

JEOTERMAL SİSTEMLERDEKİ AKTİF TEKTONİK KAYNAKLI BAZI HİDROJEOKİMYASAL DEĞİŞİKLİKLER: MUĞLA BÖLGESİ ÖRNEĞİ

SOME HYDROGEOCHEMICAL CHANGES IN GEOTHERMAL SYSTEMS WITH ACTIVE TECTONIC ORIGIN: A CASE STUDY IN MUĞLA PROVINCE

Dr. Öğr. Üyesi Özkan ATEŞ 

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

Prof. Dr. Süha ÖZDEN 

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

Geliş Tarihi / Received: 07.12.2020
Kabul Tarihi / Accepted: 04.01.2021

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.425

ÖZET

Çalışma alanı GB Anadolu’da Muğla ili sınırları içerisinde yer alır. Türkiye Diri Fay Haritası’nda aktif fay olarak gösterilen yaklaşık KB-GD uzanımlı Karaova-Milas ve Muğla-Yatağan Fay Zonları ile Gökova Körfezi’ni güneyden sınırlayan yaklaşık D-B uzanımlı Ula-Ören Fay Zonu 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 (1900-2019) magnitudü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 450 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmektedir. Ayrıca bölgede 1926 yılında bir adet $M_w=7.7$, 1933 yılında bir adet $M_w=6.4$, 1941 yılında iki adet $M_w=6.0$, 1961 yılında bir adet $M_w=6.3$ ve 21 Temmuz 2017 tarihinde $M_w=6.6$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Jeotermal sistemler açısından da oldukça zengin olan alanda ve çevresinde kalan bölgede birçok jeotermal alan -Yatağan (Bozüyük), Bodrum (Karaada), Datça (Ilica, Gölbaşı), Köyceğiz (Sultaniye), Dalyan (Delibey Girmesi, Rızaçavuş Girmesi, Gelgirme), Sarıgerme (Çürükardı) ve Fethiye (Gebeler)- bulunmaktadır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır. Bu jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarından (Savran-Milas, Bozüyük-Yatağan, Sultaniye-Köyceğiz ve Kapukargın-Dalaman) yaklaşık üç yıl süren bir izleme (monitoring) çalışması (yerinde ölçüm ve su örnekleme) yapılarak, çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılarak bu yüksek deprem aktivitesi ile ilişkilendirilmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanında Muğla ili civarında 22 Kasım 2017 tarihinde $M_w=5.0$ ve 25 Kasım 2017 tarihinde $M_w=5.3$ büyüklüğünde iki adet deprem meydana gelmiştir. Özellikle Ekim 2017 ve Aralık 2017 örnekleme dönemlerinde alınan suların kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında bazı değerlerin bu depremlerden etkilendiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Deprem, Muğla, Aktif Fay

ABSTRACT

The study area is located within the borders of Muğla province in SW Anatolia. Approximately NW-SE trending Karaova-Milas and Muğla-Yatağan Fault Zone and Ula-Ören Fault Zone which has approximately E-W trending along the south of Gökova Gulf are the most active faults of region as in shown active faults on the Turkey Active Fault Map. In addition to these faults, it is known that there are many active tectonic elements in the area. However, during the instrumental period (1900-2019) in the study area and its surroundings, approximately 450 earthquakes with magnitudes greater than $M=4.0$ occurred and the activity still continues. In addition, there were one

Mw=7.7 in 1926, one Mw=6.4 in 1933, two Mw=6.0 in 1941, one Mw=6.3 in 1961 and Mw=6.6 magnitude earthquakes happened on 21 July 2017.

Many geothermal areas in the area which is very rich in terms of geothermal systems and the surrounding region -Yatağan (Bozüyük), Bodrum (Karaada), Datça (Ilıca, Gölbaşı), Köyceğiz (Sultaniye), Dalyan (DelibeyGirmesi, RızaçavuşGirmesi, Gelgirme), Sarıgerme (Çürükardı) and Fethiye (Gebeler). Most of these geothermal areas are also located on active fault zones. A three-year monitoring study (on-site measurement and water sampling) was carried out from the hot water resources (Savran-Milas, Bozüyük-Yatağan, Sultaniye-Köyceğiz and Kapukargın-Dalaman) determined in these geothermal areas. The relationship between geothermal resources and active faults in the study area was revealed and it was tried to be associated with this high earthquake activity.

In the study area, two earthquakes with Mw = 5.0 on 22 November 2017 and Mw = 5.3 on 25 November 2017 occurred around Muğla. Considering the chemical analysis results of the waters taken during the sampling periods of October 2017 and December 2017, it was observed that some values were affected by these earthquakes.

Keywords: Geothermal, Earthquake, Muğla, Active Fault

1. GİRİŞ

Tarihsel dönemlerden beri akifer sistemlerinin depremlerle olan ilişkisi insanların dikkatini çekmiştir. Artan kaynak deşarjı, nehir akışındaki değişiklikler ve kaynakların kaybolması veya yenilerinin oluşturulması gibi makroskopik etkiler, gelişmiş ekipmana ihtiyaç duyulmadan fark edilmiştir. Geçtiğimiz yüzyılda, su kaynaklarında ve su kuyularında çok sayıda deprem öncesi, sırası ve sonrası zamanlarda su seviyesi değişikliği gözlemlenmiştir (Woith ve diğ., 2013). Depremlerin öncesinde, sırasında ve sonrasında yeni su kaynakları oluşumu yada 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 diğ., 2011; Ateş ve diğ., 2012, Ateş, 2014; Ateş ve Tutkun, 2014; Kaçar ve diğ., 2017).

Muğla (GB Anadolu) ili içerisinde ve çevresinde Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif fay olarak gösterilen birçok aktif fay bulunmaktadır. 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. Yaklaşık KB-GD uzanımlı Karaova-Milas ve Muğla-Yatağan Fay Zonları ile Gökova Körfezi'ni güneyden sınırlayan yaklaşık D-B uzanımlı Gökova Fay Zonu bölgenin en önemli aktif faylarıdır (Emre ve diğ., 2013). Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde magnitudü M=4.0 den büyük yaklaşık 450 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Ayrıca bölgede 1926 yılında bir adet Mw=7.7, 1933 yılında bir adet Mw=6.4, 1941 yılında iki adet Mw=6.0, 1961 yılında bir adet Mw=6.3 ve 21 Temmuz 2017 tarihinde Mw=6.6 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Jeotermal sistemler açısından da oldukça zengin olan bölgede birçok jeotermal alan -Yatağan (Bozhöyük), Bodrum (Karaada), Datça (Ilıca, Gölbaşı), Köyceğiz (Sultaniye), Dalyan (Delibey Girmesi, Rızaçavuş Girmesi, Gelgirme), Sarıgerme (Çürükardı) ve Fethiye (Gebeler)- bulunmaktadır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır.

Bu çalışmada, GB Anadolu'da yer alan Muğla ilinde yer alan jeotermal alanlarda belirlenen dört farklı sıcak su kaynaklarında yerinde ölçümler (pH, iletkenlik-EC ve sıcaklık-T⁰C) ve alınan sıcak su örneklerinin jeokimyasal analizler (Ca⁺², Mg⁺², Na⁺, K⁺, Cl⁻, SO₄⁼ ve HCO₃⁻) yapılarak termal suların hidrojeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Örnekleme ve yerinde ölçümler 2017-2019

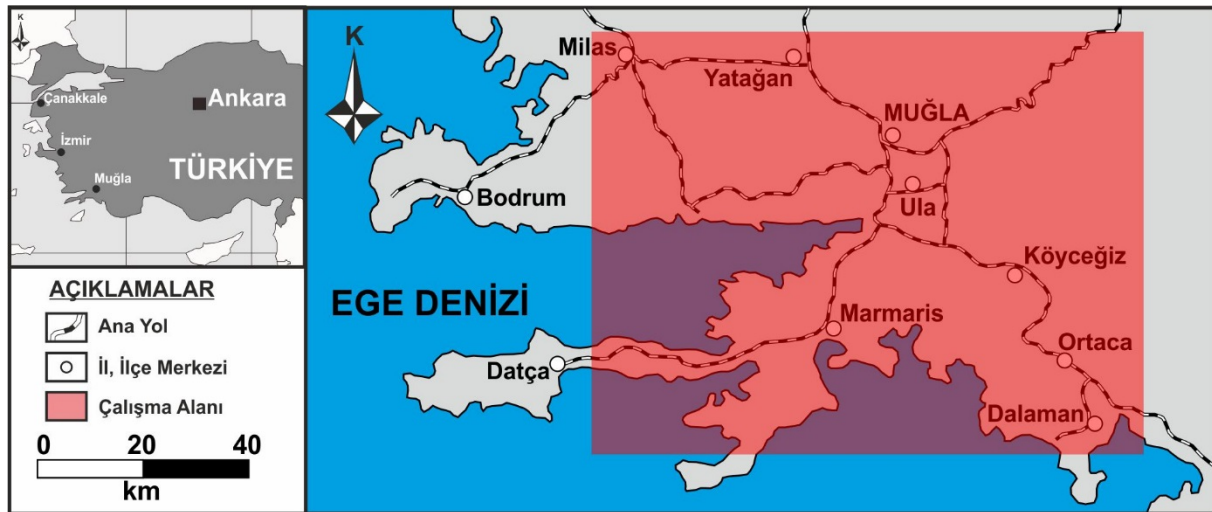
yılları arasında düzenli olarak belirli peryotlarda gerçekleştirilmiştir. Sismik açıdan da oldukça aktif olan bu bölgede yer alan sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve aktif tektonik ile olan ilişkisi ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Muğla ilinde yer alan jeotermal alanlarda aktif fay hatları ile ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bu kaynaklar Savran (Milas), Bozüyük (Yatağan), Sultaniye (Köyceğiz) ve Kapukargın (Dalaman) sıcak su kaynaklarıdır. Arazide belirlenen dört adet jeotermal alandaki sıcak su kaynaklarında üç yıl boyunca örneklemeye döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Kaynakların başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık ($T^{\circ}C$) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların HCO_3^- analizleri laboratuvarda titrasyon yöntemi SO_4^{2-} analizleri ise yine laboratuvarda spektrofotometre yöntemi ile yapılmıştır. Alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analizlerinden major anyon, kation analizleri ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında ICP-OES (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ve iyon kromatografisi (Cl^-) cihazlarında yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma alanı GB Anadolu’da Muğla ili sınırları içerisinde kuzeyde Milas ve Yatağan ilçeleri ile güneydoğuda Dalaman ilçesi ile sınırlı bir alanda yer alır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer buldurur haritası

Çalışma alanı ve civarında farklı jeolojik dönemlere ait oluşumlara rastlanılır. Alandaki Prekambriyen serileri, Yatağan ve Milas ilçelerinin kuzeyindeki dağlık kesimden başlayıp, kuzeye doğru geniş alanlarla yayılan gnays, mikaşist, ince taneli şist ve kuvarsit gibi kaya türleridir. Bu yapı, daha ileride kuzeybatıdan-güneydoğuya doğru uzanmaktadır. Çalışma alanının doğusundaki dağlık kesimin temelini oluşturan gre, konglomera ve bitki fosilli kalkerler ile Göktepe’deki Permian’e ait tabakalar altında yer alan koyu renkli mikaşistler ise ilk zaman oluşumlarıdır. Batı Anadolu’da geniş bir yayılım gösteren “Menderes Masifi” ve çevresindeki kaya birimleri yüzeylenmektedir. Çalışma alanında Menderes Masifi’nin birbiriyle uyumsuz bir ilişkiye sahip üç grubunun kayalar ve bunların üzerindeki Neojen örtü ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, bunlara ek olarak batı kesimde yüzeylenen Dilek Yarımadası-Selçuk-Tire zonu bulunmaktadır (Şenyürek, 2004).

Bölgede belli başlı üç adet fay zonu vardır. Bunlar Karaova-Milas, Muğla-Yatağan ve Ula-Ören (Gökova) Fay Zonlarıdır. Karaova-Milas fay zonu, Karaova ve Milas arasında yüzeylenen metamorfik kayalarda izlenebilen KB-GD doğrultulu birbirine paralel fay segmentlerinden oluşmaktadır. Ula-Ören Fay Zonu, Muğla'nın doğusunda Muğla-Yatağan fay zonundan dar bir açı yapacak şekilde ayrılarak B-GB doğrultusunda uzanır. Bu fay zonunun karadaki toplam uzunluğu 60 km civarında olup, Ören'in batısında denize girerek İstanköy Adası'nın güneyini izleyerek batıya doğru devam etmektedir.

3.1. Çalışma Alanındaki Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Bu çalışmada Ağustos 2017-Kasım 2019 tarihleri arasında 7 farklı dönemde Muğla ilinde Savran (Milas), Bozüyük (Yatağan), Sultaniye (Köyceğiz) ve Kapukargın (Dalaman) jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su sondaj kaynaklarından periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanında belirlenen jeotermal alanlar

3.1.1. Savran (Milas) Jeotermal Alanı

Muğla ili Milas ilçesinin yaklaşık 7 km GB sında Milas-Bodrum yolu üzerinde yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak yüzeğe ulaşır ve doğal bir havuz oluşturmuştur (Şekil 3). Bu alanda yedi farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 1).

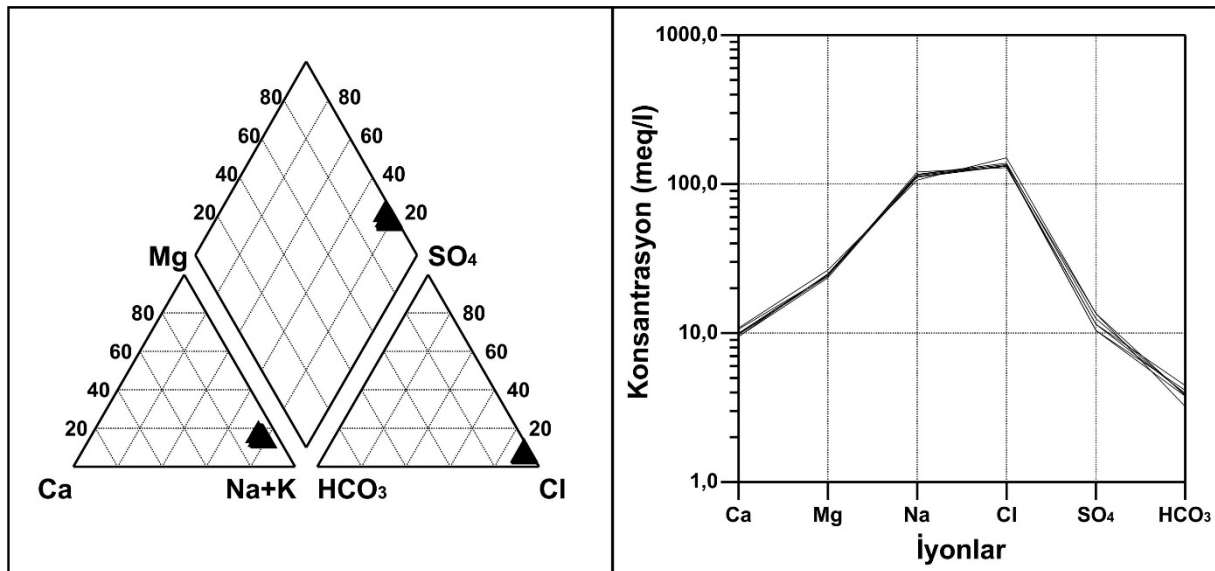


Şekil 3. Savran jeotermal alanı

Çizelge 1. Savran jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

SAVRAN	Tarih	T (°C)	pH	EC (ms/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
	Ağustos 2017	21,60	6,00	14,55	217,80	2444,00	322,30	116,60	5317,95	650	232
	Ekim 2017	23,00	6,98	14,73	190,90	2669,00	304,80	131,70	4786,16	650	196
	Aralık 2017	19,70	6,96	13,33	190,60	2640,00	286,10	122,80	4679,80	500	252
	Şubat 2018	21,50	6,86	13,71	196,90	2771,00	293,40	125,40	4573,44	550	271
	Nisan 2018	21,30	6,97	14,94	200,80	2669,00	300,45	120,40	4896,50	600	235
	Temmuz 2018	21,70	6,50	14,96	213,50	2550,00	294,50	123,80	4680,45	550	240
	Kasım 2019	23,60	7,31	13,59	198,35	2589,00	301,45	127,40	4720,65	500	230

Major anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki su tipleri incelendiğinde Savran Jeotermal alanındaki su tipi Na-Cl lu su tipini yansıtmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Savran kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller Diyagramları

3.1.2. Bozüyük (Yatağan) Jeotermal Alanı

Muğla ili Yatağan ilçesinin yaklaşık 13 km GB sında Milas-Yatağan yolu üzerinde yer alır. Eskiden kaplıca olarak kullanılan alanda sıcak su sondaj olarak yüzeye ulaşır (Şekil 5). Bu alanda yedi farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

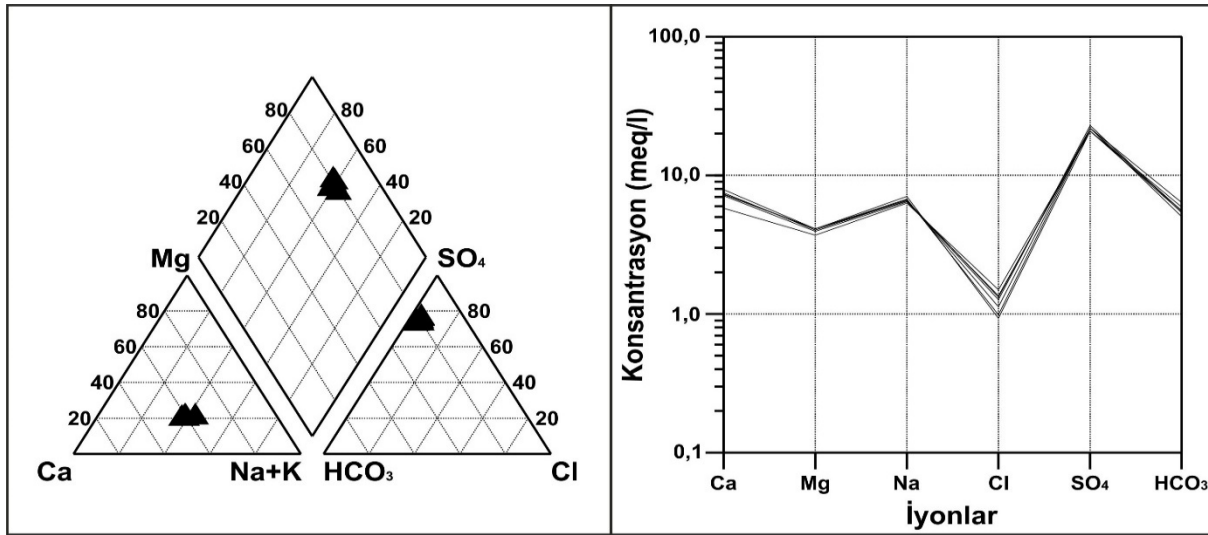


Şekil 5. Bozüyük jeotermal alanı

Çizelge 2. Bozüyük jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

BOZÜYÜK	Tarih	T (°C)	pH	EC (ms/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
	Ağustos 2017	33,70	5,87	2,279	116,06	145,80	45,95	29,37	53,18	1000	330
	Ekim 2017	32,30	6,62	2,341	147,50	162,90	50,64	22,48	33,68	1000	360
	Aralık 2017	32,60	6,73	2,438	146,20	155,70	50,60	23,51	35,45	1050	388
	Şubat 2018	31,30	6,76	2,527	146,10	153,00	50,54	23,02	40,77	1050	307
	Nisan 2018	33,30	6,98	2,496	158,20	150,20	50,51	24,81	45,40	1100	328
	Temmuz 2018	34,70	6,70	2,477	143,20	148,40	48,25	25,40	48,23	1000	340
	Kasım 2019	31,40	6,71	2,562	150,69	151,80	49,89	24,60	47,50	1050	338

Major anyon/katyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki su tipleri incelendiğinde Bozüyük Jeotermal alanındaki su tipi Ca-Na-SO₄-HCO₃ lı su tipini yansıtmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Bozüyük kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller Diyagramları

3.1.3. Sultaniye (Köyceğiz) Jeotermal Alanı

Muğla ili Köyceğiz ilçesinin yaklaşık 12 km GB sınırında Köyceğiz Gölü kenarında yer alır. Kaplıca olarak işletilen alanda sıcak su kaynağı bir havuzun dibinden yüzeye ulaşır (Şekil 7). Bu alanda yedi farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3).



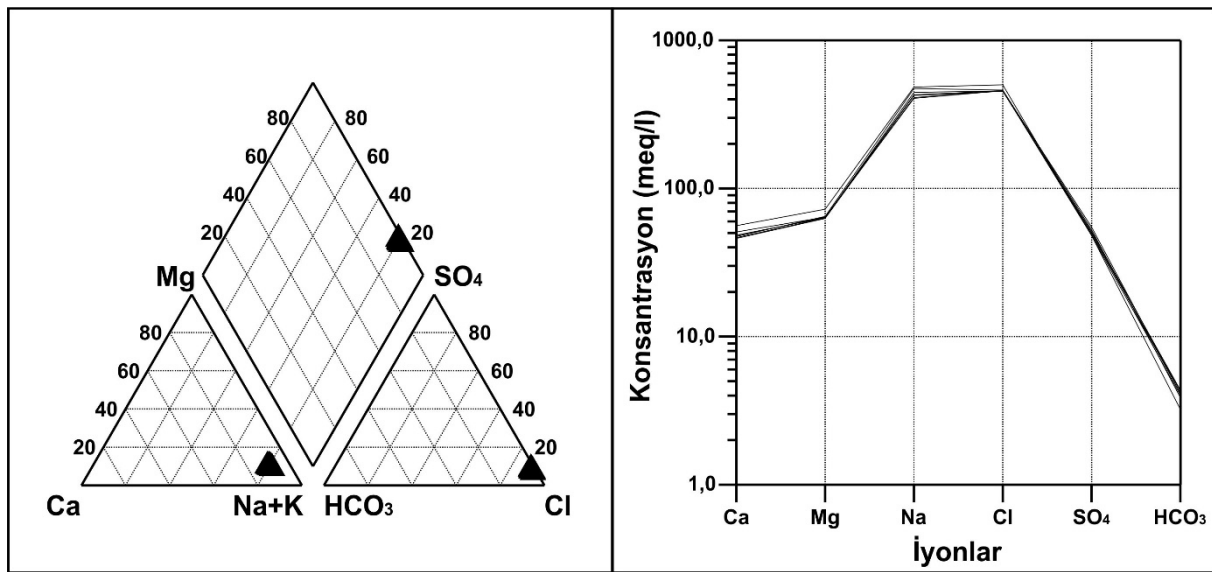
Şekil 7. Sultaniye jeotermal alanı

Çizelge 3. Sultaniyejeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

SULTANIYE	Tarih	T	pH	EC	Ca	Na	Mg	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
		(°C)		(ms/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	Ağustos 2017	40,30	6,30	42,34	1019,00	9332,00	778,20	404,80	16202,02	2300	196

Ekim 2017	40,10	6,81	42,23	1123,00	11120,00	880,90	456,90	17761,95	2300	244
Aralık 2017	39,90	6,88	42,56	932,70	9439,00	768,40	405,40	16237,47	2625	250
Şubat 2018	39,50	6,92	42,61	921,60	9775,00	763,90	408,70	16060,21	2450	264
Nisan 2018	39,80	6,93	42,58	950,80	10870,00	787,50	430,40	16348,22	2520	235
Temmuz 2018	40,80	6,55	42,35	970,40	10250,00	772,80	440,50	16153,45	2400	252
Kasım 2019	39,40	6,95	43,13	965,70	9869,00	775,40	425,90	16201,69	2350	260

Major anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki su tipleri incelendiğinde Sultaniye jeotermal alanındaki su tipi Na-Cl lu su tipini yansıtmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Sultaniye kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller Diyagramları

3.1.4. Kapukargın (Dalaman) Jeotermal Alanı

Muğla ili Dalaman ilçesinin yaklaşık 6 km GB sında yer alır. Dalaman Havaalanı yolu üzerinde Dalaman çayının hemen kenarında doğal kaynak olarak yüzeye ulaşır (Şekil 9). Bu alanda yedi farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4).

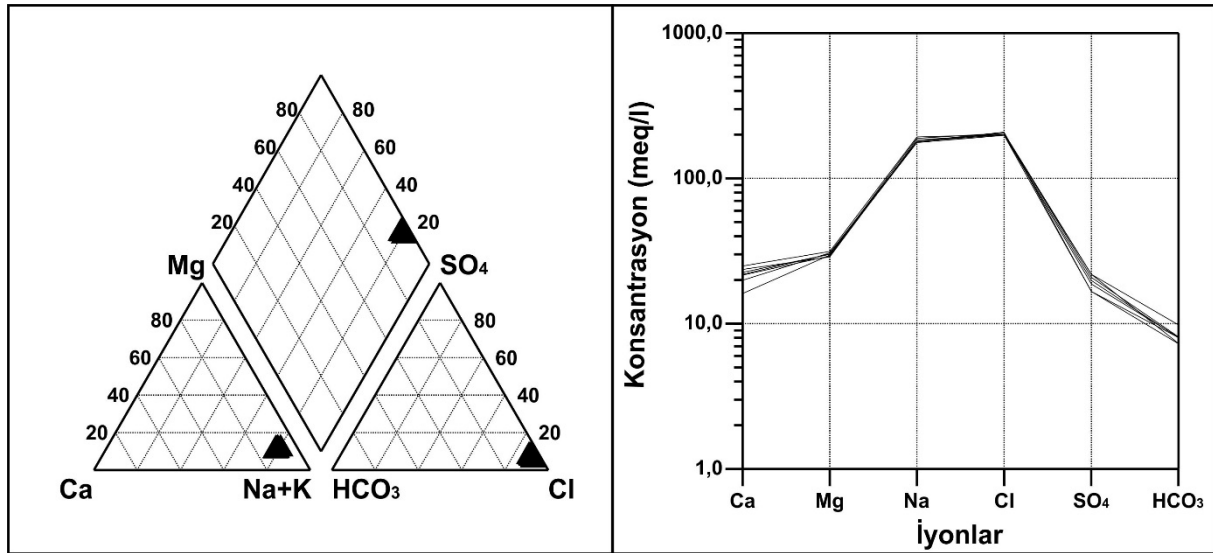


Şekil 9. Kapukargın jeotermal alanı

Çizelge 4. Kapukargın Jeotermal Alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

KAPUKARGIN	Tarih	T (°C)	pH	EC (ms/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
	Ağustos 2017	31,60	5,70	21,31	323,90	4060,00	361,20	179,60	7019,69	800	444
	Ekim 2017	30,10	6,65	21,35	399,10	4131,00	373,60	182,10	7374,22	800	489
	Aralık 2017	29,60	6,76	21,27	438,70	4096,00	367,50	177,70	7267,87	1050	599
	Şubat 2018	30,10	6,80	21,05	500,20	4436,00	382,10	182,90	7090,60	1050	446
	Nisan 2018	31,50	7,06	20,82	452,30	4346,00	365,40	179,50	7250,53	1000	495
	Temmuz 2018	32,20	6,26	20,22	473,20	4238,00	350,30	180,80	7114,40	950	487
	Kasım 2019	30,10	7,12	20,43	433,30	4135,00	355,40	178,30	7071,40	900	492

Major anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper ve Schoeller hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Alandaki su tipleri incelendiğinde Kapukargın jeotermal alanındaki su tipi Na-Cl lu su tipini yansıtmaktadır (Şekil 10).

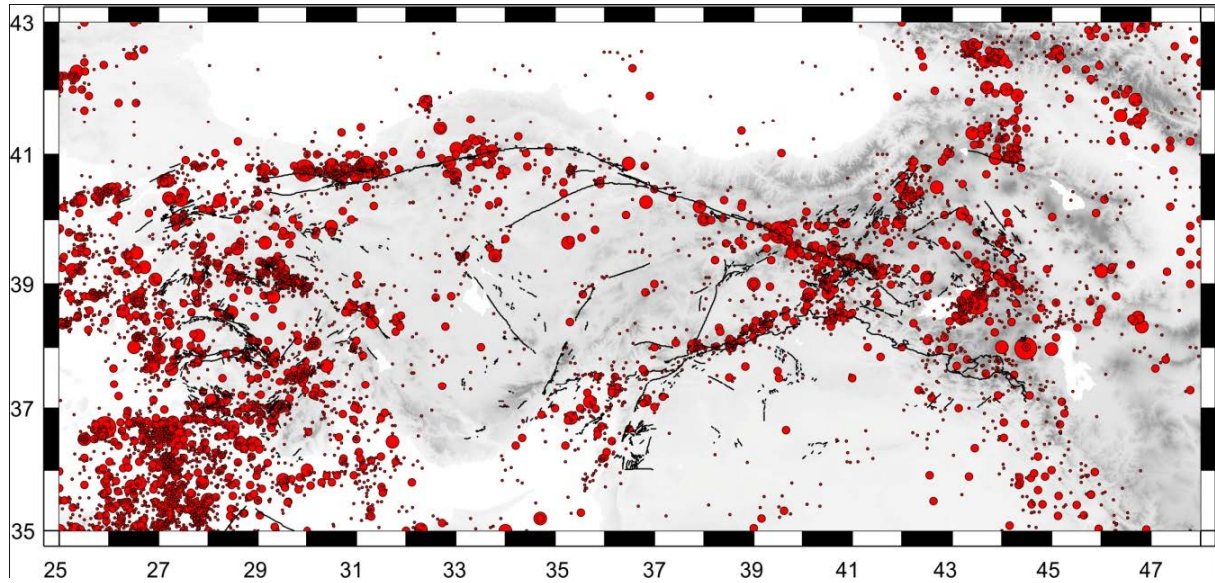


Şekil 10. Kapukargın kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller Diyagramları

3.2. Depremsellik

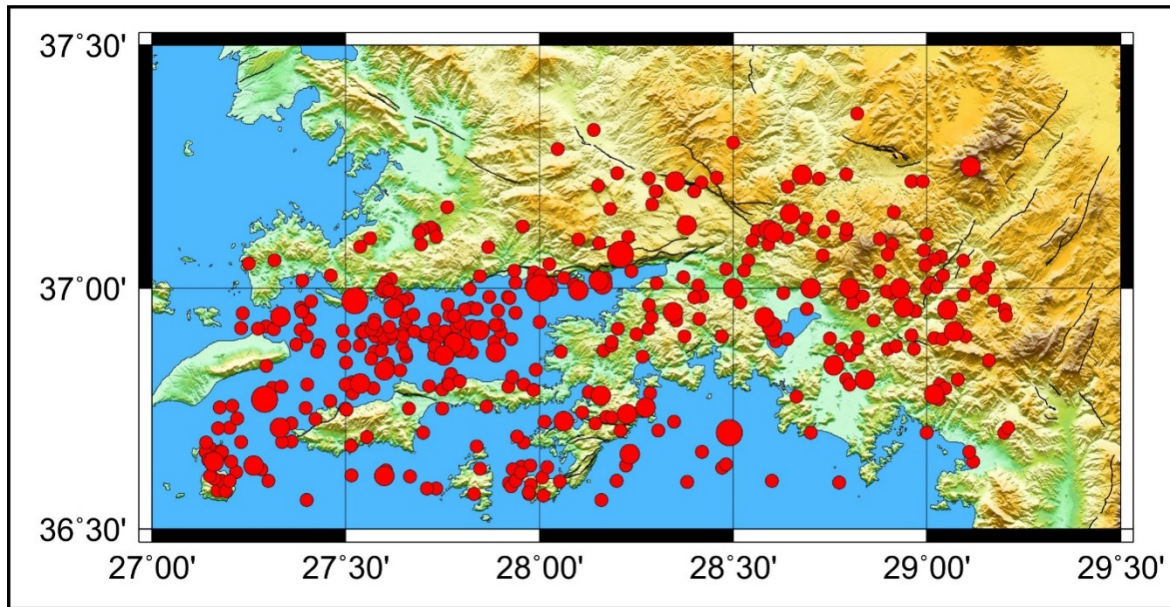
Çalışma alanının güney ve kuzey kesimi iki yarımada'yı (Datça-Bozburun ve Bodrum Yarımada'ları), doğu kesimi ise Muğla ve civarını kapsamaktadır. Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Yaklaşık KB-GD uzanımlı Karaova-Milas ve Muğla-Yatağan Fay Zonları ile Gökova Körfezi'ni güneyden sınırlayan D-B uzanımlı Ula-Ören Fay Zonu 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 (1900-2017) magnitüdü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 450 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmektedir. Ayrıca bölgede 1926 yılında 1 adet $M_w=7.7$, 1933 yılında 1 adet $M_w=6.4$, 1941 yılında 2 adet $M_w=6.0$, 1961 yılında 1 adet $M_w=6.3$ ve 21 Temmuz 2017 tarihinde $M_w=6.6$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Türkiye'nin aletsel dönem deprem etkinliği incelendiğinde (Kalafat ve diğ., 2011), çalışma alanı ve yakın civarındaki yoğun deprem aktivitesi dikkat çekmektedir (Şekil 11). 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 da ele alınmıştır (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Ambraseys ve Tchalenko, 1972; McKenzie, 1972; McKenzie, 1978).

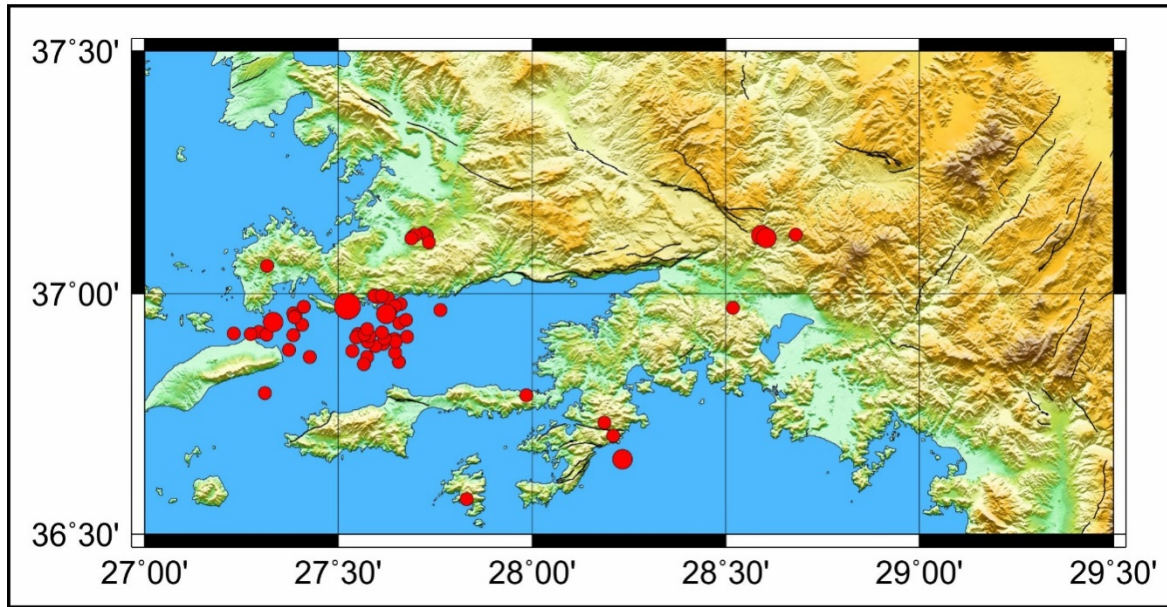


Şekil 11. Türkiye’de Aletsel Dönem Deprem ($M>4$) Etkinliği (Kalafat ve diğ., 2011)

Çalışma alanında aletsel dönemde $M>4.0$ büyüklüğünde yaklaşık 450 adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 12). Ayrıca çalışmanın başladığı Temmuz 2017 tarihinden itibaren alanda $M>4$ büyüklüğünde yaklaşık 50 adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 13). Bu depremlerden en önemlisi 21.07.2017 tarihinde Bodrum yakınlarında meydana gelmiş $M_w=6.6$ büyüklüğündeki depremdir. Ayrıca çalışma alanında Muğla ili civarında 22 Kasım 2017 tarihinde $M_w=5.0$ ve 25 Kasım 2017 tarihinde $M_w=5.3$ büyüklüğünde iki adet deprem meydana gelmiştir



Şekil 12. Çalışma alanı ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelmiş $M>4.0$ büyüklüğündeki depremler (www.deprem.gov.tr)



Şekil 13. Çalışma alanı ve yakın çevresinde Temmuz 2017 tarihinden günümüze meydana gelmiş $M > 4.0$ büyüklüğündeki depremler (www.deprem.gov.tr)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Muğla ili ve çevresinde kalan bir alanda yer alan jeotermal alanlardan Ağustos 2017-Kasım 2019 tarihleri arasında belirlenen sıcak su kaynaklarından düzenli olarak belirli periyodik zamanlarda yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu alanlar Muğla ilinin Milas ilçesindeki Savran Jeotermal Alanı, Yatağan ilçesindeki Bozüyük Jeotermal Alanı, Köyceğiz ilçesindeki Sultaniye Jeotermal Alanı ve Dalaman ilçesindeki Kapukargın Jeotermal Alanı'dır. Bu alanlarda yedi ayrı dönemde (Ağustos 2017, Ekim 2017, Aralık 2017, Şubat 2018, Nisan 2018, Temmuz 2018 ve Kasım 2019) sıcak su kaynaklarında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Sıcak suların fiziksel ve kimyasal parametrelerindeki değişimler alanının aktif tektoniği ve depremselliği ile ilişkilendirilmiştir.

Yapılan hidrojeokimyasal analizlerin su kimyası grafiklerine aktarılması sonucunda Savran, Sultaniye ve Kapukargın kaynakları Na-Cl ve Bozüyük kaynağı Ca-Na-SO₄-HCO₃ tipi suyu yansıttığı belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; Bozüyük kaynağı hariç tüm alanlardaki suların Cl değerleri oldukça yüksektir. Sıcak suların Cl değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşımına olduğu sonucunu vermektedir.

Sismik aktivite açısından oldukça aktif olan çalışma alanı ve yakın civarında, çalışmanın başladığı tarihten (20 Temmuz 2017) günümüze kadar $M > 4$ büyüklüğünde yaklaşık 50 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin en önemlisi 21 Temmuz 2017 tarihinde saat 01:30 te Bodrum açıklarında meydana gelen $M_w=6.6$ büyüklüğündeki depremdir.

Çalışma alanında meydana gelen depremler ile termal sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler korele edilmiştir. Buna göre dört jeotermal alandaki sıcak suların fiziksel ve kimyasal koşullarında elementsel bazda bazı değişiklikler meydana gelmiştir.

Çalışma alanında ayrıca Muğla ili civarında 22 Kasım 2017 tarihinde $M_w=5.0$ ve 25 Kasım 2017 tarihinde $M_w=5.3$ büyüklüğünde iki adet deprem meydana gelmiştir. Özellikle Ekim 2017 ve Aralık 2017 örnekleme dönemlerinde alınan suların kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında bazı değerlerin bu depremlerden etkilendiği gözlenmiştir. Bu dönemlerin kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında Savran ve Bozüyük kaynaklarında Cl ve SO₄ değerlerinde azalma, Sultaniye ve

Kapukargın kaynaklarında artış gözlenmiştir. Ayrıca yine bu dönemde tüm su kaynaklarında HCO_3 değerlerinde de bir artış meydana gelmiştir.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ÇOMÜ-BAP-FBA-2017-1303 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlamış olduğu maddi destek için ÇOMÜ-BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Ambraseys, N.N. & Tchalenko, J.S.(1972). Seismotectonic Aspects of the Gediz, Turkey, Earthquake of March 1970,Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 229-252.

Ateş, Ö.; Özden, S. & Tutkun, S.Z. (2011). Aktif Fayların Jeotermal Alanlarla İlişisine Bir Örnek: 19 Mayıs 2011 Simav Depremi ile Jeotermal Kaynaklardan Elde Edilen Verilerin Anlamı, ATAG 15. Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, S:58, Adana.

Ateş, Ö.; Özden, S. & Tutkun, S.Z. (2012). Jeotermal Kaynaklarda Depremlere Bağlı Gözlenen Değişikliklere Bir Örnek: 19 Mayıs 2011 Simav Depremi ve Etkileri, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, sf 14-15, Ankara.

Ateş, Ö. (2014). Simav ve Kütahya Fayları Arasında Kalan Jeotermal Alanların Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonik İle İlişkisi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Çanakkale.

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

Emre, Ö.; Duman, T.Y.& Özalp, S. (2013). 1/250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

Eyidoğan, H. & Jackson, J. (1985). A Seismological Study of Normal Faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz Earthquakes of 1969-70 in Western Turkey: Implications for the Nature and Geometry of Deformation in the Continental Crust.,Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 81, 569-607.

Kaçar, B.; Özden, S.& Ateş, Ö.(2017). Güre (Balıkesir) Jeotermal Alanının Jeolojisi, Hidrojeokimyası ve Aktif Tektonikle İlişkisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt: 60, Sayı:2, 243-258, Ankara.

Kalafat, D.; Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P. & Yılmaz, M.(2011). A Revised and Extended Earthquake Catalogue for Turkey Since 1900 ($M \geq 4.0$), Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Special Publication, 143, İstanbul.

McKenzie, D.P.(1972). Active Tectonics of the Mediterranean Region,GeophysicalJournal 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,Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 55, 217-254.

Şenyürek, B. (2004). Muğla ili Çevre Durum Raporu (Jeolojik Yapı ve Stratigrafi Bölümü), T.C. Muğla Valiliği Çevre ve Orman Müdürlüğü, s. 27-32, Muğla.

Şimşek, Ş. & Yıldırım, N. (2000). Termal Kaynaklar: Deprem Habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Deprem Bölgelerindeki Termal Kaynaklarda Gözlenen Değişimler ve Önemi, Cumhuriyet, Bilim Teknik, 01 Temmuz 2000.

Woith, H.; Wang, R., Maiwald, U., Pekdeğer, A.& Zschau, J. (2013). On The Origin Of Geochemical Anomalies in Groundwaters Induced by the Adana 1998 Earthquake, Chemical Geology, 339, 177-186.

www.deprem.gov.tr