

Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Jeotermal Sahasında Su ve Toprak Kirlilik
Etkilerinin İncelenmesi

Bülent Akkaş

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs 2010

The Research of Water and Soil Contamination in Banaz-Hamamboğazı (Uşak)
Geothermal Field

Bülent Akkaş

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Geological Engineering

May 2010

Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Jeotermal Sahasında Su ve Toprak Kirlilik
Etkilerinin İncelenmesi

Bülent Akkaş

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Maden Yatakları ve Jeokimya Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof.Dr. Halim Mutlu

Mayıs 2010

ONAY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Bülent Akkaş'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “ Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Jeotermal Sahasında Su ve Toprak Kirlilik Etkilerinin İncelenmesi ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof.Dr. Halim Mutlu

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof.Dr.Halim Mutlu

Üye : Prof.Dr.Kadir Sarıöz

Üye : Prof.Dr.Selahattin Kadir

Üye : Doç.Dr. Galip Yüce

Üye : Yrd. Doç.Dr.Hüseyin Ankara

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Jeotermal Sahasında Su ve Toprak Kirlilik Etkilerinin İncelenmesi

Bülent Akkaş

ÖZET

Hamamboğazı (Banaz) jeotermal sahasında yer alan termal ve mineralli su kaynakları 45-65°C sıcaklıkta olup sularının ortalama debileri 0,7 ile 40 l/sn'dir.

Hamamboğazı jeotermal sahasında su ve toprak kirlilik etkilerinin araştırıldığı bu çalışma kapsamında Hamamboğazı jeotermal akışkanından, sıcak suyun karıştığı Hamamboğazı dere suyundan ve çevredeki soğuksu kuyularından toplanan 16 adet su örneğinde arsenik, bor ve flor konsantrasyonları ve sıcak suların oluşturduğu sedimanlardan alınan toprak örneklerinde As, B ve F analizleri yapılmıştır. Bölgedeki termal sıcak su kaynakları, Sağlık Bakanlığı Kaplıca Suları Yönetmeliğindeki Balneolojik su sınıflamasına göre As, B ve F içeren sular sınıfına girmektedir.

Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak suların Hamamboğazı Deresine, yeraltı suyuna olan karışımlarının boyutunu belirleyebilmek için As, B ve F için dağılım grafikleri çizilmiştir.

Sulama suyu olarak kullanılan Hamamboğazı Deresinin As, B ve F konsantrasyon değerleri su kirliliği kontrol yönetmeliğinde izin verilebilen maksimum değerlerin çok üzerinde bulunduğundan sulama suyu olarak kullanılması tarımda hassas olan ürünlere zarar vermesi kaçınılmazdır. Ayrıca, İnsani tüketim amaçlı sular yönetmeliğindeki limit değerlere göre de Hamamboğazı kaplıca sularının içme kürü olarak ve yeraltı suyundan elde edilen soğuk suyun ise içme ve kullanma amaçlı olarak da kullanılması sağlık sorunlarına neden olabilecektir.

Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak suların As, B ve F değerleri Batı Anadolu'da yer alan diğer jeotermal sahalarındaki sıcak su örneklerine ait As, B ve F değerleri ile mukayese edilmiştir. Batı Anadolu'daki jeotermal aktivitelerin çoğunlukla Büyük Menderes ve Gediz Graben sistemlerine bağlı olarak gelişmiştir. Yapılan karşılaştırma da Hamamboğazı jeotermal sahasına ait su örneklerinin As ve B ve F içeriğinin diğer jeotermal sahalarındaki suların As, B ve F değerlerine göre daha yüksek, bir kısmına göre ise daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Jeotermal kaynağın çevresinde çökelen sedimanların As, B ve F içeriğinin belirlenmesi amacıyla 4 adet noktadan toprak numunesi alınmış yapılan analizlerde sedimanlardaki As miktarı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın 50 A.B.D eyaletinde belirlediği limit değerden yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu nedenle Hamamboğazı sıcak sularının üzerine aktığı tarım arazilerindeki toprak yapısında oluşturacağı As kirliliği çok ciddi boyuttadır. Ayrıca, sedimanlardaki B ve F içeriği toprak standart değerlerinin çok üzerinde olduğundan sıcak suların tarım arazilerinde B ve F kirliliğine de neden olmaktadır.

Bölgedeki As, B ve F kirlilik boyutlarının insan, toprak ve bitki yapısı üzerindeki etkilerinin tespiti, söz konusu kirliliğin bertaraf edilmesi için en uygun arıtma yönteminin seçilmesi ve termal kaynağın korunması açısından büyük önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hamamboğazı termal suları, arsenik-bor-flor, ağır metal, kirlilik.

The Research of Water and Soil Contamination Banaz-Hamamboğazı (Uşak) Geothermal Field

Bülent Akkaş

SUMMARY

Temperatures of thermal and mineral water springs in the Banaz geothermal field are 45-65°C and the average flow rates of springs and wells are 0,7 to 40 l/sec.

In this study, water and soil contamination effects in the Banaz-Hamamboğazı (Uşak) geothermal area are investigated. For this reason, arsenic, boron and fluorine concentrations in 16 water samples taken from the Hamamboğazı geothermal fluid, and Hamamboğazı creek water, cold water from wells and soil samples taken in the vicinity of water springs were analyzed. According to analysis results, thermal waters in the area are As, B and F containing on the basis of Balneology water classification in SPA Regulation of Health Ministry.

As, B and F distrubition graphics are plotted to determine the extent of mixing between hot waters and ground water the in Hamamboğazı geothermal area.

As, B and F concentrations in the Hamamboğazı creek waters are harmful in using as irrigation water because concentrations are more than the maximum limits values of water pollution control regulation. Moreover, the using of Hamamboğazı thermal waters as drinking cure and the using of cold water as drinking and potable water may also cause health problems.

The amounts of As, B and F of hot waters are compared with other hot waters in West Anatolian region. The geothermal activity in West Anatolia mainly is associated with the Büyük Menderes and Gediz Graben systems. As, B and F contents of water samples in Hamamboğazı geothermal area are more higher than those of other geothermal areas and lower than others.

In order to determine As, B and F contents of sediments around geothermal spring four samples were collected. As content in sediments of Hamambogazi thermal area is 10 times higher than that in the 50 states of US according to US EPA. Therefore, As contamination in soil structure in agricultural lands in the study area is in serious dimension. Furthermore, B and F contents are higher than the limit level of soil standard and it is expected that hot waters will cause B and F contamination.

It is vitally important to determine the scale of contamination effects on humans, soil and plant structure in the area, and to select the most suitable process to mitigate contamination extent and protect the thermal springs.

Keywords: Hamamboğazı thermal waters, arsenic-boron-fluorine, heavy metal, contamination.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Halim Mutlu'ya ve su numunelerinin analizlerini gerçekleştiren Dokuz Eylül Çevre Mühendisliği Atıksu Laboratuvar sorumlusu Öğr. Gör. Dr. Zihni Yılmaz'a teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca, bu çalışmaya yapıcı görüşleri ile katkı koyan Doç.Dr. Galip Yüce'ye ve Doç.Dr. Ayşen Davraz'a da teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Malzeme ve Metot	3
1.2.1.Saha Çalışmaları	3
1.2.2. Laboratuar Çalışmaları	3
1.3. Önceki Çalışmalar	4
2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI	7
2.1. İnceleme Alanının Yeri	7
2.2.Drenaj Alanı ve Yüzey Suları	9
2.3.İklim ve Bitki Örtüsü	11
3. JEOLojİ	11
3.1.Stratigrafi	11
3.1.1.Vezirler Melanjı (Kvm)	14
3.1.2.Yeniköy Formasyonu (Tmyh-Tmyd)	15
3.1.3.Asartepe Formasyonu (PQat)	16
3.1.4.Alüvyon (QAl) Traverten (QTrv)	16
3.2. Yapısal Jeoloji	17

	Sayfa
4. HİDROJEOLJİ	18
4.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri	18
4.1.1 Geçirimli birimler	18
4.1.2 Yarı Geçirimli Birimler	19
4.1.3 Geçirimsiz Birimler	19
4.2 Yeraltısuyu	19
4.3. Kaynaklar	19
4.3.1. Hamamboğazı Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları	20
4.3.2. Sıcak su Kaynakların Hidrojeolojik Özellikleri	26
4.4. Soğuk Su Sondaj ve Sıcak Su Sondaj Kuyuları	29
5. SULARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	31
5.1. Sıcaklık (T)	31
5.2. Elektriksel İletkenlik (EI)	31
5.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)	31
6.SU KİMYASI	32
7.SEDİMENT KİMYASI	43
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	45
9. YARARLANILAN KAYNAKLAR	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.İnceleme alanını içine alan Uşak ve civarının jeoloji haritası.	2
Şekil 2.1.İnceleme alanı yer bulduru haritası	8
Şekil 2.2. İnceleme alanının drenaj haritası.	10
Şekil 3.1. İnceleme alanının 1:25.000 ölçekli jeolojik haritası.	12
Şekil 3.2. Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik ve hidrojeolojik dikme kesiti.	13
Foto 1. Gözenekli traverten yapısı.	17
Foto 2. Ana kaynak üzerindeki yıkılan tesislerden çıkan jeotermal sular.	21
Foto 3. Ana kaynak üzerindeki yıkılan tesislerden çıkan jeotermal sular.	22
Foto 4. Ana kaynaktan çıkan jeotermal suların Hamamboğazı Deresine karışımı.	23
Şekil 5. HB-4 nolu kuyuda yüksek basınç nedeni ile oluşmuş su kaçakları ve tarım Arazileri ile dereye termal su karışımı.	24
Foto 6. HB-4 nolu kuyuda yüksek basınç nedeni ile oluşmuş sıcak su kaçakları.	25
Foto 7. Eski kaplıca kaynakları.	25
Foto 8. KD-GB uzanımlı fay zone.	26
Şekil 4.3. Hamamboğazı Kaynağı'nın 1:10.000 ölçekli jeoloji haritası	27
Şekil 4.3.1. İnceleme Alanına ait jeolojik kesit	28
Şekil 6.1.Hamamboğazı jeotermal alanındaki su örneklerinin sıcaklık dağılımı.	34
Şekil 6.2. Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak su, soğuk su ile dere suyundaki As dağılımı grafiği.	35
Şekil 6.3. Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak su, soğuk su ile dere suyundaki B dağılımı grafiği.	36
Şekil 6.4. Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak su, soğuk su ile dere suyundaki F dağılımı grafiği.	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 4.4. İnceleme alanında açılmış sondaj kuyularına ait özellikler.	30
Tablo 6. Örneklenen sulara ait açıklayıcı bilgiler.	33
Tablo 6.1. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları.	39
Tablo 6.2. Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının sınıflandırılması.	39
Tablo 7. Toprak numunelerinin As, B ve F analiz sonuçları.	42

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

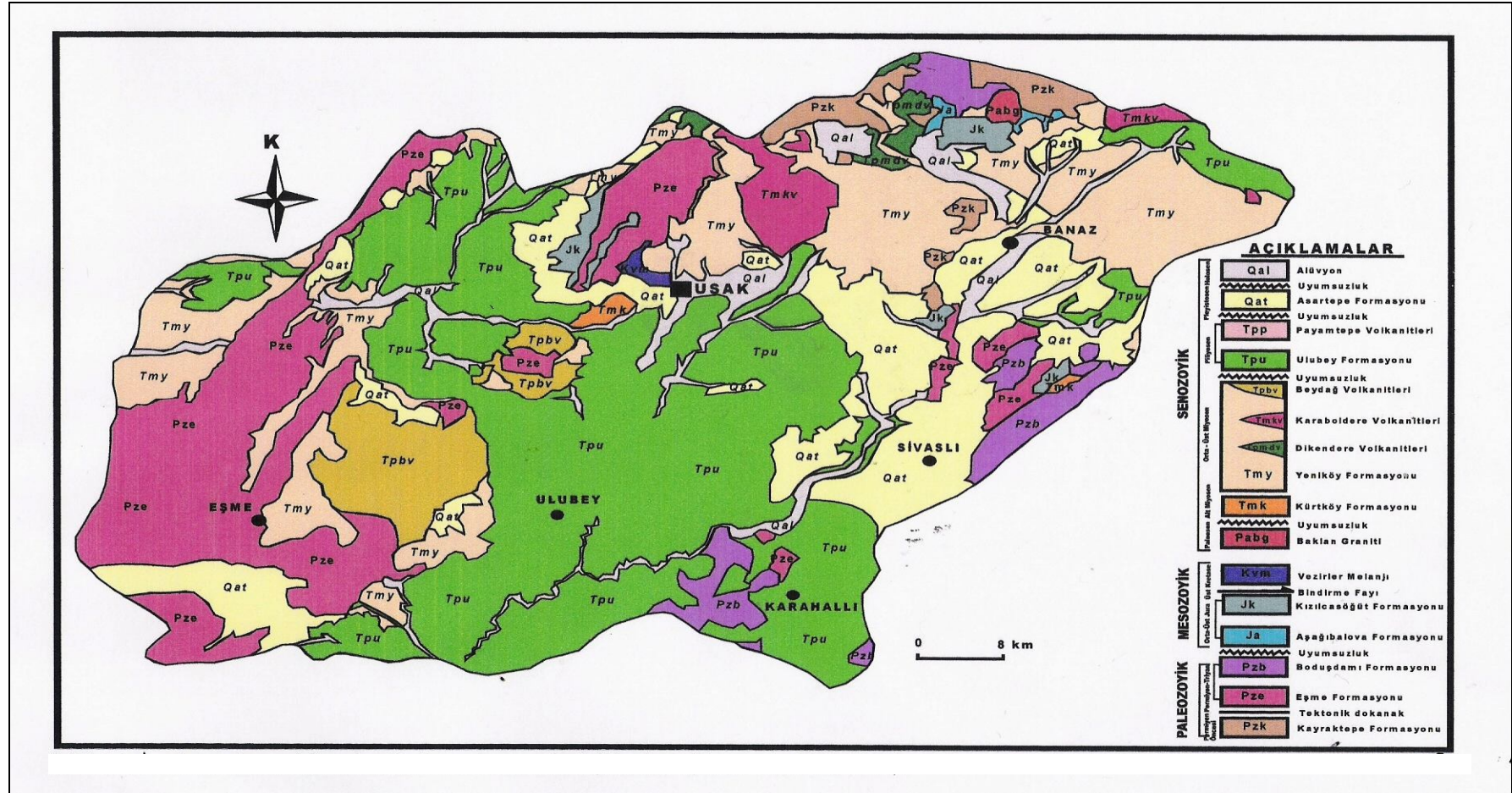
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel iletkenlik
l/s	Litre/saniye
meq/l	Miliekiveler/litre
mg/l	Miligram/litre
µmho/cm	Mikromho/santimetre
MTA	Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü
pH	Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması
ppm	Milyonda Bir
T	Sıcaklık (°C)
TÇM	Toplam çözünmüş madde miktarı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada Banaz (Uşak) Hamamboğazı sahasındaki jeotermal suların arsenik, bor ve flor konsantrasyonları araştırılmış ve havzadaki yeraltı suyu ile toprak yapısındaki As, B ve F kirlilikleri ortaya konmuştur. 10 km²'lik bir alana sahip olan inceleme alanında yüzeyleyen birimlerin yaklaşık %70'ni Yeniköy Formasyonu olarak adlandırılan Neojen (Miyosen) göl çökelleri, %30'nu ise Kuvaterner yaşlı birimler oluşturmaktadır (Şekil 1.1).

Saha çalışmaları sırasında formasyonların litolojik özelliklerinin belirlenmesi için önceki çalışmalara ait verilerden faydalanılmıştır. Ayrıca, saha çalışmalarında sıcak ve mineralli su kaynak ve kuyuları ile soğuk su kuyularından, Hamamboğazı Deresinden su örnekleri alınmış ve arsenik, bor ve flor içeriklerinin tespitine yönelik kimyasal analizler yapılmıştır. Termal suların çıkış noktalarındaki sedimanlardan toprak örnekleri alınmış ve As, B ile F analizleri yapılmıştır.



Şekil 1.1.İnceleme alanını içine alan Uşak ve civarının jeoloji haritası (Ercan vd., 1977,1979)

Hamamboğazı jeotermal alanında yer alan termal suların ve bunların karıştığı Hamamboğazı deresi ve havzadaki diğer yeraltı ve yerüstü su kaynaklarından alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, sedimanların As, B ve F içerikleri belirlenerek bölgedeki su ve toprak yapısındaki kirlilik etkileri araştırılmıştır.

Yukarda belirtilen amaç doğrultusunda, bölgeye ait jeoloji ve hidrojeoloji haritaları daha önceki çalışmalardan da yararlanılarak hazırlanmıştır. Bunun yanı sıra, bölgedeki sıcak ve mineralli su kaynaklarından, soğuk su kuyularına yönelik önceki yıllarda yapılan hidrokimyasal analiz sonuçlarından da faydalanılmıştır.

1.2. Malzeme ve Metot

İnceleme alanına ait jeotermal çalışması saha ve laboratuvar etütleri olarak yürütülmüştür.

1.2.1. Saha Çalışmaları

Hamamboğazı jeotermal alanına ait jeoloji haritasının (1:25000 ölçekli) oluşturulmasında Göçmen (2000)'in oluşturduğu 1:5000 ve Gür ve Sun (1988)'in 1:25000 ölçekli jeoloji haritalarından yararlanılmıştır.

Saha çalışmalarında bölgedeki 14 adet su noktasından (sıcak su kaynağı, sıcak su kuyusu, Hamamboğazı deresi, soğuksu kuyusu) 24.06.2009 tarihinde su örneği alınmıştır. Ayrıca, yukarıda belirtilen örnek lokasyonlarında sıcaklık, pH, iletkenlik ve toplam çözünmüş madde miktarı gibi parametreler ölçülmüştür. Bununla birlikte, jeotermal kaynağın yüzeye çıktığı noktadan As, B ve F içeriğinin belirlenmesi amacıyla 4 adet toprak örneği alınmıştır.

1.2.2. Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanından toplanan su örneklerinin As, B ve F analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Jeotermal kaynağın çevresinde çökelen sedimanların As, B ve F içeriğinin belirlenmesi amacıyla 4 adet noktadan toprak numunesi alınmış ve bunların analizleri ACME (Kanada) Laboratuarlarında yapılmıştır.

1.3. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın dolayında geçmiş yıllarda yapılmış olan incelemeler ve bunların sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Karaağaç (1974) Karaçayır Kaolen yatağında ve çevresinde bulunan Paleozoyik, Neojen ve Kuvaterner yaşlı birimleri çalışmıştır. Kaolenleşmenin Neojen yaşlı riyolitik lav ve tüflerin hidrotermal ayrışmaya uğraması sonucu oluştuğunu belirtmiştir. Sahada hidrotermal ayrışmanın ürünü olan serizitleşme, kloritleşme, silisleşme ve piritleşme gibi tipik belirtilerinin görüldüğünden bahsetmiştir.

Ercan vd. (1979) Uşak yöresinde geniş yüzlek veren ve Orta Miyosen’de başlayıp Üst Pliyosen’e kadar etkinliğini sürdüren kalk-alkalen nitelikteki volkanitlerin petrolojisini incelemişlerdir. Volkanik ürünler ilk olarak Orta Miyosen’de riyolitik ve riyodasitik lav ve tüfler şeklinde oluşmuştur. Tüflerin boşluklarında arsenik zenginleşmesi oluşabilmektedir. Üst Miyosen’de riyodasitik, trakiandezitik ve andezitik lav, tuf ve aglomeralarla belirginleşmiştir.

Ercan (1982) Simav dolaylarındaki Senozoyik yaşlı volkanizmayı bölgesel ölçekte yorumlamışlardır. Yazarlar Simav ve çevresindeki volkanitlerin zamanla kalk-alkalen karakterden alkali bazaltik volkanizmaya geçiş gösterdiğini belirtmişlerdir.

Ölmez (1995) Hamamboğazı kaplıcasının sıcak su gereksinimi için açılan Hamamboğazı-2 nolu sıcak su kuyusuna yönelik teknik bilgiler sunmuştur. Kuyu derinliğinin 405 m, sıcaklığının 61 °C, toplam çözünmüş madde miktarının 3409 mg/l ve debisinin 45 l/s olduğunu belirtmiştir.

Büyükboyacı vd. (2000) Banaz Belediyesi ile MTA Genel Müdürlüğü arasında imzalanan protokolle Banaz-Hamamboğazı jeotermal alanının geliştirilmesine yönelik detaylı jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Jeofizik çalışmalara göre sondaj derinliğinin 600-800 m arasında olması önerilmiştir.

Ölmez (2000) jeotermal amaçlı etütler ile sahada açılan jeotermal amaçlı sıcak su kuyularından elde edilen verilerden yararlanarak bölgedeki stratigrafiyi açıklamıştır. Ayrıca, mostra vermeyen ancak sondajlarda geçilen Vezirler Melanji'nin litoloji ve yapısal özelliklerini belirlemiş ve jeotermal akışkanın rezervuar kayacı, çıkış şekli, fiziksel ve özelliklerini incelemiştir.

Ölmez (2000) Hamamboğazı kaplıcasına ait sıcak su kaynaklarının her türlü kirlenmeden korunabilmesi için bölgede oluşturulan 3 (üç) koruma zone içerisinde alınması gereken önlemlere ilişkin öneriler sunmuştur. Yörede oluşan sular Uluslararası Hidrojeologlar Birliği sınıflamasına göre “flor, bor ve arsenik içeren sodyumlu magnezyumlu karbonatlı, sülfatlı sular” olarak sınıflandırılmıştır.

Akkaş (2000) Banaz ilçesinin içme suyu ihtiyacının karşılanması amacıyla civardaki yeraltı ve yerüstü su kaynaklarını incelemiştir. Çalışmada Banaz Ovasında derin sondajla alınan yeraltı suyunda diğer ovalarda görülmeyen kalite problemi olduğu ve özellikle İslam Mahallesinde DSİ tarafından açılmış 5289/A-B nolu sondaj kuyularında yeraltı suyunun elektrik iletkenliğinin 5000 mikrohm/cm'den büyük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, Banaz Ovasında açılmış Etibank ve İller Bankası kuyularında da yüksek seviyede olan magnezyum ve sülfat içeriklerinin kalite problemine neden olduğu tespit edilmiştir. İlçenin içilebilir kalitedeki su ihtiyacının karşılanması amacıyla Banaz'ın yaklaşık 17 km güneydoğusundaki Yazı Tepe Köyü civarında yüzeyleyen kalkıştelerde hem jeolojik-hidrojeolojik hem de jeofizik amaçlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda 3 adet kuyu yeri belirlenmiş, ancak kuyu açımına yönelik şahıs ve bölgesel bazda kuyu yeri izin belgesi temininin çözülememesi nedeniyle bu kuyular açılamamıştır.

Pasvanoğlu vd. (2005) Hamamboğazı kaplıcasına ait sıcak su kaynaklarının hidrojeolojik-hidrojeokimyasal etütlerini yaparak çalışma alanındaki jeotermal sistemi değerlendirmiştir. Aynı araştırmacı yörede oluşan suları “flor, bor içeren sodyumlu magnezyumlu karbonatlı, sülfatlı sular” sınıfında olduğunu ortaya koymuştur. Termal kaplıca sularının meteorik kökenli olduğunu, toplam çözünmüş madde miktarının 2682 ile 2694 mg/l arasında bulunduğunu, değişik jeotermometrelere göre rezervuar sıcaklığının 93-102 °C olduğunu tespit etmiştir.

Davraz (2007) Uşak ili sınırları içerisinde bulunan jeotermal kaynakların (Hamamboğazı, Örencik, Emirfakı, Aksaz, Danadamları ve Hasköy jeotermal suları) jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal etütlerini yapmıştır. Uşak yöresi jeotermal kaynakların $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$, Ca-Na-HCO_3 ile $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$ sular sınıfında olduğu, sıcaklık aralığının $31\text{-}63\text{ }^\circ\text{C}$ arasında bulunduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, Uşak termal sahasındaki termal suların SO_4 içeriğinin yüksek miktarda jips erimesinden kaynaklandığını belirtmiştir. İzotop verilerine göre termal suyun meteorik kökenli olduğunu söylemiştir.

Jeotermal kökenli arsenik, bor ve flor kirliliği ve bunların kökensel ilişkilerine yönelik farklı bölgelerde yapılmış çalışmalar ve bunların kısa sonuçları aşağıda verilmiştir:

Demirel (1998) Türkiye'deki termal suların flor içeriğinin Büyük Menderes ve Gediz Grabenlerinde ve Biga Yarımadası'nda yüksek olduğunu, bunun sebebinin ise Neotektonik aktivite nedeniyle oluşmuş hidrotermal çıkışlar olduğunu belirtmiştir.

Şener vd. (1999) Tuzla-Çanakkale Bölgesindeki hidrotermal alterasyon zonlarını X-ışını difraktometresi, mineralojik-petrolojik yöntemler ve jeokimyasal analizlerle araştırmıştır. Kayaçlardaki hidrotermal mineraller potasyum feldspat, albit, klorit, kaolinit, smektit, illit, ve opak mineraller olarak tespit edilmiştir. Alterasyon mineralleri rezervuardaki akışkan sıcaklığının $150\text{ ile }220\text{ }^\circ\text{C}$ arasında olduğunu göstermektedir.

Doğdu ve Bayarı (2002) Afyon-Akarçay Havzası'nda Ömer-Gecek, Gazlıgöl ve Heybeli jeotermal alanlarındaki yeraltı sularını jeotermal kökenli kirlenme açısından incelemiştir. Hidrokimyasal değerlendirmeler, termal suların Na-Cl , soğuk suların ise Ca-HCO_3 karakterli olduğunu göstermektedir. Termal su karışımının göstergesi olarak kullanılan Na+K , Cl , Li , B , sıcaklık ve elektriksel iletkenlik parametrelerinin alansal dağılımı soğuk yeraltı suyundaki kirlenmenin jeotermal alanlara yakınlık ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Az sayıdaki yeraltı suyu üretim kuyusunda sulama, içme ve kullanma suyu kriterleri açısından jeotermal su katkısına bağlı kirlenmenin oluştuğu belirlenmiştir.

Serpen (2003) Balçova–İzmir bölgesindeki Agememnon fayından çıkan ve açılmış kuyulardan çekilen suların arsenik, bor ve flor içeriği nedeniyle yeraltı suyunda kirlenmeye neden olduğunu belirlemiş ve kirlilik boyutlarını incelemiştir.

Mroczek (2004) Kawerau (Nez Zeland) jeotermal sahasındaki jeotermal akışkanın arsenik ve klor konsantrasyonlarını akışkanın boşaldığı nehrin kotlarında ölçmüştür. Üst kesimlerde arsenik ve klor konsantrasyonları 0,021 ve 39 mg/l'dir. Ancak, nehirdeki akış miktarının azaldığı dönemlerde termal su girişimi nedeniyle bu konsantrasyonlarda 0,029 ve 50 mg/l 'ye yükseldiği tespit edilmiştir.

Baba vd. (2005) Tuzla-Çanakkale bölgesindeki jeotermal sahaların yeraltı ve yerüstü sularında yarattığı kirlenmeye yönelik olarak jeotermal kaynakları hidrokimyasal olarak çalışmıştır. Ağır metal içeren ve yüzeysel akış halindeki sıcak suların Tuzla Nehrine karıştığını ve bu nehirden beslenen sığ akifer sisteminin jeotermal akışkanla gelen ağır metallerle kirlendiğini, akış halindeki sıcak suların toprak yüzeyinde buharlaşma sonucu tuzlanma oluşturduğunu belirtmiştir.

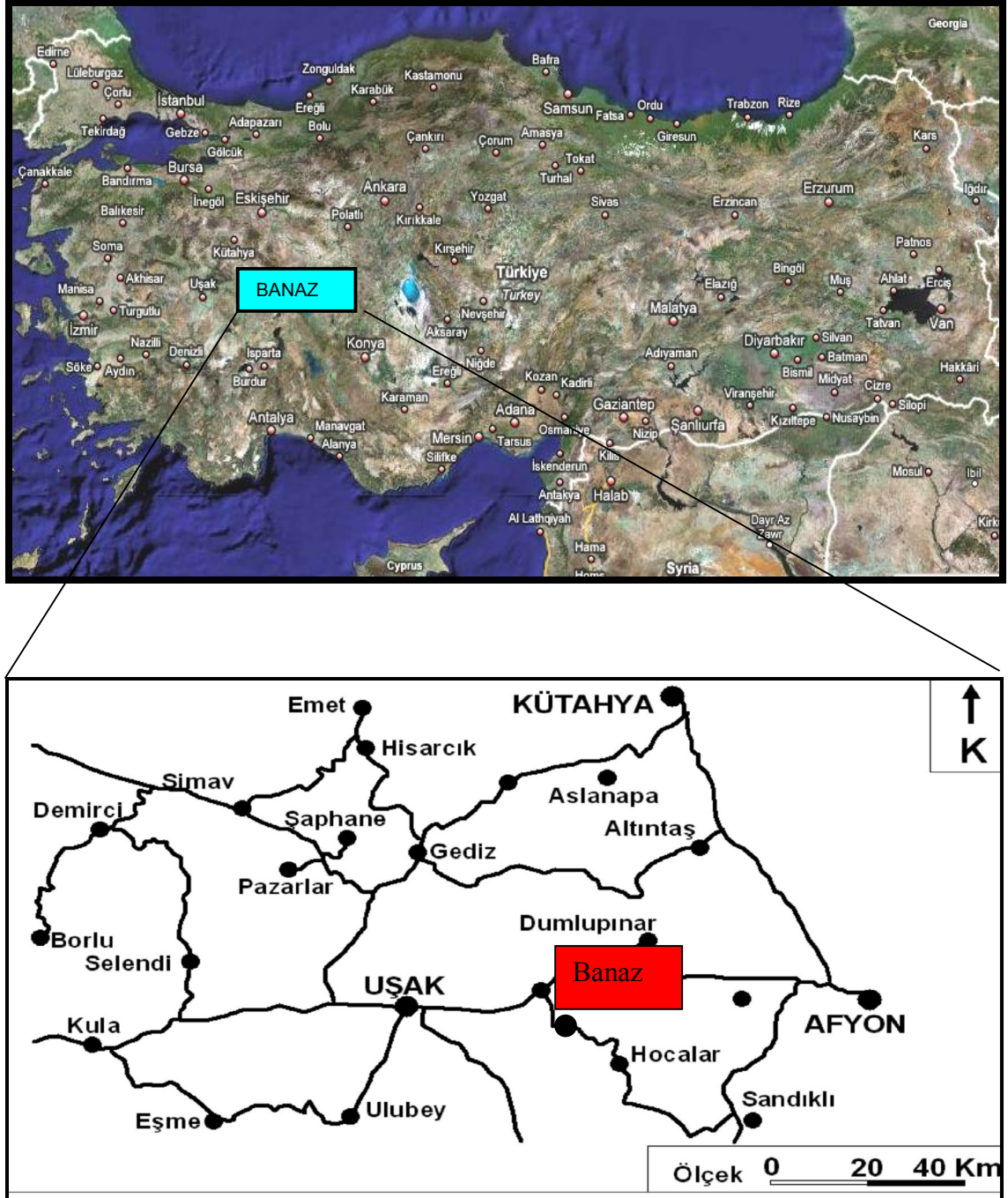
Hudson ve Archer (2008) San Antonio de los Cobres (Kuzeybatı Arjantin) jeotermal bölgesindeki kaynak ve dere sularındaki yüksek (151-9490 mg/l) arsenik konsantrasyonunun Na, K, Cl, HCO₃, B ve Li içerikleri ile karşılaştırmıştır. Dere suyunun As konsantrasyonunun yanıl kaynak suyu katılımları ve mineral çökelmeleriyle azaldığını tespit etmişlerdir.

2. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

2.1. İnceleme Alanının Yeri

Banaz ilçesi Uşak ili'nin yaklaşık 30 km doğusunda yer almaktadır. Coğrafi konumu: 38°12 dakika ve 39°50 dakika kuzey enlemleri ile 28°48 dakika ve 29°57 dakika doğu boylamları arasındadır. Düz bir saha üzerinde kurulu olan ilçenin kuzeyi ve güneyi dağlarla çevrilidir. İnceleme alanı olan Banaz-Hamamboğazı jeotermal sahası ilçenin yaklaşık 7 km kuzeydoğusunda E-23 İzmir Karayolu kenarında yer almaktadır (Şekil 2.1). İnceleme alanının yüzölçümü yaklaşık 10 km²'dir. Bu alan 1:100000'lik

Uşak paftalarında 4 adet (UŞAK K23-b4,c1,a3,d2) 1:25000 ölçekli topoğrafik haritayı kapsamaktadır.

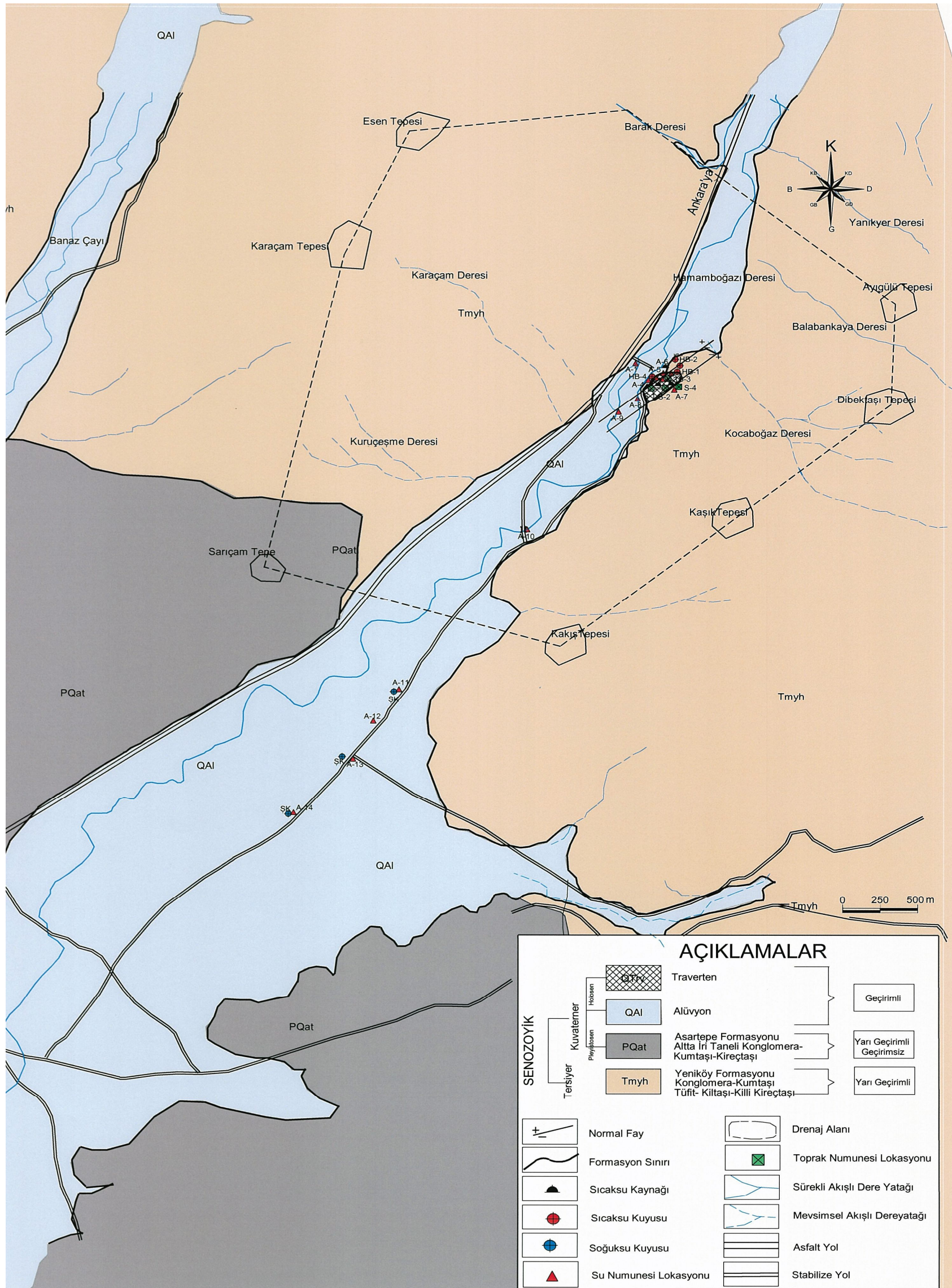


Şekil 2.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

2.2. Drenaj Alanı ve Yüzey suları

Hamamboğazı bölgesinin en önemli yükselteri B, D, K, KB ve KD'da yer almaktadır (Şekil 2.2). Bu yükselteriler arasında K'de Darak Dere yatağı Tepe (1100 m), KB'da Esen Tepe (1196 m), KD'da Yanıkyer Sırtı (1050 m), B'da Kozluca Tepe (1151 m), D'da Dibektaş Tepe (1270 m), GD'da Kaşık Tepe (1133 m), G'de Kakış Tepe (1140 m), GB'da Sarıçam Tepe (1020 m) sayılabilir. İnceleme alanının ortalama yükselterisi 950 m'dir.

İnceleme alanındaki sürekli akarsuların en önemlisi termal suların boşaldığı Hamam Deresi'dir. Ayrıca, inceleme alanının yaklaşık 7 km kuzey doğusundan başlayıp kuzey-güney yönünde akışa geçen dereler yaklaşık 11 km ileride Hamam Deresi ile birleşmektedir. Bu derelerin çoğu mevsimseldir (Şekil 2.2). İnceleme alanında en fazla uzunluğa sahip dere Hamam Deresi olup, alan içerisindeki uzunluğu yaklaşık 5 km'dir. Bu dere daha sonra Banaz Çayı'na karışmaktadır. Hamam Deresine ait alüvyonun genişliği yaklaşık 150 m ile 1100 m arasındadır.



Şekil 2.2. İnceleme alanı drenaj haritası.

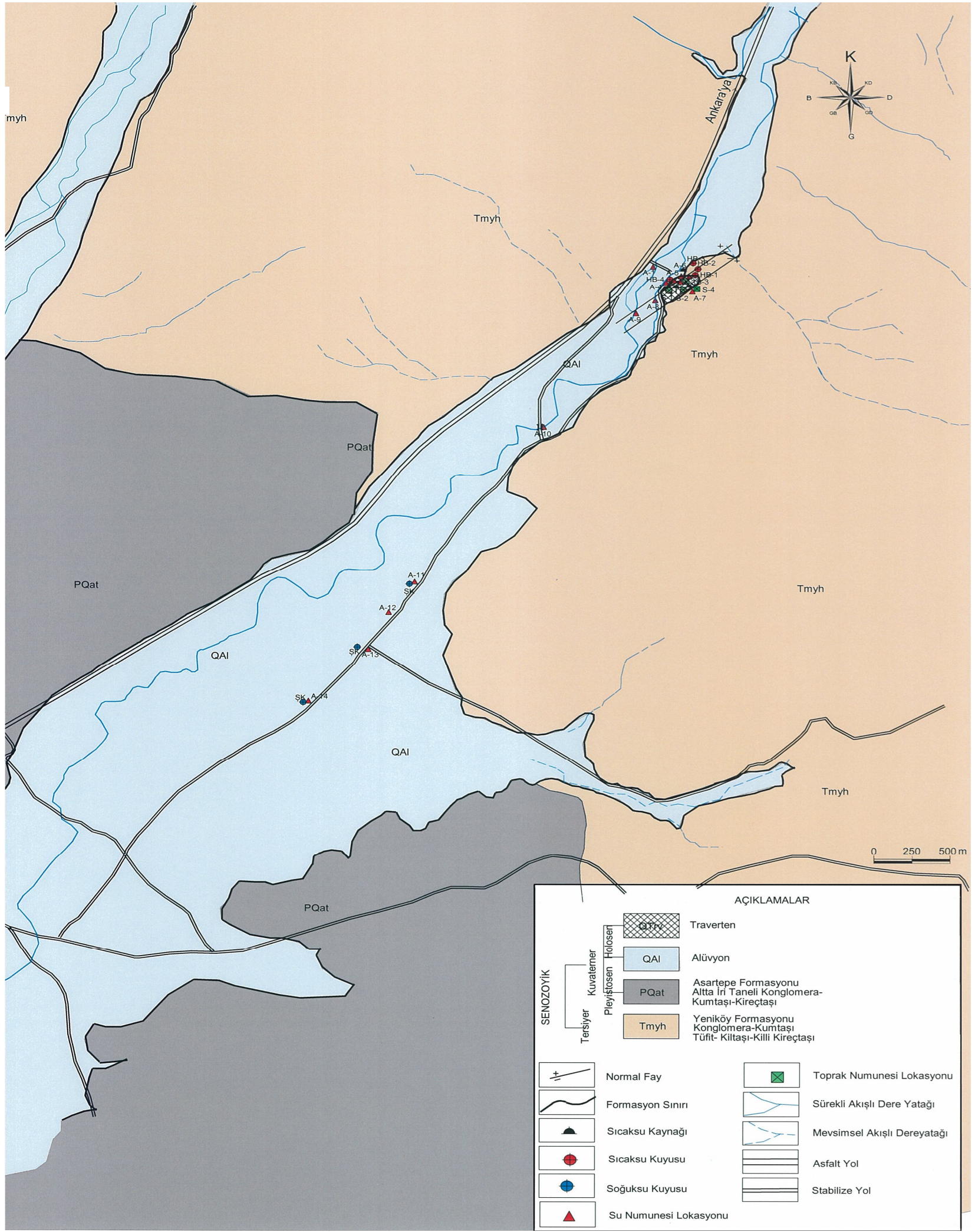
2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında İç Ege'nin karakteristik iklimi hâkimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Çalışma alanında yağışlar yüksek kotlarda kar, diğer yerlerde genellikle yağmur şeklinde olup, Uşak Devlet Meteoroloji İstasyonunun verilerine göre bölgenin ortalama yağışı 540,6 mm'dir. Bu istasyonda 32 yıllık gözlem süresinde en yüksek rüzgar hızı 93,6 km/sa olarak 26.11.1977 tarihinde kaydedilmiştir. En yüksek sıcaklık 40,2 °C ile 29.07.2000 tarihinde, en düşük sıcaklık ise -15,4 °C ile 20.01.2000 tarihinde gözlenmiştir. Ortalama sıcaklık ise 12,4 °C'dir. Bölgedeki iklimin Akdeniz ile karasal iklim arasında geçiş özelliği göstermesi bitki örtüsüne de yansımıştır. 800-1000 m arasında palamut meşesi, kızılçam, kızılçık, katran ardıcı, saçlı meşe, karaçam gibi ağaç türleri bulunur. Bunun dışında düzlük alanlarda ve dere içlerinde yetiştirilen meyve ağaçlarının oluşturduğu bahçeler ve tahıl yetiştirilen tarlalar oldukça yaygındır.

3. JEOLJİ

3.1. Stratigrafi

Banaz-Hamamboğazı jeotermal alanı 1:25000 ölçekli Uşak K23-b4 paftası içerisinde yer almaktadır. Ancak suların örneklendiği lokasyonlar Uşak K23-c1 ve K23-a3,d2 paftaları içinde yer almaktadır. Bu nedenle bu 4 pafta birlikte kullanılmıştır. Bu çalışmada, inceleme alanını ve yakın çevresini kapsayacak şekilde, Ercan vd. (1977,1979)'in çalışmalarıyla, Göçmen (2000)'in oluşturduğu 1:5000 ve Gür ve Sun (1988)'in 1:25000 ölçekli jeoloji haritalarından yararlanılmıştır. İnceleme alanına ait 1:25000 ölçekli jeoloji haritası ise Şekil 3.1'de, bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik ve hidrojeolojik dikme kesiti ise Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.1.Bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (Ölmez v.d. 2000'den değiştirilerek alınmıştır.)

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SEİRİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK (M.)	SİMGESİ	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR	HİDROJEOLojİK ÖZELLİKLER
SENZOZOYİK	KUVATERNER	HOLSEN			Alüvyon		QAl		QAl :Alüvyon:kum,çakıl	GEÇİRİMLİ
		PLEYİSTOSEN		Asaritepe	Payamlık	250	Qat		Qat:Alta iri taneli çakıltı,üste doğru tane boyu küçülmesi, kireçtaşı mercekleri	YARI GEÇİRİMLİ: ÇAKILTAŞI,KUMTAŞI, KİREÇTAŞI SEVİYELERİ
							Tpp		Tpp:Andezit, bazaltik andezit, aglomera,tuf	GEÇİRİMSİZ: KILTAŞI,SEVİYELERİ ÖRTÜ KAYACI
	TERSYER	PLYOSEN		Ulubey	Beysdag	225	Tpu		Tpu:Kireçtaşı,kili çakıllı kireçtaşı, yersel kil,tüfit,linyit seviyeleri	YARI GEÇİRİMLİ: ÇAKILTAŞI, KİREÇTAŞI SEVİYELERİ
		MİYOSEN	ORTA-ÜST MİYOSEN	Yeni köy Tmy	Kırmızıboğazlıdere		Tpbv		Tpbv:Andezit, tuf aglomera	ÖRTÜ KAYACI YARI GEÇİRİMLİ: ÇAKILTAŞI,KUMTAŞI KİREÇTAŞI SEVİYELERİ GEÇİRİMSİZ:KILTAŞI SEVİYELERİ
							Tmkv		Tmkv:Riyodasit, trakiandezit, andezit tefrit,tuf ve aglomera	
							Tmdv		Tmdv:Kumtaşı, yersel kil,kum,şeyl, tüfit ve linyit seviyeleri	
						675	Tmy		Uyumsuzluk	
						350	Tmk		Tmk:Çakıltı, kumtaşı,bordo-yeşil renkli ofiyolit kökenli çakıl	
									Uyumsuzluk	
		ALT		Kürt					Kürt:Çakıltı, kumtaşı,bordo-yeşil renkli ofiyolit kökenli çakıl	
MESOZOYİK	KRETASE			KRETASE	Vezirler Melanji	?	Kvm		Kvm:Serpantinleşmiş peridotit, mermer,şist, radyolarit ve kireçtaşı karmaşığı ile metabazit ve metaultramafitler	GEÇİRİMLİ:KIRIKLI ÇATLAKLI SEVİYELER REZERVUAR KAYACI
	JURAS	LIYAS	OLİYAS	Kızılgüt	Söğüt	?	Bgr		Bgr:Tektonik Dokanak	YARI GEÇİRİMLİ: KIRIKLI ÇATLAKLI SEVİYELER
						?	Ja		Ja:Metakumtaşı, metaçakıltı	GEÇİRİMSİZ
	PERMIYEN	TRİYAS		Boduşdamı		?	Pzb		Pzb:Gri beyaz renkli mermer kalkışist-mermer ardalanması	GEÇİRİMLİ: KIRIKLI ÇATLAKLI SEVİYELER
						?	Pze		Pze:Fillit, kuvarsit, muskovitşist serizit-kloritşist,grafitşist,üst düzeylerine doğru mermer mercekleri içerir.	GEÇİRİMSİZ
						?	Pzk		Pzk:İnce taneliyer yer gözlü ve bantlı gnays	
PALEOZOYİK					Kayraktepe	?				

Şekil.3.2.Bölgenin genelleştirilmiş stratigrafik ve hidrojeolojik dikme kesiti (Ercan vd.,1977,197 9'den değiştirilerek alınmıştır.)

Banaz-Hamamboğazı bölgesinde temeli Üst Kretase yaşlı Vezirler Melanjı oluşturmaktadır. Ancak bu birim yüzeyde mostra vermez sadece açılmış sondajlarda gözlenmektedir. Bu birim üzerine uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu gelmektedir. Bunun üzerine ise inceleme alanının yaklaşık 2-3 km güneydoğusunda yer alan Pliyosen yaşlı Asartepi Formasyonu gelmektedir.

En üstte ise Kuvaterner yaşlı travertenler ve alüvyonlar ile yamaç molozu görülmektedir. Neojen ve Kuvaterner’de etkili olan gerilme tektoniğine bağlı olarak bölgede eğim atımlı kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu normal faylar gelişmiştir.

3.1.1.Vezirler Melanjı (Kvm)

İnceleme alanındaki temel kaya Üst Kretase yaşlı Vezirler Melanjı ile temsil edilmektedir. Çalışma alanında yüzeylemeyen, fakat MTA Genel Müdürlüğünce açılmış olan sondajlarda kesilen Vezirler Melanjı çeşitli boyutlarda ultramafit, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, spilit, tüf, mermer ve çamur taşı litolojilerinden oluşmakta olup, rezervuar kayaç niteliği taşır (Ölmez, 2000). Birim Uşak kuzeyinde Vezirler Köyü dolayında, Murat Dağı’nda ve Banaz Kapıdağı’nda mostra verir. Ultramafitler üzerinde yer yer 1-5 m kalınlıkta silisli karbonatlı seviye yer almaktadır. Birim Üst Kretase olarak yaşlandırılmıştır (Ercan vd., 1977).

Bölgede açılan jeotermal amaçlı sondajlarda rezervuar kayacı oluşturan Vezirler Melanjı Kula ve çevresinde de çeşitli araştırmacılar tarafından kökensel olarak araştırılmıştır. Broan vd. (1933) bazı mevkiilerde yer yer silisleşen ve karbonatlaşan, ultramafitler üzerinde 1-10 m kalınlıkta silisli ve karbonatlı oluşumlar tespit etmiştir.

Kayaç kütleleri pek çok yerde yarık ve çatlaklar boyunca tamamen serpantinleşmiş ve silisleşmiştir. Küçük boyda breşleşmiş ultrabazik kayaç kütlesi kalıntılarına başlıca ince taneli gri masif parçalar halinde rastlanmaktadır. Melanj içindeki ultramafitler çoğunlukla serpantinleşmiş peridotitlerden (harzburjit ve dunit, lerzolit) oluşmuştur ve çoğu yerde serpantinleşmiş ultramafitler koyu yeşil renkli olup yer yer kırıklı ve çatlaklıdır. Çatlaklarda küçük çaplı manyezit ve asbest oluşukları izlenmektedir. Manyezitler, muhtemelen serpantinleşmeden sonra ortaya çıkan suların peridotitlerle etkileşimi sonucu oluşmuşlardır.

Ofiyolitli birimler, denizaltı mafik volkanik ve volkanoklastik kayaları, çörtler, şeyller, kireçtaşı ve mermer blokları v.b., genellikle Menderes masifi metamorfileri

üzerinde tektonik dokanakla yer almaktadırlar. Kula çevresinde, pek çok yerde, bu tektonik ultramafik kayalar, Menderes masifi metamorfizmasını yapısal yamalar şeklinde üstlenmektedirler. Pek çok yerde milonitleşmelere de rastlanmaktadır. Kaya (1981) bu ofiyolitli kayaların gnaysları çevreleyen veya kesen Neojen yaşlı büyük açılı normal fay kuşaklarında korunduğunu belirtir. Vezirler melanjı kaya birimleri bir okyanus kabuğunun olasılıkla üst bölümleri olup, Batı Anadolu'da pek çok yerde olduğu gibi, Menderes masifi ve çökel kayaları üzerine tektonik bir dokanakla yerleşmişlerdir. Yerleşme yaşı, inceleme alanında kesin olarak saptanamamakla birlikte Üst Kretase'dir ve hareket olasılıkla güneyden-kuzeye doğrudur. Kaya (1981) ofiyolit yerleşmesinin Kampaniyen – Maastrichtiyen öncesi olduğunu, ultramafik kaya birimlerinin Menderes masifi kayaları üzerine edilgen bir üzerleme ile geldiklerini ve hareketin güneyden-kuzeye doğru olduğunu belirtir. Bazı araştırmacılar ise (Akdeniz ve Konak, 1979) ofiyolit yerleşmesinin Maastrichtien sonu Eosen arasında ve geliş yönünün kuzeyden güneye doğru olduğunu öne sürmektedirler.

3.1.2. Yeniköy Formasyonu (Tmyh-Tmyd)

Formasyon adlaması Ercan vd. (1977) tarafından yapılmış olup, Uşak havzasındaki "koyu sarı - turuncu çakıltası, kumtaşı, tüfit, kıltaşı ve killi kireçtaşı kapsayan ve geniş bir alanda dağılım gösteren" birimler için kullanılmıştır. Hamamboğazı jeotermal sahasının her tarafında yüzeylenen Yeniköy Formasyonu kömürlü çökel kaya topluluklarını da içerir (Ercan vd., 1977).

Melanj üzerine aşıl uyumsuzlukla gelen ve açık gri renkli yumuşak bir marn seviyesi ile başlayan bu birim kırmızı renkli kumtaşı, çakıltası, konglomera ardalanması ile devam eder. Formasyon içinde yer alan kumtaşları sarı, gri, kahverengi ve kırmızı renkli, ince kalın katmanlı, orta pekleşmiş ve genel olarak iyi boyanmalıdır. Tane büyüklüğü genellikle alttan üste doğru artar. Birim içinde yer alan kireçtaşı ince tabakalı beyaz ve bej renklerde olup, orta sertliktedir. Yeniköy Formasyonu örtü kayac niteliği taşır (Ölmez, 2000).

3.1.3. Asartepe Formasyonu (PQat)

Ercan vd. (1979) tarafından Asartepe formasyonu adı verilen, yarı yuvarlak çakıllı konglomera ve kumtaşı ardalanması ile yer yer ince marnlı-kireçli düzeyler içeren ve akarsu ortamında oluşan çökeller, inceleme sahasının güneybatısında Sarıçam Tepe ve batısındaki Hatipler köyü çevresinde geniş alanlarda mostra vermektedir. Konglomera ve kumtaşları, genellikle kırmızı ve turuncu, yer yer beyaz, gevşek kireç, tuf ve kil çimentolu, orta ve kalın tabakalıdır. Pliyosen yaşı verilen ve kalınlığı en çok 200 m kadar olan bu birimler, genellikle yatay ve yataya yakın tabakalıdır (Ercan vd., 1977). Asartepe Formasyonu örtü kayanın niteliği taşıyır (Ölmez, 2000).

3.1.4. Alüvyon (QAl) ve Traverten (QTrv)

Hamamboğazı Deresi ve Banaz Çayı boyunca gelişen alüvyonlar yer yer blok, çakıl, kum ve killerden oluşmaktadır. Alüvyon Banaz Ovasının bazı kesimlerinde yaklaşık 15-40 m kalınlığındadır. Kum boyutundan iri bloğa kadar çeşitli kayaların parçaları birimin egemen litolojisini teşkil etmektedir. Metamorfik kayaların kırıntıları, ultramafik kayaların parçaları (serpantin, peridotit) ve mermerlerin yuvarlak çakılları da bu birim içerisinde bulunmaktadır. Boylanma kötü, kil ve kum matriks genelde fazladır.

Travertenler, KD-GB doğrultulu eğim atımlı normal fay hattı üzerinde, eski sıcak su kaynaklarına bağlı olarak oluşmuştur (Foto 1). Alacalı kırmızı, sarı, yer yer yeşil renklidir. Travertenler başlıca kalsit ve demir oksitli olup, traverten tabakaları içinde kum, çakıl ve bitki kalıntıları tipik olarak gözlenmektedir.



Foto 1. Traverten oluşumu.

3.2. Yapısal Jeoloji

Bölgede geniş alanlarda yüzlekler veren Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı kaya birimleri, temeli oluşturan Menderes masifinin yükselme devinimlerinden büyük ölçüde etkilenmişlerdir. Sürekli yükselme hareketi sonucunda karasal çökeller aşırı derecede kıvrımlanmış ve eğim kazanmıştır.

Tersiyer’de oluşan ve günümüzde hala etkinliğini koruyan grabenler (Salihli-Alaşehir grabeni) ve graben yapısını oluşturan pek çok sayıda fay günümüzde de depremler oluşturmaktadır.

Çalışma alanı, Miyosen öncesinde olasılıkla karasal özellikteydi. Ancak bu paleocoğrafik durumu gösteren verileri saptamak olanağı yoktur. Miyosen’de şiddetli yağmurlarla beslenen güçlü bir akarsu rejimi gelişmeye başlamıştır.

Üst Miyosen sonlarında özellikle havzanın ortasında ve KD’da yoğunlaşan volkanizmayla (Karaboldere volkanitleri) birlikte Menderes masifinin tüm Tersiyer boyunca süregelen yükselme devinimleri artmış ve gerilim kuvvetleriyle Miyosen tortulları kıvrımlanmış ve eğim kazanmışlardır. Masif eteklerinde bu eğim en çok 65° olup, havza ortalarına gidildikçe azalmakta ve yer yer yataylaşmaktadır.

Yükselmenin oluşturduğu gerilim kuvvetleri Miyosen'deki kadar güçlü olmadığından Pliyosen çökelleri kıvrımlanamamış ancak masif kenarlarında en çok 15-20°'lik eğim kazanmışlar, yer yer de kırılmalarıyla genellikle D-B yönlü eğim atımlı faylar oluşmuştur (Ercan vd., 1982). Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak suların boşalmasını sağlayan eğim atımlı normal faylar da bu sürece bağlı olarak gelişmiştir.

4. HİDROJEOLOJİ

Hamamboğazı jeotermal alanında sıcak ve mineralli su kaynakları dışında yeraltı suyundan boşalım azdır. İnceleme alanında yer alan Orta-Üst Miyosen ve Pliyosen yaşlı çökeller (Yeniköy ve Asartepe Formasyonları) genellikle geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Temeli oluşturan Üst Kretase yaşlı Vezirler Melanjının kırık zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir. Sahada daha önce Ölmez (1995) tarafından sıcak su sondajı yapılmıştır. Sondaj loglarında Vezirler Melanjının rezervuar kayaç, Yeniköy ve Asartepe formasyonlarının ise örtü kayaç olduğunu, Hamamboğazı jeotermal sahasındaki yüksek jeotermal gradyanın ısıtıcı mekanizmayı oluşturduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Ölmez (2000) tarafından fay sistemine bağlı olarak derinlere kadar inen yeraltı suyunun ısınarak tekrar fay sisteminden yüzeye çıktığı ve açılan sondajlarda ölçülen jeotermal gradyanın 10 metrede 0.65 C⁰ olduğu belirtilmiştir.

4.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Hamamboğazı Kaplıcalarının yer aldığı inceleme alanındaki litolojik birimler akifer özelliğine göre geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmıştır (Ölmez 2000). Birimlerin geçirimlilik özellikleri arazide yapılan gözlemler ve doğal su boşalımları olup olmasına göre değerlendirilmiştir.

4.1.1. Geçirimli Birimler

İnceleme alanında akifer oluşturan en önemli birim, temeli oluşturan Üst Kretase yaşlı çeşitli boyutlarda ultramafit, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, spilit, tuf, mermer, çamur taşı içeren Vezirler Melanjı Formasyonudur. Fay ve kırık zonları oldukça geçirimlidir. Hamamboğazı deresi ve Banaz Çayı yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan ve

kalınlığı yer yer 40 m'ye kadar ulaşan alüvyonlar ise hem sıcak su hem de soğuksu için önemli bir akiferdir.

4.1.2. Yarı Geçirimli Birimler

Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu ve Pliyosen yaşlı Asartepe Formasyonunu oluşturan birimler genellikle geçirimsizdir. Ancak içerisinde gevşek tutturulmuş kumtaşı ve çakıltası ve kireçtaşı seviyeleri hidrojeolojik açıdan yerel öneme sahip olabilirler.

4.1.3. Geçirimsiz Birimler

Bölgede Orta-Üst Miyosen yaşlı Yeniköy ve Pliyosen yaşlı Asartepe Formasyonu'nu oluşturan birimlerden kiltası ve marn, killi ar dalanması içeren seviyeler geçirimsizdir.

4.2. Yeraltısuyu

Hamamboğazı Deresi ve devamı olan Banaz Çayı alüvyondaki yeraltısuyu beslenimini sağlamaktadır. Çalışma alanının kuzey-kuzeydoğusu-kuzeybatısı ile doğu ve batısındaki dağlar veya doruklar beslenme alanı, Hamamboğazı deresi ve devamı olan Banaz Çayı yatağı ise bölgedeki kuru dereleri de toplayan boşalım eksenidir. Bu nedenle, yeterli geçirgenlik kazanmış birimlerde, yeraltı suyu hareketi Hamamboğazı Deresi ve bunun devamı olan Banaz Çayı akışı yönünde olmaktadır.

Ayrıca, Hamamboğazı jeotermal sahasından çıkan ve güney yönü boyunca akış halinde olan jeotermal sular topoğrafik eğim yönünde akışına devam ederek yeraltı suyunu da beslemektedir. Dolayısıyla sık yeraltı suları için Pliyosen birimleri ve alüvyon birimleri akifer oluşturmaktadır.

4.3. Kaynaklar

Banaz ilçesi dolayındaki kaynaklar düşük debilidir. Orta-Üst Miyosen ve Pliyosen çökellerinin marn ve killi seviyeleri geçirimsiz litolojilerdir. Bu nedenle geçirimsiz birimlerin bulunduğu alanlarda yüzey sellenmesi çok gelişmiştir. Su kaynakları, eklem veya kırık düzlemlerinden çıkan, debileri 0.5-4 l/s arasında değişen sızıntılar şeklindedir.

4.3.1. Hamamboğazı Sıcak ve Mineralli Su Kaynakları

Hamamboğazı jeotermal sahası, Banaz İlçe merkezinin yaklaşık 7 km. kuzeydoğusunda E-23 İzmir Karayolu kenarında yer almaktadır. Kaplıca İl Özel İdaresince 1994 yılında Banaz Belediyesine 15 yıllığına kiraya verilmiş olup, Belediye tarafından diğer bölümleri yap işlet şeklinde tamamlanarak halkın hizmetine sunulmuş, daha sonra İl Daimi Encümenliğince 1997 yılında ihale yoluyla ve tesisler daha sonra Hitit Seramik A.Ş'ye satılmıştır. Alandaki ana kaynağın üzerine kurulmuş olan kaplıca-hamam tesisi uzun yıllardır kullanılmaktadır ancak, bölgenin Turizm Bakanlığı tarafından Turizm Bölgesi ilan edilmesi sonrasında eski tesisler yıkılmış yerine henüz yenileri yapılmamıştır. Bu nedenle ana kaynaktan çıkan jeotermal sular Hamamboğazı Deresine boşa akmaktadır (Foto 2, 3, 4).



Foto 2. Ana kaynak üzerindeki yıkılan tesislerden çıkan jeotermal sular.



Foto 3. Ana kaynak üzerindeki yıkılan tesislerden çıkan jeotermal sular.

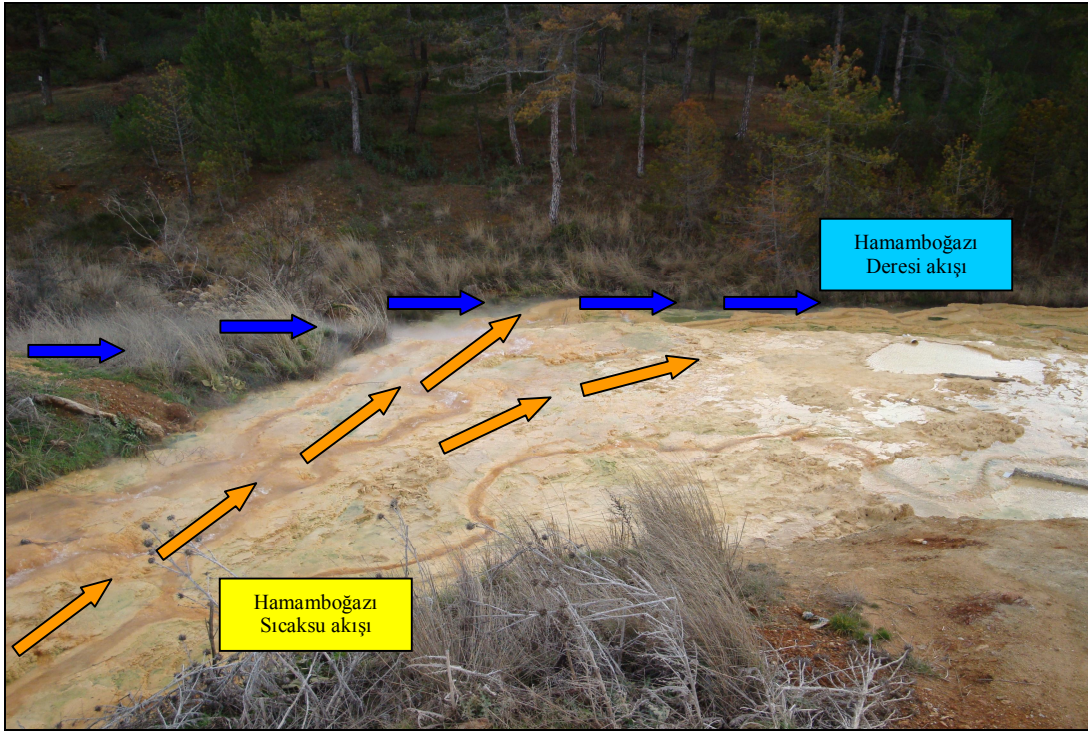


Foto 4. Ana kaynaktan çıkan jeotermal suların Hamamboğazı Deresine karışımı.

Banaz Belediyesince işletilmekte olan Bungolow tarzı konaklama tesislerinde ise kaynak bölgesinde Özel İdare tarafından açılmış kuyulardan alınan sular kaplıca amaçlı olarak kullanılmaktadır.

MTA Genel Müdürlüğü ısıtma amaçlı olarak alanda 2 adet kuyu açmıştır. Bu kuyulardaki termal sular henüz kullanılmamaktadır.

Son açılan HB-4 nolu kuyunun yeterli tecriti sağlanamadığından yüksek basınç nedeni ile sıcak su kaçakları meydana gelmiştir. Sıcak sular önce çevrede bulunan tarım arazilerine akmakta ve buradan da Hamamboğazı Deresi'ne karışmaktadır (Foto 5, 6).

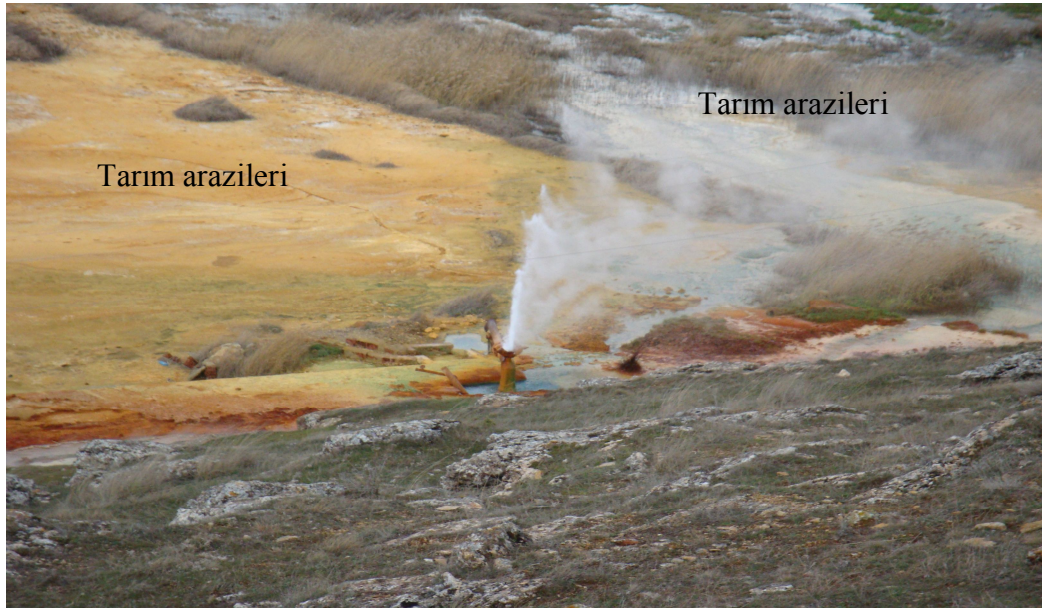


Foto 5. HB-4 nolu kuyuda yüksek basınç nedeni ile oluşmuş sıcak su kaçakları ve tarım arazileri ile dereye termal su karışımı.



Foto 6. HB-4 nolu kuyuda yüksek basınç nedeni ile oluşmuş sıcak su kaçakları.

Alanda önceki yıllarda kullanılmış olan eski kaplıca kaynakları (yaklaşık $Q=4$ l/s) (Sarıkız ve Kara Kız ile Gazoz kaynağı) ana kaynağın (yaklaşık $Q=50$ l/s) yaklaşık 50 m kuzeyindeki yamaç önünden çıkmaktadır (Foto 7).



Foto 7. Eski kaplıca kaynakları.

Sıcak sular temele ait Üst Kretase yaşlı Vezirler Melanjı'nın ultramafit, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, spilit, tuf, mermer, çamur taşı çatlaklarında birikmekte, kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı eğim atımlı normal fay zonundan yükselmekte ve Yeniköy Formasyonu ile alüvyon içinden yüzeye ulaşmaktadır (Foto 8).

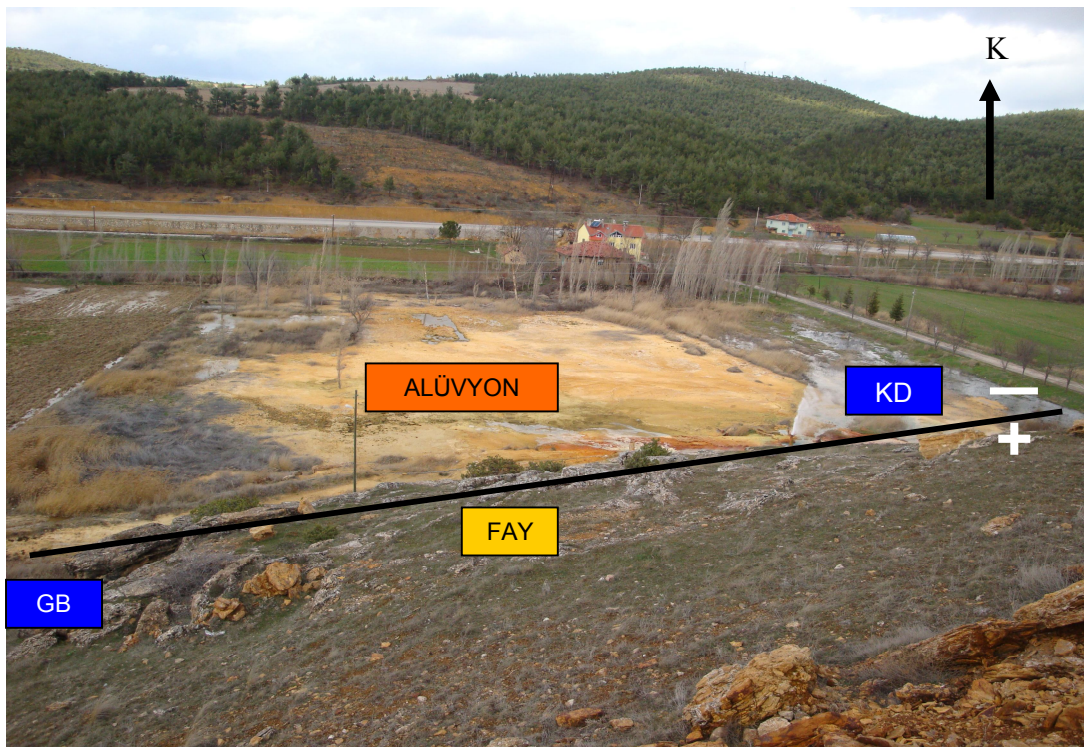
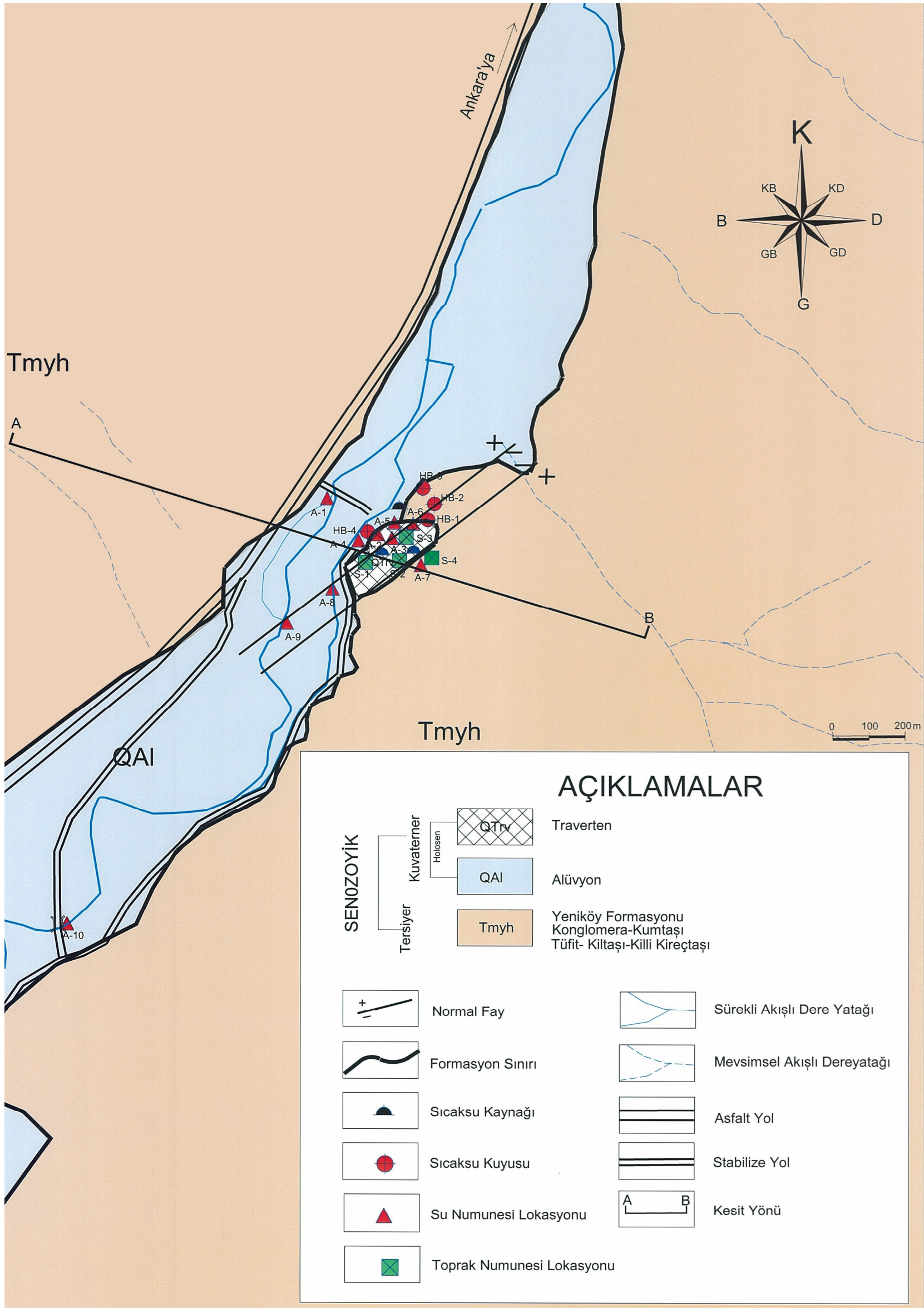


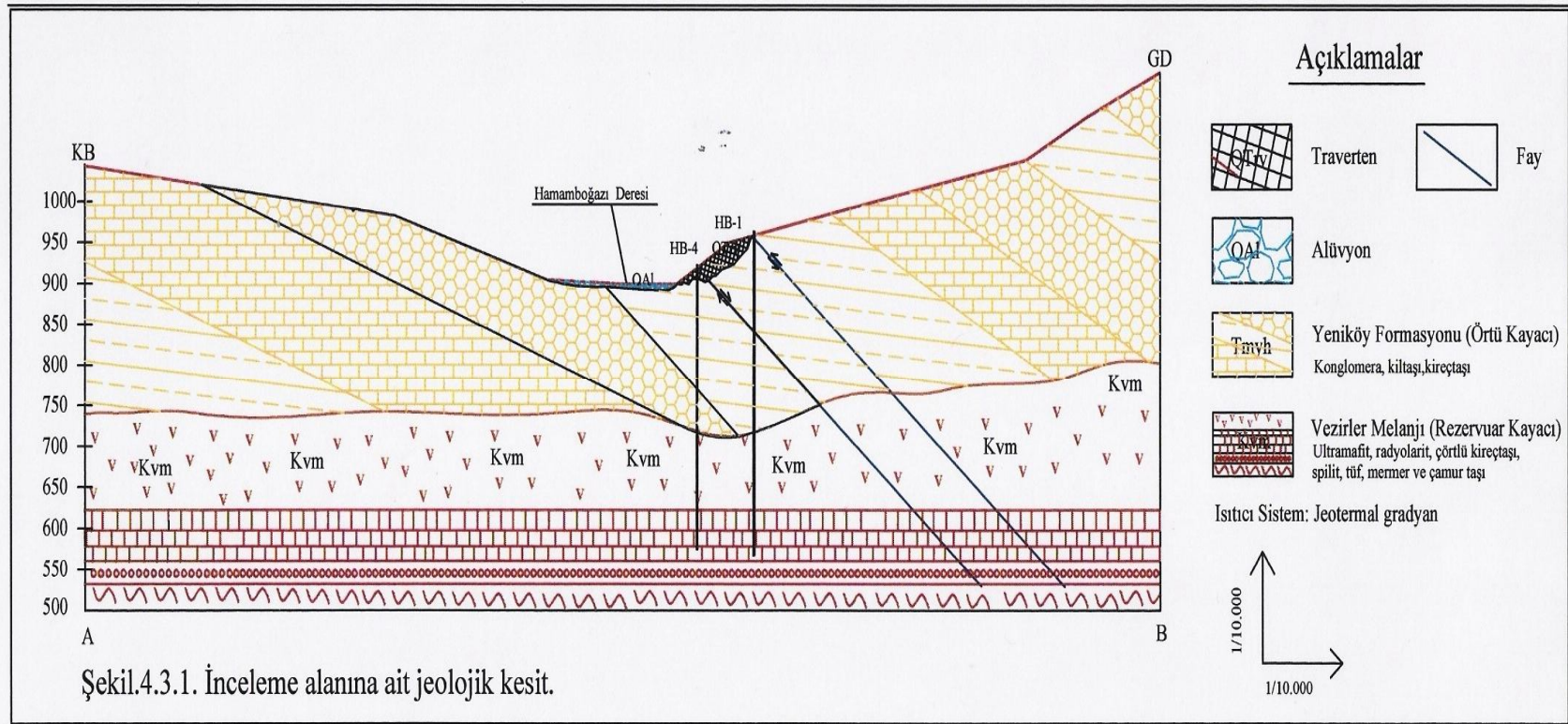
Foto 8. KD-GB uzanımlı fay zone.

4.3.2. Sıcak su Kaynaklarının Hidrojeolojik Özellikleri

Bölgede yer alan Hamamboğazı sıcaksu kaynağı; yağmur sularının geçirimli ve yarı geçirimli birimlerden derine süzülmesi ve daha sonra kırık, çatlak, fay veya geçirimsiz birimlerle olan dokanaklardan boşalmaları ile oluşmaktadır (Şekil 4.3). Sıcak su kaynağının doğal çıkış debisi yaklaşık $Q=50$ l/s olup, halkın kullanımına hamam ve ılıca olarak sunulmuştur.



Şekil 4.3. Bölgenin 1/10000 ölçekli jeoloji haritası (Ölmez v.d. 2000'den değiştirilerek alınmıştır.)



4.4. Soğuk Su ve Sıcak Su Sondaj Kuyuları

1:25000 ölçekli haritada gösterildiği üzere Banaz İlçesi ile Hatipler Köyü'nün içme-kullanma ve sulama suyunun karşılanması, ayrıca, ilçe sınırları içerisinde özel şahıslarca açılmış kullanma ve sulama amaçlı kuyular bulunmaktadır. Hamamboğazı termal sahasındaki sıcak akışkanın elde edilmesine yönelik ilçenin muhtelif kesimlerinde değişik tarihlerde MTA Genel Müdürlüğü tarafından farklı derinliklerde 4 adet kuyu açılmıştır. Ayrıca, İller Bankası tarafından içme-kullanma amaçlı ve DSİ tarafından sulama amaçlı olarak soğuk su kuyuları açılmıştır. Tüm kuyulara ait özellikler aşağıdaki Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. İnceleme alanında açılmış sondaj kuyularına ait özellikler.

KUYU NO	AÇILIŞ TARİHİ	AÇILIŞ AMACI	Koordinat		DEBİ (l/s)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Derinlik (m)	Elektrik İletkenlik (EC) $\mu\text{S/cm}$	Sertlik (Frs)
İLB(L3)	1983	İçme-Kullanma	39750D	94750K	10	4.7	33	60	968	48
5289/A	1964	Sulama	41000D	91550K	52	20	52	289	1688	60
5289/B	1964	Sulama	41000D	91450K	16	1.5	5.5	40	1870	56
Etibank	1980	Kullanma	38775D	93900K	12	-----	-----	156	969	59
Şahıs Kuyusu	2004	Kullanma-Sulama	43428D	93772K	4	5	20	40	1280	-----
Şahıs Kuyusu	2002	Kullanma-Sulama	43164D	93284K	5	10	16	30	1070	-----
Şahıs Kuyusu	2006	Kullanma-Sulama	42766D	92814K	7	8	12	24	1250	-----
Şahıs Kuyusu	2006	Kullanma-Sulama	42349D	92495K	6	8	14	20	1500	-----
Tesis Kuyusu HB-1	1993	Sıcaksu	45228D	96015K	HB-2 açıldıktan sonra kurumuştur			280	3260	-----
Tesis Kuyusu HB-2	1994	Sıcaksu	45251D	96052K	40	Artezyen		405	3240	-----
Tesis Kuyusu HB-3	2002	Sıcaksu	45274D	96146K	30	Artezyen		293	4220	-----
Tesis Kuyusu HB-4	2002	Sıcaksu	45118D	96063K	44	Artezyen		488	4080	-----

5. SULARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

5.1. Sıcaklık (T)

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının sıcaklıkları 45,3- 60,4°C arasında değişmektedir. Hamamboğazı deresine karışım noktasında termal suyun ve soğuk su kuyuları ile kaynakların sıcaklıkları ise 13,6- 30,2°C arasında olduğu belirlenmiştir. Hamamboğazı sıcak su kaynakları ve HB-1 kuyu suyu (43.5-50.9 °C) Bogomolow (1955) sınıflamasına göre hipertermal (40-50 °C), HB-4 kuyu suyu (35.5 °C) mesotermal (34-40 °C), HB-3 kuyu suyu ise (25 °C) epitermal sular (20-34 °C) sınıfına girmektedir.

5.2. Elektriksel İletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analiz sonuçları, mikromho/cm veya mikrosiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) olarak ve 25 °C'deki değeri hesaplanarak verilmektedir. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyon varlığına, toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artmaktadır. Sudaki iyon derişimi ile artış gösteren elektriksel iletkenlik değeri, bu nedenle, sudaki toplam iyon derişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Bölgede yer alan sıcak suların özgül elektriksel iletkenlik değerleri 4375–4885 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Suların içerdikleri iyonların toplam derişimi ve dolayısıyla elektriksel iletkenlikleri, suda çözünmüş toplam madde miktarına (TÇM), suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların cinsine ve çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki yağış koşullarına bağlıdır.

5.3. Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)

Doğal yeraltı sularının pH değeri 6.0-8.5 aralığında değişir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini arttırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asit özelliğini yükseltir (Doğan, 1981).

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının pH değerleri 6.84-7.03 aralığında olup hafif asidik özelliğe sahiptir. Soğuk suların pH değerleri ise 6.84-7.04 aralığında seyretmektedir.

6. SU KİMYASI

Pasvanoğlu vd. (2005) ve Davraz (2007) tarafından inceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi ve yeraltı suyu sistemi, kökenleri ve birbirleri ile olan ilişkilerinin aydınlatılması amacı ile örnekleme ve kimyasal analiz ve izotop çalışmaları yapılmıştır.

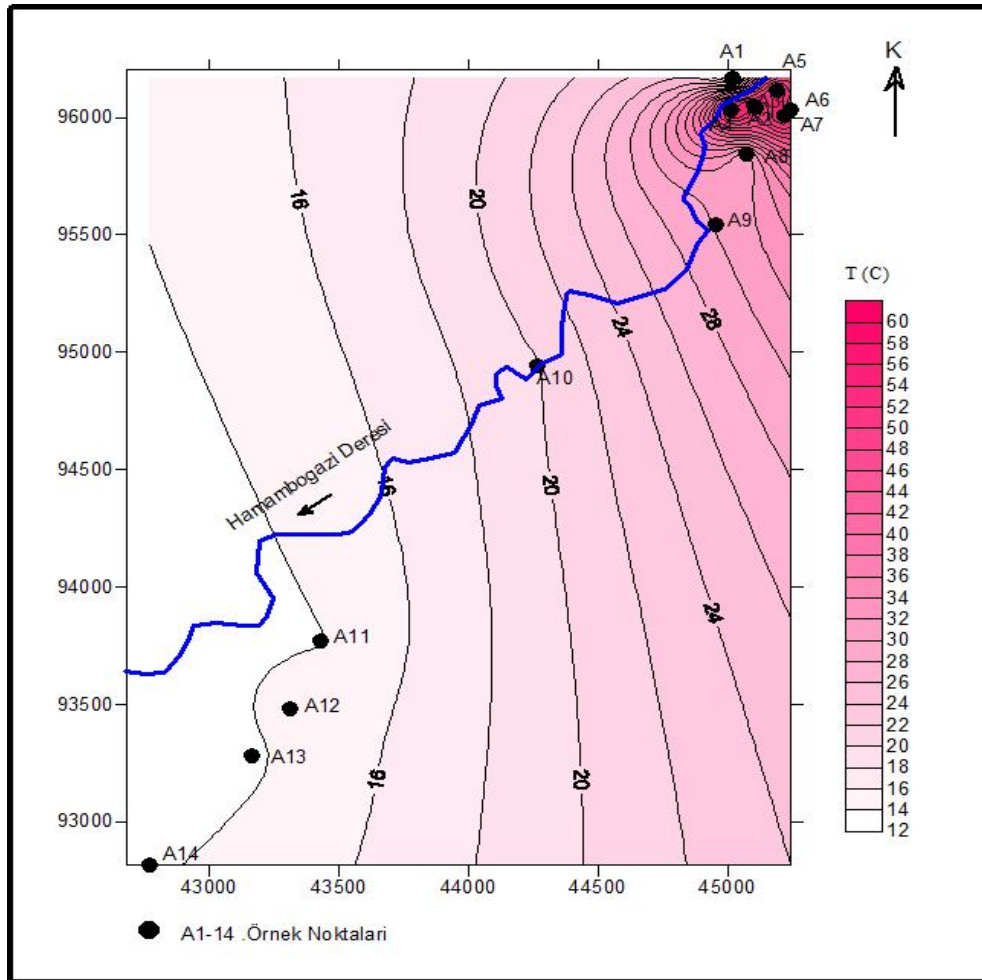
Bu çalışma kapsamında ise Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak suların neden olduğu su ve toprak kirlilik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla hem jeotermal sulardan hem de yüzey suları ile yeraltı suyu temin edilen sondaj kuyularından su örnekleme ve analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanından toplanan su örnekleri 500 ml'lik özel polietilen kablar içerisinde, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'na ulaştırılmıştır. As, B ve F analizleri SM 3120 B, SM 4500 F⁻ D ve SM 4500 B-B analiz standartları kullanılarak yapılmıştır. Alınan su örneklerine ait fiziksel-kimyasal toplu analiz sonuçları ve içme-kullanma suyu limit değerleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 6. Örneklenen sulara ait açıklayıcı bilgiler.

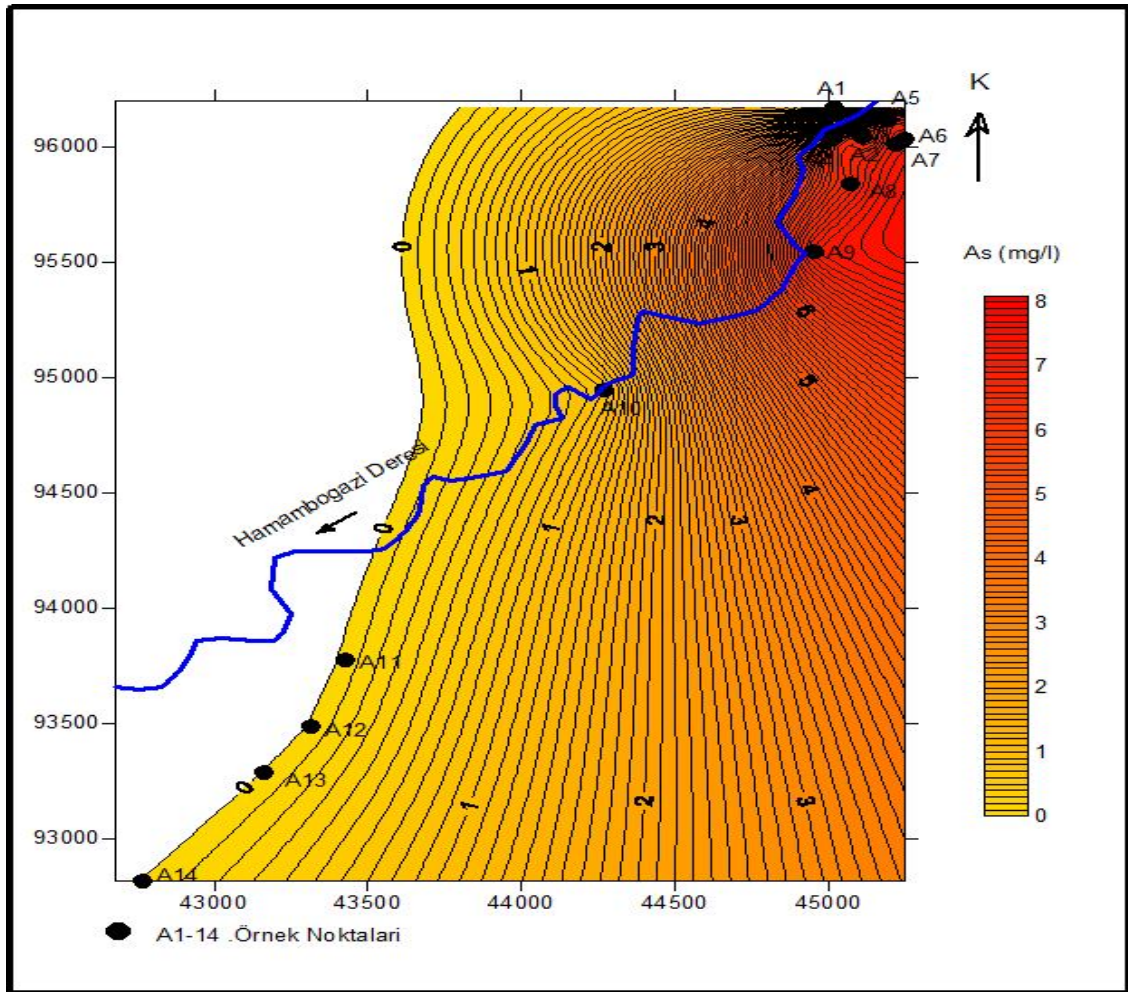
Num No	Num. Cinsi	N.Alındığı Yer	T (C ⁰)	pH	EC (μS/cm)	TÇM (mg/l)	As (mg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)	Limit Değerler					
										Sağ.Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği (μg/l)			WHO		
										As (mg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)	As (mg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)
2	SICAK SU	Banaz Belediyesi sıcak su kuyusu yakını	45,3	7,02	4885	2586	5,912	12,88	6,69	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
3		Banaz Belediyesi sıcak su kuyusu yakını	58,6	7,02	4880	2580	6,372	12,97	7,97	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
4		Banaz Belediyesi sıcak su kuyusu	59	7,03	4888	2980	7,176	13,32	5,06	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
5		Sarıköz sıcak su kaynağı	56,5	6,96	4574	2682	6,961	12,44	6,66	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
6		Hamamboğazı sıcak su kaynağı	60,4	6,84	4375	2790	7,211	12,26	5,38	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
7		Hamamboğazı sıcak su kay.ı dere karışım nok.	48	6,91	4254	2503	7,197	12,08	5,18	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
1		Hamamboğazı deresi	17,5	6,81	922	893	0,015	0,293	0,660	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
8	DERE SUYU	Hamamboğazı deresi	30,2	6,97	3921	2366	6,754	13,5	4,09	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
9		Hamamboğazı deresi	30,2	7,04	3801	1975	7,19	13,5	3,45	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
10		Hamamboğazı deresi	19,9	7,01	1280	1461	0,885	2,50	2,17	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
11	SOĞUKSU KUYUSU	Yaşar Şahin kuyusu	13,9	6,94	1280	1461	0,037	5,34	2,17	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
12		Kartoğan çeşmesi kuyusu	14,9	7,01	1010	841	0,013	0,173	1,79	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
13		Celal Özdemir kuyusu	13,6	6,97	1070	724	0,011	0,278	1,41	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4
14		Adil Yavuz kuyusu	13,8	7,00	1250	712	0,008	4,90	1,54	0,01	1,00	1,50	0,05	0,30	1,4-2,4

T: Sıcaklık (°C), pH: Hidrojen iyonu aktivitesi, Eİ: Elektrik iletkenliği (μS/cm), TÇM: Toplam çözünmüş madde (mg/l)As:Arsenik (mg/l), B: Bor (mg/l), F:Flor (mg/l)

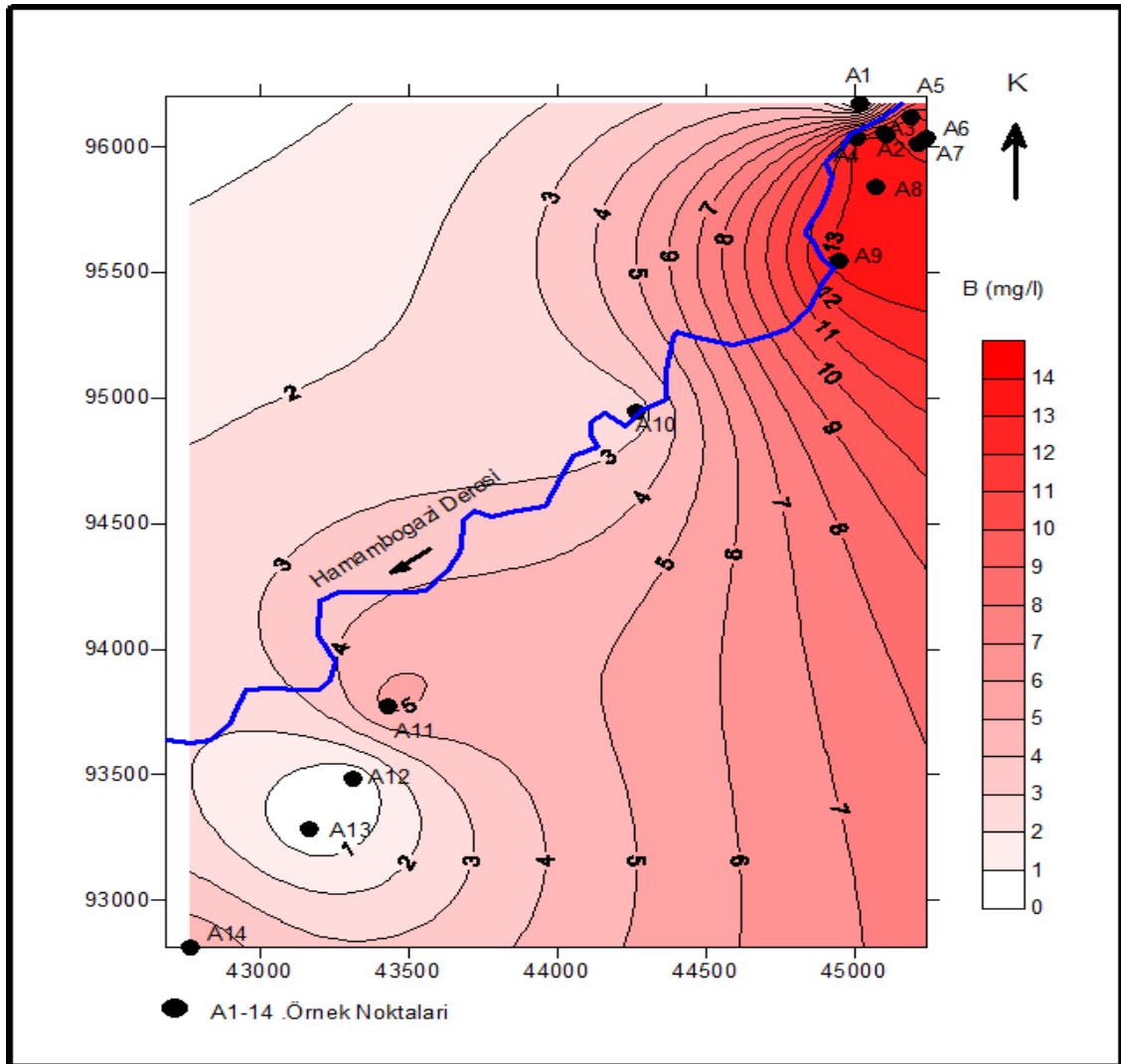
Hamamboğazı jeotermal bölgesindeki su örneklerinin sıcaklık dağılımı ve As, B ve F konsantrasyonları jeotermal kuyuların ve kaynakların bulunduğu alanlarda yoğunlaşmıştır. Ayrıca, sularda ölçülen As, B ve F konsantrasyonları Hamamboğazı bölgesinden güney batıya doğru akış gösteren Hamam Deresi boyunca azalmaktadır. Bunun sebebi As-B ve F içeren termal sulara yüzeysel suların karışımıdır (Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4).



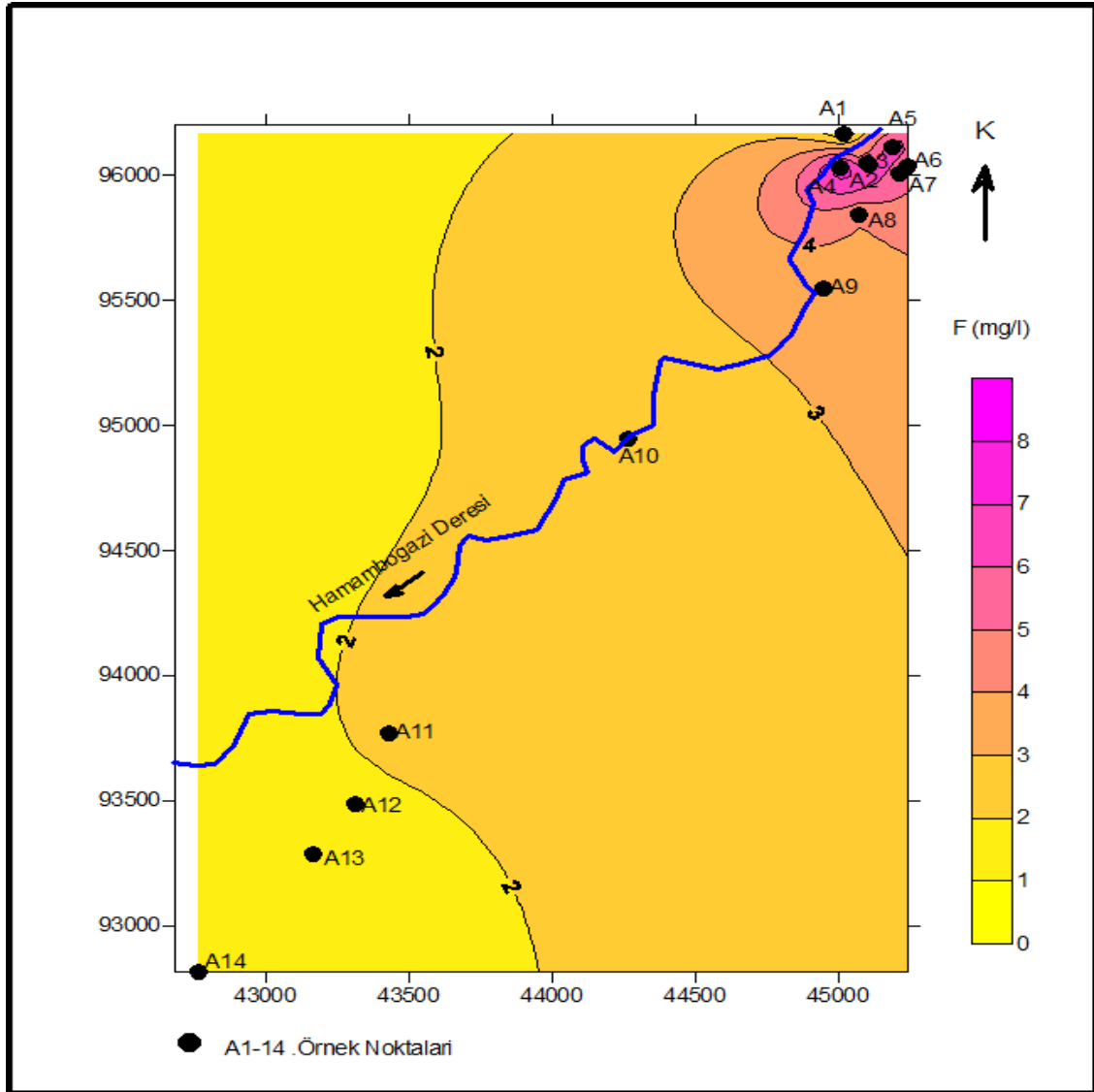
Şekil 6.1.Hamamboğazı jeotermal alanındaki su örneklerinin sıcaklık dağılımı.



Şekil 6.2. Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak su, ve soğuk su ile dere suyundaki As dağılımı.



Şekil 6.3. Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak su, ve soğuk su ile dere suyundaki B dağılımı.



Şekil 6.4. Hamamboğazı jeotermal alanındaki sıcak su, ve soğuk su ile dere suyundaki F dağılımı.

Jeotermal sulardaki As, B ve F konsantrasyonları Sağlık Bakanlığı Kaplıcalar Yönetmeliğindeki sınır değer olan 0,1 mg/l'nin üzerinde olduğu için Hamamboğazı sıcak suları arsenikli, borlu ve florlü sular sınıfına girmektedir (Sağlık Bakanlığı Kaplıcalar Yönetmeliği, 2001). Sıcak ve mineralli sulara As miktarı 5,912-7,211 mg/l aralığında, B konsantrasyonu 12,08-13,32 mg/l aralığında değişim göstermektedir. Florür içeriği ise 5.060- 7.970 mg/l aralığında değişmektedir.

As, B ve F'in yeraltı suyuna karışıp karışmadığının belirlenmesi için yeraltı suyunun akım yönü üzerinde örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan kuyuların derinlikleri 20-40 m arasında değişmekte ve tamamında üretim yapılmaktadır. Üretim yapılan sular sulama, içme ve kullanma suyu olarak kullanılmaktadır. Ana sıcak su kaynağına 4-5 km mesafede yer alan bu sığ kuyularda As miktarı 0,008-0,037mg/l aralığında bulunmaktadır. B içeriği ise 0,173-5,34 mg/l arasında değişmektedir. F miktarı ise 1,41-2,17 mg/l değerleri arasındadır. Sığ derinlikteki bu kuyulardan yaz döneminde sulama amaçlı olarak aşırı çekim yapılmakta, kış döneminde ise kullanılmamaktadır.

Ayrıca, sıcak suların yüzey sularına olan etkilerinin belirlenmesi için Hamamboğazı Deresi'nde dört adet örnekleme noktası belirlenmiştir. Bu örnekleme noktalarındaki sularda As, B ve F içeriği İnsani Tüketim amaçlı Sular Yönetmeliğindeki standartların üzerinde değer vermiştir. As miktarı 0,015-7,19 mg/l aralığında bulunmaktadır. B içeriği ise 0,293-13,5 mg/l arasında değişmektedir. F miktarı ise 0,66-4,09 mg/l değerleri arasındadır. Ancak, sıcak su karışımının olmadığı 1 nolu örnekleme noktasında As, B ve F değerleri oldukça düşük değer vermiştir. Fakat jeotermal sahanın alt kesimlerinden alınan 7,8,9 ve 10 nolu örnekleme noktalarında As, B ve F standartların üzerinde sonuçlar vermiştir. Jeotermal sulardan etkilenmeyen 1 nolu örnekleme noktasından elde edilen değerler doğal sularda olması gereken As, B ve F'yi simgelemektedir. Jeotermal sahanın güneybatısında ve akım yönünün önündeki sahalarda yer altı ve yüzey sularında As, B ve F girdisi yüksektir.

Hamamboğazı jeotermal sahasının kuzeyi, kuzeybatısı ve güneybatısı yoğun bir tarım alanıdır. Bölgede meyvecilik, sebzeçilik ve bağcılık yapılmaktadır. Burada sulama suyu olarak Hamamboğazı Deresi'nden pompajla çekilen dere suyu ve yeraltı suyu kullanılmaktadır. Sulama sularında izin verilebilen maksimum As, B ve F elementlerinin konsantrasyon limitleri Tablo 6'da ve Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının kalite kriterleri Tablo 7'de verilmiştir.

Her iki kritere göre, Hamamboğazı jeotermal sahasındaki suların As, B ve F konsantrasyonları su kirliliği kontrol ve sulama suyu yönetmeliğindeki izin verilebilecek değerlerin çok üzerinde bulunduğundan Hamamboğazı dere suyunun

sulama suyu olarak kullanılması durumunda tarımda hassas olan bu üretimlere zarar vermesi kaçınılmazdır.

Tablo 6.1. Sulama sularında izin verilebilen maksimum ağır metal ve toksik elementlerin konsantrasyonları (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 1991).

Elementler	Birim alana verilebilecek maksimum miktarlar (kg/ha)	İzin verilen maksimum konsantrasyon (mg/l)	
		Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler	pH değeri 6,0-8,5 arasında olan killi zeminlerde 20 yıldan daha az sulama yapıldığında
As	90	0,10	2,00
B	680	-	2,00
F	920	1,00	15,00

Tablo 6.2. Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının sınıflandırılması (Sulama suyu kalite kriterleri, Resmi gazete,1991).

Kalite Sınıflandırması		I.Sınıf Çok İyi	II.Sınıf İyi	III.Sınıf Orta	IV.Sınıf Şüpheli	V.Sınıf Kullanılmaz
B (mg/l)	Hassas Bitkiler	<0,33	0,33-0,67	0,67-1,00	1,00-1,25	>1,25
	Az Dayanıklı Bitkiler	<0,67	0,67-1,33	1,33-2,00	2,00-2,50	>2,50
	Dayanıklı Bitkiler	<1,00	1,00-2,00	2,00-3,00	3,00-3,75	>3,75

Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak suların As, B ve F değerleri Batı Anadolu'da yer alan Balçova, Balıkesir, Denizli, Aydın, Manisa ve Çanakkale sahasındaki sıcak sularla karşılaştırılmıştır.

Balçova jeotermal sahasında Şimşek (2005) tarafından As miktarının sıcak sularda 0.197-1,419 mg/l aralığında, soğuk su kuyularında 0,0007-0,17 mg/l arasında bulunduğu, yüzey sularında ise 0,0015-0,182 mg/l olduğu tespit edilmiştir. Aynı araştırmacı, sıcak su kaynağına uzaklığına bağlı olarak B miktarının soğuk su kuyularında 0,10-170 mg/l arasında olduğunu, yüzey sularının ise 1,5-182 mg/l aralığında bulunduğunu, sıcak su kuyularında ise 7,8-21,3 mg/l limitlerinde olduğunu belirlemiştir.

Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak sular için As miktarı 5,912-7,211 mg/l, soğuk su kuyuları için 0,008-0,037mg/l, yüzey sularında As değeri ise 0,015-7,19 mg/l değerleri arasındadır. B konsantrasyonu ise sıcak sularda 12,08-13,32 mg/l, soğuk su kuyularında 0,173-5,34 mg/l, yüzey sularında ise 0,293-13,5 mg/l arasında tespit edilmiş olup, bu değerler ve sonuçlar Balçova jeotermal sahasındakilerle karşılaştırıldığında Hamamboğazı jeotermal sahasındakine benzer şekilde As ve B konsantrasyonunun jeotermal sondaj kuyularının bulunduğu alanlarda yoğunlaştığı görülmektedir.

Balçova sahasında özellikle sığ soğuk su kuyularında daha az miktarda As bulunmasına rağmen, derin soğuk su kuyularında aşırı su çekimi yapılması nedeniyle sıcak su girişiminin arttığı buna bağlı olarak As konsantrasyonunun daha fazla olduğu belirlenmiştir. Hamamboğazı sahasında ise sadece sığ soğuk su kuyuları bulunmakta olup, bu kuyularda As konsantrasyonu Balçova'daki değerlere göre daha yüksektir. Benzer şekilde hem Balçova hem de Hamamboğazı jeotermal sahalarında ana sıcak su kaynağına yakın bölgelerdeki yüzeysel sularda As ve B miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Mutlu (2007) Balıkesir bölgesi termal sularında As konsantrasyonunu 0,0004–1,266 mg/l, B miktarını 0,019-11,475 mg/l olarak tespit etmiştir. Balıkesir sahasındaki sulardaki As, B miktarları Hamamboğazı jeotermal sahasında belirlenmiş olan limitlerden daha düşüktür.

Yüce (2007) tarafından Misli (Niğde) havzası için B konsantrasyonunu 0-30 mg/l aralığında tespit edilmiştir. Sığ derinlikteki yeraltı suyunda B konsantrasyonunun daha düşük olduğu, aşırı su çekimi nedeniyle yeraltı suyu tablasının çok düştüğü ve derindeki termal suyun girişim yapması sonucu yeraltı suyunda B, Na ve Cl'nin daha fazla artmasına neden olduğu bildirilmiştir. Hamamboğazı sahasında sığ kuyularda B değeri yüksektir. Misli havzasında ise kuyu derinliğinin artmasına bağlı olarak B miktarında artış olduğu görülmektedir.

Tarcan (2004) tarafından B değeri Kızıldere (20-27 mg/kg), Salavatlı, Germencik (42-54 mg/kg), Kavaklıdere-Sazdere (86,6 mg/kg), (45-74 mg/kg), Salihli-Caferbeyli (67 mg/kg), Simav-Eynal (1,1-2,7 mg/kg), Simav-Çitgöl (0,2 mg/kg) ve Çanakkale-Tuzla yörelerinde (30,1-36 mg/kg) tespit edilmiştir.

Simav-Eynal ve Simav-Çitgöl jeotermal alanlarındaki derin kuyulardaki B miktarı sığ kuyulara göre daha yüksektir. Ancak, bu değerler Hamamboğazı jeotermal alanındaki sığ kuyularda belirlenen değerlerden çok daha düşüktür.

Öte yandan, Kızıldere, Salavatlı, Germencik, Kavaklıdere-Sazdere ve Salihli-Caferbeyli ve Çanakkale-Tuzla jeotermal alanlarındaki B konsantrasyonu Hamamboğazı sahasındaki miktarlardan çok daha yüksektir. Bu bölgelerdeki açılan sondaj kuyuları çok derindir. Derinlerdeki su kayaç etkileşimine bağlı olarak jeotermal su daha fazla B içermektedir.

Germencik, Tuzla ve Caferbeyli jeotermal alanlarındaki F konsantrasyonları ise Hamam boğazındaki değerlerden daha düşük, Kızıldere ve Salavatlı'da daha yüksektir.

Tarcan ve Gemici (2003) tarafından Seferihisar jeotermal bölgesindeki sıcak suların B değeri 3-22 mg/kg As konsantrasyonu ise 0,044-0,172 mg/kg olarak belirlenmiştir. As değeri Hamamboğazı termal sahasındakinden düşük, B miktarı ise yüksektir.

Hamamboğazı jeotermal sahasının da içinde yer aldığı Büyük Menderes ve Gediz Graben sistemindeki jeotermal sahalarındaki Menderes Masifine ait kayaçlarda baskın bulunan serisit, illit, turmalin gibi mineraller ile bölgede yaygın olarak gözlenen dolomit ve killi kireçtaşları, kaya-su etkileşimine bağlı olarak, termal kaynakların yüksek bor içeriğini kontrol etmektedir. Bor içeriği sıcak sularda magma sokulumlarından gaz çıkışına bağlı olarak artmaktadır. Aynı, şekilde Hamamboğazı kaynağındaki As içeriği yüksek sıcaklığa bağlı olarak kaya su etkileşimi ile artmaktadır. Flor yeraltısularında genellikle volkanik ve proklastik kayaçlarda bulunan mika (flogopit-biotit), apatit ve amfibolit gibi flor mineralleri ile etkileşim sonucu bulunmaktadır. Termal sularda ise flor varlığı sıcaklıktaki artış, çözünme kinetiği ve kayaçlarla etkileşim zamanına bağlı olarak değişen oranlarda bulunabilmektedir (Davraz, 2007).

Yukarıda yapılan karşılaştırmalar ışığında, Batı Anadolu'daki jeotermal aktivitelerin çoğunlukla Büyük Menderes ve Gediz Graben sistemleri içerisinde yer aldığı, özellikle bu jeotermal alanlardaki termal suların sığ ve derin dolaşım sonucu kaya-su etkileşimine bağlı As, B ve F iyonlarının yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, bazı durumlarda soğuk yüzey veya yeraltı sularına karışarak, yüzey ve yeraltı suyu kirliliğine neden olduğu belirlenmiştir.

Jeotermal suların yeraltı suları ile girişimleri sonucu, bu suların tarımsal kullanımı topraktaki kirlenmeyi de beraberinde getirmektedir. Bu durum özellikle tarım alanlarında önemli üretim kaybına yol açması kaçınılmazdır.

Ayrıca, Arsenik bileşiklerinin toksik etkisi, bileşiğin kimyasal ve fiziksel şekline, vücuda giriş yerine, alınan miktara ve alınma süresine, gıda içindeki reaksiyonu etkileyen elementlerin varlığına, yaş ve cinsiyetine bağlıdır. Eğer suda 0.05 mg/l arsenik bulunursa, arsenik elementlerinin kimyasal yapısı ve valansının saptanması önerilmektedir.

İçme suyu ve su ürünleri açısından önemli olan arsenik arıtımı için birçok yöntem kullanılmaktadır. Oldukça ekonomik ve basit olan kireçle yumuşatma yöntemi bile %95 oranında arsenik arıtımı sağlamaktadır. Arsenik arıtımında çökelmede kullanılan kimyasal maddelere göre ortamın pH değeri önem kazanmaktadır. Ayrıca arseniğin suda bulunuş şeklide arıtımı etkilemektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), içme ve kullanma sularında 0,01 mg/l ye kadar arsenik bulunabileceğini, 0,05 mg/l den daha yüksek miktarlarda arsenik içeren suların ise kesinlikle kullanılmaması gerektiğini bildirmiştir. Suda bulunan borun en büyük etkisi tarım üzerinde görülmekle beraber, içme ve kullanma suyunda, su ürünleri üzerinde ve hayvan sulamasında da çeşitli zararları saptanmıştır. İnsanlar tarafından meyve ve sebzelerden olmak üzere yiyecek ve içecekler yoluyla günde 10-20 mg/l bor vücuda alınabilmektedir. Su ve yiyecekler yoluyla alınan bor kısa sürede ve tamamen vücut tarafından soğurulmakta, ancak vücutta birikmeden idrar yoluyla atılmaktadır. Yetişkinler için öldürücü doz 5-45 g olduğu değişik kaynaklarda verilmiştir. İçme sularında florür konsantrasyonu 0.9-1.7 arasında uygun 2.4 mg/l ise müsaade edilen maksimum dozdur. Değerin maksimum miktarlarından anlaşılacağı üzere florürün fazlası da zararlıdır. Fazla miktardaki florürün dişlerde, özellikle çocuk dişlerinde beneklenmelere neden olduğu bilinmektedir. Fluorosis denilen bu diş hastalığı en fazla 8-9 yaşlarındaki çocuklarda görülür, daha büyük yaştakileri o kadar etkilemez. Bu nedenle florür miktarının 1,5-1,7 mg/l den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Fluorosis'in meydana gelebilmesi için 1,5 mg/l konsantrasyondaki suyun yaklaşık olarak 3 aydan fazla içilmesi gerekmektedir. İçme suyuna katılan florun optimum noktası 1 mg/l dir. Konsantrasyona karar verirken suyun içindeki doğal florit miktarını

da göz önünde tutmak gerekir. Sıcak yerlerde su tüketiminin fazlalığı nedeniyle flor miktarı azaltılır, soğuk yerlerde miktar daha fazladır (Demirel, 2009).

7.SEDİMENT KİMYASI

Yerkabuğunda arseniğin ortalama konsantrasyonu çoğu araştırmacı tarafından 1.5-5 mg/kg olarak rapor edilmesine rağmen bazı volkanik ve sedimanter kayalarda, özellikle demir ve mangan cevherleşmelerinde daha yüksek konsantrasyonlarda görülebilir. Arsenik pirit, arsenopirit, demir, bakırlı şeyllerden ve fosfatlı kayaların oksidasyonundan sıcak sulara kolaylıkla geçer. Arsenik içeren yaygın minerallerden en önemlileri arsenopirit (FeAsS), realgar (AsS), ve orpiment (As_2S_3)' dir (Cullen ve Riemer, 1989).

Bor, doğada ortalama olarak karasal sularda 0.1 ppm, yerkabuğunda 3 ppm ve deniz suyunda 4.6 ppm oranlarında bulunan ender bir elementtir. Magmatik ve metamorfik kayalarla ilişkili boratların, hidrotermal akışkanlar tarafından sokulum kayalarından yıkandığı şeklinde düşünülmektedir (Helvacı,2004) .

Flor toprakta hem element hem de mineraller şeklinde bulunur. Yerkabuğunda ortalama 0.3 gr/kg olarak bulunan Florun en yaygın mineralleri Flüorit, Fluorspar, Florapatit ve Kriyolittir. Fluorit magmatitlerin ve sedimanter kayaların içerik maddeleridir. Amfiboller ve mikalar da fluor içerirler. Fluorit iyonu çoğu kez hidroksil iyonlarının yerine mineral yüzeylerine bağlanmaktadır (Demirel,1998).

Jeotermal kaynağın çevresinde çökelen sedimanların As, B ve F içeriğinin belirlenmesi amacıyla 4 adet noktadan toprak numunesi alınmış ve bunların analizleri ACME (Kanada) Laboratuarlarında yapılmıştır. Sonuçlar toplu şekilde Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7.Toprak numunelerinin As, B ve F analiz sonuçları.

Koordinat	45106D 96045K	45010D 96033K	45217D 96010K	45245D 96036K
	Numune No			
	1	2	3	4
As (ppm)	4532	2625	1998	2493
B (ppm)	19.00	46.00	22.00	23.00
F (ppm)	1680	2780	2680	2690

Sedimanlardaki As içeriği 1998-4532 ppm arasında, B ise 19-46 ppm aralığında tespit edilmiştir. F içeriği ise 1680-2780 ppm arasında belirlenmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın (US EPA) 50 A.B.D eyaletinde yaptığı çalışmaya göre, topraktaki arsenik miktarı 2-305 ppm arasında olması durumunda risk oluşturduğu belirtilmektedir (Davis vd., 2001). Buna göre Hamamboğazı termal sahasındaki sıcak suların oluşturduğu sedimanlarda bu değerin yaklaşık 10 kat daha fazla arsenik içerdiği görülmektedir.

Tarım toprakları bor içeriklerine göre az borlu, orta borlu, yüksek borlu, çok yüksek borlu topraklar olarak dört grup altında sınıflandırılmaktadır. Az borlu topraklar 0,7 ppm'e kadar bor içermekte ve bütün bitkiler için sorun teşkil etmemektedir. Orta borlu topraklar 0,7-1,5 ppm bor içermekte ve bazı bitkiler için sorun yaratmamaktadır. Yüksek borlu topraklar ise 1,5- 3,75 ppm bor içermekte ve çoğunlukla bitkiler için tehlikelidir. Çok yüksek borlu topraklar ise 3,75 ppm'den fazla bor içermekte ve bütün bitkiler için tehlike oluşturmaktadır (Uygan ve Çetin, 2004).

Doğal olarak topraklarda 30-300 ppm düzeyinde bulunan florun genellikle bitki ve hayvanlar için zararsız olduğu bildirilmiştir (Robinson, 1977). Bu çalışmada Hamamboğazı jeotermal bölgesindeki sediman örneklerinde flor konsantrasyonu ortalama olarak 1680-2780 ppm olarak ölçülmüştür. Bu değerler toprakta bulunması gereken florun ortalama 10 kat üzerinde seyretmektedir.

Hamamboğazı jeotermal sahasında boşa akan sıcak sular ile yeterli tecridi sağlanamamış olan HB-4 nolu kuyuda yüksek basınç nedeni ile sıcak su kaçakları meydana gelmiş, kuyudan boşalan sular kontrolsüz bir şekilde sahanın hemen kuzeyi ve kuzeydoğusunda yer alan tarım arazilerine yüzeysel olarak akmaktadır. Tarım arazilerine ulaşan arsenikli, borlu ve florlu sıcak su, toprak yüzeyinde sedimanlarda bulunan As, B ve F miktarına eşit konsantrasyonda As, B ve F çökmesine neden olması durumunda bu bölgede tarım yapılmasının mümkün olamayacağını, hem insan hem de diğer canlılar üzerinde olumsuz etkiler yaratacağını göstermektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanında daha önce yapılmış çalışmalar ışığında bölgenin 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli jeoloji haritaları üzerinde çalışılmış ve stratigrafik istif ortaya konmuştur. Bu amaçla kayaç birimleri, faylar, kırık ve çatlaklar incelenmiştir. Buna göre, sahada başlıca KD-GB yönlü eğim atımlı fayların geliştiği ve başlıca rezervuar kayacını Üst Kreatese yaşlı Vezirler Melanjının oluşturduğu, ancak bu birimin mostra vermediği sadece açılan kuyularda derinliklerde gözlemlendiği belirlenmiştir. Arazide örtü kayaç olarak Yeniköy ve Asartepe Formasyonları ayırtlanmıştır. Hazırlanan jeoloji haritası temel alınarak inceleme alanındaki formasyonların hidrojeolojik özellikleri arazi ve önceki çalışmalar ışığında belirlenmiştir.

Bu çalışmada Hamamboğazı jeotermal alanında yer alan termal suların ve bunların karıştığı Hamamboğazı deresi ve havzadaki diğer yeraltı suyundan alınan su numunelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanı sıra, sedimanların As, B ve F içerikleri belirlenerek bölgedeki su ve toprak yapısındaki kirlilik etkileri araştırılmıştır.

Örnekleme çalışmalarında pH, toplam çözünmüş madde (TÇM), elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) gibi fiziksel parametre ölçümleri yerinde yapılmıştır. Kaynak, kuyu ve dere sularından alınan toplam 14 tane örneğin arsenik, bor ve flor ile ana kaynağın çıkış noktasında oluşan sedimanlarında As, B ve F analizleri yapılmıştır.

Analizlere göre, Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak sular için As miktarı 5,912-7,211 mg/l, soğuk su kuyuları için 0,008-0,037mg/l, yüzey sularında As değeri ise 0,015-7,19 mg/l değerleri arasındadır. B konsantrasyonu ise sıcak sularda 12,08-13,32 mg/l, soğuk su kuyularında 0,173-5,34 mg/l, yüzey sularında ise 0,66-4,09 mg/l arasında tespit edilmiştir. Sıcak sulardaki F içeriği ise 5.060- 7.970 mg/l aralığında, soğuk su kuyularında F miktarı ise 1,41-2,17 mg/l değerleri arasındadır. Yüzey sularında F miktarı ise 0,66-4,09 mg/l değerleri arasındadır. Bu değerlerle Hamamboğazı sıcak suları Sağlık Bakanlığı Kaplıcalar Yönetmeliğine göre arsenikli, borlu ve florlu sular sınıfına girmektedir.

Benzer şekilde sıcak suların Hamamboğazı Deresine, yeraltı suyuna olan karışımların boyutunu belirleyebilmek için As, B ve F için konsantrasyon grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafiklerde As, B ve F konsantrasyonunun jeotermal kaynağın

bulunduğu alanlarda ve yakın çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca, termal sudan kaynaklanan yüzey ve yeraltı suyu akiferinde olumsuz etkinin olduğu kimyasal analiz sonuçları ile belirlenmiştir.

Çalışma alanında soğuk yeraltı suyu akiferini oluşturan alüvyon birimde artan B, As ve F değerlerinin akifer genelinde etkisinin lokal olduğu gözlenmektedir. Yüzey suyu olan Hamamboğazı deresinde olumsuz etki gözlenmektedir. Fakat, akış aşağısında bu etki seyrelmektedir. Sağlık açısından etkisi yüzey suyunun kullanımına bağlı olarak değişecektir. Doğal açıdan baktığımızda yüzey suyunun kimyasal yapısı olumsuz yönde etkilenmektedir. Derenin beslenme kaynaklarının artışı, örneğin yağışın fazlalılığı bu etkiyi minimum seviyeye indirecektir. Ancak, kurak dönemlerde olumsuz etki artacaktır.

Hamamboğazı Deresi'nden pompajla çekilen dere ve yeraltı suyu sulama, suyu jeotermal sahasının kuzeyinde, kuzeybatısında ve güneybatısında yer alan tarım arazilerinin sulanmasında kullanılmaktadır. Sulama suları için su kirliliği kontrol yönetmeliğindeki izin verilebilen maksimum As, B ve F konsantrasyon değerlerine göre Hamamboğazı dere suyu, yeraltı suyunun sulama suyu olarak kullanılması tarımda hassas olan bu üretimlere zarar vermesi kaçınılmazdır. Ayrıca, İnsani tüketim amaçlı sular yönetmeliğindeki limit değerlere göre de yeraltı suyundan elde edilen suyun içme ve kullanma amaçlı olarak da kullanılması sağlık sorunlarına neden olabilecektir.

Hamamboğazı jeotermal sahasındaki sıcak suların As, B ve F değerleri Batı Anadolu'da yer alan diğer jeotermal sahalardaki sıcak su örneklerine ait As, B ve F değerleri mukayese edilmiştir. Yapılan karşılaştırma da Hamamboğazı jeotermal sahasına ait su örneklerinin As ve B içeriğinin Balçova jeotermal sahasındaki As ve B değerlerinden daha yüksek olduğu, her iki jeotermal sahasında As ve B konsantrasyonunun sondaj kuyularının bulunduğu alanlarda yoğunlaştığı, belirlenmiştir. Ayrıca, Balçova sahasındaki sığ soğuk su kuyularının As değerlerinin daha düşük olmasına karşın, derin olan soğuk su kuyularında aşırı su çekimi yapılması nedeniyle sıcak su girişiminin arttığı buna bağlı olarak As konsantrasyonunun yükseldiği görülmüştür.

Balıkesir bölgesi termal sularında As ve B konsantrasyonunun Hamamboğazı jeotermal sahasında belirlenmiş olan limitlerden daha düşük olduğu, Niğde havzasında

ise aşırı yeraltı suyu çekimi nedeniyle su tablasının çok düştüğü ve derindeki termal suyun girişim yapması sonucu yeraltı suyunda B değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir.

Kızıldere, Salavatlı, Germencik, Kavaklıdere-Sazdere ve Salihli-Caferbeyli ve Çanakkale-Tuzla jeotermal alanlarındaki B konsantrasyonun Hamamboğazı sahasındaki miktarlardan çok daha yüksek olduğu, Simav yöresindeki değerin ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Seferihisar jeotermal bölgesindeki sıcak suların B değeri Hamamboğazı termal sahasındakinden yüksek fakat As değeri düşüktür.

Bu karşılaştırmalar ışığında değerlendirme yapıldığında, Batı Anadolu'daki jeotermal aktivitelerin çoğunlukla Büyük Menderes ve Gediz Graben sistemleri ne bağlı olarak geliştiği, özellikle bu jeotermal alanlardaki termal suların sığ ve derin dolaşım sonucu kayaç-su etkileşimine bağlı As, B ve F iyonlarının yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, bazı durumlarda soğuk yüzey veya yeraltı sularına karışarak, yüzey ve yeraltı suyu kirliliğine neden olduğu belirlenmiştir.

Jeotermal kaynağın çevresinde çökelen sedimanların As, B ve F içeriğinin belirlenmesi amacıyla 4 adet noktadan toprak numunesi alınmış yapılan analizlerde sedimanlardaki As içeriği 1998-4532 ppm, B içeriği 19-46 ppm aralığında, F içeriği ise 1680-2780 ppm arasında belirlenmiştir.

Hamamboğazı termal sahasındaki sıcak suların oluşturduğu sedimanlardaki arsenik miktarı, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın 50 A.B.D eyaletinde belirlediği limit değer olan 2-305 ppm değerinden yaklaşık 10 kat daha fazladır. Bu nedenle Hamamboğazı sıcak sularının üzerine aktığı tarım arazilerindeki toprak yapısında oluşturacağı As kirliliği çok ciddi boyuttadır. Ayrıca, sedimanlardaki B ve F içeriği toprak standart değerlerinin çok üzerinde olduğundan sıcak suların tarım arazilerinde B ve F kirliliğine de neden olmaktadır.

İçme suyu ve su ürünleri açısından önemli olan arsenik arıtımı için birçok yöntem kullanılmaktadır. Oldukça ekonomik ve basit olan kireçle yumuşatma yöntemi bile %95 oranında arsenik arıtımı sağlamaktadır.

Bölgedeki As, B ve F kirlilik boyutlarının insan, toprak ve bitki yapısı üzerindeki etkilerinin tespiti, söz konusu kirliliğin bertaraf edilmesi için en uygun arıtma yönteminin seçilmesi ve termal kaynağın korunması açısından büyük önem arz etmektedir.

9. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., ve Konak, N., 1979, Simav-Emet-Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi. MTA. Ankara.
- Akkas, B., 2000, Banaz (UŞAK) Belediyesi Hidrolojik-Hidrojeolojik Etüt Raporu S.1-14, İzmir.
- Baba, A., Ozcan, H., ve Deniz, Ö., 2005, Environmental Impact by Spill of Geothermal Fluids at the Geothermal Field of Tuzla, Canakkale-Turkey., Proceedings World Geothermal Congress , Antalya, Turkey.
- Baba, A., Yuce, G., Deniz, O., Ugurluoglu, D., 2009, Hydrochemical and Isotopic Composition of Tuzla Geothermal Field (Canakkale-Turkey) and its Environmental Impacts, Environmental Forensics, 10:2, 144 — 161.
- Bogomolow, G.V. et Silin Bektchourine, A.İ. (traduction javet, E.Castani, G.), 1955; Hydrogeologine specialisee, BRGM, Paris.
- Broan, T., Türecan, A., Mıncı A., Günay, E., 1993. Kula-Selendi (Manisa) Dolaylarının Jeolojisi. MTA raporu, Ankara.
- Büyükboyacı, Ü., Karzaoğlu, H., Yılmaz, A., Vurgun, R., 2000, Uşak-Banaz Belediyesi Sıcaksu Aramaları Rezistivite Etüdü. MTA Raporu, Ankara.
- Cullen, W.R., and Reimer, K.J., 1989, Arsenic speciation in the environment: Chemical Reviews, v. 89, no. 4, p. 713-764.
- Çevre Bakanlığı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 1991.
- Çevre Bakanlığı Sulama suyu kalite kriterleri, Resmi gazete, 1991.
- Davis, A., Sherwin D., Ditmars, R., ve Hoenke, A., 2001, An Analysis of Soil Arsenic Records of Decision, Environmental Science and Technology, v.35, no.12

- Davraz, A., 2007, Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigations of Thermal Waters in The Usak Area. Environ Geol (2008) V: 54 p.615–628.
- Demirel, Z., 1998, Ülkemizde jeotermal kaynaklardan florür boşalımı; Ulusal Florür Sempozyumu -I; 1-4 Eylül 1998, Mersin; Mersin Üniversitesi.
- Demirel, Ü., 2009, Flor Elementinin Canlılar Üzerine Etkisi ve Kapadokya Bölgesinde Florosis Gerçeği., Tıbbi Jeoloji Çalıştay, Ürgüp, Nevşehir.
- Doğan, L., 1981, Hidrojeolojide su kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.
- Doğdu, Ş.M., Bayarı, C.S., 2002, Akarçay Havzasında (Afyon) jeotermal kökenli kirlenme: 2. Yeraltı suyu Kirliliği, Bulletin of Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University, V: 25, 35-49, Ankara.
- Ercan, T., Dinçel, A., Günay, E., Türkecan, A., 1977, Uşak Yöresinin Jeolojisi ve Volkanitlerin Petrolojisi, MTA Enstitüsü Ege Bölge Müdürlüğü Raporları No.Je-111, İzmir.
- Ercan, T., Dinçel, A., Günay, E., 1979, Uşak Volkanitlerinin Petrolojisi ve Plaka Tektoniği Açısından Ege Bölgesindeki Yeri. Bulletin of the Geological Society of Turkey, v. 22, 185JL98.
- Ercan vd., 1982, Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel yorumlaması., Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, V: 22, s.185-198.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey and examples of their enviromental impacts., Enviromental Geology, 43, s:87-98.
- Göçmen, D., 2000, 1/5.000 ölçekli Banaz jeoloji haritası. MTA, Ankara.
- Gür, Ş., ve Sun, R., 1988 1/25.000 ölçekli Banaz jeoloji haritası. MTA, Ankara.

- Helvacı, C., 2004, Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası., 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Hudson, K.A, Archer, J, 2008, Geochemistry of arsenic (As) in spring and stream waters from San Antonio de los Cobres, NW Argentina. Mineralogical Magazine, v.72, no:1, p.425-427.
- Kaya, O., 1981, Batı Anadolu alta bindirmesi; Ultramafik birim ve Menderes Masifinin jeolojik konumu: Doğa Atatürk özel sayısı, 15-36.
- Karaagaç, Ö. Ç., 1974, Karaçayır Kaolen Sahası Ayrıntılı Jeoloji incelemesi, MTA raporu, Ankara.
- Mroczek, M., 2004, The Distribution of the Geothermal Fields in the Taupo Volcanic Zone, Wairekei Research Centre, Kawerau, New Zealand.
- Mutlu, H., 2007, Constraints on the origin of Balıkesir thermal waters (Turkey) from stable (d18O, dD, d13C, d34S) and Major-Trace Element Compositions, Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.), Vol. 16, , pp. 13-32
- Ölmez, E., 1995, Uşak-Banaz Hamamboğazı -2 (HB-2) Sıcaksu Sondajı Kuyu Bitirme Raporu, MTA Ankara.
- Ölmez, E., 2000 a, Uşak-Banaz Hamamboğazı Jeotermal Sahası Jeoloji-Hidrojeoloji Etüdü. MTA, Ankara.
- Pasvanoğlu, S., Canik, B., Arıgün, Z., 2005, Geothermal Potential of the Banaz-Hamamboğazı Thermal and Mineral Waters. Proceedings World Geothermal Congress. P.1-7, Antalya.
- Robinson, J.B.D., 1977, Fluoride: Its occurrence, analysis effects on plants, diagnosis and control. In: Seminar On Problems of High Fluoride Waters, CENTO Scientific Programme, Report No. 28, 147-195, Erzurum, Turkey.

- Serpen, U., 2003, Hydrogeological Investigations on Balçova Geothermal Systems in Turkey. *Geothermics* 33 (2004) 309–335
- Şener, M., Gevrek, A.İ., Ercan, T., 1999, Tuzla-Çanakkale Jeotermal Alanının Hidrotermal Alterasyon Etüdü ve Kayaçların Petrolojisi. MTA, Ankara.
- Şimşek, C., 2005., Balçova Jeotermal Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği, Türk Tesisat Kongresi, TESKON, Jeotermal Seminer Kitabı, 361–368.
- Tarcan, G., 2004, Mineral saturation and scaling tendencies of waters discharged from wells (>150 °C) in geothermal areas of Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 142 (2005) 263– 283.
- Tarcan, G., 2003, Gemici, Ü., 2003, Water geochemistry of the Seferihisar geothermal area, Izmir, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 126 225-242.
- Uygan, D., Çetin, Ö., 2004, Bor'un Tarımsal ve Çevresel Etkileri: Seydisuyu Su Toplama Havzası Agricultural and Environmental Effects of Boron: Seydisuyu Water Deposit .II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü, Su Yönetimi.
- Yüce, G., 2006, A Geochemical study of the groundwater in the Misli Basin and environmental implications, *Environ Geol* (2007) 51:857–868
- 27 Temmuz 2001 tarih ve 24472 sayılı Kaplıcalar Yönetmeliği, Ankara.
- 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı İnsani tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği, T.C. Sağlık Bakanlığı, Ankara.