

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**YÜKSEK LİSANS
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
HİDROBİYOLOJİ PROGRAMI**

**SİMAV ÇAYI HAVZASINDAKİ DOĞAL JEOTERMAL
KAYNAK ÇIKIŞLARI İLE MANİSA İLİ DOĞAL
JEOTERMAL ÇIKIŞLARINDAKİ As, B, F
KARŞILAŞTIRILMASI VE BUNLARIN DİĞER SU
KAYNAKLARI ÜZERİNE OLASI ETKİLERİ**

Hazal APAYDIN

**Danışman
Prof. Dr. Şükran YILDIZ**

MANİSA-2024

HAZAL
APAYDIN

SİMAV ÇAYI HAVZASINDAKİ DOĞAL JEOTERMAL KAYNAK ÇIKIŞLARI İLE MANİSA İLİ
DOĞAL JEOTERMAL KAYNAK ÇIKIŞLARINDAKİ A, B, F KARŞILAŞTIRILMASI VE
BUNLARIN DİĞER SU KAYNAKLARI ÜZERİNE OLASI ETKİLERİ

2024

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

Hazal APAYDIN



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Hazal APAYDIN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman:
Prof. Dr. Şükran YILDIZ

Bu çalışmada; Simav Çayı (Balıkesir) havzasındaki doğal jeotermal kaynak çıkışları ile Manisa ili Kula bölgesindeki jeotermal çıkışların Arsenik, Bor, Flor konsantrasyonları karşılaştırılmış ve diğer su kaynakları üzerine olabilecek etkileri ortaya konmuştur. Sındırgı Hisaralan jeotermal alanında; doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı yüzey suyu olmak üzere kurak ve yağışlı döneme ait 11 adet numune alınmıştır. Hisaralan jeotermal alanındaki doğal çıkışların Simav Çayı'na olan etkisinin boyutunu belirleyebilmek amacıyla As, B ve F için dağılım grafikleri çizilmiştir. Yüzey suyu ile doğal çıkışların karışımından oluşan örneklerin minimum ve maksimum değerlerinin As (57,28-67,04µg/l), B (3,47-5,41mg/l) ve F (5,17-10,07mg/l) değerlerinin su kirliliği kontrol yönetmeliğinde izin verilebilen limit değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür.

Hisaralan jeotermal alanından alınan örneklerin analiz sonuçları ile Manisa ili Kula ilçesinden 7 örnekleme noktasından 4 jeotermal kaynak, 3 yüzey suyu örneği üzerinde kurak ve yağışlı dönem için As, B ve F analizleri ile WHO ve Sağlık Bakanlığı'nın İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda Hisaralan bölgesinin hem sıcaklık hem de As, B, F değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kula doğal çıkış ve kaynaklar arsenik hariç bor ve flor bakımından İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'ne uygun iken Hisaralan örnekleri kullanım ve sulama suyu açısından uygun olmayıp, özellikle sağlık açısından yüksek risk oluşturabilecek değerlerde arsenik içermektedir. İçeriği bakımından kullanıma uygun olmayan bu kaynaklar, ısınma, termal turizm ve uygun koşullarda elektrik üretiminde değerlendirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal Doğal Çıkış, Arsenik, Bor, Flor, Hisaralan, Simav

2024, 62 sayfa



ABSTRACT

M.Sc.

Hazal APAYDIN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department Biology**

Supervisor: Prof. Dr. Sukran YILDIZ

In this study; As, B, F concentrations of natural geothermal spring outflows in Simav Stream (Balıkesir) basin and geothermal outflows in Kula region of Manisa province were compared and their possible effects on other water resources were revealed. Eleven samples during dry and wet periods were taken from Sındırgı Hisaralan geothermal field, including natural outflow, mixture and Simav Stream surface water. Scatter plots were drawn for As, B and F in order to determine the extent of the effect of natural outflows in Hisaralan geothermal field on Simav Stream. It was observed that the minimum and maximum values of Arsenic (57,28- 67,04 μ g/l), Boron (3,47- 5,41mg/l) and Fluorine (5,17- 10,07mg/l) of the samples consisting of a mixture of surface water and natural outlets were above the permissible limit values in the water pollution control regulation.

The analysis results of the samples taken from Hisaralan geothermal area were compared with As, B and F analyses for dry and wet periods on 4 geothermal springs and 3 surface water samples from 7 sampling sites in Kula district of Manisa province and with WHO and Ministry of Health's Regulation on Water Intended for Human Consumption. As a result of the comparison, it is seen that both temperature and As, B and F values are higher in Hisaralan region. While Kula natural outlets and springs comply with the Regulation on Water Intended for Human Consumption in terms of boron and fluorine except arsenic, Hisaralan samples are not suitable for use and irrigation water and contain arsenic at values that may pose a high risk especially for health. These sources, which are not suitable for use in terms of their content, can be used for heating, thermal tourism and electricity generation under appropriate conditions.

Keywords: Geothermal Natural Outflow, Arsenic, Boron, Fluorine, Hisaralan, Simav

2024, 62 pages



ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada; Simav Çayı (Balıkesir) havzası Sındırgı Hisaralan mevkiindeki doğal jeotermal kaynak çıkışları, karışım ve yüzey suyu ile Manisa ili Kula bölgesindeki jeotermal çıkışların As, B, F konsantrasyonları karşılaştırılmış ve diğer su kaynakları üzerine olabilecek etkileri ortaya konmuştur.

Çalışmamın her aşamasında bana bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Şükran YILDIZ'a, arazi çalışmaları sırasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim İlker APAYDIN'a ve her zaman yanımda olan kardeşim L. Aytuğ Sav'a teşekkürlerimi sunarım.

Hazal APAYDIN
Manisa, 2024



İÇİNDEKİLER	SAYFA
TAAHHÜTNAME.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xi

BİRİNCİ BÖLÜM

1 GİRİŞ	1
---------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

2 GENEL BİLGİLER	4
2.1 Dünyada Jeotermal Enerji	5
2.2 Türkiye’de Jeotermal Enerji	7
2.3 Jeotermal Suların Çevresel Boyutu	10
2.3.1 Arsenik	12
2.3.2 Bor	14
2.3.3 Flor	17
2.4 Çalışma Konusunda Yapılan Literatür Çalışmaları.....	21
2.5 Tezin Amacı	22

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1 Materyal.....	23
3.1.1 Çalışma alanı 1	23
3.1.2 Çalışma Alanı 2.....	27
3.2 Yöntem	29
3.2.1 Fiziksel Analizler	29
3.2.2 Sıcaklık.....	30
3.2.3 pH.....	31
3.2.4 Elektriksel İletkenliği (E.C)	31
3.3 Kimyasal Analizler	32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1 Bulgular	33
4.1.1 Sıcaklık.....	33

4.1.2	Elektriksel İletkenlik	34
4.1.3	Arsenik Değerleri	39
4.1.4	Flor Değerleri	41
4.1.5	Bor Değerleri.....	43
4.1.6	Sındırgı Hisaralan ile Kula Jeotermal Alanı Karşılaştırma.....	45
4.2	Tartışma.....	52

BEŞİNCİ BÖLÜM

5	SONUÇ ve ÖNERİLER	54
	KAYNAKLAR.....	56



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

As	Arsenik
B	Bor
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
EC/ Eİ	Elektriksel iletkenlik
F	Flor
l/s	Litre/saniye
mg/l	Miligram/litre
MTA	Maden Tektik ve Arama Genel Müdürlüğü
MW/ MWe	Megawatt elektrik
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
µmho/cm	Mikromho/cm
µS/cm	Mikrosiemens/cm
µg/l	Mikrogram/litre

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1 Türkiye Jeotermal Kaynak Alanları ve Sıcaklık Dağılım Haritası	8
Şekil 2 Jeotermal potansiyeli oluşturan alanların bölgelere göre yüzdeleri.....	10
Şekil 3 Hisaralan Yer Bulduru Haritası	23
Şekil 4 Sındırgı Meteoroloji İstasyonu'nun aylık ortalama sıcaklık, yağış ve kar yağışlı günleri	25
Şekil 5 Hisaralan Vejetasyonu	25
Şekil 6 Hisaralan doğal kaynak çıkışı	26
Şekil 7 Hisaralan doğal çıkış birikimi.....	26
Şekil 8 Kula yer bulduru haritası	27
Şekil 9 Kula yıllık sıcaklık değişimi	28
Şekil 10 Kula jeotermal doğal kaynak çıkışı	29
Şekil 11 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örneklerine ait sıcaklık dağılım haritası	33
Şekil 12 Sıcaklık ve elektriksel iletkenlik arasındaki ilişki	35
Şekil 13 Jeotermal kaynaktan çıkan suların Simav Çayı'na karışımı.....	35
Şekil 14 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri kurak dönem Arsenik (As) dağılımı	39
Şekil 15 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri yağışlı dönem Arsenik (As) dağılımı.....	40
Şekil 16 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri kurak dönem Flor (F) dağılımı	41
Şekil 17 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri yağışlı dönem Flor (F) dağılımı.....	42
Şekil 18 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri kurak dönem Bor (B) dağılımı.....	43
Şekil 19 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri yağışlı dönem Bor (B) dağılımı	44
Şekil 20 Kula jeotermal alanındaki doğal çıkış, Gediz Nehri ve kaynak örneklerine ait sıcaklık dağılımı	48
Şekil 21 Kula jeotermal alanındaki doğal çıkış, Gediz Nehri ve kaynak örneklerine ait yağışlı dönem Arsenik dağılımı	49
Şekil 22 Kula jeotermal alanındaki doğal çıkış, Gediz Nehri ve kaynak örneklerine ait yağışlı dönem Bor dağılımı.....	50
Şekil 23 Kula jeotermal alanındaki doğal çıkış, Gediz Nehri ve kaynak örneklerine ait yağışlı dönem Flor dağılımı	51

TABLÖLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1 Jeotermal Enerji Kullanım Alanları	6
Tablo 2 Türkiye Jeotermal Kaynak Kullanım Tablosu	9
Tablo 3 Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının sınıflandırılması	15
Tablo 4 Bitkilerin sulama sularında yer alan Bor elementine nispi toleransları	16
Tablo 5 Türkiye'de yer alan bazı jeotermal kaynakların As, B, F ve EC değerleri ..	19
Tablo 6 Çalışma alanı 1 (Hisaralan) Numune Alanları ve Koordinatları	24
Tablo 7 Çalışma Alanı 2 (Kula) Numune Alanları ve Koordinatları.....	27
Tablo 8 TSE (1985) suların sıcaklık değerlerine göre sınıflandırılması	30
Tablo 9 Bogomolow'a göre suların sıcaklık değerleri ile sınıflandırılması	31
Tablo 10 Suların elektiriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflaması	32
Tablo 11 Yağışlı Dönem Hisaralan Sındırgı örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri.....	37
Tablo 12 Kurak dönem Hisaralan Sındırgı örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri.....	38
Tablo 13 Yağışlı dönem Kula örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri	46
Tablo 14 Kurak dönem Kula örnekleri As, B, F ile T, pH, EC,TÇM değerleri.....	47

BİRİNCİ BÖLÜM

1 GİRİŞ

Giderek artan Dünya nüfusu ve enerji ihtiyacı, fosil kaynakların yenilenememesi ve çevreye verdiği olumsuz etkileri nedeniyle, gün geçtikçe yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim artmaktadır. Güneş, rüzgar, hidroelektrik ve jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynaklarının başlıcalarıdır. Yeryüzünde kullanılan enerjinin yaklaşık % 39'unu petrol, % 27'sini kömür ve % 21'ini doğal gaz, % 13'ünü hidroelektrik ve yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır [1]

Fosil yakıtlara göre sürdürülebilirliğinin fazla olması, çevreye verdiği olumsuz etkilerin daha az oluşu temiz enerji olarak nitelendirilen jeotermal kaynakların önemini arttırmaktadır. Latince; geo: yer ve term: ısı kelimelerinden oluşmakta olan jeotermal enerji, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısıнын oluşturduğu, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre erimiş mineral madde, tuz ve gaz içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilmektedir [2]

Yerkürede; daha sıcak olan merkezden yüzeye doğru akan iç ısı olarak belirtilen jeotermal enerjide yeryüzüne olan ısı akışının ortalama 82 miliwatt/m² olduğu varsayılmakta bunun da dünya enerji gereksinimini 6 milyon yıl karşılayacak büyüklükte olduğu tahmin edilmektedir [3]. Jeotermal enerji de yüzeye ulaşan sıcaklığın %30'u çekirdek ve mantodan sıcaklık aktarımı ile oluşurken %70'i ise yeryuvarı içinde bulunan potasyum, uranyum ve toryumun radyoaktif izotoplarının bozunması sonucu oluşmaktadır. Yüksek basınç ve sıcaklık, kayaçları eriterek magmayı meydana getirmekte, magmada yukarı doğru hareket ederek 700 °F (371 °C) sıcaklığa kadar kaya ve suyun ısınmasına sağlamaktadır [4].

Jeotermal enerji ile ilgili bilinen ilk çalışmalar, 1904 yılında İtalya'da Larderello kuru buhar jeotermal sahasında küçük çaplı bir elektrik santralının kurulması ile başlamış olup, ülkemizde ilk santral 1984 yılında işletmeye açılmıştır [5]. Ancak jeotermal enerjinin tarihçesine bakıldığında, Prehistorik çağlardan bu yana M.Ö 3000'li yıllarda termal kaynak olarak kullanıldığı görülmektedir [6].

M.Ö. 10.000 Jeotermal akışkandan Akdeniz Bölgesi'nde çanak, çömlek, cam, tekstil, krem imalatında yararlanıldı.

M.Ö. 1500 Romalı'lar ve Çin'liler doğal jeotermal kaynakları banyo, ısınma ve pişirme amaçlı olarak kullandı.

630 Japon İmparatorluğu'nda kaplıca geleneği yaygınlaştı.

1200 Jeotermal enerji ile mekan ve su ısıtması yapılabileceği Avrupalılar tarafından keşfedildi.

1322 Fransa'da köylüler doğal sıcak su ile evlerini ısıtmaya başladı.

1818 F. Larderel ilk defa jeotermal buhar kullanarak Borik Asit elde etti.

1833 P. Savi tarafından İtalya'daki Larderello Bölgesi'nin altındaki jeotermal rezervuarın yayılımı araştırıldı.

1841 İtalya (Larderello)' da yeni teknikler kullanılarak jeotermal kuyularının açılmasına başlandı.

1860 ABD (California)'da "The Geysers" tesisleri açıldı.

1930 İzlanda'da büyük ölçekli merkezi ısıtma projesi çalışmaları başladı.

1930 İzlanda, ABD, Japonya ve Rusya'da jeotermal akışkanın kullanımı yaygınlaştı.

1904 İtalya'da (Larderello), jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi sağlandı.

1945 Süt pastörizasyonunda ilk kez jeotermal akışkandan yararlanıldı.

1958 Yeni Zelanda'da "Flash Metodu" ile jeotermal elektrik üretimine başlandı.

1960 California (The Geysers) jeotermal alanında ticari elektrik üretimi için ilk kez kuru buhar kullanıldı.

1963 Türkiye'de ilk jeotermal sondaj kuyusu İzmir (Balçova)' de açıldı.

1968 Türkiye'de elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyu Denizli (Kızıldere)' de açılarak, Denizli (Kızıldere) jeotermal alanı keşfedildi.

1974 Türkiye'de ilk jeotermal elektrik deneme santrali Denizli- Kızıldere'de 0,5MWe kapasiteli ve ilk 1000 m² deneme sera tesisleri kurulmuştur.

1978 ABD (Nevada)'de ilk jeotermal gıda kurutma tesisi kuruldu.

1978 Meksika (New Mexico)'da kızgın kuru kayada jeotermal rezervuar oluşturulup test edilmeye başlandı.

1979 Endonezya'da ilk jeotermal elektrik üretimi gerçekleştirildi.

1980 Batı Amerika'da bazı jeotermal elektrik santralleri kuruldu.

1981 Hawaii (Puna)'de kurulan jeotermal tesisler faaliyete geçti.

1982 Türkiye' de Aydın (Germencik) jeotermal alanı keşfedildi.

1983 Türkiye'de kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal ısıtma sistemi İzmir'de (Balçova) kuruldu.

1984 Türkiye'nin ilk ve Avrupa'nın İtalya'dan sonra ikinci jeotermal enerji santrali (20.4 MWe kapasiteli) Denizli (Kızıldere)' de hizmete açıldı.

1985 Jeotermal elektrik santrallerinde yaklaşık 2.000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine ulaşıldı.

1987 ABD (Nevada)'de jeotermal akışkan altın üretiminde kullanıldı.

1987 Türkiye'nin ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Balıkesir (Gönen)' de işletmeye açıldı.

1996 Türkiye' de 15.000 konut ana kapasiteli İzmir (Balçova) jeotermal merkezi ısıtma sistemi devreye girdi

2001 Türkiye'nin jeotermal kurulu ısıtma gücü 493 MWt' e ulaştı. Türkiye böylece jeotermal elektrik dışı uygulamalarda Dünya' nın 5. büyük ülkesi durumuna geldi.

2009 Türkiye'nin en büyük jeotermal santrali olan Aydın-Germencik Jeotermal Enerji Santrali'nin devreye alımı gerçekleştirildi [6].

İKİNCİ BÖLÜM

2 GENEL BİLGİLER

Jeotermal kaynaklar, yer altındaki sıcak su ve buharın yüzeye çıkmasıyla oluşan doğal enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar; düşük ($20\text{--}70^{\circ}\text{C}$), orta ($70\text{--}150^{\circ}\text{C}$) ve yüksek (150°C den yüksek) sıcaklık olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Yüksek sıcaklık değerine sahip akışkandan, elektrik üretiminde, düşük ve orta akışkandan ise doğrudan ısıtma ve soğutma da yararlanılmaktadır [7]. Isıtma Uygulaması: sera, konut, tarımsal kullanımlar, balıkçılık, yol-kaldırım ısıtılması, endüstride yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayi, dericilik ve soğutma tesislerinde, kimyasal madde üretiminde borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su ve akışkandaki karbondioksitten kuru buz ve sıvı karbondioksit elde edilmesinde kullanılmaktadır [8, 9].

Yer altında depolanan jeotermal enerji kaynakları; doğal sıcak su, jeotermal kuru buhar ve jeotermal ısı pompaları olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal sıcak su kaynakları, yer altındaki buharın doğrudan yüzeye çıktığı alanlarda bulunmakta ve sıcak suyun buharlaştırılması ve buharın türbinler aracılığıyla enerjiye dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır. Jeotermal kuru buhar kaynaklarında, yer altındaki buhar doğrudan türbinlere iletilir ve buharın kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir [10, 11].

Uzun süre yüksek sıcaklıkta sıvı-mineral etkileşiminde bulunan jeotermal sistemler, büyük oranda kimyasal türü çözebilmektedir. Jeotermal kaynakların, içerdikleri anyonlar (negatif yüklü iyonlar), katyonlar (pozitif yüklü iyonlar) ve diğer elementler açısından oldukça zengin ve çeşitli olduğu bilinmektedir. Bileşenler, kaynakların sıcaklık, mineral içeriği ve kullanım alanlarını belirlemektedir. Jeotermal akışkan; rezervuardan çıkan yüksek sıcaklıkta lityum (Li), bor (B), arsenik (As), kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), demir (Fe), sülfat (SO_4^{2-}) ve klorür (Cl) gibi bileşenlerden oluşan akışkan ile cıva, hidrojen sülfür, amonyak, metan ve radon elementlerini içeren buhardan oluşmaktadır.

Jeotermal kaynaklardaki temel bileşenler [11]:

Sodyum (Na⁺): Jeotermal suların içinde yaygın olarak bulunan bir katyon türüdür. Yüksek sıcaklık ve basınç altında sodyum, suda iyonlaşır ve jeotermal kaynakların elektrik üretimi gibi çeşitli enerji uygulamalarında kullanılır.

Potasyum (K⁺): Jeotermal sularda yer alan önemli katyonlardan potasyum iyonları, bitki besin maddesi olarak kullanılabilir.

Kalsiyum (Ca²⁺) ve Magnezyum (Mg²⁺): Bu iyonlar, jeotermal suların içinde bulunan sertlik oluşturan minerallerdir. Suyun içindeki kalsiyum ve magnezyum miktarı, kaynağın sertliğini ve bu suyun kullanım alanlarını etkilemektedir.

Hidrojen Karbonat (HCO₃⁻) ve Sülfat (SO₄²⁻): Yaygın olarak bulunan anyon türleridir. Bu anyonlar, sıcak suyun mineral içeriğini zenginleştirir. Özellikle hidrojen karbonat, suyun alkali özelliğini artırmaktadır.

Florür (F⁻) ve Bor (B): Bazı jeotermal kaynaklar, florür ve bor gibi iz elementleri içerebilir. Bu elementler, endüstriyel ve kimyasal süreçlerde kullanılabileceği gibi yerel ekosistemler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir.

Demir (Fe) ve Diğer İz Elementler: Bazı jeotermal kaynaklar, demir ve diğer iz elementleri içerebilir. Bu elementler suyun rengini ve kimyasal özelliklerini etkileyebilmektedir.

2.1 Dünyada Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji kaynakları, dünya genelinde farklı jeolojik koşullar altında bulunup, çeşitli uygulamalarda kullanılabilmektedir. Jeotermal enerji doğrudan, ısıtma ve soğutma uygulamaları için, dolaylı ise elektrik üretiminde kullanılmaktadır [12]. 150°C altındaki sıcaklıklarda doğrudan; sera, bölge ısıtma-soğutma, sulu tarım, balık havuzları, mineral çıkarımı ve endüstriyel alanlarda yararlanılmaktadır (Tablo 1). Jeotermal kaynakların doğrudan kullanımı; jeotermal konut ısıtması %74,8, kaplıca-sağlık amaçlı kullanım %18, sera ısıtması %3,5, jeotermal balıkçılık %1,3, endüstriyel kullanım %1,6, soğutma-kar eritme %0,2 ve %0,2 diğer uygulamalar şeklindedir [13].

Tablo 1 Jeotermal Enerji Kullanım Alanları [14]

SICAKLIK (°C)	KULLANIM ALANLARI
180 °C	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, Elektrik üretimi, amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170 °C	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfid eldesi
160 °C	Kereste kurutmacılığı, balık kurutmacılığı
150 °C	Bayer's metodu ile alüminyum eldesi
140 °C	Konservacilik, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması
130 °C	Şeker endüstrisi, tuz endüstrisi,
120 °C	Distilasyonla temiz su elde edilmesi
110 °C	Çimento kurutmacılığı
100 °C	Organik maddeleri kurutma (Deniz yosunu, çimen, sebze), yün yıkama ve kurutma
90 °C	Balık kurutma (stok balık)
80 °C	Yer ve sera ısıtmacılığı
70 °C	Soğutma (Alt Sıcaklık Limiti)
60 °C	Sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı
50 °C	Mantar yetiştirme, balneolojik hamamlar
40 °C	Toprak ısıtma
30 °C	Yüzme havuzları, fermentasyonlar, damıtma
20 °C	Balık çiftlikleri

2018 yılı verilerine göre; Dünyada jeotermal enerji kaynaklı gücün 14.9 GWe düzeyinde olduğu görülmektedir [15]. Doğrudan olmayan kullanım alanını ise elektrik üretimi oluşturmaktadır.

Yıllık elektrik üretimi 68,6 milyar kWh olup, jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke; ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya şeklindedir. ABD’de yer alan 60 jeotermal enerji santrali elektrik üretmektedir [16]. Jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde; ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda ilk beş ülke arasında yer almaktadır.

Dünya’da jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk 5 ülke ise Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve Japonya’dır. Dünya’nın en büyük jeotermal kuşağı olan Alp-Himalaya kuşağı; Türkiye, İtalya, Macaristan, Yunanistan, Çin, Hindistan, Pakistan ülkelerini içermektedir. Bu kuşakta yer almayan Japonya, İrlanda, Meksika, Yeni Zelanda, Endonezya gibi ülkelerde jeotermal kaynak bakımında zengin ülkelerdendir [17, 18].

2000 yılında 10.000 MWe olan dünya toplam kurulu güç kapasitesi, iki kat artarak 2020’de 20.000 MWe’ye yaklaşmış olup, 2050 yılına kadar, jeotermal kaynaklarla elektrik üretiminin yılda 1400 TWh değerine ulaşacağı düşünülmektedir [19].

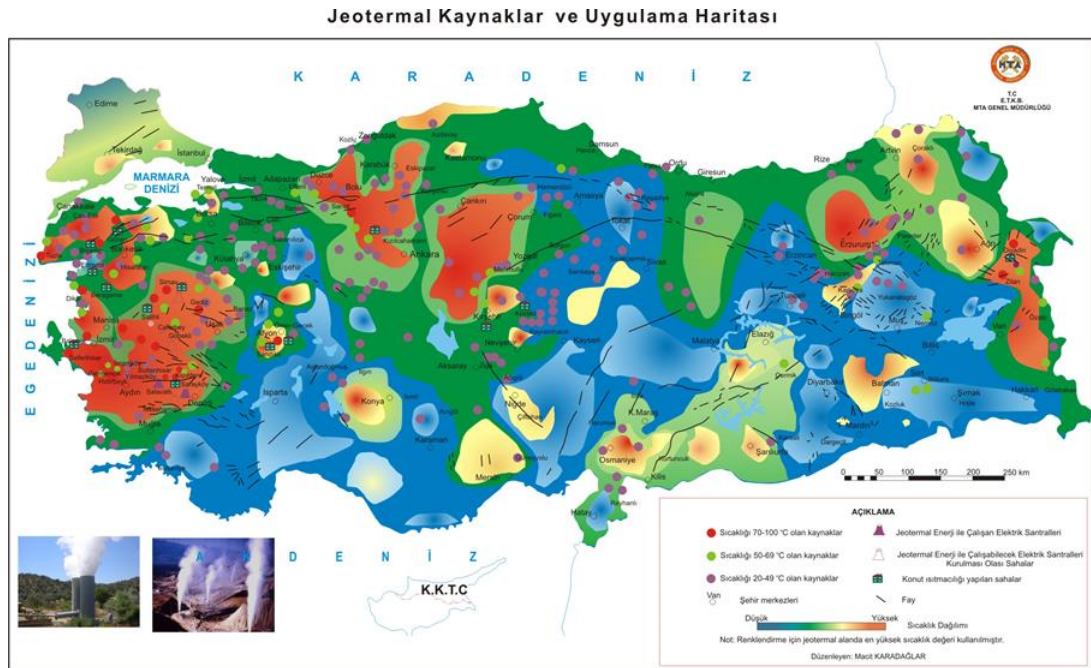
Reenjeksiyon ile yenilenebilen jeotermal enerji, doğru bir şekilde işlendiğinde uzun vadeli enerji sağlamakta aynı zamanda işletme ve bakım maliyetlerinin diğer enerji kaynaklarına göre daha düşük olduğu bilinmektedir [20]. Bu nedenle jeotermal enerjinin gelecekteki potansiyel uygulamalarında; ısı pompalarının evlerde ve işyerlerinde ısıtma ve soğutma için kullanımının yaygınlaşabileceği ve sanayi tesislerinin jeotermal enerjiyi endüstriyel ısıtma için kullanarak enerji maliyetini azaltacağı düşünülmektedir [21].

2.2 Türkiye’de Jeotermal Enerji

Sanayi devrimi sonrası hızla artan nüfus, fosil yakıt rezervlerinin azalması, tüm dünyayı olduğu gibi, ülkemizi de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmektedir.

Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer alan Türkiye, yüksek jeotermal potansiyeline sahip olmakta (yaklaşık 31.500 MW) ve bu potansiyelden elektrik enerji üretimi, ısıtma, soğutma, sulama, sera, sağlık, turizm ve endüstriyel amaçlı pek çok farklı alanlarda yararlanılmaktadır [22]. Elektrik üretimi için jeotermal enerji, jeotermal elektrik santralleri aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu santraller, yüksek sıcaklıktaki yer altı kaynaklarından buhar üreterek elektrik üretimini gerçekleştirmektedir.

2021 itibariyle Türkiye, jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde 1613 MWe ulaşarak, üretilen elektriğin %2'sini jeotermalden karşılayarak, Dünyada bu alanda elektrik üretiminde 4. Sırada yer almıştır [23, 24]. Türkiye; jeotermal kaynakları ve çıkışlarıyla birlikte kaynak zenginliği bakımından 7. sırada bulunmakta, sıcaklık alt sınırı 20°C kabul edildiğinde ise Avrupa'da kaynak grubu bakımından 1. Sırada yer almaktadır [25]. Sıcaklığı 30°C ve üzerinde olan 347 adet jeotermal sahaya sahiptir. Bunların dağılımı, doğal kaynak ve kuyu sıcaklık değerleri esasına göre; %88'i düşük ve orta, %12'si sıcaklığı 295°C'ye kadar ulaşan yüksek sıcaklıklı sahalar şeklindedir (Şekil 1). Jeotermal ısıtılarda Çin, İzlanda ve Türkiye başta yer almaktadır [18].



Şekil 1 Türkiye Jeotermal Kaynak Alanları ve Sıcaklık Dağılım Haritası [15]

Alan ve bölge ısıtmasında yararlanılabilecek saha sayısı enerji üretilebilecek sahalarda ki kullanım 153 olup, tüm sahaların %43'ünü oluşturmaktadır. Geriye kalan düşük ve orta sıcaklıkta akışkan içeren %45'lik dilimdeki diğer sahalar, sıcaklık ölçütleri esas alınarak (80°C'den düşük) sera, sağlık, termal turizm ve diğer uygulamalardaki kullanımlar için potansiyel alanlardır (Tablo 2).

Jeotermal kaynakların, bilinen en eski kullanım alanlarından olan kaplıca ve balneolojik kullanımda Türkiye Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır [26]. Türkiye'nin jeotermal kaynaklarından 20.000 yabancı ile yaklaşık 20 milyon yerli turist faydalanmaktadır [27].

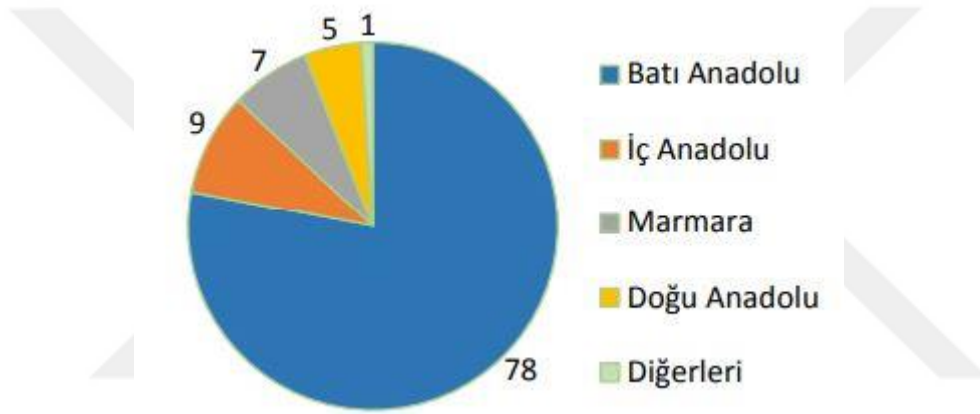
Tablo 2 Türkiye Jeotermal Kaynak Kullanım Tablosu [28]

Jeotermal Saha	Saha sayısı Sıcaklığı (≥ 30°C)			347		
	Doğal çıkış Kaynak sayısı			600		
Alan dağılımı	Yüksek / Düşük ve orta entalpili alanlar		44 / 303	%12 / %88		
	Elektrik üretimi		44	%12		
Potansiyel	Isıtma / Termal kullanım		153/135	%43 / %45		
	Tahmini teorik potansiyel (MWt)			52700 – 62000		
Kuyu	Kullanılabilir potansiyel (MWt)			20000		
	Tahmini kuyu sayısı			>2500		
Değerlendirme	Doğrudan kullanım	Saha	Yerleşim	Kurulu Güç (MW)	Miktar	
	Merkezi ısıtma	154	18	1223	137650	Konut Eşdeğeri
	Termal kullanım	135		1205	450	Adet
	Sera ısıtması	154		834	4350	Dönüm
	Termal tesis otel ısıtması	154		420	46400	Konut Eşdeğeri
	Jeotermal ısı pompası			76	845	Konut Eşdeğeri
	Tarımsal kurutma	154	3	1,5	-	
	Soğutma	1	1	0,35	-	
	TOPLAM			3487	184550	Konut Eşdeğeri
	Elektrik Üretimi	Saha	Uygulama	Santral	Kurulu Güç (MW)	Üretim (MW)
	44	20	64	1672	1557,71	
	Sıvı CO ₂ Üretimi		Kapasite(ton/yıl)		240000	
	Toplam CO ₂ Üretimi		Kapasite(ton/yıl)		400000	

Aktif fayların ve volkanizmanın etkinliğine bağlı olarak ülkemizin her bölgesinde jeotermal ilişkili kaynak olsa da, mevcut kaynakların çoğu Batı Anadolu Bölgesi'nde bulunmaktadır. Afrika Levhası'nın Ege Denizi'ni altına alarak tektonik bir ortam oluşturduğu Ege bölgesi'nde hem akışkan hem de ısı dolaşımı içeren faylar yer almaktadır [29, 25].

Jeolojik yapısı itibariyle Batı Anadolu ve Ege Bölgesi grabenleri derinliği 4000m'ye ulaşan üretim kuyuları ile önemli jeotermal potansiyeli olan sahalara sahiptir. Bu bölgelerdeki sıcak su kaynakları, jeotermal enerji santralleri tarafından elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Özellikle Denizli, Manisa, Afyonkarahisar gibi iller, jeotermal enerji üretiminde öncü konumdadır [30].

Jeotermal enerji potansiyeli yüksek olan ülkemizde farklı sıcaklıklara sahip kaynakların; % 78'i Batı Anadolu'da, % 9'u İç Anadolu'da, % 7 si Marmara Bölgesinde, % 5'i Doğu Anadolu'da ve % 1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. [31] (Şekil, 2).



Şekil 2 Jeotermal potansiyeli oluşturan alanların bölgelere göre yüzdeleri

Dünya genelinde jeotermal enerji kapasitesi açısından ilk sıralarda yer alan Türkiye'nin sahip olduğu jeotermal enerji potansiyeli, 2021 yılı itibariyle 3.000 MW elektrik üretimi kapasitesini aşmıştır. Bu potansiyelin sadece %10'u kullanılmaktadır, bu da Türkiye'nin jeotermal enerjisi daha etkin bir şekilde kullanma potansiyeline işaret etmektedir [30].

2.3 Jeotermal Suların Çevresel Boyutu

Jeotermal enerji sistemlerinin etkileri, bu enerji kaynağının sürdürülebilirliği ve çevreye olan etkisi açısından önemli bir konudur. Jeotermal uygulamaların çevresel etkileri; fiziksel, kimyasal, sosyo-ekonomik ve biyolojik olarak sınıflandırılabilir.

Fiziksel etkiler; yer altındaki sıcak su kaynaklarının aşırı kullanımı, enerji üretimi sırasında yerin altındaki basınç değişiklikleri, sismik aktiviteyi başlatarak mikrodrepremlere ve yüzeysel çöküntülere yol açabilmektedir. [11]. Wairakei jeotermal alanında, 50 yıl süreyle çıkarılan jeotermal akışkan, reenjeksiyon yapılmadığından arazinin 15 m çökmesine neden olmuştur [32].

En büyük çevresel problemi oluşturan kimyasal etkileri ise hava ve su kaynaklı kirleticileri kapsayan jeotermal akışkanlarda yer alan yoğunlaşmayan gazlarda bulunan karbondioksit (CO_2) ve değişen miktarlarda hidrojen sülfür (H_2S), amonyak (NH_3), azot (N_2), hidrojen (H_2), civa (Hg), bor buharı (B), radon (Rn) ve metan (CH_4) gibi gazların salınımı ile jeotermal enerjinin işletimi sırasında serbest bırakılan gazlar, yüksek oranda içerdiği hidrojen sülfür ve amonyak oluşturmaktadır [33]. Bu bileşikler; sucul ekosistem, yüzey-yeraltı ve içme sularında toksik etkiye neden olabilmektedir. Buharda yer alan, H_2S insanlar ve bitkiler için zehirli bir gaz olup, aşındırıcı etkiye sahip olabilmektedir.

Jeotermal alanlarda yapılan sondaj ve üretim aşamalarında yüksek sıcaklıklarda kullanılan rezervuarlar arsenik, bor gibi yüzey ve yeraltı sularına zarar verebilecek kirleticiler içerebilmekte bu da yüzeysel akış ve çatlaklardan sızıntı yoluyla bitki örtüsüne zarar verebilmektedir [18].

Aynı zamanda jeotermal arama ve üretim faaliyetleri sırasında çıkan, silika, borik asit, metalik tuzlar ve diğer mineraller yüzey ve yeraltı sularını etkileyerek çevre flora ve faunanın kalitesini bozabilmektedir [33]. Jeotermal sistemlerden işletim sonrası gelen sular, deşarj edileceği sucul ortamdan daha yüksek sıcaklığa sahip olduğundan nehir ve deniz ekosistemlerini korumak için bertaraf edilmeden önce havuzlarda soğutulabilmelidir. Kullanım sonrası deşarj edilen suyun hem bileşiminde içerdiği maddeler hem de sahip olduğu 2-3 derecelik sıcaklık farkı birçok balık türü ve yumurtalarının gelişimi üzerinde olumsuz etki bırakabilmektedir [18].

Biyolojik etkiler; insan, bitki ve hayvan sağlığına olan tüm olumsuz durumları kapsamaktadır.

Sosyoekonomik etkiler ise demografi, konut ve tesisler, sosyokültürel problemler, yer şekilleri, arkeolojik, doğal kaynakların bozulmasını içermektedir.

Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında temiz bir enerji olarak değerlendirilen jeotermal kaynaklar, yer altındaki minerallerle temas ederek, fay hatları boyunca doğal

olarak yükselen sıcak sular pek çok noktada kaynak şeklinde boşalmakta ve en yakın yüzey su kaynağına karışmaktadır. Günümüzde açılan sondaj kuyuları yardımıyla yüzey sularına olan doğal kaynak çıkışları büyük oranda azalmıştır.

Fakat sıcak su yeryüzüne ulaşamasa da fay hattı boyunca ilerlerken geçirimli akifer tabanında soğuk yeraltı sistemine karışıp, yeraltı suyunun kimyasal ve ısıl kirlenmesine neden olabilmektedir [18]. Jeotermal tesislerden gelen atık suların uzaklaştırılması sırasında da jeotermal akışkan yüzeye çıkabilmekte ve bu tarımsal rekolteler ile sucul habitatlarda yaşayan bazı türleri olumsuz etkileyebilmektedir [34].

Jeotermal suların yüzey sularına ve çevreye olan etkisi, jeotermal kaynakların özelliklerine ve kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin; Batı Anadolu Bölgesi'nin jeolojik yapısı incelendiğinde burada yer alan jeotermal suların, toksik özellik gösteren arsenik, bor, antimon gibi insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından risk içeren, içme ve sulama suyunu olumsuz etkileyerek sağlığı tehdit eden elementler bakımından zengin olduğu bilinmektedir.

Batı Anadolu Bölgesi'nde yer alan jeotermal kaynaklarda yapılan araştırmalarda; bor konsantrasyonunun 30 mg/L olduğu, kanserojenik etkisi yüksek olan arsenik konsantrasyonlarının 1000 µg/L'ye kadar ulaşabildiği görülmüştür [35]. Bu değerlerin, içme suyu standartlarının kabul edilebilir değerlerinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

2.3.1 Arsenik

Katı halde gümüş-beyaz renklere sahip olan arsenik, renksiz ve kokusuz bir element olup genellikle saf halde nadiren bulunmaktadır. Organik ve inorganik formda bulunabilen arseniğin, kalsiyum, sodyum ve potasyum arsenatları ile sülfid ve oksitler halinde bileşikler yer almaktadır. Organik arsenik bileşikler genellikle bitki ve hayvanlarda bulunurken, inorganik arsenik ise su kaynaklarında ve toprakta doğal olarak bulunabilmektedir [36].

Zehirleyici özelliğe sahip olan bu elementi, doğal sular genellikle 0,2 ile 1,0 µg/l arasında içermektedir. Doğal suların yanı sıra antropojenik olarak arseniğin kaynağını; tarımsal ilaçlar ve gübreler, madencilik faaliyetleri ile asit drenajları ile jeotermal kaynak işletimleri ve kaplıcaların atık suları oluşturmaktadır.

Sülfür ve demir içeren minerallerde bulunan arsenik bunların yüksek sıcakta çözünmesi ile yeraltı sularına geçmektedir. Jeotermal sularda arsenik, özellikle rift zonlarındaki kaynaklardan etkilenmektedir [37]. Bu kaynaklar yüksek silisyum, bor, lityum ve yüksek tuzluluk gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı sıcaklığın artırılmasıyla ilişkilendirilmektedir. Jeotermal suların arsenik içeriği, kaynağın özelliğine ve bulunduğu bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak değişebilmektedir.

Jeotermal enerji üretimi için kullanılan sıcak suların, dışarı edildiği nehirlerde yüksek arsenik konsantrasyonlarına sahip olması önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır [38]. Yüzey ve yeraltı sularının yüksek arsenik içeriği çevresel sorunlarla birlikte sağlık sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 1993 yılında, USEPA Ocak 2001’de içme sularında yer alabilen en yüksek As miktarını 0,05 mg/L’den 0,01 mg/L değerine indirmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme ve kullanım suları için belirlenen arsenik değerinin (10 µg/l) üzerinde içeren su kaynaklarının tüketimi; el ayak lekelenmeleri ile şiddetli döküntü, dermatit ile başlayıp uzun süre maruz kalma sonucunda cilt, akciğer kanseri, mesane ve böbrek kanseri gibi birçok kanser türüne neden olma potansiyeli taşımaktadır [39, 40]. Ayrıca, arsenik kalp hastalıkları, diyabet, karaciğer hastalıkları ve diğer birçok sağlık sorununa da yol açabilmektedir [41]. Reenjeksiyon uygulamalarının sığ derinliklere yapılması sonucu toprak ve yüzey sularında yüksek değerlere ulaşan arsenik kirliliği ile mücadele de çeşitli filtreleme ve içme suyu arıtma sistemleri üzerinde yöntemler geliştirilmektedir [42].

2.3.1.1 Bazı jeotermal kaynakların arsenik içeriği

Arsenik içeriğini yüksek olan kaynaklar; ABD, Japonya, Yeni Zelanda, Arjantin, Kamçatka, Fransa ve Dominik Cumhuriyeti’nde yer almaktadır. Jeotermal sulardan, tatlı sulara arsenik geçişi ise Kamçatka’nın bir bölümü, Şili, Batı Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Yeni Zelanda da görülmüştür.

ABD Yellowston Parkı’nda 7.800 µg/l, Kaliforniya Honey Lake Havzası’nda 2.600 µg/l, Lassen Volkanik Ulusal Parkı’nda 27.000 µg/l, Yeni Zelanda’da 9.000 µg/l, Şili Antofagasta’da 45.000-50.000 µg/l, Japonya’da 500-4.600 µg/l arasında, İzlanda’da 50-120 µg/l tespit edilmiştir [40].

Yüzey ve yeraltı sularında arseniğin temel kaynağını alüvyonal ve volkanik sedimentler oluşturduğundan Güney Asya ülkeleri, Macaristan ve Çin’de yeraltısularında, alüvyonal sedimentlerdeki demir oksihidroksitlerin (HFO) çözünmesine bağlı yüksek arsenik derişimleri görülmekte iken Arjantin, Şili ve Meksika ise alüvyonal akiferlere ve termal kaynaklara bağlı yüksek arsenik konsantrasyonlarına sahiptir [36].

Ülkemizde Menderes Masifi ‘nde yer alan jeotermal kaynaklarda yüksek miktarlarda bulunan arsenik, reenjeksiyon ile yüzeye daha yakın derinliklere çıkabilmekte ve buna bağlı olarak jeotermal kaynaklara yakın yüzey sularını ve alüvyon alanlarını etkileyebilmektedir [43]. Türkiye’de yer alan bazı jeotermal kaynakların içeriği arsenik içeriği Tablo 5 de verilmiştir.

2.3.2 Bor

Kayalarda ve toprakta bol bulunan elementlerden olan bor, sıcak sularda yer alan yaygın kirleticilerdendir. Suyun pH’ına göre asitli sularda $B(OH)_3$, bazik sularda $B(OH)_4$ şeklinde bulunmaktadır. Bor derişimi, toprakta 2 ile 100 ppm, deniz suyunda ortalama 4,6 ppm, tatlı suda ise 0,01’den daha düşük değerlerde görülmekte, toprakları yüksek bor içeren bölgelerde ise 1,5 ppm’e çıkabilmektedir [44]. Bor minerali genellikle oksijene bağlı bileşikler halinde volkanik ve termal aktivite gösteren bölgelerde bulunmaktadır.

Tarımsal üretimde mikro besin kaynağı olarak verimi arttırmak amacıyla kullanılan bor bileşiklerinden, endüstriyel alanda cam üretimi, ilaç üretimi ve deterjanlarda ağartıcı etkeni olarak kullanılmaktadır [45].

Yüksek bor konsantrasyonlarına; bor bakımından zengin gübrelerin fazla kullanıldığı, uçucu küllerin maruz kaldığı topraklar ile endüstriyel atıklar, deterjan kalıntılarının deşarj edildiği sularda görülebilir.

Sulama suyunda bulunan yüksek bor derişimi toprağın gözenekli yapısını bozarak, bitki köklerinin kurumasına, içme sularında yüksek olması ise mide ve bağırsak rahatsızlıklarına neden olabilmektedir. Bor mineraline dayanıklı bitkilerin sulama suyunda, 3 mg/L, içme suyunda 2 mg/L maksimum değer olarak kabul edilmektedir [46].

Jeotermal kaynaklardan kirlenen topraklarda bor miktarı genellikle 1 mg/l'den düşüktür ve bu tür topraklar genellikle bitki gelişimi için uygundur. Sulama suyundaki bor miktarı normal şartlarda en fazla 0,5 mg/l olmalıdır. Bor içeriğine karşı hassas bitkiler için kabul edilebilir aralık 0,33 ile 1,25 mg/l arasındayken, bora dirençli bitkiler için zararlı seviye 3,75 mg/l'nin üzerindedir [47]. Bu sınırların aşılması durumunda bitki kökleri zarar görebilir ve toprakta birikerek verimsizliğe neden olabilmektedir.

Bor; kemik sağlığı, beyin fonksiyonları, hormon dengesi ve diğer birçok sağlık yararına sahip bir element olsa da borun yüksek konsantrasyonlarının; karaciğer ve böbrek hasarı, kısırlılık gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir [41]. Jeotermal suların bor içeriği, tıpkı arsenik içeriğinde olduğu gibi kaynakların özelliklerine ve kaynakların bulunduğu bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak değişebilmektedir.

Yeraltı sularında ise doğal olarak 0.01- 10.0 mg L⁻¹ arasında bulunan bor elementine, bitkiler ihtiyacı olan 1 mg L⁻¹'den fazla maruz kaldıklarında toprak ve bitkide olumsuz etki oluşabilmektedir [44]. Bitkide nükleik asit sentezi, karbonhidrat ve protein metabolizması, kök, çiçek ve meyve gelişimi üzerinde etkili olan bor aynı zamanda bitkiyi viral, fungal hastalıklara ve zararlı böceklere karşı da korumaktadır.

Bitkiler için bor miktarı 1ppm'den daha az ise bor eksikliğinde oluşabilecek etkiler, 5ppm'den fazla ise bor fazlalığı ve toksik etki oluşabilmektedir [48, 44] (Tablo 3). Bu nedenle yapay gübrelemeye dikkat edilmeli, bor derişimine göre duyarlı ya da dayanıklı bitki türleri tercih edilmelidir (Tablo 4).

Tablo 3 Bor konsantrasyonuna göre sulama sularının sınıflandırılması [44]

Kalite Sınıflandırılması		I.Sınıf (Çok iyi)	II.Sınıf (İyi)	III.Sınıf (Orta)	IV. Sınıf (Şüpheli)	V.Sınıf (Kullanılamaz)
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

Tablo 4 Bitkilerin sulama sularında yer alan Bor elementine nispi toleransları [44]

Duyarlı / Sensitive	Yarı Dayanıklı / Semi-Sensitive	Dayanıklı / Resistant
Sulama Suyunda / <i>Irrigation Water</i> 1 mg L ⁻¹	Sulama Suyunda / <i>Irrigation Water</i> 2 mg L ⁻¹	Sulama Suyunda / <i>Irrigation Water</i> 4 mg L ⁻¹
Ceviz / <i>Walnut</i>	Ayçiçeği / <i>Sunflower</i>	Ilgın / <i>Tamarisk</i>
Enginar / <i>Artichoke</i>	Patates / <i>Potato</i>	Kuşkonmaz / <i>Asparagus</i>
Kuru Fasulye / <i>Bean</i>	Pamuk / <i>Cotton</i>	Palmiye / <i>Palm</i>
Erik / <i>Plum</i>	Domates / <i>Tomato</i>	Hurma / <i>Date</i>
Armut / <i>Pear</i>	Bezelye / <i>Pea</i>	Şekerpancarı / <i>Sugar Beet</i>
Elma / <i>Apple</i>	Turp / <i>Radish</i>	Yem Pancarı / <i>Fodder Beet</i>
Üzüm / <i>Grape</i>	Zeytin / <i>Olive</i>	Yonca / <i>Clover</i>
İncir / <i>Fig</i>	Arpa / <i>Barley</i>	Bakla / <i>Broad Beans</i>
Kiraz / <i>Cherry</i>	Buğday / <i>Wheat</i>	Soğan / <i>Onion</i>
Şeftali / <i>Peach</i>	Mısır / <i>Corn</i>	Şalgam / <i>Turnip</i>
Kayısı / <i>Apricot</i>	Yulaf / <i>Oat</i>	Lahana / <i>Cabbage</i>
Portakal / <i>Orange</i>	Kabak / <i>Pumpkin</i>	Marul / <i>Lettuce</i>
Greyfurt / <i>Grapefruit</i>	Lima Fasulyesi / <i>Lima Bean</i>	Havuç / <i>Carrot</i>
Limon / <i>Lemon</i>	Biber / <i>Pepper</i>	

2.3.2.1 Bazı jeotermal kaynakların bor içeriği

Dünyanın birçok yerinde eser miktarda yer alan bor elementi, Türkiye (Bati Anadolu), ABD (Kaliforniya), Kanada, Arjantin, Şili, Bolivya, Peru, Tibet, Çin, Hindistan, İran, Suriye, Yeni Zelanda, Yeni Gine, İtalya, Japonya, Almanya ve Britanya’da ekonomik boyutlarda bor yatakları yer almakta, Güney Amerika ve Japonya’daki termal sular ile Tuscany’daki (İtalya) volkanik bölgeleri yüksek konsantrasyonlarda bor içermektedir [49]. Türkiye’de yer alan bazı jeotermal kaynakların içeriği bor içeriği Tablo 5 de verilmiştir.

2.3.3 Flor

Doğada yaygın bulunan ve birçok yaşam formu için önemli olan bir element olan flor, florür iyonu (F-) şeklinde, birçok bileşiğin yapısında bulunmaktadır. En yaygın florür kaynakları arasında; doğal sular, mineraller, bitki ve hayvan dokuları yer almaktadır. Endüstride flor, cam ve seramik üretiminde, metal işleme sektöründe, pestisit ve florür içeren kimyasal ürünlerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır [50].

İnsanlar ve hayvanlar için en temel flor kaynağını su oluşturmaktadır. Diş sağlığı açısından oldukça önemli bir rol oynayan flor elementi, uygun miktarlarda alındığında diş minesini güçlendirerek, flor oluşumunu önlemektedir [51].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme suyu standartları için belirlenen florür değerinin 1,5 mg/l, uzun süre aşılması durumunda başta florozis olmak üzere; diş lezyonları, kemik hasarı, böbrek hasarı, bel kemiğinde eğrilik, bacakta çarpıklık ve diğer sağlık sorunlarına neden olabilmektedir [40, 41, 52]. Türkiye’de belirlenen içme suyu standartlarına (TSE 266) ve Sağlık Bakanlığı’nca çıkartılan “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik”e (17.04.2005 tarih ve 25730 sayılı R.G.) göre izin verilen flor düzeyi 1.5 ppm'dir.

Jeolojik yapıya bağlı olarak kayalarda yer alan arsenik, bor, flor gibi elementler, su-kayaç etkileşimi nedeniyle suda çözünerek doğal su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Araştırmalar Dünya üzerinde florozisin termal sular ve volkanik kayalarla ilişkili olduğunu öne sürmektedir [53, 40].

Jeotermal kaynaklarda erimiş halde bulunan florür, 20-53 mg/l'ye kadar yükselebilmekte ve jeotermal kaynakların yer aldığı bölgelerde ise yüzey sularının da flor içeriğini etkileyebilmek ve flor zehirlenmelerine neden olabilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü, 2013 yılında yayınladığı raporda Türkiye'nin de yer aldığı 25 ülkede endemik florozis hastalığının görüldüğünü bildirmiştir. Tendürek Dağı çevresinde hem yeraltı sularında hem de yüzey sularında yüksek miktarda florürün yer aldığı, insan ve hayvanlarda florozis vakaları tespit edilmiştir [54]. Konya'da florun içme suyundaki etkisinin araştırıldığı bir çalışmada; içme suyu kuyularından alınan 50 numunede florür konsantrasyonları ölçülmüş ve bazı kimyasal analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, tüm numunelerde florür seviyelerinin TS266 standartlarının altında olduğu belirlenmiştir. En yüksek florür konsantrasyonu 0,42 mg/L ile Sakarya bölgesindeki kuyularda, en düşük değer ise 0.092 mg/L ile Ali Taşoluk Kuyusu'nda tespit edilmiştir. Bu durum, içme sularındaki florür seviyelerinin diş ve kemik sağlığı açısından önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Florür seviyesi düşük olan kuyulardan su temin eden sistemlerde florür ilavesi gereklidir ya da suyu kullanan bireyler florür içeren takviyelerle desteklenmelidir [55].

2.3.3.1 Bazı jeotermal kaynakların flor içeriği

Volkanik aktivitelerin fazla olduğu bölgelerde yer alan jeotermal alanlarda; İzlanda, Tayvan, Yeni Zelanda, Fransa, Cezayir, Tunus, ABD'nin batısı flor konsantrasyonlarının arsenik, bor, silisyum, nitrat ve hidrojen sülfür ile birlikte ortalama 1-10 mg/l aralığında yüksek değerlere sahip olduğu ve asidik koşullar altında jeotermal kaynaklardaki bulunan flor konsantrasyonlarının 1.000 mg/l'nin üzerine çıkabildiği bildirilmiştir [40]. Türkiye'de yer alan bazı jeotermal kaynakların flor içeriği Tablo 5 de verilmiştir.

Tablo 5 Türkiye'de yer alan bazı jeotermal kaynakların As, B, F ve EC değerleri [56]

İLLER	Kaynak sayısı	*Florür (mg/l) (en düşük-en yüksek)	*Bor (Toplam) (en düşük-en yüksek)	*Arsenik (Toplam) (en düşük-en yüksek)	Elektrik iletkenliği (µm/cm) (en düşük-en yüksek)
Afyonkarahisar	63	3-6 (bir kaynak 60)	2-11	0,4-27	1.800-7.000
Ağrı	14	2,5-3	22-34	0,04	1.700-3.200
Aksaray	7	0,1-0,3	0,1-32	0,1-10	410-4.300
Amasya	7	0,6-1,3	0,4	0,04-0,2	500-750
Ankara	36	0,5-2,5	0,1-19,5	0,1-0,5	2.000-12.000
Ardahan	1	1,0-4,0	-	-	-
Artvin	2	0,6	23	-	6780
Aydın	29	0,7-12,5 (bir kaynak50)	7-68	0,2-0,8	500-6.600
Balıkesir	45	0,4-9,80	0,2-16	0,3	400-6.100
Batman	1	-	0,2	-	3.000
Bilecik	1	0,9	3,9	-	1.800
Bingöl	7	1,2-4,7	1,1-9,8 (bir kaynak58)	0,06	1.800-6.850
Bitlis	5	0,5-3,3	3,9	-	-
Bolu	10	0,5-7,3	0,1-7,7 (bir kaynak50)	0,05	410-8.100
Bursa	16	0,4-5,5	0,2-1,9	0,02	400-1.900
Çanakkale	25	1-10 (bir kaynak 430)	0,2-34 (bir kaynak74)	0,01-0,09	500-3.300 (bir kaynak 85.000)
Çankırı	5	3,5-5	0,6-18-36	0,1-6	600-9.000
Çorum	6	0,3-1,5	-	-	450-1.100
Denizli	41	1,1-24	2-30	0,5-4	2.100-4.800
Diyarbakır	1	5,5	1,4	0,02	910
Düzce	3	1,4-7	1,1	-	350-8.000
Elazığ	3	1,4-1,8	5,9-8,3	-	2.400-3.900
Erzincan	2	0,4	8-25	-	3.200-5.300
Erzurum	17	0,1-5,5	1,6-34	-	600-8.300 (bir kaynak 16.400)
Eskişehir	14	0,4-2,3	0,4	-	340-1.100
Gaziantep	1	-	-	-	1.225
Hakkari	2	3,8	275-284	-	9.200-9.700
Hatay	6	0,3-2,5	0,5-7,5	-	850-6.200
İzmir	34	1,6-14 (bir kaynak 61)	0,7-15	0,1-0,8	970-1.600 (32.000-55.200)
Kahramanmaraş	5	0,5	0,5	-	400

İLLER	Kaynak sayısı	*Florür (mg/l) (en düşük-en yüksek)	*Bor (Toplam) (en düşük-en yüksek)	*Arsenik (Toplam) (en düşük-en yüksek)	Elektrik iletkenliği (µm/cm) (en düşük-en yüksek)
Karabük	1	-	16	0,2	3.400
Karaman	1	0,3	16,3	-	-
Kars	2	-	22-23	-	3.880-6.370 (bir kaynak 58.300)
Kastamonu	1	0,3	-	-	620
Kayseri	10	0,5-1,8	1,2	-	350-1.400 (bir kaynak 22.100)
Kırşehir	20	1,8-7,9	0,2-5,9	0,3	400-6.900
Kocaeli	1	0,5	-	-	280
Konya	12	0,4-3,1	0,2-1,8	0,1	280-4.670
Kütahya	49	0,3-18	0,1-7,8	0,9	450-3.010
Malatya	1	-	6,7	-	1.450
Manisa	38	0,3-7,5	0,6-116 (30-94)	0,5	900-5.200
Mardin	1	-	0,3	-	1900
Mersin	3	1	2,7	-	8240-9630
Muğla	15	1,7-3,2	0,5-6	-	1.400-58.700
Muş	5	-	1-4,5	-	2.200
Nevşehir	8	1,3-4,6	0,7-32	0,09	900-3.900
Niğde	10	0,4-4,7-	3,8-24	0,02	650-4.600
Osmaniye	2	0,8-1,3	2	-	1.800-2.200
Ordu	3	0,5-3,2	1	0,5	320-2.900
Rize	8	0,5-1,3	37-58	-	135-4.630
Sakarya	16	0,8-6	0,4-28	0,5	620-7.700
Samsun	7	0,5-3,3	0,3	0,1	400-670
Siirt	6	1,3-6,3 (bir kaynak 135)	0,6	0,1	1.600-2.300
Sivas	16	0,4-22	0,6-35	0,03-60	330-2.900
Şanlıurfa	5	1,2-1,5	0,4	0,1	600-900
Şırnak	1	-	0,2	-	1.720
Tokat	7	0,6-4,3	0,5-25	0,04-1,5	290-3.300
Tunceli	1	1,5	7,7	-	2.250
Uşak	6	55-89 (bir kaynak 287)	2,2-6	0,1-1,5	2.500-3.950
Van	14	0,5-4	26-88 (bir kaynak 204)	0,1-0,9	1.200-7.200
Yalova	9	2-8,6	1-4,8	-	2.500-2.700
Yozgat	14	1,5-26	0,3-6,6	0,1	600-17.100
Zonguldak	2	1-1,1	0,1	0,1	1.400-1.800
Toplam=63 il	700 kaynak ve kuyu				

2.4 Çalışma Konusunda Yapılan Literatür Çalışmaları

Şimşek (2005), İzmir Balçova jeotermal kaynağında arsenik konsantrasyonu 1.419 µg/l, bölgedeki yüzey sularında ise sıcak sulardan kaynaklanan kirlenmeye bağlı olarak 182,4 µg/l gibi yüksek değerlerde arsenik tespit edilmiştir. Kaynak ve kuyudan yüzeye jeotermal akışkanın çıkış sıcaklıkları ile arsenik içerikleri arasındaki ilişki Gediz Ilıca alanında 37,5-77 °C ve 104-172 µg/l arasında Balçova'da ise, 62-138 °C ve 164-1.420 µg/l olarak belirtmiştir. Balçova jeotermal suyunda 21,3 mg/l bor saptanmıştır ve yüzey ile yer altı sularında görülen kirlenmenin, sıcak sulardan kaynaklandığı tespit edilmiştir [46].

Gündüz (2009), Kütahya ilinde yer alan graben özelliği gösteren Simav Ovası'nda sıcak sularda ortalama 376 µg/l arsenik, Simav Havzası'nda üç jeotermal kaynaktan yapılan Simav Eynal Kaplıca suyunda 662 µg/l, Emet Yeşil Kaplıca suyunda 45,50 µg/l, Dereli kaplıca suyunda ise 115 µg/l arsenik tespit etmiştir [57].

Mott (2022), Vulcano (İtalya), Los Humeros (Meksika) gibi kaynaklar ve Milos Adası (Yunanistan), Kızıldere ve Alaşehir sahaları (Türkiye) ve Salton Denizi (ABD) gibi yüksek sıcaklıktaki jeotermal sistemlerdeki akışkanlarda yüksek B konsantrasyonları (15-100 mg/L), Java (Endonezya) için 100 mg/L'nin üzerinde ve Tibet, Çin için 500 mg/L'nin üzerinde kaydedilmiştir [58].

Deliboran (2020), Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi'ndeki akiferlerde bor konsantrasyonunun 163 mg L⁻¹ aralığında olduğu, ülkemizde bor içeriği yüksek sular nedeniyle, Afyon, Aksaray, Bigadiç, Burdur, Konya-Ereğli, Eskişehir, Germencik, Ömerbeyli, Iğdır, Karasaz, Kayseri, Yüksekova ve Salihli bölgelerinde topraklarda da yüksek düzeyde bor kirliliği olduğunu, toprak kirliliğinin yanı sıra yüksek konsantrasyonda bor içeren jeotermal suların sulama sularına karışmasının da Büyük Menderes Nehri için önemli bir sorun oluşturduğunu belirtmiştir [44].

Akar (2009), Denizli-Sarayköy Jeotermal Santrali ile Aydın-Salavatlı Jeotermal Santrali'nden Büyük Menderes Nehri'ne yapılan boşaltım sularının; yüzey sularında ve bu suyun kullanıldığı narenciye arazilerinde etkisini araştırmış, Kızıldere jeotermal alanında yer alan santral çalıştırıldığında saatte yaklaşık 1.500-1.800 ton sıcak suyu (150°C) içerisinde 25-30 mg/l bor elementi ile Büyük Menderes Nehri'ne boşalttığını

belirtmiştir. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde yer alan sulama suyu kriterlerine göre asgari değerler Bor için 1 mg/l 'dir.

Kullanılan atık suyun boşaltıldığı Büyük Menderes Nehri'nin bu havzada yer alan bor elementine karşı duyarlı narenciye ağaçlarına zarar verebildiğini ileri sürmüştür [59].

Akkuş ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada; Çanakkale, Uşak, Siirt gibi bazı bölgelerde flor içeriğinin WHO tarafından belirlenen 1,5 mg/L daha yüksek olduğu; Çanakkale'de 430 mg/l, Uşak'ta genellikle 55-89 mg/l aralığında, Siirt'te 135 mg/l, Afyonkarahisar'da 60 mg/l, Aydın'da 50 mg/l olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada; Kütahya'da 18 mg/l, Sivas'ta 22 mg/l, Yozgat'ta 26 mg/l, Aydın'da 12 mg/l, Balıkesir'de 9 mg/l, Denizli'de 24 mg/l, İzmir'de 14 mg/l, Kırşehir'de 9 mg/l ve Yalova'da 8,5 mg/l florür derişimleri hesaplanmıştır [60].

Demirel ve Delibaşı (2010), tarafından Van Çaldıran termal kaynakları ile Aydın Buharkent jeotermal kaynaklarından alınan örneklerde flor miktarının 0,8 ile 4,7 ppm aralığında değiştiği ve buna bağlı çocuklarda hafif, orta ve ileri derecede diş florozisi bulunduğu ileri sürülmüştür [51].

2.5 Tezin Amacı

Bu çalışma kapsamında; Simav Çayı Havzası Sındırgı Hisaralan (Çalışma alanı 1) mevkiinde doğal jeotermal kaynak çıkışlarının Simav Çayı üzerinde oluşturabileceği olası etkilerin araştırılması ve aynı zamanda Manisa İli Kula Bölgesi'nde (Çalışma alanı 2) görülen benzer jeotermal kaynak çıkışları ile As, B, F yönünden karşılaştırılması hedeflenmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Çalışma alanı 1

Balıkesir Sındırgı İlçesi'nin 13 km doğusunda yer alan Hisaralan termal kaynakları Karayolu ile Sındırgı'ya 20 km, Simav'a ise 72 km mesafededir. Simav Çayı'nın bir kolu olan Serin Dere vadisindeki termal kaynakların bulunduğu alan KB-GD ve D-B yönünde uzanmakta ve Simav Fay zone içinde yer almaktadır.



Şekil 3 Hisaralan Yer Bulduru Haritası

Tektonik hatlardaki değişimlere ve yıllık yağış miktarına göre farklılık göstermekle birlikte bölgede sıcak su kaynakları yaklaşık 45 noktadan çıkış yapmakta, termal kaynakların sıcaklıkları 37-98°C arasında değişmektedir.

Tablo 6 Çalışma alanı 1 (Hisaralan) Numune Alanları ve Koordinatları

Num. No	Num. Cinsi	Numunenin Adı	Numunenin Koordinatı (UTM 6 Derece Zon 35 ED-50 Datum)	
			Y (Sağa)	X (Yukarı)
1	Doğal Çıkış	ND-1 (Doğal Çıkış)	613528	4347435
2		ND-2 (Doğal Çıkış)	613540	4347490
3		ND-3 (Doğal Çıkış)	613556	4347527
4		ND-4 (Doğal Çıkış)	613628	4347486
5		ND-5 (Doğal Çıkış)	614052	4347029
6	Doğal Çıkışlar Karışım	MDR-1 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım)	613159	4346718
7		MDR-2 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım)	613015	4347110
8	Simav Çayı Ve Karışım	SR (SIMAV Çayı)	613225	4346725
9		SR-2 (SIMAV Çayı)	613289	4346793
10		SRND (Simav Çayı Jeotermal Karışım)	613173	4346664
11		SRND-2 (Simav Çayı Jeotermal Karışım)	613148	4346648

Çalışma sahası olan Sındırgı ilçesi sıcaklık özelliği bakımından Marmara geçiş ikliminde, yağış özelliği olarak da Akdeniz yağış rejiminde yer alır.

Topografya özellikleri, etkili olan basınç sistemleri ve hava dolaşımı özellikleri ile sıcaklığın ve yağışın alana ve zamana dağılışı iklim özelliklerini belirleyen temel etmenlerdir. Aylara göre sıcaklık dağılımı incelendiğinde ortalama sıcaklık verilerinde en yüksek değerin 24,9°C ile Ağustos ayında kayıt edildiği görülür.

Temmuz 22,7°C ve Eylül 20,9°C ile Ağustos'u izlemektedir. En düşük sıcaklıkların kaydedildiği aylar ise 5,2°C ile Ocak, 5,9°C ile Şubat, 6°C ile Aralık ve 9,5°C ile Kasım aylarıdır [61]. Aylara göre sıcaklık dağılımı incelendiğinde ortalama sıcaklık verilerinde en yüksek değerin 24,9°C ile Ağustos ayında kayıt edildiği görülür. Temmuz 22,7°C ve Eylül 20,9°C ile Ağustos'u izlemektedir. En düşük sıcaklıkların kaydedildiği aylar ise 5,2°C ile Ocak, 5,9°C ile Şubat, 6°C ile Aralık ve 9,5°C ile Kasım aylarıdır (Şekil, 4).

SINDIRGI	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
Ort.	5.0	5.7	8.2	12.8	16.8	22.4	24.6	24.6	20.6	15.8	9.3	5.9	14.3
Sıcaklık(°C)													
Aylık yağış mik.(mm)	60.8	51.8	58.0	57.4	35.4	17.4	7.2	4.6	15.2	32.5	72.5	94.9	507.7
Aylık Kar Yağ.													
Günler Say.Ort.	1.57	2.43	1.21	0.07	-	-	-	-	-	-	0.50	2.14	7.92

Şekil 4 Sındırgı Meteoroloji İstasyonu'nun aylık ortalama sıcaklık, yağış ve kar yağışlı günleri [62]

Çalışmanın yapıldığı Sındırgı Hisaralan jeotermal sahasında; yapılan literatür taramaları ve alanda daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde alanda ve çevresinde bulunma ihtimali olan endemik türe rastlanılmamıştır.

Doğal alanlar genelde otlatmaya açık olduğu için genellikle kozmopolit türler bu alanda yaşamaktadır. Alanın yapısı incelendiğinde segetal vejetasyonunun hakim olduğu görülmektedir (Şekil, 5).



Şekil 5 Hisaralan Vejetasyonu

Bölgenin faunasında yer alan memeli türleri genellikle Türkiye'de yaygın olarak bulunmaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresindeki yaban hayvanları, antropolojik etkilere uyum sağlamış ve büyük yaban hayvanları yer almamaktadır.

Çalışma bu havzada yer alan doğal çıkışlar ile Simav Çayı'ndan alınan karışım ve sonrası örneklerini içermektedir (Şekil 6, 7).



Şekil 6 Hisaralan doğal kaynak çıkışı



Şekil 7 Hisaralan doğal çıkış birikimi

3.1.2 Çalışma Alanı 2

Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Platoları'nın batısında, Alaşehir Grabeni'nin kuzeyinde Selendi Havzası'nın güneyi ile Gediz Grabeni'nin orta bölümünde yer alan Kula, Manisa iline bağlı bir ilçe olup, coğrafi konumu $28^{\circ} 68'$ kuzey enlem ve $38^{\circ} 53'$ doğu boylamları arasındadır. Deniz seviyesinden yüksekliği 720 metredir. 917 km²'lik yüzölçümü ile Manisa ili yüzölçümünün % 6.95' ini kapsamaktadır [63].



Şekil 8 Kula yer buldurur haritası

Tablo 7 Çalışma Alanı 2 (Kula) Numune Alanları ve Koordinatları

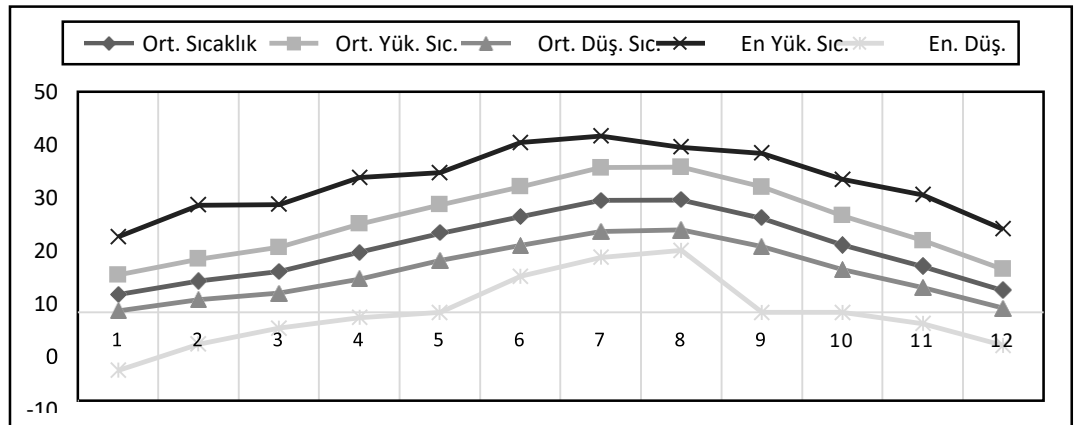
Num. No	Num. Cinsi	Numunenin Adı	Numunenin Koordinatı (UTM 6 Derece Zon 35 ED-50 Datum)	
			Y (Saga)	X (Yukarı)
1	Doğal Çıkışlar	K-1	653499	4279181
2		K-3	649652	4277428
3		K-5	644490	4281465
4		K-12	652073	4279519
5	Gediz Nehri ve Kaynaklar	K-2	649589	4278074
6		K-4	649304	4276958
7		K-6	644533	4281510

Ege Bölgesi'nden İç Batı Anadolu'ya geçişte yer alan ilçede kışları karasal iklim koşullarının da yer aldığı, yazların daha sıcak ve kurak geçtiği Karasal Akdeniz iklimi özellikleri görülmektedir. Ege'nin kıyıya yakın kesimlerine göre daha soğuk ve sert kış mevsimine sahip olan bölgede en kurak mevsim yazdır.

İç – Batı Anadolu iklim bölümünde yer alan Kula, Akdeniz iklimi ve Karasal iklim arasında bir eşik niteliğinde olmasından dolayı bitki örtüsünde değişiklikler göstermektedir. Dağ kütlelerinin deniz etkisini kesmesi, yer yer Akdeniz iklimi ve Karasal iklim, bitki türlerinin iç içe bulunmasına yol açmaktadır. Volkanik özelliği sebebiyle, ziraate yeterince elverişli olmayan bir araziye sahiptir [64]. Kula ilçesinin yüzölçümünün %59'u Orman ve tarıma elverişsiz alanlar, %39'u ise tarım yapılan alanları kapsamaktadır.

Kula ilçesinin yüzölçümünün %59'u orman ve tarıma elverişsiz alanlar, %39'u ise tarım yapılan alanları kapsamaktadır. Manisa İli genelinde ise Kula ilçesinin tarım uygulaması yapılan alanları %7 dir.

Bitki örtüsünde; yükseltiye bağlı olarak ova bitkileri, makiler, kuraklığa dayanıklı ve sürekli yeşil kalabilen Akdeniz bitkileri ve ormanlar yer almaktadır. Kula meteoroloji istasyonundan alınan verilerine göre yıllık ortalama sıcaklık 14,8°C'dir (Şekil, 9) [65].



Şekil 9 Kula yıllık sıcaklık değişimi [65]

Çalışma Kula İlçesi doğal kaynak çıkışları ile Gediz Nehri ile karışık yüzey su örneklerini içermektedir (Şekil, 10).



Şekil 10 Kula jeotermal doğal kaynak çıkışı

Saha çalışmalarında yüzey suları, jeotermal doğal çıkış ve Simav Çayı'ndan su örnekleri alınmış bunlar Manisa ili Kula Bölgesi'nden alınan örneklerle arsenik, bor ve flor içerikleri yönünden yapılan analizler sonrasında karşılaştırılmıştır.

Çalışmada jeotermal doğal çıkış, karışım ve yüzey sularını temsil eden Balıkesir ili Hisaralan mevkiinde toplam 11 adet, Manisa ili Kula ilçesinde ise 7 örnekleme noktasından 4 jeotermal kaynak, 3 yüzey suyu örneği ile alınan örnekler üzerinde kurak ve yağışlı dönem için As, B ve F analizleri yapılmıştır.

3.2 Yöntem

Örnekleme noktalarından pH, sıcaklık, EC elektrik iletkenliği, TDS ölçümleri insitu olarak gerçekleştirilmiştir. Alınan 500 ml ve 1000 ml'lik su örnekleri, polietilen şişelere konulmuş nitrik asit ilave edilerek $pH < 2$ olması sağlanmıştır.

3.2.1 Fiziksel Analizler

Suların fiziksel özellikleri WTW 340i marka multimetreye bağlı olan pH ve EC probu aracılığıyla elektriksel iletkenlik, pH ve tuzluluk değerleri insitu olarak

ölçülmüştür. Numune kapları standartlara uygun şekilde işlem öncesi saf suyla yıkanmış olup problemler her kullanım öncesi ilgili örneklerden kalan artıklardan arındırılmak üzere temizlenmiştir. Örnekler İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (İZSU) laboratuvarına 500 ml ve 1000 ml'lik yüksek yoğunluk polietilen (HDPE) kaplarda getirilmiştir.

Çalışma alanlarından alınan örneklerde insitu olarak ölçülen; sıcaklık (°C), elektriksel iletkenlik (EC-µs/cm), Hidrojen iyon aktivitesi (pH) Tablo 11 ve 12 de verilmiştir.

3.2.2 Sıcaklık

Su sıcaklığı; içme ve kullanım suları için önemli bir faktördür. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'e göre içme sularının 25°C altında olması gerekmektedir. Bu sıcaklığın üzerindeki sular, mineralli sular sınıfına dahil olmakta ve içme suyu için uygun olmayan suları oluşturmaktadır [66].

Çalışma alanında doğal çıkış gösteren jeotermal sular, yüzey suyu ile termal karışım ve yüzey suları olmak üzere sıcaklıkları farklı üç su grubu bulunmaktadır. Bu sular TSE (1985) ve Bogomolow sıcaklık değerlerine göre sınıflandırılmıştır. (Tablo 8, Tablo 9).

Tablo 8 TSE (1985) suların sıcaklık değerlerine göre sınıflandırılması

Sıcaklık Aralıkları	Sıcaklık Değerlerine Göre Su Sınıfı
20 °C >	Soğuk Su
20 °C <	Sıcak Su
20-34°C <	Epitermal Su
34-40°C <	Mesotermal Su
40-50°C <	Hipotermal Su
50-100°C <	Çok Sıcak Su
100°C <	Gayzerler, Fümeroller, Buharlar

Tablo 9 Bogomolow'a göre suların sıcaklık değerleri ile sınıflandırılması [67]

Sıcaklık Aralıkları	Sıcaklık Değerlerine göre Su Sınıfı
20 °C >	Soğuk Su
20-37°C <	Hipotermal Su
37-42°C <	Termal Su
42°C >	Hipertermal Su

3.2.3 pH

Suda yer alan hidrojen konsantrasyonunun negatif logaritması olan pH, 0 ile 14 arasında değişim göstermektedir. pH<7 olan sular asidik pH>8 olan sular ise bazik sular olarak sınıflandırılırken; asit ve bazik suların sınır değerleri 6,5 (asit su) ve 9,5 (bazik su) olarak kabul edilmektedir [66].

3.2.4 Elektriksel İletkenliği (E.C)

Suyun elektrik akımı iletebilme özelliğini olarak tanımlanan elektriksel iletkenlik, mikromho/cm ($\mu\text{mho/cm}$) veya mikrosiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) olarak ölçülmekte ve 25°C'deki değeri hesaplanarak verilmektedir. Suyun elektriksel iletkenliği; toplam çözünmüş madde miktarına, temas ettiği yüzeye ve çözünürlüğü ile yağış, sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Suyun elektriksel iletkenlik değeri 2500 $\mu\text{S/cm}$ üzerinde olması durumunda içme suyu olarak kullanılamaz [66]. 3000 $\mu\text{S/cm}$ üzerindeki E.C değerinin sulama sularında bulunması, bitkiler için zararlı olabilmekte, bu nedenle kullanılmaması gerekmektedir (Tablo 10).

Tablo 10 Suların elektiriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflaması [68]

EC $\mu\text{S}/\text{cm}$	Sınıflama
0-250	çok iyi
250-750	İyi
750-2000	Kullanılabilir
2000-3000	İhtiyatla Kullanılmalı
>3000	Zararlı kesinlikle kullanılamaz

Yüzeysel sulardaki, elektriksel iletkenlik değeri sudaki toplam çözünmüş madde miktarını gösterdiğinden önemli bir etken olup, jeotermal kaynaklarda yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle artış gösteren EC değerlerinin, yüzey sularında da yüksek olması jeotermal atık deşarjını ya da endüstriyel atık girdisini göstermektedir [35].

3.3 Kimyasal Analizler

Bu alışma kapsamında Simav ayı Havzası Sındırğı Hisaralan jeotermal alanındaki doğal kaynak çıkışlarının Simav ayı üzerinde oluşturabileceği olası kirlilik etkileri araştırılmış bunun için jeotermal çıkışlardan, karışım sularından ve yüzey suyundan örnekler alınarak su analizi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda Manisa İli Kula Bölgesi'nde görülen benzer jeotermal kaynak ıkışları ile As, B, F yönünden karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanlarından alınan su örnekleri; 500 ml'lik özel polietilen kaplar içerisinde, As, B ve F analizleri SM 3120 B, SM 4500 F- D ve SM 4500 B-B analiz standartları kullanılarak, ICP–ES (Inductively Coupled Plasma Emission) spektrofotometrik analizleri yapılmıştır.

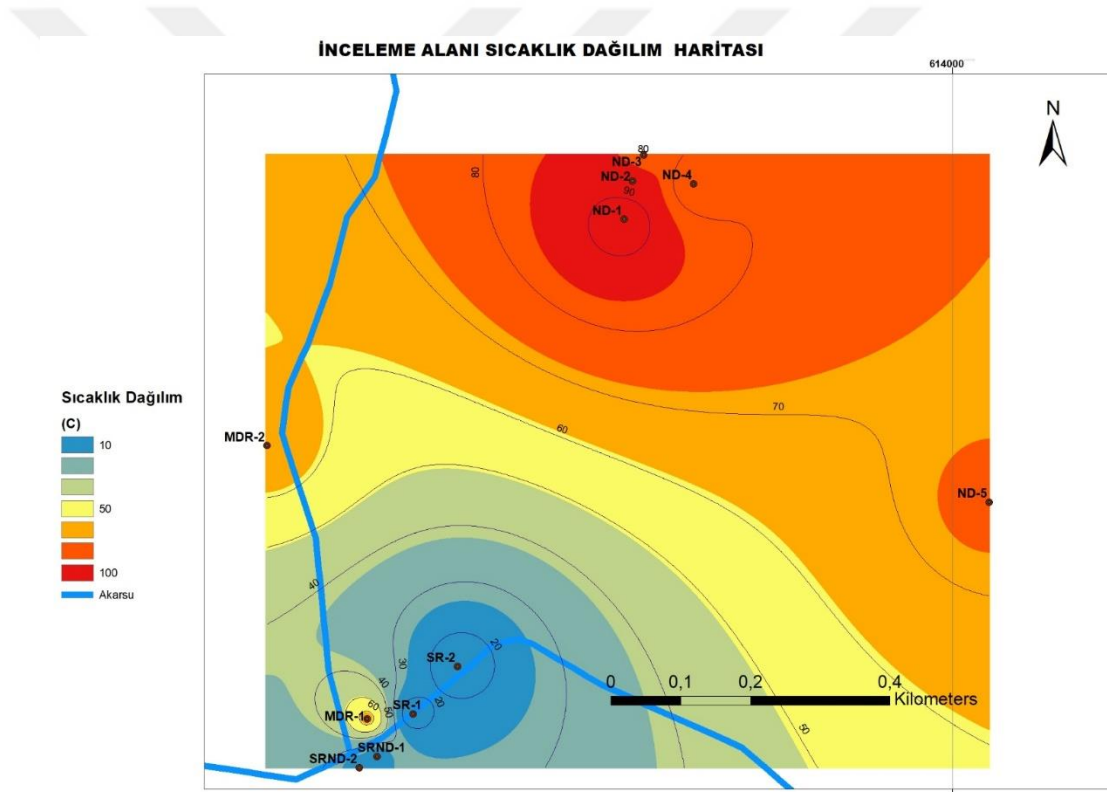
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bulgular

4.1.1 Sıcaklık

Jeotermal doğal çıkışların sıcaklıkları 70,1 - 97,6°C arasında değişmektedir. Termal su ile yüzey sularının karışımı 44,2 - 63 °C arasında, yüzey suyu olan Simav Çayı ise 14,9 - 15,5 °C arasında değişmektedir (Şekil, 11).



Şekil 11 Hisaralan Sıdırğı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örneklerine ait sıcaklık dağılım haritası

Çalışma alanı 1’de Simav Çayı’nda yer alan sular kurak ve yağışlı dönem için TSE (1985) standartlarına göre değerlendirildiğinde;

ND-1 (Doğal Çıkış) 95,3°C – 94,6°C, ND-2 (Doğal Çıkış) 88,6°C – 87,9°C

ND-3 (Doğal Çıkış) 79,9°C – 79,2°C

ND-4 (Doğal Çıkış) 76,5°C – 75,6°C

ND-5 (Doğal Çıkış) 73,4°C – 70,1°C

MDR-1 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım) 63,2°C – 58,7°C

MDR-2 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım 64,7°C – 58,1°C ile sıcak su sınıfına;

SRND (Simav Çayı Jeotermal Karışım) 23,6 – 19,6°C

SRND-2 (Simav Çayı Jeotermal Karışım) 23,8°C – 20,2°C ile hipotermal,

SR (Simav Çayı) 11,2°C- 15,2°C

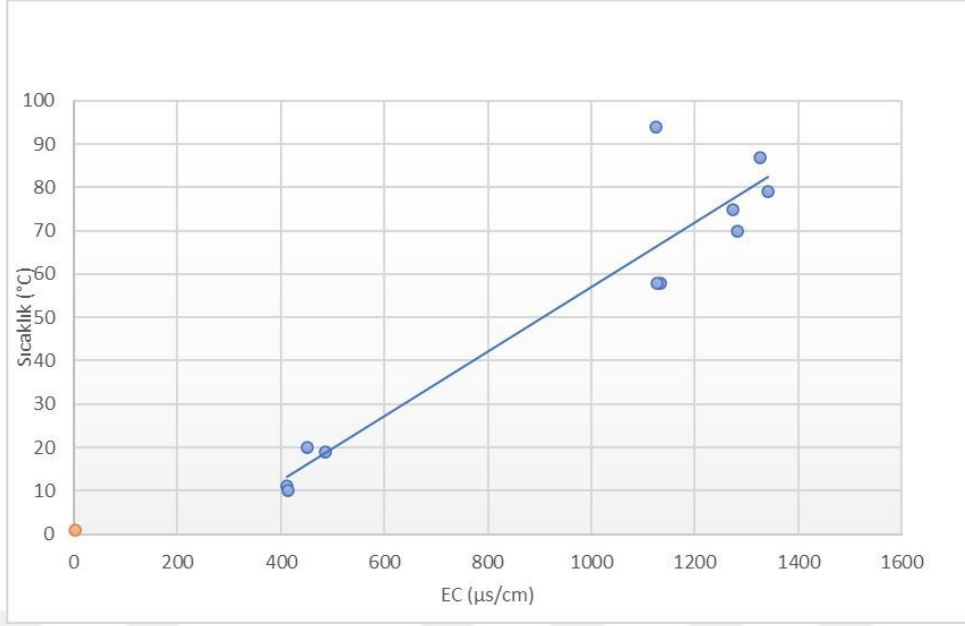
SR-2 (Simav Çayı) 10,6°C – 15,2 °C ile soğuk su sınıfına girmektedir.

Bogomolow'un sınıflandırması dikkate alındığında; ND-3, ND-4, ND-5 doğal çıkışları ile MDR-1, MDR-2, SRND, SRND- 2 (Simav Çayı- Jeotermal Karışım) hipertermal, SR ve SR-2 Simav Çayı ise soğuk su sınıfına girmektedir [67]. Simav Çayı Havzası Sındırgı Hisaralan jeotermal alanındaki su örneklerinin sıcaklık dağılımı doğal kaynakların bulunduğu alanlarda yoğunlaşmıştır (Şekil, 13).

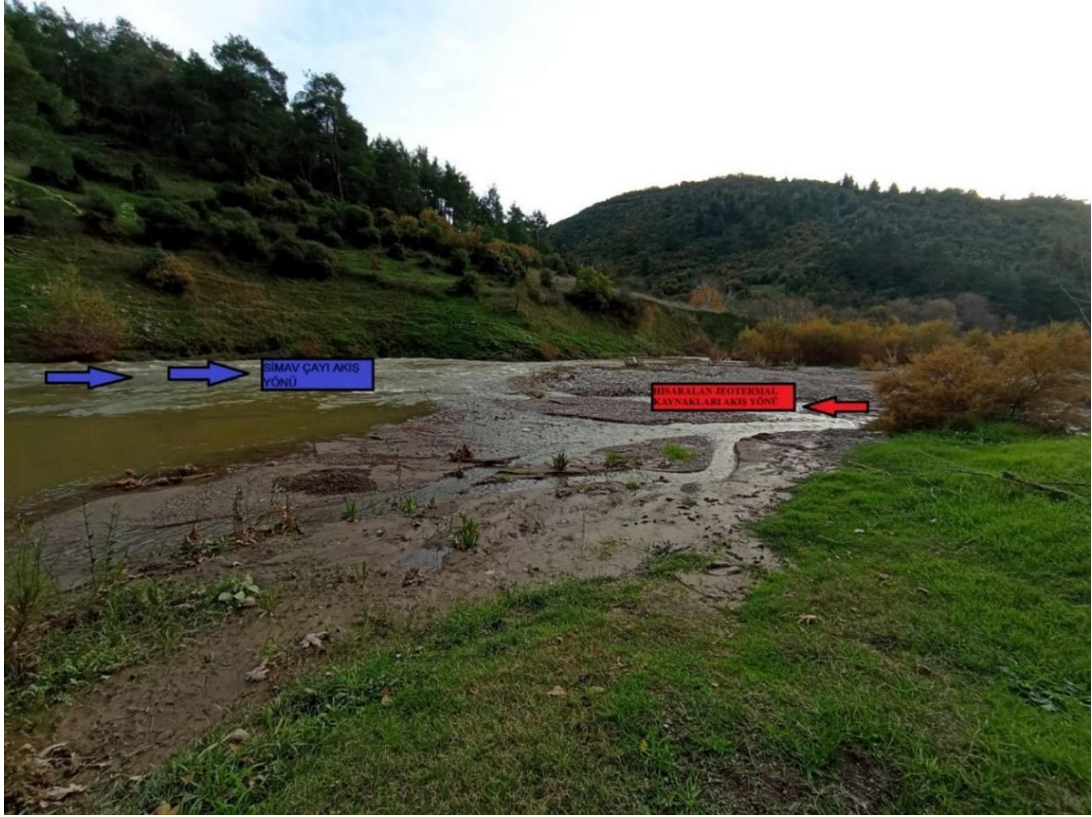
4.1.2 Elektriksel İletkenlik

İnceleme alanında alınanda yer alan örneklerin iletkenlik değerleri yağışlı dönem için 412 -1341 $\mu\text{S/cm}$ arasında, kurak dönem için ise 429 – 1317 $\mu\text{S/cm}$ değişmektedir. Kurak ve yağışlı dönem için doğal çıkışlar; ND1 (1119-1124) $\mu\text{S/cm}$, ND2 (1317 - 1327) $\mu\text{S/cm}$, ND3 (1315 - 1341) $\mu\text{S/cm}$, ND4 (1298 - 1274) $\mu\text{S/cm}$, ND5 (1253 - 1283) $\mu\text{S/cm}$ kullanılabilir sınıfında yer almaktadır.

Karışım; MDR1 (1192 - 1133) $\mu\text{S/cm}$, MDR2 (1180 - 1126) $\mu\text{S/cm}$ ile kullanılabilir, SR (429-412) $\mu\text{S/cm}$ ve SR-2 (434-414) $\mu\text{S/cm}$ değerleri ile iyi, MDR-1(1192-1133) $\mu\text{S/cm}$, MDR-2 (1180-1126) $\mu\text{S/cm}$ kullanılabilir ve SRND (478-486), SRND-2 (520-451) $\mu\text{S/cm}$ iyi sınıfında bulunmaktadırlar (Şekil, 12).



Şekil 12 Sıcaklık ve elektriksel iletkenlik arasındaki ilişki



Şekil 13 Jeotermal kaynaktan çıkan suların Simav Çayı'na karışımı

Alınan su örneklerine ait yağışlı dönem analiz sonuçları Tablo 11 kurak dönem analiz sonuçları ise Tablo 12’de verilmiştir. Çalışma alanında 1’den alınan; doğal çıkış, karışım ve yüzey suyu (Simav çayı) örneklerinde kurak dönem için pH değerleri minimum 6,11 maksimum 7,04 olarak yağışlı dönem için minimum 6,01 maksimum 7,14 olarak ölçülmüştür. Doğal çıkış ve doğal kaynak çıkışlarının Simav Çayı ile karışımından oluşan örneklerde Doğal Mineralli Sulara Kendiliğinden Bulunan ve Aşıldığında Halk Sağlığı Açısından Risk Oluşturabilecek Maksimum limit değerlerini aştığından bu sular arsenikli, borlu ve florlu sular sınıfında yer almaktadır [66, 70].



Tablo 11 Yağışlı Dönem Hisaralan Sındırgı örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri

Numune No	Num. Cinsi	Numunenin Alındığı Yer	T (C°)	pH	EC (µS/cm)	TÇM (mg/l)	As (µg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)
1	Doğal Çıkış	ND-1 (Doğal Çıkış)	94,6	6,89	1124	784	70,99	5,24	9,54
2		ND-2 (Doğal Çıkış)	87,9	7,12	1327	814	73,55	5,16	8,92
3		ND-3 (Doğal Çıkış)	79,2	6,94	1341	684	77,91	5,23	9,78
4		ND-4 (Doğal Çıkış)	75,6	6,96	1274	841	73,14	5,74	9,13
5		ND-5 (Doğal Çıkış)	70,1	6,94	1283	776	74,28	6,05	8,65
6	Doğal Çıkışlar Karışım	MDR-1 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım)	58,7	6,77	1133	657	64,86	4,79	8,43
7		MDR-2 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım)	58,1	7,14	1126	719	67,04	5,41	10,07
8	Simav Çayı Ve Karışım	SR (SIMAV Çayı)	11,2	6,41	412	287	18,42	0,22	0,43
9		SR-2 (SIMAV Çayı)	10,6	6,01	414	316	26,57	0,64	1,21
10		SRND (Simav Çayı Jeotermal Karışım)	19,6	6,47	486	447	57,28	3,47	5,17
11		SRND-2 (Simav Çayı Jeotermal Karışım)	20,2	7,04	451	409	60,46	4,37	6,42

T: Sıcaklık (0C), pH: Hidrojen iyonu aktivitesi, EC: Elektrik iletkenliği (µS/cm), TÇM: Toplam çözünmüş madde (mg/l) As: Arsenik (µg/l), B: Bor (mg/l), F:Flor (mg/l)

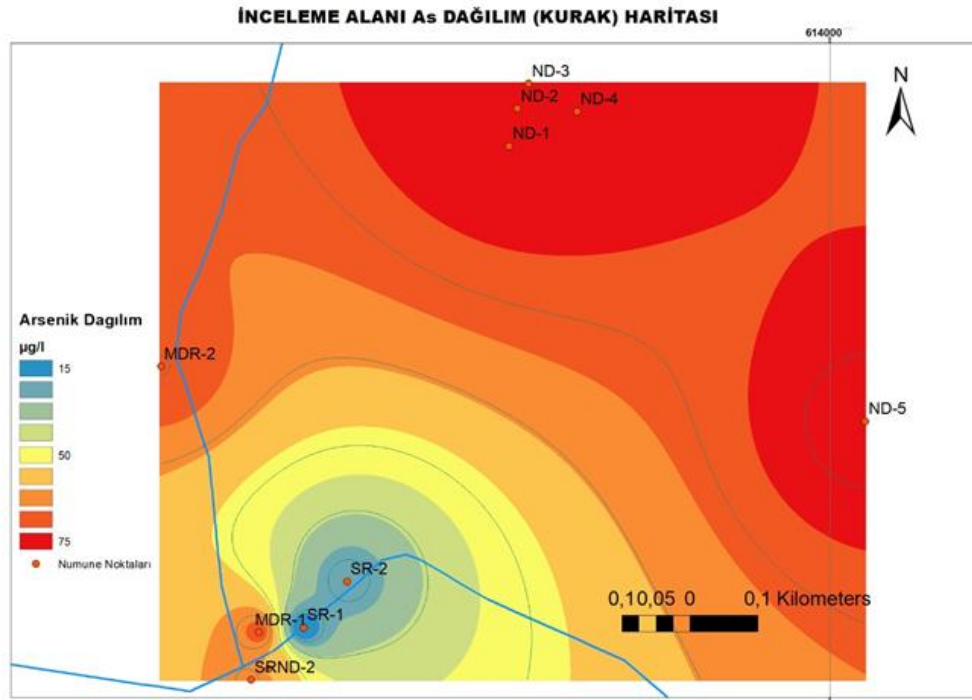
Tablo 12 Kurak dönem Hisaralan Sındırgı örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri

Numune No	Numune Cinsi	Numunenin Alındığı Yer	T (C ⁰)	pH	EC (μS/cm)	TÇM (mg/l)	As(μg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)
1	Doğal Çıkış	ND-1 (Doğal Çıkış)	95,3	6,69	1119	792	70,59	5,79	9,45
2		ND-2 (Doğal Çıkış)	88,6	7,02	1317	802	75,55	5,64	9,42
3		ND-3 (Doğal Çıkış)	79,9	6,90	1315	678	75,91	5,84	9,38
4		ND-4 (Doğal Çıkış)	76,5	6,96	1298	858	71,14	5,48	9,33
5		ND-5 (Doğal Çıkış)	73,4	6,84	1253	798	75,28	6,25	9,65
6	Doğal Çıkışlar Karışım	MDR-1 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım)	63,2	6,97	1192	766	66,68	4,54	8,17
7		MDR-2 (Simav Çayı-Jeotermal Karışım)	64,7	7,04	1180	775	67,89	5,01	10,48
8	Simav Çayı Ve Karışım	SR (SIMAV Çayı önce)	15,5	6,21	429	293	19,92	0,261	0,458
9		SR-2 (SIMAV sonra)	14,9	6,11	434	341	26,95	0,72	1,17
10		SRND (Simav Çayı Jeotermal Karışım)	23,6	6,97	478	424	56,96	3,66	5,81
11		SRND-2 (Simav Çayı Jeotermal Karışım)	23,8	7,00	520	412	61,96	4,18	6,42

T: Sıcaklık (0C), pH: Hidrojen iyonu aktivitesi, EC: Elektrik iletkenliği (μS/cm), TÇM: Toplam çözünmüş madde (mg/l) As: Arsenik (μg/l), B: Bor (mg/l), F:Flor (mg/l)

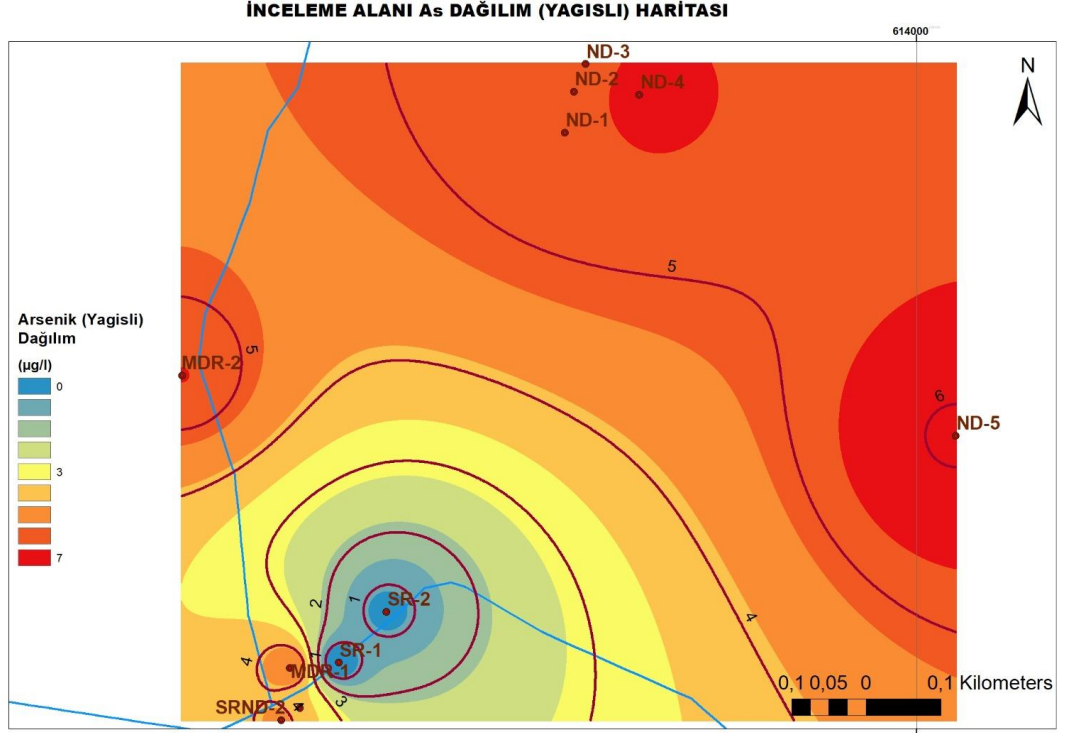
4.1.3 Arsenik Değerleri

Kurak dönem; Jeotermal doğal çıkışlarda As miktarı 75,58 - 70,79 $\mu\text{g/l}$ aralığında, karışımlarda 56,96 – 67,89 $\mu\text{g/l}$ aralığında değişim göstermekte olup; Simav Çayı yüzey suyunda ise 19,92 – 26,95 $\mu\text{g/l}$ 'dir (Şekil,14).



Şekil 14 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri kurak dönem Arsenik (As) dağılımı

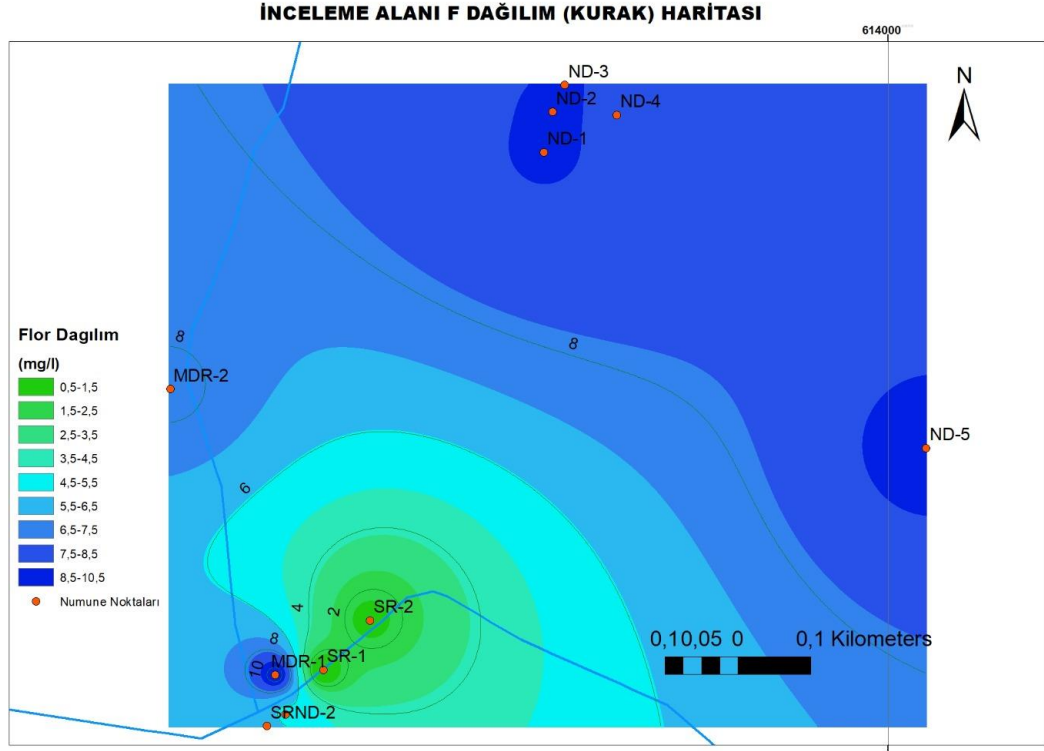
Yağışlı dönem; Jeotermal doğal çıkışlarda As miktarı 74,28 - 70,99 µg/l aralığında, karışımlarda 57,28 – 67,04 µg/l aralığında değişim göstermekte olup; Simav Çayı yüzey suyunda ise 18,42 – 26,57 µg/l ‘dir (Şekil, 15).



Şekil 15 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri yağışlı dönem Arsenik (As) dağılımı

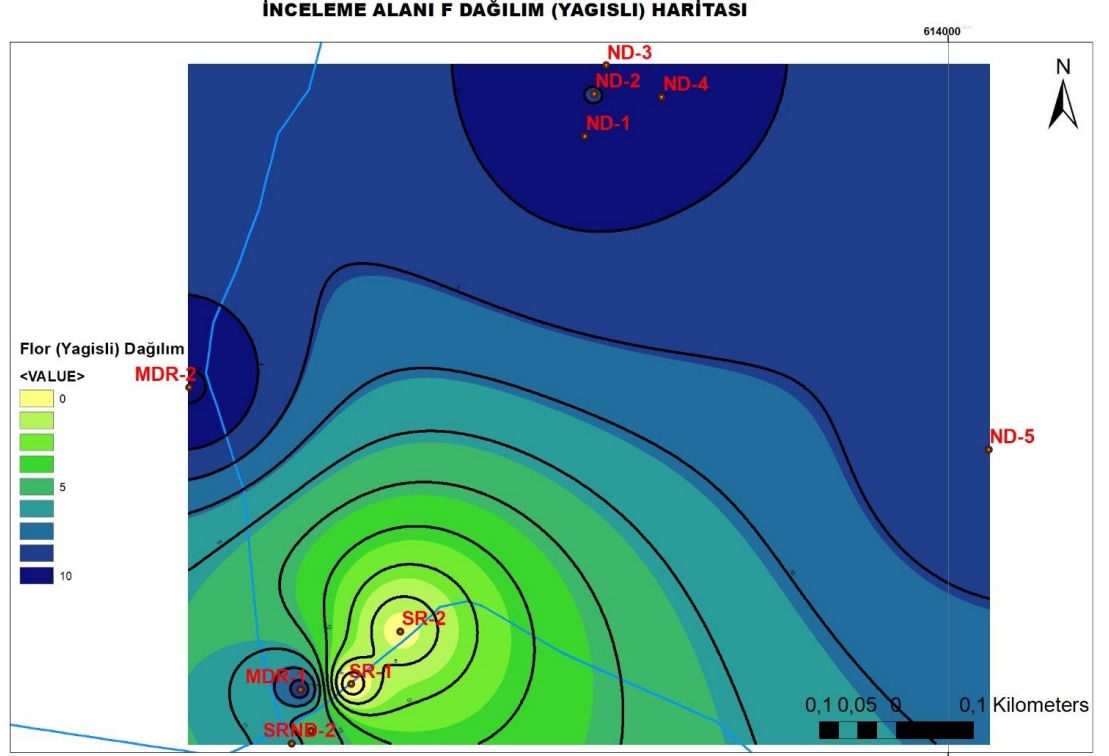
4.1.4 Flor Değerleri

Kurak dönem; Jeotermal doğal çıkışlarda F miktarı 9,65 – 9,33 mg/l aralığında, karışımlarda 10,48 – 5.81mg/l aralığında değişim göstermekte olup Simav ayı yüzey suyunda ise 0,45- 1,17 mg/l ‘dir (şekil, 16).



şekil 16 Hisaralan Sındıręı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav ayı rnekleri kurak dönem Flor (F) dağılımı

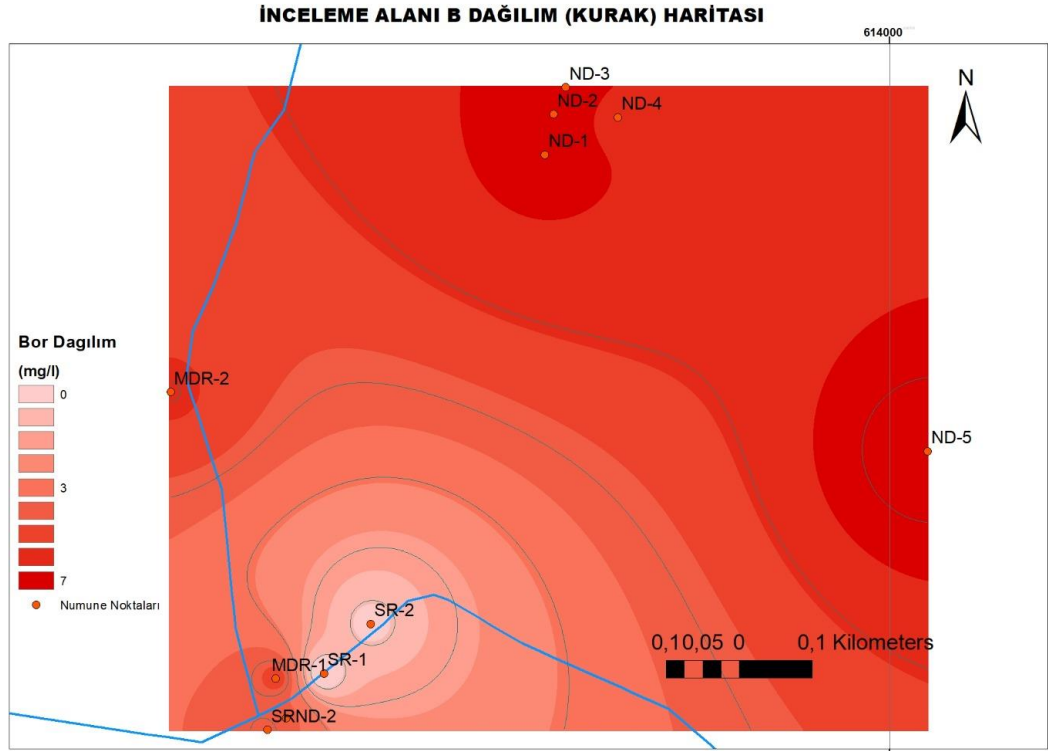
Yağışlı dönem; Jeotermal doğal çıkışlarda F miktarı 9,54– 8,65 mg/l aralığında, karışımlarda 10,07– 5,17 mg/l aralığında değişim göstermekte olup Simav Çayı yüzey suyunda ise 0,43- 1,21 mg/l 'dir (Şekil, 17).



Şekil 17 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri yağışlı dönem Flor (F) dağılımı

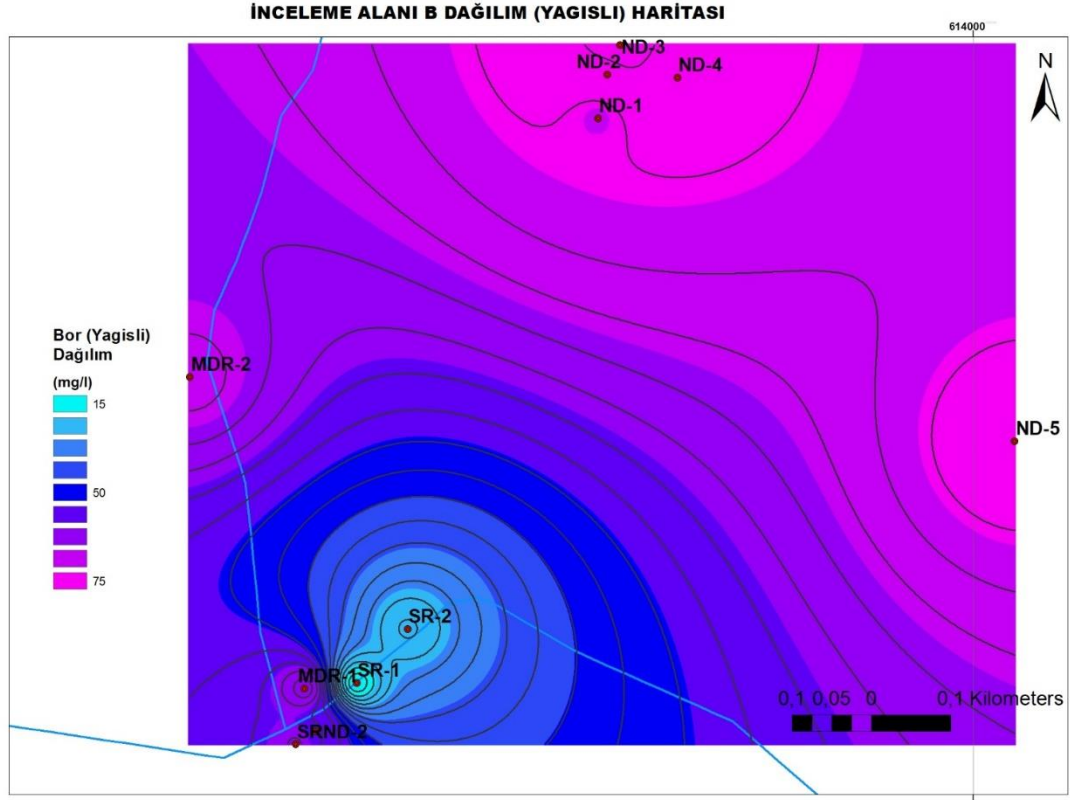
4.1.5 Bor Değerleri

Kurak dönem; Jeotermal doğal çıkışlarda B miktarı 6,25 – 5,48 mg/l aralığında, karışımlarda 3,66 – 5,01 mg/l aralığında değişim göstermekte olup Simav Çayı yüzey suyunda ise 0,261 – 0,72 mg/l 'dir (Şekil, 18).



Şekil 18 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri kurak dönem Bor (B) dağılımı

Yağışlı dönem; Jeotermal doğal çıkışlarda B miktarı 6,05–5,16 mg/l aralığında, karışımlarda 4,79 – 5,41 mg/l aralığında değişim göstermekte olup Simav Çayı yüzey suyunda ise 0,22 – 0,64 mg/l 'dir (Şekil, 19).



Şekil 19 Hisaralan Sındırgı jeotermal alanındaki doğal çıkış, karışım ve Simav Çayı örnekleri yağışlı dönem Bor (B) dağılımı

Doğal jeotermal çıkışların, yüzey sularında oluşabilecek etkilerinin belirlenmesi için; Simav Çayı karışım noktalarından dört adet örnek belirlenmiştir. Bu noktaların (MDR-1, MDR-2, SRND, SRND-2) arsenik, bor ve flor değerleri Doğal Mineralli Sulara Kendiliğinden Bulunan ve Aşıldığında Halk Sağlığı açısından Risk Oluşturabilecek Maksimum limit değerleri ile Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim amaçlı Sular Yönetmeliğinde yer alan değerlerin üzerinde sonuç vermiştir [66, 69,70].

Yağışlı dönem As miktarı 0,067 – 0,057 mg/l aralığında, B miktarı 3,47 – 5,41 mg/l aralığında bulunmaktadır. F miktarı ise 5,17 – 10,07 mg/l değerleri arasındadır. Ancak doğal çıkışlarla karışımın olmadığı Simav Çayı örneklerinde As, B ve F değerleri daha düşük değer vermiştir.

Yalnız arsenik değerleri 0,018 – 0,026 mg/l ile İnsani Tüketim amaçlı Sular Yönetmeliğinde yer alan değerlerden daha yüksek olup, bor ve flor değerleri limit sınırlar içerisinde yer almaktadır.

4.1.6 Sındırgı Hisaralan ile Kula Jeotermal Alanı Karşılaştırma

Manisa ili Kula ilçesinden 7 örnekleme noktasından 4 jeotermal kaynak, 3 yüzey suyu örneği ile alınan örnekler üzerinde kurak ve yağışlı dönem için As, B ve F analizleri karşılaştırılmıştır (Tablo 13, Tablo 14).



Tablo 13 Yağışlı dönem Kula örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri

Numune No	Numune Cinsi	Numunenin alındığı yer	T (C ⁰)	pH	EC (μS/cm)	TÇM (mg/l)	As (μg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)
1	Doğal Çıkış	K-1	27,5	7,3	1476	792	8,8	2,07	0,22
2		K-3	39,0	6,8	4500	802	2,4	6,79	0,28
3		K-5	27,2	6,6	1315	678	4,5	0,355	0,09
4		K-12	44,5	7,64	4870	858	0,98	4,98	1,31
5	Gediz Nehri ve Kaynaklar	K-2	12,2	7,5	1130	293	5,4	0,082	0,07
6		K-4	11,5	6,9	1477	341	4,3	0,213	0,15
7		K-6	16,2	7,5	953	424	7,6	0,058	0,05

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

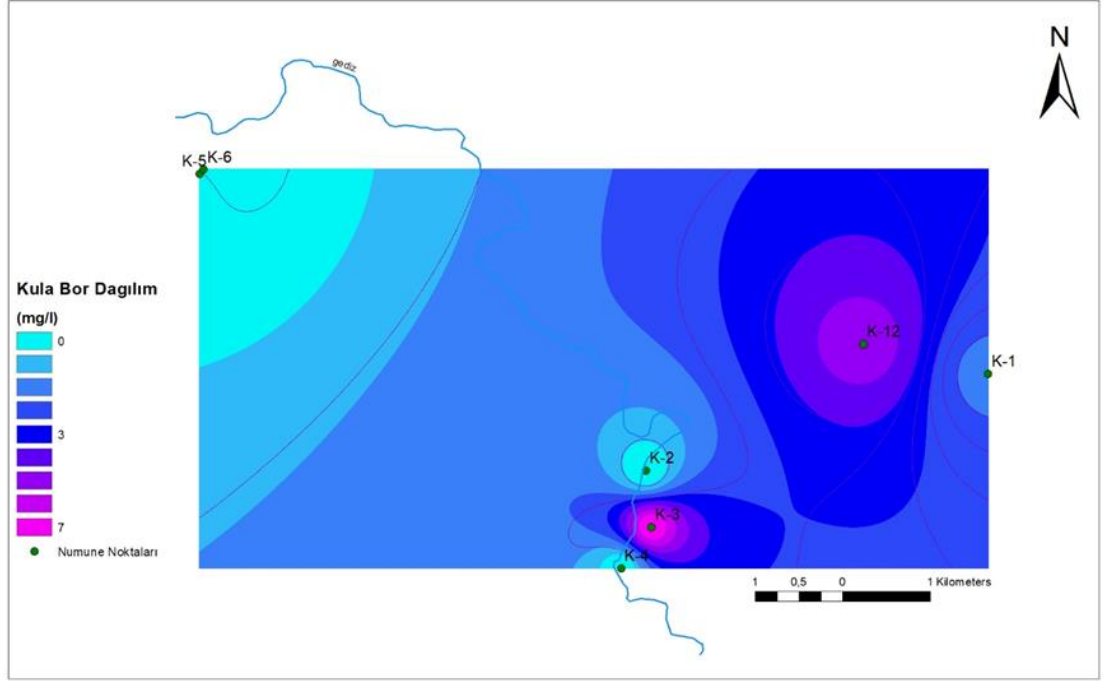
Tablo 14 Kurak dönem Kula örnekleri As, B, F ile T, pH, EC, TÇM değerleri

Numune No	Numune Cinsi	Numunenin Alındığı Yer	T (C ⁰)	pH	EC (μS/cm)	TÇM (mg/l)	As (μg/l)	B (mg/l)	F (mg/l)
1	Doğal Çıkış	K-1	28,7	7,4	1462	792	8,2	2,43	0,24
2		K-3	39,6	6,7	4410	802	2,9	6,48	0,27
3		K-5	28,2	6,8	1307	678	4,7	0,375	0,12
4		K-12	44,9	7,4	5060	858	2,16	4,61	1,18
5	Gediz Nehri ve Kaynaklar	K-2	14,7	7,4	1314	293	5,9	0,091	0,08
6		K-4	13,7	6,9	1387	341	4,3	0,247	0,17
7		K-6	16,9	7,3	1058	424	7,6	0,063	0,08

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

4.1.6.3 Bor

Yağışlı dönem; Kula jeotermal doğal çıkışlarda B miktarı 0,355 – 6,79 mg/l aralığında, Gediz ve kaynaklarda ise 0,058 – 0,213 mg/l ‘dir. K1-2,07 mg/l, K3-6,79 mg/l, K5- 0,355 mg/l, K12- 4,98 mg/l, K2-0,082 mg/l, K4-0,213 mg/l, K6-0,058 mg/l’dir (Şekil, 22).



Şekil 22 Kula jeotermal alanındaki doğal çıkış, Gediz Nehri ve kaynak örneklerine ait yağışlı dönem Bor dağılımı

Yağışlı dönem; Hisaralan Jeotermal alanı doğal çıkışlarda B miktarı 6,05 – 5,16 mg/l aralığında, karışımlarda 4,79 – 5,41 mg/l aralığında değişim göstermekte olup Simav Çayı yüzey suyunda ise 0,22 – 0,64 mg/l ‘dir. Kula doğal çıkışlarında; B miktarı 0,355 – 6,79 mg/l aralığında bulunmakta, K3 ve K12 kaynakları Hisaralan ile benzerlik göstermektedir. K2-0,082 mg/l, K4-0,213 mg/l, K6-0,058 mg/l Gediz ve kaynak örnekleri Hisaralan’a göre yüzey sularının bor yönünden daha temiz içeriğe sahiptir.

(17.04.2005 tarih ve 25730 sayılı R.G.) göre izin verilen flor düzeyi 1.5 ppm olup, Hisaralan doğal çıkış ve karışımlar flor içeriği bakımından kullanılamaz sınıfına dahil iken, yalnız Simav Çayı yüzey su örneklerinden bazıları bu limit değere uymaktadır [66]. Kula'dan alınan örneklerde ise doğal kaynak çıkışları, Gediz ve kaynaklar izin verilen flor düzeyi 1.5 ppm'den daha düşük flor içeriğine sahiptir.

4.2 Tartışma

Hisaralan Sındırgı jeotermal alanından alınan örneklerdeki arsenik (As), bor (B) ve flor (F) konsantrasyonları WHO ve Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'nde belirtilen, sınır değerlerinin üzerinde yer almaktadır [66].

Yapılan literatür araştırmalarında; Simav Ovası'nın yeraltı su kaynaklarının yüksek arsenik değerine sahip olduğu görülmüştür.

Gündüz (2009), tarafından Simav Ovası'nda yapılan bir çalışmada yeraltı sularında, arsenik ölçümlerinin 99 ppb- 561ppb arasında olduğu bunun da ulusal ve uluslararası standartların 10 ila 50 katı üzerinde değerlere sahip olduğu söylenmiştir. Simav Havzası'nda üç jeotermal kaynaktan yapılan Simav Eynal Kaplıca suyunda 662 µg/l, Emet Yeşil Kaplıca suyunda 45,50 µg/l, Dereli kaplıca suyunda ise 115 µg/l arsenik tespit edilmiş, bu değerlerin insan sağlığı açısından büyük önem arz ettiği belirtilmiştir [57].

Gündüz ve ark. (2012), tarafından Simav Ovası'nda yapılan başka bir araştırmada Batı Anadolu'da jeotermal sularda yüksek bulunan bor derişimi, Simav Çayı'nın kollarında 20 µg/L, ovadaki deşarjlar sonrasında 800 µg/L, jeotermal suların ise 2600-3800 µg/L ölçülmüştür. Simav Çayı ve kollarında yapılan incelemede arsenik değerleri; 4,6-402,8 µg/L aralığında olup ve ortalama 76,6 µg/L'dir. Yüzeysel sularda 10 µg/L'nin altında olduğu belirtilmiş, farklı noktalarda yapılan ölçümlerde 10,3 – 4,6-5,9 µg/L değerleri ölçülürken, başka bir yüzeysel su kaynağında 66,8 µg/L tespit edilmiş, bunun nedeni ise yüksek arsenik içerikli yeraltı sularından kaynaklanan sızmalar ve atık jeotermal akışkan deşarjı olarak belirtilmiştir. Flor değeri ise yüzeysel sularda minimum- maximum 0,22- 1,95 mg/L, jeotermal akışkanda ise minimum-maximum 5,05 – 19,31 mg/L olarak ölçülmüştür [35].

Şimşek (2005), Balçova jeotermal sahasında insan ve bitkiler için toksik etki gösteren bor ve arsenik yoğunluğu araştırılmış, As miktarının sıcak sularda 0.197-1,419 mg/l aralığında, soğuk su kuyularında 0,0007-0,17 mg/l arasında, yüzey sularında ise 0,0015-0,182 mg/l olduğu tespit edilmiştir. Sıcak sulardaki B konsantrasyonu 22 mg/l değerine kadar ulaştığı görülmektedir. Kaynak ve kuyudan yüzeye jeotermal akışkanın çıkış sıcaklıkları ile arsenik içerikleri arasındaki ilişki Gediz Ilıca alanında 37,5-77 °C ve 104-172 µg/l arasında Balçova’da ise, 62-138 °C ve 164-1.420 µg/l olarak gösterilmiştir [46].

Yapılan bu çalışmada Simav Çayı Havzası Sındırgı Hisaralan jeotermal alanında termal sular için arsenik değeri; 74,28 - 70,99 µg/l aralığında, karışımlarda 57,28 – 67,04 µg/l aralığında değişim göstermekte olup; Simav Çayı yüzey suyunda ise 18,42 – 26,57 µg/l’dir. Jeotermal doğal çıkışlarda B miktarı 6,05 – 5,16 mg/l aralığında, karışımlarda 4,79 – 5,41 mg/l aralığında değişim göstermekte olup Simav Çayı yüzey suyunda ise 0,22 – 0,64 mg/l ‘dir. Bu değerler Balçova jeotermal sahası ile karşılaştırıldığında; arsenik değerlerinin bu çalışmada yapılan Hisaralan örneklerinde çok daha yüksek olduğu, bor değerlerinin ise daha düşük olduğu görülmektedir. Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda Balçova jeotermal suyundaki, yüksek B değerlerinin önemli bir çevre sorunu olduğu belirtilmiş, sahanın kuzeyinde yer alan serada bor elementine karşı hassas narenciye yerine daha dayanıklı bitki türleri yetiştirilmesi önerilmiştir [46].

Mutlu (2007), tarafından Balıkesir ilinde jeotermal sularda yapılan bir çalışmada As konsantrasyonu 0,0004–1,266 mg/l, B miktarını 0,019-11,475 mg/l olarak belirtilmiştir. Bu değerler, Simav Çayı Havzası Sındırgı Hisaralan jeotermal alanından alınan örneklerden daha düşüktür [71].

BEŞİNCİ BÖLÜM

5 SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışma; Simav Çayı (Balıkesir) havzasındaki doğal jeotermal kaynak çıkışlarının As, B ve F yönünden yapılan analizleri ile Manisa ili Kula bölgesindeki jeotermal çıkışlardaki bu değerlerin karşılaştırması ve diğer su kaynakları üzerinde olabilecek etkilerini içermektedir.

Bunun için, saha çalışmalarında yüzey suları, jeotermal doğal çıkış ve Simav Çayı'ndan su örnekleri alınmış bunlar Manisa ili Kula Bölgesi'nden alınan örneklerle arsenik, bor ve flor içerikleri yönünden yapılan analizler sonrasında karşılaştırılmıştır.

Çalışmalar sırasında; pH, toplam çözünmüş madde (TÇM), elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) gibi parametreler insitu olarak ölçülmüştür. Doğal çıkış, karışım, Simav Çayı toplam 11 örnek için As, B, F analizleri ile Kula doğal çıkış, Gediz ve Kaynaklar toplam 7 örnek için As, B, F analizleri yapılmıştır.

Doğal çıkışların Simav Çayı'na olan karışımını ve dağılımını belirleyebilmek için As, B ve F için konsantrasyon dağılım grafikleri çizilmiştir. Grafiklerde As, B ve F konsantrasyonlarının jeotermal doğal çıkış alanlarında ve yakın çevresinde, aynı zamanda Simav Çayı'na karışım alanlarında yoğunlaştığı görülmektedir. Hisaralan Sındırgı jeotermal alanında yer alan arsenikli, borlu ve florlu sular sınıfında bulunan sıcak suların doğal kaynakların toplandığı Serindere vadisinden güneye doğru Simav Çayı boyunca azaldığı belirlenmiştir.

Yapılan analizler ve literatür araştırmaları sonunda, Sındırgı Hisaralan jeotermal alanındaki termal suların orta entalpili, yüzeysel beslenmeli ve soğuk sulara göre daha uzun dolaşım sürelerine sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca, Sındırgı Hisaralan jeotermal alanı örneklerinin Kula jeotermal sahasındaki örneklerle yapılan karşılaştırma sonucunda Hisaralan bölgesinin hem sıcaklık hem de As, B, F değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kula doğal çıkış ve kaynaklar arsenik hariç bor ve flor bakımından İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği'ne uygun iken Hisaralan örnekleri kullanım ve sulama suyu açısından

uygun olmayıp, özellikle sağlık açısından yüksek risk oluşturabilecek değerlerde arsenik içermektedir.

İçeriği bakımından kullanıma uygun olmayan bu kaynaklar, ısınma, termal turizm ve uygun koşullarda elektrik üretiminde değerlendirilebilmektedir. Jeotermal sular bu çalışmada da görüldüğü üzere yüksek miktarda arsenik, bor, flor gibi kirleticileri içerebilmektedir. Doğal çıkışlara müdahale etmek güç olsa da sondaj çalışmaları sonrası açığa çıkan sular, reenjeksiyon ile yeniden enjekte edilerek, kirlilik oranları azaltılıp aynı zamanda rezervuarın ısı ve hidrolik yönden beslenmesi sağlanabilmektedir.



KAYNAKLAR

1. Erkul, H. (2012). Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 10(19), 115-133.
2. Ertürk, F., Akkoyunlu, A., & Varınca, K. B. (Eds.). (2006). *Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri: Fosil, Hidrolik, Yenilenebilir Nükleer*. Tasam Yayınları.
3. Serpen, U., (2005). Jeotermal Sahalarda Sürdürülebilir ve Yenilenebilir Rezervuar Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri, TESKON 2005, İzmir.
4. Akbulut, O. (2022). *Jeotermal Enerjiye İlişkin Mevzuat ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar: Aydın İli Örneği*. (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Çevre Bilimleri Anabilim Dalı).
5. Kıvanç, A. H., Serpen, Ü. 2011. Jeotermal santrallerin karşılaştırılması. X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, (13-16 Nisan 2011), 111-128, İzmir.
6. Aydıngöz, M. (2005). *Afyonkarahisar Bölgesinde Bulunan Kaplıca Sularının Mevsimsel Analizi*. (Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
7. Poyraz, G. (2016). *Aydın Buharkent Yöresinde Jeotermal Sularla Sulanan Toprak Ve Bitki Örneklerinde Bazı Kirleticiler Parametrelerin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
8. Yılmaz, N. S. (2013). *Aydın ve Çevresindeki Jeotermal Sulardaki Bazı Elementlerin ve İyonların İcp-Oes ve İc ile Analizi* (Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
9. Akkuş, İ, & Alan, H. (2016). Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları, Projeksiyonlar, Sorunlar ve Öneriler Raporu. *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları* 123(1).
10. Tester, J. W., Beckers, K. F., Hawkins, A. J., & Lukawski, M. Z. (2021). The Evolving Role of Geothermal Energy for Decarbonizing The United States. *Energy & Environmental Science*, 14(12), 6211-6241.

11. Soltani, M., Kashkooli, F. M., Souri, M., Rafiei, B., Jabarifar, M., Gharali, K., & Nathwani, J. S. (2021). Environmental, Economic, and Social Impacts of Geothermal Energy Systems. *Renewable and Sustainable Energy. Reviews*, 140, 110750.
12. Dincer, I., & Ozcan, H. (2018). Geothermal Energy. *Comprehensive Energy Systems*, 1. 702-732.
13. Türkiye Jeotermal Derneği (TJD), 2021. Dünya’da Jeotermal. <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Dunya-da-Jeotermal>. (Erişim Tarihi: 05.07.2022).
14. Düzen, H. (2016). Sürdürülebilir kalkınma açısından jeotermal enerjinin değerlendirilmesi: Van ili (Türkiye) örneği. *10th International Clean Energy Symposium*, 24-26 October 2016, İstanbul, Türkiye.
15. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2021. Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Arama Çalışmaları. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>. (Erişim tarihi: 05.11.2022)
16. Khare, V., Khare, C., Nema, S., & Baredar, P. (2019). Introduction to Energy Sources, Tidal Energy Systems.
17. Altın, Ö., Tanık, Z. (2023). *Iğdır İlinde Seracılık Sektörünün Sürdürülebilirlik Stratejileri ve Yeşil Ekonomi Modeli Önerisi: Jeotermal Seracılık*. Astana Yayınları.
18. Acar, S., & Köseoğlu, H. (2021). Jeotermal Suların Uygulama Alanları ve Çevresel Problemler. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi*(28), 325-332. <https://doi.org/10.31590/ejosat.999121>
19. Baba, A., Uzelli, T., & Sozbilir, H. (2021). Distribution Of Geothermal Arsenic In Relation To Geothermal Play Types: A Global Review And Case Study From The Anatolian Plate (Turkey). *Journal Of Hazardous Materials*, 414, 125510.
20. Temizel, E. H., Gültekin, F., Ersoy, A. F., & Gülbay, R. K. (2021). Multi-isotopic (O, H, C, S, Sr, B, Li) Characterization of Waters in a Low-Enthalpy Geothermal System in Havza (Samsun), Turkey. *Geothermics*, 97, 102240.

21. Emeksiz, C., & Fındık, M. M. (2021). Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ölçeğinde Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 155-164.
22. Kılıç, F. Ç., & Kılıç, M. K. (2013). Jeotermal Enerji ve Türkiye. *Mühendis ve Makina*, 45-56.
23. Ezbakhe, F., & Pérez-Foguet, A. (2021). Decision Analysis For Sustainable Development: The Case of Renewable Energy Planning Under Uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 291(2), 601-613.
24. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB), 2021. Yenilenebilir Enerji, Kaynaklar, Jeotermal. <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal> (Erişim Tarihi: 04.03.2023).
25. Baba, A., Sözbilir, H., Demir, M. M., Akkurt, G. G., Özşen, A. Y., Şener, M. F., ... & Uzelli, T. (2022). İzmir İlindeki Jeotermal Kaynakların Potansiyeli, Kullanım Alanları, Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi Araştırması. *Project Report*, 194.
26. Özbek, T. (2011). Jeotermal Kaynakların Sağlık ve Termal Turizmde Değerlendirilmesi. *Jeofizik Bülteni*, 68, 27-37.
27. Lund, J. W., & Toth, A. N. (2021). Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. *Geothermics*, 90, 101915.
28. Dinçer, İ., & Ezan, M. A. (2020). *TÜBA-Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu*. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 41.
29. Menteşe, S., & Tağıl, Ş. (2016). The Spatial Distribution of Earthquakes in Turkey: A Geostatistical and Spatial Statistical Approach. *The Journal of International Social Research*, 9(45), 408-414.
30. Gürcün, D., & Petek, A. (2021). Jeotermal enerji potansiyelinin SWOT analizi ile değerlendirilmesi: Aydın ili örneği. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 14(2), 349-364.
31. Kozak, M. (2020). Denizli İli Jeotermal Enerji Kaynakları ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. *Yekarum*, 5(1), 1-11.
32. Allis, R., Bromley, C., & Currie, S. (2009). Update on Subsidence at the Wairakei–Tauhara Geothermal System, New Zealand. *Geothermics*, 38(1), 169-180.

33. Dipippo, R. (2016). Binary Cycle Power Plants. *Geothermal Power Plants*, 193-239.
34. Şavran, G., & Küçük, F. (2022). Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 65-78.
35. Gündüz, O., Mutlu, M., Elçi, A., Şimşek, C., & Baba, A. (2012). Jeotermal akışkan deşarjının yüzeysel su kalitesine etkisi: Örnek Saha Simav Ovası (Kütahya). *Çevre Bilim & Teknoloji*.
36. Webster, J. G., Nordstrom, D. K. (2003): *Geothermal Arsenic*. In: Welch, A. H., Stollenwerk, K. G. (editors) *Arsenic in Ground Water: Geochemistry and Occurrence*, Kluwer Academic Publishers: London, pp. 101–125.
37. Atabey, E. 2009. Arsenik ve Etkileri. *MTA yayınları Yerbilimleri ve Kültür Serisi*. 3-91.
38. Fuge, R. (2005). *Anthropogenic sources*. Medical Geology, Chapter 3, (Eds: Olle Selinus vd.), 43-60.
39. Yağmur, F., & Hancı, H. (2002). Arsenik. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi*, 11(7), 250-251.
40. Atabey, E. (2015). Jeotermal Kaynaklarda Arsenik, Florür, Bor, Radon Sorunu ve Peloid Kullanımı: Tıbbi Jeolojik Açıdan Değerlendirme. TMMOB 3. Jeotermal Kongresi-14-15 Ekim 2015 Ankara.
41. Başaran, C. (2017). *Heybeli Jeotermal Alanının (Afyonkarahisar) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi*. (Doktora Tezi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
42. Welch, A. H., Westjohn, D. B., Helsel, D. R., & Wanty, R. B. (2000). Arsenic in Ground Water of the United States: Occurrence and Geochemistry. *Groundwater*, 38(4), 589-604.
43. Dogdu, M. S., & Bayari, C. S. (2005). Environmental Impact of Geothermal Fluids on Surface Water, Groundwater and Streambed Sediments in The Akarcay Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 47(3), 325-340.
44. Deliboran, A. (2020). Neden Bor? Borun Çevre İle İnsan, Hayvan Ve Bitki Sağlığı Açısından Önemi. *Bahçe*, 49(2), 127-141.

45. Kalafatoğlu, İ. E., & Örs, S. N. (2003). 21. Yüzyılda Bor Teknolojileri ve Uygulamaları. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 59-71.
46. Şimşek, C., (2005). Balçova Jeotermal Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği. *Jeotermal Seminer Kitabı*, 361–368.
47. Alan M. (2017). *Bor madenlerine yakın bölgelerdeki bazı elementlerin fraksiyonlanması ve biyoerişilebilirlik seviyelerinin belirlenmesi*. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Doktora Tezi, 7, 11 s.
48. Demirtaş, A. (2005). Bitkide Bor ve Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36(2), 217-225.
49. Ayhan, S. (2006). *Yeni Yöntemle Jeotermal Sulardan Borun Kazanılması ve Değerlendirilmesi* (Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
50. Demirel, Ü., & Delibaşı, T. (2010). Medical Geology and Fluorosis Problem within The Context of Medical Geology in Turkey. *Medical Geology Newsletter*, 17, 27-29.
51. Demirel, Ü., Delibaşı T., & Gamze, Aren (2012). Sulardaki yüksek florid içeriğinin farklı vücut bölümlerine etkisi. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 46(3), 78-90.
52. Atabey, E. (2010). Türkiye’de İçme Suyunda Flor ve Etkileri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü*.
53. Oruç, N. (2008). Endemik Florozise İki Ayrı Örnek: 1-Türkiye’de Yüksek Düzeyde Florürlü Kaynak Suları, 2-Çin’de Florürce Zengin Kömür Yakılması. *Uluslararası Katılımlı Tıbbi Jeoloji Sempozyumu Kitabı*.
54. Aydın, F. (2017). Van Çaldıran Ovası Yüzey Sularının İçme ve Sulama Suyu Açısından İncelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(3), 171-179.
55. Dursun, Ş., Karataş, M., ve Öztürk, E. (2005). Konya İl Merkezindeki Kuyu İçme Sularının Florür Seviyelerinin Tespit Edilmesi. *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(26), 63-70.

56. Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., & Tekin, Z. (2005). *Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
57. Gündüz, O. (2009). Kütahya-Simav Ovasında Arsenik Sorunu: Mevcut Durum ve Yeni Araştırmalar. *Tıbbi Jeoloji Çalıştay*, 1(1), 127-137.
58. Mott, A., Baba, A., Mosleh, M. H., Ökten, H. E., Babaei, M., Gören, A. Y., ... & Sedighi, M. (2022). Boron in Geothermal Energy: Sources, Environmental Impacts, and Management in Geothermal Fluid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112825.
59. Akar, D. (2009). Jeotermal Santrallerin Çevresel Etkileri. *IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 161.
60. Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., & Tekin, Z. (2005). *Türkiye jeotermal kaynakları envanteri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
61. Gülüm, K., Akgün, A. 2011. Simav Çayı Aşağı Çığırıda (Çaygören Baraj Çıkışı ile Kepsut Boğazı Arasında) Su Kirlenmesi Sorunu ve Çözüm Önerileri. *Ecological Life Sciences*, 6(2), 31-42.
62. Polat, S. (2018). Hisaralan (Sındırgı-Balıkesir) Termal Kaynaklarının Akuakültür Alanında Kullanımı. *Tarih Okulu Dergisi*, 11(33), 1113-1138.
63. Aytaç, A. S., & Demir, T. (2019). Kula UNESCO Global Jeoparkı'nda Yerbilimleri ve Jeomiras Açısından Uluslararası Öneme Sahip Üç Yeni Jeosit Önerisi. *Mediterranean Journal of Humanities*, 9(2), 125-140.
64. Karataş, A. (2023). *Kula-Salihli Unesco Global Jeoparkı ve Yakın Çevresinin Kültürel Miras Ögeleri*. (Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Akdeniz Uygarlıkları Araştırma Enstitüsü Akdeniz Havzası Coğrafyası Araştırmaları Anabilim Dalı).
65. Akbaş, F. (2020). Kula İlçesinin Klimatolojik Özellikleri. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, 3(3), 152-174.
66. İTASHY, (2005). *İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik*. 25580 Sayılı Resmi Gazete. 7 Mart 2013, Ankara.
67. Canik, B. (2007). *Hidrojeoloji: Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası*. 3.Baskı, Ertem Yayınevi, Ankara.

68. Şahinci, A., (1991). *Doğal Suların Jeokimyası*, Reform Matbaası, İzmir.
69. Çevre, T. C., & Bakanlığı, O. (2010). Atıksu Arıtma Tesisleri Teknik Usuller Tebliği. *Resmi Gazete*, (27527). (17/09/2023).
70. Resmi Gazete. (2007). Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu. Kanun No: 5686, 2007.
71. Mutlu, H. (2007). Constraints on the Origin of the Balıkesir Thermal Waters (Turkey) from Stable Isotope ($\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$) and Major-Trace Element Compositions. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(1), 13-32.

