



Araştırma Makalesi/Research Article

İzmir Civarındaki Bazı Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Depremsellik ile İlişkisi

Hydrogeochemical Properties of Some Geothermal Fields Around İzmir and Relationship with Seismicity

ÖZKAN ATEŞ¹, Orcid: 0000-0002-7562-7399

SÜHA ÖZDEN² Orcid: 0000-0001-6321-0812

SERKAN ÖZDEN³ Orcid: 0000-0003-2782-8935

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çan/Çanakkale

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Çanakkale

Geliş (received): 28.04.2023

Kabul (Accepted): 18.05.2023

ÖZ

Çalışma alanı Batı Anadolu'da, İzmir ili Seferihisar ve Çeşme ilçeleri ile yakın çevresinde bulunan jeotermal alanları kapsamaktadır. Çalışma alanı ve yakın civarı aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler açısından da oldukça zengindir. Bu alanlar Balçova, Seferihisar (Cumalı, Doğanbey, Karakoç, Doğanbey Burnu), Çeşme (Ilıca, Şifne), Dikili-Bergama (Kaynarca, Dikili, Nebiler, Bademli, Kocaoba, Paşa, Güzellik), Aliğa (Ilıcaburun, Çukurova, Samurlu, Reşadiye), Bayındır ve Urla (Gülbahçe) Jeotermal Alanlarıdır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır. Çalışma alanında, batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı ve Tuzla Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitüdü M=4.0 den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda M=3.5 ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1955 yılında M=6.8 ve 2020 yılında Mw=6.9 büyüklüğünde depremler meydana

gelmiştir. Bu çalışma kapsamında İzmir ilinde Karakoç ve Doğanbey (Seferihisar) ile Şifne ve Ilica (Çeşme) jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su kaynaklarından yaklaşık iki yıl süren bir izleme çalışması yapılarak çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılmış ve deprem aktivitesi ile ilişkilendirilerek çevresel etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İzmir, Tuzla Fayı, Seferihisar, Jeotermal Enerji, Aktif Tektonik

Yazar Özkan ATEŞ ozkanates@comu.edu.tr

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çan/Çanakkale

ABSTRACT

The study area covers the Seferihisar and Çeşme districts of İzmir province and the geothermal fields in their immediate vicinity in Western Anatolia. The study area and its vicinity are a very active region in terms of earthquakes in the instrumental period as well as a very rich region in terms of geothermal systems. These areas are Balçova, Seferihisar (Cumalı, Doğanbey, Karakoç, Doğanbey Cape), Çeşme (Ilica, Şifne), Dikili-Bergama (Kaynarca, Dikili, Nebiler, Bademli, Kocaoba, Paşa, Beauty), Aliğa (Ilicaburun, Çukurova, Samurlu, Reşadiye), Bayındır and Urla (Gülbağçe) Geothermal Fields. Most of these geothermal fields are located on active fault zones. In the study area, Mordoğan Fault, Gülbağçe Fault Zone, Seferihisar Fault, and Tuzla Fault are the most important active faults of the region, extending from west to east. A large part of this region is at the same risk of earthquakes today as it was in the past. It is known that approximately 320 earthquakes with a magnitude greater than $M=4.0$ occurred in the instrumental period (1900-2021) in and around the study area, and the activity is still continuing. Between the start and end dates of this study, January 2019-January 2021, approximately 190 earthquakes with a magnitude of $M=3.5$ occurred in the area. In addition, an $M=6.8$ earthquake in 1955 and an $M_w=6.9$ magnitude earthquake in 2020 occurred in the region. Within the scope of this study, a two-year monitoring study was carried out on the hot water resources determined in the Karakoç and Doğanbey (Seferihisar) and Şifne and Ilica (Çeşme) geothermal areas in the province of İzmir, revealing the relationship between the geothermal resources and active faults in the study area, and this high earthquake activity and its environmental effects were investigated.

Keywords: İzmir, Tuzla Fault, Seferihisar, Geothermal Energy, Active Tectonic

GİRİŞ

Bu çalışmada, Batı Anadolu’da yer alan İzmir ili Seferihisar ve Çeşme ilçelerinde yer alan bazı jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarında yerinde ölçümler ve alınan sıcak su örneklerinden analizler yapılarak jeotermal suların hidrojeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları düzenli periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Sismik açıdan da oldukça aktif olan bu bölgede, bu analizlerin sonuçları ile bu termal suların oluşturabileceği çevresel kirlilik etkileri, hidrojeokimyası ve bölgede meydana gelen depremler ile suların fiziksel yada kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişimin olup olmadığı araştırılmıştır.

Yeraltı suyu bileşimindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerin deprem öncesinde oluşan ilk sarsıntılarla başladığı ve enerji boşalımı maksimum değerlere ulaştığı, sonra zamanla normal değerlerine döndüğü bilinmektedir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Depremlerin öncesinde, sırasında ve sonrasında yeni su kaynakları oluşumu ya da var olan su kaynaklarının kaybolması da olağandır. 1999 İzmit ve Düzce depremlerinde, 2011 Simav depreminde de bazı jeotermal kaynak ve sondaj kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmiştir (Şimşek ve Yıldırım, 2000; Ateş ve Tutkun, 2014).

Türkiye Diri Fay Haritası’nda aktif fay olarak gösterilen Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı, Mordoğan Fayı ile Gülbahçe Fay Zonu ve çevresinde yer alan çalışma alanı, İzmir (Batı Anadolu) ili içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı, Tuzla Fayı, yaklaşık D-B uzanımlı İzmir Fayı ve yaklaşık KD-GB uzanımlı Yenifoça Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitudü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M=3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1909 yılında 1 adet $M=6.0$, 1949

yılında $M=6.6$, 1955 yılında $M=6.8$ ve 2020 yılında 1 adet $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of study area

Çalışma alanı ve yakın civarı aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler açısından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu alanlar Balçova, Seferihisar (Cumalı, Doğanbey, Karakoç, Doğanbey Burnu), Çeşme (Ilıca, Şifne), Dikili-Bergama (Kaynarca, Dikili, Nebiler, Bademli, Kocaoba, Paşa, Güzellik), Aliğa (Ilıcaburun, Çukurova, Samurlu, Reşadiye), Bayındır ve Urla (Gülbahçe) Jeotermal Alanlarıdır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır. Bu jeotermal alanlardan belirlenen sıcak su kaynaklarında (Seferihisar ilçesindeki Karakoç ve Doğanbey jeotermal alanları ile Çeşme ilçesindeki Ilıca ve Şifne jeotermal alanları) yaklaşık iki yıl süren bir izleme çalışması yapılarak jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılarak bu yüksek deprem aktivitesi ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca termal suların yaratabileceği olası çevresel etkiler araştırılmıştır.

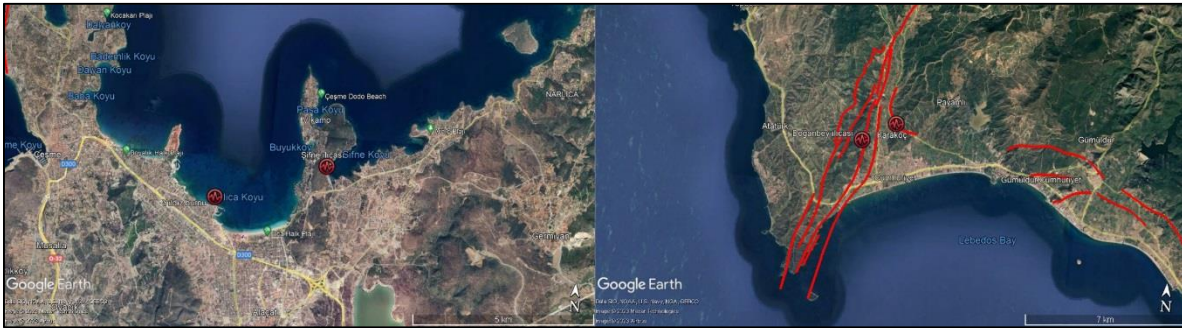
METOD VE BULGULAR

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada İzmir ili Seferihisar ve Çeşme ilçelerinde yer alan jeotermal alanlarda aktif fay hatları ile ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bu kaynaklar Doğanbey ve Karakoç (Seferihisar) ile Şifne ve Ilıca (Çeşme) sıcak su kaynaklarıdır. Arazide belirlenen dört adet jeotermal alandaki sıcak su kaynaklarında iki yıl boyunca on örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Kaynakların başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların HCO_3^- analizleri titrasyon yöntemi ile SO_4^{2-} analizleri ise spektrofotometre ile laboratuvarında ölçülmüştür. Alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analizlerinden majör anyon, katyon analizleri ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında ICP-OES (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , B ve As) ve iyon kromatografisi (Cl^-) cihazlarında yapılmıştır.

Çalışma Alanındaki Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Bu çalışmada Şubat 2019-Kasım 2020 tarihleri arasında 10 farklı dönemde İzmir ilinde Şifne ve Ilıca (Çeşme) ile Karakoç ve Doğanbey (Seferihisar) jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su kaynaklarından periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanında örnekleme yapılan jeotermal alanlar (MTA, 2005)

Figure 2. Geothermal fields sampled in the study area (MTA, 2005)

Doğanbey (Seferihisar) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin GB'sında Gümüldür beldesi ile Seferihisar ilçesi arasında yer alır. Sıcak su eski kaplıca kalıntılarının yanında doğal olarak yüzeye ulaşmaktadır (Şekil 3). Bu alanda 10 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 1). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 61,00-66,30 °C, 6,37-6,94 .ve. 11570-13060 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi Na>Ca>K>Mg ve katyon dizilimi Cl>HCO₃>SO₄ şeklindedir.



Şekil 3. Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

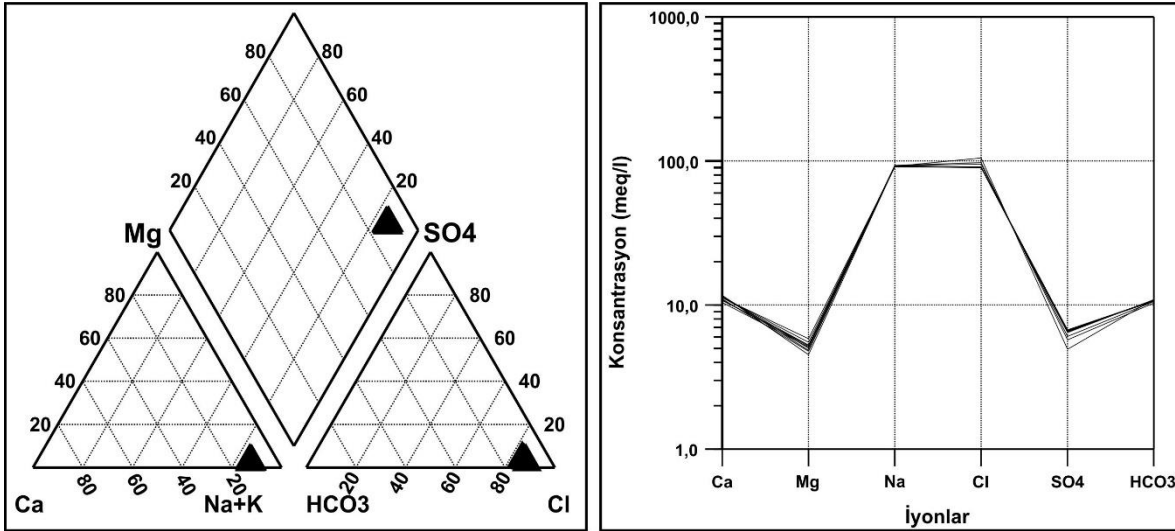
Figure 3. Hot water spring in Doğanbey geothermal field

Çizelge 1. Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 1. Analysis results of hot waters in Doğanbey geothermal area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
Doğanbey	03.02.2019	61,00	6,82	11,570	226	2102	64	147	3220	313	663
	24.03.2019	63,60	6,88	12,150	218	2108	63	138	3189	315	658
	25.05.2019	65,20	6,85	12,520	221	2132	58	145	3204	320	656
	27.07.2019	65,70	6,79	12,580	231	2123	59	142	3214	321	648
	17.08.2019	64,70	6,94	12,660	209	2110	62	135	3223	318	655
	28.09.2019	65,90	6,80	12,770	225	2087	71	133	3195	323	678
	10.11.2019	63,90	6,55	12,610	227	2097	67	158	3187	309	665
	23.08.2020	65,70	6,37	12,680	232	2137	61	145	3367	291	645
	31.10.2020	66,20	6,43	13,060	234	2112	55	148	3720	237	668
	15.11.2020	61,80	6,64	12,720	216	2141	64	151	3456	275	630

Majör anyon/katyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Doğanbey kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 4. Piper and Schoeller diagrams prepared according to data from Doğanbey spring

Karakoç (Seferihisar) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin GB'sında Ürkmez beldesi ile Seferihisar ilçesi arasında yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak yeryüzüne ulaşır ve eskiden kaplıca olarak kullanılan tesise borular yardımıyla ulaşmaktadır (Şekil 5). Bu alanda 10 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 2). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 48,10-58,30 °C, 6,28-7,58 ve 6702-7812 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi Na>Ca>K>Mg ve katyon dizilimi Cl>HCO₃>SO₄ şeklindedir.



Şekil 5. Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

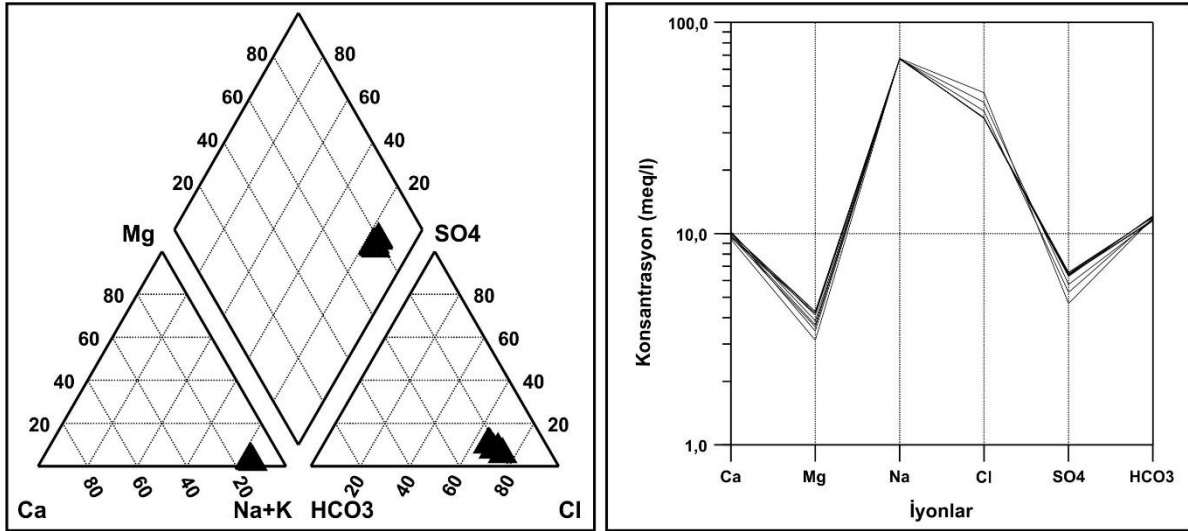
Figure 5. Hot water spring in Karakoç geothermel area

Çizelge 2. Karakoç Jeotermal Alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 2. Analysis results of hot waters in Karakoç geothermal field

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
Karakoç	03.02.2019	58,30	6,87	7,513	199	1542	45	114	1250	308	734
	24.03.2019	52,80	7,58	6,702	205	1550	47	110	1248	302	725
	25.05.2019	53,70	7,52	6,698	203	1552	42	115	1245	301	741
	27.07.2019	52,10	6,81	7,190	189	1548	38	112	1251	315	728
	17.08.2019	49,50	6,84	7,277	195	1545	52	108	1255	306	711
	28.09.2019	49,70	6,73	7,057	201	1551	48	111	1247	304	705
	10.11.2019	49,60	6,77	7,149	202	1538	50	107	1254	311	732
	23.08.2020	54,90	6,43	7,254	194	1538	44	105	1247	310	703
	31.10.2020	52,20	6,28	7,301	192	1551	51	121	1584	224	724
	15.11.2020	48,10	6,71	7,812	201	1545	45	112	1350	253	721

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Karakoç kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 6. Piper and Schoeller diagrams prepared according to data from Karakoç spring

Ilıca (Çeşme) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin batısında Çeşme ilçesi doğusunda yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak deniz kenarında yüzeye ulaşmaktadır (Şekil 7). Bu alanda 9 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 31,80-44,80 °C, 7,08-7,61 ve 54670-56380 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi Na>Mg>Ca>K ve katyon dizilimi Cl>SO₄>HCO₃ şeklindedir.



Şekil 7. Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

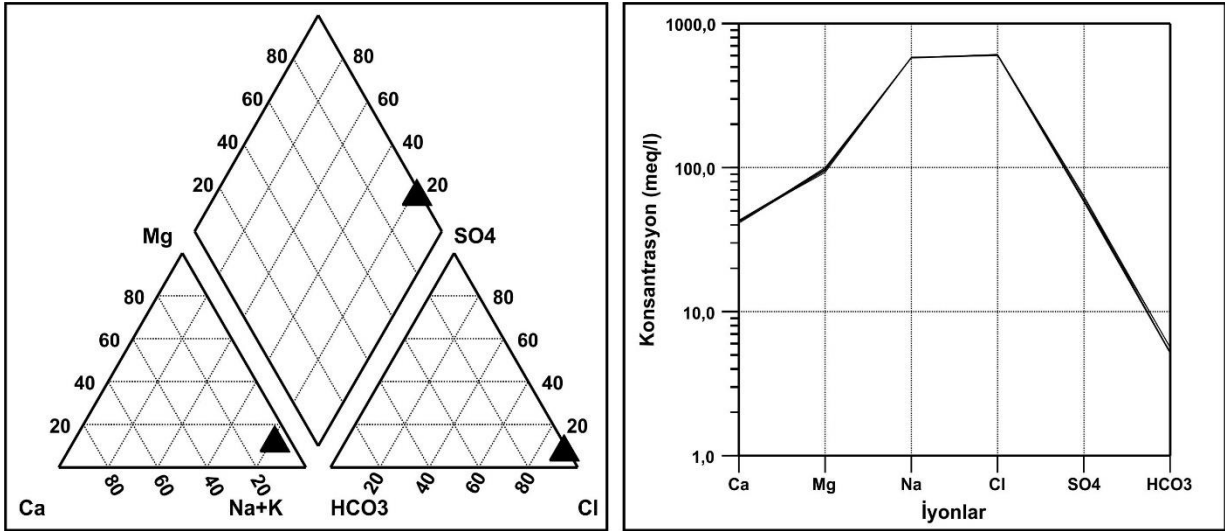
Figure 7. Hot water spring in Ilıca geothermal field

Çizelge 3. Ilica jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 3. Analysis results of hot waters in Ilica geothermal area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	
Ilica	03.02.2019	34,40	7,25	54,670	855	13400	1187	437	21566	2987	317	
	24.03.2019	42,20	7,30	54,740	840	13250	1210	410	21250	2852	320	
	25.05.2019	44,40	7,21	55,580	835	13387	1145	458	21235	2789	348	
	27.07.2019	40,40	7,13	55,330	848	13405	1165	396	21401	2754	312	
	17.08.2019	38,20	7,48	56,010	864	13462	1183	424	21420	2864	344	
	28.09.2019	40,70	7,47	55,430	851	13304	1174	450	21489	2960	365	
	10.11.2019	31,80	7,61	56,360	823	13285	1169	469	21478	2877	314	
	23.08.2020	44,80	7,08	55,100	862	13312	1122	432	21389	2978	345	
	31.10.2020	ÖRNEKLEME YAPILMADI										
	14.11.2020	42,00	7,36	55.300	838	13374	1218	445	21704	3054	341	

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Ilica jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Ilica kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 8. Piper and Schoeller diagrams prepared according to the data taken from the Ilıca spring

Şifne (Çeşme) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin batısında Çeşme ilçesi doğusunda yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak yüzeye ulaşmaktadır ve bir otel işletmesinde kullanılmaktadır (Şekil 9). Bu alanda 9 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 34,40-29,70 °C, 6,90-7,66 ve 11230-33760 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi Na>Ca>Mg>K ve katyon dizilimi Cl>SO₄>HCO₃ şeklindedir.



Şekil 9. Şifne jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

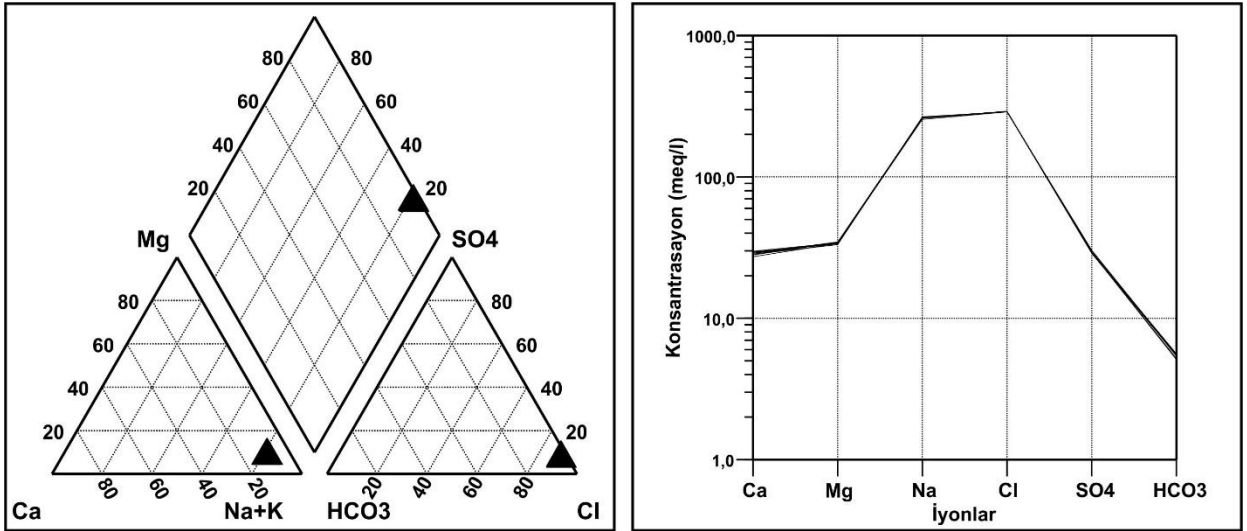
Figure 9. Hot water spring in Şifne geothermal area

Çizelge 4. Şifne jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 4. Analysis results of hot waters in Şifne geothermal area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)	
Şifne	03.02.2019	34,40	7,22	28,040	590	6052	408	206	10287	1418	329	
	24.03.2019	38,10	7,66	11,230	587	6042	410	201	10350	1421	340	
	25.05.2019	37,20	7,19	22,960	569	6124	403	198	10257	1454	335	
	27.07.2019	38,50	6,99	14,170	565	5987	418	187	10278	1422	312	
	17.08.2019	36,70	7,30	18,400	578	5990	412	202	10340	1415	341	
	28.09.2019	36,80	7,36	20,800	547	5874	398	212	10228	1398	321	
	10.11.2019	37,60	7,26	20,690	598	6021	415	210	10301	1378	332	
	23.08.2020	39,70	6,90	33,760	578	5954	421	218	10303	1388	317	
	31.10.2020				ÖRNEKLEME YAPILMADI							
	15.11.2020	38,20	7,28	32.200	563	6048	418	179	10310	1394	311	

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Şifne jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 10).



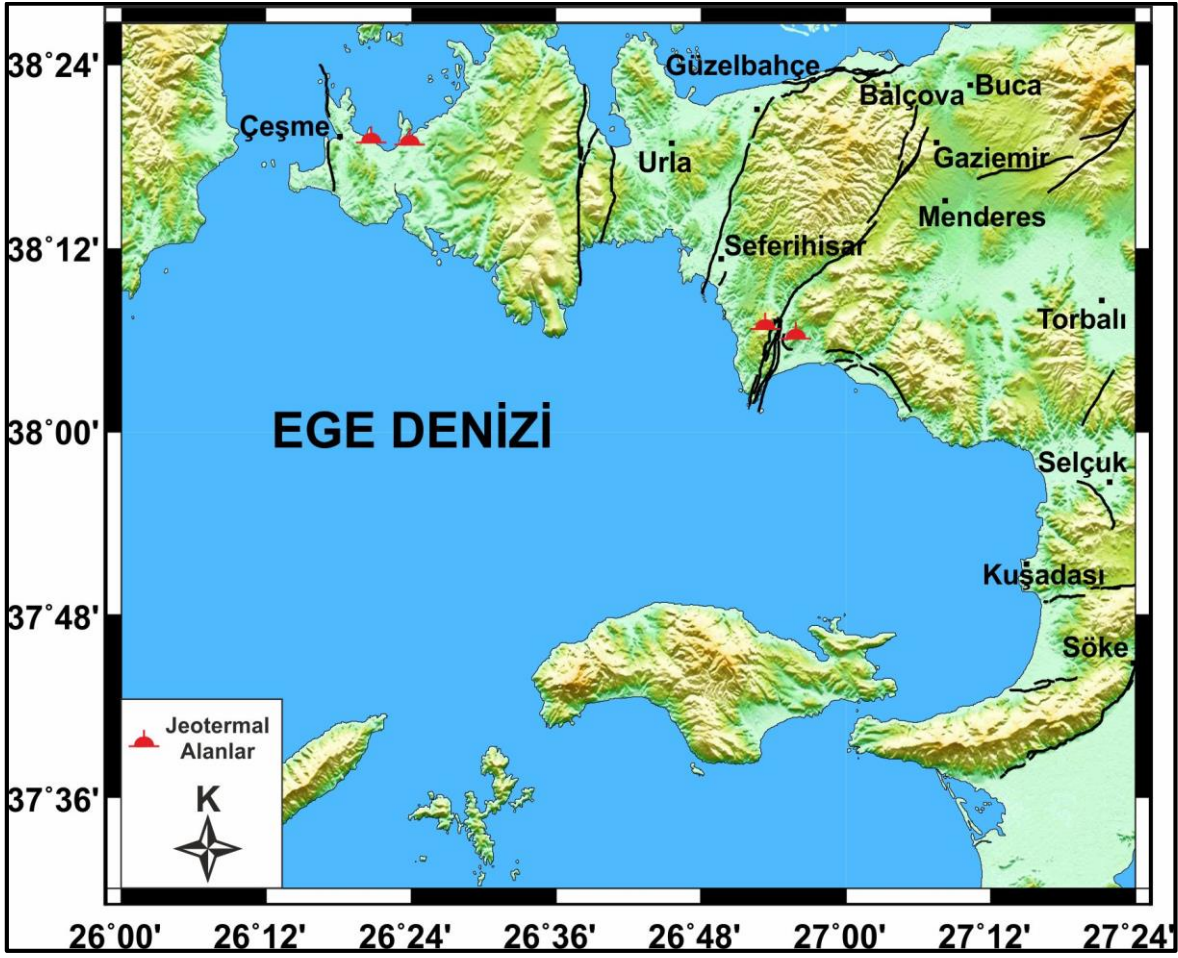
Şekil 10. Şifne kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 10. Piper and Schoeller diagrams prepared according to data from Şifne spring

Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği

Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif fay olarak gösterilen Mordoğan Fayı ve Gülbahçe Fay Zonu ile Tuzla Fayı ve Seferihisar Fayı ve çevresinde yer alan çalışma alanı, İzmir (Batı Anadolu) ili batısı ve güneyinde yer almaktadır (Şekil 11). Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Alanda yer alan önemli aktif faylar; batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı, Tuzla Fayı, yaklaşık D-B uzanımlı İzmir Fayı ve yaklaşık KD-GB uzanımlı Yenifoça Fayı'dır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitudü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M=3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1909 yılında $M=6.0$, 1949 yılında $M=6.6$, 1955 yılında $M=6.8$ ve 2020 yılında $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

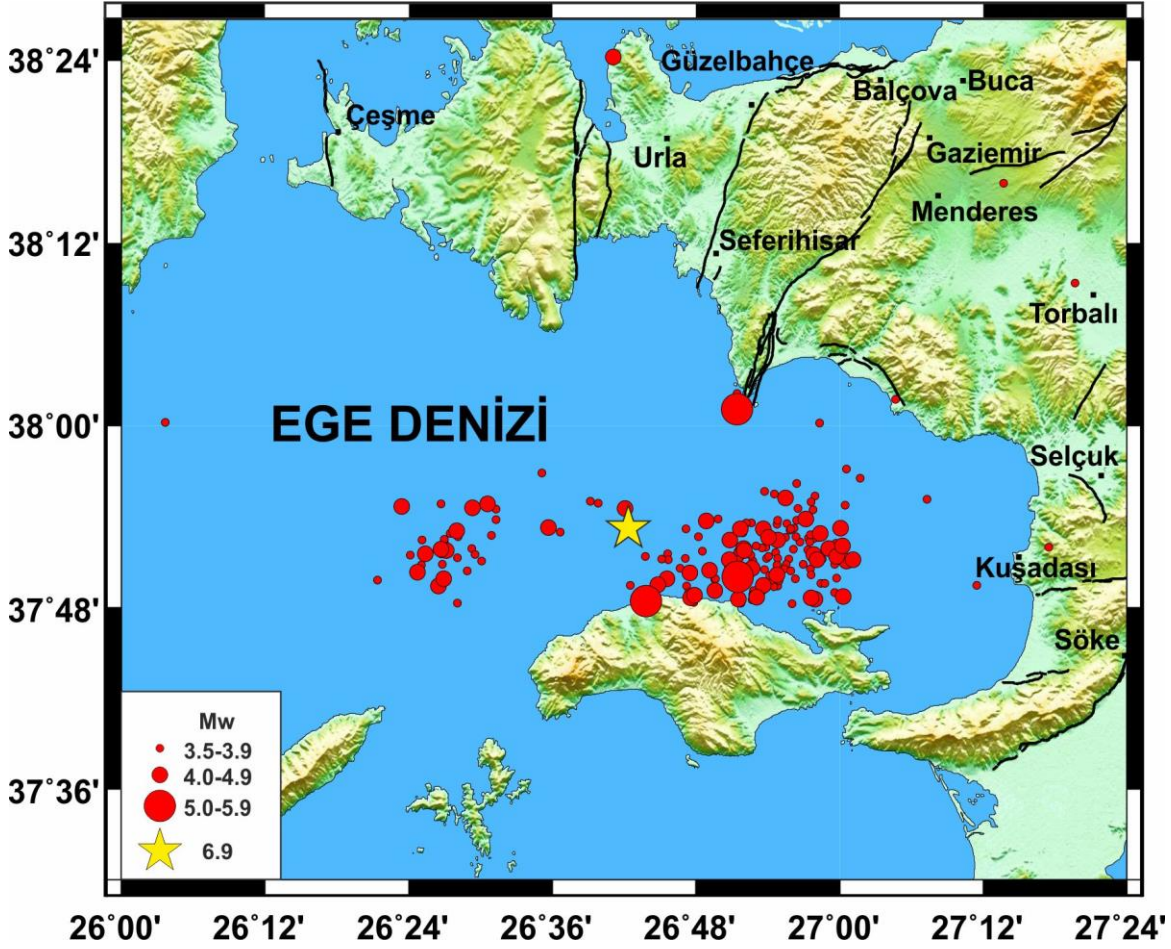
Türkiye'nin aletsel dönem deprem etkinliği incelendiğinde çalışma alanı ve yakın civarındaki yoğun deprem aktivitesi dikkat çekmektedir. Bu depremlerin ortak özelliği her bir depremin oldukça yoğun ve uzun süren artçı şok etkinliğine sahip olması ayrıca benzer faylanma mekanizmalarına sahip olmalarıdır. Çalışma alanı ve yakın civarında gelişmiş bu depremler gerek büyüklükleri gerekse de meydana getirdiği hasar bakımından incelenmiş ve bazı araştırmacılar tarafından sismolojik anlamda ele alınmıştır (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Ambraseys ve Tchalenko, 1972; McKenzie, 1972; 1978).



Şekil 11. Çalışma alanı ve çevresindeki aktif faylar (Emre ve Özalp, 2011)

Figure 11. Active faults around the study area (Emre and Özalp, 2011)

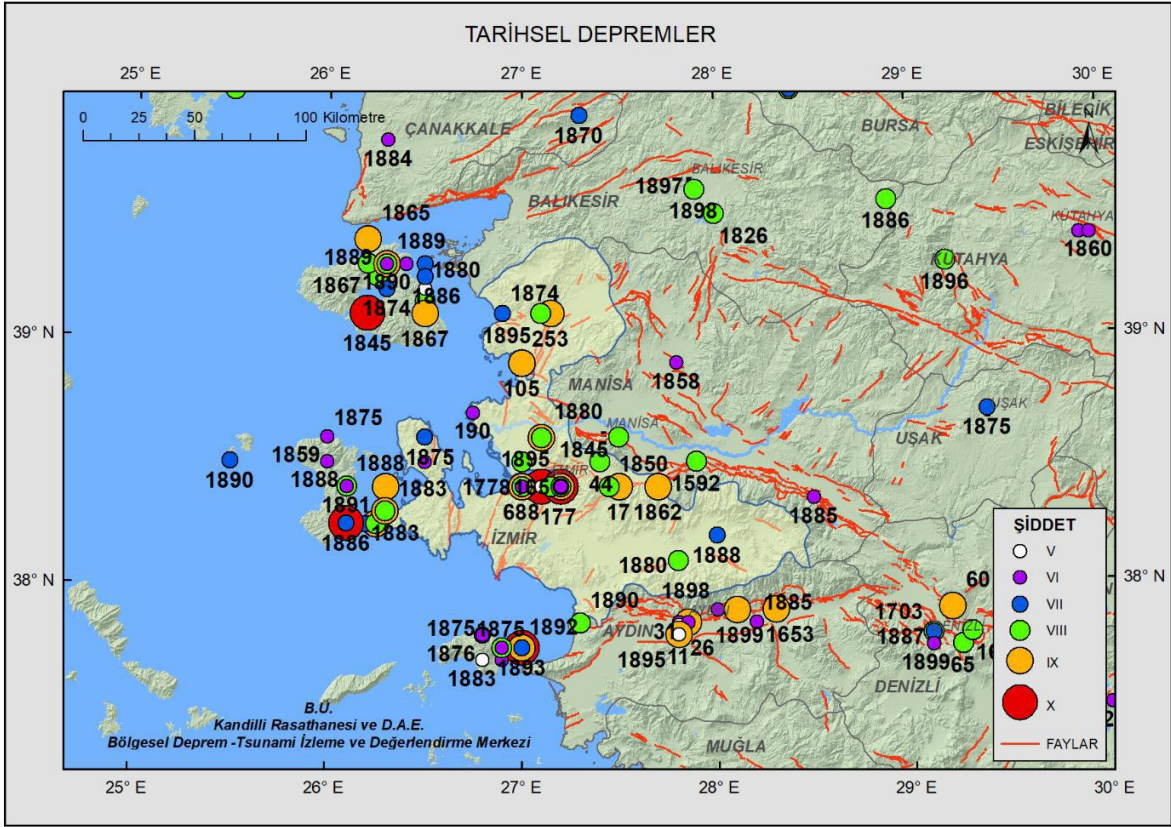
Çalışma alanı ve yakın çevresinde aletsel dönemde $M > 4.0$ büyüklüğünde yaklaşık 320 adet deprem meydana gelmiştir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M = 3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden en önemlisi 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi ($M_w = 6.9$) Ege Denizi Bölgesi'nin orta bölümünde meydana gelmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışma alanı ve yakın çevresinde Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında meydana gelmiş $M > 3.5$ depremler ve 30 Ekim 2020 $M_w = 6.9$ depremi (www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 12. $M > 3.5$ earthquakes that occurred between January 2019-January 2021 in the study area and its surroundings and 30 October 2020 $M_w = 6.9$ earthquake (www.koeri.boun.edu.tr)

Bu alan tarihsel (1900 öncesi) ve aletsel (1900 sonrası) dönemlerde yoğun deprem etkinliğinin yaşandığı aktif bir bölgedir (Şekil 13, 14). Bölgede Tuzla fayı üzerinde 1992 yılında $M_s = 6.0$ büyüklüğünde, Seferihisar fayı üzerinde 2003 yılında $M_w = 5.7$ büyüklüğünde ve Yağcılar fayı üzerinde 2005 yılında $M_w = 5.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir (Emre ve diğ., 2005a, b; Kuşçu ve diğ., 2010).

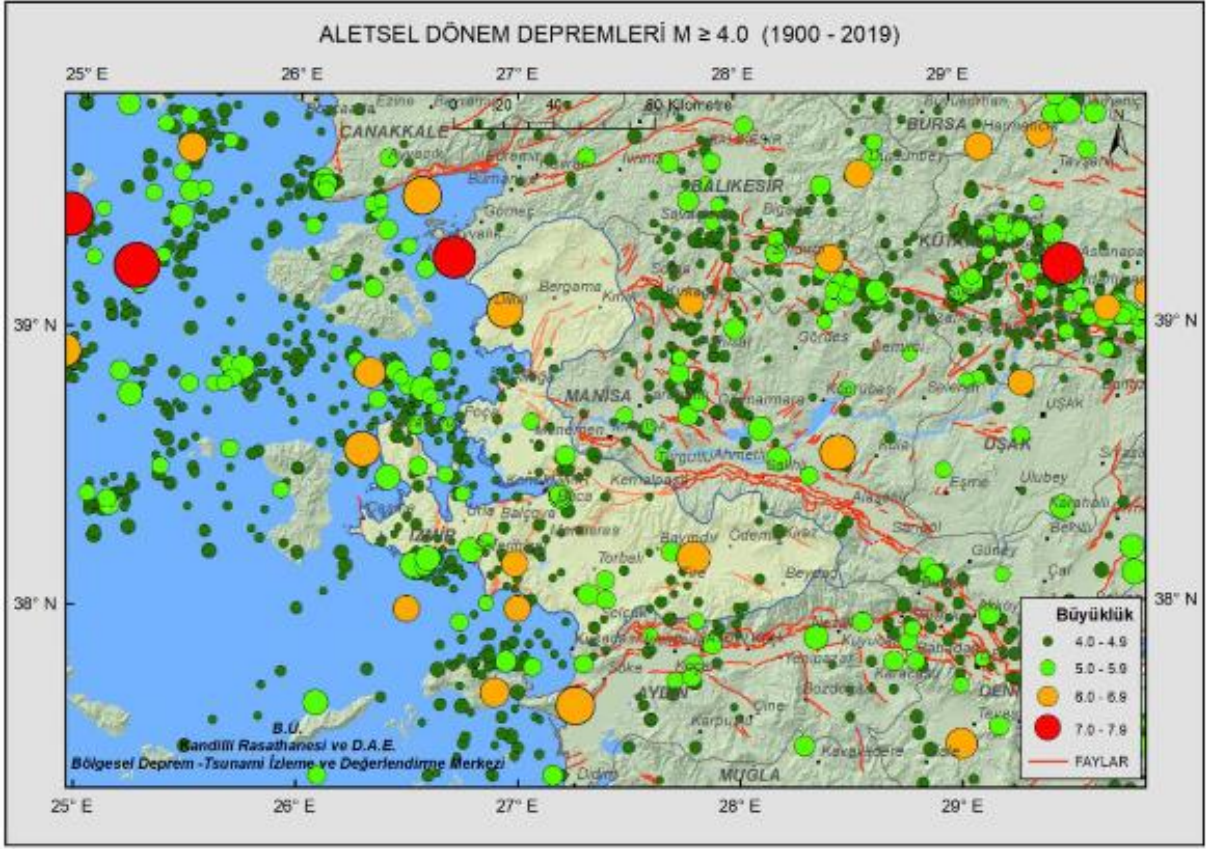


Şekil 13. Çalışma alanı ve çevresinin tarihsel dönem (1900 öncesi) deprem etkinliği (www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 13. Historical period (before 1900) earthquake activity of the study area and its surroundings (www.koeri.boun.edu.tr)

Çevresel Etkiler

Jeotermal suların içerdiği bor ve arsenik çevresel sorunlara ve kirliliğe neden olmaktadır. Arsenik, pirit, arsenopirit, demir, bakırlı şeylerden ve fosfatlı kayaların oksidasyonundan sıcak sulara kolaylıkla geçerken geçerken bor özellikle Batı Anadolu gibi aktif tektonizmaya bağlı, volkanojenik olmayan bir ısı kaynağına sahip jeotermal sistemlerde konsantrasyonu magmatik katkıdan çok su-kaya etkileşimi ile denetlenmektedir (Tokçaeer, 2023).



Şekil 14. Çalışma alanı ve çevresinin aletsel dönem (1900 sonrası) deprem etkinliği
(www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 14. The instrumental period (after 1900) earthquake activity of the study area and its surroundings (www.koeri.boun.edu.tr)

Bu nedenle bazı yörelerdeki sıcak sularda As, içme suyu standartlarının üzerinde değerler verebilmektedir. İçme sularındaki arsenik limit değerleri 10-50 μg aralığında olmalıdır (TS 266, 2005; WHO, 2011). Arsenik içeriğinin, içme ve kullanma sularında standartların üzerinde olması ekosistemde yaşayan canlılar için zehirleyici etki yapar. Arsenik sulama suyunda yüksek olması durumunda bitki bünyesine geçer ve inorganik arsenik olarak depolanır ve bitkinin kurumasına neden olabilmektedir.

Bor, suyun pH değerine göre farklı formlarda yer alır. İçme sularındaki arsenik limit değerleri 1000-2400 μg aralığında olmalıdır (TS 266, 2005; WHO, 2011). Asitli sularda $\text{B}(\text{OH})_3$, bazik sularda $\text{B}(\text{OH})_4$ şeklinde bulunur. İçme sularındaki yüksek bor konsantrasyonunun, bitkilerde ve insan üzerinde zararlı etkisi vardır. Özellikle sulama sularında, toprağın gözenekliliğini

düşürür ve bitki köklerinin hava almasını engelleyerek kurumalarına neden olur (Bolca ve diğ., 2010; Demirtaş, 2005).

Çalışma alanındaki jeotermal alanlarda çevresel etkiler anlamında sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerinden belirli dönemlerde B ve As elementleri analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucu Şifne jeotermal alanındaki su kaynağındaki As değeri ortalama 0,192 mg/l, B değeri ortalama 3,752 mg/l; Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su kaynağındaki As değeri ortalama 0,231 mg/l, B değeri ortalama 4,90 mg/l; Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak su kaynağındaki As değeri ortalama 0,071 mg/l, B değeri ortalama 7,522 mg/l ve Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su kaynağındaki As değeri ortalama 0,044 mg/l, B değeri ortalama 8,124 mg/l olarak belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif fay olarak gösterilen Mordoğan Fayı ve Gülbahçe Fay Zonu ile Tuzla Fayı ve Seferihisar Fayı ve çevresinde yer alan çalışma alanı, İzmir (Batı Anadolu) ili batısı ve güneyinde yer almaktadır. Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Alanda yer alan önemli aktif faylar; batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı ve Tuzla Fayı'dır. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitüdü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M=3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1909 yılında 1 adet $M=6.0$, 1949 yılında 1 adet $M=6.6$, 1955 yılında 1 adet $M=6.8$ ve 2020 yılında 1 adet $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Bu çalışmada Batı Anadolu'da, İzmir iline ait Çeşme ve Seferihisar ilçeleri ile yakın çevresinde bulunan jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarında Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında düzenli olarak belirli periyodik zamanlarda yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu alanlar İzmir ilinin Çeşme ilçesindeki Ilıca ve Şifne jeotermal alanları ile Seferihisar ilçesindeki Karakoç ve Doğanbey jeotermal alanlarıdır. Bu alanlarda yaklaşık 2 ayda bir 10 ayrı dönemde (03 Şubat 2019, 24 Mart 2019, 25 Mayıs 2019, 27 Temmuz 2019, 17

Ağustos 2019, 28 Eylül 2019, 10 Kasım 2019, 23 Ağustos 2020, 31 Ekim 2020, 14 Kasım 2020) sıcak su kaynaklarında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Sıcak suların fiziksel ve kimyasal parametrelerindeki değişimler alanının deprenselliği ile ilişkilendirilmiştir. Yapılan hidrojeokimyasal analizler sonucunda tüm jeotermal alanlardaki sıcak su kaynakları Na-Cl tipi suyu yansıttığı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; Çeşme'deki sıcak su kaynaklarındaki Na ve Cl değerleri oldukça yüksektir. Sıcak sularda Cl değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşımli olduğu sonucunu vermektedir. Ayrıca bu kaynakların denizel kökenli sularla karışımının yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen depremler ile termal sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler korele edilmiştir. Buna göre üç jeotermal alandaki sıcak suların fiziksel ve kimyasal koşullarında elementsel bazda bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Çalışmanın devam ettiği süre içerisinde, 30.10.2020 tarihindeki Kuşadası Körfezi'nde Samos adası kuzeyinde meydana gelen Mw=6.9 büyüklüğündeki deprem öncesinde ve sonrasında sıcak su kaynaklarında belirgin kimyasal değişiklikler meydana gelmiştir. Doğanbey ve Karakoç kaynaklarına bakıldığında; 30.10.2020 tarihindeki depremden önceki örnekleme dönemlerinde (23 Ağustos 2020) özellikle Cl ve SO₄ değerleri ilk örnekleme dönemindeki (03 Mart 2019) değerden azalma yönünde devam ederken, depremden hemen sonra yükselmiş ve son örnekleme döneminde tekrar deprem öncesi değerlerine döndüğü görülmüştür.

Sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; hemen hemen tüm alanlardaki suların Cl iyon değerleri 30 Ekim 2020 tarihindeki Mw=6.9 büyüklüğündeki deprem öncesi yükselmiştir. Sıcak sularda Cl iyon değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşımli olduğu sonucunu vermektedir. Depremin etkisi ile çalışma alanındaki sıcak suların yüzeye daha yakın bir beslenmeye maruz kaldığı düşünülmüştür. Ayrıca sıcak sulardaki SO₄ iyon değerlerinde deprem öncesi Doğanbey ve Karakoç kaynaklarında bir azalma meydana gelmiştir. . Bu durum, deprem sırasında jeotermal akışkanda çözülmesi bulunan HS ve/veya H₂S gazlarındaki sülfidin (S⁻¹/S⁻²), sülfat (SO₄) iyonuna yükseltgenmeyip, basınç kaybına bağlı olarak akışkanlardan gaz olarak ayrılarak yüzeye ulaşması, deprem sonrasında ise bu gazlarının akışkanlar içinde tekrar çözünüp SO₄ iyonuna yükseltgenmesiyle önceki değerlerine ulaşması olarak yorumlanmıştır.

Çalışma alanındaki jeotermal alanlarda çevresel etkilerin değerlendirilmesi amacı ile sıcak su kaynaklarından alınan örneklerden belirli dönemlerde B ve As analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda maksimum As konsantrasyonu Şifne jeotermal alanındaki sıcak su kaynağında 0,192 mg/l olarak belirlenmiştir. Bu değer WHO tarafından belirlenen içme suları As limit değerinden 19 kat daha fazladır. En yüksek B konsantrasyonu ise Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su kaynağında 8,124 mg/l olarak belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında, jeotermal sistemleri de içeren depremsellik açısından aktif bir bölgede, sıcak suların fizikokimyasal ve kimyasal özelliklerinin düzenli olarak izlenmesi ile depremlerin önceden tahmin edilmesine katkı sağlayabileceği saptanmıştır.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ÇOMÜ-BAP-FBA-2018-2818 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlamış olduğu maddi destek için ÇOMÜ-BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Ambraseys, N. ve Tchalenko, J.S., 1972 Seismotectonic aspects of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1970, Geophys. J. R. Astr. Soc. 30/3: 229-252.

Ateş, Ö. ve Tutkun, S.Z., 2014, Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt: 57, Sayı 3, sf. 25-40.

Bolca, M., Kılınç, R., Altınbaş, Ü., Saç, M.M., Kumru, M.N., Çolak Esetlili, B., Esetlili, M.T. ve Özen, F. 2010. Alangüllü (Aydın) Bölgesindeki Jeotermal Kaynakların Kimyasal Özelliklerinin ve İçerdikleri Radyoaktif Maddelerin Su Kaynakları Tarım Toprakları ve Kültür Bitkilerine Etkilerinin Multidisipliner Yaklaşımla Saptanması Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK, Proje No.107-0-085.

Demirtaş, A. 2005. Bitkide Bor ve Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(2): 217-225.

- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., 2005a, İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10754, 80s., Ankara.
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. ve Yıldırım, C., 2005b, 17 Ekim 2005 Sığacık (İzmir) depremleri ön değerlendirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10756, 6s., Ankara.
- Emre, Ö., Özalp, S., 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Urla (NJ 35-6) Paftası, Seri No:5, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Eyidogan, H., Jackson, J., 1985. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alasehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey: implication for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 81, 569-607.
- Kuşçu, İ., Öcal, F. ve Kurtuluş, O., 2010, İzmir ve Sığacık Körfezlerinde Kıyı Ötesi Aktif Faylar. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 11273, 73s., Ankara
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 55, 217-254.
- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Envanter Serisi-201.
- MTA, 2020. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw=6.9) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25, 914-928
- Schoeller, H., 1955. *Geochemie Des Eaux Souterraines*, *Revue De L'institute Francois Du Petrole*, 10, 230-44.
- Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N., 2000. Termal Kaynaklar: Depremin Habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Deprem Bölgelerindeki Termal Kaynaklarda Gözlenen Değişimler ve Önemi, *Cumhuriyet, Bilim Teknik*, 01 Temmuz 2000.
- TS 266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

WHO, 2011. Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (4rd ed.) Geneva: World Health Organization.

Tokcaer, M., 2023. Batı Anadolu'daki bazı jeotermal alanların termal akışkanlarında bor izotop oranları ve borun kökeni. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 38 (3) , 1361-1374 . DOI: 10.17341/gazimmfd.1092227

www.koeri.boun.edu.tr

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf