

2005-20



TÜRKİYE BİLİMSEL VE  
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL  
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

**PROJE NO: YDABAG-100Y097**

55571

ODTÜ  
Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu

Earth Marine and Atmospheric Sciences  
Researches Grant Group

2005-20

**KUZEY ANADOLU FAY HATTINDA JEOTERMAL KAYNAKLARIN  
İZOTOP BİLEŞİMLERİNİN İZLENMESİ**

**PROJE NO: YDABAG-100Y097**

55571

**PROF. DR. NİLGÜN GÜLEÇ  
ASSOC. PROF. DR. DAVID HILTON  
DOÇ. DR. HALİM MUTLU  
PROF.DR. ALİ KOÇYİĞİT  
ARAŞ. GÖR. SELİN SÜER  
CANDAN ÇİFTER**

ODTÜ  
Jeoloji Müh. Bl.  
(94)

1. cilt

1.4.2001

1.4.2005

**NİSAN 2005  
ANKARA**

## ÖNSÖZ

Bu Proje çalışması, ülkemizde 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinden sonra önem kazanan deprem araştırmaları konusunda, dünyada giderek yaygın bir şekilde kullanılan jeokimyasal yöntemlerin Türkiye'deki uygulamasına bir örnek olarak başlatılmıştır. Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yaklaşık 800 km'lik bir hat boyunca yer alan 9 adet jeotermal saha, 2002, 2003 ve 2004 yıllarını kapsayan 3 yıllık bir süre içerisinde, akışkanlarının kimyasal ve izotopik bileşimleri açısından, izlemeye alınmıştır. Yılda 3 kez periyodik olarak yapılan örnekleme ve analiz çalışmaları sonucunda, KAFZ üzerinde ileriki yıllarda sismik etkinliklere ilişkin olarak yürütülebilecek jeokimyasal çalışmalara temel sağlayacak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Proje kapsamındaki gaz analizleri Scripps Institution of Oceanography İzotop laboratuvarlarında, su analizleri ise Devlet Su İşleri, Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi (TAKK) Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Proje araştırmacıları, projeye desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a (YDABAG-100Y097), gaz analizleri için maddi destek sağlayan NSF'e (Grant no. EAR-0229508) ve su analizleri konsundaki yardımları için DSI – Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi'ne teşekkürlerini sunarlar.

## ÖZ

Proje çalışmaları, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde yer alan jeotermal kaynakların kimyasal ve izotopik bileşimlerinin zaman içinde izlenmesini ve bileşim değişimlerinin, fay zonundaki sismik etkinlikler ile ilişkilendirilmesini konu almaktadır. Proje kapsamında, yaklaşık 800 km'lik bir hat boyunca yer alan 9 adet jeotermal saha, 2002, 2003 ve 2004 yıllarını kapsayan 3 yıllık bir zaman diliminde izlemeye alınmıştır. Çalışma kapsamında yer alan jeotermal sahalar, batıdan doğuya doğru, Yalova, Efteni-Gölyaka, Bolu, Mudurnu, Seben, Kurşunlu-Çankırı, Hamamözü, Gözlek ve Reşadiye sahalarıdır. 3-yıllık izleme programı, yılda üç kez periyodik olarak toplanan sıcak ve soğuk su örnekleri üzerindeki anyon-kasyon,  $^3\text{H}$  (tritium),  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve D/H izotop analizleri ile, gaz örnekleri üzerindeki  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  ve  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  ölçümlerini kapsamaktadır.

Na-SO<sub>4</sub> karakterindeki Yalova ve Ca-HCO<sub>3</sub> karakterindeki Mudurnu ve Bolu suları haricindeki sıcak suların hemen tümü Na-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri, soğuk sular gibi sıcak suların da meteorik kökenli olduğunu göstermektedir. Sıcak suların, soğuk sulara oranla daha negatif  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve D/H oranlarına ve daha düşük  $^3\text{H}$  içeriklerine sahip olması, sıcak su akiferlerinin daha yüksek kotlardan beslendiğine ve genç yağışlardan etkilenmediğine işaret etmektedir.

Jeotermal akışkanların helyum ve karbon izotop bileşimleri ile  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  gaz oranları, manto ve kabuk kökenli gazların karışımını yansıtmaktadır. En yüksek manto bileşenine sahip helyum izotop bileşimleri, güncel sismik etkinliklerin yoğun olduğu KAFZ'nun orta-batı segmentinde kaydedilmektedir.

Sularda kaydedilen zamansal değişimler, soğuk sular için mevsimsel etkileri işaret ederken, sıcak sulardaki değişimler, olasılıkla sismik etkinliklerce tetiklenen soğuk sular ile karışım süreçlerinin etkilerini yansıtmaktadır. Bu bağlamda, Cl,  $^3\text{H}$  ve Ca içerikleri en duyarlı kimyasal parametreler olarak öne çıkmaktadır. Jeotermal akışkanların gaz fazına ilişkin olarak helyum izotop bileşimleri zaman içinde oldukça duraylı gözükürken,  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  gaz oranları ve karbon izotop bileşimleri ( $\delta^{13}\text{C}$ ) zamansal değişimleri daha iyi belirlemekte ve sismik etkinliklerce tetiklenmesi olası CO<sub>2</sub> gaz çıkışlarını işaret etmektedir.

Zamansal değişimlerinin, birbirleriyle eşlenen birkaç (kimyasal/izotopik) parametrede kaydedilmiş ve yakın civardaki depremler ile deneşmiş olduğu Yalova ve Efteni sahaları,

sismik etkinliklerin izlenmesi konusunda anahtar lokaliteler olarak ortaya çıkmaktadır. Efteni sahasında Temmuz 2002 döneminde izlenen  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  artışları ve bunlarla eşlenen pH artışları ile Ca düşüşleri, 14 ve 15 Temmuz 2002 Yığılca-Düzce depremleri (M: 2.8-3.1) ile denemesi açısından ilginç gözükmetedir. Benzer şekilde, 23 Mart 2002 tarihinde Marmara Denizi'nde kaydedilen M:4.7'lik sismik etkinlik, Yalova'da en yüksek  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinden birinin elde edildiği (ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerindeki artışın,  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  ve  ${}^3\text{H}$  artışlarıyla eşlendiği) örnekleme gününe denk gelmektedir. Bu sahalarda sözkonusu depremlerin yarattığı kabuksal gerilme etkisiyle gözenek ve jeotermal akışkan basınçlarında meydana gelen değişimlerin, sıcak-soğuk su karışım süreçlerini ve gaz çıkışlarını tetiklemiş olduğu düşünülmektedir.

İzleme programı çerçevesinde şimdiye kadar gerçekleştirilmiş olan çalışmalar, ileride yapılacak izleme programlarına temel sağlayacak bir "veri tabanı" oluşturmuştur. Zamansal değişimlerin, depremlerin merkez üslerine uzaklık ve/veya odak derinliği ile ilişkilendirilmeleri, daha sık örneklemenin yapıldığı daha uzun bir izleme süresine gereksinim göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuzey Anadolu Fay Zonu, Sismik Etkinlik, Jeotermal Akışkanlar, İzotop Bileşimleri, Kimyasal Bileşimler, İzleme Çalışmaları

## ABSTRACT

The project study involves the monitoring of the chemical and isotopic compositions of the geothermal fluids along the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the correlation of the compositional variations with seismicity associated with the fault zone.

A total of 9 geothermal fields, located along about 800 km long transect, was monitored for a period of 3 years covering 2002, 2003 and 2004. The geothermal fields included in the study are, from west to east, Yalova, Efteni-Gölyaka, Bolu, Mudurnu, Seben, Kurşunlu-Çankırı, Hamamözü, Gözlek and Reşadiye. The 3-year monitoring programme consists of (3 times per year) periodic sampling of the hot and the cold waters for  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , D/H and  $^3\text{H}$  (tritium) analyses, and the gases for  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  ve  $\text{CO}_2/^3\text{He}$  analyses.

Except for the Na-SO<sub>4</sub> type Yalova and Ca-HCO<sub>3</sub> type Bolu and Mudurnu samples, nearly all the hot waters are of Na-HCO<sub>3</sub> type. The oxygen and hydrogen isotope compositions reveal that the hot waters are meteoric in origin as are their cold water companions. The more negative  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and D/H values, and the lower  $^3\text{H}$  contents of the hot waters (compared to those of the cold waters) point to the fact that the hot water aquifers are recharged from higher altitudes and they are hardly affected by recent precipitations.

The helium and carbon isotope compositions of geothermal fluids, together with their  $\text{CO}_2/^3\text{He}$  gas ratios, reflect mixing of mantle- and crustal-derived components. The helium isotope compositions having the highest mantle helium contributions are recorded in the western-central segment of the NAFZ where the recent seismic activities are intensely concentrated.

The temporal variations detected in water compositions point to seasonal variations for the cold waters, whereas those in hot water compositions probably reflect the effects of seismicity-induced mixing with the cold waters. In this respect, Cl,  $^3\text{H}$  and Ca contents appear to be the most sensitive chemical parameters. The helium isotope compositions of the geothermal fluids remain fairly constant in time, whereas the  $\text{CO}_2/^3\text{He}$  gas ratios and carbon isotope compositions ( $\delta^{13}\text{C}$ ) record the temporal variations better and point to probable seismicity induced CO<sub>2</sub> gas releases.

Regarding the monitoring of seismic activities, Yalova and Efteni fields appear to be the key localities deserving particular attention as in these fields the temporal variations are i) consistently recorded in a couple of parameters in a given sampling period, and ii) correlated with the nearby seismic activities. The  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  increases recorded in Efteni field in July 2002, and the associated pH increase and Ca decrease, appear to be interesting due to their correlation with the 14<sup>th</sup> and 15<sup>th</sup> of July 2002 Yığılca-Düzce earthquakes (M: 2.8-3.1). Similarly, the anomalously high  $\delta^{13}\text{C}$  value and the accompanying  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  and  ${}^3\text{H}$  increases in March 2002 period in Yalova, are recorded on the same day (23.3.2002) as an earthquake (M: 4.7) that occurred in the Sea of Marmara. The changes in the pore and fluid pressures, induced by crustal strain associated with the earthquakes, are believed to have triggered the hot-cold water mixing processes and the gas releases in these fields.

The studies carried out within the framework of the monitoring programme, have produced a data base that can be used as a basis for the future monitoring studies. The correlation of temporal variations with distance to epicenter, and/or with focal depth of the seismic activities, needs a longer monitoring period with more frequent sampling.

**Key Words:** North Anatolian Fault Zone, Seismic Activities, Geothermal Fluids, Isotopic Compositions, Chemical Compositions, Monitoring Studies

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	ii
ÖZ.....	iii
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
<b>BÖLÜMLER</b>	
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Materyal ve Metod .....	2
1.3. Rapor Düzeninin Tanıtımı.....	2
2. LİTERATÜR ÖZETİ: JEOTERMAL ÇALIŞMALARINDA KİMYASAL VE İZOTOPIK TEKNİKLER.....	6
2.1. Jeotermal Akışkanların Kimyasal Bileşenleri .....	6
2.2. Jeotermal Araştırmalarda İzotoplar .....	7
2.2.1. Oksijen ve Hidrojen İzotopları .....	8
2.2.2. Tritiyum.....	12
2.2.3. Helyum İzotopları.....	15
2.2.4. Karbon İzotopları.....	19
2.3. Sismik Etkinliklerin İzlenmesinde Jeotermal Akışkan Bileşimleri.....	21
3. KUZEY ANADOLU FAY ZONU: TEKTONİK KONUM VE GÜNCEL SİSMİK ETKİNLİKLER.....	27
3.1. Tektonik Konum .....	27
3.2. Güncel Sismik Etkinlikler .....	28
4. KUZEY ANADOLU FAY ZONU İLE İLİŞKİLİ JEOTERMAL SAHALAR.....	44
4.1. Jeolojik Konum ve Bölgesel Jeoloji.....	44
4.2. Jeotermal Sahaların Jeolojik ve Hidrojeolojik Çerçevesi.....	46
4.2.1. Efteni-Gölyaka .....	46
4.2.2. Yalova-Termal .....	47
4.2.3. Bolu-Merkez .....	50



4.2.4. Mudurnu-Babas (Bolu) ... ..	52
4.2.5. Seben-Kesenözü (Bolu) ... ..	53
4.2.6. Hamamözü-Amasya ... ..	56
4.2.7. Gözlek-Amasya ... ..	56
4.2.8. Reşadiye-Tokat ... ..	58
4.2.9. Kurşunlu-Çankırı ... ..	60
5. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ.....	64
5.1. Örnekleme ... ..	64
5.2. Analiz Teknikleri ... ..	65
6. HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLER.....	73
6.1. Kimyasal Analiz Sonuçları.....	73
6.2. Hidrojeokimyasal Fasiyesler ... ..	73
7. SULARIN İZOTOPIK BİLEŞİMLERİ.....	95
7.1. Oksijen ve Hidrojen İzotopları.....	95
7.2. Tritiyum İçerikleri.....	110
8. GAZLARIN İZOTOPIK BİLEŞİMLERİ.....	114
8.1. Helyum İzotop Bileşimleri.....	114
8.2. Karbon İzotop Bileşimleri.....	120
8.3. CO <sub>2</sub> / <sup>3</sup> He İzotop Oranları.....	121
9. ZAMANSAL DEĞİŞİMLER VE SİSMİK ETKİNLİKLERE İLİŞKİLERİ.....	124
9.1. Sıcaklık ve pH Değerlerindeki Zamansal Değişimler.....	124
9.2. Kimyasal Bileşimlerin Zamansal Değişimleri.....	127
9.3. Oksijen-18 ve Döteryum Bileşimlerinin Zamansal Değişimleri.....	136
9.4. Tritiyum İçeriklerinin Zamansal Değişimleri.....	139
9.5. Helyum (R/Ra) ve Karbon ( $\delta^{13}\text{C}$ ) İzotop Bileşimleri ile CO <sub>2</sub> / <sup>3</sup> He Oranlarının Zamansal Değişimleri.....	144
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	150
11. DEĞİNİLEN BELGELER.....	152

## ŞEKİLLER LİSTESİ

1.1.	Türkiye'deki sıcak su kaynaklarının ana tektonik ve volkanik yapılarla beraber dağılımı .....	4
1.2.	KAFZ boyunca örneklenen jeotermal sahaların lokasyon haritası.....	5
2.1.	Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini gösterir $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı.....	9
2.2.	Çeşitli jeotermal sahalarda meteorik suların ve sıcak su kaynaklarının izotop bileşimini gösterir $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı .....	11
2.3.	Trityumun hidrolojik zincirdeki dağılımı ve kökeni.....	13
2.4.	Ottawa yağış sularında trityumun yıllık değişimi .....	14
2.5.	Farklı tektonik ortamları karakterize eden He-bileşenlerine ait izotop bileşimleri.....	18
2.6.	Çeşitli tektonik ortamlara ait akışkanların He-izotop bileşimleri.....	19
2.7.	Doğal $\delta^{13}C$ rezervuarları ve bunların $\delta^{13}C$ değer aralıkları.....	21
3.1.	Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca gerçekleşen, jeotermal sahalara yakın güncel sismik etkinlikler (2002-2003-2004) ... ..	29
4.1.	Türkiye'nin paleotektonik birimleri ve suture zonları .....	45
4.2.	Efteni-Gölyaka (Bolu) jeotermal sahasının jeolojik haritası.....	48
4.3.	Yalova-Termal jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	49
4.4.	Bolu (Merkez) jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	51
4.5.	Babas-Mudurnu (Bolu) jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	54
4.6.	Seben-Kesenözü (Bolu) jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	55
4.7.	Hamamözü-Amasya jeotermal sahasının jeolojik haritası.....	57
4.8.	Gözlek-Amasya jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	59
4.9.	Reşadiye-Tokat jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	61
4.10	Kurşunlu-Çavundur (Çankırı) jeotermal sahasının jeolojik haritası .....	63
5.1.	Efteni-Gölyaka sahasındaki banyoyu besleyen kapalı sıcak su kaynağının görüntüsü (örnek no. 1a).....	66
5.2.	Yalova'da sıcak su örnekleme a) örnek no.2a, b) örnek no. 2b ... ..	66
5.3.	Bolu'da örnek no. 3a'nın toplandığı sondaj kuyusu.....	67
5.4.	a)Mudurnu'da örnek no.4a'nın toplandığı sondaj kuyusu, b) soğuk su kaynakları (örnek no. 4c ve 4d) ... ..	67
5.5.	a)Seben'de sıcak su örnekleme (örnek no. 5a), b) Seben örnek no.5c'nin toplandığı kuyu, c) soğuk su kaynağı 5d.....	68
5.6.	a)Hamamözü'nde sıcak su örnekleme (örnek no. 6a), b) Hamamözü'nde soğuk su kaynağı üzerinde inşa edilen çeşme (örnek no.6b).....	69
5.7.	Kurşunlu'da 9a no.lu örneğin toplandığı sondaj kuyusu.....	69
6.1.a	Sıcak suların bütün dönemleri kapsayan piper diyagramları.....	86
6.1b	Soğuk suların bütün dönemleri kapsayan piper diyagramları.....	89
6.2.a	Sıcak suların bütün dönemlerin ortalamasını içeren dairesel diyagramları.....	92

6.2.b	Soğuk suların bütün dönemlerin ortalamasını içeren dairesel diyagramları .....	92
7.1.	Bütün dönemler için çizilen Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan $\delta^{18}\text{O}$ vs $\delta\text{D}$ diyagramları.....	100
7.2.a	Bütün dönemlerin ortalamasını içeren Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta\text{D}$ diyagramları.....	103
7.2.b	Bütün dönemlerin ortalamasını içeren Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta\text{D}$ diyagramları.....	103
7.3.	9 dönemi kapsayan $\delta^{18}\text{O}$ vs lokalite diyagramları.....	104
7.4.	9 dönemi kapsayan $\delta\text{D}$ vs lokalite diyagramları .....	107
7.5.	9 dönemi kapsayan trityum vs lokalite diyagramları .....	111
8.1.	Jeotermal akışkanların helyum bileşimleri .....	120
8.2.	Jeotermal sahalardaki mantosal-He bileşeni (%).....	122
8.3.	Jeotermal akışkanların $\text{CO}_2$ gaz fazına ait karbon izotop bileşimleri.....	122
8.4.	Jeotermal akışkanların $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ gaz oranlarının sahalara göre dağılımı.....	123
9.1.	Bütün sahaların 9 dönemi kapsayan sıcaklıklarının zamansal değişim grafiği.....	125
9.2.	Bütün sahaların 9 dönemi kapsayan pH değerlerinin zamansal değişim grafiği.....	126
9.3.a	Sıcak suların iyon içeriklerinin zamansal değişimleri.....	130
9.3b	Soğuk suların iyon içeriklerinin zamansal değişimleri.....	134
9.4.	Oksijen izotop bileşimlerindeki zamansal değişimler .....	137
9.5.	Döteryum izotop bileşimlerindeki zamansal değişimler .....	138
9.6.a	Trityum değerlerinin sıcak sular için zamansal değişimleri. ....	141
9.6b	Trityum değerlerinin soğuk sular için zamansal değişimleri.....	143
9.7.	R/Ra değerlerindeki zamansal değişimler.....	147
9.8.	$\text{CO}_2/{}^3\text{He}$ değerlerindeki zamansal değişimler.....	148
9.9.	$\delta^{13}\text{C}$ değerlerindeki zamansal değişimler.....	149

## ÇİZELGELER LİSTESİ

2.1.	Atmosfer, (kıtasal) kabuk ve manto rezervuarlarının He-izotop bileşimleri ... ..	16
3.1.	2002 ve 2004 yılları arasında gerçekleşen depremler.....	30
5.1.	Örneklenen sahaların örnek numaraları, UTM koordinatları ve örnek tipleri.....	70
5.2.	Bütün örneklerin bütün dönemleri kapsayan sıcaklık ve pH değerleri.....	71
6.1.	Bütün sahalar için bütün dönemleri kapsayan kimyasal analiz sonuçları (bileşimler mg/l cinsindedir) ... ..	75
6.2.	Bütün sahaların her dönem için belirlenmiş hidrojeokimyasal fasiyesleri.....	93
7.1.	Suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta\text{D}$ analiz sonuçları (hata payları $\delta^{18}\text{O}$ için 0.1 ‰, $\delta\text{D}$ için 1 ‰' dir).	97
7.2.	Bütün dönemler için trityum analiz sonuçları .....	99
8.1.	Sıcak sulardaki He- ve C-izotop analiz sonuçları.....	115

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Jeotermal enerji yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısının oluşturduğu ve sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyde kendini volkanlar, sıcak su kaynakları, fumaroller ve geyserler, şeklinde belli eden jeotermal sistemler, yeraltında büyük boyutta rezervuarlara sahip olabilmektedir.

Jeotermal sahalar genellikle volkanizma ve depremlerin yoğun olduğu aktif plaka kenarlarında yer almaktadır. Türkiye jeotermal enerji bakımından dünyadaki en önemli ülkeler arasında yer almakta ve jeotermal sahalar, yaşları Tersiyer'den Kuvaterner'e kadar uzanan volkanikler yakınında ve ana fay sistemleri üzerinde bulunmaktadır (Şekil 1.1).

Jeotermal sular, birçok endüstriyel sektörle birlikte, kaplıçalarda, merkezi ısıtma sistemlerinde, seracılıkta ve elektrik üretiminde etkin olarak kullanılmaktadır.

Sismik etkinliklerce yoğun alanlarda jeotermal suların kimyalarının izlenmesi hem depremleri tetikleyen mekanizmaların aydınlatılmasında hem de kabuğun etkilendiği bölgedeki tepkisinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Thomas, 1988; Toutain ve Baubron, 1999). Jeotermal akışkanların kimyasal ve izotopik bileşimlerindeki değişimler, derinlerde meydana gelen akışkan karışımları, mikro çatlak oluşumları ve geçirimsizlik değişimi gibi fiziksel ve kimyasal süreçleri işaret etmektedir.

Bu çalışma Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde ve civarında yer alan jeotermal kaynakların (Şekil 1.2), kimyasal ve izotopik bileşimlerinin 3-yıllık bir zaman aralığı içerisinde izlenmesini ve olası bileşim değişikliklerinin sismik etkinlikler ile ilişkisinin araştırılmasını konu almaktadır.

### 1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı jeotermal akışkanların kimyasal ve izotopik bileşimlerinin izlenmesi ve bu bileşimlerdeki olası değişimlerin Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) hareketi ile gerçekleşen sismik etkinliklerle deneştirilmesine yöneliktir.

Bu çalışma kapsamında, Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde, yaklaşık 800 km uzunluktaki D-B yönlü bir hat boyunca yer alan jeotermal sahalar ele alınmıştır. Bu sahalar, batıdan doğuya doğru, Yalova, Efteni-Gölyaka, Mudurnu-Babas, Seben-Kesenözü, Bolu, Kurşunlu-Çankırı, Hamamözü-Amasya ve Gözlek-Amasya sahalarıdır (Şekil 1.2).

Jeotermal sahalar yılda 3 defa olmak üzere toplam 9 dönem örneklenmiştir (Mart-Temmuz-Ekim 2002, Nisan-Temmuz-Ekim 2003 ve Nisan-Haziran-Ekim 2004). Örnekleme sırasında doğal kaynaklar ve üretim kuyularından sıcak ve soğuk sular toplanmıştır.

Su örnekleri üzerinde i) ana katyon-anyon içerikleri, ii) trityum derişimleri ve iii)  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve D/H oranları analiz edilmiştir. Jeotermal akışkanların (sıcak sular içinde kabarcıklar şeklinde gözlenen) gaz fazları ise i)  $^3\text{He}/^4\text{He}$  oranları, ii)  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri ve iii)  $\text{CO}_2/^3\text{He}$  oranları açısından incelenmiştir.

## 1.2. Materyal ve Metod

Bu çalışma 3 ana aşamada gerçekleştirilmiştir: i) yılda 3 kez olmak üzere periyodik örnekleme, ii) kimyasal ve izotopik analizler, iii) veri değerlendirilmesi.

Su örnekleri, sıcak/soğuk su kaynaklarından ya da üretim kuyularından, 1litrelik polietilen şişelere kimyasal (anyon-katyon) ve izotopik (Oksijen-18, döteryum, trityum) analizler için ayrı ayrı toplanmıştır. Kimyasal analizlerin Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarlarında yapıldığı ilk iki dönem hariç bütün dönemlerde suların kimyasal ve izotopik bileşimlerinin analizleri Devlet Su İşleri (DSİ) Laboratuvarları tarafından yürütülmüştür.

Gaz örnekleri, 40 cm uzunlukta ve dış çeperi 9.52 mm olan bakır borulara toplanmıştır. Örneklerin  $\text{CO}_2/\text{He}$ ,  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  analizleri, Geosciences Research Division, Scripps Institution of Oceanography Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçları, suların ve gazların kökenlerinin belirlenmesi, yeraltındaki fiziko-kimyasal süreçlerin aydınlatılması ve bileşim değişimlerinin KAFZ sismik etkinlikleri ile deneştirilmesi çerçevesinde değerlendirilmiştir.

## 1.3. Rapor Düzeninin Tanıtımı

Bu rapor 11 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takiben (Bölüm 1):

Bölüm 2, jeotermal sistemlere ilişkin kimyasal ve izotopik parametreleri tanıtmakta, bu parametrelerde gözlenen zamansal değişimlerin, sismik etkinliklerin izlenmesinde nasıl kullanıldığını örnekleriyle anlatmaktadır.

Bölüm 3, KAFZ'nun tektonik konumunu ve bu zon boyunca gerçekleşen güncel sismik etkinlikleri içermektedir.

Bölüm 4, bölgesel jeoloji ve jeotermal sahaların jeolojik ve hidrojeolojik anahatlarını içermektedir.

Bölüm 5, örnekleme düzeni ve çalışmada kullanılan analiz teknikleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

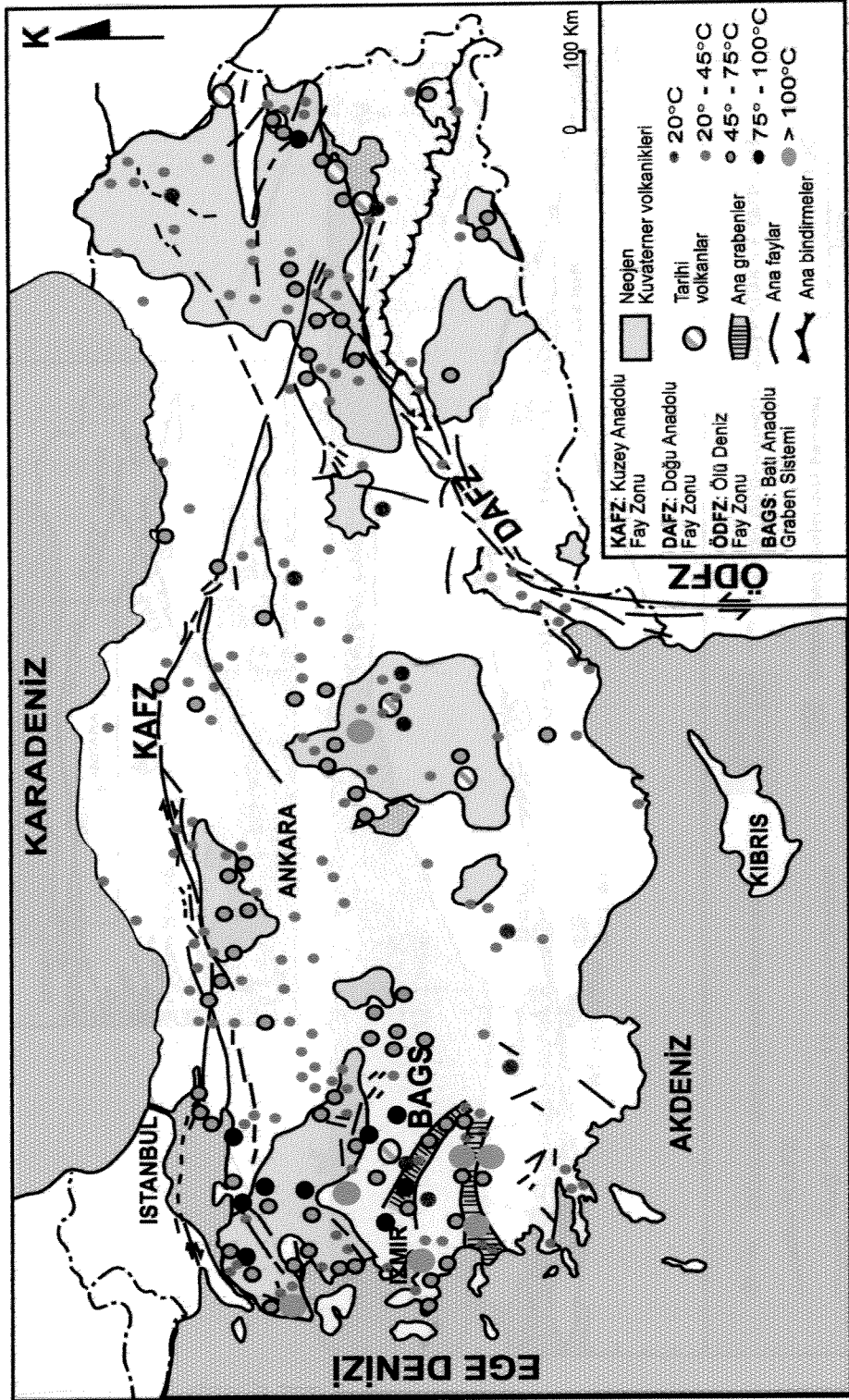
Bölüm 6, su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarını ve suların hidrojeokimyasal fasiyesleri ve olası yeraltı süreçlerinin yorumlanmasını içermektedir.

Bölüm 7, suların  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve D/H oranları ile trityum ( $^3\text{H}$ ) izotop bileşimlerini içermektedir. İzotop analiz sonuçları kullanılarak, suların kökeni ve olası yeraltı süreçleri değerlendirilmektedir.

Bölüm 8, gaz örneklerinin  $^3\text{He}/^4\text{He}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  ve  $\text{CO}_2/^3\text{He}$  izotop analiz sonuçlarını ve gazların kaynak bölgelerine ilişkin yorumları içermektedir.

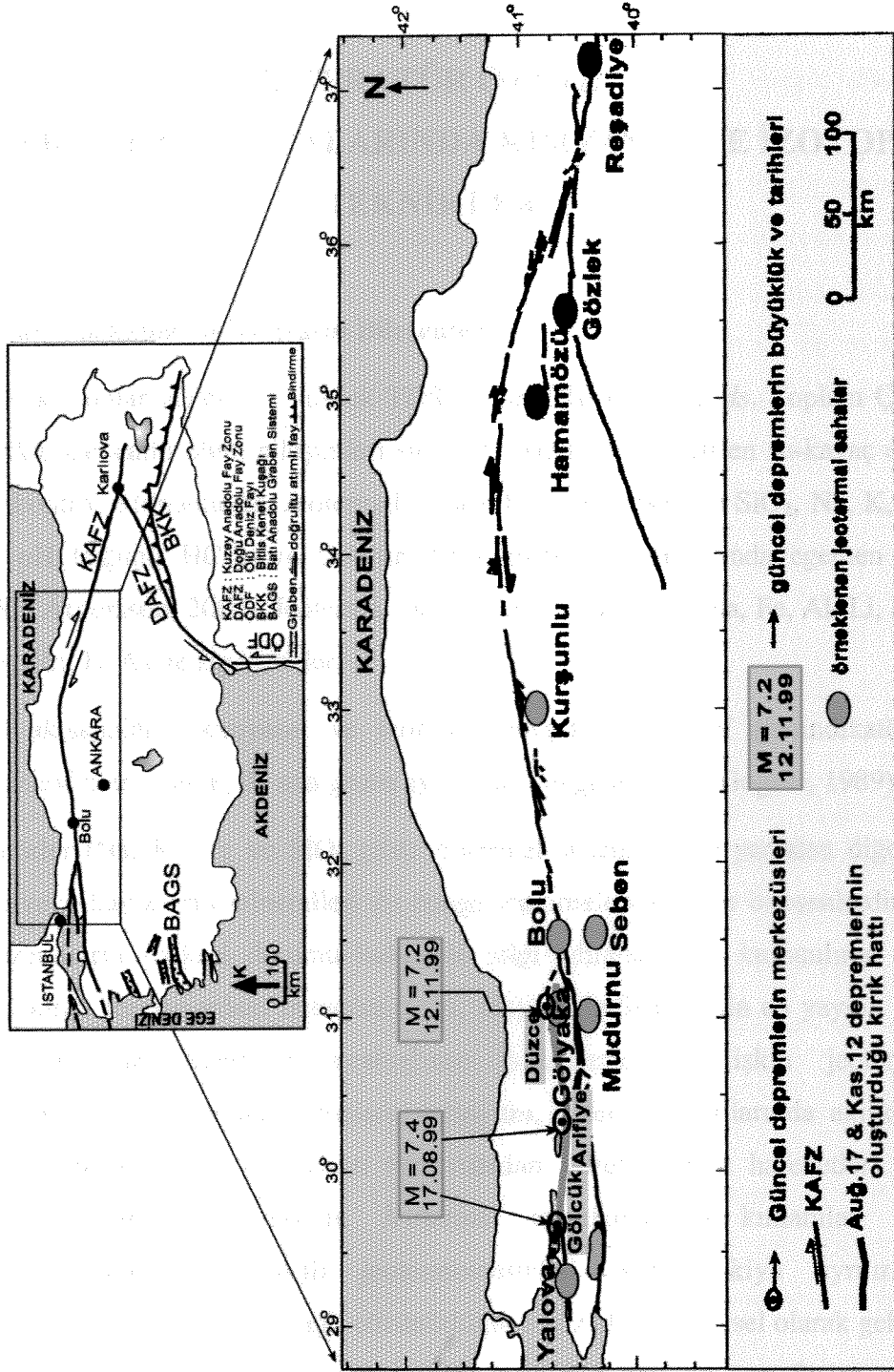
Bölüm 9, su ve gaz örneklerinin kimyasal ve izotopik bileşimlerindeki zamansal değişimlerin belirlenmesini ve bunların KAFZ boyunca gerçekleşen sismik etkinliklerle deneştirilmesini kapsamaktadır.

Bölüm 10 ise çalışmanın başlıca sonuçlarını ve önerileri içermektedir.



**Şekil 1.1.** Türkiye'deki sıcak su kaynakları, ana tektonik yapıların ve Neojen-Kuvaterner volkaniklerin dağılımı (Şimşek ve Güleş, 1994).





Şekil 1.2. KAFZ boyunca örneklenen jeotermal sahaların lokasyon haritası.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÖZETİ:

## JEOTERMAL ÇALIŞMALARINDA KİMYASAL VE İZOTOPIK TEKNİKLER

### 2.1. Jeotermal Akışkanların Kimyasal Bileşenleri

Jeotermal akışkanlar genellikle yüksek TDS (*Total Dissolved Solids*, Toplam Çözünmüş Madde) içeriklerine sahip olup, bileşimleri sıcaklığa bağlı olarak gelişen su-kayaç etkileşimi süreçlerince kontrol edilmektedir. Jeotermal suların başlıca bileşenleri SiO<sub>2</sub>, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub> ve pH bağımlı HCO<sub>3</sub> ve CO<sub>3</sub>'tür (CO<sub>3</sub>, pH>10.33 şartlarında egemen iyonur) (Drever, 1982; Arnorsson, 2000). Jeotermal akışkanlar ayrıca, az oranda, Fe, Al, Li, Rb, NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, Rn, B, As ve Hg içerirler.

Jeotermal akışkanların kimyasal ve izotopik bileşenleri, reaktif (jeoindikatörler) ve konservatif (izleyiciler) olarak, iki ana gruba ayrılırlar (Giggenbach ve Goguel, 1989).

Jeoindikatörler (Na, K, Mg ve SiO<sub>2</sub> gibi) jeotermal sistem içinde yer alan diğer reaktif bileşenler ve/veya kayaçların mineralleri ile denge tepkimelerine giren bileşenlerdir. Bunlar jeotermal rezervuarın fiziksel durumu hakkında bilgi edinmek için kullanılırlar (örneğin rezervuar sıcaklığı, rezervuardaki buhar/su oranı, vb.). Jeoindikatörlerin en yaygın kullanım alanlarından biri de rezervuar sıcaklığının belirlenmesine ilişkin jeotermometre uygulamalarıdır. Bu uygulamaların başlıca varsayımı, rezervuar şartlarında akışkan-kayaç dengesinin sağlanmış olması ve suların rezervuardan yüzeye doğru hareketleri sırasında kimyasal bileşimlerinin korumasıdır. Jeotermal uygulamalarda kullanılan kimyasal jeotermometreler silika ve alkali jeotermometreleri olarak ikiye ayrılır. Silika jeotermometreleri, silisin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü baz alan, deneysel olarak geliştirilmiş jeotermometrelerdir. Alkali jeotermometreler ise iyonların katı ve sıvı fazlar arasındaki dağılımına dayalıdır (Fournier, 1977; Fournier, 1979; Arnorsson, 2000).

İzleyiciler, yani kimyasal olarak tepkimeye girmeyen bileşenler ise su-kayaç sistemlerinde korunmuş halde bulunup hem jeotermal akışkanın hem de kendi kökeninin hakkında bilgi sunmaktadır. Cl, B, Li, Rb gibi bileşenler ile He, Ne, Ar, Kr, Xe gibi asal gazlar ısı ve akışkan

kaynakları için kesin izleyicilerdir (Arnorsson, 2000). Tritiyum ( $^3\text{H}$ ) ve döteryum ( $\text{D}$ ) gibi izotoplar da konservatif bileşenlerdir ve jeotermal çalışmalarda kullanılmaktadır. Oksijen-18 ise, sıcaklıkları  $100^\circ\text{C}$  den az olan akışkanlarda izleyici nitelikte kullanılabilirken, daha yüksek sıcaklıkta bulunan sularda büyük oranda değişime uğrayıp, izleyici kapasitelerini kaybeder (Arnorsson, 2000). İzleyiciler karışım ve kaynama gibi birçok süreci açığa çıkarabildiklerinden ve suya girdikten sonra değişmeden kalabildiklerinden, jeotermal araştırmalarda yaygın olarak kullanılırlar. Neredeyse yüzeye ulaşan tüm jeotermal sular karışık sular olduğundan, bunlar hem derin/sıcak hem de sıg/soğuk rezervuar karakterleri taşımaktadırlar. Sıcak rezervuardan yüzeye doğru hareket eden jeotermal sular yolları boyunca sıg soğuk su rezervuarları ile karışarak orijinal bileşimlerini ve sıcaklıklarını kaybederler. Kaynama daha çok yüksek entalpi sistemlerinde görülmekte olup basınç salınımı sırasında akışkandan buhar kaybı neticesinde orijinal sıvı bileşiminde değişime sebep olur. Karışım ve kaynama süreçleri i) Cl derişimleri, ii) trityum bileşimleri, iii) oksijen-hidrojen izotop bileşimleri ve iv) korunmuş element oranlarındaki değişimlerden ortaya çıkarılabilmektedir (Rybach ve Muffler, 1981).

## 2.2. Jeotermal Araştırmalarda İzotoplar

İzotoplar çekirdeklerinde aynı sayıda proton ihtiva eden fakat farklı sayıda nötrona sahip olan atomlardır. İzotoplar kararlı ve radyoaktif olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Radyoaktif izotopların çekirdekleri kararsız bir yapıya sahiptirler ve zamanla parçalanarak başka elementlerin izotoplarına dönüşürler. Kararlı izotoplar ise herhangi bir radyoaktif bozunma göstermemekte ve bileşimleri, evaporasyon, yoğunlaşma, magmatik ayrışma ve mineral-su etkileşimi gibi doğal süreçler sırasında izotopların değişik fazlara (sıvı, gaz, kristal,..) ayrışmaları ile kontrol edilmektedir.

Çevresel izotoplar doğal olarak hidrolik zincirde bulunan izotoplardır. İzotop oranları, sıcaklık, su-kayaç etkileşimi, karışım, buhar ayrışması ve bunun gibi fiziko-kimyasal süreçlere duyarlı olduklarından, birçok hidrolojik ve hidrojeolojik problemin çözülmesinde büyük rol oynamaktadırlar (Öztürk, 2001). Bu problemlerden başlıcaları:

- ❖ Yeraltısularının bağıl yaşlarının belirlenmesi
- ❖ Yertüstü ve yeraltısularının ilişkilerinin saptanması
- ❖ Yağış-akış ilişkileri

- ❖ Yeraltısuyu akış yönü ve hızının belirlenmesi
- ❖ Baraj ve göl kaçaklarının etüdü
- ❖ Yeraltısularının kökenlerinin belirlenmesi
- ❖ Suların radyoaktivite yönünden kalitesinin belirlenmesi
- ❖ Farklı akifer sistemlerinin belirlenmesi ve ilişkilerinin saptanmasıdır.

Oksijen ve hidrojenin duraylı izotopları ( $^{18}\text{O}$ ,  $^{16}\text{O}$ , D, H) ile radyoaktif trityum ( $^3\text{H}$ ) izotopu, su molekülünü oluşturan bileşenler olup, çevresel izotoplar sınıfında yer almaktadır.

Jeotermal araştırmalarında, sıvı fazı oluşturan izotoplar dışında, akışkanların gaz fazını oluşturan  $\text{CO}_2$ , He, Ne, Ar gibi bileşenlere ilişkin izotop ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ ,...) çalışmaları da son yıllarda önem kazanmıştır. Bunlardan özellikle asal gaz izotopları, gazların kaynak bölgelerini belirlemede son derece hassas parametreler konumundadır.

### 2.2.1. Oksijen ve Hidrojen İzotopları

Oksijen,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  ve  $^{18}\text{O}$  olmak üzere toplam 3 adet kararlı izotopa sahiptir. Doğada derişimi en yüksek olan oksijen izotopu  $^{16}\text{O}$  olup, toplam oksijenin % 99.76'sına tekabül ederken,  $^{17}\text{O}$  ve  $^{18}\text{O}$  izotopları toplam oksijenin, sırasıyla, %0.20 ve %0.048'lik bir bölümünü oluşturmaktadır. Hidrojen elementinin ise doğada 2 adet duraylı ( $^1\text{H} = \%99.985$ ,  $^2\text{H}$  (Döteryum, D) = %0.015) ve çok az oranda bulunan bir adet de radyoaktif izotopu ( $^3\text{H}$ , trityum) mevcuttur (Faure, 1986). Oksijenin 3, hidrojenin ise 2 adet duraylı izotopunun var olması nedeniyle, su molekülleri çeşitli izotopik konfigürasyonlara sahip olabilmektedir (örneğin,  $\text{H}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{17}\text{O}$ ,  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{16}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{17}\text{O}$ ,  $\text{HD}^{18}\text{O}$ ,  $\text{D}_2^{16}\text{O}$ ,  $\text{D}_2^{17}\text{O}$ ,  $\text{D}_2^{18}\text{O}$  gibi). Jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalarda, sözkonusu izotopların doğada en bol bulunanlarının oranları ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , D/H) kullanılmaktadır.

Jeokimyasal uygulamalarda, jeotermal akışkan örneklerinin duraylı oksijen- ve hidrojen izotop bileşimleri, referans standard bileşimlerinden olan sapmalar şeklinde, delta parametresi ile ifade edilmektedir. Referans olarak kullanılan standart ise Standart Ortalama Okyanus Suyu (Standard Mean Ocean Water, SMOW) bileşimidir.

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = [ (^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{sample}} - (^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{standard}} ] / [ (^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{standard}} ] * 1000$$

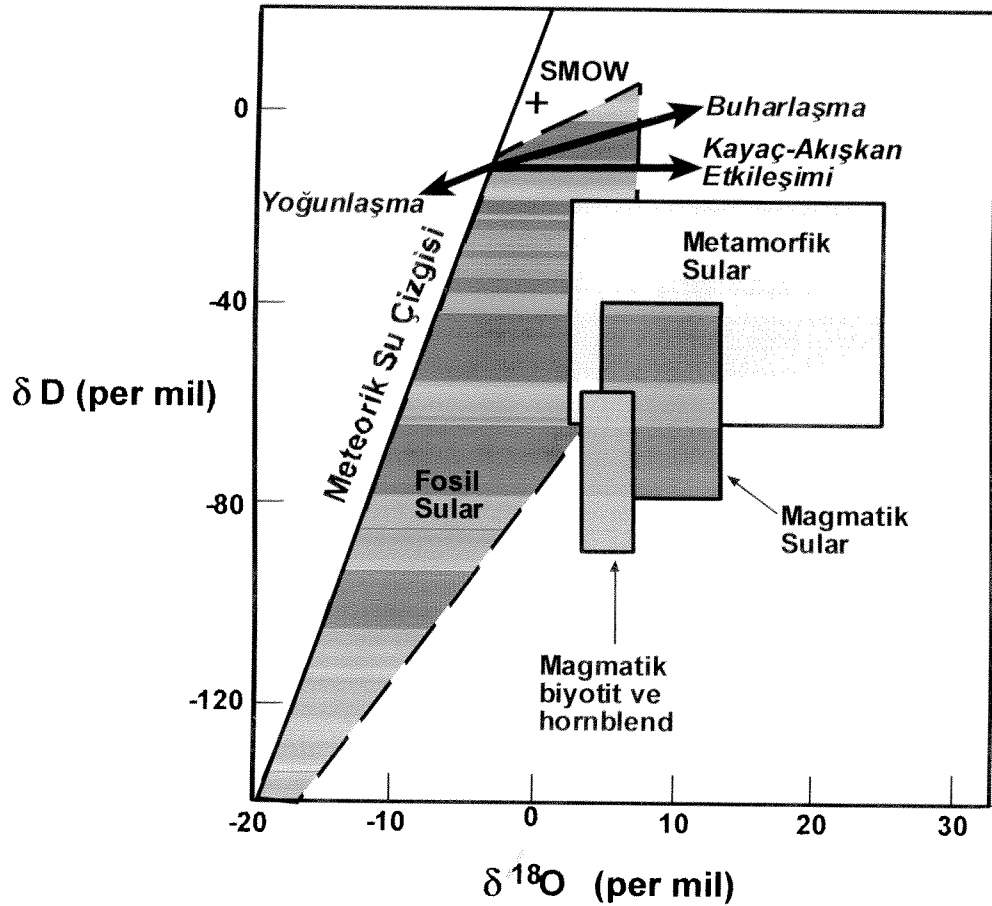
$$\delta\text{D} (\text{‰}) = [ (\text{D} / ^1\text{H})_{\text{sample}} - (\text{D} / ^1\text{H})_{\text{standard}} ] / [ (\text{D} / ^1\text{H})_{\text{standard}} ] * 1000$$

SMOW, okyanus sularının izotop bileşimini yansıtmakta ve  $\delta^{18}\text{O}=0$  ‰ ve  $\delta\text{D}=0$  ‰ değerleri ile temsil edilmektedir.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerlerinin pozitif değerleri, suların SMOW'a göre ağır izotoplarca zenginleştiğini gösterirken, negatif değerleri ağır izotoplarca fakirleştiğine işaret etmektedir.

Yağışların çoğu okyanus ve deniz sularının evaporasyonu sonucu ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerinde farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış (yağmur, kar) sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerlerinin

$$\delta\text{D} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \dots\dots\dots (\text{Craig, 1961})$$

denklemini ile tanımlanan çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1.** Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini gösterir  $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$  diyagramı (meteorik su çizgisi-Craig, 1961; magmatik sular-Taylor, 1974; Sheppard, 1977; metamorfik sular-Taylor, 1974; Sheppard, 1981; fosil sular-Taylor, 1974; magmatik biyotit ve hornblend-Taylor,1974).

Meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri 0 ile -60 ‰,  $\delta\text{D}$  değerleri ise +10 ile -400 ‰ arasında değişmektedir. Meteorik suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  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, bulunan bölgenin enlemine ve deniz seviyesinden olan yükseltisine bağlı olarak da değişmektedir; enlem ve yükseklik artıkça,  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri düşmektedir.

Meteorik su doğrusundan sapmalar i) evaporasyon ve yoğunlaşma, ii) su-kayaç etkileşimi ve iii) meteorik olmayan sularla karışım gibi birçok süreç sonucu gerçekleşebilir (Albu vd., 1997) (Şekil 2.1).

Evaporasyon sırasında, izotopik ayrışma sürecinde hafif izotoplar buhar (gaz) fazına, ağır izotoplar ise arta kalan sıvı fazına geçmektedir. Diğer bir deyişle, evaporasyon suyun bileşimini daha pozitif  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri yönünde değiştirmektedir (Şekil 2.1). Yoğunlaşma sırasında ise, tam tersi bir durum söz konusudur; suyun bileşimi daha negatif  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerlerine doğru yönelim gösterir (Mazor, 1997).

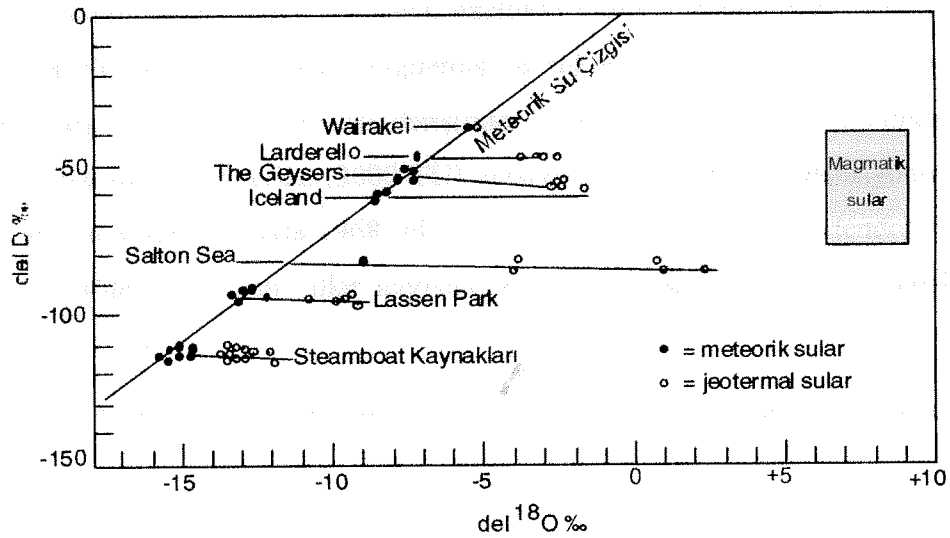
Su-kayaç etkileşimi daha çok yüksek sıcaklıklarda karşılaşılan bir durumdur (jeotermal sistemlerde). Jeotermal suların meteorik sulara oranla daha yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerine sahip oluşu ise suların yeraltı dolaşımını sırasında yan kayaçlar ile etkileşimde bulunmasına bağlanmaktadır. Ağır izotoplar açısından zengin kayaçlar ile jeotermal akışkan arasındaki etkileşim sonucu akışkan ağır izotoplarca zenginleşmekte ve bileşimi pozitif  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerine doğru değişmektedir. Hidrojen ise kayaçların ana bileşenlerinden biri olmadığından (ve kayaçtaki hidrojen miktarı akışkan örneklerine oranla çok daha düşük olduğundan), kayaç-akışkan etkileşimi jeotermal suların  $\delta\text{D}$  değerleri üzerinde bir değişikliğe neden olmamaktadır (Şekil 2.1).

Karışım süreçleri dikkate alınacak olunursa, jeotermal suların temel olarak 5 ana bileşeni göze çarpmaktadır ve bunlar i) meteorik sular (yağış, göl ve nehir gibi yüzey suları), ii) okyanus suyu, iii) derin kökenli fosil sular, iv) metamorfizma sürecinde salınan metamorfik sular ve v) mağmatik sular olarak ayrılmaktadır (Şekil 2.1). Söz konusu bu bileşenlerin her biri kendilerine özgü izotop bileşimlerine sahiptir. Yukarıda bahsedildiği üzere, meteorik suların H- ve O- izotop bileşimleri çizgisel bir ilişki sergilemektedir. Deniz suyu meteorik sulara oranla ağır izotoplar açısından daha zengindir ve deniz suyu ortalaması referans standart olarak kullanılmaktadır. Fosil sular sedimanter havzalarda, diyajenetik süreçler sırasında, sedimanlar içerisinde hapsedilmiş olan meteorik ya da deniz suyu kökenli sulardır.

Magmatik suların izotop bileşimi, magmatik kayaların izotop bileşimlerinden yola çıkılarak tanımlanmıştır ve  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri, sırasıyla, + 5.5 to + 13 ‰ ve -40 to -80 ‰ arasında değişmektedir (Taylor, 1974; Sheppard, 1981). Metamorfik suların izotop bileşimleri, (300-600 °C civarındaki sıcaklıklarda) metamorfizma sırasında, oksijen ve hidrojen içeren mineraller ile akışkan arasındaki denge durumuyla kontrol edilmektedir; bu suların  $\delta^{18}\text{O}$  ile  $\delta\text{D}$  değerleri, sırasıyla, +3 ile +25 ‰ ve -20 ile -65 ‰ arasında değişmektedir (Taylor, 1974; Sheppard, 1981).

Yukarıda bahsedilen bu bileşenlere ait izotop oranları, jeotermal akışkanların kökenlerinin bulunmasında kullanılır. Uzun yıllar boyunca jeotermal suların magmatik kökenli veya meteorik+magmatik katkılı sular olduğu düşünülmüştür. Ancak, meteorik ve magmatik suların karışımından oluşan jeotermal suların izotop bileşimlerinin, Şekil 2.1'de gösterilen diyagramda, meteorik su çizgisinden magmatik sular alanına doğru uzanan yönelimler göstermesi beklenirken, pek çok jeotermal sahada suların meteorik su bileşimine yakın bileşimler verdiği (ancak  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinin pozitif değerlere doğru sapma gösterdiği) gözlenmiştir (Şekil 2.2). Bu nedenle, bugün çoğu jeotermal suların esas olarak meteorik kökenli olduğu ve derin dolaşimleri sırasında jeotermal gradyan etkisi ile ısındıkları kabul edilmektedir.

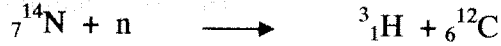
Özet olarak,  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  izotopları suların kökenini (meteorik, magmatik, metamorfik) araştırmakta ve hidrolojik zincirde yer alan fiziko-kimyasal süreçlerin (kaynama, karışım) çalışılmasında kullanılabilir.



Şekil 2.2. Çeşitli jeotermal sahalarda meteorik suların ve sıcak su kaynaklarının izotop bileşimini gösterir  $\delta\text{D} - \delta^{18}\text{O}$  diyagramı (Ellis ve Mahon, 1977).

### 2.2.2. Tritiyum

Tritiyum ( $^3\text{H}$ ), hidrojen elementinin kısa ömürlü, radyoaktif izotopu olup, atmosferde  $^{14}\text{N}$  izotopunun kozmik ışınlar ile tepkimesi sonucu oluşmaktadır:



Tritiyum, radyoaktif bozuşma süreci ile  $^3\text{He}$  izotopuna dönüşmektedir:



Bu bozuşma süreci ile bağlantılı olarak tritiyumun bozuşma katsayısı 0.056/yıl ve yarı ömrü de 12.26 yıldır (Faure, 1986).

Tritiyumun meteorik sulardaki derişimi Tritiyum Birimi (Tritium Unit, TU) cinsinden ifade edilmektedir.  $1\text{TU} = 1 \text{ atom } {}^3\text{H} / 10^{18} \text{ atom H}$ 'dir.

Tritiyum hem doğal olarak hem de nükleer denemeler sonucu yağışlarla birlikte hidrolojik çevrime katılmaktadır. Şekil 2.3'de tritiyumun kökeni ve hidrolojik zincir içerisindeki dağılımı gösterilmektedir. Atmosferin üst katmanlarındaki nötronların yaklaşık %3 ile %5'i azotla tepkimeye girerek küçük ama ölçülebilir miktarlarda tritiyum oluşturmaktadır.

Tritiyumun atmosferdeki bu doğal oluşum hızının  $0.25 \text{ atom/cm}^2$  olduğu tahmin edilmektedir. Bu kaynağın yağışlara verdiği tritiyum derişimi, coğrafi konuma bağlı olarak 5-20 TU civarındadır (Altay ve Çifter, 1996).

Tritiyum genellikle oksijenle birleşerek HTO ( $\text{H } {}^1\text{H}$  veya  ${}^2\text{H}$ , T: tritiyum ve O: oksijen) formunda bulunur (Albu vd., 1997).

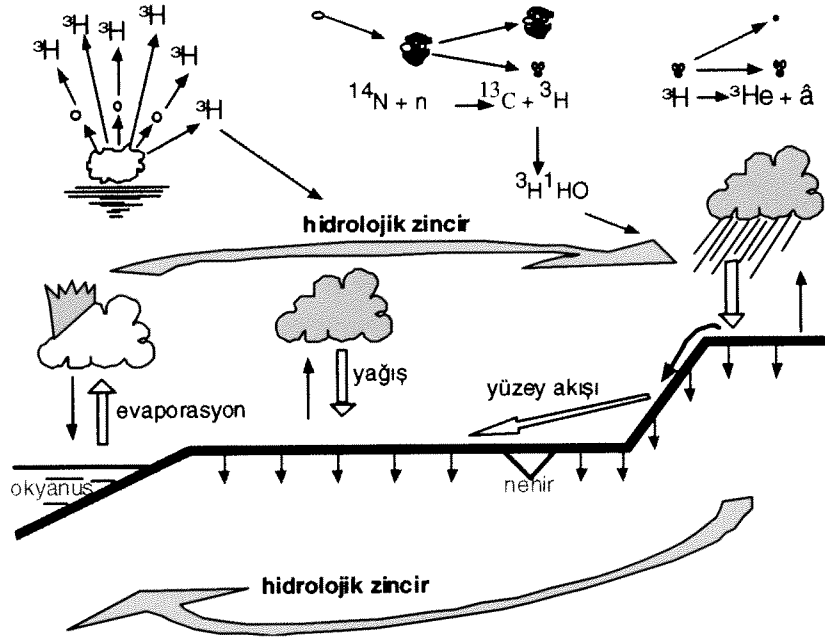
Tritiyumun atmosferdeki derişim düzeyi, özellikle kuzey yarımkürede, 1950'li ve 1960'lı yıllar arasında büyük bir değişiklik sergilemiş ve nükleer denemelerin başlamasından önce (1953'den önce) 5-20 TU civarındaki derişimler, nükleer denemelerin başlamasını takiben 1963 yılında maksimum değerine (3000 TU) ulaşmıştır. Tritiyum konsantrasyonu atmosferik bomba testlerinin kaldırılmasıyla 1968 yılına doğru düşüşe geçmiştir (Attendorn ve Bowen, 1997). Şekil 2.4'de, tritiyumun yıllar içerisindeki dağılımı Kanada-Ottawa yağışlarına göre gösterilmiştir.

Yağışlardaki tritiyum derişimi başlıca üç süreçten etkilenmektedir ve bunlar aşağıda özetlenmiştir.

- ❖ **Mevsimsel etki:** Tritiyum derişimindeki maksimum değer, bahar ve yaz aylarına ait yağışlarda gözlenmektedir ve bu olay bahar enjeksiyonu olarak adlandırılır.



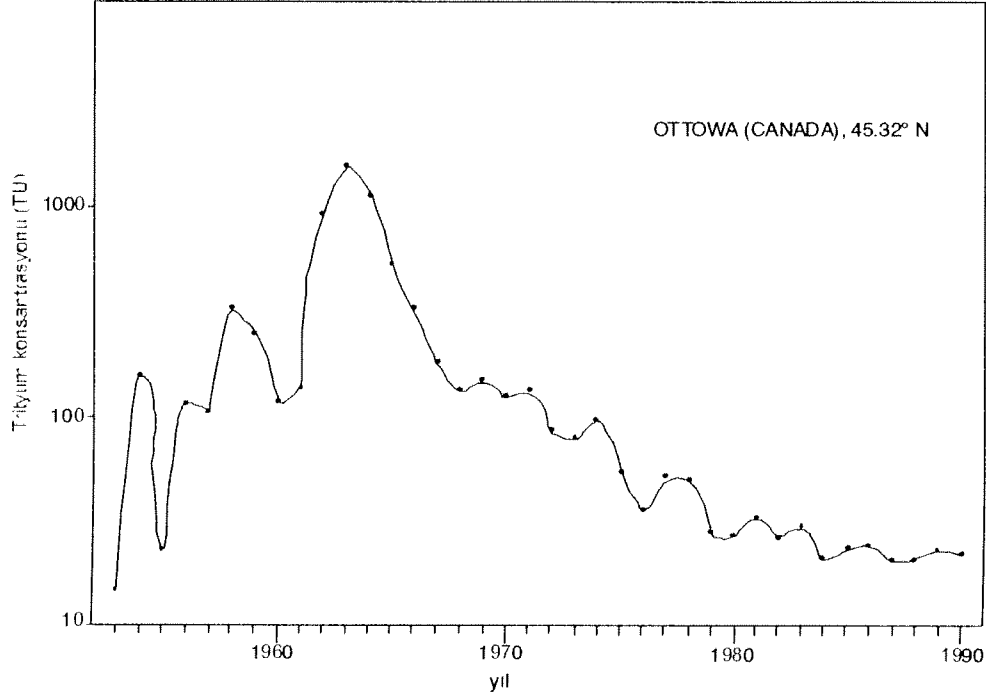
- ❖ **Karasal vs Okyanusal etki:** Karasal bölgelerdeki yağışların trityum konsantrasyonları okyanus bölgelerindekinden daha yüksektir. Bunu nedeni, düşük trityum derişimine sahip deniz sularının buharlaşmasıyla okyanus bölgesindeki yağışların trityum derişiminin seyrelmesidir.
- ❖ **Coğrafi enlem etkisi:** Trityum derişimi yüksek enlemlere doğru artış gösterir. Ayrıca Kuzey yarımkürede gözlenen yağışların trityum derişimi güney yarımküreden daha fazladır (Altay ve Çifter, 1996).



Şekil 2.3. Trityumun hidrolojik zincirdeki dağılımı ve kökeni.

Nükleer denemeler sonucu oluşan trityum, atmosferik ve hidrolojik süreçleri izlemede ve yeraltısularının yaşları hakkında genel bir bilgi edinmekte kullanılmaktadır. Yeraltısuyu trityum içermiyorsa veya 1.0 TU'dan daha az trityum içeriyorsa, bu durum, yeraltısuyunun nükleer bomba denemelerinden daha yaşlı yağışlar ile beslendiğini göstermektedir. Çünkü yeraltısularını besleyen yağışların nükleer denemelerden (1963 yılından) önce yaklaşık 10 TU civarında bir derişim düzeyine sahip olduğu göz önüne alınacak olursa, 2005 yılına kadar geçen yaklaşık 42 yıllık bir süre içerisinde, radyoaktif bozuma ile, yaklaşık 1.0 TU'ya düşeceği açıktır. Yeraltısuyu 1.0 TU'dan daha yüksek

miktarda trityum içeriyorsa, bu durum, nükleer denemeler sonrası yağış sularının yeraltısuyuna karıştığını göstermektedir.



Şekil 2.4. Ottawa yağış sularında trityumun yıllık değişimi (Altay ve Çifter, 1996).

Yeraltısularının yaşlarına ilişkin olarak kullanılan ve daha kantitatif olarak nitelendirilebilecek olan bir yöntem ise, suların beslenme noktasındaki (meteorik) su örneğinde ölçülen trityum içeriğini ilksel miktar, boşalım ya da örnekleme noktasında ölçülen içeriği ise bugünkü miktar kabul ederek, aşağıda gösterilen radyoaktif bozuşma eşitliği yardımıyla, yaş hesabı yapmaktır.

$${}^3\text{H}_{\text{gw}} = {}^3\text{H}_{\text{atm}} e^{-\lambda t},$$

${}^3\text{H}_{\text{gw}}$  : yeraltısuyunun trityum derişimi,

${}^3\text{H}_{\text{atm}}$  : atmosferdeki trityum derişimi,

t : bozuşma başlangıcından bu yana geçen süre veya yeraltısuyunun yeraltında kaldığı süre (yeraltısuyunun yaşı, yıl cinsinden)

$\lambda$  bozuşma sabiti:  ${}^3\text{H} = 0.056 \text{ year}^{-1}$  (Faure, 1986)

### 2.2.3. Helyum İzotopları

Daha çok suların kökenlerini belirlemede kullanılan O- ve H-izotoplarına karşın, jeotermal akışkanlardaki bileşenlerin kökenini belirlemede de He-izotopları kullanılmaktadır.

İzotop bileşimi açısından, helyum elementi üç ana bileşene sahiptir:

#### Radyojenik Helyum

Radyojenik-He iki farklı mekanizma ile oluşmaktadır

1. U ve Th izotoplarının  $\alpha$ -bozuşması ile oluşan  $^4\text{He}$
2. Nükleer tepkimeler:  $^6\text{Li} (n, \alpha) ^3\text{H} (\beta^-) ^3\text{He}$

2 no.lu tepkimede  $^6\text{Li}$  izotopu, nötron bombardımanı sonucu yan ürün olarak  $\alpha$ -partikülü ( $^4\text{He}$  izotopu) oluşturarak  $^3\text{H}$  (trityum) izotopuna dönüşmekte, bu  $^3\text{H}$  izotopu da  $\beta$ -bozuşması yaparak  $^3\text{He}$  izotopuna dönüşmektedir.

$^3\text{He}$  ve  $^4\text{He}$  izotoplarının oranları Li, U ve Th izotoplarının derişimlerine bağlı olarak değişmekle birlikte, radyojenik-He genelde kıtasal kabuk litolojileri için tipik olan  $10^{-7}$  ile  $10^{-8}$  arasında değişen  $^3\text{He}/^4\text{He}$  oranlarına sahiptir (Ozima ve Podosek, 1983; Andrews, 1985; Mamyrin ve Tolstikhin, 1984; Lupton, 1983). U, Th ve Li elementleri mantodan çok kabuk rezervuarında yoğunlaştığı için kabuk radyojenik-He açısından zengindir ve *radyojenik-He* terimi çoğu kez *kabuksal-He* anlamında kullanılmaktadır.

Trityujenik-HeTrityujenik-He, triyum ( $^3\text{H}$ ) izotopunun radyoaktif bozuşmasıyla oluşmaktadır. Bu bağlamda, gerek doğal nükleer süreçlerle (atmosferdeki  $^{14}\text{N}$  izotopunun kozmik ışınlar ile bombardımanı yoluyla) oluşan  $^3\text{H}$ , gerekse nükleer testler ile ortaya çıkan  $^3\text{H}$ , trityujenik-He oluşumuna katkıda bulunmaktadır.

#### İlksel-He

İlksel-He, yerkürenin solar nebuladan (Güneş bulutsusudan) oluşumu sırasında içerisinde hapsedtiği He bileşenidir. Yerkürenin içerisinde ilksel gazların hapsedilmiş olduğu gerçeği, ilk defa, Pasifik Okyanusu sularında  $10^{-5}$  değerlerine kadar ulaşan yüksek  $^3\text{He}/^4\text{He}$  oranlarının bulunması ile gündeme gelmiştir (Clarke vd., 1969). Bu değerler, nükleer süreçler ile elde edilebilecek  $10^{-7} - 10^{-8}$  değerlerinden çok daha yüksek olup, yerkürenin içerisinde ilksel-He bileşenin varlığını ve bu bileşenin, okyanus ortası sırtlarda okyanus kabuğu oluşumu sırasında, mantodan dışarı salındığını ortaya koymuştur.

İlksel-He bileşimi, esas olarak, *Solar-He* bileşimi ile tanımlanmaktadır. Solar-He,  $^3\text{He}/^4\text{He} = 10^{-4}$  oranına sahiptir (Ozima ve Podosek, 1983); mantodan salınan gazlarda ise bu oran, manto rezervuarında bulunan U izotoplarının radyoaktif bozuluşması ile ortaya çıkan  $^4\text{He}$  izotopunun etkisi ile,  $10^{-5}$  değerine düşmektedir.

Bugün, ilksel-He, büyük ölçekte okyanus kabuğunun oluşumu süreci ile okyanus ortası sırtlarda, daha küçük ölçekte de magmatik süreçler ile, özellikle gerilme tektoniğinin etkisi altındaki kıtasal ortamlarda, manto rezervuarından dışarı salınmaktadır.

### İzotopik Rezervuarlar

Atmosfer, (kıtasal) kabuk ve manto, kendilerine özgü bileşimleri ile (Çizelge 2.1), He-izotopları için başlıca rezervuarlardır. Bu rezervuarlar, jeolojik malzemelerde (su örnekleri, jeotermal akışkan - sıvı ve gaz - örnekleri, bazalt örneklerinin camlı hamurları vb.) gözlenen He-izotop bileşimlerini sağlayabilecek karışım süreçlerine katkı veren uç bileşenler konumundadır. [ $R/Ra = (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{örnek}} / (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{atmosfer}}$ ] (Çizelge 3).

**Çizelge 2.1.** Atmosfer, (kıtasal) kabuk ve manto rezervuarlarının He-izotop bileşimleri (Ozima ve Podosek, 1983; Andrews, 1985; Mamyrin ve Tolstikhin, 1984).

Bileşen	$^3\text{He}/^4\text{He}$ ( <i>R</i> )	$(^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{örnek}} / (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{atmosfer}}$ ( <i>R/Ra</i> )
Atmosferik-He	$1.39 \times 10^{-6}$	1
Kabuksal-He	$10^{-7}-10^{-8}$	0.01-0.1
Mantosel-He	$10^{-5}$	8-10

### Tektonik Ortamlar ve He-izotop Bileşimleri

$^3\text{He}/^4\text{He}$  oranları, farklı tektonik ortamları ayırt etmekte başarı ile kullanılmaktadır. Başlıca tektonik ortamlara ve bu ortamları karakterize eden He-bileşenlerine ait izotop bileşimleri, şematik olarak, Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Şekil 2.6, çeşitli tektonik ortamlardan alınan akışkanların He-izotop aralıklarını göstermektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere,

- Tüketilmiş manto rezervuarı ve türevleri (MORB), *R/Ra* değerleri 8 ile 10 arasında (hayli kısıtlı bir bileşim aralığında) değişen izotop oranlarına sahiptir.

- Sıcak manto sorguları üzerinde yer aldığına inanılan okyanus adaları tarafından temsil edilen az tktilmiş (veya tktilmemiş) manto rezervuarı, 15 ile 30 arasında değişen R/Ra oranları ile yerküre rezervuarlarından elde edilen en yüksek <sup>3</sup>He değerleri veya en yüksek *ilksel-He* bileşenine sahiptir.

- Yitim zonlarından elde edilen R/Ra oranları, manto malzemesi ile manto içerisine döngü yapan kabuk malzemesinin bir karışımını yansıtmakta ve 5-8 değerleri arasında değişmektedir.

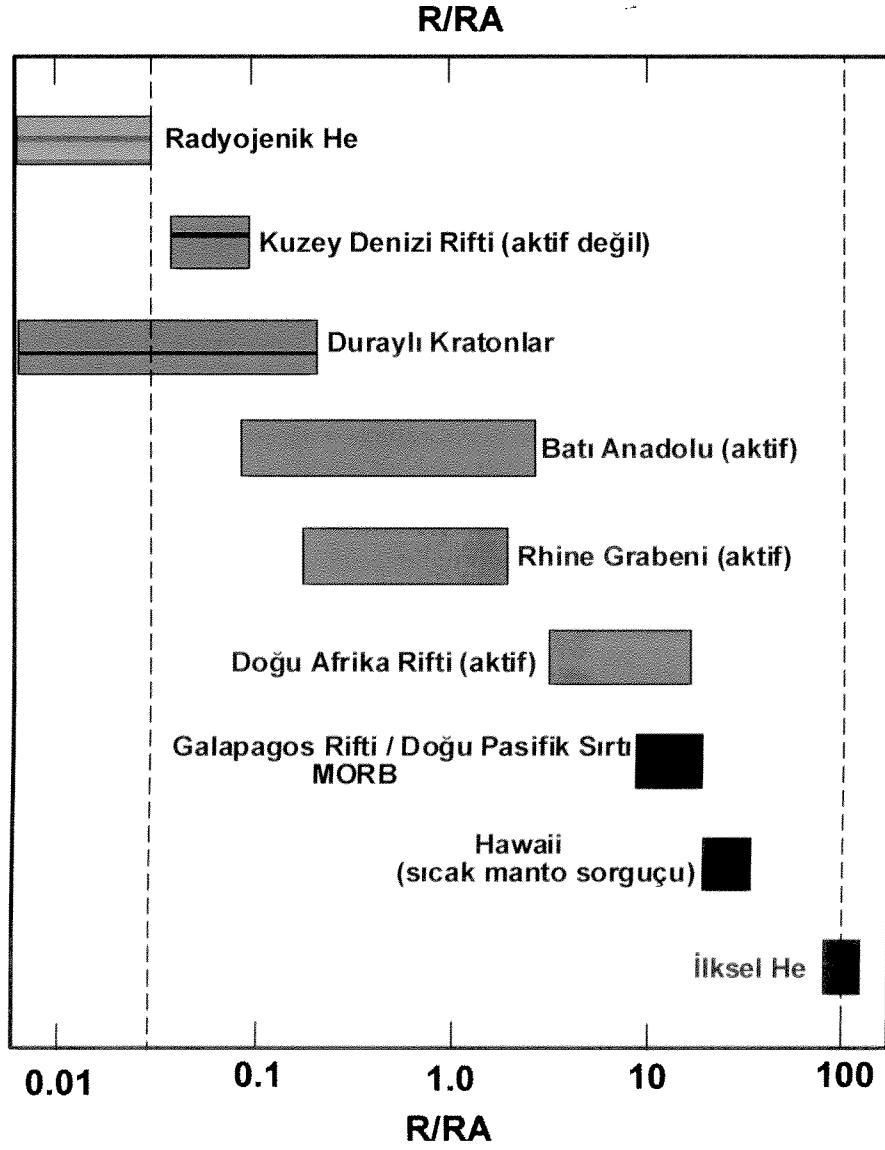
- Kıtasal ortamlardaki en düşük izotop oranları (R/Ra = 0.003-0.26), yaşlı ve tektonik konum itibariyle duraylı kratonlardan (Doğu Avrupa ve Sibirya Platformları gibi) elde edilmekte ve kıta kabuğunun radyojenik-He bileşenini açısından hayli zengin olduğunu göstermektedir.

- Kıtasal ortamlarda (R/Ra = 15 değerine kadar ulaşan) en yüksek izotop oranları, güncel gerilme tektoniğinin etkin olduğu (Rhine Grabeni, Doğu Afrika Rifti ve Batı Anadolu gibi) bölgelerden elde edilmekte ve söz konusu alanlarda, magmatik etkinlikler aracılığıyla, mantodan ilksel-He salınımı olduğuna işaret etmektedir.

Bu bağlamda, jeotermal akışkanlar üzerinde gerçekleştirilen He-izotop analizleri, akışkan bileşimine etkiyen manto ve kabuk rezervuarlarından gelen katkıları ayırt etmekte başarı ile kullanılmaktadır.

$3\text{He}/4\text{He}$	He-Bileşeni / Tektonik Ortam	R/RA
$10^{-4}$	İLKSEL - He	100
$3 \times 10^{-5}$	OIB	30
$10^{-5}$	MORB	10 (8-10)
$(0.6-0.8) \times 10^{-5}$	Kıta Kenarı volkanikleri	6-8
$1.4 \times 10^{-6}$	ATMOSFER	1
$10^{-7}$		0.1
$10^{-8}$	RADYOJENİK - He (KABUKSAL - He)	0.01

Şekil 2.5. Farklı tektonik ortamları karakterize eden He-bileşenlerine ait izotop bileşimleri.



**Şekil 2.6.** Çeşitli tektonik ortamlara ait akışkanların He-izotop bileşimleri (Veri kaynakları: Ozima ve Podosek, 1983; Andrews, 1985; Polyak ve Tolstikhin, 1985; Hooker et al., 1985; Güleç, 1988).

#### 2.2.4. Karbon İzotopları

Karbon, evrendeki en bol elementlerden biri olup, biyosfer, hidrosfer ve atmosferdeki varlığına ek olarak, yerkürenin kabuk ve manto rezervuarlarında bulunan en önemli elementlerinden birini teşkil etmektedir. Karbon, kömür ve indirgenmiş halde organik bileşimlerde bulunmaktadır. Ayrıca yükseltgenmiş halde temel olarak CO<sub>2</sub> formunda, suda karbonat iyonları şeklinde, karbonat minerallerinin yapısında, grafit ve elmas formunda da

doğal element olarak yer almaktadır. Karbon, doğada  $^{12}\text{C} = \% 98.89$  ve  $^{13}\text{C} = \% 1.11$  olmak üzere iki adet duraylı ve buna ek olarak da bir adet radyoaktif,  $^{14}\text{C}$ , izotopuna sahiptir.

Karbon izotopları fotosentez ve organik bileşenler arasındaki izotop değişim tepkimeleri gibi birkaç doğal süreç sonucu ayrımlaşmaya uğrar. Fotosentez, biyolojik olarak sentezlenmiş organik bileşenler içinde  $^{12}\text{C}$  zenginleşmesine neden olmaktadır. Öte yandan,  $\text{CO}_2$  gazı ve sulu karbonat türleri arasındaki izotop değişim süreçleri, karbonatları  $^{13}\text{C}$  bakımından zenginleştirmektedir.

Karbon izotop bileşimi, hidrojen ve oksijen için de kullanılan delta parametresi ile aşağıda gösterildiği şekilde ifade edilmektedir.

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = [ (^{13}\text{C}^{12}\text{C})_{\text{örnek}} - (^{13}\text{C}^{12}\text{C})_{\text{std}} ] / [ (^{13}\text{C}^{12}\text{C})_{\text{std}} ] * 10^3$$

Referans standard olarak, Peedee Formasyonu Belemnitlerinin (PDB), %100 'lük fosforik asitle tepkimesinden oluşan  $\text{CO}_2$  gazı kullanılmaktadır.

Karbon genellikle çift kolektörlü kütle spektrometreleri ile  $\text{CO}_2$  gazı şeklinde analiz edilmektedir. Karbonat örnekleri %100'lük fosforik asitle  $25\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tepkimeye sokulurken, organik bileşimler  $900$  ile  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de  $\text{CO}_2$ 'e yükseltgenmektedir.

Şekil 2.7'de karbon izotop bileşimlerinin doğal maddelerdeki dağılımı özetlenmiştir. Meteor taşları geniş bir karbon izotop dağılımı göstermektedir. Örneğin, *Carbonaceous* kondiritler,  $-25$  ile  $0\text{ ‰}$  arasında bulunan  $\delta^{13}\text{C}$  bileşimlerine sahiptirler. Karbonatit ve kimberlit gibi kayalar ile elmasların izotopik incelenmesi sonucu belirlenen manto değerleri,  $\delta^{13}\text{C} = -3\text{ ‰}$  ile  $\delta^{13}\text{C} = -8\text{ ‰}$  arasında dar bir dağılım göstermekte olup ortalama olarak  $\delta^{13}\text{C} = -6\text{ ‰}$  kabul edilmektedir. MORB' nın (*Mid Ocean Ridge Basalts* = Okyanus Ortası Sırtı Bazaltları) ortalama değeri  $\delta^{13}\text{C} = -6.6\text{ ‰}$ 'dir. Deniz suyu tanım olarak  $0\text{ ‰}$ 'e yakın bir değere sahipken, denizel karbonatlar  $-1$  ile  $+2\text{ ‰}$  aralığında dar bir dağılım sergilemektedir. Denizel bikarbonat değerleri ise  $-2$  ile  $+1\text{ ‰}$  arasında değişmektedir. (Rollinson, 1993).

Biyolojik olarak oluşan (organik) karbon izotopik olarak hafif, yani  $\delta^{13}\text{C}$ 'ce fakirdir. Biyolojik maddelerde  $\delta^{13}\text{C}$  değeri  $-20$  ile  $-30\text{ ‰}$  arasında değişmektedir. Metan,  $\delta^{13}\text{C}$  bakımından en fakir organik bileşiktir ve doğada genellikle organik maddenin aneorobik fermantasyonu veya petrol ve kerojenin  $100\text{ }^\circ\text{C}$ 'den daha yüksek sıcaklıklarda termal

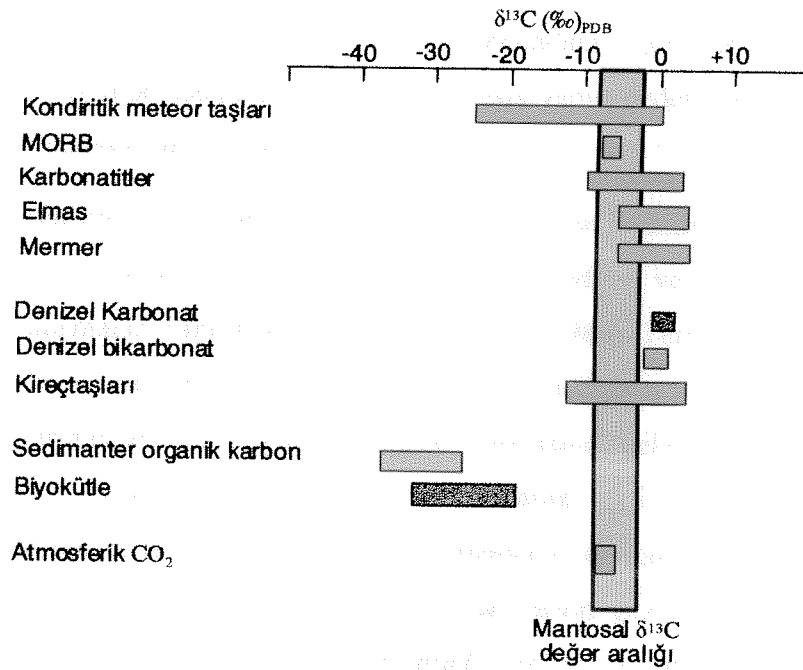


degradasyonu sonucu oluşabilmektedir. Biyolojik kökenli metanın  $\delta^{13}\text{C}$  değeri  $-80$  ‰ civarındadır.

Karbon izotoplarının ayrışması hem denge hem de kinetik süreçler tarafından kontrol edilmektedir.  $\delta^{13}\text{C}$  ayrışması çoğu zaman sıcaklığa bağlı gelişmektedir.

$\text{CO}_2$ , magmatik, metamorfik ve hidrotermal çözülemlerin başlıca bileşenlerinden biri olduğu için,  $\text{CO}_2$ 'in orijinal kaynağının bulunmasında karbon izotop bileşimlerinin kullanımı yararlı olmaktadır. Bu gibi çalışmalar, daha çok sıvı kapanımları ve  $\text{CO}_2$ 'ce zengin akışkanlarla denge halinde bulunan karbonat mineralleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Son yıllarda volkanik etkinlikler ile salınan  $\text{CO}_2$  gazının, mantosal  $\text{CO}_2$ 'e ilişkin yorumlarda önem kazandığı görülmüştür.



Şekil 2.7. Doğal  $\delta^{13}\text{C}$  rezervuarları ve bunların  $\delta^{13}\text{C}$  değer aralıkları.

### 2.3. Sismik Etkinliklerin İzlenmesinde Jeotermal Akışkan Bileşimleri

Depremlerin önceden tahimini, uzun yıllardır yer bilimcilerin ilgisini çeken bir konu olagelmıştır. Depremlerin fiziksel olaylar olması nedeniyle, deprem tahminlerine ilişkin çalışmalar geleneksel olarak jeofizik yöntemler ile yürütülmüştür. Ancak, 1950'li yıllarda

Japonya'da ve 1970'li yıllarda Rusya'da, radon gaz çıkışlarının büyük depremler öncesinde artış gösterdiğinin belgelenmesi (Hatuda, 1953; Okabe, 1956; Sadovsky ve diğerleri, 1972) ile gaz jeokimyası, potansiyel bir yöntem olarak, depremlere ilişkin çalışmalarda jeofizik yöntemlerin yanında yerini almıştır.

Depremlere ilişkin çalışmalarda bilinen en eski jeokimyasal parametre olan radon gaz ölçümleri bugün de büyük ölçekte Rusya, Çin, Japonya, İzve a ve Amerika Birleşik Devletleri'nde sismik hareketliliği izlemede kullanılmaktadır (Teng, 1980; King, 1980; Wakita ve diğerleri, 1980; Craig ve diğerleri, 1980; Hauksson, 1981; Teng ve Sun, 1986). Örneğin San Andreas Fayının Tejon'dan Kaliforniya-Cajon bölgesine kadar uzanan segmenti boyunca, 1974 yılından başlayarak, otomatik olarak sürekli radon ölçümleri yapan (continuous radon monitors, CRMs) izleme ağları oluşturulmuştur (Teng ve Sun, 1986). Rapor edilen radon anomalilerinin çoğu büyük depremlerden günler, hatta haftalar önce ortaya çıkmakta ve bu anomalilerin %50'den çoğu sadece birkaç gün sürmektedir. Ancak, sismik hareketlilik ile radon anomalileri arasındaki görünür ilişkiyi yönlendiren mekanizmalar, hidrolojik sistem dinamiğinin karmaşık yapısı nedeniyle, çok iyi anlaşılabilmiş değildir ve bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

Sismik hareketliliğin izlenmesinde kullanılan bir diğer jeokimyasal parametre Hidrojen gazı olup, 1980'li yıllarda, gene Kaliforniya'da San Andreas ve Calaveras fayları boyunca sürekli izleme çalışmaları yapılmıştır (Sato ve diğerleri, 1986). Temmuz 1982 ve Kasım 1983 yılları arasında San Andreas fayı üzerinde iki lokalitede aynı anda oluşan ani H<sub>2</sub> - gaz artışları, bu tarihlerde Coalinga civarında meydana gelen depremler (M>5) ile ilişkilendirilmiştir (Sato ve diğerleri, 1980). Sismik aktivitelere bağlı anomalilerin, enstrümental (ölçüm cihazına ilişkin) ve/veya meteorik kaynaklı anomalilerden kolaylıkla ayırt edilebiliyor olması nedeniyle, H<sub>2</sub>-gazının da, radon gazı gibi, derin kökenli kabuk hareketlerini teşhis etmekte potansiyel bir iz sürücü olabileceği sonucuna varılmıştır.

Radon ve hidrojen haricinde deprem çalışmalarında başarı ile kullanılan diğer gazlar helyum (He), argon (Ar), nitrojen (N<sub>2</sub>) ve metan (CH<sub>4</sub>) gazlarıdır. Japonya'da 14 Eylül 1984'de merkez üssü Western Nagano olan 6.8 büyüklüğündeki depremden 1-3 ay kadar önce, merkez üssüne uzaklığı 50-70 km arasında değişen doğal kaynaklardaki (maden suyu çıkışlarındaki) gaz kabarcıklarının He/Ar, N<sub>2</sub>/Ar ve CH<sub>4</sub>/Ar oranlarında anomaliler tespit edilmiştir (Sugisaki ve Sugiura, 1986). Bu anomaliler, deprem oluşumuna neden olan kabuksal gerilme etkisiyle, gözenek basınçlarında meydana gelen değişimlere bağlanmıştır. Söz konusu kaynaklarda, He/Ar, N<sub>2</sub>/Ar ve CH<sub>4</sub>/Ar oranlarındaki artışı takiben H<sub>2</sub>-gaz

çıkışlarında da artışlar gözlenmiş ve bu artışlar yeraltı suyu ile yeni oluşan çatlak sistemleri arasındaki reaksiyona bağlanmıştır. Bir başka deyişle, He ve CH<sub>4</sub> gibi gazlar kabukta birikmekte ve kabuksal gerilmeler yoluyla yeryüzüne ulaşmakta, H<sub>2</sub> ise kayaç-su etkileşimi ile ortaya çıkmaktadır (Sugisaki ve Sugiura, 1986).

Sismik hareketliliğin izlenmesinde gazların sadece emisyon miktarları değil, aynı zamanda izotopik bileşimleri de kullanılmaktadır. Bu konuda, gazların kaynak bölgelerinin belirlenmesinde son derece hassas parametreler olması dolayısıyla, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranları potansiyel izleyici konumundadır. Manto-çıkışlı gazlar, atmosfer kökenli gazlara oranla 8-30 kat daha yüksek <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranlarına sahiptir. Kabuk-çıkışlı (kabuksal kökenli) gazlarda ise <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He değerleri atmosfer kökenli gazlara oranla çok daha (10-100 kat) düşüktür. Bu nedenle helyum izotop bileşimleri, manto - kabuk etkileşimlerindeki değişimleri, dolayısıyla da sismik hareketliliği izlemede son yıllarda sıkça kullanılmaktadır. Karbon-izotop bileşimleri ise, organik karbonun -30 ‰, karbonatların ise 0 ‰  $\delta^{13}\text{C}$  bileşimine sahip olmaları nedeniyle, mantosal karbon ( $\delta^{13}\text{C} = -6 \text{ ‰}$ ) katkısının belirlenmesinde helyum-izotop bileşimleri kadar etkin değildir. Buna karşın, CO<sub>2</sub>/He gaz oranları, gazların kaynak bölgelerinin belirlenmesinde daha yararlı parametrelerdir (mantosal CO<sub>2</sub>/He:  $2 \cdot 10^9$  – Marty, 1987, 1998; kabuksal CO<sub>2</sub>/He:  $10^{12}$ - $10^{13}$  - O'Nions and Oxburgh, 1988). Bu nedenle, gaz izotoplarına ilişkin olarak, karbon-izotop bileşimleri çoğu kez helyum-izotop bileşimleri ve CO<sub>2</sub>/He gaz oranları ile bütünleşik olarak kullanılmaktadır. 1978 yılında, Scripps Institution of Oceanography - İzotop Laboratuvarı tarafından, Long Valley Caldera bölgesinde (A.B.D.) jeotermal akışkanların izotop bileşimindeki değişimler ile sismik aktivitelerin yeri, zamanı ve büyüklüğü arasındaki ilişkiyi incelemek üzere bir izleme programı başlatılmıştır. Bu izleme programı çerçevesinde, depremler öncesi <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranlarında,  $\delta^{13}\text{C}$ , CO<sub>2</sub>/<sup>3</sup>He ve % CO<sub>2</sub> değerlerinde belirgin değişimler kaydedilmiş ve bu değişimler sismik aktivitelerin kabuk içerisinde oluşturduğu geçirgenlik artışlarına bağlanmıştır. (Welhan ve diğerleri, 1988; Sorey ve diğerleri, 1993; Hilton, 1996). Benzer şekilde Japonya'da, depremler öncesinde, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranlarında değişimler kaydedilmiştir (Sano ve diğerleri, 1986). Helyum izotopları, akışkan basınçları ile sismik aktiviteler arasındaki ilişkinin belirlenmesi konusunda da kullanım alanı bulmaktadır. Örneğin, San Andreas Fay sisteminde çalışmalar yapan Kennedy ve diğerleri (1997), helyum izotop bileşimlerinin izlenmesiyle elde ettikleri akışkan hızlarındaki değişimlerin, kabuğun derinliklerinde fayın zayıflamasına yol açan artışlar meydana getirdiğini ileri sürmüşlerdir.

Özet olarak gaz jeokimyası, depremlerin önceden belirlenmesine ilişkin çalışmalarda son derece önemli bir teknik olup, jeofizik yöntemlerin bir bütünleyicisi olarak giderek daha yaygın kullanım alanı bulmaktadır.

Gaz ölçümleri ve gazların izotopik bileşimleri dışında, jeotermal akışkanların sıvı fazına ait bileşenler de (özellikle anyon-kasyon içerikleri ve Cl derişimleri) sismik etkinliklerin izlenmesinde sıkça kullanılmaktadır.

Toutain vd., 1997, tarafından yapılan çalışmaya göre, 5.2'lik Pyrenean (Fransa) depreminden 5 gün önce Alet maden sularında Cl bileşimlerinde anomaliler tespit edilmiş ve bunlar 10 ile 13 gün boyunca sürmüştür. Depreme öncü olarak maden suyunun Cl bileşiminde ortalama değere göre yaklaşık %36'lık bir artış tespit edilmiş ve buna ek olarak sülfat derişiminde de hafif bir artış kaydedilmiştir (ortalama değerden yaklaşık %14 daha fazla). Cl bileşimindeki artış ana şoktan 5 ile 8 gün sonra normal değerlere (background) düşmüştür. Bu Cl anomalisi öncü sismik gerilim tarafından tetiklenen ve Alet sahası ile depremin merkez üssü arasındaki bir alandan çıkan Cl' ca zengin sularla karışıma ithaf edilmiştir. Bu çalışma, maden sularının potansiyel bir sismik izleyici konumunu taşıdıklarını göstermektedir.

Nishizawa vd., 1998, tarafından yapılan çalışmada, Yugano sıcak su kaynaklarında, Cl ve SO<sub>4</sub> anomalileri, 1995 İzu yarımadası sismik etkinliklerinin başlangıcından tam 12 gün sonra tespit edilmiştir. Cl ve SO<sub>4</sub> bileşimlerinde 2 katlık artışlar, 22 ve 23 Eylül'de, sismik aktivitenin yoğunlaşmasından sadece 5 gün önce, ard arda iki örnekleme gününde gözlenmiştir. Cl ve SO<sub>4</sub> bileşimlerinde doğrusal bir ilişki tespit edilmiş ve bu da değişimlerin 2 bileşenli basit bir karışım sürecini yansıttığı (ve bu karışımın sismik etkinliklerce tetiklendiği) şeklinde yorumlanmıştır.

Balderer vd., 2002, Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca yer alan (Kuzuluk, Bursa, Yalova/Gemlik) termal ve maden sularının kimyasal ve izotopik bileşimlerinde değişimler kaydetmiştir. Örnekleme deprem öncesi ve sonrası gerçekleştirilmiş ve sismik etkinliklere bağlı değişimler belirlenmiştir. Kimyasal (Ca, K, Na, NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub> ve Cl) ve izotopik ( $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$ ) bileşimlerindeki değişimler, derinlerde bulunan tuzlu suların tektonik etkinliklere bağlı mobilizasyonu ve yüzey sularıyla karışımına bağlanmıştır.

Favara vd., 2001, tarafından yapılan çalışmalarda Batı Sicilya yöresinin termal sularında, 1966 ile 1968 yılları arasında gerçekleşen sismik etkinliklerce aktif olan dönemde, sıcaklık ve kimyasal bileşenlerinde zamansal değişimler kaydedilmiştir. Termal suların sıcaklık, Na, Cl, SO<sub>4</sub> ve TDS değerlerinde deprem öncesi keskin düşüş ve deprem sonrası artışlar gözlenmiştir.

Bu parametrelerdeki değişimler, akiferlerde tektonik aktiviteler sonucu gerçekleşen sürekli değişimlere ithaf edilmiştir. Ayrıyeten, 1965'ten 1991'e kadar geçen zamanda, sıcaklıkta sürekli artışlar kaydedilmiştir ve durumun derin bir sistemden salınan akışkan sayesinde gerçekleştiği düşünölmüştür (31 to 41 °C). Terme Selinuntine kaynağında sismik etkinlikler boyunca CO<sub>2</sub> değerlerinde artışlar gözlenmiş ve bu artışların depremler sonrası tekrar eski değerlerine döndükleri tespit edilmiştir. Bu sudaki zamansal değişimler, 1968 depremi sırasındaki gerilim boşalımı sonucu derin kökenli ve CO<sub>2</sub>'ce zengin suların çıkışına bağlanmıştır.

Federico vd., 2004, tarafından yapılan jeokimyasal izleme çalışmasında, 1998 ve 2001 arasında, İtalya'da Vesuvius volkanik sahasında bulunan iki ayrı su kütesinin zamansal değişimleri incelenmiştir. Sahada gözlenen su gruplarından birincisi, volkanın güney kısmından, ikinci su kütlesi ise volkanın kuzey kısmında yüzeye çıkmaktadır. Birinci gruba ait sular yüksek sıcaklık, TDS ve yüksek CO<sub>2</sub> bileşenleri tarafından karakterize edilip derin dolaşımli suları temsil etmektedirler. İkinci gruba ait sular ise olasılıkla yeraltısularının derin kökenli volkanik akışkanları ile zayıf etkileşiminden dolayı düşük sıcaklık ve düşük TDS bileşenlerine sahip olup sığ dolaşımli dırlar. Birinci gruba ait sularda mevsimsel değişimler gözlenmemiş ve neredeyse sabit T, pH, kimya ve oksijen izotop bileşimleri izlenmiştir. Bu da bu gruba ait suların, yüzey koşullarından ve mevsimsel değişimlerden etkilenmeyen derin kökenli bir rezervuardan geldiklerine işaret etmektedir ki bu burum sözkonusu suların düşük trityum (0-7 TU) içerikleriyle de desteklenmektedir. İkinci gruba ait sularda ise su kimyasında zamansal bazda değişimler kaydedilmiş ve bunlar mevsimsel değişimler, antropojenik etkiler veya değişik su kütlelerinin karışımına ithaf edilmiştir. Bu gruba ait sular, trityum içeriği 7 TU'dan yüksek sığ dolaşımli sular olduklarından mevsimsel etkilere cevap vermişlerdir. Su kimyasındaki değişimler, özellikle de kısa hidrolojik çevrime sahip olan Olivella soğuk su kaynağında, sıcaklık, pH ve major iyon deşişimlerinde senkronik değişimler kaydedilmiş ve bunlar hidrolojik yıl içerisindeki değişken meteorik katkıyla izah edilmiştir. Değişimlerin ayrıca Vesuvius volkanik sahasında değişik su kütlelerinin karışımı sonucu olduğu düşünölmüştür. Ca-HCO<sub>3</sub> 'tan alkali Cl -SO<sub>4</sub> bileşimine doğru geçiş birçok sahada izlenmiş ve bu da ya zamansal değişimlerin hidrolojik sistemde sebep olduğu karışımlara ya da sismik enerji salınımı sırasında çatlak oluşumları sonucu kayaç geçirgenliğinde meydana gelen lokal değişimlere bağlanmıştır. İzleme alışması sırasında, 1999 Ekim depremine ilişkin, Olivella soğuk su kaynağının pH değerinde büyük düşüş ve buna ek olarak redoks potansiyelinde düşüş, özünmüş CO<sub>2</sub>' de artış ve <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranında artış kaydedilmiştir. Bu

değerlerin daha sonra orijinal seviyelerine döndüğü tespit edilmiştir. Bu değişimler kaynağı besleyen akifere (sismik sürecin tetiklediği çatlak oluşumları ve bunu izleyen geçirgenlik artışı sonucu) yüksek magmatik CO<sub>2</sub> ve He katkısı olduğu şeklinde değerlendirilmiştir. Ayrıca, depremden birkaç ay önce artan He-gaz içeriği, deprem öncesi basınç birikmesi sonucu, kabuksal-He gazının salınımına ithaf edilmiştir.

Türkiye’de ise jeokimyasal izleme çalışmaları, 1999 Düzce ve İzmit depremlerinden sonra, çeşitli araştırmacılar ve kuruluşlar tarafından başlatılmıştır. Bu çalışmalar arasında, TÜBİTAK-MAM laboratuvarlarınca Marmara Bölgesinde başlatılan toprak radon gazı ölçümleri (İnan vd., 2003a,b) ve Hacettepe Üniversitesi tarafından Efteni’de başlatılan jeotermal suların kimyasal ve kararlı izotop bileşimlerinin izlenmesi çalışmaları sayılabilir (Şimşek ve Karakuş, 2005).

## BÖLÜM 3

### KUZEY ANADOLU FAY ZONU: TEKTONİK KONUM VE GÜNCEL SİSMİK ETKİNLİKLER

#### 3.1. Tektonik Konum

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Türkiye'nin neotektonik dönemde gelişmiş başlıca yapısal unsurlarından birini oluşturmaktadır. Kuzeyde Avrasya ve güneyde Arap levhaları arasındaki Orta Miyosen yaşlı çarpışmayı takiben gelişen bu neotektonik dönemin diğer yapısal elemanları, Bitlis Kenet Kuşağı (BKK), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Batı Anadolu Graben Sistemi (BAGS)'dir (Şekil 3.1).

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), doğuda Varto civarından başlayarak batıya doğru Karlıova, Reşadiye, Amasya, Bolu üzerinden (Şekil 3.1) Ege Denizi'ne kadar uzanan, yaklaşık 1400 km uzunlukta, 0.3-40 km genişlikte bir kırık hattı olup (Koçyiğit vd., 1999a), kuzeydeki Avrasya levhasını güneydeki Anadolu levhacığından ayıran kıta içi bir levha sınırı niteliğindedir (Koçyiğit vd., 1999b). Bolu'nun batısında Mudurnu civarlarında iki ana alt kola ayrılan KAFZ, güney kol boyunca İznik-Gemlik üzerinden, kuzey kol boyunca ise Arifiye-İzmit-Gebze üzerinden Marmara Denizi içinde ve çevresinde devam etmekte, oradan da Saros Körfezi ve Ege Denizi kadar uzanmaktadır (Şekil 3.1) (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör ve Canitez, 1982; Koçyiğit vd., 1999a). Birçok paralel ile yarı paralel fay segmentlerinden oluşan ve sağ yanal doğrultu atımlı olan KAFZ'nun yaşı konusundaki görüşler çok çeşitli olup Orta Miyosen'den Erken Pliyosen'e kadar değişmektedir (Bkz. Bozkurt, 2001 ve içindeki referanslar). KAFZ boyunca toplam öteleme ile ilgili görüşler de tartışmalıdır: veriler,  $85 \pm 5$  km ve 20-25 km aralığında değişmektedir (Şengör, 1979, Şaroğlu, 1988, Toprak, 1988, Koçyiğit, 1989, Rojay, 1993, Dirik, 1993, Barka, 1992; Tüysüz vd., 1998).

### 3.2. Güncel Sismik Etkinlikler

KAFZ, orta ve büyük ölçekteki sayısız depremlere neden olmuş dünyadaki en iyi bilinen doğrultu atımlı faylardan biridir. Tarihte KAFZ boyunca aletsel büyüklüğü  $M > 6.7$  olan ve 1000 km'den daha uzun yüzey kırığı oluşturan başlıca yıkıcı depremler, 1939 Erzincan (M: 7.9.), 1942 Erbaa-Niksar (M: 6.9), 1943 Tosya (M: 7.7), 1944 Bolu-Gerede (M: 7.5), 1957 Abant (M: 6.8), 1967 Mudurnu vadisi (M: 7.0), 1992 Erzincan (M: 6.5) ve yakınlarda gerçekleşen 1999 İzmit ve Düzce depremleridir. Birbirlerini takiben yaklaşık 3 ay içinde gerçekleşen 1999 İzmit (17 Ağustos 1999, M: 7.4, derinlik: 17 km) ve Düzce (12 Kasım 1999, M: 7.2, derinlik: 10 km) depremleri yaklaşık 25,000 can kaybına neden olmuştur. İzmit depremi iki şok olarak Gölcük ve Arifiye merkezüslerinde gerçekleşmiş ve batıda Gölcük'ten doğuda Gölyaka'ya kadar uzanan 137 km' lik bir yüzey kırığı oluşturmuştur (Koçyiğit vd., 1999a). Düzce depremi ise KAFZ' nun 40 km lik bir segmenti boyunca Gölyaka'dan doğuya doğru bir yüzey kırığı oluşturmuştur (Koçyiğit vd., 1999b; Çemen vd., 2000) (Şekil 3.1).

İzleme çalışması sırasında KAFZ civarında meydana gelen depremlerin büyüklükleri 5.0'ın altındadır. 2002 ve 2004 yılları arasında KAFZ boyunca örneklenen jeotermal sahalara yakın depremlerin listesi Çizelge 3.1'de, dağılımları da Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Şekil 3.1'den görüleceği üzere depremler genellikle KAFZ'nun batı ve orta kısımlarında yoğunlaşmaktadır. Bütün depremler arasında en çok dikkati çekenler, yani suların kimyasal ve izotopik bileşimlerinin değişimleri ile ilişkilendirilebilen depremler başlıca: 23.3.2002 Marmara Denizi (M: 4.7), 3 ve 13.7.2002 Armutlu-Yalova (M: 3.1), 14.7.2002 Yığılca-Bolu (M: 3.1), 15.7.2002 Yığılca-Düzce (M: 2.8), 21.10.2002 Bolu (M: 2.6), 1.11.2002 Mudurnu-Bolu (M: 3.4), 11.5.2003 Gölyaka-Düzce (M: 2.8), 26.6.2003 Gümüşhacıköy-Amasya (M: 3.4), 22.7.2003 Çınarcık-Yalova (M: 3.5), 24.7.2003 Armutlu-Yalova (M: 3.3), 25.7.2003 Yığılca-Düzce (M: 3.1-4.0), 1.8.2003 Gölyaka-Düzce (M:2.3), 5.10.2003 Çilimli-Düzce (M: 2.8), 15.10.2003 Marmara Denizi (M: 2.7), 22.10.2003 Yığılca-Düzce (M: 2.9), 14.4.2004 Bolu-Merkez (M:4.7), 2.9.2004 Marmara Denizi (M: 2.8) depremleridir.





**Çizelge 3.1.** 2002 ve 2004 yılları arasında gerçekleşen depremler (<http://deprem.gov.tr>).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
04.01.2002	40.21	34.28	02,2	3,1	Sungurlu-ÇORUM
04.01.2002	40.95	30.93	04,6	3,4	Cumayeri-BOLU
10.01.2002	40.79	30.97	05,8	3,2	Gölyaka-DÜZCE
11.01.2002	40.78	31.50	04,0	3,2	BOLU
11.01.2002	40.71	31.50	05,9	2,3	BOLU
15.01.2002	40.58	33.00	05,3	2,6	Orta-ÇANKIRI
20.01.2002	40.62	32.98	07,4	3,5	Çerkeş-ÇANKIRI
26.01.2002	41.17	34.23	20,6	2,8	Kargı-ÇORUM
29.01.2002	40.92	31.39	11,0	3,1	Yığılca-DÜZCE
30.01.2002	40.88	31.57	03,0	3,1	Yığılca-DÜZCE
31.01.2002	40.48	30.76	07,5	3,1	Göynük-BOLU
01.02.2002	41.06	34.25	04,8	3,3	Kargı-ÇORUM
03.02.2002	40.10	35.66	12,2	4,2	Çekerek-Zile arası- TOKAT
03.02.2002	40.75	33.91	10,4	2,1	Yapraklı-ÇANKIRI
01.03.2002	40.64	32.86	17,0	2,8	Çerkeş-ÇANKIRI
01.03.2002	40.81	34.85	08,0	2,7	Laçın-ÇORUM
23.03.2002	39.49	28.81	01,0	4,7	Marmara Denizi
25.03.2002	40.97	28.74	11,1	3,1	Marmara Denizi
02.04.2002	40.59	29.23	02,0	2,8	Marmara Denizi
05.04.2002	40.68	32.96	05,1	3,9	Orta-ÇANKIRI
30.04.2002	40.27	33.86	01,0	3,6	Kızılırmak- ÇANKIRI
30.04.2002	40.27	33.86	01,0	3,6	Kızılırmak- ÇANKIRI
02.05.2002	40.68	32.70	02,0	2,7	Çerkeş-ÇANKIRI
04.05.2002	40.04	34.61	12,2	3,3	Sungurlu-ÇORUM
04.05.2002	40.72	31.67	08,3	3,4	BOLU
08.05.2002	41.01	31.20	01,0	2,7	Akcakoca-BOLU
12.05.2002	40.56	28.78	10,5	3,0	Armutlu - YALOVA
14.05.2002	40.60	32.96	12,4	2,8	Orta - ÇANKIRI
14.05.2002	40.43	28.72	12,5	3,2	Armutlu - YALOVA
17.05.2002	40.70	31.64	03,6	2,3	BOLU
29.05.2002	40.88	34.55	10,6	3,2	Oğuzlar - ÇORUM
09.06.2002	40.60	32.99	05,8	4,0	Orta - ÇANKIRI
19.06.2002	40.04	35.94	09,3	3,3	Sulusaray-TOKAT
02.07.2002	40.74	33.04	04,0	2,4	Atkaracalar - ÇANKIRI
03.07.2002	40.57	28.94	05,0	3,1	Armutlu - YALOVA
12.07.2002	41.13	34.43	04,0	2,9	Kargı - ÇORUM
12.07.2002	41.12	34.43	03,5	2,6	Kargı - ÇORUM
13.07.2002	40.57	28.94	05,0	3,1	Armutlu - YALOVA
14.07.2002	40.89	31.34	09,6	3,1	Yığılca - BOLU
14.07.2002	41.17	31.46	14,2	2,6	Akcakoca - BOLU

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
15.07.2002	41.35	31.55	01.0	2.8	Yığılca - DÜZCE
15.07.2002	40.82	33.09	01.0	2.8	Atkaracalar - ÇANKIRI
23.07.2002	40.72	35.21	01.0	2.5	Gümüşhacıköy - AMASYA
27.07.2002	40.52	32.92	01.0	2.5	Orta-ÇANKIRI
04.08.2002	40.18	31.11	12.8	3.3	Sungurlu-ÇORUM
06.08.2002	40.64	32.99	01.6	2.4	Orta-ÇANKIRI
11.08.2002	40.59	33.01	03.8	3.6	Orta-ÇANKARA
14.08.2002	40.04	34.72	08.0	3.6	Boğazkale-ÇORUM
21.08.2002	40.67	32.95	01.0	2.8	Orta-ÇANKIRI
22.08.2002	40.57	33.00	04.6	2.4	Orta-ÇANKIRI
26.08.2002	40.84	31.05	10.4	3.6	DÜZCE
27.08.2002	40.89	34.32	09.8	2.7	İskilip-ÇORUM
29.08.2002	40.66	32.97	01.6	3.1	Orta-ÇANKIRI
31.08.2002	40.73	31.49	06.0	3.3	BOLU
08.09.2002	40.45	32.98	12.4	2.1	Orta-ÇANKIRI
10.09.2002	40.55	32.95	02.0	2.7	Orta-ÇANKIRI
10.09.2002	40.81	33.05	05.7	2.7	Atkaracalar- ÇANKIRI
12.09.2002	41.09	33.76	08.3	2.9	İlgaz-ÇANKIRI
12.09.2002	40.99	33.41	04.2	2.6	İlgaz-ÇANKIRI
16.09.2002	41.12	34.22	07.3	3.4	Kargı-ÇORUM
21.09.2002	40.58	32.99	13.6	2.6	Orta-ÇANKIRI
28.09.2002	40.53	33.00	05.6	2.2	Orta-ÇANKIRI
03.10.2002	40.65	30.28	08.2	2.8	Sapanca- SAKARYA
11.10.2002	40.88	31.42	10.0	3.1	Yığılca-DÜZCE
16.10.2002	40.64	32.98	01.0	2.4	Orta-ÇANKIRI
16.10.2002	40.66	32.99	01.0	3.0	Orta-ÇANKIRI
17.10.2002	40.68	33.01	01.2	2.5	Orta-ÇANKIRI
18.10.2002	40.60	33.00	05.0	2.8	Orta-ÇANKIRI
19.10.2002	41.02	33.46	08.7	3.2	İlgaz-ÇANKIRI
20.10.2002	40.08	34.33	01.0	3.3	Sungurlu-ÇORUM
20.10.2002	40.10	34.32	02.5	3.3	Sungurlu-ÇORUM
21.10.2002	40.89	31.76	01.2	2.6	Merkez-BOLU
22.10.2002	40.64	32.97	03.0	2.9	Orta-ÇANKIRI
22.10.2002	40.69	32.94	01.2	3.4	Çerkeş-ÇANKIRI
27.10.2002	40.80	30.59	05.4	2.6	Hendek- SAKARYA
27.10.2002	40.86	30.60	07.8	2.7	Hendek- SAKARYA
27.10.2002	40.86	30.60	05.1	2.9	Hendek- SAKARYA
27.10.2002	40.86	30.60	07.4	2.5	Hendek- SAKARYA
27.10.2002	40.80	30.62	07.2	2.5	Hendek- SAKARYA
31.10.2002	40.52	32.94	06.0	3.0	Orta-ÇANKIRI
01.11.2002	40.36	31.19	04.8	3.4	Mudurnu-BOLU
04.11.2002	40.62	32.95	05.0	2.6	Orta-ÇANKIRI
07.11.2002	40.69	31.61	01.0	2.9	Merkez-BOLU
10.11.2002	40.79	31.53	03.3	3.4	Merkez-BOLU

**Çizelge 3.1.** (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
18.11.2002	40.76	29.92	09.0	3.1	İzmit-KOCAELİ
18.11.2002	40.68	32.89	03.2	2.5	Orta-ÇANKIRI
19.11.2002	40.91	31.60	10.6	3.7	Yığılca-BOLU
20.11.2002	40.57	30.42	06.1	2.6	Karapürçek- SAKARYA
22.11.2002	41.18	34.58	04.6	2.6	Kargı-ÇORUM
23.11.2002	40.86	31.55	04.8	3.2	Merkez-BOLU
29.11.2002	40.57	29.03	07.2	3.0	Çınarcık-YALOVA
03.12.2002	40.73	31.24	05.5	2.9	DÜZCE
05.12.2002	40.48	32.94	06.6	2.6	Orta-ÇANKIRI
13.12.2002	40.24	36.76	06.0	3.4	Almus-TOKAT
13.12.2002	40.60	33.07	06.0	3.2	Orta-ÇANKIRI
19.12.2002	40.88	31.48	04.4	3.3	Yığılca-DÜZCE
20.12.2002	40.76	35.29	13.7	3.1	Gümüşhacıköy- AMASYA
20.12.2002	40.74	35.24	05.0	3.0	Gümüşhacıköy- AMASYA
22.12.2002	40.69	29.44	09.8	3.2	Altınova-YALOVA
24.12.2002	40.65	30.69	05.3	3.2	Akyazı-SAKARYA
04.01.2003	40.84	31.64	02.0	3.2	BOLU
04.01.2003	40.62	33.02	18.4	2.7	Orta-ÇANKIRI
04.01.2003	40.62	33.13	03.7	2.6	Orta-ÇANKIRI
10.01.2003	40.62	33.02	05.8	3.0	Orta-ÇANKIRI
11.01.2003	40.60	33.00	12.4	2.2	Orta-ÇANKIRI
13.01.2003	40.64	32.98	05.3	2.8	Orta-ÇANKIRI
13.01.2003	41.01	33.32	08.2	2.5	Bayramören- ÇANKIRI
14.01.2003	40.58	29.33	10.3	2.8	Termal-YALOVA
14.01.2003	40.46	33.00	05.1	2.5	Orta-ÇANKIRI
17.01.2003	40.40	34.94	08.6	2.7	ÇORUM
18.01.2003	40.74	32.99	06.1	2.6	Atkaracalar- ÇANKIRI
20.01.2003	40.59	29.27	15.0	2.8	YALOVA
21.01.2003	40.65	29.27	05.1	3.0	YALOVA
21.01.2003	40.64	29.26	09.0	2.8	YALOVA
23.01.2003	40.55	32.96	03.0	2.6	Orta-ÇANKIRI
23.01.2003	40.55	32.92	01.0	2.3	Orta-ÇANKIRI
23.01.2003	40.63	33.04	03.0	2.3	Orta-ÇANKIRI
27.01.2003	40.59	33.79	03.4	3.0	Yapraklı-ÇANKIRI
28.01.2003	40.70	32.97	05.8	3.3	Atkaracalar- ÇANKIRI
30.01.2003	40.69	30.50	05.1	3.2	Karapürçek- SAKARYA
31.01.2003	40.80	30.88	06.9	3.4	Gümüşova-DUZCE
31.01.2003	40.64	32.95	03.7	3.7	Orta-ÇANKIRI
03.02.2003	40.63	33.07	09.3	3.1	Orta-ÇANKIRI
13.02.2003	40.46	33.04	06.5	3.6	Orta-ÇANKIRI

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
13.02.2003	40.73	31.55	08.3	2.7	Merkez-BOLU
14.02.2003	40.57	33.02	04.5	3.6	Orta-ÇANKIRI
17.02.2003	40.48	34.31	16.0	3.3	Uğurludağ-ÇORUM
21.02.2003	40.80	30.89	10.6	2.8	Gölyaka-BOLU
28.02.2003	40.63	29.14	02.9	3.1	Çınarcık-YALOVA
09.03.2003	40.50	33.05	06.6	2.6	Orta-ÇANKIRI
10.03.2003	40.71	30.65	01.0	3.6	Akyazi-SAKARYA
10.03.2003	40.73	30.62	01.0	2.6	Akyazi-SAKARYA
10.03.2003	40.73	30.59	10.2	2.9	Akyazi-SAKARYA
10.03.2003	40.70	30.64	16.2	3.5	Akyazi-SAKARYA
11.03.2003	40.88	31.62	03.7	2.9	Yığılca-DÜZCE
11.03.2003	40.85	30.64	09.9	3.1	Hendek-SAKARYA
11.03.2003	40.21	34.60	06.3	3.0	Boğazkale-ÇORUM
12.03.2003	40.70	33.98	01.2	3.1	Yapraklı-ÇANKIRI
12.03.2003	40.54	33.05	09.2	3.7	Orta-ÇANKIRI
18.03.2003	40.60	32.99	13.0	2.5	Orta-ÇANKIRI
25.03.2003	40.66	30.59	01.0	2.8	Akyazi-SAKARYA
25.03.2003	40.44	33.29	04.6	2.7	Şabanözü- ÇANKIRI
26.03.2003	40.75	30.62	10.1	2.9	Akyazi-SAKARYA
02.04.2003	40.78	28.63	10.6	3.4	MarmaraDenizi
02.04.2003	41.00	30.84	05.4	3.2	Kocaali-SAKARYA
10.04.2003	40.45	30.90	38.7	3.0	Göynük-BOLU
10.04.2003	40.62	33.07	05.9	2.2	Orta-ÇANKIRI
10.04.2003	40.58	33.04	11.2	2.2	Orta-ÇANKIRI
10.04.2003	40.60	33.00	06.7	3.5	Orta-ÇANKIRI
10.04.2003	40.61	33.01	03.8	3.7	Orta-ÇANKIRI
10.04.2003	40.68	33.11	04.1	2.9	Orta-ÇANKIRI
11.04.2003	40.60	33.01	02.3	2.5	Orta-ÇANKIRI
11.04.2003	40.63	33.01	07.3	2.3	Orta-ÇANKIRI
11.04.2003	40.62	33.02	01.9	3.0	Orta-ÇANKIRI
12.04.2003	40.60	33.00	01.0	2.5	Orta-ÇANKIRI
22.04.2003	40.69	32.96	01.0	2.7	Orta-ÇANKIRI
26.04.2003	40.93	34.35	05.8	2.8	İskilip-ÇORUM
11.05.2003	40.82	30.86	06.8	2.8	Gölyaka-DÜZCE
11.05.2003	40.84	30.81	04.7	2.6	Gümüşova-BOLU
15.05.2003	40.64	35.91	10.1	3.4	Merkez-AMASYA

**Çizelge 3.1. (devam ediyor).**

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
15.05.2003	40.64	35.92	10.6	3.5	Merkez-AMASYA
16.05.2003	40.44	33.01	18.0	2.5	Orta-ÇANKIRI
19.05.2003	40.57	33.06	01.2	2.9	Orta-ÇANKIRI
21.05.2003	40.84	30.95	16.2	4.0	Gümüşova-BOLU
22.05.2003	40.60	33.02	02.5	3.4	Orta-ÇANKIRI
23.05.2003	40.59	33.01	08.0	3.5	Orta-ÇANKIRI
26.05.2003	40.68	33.95	02.0	3.2	Orta-ÇANKIRI
27.05.2003	40.82	31.01	05.0	3.9	Gölyaka-DÜZCE
27.05.2003	40.52	33.50	04.0	2.9	Eldivan-ÇANKIRI
27.05.2003	40.82	31.00	05.3	3.7	Gölyaka-DÜZCE
16.06.2003	40.58	33.00	02.8	2.9	Orta-ÇANKIRI
25.06.2003	40.68	33.48	01.0	2.7	Korgun-ÇANKIRI
26.06.2003	40.79	35.25	06.1	3.4	Gümüşhacıköy-AMASYA
01.07.2003	40.82	31.31	10.7	3.2	Kaynasli-DUZCE
04.07.2003	40.68	33.01	05.6	3.2	Orta-ÇANKIRI
16.07.2003	40.74	32.99	04.6	3.4	Çerkeş-ÇANKIRI
22.07.2003	40.62	29.00	08.7	3.5	Çınarcık-YALOVA
24.07.2003	40.47	28.82	02.6	3.3	Armutlu-YALOVA
25.07.2003	40.95	31.48	06.9	4.0	Yığılca-DÜZCE
25.07.2003	40.86	31.62	06.1	3.1	Yığılca-DÜZCE
01.08.2003	40.69	31.02	04.6	2.3	Gölyaka-DÜZCE
07.08.2003	40.87	31.79	03.8	3.5	BOLU
12.08.2003	40.61	33.12	15.0	2.9	Orta-ÇANKIRI
15.08.2003	40.50	34.87	09.2	3.0	ÇORUM
16.08.2003	41.07	32.17	08.4	2.9	Mengen-BOLU
17.08.2003	40.34	37.19	05.2	3.0	Reşadiye-TOKAT
17.08.2003	40.44	37.42	10.5	3.6	Reşadiye-TOKAT
20.08.2003	40.61	33.00	01.0	2.8	Orta-ÇANKIRI
21.08.2003	41.13	34.66	10.2	2.6	Kargı-ÇORUM
21.08.2003	41.15	34.66	12.9	3.4	Kargı-ÇORUM
24.08.2003	40.03	35.99	09.3	3.1	Artova-TOKAT
26.08.2003	40.62	32.97	02.4	3.0	Orta-ÇANKIRI
26.08.2003	40.60	32.99	02.2	2.9	Orta-ÇANKIRI
26.08.2003	40.67	32.93	04.2	2.7	Çerkeş-ÇANKIRI
07.09.2003	40.66	33.00	04.5	3.2	Orta-ÇANKIRI
17.09.2003	40.48	32.91	01.0	3.0	Orta-ÇANKIRI
17.09.2003	40.42	33.04	02.4	3.0	Orta-ÇANKIRI
27.09.2003	40.61	35.61	10.6	4.2	Merkez-AMASYA
27.09.2003	40.56	32.99	03.6	3.1	Orta-ÇANKIRI
05.10.2003	40.97	30.97	01.0	3.2	Çilimli-DÜZCE
10.10.2003	40.46	33.08	01.2	3.0	Orta-ÇANKIRI
15.10.2003	40.83	28.75	08.8	2.7	MarmaraDenizi
21.10.2003	40.67	34.45	11.9	2.6	İskilip-ÇORUM
22.10.2003	40.87	31.51	01.0	2.9	Yığılca-DUZCE
23.10.2003	40.58	34.65	13.9	3.1	İskilip-ÇORUM
23.10.2003	40.61	34.61	11.4	3.6	İskilip-CORUM
31.10.2003	40.21	34.23	06.1	3.0	Sungurlu-ÇORUM
01.11.2003	40.68	34.52	05.3	3.0	İskilip-ÇORUM

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
06.11.2003	40.77	30.99	07.8	2.7	Gölyaka-BOLU
06.11.2003	40.95	33.49	04.2	2.8	Ilgaz-ÇANKIRI
06.11.2003	40.56	35.11	10.0	2.8	Mecitözü-ÇORUM
08.11.2003	40.13	34.30	17.0	2.7	Sungurlu-ÇORUM
09.11.2003	40.07	35.95	06.3	2.9	Sulusaray-TOKAT
14.11.2003	40.94	34.31	03.6	2.9	İskilip-ÇORUM
15.11.2003	40.51	33.97	04.6	2.7	KızılırmakÇANKIRI
24.11.2003	40.67	32.98	04.5	3.3	Orta-ÇANKIRI
25.11.2003	40.62	33.02	11.5	3.2	Orta-CANKIRI
25.11.2003	40.98	34.46	15.4	2.2	Kargı-ÇORUM
27.11.2003	40.58	35.90	04.6	3.0	AMASYA
11.02.2004	40.67	32.99	04.3	2.7	Orta-ÇANKIRI
19.02.2004	40.49	34.78	12.0	2.9	Merkez-ÇANKIRI
19.02.2004	40.81	33.87	04.0	2.8	Yapraklı-ÇANKIRI
19.02.2004	40.51	31.50	06.0	2.5	Seben-BOLU
21.02.2004	40.95	31.51	01.0	3.0	Yığılca-DÜZCE
23.02.2004	40.90	31.26	17.9	2.3	Merkez-DUZCE
23.02.2004	40.67	34.86	04.6	2.7	Merkez-ÇORUM
24.02.2004	40.44	33.49	01.5	3.4	Eldivan-ÇANKIRI
25.02.2004	40.44	33.45	01.7	2.7	Eldivan-ÇANKIRI
25.02.2004	40.21	35.19	12.5	2.6	Alaca-ÇORUM
28.02.2004	40.60	35.12	01.2	3.1	Merkez-ÇORUM
29.02.2004	40.61	35.02	12.7	3.0	Merkez-ÇORUM
29.02.2004	40.5	35.06	02.0	2.9	Merkez-ÇORUM
02.03.2004	40.56	31.36	05.4	2.8	Mudurnu-BOLU
03.03.2004	40.50	31.00	10.9	2.9	Mudurnu-BOLU
06.03.2004	40.69	31.05	01.0	2.5	Merkez-DUZCE
06.03.2004	40.73	31.00	09.3	2.2	Gölyaka-DÜZCE
06.03.2004	40.58	33.02	02.3	3.0	Orta-Çankırı
07.03.2004	40.56	29.02	15.9	2.4	Armutlu-YALOVA
10.03.2004	40.15	34.30	11.6	2.7	Sungurlu-ÇORUM
10.03.2004	37.84	28.74	04.1	2.5	Kuyucak-AYDIN
10.03.2004	40.08	34.27	03.4	2.9	Sungurlu-ÇORUM
12.03.2004	40.47	33.51	01.0	3.3	Eldivan-ÇANKIRI
13.03.2004	40.47	34.00	04.8	2.7	KızılırmakCANKIRI
16.03.2004	40.57	32.95	01.8	2.8	Orta-ÇANKIRI
16.03.2004	40.54	35.17	05.6	3.1	Mecitözü-ÇORUM
16.03.2004	40.56	35.17	05.3	2.6	Mecitözü-ÇORUM
16.03.2004	40.72	30.99	02.0	2.7	Gölyaka-DÜZCE
17.03.2004	40.73	35.26	03.1	2.6	Merzifon-AMASYA
17.03.2004	40.68	35.34	02.9	2.7	Merzifon-AMASYA
19.03.2004	40.65	31.45	03.6	2.7	Merkez-BOLU
19.03.2004	40.66	31.49	03.3	3.1	Merkez-BOLU
20.03.2004	40.68	33.05	01.6	3.2	Orta-ÇANKIRI
24.03.2004	40.67	33.11	08.9	2.7	Orta-ÇANKIRI
24.03.2004	40.60	32.87	04.4	3.0	Orta-ÇANKIRI
24.03.2004	40.68	33.00	01.7	3.1	Orta-ÇANKIRI
26.03.2004	40.62	34.95	07.7	2.4	Merkez-ÇORUM

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
27.03.2004	40.84	31.09	12.7	4.2	DÜZCE
29.03.2004	40.71	31.35	02.3	2.9	Kaynaşlı-DÜZCE
31.03.2004	39.98	35.54	15.1	2.6	Çekerek-YOZGAT
01.04.2004	40.69	35.15	03.2	3.0	Hamamözü- AMASYA
07.04.2004	40.67	31.60	09.0	3.3	Merkez-BOLU
07.04.2004	40.75	31.32	13.3	3.0	Kaynaşlı-DÜZCE
08.04.2004	39.76	29.22	08.3	2.7	Keles-BURSA
08.04.2004	41.08	33.72	12.5	2.6	İlgaz-ÇANKIRI
09.04.2004	40.77	33.01	10.7	2.8	Çerkeş-ÇANKIRI
09.04.2004	40.26	33.94	13.4	2.5	Sungurlu-ÇORUM
09.04.2004	39.20	27.68	10.8	2.7	Soma-MANISA
09.04.2004	40.28	34.02	07.4	3.0	Sungurlu-ÇORUM
09.04.2004	40.70	31.62	05.3	3.2	BOLU
09.04.2004	40.42	33.44	01.0	2.4	Eldivan-ÇANKIRI
11.04.2004	39.88	29.47	09.3	2.4	İnegöl-BURSA
11.04.2004	40.84	34.76	10.9	2.6	Dodurga-ÇORUM
11.04.2004	40.84	34.76	10.9	2.6	Dodurga-ÇORUM
12.04.2004	40.59	34.57	05.8	2.5	Merkez-ÇORUM
12.04.2004	40.59	35.08	01.0	2.9	Merkez-ÇORUM
13.04.2004	40.56	35.22	01.0	2.3	Mecitözü-ÇORUM
14.04.2004	40.64	35.30	20.0	2.7	Mecitözü-ÇORUM
16.04.2004	41.10	34.45	05.1	2.8	Kargı-ÇORUM
17.04.2004	40.62	31.58	09.4	2.7	Merkez-BOLU
18.04.2004	40.67	33.04	03.0	3.1	Orta-ÇANKIRI
18.04.2004	40.63	32.96	11.2	3.1	Orta-ÇANKIRI
18.04.2004	40.72	31.29	07.4	2.7	Kaynaşlı-DÜZCE
21.04.2004	40.68	32.98	01.0	2.9	Çerkeş-ÇANKIRI
24.04.2004	40.54	35.58	01.0	3.2	Merkez-AMASYA
26.04.2004	40.45	35.26	02.8	2.5	Mecitözü-ÇORUM
28.04.2004	40.71	33.05	01.4	3.2	Atkaracalar- ÇANKIRI
29.04.2004	40.68	31.35	07.6	2.9	Kaynaşlı-DÜZCE
01.05.2004	41.15	34.22	09.5	2.5	Kargı-ÇORUM
04.05.2004	40.90	31.51	11.2	2.7	Yığılca-DUZCE
05.05.2004	41.00	31.47	12.3	2.5	Yığılca-DUZCE
05.05.2004	40.68	33.23	03.7	2.7	Kurşunlu-ÇANKIRI
07.05.2004	40.58	35.79	11.3	3.7	Merkez-AMASYA
08.05.2004	40.22	34.00	10.9	2.9	Sungurlu-ÇORUM
09.05.2004	41.02	33.68	08.8	2.5	İlgaz-ÇANKIRI
10.05.2004	40.63	29.18	21.4	3.1	Termal-YALOVA
11.05.2004	40.64	34.96	05.0	2.0	Merkez-ÇORUM
13.05.2004	40.60	34.97	01.0	2.5	ÇORUM
14.05.2004	40.35	35.52	08.8	2.4	Göynücek- AMASYA
16.05.2004	40.70	29.32	12.8	4.2	Yalova-Açıkları
16.05.2004	40.67	29.30	12.6	3.3	Yalova-Açıkları
17.05.2004	40.98	33.39	04.6	3.0	Kurşunlu-ÇANKIRI
20.05.2004	40.25	30.72	10.4	2.6	Göynük-BOLU
21.05.2004	40.04	34.22	13.9	2.9	Sungurlu-ÇORUM
24.05.2004	40.77	35.12	01.0	2.9	Hamamözü- AMASYA



Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
24.05.2004	40.61	33.08	05.6	3.5	Orta-ÇANKIRI
24.05.2004	40.62	34.98	01.0	2.5	Merkez-ÇORUM
27.05.2004	40.67	34.82	04.0	2.8	Merkez-ÇORUM
28.05.2004	40.35	34.72	05.8	2.8	Merkez-ÇORUM
03.06.2004	40.74	31.21	11.8	2.7	Merkez-DÜZCE
03.06.2004	40.47	35.18	01.0	2.6	Mecitözü-ÇORUM
03.06.2004	40.75	35.12	01.8	2.7	Hamamözü-AMASYA
05.06.2004	40.59	35.17	01.0	3.2	Merkez-ÇORUM
05.06.2004	40.63	32.92	01.0	2.8	Orta-ÇANKIRI
06.06.2004	40.79	31.38	12.5	2.8	Kaynaşlı-DÜZCE
06.06.2004	40.58	31.41	20.8	2.6	Mudurnu-BOLU
06.06.2004	40.74	31.43	21.7	2.1	Merkez-BOLU
06.06.2004	40.67	35.34	01.0	2.6	Merzifon-AMASYA
06.06.2004	37.50	42.96	12.1	3.8	Beytüşşebap-ŞIRNAK
06.06.2004	40.76	30.56	01.0	3.0	Akyazı-SAKARYA
06.06.2004	40.69	35.28	01.0	3.0	Merzifon-AMASYA
07.06.2004	40.68	29.45	01.9	01.9	Yalova
10.06.2004	41.00	33.41	08.6	08.6	İlgaz-ÇANKIRI
11.06.2004	40.31	34.68	03.2	03.2	Merkez-ÇORUM
13.06.2004	41.10	34.53	15.4	15.4	Kargı-ÇORUM
15.06.2004	41.10	34.49	10.3	10.3	Kargı-ÇORUM
15.06.2004	40.96	31.44	03.6	03.6	Yığılca-DÜZCE
16.06.2004	40.55	34.41	11.6	11.6	Uğurludağ-ÇORUM
17.06.2004	40.62	34.38	01.7	01.7	İskilip-ÇORUM
17.06.2004	40.62	35.62	02.8	02.8	Merkez-AMASYA
18.06.2004	40.35	34.69	05.8	05.8	Merkez-ÇORUM
21.06.2004	40.83	32.85	17.0	17.0	Çerkeş-ÇANKIRI
22.06.2004	40.41	33.21	01.8	01.8	Şabanözü-ÇANKIRI
23.06.2004	40.75	31.57	04.6	04.6	Merkez-BOLU
24.06.2004	40.50	28.95	09.3	09.3	Armutlu-YALOVA
25.06.2004	40.66	34.97	07.1	07.1	Merkez-ÇORUM
29.06.2004	40.69	35.37	03.4	03.4	Merzifon-AMASYA
29.06.2004	40.61	35.03	09.9	09.9	Merkez-ÇORUM
29.06.2004	40.60	35.07	03.1	03.1	Merkez-ÇORUM
02.07.2004	41.01	31.44	04.8	04.8	Yığılca-DÜZCE
06.07.2004	40.46	35.20	11.0	11.0	Mecitözü-ÇORUM
09.07.2004	40.86	31.23	10.5	10.5	Merkez-DÜZCE
10.07.2004	40.53	33.00	02.0	2.7	Orta-ÇANKIRI
11.07.2004	40.93	31.40	01.0	2.9	Yığılca-DÜZCE
11.07.2004	40.67	34.45	09.2	2.7	İskilip-ÇORUM
11.07.2004	40.84	31.02	09.8	3.1	Merkez-DÜZCE
12.07.2004	40.33	34.81	08.2	2.4	Merkez-ÇORUM
13.07.2004	40.58	33.06	12.3	2.8	Orta-ÇANKIRI
15.07.2004	40.64	34.93	02.0	2.4	Merkez-ÇORUM
17.07.2004	41.18	34.31	10.1	2.8	Kargı-ÇORUM
17.07.2004	40.93	31.43	01.0	2.4	Yığılca-DÜZCE
17.07.2004	40.63	32.99	11.0	2.2	Orta-ÇANKIRI
17.07.2004	40.70	32.99	05.3	2.7	Çerkeş-ÇANKIRI

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
18.07.2004	40.57	33.04	06.8	2.6	Orta-ÇANKIRI
18.07.2004	41.01	33.46	10.4	4.0	Ilgaz-ÇANKIRI
20.07.2004	40.74	31.22	13.7	2.7	Merkez-DÜZCE
20.07.2004	40.60	34.95	01.0	2.6	Merkez-ÇORUM
20.07.2004	40.59	34.98	17.0	2.4	Merkez-ÇORUM
20.07.2004	40.74	34.09	09.6	2.8	Bayat-ÇORUM
21.07.2004	40.40	33.98	03.8	2.7	Kızılırmak- ÇANKIRI
22.07.2004	40.99	33.47	01.0	2.3	Ilgaz-ÇANKIRI
22.07.2004	39.98	29.08	02.5	3.1	Keleş-BURSA
23.07.2004	40.64	35.35	02.0	2.6	Merzifon-AMASYA
23.07.2004	40.62	34.96	01.7	2.7	Merkez-ÇORUM
24.07.2004	40.60	33.01	03.8	2.5	Orta-ÇANKIRI
24.07.2004	41.16	34.41	11.7	2.7	Kargı-ÇORUM
26.07.2004	40.85	31.43	07.9	2.9	Yığılca-DÜZCE
26.07.2004	40.46	29.35	01.0	2.8	Orhangazi-BURSA
27.07.2004	40.27	29.21	02.4	2.9	Gürsu-BURSA
27.07.2004	40.55	33.05	10.9	2.7	Orta-ÇANKIRI
27.07.2004	40.67	35.35	13.5	3.1	Merzifon-AMASYA
27.07.2004	38.53	30.09	05.8	2.9	Sandıklı-AFYON
28.07.2004	40.83	31.38	11.6	2.9	Kaynaşlı-DÜZCE
28.07.2004	40.76	31.48	08.9	2.8	Merkez-BOLU
28.07.2004	40.60	33.01	01.9	2.6	Orta-ÇANKIRI
28.07.2004	39.96	28.53	13.9	2.6	M.Kemalpaşa- BURSA
28.07.2004	40.63	32.96	04.1	3.2	Orta-ÇANKIRI
30.07.2004	40.54	33.04	11.2	2.4	Orta-ÇANKIRI
30.07.2004	40.61	29.30	02.3	2.8	Merkez-YALOVA
30.07.2004	40.56	34.86	01.8	2.5	Merkez-ÇORUM
01.08.2004	40.41	37.33	08.9	2.9	Reşadiye-TOKAT
01.08.2004	40.63	33.02	01.0	3.3	Orta-ÇANKIRI
02.08.2004	41.01	33.49	03.2	2.8	Ilgaz-ÇANKIRI
03.08.2004	40.66	34.38	01.0	2.9	İskilip-ÇORUM
03.08.2004	41.19	31.35	13.5	2.6	Akçakoca-DÜZCE
03.08.2004	40.14	29.29	05.1	2.8	İnegöl-BURSA
04.08.2004	40.55	27.50	01.7	2.9	MARMARADENİZİ
05.08.2004	40.95	31.25	03.2	2.8	Merkez-DÜZCE
05.08.2004	40.80	32.80	05.6	2.5	Çerkeş-ÇANKIRI
06.08.2004	40.53	36.59	14.0	3.6	Erbaa-TOKAT
08.08.2004	40.59	37.10	36.0	3.0	Başçiftlik-TOKAT
08.08.2004	40.68	31.49	10.8	2.7	Merkez-BOLU
09.08.2004	40.55	33.03	21.2	2.7	Orta-ÇANKIRI
09.08.2004	39.99	28.67	10.6	2.9	M.Kemalpaşa- BURSA
09.08.2004	39.73	29.27	15.6	2.9	Keles-BURSA
09.08.2004	40.59	33.03	01.0	2.9	Orta-ÇANKIRI

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
10.08.2004	40.11	35.76	10.8	2.9	Zile-TOKAT
12.08.2004	40.50	33.70	15.1	2.9	Merkez-ÇANKIRI
12.08.2004	40.43	37.32	13.8	3.4	Reşadiye-TOKAT
13.08.2004	40.31	34.77	10.6	2.9	Merkez-ÇORUM
15.08.2004	40.65	35.56	02.0	3.3	Merkez-AMASYA
15.08.2004	40.58	35.74	01.0	2.9	Merkez-AMASYA
16.08.2004	40.36	28.67	07.3	2.7	Mudanya-BURSA
16.08.2004	40.58	35.00	06.2	2.0	Merkez-ÇORUM
18.08.2004	39.64	35.30	07.6	2.9	Sorgun-YOZGAT
19.08.2004	40.77	31.40	01.0	3.0	Merkez-BOLU
19.08.2004	39.99	28.63	10.5	2.9	M.Kemalpaşa- BURSA
19.08.2004	40.70	31.39	05.9	2.7	Merkez-BOLU
20.08.2004	40.90	30.82	04.5	2.3	Gümüşova-DÜZCE
21.08.2004	40.73	31.55	02.2	2.7	Merkez-BOLU
21.08.2004	40.68	31.14	11.1	2.8	Merkez-DÜZCE
21.08.2004	40.45	34.78	05.6	3.0	Merkez-ÇORUM
22.08.2004	40.00	34.09	01.0	2.9	Sungurlu-ÇORUM
22.08.2004	40.62	33.00	02.5	2.8	Orta-ÇANKIRI
23.08.2004	40.49	32.95	10.9	2.9	Orta-ÇANKIRI
23.08.2004	40.65	35.29	09.5	2.5	Mecitözü-ÇORUM
25.08.2004	40.71	35.08	02.6	2.6	Hamamözü- AMASYA
25.08.2004	40.00	28.79	01.5	2.3	M.Kemalpaşa- BURSA
26.08.2004	40.63	34.09	05.5	2.1	Merkez-CANKIRI
26.08.2004	40.86	31.68	19.0	2.5	Merkez-BOLU
27.08.2004	39.63	35.20	20.1	2.9	Sorgun YOZGAT
27.08.2004	40.29	29.30	05.0	2.7	Kestel-BURSA
27.08.2004	40.18	34.99	04.6	2.4	Alaca-ÇORUM
27.08.2004	40.93	33.61	05.7	2.6	Ilgaz-ÇANKIRI
29.08.2004	40.79	31.96	02.4	3.0	Yeniçağa-BOLU
29.08.2004	41.10	34.50	11.5	2.7	Kargı-ÇORUM
30.08.2004	40.70	31.42	02.6	2.5	Merkez-BOLU
31.08.2004	40.70	31.69	13.1	2.9	Merkez-BOLU
31.08.2004	40.76	35.22	02.8	3.0	Gümüşhacıköy- AMASYA
01.09.2004	39.64	35.32	08.1	2.9	Sorgun-YOZGAT
01.09.2004	40.61	34.60	07.6	2.8	Merkez-ÇORUM
02.09.2004	40.47	28.21	01.3	2.8	MARMARADENİZİ
02.09.2004	40.04	29.63	04.1	2.7	İnegöl-BURSA
02.09.2004	40.68	34.09	03.8	2.8	Bayat-ÇORUM
04.09.2004	40.25	28.94	10.1	2.8	Nilüfer-BURSA
05.09.2004	40.91	33.49	08.6	2.6	Ilgaz-ÇANKIRI
05.09.2004	40.89	33.55	09.6	2.9	Ilgaz-ÇANKIRI
05.09.2004	40.96	33.44	08.8	2.7	Ilgaz-ÇANKIRI

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
07.09.2004	39.81	29.15	04.5	2.6	Keles-BURSA
07.09.2004	40.84	34.79	06.9	2.7	Dodurga-ÇORUM
08.09.2004	40.61	32.99	05.6	2.7	Orta-ÇANKIRI
09.09.2004	40.74	33.05	02.8	2.5	AtkaracalarÇANKIRI
09.09.2004	40.59	35.19	23.1	2.1	Mecitözü-ÇORUM
10.09.2004	40.25	34.14	10.3	2.8	Sungurlu-ÇORUM
10.09.2004	41.03	33.41	15.8	2.5	Araç-KASTAMONU
10.09.2004	40.87	31.75	04.1	2.7	Merkez-Bolu
10.09.2004	40.71	33.02	02.9	3.2	Çerkeş-ÇANKIRI
10.09.2004	40.70	33.05	10.6	2.8	Orta-ÇANKIRI
11.09.2004	41.14	34.54	06.0	2.6	Kargı-ÇORUM
11.09.2004	40.66	33.06	04.5	2.8	Orta-ÇANKIRI
12.09.2004	40.74	35.32	01.6	2.4	Merzifon-AMASYA
13.09.2004	40.83	30.98	04.9	3.7	Gümüşova-DÜZCE
13.09.2004	40.57	34.91	01.0	2.5	Merkez-CORUM
14.09.2004	40.71	35.02	07.2	2.6	Hamamözü-AMASYA
14.09.2004	40.63	33.10	01.1	3.1	Orta-ÇANKIRI
14.09.2004	40.44	36.82	01.1	3.0	Merkez-TOKAT
14.09.2004	40.71	33.04	01.2	3.0	Orta-ÇANKIRI
15.09.2004	40.70	33.01	16.6	2.6	Orta-ÇANKIRI
15.09.2004	40.19	28.44	13.6	2.6	M.Kemalpaşa-BURSA
16.09.2004	39.81	28.97	05.7	2.5	Orhaneli-BURSA
17.09.2004	40.31	34.87	06.0	2.9	Alaca-CORUM
17.09.2004	39.83	29.47	10.0	2.4	Keles-BURSA
18.09.2004	40.67	33.08	09.8	2.4	Orta-ÇANKIRI
19.09.2004	40.86	31.42	01.7	2.4	Yığılca-DÜZCE
19.09.2004	40.50	32.97	02.0	3.1	Orta-ÇANKIRI
20.09.2004	40.59	33.02	08.3	2.5	Orta-ÇANKIRI
20.09.2004	40.27	29.52	13.6	2.6	Yenişehir-BURSA
20.09.2004	39.80	29.44	08.2	2.6	Keles-BURSA
20.09.2004	40.58	34.97	01.0	2.3	Merkez-ÇORUM
20.09.2004	40.04	28.51	05.3	2.7	M.Kemalpaşa-BURSA
21.09.2004	39.81	29.45	26.9	2.4	Keleş-BURSA
22.09.2004	39.91	28.56	10.4	2.5	M.Kemalpaşa-BURSA
22.09.2004	40.27	29.63	03.3	2.7	Yenişehir-BURSA
22.09.2004	39.89	29.35	09.6	2.7	Keles-BURSA
22.09.2004	40.02	28.54	09.6	2.8	M.Kemalpaşa-BURSA
22.09.2004	40.09	28.51	06.4	2.8	M.Kemalpaşa-BURSA
23.09.2004	40.64	33.55	02.2	2.2	Merkez-ÇANKIRI
23.09.2004	40.77	35.41	02.9	2.2	Merzifon-AMASYA
23.09.2004	40.16	29.58	10.4	2.1	Yenişehir-BURSA
23.09.2004	40.84	30.99	01.9	1.6	Merkez-DÜZCE
24.09.2004	40.68	33.05	05.5	2.8	Orta-ÇANKIRI

**Çizelge 3.1.** (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
24.09.2004	40.18	29.16	01.0	2.4	Kestel-BURSA
24.09.2004	40.07	28.50	02.5	2.6	M.Kemalpaşa-BURSA
24.09.2004	40.05	29.10	05.3	2.7	Osmangazi-BURSA
24.09.2004	40.94	33.60	07.2	2.3	İlgaz-ÇANKIRI
25.09.2004	39.89	29.47	13.6	2.9	İnegöl-BURSA
25.09.2004	40.57	34.86	06.0	2.3	Merkez-ÇORUM
26.09.2004	40.08	28.50	06.2	2.7	Mustafakemalpaşa-BURSA
27.09.2004	39.05	35.05	03.2	2.6	Bogazlıyan-YOZGAT
27.09.2004	41.00	31.49	05.4	2.1	Yığılca-DÜZCE
27.09.2004	40.18	28.44	11.9	2.3	M.Kemalpaşa-BURSA
27.09.2004	40.17	35.40	01.0	2.4	Aydıncık-YOZGAT
27.09.2004	40.13	28.99	03.9	2.3	Osmangazi-BURSA
28.09.2004	40.77	31.47	06.3	3.3	Merkez-BOLU
28.09.2004	40.61	33.05	08.4	3.0	Orta-ÇANKIRI
29.09.2004	40.66	29.10	13.1	3.8	ÇımarcıkÇukurluğu-YALOVA
29.09.2004	40.67	29.12	02.8	2.9	MarmaraDenizi
29.09.2004	40.36	35.53	02.8	2.8	Göynücek-AMASYA
30.09.2004	39.79	29.45	09.4	2.1	Keles-BURSA
30.09.2004	39.81	29.45	09.6	2.2	Keles-BURSA
01.10.2004	40.70	35.25	14.0	2.8	Merzifon-AMASYA
01.10.2004	40.46	35.11	03.1	2.8	Mecitözü-ÇORUM
01.10.2004	40.51	35.11	04.8	2.5	Mecitözü-ÇORUM
02.10.2004	39.86	29.49	09.6	2.5	İnegöl-BURSA
03.10.2004	40.18	29.09	04.9	2.7	Osmangazi-BURSA
03.10.2004	39.55	28.02	06.2	3.1	Merkez-BALIKESİR
04.10.2004	39.86	29.53	11.0	2.7	İnegöl-BURSA
05.10.2004	40.30	34.81	05.9	2.8	Merkez-ÇORUM
06.10.2004	41.12	34.73	10.0	2.7	Kargı-ÇORUM
07.10.2004	40.23	35.51	03.5	2.9	Zile-TOKAT
07.10.2004	40.88	32.27	19.5	2.2	Mengen-BOLU
09.10.2004	40.89	28.37	14.7	2.7	MarmaraDenizi
09.10.2004	41.01	33.48	03.9	2.8	İlgaz-ÇANKIRI
09.10.2004	40.98	31.09	08.2	2.9	Akçakoca-DÜZCE
09.10.2004	40.32	35.85	06.0	2.5	Zile-TOKAT
09.10.2004	40.97	34.47	01.0	2.1	Osmancık-ÇORUM
10.10.2004	40.59	34.56	15.0	2.6	Merkez-ÇORUM
10.10.2004	40.57	29.00	09.4	3.0	Çımarcık-YALOVA
11.10.2004	40.36	28.94	11.1	3.5	GemlikKörfezi
11.10.2004	39.84	29.43	27.8	2.1	Keleş-BURSA
11.10.2004	40.23	35.50	11.2	2.8	Zile-TOKAT
11.10.2004	39.79	29.40	09.7	2.4	Keles-BURSA
11.10.2004	40.07	28.89	01.7	2.9	Orhaneli-BURSA
11.10.2004	40.24	28.81	10.0	2.8	Nilüfer-BURSA

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
13.10.2004	40.54	35.35	11.9	3.4	Mecitözü-ÇORUM
13.10.2004	40.80	31.62	05.0	2.5	Merkez-BOLU
14.10.2004	39.66	35.44	09.9	2.9	Saraykent-YOZGAT
14.10.2004	40.62	34.96	05.9	2.9	Merkez-ÇORUM
14.10.2004	40.25	35.54	10.8	2.8	Zile-TOKAT
15.10.2004	39.79	29.45	09.5	2.5	Keles-BURSA
15.10.2004	40.18	29.03	04.5	2.8	Osmangazi-BURSA
15.10.2004	39.81	29.47	11.8	2.8	Keles-BURSA
15.10.2004	40.74	35.59	02.2	2.6	Suluova-AMASYA
16.10.2004	40.64	34.80	03.1	2.9	Merkez-ÇORUM
16.10.2004	40.18	35.19	18.4	2.9	Aydincık-YOZGAT
17.10.2004	40.30	33.81	05.0	2.5	Kızılırmak- ÇANKIRI
17.10.2004	40.24	35.51	01.0	2.7	Zile-TOKAT
17.10.2004	40.75	35.15	01.9	3.0	Hamamözü- AMASYA
20.10.2004	40.04	28.83	11.3	2.8	Orhaneli-BURSA
20.10.2004	39.82	29.44	10.9	2.5	Keles-BURSA
21.10.2004	40.53	28.53	10.0	2.8	MARMARADENİZİ
21.10.2004	39.98	28.85	10.8	2.7	Orhaneli-BURSA
21.10.2004	40.55	34.30	05.3	2.7	Bayat-ÇORUM
22.10.2004	40.37	34.63	11.5	2.8	Merkez-ÇORUM
28.10.2004	40.78	31.59	04.9	2.8	Merkez-BOLU
29.10.2004	40.07	28.57	17.6	2.9	M.Kemalpaşa- BURSA
29.10.2004	39.78	29.41	12.0	2.7	Keles-BURSA
29.10.2004	40.48	28.85	16.8	2.5	GemlikKörfezi
29.10.2004	40.49	29.25	08.6	2.9	Orhangazi-BURSA
30.10.2004	40.36	27.47	10.9	3.0	MarmaraDenizi
30.10.2004	39.78	29.41	10.1	2.7	Keles-BURSA
30.10.2004	39.76	29.34	10.0	2.7	Keles-BURSA
31.10.2004	39.79	29.43	13.4	2.5	Keles-BURSA
31.10.2004	40.82	31.29	01.0	2.7	Merkez-DÜZCE
01.11.2004	40.59	33.08	07.9	2.1	Orta-ÇANKIRI
01.11.2004	40.61	34.92	05.0	2.5	Merkez-ÇORUM
01.11.2004	40.21	35.50	09.9	2.8	Zile-TOKAT
02.11.2004	40.64	34.76	04.2	2.9	Merkez-ÇORUM
05.11.2004	40.26	35.46	20.5	2.7	Zile-TOKAT
05.11.2004	40.50	28.53	25.0	3.0	MARMARADENİZİ
06.11.2004	40.29	29.20	01.0	2.8	Osmangazi-BURSA
07.11.2004	40.77	31.45	14.8	2.7	Merkez-BOLU
07.11.2004	40.81	31.21	09.2	2.7	Merkez-DÜZCE
07.11.2004	39.75	29.33	07.6	2.7	Keles-BURSA
07.11.2004	39.78	29.39	11.1	2.2	Keles-BURSA
07.11.2004	40.23	29.34	01.7	2.6	Kestel-BURSA
07.11.2004	40.77	33.08	19.7	2.6	Atkaracalar- ÇANKIRI

Çizelge 3.1. (devam ediyor).

TARİH	ENLEM (K)	BOYLAM (D)	DERİNLİK (Km)	MAGNİTÜD (Md)	YER
10.11.2004	39.95	29.45	08.0	2.7	İnegöl-BURSA
10.11.2004	40.53	35.49	03.7	2.4	Mecitözü-CORUM
11.11.2004	40.24	35.57	15.1	2.9	Zile-TOKAT
12.11.2004	40.69	31.01	11.7	3.0	Gölyaka-DÜZCE
12.11.2004	39.78	29.38	27.1	2.6	Keles-BURSA
13.11.2004	39.85	29.58	08.1	2.8	İnegöl-BURSA
13.11.2004	40.45	36.32	04.4	3.4	Turhal-TOKAT
14.11.2004	40.70	33.04	07.8	3.4	Orta-ÇANKIRI
15.11.2004	40.77	32.99	19.7	2.6	Çerkeş-ÇANKIRI
15.11.2004	39.62	29.13	11.7	2.7	Harmancık-BURSA
18.11.2004	39.80	29.45	26.7	2.6	Keleş-BURSA
18.11.2004	40.43	33.77	25.8	2.4	Merkez-ÇANKIRI
18.11.2004	40.25	35.48	10.5	2.8	Zile-TOKAT
20.11.2004	40.42	35.14	06.3	2.9	Mecitözü-ÇORUM
22.11.2004	40.08	34.20	26.4	2.4	Sungurlu-ÇORUM
23.11.2004	39.84	29.31	12.6	2.6	Keles-BURSA
23.11.2004	40.83	31.05	04.6	2.8	Merkez-DÜZCE
24.11.2004	40.28	34.67	05.0	2.7	Alaca-ÇORUM
24.11.2004	40.58	29.03	01.3	2.5	Çınarcık-YALOVA
26.11.2004	40.98	33.46	02.1	3.0	Ilgaz-ÇANKIRI
28.11.2004	40.25	29.03	06.2	2.7	Osmangazi-BURSA
28.11.2004	39.82	29.44	18.4	2.9	Keleş-BURSA
28.11.2004	40.34	35.41	09.2	2.7	Göynücek-AMASYA
29.11.2004	40.85	30.91	04.5	3.0	Gümüşova-DÜZCE
30.11.2004	39.78	29.42	19.8	2.7	Keles-BURSA
30.11.2004	39.86	29.52	13.5	2.7	İnegöl-BURSA
30.11.2004	40.29	29.16	03.7	2.9	Osmangazi-BURSA

## BÖLÜM 4

### KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZ) İLE İLİŞKİLİ JEOTERMAL SAHALAR

#### 4.1. Jeolojik Konum ve Bölgesel Jeoloji

Alp-Himalaya orojenik kuşağının önemli bir parçasını oluşturan Türkiye'nin mevcut jeotektonik yapısı, Afrika ve Arap plakalarının yakınlaşma süreci içerisinde, bu plakalar arasında yer alan küçük kıtasal parçaların ayrılma, rotasyon, çarpışma ve deformasyonu sonucu şekillenmiştir (Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay, 1986; Bozkurt ve Mittwede, 2001).

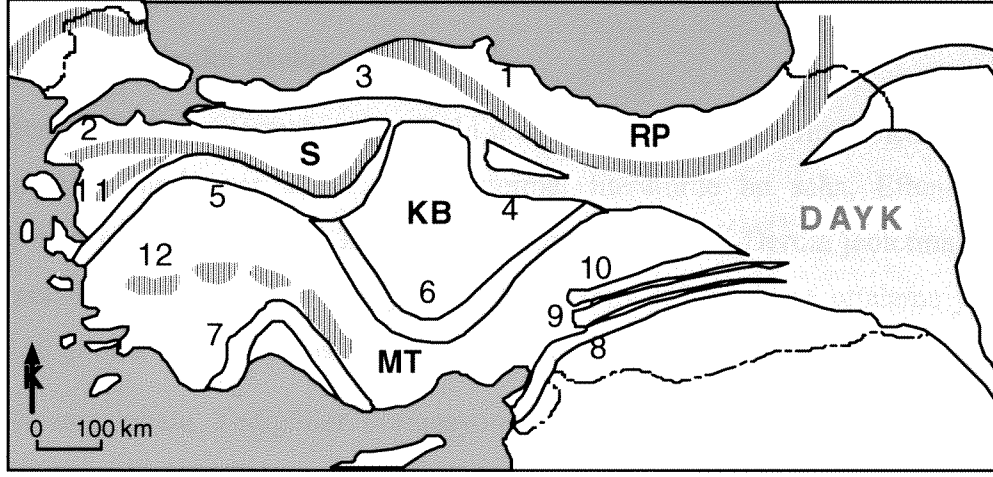
Türkiye için en eski tektonik ayırım Ketin (1966) tarafından yapılmış ve Pontidler, Anatolidler, Toroslar ve Kenar Kıvrımları olmak üzere 4 ana kuşak ayırt edilmiştir. Bu sınıflama, daha sonra, çeşitli araştırmacılar tarafından revize edilmiş (e.g. Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör, 1984; Okay, 1986; Okay ve Tüysüz, 1999) ve sınırları Neo-Tetis Sütur zonları ile tanımlanan alt tektonik birimler önerilmiştir.

Şekil 4.1' de Şengör (1984) tarafından önerilen ana tektonik birimler ve sütur zonları gösterilmektedir. Bu sınıflamaya göre, Türkiye'nin ana paleotektonik birimleri Rodop-Pontid Kuşağı, Sakarya Kıtası, Kırşehir Bloğu ve Menderes-Toros Platformudur. Bu birimler Neo-Tetis sütur zonları tarafından birbirinden ayrılmıştır.

Jeolojik konumları açısından bu çalışmada incelenen jeotermal alanlar, Rodop-Pontid Kuşağı ve Sakarya Kıtasında yer almaktadır. Rodop-Pontid Kuşağı karışık bir yapıya sahip olup, çeşitli kıtasal parçaların sürekli yığılması ile biraraya gelmiş Paleozoyik yaşlı metamorfikler, Paleo-Tetis ve Neo-Tetisin kalıntılarını temsil eden ofiyolitik melanaj ve Mesozoyik-Tersiyer yaşlı sedimanter ve magmatik kayalardan oluşmaktadır.

Sakarya kıtası kuzeyde İç Pontid, güneyde de İzmir-Ankara Sütur zonu tarafından sınırlanmaktadır. Temelde, yaşı Geç Paleozoyik'ten Geç Triyas'a kadar değişen ve çeşitli derecelerde metamorfizmaya uğramış kayalar yer almaktadır. Örtü kayalar ise Jura-Tersiyer yaşlı klastikler ve karbonatlardır.





**Şekil 4.1.** Türkiye'nin paleotektonik birimleri ve suture zonları (RP: Rodop-Pontid Kuşağı, KB: Kırşehir Bloğu, S: Sakarya Kıtası, MT: Menderes-Toros Platformu, DAYK: Doğu Anadolu Yığılım Karmaşığı, 1: Ana Paleo-Tetis Süturu, 2: Karakaya Süturu, 3: Intra Pontid Süturu, 4: Erzincan Süturu, 5: İzmir-Ankara Süturu, 6: İç Toros Süturu, 7: Antalya Süturu, 8: Asurid Süturu 9: Çüngüş Süturu, 10: Maden Süturu, 11: Hersinyen Süturu, 12: Pan-Afrikan Süturu) (Şengör, 1984).

## 4.2. Jeotermal Sahaların Jeolojik ve Hidrojeolojik Çerçevesi

### 4.2.1. Efteni-Gölyaka (Bolu)

Efteni-Gölyaka jeotermal sahası, Bolu il sınırları içerisinde, Bolu il merkezinin yaklaşık 45 km BKB'sında yer almaktadır. Jeotermal literatürde bu saha, Efteni ile 4-5 km doğusunda yer alan Derdin'deki kaplıcalar nedeniyle, Efteni-Derdin jeotermal alanı olarak bilinmektedir. Bu saha, ortalama yıllık yağış miktarı 852.4 mm ve ortalama yüksekliği de 100-150 m olan Düzce havzasının güneyinde yer almaktadır (Akman, 1966).

Sahanın tabanı Yedigöller Formasyonunun meta-granitoidlerinden oluşmakta (Aydın vd., 1997) ve bu istif Paleozoyik yaşlı Kurtköy, Ereğli ve Yılanlı formasyonlarının kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri tarafından örtülmektedir (Aydın vd., 1997). Mesozoyik, Almacık ofiyolitik melanjı (gabro, serpentinit, peridotit) ve Kretase yaşlı konglomera, kumtaşı, marn, kireçtaşı, kumlu ve killi kireçtaşı ar dalanması içeren fliş türü bir istif tarafından temsil edilmektedir (Aydın vd., 1997; MTA, 1996). Bu istif Eosen yaşlı lav, volkanosedimanter ve sedimanter fliş (konglomera, kumtaşı, killi ve kumlu kireçtaşı ve marn ar dalanması) birimleri tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülmektedir ve sahada geniş bir dağılım göstermektedir (Şekil 4.2). En üst seviyelerde ise kil-kumtaşı-milden oluşan Pliosen yaşlı akarsu çökelleri yer almaktadır (Şekil 4.2) (Canik, 1972; MTA, 1996).

Efteni sahasının yer aldığı Düzce havzası graben karakteri sergilemekte ve havzanın kuzey ve güneyinde birçok fay bulunmaktadır. Faylar çoğunlukla Kretase ve Eosen formasyonlarında görülmektedir (Akman, 1966). Sahadaki başlıca yapısal unsurlar, D-B, KD-GB ve KB-GD gidişli kırık hatlarıdır (MTA, 1996) (Şekil 4.2). Sıcak sular, KAFZ'nun Düzce segmentini oluşturan bu faylardan yüzeye çıkmaktadır.

Akman (1966), Düzce havzasında hem basınçlı hem de serbest akiferlerin varlığını ortaya koymuştur. Alüvyonun kumlu ve konglomeralı seviyeleri en önemli soğuk su akiferlerini temsil etmektedir; ayrıca Kretase ve Eosen flişinin konglomeralı seviyeleri (8-10 m kalınlığında) yeraltısuyu için uygun akiferler konumundadır (Akman, 1966). Canik (1972)'ye göre Kretase flişinin kireçtaşı ve kumtaşı seviyeleri, sahanın rezervuar kayacını, geçirimsiz killi seviyeler ise örtü kayaçları oluşturmaktadır. Öte yandan, Karakuş (2004)'e göre, Yedigöller formasyonunun granitoidik kayaçları ve Eosen volkaniklerinin andezitik ve bazaltik seviyeleri Efteni jeotermal sahasının olası rezervuar kayaçlarıdır.

Yörede Efteni ( $T = 42 \text{ }^\circ\text{C}$ , debi = 2-3 lt/sn) ve Derdin ( $T = 31 \text{ }^\circ\text{C}$ , debi = 4 lt/sn) olmak üzere iki kaplıca kaynağı bulunmaktadır. Sahada henüz hiç bir sondaj çalışması yapılmamıştır. Kaynaklardan elde edilen sıcak sular kaplıcalarda kullanılmaktadır (MTA, 1996). Yapmış (2002) tarafından yapılan jeotermometre çalışmalarında 143 ile 150  $^\circ\text{C}$  aralığında rezervuar sıcaklığı belirtilirken, Karakuş (2004) 90 ile 136  $^\circ\text{C}$  aralığında sıcaklıklar önermiştir.

#### 4.2.2. Yalova-Termal

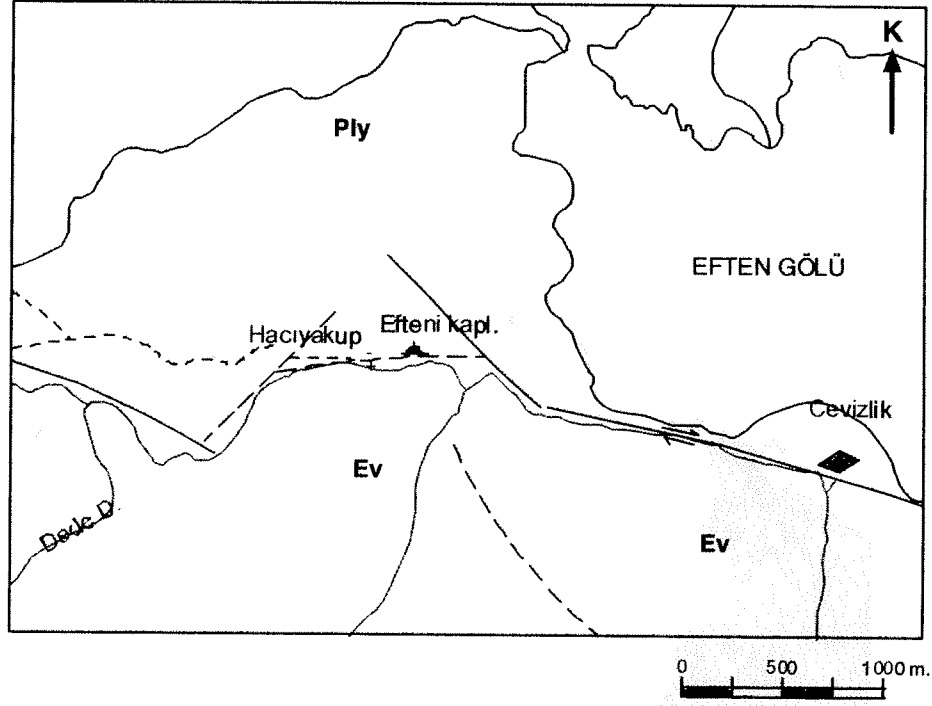
Yalova termal suları, Yalova şehir merkezinin yaklaşık 15 km GB'sında yer almaktadır. Yıllık yağış miktarı 350 mm civarındadır.

Sahada tabanı Paleozoyik metamorfik şistler oluşturmaktadır. Taban beyaz ile sarı renkli Permo-Karbonifer kristalen kireçtaşları tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Bu istif, konglomera, kumtaşı, kil ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan Eosen flişi tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir. Eosen andezit, tuf ve aglomeraları Eosen flišini örtmektedir. Kırmızı konglomera, marn ve killi seviyeler ile başlayıp, gölsel kireçtaşı ile son bulan Neojen birimleri sahada en üst birimi temsil etmektedir. Kuvaterner alüvyon ise en genç birimdir (Kartal, 1974a; MTA, 1996) (Şekil 4.3).

Sahadaki başlıca yapısal unsurlar, KD-GB ve KB-GD gidişli kırık hatlarıdır (Şekil 4.3).

Yörede Eosen andezitleri ve Paleozoyik kristalen kireçtaşları sahanın rezervuar kayacını, geçirimsiz killi ve marnlı seviyeler içeren Neojen birimleri ise örtü kayaçları oluşturmaktadır (Kartal, 1974a; MTA, 1996).

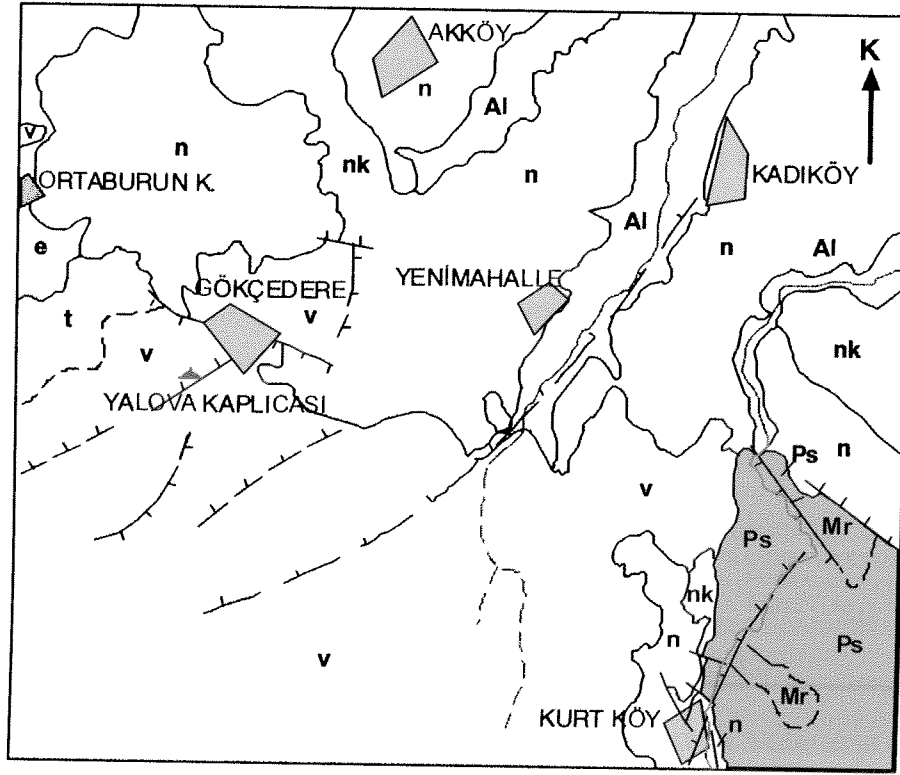
Sıcak su kaynaklarının sıcaklıkları 66  $^\circ\text{C}$  ve debileri de 15 ile 20 l/s aralığında değişmektedir (MTA, 1996). Sahada henüz hiçbir sondaj çalışması yapılmamıştır. Yöredeki sıcak sular genelde kaplıca tedavilerinde, içme suyu sektörlerinde, seracılık ve ısıtmada kullanılmaktadır.



#### AÇIKLAMALAR





SENOZOYİK	{	<b>Piy</b>	Kil-kumtaşı-silt
		<b>Ev</b>	Lav-volcano sedimanter
		↔	Doğrultu atımlı fay
		---	Olası fay
		▲	Sıcaksu kaynağı

Şekil 4.2. Efteni-Gölyaka (Bolu) jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).



0 500 1000 m.

### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	Kuvaterner	<b>Al</b>	Alüvyon		Fay
		Neojen	<b>nk</b>	Gölsel kireçtaşı	
	<b>n</b>		Konglomera, linyitli mam		Tabaka doğrultu ve eğimi
	Eosen		<b>e</b>	Konglomera, kumtaşı, mam, kil	
		<b>v</b>	Andezit		
PALEOZOYİK		<b>t</b>	Tüf, aglomera		
		<b>Mr</b>	Kristalize kireçtaşı (mermer)		
		<b>Ps</b>	Metamorfik şist: kuvarslı şist, fillit, grovak, kalkşist		

Şekil 4.3. Yalova-Termal jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

### 4.2.3. Bolu-Merkez

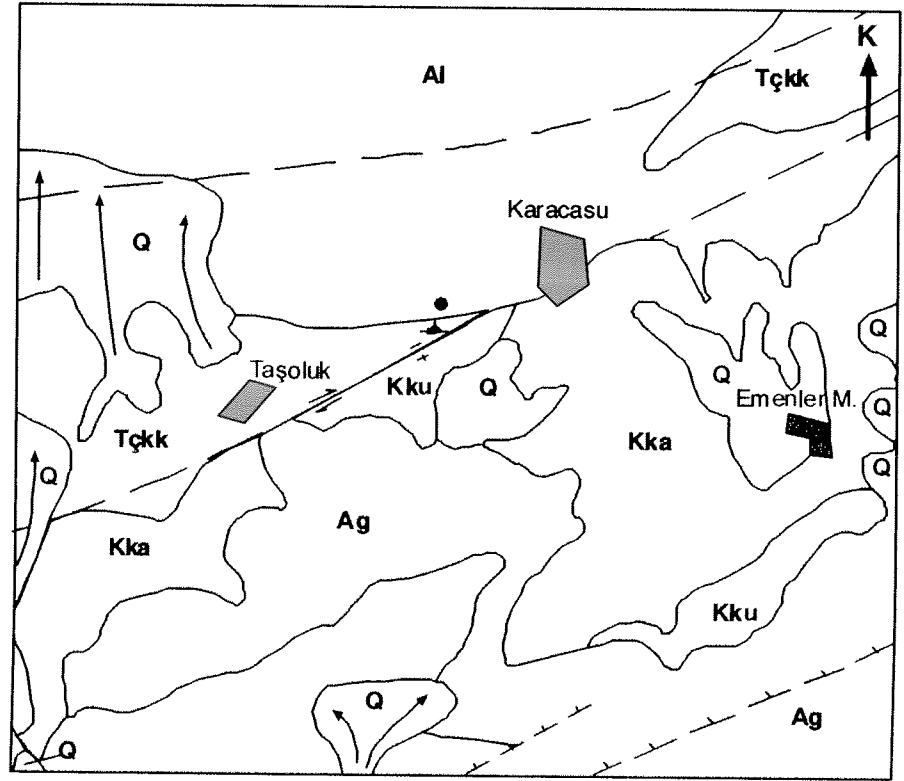
Bolu kaplıcaları Bolu il merkezinin 5 km güneyinde yer almaktadır. Karasal ve denizel iklim sahada gözlenmektedir.

Bolu jeotermal sahasının en yaşlı birimini Mesozoyik (Geç Kretase) yaşlı, olistostromal özellik gösteren, fliş fasiyesindeki sedimanter seri oluşturmaktadır. Bu serinin üst seviyelerinde Geç Kretase yaşlı kireçtaşı-kumtaşı-marn-kiltaşı aralanmasından oluşan kayaç toplulukları yer almaktadır. Senozoyik, Neojen yaşlı volkanikler (genellikle aglomera, tüf) ve gölsel çökeller (çakıltası-kumtaşı-kiltaşı aralanması) ile Kuvaterner yaşlı yamaç molozu ve alüvyon tarafından temsil edilmektedir (Canik, 1971; MTA, 1996) (Şekil 4.4).

Bolu kaplıcaları aktif tektonik sahasında bulunmaktadır. Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının geçtiği sahada kırık hatları DKD-BKB gidişlidir (MTA, 1996) (Şekil 4.4). Yöredeki kireçtaşları ve volkanikler yoğun kırıklıdır (Canik, 1971) (Şekil 4.4).

Canik (1971) Bolu havzasında hem basınçlı hem de serbest akiferlerin varlığını ortaya koymuştur. Üst Kretase kireçtaşları ve kumtaşları rezervuar kayacı, geçirimsiz (killi) seviyeler ise örtü kayacı oluşturmaktadır (MTA, 1996).

Bolu sahasında kaplıcalara su temin etmek için 2 adet sondaj 1971 yılında MTA tarafından yapılmış ve sırasıyla, 83 m (Büyük Kaplıca Kuyusu) ve 97 m (Küçük Kaplıca Kuyusu) derinlikten, 4.25 lt/sn ve 4.63 lt/sn debide ve 43 °C ve 45 °C sıcaklıkta artezyen tipinde su üretimi sağlanmıştır. Derinliği 758.5 m, sıcaklığı 4 °C ve debisi 1.1 l/s olan diğer bir artezyen kuyusu MTA tarafından 1993 yılından açılmıştır (MTA, 1996). 1980'li yıllarda Petrokent adlı özel şirket tarafından 1 adet sıcak su sondajı açılmış, ancak kuyunun ilerlemesi sırasında kaplıcaların suyu olumsuz etkilendiğinden bu kuyu durdurulmuştur (Yücel vd, 1994; MTA, 1996). Büyük Kaplıca sondajının 4 m ilerisinde, Haziran 2000'den sonra, bir sondaj kuyusu daha açılmış ve 150 m derinlikten pompalama sistemi ile debisi 30 lt/sn'ye varan su üretimi sağlanmıştır. Ancak bu kuyunun üretimi sırasında diğer kuyularda su çıkışı kesilmektedir. Bolu sahası için Yapmış (2002) tarafından yapılmış jeotermometre çalışmalarında, 85 ile 88 °C aralığında rezervuar sıcaklığı tahmin edilmektedir.



0 250 500 750 1000 m.

#### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	<b>AI</b>	Alüvyon		Olası normal fay
		Alüvyon yelpazesi		Doğruyu atımlı fay
	<b>Q</b>	Yamaç molozu		Sıcaksu kaynağı
	<b>Tçkk</b>	Çak ltaşı, kumtaşı, kilitaşı ardalanması		Sıcaksu sondajı
	<b>Ag</b>	Aglomera-tüf		
MESOZOYİK	<b>Kku</b>	Kireçtaşı, kumtaşı, kilitaşı, mam ardalanması		
	<b>Kka</b>	Olistostrom		

Şekil 4.4. Bolu (Merkez) jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

#### 4.2.4. Mudurnu-Babas (Bolu)

Babas-Mudurnu jeotermal sahası, Bolu il sınırları içerisinde, Bolu il merkezinin yaklaşık 40 km GB'sında, Mudurnu ilçe merkezinin ise 4 km GB'sında yer almaktadır.

Sahada en yaşlı birimi Orta Jura - Erken Kretase yaşlı kireçtaşları oluşturmakta, bunların üzerine uyumlu olarak gelen kireçtaşı-çakıltası-kumtaşı-marn-kiltaşı ardalanmasından oluşan sedimanter seviyelerin (fliş) yaşlı Geç Kretase'ye kadar uzanmakta, Pliyo-Kuvaterner traverten ve alüvyonlar ise istifin en genç birimlerini oluşturmaktadır (MTA, 1996) (Şekil 4.5).

Yöredeki normal faylar KD-GB, ters faylar ise D-B doğrultuludur (MTA, 1996) (Şekil 4.5).

Soğuk su kaynakları fliş formasyonunun çeşitli seviyelerinden çıkmaktadır. Kretase flişinin kireçtaşı seviyelerinde yeraltısuyu bulunmasına rağmen yöredeki yüksek topoğrafya yüzünden rezervuarda toplanamamakta ve nehirlere akmaktadır (Şahinci, 1970). Kil, kum, çakıl ve milden oluşan Kuvaterner alüvyon yeraltısuyunu tutabilecek kapasitede olmasına karşın, bu birimin kalınlığının az olması ve yörenin sarp topoğrafyası yüzünden bu yeraltısuları tekrar nehirlere boşalmaktadır (Savaşkan, 1972). Babas-Mudurnu sahasının rezervuar kayacı Orta Jura – Erken Kretase yaşlı kireçtaşlarıdır. Sedimanter istifin (fliş) geçirimsiz ve kalın seviyeleri örtü kayaç konumundadır. Bu fliş birimleri arasından geçen sıcak sular, yolları boyunca büyük olasılıkla soğuk yeraltısuyu ile karışmaktadır (Şahinci, 1970).

Sıcak su kaynakları, Babas deresi boyunca, kırık hatlarından çıkmakta (Şahinci, 1970), sıcaklıkları 30-37 °C, debileri ise 0.5-5.6 lt/sn arasında değişmektedir (MTA, 1996). Babas-Mudurnu sahasında halen 2 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır. Birbirlerinden yaklaşık 25-30 m mesafede bulunan bu kuyular artezyen tipi üretim kuyuları olup, 80 m ve 125 m derinlikten elde edilen (sırasıyla 38 °C ve 40 °C sıcaklıktaki) sular kaplıca tesislerinde kullanılmaktadır. Bu saha için Yapmış (2002) tarafından yapılan jeotermometre çalışmalarında, rezervuar için 77 ile 101 °C aralığında değişen sıcaklıklar tahmin edilmiştir.



#### 4.2.5. Seben-Kesenözü (Bolu)

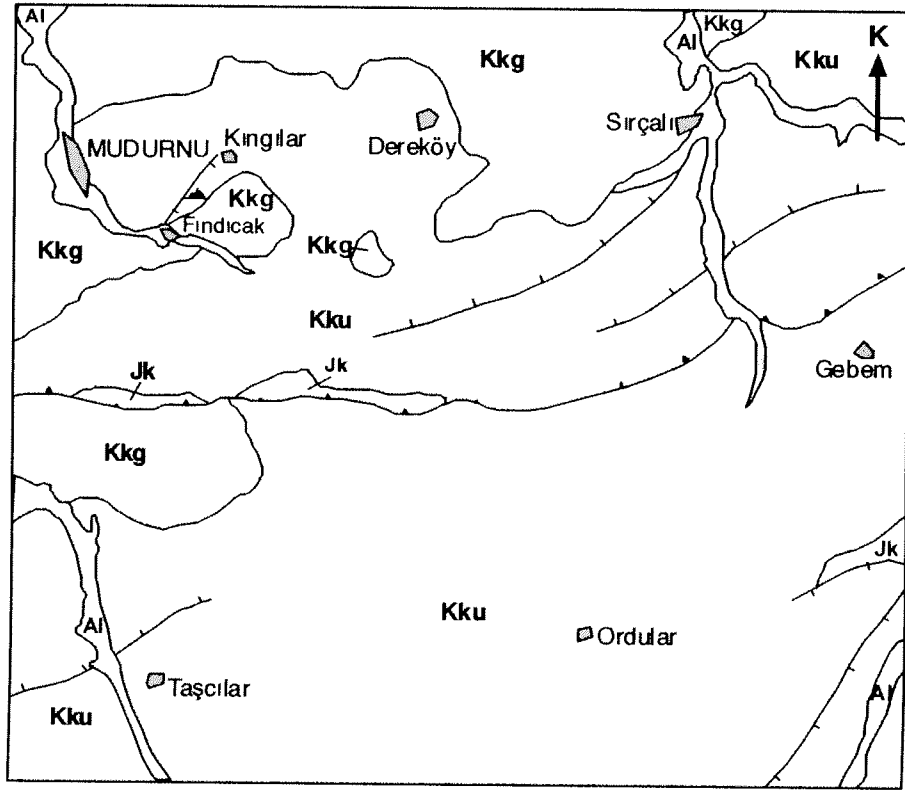
Seben-Kesenözü jeotermal sahası, Bolu il sınırları içerisinde, Bolu il merkezinin yaklaşık 40 km güneyinde yer almaktadır. Kesenözü kaplıcası, Seben'in 10 km kadar GB'sindedir. Yöre karasal iklim etkileri taşımakta ve saha güneyde Karageriş dağları ve kuzeyde de Çamlıtepe dağları tarafından sınırlanmaktadır.

Sahada tabanı kumtaşı, kireçtaşı, marn ve kiltaşından oluşan Geç Kretase yaşlı Kesenözü formasyonuna bağlı Uzun üyesi oluşturmaktadır. Bu formasyon Güneyce üyesinin marn ve kumtaşı seviyeleri ile devam etmektedir. Pliosen Topraklı formasyonu (konglomera-kumtaşı) Kesenözü formasyonunu örtmektedir. Kuvaterner alüvyon ise en üst birimi oluşturmaktadır (Özcan ve Ünay, 1978; Müftüoğlu ve Akıncı, 1989; MTA, 1996) (Şekil 4.6).

Sahadaki başlıca yapısal unsurlar yaklaşık D-B eksenli kıvrımlar ve K-G ve BKB-DGD gidişli faylardır (MTA, 1996) (Şekil 4.6).




Yörede kil, kum, çakıl ve mil içeren alüvyon yeraltısuyu taşıyacak tek formasyondur. Buna rağmen ince alüvyon örtüsü ve yörenin sarp topoğrafyası bu suyun yakın derelere boşalmasına neden olmaktadır (Savaşkan, 1972). Kesenözü formasyonunun kireçtaşı ve kumtaşı seviyeleri sahanın rezervuar kayacını oluşturmaktadır. Kesenözü formasyonunun geçirimsiz killi seviyeleri örtü kayaç niteliğindedir (Özcan ve Ünay, 1978; MTA, 1996).

Seben-Kesenözü jeotermal sahasındaki sıcak su kaynaklarının sıcaklıkları 74 °C, debileri ise 4 lt/sn civarındadır. Kesenözü kaplıcası civarında açılmış olan 2 adet kuyudan, 2.5-3 m ve 3.5-4 m derinlikten pompalama yoluyla elde edilen (sırasıyla 51 °C ve 58 °C sıcaklıktaki) sular kaplıcalarda kullanılmaktadır. Bu saha için 110 ile 149 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları Yapmış (2002) tarafından belirtilmiştir.

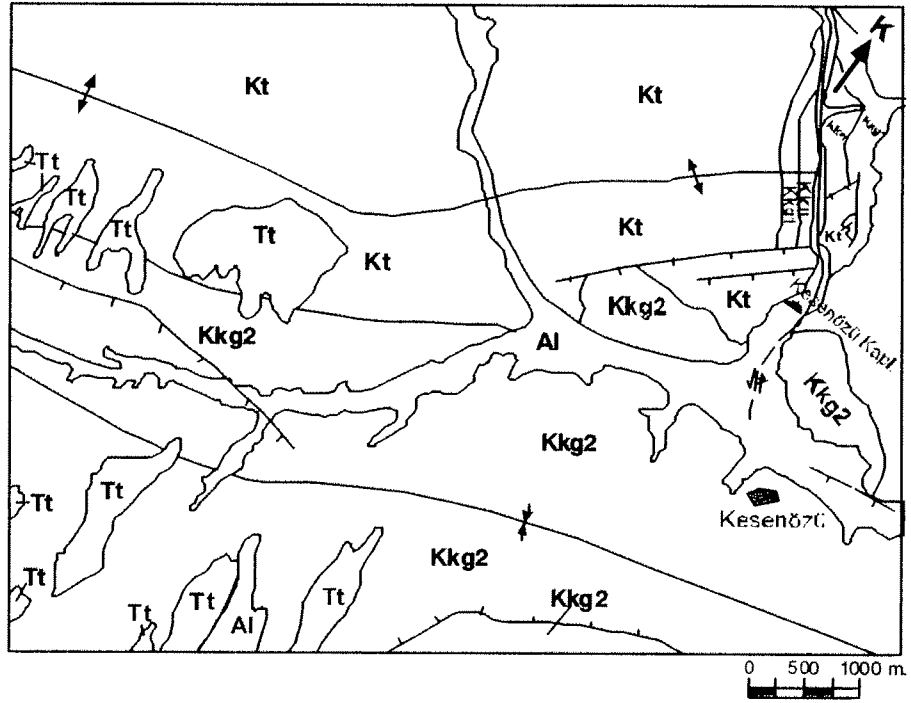


0 1 2 3 4 Km.

#### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	<b>Al</b>	Alüvyon		Normal fay
	<b>Kkg</b>	Mam		Ters fay
MESOZOYİK	<b>Kku</b>	Kireçtaşı, kumtaşı, mam, kıltaşı ardalanması		Sıcaksu kaynağı
	<b>Jk</b>	Kireçtaşı		

Şekil 4.5. Babas-Mudurnu (Bolu) jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).



#### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	[ Al ] Alüvyon	[ Senklinal eksen ] Senklinal eksen
	[ Tt ] Tutturulmamış detritikler (Topraklı formasyonu)	[ Normal fay ] Normal fay
MESOZOYİK	[ Kkg2 ] Mam	[ Antiklinal eksen ] Antiklinal eksen
	[ Kt ] Kumtaşı	[ Sıcaksu kaynağı ] Sıcaksu kaynağı
	[ Kkg1 ] Mam-kumtaşı	
	[ Kku ] Kumtaşı-kireçtaşı- mam-kiltaşı (Uzun üyesi)	

Cüneyde  
Kesenözü formasyonu

Şekil 4.6. Seben-Kesenözü (Bolu) jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

#### 4.2.6. Hamamözü-Amasya

Hamamözü jeotermal sahası Çorum'a 40 km uzaklıkta ve Gümüşhacıköy-Çorum karayolu yanında yer almaktadır. Yöredeki en yüksek nokta 1400 m olup, Hamamözü sıcak suları da yaklaşık 675 m yükseltide çıkış yapmaktadır.

Sahada tabanı Paleozoyik killi şist ve meta-kumtaşı oluşturmaktadır. Taban, Mesozoyik fliş (kiltası, marn, kumtaşı, miltaşı ve killi kireçtaşı) birimleri tarafından aşıl uyumsuzlukla örtülmektedir. Daha üst seviyelerde Senozoyik yaşlı konglomera, jips, kumtaşı, kiltası ve miltaşı birimleri gözlenmektedir. Kuvaterner alüvyon ise sahadaki en genç birimi oluşturmakta ve Hamamözü nehri boyunca çökelmektedir. Alüvyonun kalınlığı 40 m olup çakıl, kil ve mil içermektedir. Sahada andezitik ve bazaltik volkanikler de mostra vermektedir (Koçak, 1976) (Şekil 4.7).

Sahadaki başlıca yapısal unsurlar, KD-GB gidişli kırık hatlarıdır (MTA, 1996) (Şekil 4.7). Yapısal birimler sahada pek gözlenmemektedir. Paleozoik şistler kıvrım yapıları göstermektedir (Koçak, 1976).

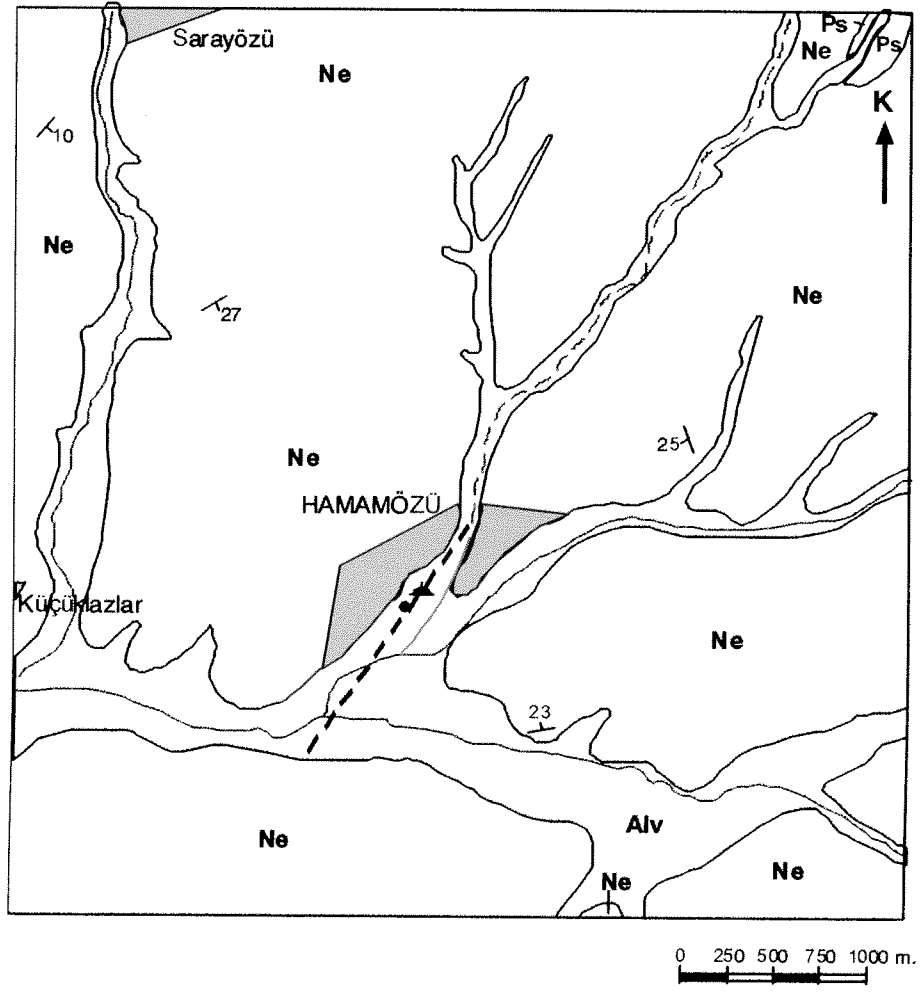
Mesozoyik kireçtaşı ve Kuvaterner alüvyon akifer karakteri sergilemektedir. Yöredeki sıcak sular alüvyonda olası bir faydan yüzeye ulaşmaktadır (Koçak, 1996). Mesozoyik kireçtaşı ve meta-şistlerin ikincil geçirimli zonları rezervuar kayaç niteliğindedir (Koçak, 1976; MTA, 1996). Rezervuardan çıkan sıcak su alüvyon içerisindeki çakıl seviyelerinde hapsedilmiş soğuk sularla karışarak ısını kaybetmektedir.

Yöredeki sıcak sular iki kaynaktan çıkmaktadır. Bu suların sıcaklıkları 40 °C ve debileri de 2.80 l/s'dir. MTA tarafından 1989'da 500 m derinliğine inen artezyen kuyusu açılmıştır ve bu kuyudan çıkan suyun (kuyubaşı) sıcaklığı 42.5 °C, debisi de 29 l/s' dir. Sıcak sular kaplıcalarda kullanılmaktadır (MTA, 1996).

#### 4.2.7. Gözlek-Amasya

Gözlek jeotermal sahası, Amasya il sınırları içerisinde, Amasya il merkezinin yaklaşık 20 km GB'sında yer almaktadır. Yörede karasal iklim görülmektedir.

Sahada temeli Paleozoyik yaşlı metamorfik şistler oluşturmakta, Geç Jura-Erken Kretase yaşlı rekristalize masif kireçtaşları ise şistlerin üzerine gelmektedir (Şekil 4.8). Eosen yaşlı, konglomera-kumtaşı-marn-kiltası ardalanmasından oluşan fliş serisi Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon sahadaki en genç birimi



#### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	[	Kuvaterner	<b>Alv</b>	Alüvyon
		Tersiyer	<b>Ne</b>	Çakıltaş, kumtaş, kil, mil, jips
PALEOZOYİK	[		<b>Ps</b>	Killi şist, metakumtaş
				Olası fay
				Tabaka doğrultu ve eğimi
				Sıcaksu kaynağı
				Sıcaksu sondajı

Şekil 4.7. Hamamözü-Amasya jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

oluşturmakta ve hayli geniş yayılımlar sunmaktadır (Şentürk ve Ünay, 1976; MTA, 1996) (Şekil 4.8).

Paleozoyik şistler kıvrımlar gösterip yoğun olarak metamorfizmaya uğramışlardır. Gözlek kaynağı ve çevresinde, egemen olarak D-B ve KKB-GGD yönlü, olası faylar mevcuttur (Şekil 4.8).

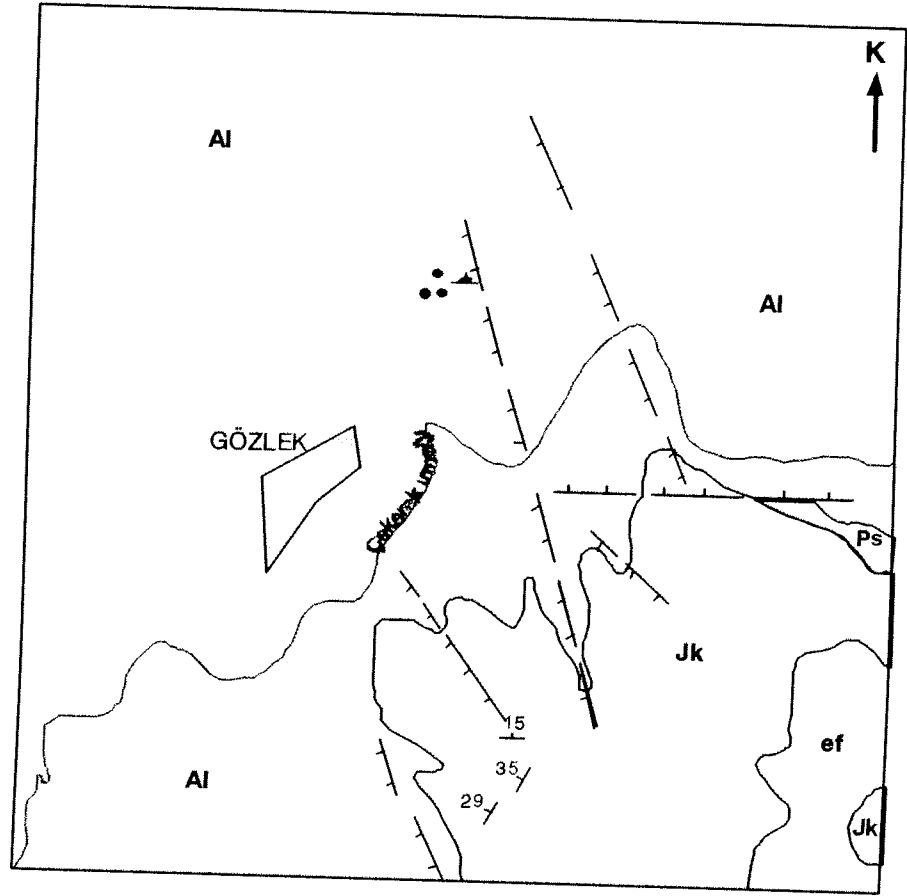
Eosen flişinin konglomera ve kumtaşı seviyeleri ile alüvyon yeraltısuyu içermektedir. Sıcak sular kırıklardan ve Üst Jura- Alt Kretase kireçtaşı seviyelerinden yüzeye ulaşmaktadır (Kartal, 1974b). Üst Jura- Alt Kretase rekristalize kireçtaşları rezervuar kayaç, Eosen flişinde geçirimsiz seviyeleri örtü kayaç niteliğindedir (MTA, 1996). Kireçtaşı rezervuarından gelen sıcak sular KKB-GGD doğrultusundaki faylardan yüzeye çıkmaktadır (Kartal, 1974b; Şentürk ve Ünay, 1976).

Gözlek kaplıca kaynağının sıcaklığı 39 °C, debisi ise 2 lt/sn'dir. Gözlek jeotermal sahasında, 1988-1991 yılları arasında, MTA tarafından 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. 1988 yılında açılmış olan kuyu (Kuyu No. GS.1 – MTA, 1997) 398.5 m derinlikte tamamlanmış, 40.5 °C sıcaklık ve 10.5 lt/sn debide artezyen tipi üretim yapılmıştır. 1989 yılında açılmış olan kuyu (Kuyu No. GS.2 – MTA, 1997) 393 m derinliğe inmiş ve pompalama yoluyla, 40.5 °C sıcaklık ve 0.1 lt/sn debide su üretimi yapılmıştır. 1991 yılında açılmış olan kuyu (Kuyu No. GS.3) 530.3 m derinlikte tamamlanmış, pompaj yoluyla 35.5 °C sıcaklık ve 0.8 lt/sn debide su sağlanmıştır. Sıcak sular kaplıcalarda kullanılmaktadır (MTA, 1996). Yapmış (2002) tarafından yapılan jeotermometre çalışmaları bu saha için 67 ile 72 °C aralığında değişen rezervuar sıcaklığı önermiştir.

#### **4.2.8. Reşadiye-Tokat**

Reşadiye jeotermal sahası, Tokat il sınırları içerisinde, Tokat il merkezinin (kuş uçuşu) 65 km DKD'sunda yer almaktadır. Reşadiye sahası karasal iklim etkisindedir ve kuzeyde Canik dağları, güneyde de Köse dağları tarafından çevrelenmektedir.

Sahada temeli Jura-Kretase yaşlı Zinav kireçtaşları oluşturmaktadır. Kiltası ve miltası içeren Kampaniyen Nebişeyh kireçtaşı temeli uyumsuzlukla örtmektedir. Üst Kratesa flişi ( kiltası, miltası, killi kireçtaşı ve çamurtaşı) bu birimi örtmektedir. Paleosen Sırakayalar kireçtaşı bütün bu birimleri uyumsuzlukla örtmektedir. Yörede gözlenen Üst Kretase flişi ile ardalanmalı olan volkanik kayaçlar (andezit, tuf, aglomera) Geç Kretase'de başlamış ve



### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	Kuvaterner	<b>Al</b>	Alüvyon
	Eosen	<b>ef</b>	Nümmülitli fiş
MESOZOYİK	Alt Kretase Üst-Jura	<b>Jk</b>	Rekristalize masif kireçtaşı
	PALEOZOYİK	<b>Ps</b>	Şist
			Olası fay
			Tabaka doğrultu ve eğimi
			Sıcaksu kaynağı
			Sıcaksu sondajı

Şekil 4.8. Gözlek-Amasya jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

Kuvaterner'e kadar süren magmatik aktivitenin ürünlerini temsil etmektedir. Kuvaterner alüvyon ve traverten yöredeki en genç birimlerdir. Alüvyon kum ve çakıldan oluşmaktadır ve kalınlığı 60 m civarındadır (MTA, 1996; Erzenoğlu, 1991) (Şekil 4.9).

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Reşadiye kaplıca sahasından geçmektedir. Bu fay zonu yörede yaklaşık 11 km boyunca izlenmekte ve Kuvaterner birimleri kesmektedir. Kaplıca civarında, KB-GD eksenli bir açılma çatlakları mevcuttur (Erzenoğlu, 1991) (Şekil 4.9).

Kuvaterner alüvyon ve Zinav kireçtaşı potansiyel yeraltısuyu akiferleri konumundadır. Reşadiye'nin KB'sında Reşadiye Bereketli karayolu üzerinde 3 sıcak su kaynağı kırık hattı boyunca yer almaktadır. Bu kaynaklar yörede travertenleri oluşturmuştur. Üst Jura-Alt Kretase Zinav kireçtaşı kırıklı ve geçirimli olduğundan rezervuar kayaç, Üst Kretase Nebişeyh formasyonu ise killi ve milli seviyeleri ile örtü kayaç niteliğindedir (Yücel ve Özgür, 1992).

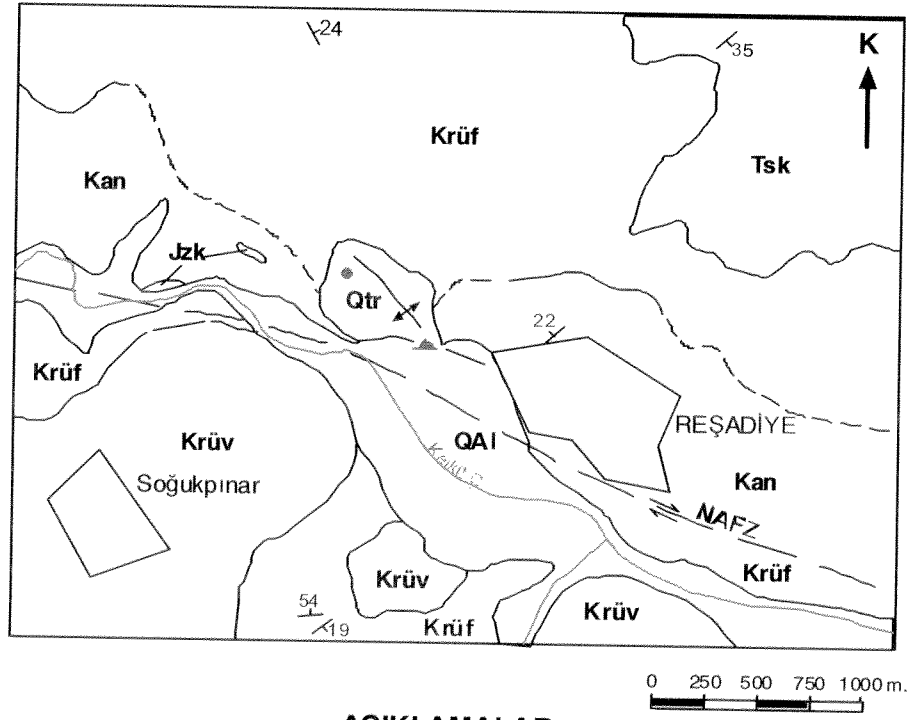
Reşadiye jeotermal sahasında KB-GD doğrultulu kırık/fay zonlarında birçok sıcak su kaynağı sıralanmaktadır. Bu suların debileri 4.3 l/s ve sıcaklıkları da 29.5 ile 48 °C aralığında değişmektedir. Sıcak sular, kaplıcalarda kullanılmaktadır. Kaplıca sahasında 1989 yılında MTA tarafından açılmış olan kuyu (Kuyu No. RSH-1) 238.9 m derinlikten, 46.5 °C sıcaklık ve 30 lt/sn debide, artezyen tipi üretim yapmaktadır. Bu kuyulardan gelen sular Reşadiye banyolarına gönderilmektedir (Yücel ve Özgür, 1992). Yapmış (2002) tarafından yapılan jeotermometre çalışmalarında 97 ile 99 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir.

#### **4.2.9. Kurşunlu-Çavundur (Çankırı)**

Kurşunlu-Çavundur jeotermal sahası, Çankırı ili sınırları içerisinde, Çankırı il merkezinin yaklaşık 45 km KB'sında yer almaktadır. Çavundur kaplıcası, Kurşunlu kasabasının 13 km batısındadır. Sahadaki ortalama yükseklik 1200 ile 1350 m civarındadır.

Sahada yüzeyleyen bütün birimler Senozoyik yaşlı olup Pliosen tüf, tüfit, aglomera, bazalt ve tutturulmamış sedimanlardan oluşmaktadır (çakıl, kum, mil, kil ve marn aralanması). Volkanik ve sedimanter birimler Kuvaterner alüvyon ve travertenler tarafından örtülmektedir. Traverten, Çavundur banyosu üzerinde koni şeklinde oluşmuştur ve yoğun şekilde kırıklıdır. Traverten içindeki kırıklar, sıcak suların yüze ulaşmasında





#### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	Kuvaterner	<b>Qtr</b> Traverten
		<b>QAI</b> Alüvyon
	Tersiyer	<b>Tsk</b> Sırakayalar kireçtaşı
MESOZOYİK	Üst Kretase	<b>Kröv</b> Volkanitler: Andezit, tuf, aglomera
		<b>Krüz</b> Fliş; kiltası, silttaşı, killi kireçtaşı, çamurtaşı ardalıması
	Jura-Kretase	<b>Kan</b> Nebişeyh kireçtaşı, kiltası silttaşı ara seviyeli
		<b>Jzk</b> Zinav kireçtaşı
KAF	<b>KAF</b> Kuzey Anadolu Fayı	
	<b>↑</b> Açılma çatlağı	
	<b>▲</b> Sıcaksu kaynağı	
	<b>●</b> Sıcaksu sondajı	

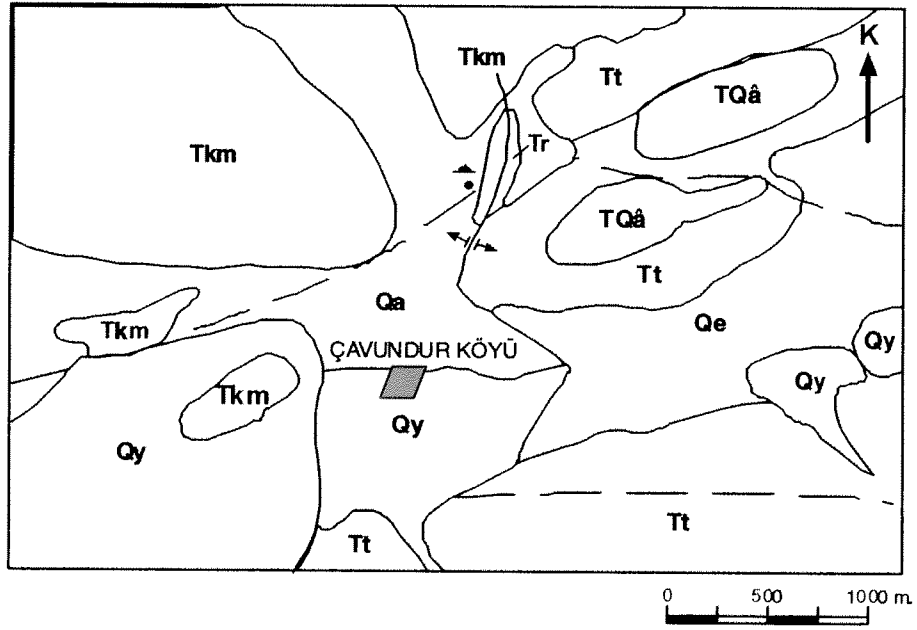
Şekil 4.9. Reşadiye-Tokat jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

büyük rol oynar. Sahada Saz ve Ulu nehirleri boyunca gözlenen alüvyal örtü tutturulmamış kil, mil, kum ve çakıldan oluşmaktadır (Koçak, 1974; MTA, 1996) (Şekil 4.10).

Yöredeki başlıca yapısal unsurlar D-B ve KD-GB gidişli kırık zonları ile K-G yönlü bir açılma çatlığıdır (Şekil 4.10). Sahadaki volkanik kayalar kırıklı bir yapıya sahiptir (Koçak, 1974; MTA, 1996) (Şekil 4.10).

Sahadaki volkanik kayalar kırıklı olduklarından yeraltısuyu akiferi için uygundur. Killi ve marnlı seviyeler akiklud özelliği gösterip çakıllar arasındaki suyun hapsedilmesine yardım etmektedir. Alüvyon ise kalınlığının az olmasından ötürü yeraltısuyu depolanması için önem teşkil etmemektedir. Sahada KD-GB doğrultulu faylar boyunca sıcak su kaynakları çıkmaktadır. Kurşunlu-Çavundur sahasında çatlak gözenegine sahip Pliosen yaşlı volkanikler sıcak sular için rezervuar, Pliosen yaşlı sedimanter birimlerin geçirimsiz seviyeleri (kil ve marn) ise örtü kayaları oluşturmaktadır. Koçak (1974)'e göre sahadaki sıcak sular büyük olasılıkla tamamen soğumamış volkanik bir kütle tarafından ısıtılmaktadır. Sıcak sular yüzeye doğru çıkarken Pliosen'in çakıllı seviyelerindeki yeraltısuyu ile karışmakta ve ısısının bir kısmını kaybetmektedir (Koçak, 1974).

Kurşunlu-Çavundur sahasında sıcak sular, Çavundur köyünün KD'sunda, Çavundur kaplıcası civarında yüzeylemektedir. Suların sıcaklıkları 30-38 °C civarında olup, debileri 0.1-0.2 lt/sn arasında değişmektedir (Koçak, 1975; MTA, 1996). Kaplıca civarında içme suyu olarak kullanılan, sıcaklıkları 11-20 °C arasında değişen, soğuksu ve madensuyu çıkışları da mevcuttur (Koçak, 1974). Sahada 1987 yılında MTA tarafından açılmış bir adet sondaj kuyusu 270 m'de tamamlanmış olup, kireçtaşından, 47 lt/sn debide ve 54 °C sıcaklıkta su çıkışı sağlanmıştır (MTA, 1996). Kuyu halen (artezyen tipi) üretim kuyusu olarak kaplıcalara su temininde kullanılmaktadır. Yapmış (2002)'ye göre Kurşunlu sahası için rezervuar sıcaklığı 88 ile 115 °C aralığında değişim göstermektedir.



#### AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	<b>Tr</b>	Traverten		Olası fay
	<b>Qa</b>	Alüvyon-yeni Alüvyon yelpazesi		Açılma çatlığı
	<b>Qe</b>	Alüvyon-eski		Sıcaksu kaynağı
	<b>Tkm</b>	Çakıl, kum, silt (tutturulmamış)		Sıcaksu sondajı
	<b>TQâ</b>	Bazalt		
	<b>Tt</b>	Aglomera, tuf, tüfit		

Şekil 4.10. Kurşunlu-Çavundur (Çankırı) jeotermal sahasının jeolojik haritası (MTA, 1996).

## BÖLÜM 5

### ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

#### 5.1. Örnekleme

Bütün jeotermal sahalardan yılda 3 kez olmak üzere toplam 9 dönem (Mart-Temmuz-Ekim 2002, Nisan-Temmuz-Ekim 2003 ve Nisan-Haziran-Ekim 2004) örnekleme yapılmıştır (Şekil 5.1-5.7). Sıcak ve soğuk sular ile sıcak sular içinde kabarcıklar halinde gözlenen gaz örnekleri, hem kaynaklardan hem de üretim kuyularından, kimyasal ve izotopik analizler için toplanmıştır. Kimyasal analizler (ana katyon ve anyon içerikleri) ile duraylı izotop ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  ve  $\text{D}/\text{H}$ ) ve trityum ( $^3\text{H}$ ) analizleri, hem sıcak hem de soğuk su örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gaz analizleri ( $\text{CO}_2/\text{He}$ ,  $^3\text{He}/^4\text{He}$  ve  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) için sıcak sular ve/veya gazlar örneklenmiştir. Reşadiye jeotermal sahası, örneklenen kaynak aşırı kullanımdan dolayı kurduğundan, sadece 2002 yılı içinde örneklenebilmiştir. Soğuk sular, Hamamözü ve Gözlek sahaları için Ekim 2002 itibariyle, Efteni-Gölyaka, Yalova-Termal ve Bolu-Karacasu sahaları için de Nisan 2003 örnekleme dönemi itibariyle toplanmaya başlanmıştır. Ayrıca Kurşunlu sahasından toplanan maden suyu kurduğundan, Nisan 2003'ten itibaren bu kaynaktan örnekleme yapılamamıştır.

Arazi çalışmaları sırasında su örnekleri, her örnek noktasından 2 adet olmak üzere, birer litrelik polietilen kaplar içerisine, kimyasal ve izotopik (oksijen, hidrojen, trityum) analizler için ayrı ayrı toplanmıştır. Bütün örnekler, hava ile su arasındaki etkileşimi yok etmek için polietilen kapların ağzı tamamen dolacak şekilde toplanmış ve örnek kapları sıkıca (tıpa ve kapak kullanılarak) kapatılmıştır. Örnekleme sırasında filtreleme işlemi, suyun bütün dönemlerde çok çamurlu olmasından dolayı, sadece Efteni-Gölyaka sahasında uygulanmıştır. Sıcaklık ve pH değerleri bütün dönemlerde arazide ölçülmüştür. UTM koordinatları ise GPS cihazı yardımıyla her saha için kaydedilmiştir. Toplanan su örnekleri daha sonra analiz için DSİ laboratuvarlarına 1 hafta içinde gönderilmiştir. Çizelge 5.1'de örneklerin UTM koordinatları ve tipleri, Çizelge 5.2' e de sıcaklık ve pH değerleri örnek numaraları ile birlikte sunulmuştur.

CO<sub>2</sub>/He gaz oranları, He- ve C-izotop analizleri için sıcak su ve/veya (su içinde kabarcıklar şeklinde gözlenen) gaz örnekleri, 40 cm uzunluğundaki (dış çap: 9.52 mm, iç çap: 8.71 mm) bakır borulara toplanmıştır. Örnekleme işlemlerinde, doğal kaynaklardan ve üretim kuyularından yararlanılmıştır. Örnekleme sırasında bakır borular, kaynak ve kuyu başlarına şeffaf plastik (PTFE) borular aracılığıyla bağlanmıştır. Olası hava kontaminasyonunun önlenmesi ve borular içindeki hava kabarcıklarının boşaltılması için bakır borular, örnek alımından önce, birkaç sefer kaynak / kuyudan gelen akışkanlar ile yıkanmıştır. Örnek alımını takiben bakır boruların uçları, taşınabilir soğuk kaynaklama cihazı (*Cold-Welder Series no. MC138A T1*) ile kapatılmıştır. Her örnekleme lokasyonundan, örnek alımı ve/veya analizler sırasında çıkabilecek (örnek kaybı vb.) problemlere önlem amacıyla, 4 adet örnek (4 ayrı bakır boruya) toplanmıştır.

## 5.2. Analiz Teknikleri

Su örneklerinin kimyasal analizleri, ilk iki dönemde ODTU Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarlarında, diğer dönemlerde ise DSI Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub> ve Cl için titrasyon, Na ve K için Alev Fotometresi ve SO<sub>4</sub> için Spektrofotometrik yöntemler kullanılmıştır.

Oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri (<sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O ve D/H) ile trityum (<sup>3</sup>H) içerikleri, DSI Laboratuvarlarında ölçülmüştür. Trityum analizlerinde sıvı sintilasyon tekniği kullanılmıştır (*Packard Tri-Carb 2260 XL*). Trityum analizinin ilk aşaması birincil distilasyon, yani su örneklerinin istenmeyen parçacıklardan temizlenmesi ve suda çözülmüş halde bulunan mineral tuzlarından arındırılmasını içermektedir. Bu aşamadan sonra su örneklerini trityum bakımından zenginleştirmek için elektroliz uygulanmakta ve bunu takiben tekrar ikinci bir distilasyon sürecinden geçirilmektedirler. Bu süreçlerden sonra her örnekten 10 ml alınıp plastik şişelere koyulduktan sonra 10 ml'lik sintilatörlerle karıştırılmaktadır. Bu yolla örnekler birkaç gün sürecek olan sayılma aşamasına hazırlanmaktadır (Altay ve Çifter, 1996). Ölçülen trityum değerleri, her ölçüm için hata payları ile birlikte verilmektedir. Bazı örnekler daha doğru sonuçlar için tekrar analiz edilmiştir.

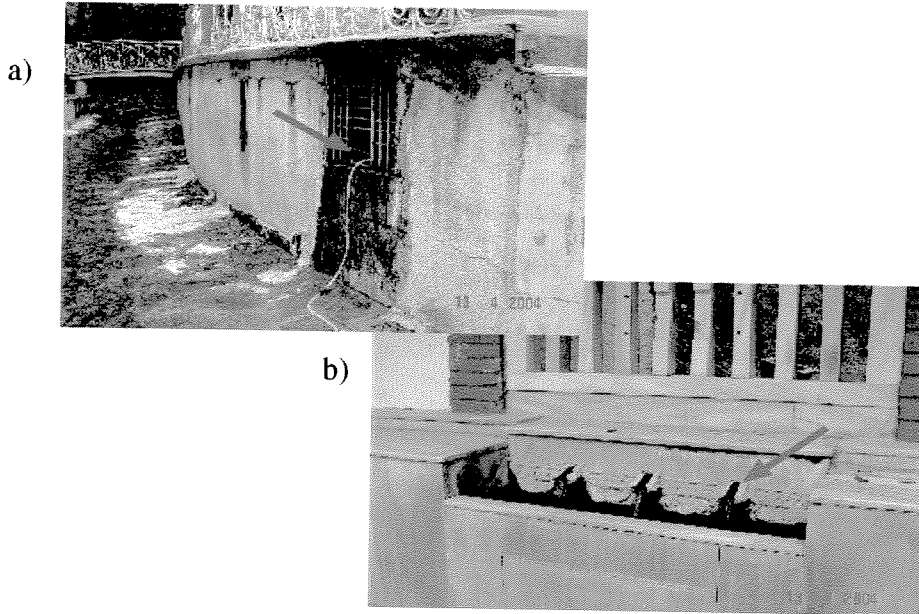
Oksijen ve Hidrojenin kararlı izotoplarının ölçülmesinde *Micromass 602C Kütle Spektrometresi* kullanılmıştır. Kararlı izotop analizlerinde, <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O ve D/H per mil deviasyonlarının hesaplanmasında, SMOW (Standard Mean Ocean Water: Standart Ortalama

Okyanus Suyu) standart olarak kullanılmıştır. Bütün değerler SMOW'a endekslenmiş delta notasyonları ile gösterilmiştir.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  için tipik hata payları sırasıyla, 0.1‰ ve 1‰ dir.

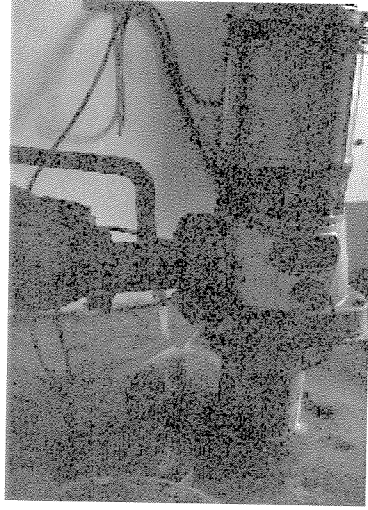
Jeotermal akışkanların gaz fazına ait helyum izotop bileşimleri ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) MAP 215 Asal Gaz Kütle Spektrometresi,  $\text{CO}_2/\text{He}$  gaz oranları ile karbon izotop bileşimleri ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) ise VG Prism ve Quadrupole Kütle Spektrometresi kullanılarak, Geosciences Research Division, Scripps Institution of Oceanography Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Helyum izotop analizleri ( $^3\text{He}/^4\text{He} = \text{R}$ ), hava örnekleri üzerindeki ölçümleri ( $^3\text{He}/^4\text{He} = \text{Ra}$ ) standart olarak (ve ölçümler bu standartın ölçümlerine göre normalize edilerek =  $\text{R}/\text{Ra}$ ) yapılmıştır. Karbon izotop ölçümleri ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ), PDB karbon standartına ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}}$ ) göre normalize edilmiştir:  $\delta^{13}\text{C} \text{‰} = \{ [(^{13}\text{C}/^{12}\text{C}) / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C}_{\text{PDB}})] - 1 \} * 10^3$ .



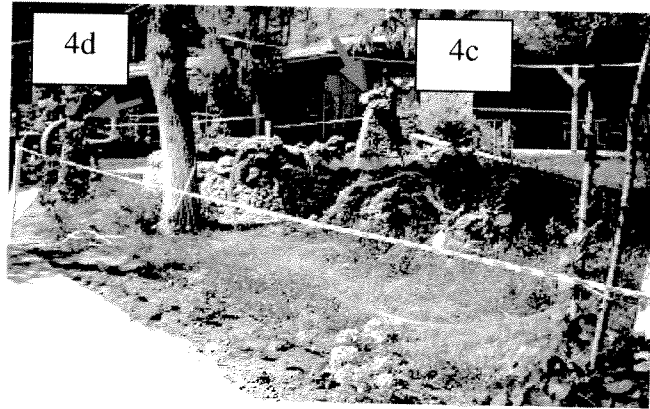
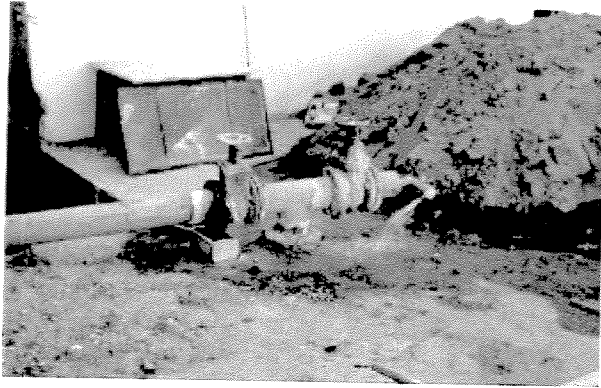
**Şekil 5.1.** Efteni-Gölyaka sahasındaki banyoyu besleyen kapalı sıcak su kaynağının görüntüsü (örnek no. 1a).



**Şekil 5.2.** Yalova'da sıcak su örnekleme a) örnek no.2a, b) örnek no. 2b.

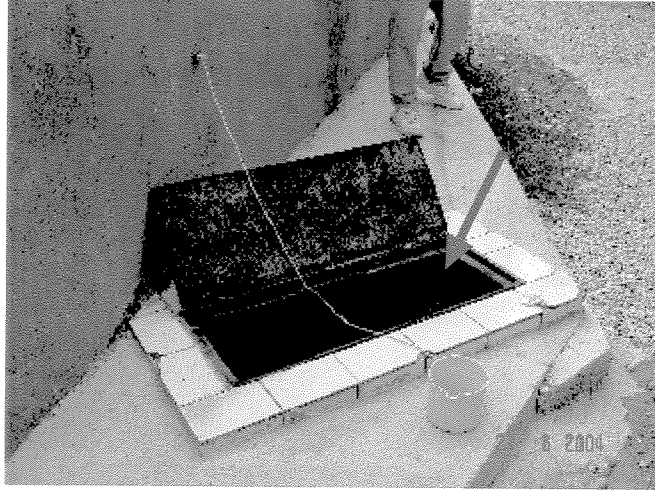


Şekil 5.3. Bolu'da örnek no. 3a'nın toplandığı sondaj kuyusu.



Şekil 5.4. a) Mudurnu'da örnek no.4a'nın toplandığı sondaj kuyusu, b) soğuk su kaynakları (örnek no. 4c ve 4d).

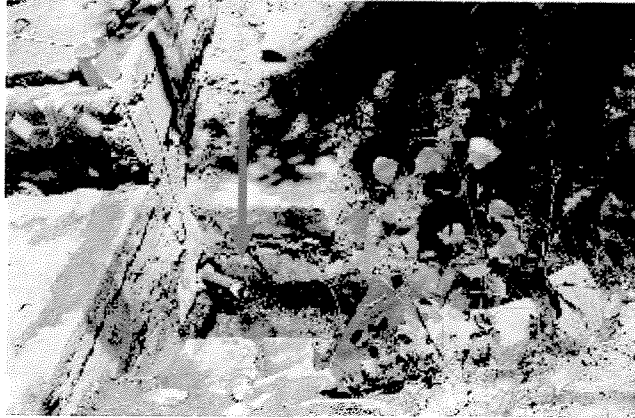
a)



b)



c)



**Şekil 5.5.** a) Seben'de sıcak su örneklemesi (örnek no. 5a), b) Seben örnek no.5c'nin toplandığı kuyu, c) soğuk su kaynağı 5d.



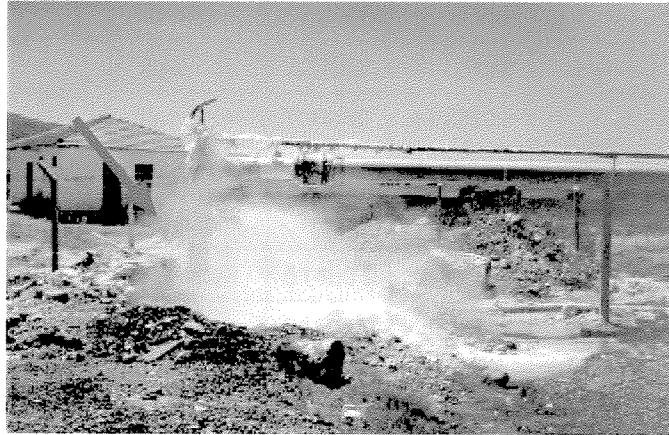
a)



b)



**Şekil 5.6. a) Hamamözü'nde sıcak su örnekleme (örnek no. 6a), b) Hamamözü'nde soğuk su kaynağı üzerinde inşa edilen çeşme (örnek no.6b).**



**Şekil 5.7. Kurşunlu'da 9a no.lu örneğin toplandığı sondaj kuyusu.**

**Çizelge 5.1.** Örneklenen sahalardan örnek numaraları, UTM koordinatları ve örnek tipleri.

Lokalite	Örnek No.	UTM		*Örnek Tipi
		E	N	
Efteni-Gölyaka	1a-sıcak	333558	4514266	Kaynak
	1b-soğuk	333558	4514266	
Yalova-Termal	2a-sıcak	683618	4497215	Kaynak
	2b-sıcak	683718	4497156	
	2c-soğuk	687703	4499094	
Bolu-Karacasu	3a-sıcak	383479	4504891	Üretim kuyusu(P)-83 m
	3b-soğuk	383217	4504761	Kaynak
Mudurnu-Babas	4a-sıcak	350839	4480254	Üretim kuyusu(A)-80 m
	4b-sıcak	350861	4480362	Üretim kuyusu(A)-125 m
	4c-soğuk	350809	4480348	Kaynak
	4d-soğuk	350809	4480348	Kaynak
Seben-Pavlu	5a-sıcak	375960	4464959	Kaynak
	5b-sıcak	375887	4464896	Üretim kuyusu(P)-4 m
	5c-sıcak	375870	4464857	Üretim kuyusu(P)-2.5 m
	5d-soğuk	375873	4464978	Kaynak
Hamamözü-Amasya	6a-sıcak	670722	4516721	Üretim kuyusu(A)
	6b-soğuk	670744	4516733	Kaynak
Gözlük-Amasya	7a-sıcak	726642	4492622	Üretim kuyusu(A)-800 m
	7b-soğuk	726642	4492622	Kaynak
#Reşadiye	8a-sıcak	-	-	Kaynak
	8b-soğuk	-	-	
Kurşunlu-Çavundur	9a-sıcak	514801	4519543	Üretim kuyusu(A)-165 m
	9b-sıcak	515043	4520371	Maden suyu
	9c-soğuk	515048	4520464	Kaynak

\* Üretim kuyuları için verilen sayılar üretim derinliğini temsil etmektedir.

# UTM koordinatları 2003 yılından itibaren alındığı ve Reşadiye'deki su kaynağı 2002 yılı sonunda kurduğu için, sözkonusu sahada UTM ölçümü yapılamamıştır.

**Çizelge 5.2.** Bütün örneklerin bütün dönemleri kapsayan sıcaklık ve pH değerleri.

Lokallite	Örn. No.	Mart 02		Temmuz 02		Ekim 02		Nisan 03		Temmuz 03		Ekim 03		Nisan 04		Haziran 04		Ekim 04	
		T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH
Efteni-	1a-sıcak	42.3	6.50	41.4	7.82	43.4	6.31	43.0	6.22	43.1	6.28	43.3	6.44	43.6	6.23	44.7	6.27	44.4	6.27
	1b-soğuk	-	-	-	-	-	-	11.2	8.83	20.0	8.75	12.6	8.60	18.5	8.49	19.8	8.28	20	8.45
Yalova-	2a-sıcak	60.1	7.90	60.6	7.62	56.9	7.67	64.3	7.37	65.0	7.57	63.4	7.66	65.7	7.32	53.8	7.78	60.6	7.51
	2b-sıcak	57.7	7.78	60.4	-	60.5	7.39	61.0	7.26	61.1	7.38	59.7	7.53	60.3	7.33	59.1	7.65	60.9	7.38
Termaal	2c-soğuk	-	-	-	-	-	-	13.5	7.41	20.0	7.58	18.2	7.82	14.4	7.46	17.1	7.05	20.2	7.6
	*3a-sıcak	41.6	7.00	41.6	6.24	43.0	6.12	42.5	6.06	43.1	5.92	41.8	6.29	37.4	6.16	43.4	6.23	44.5	6.08
Karacasu	3b-soğuk	-	-	-	-	-	-	6.7	7.47	13.7	7.70	11.6	7.71	19.7	7.88	18.1	8.35	16.9	8.4
	*4a-sıcak	38.3	6.30	38.3	6.28	44.3	6.24	39.1	6.14	39.2	6.28	39.3	6.29	39.4	6.18	39.9	6.2	40.1	6.13
Mudurnu-	*4b-sıcak	38.5	6.25	38.7	6.32	39.7	6.23	39.7	6.13	39.8	6.29	39.8	6.36	39.7	6.2	40.1	6.19	40.2	6.17
	4c-soğuk	19.6	6.90	19.4	6.86	20.2	6.75	19.7	6.67	19.9	6.83	20.0	6.86	19.3	6.85	19.9	6.82	22.7	6.8
Seben-	4d-soğuk	11.3	7.30	15.4	7.13	16.9	6.91	12.2	6.97	15.7	7.07	17.4	7.07	13.2	7.19	15.5	6.97	18.7	7.04
	5a-sıcak	70.1	6.70	69.9	6.87	72.3	6.46	70.7	6.36	71.8	6.58	72.3	6.77	71.6	6.53	72.6	6.43	71.5	6.47
Pavlu	*5b-sıcak	55.8	6.80	57.3	6.76	59.3	6.48	55.7	6.61	60.0	6.79	58.2	6.86	57.8	6.44	60.1	6.42	60.2	6.96
	*5c-sıcak	35.0	7.30	-	-	47.8	7.14	-	-	53.0	6.69	-	-	-	-	-	-	-	-
	# 5d-soğuk	13.1	7.30	-	-	15.1	7.30	14.5	7.23	14.5	7.47	15.7	7.40	14.4	7.44	16.5	7.42	16.2	7.49

Çizelge 5.2. (devam ediyor).

Lokaliite	Örn. No.	Mart 02		Temmuz 02		Ekim 02		Nisan 03		Temmuz 03		Ekim 03		Nisan 04		Haziran 04		Ekim 04	
		T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH	T(°C)	pH
Hamamözü-	*6a-sıcak	41.3	7.80	41.1	7.71	42.6	7.24	42.10	7.0	42.7	7.29	42.5	7.30	42.5	7.21	43.6	7.41	44.4	7.28
	6b-soğuk	-	-	-	-	15.8	7.57	10.60	7.3	19.3	7.39	17.4	7.77	12.7	7.35	19.5	7.5	19	7.51
Gözlek-	*7a-sıcak	38.4	7.90	38.3	7.97	39.3	7.60	39.60	7.4	38.9	7.96	38.8	7.75	38.8	7.77	39.3	7.71	40.1	7.73
	7b-soğuk	-	-	-	-	16.1	7.87	16.30	7.5	17.2	7.53	19.2	7.79	15.8	7.84	20.5	7.69	19.6	7.71
Reşadiye-	8a-sıcak	41.3	6.40	41.1	6.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8b-soğuk	12.5	7.80	17.4	6.50	15.9	7.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kurşunlu-	*9a-sıcak	55.9	7.20	55.5	7.10	57.6	6.94	57.40	6.9	57.9	7.11	58.1	7.09	56	6.59	58.2	7.02	59.9	6.97
	*9b-sıcak	12.6	6.50	14.7	6.43	15.3	6.45	10.60	6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Çavundur	9c-soğuk	9.0	8.20	14.9	7.76	13.3	8.06	11.90	7.7	12.5	7.92	13.4	7.95	11	7.98	14.1	8.01	14.5	8.1

\*Üretim kuyusu örnekleri, kuyu başı sıcaklıkları verilmektedir.

§5c no.lu örnek, Temmuz 2002 döneminde, örnekleme gününden birkaç gün önceki yoğun yağışların neden olduğu sel sonucu ortaya çıkan çamuru temizleme çalışmaları olduğundan, Nisan 2003 ve Ekim 2003 dönemlerinde ise kuyudaki pompaların motoru kaldırılmış olduğundan toplanamamıştır.

§5d no.lu örnek, Temmuz 2002 döneminde, örnekleme gününden birkaç gün önceki yoğun yağışların neden olduğu sel sonucu ortaya çıkan çamuru temizleme çalışmaları olduğundan, toplanamamıştır.

§§Sıcak su kaynağının kuruması nedeniyle, Temmuz 2002 döneminde birkaç gün önceki yoğun yağışların neden olduğu sel sonucu ortaya çıkan çamuru temizleme çalışmaları olduğundan, toplanamamıştır.

§§Maden suyu kaynağının kuruması nedeniyle, Temmuz 2003 döneminden itibaren örnek toplanamamıştır.

## BÖLÜM 6

### HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLER

#### 6.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Sıcak ve soğuk su örneklerinin bütün dönemleri kapsayan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.1'de verilmiştir. Çizelge'den görüldüğü üzere, sıcaklıklar sıcak sular için 35-72.6 °C, soğuk sular için ise 6.7-20.5 °C aralığında değişmektedir. Sıcak suların pH değerleri 5.92-7.97 arasında değişmekte olup hafif asidikten hafif bazığe doğru eğilim göstermektedir. Soğuk suların pH değerleri ise 6.50-8.83 aralığında değişim gösterip daha bazik karakterdedir. TDS (*Total Dissolved Solids*, Toplam Çözünmüş Madde) değerleri sıcak sularda soğuk sulara göre daha yüksektir. Bütün örnekler içinde en yüksek TDS değeri Kurşunlu-9a sıcak suyuna aittir. Diğer taraftan Hamamözü-6a ve Gözlek-7a sıcak suları en düşük TDS değerlerine sahiptir. Kimyasal analizlerin hata paylarına ilişkin olarak *Yük-Denge Hataları (Charge Balance Error, CBE)* Çizelge 6.1'de gösterilmektedir. Çizelgeden görüleceği üzere, analiz sonuçları, genelde, kabul edilebilirlik limiti olan  $\pm \%5$  hata payının içerisinde kalmaktadır. Birkaç örnekte bu hata payları kabul edilebilirlik limitini aşmaktadır. Ancak, sözkonusu bu örneklere ait sonuçlar, zamansal değişimlerin sismik etkilere ilişkilendirildiği 9 no.lu bölümde kullanılmamıştır, zaten bu örneklere ilişkin olarak ciddi bir zamansal değişim de kaydedilmemiştir.

#### 6.2. Hidrojeokimyasal Fasiyesler

Proje kapsamında analiz edilen sıcak ve soğuk suların, egemen anyon - egemen katyon içerikleriyle (meq/l) temsil edilen hidrojeokimyasal fasiyesleri Çizelge 6.2'de ve Piper (1944) diyagramları olarak Şekil 6.1(a,b)'de gösterilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyesler, ayrıca, dairesel diyagramlar olarak Şekil 6.2'de sıcak ve soğuk sular için ayrı ayrı (Şekil 6.2.a ve 6.2.b) sunulmuştur. Dairesel diyagramlarda kullanılan değerler bütün dönemlerin ortalama derişimlerini içermektedir.

Piper diyagramlarına bakıldığında, örneklenen sıcak suların daha çok Na-HCO<sub>3</sub> tipinde olduğu gözlenmektedir (Efteni, Seben, Gözlek, Reşadiye ve Kurşunlu) (Şekil 6.1.a). Bunların dışında kalan Bolu ve Mudurnu sahaları Ca-HCO<sub>3</sub>, Yalova sahası ise Na-SO<sub>4</sub> tipindedir. Hamamözü sıcak suyu ise bütün dönemler için karışık su karakterindedir; bir başka deyişle, hiçbir iyon derişimi toplam derişimin % 50'sini aşmamaktadır. Örneklenen soğuk sular çoğu saha için Ca-HCO<sub>3</sub> karakteri sergilemektedir (Şekil 6.1.b).

Su örnekleri için belirlenen hidrojeokimyasal fasiyesler, rezervuar litolojilerinin çözündürülmesi ve/veya suların dolaşım yolları üzerindeki sedimanter birimler ile etkileşim süreçlerini işaret etmektedir. Sıcak ve soğuk suların, Yalova sıcak suyu hariç tüm sahalarda egemen anyon konumunda olan HCO<sub>3</sub> içerikleri, yörede bulunan rezervuar kayaların (Mesozoyik kireçtaşları) çözündürülmesi ile ilişkili gözükürken, sıcak sulardaki Na katyon egemenliği, sular ile örtü kayaç konumunda olan killi seviyeler arasındaki iyon değişim süreçlerini yansıtmaktadır. Birincil rezervuar kayacın Neojen volkanikleri olduğu Yalova sahasında ise Na-SO<sub>4</sub> tipinde sular izlenmektedir. Yalova sularına özgü bu sülfat karakteri büyük olasılıkla İzmit körfezinde bulunan genç organik tortullar ile ilişkilidir ve civardaki sismik etkinlikler sonucu bu organik tortullar içindeki kükürtün serbest kalarak suya karışması ile izah edilebilir.

**Çizelge 6.1.** Bütün sahalar için bütün dönemleri kapsayan kimyasal analiz sonuçları (konsantrasyonlar mg/l cinsindedir).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC mmho/cm	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	YDH
Efteni-Gölyaka	1a	23.03.02	42.3	6.5	-	1835.4	0.0	197.0	1.0	450.0	18.0	164.0	134.9	-	2800.2	4.9
		8.7.02	41.4	7.4	-	1792.7	0.0	209.0	1.0	520.0	18.0	104.0	148.2	-	2792.9	6.8
		27.10.02	56.9	7.7	3090	1701.9	0.0	205.9	3.6	297.5	13.2	141.0	162.9	19.6	2545.6	-0.1
		7.4.03	43.0	6.2	3020	1703.7	0.0	200.6	4.6	307.5	12.8	218.8	108.9	-	2556.9	-0.1
		9.7.03	43.1	6.3	3050	1764.7	0.0	196.3	5.4	347.0	12.0	63.0	193.9	21.0	2603.3	-0.1
	1b	05.10.03	43.3	6.4	-	1580.0	0.0	198.0	4.8	232.0	11.1	85.6	206.0	155.0	2472.5	0.0
		12.4.04	43.6	6.23	3070.0	1787.3	0.0	201.6	4.2	339.0	12.0	170.0	139.5	87.0	2740.6	-0.1
		14.4.04	43.4	6.23	3070	1755.6	0.0	205.5	3.9	329.0	11.9	167.8	143.2	73.5	2689.6	0.1
		28.6.04	44.7	6.27	3010.0	1608.0	0.0	194.9	3.7	301.5	11.6	52.8	192.9	158.0	2523.4	0.0
		11.10.04	44.4	6.27	3080.0	1559.8	0.0	191.7	2.3	263.0	13.3	223.0	104.8	121.0	2478.9	0.8
Efteni-Gölyaka	1b	7.4.03	11.2	8.8	195	107.4	0.0	3.3	6.2	1.1	0.2	6.8	24.4	-	149.4	9.5
		9.7.03	20.0	8.8	208	86.6	0.0	5.0	4.4	0.6	0.0	8.0	22.4	4.1	131.1	15.7
		15.10.03	12.6	8.6	-	72.0	0.0	4.3	8.7	7.6	0.3	10.0	23.7	4.6	131.2	30.6
		12.4.04	18.5	8.49	225.0	133.6	0.0	8.9	6.9	2.4	0.4	14.4	22.9	10.5	200.0	2.5
		14.4.04	19.5	8.31	222.0	128.7	0.0	6.4	8.4	2.1	0.3	13.0	21.3	10.0	190.2	2.0
28.6.04	19.8	8.28	253.0	145.2	0.0	3.9	5.5	2.1	0.3	10.8	23.2	7.4	198.4	-1.1		
11.10.04	20.0	8.45	209.0	119.6	0.0	8.2	8.2	1.2	0.2	7.2	22.9	4.9	172.4	-1.3		

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokaliite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC mmho/cm	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	°TDS	°YDH
Yalova- Termal	2a	24.03.02	60.1	7.9	-	47.6	0.0	101.0	875.0	280.0	6.0	151.2	1.9	-	1462.7	-4.3
		9.7.02	60.6	7.82	-	28.0	0.0	68.6	950.0	330.0	6.0	154.0	0.5	-	1537.1	0.1
		28.10.02	56.9	7.7	1922	30.5	0.0	95.8	816.0	240.5	4.8	162.0	15.8	19.9	1385.3	-0.5
		8.4.03	64.3	7.4	1902	42.7	0.0	96.9	750.0	242.5	4.7	157.0	7.2	-	1301.0	0.2
		10.7.03	65.0	7.6	1913	43.3	0.0	96.6	763.6	208.5	3.7	198.6	2.1	38.8	1355.2	-0.2
		16.10.03	63.4	7.7	-	80.5	0.0	95.1	820.0	290.0	4.0	153.6	7.3	50.4	1500.9	-0.2
		13.4.04	65.7	7.32	1916.0	43.3	0.0	104.0	769.9	269.1	4.3	158.0	0.0	41.2	1389.8	0.1
		28.6.04	53.8	7.78	1923.0	49.4	0.0	93.7	810.0	299.0	3.8	142.4	0.1	55.0	1453.4	-0.2
	2b	12.10.04	60.6	7.51	1912.0	39.0	0.0	94.1	824.0	199.0	4.7	162.2	37.9	58.4	1419.3	-1.1
		24.03.02	57.7	7.8	-	45.1	0.0	96.9	925.0	300.0	6.0	150.0	0.5	-	1523.5	-4.6
		9.7.02	60.4	7.6	-	28.0	0.0	63.7	1025.0	320.0	6.0	154.0	6.1	-	1602.8	-2.9
		28.10.02	60.5	7.4	1924	45.7	0.0	92.3	778.8	235.0	4.7	163.0	13.4	19.8	1352.7	0.1
		8.4.03	61.0	7.3	1894	50.0	0.0	94.8	712.8	239.5	4.8	154.0	0.8	-	1256.7	-0.1
		10.7.03	61.1	7.4	1920	39.6	0.0	99.4	834.0	212.5	3.7	195.6	20.7	39.8	1445.3	0.0
		16.10.03	59.7	7.5	-	75.0	0.0	94.0	739.0	22.3	5.1	156.0	125.0	46.4	1262.8	-0.2
		13.4.04	60.3	7.33	1902.0	43.9	0.0	98.0	784.3	265.9	4.3	164.0	0.0	50.0	1410.4	0.1
28.6.04	59.1	7.65	1919.0	45.7	0.0	97.6	792.0	278.0	3.8	158.0	0.1	54.5	1429.7	0.2		
12.10.04	60.9	7.38	1910.0	39.0	0.0	92.3	872.0	190.0	4.8	160.4	43.8	61.6	1463.9	-3.4		



Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC		CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	ΔYDH
					mmho/cm											
Yalova-Termal	2c	8.4.03	13.5	7.4	600	331.8	0.0	14.1	38.1	15.0	2.0	104.6	7.5	-	513.1	-0.7
		10.7.03	20.0	7.6	557	297.7	0.0	16.0	28.3	10.7	1.2	102.0	4.7	14.6	475.2	0.4
		15.10.03	18.2	7.8	-	320.2	0.0	14.6	29.5	37.0	1.6	74.6	10.3	13.4	501.2	-0.4
		13.4.04	14.4	7.46	574.0	299.5	0.0	13.8	34.1	13.0	1.8	100.0	4.4	13.0	479.6	-0.4
		28.6.04	17.1	7.05	572.0	321.5	0.0	14.2	28.8	11.7	1.3	106.2	4.1	15.6	503.4	-0.7
		12.10.04	20.2	7.60	606.0	262.3	0.0	14.2	86.4	16.4	2.4	108.2	7.2	15.9	513.0	2.0
		24.03.02	41.6	7.0	-	817.1	0.0	6.8	625.0	52.0	18.0	344.0	111.8	-	1974.6	4.5
		09.07.02	41.6	6.2	-	512.2	0.0	4.9	675.0	55.0	17.0	304.0	53.5	-	1621.5	-0.4
		28.10.02	43.0	6.1	1980	786.9	0.0	10.6	373.0	46.6	17.6	328.0	26.7	19.6	1609.0	0.2
		08.04.03	42.5	6.1	1961	955.0	0.0	9.6	326.0	21.9	17.8	360.0	40.8	-	1731.1	0.0
Bolu	3a	10.07.03	43.1	5.9	1960	786.3	0.0	15.6	325.0	32.8	13.6	335.0	19.5	31.2	1559.0	0.0
		16.10.03	41.8	6.3	-	663.0	0.0	8.9	482.0	37.5	16.0	356.2	15.3	35.4	1614.3	-0.2
		13.4.04	37.4	6.16	1951.0	793.0	0.0	13.8	499.0	40.3	16.0	369.2	26.6	35.6	1793.5	-2.2
		14.4.04	40.8	6.2	1959	788.1	0.0	14.2	451.0	40.8	16.3	361.4	30.3	28.8	1730.9	-1.8
		27.6.04	43.4	6.23	1957.0	808.2	0.0	11.4	298.0	39.4	14.9	272.6	48.3	35.0	1527.8	-0.3
		12.10.04	44.5	6.08	1957.0	647.8	0.0	14.2	412.0	45.9	17.2	350.8	15.6	37.8	1541.3	4.0

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC		HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	°TDS	°YDH
					mmho/cm												
Bolu	3b	08.04.03	6.7	7.5	78	25.0	0.0	2.9	14.7	3.6	2.2	10.6	0.8	-	59.8	0.6	
		10.07.03	-	-	86	40.9	0.0	4.5	7.5	2.5	1.6	12.2	2.3	31.4	102.9	-0.3	
		16.10.03	11.6	7.7	-	50.6	0.0	3.6	9.9	1.0	2.6	12.4	4.6	44.4	129.1	-1.3	
		13.4.04	19.7	7.88	84.0	34.2	0.0	8.5	8.6	3.8	1.9	9.4	3.8	31.0	101.2	0.8	
		27.6.04	18.1	8.35	89.0	48.8	0.0	3.5	4.8	3.7	1.9	11.4	2.5	37.6	114.2	-0.7	
		12.10.04	16.9	8.40	90.0	46.4	0.0	7.4	3.5	4.5	2.5	10.2	3.9	39.2	117.6	2.2	
		25.03.02	38.3	6.3	-	767.1	0.0	1.4	30.0	30.0	9.0	168.0	24.3	-	1029.8	-4.8	
		10.07.02	38.3	6.3	-	786.6	0.0	2.8	10.0	34.0	8.0	182.0	42.5	-	1065.9	4.0	
		29.10.02	44.3	6.2	1162	689.3	0.0	7.1	33.7	22.9	5.8	144.0	46.2	18.8	967.8	-0.3	
		09.04.03	39.1	6.1	1151	779.6	0.0	11.4	32.3	45.8	6.6	161.2	43.0	-	1079.9	-0.1	
Mudurnu Babas	4a	11.07.03	39.2	6.3	1162	744.2	0.0	13.1	28.8	16.2	5.4	132.6	69.8	21.8	1031.9	0.1	
		17.10.03	39.3	6.3	-	695.4	0.0	8.2	31.1	5.2	6.9	147.2	56.0	27.0	977.0	0.3	
		14.4.04	39.4	6.18	1152.0	753.3	0.0	10.6	25.0	20.3	6.2	198.6	24.9	23.8	1062.7	-0.6	
		27.6.04	39.9	6.20	1148.0	725.9	0.0	7.8	27.2	18.3	5.6	125.8	65.8	29.0	1005.4	-0.2	
		13.10.04	40.1	6.13	1150.0	633.8	0.0	12.4	21.0	22.7	6.5	173.6	26.3	31.6	927.9	3.5	

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC		HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	°TDS	ΔYDH
					mmho/cm												
Mudurnu- Babas	4b	25.03.02	38.5	6.3	-	759.8	0.0	2.2	25.0	29.0	9.0	168.0	24.3	-	1017.2	0.2	
		10.07.02	38.7	6.3	-	743.9	0.0	3.1	28.0	34.0	8.0	112.0	42.5	-	971.5	-8.8	
		29.10.02	39.7	6.2	1162	686.2	0.0	7.1	32.9	22.1	6.3	144.0	45.0	18.8	962.4	-0.5	
		09.04.03	39.6	6.1	1148	778.4	0.0	7.4	31.8	3.6	6.4	165.6	61.3	-	1054.5	0.0	
		11.07.03	39.8	6.3	1159	741.8	0.0	13.1	32.6	17.5	5.4	103.8	86.5	20.8	1021.5	0.0	
		17.10.03	39.8	6.4	-	686.0	0.0	7.8	31.7	15.8	6.4	74.0	92.0	27.2	940.9	0.0	
		14.4.04	39.7	6.20	1151.0	749.7	0.0	10.3	26.1	20.0	6.1	191.0	30.7	23.2	1057.1	-0.2	
	4c	27.6.04	40.1	6.19	1151.0	738.7	0.0	8.5	27.9	18.3	5.5	107.4	80.6	28.2	1015.1	0.0	
		13.10.04	40.2	6.17	1157.0	655.7	0.0	10.6	21.4	23.0	6.5	167.2	39.4	31.8	955.6	5.2	
		25.03.02	19.6	6.9	-	535.4	0.0	5.0	50.0	23.0	6.0	128.0	21.9	-	769.3	1.8	
		10.07.02	19.4	6.8	-	497.6	0.0	4.5	55.0	27.0	5.0	140.0	25.5	-	754.6	4.9	
		29.10.02	20.2	6.8	933	564.2	0.0	8.9	38.5	17.9	4.2	95.0	55.3	15.2	799.2	-0.6	
		09.04.03	19.7	6.7	928	609.4	0.0	7.8	37.8	22.2	4.3	109.8	54.8	-	846.1	0.3	
		11.07.03	19.9	6.8	924	569.7	0.0	11.4	36.7	13.6	3.4	98.0	58.8	18.6	810.2	-0.1	
17.10.03	20.0	6.8	-	594.1	0.0	8.2	28.6	38.6	4.4	91.0	52.3	17.8	835.0	0.3			
14.4.04	19.3	6.85	909.0	553.9	0.0	10.6	27.6	15.6	4.1	140.2	27.2	16.9	796.1	0.3			
27.6.04	19.9	6.82	845.0	541.1	0.0	7.8	28.7	13.8	3.5	66.2	67.7	17.8	746.6	-0.7			
13.10.04	22.7	6.80	978.0	507.5	0.0	10.6	90.3	19.9	4.7	123.6	49.9	21.0	827.5	3.5			

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC mmho/cm	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	YDH
	10.07.02	15.4	7.1	-	431.7	0.0	5.4	50.0	28.0	5.0	130.0	15.6	-	665.6	4.9	
	29.10.02	16.9	6.9	791	475.8	0.0	8.5	34.6	17.7	3.8	82.0	46.2	14.7	683.3	0.0	
	09.04.03	12.2	7.0	743	464.2	0.0	8.5	35.5	16.5	3.6	96.6	36.8	-	661.7	0.4	
Babas	11.07.03	15.7	7.1	808	495.3	0.0	12.2	37.2	13.0	2.3	69.4	63.0	18.0	710.4	0.2	
	17.10.03	17.4	7.1	-	478.0	0.0	7.1	37.1	39.7	4.0	38.6	24.4	16.9	645.8	-20.9	
	14.4.04	13.2	7.19	743.0	461.2	0.0	11.0	23.9	14.8	3.2	114.0	24.9	15.4	668.4	0.6	
	27.6.04	15.5	6.97	797.0	517.9	0.0	7.1	28.4	13.7	3.5	75.6	57.5	17.4	721.1	-0.5	
	13.10.04	18.7	7.04	839.0	431.9	0.0	12.8	74.8	19.2	3.8	99.4	46.7	20.1	708.7	3.9	
	25.03.02	70.1	6.7	-	1201.2	0.0	80.1	137.5	530.0	40.0	58.0	0.5	-	2047.3	4.2	
	10.07.02	69.9	6.9	-	1170.7	0.0	70.4	162.5	600.0	38.0	9.2	6.6	-	2057.4	6.7	
	29.10.02	72.3	6.5	2210	1171.2	0.0	60.3	98.4	427.0	30.8	40.0	18.8	19.9	1866.4	-0.1	
	09.04.03	70.7	6.4	2180	1109.0	0.0	65.3	138.4	441.0	32.2	50.8	5.6	-	1842.3	0.2	
	11.07.03	71.8	6.6	2200	1221.2	0.0	67.4	57.2	408.0	31.6	56.6	21.4	68.0	1931.4	0.1	
	17.10.03	72.3	6.8	-	1201.7	0.0	62.1	55.4	434.0	27.8	45.6	21.3	69.5	1917.4	2.2	
	14.4.04	71.6	6.53	2190.0	1194.4	0.0	66.4	101.0	426.6	29.9	51.4	19.5	56.5	1945.7	-0.1	
	27.6.04	72.6	6.43	2180.0	1294.4	0.0	63.5	47.9	486.0	29.4	37.6	2.7	66.5	2028.0	0.0	
	13.10.04	71.5	6.47	2190.0	1098.0	0.0	24.8	93.6	363.0	30.5	37.8	19.1	75.2	1742.0	-1.5	
Seben	5a															

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC mmho/cm	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	ΔYDH
Seben	5b	25.03.02	55.8	6.8	-	1192.7	0.0	70.8	170.0	520.0	39.0	52.0	7.3	-	2051.8	3.3
		10.07.02	57.3	6.8	-	1201.2	0.0	69.9	175.0	560.0	38.0	26.4	6.8	-	2077.3	3.6
		29.10.02	59.3	6.5	2180	1140.7	0.0	60.3	93.6	407.0	31.0	47.0	18.8	20.0	1818.4	0.1
		09.04.03	55.7	6.6	2160	1210.2	0.0	64.2	48.7	424.0	32.8	53.0	8.9	-	1841.8	0.0
		11.07.03	60	6.8	2170	1202.9	0.0	55.9	66.0	401.0	31.4	55.8	20.2	66.5	1899.7	0.1
		17.10.03	58.2	6.9	-	1186.4	0.0	60.3	30.7	384.0	31.2	30.0	35.7	72.0	1830.3	0.4
		14.4.04	57.8	6.44	2190.0	1182.2	0.0	66.7	106.0	420.0	29.9	59.4	17.4	58.5	1940.1	-0.1
		27.6.04	60.1	6.42	2140.0	1251.7	0.0	59.6	47.8	456.0	30.4	35.2	9.6	65.0	1955.3	-0.1
	13.10.04	60.2	6.96	2150.0	1071.8	0.0	58.6	125.6	362.0	30.6	39.2	19.2	77.2	1784.2	-4.2	
	25.03.02	35	7.3	-	1204.9	0.0	79.8	172.5	500.0	38.0	56.0	14.6	-	2065.8	2.1	
	29.10.02	47.8	7.1	-	1052.2	0.0	60.3	132.4	406.0	29.1	30.0	20.7	19.9	1750.6	-0.2	
	11.07.03	53	6.7	2170	1205.4	0.0	60.0	58.1	402.0	29.3	49.4	23.3	65.5	1893.0	-0.1	
	25.03.02	13.1	7.3	-	331.7	0.0	12.2	400.0	100.0	6.0	106.0	40.1	-	996.0	-3.7	
	29.10.02	15.1	7.3	1076	329.4	0.0	10.6	291.0	61.6	5.7	112.0	40.1	10.5	860.9	-0.2	
	09.04.03	14.5	7.2	1070	352.6	0.0	13.5	248.5	12.5	5.8	114.2	59.2	-	806.3	-0.3	
	11.07.03	14.5	7.5	1073	331.2	0.0	15.6	259.0	53.0	4.6	103.0	43.9	12.0	822.3	-0.4	
17.10.03	15.7	7.4	-	625.0	0.0	13.1	36.5	65.5	5.8	98.4	41.8	11.7	897.8	-0.1		
14.4.04	14.4	7.44	1128.0	331.2	0.0	19.5	342.0	64.4	5.7	131.6	44.0	10.6	949.0	0.1		
27.6.04	16.5	7.42	1107.0	355.6	0.0	11.7	240.0	57.0	5.0	76.6	58.5	12.1	816.5	0.4		
13.10.04	16.2	7.49	1079.0	272.1	0.0	16.0	307.0	62.9	5.9	83.6	55.8	14.1	817.4	1.5		

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC		HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	YDH
					mmho/cm												
Hamamözü	6a	26.03.02	41.3	7.8	-	234.1	0.0	36.4	15.0	49.0	8.0	35.2	16.0	-	393.8	2.3	
		11.07.02	41.1	7.7	-	220.7	0.0	39.0	28.0	62.0	8.0	37.2	13.1	-	408.1	4.8	
		30.10.02	42.6	7.2	516	234.8	0.0	32.7	25.3	44.3	5.5	39.0	17.0	17.7	416.3	1.1	
		10.04.03	42.1	7.0	505	244.0	0.0	34.7	28.5	49.8	5.7	39.0	15.9	-	417.6	0.0	
		12.07.03	42.7	7.3	516	244.0	0.0	36.3	24.1	37.9	4.9	48.2	17.4	18.6	431.4	0.8	
		18.10.03	42.5	7.3	-	244.0	0.0	33.4	25.4	41.4	5.6	30.2	24.2	24.0	428.2	-0.2	
		15.4.04	42.5	7.21	514.0	234.2	0.0	35.5	23.0	42.4	5.3	38.6	17.9	20.6	417.5	0.5	
	6b	25.6.04	43.6	7.41	513.0	253.8	0.0	35.1	25.8	38.6	1.3	36.2	26.0	25.8	442.6	-0.3	
		14.10.04	44.4	7.28	514.0	230.6	0.0	36.9	18.3	44.9	5.4	41.0	16.3	29.2	422.6	2.6	
		30.10.02	15.8	7.6	636	350.7	0.0	8.5	30.5	17.2	1.6	84.0	24.3	16.4	533.2	2.6	
		10.04.03	10.6	7.3	505	340.4	0.0	20.7	38.0	12.5	1.7	98.2	16.7	-	528.2	-0.7	
		12.07.03	19.3	7.4	609	330.0	0.0	12.1	45.8	10.5	1.1	44.8	46.9	19.5	510.7	-0.9	
		18.10.03	17.4	7.8	-	311.1	0.0	8.9	41.4	28.4	2.3	66.2	19.9	20.2	498.4	0.2	
		15.4.04	12.7	7.35	602.0	344.6	0.0	10.6	34.3	13.7	1.5	92.8	17.7	17.8	533.0	0.4	
25.6.04	19.5	7.50	611.0	320.9	0.0	8.2	35.4	12.1	3.6	66.4	27.0	20.8	494.4	-0.6			
14.10.04	19.0	7.51	626.0	320.2	0.0	10.6	31.5	15.0	1.7	97.4	11.2	21.8	509.4	2.2			

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC mmho/cm	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	°TDS	ΔYDH
Gözülek	7a	27.03.02	38.4	7.9	-	251.2	0.0	13.5	5.0	78.0	6.0	17.2	4.9	-	375.8	2.1
		11.07.02	38.3	8.0	-	247.6	0.0	13.4	40.0	89.0	6.0	17.6	6.1	-	419.6	1.3
		31.10.02	39.3	7.6	497	237.9	0.0	14.2	36.9	66.8	4.2	22.0	10.9	16.0	408.9	-0.6
		10.04.03	39.6	7.4	488	226.3	0.0	16.7	34.7	78.4	4.5	18.0	5.5	-	384.1	-0.3
		12.07.03	38.9	8.0	497	258.0	0.0	15.2	34.9	67.8	3.6	31.8	8.6	14.5	434.4	-0.4
		18.10.03	38.8	7.8	-	245.2	0.0	13.5	33.8	73.4	4.4	17.0	12.3	18.9	418.5	0.6
		15.4.04	38.8	7.77	496.0	250.1	0.0	15.6	29.7	77.2	4.1	19.0	9.1	18.7	423.5	0.0
	7b	25.6.04	39.3	7.71	494.0	266.6	0.0	13.8	32.6	91.6	3.4	18.8	5.1	19.2	451.1	-0.1
		14.10.04	40.1	7.73	495.0	255.6	0.0	15.3	28.1	71.4	4.3	18.6	10.3	21.6	425.2	-2.1
		31.10.02	16.1	7.9	1063	362.9	0.0	42.6	228.0	46.8	3.7	80.0	69.9	18.4	852.3	-0.1
		10.04.03	16.3	7.5	1157	439.8	0.0	54.3	199.6	49.5	4.3	109.6	63.6	-	920.7	0.3
		12.07.03	17.2	7.5	1235	429.4	0.0	64.6	200.0	38.2	3.3	67.6	95.3	20.6	919.0	-0.2
		18.10.03	19.2	7.8	-	433.1	0.0	65.7	51.0	31.5	4.1	94.0	95.4	29.0	803.8	16.7
		15.4.04	15.8	7.84	1293.0	411.1	0.0	63.5	248.0	53.4	4.0	131.4	57.5	24.6	993.5	0.1
25.6.04	20.5	7.69	1242.0	438.0	0.0	54.3	211.5	44.5	3.6	81.4	85.2	28.6	947.1	-0.1		
14.10.04	19.6	7.71	1304.0	336.1	0.0	60.3	290.0	55.8	4.2	133.4	64.9	31.2	975.9	4.6		

Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalizasyon	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC		CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	ΔYDH
					mmho/cm											
Reşadiye	8a	27.03.02	41.3	6.4	-	1804.9	0.0	786.0	40.0	760.0	49.0	280.0	85.1	-	3804.9	0.5
		12.07.02	41.1	6.4	-	1829.3	0.0	821.0	195.0	840.0	54.0	328.0	92.3	-	4159.6	3.9
	8b	27.03.02	12.5	7.8	-	180.5	0.0	2.0	55.0	20.0	3.0	40.0	19.4	-	319.9	3.4
		12.07.02	17.4	6.5	-	237.8	0.0	8.6	125.0	42.0	3.0	48.0	29.6	-	494.1	0.0
		31.10.02	15.9	7.6	481	234.8	0.0	9.2	46.3	24.6	2.0	41.0	23.1	16.6	397.6	0.0
		28.03.02	55.9	7.2	-	6975.6	0.0	776.0	7.0	3500.0	260.0	7.2	19.4	-	11545.2	8.2
Kuşçumtu	9a	13.07.02	55.5	7.1	-	6829.3	0.0	815.0	9.0	4300.0	280.0	104.0	17.0	-	12354.3	19.5
		01.11.02	57.4	6.9	11300	6100.0	0.0	756.1	52.0	2650.0	44.2	73.0	28.0	0.0	9703.3	0.0
	*9b	11.04.03	57.4	6.9	11100	4906.2	0.0	773.2	45.5	2090.0	219.0	112.6	11.2	-	8157.7	0.0
		12.07.03	57.9	7.1	11030	5612.0	0.0	796.6	57.6	2445.0	220.0	38.6	21.9	3.1	9194.8	0.0
		19.10.03	58.1	7.1	-	6002.4	0.0	761.8	103.0	2478.0	225.0	51.6	57.8	0.8	9680.4	-0.5
		16.4.04	56.0	6.59	11270.0	6808.8	0.0	812.9	108.4	2490.0	832.3	108.2	20.7	1.7	11183.0	0.0
		26.6.04	58.2	7.02	11070.0	6184.2	0.0	758.3	48.2	2630.0	241.0	14.6	30.9	19.1	9926.3	0.0
		15.10.04	59.9	6.97	11140.0	5983.5	0.0	766.8	52.4	2450.0	47.0	68.0	0.2	0.1	9368.0	-4.2
		28.03.02	12.6	6.5	-	2658.5	0.0	207.0	7.0	1200.0	120.0	7.2	8.7	-	4208.5	6.4
		13.07.02	14.7	6.4	-	1804.9	0.0	140.0	6.0	1200.0	100.0	98.0	4.9	-	3353.7	28.1
01.11.02	15.3	6.5	2660	1476.2	0.0	85.2	33.0	458.0	43.3	71.0	32.2	19.2	2218.1	-0.1		
11.04.03	10.6	6.5	2440	1428.6	0.0	82.4	36.9	431.0	44.7	130.0	0.6	-	2154.2	-0.1		



Çizelge 6.1. (devam ediyor).

Lokalite	Örn. no.	Örnekleme Tarihi	*T (°C)	*pH	+EC mmho/cm	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	SiO <sub>2</sub>	TDS	ΔYDH
		28.03.02	9	8.2	-	241.5	0.0	21.6	7.0	8.0	1.0	66.0	8.0	-	353.1	-4.2
		13.07.02	14.9	7.8	-	240.2	0.0	2.0	5.0	13.0	1.0	72.0	3.9	-	337.1	4.8
		01.11.02	13.3	8.1	416	247.0	0.0	7.1	10.3	6.9	0.5	64.0	9.7	19.8	365.3	-1.8
		11.04.03	11.9	7.7	406	256.2	0.0	5.9	10.5	6.0	0.4	61.6	14.6	-	355.2	-0.4
		12.07.03	12.5	7.9	427	256.2	0.0	6.2	7.0	44.9	0.0	42.6	25.8	39.4	422.1	15.7
		19.10.03	13.4	8.0	-	250.1	0.0	3.9	11.5	31.0	0.5	56.6	2.7	46.0	402.3	-0.5
		16.4.04	11.0	7.98	437.0	271.4	0.0	8.2	14.1	6.4	0.9	74.8	10.9	39.6	426.3	-0.4
		26.6.04	14.1	8.01	474.0	274.5	0.0	4.6	6.1	5.1	0.4	66.0	15.4	41.0	413.1	0.4
		15.10.04	14.5	8.10	455.0	245.2	0.0	8.5	8.9	8.9	0.0	65.0	12.2	49.2	397.9	2.1

\*Arazi ölçümleri, \*Laboratuvar ölçümleri

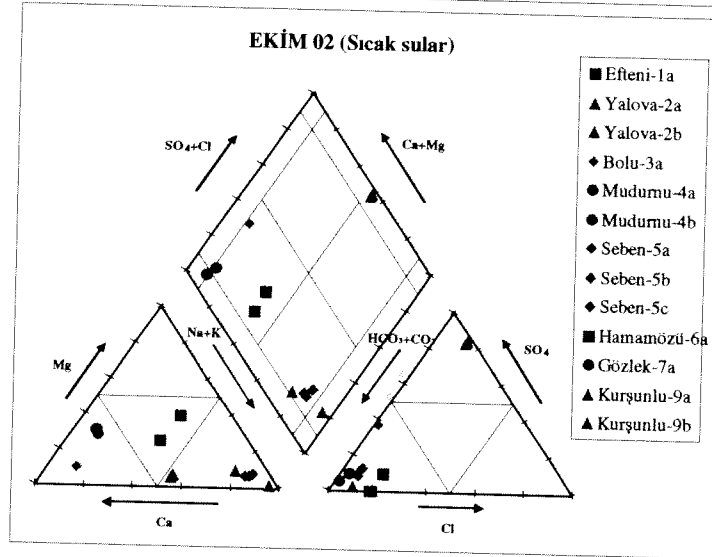
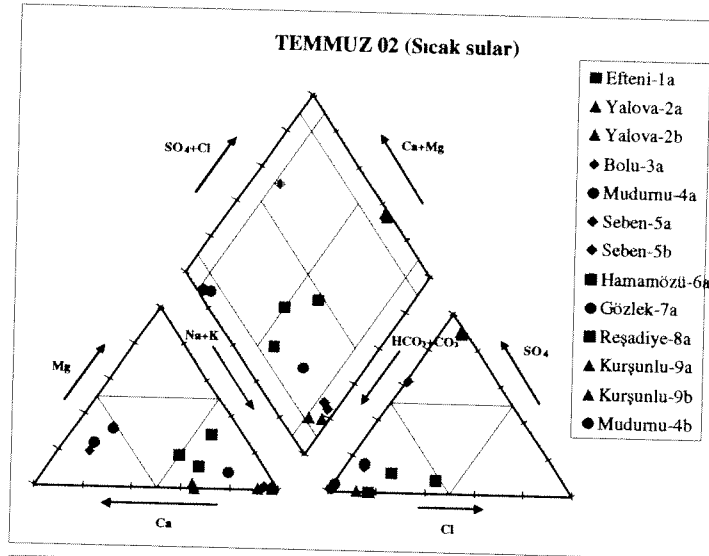
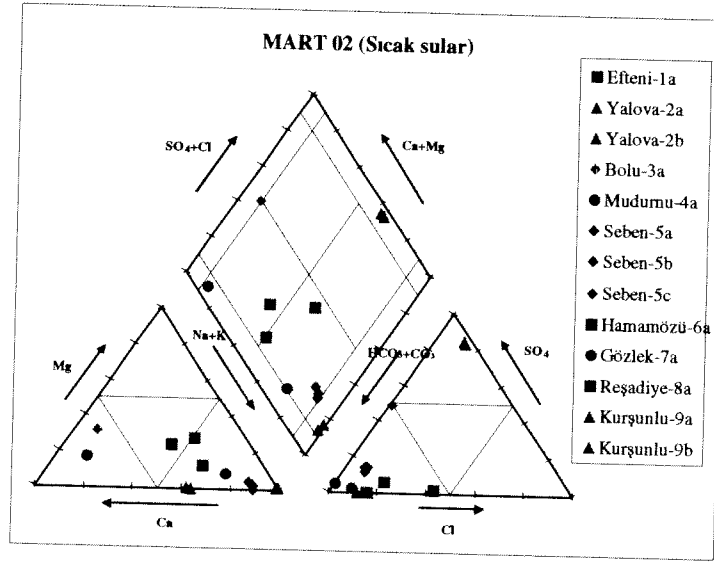
#5c no lu örnek, Temmuz 2002 döneminde, örnekleme gününden birkaç gün önceki yoğun yağışların neden olduğu sel sonucu ortaya çıkan çamuru temizleme çalışmaları olduğundan, Nisan 2003 ve Ekim 2003 dönemlerinde ise kayadaki pompanın motoru kaldırılmış olduğundan toplanamamıştır.

\*5d no lu örnek, Temmuz 2002 döneminde, örnekleme gününden birkaç gün önceki yoğun yağışların neden olduğu sel sonucu ortaya çıkan çamuru temizleme çalışmaları olduğundan, toplanamamıştır. \*Sıcak su kaynağının kurumuş olması nedeniyle, Temmuz 2002 dönemini takip eden dönemlerde, Reşadiye jeotermal sahası örnekleme kapsamı dışında kalmıştır.

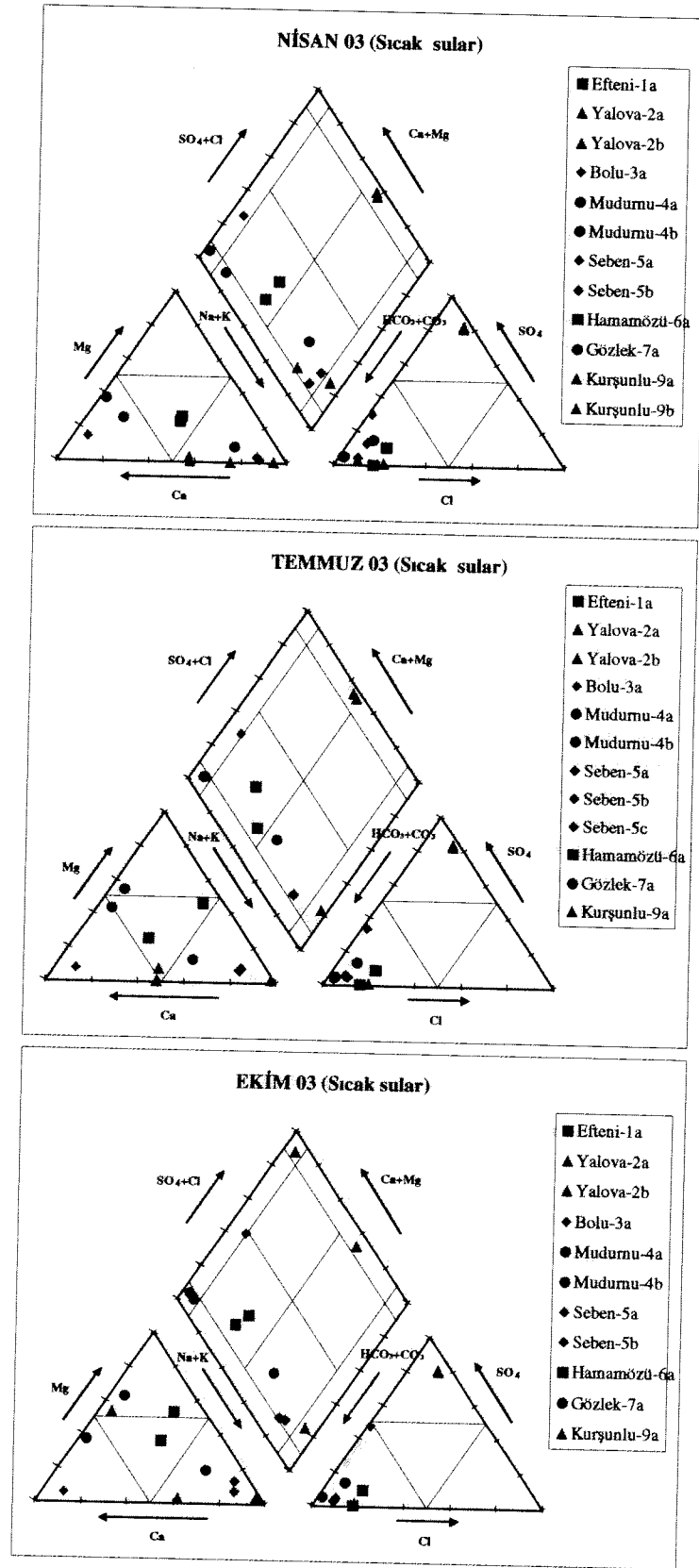
\*Maden suyu kaynağının kurumuş olması nedeniyle, Temmuz 2003 döneminde itibaren örnek toplanamamıştır.

\*TDS= Toplam Çözünmüş madde (Total Dissolved Solid), ölçülmüş örneklerde silisyum dioksit içerir.

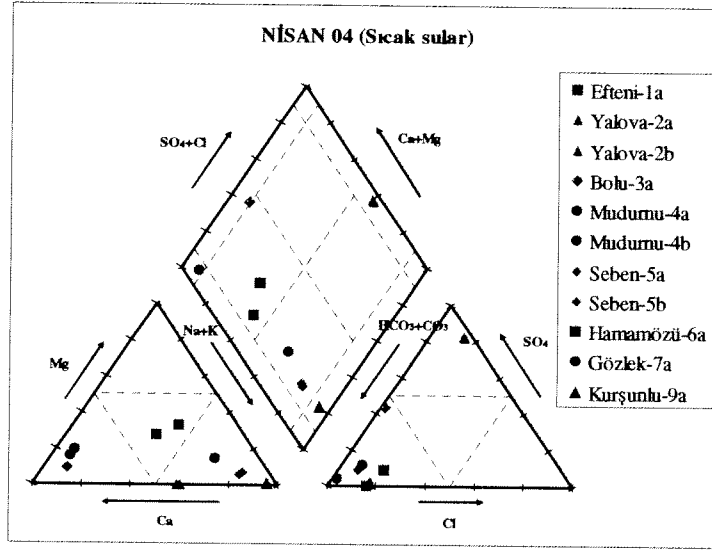
\*YDH = CBE =  $[(\sum \text{kasyon} + \sum \text{anyon}) / (\sum \text{kasyon} - \sum \text{anyon})] * 100$



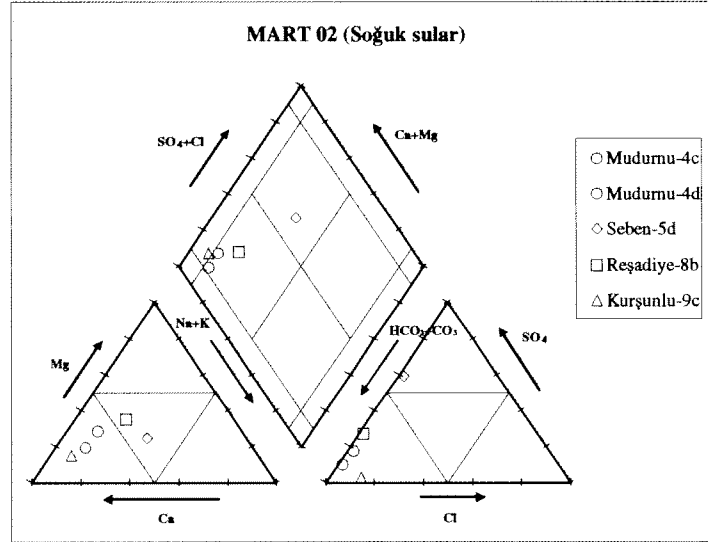
Şekil 6.1.a. Sıcak suların bütün dönemleri kapsayan piper diyagramları.



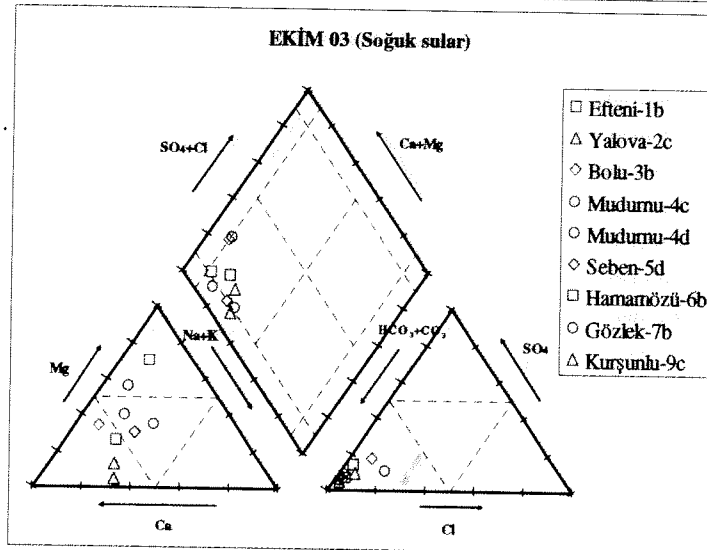
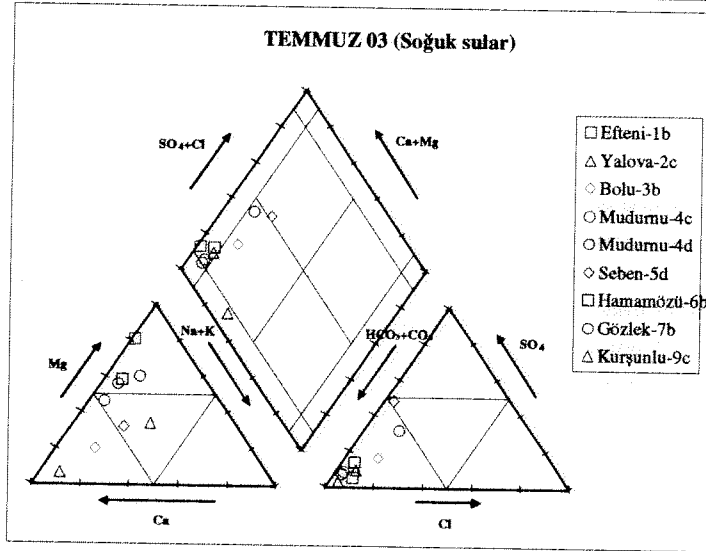
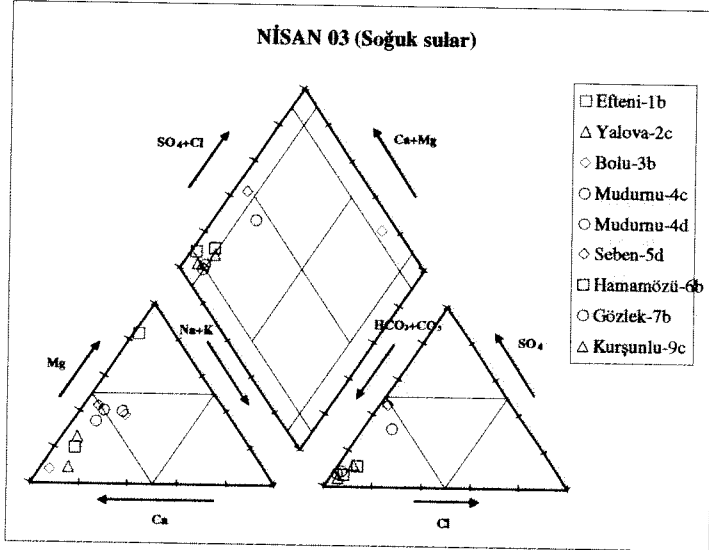
Şekil 6.1.a. (devam ediyor).



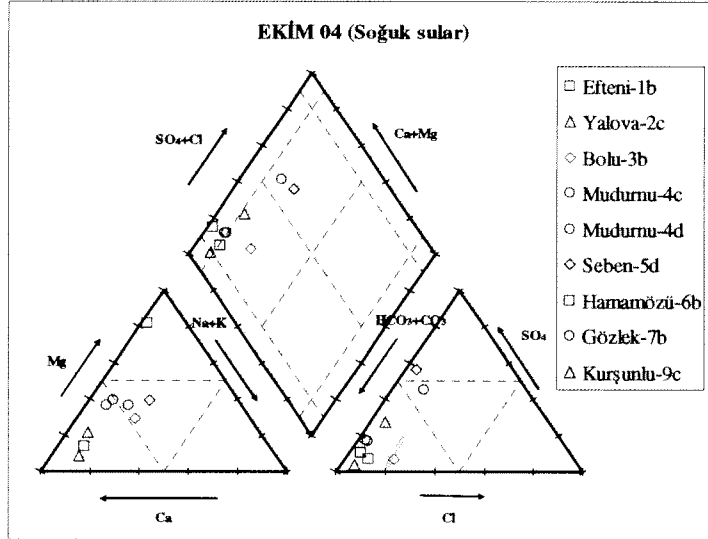
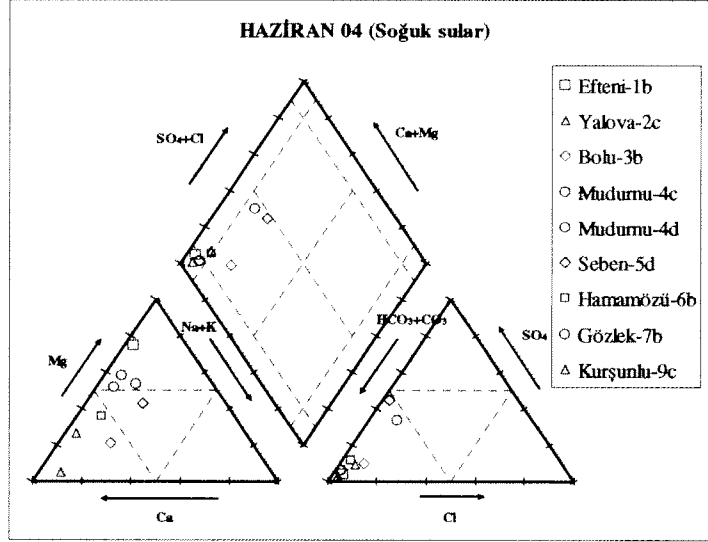
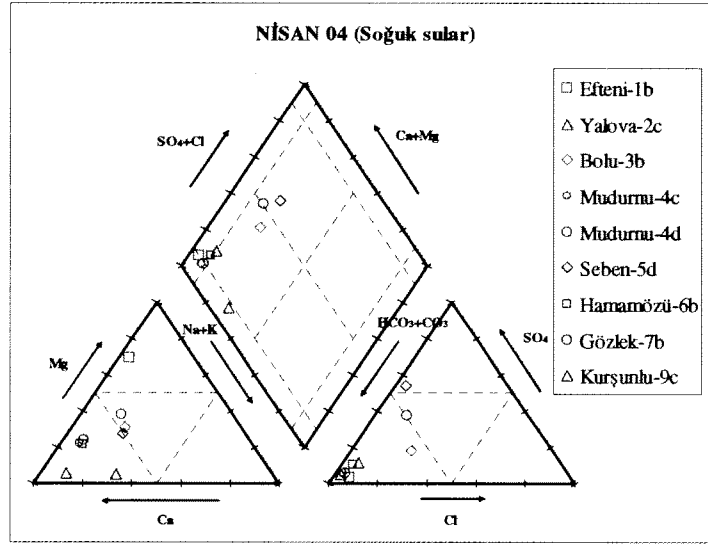
Şekil 6.1.a. (devam ediyor).



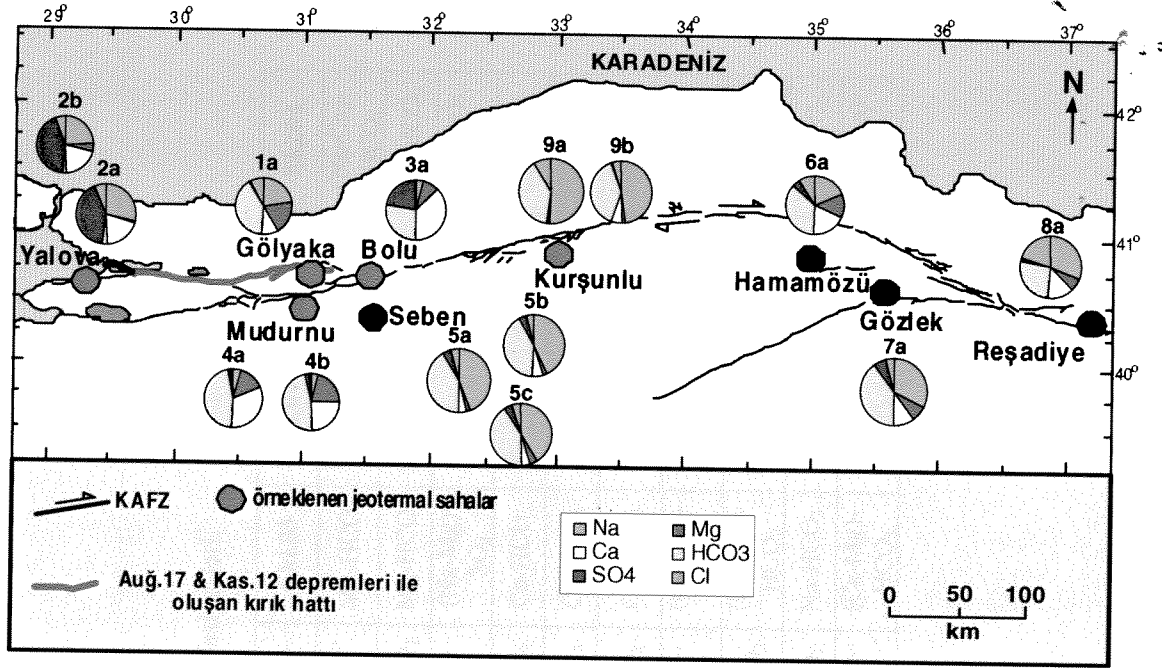
**Şekil 6.1.b.** Soğuk suların bütün dönemleri kapsayan piper diyagramları.



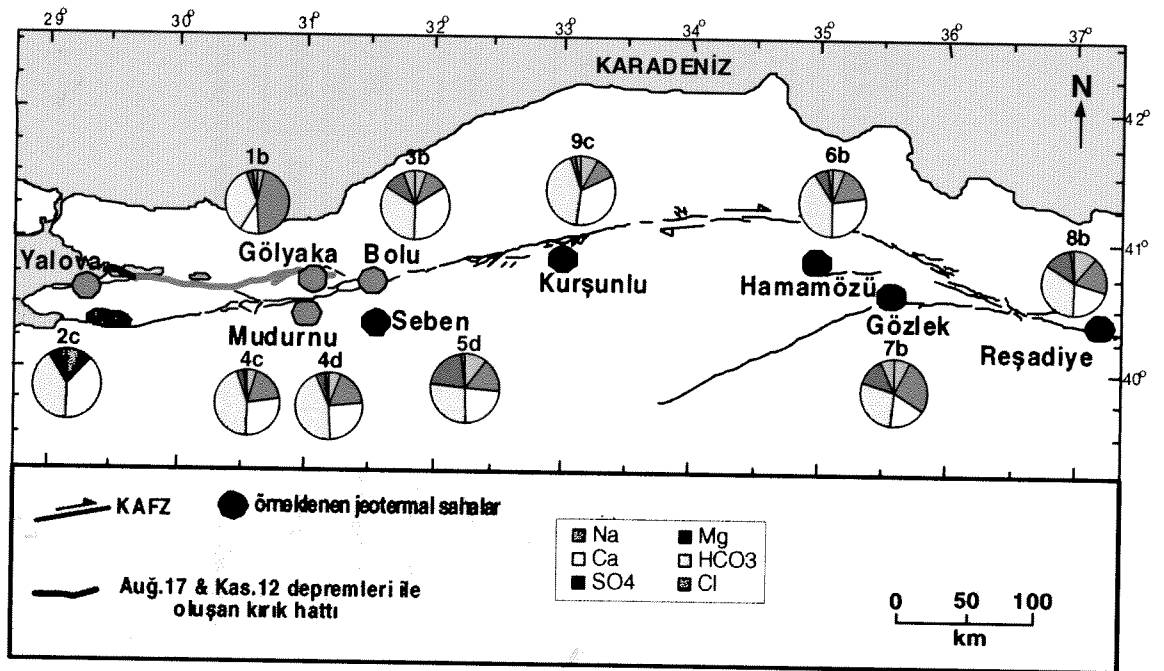
Şekil 6.1.b. (devam ediyor).



Şekil 6.1.b. (devam ediyor).



Şekil 6.2.a. Sıcak suların bütün dönemlerin ortalamasını içeren dairesel diyagramları (suların TDS içerikleri ölçekli değildir- daire çapına yansıtılmamıştır; diyagramlar sadece iyonların toplam TDS içeriği bazında görece dağılımlarını göstermektedir).



Şekil 6.2.b. Soğuk suların bütün dönemlerin ortalamasını içeren dairesel diyagramları (suların TDS içerikleri ölçekli değildir- daire çapına yansıtılmamıştır; diyagramlar sadece iyonların toplam TDS içeriği bazında görece dağılımlarını göstermektedir).



**Çizelge 6.2.** Bütün sahaların her dönem için belirlenmiş hidrojeokimyasal fasiesleri.

Yer	Mar.02	Tem.02	Eki.02	Nis.03	Tem.03	Eki.03	Nis.04	Haz.04	Eki.04
Efteni(sıcak)	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)-HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)-HCO <sub>3</sub>	(Mg-Na)-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	(Na-Mg)-HCO <sub>3</sub>	(Mg-Na)-HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)-HCO <sub>3</sub>
Efteni(soğuk)	-	-	-	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>
Yalova(sıcak)	Na-SO <sub>4</sub>	Na-SO <sub>4</sub>	Na-SO <sub>4</sub>	Na-SO <sub>4</sub>	(Ca-Na)-SO <sub>4</sub>	(Na-Mg)-SO <sub>4</sub>	Na-SO <sub>4</sub>	Na-SO <sub>4</sub>	(Na-Ca)-SO <sub>4</sub>
Yalova(soğuk)	-	-	-	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
Bolu(sıcak)	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
Bolu(soğuk)	-	-	-	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>
Mudurnu(sıcak)	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
Mudurnu(soğuk)	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
Seben(sıcak)	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
Seben(soğuk)	(Ca-Na)-HCO <sub>3</sub>	-	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Na)-HCO <sub>3</sub>	(Mg-Ca)-HCO <sub>3</sub>	(Mg-Ca)-SO <sub>4</sub>

Çizelge 6.2. (devam ediyor).

Yer	Mar.02	Tem.02	Eki.02	Nis.03	Tem.03	Eki.03	Nis.04	Haz.04	Eki.04
Hamamözütü(sıcak)	(Na-Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Ca-Na)- HCO <sub>3</sub>	(Mg-Na)- HCO <sub>3</sub>	Na-Ca HCO <sub>3</sub>	(Mg- Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Na-Ca)- HCO <sub>3</sub>
Hamamözütü(soğuk)	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
Gözlek(sıcak)	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
Gözlek(soğuk)	--	-	(Mg-Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)- HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)- HCO <sub>3</sub>	Mg-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)- SO <sub>4</sub>
Reşadiye(sıcak)	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-
Reşadiye(soğuk)	(Ca-Mg)- HCO <sub>3</sub>	(Mg-Ca)- HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)- HCO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-
Kurşunlu(sıcak)	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>	Na-HCO <sub>3</sub>
Kurşunlu(soğuk)	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	(Ca-Mg)- HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>

## BÖLÜM 7

### SULARIN İZOTOPIK BİLEŞİMLERİ

Jeotermal sahalardan toplanan su örneklerinin oksijen ve hidrojen izotop analiz sonuçları Çizelge 7.1'de, sırasıyla,  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri cinsinden verilmiş, trityum ( $^3\text{H}$ ) içerikleri ise Çizelge 7.2'de sunulmuştur.  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri, sıcak sular için -13.44 ‰ ile -8.37 ‰ aralığında değişim gösterirken, soğuk sular için -12.71 ‰ ile -8.29 ‰ aralığında değişmektedir. Hidrojen izotop bileşimleri ( $\delta\text{D}$ ), sıcak sular için -98.27 ‰ ile -64.15 ‰ arasında değerler gösterirken, soğuk sular için ise -86.09 ‰ ile -54.67 ‰ aralığında değişim göstermektedir. Trityum değerleri sıcak sular için oldukça geniş bir dağılım gösterip 0 TU –12.55 TU arasında değişirken, soğuk sular için 3 TU –15.7 TU arasındadır.

#### 7.1. Oksijen ve Hidrojen İzotopları

Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta\text{D}$  diyagramları Şekil 7.1'de her dönem için ayrı ayrı, Şekil 7.2'de ise bütün dönemlerin ortalama değerleri ile (maximum ve minimum değerlere karşı gelen) değer aralıklarını içerecek biçimde sunulmuştur. Diyagramlarda referans olarak Craig (1961) tarafından tanımlanan **Küresel Meteorik Su Doğrusu** (KMSD) ile KAFZ'nun batı ve doğu segmentlerini temsil etmek üzere Bursa ve Yozgat yörelerine ilişkin Lokal Meteorik Su Doğrusu su doğruları (**Bursa Meteorik Su Doğrusu**, BMSD (Öztürk, 2001) ve **Yozgat Meteorik Su Doğrusu**, YMSD (Şimşek, 1995) kullanılmıştır.

Şekil 7.1'den görüleceği üzere, gerek sıcak, gerekse soğuk sular, bütün dönemler için (Ekim 2004 dışında) Küresel ve Lokal Meteorik Su Doğrusu civarında yer almakta ve sahalardaki sıcak suların soğuk sular gibi meteorik kökenli olduğuna işaret etmektedir. Sadece Kurşunlu sıcak su (9a) örneğindeki yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değerinin, sahada da gözlemlendiği üzere, kuyudaki kabuklaşma problemi ile ilişkili olduğu ve kabuklaşmaya neden olan *akışkandan buhar kaybı* sürecinin artık sıvıyı ağır oksijen izotopunca zenginleştirdiği düşünülmektedir. Ancak, bu yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değerinin kayaç-akışkan etkileşimini yansıtabileceği gerçeği de gözardı edilmemelidir. Ekim 2004 döneminde ise hem sıcak hem de soğuk suların Küresel ve

Lokal Meteorik Su Doğrularının dışında yer almaları ilgi çekicidir. Bu durumun nedeni tam olarak çözülemese de, yine sahaların bu doğrulara paralel olan dağılımları, bu örneklerin meteorik kökenli olduğu savına ters düşmemektedir.

$\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta\text{D}$  diyagramlarına bakıldığında (Şekil 7.1 ve 7.2), bazı sahaların soğuk sularında (Seben, Mudurnu, Kurşunlu, Bolu, Hamamözü ve Efteni) meteorik su doğrularına göre sapmalar belirlenmiştir. Bu bağlamda, sözkonusu sahalara ait lokal su doğrularının, diyagramda gösterilen Bursa ve/veya Yozgat Meteorik Su Doğrularından daha farklı (Seben, Mudurnu ve Kurşunlu sahaları için daha yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerine, Bolu, Hamamözü ve Efteni sahaları için ise daha düşük  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerine doğru eğilim gösteren) konumlara sahip olması gerektiği düşünülmektedir. Soğuk sular diyagramda gösterilen su doğruları üzerine düşmeseler bile aynı yöredeki sıcak ve soğuk suların aynı hat üzerinde yer almaları, yukarıda da bahsedildiği gibi, gerek sıcak gerekse soğuk sular için meteorik kökene işaret etmektedir.

$\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerlerinin toplam 9 dönem için ayrı ayrı çizilen ( $\delta^{18}\text{O}$  vs *Lokalite* ve  $\delta\text{D}$  vs *lokalite*) diyagramları sırasıyla, Şekil 7.3 ve 7.4'de sunulmuştur. Neredeyse tüm sahalarda sıcak sular soğuk sulara göre daha düşük  $\delta\text{D}$  değerleri göstermektedir. Aynı şekilde, Kurşunlu ve Bolu sahaları haricinde, sıcak sular soğuk sulara göre  $\delta^{18}\text{O}$  bakımından daha negatif değerler sergilemektedir. Genelde, kayaç-su etkileşiminin daha yoğun olarak gözlemlendiği sıcak sulara daha yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerinin izlenmesi beklenirken, çalışma sahalarında tam tersi bir durum sözkonusudur. Bu durum, sahalardaki sıcak suların soğuk sulara göre daha yüksek kotlardan beslendiğini düşündürmektedir.

**Çizelge 7.1.** Suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  analiz sonuçları (hata payları  $\delta^{18}\text{O}$  için 0.1 ‰,  $\delta\text{D}$  için 1 ‰' dir).

Lokalite	örn. no	su tipi	Mar.02		Tem.02		Eki.02		Nis.03		Tem.03		Eki.03		Nis.04		Haz.04		Eki.04	
			$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D	$^{18}\text{O}$	D
Efteni	1a	sıcak	-11.06	-83.12	-11.24	-83.45	-11.34	-80.00	-11.70	-81.80	-10.81	-81.87	-11.59	-79.52	-11.49	-86.02	-11.8	-84.7	-10.5	-81.5
	1b	soğuk	-	-	-	-	-	-	-11.12	-80.91	-12.05	-78.56	-11.72	-80.77	-11.45	-83.36	-11.6	-78.1	-10.8	-78.8
Yalova	2a	sıcak	-11.34	-74.95	-11.39	-75.42	-11.65	-72.19	-11.09	-75.04	-11.73	-77.33	-11.21	-73.84	-11.60	-80.28	-11.4	-77.1	-10.5	-76.2
	2b	sıcak	-11.41	-79.86	-11.37	-76.07	-11.62	-73.62	-11.54	-76.89	-10.84	-74.75	-11.14	-73.84	-12.38	-79.92	-11.4	-76	-10.7	-75.5
Bolu	2c	soğuk	-	-	-	-	-	-	-8.84	-60.43	-8.82	-54.67	-8.98	-57.28	-9.56	-60.97	-9.81	-61.8	-8.39	-59.1
	3a	sıcak	-11.90	-88.83	-12.24	-87.68	-8.56	-64.15	-11.43	-82.68	-12.08	-84.03	-11.47	-79.37	-12.39	-87.33	-12.5	-82.3	-10.6	-82.1
Mudurnu	3b	soğuk	-	-	-	-	-	-	-11.58	-79.14	-12.41	-79.15	-12.22	-75.12	-12.53	-84.45	-12	-82.8	-10.8	-75.7
	4a	sıcak	-11.77	-83.29	-12.23	-88.03	-12.24	-81.58	-11.71	-87.25	-12.07	-82.88	-11.98	-84.28	-12.10	-86.90	-12.7	-86	-11.1	-82.1
Seben	4b	sıcak	-12.21	-82.62	-12.31	-87.76	-11.89	-83.87	-11.57	-83.72	-11.79	-83.53	-12.69	-79.12	-12.65	-86.78	-12.5	-81.3	-11.2	-82.6
	4c	ılık	-10.98	-86.70	-11.37	-82.39	-11.98	-86.57	-9.32	-72.54	-12.01	-78.84	-11.49	-77.02	-11.80	-83.52	-11.7	-85.6	-10.6	-80.2
Seben	4d	soğuk	-10.48	-80.70	-11.44	-82.70	-11.62	-82.04	-12.25	-82.61	-11.05	-76.71	-11.12	-74.45	-11.07	-83.39	-10.9	-79.1	-10.5	-81.9
	5a	sıcak	-12.37	-92.32	-12.30	-91.38	-11.68	-90.04	-11.81	-88.36	-12.53	-86.51	-12.74	-85.75	-12.30	-89.47	-12.3	-91.1	-10.9	-86
	5b	sıcak	-11.81	-92.36	-12.13	-91.68	-13.12	-92.26	-12.17	-88.68	-12.08	-86.93	-12.21	-84.13	-12.85	-93.54	-12.3	-86.2	-11	-83.1

**Çizelge 7.1. (devam ediyor).**

Lokalite	ömr. no	su tipi	Mar.02		Tem.02		Eki.02		Nis.03		Tem.03		Eki.03		Nis.04		Haz.04		Eki.04	
			<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D	<sup>18</sup> O	D
Seben	#5c	sıcak	-11.56	-89.57	-	-	-12.28	-90.68	-	-	-11.82	-84.56	-	-	-	-	-	-	-	-
	5d	soğuk	-8.72	-69.34	-	-	-8.29	-68.68	-8.53	-66.81	-8.87	-67.20	-9.18	-67.78	-10.86	-75.43	-8.61	-66.6	-8.14	-65.4
Hamamözü	6a	sıcak	-12.43	-87.17	-12.25	-88.19	-11.89	-92.31	-11.72	-85.30	-12.46	-85.25	-11.93	-83.70	-12.00	-90.45	-12.3	-85.1	-11.3	-89.1
	6b	soğuk	-	-	-	-	-10.73	-78.28	-11.77	-73.75	-10.22	-70.75	-9.06	-66.27	-9.51	-82.06	-9.72	-75.8	-9.64	-74.4
Gözlek	7a	sıcak	-13.25	-95.49	-12.99	-95.34	-12.51	-96.74	-13.43	-92.78	-12.30	-91.33	-13.44	-90.09	-12.77	-98.27	-13	-94.2	-11.8	-93.9
	7b	soğuk	-	-	-	-	-10.74	-80.14	-10.10	-74.16	-9.93	-75.15	-9.87	-74.85	-10.54	-82.21	-9.64	-76.7	-9.4	-73.6
§Reşadiye	8a	sıcak	-12.89	-93.30	-12.55	-92.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8b	soğuk	-12.71	-86.09	-11.64	-84.45	-11.85	-82.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kurşunlu	9a	sıcak	-8.52	-88.47	-8.45	-88.54	-8.37	-87.23	-8.74	-87.49	-8.52	-89.26	-8.61	-90.64	-8.81	-94.93	-8.59	-84.2	-7.46	-83.8
	*9b	maden su	-11.26	-86.25	-9.68	-83.46	-10.20	-77.73	-	-77.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	9c	soğuk	-10.37	-76.93	-9.98	-81.54	-10.00	-77.78	-9.76	-74.94	-9.34	-74.97	-10.26	-78.56	-9.04	-79.53	-9.84	-73.5	-9.51	-78.8

#5c no.lu örnek, Temmuz 2002 döneminde, örnekleme gününden birkaç gün önceki yoğun yağışların neden olduğu sel sonucu ortaya çıkan çamuru temizleme çalışmaları olduğundan, Nisan 2003 ve Ekim 2003 dönemlerinde ise kuyudaki pompanın motoru kaldırılmış olduğundan toplanamamıştır.

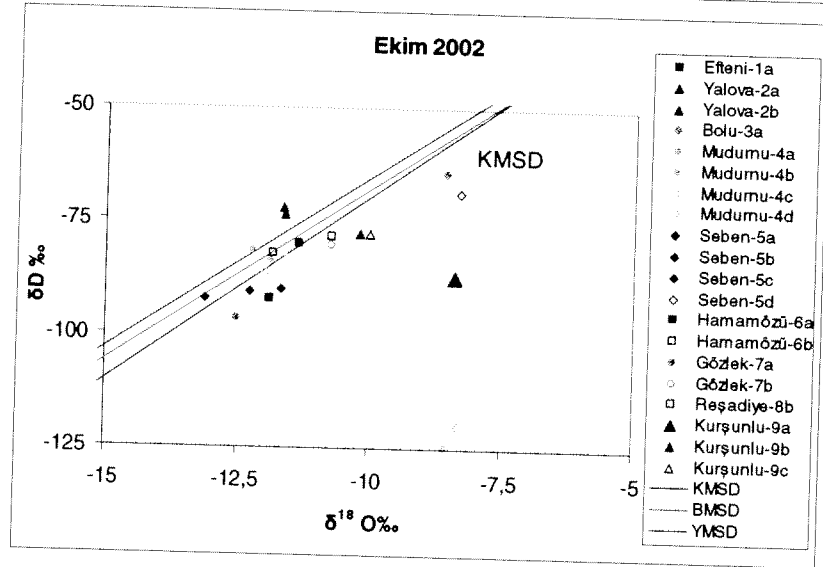
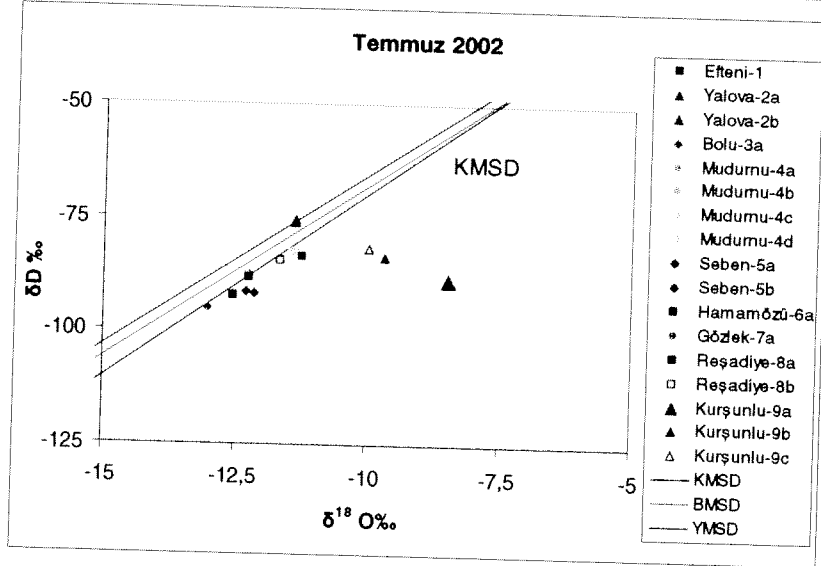
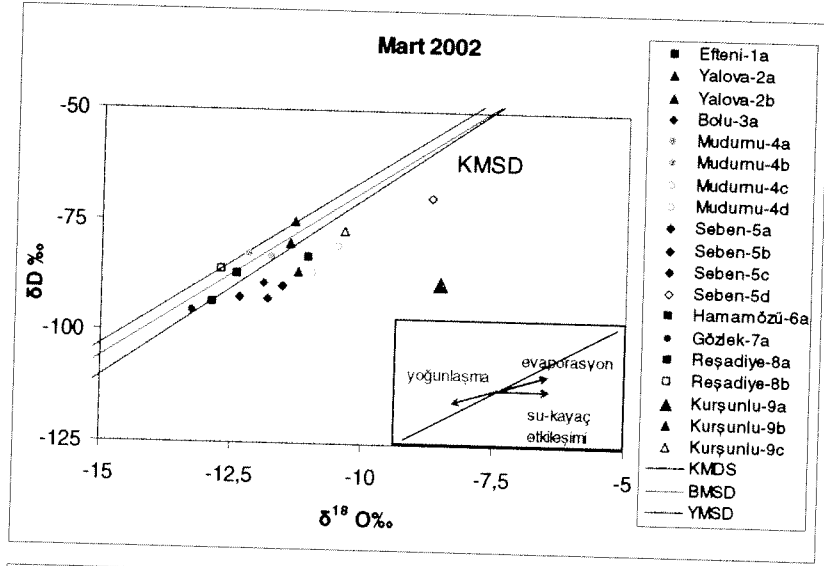
§Sıcak su kaynağının kurumuş olması nedeniyle, Temmuz 2002 dönemini takip eden dönemlerde, Reşadiye jeotermal sahası örnekleme kapsamı dışında kalmıştır.

\*Maden suyu kaynağının kurumuş olması nedeniyle, Temmuz 2003 döneminden itibaren örnek toplanamamıştır.

**Çizelge 7.2.** Bütün dönemler için trityum analiz sonuçları (hata payları ile birlikte verilmiştir).

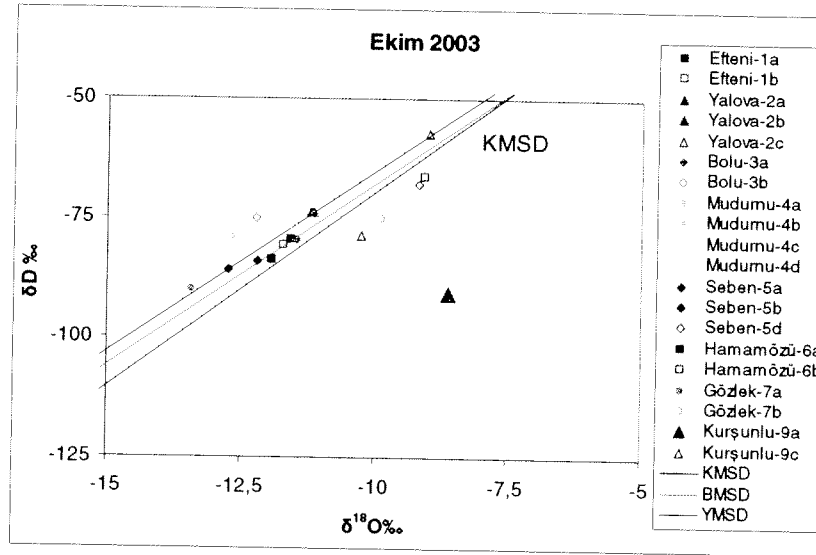
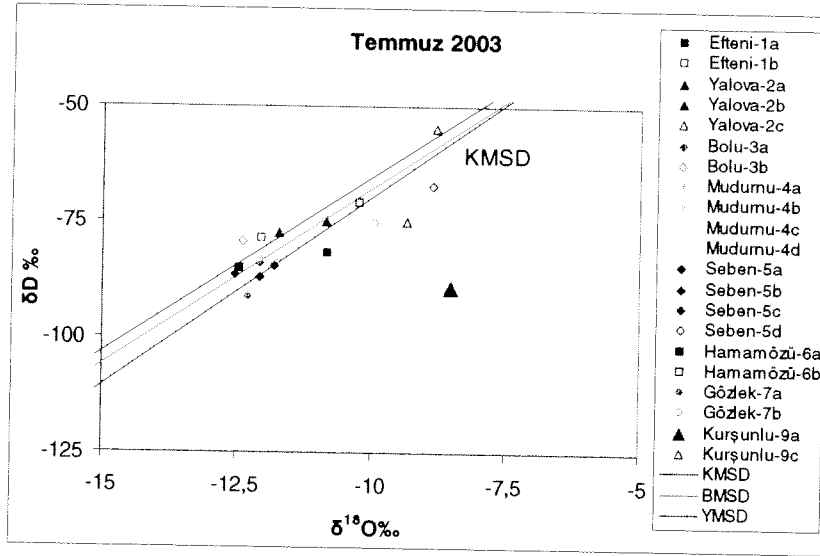
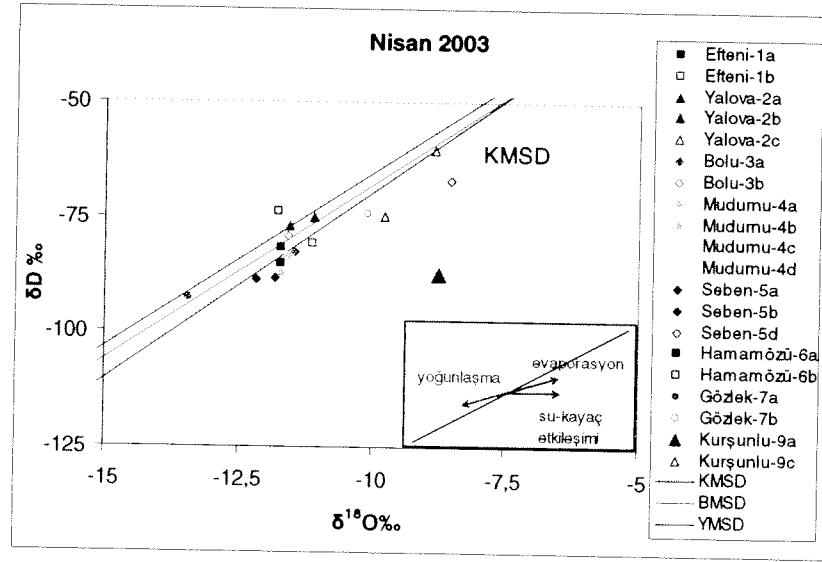
Örnek adı	Örn. no.	Mar.02	Tem.02	Eki.02	Nis.03	Tem.03	Eki.03	Nis.04	Haz.04	Eki.04
		(TU)	(TU)	(TU)	(TU)	TU	TU	TU	TU	TU
Efteni	1a	0.00±1.65	0.05±1.55	2.20±1.70	0.0±1.60	4.85±1.95	4.55±1.90	0.00±2.05	5.80±1.90	0.9±1.85
	<sup>d</sup> 1a							<sup>d</sup> 4.00±2.10		
	1b	-	-	-	3.0±1.60	4.90±2.00	5.65±1.90	6.75±2.20	4.50±1.90	4.45±1.95
	<sup>d</sup> 1b							<sup>d</sup> 6.75±2.20		
Yalova Termal	2a	8.90±1.90	12.55±2.00	3.30±1.75	3.70±1.70	0.05±1.80	0.0±0.60	1.10±2.05	0.00±1.90	1.9±1.90
	2b	9.90±2.00	9.70±1.80	2.90±1.70	5.50±1.75	7.20±2.05	0.0±0.55	6.65±2.20	0.30±1.85	0±1.70
	2c	-	-	-	7.10±1.80	8.95±2.10	8.10±0.90	12.35±2.35	5.90±1.85	6.1±1.85
Bolu	3a	9.75±1.90	4.65±1.80	3.35±1.75	3.30±1.65	1.0±1.85	1.85±0.70	2.05±2.00	0.00±1.70	0.9±1.80
	<sup>d</sup> 3a							3.65±2.10		
	3b	-	-	-	15.20±2.00	11.95±2.15	8.40±0.90	11.20±2.30	7.30±1.90	8.7±2.05
	<sup>d</sup> 3b							12.65±2.30		
Mudurnu	4a	6.00±1.80	3.90±1.85	0±1.60	0.65±1.65	0.0±1.75	0.25±0.60	2.30±2.00	0.00±1.80	0.3±1.90
	4b	3.0±2.20	3.70±1.80	1.50±1.65	4.95±1.80	2.35±1.85	0.50±0.60	0.00±2.00	0.00±1.70	0±1.80
	4c	11.41±2.10	10.10±2.05	5.40±1.70	5.16±1.95	4.90±1.80	3.95±0.75	7.30±2.15	2.60±1.85	3.9±1.70
	4d	12.46±2.05	9.30±1.95	6.35±1.70	4.95±1.85	8.15±2.05	5.20±0.80	5.25±2.20	5.80±1.90	4.55±1.95
Seben	5a	0.0±1.60	0.85±1.50	0.0±1.60	0.80±1.55	0.0±1.75	0.40±0.60	0.00±2.00	0.00±1.80	1.65±1.95
	5b	1.80±1.70	3.25±1.55	1.05±1.55	1.55±1.60	0.0±1.70	0.75±0.60	0.00±1.90	0.00±1.80	1.9±1.90
	5c	0.90±1.65	-	1.55±1.65	-	1.45±1.60	-	-	-	-
	5d	8.40±1.80	-	10.2±1.90	10.20±1.90	11.20±1.80	9.70±1.00	8.30±2.25	9.20±2.00	10.3±2.00
Hamamözü	6a	2.10±1.65	1.75±1.55	1.15±1.65	0.55±1.50	1.40±1.75	0.05±0.60	0.75±2.10	1.50±1.80	0.6±1.80
	6b	-	-	9.65±1.80	10.55±1.90	12.50±1.90	10.0±0.95	10.45±2.25	12.25±2.10	10.45±2.15
Gözlük	7a	2.10±1.65	2.45±1.65	0.55±1.60	1.40±1.55	2.12±1.65	0.25±0.60	0.00±1.90	1.80±1.80	0.55±1.80
	7b	-	-	11.20±1.80	9.0±1.80	9.96±1.85	9.50±0.95	7.95±2.15	11.40±2.05	10.45±2.00
Reşadiye	8a	3.05±1.70	2.10±1.65	-	-	-	-	-	-	-
	8b	9.20±1.80	9.25±1.70	7.55±1.80	-	-	-	-	-	-
Kurşunlu	9a	0.35±1.70	0.0±1.55	0.0±1.65	1.35±1.60	0.0±1.60	0.40±0.60	0.00±1.95	-	0±1.80
	9b	7.25±1.80	9.85±1.70	9.65±1.80	11.85±1.90	-	-	-	-	-
	9c	15.7±2.00	13.75±1.90	13.25±1.85	14.75±2.00	13.85±2.05	14.25±1.10	10.80±2.10	-	14.45±2.05

<sup>d</sup> 14 Nisan 2004 depremi sonrası trityum değerleri

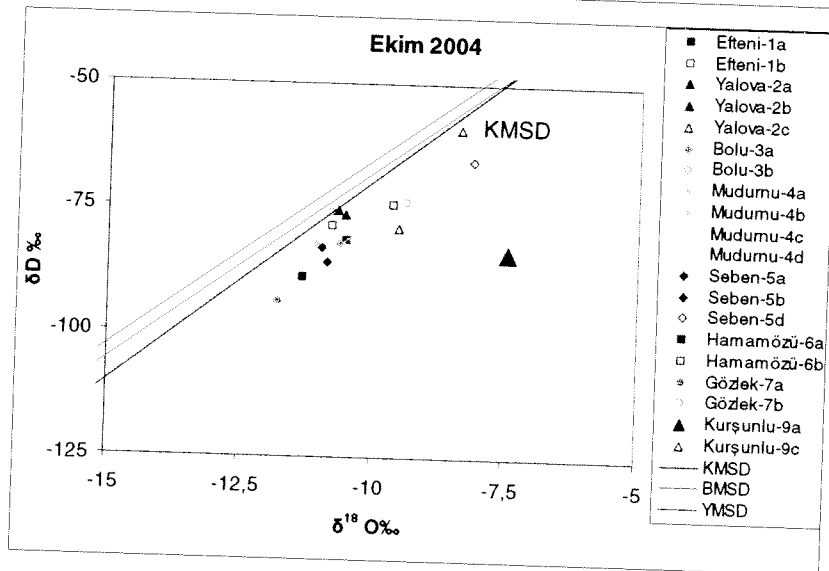
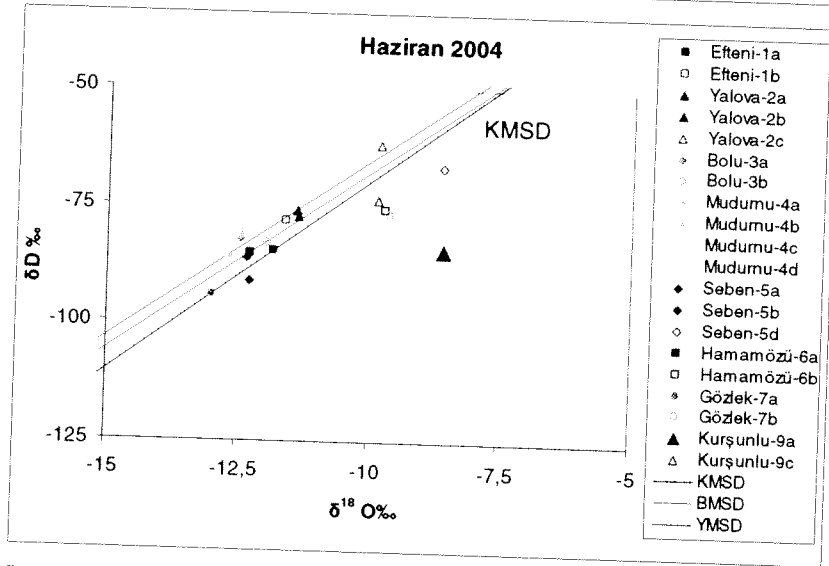
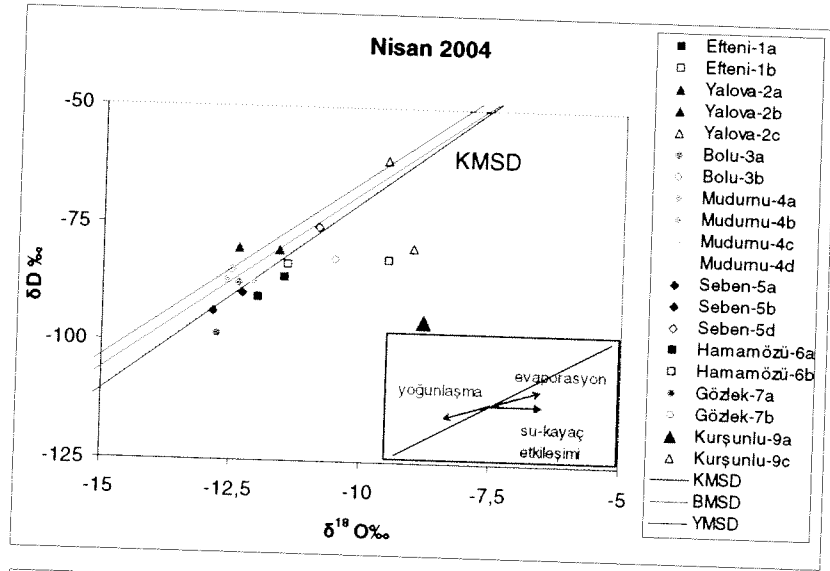


**Şekil 7.1.** Bütün dönemler için çizilen Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan  $\delta^{18}O$  vs  $\delta D$  diyagramları.

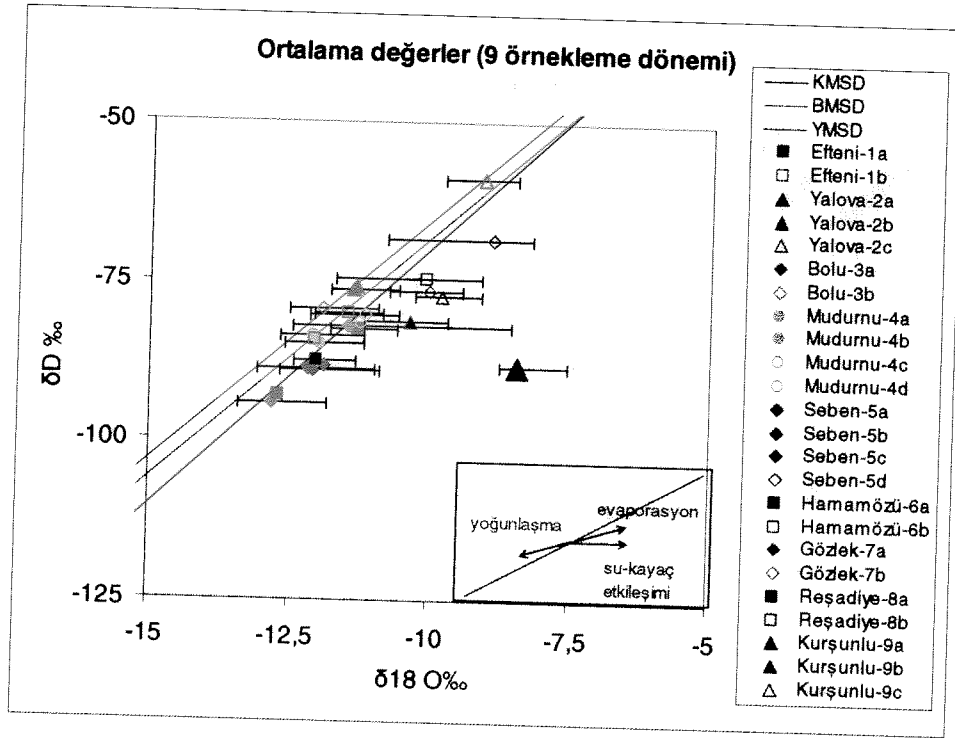




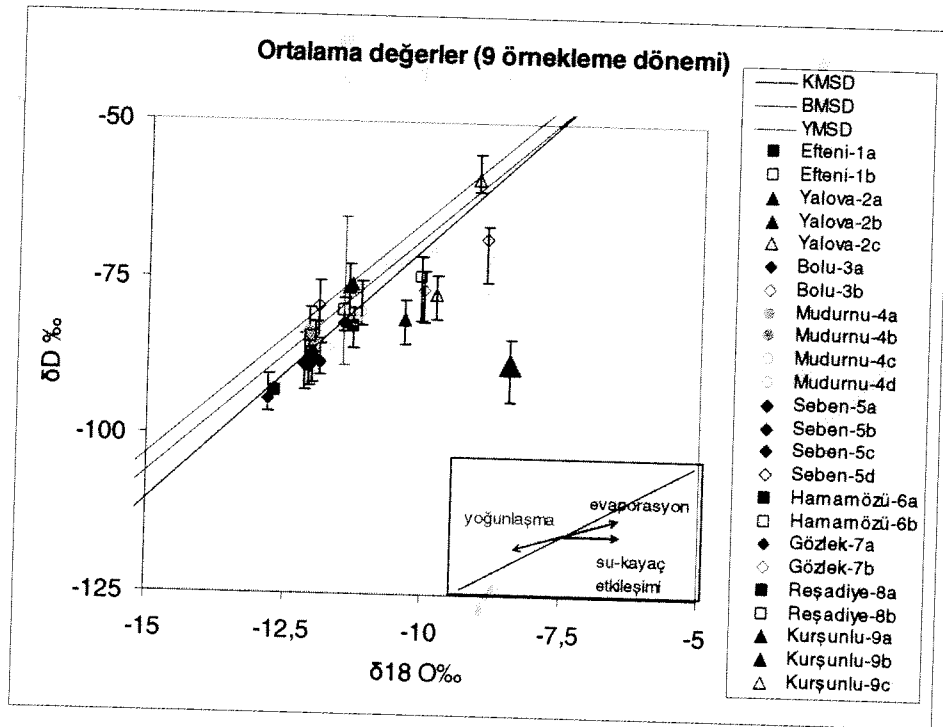
Şekil 7.1. (devam ediyor).



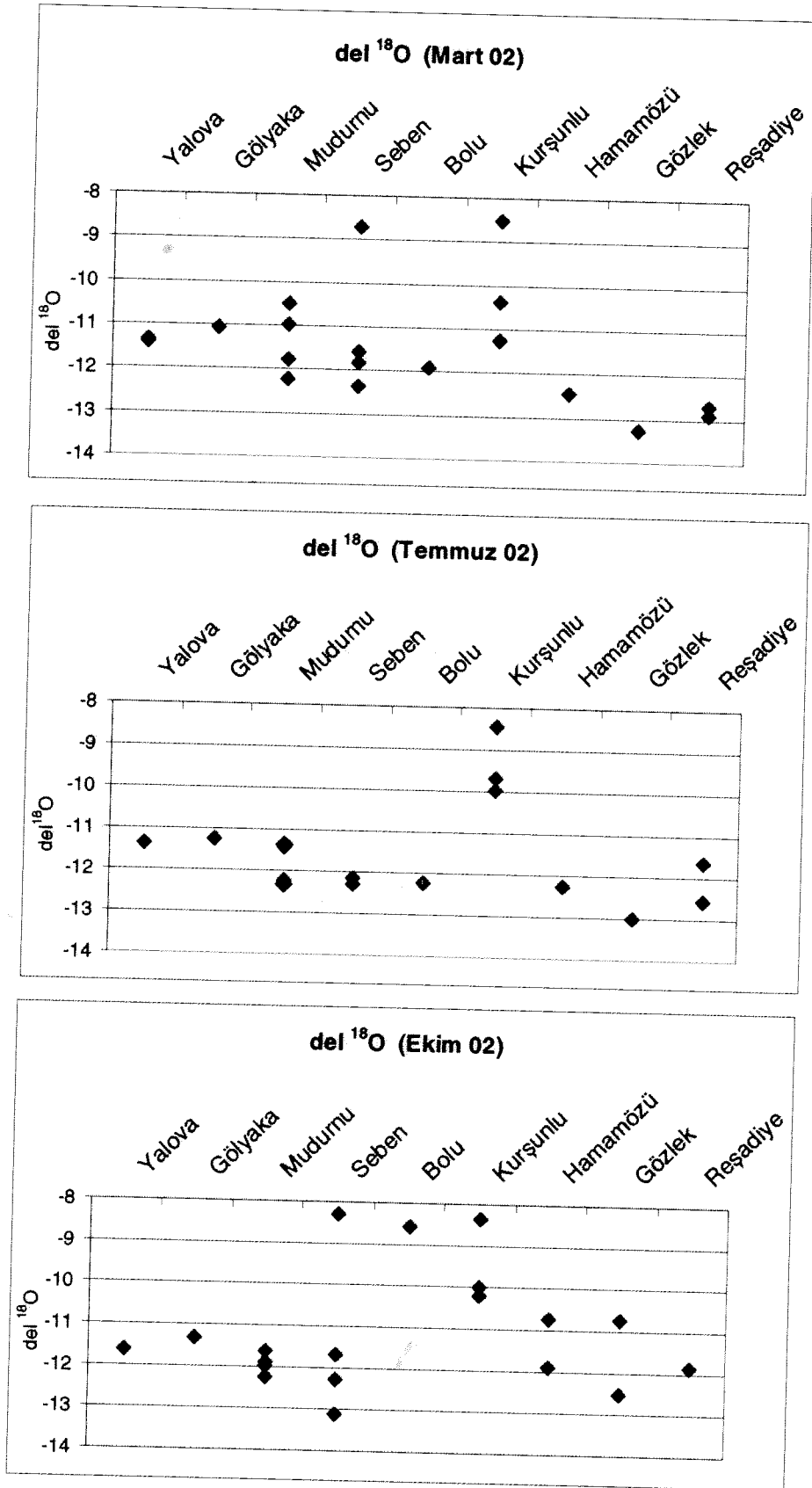
Şekil 7.1. (devam ediyor).



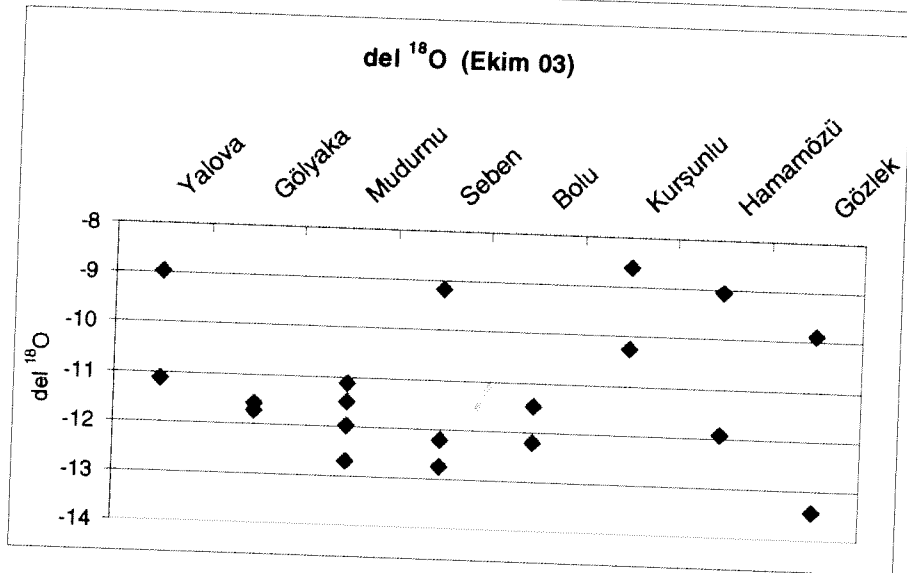
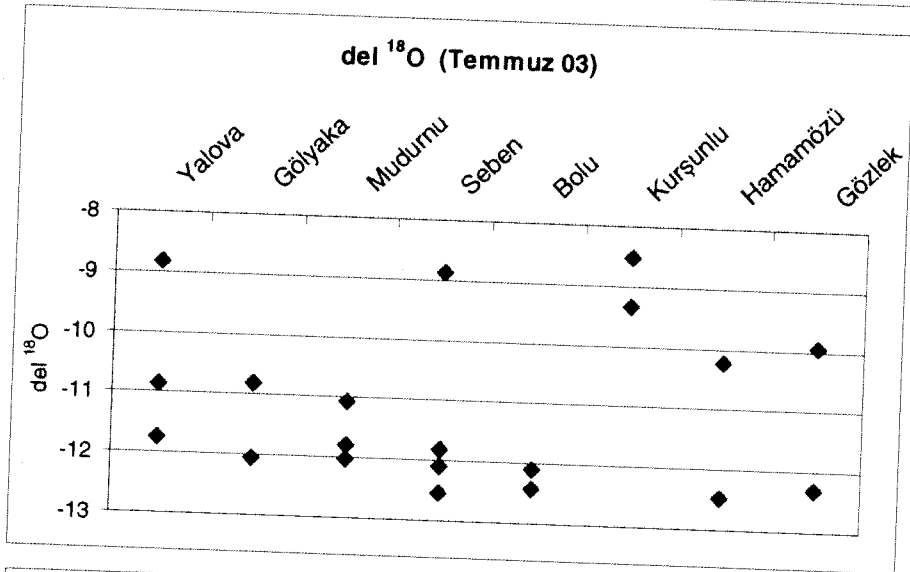
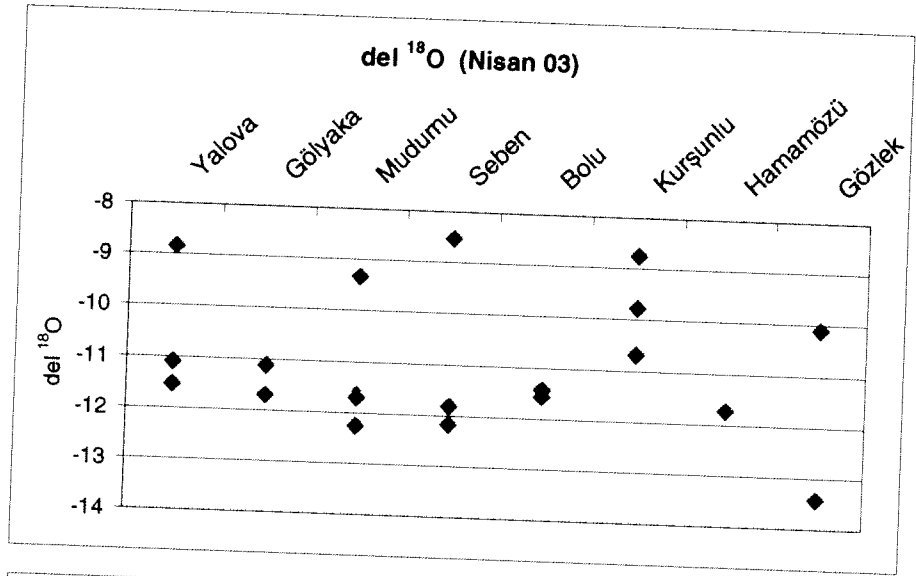
**Şekil 7.2a.** Bütün dönemlerin ortalamasını içeren, Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  diyagramları (bütün dönemlerin ortalama değerleri alınmıştır, yatay çizgiler  $\delta^{18}O$  için minimum ve maksimum değer aralığını göstermektedir).



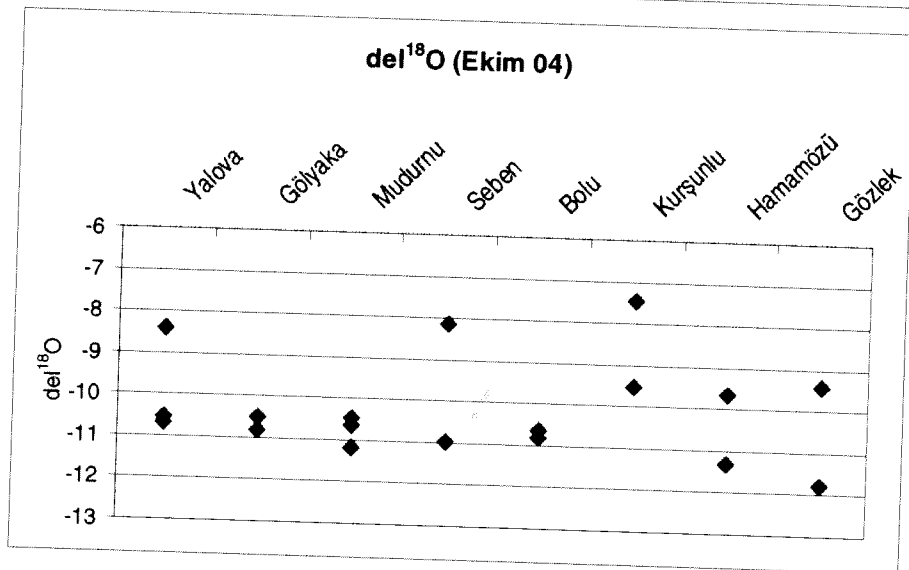
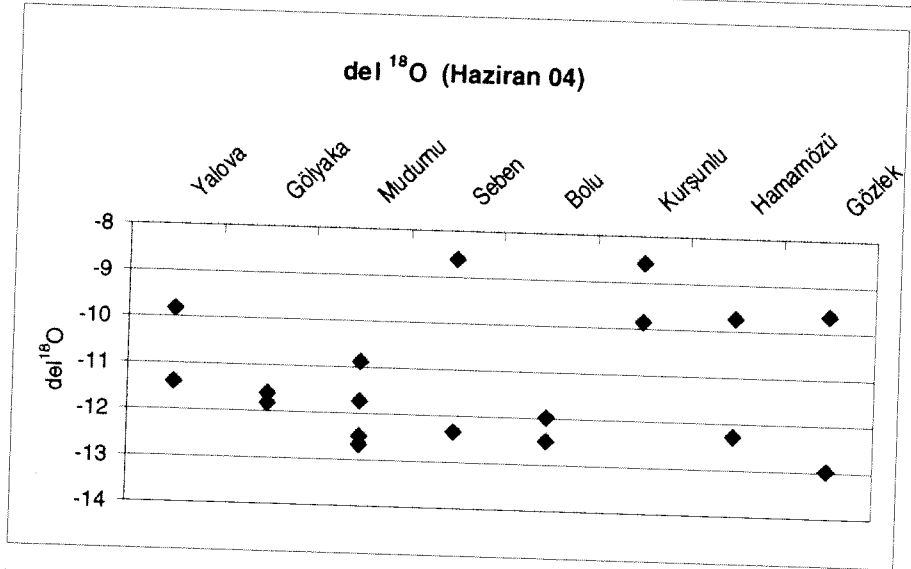
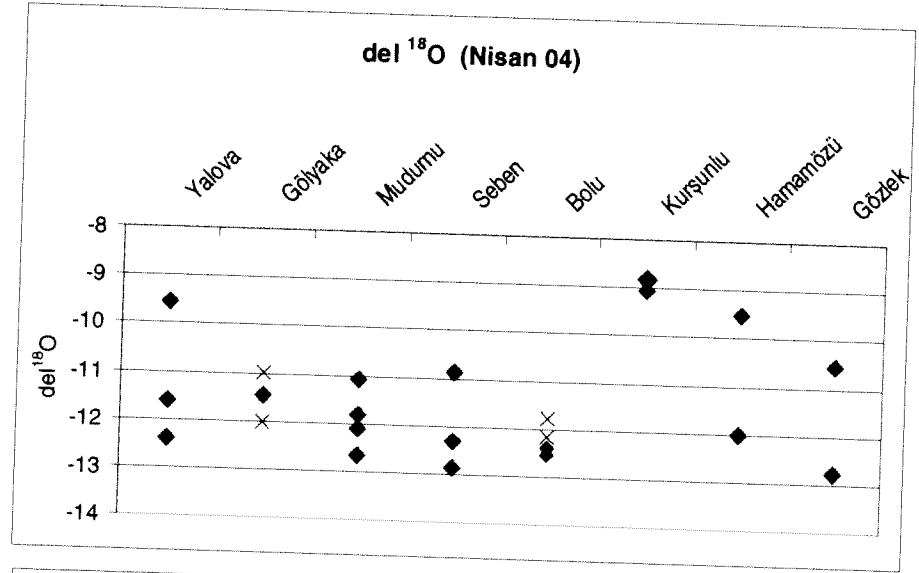
**Şekil 7.2b.** Bütün dönemlerin ortalamasını içeren, Oksijen ve Hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan  $\delta^{18}O$  ve  $\delta D$  diyagramları (bütün dönemlerin ortalama değerleri alınmıştır, dikey çizgiler  $\delta D$  için minimum ve maksimum değer aralığını göstermektedir).



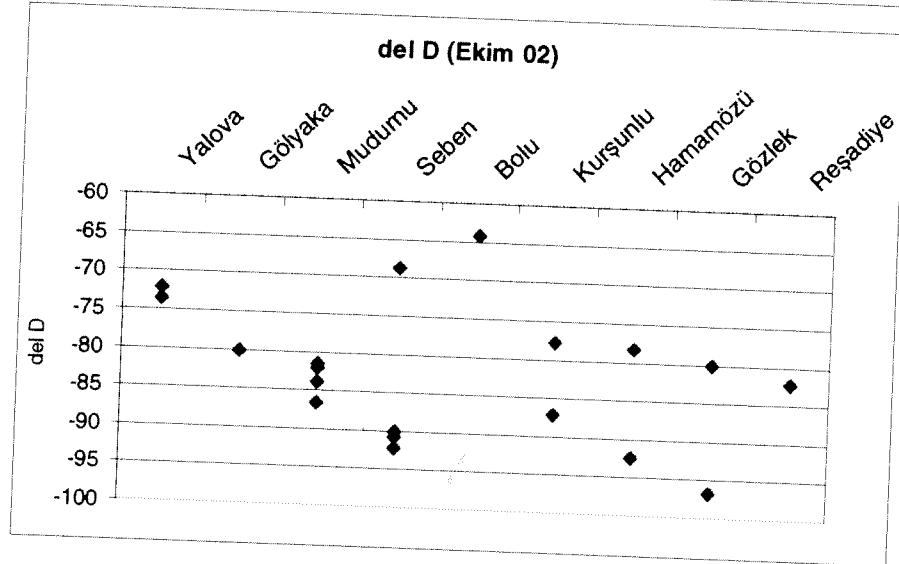
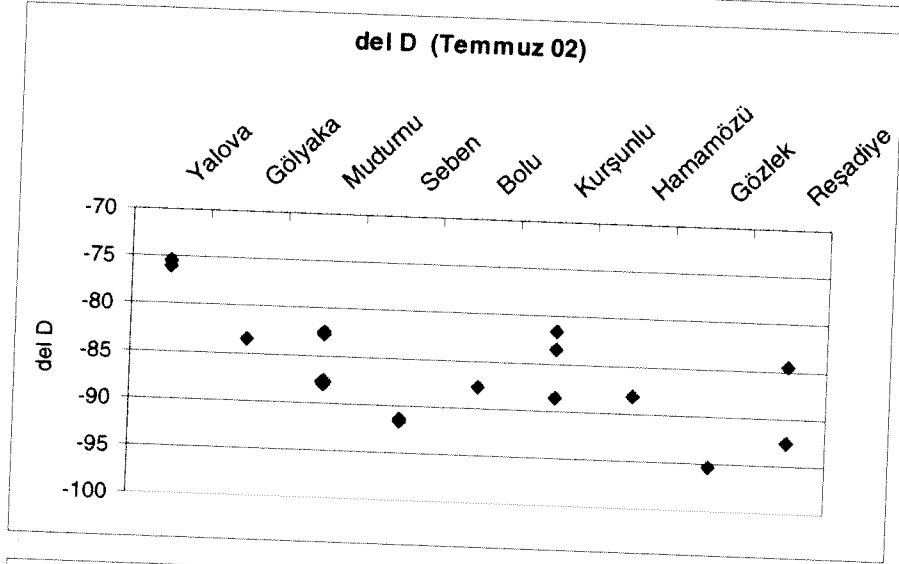
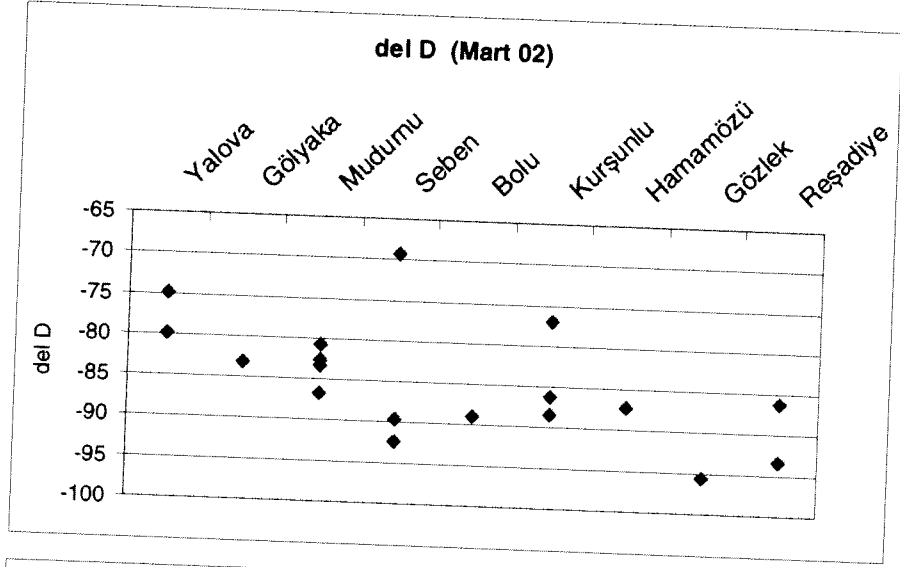
Şekil 7.3. 9 dönemi kapsayan  $\delta^{18}\text{O}$  vs lokalite diyagramları (kırmızı noktalar sıcak suları, mavi noktalar soğuk suları temsil etmektedir).



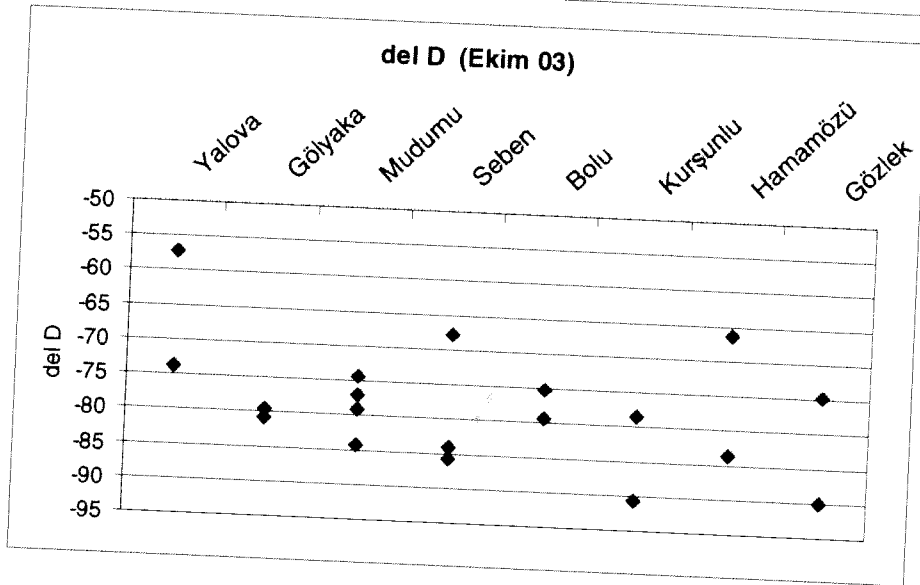
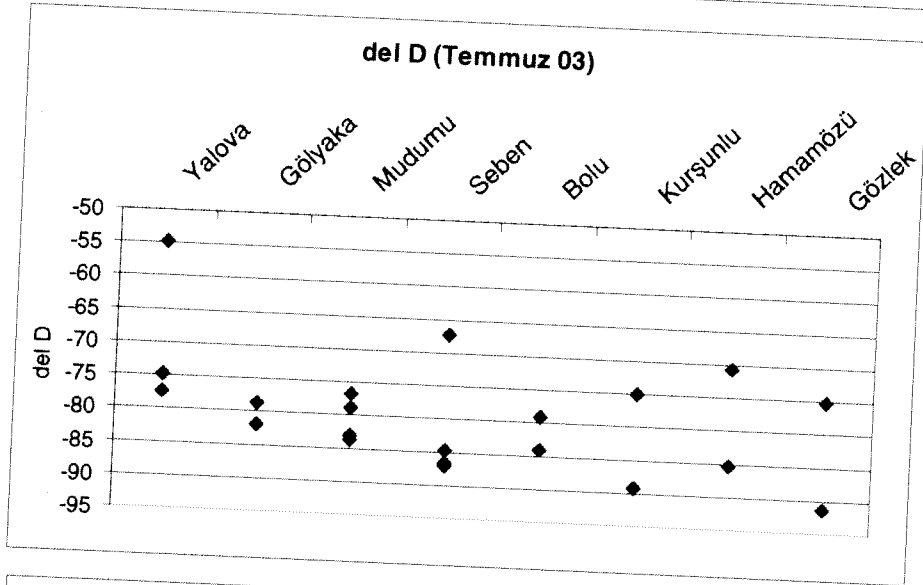
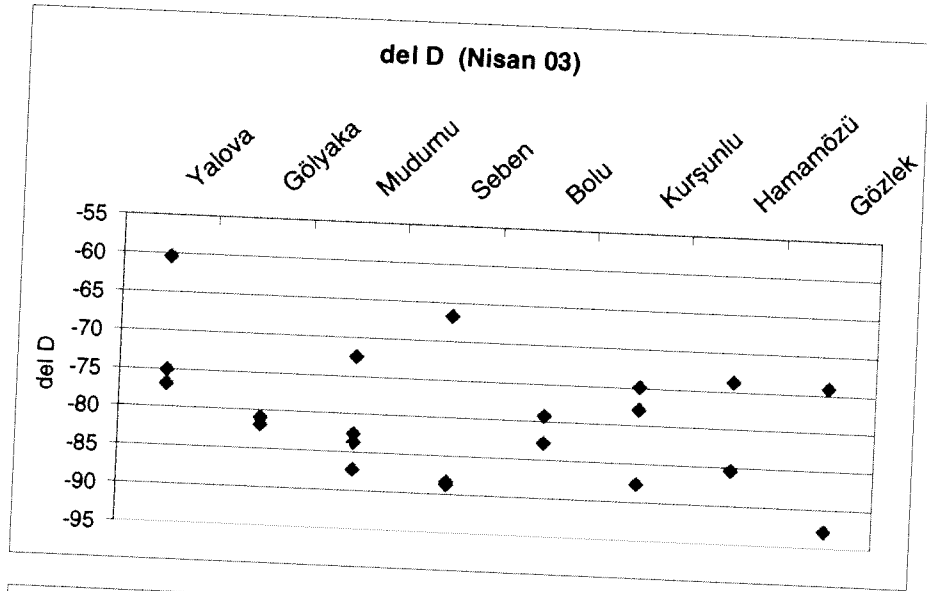
Şekil 7.3. (devam ediyor).



Şekil 7.3. (devam ediyor).

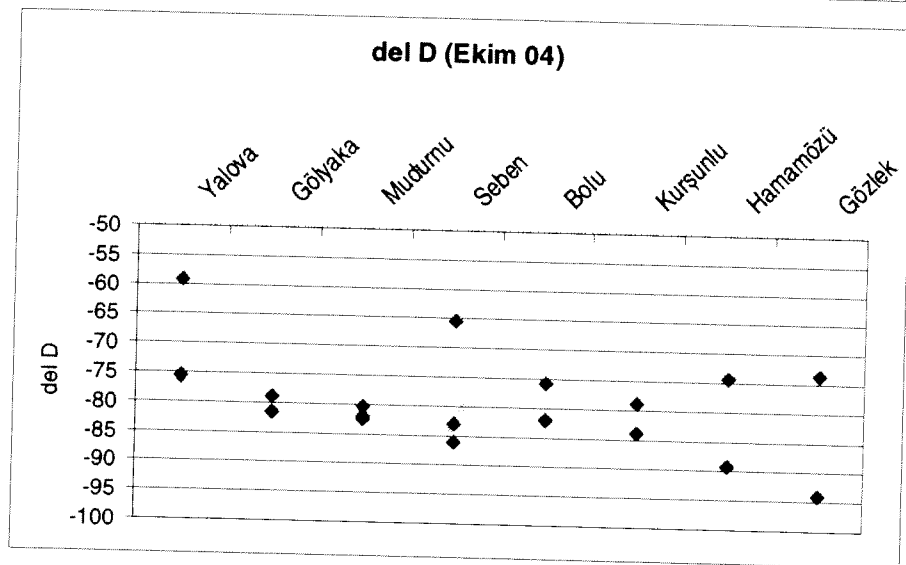
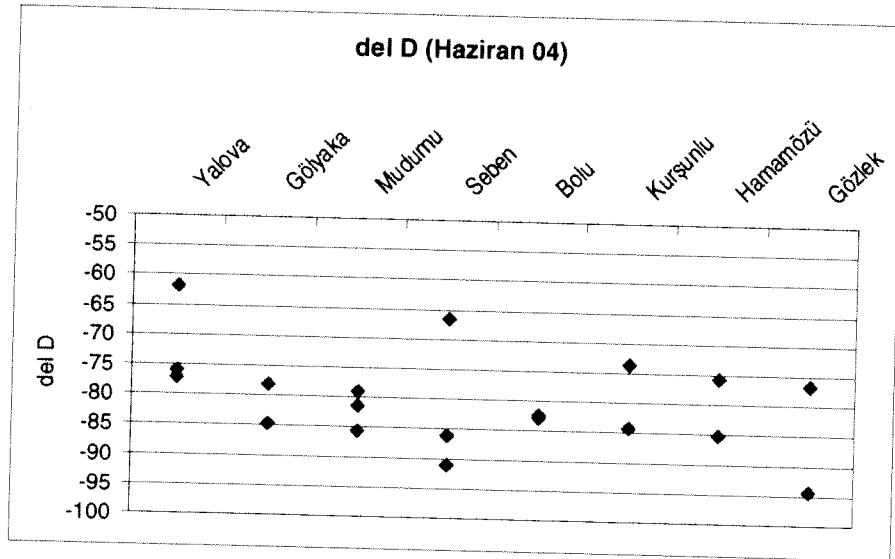
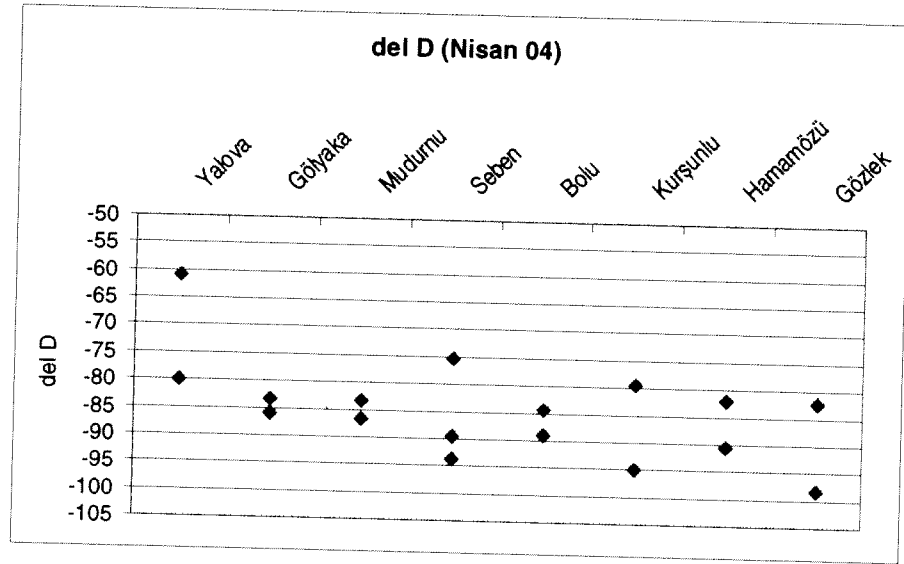


**Şekil 7.4.** 9 dönemi kapsayan  $\delta D$  vs lokalite diyagramları (kırmızı noktalar sıcak suları, mavi noktalar soğuk suları temsil etmektedir).



Şekil 7.4. (devam ediyor).





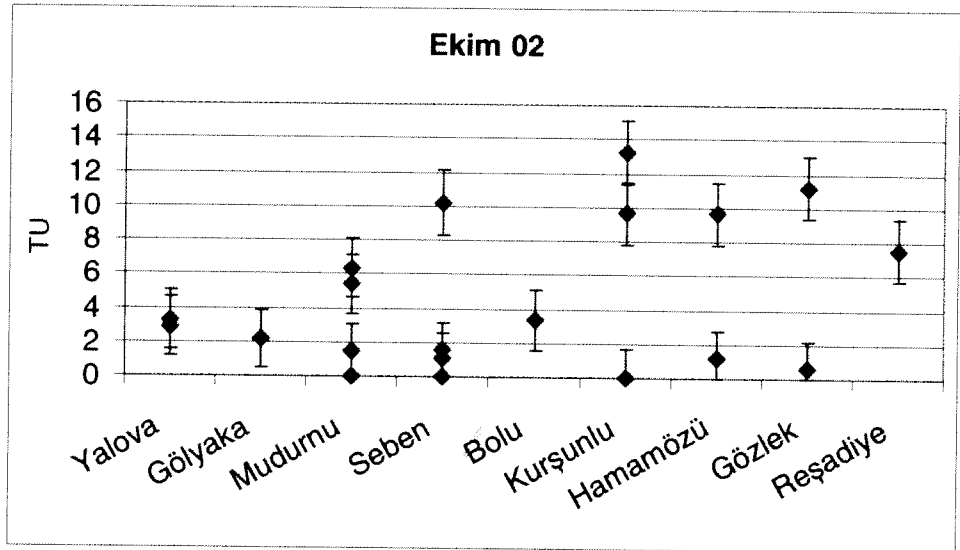
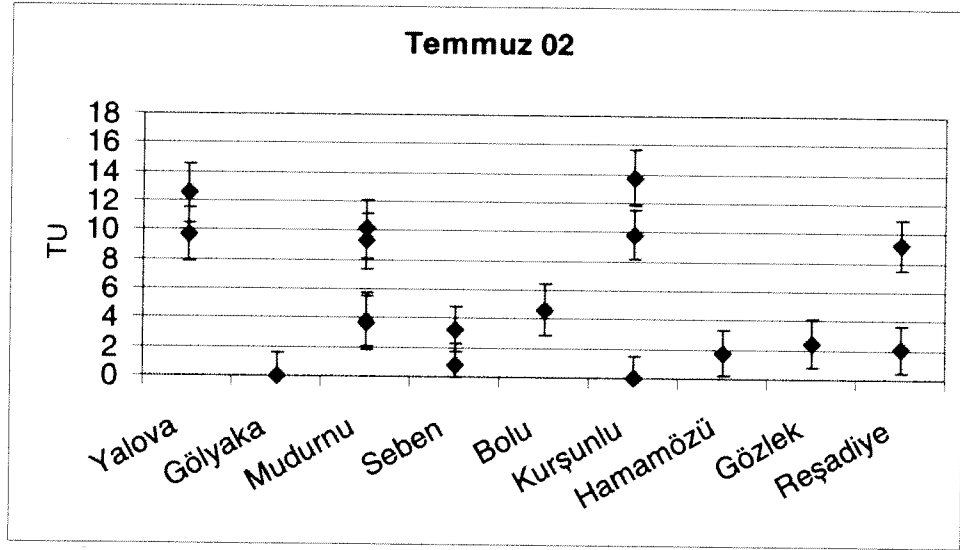
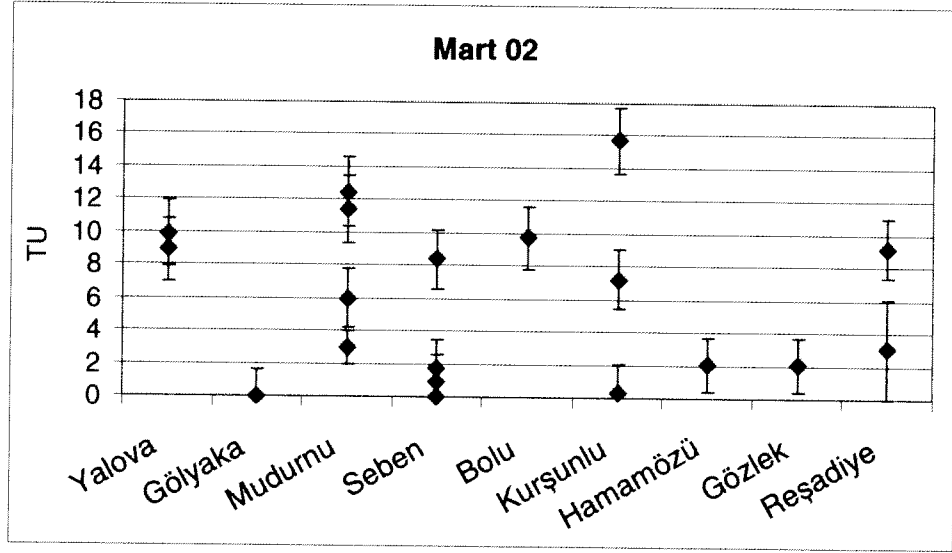
Şekil 7.4. (devam ediyor).

## 7.2. Trityum İçerikleri

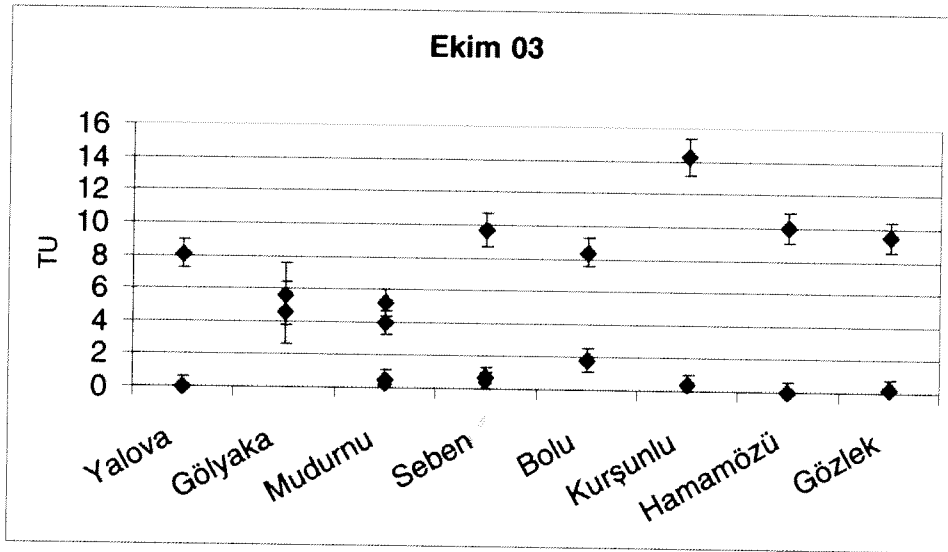
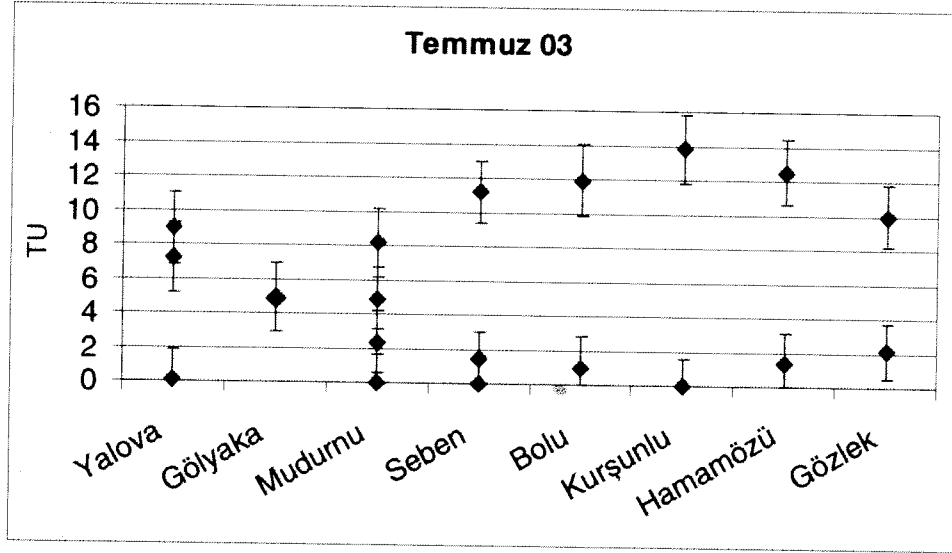
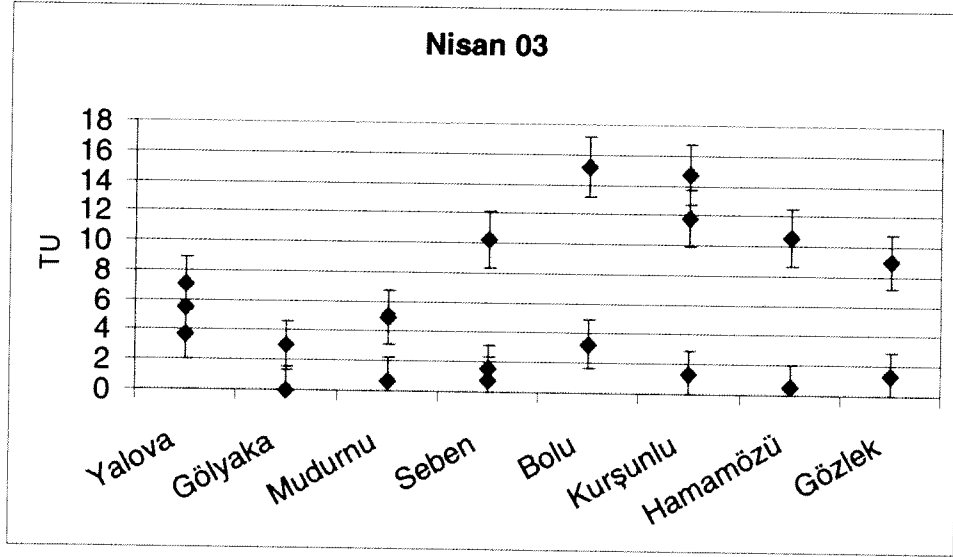
Bütün örnekleme dönemlerini içeren trityum değerleri Çizelge 7.2'de verilmiştir. Sıcak sular için TU değerleri 0 TU – 12.55 TU arasında değişip, daha çok 0 TU – 5 TU değerleri arasında yoğunlaşmaktadır. Kurşunlu-9a sahasında bütün dönemler için en düşük trityum değerleri gözlenmektedir. Soğuk suların çoğu 8 TU'dan daha yüksek değerler göstermelerine rağmen, değerler 3 TU- 15.7 TU arasında değişmektedir. Bütün soğuk sular arasında Kurşunlu 9c örneği bütün dönemler için en yüksek TU değerini göstermektedir. Mudurnu soğuk suları ise çoğunlukla en düşük TU değerlerini vermektedir.

Örneklenen sahalardaki suların TU derişimleri Şekil 7.5'de her örnekleme dönemi için ayrı ayrı gösterilmiştir. Sıcak sularda en yüksek TU değerine, Temmuz 2002'de, Yalova-2a örneğinde rastlanılmıştır (12.55 TU). Soğuk sular için ise, Kurşunlu 9c'de Mart 2002'de en yüksek TU değeri (15.7 TU) kaydedilmiştir.

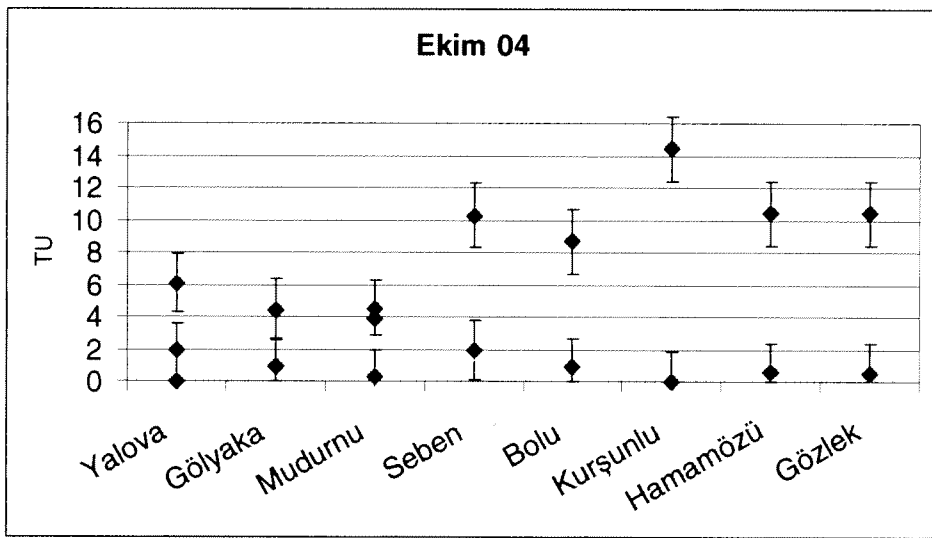
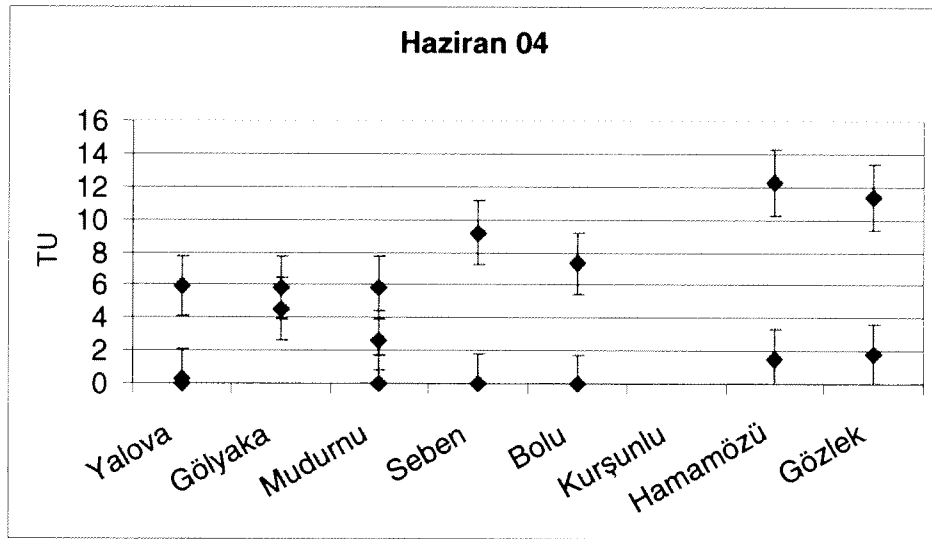
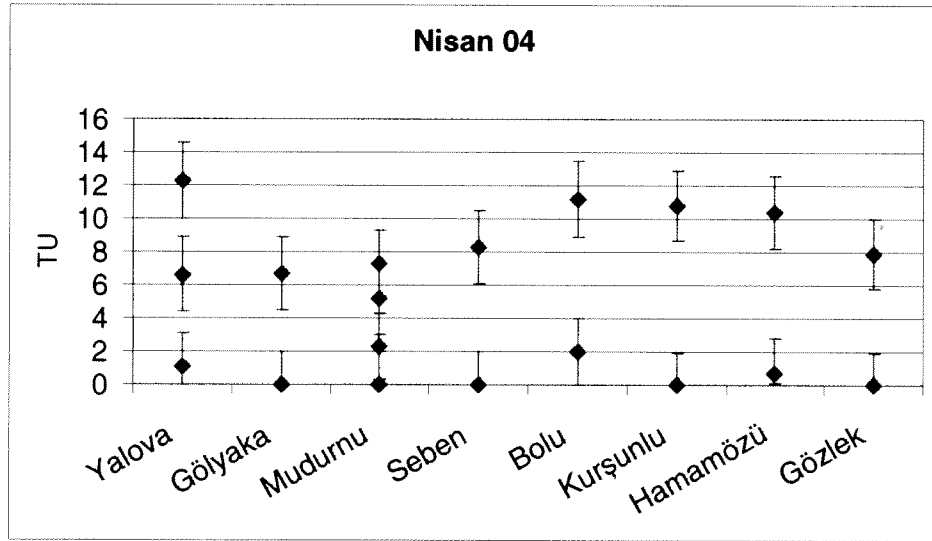
Şekil 7.5'e bakıldığında, bütün sahalarda için sıcak suların soğuk sulara göre daha düşük TU değerleri gösterdikleri görülmektedir. Bu durum, soğuk su kaynaklarının sıcak sulara göre daha genç yağışlar ile beslendiğine işaret etmektedir.



**Şekil 7.5.** 9 dönemi kapsayan trityum vs lokalite diyagramları (kırmızı noktalar sıcak suları, mavi noktalar soğuk suları temsil etmektedir, dikey çizgiler hata paylarını göstermektedir).



Şekil 7.5. (devam ediyor).



Şekil 7.5. (devam ediyor).

## BÖLÜM 8

### GAZLARIN İZOTOPİK BİLEŞİMLERİ

Çalışılan sahalardaki jeotermal akışkanların gaz fazlarına ilişkin olarak gerçekleştirilen analizler, helyum ve karbon izotop bileşimleri, helyum içerikleri ve CO<sub>2</sub>/<sup>3</sup>He gaz oranlarını kapsamaktadır. Söz konusu analizlere ait sonuçlar Çizelge 8.1'de verilmiştir. Çizelge'de helyum izotop bileşimleri, <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He değerlerinin (R), atmosferik <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He değerine (Ra = 1.4\*10<sup>-6</sup>) normalize edilmiş olduğu R/Ra değerleri şeklinde sunulmaktadır. Karbon izotop bileşimleri, <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C oranlarının, PDB standartına normalize edildiği δ<sup>13</sup>C (‰) parametresi cinsinden verilmektedir.

#### 8.1. Helyum İzotop Bileşimleri

Jeotermal akışkanların helyum bileşimlerine bakıldığında (Çizelge 8.1 ve Şekil 8.1) farklı sahalanın kendilerine özgü R/Ra değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek R/Ra değerleri (ya da <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He oranları) Mudurnu sahasında gözlenmektedir. Kurşunlu sahasında Nisan 2003 döneminde izlenen yüksek R/Ra değeri, Çizelge 8.1'in dip notunda belirtildiği gibi, örneğin helyum içeriğinin düşük olması nedeniyle değerlendirmeye alınmamaktadır. Mudurnu sahasını takiben, Bolu ve Reşadiye sahalalarında da R/Ra değerleri, diğer sahalara oranla yüksektir. En düşük değerlere Gözlek ve Yalova sahalalarında rastlanmaktadır.

<sup>3</sup>He izotopu esas olarak mantoda hapsolmuş ilksel He-izotopunu temsil ettiğinden (buna karşın <sup>4</sup>He kabuk litolojilerinde yoğunlaşan U ve Th izotoplarının radyoaktif bozuşması ile oluştuğundan), yüksek R/Ra değerlerine sahip olan sahalarda manto kökenli helyumun yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Okyanus ortası sırtlara özgü izotop bileşimleriyle tanımlanan Mantosal-He bileşeni (R/Ra=8, Farley and Neroda, 1998) ve radyojenik kökenli kabuksal-He bileşeni (R/Ra=0.02, Morrison and Pine, 1955) baz alınarak yapılan hesaplamalar, jeotermal sahalardaki mantosal-He bileşeninin %28.57 (Mudurnu) ile %2.76 (Gözlek) arasında değiştiğini göstermektedir (Şekil 8.2). Şekilden görüleceği üzere, manto kökenli helyumun en yüksek olduğu sahalalar, güncel sismik etkinliklerin en yoğun olduğu orta-batı segment üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Çizelge 8.1. Sıcak sulardaki He- ve C-izotop analiz sonuçları.

Lokalite	Enlem	Boylam	Örnek tarihi	Cu boru #	(R/R <sub>A</sub> ) <sub>M</sub> <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	(R/R <sub>A</sub> ) <sub>C</sub> <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub> /He (×10 <sup>6</sup> )	δ <sup>13</sup> C	[ <sup>3</sup> He] <sub>C</sub> <sup>d</sup> (10 <sup>-6</sup> cm <sup>3</sup> STP/g H <sub>2</sub> O)
Efteni-Gölyaka	40°45'	31°01'	23.Mar.02	98	0.62 ± 0.03	48.7 ± 0.6	0.61 ± 0.03	6.900 ± 300	-1.71	191 ± 4
			08.Tem.02	189	0.76 ± 0.06	360 ± 20	0.76 ± 0.08	16.000 ± 2.000	-1.15	70.0 ± 5.2
			27.Eki.02	272	0.71 ± 0.03	620 ± 70	0.71 ± 0.12	4.000 ± 1.000	-2.91	280 ± 50
			07.Nis.03	278	0.80 ± 0.06	27.6 ± 0.3	0.79 ± 0.06	15.000 ± 1.000	-3.45	63.3 ± 1.3
			09.Tem.03	364	0.88 ± 0.07	134 ± 3	0.88 ± 0.07	8.700 ± 800	-1.28	113 ± 4
			15.Eki.03	447	0.71 ± 0.03	>121 ± 3 <sup>e</sup>	0.71 ± 0.03	9.900 ± 500	-0.85	115 ± 1
			12.Nis.04	473	0.72 ± 0.03	>113 ± 2 <sup>e</sup>	0.72 ± 0.03	12.900 ± 600	-0.47	94.2 ± 1.1
			14.Nis.04	532	0.75 ± 0.03	>126 ± 16 <sup>e</sup>	0.75 ± 0.03	13.700 ± 700	-0.65	86.5 ± 0.9
			28.Haz.04	397	0.74 ± 0.02	> 328 ± 6 <sup>e</sup>	0.74 ± 0.02	3.900 ± 100	-1.36	300 ± 3
			11.Eki.04	599	0.83 ± 0.04	467 ± 28	0.83 ± 0.08	3.600 ± 500	-1.48	290 ± 30
			24.Mar.02	58	0.30 ± 0.01	110 ± 2	0.29 ± 0.01	82.9 ± 3.0	+5.84	2.790 ± 60
			09.Tem.02	174	0.28 ± 0.006	193 ± 3	0.28 ± 0.008	15.1 ± 0.6	+2.31	5.400 ± 100
			28.Eki.02	260	0.31 ± 0.01	111 ± 1	0.30 ± 0.01	16.5 ± 0.6	-1.93	2.830 ± 50
			08.Nis.03	317	0.28 ± 0.01	422 ± 0.3	0.28 ± 0.01	5.28 ± 0.21	-3.22	11.600 ± 100
			10.Tem.03	261	0.27 ± 0.01	495 ± 6	0.27 ± 0.01	21.1 ± 1.8	+3.25	10.000 ± 200
Yalova	40°35'	29°16'	16.Eki.03	419	0.28 ± 0.006	427 ± 7	0.28 ± 0.009	5.21 ± 0.21	+0.22	9.900 ± 200
			13.Nis.04	503	0.27 ± 0.006	345 ± 6	0.27 ± 0.008	6.50 ± 0.26	-4.49	6.200 ± 200
			28.Haz.04	622	0.36 ± 0.01	18.4 ± 0.2	0.32 ± 0.01	133 ± 6	+3.59	580 ± 10
			12.Eki.04	477	0.28 ± 0.001	91.1 ± 4.2	0.27 ± 0.002	22.5 ± 2.1	+5.86	5.100 ± 300

Çizelge 8.1. (devam ediyor).

Lokalite	Enlem	Boylam	Örnk. tarihi	Cu boru #	(R/R <sub>A</sub> ) <sub>M</sub> <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	(R/R <sub>A</sub> ) <sub>C</sub> <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub> / <sup>3</sup> He (× 10 <sup>9</sup> )	δ <sup>13</sup> C	[ <sup>3</sup> He] <sub>C</sub> <sup>d</sup> (10 <sup>-6</sup> cm <sup>3</sup> STP/g H <sub>2</sub> O)
Bolcu	40°38'	31°30'	24.Mar.02	34	1.21 ± 0.07	116 ± 1	1.21 ± 0.07	490 ± 30	-1.02	990 ± 10
			09.Tem.02	158	1.19 ± 0.07	43.1 ± 0.3	1.20 ± 0.07	910 ± 50	-0.47	521 ± 8
			29.Eki.02	318	1.21 ± 0.07	108 ± 1	1.21 ± 0.07	490 ± 30	-0.45	930 ± 10
			09.Nis.03	306	1.11 ± 0.02	99.4 ± 1.3	1.11 ± 0.03	970 ± 30	-0.79	500 ± 10
			10.Tem.03	181	1.03 ± 0.04	20.2 ± 0.3	1.03 ± 0.04	1.610 ± 70	-1.61	305 ± 6
			16.Eki.03	411	1.12 ± 0.02	111 ± 1	1.12 ± 0.03	1.420 ± 40	-0.068	351 ± 5
			13.Nis.04	461	1.19 ± 0.03	43.4 ± 0.2	1.19 ± 0.03	970 ± 30	+0.44	485 ± 5
			14.Nis.04	512	1.18 ± 0.03	35.7 ± 0.4	1.19 ± 0.03	1.585 ± 50	+0.53	291 ± 5
			27.Haz.04	628	1.10 ± 0.03	2.5 ± 0.04	1.17 ± 0.04	3.900 ± 200	+1.06	163 ± 4
			12.Eki.04	649	1.19 ± 0.06	41.5 ± 1.9	1.19 ± 0.10	2.000 ± 200	-0.41	225 ± 15
Mudurnu	40°24'	30°59'	25.Mar.02	60	2.29 ± 0.01	90.3 ± 0.9	2.30 ± 0.03	38.1 ± 0.9	-3.13	4.510 ± 80
			10.Tem.02	135	2.13 ± 0.02	52.5 ± 0.6	2.15 ± 0.04	43.3 ± 1.2	-3.09	4.310 ± 80
			29.Eki.02	298	2.14 ± 0.03	102 ± 1	2.15 ± 0.04	25.5 ± 0.7	-4.07	7.500 ± 100
			09.Nis.03	214	2.20 ± 0.02	60.0 ± 0.6	2.22 ± 0.04	38.2 ± 0.9	-2.83	4.190 ± 70
			11.Tem.03	122	2.14 ± 0.12	85.7 ± 0.6	2.15 ± 0.12	79.2 ± 4.5	-2.49	2.300 ± 30
			17.Eki.03	315	2.17 ± 0.02	82.6 ± 0.8	2.18 ± 0.04	130 ± 3	-0.35	1.710 ± 30
			14.Nis.04	475	2.17 ± 0.02	93.4 ± 1.0	2.18 ± 0.04	85.6 ± 2.1	-2.35	2.050 ± 40
			27.Haz.04	562	2.16 ± 0.03	99.0 ± 1.2	2.17 ± 0.05	40.2 ± 1.2	-2.06	4.570 ± 90
			13.Eki.04	535	2.14 ± 0.04	33.6 ± 1.5	2.18 ± 0.15	41.4 ± 3.9	-2.18	4.300 ± 300



Çizelge 8.1. (devam ediyor).

Lokaliye	Enlem	Boylam	Örnk. tarihi	Cu boru #	(R/R <sub>A</sub> ) <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	(R/R <sub>A</sub> ) <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>3</sup> He (× 10 <sup>9</sup> )	δ <sup>13</sup> C	[ <sup>3</sup> He] <sub>c</sub> <sup>d</sup> (10 <sup>5</sup> cm <sup>3</sup> STP/g H <sub>2</sub> O)
Seben	40°25'	31°32'	25.Mar.02	57	0.65 ± 0.06	11.1 ± 0.1	0.62 ± 0.06	8.200 ± 800	-1.29	75.3 ± 1.4
			10.Tem.02	123	0.77 ± 0.08	8.0 ± 0.08	0.74 ± 0.08	6.800 ± 700	-1.69	90.8 ± 1.6
			29.Eki.02	296	0.73 ± 0.04	7.7 ± 0.05	0.69 ± 0.04	8.400 ± 500	+0.36	74.8 ± 1.1
			09.Nis.03	137	0.45 ± 0.05	22.9 ± 0.3	0.42 ± 0.04	11.000 ± 1.000	-1.45	86.9 ± 1.8
			11.Tem.03	347	0.73 ± 0.09	10.6 ± 0.1	0.71 ± 0.08	17.000 ± 2.000	-1.73	29.0 ± 0.5
			17.Eki.03	441	0.56 ± 0.03	12.5 ± 0.1	0.52 ± 0.03	10.400 ± 500	-0.081	78.5 ± 1.1
			14.Nis.04	467	0.62 ± 0.04	11.4 ± 0.1	0.59 ± 0.03	7.300 ± 400	+0.81	102 ± 2
			27.Haz.04	603	0.46 ± 0.04	42.5 ± 0.6	0.44 ± 0.04	17.000 ± 2.000	-0.38	58.2 ± 1.4
			13.Eki.04	480	0.56 ± 0.03	9.5 ± 0.4	0.51 ± 0.04	12.000 ± 1000	+0.59	78.1 ± 5.1
			26.Mar.02	74	0.69 ± 0.01	110 ± 1	0.69 ± 0.01	28.4 ± 0.7	+0.30	3.820 ± 60
			11.Tem.02	101	0.70 ± 0.01	117 ± 1	0.70 ± 0.01	30.7 ± 0.7	-0.94	3.550 ± 60
			30-Oct-02	253	0.70 ± 0.01	112 ± 1	0.70 ± 0.01	25.2 ± 0.7	-2.93	3.760 ± 60
			10.Nis.03	330	0.70 ± 0.01	112 ± 1	0.69 ± 0.01	44.0 ± 1.1	-0.73	2.800 ± 50
			12.Tem.03	319	0.69 ± 0.01	110 ± 1	0.68 ± 0.02	32.4 ± 0.9	+0.01	3.430 ± 60
15.Eki.03	452	0.69 ± 0.01	120 ± 1	0.69 ± 0.01	38.1 ± 1.1	+1.31	3.930 ± 80			
18.Nis.04	501	0.78 ± 0.01	11.9 ± 0.1	0.76 ± 0.02	36.4 ± 1.1	-2.40	2.630 ± 50			
25.Haz.04	617	0.68 ± 0.01	127 ± 2	0.68 ± 0.01	40.4 ± 1.2	-0.31	2.970 ± 60			
14.Eki.04	576	0.66 ± 0.01	39.3 ± 1.8	0.65 ± 0.005	41.0 ± 3.9	-0.20	2.900 ± 200			
Hamamözü	40°47'	35°01'								

Çizelge 8.1. (devam ediyor).

Lokalite	Enlem	Boylam	Örnek tarihi	Cu boru #	(R/R <sub>A</sub> ) <sub>M</sub> <sup>a</sup>	X <sup>b</sup>	(R/R <sub>A</sub> ) <sub>C</sub> <sup>c</sup>	CO <sub>2</sub> / <sup>3</sup> He (× 10 <sup>9</sup> )	δ <sup>13</sup> C	[ <sup>3</sup> He] <sub>c</sub> <sup>d</sup> (10 <sup>-6</sup> cm <sup>3</sup> STP/g H <sub>2</sub> O)	
Gözlek	40°24'	35°45'	27.Mar.02	45	0.29 ± 0.01	235 ± 3	0.29 ± 0.01	37.6 ± 1.6	-0.43	7.100 ± 100	
			12.Tem.02	147	0.28 ± 0.01	230 ± 3	0.28 ± 0.01	30.9 ± 1.0	-1.81	6.200 ± 100	
			31.Eki.02	255	0.29 ± 0.01	145 ± 0.1	0.28 ± 0.01	32.6 ± 1.2	-2.66	7.290 ± 70	
			10.Nis.03	111	0.32 ± 0.02	62.9 ± 0.5	0.31 ± 0.02	170 ± 10	+0.11	1.510 ± 20	
			12.Tem.03	309	0.32 ± 0.02	71.8 ± 0.5	0.31 ± 0.02	139 ± 9	-0.11	1.990 ± 30	
			18.Eki.03	359	0.31 ± 0.01	104 ± 1	0.30 ± 0.01	86.6 ± 2.8	-0.70	2.740 ± 60	
			15.Nis-04 <sup>f</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
			25.Haz.04	479	0.40 ± 0.01	25.9 ± 0.3	0.38 ± 0.01	105 ± 4	+1.07	1.940 ± 30	
			14.Eki.04	605	0.28 ± 0.01	16.7 ± 0.8	0.24 ± 0.02	410 ± 40	+3.85	1.690 ± 110	
			28-Mar-02 <sup>f</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
Kuruşunlu-Çavundur	40°50'	33°11'	13.Tem.02	153	0.94 ± 0.12	27.9 ± 1.2	0.94 ± 0.14	150.000 ± 20.000	-0.79	8.8 ± 0.6	
			01.Kas.02	229	1.08 ± 0.11	0.9 ± 0.009	[0.30 ± 0.03] <sup>g</sup>	>500.000 ± 80.000 <sup>h</sup>	+0.34	0.0 ± 0.0	
			11.Nis.03	282	0.88 ± 0.08	0.9 ± 0.01	[2.58 ± 0.24] <sup>g</sup>	>500.000 ± 80.000 <sup>h</sup>	+1.98	10.0 ± 1.2	
			13.Tem.03	326	0.85 ± 0.11	64.0 ± 5.2	0.85 ± 0.15	190.000 ± 40.000	+1.71	13.7 ± 1.6	
			19.Eki.03	388	1.12 ± 0.18	>4.9 ± 0.1 <sup>e</sup>	1.12 ± 0.18	500.000 ± 80.000	+1.98	3.8 ± 0.1	
			16.Nis.04	491	0.92 ± 0.08	5.9 ± 0.08	0.91 ± 0.08	220.000 ± 20.000	+1.77	10.1 ± 0.2	
			26.Haz.04	573	1.33 ± 0.15	>4.9 ± 0.1 <sup>e</sup>	1.33 ± 0.15	230.000 ± 30.000	+0.83	6.9 ± 0.1	
			15.Eki.04	561	0.96 ± 0.35	53.1 ± 8.3	0.96 ± 0.41	40.000 ± 20.000	-0.51	65.4 ± 14.4	

Çizelge 8.1. (devam ediyor).

Lokalite	Enlem	Boyfam	Örnek tarihi	Cu boru #	$(R/R_A)_M^a$	$X^b$	$(R/R_A)_C^c$	$CO_2^3He (\times 10^9)$	$\delta^{13}C$	$^{14}He/C$ ( $10^{-5} cm^3$ STP/g $H_2O$ )
Reşadiye	40°23'	37°20'	27.Mar.02	86	1.07 ± 0.12	6.3 ± 0.06	1.09 ± 0.13	27,000 ± 3,000	-1.72	32.1 ± 0.6
			12.Tem.02	160	1.00 ± 0.11	2.9 ± 0.03	1.00 ± 0.11	61,000 ± 7,000	-1.76	1,280 ± 20

a.  $(R/R_A)_M$  : örnekteki  $3He/4He$  oranının, atmosferdeki  $3He/4He$  oranına ( $1.4 \times 10^{-6}$ ) normalize edilmiş değeri

b.  $X = (4He/20Ne)_{örnek} / (4He/20Ne)_{atm} \times \delta Ne/\delta He$ ,  $\delta$ : Bunsen katsayıları (Weiss, 1970) (yeraltısuyu sıcaklığı 15 °C alınmıştır)

c.  $(R/R_A)_C$  : atmosferik kontaminasyon için düzeltilmiş He-izotop bileşimi =  $[(R_M/R_A \times X) - 1] / (X - 1)$

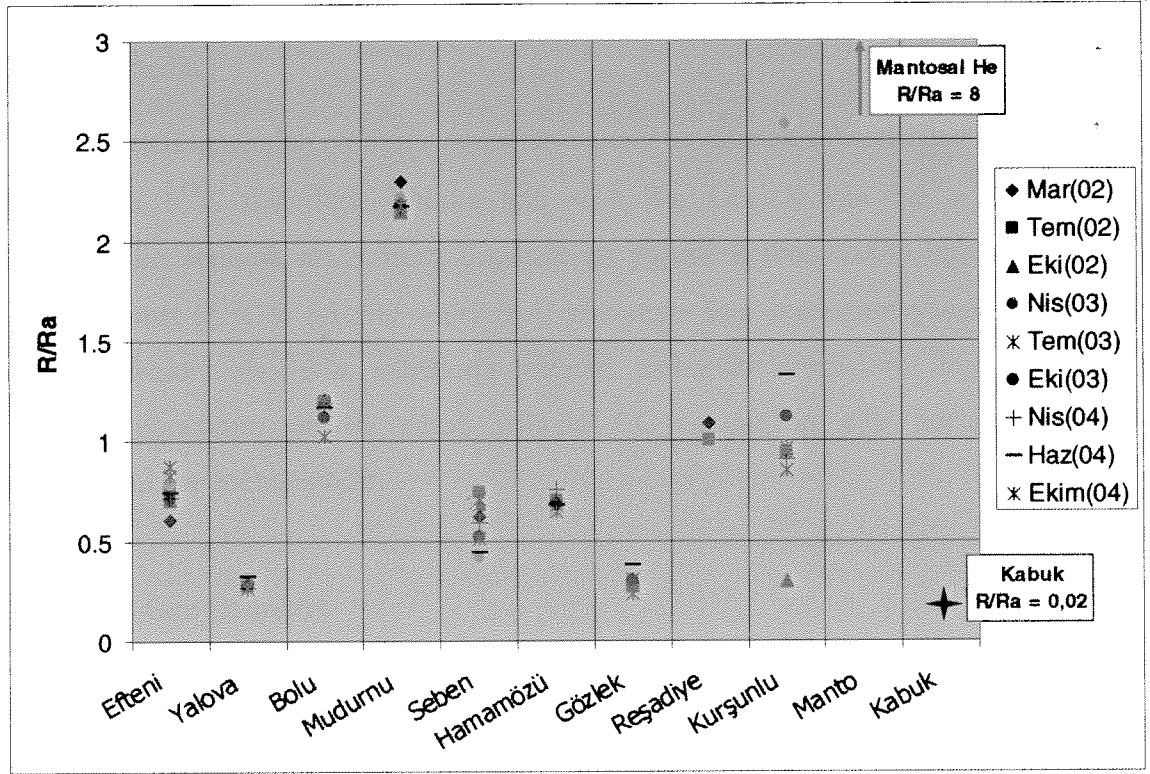
d. He derişimleri atmosferik kontaminasyon için düzeltilmiştir.  $[He]_C = ([He]_M \times (X - 1)) / X$

e. Örnek atmosferik bileşen içermemektedir

f. Gözlek (Nisan 15, 2004'de örneklenen) ve Kurşunlu-Çavundur (Mart 28, 2002'de örneklenen) sahalarından toplanan bütün Cu tüp örnekleri sızıntı yapmıştır

g. Düşük X değerinden dolayı güvenilirmez sayı

h. Örnek sadece atmosferik He içeriyor



Şekil 8.1. Jeotermal akışkanların helyum bileşimleri ( $R = {}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ ,  $R_a = ({}^3\text{He}/{}^4\text{He})_{\text{atm}}$ ).

## 8.2. Karbon İzotop Bileşimleri

Jeotermal akışkanların  $\text{CO}_2$  gaz fazına ait karbon izotop bileşimleri,  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinin sahalara göre dağılımını sergileyecek biçimde, Şekil 8.3'de sunulmaktadır. Bu şekilden görüleceği üzere değerler (Yalova, Gözlek ve Kurşunlu sahaları hariç) genelde negatif olup -4.5 ‰'e kadar inmektedir. Manto kökenli karbonun -6 ‰, karbonatlı kayaçların ise 0 ‰ civarındaki  $\delta^{13}\text{C}$  değerleriyle karakterize olması nedeniyle (Bkz. Bölüm 2), Yalova ve Gözlek haricindeki sahalardan elde edilen değer aralığı, manto ve kabuk bileşenleri arasındaki bir karışımı yansıtır gözükmemektedir. Ancak, organik (sedimanter) kökenli karbon'un -30 ‰'e varabilen  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerine sahip olması, sözkonusu manto bileşeninin sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanımamakta, ileride (Bölüm 8.3) değinileceği üzere,  $\delta^{13}\text{C}$  ile  $\text{CO}_2/\text{He}$  gaz oranlarının bütünleşik kullanımını gerektirmektedir.

Kurşunlu'da üretim kuyusundan alınan su örneğindeki pozitif  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinin ( $\approx 1 - 2$  ‰), sahada da gözlemlendiği üzere, kuyudaki kabuklaşma problemi ile ilişkili olabileceği gözardı edilmemelidir. Bu lokalitede, banyolara verilmek üzere kuyudan fazla miktarda su çekiliyor

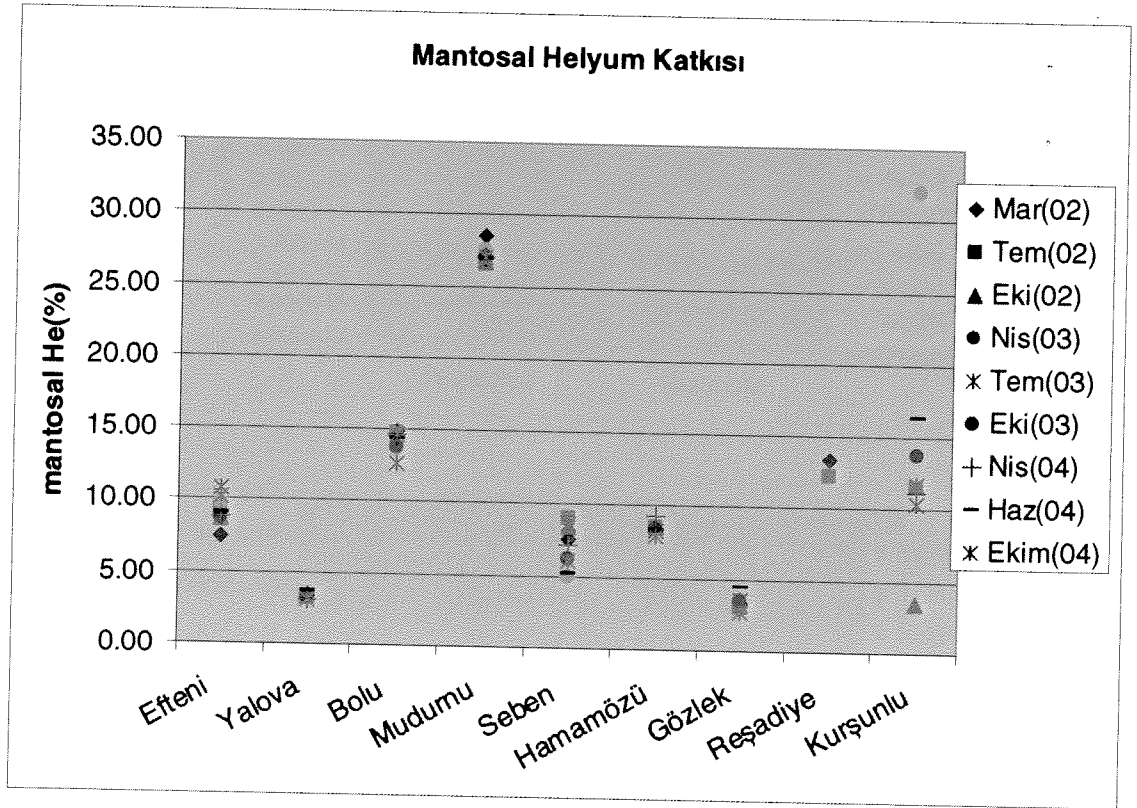
olması, kuyudaki basıncın düşmesine ve (adyatabatik) kaynama sürecine yol açmakta, bu süreç ile akışkandan buhar kaybı olmakta ve artık sıvı ağır karbon izotopunca zenginleşmektedir.

$\delta^{13}\text{C}$  değerleri açısından en ilginç sonuçlar Yalova ve Gözlek sahalarından elde edilmiştir. Bu sahalarda  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri, Yalova için  $\approx 6 \text{ ‰}$ , Gözlek için ise  $\approx 4 \text{ ‰}$ 'e kadar yükselmektedir. Jeolojik malzemeler üzerinde en yüksek karbon-izotop bileşimlerini veren denizel karbonat [ $\delta^{13}\text{C} = (-1 \text{ ‰}) - (+2 \text{ ‰})$ ] kökeniyle bile açıklanamayacak kadar yüksek olan bu değerler, olasılıkla, sahalarda varolan karbonatlı kayaların termo-metamorfik bozuşmaya uğradığını ve bu süreç yoluyla  $\text{CO}_2$  gazındaki ağır karbon izotopunun zenginleştiğini işaret etmektedir.

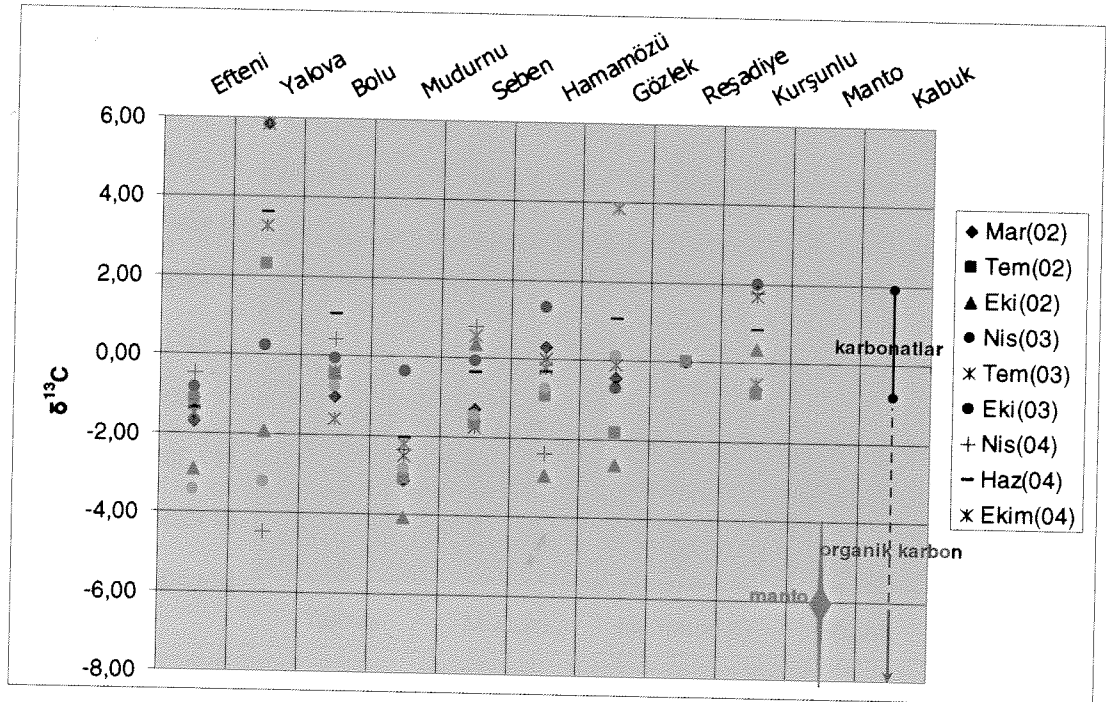
### 8.3. $\text{CO}_2/\text{He}$ Gaz Oranları

Jeotermal akışkanların  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  gaz oranlarının sahalara göre dağılımı Şekil 8.4'de gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, Kurşunlu ve Reşadiye sahaları en yüksek  $\text{CO}_2$  gaz içeriğine sahip olup,  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  oranları  $10^{13}$ - $10^{14}$  arasında değişmektedir. Bu sahaları, Efteni, Seben ve Bolu sahaları takip etmekte ( $\text{CO}_2/\text{He} = 10^{11}$ - $10^{13}$ ), en düşük değerler ise, Gözlek, Hamamözü, Mudurnu ve Yalova'da ( $\text{CO}_2/\text{He} = 10^9$ - $10^{11}$ ) gözlenmektedir.

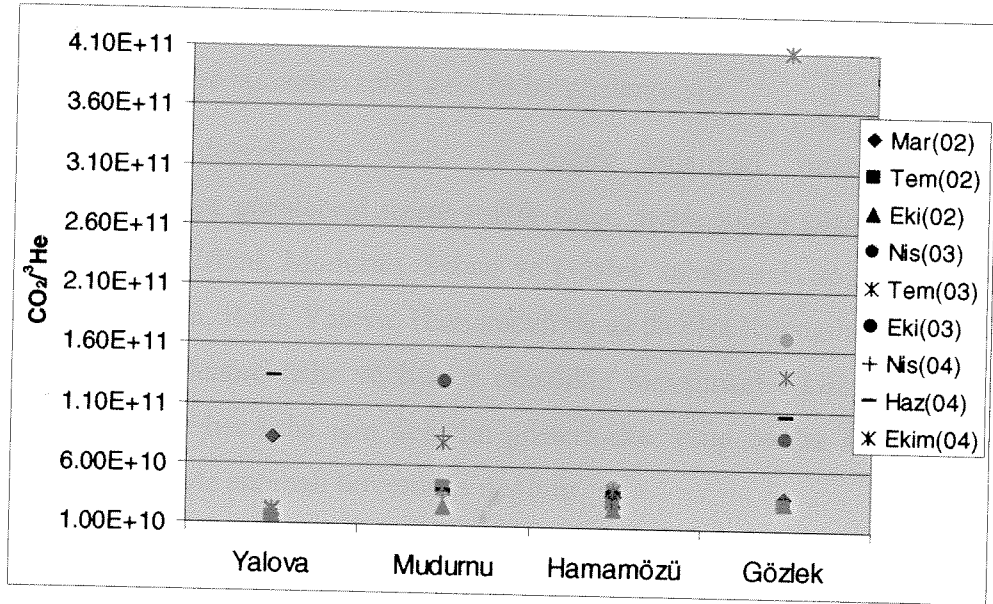
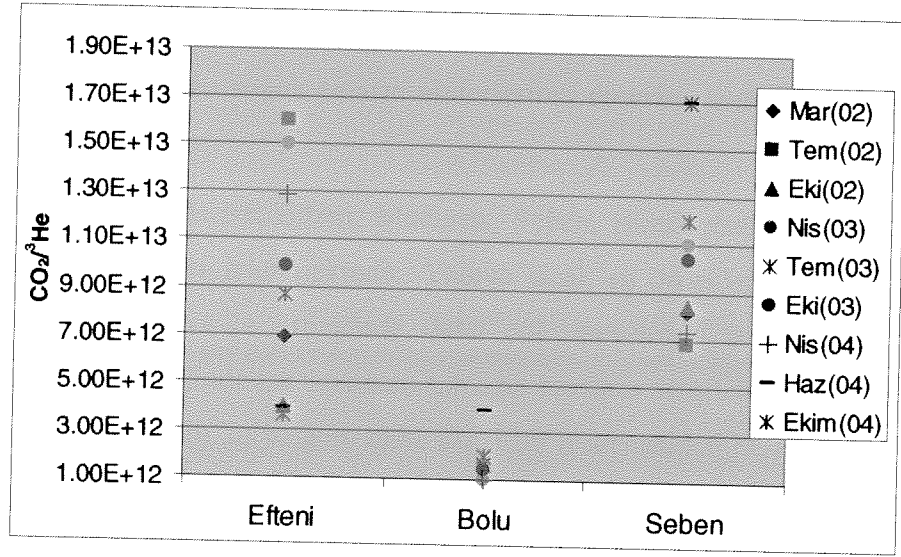
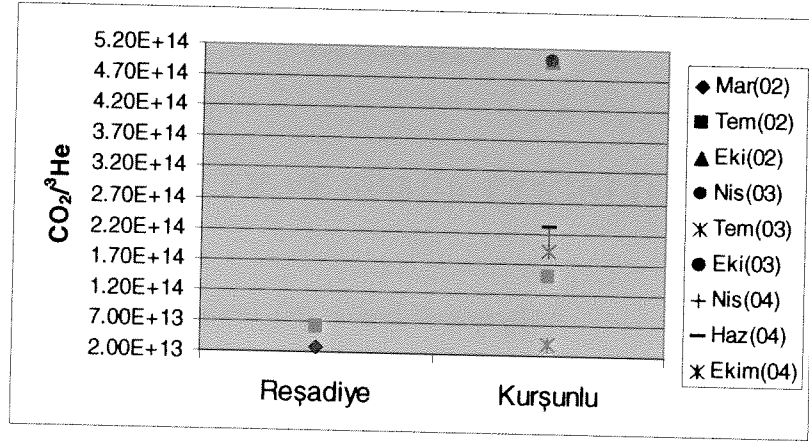
$\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  oranları, manto ve kabuk rezervuarlarının kendilerine has değerlere sahip olması nedeniyle, gazların kaynak bölgelerini belirlemede son derece hassas parametrelerdir. Manto rezervuarı tipik olarak  $\text{CO}_2/{}^3\text{He} = 10^9$  değeri ile karakterize olurken, kabuk rezervuarında oranlar çok daha yüksek olmakta ve  $\text{CO}_2/{}^3\text{He} = 10^{12} - 10^{13}$  değerlerine ulaşmaktadır. Bu bağlamda, Kurşunlu'dan elde edilen  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  oranlarının, kabuk için karakteristik değerlerin bile üzerine çıkması, daha önce sözü edilen kabuklaşma problemiyle (Bkz. Bölüm 8.2) açıklanabilmektedir. Düşük oranların gözleendiği Gözlek, Hamamözü, Mudurnu ve Yalova sahalarındaki gaz çıkışlarında ise manto bileşeninin varlığı ortaya çıkmaktadır. Özellikle Mudurnu sahasında düşük  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  oranlarının ( $\approx 4 \cdot 10^{10}$ ), hayli düşük  $\delta^{13}\text{C}$  değerleriyle ( $\approx 3 \text{ ‰}$ ) ve diğer sahalara oranla 2-3 kat yüksek  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  oranları ( $R/Ra \approx 2$ ) ile eşlenmesi (bu savı kuvvetle desteklemesi açısından) dikkat çekicidir.



Şekil 8.2. Jeotermal sahalardaki mantosal-He bileşeni (%).



Şekil 8.3. Jeotermal akışkanların CO<sub>2</sub> gaz fazına ait karbon izotop bileşimleri.



Şekil 8.4. Jeotermal akışkanların CO<sub>2</sub><sup>3</sup>/He gaz oranlarının sahalara göre dağılımı.

## BÖLÜM 9

### ZAMANSAL DEĞİŞİMLER VE SİSMİK ETKİNLİKLERE İLİŞKİLERİ

#### 9.1. Sıcaklık ve pH Değerlerindeki Zamansal Değişimler

KAFZ sularının sıcaklıklarındaki zamansal değişimler Şekil 9.1'de gösterilmektedir. Genelde bütün soğuk su örneklerinde yazın artan ve kışın azalan sıcaklıklar görülmektedir. Seben soğuk suyunda ise bu yönde değişimler kaydedilmemiştir ve bu da Seben dışındaki bütün sahalardan örneklenen soğuk suların akiferlerinin mevsimsel değişimlerden daha çok etkilendiğini göstermektedir.

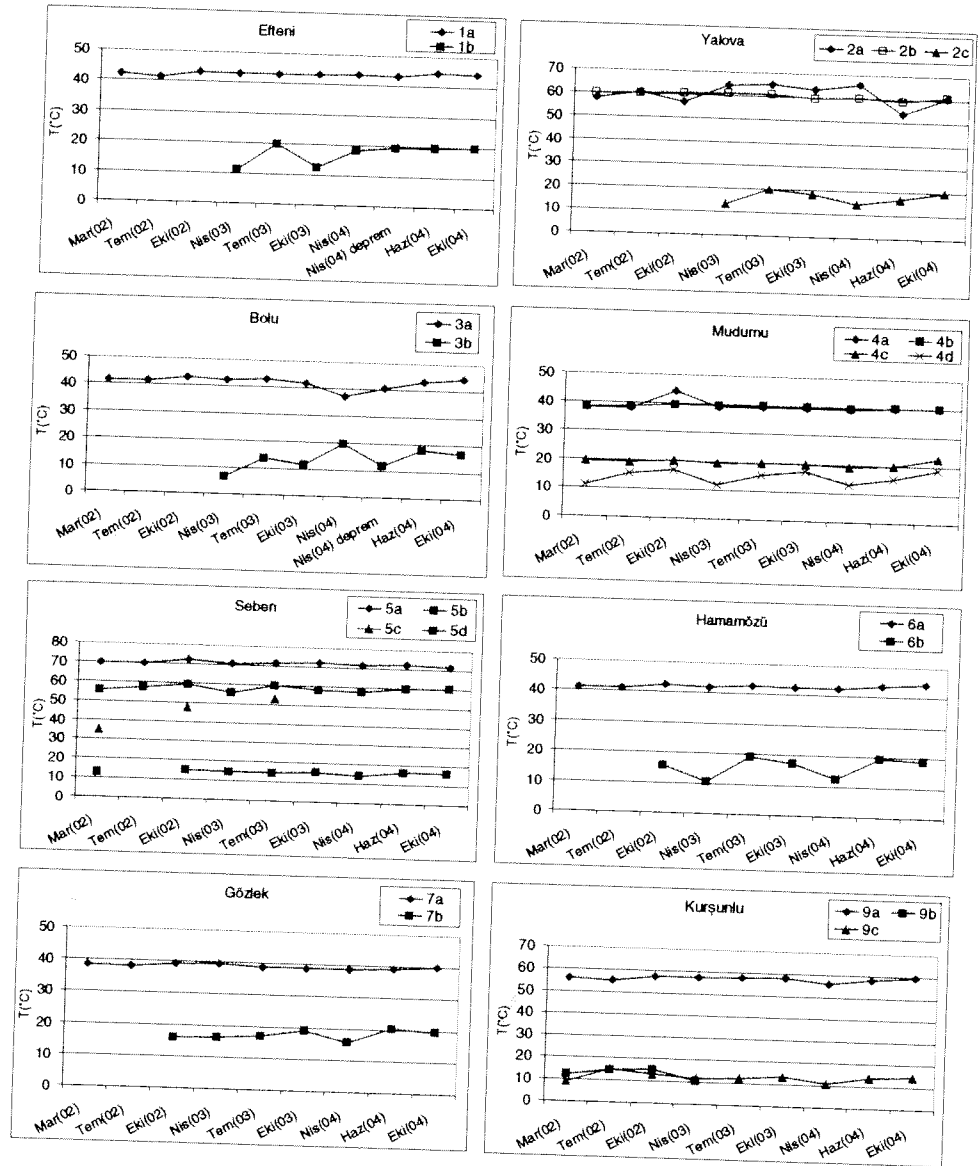
Sıcak sulara bakıldığında ise, Efteni, Mudurnu, Seben, Hamamözü, Gözlek ve Kurşunlu sahalarında sabit yönelimler izlenmektedir. Yalova sıcak su örneklerinde (2a, 2b) iki ayrı değişim izlenmiştir. Yalova-2a örneğinde daha çok mevsimsel bazda artış ve azalma izlenirken, Yalova-2b örneğinde ise tamamen sabit bir karakter sergilenmektedir. Bu farklılık, büyük olasılıkla 2b örneğinin 2a'ya göre daha derin bir rezervuardan beslendiğini ve böylece mevsimsel değişimlerden daha az etkilendiğini göstermektedir. Diğer bir farklılık ise Mudurnu sıcak sularında gözlenmiştir. Mudurnu-4a örneğinde sadece Ekim 2002 örnekleme döneminde bir artış gözlenmiş ve diğer dönemlerde ise sabit bir yönelim izlenmiştir. Mudurnu-4b örneğinde ise tamamen sabit sıcaklıklar gözlenmiştir.

Şekil 9.2'de pH değerlerinin sıcak ve soğuk sulardaki zamansal değişimleri gösterilmektedir. Şekilden görüleceği üzere soğuk sular, sıcak sulara göre daha yüksek pH değerlerine sahiptirler. Efteni, Mudurnu, Seben ve Gözlek sahalarında soğuk sular yaklaşık sabit değerler gösterirken, Bolu, Yalova, Hamamözü ve az da olsa Kurşunlu sahalarında daha belirgin değişimler gözlenmektedir ve bunlar olasılıkla mevsimsel etkilere bağlıdır. Sıcak suların pH değerleri ise her saha için değişim göstermekte olup bunlar kimi bölgeler için önem teşkil etse de yine de anomali boyutunda değildir.

Efteni'de Temmuz 2002'de pH'da artış gözlenmiştir ve bu artış büyük olasılıkla sudan CO<sub>2</sub> gazının kaçmasından ortaya çıkmıştır. Buna ilişkin olarak, aynı dönemde, Efteni jeotermal sularının gaz fazının CO<sub>2</sub>/He oranlarında artış gözlenmiştir (Bkz. Bölüm 9.5). CO<sub>2</sub> kaçıışı tam olarak açıklanamasa da, bu anomali 14 Temmuz 2002 Yığılca ve Akçakoca (M:3.1

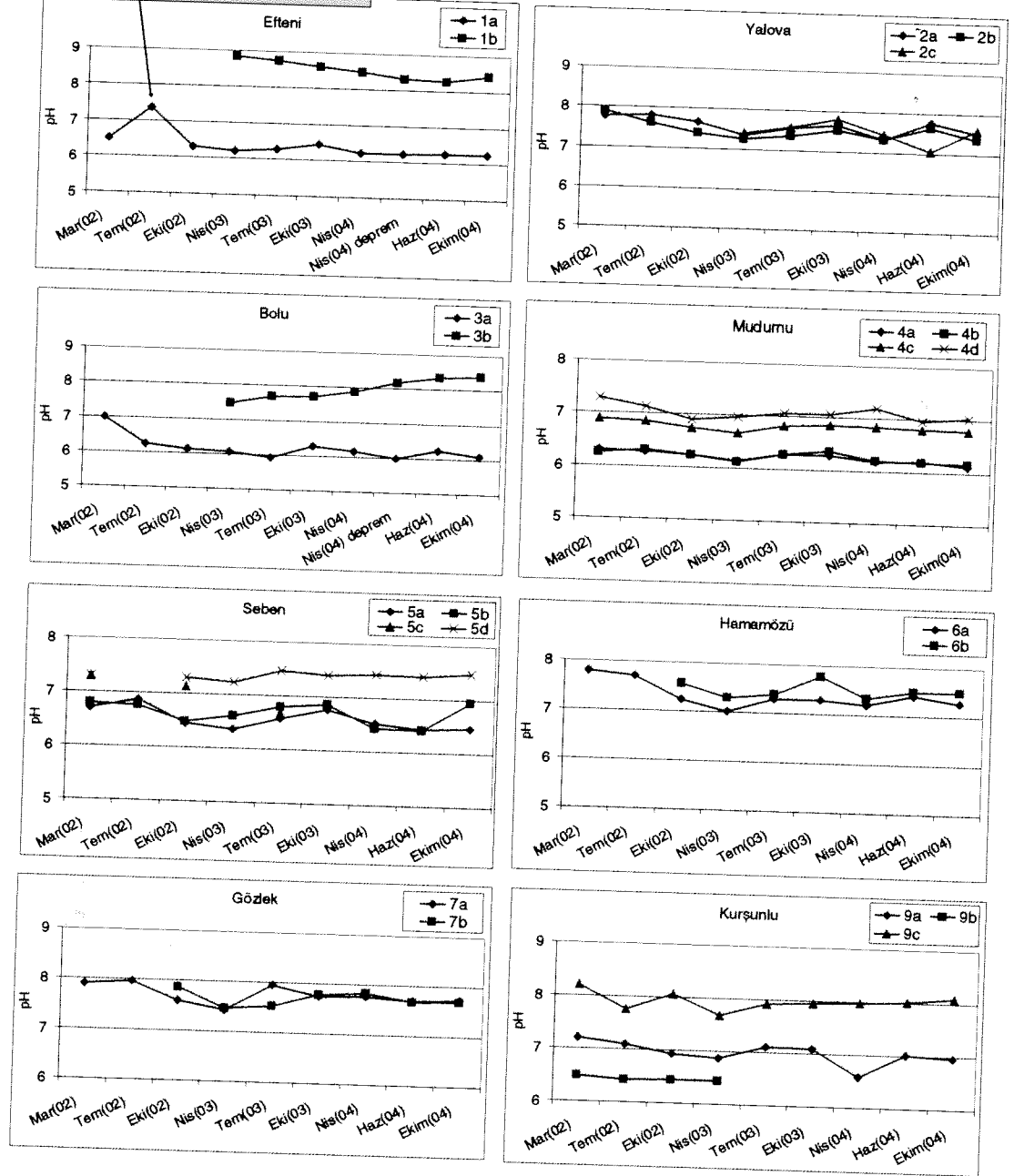


ve 2.6) ve 15 Temmuz 2002 Yığılca (M:2.8) depremleri ile ilişkilendirilebilir. Bu bağlamda, sözkonusu depremlerin, derin seviyelerden CO<sub>2</sub> gaz kaçışını tetiklediği, bu gazın sudaki CO<sub>2</sub> miktarını arttırdığı ve dolayısıyla da sudaki CO<sub>2</sub> çözünürlüğünü azaltarak sudan gaz kaçışına neden olduğu düşünülmektedir. Mart 2002'de ise Bolu sıcak suyunun pH değerinde, diğer dönemlere oranla, 1.2 faktörlük bir artış dikkat çekmektedir. Bu dönemde CO<sub>2</sub> gaz değerlerinde herhangi bir anomali tespit edilemediğinden, bu artış (sıcak sulara oranla daha yüksek pH değerine sahip olan) soğuk sularla karışım sürecine işaret etmekte ve bu karışım sürecinin 23 Mart 2002 Marmara Denizi depremi (M:4.7) ile tetiklenmiş olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 9.1. Bütün sahaların 9 dönemi kapsayan sıcaklıklarının zamansal değişim grafiği.

14.7.2002 (Yığılca-Akçakoca)-Düzce M:3.1-2.6  
15.7.2002 Yığılca-Düzce M:2.8



Şekil 9.2. Bütün sahaların 9 dönemi kapsayan pH değerlerinin zamansal değişim grafiği.

## 9.2. Kimyasal Bileşimlerin Zamansal Değişimleri

Kimyasal bileşimlerin zamansal değişimleri Şekil 9.3 (a,b)'de gösterilmektedir. Sıcak ve soğuk sulara ilişkin en çok dikkat çeken özellikler aşağıda özetlenmiştir.

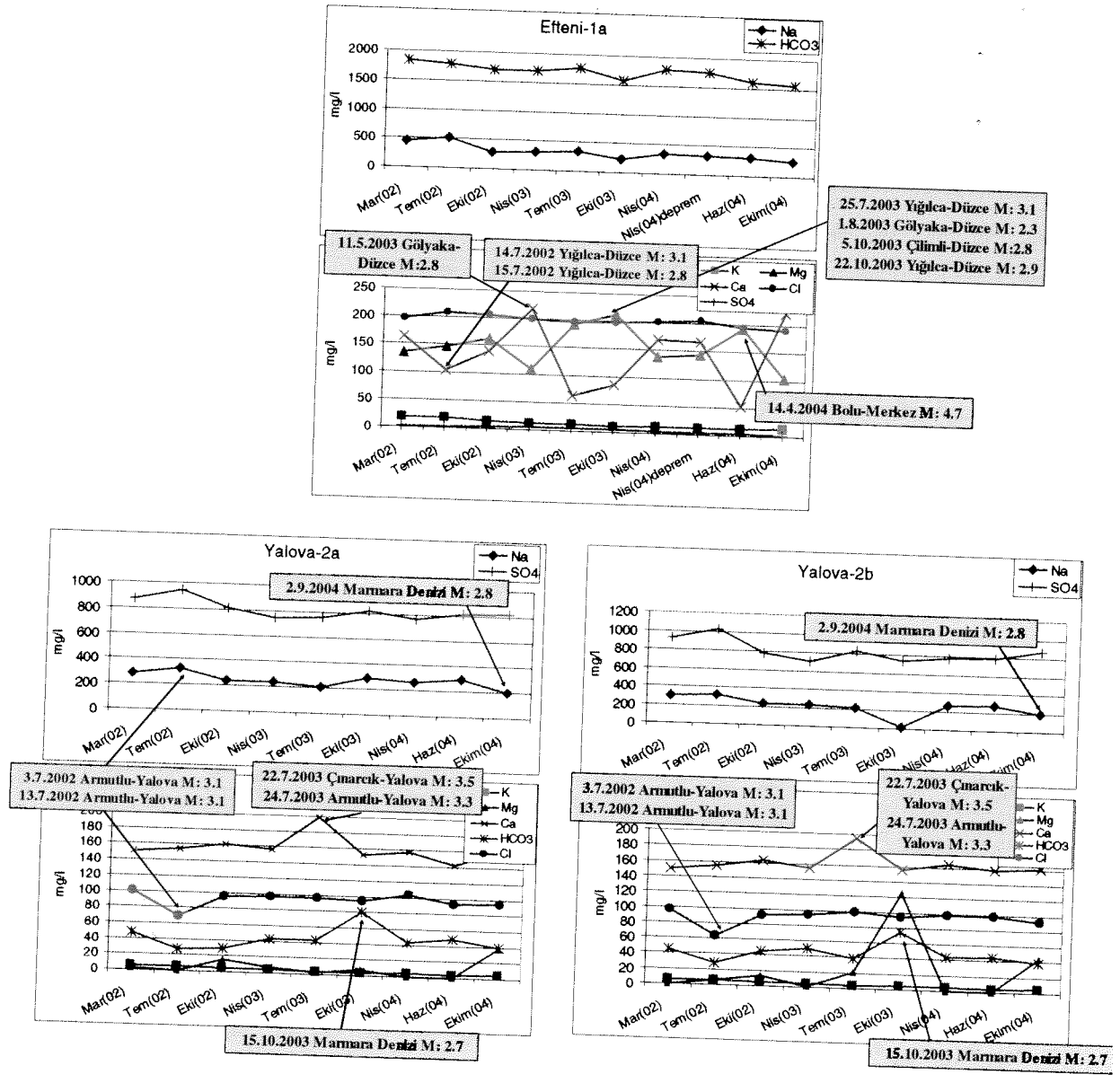
- Efteni sıcak suyunun Ca değerinde Temmuz 2002'de (diğer dönemlere oranla) yaklaşık 1.5 katlık düşüş gözlenmiştir. Bu değişim yine aynı dönemde Efteni sıcak suundaki pH artışı (Şekil 9.2) ile eşleşmektedir. Sulardaki pH artışı kalsit çözünürlüğünde azalmaya neden olduğundan, kalsiyumdaki bu düşüş, pH artışı ile doğru orantılıdır. Bu değişimler aynı zamanda (9.5 no.lu bölümde görüleceği gibi) CO<sub>2</sub>/He gaz oranındaki artışlarla eşleşmektedir ve bütün bu değişimler 14 ve 15 Temmuz 2002 Yığılca-Düzce depremleri (M: 2.8-3.1) ile deneşmektedir.
- Efteni'de Nisan 2003'de ve Yalova, Hamamözü ve Gözlek sahalarında Temmuz 2003'de yaklaşık 1.5 katlık Ca artışları kaydedilmiştir. Bu sahaların sıcak sularında Na ana katyon, soğuk sularda ise Ca ana katyon olduğundan, sözü edilen sahalardaki Ca artışları, sıcak suların soğuk sular ile karıştığına işaret etmektedir. Söz konusu karışım süreçleri, 22 Temmuz 2003 (M: 3.5) ve 24 Temmuz 2003 (M: 3.3) Yalova merkez üslü depremler ile 11 Mayıs 2003 (M: 2.8) Gölyaka-Düzce merkez üslü depremlerin öncel belirtisi gibi gözükmektedir. Benzer şekilde, Hamamözü ve Gözlek'te Temmuz 2003 döneminde kaydedilen Ca anomalileri, 26 Haziran 2003 (M: 3.4) Gümüşhacıköy-Amasya depremi ile deneşmektedir.
- Yalova sahasında Temmuz 2002'de sıcak suyun Na içeriğindeki artış, aynı dönemde belirgin bir Cl düşüşüyle eşlenmesi dikkat çekicidir. Diğer iyonlara oranla, kayaç-akışkan etkileşimi sürecinden etkilenmeyen ve genellikle izleyici nitelikte bir iyon olduğu kabul edilen Cl iyonundaki bu düşüş, söz konusu dönemde (Temmuz 2002) bir sıcak-soğuk su karışımı sürecinin varlığını işaret etmekte ve bu karışım sürecinin, 3 Temmuz 2002 ve 13 Temmuz 2002 tarihlerinde, merkez üssü Armutlu-Yalova ve altesel büyüklüğü M: 3.1 olan sismik etkinlikler (Bkz. Çizelge 3.1) tarafından tetiklenmiş olabileceğini düşündürmektedir. Yalova sahasındaki örnekleme tarihinin 9 Temmuz 2002 olması itibariyle, adı geçen sismik etkinliklerin hangisinin söz konusu değişimleri tetiklemeye neden olduğu (bir başka deyişle, kimyasal bileşimlerdeki değişimlerin sismik etkinliğin öncel bir belirtisi mi olduğu, yoksa bu etkinlikleri takiben mi geliştiği) konusunda yorum yapmak mümkün değildir. Yalova sıcak sularına ilişkin olarak dikkat çeken bir diğer husus, Mart ve Temmuz 2002

dönemlerindeki SO<sub>4</sub> içeriklerinin diğer dönemlere oranla hayli yüksek oluşudur. Daha önce 5 no.lu Bölümde açıklanmış olduğu üzere, Mart ve Temmuz 2002 dönemlerine ait analizlerin ODTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında, diğer dönem analizlerinin ise DSI laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olması nedeniyle, sözkonusu SO<sub>4</sub> içeriklerinde gözlenen bu yüksek değerlerin analiz tekniklerinin farklı oluşundan kaynaklanmış olabileceği düşünülmekte ve sismik etkinlikler konusunda ilişkilendirme yapılması sakıncalı bulunmaktadır.

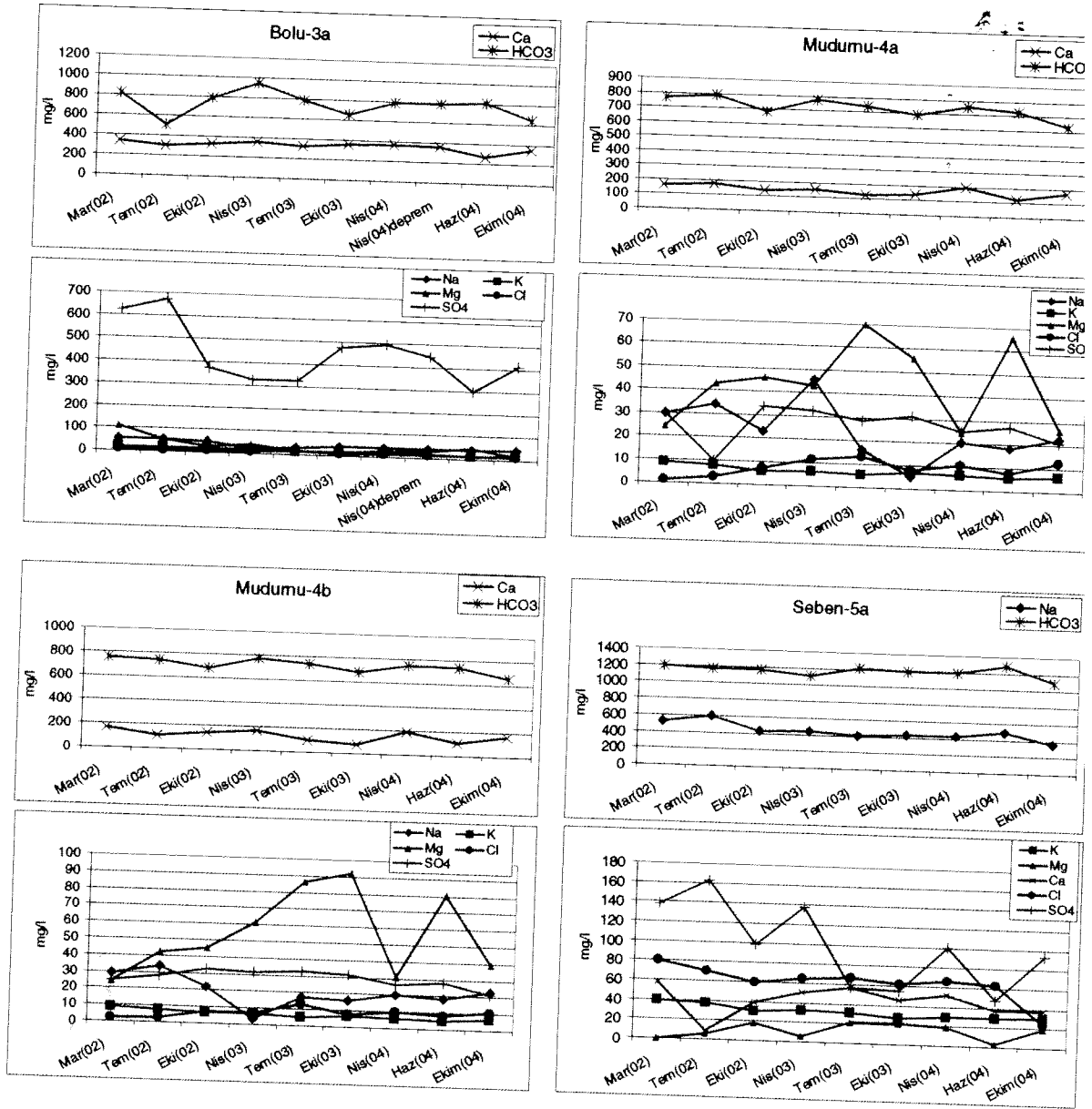
- Mart ve Temmuz 2002'de Bolu-3a ve Seben 5a-5b sıcak sularında yüksek SO<sub>4</sub> değerleri gözlenmiştir. Bu yüksek değerlerin, yukarıda bahsedilmiş olan analiz tekniklerindeki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Ancak, ileride 9.4 no.lu bölümde değinileceği gibi, SO<sub>4</sub> içeriğindeki bu artışlar aynı dönemlerde trityum içeriklerindeki artışlarla eşlenmektedir.
- Kurşunlu 9b no.lu örneğin Cl içeriğinde Mart 2002 döneminden itibaren izlenen sürekli düşüş (210 mg/l → 82 mg/l) kayda değerdir. Bu durum, Mart 2002 döneminde bir anomali olduğu ve bileşimlerin zaman içinde eski değerlerine döndüğü şeklinde yorumlanabileceği gibi, Mart 2002'den sonra sismik etkinliklerce tetiklenen sıcak-soğuk su karışım sürecine ve bu karışımda, soğuk su oranının zaman içinde arttığına işaret edebilir. Çizelge 3.1' den (Bkz. Bölüm 3) görüleceği üzere, Çankırı'da sismik etkinliklerin Nisan 2002 itibariyle yoğunlaştığı ve aletsel büyüklüklerin de bu dönem itibariyle arttığı göz önüne alındığında, yukarıda belirtilen 2. alternatifin daha olası olduğu düşünülmektedir.
- Efteni sıcak suyunda (1a), Temmuz ve Ekim 2003 ile Haziran 2004 dönemlerinde Mg içeriklerinde artış, Ca içeriklerinde ise düşüş belirlenmiştir. Ekim 2003 döneminde soğuk su örneğininin (1b) Na derişiminde de artış gözlenmektedir. Efteni sıcak suyu genelde Na-HCO<sub>3</sub>, soğuk suyu da Mg-HCO<sub>3</sub> karakterinde olduğundan, sıcak sudaki Mg artışı ve soğuk sudaki Na artışı karışım süreci sonucu gerçekleşmiş olabilir. Ayrıca Ekim 2003'de hem 1a sıcak suyunun hem de 1b soğuk suyunun Mg-HCO<sub>3</sub> karakteri göstermeleri yine karışımı destekleyici niteliktedir. Sözü edilen bu karışım, sıcak sudaki Mg artışının Temmuz 2003 dönemi itibariyle gözlenmeye başlaması ve su tipinin zaman içinde Na-HCO<sub>3</sub> karakterinden Mg-HCO<sub>3</sub> karakterine geçiş göstermesi (Çizelge 6.2) nedeniyle, Temmuz 2003'de başlamış olabilir. Temmuz 2003 ve Ekim 2003 dönemleri için not edilen bu karışım süreçleri, 25 Temmuz 2003 Yığılca-Düzce (M: 4.0-3.1), 1 Ağustos 2003 Gölyaka-Düzce (M: 2.3), 5 Ekim 2003 Çilimli-Düzce

(M: 2.8) ve 22 Ekim 2003 Yığılca-Düzce (M: 2.9) depremleri ile denemektedir. Haziran 2004 döneminde sıcak su örneğinde izlenen Mg artışı ve bunu eşleyen Ca düşüşü ise 14 Nisan 2004 tarihli Bolu depremi (M: 4.7) ile tetiklenmiş olabilir.

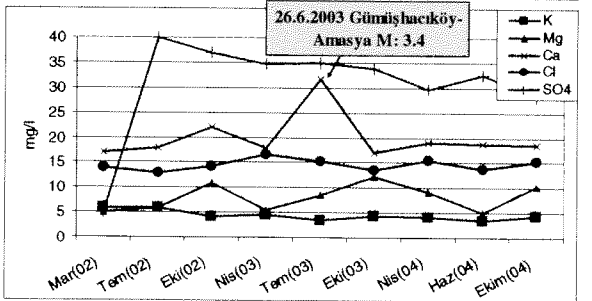
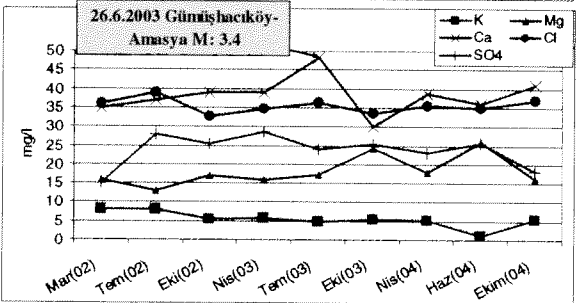
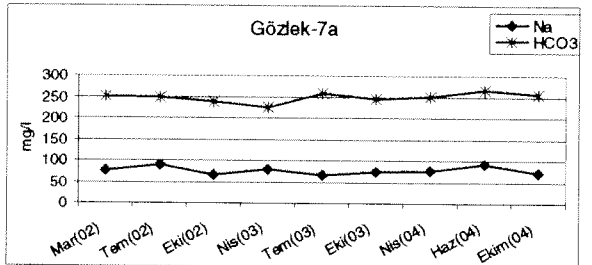
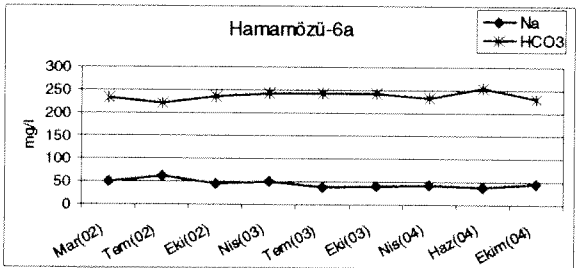
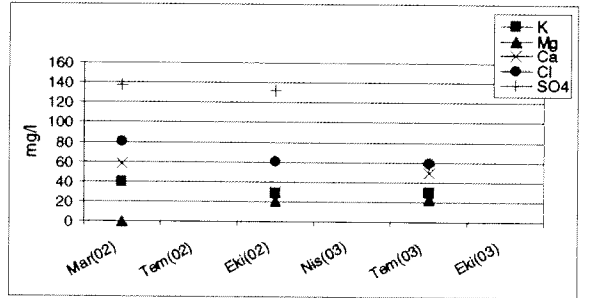
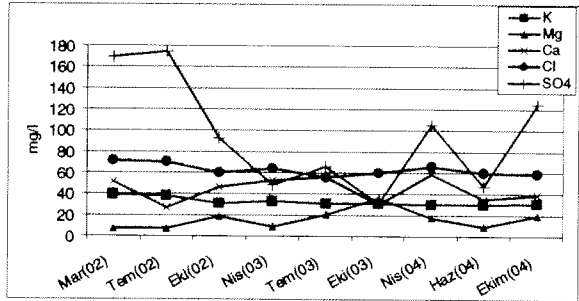
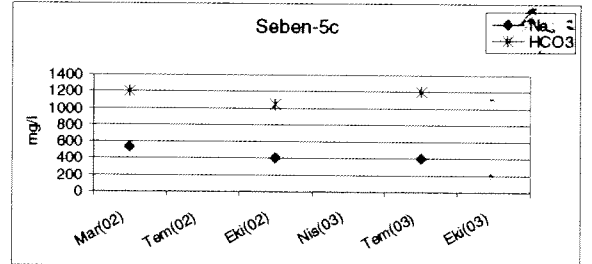
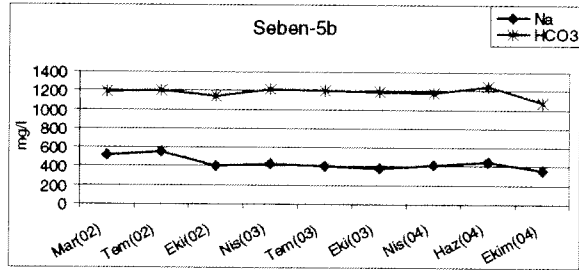
- Yalova sahasında Ekim 2003'de sıcak suyun  $\text{HCO}_3$  değerindeki artış karışıma işaret edebilir niteliktedir. Yalova sıcak suları  $\text{Na-SO}_4$ , soğuk suları da  $\text{Ca-HCO}_3$  karakterinde olduğundan, 2a no.lu sıcak su örneğinde gözlenen  $\text{HCO}_3$  artışı ve bununla birlikte 2c no.lu soğuk su örneğinde gözlenen Na artışı ve Ca düşüşü, olası bir karışıma işaret etmektedir. Bu karışımı destekleyici diğer veriler ise 2c no.lu örneğin sıcaklığında kış dönemi olmasına rağmen gözlenen artış, 2a no.lu örneğin sıcaklığında gözlenen düşüştür (Şekil 9.1). Ayrıca, 2a no.lu örneğin pH değerinde de, bu dönemde gene bir artış kaydedilmiştir (Şekil 9.2). Söz konusu değişimlere yol açan karışım sürecinin, 15 Ekim 2003 tarihli ve Marmara Denizi merkez üslü (M:2.7) deprem tarafından tetiklenmiş olabileceği düşünülmektedir.
- Yalova soğuk su örneğinde (örnek no. 2c) Haziran 2004'den Ekim 2004'e doğru gözlenen  $\text{SO}_4$  artışı ve  $\text{HCO}_3$  düşüşü, Yalova sıcak suyunun  $\text{Na-SO}_4$ , soğuk suyunun ise  $\text{Ca-HCO}_3$  karakterinde olması nedeniyle, gene bir karışım sürecini işaret etmekte ve bu olasılık Yalova sıcak suyunda (örnek no. 2a) gözlenen Na düşüşü ile desteklenmektedir. Bu iki dönem arasında gerçekleşmiş olan sıcak-soğuk su karışım süreçleri, 2 Eylül 2004 Marmara Denizi depremi (M: 2.8) ile denemektedir.
- Efteni ve Yalova sahalarındaki soğuk su bileşimlerinde izlenen ve olasılıkla sıcak sular ile karışım sonucu gelişen değişimler haricinde, Kurşunlu, Mudurnu ve az bir oranda da Reşadiye sahalarında da soğuk su bileşimlerinde değişimler gözlenmektedir. Ancak bu değişimler, olasılıkla mevsimsel yağış ve/veya evaporasyon süreçlerindeki değişimleri yansıtmaktadır.



Şekil 9.3.a. Sıcak suların iyon içeriklerinin zamansal değişimleri.

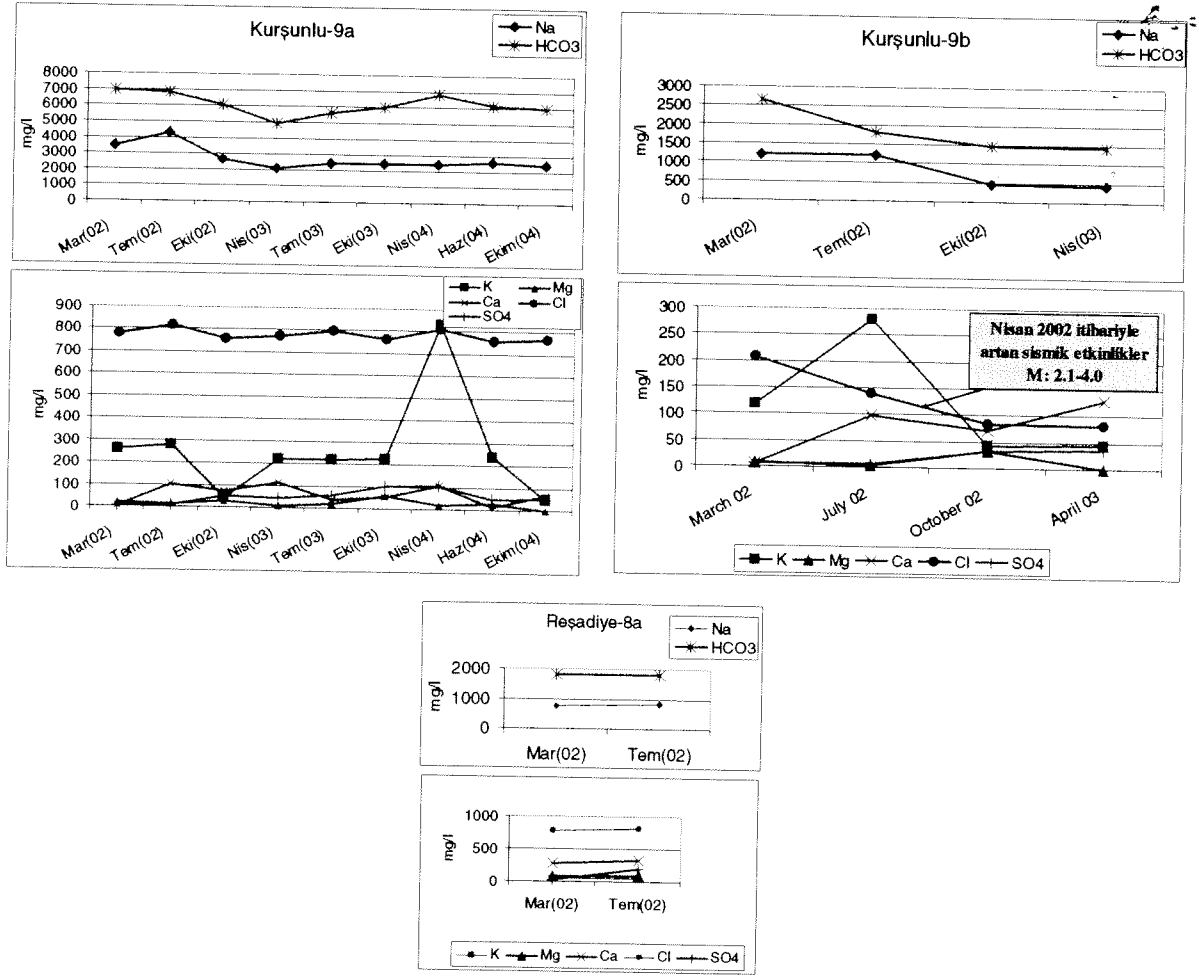


Şekil 9.3. a. (devam ediyor).

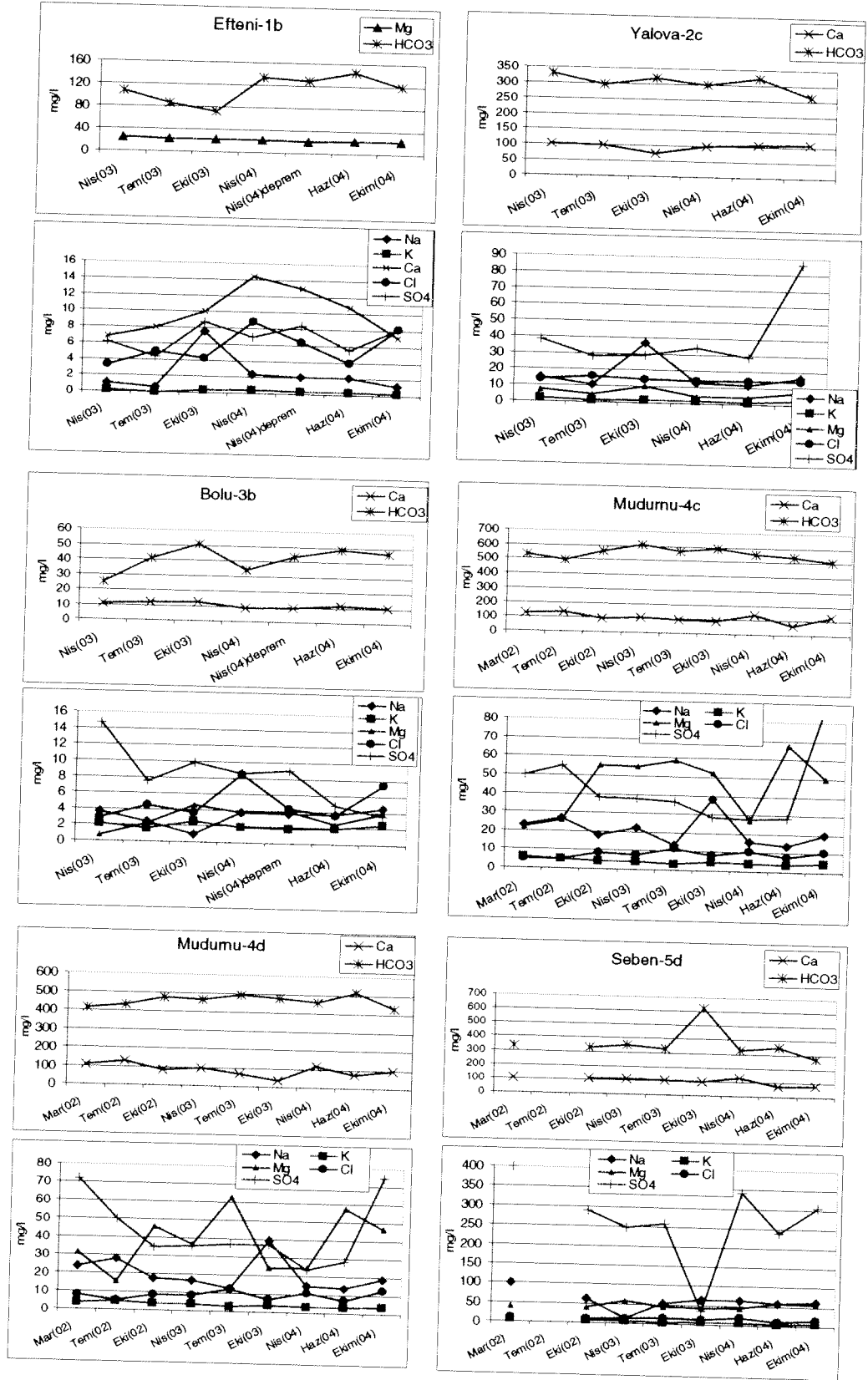


Şekil 9.3. a. (devam ediyor).

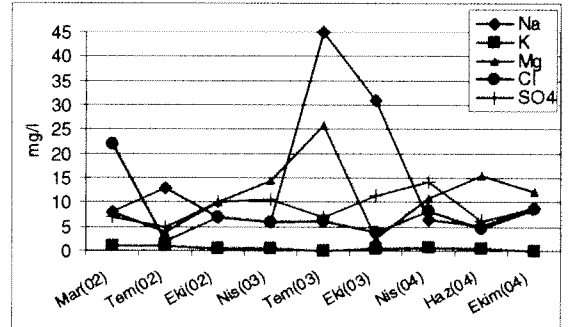
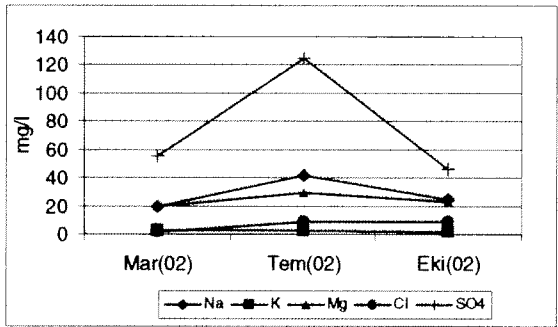
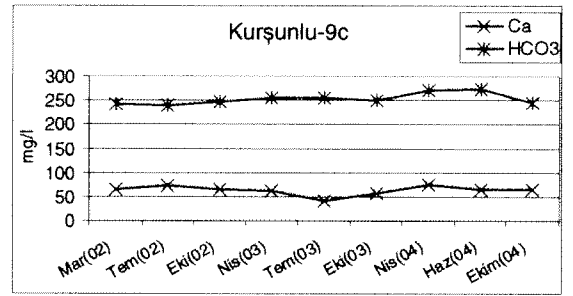
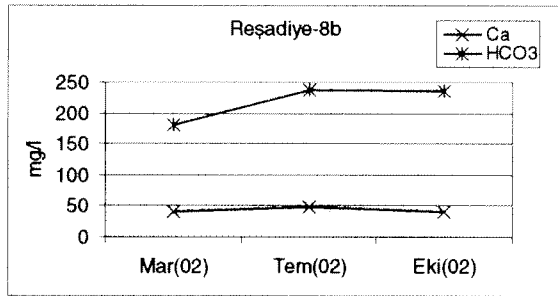
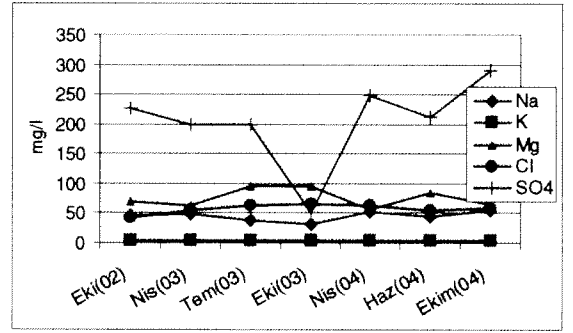
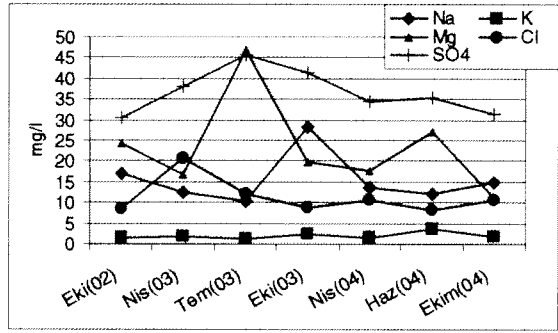
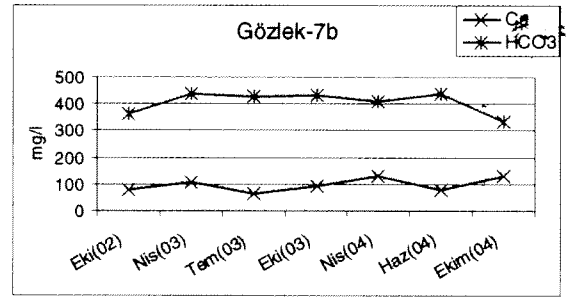
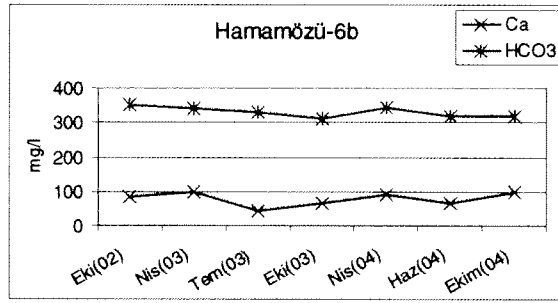




Şekil 9.3. a. (devam ediyor).



Şekil 9.3.b. Soğuk suların iyon içeriklerinin zamansal değişimleri.



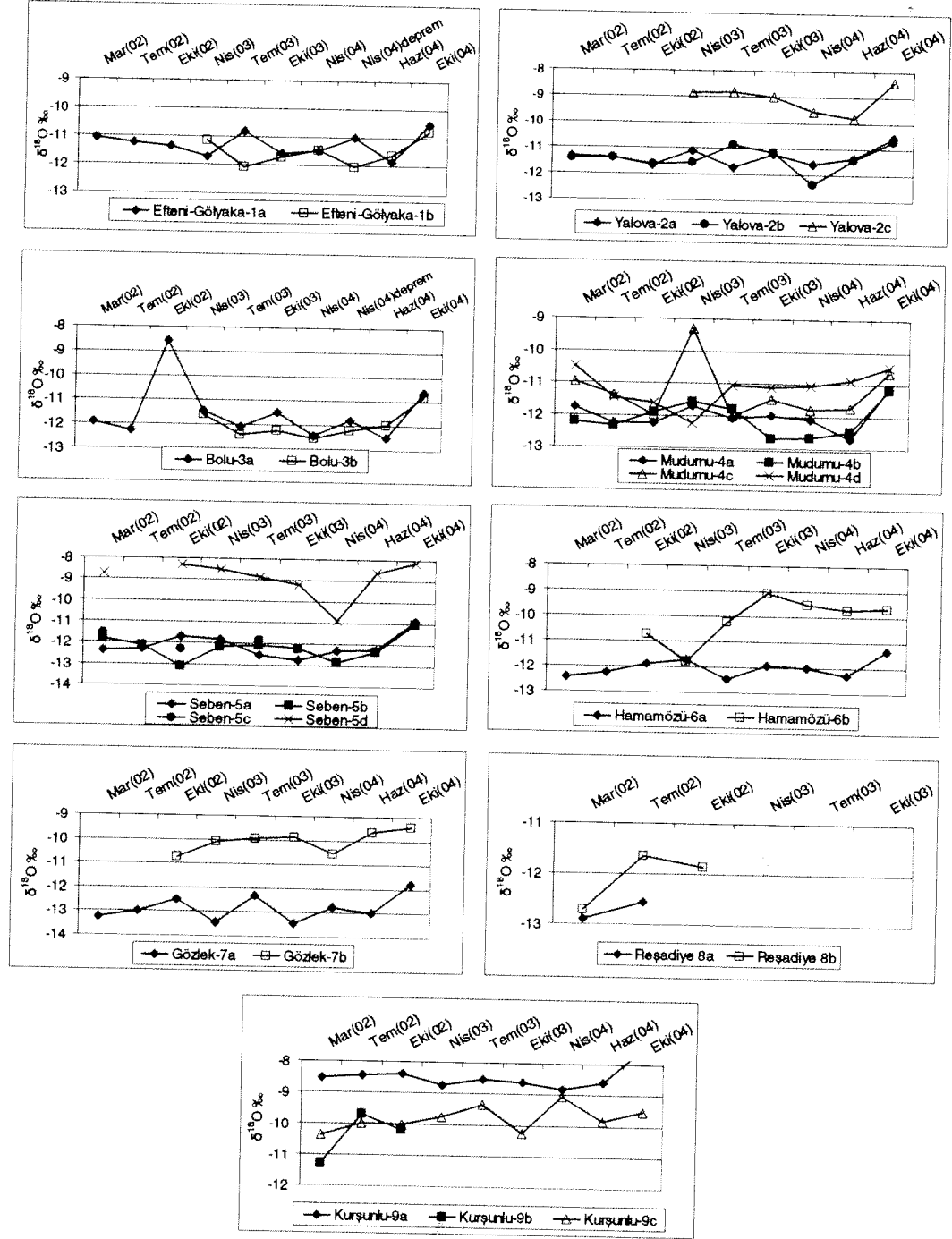
Şekil 9.3.b. (devam ediyor).

### 9.3. Oksijen-18 ve Döteryum Bileşimlerinin Zamansal Değişimleri

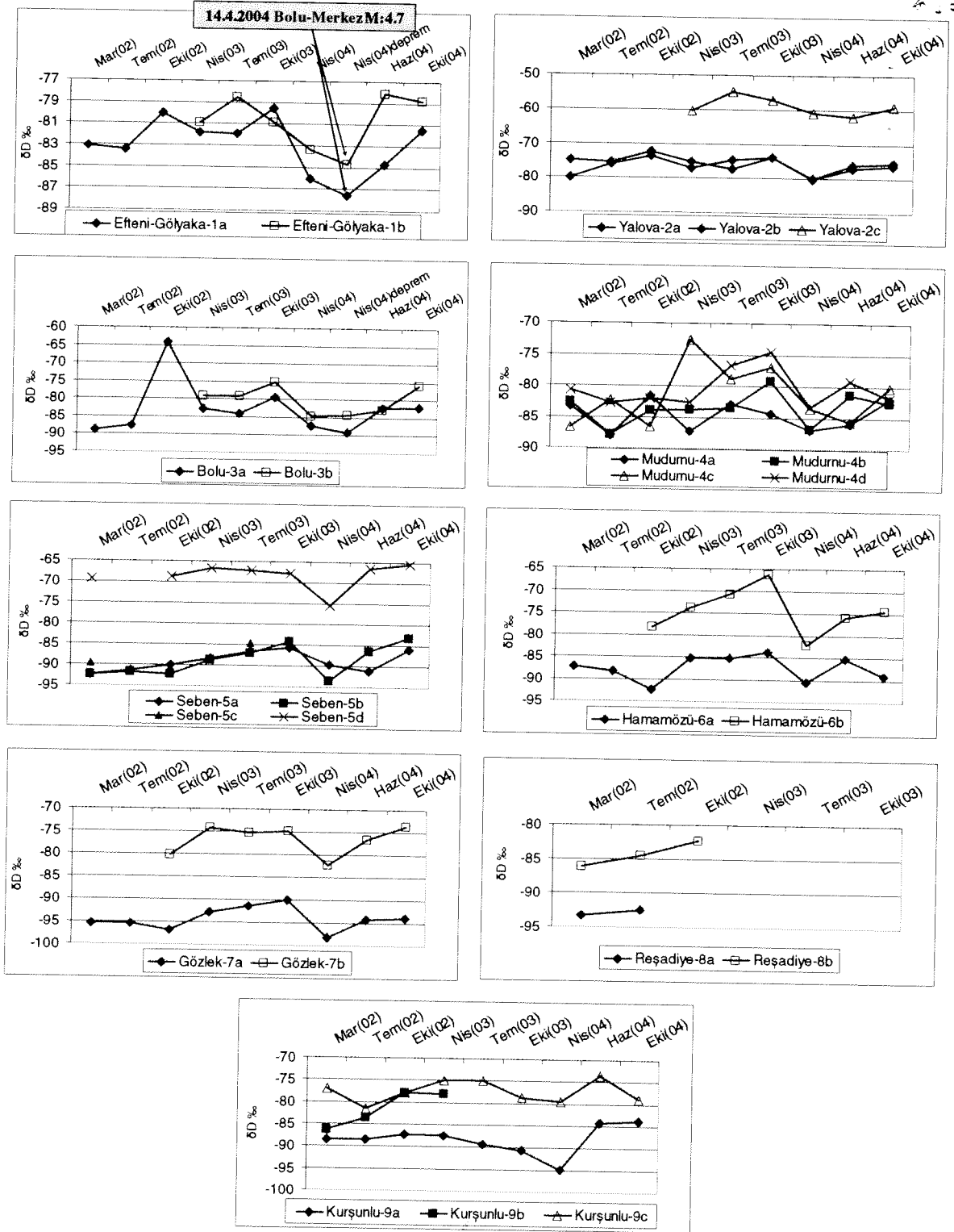
$\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerlerinin zamansal değişimi, sırasıyla, Şekil 9.4 ve 9.5'de gösterilmektedir. Şekillerde izlenen zamansal değişimler genellikle oksijen ve hidrojen izotop analizlerine ilişkin hata paylarının (sırasıyla, 0.1 ‰ ve 1 ‰) dışında yer almaktadır. Ancak, hata payları dışında kalan bu değişimler aslında sahalara ilişkin temel (background) değerleri tanımlar nitelikte olup, anomali olarak nitelendirilebilecek değişimlere daha çok Bolu, Mudurnu, Seben, Hamamözü ve Efteni sahalarında rastlanmaktadır:

- Bolu sıcak su örneği (3a) için Ekim 2002 döneminde hem  $\delta^{18}\text{O}$  hem de  $\delta\text{D}$  değerlerinde, diğer dönemlere oranla yaklaşık 1.5 katlık bir artış izlenmektedir. Bolu sahasında aynı dönemde soğuk su bileşimleri analiz edilmemiş olduğu için, sözkonusu artışın bir sıcak-soğuk su karışımından mı kaynaklandığı konusunda yorum yapılamamaktadır.
- Mudurnu soğuk su örneği (4c) için Nisan 2003 döneminde, hem  $\delta^{18}\text{O}$  hem de  $\delta\text{D}$  değerlerinde, komşu dönemlere oranla yaklaşık 1.3 katlık bir artış kaydedilmiştir. Mudurnu sahasındaki bu artışın olasılıkla mevsimsel değişimleri yansıttığı düşünülmektedir.
- Seben soğuk su örneğinde (5d) Nisan 2004 döneminde, hem  $\delta^{18}\text{O}$  hem de  $\delta\text{D}$  değerlerinde, diğer dönemlere oranla 1.2 katlık bir düşüş gözlenmiştir. Aynı sahada, gene aynı dönemde, sıcak su bileşimlerinde de değişimler kaydedilmekle birlikte bunlar anomali boyutunda değildir. Bu nedenle, soğuk suda izlenen anomali değerleri olasılıkla mevsimsel (yağış, evaporasyon vb.) değişikliklere bağlıdır.
- Hamamözü sahasında, sıcak su bileşimlerinde ciddi değişimler gözlenmemektedir. Ancak, soğuk su örneğinin (6b)  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri, Ekim 2003 dönemine kadar zaman içinde bir artış gösterirken, bu dönemden itibaren düşüş sergilemektedir ve gene olasılıkla mevsimsel değişiklikleri işaret etmektedir.
- Efteni sahasında Nisan 2004 döneminde gerek sıcak gerekse soğuk suların  $\delta\text{D}$  değerlerinde kaydadeğer bir düşüş izlenmekte ve bu düşüş 14 Nisan 2004 Bolu (M: 4.7) depremi ile deneşmektedir. Bu sahada, sözkonusu dönemdeki örnekleme tarihleri 12 Nisan 2004 ve 14 Nisan 2004 olup, ikinci örnekleme, ilk örnekleme takiben oluşan depremden sonra gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede incelendiğinde,  $\delta\text{D}$  değerlerinin depremden önce düşmeye başladığı ve depremden sonra da eski değerlere doğru dönüş

yaptığı gözlenmektedir. Ancak, sözkonusu değişim sadece  $\delta D$  değerlerinde izlenmektedir,  $\delta^{18}O$  değerlerinde buna paralel bir değişim gözlenmemektedir.



Şekil 9.4. Oksijen izotop bileşimlerindeki zamansal değişimler (kırmızı noktalar sıcak suları, mavi noktalar soğuk suları temsil etmektedir).



**Şekil 9.5.** Döteryum izotop bileşimindeki zamansal değişimler (kırmızı noktalar sıcak suları, mavi noktalar soğuk suları temsil etmektedir).

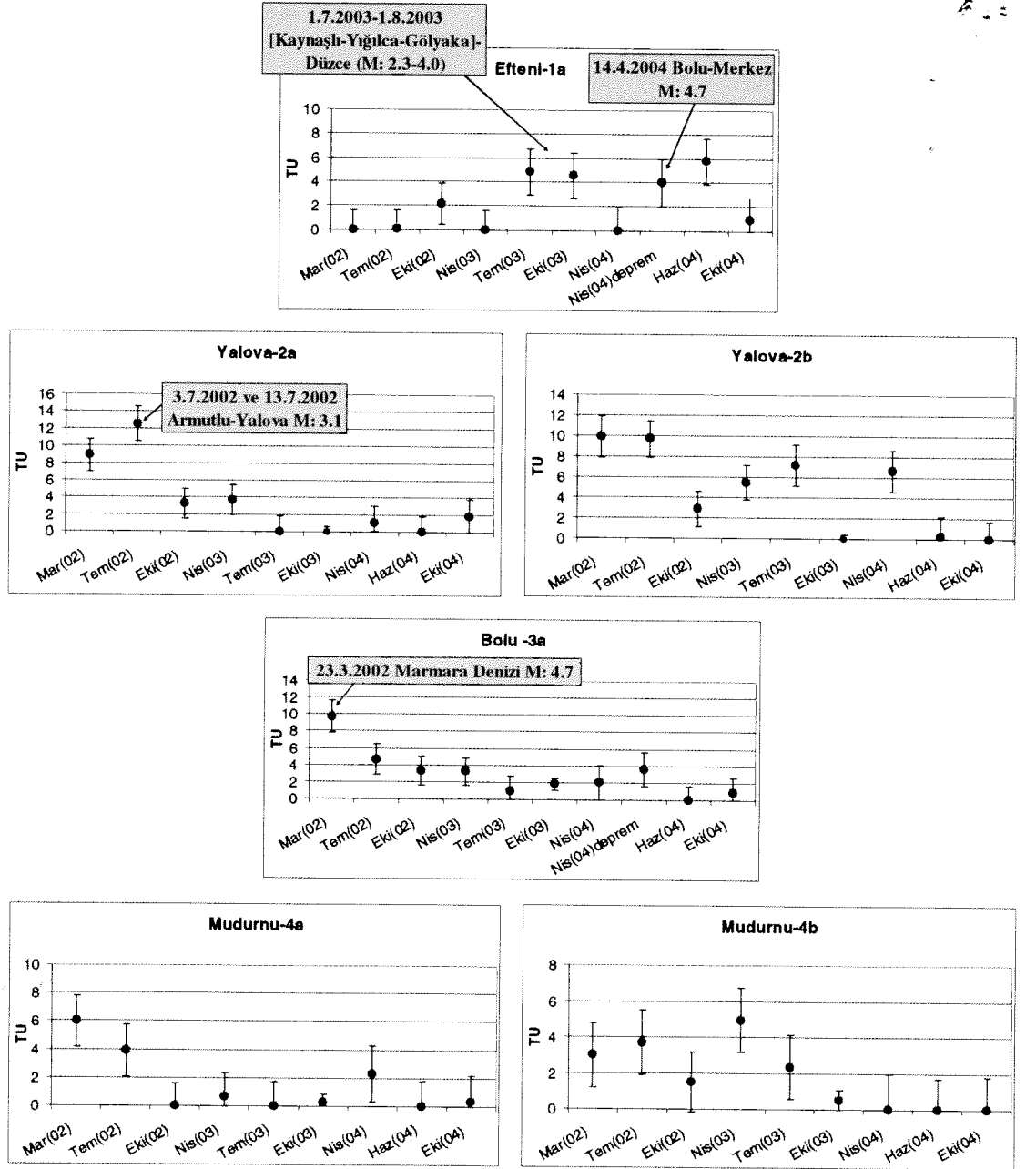
#### 9.4. Tritiyum İçeriklerinin Zamansal Değişimleri

Tritiyum değerlerindeki zamansal değişimler Şekil 9.6 (a,b)'de gösterilmiştir.

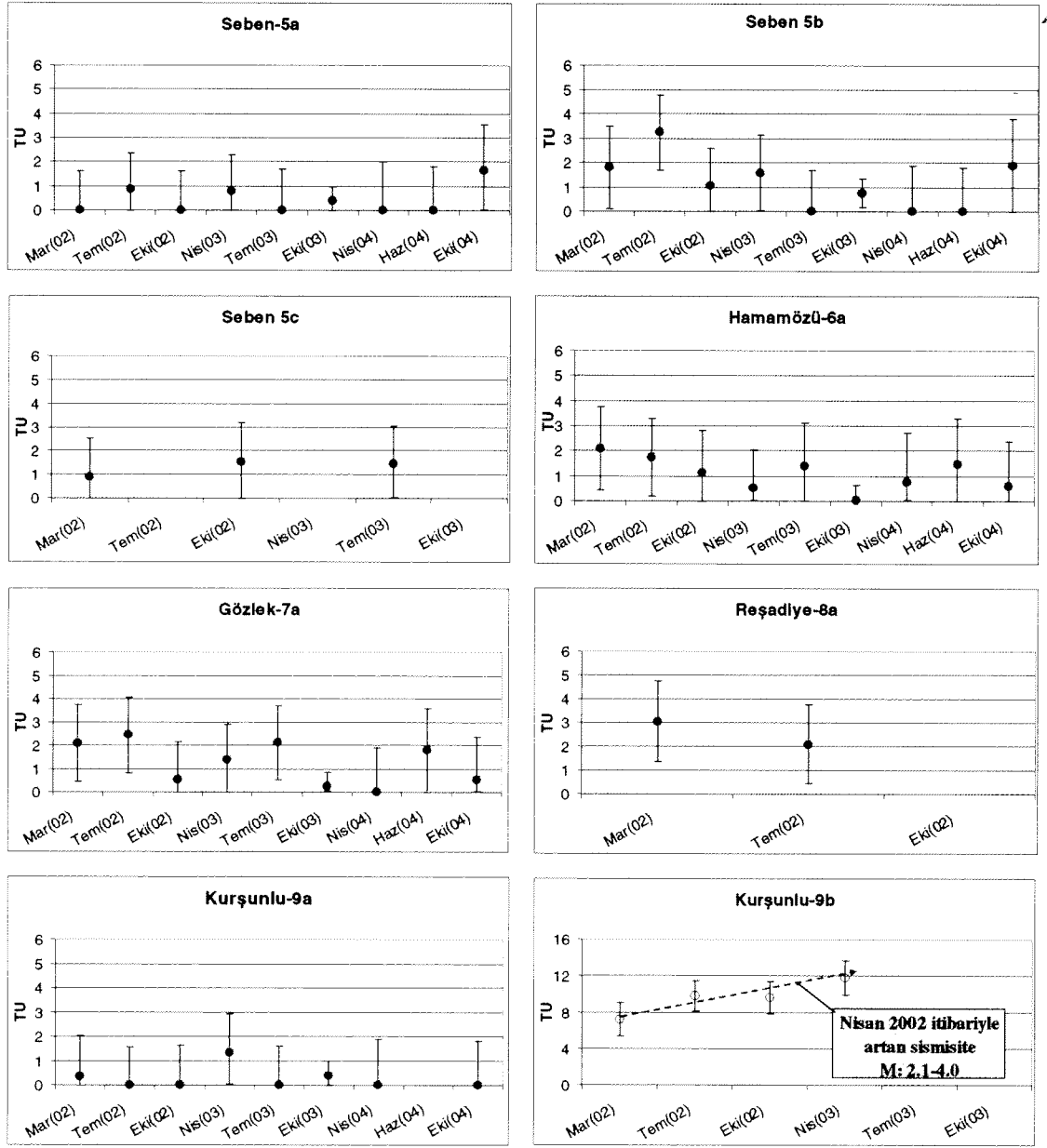
- Temmuz ve Ekim 2003'de Efteni sıcak suyunda, komşu dönemlere oranla, hata paylarını aşan TU artışları gözlenmektedir. Derin dolaşımli sıcak suların sığ dolaşımli soğuk sulara göre daha düşük TU değerleri içermeleri nedeniyle, bu iki dönemdeki TU artışları sıcak-soğuk su karışımına işaret edebilir. Nitekim, aynı dönemlerde Efteni sıcak suyunda izlenen Mg artışları ve Ekim 2003 döneminde Efteni soğuk suyunda gözlenen Na düşüşü (Bkz. Bölüm 9.2 ve Şekil 9.3) bu karışım savını desteklemektedir. Sözkonusu karışım süreci, Temmuz'dan Ağustos'a kadar süren ve aletsel büyüklükleri (magnitüt) 2.3 ile 4.0 arasında değişen Kaynaşlı-Düzce, Yığılca-Düzce ve Gölyaka-Düzce sismik etkinlikleri (Çizelge 3.1) ile ilişkilendirilebilir. Bu depremlerin etkileri Nisan 2004 döneminde de izlenmekte ve tritiyum içeriklerinin Nisan 2004 dönemine doğru eski değerlere dönüş yaptığı gözlenmektedir. TU değerleri, 14 Nisan 2004 tarihli Bolu (M: 4.7) depremi sonucu gene artış göstermekte ve Temmuz-Ekim 2003 dönemlerinde erişilen değerlere erişmektedir. Bu depremin etkileri Nisan 2004 ile Haziran 2004 dönemleri arasında daha kolay izlenmektedir. Efteni 1a no.lu sıcak su örneğinin Haziran 2004 döneminde Mg içeriğindeki artış (Bkz. Bölüm 9.2 ve Şekil 9.3) soğuk su ile bir karışım olabileceğine bir kanıttır. Aynı şekilde 1a no.lu örneğin  $\delta D$  değeri Haziran 2004'e doğru daha pozitif değerlere geçmektedir (Bkz. Bölüm 9.3 ve Şekil 9.5) ki bu da yine bir karışım verisi teşkil etmektedir.
- Bolu'da Mart 2002 döneminde diğer dönemlere göre yüksek TU değeri kaydedilmiştir. Bu yüksek değer bir sıcak-soğuk su karışımına işaret edebilir ve bu da Marmara Denizi depremi (M:4.7) ile ilişkilendirilebilir. Mart 2002'de kaydedilen bu TU anomalisi aynı zamanda yüksek  $SO_4$  derişimi ile eşlenmektedir. Yine Bolu sıcak suyunun Mart 2002'de diğer dönemlere göre daha yüksek olan pH değeri (Şekil 9.2), sıcak-soğuk su karışım olasılığını desteklemektedir. Bolu sıcak suyunda (3a) Nisan 2004 depremi sonrasında da hata payları içinde kalmakla birlikte tritiyum artışı gözlenmiştir. Bolu'da bu değişimi destekleyici herhangi bir artış diğer parametrelerde gözükmemektedir. Hatta 3a'nın sıcaklığındaki hafif artış ve 3b'nin sıcaklığındaki düşüş (Şekil 9.1) karışım sürecine ters düşmektedir. Bu nedenle Bolu'da Nisan 2004 depreminin etkileri karışımla ilişkilendirilememiştir.

- Mudurnu-4a sıcak su örneğinde Mart ve Temmuz 2002'de gözlenen yüksek TU değerleri, yine aynı dönemde Mudurnu soğuk suyunda diğer dönemlere göre yüksek TU değerleri ile eşlenmektedir. Her iki örnekte görülen yüksek TU değerleri olasılıkla sıcak ve soğuk su akiferlerini etkileyen mevsimsel yağışlara bağlıdır.
- Kurşunlu sahasında, 9b no.lu örnekte, trityum içeriklerinin zaman içinde artan bir yönelim sunduğu gözlenmektedir. Bu durum, daha önce Bölüm no. 9.2'de sözedilen Cl içeriklerindeki düşüş ile eşlenmekte ve (trityum artışı-Cl düşüşü) Çankırı'da Nisan 2002'den itibaren yoğunlaşan sismik etkinliklerin sıcak-soğuk su karışım sürecini tetiklediği savını güçlendirmektedir.
- Yalova sıcak sularında Temmuz 2002 döneminde trityum değerlerinde belirgin artış izlenmektedir. Burada not edilmesi gereken husus, Yalova'da aynı dönemde izlenen Cl düşüşleridir. Genellikle derin dolaşimli sıcak suların yüksek, sığ dolaşimli soğuk suların ise düşük Cl içeriğine sahip olduğu gözönüne alınacak olursa, Cl içeriğindeki düşüş, karışımda soğuk su oranının arttığını işaret etmektedir. Trityum içerikleri ise, tam tersine, derin dolaşimli (ve bu bağlamda daha yaşlı) sıcak sularda düşük olurken, genç yağışlarla beslenen sığ rezervuarlardan türeyen soğuk suların trityum içerikleri yüksek olmaktadır. Dolayısıyla, karışımda soğuk su oranındaki artış, trityum içeriklerinin artması ile karakterize olmakta ve bu durum, düşen Cl içerikleri ile eşlenmektedir. Bir başka deyişle, Yalova sahasında gözlenen trityum artışı, düşen Cl içeriğinin desteklediği gibi, sözkonusu dönemde olasılıkla 3 Temmuz 2002 ve 13 Temmuz 2002 tarihlerinde, merkez üssü Armutlu-Yalova ve altesel büyüklüğü (M) 3.1 olan depremler ile tetiklenmektedir.

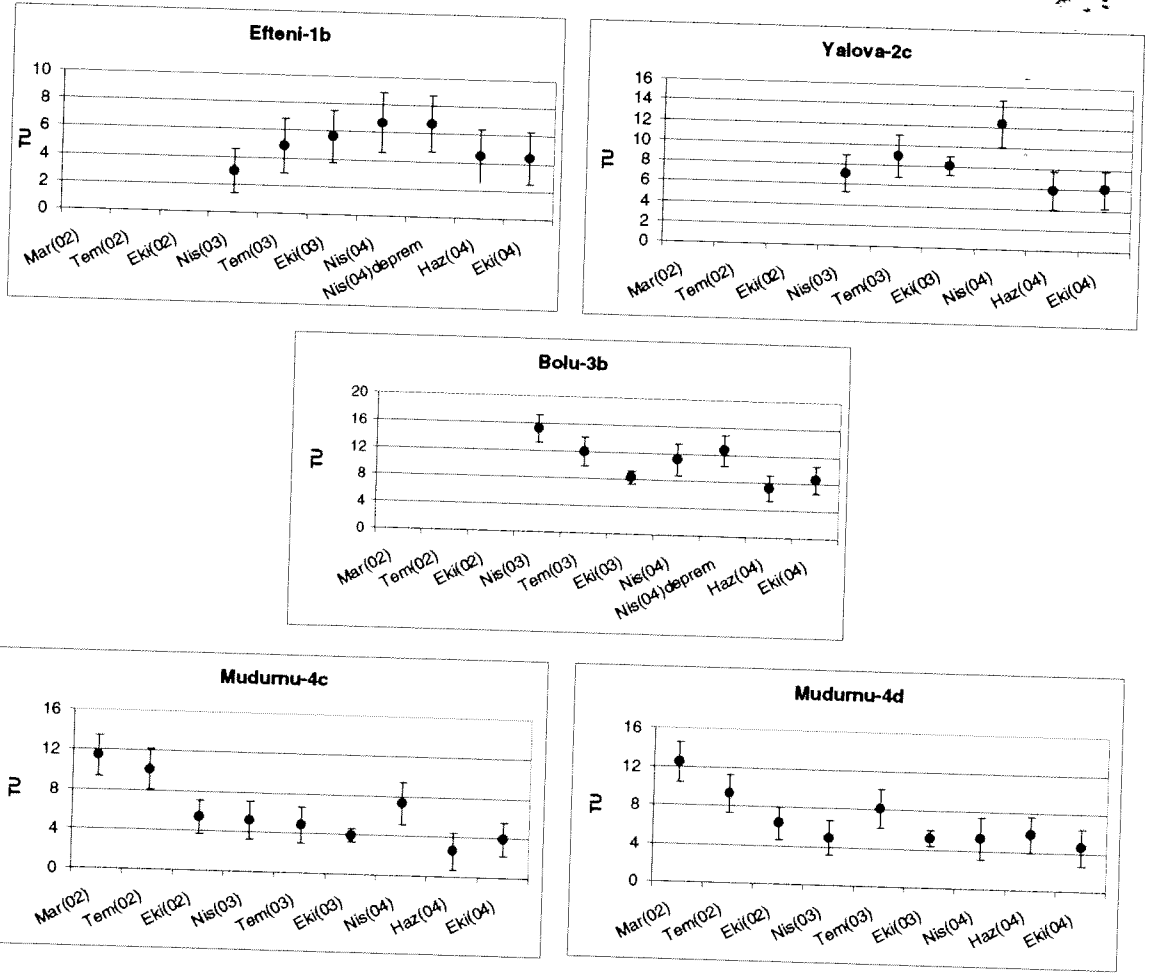




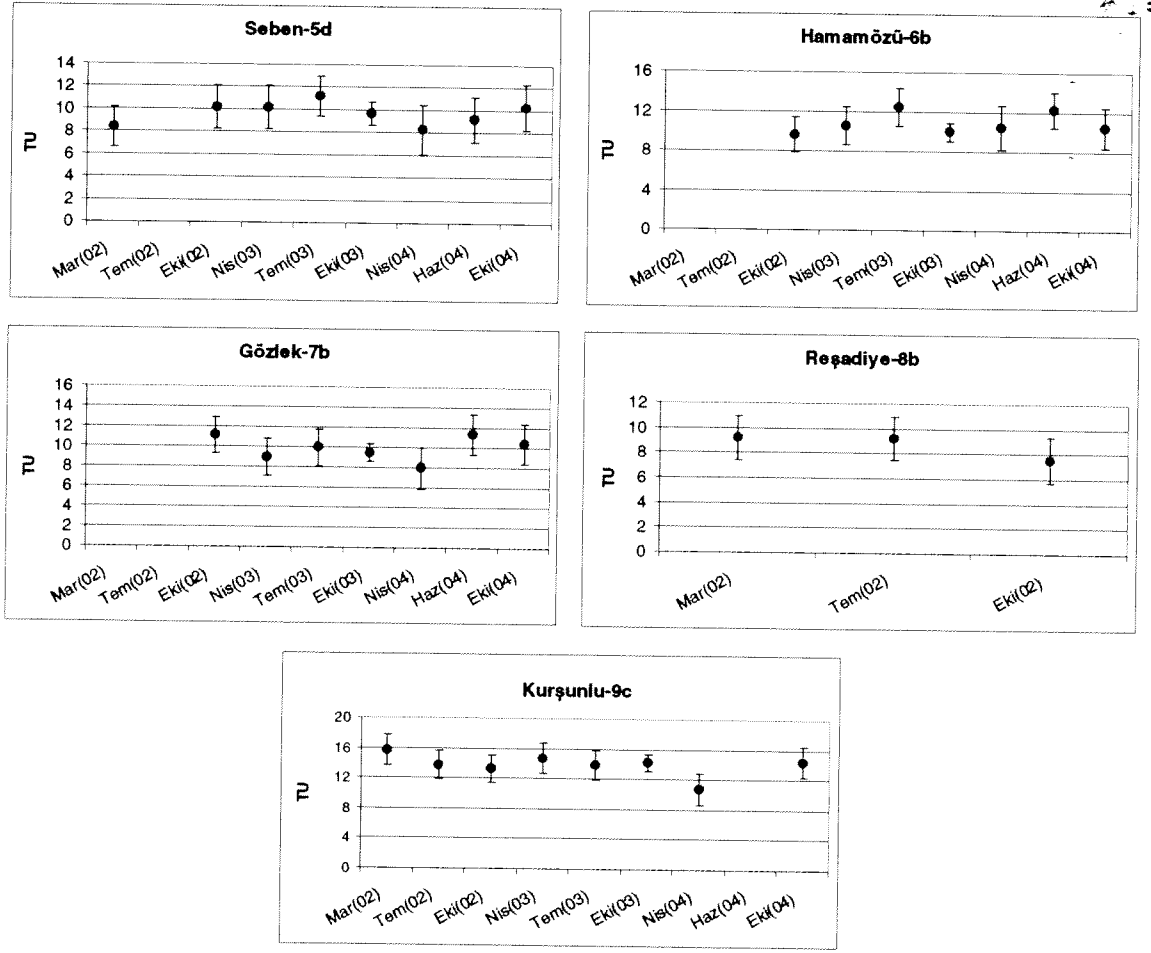
Şekil 9.6.a. Tritiyum değerlerinin sıcak sular için zamansal değişimleri.



Şekil 9.6.a. (devam ediyor).



Şekil 9.6.b. Tritiyum değerlerinin soğuk sular için zamansal değişimleri.



Şekil 9.6.b. (devam ediyor).

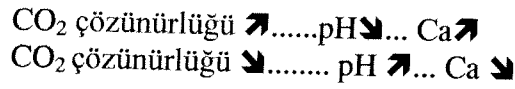
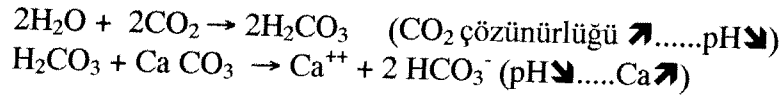
### 9.5. Helyum ( $R/Ra$ ) ve Karbon ( $\delta^{13}C$ ) İzotop Bileşimleri ile $CO_2/{}^3He$ Oranlarının Zamansal Değişimleri

Jeotermal sahalarda ölçülen helyum izotop bileşimlerinin zamansal değişimleri,  $R/Ra$  parametresi cinsinden, Şekil 9.7'de gösterilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, helyum izotop bileşimleri, hemen tüm sahalarda, zaman içinde oldukça duraylı bir bileşim sergilemektedir. Bazı sahalarda gözlenen ufak değişimler (Bkz. Bolu, Efteni, Seben) genelde analiz hata paylarının içinde kalmakta, kalmayanlar ise anomali boyutuna erişmemektedir. Sadece Kurşunlu sahasında, Ekim 2002 ile Nisan 2003 dönemlerinde anomali gibi gözüken değerler elde edilmiştir. Ancak, daha önce Bölüm 8 / Çizelge 8.1'in dip notunda da belirtildiği üzere, bu değerler güvenilir olmadığından değerlendirmeye alınmamaktadır.

Jeotermal akışkanların gaz fazına ilişkin  $CO_2/{}^3He$  oranları (Şekil 9.8) ile  $CO_2$  gaz fazına ait karbon izotop bileşimleri (Şekil 9.9) ise, helyum izotoplarının aksine, zaman içerisinde belirgin değişimler sergilemektedir. Bu değişimlere ilişkin olarak dikkat çeken husular aşağıda özetlenmektedir.

- Efteni sahasında,

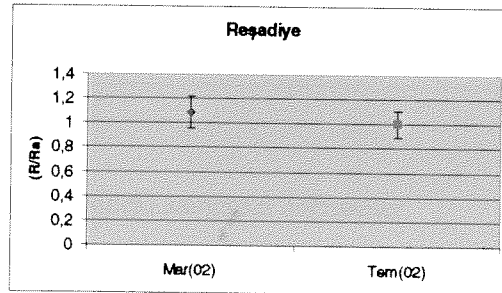
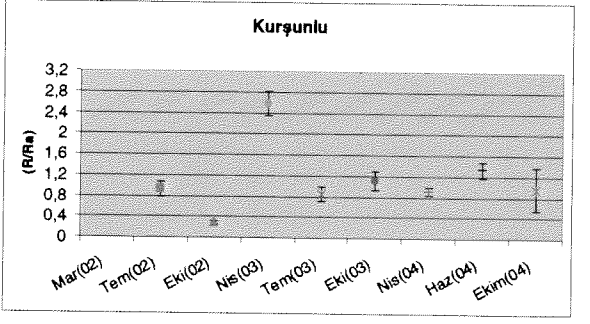
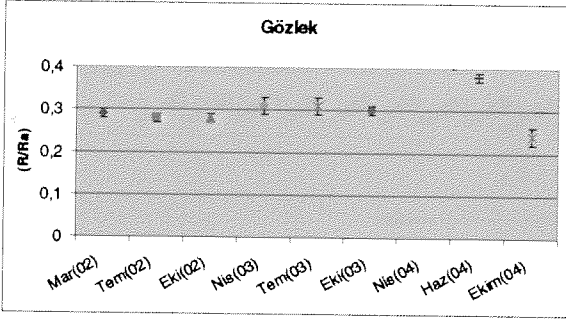
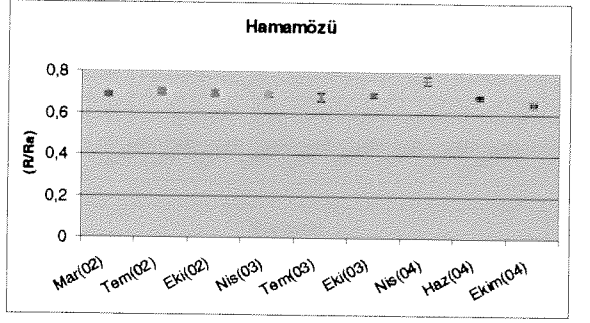
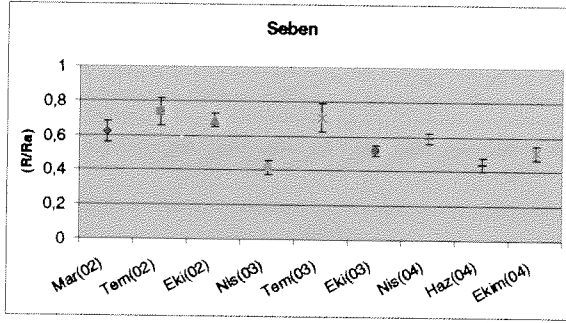
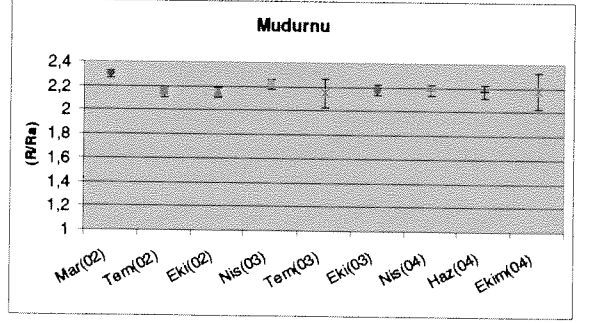
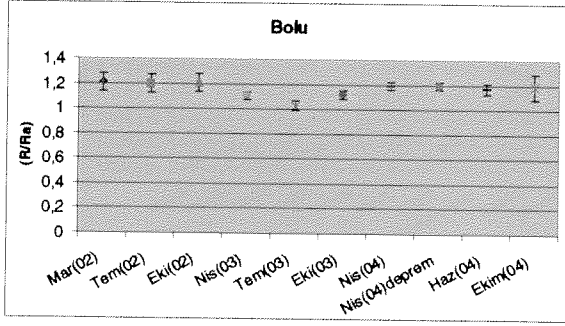
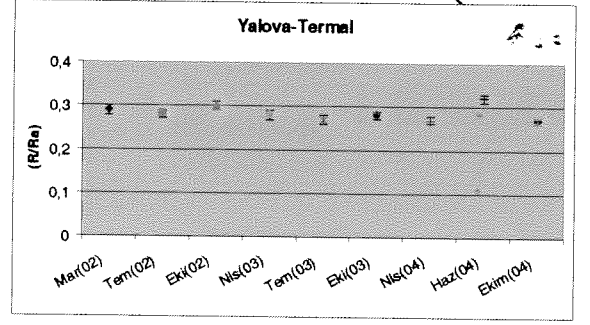
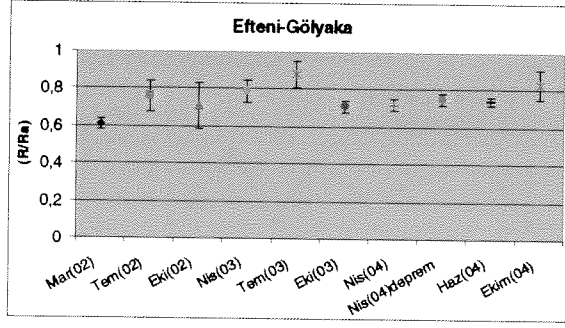
- Temmuz 2002 döneminde (bir önceki Mart 2002 dönemine oranla) izlenen  $CO_2/{}^3He$  artışı (Şekil 9.8), aynı dönemdeki  $\delta^{13}C$  artışı (Şekil 9.9), pH artışı (Şekil 9.2) ve Ca düşüşü (Şekil 9.3a) ile eşlenmektedir. Bu değişimler, 14 ve 15 Temmuz 2002 Yığılca-Düzce depremleri (M: 2.8-3.1) ile deneşmekte ve bu depremlerce tetiklenen  $CO_2$  gaz salınımlarını düşündürmektedir. Bu gaz salınımları, sudaki  $CO_2$  miktarını arttırdığı için, aşağıda verilen tepkimelerden rahatlıkla anlaşılacağı üzere,  $CO_2$  gazının sudaki çözünürlüğü azalmakta, pH artmakta ve buna bağlı olarak da, Ca içeriği azalmaktadır:



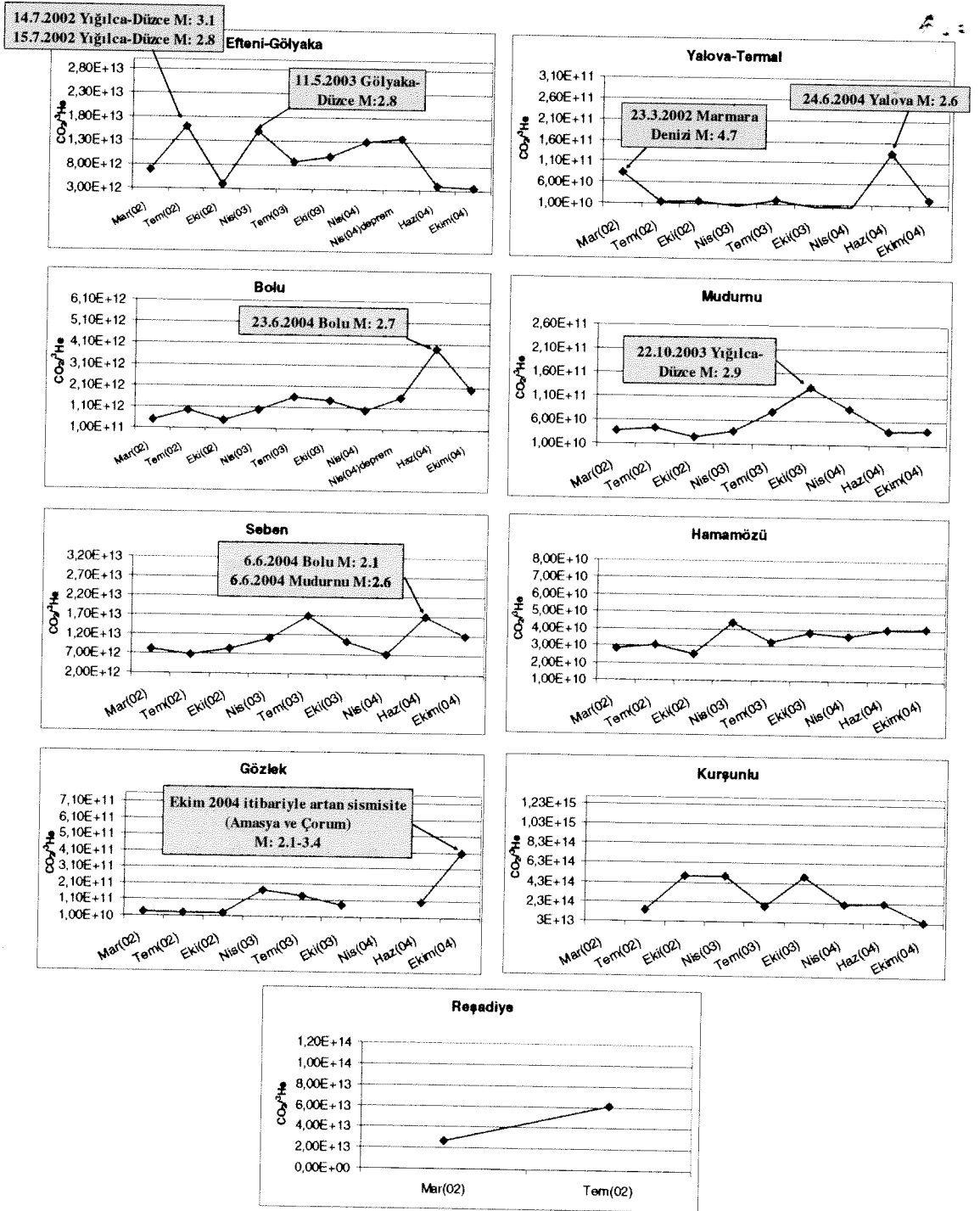
- Temmuz 2002 döneminde  $\delta^{13}C$  değerinin artışı, salınan  $CO_2$  gazının karbonat (kabuksal) kökenli olduğunu düşündürmektedir.
- Nisan 2003 döneminde  $CO_2/{}^3He$  gaz oranındaki artış (Şekil 9.8), aynı dönemdeki  $\delta^{13}C$  düşüşü (Şekil 9.9) ve Ca düşüşü (Şekil 9.3) ile eşlenmekte ve 11 Mayıs 2003 (M:2.8) Gölyaka-Düzce merkez üslü depremin öncel belirtisi gibi gözükmektedir.
- Yalova sahasında Mart 2002 döneminde  $CO_2/{}^3He$  oranlarında ve  $\delta^{13}C$  değerlerinde kaydedilen artışlar, gene aynı dönemdeki yüksek trityum içerikleri ile (Şekil 9.6) eşlenmektedir. Bu dönemde  $\delta^{13}C$  değerinin +6 ‰'e ulaşması, bölgedeki karbonatlı birimlerin termo-metamorfik bozuşmaya uğradığını ve bu süreç yoluyla  $CO_2$  gazındaki ağır karbon izotopunun zenginleştiğini işaret etmektedir. Sözkonusu termo-metamorfik süreci tetikleyici mekanizma bağlamında ise, 23 Mart 2002 tarihinde Marmara Denizi'nde kaydedilen M:4.7'lik sismik etkinliğin, Yalova'da en yüksek  $\delta^{13}C$  değerinin elde edildiği örnekleme gününe (23 Mart 2002) rastlaması dikkat çekicidir. Yalova sahasında, Haziran 2004 döneminde de  $CO_2/{}^3He$  oranlarında ve  $\delta^{13}C$  değerlerinde artışlar izlenmektedir. Bu

artışlar, 24 Haziran 2004 tarihli Yalova depremi (M: 2.6) ile deneşmekle beraber, benzer değişimler (aynı dönemde) diğer kimyasal parametrelerde izlenmemektedir.

- Bolu sahasında Haziran 2004 döneminde gözlenen pozitif  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  anomalileri, 23 Haziran 2004 tarihli Bolu (M: 2.7) depremi ile tetiklenmesi olası  $\text{CO}_2$  gaz çıkışlarını düşündürmektedir. Ancak bu dönemde, aynı sahanın diğer kimyasal parametrelerinde değişim gözlenmemektedir.
- Mudurnu sahasında Ekim 2003 döneminde  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  oranlarında ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinde gözlenen artışlar, 22 Ekim 2003 tarihli Yığılca-Düzce depremi (M: 2.9) ile deneşmekte ancak benzer değişimler diğer kimyasal parametrelerde izlenmemektedir.
- Seben sahasında Haziran 2004 döneminde  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  oranlarında ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinde artışlar izlenmekte ve 6 Haziran 2004 tarihli Mudurnu (M: 2.6) ve Bolu (M: 2.1) merkezöslü depremler ile deneşmekte, ancak bu depremlerin etkisi Mudurnu ve Bolu sahaslarında izlenmediği gibi, Seben sahasındaki başka parametrelerde de gözlenmemektedir.
- Gözlek sahasında Ekim 2004 döneminde  $\text{CO}_2/{}^3\text{He}$  ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinde kaydedilen artışlar, aynı dönemde Amasya ve Çorum civarındaki sismik etkinliklerce (M: 2.1-3.4) tetiklenmesi olası gaz çıkışlarına işaret etmektedir.

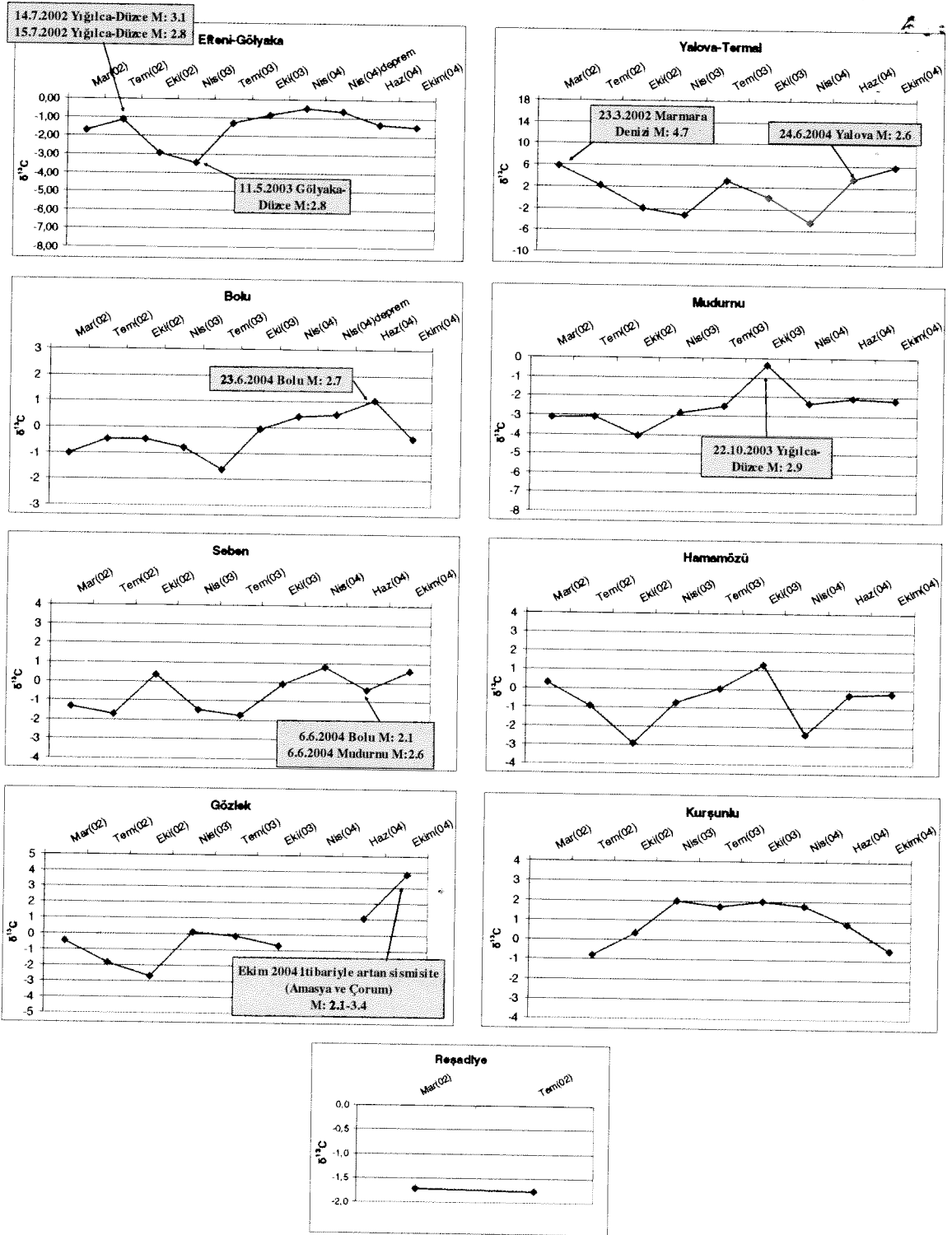


Şekil 9.7. R/Ra değerlerindeki zamansal değişimler (hata payları ile birlikte verilmiştir).



Şekil 9.8. CO<sub>2</sub>/He değerlerindeki zamansal değişimler.





Şekil 9.9.  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerindeki zamansal değişimler.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Akman, D., 1966. Düzce-Efteni Ovası Yeraltısuyu Rezerv Raporu. DSI Raporu, Ankara.
- Albu, M., Banks, D. ve Nash, H., 1997. Mineral and Thermal Groundwater Resources. Chapman and Hall, London, 447 p.
- Altay, T. ve Çifter, C., 1996. Tritiyum Laboratuvarı El Kitabı, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başk. DSI, Ankara, No. İZ-903.
- Arnorsson, S., 2000. Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use. International Atomic Energy Agency, Vienna, 351 p.
- Attendorn, H. G. ve Bowen, R. N. C., 1997. Radioactive and Stable Isotope Geology. Chapman & Hall, London, 522 p.
- Aydın, M., Serdar, H.S., Şahintürk, Ö., Yazman, M., Çokuğraş, R., Demir, O. ve Özçelik, 1987. Çamdağ (Sakarya) Sünnicedağ (Bolu) yöresinin jeolojisi. TJK Bülteni, 30, 1-14.
- Balderer, W., Leuenberger, F., Suner, F., Yalçın, T., ve Stichler, W., 2002. Effects of Çınarcık-İzmit August 17, 1999 earthquake on the composition of thermal and mineral waters as revealed by chemical and isotope investigation, Geofisica Internacional, 41(4), 385-391.
- Barka, A. A., 1992. The North Anatolian Fault Zone. Annales Tecton., 6, 164-195.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey - a synthesis, Geodinamica Acta, 14, 3-30.
- Bozkurt, E. ve Mittwede, S., 2001. Introduction to the geology of Turkey-a synthesis. Int. Geol. Rev., 43, 578-591.
- Canik, B., 1971. Bolu Kaplıcalarının Jeoloji ve Hidrojeoloji Etüdü. MTA Raporu No. 5028.
- Canik, B., 1972. Düzce, Derdin Hamamı Çevresinin Jeoloji ve Hidrojeoloji Etüdü. MTA Raporu No. 6359.

- Clarke, W. B., Beg, M. A. ve Craig, H., 1969. Excess  $^3\text{He}$  in the sea: evidence for terrestrial primordial helium. *Earth and Planetary Science Letters*, 6, 213-220.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Craig, H., Chung, Y., Poreda, R., Lupton, J., ve Damascena, S., 1980. Fluid-phase earthquake precursor studies in southern California. *EOS Trans., AGU* 61 (46), 1035.
- Çemen, I., Gökten, E., Varol, B., Kılıç, R., Özaksoy, V., Erkmén, C., 2000. Turkish earthquakes reveal dynamics of fracturing along a major strike slip fault zone. *EOS, Trans., Am. Geophys. Union*, 81, 309-313.
- Dewey, J. F., Şengör, A. M. C., 1979. Aegean sea and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geol. Soc. Am. Bull., Part I*, 90, 84-92.
- Dirik, K., 1993. Geological history of the northward arch segment of the North Anatolian Transform fault Zone. *Geol. J.*, 28, 251-266.
- Drever, J. I., 1982. *The Geochemistry of Natural Waters*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Ellis, A. J. ve Mahon, W. A. J., 1977. *Chemistry and Geothermal Systems*. Academic Press Inc, 392 p.
- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N. ve Koçak, A., 1996. *Türkiye Jeotermal Envanteri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 480 p.
- Erzenoğlu, Z., 1991. *Türkiye Termal ve Mineralli Sular Envanteri Tokat*. MTA Raporu No.9388.
- Farley, K.A. ve Neroda, E., 1998. Noble gases in the Earth's mantle. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 26:189-218.
- Faure, G., 1986 (2<sup>nd</sup> ed.), *Principles of Isotope Geology*. John Wiley, New York, 589 p.
- Favara, R., Grassa, F., Inguaggiato, S., ve Valenza, M., 2001. Hydrogeochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along Belice Fault (Western Sicily). *App. Geochem.*, 16, 1-17.

- Federico, C., Aiuppa, A., Favara, R., Gurrieri, S. ve Valenza, M., 2004. Geochemical monitoring of groundwaters (1998-2001) at Vesuvius Volcano (Italy). *J. Volcan. Geoth. Res.*, 133, 81-104.
- 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 Resource Council Transactions*, 3, 221-224.
- Giggenbach W.F. ve Goguel, R. L., 1989. Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharges. Raporu No. CD 2401. Publication of Chemistry Division, Department of Scientific and Industrial Research, Petone, New Zealand, 81p.
- Güleç, N., 1988. Helium-3 distribution in western Turkey. *MTA Bull.*, 108-35-42.
- Güleç, N., Hilton, D. R. ve Mutlu, H., 2002. Helium and heat distribution in Turkey: relations to tectonic provinces, volcanism and recent seismic activities. *Chem. Geol.*, 187, 129-142.
- Hatuda, Z., 1953. Radon content and its change in soil air near the ground surface. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto, Ser. B.* 20, 285-306.
- Hauksson, E., 1981. Radon content of groundwater as an earthquake precursor: evaluation of worldwide data and physical basis. *J. Geophys. Res.*, 86 (B10), 9397-9410.
- Hilton, D. R., 1996. The helium and carbon isotope systematics of a continental geothermal system: results from monitoring studies at Long Valley Caldera (California, U.S.A.), *Chem. Geol.*, 127, 269-295.
- Hooker, P. J., O'Nions, R. K. ve Oxburgh, E. R., 1985. Helium isotopes in North Sea gas fields and the Rhine Rift. *Nature*, 318, 273-275.
- <http://depem.gov.tr>
- İnan, S., Seyis, C., Ergintav, S., Saatçılar, R., Görür, N., Canan, S., Belgen, A., Kafarov, R., Çakmak, R., Karakaş, D., Çetin, S., Akar, S., Kurt, L., Yakan, H., Baş, M., ve Cuff,

- K., 2003a. A search for possible precursors of earthquake activity in the Marmara region (MW Turkey). EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France, April 2003.
- İnan, S., Seyis, C., Görür, N., Ergintav, S., Saatçılar, R., Baş, M., Cuff, K., Karakas, D., Yakan, H., Akar, S., Belgen, A., Çakmak, R., Kurt, L., Canan, S., Kafarov, R., ve Çetin, S., 2003b. Radon Gas Activity: a possible earthquake precursor in the Marmara Region (NW Turkey). 1<sup>st</sup> International Workshop on Earthquake Prediction, Athens-Greece, 5-7 November, p. 39.
- Karakuş, H., 2004. Efteni Bölgesi (Düzce) Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kartal, T., 1974a. İstanbul-Yalova Kaplıcası Hidrojeoloji Raporu. MTA Raporu No. 5894.
- Kartal, T., 1974b. Amasya-Terziköy Kaplıcası Hidrojeoloji Raporu. MTA Raporu No. 5819.
- Ketin, I., 1966. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor): Mineral Resource and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin, 66, 22-34.
- King, C. Y., 1980. Episodic radon changes in subsurface soil gas along active faults and possible relation to earthquakes. J. Geophys. Res., 85 (B6), 3065-3078.
- Koçak, A., 1974. Çavundur (Kurşunlu-Çankırı) Kaplıca Bölgesinin Hidrojeoloji Etüdü Raporu. MTA Raporu No. 6373.
- Koçak, A., 1976. Hamamözü-Amasya Arkutbey Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü Raporu. MTA Raporu No. 7081.
- Koçyiğit, A., 1988. Tectonic setting of the Geyve basin: age and total displacement of the Geyve fault zone. METU Pure Appl. Sci., 21, 81-104.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Cihan, M., Özacar, A. ve Teksöz, B., 1999 a. Neotectonic framework of Turkey: a special emphasis on the 17 August 1999 Gölcük-Arifiye earthquake (NE Marmara, Turkey). Proc. Int. Conf. on Earthquake Hazard ve Risk in the Mediterranean Region. Near East University, Cyprus, p. 1-11.

- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Cihan, M., Özacar, A. ve Teksöz, B., 1999 b. 12 Kasım 1999 Dağdibi (Düzce-Bolu) depremi. Geological Reconnaissance Raporu, Department of Geological Engineering, Middle East Technical University, Ankara.
- Lupton, J. E., 1983. Terrestrial inert gases: isotopic tracer studies and clues to primordial components in the mantle. *Ann. Rev. Earth Planet Sci. Lett.*, 26, 133-139.
- Mamyrin, B. A. ve Tolstikhin, I. N., 1984. Helium Isotopes in Nature. Elsevier, Amsterdam.
- Mazor, E., 1997 (2<sup>nd</sup> ed.). *Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology: The Applied Approach*. Marcel Dekker Inc, New York, 413 p.
- Mc Kenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, 30, 109-185.
- Morrison, P. ve Pine, J., 1955. Radiogenic origin of the helium isotopes in rock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 62, 71-9.
- Müftüoğlu, E. ve Akıncı, K., 1989. Bolu-Seben Kesenözü Kaplıcası ve Çevresi Jeotermal Enerji Aramaları Sismik Etüdü Raporu. MTA Raporu No. 8856.
- Nishizawa, S., Igarashi, G., Sano, Y., Shoto, E., Tsaka, S., ve Sasaki, Y., 1998. Radon, Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> anomalies in hot-spring water associated with the 1995 earthquake swarm of the East Coast of the Izu Peninsula, Central Japan, *Appl. Geochem.*, 13, 89-94.
- Okabe, S., 1956. Time variation of the atmospheric radon content near the ground surface with relation to some geophysical phenomena. *Mem. Coll. Sci. Univ. Kyoto, Ser. A.*, 28, 99-115.
- Okay, A. I., 1986. High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey: *Geol. Soc. Am. Bull.*, 164, 333-347.
- Okay, A. I., ve Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, *In: Durve, B., Jolivet, L., Horvath, D., ve Serranne, M. (eds.), The Mediterranean basins: Tertiary Extension Within the Alpine Orogen*. Geological Society of London, Special Publication, no. 156, 475-515.
- O'Nions, R. K. ve Oxburgh, E. R., 1988. Helium volatile fluxes and the development of continental crust. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 90: 331-347.

- Ozima, M. ve Podosek, F.A., 1983. Noble gas Geochemistry. Cambridge University Press.
- Özcan M., ve Ünay T., 1978. Bolu-Seben-Kösenözü Kaplıcası ve Çevresi Jeotermal Enerji Aramaları Rezistivite Etüdü Raporu, MTA Raporu, No. 8269.
- Öztürk, A. (ed.), 2001. Kalite Kontrol Teknik Semineri Bildirileri, DSI No. 949, 349 p.
- Rojay, F. B., 1993. Tectonostratigraphy and Neotectonic Characteristics of the Southern Margin of Merzifon-Suluova Basin (Central Pontides), Amasya. Ph. D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Rybach, L. ve Muffler, L. J. P., 1981. Geothermal Systems: Principles and Case Histories. John Wiley & Sons, 359 p.
- Sadovsky, M. A., Nersesov, I. L., Nigmatullaev, S. K., Latynina, L. A., Lukk, A. A., Semenov, A. N., Simbireva, I. G., ve Ulomov, V. L., 1972. The processes preceding strong earthquakes in some regions of Middle Asia. Tectonophysics, 14, 295-307.
- Sano, Y., Takahata, N., Igarashi, G., Koizumi, N., ve Sturchio, N. C., 1998. Helium degassing related to the Kobe earthquake, Chem. Geol., 150, 171-179.
- Sato, M., Sutton, A. J., McGee, K. A. ve Russel-Robinson, S., 1986. Monitoring of hydrogen along the San Vercas and Calaveras faults in central California in 1980-1984. J. Geophys. Res., 91 (B12), 12315-12326.
- Savaşkan, İ., 1972. Bolu-Mudurnu-Nallıhan-Seben Havzasının Rezerv Raporu. DSI Raporu No. 1205/20-PR.
- Sheppard, S. M. F., 1977. The Cornubian Batholith, Southwest Engle: D/H ve  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  studies of kaolinite and other alteration minerals. J. Geol. Soc., 133, 573-591.
- Sheppard, S. M. F. 1981. Stable isotope geochemistry of fluids. In: Rickard, D. T. and Wickman, F. E. (eds.), Chemistry and Geochemistry of Solutions at High Temperatures and Pressures. Phys. Chem. Earth, 13/14, 419-445.
- Sugisaki, R. ve Sugiura, T., 1986. Gas anomalies at three mineral springs and a fumarole before an inlve earthquake, central Japan. J. Geophys. Res., 91 (B12), 12296-12304.
- Şahinci A., 1970. Mudurnu Kaplıcası Hidrojeoloji Etüd Raporu, MTA Raporu, No. 4367.

- Şaroğlu, F., 1988. The age and offset on the North Anatolian Fault. METU J. Pure Appl. Sci., 21, 65-79.
- Şengör, A. M. C., 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance. J. Geol. Soc., London, 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., 1984. The Cimmeriden orogenic system and the tectonics of Eurasia. Geol. Soc. America, Special Paper, 195, p. 82.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75, 181-241.
- Şentürk, Ö. ve Ünay, T., 1976. Amasya-Terziköy ve Gözlek Kaplıcaları Sıcak Su Aramaları Rezistivite Etüdü Raporu. MTA Raporu No. 5672.
- Şimşek, Ş. ve Güleç, N., 1994. Geothermal Fields of Western Anatolia. Post-Congress Excursion B3, Guide Book, International Volcanological Congress (IAVCEI, Ankara 1994), IAEVCEI-94 Special Publication no. 8, 35p.
- Şimşek, Ş., 1995. Isotope and geochemical survey of geothermal systems of Yozgat Province in central Anatolia, Turkey. Isotope and Geochemical Techniques Applied to Geothermal Investigation, International Atomic Energy Agency (IAEA), 12-15 October 1993, Austria, p.232-248.
- Şimşek, Ş. ve Karakuş, H. (in press). Hydrogeochemistry of Efteni geothermal area, Düzce-Northwest Turkey. Proceedings of World Geothermal Congress 2005 (WGC2005), 24-29 April 2005, Antalya-Turkey.
- Taylor, H.P., 1974. The application of hydrogen and oxygen isotopes to problems of hydrothermal alteration and ore deposition: Econ. Geol., 68, 843-883.
- Teng, T. L., 1980. Some recent studies on groundwater radon content as an earthquake precursor. J. Geophys. Res. Lett., 8 (5), 441-444.
- Teng, T. L. ve Sun, L. F., 1986. Research on groundwater radon as a fluid phase precursor to earthquakes. J. Geophys. Res., 91 / B12, 12305-12313.



- Thomas, D., 1988. Geochemical Precursors to Seismic Activity, *Pure Appl. Geophys.*, 126, 241-266.
- Toprak, V., 1988. Neotectonic Characteristics of the North Anatolian Fault Zone between Koyulhisar and Suşehri (NE Turkey). *METU J. Pure Appl. Sci.*, 21, 155-168.
- Toutain, J. P., ve Baubron, J. C., 1999. Gas Geochemistry and Seismotectonics: A Review, *Tectonophysics*, 304, 1-27.
- Toutain, J.P., Munoz, M., Poitrasson, F., ve Lienard, A.C, 1997. Springwater chloride ion anomaly prior to a M = 5.2 Pyrenean earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 149, 113-119.
- Tüysüz, O., Barka, A.A. ve Yiğitbaş, E., 1998. Geology of the Saros Graben: its implications on the evolution of the North Anatolian Fault in the Ganos-Saros region, NW Turkey. *Tectonophysics*, 293, 105-126.
- Verews, J. N., 1985. The isotopic composition of radiogenic He and its use to study groundwater movement in confined aquifer. *Chemical Geology*, 49, 339-351.
- Wakita, H., Nakamura, Y., Kita, J., Fujii, N., ve Notsu, K., 1980. Hydrogen release: new indication of fault activity, *Science*, 210, 188-190.
- Yapmış, J., 2002. Thermal Waters Along the North Anatolian Fault Zone: Geochemistry and Geothermometry Applications. M.S. Thesis, Middle East Technical University, Ankara.
- Yapmış, J., Güleç, N. ve Karahanoğlu, N. Geothermal potential assessment of fields along the North Anatolian Fault Zone. *Proceedings of World Geothermal Congress 2005 (WGC2005)*, Antalya-Turkey, in press.
- Yücel, B. ve Özgür, R., 1992. Reşadiye (Tokat) Bölgesinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. MTA Raporu No.10466.
- Yücel, B., Aklaş, İ., ve Ünlü, M. R., 1994. Bolu Sıcaksu Sondajı (B-1) Kuyu Bitirme Raporu. MTA Raporu No. 9831.

## POJE ÖZET BİLGİ FORMU

<b>Proje Kodu:</b> YDABAG-100Y097
<b>Proje Başlığı:</b> Kuzey Anadolu Fay Hattında Jeotermal Kaynakların İzotop Bileşimlerinin İzlenmesi
<b>Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar:</b> Prof. Dr. Nilgün Güleç (Proje Yürütücüsü), Assoc. Prof. Dr. David Hilton, Doç. Dr. Halim Mutlu, Prof. Dr. Ali Koçyiğit, Araş. Gör. Selin Süer, Candna Çifter
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531 Ankara
<b>Destekleyen Kuruluş(lar)ın Adı ve Adresi:</b> Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, Geosciences Research Division, La Jolla, California, 92093 - 0244 USA Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> 1/04/2001-1/04/2005
<b>Öz (en çok 70 kelime):</b> KAF Zonu üzerinde 800 km'lik bir hat boyunca yer alan 9 adet sahada, jeotermal akışkanların kimyasal ve izotopik bileşimleri 3 yıl boyunca (yılıda 3 kez örnekleme yapılarak) izlenmiş ve zamansal değişimler, sismik etkinlikler ile ilişkileri açısından incelenmiştir. Bu bağlamda en anlamlı zamansal değişimler Yalova ve Efteni sahalarından elde edilmiş, Cl, Ca, <sup>3</sup> H, δ <sup>13</sup> C ve CO <sub>2</sub> / <sup>3</sup> He en duyarlı parametreler olarak belirlenmiştir. İleride yapılacak izleme programlarına temel sağlayacak bir "veri tabanı" oluşturmuştur.
<b>Anahtar kelimeler:</b> Kuzey Anadolu Fay Zonu, Sismik Etkinlik, Jeotermal Akışkanlar, İzotop Bileşimleri, Kimyasal Bileşimler, İzleme Çalışmaları
<b>Projeden Kaynaklanan Yayınlar:</b> Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D.R., Süer, S. and Altay, T., 2002. Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkili jeotermal sahalardaki suların izotop bileşimleri. <i>Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu. 21-25 Ekim 2002, Adana. Bildiri Metinleri Kitabı</i> (düzeltilmiş 2. baskı), s. 57-67. S. Süer, N. Güleç, H. Mutlu, C. Çifter, D. Hilton, 2003. Monitoring of chemical and isotopic composition of geothermal waters along the North Anatolian Fault Zone. <i>International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology (Abstract Volume, p.52)</i> . De Leeuw, D., Hilton, D.R., Güleç, N and Mutlu, H., 2004. Helium-Carbon relationships in geothermal waters from the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), Turkey. <i>Goldschmidt 2004 Conference, 5-11 June 2004, Copenhagen, Denmark</i> (Abstract in <i>Geochimica et Cosmochimica Acta</i> , V.68, No. 11) Güleç, N., Mutlu, H., Süer, S., Hilton, D. R., Çifter, C., 2004. Kuzey Anadolu Fay Zonundaki jeotermal kaynakların kimyasal ve izotopik bileşimleri: zamansal değişimlerin sismik etkinliklere ilişkileri. <i>1. Ulusal Jeokimya Sempozyumu. 17-21 Kasım 2004. Bursa (Bildiri Özleri Kitabı, s. 2-3)</i> . Güleç, N., Hilton, D.R., de Leeuw, G.A.M., Mutlu, H., Süer, S., Çifter, C., 2005. Isotope composition of geothermal fluids along the North Anatolian Fault Zone: spatial and temporal variations in relation to seismic activities. In: Horne, R and Okandan, E. (eds.), <i>Proceedings CD of the World Geothermal Congress 2005 (WGC 2005), 24-29 Nisan 2005 Antalya</i> (ISBN 975-98332-0-4)
<b>Bilim Dalı:</b> Yerbilimleri ve Mühendisliği <b>Doçentlik B. Dalı Kodu:</b> 920

## BÖLÜM 10

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- 1) Kuzey Anadolu Fay Zonundaki jeotermal sahalarda, Na-SO<sub>4</sub> karakterindeki Yalova ve Ca-HCO<sub>3</sub> karakterindeki Mudurnu ve Bolu suları haricindeki sıcak suların hemen tümü Na-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Buna karşın soğuk sular, Ca-HCO<sub>3</sub> karakterindedir. Söz konusu hidrojeokimyasal fasiyesler, çoğu sahada birincil rezervuar konumunda olan kireçtaşlarının çözündürülmesi süreci ile suların dolaşım yolları üzerindeki iyon değişim tepkimelerinin etkisini yansıtmaktadır.
- 2) Oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri, gerek sıcak gerekse soğuk sular için Küresel ve Lokal Meteorik Su Doğruları civarında yer almakta ve sıcak suların da, soğuk su eşlenikleri gibi, meteorik kökenli olduğuna işaret etmektedir. Kurşunlu sahasındaki üretim kuyusundan alınan sıcak su örneğinde izlenen yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değeri ise, kuyudaki kabuklaşma problemi ve/veya akışkan-kayaç etkileşimi ile ilişkili gözükmektedir. Sıcak sular, çoğu saha için, soğuk sulara oranla daha düşük (daha negatif)  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri sergilemekte ve sıcak suların, soğuk sulara oranla, daha yüksek kotlardan beslendiğini göstermektedir.
- 3) Soğuk sular, sıcak sulara oranla daha yüksek trityum içeriklerine sahip olup, soğuk su akiferlerinin, sıcak su akiferlerine göre, daha genç yağışlarla beslendiğini işaret etmektedir. Sıcak suların düşük trityum içerikleri, derin dolaşimli, yeraltında kalış süreleri uzun ve mevsimsel değişimlerden etkilenmeyen sistemlerin varlığını ortaya koymaktadır.
- 4) Jeotermal akışkanların helyum izotop bileşimleri (R/Ra), CO<sub>2</sub>/He gaz oranları ve CO<sub>2</sub> gaz fazına ait karbon izotop bileşimleri ( $\delta^{13}\text{C}$ ), manto ve kabuk kökenli gazların karışımını yansıtmaktadır. En yüksek manto bileşenine sahip helyum izotop bileşimleri, güncel sismik etkinliklerin yoğun olduğu KAFZ'nun orta-batı segmentinde kaydedilmektedir.
- 4) Zamansal değişimler, gerek suların kimyasal ve izotopik bileşimlerinde, gerekse jeotermal akışkanların gaz fazlarına ilişkin bileşimlerde gözlenmektedir.

5) Sularda kaydedilen zamansal değişimler, soğuk sular için mevsimsel etkileri (yağış ve buharlaşma süreçlerindeki değişimleri) işaret ederken, sıcak sulardaki değişimler, olasılıkla sismik etkinliklerce tetiklenen soğuk sular ile karışım süreçlerinin etkilerini yansıtmaktadır. Bu bağlamda, Cl, trityum ve Ca içerikleri en duyarlı kimyasal parametreler olarak öne çıkmaktadır. Oksijen ve hidrojen izotop bileşimleri ise, gerek sıcak gerekse soğuk suların meteorik kökenli olması nedeniyle, karışım süreçlerini (ve bu süreçleri tetikleyici mekanizma olarak sismik etkinlikleri) izlemede potansiyel parametre konumunda değildir.

6) Jeotermal akışkanların gaz fazına ilişkin olarak helyum izotop bileşimleri zaman içinde oldukça duraylı gözükürken,  $CO_2/{}^3He$  gaz oranları ve karbon izotop bileşimleri ( $\delta^{13}C$ ) zamansal değişimleri daha iyi belirlemektedir. Bu değişimler, olasılıkla sismik etkinliklerce tetiklenen ve derinlerden gelen  $CO_2$  gaz çıkışlarını işaret etmektedir.

7) Zamansal değişimlerinin, birbirleriyle deneşen birkaç (kimyasal/izotopik) parametrede kaydedilmiş olduğu Yalova ve Efteni sahaları, sismik etkinliklerin izlenmesi konusunda anahtar lokaliteler olarak ortaya çıkmaktadır. Efteni sahasında Temmuz 2002 döneminde izlenen  $CO_2/{}^3He$  ve  $\delta^{13}C$  artışları ve bunlarla eşlenen pH artışları ile Ca düşüşleri, 14 ve 15 Temmuz 2002 Yığılca-Düzce depremleri (M: 2.8-3.1) ile deneşmesi açısından ilginç gözükmektedir. Benzer şekilde, 23 Mart 2002 tarihinde Marmara Denizi'nde kaydedilen M:4.7'lik sismik etkinliğin, Yalova'da en yüksek  $\delta^{13}C$  değerinin elde edildiği (ve  $\delta^{13}C$  değerindeki artışın,  $CO_2/{}^3He$  ve trityum artışlarıyla eşlendiği) örnekleme gününe denk gelmesi özellikle dikkat çekicidir. Bu sahalarda sözkonusu depremlerin yarattığı kabuksal gerilme etkisiyle gözenek ve jeotermal akışkan basınçlarında meydana gelen değişimlerin sıcak-soğuk su karışım süreçlerini ve gaz çıkışlarını tetiklemiş olduğu düşünölmektedir.

8) Proje çalışmaları ile, KAFZ üzerindeki jeotermal sahalarda üç yıllık bir veri tabanı oluşturulmuştur. Çalışmadan elde edilen bulgular, gerek potansiyel iz sürücü parametreler gerekse potansiyel sahalarda önbilgileri sağlamış olmakla birlikte, kimyasal ve izotopik parametrelerin sismik etkinliklerle ilişkilendirmesinin daha sağlıklı olarak yapılabilmesi ve gerçek anlamda anomalilerin yakalanabilmesi, daha sık örneklemenin yapılacağı çok daha uzun süreli bir izleme süresine gereksinim olduğunu göstermiştir.