

Balıkesir Jeotermal Sularına Yönelik Jeotermometre Uygulamaları

Ahmet Kılıç

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran, 2007



Geothermometry Applications of Balıkesir Thermal Waters

Ahmet Kılıç

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Geology Engineering

June, 2007



Balıkesir Jeotermal Sularına Yönelik Jeotermometre Uygulamaları

Ahmet Kılıç

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

Danışman: Prof. Dr. Halim Mutlu

Temmuz, 2007



Ahmet Kılıç'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Balıkesir jeotermal sularına yönelik jeotermometre uygulamaları" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Prof. Dr. Kadir SARIİZ



Üye: Prof. Dr. Yaşar KİBİCİ



Üye: Prof. Dr. Halim Mutlu



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

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Balıkesir bölgesinde sıcaklıkları 18 ile 98°C arasında değişen termal sular kimyasal bileşim ve TÇM (toplam çözülmüş madde) miktarı açısından değişiklikler göstermektedir. Manyas, Hisaralan, Hisarköy, Balya, Susurluk sahalarındaki sular Ca-Na-HCO<sub>3</sub> ve Gönen suları ise Na-SO<sub>4</sub>'ça zengindir. Bigadiç-Hisararköy jeotermal sahasındaki suların TÇM miktarı ve sıcaklıkları göz önüne alındığında, bu sahadaki suların diğerlerinden daha uzun bir jeotermal çevrim içinde olduğu anlaşılmaktadır. Çeşitli silika ve katyon jeotermometreleri ile yapılan hesaplamalarda, Gönen; 108-164°C, Manyas; 84-177°C, Pamukçu; 132-163°C, Hisarköy; 147-178°C, Hisaralan; 143-177°C, Edremit; 66-78°C, Balya; 82-185°C ve Susurluk; 73-160°C rezervuar sıcaklıkları vermiştir. Balıkesir sıcak sularının denge durumları, Na-K-Mg, Na-K-Mg-Ca ve aktivite diyagramları ve ayrıca doygunluk indeksi hesaplamaları yardımıyla çalışılmıştır. Bu modellerden elde edilen rezervuar sıcaklıkları (130-140 °C) jeotermometrelerle bulunan rezervuar sıcaklıklarını (108-166 °C) desteklemektedir. Elde edilen sonuçlar, bölgedeki kaynak ve düşük sıcaklıklı kuyu sularının sığ sular veya karışım suları olduğunu ve ayrıca bu suların kimyasal jeotermometrelerce belirlenen sıcaklık aralıklarında muskovit, K-feldspat, kaolinit ve kalsit mineralleri ile dengede olduklarını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Balıkesir jeotermal suları, jeotermometre, Mineral dengesi.

## SUMMARY

Thermal waters of the Balıkesir area with temperatures ranging from 18°C to 98°C vary in chemical composition and TDS (total dissolved solution) contents. The Bigadiç–Hisarköy waters are enriched in Ca-Na-HCO<sub>3</sub> and probably suggest a relatively deep water circulation which is also indicated by their relatively high temperatures. Manyas, Hisaralan, Hisarköy, Balya and Susurluk waters are Ca-Na-HCO<sub>3</sub> type waters while Gönen waters are enriched in Na-SO<sub>4</sub>. Various silica and cation geothermometers yield reservoir temperatures of 108-164°C for Gönen, 84-177°C for Manyas, 132-163°C for Pamukçu, 147-178°C for Hisarköy, 143-177°C for Hisaralan, 66-78°C for Edremit, 82-185°C for Balya and 73-160°C for the Susurluk fields. Equilibrium states of the Balıkesir thermal waters were studied by means of Na-K-Mg diagram, Na-K-Mg-Ca diagram, activity diagrams and finally saturation index calculations. Reservoir temperatures obtained from these models are in well agreement with those from geothermometers. Results indicate that most of the spring and low-temperature well waters in the area are immature or mixed waters which are likely to be equilibrated with muscovite, K-feldspar, kaolinite and calcite at temperature ranges calculated from the chemical geothermometers.

Keywords: Balıkesir geothermal waters, geothermometry, mineral equilibria.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix

### BÖLÜMLER

#### BÖLÜM 1

1. GİRİŞ.....	1
1.1- Amaç ve Konu.....	1
1.2- Örnekleme ve Yöntem.....	2

#### BÖLÜM 2

2. MALZEME VE METOT.....	2
2.1- Önceki Çalışmalar.....	3

#### BÖLÜM 3

3. BALIKESİR BÖLGESİ'NİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ.....	7
3.1- Bölgesel Jeoloji.....	7
3.2- Balıkesir Bölgesi Jeotermal Alanları.....	7
3.2.1- Gönen Sahası.....	7
3.2.2- Balya-Ilıca-Şamlı Sahası.....	10
3.2.3- Manyas-Kepekler Sahası.....	10
3.2.4. Pamukçu Sahası.....	13
3.2.5. Edremit-Derman ve Güre Sahaları.....	13
3.2.6. Bigadiç-Hisarköy Sahası.....	16
3.2.7. Sındırgı-Hisaralan Sahası.....	16

## İÇİNDEKİLER (devam)

## BÖLÜM 4

4. SU KİMYASI.....	19
4.1- Jeotermal Suların Kimyasal Karakteristikleri.....	19
4.2- Suların Kökeni.....	30

## BÖLÜM 5

5. İZOTOP JEOKİMYASI.....	32
5.1- $\delta D$ ve $\delta^{18}O$ izotopları.....	32

## BÖLÜM 6

6. KİMYASAL JEOTERMOMETRELER.....	36
6.1- Jeotermometrelerin Sonuçları.....	37
6.1.1- Silika Jeotermometreleri Sonuçları.....	37
6.1.2- Katyon Jeotermometreleri Sonuçları.....	39
6.2- Na – K – Mg Diyagramı.....	41
6.3 - K – Na – Mg – Ca Diyagramı.....	43

## BÖLÜM 7

## 7. MİNERAL-AKIŞKAN DENGESİ

7.1- Aktivite Diyagramları.....	44
7.2- Termodinamik Doygunluk Diyagramları.....	49

SONUÇLAR.....	55
---------------	----

REFERANSLAR.....	56
------------------	----



## ŞEKİLLER LİSTESİ

ŞEKİL	SAYFA
Şekil 1.1- Balıkesir jeotermal alanların yer bulduru haritası.....	3
Şekil 3.1- Balıkesir ve çevresinin genel jeoloji haritası.....	8
Şekil 3.2- Gönen Sahasının Jeoloji Haritası.....	8
Şekil 3.3- Balya – Ilica Sahasının Jeoloji Haritası.....	11
Şekil 3.4- Manyas – Kepekler Sahasının Jeoloji Haritası.....	12
Şekil 3.5- Pamukçu Sahasının Jeoloji Haritası.....	14
Şekil 3.6- Edremit – Güre ve Derman Sahalarının Jeoloji Haritası.....	15
Şekil 3.7- Sındırgı – Hisaralan Sahasının Jeoloji Haritası.....	17
Şekil 3.8- Bigadiç – Hisarköy Sahasının Jeoloji Haritası.....	18
Şekil 4.1- Balıkesir termal suları için Langelier-Ludwig diyagramı.....	22
Şekil 4.2- Balıkesir’in termal sularının HCO <sub>3</sub> , Cl ve SO <sub>4</sub> içeriklerine (mg/kg) göre sınıflandırılması.....	23
Şekil 4.3- Edremit–Güre–Derman termal sularının iyon değişim diyagramları.....	26
Şekil 4.4- Manyas ve Gönen termal sularının iyon değişim diyagramları .....	27

## ŞEKİLLER LİSTESİ (devam)

Şekil 4.5- Pamukçu–Balya–Susurluk (Yıldız) termal sularının iyon değişim diyagramları .....	28
Şekil 4.6- Hisaralan ve Hisarköy termal sularının iyon değişim diyagramları.....	29
Şekil 4.7- Balıkesir termal suların B, Cl ve Li içerikleri.....	31
Şekil 5.1- Balıkesir jeotermal sularının $\delta D$ - $\delta^{18}O$ diyagramı.....	35
Şekil 6.1- Balıkesir termal suları için Na-K-Mg diyagramı.....	42
Şekil 6.2- Balıkesir termal suları için hazırlanan $10K/(10k+Na)$ ile $10Mg/(10Mg+Ca)$ (mg/lt) diyagramı.....	43
Şekil 7.1- Balıkesir termal sularının $Na_2O-K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ sisteminde aktivite diyagramı.....	45
Şekil 7.2- Balıkesir termal sularının $CaO-K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-CO_2$ sisteminde aktivite diyagramları.....	46
Şekil 7.3- Balıkesir termal sularının $MgO-K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ sisteminde aktivite diyagramları.....	47
Şekil 7.4- Balıkesir termal sularının $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ sisteminde 100-125- 50°C'deki aktivite diyagramları.....	48
Şekil 7.5- Sındırgı – Hisaralan sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	50
Şekil 7.6- Gönen sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	50

## ŞEKİLLER LİSTESİ (devam)

Şekil 7.7- Gönen – Ekşidere sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	51
Şekil 7.8- Manyas - Kızık sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	51
Şekil 7.9- Edremit - Derman sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	52
Şekil 7.10- Edremit - Güre sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	52
Şekil 7.11- Balya – Ilıca - Şamlı sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	53
Şekil 7.12- Susurluk - Yıldız sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	53
Şekil 7.13- Bigadiç – Hisarköy sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	54
Şekil 7.14- Pamukçu sıcak sularının mineral-denge diyagramı.....	55

## ÇİZELGELER LİSTESİ

ÇİZELGE	SAYFA
Çizelge 1.1- Balıkesir bölgesi jeotermal sahaları ve alınan su örnekleri.....	2
Çizelge 4.1- Balıkesir bölgesi jeotermal sularının kimyasal analiz sonuçları.....	20
Çizelge 5.1- Jeotermal sistemlerin hidrolojik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan duraylı ve radyoaktif izotoplar.....	32
Çizelge 5.2- Balıkesir jeotermal sularının $\delta D$ ve $\delta^{18}O$ değerleri.....	34
Çizelge 6.1- Balıkesir sıcak sularının silika jeotermometre sonuçları.....	38
Çizelge 6.2- Balıkesir sıcak sularının katyon jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklıkları.....	40

## BÖLÜM 1

### 1- GİRİŞ

Batı Anadolu'nun büyük bir kesiminde ortaya çıkan jeotermal kaynaklarda kayaç-su etkileşimine yönelik çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Açılma tektoniğinin hakim olduğu bu bölgede yer alan Balıkesir yöresi yüksek bir jeotermal gradyana sahiptir. Batı Anadolu'daki aktif jeotermal sistemler, esas olarak Neotektonik dönem boyunca şekillenmişler de bunların ortaya çıkışı Neotektonik öncesi fosil jeotermal sistemlere kadar geriye gider. Erken Miyosen'de faaliyet gösteren fosil jeotermal sistemler, günümüze ulaşana kadar ilk olarak volkanik–mağmatik şeklindeki ısı kaynakları zamanla tektonik-mağmatik (genleşme ve kabuk incilmesi) ısı kaynağına dönüşerek bugünkü aktif jeotermal alanları oluşturmuşlardır. Batı Anadolu'daki bu fosil-aktif jeotermal sistemlerin jeolojik evrimi, bölge için önerilmiş yeni bir jeotektonik model ile de uyumludur (Savaşçın ve Tokçaer, 2006). Söz konusu modele göre; alta dalan Afrika plakasının üzerinde ve GB yönünde daha hızlı geri kayan Helen plakası (relatif hareket) aynı yönde daha yavaş ilerleyen (relatif) Anadolu'dan uzaklaşmakta ve Ege Denizi genişlemektedir. Buna bağlı olarak, Batı Anadolu'da genleşme tipi jeotermal sistemler egemenken, sıkışma konumundaki Yunanistan'da ise sadece ada yayı konumunda, volkanik ısı kaynaklı jeotermal sistemler günceldirler (Savaşçın ve Tokçaer, 2006). Batı Anadolu'da jeotermal potansiyeli yüksek olan sahalar Aydın-Germencik (232 °C), Denizli-Kızıldere (242 °C), Çanakkale-Tuzla (173 °C), Aydın-Salavatlı (171 °C), Manisa-Salihli-Caferbeyli (155°C), Kütahya-Simav (162 °C), İzmir-Seferihisar (153 °C) ve Dikili (130 °C) sahalarıdır.

Çalışma konusunu oluşturan Balıkesir Bölgesindeki sıcak sular ısıtma ve tıbbi tedaviye yardımcı olarak uzun zamandan bu yana kullanılmaktadır. Hatta Manyas – Kepekler Jeotermal Sahasında Roma Döneminden kalma hamam da bulunmaktadır.

#### 1. 1- AMAÇ ve KONUSU

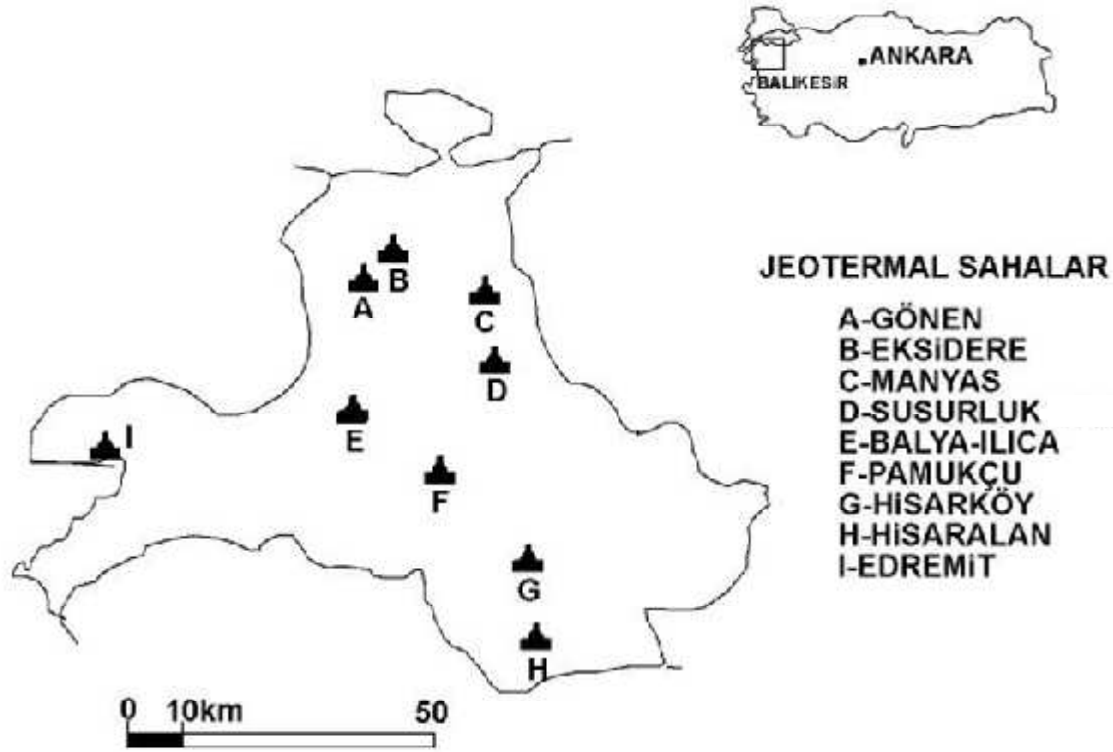
Bu çalışmanın amacı Balıkesir bölgesinin farklı jeotermal sahalarındaki sıcak suların kimyasını ve su tiplerini ortaya koymak, çeşitli jeotermometreler kullanılarak rezervuar sıcaklıklarını hesaplamak, suların mineral dengesini belirlemek ve bunlardan yararlanarak su ile kayaç arasındaki etkileşimi ortaya koyacak bir model oluşturmaktır.

## 1. 2- ÖRNEKLEME VE YÖNTEM

Balıkesir Bölgesinin 10 farklı jeotermal sahasından (Gönen, Ekşidere, Manyas-Kızık, Balıkesir-Pamukçu, Bigadiç-Hisarköy, Sındırgı-Hisaralan, Edremit-Güre ve Derman, Balya-İlica ve Susurluk Yıldız) toplam 31 sıcak ve soğuk su örneği alınmıştır (Şekil 1.1). Bunlardan 22 tanesi sıcak, 9 tanesi de soğuk su örneğidir. Çizelge 1.1’de bu bölgeden alınan örneklerin numaraları ve su tipleri verilmektedir.

**Çizelge 1 . 1- Balıkesir’de çalışılan sahalardan alınan su örnekleri**

JEOTERMAL SAHA	SICAK SU ÖRNEKLERİ	SOĞUK SULAR
GÖNEN	G-7, G-8, G-16	GCW
MANYAS –KIZIK	MK-1, MK-2, MK-3	MCW
PAMUKÇU	PMK-1, PMK-2	PCW
BİGADİÇ - HİSARKÖY	BHS-1, BHS-2, BHS-3	BCW
SINDIRGI - HİSARALAN	SHS-1, SHS-2, SHS-3, SHS-4	SCW
EDREMİT	EDR-1, EDR-2	-----
GÜRE - DERMAN	GDR-1	GDR-2
BALYA –İLICA	BLY-1, BLY-2, BLY-3	BLY-3
SUSURLUK - YILDIZ	SLK-1, SLK-2	SLK-3
GÖNEN - EKŞİDERE	EKS-1, EKS-3	EKS-2



Şekil 1 . 1 – Balıkesir jeotermal alanların yer bulduru haritası.

## BÖLÜM 2

### 2.1- MALZEME VE METOT

2005–Ağustos döneminde Balıkesir bölgesindeki çeşitli jeotermal kuyu ve kaynaklardan toplam 31 adet sıcak ve soğuk su örneği toplanmıştır. Su örneklerinin lokasyonları Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Gönen’de merkezi ısıtma sistemi kurulu olmasından dolayı (yaklaşık 3500 konut ısıtılmakta), bu alanda 1976 yılından bu yana toplam 17 sıcak su kuyusu açılmıştır. Bu çalışmada ise çalışır durumda olan sadece üç kuyu örneklenebilmiştir (G-7, G-8 ve G-16 kuyuları). Sıcak suların yanı sıra, Gönen şehir merkezindeki bir çeşmeden de soğuk su örneği (GCW) alınmıştır. Gönen’in 20 km güneyinde yer alan Ekşidere bölgesinden bir sıcak (EKS-1) ve iki adet de soğuk su (EKS-2 ve EKS-3) örneklenebilmiştir (Şekil 1.1). Manyas, (MK-1, MK-2 ve MCW), Pamukçu (PMK-1, PMK-2 ve PCW) ve Bigadiç (BHS-1, BHS-2 ve BCW) sahalarındaki iki sıcak su kuyusu ve bir adet de soğuk kaynağından örnek alınmıştır. Sındırgı jeotermal alanında çok sayıda su kaynağı olmasına karşın, bunlardan sadece 4 tanesi (SHS-1, SHS-2, SHS-3 ve SHS-4) örneklenebilmiştir. Ayrıca, bir adet de soğuk kaynağından da örnek toplanmıştır. Balıkesir Bölgesinin batı kısmında yer alan Edremit’te iki ayrı jeotermal alan bulunmaktadır. Edremit içindeki iki sıcak su kuyusu (EDR-1 ve EDR-2) ve ayrıca, Ege sahilindeki Güre sahasında da bir sıcak su kuyusu (GDR-1) ve bir adet de soğuk kaynağından (GDR-2) örnek alınmıştır. Balya sahasında iki sıcak (BLY-1 ve BLY-2) ve bir adet de soğuk su kaynağı (BLY-3) örneklenebilmiştir. Susurluk alanında ise, Ömerli (SLK-1) ve Yıldız (SLK-2) köylerinden birer adet sıcak su ve Yıldız köyünden bir adet soğuk su kaynağından (SLK-3) örnek alınmıştır (Şekil 1).

Tüm su örnekleri yüksek-yoğunluklu polietilen kaplara toplanmıştır. Katyonlar ve iz element analizleri için 100-ml olarak toplanan örneklere 0.2 ml konsantre HNO<sub>3</sub> eklenmiştir. Anyon analizleri için alınan (500-ml) örneklere ise herhangi bir asit işlemi uygulanmamıştır.  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  analizleri için ise 100-ml’lik hacimde örnek alınmıştır.



Suların sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve Eh değerleri örnek alım noktalarında ve doğal koşullar altında ölçülmüştür.

Alkalinite ( $\text{HCO}_3$ ) ve Cl analizleri için titrasyon yöntemi uygulanmıştır.  $\text{SO}_4$  ve  $\text{SiO}_2$  konsantrasyonları spektrofotometre ile tayin edilmiştir. Silika ve anyon analizleri Devlet Su İşleri Eskişehir III. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Suların katyon ve diğer element analizleri ise ACME Laboratuvarlarında (Kanada) gerçekleştirilmiştir. Element analizlerinde saptanabilirlik alt sınırı 0.05–0.5 ppm'dir. Suların  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  analizleri ise TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde (Gebze) yürütülmüştür (maksimum standart sapmalar  $\delta\text{D}$  için 1.81 ‰ ve  $\delta^{18}\text{O}$  için ise 0.57 ‰).

## 2.2- ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Balıkesir bölgesi jeotermal sularına yönelik yapılan çalışmalar ilk olarak 1964 yılında başlatılmıştır. Gönen jeotermal sahasında M.T.A (Maden Tetkik Arama) tarafından 1976, 1990 ve 2003 yıllarında açılan sondajlardan 1976 yılında yapılan sondajda ölçülen su sıcaklıkları 71-82°C arasında ve debiler ise 8.7-14.7 lt/sn arasında değişmektedir. Erzenoğlu (1990)'ın G-64/A kuyusunda ölçülen debinin 8.72 lt/sn ile 15 lt/sn olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yine M.T.A tarafından 2003 yılında açılan sondajların (G-6 ve G-7) derinlikleri sırasıyla 216 ve 230 m, ölçülen su sıcaklık değerleri sırasıyla 84-70°C arasında, debileri ise 30-50 lt/sn arasında değişmektedir. Gönen jeotermal sahasında bulunan Ekşidere kaynağının batı kısmındaki sıcaklıklar 38.4-42.4°C debileri ise 0.05-6.166 lt/sn arasında; doğu kısmında ise sıcaklıklar 34.5-36°C arasında debiler ise 0.03-0.74 lt/sn arasında değişmektedir. Manyas sahasında M.T.A tarafından 1990 yılında yapılan ölçümlerde kaynak sıcaklığı 45.6°C debisi 0.55 lt/sn 1983 yılında yapılan sondajda ölçülen sıcaklık 50°C ve debi de 40 lt/sn olarak ölçülmüştür. Edremit-Derman sahasında M.T.A tarafından 1990 yılında 1 adet, 2000 ve 2001 yıllarında da 3 adet sondaj yapılmıştır. Açılan bu kuyuların derinlikleri 135, 190, 496 ve 495 m' dir. İlk açılan kuyuda yapılan ölçümlerde sıcaklık 58.1°C debi ise 0.15 lt/sn'dir. Daha sonra yapılan sondajlardan elde edilen suların sıcaklıkları 47-60°C, debileri ise 2-75 lt/sn arasında değişmektedir. Edremit-Güre sahasındaki su kuyularının derinlikleri 150, 197 ve 400 m'dir. 1985 ve 1990 yıllarında M.T.A tarafından yapılan ölçümlerde sıcaklığın 48-58°C arasında debinin de 0.1-1 lt/sn arasında değiştii gözlenmiştir. 1994

yılında sıcaklık 33-56°C, debi 6-8 lt/sn olarak ölçülmüştür. Pamukçu jeotermal sahasında M.T.A tarafından 1990 yılında 2 adet, 2001 yılında da 1 adet sondaj yapılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri sırasıyla 193, 50 ve 500 m, sıcaklıkları; 57, 64 ve 58°C, debileri ise 7, 18 ve 10 lt/sn'dir. Hisaralan jeotermal sahasında M.T.A tarafından 1984 yılında yapılan çalışmalarda 130 adet kaynak tespit edilmiştir. Bu sıcak su kaynaklarının sıcaklıkları 46-98.5°C arasında değişmekte iken toplam debi miktarı 176.29 lt/sn olarak ölçülmüştür. Ayrıca bu sıcak su kaynaklarına yakın olan Çatak kaynağında 1990 yılında yapılan ölçümlere göre sıcaklık 27.1°C ve debi de 0.61 lt/sn'dir. Hisarköy jeotermal sahasında M.T.A tarafından 1990 yılında 1 adet, 2000 ve 2001 yıllarında 4 adet sondaj yapılmıştır (BH-1, HK-1,2,3,4). Yapılan sondajların derinlikleri sırasıyla 264, 429, 307 ve 750 m'dir. Açılan bu kuyulardaki sıcaklıklar 38-98°C arasında, debiler ise 3-60 lt/sn arasında değişmektedir. Balya-Ilıca sahasında 1984 yılında M.T.A tarafından sıcaklıkların 51.5-60.2°C arasında, debilerin ise 0.05-0.097 lt/sn arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Susurluk-Yıldız jeotermal sahasında 1984 yılında M.T.A tarafından yapılan sondaj sonucunda ölçülen sıcaklıklar 56-75°C arasında değişmekte iken, toplam debi miktarı 65.92 lt/sn'dir.

## BÖLÜM 3

### BALIKESİR BÖLGESİNİN JEOLJİSİ

#### 3.1- BÖLGESEL JEOLJİ

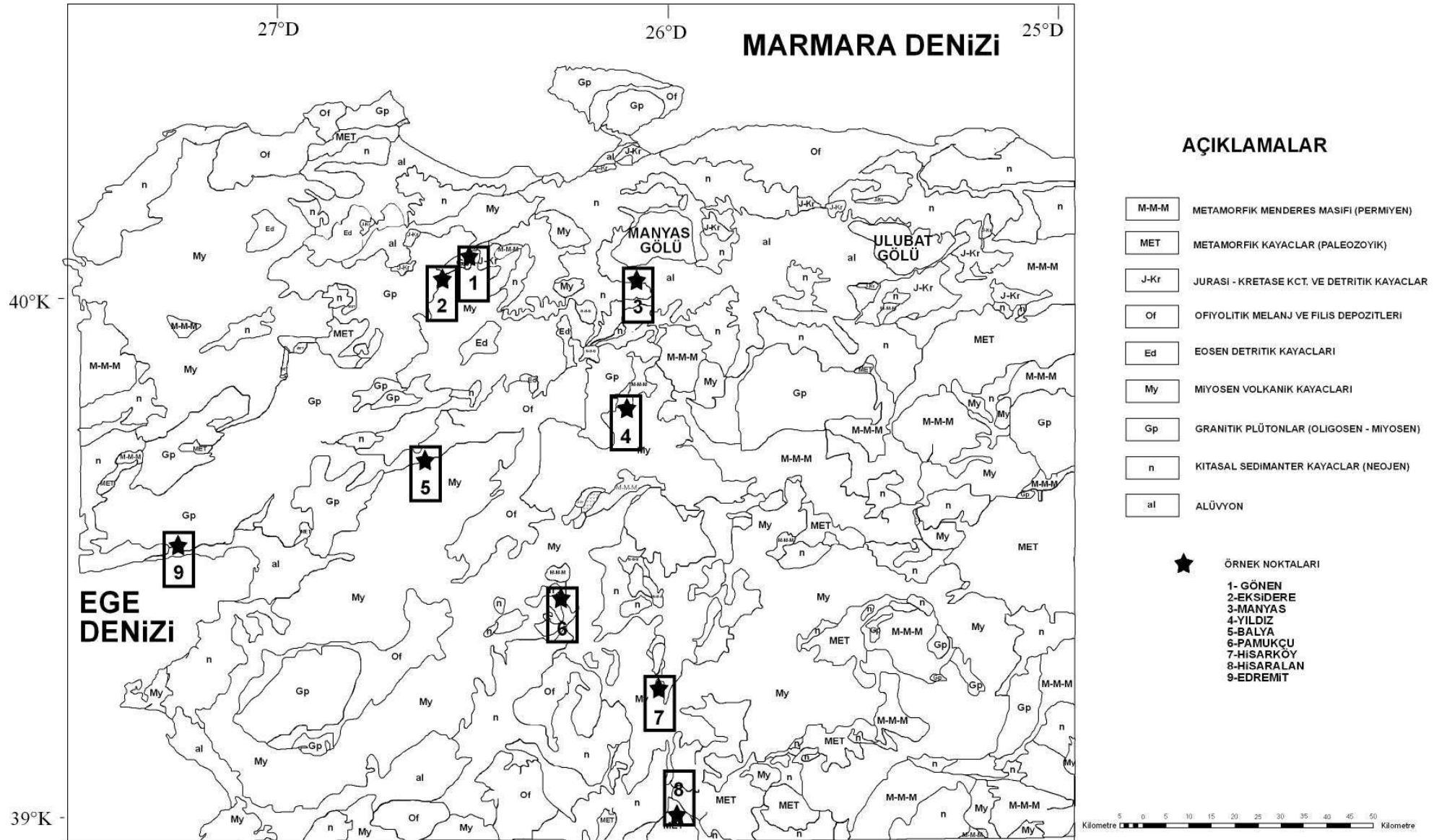
Balıkesir bölgesi Ege açılma tektoniği içinde yer alan orta-yüksek sıcaklık potansiyeline sahip jeotermal bölgelerden biridir. Bölgedeki kabuk açılma tektoniği nedeniyle incelmış ve buna bağlı olarak jeotermal gradyan oldukça yüksektir. Bölgede D-B ve KB-GD yönlü fayların hakim olduğu tektonik rejim hakimdir. Permiyen yaşlı metamorfikler bölgenin en yaşlı birimleridir (Menderes Masifi). Bunların üzerinde Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler yer almaktadır. Tüm bu birimler yaşlıdan gence doğru Jura – Kretase Kireçtaşları ve detritik kayalar, ofiyolitik melanj ve fliş çökelleri, Eosen detritikleri ve Miyosen volkanikleri tarafından örtülmektedir. Oligosen – Miyosen granit plütonları bu birimleri kesmektedir. İstif daha üste doğru Neojen yaşlı karasal sedimanter kayalar ve bölgedeki en genç birim olan alüvyon çökelleri ile devam etmektedir (Şekil 3.1). Batı Anadolu’da Eosende başlayan volkanizma Tersiyerde şekillenmiştir. Bu volkanizma sonucunda dasit ve trakiandezit bileşimli lav ve tüfler oluşmuştur. Bölgedeki volkanik aktivite kalk-alkalin tipten alkaline tipe geçişi karakterize etmektedir (Fytikas, 1976; Ercan, 1981; Innocenti ve diğ., 1982).

#### 3.2- BALIKESİR BÖLGESİ JEOTERMAL ALANLARI

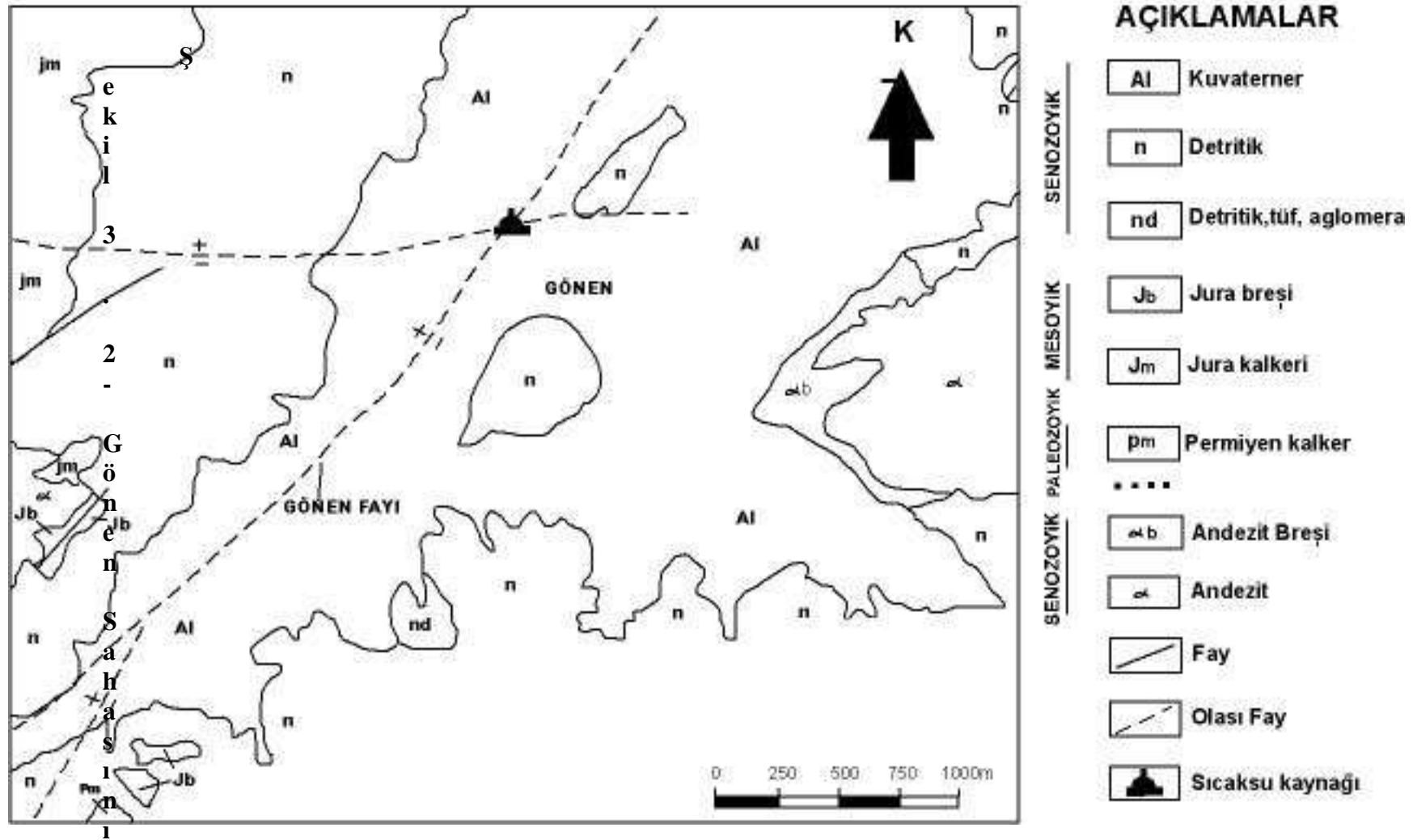
Balıkesir sahasında toplam 9 adet jeotermal alan bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bu alanlar;

##### 3.2.1- Gönen Sahası

Gönen jeotermal sahasının yer aldığı Biga Yarımadasında temeli Üst Paleozoyik yaşlı epimetamorfik kayalar oluşturmaktadır (Şekil 3.2). Sahada Üst Paleozoyik ve Paleojen olmak üzere iki farklı yaşta granitik sokulum bulunmaktadır. Tersiyer yaşlı çökeller ise tamamen karasaldır ve Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik kayalar yaygın olarak mostra vermektedir. En üstteki Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gevşek kil, kum ve çakıllardan oluşan Gönen Çayı dolgularından oluşur. Bu sahadaki ana tektonik yapılar Triyas Karakaya Orojenezi, Tersiyer Alpin Orojenezi ve Geç Tersiyer yaşlı doğrultu atımlı faylanma neticesinde oluşmuştur. Gönen çevresi



Şekil 3.1- Balıkesir ve çevresinin genel jeoloji haritası (MTA'nın Balıkesir Paftaları birleştirilerek hazırlanmıştır).



Şekil 3.2- Gönen Sahasının Jeoloji Haritası (Sarp ve diğ., 1998).

aktif fayların bulunduğu bir sahadır. Yenice – Gönen doğrultu atımlı fayı KD-GB doğrultusunu izler. Ayrıca bu faya paralel veya bunu kesen çok sayıda doğrultu atımlı ve normal fay da mevcuttur. Gönen termal suları bu faylardan çıkmakta ve alüvyona dağılmaktadır. Rezervuar kayaç Permiyen kalkerleridir. Sahanın alüvyonla kaplı olması fay belirtilerini gizlemektedir. Bölgedeki Genç Neojen yaşlı volkanizma yörede ısı akısının yüksek olmasına neden olmuştur (Sarp ve diğ., 1998).

### 3 . 2 . 2. Balya – Ilıca – Şamlı Sahası

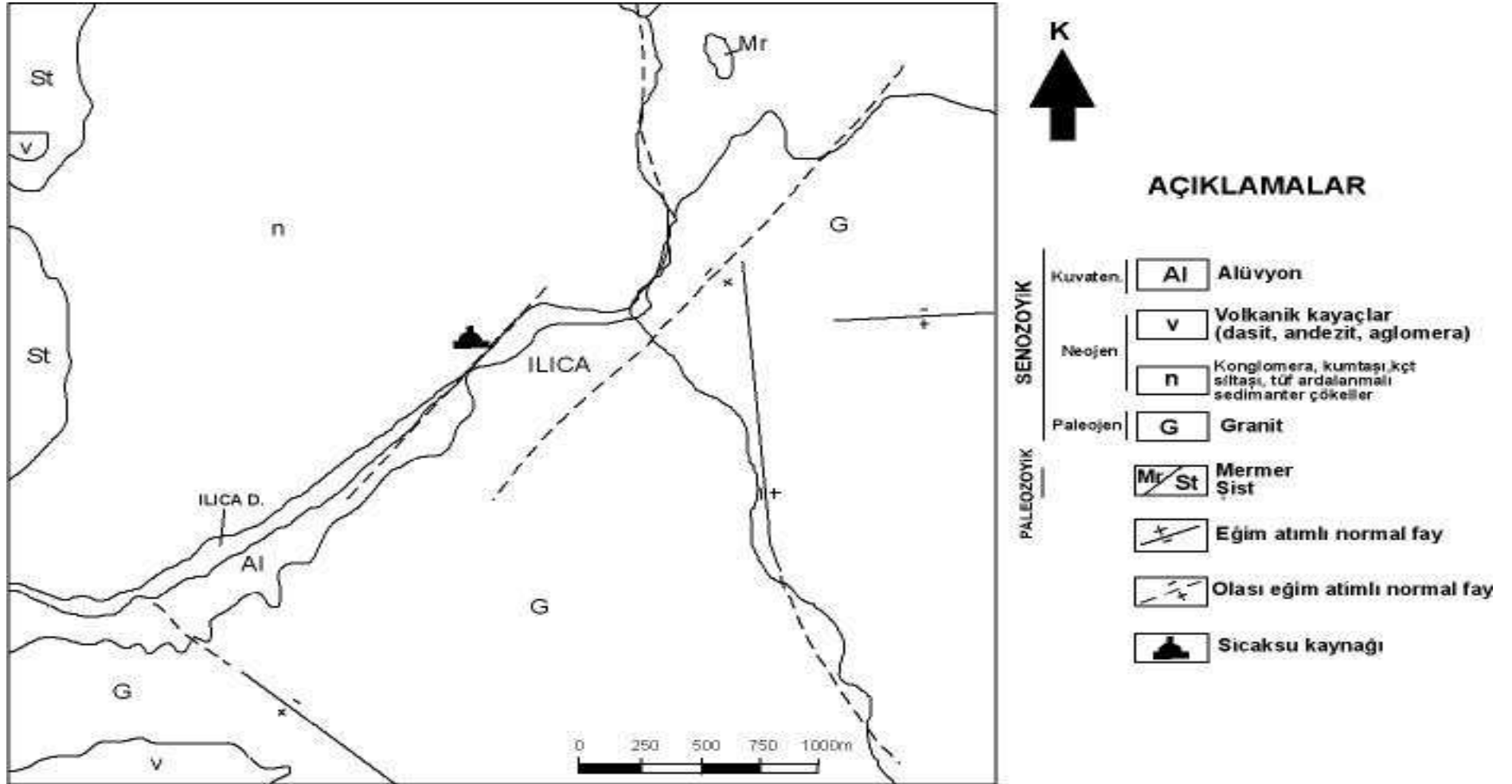
Yöredeki temel mermer ve şistlerden oluşan metamorfitletler tarafından temsil edilir. Bu kayaçlar Şamlı plütönu tarafından kesilmiştir. Kuzeybatı Anadolu'daki epizönal genç tektonik-post tektonik (Alpin) granitlerini temsil eden bu plütönlör, genellikle hololökokrat ve lökokrat karakterdedir. Modal bileşimleri itibariyle bu kayaçlar siyenogranit ile granodiyorit arasında değişmektedirler. Bu plütönlörün kontak zonlarında gelişen metamorfizma, albit-epidot-hornfels fasiyesini nadiren aşmaktadır. Birimler arasındaki sınırlar genellikle keskin olup, zonlar oldukça geniştir (Ercan ve Türkecan, 1984).

Neojen yaşlı çökeller ve volkanik kayaçlar alttaki birimler üzerine uyumsuz olarak gelir. Konglomera, kumtaşı, kıltaşı, kireçtaşı, silttaşı ve tuf ardalınlmalı bu birimler yaklaşık 200 – 250 m kalınlıktadır. Neojen birimleri ile eş yaşlı konumda olan volkanik kayalar ise dasit ve andezit bileşimindedir. İstif Kuvaterner yaşlı alüvyal örtü ile tamamlanır (Şekil 3.3).

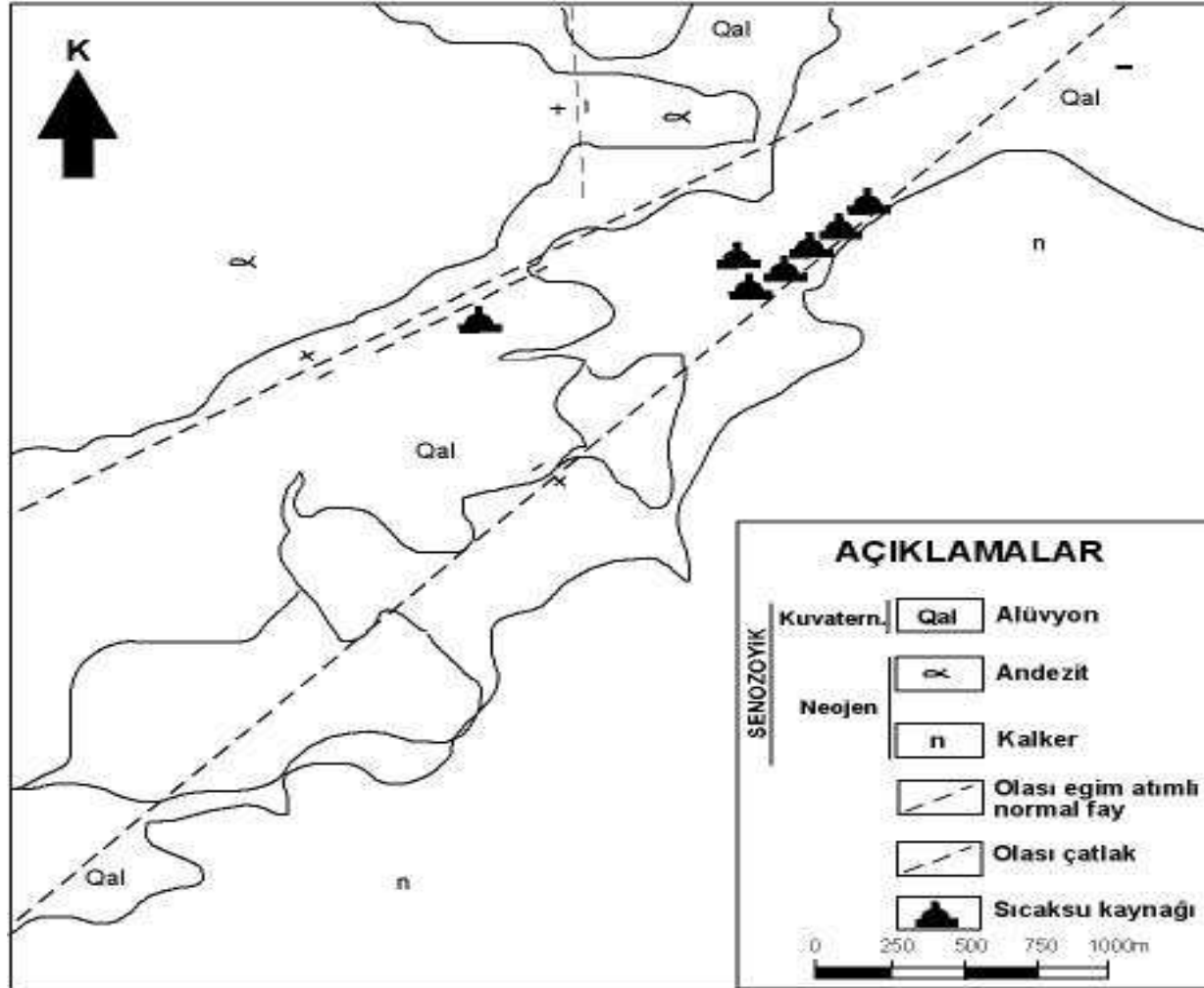
Bölgedeki kırıklar K – G, B – D, KD – GB ve KB – GD doğrultuludur. Termal suların rezervuar kayalarını Paleozoyik mermerleri ile granit–granit granodiyoritlerin çatlaklı zonları oluşturur.

### 3 . 2 . 3. Manyas – Kepekler Sahası

Temele ait kayalar Paleozoyik yaşlı gnays ve kuvars – serisit – kalk şistlerdir. Daha üstte Senozoyik yaşlı konglomera, kireçtaşı, marn, silttaşı, kıltaşı ve tuf ardalınlmalı birim yanal geçişli olarak yer yer andezit ile dokanak yapar. Bu birimlerden kıltaşı arabantlı olan kireçtaşı yaklaşık 15-20 m kadar bir kalınlığa sahiptir. Bu birimin altında bulunan, yer yer ara tabakalar halindeki altere olmuş tuf ve lav tüfitlerinin kalınlığı ise 150-200 m'dir (Şekil 3.4). En üst seviyede ise Kuvaterner yaşlı



Şekil 3.3- Balya – Ilıca Sahasının Jeoloji Haritası (Öktü ve Dilemre 1997).



Şekil 3 . 4- Manyas – Kepekler Sahasının Jeoloji Haritası (Sarp ve diğ., 1998).



alüvyon ve yamaç molozu yer alır. Bu birim 10-15 m kalınlıktadır. Yakın çevrede Neojen (Pliyosen) yaşlı andezitler yüzeyleyler. Kepekler alanında KD – GB yönlü tektonik hatlar bulunmaktadır. Temele ilişkin gnays ve kalkıştler ile Senozoyik birimlerin birincil permeabiliteli zonları rezervuar kaya niteliği taşımaktadır (Sarp S, Burcak N, Yildirim T., Yildirim N., 1998).

#### 3.2.4. Pamukçu Sahası

Pamukçu alanının temelinde Triyas yaşlı siyah, gri ve yeşil renklerde, çok sert ve üst seviyelerde kırık sistemlerinin yaygın olduğu mermer, grovak, spilit, metakuvarsit ve kuvarsit kaya türlerinin yer aldığı Karakaya formasyonu yer alır (Ölmez, 1997)

Temel kayalar üzerine açılmal uyumsuzlukla gelen Neojen çökelleri tuf, tüfit, aglomera ve kireçtaşı ile temsil edilir. Bu birim 25-30 m kalınlığındadır. En genç birim ise Kuvaterner yaşlı alüvyal örtüdür. Yörede faylar KB–GD ve K–G uzanımlıdır. Triyas yaşlı mermer, kuvar-sit, grovak ve Kretase yaşındaki kireçtaşları ile bunları kesen fay zonları rezervuar kaya niteliklidir (Şekil 3.5) (Ölmez, 1997).

#### 3.2.5. Edremit – Derman ve Güre Sahaları

Edremit bölgesinde Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı çeşitli kayaç türleri yüzeylemektedir. Bölgede Kazdağ Grubu olarak adlandırılan en yaşlı kayaç topluluğu Permiyen öncesi yaşlı metadümit, metagabro, piroksenit, amfibolit, gnays ve mermerlerden oluşur (Bingöl ve diğ., 1973). Bu kayalar bölgenin hemen kuzey tarafında ve Kozak plütonunun çevresinde görülür.

Bölgede Üst Kretase'den sonra plütonizma etkin olmuş ve Eybek ve Kozak plütonik masifleri yerleşmiştir. Her iki masif de gerek kimyasal ve mineralojik gerekse konum ve yaş bakımından büyük benzerlik göstermektedir (Ercan ve diğ., 1984). Çalışma alanı içerisinde geniş bir yayılıma sahip Tersiyer kaya birimleri Ercan ve diğ. (1984) tarafından incelenmiştir. Bu araştırmacılar Miyosen yaşlı lavların çoğunlukla andezitik, yer yer dasit ile ender olarak da riyodasitik türde, Pliyosen yaşlı lavların ise bazaltik türde olduklarını belirlemişlerdir. Aynı araştırmacılar ayrıca Miyosen yaşlı

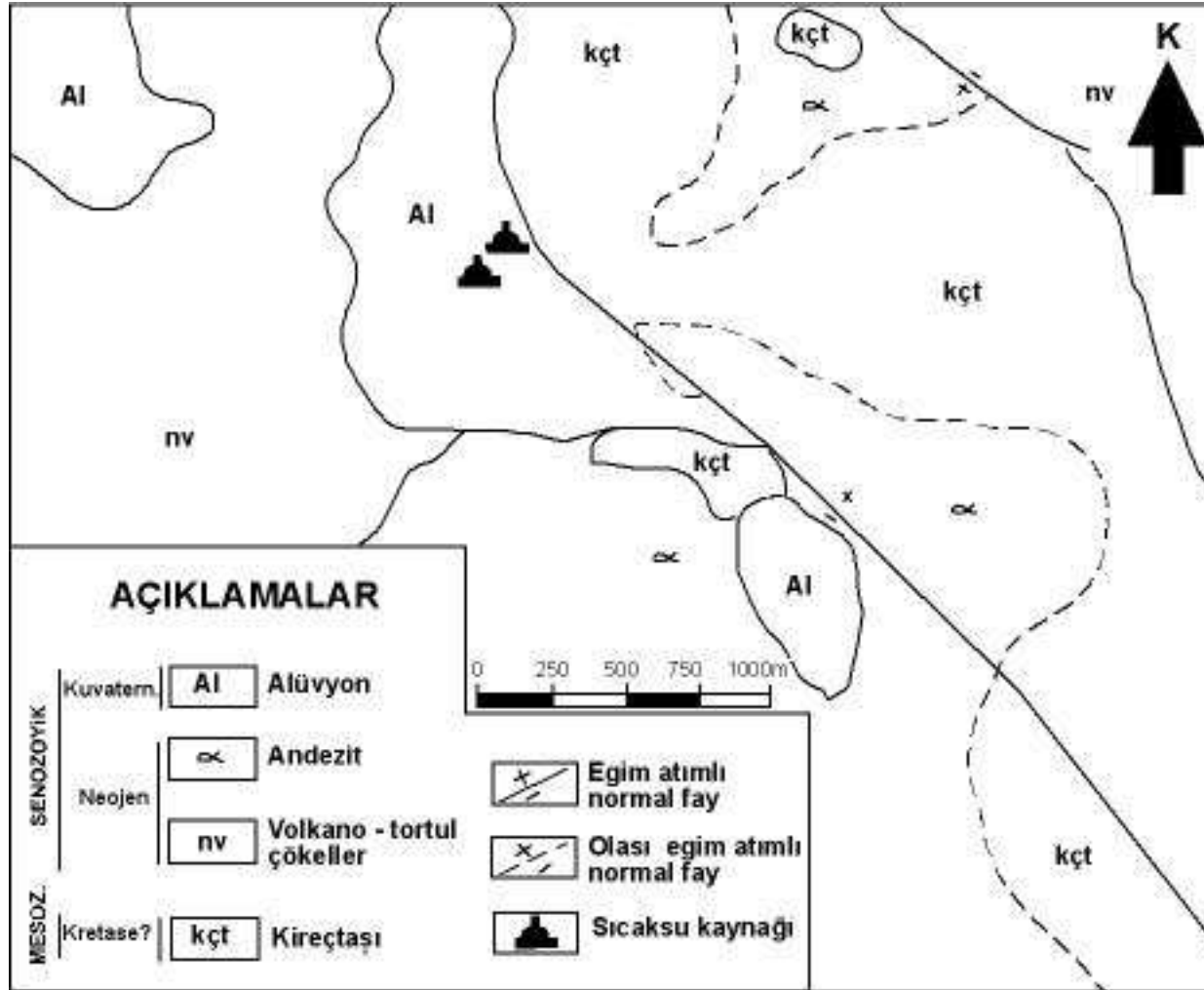
lavların tamamen kalkalkalen nitelikte olup kabuksal köken özelliği taşıdıklarını saptamışlardır. Pliyosen yaşlı Dededağ bazaltı bölgede küçük yüzlekler halinde izlenmektedir. Bu lavlar, Tersiyer yaşlı birimleri kesmiş ve üzerlerine akmıştır (Akyürek ve Soysal, 1978). Bölgede geniş yayılım gösteren, Pliyosen-Orta Miyosen yaşlı akarsu ve göl çökelleri ise başlıca Neojen oluşumlarıdır. Alüvyonlar, çevredeki yaşlı kayaların erozyona uğrayarak taşınmaları sonucu ortaya çıkan malzemelerden oluşmuştur (Akyürek ve Soysal, 1978). Tektonik hatların uzanımı D – B ve DKD – BGB'dır. Paleozoyik mermer ve kristalize kalkerler ile Mesozoyik (Triyas – Jura) yaşlı kalker ve konglomeralar rezervuar kaya niteliğindedir (Şekil 3.6).

### 3.2.6. Bigadiç – Hisarköy Sahası

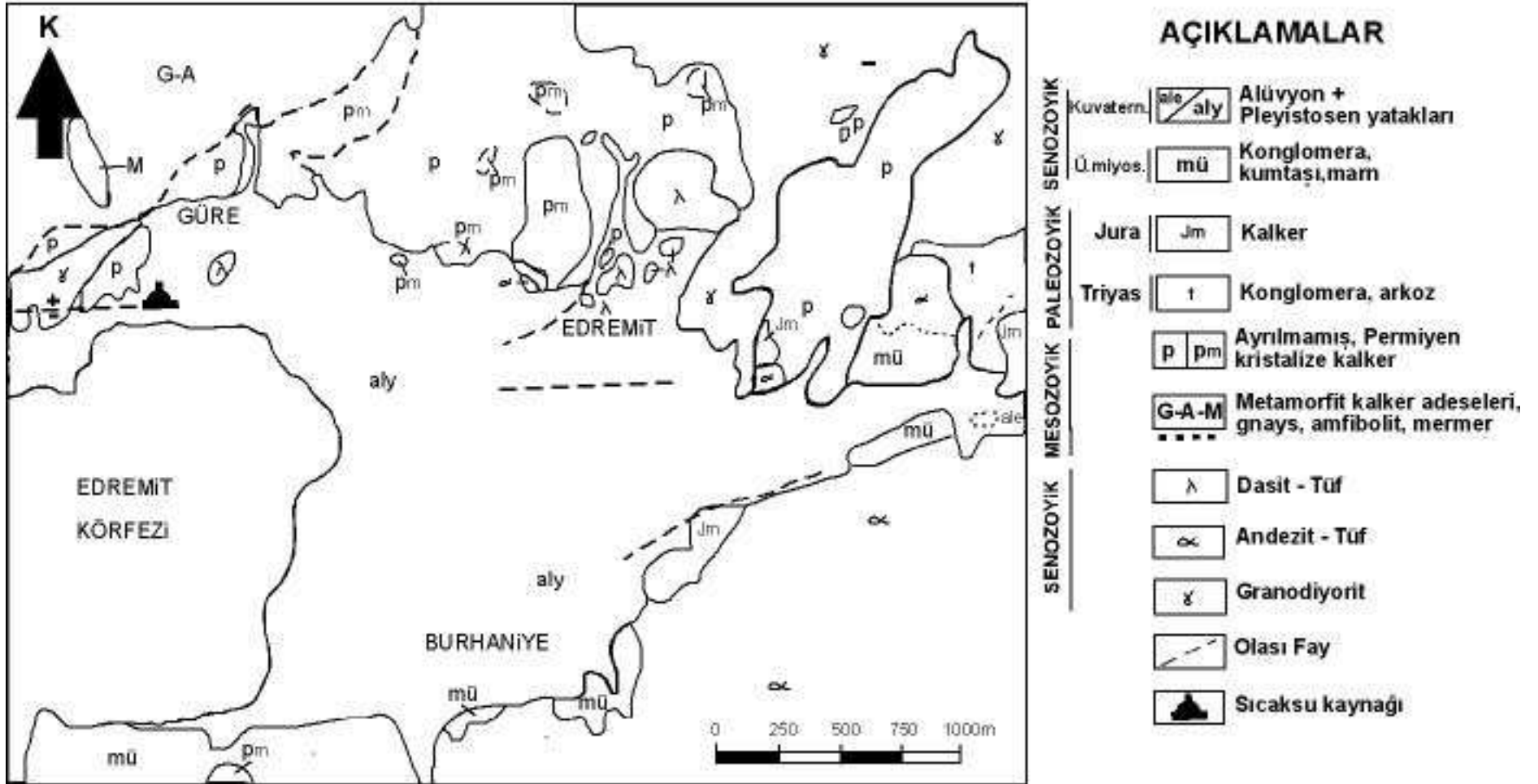
Yörede en altta Mesozoyik yaşlı ofiyolitler gözlenir. Sahanın doğu kısmında serpantin-kireçtaşı-radyolarit karmaşığı yer alır. Pliyosen yaşlı kumtaşı ve kireçtaşından oluşan çökeller Kretase biriminin üzerine uyumsuz olarak gelmiştir. Daha üstte ise muhtemelen gölsel sedimanlar ile eş yaşlı dasitik tüfler bulunur. Bunların üzerinde Üst Pliyosen yaşlı dasit – riyodasit bileşime sahip volkanik kayalar oturur. İstif alüvyon ile tamamlanır. Rezervuar kayaç kireçtaşlarıdır. Hisarköy'den geçen ve daha genç faylarla parçalanmış olan fay KB–GD doğrultuludur (Şekil 3.7) (Ölmez, 2000).

### 3.2.7. Sındırgı – Hisaralan Sahası

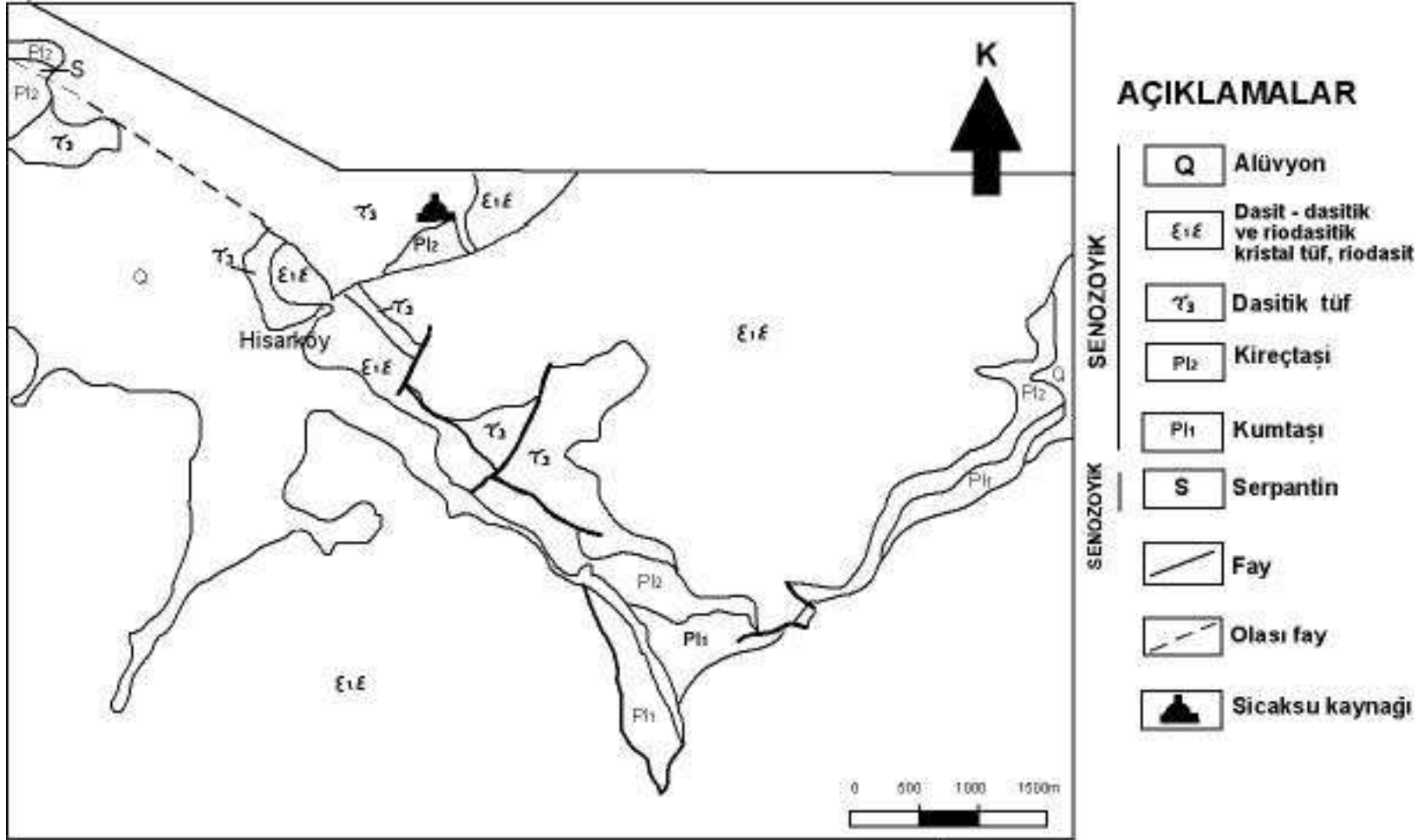
Yörede en yaşlı kaya toplulukları Üst Kretase yaşlı sepantin, radyolarit ve kireçtaşından oluşan ofiyolit karmaşığıdır. Ofiyolit karmaşığının üzerine uyumsuz olarak Alt Pliyosen yaşlı andezitik tüf ve dasit içerikli volkanik breş birimi gelmektedir. Bu birimlerin toplam kalınlığı 600 m'dir. KD – GB yönelimli faylar graben oluşturmuşlardır. Daha genç olan KB – GD doğrultulu faylar ise bu grabeni meydana getiren fayları kesmişlerdir. Sıcak suların ana rezervuar kayası Üst Kretase yaşlı kireçtaşlarıdır (Şekil 3.8)(Kastelli, 1974).



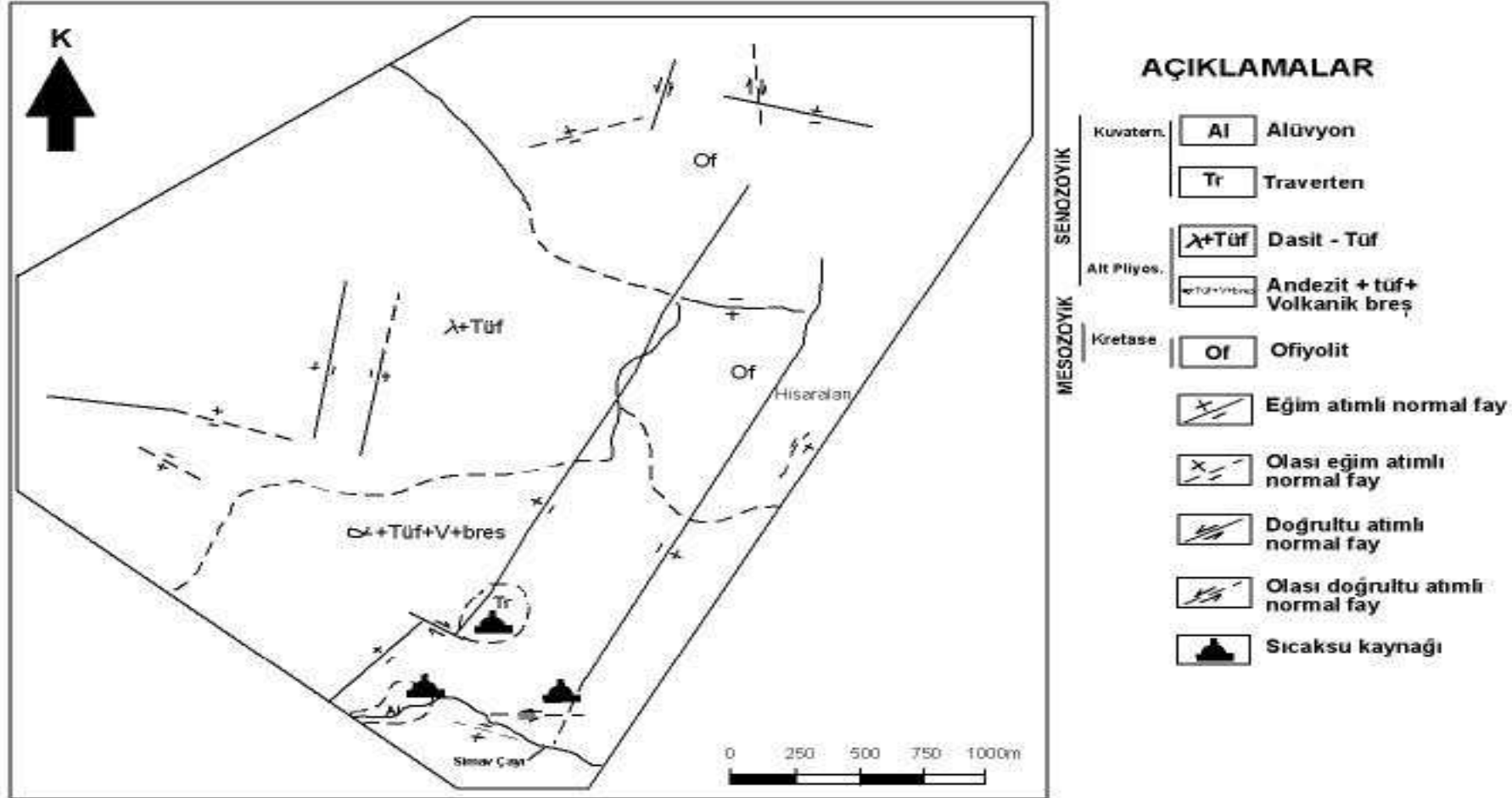
Şekil 3 . 5- Pamukçu Sahasının Jeoloji Haritası (Ölmez, 1997).



Şekil 3 . 6- Edremit – Güre ve Derman Sahalarının Jeoloji Haritası (Erzenoğlu, 1990).



Şekil 3. 7- Bigadiç – Hisarköy Sahasının Jeoloji Haritası (Ölmez, 2000).



Şekil 3. 8- Sındırgı – Hisaralan Sahasının Jeoloji Haritası (Kastelli, 1974).

## BÖLÜM 4

### SU KİMYASI

Balıkesir bölgesi sıcak suların örnekleme çalışmaları Ağustos ve Eylül 2005 dönemlerinde yapılmış ve 9 adedi soğuk su olmak üzere toplam 31 su örneği toplanmıştır.

#### 4. 1- Jeotermal Suların Kimyasal Karakteristikleri

Su örnekleri 9 farklı alandan toplanmıştır. Bu alanlar: Gönen, Manyas, Pamukçu, Bigadiç – Hisarköy, Sındırgı – Hisaralan, Edremit, Güre – Derman, Balya – Ilica, Susurluk – Yıldız ve Gönen – Ekşisu Jeotermal alanlarıdır (Şekil 1.1). Bu alanlardan alınan sıcak ve soğuk suların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Gönen sahasındaki kuyularda 1987 yılından bu yana görülen beslenme yetersizliği sonucu 6-8 barlık bir basınç azalması meydana gelmiştir. Ayrıca hatalı reenjeksiyon nedeniyle de sıcak sularda yaklaşık 10°C’lik bir soğuma ortaya çıkmıştır.

Gönen’deki sular nötr karakterli olup pH değerleri 6.97 – 7.15 arasında değişim gösterir. Ancak bu sahadan alınan soğuk su örneğinin pH değeri ise 4.93 olarak ölçülmüştür. Suların toplam çözünmüş madde (TÇM) miktarı 1736 – 1698 mg/lt arasındadır (ortalama 1716 mg/lt dir). Suların Eh değerleri -20 ile 130 mV arasında değişmektedir. E.C değerleri de ortalama 2550 mS/cm olarak ölçülmüştür. Gönen sahasındaki su kaynaklarının sıcaklıkları G-7; 60.4°C, G-8; 57.8°C, G-16; 77.5°C ve GCW; 24.1°C’ dir.

Çizelge 4.1- Balıkesir Bölgesi jeotermal sularının kimyasal analiz sonuçları (ppm).

Örnek No.	T (°C)	pH	Eh (mV)	E. C. (mS/cm)	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Fe	Al	B	Li	SiO <sub>2</sub>	TÇM	Su tipi
G-7	60.4	7.15	1	2410	479	28.8	67.1	3.2	383.1	467.5	249.9	0.64	0.016	5.6	0.73	58	1736.6	Na-SO <sub>4</sub>
G-8	57.8	7.42	-20	2390	494.7	28.5	69.7	3.3	386.7	469.4	248.9	0.32	0.081	5.5	0.29	57.2	1758.4	Na-SO <sub>4</sub>
G-16	77.5	6.97	10	2930	488.1	29.3	48.7	2.5	346.5	452.5	256.3	1	0.061	6.4	0.002	74.7	1698.6	Na-SO <sub>4</sub>
GCW	24.1	4.93	130	65	5.5	0.6	2.8	1.3	6.1	13.3	7.2	0.033	1.01	0.04	1.59	16.9	53.7	Na-SO <sub>4</sub>
EKS-1	42.7	7.26	-8	329	12.2	2	51.4	13	192.2	16.6	8.5	0.03	0.005	0.029	1.61	31.3	327.2	Ca-HCO <sub>3</sub>
EKS-2	18.8	4.16	172	171	9.2	1.4	6.3	2.1	0	43.4	14.6	0.77	2.5	0.028	1.63	36.5	113.5	Na-SO <sub>4</sub>
EKS-3	21.5	3.91	188	113	6.7	2.1	3.3	1	0	26.7	9.5	0.23	2.1	0.024	0.01	24.2	73.5	Na-SO <sub>4</sub>
MK-1	49.8	6.57	35	1570	259.9	29.6	140.5	10.5	497.2	83.9	278.3	0.51	0.006	6.6	0.03	38.7	1338.6	Na-HCO <sub>3</sub>
MK-2	34.4	6.87	17	877	88.7	10.8	140.4	10.6	439.2	44	84.9	0.001	0.002	2.2	0.03	33.4	852	Ca-HCO <sub>3</sub>
MCW	17.8	7.26	-7	637	10.7	0.7	159.6	8.8	430.7	22.8	14.5	0.001	0.032	0.02	0.01	15.2	663	Ca-HCO <sub>3</sub>
PMK-1	64.9	7.56	-32	1972	376.1	20.1	47.3	4.1	216.6	357.3	219.1	0.001	0.002	11.5	1.12	109	1349.6	Na-SO <sub>4</sub>
PMK-2	55.5	7.34	-14	1433	318.3	13.9	32.9	3	278.2	291.3	131.5	0.001	0.021	7.1	1.06	91.2	1160.3	Na-SO <sub>4</sub>
PCW	16.8	7.02	6	609	12.8	1.5	133	18.9	350.1	39.1	16.1	0.042	0.056	0.07	1.12	27.2	598.7	Ca-HCO <sub>3</sub>
BHS-1	94.6	7.29	-11	2820	706.4	74	8.4	11.7	1051.6	381.5	206.7	0.1	0.143	4.5	1.05	119	2559.3	Na-HCO <sub>3</sub>
BHS-2	82.9	6.95	12	3330	678.4	70.5	30.4	11.8	1110.2	349.7	206.7	0.3	0.035	0.055	0.01	120	2577.7	Na-HCO <sub>3</sub>
BCW	27.8	6.97	10	707	31.7	2.8	84.7	51.7	450.8	13.7	31.5	0.001	0.009	9.2	1.51	39.1	706	Ca-HCO <sub>3</sub>
SHS-1	98.5	7.01	10	1454	321.6	20.8	22	2.9	577.1	96.8	81.5	0.035	0.037	8.9	1.5	114	1236.7	Na-HCO <sub>3</sub>
SHS-2	97.3	7.38	-18	1422	322	20.6	66.3	3.1	565.5	93.5	81.5	0.1	0.033	0.1	0.05	113	1265.5	Na-HCO <sub>3</sub>
SHS-3	95.1	6.97	11	1451	318.2	20.6	22.4	3.3	580.7	92.6	82.6	0.01	0.022	5	0.47	114	1234.4	Na-HCO <sub>3</sub>
SHS-4	87	6.72	30	1631	314.2	20.6	22.8	4.1	567.3	92.7	82.2	0.03	0.022	4.8	0.46	111	1214.9	Na-HCO <sub>3</sub>
SCW	27.4	7.42	-16	472	32.1	1.7	77	12.7	298.9	10.9	19.5	0.001	0.006	4.7	0.02	25.3	478.1	Ca-HCO <sub>3</sub>
EDR-1	57.6	7.83	-47	1354	272.7	5.2	50.2	0.8	48.8	506.9	59.6	0.2	0.066	0.8	0.99	42.9	987.1	Na-SO <sub>4</sub>
EDR-2	44.7	7.56	-27	968	198.8	4	70.3	3	108	391.3	51.6	0.001	0.007	2.4	0.79	30.6	857.6	Na-SO <sub>4</sub>
GDR-1	56.6	8.4	-84	1260	306	6	22.4	0.1	50	493.3	60.6	0.001	0.008	0.049	0.01	55.9	994.3	Na-SO <sub>4</sub>
GDR-2	17.5	7.76	-42	208	5.2	0.9	40	6.2	138.5	6.08	5	0.016	0.0006	1.95	0.31	11.1	213	Ca-HCO <sub>3</sub>
BLY-1	59	8.21	-71	1240	263.7	4.3	16.6	0.1	79.3	350.6	79.1	0.01	0.035	2	0.06	61.2	854.9	Na-SO <sub>4</sub>
BLY-2	58.1	8.1	-68	1234	269.5	4.2	15.8	0.1	75	357.2	79.4	0.001	0.036	0.072	0.27	61	862.2	Na-SO <sub>4</sub>
BLY-3	28.8	6.17	60	252	24	1.6	26.5	8.6	111	16	9.6	0.01	0.022	0.2	0.01	53.1	250.4	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
SLK-1	31.8	7.05	6	685	62.8	7.5	83.1	29.5	339.8	120.2	10.5	0.031	0.0005	0.9	0.06	25.3	678.7	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>
SLK-2	72.8	6.4	52	1605	380.4	13.1	22.4	0.6	595.4	190.3	57.1	0.11	0.0002	0.045	0.7	106	1365.3	Na-HCO <sub>3</sub>
SLK-3	25.7	8.05	-54	207	19.9	2.1	21.6	7.3	106.1	19.7	11.1	0.022	0.0008	0.33	0.04	43.3	231.1	Ca-Na-HCO <sub>3</sub>



Manyas sahasından toplanan sular hafif asidik karakterli olup pH değerleri 6.57 – 6.87 arasındadır. TÇM miktarı 852-1338.6 mg/l'tir. Ortalama Eh ve E.C değerleri sırasıyla 25 mV ve 1012 mS/cm'dir. Bu sahadaki suların sıcaklıkları MK-1; 49.8 , MK-2; 34.4°C ve MCW; 17.8°C olarak ölçülmüştür.

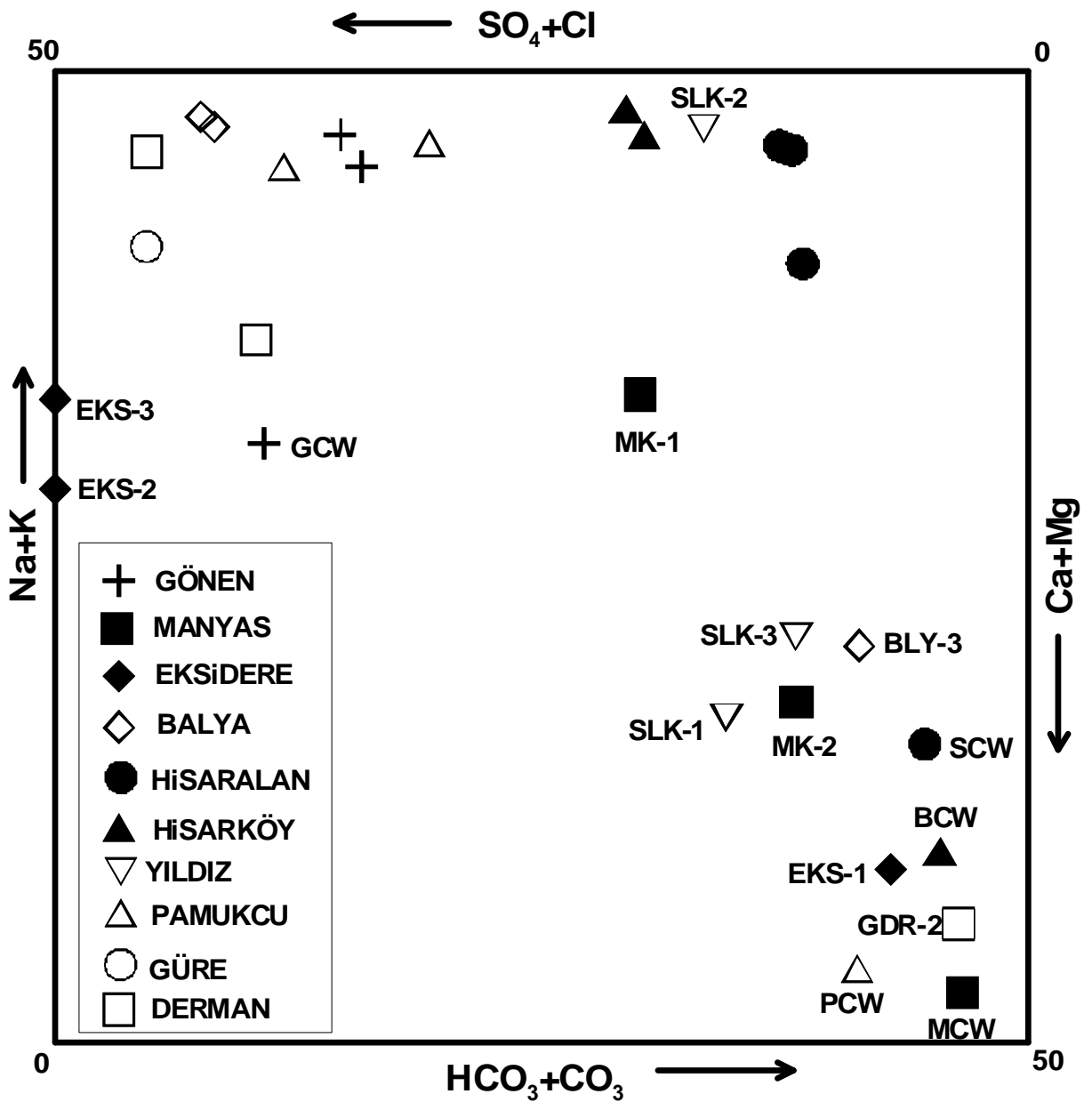
Pamukçu termal sahasındaki sular nötr karakterli olup pH değerleri 7.02 ile 7.56 arasında değişmektedir. TÇM miktarları ise 1160-1350 mg/l'tir (Ortalama 1260 mg/l'tir). Su sıcaklıkları; PMK-1; 64.9°C , PMK-2; 55.5°C ve PCW; 16.8°C dir.

Bigadiç – Hisarköy sahasındaki termal suların sıcaklıkları BHS-1; 94.6°C ve BHS-2; 82.9°C'dir. Soğuk su örneği olan BCW ise 27.8°C'dir. Bu sahadaki sular nötr karakterli olup pH değerleri 6.97 – 7.29 arasındadır. Bigadiç – Hisarköy jeotermal sahasındaki sular sıcaklıkları ile orantılı olarak yüksek TÇM miktarına sahiptir (2577 mg/l'tir). Eh değerleri 10-11 mV arasında E.C değerleri ise ortalama 3323 mS/cm'dir. TÇM miktarı ortalama 2560 mg/l'tir.

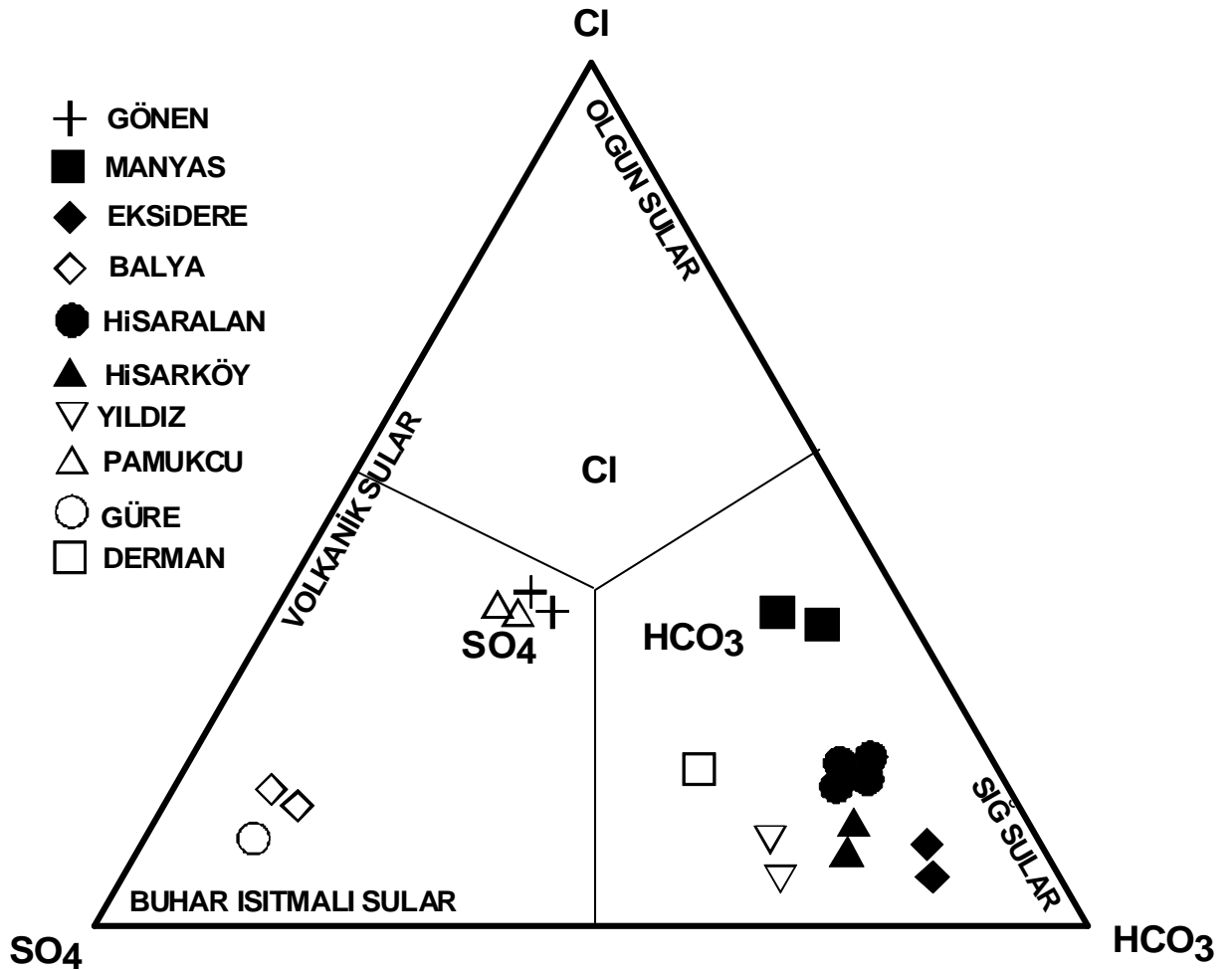
Sındırgı – Hisaralan sahasındaki sular Balıkesir bölgesindeki en yüksek sıcaklığı göstermektedir. Bu sahadan toplanan örneklerin sıcaklıkları; SHS-1 için 98.5°C, SHS-2 için 97.3°C, SHS-3 için 95.1°C, SHS-4 için 87°C ve SCW için ise 27.4°C olarak ölçülmüştür. Eh değerleri -16 ile 30 mV arasında değişmektedir. EC değerleri ise ortalama 1540 mS/cm'dir. Suların pH değerleri 6.72 ile 7.42 arasında değişmektedir. Suların ortalama TÇM miktarı 1240 mg/l'tir.

Edremit sahasındaki sulardan EDR-1; 57.6°C ve EDR-2; 44.7°C sıcaklıktadır. Suların ortalama TÇM miktarı 922 mg/l'tir. Suların pH değerleri 7.83 ile 7.56 arasında değişmektedir. Eh değerleri -27 ile -84 mV arasında değişmektedir. E.C değerleri ise ortalama 1245 mS/cm olarak ölçülmüştür. Aynı sahadan alınan diğer 2 örnek olan GDR-1 ve GDR-2'nin sıcaklıkları sırasıyla 56.6 ve 17.5°C olup pH değerleri ise 7.76 - 8.40 arasındadır. Balya – Ilıca termal sahasından toplanan örneklerin sıcaklıkları BLY-1; 59°C, BLY-2; 58.1°C, BLY-3; 28.8°C'dir. Suların TÇM miktarları 250.4 – 855 mg/l'tir arasında değişmektedir (Ortalama 552.2 mg/l'tir). pH değerleri ise 6.17 – 8.21 arasındadır. Susurluk – Yıldız alanındaki suların sıcaklıkları SLK-1; 31.8°C, SLK-2; 72.8°C ve SLK-3; 25.7°C olarak ölçülmüştür. Eh değerleri -54 ile 6 mV arasında değişmektedir. E.C değerleri ise ortalama 678 mS/cm'dir. pH değerleri ise 7.05 ile 8.05 arasında değişmektedir. TÇM miktarları 231.1 ile 1365.3 mg/l'tir (ortalama 798 mg/l'tir).

Gönen – Ekşisu sahasından toplanan suların sıcaklıkları EKS-1; 42.7°C, EKS-2; 18.8°C ve EKS-3; 21.5°C'dir. pH değerleri 3.91 ile 7.26 arasındadır. Eh değerleri -8 ile 188 mV arasında E.C değerleri ise 113 ile 329 mS/cm arasında değişmektedir. pH değerleri düşük olan EKS-2 ve EKS-3'ten alınan su örneklerinde  $SO_4$  konsantrasyonunun yüksek oluşu dikkat çekicidir. Bu suların pH değerleri de oldukça düşük olmakla beraber yüksek  $SO_4$  konsantrasyonları  $H_2S$  çıkışı ve oksitlenmesi sonucu oluşmuş olabilir. Suların TÇM miktarları 73.5 ile 327.2 mg/l arasında değişmektedir.



Şekil 4.1'deki Langelier-Ludwig diyagramına soğuk su örneklerinin büyük bir bölümü Ca+Mg ve HCO<sub>3</sub> tipindedir. Bu da suların yüzey suları ile ilişkili olarak karışım kökenli ya da sığ bir çevirime sahip olduklarına işaret etmektedir. Sıcak su örneklerinden Hisaralan, Hisarköy ve Yıldız Na-HCO<sub>3</sub> tipinde olup Pamukçu, Ekşidere, Edremit, Balya ve Gönen suları ise SO<sub>4</sub> ve Na+K bakımından zengindir. Sulardaki yüksek HCO<sub>3</sub> konsantrasyonu yeraltısuları ile karışımın önemli bir göstergesidir.



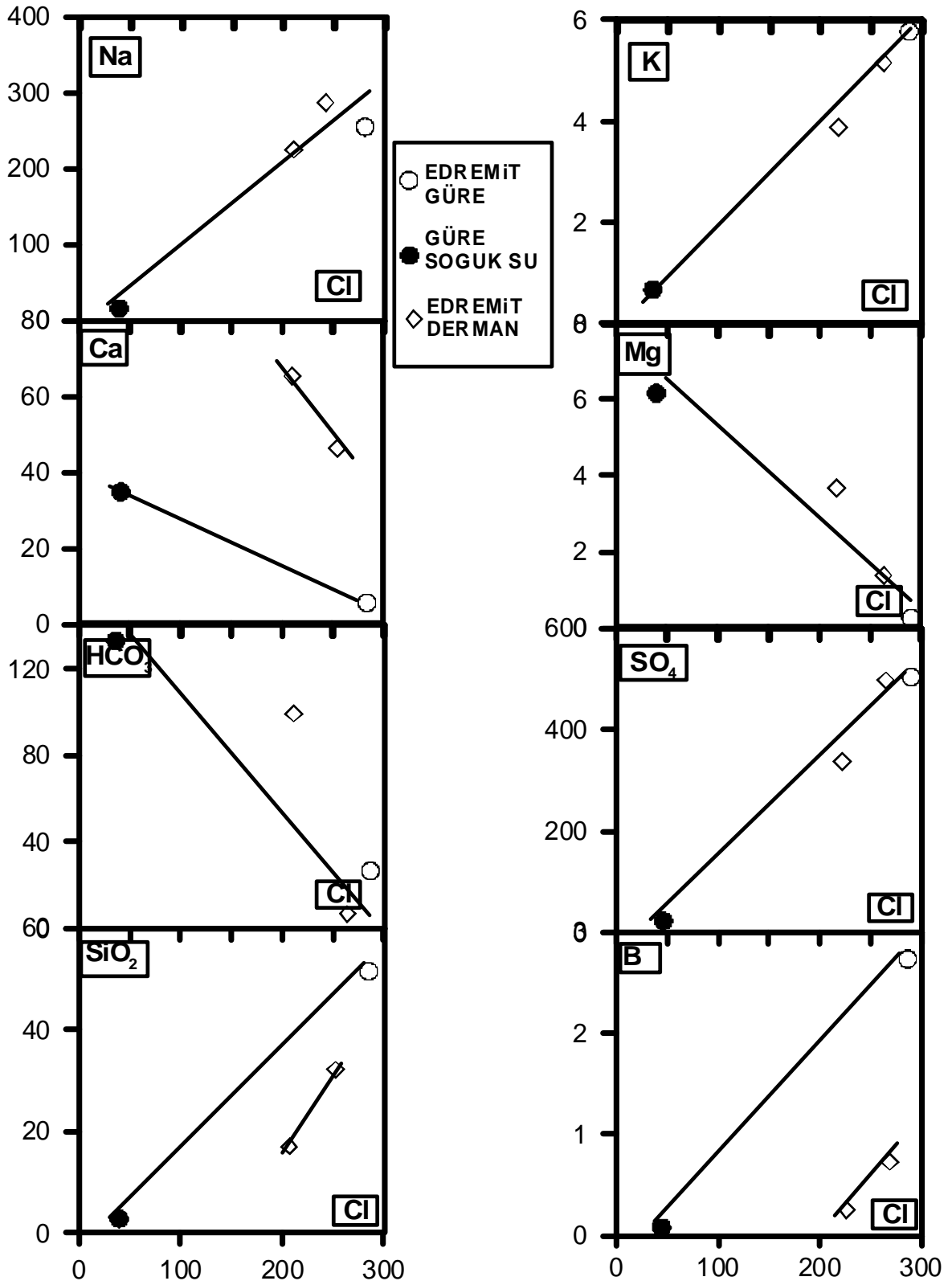
Şekil 4 . 2- Balıkesir'in termal sularının HCO<sub>3</sub>, Cl ve SO<sub>4</sub> içeriklerine (mg/kg) göre sınıflandırılması (Giggenbach, 1988).

Şekil 4.2’de Ekşidere, Hisaralan, Hisarköy, Yıldız ve Derman örneklerinin  $\text{HCO}_3$  alanına yakınına düşmeleri bu suların çevresel ya da sığ kökenli olabileceğini göstermektedir. Pamukçu, Gönen ve Güre sahalarının örnekleri Cl köşesinden oldukça uzakta olup  $\text{SO}_4$  alanında yer almaktadır. Bu örneklerin  $\text{SO}_4$  bakımından zengin olmaları  $\text{H}_2\text{S}$  ve HS gibi gazların veya metalik sülfidlerin oksitlenmesi ile açıklanabilir.

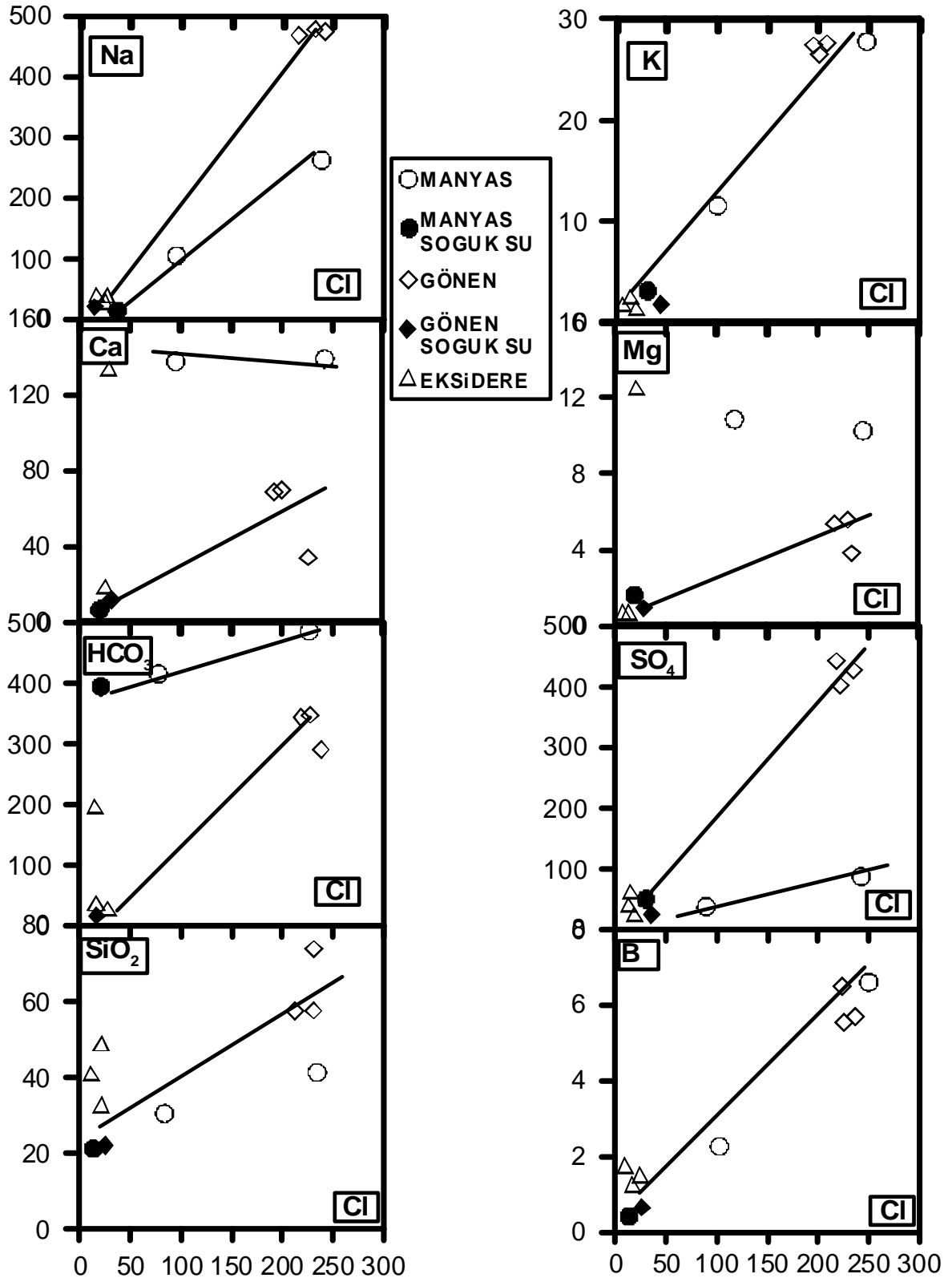
Ekşidere, Hisaralan, Hisarköy ve Derman sularında  $\text{HCO}_3$  ‘ün baskın olması, bu sulardaki  $\text{CO}_2$  ile yüzey sularının karışıp kalsitin çözünmesiyle  $\text{HCO}_3$  konsantrasyonunun artmasını sağlamıştır. Sonuç olarak, SHS, BHS, MK, EKS, GDR dışındaki suların Cl bakımından göreceli zengin olmaları klorün bu sahalardan alınan su örneklerine rezervuar kaya birimlerinin çözünmesi ya da uzun süren sirkülasyon neticesinde katılması ile açıklanabilir.

Balıkesir bölgesindeki termal sularla soğuk suların olası karışımları Cl’a karşı çizilen iyon değişim diyagramları ile incelenmiştir (Şekil 4. 3). Bu diyagramlarda BCW, SCW, PCW, GCW, MCW etiketli örnekler soğuk su örnekleridir. Edremit, Balya, Susurluk ve Ekşidere sahalarından soğuk su örnekleri alınmamıştır. Fakat su kimyalarındaki çözülmüş madde miktarları değerlendirildiğinde bu sahalarda da bir karışma olduğu söylenebilir. Doğrusallıktan doğan bazı sapmalar genellikle çökeltme süreciyle ilgilidir. Şekil 4.3’te görüldüğü üzere Manyas ve Gönen sularında Cl ve diğer major iyonlar arasındaki korelasyonların çoğu pozitifdir. Ancak Manyas sahasından alınan örneklerdeki Ca-Cl bileşimleri arasında negatif bir korelasyon söz konusudur. Bu sahaya ait Ca-Cl diyagramındaki süresizlik veya sapma kalsit ve dolomit minerallerinin çökmesi veya çözünmesi ile açıklanabilir. Gönen sahası sularındaki sülfat miktarı, EDR ve GDR örnekleri hariç Balıkesir’den alınan örneklerdeki en yüksek  $\text{SO}_4$  miktarına sahiptir. Pamukçu, Susurluk- Yıldız ve Balya sahalarından alınan örneklerdeki Cl-iyon korelasyonlarının hemen hepsi pozitifdir (Şekil 4.5). Ancak Pamukçu sahasından alınan örnekteki  $\text{HCO}_3$  ile Cl arasındaki diyagram negatif bir korelasyon göstermektedir. Balıkesir’de çalışılan alanlar içerisinde en yüksek TÇM miktarına sahip olan saha Hisarköy’dür. TÇM miktarının yüksek oluşu bu sahadaki su çevriminin Balıkesir’deki diğer sahalarla karşılaştırıldığında daha derin olması ve böylece çevrimdeki sıcak suyun TÇM bakımından zenginleşmesi ya da suyun sıcaklığının yüksek oluşu nedeniyle içinden geçtiği kayaları daha fazla çözmesi ile açıklanabilir. Edremit sahasından toplanan su örneklerindeki Cl ile diğer iyonlar

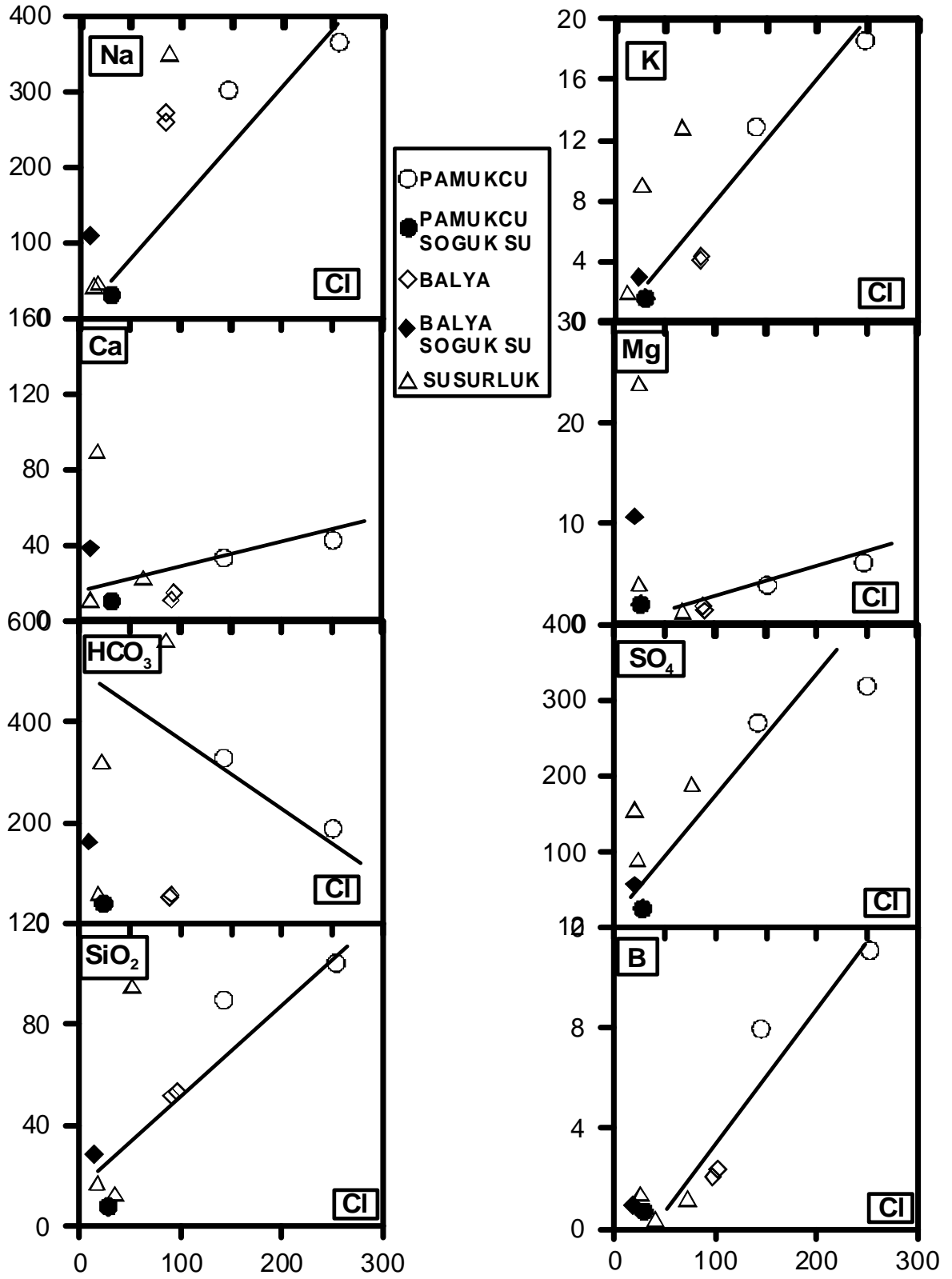
arasındaki korelasyon Cl-Ca ve Cl Mg hariç, yüksek pozitif korelasyon vermektedir. Şekil 4.6'ya göre sülfat konsantrasyonu Edremit örneklerindeki yüksek değerlere sahiptir. Bu sahadan alınan örneklerdeki Ca-Cl, Mg-Cl ve HCO<sub>3</sub>-Cl korelasyonları hariç diğer tüm korelasyonlar pozitifdir. Hisaralan ve Hisarköy sahalarından alınan örneklerde Cl-Ca ve Cl-Mg hariç bütün korelasyonlar pozitifdir (Şekil 4.7). Balıkesir sularının bazıları düşük pH değerleri ile hafif asidik karakter göstermektedir (EKS-2, EKS-3, BLY-3, SLK-2 ve GCW). Bu suların hafif asidik olması yüksek CO<sub>2</sub> içeriği ile açıklanabilir. Başka bir deyişle, yüksek HCO<sub>3</sub> konsantrasyonundan kaynaklanan aşırı anyon miktarı bu suların asidik karakterli olmasına neden olmuştur.



Şekil 4.3- Edremit–Güre–Derman termal sularının iyon değ. diyagramları (ppm).

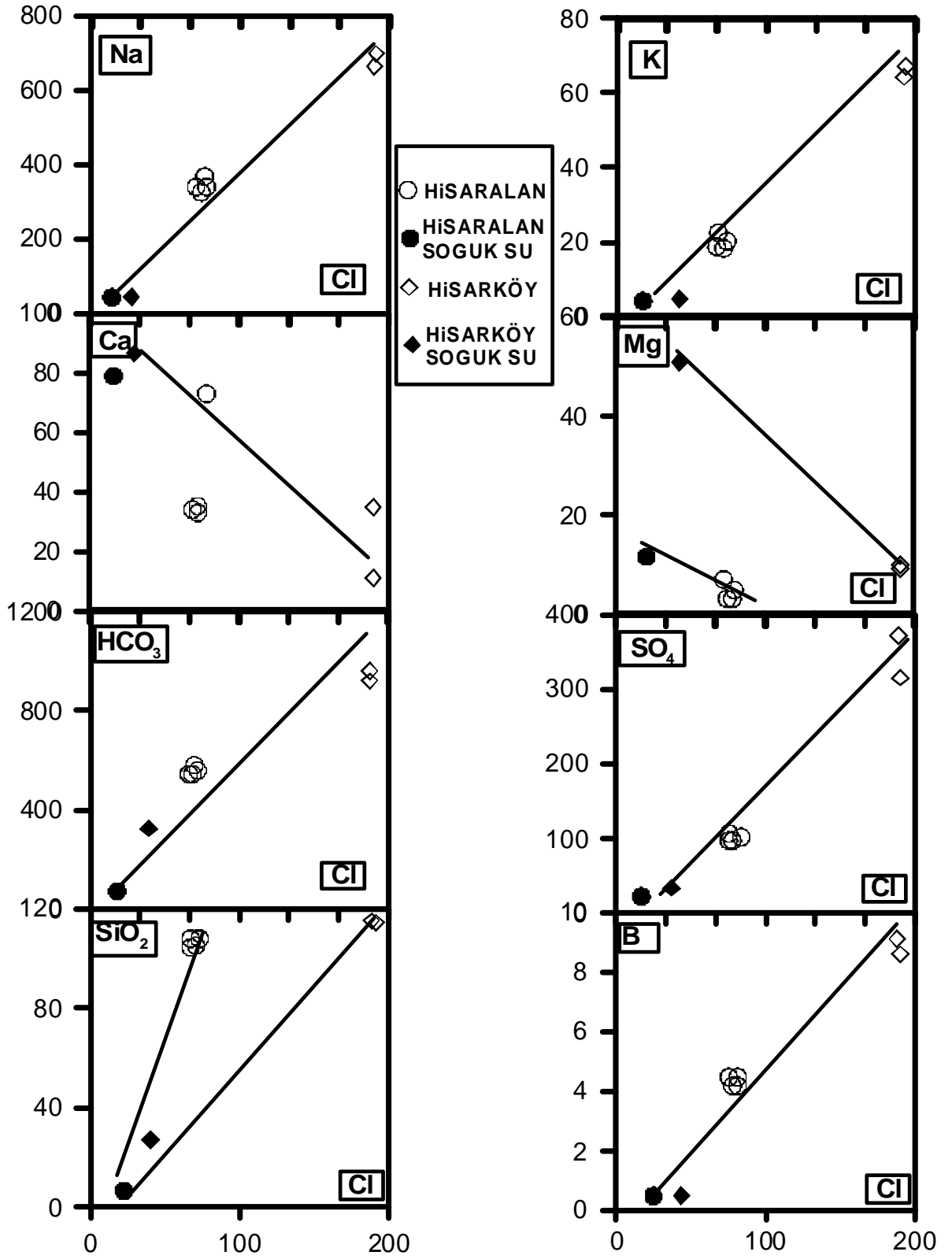


Şekil 4.4- Manyas ve Gönen termal sularının iyon değişim diyagramları (ppm).



Şekil 4.5-Pamukçu-Balya-Susurluk termal sularının iyon değ. diyagramları (ppm).

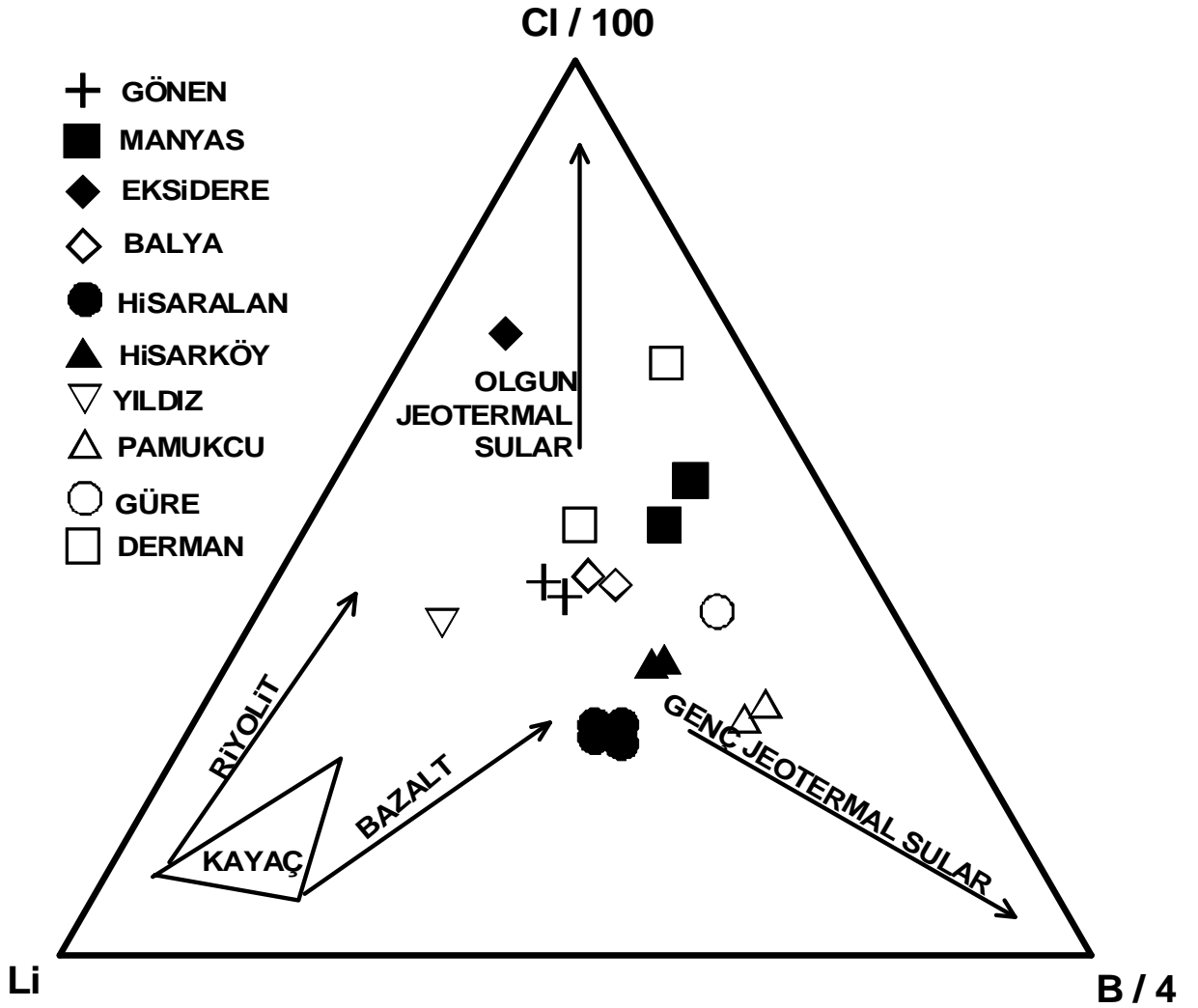




Şekil 4.7-Hisaralan ve Hisarköy termal sularının iyon değişim diyagramları (ppm).

## 4.2- Suların Kökeni

Lityum ikincil süreçlerden az etkilenen alkali iyonlardan biridir. Bu nedenle, lityum rezervuarda meydana gelen alterasyon işlevlerinin aydınlatılmasında oldukça yararlıdır. Lityum gibi reaktif olmayan B ve Cl da sıcak suların kökenini açıklamada sıkça kullanılmaktadır (Giggenbach, 1992). Bor, kimyasal olarak hareketli ve kolay çözünme özelliğine sahiptir. Yüksek çözünürlüğü ve yüksek sıcaklık altında uçucu olması nedeniyle, kıtasal kabuğun üst kısmı bor bakımından zengindir. Kıtasal kayalarındaki ayrışma ve erozyon biyosferdeki borun ana kaynağıdır (Smith, 2002). Jeotermal sulardaki yüksek bor konsantrasyonu ise Wildbad (Almanya) ve Lardello (İtalya)'da olduğu gibi, turmalin gibi diğer bor minerallerinin oluşumu ile ilgili olabilir (Cavarretta ve Puxeddu, 1990). Balıkesir'in birçok bölgesinde bulunan kalkerli sedimanter kayalarındaki kil mineralleri bor elementinin kaynağı olduğu sanılmaktadır. Bigadiç-Hisarköy sularındaki yüksek B kaynağı ise yine bu bölgede bulunan bor yataklarıdır. Şekil 4.8'de Balıkesir bölgesindeki sıcak sular Cl/100 – Li – B/4 üçgen diyagramında gösterilmiştir. Hisarköy sularının B bakımından zenginleşmesi yukarıda belirtildiği üzere bölgedeki borat yataklarındaki çeşitli bor minerallerinin çözünmesi ile ilgilidir. Göze çarpan diğer yüksek bor konsantrasyonları ise Gönen, Pamukçu ve Hisaralan sularında tespit edilmiştir. Bu alanlardaki borun kaynağı ise rezervuar kayaları olankireçtaşları olabilir. Diğer sahalardaki düşük bor konsantrasyonları ise, suların derin bir sirkülasyon içinde olmamaları veya diğer sahalarda olduğu gibi rezervuar kayadaki suyu ısıtan mağma haznesinin bu bölgelerde daha derinlerde bulunması ile açıklanabilir.



Şekil 4 . 8- Balneșir termal suların B, Cl ve Li içerikleri (Giggenbach, 1988).

## BÖLÜM 5

### İZOTOP JEOKİMYASI

İzotoplar, radyoaktif izotoplar ve duraylı (kararlı) izotoplar olarak iki gruba ayrılmaktadır. Radyoaktif izotoplar, radyoaktif bozuşma yoluyla ( $\alpha$ -bozuşması,  $\beta$ -bozuşması, nükleer fizyon gibi) bir başka elemente dönüşen izotoplardır. Duraylı (kararlı) izotoplar, radyoaktif bozuşma göstermeyen izotoplardır. Radyoaktif bir izotopun bozuşması ile oluşan izotopa ise radyojenik izotop adı verilir; radyojenik izotoplar radyoaktif veya duraylı (kararlı) izotop özelliği gösterebilir (Güleç ve Mutlu, 2003).

Jeotermal sistemlerin incelenmelerinde hidrojen, oksijen, karbon, kükürt ve bor gibi elementler ile helyum, argon, kripton gibi asal gazların izotopları kullanılmaktadır. Jeotermal çalışmalarda bu izotoplardan içerisinde ise en yaygın olarak kullanılanlar, hidrojen, oksijen, kükürt, karbon ve helyum izotoplarıdır (Çizelge 5.1).

**Çizelge 5. 1. Jeotermal sistemlerin hidrolojik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan duraylı ve radyoaktif izotoplar (Güleç ve Mutlu, 2003).**

ELEMENT	DURAYLI İZOTOPLAR	RADYOAKTİF
HİDROJEN	$^1\text{H}$ (Hidrojen) $^2\text{H} = \text{D}$ (Döteryum)	$^3\text{H}$ (Tritiyum)
OKSİJEN	$^{16}\text{O}$ (Oksijen-16) $^{18}\text{O}$ (Oksijen-18)	
KÜKÜRT	$^{32}\text{S}$ (Kükürt-32) $^{34}\text{S}$ (Kükürt-34)	
HELYUM	$^3\text{He}$ (Helyum-3) $^4\text{He}$ (Helyum-4)	
KARBON	$^{13}\text{C}$ (Karbon-13) $^{12}\text{C}$ (Karbon-12)	$^{14}\text{C}$

### 5 . 1- $\delta D$ ve $\delta^{18}O$ izotopları

Döteryum (D) bir proton ve bir nötrondan oluşan ve ağır suyu ( $H_2O$ ) oluşturan hidrojen olarak ta bilinen, hidrojen çekirdeğinin bir izotopudur. Oksijen-18 ( $^{18}O$ ) ise oksijen çekirdeğinin bir izotopudur. Elde edilen sonuçlar izotopların gerçek değerini değil bir standarda göre olan oranlarını belirlemektedir. Sonuçlar  $\delta$  notasyonu kullanılarak gösterilmekte ve

$$\delta (\text{‰}) = \frac{R_{\text{örnek}} - R_{\text{standart}}}{R_{\text{standart}}} \times 1000 \quad (5.1)$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Burada R, örneğin hidrojen için (D/H) oranını, oksijen için ( $^{18}O/^{16}O$ ) oranını belirtmektedir.  $\delta$  notasyonu çok küçük olduğu için sonuçlar ‰ (binde) ile ifade edilir. Meteorik suların  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  değerleri yıllık ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak değişim göstermektedir; sıcaklık düştükçe izotop ayırılma faktörü, dolayısıyla suların ağır izotop/hafif izotop oranları artmaktadır (Dangsgaard, 1964) Ayrıca bu değerler, çalışılan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yüksekliğine bağlı olarak da değişmektedir; enlem ve yükseklik arttıkça,  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  değerleri düşmektedir.

Çizelge 5. 2’de Balıkesir Bölgesine ait suların  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  izotopları verilmektedir. Suların izotop değerlerinin Küresel, Doğu Akdeniz ve Marmara su çizgilerine göre konumları ve yoğunlaşma, buharlaşma veya su–kayaç etkileşimi olaylarından ne şekilde etkilendiği Şekil 5.1’de görülmektedir.

Şekil 5.1’te gösterilen  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  diyagramında, Hisarköy örnekleri hariç diğer tüm sular küresel meteorik su çizgisinin üzerinde yer almaktadır. Örneklerin  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  bileşimleri Doğu Akdeniz Meteorik Su Çizgisi’ne daha uygundur. Ancak Gönen, Pamukçu, Hisaralan ve Hisarköy sahalarındaki suların bir kısmı Doğu Akdeniz Meteorik Su Çizgisinin altında kalmaktadır. Küresel meteorik su çizgisinin üstünde kalan Gönen, Yıldız, Balya ve Ekşidere suları yoğunlaşma süreci geçirirken buharlaşma

süreci yoğun olan sular ise Hisaralan, Edremit, Manyas ve Hisarköy sularıdır. Grafikte izotop oranları yüksek olan sular daha düşük kotlardaki yağışlarla beslenmiştir. Grafikten görüldüğü üzere sadece Hisarköy sahasındaki sular küresel meteorik su çizgisinin altında kalmaktadır. Bunun nedeni bu sahadaki suların jeotermal çevirimde daha çok buharlaşması veya rezervuarda su-kayaç arasındaki etkileşimdir.

Grafikteki su çizgileri;

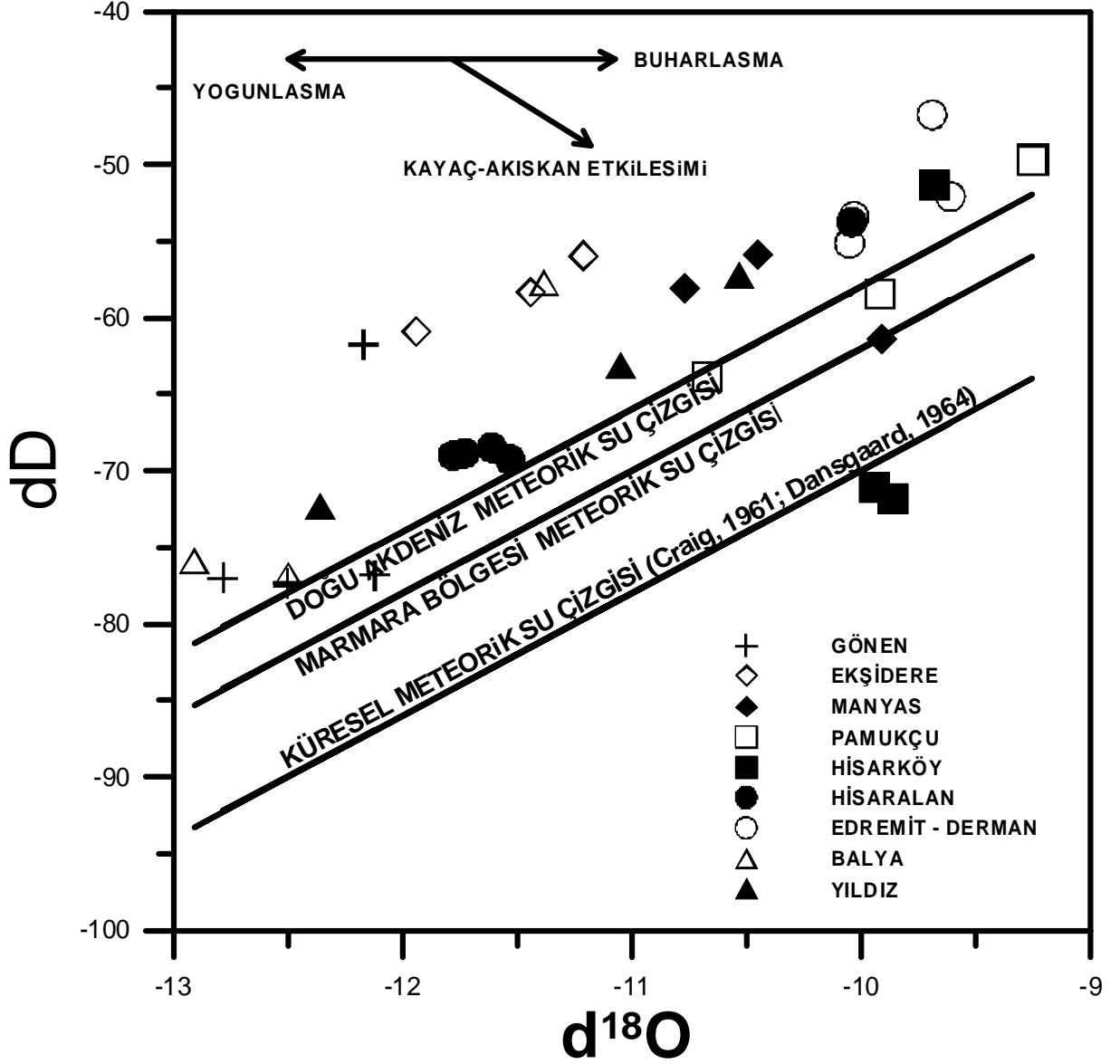
Doğu Akdeniz için olan meteorik su çizgisi;  $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 22$  (Dansgaard, 1964)

Marmara Bölgesi için olan meteorik su çizgisi;  $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 18$  (Dansgaard, 1964)

Küresel meteorik su çizgisi:  $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 10$  (Craig, 1961).şeklindedir.

**Çizelge 5 . 2- Balıkesir jeotermal sularının  $\delta D$  ve  $\delta^{18}O$  değerleri (‰).**

Örnek No.	$\delta^{18}O$	$\delta D$
G-7	-12.12	-76.83
G-8	-12.78	-77.05
G-16	-12.50	-77.39
GCW	-12.17	-61.79
EKS-1	-11.94	-60.91
EKS-2	-11.21	-55.95
EKS-3	-11.44	-58.36
MK-1	-9.91	-61.36
MK-2	-10.77	-58.05
MCW	-10.45	-55.90
PMK-1	-10.67	-63.81
PMK-2	-9.92	-58.47
PCW	-9.25	-49.69
BHS-1	-9.94	-71.10
BHS-2	-9.86	-71.80
BCW	-9.68	-51.30
SHS-1	-11.61	-68.49
SHS-2	-11.78	-69.02
SHS-3	-11.53	-69.28
SHS-4	-11.73	-68.85
SCW	-10.04	-53.75
EDR-1	-10.05	-55.15
EDR-2	-10.03	-53.38
GDR-1	-9.61	-52.10
GDR-2	-9.69	-46.75
BLY-1	-12.50	-76.80
BLY-2	-12.91	-75.89
BLY-3	-11.38	-57.69
SLK-1	-11.05	-63.16
SLK-2	-12.36	-72.37
SLK-3	-10.53	-57.24



Şekil 5. 1- Balıkesir jeotermal sularının  $\delta D$ - $\delta^{18}O$  diyagramı.

## BÖLÜM 6

### KİMYASAL JEOTERMOMETRELER

Jeotermometreler termal suların türedikleri rezervuarın sıcaklığının hesaplanmasında kullanılır. Kimyasal jeotermometreler silika ve katyon jeotermometreleri şeklinde iki ana kategoriye ayrılır.

Silika jeotermometreleri, silika minerallerin çözünürlüğüne dayalı jeotermometrelerdir (Şimşek, 1997). Doğal suların çoğunluğunda silis çözünürlüğü, diğer iyonlardan, karmaşık molekül oluşuklarından ve uçucu maddelerden ayrılması gibi nedenlerden etkilenmediği için (Şimşek, 1997), silika jeotermometreleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Silika jeotermometreleri; kuvars, kalsedon,  $\alpha$ -kristobalit, opal-CT ( $\beta$ -kristobalit) ve amorf silika jeotermometreleri şeklinde çeşitli tiplere ayrılmaktadır.

Katyon Jeotermometreleri, akışkanlardaki katyonların farklı oranları sonucu ortaya çıkmıştır. Bu oranlar sonucu ortaya çıkan jeotermometreler; Na– K, K-Mg, Na-Ca, Na-Li, Li-Mg, K-Ca, Na-K-Ca ve Na-K-Ca-Mg jeotermometreleridir. Silika jeotermometrelerinden kalsedon jeotermometresinin hazne kaya sıcaklığı 190°C den az olan alanlarda daha iyi sonuçlar verdiği kabul görmektedir (Fournier, 1977). Balıkesir bölgesindeki jeotermal sulara uygulanan katyon ve silis jeotermometrelerinin sonuçları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Katyon jeotermometrelerinin hangi durumlarda kullanılabilceği ve bunlardan hangilerinin güvenilir sonuçlar verdiğine yönelik pek çok görüş ileri sürülmüştür. Bu çalışmada, jeotermometre hesaplamaların yanı sıra, Giggenbach (1988) tarafından önerilen çeşitli diyagramlardan da yararlanılmıştır.

Katyon jeotermometrelerinden Na–K jeotermometreleri genellikle yaygın olarak kullanılan bir jeotermometre çeşidi değildir. Çünkü teorik olarak hesaplanan sıcaklık gerçek ortamdaki sıcaklıktan farklılık gösterebilmektedir. Na–K jeotermometresi en



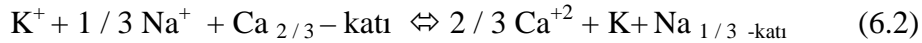
fazla 180°C'ye kadar sıcaklığa sahip sular için kullanılır (Arnorsson, 1991). Na–K jeotermometreleri için öngörülen denklemler 300°C civarında aynı sonuçları verir.

Giggenbach (1988), farklı sıcaklıklardaki K<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> konsantrasyonlarına göre K-feldspat, klorit ve muskovit gibi minerallerin aktivite katsayılarından yola çıkarak bir denklem geliştirilmiştir. Fournier (1979) ise, sıcak su kaynaklarından ve jeotermal kuyulardan alınan sulardaki K<sup>+</sup> ve Mg<sup>+2</sup> iyon analizlerini çeşitli sıcak sulara uygulayarak K-Mg jeotermometresini önermiştir.

Fournier ve Truesdell (1973), sulardaki Ca zenginleşmesini göz önüne alan ve Na – K oranına dayanan bir denklem geliştirmişlerdir. Bu denklemde sıcaklıkları 100°C üzerine çıkan sulardaki değişim reaksiyonlarından faydalanılmıştır.



100°C'nin altındaki sıcaklıklarda oluşan değişim reaksiyonu ise;



Bunlara göre;

$$\log K_{eq} = \log(Na^+ / K^+) + \beta \log(\log \sqrt{Ca^{+2} / Na^+}) \quad (6.3)$$

## 6 . 1- Jeotermometre Sonuçları

### 6 . 1.1- Silika Jeotermometreleri Sonuçları

Balıkesir jeotermal sahalarından alınan su örneklerine uygulanan silika jeotermometrelerinin sonuçları Çizelge 6.1'de toplu olarak verilmiştir. Silika jeotermometreleri arasında, Opal-CT, amorf silika ve kısmen kristobalit jeotermometreleri sahada ölçülen ve diğer jeotermometrelerle hesaplanan sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklar vermektedir. Elde edilen sonuçlar, Sındırgı–Hisaralan sahasının Balıkesir'deki en yüksek rezervuar sıcaklığına sahip alan olduğunu göstermektedir (160°C). Hisaralan'ın rezervuar sıcaklık değerleri çok düşük çıkan amorf silika ve Opal-CT jeotermometreleri hariç birbirine yakındır (Fournier ve Potter, 1982, Arnorson, 1983). Çizelgede Susurluk – Yıldız; SLK-2 nolu örneğin sıcaklıklarının çok farklı çıkması diğer sahalarla göre içerdiği yüksek miktardaki SiO<sub>2</sub> ile açıklanabilir (106 mg/l). Kuvars jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları, kalsedon jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklıklardan daha yüksek çıkmıştır.

**Çizelge 6 . 1- Balıkesir sıcak sularının Silika Jeotermometre sonuçları (°C).**

SAHA	ÖRNEK NO	ÖLÇ. SIC.	KUVARSA	KUVARSA	KUVARSB	KUVARSC	KALSEDON <sup>A</sup>	KALSEDON <sup>D</sup>	KRİSTOBALİT <sup>A</sup>	OPAL-CT <sup>A</sup>	AMORF SİLİKA <sup>A</sup>
GöNEN	G-7	60.4	108	108	109	108	80	80	58	11	-
	G-8	57.8	108	108	108	108	78	80	57	11	-
	G-16	77.5	121	119	122	120	93	93	71	23	3
EKŞİSU	EKS-1	42.7	81	84	81	82	50	53	31	-	-
	EKS-2	18.8	88	90	88	88	57	60	38	-	-
	EKS-3	21.5	71	75	71	71	39	42	21	-	-
MANYAS	MK-1	49.8	90	92	90	91	60	62	40	-	-
	MK-2	34.4	83	86	84	85	52	55	34	-	-
PAMUKÇU	PMK-1	64.9	142	136	142	138	115	114	92	42	21
	PMK-2	55.5	132	128	132	129	104	104	82	33	13
HiSARKöY	BHS-1	94.6	147	141	147	142	121	120	97	48	26
	BHS-2	82.9	147	141	148	143	122	120	97	48	26
HiSARALAN	SHS-1	98.5	144	138	144	140	119	116	94	45	24
	SHS-2	97.3	144	138	144	140	119	116	94	45	23
	SHS-3	95.1	144	138	144	140	119	117	94	45	24
	SHS-4	87.0	143	137	143	140	117	115	92	43	22
EDREMİT	EDR-1	57.6	94	97	95	95	64	66	45	-	-
	EDR-2	44.7	80	84	80	81	49	52	30	-	-
	GDR-1	56.6	107	107	107	107	77	78	57	10	-
	GDR-2	17.5	42	50	41	40	10	15	-	-	-
BALYA	BLY-1	59.0	111	111	112	111	82	83	61	14	-
	BLY-2	58.1	111	111	111	111	82	83	61	13	-
	BLY-3	28.8	104	105	105	105	75	76	54	7	-
YILDIZ	SLK-1	31.8	72	77	73	73	41	44	23	-	-
	SLK-2	72.8	140	135	140	137	114	112	90	41	20
	SLK-3	25.7	95	97	96	96	65	67	45	-	-

**A:Fournier (1977), B: Fournier ve Potter (1982), C:Arnorsson (1983), D: Arnorsson ve diğ.(1983).**

### 6.1.2- Katyon Jeotermometreleri Sonuçları

Balıkesir jeotermal sahalarından alınan su örneklerine uygulanan katyon jeotermometrelerinin sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Na – K jeotermometrelerinden Truesdell (1976) jeotermometresi en düşük (50-250°C), Giggenbach (1988) jeotermometresi ise en yüksek (120-275°C) sıcaklıkları vermiştir. Arnorsson (1983a) ve Tonani (1980) jeotermometreleri sırasıyla 71-250°C ve 60-270°C sıcaklıklarını vermiştir. Na-K Jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklıklara göre, Balıkesir bölgesinde en yüksek sıcaklığa sahip olan saha Gönen – Ekşidere olsa da (295°C) bu sahada ölçülen su sıcaklıkları 21 – 42°C’dir. Bunun nedeni, ya bu sahadaki suların Na–K açısından zengin bir ortamda sirkülasyon yapmakta olmaları ya da yeryüzüne çıkana kadar soğuk sularla karışıp soğumakta ve böylece Na-K jeotermometresine yönelik denge sağlanamamakta ve jeotermometre hesaplamalarında yüksek değerler ortaya çıkmaktadır. Na–K jeotermometrelerinde Ca konsantrasyonunun muhtemel etkisini de göz önüne alan Fournier ve Truesdell (1973) ise Na–K–Ca jeotermometresini geliştirmişlerdir. Bu jeotermometreyle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Na – K jeotermometrelerle karşılaştırıldığında biraz daha düşük sıcaklık verir (55-125°C). Ancak kuvars ve kalsedon jeotermometrelerine göre daha yüksek sıcaklıklar vermektedir (40-144°C). Bunun başlıca sebebi yüksek sıcaklıkta CaCO<sub>3</sub> çökmesidir.

Na–K–Ca jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklıklar Mg’ca zengin sularda bazı sapmalar göstermektedir. Mg’ca zenginleşmenin nedeni suların yüzeye doğru yükselirken soğuk su ile karışıp bünyelerine Mg almasıdır.

Na – Li jeotermometrelerinden Kharaka ve diğ. (1982) jeotermometresine göre sıcaklık değerleri ortalama olarak 110°C civarındadır.

K – Ca jeotermometresine göre ise sıcaklıklar 95 ile 275°C arasında değişmektedir. Sıcaklıkların bu kadar yüksek çıkmasının nedeni CaCO<sub>3</sub> çözünmesidir.

Jeotermometre sonuçlarından da görüldüğü gibi, katyon jeotermometrelerinden K-Mg, Na-Ca ve K-Ca jeotermometreleri oldukça yüksek sonuçlar vermiştir. Na-Ca ve K-Ca jeotermometrelerinde, göreceli olarak fazla Ca içeren suların kalsiyum çökeli mi nedeniyle yüksek değerler verebileceği bilinmektedir. K-Mg sonuçlarının yüksek çıkma nedeni ise Na miktarının K-Mg oranına göre oldukça yüksek olmasıdır. Diğer katyon

Çizelge 6 . 2- Balıkesir’deki suların katyon jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklıkları (°C).

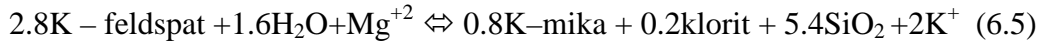
SAHA	ÖRNEK NO	ÖLÇ. SIC.	Na-K <sup>a</sup>	Na-K <sup>b</sup>	Na-K <sup>c</sup>	Na-K <sup>d</sup>	Na-K <sup>e</sup>	Na-K <sup>f</sup>	K-Mg <sup>a</sup>	K-Mg <sup>g</sup>	Na-K-Ca <sup>h</sup>	Na-K-Ca-Mg <sup>i</sup>	Na-Li <sup>j</sup>	K-Ca <sup>e</sup>
GöNEN	G-7	60.4	195	177	148	138	143	164	199	72	184	82	125	165
	G-8	57.8	191	174	144	135	140	161	196	71	180	85	125	166
	G-16	77.5	194	176	148	138	143	164	210	72	183	79	130	157
EKŞİSU	EKS-1	42.7	275	263	252	247	260	250	23	36	295	76	15	-
	EKS-2	18.8	268	255	242	237	248	241	42	41	184	31	36	261
	EKS-3	21.5	243	240	250	255	275	223	74	50	183	68	8	118
MANYAS	MK-1	49.8	242	228	208	202	211	214	156	65	148	67	86	180
	MK-2	34.4	248	234	216	210	218	220	96	54	156	90	64	232
PAMUKÇU	PMK-1	64.9	187	168	138	129	133	156	162	66	173	106	107	173
	PMK-2	55.5	174	155	123	113	117	143	147	63	157	125	105	181
HiSARKÖY	BHS-1	94.6	236	221	200	192	200	207	224	75	239	112	104	93
	BHS-2	82.9	235	220	200	191	200	207	220	74	238	42	104	115
HiSARALAN	SHS-1	98.5	199	182	155	145	150	170	177	68	190	77	116	155
	SHS-2	97.3	199	181	155	144	148	170	174	68	189	88	114	180
	SHS-3	95.1	200	182	155	145	150	170	171	68	191	72	114	155
	SHS-4	87	201	183	156	146	151	171	163	66	192	60	109	156
EDREMiT	EDR-1	57.6	127	107	71	59	60	96	127	60	99	55	97	244
	EDR-2	44.7	130	109	74	62	63	99	78	50	102	190	44	272
	GDR-1	56.6	129	108	72	60	62	98	231	73	101	10	124	213
BALYA	BLY-1	59	120	99	62	50	51	88	185	70	73	59	142	223
	BLY-2	58.1	118	96	60	48	48	86	184	69	90	70	142	223
	BLY-3	28.8	201	184	157	148	153	172	23	48	87	41	12	-
YILDIZ	SLK-1	31.8	246	232	214	208	216	220	56	45	193	47	25	237
	SLK-2	72.8	160	140	107	96	98	128	203	72	254	61	126	175

<sup>a</sup>Giggenbach (1988), <sup>b</sup>Fornier (1979), <sup>c</sup>Arnorsson (1983), <sup>d</sup>Truesdell (1976), <sup>e</sup>Tonani (1980), <sup>f</sup>Nivea ve Nivea (1987), <sup>g</sup>Fournier (1991), <sup>h</sup>Fournier ve Truesdell (1973), <sup>i</sup>Fournier ve Potter (1979), <sup>j</sup>Kharaka (1982).

jeotermometreleri ise yüksek değerler vermekle beraber göreceli olarak fazla abartılı sonuçlar sunmamaktadır. Silika jeotermometrelerini en iyi temsil eden kalsedon jeotermometresi ve katyon jeotermometrelerini en iyi temsil eden Na–K–Ca–Mg jeotermometrelerinin sonuçlarını karşılaştıracak olursak bu iki jeotermometreden elde edilecek sıcaklıklar arasında fazla bir fark olmadığı görülür. Bunun nedeni ise farklı birimlerden geçen suyun seyrelme süreci veya az miktarda yüzey sularının veya yeraltısularının karışması olabilir.

## 6 . 2- Na – K – Mg Diyagramı

Giggenbach (1988) Na–K ve K–Mg jeotermometrelerini yeniden değerlendirerek Na–K–Mg diyagramını geliştirmiştir (Şekil 6.1). Bu modelde esas alınan reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



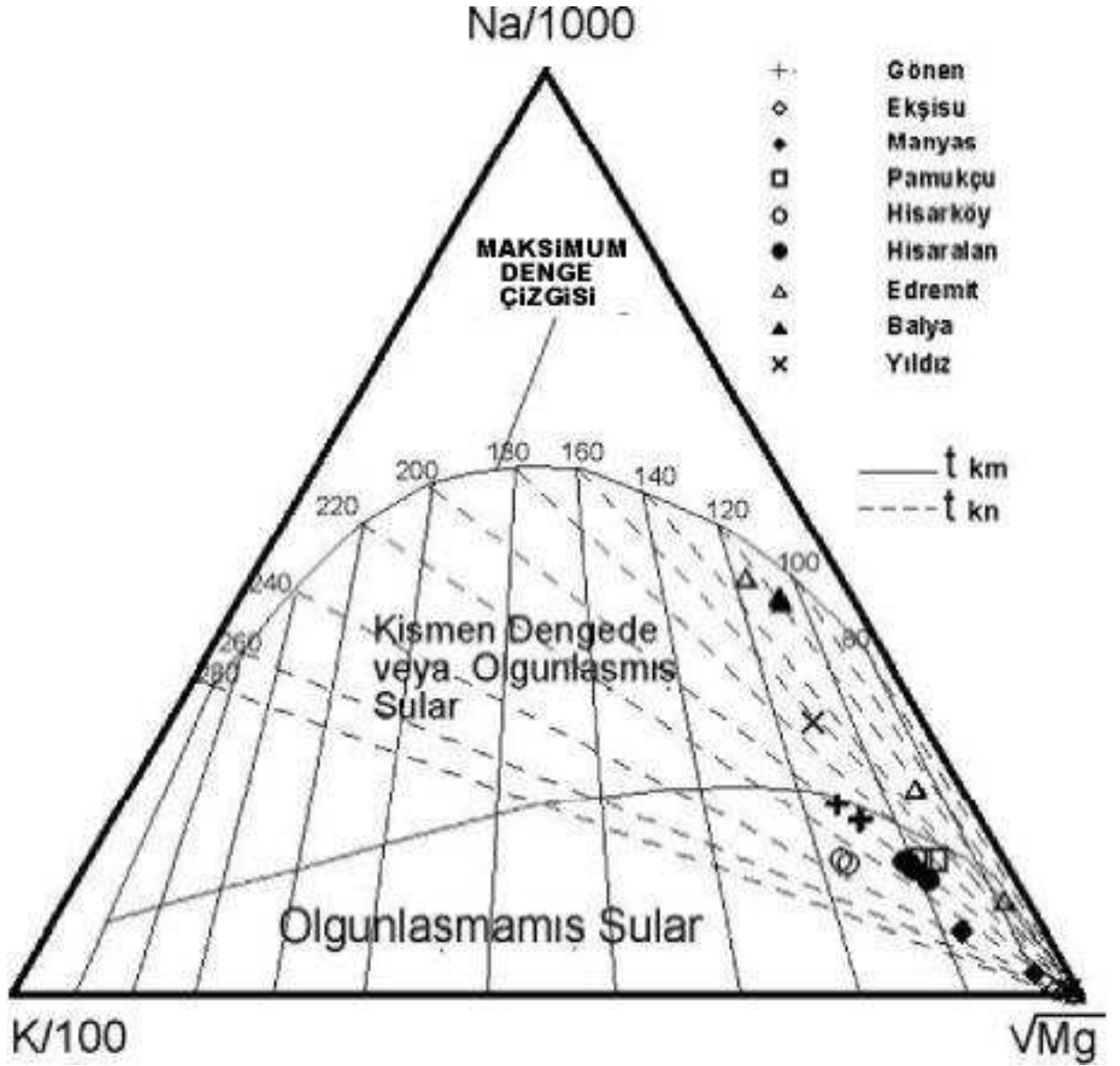
Bu reaksiyonlardaki katyon konsantrasyonlarıyla birlikte ele alınan jeotermometreler ( $t_{kn}$ :K – Na jeotermometresi,  $t_{km}$ :K – Mg jeotermometresi) aşağıda verilmiştir.

$$t_{kn} = 1390 / (1.75 - \log(C_K / C_{Na})) - 273.15 \quad (6.6)$$

$$t_{km} = 4410 / (14.0 - \log(C_K^2 / C_{Mg})) - 273.15 \quad (6.7)$$

Na/1000, K/100 ve  $\sqrt{Mg}$  üçgen diyagramı aslında bir Na–K–Mg jeotermometresinin grafiksel bir sunumudur. Maksimum denge çizgisi çeşitli sıcaklıklar için elde edilmiş su ve kayaç arasındaki dengeyi göstermektedir (Şekil 6.1).

Şekil 6.1'e göre, Pamukçu, Hisarköy, Hisaralan, Manyas, Gönen ve Ekşidere olgunlaşmamış, Balya Edremit ve Yıldız sahalarındaki sular ise tam dengede olmayan ama dengeye yakın sulardır. Manyas, Yıldız ve Ekşidere sahalarındaki suların hiç olgunlaşmamış veya yüzey sularının karıştığı sular olabileceği görülmektedir. Bu nedenle, bu sahalar için K–Mg ve K–Na jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıklarına fazla güvenilmemesi gerekir.

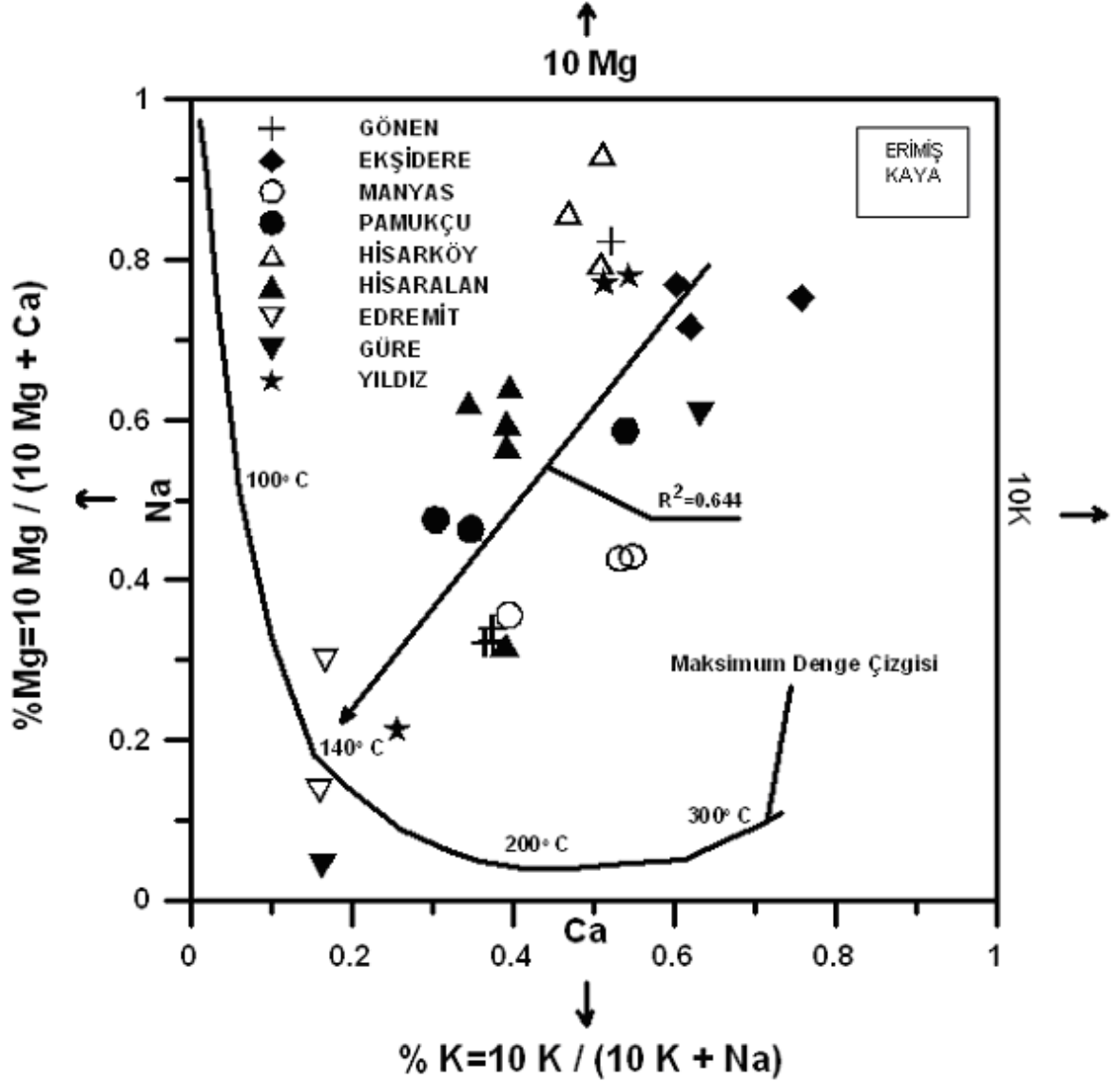


Şekil 6 . 1- Balıkesir termal suları için Na-K-Mg diyagramı (Giggenbach, 1988).

### 6 . 3 - K-Na-Mg-Ca Diyagramı

Giggenbach (1988)'in  $10 K/(10K+Na)-10 Mg/(10Mg+Ca)$  diyagramının Balıkesir bölgesindeki termal sularına uygulanması sonucunda su ve kayaç arasında tam bir denge olmadığı görülmüştür (Şekil 6.2). Ancak örneklerin büyük çoğunluğunu ortalamayan bir sıcaklık uzanımı ( $R^2=0.644$ ) Balıkesir jeotermal sularının rezervuar

sıcaklığının 120–140°C arasında olduğunu göstermektedir (Şekil 6.2). Bu diyagramdan elde edilen sıcaklık değeri jeotermometre sonuçları ile karşılaştırıldığında, muhtemelen kimyasal etmenlerden dolayı çok yüksek sıcaklık değerleri veren bazı katyon jeotermometreleri (K-Ca ve K-Mg) hariç diğer katyon jeotermometreleri ve silika jeotermometreleri ile ortalama olarak örtüşmektedir.



Şekil 6 . 2- Balıkesir termal suları için hazırlanan 10K/(10K+Na) ile 10Mg/(10Mg+Ca) (mg/lt) diyagramı (Giggenbach, 1988).

## BÖLÜM 7

### MİNERAL-AKIŞKAN DENGESİ

#### 7. 1- Aktivite Diyagramları

Bu bölümde aktivite diyagramları çizilerek suların hangi mineraller ile denge halinde oldukları tespit edilmiştir. Diyagramların oluşturulmasında minerallerin 100°C (2 bar)'dan başlayarak 125 (3 bar) ve 150°C (5 bar) olan sınırları çizilmiş (Mutlu, 1996), her bir su örneği için ait olduğu veya olabileceği sıcaklıktaki mineraller belirlenmiştir.

Aktivite diyagramları 4 ana sistem için hazırlanmıştır. Bu sistemler ve aktivite diyagramlarında sınırları çizilen mineraller şu şekildedir:

a-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sisteminde; kaolinit, muskovit, K-feldspat ve paragonit mineralleri

b-CaO-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sisteminde; kaolinit, muskovit, K-feldspat ve wairakit mineralleri

c-MgO-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sisteminde; kaolinit, muskovit, K-feldspat ve Mg-Klorit mineralleri

d- K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O sisteminde; kaolinit, muskovit, K-feldspat ve gibsit mineralleri (Mutlu, 1996).

**a-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> -H<sub>2</sub>O sistemi** ile ilgili çizilen diyagramda (Şekil 7.1) Güre, Derman ve Balya termal sularının albit; Yıldız ve Ekşidere sularının muskovit diğer örneklerin ise K-Feldspat ile dengede olduğu görülmektedir.

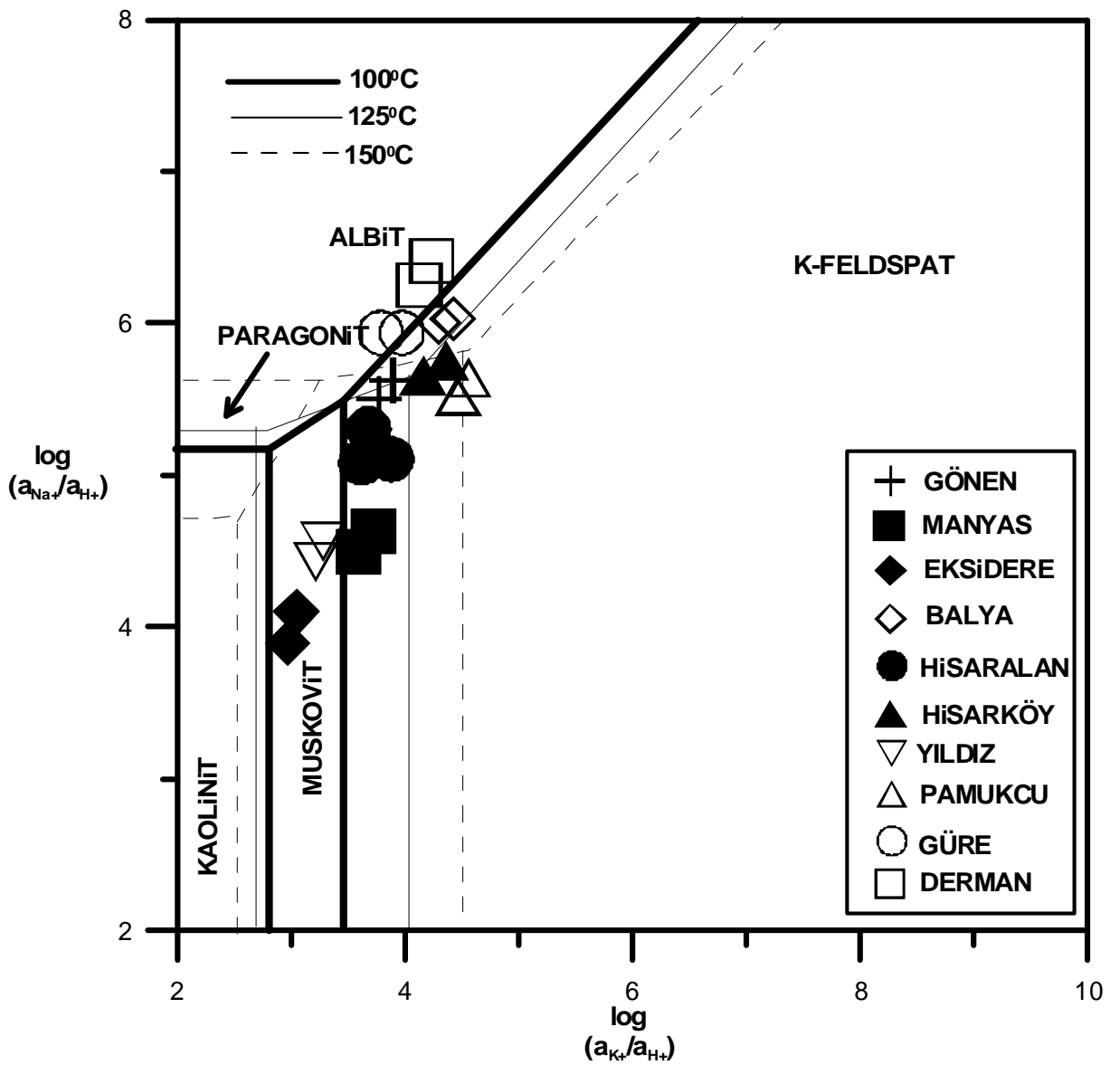
**b-CaO-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sistemi** ile ilgili çizilen diyagramda (Şekil 7.2) ise suların büyük bir çoğunluğunun K-Feldspat alanında olduğu görülmektedir. Ancak Ekşidere ve Manyas suları muskovit ile denge halindedir.

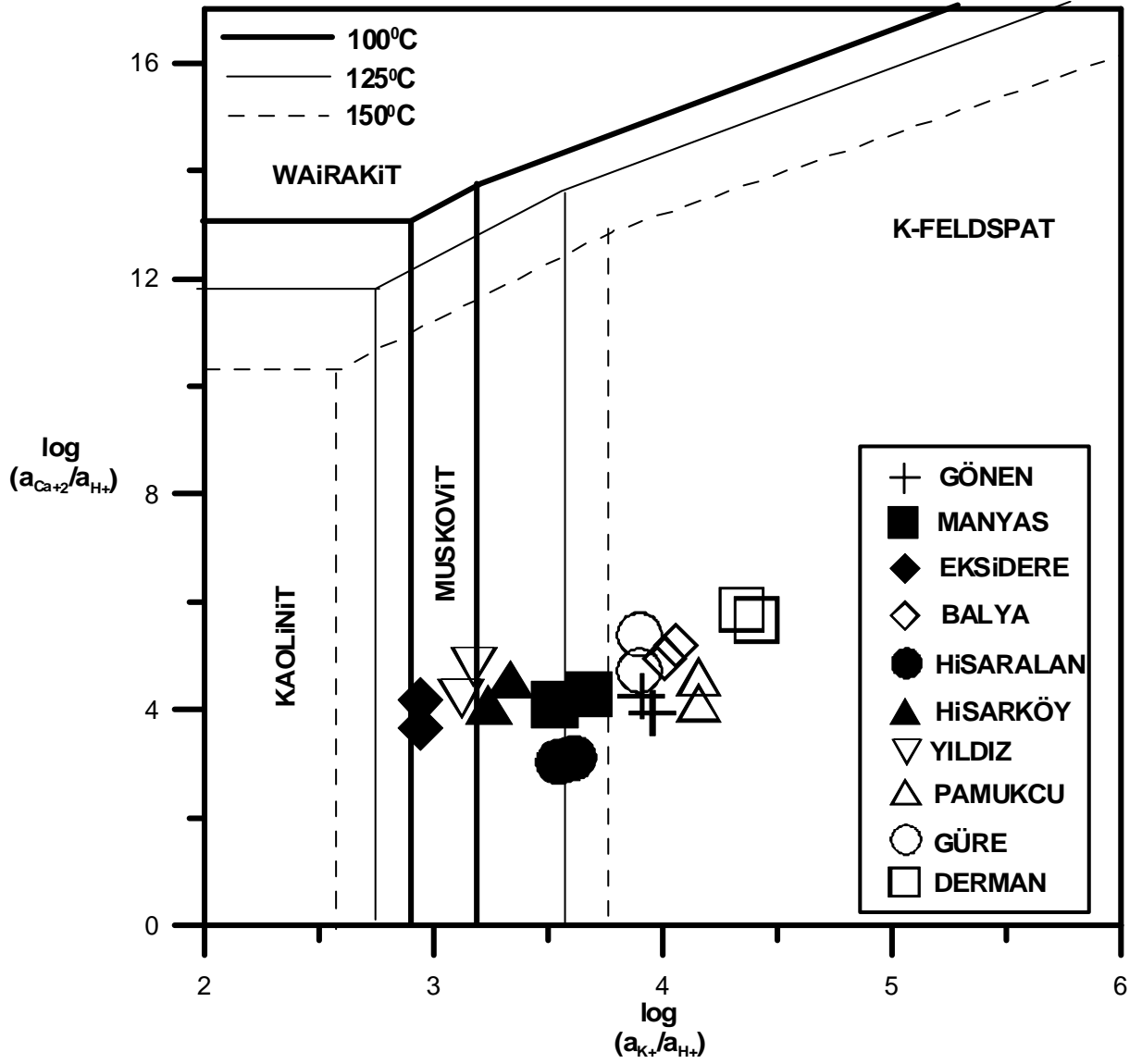
**c-MgO-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sistemi** ile ilgili çizilen diyagramda (Şekil 7.3) diğer aktivite diyagramlarında olduğu gibi Manyas ve Ekşidere örnekleri hariç diğer örneklerin K-Feldspat ile dengede olduğu belirlenmiştir.



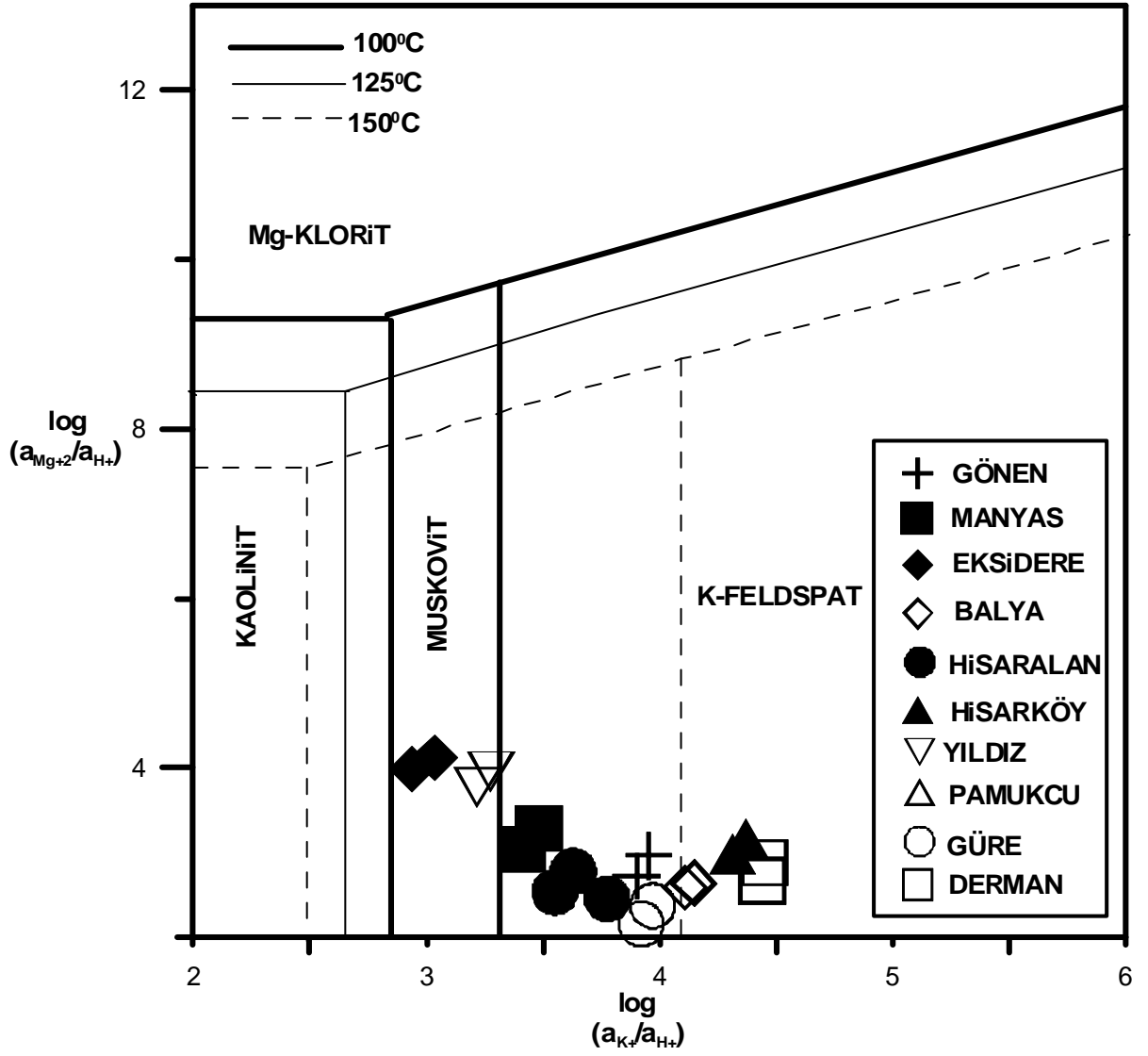
d-  $K_2O-SiO_2-Al_2O_3-H_2O$  sistemi ile ilgili çizilen diyagramda (Şekil 7.4) Hisarköy ve Pamukçu suları hariç bütün örnekler muskovit alanı içerisindeydir.

Grafiklerden de anlaşılacağı üzere sıcaklıklar değiştiğinde, mineral stabilite alanları genişlemektedir. Rezervuar sıcaklıkları düşük olan Edremit, Ekşidere ve Balya termal suları kaolinit ve muskovit ile denge halindeyken rezervuar sıcaklıkları yüksek olan Hisarköy, Hisaralan, Gönen, Susurluk, Pamukçu ve Manyas suları ise K-feldspat ile denge halindedir.

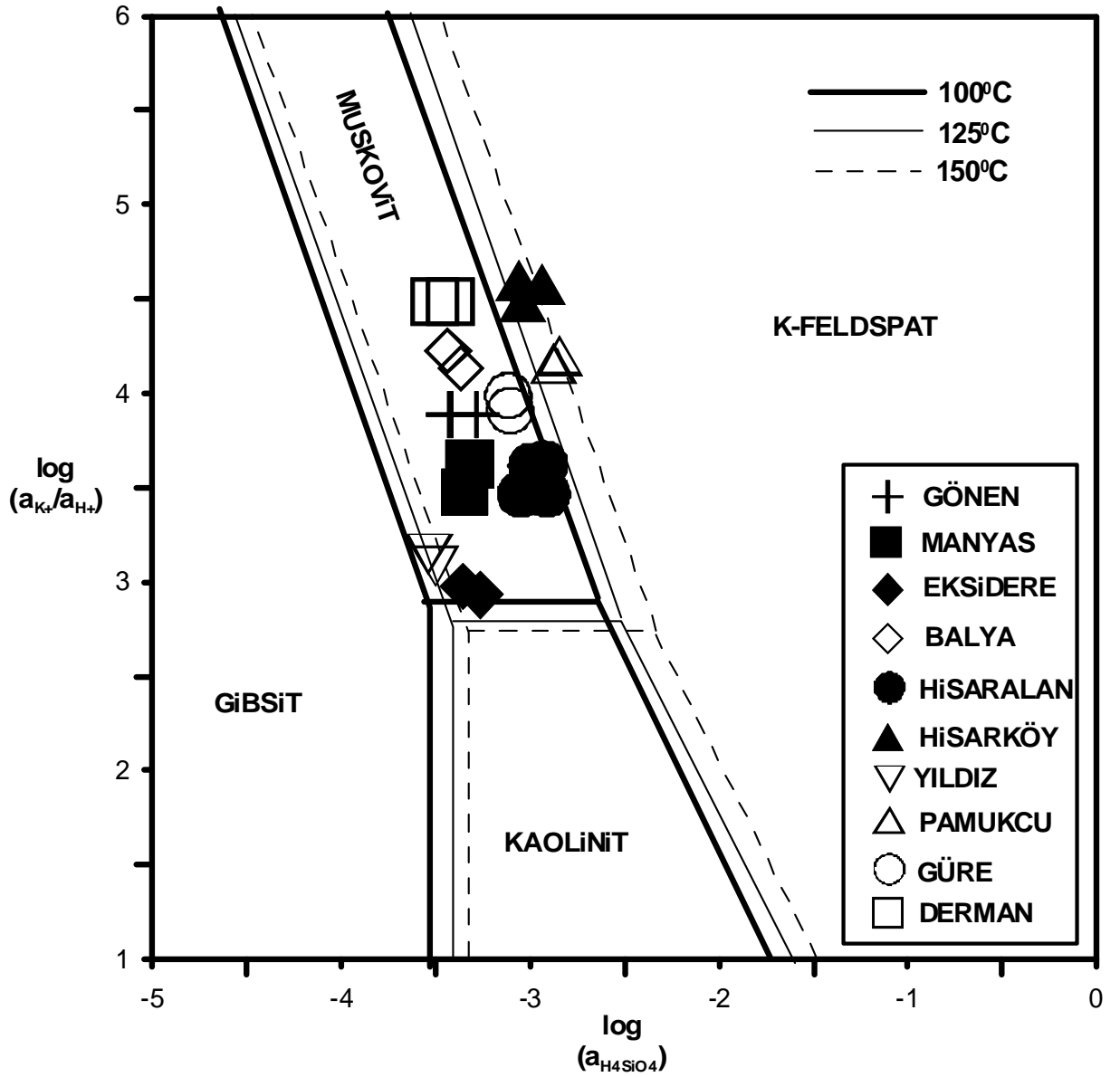




Şekil 7.2-Balıkesir termal sularının CaO-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sistemindeki aktivite diyagramı.



Şekil 7.3-Balıkesir termal sularının MgO-K<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O sistemindeki aktivite diyagramı.



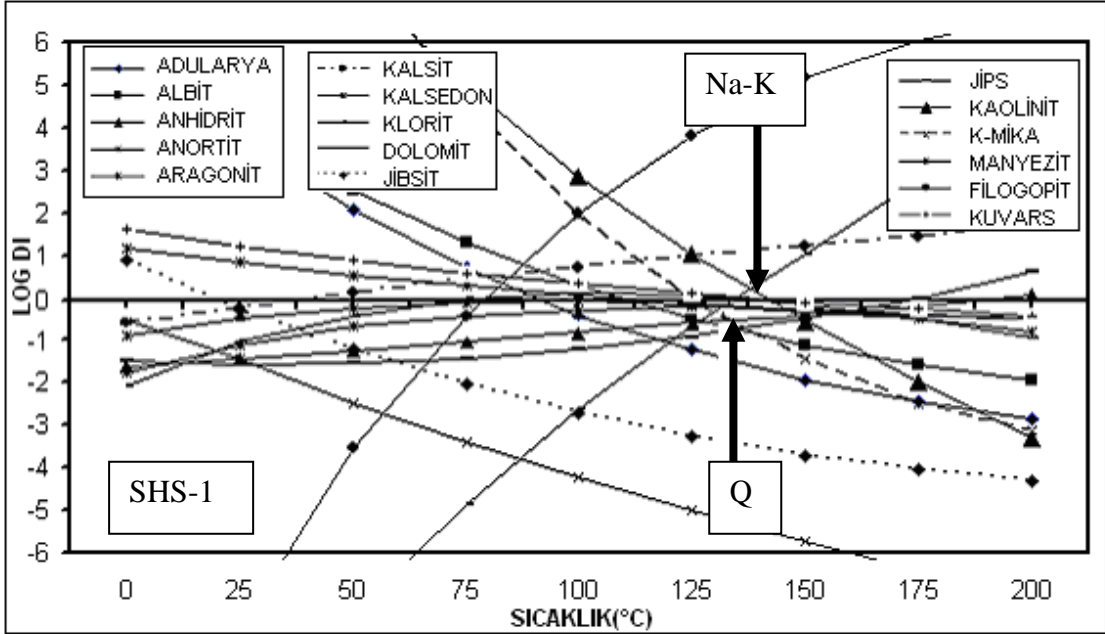
Şekil 7.4- Balıkesir termal sularının  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$  sisteminde aktivite diyagramı.

## 7. 2- Termodinamik Doygunluk Diyagramları

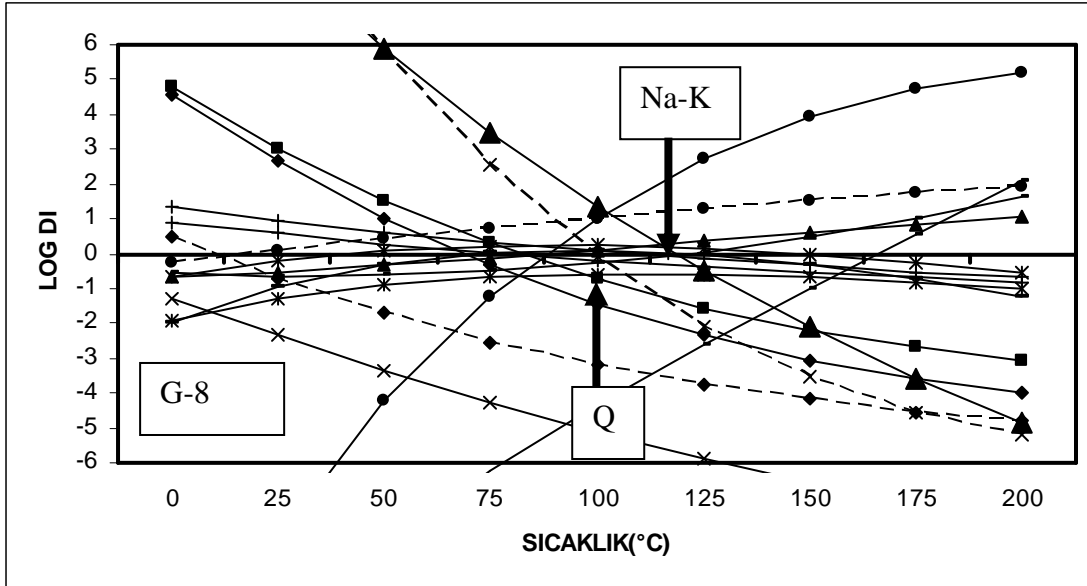
Bu yöntem, mineral–akışkan dengesini esas alan bir uygulamadır. Bir akışkanın herhangi bir minerale göre doygunluk durumu, doygun olmayan ( $DI = \log (KIAP / KT) < 0$ ), doygun ( $DI=0$ ) ve aşırı doygun ( $DI > 0$ ) olarak ortaya konulabilir (Stumm ve Morgan, 1981).

Bu amaçla, ilk olarak Balıkesir bölgesindeki sıcak suların farklı minerallere göre doygunluk indeksleri WATSPEC (Wigley, 1977) programı kullanılarak hesaplanmıştır. 0-200°C'lik bir sıcaklık aralığı esas alınarak 25°C'lik sıcaklık artırımları için Balıkesir jeotermal sularının doygunluk indeksleri bulunmuştur. Belirli bir su örneği ve değişik mineraller için hesaplanan değerler (DI) logaritmik olarak grafiğe işlenmiş ve elde edilen mineral doygunluk eğrisinin denge çizgisini ( $\log DI=0$ ) nerede kestiği incelenmiştir. Çeşitli mineralin denge çizgilerinin kesiştiği nokta veya alan rezervuar sıcaklığını verir. Şekil 7.1 Balıkesir'deki en yüksek sıcaklıklardan birine sahip olan Sındırgı – Hisaralan sahasının rezervuar sıcaklığını göstermektedir. Bu sahanın rezervuar sıcaklığı 140°C civarında tahmin edilmektedir. Aynı şekilde diğer sahalardan sıcaklıkları; Gönen; 120°C, Gönen – Ekşidere; 75°C, Manyas; 110°C, Edremit – Güre; 55°C, Edremit – Derman; 80°C, Balya – Ilıca – Şamlı; 80°C, Susurluk – Yıldız; 100°C, Bigadiç – Hisarköy; 160°C ve Pamukçu; 110°C civarında rezervuar sıcaklıkları vermektedir. Aynı şekillerde kimyasal jeotermometrelerle elde edilen sıcaklıklar da verilmiştir. Ayrıca silika ve katyon jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklık değerlerinin ortalamaları da şekillerde işaretlenmiş olup işaretlenen nokta veya alanlarla doygunluk diyagramlarında hesaplanan sıcaklık değerleri birbirleriyle örtüşmektedir.

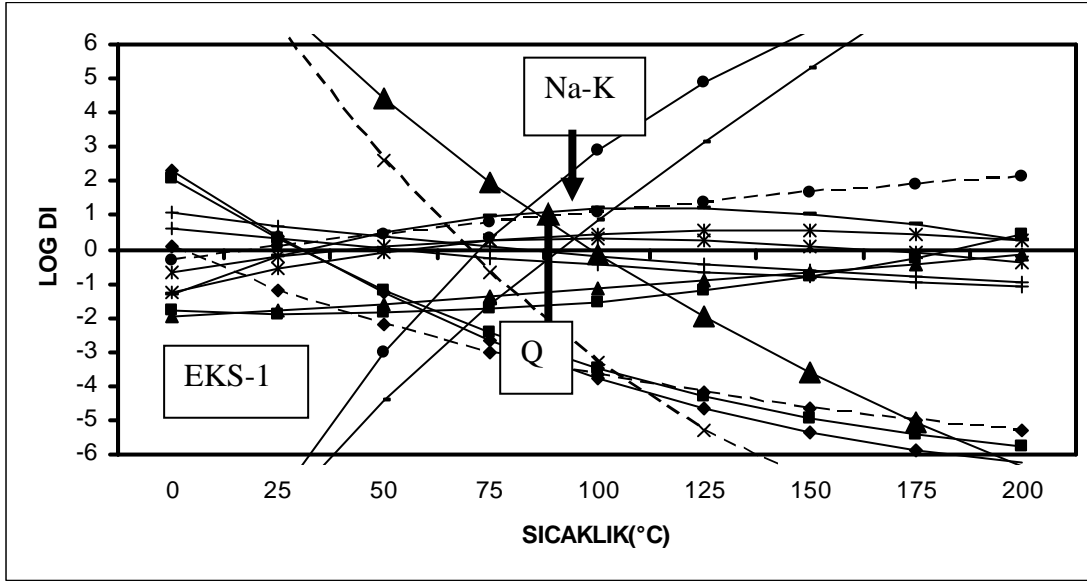
Jeotermometreler ile elde edilen rezervuar sıcaklık sonuçları doygunluk diyagramları ile elde edilen rezervuar sıcaklıklarıyla karşılaştırıldığında, yüksek sıcaklıklara sahip olan Hisaralan, Hisarköy, Pamukçu, Gönen, Manyas sahalarıyla daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Sıcaklıkları nispeten düşük olan Edremit, Ekşidere ve Balya suları ise gerek sahada ölçülen, gerekse jeotermometrelerle hesaplanan sıcaklık değerlerinden farklı sonuçlar vermektedir.



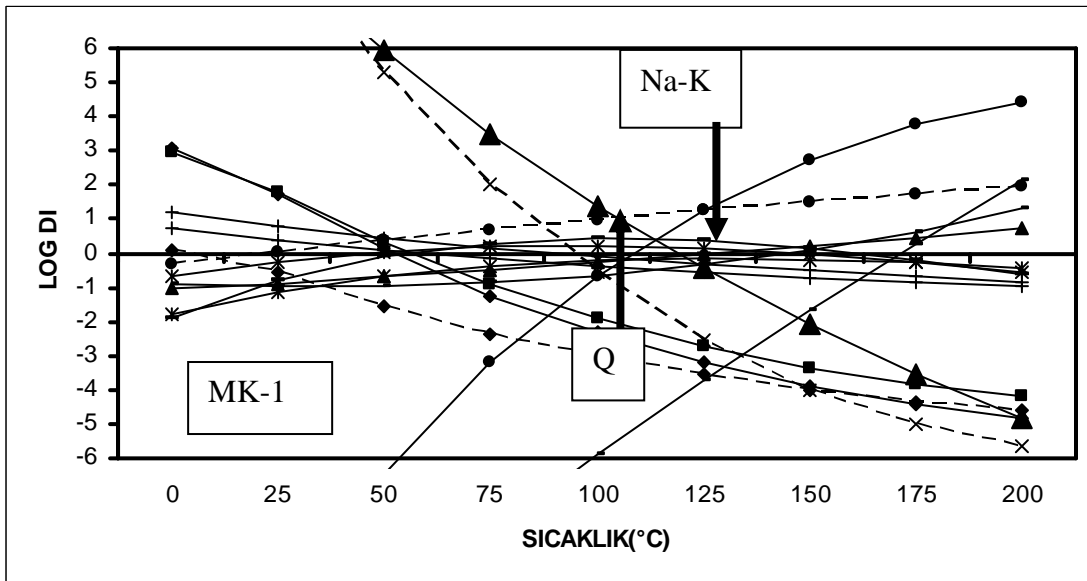
Şekil 7. 5- Sındırgı – Hisaralan sahasının mineral-denge diyagramı (Q:Silika jeoter. ortalaması, Na-K:Katyon jeoter. ortalaması).



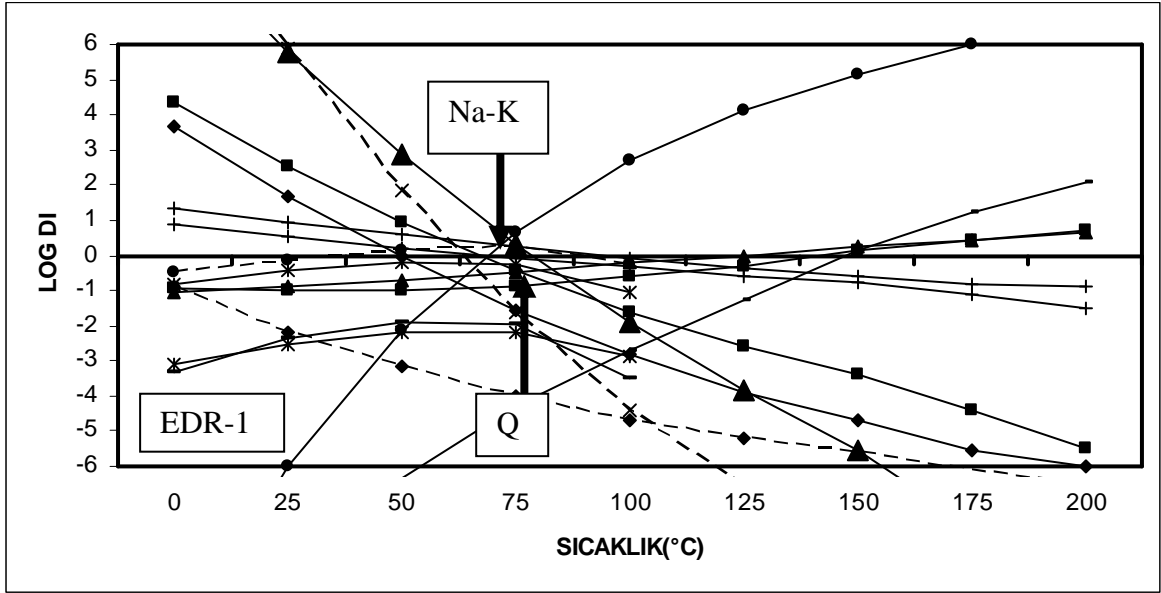
Şekil 7. 6- Gönen sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).



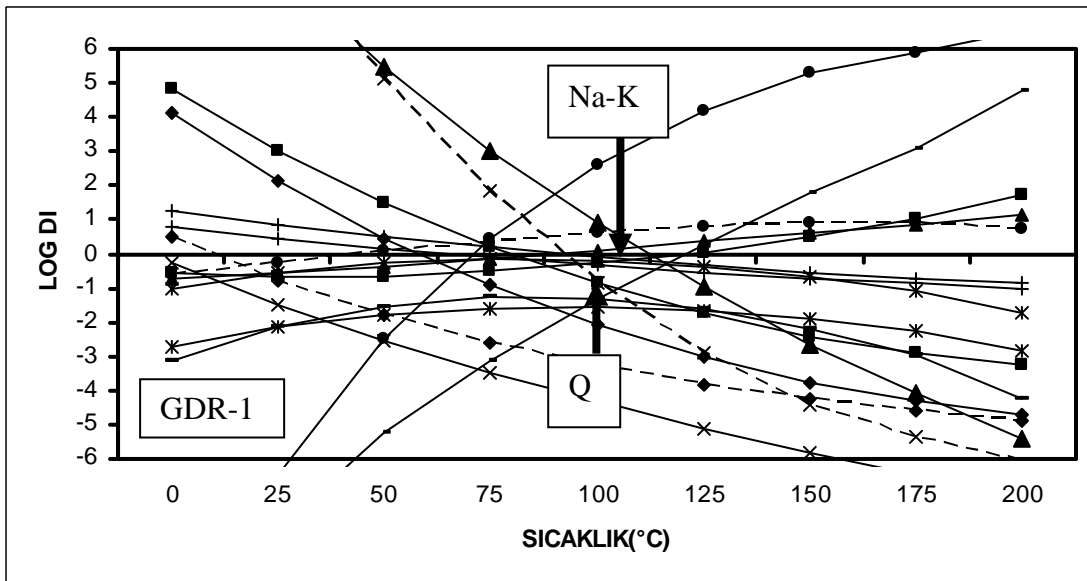
Şekil 7.7- Gönen-Ekşidere sahasının mineral-denge diyagramı (Mineral sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).



Şekil 7.8- Manyas - Kızık sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).

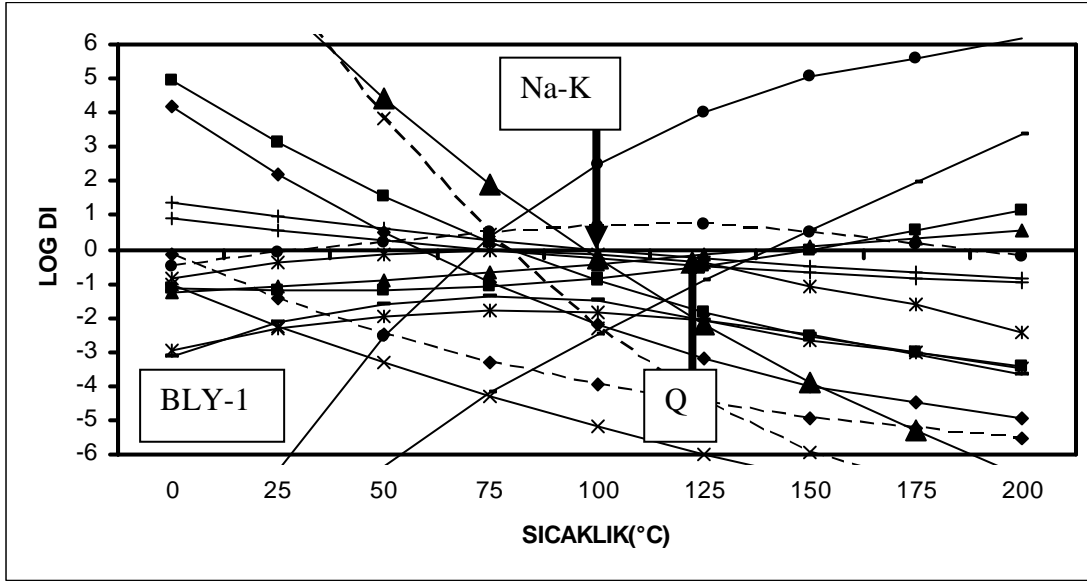


Şekil 7. 9- Edremit-Derman sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).

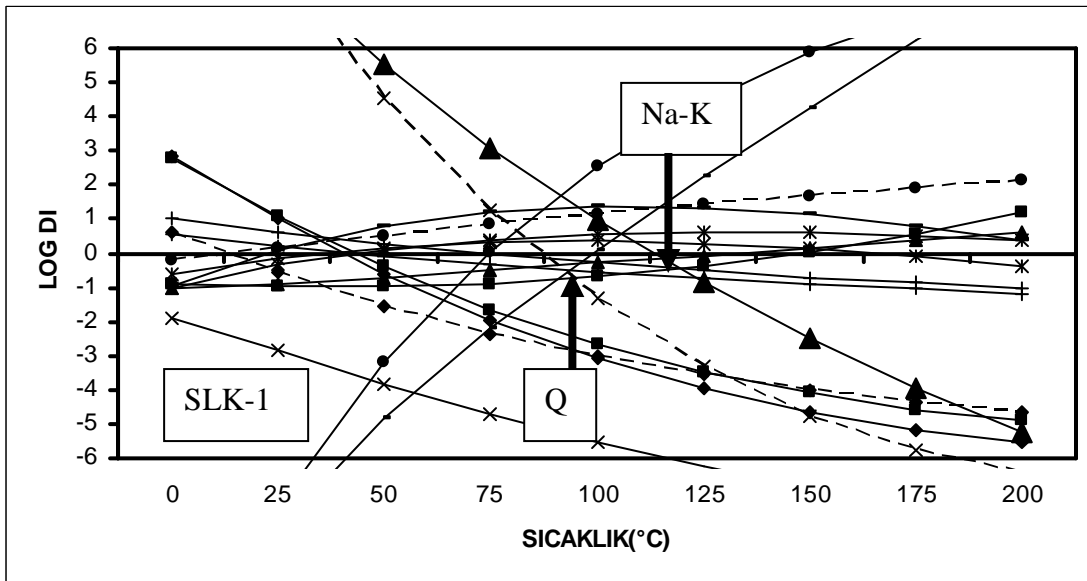


Şekil 7. 10- Edremit -Güre sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.7'te verilenler ile aynıdır).

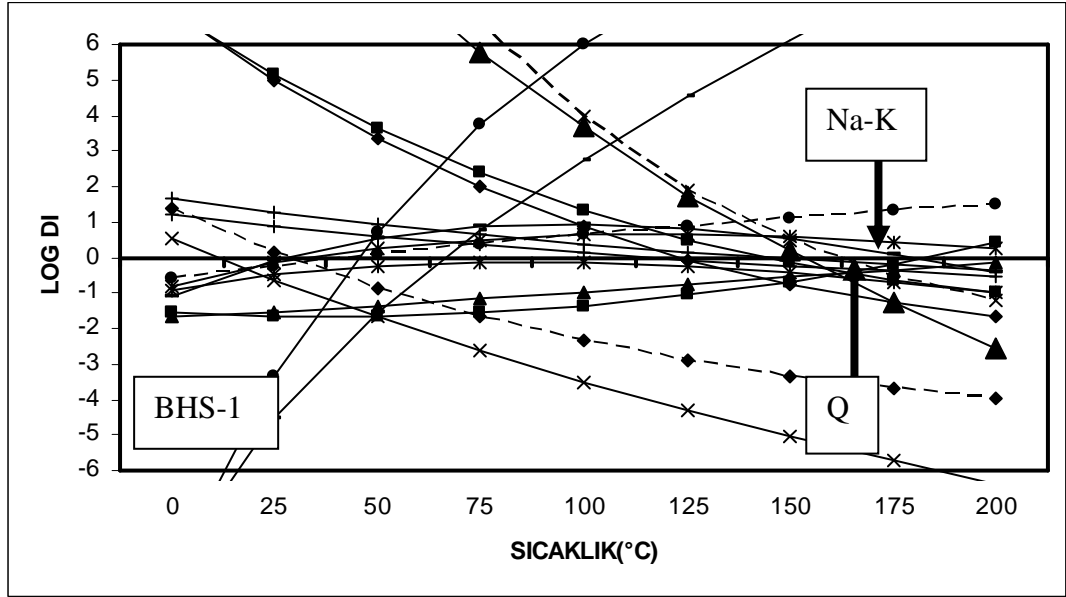




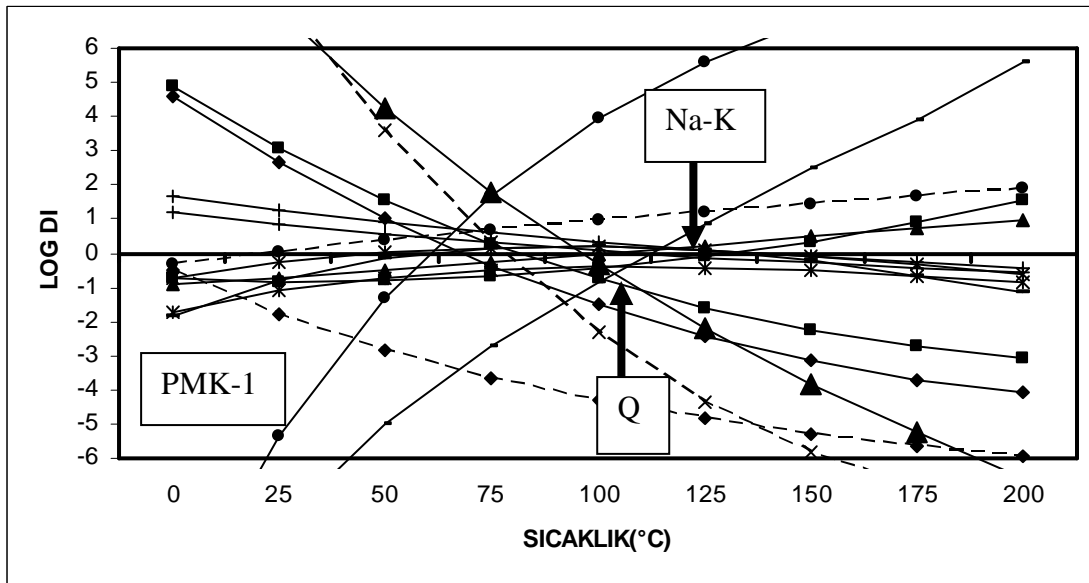
Şekil 7. 11- Balya-Ilıca-Şamlı sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).



Şekil 7.12- Susurluk-Yıldız sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).



Şekil 7.13- Bigadiç-Hisarköy sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).



Şekil 7.14- Pamukçu sahasının mineral-denge diyagramı (Min. sembolleri Şekil 7.5'te verilenler ile aynıdır).

## SONUÇLAR

Balıkesir sıcak suları Na-SO<sub>4</sub> ve Na-Ca-HCO<sub>3</sub>'ça zengin bir bileşime sahiptir. Rezervuar kayaçlarındaki kırıklı yapı özellikle Gönen, Manyas ve Bigadiç termal sularının daha uzun bir çevrim yapmasına olanak tanımış ve Cl konsantrasyonlarının artmasını sağlamıştır. Bölgedeki en yüksek su sıcaklığına sahip Bigadiç-Hisarköy sahası incelenen sular içinde toplam çözülmüş madde bakımından en zengin sahadır (2577 mg/l). Ayrıca bu sahada belirlenen yüksek bor içerikleri yine aynı bölgede bulunan bor yataklarıyla ilişkilidir. Bölgede ölçülen su sıcaklıkları 32 ile 98°C arasında ve çeşitli jeotermometrelerle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları da 50 ile 147°C arasında değişmektedir. Na-K-Ca-Mg jeotermometreleriyle hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ise 140°C'yi geçmemektedir. Ancak bazı jeotermometreler 200°C'den yüksek sıcaklıklar göstermişlerdir. Silika jeotermometreleri ile elde edilen rezervuar sıcaklıkları, katyon jeotermometreleriyle elde edilen rezervuar sıcaklıklarına göre daha gerçekçidir. Benzer şekilde mineral-denge diyagramları da silika jeotermometrelerine yakın sonuçlar vermiştir. Yüksek sıcaklıklara sahip olan Hisaralan, Hisarköy, Pamukçu, Gönen ve Manyas sahaları için mineral doygunluk indeks hesaplamaları ve jeotermometreler ile elde edilen rezervuar sıcaklıkları daha yakın sonuçlar vermektedir. Sıcaklıkları nispeten düşük olan Edremit, Ekşidere ve Balya suları ise gerek sahada ölçülen, gerekse jeotermometrelerle hesaplanan sıcaklık değerleriyle farklı sonuçlar vermektedir. Aktivite diyagramlarında ise rezervuar sıcaklıkları düşük olan Edremit, Ekşidere ve Balya termal suları kaolinit ve muskovit ile denge halindeyken rezervuar sıcaklıkları yüksek olan Hisarköy, Hisaralan, Gönen, Susurluk, Pamukçu ve Manyas suları ise K-feldspat ile denge halindedir.

## REFERANSLAR

- Akyürek, B. ve Soysal, Y., 1978, Kırkağaç-Soma (Manisa-Savaştepe-Korucu-Ayvalık (Balıkesir)-Bergama (İzmir) civarının jeolojisi: MTA Rapor No: 6432, Ankara.
- Arnórsson, S., Gunnlaughsson, E. And Svavarsson, H., 1983, the chemistry of geothermal waters in Iceland-III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 47, p. 567-577.
- Arnórsson, S. (1991). An estimate of natural emission of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S from high-temperature areas in Iceland. (In Icelandic). Geoscience Society of Iceland, Spring Meeting, pp. 18-19.
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B., 1973, Biga yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri: Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri Kitabı, 70-76, Ankara.
- Ercan, T., Günay, E. ve Türkecan, A., 1984, Edremit-Korucu yöresinin (Balıkesir) Tersiyer stratigrafisi, magmatik kayaların petrolojisi ve kökensel yorumu: Türkiye Jeol.Kur.Bült., 27, 21-30.
- Erdağ, A., 1980, Balıkesir Çataldağ granodiyoritinin (güney alanı) jeolojisi ve petrolojisi: İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fak.Yayınları, 72s, İstanbul.
- Cavarretta G., Puxeddu M., 1990, Schorl-dravite-ferridravite tourmalines deposited by hydrothermal-magmatic fluids during early evolution of the Larderello geothermal field (Italy). *Economic Geology*, 85 n.6, pp. 1236-1251, Lancaster, Pennsylvania, USA.

- Craig H., 1961, Isotopic variations in meteoric waters. *Science* 133:1702-1703.
- Dansgaard, W., 1964, Stable isotopes in precipitation, *Tellus*, 16, 436-468.
- Ercan, T., Ergül, E., Akçören, F., Çetin, A., Granit, S. ve Jerf Asutay, 1990, Balıkesir-Bandırma arasının jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrolojisi ve bölgesel yayılımı, 20 s, Ankara.
- Erzenoğlu, Z., 1990, Gönen Kaplıcaları (Balıkesir) G-4 ve G-4A Sıcaksu Sondajları Bitirme Raporu MTA, Ankara
- Fournier, R.O. 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5; 41-50.
- Fournier, R. O., 1979, A revised equation for the Na-K geothermometer. *Geothermal Reservoir Council Trans.*, v. 3, p. 221-224.
- Fournier, R. O. and Potter, R.W., II, 1979, Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 43, p. 1543-1550.
- Fournier, R. O. and Potter, R. W., II, 1982b, A revised and expanded silica (quartz) geothermometer. *Geotherm. Acta*, v. 46, p. 1969-1974.
- Fournier, R.O. ve Truesdell, A.H. 1973. An Empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta* 37, p. 515-525.
- Fournier, R.O., 1991, Water geothermometers applied to geothermal energy, Chapter 2 in D'Amore, Franco, coordinator, *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development: Rome, Italy, UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources*, p. 769.
- Fytikas, M., Giuliani, O., Innocenti, F., Marinelli, G. ve Mazzuoli, R., 1976 Geochronological data on recent magmatism of the Aegean sea : *Tectonophysics*, 31, T29 - T34

- Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Ca-Mg geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 52, p. 2749-2765.
- Giggenbach, W. F., 1992, Chemical Techniques in Geothermal Exploration. In D'amore, F., Co-ordinator, Application of Geochemistry in Development, UNITAR, United States of America, p. 119-144.
- Güleç, N. ve Mutlu, H., 2003, Jeotermal Alanlarda İzotop Jeokimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı (editörler: M. Y. Savaşçın, N. Güleç, Ş. Şimşek ve M. Parlaktuna), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No. 306, s. 64-88.
- Kastelli, M., 1974, Hisaralan (Sındırgı-Balıkesir) yöresi jeolojik etüdü ve jeotermal enerji olanakları: MTA Rapor No: 5592, 30 s., (yayımlanmamış), Ankara.
- Kharaka, Y., Ters, K., Lico, U.S. ve Law, L.M., 1982, Chemical geothermome applied to formations waters , Gulf of Mexico and California basins (Abstract), *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66; 588.
- Mutlu, H., 1996, Geochemical assesment of thermal waters from the Afyon geothermal area: Geothermometry applications and fluid-mineral equilibria., Ph. D. Thesis,, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 169 pp (yayıml anmamış).
- Nieva, D. ve Nieva, R., 1987, Developments in geothermal energy in Mexico.Part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources, *Heat recovery system and CHP*, 7; 243-258.
- Öktü, G. ve Dilemre, A., 1997, Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri Balıkesir. MTA Rapor No: 10474 (yayımlanmamış), Ankara

- Ölmez, E., 1976, Balıkesir, Gönen-1 ve Gönen-2 Sıcaksu sondajı kuyu bitiş raporu: MTA Petrol ve Jeotermal Enerji Dairesi Arşivi: 147 A.B, 16 s Ankara.
- Ölmez, E., 1997, Balıkesir-Pamukçu ve yöresinin jeotermal enerji olanakları: MTA Rapor No: Rapor No: 1004, 11 s (yayımlanmamış), Ankara.
- Ölmez, E., 2000, Balıkesir-Bigadiç-Hisarköy Jeotermal Alanı Jeoloji Hidrojeoloji Etüt Raporu (yayımlanmamış), MTA, Ankara
- Ölmez, E., 2001, Balıkesir-Edremit-Derman jeotermal alanı ED1, ED2 ve ED3 sondajları kuyu bitirme raporu:10 s (yayımlanmamış), Ankara
- Ölmez, E. ve Erzenoğlu, Z., 1994, Balıkesir-Susurluk-Kepekler kaplıcası jeoloji ve Hidrojeo. Etüdü. MTA Rapor No: 9975, 12 s (yayımlanmamış), Ankara.
- Sarp, S., Burçak, N., Yıldırım, T. ve Yıldırım, N., 1998, Biga yarımadası jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları ile Balıkesir-Havran-Derman kaplıca sahasının detay jeotermal etüdü ve gradyan sondajları: MTA Der. Rapor No: 10537, 129 s (yayımlanmamış), Ankara.
- Savaşçın, M.Y. ve Tokçaeer, M., 2006, Batı Anadolu'daki jeotermal alanlar ve jeodinamik konumları, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı
- Smith, R.A., 2002, Basic Geology and Chemistry of Borate, that was published in Vol. 22, Issue 2, of Ceramic Engineering and Science Proceedings, in 2001 on p 61–75.
- Stumm, W. ve J. Morgan, 1981, Aquatic Chemistry An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, 780 p., John Wiley and Sons, New York.
- Şimşek, Ş., 1997, HİD 645 Hidrojeotermometreler. Ders Notları, Hacettepe Üniversitesi Müh. Fak., Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, Ankara.

- Tonani, F., 1980, Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. in Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., Second Symp., p. 428-443.
- Truesdell, A.H., 1976, Summary of Section III, Geochemical Techniques in Exploration. Proc. 2nd UN Symp. on the Development and Use of Geothermal Resources, San Frans., 1975, Vol. 1, liiilxxix.
- Truesdell, A. H. And Fournier, R.O., 1973, Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring water origin. Proc. Second U.N. Symp. on Geothermal Resources, San Francisco, CA, p. 837-844.
- Wigley, TML, 1977, WASTPEC: a computer program for determining the equilibrium speciation of aqueous solutions: Brit, Geomorph, Res, Group Tech, Bull., W, 48 p,