için hesaplanan katyon jeotermometre sonuçlarının oldukça abartılı yüksek ve/veya düşük olmaları bu jeotermometrelerin Doğanbağı sıcak ve mineralli sular için kullanılamayacağını düşündürmektedir.

Tablo 5.7. Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular için hesaplanan katyon jeotermometreleri (°C, yağışlı dönem)

Örnek Numarası	Na/K ^a	Na/K ^b	Na/K ^c	Na/K ^d	Na/Ca ^e	Na- K- Ca ^f	K- Ca ^g
D-1	291.58	279.57	270.95	295.35	265.62	91.30	276.46
D-2	254.47	247.56	246.07	272.21	352.41	114.72	305.92
D-3	255.79	248.71	246.98	273.05	342.62	111.71	301.79
D-10	223.59	220.52	224.54	251.99	63.01	-14.06	117.51

a: Tonani, 1980; b: Arnorsson, 1983; c: Nieva ve Nieva, 1987; d: Giggenbach vd., 1983; e: Tonani, 1980; f: Tonani, 1980; g: Tonani, 1980.

Tablo 5.8. İncelenen suların hesaplanan katyon jeotermometreleri (°C, kurak dönem)

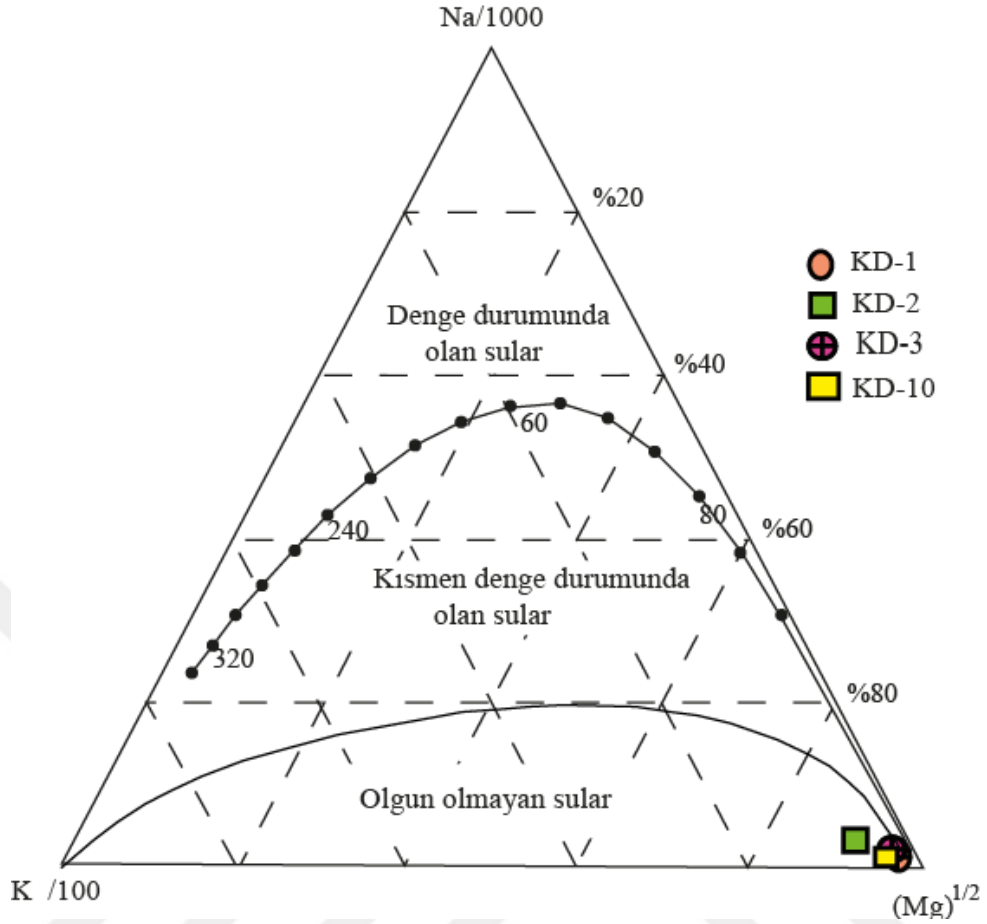
Örnek Numarası	Na/K ^a	Na/K ^b	Na/K ^c	Na/K ^d	Na/Ca ^e	Na-K-Ca ^f	K- Mg ^g	K- Ca ^h
KD-1	297,30	284,45	274,69	298,81	234,55	79,50	32,99	259,80
KD-2	252,77	246,08	244,90	271,12	345,59	111,92	26,35	301,71
KD-3	254,53	247,61	246,11	272,25	285,30	90,67	30,04	271,52
KD-10	126,56	133,03	151,50	181,99	79,21	-22,23	69,06	98,18

a: Tonani, 1980; b: Arnorsson, 1983; c: Nieva ve Nieva, 1987; d: Giggenbach vd., 1983; e: Tonani, 1980; f: Tonani, 1980; g: Tonani, 1980.

Giggenbach (1988), tarafından önerilen Na⁺, K⁺ ve Mg⁺² diyagramları Fournier (1990) tarafından yeniden düzenlenmiş, bu diyagramda kısmen olgunlaşmış sular ile olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri doygunluk indeksi (maturity index) olarak tanımlanmıştır (Tarcan, 2004).

Na-K-Mg jeotermometresi söz konusu iki jeotermometrenin (Na-K ve K-Mg jeotermometreleri) Na/1000-K/1000-Mg ^{1/2} üçgen diyagram çözümüdür. Suların kökeni, dengeye ulaşp, ulaşmadıklarının kontrolü ve uygun jeotermometre seçiminde kullanılır. Burada jeotermal sular başlıca üç gruba ayrılmaktadır. (i) Na⁺ yönünden fakir su kayaç ilişkisinin dengede olmadığı kısmen olgunlaşmamış (non-equilibrated waters), (ii) Su- kayaç etkileşiminin kısmen dengede olduğu (partially equilibrated waters) karışmış sular. (iii) Na⁺ yönünden zengin ve su-kayaç etkileşiminin dengede olduğu (full equilibrated waters) dengelenmiş sular. Giggenbach, (1988) K⁺²/Mg⁺² ve K⁺/Na⁺ jeotermometre eşitlikleri ile elde edilen eş sıcaklık değerlerinin kesişme noktalarının oluşturduğu eğri ile su kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu alanlar birbirinden ayrılır (Özen Balaban vd., 2019).

Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının Na-K-Mg üçgen diyagramı üzerinde “olgun olmayan sular” bölgesinde bulunmaları, hesaplanan Na-K ve K-Mg jeotermometrelerinin güvenilir sonuçlar vermeyeceğini işaret etmektedir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Doğanbağı sıcak ve mineralli suların kurak dönemde Na- K- Mg üçgen diyagramındaki dağılımları (Giggenbach, 1991)

5.6.2. Silis Jeotermometreleri:

Jeotermometre hesaplarının belirlenmesinde kullanılan bir başka yöntem ise silis jeotermometreleridir. Silis Jeotermometreleri esasen mineral çözünürlüğüne bağlı olup sıcaklık ve basınç ile değişmektedir. Silis jeotermometre bağıntıları kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına ve sıcak suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Silisin sudaki çözünürlüğü başlıca sıcaklığa bağlıdır (Güven, 2015).

Kuvars jeotermometreleri hazne kayaç sıcaklığı 150 °C - 225 °C arasında iyi sonuçlar vermektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda, hazne kayaçtan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi izlenir. Bu nedenle, sıcaklığı 225 °C'nin üzerinde hazne kayaçlardan gelen sularda kuvars jeotermometreleri gerçek sıcaklığı yansıtmazlar. Düşük sıcaklıklarda kalsedon, amorf silis veya kristobalit, silisin suda çözünürlüğünü denetler. Sıcaklığı 190°C'dan az olan jeotermal sistemlerde kuvarsa nazaran kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle, sıcaklığı 190°C'dan az olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresinin uygulanması daha doğrudur (Henley vd., 1985; Şimşek vd., 1997; Özen Balaban vd., 2019).

Tablo 5.9. Sıcak suların analiz sonuçlarına göre silis jeotermometreleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları (°C, yağışlı dönem)

Uygulanan Jeotermometreler	Örnek Numaraları			
	D-1	D-2	D-3	D-10
SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı yok (Fournier, 1973))	117.58	63.57	69.20	60.49
SiO ₂ (Kuvars 100°C sıcaklıkta maks. buhar kaybı (Fournier, 1973))	116.09	69.07	74.06	66.32
SiO ₂ (Kuvars 100°C sıcaklıkta maks. buhar kaybı (Arnorsson vd., 1983))	114.91	67.50	72.52	111.41
SiO ₂ (Kalsedon buhar kaybı yok (Fournier, 1977))	88.93	31.50	37.36	28.30
SiO ₂ (Kalsedon 100°C sıcaklıkta maks. buhar kaybı, (Fournier, 1977))	90.52	38.93	44.29	36.00
SiO ₂ (Kalsedon buhar kaybı yok, (Arnorsson vd., 1983))	89.04	35.10	40.66	32.06

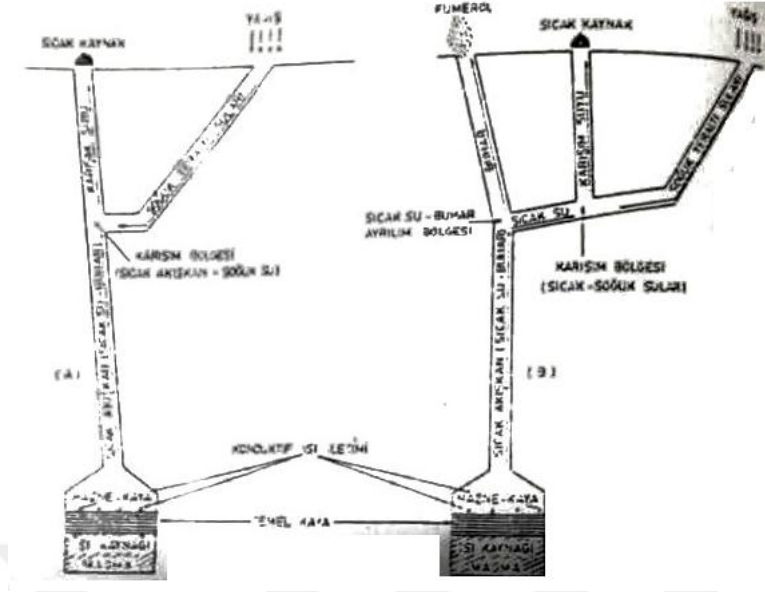
Çalışma alanındaki sıcak suların silis jeotermometreleri kullanılarak hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları 28.30 °C ile 117.58 °C arasında değişim göstermektedir (Tablo 5.9). Kalsedon jeotermometresinin düşük sıcaklıklar vermesinin nedeni sıcak suyun yüzeye çıkarken soğuk su karışımı ile silisini çökertmesi ve bu nedenle örnekleme alanlarındaki kimyasal analiz sonuçlarında düşük silis derişimi ölçülmesinden kaynaklanmaktadır.

5.6.3. Karışım Modelleri

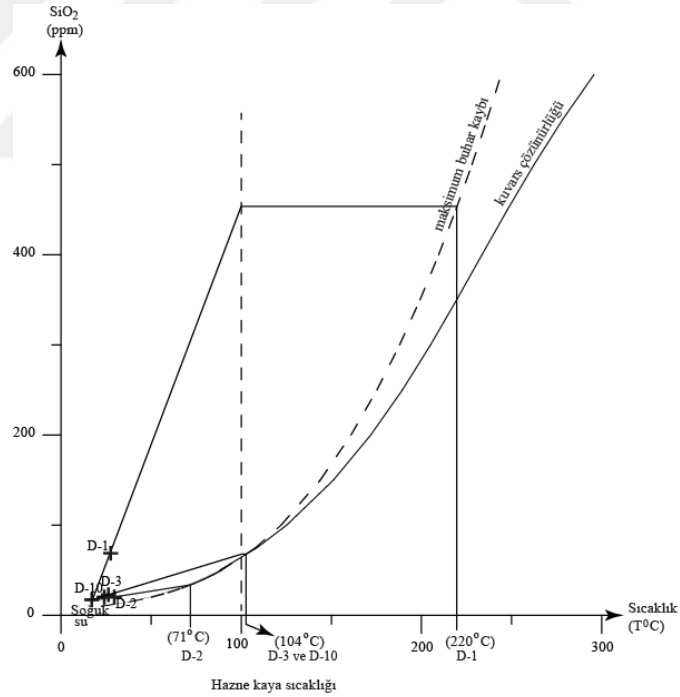
Sıcak akışkanlar yüzeye erişirken az veya çok soğuk yeraltı suları ile karışabilir. Sıcak-soğuk su karışım varlığı bazı incelemeler ile belirlenebilir. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığındaki değişiklikler kullanılarak, jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir. Bunlar, Entalpi- Klorür ve Entalpi-Silis karışım modelleridir (Tarcan, 2002).

Sıcak-soğuk su karışımlarından yararlanarak, Fournier ve diğ. (1974) hazne kaya sıcaklıklarını saptamışlardır. Bu hesaplamalar iki varsayım üzerine kurulmuştur. Birinci varsayıma göre, sıcak akışkan (buhar + sıcak su) soğuk sularla derinlerde karışarak yüzeye erişir. Karışımından önce ve sonra buhar kaybı yoktur. İkinci varsayım ise, karışımından önce derinlerdeki sıcak akışkandan buhar ayrılarak ortamdan uzaklaşır. Geri kalan sıcak su, soğuk yeraltı suları ile karışarak yüzeye erişir (Şekil 5.13).

Entalpi-Silis karışım diyagramında, kaynatarak buhar kaybeden ve kaynamayan suların içerdiği silis miktarı (ppm) düşey eksende işaretlenir ve yatay eksene bir paralel çizilir. Seçilen eğriyi kestiği noktadan yatay eksene dikme inilerek hazne kaya sıcaklığı bulunur. Doğanbağı sıcak ve mineralli sular için hazırlanan silis- entalpi karışım diyagramında soğuk sularla karışım öncesi belirlenen minimum hazne kaya sıcaklığı 71°C; maksimum hazne kaya sıcaklığı ise 220°C'dir (Şekil 5.14).

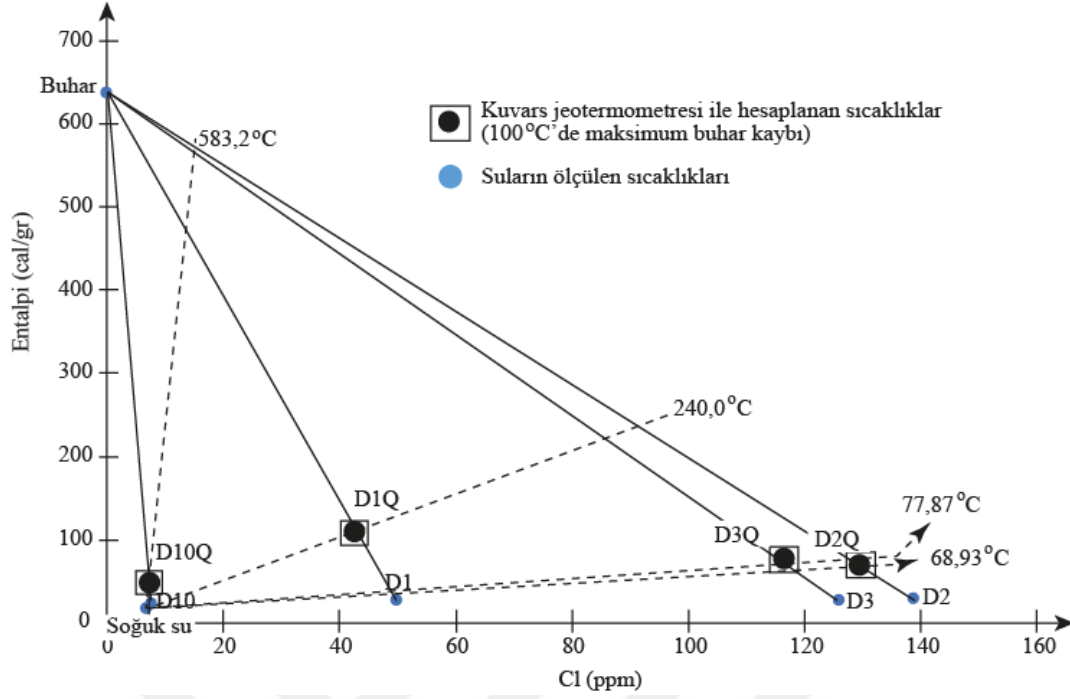


Şekil 5.13. Sıcak akışkan (sıcak su+buhar) ve soğuk yeraltı sularının karışım varsayımlarını açıklayan şematik modeller (Şahinci, 1991).



Şekil 5.14. Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının silis-entalpi diyagramı

Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının 100 °C'de maksimum buhar kaybına uğradığı düşünüldüğünde, çizilen Cl-entalpi diyagramında belirlenen minimum hazne kaya sıcaklığı 68,93°C iken maksimum hazne kaya sıcaklığı ise 583,20°C'dir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının klorür-entalpi diyagramı

5.7. İncelenen Suların Standartlarla Karşılaştırılması

Bu başlık altında çalışma kapsamında incelenen soğuk sular Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği içme suyu standartları ile, sıcak ve mineralli sular ise Sağlık Bakanlığı'nın Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanındaki soğuk sular (D-5, D-6, D-7, D-9, D-11 ve D-12) Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği'nin içme suları standartları ile karşılaştırıldığında sularda bazı metal konsantrasyonlarının limit değerlerinin üzerinde olduğu saptanmıştır. Mangan (Mn) konsantrasyonu D-6 ve D-11 numaralı sularda, Nikel (Ni) konsantrasyonu D-6 numaralı suda, Demir (Fe) konsantrasyonu D-6 ve D-11 numaralı sularda, Alüminyum (Al) konsantrasyonu ise D-6, D-7 ve D-11 numaralı sularda yönetmelikte belirtilen limit değerlerinin üzerindedir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10. İncelenen soğuk suların Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği'nin içme suları standartları üst sınır değerleri ile karşılaştırılması (Resmi Gazete, 2005).

Parametre	Sembol	Bulunabilecek maksimum miktar (ppb)	D-5	D-6	D-7	D-9	D-11	D-12
pH		≤9,5- 6,5	6,21	6,20	5,92	7,04	6,10	6,51
Elektriksel iletkenlik	EC	20°C'de 2500 µS/cm	123,9	458	50	429,30	884	273,9
Sodyum	Na	200,0 mg/L	3,48	6,35	2,06	3,68	4,49	4,06
Sülfat	SO ₄	250 mg/L	14,21	160,12	11,82	156,03	386,02	13,46
Demir	Fe	200,0	46	13935	139	108	16467	51
Mangan	Mn	50,0	1,09	1494,62	3,63	2,02	314,01	2,32
Nikel	Ni	20,0	<0.2	42,7	0,5	0,6	3,6	<0.2
Alüminyum	Al	200,0	73	476	228	125	341	120
Antimon	Sb	5,0	<0.05	0,35	<0.05	<0.05	<0.05	0,09
Arsenik	As	10,0	1,9	1,3	<0.5	<0.05	<0.05	<0.05
Bor	B	1000,0	5	12	<5	9	8	8
Kadmiyum	Cd	5,0	<0.05	0,21	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Krom	Cr	50,0	1,5	1,1	0,8	<0.05	0,8	2,5
Bakır	Cu	2,0	0,60	2,4	0,5	1,2	4,2	0,5
Kurşun	Pb	10,0	0,5	2,1	0,7	0,5	0,7	0,2
Civa	Hg	1,0	<0.01	<0.01	<0.1	<0.01	<0.01	<0.01
Selenyum	Se	10,0	<0.05	<0.05	<0.5	1,3	<0.05	<0.05

İncelenen sıcak suların (D-1, D-2, D-3 ve D-10) soğutulularak içme amaçlı kullanılmaya uygunluklarının belirlenmesi için sular, Sağlık Bakanlığı'nın Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmeliği'ne (2004) göre değerlendirilmiştir. Tablo 5.11'da görüldüğü gibi Al konsantrasyonu D-1 ve D-3 numaralı sularda, As konsantrasyonu D-1, D-2 ve D-3 numaralı sularda, Cr ve Ni konsantrasyonları D-1 numaralı suda yönetmelikte belirlenen üst limit değerlerinin üzerindedir.

Tablo 5.11. İncelenen sıcak suların Sağlık Bakanlığı Doğal Mineralli Sular Yönetmeliği'ne göre ihtiva edecekleri maddelerin üst sınır değerleri ile karşılaştırılması (Resmi Gazete, 2004)

Parametre	Sembol	Bulunabilecek maksimum miktar (ppb)	D-1	D-2	D-3	D-10
			(ppb)			
Arsenik	As	10,0	2077,1	1761,9	7168	1,4
Krom	Cr	50,0	83,5	4,6	3,6	1,3
Kurşun	Pb	10,0	7,9	<0.2	1,2	0,3
Mangan	Mn	500,0	471,72	72,84	228,31	0,59
Nikel	Ni	20,0	59,8	<0.2	2,5	<0,2
Selenyum	Se	10,0	2,8	6.0	6,1	2,6
Alüminyum	Al	200,0	19016	128	770	98
Antimon	Sb	5,0	1,71	<0.05	1,72	0,15
Bakır	Cu	0,001	65,4	1,3	4,9	0,9
Baryum	Ba	0,001	107,10	74,60	110,40	33,93
Bor	B	(*)	1940	3933	3677	22
Civa	Hg	1,0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Kadmiyum	Cd	3,0	<0.05	<0.05	0,06	<0.05

(*): Maksimum limit 01 Ocak 2006 tarihinden sonra yayımlanacak olan Avrupa Birliği Gıda Mevzuatı'na göre tespit edilir. Bor parametresinin maksimum limiti tespit edilene kadar bu parametre yerine Borat (B_2O_3) parametresine bakılır ve bulunabilecek maksimum miktar 30 mg/L olarak aranır.

Demir (Fe), magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir elementtir. Piroksen, amfibol, biyotit, magnetit ve olivinlerde demir içeriği oldukça yüksektir. Sedimanter kayalarda hematit, magnetit ve götit mineralleri şeklinde görülür. Ayrıca, kükürt cevherlerinde ve kömür damarlarında demir sülfid olarak bulunur (Hem, 1985).

Arsenik (As), kalkofil bir element olup hidrotermal damarlarda Au, Ag, Cu, Ni, Co gibi elementlerle, Ni-Co sülfid yataklarında, bazı uranyum damarlarında bakırlı şeyl ve kumtaşlarında, fosfatlı kayalarda ve oksitlerde izlenir (Şahinci, 1991). Çok zehirli olan arsenik elementinin içme ve kullanma sularında bulunması istenmez. Yeraltı sularında yüksek arsenik konsantrasyonunun en önemli nedeni fillosilikat, demiroksit ve sülfid minerallerinden ayrılan arseniktir (Pal vd., 2002). Arsenik, deniz suyunda 17×10^{-4} mg/l, nehir suyunda 0.002 mg/l, yeraltı sularında <0.001-0.05, maksimum 100 mg/l ve termal sularda >12 mg/l'dir (Hitchon vd., 1999). Zehirli bir element olan Arsenik'in (As) çözünürlüğü çok düşüktür. Sıcak sulardaki arsenik miktarı 12,4 mg/l'ye ulaşabilmektedir (Hitchon vd. 1999).

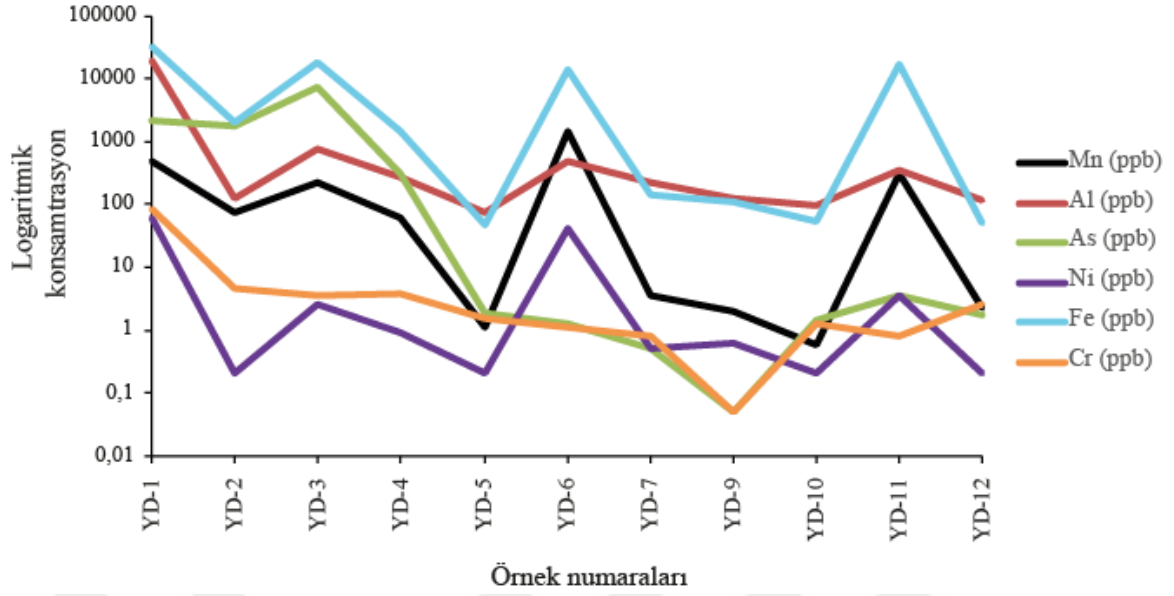
Alüminyum (Al), yer kabuğunda önemli miktarlarda bulunmasına karşın; az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH, 5–9 aralığında ise alüminyum, sularda 1 mg/l'den azdır. Genellikle, yeraltı sularında 0.005 – 0.3 mg/l arasında alüminyum izlenir; asit sularda, bu değer 100 mg/l'ye erişebilir. Açık denizlerde ise alüminyum miktarı 0.001 mg/l kadardır (Tarcan, 2003).

Yeraltı sularında bulunan mangan (Mn) miktarı su içerisinde çözünmüş oksijen miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Mangan çözünmüş oksijene doymun yeraltı sularında çökelirken, oksijensiz ortamlarda demir ile birlikte bol miktarda bulunmaktadır (Pasvanoğlu, 2015).

Yerkabuğunda, ortalama 75 ppm olan nikel (Ni), ultrabazik ve bazik kayaç mineralidir, asidik kayaçlarda çok azdır. Mafik kayaçlarda, ortalama 150 ppm, ara kayaçlarda 20 ppm ve felsiklerde 0,5 ppm nikel vardır. Siderofil ve kalkofil bir element olan nikel doğada ender olarak element halinde bulunur ve masif sülfür yataklarında, damar ve sülfür merceklerinde, uyumsuz uranyum oluşuklarında, artık lateritlerde, manganiz nodüllerinde bol miktarda izlenebilir. Zeminde limonit, laterit, demir ve manganiz oksitler, organik maddeler tarafından soğrulur; hidratlı silikatlar oluşturabilir (Şahinci, 1991).

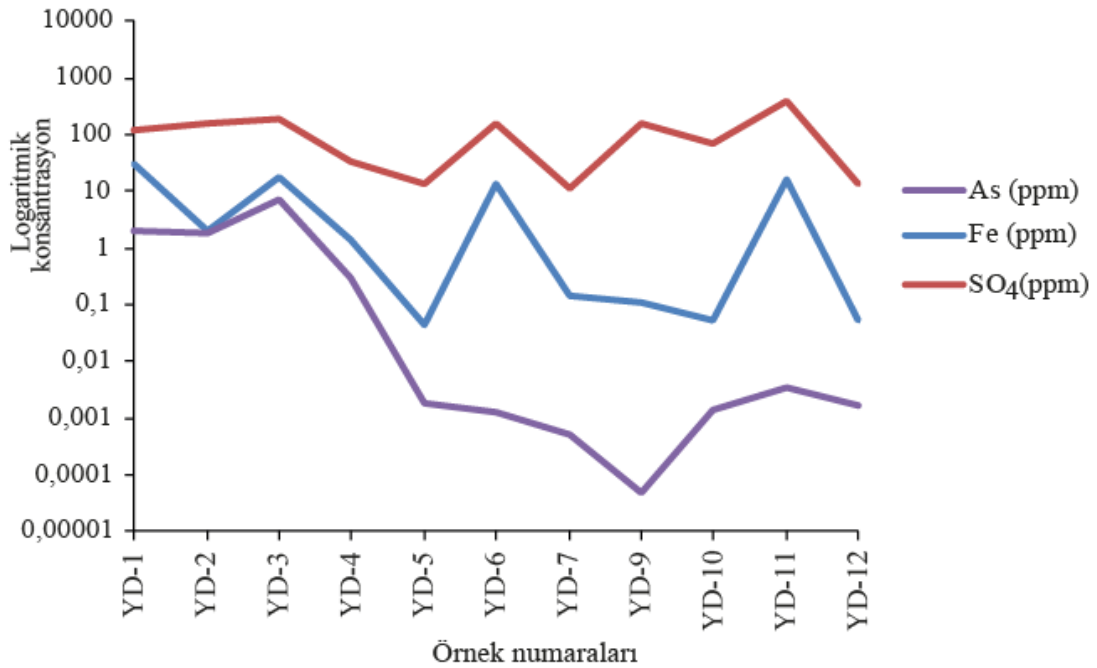
Krom (Cr), magmatik kayaçlarda minör bileşen olarak özellikle bazik ve ultrabazik kayaçlarda bulunur. Doğada oksitlenmiş ortamlarda, çoğunlukla Fe^{+3} ve Al^{+3} mineralleri ile birlikte daha çok Cr^{+6} ve Cr^{+3} değerliklerinde gözlenmektedir. En önemli minerali kromittir ($FeCr_2O_4$). Kıtasal kabuk kayaçlarında 185 ppm krom bulunur (Hitchon vd., 1999). Kayaçların ayrışması esnasında kil ve kumlarla birlikte taşınır. Doğal sularda çok az çözünen krom yüzey sularında ortalama 1×10^{-3} mg/l kadar bulunabilir (Şahinci, 1991). Sulardaki krom içeriği volkanik kayaçlardan bazalt ve ultramafik kayaçlarda çoğunlukla bulunur. Sedimanter kayaçlarda ise bolluk oranı en yüksektir. Endüstriyel kullanımlardan ve tarımsal kaynaklı da gözlenmektedir. Krom, deniz suyunda 0.0003 mg/l, kirlenmemiş yeraltı suyunda 0.001-1.0 mg/l ve maksimum <10 mg/l ve termal sularda >400 mg/l'dir (Hitchon vd., 1999).

İlgili yönetmeliklere göre, incelenen sıcak ve soğuk sularda izin verilen üst limit değerlerinin üzerinde bulunan demir (Fe), alüminyum (Al), mangan (Mn), nikel (Ni), arsenik (As) ve krom (Cr) konsantrasyonlarının birbirleriyle olan doğrusal ilişkileri bu iyonların sularda benzer kökenli olduklarını göstermektedir (Şekil 5.16). Bu iyonlar incelenen sıcak ve soğuk sulara su-kayaç etkileşimi sonucu geçmiştir. Bu iyonların kökenini çalışma alanında yüzeyleme veren Pütürge Metamorfikleri'ne ait şist ve gnayslar, Maden Karmaşığı'na ait volkanik kayaçlar ve Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait bazik, ultrabazik kayaçlar oluşturmaktadır.



Şekil 5.16. İncelenen sıcak ve soğuk sularda Mn, Al, As, Ni, Fe ve Cr konsantrasyonları arasındaki ilişki

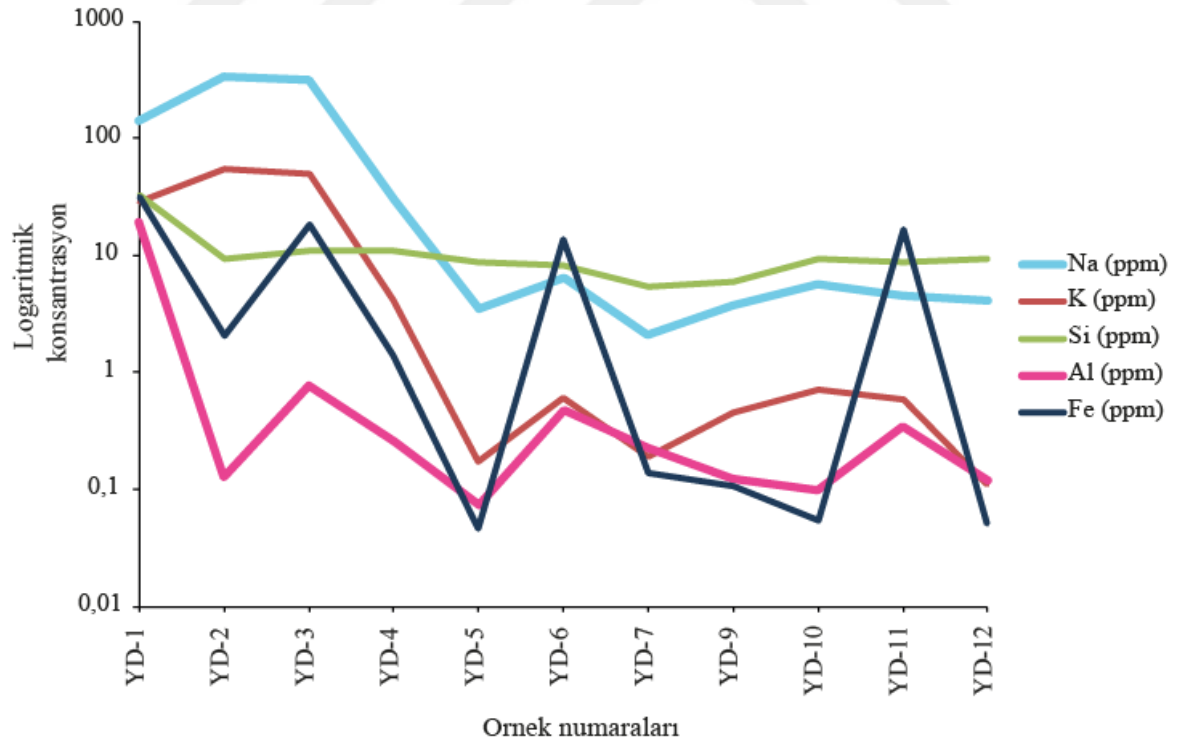
İncelenen sıcak ve mineralli sulara oldukça yüksek konsantrasyonlarda As belirlenmiştir (Tablo 5.11). Doğanbağı sıcak ve mineralli sularında As ile Fe, SO_4 arasındaki pozitif doğrusal ilişkiler sulara As'in kökeninin çalışma alanı içerisinde yüzeyleyen magmatik ve metamorfik kayalar içerisindeki Fe-sülfür minerallerinin oksidasyonu ile ilişkili olduğunu işaret etmektedir (Bundschuh and Maity, 2015; Ander vd., 2016; Öztekin Okan vd., 2018).



Şekil 5.17. İncelenen sulara As konsantrasyonunun Fe ve SO_4 konsantrasyonları ile ilişkisi

İncelenen sıcak ve soğuk sularda yüksek konsantrasyonlarda bulunan iyonlarının (Mn, Al, Fe, As vd.) çalışma alanındaki tektonik yapılara (fay, çatlak, bindirme fayı) bağlı olarak oluşan alterasyon ve kil mineralleri ile ilişkili olup olmadıklarını belirlemek için suların Fe, Al, Si, Na, K konsantrasyonları aynı grafik üzerinde değerlendirilmiştir (Şekil 5.17). Sulardaki Fe ve Al konsantrasyonlarının Na, K ve Si ile doğrusal ilişkileri, bu iyonların çalışma alanında bulunan magmatik ve metamorfik kayalar içerisinde bulunan feldspatların çözünmesi yanı sıra yeraltı suyu-kil/alterasyon mineralleri arasındaki etkileşimle de ilişkili olduğunu göstermektedir (Gu vd., 2003; Aydınoglu, 2019).

Çalışma kapsamında incelenen doğal mineralli sularda Al, Fe ve Si arasında pozitif doğrusal bir ilişki bulunmaktadır (Şekil 5.18). Ayrıca, Al konsantrasyonunun oldukça yüksek olduğu su örnekleri alunit, gibsit, Ca-montmorillonit, K-mika ve kaolinit gibi minerallere de aşırı doygun (Tablo 5.10 ve 5.11). Al ile Fe ve Si arasındaki doğrusal ilişki bu elementlerin benzer kökenli olduğunu işaret etmektedir. Sularda yüksek konsantrasyonlarda belirlenen Al, çalışma alanı içerisinde bulunan magmatik kayaların bünyesinde bulunan feldspatların çözünmesi ile yeraltı sularına geçmiş olmalıdır. Ayrıca, yeraltı suyu-kil mineralleri etkileşimi incelenen mineralli sularda yüksek Al konsantrasyonuna diğer bir etkidir (Gu vd., 2003).



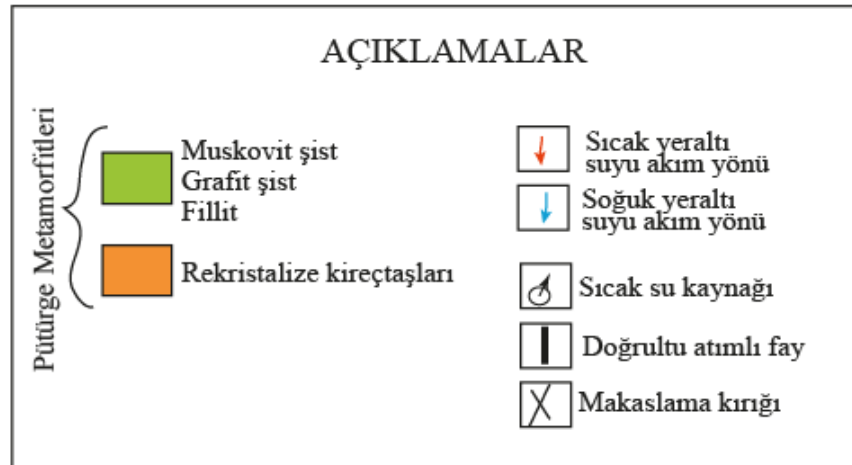
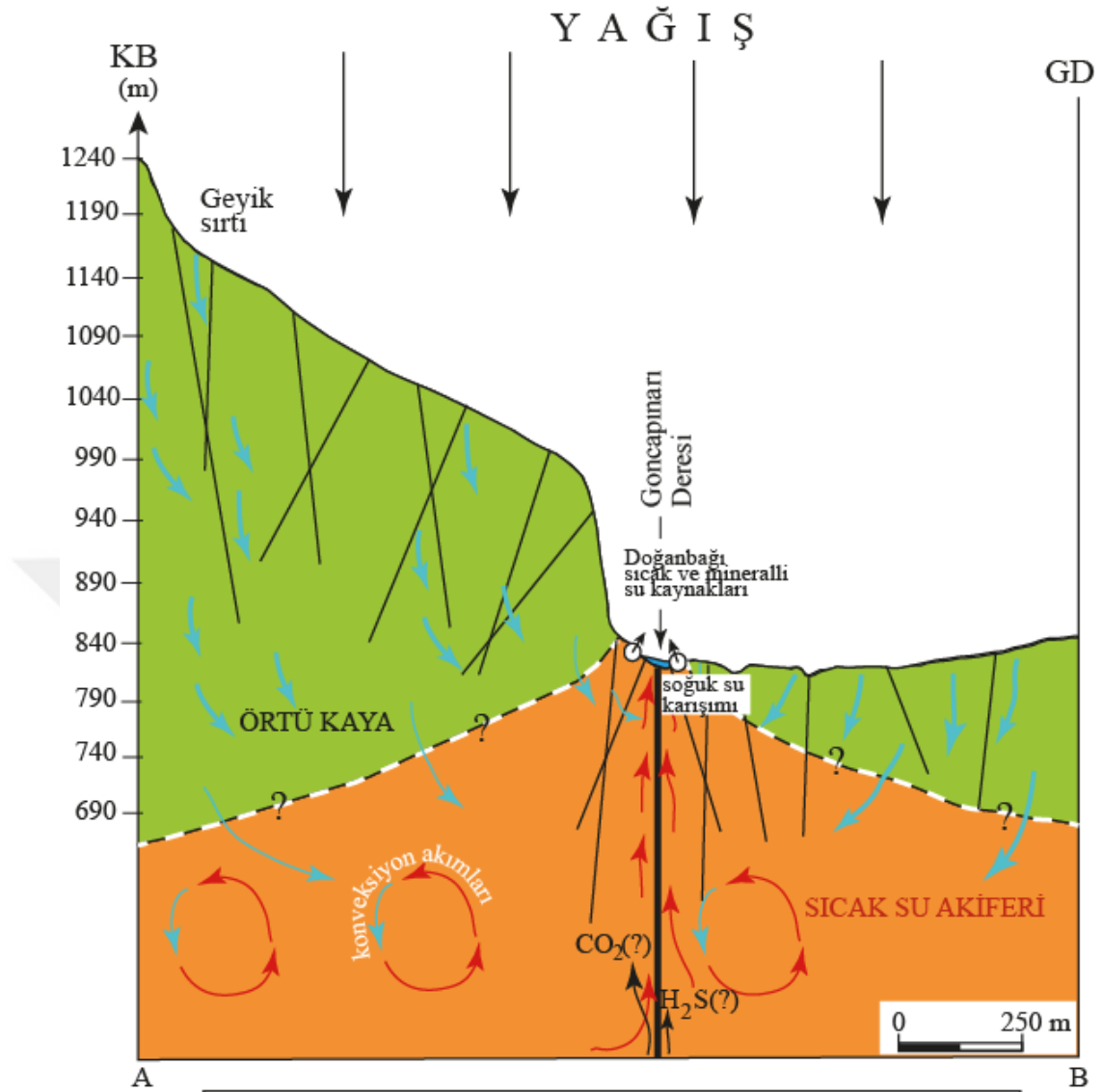
Şekil 5.18. Sıcak ve soğuk sularda Na, K, Si, Al ve Fe konsantrasyonları arasındaki ilişki

5.8. Doğanbağı Jeotermal Alanının Kavramsal Modeli

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının dolaşımı ve boşalımı bölgedeki ana faylar tarafından kontrol edilmektedir. Doğanbağı Sıcak ve Mineralli su kaynağı sisteminin rezervuar kayacı Pütürge Metamorfitleleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarıdır. Goncapınarı Deresi sağ ve sol sahilinde farklı noktalardan kaynak alanı şeklinde çıkan DSM suları vadi içerisindeki KB-GD ve KD-GB doğrultulu makaslama çatlaklarına bağlı olarak çıkış göstermektedir. DAFS içerisinde bulunan bu antitetik ve sentetik fay ve çatlaklar sıcak suların ve aynı zamanda soğuk ve mineralli suların da yüzeye ulaşmasını denetlemektedir (Şekil 5.19).

Jeotermal sistemin örtü kayaçları Pütürge Metamorfitleleri'ne ait şist ve fillitlerdir. DSM su kaynakları sürekli akış gösteren Goncapınarı Deresi vadisi içerisinde dar bir alanda yüzeyleme veren rekristalize kireçtaşlarından çıkmaktadır. Rekristalize kireçtaşları aynı zamanda Goncapınarı Deresi tabanında da bulunmaktadır. Bu nedenle DSM jeotermal sistemi yarı kapalı özelliktedir. DSM su kaynakları, meteorik suların bölgedeki fayların kontrolünde derinlere süzülerek ısınması ve yine sözü edilen fayların kontrolünde yüzeylemesi şeklinde oluşmuştur. İncelenen sıcak ve mineralli suların ısınmasındaki temel etken jeotermik gradyandır. Alanda jeotermik gradyanın yükselmesine neden olan faktörlerin aktif fay düzlemleri boyunca sürtünmeye bağlı olarak açığa çıkan ısı enerjisi ve serpantinleşme gibi ekzotermik kimyasal reaksiyonların olduğu düşünülmektedir (Lachenbruch, 1980; Allen ve Seyfried J.R., 2004). DAFS üzerinde yapılan kinematik analizlerde sistemin kayma hızı 9 ± 1 mm/yıl olarak belirlenmiştir (McClusky vd., 2000; Köküm, 2017). Bu kayna hızına bağlı olarak alanda jeotermik gradyanın da arttığı düşünülmektedir.

Sıcak ve mineralli sular oldukça uzun ve derin dolaşım yolları boyunca ve yüzeye doğru yükselirken soğuk yeraltı suları ve/veya yüzey suları (akarsu, dere) ile karışmaktadır. Jeotermal sistem içerisindeki sıcak sular ile soğuk sulardaki ana iyon bileşimini ve iz element içeriğini kontrol eden baskın işlemler yeraltı suyu-kayaç etkileşimi, çözünme-çökelme reaksiyonları ile kırık ve çatlaklar içerisinde mevcut olan kil ve / veya alterasyon minerallerinin çözünmesidir.



Şekil 5.19. Doğanbaşı jeotermal alanının kavramsal model

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanındaki aktif tektonizmadan dolayı sıcak ve soğuk suların akifer birimleri çatlaklı magmatik ve metomorfik kayalardır. İncelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların hidrokimyasında etkin olan faktörler yeraltı suyu-kayaç etkileşimi, silikatlar ile alterasyon minerallerinin çözünmesidir. Çatlaklı magmatik kayalardan (örn. Maden Karmaşığı'na ait volkanik birimler ile Kömürhan Ofiyolitleri'ne ait bazik, uktrabazik kayalar) beslenen soğuk sular kısa ve sık dolaşımlarından dolayı düşük elektriksel iletkenlikleri ile içmeye oldukça uygundur.

Metamorfitle ait gnays ve şistlerden beslenen sular, özellikle şistlerin geçirimsizliklerinin düşük olması, yeraltı suyu- kayaç temas yüzeyi ve süresinin yüksek olmasından dolayı elektriksel iletkenlikleri yüksek sular ile karakteristiklerdir. Bu birimlerden beslenen suların uzun ve derin dolaşım olanlarında Fe, Al, Ni, Mn konsantrasyonlarının oldukça yüksek olmasından dolayı içme amaçlı kullanıma uygun değildirler.

Türkiye'nin önemli doğrultu atımlı fay sistemlerinden biri olan DAFS üzerinde bulunan Doğanbağı jeotermal alanı düşük sıcaklıklı bir sistemdir. Sıcak ve mineralli suların rezervuar kayacı Pütürge Metamorfitle'ne ait rekrystalize kireçtaşları, örtü kayası ise metamorfitle ait çatlaklı fillit ve şistlerdir. DAFS üzerindeki diğer jeotermal sistemlerde ısı kaynağı genellikle Miyosen- Pliyosen yaşlı volkanik kayaları oluşturan ve derinlerde soğumakta olan magmatik sokulumlar iken çalışma alanında ısı kaynağı olabilecek genç volkanik birimler bulunmamaktadır. Doğanbağı jeotermal alanında sıcak ve mineralli suların ısınmasına, alandaki aktif tektonizmanın neden olduğu nisbeten yüksek jeotermik gradyanın neden olduğunu düşündürmektedir. Doğanbağı jeotermal alanında sıcak ve mineralli sular birkaç noktadan çıkmakta olup, suların yükselimleri sırasında soğuk sular ve yüzey suları ile karışımından dolayı yüzeyde ölçülen kaynak başı sıcaklıkları düşüktür. Sıcak ve mineralli suların oluşmasına neden olan kırık ve çatlakların derinliklerinin fazla olmasından dolayı derin kökenli gazların (CO₂, H₂S) akifere taşınmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri suların meteorik kökenli olduğunu göstermiştir. Derin kökenli CO₂ ve H₂S gibi gazların sıcak su akiferine taşındığı düşünüldüğünden Doğanbağı sıcak ve mineralli suların karışık kökenli olduğu söylenebilir. Sıcak ve mineralli suların trityum (³H) içerikleri soğuk su kaynaklarına göre oldukça düşüktür. Düşük trityum içeriğine sahip sıcak ve mineralli sular derin dolaşımli yaşlı suları temsil ederken, yüksek trityum içeriğine sahip soğuk sular ise sık dolaşımli genç suları temsil etmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen sıcak ve mineralli sular ile soğuk sular ilgili standartlarla karşılaştırıldığında bazı suların Fe, Al, As, Mn, Ni ve Cr içerikleri yönetmeliklerde belirtilen üst limit değerlerinin üzerindedir. Sular içerisinde yüksek konsantrasyonlarda bulunan bu iyonların, yeraltı suyu-kayaç, yeraltı suyu-kil/alterasyon mineralleri arasındaki etkileşim mekanizmaları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Doğanbağı jeotermal alanı için uygulanan jeotermometreler bir arada değerlendirildiğinde, Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının Na-K-Mg üçgen diyagramı üzerinde “olgun olmayan sular” bölgesinde bulunmaları ve katyon jeotermometre hesaplamalarının oldukça abartılı düşük ve yüksek sıcaklık değerleri vermesi katyon jeotermometrelerinin bu alan için uygun olmadığını göstermektedir. Doğanbağı jeotermal alanının yarı kapalı bir sistem olması, sistemde maksimum buhar kaybının olduğunu ve soğuk yüzey suları ve/veya soğuk su akiferleri ile karışımın olduğunu işaret etmektedir. Dolayısıyla, Doğanbağı jeotermal sistemi için silis jeotermometreleri ile silis-entalpi, klorür-entalpi diyagramlarında karışım öncesi belirlenen minimum hazne kaya sıcaklıklarının uygun jeotermometreler olduğu düşünülmektedir.

Doğanbağı jeotermal alanı için, silis jeotermometreleri ile tahmin edilen hazne kaya sıcaklıkları 28,30°C ile 117,58°C arasında iken, soğuk sularla karışım öncesi tahmini minimum hazne kaya sıcaklıkları 68,93°C ile 71,0°C olarak belirlenmiştir. Bu tahmini sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğunda Doğanbağı sıcak ve mineralli sularının konut, sera ısıtmacılığı ve soğutularak da kaplıca amaçlı kullanımlar için uygundur.

KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D. ve Baştuğ, C. 1975.** Cacaş-Hani Bölgesinin Kuzeyindeki Alanların Petrol İmkanları ve Jeolojik Raporu. TPAO Arşivi (yayınlanmamış), Rapor No: 971.
- Aksoy E. 2007.** Hazar Gölü Havzası: Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS'nin), SE Türkiye Negatif Çiçek Yapısı. Tübitak. Türk Yerbil. Derg. 319-338s.
- Aksoy, E., 1993.** Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri: Doğa Türk Yerbilimleri Derg., 2, 113–123.
- Alan, H., 2010.** Jeotermal kaynak ve doğal mineralli su arama ve işletmeciliğinde jeoloji mühendisinin işlevi ve mevcut yasal durumu. JMO Jeotermal Kaynaklar ve Doğal ve Mineralli Sular Eğitim Semineri Ders Notları.
- Allen, D. E. ve Seyfried JR., W. E., 2003.** Serpentinization and heat generation: Constraints from Lost City and Rainbow hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 68, No. 6, pp. 1347–1354.
- Alyamaç K. ve Erdoğan A., Şubat–2007** Sivrice-Elazığ Depremlerinden Sonra Oluşan Yapı Hasarları, Nedenleri Ve Genel Yapı Durumu. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul 238s.
- Arnorsson, S. , 1983.** Chemical Equilibria İn Icelandic Geothermal Systems, İmplications For Chemical Geothermal İvestigations. *Geothermics*, 12, 119-128.
- Arnorsson, S. , 1983.** Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems, İmplications For Chemical Geothermal İvestigations. *Geothermics*, 12, 119-128.
- Arnorsson, S., 2000.** Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use. IAEA publication, 351s. Vienna.
- Arslan, Ş. 2016.** Köprüören havzası (Kütahya) su kaynaklarının çevresel izotoplar ile incelemesi. MTA Dergisi 153:169-184.
- Aydınöğlu F., 2019.** Elazığ il merkezi ve yakın çevresindeki mineralli suların hidrojeolojik incelenmesi 2s.
- Başaran, C., Gökğöz, A., 2017.** Heybeli Jeotermal Sahasında (Afyonkarahisar, Türkiye) Potansiyel Kabuklaşma Problemlerinin Jeokimyasal İrdelenmesi Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 17,753-761
- Beyarslan, M., 1996.** Kömürhan Ofiyolit Birimi'nin Petrografik ve Petrolojik İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi Elazığ 60-65 s.
- Bundschuh J. ve Maity J.P., 2015.** Geothermal arsenic: Occurrence, mobility and environmental implications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 42, 1214- 1222.
- Canik B., 1998.** Hidrojeoloji. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Müh. Böl. Ankara.
- Canik B., 1998.** Hidrojeoloji. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Müh. Böl. Ankara.
- Canik, B., Çelik M., ve Arıgün, Z., 2000.** Jeotermal Enerji. Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Ankara.

- Clark, I. And Fritz, P., 1997.** Environmental isotopes in hydrogology, Lewis Publ., Boca Raton, 382p.
- Cruz J.V., Freire, P., Costa A., 2010.** Mineral waters characterization in the Azores archipelago (Portugal). Journal of volcanology and geothermal research, 190, 353-364.
- Çapan, U. Z., 1977.** Ofiyolit Olgusu. T.J.K. Yerbilimleri Konferans Dizisi, Kış Dönemi, 1-3, 16s.
- Çetindağ B., 1989.** Elazığ-Ören Çayı çevresinin hidrojeolojik incelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Doktora Tezi Elazığ. 270.s
- Çetindağ B., Afşin M., ve Canik, B., 1991.** İspendere (Malatya) Sıcak ve Mineralli İçmece Kaynağının Hidrojeoloji İncelemesi, A. Suat Erk Jeoloji Sempozyumu Bildirileri, 2- 5 Eylül 1991, s. 403- 410. Ankara.
- Çetindağ, B., 1996.** Haringet Çayı Havzası'nın (Elazığ) Yeraltı Suyu Kimyası İncelemesi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Derg, 8 (2), 39-57.
- Çetindağ, B., 1997.** Elazığ yakın çevresi bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri. 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu (12-16 Mayıs 1997) Bildiriler, S.Ü- Konya, 203-209.
- Dağıstan, H. 2012.** "Türkiye Jeotermal Kaynak Aramaları, Kullanımı ve Sürdürülebilirliğinin Sağlanması". MTA. www.mta.gov.tr/v2.0/birimler/redaksiyon/ekonomi.../2012_15/1.pdf (Son erişim tarihi: 27.02.2015).
- Demir. S., 2008.** Isparta Ve Yakın Çevresi Yeraltısularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal Ve İzotop Jeokimyasal İncelenmesi Ve İçme Suyu Kalitesinin İzlenmesi Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Doktora Tezi 70-85 s.
- Demiroğlu, M. Ve Örgün Y. 2016.** Menteş Havzası Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri Yahyalı Kayseri s.285-286.
- Diedrich, M. S., Hoek, E. 1989.** DIPS: A computer program for stereographic net (ver. 2.2, Advanced version). Rock engineering group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Kanada.
- Emin, E., 1994.** Pütürge (Malatya) Metamorfikleri'nin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi Elazığ 87-102s.
- Ercan, A., 1979.** Doğu Anadolu Fayı üzerinde Küçük Deprem Çalışmaları. Yeryuvarı ve İnsan 2, 21-30 [in Turkish with English abstract].
- Erdoğan, B., 1982.** Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kusağının Jeolojisi ve volkanik kayaları. TJK Bült., v. 25, pp. 49-60.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., (1987).** Yeraltı Suları Jeolojisi, İTÜ Maden Fakültesi Yayını, 238-260 s., İstanbul.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1973.** Yeraltı Suları Jeolojisi (Hidrojeoloji). İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 967, 340 s.
- Fırat Ersoy A., Çalık Sönmez S., 2014.** Hydrogeochemical and isotopic characteristics of the Ilica geothermal system (Erzurum, Turkey). Environ Earth Sci, 72,4451-4462.
- Fournier, R.O., 1990.** The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters, Geothermal Resource Council Trans., Rev.14, 1421-1425.

- 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, p. 51-62.
- Giggenbach, W. F., 1988,** Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991.** Collection and analyses of geothermal and volcanic water and gas discharge. In: D'Amore, F. (Co-ordinator). Application of geochemistry in geothermal reservoir development, UNITAR/UNDP Publications, p. 19-144, Rome.
- Gökaşan, E., Demirbag, E., Oktay, F. Y., Ecevitoglu B., Şimşek, M., & Yüce, H. 1997.** On the origin of the Bosphorus, *Marine Geology*, 140(1-2), 183-199.
- GU, B., Scott C. Brooks, Yul Roh, And Philip M. Jardine; 2003.** Geochemical reactions and dynamics during titration of a contaminated groundwater with high uranium, aluminum, and calcium.
- Gürocak, Z., 1993.** Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ 11s. 28s. 104s.
- Güven, A., 2013.** Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi Elazığ 75s.
- Güven, A., 2013.** Hazar Gölü Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 75s.
- Güven, H., 2015.** Ilıca Kaplıcası (Kahramanmaraş) Sıcak Ve Mineralli Sularının Hidrokimyasal Özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi 95s.
- Güzel, S., 1997.** Kürkköy (Sivrice)-Karakaya Baraj Gölü Arasında Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Jeolojik Özellikleri. Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi Elazığ 13s. 21s. 26s.
- Hem, J.D., 1985.** Study ve interperation of the chemical characteristics of natural water. 3rd ad. *U.S. Geol. Survey Water Supply*, 2254s.
- Henley, A.H. Truesdell, and P.B. Barton, Jr., 1985.** Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. *Reviews in Economic Geology*, Vol. 1. Society of Economic Geologists, Inc.
- Hitchon, B., Perkins, E. H. ve Gunter, W.D.,1999.** Introduction to Ground Water Geochemistry, Geoscience Publishing Ltd., Sherwood Park, Alberta, Canada.
- Iwatsuki, T., R. Furue, H. Mie, S. Ioka, T. Mizuno, 2005.** Hydrochemical baseline condition of groundwater at the Mizunami underground research laboratory (MIU). Mizunami Underground Research Laboratory, Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC), 1-64, Yamanouchi, Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu 509-6132, Japan.
- Kaya, A., 1992.** Gezin-Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 72s.
- Kaya, A., 1992.** Gezin-Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 72s.
- Kaygılı, S., 2010.** Gözeli-Sivrice (Elazığ) civarı drenaj jeokimyası. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 7-11s.

- Kılıç, A.,D., 2005.** Hazar Gölü (Sivrice, Elazığ) Güneyinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 116s.
- Köküm, M., 2017.** Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu-Uslu (Elazığ) Arasındaki Kesiminin Kinematik Analizi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ (yayınlanmamış).
- Kristmannsdóttir, H., 1989.** Types of scaling occurring by geothermal utilization in Iceland. *Geothermics*, 18, 183-190.
- Lachenbruch, A., 1980.** Frictional heating, fluid pressure, and the resistance to fault motion. [Journal of Geophysical Research Atmospheres](#), 85(B11):6097-6112.
- Liu, Guo,1, Zhangb, Zhu, Li, 2017.** Sulfur isotope geochemistry indicating the source of dissolved sulfate in Gonghe geothermal waters, Northwestern China.
- McClusky , S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., et al 2000.** Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research* 105, 5695-5719.
- Milanovic, P.T. 1981.** Karst Hydrogeology. Water resources publications, P.O. Box 2841, Littleton, Colorado, Amerika Birleşik Devletleri.
- Nart, M., 2015.** Bursa Dömböldek Termal Suyunun Hidrojeolojisi, Yüksek Lisans Tezi 36.s
- Nieva, D. And Nieva, R., 1987.** Developments in Geothermal Energy in Mexico, Part 12-A Cationic Composition Geothermometer for Prospection of Geothermal Resources, Heat Recovery Systems And Chp. 7, 243-258.
- Özen Balaban T. Öztekin Okan Ö., Sancar T., Öztüfekçi Önal A., 2019.** Pertek Jeotermal Alanının Hidrojeolojisi, Hidrojeokimyası ve Mineralojisi TÜBİTAK 115Y466 nolu proje raporu.
- Özkaya, İ. 1978.** Ergani-Maden Yöresi Stratigrafisi. *Türk. Jeol. Kur. Bült.*, 21, 129-139.
- Öztekin Okan Ö., Güven A., Çetindağ B., 2018.** Plajköy Kaynağı'nın Hidrojeoloji İncelemesi Maden Tetkik Arama Dergisi 156, 234-235s.
- Öztekin Okan, Ö., 2004.** Kolan(Karakoçan) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeokimyasal İncelenmesi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
- Öztekin Okan, Ö.,Kalender, L., Çetindağ, B., 2018.** Trace-element hydrogeochemistry of thermal waters of Karakoçan (Elazığ) and Mazgirt (Tunceli), Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration*, 194, 29-43.
- Öztekin Ö. Ve Çetindağ B., 2000.** Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri. *Yerbilimleri (Geosound)*, 36.
- Öztürk, H. Ve Kaya D., 2015.** Jeotermal Enerji Uygulamaları. 1,2 s.
- Öztürk, N., 2008.** Hazar gölü (Sivrice-Elazığ) doğusundaki manganez cevherleşmelerinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ 5s.

- Pal, T., Mukherjee, P.K., Sengupta, S., Bhattacharya, A.K., ve Shome, S., 2002.** Arsenic pollution in groundwater of West Bengal, India—an insight into the problem by sub-surface sediment analysis. *Gondwana Res.* 5, 501–502.
- Pasvanoğlu, Chandrasekharam, 2011.** Hydrogeochemical and isotopic study of thermal and mineralized waters from the Nevşehir (Kozaklı) area, Central Turkey.
- Perinçek, D., 1979.** GD Anadolu’da allakton birimler: 33. TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı bildiri özetleri, 115-116
- Petrovic, T., Zlokolica-Mandic, M., Veljkovic, N., Vidojevic, D., 2010.** Hydrogeological conditions for the forming and quality of mineral waters in Serbia. *Journal of Geochemical Exploration*, 107, 373- 381.
- Piper, A.M., 1944.** A graphic procedure in the geochemical Interpretation of water analyses. *Trans. Am. Geophys. Union* 25, 914–923.
- Resmi Gazete, 2004.** Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik, 01.12.2004 Resmi Gazete, Sayı: 25657.
- Resmi Gazete, 2005.** Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği 17.02.2005
- Resmi Gazete, 2007.** “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, Kabul Tarihi: 3.6.2007, Kanun No:5686, Ankara.
- Rızaoğlu, T., 2006.** Baskil-Sivrice (Elazığ) Arasında Yüzeyleyen Tektonomagmatik Birimlerin Petrografisi Ve Jeokimyası Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Doktora Tezi 32 s.
- Rigo De Righi, M., and Cortesini, A., 1964.** Gravity tectonics in Foothill structure of southeast Turkey: *Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bull.* 48, 1911-1937.
- Schoeller, H., 1962.** *Les Eaux Souterraines: Masson et Cie, Editurn, 120, Boulevard Saint – Germain – Paris* (Çeviren: Karacadağ, K., 1973. *Yeraltı Suları, Dizerkonca Matbaası , İstanbul, 605 s.*).
- Stober, I., K. Bucher, 1999.** Deep groundwater in the crystalline basement of the Black Forest region. Geological Survey of Baden-Württemberg, Albertstr. 5, 79104 Freiburg, Germany. Institute of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, Universität Freiburg, Albertstr. 23b, 79104 Freiburg, Germany.
- Subaşı. B., 2019.** Ilica (Şavşat Artvin) Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Jeoloji Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi 61s.
- Sungurlu, O., 1974.** VI. Bölge Kuzeyinin Jeolojisi ve Petrol İmkanları. *Türkiye 2. Petrol Kongr. Tebl., TPJD*, 85-107.
- Şahinci, A., (1991a).** Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası. 548 s. İzmir.
- Şahinci, A., (1991b).** Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. İzmir. 123s., 135s. 141-143s.
- Şaroğlu F, Emre E, Kuşçu İ (1992a),** “The East Anatolian Fault Zone of Turkey,” *Anal. Tecn.*, 6: 99-125
- Şen, Z., (2014).** *Practical and Applied Hydrogeology, 1st Edition, Chapter 5, pp. 279-339, Elsevier.*
- Şimşek, Ş., Doğdu M.Ş., Akan, B., 1997.** Hidrojeotermometreler Ders Notları. Hacettepe Üniv. Mühendislik Fak., Jeoloji (Hidrojeoloji) Müh. Böl., Beytepe, Ankara.

- Tarcan, G., 2002.** Jeotermal Su Kimyası Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR
- Tarcan, G., 2001.** Aquifer chemistry and mineral saturation in selected high temperature geothermal areas. United Nations University Geothermal Training Programme, Orkustofnun, Reykjavik, Iceland. 12, 267–290.
- Tarcan, G., 2002.** Jeotermal Su Kimyası. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR
- Tarcan, G., 2002.** Jeotermal Su Kimyası. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR.
- Tarcan, G., 2002.** Jeotermal Su Kimyası. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR.
- Tarcan, G., 2003.** Jeotermal Su Kimyası Ders Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR
- Tarcan, G., 2004.** Jeotermal Su Kimyası Ders Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35100-Bornova-İZMİR
- Tarcan, G., Özen, T., Gemici, Ü., Çolak, M. ve Karamanderesi, İ., 2015.** Kızıldere (Denizli) Jeotermal Alanındaki Kabuklaşma Probleminin Hidrojeolojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, MÜHJEO'2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 505-512.
- Tonani, F., 1980.** Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, 428-443.
- Türker, A.E., Yıldız, A., 2008.** Termal ve Maden Sular Konferansı Afyonkarahisar Bildiriler Kitabı <http://www.aku.edu.tr> VIII.S.
- Türker, A.E., Yıldız, A., 2008.** Termal ve Maden Sular Konferansı Afyonkarahisar Bildiriler Kitabı <http://www.aku.edu.tr> VIII.S.
- Walter, J., Chesnau, R., Cloutier, V., Gabourya, D., 2017.** The influence of water/rock – water/clay interactions and mixing in the salinization processes of groundwater Centre d'études sur les ressources minérales, Groupe de recherche R2eau, Département des sciences appliquées, Université du Québec à Chicoutimi, Saguenay, Québec, Canada, Canada.
- WHO, (2004).** World Health Organisation (WHO), Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Resolution WHA55.
- Yan, B., Xiao, C., Liang, X., Wu, S., 2016.** Hydrogeochemical tracing of mineral water in Jingyu country, Northeast China. Environ. Geochem. Health, 38, 291-307.
- Yazgan, E., 1984.** Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region. In, The Geology of the Taurus Belt, International Symposium Proceedings, O. Tekeli and M.C. Göncüoğlu (Eds.). Ankara-Turkey, 199-208.
- Yiğit, E., 2016.** Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi Elazığ 12-18s.
- Yüksel, A., 2007.** Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Sayfa:51.

ÖZGEÇMİŞ

Yelda Yalçın

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri : Elazığ Merkez
Doğum Yılı : 21.11.1991
Uyruğu : TC
Adres : Cumhuriyet Mahallesi Çay Sokak Asel Apartmanı No:13/5
E-posta : yeldatel@gmail.com
Yabancı Diller : İngilizce (Düzey: Temel)

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans : “Doğanbağı (Sivrice,Elazığ) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı’nın Hidrojeokimyasal İncelenmesi...”
Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı,
2020
Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Özlem Öztekin Okan
Lisans : Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 2010
Lise : Özel Harput Lisesi, Elazığ, 2005

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

✓ Ms Office, Adobe, Aquachem

İŞ DENEYİMİ

2015– Devam :Eti Krom A.Ş. – İnsan Kaynakları Uzmanı
2019-Devam :Etipet A.Ş. – B İSG Uzmanı