

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAMAMAYAĞI (LADİK-SAMSUN) SICAK SU KAYNAĞI'NIN
HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Esra HATİPOĞLU

**HAZİRAN 2008
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HAMAMAYAĞI (LADİK-SAMSUN) SICAK SU KAYNAĞI'NIN
HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOPIK İNCELENMESİ**

Jeoloji Mühendisi Esra HATİPOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Jeoloji Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.06.2008

Tezin Savunma Tarihi : 24.06.2008

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr.Fatma GÜLTEKİN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Aysel ŞEREN

Enstitü Müdür V. : Doç. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2008

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada Hamamayağı (Samsun-Ladik) sıcak su kaynağının hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi amaçlanmış ve bu amaç doğrultusunda kaplıca su kaynağının ve çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri ve kaynak sularının kökenleri belirlenmiştir.

“Karadeniz Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu” tarafından desteklenen çalışmanın tamamlanmasında, çalışmalarımı büyük titizlikle izleyen, yardımlarını ve önerilerini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN'e şükran ve en derin saygılarımı sunarım.

Bu araştırmanın yürütülmesinde, arazi çalışmalarım ve kaynak sağlamamda, her türlü yardımı sunan Arş. Gör. Dr. Arzu FIRAT ERSOY'a, Yrd. Doç. Dr. Hakan ERSOY'a, Jeoloji Mühendisi Seçil CELEP'e Jeoloji Yük. Mühendisi Ayberk KAYA'ya, Arş. Gör. Nevzat DAMLA'ya ve Burak TÜMER'e teşekkürler ederim.

Büro çalışmalarında türlü yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. İsmet GEDİK'e Prof. Dr. Cemil YILMAZ'a, Yrd. Doç. Dr. Reyhan KARA GÜLBAY'a, Dr. İrfan TEMİZEL'e ve Arş. Gör. Hatice KADAYIFÇI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü desteklerini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan arkadaşlarım İnşaat Mühendisi Emine BAYRAM'a, Jeoloji Mühendisi Emine TÜRK'e, Jeoloji Mühendisi Gülname REİSOĞLU'na, Jeoloji Mühendisi Melek Betül KARSLI'ya ve aileme gönülden ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Esra HATİPOĞLU

Trabzon 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu.....	2
1.4. Morfoloji.....	2
1.5. Ulaşım ve Yerleşim.....	3
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.7. Ekonomik Jeoloji.....	6
1.8. Önceki Çalışmalar.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	10
2.1. Arazi Çalışmaları.....	10
2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....	11
3. BULGULAR.....	14
3.1. Stratigrafi.....	14
3.1.1. Giriş.....	14
3.1.2. Akdağ Formasyonu.....	16
3.1.3. Seyfe Formasyonu.....	18
3.1.4. Doğdu Formasyonu.....	19
3.1.5. Yumaklı Formasyonu.....	21
3.1.6. Tekkeköy Formasyonu.....	23
3.1.7. Çerkeş Formasyonu.....	27
3.1.8. Alüvyon.....	28
3.2. Yapısal Jeoloji.....	28

3.2.1.	Tabakalar.....	29
3.2.2.	Çatlaklar.....	29
3.2.3.	Faylar	29
3.3.	Hidrojeoloji.....	30
3.3.1.	Su Noktaları	30
3.3.1.1.	Akarsular.....	30
3.3.1.2.	Kaynaklar.....	31
3.3.1.3.	Kuyular	33
3.4.	İnceleme Alanındaki Suların Hidrokimyasal Özellikleri.....	34
3.4.1.	Suların Fiziksel Özellikleri	36
3.4.1.1.	Sıcaklık (°C)	36
3.4.1.2.	Elektriksel İletkenlik (Eİ)	37
3.4.1.3.	Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH).....	38
3.4.2.	İnceleme Alanındaki Sularda Majör İyonlar.....	39
3.4.2.1.	Sodyum (Na) ve Potasyum (K))	40
3.4.2.2.	Kalsiyum (Ca ⁺⁺) ve Magnezyum (Mg ⁺⁺).....	41
3.4.2.3.	Alkalinite (HCO ₃ ve CO ₃)	42
3.4.2.4.	Klorür (Cl) ve Florür (F).....	43
3.4.2.5.	Sülfat (SO ₄).....	44
3.4.3.	Ağır Metal Analizleri.....	45
3.4.3.1.	Demir (Fe) ve Mangan (Mn).....	47
3.4.3.2.	Bakır (Cu)	48
3.4.3.3.	Krom (Cr).....	49
3.4.3.4.	Kurşun (Pb).....	49
3.4.3.5.	Çinko (Zn).....	50
3.4.3.6.	Nikel (Ni).....	51
3.4.3.7.	Kadmiyum (Cd)	51
3.4.3.8.	Alüminyum (Al).....	51
3.4.3.9.	Arsenik (As).....	52
3.4.3.10.	Bor (B)	53
3.4.3.11.	Brom (Br).....	54
3.4.4.	Kirlilik Analizleri.....	54
3.4.4.1.	Amonyum (NH ₄).....	54

3.4.4.2.	Nitrit (NO ₂)	56
3.4.4.3.	Nitrat (NO ₃)	57
3.4.4.4.	Fosfat (PO ₄)	58
3.5.	İnceleme Alanındaki Suların Sınıflandırılması.....	58
3.5.1.	Piper Diyagramı Değerlendirmesi	59
3.5.2.	Schoeller Diyagramı Değerlendirmesi.....	60
3.5.3.	Wilcox Diyagramının Değerlendirilmesi.....	61
3.6.	Suların Mineral Doygunlukları	62
3.7.	Çevresel İzotop Hidrolojisi	64
3.7.1.	Oksijen 18 (¹⁸ O)- Döteryum (² H) İlişkisi.....	65
3.7.2.	Oksijen 18 (¹⁸ O)- Sıcaklık (°C) İlişkisi.....	66
3.7.3.	Tritiyum (³ H)- Elektriksel İletkenlik (Eİ) İlişkisi	67
3.7.4.	Tritiyum (³ H)- Sıcaklık (°C) İlişkisi.....	67
3.7.5.	Tritiyum (³ H)- Klorür (Cl) İlişkisi	69
3.7.6.	Karbon 13 (¹³ C).....	69
3.7.7	Kükürt 34 (³⁴ S).....	72
3.8.	Radyoaktivite	74
3.8.1.	Sulardaki Radyoaktivitenin Kaynağı	74
3.9.	Jeotermometre Uygulamaları.....	76
3.9.1.	Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler	79
3.9.1.1.	Silis Jeotermometreleri	79
3.9.2	İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler	80
3.9.2.1.	Na/K Jeotermometreleri.....	80
3.9.2.2.	Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li Jeotermometreleri.....	82
3.10.	Jeotermal Sistemlerin Oluşum Şekilleri.....	83
3.11.	Jeotermal Akışkanların Çevresel Etkileri	87
4.	TARTIŞMA	90
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	96
6.	KAYNAKLAR	100

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Hamamayağı sıcak su kaynağı Samsun'un 95 km güneyinde Ladik İlçesinde yer almaktadır. Çalışma alanında, Permiyen'den Pliyosen'e kadar değişen zaman aralığında çökelmiş genellikle volkanik arakatkılı tortul kayalardan oluşan birimler yüzeylenmektedir.

Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonunda yer alan Hamamayağı sıcak su kaynağının sıcaklığı 36°C, pH'ı 6.9-7.1, elektriksel iletkenlik değerleri (Eİ) 591-598 µS/cm, toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) 295-446 mg/l dir. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk sular Fe, Mn, Ni, Al, As, Pb, Zn, Cu gibi ağır metal içeriği bakımından incelenmiş; Hamamayağı sıcak su kaynağının ağır metal içeriği açısından kaplıcalar yönetmeliğine uygun olduğu; Kocapınar çeşmesinin Ni elementi açısından İnsani Tüketim Amaçlı Sular standardına uygun olmadığı belirlenmiştir.

$\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisine göre inceleme alanındaki sular meteorik kökenlidir. İncelenen sulardaki çözünmüş inorganik karbon üzerinde analiz edilen $\delta^{13}\text{C}_{\text{vpdb}}$ değeri Hamamayağı kaplıcasında ‰-1.78 ile -1,62; Kocapınar Çeşmesi'nde ‰-12.18 ile -8.25; Hamamayağı Deresi'nde ‰-10.10 ile -8.31 arasındadır. Hamamayağı sıcak suyundaki karbon, denizel ve tatlı su karbonatların çözünmesinden kaynaklanmaktadır. Sulardaki sülfat için analiz edilen $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimi Hamamayağı kaplıcasında ‰-4.2 ile -4.1; Kocapınar Çeşmesinde ‰3.8; Hamamayağı Deresinde ‰1.31-2.7 arasındadır. Hamamayağı sıcak suyundaki kükürt izotop kompozisyonları, $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimine göre indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunduğu kayalardan gelmektedir. Jeotermal sistemler açısından düşük sıcaklıklı jeotermal sistem sınıfına giren Hamamayağı kaplıca alanında rezervuar sıcaklığı silis jeotermometresi ile 46-85°C olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hamamayağı Kaplıcası, Hidrojeokimya, Duraylı İzotop Bileşimleri, Jeotermal Sistem, Ladik, Samsun

SUMMARY

Hydrogeochemical and Isotopic Assesment of Hamamayağı (Ladik-Samsun) Hot Water Spring

The Hamamayağı hot water spring is located to 95 km south of Samsun Province. In the studied area, Permian to Pliocene age, sedimentary unites interbedded with volcanic rocks are crop out.

The Hamamayağı hot water spring in North Anatolian Fault Zone has a temperature of 36°C, discharge pH values of 6.9 to 7.1, electrical conductivity (EC) of 591 to 598 $\mu\text{S/cm}$ and TDS contents between 295 and 446 mg/l. According to analyses of heavy metal contents such as Fe, Mn, Ni, Al, Pb, Zn, and Cu, The Hamamayağı hot water spring is suitable for the Thermal Standarts, The Kocapınar cold water spring is not suitable in terms of Ni content with reference to Regulation Concerning Water.

The $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ data clearly indicate a meteoric origin for the waters. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{vpdb}}$ value for dissolved inorganic carbonate in the waters is between -1.78 and -1.62‰ in the Hamamayağı thermal spring, from -12.18 to -8.25‰ in the Kocapınar cold water spring and between -10.10 and -8.31‰ in the Hamamayağı stream. The carbon in the Hamamayağı hot water originates from the dissolution of marine and fresh water carbonates. The $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ value for sulfate in the waters is between -4.2 and -4.1‰ in the Hamamayağı hot water, 3.8‰ in the Kocapınar cold water and 1.31- 2.7‰ in the Hamamayağı stream. According to $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ data Sulfur compositions in the Hamamayağı thermal water originated from rocks containing sulfur compounds. The Hamamayağı hot water is in class low enthalpy geothermal system, and its reservoir temperature was calculated as 46-85°C using silica geothermometer.

Key Words: The Hamamayağı Thermal Water, Hydrogeochemistry, Stable Isotope Composition, Geothermal System, Ladik, Samsun

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2. Ladik Meteoroloji İstasyonu'nda 1995-1999 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi.....	5
Şekil 1.3. Ladik Meteoroloji İstasyonu'nda 1995-1999 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi.....	5
Şekil 2.1. Hamamayağı sıcak su kaynağının bulunduğu kaplıca tesisleri; HK: Hamamayağı Kaplıca kaynağı.....	10
Şekil 2.2. Örnekleme yapılan Hamamayağı Deresi (a), Örnekleme yapılan Kocapınar Çeşmesi (b)	11
Şekil 2.3. Garmin etrex Legend Cx marka el GPS'i (a) Yerinde ölçümlerin yapıldığı Hanna marka çoklu parametre ölçer (b)	12
Şekil 2.4. Gama spektrometre sisteminin blok şeması	13
Şekil 3.1. İnceleme alanında yer alan birimlerin bir kısmından genel bir görünüm (Hamamayağı Köyü)	14
Şekil 3.2. Ladik (Samsun) ve yakın çevresinin stratigrafik kolon kesiti (Aktimur vd., 2008).....	15
Şekil 3.3. Ladik-Hamamayağı yolu üzerinde Permiyen yaşlı Akdağ Formasyonu'na ait kireçtaşları (a), Kırmızı Tepe civarındaki Permiyen yaşlı kireçtaşlarında işletilen kireç ocakları (b)	16
Şekil 3.4. Akdağ Formasyonu'na ait kireçtaşlarının mikroskopik görünümü (Ç.N. X5; F: Fusulin, Ml: Miliolid, sp: Sparit; Örnek No: 3 ve 8)	17
Şekil 3.5. Ladik-Hamamayağı yolu üzerinde Meğrep Tepe civarında Seyfe Formasyonu'na ait kireçtaşları	18
Şekil 3.6. Seyfe Formasyonu'na ait kireçtaşlarının mikroskopik görünümü (Ç.N., X5; Ap: Aptychus, Plc: Pelecypoda, M: Mikrit, Op: Opak Mineral; Örnek No: 3 ve 8).....	19
Şekil 3.7. Kocapınar Köyü güneyinde Doğdu Formasyonu'na ait kireçtaşları	20
Şekil 3.8. Doğdu Formasyonu'na ait kireçtaşlarının mikroskopik görünümü (Ç.N. X5; Biy: Biyoklast, Ec: Ekinit Plakaları, M: Mikrit, İnt: İntraklast, Clp: Calpionella; Örnek No: 4 ve 5).....	21
Şekil 3.9. Yumaklı Formasyonu'nda gözlenen kumlu kireçtaşlarının mikroskopik görünümü (Ç.N. X5; Bij: Biyojen, sp: Sparit, Biy: Biyoklast, K.Alg: Kırmızı Alg, Ku: Kuvars; Örnek No: 6).....	22
Şekil 3.10. Tersakan Deresi kuzeyinde Tekkeköy Formasyonu'na ait andezitler.....	24

Şekil 3.11.	Horblendli biyotitli andezitler içerisinde gözlenen; (a) özşekilli plajiyoklas fenokrsitalleri ile bol çatlak ve kırık içeren amfibol fenokristalleri, (b) elek dokulu plajiyoklas fenokrsitali, yarı özşekilli amfibol mikrofenokristalleri ve tek yönde dilinim gösteren biyotit fenokristali (Ç.N. X5; Pl: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Bi: Biyotit, Op: Opak mineral; Örnek No: 1).....	24
Şekil 3.12.	Ojitli bazaltlar içerisinde gözlenen; (a) ojit mikrofenokristalleri ve mikrolitleri, plajiyoklas ve olivin mikrolitleri ile opak mineraller, (b) kuvars ksenokristalinin etrafını saran iğnemsiz ojit mikrolitlerinin oluşturduğu reaksiyon dokusu (Ç.N. X5; Pl: Plajiyoklas, Oj: Ojit, Ol: Olivin, Op: Opak mineral, Ku: Kuvars; Örnek No: 2).....	26
Şekil 3.13.	Hamamayağı Köyü kuzeyinde yüzeyleyen Çerkeş Formasyonu'nun çakıllı seviyeleri.....	27
Şekil 3.14.	Hamamayağı Deresi	31
Şekil 3.15.	Kocapınar Çeşmesi (KPC) soğuk su kaynağı çıkışındaki çeşme	32
Şekil 3.16.	Hamamayağı Kaplıcası ve tesisleri (HK)	33
Şekil 3.17.	Kaynakların mevsimlere göre sıcaklık değişimleri	36
Şekil 3.18.	Kaynakların mevsimlere göre elektriksel iletkenlik (EI) değişimleri	38
Şekil 3.19.	Kaynakların mevsimlere göre pH değişimleri.....	39
Şekil 3.20.	İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Fe değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı	47
Şekil 3.21.	İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Mn değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı	48
Şekil 3.22.	İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Zn değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı	50
Şekil 3.23.	İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Al değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı	52
Şekil 3.24.	İnceleme alanındaki kaynaklardan ölçülen NH ₄ değerlerinin aylara göre dağılımı.....	56
Şekil 3.25.	İnceleme alanındaki kaynaklardan ölçülen NO ₂ değerlerinin aylara göre dağılımı.....	57
Şekil 3.26.	İnceleme alanındaki kaynaklardan ölçülen NO ₃ değerleri	58
Şekil 3.27.	İnceleme alanındaki kaynaklarda ölçülen PO ₄ değerleri.....	59
Şekil 3.28.	İnceleme alanındaki su örneklerine ait Piper diyagramı	60
Şekil 3.29.	İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk su örneklerinin Schoeller diyagramındaki konumları.....	61
Şekil 3.30.	İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait Wilcox diyagramı	62

Şekil 3.31.	İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait mineral doygunluk diyagramı (1-2-3 Hamamayağı Kaplıcası, 4-5-6 Kocapınar Çeşmesi, 7-8-9 Hamamayağı Deresi)	64
Şekil 3.32.	İncelenen suların Oksijen 18-Döteryum ilişkisi	65
Şekil 3.33.	İncelenen suların sıcaklık-Oksijen-18 ilişkisi.....	67
Şekil 3.34.	İncelenen suların trityum- elektriksel iletkenlik ilişkisi	68
Şekil 3.35.	İnceleme alanındaki suların trityum- sıcaklık ilişkisi.....	68
Şekil 3.36.	İnceleme alanındaki sulara ait trityum-klor ilişkisi	69
Şekil 3.37.	Farklı doğal ortamlardaki $\delta^{13}C_{VPDB}$ değerinin değişim aralığı (Clark ve Fritz, 1997)	70
Şekil 3.38.	İnceleme alanındaki sulara ait Karbon-13 değerleri	71
Şekil 3.39.	İnceleme alanındaki sulara ait karbon-13 –bikarbonat değerleri.....	72
Şekil 3.40.	İnceleme alanındaki sulara ait kükürt–34 değerleri.....	73
Şekil 3.41.	İnceleme alanındaki suların Giggenbach diyagramı (Giggenbach, 2004)	81
Şekil 3.42.	Jeotermal enerji oluşumunu gösteren genel bir şema (Koçak, 2003).....	85
Şekil 3.43.	Havza-Bekdiğin BK-2 kuyusu litoloji ve kuyu donanımı (Özten ve Yurtseven, 1996)	86
Ek Şekil 1.	Hamamayağı (Ladik-Samsun) ve çevresinin jeoloji haritası ve jeolojik kesitleri	

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Ladik Meteoroloji İstasyonu'ndaki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri.....	4
Tablo 1.2. Ladik meteoroloji istasyonu verileri ile Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış hidrolojik bilanço (Yükselti: 920m, Enlem 40° 50' K, Boylam: 35° 39' D, Rasat Süresi: 1995–1999).....	6
Tablo 3.1. Ladik- Hamamayağı jeotermal alanında açılan sondajlar (Akkuş vd., 2005).....	33
Tablo 3.2. İnceleme alanında yer alan kaynaklardan yapılan örnekleme noktalarının koordinatları	34
Tablo 3.3. İnceleme alanından derlenen sıcak ve soğuk su kaynaklarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler.....	35
Tablo 3.4. Kaynakların mevsimlere göre sıcaklık değerleri.....	36
Tablo 3.5. Kaynakların mevsimlere göre elektriksel iletkenlik değerleri.....	37
Tablo 3.6. Kaynakların mevsimlere göre pH değerleri.....	39
Tablo 3.7. İnceleme alanındaki sulara bulunan eser elementler (değerler mg/l, k: KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü ICP- OES laboratuvarı, a: Acme Analiz Laboratuvarı (Kanada), h: Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı).....	46
Tablo 3.8. İnceleme alanından derlenen örneklerin kirlilik analiz değerleri (mg/l, K: 2006 Kasım, N: 2007 Nisan, A: 2007 Ağustos).....	55
Tablo 3.9. İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait SI değerleri (d: Doygun).....	63
Tablo 3.10. İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları.....	66
Tablo 3.11. İçme suyunda izin verilen radyoaktivite konsantrasyonları.....	76
Tablo 3.12. İnceleme alanından alınan su örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları.....	75
Tablo 3.13. İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sulara ait silis jeotermometre uygulamaları (SiO ₂ : 32 mg/l, tüm derişimler mg/l, * =mol/l).....	80
Tablo 3.14. Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları (Tüm derişimler mg/l).....	82
Tablo 3.15. Bu çalışmada uygulanan Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/l).....	83
Tablo 3.16. Jeotermal kaynakların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması (Dickson and Fanelli, 1990).....	83
Tablo 3.17. Jeotermal gelişmenin olası çevresel etkileri (Trevor, M. H., 2001).....	87

Tablo 3.18. Hamamayağı sıcak su kaynağı ve soğuk su kaynağı kimyasal analiz sonuçları	91
--	----

SEMBOLLER DİZİNİ

D	: Döteryum
DIC	: Çözünmüş inorganik karbon
DO	: Çözünmüş Oksijen
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
HD	: Hamamayağı Deresi
HDA	: Hamamayağı Deresi Aşağısı
HDY	: Hamamayağı Deresi Yukarısı
HK	: Hamamayağı Kaplıcası
IAP	: İyonik aktivite çarpanı
K	: Tepkime denge sabiti
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KPÇ	: Kocapınar Çeşmesi
P	: Gama bozunumu
SI	: Doygunluk İndeksi
t	: Sıcaklık
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde Miktarı
TU	: Tritiyum
w	: Kg olarak kurutulmuş örneğin ağırlığı
¹³ C _{VPDB}	: Karbon-13 (Vienna Pee Dee Belemnite)
C _s	: Doğal radyonükleitlerin radyoaktivite konsantrasyonları
d _f	: Döteryum fazlası
² H	: Döteryum
³ H	: Tritiyum
N _a	: Gama ışınlarının net sayış oranları
¹⁸ O	: Oksijen-18
pH	: Hidrojen iyonu aktivitesi
³⁴ S _{CDT}	: Kükürt-34 (Canon Diablo Troilite)
t _c	: Saniyedeki sayış
e	: Dedektörün verimlilik katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Jeotermal sistemlerin geliştiği ülkeler, bilinen bazı tektonik ve/veya aktif volkanik kuşaklar üzerinde bulunmaktadır. Ülkemizde de genç tektonizma ve volkanizma yaygın olarak gelişmiştir. Aktif faylarla sınırlı grabenler ve yaygın genç volkanizmaya bağlı olarak gelişen doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı 25-103 °C arasında değişen 600 ün üzerindeki sıcak su kaynağının varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Türkiye jeotermal kaynak haritasına bakıldığında tüm kaynakların, ülkemizde özellikle 1999 Marmara depremlerinden sonra toplumun gündemine giren “deprem üreten fay” hatlarında olduğu gözlenir. Jeotermal kaynaklar özellikle bu diri faylar nedeniyle yeryüzüne ulaşırlar.

Türkiye jeotermal potansiyeli bakımından, Avrupa’da ilk, Dünya’da ise yedinci ülke konumundadır. Sadece kaynakların doğal boşalımına göre potansiyel 600 MWt civarındadır. Açılan kuyularla kullanılabilir potansiyel 3524 MWt’a ulaşmıştır (Akkuş vd., 2005).

Bu çalışmanın konusu olan Hamamayağı (Ladik- Samsun) sıcak su kaynağı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAF)’nda yer almaktadır ve sıcak su kaplıca amaçlı kullanılmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada “Hamamayağı (Ladik- Samsun) sıcak su kaynağının hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi” adı altında alanda yer alan kaplıca su kaynağının ve çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri ve kaynak sularının kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kaplıca suyunun oluşum mekanizması, fiziksel, kimyasal özellikleri, doğal izotop ve radyoaktivite içerikleri tespit edilmiş, kaplıca sularının hazne sıcaklıkları kimyasal jeotermometrelerle hesaplanmış ve jeotermal açıdan önemi belirlenmiştir.

Çalışmanın amacı kapsamında, bölgeye ait jeoloji haritası daha önceki çalışmalardan da yararlanılarak hazırlanmıştır. Bunlara ek olarak bölgede yer alan sıcak su kaynağından

(HK), Hamamayağı Deresi'nden (HD) ve soğuk su kaynağını temsilen Kocapınar Çeşmesi'nden (KPC) yağışlı, kurak ve ara periyotlarda su örnekleri alınarak kimyasal analizler yapılmış ve hidrojeokimyasal değerlendirmeler sunulmuştur.

1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli Çorum G35-b₁ paftası içerisinde yaklaşık 46 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Kaplıca Samsun İli'ne bağlı Ladik İlçesinde Hamamayağı Köyü'nde bulunmaktadır. Hamamayağı Köyü 40.779 enlemi ve 34.900 boylamı koordinatlarında yer alır. Köy, Samsun iline 95 km, Ladik ilçesine 14 km uzaklıktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

1.4. Morfoloji

Yeryüzü şekilleri bakımından Samsun üç kısımda incelenir. Bunlar; güneydeki dağlık kesim, güneydeki dağlık kesimle kıyı şeridi arasında kalan kuzey yamaçları ile etek kısımları arasındaki yaylalar, Kızılırmak ve Yeşilirmak akarsularının delta alanlarında

oluşmuş ovalardır. Bu deltalarda yer yer göller de oluşmuştur. Samsun'da Kuzey Anadolu sıradağları yükseltisinin düşmesi ve iç kesimlerdeki dağ sıralarının basık olması, Karadeniz kıyısı ile iç kesimler arasındaki ulaşımı kolaylaştırır. Samsun'un doğusundaki Canik dağlarının en yüksek noktası olan Akdağ (2062 m) çalışma alanının güneyinde yer alır. Samsun'un güneybatısında kalan Ladik İlçesi ve Hamamayağı Köyü daha çok düzlük alanlardan oluşmaktadır. Çalışma alanının kuzey ve güney kesimi engebeldir. Güneydeki yükseltiler Kırmızı T. (972 m), Meğrep T. (904 m), Diktepe (949 m), Dikilitaş T. (906 m), Koruardı T. (902 m) Evcı T. (882 m), kuzeydeki yükseltiler ise Karamuk T. (752 m), Çanlık T. (784 m), Çelemen T. (757 m), Akaya T. (756 m), Karaçördük T. (790 m), Küçükgöl T. (721 m), Kabayorgan T. (816 m)'dir.

Çalışma alanındaki en önemli akarsu Hamamayağı Deresi'ninde döküldüğü Yeşilirmak'ın bir kolu olan Tersakan Çayı'dır. Tersakan Çayı Lâdik Gölü'nden doğar, ilkbahar ve kış mevsimlerinde bol su ile kendisini besleyen Kürtlü Deresi'ne karışarak Yeşilirmak'a ulaşır. Diğer akarsuların tersi yönüne doğru akışından dolayı "Tersakan" adını almıştır.

1.5. Ulaşım ve Yerleşim

Ladik ilçesi, Samsun ilinin güneybatısında il merkezinden yaklaşık 95 km. uzaklıkta bir yerleşim birimidir. Ladik ilçesi Samsun-Ankara devlet yoluna 13 km. mesafede olup bu yola asfalt yolla bağlıdır. Ayrıca Amasya- Suluova ve Taşova ile asfalt yol bağlantısı vardır. İlçe köylerinin tamamının yolu vardır. Yenice, Tuzla, Karageçmiş, Teberoğlu, Ayvalısokağı, Hamamayağı, Kocapınar köylerinin yolları asfalt, diğerleri de stabilize kaplamadır.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

Samsun genellikle ılıman bir iklime sahiptir. Ancak sahil şeridi ve iç kesimlerinde iklim iki ayrı özellik gösterir. Sahil şeridinde (Merkez ilçe, Terme, Çarşamba, Bafra, Alaçam, 19 Mayıs, Tekkeköy ve Yakakent) Karadeniz ikliminin etkileri görülür. Bunun için sahil şeridinde yazlar sıcak, kışlar ılık ve yağışlı geçer. İç kesimler (Vezirköprü, Havza, Ladik, Kavak, Asarcık ve Salıpazarı) yüksekliği 2.000 metreyi bulan Akdağ ve 1.500 metreyi

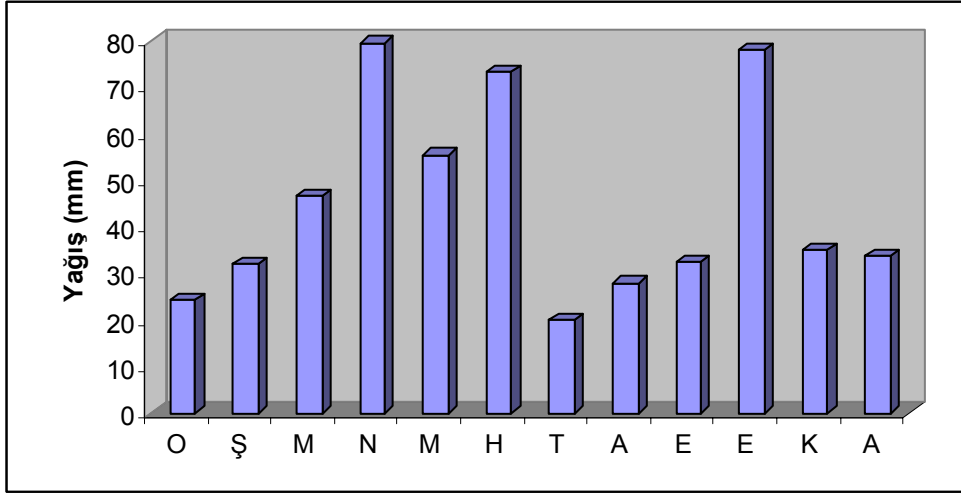
bulan Canik Dağları'nın etkisi altında kalır. Buradaki dağların etkisinden dolayı kışlar soğuk, yağmur ve kar yağışlı, yazlar ise serin geçer. İnceleme alanı olan Lâdik ilçesi ve çevresi Karadeniz Bölgesi içersinde olmasına rağmen, karasal bir iklime sahiptir. Özellikle kışları sert, karlı ve soğuk; yazları ise bunaltıcı olmayıp, serin geçmektedir. Bu sebeple yaz aylarında ilçeye gelen yazlıkçıların arttığı gözlenmektedir. Samsun İli bitki örtüsü bakımından zengindir. Ovalar; bağ, bahçe, çayır ve ekili alanlarla örtülüdür. Dağlar ormanlarla kaplıdır. İl topraklarının % 48'i orman ve fundalık; % 3'ü çayırılık; % 47'si ekili ve dikili alanlarla kaplıdır. Ormanlarda meşe, gürgen, kestane, ıhlamur, kayın, dişbudak ağaçları; 1200 m ile 1800 m arasında ise iğne yapraklı ağaçlar bulunur. Lâdik ilçesinde dik ve sarp eğimli araziler geniş alana sahiptir. Bunların büyük bir çoğunluğu orman ve funda ile kaplıdır.

İnceleme alanında, 1999 yılına kadar Ladik İlçesi'nde Devlet Meteoroloji İşleri'ne ait aylık toplam yağış (mm), aylık ortalama sıcaklık (°C) ve aylık toplam buharlaşma (mm) ölçümlerinin yapıldığı istasyon 1999 yılında kapatılmıştır. Bu istasyonun kayıtlarından alınan, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 5 yıllık (1995-1999) rasatların ortalamasına göre; ortalama toplam yıllık yağış 539.2 mm, yıllık ortalama sıcaklık 9.5 °C dir (Tablo 1.1).

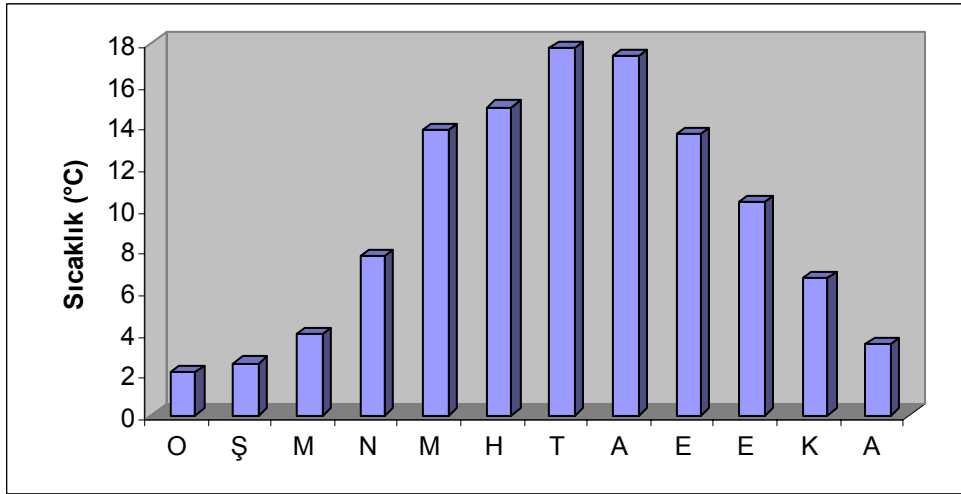
Ladik Meteoroloji İstasyonu'ndan elde edilen yağış ve sıcaklık değerleri ile 1995-1999 yılları arasına ait aylık ortalama yağış değerleri ve aylık ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmış ve Tablo 1.1'de verilmiştir. Ortalama yağış değerinin en fazla olduğu ay 79.6 mm ile nisan ayı; sıcaklık değerinin en fazla olduğu ay 17.8 °C ile temmuz ayıdır. Bu verilerden hazırlanan ortalama sıcaklık ve yağış değerlerinin aylara göre değişim grafikleri Şekil 1.2 ve 1.3'de görülmektedir. Thornwhaite (1948) Yöntemi kullanılarak hazırlanan hidrojeolojik bilanço Tablo 1.2'de verilmektedir.

Tablo 1.1. Ladik Meteoroloji İstasyonu'ndaki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ortalama Yağış (mm) (1995-1999)	24.2	31.9	46.8	79.6	55.5	73.5	20.1	27.9	32.5	78.2	35.2	33.7	539.2
Ortalama Sıcaklık (°C) (1995-1999)	2.1	2.5	3.9	7.7	13.8	14.9	17.8	17.7	13.6	10.3	6.6	3.4	9.5



Şekil 1.2. Ladik Meteoroloji İstasyonu'nda 1995-1999 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi



Şekil 1.3. Ladik Meteoroloji İstasyonu'nda 1995-1999 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi

Tablo 1.2'de görüldüğü gibi; yıllık potansiyel buharlaşma 615.1 mm'dir. Ekim, kasım, aralık, ocak, şubat, mart ve nisan aylarında aylık yağış gerçek buharlaşma-terlemeden fazladır. Şubat, mart ve nisan aylarında su fazlası görülmüştür. Yağış fazlası toprağın su rezervine eklenmektedir. Mayıs, haziran ve temmuz aylarında yağış miktarı gerçek-buharlaşma terlemeyi karşılamamakta ve rezervden yararlanılmaktadır. Temmuz, ağustos ve eylül aylarında rezervde su bulunmamaktadır. Ekim, kasım, aralık, ocak ve şubat aylarında yağış miktarı gerçek buharlaşma- terlemeden fazla olup su rezervi tekrar dolmuştur.

Tablo 1.2. Ladik meteoroloji istasyonu verileri ile Thornthwaite yöntemine göre hazırlanmış hidrolojik bilanço (To: Toplam, Yükselti: 920m, Enlem 40° 50' K, Boylam: 35° 39' D, Rasat Süresi: 1995–1999)

Bilanço Elemanları	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	O	Ş	To
Yağış (mm)	46.8	79.6	55.5	73.5	20.1	27.9	32.5	78.2	35.2	33.7	24.2	31.9	539.1
Potansiyel Buharlaşma (mm)	17.8	39.7	83.5	91.4	111.4	103.7	68.4	46.4	24.8	11.9	7.3	8.8	615.1
Gerçek Buharlaşma (mm)	17.8	39.7	83.5	91.4	74.2	27.9	32.5	46.4	24.8	11.9	7.3	8.8	466.2
Toplam. Faydalı Su Rezervi Değişimi	-	-	-28	-17.9	-54.1	-	-	+31.8	+10.4	+21.8	+16.9	+23.1	-
Topraktaki Faydalı Su Rezervi	100	100	72	54.1	-	-	-	31.8	42.2	64	80.9	100	
Su Açığı (mm)	-	-	-	-	37.2	75.8	35.9	-	-	-	-	-	
Su fazlası (mm)	29	39.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	72.9
Yüzeysel Akış (mm)	15.5	27.7	13.8	6.9	3.4	1.7	-	-	-	-	-	2	

1.7. Ekonomik Jeoloji

Ladik ilçesinde Ayvalısokağı köyü sınırları içerisinde Kireçlik mevkiinde kuvarsit işletilmekte olup, Suluova ilçesinde bulunan fayser yapım fabrikasına gönderilmektedir. Ayvalısokağı, Hamamayağı köyleri sınırları içerisinde linyit ve manganez yatakları bulunmaktadır. Linyit yataklar üzerinde yer alan 2,5 metrelik kil katmanı Akpınar mevkiindeki Ladik Çimento fabrikasında işletilmektedir. Ladik ilçesinin kuzey ve güneyinde bulunan dağların tamamında Kalker bulunmaktadır ve Ladik Çimento fabrikasında işletilmektedir (URL-1, 2008).

Ladik ilçesinin en önemli turizm alanı olan Hamamayağı kaplıca tesisleri ilçeye önemli derecede ekonomik katkılar sağlamaktadır.

1.8. Önceki Çalışmalar

Blumethal (1940), Gökırmak Vadisi (Boyabat) ile Karadeniz arasında kalan bölgede yapmış olduğu incelemede; Paleozoyik yaşlı temel üzerine gelen Kretase- Tersiyer yaşlı

istifin stratigrafisini incelemiş ve formasyon adlamaları yapmıştır. Bölgenin 1/100 000 ölçekli jeolojik haritasını yapan araştırmacı, petrol potansiyeli bakımından araziye değerlendirmiştir.

Yalçınlar (1958), Samsun bölgesinin Neojen ve Kuvaterner dolgularını konu alan çalışmasında, Eosen birimlerinin çökel ve volkanik olarak iki fasiyeste olduğunu ve Eosen ile uyumsuzluk oluşturan fosilli çakıltaş kumtaşı kil ve marn katmanlarından oluşan Neojen'in eski Karadeniz (Pontid), ve eski Akdeniz (?) yaşında ve karasal kökenli olduğunu belirtmiştir.

Ketin ve Gümüş (1963), T.P.A.O adına Sinop- Ayancık güneyindeki 1500 km² lik sahada yaptıkları çalışmada yaklaşık 4500 m kalınlığındaki Jura- Kretase yaşlı istifin stratigrafisini incelemiş ve formasyonları ayırtlayarak bölgenin 1/50 000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır.

Alp (1972), "Amasya Yöresinin Jeolojisi" adı altında yaptığı çalışmada Amasya yöresinin kayaç birimlerini ayırtlamış ve stratigrafik problemlerini çözmeye çalışmıştır. Bu çalışmada yöredeki metamorfitletler üzerinde Siluriyen'in varlığı fosillerle saptanmış ve metamorfitletler Siluriyen öncesi yaşı vermiştir.

Göksu ve diğerleri (1974), 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Samsun Paftasını ve izahnamesini hazırlamış ve havzada Kretase- Üst Kretase ilişkisini incelemiştir.

Yenal ve diğerleri (1976), İstanbul Üniversitesi Tıbbi Ekoloji ve Hidro-klimatoloji Kürsüsü Türkiye Maden Suları (Akdeniz, Karadeniz, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri), adlı envanter çalışmada kaplıca kaynaklarının 36°C sıcaklıkta ve Havza –Ladik fay çizgisine güneyden paralel ve tam Ladik üzerinden geçen ikinci bir fay hattı arasından çıktığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada kaplıca kaynakları Kalsiyum, magnezyum bikarbonatlı, izotermal, hipotonik, oligometalik maden suyu olarak sınıflandırılmıştır.

Öztürk (1979), "Ladik- Destek Yöresinin Stratigrafisi" isimli çalışmasında Kuzey Anadolu Fay Zonu içerisinde bulunan ve oldukça karmaşık bir tektonik durum gösteren bölge kayaçlarının litolojik özelliklerini ve bunların jeokronolojik konumlarının saptanmasına açıklık getirmeye çalışmış grafik yaşlarını tespit etmiştir. Yazara göre bölgenin en yaşlı kayaçları Permiyen, Liyas ve Üst Kretase yaşlı kayaçlar tarafından uyumsuz olarak örtülen kristalin şistlerdir. Yazar bölgede Permiyen yaşlı kireçtaşlarını "Akdağ Formasyonu", Liyas yaşlı kırıntıları ve kireçtaşlarını "Seyfe Formasyonu", Malm-Alt Kretase yaşlı çörtlü kireçtaşlarını "Doğdu Formasyonu", Senomaniyen –Türoniyen yaşlı kırıntılıları "Yumaklı Formasyonu", Santoniyen- Kampaniyen yaşlı kırmızı renkli

killi kireçtaşlarını “Çevirme Formasyonu”, Maastrihtiyen yaşlı kırıntılıları “Tersakan Formasyonu”, ve Lütseyen yaşlı kırıntılarında “Ladik Formasyonu” olarak adlandırmıştır. Miyosen-Pliyosen yaşlı birimler ise “Çerkeş Formasyonu” olarak adlandırılmıştır.

Ercan ve Gedik (1983), Pontid’lerdeki Perma-Karbonifer ve Pliyo- Kuvaterner yaşlı volkanik kayaların dağılımını ve oluşum koşullarını incelemişler; bunların birbirinden farklı köken ve gelişme gösterdikleri sonucuna varmışlardır. Volkanitlerin Sinop- Samsun arasında Üst Kretase’de geniş alanlar kapsadığına değinen araştırmacılar, bu volkanitlerin andezit, dasit ve latit türünden ada yayı volkanizması ürünü olduklarını vurgulamışlardır.

Besbelli (1984), Bafra (KB Samsun) G’inde yüzeylenen Üst Kretase- Alt Tersiyer istifinin ölçülü stratigrafik kesitlere dayalı yapısal, dokusal ve minerolojik- petrografik özellikleri ile yöredeki fasiyes değişiklikleri ve paleoakıntı şebekesini saptamış, bölgenin tortullaşma modeli ve paleocografik evrimini belirlemiştir.

Gedik ve Korkmaz (1984), Sinop Havzası’nda Liyas- Kuvaterner zaman aralığında çökelmiş yaklaşık 10800 m kalınlığında istifin stratigrafisini incelemiş ve 2500 km²’lik alanın 1/25 000 ve 1/100 000 ölçekli jeolojik haritasını yapmışlardır. Ayırtladıkları formasyonların litolojilerini ve fosil içeriklerini de veren araştırmacılar ayrıca bölgenin petrol potansiyeline değinmişlerdir.

Serdar vd. (1984), Samsun-Sinop-Çarşamba-Havza-Vezirköprü-Boyabat-Taşköprü yörelerinde yaptıkları çalışmada Pontid’lerin orta bölümünde, Orta Jura’da Paleotetis’in kapanmasından sonra oluşan temel üzerinde Üst Jura- Alt Kretase’den Neojen’e kadar bir çökme dönemi olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, Alt Kretase’den Paleojen’e kadar gelişen jeolojik olaylardar bahsetmişler ve bölgedeki volkanik etkinliğe değinmişlerdir.

Yoldaş vd. (1985), Samsun- Sinop havzasının Kızılırmak ile Yeşilirmak arasında yer alan yaklaşık 3600 km²’lik bir bölümünün petrol olanaklarını araştırmak amacıyla, ayrıntılı jeoloji etüdünü yapmıştır. İnceleme sırasında 1/25 000 ölçekli temel haritalar üzerine kaya stratigrafi birimlerinin işlenmesinin yanı sıra, stratigrafinin kurulması, eski çökme ortamlarının saptanması, kalınlık, litoloji, fosil kapsamı ve sedimanter yapıların öğrenilmesi için stratigrafi kesitleri ölçmüşlerdir.

Akdağ (1992), Kavak (Samsun) Yöresi Kretase Filişlerinin Sedimentolojik incelemesi adlı çalışmasında yörenin 1/25 000 ölçekli ayrıntılı jeolojik haritasını yapmış ve alanda altı birim ayırtlamıştır. Bütün birimlerin ölçülü tip kesitlerini çıkarmış bunların litolojik ve sedimentolojik özelliklerini belirlemiştir.

DSİ (1994), Kürtün Irmağı Tersip Bendi projesi çerçevesinde Samsun Merkez Kürtün Irmağı Islahı Planlama Raporunu hazırlayarak genel hatları ile bölgenin hidrojeolojisi hakkında bilgilere yer vermiştir.

Erdem (2000), Taşova Ovası'nın Hidrojeoloji İncelemesi adlı çalışmasında bölgenin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerini ortaya koymuştur.

Gülibrahimoğlu vd. (2000), Metropolitan alanların çevre jeolojisi ve doğal kaynakları projesi adı altında, Samsun ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları araştırılmıştır. Çalışma süresince inceleme alanını da kapsayan çalışmada bölgenin jeoloji, hidrojeoloji, hidroloji, su ve toprak kirliliği, mühendislik jeolojisi, depremsellik, uzaktan algılama çalışmaları, erozyon ve erozyonla mücadele, Samsun ilinin doğal kaynakları, enerji kaynakları, arazi kullanım potansiyeli çalışmaları yürütülmüştür.

Başar (2003), Kürtün Havzası'nın (Samsun) Hidrojeoloji İncelemesi adlı çalışmasında bölgenin 1/100000 ölçekli hidrojeoloji haritasını hazırlayarak alanın hidrojeolojik özelliklerini ortaya koymuştur.

Akkuş vd. (2005), "Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri" adlı çalışmalarında Ladik kaplıca kaynaklarının 36°C sıcaklıkta, 18 l/sn debili, sondajdan alınan suyun sıcaklığının da kaynakla aynı olduğu ve sıcak suların sadece kaplıca da kullanıldığını belirtmişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Arazi Çalışmaları

İnceleme alanına ait jeoloji haritasının oluşturulmasında Öztürk (1979)'un oluşturduğu 1/25000 ölçekli jeoloji haritasından ve MTA elemanları tarafından yapılan 1/25000 ölçekli jeolojik haritalama çalışmalarından yararlanılmış ve arazi çalışmaları ile elde edilen veriler kullanılarak inceleme alanının haritası yeniden hazırlanmıştır. Haritalama için yapılan arazi çalışmaları Kasım–2006, Nisan–2007, Ağustos–2007 aylarında değişik aralıklarda yapılmıştır. Araziden alınan kayaç örnekleri KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit Laboratuvarında hazırlanmış ve araştırma mikroskobunda incelenmiştir.

Saha çalışmalarında bölgede, sıcak su kaynağından (Şekil 2.1) ve kaynağın çevresinde yer alan yüzey ve yeraltı suyunu temsilen soğuk kaynak suyundan olmak üzere toplam 4 adet su noktasından yağışlı, kurak ve ara periyotlarda majör anyon-kasyon, nitrit, nitrat, amonyum ve fosfat gibi kirlilik, oksijen–18, döteryum, trityum, karbon–13 ve kükürt–34 izotop analizleri için örnekleme yapılmıştır. Hamamayağı Kaplıca suyundan ağır metal analizleri için Kasım 2006'dan itibaren her ay olmak üzere 12 kez örnekleme yapılmıştır. Suların radyoaktivite düzeylerini belirlemek amacıyla toplam alfa ve toplam beta, radon ve toryum analizleri için her su noktasından bir kez örnekleme yapılmıştır.



Şekil 2.1. Hamamayağı sıcak su kaynağının bulunduğu kaplıca tesisleri; HK: Hamamayağı Kaplıca kaynağı

Yüzey suyu olarak Hamamayağı Deresi boyunca, kaynağa yaklaşık 150-200 m uzaklıkta olacak şekilde derenin aşağı ve yukarı kesimlerinden örnekler alınmıştır. Yeraltı suyunu temsilen ise Kocapınar Kaynağından örnekleme yapılmıştır (Şekil 2.2 a ve b).

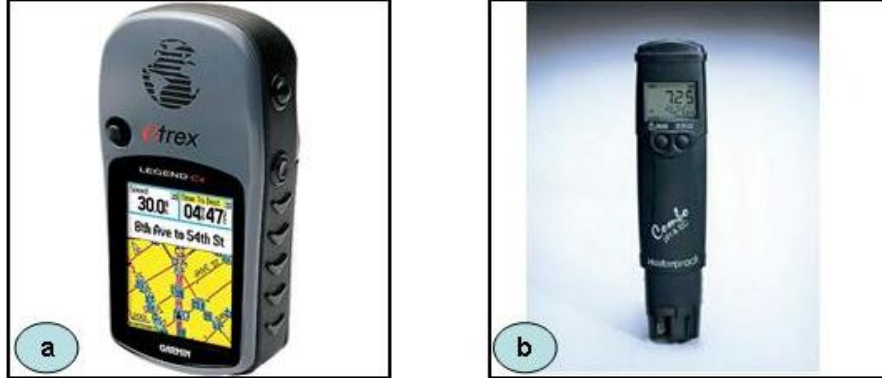


Şekil 2.2. Örnekleme yapılan Hamamayağı Deresi (a), Örnekleme yapılan Kocapınar Çeşmesi (b)

Örnekleme işlemine 2006 Kasım ayında başlanmış 2007 Ekim ayında tamamlanmıştır. Majör anyon-katyon ve kirlilik analizleri için örneklemede 1 litrelik polietilen şişeler kullanılmıştır. Oksijen-18, döteryum ve trityum analizleri için 1 litrelik plastik, karbon-13 için 1 litrelik polietilen şişeler, kükürt-34 için 2 litrelik koyu renkli cam şişeler kullanılmıştır. Ağır metal analizleri için 100 ml'lik polietilen şişeler kullanılmıştır. Toplam alfa ve toplam beta için 1 litrelik plastik şişeler, radon ve toryum için 20 litrelik plastik bidonlar kullanılmıştır. Ayrıca örnekleme yapılan noktalarda sıcaklık (T), pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ölçümleri yerinde Hanna marka çoklu parametre ölçer ile ölçülmüştür (Şekil 2.3.b). Alınan örneklerin koordinatlarının belirlenmesinde Garmin etrex Legend Cx marka el GPS'i kullanılmıştır (Şekil 2.3.a).

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmalarında inceleme alanından alınan su örneklerinin kimyasal analizleri; majör anyon (Cl , SO_4 , HCO_3 , CO_3), majör katyon (Ca , Mg , Na , K) ve kirlilik (PO_4 , NO_2 , NO_3 , NH_3) içerikleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı'nda iyon kromatograf ile yaptırılmıştır.



Şekil 2.3. Garmin etrex Legend Cx marka el GPS'i (a) Yerde ölçümlerin yapıldığı Hanna marka çoklu parametre ölçer (b)

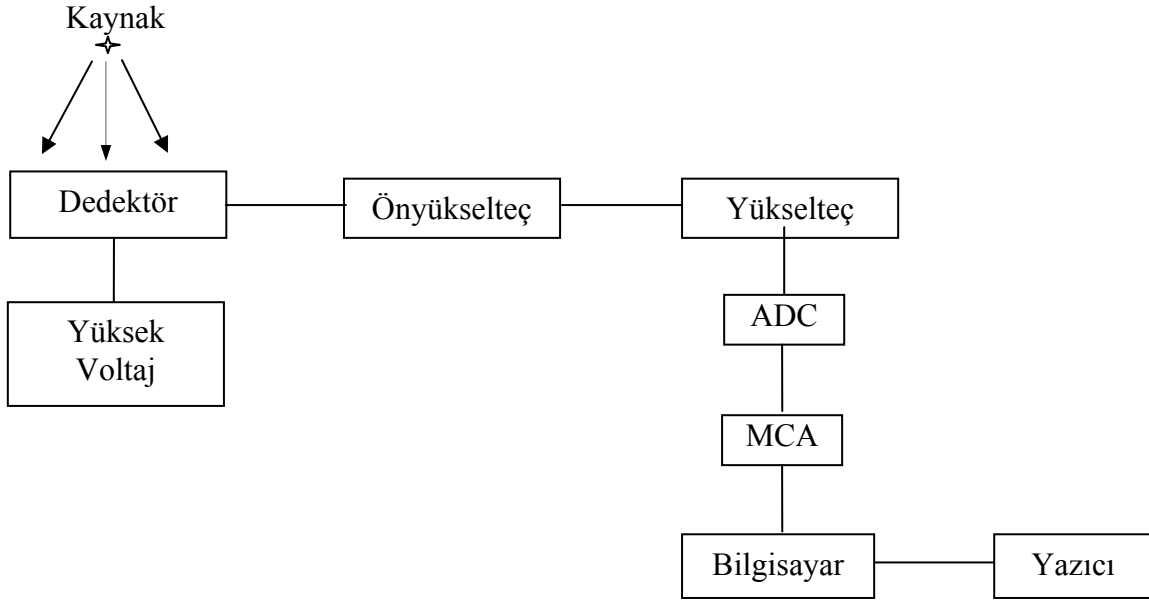
Suların oksijen-18 (^{18}O), döteryum (^2H), trityum (^3H) izotop analizleri, kütle spektrometresi ile ve toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları Gigger Sayacı ile DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Karbon-13 (^{13}C) ve kükürt-34 (^{34}S) izotopları Hatch İzotop Laboratuvarı'nda (Kanada) yaptırılmıştır.

Ağır metal (Cu, Fe, Cr, Ni, Pb, Co, Mn, Zn) analizleri KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü ICP- OES laboratuvarı'nda ve Acme Analiz Laboratuvarı'nda (Kanada), yaptırılmıştır.

Radon (^{226}Ra) ve toryum (^{232}Th) analizleri KTÜ Fizik Bölümü Atom ve Molekül Fiziği Araştırma Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

^{226}Ra ve ^{232}Th analizleri için Hamamayağı Kaplıcası, Kocapınar Çeşmesi ve Hamamayağı deresinden 20'şer litre su alınarak plastik bidonlara doldurulmuştur. Su numuneleri 2 litrelik temiz beherlere aktarılmış ve 50–60 °C'lik bir ısıtıcı üzerine buharlaşmaya bırakılmıştır. 2-3 hafta süreyle su miktarları 0.1 litre kalana kadar buharlaştırmaya devam edilmiştir. Buharlaşma esnasında beher cidarlarına yapışan maddeleri önlemek için beher içersine birkaç damla HCl katılmıştır. Sonra kalan miktarlar boş sayımları alınmış marinelli kaplarına konularak sırayla gama spektrometresi cihazında 50000 s süreyle sayılmışlardır.

Gamma spektroskopik ölçümler 1332.5 keV'de 1.9 keV rezölüsyona ve % 15' lik relatif verime sahip olan Canberra, GC 1519 model yüksek saflıkta coaxial Ge dedektörü kullanılarak yapılmıştır. Dedektör, önyükselteç, spektroskopi yükselteci, analog sayımları elektronik sinyallere dönüştüren ADC sistemi, çok kanallı analizörden (MCA) ibarettir. Şekil 2.4'de sistemin blok diyagramı verilmektedir.



Şekil 2.4. Gama spektrometre sisteminin blok şeması

^{226}Ra serisinin aktivite konsantrasyonunu belirlemek için 351.9 keV (^{214}Pb) ve 609.3 keV (^{214}Bi) enerjilerinin gama ışın geçişleri belirlenmiştir. ^{232}Th serisinin aktivite konsantrasyonunu belirlemek için (^{228}Ac) ve 583.1 keV (^{208}Tl) da gama ışın hatları kullanılmıştır. ^{40}K 'ın aktivite konsantrasyonu 1460.8 keV da gama emisyon hattında direk olarak ölçülmüştür. Doğal radyonükleitlerin radyoaktivite konsantrasyonları (C_s) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_s = \frac{N_a}{\epsilon P t c w} \text{ (Bq.kg}^{-1}\text{)} \quad (1)$$

Burada;

C_s : Doğal radyonükleitlerin radyoaktivite konsantrasyonları

N_a : Gama ışınlarının net sayış oranları,

ϵ : Dedektörün verimlilik katsayısı

P : Gama bozunumu,

t_c : Saniyedeki sayış

w ,: Kg olarak kurutulmuş örneğin ağırlığı'dır.

3. BULGULAR

3.1. Stratigrafi


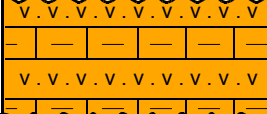
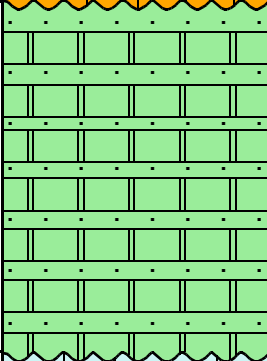
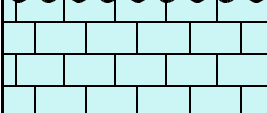
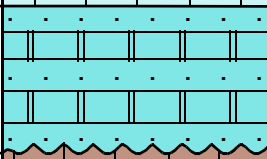
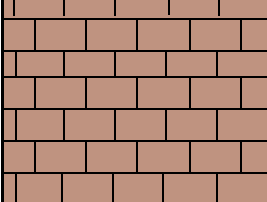
3.1.1. Giriş

Bölgenin genel jeolojik özellikleri ilk olarak Blumenthal (1943) tarafından ortaya konulmuş olup, çok çeşitli fasiyeslerde oluşmuş kayaçların stratigrafik durumları hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra Alp (1972), Öztürk (1979) gibi araştırmacılar inceleme alanı ve yakın çevresinde genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada daha önce yapılan adı geçen bu çalışmalardan yararlanarak çalışma alanının stratigrafisi belirlenmiştir.

Çalışma alanında, yaşlıdan gence doğru Permiyen yaşlı Akdağ Formasyonu, Liyas-Dogger yaşlı Seyfe Formasyonu Üst Jura- Alt Kretase yaşlı Doğdu Formasyonu, Üst Kretase Yaşlı Yumaklı Formasyonu, Eosen yaşlı Tekkeköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Çerkeş Formasyonu ile Tersakan vadisi ve Hamamayağı deresi boyunca birikmiş güncel alüvyon malzeme bulunur (Şekil 3.1, Ek-Şekil 1, Şekil 3.2).



Şekil 3.1. İnceleme alanında yer alan birimlerin bir kısmından genel bir görünüm (Hamamayağı Köyü)

Yaş		Kalınlık (m)	Formasyon Adı	Litoloji	Açıklama
SENOZOYİK	KUV.	10-15			Alüvyon
	TERSİYER	PLİYOSEN	Çerkeş		Çakıl, kum, kil, silt ve şeyl
		EOSEN	Tekkeköy		Bazalt, andezit, tuf, aglomera, kumtaşı
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Yumaklı		Kumtaşı, çamurtaşı, tuf
		ALT KRE.	Doğdu		Gri renkli kumlu kireçtaşı, kireçtaşı
	JURA	DOĞGER MALM	Seyfe		Aglomera, tuf, kumtaşı, marn killi kireçtaşı
		LIYAS	Akdağ		Gri renkli, bol kalsit damarı içeren kireçtaşı <i>ölçeksizdir</i>

Şekil 3.2. Ladik (Samsun) ve yakın çevresinin stratigrafik kolon kesiti (Aktimur vd., 1992)

3.1.2. Akdağ Formasyonu

İlk olarak Öztürk (1979) tarafından tanımlanan birim çalışma alanında Kırmızı Tepe, Alçakcubuk ve Hamamayağı Köyü civarlarında yüzeilenmektedir. Genellikle kireçtaşlarından meydana gelen birim, blok görünümlü olup gri-kurşuni renkli, bol kalsit damarlı, sert, kırılğan, pizolitik kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşmuştur.

(Şekil 3.3a ve b). Çalışma alanında yüzeyleme veren Permilen yaşı birimler genel özellikleri ile Öztürk (1979) tarafından tanımlanan Akdağ formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile aynı isimle tanımlanmıştır.



Şekil 3.3.a) Ladik-Hamamayağı yolu üzerinde Permilen yaşı Akdağ Formasyonu'na ait kireçtaşları, b) Kırmızı Tepe civarındaki Permilen yaşı kireçtaşlarında işlenen kireç ocakları

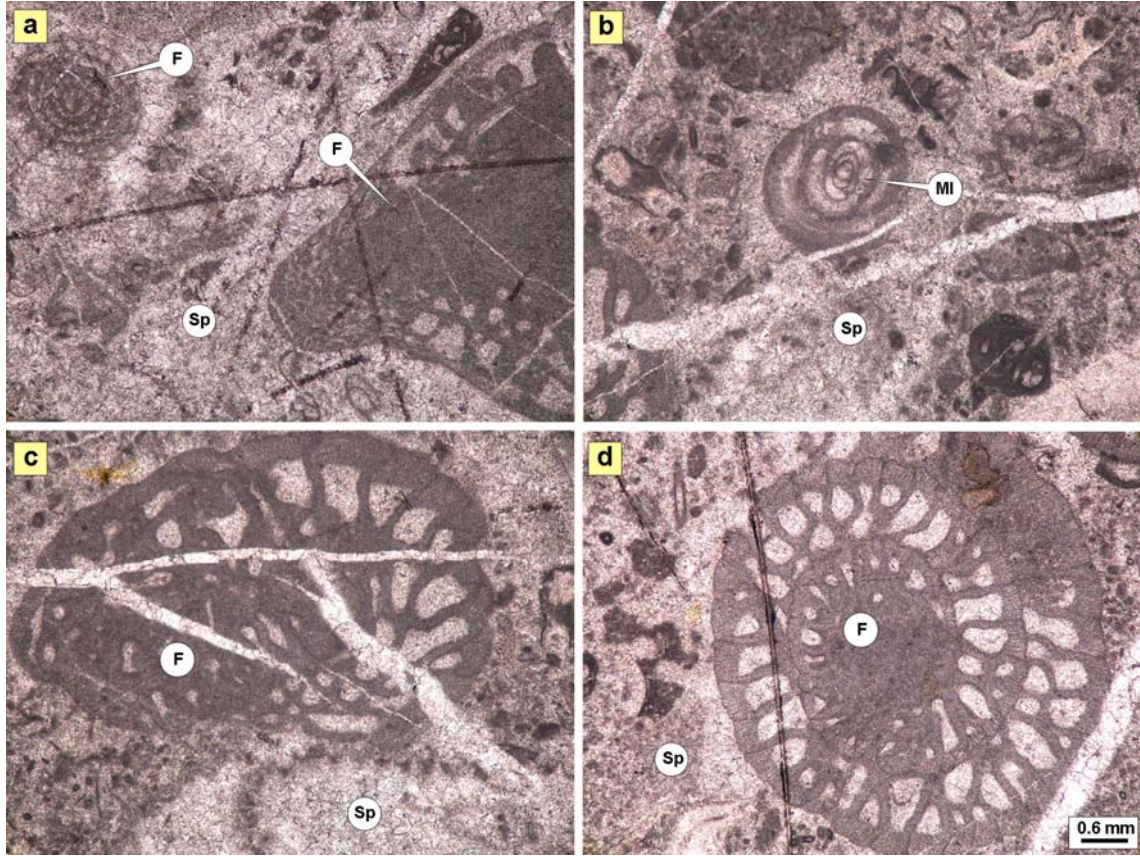
İnceleme alanında Liyas ve sonrasına ait birimler Akdağ Formasyonuna ait kireçtaşları üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Permilen Kireçtaşlarını oluşturan kayalar ileri derecede tektonik hareketlerin etkisinde kalmış kıvrımlı ve kırıklı bir yapı kazanmıştır. Faylı olan dokanaklarında ezilme ve parçalanmadan dolayı bir ezik zon meydana gelmiştir. Daha genç formasyonlarla olan dokanakları çoğunlukla faylıdır.

Kireçtaşlarından alınan örneklerin sedimenter petrografik incelemeleri yapılmış ve genelde biyosparit-tanetaşı, biyointrasparit- tanetaşı oldukları tespit edilmiştir.

Kireçtaşlarından alınan 3 nolu örneğin ortokemi sparittir (Şekil 3.4. a ve b). Allokemleri bol miktarda biyoklastlar oluşturmaktadır. Bunlar ekinid plakaları, yaygın olarak bentik foraminiferler (fusulin), mavi-yeşil alg ve mollus kavkı parçaları ve miliolid (Şekil 3.4 b)

içermektedir. Kayaç Folk (1962)'ye göre biyosparit, Dunham (1962)'ye göre ise tanetaşı olarak adlandırılmıştır.

Kireçtaşlarından alınan 8 nolu örneğin mikroskobik incelemesinde ortokem olarak sparit tespit edilmiştir. Allokemlerin çoğunluğunu biyoklastlar oluşturmaktadır. Az oranda intraklastlar gözlenmektedir. Biyoklastlar baskın olarak bentik foraminiferlerden oluşmaktadır. Bentik foraminifer olarak fusilinler (Şekil 3.4 c ve d) yaygın olarak gözlenmektedir. Ayrıca kesit içerisine az oranda ekinid plakları mevcuttur. Bu özellikler dikkate alınarak kayaç biyostrasparit-tanetaşı (Folk, 1962; Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.4. Akdağ Formasyonu'na ait kireçtaşlarının mikroskobik görünümü (Ç.N. X5; F: Fusulin, Mi: Miliolid, sp: Sparit; Örnek No: 3 ve 8)

Birim alt sınırı çalışma alanı içerisinde gözlenememiştir. Üst sınırı ise Liyas-Dogger yaşlı Seyfe Formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalara göre formasyon içerisindeki kireçtaşları *Neoschwagerina sp.*, *Pecheyloida*, *Climacamina sp.*, *Paleotextularidae sp.*,

Pseudoendothyra sp., *Pseudoendothyra sp.*, *Parafusulina sp.*, *Boultina sp.*, fosillerini içermekte olup Permiyen yaşlıdır (Öztürk 1979).

Akdağ Formasyonu benzer litolojik özelliklere sahip olması nedeni ile Permo-Karbonifer Kireçtaşları (Alp, 1972) ile deneştirilebilir.

3.1.3. Seyfe Formasyonu

Kırıntılı kayaçlar ile bunlar arasında volkanik kayaçlarla ara katmanlı olarak bulunan birim Öztürk (1979) tarafından Seyfe Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Çalışma alanındaki Liyas-Dogger yaşlı birimler, Öztürk (1979) tarafından tanımlanan Seyfe formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile aynı isimle tanımlanmıştır. Birim çalışma alanında Ladik- Hamamayağı yolu üzerinde, Ayvalısokağı, Meğrep Tepe ve Dik tepe dolaylarında yüzeyleme verir (Şekil 3.5).

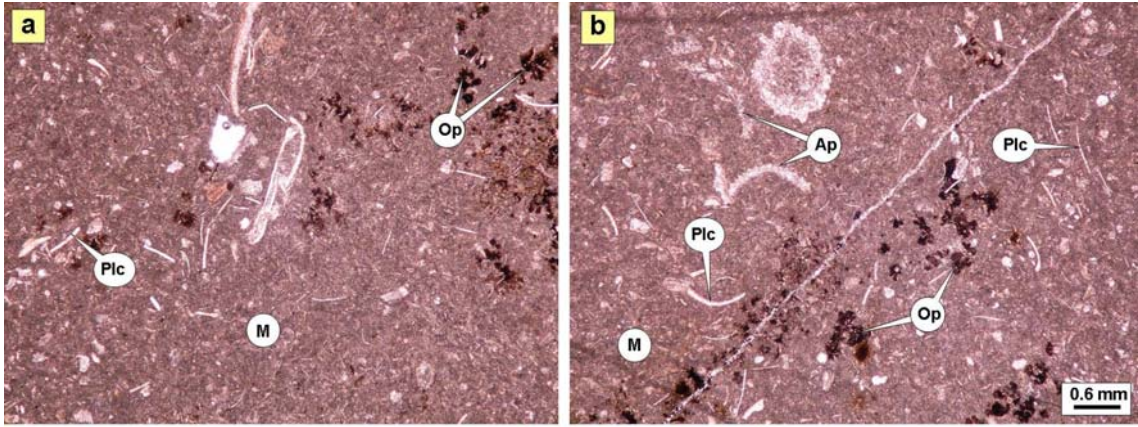


Şekil 3.5. Ladik-Hamamayağı yolu üzerinde Meğrep Tepe cicasında Seyfe Formasyonu'na ait kireçtaşları

Seyfe Formasyonu Ladik- Hamamayağı yolu üzerinde Permiyen yaşlı kireçtaşları üzerine bir taban konglomerası ile açılı uyumsuzlukla gelir. Konglomeraların bileşenlerini büyük ölçüde Permiyen yaşlı kireçtaşı çakılları oluşturur. Çakılların çapları 1-20 cm arasında değişmektedir ve kötü boylanmalıdır. Konglomeraların yerini daha üst düzeylerde kumtaşı alır. Kumtaşları boz, kahverengi, ince taneli, sert ve kırılmandır. Kumtaşlarını

yeşilimsi ince tabakalı çamurtaşı ile gri, mavi, kırmızı ince tabakalı eklemli marn ve killi kireçtaşı takip etmektedir (Şekil 3.5).

Birimden alınan 7 nolu örneğin petrografik incelemesine göre; ortokem mikrittir. Allokemlerin tamamı biyoklastlardan oluşmaktadır. Çok oranda pelajik pelecypoda kavkı parçaları ve Aptychus (Şekil 11 b) az oranda radyolaryaya gözlenmiştir. Ayrıca kayaç içerisinde %5 oranında opak mineral gözlenmiştir. Bu özellikler dikkate alınarak kayaç biyomikrit-vaketaşı (Folk, 1962; Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.6 a ve b).



Şekil 3.6. Seyfe Formasyonu'na ait kireçtaşlarının mikroskopik görünümü (Ç.N., X5; Ap: Aptychus, Plc: Pelecypoda, M: Mikrit, Op: Opak Mineral; Örnek No: 3 ve 8)

Seyfe Formasyonu, daha önce yapılan çalışmalara göre formasyon içerisindeki kireçtaşları *Involutina liassica*, *Lagenidae*, *Trocholina sp.*, *Lanliculme sp.*, *Vidalina sp.*, *Phylloceras anatolicum Meis*, *Phyllocaras frondosum Belt*, *Pentacrinus laevisutus Pomp* *Ophthalmidium sp.* fosillerini içermekte olup Liyas- Dogger yaşlıdır (Öztürk 1979).

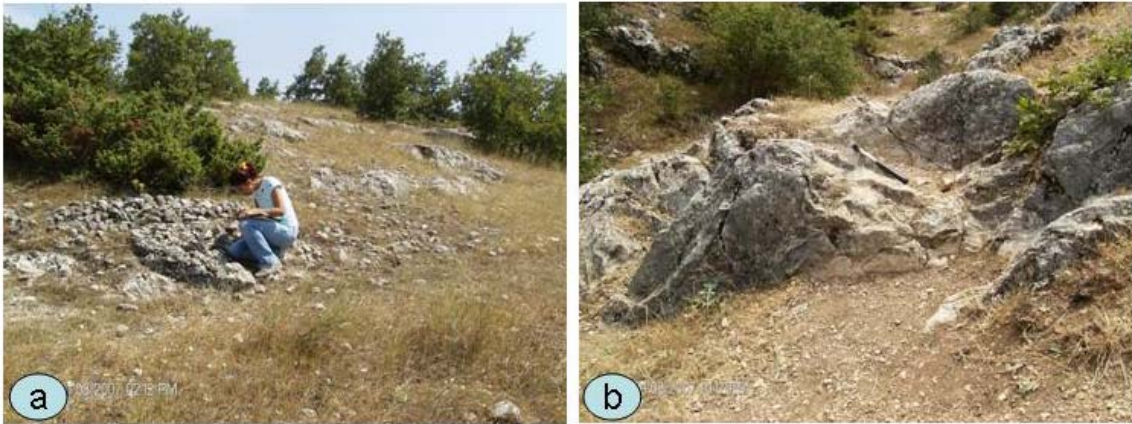
Seyfe Formasyonu benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile Kayabaşı Formasyonu (Alp, 1972) Karatepe Formasyonu (Seymen, 1974; Serdar vd., 1984) Karakese Formasyonu (Özcan vd., 1980), İnözü Formasyonu (Yoldaş vd., 1985) ile denestirilebilir.

3.1.4. Doğdu Formasyonu

Kireçtaşlarından oluşan bu birim Öztürk (1979) tarafından Doğdu Formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Doğdu Formasyonu'nu oluşturan kireçtaşları, tabanda gri renkli, kumlu

kireçtaşları düzeyi ile başlar üste doğru gri renk giderek açılır. Kireçtaşı bileşimine katılan kum taneleri de yerlerini killere bırakır. Çalışma alanında yüzeyleme veren Üst Jura- Alt Kretase yaşlı birimler genel özellikleri ile Öztürk (1979) tarafından tanımlanan Doğu Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile aynı isimle tanımlanmıştır.

Liyas-Dogger yaşlı Seyfe Formasyonu üzerine gelen Doğu Formasyonu'na ait kayalar inceleme alanında Kocapınar Köyü'nün güneyinde ve güneybatısında yüzeylemektedir (Şekil 3.7 a ve b). Bu birim; gri-beyaz renkli orta-kalın tabakalı oolitik kireçtaşı ile başlar. Oolitik kireçtaşı kirli beyaz, yer yer pembemsi renkli, konkoidal kırılma yüzeyli mikrit ve biyomikrite geçmektedir. Üste doğru birim çört yumrulu, beyaz-gri kireçtaşı ve biyomikrit ile devam eder. Birim ince tabakalı, pembe renkli marn ve kiltası ara seviyeleri kapsamaktadır.

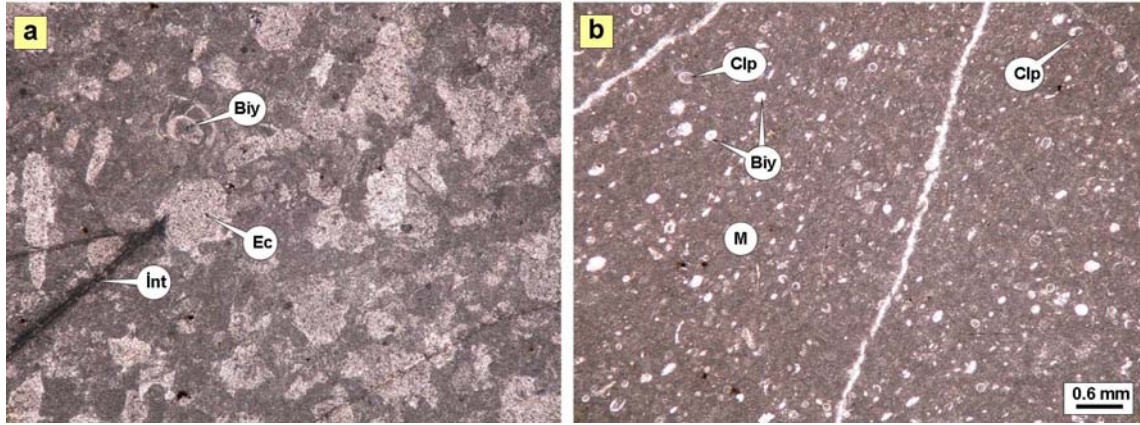


Şekil 3.7. Kocapınar Köyü güneyinde Doğu Formasyonu'na ait kireçtaşları

Kireçtaşlarından alınan örneklerin sedimenter petrografik incelemeleri yapılmış ve genelde biyointrasparit-tanetaşı, biyomikrit-vaketaşı oldukları tespit edilmiştir.

Birimden alınan 4 nolu kireçtaşı örneğinin petrografik incelemelerine göre; ortokem sparittir. Allokemlerin %30'unu biyoklastlar oluşturmakta ve bunlarda çoğunlukla ekinit plakaları olarak gözlenmektedir. Allokemlerin geriye kalan kısmını intraklastlar oluşturmaktadır. Bu özellikler dikkate alınarak kayaç biyointrasparit-tanetaşı (Folk, 1962; Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.8 a).

5 nolu kireçtaşı örneğinin mikroskobik incelemesinde ortokem mikrit olarak tespit edilmiştir. Allokemlerin tamamı biyoklastlardan oluşmaktadır. Yaygın olarak radyolaryya ve calpionella, az oranda da ostracoda fosillerine rastlanmıştır (Şekil 3.8 b). %1-2 oranında opak mineral gözlenmiştir. Bu özellikler dikkate alınarak kayaç biyomikrit-vaketaşı (Folk, 1962; Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.8. Doğdu Formasyonu'na ait kireçtaşlarının mikroskobik görünümü (Ç.N. X5; Biy: Biyoklast, Ec: Ekinit Plakaları, M: Mikrit, İnt: İntraklast, Clp: Calpionella; Örnek No: 4 ve 5)

Hemen her yerde katmanlı bir yapı gösteren kireçtaşları daha önce yapılan çalışmalara göre *Pseudocyclammina sp.*, *Ophthalmidium*, *Virguiliana koehlin*, *Sphaeroidalis hottinger*, *Pseudocyclammina cf. Jaccardi*, *Calpionellides neocarniesis*, *Calpionella eliptica*, *Calpionella alpina*, *Tintinopsella carpatica*, *Mesondothyra sp.*, *Ophthalmididae* fosilleri içermektedir. Birimin yaşı Üst Jura- Alt Kretase olarak saptanmıştır (Öztürk 1979).

Doğdu Formasyonu benzer litolojik özelliklere sahip olması nedeniyle Hankırı Tepesi Kireçtaşı (Seymen, 1974) İnaltı Formasyonu (Serdar vd., 1984) ve Bilecik Kireçtaşı (Şentürk ve Karaköse, 1981) ile deneştirilebilir.

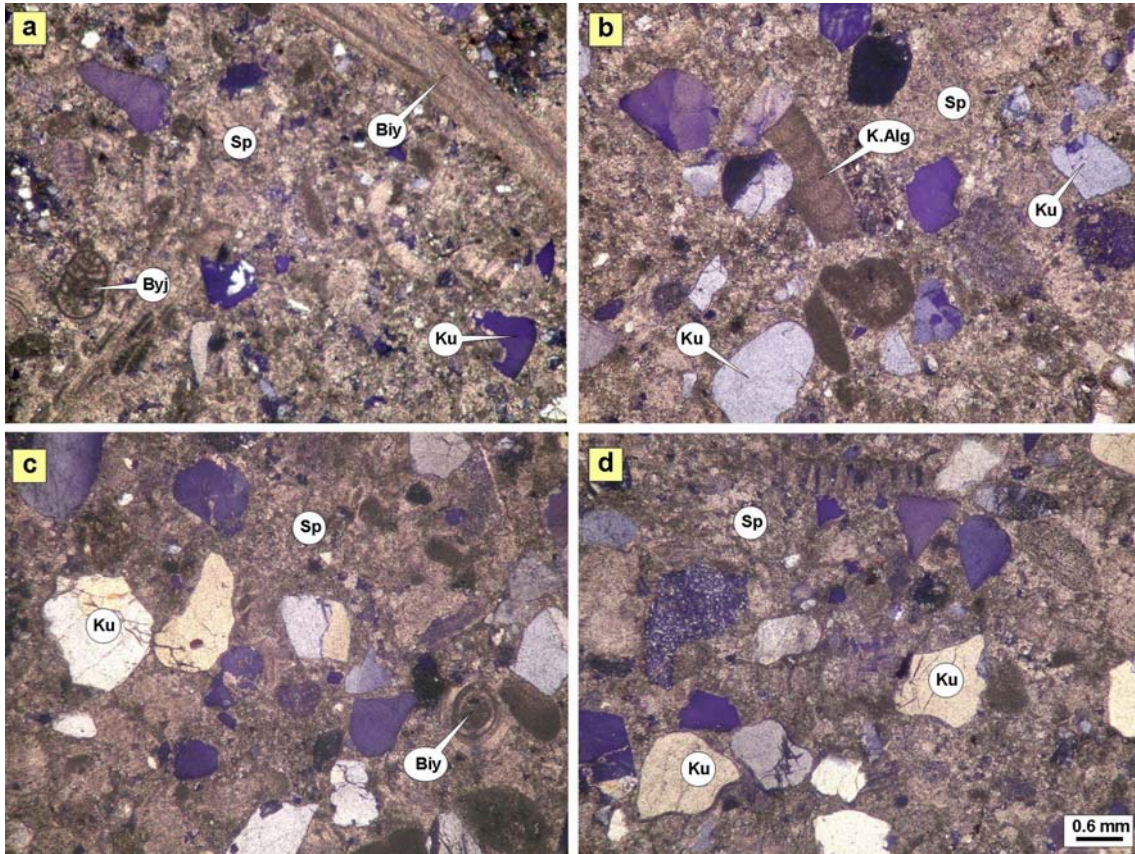
3.1.5. Yumaklı Formasyonu

Genellikle konglemera kumtaşı kumlu kireçtaşı marn şeyl çamurtaşı ve tüften oluşan birim, Öztürk (1979) tarafından Yumaklı Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında yüzeyleme veren Üst Kretase yaşlı birimler genel özellikleri ile Öztürk (1979)

tarafından tanımlanan Yumaklı Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile aynı isimle tanımlanmıştır.

Yumaklı Formasyonuna ait birimler inceleme sahasında Diktepe dolaylarında yüzeyleme vermektedir (Ek-Şekil 1). Yumaklı Formasyonu; boz- kahverengi, sıkı tutturulmuş, 0.5-15 cm çakıl boyutlu, killi kireç çimentolu, iyi boylanmış konglomera ile başlamaktadır. Üste doğru boz, gri, kahverengi, ince-orta tabakalı, kuvars, kalsit bileşimli kumtaşı, kirli sarı, yeşilimsi, ince tabakalı, kalsit damarlı marn, toprağımsı çamurtaşı ardalanması ile devam etmektedir.

Birimden alınan kumlu kireçtaşı örneklerinin petrografik tayinlerine göre; Ortokem sparittir. Allokemlerin tamamını biyoklastlar oluşturmaktadır ve yaygın olarak kırmızı alg, ekinid plakaları gözlenmekte olup, ekinid plakaları etrafında syntaxial çimento gelişmiştir (Şekil 3.9 a ve b).



Şekil 3.9. Yumaklı Formasyonu'nda gözlenen kumlu kireçtaşlarının mikroskobik görünümü (Ç.N. X5; Bij: Biyojen, sp: Sparit, Biy: Biyoklast, K.Alg: Kırmızı Alg, Ku: Kuvars; Örnek No: 6)

Ayrıca kesitte mollus kavkı parçaları ve foraminifere rastlanmıştır. Kayacın içerisinde %35-40 oranında kırıntılı materyal gözlenmiştir. Kırıntılı materyal yaygın olarak kuvars, az oranda da kayaç parçası ve feldispatları içermektedir. Kayacın adı kumlu biyosparit-tanetaşı (Folk, 1962; Dunham, 1962) olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.9 a,b,c ve d).

Formasyon; *Globo truncana cf. Helvetica* (Bolli), *Globo truncana cf. Marginata* (Reuss), *Globo truncana lapparenti* (Bolli), *Globo truncana linneana* (d'Orbigny), *Globigerinelloides sp.*, *Dicarinalla concovata* (Brotzen), *Ticinella sp.*, *Hedbergella sp.*, *Heterohelix sp.*, *Radiolaria sp.*, fosillerini içermektedir ve birimin yaşı Senomaniyen-Kampaniyen (Üst Kretase) dir (Öztürk 1979).

Yumaklı Formasyonu olarak tanımlanan bu birim benzer litolojik ve stratigrafik özellikler göstermesi nedeniyle Lokman Formasyonu Alp (1972), Ağıl Formasyonu Genç vd. (1991) ile deneştirilebilir.

3.1.6. Tekkeköy Formasyonu

Çalışma alanının kuzeyinde Tersakan vadisi boyunca yüzeyleme veren birim, Yoldaş vd. (1985) tarafından adlandırılmıştır. Eosen yaşlı Tekkeköy Formasyonu alt kesimlerde kırıntılı çökellerle, üst kesimlerde ise volkanitlerle temsil edilmektedir. Çalışma alanında yüzeyleme veren Eosen yaşlı birimler genel hatlarıyla Yoldaş vd. (1985) tarafından tanımlanan Tekkeköy Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile aynı isimle tanımlanmıştır.

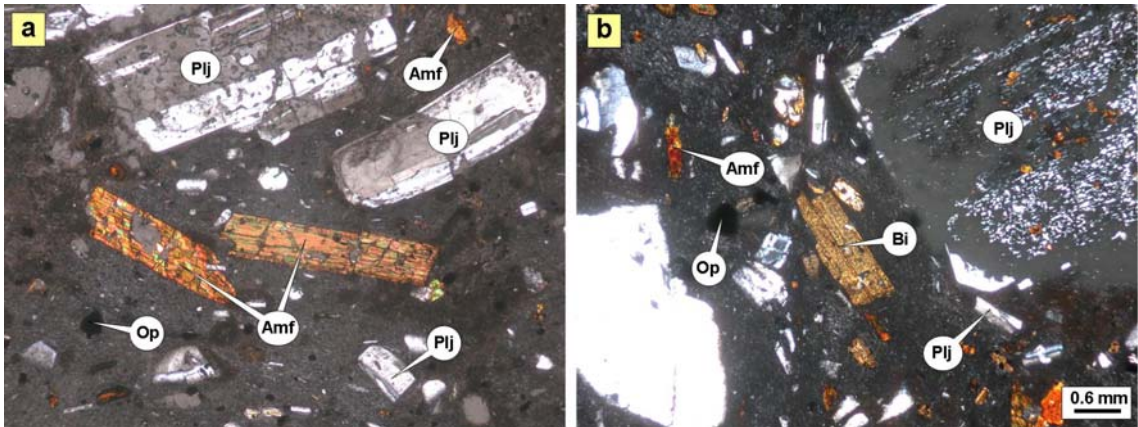
Bu formasyon inceleme alanında Tersakan vadisinin güney ve kuzeyinde Çadirkaya, Karageçmiş ve Yenice bölgelerinde yüzeyleme vermektedir.

Tekkeköy Formasyonunu oluşturan kayaçlar sarımsı gri, orta tabakalı, sert volkanik elemanlı kumtaşı, sarı kireç-kil çimentolu, orta kalın tabakalı çakıtaşı gri kalın tabakalı, pembe renkli ince-orta tabakalı killi kireçtaşı ile bölgede sedimantasyonla yaşıt bazalt, andezit, andezitik bazaltlar tuf ve aglomeralar yer yer yüzeylerler (Şekil 3.10). Bu bölgelerde Formasyona ait sedimanter kökenli kayaçlar çok azdır yerlerini tuf, aglomera, bazalt ve andezitik türden volkanik kayaçlara bırakır. Bu kayaçlar makroskobik olarak daha çok gri, koyu gri ve siyahımsı renkte gözlenmekte olup, mikrolitik yapıya sahiptirler.



Şekil 3.10. Tersakan Deresi kuzeyinde Tekkeköy Formasyonu'na ait andezitler

Birimden alınan kayaçların petrografik tayinlerine göre; Tekkeköy Formasyonu içerisinde gözlenen biyotitli hornblendli andezitler, genel olarak hyalo-mikrolitik porfirik, kümülofirik ve flüidal doku gösterirler (Şekil 3.11 a ve b). Kayaç içerisinde fenokristal olarak plajiyoklas, amfibol, biyotit ve opak mineraller bulunmaktadır. İkincil mineral olarak çok az miktarda bunlara kalsit ve klorit eşlik etmektedir.



Şekil 3.11. Hornblendli biyotitli andezitler içerisinde gözlenen; (a) özşekilli plajiyoklas fenokristalleri ile bol çatlak ve kırık içeren amfibol fenokristalleri, (b) elek dokulu plajiyoklas fenokristali, yarı özşekilli amfibol mikrofeno-kristalleri ve tek yönde dilinim gösteren biyotit fenokristali (Ç.N. X5; Pl: Plajiyoklas, Amf: Amfibol, Bi: Biyotit, Op: Opak mineral; Örnek No: 1)

Hamurda ise daha çok plajiyoklas ve amfibol mikrolitleri ile volkanik cam bulunmaktadır. Hamurda genellikle mikrolitik ve hyalo-mikrolitik doku gözlenmektedir.

Plajiyoklas megakristalleri ve fenokristalleri özşekilli ve yarı özşekillidir (Şekil 3.11a). Tek nikolde renksiz, çapraz nikolde gri, beyaz renklerde gözlenmektedir. Genellikle albit ve polisentetik ikiz sunmaktadır. Amfibol inklüzyonları içeren yarı özşekilli plajiyoklas megakristallerinde elek dokusu hakimdir (Şekil 3.11b). Ayrıca plajiyoklas mineralleri hamurda özşekilli, ince latalar şeklinde mikrolitler halinde de gözlenmektedir.

Amfibol mineralleri açık ve koyu kahverengi renklerde gözlenmektedir. Genellikle özşekilli ve yarı özşekilli fenokristaller halinde olup, tek ve iki yönlü dilinime sahiptirler (Şekil 3.11a). Amfibol fenokristalleri yer yer parçalanmış ve kırılmıştır. Hem fenokristal olarak hem de hamurda mikrolit olarak bulunmaktadır.

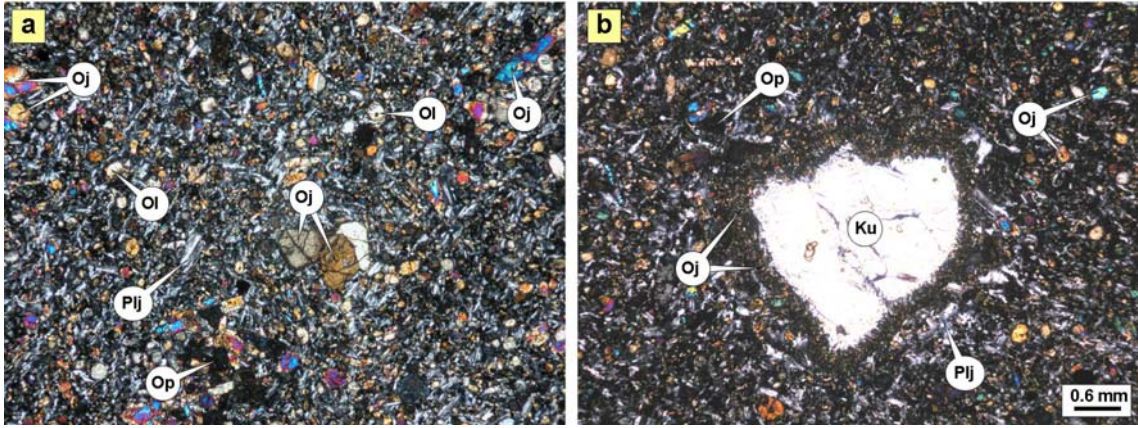
Biyotit minerallerine genellikle levhalar halinde ve az oranda rastlanmaktadır. Dilinim (001) yüzeyinde mükemmeldir (Şekil 3.11b). Tek nikolde kahverengi, çapraz nikolde koyu yeşil, koyu kahverengi ve siyah renkte gözlenmektedir. Kuvvetli pleokroizma göstermektedirler (z = açık kahverengi, x = koyu kahverengi). Bazı kesitlerde ayrışma ürünü olarak kloritleşme gözlenmektedir.

Opak mineraller, hamur içerisinde %5'ten az oranda bulumakta olup, genelde özşekilsizdirler.

Hamur, genelde plajiyoklas ve amfibol mikrolitlerinden ve volkanik camdan oluşmaktadır.

Tekkeköy Formasyonu içerisinde gözlenen ojitli bazaltlar, genel olarak mikrolitik ve hyalo-mikrolitik porfirik doku gösterirler (Şekil 12a ve b). Kayaç içerisinde fenokristal olarak plajiyoklas, ojit ve opak mineraller bulunmaktadır. Bunlara kuvars ksenokristalleri de eşlik etmektedir. Hamurda ise daha çok plajiyoklas ve ojit mikrolitleri ile volkanik cam bulunmaktadır. Hamurda genellikle mikrolitik ve hyalo-mikrolitik doku gözlenmektedir.

Plajiyoklas mineralleri kayaç içerisinde nadiren fenokristal, hamurda ise bol olarak mikrolitler halinde bulunmaktadır (Şekil 3.12a ve b). Kristaller özşekilli ve yarı özşekillidirler. Tek nikolde renksiz, çapraz nikolde gri, beyaz renklerde gözlenmektedir.



Şekil 3.12. Ojitli bazaltlar içerisinde gözlenen; (a) ojit mikrofenokristalleri ve mikrolitleri, plajiyoklas ve olivin mikrolitleri ile opak mineraller, (b) kuvars ksenokristalinin etrafını saran iğnemsli ojit mikrolitlerinin oluşturduğu reaksiyon dokusu (Ç.N. X5; Pl: Plajiyoklas, Oj: Ojit, Ol: Olivin, Op: Opak mineral, Ku: Kuvars; Örnek No: 2)

Ojit mineralleri genel olarak hamurda mikrofenokristal ve mikrolitler halinde bulunmaktadır (Şekil 3.12a ve b). Nadiren gözlenen fenokristaller, özşekilli ve yarı özşekillidir. Tek nikelde açık yeşil, çapraz nikelde mavi, kırmızı, sarı renklerde gözlenmektedir. Bol çatlak ve kırıklara sahip olup, bunlar yer yer kalsit ile dolmuştur. Alterasyona uğramış olanlarda kloritleşme gözlenmektedir.

Olivin mineralleri yuvarlak ve küçük taneler halinde çok ender olarak bulunmaktadır ve ojit minerali ile yanyana görülmektedir. Tek nikelde genelde renksiz, çapraz nikelde ise yeşilimsi sarı (x ve z yönlerinde) ve turuncumsu sarı (y yönünde) renkte görülmektedir.

Kuvars ksenokristalleri, kayaç içerisinde nadiren gözlenmekte olup, genelde yarı özşekilli ve özşekilsizdirler. Boşluk dolgusu şeklinde gelişen ikincil kuvarsların etrafını bir zarf şeklinde saran iğnemsli ojit mikrofenokristallerinin oluşturduğu bir reaksiyon dokusu gözlenmektedir (Şekil 3.12 b). Bu doku, magma karışımı ve/veya dengesiz kristallenme ile açıklanabilir.

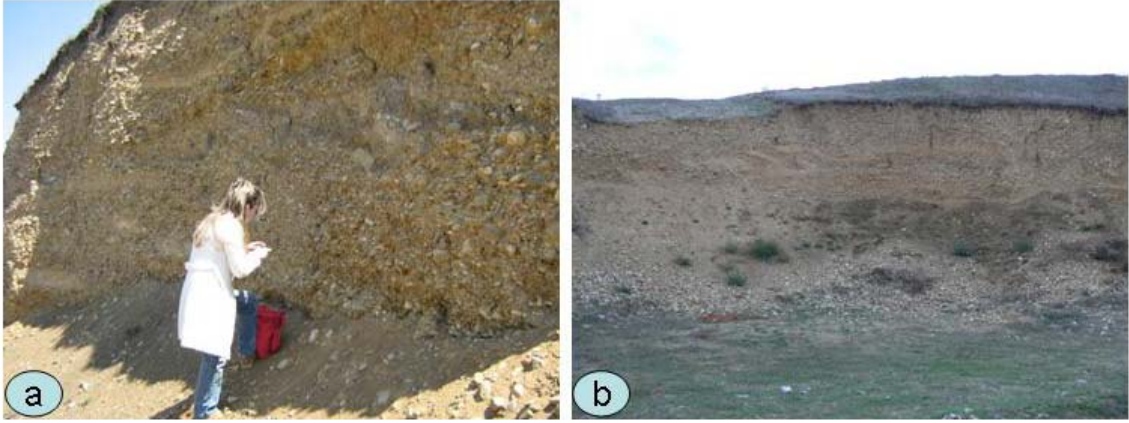
Hamur genelde plajiyoklas ve klinopiroksen mikrolitlerinden ve volkanik camdan oluşmaktadır.

Çalışma alanında Yoldaş vd. (1985) bölgede yaptıkları jeolojik incelemelerde bu formasyona Eosen yaşını vermişlerdir.

Tekkeköy Formasyonu olarak tanımlanan bu birim benzer litolojik ve stratigrafik özellikleri bakımından Yeşilce Formasyonu (Terlemez ve Yılmaz, 1980) ile denestirilebilir.

3.1.7. Çerkeş Formasyonu

Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca oluşan havzalarda ve karasal ortam koşullarında çökelen birim Öztürk (1979) tarafından tanımlanmıştır. Formasyon tabanda mavimsi-gri renkli marn, kumlu kireçtaşları, konglemera şeyl ve volkanik tüf arakatıkları ile başlar ve üste doğru çakıl ve kumlu seviyelerle devam eder. Daha üst seviyelere doğru formasyon siltli, killi ve karbonatlı düzeye geçer. Çalışma alanında yüzeyleme veren Pliyosen yaşlı birimler Öztürk (1979) tarafından tanımlanan Çerkeş Formasyonu ile benzer litolojik ve stratigrafik özelliklere sahip olması nedeni ile aynı isimle tanımlanmıştır.



Şekil 3.13. Hamamayağı Köyü kuzeyinde yüzeylenen Çerkeş Formasyonu'nun çakıllı seviyeleri

Çerkeş Formasyonu'na ait birimler en iyi Kayacık, Kocapınar, Teberoğlu mahalleleri civarında, Ayvalısokağı'nın kuzey kesimlerinde görülür.

Bunlar katmanlı, sarımsı yeşil renkli gevşek çimentolanmış killi, kumlu ve siltli birimlerdir (Şekil 3.13a ve b).

İnceleme alanında yüzeyleyen Çerkeş Formasyonu için Aktimur vd. (1989) bölgede yaptıkları jeolojik incelemelerde formasyona Pliyosen yaşını vermişlerdir. Bu birim alüvyon tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür.

Çerkeş Formasyonu benzer litolojik özelliklere sahip olması nedeniyle Söğütlü Formasyonu (Gümüşsu 1980), Büyükşeyhendi Tepe Formasyonu (Şenalp 1981) ile denestirilebilir.

3.1.8. Alüvyon

İnceleme alanında alüvyal çökeller Tersakan Çayı ve bunun yan kolu olan Hamamayağı Deresi boyunca geniş alanlar kaplar. Alüvyal malzeme gevşek çimentolu veya çimentosuz yanal ve düşey yönlerde birbirlerine geçiş gösteren çakıl ve kum mercceklerinden meydana gelir.

3.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı ve çevresinde paleotektonik ve neotektonik olmak üzere iki yapısal dönem izlenmektedir. Paleotektonik dönemde; Liyas öncesi, Üst Mestrihtiyen öncesi ve Tortoniyen öncesi olmak üzere üç yapısal evre görülmektedir. Liyas öncesi evrede bölgenin temelini oluşturan Turhal grubu kapsamındaki kayaçlar çökelmiştir. Mestrihtiyen öncesi evrede Turhal grubu üzerine Permian yaşlı kireçtaşları açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Permian yaşlı kireçtaşları üzerine Seyfe Formasyonu uyumsuz olarak çökelmiştir. Seyfe formasyonu Doğu formasyonuna geçmektedir. Doğu Formasyonunu Yumaklı Formasyonu takip etmektedir. Tortoniyen öncesi evrede çalışma alanında Üst Mestrihtiyen-Üst Eosen zaman aralığında deniz çekilmesi izlenmektedir. Kuzey-güney yönlü sıkışmanın fazlaşması sonucu çalışma alanının Eosen sonlarından itibaren kara haline dönüşmüştür (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu vd.,1987).

Neotektonik dönemde, Orta Miyosende Afrika-Arap kıtasının Avrasya kıtası ile çarpışması sonucu Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform (dönüşüm) faylarının oluştuğu kabul edilmekte ve aynı zamanda bu olay Türkiye neotektoniğinin başlangıcı olarak yorumlanmaktadır (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu vd.,1987).

Çalışma alanında neotektonik dönemde Pliyosen ve Erken Pleyistosen-Günümüz olmak üzere iki yapısal evre görülmektedir. Pliyosen evresinde, Kuzey Anadolu Fayının oluşması sonucu meydana gelen çukurluklarda ve karasal ortam koşullarında Çerkeş Formasyonu çökelmiştir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu ve diğerleri, 1987). Bu evrede fayın kontrolünde alüvyon konileri, heyelanlar, göller, sıcak ve soğuk su kaynakları oluşmuş, yan dereler ötelenmiş, özellikle Çerkeş Formasyonu'nda faya paralel sırtlar ve vadiler meydana gelmiştir. (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu vd.,1987).

3.2.1. Tabakalar

Ladik- Hamamayağı bölgesinde tortul birimler tabakalı yapıya sahiptirler. Permien yaşlı Akdağ Formasyonu'na ait kireçtaşları kalın tabakalı olup tabaka doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu; eğimleri 20°-45° güneybatıdır. Liyas-Dogger yaşlı Seyfe Formasyonunu oluşturan kumlu kireçtaşları, marn ve killi kireçtaşları Akdağ Formasyonuna göre daha ince tabakalıdır. Tabaka doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu eğimleri 20°-35° güneybatıdır. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Doğu Formasyonu'nu oluşturan kireçtaşlarının tabaka doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu eğimleri 25°-35° güneybatıdır. Üst Kretase yaşlı Yumaklı Formasyonunda tabakalı birimler; kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marndır. Bu birimlerin tabaka doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu eğimleri 20°-45° güneybatıdır. Alanda Pliyosen yaşlı Çerkeş Formasyonu'na ait gevşek yapılı ve ayrık malzemedden oluşan kil, kum, silt, çakıl yatay ve yataya yakın tabakalanma göstermektedir.

3.2.2. Çatlaklar

İnceleme alanındaki kayaçlar oldukça çatlaklı bir yapıya sahiptir. Çatlak açıklıkları 1-5 cm arasında değişmektedir. Çatlak yüzeyleri düz, yer yerde pürüzlüdür. Çatlak aralıkları kalsit dolguludur. Bölgenin ileri derecede deformasyona uğraması nedeniyle çatlak sistemlerinde çeşitli yönlerde gelişmeler olmuştur. Alanda Permien yaşlı Akdağ Formasyonu'nu oluşturan kayaçların deformasyonunda en büyük sıkışma K 2°D doğrultusunda olmuştur (Öztürk 1979).

3.2.3. Faylar

Bölgenin en önemli tektonik elemanı olan doğrultu atımlı sağ yönlü Kuzey Anadolu Fayı (KAF) sıcak su kaynağının yaklaşık 1,5 km kuzeyinden, çalışma alanında doğudan batıya doğru Alçakçubuk, Toklubaş mevkiinden geçip Hamamayağı Deresi ve Tersakan Deresi'ni keserek Küçükgöl Tepeden geçmektedir. İnceleme alanında çoğunlukla B-D doğrultusunda oluşan ve Kuzey Anadolu Kırık Zonunu oluşturan yaşlı faylar, K-G yönünde etkiyen kompresyon gerilimleri sonucu oluşmuşlardır. Bu gerilimler sonucu bindirme fayları, eğim atımlı normal faylar meydana gelmiştir. D-B doğrultulu faylara dik

ve onları çeşitli açılarla kesen diğer faylar da aynı gerilimlere bağımlı olarak gelişmiş sağ ve sol atımlı ikincil faylardır (Öztürk 1979). Kuzey Anadolu Fayı'nının güneyinde faya paralel F1-F2 fayları ve sıcak suyun yüzeye çıkmasını sağlayan, F2 fayı ile kesişen, yaklaşık KB-GD doğrultulu F3 fayı bulunmaktadır.

Çalışma alanının güneyinde Diktepe dolaylarında Liyas-Dogger yaşlı birimleri Üst kretase yaşlı birimler üzerine iteleyen F4 bindirme fayı bulunmaktadır. Ayrıca alanda Kocapınar kaynağını yüzeye çıkaran Üst Jura-Alt Kretase yaşlı birimlerle pliyosen yaşlı birimlerin dokanağında, KD-GB doğrultulu F5 fayı, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı birimlerle Liyas- Dogger yaşlı birimlerin dokanağında bulunan F6 ve F7 fayları bulunmaktadır.

3.3. Hidrojeoloji

Doğada su sürekli dolaşım halindedir. Bu dolaşımında yağışla yeryüzüne gelen suların bir kısmı yeraltına süzülerek değişik ortamlarda yeraltı suyunu oluştururken, bir kısmı da doğrudan akışa geçerek yüzey sularını oluşturmaktadır. Yağışın buharlaşma, akış ve süzülme şeklindeki dağılımını kapsayan bu olaya hidrolojik dolaşım denir.

Bu bölümde, Hamamayağı Kaplıcası ve çevresinin hidrolojik özelliğinin tanımlanabilmesi amacıyla akarsu ve kaynaklar hakkında bilgi verilmekte ve yapılan analizler değerlendirilmektedir.

Sularda yapılan çeşitli analizler için birçok kuruluş tarafından sınır değerlerin verildiği standartlar oluşturulmuştur. Ülkemizde de suların kullanımında Sağlık Bakanlığı ve TSE tarafından hazırlanan standartlar mevcuttur. Bu çalışmada Hamamayağı Kaplıcası için Kaplıcalar Yönetmeliği (2001), Kocapınar Çeşmesi için TSE-266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular (2005) Standardı, Hamamayağı Deresi için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004) kullanılmıştır.

3.3.1. Su Noktaları

3.3.1.1. Akarsular

İnceleme alanındaki ana akarsular Tersakan Çayı ve onun bir kolu olan Hamamayağı Deresi (Şekil 3.14) dir. Hamamayağı kaplıca kaynağı, Hamamayağı Dere yatağında dereye

yaklaşık 25-30 m uzaklıkta yüzeye çıkmaktadır. Ladik İlçesinin güneyinden doğan Hamamayağı Deresi Ladik civarında Uyuz Dere, Ayvalısokağı civarında Ilıca Dere adıyla akarken Hamamayağı Köyü yakınlarında Hamamayağı Deresi adını alır ve Karageçmiş Köyü'nde Tersakan Çayı'na dökülür. Her mevsim su taşıyan Hamamayağı Deresinin debisi iklim şartlarına uygun olarak yaz aylarında düşer kış aylarında artar. Ladik Gölü'nden doğan Tersakan Çayı ise Hamamayağı Köyü'nün kuzeyinden çalışma alanını doğu-batı yönünde kat edecek şekilde akmaktadır. Tersakan Çayı'nın meydana getirdiği alüvyonlarda açılan kuyulardan çevredeki yerleşim birimleri sulama amaçlı yararlanmaktadır.



Şekil 3.14. Hamamayağı Deresi

3.3.1.2. Kaynaklar

Çalışma alanında sürekli akışa sahip çok fazla kaynak bulunmamaktadır. Sürekli akışa sahip olan en önemli kaynak çalışma alanının güneyinde yer alan ve üzerinde çeşmesi olan Kocapınar Köyü'ndeki kaynaktır. Kocapınar Kaynağı kumlu-killi birimlerden oluşan Doğdu Formasyonu ile killi siltli merccekler içeren çakıl kum ardalanmasından oluşan Çerkeş Formasyonu'nun faylı dokanağından yüzeye ulaşır (Şekil 3.15 a ve b). Kaynağın debisi yaklaşık 3 l/sn, sıcaklığı ise mevsim sıcaklıklarına bağlı olarak 12-16°C arasında değişmektedir.



Şekil 3.15. Kocapınar Çeşmesi (KPC) sıcak su kaynağı çıkışındaki çeşme

İnceleme sahasının tek sıcak su kaynağı olan Hamamayağı Kaplıcası (HK) yaklaşık olarak bölgenin merkezinde yer almaktadır (Şekil 3.16). Hamamayağı Kaplıcasının içerisinde bulunduğu jeotermal sistem Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonunda bulunmaktadır. Ladik- Hamamayağı köyü arasında KAF zonu yaklaşık 1.5 km genişliğindedir. Ana fayın güneyinde kısmen faya paralel F2 fayı ve ana faya büyük açı ile geçen F3 fayı kesişmektedir. Hamamayağı sıcak su kaynağı bu iki kırığın kesim noktasından yüzeye çıkmaktadır (Ek-Şekil 1).

İnceleme alanında bulunan jeotermal sistem, meteorik suların jeolojik birimlerin çatlak ve kırıklarından yeraltına süzülerek burada ısınması ve tekrar tektonik hatlar boyunca yeryüzüne ulaşması şeklinde gelişen devirli sistem özelliğindedir. Çalışma sahasında Eosen yaşlı andezitik- bazaltik volkanitlerin varlığı ve ana kırık hattı boyunca yüzeye yaklaşmış olan magmanın yarattığı jeotermal gradyan, ısı kaynağını oluşturur. Bu soğumakta olan magmanın yüksek hazne sıcaklığı vermeyeceği de açıktır. Zaten bu jeotermal alanın düşük entalpili akışkan içeren bir alan olduğu jeotermometre uygulamalarından da görülmektedir. Hazne kayasını Permian yaşlı kireçtaşlarının oluşturduğu sistemin örtü kayasını Pliyosen yaşlı totul kayaların içinde aralanmalı olarak bulunan killi seviyeler oluşturur.

Kaynağın sıcaklığı 34.7 ile 36.7 °C arasında değişmektedir. Sıcak su kaynağı kaplıca amaçlı kullanılmaktadır. Kaplıcanın geliştirilmesi ve bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin araştırılması amacıyla MTA tarafından 1986, 1995 ve 1996 yıllarında araştırma sondajları yapılmıştır.



Şekil 3.16. Hamamayağı Kaplıcası (HK) ve tesisleri

3.3.1.3. Kuyular

Çalışma alanında Tersakan Çayı alüvyonlarında sulama amaçlı açılan birkaç kuyu ve kaplıcanın geliştirilmesi amacıyla açılan üç adet araştırma kuyusu bulunmaktadır. Sulama amaçlı açılan kuyular alüvyon içerisinde yer almakta ve özel şahıslar tarafından açtırıldığı için kuyularla ilgili bilgi bulunmamaktadır. Kaplıcanın geliştirilmesi amacıyla açılan kuyular jeotermal etüt ve jeofizik etüt çalışmaları sonucu belirlenen lokasyonlarda açılmıştır. Sondaj kuyularıyla ilgili bilgiler Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu sondaj kuyularından şu anda herhangi bir üretim yapılmamaktadır. Kaplıca tesislerinde kaynaktan çıkan su kullanılmaktadır.

Tablo 3.1. Ladik- Hamamayağı jeotermal alanında açılan sondajlar (Akkuş vd., 2005)

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/sn)	Üretim şekli
HH-1	1986	298.70	38	40	Pompa
SLH-1	1995	255	38	40	Pompa
BK-2	1996	178	28	11	Artezyen

3.4. İnceleme Alanındaki Suların Hidrokimyasal Özellikleri

Çalışma alanındaki sıcak su kaynağının (HK), Kocapınar Kaynağının (KPÇ) ve Hamamayağı Deresinin (HD) hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kaplıca, çeşme, ve dereden Kasım 2006- Ekim 2007 tarihleri arasında alınan su örneklerinin koordinatları tablo 3.2’de, analiz sonuçları ise Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.2. İnceleme alanında yer alan kaynaklardan yapılan örnekleme noktalarının koordinatları

Su Noktası	Koordinat (UTM)	Kotu (m)
HK (Sıcak su kaynağı)	734526-4539270	729
KPÇ (Soğuk su kaynağı)	733922-4537281	829
HDY	734550-4539126	717
HDA	7334433-4539690	720

Arazide 3 kez yerinde pH, sıcaklık, çözülmüş oksijen (DO), elektiriksel iletkenlik (Eİ) ve toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) değerleri ölçülmüş ve Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. İnceleme alanından derlenen sıcak ve soğuk su kaynaklarına ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Ölçülen Parametreler	Hamamayağı Kaplıcası (HK)			Kocapınar Çeşmesi (KPÇ)			Hamamayağı Deresi (HD)				
	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağsts 2007	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağsts 2007	Kasım 2006	Nisan 2007 HDY	Nisan 2007 HDA	Ağsts 2007 HDY	Ağsts 2007 HDA
Sıcaklık (°C)	36.7	34.7	35.4	16	12.1	13.8	10	10.1	12	27.4	28.4
pH	7.1	7.05	6.9	7.3	7.13	7.13	8.06	8.4	8.2	8.42	7.99
Eİ (µS/cm)	598	598	591	598	544	527	294	449	456	340	423
TDS (mg/l)	339	295	446	378	300	397	192	358	392	255	318
DO (mg/l)	3.87	4.06	5.01	2.87	8.24	5.4	3.89	7.25	5.1	5	2.7
Ca	62.520	61.458	58.10	105.80	109.025	60.43	53.057	80.44	81.65	56.78	60.73
Mg	30.015	29.905	28.42	3.853	4.812	4.56	3.459	6.11	7.53	6.52	11.57
Na	24.068	23.78	26.98	4.028	4.616	3.61	5.381	6.7	7.71	6.69	11.50
K	3.042	2.97	2.80	0.676	0.548	0.60	3.427	1.32	1.57	2.20	3.49
HCO3	334.41	371.574	364.74	346.80	359.188	210.67	179.59	278.6	284.8	188.6	270.4
SO4	24.674	14.308	20.53	3.170	2.402	3.43	12.062	6.42	7.88	7.98	10.91
Cl	6.941	4.545	5.63	2.258	1.139	1.51	3.784	1.84	2.64	3.94	5.68
NO2	0	0	<0.01	0	0	<0.01	0	0.068	0	<0.01	1.53
NO3	0.695	0.42	0.60	7.667	5.787	7.26	8.615	3.58	4.152	4.29	2.73
PO4	0	0	<0.01	0	0	<0.01	0	0.095	0.234	<0.01	<0.01
NH4	0.728	1.250	<0.01	0.243	0.351	0.39	0.038	0.503	0.380	3.30	0.53
F	0.336	0.518	0.44	0.153	0.162	0.11	0.090	0.193	0.427	<0.01	0.75
Br	0	0	<0.01	0	0	<0.01	0	0.019	0	<0.01	<0.01

HDA: Hamamayağı Deresi aşağısı, HDY: Hamamayağı Deresi yukarısı Eİ: Elektriksel iletkenlik, TDS: Toplam çözülmüş madde miktarı, DO: Çözülmüş oksijen

3.4.1. Suların Fiziksel Özellikleri

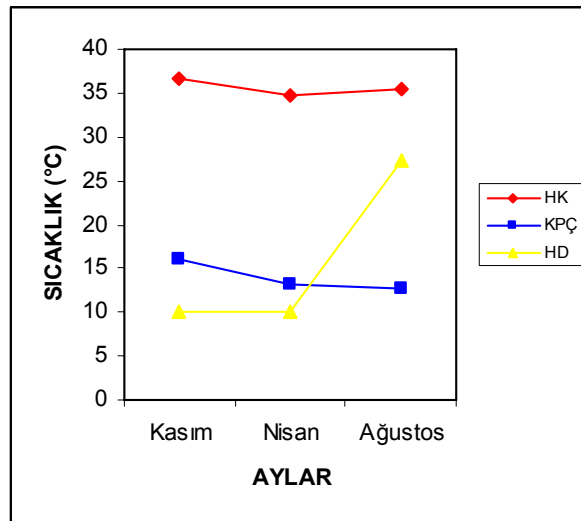
3.4.1.1. Sıcaklık (°C)

İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak su kaynağı (HK)'nda, Kocapınar soğuk su kaynağı (KPÇ)'nda ve Hamamayağı Deresi (HD)'nde ölçülen sıcaklık değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir. Tablo 3.4 incelendiğinde kaplıcanın sıcaklığının 34.7 -36.7°C, Kocapınar soğuk su kaynağının sıcaklığının 12.8-16 °C ve derenin sıcaklığının 10-27.4 °C arasında olduğu görülmektedir. Kıtaici su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre Hamamayağı Deresi I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

Sıcaklık değişimi sıcak su kaynağında en düşük değerdedir. Kaplıca kaynağının sıcaklığı mevsimsel değişimlerden etkilenmemiştir (Şekil 3.17). Yüzeysel su olduğu için Hamamayağı Deresi mevsimsel sıcaklıklardan oldukça fazla etkilenmiştir.

Tablo 3.4. Kaynakların mevsimlere göre sıcaklık değerleri

Kaynaklar	Sıcaklık (°C)		
	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağustos 2007
Hamamayağı Kap.	36.7°C	34.7°C	35.4°C
Kocapınar Çeşmesi	16 °C,	13.1°C	12.8°C
Hamamayağı Deresi	10°C	10.1°C	27.4 °C



Şekil 3.17. Kaynakların mevsimlere göre sıcaklık değişimleri

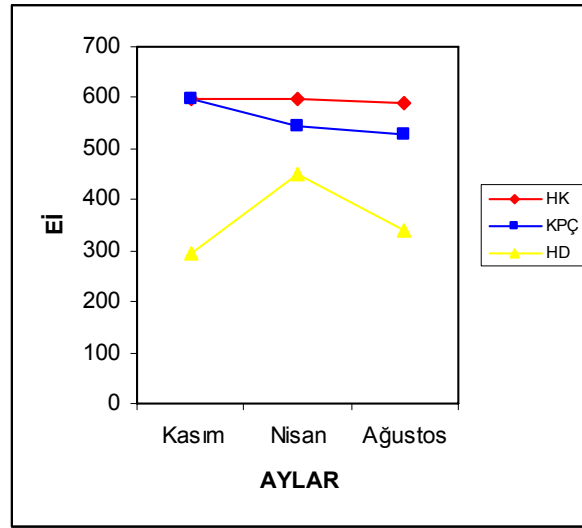
3.4.1.2. Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesi olarak 25 °C de' mikromoho/cm veya mikrosiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) olarak verilmektedir. Suların Eİ'leri, suda toplam çözünmüş madde (TDS) miktarına, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların cinsine, çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki hidrolojik koşullara ve suyun sıcaklığına bağlıdır. TDS ile artış gösteren Eİ değeri, sudaki toplam iyon derişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Hem, 1985). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme suyu için elektriksel iletkenlik ile ilgili herhangi bir değer aralığı belirtilmemektedir. İnsani Tüketim amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) içme suyu için 2500 $\mu\text{S/cm}$ sınır değeri olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre Eİ için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanında örneklenen sıcak su kaynağının Eİ değeri 591-598, soğuk su kaynağının 527-598, ve akarsuyun 294-449 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 3.5, Şekil 3.18). İnsani Tüketim amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005)'na göre Kocapınar Çeşmesi'nin Eİ değerleri uygun sınırlar içerisindedir. Tablo 3.5 incelendiğinde genel olarak en yüksek Eİ değeri Hamamayağı Kaplıcasında gözlenmektedir. Hamamayağı Kaplıcasının Eİ değeri ve sıcaklık değeri değerlendirildiğinde kaplıca suyunun derin bir dolaşım izlediği söylenebilir. Kaplıca kaynağına benzer olarak Kocapınar Çeşmesi'nde de Eİ değerleri kaplıcanın Eİ değerine yakın ölçülmüştür. Bu durum Kocapınar Çeşmesini oluşturan kaynağında yeraltında uzun bir dolaşım izlediğini göstermektedir.

Tablo 3.5. Kaynakların mevsimlere göre elektriksel iletkenlik değerleri

Kaynaklar	Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)		
	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağustos 2007
Hamamayağı Kap.	598	598	591
Kocapınar Çeşmesi	598	544	527
Hamamayağı Deresi	294	449	340



Şekil 3.18. Kaynakların mevsimlere göre elektriksel iletkenlik (EI) değişimleri

3.4.1.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yer altı sularının pH değeri 6.0-8.5 arasında değişir (Hem 1971). Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini artırırken, serbest mineral asitleri ve karbonikasit suyun asit özelliğini artırmaktadır (Hem, 1985). Suların aşındırıcı (düşük pH), ve kabuk bağlayıcı (yüksek pH) özellikleri suların pH değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise atmosferdeki CO₂ gazının fiziksel çözünme ile sulara geçmesi ve hidratasyon sonucunda karbonik aside dönüşerek sulara çözücü-aşındırıcı bir özellik kazandırmasıdır (Hem, 1985).

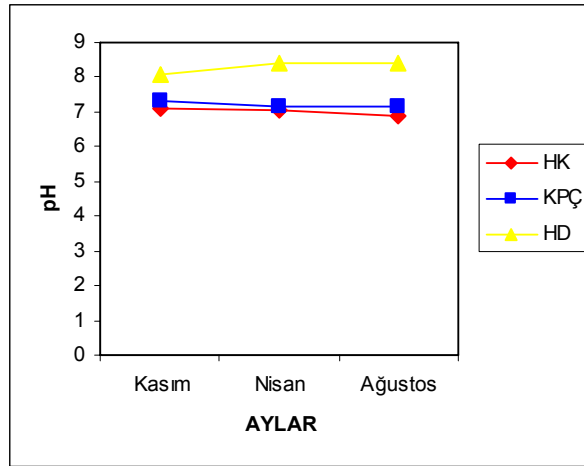
İnsani Tüketim amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) içme suyunda pH değeri için $6.5 \leq \text{pH} \leq 9.5$ sınır değeri olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre pH için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının pH değeri; 6.9 - 7.1, Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağının 7.13-7.3, Hamamayağı Deresinin ise 8.06-8.42 olarak ölçülmüştür (Tablo 3.6, Şekil 3.19). İnsani Tüketim amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Kocapınar Çeşmesi'nin pH içeriği uygun sınırlar içerisindedir. Kıta içi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre Hamamayağı Deresi I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

Sıcak su kaynağının pH değerinin her mevsim birbirine yakın olması, aynı zamanda sıcaklığının da fazla değişiklik göstermemesi kaplıca suyuna herhangi bir yüzey suyunun karışmadığını gösterir. Aynı durumun Kocapınar Çeşmesinde gözlenmesi de kaynak suyunun yüzeydeki sulardan etkilenmediğini gösterir.

Tablo 3.6. Kaynakların mevsimlere göre pH değerleri

Kaynaklar	Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)		
	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağustos 2007
Hamamayağı Kap.	7.1	7.05	6.9
Kocapınar Çeşmesi	7.3	7.13	7.13
Hamamayağı Deresi	8.06	8.4	8.42



Şekil 3.19. Kaynakların mevsimlere göre pH değişimleri

3.4.2. İnceleme Alanındaki Sularda Majör İyonlar

Doğal suların toplam iyon içeriklerinin %90'ından daha fazlasını oluşturan Na, Ca, Mg, K, Cl, HCO₃, ve SO₄ iyonları majör iyonlar olarak adlandırılmaktadır. Sıcak ve soğuk yeraltı sularının iyonik derişimleri suyun kökeni, akifer sistemleri karışım oranları hakkında bilgi verebilmektedir.

3.4.2.1. Sodyum (Na) ve Potasyum (K)

Na doğal sulara yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Bütün Na bileşikleri suda kolayca çözünürler. Yer kabuğundaki Na kaynakları magmatik kayalar, kil mineralleri, feldspatlar, evaporitler ve feldspatoidler'dir. Ayrıca insan aktiviteleri yüzey sularındaki ve yeraltı sularındaki Na derişimini etkiler (kışın yolların tuzlanması vb.). Evaporitlerden Halit (NaCl) ve mirabolit ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) suda çok çözünür ve genellikle sudaki Na'un ana kaynağını oluştururlar. Sodyum jeotermal rezervuar akışkanının ana katyonudur ve konsantrasyonu yaklaşık 200-2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993).

K ise potasyumlu feldspatlarda, mikalarda, feldspatoidlerde ve kil minerallerinde bulunmaktadır. Doğal sulara K içeriği 20 ppm'den fazla değildir. Ancak sıcak su kaynaklarında bu değer 100 ppm'e ulaşabilmektedir. (Doğan, 1981). Sıcak sulara Na ve K içerikleri sıcaklığa bağlı olarak mineral su dengesine bağlıdır. Bu oran Na/K jeotermometrelerinin geliştirilmesinde temel olmaktadır. Düşük Na/K oranı yüzeye hızlı bir şekilde ulaşan sıcak sulara gözlenir. Yüksek Na/K oranı ise yatay bir hareketin yüzeye yakın kesimlerindeki reaksiyonların ve kondaktif soğumanın etkisindedir (Nicholson, 1993).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) Na için 200 mg/l, K için ise sınır değeri 12 mg/l olarak belirlenmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre Na ve K için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının Na değeri; 23.78-26.98 mg/l arasında, Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında 3.61-4.616 mg/l arasında ve Hamamayağı Deresinde 5.381-6.7 mg/l arasında ölçülmüştür (Tablo 3.3).

K değeri Hamamayağı Kaplıcasında 2.80-3.042 mg/l arasında, Kocapınar Çeşmesinde 0.548-0.676 mg/l ve Hamamayağı Deresinde 1.32 -3.427 mg/l, arasında ölçülmüştür (Tablo 3.3). Kocapınar Çeşmesinin Na ve K değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına göre (TS-266, 2005) uygun sınırlar içerisinde bulunmaktadır. Hamamayağı Deresi ise, kıta içi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

Görüldüğü gibi en yüksek Na ve K değeri Hamamayağı kaplıcasında ölçülmüştür. Kaplıcadaki Na ve K'un kaynağı inceleme alanında yüzeylenen Çekek Formasyonu içerisindeki kil mercekleridir.

3.4.2.2. Kalsiyum (Ca⁺⁺) ve Magnezyum (Mg⁺⁺)

Doğal sularda kalsiyumun kaynağı; kalsit (CaCO₃), aragonit (CaCO₃), dolomit ((CaMg(CO₃)₂), jips (CaSO₄.2H₂O), anhidrit (CaSO₄), florit (CaF₂), plajiyoklas (anortit, CaAl₂Si₂O₈), piroksen (diyopsit, CaMgSi₂O₆) ve amfiboller (NaCa₂(Mg,Fe,Al)Si₈O₂₂(OH)₂) olabilir. Genellikle kalsit, jips ve montmorillonitlerde yer alır (Hounslow, 1995).

Yeraltı sularına magnezyum iyonu dolomit, evaporit, mağmatik kayaç minerallerinden (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve serpantinleşme sonucu açığa çıkan magnezyum karbonatın çözünmesi ile karışır (Nicholson, 1993). Yeraltı sularında magnezyum değeri 1-40 mg/l arasında değişmektedir ve genelde kalsiyum miktarından daha azdır. Çok yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde magnezyumun ikincil alterasyon minerallerinden illit, montmorillonit, ve özellikle klorit tarafından soğurulması nedeniyle magnezyum miktarı çok düşük değerlere inebilmektedir (0.1 mg/l gibi). Sıcak sulardaki daha yüksek magnezyum içerikleri ise sıcak suların soğuk sularla karışımından veya yan kayaç ile reaksiyonundan kaynaklanmaktadır. Mg tuzları ise oldukça yüksek bir çözünürlüğe sahiptir. Mg tuzları çöktürüldükten sonra da çözeltide kalmaya devam ederler. Doğal sularda 100 ppm'e kadar değişen derişimlerde bulunan Mg, suların sertliğini oluşturan diğer bir iyondur. Ca ve Mg'un zehirleyici özellikleri bulunmamaktadır. (Doğan, 1981).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) Ca için sınır değer 200 mg/l, Mg için sınır değer 50 mg/l olarak belirlenmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre Ca ve Mg için herhangi bir sınır değer belirtilmemiştir.

İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının Ca değeri; 58.10-62.250 mg/l olarak ölçülmüştür. Kocapınar Çeşmesi'nde 60.43-109.025 mg/l ve Hamamayağı Deresi'nde ise 53.057-80.44 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.3).

İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının Mg değeri; 28.42-30.015 mg/l, Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağının da 3.853-4.812 mg/l arasında ölçülmüştür. Hamamayağı Deresi'nde ise Mg değeri; 3.45- 6.52 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.3). Kocapınar Çeşmesinin Ca ve Mg değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıta içi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre, I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

Çalışma alanında en yüksek Ca değeri Kocapınar Çeşmesi'nde ölçülmüştür. Sulardaki Ca'un kaynağını inceleme alanında geniş alanlarda yüzeyleme veren Akdağ, Seyfe ve Doğdu Formasyonlarını oluşturan kireçtaşları oluşturmaktadır. Alanda en yüksek Mg değeri Hamamayağı Kaplıcası'nda ölçülmüştür. Kaplıca suyu uzun ve derin dolaşımı sonucunda yan kayalardaki Mg'u bünyesine almıştır.

3.4.2.3. Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{2-})

Suların alkalinitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötrleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda alkalinite, karbonat (CO_3^{2-}) ve hidroksit (OH^-) iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doymayan bölgede üretilen gazlardır. Doğal suların alkaliniteleri nadir olarak 500 ppm CaCO_3 'ü aşmaktadır. Bunun dışında biyolojik olarak oluşan sülfat redüksiyonu ile karbonat kayalarının metamorfizması sonucunda da karbondioksit oluşabilmektedir (Doğan,1981). Rezervuardan doğrudan beslenen kaynaklarda HCO_3^- konsantrasyonu en düşük seviyededir. $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ oranı, suyun akış yönünün göstergesidir. Yüksek akım zonundan suyun akışı su-kayaç ilişkisinin artışına, dolayısıyla HCO_3^- üretiminin artışına neden olur. Yanal akışın artışı ile su-kayaç etkileşimi artar ve ortamdan H_2S koyularak $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ oranı artar (Nicholson, 1993). HCO_3^- değeri zengin sularda su kayaç ilişkisi hakimdir. Sıcak sularda bikarbonatın yüksek olması sıcak sularla evaporitik kayaların etkileşimde olmadığını gösterir (Nicholson, 1993). $\text{Ca}^{+2}-\text{HCO}_3^-$ tipli sular kireçtaşları ile, $\text{Ca}^{+2}-\text{Mg}^{+2}-\text{HCO}_3^-$ tipli sular dolomitler ile sıcak suların etkileşimini belirtir. Yüksek K^+ içerikli $\text{Na}^+-\text{HCO}_3^-$ tipli sular ise feldspat, plajiyoklas ve piroksen içeren magmatik ve volkanik kayalarla sıcak suların etkileşimini ifade eder (Mazor, 1997).

Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre HCO_3^- için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının alkalinite değeri; 334.41-371.574 mg/l olarak ölçülmüştür. Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağının alkalinite değeri; 210.67-359.188 mg/l, Hamamayağı Deresi'nin ise 179.59-278.6 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.3).

HCO_3^- değeri tüm sulardaki en yüksek anyonu oluşturur. Bu durum sularda su-kayaç ilişkisinin hakim olduğunu gösterir. Hamamayağı kaplıca kaynağındaki HCO_3^- değeri, çeşme ve deredeki değerinden daha yüksektir. Kaplıca kaynağında Ca değerinin de yüksek

olması kaynağı besleyen suyun etrafında geniş yüzeylemeler veren kireçtaşlarıyla etkileşimi olduğunun belirtisidir.

3.4.2.4. Klorür (Cl) ve Florür (F)

Cl esas olarak sedimanter kayalarda özellikle evaporitlerde bulunmakta olup, doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Ayrıca sodalit, biyotit, hornblend gibi mağmatik kökenli minerallerde klorür iyonu bulunmaktadır. Kirlenmemiş doğal sularda Cl içeriği genellikle 10-20 ppm arasındadır. Bu değer yağışın Cl içeriği ile yakından ilişkilidir. Jeotermal kaynaklarda yüksek klor konsantrasyonları, doğrudan derin bir rezervuar kayaktan beslenmeyi işaret eder (Nicholson, 1993). Bu durumda, soğuma veya soğuk su ile karışım en alt düzeyde olmalıdır. Sıcak sulardaki düşük klor seviyeleri, yeraltı suyu seyreilmelerini yansıtır. Klor içeriğinin artması deniz suyu kontaminasyonu ile ilişkiyi de gösterir. 1000 mg/l ve üzerinde klor içeren sular klor tipli sulardır (Nicholson, 1993).

Sularda görülen florür kaynağı; florit, apatit, mika ve amfibol gibi minerallerdir. Genellikle anyon değişimi sonucunda kaolinitlerin adsorbsiyonu ile oluşur; pH= 6 ise adsorbsiyon en yüksek seviyededir (pH>7.5 ve pH<4 olduğunda desorpsiyon gelişir). Alkalin sular genel olarak yüksek F⁻ içerir. Deniz sularında F⁻ içeriği <1mg/l'dir (Hem, 1992). Hounslow ve Back (1985)'e göre kaolinitten adsorbsiyon bazı alkali suların F⁻ içeriği >1 mg/l'dir. Jeotermal akışkanlardaki F⁻ içeriği, genellikle 10 mg/l'den düşüktür. F⁻ kayaç-su etkileşimi sonucu farklı mineral fazlarda (iz olarak mikaların yapısında) bulunabilir. CO₂ basıncı yüksek ise kalsiyum ortamda bulunan F⁻ ile bileşik oluşturur. (Nicholson, 1993). Yüksek F⁻ konsantrasyonu, ortamda düşük kalsiyumu işaret eder. Ender olarak yüksek F⁻ değeri meteorik sular içinde volkanik gazların (HF⁻) yoğunlaşması ile üretilebilir. Bu durumda F⁻, çok yüksek Cl⁻ ve SO₄⁻² değerleri ile birlikte oluşur (Nicholson, 1993).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular standardında (TS- 266, 2005) Cl 250, F ise 1.5 mg/l'yi aşmamalıdır. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre Cl ve F için herhangi bir sınır değer belirtilmemiştir.

Cl miktarı İnceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağında; 4.545-6.941 mg/l olarak ölçülmüştür. Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında; 1.139-2.258 mg/l arasında ve Hamamayağı Deresinde 1.84 -3.94 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.3). Cl incelenen tüm sularda en düşük anyondur. İnceleme alanı ve yakın çevresinde Cl'a

kaynak oluşturacak kayaç türlerinin bulunmaması sulardaki klor konsantrasyonunun düşük olmasına neden olmuştur.

F miktarı inceleme alanındaki Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağında; 0.336-0.518 mg/l olarak ölçülmüştür. Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında; 0.11-0.162 mg/l olarak ölçülmüştür. Hamamayağı Deresinde ise F miktarı , <0.01-0.193 mg/l, olarak ölçülmüştür (Tablo 3.3). Kocapınar Çeşmesinin Cl ve F değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) uygun sınırlar içerisinde. Hamamayağı Deresi ise, kıtaiçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.2.5. Sülfat (SO₄)

Yeraltı sularındaki sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritlerden ileri gelmektedir. Derin kökenli jeotermal sularda sülfat içerikleri genelde düşük olup 50 mg/l'den azdır. SO₄ miktarında, hidrojen sülfürün oksidasyonu sonucu artış gözlenebilmektedir (Nicholson, 1993).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS- 266, 2005) sülfat miktarı 25-250 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre SO₄ için herhangi bir sınır değer belirtilmemiştir.

İnceleme alanında, Hamamayağı sıcak su kaynağında SO₄ miktarı 14.308- 24.674, mg/l olarak ölçülmüştür. Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında 2.402-3.43 mg/l, Hamamayağı Deresi'nde ise 6.22- 12.062 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.3). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS- 266, 2005) göre Kocapınar Çeşmesi'ndeki sülfat miktarı belirtilen sınırların altındadır. Hamamayağı Deresi ise, kıtaiçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

İnceleme alanında sülfata kaynak oluşturacak jips ve anhidrit türü kayaçlar bulunmamaktadır. Ancak sulardaki az miktardaki sülfatın kaynağı inceleme alanındaki tortul kayaçlarda bulunan sülfatlı veya sülfürlü bileşiklerdir. Ayrıca inceleme alanında geniş düzlüklerde şeker pancarı ve buğday gibi tarım ürünleri yetiştirilmektedir. Bu ürünlerin üretiminde sülfatlı gübrelerin kullanılması sülfatın kaynağının bir diğer nedeni olabilir.

3.4.3. Ağır Metal Analizleri

Doğal sularda majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry, 1979). Doğal sulara evsel ve endüstriyel atık suları ve madencilik faaliyetleri atıklarının aracılığı ile bazen önemli miktarlarda ağır metaller katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta olduğu litolojik birimlerin minerolojik yapısı da, sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Eser element tayinine yönelik kimyasal analizlerde suların Al, As, B, , Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Zn, Ni, Cd, Li, Sr, Si, Br içerikleri saptanmıştır. Tablo 3.7'de inceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk yeraltı sularına ait eser element değerleri verilmiştir.

Başlıca iyonlarda olduğu gibi yeraltı sularının ikincil iyonları da suların kökeni, hidrokimyasal evrimleri ve kullanılabilirlikleri hakkında bilgi vermektedir.

Tablo 3.7. İnceleme alanındaki sularda bulunan eser elementler (değerler mg/l, k: KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü ICP- OES laboratuvarı, a: Acme Analiz Laboratuvarı (Kanada), h: Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı)

Örnek Nok.	Ay	Al	As	B	Fe	Mn	Cu	Cr	Pb	Zn	Ni	Cd	Sr	Br	
HK	K	0.04 ^a	0.01 ^a	0.3 ^a	0.01 ^a	0.001 ^a	0.0004 ^a	0.004 ^a	0.0001 ^a	0.002 ^a	<0.0002 ^a	<0.00005 ^a	1.06 ^h	0.00 ^a	
	A	0.06 ^k	0.03 ^k	--	0.02 ^k	0.0009 ^k	-	-	-	-	-	-	-	-	
	O	0.06 ^k	0.03 ^k	-	0.02 ^k	0.0008 ^k	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Ş	0.08 ^k	0.01 ^k	-	0.02 ^k	0.001 ^k	-	-	-	-	-	-	-	-	
	M	0.08 ^k	0.01 ^k	-	0.01 ^k	0.0008 ^k	-	-	-	-	-	-	-	-	
	N	0.02 ^k	-	-	0.02 ^k	0.001 ^k	-	-	-	0.4 ^k	-	-	-	0.05 ^h	0 ^h
	M	0.01 ^k	-	-	0.01 ^k	0.001 ^k	-	-	-	0.4 ^k	-	-	-	-	-
	H	0.02 ^k	-	-	0.02 ^k	0.002 ^k	-	-	-	0.4 ^k	-	-	-	-	-
	T	0.01 ^k	-	-	0.01 ^k	0.002 ^k	-	-	-	0.4 ^k	-	-	-	-	-
	A	0.03 ^k	-	-	0.02 ^k	0.001 ^k	-	-	-	0.4 ^k	-	-	-	<0.01 ^h	0 ^h
KPC	E	0.03 ^k	-	-	0.02 ^k	0.002 ^k	-	-	-	0.3 ^k	-	-	-	-	
	E	0.06 ^k	-	-	0.03 ^k	0.002 ^k	-	-	-	0.3 ^k	-	-	-	-	
	K	0.01 ^a	0.0001 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.001 ^a	0.001 ^a	0.003 ^a	0.01 ^a	0.06 ^a	0.03 ^a	<0.00005 ^a	0.2 ^h	0.02 ^a	
HDY	N	0.07 ^k	-	-	0.01 ^k	0.0003 ^k	-	-	-	0.05 ^k	-	-	-	0 ^h	
	A	0.05 ^k	-	-	0.02 ^k	0.001 ^k	-	-	-	0.05 ^k	-	-	-	<0.0 ^h	
	K	2.4 ^a	0.002 ^a	0.02 ^a	0.4 ^a	0.3 ^a	0.02 ^a	0.01 ^a	0.01 ^a	0.06 ^k	0.03 ^a	0.0002 ^a	0.2 ^h	0.01 ^a	
HDA	N	0.6 ^k	-	-	0.3 ^k	0.02 ^k	-	-	-	0.07 ^k	-	-	0 ^h	0.01 ^h	
	A	0.4 ^k	-	-	0.2 ^k	0.03 ^k	-	-	-	0.08 ^k	-	-	<0.01 ^h	<0.0 ^h	
	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
HDA	N	0.5 ^k	-	-	0.2 ^k	0.02 ^k	-	0.003 ^a	-	0.1 ^k	-	-	0 ^h	0 ^h	
	A	0.2 ^k	-	-	0.1 ^k	0.03 ^k	-	-	-	0.1 ^k	-	-	<0.01 ^h	<0.0 ^h	

HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Hamamayağı Deresi Yukarısı, HDA: Hamamayağı Deresi Aşağısı

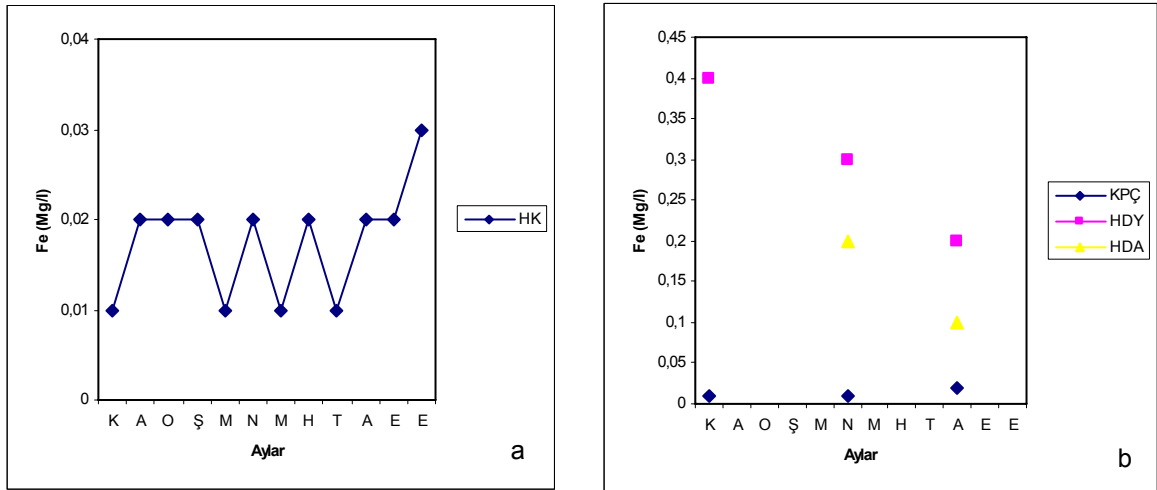
3.4.3.1. Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demir, özellikle piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit ve granat gibi demirli minerallerin bozunumundan ortaya çıkar. Karbonlu kayalardan gelen sulara fazla miktarlarda demir iyonları izlenebilir. Kireçtaşı ve dolomitten gelen sular pH'ı 7'den fazla olduğundan çok fazla demir iyonu içerir. (Hem, 1985).

Mangan, yeraltı sularında çoğunlukla hidroksit şeklinde bulunur ve etkisi demire çok benzer. Manganın çözünürlüğünü Eh-Ph etkiler. Asidik sulara Mn^{+2} , alkali sulara ise Mn^{+4} şeklinde bulunur. pH'ın yükselmesi manganın çökmesine neden olur (Hem 1985).

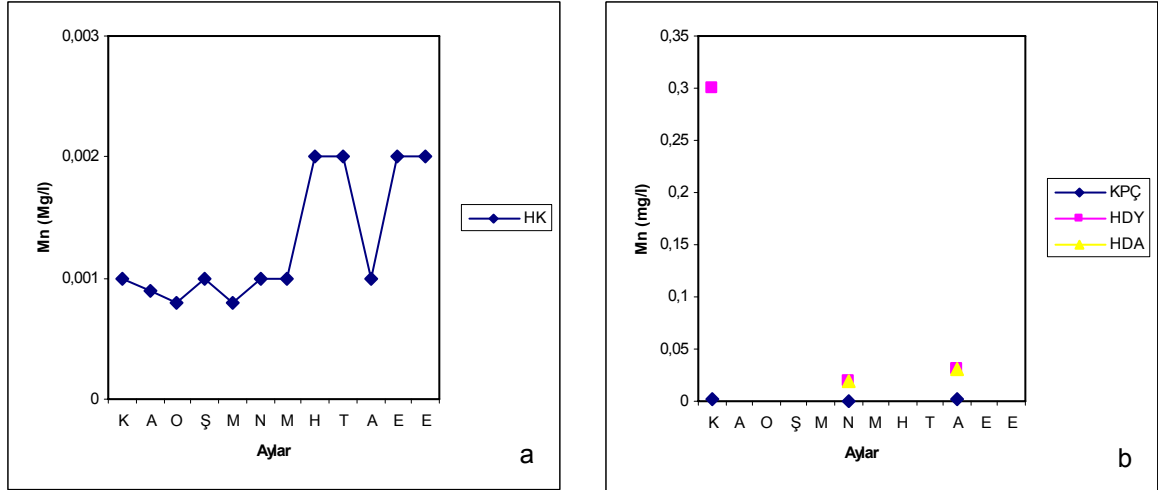
TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular standardına (TSE-266, 2005) göre suda bulunan demir iyonunu değerinin 0.05-0.2 mg/l arasında olması önerilir, Mn derişim değeri ise en fazla 0.05 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre Fe ve Mn için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanında Kasım 2006-Ekim 2007 tarihleri arasında 12 ay boyunca örnekleme yapılan Hamamayağı kaplıcası sıcak ve mineralli su kaynağından ölçülen Fe miktarı 0.01-0.03 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 3.20a). Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağı'nda ve Hamamayağı Deresi'nde Kasım, Nisan ve Ağustos aylarında ölçülen demir miktarı ise sırasıyla 0.01-0.02, 0.1-0.4 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 3.20b).



Şekil 3.20. İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Fe değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı

İnceleme alanındaki sıcak su kaynağından alınan örneklerdeki Mn değeri ise 0.0008-0.002 mg/l arasındadır (Şekil 3.21a). Soğuk su ve akarsu kaynağından alınan örneklerdeki Mn değeri ise sırasıyla 0.001-0.0003, 0.02-0.3 mg/l arasında değişmektedir (Şekil 3.21b).



Şekil 3.21. İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Mn değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı

Fe ve Mn değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TSE-266, 2005) göre Kocapınar Çeşmesi için standartlarda verilen sınır değerleri aşmamaktadır. Hamamayağı Deresi ise, kıta içi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.2. Bakır (Cu)

Cu, yer kabuğundaki kayalarda doğal Cu veya Cu içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Bununla birlikte, Cu minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sularındaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem, 1985). Çeşitli sanayi atıklarından gelen Cu İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TSE-266, 2005) göre 3 mg/l'yi aşmaması gerekmektedir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'ne göre Cu için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanından derlenen numunelerde Kasım 2006 tarihinde ölçülen Cu değerleri sıcak su kaynağında 0.0004 mg/l, soğuk su kaynağında 0.001 mg/l, akarsu kaynağında 0.02 mg/l'dir (Tablo 3.7). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TSE-266, 2005) göre Cu,

Kocapınar Çeşmesi'nde uygun sınırlar içerisinde. Hamamayağı Deresi ise, kıtaçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I.sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.3. Krom (Cr)

Suların bileşiminde bulunan Cr, kayaçlardan, endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilir. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 ppm'in altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak bu derişim 0.2 ppm'e kadar artabilmektedir (Hem, 1985).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TSE-266, 2005) göre, Cr için önerilen sınır değer 0.05 mg/l olarak verilmektedir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde Cr için sınır değer 0,05 mg/l olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında derlenen numunelerde Kasım 2006 tarihinde ölçülen Cr değerı sıcak su kaynağında 0.004 mg/l, soğuk su kaynağında 0.003 mg/l'dir. Akarsu kaynağında ise akarsuyun yukarı kısımlarında 0.01 mg/l, aşığı kısımlarında 0.003 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7). Standardlara göre sıcak su ve kaynak suyu uygun sınırlar içerisinde. Hamamayağı Deresi ise, kıtaçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.4. Kurşun (Pb)

Kayaç oluşturan birçok mineralin asıl yapısında yer alan Pb, sularda doğal olarak bulunmakta, kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sulardaki Pb nadir olarak yüksek değerlere ulaşır (Hem, 1985). Bunun yanı sıra insanların kurşunu yaygın olarak kullanmaları (su boruları ve benzin) bunların çevresel olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır.

İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan Pb için TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Suları Standardında (TS-266, 2005) önerilen sınır değer 0.01 mg/l'dir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde Pb için sınır değer 0.01 mg/l olarak belirtilmiştir.

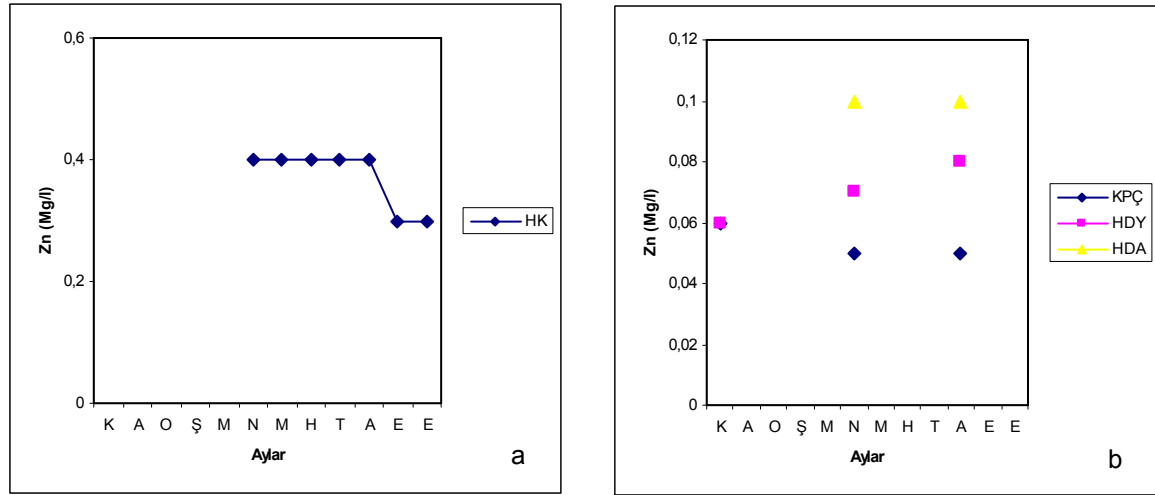
İnceleme alanından derlenen numunelerde ölçülen Pb değerleri, sıcak su kaynağında Kasım 2006'da 0.0001 mg/l, ölçülmüştür. Soğuk su kaynağında ve akarsuda Kasım 2006'da ölçülen Pb değerı ise 0.01 mg/l'dir (Tablo 3.7). Standardlara göre sıcak su ve

kaynak suyu Pb içeriği bakımından uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.5. Çinko (Zn)

Doğal sularda bulunan Zn genellikle, suyun temasta olduğu kayalardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübreden ve atmosferden kaynaklanabilir. Zn, insan için görece olarak zehirli olmayan bir element olup 25 ppm derişimlere kadar olumsuz bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (MecNeely vd. 1979). TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TSE-266, 2005) Zn derişim değeri en fazla 5 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde Zn için sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanından derlenen numunelerde ölçülen Zn değerleri sıcak su kaynağında 0.002-0.4 mg/l (Şekil 3.22a), soğuk su kaynağında, 0.06-0.05 mg/l, ve akarsu kaynağında ise 0.06-0.1 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7), (Şekil 3.22b).



Şekil 3.22. İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Zn değerlerinin aylara göre değişimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Zn değeri, Kocapınar Çeşmesi için uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.6. Nikel (Ni)

Ni, mağmatik kayalar da bulunan birçok mineralin yapısında vardır. Ni'in doğal sular da, 1 ppm'e kadar yukselen derişimleri yanında, genellikle 0.005 ile 0.02 ppm arasındaki derişimlerde bulunduğu belirlenmiştir (WHO, 1984). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Ni, 0.02 mg/l'yi aşmamalıdır. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde Ni için sınır değer 0.05 mg/l olarak belirtilmiştir.

İnceleme alanından derlenen su örneklerinde ölçülen Ni değerleri, sıcak su kaynağında <0.0002 mg/l, soğuk su kaynağında ve akarsu kaynağında Kasım 2006 tarihinde 0.03 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7). Standardlara göre sıcak sudaki Ni miktarı uygun sınırlar içerisinde dir. Kaynak suyunda ise standartların üzerindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaıçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.7. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum yer kabuğundaki eser miktarda bulunan ve özellikleri Zn'ya benzeyen bir elementtir. Doğal suların Cd içerikleri genellikle 0.001 ppm'den daha azdır. Bununla birlikte bazı sular da 0.01 ppm'e kadar ulaşan derişimlerde de bulunabilmektedir (McNeely vd. 1979).

TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TSE-266, 2005) Cd derişim değer en fazla 0.005 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde Cd için sınır değer 0.003 mg/l olarak belirtilmiştir.

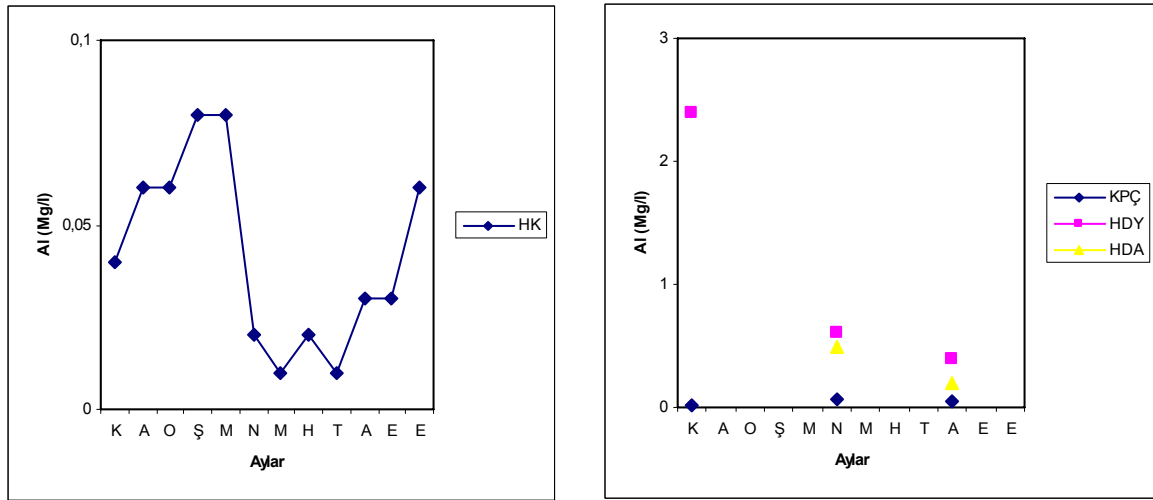
İnceleme alanında Cd değerleri, Kasım 2006'da sıcak ve soğuk su kaynağında <0.00005, akarsuda ise 0.0002 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7). Standardlara göre sıcak su ve kaynak suyu uygun sınırlar içerisinde dir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaıçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I-II. sınıf (yüksek kaliteli-az kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.8. Alüminyum (Al)

Yeraltı sularında doğal süzölme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum, yer kabuğunda önemli miktarda bulunmasına karşın (% 8.6), az çözünmesi nedeniyle,

yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH'nın 5-9 arasında olduğu sulara, alüminyum 1 ppm'den azdır. Genellikle yer altı sularında 0.005-0.3 ppm arasında alüminyum izlenir, asit sulara bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986). Rezervuar akışkanının Al^{+3} konsantrasyonu, genellikle <2 mg/kg'dır. Buna karşın hareketsiz element olarak adlandırılır ve genellikle silis ile birlikte hareket eder. Asidik sular ise yüksek (yaklaşık 100 mg/l) Al^{+3} içerir (Nicholson, 1993). TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TSE-266, 2005) Al derişim değeri en fazla 0.2 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliğı (2001)'nde Al için sınır değeri 0.2 mg/l olarak belirtilmiştir.

İnceleme alanından derlenen Al değerleri, sıcak su kaynağında 0.01-0.08 mg/l, (Şekil 3.23a), soğuk su kaynağında 0.01-0.07 mg/l ve akarsuda 0.2-2.4 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7, Şekil 3.23a). Standartlara göre, sıcak sudaki ve kaynak suyundaki Al miktarı standartlara uygun değerlerdedir. Hamamayağı Deresi'nde Al miktarı, kıtaıçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre IV. sınıf (çok kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.



Şekil 3.23. İnceleme alanındaki su kaynaklarında bulunan Al değerlerinin aylara göre değışimi; HK: Hamamayağı Kaplıcası, KPC: Kocapınar Çeşmesi, HDY: Dere yukarısı, HDA: Dere aşağısı

3.4.3.9. Arsenik (As)

Doğal dengeyi bozan kirleticiler arasında yer alan arsenik, gerek doğada serbest halde bulunabilmesi ve gerekse canlı yapıda oluşturduğu değışik toksik etkileri nedeniyle insan

ve hayvan sağlığı açısından önem taşıtmaktadır. Bu nedenle içilebilir sularda bulunan arsenik düzeylerine belirli sınırlandırmalar getirilmiştir.

Dünya Sağlık rgt (WHO), içme ve kullanma sularında 0.01 ppm'e kadar arsenik bulunabileceğini, 0.05 ppm'den daha yüksek miktarlarda arsenik içeren suların ise kesinlikle kullanılmaması gerektiğini bildirmiştir. TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TSE-266, 2005) As derişim değer en fazla 0.01 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde As için sınır değer belirtilmemiştir.

İnceleme alanında derlenen arsenik değerleri sıcak su kaynağında 0.01-0.03 mg/l, soğuk su kaynağında 0.0007 mg/l, akarsuda 0.002 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7). İnsani Tüketim Amaçlı Suları Standardına (TS-266, 2005) göre As, Kocapınar eşmesi için uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaıçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.10. Bor (B)

Sularda borun bulunuş şekli suyun pH'ına bağlı olarak değerir. Asitli sularda (pH 6'dan az) ortoborik asit egemendir. Ntr ve alkali (pH 11'den yukarı) doğal sularda tetra-penta-hekza ve diğer poliboratlar gözlenir. Alkali metal boratlar fazla, geri kalan boratlar suda çok az znrlenir. Sıcaklığın yükselmesi ile boratların çözünürlükleri artar. Bu nedenle bor hidrotermal ortamlarda hızlı hareket eder. Borik asit, sıcak sularda çok, soğuk sularda az znr. Jeotermal sistemlerde B^{+3} ve Cl^{-} genellikle suların kökenini ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılır (Truesdell, 1975; 1991; Arnorsson ve Andresdottir, 1995). Derin yeraltı sularında yüzlerce mg/l bor bulunabilir. Bor tipik halojen elementtir, buharlaşma ile yığışır, özellikle alkali ortamlarda g hızlıdır. Çünkü borun çökelmesini etkileyen kalsiyum ve magnezyum, alkali ortamlarda çok az bulunur.

TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular standardında (TSE-266, 2005) B derişim değer en fazla 2 mg/ l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde B için sınır değer belirtilmemiştir.

İnceleme alanından derlenen su örneklerinde bor miktarı, sıcak su kaynağında 0.3 mg/l, soğuk su kaynağında 0.01 mg/l, akarsu kaynağında 0.02 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7). İnsani Tüketim Amaçlı Suları Standardına (TS-266, 2005) göre B, Kocapınar

Çeşmesi için uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaıçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.3.11. Brom (Br)

Deniz suları 67 mg/l (Hounslow 1995), doğal tuzlu sular 100-1000 mg/l Br⁻ (Collins, 1975) içerir. Jeotermal sularda Br⁻ genel olarak düşüktür. Ancak jeotermal sulara deniz suyu karışımı olduğunda Br oranı yükselir. Br/Cl ve Br/I oranı sulara denizsuyu karışımı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan iyi bir indikatördür (Nicholson, 1993).

TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TSE-266, 2005) Br derişim değeri en fazla 0.01 mg/l olarak belirtilmiştir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde Br için sınır değeri belirtilmemiştir.

Çalışma alanında brom değerleri Hamamayağı Kaplıcası sıcak su kaynağında 0- 0.008 mg/l, Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında 0-0.02 mg/l, Hamamayağı Deresi'nde ise 0-0.01 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.7). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Br, Kocapınar Çeşmesi için uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaıçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.

3.4.4. Kirlilik Analizleri

İnceleme alanında bulunan Hamamayağı Kaplıcası'ndan (sıcak ve mineralli su kaynağı), Kocapınar Çeşmesi'nden (soğuk su kaynağı) ve Hamamayağı Deresi'nden (akarsu) kirlilik tespitine yönelik olarak örneklemeler yapılarak NH₄, NO₂, NO₃ ve PO₄ analizleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarında yaptırılmıştır (Tablo 3.8).

3.4.4.1. Amonyum (NH₄)

Amonyum azot bileşiklerindedir. Amonyum (NH₄) iki basamaklı biyolojik oksidasyon ile uygun reaksiyon şartlarında kolaylıkla önce nitrite (NO₂) sonra ise nitrata (NO₃) dönüşür. Amonyum sudaki serbest klorla kolaylıkla reaksiyona girerek kloraminleri

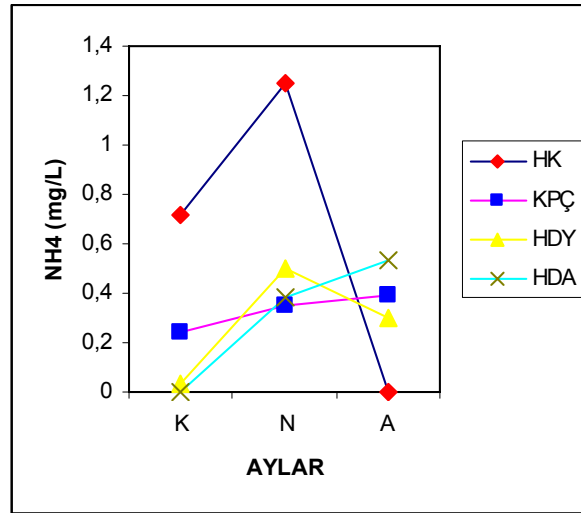
oluşturması içme suyu arıtma tesislerinde sterilizasyon aşamasında klorlama veriminin düşmesine ve oluşan kloraminlerin düşük konsantrasyon seviyelerinde dahi (0.06-0.1 mg/l) su canlı yaşamını olumsuz etkilemesine sebep olmaktadır (Smethurts, 1979).

Tablo 3.8. İnceleme alanından derlenen örneklerin kirlilik analiz değerleri (mg/l, K: 2006 Kasım, N: 2007 Nisan, A: 2007 Ağustos)

Örnek No	Örnek Adı	Örnekleme Tarihi	NO ₂	NO ₃	PO ₄	NH ₄
HK	Hamamayağı Kaplıcası	K	0	0.69	0	0.72
		N	0	0.42	0	1.25
		A	<0.01	0.6	<0.01	<0.01
KPÇ	Kocapınar Çeşmesi	K	0	7.66	0	0.24
		N	0	5.78	0	0.35
		A	<0.01	7.2	<0.01	0.39
HDY	Hamamayağı Deresi Yukarısı	K	0	8.61	0	0.03
		N	0.06	3.58	0.09	0.5
		A	<0.01	4.29	<0.01	0.3
HDA	Hamamayağı Deresi Aşağısı	K	-	-	-	-
		N	0	4.15	0.23	0.38
		A	1.53	2.73	<0.01	0.53

TSE, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TSE-266, 2005) göre NH₄ 0.5 mg/l'yi aşmamalıdır. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde NH₄ için sınır değeri belirtilmemiştir.

İnceleme alanından derlenen numunelerde NH₄ sıcak su kaynağında <0.01- 1.25 mg/l, soğuk su kaynağında 0.24-0.39 mg/l, akarsu kaynağında 0.30-0.53 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.8, Şekil 3.24). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre NH₄ Kocapınar Çeşmesi için uygun sınırlar içerisinde. Hamamayağı Deresi ise NH₄ içeriği bakımından kıta içi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I. sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.



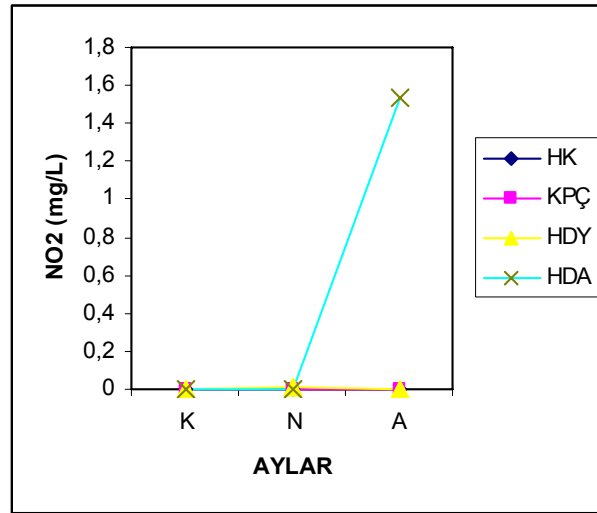
Şekil 3.24. İnceleme alanındaki kaynaklardan ölçülen NH_4 değerlerinin aylara göre dağılımı

3.4.4.2. Nitrit (NO_2)

NO_2 iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, NH_3 ve NO_3 arasında (nitrifikasyon) veya nitrat veya azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunur. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir. NO_2 insanlar ve hayvanlar için NO_3 'tan daha fazla zehirleyicidir (Doğan, 1981).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında NO_2 için önerilen en fazla değer 0.5 mg/l'dir (TS-266, 2005). Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde NO_2 için sınır değer 0.05 mg/l olarak belirtilmiştir.

İnceleme alanından derlenen su örneklerinde NO_2 , sıcak ve soğuk su kaynaklarında 0- <0.01 mg/l, Hamamayağı Deresi'nde, derenin yukarı kısımlarında <0.06- 0.06 mg/l, aşağı kısımlarında 0-1.53 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.8, Şekil 3.25). Standartlara göre sıcak su ve kaynak suyu NO_2 bakımından uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıtaiçi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre III-IV. sınıf (kirli-çok kirlenmiş) sular sınıfına girmektedir.



Şekil 3.25. İnceleme alanındaki kaynaklardan ölçülen NO_2 değerlerinin aylara göre dağılımı

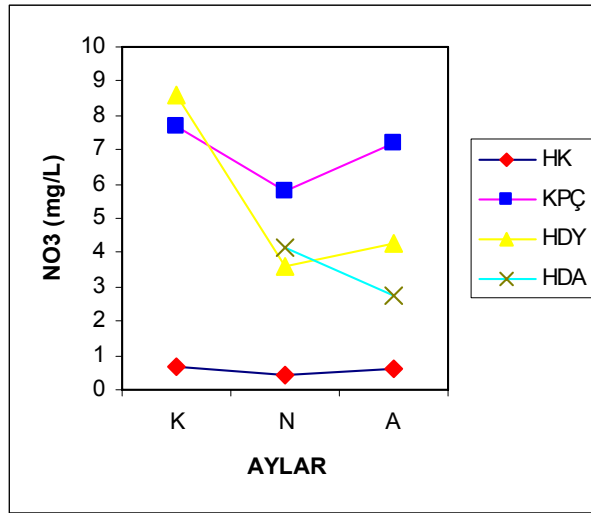
3.4.4.3. Nitrat (NO_3)

NO_3 iyonu, sularda bulunan bağlı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Çoğu yüzey suları bir miktar nitrat iyonu içerir. Bununla birlikte, NO_3 'ün ana kaynaklarından biri insan ve hayvan artıkları olduğundan 5 mg/l'den fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olarak değerlendirilmektedir (McNeely vd., 1979). Öte yandan mağmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrate yerel olarak kaynaklık etmektedir.

Yüzey ve yeraltı sularındaki NO_3 çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Çürümüş bitkiler ve hayvan dışkıları, endüstriyel atık sular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltı sularındaki NO_3 'ü oluşturan başlıca kaynaklardır (Hem, 1985).

NO_3 'ün insan sağlığı üzerine olan etkileri göz önünde tutularak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardında (TS-266, 2005) nitrat için verilen en fazla değer 50 mg/l'dir. Kaplıca Yönetmeliği (2001)'nde NO_3 için sınır değer 45 mg/l olarak belirtilmiştir.

İnceleme alanından derlenen örneklerde NO_3 , sıcak su kaynağında 0.42-0.69 mg/l soğuk su kaynağında 5.78-7.66 mg/l, akarsu kaynağında 2.73-4.29 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.8, Şekil 3.26). Standartlara göre sıcak su ve kaynak suyu NO_3 bakımından uygun sınırlar içerisindedir. Hamamayağı Deresi ise, kıta içi su kaynaklarının sınıfları (2004)'na göre I.sınıf (yüksek kaliteli) sular sınıfına girmektedir.



Şekil 3.26. İnceleme alanındaki kaynaklardan ölçülen NO_3 değerleri

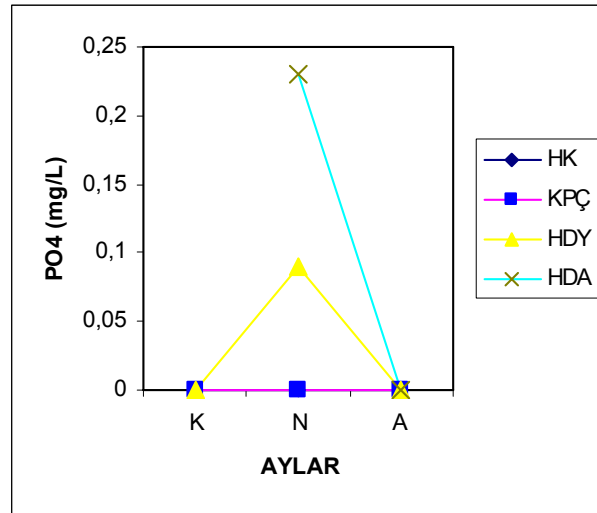
3.4.4.4. Fosfat (PO_4)

Fosfor mağmatik kayalarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Sedimanlar içinde de oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 mg/l'nin çok altındadır (Hem, 1985). Yüzey ve yer altı sularındaki PO_4 , kayalardan ve topraktan, bozulan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelerden kaynaklanabilir. Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0.1 mg/l üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını olumsuz etkilemektedir (McNeely vd. 1979).

İnceleme alanında PO_4 , sıcak ve soğuk su kaynağında 0-<0.01 mg/l, Hamamayağı Deresi'nde <0.01-0.23 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.8, Şekil 3.27).

3.5. İnceleme Alanındaki Suların Sınıflandırılması

İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarından yararlanarak hidrokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir. Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere litrede eşdeğer gram cinsinden toplam çözünmüşlerin %50'sinden fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir.



Şekil 3.27. İnceleme alanındaki kaynaklarda ölçülen PO₄ değerleri

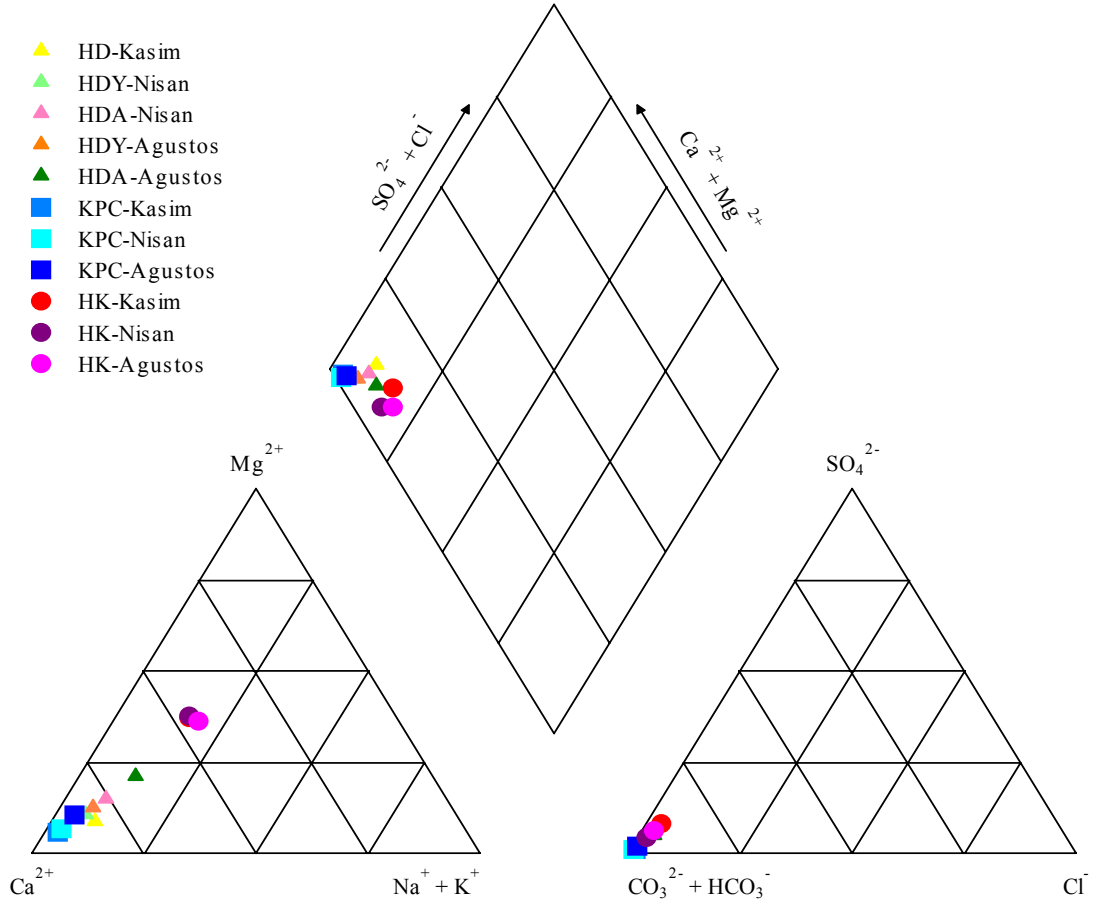
İyonların hiçbirisi miktar olarak % 50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH, 1979) Sıcak ve Mineralli Sular Komisyonu Çalışma Raporu'nda belirtilen sınıflamada ise; suda çözülmüş başlıca iyonlar, anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine litrede eşdeğer gram olarak %20'sinden fazla çözülmüş bulunan iyonlara göre (önce katyonlar sonra anyonlar sırasıyla yazılarak) su tipi belirlenmektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada, yüzey ve sıcak yeraltı sularını sınıflamak ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için Piper Diyagramı (1944), suların kimyasal içeriklerini karşılaştırmak amacıyla da Schoeller Diyagramı kullanılmıştır. Ayrıca yörede tarımsal amaçlı sulama yapıldığı için sulama suları sınıflaması açısından sular Wilcox diyagramında değerlendirilmiştir.

3.5.1. Piper Diyagramı Değerlendirmesi

Piper Diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

İnceleme alanındaki sulara ait Piper diyagramı Şekil 3.28'de verilmiştir. Bu diyagrama göre inceleme alanındaki sular, Karbonatlı ve sülfatlı (Ca+Mg>Na+K) sular sınıfında olup, sulara zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden daha fazladır (HCO₃+CO₃> Cl+SO₄).

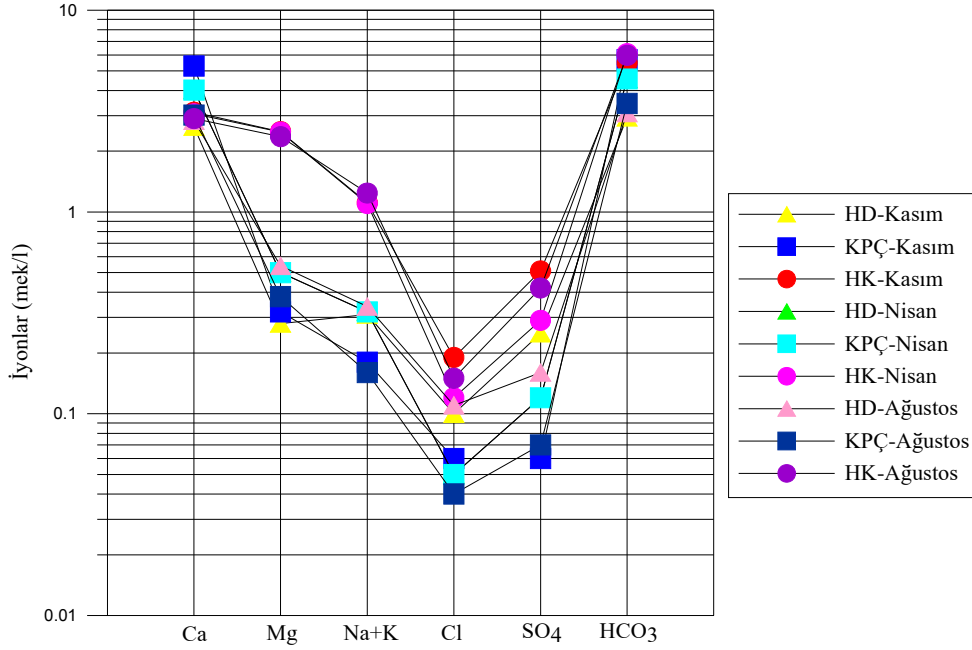
Ayrıca karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten büyük değerdedir. Böyle sular CaCO_3 ve MgCO_3 lı sulardır ve sular karbonat sertliği %50 den fazla olan sulardır.



Şekil 3.28. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Piper diyagramı

3.5.2. Schoeller Diyagramı Değerlendirmesi

Bu diyagram gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görülmesi, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması açısından oldukça sık kullanılmaktadır. Schoeller diyagramlarında aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımlarının paralellik göstermesi beklenmektedir. İnceleme alanına ait suların Schoeller diyagramında konumları Şekil 3. 29'da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk su örneklerinin Schoeller diyagramındaki konumları

Schoeller diyagramı incelendiğinde genel olarak tüm suların iyonlarının mek/l değerlerini birleştiren doğrular birbiri ile çakışmakta ya da paralel geçmektedir. Bu durum suların besleniminin aynı kaynaktan olduğunu gösterir. Hamamayağı Kaplıca kaynağına ait iyonların mek/l değerlerini birleştiren doğrular SO_4 ve Cl iyonlarında çok küçük sapmalar göstermekle birlikte genellikle birbiri ile çakışmaktadır. Bu durum kaynak suyunun mevsimsel değişimlerden etkilenmediğini gösterir.

3.5.3. Wilcox Diyagramının Değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki suların sulama suyu amaçlı kullanımının uygun olup olmadığını belirlemek için bu suların Wilcox (1955) diyagramında çeşitli dönemlere ait değerlendirmesi yapılmıştır. Wilcox diyagramında; Na yüzdesi (%Na) ve Eİ ($\mu S/cm$) değerleri kullanılarak suların sulama suyu olarak “çok iyi-iyi”, “iyi kullanılabilir”, “şüpheli kullanılabilir”, “şüpheli kullanılamaz” ve “uygun değildir” şeklinde sınıflaması yapılmaktadır. Na yüzdesi; suyun toplam majör katyonları içinde %Na değerini ifade eder ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\%Na = 100 \times (Na/(Na+K+Ca+Mg))$$

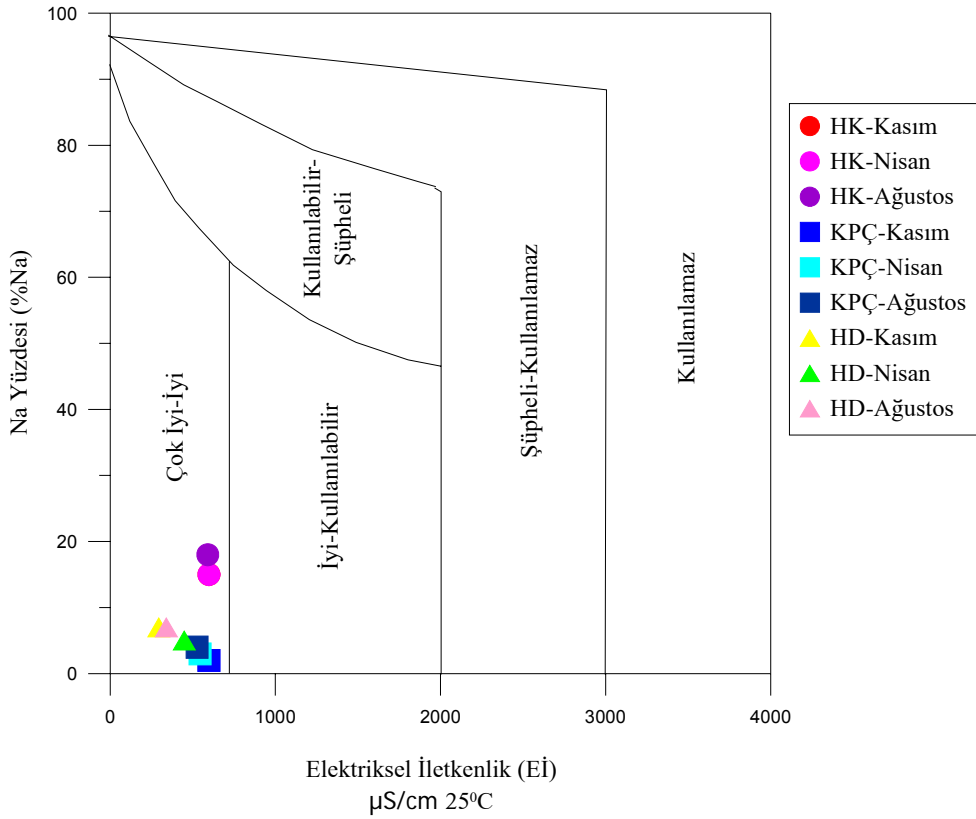
(2)

Burada;

%Na: sodyum yüzdesi,

Na, K, Ca, Mg: mek/l cinsinden iyon derişimleridir.

Sulama suyu açısından inceleme alanındaki tüm sular çok iyi-iyi sınıfta yer alır (Şekil 3.30).



Şekil 3.30. İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait Wilcox diyagramı

3.6. Suların Mineral Doygunlukları

Suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Bu nedenle özellikle sıcak ve mineralli suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin tahmini ekonomik önem taşımaktadır. Yer altı sularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabilmeye olanağı sağlamaktadır. Bu

nedenle inceleme alanındaki suların çeşitli minerallere göre doygunluk durumları incelenmiştir. Doygunluk indisi (Saturation Index, SI); iyonik aktivite çarpanı (IAP) ile tepkime denge sabitine (K) oranının logaritmik ifadesidir. Her mineral için özellikle sıcaklıkla ve kısmen de basınçla değişen değerler içermektedir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

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

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

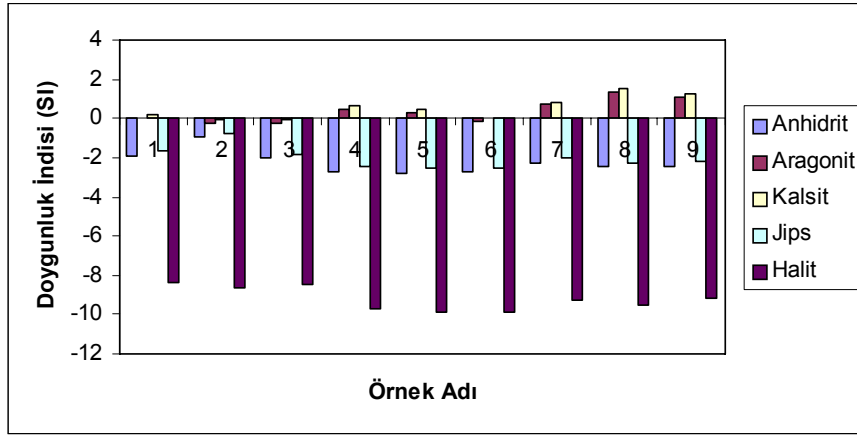
SI (log IAP/K)<0 ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

İnceleme alanında yer alan suların mineral doygunluk indislerinin hesaplamasında, arazide ölçülen pH ve sıcaklık değerleri ile kimyasal analiz sonuçlarından yararlanarak Phreeqc Interactive 2.8 (Parkhurst and Appelo, 1999) adlı bilgisayar programı kullanılmıştır. Bilgisayar programından elde edilen SI sonuçları Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9. İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait SI değerleri (d: Doygun)

SI Değerleri									
	Hamamayağı Kaplıcası			Kocapınar Çeşmesi			Hamamayağı Deresi		
	Kas (1)	Nisan (2)	Ağs (3)	Kas (4)	Nisan (5)	Ağs (6)	Kas (7)	Nisan (8)	Ağs (9)
Anhidrit (CaSO₄)	-1.92	-0.97	-2.02	-2.70	-2.77	-2.75	-2.24	-2.47	-2.42
Aragonit (CaCO₃)	0.02 ^d	-0.21	-0.20	0.46 ^d	0.30 ^d	-0.12	0.72 ^d	1.37 ^d	1.11 ^d
Kalsit (CaCO₃)	0.16 ^d	-0.07	-0.06	0.61 ^d	0.45 ^d	0.02 ^d	0.86 ^d	1.52 ^d	1.26 ^d
Jips (CaSO₄·2H₂O)	-1.70	-0.75	-1.80	-2.48	-2.55	-2.53	-2.02	-2.25	-2.20
Halit (NaCl)	-8.38	-8.62	-8.43	-9.67	-9.91	-9.88	-9.30	-9.51	-9.16

Tablo 3.9 ve Şekil 3.31’den görüldüğü gibi Hamamayağı Kaplıcası yalnız Kasım ayında kalsit ve aragonite doygun; anhidrit, jips ve halit minerallerine doygun değildir. Diğer mevsimlerde hiçbir minerale doygun değildir. Kocapınar Çeşmesi kasım ve nisan aylarında aragonite, kasım, nisan, ağustos aylarında ise kalsite doygundur. Hamamayağı Deresi kasım, nisan, ağustos aylarında aragonite ve kalsite doygundur. Ancak çeşmedeki doygunluk indisi değerleri 0’a oldukça yakındır. Bu durum suyun dengeye yakın konumda olduğunu belirtir. Çeşme etrafında herhangi bir traverten çökelinin olmaması da suyun dengede olduğunu gösterir. Hamamayağı deresindeki doygunluk indisi değerleri 1’e yakındır. Özellikle yaz aylarında dere kenarlarında gözlenen ufak çaplı tortular bu durumun bir sonucudur.



Şekil 3.31. İnceleme alanından derlenen su örneklerine ait mineral doygunluk diyagramı (1-2-3 Hamamayağı Kaplıcası, 4-5-6 Kocapınar Çeşmesi, 7-8-9 Hamamayağı Deresi)

3.7. Çevresel İzotop Hidrolojisi

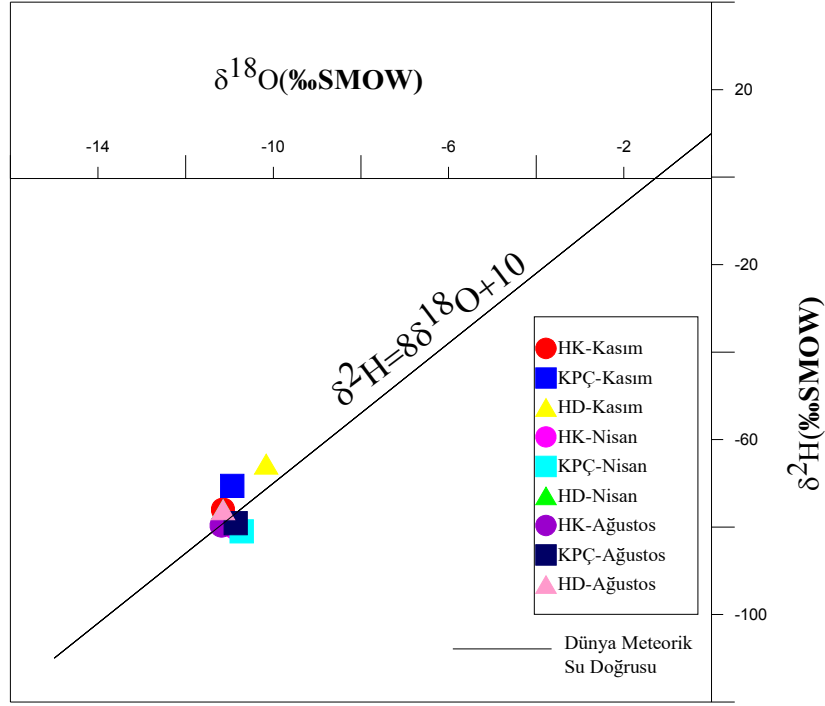
Son yıllarda hidrolojik ve hidrojeolojik araştırmalarda sudaki doğal izotoplar kullanılmaktadır. Bu çalışmalarda genellikle radyoizotop olarak trityum (^3H) ve karbon-14 (^{14}C), kararlı (duraylı) izotop olarak da oksijen-18 (^{18}O) ve döteryum (^2H) izotoplarından yararlanılmaktadır. Trityum ve karbon-14 yeraltı suyunun yaşının belirlenmesinde kullanılırken, oksijen-18 ve döteryum ise yeraltı suyunun beslenme alanını belirlemede ve yüzey su kütlelerinde buharlaşma göstergesi olarak kullanılmaktadır.

Oksijen ve hidrojen su molekülünü oluşturan iki element olduklarından dolayı oksijen-18, döteryum ve trityum izotopları hidrolojik çevrimin çeşitli kesimlerindeki su hareketlerinin incelenmesi için izleyici olarak kullanılırlar. Bu doğal izotoplar, hidrolojik sistemlerle ilgili statik ve dinamik parametrelerin belirlenmesini sağlar.

Duraylı izotoplardan oksijen-18 ve döteryumdan suların olası beslenme yükseltilerinin hesaplanmasında, trityumdan ise bağıl yaş ve geçiş sürelerinin belirlenmesi amacıyla yararlanılmıştır. Karbon-13 ve kükürt-34 izotopları ise su kalitesini ve kirleticilerin kaynağını belirlemek, sulardaki karbonun ve kükürtün orijinini araştırmak için kullanılmıştır.

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

Yağışlardan alınan su örneklerinde duraylı izotoplardan oksijen–18 ve döteryum içerikleri arasındaki dünya yağışlarını temsil eden ilişkinin $\delta^2\text{H} = 8x \delta^{18}\text{O} + 10$ olduğu bilinmektedir (Craig,1961;Yurtsever, 1978). Dünya Meteorik Doğrusu olarak adlandırılan bu doğruya göre incelenen sulardan alınan örneklerin konumları Şekil 3.32’de verilmiştir.



Şekil 3.32. İncelenen suların Oksijen 18-Döteryum ilişkisi

Şekil 3.32 incelendiğinde genel olarak bütün su noktaları meteorik su doğrusuna yakın konumdadır. Hamamayağı Kaplıcası’ndan her mevsimde alınan su örnekleri hemen hemen aynı noktada iken; yüzey suyundan alınan örnekler buharlaşmanın etkisiyle mevsimlere göre bir miktar farklılık göstermiştir.

Duraylı izotoplardan oksijen–18 ile döteryum arasındaki ilişki belli yağış rejimleri için değişmez. Bu nedenle örneklerdeki döteryum fazlası kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi belirlenerek, beslenme alanlarına gelen yağışların kökeni hakkında bilgi edinilebilir. Döteryum fazlası parametresi $d_f = \delta^2\text{H} - 8x \delta^{18}\text{O}$ eşitliğinden hesaplanır (Dansgaard, 1964).

Döteryum fazlasının (d_f) yüksek değerler aldığı noktalarda denizel kökenli yağışlar, düşük değerler aldığı noktalarda karasal kökenli yağışlar hakimdir (Kehinde,1993).

Tablo 3.10 incelendiğinde d_f değerlerinin ‰ 4.79 ile 16.92 arasında değiştiği görülür. İnceleme alanındaki suların kış aylarında daha çok denizel kökenli, yaz aylarında karasal kökenli yağışlarla beslendiği söylenebilir.

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

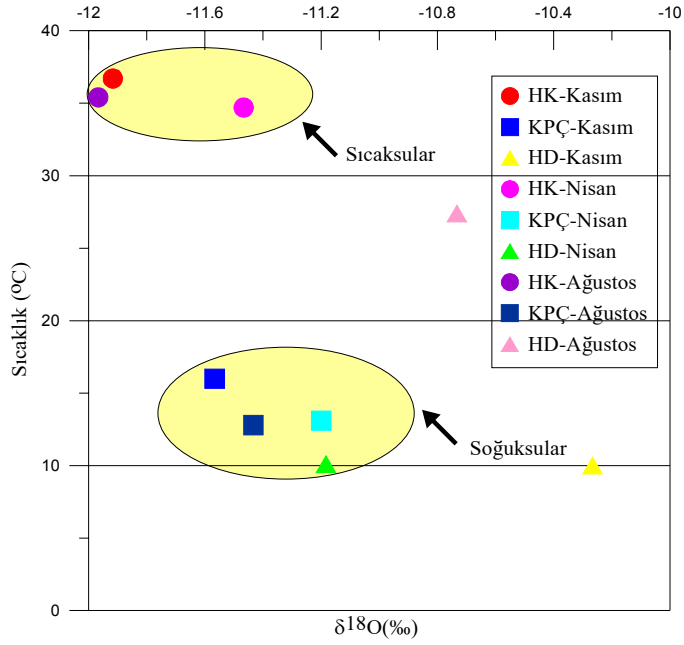
Yükseklik ile ^{18}O izotopu arasında ters orantı vardır. Belli bir bölge için yükseklik artışına bağlı olarak sıcaklık değerinde düşme ve buna karşılık olarak ^{18}O değerinde azalma olduğu kuralı düşünülürse düşük ^{18}O değerine sahip sular görece olarak daha yüksek kotlardan beslenen suları temsil edecektir.

Tablo 3.10. İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları

Örnekleme Tarihi	Örnek Adı	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	^2H (‰)	d_f	^3H (TU)	^3H Hata	$\delta^{34}\text{S}$ (‰) cdt	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) vdp	DIC ppm
Kasım	HK (Kaplıca)	-11.15	-76.04	13.6	1.00	0.70	-	-	-
Kasım	KPÇ (Çeşme)	-10.94	-70.60	16.92	8.85	1.10	-	-	-
Kasım	HD (Dere)	-10.16	-65.59	15.69	6.15	0.95	-	-	-
Nisan	HK (Kaplıca)	-10.88	-80.10	6.94	0.40	0.70	-4.1	-1.78	68.90
Nisan	KPÇ (Çeşme)	-10.72	-80.97	4.79	9.00	1.05	-	-12.18	65.79
Nisan	HD (Dere)	-10.71	-78.28	7.4	8.10	1.00	1.31	-10.10	48.28
Ağustos	HK (Kaplıca)	-11.18	-79.66	9.78	0.20	1.00	-4.2	-1.62	78.26
Ağustos	KPÇ (Çeşme)	-10.86	-79.13	7.75	8.05	1,90	3.8	-8.25	38.41
Ağustos	HD (Dere)	-10.44	-75.12	8.4	6.90	1,70	2.7	-8.31	37.60

İnceleme alanından alınan su örneklerinin ^{18}O değerleri Hamamayağı Kaplıcası sıcak su kaynağında ‰-11.18, -10.88, Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında ‰-10.94, -10.72, Hamamayağı Deresi akarsu kaynağında ‰-10.71, -10.16 arasında değişmektedir.

Hamamayağı bölgesinden alınan su örneklerine ait ^{18}O - sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) grafiği Şekil 3.33’de verilmektedir. Şekil 3.33 incelendiğinde inceleme alanındaki suların oksijen-18 değerlerinde fazla bir değişim olmadığı gözlenmekte ve suların yaklaşık olarak aynı kottan beslendiği düşünülmektedir. Dere suyunun oksijen-18 değerlerindeki değişim yağış şekliyle ilişkili olabilir. Çünkü kış aylarında derenin beslenme kotlarında kar yağışı gözlenmektedir.



Şekil 3.33 İncelenen suların sıcaklık-Oksijen-18 ilişkisi

3.7.3. Trityum (^3H)- Elektriksel İletkenlik (Eİ) İlişkisi

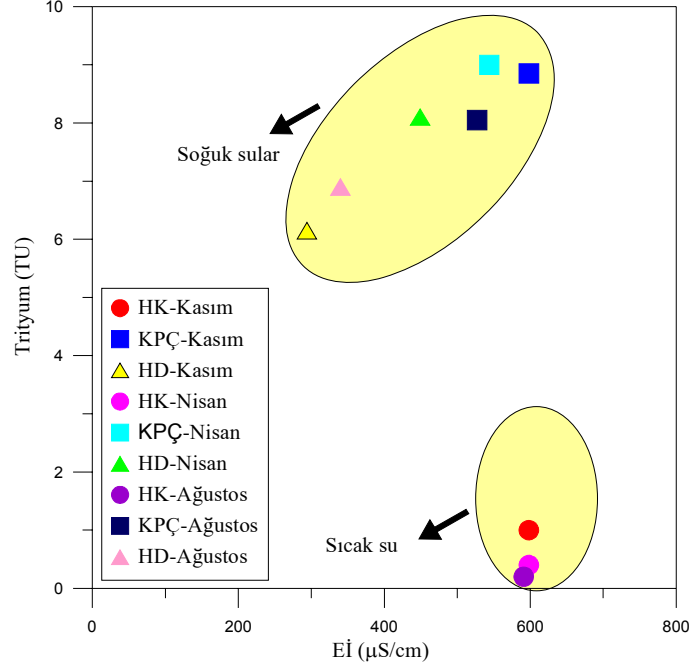
Suların izotopik değerlendirilmesinde kullanılan trityum (^3H) izotopu, radyoaktif bir izotop olmasından dolayı yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Dolayısı ile yeraltısularının geçiş süresinin ortaya konmasında ^3H izotopu en önemli parametredir. Aynı şekilde, genellikle örneklere ait Eİ değeri de yeraltısuyunun rezervuarda kalış süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Hamamayağı jeotermal alanına ait örneklerin trityum (^3H)-elektriksel iletkenlik (Eİ) ilişkisi Şekil 3.34'de gösterilmektedir.

Hamamayağı Kaplıcasının düşük trityum yüksek Eİ değerine sahip olması bu kaynak suyunun derin dolaşım olduğunu göstermektedir. Kocapınar Çeşmesi ve Hamamayağı Deresi'nin, sıcak su kaynağına oranla daha yüksek trityum ve daha düşük Eİ değerlerine sahip olması bu sulara ait kaynakların geçiş sürelerinin kısa olduğunu göstermektedir.

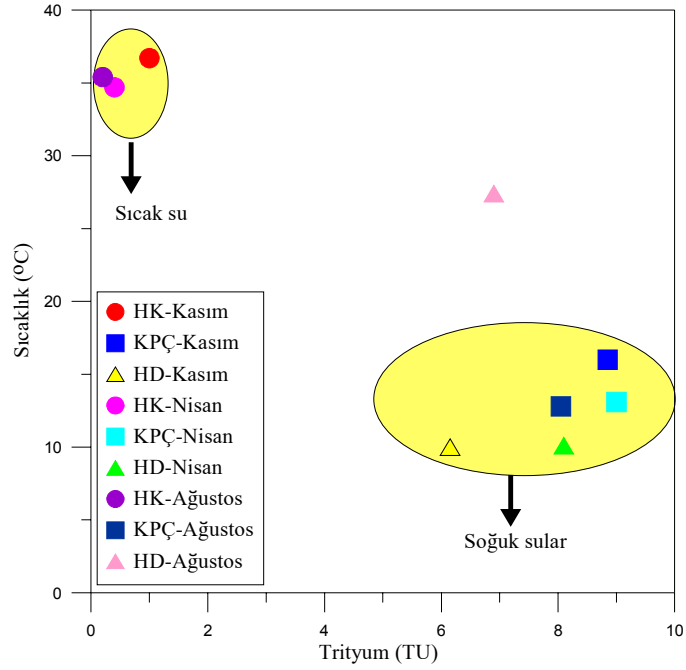
3.7.4. Trityum (^3H)- Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) İlişkisi

Yeraltı sularının geçiş süresinin ortaya konmasında ^3H izotopu en önemli parametredir. Düşük trityum değerleri derin dolaşım suları, yüksek trityum değerleri sığ suları temsil etmektedir. İnceleme alanındaki suların sıcaklık-trityum ilişkisi Şekil 3.35'de

görülmektedir. Hamamayağı Kaplıcası'na ait suların trityum değerlerinin sıfıra yakın olması derin dolaşımli su olduğunu gösterir.



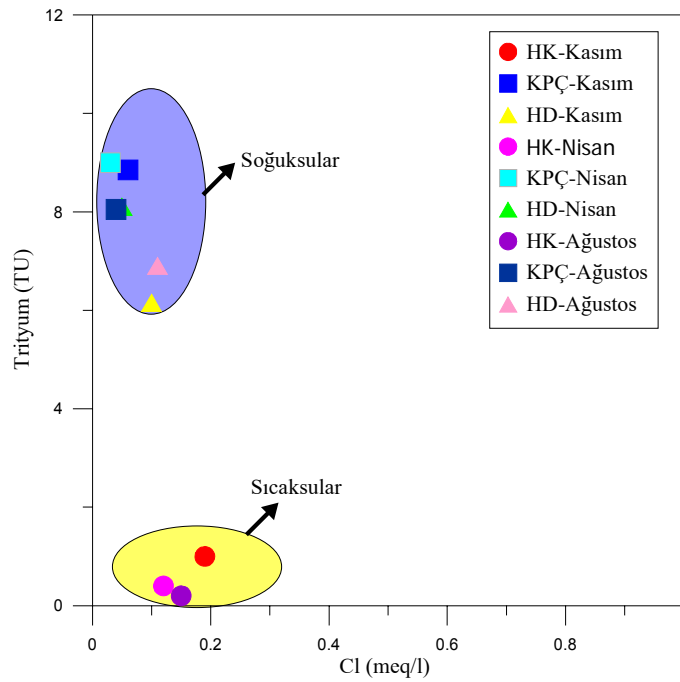
Şekil 3.34. İncelenen suların trityum- elektriksel iletkenlik ilişkisi



Şekil 3.35. İnceleme alanındaki suların trityum- sıcaklık ilişkisi

3.7.5. Trityum (^3H)- Klorür (Cl) İlişkisi

Yeraltı sularının geçiş sürelerinin ortaya konmasında ^3H -Eİ ilişkisinden yararlanıldığı gibi ^3H -Cl ilişkisinden de yararlanır. Genellikle örneklere ait Cl değeri de yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Hamamayağı jeotermal alanına ait örneklerin trityum (^3H)- klor ilişkisi Şekil 3.36'da gösterilmektedir. Hamamayağı Kaplıcası'nın düşük trityum yüksek Cl değerine sahip olması bu kaynak suyunun derin dolaşımını olduğunu göstermektedir. Kocapınar Çeşmesi ve Hamamayağı Deresi'nin, sıcak su kaynağına oranla daha yüksek trityum ve daha düşük Cl değerlerine sahip olması bu suların geçiş sürelerinin kısa olduğunu göstermektedir ve sular Hamamayağı Kaplıcası'na göre daha sığ dolaşımını sulardır.

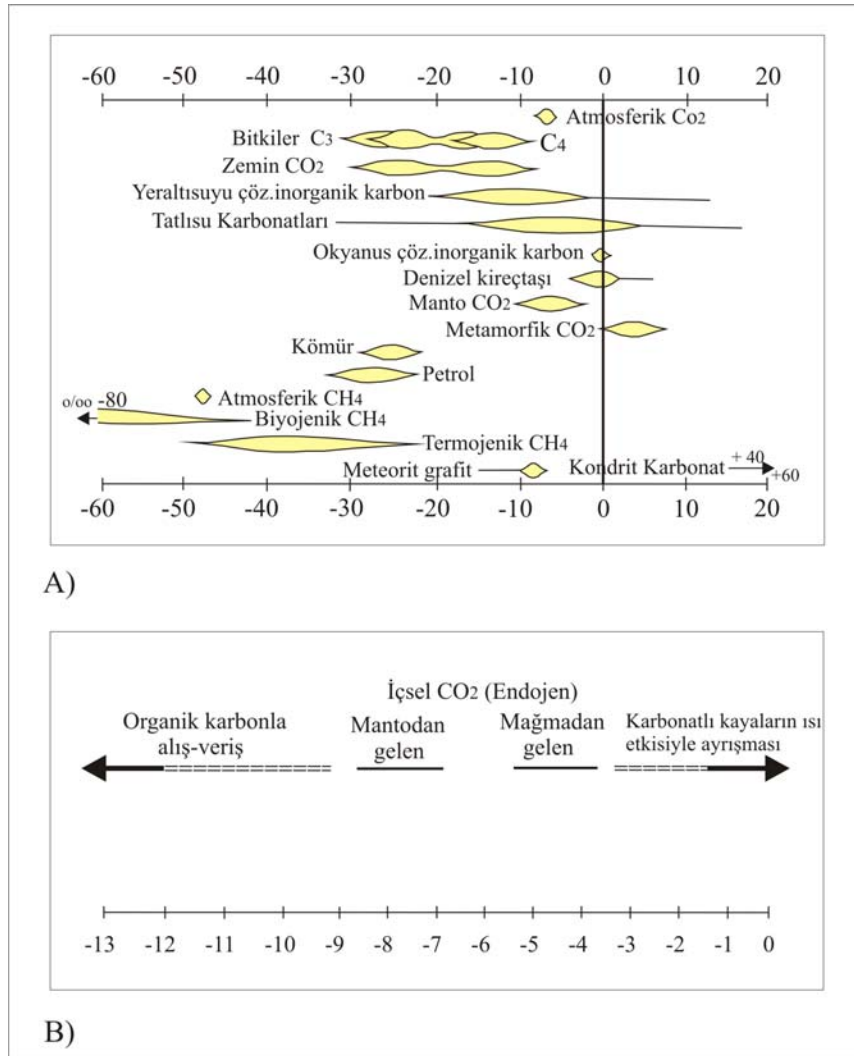


Şekil 3.36. İnceleme alanındaki sulara ait trityum-klor ilişkisi

3.7.6. Karbon 13 (^{13}C)

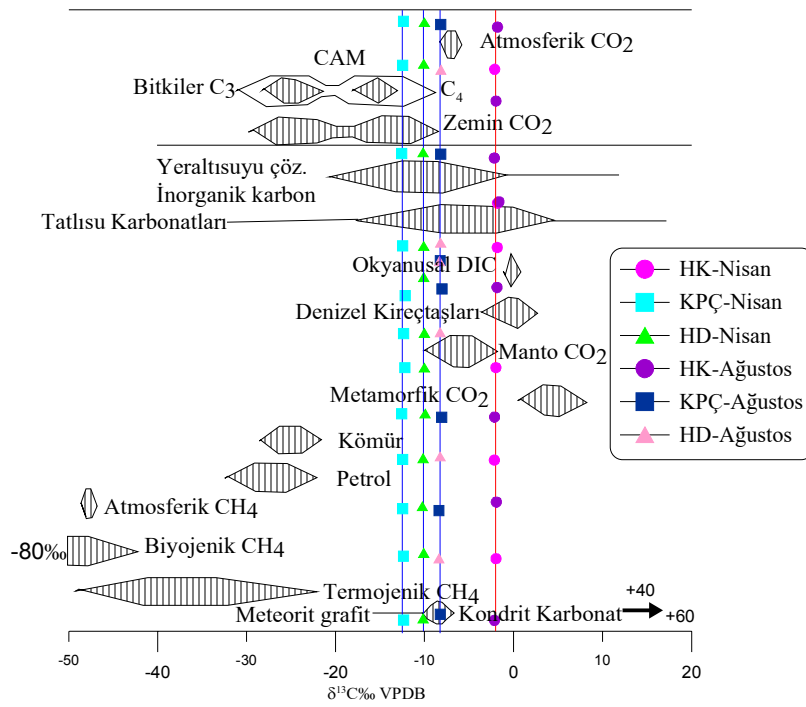
Yeraltına süzülen su topraktaki CO_2 yi çözerken HCO_3 ve CO_3 türlerine ayrışır. Çözünmüş İnorganik Karbon (DIC) türlerinin dağılımı pH'a bağlı olarak değişir. pH değerine bağlı olarak DIC ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ 'nin değişimi de farklıdır (Clark and Fritz, 1997).

Yeraltı suyundaki DIC ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ akiferlerde ayrışma reaksiyonları sırasında yüksek değerlere ulaşır. Kapalı ya da açık sistem şartlarına ve akifer malzemesinin silikat veya karbonat oluşuna bağlı olarak reaksiyonlar gelişir. Tamamen silikatlı akiferlerde DIC gelişmez, ancak karbonatlı akiferlerde kalsit veya dolomit çözünerek DIC gelişir. Bu tür karbonatlar genellikle ^{13}C bakımından zengindir ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ in gelişiminde etkilidir (Clark and Fritz, 1997). Yeraltı sularında çözülmüş inorganik karbon C_{DIC} ve $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ akiferdeki veya topraktaki ayrışma reaksiyonları sonucu gelişir. Farklı ortamlardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerinin değişimi Şekil 3.37’de verilmiştir.



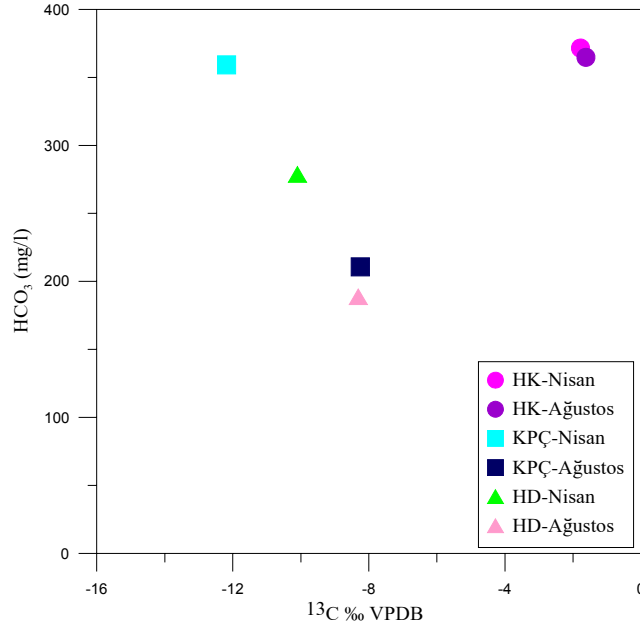
Şekil 3.37. Farklı doğal ortamlardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerinin değişim aralığı (Clark ve Fritz, 1997).

Bu çalışma ile inceleme alanında ölçülen sulardaki $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerleri yağışlı mevsimde Hamamayağı Kaplıcası'nda ‰-1.78, Kocapınar Çeşmesi'nde ‰-12.18, ve Hamamayağı Deresi'nde ‰-10.10 dur. Kurak mevsimde ise Hamamayağı Kaplıcasında ‰-1.62, Kocapınar Çeşmesinde ‰-8.25 ve Hamamayağı deresinde ‰-8.31 olarak belirlenmiştir. Bu değerler ile Hamamayağı kaplıcasındaki karbon, inceleme alanında yüzeyleyen denizel ve tatlı su karbonatlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca inceleme alanında sıcak su kaynağına yakın konumda yüzeyleyen genç volkanik kayaların varlığı karbon içeriğinin bir kısmının manto kökenli CO_2 gazından kaynaklanmış olabileceğini de düşündürmektedir. (Şekil 3.38). Kocapınar Çeşmesinde ve Hamamayağı Deresindeki karbon topraktaki veya yeraltındaki gözeneklerde birikmiş olan CO_2 tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda inceleme alanında bulunan sulardaki karbonun farklı kökenler sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 3.38).



Şekil 3.38. İnceleme alanındaki sulara ait Karbon-13 değerleri

İnceleme alanındaki sulara HCO_3^- - $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ ilişkisi incelenmiştir (Şekil 3.39). Şekil 3.39'dan da görüldüğü gibi soğuk suların HCO_3^- konsantrasyonu azaldıkça $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değerleri artmakta, sıcak sulara ise bu durumun tam tersi görülmektedir. Yani sıcak sulardaki HCO_3^- konsantrasyonu arttıkça $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ değeri de artmaktadır.



Şekil 3.39. İnceleme alanındaki sulara ait karbon-13 –bikarbonat değerleri

3.7.7. Kükürt 34 (^{34}S)

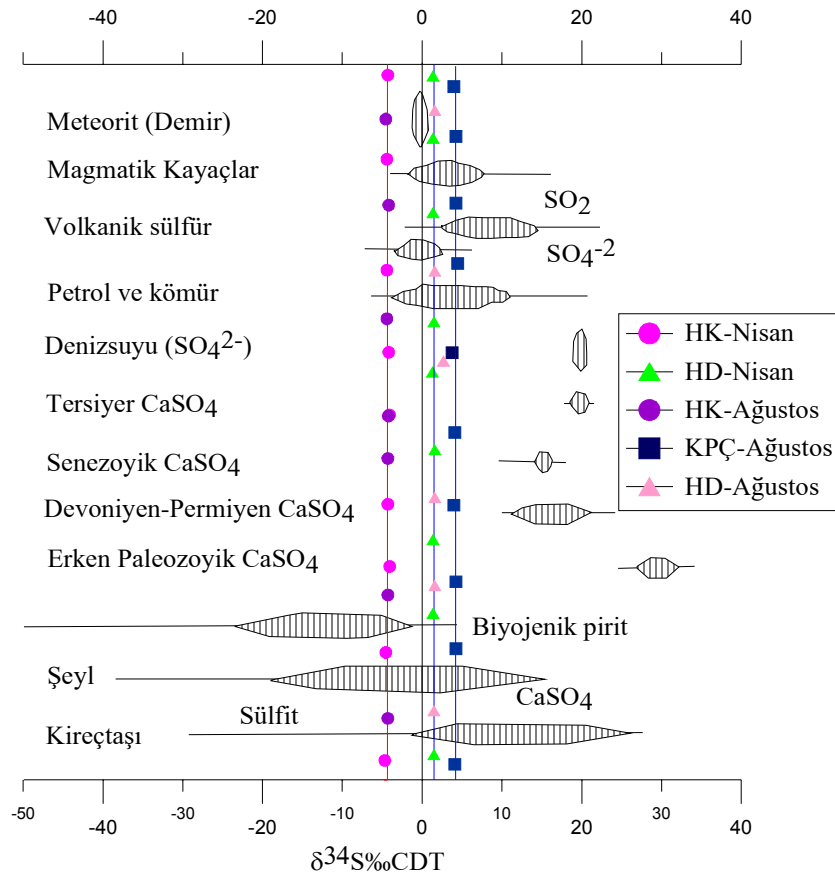
Kükürt yer kabuğunda çözülmüş SO_4 , çözülmüş SO_2 , H_2S , SO_4 ve SO_2 mineralleri şeklinde bulunmaktadır. Organik kükürt, humik maddeler, kerojen ve hidrokarbon olarak bulunur. Kükürdün topraktaki oksidasyonu yarı kurak bölgelerde karasal sülfatı oluşturur. Atmosferdeki kükürt ise doğal ve endüstriyel SO_2 ve denizel aerosolü içerir.

Kükürt-34 kükürt bileşimleri arasında biyolojik döngüden dolayı oldukça fazla kısımlara ayrılır. Benzer olarak sülfatın oksijen-18 içeriği kükürt döngüsünde iz sürmek için önemli bir araçtır. Doğal materyallerdeki kükürt-34 sınıfının özeti Şekil 3.40'da gösterilmektedir. +20‰ yi aşan değerler kireçtaşları ve evaporitlerle ilgilidir. Juvenil sülfürün oksidasyonundaki kükürt-34 oranı genellikle -5‰ ila +5‰ arasındadır.(Clark & Fritz 1997). Negatif kükürt-34 değerleri ise tipik olarak indirgenmiş sülfür bileşiklerinin bulunduğu diyajenetik bir çevreden gelir (Krouse, 1980). En yaygın reaksiyon ürünü pirittir ve pirit şeyllerden ve denizel sedimanlarda denizsuyu sülfatının bakterilerce indirgenmesiyle şekillenen organikçe zengin sedimanter kayalardan gelir (Clark ve Fritz,1997).

Hamamayağı Kaplıcası jeotermal alanında yer alan sıcak su kaynağı, soğuk su kaynağı ve derenin çözülmüş SO_4 iyonundaki ^{34}S izotopu analiz sonuçları Tablo 3.10'da

verilmiştir. Kükürt -34 izotopu için kükürt ve tüm kükürt içeren bileşikler için standart olarak CDT (Standard Canon Diablo Troilite) (Krouse, 1980) kullanılmıştır.

Hamamayağı kaplıcasının $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ izotop içeriği % -4.2 ila -4.1 arasında değişmektedir. Bu değerler ile termal suların kükürt izotop kompozisyonları kireçtaşlarına ve şeyllere karşılık gelmektedir. İnceleme alanındaki Permiyen yaşlı Akdağ Formasyonu'nu oluşturan kireçtaşları ve Pliyosen yaşlı Çerkeş Formasyonu'nda bulunan şeyller buradaki kükürtün kaynağını oluşturmaktadır. Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında ise $\delta^{34}\text{S}$ değeri %3.8 olarak ölçülmüştür. Hamamayağı Deresinin $\delta^{34}\text{S}$ değeri %1.31-2.7 arasında değişmektedir. Şekil 3.40 incelendiğinde soğuk sulardaki kükürtün kaynağını kireçtaşları ve şeyllerin oluşturabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.40. İnceleme alanındaki sulara ait kükürt-34 değerleri

3.8. Radyoaktivite

Çevremiz çeşitli elementlerden veya onların bileşiklerinden meydana gelmiştir. Bir elementin herhangi bir tepkimeye giren en küçük parçası atomdur. Atomlar da, protonlar ve nötronların oluşturduğu bir çekirdekten ve bu çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan oluşur. Atom çekirdeklerindeki nötronların sayısının protonların sayısına oranı hafif elementlerden ağır elementlere doğru yavaşça artar. Ağır elementler, kararsız oldukları için fazla enerjilerini radyasyon yayarak harcarlar ve daha küçük atomlara dönüşürler. Radyoaktif bozunma denilen bu olay sırasında çekirdekten parçacıklar ve enerji dalgaları ortaya çıkar. Bu yolla enerji veren elementlere radyoaktif elementler adı verilir. Radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinden etrafa saçılan radyasyonların en önemlileri alfa, beta ve gamalardır (Dilaver vd. 2002).

3.8.1. Sulardaki Radyoaktivitenin Kaynağı

Yeryüzündeki sular güneş enerjisi sayesinde sürekli bir döngü halindedir (hidrojeolojik çevrim). İnsanlar gereksinimleri olan suyu bu döngüden alırlar ve kullandıktan sonra bu döngüye iade ederler. Bu süreç içerisinde suya karışan maddeler suların özelliklerini değiştirerek su kirliliğini ortaya çıkarır. Bu döngü sonucu suların içeriğinde çözülmüş olarak çeşitli katı maddelerin yanı sıra, geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler de bulunabilir. Özellikle yeraltı suları değişik jeolojik oluşumlarla (formasyonlarla) temas halindedir. Bu yeraltı formasyonlarının içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler suda eriyebilme derecelerine göre yeraltı sularına az yada çok oranda karışır. Çözülmüş maddelerin miktarı, formasyonlarla yeraltı sularının temas süresine, suyun akış hızına ve sıcaklığına, formasyonun cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir. Yeraltındaki çeşitli özellikteki jeolojik formasyonların içinde değişik oranlarda radyoaktif maddelerde bulunmaktadır. Bu maddeler, magmatik kayalarda daha fazladır. Ayrıca kil ve şeyl gibi tortul kayalarda da radyoaktif maddelere rastlanmaktadır. Kum-çakıl, kumtaşı çatlaklı kireçtaşı gibi akifer özelliğindeki tortul kayalarda ise çok az miktarda radyoaktif madde bulunmaktadır. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif maddelerin bulunduğu ortamlardan geçen veya bu ortamların içerisinde bulunan sular radyoaktivite içerir. Yeraltı sularında sık rastlanılan belli başlı radyoaktif maddeler Potasyum-40 (^{40}K), Toryum-235 (^{235}Th), Uranyum-238 (^{238}U) dur. Ayrıca Uranyum-

238'in bozunması sonucu ortaya çıkan Radon-222 (^{222}Rn), Radyum-226 (^{226}Ra) yeraltı sularında bulunabilir (Dilaver vd. 2002).

Sularda doğal radyoaktivitenin seviyesi, insan aktiviteleriyle de artış gösterebilir. Yeryüzündeki nükleer enerjiden yararlanma hızla artmaktadır. Bu tip tesislerden çıkan reaksiyon ürünleri de (Potasyum gibi) radyoaktiftir. Nükleer atıkların yeraltında veya deniz altında çok uzun zaman boyunca kullanılan kaplardan kaynaklanabilecek sızmalar bu maddelerin oluşturabileceği toksit açıdan önem taşımaktadır. Radyoaktif kirlenme bunun dışında hastanelerden, araştırma kuruluşlarından ve bazı endüstri dallarından da kaynaklanabilmektedir. Atmosferde yapılan nükleer silah denemeleri sonucunda artan radyoaktivite, yağmur sularını kirletmekte ve bunun sonucu olarak yüzeysel sular, radyoaktif kirlenmeye maruz kalabilmektedir. İçme sularının güvenilir bir şekilde tüketilmesi için radyoaktif madde konsantrasyonunun minimum seviyede olması gerekmektedir (Dilaver vd. 2002).

İçme ve kullanma sularında bulunan radyoaktif maddelerin toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları için üst sınır Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirtilmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. İçme suyunda izin verilen radyoaktivite konsantrasyonları

KURUM	İZİN VERİLEN MAKSİMUM DEĞER
Dünya Sağlık Örgütü (1996)	Alfa: 0.10 Bq/L (2,7 pCi/L) Beta: 1,00 Bq/L (27 pCi/L)
TÜRK STANDARTLARI (TS 266) (2005)	Alfa: 0,10 Bq/L (1 pCi/L) Beta: 1,00 Bq/L (10 pCi/L)

İnceleme alanındaki Hamamayağı Kaplıcası (HK) termal turizm açısından değerlendirilmektedir. Dolayısıyla kaplıca suyunun kaplıcalar yönetmeliğine uygun olması gerekmektedir. 24472 sayı ve 25.07.2001 tarihli kaplıcalar yönetmeliğinde doğal tedavi unsurları içeren özel balneolojik suların çeşitli özelliklere sahip olması belirtilmektedir. Bu özelliklerden bir tanesi de kaplıca suyunun radon içeriğidir. Bu nedenle kaplıca suyundan ve kaplıca suyuyla karşılaştırılmak üzere yöredeki kaynak sularını temsilen Kocapınar Çeşmesi (KPC) ve yüzey suyunu temsilen Hamamayağı Deresi (HD)'nden örnekleme yapılarak toplam alfa ve toplam beta değerleri belirlenmiştir (Tablo 3.12).

Tablo 3.12. İnceleme alanından alınan su örneklerinde radyoaktivite konsantrasyonları

Numunenin Adı	Alfa (Bq/L)	Alfa Belirsizlik \pm (Bq/L)	Beta (Bq/L)	Beta belirsizlik \pm (Bq/L)	²²⁶ Ra (Bq/L)	²³² Th (Bq/L)
HK	0.082	0.008	0.22	0.03	0.152	0.113
HD	0.113	0.009	0.31	0.03	0.090	0.095
KPÇ	0.085	0.007	0.22	0.03	0.374	0.135

Tablo 3.12 incelendiğinde gerek kaplıca suyu gerekse kaynak sularının toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları TSE 266 da belirtilen maksimum değerden daha düşüktür. Yüzey suyunda ise standartlardan daha yüksek değerdedir. Bu nedenle sulardaki radyoaktivitenin kaynağını oluşturan radyoizotopun belirlenmesi amacıyla radon ve toryum konsantrasyonları belirlenmiştir (Tablo 3.15). Tablodan da görüldüğü gibi kaplıca suyundaki radon konsantrasyonu 0.152 Bq/l gibi oldukça düşük değere sahiptir.

Sulardaki alfa aktivitesinin yüksek olmasının sebebi, asal gaz olan radonun Rn-226 radyoizotopu ve toryum Th-232 radyoizotopudur. Radon, uranyum ve radyumun bulunduğu her yerde bulunur. Araştırmalar radon gazının biri toprakta diğeri ise yeraltı ve yüzey sularında olmak üzere başlıca iki ortamda bulunduğunu ve atmosfere bu ortamlardan yayıldığını göstermektedir (Çam vd. 2004). Toryum doğada serbest halde bulunmayıp 60 civarında mineralin yapısı içinde yer almaktadır. Bunlardan sadece monazit ((Ce, La, Nd, Th, Y) PO₄) ve torit ((Th, U) SiO₄) toryum üretiminde kullanılmaktadır. Bu minerallerde genellikle nadir toprak elementleri ile birlikte bulunmaktadır (URL-2, 2008).

İnceleme alanındaki suların radyoaktivite düzeylerinin düşük olması suyun temas ettiği jeolojik formasyonlarla ilişkilidir. Çalışma alan ve çevresinde genellikle kireçtaşı ve kireçtaşı katkılı tortul kayaların yaygın olması sulardaki radyoaktivite konsantrasyonlarının da düşük olmasına neden olmuştur.

3.9. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sistemlerin üst seviyelerinden kaynaklardan veya sığ sondaj kuyularından elde edilen sular kaynama veya kondüksiyon ile soğuyabilir. Kaynaklardan veya sığ sondajlardan elde edilen sıcak ve mineralli suların soğuma bölgesinin alt kesimlerindeki

akifer sıcaklığının bulunmasında jeotermometreler yardımcı olurlar. Akiferdeki suyun yukarı çıkışı sırasında soğuk sularla karışması soğumasına neden olur (Arnorsson vd., 1983). Sıcak ve mineralli suların yeraltında yüzeye erişirken temas ettiği yani yıkadığı kayalarla ısı alışverişi, soğuk yeraltı suları ile karışımı, akifer sıcaklığının atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtü kayaların çok ince oluşu veya bulunmaması gibi nedenler suların sıcaklıklarının azalmasında başlıca etkenlerdir. Suların yeraltında geçirdiği yol ne kadar kısa ve debisi yüksek ise, o oranda akifer kaya sıcaklığına yakındır (Şahinci, 1991).

Jeotermal sistemlerde akifer sıcaklığının tahmin edilmesi, sıcak ve mineralli suların uygun şekilde kullanılabilirliği açısından önemlidir. Jeotermal alanlarda hazne kaya sıcaklıklarının doğrudan ölçülmesi masraf ve zaman gerektirdiğinden her zaman mümkün olmamaktadır. Buna bağlı olarak gerek ekonomikliği, gerekse de kullanımdaki kolaylığı nedeni ile akifer sıcaklığının saptanması için geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır.

Akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla kaynak veya kuyu başında yapılan kimyasal ve izotopik analizlerden yararlanılarak jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir.

Jeotermometreler; kimyasal ve izotopik jeotermometreler olmak üzere iki guruba ayrılırlar. Kimyasal jeotermometreler kaynak veya kuyu başından alınan örneklerin kimyasal bileşimine (özellikle silis ve katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağlı oranlarına), izotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik değişime dayalıdır. Kimyasal analizlerin ucuz ve kısa sürede yapılabilmesi nedeni ile jeotermal araştırmalarda akifer (hazne, rezervuar) sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometreler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Jeotermometreler su kayaç ilişkisindeki son denge sıcaklığını verir. Bu nedenle jeotermometreler arasındaki farklılıklar denge reaksiyon hızlarındaki farklılıkların bir fonksiyonudur. Her jeotermometre için denge sıcaklığı farklıdır (Nicholson, 1993).

Kimyasal Jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kalitatif jeotermometrelerin çoğunluğu uçucu elementlerin sıcak akışkanlarda ve zeminde görelî miktarlarına, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır (Fournier, 1977). Sıcak akışkanlardaki bazı elementler, bileşikler ve oranlar akifer sıcaklığı hakkında bilgi verebilirler. Tonani (1970), yüzeye yakın kesimlerde B, NH₄, HCO₃, Hg, HS zenginleşmesinin sıcak akışkanların derinlerde kaynamasından kaynaklanabileceğini belirtir. Mahon (1964), yüksek Cl/F ve Cl/SO₄ oranlarının yüksek akifer sıcaklıklarına karşılık geldiğini savunmuştur. Fournier ve Truesdell (1970) Cl/(HCO₃+CO₃) oranının

farklı sularının ayırtlanmasında belirteç olabileceğini işaret ederler. Bu oranın yüksekliği suların daha sıcak akiferlerden gelebileceğini gösterir. İz elementlerinin de çok yüksek oranlarda bulunmaları yüksek akifer sıcaklığına işaret edebilmektedir. Brondi vd. (1973) yüksek Li değerlerinin yüksek yer altı sıcaklıklarını gösterdiğini belirtir. Bir diğer yöntem ise zemindeki helyum içeriği ile ilgilidir. Roberts (1975), sıcaklık artışı ile helyum içeriği arasında iyi bir korelasyon olduğunu belirtmiştir. SiO₂ ve Na/K oranının yüksekliği, yüksek akifer sıcaklığına karşılık gelir (Nicholson, 1993).

Kantitatif jeotermometre teknikleri yüzeyde ölçülen sıcak suların kimyasal içeriklerinin derinde maksimum sıcaklıkla kontrol edildiği esasına dayanır (Pope vd., 1987).

Kantitatif kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır;

- 1- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, akifer-su arasında gerçekleşmektedir.
- 2- Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
- 3- Akifer sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- 4- Akiferden yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.
- 5- Akiferden gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımların ilk üçü SiO₂ ve Na-K-Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki varsayım tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü akiferden yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir.

Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe ve iyon değişimine dayalı olarak geliştirilmişlerdir. Bu çalışmada çözünürlüğe dayalı jeotermometrelerden silis; iyon değişimine dayalı jeotermometrelerden de Na/K ve Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li Jeotermometreleri kullanılmıştır.

3.9.1. Çözünürlüğe Dayalı Jeotermometreler

3.9.1.1. Silis Jeotermometreleri

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, hazne kaya sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda hazne kayadan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Kuvars jeotermometresi aşağıda verilen varsayımlar göze alınarak kullanılır.

- 1- Rezervuardaki akışkanlar kuvars ile denge halindedir.
- 2- Yukarıya yükselme sırasında, soğuk ve sıcak sular arasında herhangi bir karışım yoktur.
- 3- Yükselen su ya kondüktif olarak soğumakta veya 100°C'de buhar ayrılması ile adiyabatik soğuma (kaynama) gerçekleşmektedir.

Silis Jeotermometrelerinin üst sınırı 250°C'dir. Bu sıcaklığın üzerinde silis hızla çökeler ve yüzeye ulaşan akışkanın silis değeri akiferdekinden farklılık gösterir. Jeotermometre iyon içeriklerinden, iyon içeriklerinin oranlarından çok miktarıyla ilgilidir ve kaynama gibi fiziksel olaylara bağlıdır. Silis konsantrasyonu, artan sıcaklık ve basınçla artar. Sıcak akışkanın yüzeye yakın asidik sularla karışması sonucu yüzeye çıkan sıcak ve mineralli sudaki silis konsantrasyonu akifer koşullarını yansıtmaz ve jeotermometre yanıltıcı sonuçlar verir (Nicholson, 1993).

Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır. Silis çözünürlüğüne pH ancak 9.5 üzerinde etkindir. İyonlaşma gücünün silis çözünürlüğüne etkisi yoktur (Şahinci, 1991).

Çalışma alanında yer alan Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının kimyasal analiz sonuçlarından yararlanılarak silis jeotermometre bağıntıları uygulanmış ve sonuçları Tablo 3.13'de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre, kuvars jeotermometrelerinden amorf silis ve β kristobalit eksi değerler veya ölçülen kaynak ve sondaj sıcaklığından düşük değerler verdikleri gözlenmiştir. Diğer silis jeotermometrelerinde ise 46-85 °C arasında değişen hazne kaya sıcaklıkları elde edilmiştir ve Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının hazne kaya sıcaklığının 46-85°C arasında olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.13. İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli sulara ait silis jeotermometre uygulamaları (SiO₂: 32 mg/l, tüm derişimler mg/l, * =mol/l)

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar	Değınilen Belgeler	Hesaplanan Sıcaklıklar (°C)
1. SiO ₂ (Amorf silis)	$t=731/(4.52-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	-30.94
2. SiO ₂ (α Kristobalit)	$t=1000/(4.78-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	31.87
3. SiO ₂ (β Kristobalit)	$t=781/(4.51-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	-13.53
4. SiO ₂ (Kalsedon)	$t=1032/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	50.51
5. SiO ₂ (Kuars)	$t=1309/(5.19-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	81.74
6. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1522/(5.75-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Fournier, (1977)	85.11
7. SiO ₂ (Kalsedon, kondaktif soğuma)	$t=1112/(4.91-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	52.94
8. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1264/(5.31-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	58.60
9. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1021/(4.69-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	46.91
10. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1164/(4.9-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	69.20
11. SiO ₂ (Kuars buhar kaybı)	$t=1498/(5.7-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	83.5
12. SiO ₂ (Kalsedon)*	$t=1101/(0.11-\log\text{SiO}_2)-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	51.62

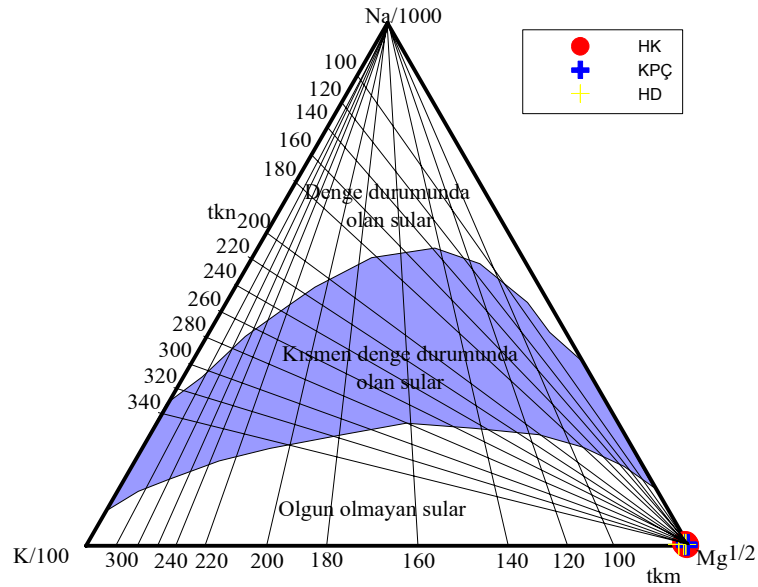
3.9.2. İyon Değışimine Bağlı Jeotermometreler

İyon değışimi denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değışimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlardan yararlanılarak birçok ampirik jeotermometre geliştirilmiştir. İyon değışimi ve bozuşma reaksiyonlarında denge sabitleri sıcaklığa bağlıdır. Bu türdeki reaksiyonlarda çözülmüş katı madde oranları değışen sıcaklığa bağlı olarak değışiklik gösterir (Fournier, 1977). Sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-mineral dengeleri kullanılarak akifer sıcaklığının tahminine yönelik çeşitli jeotermometreler geliştirilmiştir (Gemici, 1999).

3.9.2.1. Na/K Jeotermometreleri

Bu jeotermometreler suda fazla miktarda Ca⁺² iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökellerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{Ca/Na})$ değerin 0.5 mg/l'den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuçlar vermektedir (Fournier,1977).

Çalışma alanındaki Hamamayağı sıcak su kaynağının pH değeri nötre yakındır. $\log(\sqrt{Ca/Na})$ değeri ise -0.49 mg/l dir. Araziye yapılan gözlemler sonucu sıcak su çevresinde karbonat çökellerine rastlanmamıştır. Şekil 3.41'de görülebileceği gibi Giggenbach (1991) diyagramında, inceleme alanındaki suların olgun olmayan sular sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle Na/K jeotermometrelerinin jeotermal rezervuar sıcaklığı tahmininde uygun olmayacağı sonucunu vermektedir. Buna rağmen çalışma alanında yer alan Hamamayağı sıcak ve mineralli su kaynağının kimyasal analiz sonuçlarına Na/K jeotermometre bağıntıları uygulanmış ve sonuçları Tablo 3.14'de sunulmuştur. Genellikle 180-350°C arasında olumlu sonuçlar veren Na/K jeotermometreleri özellikle 120°C altında yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu düşük sıcaklıklarda Na ve K iyonları killi minerallerden etkilenecek iyon değişimi reaksiyonlarını kontrol edemezler. Buna bağlı olarak jeotermometre hesaplamaları sonucunda gerçek akifer sıcaklığının üzerinde değerler elde edilir (Gemici, 1999).



Şekil 3.41. İnceleme alanındaki suların Giggenbach diyagramı (Giggenbach, 2004)

Tablo 3.14 incelendiğinde Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları 209.45°C ila 255.99°C arasında değiştiği görülmektedir. Elde edilen akifer sıcaklıklarının yüksek değerlerde olması bu termometrelerin inceleme alanı için sağlıklı sonuçlar vermediğini göstermektedir. Bu nedenle Na/K termometreleri yorumlamada dikkate alınmamalıdır.

Tablo 3.14. Bu çalışmada uygulanan Na/K kimyasal jeotermometre sonuçları (Tüm değişimler mg/l).

Uygulanan Jeotermometreler	Bağıntılar	Değınilen Belgeler	Hesaplanan Sıcaklıklar (°C)
13.Na/K	$t=933/(0.933+\log\text{Na/K})-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	233.08
14.Na/K	$t=1319/(1.699+\log\text{Na/K})-273.15$	Arnorsson vd., (1983)	232.40
15.Na/K	$t=777/(0.70+\log\text{Na/K})-273.15$	Fournier ve Truesell, 1973	209.45
16.Na/K	$t=856/(0.857+\log\text{Na/K})-273.15$	Truesdell, (1976)	211.28
17.Na/K	$t=1217/(1.483+\log\text{Na/K})-273.15$	Fournier, (1979)	235.41
18.Na/K	$t=1180/(1.32+\log\text{Na/K})-273.15$	Fournier ve Potter, (1979)	255.99
19. Na/K	$t=883/(0.78+\log\text{Na/K})-273.15$	Tonani, 1980	249.33
20.Na/K	$t=1178/(1.470+\log\text{Na/K})-273.15$	Nieva ve Nieva, (1987)	221.80
21.Na/K	$t=1390/(1.750+\log\text{Na/K})-273.15$	Giggenbach vd., (1983)	249.40

3.9.2.2. Na/Li, K/Mg, Li/Mg, Li Jeotermometreleri

Na/Li jeotermometrelerinde sıcak ve mineralli akışkanların kimyasal analizlerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonların iyon etkinlikleri kullanılır ve hesaplanan molal konsantrasyon değerleri dikkate alınır. Ellis ve Wilson (1960) ve Koga (1970) Na/Li oranının düşüklüğü yüksek entalpili jeotermal alanlara karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Foulliac ve Michard (1981), jeotermal alanlarda Na ve Li içeriklerinin sıcaklıkla değişimi ve su-kayaç reaksiyonlarını incelemişlerdir ve sıcak akışkandaki klor içeriğine bağlı olarak Na/Li jeotermometreleri geliştirmişlerdir. Li minerallerinin doğada az rastlanır olmasından dolayı lityumun denge reaksiyonu sonucu sıcak akışkana girmesi genelde beklenmez. Ancak sıcak akışkandaki lityumun zenginleşmesi iyon değişimi ile açıklanabilir. Minissale ve Duchi (2004), karbonat kayaçların oluşturduğu jeotermal sistemlerde Na/Li jeotermometrelerinin kullanımının uygun olduğunu belirtirler. Na/Li jeotermometreleri gerek sedimanter gerekse de volkanik kayaçlardan oluşan akiferlerde düşük ve yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerde olumlu sonuçlar verebilmektedir.

Düşük sıcaklıklarda magnezyum iyon alışverişi hızlı olduğundan K/Mg ve Li/Mg oranları sıcak akışkanın yüzeye çıkmadan önceki son kayaç-su ilişkisini gösterir. Sıcak sularda sıcaklık arttıkça Mg değeri azalacağından yüksek magnezyum değerleri sıcak ve mineralli suyun yukarı çıkarken yüzeye yakın kesimlerindeki su-kayaç dengesine bağlanabilir. K/Mg jeotermometresi Giggenbach (2004) tarafından önerilmiştir. Bu jeotermometre daha çok Na ve Ca'nın yeterince hızlı denge haline ulaşamadığı düşük

sıcaklıklı deniz suyu kökenli jeotermal sistemlerde başarılıdır. Tablo 3.15’de inceleme alanındaki Hamamayağı kaplıca kaynağına ait Mg/Li, K/Mg, Na/Li ve Li/Mg kimyasal jeotermometre sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.15 Bu çalışmada uygulanan Na/Li, K/Mg, Li/Mg ve Li kimyasal jeotermometre sonuçları (tüm derişimler mg/l)

Jeotermometre Adı	Bağıntı	Değınilen belge	Hesaplanan Sıcaklıklar (°C)
22-Mg/Li	$t=1900/(4.67+\log\text{Mg}^{0.5}/\text{Li})-273.15$	Kharaka ve Mariner,1989	-5.54
23-K/Mg	$t=4410/(13.95-\log\text{K}^2/\text{Mg})-273.15$	Giggenbach vd.,1983	49.69
24-Na/Li	$t=1590/(\log\text{Na}/\text{Li}+0.779)-273.15$	Kharaka ve Mariner,1989	139.83
25-Li/Mg	$t=2200/(5.470-\log(\text{Li}/\text{Mg}^{0.5}))-273.15$	Kharaka ve Mariner,1989	129.78

Hazne kaya sıcaklıkları kaynakta -5.54 ile 139,83 °C arasında değışmektedir. Mg/Li jeotermometresinin eksi değer vermesi bu sular için uygun olmadığını gösterir. Diğer jeotermometrelerde ise hazne kaya sıcaklığı 139.83°C’ ye ulaşmaktadır.

3.10. Jeotermal Sistemlerin Oluşum Şekilleri

Ülkelere ve kökenlerine göre değışik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal kaynaklar, rezervuar sıcaklıklarına göre düşük, orta ve yüksek entalpili sahalar olmak üzere Tablo 3.16’ olduğu gibi gruplandırılırlar (Dickson and Fanelli, 1990).

Tablo 3.16 Jeotermal kaynakların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması (Dickson and Fanelli, 1990)

	a	b	c	d
Düşük Entalpili Sahalar	< 90°C	< 125°C	< 100°C	< 150°C
Orta Entalpili Sahalar	90–150	125–225	100–200	-
Yüksek Entalpili Sahalar	>150	>225	>200	>150

(a) Muffler ve Cataldi, 1978 (b) Hochstein, 1990 (c) Benderitter ve Cormy 1990; (d) Haenel vd., 1988

Bu sınıflamanın dışında, rezervuardaki etkin akışkan (buhar veya su) durumuna, kimyasal bileşimine göre sistemin modelini oluşturmak için ve araştırmanın niteliğine göre daha değişik amaçlı sınıflamalar yapılabilmektedir.

Jeotermal sistemleri oluşturan parametreler ise;

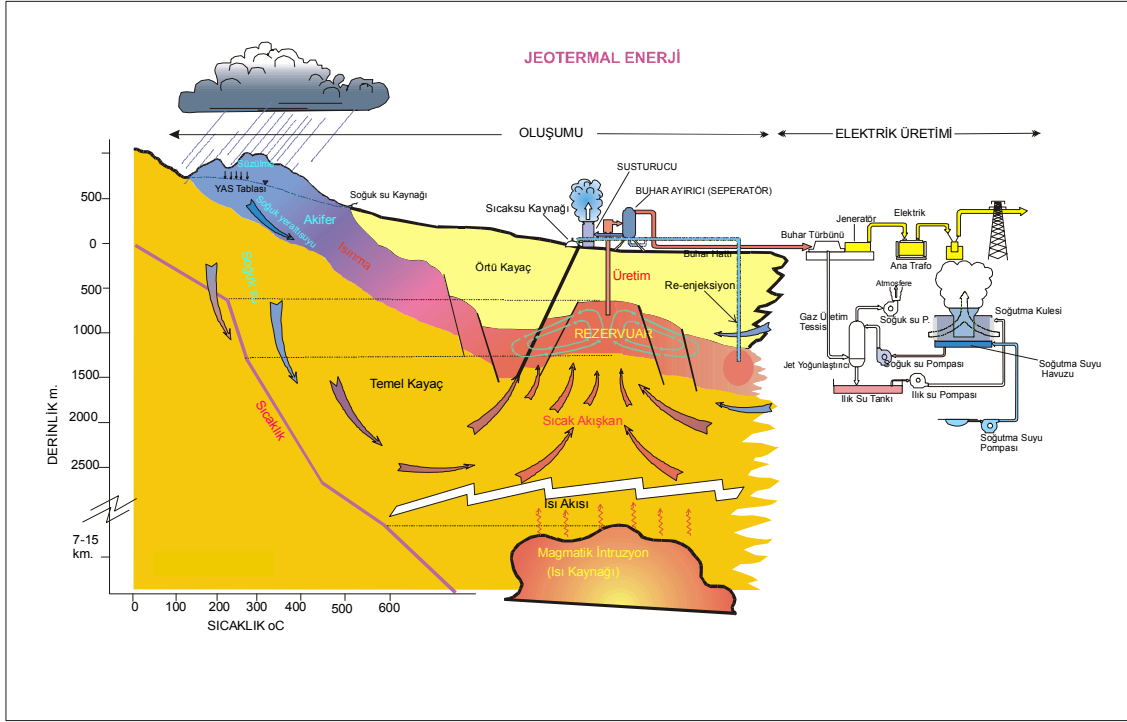
- Isı kaynağı
- Isıyı taşıyan akışkan (çalışan akışkan, meteorik su)
- Rezervuar zon (poroziteli, permeabiliteli)
- Örtü kaya dır.

En önemli ısı kaynağı yerküre içindeki akkor ve mantodan kaynaklanan ısı ve radyoaktif mineral bozunmasıdır. Yerkabuğu hareketleri nedeniyle oluşan tektonik hatlar boyunca katı haldeki kabuk (litosfer) kıvrımlanma ve kırılmalar ve manto üst kesimindeki magma ayrışması sonucu, magmatik intrüzyonlar ve volkanik faaliyetler gelişmektedir. Bu faaliyetler sonucu yerin derinliklerinde bulunan ısı, kabuk içerisinde sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Bu ısı etrafındaki kayaları da ısıtarak, bölgede bir ısı anomalisi yaratmaktadır. Bu ısı, kondaktif (ısının ışıyım yoluyla yayılması) veya konvektif (bir maddenin hareketi ile, burada su ile taşınması) olarak taşınabilir (Koçak, 2003).

Yağan meteorik sular yerin kırık ve çatlaklarından derinlere süzülerek, ısı anomali alanlarında ısıtıldıktan sonra tekrar yüzeye doğru ekonomik anlamda sığ derinliklere kadar yükselmektedir. Bu yöntemle ısı taşıma işlemine konvektif (konveksiyon yoluyla) taşıma denmektedir.

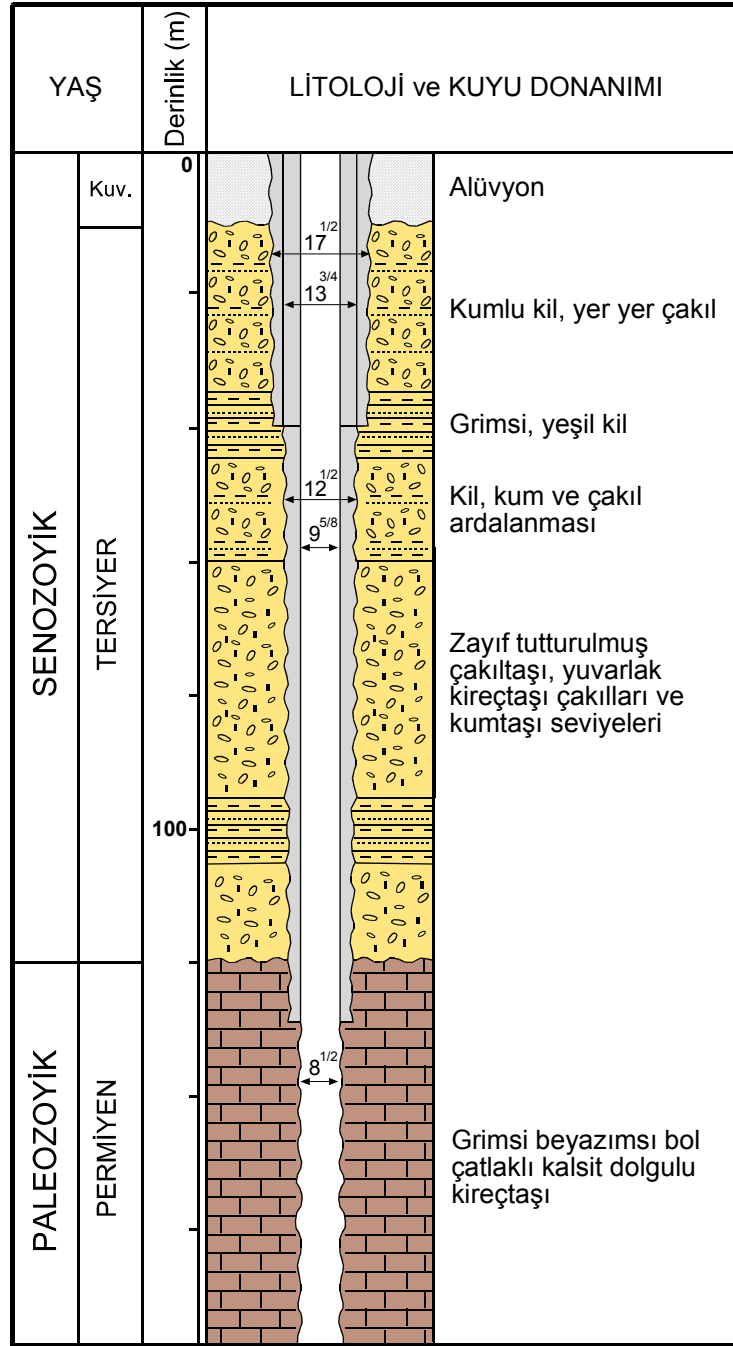
Yukarılara doğru taşınan ısınmış akışkan, kabuk içerisinde ekonomik anlamda sığ derinlikte, poroziteli ve permeabiliteli litolojik birimler ve/veya zonlar içinde belirli bir süre depolanabilirler. Rezervuarın sürekli olarak beslenebilmesi için derinden gelen bu akışkanın, beslenme alanı ile uzun mesafelerde bağlantılı olması gerekir.

Rezervuar zonda depolanan bu akışkanın ve ısının, enerjisini kaybetmeden korunmalı olarak kalabilmesi için bu zon ve/veya birimler üzerinde ısı ve akışkan kaybını önleyecek geçirimsiz birimler olmalıdır, bu birimlere ise örtü kaya denmektedir (Koçak, 2003), (Şekil 3.42).



Şekil 3.42. Jeotermal enerji oluşumunu gösteren genel bir şema (Koçak, 2003)

Hamamayağı jeotermal alanı, halen aktif olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonunda yer almaktadır. Alanda rezervuarın varlığını işaret eden 36°C sıcaklıkta KAF'a bağlı olarak gelişen ve KAF'ın hemen güneyinde yer alan tali fayla yüzeye çıkan sıcak kaynak mevcuttur. MTA tarafından kaynağın yakın çevresinde yapılan sondajlardan (HH1, BK2, SLH1) sıcak suyun; Pliyosen yaşlı Çerkeş Formasyonuna ait çakıl, kum, kil ve siltten oluşan birimler altındaki Permiyen yaşlı kireçtaşlarından oluşan Akdağ Formasyonu'ndan geldiği görülmektedir (Şekil 3.43). Bu durumda Hamamayağı jeotermal alanında rezervuar kayayı Permiyen yaşlı Akdağ Formasyonu, örtü kayayı ise ara ara killi seviyeler içeren zayıf çimentolu çakıl taşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşan Pliyosen yaşlı Çerkeş Formasyonu oluşturmaktadır. Sistemin ısı kaynağı aktif fay zonu olması nedeniyle manto yükselimine bağlı olarak artan ısı akısıdır. Alandaki Eosen yaşlı genç volkanitler (Tekkeköy Formasyonu) manto yükselimini desteklemektedir. Jeotermal sistemde taşıyıcı görevi meteorik kökenli su üstlenmiştir. Yani yağış suları yerin kırık ve çatlaklarından derinlere süzülerek, ısı anomali alanlarında ısıtıldıktan sonra tekrar yüzeye doğru sığ derinliklere kadar yükselmekte ve uygun olan tektonik hatlar boyunca da yüzeye çıkmaktadırlar.



Şekil 3.43. Havza-Bekdiğin BK-2 kuyusu litoloji ve kuyu donanımı (Özten ve Yurtseven, 1996)

3.11. Jeotermal Akışkanların Çevresel Etkileri

Jeotermal enerji temiz ve sürdürülebilir enerji kaynağı olmasına rağmen jeotermal sahanın gelişimine karar vermeden önce çevre üzerine olabilecek pozitif ve negatif etkileri araştırılmalıdır. Jeotermal gelişimin çevrede oluşturacağı etkiler düşük sıcaklıklı sistemlerde ve yüksek sıcaklıklı sistemlerde birbirlerinden farklılıklar gösterir (Trevor, 2001).

Tablo 3.17. Jeotermal gelişimin olası çevresel etkileri (Trevor, 2001)

	Düşük Sıcaklıklı Sistemler	Yüksek Sıcaklıklı Sistemler	
		Buhar egemen	Sıvı egemen
Sondaj Çalışmaları			
Erozyon ve ormanlık alanların Hasarı	Az etkili		Orta etkili
Gürültü	Orta etkili	Orta etkili	Orta etkili
Işıklandırma	Az etkili	Az etkili	Az etkili
Sondaj çamurunun yer altı suyuna etkisi	Az etkili	Orta etkili	Orta etkili
Akiferden Su Çekimi			
Termal özelliklerin bozulması	Az etkili	Orta etkili	Yüksek etkili
Zeminde oturmalar	Az etkili	Orta etkili	Yüksek etkili
Yer altı su seviye düşmeleri	Etkisiz	Az etkili	orta etkili
Hidrotermal çıkışlar	Etkisiz	Az etkili	orta etkili
Yüzeydeki sıcaklık değişimleri	Etkisiz	Az etkili	orta etkili
Atık Su Boşalımı			
Yüzeysel depolanmanın organizmalara etkisi	Az etkili	Az etkili	Yüksek etkili
Re-enjeksiyon	Etkisiz	Etkisiz	Etkisiz
Yüzeysel depolanmanın su yollarına etkisi	Az etkili	Az etkili	orta etkili
Yer altı suyu kirliliği sismik etkiler	Az etkili Etkisiz	Az etkili Orta Etkili	Az etkili Orta Etkili
Atık Gaz Boşalımı			
Organizmalar üzerine etkili	Etkisiz	Az etkili	Orta etkili
Sera etkisi	Etkisiz	Az etkili	Az etkili

Jeotermal gelişimin sürdürülebilirliğinde ve çevreye olan etkilerini en aza indirmede en önemli yöntemler, re-enjeksiyon, çok amaçlı kullanım, ısı pompaları ve mineral kazanımıdır.

Uluslararası Enerji Ajansının Jeotermal Uygulama Anlaşması ile jeotermal enerjinin kullanımını artırmak, çevreye olacak etkilerini araştırmak, değerlendirmek ve bu etkileri en aza indirmek için gerekli metotları tespit etmek amaçlanmıştır. Bunun için ana aktiviteler üç grupta ele alınmıştır: jeotermal gelişimin yüzeydeki doğal kaynaklara etkisini araştırmak, jeotermal sıvının üretimi ve re-enjeksiyonuna bağlantılı problemleri belirlemek ve çevresel etkileri en aza indirmek için gerekli metotları geliştirmek.

Jeotermal araştırma ve işletme (elektrik üretimi ve ısının doğrudan kullanımı) aşamasında yapılan çalışmalar ve akışkanın bulunduğu fiziksel koşullar ve kimyasal içeriği çevreyi etkilemektedir. Bu nedenle çevresel yasal düzenlemelere uyum sağlamak için jeotermal akışkanın çevreye olan fiziksel ve kimyasal etkilerinin belirlenmesi ve bu etkileri en aza indirmek için jeotermal sahanın gelişimine başlamadan önce gerekli ön çalışmalara ihtiyaç vardır.

Jeotermal gelişimin ana çevresel etkileri; yüzeyde oluşan tahribat, rezervuardan akışkan üretiminin fiziksel etkileri, gürültü, ısı etkisi ve akışkanın içerdiği kimyasallardır. Dolayısıyla tüm bu faktörler biyolojik çevreyi de etkilemektedir.

Yüzeyde en çok tahribat sondaj aktiviteleri sırasında oluşmaktadır. Sondaj alanı için gerekli alan 200-2500 m² arasında değişmektedir. Fakat sondaj işleminden sonra sahanın düzenlenmesi ve açılan çamur havuzlarının kapatılması bu tahribatı azaltacaktır. Ladik-Hamamayağı jeotermal alanında 3 adet sondaj çalışması yapılmıştır (Tablo 3.1). Yapılan çalışmalardan sonra alandaki tahribatlar giderilmiş ve alan eski haline getirilmiştir.

Jeotermal akışkanın yüzeyde oluşturduğu doğal güzellikler ve tarihi yerlerin korunması jeotermal gelişim için büyük önem taşımaktadır. Bu yerler bölge halkı için ekonomik bir değer taşımaktadır. Jeotermal akışkan üretimi bu yerlerde değişimlere neden olmakta ve yüzeydeki travertenlerin, gayzerlerin, çamur havuzları ve su kaynaklarının kaybolmasına neden olabilmektedir. Bu yerlerin mutlak suretle koruma altına alınması gereklidir.

Hamamayağı sıcak su kaynağının etrafında herhangi bir traverten çökelişi, gayzerler ve çamur havuzları bulunmamaktadır. Kaplıca tesislerinin Ladik ilçe merkezine 14 km uzakta ve kırsal bir alanda olması sebebiyle alanda gürültüye sebebiyet verecek herhangi bir unsur bulunmamaktadır.

Elektrik üretimi sonrası açığa çıkan atık, akışkan sıcaklığı çevre için problemdir. Fazla miktarda buharın atmosfere salınması bulut oluşumuna neden olmakta ve yerel olarak iklimi etkilemektedir. Atık suyun sıcak olarak nehir, göl ve yer altı suyuna enjekte edilmesi biyolojik ve ekolojik sistemi de etkilemektedir. Isı etkisini azaltmak için akışkanın bir

havuzda soğutulması etkili olsa da içerdiği kimyasalların çevreyi kirletmesi kaçınılmazdır (Armannsson ve Kristmannsdottir, 1992). Hamamayağı sıcak su kaynağı sadece kaplıca amaçlı kullanıldığı için kaynağın çevreye bu tür bir etkisi yoktur.

Jeotermal akışkanın üretimi sırasında atmosfere salınan buhar ve su akışkanın bor (B), cıva (Hg), arsenik (As), kurşun (Pb), amonyak (NH₃), lityum (Li), karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S) ve tuz gibi içerdiği kimyasallar çevreyi olumsuz şekilde kirletmektedir. Sıvı atık içerisinde bulunan kimyasallardan özellikle As ve Hg'nın toprakta ve organizmalarda birikmesi canlı sağlığı için önem taşımaktadır. Ayrıca yüksek bor konsantrasyonu bitkiler için önem taşımaktadır (Brown ve Webster-Brown, 2005). Hamamayağı jeotermal sahasındaki akışkanın ortalama 0.3 mg/l bor, 0.01-0.03 mg/l Arsenik, 0.0001 mg/l Pb, 0.02 mg/l Li içermesi çevre için önem taşımamaktadır.

Buhar içerisinde bulunan gazların karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) hidrojen sülfür (H₂S), bor (B), cıva (Hg), amonyak (NH₃) atmosfere salınması çevresel problemlere neden olmaktadır. Karbondioksit sera gazı olarak global ölçekte ekosistemi etkilemektedir. Hidrojen sülfürün yüksek konsantrasyonları canlı yaşamını etkilemekte ve atmosferde oksitlenmesi sonucu asit yağmurlarına neden olmaktadır. Hem karbondioksit hem de hidrojen sülfür gazı ağır gazlar olduğundan çukur yerlerde toplanacağı için bu gazların toplanabileceği alanlara gaz ölçüm aletleri yerleştirilmektedir. Bu gazlar ekonomik olarak da kazanılmaktadır (Mertoğlu vd., 2003).

Hamamayağı sıcak su kaynağı düşük sıcaklıklı jeotermal sistem sınıfına girmektedir. Tablo 3.17 incelendiğinde ve Hamamayağı Kaplıcası ile karşılaştırıldığında kaplıca kaynağının günümüzdeki kullanım şekliyle çevreye herhangi bir etkisi yoktur.

4. TARTIŞMA

Enerji tüketimi gelişmişliğin ölçütlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Gelişmişlik sınırında yer alan ülkemizdeki yaşam biçimi her geçen gün artan enerji tüketimi yönünde gelişme göstermektedir. Ancak çok çeşitli enerji kaynağına sahip olmakla birlikte mevcut enerji kaynakları tüketimi karşılayamamakta, Türkiye ürettiğinin fazlasını tüketmektedir.

Türkiye’de 30°C üzerinde sıcaklığa sahip yaklaşık 170 adet jeotermal alan bulunmaktadır. Ülkemiz jeotermal enerjiden ağırlıklı olarak ısıtmacılıkta (Konut, sera, termal tesis ısıtması), daha sonra elektrik üretimi, endüstriyel uygulamalar, termal turizm ve balneolojik uygulamalarda yararlanmaktadır.

Ladik (Samsun) Kaplıca kaynakları ile ilgili çalışmalar genellikle Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış çalışmalardır. Bu çalışmalarda daha çok yörenin jeolojisi ve tektonik özellikleri incelenmiştir. MTA tarafından 1986, 1995 ve 1996 yıllarında jeotermal ve jeofizik etütler sonucunda derinlikleri 178-298.7 m arasında değişen sondajlar yapılmıştır. Bu sondajların derin olan ikisinde 38°C, daha sığ olanında 28°C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Bu kuyulardan ve sıcak su kaynağından alınan suların pH değerleri 7.5-7.7, EC değerleri 406-580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, buharlaşma kalıntısı 284-334 mg/l, B(toplam) 0.3 mg/l, As (toplam) 0.01-0.1mg/l, $\text{Li}^+ < 0.1$ mg/l, SiO_2 19.2-32 mg/l, F^- 0.2-0.55 mg/l, I^- 0.1-0.5 mg/l arasındadır. Uzun yıllardan beri balneolojik amaçlı olarak kullanılan sıcak sular halen aynı amaçla kullanılmaktadır. Yüzeğe çıkış sıcaklığı yaklaşık 36°C, debisi 18 l/sn olan Hamamayağı sıcak su kaynağı Ladik Belediyesi tarafından işletilen modern bir kaplıca tesisinde kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Hamamayağı sıcak su kaynağından, soğuk su kaynağından ve yüzey suyundan örnek alınarak kimyasal analizleri yapılmış ve hidrojeokimyasal yorumlamalar yapılmıştır (Tablo 3.18). Soğuk su örneği karşılaştırmada kullanılmıştır. Jeotermal amaçlı olarak sıcak su kaynağına ait değerler yorumlanmıştır.

Jeotermal akışkanlardaki hidrojeokimyasal çalışmalar rezervuar sıcaklığını ve derinliğini belirlemede kullanılır. Bu tür çalışmalarda daha çok Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- gibi anyonlar, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ gibi kationlar, F^- , I^- , Br^- , B^{+3} , Al^{+3} , SiO_2 ve Li^+ , Rb^+ , Cs^+ elementleri gibi nadir alkaliler akışkanın derinliği, akışkanın rezervuar sıcaklığı ve su kaynağı etkileşimi hakkında bilgi verir.

Jeotermal kaynaklarda yüksek klor konsantrasyonları, doğrudan derin bir rezervuar kayaçtan beslenmeyi işaret eder (Nicholson, 1993). Bu durumda, soğuma ve ya soğuk su ile karışım en alt düzeyde olmalıdır. Sıcak veya kaynayan sulardaki düşük Cl⁻ seviyeleri, yeraltısu seyrelmelerini yansıtır. Cl içeriğinin artması deniz suyu kontaminasyonu ile ilişkiyi de gösterir. 1000 mg/l ve üzerinde klor içeren sular Cl⁻ tipli sulardır (Nicholson, 1993). Hamamayağı sıcak su kaynağının Cl içeriği 4.54-6.94 mg/l olup, oldukça düşük seviyededir.

Tablo 3.18. Hamamayağı sıcak su kaynağı ve soğuk su kaynağı kimyasal analiz sonuçları

Ölçülen Parametreler	Hamamayağı Kaplıcası (HK)			Kocapınar Çeşmesi (KPC)		
	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağustos 2007	Kasım 2006	Nisan 2007	Ağustos 2007
Sıcaklık (°C)	36.7	34.7	35.4	16	12.1	13.8
pH	7.1	7.05	6.9	7.3	7.13	7.13
Eİ (µS/cm)	598	598	591	598	544	527
TDS (mg/lt)	339	295	446	378	300	397
DO (mg/l)	3.87	4.06	5.01	2.87	8.24	5.4
Ca (mg/lt)	62.52	61.46	58.10	105.80	109.02	60.43
Mg (mg/lt)	30.01	29.90	28.42	3.853	4.812	4.56
Na (mg/lt)	24.07	23.78	26.98	4.028	4.616	3.61
K (mg/lt)	3.042	2.97	2.80	0.676	0.548	0.60
HCO ₃ (mg/lt)	334.41	371.57	364.74	346.80	359.19	210.67
SO ₄ (mg/lt)	24.67	14.30	20.53	3.170	2.40	3.43
Cl (mg/lt)	6.94	4.54	5.63	2.258	1.14	1.51
F (mg/lt)	0.336	0.518	0.44	0.153	0.162	0.11
Al (toplam)	0.04	-	-	0.01	-	-
B (Toplam)	0.34	-	-	0.013	-	-
Si	9.7	-	-	4.9	-	-
SiO ₂	32	-	-	10.48	-	-
Li (mg/lt)	0.021	0.021	0.003	0.002	0	<0.01
Rb	0.006	-	-	0.0002	-	-
Cs	0.0005	-	-	0	-	-

Derin kökenli jeotermal akışkanlarda SO₄⁻² konsantrasyonu genellikle düşüktür (<50 mg/kg), ancak hidrojen sülfürün (HS⁻) oksidasyonu ile SO₄⁻² konsantrasyonu artar (Nicholson, 1993). Cl⁻ konsantrasyonlarından büyük ya da yaklaşık eşit olan yüzey sularındaki yüksek SO₄⁻² konsantrasyonları genellikle yüzeye yakın sular içinden buhar yoğunlaşmasının varlığını gösterir (Nicholson, 1993). Hamamayağı sıcak su kaynağının SO₄⁻² değeri 10.3-24.67 mg/l'dir. Bu değer derin kökenli jeotermal akışkanlarınkine yakın bir değer olmasına rağmen Cl⁻ konsantrasyonunun düşük olması nedeniyle fazla bir önem taşımamaktadır.

Derin kökenli akışkanlarda toplam çözülmüş karbonat konsantrasyonu (HCO_3^- , CO_3^{-2} , H_2CO_3 veya CO_2), karbondioksit kısmi basıncı (P_{CO_2}) ve çözeltinin pH değerine bağlıdır (Nicholson, 1993). Atmosferdeki karbondioksit kısmi basıncı 0.003% ($P_{\text{CO}_2}=0.0003$)'tür (Hounslow, 1995). Kaynama sırasında CO_2 gazının azalması, çözeltinin pH değerini artırır ve sular alkali özellik kazanır. pH değeri yaklaşık 6-10 arasında ise, çözeltide bikarbonat iyonları (HCO_3^-) baskındır. Daha düşük pH değerlerinde, ortamda karbonik asit (H_2CO_3) hakim olur; daha alkali sulara ise karbonat (CO_3^{-2}) baskın iyondur. $\text{pH} \leq 3,8$ ise bu sulara çözülmüş CO_3^{-2} , karbonik asit olarak; pH değeri 8 civarında ise ortamda HCO_3^- olarak bulunur (Nicholson, 1993). HCO_3^- ve CO_2 varlığında sulardaki iyon konsantrasyonları kayalardaki geçirimsizlik ve yanal yöndeki akıştan etkilenir. Sonuç olarak; rezervuardan doğrudan beslenen kaynaklarda HCO_3^- konsantrasyonu en düşük seviyededir. $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{-2}$ oranı, suyun akış yönünün göstergesidir. Yüksek akım zonundan suyun akışı su-kayaç ilişkisinin artışına, dolayısıyla HCO_3^- üretiminin artışına neden olur. Yanal akışın artışı ile su- kayaç etkileşimi artar ve ortamdan H_2S kaybolarak $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{-2}$ oranı artar (Nicholson, 1993). HCO_3^- değerince zengin sulara ($\text{TDS}>600$ mg/l) su-kayaç ilişkisi hakimdir. Sıcak sulara bikarbonatın yüksek olması sıcak sularla evaporitik kayaların etkileşimde olmadığını gösterir (Nicholson, 1993). Ca^{+2} - HCO_3^- tipli sular kireçtaşları ile, Ca^{+2} - Mg^{+2} - HCO_3^- tipli sular dolomitler ile sıcak suların etkileşimini belirtir. Yüksek K^+ içerikli Na^+ - HCO_3^- tipli sular ise feldspat, plajiyoklas ve piroksen içeren magmatik ve volkanik kayalarla sıcak suların etkileşimini ifade eder (Mazor, 1991). Hamamayağı sıcak su kaynağının HCO_3^- içeriği 334.41-371.57 mg/l arasında değişir. Cl^- ve SO_4^{-2} iyonlarıyla karşılaştırınca en yüksek anyonu oluşturur. Yani anyon sıralaması $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^-$ şeklindedir. Bu durumda kaynak, derin bir rezervuardan değil de yanal akışın yüksek olduğu daha sığ zondan beslenmektedir.

Sodyum ve potasyum konsantrasyonu mineral-akışkan dengesine bağlı olarak, sıcaklıkla kontrol edilir. Sodyum jeotermal rezervuar akışkanın ana katyonudur ve konsantrasyonu yaklaşık 200-2000 mg/l'dir (Nicholson, 1993). Potasyum iyonu da jeotermal akışkanlardaki major katyondur. Ancak jeotermal sulara potasyum, sodyuma göre daha düşük seviyelerde bulunur. Na^+/K^+ oranı yüksek sıcaklıklı zonlar için iyi bir yol göstericidir. Düşük Na^+/K^+ oranı yüksek sıcaklığı işaret eder. Düşük Na^+/K^+ oranı ($\sim < 15$) yüzeye hızlı ulaşan suları belirtir. Bu durum yüksek akışa sahip yapılarla veya daha geçirgen zonlarla ilgilidir. Na^+/K^+ oranının yüksek olması yanal akışın yüzeye yakın reaksiyonların varlığını ve jeotermal sulara iletken soğumayı gösterir (Nicholson, 1993).

Hamamayağı sıcak su kaynağının Na^+ konsantrasyonu 23.78-26.98 mg/l, K^+ konsantrasyonu ise 2.80-3.04 mg/l arasındadır. Na^+/K^+ oranı ise 8.5- 8.87 gibi düşük değerlerdedir.

Doğal sularda kalsiyumun kaynağı kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, florit, plajiyoklas, piroksen ve amfiboller olabilir. Genellikle kalsit, jips ve montmorillonitlerde yer alır (Hounslow,1995). Minerallerin çözünürlüğünü etkileyen faktörler jeotermal akışkanlarındaki Ca^{+2} seviyesini de etkiler. Burada özellikle CO_2 basıncı önemlidir. Sularda kaynama sırasında CO_2 miktarının azalışı, kalsit çökelimini ifade eder (Nicholson, 1993). Yüksek sıcaklıktaki akışlarda kalsiyum konsantrasyonu genellikle düşük seviyededir ($\sim < 50 \text{mg/kg}$). Buna karşın asitlik ve tuzlulukla Ca^{+2} artar. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ oranı yüksek değerlerde daha fazla rezervuardan direkt beslenimi göstermek amacıyla kullanılabilir (Nicholson, 1993).

Doğal sularda magnezyumun kaynağı dolomitlerdir. Ayrıca magnezyum; olivin, piroksen, amfibol ve mikalardan da gelebilir (Hounslow,1995). Yüksek sıcaklıktaki jeotermal akışkanlarında Mg^{+2} seviyesi genellikle çok düşüktür (0,01- 0,1 mg/kg) Çünkü Mg^{+2} ikincil, alterasyon minerali olarak illit, montmorillonit ve özellikle kloritin yapısına kolayca katılır. Yüksek konsantrasyondaki Mg^{+2} yüzeye yakın yersel kayalardan Mg^{+2} yıkanmasını (leaching) veya nispeten Mg^{+2} 'ce zengin yeraltı sularıyla ilişkiyi işaret eder (Nicholson, 1993). Hamamayağı sıcak su kaynağının Ca^{+2} konsantrasyonu 58.10-62.52 mg/l, Mg^{+2} konsantrasyonu ise 28.42-30.01 mg/l arasındadır. Yüksek sıcaklıklı akışkanlara göre Ca^{+2} ve Mg^{+2} değerleri daha yüksektir. $\text{Na}^+/\text{Ca}^{+2}$ oranı oldukça düşüktür.

Doğal sularda florun kaynağı; florit, apatit, mika ve amfibol gibi minerallerdir. Jeotermal akışkanlardaki F^- içeriği, genellikle 10 mg/l'den düşüktür. F^- kayaç-su etkileşimi sonucu farklı mineral fazlarında (iz olarak mikaların yapısında) bulunabilir. CO_2 basıncı yüksek ise kalsiyum, ortamda bulunan F^- ile bileşik oluşturur (Nicholson, 1993). Yüksek F^- konsantrasyonu, ortamda düşük kalsiyumu işaret eder. Ender olarak yüksek F^- değerleri meteorik sular içinde volkanik gazların (HF^-) yoğunlaşması ile üretilebilir. Bu durumda F^- çok yüksek Cl^- ve SO_4^{-2} değerleri ile birlikte oluşur (Nicholson, 1993). Yüksek F^- konsantrasyonları, sedimenter kayalara göre, riyolit, pomza, ve obsidiyen gibi volkanik kayaların su-kayaç etkileşimindeki önemini gösterir (Mahon,1964). Hamamayağı sıcak su kaynağının F^- konsantrasyonu 0.336-0.518 mg/l arasındadır. Bu değer jeotermal akışkanlar için oldukça düşük bir değerdir. F^- konsantrasyonunun düşük olması kaynağın diğer

katyonlara göre daha fazla Ca^{+2} içermesi ve kaynak çevresinde daha çok sedimanter kayaçların yer almasının bir sonucudur.

Kloritli sulara alüminyum çok düşük seviyelerde oluşur ($<0,02$ mg/kg). Rezervuar akışkanının Al^{+3} konsantrasyonu, genellikle < 2 mg/kg'dır. Buna karşın hareketsiz element olarak adlandırılır ve genellikle silis ile birlikte hareket eder. Asitik sular ise kayaç ilişkisi nedeniyle yüksek (yaklaşık 100 mg/l) Al^{+3} içerir (Nicholson, 1993). Hamamayağı sıcak su kaynağının Al^{+3} konsantrasyonu 0.04 mg/l'dir. Bu değer kaplıca suyunun nötr pH değerine sahip olmasının bir sonucudur.

Li^+ , Rb^+ , Cs^+ elementleri yüzeyde artan hareket (migration) ve yanal akış ile azalır. Tipik konsantrasyon seviyeleri $Li^+ < 20$ mg/l, $Rb^+ < 2$ mg/l $Cs^+ < 2$ mg/l'dir (Nicholson, 1993). Bazı piroksen ve mika gibi Li^+ içeren minerallerde lityum, magnezyumun yerine geçebilir. Jeotermal sulara sıcaklık artışı ile Li^+ oranı da artar (Kharaka ve Mariner, 1987). Hamamayağı sıcak su kaynağının Li^+ konsantrasyonu 0.003-0.021 mg/l gibi düşük değerlerdedir. Soğuk kaynak suyundaki Li^+ konsantrasyonu da yaklaşık aynı değerdedir.

Kuvars gibi kristal haldeki silisyumun çözünürlüğü normal yeraltı suları sıcaklığında oldukça düşük, jeotermal sulara ise yüksektir (Truesdell, 1984). Hamamayağı sıcak su kaynağının SiO_2 konsantrasyonu 32 mg/l'dir. Soğuk kaynak suyundaki SiO_2 konsantrasyonu ise 10.48 mg/l'dir. Bu değerler normal yeraltı sularındaki SiO_2 konsantrasyonuna yakındır.

Jeotermal sistemlerde B^{+3} ve Cl^- genellikle suların kökenini ve sistemler içinde farklı rezervuarlar arasındaki karışımı belirlemek amacıyla kullanılır (Truesdell, 1975; 1991; Arnorsson, 1985; Arnorsson ve Andrésdóttir, 1995). Her iki elementinde mutlak ve göreceli oranları çok değişkenlik sunar. Bu nedenle farklı rezervuarlar, karakteristik Cl^-/B^{+3} oranlarına sahiptir. Deniz suları, yüksek Cl^-/B^{+3} ; magmatik uçucular, düşük Cl^-/B^{+3} ; bazaltların yıkanması (leaching) ile oluşan sular orta Cl^-/B^{+3} ve yüzey suları değişken ancak genellikle yüksek Cl^-/B^{+3} oranı ile tanımlanır (Aggarwal vd., 2000). Cl^- ve B^{+3} jeotermal sulara çözünürlüğü yüksek olan elementlerdir. Cl^- ve B^{+3} özellikle $>100^{\circ}C$ üstündeki jeotermal sulara, ikincil mineral olarak yer alabilirler (Ellis ve Mahon, 1964; 1967). Düşük sıcaklıklarda B^{+3} absorpsiyon yolu ile kil minerallerinden veya ikincil minerallerden taşınabilir (Keren ve Mezuman, 1981; Seyfried vd., 1984). Hamamayağı sıcak su kaynağının B^{+3} konsantrasyonu 0.34 mg/l gibi düşük değerdedir. Cl^-/B^{+3} oranı 20.41 gibi yüksek değerdedir. Cl^- değeri deniz suyu kadar yüksek bir değerde olmadığına göre, bu durum yüzey sularına yakın bir bileşim sunar.

Doğal izotoplar açısından değerlendirildiğinde $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ diyagramında incelenen sıcak, soğuk ve yüzey suları meteorik su özelliği gösterir. Bu ilişkiye göre Hamamayağı sıcak suyu su kayaç etkileşiminin kısmen en yüksek olduğu derin dolaşımlı sulardır.

Hamamayağı sıcak suyunda trityum değeri 0.2-1.0 (TU) arasındadır. Kasım ayında yüksek değere ulaşması meteorik soğuk su girişimi ile ilişkilidir.

Jeotermal alanların hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal ve bor değerleri oldukça farklılıklar sunar. Bu fark genellikle litolojik değişimlerden kaynaklanmaktadır. Sığ rezervuar kayaç derinlikleri ve aktif fay sistemi jeotermal alanlara yüksek oranda yeraltısuyu getirmine neden olur. Bu durum jeotermal suların sıcaklığının düşerek su-kayaç etkileşiminin azalmasına ve akışkanın toplam znmş madde miktarının düşük olmasına, bor, lityum ve SiO_2 gibi yüksek sıcaklıkta znen elemanların düşük olmasına neden olmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Hamamayağı (Samsun-Ladik) sıcak su kaynağının ve çevresinin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri ve kaynak sularının kökeninin belirlenmesi amaçlanmıştır; bu amaç doğrultusunda kaplıca suyunun (HK) oluşum mekanizması, fiziksel, kimyasal özellikleri, doğal izotop ve radyoaktivite içerikleri tespit edilerek yöredeki soğuk kaynak suyu (KPC) ve dere suyu (HD) ile karşılaştırılmıştır. Kaplıca suyunun hazne sıcaklığı kimyasal jeotermometrelerle hesaplanarak jeotermal açıdan önemi belirlenmiş elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Hamamayağı sıcak su kaynağının içerisinde bulunduğu çalışma alanı Samsun Ladik İlçesi sınırları içerisinde yer almakta olup, yaklaşık 46 km²'lik bir alanı kaplamaktadır.

2. Çalışma alanında, yaşlıdan gence doğru Permiyen yaşlı kireçtaşlarından oluşan Akdağ Formasyonu, Liyas- Dogger yaşlı kırıntılı kayaçlarla arakatlı volkanik kayaçlardan oluşan Seyfe Formasyonu, Üst Jura- Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Doğdu Formasyonu, Üst Kretase yaşlı konglemera, kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl, çamurtaşı ve tüften oluşan Yumaklı Formasyonu, Eosen yaşlı volkanitlerin oluşturduğu Tekkeköy Formasyonu, Piliyosen yaşlı çakıl, kum, kil ardışıklı Çerkeş Formasyonu yüzeylenir. Alanın en genç birimi ise Tersakan vadisi ve Hamamayağı deresi boyunca birikmiş güncel alüvyon malzemedir.

3. Hamamayağı sıcak su kaynağı, Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonunda ana fayın güneyinde kısmen faya paralel ve ana fayı kesecek şekilde gelişmiş olan tali kırık zonlarının kesim noktasından yüzeye çıkmaktadır.

4. Hamamayağı sıcak su kaynağının sıcaklığı 36°C, pH'ı 6.9-7.1; elektriksel iletkenlik değerleri (Eİ) 591-598 µS/cm; toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) 295-446 mg/l dir. Yer altı suyunu temsilen alınan soğuk kaynak suyu Kocapınar Çeşmesi (KPC) nin sıcaklığı 12.1-16°C, pH'ı 7.13-7.3; elektriksel iletkenlik değerleri (Eİ) 527-598 µS/cm; toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) 300-397 mg/l; yüzey suyu olarak Hamamayağı Deresi (HD)'nin sıcaklığı 10-28.4°C, pH'ı 7.99-8.42; elektriksel iletkenlik değerleri (Eİ) 294-456 µS/cm; toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) 192-392 mg/l arasındadır. Hamamayağı Deresinin sıcaklık ve TDS değerleri dereye kaplıca suyunun karışmasıyla artış göstermektedir.

5. İncelenen sular kimyasal açıdan Piper diyagramında değerlendirilmiş ve Karbonatlı ve sülfatlı ($\text{Ca}+\text{Mg}>\text{Na}+\text{K}$) sular sınıfında oldukları tespit edilmiştir. Bu sularda zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden daha fazladır ($\text{HCO}_3+\text{CO}_3>\text{Cl}+\text{SO}_4$). Ayrıca karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten büyük değerdedir. Böyle sular CaCO_3 ve MgCO_3 lı sulardır ve karbonat sertliği %50 den fazla olan sulardır.

6. Çalışma alanındaki suların mevsimsel değişikliğin etkilerini ve iyon içerikleri açısından birbirleriyle olan benzerliklerini belirlemek için Schoeller diyagramında değerlendirilmiştir. Bu diyagrama göre Hamamayağı sıcak su kaynağı mevsimsel değişimlerden etkilenmemiştir. Mevsimsel değişimlerden en çok Hamamayağı deresi etkilenmiştir. Suların iyon içerikleri birbirine paralellik gösterir. Özellikle Kocapınar çeşmesi ve Hamamayağı deresi iyon içerikleri bakımından birbirine oldukça yakın değerler sunarken, Hamamayağı sıcak su kaynağında Mg ve $\text{Na}+\text{K}$ içerikleri daha yüksektir.

7. İnceleme alanında sulamalı tarım yapıldığı için tüm sular sulama suyu açısından değerlendirilmiş ve Wilcox diyagramına göre çok iyi- iyi sular sınıfında oldukları belirlenmiştir.

8. İnceleme alanındaki tüm sular ağır meta kirliliği bakımından incelenmiş ve sulara Fe, Mn, Ni, Al, As, Pb, Zn, Cu vs gibi elementler analiz edilmiştir. Bu değerler açısından Hamamayağı sıcak su kaynağı Kaplıcalar Yönetmeliği, Kocapınar Çeşmesi İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı, Hamamayağı Deresi ise Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda Hamamayağı sıcak su kaynağının Cr, Ni ve Al içeriği açısından kaplıcalar yönetmeliğine uygun değerlerde; Kocapınar Çeşmesi'nin Fe, Mn, Cu, Cr, Pb, Zn, Al, As, B, Br elementleri açısından İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına uygun, Ni elementi açısından uygun olmadığı; Hamamayağı Deresinin ise Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre I-II. sınıf su olduğu, Al içeriği açısından IV. Sınıf su olduğu belirlenmiştir.

9. Sularda NO_2 , NO_3 , NH_4 ve PO_4 gibi kirlilik analizleri yapılmış, incelenen tüm suların standartlara uygun olduğu belirlenmiştir.

10. İnceleme alanındaki sulara mineral doygunlukları hesaplanmış ve Hamamayağı sıcak su kaynağının yalnız kasım ayında kalsit ve aragonite doygun olduğu; anhidrit, jips ve halit minerallerine doygun olmadığı; diğer mevsimlerde hiçbir minerale doygun olmadığı belirlenmiştir. Kocapınar Çeşmesi kasım ve nisan aylarında aragonite, kasım, nisan, ağustos aylarında ise kalsite doygunudur. Ancak çeşmedeki doygunluk indisi

değerleri 0'a oldukça yakındır ve su dengeye yakın konumdadır. Hamamayağı Deresi kasım, nisan, ağustos aylarında aragonite ve kalsite doygunudur.

11. Doğal izotop (^{18}O , ^2H ve ^3H) içeriklerine göre inceleme alanındaki suların kökenleri, beslenme yükselteleri, besleyen yağış türleri ve göreceli olarak yeraltında kalış süreleri belirlenmiştir. ^{18}O - ^2H ilişkisine göre inceleme alanındaki tüm sular dünya meteorik su doğrusuna yakın konumdadır ve dolayısıyla sular meteorik kökenlidir. Döteryum fazlası değerlerine göre inceleme alanındaki suların, kış aylarında daha çok denizel kökenli, yaz aylarında karasal kökenli yağışlarla beslendiği saptanmıştır. Oksijen 18 (^{18}O)- sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$) ilişkisine göre sular yaklaşık aynı yükseklikten beslenmektedir. Hamamayağı Kaplıcasının düşük trityum yüksek Eİ değerine sahip olması bu kaynak suyunun derin dolaşımını olduğunu göstermektedir. Kocapınar Çeşmesi ve Hamamayağı Deresinin, sıcak su kaynağına oranla daha yüksek trityum ve daha düşük Eİ değerlerine sahip olması bu suların sıcak suya göre daha sığ dolaşımını olduğunu göstermektedir.

12. İnceleme alanındaki sularda karbonun ve kükürtün kaynağını belirlemek için ^{13}C ve ^{34}S bileşimleri belirlenmiştir. Hamamayağı kaplıcasında $\delta^{13}\text{C}_{\text{vpdb}}$ bileşimi ‰-1.78 ile -1,62; Kocapınar Çeşmesinde ‰-12.18 ile -8.25; Hamamayağı Deresinde ‰-10.10 ile -8.31 arasındadır. Bu değerlere göre Hamamayağı kaplıcasındaki karbon, inceleme alanında yüzeylenen denizel ve tatlı su karbonatlarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca inceleme alanında sıcak su kaynağına yakın konumda yüzeylenen genç volkanik kayaçların varlığı karbon içeriğinin bir kısmının manto kökenli CO_2 gazından kaynaklanmış olabileceğini de düşündürmektedir. Kocapınar Çeşmesinde ve Hamamayağı Deresindeki karbon topraktaki veya yeraltındaki gözeneklerde birikmiş olan CO_2 tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda inceleme alanında bulunan sulardaki karbonun farklı kökenler sergilediği tespit edilmiştir.

13. Hamamayağı Kaplıcası'nda $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimi ‰-4.2 ile -4.1; Kocapınar Çeşmesi'nde ‰3.8; Hamamayağı Deresi'nde ‰1.31-2.7 arasındadır. Bu değerler sıcak su ile soğuk sulardaki kükürtün farklı kaynaklardan geldiğini düşündürmektedir. Hamamayağı kaplıcası kükürt izotop kompozisyonları, $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ bileşimine göre indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunduğu kayaçlardan gelmektedir. Kocapınar Çeşmesi soğuk su kaynağında ve Hamamayağı Deresindeki kükürtün kaynağını kireçtaşları ve şeyller oluşturmaktadır.

14. İnceleme alanındaki kaplıca suyu ve kaynak suyunun toplam alfa ve toplam beta konsantrasyonları TSE 266 da belirtilen maksimum değerden daha düşüktür. Yüzey

suyunda ise standartlardan daha yüksek değerdedir. Kaplıca suyundaki radon konsantrasyonu oldukça düşük değere sahiptir. İnceleme alanındaki suların radyoaktivite düzeylerinin düşük olması suyun temas ettiği jeolojik formasyonlarla ilişkilidir. İncelenen suların çevresinde genellikle kireçtaşı ve kireçtaşı katkılı tortul kayaçların yaygın olması sulardaki radyoaktivite konsantrasyonlarının da düşük olmasına neden olmuştur.

15. Hamamayağı sıcak su kaynağının rezervuar sıcaklığının belirlenmesi için kimyasal jeotermometreler uygulanmış, katyon jeotermometrelerine göre 209–255°C; silis jeotermometrelerine göre 46-85°C hazne sıcaklığı öngörülmüştür. Ancak sıcak su kaynağı Giggenbach diyagramına göre “olgun olmayan sular” sınıfındadır. Bu durumda silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıklarının daha güvenilir olduğu ve rezervuar sıcaklığının 46-85°C arasında olabileceği belirlenmiştir.

16. Jeotermal sistemler açısından değerlendirildiğinde Hamamayağı kaplıcası yaklaşık 36°C sıcaklık değeri ile düşük sıcaklıklı jeotermal sistem sınıfına girmektedir. Sistemde rezervuarı Permiyen yaşlı kireçtaşlarından oluşan Akdağ Formasyonu; örtü kayacı yer yer killi seviyeler içeren zayıf çimentolu çakıtaşı ve kumtaşından oluşan Pliyosen yaşlı Çerkeş Formasyonu; ısı kaynağını ise Eosen yaşlı volkanitler oluşturur.

17. Hamamayağı Kaplıcası halen Ladik Belediyesi tarafından modern bir tesisi ile balneolojik amaçlı hizmet vermektedir. Bu kullanım şekliyle kaplıca kaynağının çevreye herhangi bir olumsuz etkisi yoktur. Aksine sağladığı güzel mekan ve bahçe kaplıca ve çevresini gezilebilecek bir yer haline getirmiştir.

18. Hamamayağı Kaplıca kaynağının ekonomik olarak değerlendirildiği söylenemez. Kaynağının sıcaklığının 40°C'nin altında olması kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Ancak Ladik ve çevresi tarım için uygun arazilere sahip olmasına rağmen iklimin uygun olmamasından dolayı ürün çeşitliliği yoktur. Oysaki günümüzde oldukça önemli olan organik sebze ve meyve yetiştiriciliği için Hamamayağı kaplıca suyu kullanılarak seracılık geliştirilebilir. Ayrıca 20- 30°C sıcaklıklar yüzme havuzları, fermentasyon ve damıtma tesisleri gibi değişik alanlarda kullanılabilir. Balık çiftlikleri kurulup Hamamayağı kaplıca suyu kullanılarak her mevsim balık üretimi yapılabilir. Bu tür küçük tesisler iş alanının oldukça kısıtlı olduğu yörede az da olsa iş olanağı sağlar. Ayrıca yaz turizmini canlandırmak amacıyla bu tür tesislerin yapılması yöreye ekonomik açıdan katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Aggarwal, J. K., Palmer, M.R., Bullen, T. D., Arnorssón, S. ve Ragnarsdóttir, K.V., 2000. The Boron Isotope Systematics of Icelandic Geothermal Waters, 1. Meteoric Water Charged Systems, Geochim Cosmochim Acta, 64 4, 579-585.
- Akdağ, K., 1992. Kavak (Samsun) Yöresi Kretase Filişlerinin Sedimantolojik İncelemesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akkuş, İ., M. ve Yıldırım, N., 1992. Havza Hamamayağı (Ladik) Yöresinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları: MTA Der.Rap. No: 9899, 41.s (yayımlanmamış), Ankara.
- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü Envanter Serisi-201, Ankara.
- Aktimur, H. T., Tekirli, M.E., Yurdakul, M.E., Ateş, Ş., Ürgün, B.M., Teoman, M.Ş., Keçer, M., Turşucu, A. ve Genç, S. 1989. Niksar- Erbaa ve Destek Dolayının Jeolojisi, MTA Der. Rap. No. 8894, Ankara.
- Alp, D. 1972. Amasya Yöresinin Jeolojisi. İ.Ü, Fen Fakültesi Monografileri, İstanbul.
- Ambraseys, N. N. 1970. Some Characteristics Features of the NAFZ, Tectonophysics, 9, 143-165
- 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.
- Armannsson, H. ve Kristmannsdóttir, H., 1992. Geothermal Environmental Impact, Geothermics, 21, 869-880.
- Arnorssón, S., 1985. The Use of Mixing Models and Chemical Geothermometers for Estimating Underground Temperatures in Geothermal Systems, J. Volcanol. Geotherm. Res., 23, 299-335.
- Arnarsson, S. ve Andresdóttir, A., 1995. Processes Controlling the Distribution of Boron and Chlorine in Natural Waters in Iceland, Geochim Cosmochim Acta, 20, 59, 4125-4146
- 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.
- Başkan, M. E. ve Canik, B., 1983. IAH Map of Mineral and Thermal Waters of Turkey Aegean Region, MTA, No: 189, Ankara, 80 p.
- Başar, H., 2003. Kürtün Havzası (Samsun) Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Mühendislik Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Benderitter, Y. ve Cormy, G., 1990. Possible Approach to Geothermal Research and Relative Cost Estimate. In: Dickson, M.H., Fanelli, M. (Eds.), Small Geothermal Resources, UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, 61-71.
- Besbelli, B., 1984. Bafra (NW Samsun) Güneyindeki Üst-Kretase Alt Tersiyer İstifinin Sedimantolojik İncelemesi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, 29-60
- Blumenthal, M., 1940. Gökırmak ile Karadeniz (Boyabat- Sinop) Arasındaki Pontik Silislerinin Jeolojisi Hakkında, MTA Enstitüsü Derl. Rap. No: 1067, Ankara, 44-46.
- Blumenthal, M., 1943. Ladik Deprem Hattı: MTA, Mec, 1, 33, 153-162.
- Brondi, M., Dall'aglio, M. ve Vitriani, F., 1973. Lithium as Pathfinder Element in the Large Scale Hydrogeochemical Exploration for Hydrothermal Systems, Geothermics, 2, 142-143.
- Brown, K. ve Webster-Brown, J., 2005. Environmental Impacts of High Enthalpy System Development, Pre and Post Congress Short Courses, Proceedings World Geothermal Congress, Antalya, Turkey April 2005.
- Clark, I. ve Fritz, P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis publishers, New York. 328 p.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Water, Science, 133, 1702-1703.
- Collins, A.G., 1975. Geochemistry of Oil Field Waters. Elsevier, 125p. New York.
- Çam, S., Barış C., Özsoylu F.B. ve Ereeş F.S., 2004. Radon, Doğal Gaz, Biyogaz ve Çöplük Gazı, Biyoenerji 2004 Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 294-301.
- Dansgaard, W., 1964. Stable Isotopes in Precipitation, Tellus, 16, 436-468.
- 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.
- Dilaver Temel, A., Çifter, C. ve Altay, T., 2002. Türkiye'deki İçme ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Yönünden Kalitesinin Belirlenmesi, Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, Adana.
- DSİ, 1994. Samsun Merkez Kürtün Irmağı Islahı Planlama Raporu, Samsun, 4-6, 325.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.
- Dunham, R. J, 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, 108-121 in W.E.Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks., Tulsa, Okla., Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 1, 279 s.

- Ellis, A. J. ve Wilson, S.H., 1960. The Geochemistry of Alkali Metal Ions in the Wairakei Hydrothermal System, *N.Z.J. Geol. Geophys.*, 3, 593-617.
- Ellis, A. J. ve Mahon, W.A.J., 1964. Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot Water/Rock Interactions, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, 1323-1357.
- Ellis, A. J. ve Mahon W.A.J., 1967. Natural Hydrothermal Systems and Experimental Hot Water/Rock Interactions, Part II, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 519-538.
- Ercan, T. ve Gedik, A., 1983. Pontidlerdeki Volkanizma, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Sayı: 18, MTA, Ankara, 3,11.
- Erdem, K., 2000. Taşova Ovasının Hidrojeoloji İncelemesi, Yüksek Mühendislik Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Folk, R. L., 1962. Spectral Subdivision of Limestone Types, In W.E Ham (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, A.A.P.G. Mem. 1, 62-84.
- Fouillac, C. ve ichard, G., 1981. Sodium/Lithium Ratio in Water Applied to the Geothermometry of Geothermal Waters, *Geothermics*, 10, 55-70.
- Fournier, R. O. ve Truesdell, A.H., 1970. Geochemical Indicators of Subsurface Temperature applied to Hot Spring Waters of Yellow Tone Natinal Park, Wyoming, USA, *Geothermics* 2,1, 529-535.
- Fournier, R. O., 1977. Areview of Chemical and Isotopic Geothermometers for Geothermal Systems, *Proceedings of the Symp. On Geoth. Energy, Cento Scientific Programme*, Ankara, 133-143.
- Freze, R. A. ve Cherry, J. A., 1979. *Groundwater*, Prentice- Hail, USA, 604p.
- Göksu, E., Pamir, H. N. ve Erentöz, C., 1974. Samsun 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası ve İzahnamesi, MTA Yayınları, Ankara, 5-22
- Gedik, A. ve Korkmaz, S., 1984. Sinop Havzasının Jeolojisi ve Petrol Olanakları, *Jeoloji Müh.*, 19, 53-79.
- Genç, S., Kurt, Z., Küçümen, Ö., Cevher, F., Saraç, G., Acar, Ş., Bilgi, C., Şenay,M. ve Poyraz, N., 1991. Merzifon (Amasya) Dolayının Jeolojisi, MTA, Jeoloji Etütleri Dairesi, Derleme Raporu, No: 9527, Ankara.
- Gemici, Ü., 1999. Çeşme Yarımadası'nın Hidrojeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, *Doktora Tezi*, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Giggenbach, W. F., 1988. Geothermal Solute Eguilibria, Derivatin of Na- K-Mg-Ca Geoindicators, *Geochim. Et Cosmochim. Acta*, 52, 2749-2765.
- Gülibrahimoğlu, İ., Yılmaz, B.S., Tosun, C. Y., Konak, O., Saraloğlu, A., Keskin, İ., Osmañcelebioğlu, R., Karakaya, F., Köse, Z., Yaprak, S. ve Teoman, Ş., 2000. Samsun İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynaklar, MTA, Jeoloji Etüt Dairesi, Rapor No: 10481, Ankara, 12-34, 84-97.

- GümüŖsu, M., 1980. Amasya ili Merzifon ve Suluova İlçeleri Kömür Jeolojisi, MTA, Derleme Raporu, No: 7063, Ankara.
- Haenel, R., Rybach, L. ve Stegena, L., 1988. Fundamentals of Geothermics. In: Haenel, R., Rybach, L., Stegena, L.A. (Eds.), Handbook of Terrestrial Heat- Flow Density Determination. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands, pp. 9-57.
- Hem, D. J., 1971. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, Second Edition, 93 p.
- 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.
- Hem, J. D., 1992. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geol Surv, Water- Supply, 2254.
- Hochstein, M. P., 1990. Classification and Assessment of Geothermal Resources In: Dickson, M.H., Fanelli, M. (Eds.), Small Geothermal Resources, UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy, 31-59.
- Hounslow, A. W. ve Back, D. B., 1985. Evaluation of Chemical Data from Water Supplies in Southwestern Oklahoma, Final Report to the Oklahoma Water Resources Board, 125-130.
- Hounslow, A. W., 1995. Water Quality Data, Analysis and Interpretation, Lewis Publishers, 54.
- IAEA, 1968. Guide Book on Nuclear Techniques in Hydrology International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAH (International Association of Hydrogeologists) 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe, Scale: 1:500.000, IAH, United Kingdom.
- Kehinde, M. O., 1993. Preliminary Isotopic Studies in the Bida Basin, Central Nigeria, Environmental Geology, Vol. 22, USA, 212-217 .
- Keren, R. ve Mezuman, U., 1981. Boron Adsoption by Clay Minerals Using A Phenomenological Equation, Clays and Clay Minerals, 29, 198-204.
- Ketin, İ. ve GümüŖ, A., 1963. Sinop – Ayancık Arasında Üçüncü Bölgeye Dahil Sahaların Jeolojisi, TPAO, Rap. No: 288, Ankara, 2-7.
- Kharaka, Y. K. ve Mariner, R. H., 1987. Chemical Geothermometers and Their Application to Formation Waters from Sedimentary Basins, In: Thermal History of Sedimentary Basins (Naeser, D., McCulloh, T.H., -eds), 75-102, New York.
- Koçak, A., 2003. Jeotermal Enerji Ders Notları, 53 s, MTA, İzmir.
- Krouse, H. R., 1980. Sulphurv Isotopes in Our Environment. In: P. Fritz and J.-Ch. Fontes (Eds.), Handbook of Environmental Isotope Geochemistry I, The Terrestrial Environment, A. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 435-472.

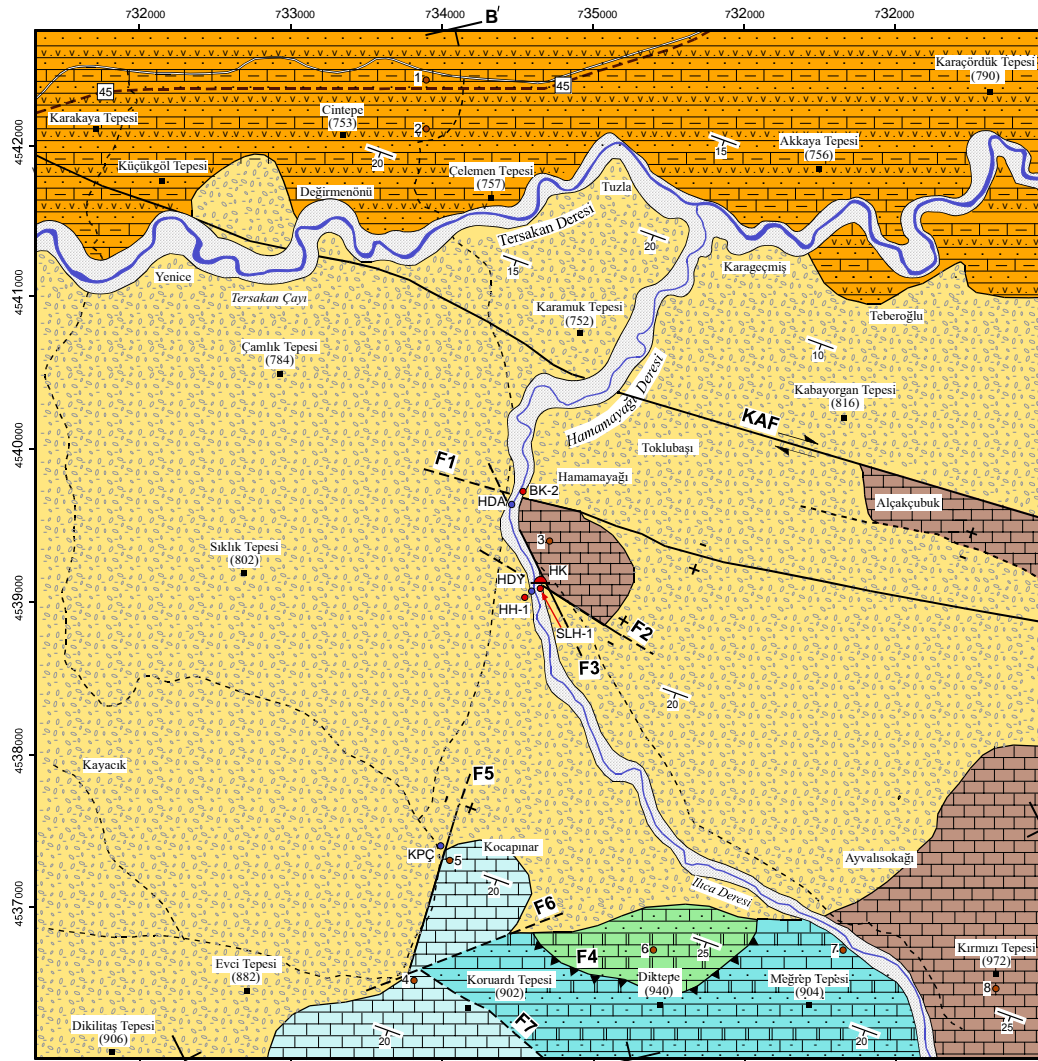
- Mahon, W. J. A., 1964. Fluorine in the authigenic feldspars of the series $KAlSi_3O_8$ from Southern California, *American Mineral.*, 56, 281-291.
- Mahon, W. J. A., 1964. Fluorine in the Natural Thermal Waters of New Zealand, *N.Z.J. Sci.*, 7, 3-28.
- Mazor, E., 1997. Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology, Applied Approach, 158-166.
- Mertoğlu, O., Bakır N., ve Kaya T., 2003. Geothermal Applications in Turkey, *Geothermics* 32, 419-428
- Mc. Neely, R., N. ve Neimanis, V., P., Dwyer, L., 1979. Water Quality Source Book-A Guide to Water Quality Parameters.
- Minissale, A. ve Duchi, V., 1988. Geothermometry on Fluids Circulating in a Carbonate Reservoir in North-Central Italy, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 35, 237-253.
- Muffler, P. ve Cataldi, R., 1978. Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources, *Geothermics*, 7, 53-89.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques, Springer-Verlag, Berlin, 263.
- Özcan, A., Armağan, F., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., 1980. Kuzey Anadolu Fayı ile Kirşi Masifi Arasında Kalan Alanın Temel Jeolojisi, MTA, Rap., 6722 (yayınlanmamış), Ankara.
- Özten, A. ve Yurtseven, D., 1996. Samsun- Havza Bekdiğın Sıcak Su Sondajı (BK-2) Kuyı Bitirme Raporu, MTA Dergisi, Rap. No: 9925, (yayımlanmamış), Ankara.
- Öztürk, A. 1979. Ladik-Destek Dolayının Stratigrafisi, *Türkiye Jeoloji Kur. Bült.*, 23,1, 31-38, Ankara.
- Parkhurst, D. L. ve Appelo C. A. J., 1999. User's Guide to PHREEQC (Version 2)- a Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations, USGS Water Resources Investigation Report, 99-4259, 312p.
- Piper, A. M., 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions* 25,914-923.
- Pope, L. A., Hajash, A. ve Popp, R. K., 1987. An Experimental Investigation of the Quartz, Na/K, Na-K-Ca Geothermometers and the Effects of Fluid Composition, *Jour. Of Volcanology and Geothermal res.*, 31, 151-161.
- Roberts, A., 1975. Helium Surveys Over Known Geothermal Resources Areas in the Imperial Valley, California, US Geology Survey Open-File Report.

- Serdar, S. H., Aydın, M. ve Yazman, M., 1984. Orta Pontidlerin Jeolojisi, TJK, 38. Bilimsel Teknik Kurultayı Bildiri Özetleri, 45-46.
- Seyfried, W. E., Janecky, D.R. ve Mottl, M.J., 1984. Alteration of the Oceanic Crust: İmplications for Geochemical Cycles of B And Li. *Geochim., Cosmochim. Acta*, 79, 819-823.
- Seymen, İ., 1974. Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özellikleri, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Schoeller, H., 1962. *Les Eaux Souterraines*, Mason et cie, Paris, 642p.
- Smethurts, G., 1979. *Basic Water Treatment*, Thomas Telford Ltd., London.
- Şahinci, A., 1986. Yeraltı Suları Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/JEO-86,99, İzmir.
- Şahinci, A., 1991. Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548 s.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, MTA, Rap. No: 8714 (yayımlanmamış), Ankara.
- Şenalp, M., 1981. Çankırı-Çorum Havzası'nın Sungurlu Bölgesi'ndeki Karasal Formasyonların Sedimentolojik İncelemesi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 65-74.
- Şengör, A. M. C., 1980. Türkiyenin Neotektoniğinin Esasları, Türkiye Jeo. Kur. Konf., Seri 2, 40, Ankara.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1983. Türkiye'de Tetisin evrimi, Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım, Türkiye Jeo. Kur.,Yerbilimleri Dizisi, 1, Ankara.
- Şentürk, K. ve Karaköse, C., 1981. Orta Sakarya Bölgesinde Liyas Öncesi Ofiyolitlerin ve Mavi Şistlerin Oluşumu ve Yerleşmesi, Jeo. Kur. Bült., 24, 1, 1-10, Ankara.
- T.C. Resmi Gazete, 2001. Kaplıcalar Yönetmeliği, 24472, 25.7.2001, 4. Bölüm, 18. Madde.
- T.C. Resmi Gazete, 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 25687, 31.12.2004, 3. Bölüm, 7. Madde.
- Terlemez, H. I. Ç. ve Yılmaz, A., 1980. Ünye, Ordu, Koyulhisar, Reşadiye Arasında Kalan Yörenin Stratigrafisi, Türkiye Jeo. Bült, 23/2, 179-193, Ankara.
- Thornthwaite, C. W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate, *Geograph.*, Rev. 38, 55-94.
- Tonani, F., 1970. Geothermical Methods of Exploration for Geothermal Energy, *Geothermics.*, Special issue, 2, 1, 492-515.

- Trevor, M. H., 2001. Five Lectures On Environmental Effects of Geothermal Utilization, United Nation University, Geothermal Training Programme, Reykjavik, Iceland
- 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, 25-50, San Francisco.
- Truesdell, A. H., Fournier, R. O. 1975. Calculation of Deep Temperatures in Geothermal Systems from the Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin, In: Proc. 2nd UN Symp. On the Dev. and Use of Geotherm. Res., 1, 837-844, San Francisco.
- Trusdell A. H., 1991. Effects of Physical Processes on Geothermal Fluids, In Applications of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development (coordinator F.D'Amore), 71-92.
- TSE, 2005. İnsani Amaçlı Tüketim Suları Standartları, TS 266, Ankara.
- URL-1, www.ladik.gov.tr/silis/madenler.htm Ladik İlçesinde Bulunan Madenler 13 Mayıs 2008
- URL-2, www.taek.com.tr/bilgi/bilgi_maddeler/radyasyon.html Radyasyon ve Radyoaktivite 2008.
- WHO, 1990. Arsenic, Environmental Health Criteria, 18. World Health Organization, Genova, 1-174.
- Wilcox, L. V., 1955. Classification and Use of Irrigation Waters, U.S. Dept, Agric. Circ., 969, Washington D.C., 19p.
- Yalçınlar, İ., 1958. Samsun Bölgesinin Neojen ve Kuvaterner Kıyı Depoları, İstanbul Üniversitesi Coğr. Enst. Derg., 5-9-21.
- Yenal, O., Usman, N. ve Kanan, E., 1976. Türkiye Maden Suları İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Tıbbi Radyoloji ve Hidro-Klimatoloji Kürsüsü Kağıt Basım İşleri A.Ş., İstanbul.
- Yoldaş, R., Keskin, B., Granit, S., Korkmaz, S., Dirik, S., Kalkan, İ., Ağrıdağ S. ve Besbelli, B., 1985. Samsun ve Dolayının (Kızılırmak- Yeşilirmak Arasındaki Bölgenin) Jeolojisi ve Petrol olanakları, Rap No: 8130, MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi, Ankara, 19-38.
- Yurtsever, Y., 1978. Tabii İzotopların Hidrojeolojide Kullanılması Esasları ve Antalya Civarı Karstik Bölgede Yerüstü-yer altı Suyu İlişkisinin Tabii İzotoplarla Araştırılması Sonuçları, EİE Bülteni, 75-76, 1061-1080.

ÖZGEÇMİŞ

15.10.1980 tarihinde Trabzon'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Trabzon'da tamamlayarak 1997 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Ortaöğretim Sosyal Alanlar Eğitimi Coğrafya Öğretmenliği Tezsiz Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2005 yılında eğitimini tamamladı 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam eden Esra HATİPOĞLU İngilizce bilmektedir.



0 1000 m

AÇIKLAMALAR

- | | |
|--|---|
| | Alüvyon |
| | Çakıl, kum, silt, kil ve şeyl |
| | Bazalt, andezit, tuf ve aglomera ve kumtaşı |
| | Kumtaşı, çamurtaşı, tuf |
| | Kireçtaşı |
| | Aglomera, tuf, kumtaşı, killi kireçtaşı ve marn |
| | Kireçtaşı |
| | Tabaka duruşu |
| | Fay, olası fay |
| | Kuzey Anadolu Fayı |
| | Hamamayağı Sıcak Su Kaynağı |
| | Örnek alım noktası (sıcak su, akarsu, kayaç) |
| | Kesit hattı |
| | Demiryolu hattı |
| | Karayolu |
| | Stabilize yol |

