

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORCID : - - -

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :
ORCID : - - -

Trabzon

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Hayran (Alucra-Giresun) sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik özelliklerinin incelenmesi amaçlanmış sahadaki jeotermal su kaynağı ve çevresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ile kaynak sularının kökenleri belirlenmiştir.

“Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi” tarafından FYL-2023-10963 Kod No’lu BAP projesi ve 124Y068 nolu TÜBİTAK projesi ile desteklenen bu çalışmanın gerçekleşmesinde bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, maddi manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Esra HATİPOĞLU TEMİZEL ve kıymetli hocam Prof. Dr. İrfan TEMİZEL’ e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmaya maddi destek sağlayan Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü’ne, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ ne ve TÜBİTAK’a teşekkür ederim. Bölüm başkanımız Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN ve Prof. Dr. Mehmet ARSLAN’ a lisans eğitimim ve yüksek lisans eğitiminde katkıları bilgi birikim desteklerinden dolayı minnettarım.

Maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen her zaman yanımda olan annem Demet ÇOKKAYNAR ’a, abim Göksel ÇOKKAYNAR ’a, Jeoloji Yük. Müh. Osman KÜÇÜK’e ve Sedat ÜNVER’e teşekkürleri bir borç bilirim.

Necati Ömürkan ÇOKKAYNAR

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hayran (Alucra-Giresun) Sıcak Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Esra HATİPOĞLU TEMİZEL’ in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/ analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/ yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.16.07.2024

Necati Ömürkan ÇOKKAYNAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi.....	3
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü.....	5
1.5. Önceki Çalışmalar	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. Arazi Çalışmaları.....	9
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	10
2.2. Büro Çalışmaları.....	11
3. BULGULAR.....	12
3.1. Genel Jeoloji.....	12
3.1.1. Giriş.....	12
3.1.2. Şenköy Formasyonu (Jh).....	15
3.1.3. Berdiga Formasyonu (JKb).....	16
3.1.4. Mescitli Formasyonu (KPm).....	17
3.1.5. Kabaköy Formasyonu (Tek)	21
3.1.6. Şebinkarahisar Formasyonu (Tmş)	21
3.1.7. Traverten (Qtr)	21
3.1.8. Alüvyon (Qal)	22
3.2. Yapısal Jeoloji	23
3.3. Hidroloji	23
3.3.1. Yağış ve Sıcaklık.....	24
3.3.2. Buharlaşma- Terleme	27

3.4. Hidrojeoloji	28
3.4.1. Formasyonların Hidrojeolojik Özellikleri.....	28
3.4.2. Su Noktaları	29
3.4.3. Akarsular	29
3.4.4. Soğuk Su Kaynakları.....	31
3.4.5. Sıcak Su Kaynağı	32
3.5. İnceleme Alanındaki Suların Hidrokimyasal Özellikleri	33
3.5.1. Suların Fiziksel Özellikleri	36
3.5.2. Sıcaklık (°C).....	36
3.5.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH).....	37
3.5.4. Elektriksel İletkenlik (EC)	37
3.5.5. Çözülmüş Oksijen (ÇO).....	38
3.5.6. Toplam Çözülmüş Madde Miktarı (TDS).....	39
3.5.7. Suların Major İyon İçerikleri	40
3.5.8. Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2})	40
3.5.9. Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+}).....	41
3.5.10. Klorür (Cl^{-}) ve Florür (F^{-})	42
3.5.11. Sülfat (SO_4^{-2}).....	43
3.5.12. Bikarbonat (HCO_3^{-})	44
3.5.13. Eser Element Analizleri	45
3.5.14. Kirlilik Parametreleri	50
3.5.15. Nitrit ($\text{NO}_2\text{--N}^{-}$).....	50
3.5.16. Nitrat ($\text{NO}_3\text{--N}^{-}$)	52
3.5.17. Amonyum ($\text{NH}_4\text{--N}^{+}$).....	52
3.5.18. Toplam Fosfor (TP).....	53
3.6. Suların Sınıflandırılması.....	54
3.6.1. Piper Diyagramı Değerlendirilmesi	55
3.6.2. Schoeller Diyagramı Değerlendirmesi.....	56
3.6.3. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramının Değerlendirilmesi	57
3.7. Suların Mineral Doygunlukları	58
3.8. Haznekaya Sıcaklıklarının Hesaplanması	60
3.8.1. Jeotermometre Uygulamaları	60
3.8.2. Karışım Modelleri	61
3.8.3. Su-Kayaç Etkileşimi.....	63

3.9. İzotop Jeokimyası.....	65
3.9.1. Oksijen 18 (^{18}O)- Döteryum (^2H) İlişkisi.....	65
3.9.2. Oksijen 18 (^{18}O)- Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) İlişkisi.....	67
3.9.3. Tritiyum Verilerinin Değerlendirilmesi	67
3.10. Jeotermal Sistemler	68
3.10.1. Hayran Jeotermal Sistemi	69
4. TARTIŞMA	72
5. SONUÇLAR	75
6. KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ.....	



YÜKSEK LİSANS

ÖZET

HAYRAN (ALUCRA-GİRESUN) SICAK SU KAYNAKLARININ HİDROJEOLOJİK VE HİDROKİMYASAL İNCELENMESİ

Necati Ömürkan ÇOKKAYNAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Esra HATİPOĞLU TEMİZEL

2024,97 Sayfa

Hayran jeotermal su kaynağı Giresun ilinin 127 km güneydoğusunda Alucra ilçesinde yer almaktadır. Sahadaki Ca-Mg-HCO₃'lı jeotermal suyun sıcaklığı 24.6-28.1°C pH'ı 6.47-7.48 ve Eİ değeri 592-646 µS/cm'dir. Çalışma sahasında Erken-Orta Jura'dan Kuvaterner'e kadar değişen zamanlarda çökelmiş volkanik arakatlı tortul birimler yer almaktadır. Hayran jeotermal sahasında jeotermal sistemi tanımlamak, sistemin elemanlarını belirlemek amacıyla suyun izotopik (O, H) karakterizasyonu ve çevre kayaç özellikleri kullanılmıştır. Bu amaç doğrultusunda jeotermal ve soğuk kaynaklar ile yüzey sularından alınan örneklerin hidrokimyasal ve izotopik karakterizasyonları belirlenmiştir.

Hayran jeotermal sahasındaki tüm suların kalsit, aragonit, dolomit gibi karbonat minerallerine, götüt gibi demir minerallerine ve K-mika ve kaolinit gibi kil minerallerine doymun olduğu belirlenmiştir. Sularda iz elementlerden Al, Mn, Cu, Sr, Ba ve Pb konsantrasyonları diğer elementlere göre daha yüksektir. Soğuk su kaynağı (HK), Fe (270 µg/L) ve As (14.7 µg/L) konsantrasyonu bakımından standartların üzerindedir.

Kararlı izotoplar ($\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$) ve trityum verileri, jeotermal kaynak (ASK) suyunun daha yüksek kotlardan beslenen daha derin dolaşım ve meteorik kökenli su olduğunu göstermektedir. Jeotermal akışkanın rezervuar sıcaklığı silis jeotermometreleri ile yaklaşık 28.2-53.6 °C, silis-entalpi karışım modeline göre 115.16 °C hesaplanmıştır. Bu sıcaklıklar ile Hayran jeotermal sahası “düşük entalpili saha” sınıfındadır.

Anahtar Kelimeler: Hayran Jeotermal Sahası, Jeotermal Sistem, Hidrojeokimya, Çevresel izotoplar, Alucra

MASTER THESIS

SUMMARY

HYDROGEOLOGICAL AND HYDROCEMICAL INVESTIGATION OF HAYRAN (ALUCRA-GİRESUN) GEOTHERMAL WATER SPRINGS

Necati Ömürkan ÇOKKAYNAR

Karadeniz Technical University

Institute of Science and Technology

Department of Geological Engineering

Supervisor: Dr.Lecturer Esra HATİPOĞLU TEMİZEL

2024,97 Page

Hayran geothermal water spring is located in Alucra district, 127 km southeast of Giresun province. The temperature of the geothermal water in the field is 24.6-28.1°C, pH is 6.47-7.48 and EC value is 592-646 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and the water is Ca-Mg-HCO₃. In the study area, there are sedimentary units with volcanic intercalations that were deposited in times ranging from Early-Middle Jurassic to Quaternary. In the Hayran geothermal field, isotopic (O, H) characterization of water and surrounding rock properties were used to define the geothermal system and determine the elements of the system. For this purpose, hydrochemical and isotopic characterizations of samples taken from geothermal and cold springs and surface waters were determined. It has been determined that all waters in the Hayran geothermal field are saturated with carbonate minerals such as calcite, aragonite and dolomite, iron minerals such as goethite and clay minerals such as K-mica and kaolinite. Concentrations of trace elements Al, Mn, Cu, Sr, Ba and Pb in water are higher than other elements. HK cold spring water is above the standards in terms of Fe (270 $\mu\text{g}/\text{L}$) and As (14.7 $\mu\text{g}/\text{L}$) concentrations. Stable isotopes ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) and tritium data show that geothermal spring (ASK) water is water of deeper circulation and meteoric origin recharged from higher elevations. The reservoir temperature of the geothermal fluid was calculated as approximately 28.2-53.6 °C with silica geothermometers and 115.16 °C according to the silica-enthalpy mixture model. With these temperatures, Hayran geothermal field is in the "low enthalpy field" class.

Keywords: Hayran Geothermal Field, Geothermal System, Hydrogeochemistry,

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	4
Şekil 2.Hayran sıcak su kaynağı ve çevresinin sayısal yükseklik modeli	5
Şekil 3.Hayran jeotermal sahasındaki sıcak kaynak çıkış noktasından bir görünüş	9
Şekil 4.Hayran sıcak su kaynağı ve çevresinden alınan su örnekleri	10
Şekil 5.Hayran (Alucra- Giresun) sıcak su kaynağı ve çevresinin dikme kesiti	13
Şekil 6.Hayran (Alucra- Giresun) Sıcak Su Kaynağı ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Yılmaz vd. 1985).....	14
Şekil 7.Hayran (Alucra-Giresun) alanının jeoloji haritasından alınmış A-A' kesiti	15
Şekil 8.Aktepe Köyü civarında Şenköy formasyonuna ait kireçtaşlarının arazi görünümü	16
Şekil 9.Çalışma alanında, Berdiga Formasyonu ve Şenköy Formasyonu'nun dokanağı....	17
Şekil 10.Volkanitleri oluşturan mikrolitik porfirik dokuya sahip hornblend andezitin mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; c, d: çapraz nikol; x2.5; Örnek No: HD-3; Plj: plajiyoklas, Hbl: hornblend)	18
Şekil 11. Volkano-sedimanter birimi oluşturan volkanitlere ait mikrolitik porfirik dokuya sahip hornblend andezitin mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; c, d: çapraz nikol; x2.5; Örnek No: HD-6; Plj: plajiyoklas, Hbl: hornblend).....	19
Şekil 12. Volkano-sedimanter birimi oluşturan tortul kayalara ait ince taneli litik kumtaşının mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çapraz nikol; a, b= x5, c,d= x10; Örnek No: HD-4; Ku: kuvars, M: mika, Kp: kayaç parçası; Kç: kalsit çimento).....	20
Şekil 13. Volkano-sedimanter birimi oluşturan tortul kayalara ait litik kumtaşının mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çapraz nikol; x5; Örnek No: HD-2; Feld: feldispat, Op: oapik mineral; Kp: kayaç parçası; Dç: demir çimento).....	20
Şekil 14. Sıcak su kaynağının Hayran Deresi'ne döküldüğü güzergahta oluşan Travertenler	22
Şekil 15. Alucra Meteoroloji İstasyonu'nda 2012-2022 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi.....	24
Şekil 16. Alucra Meteoroloji İstasyonu'nda 2012-2022 yılları arasında ölçülensıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi	24
Şekil 17. Alucra (Giresun) 2012-2023 yıllarına ait mevsimlere göre yağış yüzdeleri.....	25
Şekil 18 .Giresun ili, ilçelerinin 2012-2022 yılları verilerine göre yağış dağılım haritası .	26
Şekil 19. Giresun ili, ilçelerinin 2012 2022 yılı sıcaklık verilerine göre sıcaklık dağılım haritası.	26
Şekil 20. Hayran jeotermal sahasının hidrojeoloji haritası.....	30
Şekil 21. Alucra ilçesi ve yakın çevresinin akarsu ağı haritası	31
Şekil 22. Hayran Deresi aşağısı (HDA) ve yukarısı (HDY) görünümü ve örnekleme	31
Şekil 23. İnceleme alanında ölçüm ve örnekleme yapılan soğuk su kaynak çıkışları; HK (a) ve HM (b)	32
Şekil 24. Hayran jeotermal su kaynağı (ASK) yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları ...	33
Şekil 25. Çalışma alanındaki suların mevsimlere göre sıcaklık değişimleri	36
Şekil 26. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynakları, yüzey sularının dönemsel pH değişim grafiği.....	37
Şekil 27.Çalışma alanında örneklenen suların mevsimsel elektriksel iletkenlik (Eİ) değişimleri	38
Şekil 28.Çalışma alanında örneklenen suların mevsimsel çözünmüş oksijen (ÇO) değişimleri	39

Şekil 29. Çalışma alanında incelenen suların mevsimsel toplam çözünmüş madde (TDS) değişim grafiği.....	40
Şekil 30. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre Ca ve Mg değişimleri	41
Şekil 31. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre Na ve K değişimleri	42
Şekil 32. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre Cl ⁻ ve F ⁻ değişimleri	43
Şekil 33. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre SO ₄ ⁻² değişimleri	44
Şekil 34. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre HCO ₃ ⁻² değişimleri.....	45
Şekil 35. İnceleme alanındaki su örneklerinin eser element değişimleri	47
Şekil 36. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre NO ₂ _N ⁻ değişimleri	51
Şekil 37. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre NO ₃ _N ⁻ değişimleri	52
Şekil 38. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre NH ₄ _N ⁺ değişimleri.....	53
Şekil 39. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre TP değişimleri	54
Şekil 40. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Piper diyagramı	56
Şekil 41. İncelenen su örneklerinin Schoeller diyagramındaki konumları.....	57
Şekil 42. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.....	58
Şekil 43. İncelenen su örneklerinin mineral doygunluk indisleri	59
Şekil 44. ASK sıcak su kaynağına ait Giggenbach (1988) diyagramı.....	60
Şekil 45. Hayran Jeotermal sahasındaki sıcak suyun entalpi-silis diyagramı	63
Şekil 46. Hayran jeotermal sahası sularında δ ¹⁸ O–δ ² H ilişkisi (DMSD: Dünya Meteorik Su Doğrusu; DKMSD: Doğu karadeniz Meteorik Su Doğrusu (Ekmekçi ve Gültekin, 2015).....	66
Şekil 47. İncelenen suların oksijen-18 (¹⁸ O)-sıcaklık ilişkisi.....	67
Şekil 48. Hayran jeotermal alanındaki sularda ³ H-EC, ³ H-Sıcaklık ve ³ H-Cl ilişkileri.	68
Şekil 49. Hayran (Alucra-Giresun) jeotermal sahasının hidrojeolojik kavramsal modeli ..	70

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Alucra Meteoroloji istasyonuna ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri (2012-2022)	6
Tablo 2. Alucra meteoroloji istasyonu verileri kullanılarak Thornthwaite (1948) Yöntemi ile hazırlanmış hidrolojik bilanço (Yükselti:1477 m, Enlem:40°19'39.0''K Boylam: 38°45'07.9''D, Rasat Süresi: 2012-2022).....	27
Tablo 3. Çalışma kapsamında örnekleme yapılan suların koordinatları	34
Tablo 4. Hayran jeotermal sahasında incelenen sulara ait fiziksel ve kimyasal özellikler .	35
Tablo 5. Hayran jeotermal sahasında incelenen sulara ait eser elementler (konsantrasyonlar $\propto$ g/L).....	46
Tablo 6. Hayran jeotermal sahasında incelenen su örneklerinde ölçülen kirlilik parametreleri (birimler: mg/L)	51
Tablo 7. Hayran jeotermal sahasındaki suların su tipi sınıflaması (IAH, 1979)	55
Tablo 8.İncelenen su örneklerine ait mineral doygunluk indisleri (d: doygun)	59
Tablo 9. Hayran jeotermal sahasındaki sıcak su kaynağı (ASK) için uygulanan silis jeotermometresi (ASK: SiO ₂ = 13.04 mg/L).....	61
Tablo 10. Hayran jeotermal sahasında silis-entalpi modeline göre karışım oranı ve hazne kaya sıcaklığı.....	63
Tablo 11. Hayran jeotermal sahasında incelenen sularda gelişen su-kayaç etkileşim süreçleri Hounslow (1995)	64
Tablo 12. Hayran jeotermal sahasındaki sulara ait Oksijen-18, Döteryum ve trityum izotop verileri	65
Tablo 13. Jeotermal Alanların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması (Dickson and Fanelli, 1990).....	69

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$^{\circ}\text{C}$	:Santigrad
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
EC	: Elektriksel İletkenlik
$\delta^{18}\text{O}$	: Oksijen 18
$\delta^2\text{H}$	: Döteryum
U	: Aylık evapotranspirasyon
I	: Yıllık termik indis
SI	: Doygunluk İndisi
Jh	: Şenköy Formasyonu
JKb	: Berdiga Formasyonu
KPm:	: Mescitli Formasyonu
Tek	: Kabaköy Formasyonu
Tmş	: Şebinkarahisar Formasyonu
Qtr	: Alüvyon

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Sürekli artan dünya nüfusunun, ortaya çıkardığı ihtiyaçlar her geçen gün artmaktadır. Günümüzde bu ihtiyaçlar doğalgaz başta olmak üzere nükleer ve hidroelektrik santraller kömür, petrol gibi enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Geçmişten günümüze kadar kullanılmış ve kullanılmaya devam eden enerji kaynakları çevreye oldukça zarar vermekle birlikte yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının rezervleri azalmaktadır. Azalan rezervlerin dünya piyasasındaki değer kazanımı ve enerji kaynaklarına olan yönelimi artırmıştır.

Jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinlerinde birikmiş ısıнын oluşturduğu, sıcaklıkları bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve o bölgede bulunan yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözünmüş madde, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki “Sıcak Kuru Kayalar” da jeotermal enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır.

Dünya genelinde jeotermal enerjinin kullanım alanları; elektrik enerjisi üretimi, merkezi ısıtma, merkezi soğutma, sera ısıtması vb. proses ısısı temini, kurutma işlemleri gibi endüstriyel amaçlı kullanımlar, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen gibi kimyasal maddelerin ve minerallerin üretimi, termal turizm, düşük sıcaklıklarda kültür balıkçılığı, mineral içeren içme suyu üretimi gibi alanlardır.

Jeotermal enerji, Türkiye’nin tektonik yapısı ve volkanik özellikleri sayesinde yenilenebilir enerji kaynakları arasında en fazla ilgiyi görmektedir ve Türkiye jeotermal potansiyel bakımından dünyada önde gelen ülkeler arasındadır. Jeotermal kaynakların Türkiye’deki dağılımı incelendiğinde Batı Anadolu yüksek ısı içeren rezervuarları ile ilk sırada yer alırken, bu bölgeyi düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal alanları ile sırasıyla İç Anadolu, Marmara, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölgeleri takip eder.

Batı Anadolu: Türkiye'nin batı ve batıya yakın bölgelerinde, özellikle Ege Bölgesi'nde, birçok jeotermal enerji kaynağı bulunmaktadır. Manisa, Aydın, İzmir ve Denizli gibi iller, jeotermal enerji üretiminde önde gelen bölgelerdir. Bununla birlikte, Burdur, Muğla ve Uşak gibi diğer illerde de jeotermal kaynaklar bulunmaktadır.

İç Anadolu: İç Anadolu Bölgesi'nde ise jeotermal enerji kaynakları daha sınırlıdır. Ankara, Konya ve Aksaray gibi illerde bazı jeotermal kaynaklar bulunmaktadır, ancak bu bölgeler batı bölgelerine göre daha az gelişmiştir.

Marmara Bölgesi: Marmara Bölgesi'nde de birkaç jeotermal enerji kaynağı bulunmaktadır. Bursa, Yalova ve Balıkesir gibi illerde jeotermal enerji potansiyeli bulunmaktadır.

Güneydoğu Anadolu: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde de bazı jeotermal enerji kaynakları bulunmaktadır. Gaziantep, Şanlıurfa ve Mardin gibi illerde jeotermal enerji potansiyeli bulunmaktadır.

Türkiye'deki jeotermal enerji potansiyelinin önemli bir kısmı henüz keşfedilmemiş durumdadır ve jeotermal enerji sektörü hala büyümekte olan bir alandır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelini daha etkin bir şekilde kullanması ve bu kaynaklardan daha fazla faydalanması için çalışmalar devam etmektedir.

Bu tür ayrıntılı bir şekilde çalışılmamış jeotermal sahalar arasında Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Hayran (Alucra-Giresun) jeotermal alanı yer almaktadır ve bu jeotermal alandan günümüzde yeterli derecede yararlanılmamaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Hayran (Alucra-Giresun) sıcak su kaynağı Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer almaktadır. Bu çalışmada “Hayran (Alucra-Giresun) Sıcak Su Kaynaklarının Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal İncelenmesi” adı altında Hayran jeotermal sahasındaki jeotermal suyun rezervuarının ve hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda alanın hidrojeolojik özelliklerini ortaya koymak ve jeotermal sistemde yer alan akışkanın jeokimyasal ve izotopik özelliklerini kullanarak sistemin beslenme ve dolaşım mekanizmasını ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. Bu amaca ulaşmak için alanda yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik özellikleri belirlenmiştir.

Hidrokimyasal analizleri yapılmak üzere 1 adet sıcak su kaynağından, 2 adet soğuk su kaynağından ve 2 adet yüzey suyundan mevsimsel (Ekim 2023- Temmuz 2023- Nisan 2024) örnekleme yapılmıştır.

Çalışma alanından kayaç örnekleri alınmış ve mineralojik-petrografik tayinleri yapılmıştır. Sahaya ait jeoloji haritası bu çalışmanın amacına uygun olarak önceki çalışmalarda kullanılarak yeniden hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile Hayran (Alucra-Giresun) Jeotermal sisteminin kavramsal modeli oluşturulmuştur.

Bu çalışmadaki verileri değerlendirmek için Corel Draw (2022), ArcGIS (ArcMap 10.5), QGIS, Grapher 12, Surfer ve AquaChem 2014.2 bilgisayar programları kullanılmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi

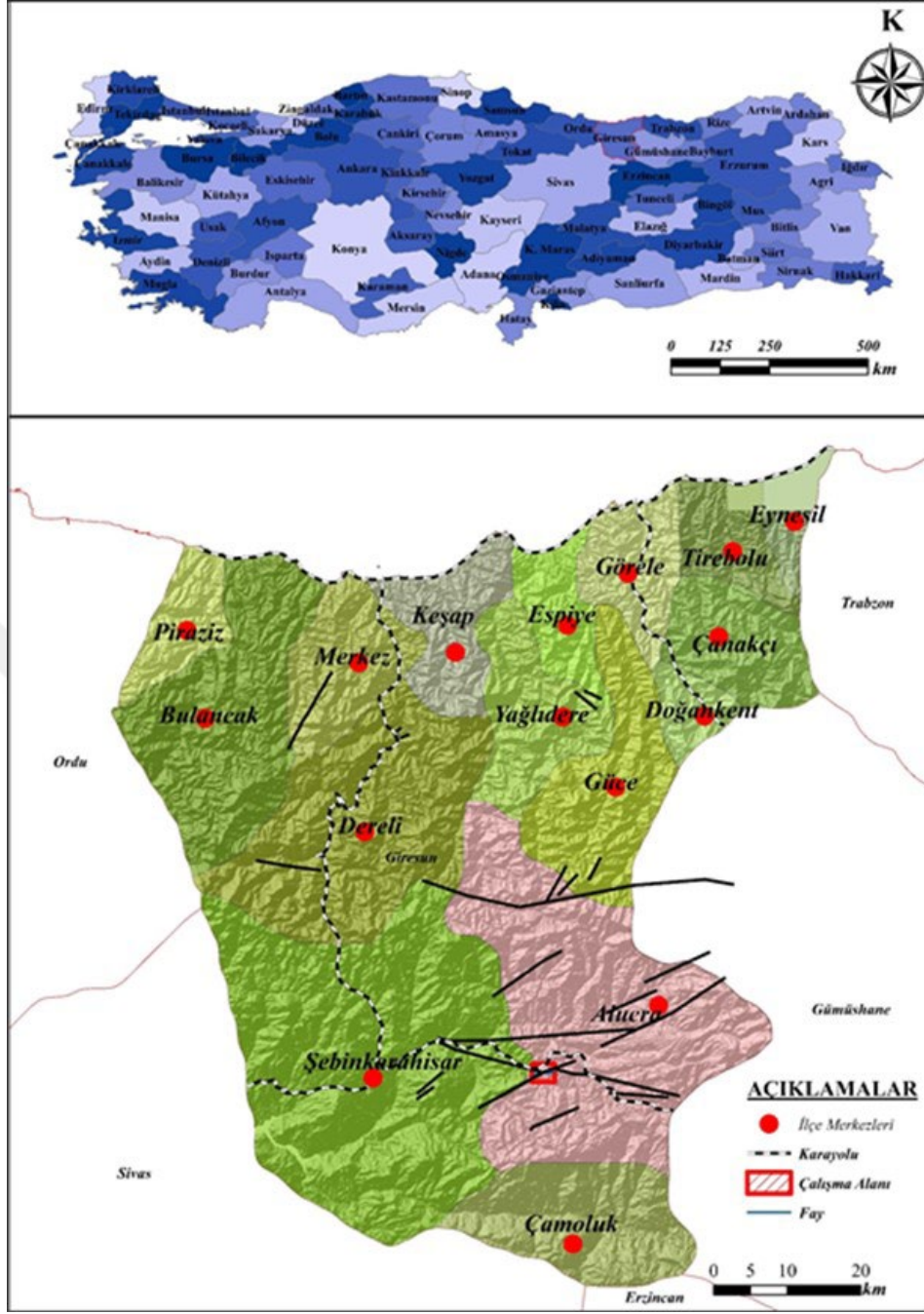
Giresun ili, Alucra ilçesine bağlı Aktepe köyü sınırları içerisinde bulunan çalışma alanı 1/25 000 ölçekli H41a3- H41b4 paftaları içerisinde yer almakta olup yaklaşık 50 km² lik bir alanı kapsamaktadır.

İnceleme alanı Karadeniz Bölgesinde, Giresun ilinin 127 km güneydoğusunda, Gümüşhane ilinin 147 km batısında, Erzincan ilinin 148 km kuzeybatısında yer almaktadır. Bölgede yer alan en önemli geçit Giresun Dağları'nda bulunan Eğribel Geçidi'dir (2220m). Bu geçit Alucra'yı kıyı şeride bağlamaktadır. İlçenin yüzölçümü 1100 km²'dir. Alucra ilçesi; Çamoluk, Şebinkarahisar ve Espiye ilçelerine komşudur. Çalışma alanı az engebeli bir morfolojiye sahip olup 1200-1400 m rakımdadır (Şekil 1).

Alucra ilçesi Sarıçiçek Dağları ile Giresun Dağları arasında alçak bir düzlükte yer almakta olup düzlükler vadiler ve dağlar en belirgin yeryüzü şekillerini oluşturur. Alucra'nın kuzey bölümünü Giresun dağları oluşturmaktadır. İlçede bu dağlar üzerinde bulunan önemli yükselti alanları Torluk Tepe (1600 m) ve Kale Tepe (1687m)'dir (Aktan 1965; Özdemir 2012).

Alucra'nın güney bölümünü oluşturan Sarıçiçek Dağları doğu-batı yönünde uzanmakta olup en yüksek tepesini 2347 m. ile Berdiga Tepesi oluşturmaktadır. Alanda yer alan diğer önemli yükseltiler ise Hanzarkuzu Tepe (1734 m), Dikyol Tepe (1844 m), Ahmetdede Tepe (1770 m) ve Kömler Tepe (1800 m)'dir. Çoğunlukla Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından oluşan bu dağlar Üst Kretase- Paleosen yaşlı volkanit arakatlı bazalt, andezit, tüf, tüfit ve aglomera türü kayalardan oluşan birimler tarafından üzerlenerek çevrede yer alan mevsimlik su taşıyan akarsular tarafından derin vadiler oluşturmuşlardır.

Çalışma alanı sınırları içerisinde bulunan önemli yükseltiler; Küçükçal Tepe (1777 m), Kömürkırın Tepe (1732 m) ve Ziyaret Tepedir (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı sınırları içerisinde Karadeniz ile İç Anadolu arasında bir geçiş iklimi gözlenmektedir. İlçede kışları soğuk ve kar yağışlı yazlar sıcak ve kuraktır. Karların erimesi nisan ayının ortalarına kadar sarkıp, bahar yağışları da hazirana kadar uzanmaktadır. İlkbaharda karların erimesi ve yağmurların başlamasına paralel olarak akarsu debilerinde artış gözlenmektedir (Özdemir 2012).

Çalışma alanında bazı yerlerde hiçbir ticari değeri olmayan fındık da yetişir. Bölgenin en önemli ormanları Tohumluk, Zilovacık, Çalgan, Boyluca ve Aralıktepe ormanlarıdır. Yayla düzlüklerinde geniş otlaklar uzanır. Gavur Dağları eteklerindeki otlaklar, büyükbaş hayvancılık için büyük önem arz etmektedir. Ekili tarımda en fazla, tahıl ürünleri yer

almaktadır. Sulanabilir alanlarda patates, fasulye, şeker pancarı ve karalahana tarımı yapılmaktadır.

Çalışma alanında Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Alucra meteoroloji istasyonuna ait son 10 yılın (2012-2022) rasatlarının ortalamasına göre yıllık toplam yağış 468 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 8°C'dir. Ortalama yağış değerlerinin en yüksek olduğu ay 68 mm ile Mayıs, en düşük olduğu ay 14 mm ile Temmuz ayı; sıcaklık değerlerinin en fazla olduğu ay 19 °C ile Ağustos ayı, en düşük olduğu ay -4°C ile Ocak ayıdır (Tablo 1).

Tablo 1. Alucra Meteoroloji istasyonuna ait yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri (2012-2022)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ortalama Yağış (mm)	42	27	52	42	68	63	14	17	25	44	33	41	468
Ortalama Sıcaklık (°C)	-4	-1	2	8	12	16	18	19	15	9	3	-2	8

1.5. Önceki Çalışmalar

Alucra ve çevresinde farklı amaçlara hizmet edecek birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan bu araştırmaya yönelik çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Bu çalışmalar genel jeoloji, jeomorfoloji, hidrojeoloji, yapısal jeoloji gibi alanları içermektedir.

Erguvanlı (1950); Şebinkarahisar ve Mesudiye bölgesinin jeolojisi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Bölgenin karakterize birimi olan jipsler üzerinde çalışmalar yapıp yaş tayininde bulunmuşlardır. Birimin yaşını Oligosen olarak tayin etmişlerdir.

Nebert (1961) ; Şiran Güneybatısı ve Kelkit Çayı kuzeyi yöresinin yöresini incelenmiş olup, Berdiga kireçtaşlarının oluşturduğu senklinal yapıların incelenmesi jeotektonik açıdan önem teşkil ettiği belirtilmiştir. Çalışma alanının yapısal jeoloji açısından incelendiğinde iki ana unsura ayırmış olup, Mesozoik kayaçların çalışma alanının üçte ikisini kapladığı gözlenmiştir.

Orkun (1972); Şebinkarahisar bölgesinde bulunan uranyum rezervi üzerine çalışmışlardır. Çalışma sonucu ekonomik açıdan yeterli olmadığı ortaya konuşmuştur.

Pelin (1977); Alucra yöresi çalışmalarında, Alt Kretase yaşlı masif kireçtaşının tabanında fosfatlı bir seviyenin bulunduğu ve bu devirde derin deniz değil, sığ bir şelf ortamının olduğunu belirtmiştir. Bölgede petrol ana kayası fasiyesinin gelişmediğini belirtmiştir.

Tokel (1977); Gümüşhane- Alucra- Şebinkarahisar- Gölköy yörelerinde yaptığı çalışmada, yörede büyük kütleler şeklinde bulunan andezit ve dasit türü kayalarda yaş tayini yaparak bu birimlerin yaşlarını Lütésiyen olarak belirlemiştir.

Güner ve ark. (1985); Giresun, Gümüşhane, Sivas ve Erzincan yörelerinde yaptıkları 1800km² olan inceleme sahasında, 1/25.000 ölçekli jeolojik harita alımı ve maden prospeksiyonu yapmışlar ve yeni zuhurlar tespit etmişlerdir.

Yılmaz ve ark. (1985); Yukarı Kelkit Çayı yöresinde yaptıkları jeolojik çalışma ile alanın 1/500.000 ölçekli haritasını yeniden yaparak, alanın jeolojik özellikleri hakkında yeni veriler elde edilmiştir.

Bektaş (1986); Doğu Pontid ark- arkgerisi bölgelerinde paleostres dağılımı ve çok safhalı riftleşme üzerinde çalışmıştır.

Kırmacı (1992); Alucra- Gümüşhane- Bayburt Doğu pontidlerin güney zonunda bulunan Üst Jura- Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının sistematik örnekleriyle mikroskop altında incelenmesi yapılmıştır. Berdiga kireçtaşlarının farklı litofasiyeslerde geliştiği ortaya koyulmuştur.

Şaşmaz ve Sarıoğlu (1994), Şebinkarahisar (Giresun) yöresinde bulunan İnler Yaylası bölgesinde Pb-Zn damarları oluşumu ve bu oluşum fay zonlarıyla ilişkisi üzerinde çalışmışlardır. Pb- Zn yataklarının Üst Kretase volkanitleri içerisinde geliştiğini ve geniş bir faz zonu içerisinde cevherleştiğini ortaya koymuşlardır.

Güner ve ark (1989), yayınladıkları MTA raporunda, Şebinkarahisar ve Suşehri arasındaki bölgede 1/25000 ölçekli harita yapılması ve yörede yaşlandırma faaliyetlerini sürdürmüşlerdir.

Karakaya ve Diğ. (2001); Doğu Pontidlerin kuzey bölümünde çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışma alanında Üst Kretase – Paleosen yaşlı granitoidler ve Üst Kretase yaşlı Şaplıca volkanitleri üzerinden gelişen hidrotermal alterasyon incelemişlerdir.

MTA Genel Müdürlüğü (2002); tarafından yayımlanan 1/500.00 ölçekli Giresun jeoloji haritasında, alanının jeolojisi hakkında bilgi verilmiştir.

Akkuş vd. (2005), Türkiye’de bulunan jeotermal kaynaklar hakkında çalışmalar yapmıştır. “MTA Genel Müdürlüğü Jeotermal Envanteri adlı çalışmada 25 °C ve daha yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar hakkında bilgiler verilmiştir.

İnan (2006); Oligo-Miyosen yaşlı Şebinkarahisar formasyonunda şev duraysızlarını incelenerek, bölgenin iklimiyle bağlantılı olarak ol yağış ve karların erimesiyle artan su basıncından dolayı kütle hareketleri incelenmiştir.

Özdemir (2009); Bu çalışmada Alucra (Giresun) mevkiindeki kaya şevlerinin duraylılıkları araştırılmış olup oldukça kırıklı ve çatlaklı olan kayaların süreksizlik özellikleri incelenmiştir.

Hatipoglu Temizel (2014), (Erzurum) jeotermal sistemi üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Jeotermal rezervuar üzerinde örneklemeler yaparak, jeolojik, hidrokimyasal, hidrojeolojik verilerle birlikte akışkan akımının modellenmesini ortaya koymuştur. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisine göre suyun kökeni meteorik olarak belirlemiştir.

MTA Genel Müdürlüğü ve Giresun İl Özel İdaresi (2015); Yapılan çalışmada jeotermal kaynak ve Hayran sıcak su kaynağının ve çevresinin jeolojik-jeofiziksel olarak incelenmesine dair rapor hazırlanmıştır.

Güler (2020); Gümüşhane- Giresun (Şiran- Alucra) sınırında yapılan bu çalışmada Eosen yaşlı sedimanter istif içerisinde dayklar ve sil olarak bulunan bazaltik andezitlerin petrojenezi, yerleşim zamanı ve jeodinamik ortamı incelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları, Temmuz 2023, Ekim 2023 ve Nisan 2024 tarihlerinde yerinde su ölçümleri ve örnekleme çalışmaları ile jeolojik çalışmalar şeklinde gerçekleştirilmiştir. Bölgede daha önce yapılmış olan 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları, çalışmanın amacına yönelik olarak yeniden düzenlenmiş, çalışma alanı sınırları içerisinde kalan formasyonlardan kayalık örnekleri alınmıştır. Saha çalışmaları sırasında Hayran jeotermal alanında sıcak, soğuk ve yüzey sularının yerleri belirlenmiştir. İnceleme alanında önceki çalışmalardan da yararlanılarak bu kaynaklara yakın tektonik ve jeolojik yapılar göz önünde bulundurularak örnekleme yapılacak noktalar tespit edilmiştir. Hayran jeotermal sahasında (Şekil 3) tespit edilen yüzey sularında, sıcak kaynak suyunda ve soğuk sulara sıcaklık, pH, TDS (toplam çözünmüş madde miktarı), Eİ (elektriksel iletkenlik), ÇO (Çözünmüş oksijen) ve tuzluluk gibi parametreler yerinde taşınabilir ölçüm cihazı (dijital HACH-HQ40D) ile ölçülmüştür. Ölçümler sırasında, tampon çözeltilerle günlük kalibrasyonlar yapılmış ve her ölçümden önce ve sonra probalar saf su ile yıkanmıştır.

Polietilen şişelerle alınan örnekler ağır metal analizi için ultra saf nitrik asit eklenerek pH değerinin 2'nin altına düşmesi sağlanmıştır. Alınan su örneklerinin içerisinde bulunan elementlerin çökmesi ya da polietilen örnek kabına tutulması riski ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 3. Hayran jeotermal sahasındaki sıcak kaynak çıkış noktasından bir görünüş

Çalışma alanında jeotermal, yeraltı ve yüzey sularından yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları; majör iyon analizleri üç dönem (Temmuz 2023, Ekim 2023 ve Nisan 2024) yapılmıştır, iz element analizleri tek dönem (Ekim 2023), $\delta^{18}\text{O}$, δD , ve trityum izotop analizleri iki dönem (Temmuz 2023 ve Ekim 2023) olacak şekilde yapılmıştır. Örnekleme işlemi 1 adet sıcak su kaynağı (ASK), 2 adet soğuk kaynak suyundan (HK ve HM) 2 adet yüzey suyundan (HDA ve HDY) olmak üzere toplam 5 noktadan gerçekleştirilmiştir. Sularda örnekleme işlemi yapılırken $\delta^{18}\text{O}$, δD ve trityum izotop analizleri için 1L, iz elementler için 100 mL'lik, majör iyon analizleri için 500 mL'lik çift kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Katyon ve iz element analizleri için örneklere ultra saf nitrik asit eklenip sudaki elementlerin çökmesi ya da kaba tutulmaları engellenmiştir. İnceleme alanında yer alan kayaçların mineralojik-petrografik özelliklerini belirlemek için çevre kayaçlarından kayaç örnekleri alınmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanından kayaçların petrografik tayini için alınan örneklerin ince kesitleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Müh. Böl. ince kesit hazırlama laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu kesitlerin mineralojik-petrografik çalışmaları polarizan mikroskopta yapılmıştır. Örneklenen suların kimyasal ve izotopik analizleri hizmet alımı olarak yaptırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Hayran sıcak su kaynağı ve çevresinden alınan su örnekleri
Sularda majör iyon, $\delta^{18}\text{O}$, δD ve trityum analizleri DSİ Laboratuvarında, majör iyon analizleri iyon kromatografi ve titrimetri (CO_3 ve HCO_3 için) teknikleri ile

gerçekleştirilmiştir. Sularda iz element konsantrasyonları Actlabs (Kanada)'da 6 Natural Waters+B grubunda inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) ile belirlenmiştir. Su numunelerinin yük denge hatası $\leq \pm 5\%$ ile kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir.

2.2. Büro Çalışmaları

Literatür araştırması yapılarak Hayran jeotermal sahasına ait genel bilgiler elde edilmiştir. Sahanın jeoloji haritası önceki çalışmalarda kullanılarak yeniden hazırlanmıştır. Jeotermal sahanın topografik ve jeolojik haritası ArcGIS (Arcmap 10.3) programında sayısallaştırılmıştır. Bu altlık haritalar ile çalışma alanının sayısal yükseklik modeli ve jeoloji haritası yapılmış, örnek alım noktaları harita üzerine işlenmiştir. AquaChem 2014.2 programı kullanılarak incelenen suların kimyasal özellikleri yorumlanmış, PHREEQC yazılımı ile mineral dengesi-doygunluk indisi değerlendirmesi yapılmıştır.

Jeotermal sahanın rezervuar sıcaklığının hesaplanmasında kullanılabilecek uygun jeotermometreler belirlenip (katyon, silika ve izotop) ilgili hesaplamalar yapılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen topografik, jeolojik ve hidrojeolojik haritalar, örnek noktaları gibi tüm veriler sayısal formata dönüştürülüp CBS ortamına işlenmiş ve elde edilen sonuçlar ile Hayran (Giresun) Jeotermal sisteminin kavramsal modeli oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

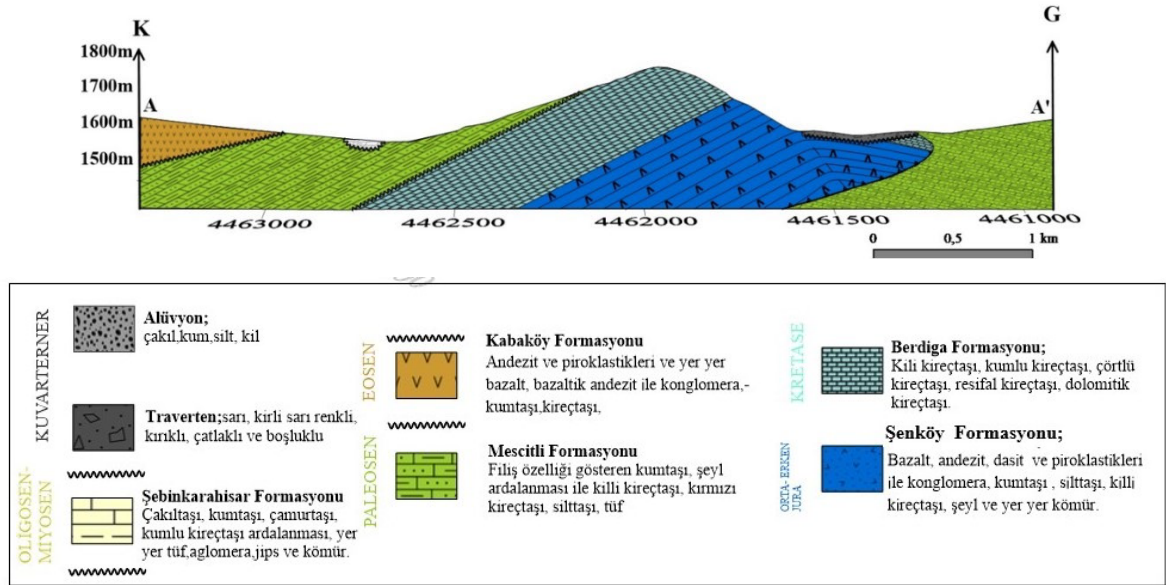
3.1. Genel Jeoloji

3.1.1. Giriş

Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kıvrım Kusağı Türkiye'nin tektonik birlikteliklerdir. Karadeniz kıyı dağları ile Marmara, Ege kıyılarını ve Karaburun yarımadasına kadar uzanan Kuzeybatı Anadolu bölgesi olarak tanımlanır. Anatolidlerin büyük bir kısmını da içerisine almaktadır. (Ketin,1951). Pontidler bölgede Doğu Pontidler, Orta Pontidler ve Batı Pontidler olarak üçe ayrılmaktadır. Doğu Pontidler, Karadeniz'e paralel olarak uzanıp 500 km uzunluğunda ve 100 km eninde dağ zincirlerinden oluşmaktadır. İnceleme alanı, Doğu Pontid birliği içerisinde yer almaktadır.

İnceleme alanının içinde yer aldığı Alucra ilçesinin genel jeolojik yapısı, bölgedeki diğer yerlerle benzerlik göstermektedir. Alucra'nın temelini oluşturan köken kayalar, genellikle metamorfik ve magmatik kayalardan oluşur. Bu kayalar, jeolojik süreçlerle değişime uğramış ve genellikle yüksek basınç ve sıcaklık altında şekillenmiştir. Alucra'da birçok sedimanter kayaç (kumtaşları, kilitaşları ve kireçtaşları) birimi bulunmaktadır. Bu kayalar genellikle jeolojik tarih boyunca tortul çökellerin birikmesiyle oluşmuştur. Diğer taraftan sahada yaygın olarak volkanik kayalar da (andezit, bazalt ve tüf) bulunur. Bu kayalar, eski volkanik patlamalar sırasında lav akıntıları ve püskürmelerle oluşmuştur. Bölge, birçok tektonik faaliyetin etkisi altında kalmıştır ve dolayısıyla farklı tektonik birimler barındırır. Faylar, kıvrımlar, kırıklar ve diğer yapısal unsurlar, Alucra'nın jeolojisini şekillendiren önemli faktörlerdir. Alucra'nın genel jeolojisi, yerel jeolojik süreçlerin yanı sıra bölgesel tektonik hareketlerin de sonucudur. Bu nedenle, bölgenin jeolojisi karmaşık ve çeşitlidir, ancak aynı zamanda doğal kaynaklar ve jeotermal potansiyel gibi önemli özelliklere sahiptir.

Hayran jeotermal sahasında bulunan birimler yaşlıdan gence doğru; Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu (Jh), Orta-Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (JKb), Üst Kretase- Paleosen yaşlı Mescitli Formasyonu (Kpm), Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu (Tek), Oligosen-Miyosen yaşlı Şebinkarahisar Formasyonu (Tmş), Kuvarterner yaşlı Travertenler (Qtr) ve Alüvyonlar (Qal) dır. (Şekil 5-Şekil 6 ve Şekil 7).



Şekil 7. Hayran (Alucra-Giresun) alanının jeoloji haritasından alınmış A-A' kesiti

3.1.2. Şenköy Formasyonu (Jh)

Şenköy Formasyonu ilk kez Kandemir (2004) tarafından isimlendirilen volkano-tortul bir istifdir. Birim andezit, bazalt türü kayalar ve bunların piroklastikleri ile kumtaşı, silttaşı, kilitaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Çalışma alanında bulunan en yaşlı birimdir. Çalışma alanında kömürlü seviyelerde grimsi siyaha yakın renktedir. Diğer birimler ise pembemsi kahverengi olarak görülmektedir. Hayran sıcak su kaynağının yakınlarında kırmızı kireçtaşı bloklar şeklinde gözlenmektedir. Çalışma alanında birimin tabanı izlenmemektedir. Şenköy Formasyonu genellikle fazla eğimli olmayan tepelerde yüzeylenmiştir. Çalışma alanında Hayran Kaplıcası sıcak su kaynağı civarında dar bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil 8).

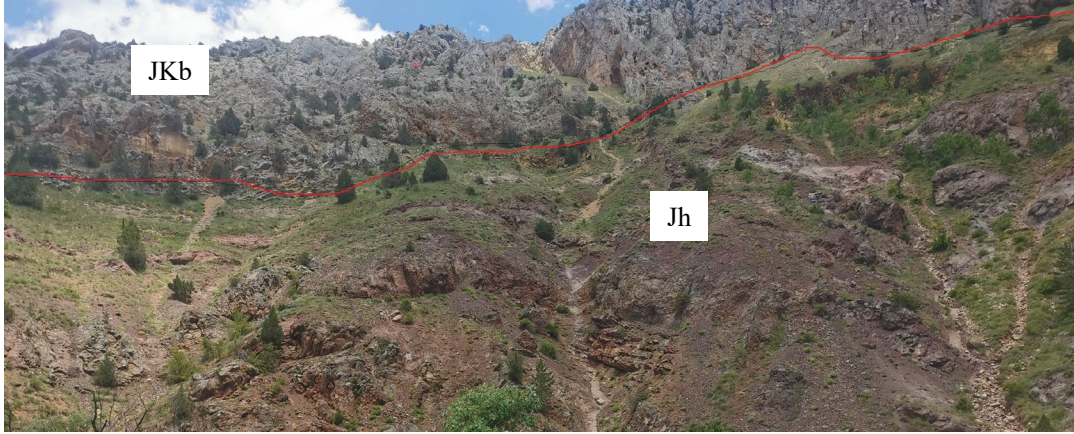


Şekil 8. Aktepe Köyü civarında Şenköy formasyonuna ait kireçtaşlarının arazi görünümü

3.1.3. Berdiga Formasyonu (JKb)

Berdiga Formasyonu Pelin (1977) tarafından isimlendirilmiştir. Birim Doğu Pontidlerin güney zonunda (Gedikoğlu ve ark. 1979) geniş alanlarda yüzeylemektedir. Formasyon, denizel, kıyısal veya göl ortamlarında birikmiş tortulları yansıtır. Birim genellikle grimsi ve sarı tonlarında genel olarak killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı, resifal kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin içerisinde kırıklı çatlaklı ve karstik özellikler gösteren seviyelere rastlanmaktadır. Berdiga Formasyonu Hayran Kaplıcası çevresinde Küçükçal Tepe, Kömürkıran Tepe ve Yunus Tepe’de yüzeylemektedir (Şekil 9). Berdiga Formasyonu, çeşitli tortul süreçlerle oluşmuş ve depolanmıştır. Bu formasyonun içerdiği kayaçlar, içerisinde yaşayan organizmaların kalıntılarını ve tortul birikimlerin izlerini taşıyabilmektedir. Berdiga Formasyonu'nun jeomorfolojisi, genellikle kıvrımlı ve eğimli arazilerle karakterizedir. Bu formasyonun yüzey özellikleri, erozyon, tektonik hareketler ve diğer jeolojik süreçler tarafından şekillenmiştir.

Formasyonun yaşı Orta-Üst Jura-Alt Kretase olarak belirlenmiştir (Yılmaz ve ark.1985). Birimin kalınlığı arazide 350 m’den 600 m’ye kadar gözlenmektedir.



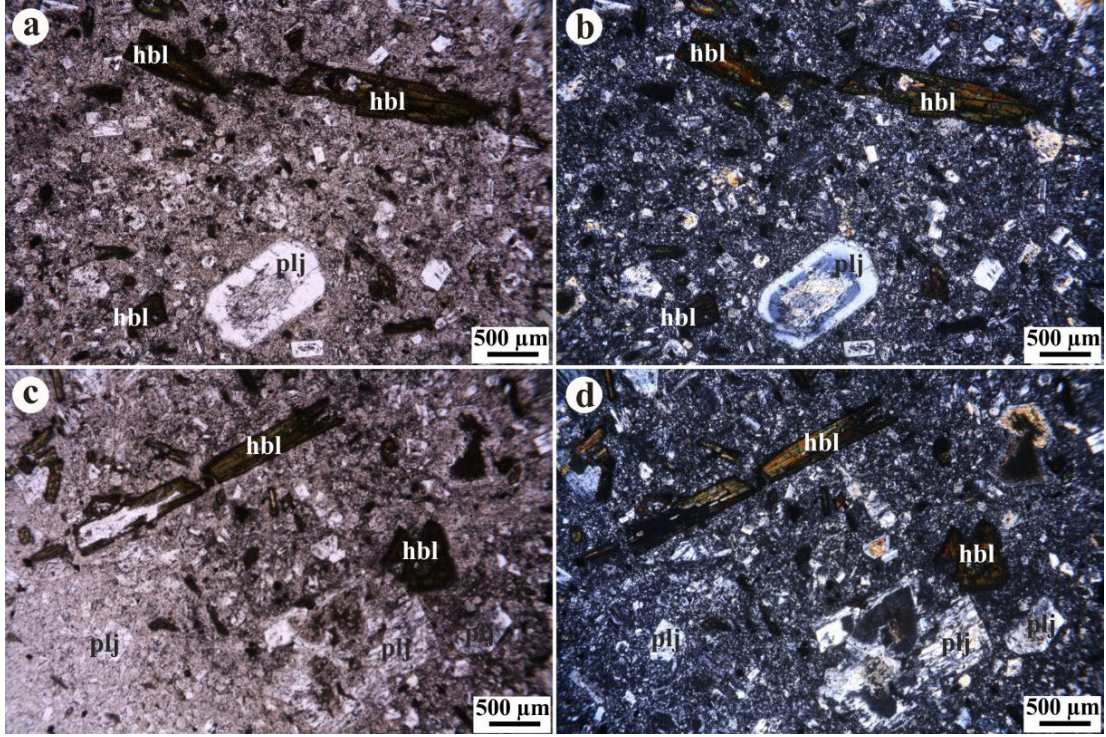
Şekil 9. Çalışma alanında, Berdiga Formasyonu ve Şenköy Formasyonu'nun dokanağı

3.1.4. Mescitli Formasyonu (KPm)

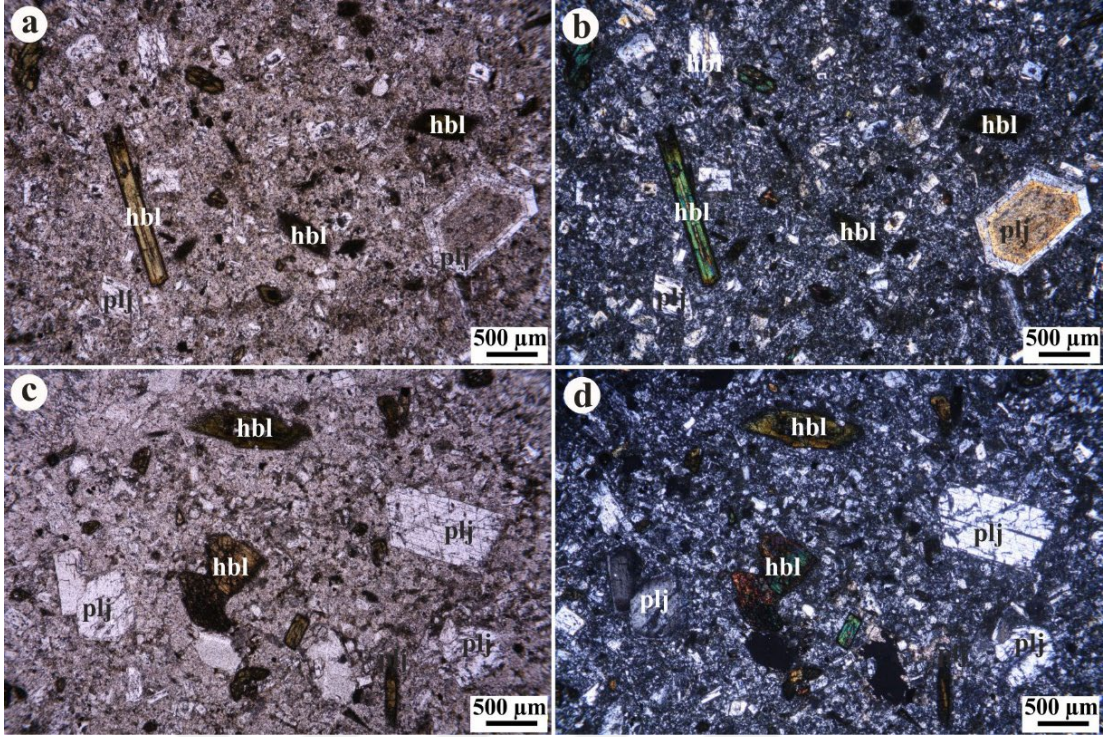
Mescitli Formasyonu ilk kez Tokel (1977) tarafından Kermutdere formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Daha sonra Fliş fasiyesi çökelleri özelliğinde olan ve Doğu Pontidlerin Güney Zon'unda bulunan formasyon Güven (1993) tarafından Mescitli formasyonu olarak tanımlanmıştır. Mescitli formasyonu kalın bir istif olup Berdiga Formasyonu üzerine uyumlu olarak gelir. Kırmızı ve bordomsu renklerdeki kil içerikli kireçtaşları formasyonun tabanında yer alıp üs kısımlara doğru grimsi marn ve şeyl killi kireçtaşı-kumtaşı ardalanması ile devam eder. Kimi sahalarda bu ardalanmaların içerisinde ince tüfit tabakaları ile volkanitler ve piroklastitleri de gözlemlenir. Mescitli formasyonu, derin denizel ortamında çökelmiş bir istiftir ve genellikle volkano-tortul bir fliş karakteri sunar. Formasyonun yaşı Turoniyen-Paleosen dir (Güven, 1993).

Bu volkano-tortul istifin değişik kesimlerinden alınan hem volkanik kayaçların hem de tortul kayaçların petrografik incelemesi yapılmıştır. Volkanik kayaçlardan alınan örneklerin genel olarak hornblend andezit ve andezit oldukları tespit edilmiştir. Bu kayaçlar genel olarak hyalo-mikrolitik, hyalo-mikrolitik porfirik dokuya sahiptir. Plajiyoklas, hornblend ve opak mineraller kayaç içerisindeki fenokristal ve mikrofeno-kristalleri oluşturmaktadır (Şekil 10 ve 11). Plajiyoklas genellikle mikrofeno-kristaller halinde olup (Şekil 10 ve 11) çapraz nikolde gri-beyaz renklerde, tek nikolde renksizdirler. Mikrofeno-kristaller daha çok kısa latalar şeklindedir. Özşekilli çoğu plajiyoklas fenokristali albit ikizi gösterir. Bazı kısımlarda zonlu, yarı özşekilli plajiyoklas fenokristallerinin merkez kısımlarında sünger dokusu gözlenmektedir (Şekil 10 ve 11). Hornblend fenokristal şeklinde ve hamurda mikrotaneler olarak bulunmaktadır (Şekil 10 ve 11). Genellikle fenokristaller

özşekilli ve yarıözşekilli, çoğunlukla uzun latalar ve daha küçük prizmatik şekilde gözlenirler (Şekil 10 ve 11). Mikrofenokristaller yarı özşekillidir. Pleokroizması x=sarımsı yeşil, z=açık sarı yeşildir. Bazı fenokristal ve mikrofenokristaller çoğunlukla kenarlarından itibaren opaklaşmıştır (Şekil 10 ve 11).



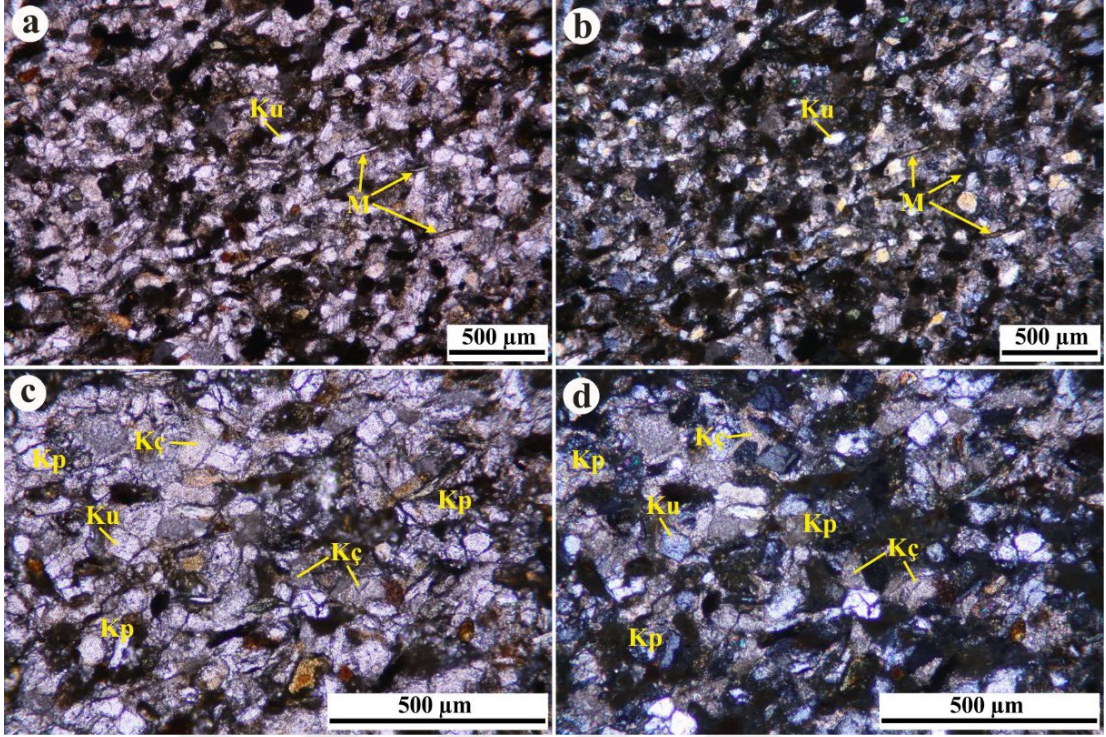
Şekil 10. Volkanitleri oluşturan mikrolitik porfirik dokuya sahip hornblend andezitin mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; c, d: çapraz nikol; x2.5; Örnek No: HD-3; Plj: plajiyoklas, Hbl: hornblend)



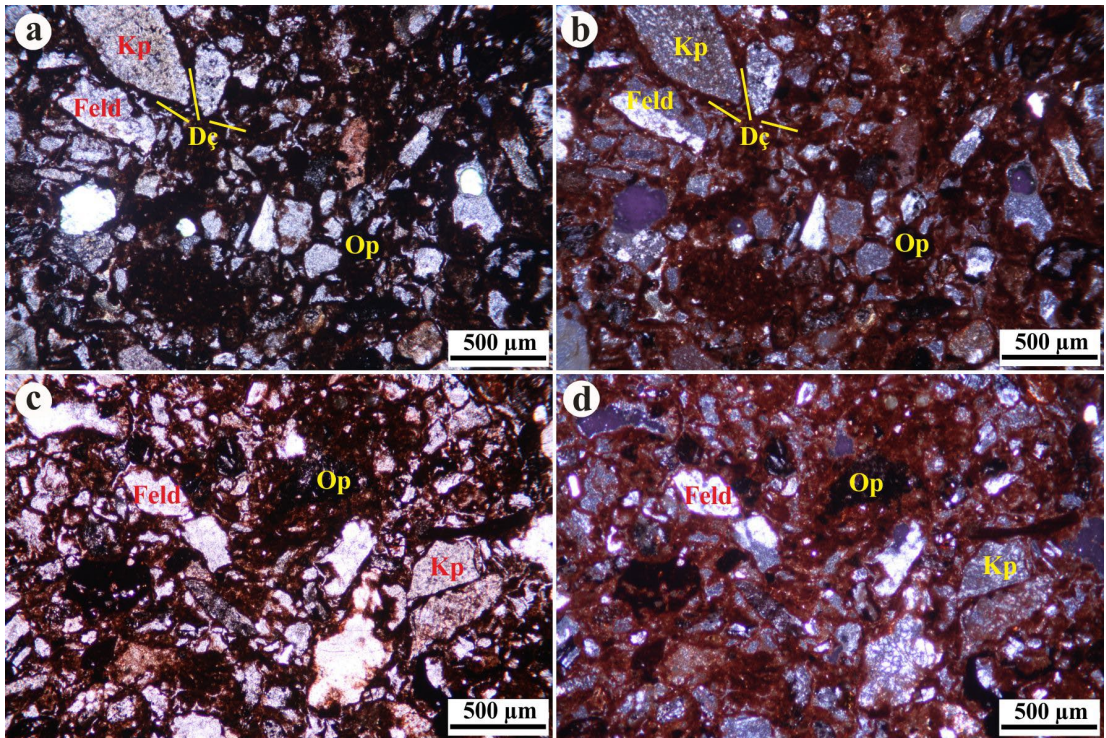
Şekil 11. Volkano-sedimanter birimi oluşturan volkanitlere ait mikrolitik porfirik dokuya sahip hornblend andezitin mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çapraz nikol; x2.5; Örnek No: HD-6; Plj: plajiyoklas, Hbl: hornblend).

Volkano-tortul istife ait sedimanter kayaçlardan alınan örneklerin petrografik incelemesinde genel olarak ince taneli litik kumtaşı ve litik kumtaşı oldukları tespit edilmiştir. İnce taneli litik kumtaşı örneğinde (HD-4) bağlayıcıyı kalsit çimento oluşturmaktadır (Şekil 12). Bağlayıcı oranı %20 olarak belirlenmiştir. Bileşen olarak; %30 kuvars, %10 feldispat ve %60 kayaç parçası gözlenmiştir (Şekil 12). Gözlenen kayaç parçaları, baskın olarak tortul kayaç parçalarından ve çok daha az oranda ise magmatik ve metamorfik kayaç parçalarından oluşmaktadır. Aksesuar olarak (<%10) mika mineralleri ile opak mineraller bunlara eşlik etmektedir (Şekil 12).

Litik kumtaşı örneğinde (HD-2) bağlayıcıyı demir çimento oluşturmaktadır (Şekil 13). Bağlayıcı oranı %30 olarak belirlenmiştir. Bileşen olarak; %5 kuvars, %15-20 feldispat ve % 75-80 kayaç parçası gözlenmiştir (Şekil 13). Kayaç parçalarını, tamamen magmatik kayaç parçaları oluşturmaktadır. Kayaç içerisinde yaygın olarak opaklaşmış kayaç parçaları ile opak mineraller gözlenmiştir. Kalsit mineralleri genellikle boşluk dolgusu şeklinde gelişmiştir (Şekil 13).



Şekil 12. Volkano-sedimanter birimi oluşturan tortul kayaçlara ait ince taneli litik kumtaşının mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çapraz nikol; a, b= x5, c,d= x10; Örnek No: HD-4; Ku: kuvars, M: mika, Kp: kayaç parçası; Kç: kalsit çimento).



Şekil 13. Volkano-sedimanter birimi oluşturan tortul kayaçlara ait litik kumtaşının mikrofotograf görüntüleri (a, c: tek nikol; b, d: çapraz nikol; x5; Örnek No: HD-2; Feld: feldispat, Op: opak mineral; Kp: kayaç parçası; Dç: demir çimento).

3.1.5. Kabaköy Formasyonu (Tek)

Doğu Karadeniz Bölgesinde, oldukça geniş bir alana yayılmış olan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu ilk kez Güven (1993) tanımlamıştır. Kabaköy Formasyonu, genellikle nehir veya göl ortamlarında biriktirilmiş tortullardan oluşur. Bu Formasyon, içerdiği kayaç türleriyle birlikte tortul süreçlerle biriktirilen malzemeleri ve içerisinde yaşayan organizmaların kalıntılarını yansıtabilmektedir.

Kabaköy Formasyonu'nun jeomorfolojisi, genellikle düz veya hafif eğimli arazilerle karakterizedir. Bu formasyonun yüzey özellikleri, erozyon, tortul süreçler ve diğer jeolojik etkiler tarafından şekillenmiştir.

Kabaköy Formasyonu, çalışma alanı içerisinde genellikle Karaköy Mahallesi kuzeyinde gözlenmektedir. Birim andezit ve piroklastiklerinden, yer yer andezit ve bazaltik volkanitlerden oluşmaktadır. Formasyonun tabanında bulunan gri ve sarımsı renkli kumtaşları ve kilaşları içerdikleri iri nummulitli ve organik malzemeli olmalarıyla karakterizedir.

Kabaköy Formasyonu Mescitli Formasyonu üzerine uyumsuzluk ile gelmektedir.

3.1.6. Şebinkarahisar Formasyonu (Tmş)

Şebinkarahisar Formasyonu daha önceki çalışmalarda “alacalı jips seri” (Güner ve ark 1989) ve Tamzara Formasyonu olarak tanımlanmıştır (Yılmaz 1995). İlkez Yılmaz ve diğ. (1985) tarafından adlandırılan Şebinkarahisar Formasyonunun yaşı Oligosen- Miyosen olarak kabul edilmektedir. Formasyon genellikle konglomera, kumlu kireçtaşı aralanması, silttaşı, yer yer tüf, çamurtaşı ve kömürden oluşan kayaçları çermektedir. Birim iyi tabakalanmış kırmızı, yeşilimsi renkte çökellerin istiflenmesinden dolayı alacalı bir görünüme sahiptir. Genellikle killi siltlerin görüldüğü seviyelerde kırmızı rengi hakimdir. Şebinkarahisar Formasyonu Kabaköy Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelmektedir.

3.1.7. Traverten (Qtr)

Travertenler, suyun içinde çözünmüş olan kalsiyum karbonatın çökmesiyle oluşur. Suyun içindeki karbonat iyonları, havaya çıktığında veya suda çözündüğünde, kalsiyum karbonatın çökmesine neden olur. Bu süreç, genellikle termal kaynaklardan çıkan suların yüzeye doğru hareket etmesi sırasında gerçekleşir. Hayran Kaplıcası sıcak su kaynağı

etrafında gözlenen traverten (Şekil 14). biriminin yaşı Kuvarterner olarak kabul edilmektedir.



Şekil 14. Sıcak su kaynağının Hayran Deresi'ne döküldüğü güzergahta oluşan Travertenler

3.1.8. Alüvyon (Qal)

Çalışma alanı genellikle dağlık arazilere, yüksek vadilere ve dik yamaçlara sahip olduğu için alüvyonların oluşumuna elverişli bir bölgedir. Çalışma alanı birçok akarsu ve dere tarafından şekillendirilmiştir. Bu akarsular, yüksek dağlardan gelen suları taşıırken taşıdıkları malzemelerle vadiler boyunca alüvyonların oluşumunu sağlamaktadır. Kuvarterner yaşlı birim çalışma alanında çok az bir kesimde gözlenmektedir. Birim genellikle yeşil, sarımsı ve açık kahve tonlarında tortul malzeme kırıntıları karışımından oluşmaktadır. Kum, çakıl, kil, silt ve organik malzeme gibi çeşitli tortul bileşenleri içerir. Bu bileşenlerin miktarı, akarsuların kaynaklarına ve taşıma kapasitesine bağlı olarak değişebilmektedir.

3.2. Yapısal Jeoloji

Bölgenin jeolojik yapısı Kretase'den itibaren, Kuzey Anadolu Dağlarının oluşumuna bağlı olarak şekillenmeye başlamıştır. Orojenez hareketleri Eosen'de de devam etmiştir. Bölgenin tektonik kuşak halinin netleştiği Miyosen'de Kuzey Anadolu Fay Zonu ve yakın çevresi Pliyosen' den itibaren çeşitli kırılmalar söz konusudur. Bu kırıklardan yüzeye yükselen lavlar, magma cepleri ve volkanik yapılar oluşturmuştur (Tüysüz, 1993).

Hayran sıcak su kaynağı, Doğu Pontidlerin güney zonunda yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fay zonuna uzaklığı 29.77 km'dir. Sıcak su kaynağının bulunduğu alan KAFZ'na yakın olması sebebiyle sahada yer alan kayalar genellikle kırık, çatlak ve süreksizlik içermektedir. Hayran sıcak su kaynağı ve çevresinde volkanik kayalarda bulunmaktadır. İnceleme alanında yer alan Şebinkarahisar Formasyonu'nun tabaka kalınlıkları 10-15 cm ile 1.5-2 m arasındadır. Arazi ölçümlerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda tabaka duruşları büyük çoğunlukla K30D/15GD şeklinde konumlanmıştır. Berdiga kireçtaşlarına ait tabaka konumlanma ise, K52D/65KB olarak ölçülmüştür. Tektonik açıdan aktif olan bölgede, fay ve birçok antiklinal-senklinel yapıları gözlenmekte olup sahada yapılan önceki çalışmalarda kıvrım eksenleri K52D olarak ölçülmüştür. Faylar incelendiğinde yönelimler KD-GB yönlü olup bindirme ve doğrultu atımlı olarak saptanmıştır (Tüysüz 1993).

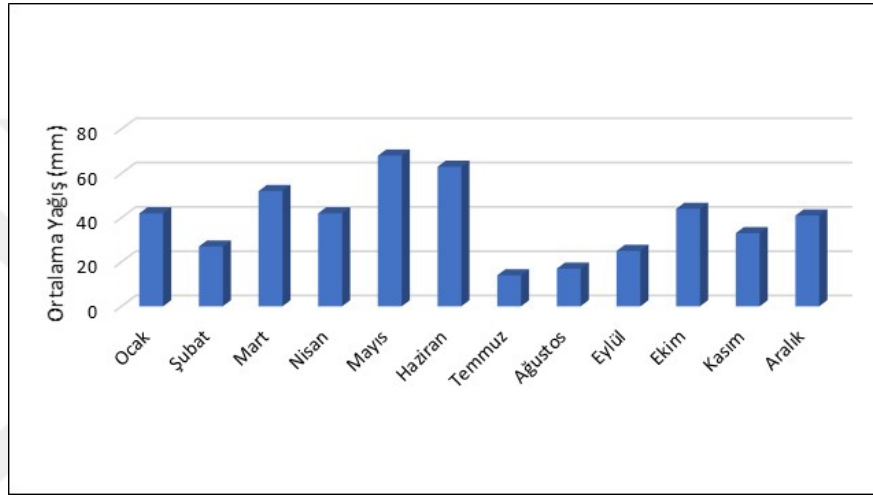
3.3. Hidroloji

Hidrolojik döngü suyun atmosfer, karalar ve okyanuslar arasındaki sürekli bir şekilde dolaşımıdır. Su döngüsü açık bir sistem olup güneş enerjisiyle desteklenmektedir. Su döngüsü ekosistemlerin işleyişi, iklim ve hava durumu, tarım ve insan faaliyetleri gibi birçok doğal süreci etkilemektedir (Ward ve Trimble, 2003).

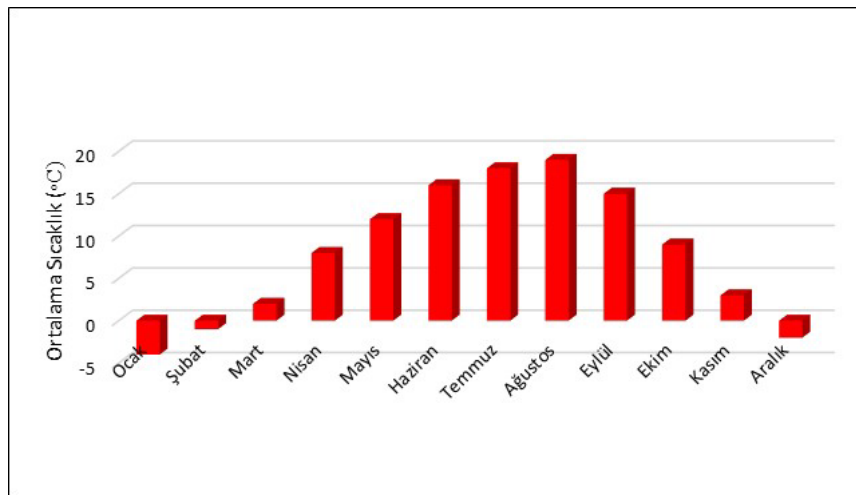
Güneş enerjisiyle yüzeydeki su buharlaşır ve atmosfere yükselir. Atmosfere yükselen su buharı, soğuyunca yoğunlaşarak bulutları oluşturur. Bulutlar, yağış (yağmur, kar, dolu veya çığ) olarak yeryüzüne geri döner. Yağış, yeryüzünde akarsular, göller ve okyanuslar gibi su kütlesi oluşturan yüzey sularında birikir. Bu su, yerçekimi etkisiyle akar ve akarsu yataklarında, nehirlerde ve göllerde akışını sürdürür. Yeryüzüne düşen suyun bir kısmı da toprakta süzülür ve yeraltı sularını oluşturur. Bu sular, yeraltında akiferlerinde birikir ve kuyular, çeşmeler ve yeraltı akarsuları aracılığıyla yüzeye ulaşır. İnceleme alanında hidrolojik döngünün elemanları meteorolojiden alınan 2012-2022 yılları arası yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak hesaplanmıştır

3.3.1. Yağış ve Sıcaklık

Çalışma kapsamında yağış ve sıcaklık verileri 2012-2022 yılları arasında olup Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır (Şekil 15 ve 16). Bu veriler kullanılarak Alucra İlçesi'nin yağış ve buharlaşma-terleme durumu ortaya konulmuştur. Alucra ilçesinin 2012-2022 yılları arası ortalama yıllık toplam yağış miktarı 468 mm'dir. Elde edilen verilere göre Alucra ilçesinin en yüksek yağış miktarı Mayıs ayında olup 68 mm olarak kaydedilmiştir. En düşük yağış miktarı ise 14 mm ile temmuz aylarında kaydedilmiştir (Şekil 15)



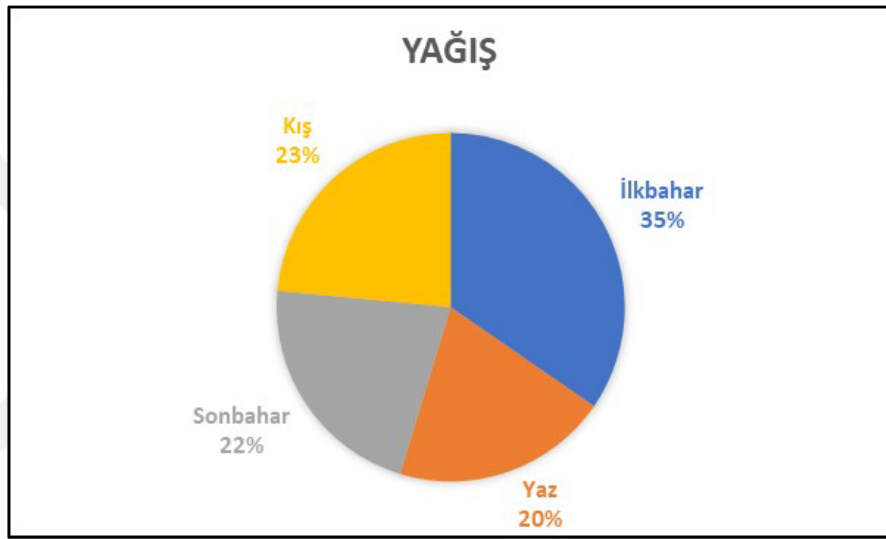
Şekil 15. Alucra Meteoroloji İstasyonu'nda 2012-2022 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi



Şekil 16. Alucra Meteoroloji İstasyonu'nda 2012-2022 yılları arasında ölçülen sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi

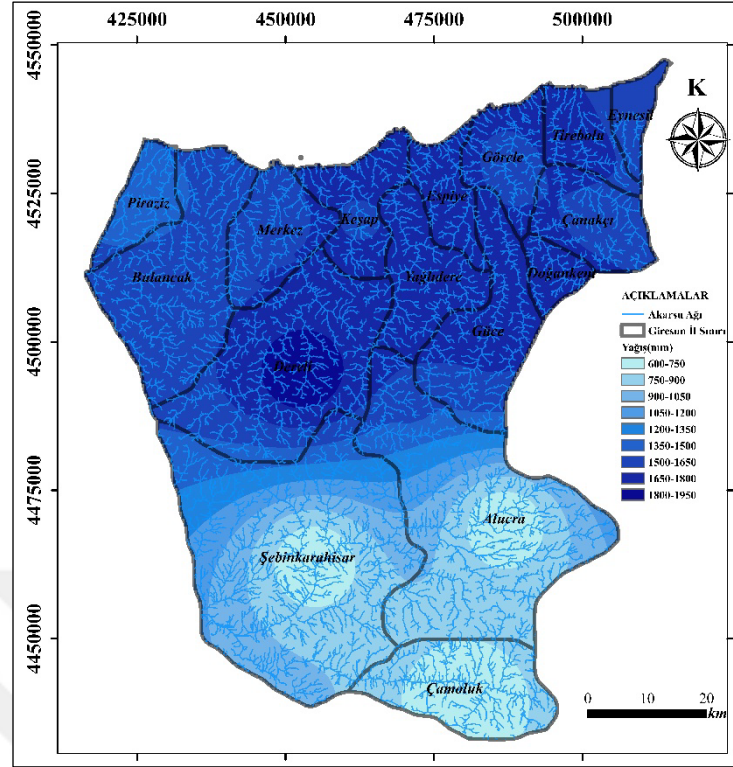
Alucra (Giresun) MGM'den alınan verilere göre yıllık ortalama sıcaklık 8 °C'dir. Yazları kurak ve sıcak, kışları ise kar yağışlı, soğuk ve don olayı gözlenmektedir. Çalışma alanının en sıcak ayları Ağustos olmakla birlikte, sıcaklığı ortalama 19 °C'dir. En soğuk ay ise ortalama -4 °C ile Ocak ayıdır (Şekil 16).

Alucra (Giresun) meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre aylık yağış verilerinin mevsimsel dağılımı Şekil 17.'de verilmiştir. Grafikte dağılım; %35 İlkbahar, %23 Kış, %22 sonbahar ve %20 yaz mevsiminde gerçekleşmiştir.

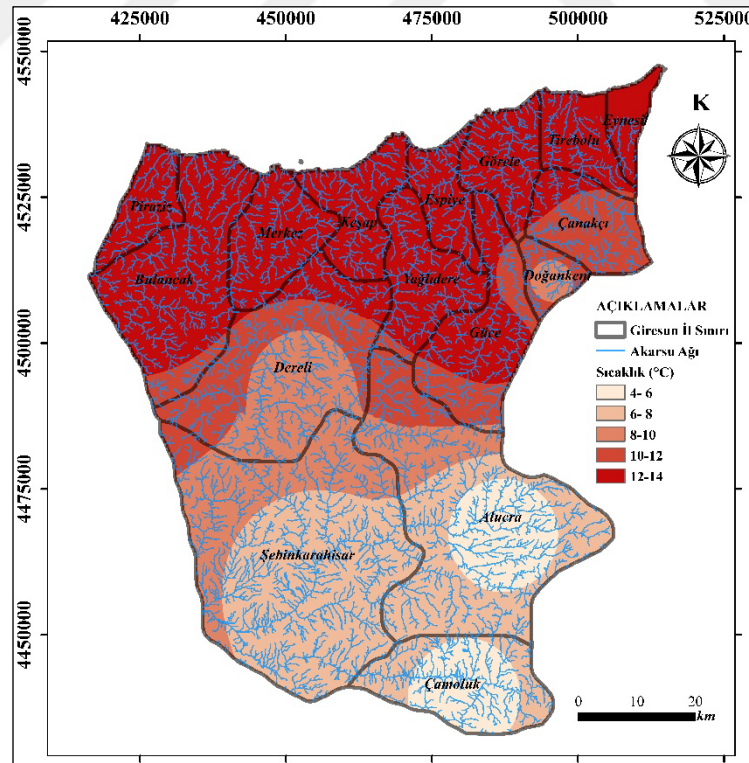


Şekil 17. Alucra (Giresun) 2012-2023 yıllarına ait mevsimlere göre yağış yüzdeleri

Giresun-Alucra ilçesi ve çevresinde yağış ve sıcaklık dağılımları ise Şekil 18 ve Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 18 .Giresun ili, ilçelerinin 2012-2022 yılları verilerine göre yağış dağılım haritası



Şekil 19. Giresun ili, ilçelerinin 2012-2022 yılı sıcaklık verilerine göre sıcaklık dağılım haritası.

[illegible]

Alucra İlçesi'nde Etp değeri 580.22 mm ve Etr değeri 391.77 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Alana düşen yağışın yaklaşık %84'ü buharlaşma- terleme ile atmosfere tekrar geri dönmektedir. Ekim, kasım, aralık ocak şubat ve mart aylarında yağış değeri Etp'den fazladır. Ocak, şubat ve mart ayları da su fazlası görülmüştür. Nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında yağış miktarı Etp miktarından daha az olup Etr'nin oluşabilmesi için faydalı topraktaki su rezervi kullanılmıştır. Ağustos ve eylül aylarında rezervde su bulunmamaktadır ve yağış Etr'ye eşittir. Ekim, kasım ve aralık aylarında yağış Etp'den fazla olup fazla yağış miktarı topraktaki su rezervini tamamlamak için kullanılmaktadır (Tablo 2).

3.4. Hidrojeoloji

Dünyada sürekli dolaşım halinde olan su yağış şeklinde yeryüzüne ulaştığı zaman bir miktarı yeraltına süzülerek değişik ortamlarda yeraltısuyunu oluşturur. Suyun geriye kalan diğer kısmı da yüzey sularını oluşturacak şekilde akışa geçer. Suyun bu dolaşımı sırasında jeolojik malzemeler ile ilgili karşılıklı ilişkilerini inceleyen bilim hidrojeoloji olarak tanımlanır.

Yapılan çalışmanın bu bölümünde Hayran sıcak su kaynağı ve yakın çevresinde yer alan akursu ve kaynaklar hidrojeolojik bakımdan araştırılmış ve elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

3.4.1. Formasyonların Hidrojeolojik Özellikleri

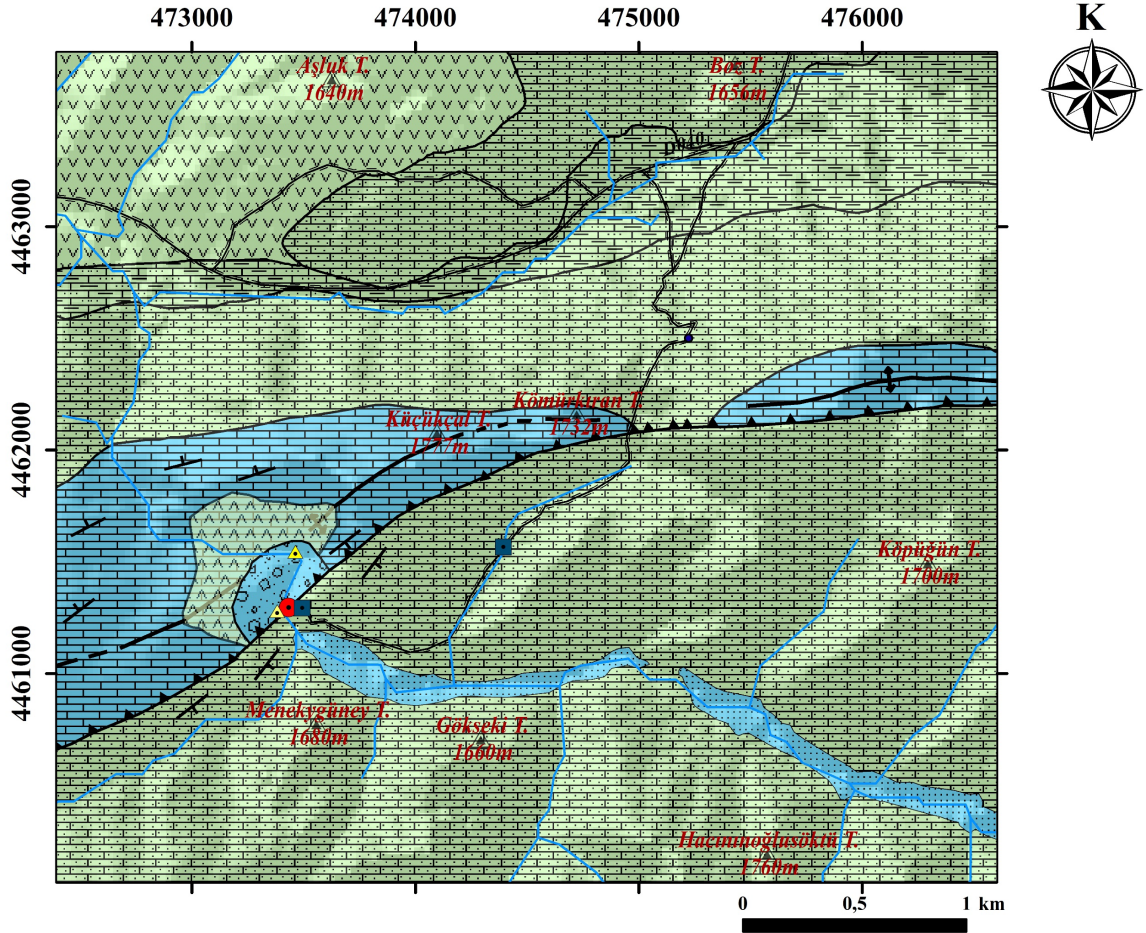
Hayran sıcak su kaynağının bulunduğu bölgede bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitleri ile konglemera, kumtaşı, silttaşı killi kireçtaşı şeyl ve yer yer kömür birimlerinden oluşan Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu (Jh), yarı geçirimlidir. Orta-Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (JKb) oluşturan kireçtaşları geçirimli özelliktedir. Filiş özelliği gösteren kumtaşı şeyl aralanmaları ile killi kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı silttaşı ve tuf özelliğinde kayalardan oluşan Üst Kretase- Paleosen yaşlı Mescitli Formasyonu (Kpm) yarı geçirimli özelliktedir. Andezit ve bunların piroklastitleri ile yer yer bazalt bazaltik andezit, konglemera, kumtaşı, kireçtaşı, killi kireçtaşı, tuf ve kömürlü seviyelerden oluşan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu (Tek) yarı geçirimli özelliktedir. Oligosen-Miyosen yaşlı Şebinkarahisar Formasyonu (Tmş) çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu kireçtaşı aralanmalı ve tuf, aglomera, jips ve kömür içermektedir. Bu kayaç

türlerinden oluşan Şebinkarahisar Formasyonu yarı geçirimli özelliktedir. Çalışma alanında en genç birimleri oluşturan Kuvarterner yaşlı Travertenler (Qtr) ve Alüvyonlar (Qal) geçirimli özelliktedir (Şekil 20).

3.4.2. Su Noktaları

3.4.3. Akarsular

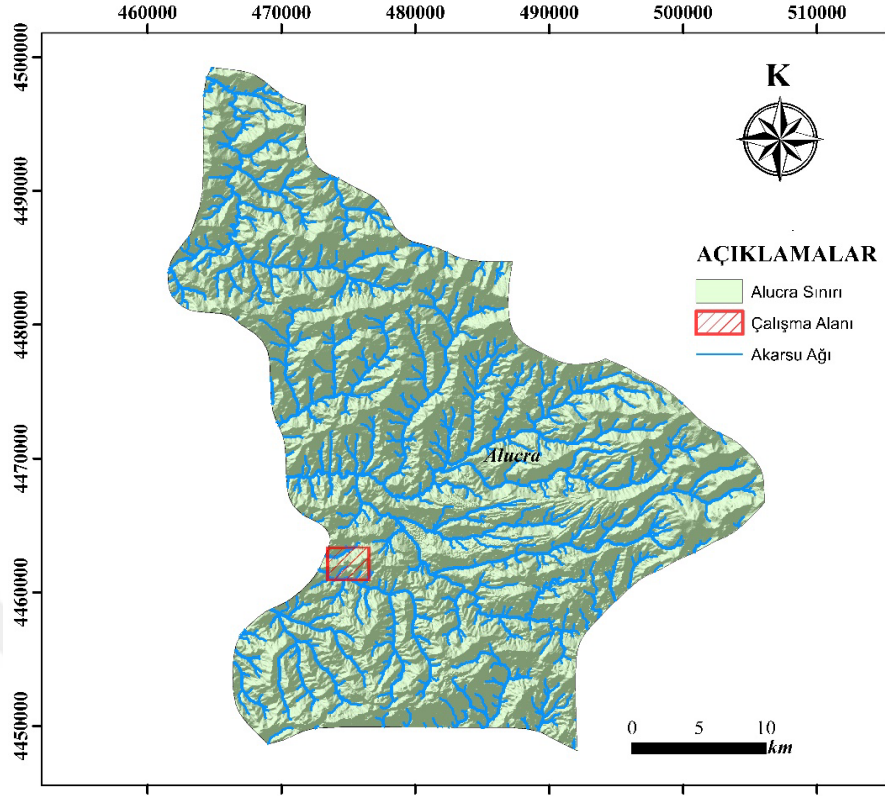
Alucra ilçesinde iklim Karadeniz ikliminden karasal iklime geçiş özelliği göstermektedir. İlçede yer alan yüksek rakımlı dağlarda (Gavur Dağları vb.) bulunan karların erimesiyle akarsu debileri ilkbahar aylarında en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Alucra ilçesinde irili ufaklı çok sayıda akarsu bulunmaktadır (Şekil 21). Çalışma alanı yakın çevresinde yer alan ve debisi en yüksek olan Bağırsak Deresi Kelkit Çayı'nın Alucra ilçesinden geçen bir koludur. Hayran sıcak su kaynağı, Bağırsak Deresi'nin güney kolu olan Hayran Deresi orta kısmında bulunmaktadır. Hayran Deresi yukarısı (HDY) ve aşağısından (HDA) yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 22).



AÇIKLAMALAR

KUVARTERNER		Alüvyon	(Geçirimli)
		Traverten	(Geçirimli)
OLIGOSEN-MİYOSEN		Şebinkarahisar Formasyonu	(Çakıltı, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu kireçtaşı ardalanmalı ve tuf, aglomera, jips ve kömür) (Yarı Geçirimli)
EOSEN		Kabaköy Formasyonu	(Andezit ve bunların piroklastitleri ile yer yer bazaltik andezit, konglomera, kumtaşı kireçtaşı killi kireçtaşı tuf ve kömürlü seviyeler) (Yarı Geçirimli)
ÜST KRETASE-PALEOSEN		Mescitli Formasyonu	(Filiş özelliği gösteren kumtaşı şeyl ardalanmaları ile killi kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı silttaşı ve tuf) (Yarı Geçirimli)
ORTA-ÜST-JURA-ALT KRETASE		Berdiga Formasyonu	(Kireçtaşları) (Geçirimli)
ERKEN-ORTA JURA		Şenköy Formasyonu	(Bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitleri ile konglomera, kumtaşı, silttaşı killi kireçtaşı şeyl ve yer yer kömür) (Yarı Geçirimli)

Şekil 20. Hayran jeotermal sahasının hidrojeoloji haritası



Şekil 21. Alucra ilçesi ve yakın çevresinin akarsu ağı haritası



Şekil 22. Hayran Deresi aşağısı (HDA) ve yukarısı (HDY) görünümü ve örnekleme

3.4.4. Soğuk Su Kaynakları

Hayran sıcak su kaynağının yer aldığı Aktepe Köyü ve çevresinde volkanik ara seviyelerden oluşmuş tortul özellikteki kayalar yer almaktadır. Birincil gözeneklilikleri düşük olan, diğer taraftan çatlaklar şeklinde ikincil gözenekliliğe sahip olan bu kayalar

çoğunlukla çörtlü, killi ve kumlu kireçtaşlarıdır. İnceleme alanında yeraltısularını bu çatlaklardan yeraltına süzülen sular oluşturmakta ve yağış sularından beslenen yeraltısuları çatlakların olduğu kısımlardan kaynaklar şeklinde hem mevsimsel hem de sürekli akış şeklinde yüzeye boşalmaktadır. Bu su boşalmaları yakın çevrelerinde yer alan yerleşimlerin ve hayvancılıkla uğraşan kesimlerin su ihtiyacı için kullanılmaktadır. Hayran sıcak su kaynağının güneydoğusunda (HK) ve kuzeydoğusunda (HM) yer alan üzerinde çeşmesi olan ve sürekli akışa sahip soğuk su kaynaklarından yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. İnceleme alanında ölçüm ve örnekleme yapılan soğuk su kaynak çıkışları; HK (a) ve HM (b)

3.4.5. Sıcak Su Kaynağı

Hayran (Giresun) jeotermal sahası Alucra İlçesi'nin 5 km kuzey batısında yer alan Aktepe Köyü Belençayır Mahallesi'nde yer almaktadır. İnceleme alanının tek sıcak su çıkışı olan Hayran Deresi üzerinde bulunan sıcak su kaynağı (ASK), çevresinde traverten çökelimleri oluşturarak 24-28 °C sıcaklık ve 6-10 L/sn debili (Sarp ve diğ., 2015) ile yüzeye boşalmaktadır (Şekil 24). Bu kaynağın içerisinde yer aldığı jeotermal sistem Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun kuzeyinde, Pontidler içerisinde yer almaktadır. Kuzey-Güney yönlü sıkışma kuvvetlerinin etkisi altında kalan çalışma sahasında bindirme ve antiklinal yapıları oluşmuştur (Sarp vd., 2015). Jeotermal sahada yapılan önceki çalışmalarda bölgede K-G yönlü sıkışma sonucu oluşmuş KB-GD doğrultulu bir antiklinal olduğu belirlenmiştir (Sarp vd., 2015). Bu çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmaları sonucunda da sahada en yaşlı birim olan Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu'nun Hayran kaplıcası yakınında

yeraldığı ve jeoloji haritasından elde edilen enine kesitlerden de jeotermal kaynağın yüzeye ulaştığı kesimde bu antiklinal yapısının varlığı belirlenmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Hayran jeotermal su kaynağı (ASK) yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları

3.5. İnceleme Alanındaki Suların Hidrokimyasal Özellikleri

Hayran jeotermal sahasında yer alan sıcak su kaynağı ve çevresinde Sarp ve diğ. (2015) tarafından “Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahası Jeoloji ve Jeofizik Etüt Raporu” hazırlanmış ve sahada yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarının temel kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmada jeotermal sahadaki sıcak kaynak, soğuk kaynak ve yüzey sularından 2023-2024 yıllarında temmuz, ekim ve nisan aylarında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılarak incelenen suların hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen su örnekleri Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (DMSY-2004), Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266-2005), Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2011), Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY-2021) dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Jeotermal sahada sıcak su kaynağı (ASK), sıcak su kaynağının yakın çevresinde yer alan 2 adet soğuk su kaynağı (HM ve HK) ve Hayran Deresi üzerinden sıcak su boşalımının aşağı (HDA) ve yukarısında (HDY) kalacak şekilde seçilen 2 adet yüzey suyundan yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. İncelenen su örneklerinin konumlarına ait bilgiler Tablo 3’ de verilmiştir.

Tablo 3. Çalışma kapsamında örnekleme yapılan suların koordinatları

Örnek No	Koordinat (UTM)	Kot(m)
ASK (Sıcak su kaynağı)	473433-4461296	1544
HK (Soğuk su kaynağı)	443794-4461283	1550
HM (Soğuk su kaynağı)	474394-4461566	1618
HDA (Yüzey suyu)	473463-4461545	1533
HDY (Yüzey suyu)	473382-4461280	1540

Hayran jeotermal sahasında incelenen sulara ait yerinde ölçülen parametreler; sıcaklık (T), pH, çözülmüş oksijen (ÇO), toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) elektriksel iletkenlik (EI), ve tuzluluk ’dur. Kurak (Temmuz 2023), ara (Ekim 2023) ve yağışlı (Nisan 2024) mevsimleri temsil etmesi bakımından alınan örneklerin fizikokimyasal analiz sonuçları Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 4. Hayran jeotermal sahasında incelenen sulara ait fiziksel ve kimyasal özellikler

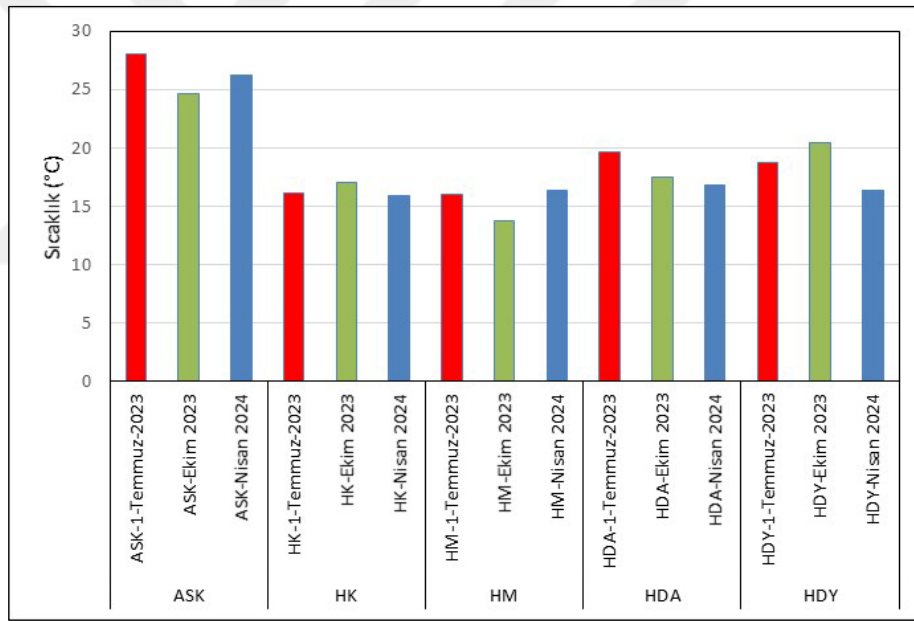
Parametreler	ASK (sıcak kaynak)			HK (soğuk kaynak)			HM (Soğuk kaynak)			HDA (yüzey suyu)			HDY (yüzey suyu)		
	Tem.23	Ek.23	Nis.24	Tem.23	Ek.23	Nis.24	Tem.23	Ek.23	Nis.24	Tem.23	Ek.23	Nis.24	Tem.23	Ek.23	Nis.24
Sıcaklık (°C)	28.1	24.6	26.2	16.1	17.1	15.9	16	13.7	16.4	19.6	17.5	16.8	18.7	20.5	16.4
pH	6.47	7.48	7.2	7.86	8.59	8.27	7.37	8.19	7.8	7.28	8.03	7.8	7.52	8.52	8.01
TDS (mg/L)	320	322	341	103.9	98.5	101.2	230	232	235	189.9	198.7	201.5	177.6	180.4	201.8
Eİ (µS/cm)	625	646	592	179.6	156.9	164.5	372	386	367	352	334	346	323	293	282
ÇO (mg/L)	2.84	4.09	3.78	7.54	8.33	7.85	4.56	5.24	4.78	7.21	8.32	7.81	7.3	8.8	8.5
Ca ⁺² (mg/L)	100.1	99.54	87.9	36.3	34.96	37.02	55	48	62.4		44.5	35.63		54.78	36.67
Mg ⁺² (mg/L)	24.6	24.4	26.5	4.85	5.33	5.62	14.5	14.86	8.87		10.51	9.31		10.12	9.01
Na ⁺² (mg/L)	9.85	11.06	10.00	2.5	2.04	7.53	5.45	6.70	7.56		9.13	7.54		7.98	7.80
K ⁺ (mg/L)	1.29	1.42	1.70	1.02	1.00	1.48	0.9	0.80	1.51		1.07	1.00		0.80	1.58
Cl ⁻ (mg/L)	4.10	4.64	4.70	1.07	7.55	7.65	6.32	6.64	7.57		5.80	8.61		3.63	7.49
SO ₄ ⁻² (mg/L)	13.5	15.05	13.4	3.45	3.75	3.00	7.81	9.31	10.0		10.75	11.0		8.95	7.00
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	377.40	396.70	400.3	118.40	135	109.64	225	237.3	245.5		175.83	130		201.5	150.40
F ⁻ (mg/L)	0.58	0.61	0.62	0.32	0.29	0.31	0.19	0.20	0.22		0.16	0.14		0.20	0.25
NO ₂ _N ⁻ (mg/L)		0.28	0.119		0.021	0.151		0.047	0.127		0.043	0.069		0.040	0.142
NO ₃ _N ⁻ (mg/L)		0.425	2.11		0.43	2.944		3.44	2.917		2.427	3.187		0.253	2.929
NH ₄ _N ⁺ (mg/L)		0.28	0.255		0.21	0.062		0.25	0.062		0.27	0.054		0.23	0.201
Top. Fos. (mg/L)		0.17	0.178		0.05	0.0594		0.062	0.066		0.052	0.059		0.050	0.052
SiO ₂ (mg/L)		13.04			7.05			15.18			15.18			15.61	
Tuzluluk (‰)	0.32	0.32	0.30	0.10	0.10	0.12	0.23	0.23	0.21	0.20	0.18	0.18	0.18	0.19	0.10

3.5.1. Suların Fiziksel Özellikleri

3.5.2. Sıcaklık (°C)

Yeraltı sularının sıcaklığı derinlik, yerel koşullar, iklim koşulları gibi birçok faktörden etkilenir. Su kaynaklarının sıcaklığının belirlenmesi, yeraltı ekosistemlerinin anlaşılması, jeotermal kaynakların değerlendirilmesi gibi birçok uygulamalarda önemlidir. İnceleme alanında sıcak su kaynağında (ASK), soğuk kaynak sularında (HK ve HM), ve yüzey sularında (HDA ve HDY) ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

İnceleme alanında ölçülen sıcaklıklara göre jeotermal suyun sıcaklığı 24.6-28.1 °C arasında, soğuk kaynak sularının sıcaklığı 13.7-17.1 °C ve yüzey su örneklerinin sıcaklık değerleri 16.4-19.6 °C arasında değişmektedir (Şekil 25).

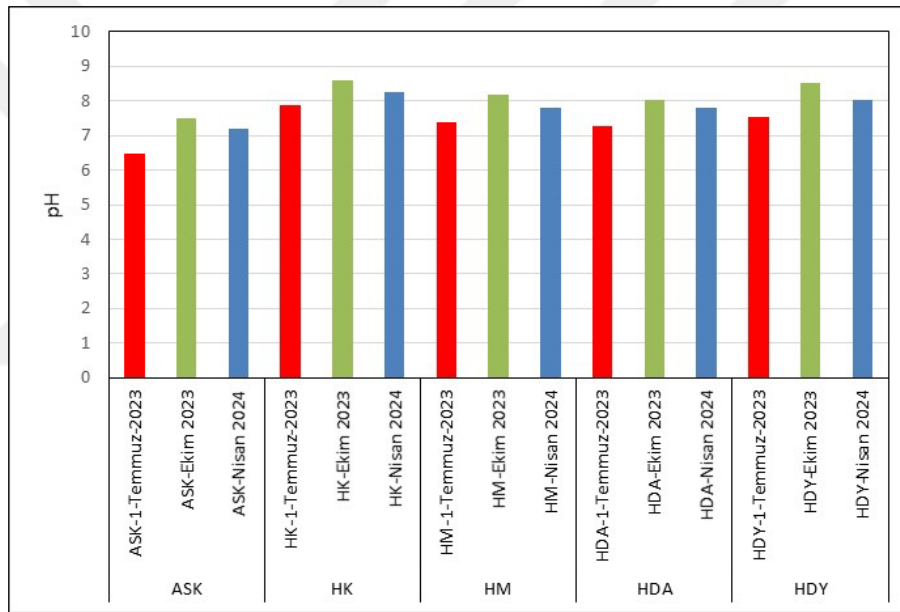


Şekil 25. Çalışma alanındaki suların mevsimlere göre sıcaklık değişimleri

3.5.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)

Suyun kimyasal yapısını ve içinde bulunan minerallerin çözünürlüğünü etkileyen pH seviyesi içme sularının kalitesini belirleyen önemli bir faktördür. Aşırı asidik veya bazik sular, insan sağlığı bakımından zararlı olabilir (Hem, 1985). Sulardaki bikarbonat, karbonat ve hidroksit suya bazik özellik kazandırırken karbonik asit, serbest mineraller ve asitler suya asidik özellik katarlar (Hem 1971). Suları kabuk bağlayıcı (yüksek pH) ve aşındırıcı (düşük pH) özellikte olması pH'a bağlıdır.

İnceleme alanında ölçülen pH değerleri jeotermal suda 6.47-7.48 arasında, soğuk kaynak sularında 7.37-8.59 ve yüzey sularında 7.28-8.52 arasında değişmektedir (Şekil 26).

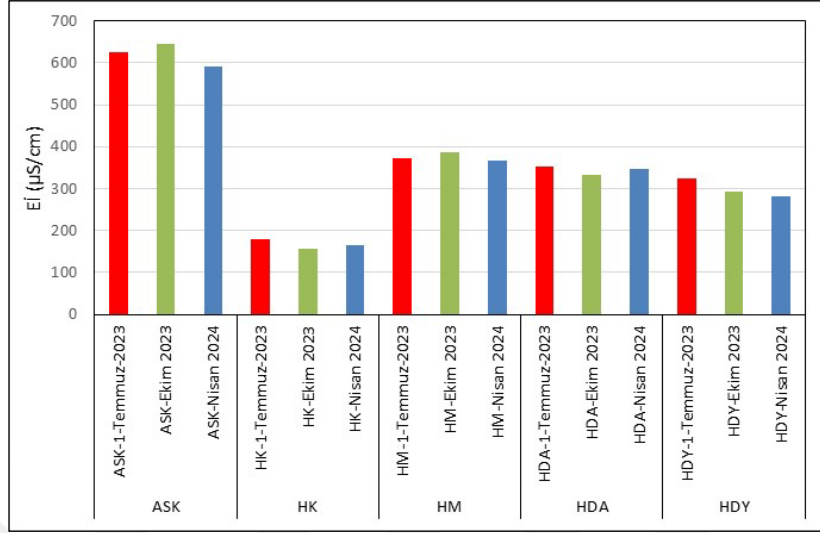


Şekil 26. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynakları, yüzey sularının dönemsel pH değişim grafiği

3.5.4. Elektriksel İletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik, bir sıvının elektrik akımını iletebilme yeteneğidir ve ölçüm birimi mikrosiemens santimetre ($\mu\text{S}/\text{cm}$)'dir. Suların elektriksel iletkenliği, TDS, pH, sıcaklık, mineral içeriği, iklim vb. faktörlere bağlı olarak değişebilir. Suyun Sıcaklığı ve TDS miktarındaki artış ile doğru orantı gösteren Eİ değerleri su ortamlarındaki toplam iyonların bir göstergesidir (Hem, 1985). İncelenen sularda ölçülen Eİ değerleri Şekil 27'de

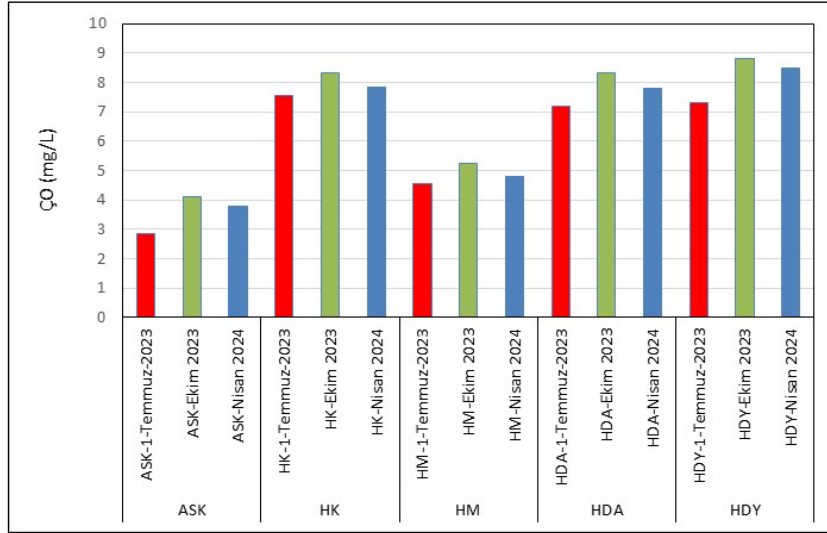
verilmiştir. Eİ değerleri jeotermal suda 592-646 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Soğuk su kaynaklarında 156.9-386 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve yüzey sularında 282-352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.



Şekil 27.Çalışma alanında örneklenen suların mevsimsel elektriksel iletkenlik (Eİ) değişimleri

3.5.5. Çözülmüş Oksijen (ÇO)

Sucul ortamlarda çözünebilen bir gaz olan oksijenin bu ortamlardaki kaynağının büyük bir kısmı atmosfer ve suda yaşayan canlılardır. Oksijenin suda çözünürlüğü sıcaklık ve tuzlulukla ters orantılıdır. Yer altı sularındaki oksijenin kaynağı doymamış bölgedeki hava hareketi ve yüzey sularından karışımdır (McNeely vd., 1979). İncelene sulardaki ÇO miktarı jeotermal sularda 2.84-4.09 mg/L, soğuk kaynak sularında 4.56-8.33 mg/L ve yüzey sularında 7.21-8.8 mg/L arasında değişmektedir (Şekil 28).

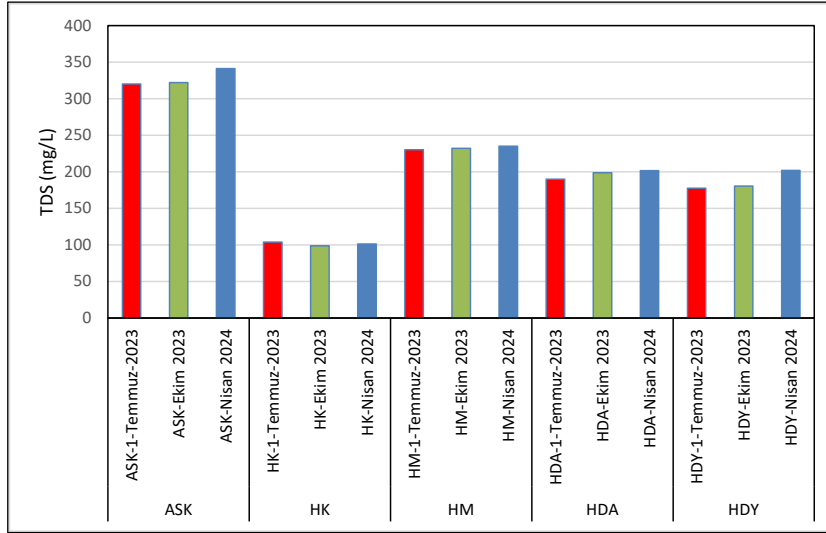


Şekil 28.Çalışma alanında örneklenen suların mevsimsel çözünmüş oksijen (ÇO) değişimleri

3.5.6. Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TDS)

Su kaynaklarındaki toplam çözünmüş madde miktarı (TDS), suyun içinde çözünmüş halde bulunan mineral ve tuzların toplam konsantrasyonudur. Suların TDS içeriği, suyun hidrojeokimyasal bileşimine ve suyun akış yolu boyunca temas ettiği kayalara bağlı olarak değişiklik gösterir. Jeotermal suların toplam çözünmüş madde miktarı, suyun jeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini yansıtır. Bu nedenle, jeotermal suların çözünmüş madde içeriğinin belirlenmesi, suyun kaynağı, akış yolu ve içerdiği mineraller hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu bilgiler, jeotermal suların hidrolojik özelliklerinin anlaşılmasına ve jeotermal kaynakların değerlendirilmesine yardımcı olur. Çalışma alanındaki sularda yapılan TDS ölçümleri Şekil 29’da verilmiştir.

İnceme alanında jeotermal sularda TDS değerleri 320-341 mg/L, soğuk kaynak sularında TDS değerleri 98.5-235 mg/L ve yüzey sularında 180.4-201.8 mg/L arasında değişmektedir.



Şekil 29. Çalışma alanında incelenen suların mevsimsel toplam çözünmüş madde (TDS) değişim grafiği

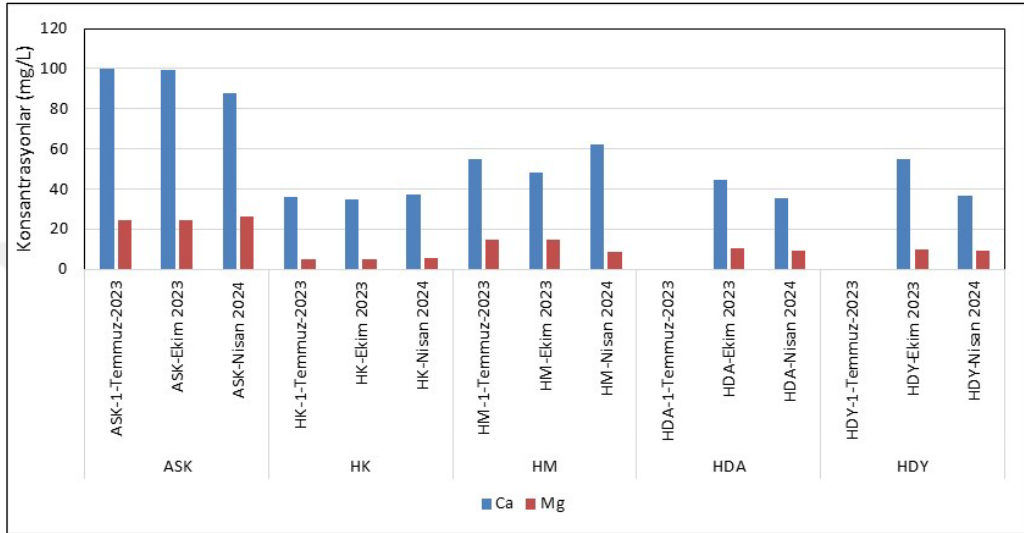
3.5.7. Suların Major İyon İçerikleri

Sularda Ca, Mg, Na ve K (katyonlar) ile Cl, SO₄ ve HCO₃ (anyonlar) %90 dan fazla bulunur ve bu iyonlar majör iyonları oluşturur. Sulardaki bu iyonlar ile akifer sistemlerinin karışım oranları ve suyun kökeni hakkında bilgi edinilebilmektedir.

3.5.8. Kalsiyum (Ca⁺²) ve Magnezyum (Mg⁺²)

Su ortamlarındaki kalsiyum karbonatlı kayalardaki minerallerin (aragonit, kalsit, jips, dolomit, anhidrit vb.) veya magmatik ve metamorfik kayalardaki minerallerin (pilajiyoklas, amfibol, piroksen vb.) suda çözünmesinden kaynaklanır. Kalsiyum konsantrasyonu sularda sıcaklık ve atmosfer basıncı ile artış gösterir (Hounsflow, 1995). Su kaynaklarındaki Magnezyum olivin, hornblend, ojit gibi magmatik kayaç minerallerinden, evaporit ve dolomitlerden ve serpantinleşmeden kaynaklanabilir (Nicholson, 1993). Çok yüksek sıcaklıklı jeotermal sularda Mg iyonunun alterasyon mineralleri tarafından soğrulması sonucu konsantrasyonu çok düşük seviyelere ulaşabilir. Sıcak sulardaki yüksek Mg konsantrasyonu ise soğuk su karışımını ve çevre kayalarla reaksiyona işaret eder (Doğan, 1981). TSE-266-2005 de sınır değerler Ca için 200mg/L ve Mg için 50 mg/l olarak belirlenmiştir. DMSY-2004’de Ca ve Mg iyonları için herhangi bir sınır değer verilmemiştir. İnceleme alanındaki jeotermal kaynakta (ASK) Ca konsantrasyonu; 87.9-100.1 mg/L arasında, soğuk kaynak sularında (HK ve HM) 34.96-62.4 mg/L ve yüzey sularında (HDA

ve HDY) 35.63-54.78 mg/L ölçülmüştür (Tablo 4). Mg konsantrasyonu ASK jeotermal su kaynağında 24.4-26.5 mg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında 4.85-14.86 mg/L ve HDA, HDY yüzey sularında 9.01-10.51 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 30). Soğuk kaynak sularında Ca ve Mg konsantrasyonları TS-266, 2005 standartına göre uygun sınırlar içerisinde.

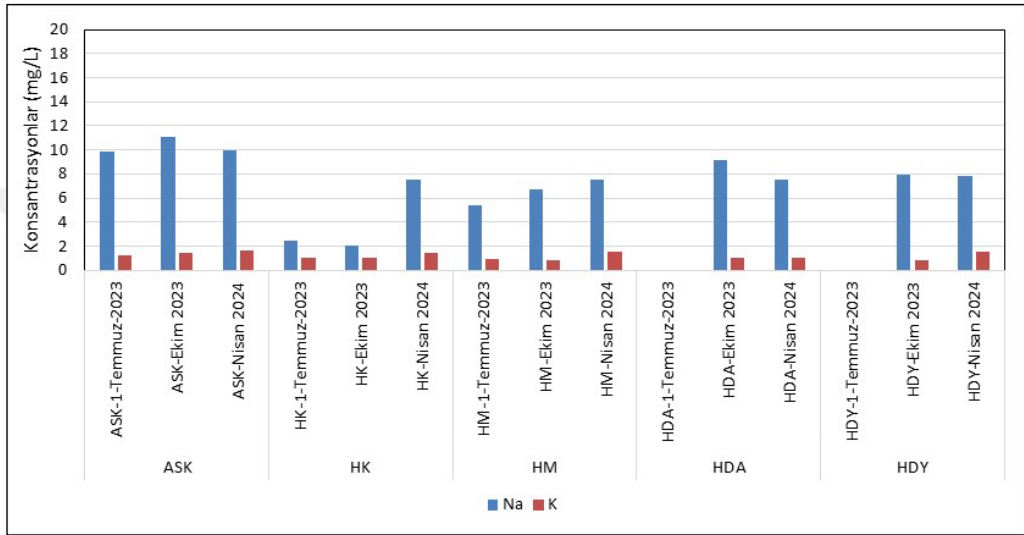


Şekil 30. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre Ca ve Mg değişimleri
İncelen su örneklerinden sıcak suyun yeraltında uzun ve derin dolaşımının bir sonucu olarak ASK örneğinde en yüksek Ca ve Mg konsantrasyonları ölçülmüştür.

3.5.9. Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Sulardaki sodyumun kaynağı plajiyoklasların ayrışması, silikat mineralleri, evaporitler ve magmatik kayalardır. Yer altı sularındaki Na konsantrasyonu pH'a suların akım hızına, kirlenmeye, kalsiyum iyon derişimi gibi etkenlere bağlı olarak değişebilmektedir (Doğan, 1981). Potasyumun kaynağı sedimanter kayalar, mikalar, feldispatlar, kil mineralleri dir. Doğal su kaynaklarında K en fazla 20mg/L ye ulaşabilirken jeotermal su kaynaklarında bu miktar 100 mg/L ye kadar çıkabilmektedir (Doğan 1981). Yüzeye çok hızlı olacak şekilde ulaşan sıcak sularda Na/K oranı düşük olur. Suların yatay hareketinin, kondaktif soğumanın ve yüzeyaltındaki reaksiyonun göstergesi yüksek Na/K oranlarıdır (Nicholson, 1993). İnceleme alanında ASK'da Na konsantrasyonu; 9.85-11.06 mg/L arasında, HK ve HM soğuk kaynak sularında 2.5-7.56 mg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 7.54-9.13 mg/L

ölçülmüştür (Tablo 4). K konsantrasyonu ASK jeotermal su kaynağında 1.29-1.70 mg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında 0.81-1.51 mg/L ve HDA, HDY yüzey sularında 1-1.58 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 31). Soğuk kaynak sularında Na ve K konsantrasyonları TS-266, 2005 standartına (Na ve K için izin verilen maksimum değer sırasıyla 175 mg/L ve 12 mg/L dir.) göre uygun sınırlar içerisinde. İncelen sulardaki Na ve K'un kaynağı sahada yer alan magmatik ve sedimanter kayaçlardaki minerallerdir.



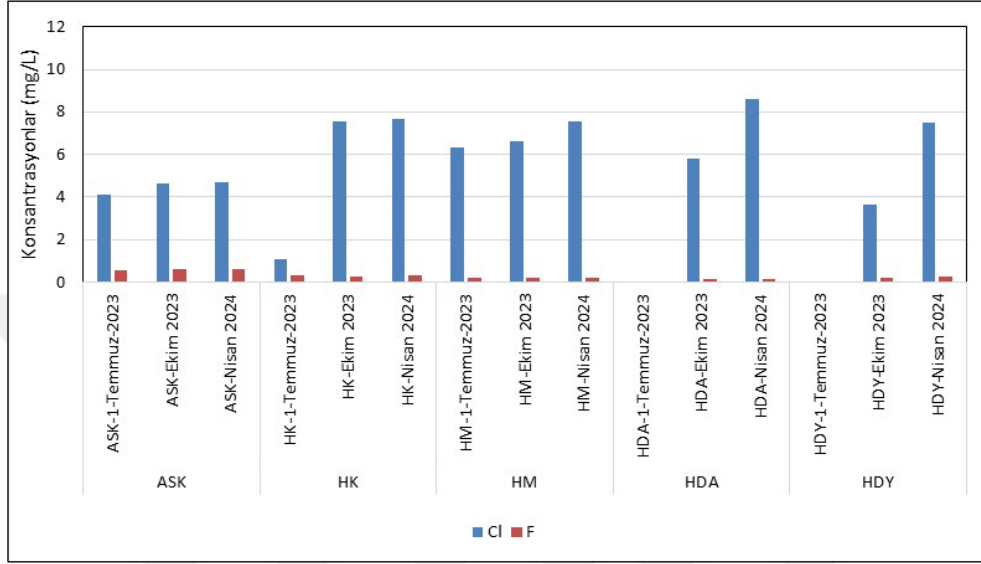
Şekil 31. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre Na ve K değişimleri

3.5.10. Klorür (Cl⁻) ve Florür (F⁻)

Klorür doğada en fazla tortul kayaçlarda ve magmatik kökenli minerallerde (biyotit, hornblend vb.) bulunmaktadır. Kirlilik olmadığı durumlarda klorür içeriği doğal sularda 10-20 mg/L arasında olur. Sıcak su kaynaklarında ölçülen yüksek seviyelerde klorür değerleri derinlerdeki rezervuara işaret ederken düşük klorür seviyeleri yeraltısuyunun seyrelmesini gösterir (Nicholson, 1993). Doğal sulardaki florürün kaynağı amfibol, apatit, florit ve mikadır. Sıcak sularda Florür konsantrasyonları çoğunlukla 10 mg/L den düşük olur. TSE 266-2005 de klorür için 600 mg/L Florür için 1.5 mg/l maksimum sınır değer verilmiştir. DMSY-2004'de Cl iyonu için herhangi bir sınır değer verilmemiş olup F için 5 mg/L sınır değer verilmiştir. YSKY-2021 de Florür için 1.5 mg/L sınır değer verilmiştir.

İnceleme alanında ASK'da Cl⁻ konsantrasyonu; 4.10-4.70 mg/L arasında, HK ve HM soğuk kaynak sularında 1.07-7.65 mg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 3.63-8.61 mg/L ölçülmüştür (Tablo 4).

F⁻ konsantrasyonu ASK jeotermal su kaynağında 0.58-0.62 mg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında 0.20-0.32 mg/L ve HDA, HDY yüzey sularında 0.14-0.25 mg/L olarak ölçülmüştür (Şekil 32). Bu değerler ile incelen tüm sular standartlara uygun aralıklarda Cl⁻ ve F⁻ konsantrasyonuna sahiptirler. Yüzey suları Florür bakımından YSKY-2021'e göre 1. Sınıf yüksek kaliteli su kategorisindedir.

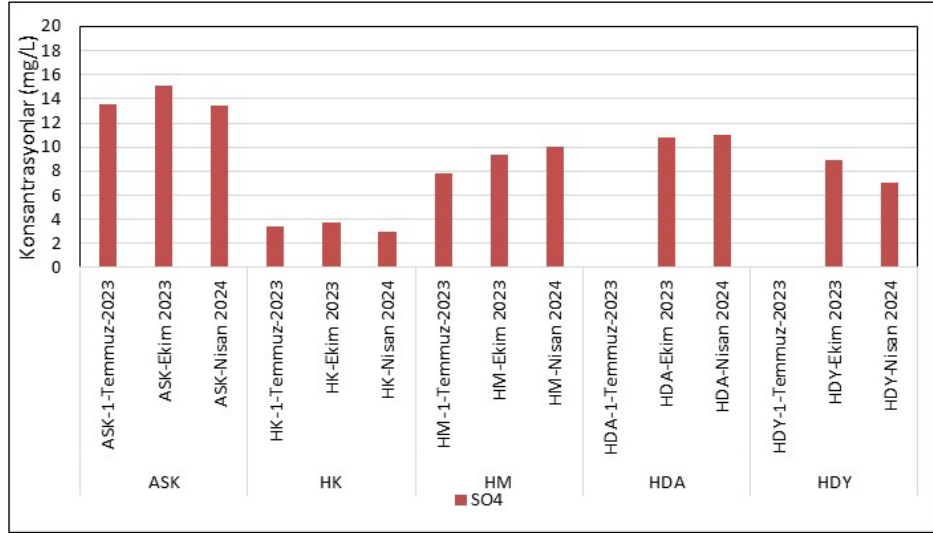


Şekil 32. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre Cl⁻ ve F⁻ değişimleri

3.5.11. Sülfat (SO₄⁻²)

Doğal sulardaki sülfatın kaynağı büyük oranda anhidrit ve jips mineralidir. Derin rezervuarlardan kaynaklanan jeotermal sularda SO₄⁻² konsantrasyonu 50 mg/L'den daha azdır. Hidrojen sülfürün oksidasyonu neticesinde sülfat miktarında artış gözlenebilir (Nicholson, 1993).

TSE 266-2005 de SO₄⁻² için 600 mg/L sınır değer verilmiştir. DMSY-2004'de SO₄⁻² iyonu için herhangi bir sınır değer verilmemiş verilmiştir. İnceleme alanında ASK'da SO₄⁻² konsantrasyonu; 13.4-15.05 mg/L arasında, HK ve HM soğuk kaynak sularında 3-10 mg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 8.95-11 mg/L ölçülmüştür (Şekil 33). Bu değerler ile incelen tüm sular standartlara uygun aralıklarda sülfat konsantrasyonuna sahiptirler.

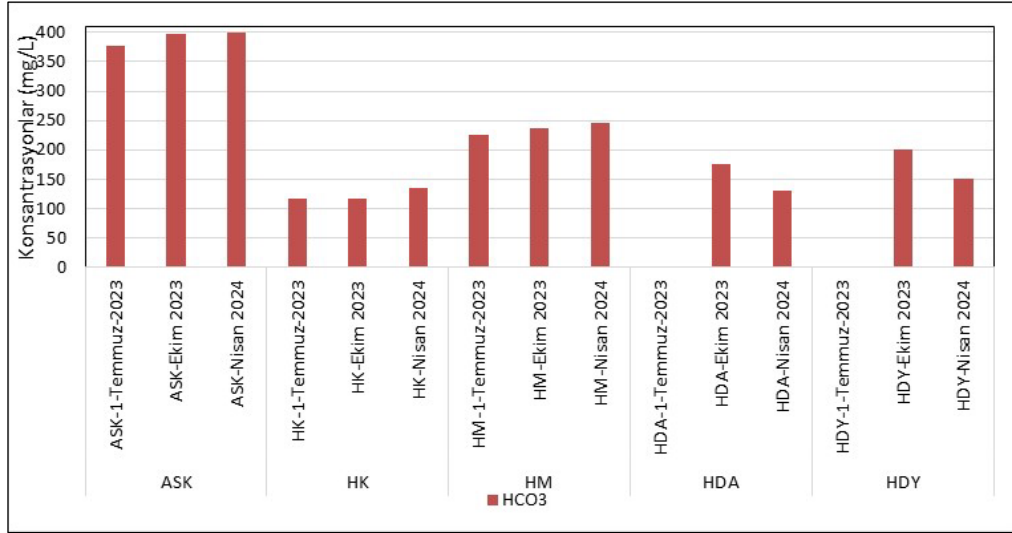


Şekil 33. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre SO_4^{-2} değişimleri

3.5.12. Bikarbonat (HCO_3^-)

Atmosferik CO_2 ve toprakta ve doymun olmayan bölgedeki gazlardan dolayı doğal sularda alkalinite oluşmaktadır. Karbondioksit biyolojik sülfat redüksiyonu ve tortul kayaçların metamorfizması ile de ortaya çıkmaktadır (Doğan,1981). Jeotermal sahalarda bikarbonat konsantrasyonu direk rezervuardan beslenen kaynaklarda düşük seviyelerdedir (Nicholson, 1993). Su-kayaç etkileşimi arttıkça (plajiyoklas, feldspat, ve piroksen içeren volkanik magmatik ve kayaçlarla) sular HCO_3^{-2} ca zenginleşir (Nicholson, 1993).

Bikarbonat konsantrasyonu için su yönetmeliklerinde herhangi bir sınır değeri verilmiştir. İnceleme alanında ASK'da HCO_3^{-2} konsantrasyonu; 377.4-400 mg/L arasında, HK ve HM soğuk kaynak sularında 117.9-245.5 mg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 130-201 mg/L ölçülmüştür (Şekil 34).



Şekil 34. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre HCO₃⁻² değişimleri

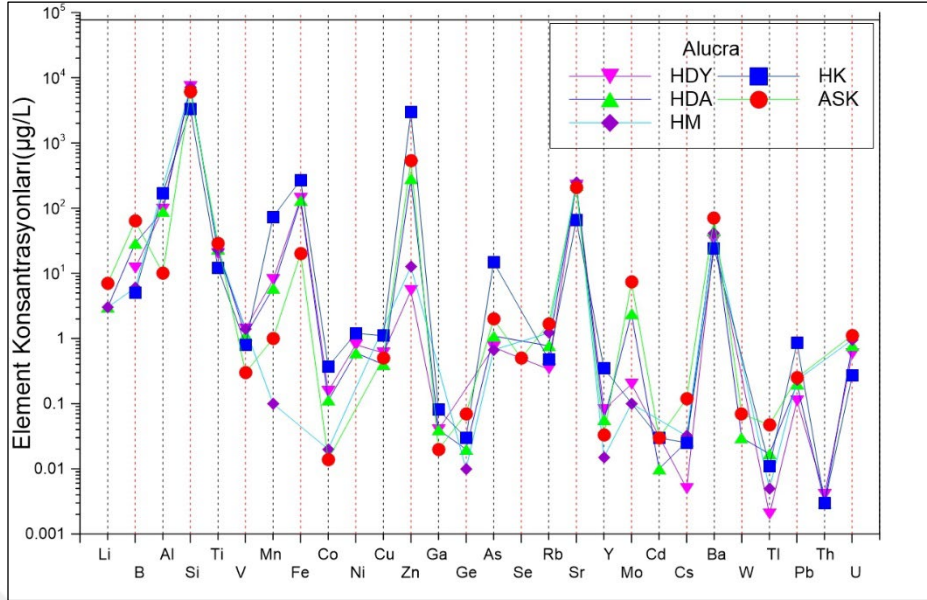
3.5.13. Eser Element Analizleri

Doğal sularda majör elementlerden başka eser miktarda bulunan elementler minör elementlerdir. Bu metaller demir haricinde sularda 1mg/L den daha az konsantrasyondadır (Freze ve Cherry, 1979). Eser element konsantrasyonları bazen sularda jeojenik ve antropojenik etkiler sonucunda artabilir. Çalışma alanında yer alan jeotermal ve soğuk kaynak suları ile yüzey sularında Ekim 2023 tarihinde ölçülmüş eser element konsantrasyonları Tablo 5’te verilmiştir. Doğal sularda eser miktarda bulunan ikincil elementler ile suların hidrokimyasal evrimi hakkında bilgi edinilmekte ve kullanım amaçları belirlenebilmektedir.

Hayran jeotermal sahasında eser elementlerden Li, B, Al, Si, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ba, Pb ve U vb. elementlerin konsantrasyonları belirlenmiştir (Tablo 5). Tablo 5 ve Şekil 35 incelendiğinde Hayran jeotermal sahasında incelenen su örneklerinin eser element konsantrasyonlarının genel olarak düşük olduğu gözlenmektedir.

Tablo 5. Hayran jeotermal sahasında incelenen sulara ait eser elementlerler (konsantrasyonlar $\mu\text{g/L}$)

	Li	B	Al	Si	Ti	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge
ASK	7	63	10	6100	28.9	0.3	1	20	0.014	< 0.3	0.5	541	0.02	0.07
HK	< 1	5	168	3300	12.1	0.8	73.3	270	0.372	1.2	1.1	2970	0.08	0.03
HM	3	6	< 2	7100	23.1	1.4	0.1	< 10	0.02	< 0.3	< 0.2	12.6	< 0.01	0.01
HDA	3	29	90	7100	23.3	1.1	5.9	130	0.112	0.6	0.4	281	0.04	0.02
HDY	< 1	12	95	7300	20.3	1.4	7.9	140	0.155	0.8	0.6	5.4	0.04	< 0.01
TSE 266-2005		2000	200				50	200		50	3000	5000		
DMSY-2004							500			20	1000			
YSKY-2021							500							
WHO-2011		2400						100		70	2000			
	As	Se	Rb	Sr	Y	Mo	Cd	Cs	Ba	W	Tl	Pb	Th	U
ASK	1.97	0.5	1.68	206	0.033	7.4	0.03	0.12	70.2	0.07	0.047	0.25	< 0.001	1.12
HK	14.7	< 0.2	0.479	65.2	0.348	< 0.1	0.03	0.025	24.3	< 0.02	0.011	0.85	0.003	0.269
HM	0.67	< 0.2	1.21	246	0.015	0.1	< 0.01	0.032	40.9	< 0.02	0.005	0.23	< 0.001	0.951
HDA	1.09	< 0.2	0.774	221	0.056	2.4	0.01	0.026	44.6	0.03	0.017	0.20	0.003	0.775
HDY	0.73	< 0.2	0.336	226	0.081	0.2	< 0.01	0.005	32.9	< 0.02	0.002	0.11	0.004	0.583
TSE 266-2005	50	10					5		300			50		
DMSY-2004	10	10					3		1000			10		
YSKY-2021		15												
WHO-2011	10	40				70	3		700			10		30



Şekil 35. İnceleme alanındaki su örneklerinin eser element değişimleri

Lityum (Li^+) taşıyan mineraller bazı piroksen ve mikalardır (Lityum ve magnezyumun yer değiştirdiği). Sıcaklığa bağlı olarak Li artarken Mg azaldığından dolayı Li/Mg termometreleri geliştirilmiştir (Kharaka ve Mariner, 1987). Literatürde yapılan çalışmalarda Lityumun kil mineralleri tarafından adsorbe edildiği belirlenmiştir (Shaw ve Sturchio, 1992).

Hayran jeotermal sahasında Li^+ konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 7 $\mu\text{g/L}$, HM soğuk kaynak suyunda ve HDA yüzey suyunda 3 $\mu\text{g/L}$ 'dir. Su standartlarında Li için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

Bor doğal su kaynaklarındaki kaynağı jeojenik (tortul ve magmatik kayalardan, topraktan) veya antropojenik (evsel ve endüstriyel atıksular) kökenli olabilir. Volkanik ortamlardan gelen sulara bor miktarı volkanik gazların bor bileşiklerini içermesinden ötürü yüksek olabilir (Dikmen, 2001).

Bor ve klorür iyonlarından jeotermal alanlarda farklı rezervuarların karışımını ve suların kökenini belirlemek için faydalanılır (Arnorsson ve Andresdottir, 1995). Bazı derin dolaşımli yeraltı sularında bor miktarı yüksek olabilir. Halojen element olan Bor buharlaşma ile yığılır ve alkali ortamlarda borun çökmesini etkileyen kalsiyum ve magnezyumun az bulunuşundan dolayı hızlı göç eder (Truesdell, 1975).

Hayran jeotermal sahasında B konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 63 $\mu\text{g/L}$, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 5 ve 6 $\mu\text{g/L}$ ve HDA ve HDY yüzey sularında 29

ve 12 µg/L'dir. TSE-266 da B için sınır değeri 2000 µg/L'dir. İnceleme alanındaki tüm sular bor bakımından standartlara uygun aralıktadır.

Alüminyum (Al^{+3}) kil mineralleri, mika, feldispat amfibol ve feldispatoidlerin bünyesinden doğal sulara bir miktar karışır (Hem,1992). Suda ölçülen Al, maden yatakları ve suyun kökeni hakkında bilgi verir (Şahinci, 1986).

Hayran jeotermal sahasında Al konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 10 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 168 ve <2 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 90 ve 95 µg/L'dir. TSE-266 da Al için sınır değeri 200 µg/L'dir. İnceleme alanındaki tüm sular Al bakımından standartlara uygun aralıktadır.

Suda oldukça zor çözünebilen silisyum element yer kabuğunda bol bulunan elementlerden biridir.

İncelenen su örneklerinde Si konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 6100 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 3300 ve 7100 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 7100 ve 7300 µg/L'dir. Su standartlarında Si için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

Demir elementi doğal sulara magmatik kayalardan (amfibol, piroksen, biyotit, magnetit, pirit vb.) karışır. Demir yeraltı sularında yaygın olarak Fe^{+2} , asidik çözeltilerde Fe^{+3} şeklinde bulunur (Hem, 1985). Doğal sularda mangan; Asidik su ortamında Mn^{+2} alkali su ortamında Mn^{+4} şeklinde bulunup yüksek pH ortamlarında çöker (Hem, 1985).

İncelenen su örneklerinde Fe konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 20 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 270 ve <10 µg/L. HDA ve HDY yüzey sularında Fe içeriği sırasıyla 130 ve 140 µg/L'dir. İnceleme alanındaki HK soğuk kaynak suyunun demir içeriği TSE-266 da belirtilen maksimum konsantrasyonu (200 µg/L) bir miktar aşmıştır.

Mn konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 1 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 73.3 ve 0.1 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 5.9 ve 7.9 µg/L'dir. İnceleme alanındaki HK soğuk kaynak suyunun Mn içeriği TSE-266 da belirtilen maksimum konsantrasyonu (50 µg/L) bir miktar aşmıştır.

Magmatik kayalarda bulunan çoğu minerallerin yapısında yer alan Ni; ASK sıcak su kaynağında <0.3 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 1.2 ve <0.3 µg/L dir. HDA ve HDY yüzey sularında Ni içeriği sırasıyla 0.6 ve 0.8 µg/L'dir. İnceleme alanındaki tüm sular Ni bakımından standartlara uygun aralıktadır (Tablo 5).

Çözünürlüğü çok düşük olan bakır elementi kayalarlarda Cu içeren karbonat ve sülfür mineralleri şeklinde bulunur. Bakır elementi su kaynakları için tehlikeli bir kirleticidir. Düşük çözünürlüğünden dolayı sulara çok az miktarda doğal kökenli Cu elementi karışır (Hem,1992). Sulara yüksek konsantrasyonlarda bulunan Cu su tesisatlarında oluşan korozyondan kaynaklanabilir. Suların karbonatı yüksek yada su asidik ise bakır içeriği yüksek olabilir (Anonim, 2006). İnceleme alanında Cu konsantrasyonu; ASK sıcak su kaynağında 0.5 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 1.1 ve <0.2 µg/L dir. HDA ve HDY yüzey sularında Cu içeriği sırasıyla 0.4 ve 0.6 µg/L'dir. İnceleme alanındaki tüm sular Cu bakımından standartlara uygun aralıktadır (Tablo 5).

Tüm iz elementler arasında toksisitesi en düşük olan Çinko (Zn) doğal sulara endüstriyel atıklardan, kayalarlardan, topraktan ve tarımsal faaliyetlerden karışabilir (McNeely vd., 1979).

İncelenen su örneklerinde Zn konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 541 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 2970 ve 12.6 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 281 ve 5.4 µg/L'dir. İnceleme alanındaki tüm sular Zn bakımından standartlara uygun değerlerdedir (Tablo 5).

Arsenik (As) doğal dengeyi bozan ve canlıların yapısında toksik etki oluşturabilen bir kirletici element olup doğada serbest halde bulunabilir. Arsenik elementi demir, pirit, şeyl, ve fosfat içeren kayalarlardan sucul ortamlara kolayca karışabilir (Hounslow, 1995).

İncelenen su örneklerinde As konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 1.97 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 14.7 ve 0.67 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 1.09 ve 0.73 µg/L'dir. İnceleme alanındaki HK soğuk kaynak suyunun As içeriği WHO-2011 standartlarında belirtilen maksimum konsantrasyonu (10 µg/L) bir miktar aşmıştır.

Su kaynaklarına sedimanter ve magmatik kayalarlardan geçen baryum (Ba) elementi insan sağlığı açısından tehlikelidir (Akgiray, 2003). İncelenen su örneklerinde Ba konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 70.2 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 24.3 ve 40.9 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 44.6 ve 32.9 µg/L'dir. İnceleme alanındaki tüm sular Ba bakımından standartlara uygun değerlerdedir (Tablo 5).

Jeojenik ve antropojenik faaliyetler sonucu doğal sulara karışan kurşun (Pb) elementi nadirde olsa sulara yüksek konsantrasyonlara ulaşabilmektedir (Hem, 1985). İncelenen su örneklerinde Pb konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 0.25 µg/L, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 0.85 ve 0.23 µg/L ve HDA ve HDY yüzey sularında 0.20 ve 30.11

$\mu\text{g/L}$ 'dir. İnceleme alanındaki tüm sular Pb bakımından standartlara uygun değerlerdedir (Tablo 5).

Benzer kimyasal özelliklere sahip olan Rubidyum (Rb) ve Sezyum (Cs) elementi litofil element olup iyonik çapları büyüktür. Rb/Cs oranı su kayaç etkileşim süreçlerini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılır (Berger vd.,1988). Rb ve Cs potasyumlu minerallerde K ile yer değiştirebilir. Potasyum içeren minerallerin (mika, feldispat vb.) alterasyonu Rb ve Cs serbest kalır ya da kil mineralleri tarafından tutunur. Bu tutunmada Cs, kil mineralleri yüzeyinde adsorbe olur. Rb elementi ise kil mineralleri içinde K'un yerini geçer (Wampler vd., 2012). Sonuçta kil minerallerinin yoğun olduğu kaya ortamlarından gelen sulara Cs kil mineralinin yüzeyinde adsorbe olacağı için Rb/Cs oranı artar (Hart, 1969). Çalışma sahasındaki tüm sulara Rb konsantrasyonları 0.3-1.68 $\mu\text{g/L}$ ve Cs konsantrasyonları 0.005-0.12 $\mu\text{g/L}$ arasındadır. Rb/Cs oranları ASK jeotermal suyunda 14, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 19.16 ve 37.81dir. HDA ve HDY yüzey sularında ise sırasıyla 29.7 ve 67.2 dir.

3.5.14. Kirlilik Parametreleri

3.5.15. Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}^-$)

Nitrit iyonu bir azot bileşiği olup doğal sulara düşük konsantrasyonlarda bulunur. Oksijenli ortamlarda nitrifikasyon ve denitrifikasyon geçiş formunda olup oldukça kararsız davranır. Doğal sulara nitritin varlığı kirliliğin göstergesidir (Doğan, 1981). Yüzey ve yeraltı sularında nitritin kaynağı; Evsel ve endüstriyel atık sular, atmosferik azot ve katı atıkların yakılması sonucudur (Anonim, 2006).

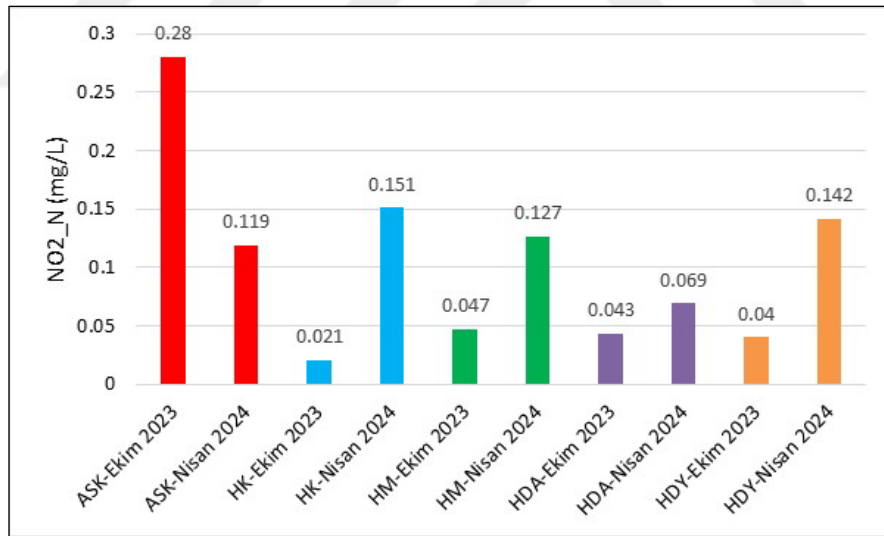
İncelenen su örneklerinde Ekim-2023 ve Nisan-2024 aylarında ölçülen $\text{NO}_2\text{-N}^-$ konsantrasyonu ASK sıcak su kaynağında 0.11-0.28 $\mu\text{g/L}$, HK ve HM soğuk kaynak sularında sırasıyla 0.02-0.15 ve 0.04-0.12 $\mu\text{g/L}$ ve HDA ve HDY yüzey sularında 0.043-0.06 ve 0.04-0.14 $\mu\text{g/L}$ 'dir.

İnceleme alanındaki ASK jeotermal suyunda $\text{NO}_2\text{-N}^-$ konsantrasyonu ekim ve nisan aylarında DMSY-2004 standartının bir miktar üzerinde çıkmıştır (Tablo 6) (Şekil 36). HK ve HM soğuk kaynak sularında $\text{NO}_2\text{-N}^-$ konsantrasyonu Nisan ayında TSE 266-2005 standartında belirtilen sınır değerin üzerinde ölçülmüştür. Yüzey suyu örnekleri YSKY-2021

standartına göre değerlendirildiğinde HDA ve HDY örneklerinde $\text{NO}_2\text{-N}^-$ konsantrasyonu Nisan ayında standartta verilen sınır değerin bir miktar üzerindedir (Tablo 6) (Şekil 36).

Tablo 6. Hayran jeotermal sahasında incelenen su örneklerinde ölçülen kirlilik parametreleri (birimler: mg/L)

Örnek Noktası	Ölçüm tarihi	$\text{NO}_2\text{-N}^-$	$\text{NO}_3\text{-N}^-$	$\text{NH}_4\text{-N}^+$	Toplam Fosfor (TP)
ASK	Ekim-2023	0.28	0.425	0.28	0.17
	Nisan-2024	0.119	2.11	0.25	0.175
HK	Ekim-2023	0.021	0.43	0.21	0.05
	Nisan-2024	0.151	2.94	0.062	0.059
HM	Ekim-2023	0.047	3.44	0.25	0.062
	Nisan-2024	0.127	2.917	0.062	0.06
HDA	Ekim-2023	0.043	2.427	0.27	0.052
	Nisan-2024	0.069	3.187	0.054	0.059
HDY	Ekim-2023	0.040	0.253	0.23	0.050
	Nisan-2024	0.142	2.929	0.201	0.052
TSE 266-2005		0.1	50	0.5	
DMSY-2004		0.1	50		
YSKY-2021		0.05	10	1	0.2
WHO-2011		3	50		

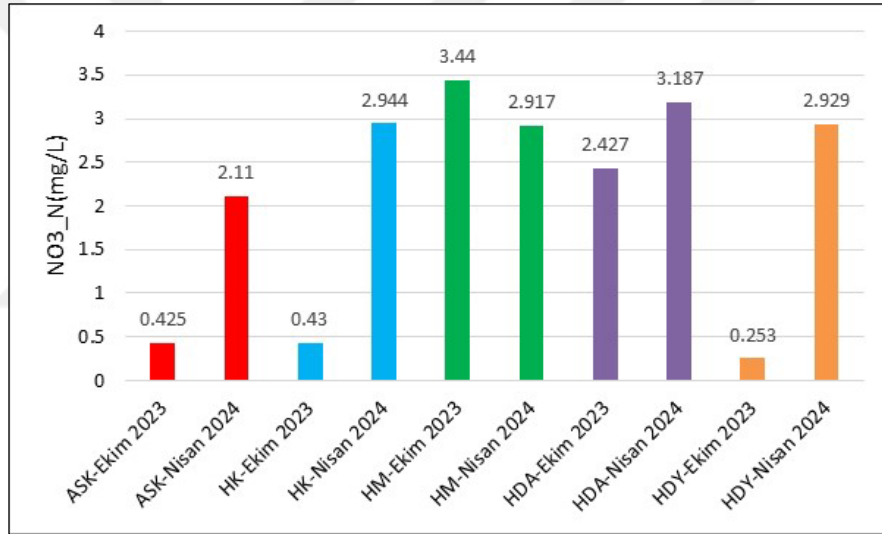


Şekil 36. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre $\text{NO}_2\text{-N}^-$ değişimleri

3.5.16. Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}^-$)

Nitrat iyonu doğal sularda bulunan önemli azot bileşikleri arasında yer alır. Sucul ortamlarda jeojenik (volkanlardan çıkan malzemeler ile magmatik kayalar) veya antropojenik (evsel ve endüstriyel atıklar) kökenli bulunabilir (Dikmen, 2001).

İnceleme alanındaki ASK jeotermal suyunda Ekim ve Nisan aylarında ölçülen $\text{NO}_3\text{-N}^-$ konsantrasyonu 0.425 ve 2.11 mg/L'dir (Tablo 6) (Şekil 37). HK ve HM soğuk kaynak sularında $\text{NO}_3\text{-N}^-$ konsantrasyonu 0.43-3.44 mg/L arasında ölçülmüştür. HDA ve HDY örneklerinde $\text{NO}_3\text{-N}^-$ konsantrasyonu 0.253-3.187 mg/L arasında ölçülmüştür (Tablo 6) (Şekil 37). $\text{NO}_3\text{-N}^-$ konsantrasyonu bakımından inceleme alanındaki tüm su örneklerinde su standartlarına uygun aralıkta yer almaktadır.



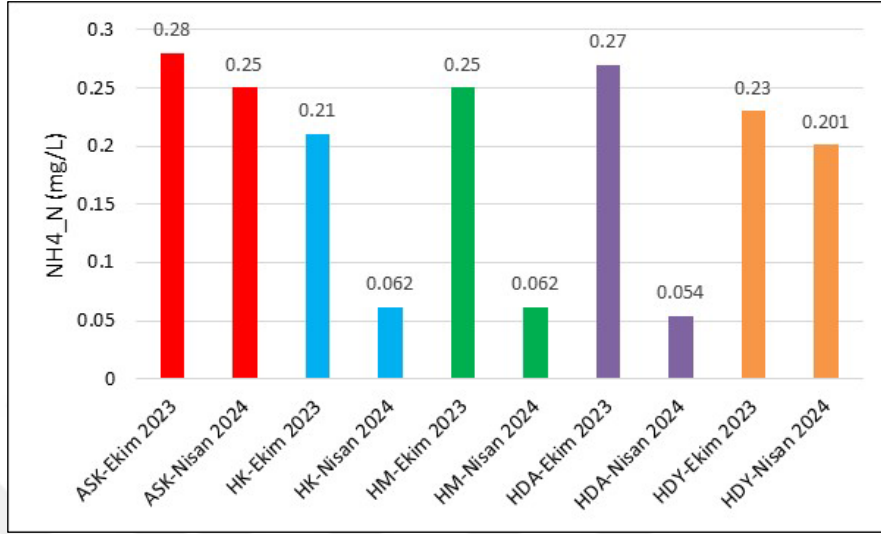
Şekil 37. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre $\text{NO}_3\text{-N}^-$ değişimleri

3.5.17. Amonyum ($\text{NH}_4\text{-N}^+$)

Amonyum (indirgenmiş azot bileşiği); çözülmüş amonyak (NH_3) ve amonyum iyonlarından (NH_4) oluşur. Amonyak toprak ve kil mineralleri tarafından adsorplandığı için yeraltısularındaki derişimi düşük miktarlarda olup jeojenik ve antropojenik kökenli su ortamlarına karışabilir (Aiuppa vd., 2003).

ASK jeotermal suyunda Ekim ve Nisan aylarında ölçülen $\text{NH}_4\text{-N}^+$ konsantrasyonu 0.28 ve 0.25 mg/L'dir (Tablo 6) (Şekil 38). HK ve HM soğuk kaynak sularında $\text{NH}_4\text{-N}^+$ konsantrasyonu 0.06-0.25 mg/L arasında ölçülmüştür. HDA ve HDY örneklerinde $\text{NH}_4\text{-N}^+$

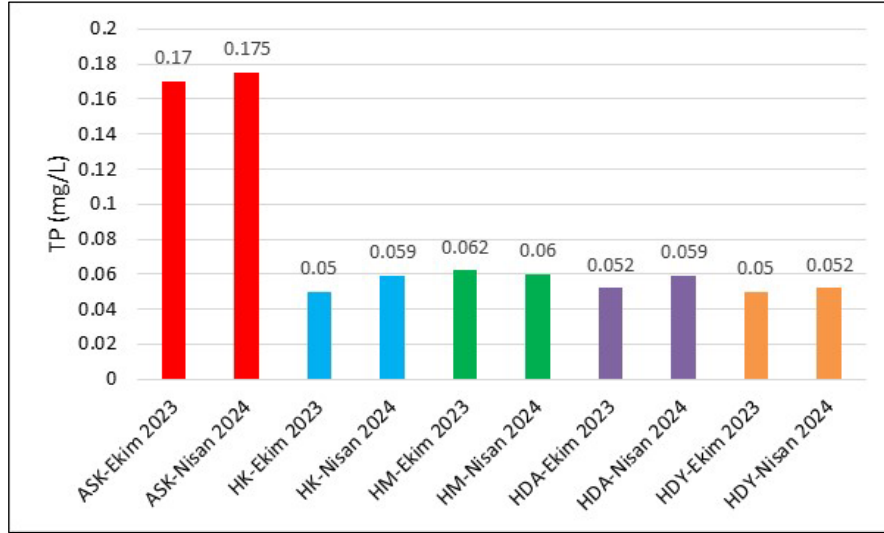
konsantrasyonu 0.05-0.27 mg/L arasında ölçülmüştür (Tablo 6) (Şekil 38). NH_4N^+ konsantrasyonu bakımından inceleme alanındaki tüm su örneklerinde su standartlarına uygun aralıkta yer almaktadır.



Şekil 38. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre NH_4N^+ değişimleri

3.5.18. Toplam Fosfor (TP)

Doğal sulardaki toplam fosfor, fosforun tümünün (parçacık ve çözünmüş) toplamıdır. Toplam fosfor içeriği su kaynaklarına evsel ve endüstriyel atıksulardan ve tarımsal gübrelerden karışmaktadır (Fakayode, 2005). İçme ve kullanma suyu olarak kullanılabilen kapasitedeki yerüstü su kaynaklarında TP konsantrasyonu < 0.2 mg/L olmalıdır (YKSY 2021). Hayran jeotermal sahasında incelenen tüm su noktalarında TP değerleri 0.2 mg/L'nin altındadır (Şekil 39). HDY ve HDA yüzey suları YSKY-2021'de belirtilen sınır değerlere göre I. sınıf "çok iyi" su kalitesi sınıfında yer almaktadır.



Şekil 39. İnceleme alanındaki su örneklerinin mevsimlere göre TP değişimleri

3.6. Suların Sınıflandırılması

Hayran jeotermal sahasında çalışılan suların hidrokimyasal fasiyeslerini belirlemek için sulara yapılan kimyasal analizlerden faydalanılmıştır. Sulara hidrokimyasal fasiyes tipini belirleyen iyonlar suda çözünen maddeler arasında %50'den fazla olan iyonlardır (Back 1966). Su örneğinde iyonlar %50 den fazla değilse sular karışık su tipindedir. Ayrıca IAH (1979)'ın çalışma raporunda litrede eşdeğer gram olarak %20'den fazla çözülmüş bulunan iyonlar belirlenip katyon ve anyonlar sıralanıp su tipi belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada suların sınıflaması yapılırken IAH (1979)'ın önerdiği hidrokimyasal fasiyes sınıflaması kullanılmıştır (Tablo 7). Ayrıca sahada yer alan tüm suların hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak ve suları sınıflamak için Piper (1944), incelenen suların kimyasını karşılaştırmak için Schoeller (1962) ve sulama suları sınıflaması için Wilcox diyagramları kullanılmıştır.

Hayran jeotermal sahasında sıcak su kaynağının su tipi IAH (1979) sınıflamasına göre Ca-Mg-HCO₃ tır. Soğuk su kaynaklarından HK; Ca-HCO₃ ve HM; Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir. HDA ve HDY yüzey su örnekleri Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir (Tablo 7).

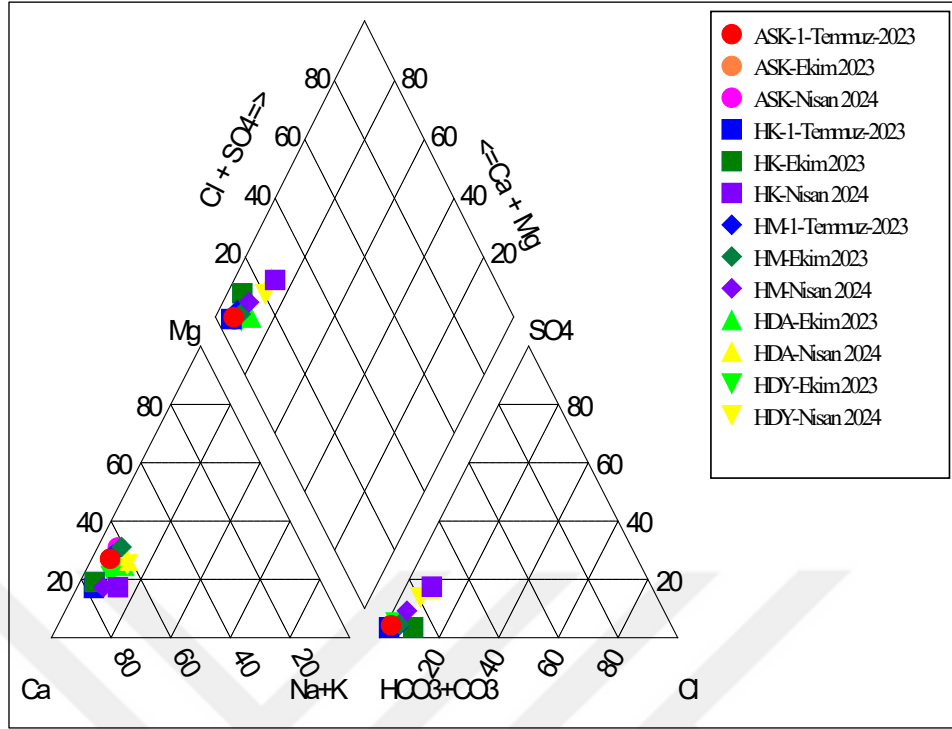
Tablo 7. Hayran jeotermal sahasındaki suların su tipi sınıflaması (IAH, 1979)

Örnek adı	Tarih	Su Tipi
ASK (Sıcak Su)	Temmuz-2023	Ca-Mg-HCO ₃
	Ekim-2023	Ca-Mg-HCO ₃
	Nisan-2024	Ca-Mg-HCO ₃
HK (Soğuk kaynak suyu)	Temmuz-2023	Ca-HCO ₃
	Ekim-2023	Ca-HCO ₃
	Nisan-2024	Ca-HCO ₃
HM (Soğuk kaynak suyu)	Temmuz-2023	Ca-Mg-HCO ₃
	Ekim-2023	Ca-Mg-HCO ₃
	Nisan-2024	Ca-HCO ₃
HDA (Yüzey suyu)	Ekim-2023	Ca-Mg-HCO ₃
	Nisan-2024	Ca-Mg-HCO ₃
HDY (Yüzey suyu)	Ekim-2023	Ca-Mg-HCO ₃
	Nisan-2024	Ca-Mg-HCO ₃

3.6.1. Piper Diyagramı Değerlendirilmesi

Piper (1944) diyagramı iyonların (% mek/L cinsinden katyon ve anyonlar) ayrı bir şekilde gösterildiği iki tane üçgenden ve tüm iyonların bulunduğu bir tane eşkenar dörtgenden meydana gelir.

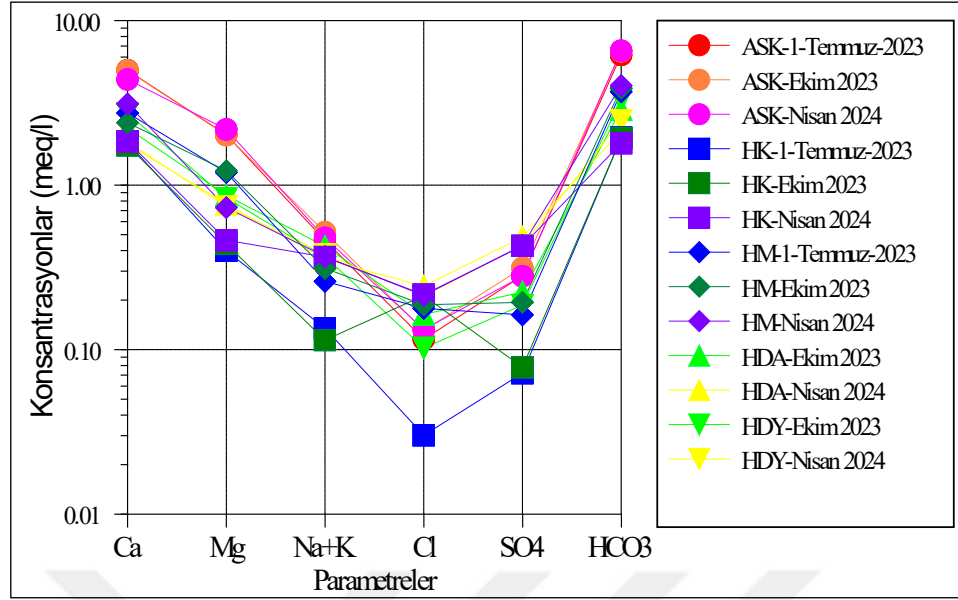
Hayran jeotermal sahasındaki sulara ait Piper diyagramı Şekil 40'da verilmiştir. Piper diyagramına göre Hayran jeotermal sahasındaki sular; Karbonatlı ve sülfatlı ($Ca+Mg > Na+K$) su sınıfındadır. Sular: zayıf asit kökleri (HCO_3+CO_3) > güçlü asit kökleri ($Cl+SO_4$) ve karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik özelliğindedir. Bu tip sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ 'lı sulardır.



Şekil 40. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Piper diyagramı

3.6.2. Schoeller Diyagramı Değerlendirmesi

Schoeller diyagramı, suyun içerdiği çeşitli iyonların konsantrasyonlarını görselleştirmek ve farklı veya benzer kökenli suları karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu diyagramda kökenleri ve beslenme alanları aynı aynı akiferden gelen suların iyon dağılımları birbirine paralel olur. Şekil 41’de Hayran jeotermal sahasında incelenen suların Schoeller diyagramında konumları verilmiştir.



Şekil 41. İncelenen su örneklerinin Schoeller diyagramındaki konumları

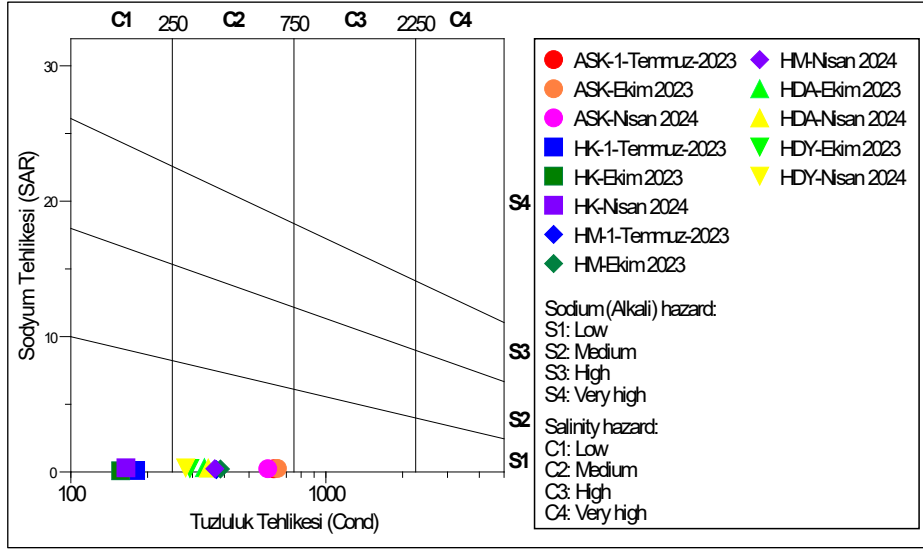
3.6.3. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramının Değerlendirilmesi

Sodyuma doygun olan toprak ortamlarında toprağın geçirgenliği azalır ve bu durum bitki gelişimini olumsuz etkiler (Şahinci, 1986). Suların bu sebepten ötürü sulama suyu olarak kullanılabilirliğini yorumlamak için ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı geliştirilmiştir. Bu diyagram elektriksel iletkenlik (Eİ) ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) değerleri kullanılarak oluşturulur (Şekil 42).

Sularda ölçülen iyonların meq/l değerleri kullanılarak SAR değerleri aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2} \quad (1)$$

İnceleme alanındaki HK soğuk su kaynağı C1-S1 sınıfında olup düşük sodyum ve düşük tuzluluk tehlikesine sahip özelliktedir. Geriye kalan diğer tüm su örnekleri (ASK, HM, HDA ve HDY) C2-S1 sınıfında olup orta tuzlu-düşük sodyum su sınıfındadır (Şekil 42).



Şekil 42. İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

3.7. Suların Mineral Doygunlukları

Herhangi bir su kaynağının üretimi ve iletimi aşamalarında meydana gelebilecek çökellerin önceden tahmin edilmesi ekonomik bakımdan önemlidir. Sularda oluşan kimyasal tepkimeler değerlendirilerek hidrokimyasal ortam ile ilgili öngörüler yapılabilmektedir. Doygunluk indisi (SI) sulardaki reaktif minerallerin varlığının tahmin edilmesine yardımcı olur (Appelo ve Postma 2005). Doygunluk indisi aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$SI = \log (IAP/K_{sp}) \quad (2)$$

Burada;

IAP: İyonik aktivite çarpmanı (su kimyası analizinden elde edilir)

K_{sp}: Çözünürlük çarpımı sabitidir.

Termodinamik yöntemler kullanılarak hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçlarına göre; SI=0 olduğunda çözülmüş iyonlar ile mineral arasındaki dengeye ulaşılmıştır, yani doygunluğa ulaşılmıştır. Diğer taraftan SI>0 aşırı doygunluğu gösterir, dolayısıyla mineral dengesi sağlamak için çökeltme eğiliminde olacaktır. SI<0 olduğunda su, mineral fazına göre doygunluğun altında olduğundan dengeye ulaşıncaya kadar çözünme eğiliminde olacaktır (Appelo ve Postma 2005).

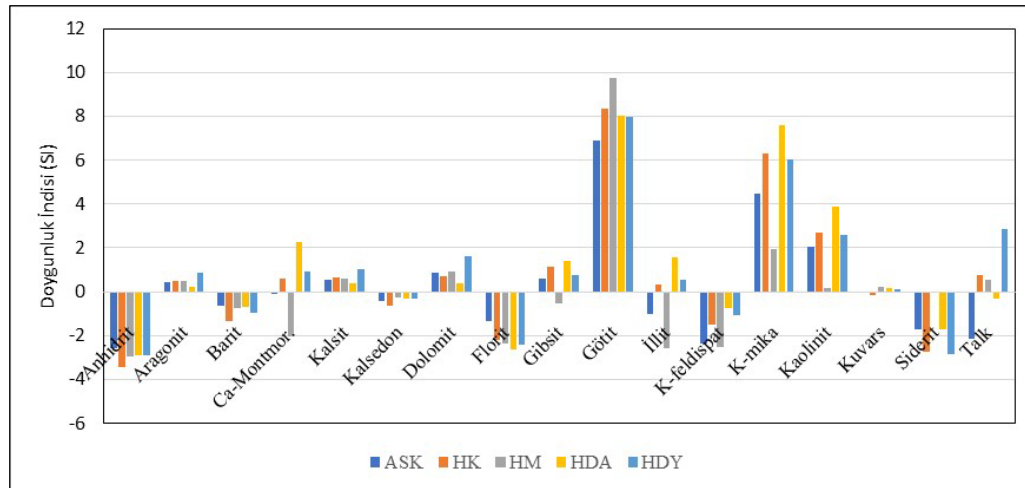
Hayran jeotermal sahasındaki suların doygunluk hesaplamaları, AquaChem 2014.2 programında PHREEQC veriseti kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken yerinde

ölçülen sıcaklık ve pH değerleri ile kimyasal analizler kullanılmıştır. Elde edilen SI değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Hayran jeotermal sahası ve yakın çevresinde yüzeylenen kayalarda mikroskobik olarak belirlenen birincil ve ikincil mineraller de dikkate alınarak suların doygunluk durumları değerlendirilmiştir (Şekil 43). SI değerleri incelendiğinde sıcak, soğuk ve yüzey sularının tümü karbonat minerallerinden; aragonit, kalsit, dolomit, demirli minerallerden; Götit, kil minerallerinden; K-mika ve kaolinit minerallerine doygun iken anhidrit, barit, kalsedon, florit, K-feldispat, siderit, talk gibi minerallere doygun değildir. HM soğuk su kaynağı hariç diğer su örnekleri gipsit mineraline doygunudur. HK, HDY ve HDA örnekleri Ca-Montmorillonit ve illit minerallerine doygunudur.

Tablo 8.İncelenen su örneklerine ait mineral doygunluk indisleri (d: doygun)

Mineraller	Formül	ASK	HK	HM	HDA	HDY
Anhidrit	CaSO ₄	-2.55	-3.41	-2.96	-2.90	-2.92
Aragonit	CaCO ₃	0.42^d	0.48^d	0.47^d	0.23^d	0.87^d
Barit	BaSO ₄	-0.62	-1.33	-0.72	-0.67	-0.97
Ca-Montmor.	Ca _{0.165} Al _{2.33} Si _{3.67} O ₁₀ (OH) ₂	-0.11	0.59^d	-2.01	2.29^d	0.92^d
Kalsit	CaCO ₃	0.57^d	0.63^d	0.62^d	0.38^d	1.02^d
Kalsedon	SiO ₂	-0.44	-0.63	-0.25	-0.29	-0.33
Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	0.87^d	0.70^d	0.92^d	0.38^d	1.60^d
Florit	CaF ₂	-1.33	-2.19	-2.38	-2.64	-2.42
Gipsit	Al(OH) ₃	0.61^d	1.12^d	-0.53	1.38^d	0.77^d
Götit	FeOOH	6.90^d	8.34^d	9.73^d	8.04^d	7.96^d
İllit	K _{0.6} Mg _{0.25} Al _{2.3} Si _{3.5} O ₁₀ (OH) ₂	-1.04	0.32^d	-2.60	1.59^d	0.55^d
K-feldispat	KAlSi ₃ O ₈	-2.35	-1.50	-2.53	-0.75	-1.09
K-mika	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₂	4.48^d	6.31^d	1.95^d	7.59^d	6.03^d
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	2.03^d	2.68^d	0.15^d	3.88^d	2.57^d
Kuvars	SiO ₂	-0.01	-0.18	0.22^d	0.16^d	0.11^d
Siderit	FeCO ₃	-1.71	-2.71	-0.03	-1.69	-2.85
Talk	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	-2.14	0.76	0.57	-0.34	2.86



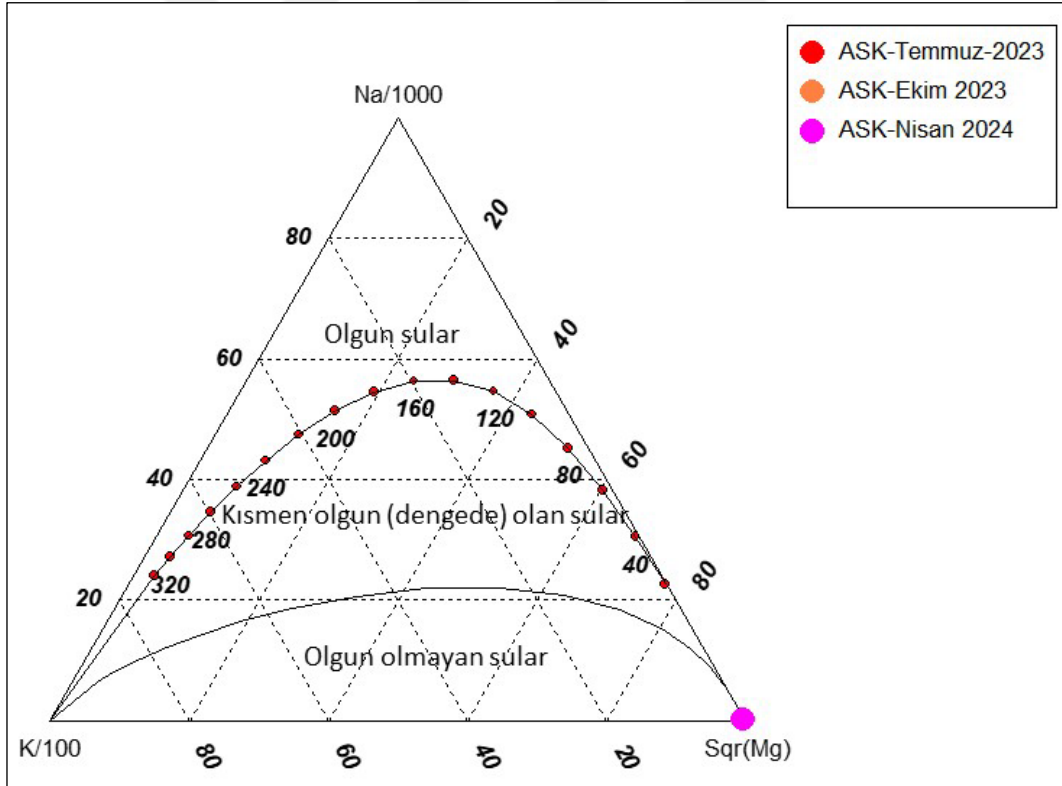
Şekil 43. İncelenen su örneklerinin mineral doygunluk indisleri

3.8. Haznekaya Sıcaklıklarının Hesaplanması

3.8.1. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sistemlerde akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının ekonomik ve kolay bir şekilde tahmin edilmesi için jeotermal suların kimyasal ve izotopik analizlerden yararlanılarak birçok jeotermometre yöntemleri ve mineral-denge modelleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerinden biri olan Na-K-Mg birleşik jeotermometresi hazne kaya sıcaklıklarının pratik şekilde yorumlanabilmesini sağlar (Giggenbach 1988). Aynı zamanda bu yöntem ile katyon jeotermometrelerinin geçerliliği sınanmakta ve suların temasta bulunduğu kayaçlarla olan denge durumları belirlenebilmektedir.

Giggenbach (1988) diyagramına göre Hayran jeotermal sahalarındaki jeotermal sular olgun olmayan sular alanındadır (Şekil 44).



Şekil 44. ASK sıcak su kaynağına ait Giggenbach (1988) diyagramı

Na/K jeotermometrelerinden 180-350°C sıcaklıklarda olumlu sonuçlar elde edilirken 120°C'den küçük olan sıcaklıklarda hatalı sonuçlar verebilmektedir. Na^+ ve K^+ düşük sıcaklıklarda kil içeren minerallerden etkilendikleri için iyon değişim reaksiyonlarını kontrol edemeyip sonuçta akifer sıcaklığının çok üstünde değerler verirler (Gemici, 1999). Bu

nedenle Hayran jeotermal sahasının rezervuar sıcaklığını tahmin etmek için Na/K jeotermometrelerinin uygun olmayacağı düşünülmüş ve silis jeotermometreleri kullanılmıştır. Silis jeotermometreleri hesaplamalarında kullanılan bağıntılar ve ASK sıcak suyu için hesaplanan sıcaklıklar Tablo 9’da verilmiştir. Bazı silis jeotermometreleri negatif veya suların boşalım sıcaklığından daha düşük değerler vermiştir. Dolayısıyla hazne kaya sıcaklığı için boşalım sıcaklığının üzerindeki değerler dikkate alınarak Alucra jeotermal sahasında rezervuar sıcaklığının yaklaşık 28.2-53.6 °C olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 9. Hayran jeotermal sahasındaki sıcak su kaynağı (ASK) için uygulanan silis jeotermometresi (ASK: SiO₂= 13.04 mg/L)

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar	Değinen Belgeler	Hesaplanan sıcaklıklar ASK
1. SiO ₂ (Amorf silis)	$t=731/(4.52-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	-58.4
2. SiO ₂ (α Kristobalit)	$t=1000/(4.78-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	-0.3
3. SiO ₂ (β Kristobalit)	$t=781/(4.51-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	-43.1
4. SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1032/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	15.5
5. SiO ₂ (Kuars)	$t=1309/(5.19-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	48.1
6. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1522/(5.75-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	55.2
7. SiO ₂ (Klsdon, kond s.)	$t=1112/(4.91-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	19.9
8. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1264/(5.31-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	28.2
9. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1021/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	12.5
10. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1164/(4.9-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	34.4
11. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1498/(5.7-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	53.6

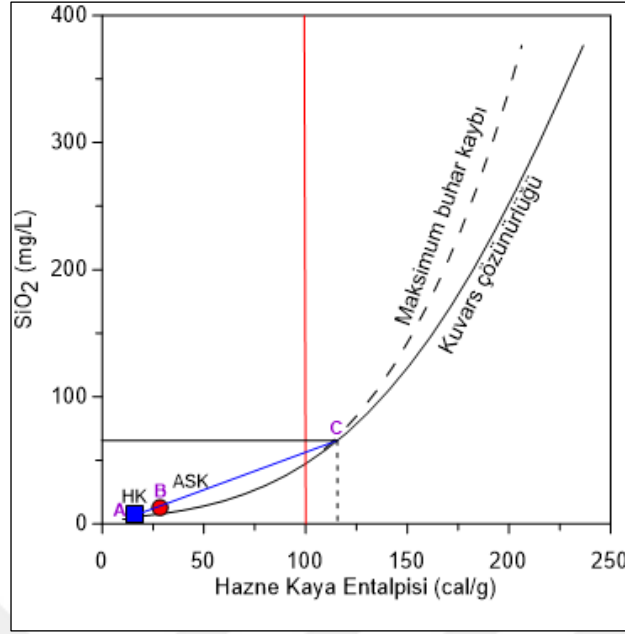
3.8.2. Karışım Modelleri

Jeotermal çalışmalarda hazne kaya sıcaklıkları sıcak ve soğuk su karışımları kullanılarak hesaplanabilmektedir (Fournier ve Truesdell 1974). Hesaplamalar iki varsayım kullanılarak gerçekleştirilir. Bunlardan ilki; derin ortamlarda sıcak akışkan soğuk sularla karışır ve yüzeye çıkar. Buhar kaybı karışımdan hem önce hem de sonra gerçekleşmez. Karışım suyu yüzeyde ılık ya da kaynama sıcaklığında olabilir. Diğer varsayım; Buhar karışımdan önce derin ortamdaki sıcak akışkandan ayrılıp uzaklaşır. Arta kalan sıcak su ile soğuk su karışıp yüzeye çıkar. Çoğunlukla ilk varsayıma göre yapılan hesaplamalardan elde edilen haznekaya sıcaklıklarıkinci varsayımdan elde edilen sonuçlara göre daha yüksektir. Jeotermal alanlarda karışım oranları ve hazne kaya sıcaklıklarını tespit etmek amaçlı birçok karışım modeli geliştirilmiştir (Şahinci, 1991). Bu modellerden silis-entalpi ve entalpi-klorür karışım modelleri sıklıkla kullanılmaktadır.

Karışım öncesi buhar-ısı kaybının olmaması ve karışım öncesi buhar kaybının yani adiyabatik soğuma olması durumunda silis-entalpi modeli ile akifer sıcaklığı tahmin edilebilmektedir. Bu model yapılırken üç tane varsayıma dikkat edilir. Varsayımlar; a) karışım sonrası sıcaklık kaybı yoktur, b) kuvarsın çözünürlüğü akiferdeki akışkanın silis içeriğini kontrol eder, (bu varsayım derin ortamlardaki akışkanın kuvars doygunluğu sebebi ile her koşulda geçerlidir) c) akışkan akiferden ayrıldıktan ve soğuk su ile karışım gerçekleştikten sonra silis çökelimi veya çözünmesi yoktur (Nicholson, 1993).

Silis-entalpi karışım modeli sıcaklık ve silis dengesine bağlı olarak geliştirilmiştir. Abak yardımıyla karışım öncesinde sıcaklık-buhar kaybının hem olduğu hem de olmadığı durumlarda uygulanabilir (Fournier, 1977). İnceleme alanında hazne kaya sıcaklıklarının ve soğuk yeraltı suları ile karışım oranlarının bulunması amacıyla silis-entalpi diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 45). Şekil 45'ten elde edilen hazne kaya entalpileri, sıcaklıkları ve haznedeki SiO_2 değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

Çizilen modelde (Şekil 45) A noktası Hayran jeotermal sahasında soğuk suları temsil eden HK soğuk kaynak suyuna ait SiO_2 (mg/L) ve entalpi (cal/g) değerini göstermektedir. Şekil 45'te Hayran jeotermal sahasındaki ASK sıcak su örneğinin SiO_2 (mg/L) ve sıcaklık değerleri işaretlenmiştir (B noktası). A noktası B noktası ile birleştirilmiş ve bu doğru uzatılarak kuvars çözünürlük eğrisi kestirilmiştir (C noktası). C noktasından yatay eksene dikme indirilerek hazne kaya sıcaklığı belirlenmiştir. Bu nokta karışım suyundaki sıcak suyun karışım olmadan önce silis ve entalpi değeridir. AB doğru parçası kuvars çözünürlük eğrisini kestiği için çizilen Şekil 45 karışımdan önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşuldur. Diğer taraftan eğer adiyabatik soğuma (karışımdan önce buhar kaybı) olması durumunda AB doğru parçası kuvars çözünürlük eğrisini kesmez. Bu durumda suyun yüzeydeki buharlaşma entalpisi olan 100 cal/g değerinden bir dikme çizilerek bu dikme ile birlikte maksimum buhar kaybı eğrisi kullanılır.



Şekil 45. Hayran Jeotermal sahasındaki sıcak suyun entalpi-silis diyagramı

Hayran jeotermal sahasında jeotermal suyun karışım suyundaki sıcak su oranı (AB/AC) % 16 olarak hesaplanmıştır. Silis-entalpi karışım modeli ile hesaplanan sıcaklıklar silis jeotermometrelerinden elde edilen sıcaklıklardan yüksektir.

Tablo 10. Hayran jeotermal sahasında silis-entalpi modeline göre karışım oranı ve hazne kaya sıcaklığı

	ASK
Hazne kaya entalpisi (cal/g)	115
Hazne kaya sıcaklığı (°C)	115.16
Haznedeki SiO ₂ miktarı (mg/L)	70
Karışım suyundaki sıcak su oranı (%)	16

3.8.3. Su-Kayaç Etkileşimi

Doğal suların kimyasını etkileyen en önemli faktörler; iklim, pH, Eh, sıcaklık ve etkileşimde bulundukları kayaçların kimyasıdır. Hayran jeotermal sahasında incelenen suların majör iyon kimyasını etkileyen hidrokimyasal süreçleri belirlemek için incelenen su örnekleri Hounslow (1995)'e göre değerlendirilmiştir. Tablo 11'e göre Hayran jeotermal sahasında çalışılan tüm sulara karbonat ayrışması, katyon değişimi, olası plajiyoklas ayrışması, halit ve albit dışındaki farklı sodyum

kaynağı, iyon değişimi, kireçtaşı, dolomit ayrışması, jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar, kayaç ayrışması ve silikat veya karbonat ayrışması gibi kimyasal olayların etkinliği gözlenmiştir. ASK sıcak su kaynağının 64ajör iyon kimyasını kontrol eden hidrokimyasal süreçlerin soğuk ve yüzey sularını kontrol eden süreçlerle hemen hemen benzer olması sıcak sularla sığ yeraltı sularının karışımının bir sonucudur.

Tablo 11. Hayran jeotermal sahasında incelenen sularda gelişen su-kayaç etkileşim süreçleri Hounsflow (1995)

Parametreler	ASK	HK	HM	HDY	HDA
HCO ₃ /SiO ₂	64.039 Karbonat ayrışması	35.181 Karbonat ayrışması	32.912 Karbonat ayrışması	27.181 Karbonat ayrışması	24.386 Karbonat ayrışması
SiO ₂ /(Na+K-Cl)	0.280 Kasyon Değişimi	-0.450 Kasyon değişimi	1.059 Albit ayrışması	0.479 Kasyon değişimi	0.485 Kasyon değişimi
(Na ⁺ +K ⁺ -Cl ⁻)/ (Na ⁺ +K ⁺ -Cl ⁻ +Ca ²⁺)	0.068 OlasıPlajiyoklas ayrışması	-0.075 Olası Plajiyoklas ayrışması	0.045 Olası Plajiyoklas ayrışması	0.085 Olası Plajiyoklas ayrışması	0.099 Olası Plajiyoklas ayrışması
Na ⁺ /(Na ⁺ +Cl ⁻)	0.786 Halit-albit dışındaki farklı sodium kaynağı, iyon değişimi	0.294 Halit-albit dışındaki farklı sodium kaynağı, iyon değişimi	0.609 Halit-albit dışındaki farklı sodium kaynağı, iyon değişimi	0.772 Halit-albit dışındaki farklı sodium kaynağı, iyon değişimi	0.708 Halit-albit dışındaki farklı sodium kaynağı, iyon değişimi
Mg/(Ca+Mg) ve HCO ₃ ⁻ /Si	0.288 ve 64.04 Kireçtaşı-dolomit ayrışması	0.201 ve 35.18 Kireçtaşı-dolomit ayrışması	0.338 ve 32.91 Kireçtaşı-dolomit ayrışması	0.233 ve 27.18 Kireçtaşı-dolomit ayrışması	0.280 ve 24.39 Kireçtaşı-dolomit ayrışması
Ca ²⁺ /(Ca ²⁺ +SO ₄ ²⁻) ve pH	0.941 ve 7.48 Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar	0.957 ve 8.59 Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar	0.925 ve 8.19 Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar	0.936 ve 8.52 Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar	0.908 ve 8.03 Jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar
Cl ⁻ /Σanion	0.019 Kayaç ayrışması	0.096 Kayaç ayrışması	0.044 Kayaç ayrışması	0.029 Kayaç ayrışması	0.051 Kayaç ayrışması
HCO ₃ ⁻ /Σanion	0.951 Silikat veya karbonat ayrışması	0.875 Silikat veya karbonat ayrışması	0.917 Silikat veya karbonat ayrışması	0.940 Silikat veya karbonat ayrışması	0.898 Silikat veya karbonat ayrışması

3.9. İzotop Jeokimyası

İzotop oranlarının sıcaklığa, fiziko-kimyasal süreçlere ve su-kayaç etkileşimine duyarlı olmalarından dolayı jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özellikleri belirlenirken izotop teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Radyoizotop olan trityum ve karbon-14 yeraltı suyunun yaşının belirlenmesinde kullanılırken duraylı izotop olarak da oksijen-18 (^{18}O) ve döteryum (^2H)’dan akışkanın kökenini, beslenme alanını ve yüzey sularında buharlaşmanın göstergesi olarak faydalanılmaktadır. Bunlara ek olarak azot, klorür, kükürt, uranyum, toryum ve asal gazlar gibi elementlerin izotoplarından da yararlanılarak yüzey ve yeraltı sularında kirleticilerin kökenleri ve hareketleri belirlenebilmektedir.

Yapılan bu çalışmada suların olası beslenme yükseltilerinin belirlenmesinde oksijen-18 ve döteryum izotoplarından, bağl yaş ve geçiş sürelerinin belirlenmesinde trityum izotopundan faydalanılmıştır.

Kurak ve yağışlı mevsimde olmak üzere sıcak su kaynağından (ASK), soğuk su kaynaklarından (HK ve HM), yüzey sularını temsilen Hayran Dere üzerinde iki noktadan (HDY ve HDA) izotop içeriklerinin belirlenmesi amacıyla örnekler alınmıştır (Tablo 12).

Tablo 12. Hayran jeotermal sahasındaki sulara ait Oksijen-18, Döteryum ve trityum izotop verileri

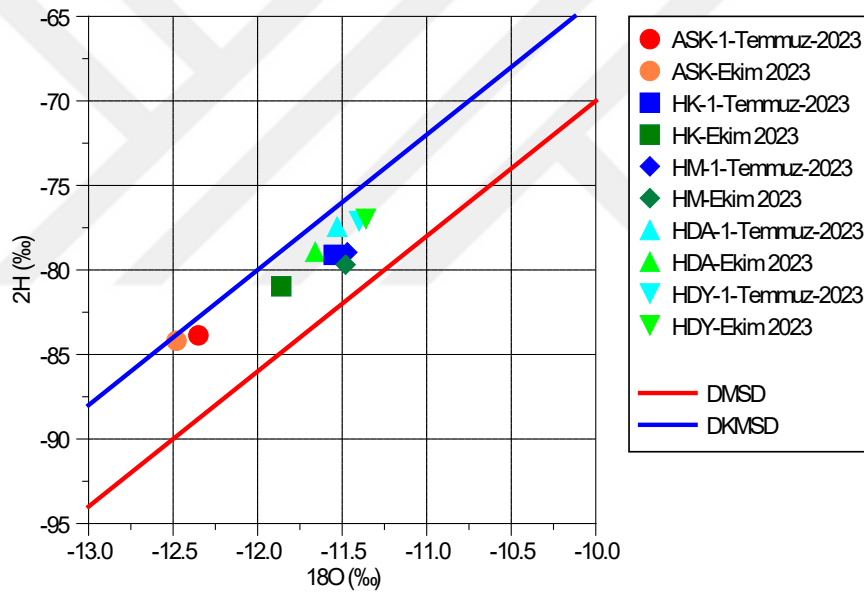
Örnek Adı	Örnekleme Tarihi	$\delta^{18}\text{O}$ V-SMOW	δD V-SMOW	^3H (TU)
ASK	Temmuz 2023	-12.35	-83.87	
ASK	Ekim 2023	-12.48	-84.19	3.2
HK	Temmuz 2023	-11.55	-79.11	
HK	Ekim 2023	-11.86	-80.97	4.4
HM	Temmuz 2023	-11.47	-78.96	
HM	Ekim 2023	-11.48	-79.69	
HDY	Temmuz 2023	-11.53	-77.44	
YDY	Ekim 2023	-11.66	-78.93	4.77
HDA	Temmuz 2023	-11.4	-77.11	
HDA	Ekim 2023	-11.36	-76.98	

3.9.1. Oksijen 18 (^{18}O)- Döteryum (^2H) İlişkisi

Yeraltısularının beslenme alanı, bölgesel yağışın $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin özellikle yüksekliğe bağlı değişimine ait verilerle belirlenebilmektedir. Oksijen-18 ve döteryum izotopları yağış, buharlaşma miktarı, coğrafi koşullar gibi faktörlerden etkilendiği için Oksijen-18 ve döteryum izotopları arasındaki ilişki bölgeden bölgeye farklılıklar gösterir.

Dolayısıyla yağışın izotop içeriği farklı yükseltilerde farklı karakterizasyona sahiptir. Bu karakterizasyonun belirlenebilmesi için farklı yükseltilerdeki yağış sularının analizi gerekir. Herhangi bir bölgeye düşen yağışların izotopik karakterizasyonu $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir denklemle tanımlanmakta ve “yerel meteorik su doğrusu” olarak adlandırılmaktadır. Dünya yağışlarını temsil eden bu ilişki $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10$ (Craig, 1961; Yurtsever, 1978) şeklindedir ve “Dünya Meteorik Su Doğrusu” olarak adlandırılmaktadır.

Dünya Meteorik Su Doğrusu (Craig, 1961), Doğu Karadeniz Meteorik Su Doğrusu (DKMD: $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 16$) (Ekmekçi ve Gültekin, 2015) ve çalışma alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkileri Şekil 46’da verilmiştir. Suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri Dünya Meteorik Su Doğrusu (DMSD) olarak adlandırılan bu doğruya göre değerlendirilmiştir.



Şekil 46. Hayran jeotermal sahası sularında $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ ilişkisi (DMSD: Dünya Meteorik Su Doğrusu; DKMSD: Doğu karadeniz Meteorik Su Doğrusu (Ekmekçi ve Gültekin, 2015)).

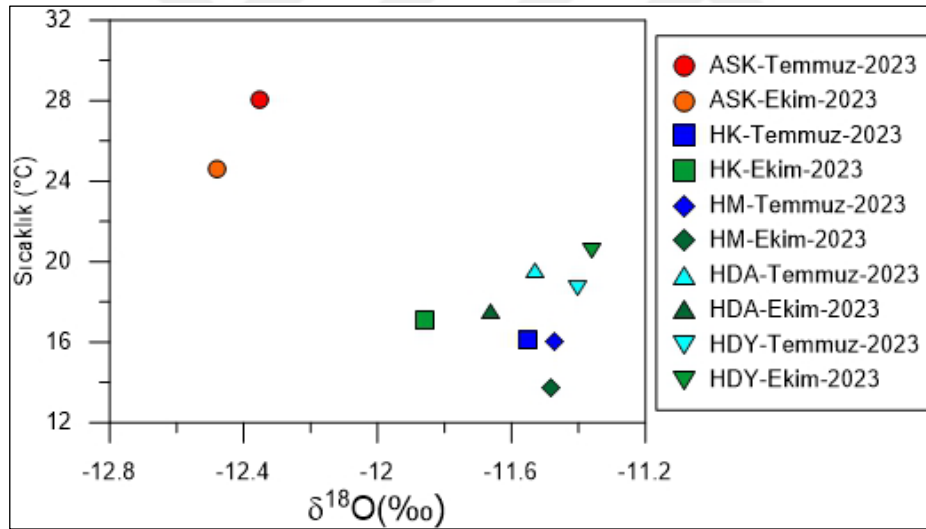
Hayran jeotermal sahasında ASK sıcak su kaynağı genel olarak Doğu karadeniz meteorik su doğrusuna (DKMSD) yakın konumda olduğu görülür (Şekil 46). Yüzey sularının ve soğuk su kaynaklarının δD ve $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin sıcak su kaynağına göre daha pozitif değerlerde olması ağır izotopların fazla olduğu yağışlarla yani daha düşük kotlara ulaşan yağışlarla beslendiklerini ifade eder. Sahada incelenen tüm sular buharlaşmanın

etkisiyle kurak (Temmuz-2024) ve yağışlı (Ekim-2024) mevsimlerde küçük sapmalar göstermiştir.

3.9.2. Oksijen 18 (^{18}O)- Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) İlişkisi

Bir bölgede denizi seviyesinden karalara ilerleyip yükseldikçe sıcaklık ve bununla ilişkili olarak buharlaşma miktarında azalma gerçekleşir (Clark ve Fritz, 1997). Sonuçta belirli bir bölgede görece olarak düşük $\delta^{18}\text{O}$ değerine sahip sular daha yüksek kotlardan beslenen suları temsil eder.

Hayran jeotermal sahasında incelenen su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ -sıcaklık ilişkisi Şekil 47’de verilmiştir. Şekil 47 incelendiğinde ASK sıcak su kaynağının $\delta^{18}\text{O}$ miktarları diğer su kaynaklarına göre daha düşüktür. Sonuç olarak sıcak su kaynağı soğuk kaynak suları ve yüzey sularına göre daha yüksek kotlardan kotlardan beslenmektedir.

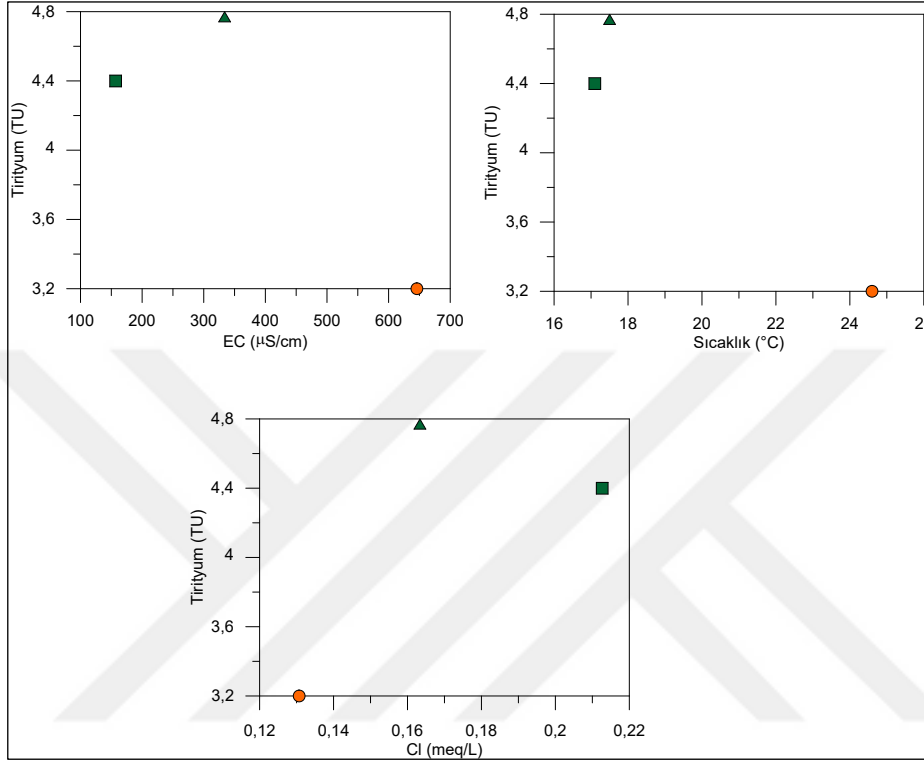


Şekil 47. İncelenen suların oksijen-18 (^{18}O)-sıcaklık ilişkisi

3.9.3. Trityum Verilerinin Değerlendirilmesi

Radyoaktif bir izotop olan trityumun yarılanma ömrü 12.43 yıldır. Hidrolojik sisteme yağış ile giren trityum, nükleer deneyler sonucunda, yapay olarak ve doğal olarak stratosferde kozmik radyasyonla oluşur. Trityum su molekülünde bulunur ve hidrojeolojik çalışmalarda izleyici olarak, yeraltısuyu geçiş süresinin saptanmasında ve jeotermal suların güncel besleniminin belirlenmesinde yaygın olarak doğrudan kullanılmaktadır. Trityumun

meteorik sulardaki derişimi Trityum Birimi (TU) cinsinden verilmektedir. Hayran jeotermal sahasına ait örneklerin ^3H – EC, ^3H – sıcaklık ve ^3H – Cl^- ilişkileri Şekil 48’de verilmiştir. Şekil 48 incelendiğinde, sıcak suların soğuk sulara göre daha derin dolaşımli olduğu görülmektedir.



Şekil 48. Hayran jeotermal alanındaki sularda ^3H -EC, ^3H -Sıcaklık ve ^3H -Cl ilişkileri.

3.10. Jeotermal Sistemler

Jeotermal sistemler; ısı kaynağı, ısıнын taşınmasını sağlayan akışkan, porozite ve permeabiliteye sahip rezervuar zon ve örtü niteliğindeki kayalardan oluşur. Jeotermal sistemlerin en önemli ısı kaynaklarını radyoaktif mineral bozunması ve manto kökenli ısı oluşturur. Magmatik intrüzyonlar ve volkanik aktiviteler sonucu yer içindeki ısı kabuğa kadar ulaşabilmekte ve bunun sonucunda kayalar da ısınarak bölgede ısı anomalisini artırabilmektedir. Bu sistemlerde ısı taşınımı kondüktif (ışınım ile yayılım) veya konvektif (su gibi bir madde hareketi ile yayılım) ısı taşınımı şeklinde gerçekleşir (Koçak, 2003).

Meteorik kökenli sular yerkabuğunda süreksizlikler (kırık, çatlak, fay vb.) boyunca derinlere doğru süzülür ve ısı anomalisi olan bölgelerde ısınır. Isınan suların tekrar yeryüzüne doğru bu şekilde yükselerek ısıнын taşınma işlemine konvektif taşınım denir.

Yerin derinliklerinde ısınarak sıg derinliklere doğru taşınan bu akışkan porozite ve permeabiliteye sahip jeotermal rezervuarları oluşturan litolojik yapılarda depolanır. Jeotermal rezervuarın besleniminin sürekli olabilmesi için jeotermal akışkanın sahanın beslenme alanı ile bağlantılı olması gereklidir. Sıcak akışkanın rezervuar kayaçlarda depolandıktan sonra enerjisini kaybetmeden kalabilmesi için jeotermal rezervuar üzerinde örtü kaya adı verilen ısı kaybını önleyebilecek nitelikte geçirimsiz birimlerin bulunmalıdır.

Jeotermal alanlar Tablo 13'deki gösterildiği gibi rezervuarın sıcaklığına göre; düşük entalpili, orta entalpili ve yüksek entalpili alanlar şeklinde sınıflandırılır (Dickson ve Fanelli, 1990).

Tablo 13. Jeotermal Alanların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması (Dickson and Fanelli, 1990)

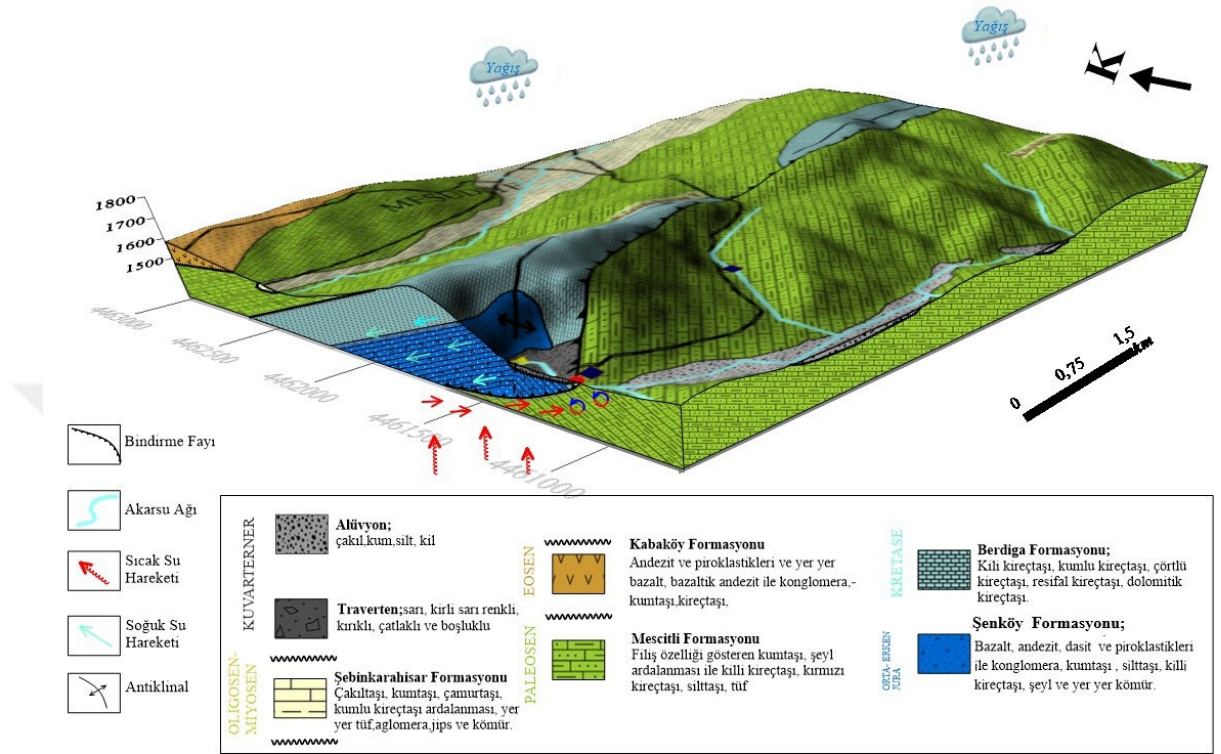
	Muffler ve Cataldi, 1978	Hochstein, 1990	Benderitter ve Cormy, 1990	Haenel vd., 1988
Düşük Entalpili Alanlar	< 90 °C	<125 °C	<100 °C	<150 °C
Orta Entalpili Alanlar	90-150 °C	125-225 °C	100-200 °C	-
Yüksek Entalpili Alanlar	>150 °C	>225 °C	>200 °C	>150 °C

3.10.1. Hayran Jeotermal Sistemi

Hayran jeotermal alanında yer alan sıcak su kaynağından (ASK) sahada rezervuarın varlığını gösteren 24.6-28.1 °C sıcaklıklarda yüzeye çıkan sıcak akışkan bulunmaktadır.

Hayran jeotermal sahasında Sarp vd., 2015'in yaptığı jeolojik, jeotermal ve jeofizik çalışmalarda ısı kaynağı olacak nitelikte genç volkanizma ve magmatizmanın olmadığını belirtmişler ve Eosen yaşlı birimlerin zayıf özellikte ısıtıcı kayaç olabileceklerini söylemişlerdir. Literatürde yapılan çalışmalar ile sahada yapılan çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde Hayran jeotermal sahasında yer alan sıcak suyun jeotermal gradyan ile ısındığı söylenebilir. İnceleme alanında çalışılan suların izotop içeriklerine göre ısıyı taşıyan akışkanın meteorik kökenli olduğu belirlenmiştir. Hayran jeotermal sahasında meteorik kökenli sular yerkabuğundaki kırık ve çatlaklar boyunca derinlere süzülerek ısı anomalilerinin olduğu alanlarda ısınmaktadır. Isınan sularla ısı taşınımı konvektif taşınım ile olmaktadır. Sahada incelenen suların hidrojeokimyasal özellikleri değerlendirildiğinde

jeotermal rezervuarda kırık çatlak ve faylar boyunca yükselen sular yeryüzüne ulaşmadan önce soğuk sularla belirli oranlarda karışmaktadır (Şekil 49).



Şekil 49. Hayran (Alucra-Giresun) jeotermal sahasının hidrojeolojik kavramsal modeli

Sahada yapılan önceki çalışmalarda bölgede tektonik olaylara bağlı olarak litolojik birimlerin ikincil gözeneklilik ve geçirimsizliğe sahip oldukları belirtilmiştir (Sarp ve diğ. 2015). Hayran sıcak su kaynağı ve çevresinde rezervuar kaya olabilecek porozite ve permeabiliteye sahip birimler; Mescitli, Kabaköy ve Şebinkarahisar Formasyonlarına ait çakıltaşı, kumtaşı, killi kireçtaşları, Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları, Şenköy Formasyonu'na ait konglomera, kumtaşı ve killi kireçtaşlarıdır.

Sahada yer olan bu birimlerin tektonizmaya uğramış kısımları akifer kaya özelliğindedir. Hayran jeotermal sahasında tam anlamıyla geçirimsiz özellikte olan örtü kaya niteliğinde birimler bulunmamakla birlikte Mescitli, Kabaköy ve Şebinkarahisar Formasyonlarına ait çamurtaşı seviyeleri ve volkanik kayaçların aglomeratik ve tüflü kısımları örtü kaya niteliğindedir. Çalışma kapsamında Hayran jeotermal sahasının rezervuar sıcaklığı silis jeotermometreleri hesaplamalarına göre yaklaşık 28.2-53.6 °C, silis-

entalpi karışım modeline göre 115.16 °C olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıklar ile Hayran jeotermal sahası “düşük entalpili saha” sınıfında yer almaktadır.



4. TARTIŞMA

Jeotermal enerji yerin içindeki birikmiş ısıнын oluşturduğu ve bu enerjinin sıvılar ve gazlar tarafından yüzeye taşındığı yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynağının hem yenilenebilir olması hem de düşük karbondioksit emisyon oranına sahip olması nedeni ile sıcaklığına da bağlı olarak elektrik üretimi, balneoterapi, ısıtma endüstri gibi birçok alanda son yıllarda kullanımı giderek artmaktadır.

Aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer almasından dolayı Türkiye, küresel jeotermal kapasitesinin %11,5'ini oluşturan jeotermal potansiyele sahiptir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı 2020 (IRENA) verilerine göre Türkiye, güncel 1.613 megavatlık jeotermal enerji kapasitesi ile dünyada dördüncü, Avrupa'da ise birinci sırada yer almıştır. Dünyada kullanılan enerjinin çok büyük bir kısmı fosil yakıtlardan (kömür, petrol ve doğalgaz) karşılanmaktadır. Bu kaynakların tükenebilir olması ve çevre kirliliği gibi etkilerinden dolayı güneş, rüzgâr, jeotermal gibi alternatif enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarından jeotermal enerji kesintisiz enerji kaynağı olmasından dolayı önemli olup ülke ekonomisine katkısı büyüktür.

Türkiye'nin konumu itibariyle tektonik, volkanik ve magmatik aktivitelere bağlı olarak jeotermal potansiyeli fazladır. Türkiye'de yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sistemler Batı Anadolu'daki grabenlerde volkanik aktivitelerin bulunduğu alanlarda (Denizli-Kızıldere (242 °C), Aydın-Germencik (232 °C), İzmir-Seferihisar (153 °C), İzmir Balçova (130 °C) vb.) yer alır. Orta Anadolu'daki jeotermal sistemlerin büyük çoğunluğu volkanik aktiviteler sonucu (Ankara Kızılcahamam (86 °C), Afyon-Ömer Geçek (98 °C) vb.) oluşmuştur. Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da da volkanik ve tektonik aktiviteler sonucu birçok jeotermal sistem (Van-Erciş (80 °C), Ağrı-Diyadin Sahası (78 °C) vb.) gelişmiştir.

Kuzey Anadolu'da Kuzey Anadolu Fayı boyunca gelişmiş önemli sahalar (Sakarya Akyazı (84 °C), Yalova Armutlu (77 °C) vb.) yer almaktadır. Doğu Karadeniz'de Artvin, Rize Giresun ve Ordu yörelerinde Şavşat, Ayder, İkizdere ve Fatsa jeotermal sahaları son yıllarda detaylı bir şekilde çalışılmıştır (Gültekin vd. 2019; Fırat Ersoy vd. 2019; Hatipoğlu Temizel vd. 2019, 2020).

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölümünde Hayran (Alucra-Giresun) jeotermal sahasında jeotermal sistemi tanımlamak, sistemin elemanlarını belirlemek ve hazne kaya sıcaklıklarını hesaplamak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda akışkanın kimyasını

belirlemeye yönelik hidrokimyasal çalışmalar, kökenini belirleyebilmek için de izotopik çalışmalardan yararlanılmıştır.

^{18}O ve ^2H oranları, jeotermal sistemlerde termal akışkanların kaynağı, sığ yeraltı suyunun termal su ile karışımı, buharlaşma ve kaya-su etkileşimi gibi çeşitli fizikokimyasal süreçlerin belirlenmesinde iyi bir izleyici görevi görür. Hayran jeotermal alanında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerlerine göre jeotermal kaynağın daha yüksek kotlardan beslenen derin dolaşım olduğu belirlenmiştir.

Hayran jeotermal sahasında yapılan önceki çalışmalar, bu çalışmadan elde edilen hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik veriler birlikte değerlendirilerek alana ait kavramsal model oluşturulmuştur (Şekil 49).

Kuzey Anadolu Fayı Zonu'nun kuzeyinde Pontitler içerisinde yer alan çalışma alanında jeotermal belirtiyi yüzeye çıkan ve sıcaklığı yaklaşık 24.6-28.1 °C olan sıcak su kaynağı oluşturur. Jeotermal sistemin beslenimi alanın kuzey ve güneyindeki yükseltiler ile sınırlanan alana düşen yağış sularının yerin derinliklerine süzülmesiyle gerçekleşir. Beslenme alanında yüzeyleyen birimlerin geçirimsizlikleri, antiklinal yapıları, faylar ve faylara bağlı gelişen kırık yapıları etkilidir. Yüzeyden yerin derinliklerine ilerleyen yağış suları termal gradyanla ısınmaktadır. Isınan sular yoğunlukları nedeniyle yukarıya doğru hareket etmekte ve hareketleri esnasında yine antiklinal ve kırık hatlarını kullanmaktadır. Sahada tam anlamıyla geçirimsiz özellikte olan örtü kaya niteliğinde birimler bulunmamakla birlikte Mescitli, Kabaköy ve Şebinkarahisar Formasyonlarına ait çamurtaşı seviyeleri ve volkanik kayaların aglomera ve tüflü kısımları örtü kaya niteliğindedir. Yeraltı suyu alttaki kıvrımlı birimler içerisinde hareket ederken, Mescitli, Kabaköy ve Şebinkarahisar Formasyonlarına ait çakıltı, kumtaşı, killi kireçtaşları, Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları, Şenköy Formasyonu'na ait konglomera, kumtaşı ve killi kireçtaşları depolanmalarına olanak sağlamaktadır. Jeotermal suyun kimyasal ve izotopik içerikleri yeraltındaki dolaşım derinliklerini göreceli olarak yansıtarak suyunun sığ derinliklerden gelip yüzey veya sığ yeraltı suları ile oldukça fazla karıştığını göstermektedir. Sahada rezervuar sıcaklığının yaklaşık silis jeotermometreleri ile 28.2-53.6 °C, entalpi-silis karışım modeli ile 115.16 °C olabileceği hesaplanmıştır. Bu değerlerle jeotermal sistemin düşük sıcaklıklı sıvı baskın bir jeotermal sistem olduğu belirlenmiştir.

Sıcaklık ve kimyasal özellikler jeotermal suların kullanım alanlarını belirlemede öncelikle kullanılan parametrelerdir.

Hayran jeotermal sahası düşük sıcaklıklı ve sıvı baskın özellikte bir saha olduğu için elektrik üretimi için uygun bir sistem olmayıp konut ve sera ısıtmacılığında, soğutmacılıkta kurutmacılıkta, kimyasal madde üretiminde ve kâğıt-tekstil sanayisi gibi çeşitli sahalar için kullanılabilir. İnceleme alanındaki jeotermal akışkan hiçbir amaca hizmet etmemektedir. Bu çalışmada sahada yer alan sıcak su kaynağı Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik (DMSY-2004)'ne göre değerlendirilmiştir. Bu yönetmelik kapsamında; doğal mineralli sularda majör iyonlar için herhangi bir sınır değer belirtilmemiştir. Yönetmelikte Mn için 500 µg/L, Ni için 20 µg/L, Cu için 1000 µg/L, As ve Se için 10 µg/L, Cd için 3 µg/L, Co için 1000 µg/L, Zn için 10 µg/L sınır değerleri verilmiştir. Sahadaki ASK jeotermal su kaynağında bu iz elementlerin konsantrasyonları yönetmelikte belirtilen sınır değerlere uygundur. Ayrıca yönetmelikte F için 5 mg/L, NO₃ için 50 mg/L, NO₂ için 0.1 mg/L sınır değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre ASK sıcak su kaynağında NO₂ konsantrasyonu sınır değerlerin bir miktar üzerindedir.

Sahada incelenen soğuk su kaynaklarına ait (HK ve HM) analiz sonuçları TSE 266-2005 ve WHO-2011 standartlarına göre değerlendirilmiştir. HK soğuk su kaynağında Fe konsantrasyonu (270 µg/L), As konsantrasyonu (14.7 µg/L) ve NO₂ konsantrasyonu (0.152 mg/L) hariç standartlara uygun aralıkta yer almıştır. HM soğuk kaynak suyu ise NO₂ konsantrasyonu (0.127 mg/L) hariç standartlara uygun değerlerdedir.

Çalışma alanında incelenen Hayran Dere yüzey suyundaki örnekler (HDY ve HDA) Yerüstü Su Kalitesi (2021) (YSKY-2021) yönetmeliğine göre değerlendirilmiştir. Bu kapsamda ölçülen tüm parametreler YSKY-2021 yönetmeliğine göre uygun sınırlar içerisindedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölümünde Hayran (Alucra-Giresun) jeotermal sahasında jeotermal sistemi tanımlamak için hidrojeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanında gerçekleştirilen jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Hayran jeotermal sahasında bulunan birimler yaşlıdan gence doğru; Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu (Jh), Orta-Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (JKb), Üst Kretase- Paleosen yaşlı Mescitli Formasyonu (KPm), Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu (Tek), Oligosen-Miyosen yaşlı Şebinkarahisar Formasyonu (Tmş), Kuvarterner yaşlı Travertenler (Qtr) ve Alüvyonlar (Qal) dır.

2. Alanda yüzeylenen jeolojik birimlerin geçirimsizlikleri, litolojileri ve arazi çalışmalarındaki gözlemlere dayanarak belirlenmiştir. Hayran jeotermal sahasında bazalt, andezit, dasit ve bunların piroklastitleri ile konglemera, kumtaşı, silttaşı killi kireçtaşı şeyl ve yer yer kömür birimlerinden oluşan Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonu (Jh), yarı geçirimlidir. Orta-Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu (JKb) oluşturan kireçtaşları geçirimli özelliktedir. Filiş özelliği gösteren komtaşı şeyl aralanmaları ile killi kireçtaşı, kırmızı kireçtaşı silttaşı ve tuf özelliğinde kayalardan oluşan Üst Kretase- Paleosen yaşlı Mescitli Formasyonu (KPm) yarı geçirimli özelliktedir. Andezit ve bunların piroklastitleri ile yer yer bazalt bazaltik andezit, konglemera, kumtaşı kireçtaşı killi kireçtaşı tuf ve kömürlü seviyelerden oluşan Eosen yaşlı Kabaköy Formasyonu (Tek) yarı geçirimli özelliktedir. Oligosen-Miyosen yaşlı Şebinkarahisar Formasyonu (Tmş) çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu kireçtaşı aralanmalı ve tuf, aglomera, jips ve kömür içermektedir. Bu kayalar türlerinden oluşan Şebinkarahisar Formasyonu yarı geçirimli özelliktedir. Çalışma alanında en genç birimleri oluşturan Kuvarterner yaşlı Travertenler (Qtr) ve Alüvyonlar (Qal) geçirimli özelliktedir.

3. Hayran Jeotermal sahasındaki jeotermal, soğuk kaynak ve yüzey sularının hidrokimyasal açıdan aşağıda verilen özellikleri belirlenmiştir:

a) Jeotermal sahada jeotermal suyu ASK sıcak su kaynağı temsil etmektedir. Yağışlı kurak ve ara dönemlerde yerinde yapılan ölçümlerde ASK jeotermal kaynak suyunun sıcaklığının 24.6-28.1°C pH'nın 6.47-7.48 ve Eİ değerinin 592-646 $\mu\text{S/cm}$ olduğu belirlenmiştir. Hakim anyon ve katyonlarını Ca-Mg ve HCO_3 iyonlarının oluşturduğu

jeotermal kaynakta Cl iyonu oldukça düşük (4.1-4.7 mg/L) değerdedir. Kaynağın Li değeri 7 µg/L ve SiO₂ 13.04 mg/L'dir.

b) Soğuk kaynakları temsilen örneklenen HK ve HM örneklerinin pH değerleri birbirine yakın ve 7.37-8.59 arasında, EC değerleri 156.9-386 µS/cm arasındadır. Ca ve HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃ iyonlarının hakim olduğu sulara SiO₂ değerleri 7.05-15.18 mg/L arasındadır. Yüzey sularını temsilen örneklenen Hayran Deresi (HDY ve HDA)'nde pH değerleri 7.28-8.52, Eİ değerleri ise 282-346 µS/cm'dir ve sulara Ca-Mg ve HCO₃ iyonları baskındır.

c) Çalışma alanında yüzeylenen kayalarda mikroskopik olarak belirlenen birincil ve ikincil mineraller de dikkate alınarak suların doygunluk durumları değerlendirilmiştir. SI değerleri incelendiğinde sıcak, soğuk ve yüzey sularının tümü karbonat minerallerinden; aragonit, kalsit, dolomit, demirli minerallerden; Götite, kil minerallerinden; K-mika ve kaolinit minerallerine doymuş iken anhidrit, barit, kalsedon, florit, K-feldispat, siderit, talk gibi minerallere doymuş değildir. HM soğuk su kaynağı hariç diğer su örnekleri gipsit mineraline doymuştur. HK, HDY ve HDA örnekleri Ca-Montmorillonit ve illit minerallerine doymuştur.

d) Hayran jeotermal sahasındaki suların kimyasını etkileyen jeokimyasal süreçlerin karbonat ayrışması, kation değişimi, olası plajiyoklas ayrışması, iyon değişimi, kireçtaşı, dolomit ayrışması, jipsten farklı kalsiyum kaynağı-karbonat veya silikatlar, kayaç ayrışması ve silikat veya karbonat ayrışması olduğu belirlenmiştir.

4. Piper diyagramına göre Hayran jeotermal sahasındaki sular; Karbonatlı ve sülfatlı (Ca+Mg>Na+K) su sınıfındadır. Sular: zayıf asit kökleri(HCO₃+CO₃)> güçlü asit kökleri (Cl+SO₄) ve karbonat sertliği>karbonat olmayan sertlik özelliğindedir. Bu tip sular CaCO₃ ve MgCO₃'lı sulardır.

5. ABD Tuzluluk laboratuvar diyagramına göre inceleme alanındaki HK soğuk su kaynağı C1-S1 sınıfında olup düşük sodyum ve düşük tuzluluk tehlikesine sahip özelliktedir. Geriye kalan diğer tüm su örnekleri (ASK, HM, HDA ve HDY) C2-S1 sınıfında olup orta tuzlu-düşük sodyum su sınıfındadır.

6. Hayran jeotermal sahasında yapılan izotop çalışmaları ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

a) Jeotermal sahada ¹⁸O, ²H ve ³H izotopları ile suların kökenleri, beslenme yükselteleri, besleyen yağış türleri ve yeraltında kalış süreleri göreceli olarak belirlenmiştir.

$\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve trityum değerlerine göre jeotermal kaynak suyunun soğuk kaynak sularına göre daha yüksek kotlardan beslenen daha derin dolaşımli olduğu ve sığ soğuk sularla oldukça fazla karışmış olduğu belirlenmiştir.

7. Hayran jeotermal sahasında yapılan önceki çalışmalar, bu çalışmadan elde edilen hidrojeolojik, hidrokimyasal ve izotopik veriler birlikte değerlendirilerek alana ait kavramsal model oluşturulmuştur. Jeotermal sistemin beslenimi alanın kuzey ve güneyindeki yükseltiler ile sınırlana alana düşen yağış sularının yerin derinliklerine süzülmesiyle gerçekleşir. Beslenmede alanda yüzeylenen birimlerin geçirimsizliklerinden daha faylı ve kırıklı yapılar etkilidir. Yüzeyden yerin derinliklerine ilerleyen yağış suları termal gradyanla ısınmaktadır. Sıcak su kaynağının yakın çevresinde yüzeylenen formasyonlara ait çamurtaşı seviyeleri ve volkanik kayaçların aglomeratik ve tüflü kısımları örtü kaya niteliğindedir.

Yeraltısuunu alttaki kırıklı ve kırıklı birimler içerisinde hareket ederken, aynı zamanda tektonizma ve kırılmalanmaya uğramış kısımlarda depolanabilmektedir. Sıcak kaynak suyunun daha derinlerden geldiği ancak daha sığ derinliklerden ve yüzey veya sığ yeraltısularıyla oldukça fazla karıştığı belirlenmiştir.

Hayran sıcak su kaynağı ve çevresinde rezervuar kaya olabilecek porozite ve permeabiliteye sahip birimler; Mescitli, Kabaköy ve Şebinkarahisar Formasyonlarına ait çakıltı, kumtaşı, killi kireçtaşları, Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşları, Şenköy Formasyonu'na ait konglomera, kumtaşı ve killi kireçtaşlarıdır. Jeotermal akışkanın rezervuar sıcaklığı silis jeotermometreleri hesaplamaları ile yaklaşık 28.2-53.6 °C, silis-entalpi karışım modeline göre 115.16 °C olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklıklar ile Hayran jeotermal sahası “düşük entalpili saha” sınıfında yer almaktadır.

8. Bu çalışmada jeotermal sistemin rezervuar kayacının belirlenmesinde daha kesin sonuçlar elde edebilmek için sularda ve kayaçlarda çok sayıda izotop analizine gereksinim vardır (Karbon-13, Kükürt-34, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $\delta^{11}\text{B}$ - $\delta^7\text{Li}$). Dolayısıyla sahada daha sonra yapılacak olan araştırmalarda çevre kayaçlarından ve sulardan sistematik örnekler alınarak izotop analizlerinin değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu çalışma bu alanda daha sonra yapılacak çalışmalara referans niteliğinde olacaktır.

6. KAYNAKLAR

1. Aiuppa, A., S. Bellomo, L. Brusca, W. d'Alessandro, and C. Federico 2003. "Natural and anthropogenic factors affecting groundwater quality of an active volcano (Mt. Etna, Italy)." *Applied Geochemistry* 18, no. 6 863-882. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00182-8](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00182-8)
2. Aktan, H.. 1965." Şebinkarahisar ve Çevresinin Morfolojisi" İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Enstitüsü, İstanbul.
3. Anonim, 2006. World Health Organisation (WHO), Guidelines for Drinking Water Quality, First Addendum to Third Edition, Recommendations, WHO Publ., Geneva, 1, 494.
4. Appelo CAJ, Postma D 2005. *Geochemistry, Groundwater and Pollution* (2nd edn). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439833544>
5. Arnarsson, S., Gunnlaugsson E. ve Svavarsson, H., 1983. The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland. III. Chemical Geothermometry in geothermal Investigations, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 47, pp. 567-577, Pergamon Pres. USA.
6. Arnorsson, S. ve Andresdottir, A., 1995. Processes Controlling the Distribution of Boron and Chlorine in Natural Waters in Iceland, *Geochim Cosmochim Acta*, 20, 59, 4125-4146.
7. Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Groundwater Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain. U.S. Geol. Survey Professional Paper, 498-A, 42p.
8. Bektaş, O., 1986, Doğu Pontid ark-gerisi bölgelerinde paleo-stres dağılımı ve çok safhalı riftleşme: *MTA Derg.*, 103/104, 16-39.
9. Berger, G., Schott, J. ve Guy, C., 1988. Behavior of Li, Rb and Cs During Basalt Glass and Olivine Dissolution and Chlorite, Smectite and Zeolite Precipitation from Seawater, Experimental Investigations and Modelization Between 50 °C and 300 °C, *Chem. Geol.*, 71, 297-312.
10. Clark, I. ve Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis publishers, New York, 328.
11. Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Water, *Science*, 133, 1702-1703.
12. Dickson, M.H. ve Fanelli, M., 1990. Geothermal Energy and its Utilization. In: Dickson, M.H., Fanelli, M. (Eds.), *Small Geothermal Resources*, UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, 1-29.

13. Dikmen, B., 2001. Ulubat Gölü ve Gölü Besleyen Su Kaynaklarında Organoklorlu Pestisit Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
14. DMSY-2004. T.C. Sağlık Bakanlığı [saglik.gov.tr/TR, 10469/dogal-mineralli-sular-hakkinda-yonetmelik.html](http://saglik.gov.tr/TR,10469/dogal-mineralli-sular-hakkinda-yonetmelik.html). Son Erişim Tarihi: 10.06.2024.
15. Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.
16. Ekmekçi, M. ve Gültekin, F., 2015. Doğu Karadeniz Bölümü Suları Çevresel Duraylı İzotop İçeriğinin Değerlendirilmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu (MÜHJEO 2015), 3-5 Eylül Trabzon, 459- 466.
17. Erguvanlı, K. (1950): Trabzon-Gümüşane arasındaki bölgenin jeolojik etüdü hakkında rapor. M.T.A. Rap. No. 2273, Ankara (yayınlanmamış).
18. Fakayode, S. O. 2005. Impact Assessment of Industrial Effluent on Water Quality of the Receiving Alaro River in Ibadan, Nigeria. AJEAM-RAGEE, 10, 1-13.
19. Fırat Ersoy, A., Gültekin, F., Hatipoğlu Temizel, E., 2019. The development of conceptual models for the functioning of geothermal systems using hydrogeological, hydrogeochemical and isotopic data: case studies from Rize (NE Turkey). Journal of Geography, Environment and Earth Science, 78, 351.
20. Fournier, R., O. ve Truesdell, A., H., 1974. Geochemical Indicators of Subsurface Temperature, Estimation of Temperature and Fraction of Hot Water Mixed with Cold Water, J. Res. U.S. Geol. Survey, 2, 263-270.
21. Fournier, R.O. 1977. "A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems", Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.
22. Freze, R., A. ve Cherry, J., A., 1979. Groundwater, Prentice- Hall, USA, 604.
23. Gemici, Ü. 1999. "Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları", Doktora Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
24. Giggenbach, W.F. 1988. "Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators", Geochimica Et Cosmochimica Acta, 52, 2749-2765.
25. Gültekin, F., Hatipoğlu Temizel, E., Babacan, A.E., Kırmacı, M.Z., Fırat-Ersoy, A., Subaşı, B.M., 2019. Conceptual model of the Samsat (Artvin/NE Turkey) Geothermal Field developed with hydrogeochemical, isotopic, and geophysical studies. Geothermal Energy, 7, 12.
26. Güner, S., Er, M., Gümüşel, A., Boğuşlu, M. 1985. Gümüşhane-Eski Gümüşhane yöresindeki cevherleşmelere ait jeoloji, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 8029. Ankara-Türkiye (yayınlanmamış).

27. Güner, S., Güç, A.R. Yazıcı, E., Köse, Z., Çuvalcı, F. ve Efe, S., 1989. Ordu (Gölköy) yöresi jeoloji raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
28. Güven, İ.H., 1993. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/250000 ölçekli jeolojik ve metalojenik haritası., MTA, Ankara.
29. Hart. S.R., 1969 K, Rb, Cs contents and K/Rb, K/Cs ratios of fresh and altered submarine basalts. Earth Planet Sci Lett 6:295–303. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(69\)90171-X](https://doi.org/10.1016/0012-821X(69)90171-X)
30. Hatipoğlu Temizel E., 2014. Pasinler (Erzurum) Jeotermal Sisteminde Akışkan Akımının Modellenmesi ve Jeotermal Suların Hidrojeokimyası (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi. No:378320
31. Hatipoğlu Temizel, E., Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., 2019. Rare earth elements and yttrium geochemistry of the geothermal felds in the Eastern Black Sea Region (Ordu, Rize, Artvin), NE Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 160, 135-153.
32. Hatipoğlu Temizel, E., Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., 2020. Major, trace, and rare earth element geochemistry of the Ayder and İkizdere (Rize, NE Turkey) geothermal waters: Constraints for water-rock interactions. Geothermics, 86, 101810.
33. Hem, D., J., 1971. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, Second Edition, 93.
34. Hem, J. D., 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p.
35. Hem, J.,D., 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geol Surv., Water- Supply, 2254.
36. Hounslow, A., W., 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation, Lewis Publishers, 54.
37. IAH (International Association of Hydrogeologists) 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH, United Kingdom.
38. IRENA-2020. <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>
39. Kandemir, R. 2004. Gümüşhane ve Yakın Yöresindeki Erken-Orta Jura Yaşlı Şenköy Formasyonunun Çökel Özellikleri ve Birikim Koşulları, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 272 s.
40. Karakaya N., Karakaya M., 2001. Şaplıca (Şebinkarahisar, Giresun) Volkanitlerinin Hidrotermal Alterasyon Türlerinin Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni. 77s.

41. Ketin, I., 1951, Bayburt bölgesinin jeolojisi hakkında. İst. Üni. Fen Fak. Mecm., 21, 113-127.
42. Kharaka Y.K, Mariner R.H 1987 Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. In: Naeser ND, McCulloh TH (eds) Thermal history of sedimentary basins. Methods and case histories. Springer, New York, pp 99–118
43. Koçak, A., 2003. Jeotermal Enerji Ders Notları, 53 s, MTA, İzmir.
44. Mc. Neely, R., N. ve Neimanis, V., P., Dwyer, L., 1979. Water Quality Source Book-A Guide to Water Quality Parameters.
45. Nebert, K. 1961. Kelkit çayı ve Kızılırmak (Kuzeydoğu Anadolu) nehirleri mecrâ bölgelerinin jeolojik yapısı. M.T.A. Derg., no. 57, Ankara.
46. Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, Springer-Verlag, Berlin, 263 p.
47. Özdemir İ., 2012. “Alucra İlçe Merkezinin Coğrafi Etüdü” Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı
48. Pelin, S., 1977, Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi., yayın No:87, Trabzon, 1035
49. Piper, A., M., 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, American Geophysical Union Transactions, 25,914–923.
50. Sarp, S., Bekar, K., ve Bekar T., 2015. Giresun-Alucra Ar: 02 No.Lu Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahası Jeoloji Ve Jeofizik Etüt Raporu, MTA, Enerji Hammadde Etüt Ve Arama Dairesi, Ankara.
51. Schoeller, H., 1962. Les Eaux Souterraines, Mason et cie, Paris, 642 p.
52. Shaw D.M ve Sturchio, N.C, 1992, Boron-lithium relationships in rhyolites and associated thermal waters of young silicic calderas, with comments on incompatible element behavior. Geochim. Cosmochim. Acta 56, 3723-3731
53. Şahinci, A., 1986. Yeraltı Suları Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/JEO-86, 99, İzmir.
54. Şahinci, A.1991. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. Reform Matbaası, İzmir, 247s.
55. Şaşmaz A., ve Sağıroğlu A., 1994. Tutak Dağı Güneybatısındaki (Şebinkarahisar-Giresun) Pb-Zn Yatakları, MTA Dergisi 116,51-64
56. Thornthwaite, C., W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate, Geograph., Rev. 38, 55-94.

57. Tokel, S., 1977, Doğu Karadeniz bölgesinde Eosen yaşlı kalkakalin andezitler ve tektonizma: Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 20/1, 49-54
58. Truesdell, A., H., 1975. Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration, In: Proceedings of the Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, 25-50.
59. Türk Standartları Enstitüsü (TSE 266) (2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular standardı (Rapor No. TS 266) Ankara: TSE.
60. Tüysüz, O., 1993. Karadenizden Orta Anadolu'ya bir jeotravers. Kuzey Neo-tetisin tektonik evrimi.T.P.J.D. Bülteni, 5, 1-33.
61. Wampler, J.M., Krogstad, E.J., Elliot, W.C., Kahn, B., Kaplan, D.I., 2012. Long-term selective retention of natural Cs and Rb by highly weathered coastal plain soils. Environ. Sci. Technol. 46, 3837–3843.
62. Ward, A.D., Trimble, S.W., 2003. Environmental Hydrology. CRC Press, Boca Raton, 504 p.10.1201/b13148 Search in Google Scholar
63. World Health Organization (WHO) (2011). Guidelines for Drinkingwater Quality: Fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: WHO Publications.
64. Yılmaz, A. Okay, A. Bilgiç, T. 1985. Yukarı Kelkit Çayı yöresinin ve güneyinin temel jeoloji özellikleri ve sonuçları. Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 7777, Ankara (yayımlanmamış).
65. Yılmaz, S., 1995. Dereli-Şebinkarahisar (Giresun güneyi) arası granitoyit plütonlarının karşılaştırılmalı incelenmesi. Doktora Tezi, C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 308s, Sivas
66. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YKSY). 2021. Tarım ve Orman Bakanlığı. Resmî Gazete. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/06/20210616-1.htm>
67. Yurtsever, Y., 1978. Tabii İzotopların Hidrojeolojide Kullanılması Esasları ve Antalya Civarı Karstik Bölgede Yerüstü-Yer Altı Suyu İlişkisinin Tabii İzotoplarla Araştırılması Sonuçları, E.İ.E. Bülteni, 75-76, 1061-1080.

ÖZGEÇMİŞ

Eğitimlerini Trabzon’da tamamlayarak 2019 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi – Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Özel sektörde meslek hayatına başlayarak çeşitli firmalarda çalıştı. 2020 yılında Eskişehir Teknik Üniversitesi- Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yüksek lisans yaptı. 2022 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü- Jeoloji Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğüne bağlı çalışmaktadır. B2 seviyesinde İngilizce bilmektedir.

