



GERMENCİK (AYDIN) JEOTERMAL ALANLARININ  
HİDROJEOKİMYASAL AÇIDAN İNCELENMESİ

*HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THE GERMENCİK (AYDIN)  
GEOTHERMAL FIELDS*

Şevki FİLİZ\*, Gültekin TARCAN\*, Ünsal GEMİCİ\*

**ÖZET/ ABSTRACT**

Bu çalışma Türkiye'nin en önemli jeotermal alanlarından birini oluşturan Germencik jeotermal alanında yapılan hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik incelemeleri kapsamaktadır. Menderes Masifine ait gnays, kuvars şist gibi çatlaklı kayalar ile karstik mermerler jeotermal sistemlerin birinci haznesini, Neojen çakıltaşları ise ikinci haznesini oluşturmaktadır. Neojen yaşlı kırıntılı tortullar, özellikle, killi düzeyleri örtü kaya ve graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşmış olan magma ise ısı kaynağını oluşturur.

Yapılan hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar alandaki jeotermal suların yüksek entalpili, çok az magmatik katkı içerebilen meteorik kökenli, yaşlı (hemen hemen hiç trityum içermediklerinden en az 50 yıllık) sular olduğunu göstermiştir. İnceleme alanındaki jeotermal suların hidrojeokimyasal evrimlerini ve yeraltı suyu hidrodinamiğini aydınlatmak amacıyla beş sıcak su kaynağı ve yedi soğuk su kaynağı bir yıl süre ile her ay periyodik olarak örneklenecek kimyasal analizleri yapılmıştır. Çalışma alanındaki tüm sıcak sular sodyumlu, bikarbonat klorürlü su tipindedir ve kimyasal bileşimlerinde zamana bağlı belirgin değişimler gözlenmemiştir.

Sıcak suların kaynak sıcaklıkları 50 °C - 70 °C arasında değişmektedir. Uygulanan çeşitli jeotermometreler ve karışım modelleri alanda 150 °C -250 °C arasında değişen hazne sıcaklığı vermektedir. Alanda hazneye inmiş olan 9 jeotermal kuyuda ölçülen (200°C-232°C) hazne sıcaklıkları Na/K ve Na-K-Ca jeotermometrelerinden elde edilen değerlerle uyumaktadır. Aktivite diyagramlarına göre jeotermal suların ilişkide buldukları kayaç ile tepkime sonucunda oluşabilecek yeni alterasyon ürünleri Ca ve Na montmorillonit, Na ve K feldispat, zoisit ve albit olarak saptanmıştır.

*This study contains hydrogeological, hydrogeochemical and isotopic investigations in the Germencik geothermal fields which are one of the most important geothermal fields of Turkey. First reservoir of the geothermal system is made up of the fractured gneiss and quartz schists, and karstic marbles of the Menderes Massif rocks. Neogene conglomerates are the second reservoir of the geothermal systems. Neogene aged clastic sediments, especially clayey levels form the cap rock of the system. Heat source may also be the magma closed to the surface along the active graben fault zones developed by extensional tectonic regime.*

*It is understood from the hydrogeological and hydrogeochemical studies that the geothermal waters are high enthalpy, meteoric origin ( may also be a little magmatic origin) and old waters ( which have hardly any tritium isotopes). Meteoric waters recharge the reservoir rock and are heated at depth and move up to the surface through the tectonic lines by convection currents. Five hot water and seven cold water points were sampled periodically each month during the one year to determine the hydrogeochemical evaluation of geothermal waters and hydrodynamics of groundwaters for the study area. All the thermal water in the area are sodium-bicarbonate-chloride water type and do not reflect apparent variations on their geochemical compositions temporarily.*

*The measured temperatures of the thermal spring vary from 50 °C to 70 °C. It is estimated from the various chemical geothermometry and mixing model applications that the reservoir temperatures of the system vary between 150 °C and 250 °C corresponding high enthalpy system. The estimated reservoir temperatures obtained by Na/K and Na-K-Ca geothermometers coincide with the temperatures measured (200-232°C) directly in reservoir by 9 deep wells. Alteration minerals which may be formed by the reactions progressed between host rock and thermal fluid were found to be Ca and Na montmorillonite, Na and K feldspar, zoisite and albite on the activity diagrams.*

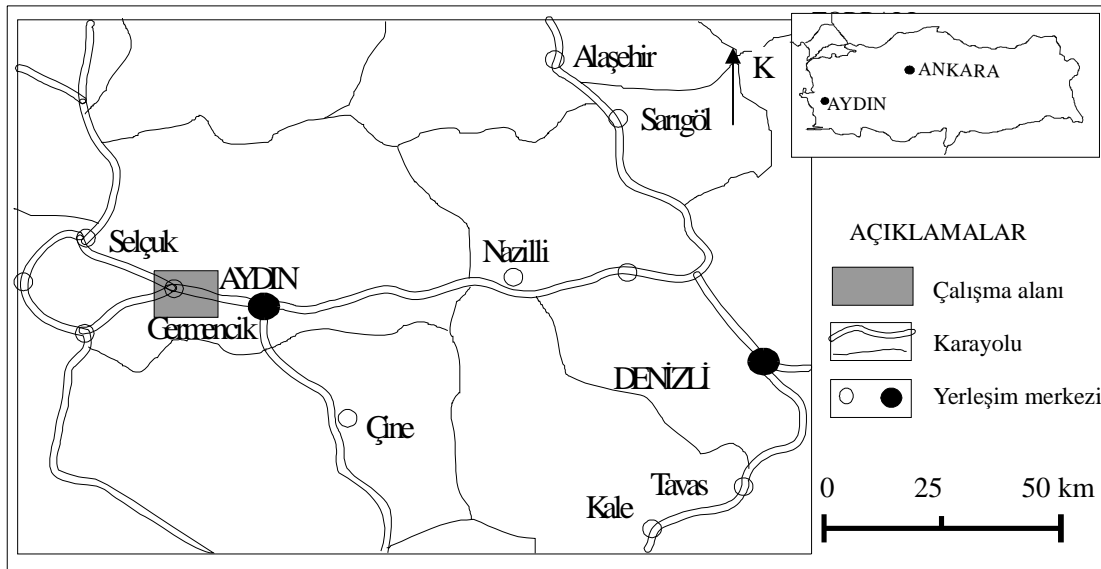
**ANAHTAR KELİMELER / KEY WORDS**

Germencik, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Jeotermal enerji, Jeotermometre uygulamaları, Aktivite diyagramları. *Germencik, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Geothermal energy, Geothermometry applications, Activity diagrams.*

## 1.GİRİŞ

İnceleme alanı Büyük Menderes Grabeni'nin batısında, yaklaşık doğu-batı doğrultusunda uzanan grabenin aktif kuzey kanadında yer alır (Şekil 1). Alanın jeotermal etkinliği yıllardan beri bilinmektedir ve alanda ayrıntılı jeoloji, jeofizik, jeokimya, izotop ve sondaj çalışmaları da dahil olmak üzere pekçok araştırma yapılmıştır. 1967 yılında MTA tarafından jeotermal enerji amaçlı başlatılan ilk çalışmalardan sonra özellikle 1982 ile 1986 arasında derin kuyu sondajlı çalışmalarla alandaki etkinlikler ivme kazanmıştır. Yapılan ilk ayrıntılı jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar ile alanda yüksek entalpili bir rezervuar olduğu belirlenmiş, jeotermal sistem öğeleri ile hidrojeokimyasal değerlendirmeler yapılarak, üretim ve kullanım amaçlı öneriler getirilmiştir (Şimşek vd , 1980; Şimşek, 1981). Batı Anadolu'nun bazı önemli alanlarında yapılan izotopik çalışmalarda Aydın-Germencik yöresinin Türkiye'deki tüm jeotermal alanlar içinde en yüksek Oksijen-18 değeri gösterdiği ve Tekkehamam ve Kızıldere (Denizli) Jeotermal Alanları'ndan da daha önemli, yüksek entalpili ve potansiyelli bir saha olduğu vurgulanmıştır (Filiz, 1982). 1982 ile 1986 yılları arasında alanda yapılan toplam dokuz jeotermal sondaj ve bu kuyularda yapılan testler sonucunda sahanın jeotermal sistem özellikleri, hazne kaya- örtü kaya ilişkileri, hazne sıcaklıkları ve görünür kullanılabilir rezervi büyük oranda açığa çıkarılmıştır ( Şimşek, 1983 ve 1984; Kasap, 1984 ; Şimşek, 1988).

Sahada bu denli ayrıntılı çalışmaların yanı sıra, eksik olarak görülen özellikle yüzeysel kaynak ve kaplıcalara yönelik aylık periyodik kimyasal analizleri de içeren ayrıntılı hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmalar başlatılarak, sıcak su ve soğuk su ilişkileri incelenmiş ve bu konuda bir de yüksek lisans çalışması yaptırılmıştır (Khayat, 1988). Hazırlanan bu makalede alandaki yapılan tüm ayrıntılı çalışmalar bir sentez halinde ele alınmış, daha önceden yayınlanmamış hidrojeokimyasal veriler de kullanılarak, sahanın jeotermal enerji yönünden hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal irdelenmesi yapılmıştır.



**Şekil 1 İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası**

Saha çalışmaları sırasında Mod 300 WTW marka portatif pH metre, tip 700 Chemtrix marka portatif elektriksel iletkenlik (EC) ölçer ve termometre kullanılmış olup, su örneklemelerinde sıcak sular için cam şişe ve soğuk sular için ise polietilen şişeler kullanılmıştır. Ekim-1986 ile Ekim-1987 arasında her ay periyodik örneklenen suların kimyasal analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya

Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Tüm analizler APHA-AWWA-WPCF (1975) standartlarına uygun olarak yapılmıştır. İzotop analizleri ise Paris Pierre ve Marie Curie Üniversitesi Jeodinamik Araştırma Merkezi'nde yapılmıştır. Ayrıca MTA tarafından yaptırılmış olan derinkuyu örnekleri kimyasal analizleri ile UNION OIL (1983) ve Correia vd. (1990) tarafından yapılmış olan eser elementleri de içeren kimyasal ve izotop analizlerinden de yararlanılmıştır.

## 2. JEOLOJİ

İnceleme alanının temelini Paleozoyik yaşlı gnays, şist, metakuvarsit ve mermerlerden yapılabılan Menderes Masifi'ne ait kayaçlar oluşturur. Mermerler şistlerle uyumlu ve yer yer geçişli olup, mercek konumundadır. Bölgede genellikle şistlerin alt seviyelerinde bulunan gnayslar ise inceleme alanında şistlerin üzerine bindirme fayı ile yerleşmiştir. Menderes Masifi'ne ait bu metamorfik temel kayaçların üzerine çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı ve kıltaşı ardalanmasından oluşan Tersiyer (A. Pliyosen-Ü. Pliyosen) yaşlı kırıntılı çökeller uyumsuzlukla yer alır. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu birimleri yöredeki en genç oluşuklar olup, tüm birimleri uyumsuzlukla örterler (Şekil 2).

### 3. HİDROJEOLOJİ

#### 3.1. Jeotermal Alanların Yeri ve Oluşum Özellikleri

İnceleme alanı Türkiye'nin en yüksek hazne sıcaklığı ölçülen sahasıdır. Alandaki jeotermal sistemler Bozköy-Çamur Jeotermal Alanı ve Ömerbeyli Jeotermal Alanı olmak üzere iki grupta toplanabilir. Bozköy-Çamur alanında Germencik İlçesi'nin hemen hemen kuzeyinde yer alan ılıca ve kaplıcalar bulunur. Bunlar Bozköy (Alangüllü) Kaplıcası, Çamurlu Ilıcası, Ballı Ilıcası, Ilıca Kaynak ve Ali Ilıcası olarak ele alınmıştır. Aktaş doğal buhar çıkışının da bulunduğu Ömerbeyli Alanı'nda ise MTA tarafından yapılan jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal çalışmalar sonucunda 1982-1986 yıllarında açılan 9 derin kuyuda sıcaklıkları 200-232°C, buhar oranı % 10-12 olan jeotermal akışkan elde edilmiştir (Çizelge 1).

**Çizelge 1. Germencik- Ömerbeyli Alanı'nda açılan jeotermal kuyular (MTA, 1996)**  
**A: Artezyen**

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
ÖB-1	1982	1000	203	Gayzer tipi	Gayzer tipi
ÖB-2	1982	975.5	231	25	A(4.5-7 kg/cm <sup>2</sup> )
ÖB-3	1983	1196.7	230	65	A(13-15 kg/cm <sup>2</sup> )
ÖB-4	1984	285	213	180-100	A (15 kg/cm <sup>2</sup> )
ÖB-5	1984	1302	221	65	A ( 6 bar)
ÖB-6	1984	1100	221	140	A ( 15 bar)
ÖB-7	1985	2398	203	65	A (2.8 kg/cm <sup>2</sup> )
ÖB-8	1986	200	219.87	120	A (5.5 kg/cm <sup>2</sup> )
ÖB-9	1986	1464.7	223.8	145	A (7 kg/cm <sup>2</sup> )

İnceleme alanındaki sıcak sular jeotermal alanların çoğunda olduğu gibi meteorik suların derinlere süzülerek, ısınması ve genç faylara bağlı olarak yüzeylenmesi şeklinde açıklanabilen devirli sistemdedir. Yüzeiden itibaren Neojen yaşlı çakıltaşları sistemin birinci haznesini, gnays ve kuvars-şist gibi kırıklı kayalar ile karstik mermerler ise ikinci haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kilitaşı ve çamurtaşı gibi geçirimsiz kayalar da örtü kaya özelliğindedir. Graben tektoniğine bağlı olarak yüzeye yaklaşmış mağma sistemin ısı kaynağını oluşturur. İnceleme alanındaki sıcak sularda yapılan izotop analiz sonuçları bir bütün olarak değerlendirildiğinde kısaca yüksek entalpili, meteorik kökenli (çok az miktarda mağmatik bileşen içerebilen) yaşlı sular (trityum içermediğinden en az 50 yıllık) olarak yorumlanabilir (Çizelge 2).

**Çizelge 2. İnceleme alanındaki bazı sıcak suların <sup>18</sup>O, <sup>2</sup>H=D ve <sup>3</sup>H=T izotop analizleri**

Örnek Adı	Trityum (TU)	d <sup>18</sup> O (‰)	d <sup>2</sup> H=D (‰)	Örnekleme Tarihi	Kaynak
Bozköy Ilıcası	<4	-5.95		1980	Filiz,1982
Bozköy Ilıcası		-3.03	-39	1982	Union Oil,1983
ÖB-1 Kuyusu		-1.01	-48	1982	Union Oil,1983
ÖB-6 Kuyusu	<1	-1.3	-33	?	Correia vd,1990
ÖB-9 Yüzey	<1	-2.0	-38.4	?	Correia vd,1990
ÖB-9 Derin	-	-2.6	-41.4	?	Correia vd,1990

### 3.2. Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler

Hidrojeokimyasal değerlendirmelerde 12 aylık periyotlarla analizi yapılan su noktalarının yıllık ortalama değerleri kullanılmıştır. Aylara göre analizlerdeki değişimler ayrıca yorumlanmıştır. Aylık periyodik analizi olmayan derin sondajlar için ise MTA ve UNION OIL tarafından yapılmış olan kimyasal analiz sonuçlarından da yararlanılmış ve aynı şekilde değerlendirilmiştir (Çizelge 3, 4 ve 5). Bu çizelgelerdeki hidrojeokimyasal hesaplamalar karşılaştırılabilirliği açısından 25 °C ve 1 atm basınç koşullarında gerçekleştirilmiştir. Çizelgelerin oluşturulmasında kullanılan bazı bağıntılar ve termodinamik denge sabitleri Ford and Williams (1989) ve Fetter (1994)'den alınmıştır. Çizelgelerde kullanılan kısaltmalar ve bazı bağıntılar aşağıda belirtilmiştir.

C=molarite, Z=değerlik, F=iyon etkinlik katsayısı, AC=İyon etkinliği.

$$Fo=62 rNa^+ + 78 rK^+ \quad (r=meq/l) \text{ Suların kaynarken köpürme katsayısı (Şahinci,1991)} \quad (1)$$

Fo<60 ise kaynarken köpürmeyen su, 60<Fo<200 ise kaynarken köpüren su ve F>200 ise kaynarken çok köpüren su özelliğini göstermektedir.

$$e=[(\sum \text{Katyon}-\sum \text{Anyon}) / \sum \text{iyon}] \times 100 \text{ (meq/l)} \quad \text{Hata yüzdesi} \quad (2)$$

Hata yüzdesinin genellikle %5' den düşük olması istenir. Analiz yapımı sırasında ortaya çıkan hatalar dışındaki % 5'den yüksek hata suda tahlil edilmemiş iyon türlerinden bazılarının yüksek derişimde olabileceği şeklinde yorumlanmalıdır (Ford and Williams, 1989).

$$SAR = Na^+ / ((Ca^{++} + Mg^{++})/2)^{0.5} \text{ Sulama amaçlı sudaki sodyum tehlikesi} \quad (3)$$

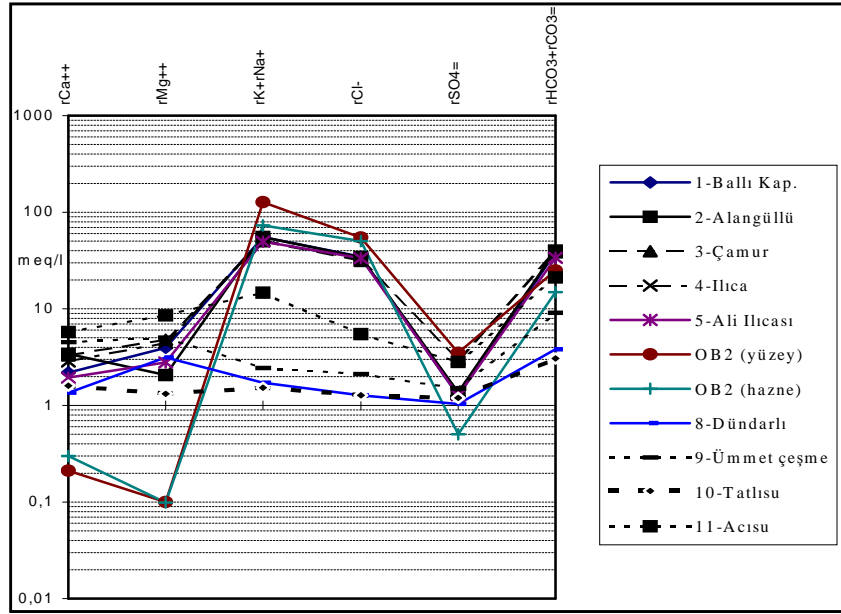
$$\text{Sertlik(Fr)}=5 \times (rCa^{++} + rMg^{++}) \text{ Toplam Fransız Sertliği} \quad (4)$$

En çok gözlenen çökel ürünleri olması nedeniyle yapılan kalsit, dolomit ve jips doygunluk indeksi hesaplamalarının yorumunda SI (Doygunluk İndeksi) 0'dan küçükse mineral çözünür, büyükse çökelir ve bu değer 0 ise su ilgili minerale doygunudur. Suları birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimlerini araştırmak ve diyagramlara işlenmesindeki hesaplamaları kolaylaştırmak için hesaplanan iyonik oranlar, anyonlarla katyonların ayrı ayrı % meq/l ve % mg/l değerleri ile AIH (Uluslararası Hidrojeologlar Birliği) sınıflamasına göre belirlenen hidrokimyasal fasiyes tipi diğer hidrojeokimyasal değerlendirmeler arasındadır.

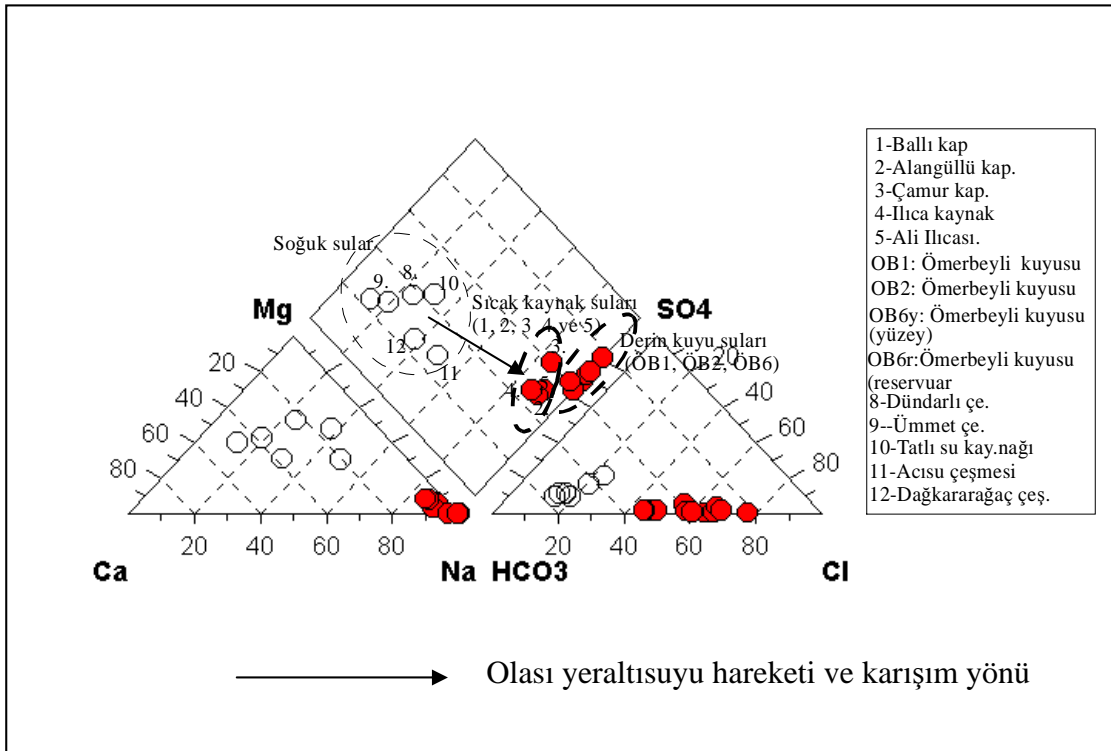
Hidrokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki izdüşüm yerlerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere meq/l cinsinden % 50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi % 50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir. AIH sınıflamasında ise suda çözünmüş başlıca iyonların anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere yine meq/l olarak % 20'den fazla çözünmüş bulunan iyonlar su tipini belirlemektedir (Başkan ve Canik, 1983). Bu çalışmada hidrokimyasal fasiyes kavramı AIH sınıflamasına göre uyarlanarak kullanılmıştır. İnceleme alanındaki her bir su noktasına ait hidrokimyasal fasiyes tipleri çizelgelerde belirtilmiştir. Sıcak sular genellikle sodyumlu klorürlü ve bikarbonatlı sular sınıfındadır. Soğuk sular ise çoğunlukla kalsiyumlu, magnezyumlu ve bikarbonatlı sulardır. Yanlızca Tatlı Su adı ile belirtilen su noktası iyonların miktarları birbirini geçmeyen karışık sular tipini yansıtır. Bir de Acı su ile anılan su noktası sodyumlu, magnezyumlu, bikarbonatlı su tipinde olup, maden suyu özelliğindedir. Hidrojeokimya ile ilgili hesaplamalarda, grafik ve şekillerde Çizelge 3-5'te Lab. no ile gösterilen numaralar ve örnek adları kullanılmıştır.

Piper (üçgen) ve Schoeller (yarı logaritmik) diyagramları gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardır. Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. İnceleme alanındaki jeotermal sular birbirine çok yakın dağılım gösterdiklerinden kökenlerinin ve yeraltında izledikleri yolların birbirine benzer olduğu

söylenbilir (Şekil 3). Piper diyagramı anyon ve kationların (% meq/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. İnceleme alanındaki sıcak sular sodyumlu, klorürlü ve bikarbonatlı su tipini yansıtır (Şekil 4). Bölgedeki olası yeraltısuyu hareketi boyunca (Şekil 4) karışık su tipindeki soğuk sular jeotermal sistemlerde ısınarak, çözünme, çökelme, iyon değişimi ve benzeri tepkimeler sonucunda Na-HCO<sub>3</sub>-Cl karakterli su tipine dönüşürler.

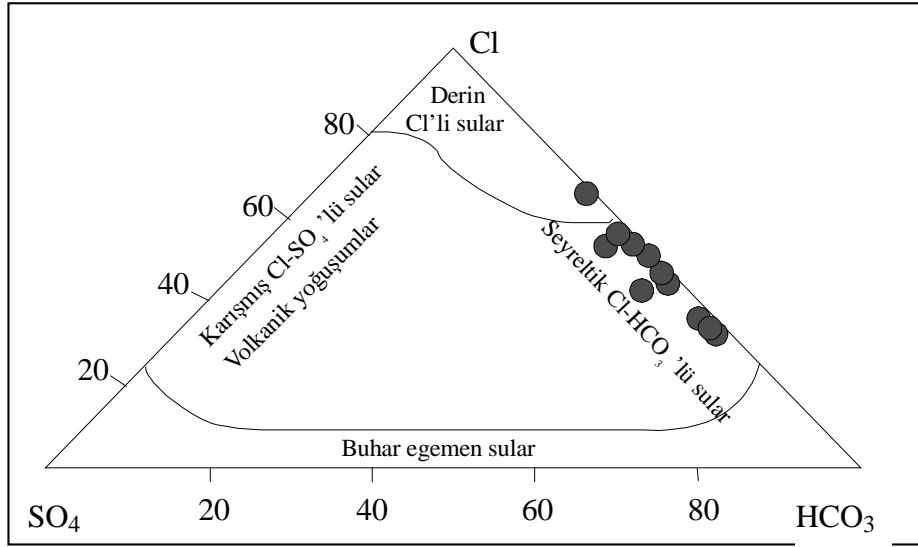


Şekil 3. İnceleme alanındaki suların Schoeller diyagramındaki görünümü (r=meq/l)



Şekil 4. İnceleme alanındaki suların Piper Diyagramı'ndaki görünümü (% meq/l)

Jeotermal suların Cl, HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> iyonlarının % mg/l değerleri dikkate alınarak sınıflandığı diğer bir üçgen diyagramda (Nicholson,1993) inceleme alanındaki sıcak sular seyreltik klorürlü ve bikarbonatlı sular grubuna girmektedir (Şekil 5).



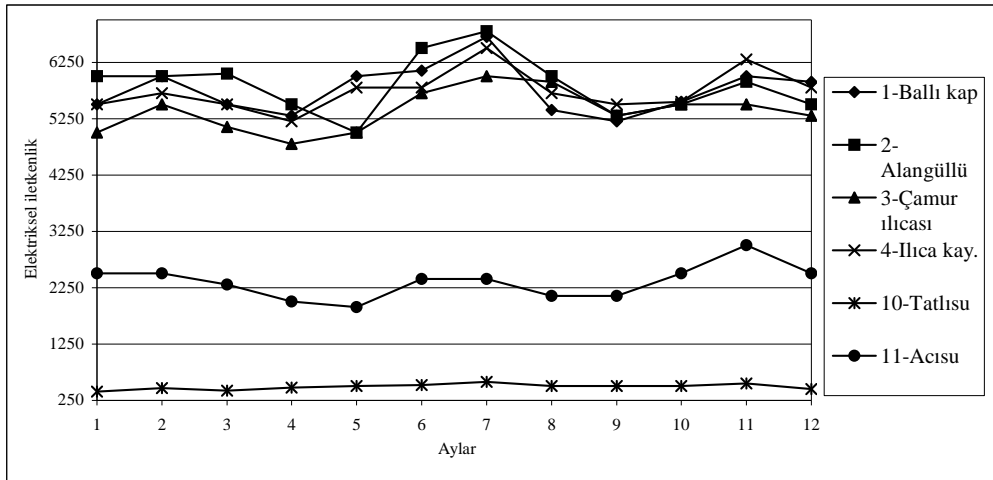
Şekil 5. İnceleme alanındaki sıcak suların klorür, bikarbonat ve sülfat bağıl oranlarına göre üçgen diyagramdaki sınıflaması (tüm derişimler % mg/l)

Çizelge 6. Alandaki bazı derin kuyu sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l)

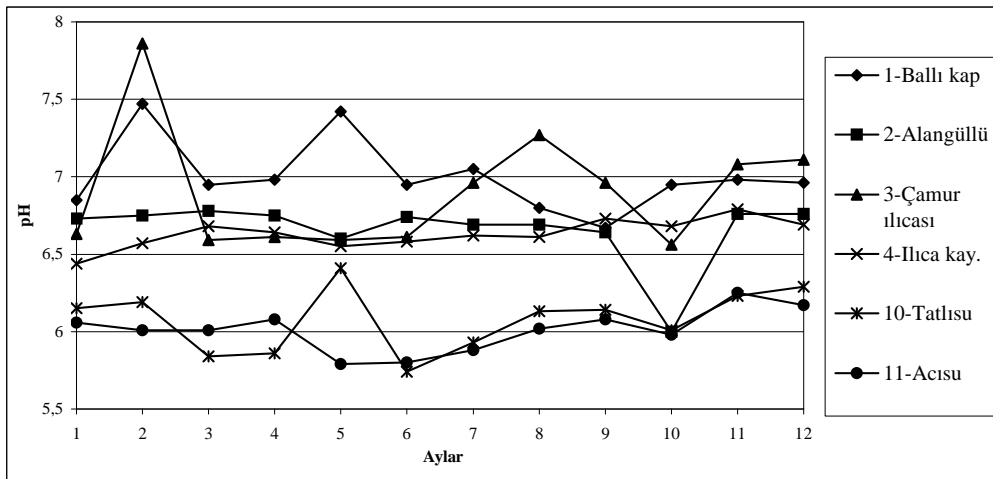
	ÖB1 Yüzey	ÖB1 Yüzey	ÖB2 yüzey	ÖB2 2.hazne	ÖB6 yüzey	ÖB6 hazne
Na+	2050	1355	2810	1600	1850	1260
K+	85	45	191	145	170	132
Ca++	3,2	6,4	4,2	6	0,5	38,6
Mg++	1	1	2	1,2	0,5	0,5
Cl-	1747	1586	1948	1790	1970	1420
HCO3-	2123	1324	1531	900	1868	1588
CO3	438	246	204	280		
SO4=	66	37	66	24	27,8	38,3
B	63	45	63	50	58,8	45,2
NH4		3,8		9,3		
Li	7,2	8	7,4	18	11,6	8
Sr					1	2,93
Mn						0,8
Zn					0,1	0,26
Cd					0,1	0,62
Ni						3,2
Cu						32,2
Ba					0,62	1,2
SiO2	450	450	450	480	360	367
As	0,9		0,7			
Fe	0,1		0,1			
T (°C)	200	200	231	231		221
pH	8,5	8,5		8,7	8,38	6,05
EC ( mmho/cm)	7000		7200			
Buharlaşıma kalıntısı		4400		5600		
Kaynak	Kasap, 1984	Şimşek, 1984	Kasap, 1984	Şimşek, 1984	Correia vd. 1990	Correia vd. 1990

İnceleme alanında Ömerbeyli sahasında bulunan derin kuyu su örneklerinden bazılarının kimyasal analiz sonuçları (Çizelge 6) da değerlendirilerek, ileriki bölümlerde yapılacak hidrojeokimyasal hesaplamalarda ve yorumlamalarda kullanılmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak ve bazı soğuk kaynak sularının kimyasal analizleri yukarıda belirtildiği gibi yıllık ortalama değerleri dikkate alınarak ayrıntılarıyla değerlendirilmekte birlikte aylara göre kimyasal parametrelerin değişimleri de dikkate alınmıştır (Şekil 6, 7 ve 8). Alandaki periyodik örneklenen dört sıcak su ve iki de soğuk su noktasına ait pH ve EC parametrelerinde aylara göre her hangi bir anlamlı değişime rastlanılamamıştır. 1, 3 ve 10 no' lu örneklerde gözlenen pH değişimleri ise mevsimsel bir değişimle açıklanamamaktadır. Örneklem sırasında yapılabilen hatalardan da ileri gelebilir. Bir çok başlıca iyon için de zamana bağlı olarak anlamlı bir kimyasal parametre değişimi gözlenememiştir. Ancak bikarbonat iyonunun özellikle kış (yağışlı) aylardaki artışı belirgindir. İlerideki bölümlerde değinileceği gibi sıcak kaynaklarda jeotermal sular yüzeyleyinceye kadar soğuk yeraltı sularıyla değişik oranlarda karışırlar. Alanda bikarbonat iyonu sıcak sular için indeks bir iyon olduğundan, bikarbonat iyonundaki artış jeotermal sulara soğuk yeraltı suları katkısının azaldığının göstergesidir. Bu durum yağışlı dönem sonunda kurak döneme doğru yeraltı su seviyesi yükseleceği için sıcak suların yüzeye erişirken daha çok soğuk yeraltı sularıyla karışmış olabileceği şeklinde yorumlanabilir.



(a)



(b)

Şekil 6. İnceleme alanındaki sıcak ve bazı soğuk su noktalarındaki aylara göre saptanan EC (a) ve pH (b) değişimleri



### 3.3. Suların Mineral Doygunlukları

Bu çalışmada inceleme alanındaki suların mineral doygunluk indeksleri hidrojeokimya bölümünde değinilen doygunluk indekslerinden farklı olarak kaynakların ve kuyuların ölçülen sıcaklıklardaki termodinamik koşulları dikkate alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 7). Bu hesaplamalarda Hydrowin-95 bilgisayar programından yararlanılmıştır. Hydrowin-95 bilgisayar programındaki doygunluk hesapları 1988 SOLMINEQ (Kharaka vd., 1988) kodlu termodinamik veri tabanlarından ve Nordstrom vd (1990)'dan derlenerek oluşturulmuştur. 12 ay boyunca periyodik olarak örneklenen su noktaları için iyonların ve sıcaklıkların çizelge 3-5'de belirtilen yıllık ortalama değerleri kullanılmıştır. Derin kuyular için ise çizelge 6'da ham değerleri verilen MTA kaynaklı kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Mineral doygunluk indekslerinin neyi anlattığı daha önceden belirtildiği gibidir ( $SI < 0$  ise çözüldürücü,  $SI > 0$  ise çökeltici ve  $SI = 0$  ise minerale doygun).

**Çizelge 7. İnceleme alanındaki suların yüzey sıcaklıklarına göre hesaplanan mineral doygunluk indeksleri**

	Kalsit	Aragonit	Dolomit	Siderit	Magnezit	Kuvars	Kalsedon	Jips	Anhidrit	Flüorit	Sölestin	Barit	Viterit	Stronsiyonit
<b>1-Ballı kap.</b>	0.832	0.711	1.321		0.976	0.816	0.484	-2.364	-2.347					
<b>2-Alangüllü (Bozköy) kap.</b>	0.692	0.571	0.561		0.357	1.032	0.7	-2.123	-2.106					
<b>3-Çamur İl.</b>	0.552	0.425	0.902		0.53	0.983	0.625	-1.806	-1.875					
<b>4-Ilca İl.</b>	0.685	0.57	0.706		0.821	0.797	0.797	-2.187	-2.072					
<b>5-Ali Ilcası</b>	1.328	1.207	2.215		1.374	0.903	0.571	-2.376	-2.359					
<b>ÖB1 (yüzey)</b>	2.831	2.768	-0.879	3.145	1.626	0.058	-0.023	-2.956	-0.907	-2.704				
<b>ÖB1 (hazne)</b>	2.993	2.929	-0.858		1.487	-0.057	-0.025	-2.776	-0.727					
<b>ÖB2 (yüzey)</b>	3.652	3.596	-0.588	3.644	2.189	-0.271	-0.32	-2.417	0.107	-1.414				
<b>ÖB2 (hazne)</b>	3.37	3.314	-1.528		1.531	-0.127	-0.177	-2.921	-0.396					
<b>ÖB6 (yüzey)</b>	2.105	2.046	-2.799		1.126	-0.102	-0.162	-4.055	-1.702		4.638	0.125	-0.07	2.817
<b>ÖB6 (hazne)</b>	1.649	1.59	-5.598		-1.218	0.028	-0.033	-1.916	0.437		5.313	0.663	-2.126	0.897
<b>9-Ümmet çeş.</b>	0.6	0.456	1.379		0.212	0.847	0.417	-1.753	-1.974					
<b>10-Tatlısu çeş.</b>	-1.547	-1.691	-3.047		-2.068	1.037	0.607	-2.097	-2.318					
<b>11-Acısü çeş.</b>	-0.572	-0.726	-0.643		-1.009	1.293	0.821	-1.516	-1.77					

Sıcak sular kalsiti, dolomiti ve aragoniti çökeltici, jips ve anhidriti çözüldürücü özelliğindedir. Kuvars ve kalsedon ise yüzeydeki sıcak su kaynakları için çökeltici, derin kuyu örnekleri için çözüldürücüdür. Bu durumda derin kuyu sularında silisli ve sülfatlı mineral kabuklaşması beklenilmemelidir. Kalsiyumlular başta olmak üzere her türlü karbonatlı mineral kabuklaşması da beklenmelidir.

### 3.4. Jeotermometre Uygulamaları

#### 3.4.1. Kimyasal Jeotermometreler

Sıcak ve mineralli sular sahip oldukları sıcaklıklara göre çok değişik kullanım alanlarına sahiptirler. Derinlerde bulunan akışkanın jeotermal gradyan etkisiyle, yüzeydeki sıcaklıklarına göre çok daha fazla sıcaklıkta olacağı açıktır. Bu nedenle uygulanacak çeşitli

jeotermometre yöntemleri ile haznedeki sıcaklıklarının tahmin edilmesi yapılan jeotermal araştırmaların önemli bir parçasını oluşturur. Her jeotermometrenin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmakta ve her biri belirli hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal koşullarda geçerlilik göstermektedir. Bundan dolayı yapılan tüm jeotermometre uygulamaları bir sentez olarak ele alınmalı ve buna göre değerlendirilmelidir. Germencik jeotermal alanları için kullanılan ampirik jeotermometre bağıntıları Çizelge 8’de sunulmuştur.

**Çizelge 8. Çalışmada uygulanan kimyasal jeotermometre bağıntıları (tüm derişimler mg/l, \* =mol/l , \*\* = meq/l)**

Uygulanan Jeotermometreler	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1.SiO <sub>2</sub> (Amorf silis)	$t= 731 / (4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
2.SiO <sub>2</sub> ( $\alpha$ Kristobalit)	$t= 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
3. SiO <sub>2</sub> ( $\beta$ Kristobalit)	$t= 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
4. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon)	$t= 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
5. SiO <sub>2</sub> (Kuvars)	$t= 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
6. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977a
7. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon, kondaktif soğuma)	$t= 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd., 1983
8. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1264 / (5.31 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd. ,1983
9. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1021 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
10. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1164 / (4.9 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
11. SiO <sub>2</sub> (Kuvars buhar kaybı)	$t= 1498 / (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
12. Na/K	$t= 933 / (0.993 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
13. Na/K	$t= 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
14. Na/K	$t= 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
15. Na/K	$t= 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
16. Na/K	$t= 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
17. Na/K*	$t= 908 / (0.692 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
18. SiO <sub>2</sub> (Kalsedon) *	$t= 1101 / (0.11 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Arnorsson vd. , 1983
19.Li *	$t= 2258 / (1.44 - \log \text{Li}) - 273.15$	Fouillac and Michard, 1981
20. Na/Li * (Cl< 11000 ppm)	$t= 1000 / (\log \text{Na/Li} + 0.38) - 273.15$	Fouillac and Michard, 1981
21. Mg/Li	$t= 1900 / (4.67 + \log \sqrt{\text{Mg/Li}}) - 273.15$	Kharaka vd. , 1985
22. K/Mg	$t= 4410 / (13.95 + \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
23. Na/Li	$t= 1590 / (\log \text{Na/Li} + 0.779) - 273.15$	Kharaka and Mariner, 1989
24. Na-K-Ca *	$t= 1647 / (\log \text{Na/K} + \beta \log \sqrt{\text{Ca/Na} + 2.24}) - 273.15$	Fournier ve Truesdell, 1973
25. Na-K-Ca (R) ** (Magnezyum düzeltmeli)	$R= (\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Ca} + \text{K}) \times 100$	Fournier ve Potter, 1979

Germencik Ömerbeyli Sahası’ndaki açılmış kuyular hazneye inen ve hazne sıcaklığı ölçülmüş kuyulardır. Çizelge 1’de belirtildiği gibi bu kuyularda 200-232 °C arasında hazne sıcaklıkları ölçülmüştür. Bu durum inceleme alanındaki sıcak sular için kullanılan jeotermometre uygulamalarının geçerliliğinin tartışılması açısından oldukça yararlıdır. Yüzeysel kaynakların yıllık ortalama kimyasal analiz sonuçları ve karşılaştırmak amacıyla ÖB-2 derin kuyusunun kimyasal analizleri kullanılarak hesaplanan jeotermometre sonuçları (Çizelge 9) aynı jeotermal sistemlerden geldikleri varsayılarak, ölçülen hazne sıcaklıkları karşılaştırıldığında alan için hangi jeotermometre uygulamalarının doğru, gerçeğe yakın sonuç verdiği anlaşılabilir.

Çizelge 9’dan da anlaşılacağı üzere sahadaki sıcak su kaynaklarının hazne kaya sıcaklıklarının hesaplanmasında Na/K ve Na-K-Ca jeotermometreleri gerçeğe en yakın (200 °C civarı ) sonuçlar vermektedir. Buna karşın silis jeotermometreleri başta olmak üzere diğer

jeotermometre uygulamaları, ölçülmüş hazne sıcaklıklarından oldukça düşük değerler göstermektedir. Bu durum, sıcak kaynak sularının belli oranlarda soğuk yeraltısuyu katkısını göstermektedir. Bununla birlikte deneme amacıyla yapılan ÖB-2 derin kuyusunun jeotermometre uygulamalarında ise bazı silis jeotermometreleri, Na-K-Ca ve Mg düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometreleri en doğru sonuçları göstermektedir.

Giggenbach (1988) tarafından sıcak suların hazne kaya sıcaklıklarının saptanması ve suların ilişkide olduğu kayalarla olan denge durumlarının belirlenmesi için geliştirilmiş olan Na-K-Mg üçgen diyagramı inceleme alanındaki sularda oldukça ilginç sonuçlar göstermektedir (Şekil 9). Diyagram kısaca, su-kayaç ilişkisinin dengede olmadığı (ham sular), su-kayaç ilişkisinin kısmen dengede olduğu (karışmış sular) ve su-kayaç ilişkisinin tam dengede olduğu sular olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

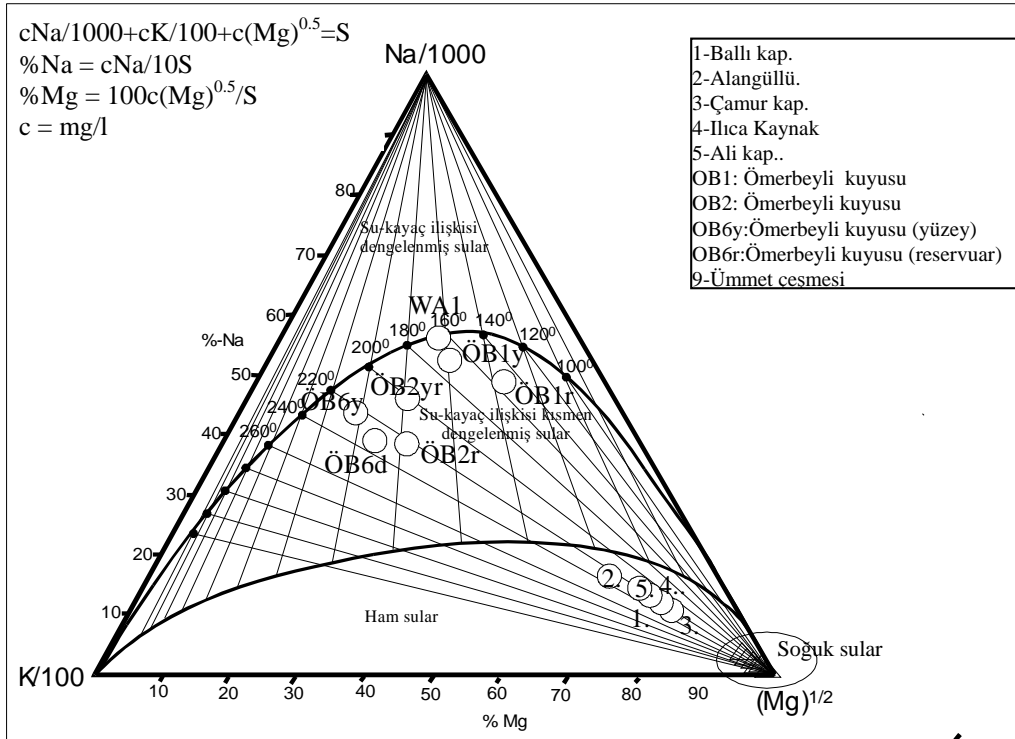
### Çizelge 9. Bu çalışma kapsamında uygulanan kimyasal jeotermometre sonuçları

Uygulanan Jeotermometre no ve adı	Ballı Ilıcısı ( 60 °C )	Alangüllü (Bozköy) Ilıcısı (60 °C)	Çamur Ilıcısı ( 50 °C )	Ilıca Kaynak (70 °C)	Ali Ilıcısı (60 °C )	OB2 (yüzey) (231 °C )
1- SiO <sub>2</sub>	25	54	31	37	37	124
2- SiO <sub>2</sub>	96	128	102	110	109	203
3- SiO <sub>2</sub>	47	78	53	60	60	154
4- SiO <sub>2</sub>	121	156	128	136	135	240
5- SiO <sub>2</sub>	147	178	153	160	159	249
6- SiO <sub>2</sub>	141	166	146	152	151	223
7- SiO <sub>2</sub>	119	128	125	132	132	226
8- SiO <sub>2</sub>	117	145	123	129	129	208
9- SiO <sub>2</sub>	117	152	124	132	131	235
10- SiO <sub>2</sub>	138	172	145	153	152	251
11- SiO <sub>2</sub>	140	166	145	151	151	223
12- Na/K	191	199	194	193	195	159
13- Na/K	212	219	215	214	216	187
14- Na/K	179	189	183	182	184	143
15- Na/K	183	192	187	186	188	150
16- Na/K	213	221	216	216	217	186
17- Na/K	195	204	198	198	200	162
18- SiO <sub>2</sub>	118	150	124	132	131	226
19- Li	-	-	-	-	-	267
20- Na/Li	-	-	-	-	-	180
21- Mg/Li	-	-	-	-	-	238
22- K/Mg	109	120	104	105	112	180
23- Na/Li	-	-	-	-	-	432
24- Na-K-Ca	208(β=1/3)	209 (β=1/3)	204 (β=1/3)	206 (β=1/3)	210 (β=1/3)	229 (β=1/3)
25- Na-K-Ca Mg düzeltmeli	28 R=43.3	80 R=23.6	27 R= 43.9	27 R= 43.9	40 R= 37.2	213 R=3.1

Diyagramda kısmen olgunlaşmış sularla, olgunlaşmamış suları birbirinden ayıran eğri olgunlaşma indeksinin (MI=maturity index) MI=2.0 olduğu eş kimyasal özellikteki noktaların birleşimiyle oluşmuştur.

Olgunlaşma indeksi;  $MI = 0.315 \log((K^2/Mg) - \log(K/Na))$  (5) bağıntısıyla tanımlanmıştır. Su-kayaç ilişkisinin kısmen ve tamamen dengede olduğu (karışmış sular) alanlar ise eş kimyasal özellikteki noktalar ile  $K^+Mg^{++}$  ve  $K^+Na^+$  jeotermometre eşitlikleri ile elde edilen eş sıcaklık (izoterm) değerlerinin kesişim noktalarının oluşturduğu eğriyle birbirinden ayrılmıştır. Dolayısıyla diyagram aynı anda hem su-kayaç

ilişkisinin denge durumunu, hem de jeotermometre sonucunu gösterebilmektedir. Germencik Jeotermal Alanları'ndaki soğuk yeraltısuları ve sıcak su kaynak suları ham sular bölümüne, derin kuyulara ait sular ise kısmen dengelenmiş (karışmış sular) bölümüne karşılık gelmektedir. Giggenbach (1988) ham sular bölümüne düşen suların jeotermometre sonuçlarına şüpheyle bakılması gerektiğini belirtmektedir. Ancak şekilde de görüldüğü gibi inceleme alanına ait jeotermal kaynak suları 200-240 °C izotermeleri arasında kalmaktadır. ÖB-2 ve ÖB-6 derin kuyularının yüzey ve derin analiz sonuçları da aynı izotermeler arasında kalmakta ve sıcak kaynak sularının su kayaç dengesine daha çok yaklaşmış bir görünümünü sergilemektedir. ÖB-1 veya WA-1 ile gösterilen derin kuyu sonuçları ise tam dengelenmiş alana en çok yaklaşmış olmakla birlikte daha düşük izotermeler arasında yer almaktadır.



Şekil 9. İnceleme alanındaki sıcak suların Na-K-Mg üçgen diyagramındaki (Giggenbach, 1988) görünümü.

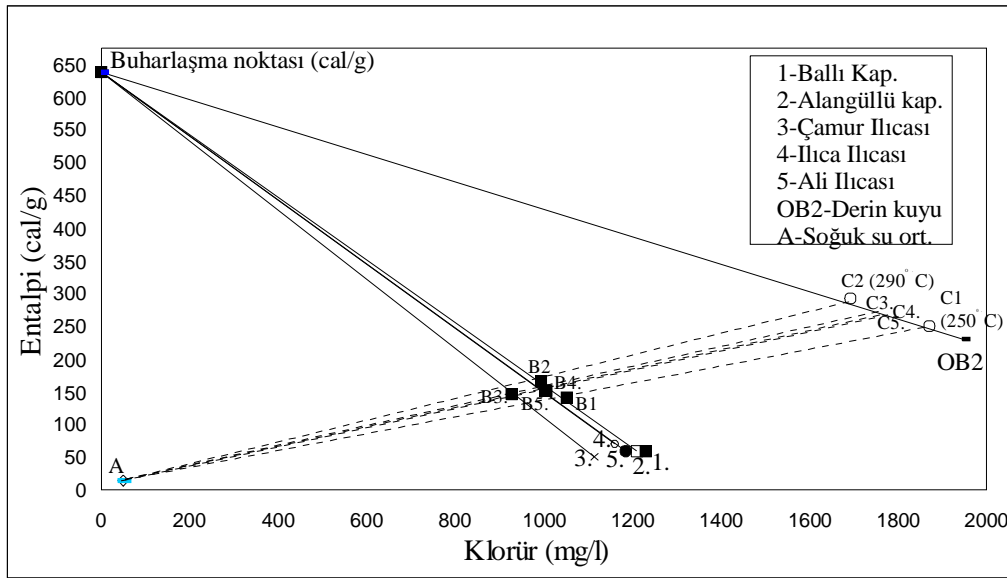
### 3.4.2. Karışım Modelleri

İnceleme alanındaki sıcak su örnekleri entalpi-klorür ve entalpi-silis karışım modellerinde irdelenmiş ve elde edilen hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları diğer yöntemlerle bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

#### 3.4.2.1. Entalpi-Klorür Karışım Modeli

Hazne kaya sıcaklığını ve sıcak-soğuk su karışım oranlarını bulmak için geliştirilmiş olan klorür karışım modelindeki diyagramda düşey eksen entalpi (cal/g), yatay eksen ise klorür (mg/l) değerleri yer almaktadır (Fournier, 1977b). Buharın sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 639 cal/g (2775 kJ/kg) değeri de düşey ekseninde buhar noktası olarak işaretlenmiştir.

Germencik Jeotermal Alanları'ndaki sıcak suların ölçülen entalpi ve klorür (mg/l) değerleri diyagrama işaretlenerek, elde edilen noktalar buhar noktası ile birleştirilir. Bu doğru üzerine her bir sıcak su örneğinin kuvars buhar kaybı jeotermometresi (Çizelge 7, 6 no'lu jeotermometre) ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları işaretlenir (B noktası). B noktası bölgedeki soğuk suların ortalama değerini gösteren A noktası ile birleştirilerek, derişim çizgisi elde edilir. Derişim çizgisi uzatılarak en yüksek klorür değerine sahip olan örneğin (inceleme alanı için ÖB-2 kuyusu) doğrusu ile kesiştirilir (C noktası). Bu doğru üzerinde elde edilen en yüksek ve en düşük değerler jeotermal sistemin olası maksimum ve minimum hazne kaya sıcaklığını verirler. Ayrıca, derişim çizgisi üzerindeki AB ve AC doğru parçaları kullanılarak, sıcak suların soğuk sularla yaptığı karışım oranları bulunur. Burada AB/AC oranı karışımındaki sıcak su değerini vermektedir (Şekil 10).



**Şekil 10. İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-klorür diyagramı (Fournier, 1977b)**

Bu yöntemle elde edilen en yüksek ve en düşük hazne sıcaklıkları Şekil 10 görüldüğü gibi 250-290 °C arasında değişmektedir. Ölçülmüş hazne sıcaklıklarından daha yüksek değer vermesinin nedeni ÖB-2 kuyusunun en yüksek klorür derişimi olan sıcak su örneği olarak seçilmesindedir. Bu yöntemle elde edilen akışkandaki sıcak su karışım oranları Çizelge 10'da verilmiştir.

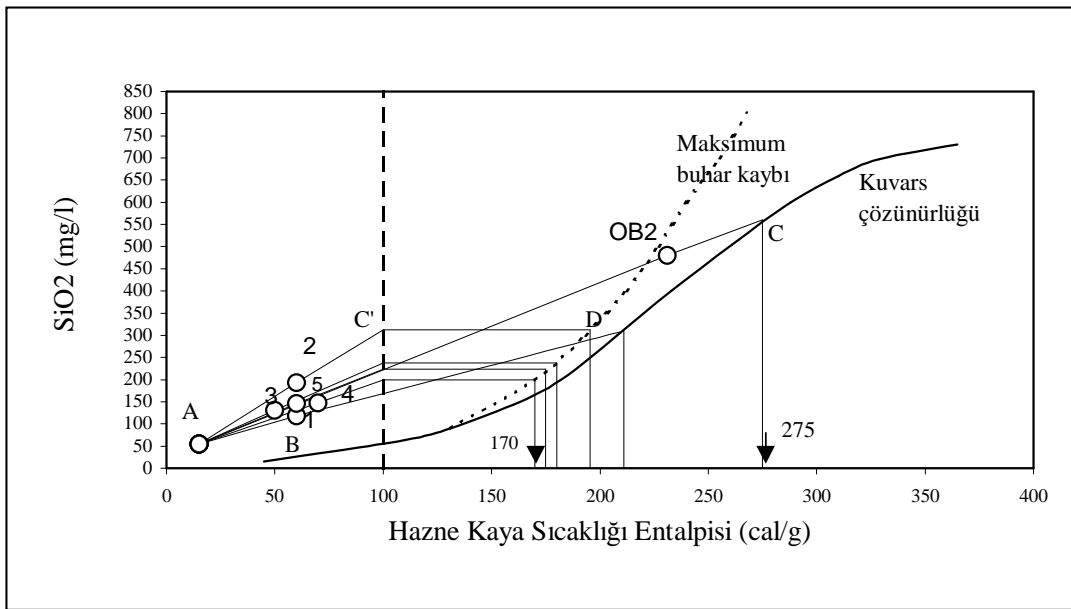
**Çizelge 10. İnceleme alanındaki sıcak suların entalpi-klorür ve silis entalpi karışım modellerine göre hesaplanan sıcak su karışım oranları**

Örnek labratuvar numarası ve adı	1 Ballı kap.	2 Alangüllü kapıcasi	3 Çamur Ilıcaları	4 Ilıca Ilıca kaynakları	5 Ali Ilıcasi	OB2 Derin kuyu
Entalpi-Klorür Karışım Modeli	55	56	51.4	56	55	-
Entalpi-Silis Karışım Modeli	53	53	42	66	55	83

### 3.4.2.2. Entalpi-Silis Karışım Modeli

Sıcaklık ve silis dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan silis-entalpi karışım modeli, abak diyagramı kullanılarak karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının olduğu ve olmadığı her iki durumda da uygulanabilmektedir (Fournier, 1977b). Diyagramda (Şekil 11) A noktası bölgenin soğuk sularını yansıtan  $\text{SiO}_2$  (mg/l) ve entalpi (cal/g) değeridir.

Diyagrama Germencik Jeotermal Alanları'ndaki sıcak suların silis değerleri ve ölçülen sıcaklıkları işaretlenerek elde edilen noktalar (B noktası) A noktası ile birleştirilmiş ve bu doğru uzatılarak kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktadan (C noktası) yatay eksene dikme inilmek suretiyle dikmenin yatay ekseni kestiği nokta olan hazne kaya sıcaklıkları elde edilmiştir. C noktası karışım suyundaki sıcak suyun karışımından önceki entalpi ve silis değerini vermektedir. Buraya kadar anlatılan işlem karışımından önce sıcaklık-buhar kaybının olmadığı koşulları yansıtır.



Şekil 11. İnceleme alanındaki sıcak suların Entalpi-Silis diyagramı (Fournier,1977b)

Karışımından önce buhar kaybı (adyabatik soğuma) olması durumunda ise AB doğru parçası kuvars çözünürlüğü eğrisini kesmediğinden diyagramda kesikli çizgi ile gösterilen maksimum buhar kaybı eğrisi dikkate alınmalıdır. Bu nedenle suyun yüzeyde buharlaştığı entalpi değerinden (100 cal/g) bir dikme çıkılarak, dikmenin AB doğrusunu kestiği C' noktasından yatay eksene bir paralel çizilmiştir. Bu paralelin maksimum buhar kaybı eğrisini kestiği D noktasından da yatay eksene dikme inilerek, hazne sıcaklıkları elde edilmiştir. Silis-entalpi diyagramına göre Germencik jeotermal sistemlerinin hazne kaya sıcaklığı 170-275 °C arasında değişmektedir (Şekil 11). Silis-entalpi diyagramında da, klorür-entalpi diyagramında olduğu gibi sıcak su karışım oranlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki sıcak suların bu yöntemle hesaplanan karışım suyundaki sıcak su oranı (AB/AC' oranı) % 42-83 arasında değişmekte olup, klorür entalpi karışım oranları ile birlikte gösterilmiştir (Çizelge 10).

### 3.5. Su-Kayaç İlişkileri ve Aktivite Diyagramları

Aktivite diyagramlarının hidrojeolojide kullanılması su ile ilişkide bulunduğu kayaç arasındaki tepkime sonrasında oluşabilecek yeni ürünlerin hidrojeokimyasal sonuçlarla tahmin edilmesi ilkesine dayanır. Bu diyagramlar alterasyon minerallerinin kimyasal tepkimelerinin denge sabitlerinden yararlanılarak oluşturulmaktadır. Bu çalışmada kullanılan denge sabitleri ve ilgili bağıntılar Tardy (1971) ve Kramer (1968)'den alınmış ve oluşturulan denge diyagramları üzerine alandaki suların aktiviteleri işaretlenmiştir. Diyagramlarda bölgedeki sıcak ve soğuk suların alüminyum silikatların alterasyonu sonucunda en yaygın gözlenilebilen gibsit, kaolinit, muskovit, albit ve anortit mineralleri ile olan su-kayaç denge ilişkileri incelenmiştir. Şekil 12'de soğuk suların montmorillonit ve kaolinit alanlarına düştüğü görülmektedir. Sıcak suların ise montmorillonit alanlarına düştükleri, dolayısıyla ilişkide buldukları kayaç ile girdikleri tepkime sonucunda kayacı montmorillonit türü minerallerin oluşması yönünde alterasyona uğratacakları belirlenmiştir. Soğuk su örneklerinin kaolinit, sıcak suların ise montmorillonit türü alterasyon ürünleri oluşturması montmorillonitin oluşması için gerekli silis miktarının kaolinite oranla daha çok olmasından kaynaklanmaktadır. İnceleme alanında yer alan sıcak sularda silis miktarı ( $\text{SiO}_2$  18-193 mg/l) soğuk sulardaki silis miktarına ( $\text{SiO}_2$  50-60 mg/l) oranla çok daha fazladır. Bu nedenle diyagramlardan da görüldüğü gibi sıcak kaynak sularının (1, 2, 3, 4 ve 5 nolu sular) alterasyon minerali olarak montmorillonit minerali oluşturması beklenmektedir. Derin kuyulardaki (ÖB<sub>1</sub>, ÖB<sub>2</sub>, ÖB<sub>6</sub>) sıcak suların ise Ca ve Na montmorillonit ile Na ve K feldispat minerallerini oluşturması beklenmektedir (Şekil 12). Şekil 13'de gösterilen aktivite diyagramlarında (Nicholson, 1993) ise sıcak suların 250 °C sıcaklıkta oluşturabileceği alterasyon mineralleri gösterilmiştir. Sıcak suların albit ve zoisit minerallerini oluşturması beklenmektedir.

**Şekil 13. İnceleme alanındaki sıcak suların Na/K, Ca/H ve K/H ilişkilerinin ele alındığı (250°C) aktivite diyagramlarındaki görünümü.**

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. İnceleme alanının temelinde yer alan Menderes Masifi'ne ait gnays, kuvars-şist, gibi çatlaklı kayalar ile karstik mermerler jeotermal sistemlerin yüzeyden itibaren ikinci haznesini, Neojen yaşlı çakıltaşları ise birinci haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kırıntılı tortulların killi düzeyleri ise örtü kaya özelliğindedir. Graben tektoniğine bağlı yoğun tektonik etkinlik ve yüzeye yaklaşmış olan mağma, sistemlerin ısı kaynağını oluşturur.
2. İnceleme alanındaki sıcak sular jeotermal alanların çoğunda olduğu gibi meteorik suların derinlere süzülerek, ısınması ve genç faylara bağlı olarak yüzeylenmesi şeklinde açıklanabilen devirli sistemdedir. Alandaki yapılan izotop analiz sonuçları kısaca yüksek entalpili, meteorik kökenli (çok az miktarda mağmatik bileşen içerebilen) ve yaşlı sulardan (trityum içermediğinden en az 50 yıllık) oluşan jeotermal sistemlerin varlığını göstermektedir.
3. Jeotermal sistemlerdeki tüm sıcak sular sodyumlu, klorürlü ve bikarbonatlı su tipini yansıtırlar. Bölgedeki olası yeraltısuyu hareketi boyunca karışık su tipindeki soğuk sular jeotermal sistemlerde ısınıp, su-kayaç arasında gelişen çeşitli tepkimeler ile ilksel yapılarını yitirerek, Na-HCO<sub>3</sub>-Cl karakterli su tipine dönüşürler. Jeotermal suların sınıflamasında seyreltik, klorürlü ve bikarbonatlı sular sınıfındadırlar.
4. Alandaki sıcak su kaynaklarında zamana bağlı (aylara göre) bir kimyasal parametre değişimi gözlenmemiştir. Ancak bikarbonat iyonunun özellikle kış (yağışlı) aylardaki artışı belirgindir. Bu durum yağışlı dönem sonunda kurak döneme doğru yeraltı su seviyesi yükseleceği için sıcak suların yüzeye erişirken daha çok soğuk yeraltısularıyla karışmış olabileceği şeklinde yorumlanabilir.
5. İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indekslerine göre kaynaklarda karbonatlı ve silisli minerallerin, derin kuyularda ise yalnızca karbonatlı minerallerin kabuklaşması beklenmelidir. Sülfatlı minerallerin kabuklaşması ise alandaki hiçbir su çeşidinde beklenmemelidir.
6. Sıcak su kaynaklarına ait ampirik jeotermometre uygulamaları bölgedeki jeotermal sistemlerin 150-230 °C arasında değişen hazne sıcaklığına sahip olabileceğini göstermektedir. Bölgede hazne kayaya kadar inen derin kuyularda ölçülen 200-232 °C' lik hazne sıcaklıkları ampirik kimyasal jeotermometreler arasında Na/K ve Na-K-Ca jeotermometrelerinin en uygun sonuçlar verdiğini gösterir.
7. Klorür-entalpi karışım modeli alanda 250 ile 290 °C arasında değişen hazne sıcaklığı ve % 51-56 arasında değişen sıcak akışkanın varlığını gösterir. Silis-entalpi karışım modelinde ise 170-275 °C arasında hazne kaya sıcaklığı ve % 42-83 arasında değişen sıcak akışkan hesaplanmıştır.
8. İnceleme alanındaki jeotermal sistemlere ait sular su-kayaç dengesine Na-K-Mg üçgen diyagramında 200-240 °C izotermlerine karşılık gelirler. Soğuk sular ve sıcak kaplıca kaynakları dengeye ulaşmamış su (ham su), derin jeotermal kuyu suları ise kısmen dengeye ulaşmış sular bölgesine karşılık gelmektedir.
9. 25 °C ve 1 atm basınç koşullarında oluşturulmuş olan aktivite diyagramlarına göre sıcak kaynak sularının oluşturabileceği alterasyon mineralleri montmorillonit, derin jeotermal kuyu sularının ise Ca - Na montmorillonit ve Na - K feldispat olarak beklenmelidir. 250 °C sıcaklık için K/H ve Na/H ilişkisine göre hazırlanmış olan aktivite diyagramları ise tüm sıcak sular için albit, zoisit ve K-feldispat minerallerinin oluşabilecek yeni ürünler arasında olduğunu göstermektedir.



**KAYNAKLAR**

- APHA-AWWA-WPCF (1975): Standart Methods for Examination of Water and Waste Water. Fourteenth Edition, Copyright by American Public Health Assoc., Washington D.C., 1193 p.
- ARNNORSSON,S.; GUNNLAUGSSON,E.; SVAVARSSON, H. (1983): The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. Chemical geothermometry in geothermal investigations . Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 47, pp. 567-577. Pergamon Press. USA.
- BACK, W. (1966): Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain. U.S. Geol.Survey Professional paper, 498-A, 42p.
- BAŞKAN, M.E.; CANİK, B. (1983): IAH Map of mineral and thermal waters of Turkey Aegean Region. MTA No. 189, Ankara, 80 p.
- CORREIA, H.; ESCOBAR C.; GAUTHIER, C. (1990): Germencik geothermal field feasibility report, part two, October, Ankara.
- FETTER, C.W. (1994): Applied Hydrogeology Third Edition University of Wisconsin - Oshkosh. Mc Millian College Publishing Company, New York, 691 p.
- FİLİZ, Ş. (1982): *Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O-18, H-2, H-3, C-13 izotoplarıyla incelenmesi. Doçentlik Tezi, E.Ü.Y.B.F., 1-95, İzmir (Yayınlanmamış).*
- FORD, D.C; WILLIAMS, P.W. (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology. Unwin Hyman Ltd., London, 601 p.*
- FOULLIAC, C.; MICHARD, G. (1981): Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. Geothermics, v. 10, p.55-70.
- FOURNIER, R.O. (1977a): A Review of chemical and isotopic geothermometers for geothermal systems. In : Proceedings of the Symp. on Geoth. Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 133-143.
- FOURNIER, R.O. (1977b): Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. In: Proceedings of the Symposium on Geothermal Energy, Cento Scientific Programme, Ankara, 199-210.
- FOURNIER, R.O.; TRUESDELL, A. H. (1973): An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. Geochim. et Cosmochim. Acta, v.37 p. 1255-1275.
- FOURNIER, R.O.; POTTER, R.W. (1979): *Magnesium Correction to the Na-K-Ca Chemical Geothermometer. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 43 pp. 1543-1550.*
- GIGGENBACH, W. F.; GONFIANTINI, R.; JANGI, B.L.; TRUESDELL, A.H. (1983): Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. Geothermics, v. 5, p. 51-62.
- GIGGENBACH, W. F. (1988): Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. Geochim. et Cosmochim. Acta, 52., 2749-2765.
- HYDROWIN (1995): Computer Programme- Version 3.0, by Lukas Calmbach. Institut de Mineralogie BFSH2 1015 Lausanne. Fax: 0041/21 692 43 05. E mail: Lukas.CalmbachQ imp.unit.ch
- KASAP, İ. (1984): Geothermal resource evaluation of Germencik-Ömerbeyli (Western Anatolia) Geothermal Field of Turkey. Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, 14-17 May 1984, Florence, Italy.
- KHARAKA, Y.K.; SPECHT, B.J.; CAROTHERS, W.W. (1985): Low to intermediate subsurface temperatures calculated by chemical geothermometers. The American Assoc.

- of Petroleum Geologist, Annual Convention, Book of Abstracts, New Orleans, 24-27 March.
- KHARAKA, Y. K.; GUNTER, W. D.; AFFARWALL, P. K.; PERKINS, E. H.; DEBRAAL, J. D. (1988): Solmineq.88: A computer Program Code for Geochemical Modelling of Water-Rock Interactions. In U.S. Geological Survey Water Investigations Report 88-05.
- KHARAKA, Y. K.; MARINER, R. H. (1989): Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. In: N. D. Näser & T. H. McCulloh (Eds.), Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories (pp. 99-117). Springer Verlag.
- KHAYAT, J.R. (1988): Germencik-Kızılcıpınar (Aydın) ve çevresinin hidrojeolojik incelenmesi, sıcak ve soğuk suların jeokimyasal yorumlanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. Yöneten: Doç. Dr. Şevki Filiz, İzmir, 116 s. (yayınlanmamış).
- KRAMER, J.R. (1968): Mineral-water equilibria in silicate weathering. XXIII. Int. Geol. Cong. v.6, pp. 149-160.
- M.T.A. (1996): Germencik-Ömerbeyli-Bozköy-Çamur Jeotermal Alanı. MTA Genel Müdürlüğü, Türkiye Jeotermal Envanteri, Ankara, sayfa:68-74.
- NICHOLSON, K. (1993): Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 263p.
- NORDSTROM, D.K.; PLUMMER, L.N.; LANGMUIR, D.; BUSENBERG, E.; MAN, H.M.; JONES, B.F.; PARKHURST, D.L. (1990): Revised Chemical Equilibrium Data for Major Water-Mineral Reactions and Their Limitations. In: D.C. Melchior & R.L. Bassett (Eds.), Chemical Modelling of Aqueous Systems Washington : American Chemical Society.
- ŞAHİNCİ, A. (1991): Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548 s.
- ŞİMŞEK, Ş. (1981): Aydın-Germencik alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. EIEI yayını. Ankara.
- ŞİMŞEK, Ş. (1983): Aydın-Germencik alanı jeotermal enerji araştırmaları, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildirileri, Ankara, 167-168.
- ŞİMŞEK, Ş. (1984): Aydın-Germencik-Ömerbeyli Geothermal Field of Turkey. Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, 14-17 May 1984, Florence, Italy. Sem. Ref. No. EP/SEM.9/R.37.
- ŞİMŞEK, Ş. (1988): Büyük Menderes Grabeni Jeotermal Alanları ve Yararlanma Olanakları. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, Erguvanlı Özel Sayısı-İstanbul, sayı 10, 39-45.
- ŞİMŞEK, Ş.; UYGUR, N.; ÖZBAYRAK, İ.H.; DİKMEOĞLU, T.; COŞKUN, B.S.; ARAS, A. (1980): Aydın-Germencik-Söke Alanının jeotermal enerji olanakları. TUBİTAK VI. Temel Bilimleri Kongresi, Kuşadası-Aydın, 251-264.
- TARDY, Y., (1971): Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massif. Chemical Geol., vol. 7 , pp. 253-271
- UNION OIL, (1983): Union Geothermal Division, Union Oil Company of California, 2099 Range Ave. P.O.Box : 6854, Santa Rosa, California.