

TÜBİTAK

2008-288

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU
THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu
Environment, Atmospherical, Earth and Marine Sciences Research Grant Group

95663

Proje No: 102Y156

Geothermal Energy Potential Assesment of Bursa-Turkey

Prof.Dr. Mahmut PARLAKTUNA
Prof. Dr. Şeref GÜÇER
Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ
Prof. Dr. Yılmaz SAVAŞCIN
Prof. Dr. Halim MUTLU
Dr. Murat TOKCAER
Dr. Füsun Servin TUT
Zülfikar ERHAN
Selin SÜER
Serkan ARKAN
Elçin GÖK
Anıl ÇETİNOĞLU

Şubat 2008
ANKARA

ÖNSÖZ

Bursa İli Jeotermal Enerji Potansiyelinin Tesbiti başlıklı bu çalışma TÜBİTAK ile Almanya'nın JULICH Araştırma Merkezi tarafından desteklenmiştir. Türkiye'den Dokuz Eylül Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi ve TUBİTAK-BUTAL'a mensup araştırmacıların katılımıyla gerçekleşen projede Bursa Büyükşehir Belediyesi'nden lojistik destek ile MTA'ya açtırmış oldukları iki adet kuyuda ölçüm yapılması konusunda büyük destek alınmıştır. Projenin Almanya katılımcıları ise Berlin Frei Üniversitesi, Almanya GeoForschungsZentrum - Potsdam ve Alfred Wegener Institute – Potsdam kurumları çalışanlarıdır.

Projenin uluslararası olma niteliği, Türk tarafından birçok genç araştırmacıya Almanya'daki kurumlarda kısa süreli araştırma yapma olanağını sağlamıştır (Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik - Zülfikar Erhan, Elçin Gök, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği – Füsün Servin Tut, TÜBİTAK BUTAL – Anıl Çetinoğlu ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği – Selin Süer). Almanya tarafından sağlanan teknik ekipman desteği yanı sıra arazi çalışmaları için Almanya tarafı araştırmacılarının katkıları projenin gelişimine büyük katkı sağlamıştır. Son olarak, bu projedeki işbirlikleri yeni projeler için zemin hazırlamış ve sonucunda TÜBİTAK - Alman Araştırmalar Konseyi (DFG) ile İşbirliği programı destekli uluslararası bir proje (Proje No: 106Y200) Prof. Dr. Nilgün Güleç önderliğinde 1 Mayıs 2007 itibarıyla başlatılmıştır.

Projede çalışmalarının bir kısmı iki genç araştırmacının (Füsün Servin Tut ve Elçin Gök) doktora tezlerinin bir parçasıdır. Öte yandan Almanya Frei Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğrencisi Murat Özgül Y.Lisans çalışmasını bu proje kapsamında tamamlamıştır. Projeden şu ana kadar 1 tek yayın yapılmıştır, üç adet yayın ise halen hazırlık aşamasındadır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLolar LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
GİRİŞ	1
ÇALIŞMA ALANI GENEL BİLGİLERİ	3
Coğrafi Konum	3
Topografya	3
Bitki Örtüsü	5
JEOLOJİ	6
Uludağ Şistleri	9
Uludağ Mermer – Yarı Mermerleri	9
Karakaya Formasyonu	9
Kalabakkaya Formasyonu	11
Neojen Seviyeler	11
Kuvaterner Çökeller	11
Uludağ Granitik Plutonu	12
ÇALIŞMA ALANININ TEKTONİK KONUMU	14
Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Yer Aldığı Bölgenin Tektonik İncelemesi	21
Çalışma Alanında 2003-2007 Periyodundaki Sismik Etkinlik.....	24
PROJE KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	28
Jeofizik – Sismik Çalışmalar	28
Verilerin Toplanması	28

Verilerin Değerlendirilmesi	29
Veri Değerlendirme Sonuçları	33
Jeokimya Çalışmaları	39
Termal Sular	42
Çekirge Termal Su Bölgesi	43
Kaynarca Termal Su Bölgesi	46
Maden Suları	51
Uludağ Eski, Uludağ Yeni ve Uludağ H ₂ S	51
Çınar Söda	51
Soğuk Sular	53
Yeraltı Suları Fiziksel Parametreleri Yorumları	54
Termal Sular	54
Soğuk Sular	55
Suların Sınıflandırması	55
Çekirge Termal Su Bölgesi	56
Kaynarca Termal Su Bölgesi	57
Maden Suları	59
Soğuk Sular	61
Silika (SiO ₂) – Entalpi Karışım Modeli	64
Çekirge Termal Su Bölgesi	64
Kaynarca Termal Su Bölgesi	65
Jeotermometre Uygulamaları	67
SiO ₂ Jeotermometresi	67
Na/K Jeotermometresi	69
Bursa Sularının Kararlı İzotop İçerikleri	71
Analiz Yöntemleri	71
Analiz Sonuçları	73

Tartışma	80
Sonuç	83
Bursa İli Jeotermal Kaynaklarının Asal Gaz Bileşimleri	85
Örnekleme ve Analiz Yöntemleri	85
Analiz Sonuçları	86
Rezervuar Mühendisliği Çalışmaları	92
Basınç Yükselim Testleri	102
Jeotermal Enerji Potansiyeli	108
BK-1 Kuyusu	109
BK-2 Kuyusu	110
SONUÇLAR	114
KAYNAKLAR	115
10- Kaynarca Kaynağı'nda jeotermal kaynak bölgesi	89
11- BK-1 Kuyusu'nda yapılan basınç yükseltiler	90
12- Kökkürlü Kaynağı'nda yapılan basınç yükseltiler	90
13- Kökkürlü İlk Su Kaynağı'nda yapılan basınç yükseltiler	91
14- Maden adanında yapılan basınç yükseltiler	92
15- Soğuk su kaynaklarında yapılan basınç yükseltiler	93
16- Çöğürler termal su kaynağı'nda yapılan basınç yükseltiler	93
17- Kaynarca termal su bölgesi kaynağı'nda yapılan basınç yükseltiler	94
18- Sifka jeotermometre sonuçları	94
19- Sifka jeotermometre sonuçları	95
20- Na/K jeotermometrelerle yapılan Maden su kaynağı'nda yapılan basınç yükseltilerinde edilen jeotermometre sonuçları	95
21- Karadut rotop jeotermometre sonuçları	96
22- Çöğürler termal su kaynağı'nda yapılan basınç yükseltiler	96
23- Kaynarca Termal Su Kaynağı'nda yapılan basınç yükseltiler	97

TABLULAR LİSTESİ

Tablo No		Sayfa No
1	Sismik cihazların lokasyonları ve buldukları yerin jeolojisi	28
2	Su örneklerinin analizinde kullanılan yöntem ve cihazlar	41
3	Fiziksel ölçümler için kullanılan cihazlar ve hassasiyetleri	41
4	Vakıfbahçe Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	43
5	Zeyninene Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	45
6	Küplüce Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	45
7	Garipler Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	46
8	Horhor Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	46
9	Karamustafa Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	47
10	Kaynarca Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	49
11	BK-1 Kuyusu'nda yapılmış fiziksel ölçümler	50
12	Kükürtlü Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	50
13	Kükürtlü Ilık Su Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler	51
14	Maden sularında yapılmış fiziksel ölçümler	52
15	Soğuk su kaynaklarında yapılan fiziksel ölçümler	53
16	Çekirge termal su bölgesi karışım oranı (T=termal su, K=soğuk su) .	65
17	Kaynarca termal su bölgesi karışım oranı (T=termal su, K=soğuk su)	67
18	Silika jeotermometrelerine ilişkin denklemler (Fournier, 1977)	69
19	Silika jeotermometre sonuçları	69
20	Na/K jeotermometrelerine ilişkin denklemler ve Bursa bölgesi için elde edilen rezervuar sıcaklıkları	71
21	Kararlı izotop analizleri için örneklenen sulara ait UTM koordinatları	73
22	Çekirge Termal Su Bölgesine ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları	75
	Kaynarca Termal Su Bölgesine ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz	

23	sonuçları	76
24	Maden Sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları	78
25	Soğuk su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları	80
26	Örneklenen sahaların örnek alım tarihleri, örnek numaraları, sıcaklıkları ve örnek tipleri	87
27	Suların asal gaz içerikleri, He- ve Ar-izotop bileşimleri	88
28	Suların atmosferik ($^3\text{He}_{\text{atm}}$, $^4\text{He}_{\text{atm}}$) ve atmosferik olmayan ($^3\text{He}_{\text{ex}}$, $^4\text{He}_{\text{ex}}$) bileşenlerine ait değerler	90
29	Suların Helyum içeriklerinin kökensel (atmosferik, mantosal, kabuksal) bileşimi	91
30	BK-2 Kuyusu, Kaynarca ve Uludağ Üniveristesi Kaynak Sularının Fiziksel ve Kimyasal Analiz Değerleri	99
31	Basınç yükselme testi parametreleri	105
32	BK-1 kuyusu basınç yükselme testi analizleri sonuçları	108

1	A. Bursa Ovası ve çevresinin jeolojik özellikleri ve sıcak su kaynaklarının jeolojik koşulları	1
2	Uludağ güncel ve eski kaynarca kaynakları	1
3	Çalışma alanındaki kaynarca kaynakları (Arzolu) sıcak su kaynakları	13
4	Çalışma alanındaki Uludağ kaynarca kaynakları (Arzolu) sıcak su kaynakları	13
5	Batı Anadolu'daki sıcak su kaynakları	13
6	Türkiye'nin jeotermal potansiyeli ve sıcak su kaynakları	13
7	Türkiye ve çevresinin jeotermal potansiyeli ve sıcak su kaynakları	13
8		13
9	GPS Noktalarının Uludağ'daki jeotermal potansiyeli ve sıcak su kaynaklarının belirlenmiş olup, Avrasya Plakası ile Afrika Plakası arasında belirlenmişlerdir.	13
10	Marmara Bölgesi'nin jeotermal potansiyeli ve sıcak su kaynakları (1997)	13
11	Çekirdek havza sıcak su kaynakları	13
12	Aydınlanma sıcak su kaynakları	13
13	Yatırım ve işletme sıcak su kaynakları	13

23	sonuçları	76
24	Maden Sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları	78
25	Soğuk su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları	80
26	Örneklenen sahaların örnek alım tarihleri, örnek numaraları, sıcaklıkları ve örnek tipleri	87
27	Suların asal gaz içerikleri, He- ve Ar-izotop bileşimleri	88
28	Suların atmosferik ($^3\text{He}_{\text{atm}}$, $^4\text{He}_{\text{atm}}$) ve atmosferik olmayan ($^3\text{He}_{\text{ex}}$, $^4\text{He}_{\text{ex}}$) bileşenlerine ait değerler	90
29	Suların Helyum içeriklerinin kökensel (atmosferik, mantosal, kabuksal) bileşimi	91
30	BK-2 Kuyusu, Kaynarca ve Uludağ Üniveristesi Kaynak Sularının Fiziksel ve Kimyasal Analiz Değerleri	99
31	Basınç yükselim testi parametreleri	105
32	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi analizleri sonuçları	108

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No		Sayfa No
1	Türkiye'nin neotektoniği, volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar (Şimşek, 2001)	1
2	Bursa ili jeotermal sahaları yer bulduru haritası (Erişen vd., 1976) ...	2
3	İnceleme alanının yer bulduru haritası	3
4	Çalışma alanının topografik haritası.....	4
5	Çalışma alanının üç boyutlu topografik haritası.....	5
6	Uludağ-Bursa bölgesinin jeolojisi ve bu çalışma kapsamında örnekleme yapılan farklı su kaynaklarının gösterimi (Imbach, 1992'den düzenlenerek)	7
7	A.Bursa Ovası ve çevresinin jeolojik özellikleri, B. Bursa ovası ve çevresinin jeolojik kesitleri	8
8	Uludağ güneyinde yer alan Karakaya Formasyonu	10
9	Çalışma alanında Kaynarca bölgesinde gözlenen traverten çökelleri .	12
10	Çalışma alanında Uludağ oteller bölgesi yolunda gözlenen granodiyorit birimi	14
11	Batı Anadolu'daki Tektonik Zonlar (Okay, 1999)	15
12	Türkiye'nin jeotektonik haritası (Robertson ve Dixon, 1984)	16
13	Türkiye ve çevresinin etkilendiği tektonik kuşaklar	16
14	GPS Vektörlerinin Yönelimleri (Hız vektörleri Reilinger, 2006'dan alınmış olup, Avrasya'daki bir referans noktasına göre belirlenmişlerdir)	18
15	Marmara Bölgesindeki Kırık Sistemleri ve Tarihi Depremler (Barka, 1997)	18
16	Çek-ayır havza oluşumları (Rahe vd. 1998)	19
17	Bursa ve çevresindeki Uludağ yükselimine neden olan faylar (Yaltırak 2007 ve Selim vd. 2006)	21

18	Marmara bölgesinin ana fay zonları (Barka, 1997)	23
19	1900 yılı sonrası aletsel dönemde Bursa İli ve yakın çevresinde meydana gelen depremler (Sellami vd., 1997)	23
20	2003-2004 periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen >2.0 depremler (B.Ü Kandilli Rasathanesi Verileri)	25
21	2004-2005 periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen > 2.0 depremler	25
22	2005-2006 periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen > 2.0 depremler	26
23	2006-2007 Haziran periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen > 2.0 depremler	26
24	2003-2007 Haziran periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen >2.0 depremler	27
25	Sismik istasyon (yeşil üçgenler) ağı	29
26	Proje kapsamında 1 Ocak 2004 tarihinde, 19:30'da kaydedilen bir deprem örneği	30
27	Meydana geldiği saat-dakika bilgileri kullanılarak, bilgisayar kaydedilen deprem verilerinin, SEISAN ve MS-DOS ortamındaki görüntüleri	31
28	Deprem kaydında P dalgası ve S dalgası fazlarının tayin edilmesinde hareketle hesaplanan; lokasyon (enlem, boylam), derinlik, magnitüd bilgilerine ilişkin bir örnek	32
29	IGD istasyonuna ait bir deprem kaydı	33
30	Ocak-Nisan 2004 ayları arasında meydana gelen depremlerin lokasyon haritası	34
31	Seçilen enlem ve boylama göre depremlerin derinlik dağılımı	35
32	İstasyonlara göre P ve S fazları okuma sayıları	36
33	İstasyonlara göre okuma yüzdeleri	37
34	Gün içinde saate göre deprem sayısı grafiği	38
35	Derinliği 50km'ye kadar olan deprem sayısı grafiği	38
36	Bursa ilinden alınan örneklerin konumları	40
37	Bursa ilinin iki termal su bölgesi	42

38	a. Çekirge Termal Bölgesi Hidrojeolojik Yer Bulduru Haritası, b. Çekirge Termal Bölgesi AB Profili (Imbach, 1992 den adapte edilmiştir)	44
	BK-1 kuyusunun Imbach (1992) çalışmasında gösterimi	45
39	a. Kaynarca Termal Su Bölgesi Hidrojeolojik Yer Bulduru Haritası, b. Kaynarca Termal Bölgesi CD Profili	48
40	Çekirge ve Kaynarca Termal su bölgeleri elektrik geçirgenlik-sıcaklık ilişkisi	54
41	Soğuk su sıcaklığının yükseklikle değişimi	55
42	Seçilmiş termal su, maden suyu ve soğuk su kaynaklarının Schoeller diyagramı	56
43	Çekirge termal su bölgesi su örneklerinin Schoeller diyagramı	57
44	Çekirge termal bölgesi su örneklerinin katyon – anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar	57
45	Kaynarca termal su bölgesi su örneklerinin Schoeller diyagramı	59
46	Kaynarca termal bölgesi su örneklerinin katyon – anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar	59
47	Maden suları örneklerinin Schoeller diyagramı	60
48	Maden suları örneklerinin katyon – anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar	61
49	Soğuk su kaynaklarının katyon-anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar	62
50	Önemli soğuk su kaynaklarının Schoeller diyagramları	63
51	Soğuk su kaynaklarının su tipleri ve akifer litolojileri	64
52	Çekirge termal su bölgesi silika-entalpi karışım modeli	66
53	Kaynarca termal su bölgesi silika-entalpi karışım modeli	67
54	Farklı silika fazlarına ilişkin çözünürlük eğrilerini (Fournier, 1977) ve Bursa jeotermal sularının konumlarını gösterir diyagram	70
55	Bursa sularının kararlı izotop içeriklerinin $\delta^{18}\text{O}$ vs δD diyagramındaki dağılımları	83
56	Bursa sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin yükseklik ile ilişkisi	85
57	Bursa sularının δD değerlerinin yükseklik ile ilişkisi	85

58	Suların R/Ra vs ²⁰ Ne/ ⁴ He diyagramı	92
59	BK-1 ve BK-2 kuyuları yer bulduru haritası	94
60	BK-1 kuyusunun Imbach (1997) modelinde gösterimi	95
61	BK-1 kuyusunun MTA (1976) modelinde gösterimi	95
62	BK-1 Kuyusu litoloji logu	96
63	BK-1 kuyusu koruma borusu ve kuyubaşı emniyet vanası sistemi	97
64	BK-2 Kuyusu litoloji logu ve muhafaza borusu çap ve derinlikleri ...	100
65	BK-2 Kuyusu muhafaza borusu ve kuyubaşı düzeneği	101
66	BK-2 Kuyusu ile Kaynarca ve U.Üniversitesi Kükürtlü kaynakları sularının Schoeller diyagramları	102
67	BK-1 kuyusuna monte edilen basınç ölçerler	103
68	BK-1 kuyusu kuyubaşı basıncı değişimi (Kasım 2003 – Ocak 2004)	104
69	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi (30.10.2003)	105
70	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi (22.1.2004)	105
71	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi Horner grafiği (30.10.2003)	106
72	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi Horner grafiği (22.1.2004)	106
73	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi analizi (30.10.2003)	107
74	BK-1 kuyusu basınç yükselim testi analizi (22.1.2004).....	107
75	Lindal Diyagramı (Lindal, 1973)	108
76	Birim taban alanı için ısıtma enerjisi miktarının dış ortam tasarım sıcaklığı ile değişimi (Lund ve Lineau, 2005)	112
77	Bursa ili 2003 ve 2005 yılları en düşük sıcaklık değerleri (saat 14:00 itibarıyla)	113

ÖZET

Bursa, jeotermal enerjinin yüzyıllardır kullanıldığı bilinen bir kent özelliğini taşımaktadır. Geleneksel hamam ve kaplıcaları ile meşhur Bursa ili, kullanımındaki suyun sadece doğal çıkışlarla elde edildiği geleneksel yapısını halen sürdürmektedir. Bilinen çok önemli iki termal bölgesi (Çekirge ve Kaynarca-Kükürtlü) yanı sıra Uludağ eteklerinden üretilen maden suları ve ayrıca şişeleme ile pazarlanan içme suyu kapasitesi ile Bursa jeotermal enerji açısından bir çekim noktasıdır.

Tüm bu bilinenler çerçevesinde planlanan “Bursa İli Jeotermal Enerji Potansiyelinin Tesbiti” başlıklı bu projede Türk-Alman üniversite ve araştırma birimleri ortaklığında çalışmalar yürütülmüştür. Almanya GFZ. Kurumu'nun elinde bulunan atıl kapasitedeki sismik istasyonların kullanımı ile kurulan sismik ağ vasıtasıyla elde edilen 6 aylık veriler ile Bursa ili depremselliği konusunda bilgiler üretilmesinde kullanılmıştır. Bu çerçevede, sismik aktivitelerin kuzey-güney yönlü yoğunlaştığı, KB-GD yönelimli Eskişehir fayı ile Kuzey Anadolu Fayı çakışma noktasında kümelenme olduğu ve derinlik – sismik aktivite ilişkisi irdelendiğinde aktivitenin en çok 10 – 20 km derinlik aralığında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

Bursa ile termal suları, soğuk suları ve maden sularından alınan örneklerin analizleri sonrası, Bursa ilinin iki önemli termal bölgesi olan Çekirge ve Kaynarca-Kükürtlü bölgelerinin sıcaklık – elektrik geçirgenlik ilişkileri irdelendiğinde bu iki parametre arasında Kaynarca - Kükürtlü Bölgesi için doğrusal bir ilişki olduğu, ancak Çekirge bölgesi için ilişkinin olmadığı gözlemlenmiştir. Soğuk suların kaynak sıcaklığının yükseklikle 0,65 °C/100 m ile değiştiği saptanmıştır. Örneklenen suların kararlı izotop bileşenleri analizi sonucu, Bursa yöresine ait termal sular ile Bursa ili ve Uludağ etrafından toplanan soğuk suların meteorik kökenli olduğu ve bu suların Uludağ'ın yüksek kotlarındaki yağışlarla beslendiği belirlenmiştir. Kaynarca – Kükürtlü ve Çekirge termal bölgeleri suları karşılaştırmasında, Kaynarca – Kükürtlü termal bölgesi sularının daha çok su-kayaç etkileşimine maruz kaldığı ve daha derin dolaşımli ve daha yaşlı bir su sisteminin ürünleri olduğu düşünülmektedir.

Bursa Büyükşehir Belediyesi'nce 2002-2003 yıllarında jeotermal enerji araştırma çalışmaları kapsamında açtırılmış olan BK-1 ve BK-2 kuyularında yapılmış olan debi ve sıcaklık değerleri kullanılarak, BK-1 kuyusu akışkanının 400 kişilik bir termal tesisi, BK-2 kuyusu akışkanının

ise 100 m² taban alanına sahip 1100 konut ile 1100 kişi kapasiteli bir termal tesisi besleyebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bursa, Jeotermal, Uludağ, Termal Akışkan

ABSTRACT

Bursa has been known for centuries as one of the oldest cities utilizing geothermal energy. Bursa kept its traditional way of utilizing geothermal fluid obtained from natural springs in the traditional Turkish Baths and spas. In addition to two well known geothermal fields (Çekirge and Kaynarca-Kükürtlü) mineral water sources along Mount Uludağ and cold water springs (used as drinking water through bottling) make Bursa is an attractive spot for geothermal energy.

This study with the heading of "Geothermal Energy Potential Assessment of Bursa-Turkey" was established as a joint project of Turkish-German universities and research institutes. Seismic stations from GFZ of Germany were situated in Bursa for a period of six months in a seismic network to study the seismic activities of Bursa region. The results indicated that the seismic activities are concentrated in a north-south direction, the junction point of NW-SE oriented Eskişehir Fault and North Anatolian Fault is found to be a zone of seismic swarm and most of the seismic activities take place in the depth region of 10 – 20 km.

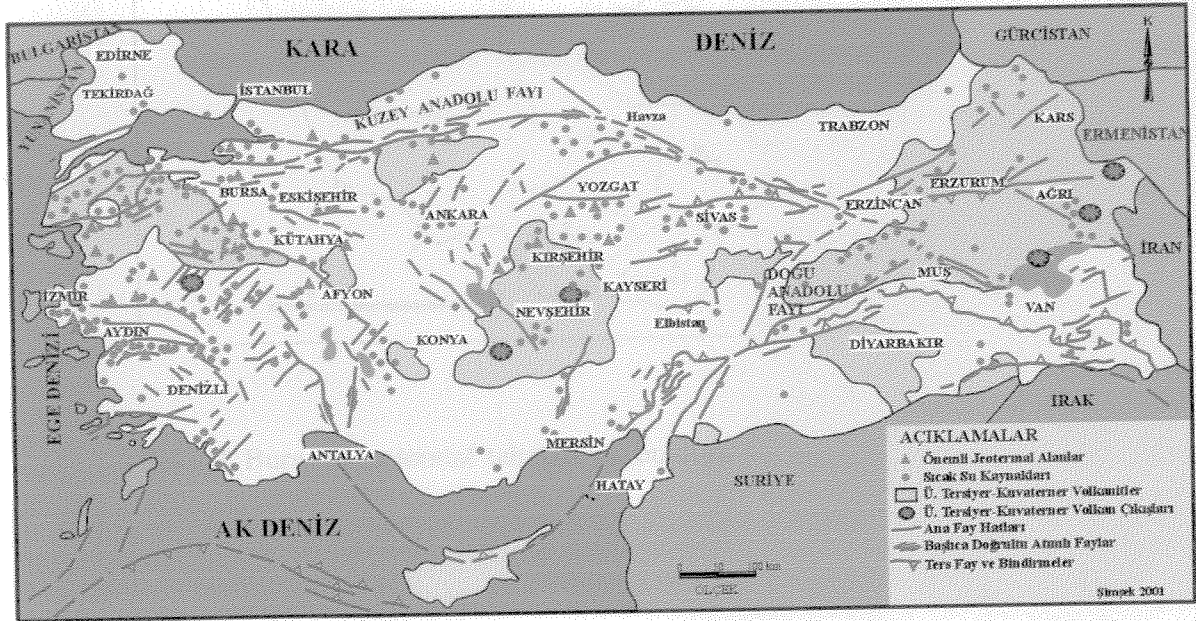
Analysis of water samples from geothermal fields, mineral and cold waters indicate that; temperature-electrical conductivity relationship of two important geothermal fields were compared and a linear relationship is found in Kaynarca-Kükürtlü system while no relationship is observed in Çekirge; the temperature of cold waters change with a gradient of 0.65 °C/100 m as function of altitude; analysis of stable isotope of sampled waters show that thermal and cold waters of region have meteoric origin and they all fed from the high altitudes of Mount Uludağ; comparison of Kaynarca-Kükürtlü and Çekirge thermal waters indicate that Kaynarca-Kükürtlü thermal waters are subjected more to water-rock interaction and circulating deeper than that of Çekirge thermal waters.

Flow rate and temperature measurements from the two geothermal deep wellbores (BK-1 and BK-2 of Bursa Municipality) showed that BK-1 can be utilized in a thermal facility of 400 capacity while BK-2 is a good candidate for space heating for 1100 residences with a floor area of 100 m². In addition, a thermal facility of 1100 capacity can use the effluent of space heating system.

Key words: Bursa, Geothermal, Mount Uludağ, Thermal water

GİRİŞ

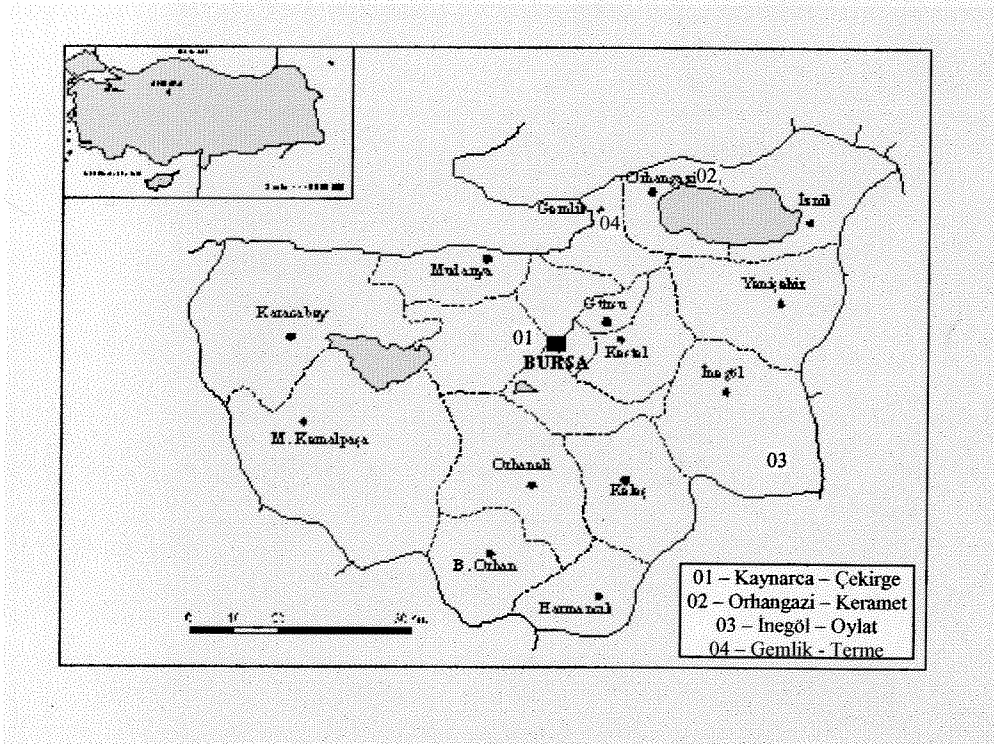
Tektonik olarak oldukça aktif olan Alp-Himalaya sistemi içinde yer alan Türkiye jeotermal enerji açısından zengin bir ülkedir. Bu zenginliğin en büyük göstergesi, tüm ülkeye yayılmış olan çok sayıdaki doğal sıcak su kaynaklarıdır. 1960 larda MTA tarafından başlatılan jeotermal enerji arama ve geliştirme çalışmaları enerji üretimine uygun sahaların bulunması sonrası 1980 lerde ivme kazanmıştır. Yapılan jeolojik, jeofizik, jeokimyasal ve sondaj çalışmaları (Şimşek, 1985; Şimşek ve Okandan, 1990; Şimşek ve Demir, 1991; Erişen vd., 1996; Savaşçın vd., 1997; Mutlu ve Güleç, 1998) yüksek-entalpili (> 150 °C) sahaların çoğunun genişleme tektoniği altındaki Batı Anadolu'da yer aldığını göstermektedir. Orta ve Doğu Anadolu jeotermal sahalarının tarihsel volkanik aktivite ile, Kuzey Anadolu'daki düşük ve orta entalpili jeotermal sahalarının ise Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile ilintili olduğu bilinmektedir (Şekil 1, Şimşek 2001).



Şekil 1. Türkiye'nin neotektoniği, volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar (Şimşek, 2001)

Projenin hedef alanı olan Bursa-Uludağ bölgesi ise aktif iki fay kuşağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Ege Açılma Sistemi arasında bulunmaktadır. Bursa ili jeotermal kaynaklarını dört ana gruba ayırmak mümkündür; Kaynarca - Çekirge, Orhangazi - Keramet, İnegöl - Oylat ev Gemlik - Terme jeotermal sahaları (Şekil 2). Bu proje kapsamında Bursa ili merkez

ilçesinde yer alan Kaynarca – Çekirge jeotermal alanları ile çevredeki maden suyu ve soğuk suların örnekleme ve analizleri yapılmış, ayrıca Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından MTA'ya açtırılmış olan jeotermal akışkan üretim amaçlı iki kuyuda yapılan ölçümler değerlendirilmiştir.

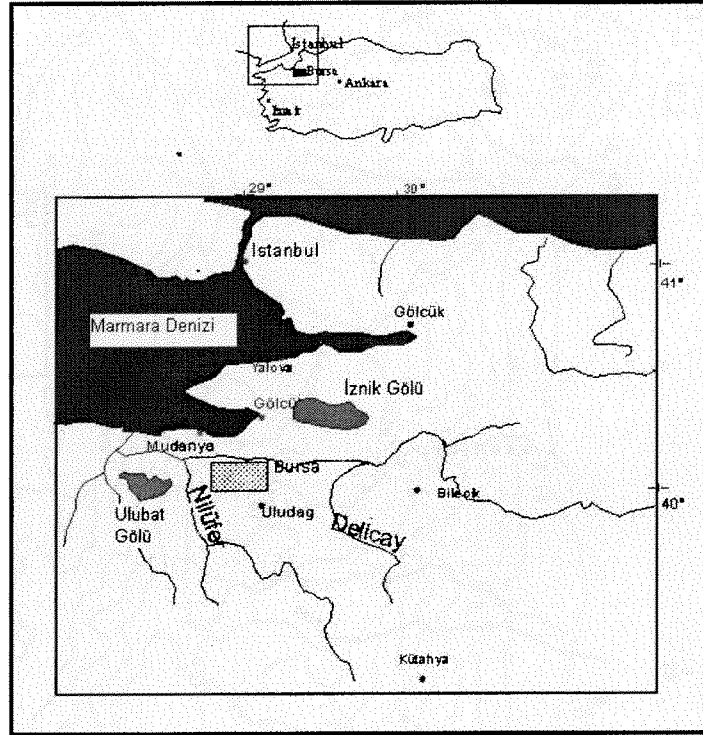


Şekil 2. Bursa ili jeotermal sahaları yer bulduru haritası (Erişen vd., 1976)

ÇALIŞMA ALANI GENEL BİLGİLERİ

Coğrafi Konum

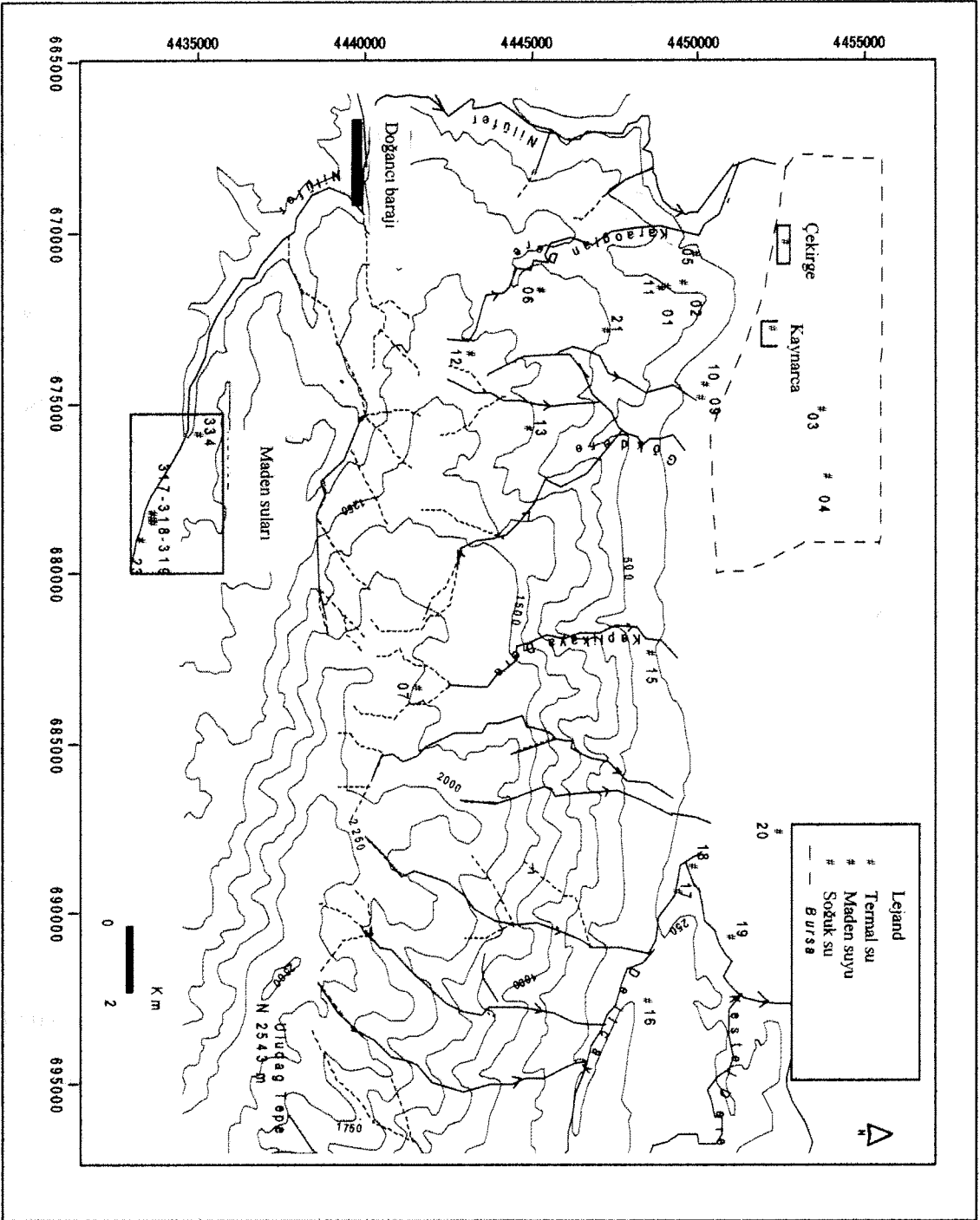
Çalışmanın yapıldığı alan olan Bursa, ortalama olarak deniz seviyesinden 70 m. yükseklikte, Marmara Denizi'nin güneyinde ve Batı Anadolu'nun en yüksek dağının (Uludağ, 2543m.) eteklerinde yer almaktadır (Şekil 3). İnceleme alanı batıda Nilüfer çayı doğuda ise Deliçay ile sınırlanmaktadır.



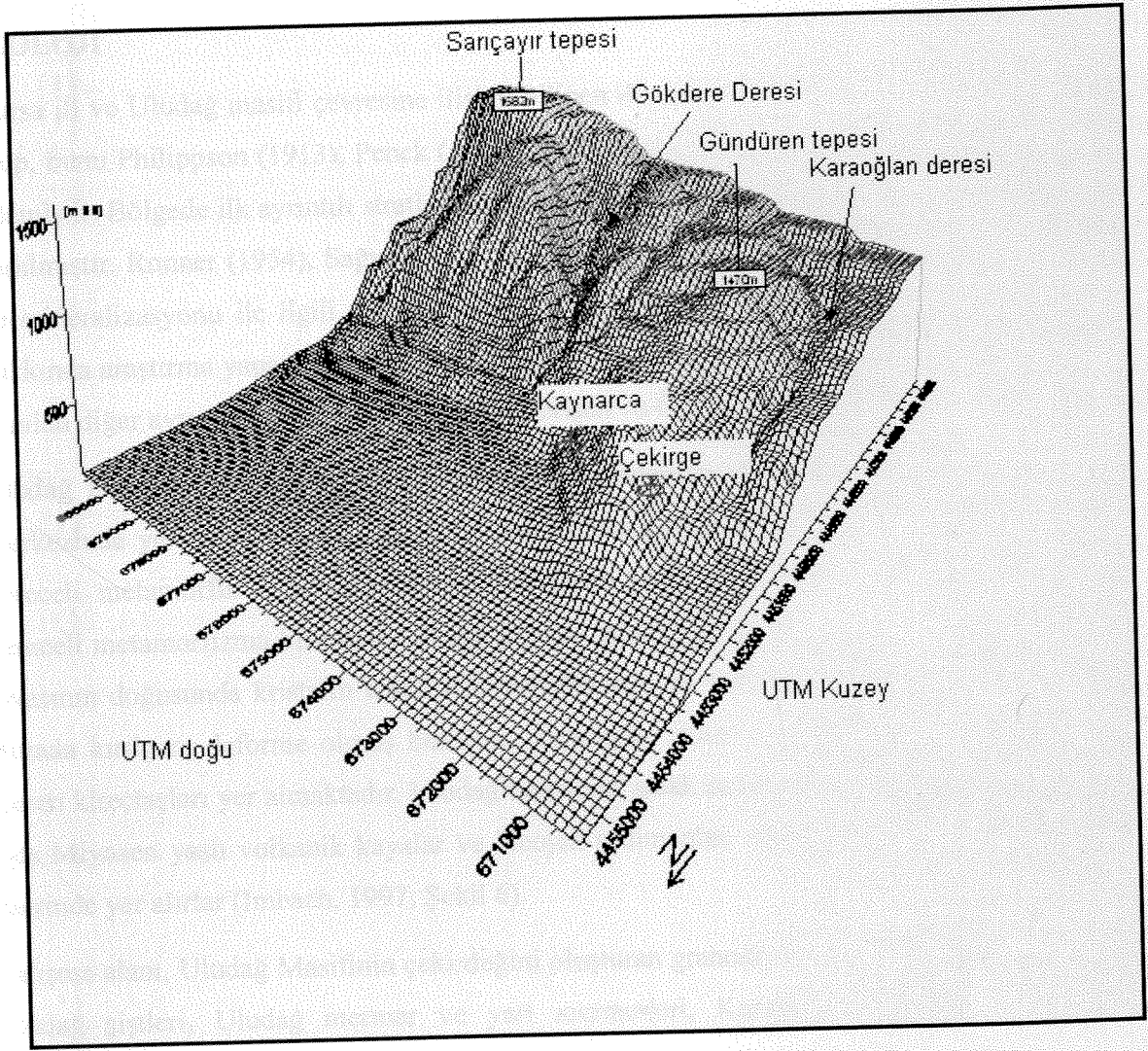
Şekil 3. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Topografya

İnceleme alanı genelde güneye gittikçe yükselmektedir. En önemli noktalar Dobruca, Cumalıkazık, Hamamlıkazık, Demirkapı, İnkaya ve Çaybaşı'dır. Çok dik yükseltilerin yer aldığı bölgedeki en yüksek tepe deniz seviyesinden 2543 m. yükseklikli Uludağ Tepesidir (Şekiller 4 ve 5). Şekil 4 te tüm çalışma alanının topografik haritası, çalışma sırasında su örneklerinin alındığı noktaları da gösterir şekilde verilirken, Şekil 5 te bu kez Bursa ilinin en önemli iki jeotermal alanını da (Çekirge ve Kaynarca) işaretleyen harita üç boyutlu olarak sunulmaktadır.



Şekil 4. Çalışma alanının topografik haritası



Şekil 5. Çalışma alanının üç boyutlu topografik haritası

Bitki Örtüsü

Bölgede orman üst sınırı deniz seviyesinden 2000 m. yüksekliktedir. Şehir dışındaki alanlar yoğun bitki örtüsü ile kaplıdır. Özellikle Uludağ çok sık fundalık, meşe ve köknar ormanları ile kaplıdır. Şehrin özellikle batı kesiminde yaprak döken ağaçlar (kestane ve benzeri) yoğun şekilde yetişmektedir. Bursa ovasında ise daha çok tarım alanları mevcuttur.

JEOLOJİ

Bursa ili ve Uludağ masifi çevresine ilişkin bilinen ilk çalışma Tchihateheff (1869) ile başlamış olup, bunu Philippon (1913), Penck (1918), Chaput'un (1944) jeoformoloji ağırlıklı çalışmaları izlemiştir. Bölgede ilk ayrıntılı stratigrafi çalışması ise Ketin (1947) tarafından Uludağ masifinde yapılmıştır. Ronner (1954), Sağıroğlu (1956) ve Kaaden'in (1958) Uludağ volfram maden jenez ve mineralizasyonu ile ilgili çalışmasını, Uludağ granodiyoritlerini inceleyen ve masif evrimi hakkında araştırma yapan Sağıroğlu ve Bürküt (1966) ve Öztunalı (1967) izlemiştir. Bursa ilinde yapılan diğer ayrıntılı stratigrafi çalışması da Erişen ve Öngür'e (1976) aittir.

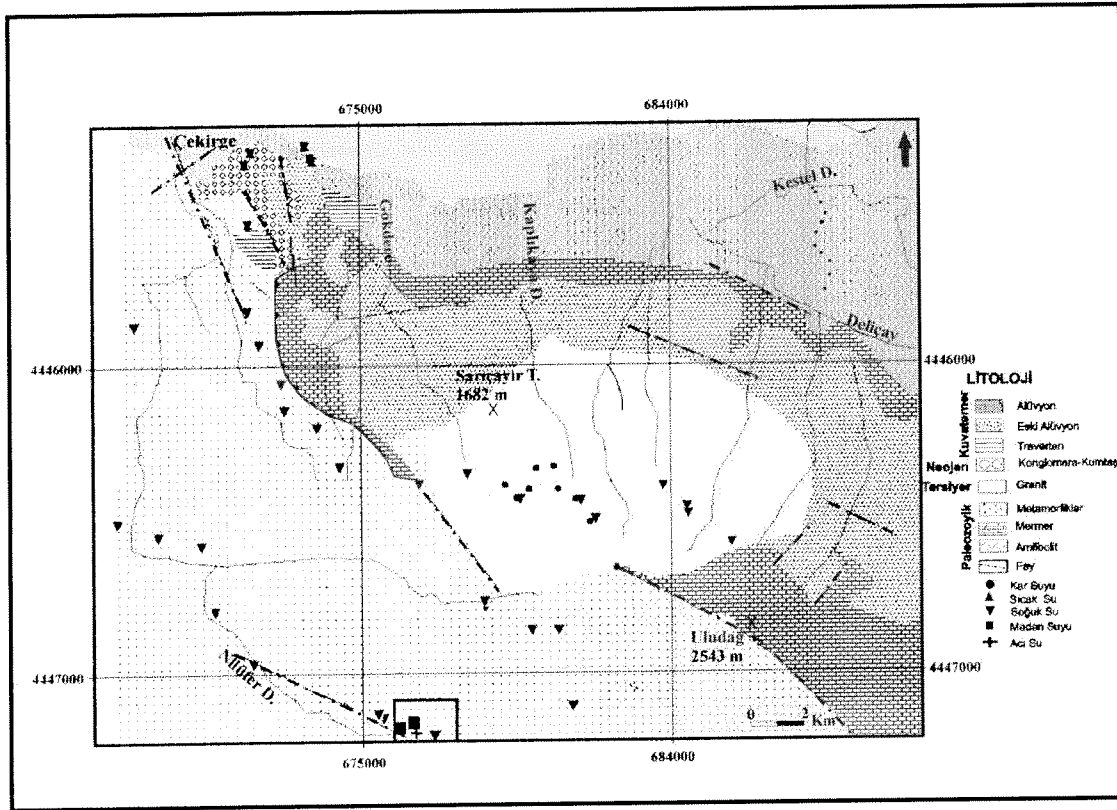
Uludağ temelde Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalardan oluşmaktadır (Ketin, 1947). Dağın merkezinde yer alan yüksek dereceli bölgesel metamorfizma kayaları, tektonik sınırlarla düşük dereceli metamorfik kayalardan ayrılır. Oligosen yaşlı, açık renkli granitik ürünler, yüksek dereceli metamorfizma birimiyle Uludağ platosu içinde yer almaktadır (Bingöl vd. 1982). Bursa Ovasının doğusunda kristalin temel üzerinde Paleozoyik yaşlı sedimentler örtü gözlenmektedir. Burada kırılan, deforme olmuş bazaltlar, kumtaşları marn ve Erken Permiyen yaşlı, fusilina içeren kireçtaşları yer almaktadır. Uludağ batısında, sıcak su kaynaklarına yakın bölgede Orta ve Geç Miyosen yaşlı volkanik kayalar ve Neojen sedimanlar, düşük dereceli metamorfik kayalar üzerinde yer alırlar (Imbach, 1997; Şekil 6).

Çalışma alanı, Uludağ Masifinin çekirdeğini oluşturan granodiyorit ile birimin etrafında yer alan Uludağ şistleri, Uludağ mermer ve yarı mermerleri, Karakaya formasyonu, Kalabakkaya Formasyonu, Neojen birimler ve bunları üstleyen Kuvaterner birimlerden oluşmaktadır (Şekil 6).

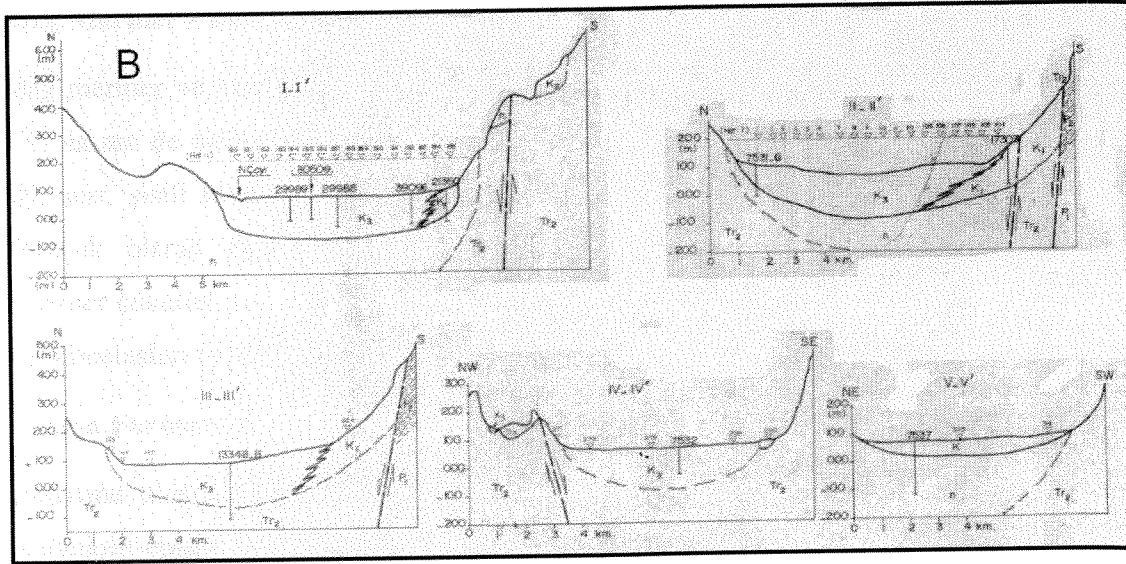
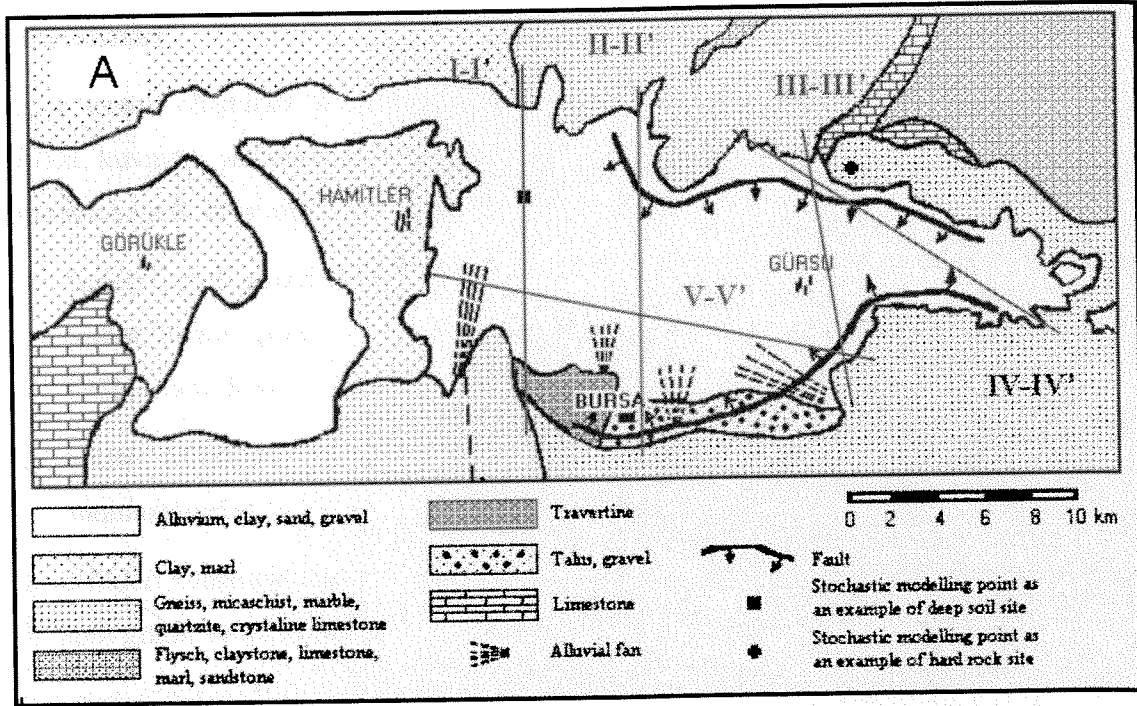
Bursa ve çevresinin jeolojik özelliklerini belirleyen en önemli jeolojik birim Karakaya Kompleksidir. Uludağ Masifi Karakaya Kompleksi içinde yer alır. Uludağ Masifi'nin temel yapısını, farklı derecelerde başkalaşım geçirmiş metamorfik serilerle (mermer), bunlar içerisine sokulmuş granit plütonları (gnays) oluşturur. Graben tipi bir yapıda olan Bursa Ovası, Kuvaterner yaşlı (2 milyon yıl ve daha genç) alüvyonlarla (kil, kum, çakıl) doldurulmuş derin bir tektonik çukurdur (ortalama 2 km). Ovanın kuzeybatısında ve Kuvaterner yaşlı alüvyonun altında Neojen yaşlı kalın kil ve marn seviyeleri mevcuttur (Kutlukan, 1973). Bu seviyelerin içinde yer yer ince kumtaşı ve silttaşı bantları bulunmaktadır. Ovanın genel jeolojik haritası ve jeolojik kesitleri Şekil 7 de verilmiştir. Ova, Uludağ'ın kuzey eteklerinde 95-150 m rakımında, 208 km²

büyükliğünde ve D-B yönünde yer almaktadır (Şekil 7A). Ovanın güney kenarındaki yan dere ağzlarında alüvyon iri blok ve çakılların egemen olduğu birikinti konileri (alluvial fan) yerleşmiştir.

Ovadaki çöküntünün, ovanın güney ve kuzeyinde yerleşen ve ayrıntılı araştırmalara gerek duyulan iki büyük fay boyunca olduğu öne sürülmüştür. Bursa Ovası içerisinde, Neojen ve alüvyon birimlerinin altında yer alan kayalarda tektonik hareketler nedeniyle fay oluşumları da beklenebilir. Takip eden paragraflarda bölgede görülen farklı birimler detaylı olarak anlatılmaktadır.



Şekil 6. Uludağ-Bursa bölgesinin jeolojisi ve bu çalışma kapsamında örnekleme yapılan farklı su kaynaklarının gösterimi (Imbach, 1992'den düzenlenerek)



Şekil 7 A. Bursa Ovası ve çevresinin jeolojik özellikleri, B. Bursa ovası ve çevresinin jeolojik kesitleri (DSİ 1. Bölge Müdürlüğü arşivlerinden elde edilmiştir).

Uludağ Şistleri

Bölgede temeli oluşturan birim gnays, mikaşist (kuvars-serisit şist, kuvars-muskovit şist vb.), amfibolit, kuvarsit, yer yer mermer, kalkşist bant ve mercceklerinden oluşur. Şistler, Ketin (1947) tarafından A ve B serisi olarak gruplandırılmış olup, alttan üste doğru:

A- Serisi: Çeşitli gnays türleri (kuvars, ortoklas, plajiyoklas, serizit, muskovit, biyotit, klorit, epidot, apatit, granat, zirkon ve yer yer de hornblend içermektedirler ((Erişen& Öngür, 1976)), amfibolit ve mermer,

B- Serisi: Mikaşist, fillit, açık mavi renkli mermer ve yarı mermerler olarak yerleşim sunmaktadırlar.

Metamorfikleri oluşturan kaya birimleri kuvars-diyorit, kuvars diyorit porfiri, pegmatit, granit porfir, aplit granit ve kuvars damarları ile kesilir (Erişen& Öngür, 1976).

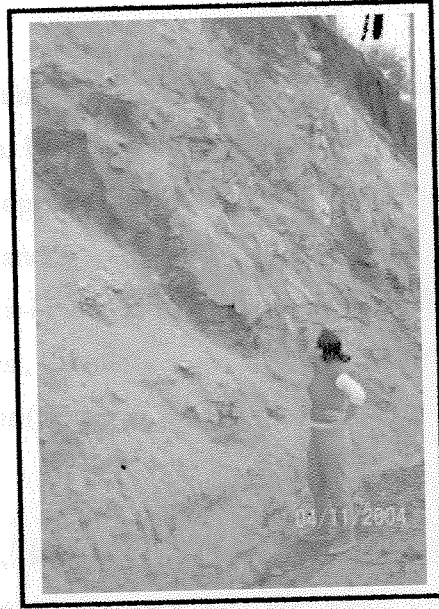
Uludağ şistleri Paleozoyik yaşlı olarak tanımlanmaktadırlar (Erişen&Öngür, 1976).

Uludağ Mermer - Yarı Mermerleri

Uludağ mermer ve yarı mermerleri, Uludağ şistleri üzerine yer yer diskordansla oturup (Ketin, 1947), bazen de şistler içerisinde bant ve merccekler halinde bulunmaktadır. Birimin içinde bej renkli, sert, şistli mermerler ve koyu gri kahverengimsi mermer ve yarı mermerler gözlenir. Paleozoyik olarak nitelenen birimin üst sınırında genellikle diskordan olarak Neojen ve Kuvaterner çökeller yer almaktadır (Erişen&Öngür, 1976). Erk (1942) ve Imbach(1997) fusuluna içeren kireçtaşları nedeniyle birimin Erken Permiyen yaşlı olduğunu belirtmektedirler.

Karakaya Formasyonu

Formasyonu oluşturan kaya birimleri, epidot-aktinolit-glaukofan şist, hornblend-epidot-kuvars şist, aktinolit-epidot-muskovit şist, kuvars-epidot-glaukofan şist, metaspilit, grovak ve kireçtaşı bloklarının karmaşığı biçimdedir. Kireçtaşı mostraları irili ufaklı bloklar halinde ve allokton olarak şistler arasında bulunmaktadır. Bazı lokasyonlarda bu bloklar tamamen breşleşmiş olarak görülmektedirler (Şekil 8). Formasyonun üst sınırında Neojen ve Kuvaterner çökelleri diskordan olarak bulunmaktadır (Erişen&Öngür, 1976). Bingöl vd. (1973)'in formasyon üzerindeki çalışmasına dayanılarak birim Triyas yaşlı olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 8. Uludağ güneyinde yer alan Karakaya Formasyonu

Uludağ karmaşığında yer alan gnays ve amfibolitler Karakaya formasyonundaki şistlerden farklı metamorfizma koşullarına sahiptir. Gnays ve amfiboller ileri bir metamorfizma ürünü olup, çok gelişmiş şistozite kazanmışlardır. Karakaya formasyonu glaukofanlıdır ve şistozite bazı zonlarda yaygındır. Bu nitelikleri göz önünde bulundurulduğunda iki birimin bir aradılığı tektonik süreçler sonucunda gelişmiş olmalıdır. Bunu destekleyecek şekilde yüksek gnayslar granit, Karakaya formasyonu kayaları ise Uludağ'ın güneyinde serpantinitle birlikte görülmektedir. Okay (1981), Akyüz (1995) serpantin birimini Ovacık melanjı olarak nitelendirmektedir. Buna göre gnayslar yüksek sıcaklık, Karakaya formasyonu kayaları ise yüksek basınç etkisinde gelişmişlerdir. Sakarya zonunun en alt birimini oluşturan formasyon Nilüfer birimi ve Orhanlar grovağı ile temsil etmekte olup, Nilüfer biriminin ağırlıklı olarak volkano-klastikler (metaspilitik lav, metatüf, metasilttaşı) ile mermer ve kalkşistlerden oluştuğu, Orhanlar grovağının ise kahverengi, kahvemsî yeşil renkli, çok parçalanmış grovaplardan ve bunlarla adalanma sunan mavi-gri şeyl ve silttaşlarından oluştuğu, birimin Bayurköy Formasyonu olarak adlandırılan kumtaşı istifi tarafından uyumsuzlukla örttüğü belirtilmiştir (Okay vd. 1990).

Kalabakkaya Formasyonu

Çekirge güneydoğusundaki Kalabakkaya sırtlarındaki formasyon; kuvarsit, boynuztaşı, limonit çimentolu breş ve konglomera, konglomeratik kumtaşı ve konglomera ile temsil edilmektedir. Formasyonu kapsayan kaya topluluğu detritiktir. Limonit çimentolu konglomeralar kuvarsit, boynuz taşı, şist ve kuvarstandan oluşmaktadır (Erişen ve Öngür, 1976). Konglomeratik kumtaşları ise kuvarsit, serizit-kuvars şistten oluşmaktadır. Konglomeralar kuvarsit, serizit-kuvars şist, muskovit-kuvars şist, kumtaşı, kuvars tanelerinden oluşmaktadır. Formasyonun yaşı Eosen olarak yorumlanmaktadır (Erişen ve Öngür, 1976).

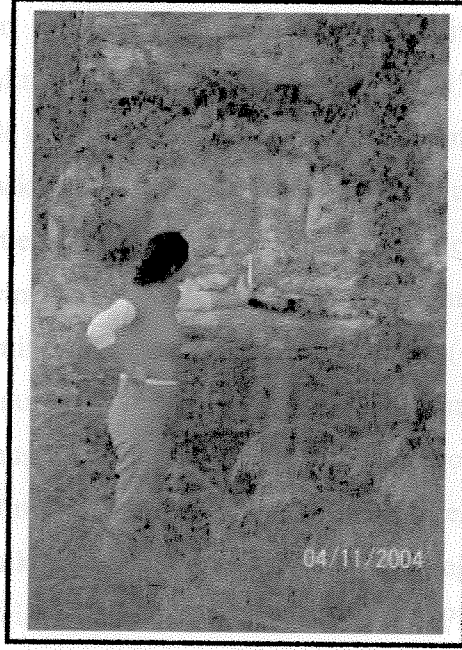
Neojen Seviyeler

Neojen çökeller konglomera, kumtaşı, kil, silt, marn ve kireçtaşı ar dalanması ile temsil edilmektedir. Birim, konglomera, kumtaşı, kil, silt, marn ve kireçtaşı ar dalanması (n1) ve konglomera, kumtaşı, kil, silt, marn, kireçtaşı ar dalanmasından (n2) oluşmaktadır (Erişen ve Öngür, 1976). Konglomeralar şist, kuvarsit, mermer ve kuvars parçalarından ve Uludağ masifinin malzemesinden meydana gelmektedir. (Ketin, 1947). Kireçtaşları göl sel olup, marn, kil ve siltler limonitleşme göstermektedir. Birim Pliyosen olarak yaşlandırılmaktadır (Erişen ve Öngür, 1976). Imbach (1992), Uludağ bölgesinde Geç Paleozoyik veya Mesozoyik yaşlı metamorfik olmayan sedimentler olmadığını, Uludağ'ın batısında, sıcak su kaynaklarının yakınlarındaki Neojen yaşlı sediment kalıntıları ve Orta ve Geç Miyosen yaşlı volkanik kayaların (ojitli andezit, tuf) doğrudan düşük dereceli metamorfik kayalar üzerine uzandıklarını belirtmektedir.

Kuvaterner Çökeller

Traverten, sinter ve alüvyonlardan oluşan çökeller Kuvaterner ile temsil edilmektedir. Traverten oluşukları Kükürtlü-Kaynarca jeotermal alanında, Çekirge, İnkaya çevrelerinde yaygındır. Kükürtlü-Kaynarca jeotermal alanında oluşmuş travertenler az boşluklu, yer yer sıkı dokulu, çoğu kez çatlaklarında aragonit kristalleşmelidirler (Şekil 9). Sinterler sıcak silis çökelleri olup, fay çizgileri boyunca yüzlelenmektedirler.

Eski alüvyonlar iri blok-moloz, kum, çakıl, toprak ile temsil edilmekte olup ve kumlu, killi, siltli ve çakıllı yeni alüvyonlar Bursa Ovası boyunca yer almaktadır.

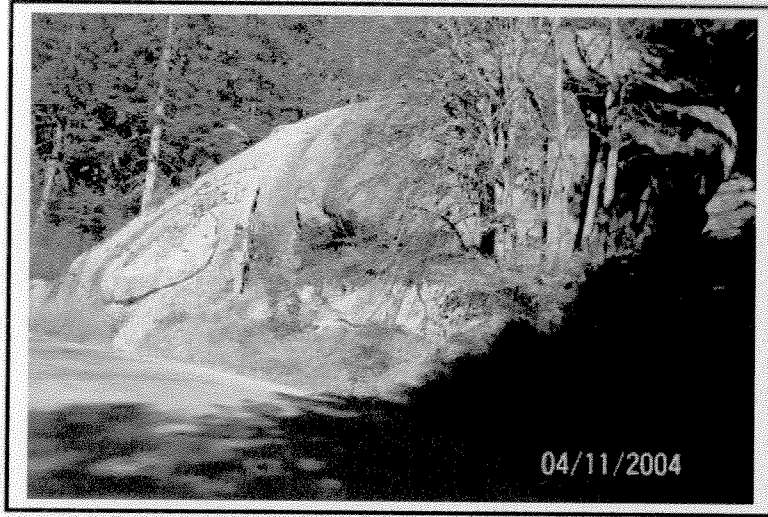


Şekil 9. Çalışma alanında Kaynarca bölgesinde gözlenen traverten çökelleri

Uludağ Granitik Plutonu

Granitik pluton metamorfik kayaları kesip, içlerine dayklar halinde de sokularak yan kayacı kontakt metamorfizmaya uğratmıştır. Bursa'dan Kirazlıyayla mevkiine çıkan patika üzerinde gnayslardan granite geçiş kolaylıkla fark edilmektedir (Şekil 10). Granit Karabelen'den otellere kadar asfalt boyunca ve oteller bölgesinden batı zirveye çıkan yol boyunca tipik aşınma şekilleri ve çeşitli damarlar ile farklı büyüklüklerde göze çarpmaktadır. Uludağ'ın zirveye yakın kesimlerinde granodiyorit-şisti mermer kontaklarında diyopsit, hedenberjit, aktinolit, tremolit, epidot, klorit, vollastonit, granat, turmalin, albit, florit gibi skarn mineralleri ve şeelit, bursait ($Pb_8Bi_4S_{11}$) bulunmaktadır. Pluton iki şekilde gözlenmektedir; bunlardan biri orta ve iri taneli, çok biyotitli, damar ve çatlakları fazla kenar graniti, diğeri ise daha ufak taneli, biotit ve muskovitli, damar ve çatlakların çok az geliştiği çekirdek granitidir (Ketin, 1947). Bu iki granitin petrojenik olarak aynı magmatik faza ait olduğu, aralarındaki farkın sadece ayrılaşmadan kaynaklandığı Ketin (1947), bu ayrılaşmanın gravite kaynaklı olduğu İnan (1980) tarafından belirtilmiştir. İnan hem kenar hem de çekirdekten örnekler alıp analiz etmiştir. Plutonun çekirdeğinin biraz daha bazik, kenar kısmının biraz daha asidik olduğu İnan'ın (1980) yaptığı

analizlerde gözlenmektedir. Bu plutonik kütlelerin granodiyorit karakterinde olduğu petrografik analizler sonucu ortaya çıkmıştır (Bürküt, 1966, Öztunalı, 1967, İnan, 1980). İnan'ın (1980) plutonun hem kenar hem de çekirdek zonlarından aldığı numunelerin analizlerini değerlendirdiği QAP diyagramlarında örnekler granodiyorit kesiminde yer almıştır. Kuvars plutondaki ana mineraldir. Plajyoklas kütledeki en yaygın feldspattır ve oligoklas bileşimindedir. Uludağ mermer ve yarı mermerlerine yakın kesimlerde plajyoklasların anortit yüzdesinin arttığı ve bu zenginleşmenin kalker asimilasyonu ile sağlandığı Sağıroğlu (1956) tarafından ileri sürülürken, Öztunalı (1967) ise bunun tipik asimilasyon olmadığını daha çok metasomatizmaya bağlanabileceğini savunmuştur. İnan'ın (1980) granodiyorit-mermer kontağından aldığı numunelerin analizlerine göre de plutonik kütlelerin yer yer önemli miktarda kalsiyum alabildiği, kalsiyumun bu alanlarda mika ve feldspatların epidotla yer değiştirmesine neden olduğu bunun da endoskarn oluşumları için tipik olduğu anlaşılmaktadır. Pluton içinde yer alan ortoklaslar kontak zonda tamamen serizitleşip, kaolenleşmekteyken, kütlede muskovitleşmenin artıp, ortoz türemesi mirmekitlerin sık olduğu alanlarda gerçekleştiği İnan (1980) tarafından gösterilmektedir. Biotit plutonda en mafik mineral olup, kısmen kloritleşmektedir. Muskovitin kenar zonlarda artışı biotitin yerini alması ile gelişen metasomatik bir olaya bağlanmaktadır. Masifin metamorfik karmaşığının Paleozoyik yaşlı olduğu tüm araştırmacılar tarafından kabul edilmekle birlikte, bu karmaşığı kesen pluton oluşumu ile ilgili farklı görüşler ileri sürülmüştür. Eski tarihli çalışmalarda Philippson (1918), Erk (1942), Ketin (1947), Kaaden (1958), Öztunalı (1967) sokulum kütlelerin Hersiniyen orojenezi ile ilgili olduğunu düşünürken, diğer bir grup ise bu sokulumu daha sonraki Alpin orojenezi ile ilişkilendirmektedirler (Ronner, 1954, Bingöl vd. 1982). Bürküt (1966), K/Ar yaş tayinleri sonucunda çekirdek için $23,8 \pm 0,9$ milyon yıl, kenar içinse $23,6 \pm 0,9$ milyon yıl yaş verirken, Bingöl vd. (1982) 43-64 m.y., Harris vd. (1994) $47,8 \pm 0,4$ m.y., Delaloye ve Bingöl (2000) ise granodiyorite 63,5 m.y. yaş vermişlerdir.



Şekil 10. Çalışma alanında Uludağ oteller bölgesi yolunda gözlenen granodiyorit birimi

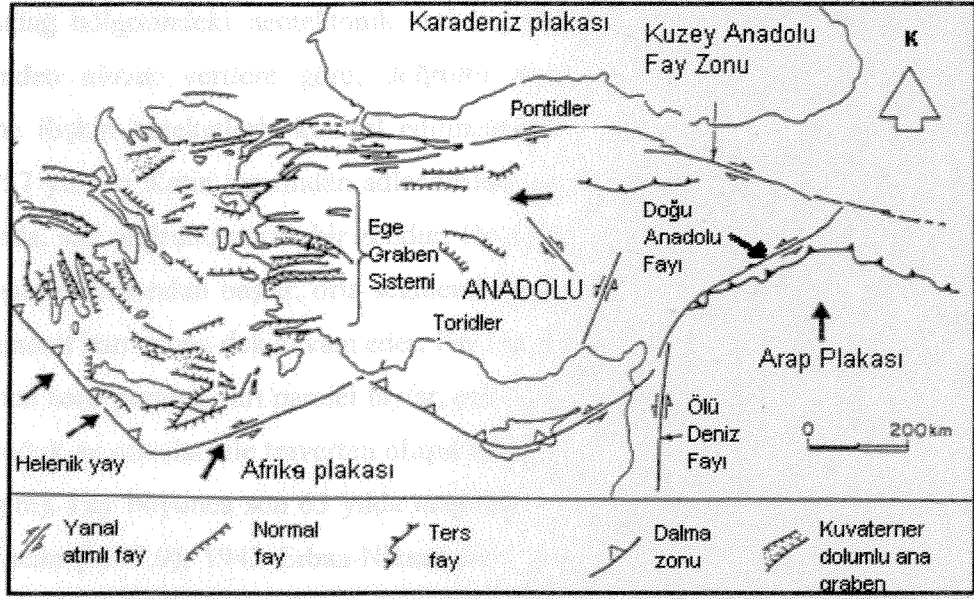
ÇALIŞMA ALANININ TEKTONİK KONUMU

Uludağ-Bursa bölgesi Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenezlerinin etkisinde kalmıştır. Bölgenin geçirdiği üç ayrı orojenezden dolayı, değişik yönlerde ve tiplerde antiklinal ve senklinaller oluşmuştur. Kaledoniyen kıvrımları genelde kuzey-güney doğrultusunda olup, sık ve yüksek dalgalanmalıdırlar. Benzer şekilde Hersiniyen kıvrımları kuzey-güney doğrultusunda olup, bazen kuzey kuzeydoğu – güney güneybatı doğrultusunda da izlenmektedir. Bu sapmaya, daha sonra bölgeyi etkileyen doğu-batı doğrultusunda kıvrımları olan Alp orojenezinin neden olduğu Ketin (1966) tarafından belirtilmektedir. Çalışma alanı, paleotektonik konumu itibariyle, Sakarya Zonu olarak adlandırılan tektonik birim içerisinde yer almaktadır (Şekil 11).

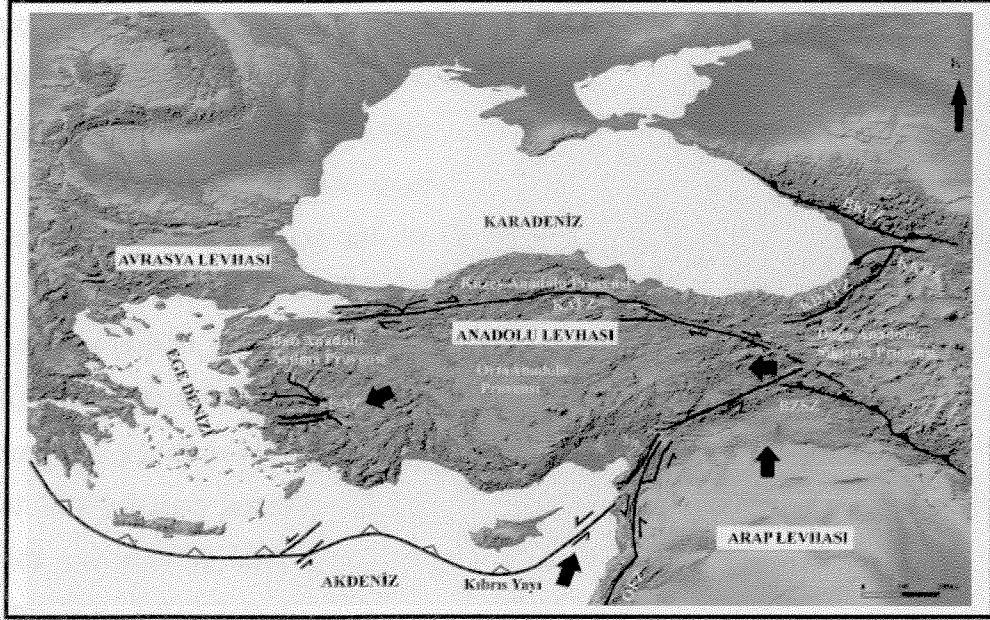


Şekil 11. Batı Anadolu'daki Tektonik Zonlar (Okay, 1999)

Neotektonik konumu açısından bakıldığında, Uludağ-Bursa bölgesi aktif iki fay kuşağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Ege Açılma Sistemi arasında bulunmaktadır. Türkiye'de neotektonik devre, Geç Miyosen'de önce Arap Levhası ile Anadolu Levhası çarpışıp, bu iki levha arasında yer alan Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunun Bitlis-Zagros suture kuşağı boyunca kapanması ile başlamıştır (McKenzie, 1972, Şengör 1979, Yılmaz, 1990). Bu çarpışmanın ardından Arap levhası kuzeye doğru hareketini devam edip, Doğu Anadolu'yu sıkıştırarak, bölgenin yükselmesine ve kıta kabuğunun kalınlaşmasına neden olmuştur. Sıkışmanın devamında ise, Anadolu levhası Batı Anadolu'ya doğru sağ yanallı Kuzey Anadolu Fayı ve sol yanallı Doğu Anadolu Fayı boyunca hareket etmeye başlamıştır. Batıya doğru ilerleyen levha, Hellenik yayının etkisi ile gerilmiş, kabuk incelmeye başlamıştır ve Ege Graben Sistemi ortaya çıkmıştır (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör vd., 1985) (Şekiller 12 ve 13).



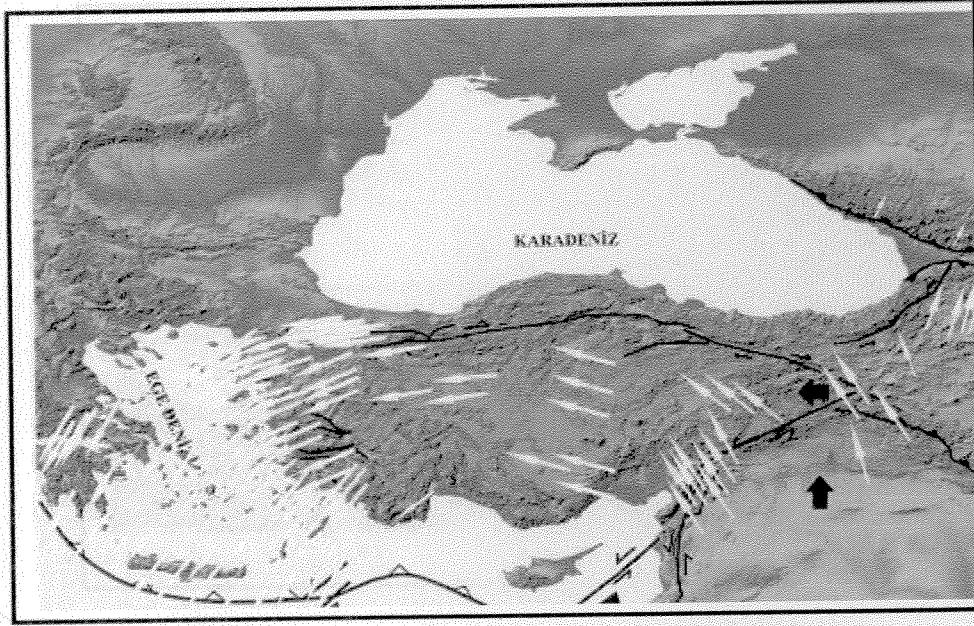
Şekil 12. Türkiye'nin jeotektonik haritası (Robertson ve Dixon, 1984)



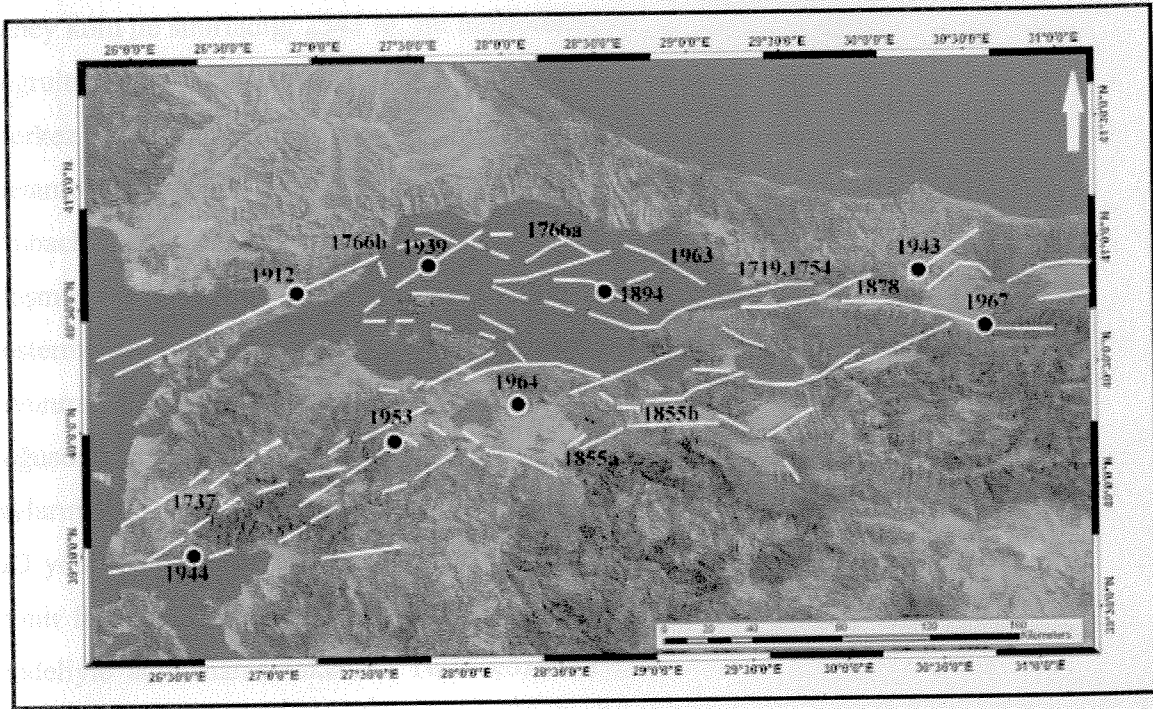
Şekil 13. Türkiye ve çevresinin etkilendiği tektonik kuşaklar (KAFZ:Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ:Doğu Anadolu Fay Zonu, BZSZ: Bitlis Zagros Sütur Zonu, BAZ:Batı Anadolu Açılma Zonu, KDAFZ:Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu, BKFZ:Büyük Kafkaslar Fay Zonu, KAFZ:Küçük Kafkaslar Fay Zonu).

Bursa-Uludağ bölgesindeki neotektonik aktivite, GPS (global positioning systems) ve sismik ölçümlerinden alınan verilere göre, doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayının en batıdaki segmentine ilişkin hareketlerle kontrol edilmektedir (Şekil 14) (Eyidoğan vd. 1991; Imbach, 1992). 1957 yılında Ketin tarafından adlandırılan Kuzey Anadolu Fay Zonu, yaklaşık 1500 km uzunluğunda, sağ doğrultu atımlı bir zondur. Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği Karlıova (Bingöl) üçlü birleşim noktasından başlar, orta segmenti dışında dış bükey bir yapı göstererek, Mudurnu vadisi segmenti batı ucuna dek devam eder. Fay zonunun genişliği 40 km.'ye varabilmektedir. Bu zon boyunca zona paralel, yarı paralel faylar, çek-ayır havzaları, basınç sırtları, ötelenmiş dereler, sıcak ve soğuk su çıkışları ile traverten oluşuklarını gözlenmektedir (Reşadiye-Tokat, Terziköy-Amasya gibi). Fay boyunca son 65 yılda magnitudü 7.0'dan büyük depremler olmuştur. Bunlar 1939 Erzincan (M=7.9), 1942 Erbaa-Niksar (M=7.1), 1943 Tosya (M=7.6), 1944 Gerede-Bolu (M=7.3), 1957 Abant-Bolu (M=7), 1967 Mudurnu Vadisi-Bursa (M=7.1), 1999 Kocaeli (M=7.4), 1999 Düzce-Bolu (M=7.2) depremleridir (Bozkurt, 2001). Okay ve Tüysüz (1999) tarafından Sakarya zonunda gösterilen ve İzmir-Ankara suture zonunun kuzeyinde bulunan bölgenin tektonik olarak en çok etkilendiği kuşak; Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Batı Anadolu'ya doğru uzanan güney koludur (Şekil 15). Barka (1997) Kuzey Anadolu Fayı'nın Mudurnu Vadisi civarında üç kola ayrıldığını belirtmektedir. Bu kollar; İzmit'ten geçip Marmara Denizi ve Saros Körfezi boyunca Yunanistan'a kadar uzanan kuzey kol, Geyve, İznik, Mudanya, Bandırma ve Biga'yı izleyen bir hat boyunca merkezi kol ve Bursa, Manyas Gölü, Balıkesir üzerinden Edremit Körfezi'ne kadar uzanan güney koldur (Şekil 15). Marmara Denizindeki çukurluklar ile Sapanca, İznik ve Manyas gölleri, KAFZ'na ait kolların doğrultu atımlı hareketiyle ilişkili olan çek-ayır (pull-apart) mekanizmasının ürünleri olarak değerlendirilmektedir (Şekil 16). Kuzey Anadolu fayının kuzey ve güney kola ait fayların GPS hızları birbirlerinden farklılık göstermektedirler (Armijo vd. 2002). Kuzey koldaki GPS hızı 24-25 mm/yıl olarak verilirken (Le Pichon vd. 2003), güney kolda yer alan fayların hızları Meade vd. (2002) tarafından Yenice-Gönen fayı için doğrultu atım hızı -6.8 ± 2.3 mm/yıl, Bursa Fayı'nın yer aldığı bölge için normal atım hızı -8 ± 4.3 mm/yıl hesaplanmıştır. Selim vd. (2006) farklı hızdaki GPS vektörlerini değerlendirerek Güney Marmara'nın KKB-GGD doğrultuda sıkışma, KKD-GGB yönünde gerilme rejiminde olduğunu ifade etmektedirler.

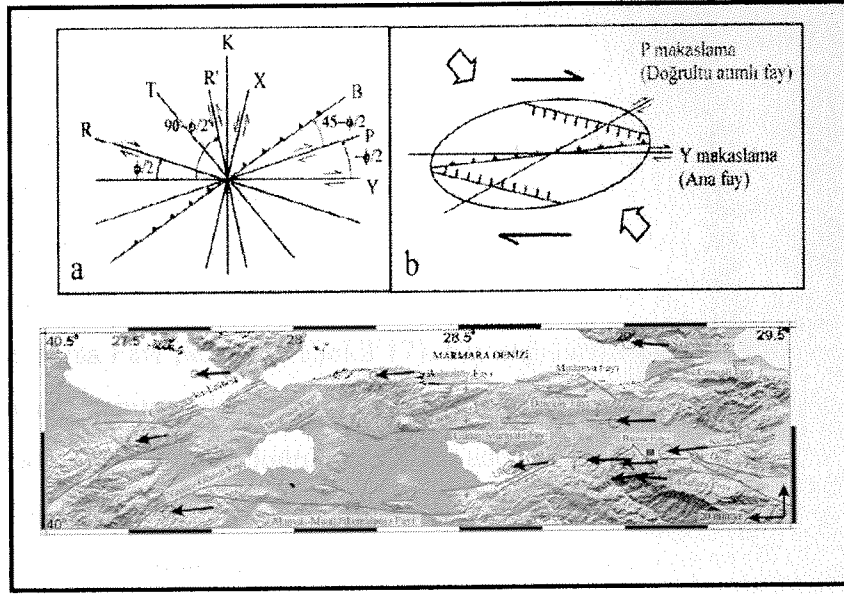
Şekil 15. Marmara Bölgesindeki Kuzey Sutureleri ve Tarihi Depremler (çizim, 1997)



Şekil 14. GPS Vektörlerinin Yönelimleri (Hız vektörleri Reilinger, 2006'dan alınmış olup, Avrasya'daki bir referans noktasına göre belirlenmişlerdir)



Şekil 15. Marmara Bölgesindeki Kırık Sistemleri ve Tarihi Depremler (Barka, 1997)

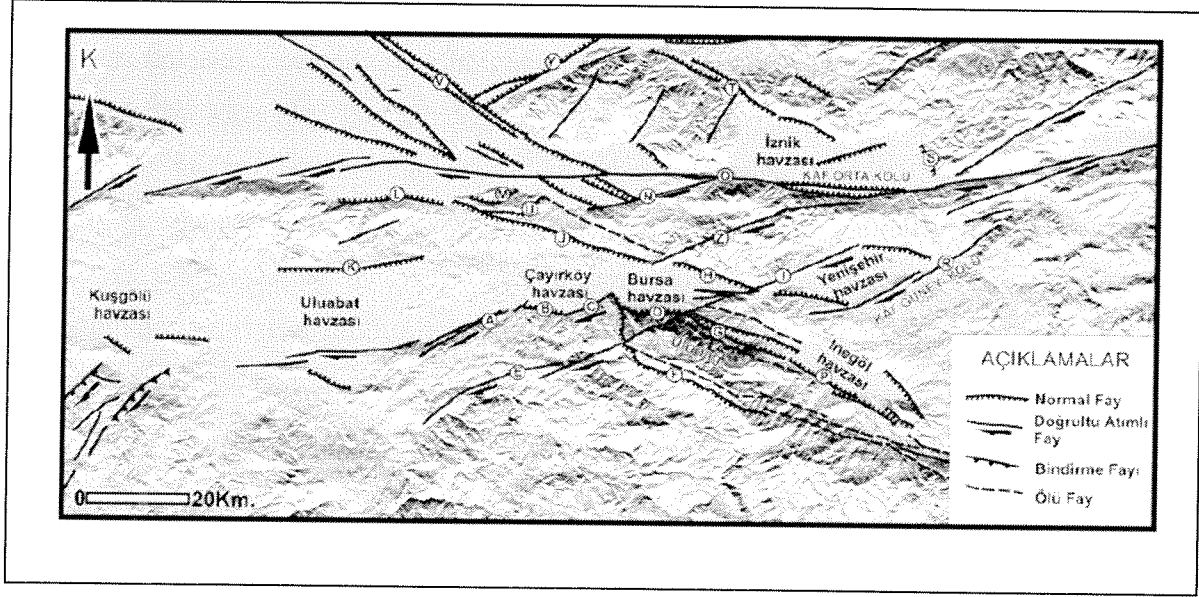


Şekil 16. Çek-ayır havza oluşumları (Rahe vd. 1998)

Bölgede Uludağ yükseltisi büyük bir tektonik yükselme zonu olup, Kuzey Anadolu Fayı'nın güney kolu ile sınırladığı 2543 m.'lik morfotektonik yapı sunmaktadır. Uludağ yükselimi KB-GD doğrultusunda yaklaşık 40 km. uzunluğunda ve 20 km. genişliğindedir (Yaltırak vd. 2004). Merkez kısımda metamorfik olmayan sedimentlerin bulunmayışı ve Uludağ yükseltisinde metamorfizmada gözlenen kesiklik, bölgede önemli bir yerel yükselime olduğuna işaret etmektedir (Imbach, 1992). Fay düzlükleri boyunca foliasyonlu Neojen yaşlı sedimentlerin varlığı, sonradan oluşmuş bir sokulumu ve belki gelişimi hala devam eden Miyosen sonrası tektonik yükselimi göstermektedir. Imbach (1992) bu yükselime karşın, ana fayların hareketinin kısıtlanmadığını savunmaktadır. Uludağ batısında yer alan taraça şeklindeki Neojen yaşlı litolojiler ve doğusundaki eğimli bölgede göze çarpan, basamağa benzer topoğrafya tüm masifi kesen ek fayların varlığını kanıtlar. Uludağ'daki ana fayların yöneliminin KD-GB yönlü genişleme ve KB-GD yönlü sıkışma gösterdiği yine Imbach (1992) tarafından belirtilmektedir. Pek çok doğrultu atımlı fayın varlığı nedeniyle, Uludağ bölgesinde yerel tektonik yapı basit bir horst-graben fay modeliyle açıklanamamaktadır. Yerel gözlemlere ve bölgesel gerilme analizlerine dayanarak Uludağ, Türkiye'nin KB'da geniş tektonik birimlerin farklı fay sistemleri boyunca yer değiştirmeden kaynaklanan yakınsama olup, GPS verilerinin değerlendirilmesi, sol doğrultu atımlı fayın ana tektonik aktivitesinin Kuzey Anadolu Fayının kuzey sınırı boyunca Mudurnu

vadisinden başlayıp, Marmara denizini geçip, Saros Körfezine ulaştığını göstermektedir (Imbach, 1997).

Uludağ yükselimini kuzeyden normal bileşenli D-B doğrultulu Bursa Fayı sınırlamaktadır. KD yönünden sınırlayan bir diğer fay ise normal karakterli KB-GD doğrultulu, Deliçay-Cerrah Fayı'dır. Bir diğer fay Soğukpınar Fayı olup, yay şeklinde Uludağ zirvesinin GB'da yer almaktadır. Bu fayların dışında Deliçay-Cerrah Fayı'nın güneybatısında başka bir fay yer alır ve bu fay kuzeyde Bursa Fayı ile kesilir (Şekil 17). Fay sağ-yanal karakterli olup, Uludağ masifi ile Karakaya Formasyonunun dokanağını oluşturmaktadır. Fayın KD bloğu aşınmaya uğramıştır (Yaltırak vd. 2004). Fayı kuzeye doğru akarak kat eden ve yataklarını derine kazmış olan dereler (Nilüfer çayı gibi) ve bu derelerin ağzında birikip, gelişimini sürdüren, faya paralel dizilimli kalın (150-200 m) alüvyon yelpazeleri, sıcak su kaynakları, traverten oluşumları ve ötelenmiş dereler Bursa fayını ve aktifliğini göstermektedir. Bu fayın GD'da Eskişehir'e doğru olan devamında aynı doğrultulu sağ yanallı faylar (Eskişehir Fay Zonu), aynı doğrultudaki genç normal faylar tarafından kesilmektedir. Uludağ'ın yükselmesinin bu üç ana faya bağlı olduğu belirtilmektedir (Yaltırak vd. 2004). Bu KD-GB doğrultulu iki fayın KAF güney koluna yaklaşık 45° açı yapması sağ yanallı makaslamanın gerilme bileşenine uygun bir konum olarak nitelendirilmektedir. Uludağ yükseliminde kuzeyinde bulunan normal karakterli Bursa fayı ve kuzeybatısında yer alan sağ atımlı Uluabat fayının etkin olduğu belirtilmektedir (Selim vd. 2006, Yaltırak, 2007) (Şekil 17).



Şekil 17. Bursa ve çevresindeki Uludağ yükselimine neden olan faylar (Yaltrak 2007 ve Selim vd. 2006)

Uludağ yükseliminin kuzeyinde bulunan Bursa Havzası da Bursa normal fayı etkisiyle oluşup, alüvyon havza asimetrik çek-ayır tipinde gelişmiştir (Selim vd., 2006, Rahe vd., 1998). Uluabat fayı önünde gelişen havza da tektonik çöküntü olarak gelişmiş olup, asimetrik çek-ayır havzası tipinde nitelendirilmektedir. Havzanın en çukur alanında Uluabat gölü oluşmuştur.

Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Yer Aldığı Bölgenin Tektonik İncelemesi

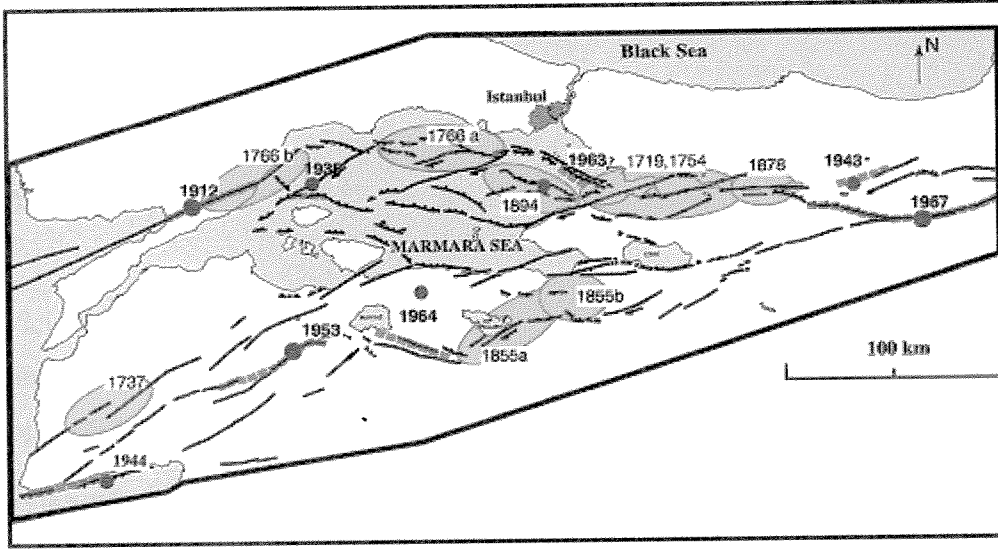
Çalışma alanında sıcak su kaynaklarının bulunduğu Çekirge-Kaynarca bölgelerinde yoğun kırık sistemi mevcuttur. Bu kırıkların mevcut olduğu alanlarda traverten ve sinter çökelimleri bulunmaktadır. Şehir merkezinde bulunan Tophane'nin alt kesimlerinde bulunan Muradiye Mahallesinde Altıparmak Caddesi kenarında ve Kaynarca bölgesinde traverten çökelimleri gözlenmekte ve geniş alan kaplamaktadır.

Çalışma alanındaki faylar Erişen ve Öngür (1976) tarafından eğim atımlı normal fay olarak nitelendirilmektedir. Demirkapı-Kaynarca, Kükürtlü, Kaynarca-Karamustafa, Çekirge, Muradiye, İnkaya fayları ile Uludağ bindirmesi bu bölgenin ana fayları olarak işaret edilmektedir (Erişen ve Öngür, 1976). Demirkapı-Kaynarca bölgesinde birbirlerine paralel ve yer yer birbirlerini kesen

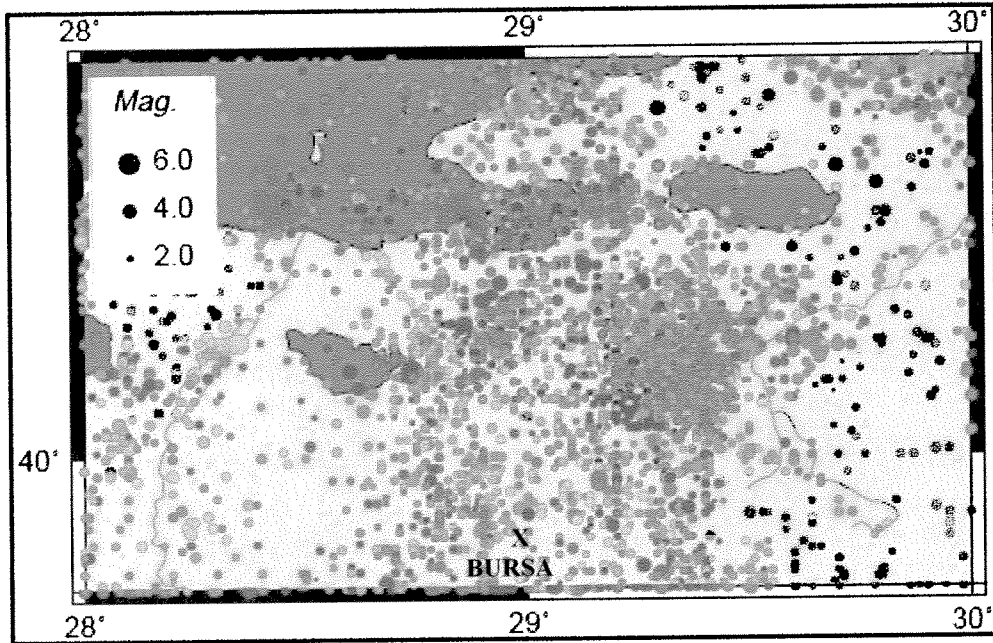
faylar bulunmaktadır. Bölgedeki bindirme fayının Uludağ metamorfiklerinin Karakaya Formasyonu üzerinde yer almasına neden olduğu belirtilmektedir. Çalışma alanındaki faylar biraz daha geniş ölçekli incelendiğinde bölgenin tektonik yapısının etkinliği daha belirginleşmektedir. Bursa havzası kuzeyde Gençali ve Mudanya fayı güneyden ise DB uzanımlı Bursa fayı ve Soğukpınar fayları ile sınırlanmaktadır. Havzanın doğusunu Bakacık fayı (Yaltırak 2007) ve Deliçay fayı sınırlarken, batısında Çekirge ve Çayırköy fayları yer almaktadır. Bölgedeki diğer bir havza olan Uluabat havzası da güneyden Uluabat kuzeyden ise Karacabey fayları ile sınırlanmaktadır. Batıya doğru ilerlendiğinde Gönen Havzasından önce yer alan Manyas havzası Mustafakemalpaşa fayı ile güneyden sınırlanmaktadır (Şekil 16).

Deprem, Bursa İli tarihinde önemli bir yer tutar ve geçmişteki büyük depremlerin izlerini bugün hem jeolojik ortamda hem de tarihsel kent dokusu içinde izlemek olanaklıdır. En son ve en iyi bilinen tarihsel depremlerden biri 1855 depremidir (Ambraseys ve Finkel, 1991, 1998; Sellami vd., 1997) (Şekil 18). 1900 yılı sonrası aletsel dönemde Bursa İli ve yakın çevresinde orta büyüklükte bazı depremler rapor edilmiştir (Ayhan vd., 1987; Alsan vd., 1975). Bölgede büyüklüğü 4.0'den daha küçük çok sayıda ve zaman zaman kümelenme şeklinde deprem aktivitesi oluşmaktadır (Sellami vd., 1997) (Şekil.19)

Şekil 18 de Marmara bölgesinin ana fay zonları siyah renkli, 1700-1900 yılları arasında olan tarihsel depremlerin hasar etki alanları sarı alanlar, güncel depremlerle (1900 sonrası oluşan) ilişkili faylar ise kırmızı renkli olarak gösterilmiştir .



Şekil 18. Marmara bölgesinin ana fay zonları (Barka, 1997) (açıklamalar için bkz. Metin)



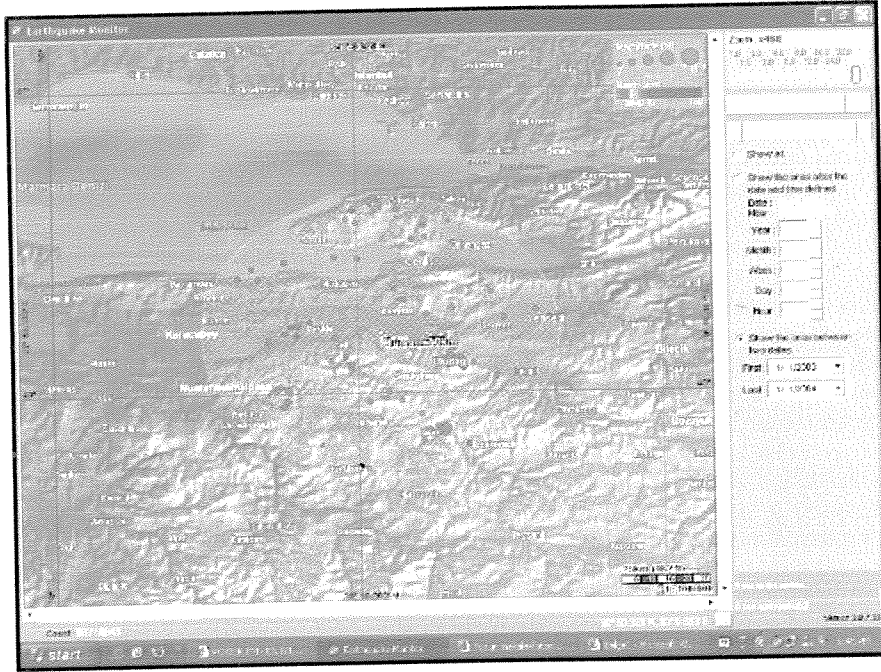
Şekil 19. 1900 yılı sonrası aletsel dönemde Bursa İli ve yakın çevresinde meydana gelen depremler (Sellami vd., 1997)

Son 20 yıllık deprem verilerine dayanarak yapılan olasılık hesaplarına göre Bursa ve çevresini etkileyecek bir büyük depremin sağlam zeminde 0.43g büyüklüğünde bir yatay ivme oluşturması beklenmektedir (Sellami ve diğ., 1997; Eyidoğan, 2000). 1997 tarihinde onaylanan Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre Bursa birinci derece deprem bölgesinde olup, aynı tarihli Deprem Yönetmeliğine göre kaya zeminde beklenen deprem yatay tasarım ivme katsayısı en az 0.4 g dir.

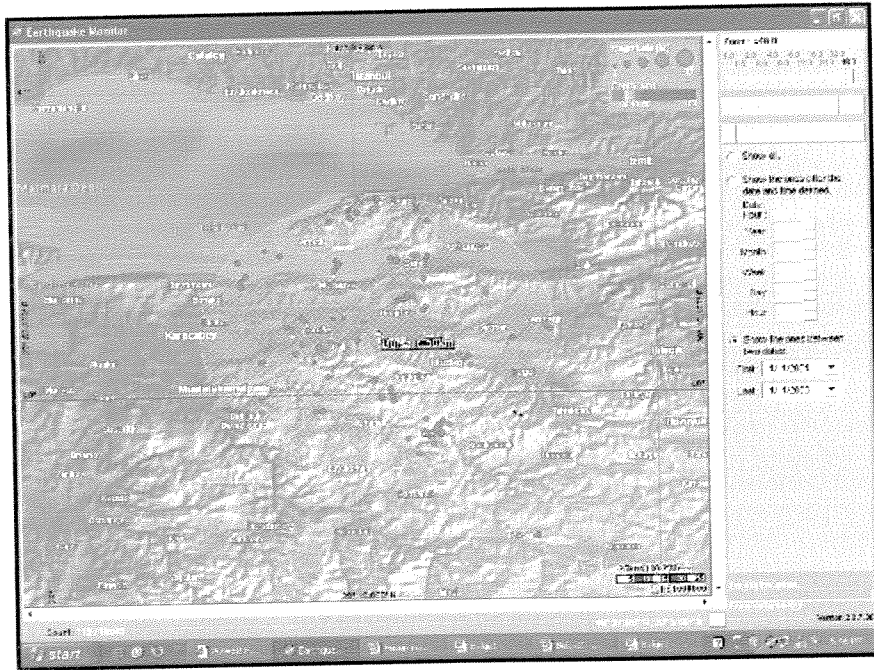
Bursa İli içinde ve çok yakın çevresindeki kalın Neojen ve Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler üzerinde deprem sırasında yeryüzü hareketinin 0.3 s ile 1 s arasındaki periyotlarda en az 3-4 kez büyütülebileceği bulunmuştur (Akyol vd., 2001a, 2001b; Akyol vd., 2002a, 2002b).

Çalışma Alanında 2003-2007 Periyodundaki Sismik Etkinlik

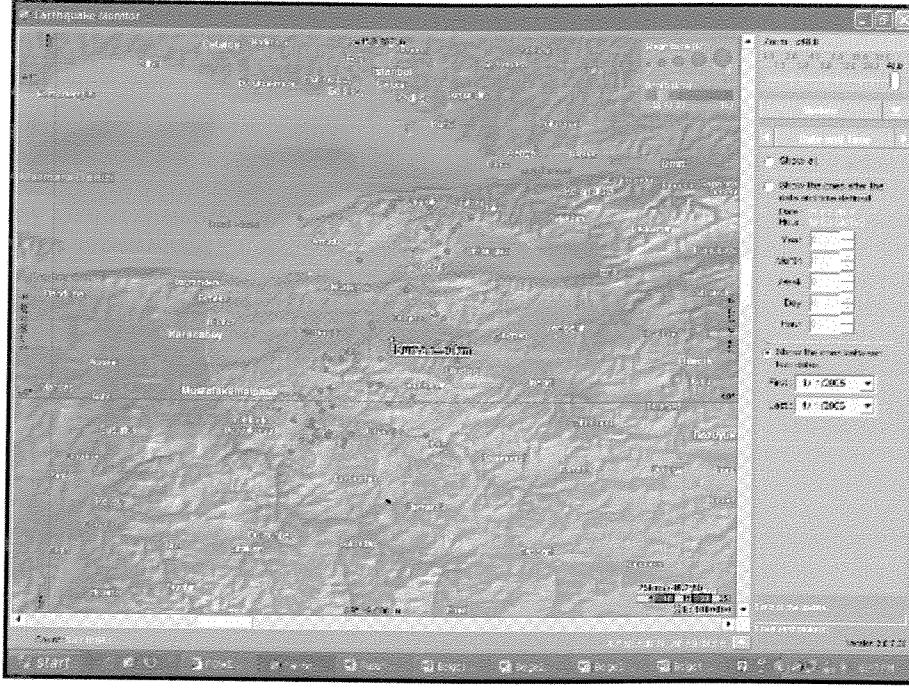
Çalışma alanı ve çevresinde 2003-2007 yılları arasındaki sismik etkinlik izlenmiş ve bölgede zamana bağlı sismik etkinlikteki değişim incelenmiş ve hangi fayların bu sismik etkinliği sonuçladığı irdelenmiştir. Bölgede yıllara göre sismik etkinliğe bakıldığında Ocak 2003-Haziran 2007 tarihleri arasında Bursa ili merkezi 50 km çapındaki bir alanda M_D büyüklüğü 3.5 üzerinde olan depremlere rastlanmamaktadır. Bölgedeki sismik aktivite birer yıllık periyod boyunca incelenmiş ardından dört yıllık periyod boyunca büyüklüğü 2.0 ve üzeri depremler değerlendirilmiştir (Şekiller 20-24).



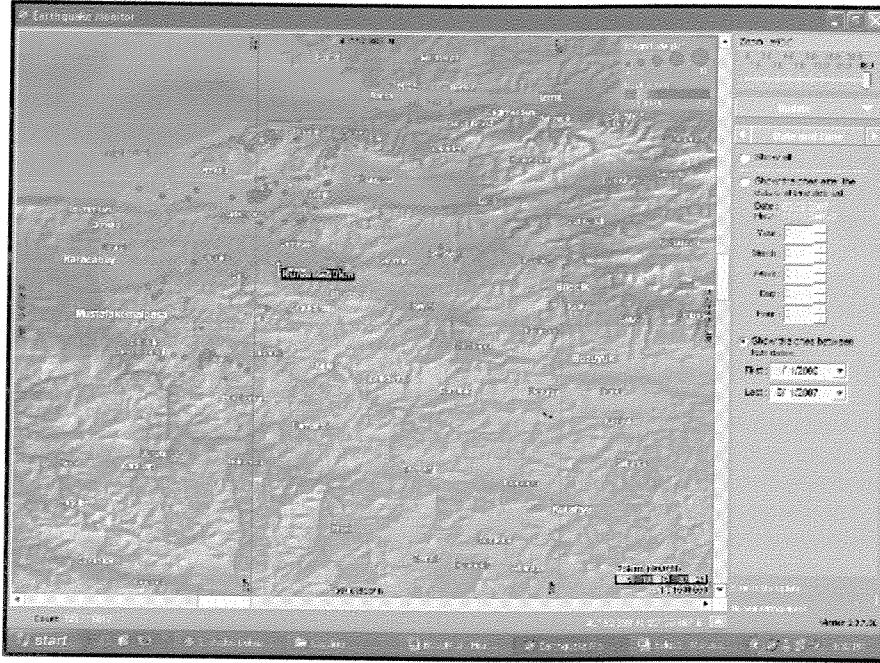
Şekil 20. 2003-2004 periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen >2.0 depremler (B.Ü Kandilli Rasathanesi Verileri)



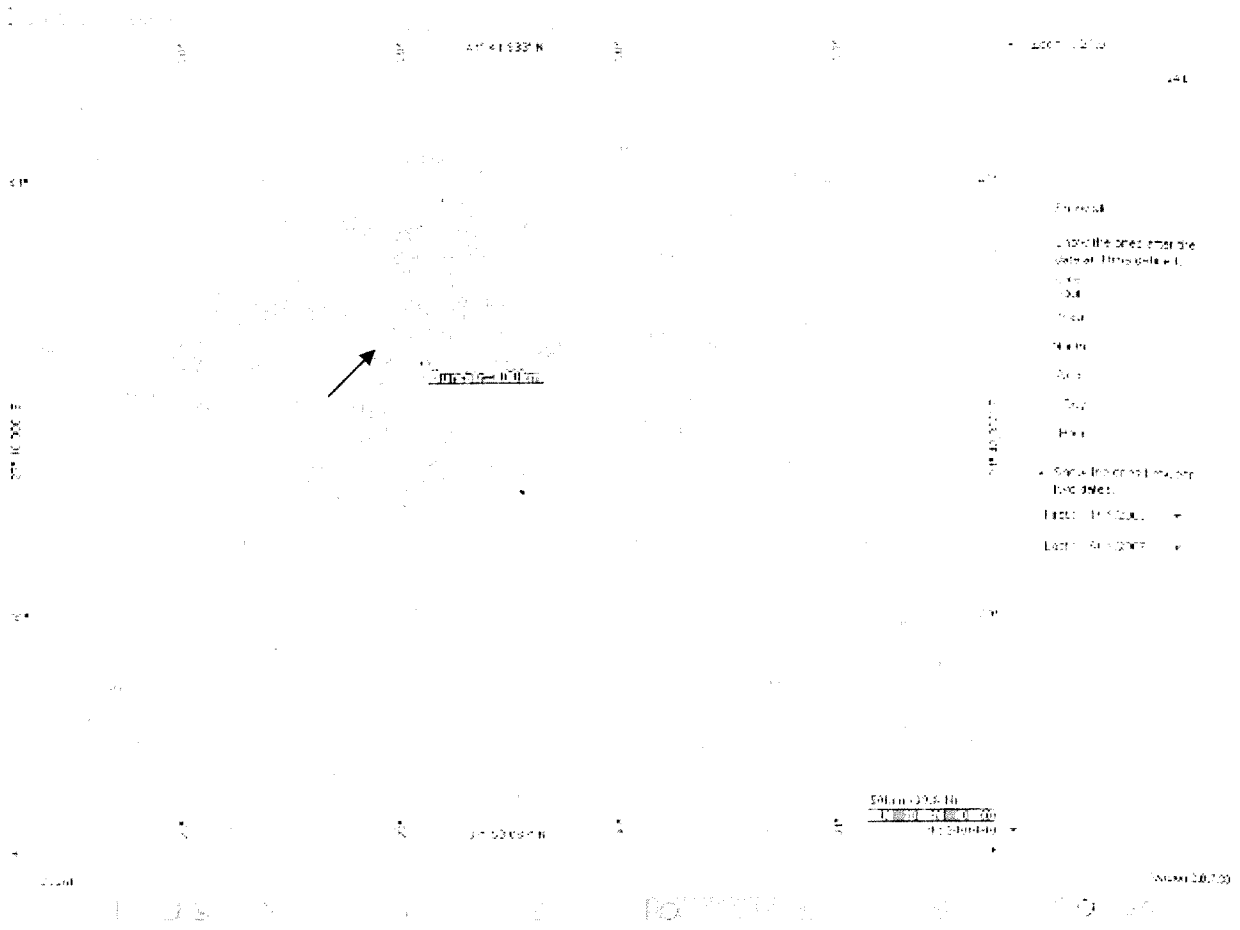
Şekil 21. 2004-2005 periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen >2.0 depremler



Şekil 22. 2005-2006 periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen >2.0 depremler



Şekil 23. 2006-2007 Haziran periyodunda Bursa ve çevresinde gözlenen >2.0 depremler



Şekil 30. 2003-2007 yılları arasında Bursa ve çevresinde gözlenen 2.0 depremler

PROJE KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Proje kapsamından yürütülen çalışmaları üç ayrı başlık altında toplamak mümkündür.

1. Jeofizik-sismik çalışmaları
2. Jeokimyasal çalışmalar
3. Rezervuar mühendisliği çalışmaları

Takip eden bölümlerde her bir başlık altında yapılan çalışmaların detayları ayrı ayrı sunulmaktadır.

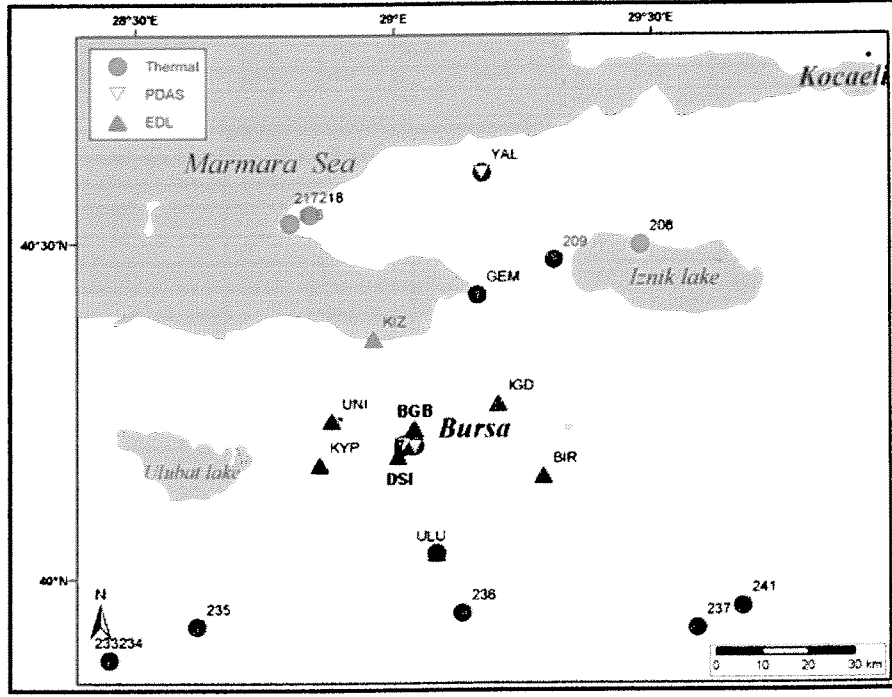
Jeofizik – Sismik Çalışmalar

Verilerin Toplanması

Çalışmanın bu bölümünde elde edilen sismolojik veriler ile Bursa ve yakın çevresinin sismik aktivitesi, 30 Ekim 2003 tarihinde GFZ ile ortaklaşa olarak, Bursa Metropolü ve ovasına sismolojik ölçümler yapmak amacıyla kurulan ve 6 ay süre ile çalıştırılan, Mark Geophone sismometrelerinden oluşan 8 adet deprem istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak incelenmiştir. (Tablo 1). Şekil 25, GFZ Potsdam sismik cihazlarının yerleştirildikleri noktaların koordinatlarını göstermektedir. 8 adet EDL (Earth Data Logger) kayıtcısına sahip sismolojik istasyonlar Bursa çevresinde 15 km yarıçaplı bir ağ oluşturmaktadır.

Tablo 1. Sismik cihazların lokasyonları ve buldukları yerin jeolojisi

SİMGE	Enlem	Boylam	Rakım (m)	Lokasyon adı	Jeoloji
BGB	40.2252	29.0379	150	Bursa Botanik Bahçesi	Kuvaterner yaşlı birimler
BIR	40.1553	29.2873	600	Gözede Köyü Okulu	Paleozoik, Metamofik yaşlı birimler
DSI	40.1841	29.0071	355	DSI tesisleri, Dobruca	Paleozoik yaşlı birimler
IGD	40.2631	29.2007	114	Iğdir Köyü Okulu	Paleozoik yaşlı kireçtaşı
KIZ	40.3587	28.9601	10	(BB) Kızılay Kampı, Mudanya	Cep halinde Andezit birimi (Kretase yaşlı birimlerin kuzeyinde)
KYP	40.1718	28.8568	181	Kayapa Köyü Muhtarlığı	Kretase yaşlı Alüvyon
ULU	40.0396	29.0814	582	Uludağ Maden Suyu, Çaybaşı Köyü	Granit
UNI	40.2373	28.8801	176	(BB) Uludağ Üniversitesi	Neojen yaşlı birimler

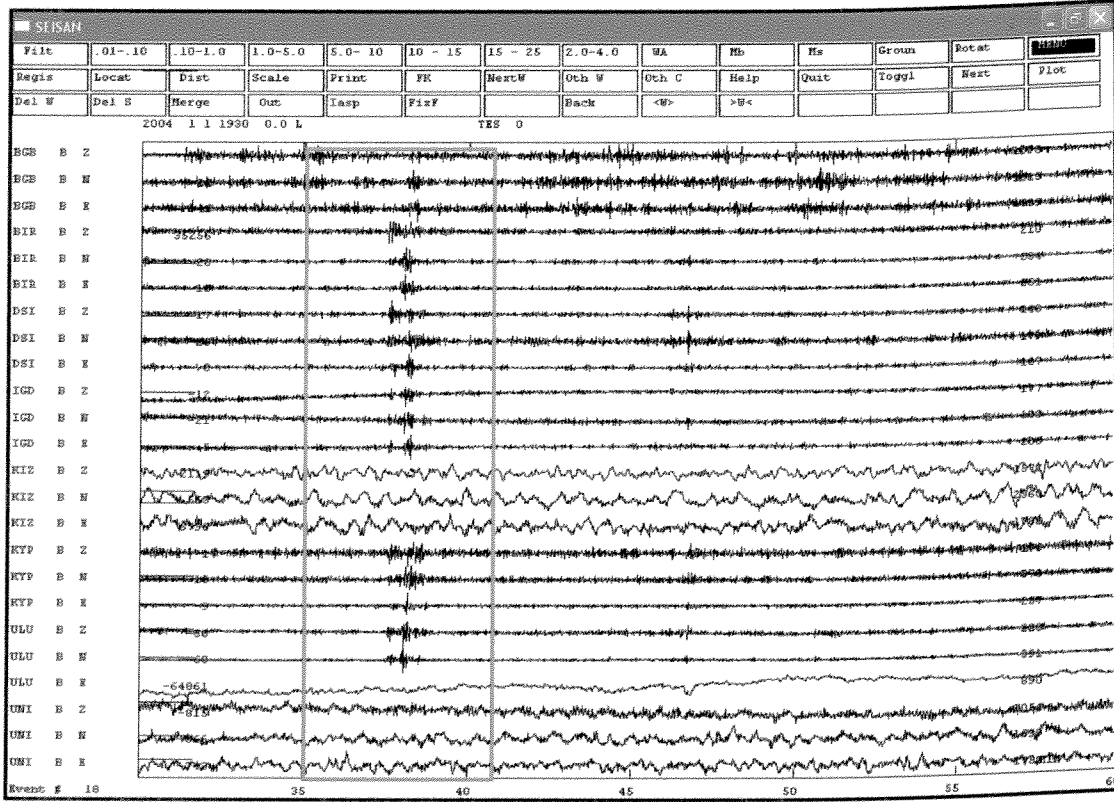


Şekil 25. Sismik istasyon (yeşil üçgenler) ağı

Verilerin Değerlendirilmesi:

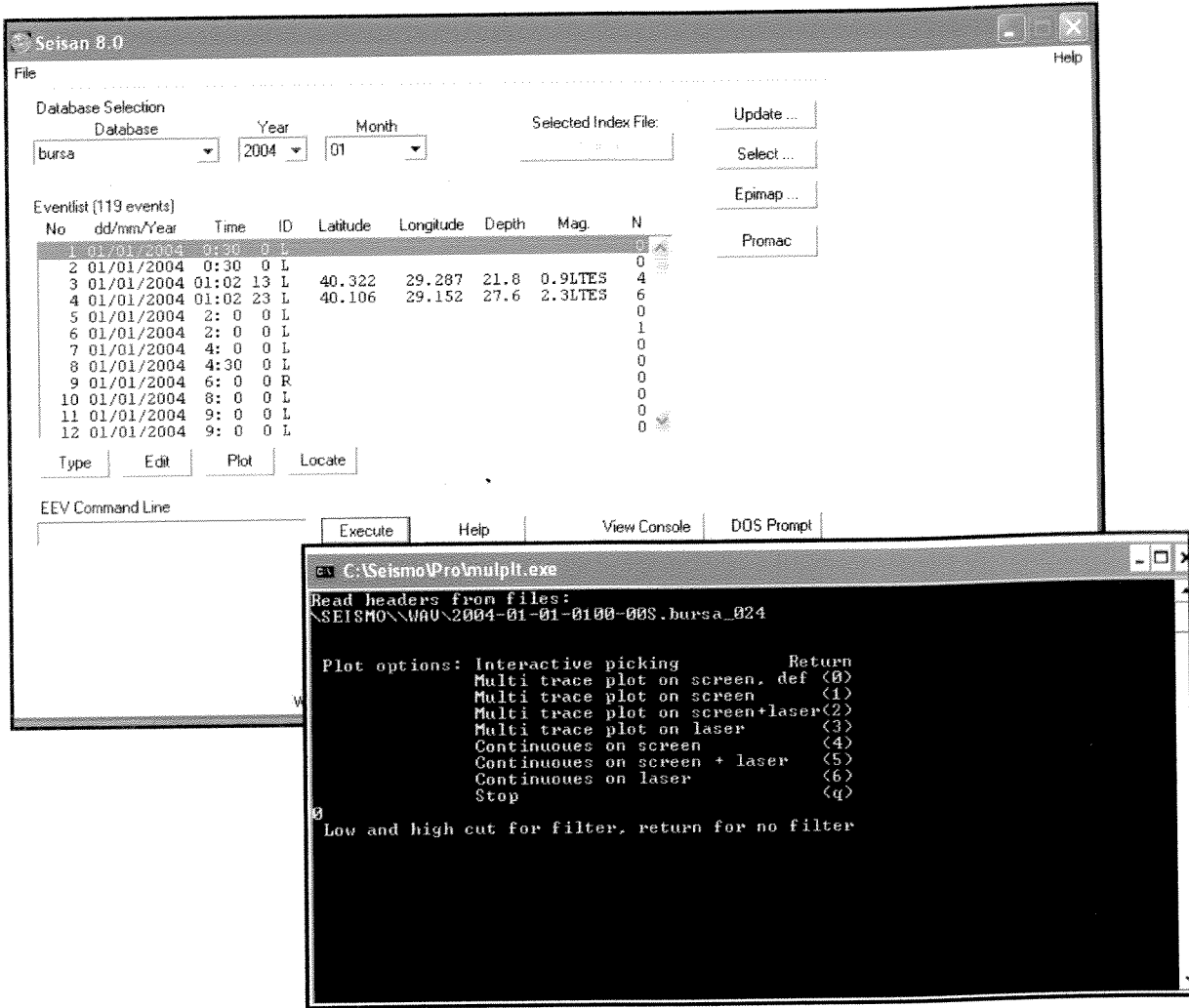
Öncelikli olarak; veriler farklı kayıtçılar ile kaydedildiği için kayıtlar tek bir formata indirgeme işleminin yapılması gerekmiştir. Daha sonra indirgenen kayıtçı formatı, kullanılacak olan SEISAN yazılımına uygun formata dönüştürülmüştür (convert). Altı aylık veriler, yarım saat örnekleme aralıklarıyla incelenmiş, deprem karakteristiğini gösteren kayıtlar ayıklanmıştır. Ayıklanan kayıtlar SEISAN yazılımında tanımlanmış ve faz okumalarına başlanmıştır. Yazılım ile elde edilen P ve S fazları ile en büyük genlik değerleri kullanılarak çalışılan bölge hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır

Tüm verilerin aynı formata dönüştürülmesi işleminden sonra günlük kayıtlar halinde depolanan veriler, öncelikli olarak yarım saat örnekleme penceresi içinde taranarak, depremler seçilmektedir. Şekil 26 da, yarım saatlik bir veri penceresi içinde yer alan ve 01.01.2004 tarihinde 19:30'da meydana gelen bir deprem örneği görülmektedir. KIZ ve UNI kod numaralı istasyonlar hariç, deprem diğer tüm istasyonlar tarafından 3-bileşen (Z, N, E) olarak kaydedilmiştir.



Şekil 26. Proje kapsamında 1 Ocak 2004 tarihinde, 19:30'da kaydedilen bir deprem örneği

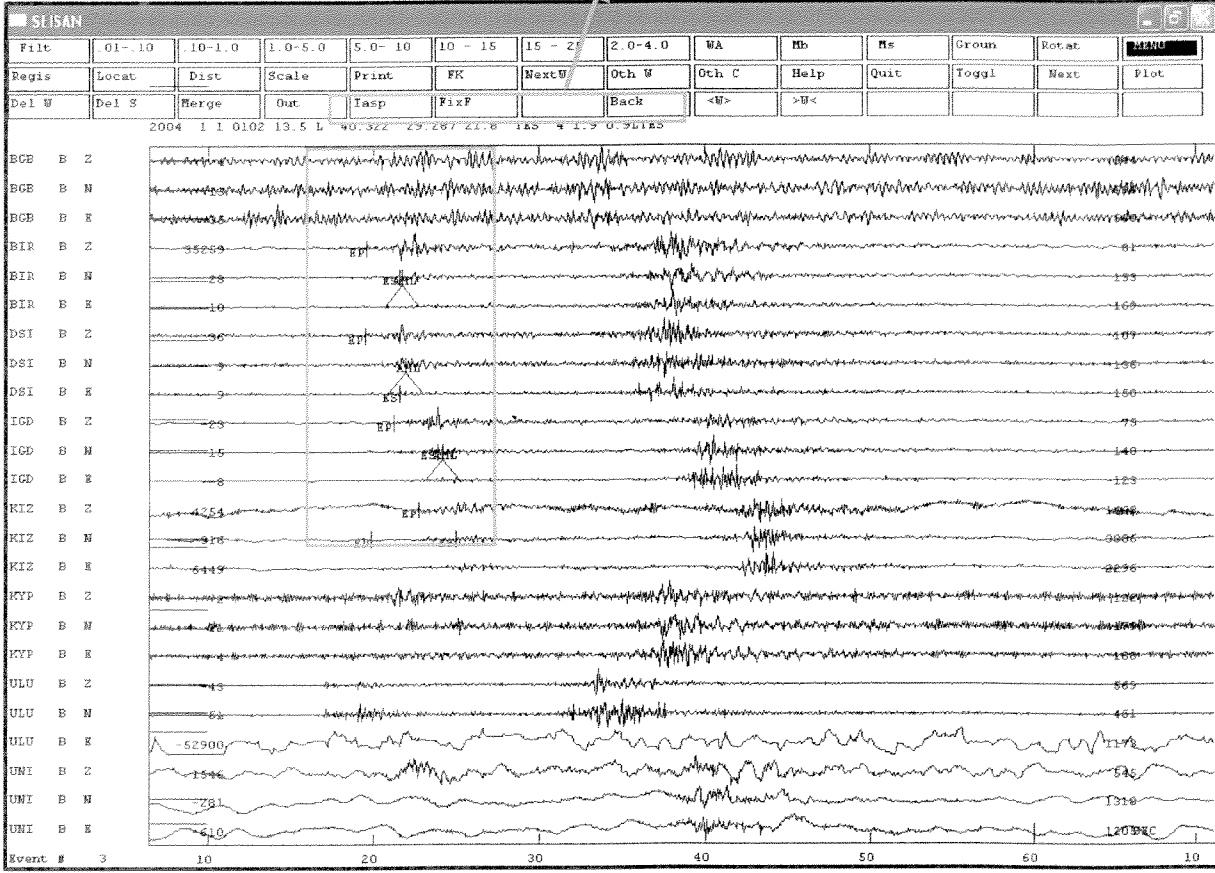
Kayıtlarda, yukarıdaki şekilde örneği verilen bir depreme rastlanıldığında, meydana geldiği saat-dakika bilgisi kullanılarak bilgisayara kaydedilir. Örneğin; Time = 00:30, 01:02, 04:30, vb. Her farklı zaman, farklı bir depremi ifade etmektedir (Şekil 27).



Şekil 27: Meydana geldiği saat-dakika bilgileri kullanılarak, bilgisayar kaydedilen deprem verilerinin, SEISAN ve MS-DOS ortamındaki görünümü

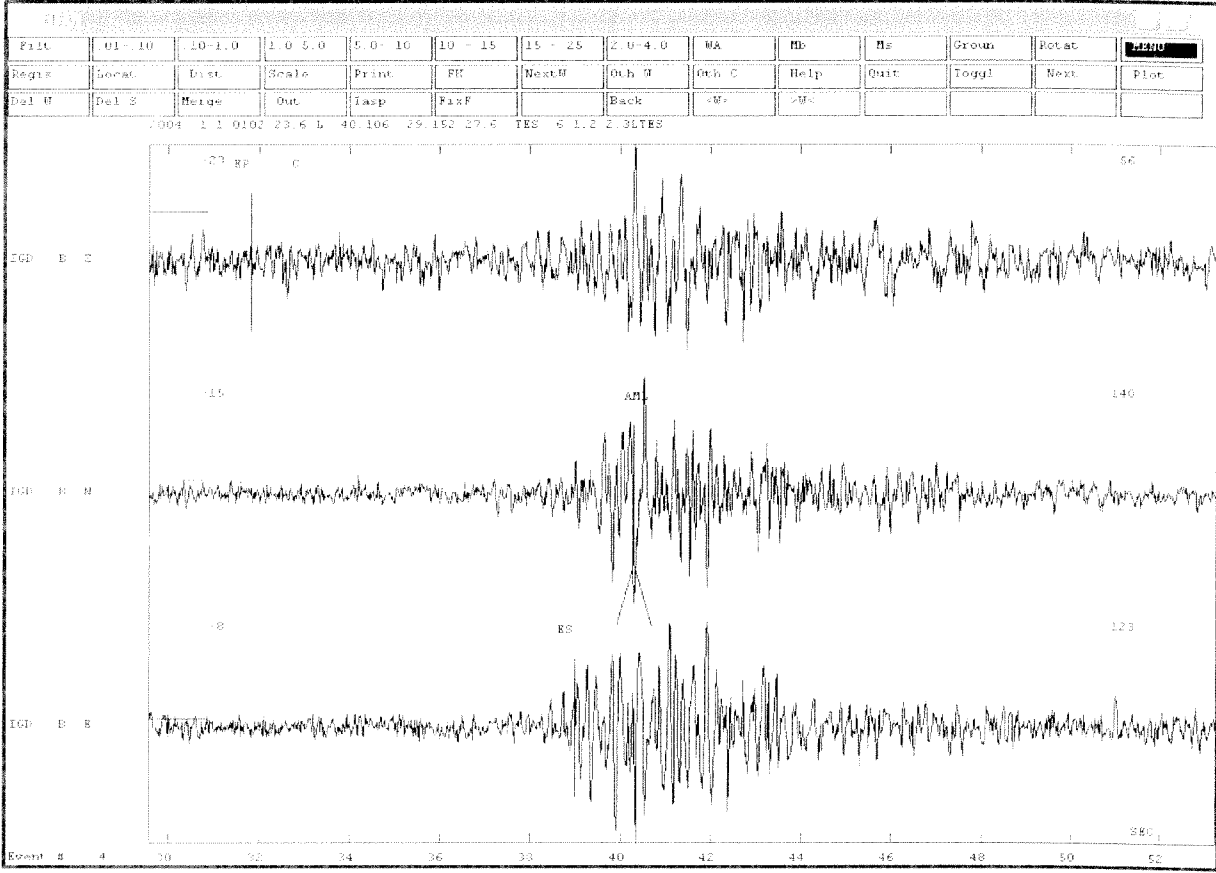
Kayıt altına alınan depremlerin P ve S dalgası fazları ile genlik değerleri ekranda işaretlenerek (Şekil 28); Yerel deprem büyüklüğü (M_L), lokasyon (Enlem, Boylam), derinlik (h) gibi deprem parametreleri elde edilir.

40.322 29.287 21.8 TES 4 1.9 0.9LTS



Şekil 28. Deprem kaydında P dalgası ve S dalgası fazlarının tayin edilmesinde hareketle hesaplanan; lokasyon (enlem, boylam), derinlik, magnitüd bilgilerine ilişkin bir örnek

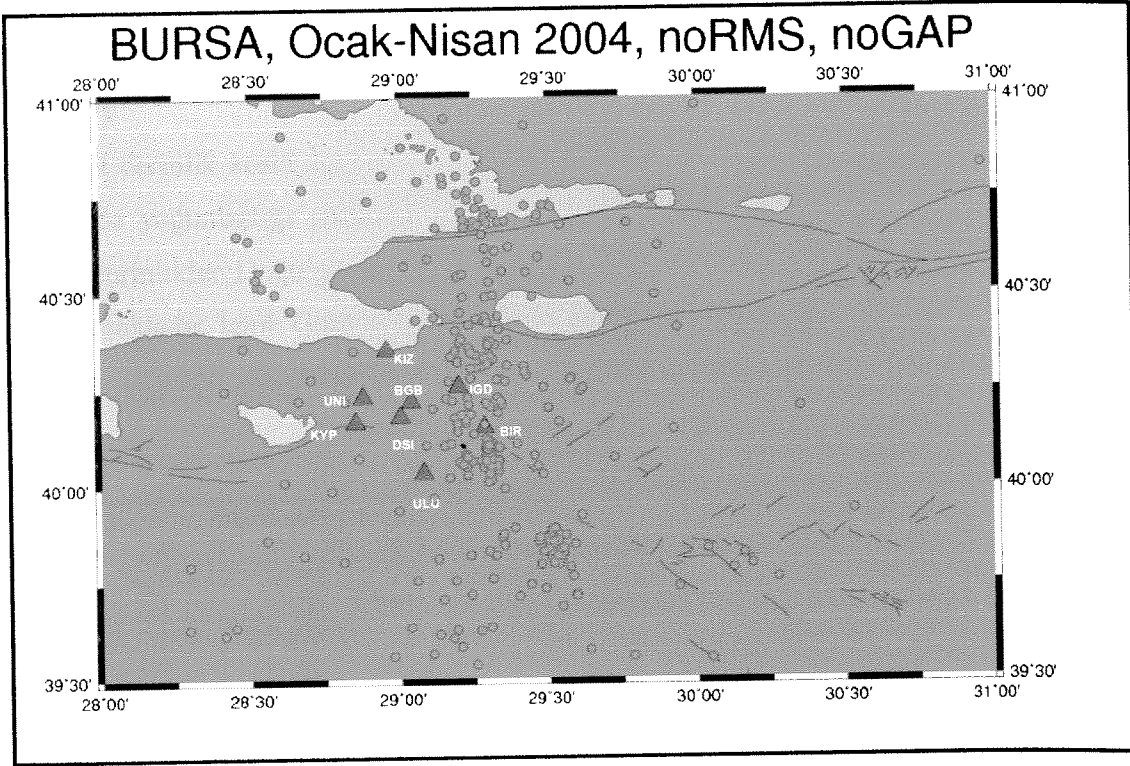
Aşağıdaki şekilde ise üç bileşenli IGD istasyonuna ait bir deprem verisi görülmektedir (Şekil 29). Bu deprem kaydında görüldüğü gibi P fazı düşey (Z) bileşenden, S fazı ise seçilen bir yatay bileşenden (E-W) belirlenmiştir. Bir diğer yatay bileşen olan N-S bileşeninden ise en büyük genlik değeri seçilmiştir.



Şekil 29. IGD istasyonuna ait bir deprem kaydı

Veri Değerlendirme Sonuçları

Yukarıda anlatılan işlemler tamamlandıktan sonra, Ocak-Nisan 2004 dönemine ait 653 deprem tespit edilmiş ve bunlardan 470'inin lokasyonu yapılmıştır. Çalışma bölgesine ait depremlerin episentir dağılımı, GM1 yazılımı kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 30).

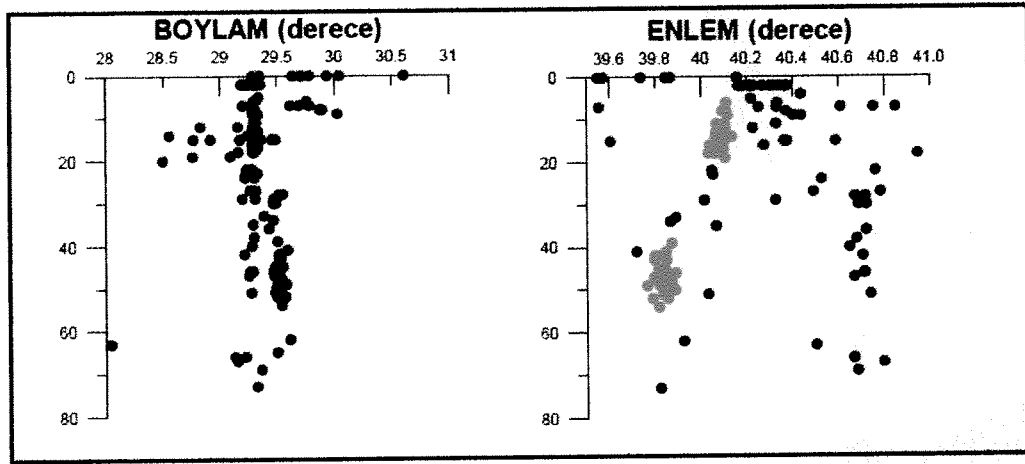


Şekil 30. Ocak-Nisan 2004 ayları arasında meydana gelen depremlerin lokasyon haritası

Episentir haritasında görüldüğü üzere bölgede depremler kuzey-güney yönlü yoğunlaşmıştır. Özellikle en doğudaki BIR ve IGD istasyonları yakın çevresinde kümelenme tipi (swarm type) deprem dağılımları gözlenmiştir. Çalışma alanı, KB-GD yönelimli Eskişehir fayı ile KAF'nın en güney kolunun çakıştığı (junction) bölge üzerinde bulunmaktadır. BIR istasyonunun hemen güneyinde gözlenen dairesel deprem etkinliği, Eskişehir fay zonu içerisinde yer almaktadır. IGD istasyonunun güneyinde ise, 25-30 km uzunluğunda KKD-GGB doğrultulu bir çizgisel deprem etkinliği gözlenmektedir. Bu çizgiselliğin morfoloji ile uyumunu denetlemek için deprem verilerinin tamamının lokasyon işlemlerinin yapılmasına, mevcut yüzey jeolojisi araştırmaları ile uyumuna ve odak mekanizması çözümlerinden elde edilecek kinematik parametreler ile denetlenmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Yine IGD istasyonunun (ve Bursa Metropol Alanının) kuzeyinde dairesel bir sismojenik zon gözlenmektedir. Bu bölgede deprem üreten kaynağın, morfoloji ve ana tektonik unsurlar göz önüne alındığında İznik Gölü'nün güneyinden geçip Gemlik Körfezine giren KAF zonunun orta kolundan kaynaklandığı düşünülebilir.

Yine de mevcut faylar ile episentir dağılımları arasındaki kinematik ilişkilerin daha sağlıklı açıklanabilmesi için, yeterli sayıda ve duyarlılıkta fay düzlemi çözümleri ile gerilme analizlerinin yapılması gerekmektedir.

Bölgeye ait derinlik kesiti incelendiğinde (Şekil 31), depremlerin genellikle yer kabuğunun üst kesimlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Uluabat Gölü'nden itibaren ortalama 20 km olarak gözlenen derinlikler Doğu'ya gidildikçe artmakta, Uludağ ve yakın çevresinde ise 60 km'ye kadar ulaşmaktadır. İznik Gölü'nden itibaren ise doğu'ya doğru derinliklerin yine azalarak 20 km seviyelerine düştüğü gözlenmektedir.

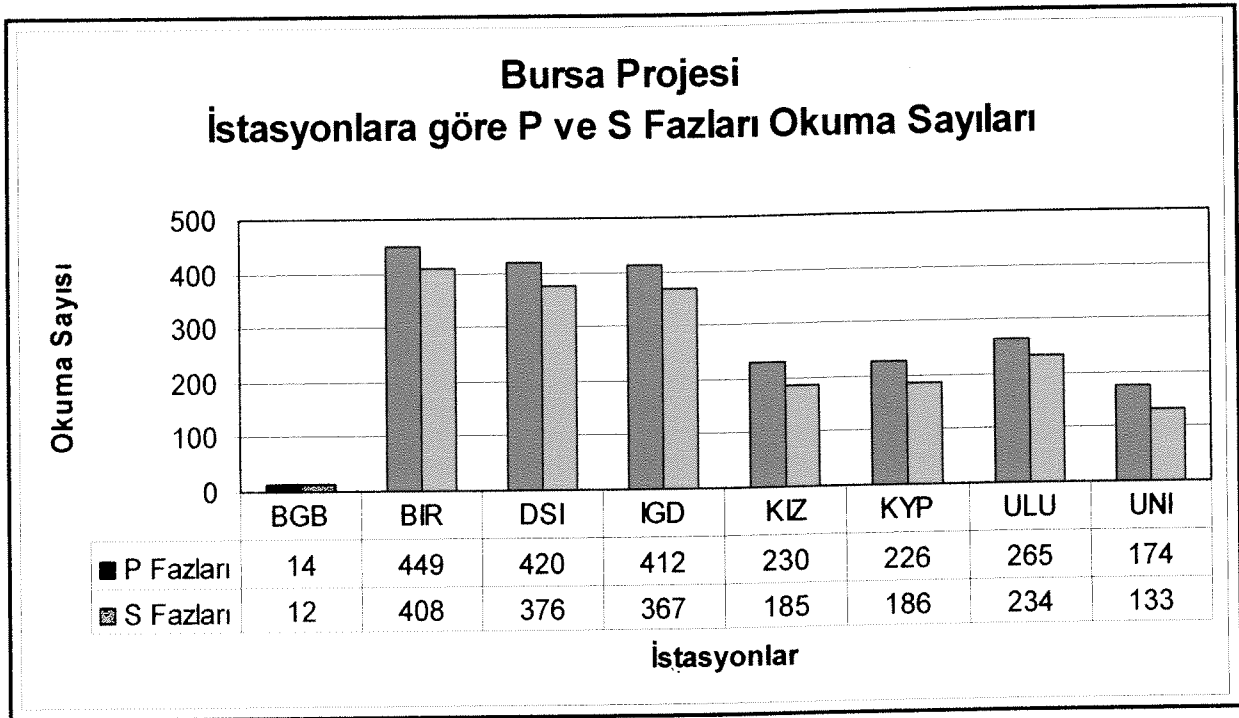


Şekil 31. Seçilen enlem ve boylama göre depremlerin derinlik dağılımı

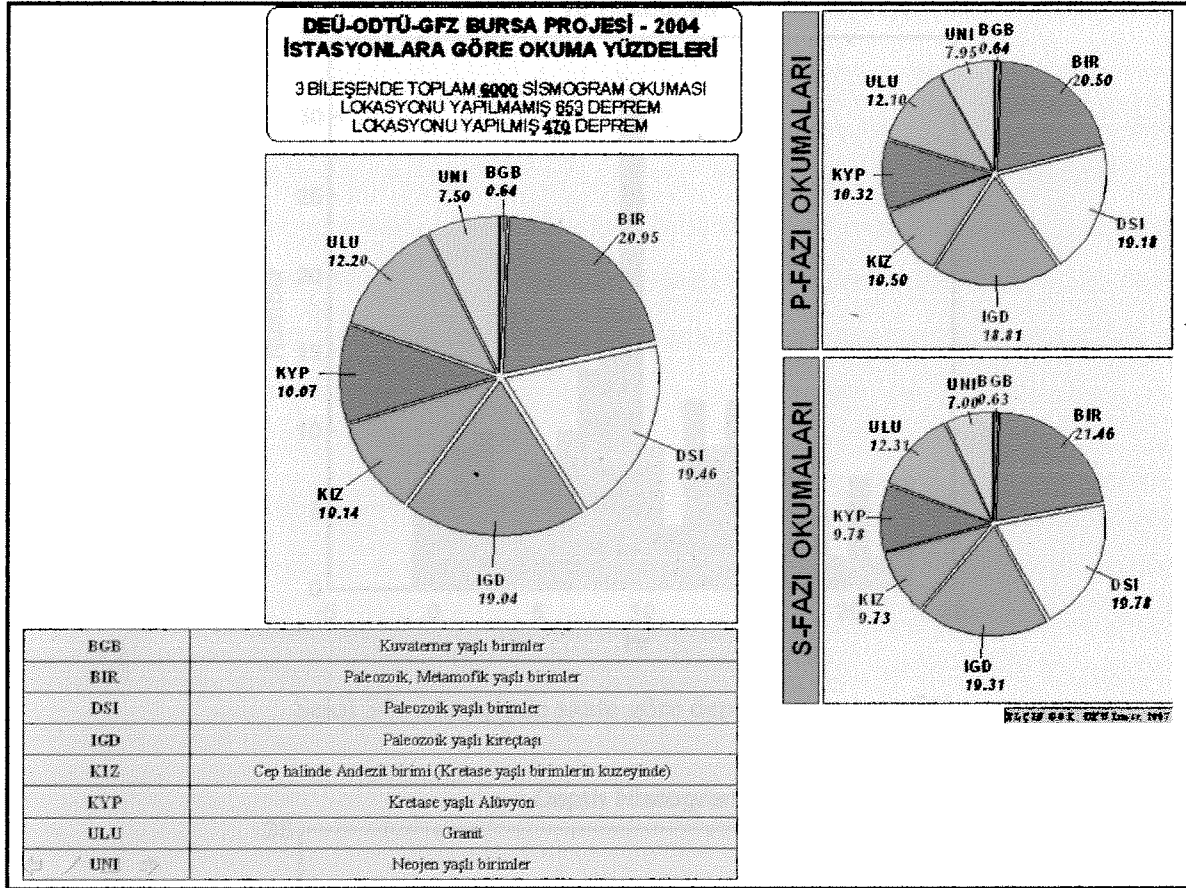
2004 yılı Ocak-Nisan dönemini kapsayan 4 aylık süre boyunca kaydedilen depremlere ait P- ve S- dalga fazları, 3-bileşenli sismogram kayıtları incelenerek okunmuş ve faz varışları lokasyonu yapılmak üzere bir veri dosyasına kaydedilmiştir. Okumaların kaydedildiği veri dosyası üzerinde istatistiksel hesaplamaların yapılabilmesi için bir Fortran programı hazırlanmış ve bu programın çalıştırılmasıyla, okunan sismogramlara ait sayı ve yüzde değerleri; hem istasyon bazında, hem de toplam olarak elde edilmiştir.

İncelenen süre içinde okumaları tamamlanan sismogramların ~%60'ı BIR, DSI ve IGD istasyonlarından elde edilmiştir. %32'lik kısım KIZ, KYP, ULU tarafından; %7.5 UNI ve yaklaşık olarak binde 5'lik kısım ise BGB istasyonları kullanılarak okunmuştur. P ve S fazı toplamı göz önüne alındığında en fazla sismogram (857 kayıt), paleozoyik yaşlı birimler üzerinde

yer alan ve ~600 m rakımdaki BIR istasyonu tarafından elde edilmiştir (Şekil 32). Programın çıktıları aynı zamanda dilim şekilli grafikler halinde de çizilmiş ve Şekil 33 te gösterilmiştir. İki bileşen kullanılarak toplamda 4091 olarak tespit edilen (üç bileşen kaydı için ~6000 adet) sismogram okumaları içinde ise sadece 26 tanesi (binde 6), Kuvaterner yaşlı birimler üzerine kurulan ve şehir merkezindeki Botanik Bahçesinde yer alan BGB istasyonu tarafından kaydedilebilmiştir. Bu istasyon ve yakın çevresindeki dinamik yükler (araç, insan trafiği, vb.) ile yumuşak zemin sınıfındaki jeolojik birimler, mikro-deprem etkinliğini örtecek derecede yüksek genlikli gürültü üretmişler, faz varış zamanlarının gözlenmesini hemen hemen imkansız kılmışlardır. Sonuçta, incelenen süre boyunca bu istasyondan istenen verim alınamamıştır.



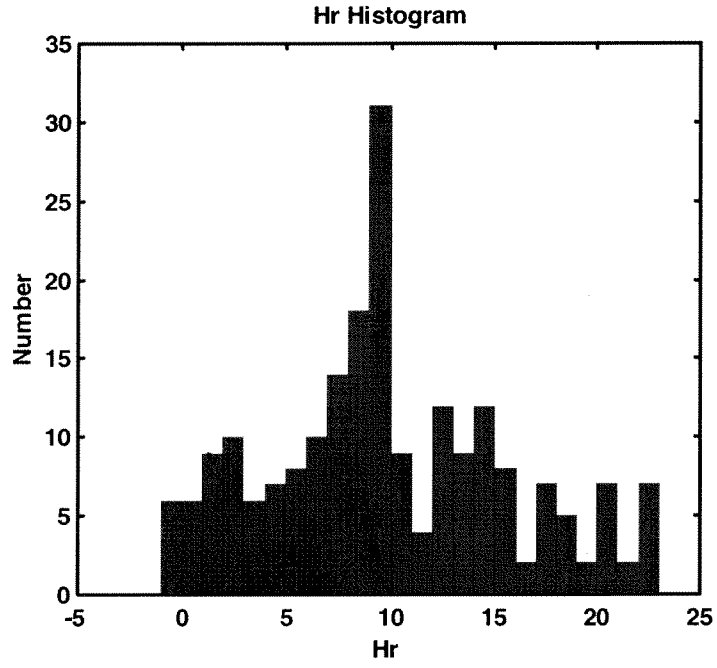
Şekil 32. İstasyonlara göre P ve S fazları okuma sayıları



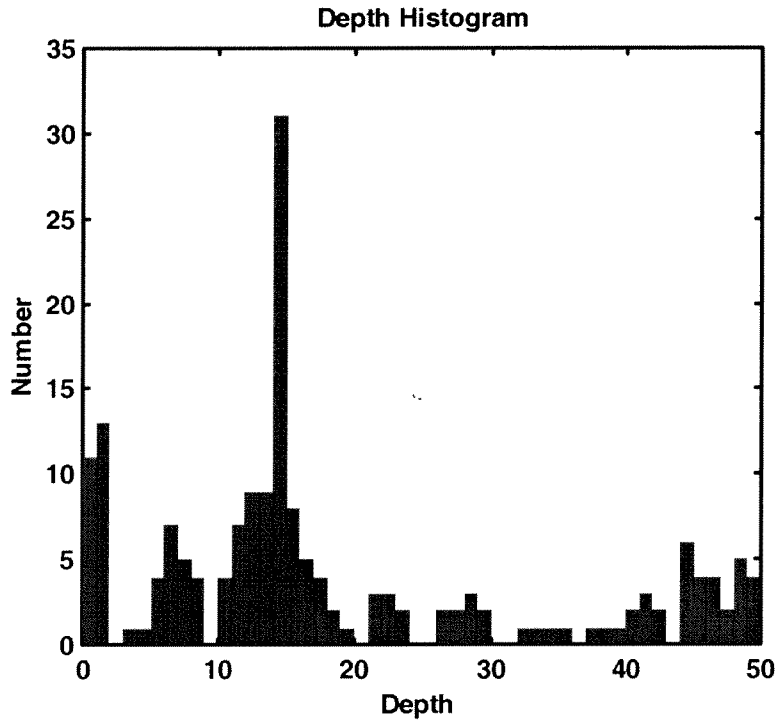
Şekil 33. İstasyonlara göre okuma yüzdeleri

Depremleri saat bazında incelediğimizde Şekil 34 te görüldüğü gibi saat 10:00 civarında oldukça fazla bir deprem aktivitesi görülmektedir.

Derinlik – deprem sayısı grafiğine baktığımızda depremlerin en çok 10 km ile 20 km arasında değişen bir yoğunlaşma olduğu görülmektedir (Şekil 35).



Şekil 34. Gün içinde saate göre deprem sayısı grafiği



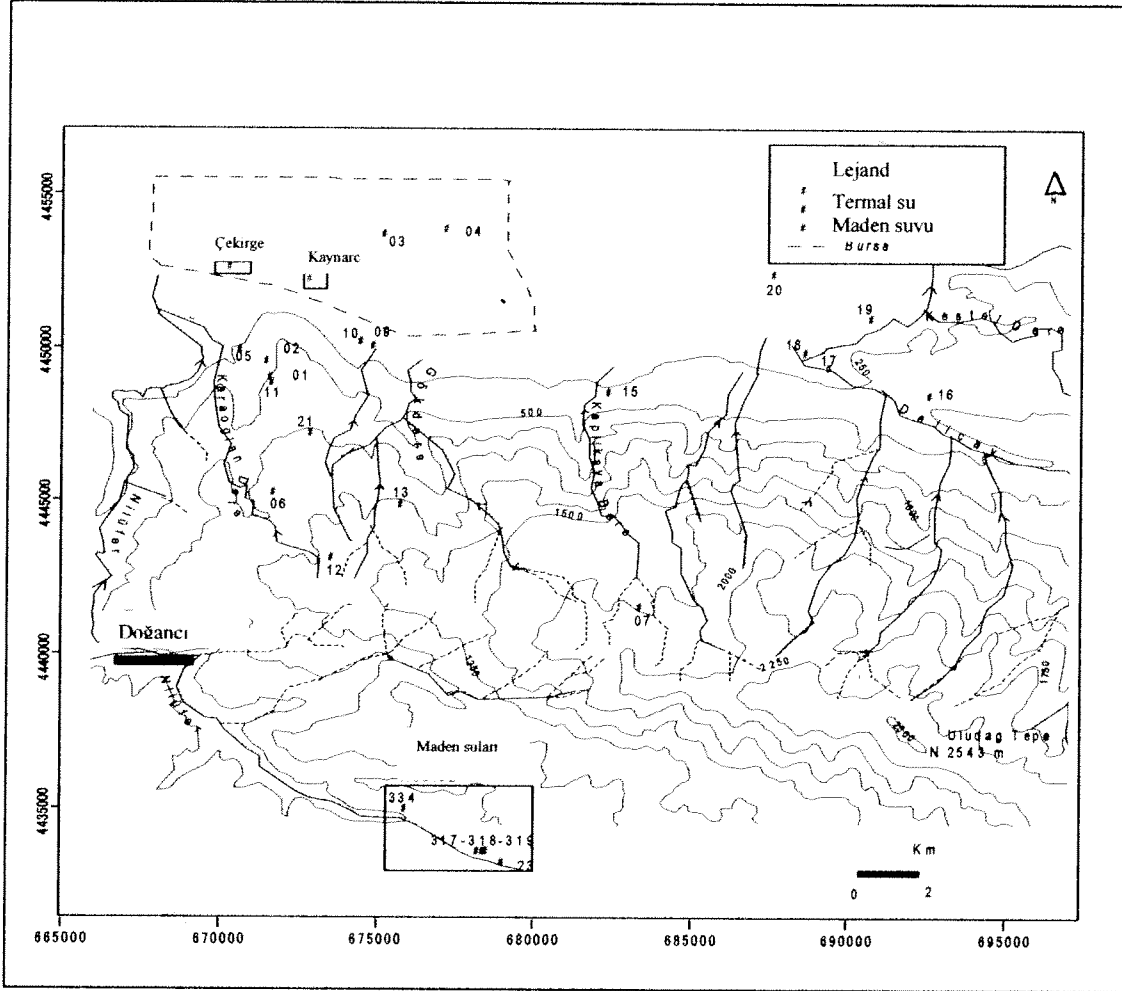
Şekil 35. Derinliği 50km'ye kadar olan deprem sayısı grafiği

Jeokimya Çalışmaları

Proje kapsamında, Bursa ili jeotermal kaynaklarının jeolojik ve tektonik yapı ile ilişkisinin yanısıra bu kaynaklar ile diğer yeraltı sularının sınıflandırması ve ilişkilendirilmesi amacıyla yoğun bir örnekleme programı uygulanmıştır. Bu süreçte, doğal kaynakların yanısıra Bursa'da jeotermal enerji amaçlı açılmış olan kuyulardan ve maden suyu kaynaklarından örnekler alınmıştır. Şekil 36 örneklerin alındığı alanı ve örnek numaralarını göstermektedir. Bursa ve civarı topoğrafik haritasını gösteren Şekil 36 da kesintisiz mavi çizgiler bölgedeki temel akarsuları, kesikli mavi çizgiler ise bu akarsuları besleyen dereleri göstermektedir. Kesikli kırmızı çizgi içine alınmış olan alan ise Bursa il merkezinin bulunduğu alanı işaretlemektedir. Bu alan içinde iki adet çok iyi bilinen jeotermal saha mevcuttur, Çekirge ve Kaynarca.

Yapılan su örnekleme çalışmasında toplam 38 ayrı noktadan örnekler toplanmıştır. Bu örneklerin 11 tanesi iki ayrı jeotermal sahadan, 23 tanesi değişik noktalardaki soğuk su kaynaklarından, 4 tanesi ise Uludağ'ın güney batısında yer alan maden suyu kaynaklarından alınmıştır. Şekil 36 da örneklenmiş olan soğuk su ve maden suyu örneklerinin yerleri gösterilirken, Çekirge ve Kaynarca jeotermal sahalarından alınmış olan örneklerin yerleri daha detaylı haritalarda ilerleyen bölümlerde sunulacaktır (Şekiller 37, 38 ve 39).

Bu rapor kapsamında Ekim 2003, Nisan 2004 ve Ağustos 2004 tarihlerinde gerçekleştirilmiş olan 3 ayrı örnekleme çalışmasının sonuçları sunulacaktır. Anyon, katyon ve izotop analizlerini ayrı ayrı gerçekleştirebilmek amacıyla, her örnek noktasından 50 ml'lik üç ayrı polietilen kaba örnekler alınmıştır. Katyon analizleri için kullanılacak örnekler 0,15 ml HNO₃ kullanılarak asidik hale getirilmiştir. Örneklenen suların analizleri Almanya Berlin Frei Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Analizlerin yapılmasında kullanılan cihaz ve yöntemlerin listesi Tablo 2 de sunulmaktadır. Öte yandan, HS⁻, NO₂, NH₄ gibi kolay okside olabilen bileşimler, su örneği alınır alınmaz, hızlı test kitleri ile (hazır paket) yerinde tayin edilmişlerdir.



Şekil 36. Bursa ilinden alınan örneklerin konumları

Örneklerin bikarbonat (HCO_3) ve karbonik asit derişimleri 100 ml' lik örnek hacminin 0,1 N HCl asit ile pH 4,3 değerine (asit kapasitesi) ve/veya 0,1 N NaOH ile pH 8,2 değerine (baz kapasitesi) kadar titre edilmesiyle bulunmuştur.

Tablo 2. Su örneklerinin analizinde kullanılan yöntem ve cihazlar

ANALİZ EDİLEN BİLEŞEN	YÖNTEM	CİHAZ
Mg ²⁺ , Ca. ²⁺ , Sr ²⁺ , Fe ²⁺ , Mn ²⁺	AAS	PERKİN ELMER 5000
Na ⁺ , K ⁺	Alev fotometresi	Eppendorf Elex 6361r
Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Si	Fotometrik	Technicon Autoanalyzer
F ⁻	İyon seçici elektrot	Orion Research

Suyun sıcaklığı (T), debisi, pH değeri, elektrik geçirgenliği (EC), oksijen miktarı ve Eh değeri ölçümü yapılan fiziksel parametrelerdir. Ölçümler öncesi pH elektrodu pH 4 ve pH 7 standart çözeltileri ile kalibre edilmiş, Eh-elektrodu ise redoks tampon çözeltisi ile test edilmiştir. Her iki elektrodun maksimum kullanım sıcaklığı 80 °C iken oksijen elektrodunun maksimum kullanım sıcaklığı 60 °C dir. Debi ölçümleri ise 1 litrelik ölçüm kabı ve kronometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında kullanılan cihazlar ve ölçüm hassasiyetleri Tablo 3 te sunulmaktadır.

Tablo 3. Fiziksel ölçümler için kullanılan cihazlar ve hassasiyetleri

ÖLÇÜLEN ÖZELLİK	CİHAZ	HASSASİYET
pH	WTW pH 196	± 0,01
EC (µS/cm),	WTW LF 196	± 0,5
T (°C)	WTW LF 196	± 0,2
Eh (mV)	WTW pH 196	± 2 mVs
O ₂ (mg/l)	WTW OXI 196	± 0,5

Ölçümlerin doğruluğunun sınanması Matthess (1990) tarafından verilen 1 no.lu Denklem kullanılarak yapılmıştır. Matthess kabul edilebilir en yüksek hata payını % 5 olarak rapor etmektedir. Bu çalışma kapsamında alınmış olan tüm örneklerin analizleri bu limitler dahilindedir.

$$E = \frac{\sum C_K - \sum C_A}{\sum C_K + \sum C_A} \times 100 \dots\dots\dots 1$$

Burada:

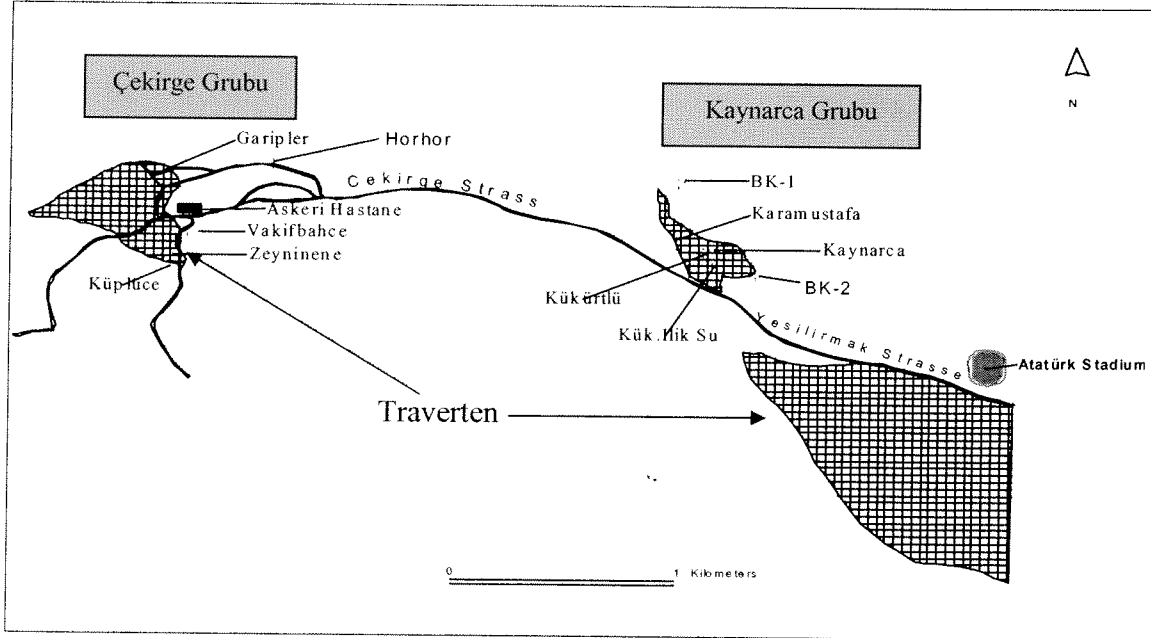
E = Hata payı, %

$\sum C_K$ = Toplam katyonlar derişimi (meq/l)

$\sum C_A$ = Toplam anyonlar derişimi (meq/l)

Termal Sular

Bursa ilinin batısında, Uludağ'ın sınırlarında yer alan fay hatlarından yükselen ve yüzeye çıkan sıcak suların oluşturduğu birçok doğal kaynak mevcuttur. Jeolojik ve hidrojeolojik faktörler değerlendirildiğinde Bursa sıcak suları iki farklı termal bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 35).



Şekil 37. Bursa ilinin iki termal su bölgesi.

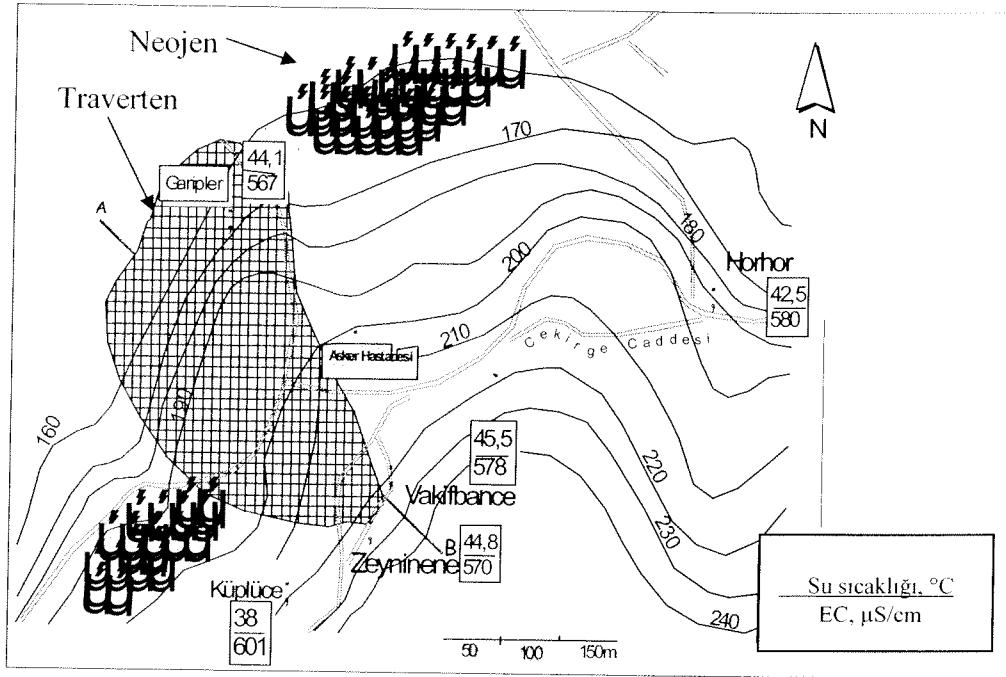
Çekirge Termal Su Bölgesi

Bu bölge termal sularının Roma-Bizans döneminden beri termal banyoculukta kullanıldığı bilinmektedir. Çekirge bölgesi yeraltı kaynakları sedimanter ve Neojen yaşlı volkanik kayalarda yer almakta (Calvi, 1939), yerüstü doğal kaynakları ise Şekil 38 de gösterilen traverten kompleksinde yüzeye çıkmaktadır. Yeryüzü boşalımını yükseklikleri deniz seviyesinden 150 ile 200 m arasında iken (Şekil 38), besleme alanlarının deniz seviyesinden 1500 ile 2100 m yükseklikte olduğu kabul edilmektedir. Termal su kaynaklarının sıcaklıkları 37 °C ile 45 °C arasında değişmekte, 6,9 ile 6,2 arasında değişen pH değeri ile de nötr seviyede yer almaktadır. 451 mV pozitif redoks potansiyeli olan Çekirge termal suları, sahip oldukları düşük trityum derişimi ile yaşlarının 40 yıl civarında olduğu tahmin edilmektedir (Imbach 1992).

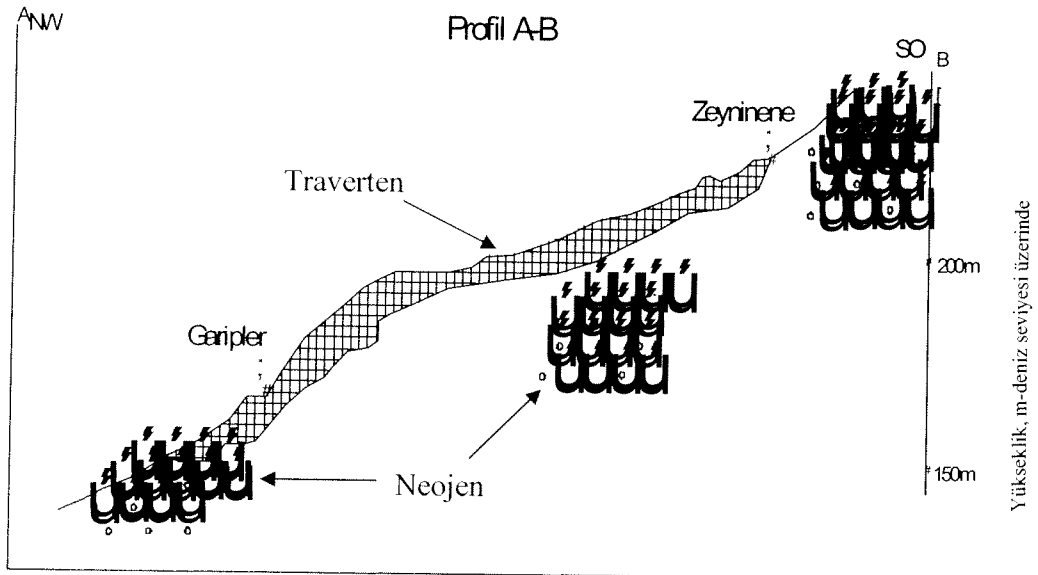
Vakıfbahçe: Bu kaynak kapalı bir bahçe içinde, deniz seviyesinden 220 m yükseklikte yer almaktadır (Şekil 38). Bu kaynak için 24 saatte 891 m³ lük debide (10 l/sn) 43-44 °C termal su rapor edilmiştir (Calvi 1939). Vakıfbahçe kaynağı ile ilgili rapor edilen diğer sonuçlar Tablo 4 te sunulmaktadır. Bölgedeki termal otellerin çoğu bu kaynaktan beslenmektedir.

Tablo 4. Vakıfbahçe Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
1972	(Başkan ve Şamilgil, 1972)			433	7,6
1976	(Erişen ve Öngür, 1976)				7,6
1978	(Özgüler ve Ünay, 1978)		49,5		
09.06.89	(Imbach, 1992)	16	45,7	541	6,7
05.11.03	Bu çalışma	12	45,5	578	7,1
24.04.04		12	45,1	568	7,2



(a)



(b)

Şekil 38. a. Çekirge Termal Bölgesi Hidrojeolojik Yer Buldur Haritası, b. Çekirge Termal Bölgesi AB Profili (Imbach, 1992 den adapte edilmiştir)

Zeyninene: Vakıfbahçe Kaynağı'nın 65 m güney batısında, deniz seviyesinden yaklaşık 220 m yükseklikte, Zeyninene Kaynağı yer almaktadır (Şekil 38). Kaynağın çıkış noktası, Neojen içinde olduğu kabul edilmekte olup, 2-3 metre derinlikte toprakla örtülüdür. Tablo 5 Zeyninene Kaynağı fiziksel ölçüm sonuçlarını listelemektedir.

Tablo 5. Zeyninene Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH	
1939	(Calvi, 1939)		37,0			
1972	(Başkan ve Şamilgil, 1972)			422	7,5	
1978	(Özgüler ve Ünay, 1978)	2,33	46,0			
09.06.89	(Imbach, 1992)	3,3	43,8	538	7,1	
05.11.03	Bu çalışma		44,8	570	6,9	
01.01.04			42,4	580	7,2	
02.02.04			43,2	590	7,2	
03.03.04			41,5	560	7	
04.04.04			41,0	558	7,1	
24.04.04				43,9	558	6,9

Küplüce: Zeyninene Kaynağı'ndan güney batı yönünde birkaç yüz adım ilerlendiğinde, sol tarafta kalan bir bahçe içinde Küplüce Kaynağı bulunmaktadır (Şekil 38). Neojen formasyonlarından yüzeye çıkan kaynağın çıkış noktasında traverten çökelleri mevcuttur (Erişen ve Öngür, 1976). Kaynak ile ilgili rapor edilmiş olan ölçümler Tablo 6 da sunulmaktadır.

Tablo 6. Küplüce Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH	
1939	(Calvi 1939)		37,5			
1972	(Başkan ve Şamilgil, 1972)	0,3	39,5	467	7,5	
1978	(Özgüler ve Ünay, 1978)	0,3	42,0			
1989	(Imbach, 1992)	0,3	43,8	538	7,1	
05.11.03	Bu çalışma	0,16	38,0	601	6,9	
01.01.04			36,4	599	7,4	
02.02.04			36,6	840	7,3	
03.03.04			37,6	600	7,5	
04.04.04			36,7	594	7,51	
24.04.04			0,2	37,4	586	7,15

Garipler (Kuyu): 45 m derinliği olan bu kuyu deniz seviyesinden 170 m yükseklikte olup travertenler içinde yer almaktadır (Şekil 38). Bu kaynağa ait yayınlanmış bilgiler Tablo 7 de listelenmektedir.

Tablo 7. Garipler Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
1939	(Calvi, 1939)	< 1	36,0		
1972	(Başkan ve Samilgil, 1972)	1,4	40,0	446	7,4
1978	(Özgüler ve Ünay, 1978)	1,7	39,0		
05.11.03	Bu çalışma		44,1	567	6,6
24.04.04			44,0	554	6,9

Horhor: Çekirge Caddesi ile Acemler Caddesi'nin keşişim noktasında deniz seviyesinden 190 m yükseklikte (Şekil 38) yer alan bu kaynaktan boşalım Neojen formasyonlarından olmaktadır. Tablo 8 Horhor Kaynağı ile ilgili bilgileri özetlemektedir.

Tablo 8. Horhor Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
1972	(Başkan ve Şamilgil, 1972)			467	7,5
1978	(Özgüler ve Ünay, 1978)	2,5	42,0		
05.11.03	Bu çalışma		42,5	580	7,3
24.04.04			40,7	569	7,2

Kaynarca Termal Su Bölgesi

Çekirge sırtlarının etek ucunda, Neojen formasyonlarının sınırında yer alan, fosil içermeyen ve deniz seviyesinden 100-150 m yüksekte bulunan traverten kompleksinden sıcak su kaynakları çıkmaktadır. Bu kaynakların yer bulduru haritası Şekil 39 da sunulmaktadır. Kaynak sıcaklıkları 81,2 °C ile 29,7 °C arasında, pH değerleri ise 6,3 ile 7,1 arasında değişmektedir. Kaynarca, Kükürtlü, BK-1 kuyusu ve Kükürtlü-İlık Su kaynaklarının redoks potansiyelleri -36 ile -84 mV

arasında değişen, anoksik bölgede iken Karamustafa Kaynağı'nın redoks potansiyeli 265 mV' luk bir pozitif değere sahiptir.

Şekil 39 içinde yer alan BK-1 ve BK-2 kuyuları Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından, jeotermal arama amaçlı olarak MTA'ya açtırılan 2 adet derin jeotermal kuyudur.

Karamustafa (kuyu): Deniz seviyesinden 118 m yükseklikte Yeni Kaplıca tesislerinin hemen altında yer alan, 1990 yılında açılan 130 m derinlikteki bu kuyu termal suyu travertenlerden almakta ve Yeni Kaplıca, Kaynarca ve Karamustafa kaplıca tesislerini beslemektedir. Alüvyon içine açılmış olan 40 m derinlikli bir diğer kuyu ise yıkılma sonucu kullanım dışı kalmıştır. Tablo 9 da Karamustafa kaynağında yapılmış olan ölçümler listelenmektedir.

Tablo 9. Karamustafa Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
17.7.75	(Erisen ve Öngür, 1976)	3,5	59,0	925	7,2
06.09.89	(Imbach, 1992)		61,5	1110	6,8
05.11.03	Bu çalışma		62,3	1187	6,4
01.01.03			48,4	1140	7
01.02.04			53,1	1130	
02.03.04			53,8	1100	7
03.04.04			55,2	1148	7,2
24.04.04				58,8	1243

Kaynarca: Bu kaynak Bursa ilinin en sıcak kaynağıdır. Kaynağın boşalım noktası deniz seviyesinden 170 m yükseklikte traverten terası içinde yer almaktadır. 81,3 °C sıcaklıklı kaynak Yeni Kaplıca ve Kaynarca aile hamamlarını beslemektedir. Debi ölçümünün kolay olmadığı bu kaynağın debisi Erişen ve Öngür (1976) tarafından yaklaşık 8,5 lt/sn olarak rapor edilmiştir (Tablo 10).

Tablo 10. Kaynarca Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH	
17.07.75	(Erişen ve Öngür, 1976)	8,5	82,5	1210	6,9	
09.05.89	(Imbach, 1992)		81,1	1456	6,5	
04.04.90	(Imbach, 1992)		80,0	1248	6,6	
27.08.99	Woith (yayınlanmamış çalışma)		82,1	1372	6,3	
01.11.03	Bu çalışma		81,3	1356	6,4	
01.01.04			80,9	1340	6,6	
02.02.04			79,8	1350	6,8	
03.03.04			80,7	1370	6,6	
04.04.04			79,3	1375	7,3	
24.04.04				81,2	1383	6,3

BK-1 Kuyusu: 750 m toplam derinliğe sahip olan bu kuyu Bursa Büyükşehir Belediyesi adına MTA tarafından delinmiştir. Kuyubaşı deniz seviyesinden 115 m yüksekte olup koordinatları 673406 / 4452262 olarak verilmektedir. 49,7 °C sıcak su üretilen kuyunun artezyen üretim debisi 3,4 lt/sn ölçülmüştür. Kapalı olan kuyudan örnek alabilmek için kuyunun en az iki saat maksimum üretim debisi (3,4 lt/sn) ile akıtılması gerekmektedir. Tablo 11, BK-1 kuyusunda yapılmış olan ölçümleri vermektedir. Bu ölçümlerin tümü bu çalışma kapsamında yapılmıştır.

Tablo 11. BK-1 Kuyusu'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
01.11.03	3,4	48,0	842	7,12
01.01.04		46,4	856	7,43
02.02.04		47,8	828	7,4
03.03.04		42,3	751	7,8
04.04.04		49,3	869	7,6
25.04.04	3,4	49,7	844	7,12

Kükürtlü: Hatice Sultan Türbesi altındaki traverten bölgesinde Uludağ Üniversitesi'nin tedavi merkezi yer almaktadır. Bu noktada termal su, açılmış olan sığ bir kuyunun dibinden yüzeye ulaşmaktadır. Deniz seviyesinden yaklaşık 135 m yükseklikte olan bu noktadan üretilen suyun debisi tam olarak ölçülememekle birlikte günlük debinin 10 m³ civarında olduğu tahmin edilmektedir. Tablo 12 de Kükürtlü Kaynağı'nda yapılmış olan ölçümlerin sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 12. Kükürtlü Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
1939	(Calvi, 1939)	77		
1975	(Erişen ve Öngür, 1976)	79		
1978	(Özgüler ve Ünay, 1978)	80		
09.05.89	(Imbach, 1992)	80,7	1460	6,3
04.03.90	(Imbach, 1992)	81,5	1250	7,02
03.09.90	(Imbach, 1992)	75		
27.08.99	Woith (yayınlanmamış çalışma)	76,4	1380	6,3
08.11.03	Bu çalışma	72,5	1335	6,7
05.11.03		76,6	1386	5,3
24.04.04		70,6	1372	6,8

Kükürtlü Ilık Su: Uludağ Üniversitesi tedavi merkezinin bahçesi içinde, batı yönünde ve deniz seviyesinden 140 m yükseklikte 29 °C sıcaklıklı, 0,15 lt/sn debili bir başka kaynak yer almaktadır. Tedavi merkezi yetkililerinin verdiği bilgiye göre bu kaynaktan elde edilen su tedavi amaçlı kullanılmamaktadır. Tablo 13 Kükürtlü Ilık Su Kaynağı ölçümlerini listelemektedir.

Tablo 13. Kükürtlü Ilık Su Kaynağı'nda yapılmış fiziksel ölçümler

Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
27.7.1994	Woith (yayınlanmamış çalışma)		29,6	816	6,7
20.9.1994			29,1	797	7,02
27.8.1999			30,2	817	7,08
29.11.1999			28,5	818	7,05
12.11.2000			27,5	817	7,06
17.11.2001			26,2	816	7,06
8.11.2003				25,2	811
24.4.2004	Bu çalışma	0,15	26,2	809	7,1
9.7.2004			29,7	813	6,7

Maden Suları

Uludağ'ın güney batısında yer alan dört adet maden suyu kaynağı ile ilgili bilgiler Tablo 14 te listelenmekte, bazı detay bilgiler ise takip eden paragraflarda sunulmaktadır.

Uludağ Eski, Uludağ Yeni ve Uludağ H₂S

Çaybaşı köyünün yaklaşık 500 m doğusunda yer alan bu üç kaynak birbirine çok yakındır. Uludağ Eski ve Uludağ Yeni kaynaklarının sıcaklık değerleri birbirine çok yakın olup bu kaynaklardan debi ölçümü almak mümkün görünmemektedir, ancak Didik (1990) tarafından yapılan çalışmada Uludağ Eski Kaynağı debisi 0,7 lt/sn olarak rapor edilmektedir. Bu iki kaynaktan günde yaklaşık 60000 şişe (200 ml lik) maden suyu doldurulmaktadır.

Çınar Soda

Çınar soda ise Çaybaşı köyünün yaklaşık 1,5 km batısında yer almaktadır. İşletme sahibinin verdiği bilgilere göre debi yaklaşık 1 lt/sn dir ancak Didik (1990) debiyi 1,5 lt/sn olarak rapor etmektedir. 19 °C sıcaklığa sahip bu kaynaktan günlük dolum 30000 şişe (200 ml lik) civarındadır.

Tablo 14. Maden sularında yapılmış fiziksel ölçümler

Kaynak Adı	Kaynak No	Tarih	Kaynak	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
Uludağ Eski	TR 317	6.08.90	(Didik, 1990)	0,7	17	1400	6,5
		02.11.03	Bu çalışma		18,2	1602	5,9
		26.04.04			17,6	1479	6,1
Uludağ Yeni	TR 318	02.11.03	Bu çalışma		20,2	1916	5,9
		01.01.04			18,3	1785	6,02
		02.02.04			17,7	1502	6,3
		03.03.04			17,7	1502	6,3
		04.04.04			17,6	1514	6,4
		26.04.04			17,7	2100	
Uludağ H ₂ S	TR 319	02.11.03	Bu çalışma		37,3	4550	6,3
		01.01.04			32,8	4500	6,8
		02.02.04			36,9	4400	6,9
		03.03.04			37,7	4660	7,1
		04.04.04			36,8	3900	6,8
		26.04.04			37,1	4460	6,3
Çınar soda	TR 334	6.08.90	(Didik, 1990)	1,5	19	2200	6,4
		26.04.04	Bu çalışma		15,8	2580	6,3

Soğuk Sular

Bu çalışma kapsamında su örneklerinin alındığı soğuk su kaynaklarının analiz sonuçları Tablo 15 te sunulmaktadır.

Tablo 15. Soğuk su kaynaklarında yapılan fiziksel ölçümler

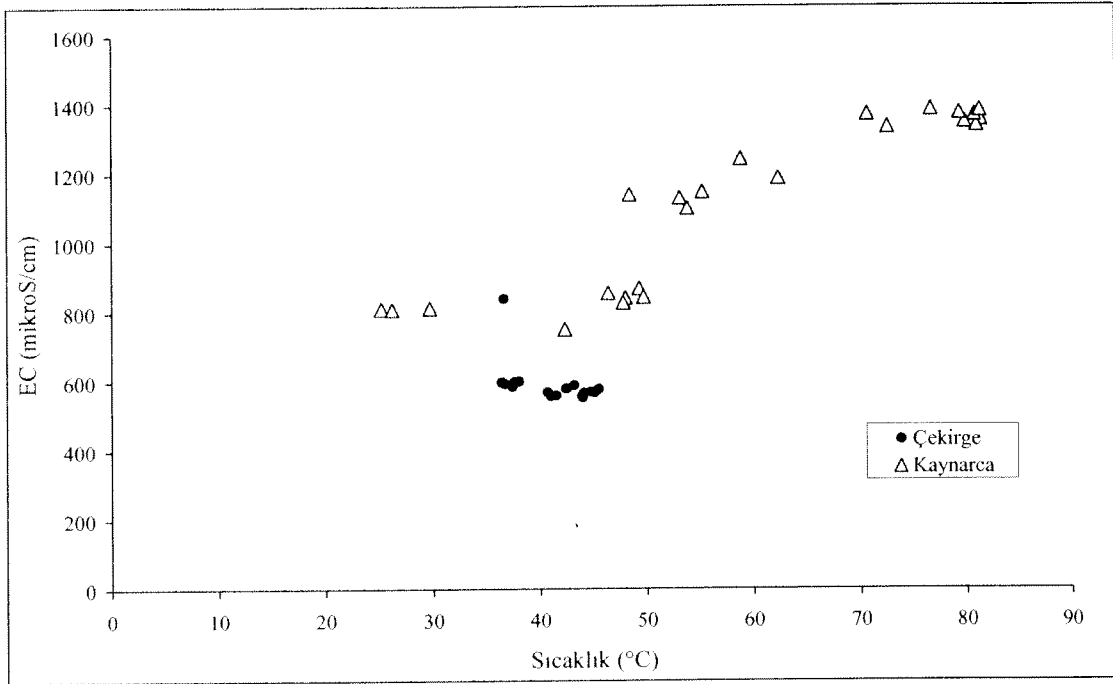
Kaynak Adı	Kaynak No	Tarih	Q (lt/sn)	T (°C)	EC (µS/cm)	pH
Congara Havzası	Bursa. 01	06.11.03	0,6	14,7	462	7,6
Yardım Pınarı	Bursa. 02	06.11.03	> 60	15,2	468	7,6
Park Çeşmesi	Bursa. 03	06.11.03	0,25	13,8	624	7,2
		01.01.04		13,8	503	7,4
		02.02.04		13,9	610	7,5
		03.03.04		13,9	591	7,5
		04.04.04		14,2	613	7,55
		23.04.04	0,36	13,8	622	7,29
Küçük Bahkılı	Bursa. 04	06.11.03	0,53	14,5	678	7,3
		23.04.03	0,58	14,4	666	7,5
Tarihi Çınar	Bursa. 05	07.11.03	0,13	14,6	502	7,6
		01.01.04		13,5	486	7,8
		02.02.04		13,4	491	7,6
		03.03.04		14,2	470	7,9
		04.04.04		14,9	460	8,02
22.04.04		14,3	493	7,7		
Cavit Akbaş	Bursa. 06	07.11.03	0,032	11,3	554	
Uludağ Çeşmesi	Bursa.07	07.11.03	0,2	4,2	37	5,7
		01.01.04		4,4	380	5,9
		02.02.04		5,1	363	6,2
		03.03.04		3,8	300	6,3
		04.04.04		4,3	30,2	5,6
		22.04.04	0,64	3,6	36	7,3
24.04.04		3,5	38	6,5		
B.Kültürpark	Bursa. 08	07.11.03		16,2	623	
Pınarbaşı	Bursa. 09	22.04.04		13,1	599	7,2
Asasuyu	Bursa.10	22.04.04	3,4	12,2	510	7,3
İnkaya	Bursa. 11	22.04.04		14,9	463	7,6
Kirazlı Çifte	Bursa. 12	22.04.04		9,9	268	7,7
Süleymaniye	Bursa. 13	22.04.04	1,25	7,2	71	6,19
Süleymaniye1	Bursa. 14	22.04.04	0,36	6,7	66	
Kaplıkaya	Bursa. 15	23.04.04		5,6	60	7,7
Aral Alabalık	Bursa. 16	23.04.04	70	8,2	249	7,8
Hamamlıkızık	Bursa. 17	23.04.04	0,7	12,2	503	7,26
Cumalıkızık	Bursa. 18	23.04.04		10,4	424	7,36
Karapınar	Bursa. 19	23.04.04	160	11,9	379	7,59
Şirinevler	Bursa. 20	23.04.04	0,23	12,3	293	7,26
Çayır Kaynağı	Bursa. 21	24.04.04		9,4	441	7,51
Uludağ Meteoroloji	Bursa. 22	24.04.04		11,4	11	6,84
Çaybaşı Kaynağı	Bursa. 23	26.04.04		12,1	373	7,19

Yeraltı Suları Fiziksel Parametreleri Yorumları

Termal sular

Bursa ilinin iki ayrı termal su bölgesinin fiziksel parametreleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

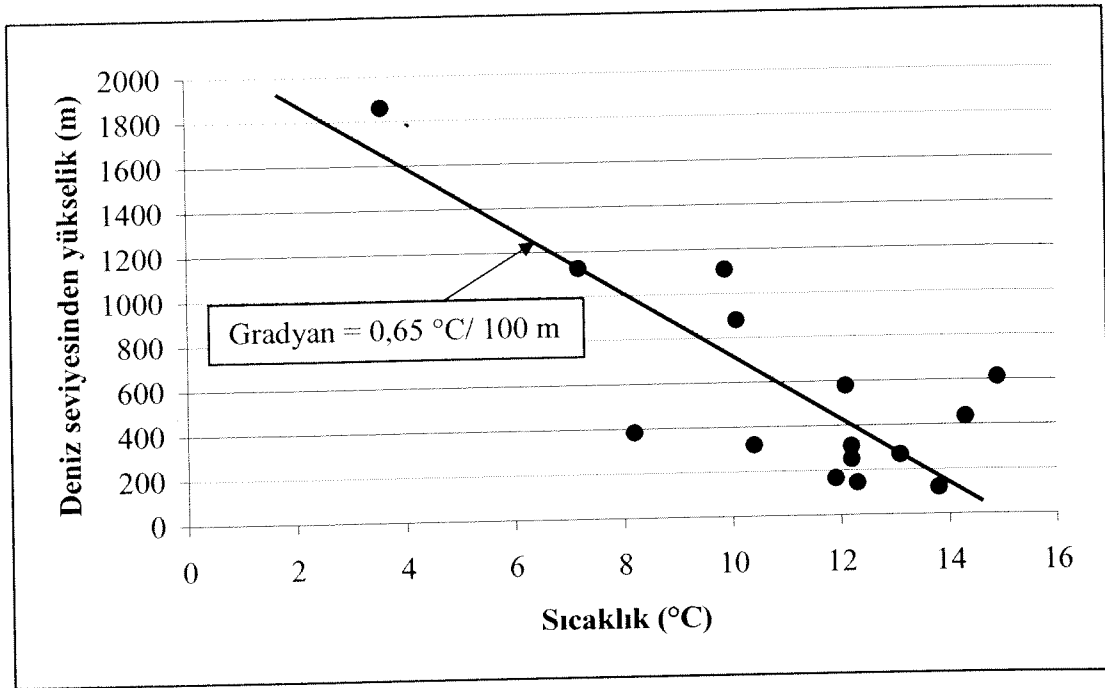
En sıcak kaynak olan Kaynarca kaynağında sıcaklık $81,2^{\circ}\text{C}$ elektrik geçirgenliği ise $1383\mu\text{S}/\text{cm}$ iken Çekirge termal bölgesinin en sıcak noktası $45,1^{\circ}\text{C}$ olmasına rağmen $586\mu\text{S}/\text{cm}$ lik elektrik geçirgenliği ile normal bir yeraltı suyu özelliği göstermektedir. Çekirge termal bölgesinde sıcaklık ile elektrik geçirgenliği arasında belirgin bir ilişki yok iken Kaynarca termal bölgesi kaynaklarında elektrik geçirgenliği sıcaklık ile artış göstermektedir (Şekil 40). Çekirge bölgesi kaynaklarındaki gözlenen bu farklılığın, her bir kaynağın farklı yeraltı yükselim yolu ile yükselim hızından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 40. Çekirge ve Kaynarca Termal su bölgeleri elektrik geçirgenlik-sıcaklık ilişkisi

Soğuk Sular

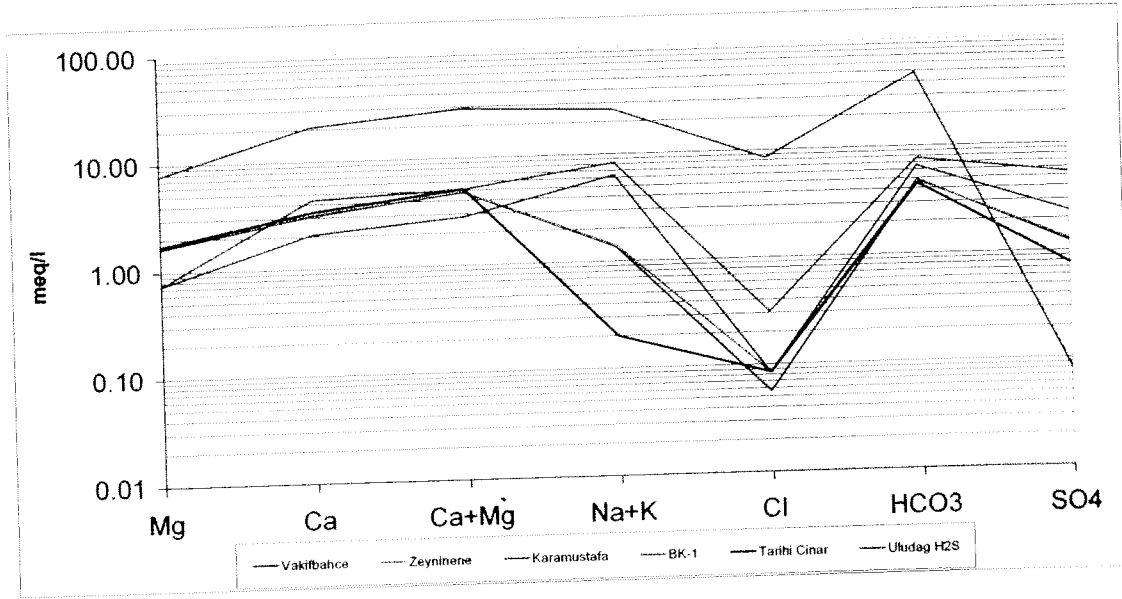
Şekil 41 soğuk su kaynak sıcaklığı ile kaynakların deniz seviyesinden olan yükseklik arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Artan yükseklikle azalan kaynak sıcaklığı, sıcaklık gradyanını $0,65$ $^{\circ}\text{C}/100$ m olarak vermektedir. Bu değer Imbach (1992) tarafından verilen $0,5$ $^{\circ}\text{C}/100$ m değeri ile uyumlu bulunmuştur.



Şekil 41. Soğuk su sıcaklığının yükseklikle değişimi

Suların Sınıflandırması

Her bir su örneğinin anyon-kasyon derişimleri kullanılarak sınıflandırmaları yapılabilmektedir. En sık kullanılan sınıflandırma yöntemi Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} iyonlarının milieşdeğer derişimlerinin yarı-logaritmik kağıda çizilmeleriyle elde edilen Schoeller diyagramıdır. Her su örneği için farklı iyonların derişim değerlerini birleştirerek elde edilen profil, su örneklerinin farklılıklarının kolayca görülebilmesini sağlamaktadır. Bu çalışma kapsamında seçilmiş bazı su örneklerinin Schoeller diyagramları Şekil 42 de sunulmaktadır.

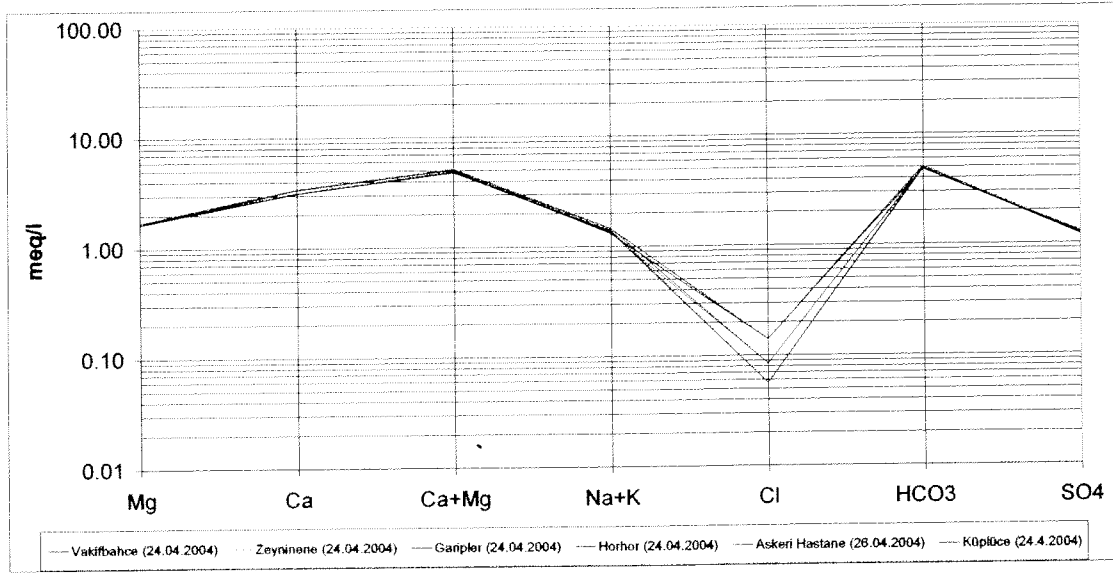


Şekil 42. Seçilmiş termal su, maden suyu ve soğuk su kaynaklarının Schoeller diyagramı

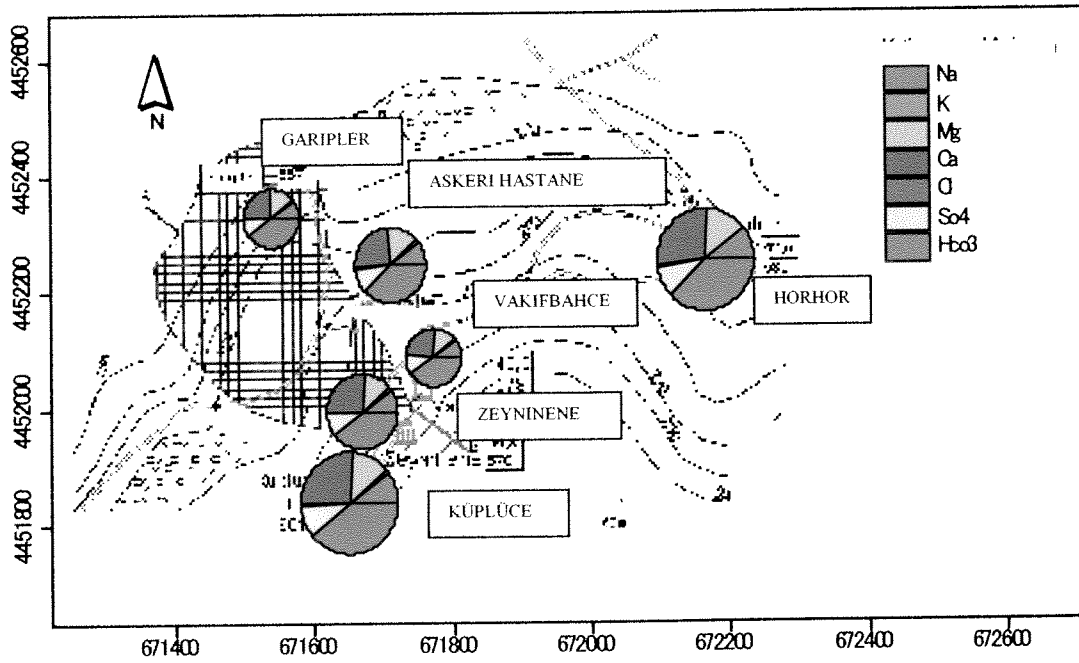
Şekil 42 incelendiğinde Zeyninene ve Vakıfbahçe (Çekirge termal su bölgesi kaynakları) ile Tarihi Çınar soğuk su örneklerinin anyon-kasyon değerlerinin (Tarihi Çınar örneğindeki düşük Na+K derişimi dışında) benzeştiği görülmektedir. Kaynarca termal su bölgesine ait Karamusta örneği ise bu sulardan yüksek Na, HCO₃ ve SO₄ derişimiyle ayrılmaktadır.

Çekirge Termal Su Bölgesi

Çekirge termal su bölgesi örneklerinin Schoeller diyagramları Şekil 43 te verilmektedir. Çekirge bölgesi termal sularının mineral kompozisyonu yeraltı soğuk su kompozisyonundan büyük farklılıklar göstermemektedir. Bölgedeki sularda görülen sıcaklık farklılıkları kimyasal kompozisyonda görülmemektedir. Çekirge bölgesi sularının sıcaklıklarında görülen farklılığın ısı iletim (conductive) kayıplarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 44 te verilen Çekirge bölgesi su örneklerinin kasyon – anyon dağılımı, bu örneklerde temel iyonların aynı oranda dağıldığını göstermektedir.



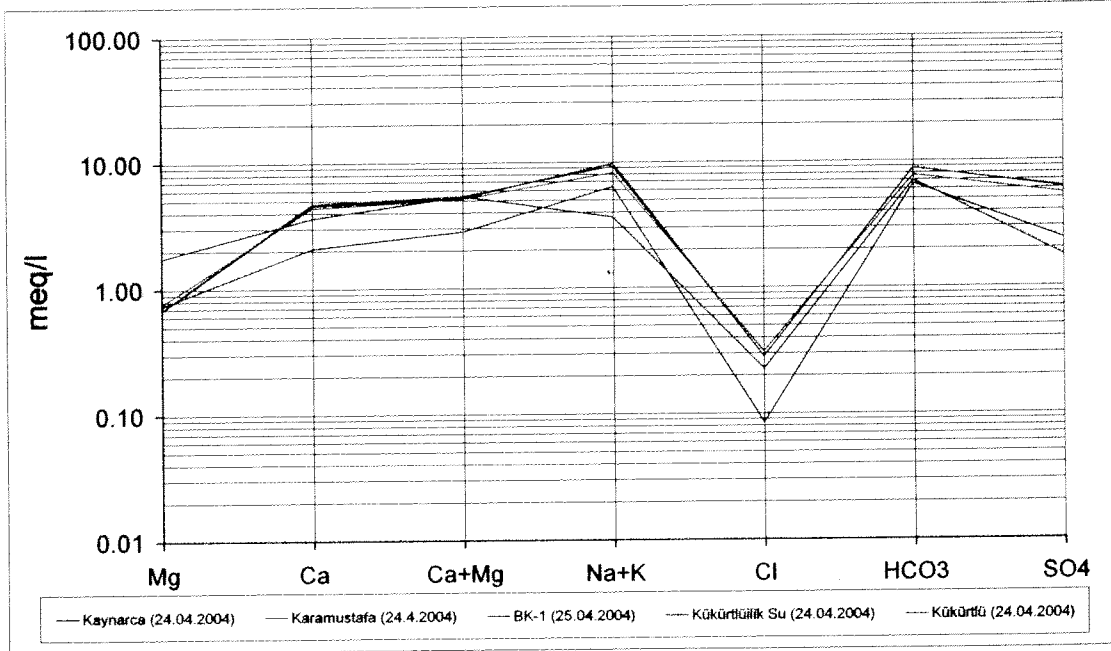
Şekil 43. Çekirge termal su bölgesi su örneklerinin Schoeller diyagramı



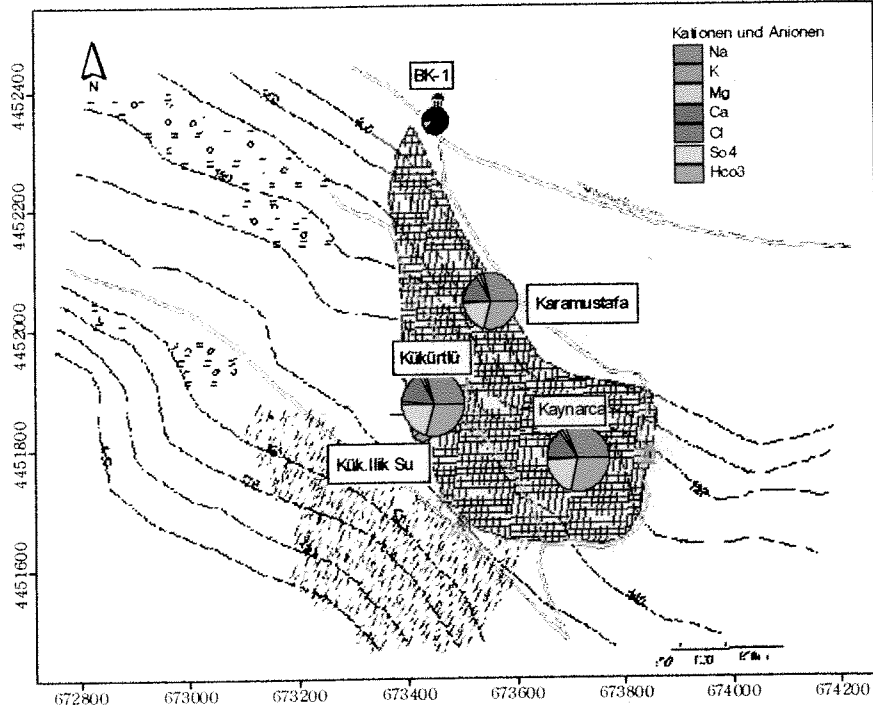
Şekil 44. Çekirge termal bölgesi su örneklerinin katyon – anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar (daire çapları, toplam çözünmüş madde içeriği ile doğru orantılıdır)

Kaynarca Termal Su Bölgesi

Kaynarca bölgesi su örneklerine ait Schoeller diyagramı Şekil 45 te sunulmaktadır. İlk bakışta BK-1 kuyusu ile Kükürtlü Ilık su kaynağı örneklerinin diğer örneklerden farklılık gösterdikleri görülmektedir. Her iki su örneğinin toplam anyon-katyon derişimleri yanısıra, katyon-anyon derişimindeki dağılım da diğer su örneklerinden farklıdır (Şekil 46). Bu örneklerdeki farklılığın nedeninin, BK-1 ve Kükürtlü Ilık su örneklerinin yeraltındaki yükselimi sırasında yeraltı soğuk su kaynakları tarafından daha yoğun bir seyreltmeye maruz kalmaları olarak düşünülmektedir. Kaynakların toplam mineral derişimi ile sıcaklıkları arasında doğrusal bir davranış vardır. Bu gözlem de yükselim sırasında yeraltı suyu ile karışımın ve seyreltmenin temel süreç olduğunu, öte yandan yükselim aşamasında mineral çökmesi sürecinin önemli olmadığını göstermektedir. Kaynarca termal su bölgesindeki farklı sıcaklık değerlerini sadece yeraltı suyu karışımına bağlamak elbette doğru değildir, akış süresince kayalara olan ısı kaybı ile atmosfere olan ısı kayıpları gözönüne alınmaz ise, sistemin gerçekte olandan daha fazla yeraltı suyu ile karıştığı sonucu elde edilebilir. Su örnekleri kimyasının bir diğer önemli çıkarımı ise Kaynarca, Karamustafa ve Kükürtlü su örneklerinde gözlenen yüksek alkali ve toprak alkali elementlerin derişimleridir (özellikle 95 mg/l ile Ca^{2+} ve 20.6 mg/l ile Cl^-). Bunun nedeninin örneklenen suların yeraltında daha uzun süreli kalmaları olarak yorumlanabilir.



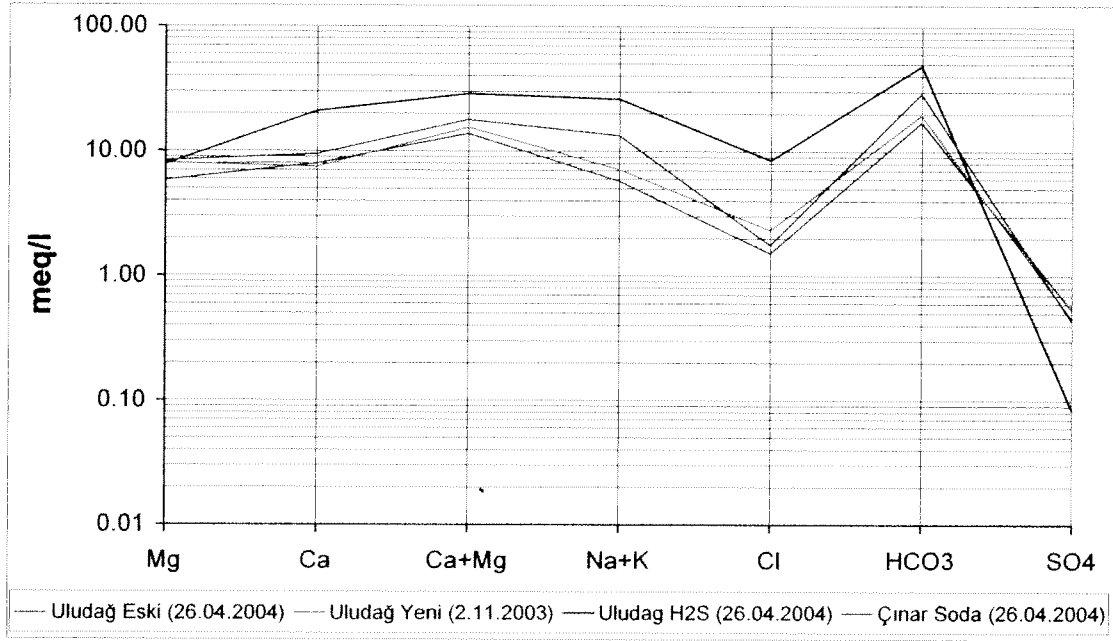
Şekil 45. Kaynarca termal su bölgesi su örneklerinin Schoeller diyagramı



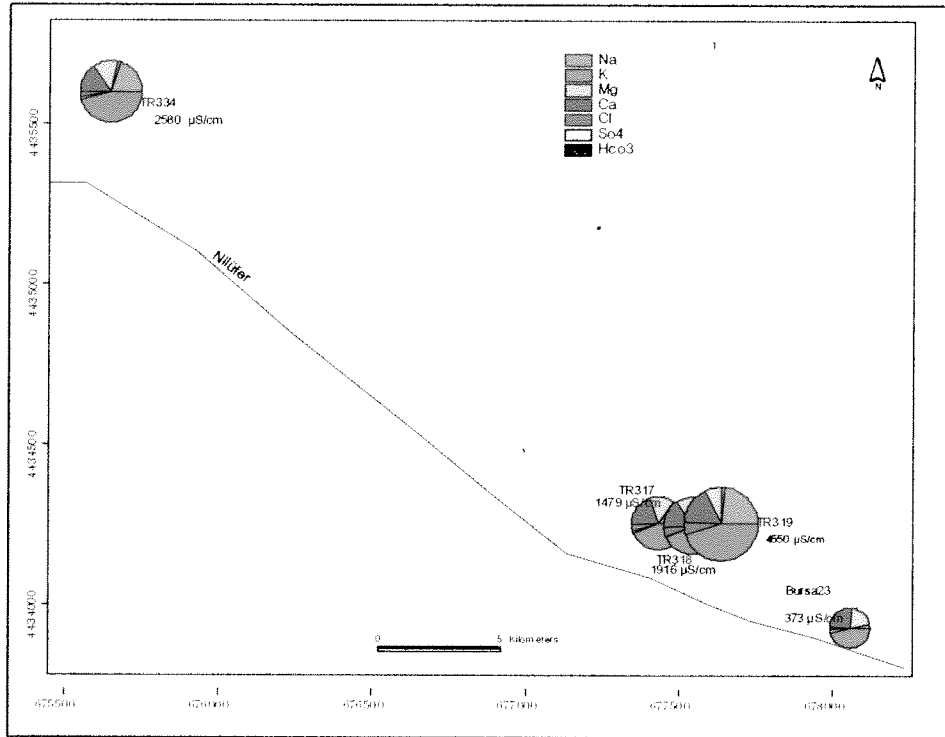
Şekil 46. Kaynarca termal bölgesi su örneklerinin katyon – anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar (daire çapları, toplam çözülmüş madde içeriği ile doğru orantılıdır)

Maden Suları

Bu sular gerek toplam çözülmüş katı madde (TDS) gerekse kimyasal kompozisyonları ile termal sular ve soğuk yeraltı sularından farklılık göstermektedirler. Diğer üç maden suyuna nazaran Uludağ H₂S maden suyu 4550 µS/cm gibi yüksek bir elektrik geçirgenliğine sahiptir. Bu gözlemle birlikte Şekil 47 de verilen maden suları örneklerinin Schoeller diyagramından Uludağ H₂S maden suyu örneğinin daha çok mineral içerdiği görülmektedir. Söz konusu maden suyu karbonat açısından zengin olup sülfatça diğer maden sularına göre fakirdir. Aynı suların katyon-anyon dağılımları Şekil 48 de verilmektedir.



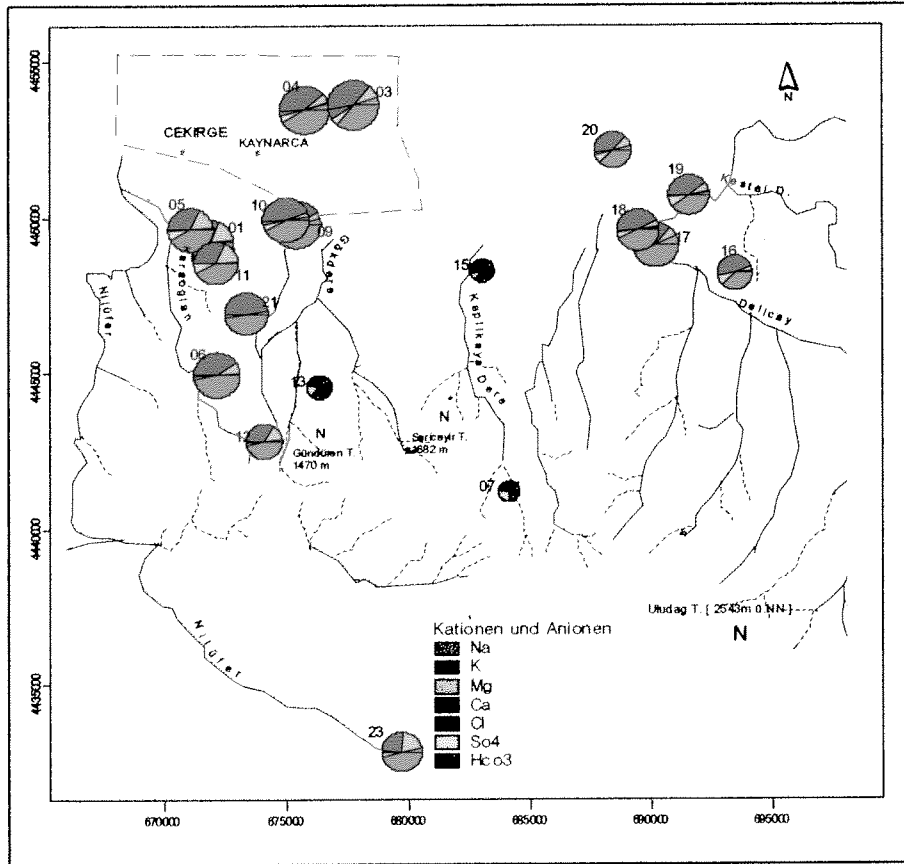
Şekil 47. Maden suları örneklerinin Schoeller diyagramı



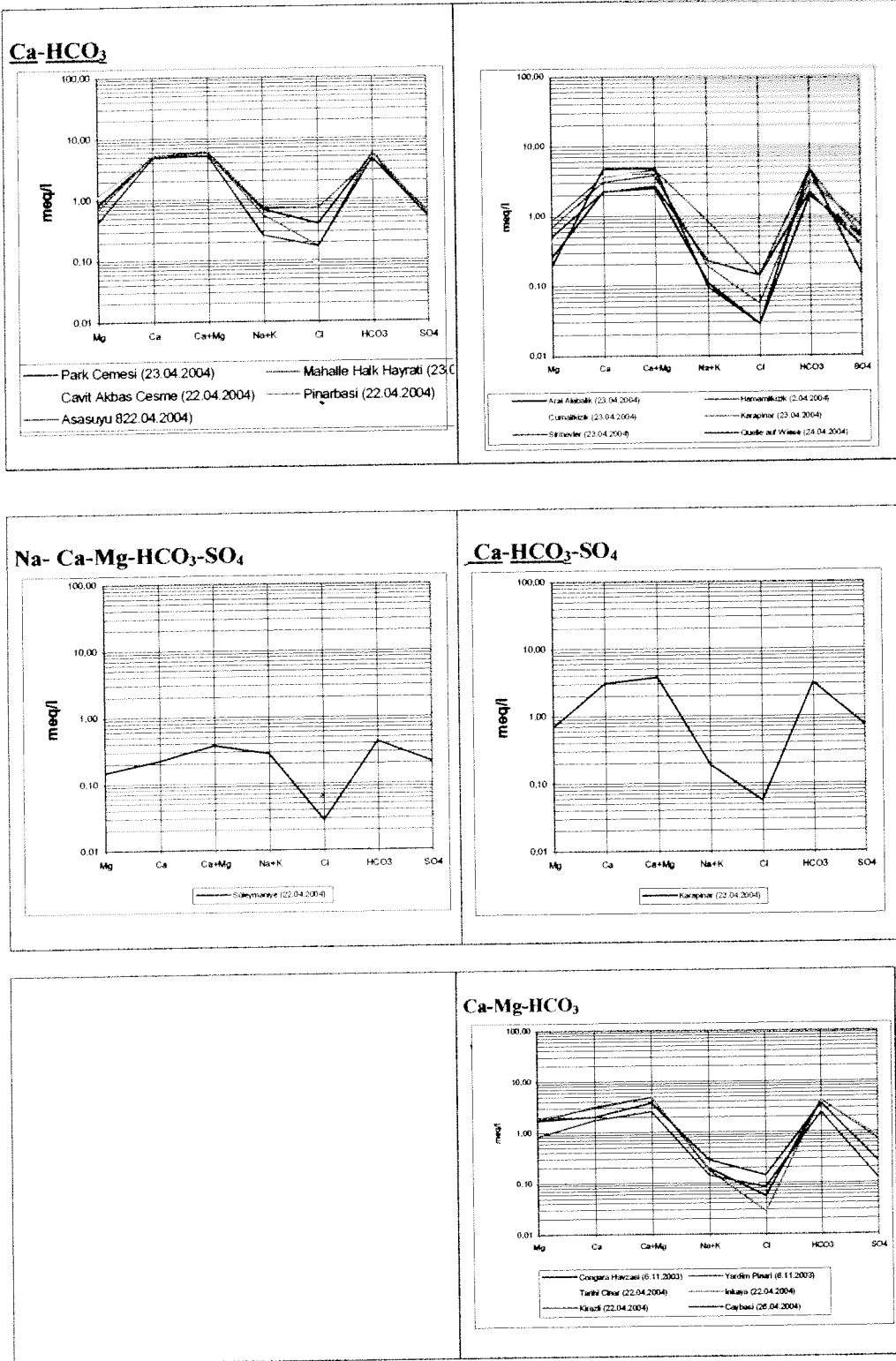
Şekil 48. Maden suları örneklerinin katyon – anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar (daire çapları, toplam çözünmüş madde içeriği ile doğru orantılıdır)

Soğuk Sular

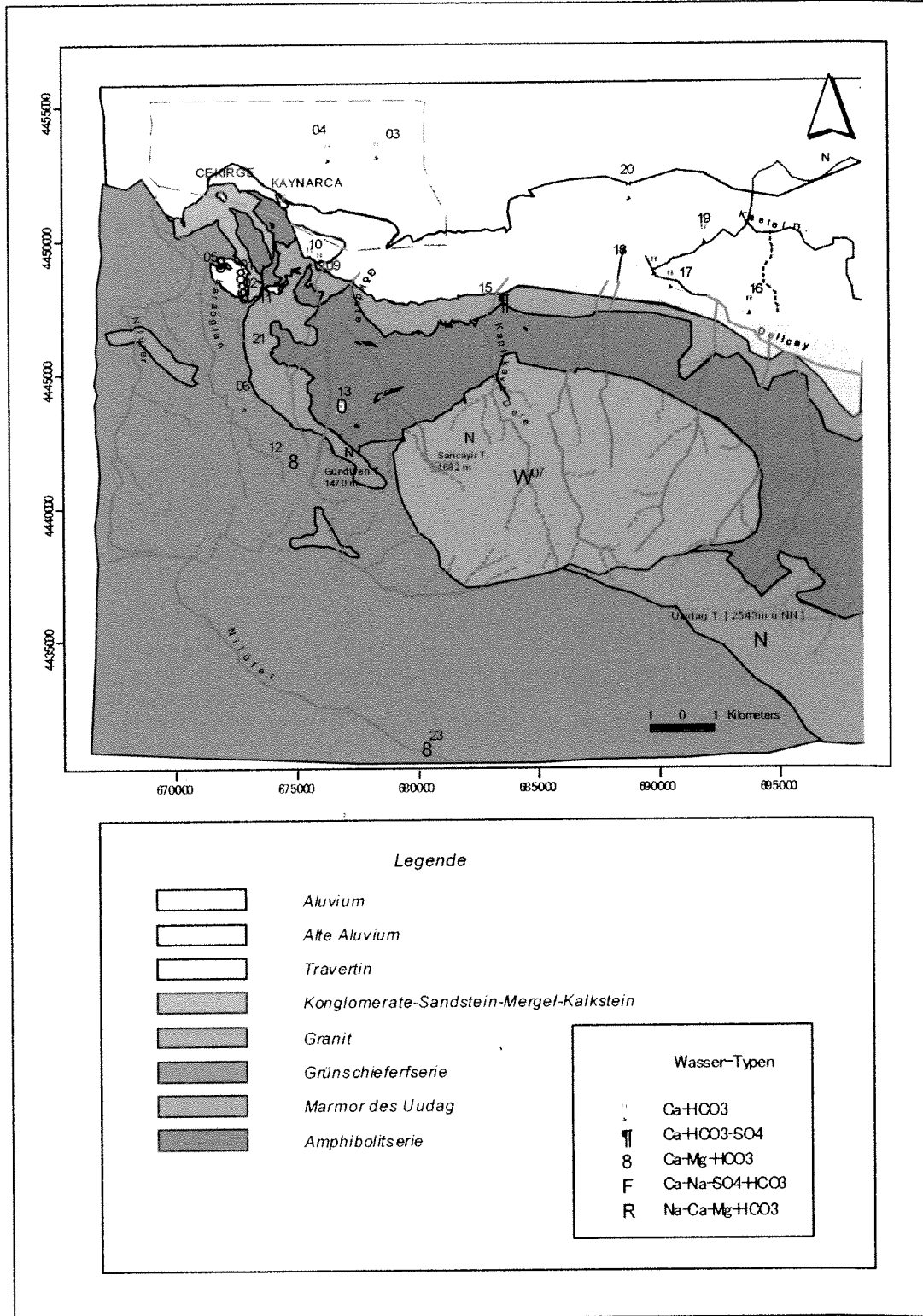
Yeraltı soğuk su kaynaklarının hakim kimyasal yapısı kalsiyum – bikarbonat olarak gözükmektedir (Şekiller 49 - 51). Şekil 49 da örneklenen tüm soğuk su kaynaklarının kimyasal kompozisyonu, Şekil 50 de ise bu suların Schoeller diyagramları verilmektedir. Süleymaniye (13) ve Uludağ Çeşme (07) gibi düşük mineral derişimine sahip kaynakların bu özelliklerinin, deniz seviyesinden daha yüksekte olup beslenme havzasına yakınlıkları nedeniyle suyun yeraltında kalma süresinin kısa olması gösterilebilir. Çongara Havzası (01), Tarihi Çınar (05) ve İnkaya (11) kaynaklarında görülen farklılık (yüksek Mg^{2+} derişimi) ise bu suların akiferlerinin litolojisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 49. Soğuk su kaynaklarının kation-anyon dağılımını gösterir dairesel diyagramlar (daire çapları, toplam çözünmüş madde içeriği ile doğru orantılıdır)Çongara Havzası (01), Yardım Pınarı (02), Park Çesmesi (03), Çeşme Küçükbalıklı (04), Tarihi Çınar (05), Cavit Akbaş (06), Uludağ Çesmesi (07), Pınarbaşı (09), Asasuyu (10), İnkaya(11), Kirazlı (12), Süleymaniye (13), Kaplıkaya (15), Aral Alabalık (16), Hamamlıkızık (17), Cumalıkızık (18), Karapınar (19), Şirinevler (20), Çaybaşı (23).



Şekil 50. Önemli soğuk su kaynaklarının Schoeller diyagramları



Şekil 51. Soğuk su kaynaklarının su tipleri ve akifer litolojileri

Silika (SiO₂)-Entalpi Karışım Modeli

Bursa ili termal sularının farklı karakterleri bu suların yeraltında yükselimleri aşamasında soğuk yeraltı suyu ile karışmış olmaları ihtimalini yükseltmektedir. Karışım modelleri kullanımıyla yükselmekte olan termal su ile soğuk yeraltı suyu karışımı mekanizmasını tanımlayabilmek mümkündür. Bu tür çalışmalarda sıkça kullanılan Klor-Entalpi karışım modeli, termal sularda görülen oldukça düşük Klor derişimi (~10 mg/l) nedeniyle uygulanmamış, onun yerine sıcaklık ile silika derişimi arasındaki denge koşullarının baz alındığı Silika-Entalpi karışım modeli kullanılmıştır. Bu yöntem üç temel varsayım üzerine geliştirilmiştir (R. Fournier 1977).

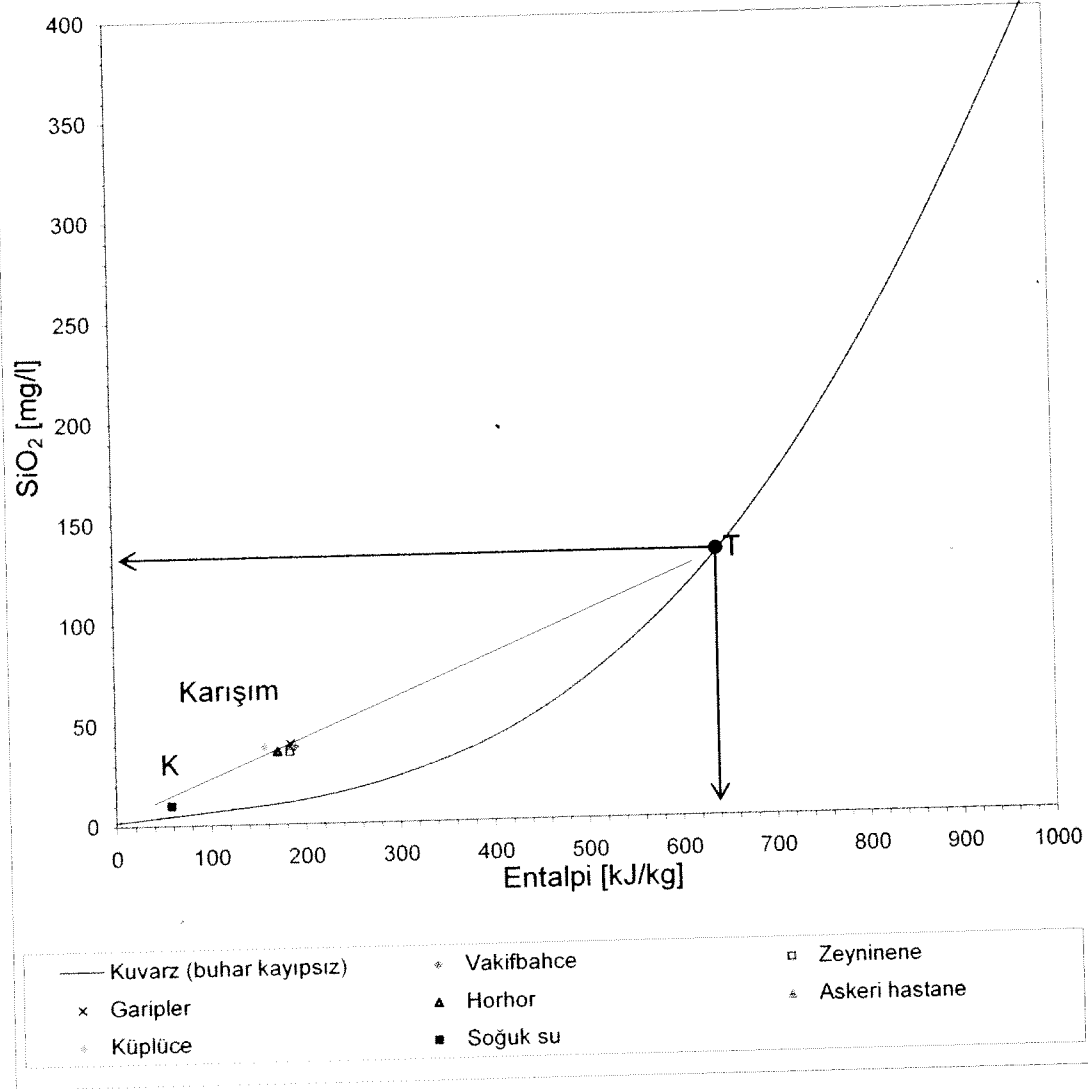
1. Karışım sonrası ısı kayıpları yoktur.
2. Rezervuar akışkanının SiO₂ derişimi kuvars çözünürlüğü ile belirlenmektedir.
3. Termal suyun rezervuarı terk etmesi sonrası ve karışım öncesi ve/veya sonrası sistemde SiO₂ çökmesi veya çözünmesi yoktur.

Çekirge termal su bölgesi

Bursa bölgesi sıcak su kaynakları civarında silika çökeli mi gözlenmediği için, Silika-Entalpi diyagramında (Şekil 52), Nicholson (1993)'de verilen entalpi değerleri kullanılarak tanımlanan buhar kaybına uğramamış kuvars çözünürlük eğrisi (*quartz with no steam loss curve*) temel alınmıştır. Diyagramda, sıcak sulara ilişkin veri noktaları soğuk su bileşenine (K) birleştirilerek karışım çizgisi elde edilmiştir. Karışım çizgisinin uzantısı, kuvars çözünürlük eğrisini 640 kJ/kg entalpi değerinde kesmektedir. Bu değer, bölgedeki orijinal jeotermal akışkanın (sıcak su bileşeninin), bir başka deyişle rezervuar sıcaklığının 152 °C olduğuna işaret etmektedir. Orijinal akışkanın silika içeriği ise 130 mg/kg civarındadır. Hesaplanan karışım oranı ise Tablo 16 da verilmektedir.

Tablo 16. Çekirge termal su bölgesi karışım oranı (T=termal su, K=soğuk su)

Örnek	SiO ₂ [mg/l]	Entalpi, Sıcaklık (kJ/kg, °C)	Karışım oranı T : K
Çekirge	130	640,152	1 : 4,6



Şekil 52. Çekirge termal su bölgesi şilika-entalpi karışım modeli

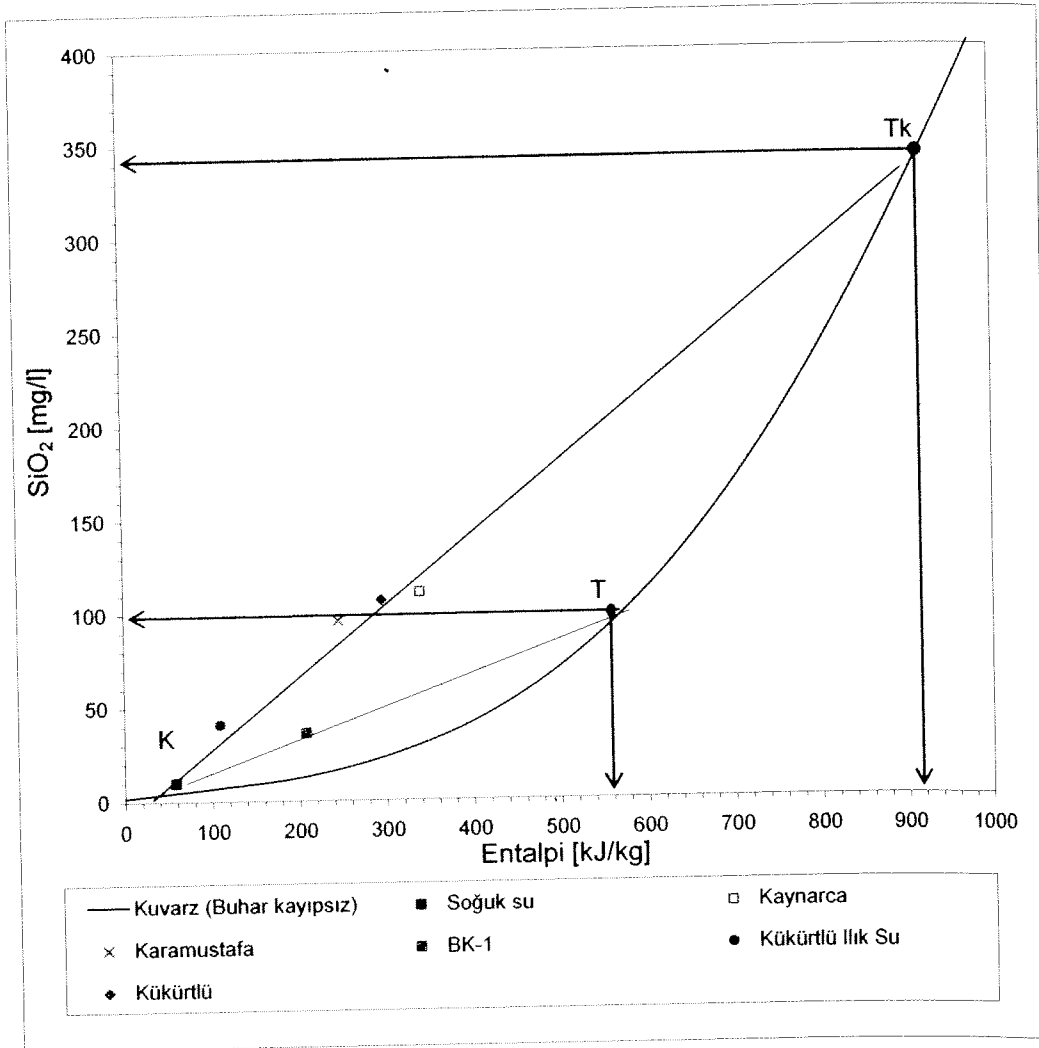
Kaynarca termal su bölgesi

Kaynarca bölgesi sıcak suları için çizilen Silika-Entalpi diyagramında (Şekil 53), Kaynarca, Kükürtlü, Kükürtlü Ilık Su ve Karamustafa kaynaklarının tanımladığı karışım çizgisi, kuşarız çözünürlük eğrisini 910 kJ/kg entalpi değerinde kesmekte ve bu değer 217 °C civarında bir rezervuar sıcaklığına karşı gelmektedir. Orijinal akışkandaki silika derişimi ise 340 mg/kg civarındadır. BK-1 kuyusuna ait veri noktası, diğer su kaynaklarından farklı bir alana düşmekte ve bu veri noktası için tanımlanan karışım çizgisi, kuşarız çözünürlük eğrisini 560 kJ/kg

değerinde keserek, 133°C'lik bir rezervuar sıcaklığına işaret etmektedir. Kaynarca kaynağı ve BK-1 kuyusu karışım oranları Tablo 17 de rapor edilmektedir.

Tablo 17. Kaynarca termal su bölgesi karışım oranı (T=termal su, K=soğuk su)

Örnek	SiO ₂ [mg/l]	Entalpi, Sıcaklık (kJ/kg, °C)	Karışım oranı T : K
Kaynarca	292	860, 205	1 : 2,8
BK-1	97	559, 133	1 : 3,3



Şekil 53. Kaynarca termal su bölgesi silika-entalpi karışım modeli

Jeotermometre Uygulamaları

Bir jeotermal sahanın enerji potansiyelinin değerlendirilmesinde büyük önem taşıyan rezervuar sıcaklıkları, direkt ölçümler çoğunlukla mümkün olmadığından ya da çok pahalıya mal olacağından, jeotermometreler aracılığıyla belirlenmektedir. Bu jeotermometreler, rezervuar koşullarında, sular ile yan kayaç mineralleri arasındaki (sıcaklığa bağımlı) kimyasal dengeyi temel almaktadır. Jeotermometre uygulamaları, derin rezervuar koşullarında kimyasal dengelenme süreçleriyle elde edilen sıcak su bileşiminin, su yüzeye çıkana kadar korunmuş olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bir başka deyişle, jeotermometre uygulamalarında, karışım, kaynama vb. yeraltı süreçleri gözönüne alınarak varsa gerekli düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, silika (SiO_2) ve Na/K jeotermometre uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Silika jeotermometreleri, silikanın - sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olarak - sudaki çözünürlüğünü esas alan ve deneysel olarak geliştirilmiş olan jeotermometrelerdir. Silika, jeotermal sahalarda, kuvars, kalsedon, kristobalit gibi çeşitli şekillerde oluşabildiğinden, farklı araştırmacılar tarafından çeşitli silika jeotermometreleri geliştirilmiştir. Na/K jeotermometresi ise, alkali elementlerin sıvı ile katı fazlar arasındaki ayrışmasını esas alan ve empirik olarak geliştirilmiş olan bir jeotermometredir. Jeotermometre uygulamaları sırasında, karışım sürecinden en az etkilenmiş olan Kaynarca, Vakıfbahçe ve BK-1 (Bkz. Şekil 52 ve 53) suları kullanılmıştır.

SiO₂ Jeotermometresi

SiO₂ jeotermometrelerinde, silika çözünürlüğünü kontrol eden silika fazının (kuvars, kalsedon, kristobalit) ve olası bir kaynama (buhar kaybı) sürecinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Kaynama süreci, akışkandan buhar kaybı yoluyla, artık sıvıdaki silika içeriğini (rezervuar koşullarındakine oranla) arttırmakta ve adiyabatik soğuma olarak isimlendirilen sıcaklık düşüşüne yol açmaktadır. Isı iletim (conductive) soğuma olarak isimlendirilen soğuma süreci ise, akışkandan yan kayaçlara ısı salınımı yoluyla gerçekleşmekte ve akışkanın silika içeriği değişmemektedir. Farklı silika jeotermometrelerine ilişkin sıcaklık denklemleri Tablo 18 de, bu denklemlerin kullanılmasıyla Bursa bölgesi için elde edilen rezervuar sıcaklıkları ise Tablo 19 da sunulmaktadır. Şekil 54, farklı silika fazlarına ilişkin çözünürlük eğrilerini ve Bursa jeotermal sularının konumları göstermektedir.

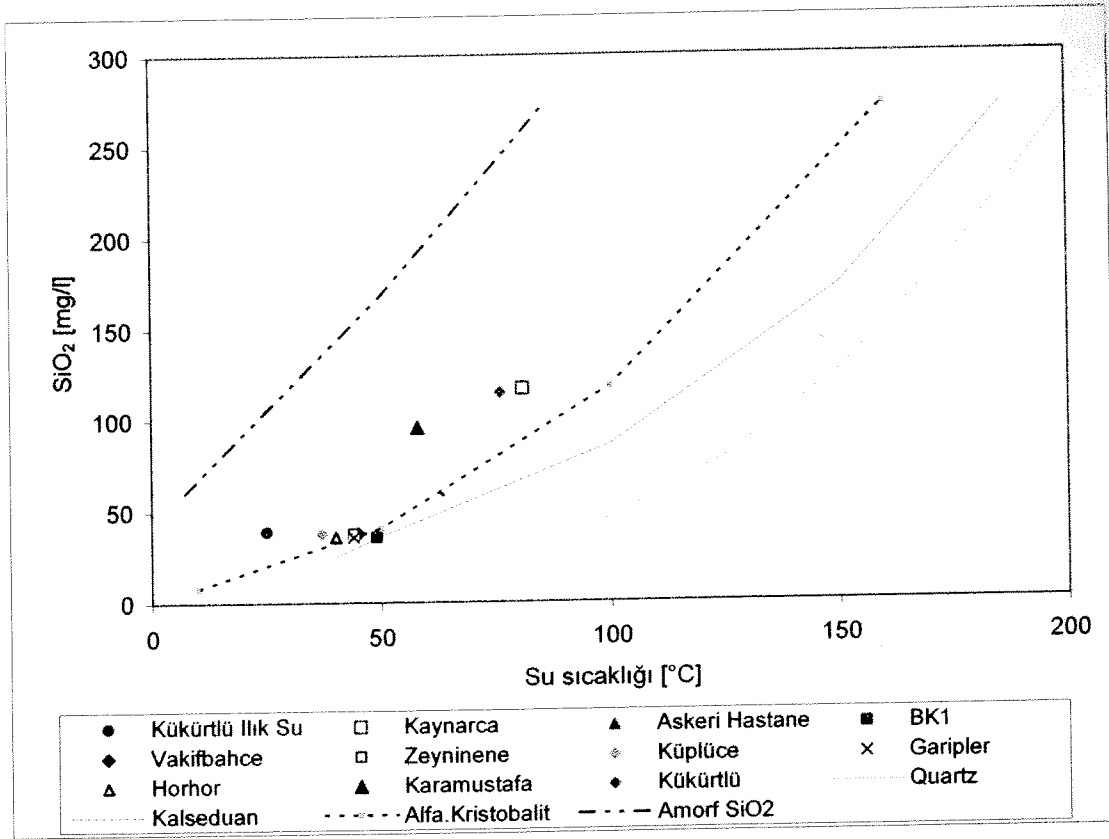
Tablo 18. Silika jeotermometrelerine ilişkin denklemler (Fournier, 1977)

Kuvars (buhar kaybı yok – ısı iletimi ile soğuma)	$T (^{\circ}\text{C}) = 1309/(5,19-\log \text{SiO}_2)-273$
Kuvars (maksimum buhar kaybı - adyabatik soğuma)	$T (^{\circ}\text{C}) = 1522/(5,75-\log \text{SiO}_2)-273$
Kalsedon	$T (^{\circ}\text{C}) = 1032/(4,69-\log \text{SiO}_2)-273$
Alfa Kristobalit	$T (^{\circ}\text{C}) = 1000/(4,78-\log \text{SiO}_2)-273$
Amorf SiO_2	$T (^{\circ}\text{C}) = 731/(4,52-\log \text{SiO}_2)-273$

Tablo 19. Silika jeotermometre sonuçları

Örnek	Kuvars (Isı iletimi)	Kuvars (Adiyabatik)	Kalsedon	Alfa Kristobalit
Kaynarca	142,5	137,2	116	91,9
Vakıfbahçe	90,6	92,8	59,9	40,4
BK-1	87,6	90,2	56,7	37,5

Alfa kristobalit ve amorf silika jeotermometreleri, suların çıkış noktalarında ölçülen sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklar vermekte (örneğin Vakıfbahçe kaynağının çıkış noktasında ölçülen sıcaklık 45,4 °C, alfa kristobalit ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı 40,4 °C) ve Bursa bölgesi suları için kullanıma uygun gözükmemektedir. Kuvars jeotermometresinden elde edilen sıcaklıklar en yüksek 140 °C civarında olduğundan ve 150 °C'nin altındaki sıcaklıklarda silika çözünürlüğü kuvars yerine kalsedon fazı tarafından kontrol edildiğinden, kalsedon jeotermometre sonuçlarının daha gerçekçi olduğu düşünülmektedir. Nitekim, bu jeotermometre ile Vakıfbahçe ve Kaynarca için elde edilen rezervuar sıcaklıkları (sırasıyla, 59.9 °C ve 116 °C), daha önce Imbach (1992) tarafından ileri sürülmüş sıcaklıklar (sırasıyla, 52 °C ve 108 °C) ile uyumlu gözükmemektedir.



Şekil 54. Farklı silika fazlarına ilişkin çözünürlük eğrilerini (Fournier, 1977) ve Bursa jeotermal sularının konumlarını gösterir diyagram

Na/K Jeotermometresi

Na/K jeotermometrelerine ilişkin olarak çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş sıcaklık denklemleri ve bu denklemler kullanılarak Bursa bölgesi için elde edilen rezervuar sıcaklıkları Tablo 20 de gösterilmektedir.

Tablo 20 den görüleceği üzere, Na/K jeotermometreleri hayli yüksek rezervuar sıcaklıkları vermektedir. Jeotermometre seçimlerinde, rezervuar litolojileri (ve rezervuar koşullarında jeotermal akışkanın denge halinde bulunacağı mineraller) son derece önemlidir. Bursa bölgesinde, metamorfik kayaların (özellikle de kuvarsitlerin) egemen litoloji konumunda olduğu düşünüldüğünde, silika jeotermometrelerinden elde edilen sıcaklıkların, Na/K jeotermometrelerinden elde edilenlere oranla daha gerçekçi olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 20. Na/K jeotermometrelerine ilişkin denklemler ve Bursa bölgesi için elde edilen rezervuar sıcaklıkları

Jeotermometre denklemleri	Referans	Hesaplanan Sıcaklıklar (°C)		
		Kaynarca	Vakıfbahçe	BK-1
$T(^{\circ}\text{C}) = 856/[\log(\text{Na}/\text{K})+0,857]-273$	(Trusdell 1976)	179,2	238,7	147,2
$T(^{\circ}\text{C}) = 883/[\log(\text{Na}/\text{K})+0,780]-273$	(Tonani, 1980)	213,2	280,2	177,5
$T(^{\circ}\text{C}) = 933/[\log(\text{Na}/\text{K})+0,993]-273$	(Arnosson 1983)	186,8	242,7	156,3
$T(^{\circ}\text{C}) = 1217/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,483]-273$	(R. Fournier 1979a)	210,1	256,3	184
$T(^{\circ}\text{C}) = 1178/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,470]-273$	(Nieva ve Nieva, 1987)	197	242,3	171,5
$T(^{\circ}\text{C}) = 1390/[\log(\text{Na}/\text{K})+1,750]-273$	(Giggenbach 1988)	225,9	268,6	201,4

Bursa Sularının Kararlı İzotop İçerikleri

Suların kararlı izotop içeriklerinin belirlenmesine yönelik yapılan arazi çalışmalarında toplam 36 ayrı noktadan belirli dönemlerde örnekler toplanmıştır. Bu örneklemelerde termal sular, Çekirge (Askeri Hastane, Küplüce ve Zeyninene) ve Kaynarca (Karamustafa, Kaynarca ve BK-1) termal su bölgelerine ait toplam 6 noktadan, maden suları ise Uludağ ve Sırma sahalarına ait toplam 3 noktadan belirli dönemlerde toplanmıştır. Soğuk sular ise Tablo 15 de de sunulan Tarihi Çınar, Fatih Mahallesi ve Uludağ Çeşmesi sahalarına ek olarak 24 farklı noktadan Ekim 2005 dönemi arazi çalışmaları sırasında toplanmıştır. Kararlı izotop analizleri yapılan sahalara ait UTM koordinatları Tablo 21 de sunulmaktadır.

Analiz Yöntemleri

Bursa'dan toplanan sıcak ve soğuk sular ile maden sularının kararlı izotop bileşimlerinin analizleri ($\delta^{18}\text{O}$ ve δD) Alfred Wegener Institute - Potsdam' da Finnigan MAT Delta-S Kütle Spektrometresinde gerçekleştirilmiştir. Kararlı izotop analizlerinde, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve D/H (‰) parametrelerinin 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 δD için hata payları sırasıyla, 0.1‰ ve 1‰ dir.

Tablo 21. Kararlı izotop analizleri için örneklenen sulara ait UTM koordinatları

	Kaynak no.	Lokalite	Northing	Easting
Kaynarca termal suları	TR 328	Karamustafa	35 T 673506	4451873
	TR 231	Kaynarca	35 T 673521	4451798
	TR 316	BK-1	35 T 673410	4452259
Çekirge termal suları	TR 324	Küplüce	35 T 671705	4451819
	TR 249	Askeri Hastane	35 T 671743	4452048
	TR 323	Zeyninene	35 T 671730	4452024
Maden Suları	TR 318	Uludağ Maden	35 T 677387	4434240
	TR 319	Uludağ Maden	35 T 677386	4434242
		Sırma	-	-
Soğuk Sular	Bur 03	Fatih Mahallesi	-	-
	Bur 05	Tarihi Çınar	35 T 671709	4449944
	Bur 07	Uludağ Çesmesi	-	-
	TR(01)	Gokce Onen	35T 675143	4453782
	TR(02)	Sarikaya	35 T 668416	4447181
	TR(06)	Keles Sapagi	35 T 667917	4441395
	TR(07)	Keles Yolu	35 T 669091	4441005
	TR(07a)	-	35 T 670316	4440723
	TR(08)	-	35 T 671813	4437274
	TR(09)	Sırma	35 T 675573	4435665
	TR(1415)	Ulud Mad Sonraki Cesme	35 T 678263	4434305
	TR(15)	Yoldaki 2. Cesme	35 T 679209	4433480
	TR(16)	Sogukpinar	35 T 681114	4435997
	TR(17)	-	35 T 680737	4437271
	TR(18)	-	35 T 679945	4438238
	TR(19)	Baglikoy Yaylasi	35 T 678606	4438993
	TR(20)	Drinkable	35 T 678557	4439059
	TR(21)	Kardelen Cesmesi	35 T 676663	4442489
	TR(22)	Kirazliyayla Et Lok	35 T 678089	4442797
	TR(25)	Akin Hayrati	35 T 671707	4447594
	TR(26)	Otel Ulukardesler	35 T 672035	4446582
	TR(27)	Cavit Akbas	35 T 672483	4445467
	TR(28)	Odel Ailesi	35 T 672753	4444670
	TR(29)	Haci Sahin Yilmaz	35 T 673699	4444154
	TR(30)	Kalender Kafe	35 T 673696	4444158
	TR(31)	Kirazliyayla Dolubaka	35 T 674351	4443023
	TR(40)	Buyuk Dere	35 T 670702	4438809

Analiz Sonuçları

Çekirge Termal Su Bölgesi: Çekirge Termal Su Bölgesine ait örneklerin kararlı izotop bileşimleri Tablo 22’de gösterilmektedir (Askeri Hastane-TR 249, Küplüce-TR 324, Zeyninen-TR 323). Çekirge sahasına ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırasıyla, -9.96 ‰ ile -10.61 ‰ ve -66.1 ‰ ile -69.3 ‰ aralığında değişim sergilemektedir.

Kaynarca Termal Su Bölgesi: Kaynarca Termal su bölgesine ait örneklerin (Karamustafa-TR 328, Kaynarca-TR 231, BK-1 – TR 316) kararlı izotop bileşimleri Tablo 23’de gösterilmektedir. Suların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri -9.09 ‰ ile -10.97 ‰ aralığında, δD değerleri ise -65 ‰ ile -72.7 ‰ aralığında değişim sergilemektedir. .

Maden Suları: Bursa ilinden toplanan maden sularına (Uludağ Maden, Sırma) ait kararlı izotop bileşimleri Tablo 24 te sunulmaktadır. Suların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri -6.76 ‰ ile -8.87 ‰ aralığında, δD değerleri ise -60 ‰ ile -69.3 ‰ aralığında değişmektedir.

Soğuk Su kaynakları: Bursa ve çevresinden toplanan soğuk su kaynaklarına ait örneklerin kararlı izotop bileşimleri Tablo 25 te sunulmaktadır. Soğuk suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırasıyla, -8.52 ‰ ile -11.11 ‰ ve -57.8 ‰ ile -72.7 ‰ aralığında değişim sergilemektedir.

Tablo 22. Çekirge Termal Su Bölgesine ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları

Lokalite	Kaynak No.	Yükseklik (m)	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
Askeri Hastane	TR 249	223	01.07.04	-10.52	-67.2
			08.07.04	-10.52	-68.3
			15.07.04	-10.52	-67.1
			22.07.04	-10.25	-67.1
			04.08.04	-10.58	-68.3
			11.08.04	-10.57	-68.1
			18.08.04	-10.61	-68.5
			25.08.04	-10.5	-68.2
			04.09.04	-10.52	-68.6
			11.09.04	-10.59	-68.6
			18.09.04	-10.43	-68.2
			25.09.04	-10.6	-68.2
			04.11.04	-10.56	-68.2
			11.11.04	-10.4	-67.7
			18.11.04	-10.46	-67.9
			25.11.04	-10.56	-69
			04.12.04	-10.55	-69.3
			11.12.04	-10.37	-67.9
			18.12.04	-10.5	-68.8
			25.12.04	-10.39	-68
3.12.04	-10.25	-68.7			
10.12.04	-10.09	-68.4			
12.10.05	-10.59	-66.1			
Küplüce	TR 324	220	02.08.04	-10.46	-68.3
			02.09.04	-10.44	-69.2
			29.09.04	-10.37	-68.5
			03.11.04	-10.42	-67.8
			02.12.04	-10.57	-67.9
			06.01.05	-10.57	-68.1
			12.10.05	-10.61	-70
Zeyninene	TR 323	220	02.09.04	-10.45	-68.6
			29.09.04	-10.46	-68.2
			03.11.04	-10.5	-68.4
			02.12.04	-10.48	-68
			06.01.05	-10.57	-67.8

Tablo 23. Kaynarca Termal Su Bölgesine ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları

Lokalite	Kaynak No.	Yükseklik (m)	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
			22.07.04	-10.41	-71.2
Karamustafa	TR 328	118	01.07.04	-10.07	-69.3
			08.07.04	-10.15	-69.8
			15.07.04	-10.11	-68.3
			22.07.04	-10.28	-70.1
			02.08.04	-10.66	-68.4
			04.08.04	-9.99	-68.7
			11.08.04	-10.15	-69.3
			18.08.04	-9.85	-68.1
			25.08.04	-9.87	-68.7
			02.09.04	-10.28	-70.1
			04.09.04	-10.05	-69
			11.09.04	-10.31	-70
			18.09.04	-10.07	-69.8
			25.09.04	-10.06	-69.5
			29.09.04	-10.25	-70
			29.09.04	-10.03	-69.2
			04.10.04	-10.03	-67.5
			11.10.04	-10.04	-69
			18.10.04	-9.96	-68.7
			25.10.04	-9.95	-68.9
			04.11.04	-10.06	-67.8
			11.11.04	-10.17	-68.1
			18.11.04	-10.14	-68.3
			25.11.04	-10.26	-69.2
			02.12.04	-10.15	-69.1
			04.12.04	-10.24	-69
			11.12.04	-10.15	-68.8
			25.12.04	-10.24	-68.6
			06.01.05	-10.24	-68.8
			3.1.05	-9.49	-66.7
			10.1.05	-10.12	-68.5
			17.1.05	-9.91	-67.3
			24.1.05	-9.93	-68.4
			1.2.05	-9.93	-67
			3.2.05	-10.02	-67.8
			10.2.05	-10.01	-67.1
			17.2.05	-10.13	-69
			24.2.05	-10	-68.3
			1.3.05	-9.79	-68.5
			3.3.05	-9.88	-68.5
10.3.05	-10.01	-67.9			
17.3.05	-9.86	-68.8			
24.3.05	-10.08	-69.2			
31.3.05	-10.07	-69.3			
12.10.05	-10.22	-67.6			
Kaynarca	TR 231	170	01.07.04	-10.32	-71.4
			08.07.04	-10.37	-71.4
			15.07.04	-10.36	-71.5

Tablo 23. (Devam ediyor)

Lokalite	Kaynak No.	Yükseklik (m)	Tarih	δ 18O (‰)	δ D (‰)
Kaynarca	TR 231	170	04.08.04	-9.89	-69.4
			11.08.04	-10.2	-71.6
			18.08.04	-10.32	-71.4
			25.08.04	-10.22	-70.2
			04.09.04	-10.2	-70
			11.09.04	-9.81	-68.5
			18.09.04	-10.11	-69.5
			25.09.04	-10.02	-69.1
			04.10.04	-10.14	-69.7
			11.10.04	-10.17	-69.5
			18.10.04	-10.13	-69.1
			25.10.04	-10.17	-69.5
			04.11.04	-10.07	-69.1
			11.11.04	-10.32	-70.3
			18.11.04	-10.24	-70.2
			25.11.04	-10.32	-70.1
			04.12.04	-10.31	-70.2
			11.12.04	-10.19	-70
			18.12.04	-10.3	-70.6
			25.12.04	-10.1	-70.1
			3.1.05	-10.09	-70.5
			10.1.05	-10.31	-70.8
			17.1.05	-10.3	-70.9
			24.1.05	-9.78	-68.5
			1.2.05	-10.38	-71.5
			3.2.05	-10.33	-70.4
			10.2.05	-10.33	-70.8
			17.2.05	-10.35	-71.1
			24.2.05	-10.23	-70.4
			1.3.05	-10.39	-71.5
			3.3.05	-10.3	-70.8
			10.3.05	-10.3	-70.7
			17.3.05	-10.33	-71.3
			24.3.05	-10.28	-69
31.3.05	-10.28	-69.7			
12.10.05	-10.26	-70.4			
BK-1	TR 316	115	03.08.04	-10.97	-71.8
			03.09.04	-10.86	-72.2
			30.09.04	-10.88	-72
			04.11.04	-10.67	-70.5
			12.10.05	-10.95	-72.7

Tablo 24. Maden Sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları

Lokalite	Kaynak no	Yükseklik (m)	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
Uludağ Maden	TR 318	564	01.07.04	-8.68	-61.5
			08.07.04	-8.74	-62.4
			15.07.04	-8.79	-62.3
			22.07.04	-8.81	-61.9
			04.08.04	-8.54	-61.9
			11.08.04	-8.41	-61.3
			18.08.04	-8.8	-63.3
			25.08.04	-8.87	-63
			04.09.04	-8.78	-63
			11.09.04	-8.86	-62.3
			18.09.04	-8.86	-62.6
			25.09.04	-8.83	-62.6
			04.10.04	-8.68	-62.5
			11.10.04	-8.8	-63.1
			18.10.04	-8.86	-63.3
			25.10.04	-8.79	-62.8
			04.11.04	-8.9	-62.8
			11.11.04	-8.72	-61.3
			18.11.04	-8.65	-62.4
			25.11.04	-8.42	-61.2
			04.12.04	-8.53	-62
			11.12.04	-8.63	-61.9
			18.12.04	-8.74	-60
			25.12.04	-8.76	-63.1
			3.1.05	-8.74	-62.8
			10.1.05	-8.64	-62.4
			17.1.05	-8.69	-62.6
			24.1.05	-8.7	-61.9
			1.2.05	-8.65	-62.7
			3.2.05	-8.68	-62.3
			10.2.05	-8.75	-62.4
			17.2.05	-8.85	-62.1
			24.2.05	-8.73	-62
1.3.05	-8.79	-62.8			
3.3.05	-8.81	-60.7			
10.3.05	-8.83	-62			
17.3.05	-8.86	-62.5			
24.3.05	-8.66	-62.6			
31.3.05	-8.9	-62.1			
13.10.05	-8.8	-64.6			
Uludag Maden	TR 319	565	01.07.04	-7.37	-67.5
			08.07.04	-7.19	-68.6

Tablo 24. (Devam ediyor)

Lokalite	Kaynak no	Yükseklik (m)	Tarih	δ 18O (‰)	δ D (‰)
Uludag Maden	TR 319	565	15.07.04	-7.31	-68.9
			22.07.04	-7.3	-69
			03.08.04	-7.05	-48.1
			04.08.04	-6.82	-66.7
			11.08.04	-7.18	-68.3
			18.08.04	-7.28	-69.3
			25.08.04	-7.19	-68.7
			03.09.04	-7.12	-67.5
			04.09.04	-7.15	-69.2
			11.09.04	-7.12	-68.7
			18.09.04	-7.07	-68.3
			25.09.04	-7.23	-68.5
			30.09.04	-6.98	-67.8
			04.10.04	-7.14	-68.3
			11.10.04	-7.22	-68.9
			18.10.04	-7.11	-68.2
			25.10.04	-6.76	-66.8
			04.11.04	-7.21	-69.1
			11.11.04	-7.15	-68.6
			18.11.04	-7.09	-67.5
25.11.04	-7.21	-67.3			
03.12.04	-7.15	-68.5			
Sırma Maden		512		-7.83	-64.8

Tablo 25. Soğuk su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD analiz sonuçları

Kaynak adı	Kaynak no	T(°C)	Yükseklik (m)	pH	EC	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)
GOKCE ONEN	TR(01)	15.4	262	7.73	351	13.10.05	-9.52	-62
SARIKAYA	TR(02)	14.2	220	7.69	553	13.10.05	-9.08	-59.5
KELES SAPAGI	TR(06)	16.2	364	7.3	696	13.10.05	-9.36	-61.7
KELES YOLU	TR(07)	14.7	398	7.88	515	13.10.05	-9.43	-62.3
-	TR(07a)	13.7	432	7.41	369	13.10.05	-9	-59.8
-	TR(08)	15.9	440	7.24	690	13.10.05	-8.71	-59.2
SIRMA	TR(09)	16.3	468	7.07	722	13.10.05	-8.81	-59.8
ULUD MAD SONRAKI CESME	TR(1415)	15.4	590	8.5	892	13.10.05	-8.52	-57.8
YOLDAKI 2. CESME	TR(15)	15	642	8.5	776	13.10.05	-8.69	-58.9
SOGUKPINAR	TR(16)	12.6	920	7.32	218	13.10.05	-10.48	-68.7
-	TR(17)	12	1008	7.1	257	13.10.05	-10.51	-68.8
-	TR(18)	11.7	1090	6.54	63	13.10.05	-10.72	-69.2
BAGLIK OY YAYLASI	TR(19)	10.8	1164	7.11	423	13.10.05	-10.48	-70
DRINKABLE	TR(20)	8.1	1252	6.42	87	13.10.05	-10.85	-70.6
KARDELEN CESMESI	TR(21)	12.7	1358	5.87	128	13.10.05	-10.76	-69.6
KIRAZLIYAYLA ET LOK	TR(22)	10.2	1510	5.6	57	13.10.05	-10.45	-67.2
AKIN HAYRATI	TR(25)	12.9	701	7.28	366	13.10.05	-9.8	-63
OTEL ULUKARDESLER	TR(26)	11	789	7.6	404	13.10.05	-10.27	-65.1
CAVIT AKBAS	TR(27)	12.2	861	7.35	487	13.10.05	-10.49	-67.5
ODEL AILESİ	TR(28)	11.5	906	7.25	295	13.10.05	-10.62	-67.1
HACI SAHİN YILMAZ	TR(29)	12.8	964	7.3	336	13.10.05	-10.72	-66.1
KALENDER KAFE	TR(30)	12.3	1072	7.24	313	13.10.05	-10.72	-69.1
KIRAZLIYAYLA DOLUBAKA	TR(31)	11.6	1172	7.38	320	13.10.05	-10.87	-68.7
BUYUK DERE	TR(40)	13.3	401	8.46	476	13.10.05	-9.73	-64
TARİHİ ÇINAR	Bursa 05		421			02.08.04	-10.52	-67.9
					02.09.04	-10.5	-68.7	
					29.09.04	-10.5	-68.3	
					03.11.04	-10.52	-69	
					02.12.04	-10.54	-68.9	
					07.01.05	-10.53	-67.5	
	14			7.8	474	13.10.05	-10.62	-67.4
ULUDAĞ ÇESMESİ	Bursa 07		1861			02.08.04	-10.96	-72.2
					03.09.04	-11.1	-72.7	
					30.09.04	-10.91	-71.4	
					04.11.04	-10.99	-72.1	
					03.12.04	-11.09	-71.2	
					06.01.04	-10.93	-71.2	
	4.6			6.3	35.8	13.10.05	-11.11	-71.8
FATİH MAHALLESİ	Bursa 03		103			02.08.04	-9.75	-64
					02.09.04	-9.83	-64.6	
					29.09.04	-9.8	-64.2	
					04.11.04	-9.78	-64.8	
					02.12.04	-9.67	-64.2	
					06.01.05	-10.01	-63.2	
	14			7.32	593	13.10.05	-9.85	-66.2

Tartışma

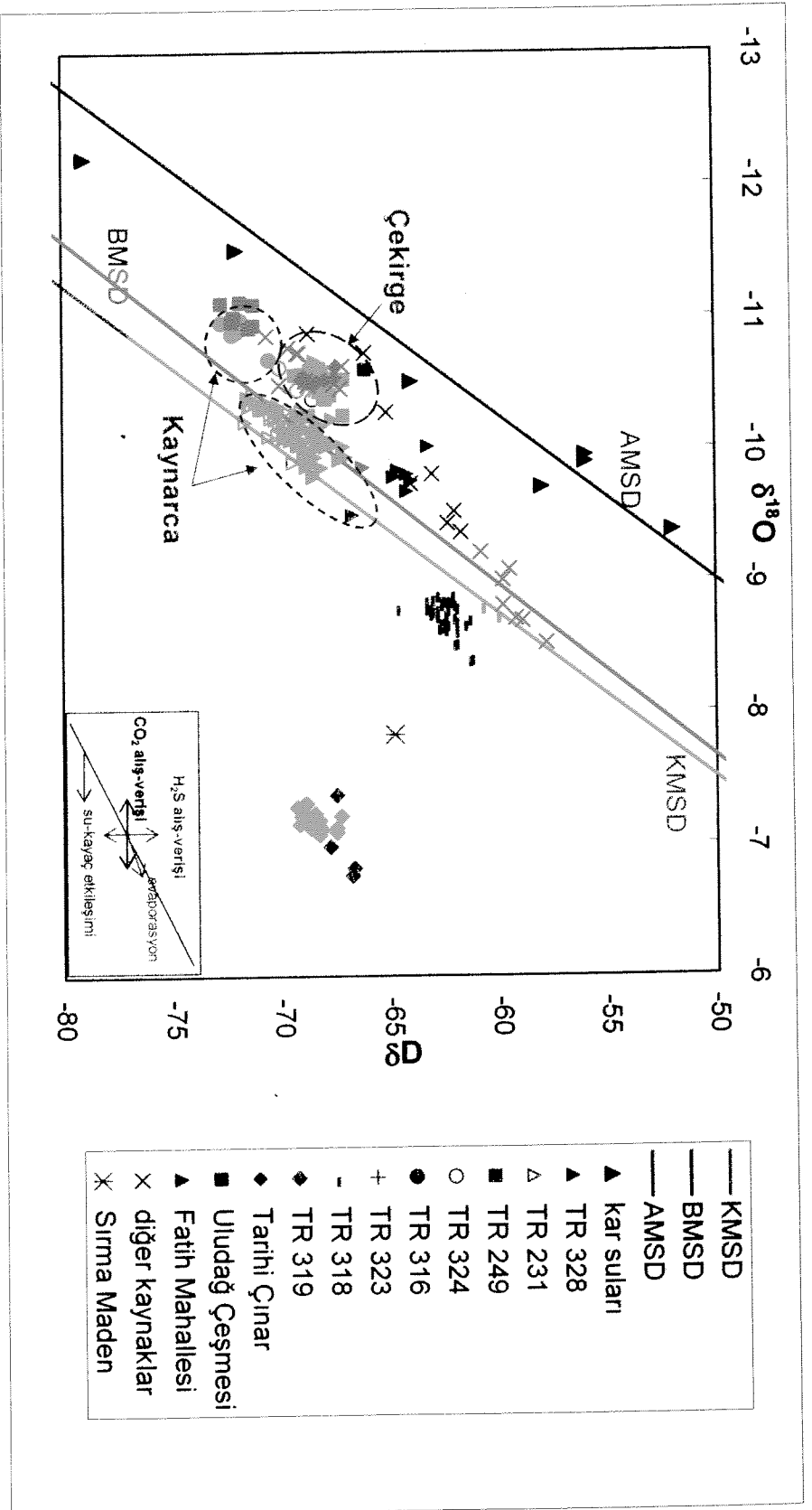
Suların Kökenleri ve Olası Yeraltı Süreçleri: Bursa' dan örneklenen suların oksijen ve hidrojen izotoplarının birlikte kullanımını baz alan $\delta^{18}\text{O}$ vs δD diyagramları Şekil 55 te bütün örnekleme tarihlerini ve sıcak, soğuk ve maden sularını kapsayacak biçimde gösterilmiştir. Diyagramlarda referans olarak Craig (1961) tarafından tanımlanan **Küresel Meteorik Su Doğrusu** (KMSD), Bursa ilini temsilen **Bursa Meteorik Su Doğrusu** (BMSD) (Öztürk, 2001) ve **Akdeniz Meteorik Su Doğrusu** (AMSD) (IAEA, 1981) kullanılmıştır.

Şekil 55 te ilk olarak soğuk sular incelendiğinde, bu suların doğrusal bir dizilim gösterdikleri ve daha çok Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (AMSD) ile Bursa yöresine ait lokal meteorik su doğrusu (Bursa Meteorik Su Doğrusu (BMSD)) arasında yer aldıkları görülmektedir. Bursa çevresinden toplanan kar suları ise AMSD civarında yer almakta ve bu su doğrusu boyunca geniş bir dağılım sergilemektedir.

Bursa'dan toplanan sıcak sular ise BMSD' na daha yakın olmakla birlikte AMSD ve KMSD arasında yer almakta, ve farklı sahalar için farklı kümelenmeler oluşturmaktadır. Şekil 55 te sıcak sular kendi aralarında incelendiğinde, Çekirge termal su bölgesinden (Askeri Hastane, Zeynine, ve Küplüce) toplanan suların daha çok BMSD ile AMSD arasında dağılım gösterdikleri, Kaynarca termal su bölgesinden toplanan sıcak suların ise BMSD ve KMSD arasında yer aldıkları görülmektedir (TR-316 no.lu örnek ile temsil edilen BK-1 örneği dışında). Sıcak su örneklerinin meteorik su doğruları yakınında yer alması, sıcak suların da, soğuk sular gibi, meteorik kökenli olduğuna işaret etmektedir. Ancak, Şekil 55 te özellikle Kaynarca termal su bölgesine ait Kaynarca ve Karamustafa sahalarından toplanan suların oksijen-izotop bileşimlerinin, Çekirge su bölgesinden toplanan sulara göre, daha pozitif değerlere doğru konumlandıkları görülmektedir. Bu farklılık, Kaynarca termal su bölgesi için (termal suların yüksek sıcaklıkları ve iletkenliklerinin de desteklediği üzere), kayaç-su etkileşimini mümkün kılan daha uzun süreli ve daha derin dolaşımli bir su sistemine işaret etmektedir. Çekirge termal su bölgesinde ise, Kaynarca bölgesine oranla, daha kısa süreli ve daha sığ dolaşımli bir su sisteminin varlığı söz konusudur.

$\delta^{18}\text{O}$ vs δD diyagramında maden sularının dağılımları incelendiğinde, bu suların Küresel Meteorik Su Doğrusu' nun (KMSD) sağında, artan $\delta^{18}\text{O}$ ve azalan δD değerlerine doğru dizilim

gösterdikleri görülmektedir. Söz konusu bu dizilim, kayaç-su etkileşiminden ziyade, H₂S ve CO₂ gazları ile etkileşim sonucu gelişen izotop alış-veriş tepkimelerinin bir bileşimini yansıtmaktadır. Nitekim, TR-319 no.lu örneğin toplandığı kuyuda yoğun H₂S çıkışları söz konusudur. Bu durum, yeraltı hidrotermal sisteminde olası bir sıvı-gaz ayrışma sürecine bağlanabileceği gibi, özellikle H₂S gazının varlığı Uludağ yakınlarında cevherleşme ile olası bir etkileşimden de kaynaklanıyor olabilir.



Şekil 55. Bursa sularının kararlı izotop içeriklerinin $\delta^{18}\text{O}$ vs δD diyagramındaki dağılımları (soğuk sular mavi, sıcak sular kırmızı, maden suları ise pembe renkli semboller ile gösterilmektedir; KMSD: Küresel Meteorik Su Doğrusu, BMSD: Bursa Meteorik Su Doğrusu, AMSD: Akdeniz Meteorik Su Doğrusu).

İzotop Bileşimlerinin Beslenme Yüksekliği ile İlişkisi: Bursa'dan örneklenen suların $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerlerinin suların çıkış yaptıkları yükseklik ile ilişkisi incelendiğinde (Şekil 56 ve 57), özellikle soğuk sularda doğrusal bir dizilim gözlenmekte, ve yüksekliğin izotop bileşimlerindeki etkisi belirgin bir şekilde izlenmektedir. Şekil incelendiğinde, soğuk suların izotopik bileşimlerinin yükseklik arttıkça daha negatif değerlere doğru eğilim gösterdikleri görülmektedir.

Bur 03 (Fatih Mahallesi) ve Bursa 05 (Tarihi Çınar) dışındaki soğuk su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerlerinin yükseklik ile ilişkisini belirten denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$h = -412.41 (\delta^{18}\text{O}) - 3283.7 \dots\dots\dots 1$$

$$h = -81.72 (\delta\text{D}) - 4485.9 \dots\dots\dots 2$$

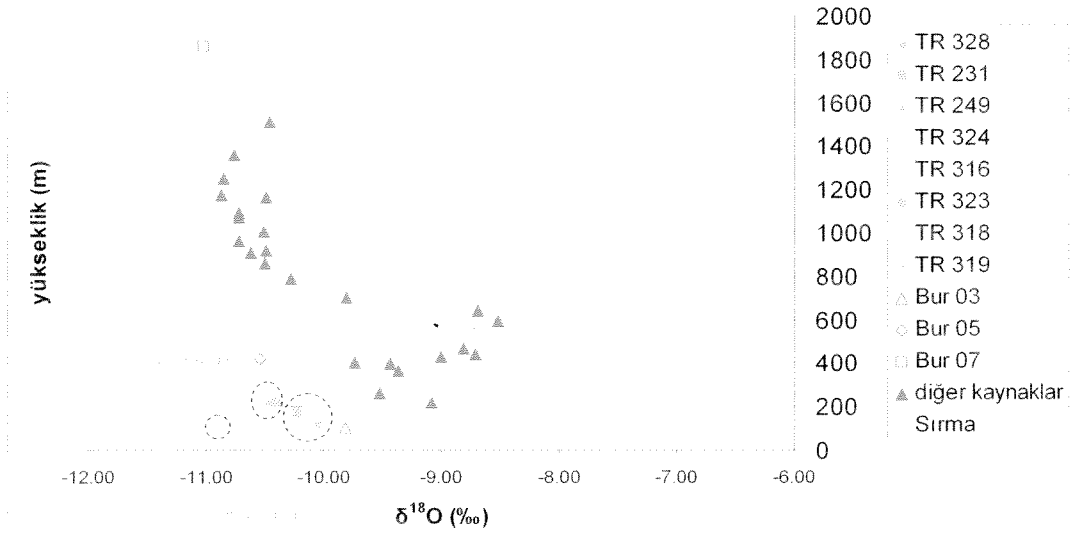
Sıcak sularda ise yüksekliğe bağlı herhangi bir değişim izlenmemektedir. Gerek Şekil 56 gerekse Şekil 57 de Kükürtlü ve Çekirge sahalarına ait sıcak sular gruplar oluşturmaktadır. Bu diyagramlarda Bursa termal sularının, yüksek kotlarından çıkış yapan soğuk suların izotopik bileşimlerine benzerliği, Bursa termal sularının Uludağ'ın yüksek kotlarından beslenen soğuk sularından türediği yorumuna götürmektedir.

Maden sularına bakıldığında ise, izotopik bileşimlerinde geniş bir dağılım izlenmekte ve yükseklikle herhangi bir ilişki gözlenmemektedir. Bu suların konumları alçak kotlarda çıkış yapan soğuk sulara yakın olduğu için, maden sularının beslenme yüksekliklerinin, sıcak sulara oranla, daha düşük olabileceği düşünülmektedir.

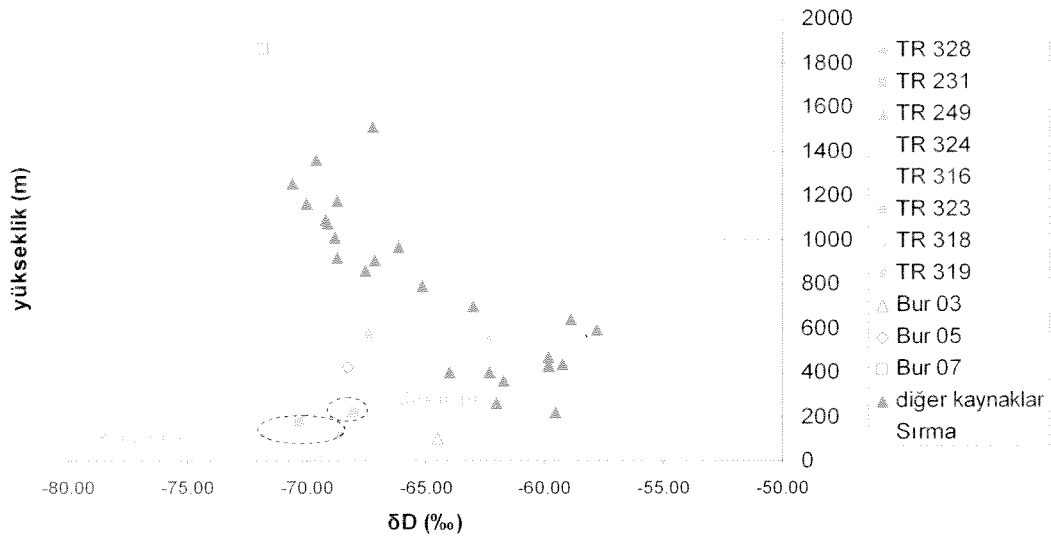
Sonuç

Örneklenen suların kararlı izotop bileşimleri, Bursa yöresine ait termal suların Bursa il merkezi ve Uludağ etrafından toplanan soğuk sular gibi meteorik kökenli olduğuna, ve bu suların Uludağ'ın yüksek kotlarındaki yağışlarla beslendiğine işaret etmektedir. Özellikle Kaynarca termal su bölgesine ait sıcak suların Çekirge termal su bölgesine ait sulara oranla daha pozitif $\delta^{18}\text{O}$ değerlerine doğru yer almaları, Kaynarca termal su bölgesine ait sahaların (Karamustafa ve Kaynarca) daha çok su-kayaç etkileşimine maruz kalmış ve daha derin dolaşım ve daha yaşlı bir su sisteminin ürünleri olduğunu düşündürmektedir.

Maden sularının izotopik bileşimleri incelendiğinde ise özellikle Uludağ sahasına ait TR 319 kuyu örneğinde, farklı izotopik konumunun da gösterdiği gibi, H₂S ve CO₂ gaz çıkışları ile bir etkileşimin varlığı düşünülmektedir.



Şekil 56. Bursa sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin yükseklik ile ilişkisi (Bur 03, Bur 05, Bur 07 soğuk sularını ve bütün sıcak suları temsilen ortalama değerler kullanılmıştır).



Şekil 57. Bursa sularının δD değerlerinin yükseklik ile ilişkisi (Bur 03, Bur 05, Bur 07 soğuk sularını ve bütün sıcak suları temsilen ortalama değerler kullanılmıştır).

Bursa İli Jeotermal Kaynaklarının Asal Gaz Bileşimleri

Örnekleme ve Analiz Yöntemleri

Bursa ili jeotermal kaynaklarının asal gaz analizlerinin (He, Ne, Ar, Kr, Xe) gerçekleştirilmesi amacıyla 2004 yaz döneminde (9 - 12 Temmuz 2004) arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında Gemlik sahasından 1 adet sıcak su örneği, Çekirge (Askeri Hastane, Küplüce) ve Kaynarca (Kaynarca, Karamustafa, BK-1) termal su bölgelerinden toplam 5 adet sıcak su örneği, Bursa il merkezinde yer alan soğuk su kaynaklarından (Tarihi Çınar ve Aral Alabalık) toplam 2 adet soğuk su örneği ve bunlara ek olarak da Uludağ ve Çınar sahalarından toplam 2 adet maden suyu örneği toplanmıştır. Tablo 26 da analiz edilen örneklerin alım tarihleri, sıcaklıkları ve tipleri örnek numaraları ile birlikte sunulmuştur.

Asal gaz analizleri için sıcak ve soğuk sulardan alınan ve içerisinde çözünmüş halde bulunan gazları içeren örnekler, 80 cm uzunluğundaki 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. Örnek alımını takiben bakır boruların uçları her iki yönden herhangi bir kaçak olmaması için klipsler vasıtasıyla sıkıca kapatılmıştır.

Bursa ili jeotermal kaynaklarının asal gaz analizleri GFZ-Potsdam Laboratuvarlarında Aralık 2005 ayında gerçekleştirilmiştir. Asal gaz analizleri MM5400 Sector Field Kütle Spektrometresi ile gerçekleştirilmiştir. Analizlerin ilk aşaması bakır boruların su-gaz ayırıştırma hattına bağlanıp, suda çözünmüş halde bulunan gazların Kütle Spektrometresine yollanmasıdır. Suda çözünmüş gazlar içinde yer alan asal gazlar (He, Ne, Ar, Kr, Xe), özellikle aktif gazlar (O₂, N₂, CO₂, H₂, hidrokarbonlar) ve su buharından ayrılmaya çalışılmıştır. Bu işlemler sırasında sıvı nitrojen, kuru buz ve ZrAl kapanları kullanılmıştır.

Tablo 26. Örneklenen sahaların örnek alım tarihleri, örnek numaraları, sıcaklıkları ve örnek tipleri

Lokalite	Tarih	Örnek No.	T (°C)	^s Örnek Tipi
Karamustafa	09.07.04	TR 328-sıcak	60	Üretim kuyusu (P)
Kaynarca	09.07.04	TR 231-sıcak	81.2	Kaynak
BK-1	09.07.04	Bursa 316-sıcak	52	Üretim kuyusu (A)
Askeri Hastane	09.07.04	TR 249-sıcak	45.2	Üretim kuyusu (A)
Küplüce	09.07.04	TR 324-sıcak	38.1	kaynak
Gemlik	10.07.04	sıcak	34.9	kaynak
Tarihi Çınar	11.07.04	Bursa 05-soğuk	18	kaynak
Aral Alabalık	10.07.04	Bursa 16-soğuk	19.4	kaynak
Uludağ Maden (Yeni)	09.07.04	TR 318-maden	20.9	maden suyu
Çınar Maden	12.07.04	TR 334-maden	19	maden suyu

^s Üretim kuyuları için A artezyen, P pompaj kuyularını temsil etmektedir.

Analiz Sonuçları

Asal Gaz İçerikleri ve İzotop Bileşimleri: Bursa ili jeotermal kaynaklarından alınan örneklerin asal gaz içerikleri, helyum (He)-izotop bileşimleri ile birlikte Tablo 27 de verilmiştir. Suların He-izotop bileşimleri, örneklerde ölçülen $^3\text{He}/^4\text{He}$ oranlarının (R) atmosferik He bileşimine ($R_a = 1.376 \cdot 10^{-6}$) (Imbach, 1997 ve oradaki referanslar) oranlanmasıyla R/R_a değerleri olarak gösterilmiştir.

Öncelikle termal sulara bakıldığında, Kaynarca (Kaynarca, Karamustafa, BK-1) ve Çekirge (Askeri Hastane, Küplüce) termal su bölgelerine ait örneklerin helyum içerikleri (^4He ccSTP/g) arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir. Helyum elementinin doğada bulunan 2 adet duraylı izotopunun (^3He ve ^4He) yerküredeki derişimleri, manto için tipik olan $^3\text{He}/^4\text{He}=10^{-5}$ (Ozima ve Podosek, 1983) ile kabuk için tipik olan $^3\text{He}/^4\text{He}=10^{-8}$ (Andrews, 1985) arasında değiştiği (bir başka deyişle, ^4He izotopunun derişimi ^3He izotopuna göre çok yüksek olduğu) için, toplam helyum içerikleri, Tablo 27 de gösterilen ^4He içeriklerine karşı gelmektedir. Kaynarca termal su bölgesine ait sularının helyum içerikleri $5.28 \cdot 10^{-8}$ (Karamustafa) ile $2.5 \cdot 10^{-7}$ (BK-1) ccSTP/g aralığında değişirken, Çekirge termal su bölgesine ait suların içerikleri $3.5 \cdot 10^{-7}$ (Askeri Hastane) ile $2.33 \cdot 10^{-7}$ (Küplüce) ccSTP/g aralığında değişim sergilemektedir. Soğuk suların helyum içerikleri incelendiğinde daha düşük değerler gözlenmekte ve $5.16 \cdot 10^{-8}$ (Tarihi Çınar) ile $4.23 \cdot 10^{-8}$ (Aral Alabalık) ccSTP/g aralığında değişmektedir. Maden sularının helyum içerikleri ise $1.51 \cdot 10^{-7}$ (Uludağ Maden) ile $1.51 \cdot 10^{-6}$

(Çınar Maden) ccSTP/g aralığında değişip daha yüksek değerler sergilemektedir. Örneklenen bütün sular arasında ise en yüksek helyum içeriği Çınar maden suyunda gözlenmiştir. Sularda helyum içeriğinin yüksek olması suyun yaşlı su olduğunu gösterebilmektedir. Çınar maden suyunun yine en yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olması, helyum içeriğinin de desteklediği gibi, diğer sulara göre daha yaşlı bir su olabileceğine işaret etmektedir.

Suların helyum izotop bileşimleri incelendiğinde, sıcak sular için ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranları 4.3×10^{-7} (Gemlik) ile 1.3×10^{-6} (Karamustafa) arasında değişmektedir. Bu oranlar, R/Ra cinsinden, sırasıyla, 0.31 (Gemlik) ve 0.90 (Karamustafa) değerlerine karşı gelmektedir. Soğuk suların ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranları 1.4×10^{-6} (Aral Alabalık) ile 1.5×10^{-6} (Tarihi Çınar) arasında değişen daha yüksek değerler sergilemektedir. Söz konusu ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranları, 1.00 ile 1.05 aralığında değişen R/Ra oranlarına karşı gelmekte ve bütün sular içinde en yüksek değerleri temsil etmektedir. Maden sularına ait helyum izotop bileşimleri ise sıcak ve soğuk sulara ait bileşimlerin arasında yer almakta, ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 1.2 \times 10^{-6}$ (R/Ra = 0.80) (Çınar Maden) ile ${}^3\text{He}/{}^4\text{He} = 1.1 \times 10^{-6}$ (R/Ra = 0.80) (Uludağ Maden) aralığında değişim göstermektedir.

Su örneklerinin ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$ değerleri incelendiğinde, sıcak sular için 299.8 (BK-1 ve Askeri Hastane) ile 307.6 (Küplüce), soğuk sular için 297.4 (Tarihi Çınar) ile 298.4 (Aral Alabalık) ve maden suları için de 307.6 (Uludağ Maden) ile 313.6 (Çınar Maden) aralığında değişim görülmektedir.

Tablo 27. Suların asal gaz içerikleri, He- ve Ar-izotop bileşimleri

Lokalite	T (°C)	He-4 (ccSTP/g)	Ne-20 (ccSTP/g)	Ar-36 (ccSTP/g)	Kr-84 (ccSTP/g)	Xe-132 (ccSTP/g)	${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$	${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$	*R/Ra
Karamustafa	60.0	5.28×10^{-8}	1.23×10^{-7}	5.15×10^{-7}	1.66×10^{-8}	9.3×10^{-10}	1.3×10^{-6}	300.0	0.90
Kaynarca	81.2	2.37×10^{-7}	1.17×10^{-8}	1.18×10^{-7}	7.14×10^{-9}	6.8×10^{-10}	6×10^{-7}	305.8	0.43
BK-1	52.0	2.5×10^{-7}	2.9×10^{-8}	2.12×10^{-7}	8.65×10^{-9}	5.4×10^{-10}	6.3×10^{-7}	299.8	0.46
Askeri Hastane	45.2	3.5×10^{-7}	1.44×10^{-7}	9.34×10^{-7}	3.66×10^{-8}	1.9×10^{-9}	7.4×10^{-7}	299.8	0.53
Küplüce	38.1	2.33×10^{-7}	4.76×10^{-8}	3.21×10^{-7}	1.41×10^{-8}	9.8×10^{-10}	7.5×10^{-7}	307.6	0.54
Gemlik	17.0	2.17×10^{-7}	1.29×10^{-7}	7.91×10^{-7}	3.06×10^{-8}	2×10^{-9}	4.3×10^{-7}	300.0	0.31
Tarihi Çınar	18.0	5.16×10^{-8}	1.79×10^{-7}	1.14×10^{-6}	4.56×10^{-8}	3×10^{-9}	1.5×10^{-6}	297.4	1.05
Aral Alabalık	19.4	4.23×10^{-8}	1.54×10^{-7}	1.01×10^{-6}	3.94×10^{-8}	2.6×10^{-9}	1.4×10^{-6}	298.4	1.00
Uludağ Maden Yeni	20.9	1.51×10^{-7}	6.79×10^{-9}	1.26×10^{-7}	9.01×10^{-9}	9.8×10^{-10}	1.2×10^{-6}	307.6	0.86
Çınar Maden	19.0	1.51×10^{-6}	1.74×10^{-8}	1.23×10^{-7}	7.23×10^{-9}	7.1×10^{-10}	1.1×10^{-6}	313.6	0.80

*R/Ra : ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranlarının (R) atmosferik He bileşimine (Ra = 1.376×10^{-6}) oranlanması ile bulunmuştur.

He-izotop Bileşenleri: Örneklenen suların helyum (^3He ve ^4He) içeriklerine ait olası He-bileşenlerinin (atmosferik, atmosferik olmayan) katkıları Imbach (1997)' deki denklemler (1-4) kullanılarak hesaplanmış ve bu değerler Tablo 28 de sunulmuştur. Her su örneğine ait atmosferik helyum katkısı ($^3\text{He}_{\text{atm}}$ ve $^4\text{He}_{\text{atm}}$) denklem 1 ve 2 kullanılarak hesaplanmış, daha sonra denklem 3 ve 4 kullanılarak suların helyum içeriklerine ait atmosferik olmayan (kabuksal, mantosal) bileşenler ($^3\text{He}_{\text{ex}}$ ve $^4\text{He}_{\text{ex}}$) bulunmuştur.

$$^3\text{He}_{\text{atm}} = R_{\text{atm}} * (^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_{\text{atm}} * ^{20}\text{Ne}_{\text{ölç}} \dots\dots\dots 1$$

$$^4\text{He}_{\text{atm}} = (^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_{\text{atm}} * ^{20}\text{Ne}_{\text{ölç}} \dots\dots\dots 2$$

$$^3\text{He}_{\text{ex}} = ^3\text{He}_{\text{ölç}} - ^3\text{He}_{\text{atm}} \dots\dots\dots 3$$

$$^4\text{He}_{\text{ex}} = ^4\text{He}_{\text{ölç}} - ^4\text{He}_{\text{atm}} \dots\dots\dots 4$$

Yukarıdaki denklemlerde

atm: atmosferik,

ex: excess-atmosferik olmayan,

ölç: ölçülen

parametrelere karşı gelmekte olup,

$$(^4\text{He}/^{20}\text{Ne})_{\text{atm}} = 0.24 \text{ (Benson ve Krause, 1976)}$$

$$R_{\text{atm}} = (^3\text{He}/^4\text{He})_{\text{atm}} = 1.376 * 10^{-6} \text{ (Imbach, 1997 ve oradaki referanslar)}$$

olarak alınmıştır.

Tablo 28 e bakıldığında en yüksek atmosferik He bileşeni soğuk sulara görülmektedir (atm He \approx 85 %). Sıcak sular incelendiğinde ise en yüksek atmosferik helyum bileşeni Karamustafa örneğinde kaydedilmiştir (atm He \approx 56-61%). En düşük atmosferik He katkıları maden sularında görülmüştür ve bu durum maden sularının, özellikle de Çınar Maden su örneğinin atmosferle olan etkileşiminin en az olduğunu göstermekte, ve diğer su örneklerinden daha derin bir akışkan dolaşımına sahip olduğunu düşündürmektedir. Tablo 28 de ayrıca suların atmosferik katkılarından arınmış He içerikleri tekrar atmosferik He bileşimine göre oranlanmış ve $(R/R_a)_c$ değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 28. Suların atmosferik ($^3\text{He}_{\text{atm}}$, $^4\text{He}_{\text{atm}}$) ve atmosferik olmayan ($^3\text{He}_{\text{ex}}$, $^4\text{He}_{\text{ex}}$) bileşenlerine ait değerler

Lokalite	$^3\text{He}_{\text{atm}}$ (ccSTP/g)	$^4\text{He}_{\text{atm}}$ (ccSTP/g)	$^3\text{He}_{\text{ex}}$ (ccSTP/g)	$^4\text{He}_{\text{ex}}$ (ccSTP/g)	% $^4\text{He}_{\text{atm}}$	% $^3\text{He}_{\text{atm}}$	#(R/Ra) _c
Karamustafa	$4.06 \cdot 10^{-14}$	$2.95 \cdot 10^{-8}$	$2.54 \cdot 10^{-14}$	$2.33 \cdot 10^{-8}$	55.91	61.54	0.79
Kaynarca	$3.86 \cdot 10^{-15}$	$2.81 \cdot 10^{-9}$	$1.39 \cdot 10^{-13}$	$2.34 \cdot 10^{-7}$	1.18	2.70	0.43
BK-1	$9.58 \cdot 10^{-15}$	$6.96 \cdot 10^{-9}$	$1.49 \cdot 10^{-13}$	$2.43 \cdot 10^{-7}$	2.78	6.05	0.44
Askeri Hastane	$4.76 \cdot 10^{-14}$	$3.46 \cdot 10^{-8}$	$2.12 \cdot 10^{-13}$	$3.15 \cdot 10^{-7}$	9.87	18.29	0.49
Küplüce	$1.57 \cdot 10^{-14}$	$1.14 \cdot 10^{-8}$	$1.58 \cdot 10^{-13}$	$2.22 \cdot 10^{-7}$	4.90	9.04	0.52
Gemlik	$4.26 \cdot 10^{-14}$	$3.1 \cdot 10^{-8}$	$4.98 \cdot 10^{-14}$	$1.86 \cdot 10^{-7}$	14.27	46.08	0.19
Tarihi Çınar	$5.91 \cdot 10^{-14}$	$4.3 \cdot 10^{-8}$	$1.62 \cdot 10^{-14}$	$8.64 \cdot 10^{-9}$	83.26	78.47	1.36
Aral Alabalık	$5.09 \cdot 10^{-14}$	$3.7 \cdot 10^{-8}$	$7.94 \cdot 10^{-15}$	$5.34 \cdot 10^{-9}$	87.38	86.50	1.08
Uludağ Maden Yeni	$2.24 \cdot 10^{-15}$	$1.63 \cdot 10^{-9}$	$1.79 \cdot 10^{-13}$	$1.49 \cdot 10^{-7}$	1.08	1.24	0.87
Çınar Maden	$5.75 \cdot 10^{-15}$	$4.18 \cdot 10^{-9}$	$1.67 \cdot 10^{-12}$	$1.51 \cdot 10^{-6}$	0.28	0.34	0.81

* % $^4\text{He}_{\text{atm}} = (^4\text{He}_{\text{atm}} * 100) / ^4\text{He}$, % $^3\text{He}_{\text{atm}} = (^3\text{He}_{\text{atm}} * 100) / ^3\text{He}$, $^3\text{He} = (^3\text{He}/^4\text{He}) * ^4\text{He}$ (^4He içerikleri ve $^3\text{He}/^4\text{He}$ oranları için bkz. Tablo 3.2)

(R/Ra)_c değerleri sulara hesaplanan excess-atmosferik olmayan $^3\text{He}_{\text{ex}}$ ve $^4\text{He}_{\text{ex}}$ oranlarının (R : $^3\text{He}_{\text{ex}} / ^4\text{He}_{\text{ex}}$) atmosferik He bileşimine (Ra: $1.376 * 10^{-6}$) oranlanmasıyla hesaplanmıştır.

Suların He içeriklerine ait atmosferik bileşenlerine ek olarak atmosferik olmayan katkıları da mantosal ve kabuksal bileşenlerine ayrılmıştır (Tablo 29). Bu hesaplamalarda yine Imbach (1997)' deki denklemler kullanılmıştır (5-8).

$$^3\text{He}_{\text{man}} = (^4\text{He}_{\text{ex}} - (R_{\text{rad}}^{-1} * ^3\text{He}_{\text{ex}})) / (R_{\text{man}}^{-1} - R_{\text{rad}}^{-1}) \dots \dots \dots 5$$

$$^4\text{He}_{\text{man}} = (^3\text{He}_{\text{ex}} - (R_{\text{rad}} * ^4\text{He}_{\text{ex}})) / (R_{\text{man}} - R_{\text{rad}}) \dots \dots \dots 6$$

$$^3\text{He}_{\text{rad}} = ^3\text{He}_{\text{ex}} - ^3\text{He}_{\text{man}} \dots \dots \dots 7$$

$$^4\text{He}_{\text{rad}} = ^4\text{He}_{\text{ex}} - ^4\text{He}_{\text{man}} \dots \dots \dots 8$$

Yukarıdaki denklemlerde

$$R_{\text{rad}} = 2 * 10^{-8} \dots \dots \dots (\text{Andrews, J.N., (1985)})$$

$$R_{\text{man}} = 1 * 10^{-5} \dots \dots \dots (\text{Ozima ve Podosek, 1983})$$

olarak alınmıştır.

Suların ^4He içeriklerine bakıldığında soğuk sulara atmosferden gelen ^4He ' un ($^4\text{He}_{\text{atm}}$) egemen olduğu ve az bir oranda da kabuksal helyumun (radyojenik- $^4\text{He}_{\text{rad}}$) varlığı görülmektedir. Sıcak sulara ise ^4He ($^4\text{He}_{\text{rad}}$) daha çok kabuksal kökenli gözükmektedir.

Suların ^3He bileşenleri incelendiğinde ise yine benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. Soğuk sulara atmosferik ^3He ($^3\text{He}_{\text{atm}}$) daha yoğun gözlenmekte ve bununla birlikte kayda değer miktarda mantosal ^3He ($^3\text{He}_{\text{man}}$) görülmektedir. Sıcak sulara ise, Karamustafa örneği dışında suların mantosal ^3He ($^3\text{He}_{\text{man}}$) bakımından zengin oldukları görülmektedir. Radyojenik ^3He ($^3\text{He}_{\text{rad}}$) katkısı ise çok az miktarda bütün su örneklerinde bulunmuştur.

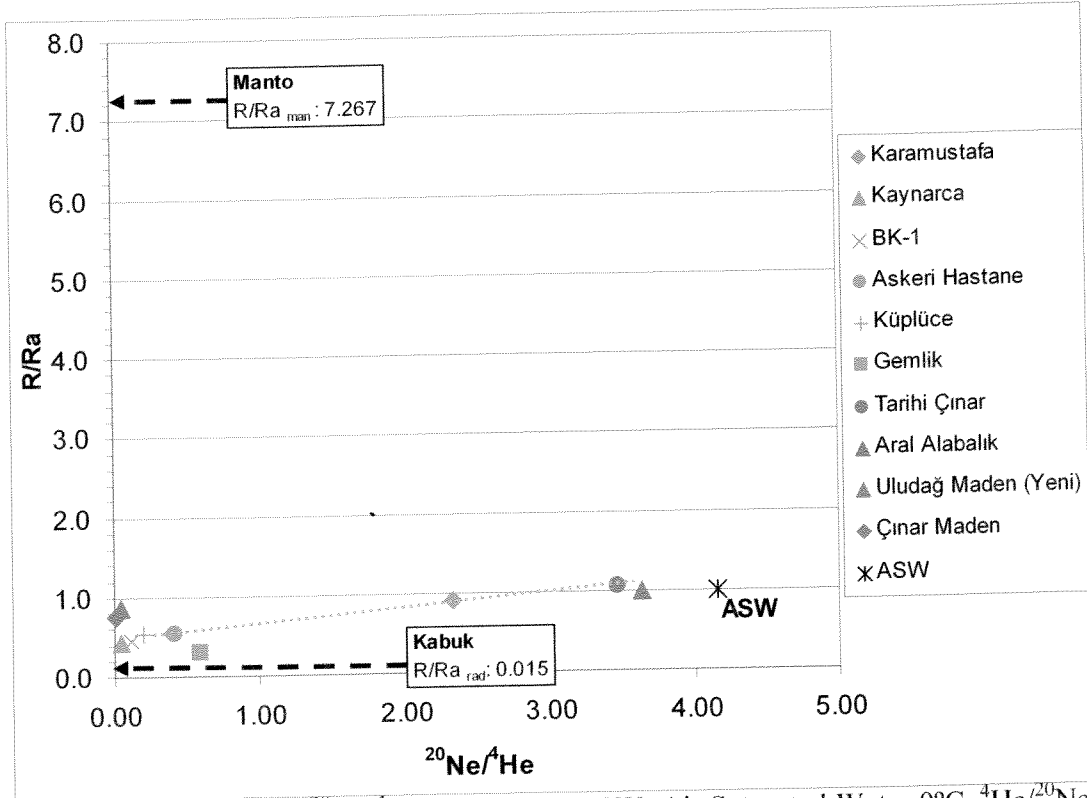
Su örneklerinin izotop bileşenlerine ilişkin dağılımları Şekil 58 de R/Ra vs. $^{20}\text{Ne}/^4\text{He}$ diyagramı üzerinde gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde özellikle termal sular ile soğuk sular arasında bir karışım ilişkisi gözükmemektedir. Termal sulardan Karamustafa örneği olası bir karışım hattı üzerinde ortalama bir yerde yer almaktadır. Maden suları ise olası bir karışım hattı üzerinde yer almamaktadır.

Tablo 29. Suların Helyum içeriklerinin kökensel (atmosferik, mantosal, kabuksal) bileşimi

Lokalite	% $^3\text{He}_{\text{atm}}$	% $^3\text{He}_{\text{man}}$	‰ $^3\text{He}_{\text{rad}}$	% $^4\text{He}_{\text{atm}}$	% $^4\text{He}_{\text{man}}$	‰ $^4\text{He}_{\text{rad}}$
Karamustafa	61.5	37.8	0.6	55.9	4.7	39.4
Kaynarca	2.7	94.2	3.1	1.2	5.7	93.1
BK-1	6.1	91.1	2.9	2.8	5.8	91.5
Askeri Hastane	18.3	79.4	2.3	9.9	5.9	84.2
Küplüce	9.0	88.6	2.4	4.9	6.6	88.5
Gemlik	46.1	50.0	3.9	14.3	2.1	83.6
Tarihi Çınar	78.5	21.3	0.2	83.3	3.1	13.6
Aral Alabalık	86.5	13.3	0.2	87.4	1.9	10.8
Uludağ Maden Yeni	1.2	97.3	1.5	1.1	11.7	87.2
Çınar Maden	0.3	98.1	1.6	0.3	10.9	88.8

$$\% ^3\text{He}_{\text{man}}: (^3\text{He}_{\text{man}} * 100) / ^3\text{He}, \% ^4\text{He}_{\text{man}}: (^4\text{He}_{\text{man}} * 100) / ^4\text{He}$$

$$\text{‰ } ^3\text{He}_{\text{rad}}: (^3\text{He}_{\text{rad}} * 100) / ^3\text{He}, \% ^4\text{He}_{\text{rad}}: (^4\text{He}_{\text{rad}} * 100) / ^4\text{He}$$



Şekil 58. Suların R/Ra vs $^{20}\text{Ne}/^4\text{He}$ diyagramı (ASW: Air Saturated Water 0°C, $^4\text{He}/^{20}\text{Ne} = 0.24$, Benson and Krause, 1976)

Diğer Asal Gazlar: He dışındaki diğer asal gazların örneklenen sular için dağılımları aşağıda maddeler halinde belirtilmektedir .

- Sularda analiz edilen ^{20}Ne içerikleri sıcak sular için 1.17×10^{-8} (Kaynarca) ile 1.44×10^{-7} (Askeri Hastane), soğuk sular için 1.54×10^{-7} (Aral Alabalık) ile 1.79×10^{-7} (Tarihi Çınar), ve maden suları için de 6.79×10^{-9} (Uludağ Maden) ile 1.74×10^{-8} (Çınar Maden) ccSTP/g aralığında değişim sergilemektedir.
- ^{36}Ar içerikleri sıcak sular için 1.18×10^{-7} (Kaynarca) ile 9.34×10^{-7} (Askeri Hastane), soğuk sular için 1.01×10^{-6} (Aral Alabalık) ile 1.14×10^{-6} (Tarihi Çınar), maden suları için de 1.23×10^{-7} (Çınar Maden) ile 1.26×10^{-7} (Uludağ Maden) ccSTP/g aralığında değişim göstermektedir.
- ^{84}Kr içerikleri sıcak sular için 7.14×10^{-9} (Kaynarca) ile 3.66×10^{-8} (Askeri Hastane), soğuk sular için 3.94×10^{-8} (Aral Alabalık) ile 4.56×10^{-8} (Tarihi Çınar), ve maden suları

için de 7.23×10^{-9} (Çınar Maden) ile 9.01×10^{-9} (Uludağ Maden) ccSTP/g aralığında değişim sergilemektedir.

- ^{132}Xe içerikleri sıcak sular için 5.4×10^{-10} (BK-1) ile 2×10^{-9} (Gemlik), soğuk sular için 2.6×10^{-9} (Aral Alabalık) ile 3×10^{-9} (Tarihi Çınar), ve maden suları için de 7.1×10^{-10} (Çınar Maden) ile 9.8×10^{-10} (Uludağ Maden) ccSTP/g aralığında değişmektedir.

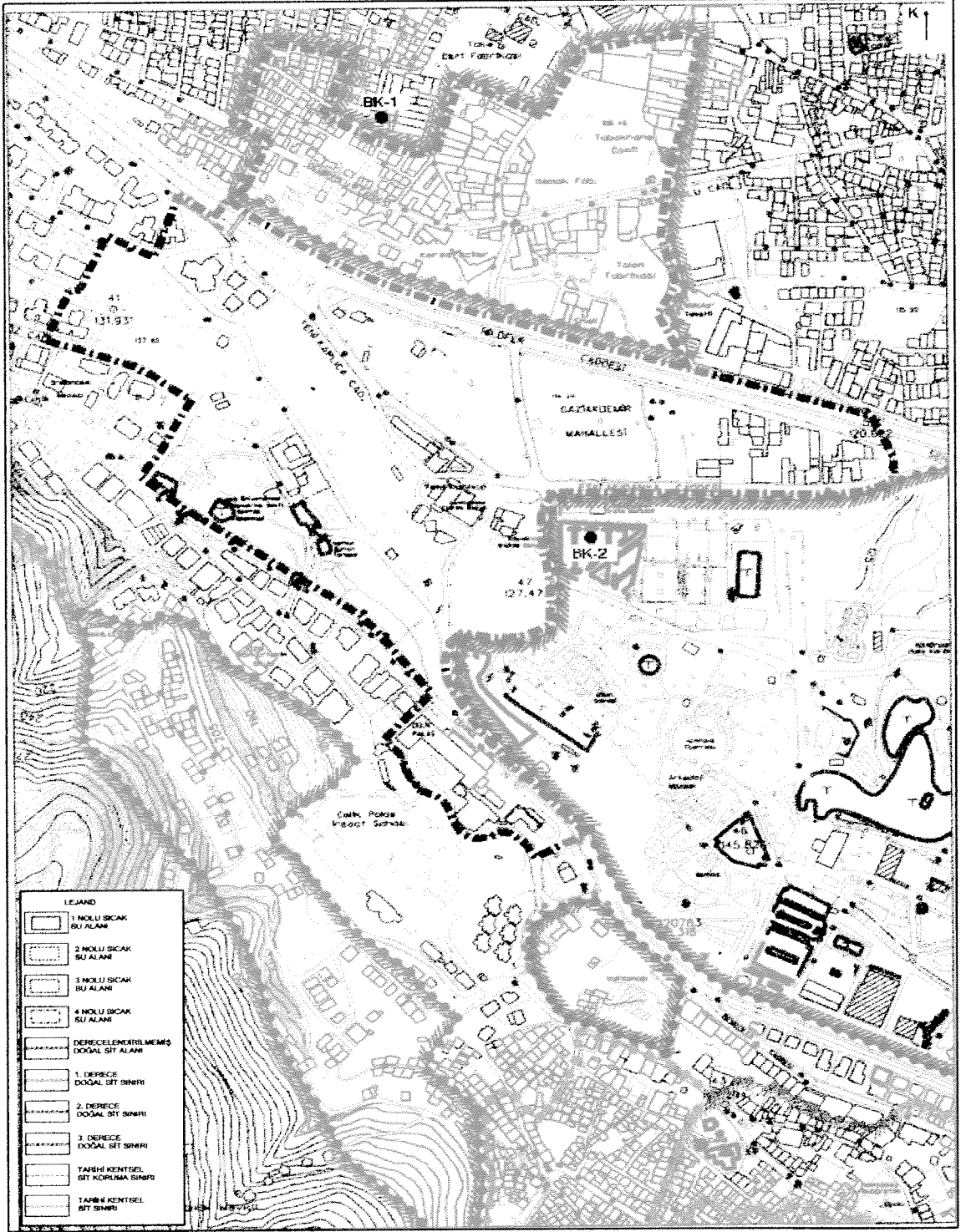
Rezervuar Mühendisliği Çalışmaları

Bursa Büyükşehir Belediyesi, gerek Bursa jeotermal kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi gerekse de yoğun şehirleşme sonucu kirlenme olasılığı olan ve doğal kaynaklardan beslenen Bursa kaplıca sistemini kuyulardan üretilecek sularla desteklemek amacıyla 2002 – Ağustos ile 2003 Haziran ayları arasında MTA'ya iki adet jeotermal akışkan üretim amaçlı kuyu açtırmıştır (BK-1 ve BK-2). Her iki kuyuda Kükürtlü -Kaynarca termal alanı içinde yer almaktadır (Şekil 59).

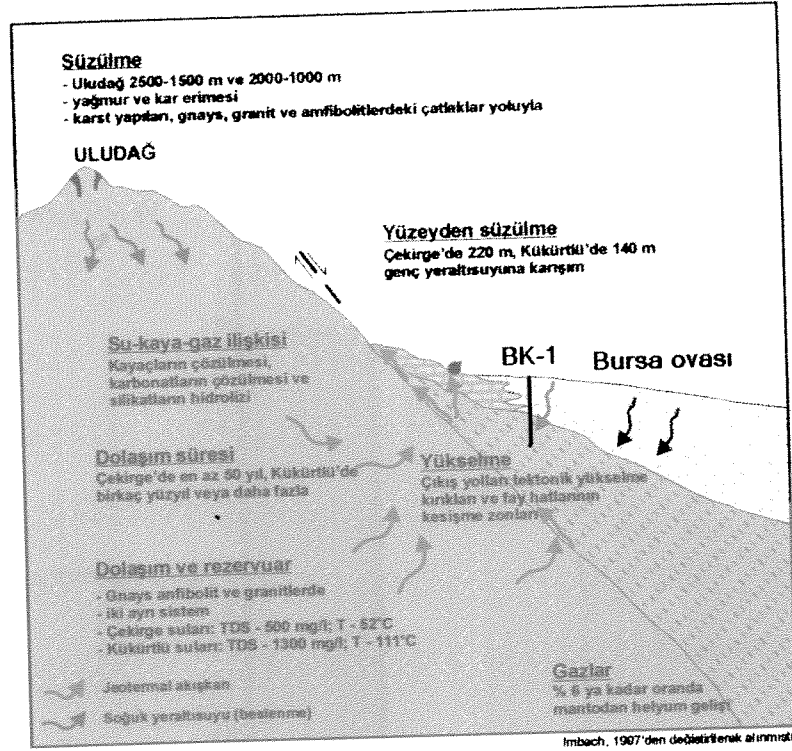
Doğal Sit Alanı ve farklı derecelerde su koruma alanlarına sahip Bursa'da ilk kuyu olan BK-1 için sondaj lokasyonu bulabilmek zor olmuş ve koruma alanları sınırının hemen dışındaki bir alan MTA tarafından sondaj için önerilmiştir. Imbach (1997) tarafından Bursa jeotermal sahaları için önerilen model kullanılarak BK-1 kuyusunun muhtemel yeri Şekil 60 da gösterilmektedir. Şekil 61 de ise MTA'nın 1976 da yaptığı çalışma baz alınarak BK-1 kuyusunun yeri işaret edilmektedir (Şimşek vd. 2002). Her iki şekilden de görüleceği gibi BK-1 kuyusu Kaynarca-Kükürtlü jeotermal alanının traverten bölgesi dışında Bursa ovası alüvyonları içinde yer almaktadır.

750 metre derinlikte tamamlanan BK-1 kuyusu litoloji logu Şekil 60 ta, kuyu tamamlama ve kuyubaşı düzeneği Şekil 63 te sunulmaktadır.

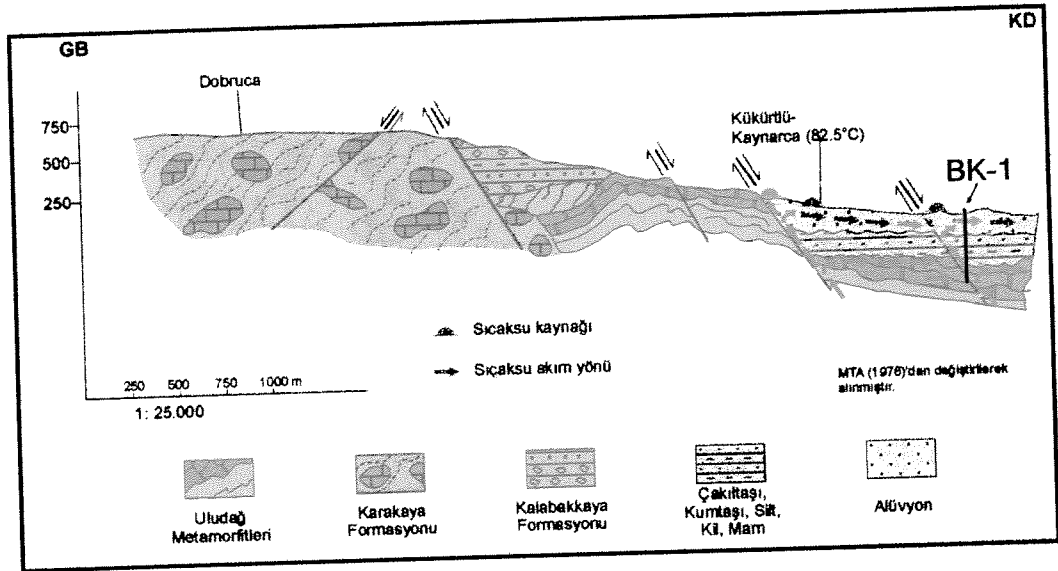
Şekil 62 de gösterildiği üzere sondaj sırasında 6 m^3 lük çamur kaçağının olduğu 419-437 metreler arası BK-1 kuyusunun üretken seviyesi olarak alınmaktadır. Artezyen olarak 3 lt/sn debide $50 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcak su üretimli olarak tamamlanan BK-1 kuyusu proje süresince çeşitli seferlerde üretime açılarak su örnekleri alınmış, debi ölçümleri ve zamanın fonksiyonu olarak kuyubaşı basınç ölçümleri kaydedilmiştir. Basınç ölçüm kayıtları ile ilgili değerlendirmeler ilerleyen bölümlerde yapılacaktır.



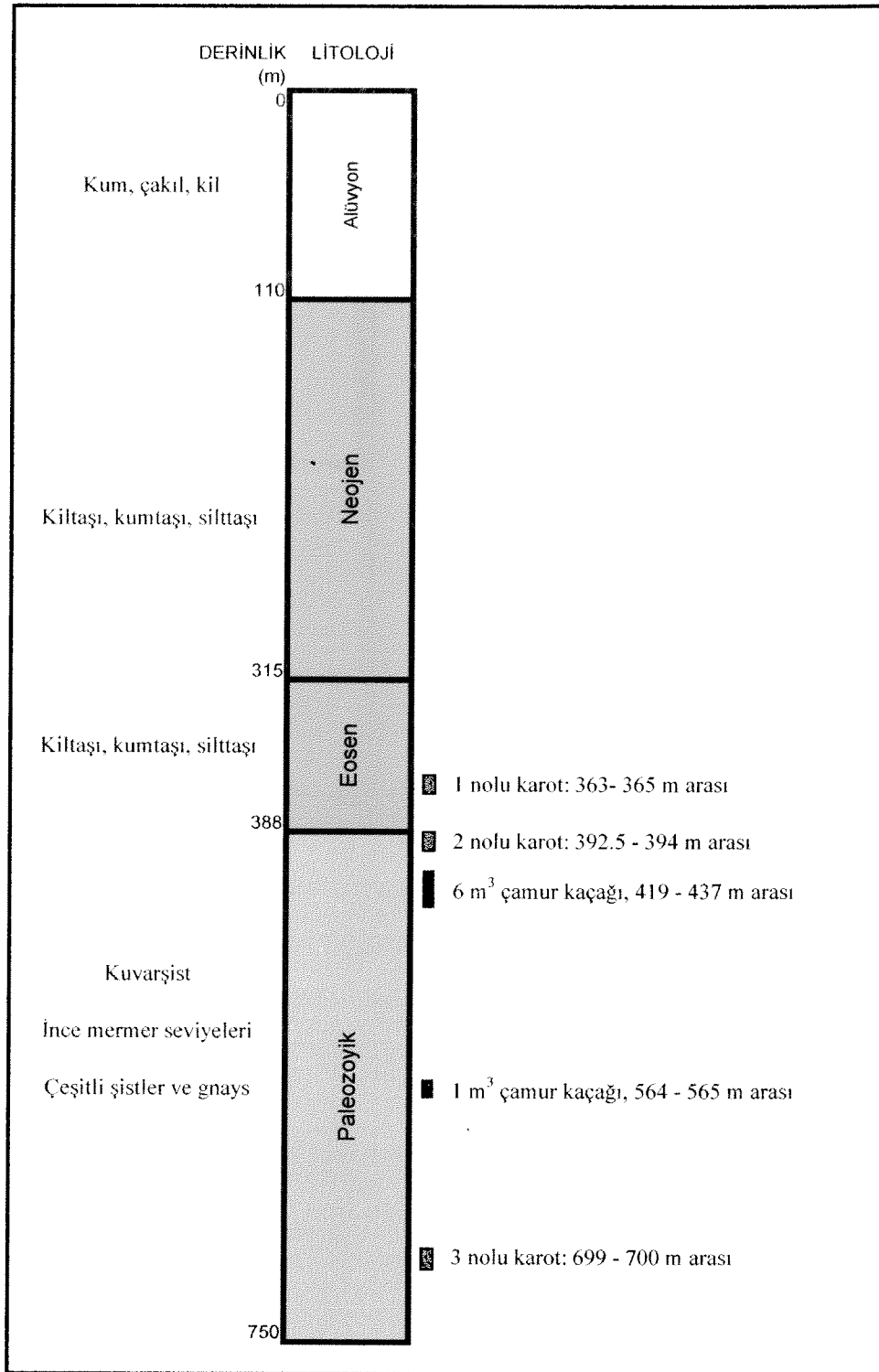
Şekil 59. BK-1 ve BK-2 kuyuları yer bulduru haritası



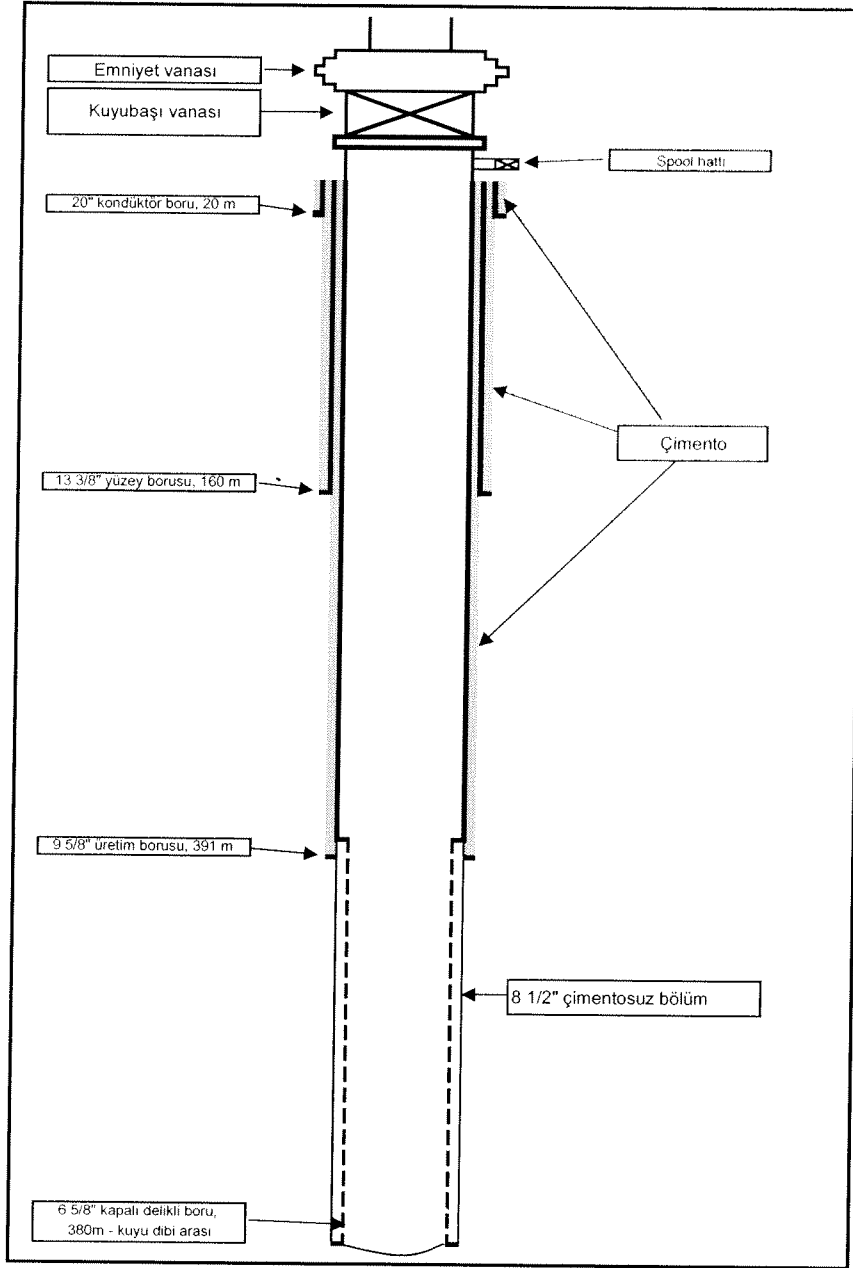
Şekil 60. BK-1 kuyusunun Imbach (1997) modelinde gösterimi



Şekil 61. BK-1 kuyusunun MTA (1976) modelinde gösterimi



Şekil 62. BK-1 Kuyusu litoloji logu



Şekil 63. BK-1 kuyusu koruma borusu ve kuyubaşı emniyet vanası sistemi

Bursa ilinin bilinen termal alanlarına görece uzak açılan BK-1 kuyusunun umut veren sonuçlar vermesi sonrası, BK-2 kuyusu lokasyonu MTA tarafından, Bursa Ovası'nın BK-1 lokasyonuna göre güney bölümünde, ancak daha önce yapılmış olan jeolojik,

hidrojeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalara göre, jeotermal kaynaklar açısından önemli potansiyele sahip bir alan içinde verilmiştir (Şekil 59).

BK-2 arama kuyusunun toplam derinliği 401.8 m. olup, kuyuda 0 -15 m arası toprak örtüsü ve 15 - 41 m arası kum, kil ve çakıldan oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon, 95 -142 m arası silisifiye ve çatlaklı kireçtaşı, 142 -178 m arası killi kireçtaşı ve kireçtaşı, 178 – 309 m arası kumtaşı, kiltası ve çakıltası ardalanması, 309 – 401.8 m arası Paleozoyik yaşlı alterasyonlu mermer, şist ve kuvarsit kesilmiştir (Şekil 64). Kuyunun delinmesi aşamasında iki ayrı seviyeden kayaç örnekleri karot işlemiyle alınmıştır (1. karot: 328 - 330 m arası, 2. karot: 401.0 – 401.8 m arası).

BK-2 kuyusunun muhafaza borusu ve kuyubaşı donanımı Şekil 65 te verilmektedir. BK-2 kuyusundan ilk verilere göre artezyen akışla 88 °C sıcaklığında ve ortalama 45 lt/sn debide sıcak su elde edilmiştir. Kuyu, kuyubaşındaki vana vasıtasıyla kapatıldığında, statik kuyubaşı basıncı 1.2 kg/cm²_g olarak ölçülmüştür (Şimşek vd., 2003).

Kuyunun son derinliğe erişmesi ve kuyubaşı koruma önlemlerinin alınması sonrası (kuyubaşı vanası ve spool hattı bağlantısı), kuyu gerek sondaj sırasında kuyu içinde oluşan kırıntıların temizlenmesi gerekse rezervuardaki jeotermal akışkanı örneklemek amacıyla kısa süreli bir üretim testine alınmıştır. Bu test yaklaşık 17 saat sürmüş ve ortalama olarak 45 lt/sn debi ve 88 °C sıcaklıkta akış elde edilmiştir. Bu deneme testi sırasında kuyu civarında yer almakta olan bazı kaynaklar (Kaynarca ve Uludağ Üniversitesi Kükürtlü Kaynakları) geçici olarak sıcaklık ve debi yönünden etkilenmiştir. Ancak bu durum kuyudan test üretiminin durdurulmasıyla kısa süre sonra olumlu yönde gelişme kaydetmiş ve kaynaklar eski durumuna dönmüştür (Şimşek vd., 2003).

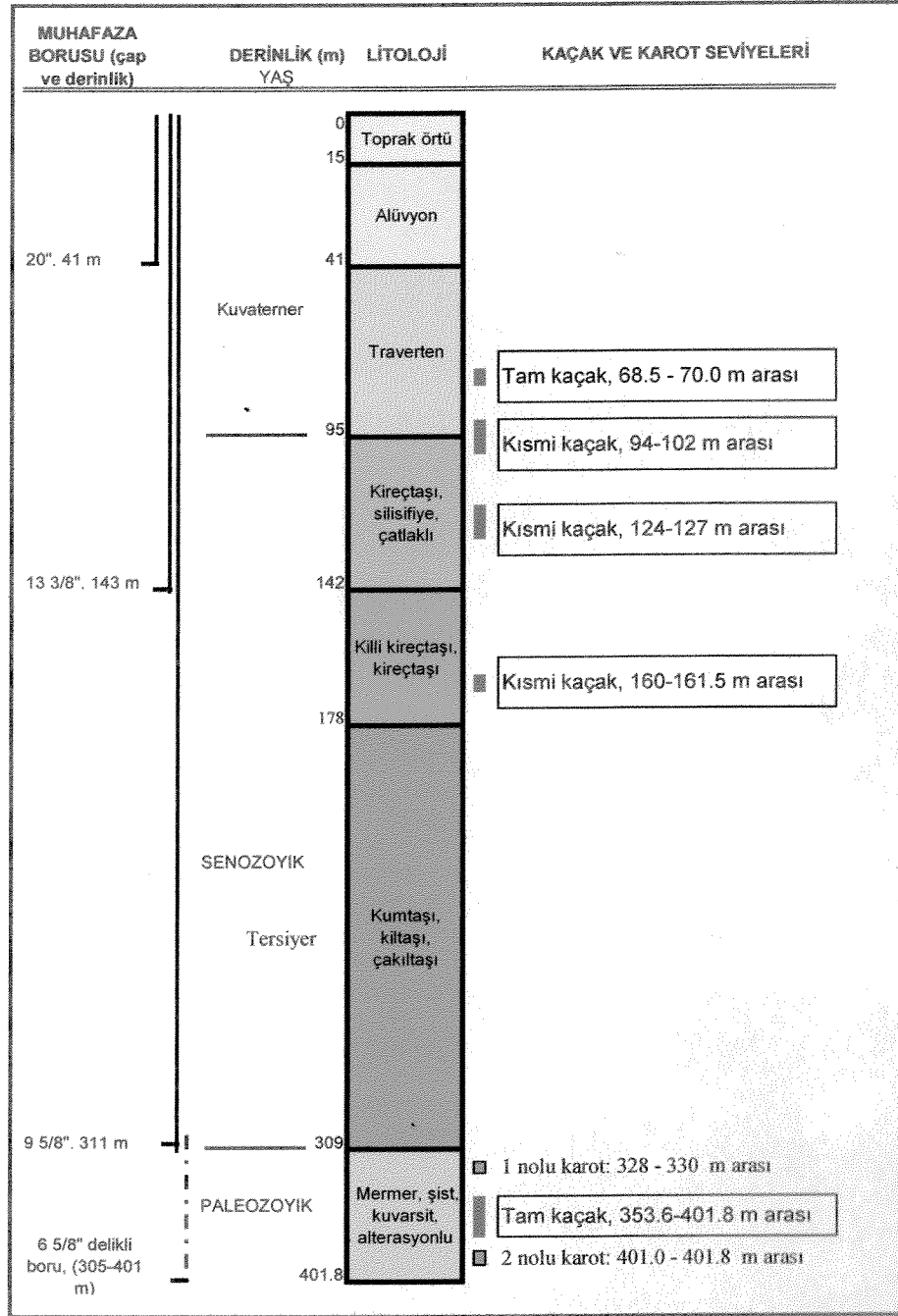
Kısa süreli test sırasında alınmış olan termal su örneği MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında 5 Haziran 2003 tarihinde analiz edilmiştir. Bu analiz sonuçları, MTA Genel Müdürlüğü'nce daha önce 9 Nisan 2002 tarihinde Kaynarca ve Uludağ Üniversitesi Kaynakları için yapılan analiz sonuçları ile birlikte Tablo 30 da karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ayrıca her üç analiz sonucunu kapsayan Schoeller Diyagramı Şekil 66 da sunulmaktadır.

Tablo 30. BK-2 Kuyusu, Kaynarca ve Uludağ Üniversitesi Kaynak Sularının Fiziksel ve Kimyasal Analiz Değerleri¹

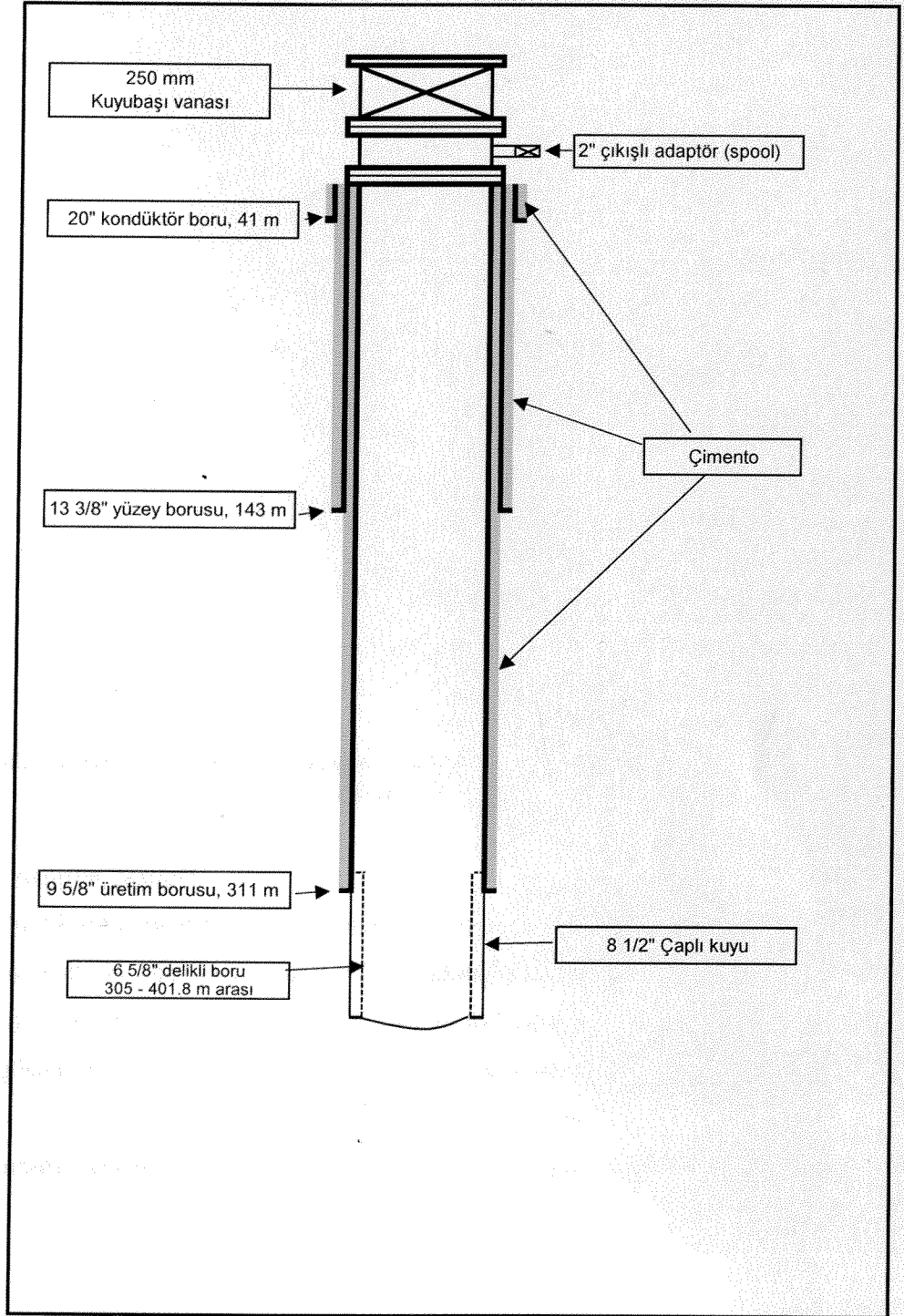
KUYU / KAYNAK	BK-2 KUYUSU	KAYNARCA	U.Ü.KÜKÜRTLÜ
Analiz Tarihi	5 Haziran 2003	9 Nisan 2002	9 Nisan 2002
Kuyubaşı Ölçümleri			
Sıcaklık, °C	88	84	78
PH _{kuyubaşı}		7.09	6.48
pH _{25, 24 °C}	6.80	7.20	7.20
EC, 24 °C	1395	1275	1375
Katyonlar, mg/L			
Li ⁺	0.8	0.6	0.7
Na ⁺	210	189	203
K ⁺	27.3	17.0	17.8
NH ₄ ⁺	0.5	0.2	2.0
Mg ²⁺	5.8	7.8	7.9
Ca ²⁺	64.9	65.0	93.8
Mn _(T)	< 0.03	< 0.03	0.06
Fe _(T)	0.04	0.30	2.30
Anyonlar, mg/L			
F ⁻		0.1	1.1
Cl ⁻	< 10	9.5	7.9
Br ⁻		< 0.1	< 0.1
HCO ₃ ⁻	556	496	544
CO ₃ ²⁻	< 10	< 10	< 10
NO ₃ ⁻		0.6	0.1
PO ₄ ³⁻		< 0.1	< 0.1
SO ₄ ²⁻	249	249	300
Çözülmeyenler			
B _(T)	2.3	1.9	2.2
SiO ₂	101.0	90.0	97.4
TDS, mg/L	1237.57	1137.23	1290.46

1- Laboratuvar ölçüm ve kimyasal analizleri MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılmıştır

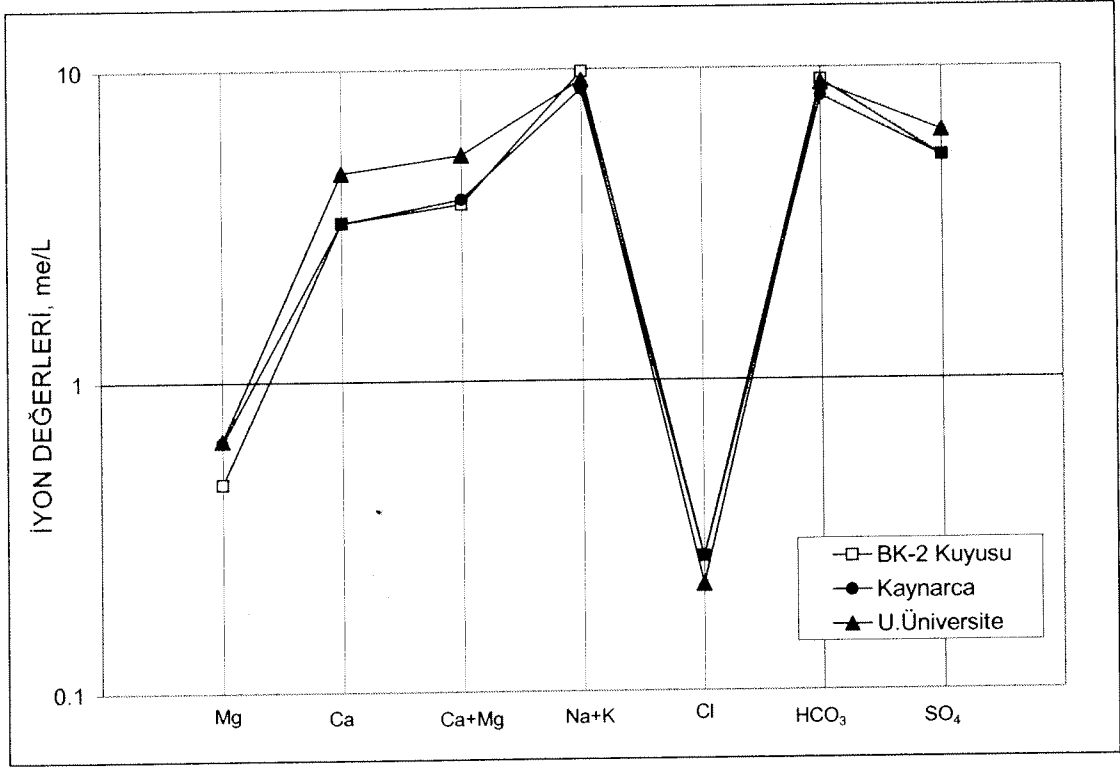
Her üç su örneğinin iyon karakteristiklerinin ise, meq/l olarak karşılaştırılması sonucu, Na > Ca > Mg ve HCO₃ > SO₄ > Cl şeklinde olduğu belirlenmiştir. Buna göre, Schoeller diyagramında da görüldüğü üzere birbirine çok yakın ve üstüste gelecek şekilde paralellik göstermeleri nedeniyle her üç termal suyun da aynı kimyasal özellikte ve aynı kökenli oldukları belirlenmiştir.



Şekil 63. BK-2 Kuyusu litoloji logu ve muhafaza borusu çap ve derinlikleri



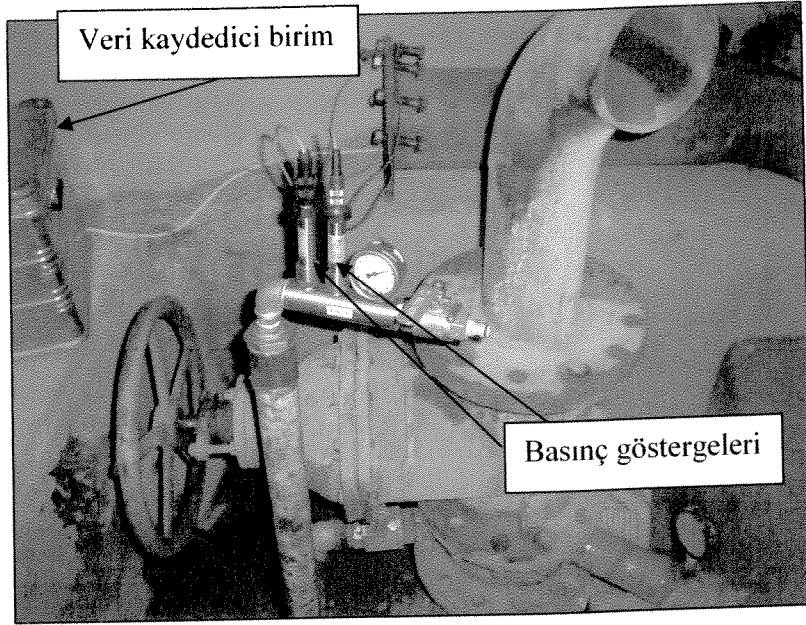
Şekil 65. BK-2 Kuyusu muhafaza borusu ve kuyubaşı düzeneği



Şekil 66. BK-2 Kuyusu ile Kaynarca ve U.Üniversitesi Kükürtlü kaynakları sularının Schoeller diyagramları

Basınç Yükselim Testleri

Bursa Büyükşehir Belediyesi tarafından jeotermal enerji amaçlı olarak MTA Kurumu'na açtırılmış olan iki adet kuyu Şekil 67 de gösterilen şekliyle sayısal basınçölçerler ve veri kaydedici cihazlar ile 2003 yılı Ekim ayı sonunda donatılmış idi. Şekil 67 de görülen iki adet basınç göstergesinden biri doğrudan kuyubaşı akışkan basıncını ölçer iken, ikinci gösterge kuyubaşı akışkan basıncı ile ortamın barometrik basıncı arasındaki farkı ölçmektedir. Bu sayede ortam barometrik basıncının değişimi de kaydedilmektedir.



Şekil 67. BK-1 kuyusuna monte edilen basınç ölçerler

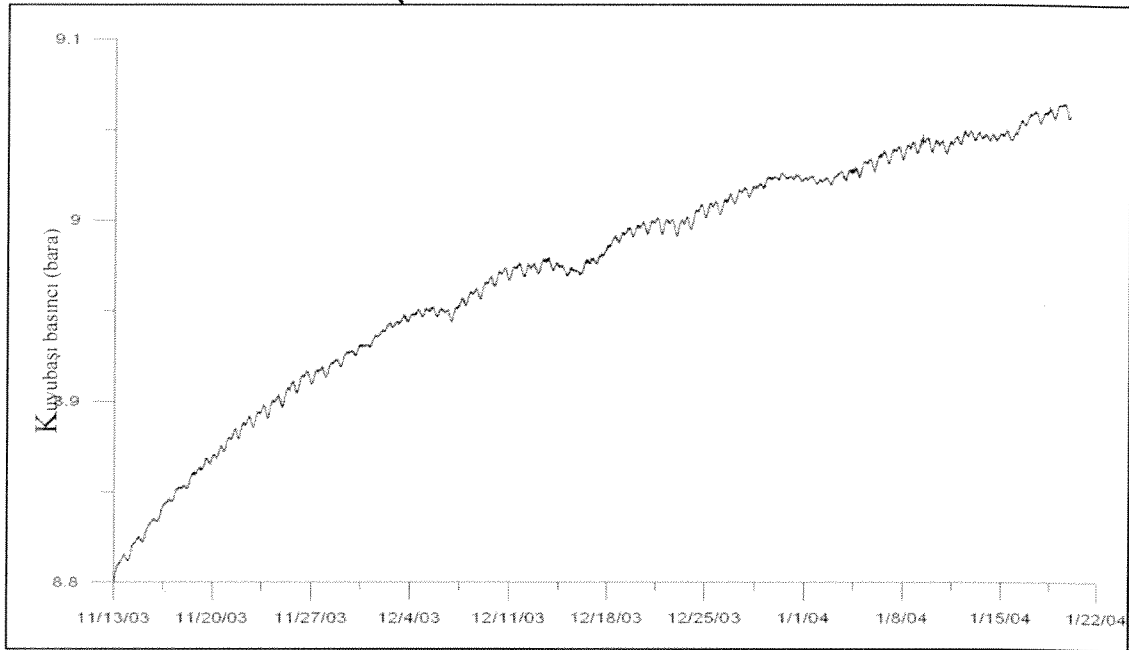
Şekil 68 de BK-1 kuyusunda kaydedilen kuyubaşı basıncının Kasım 2003-Ocak 2004 tarihleri arasındaki değişimi sunulmaktadır. Görüldüğü gibi kuyubaşı basıncında sürekli bir artım eğilimi vardır ki bu dönemin bölgedeki beslenmenin yoğun olduğu döneme rastlaması nedeniyle doğaldır.

BK-2 kuyusu, yakınında bulunan doğal sıcak su kaynaklarına etkileme olasılığı nedeniyle, proje kapsamında su örneği almak veya üretim/basınç testi yapmak amacıyla kullanılamamıştır. Öte yandan her örnek alma aşamasında, kuyu içindeki beklemiş akışkanın kuyudan atılması gerektiğinden, BK-1 kuyusu uzun süreli üretime açılmıştır. Sabit debili (maksimum vana açıklığında artezyen akışlı) üretimden sonra, vananın kapatılmasıyla kuyubaşı basıncının yükselimi kaydedilmiştir. Bu tür basınç yükselim testi verilerini kullanarak, kuyu ile kuyu çevresindeki formasyonların bazı özelliklerini saptayabilmek mümkündür. Bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Formasyonun geçirgenliği,
2. Kuyu çevresindeki formasyonun statik basınç seviyesi,
3. Kuyu cidarındaki zar faktörü (sondaj sırasında ve sonrasında kuyu cidarında geçirgenlik düşüm ve/veya artımı olup olmadığı),
4. Rezervuarın (kuyu drenaj alanının) sınırları.

BK-1 kuyusunun yukarıda sıralanan özelliklerini saptayabilmek amacıyla, basınç ölçerlerin kuyubaşlarına bağlı olduğu 6 ay süresince toplam üç adet basınç yükselim testi yapılmıştır. Bu testlerden hazirahazırda ilk ikisinin verisi toplam veri setinden ayıklanmış olup, bu verilerin değerlendirmeleri bu raporda sunulmaktadır. Üç nolu testin verisinin elde edilmesi sonrası, petrol endüstrisinde akademik ve ticari amaçla kullanılmakta olan SAPHIR adlı kuyu testi analiz yazılımı kullanılacak ve sonuçlar ilerideki gelişme raporlarında sunulacaktır. Bu rapor içinde basit bir değerlendirme ile iki testten elde edilen ilk bulgular gösterilecektir.

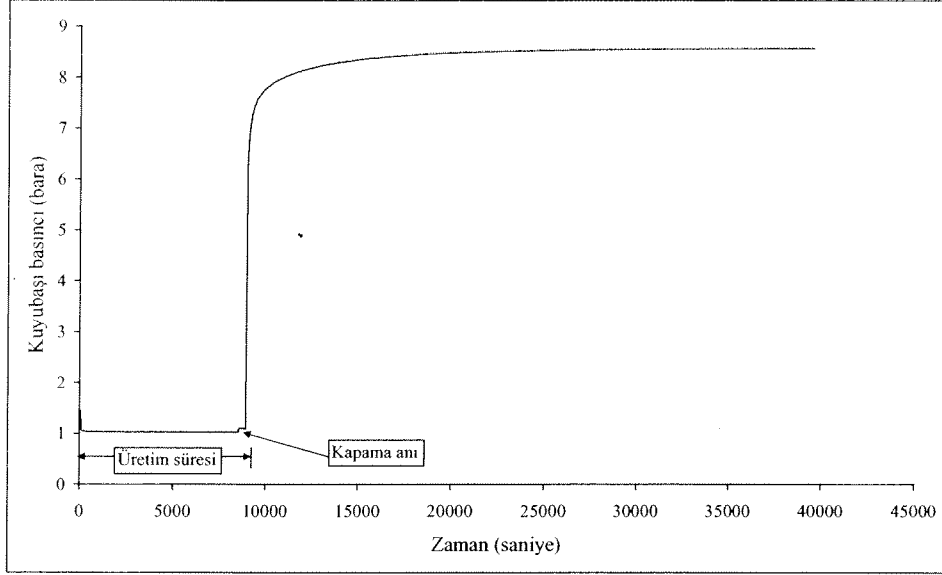
BK-1 de yapılmış olan ilk iki basınç yükselim testi parametreleri ile kaydedilen basınç değerleri Tablo 31 ile Şekil 69 ve 70 de verilmektedir.



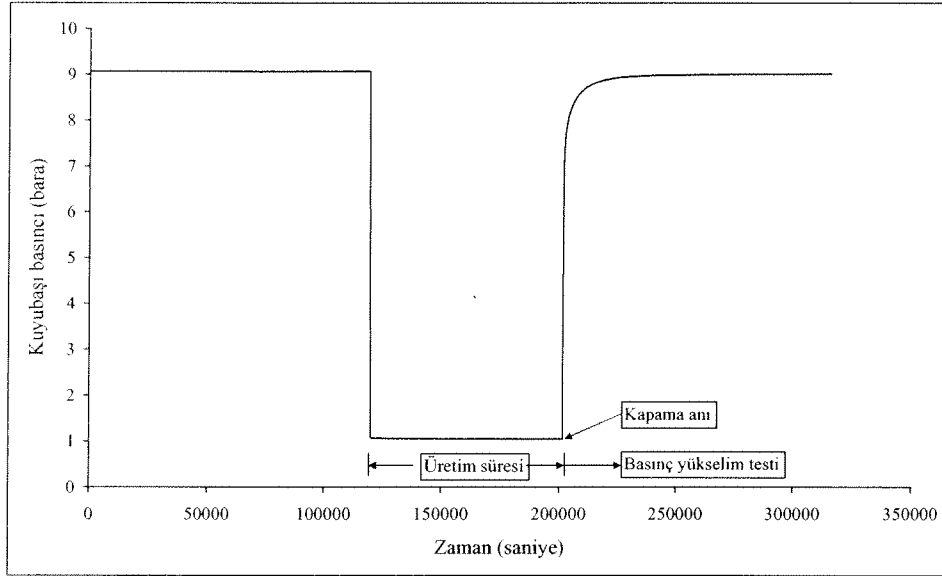
Şekil 68. BK-1 kuyusu kuyubaşı basıncı değişimi (Kasım 2003 – Ocak 2004)

Tablo 31. Basınç yükselim testi parametreleri

Parametre	Test-1	Test-2
Tarih	30.10.2003	22.1.2004
Test öncesi üretim süresi (saniye)	8520	81540
Debi (lt/saniye)	3.6	3.6
Akışkan sıcaklığı (°C)	49.3	49.3

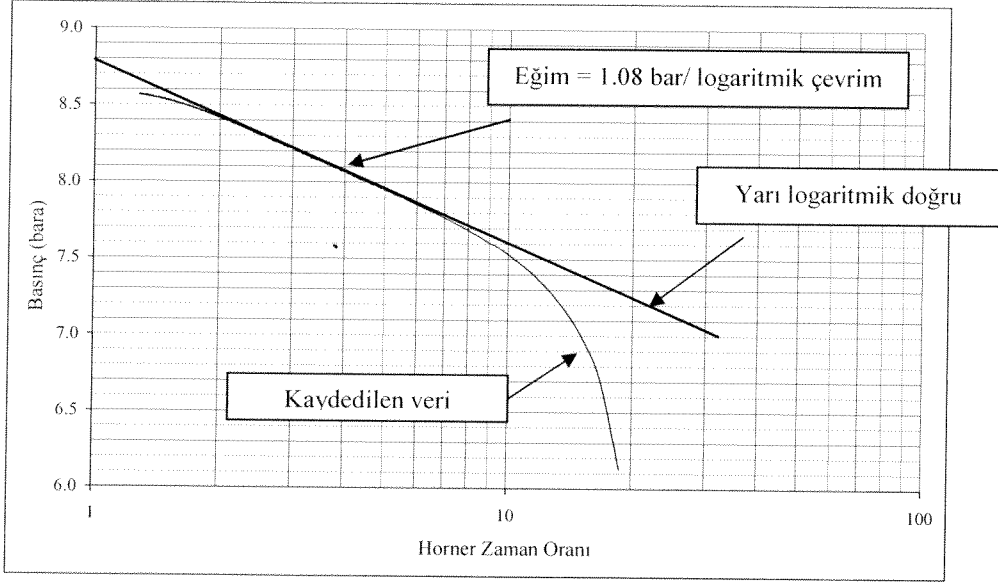


Şekil 69. BK-1 kuyusu basınç yükselim testi (30.10.2003)

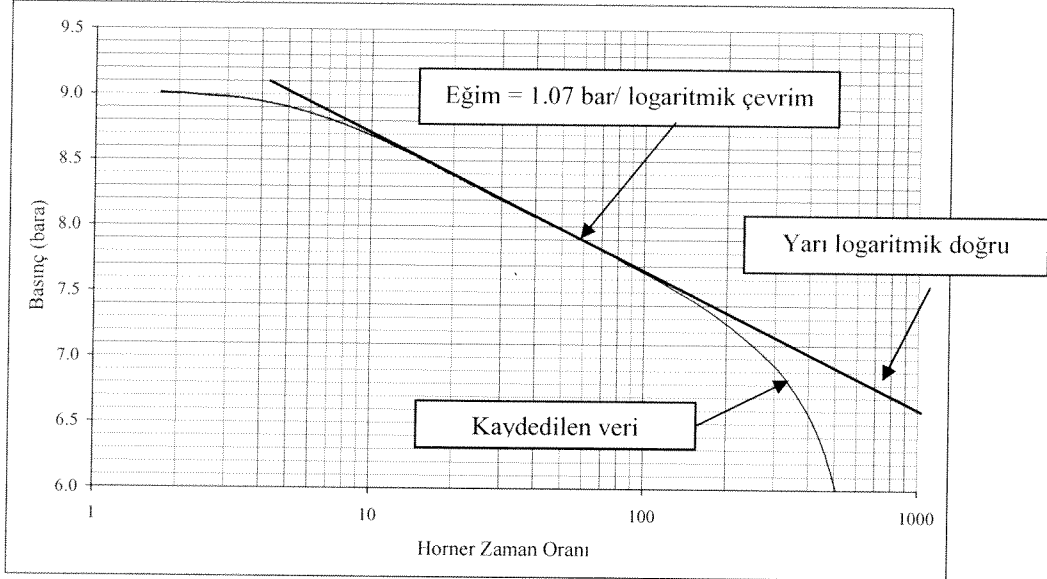


Şekil 70. BK-1 kuyusu basınç yükselim testi (22.1.2004)

Her iki test Horner tipi yarı-logaritmik grafiğe çizilerek (Şekiller 71 ve 72) testlerin tekrarlanabilirliği sınanmıştır. Bilindiği gibi Horner tipi grafikte elde edilen yarı-logaritmik doğrunun eğimi formasyonun geçirgenlik-kalınlık çarpımı ile orantılıdır. Her iki test için bir logaritma aralığında oluşan 1.08 ve 1.07 bar lık basınç yükselimi (eğim) her iki testte elde edilen sonuçların tekrarlanabilir olduğunu göstermektedir.

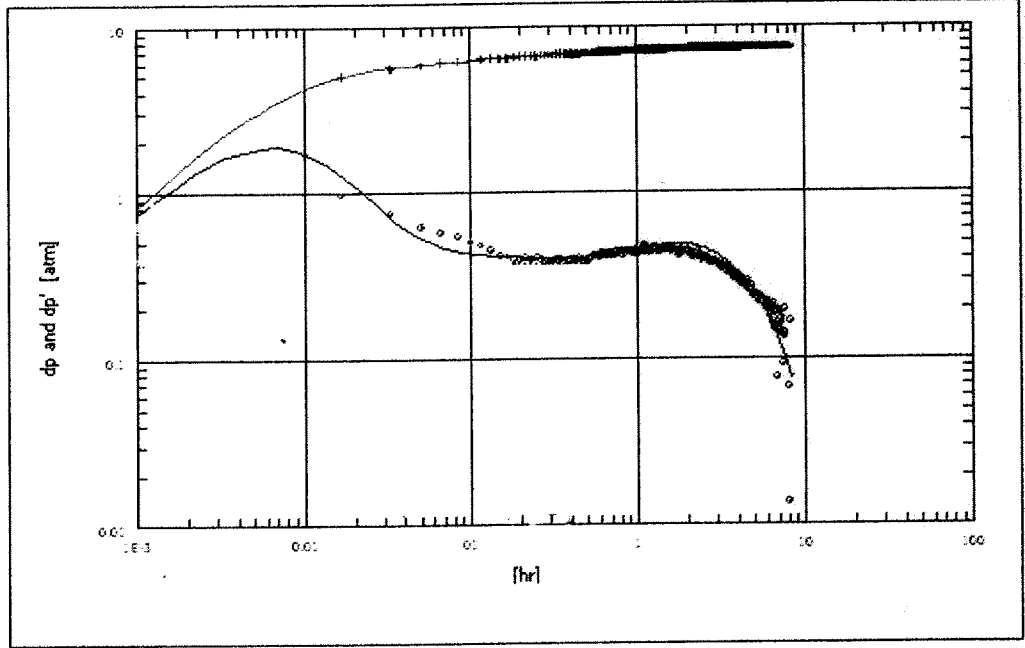


Şekil 71. BK-1 kuyusu basınç yükselim testi Horner grafiği (30.10.2003)

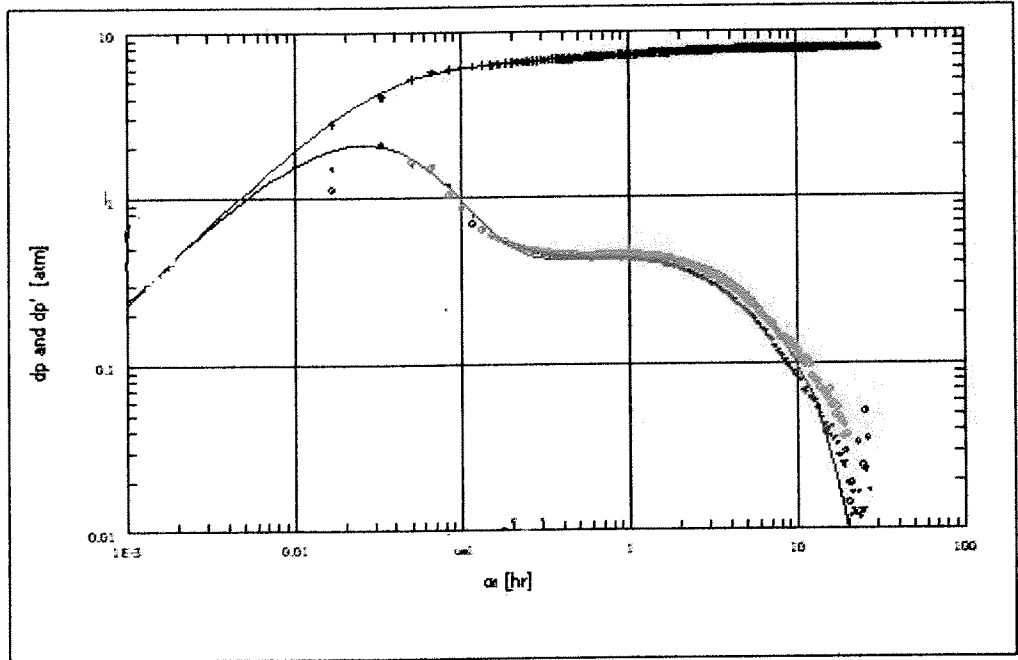


Şekil 72. BK-1 kuyusu basınç yükselim testi Horner grafiği (22.1.2004)

Her iki test verisinin SAPHIR yazılımı ile, logaritmik çizimde zaman-basınç farkı ve zaman-basınç farkı türevi eğrilerinin en uygun çakıştırılmayla elde edilen analiz sonuçları Şekiller 73 ve 74 ile Tablo 32 de verilmektedir.



Şekil 73. BK-1 kuyusu basınç yükselim testi analizi (30.10.2003)



Şekil 74. BK-1 kuyusu basınç yükselim testi analizi (22.1.2004)

Tablo 32. BK-1 kuyusu basınç yükselimi testi analizleri sonuçları

Parametre	Test-1	Test-2
GENEL ÖZELLİKLER		
Tarih	30 Ekim 2003	22 Ocak 2004
Test tipi	Basınç yükselimi	Basınç yükselimi
Üretim debisi (lt/dak)	180	180
Akış süresi (saniye)	8690	81540
Kapama anında basınç (atm)	1.09985	1.02644
SEÇİLEN MODEL ÖZELLİKLERİ		
Kuyu modeli	Kuyu depolama ve zar faktörü	Kuyu depolama ve zar faktörü
Rezervuar Modeli	Çift gözeneklilik, Yalancı kararlı durum (PSS)	Çift gözeneklilik, Yalancı kararlı durum (PSS)
Sınır Modeli	Dairesel – Sabit basınç	Dairesel – Sabit basınç
TEST SONUÇLARI		
Kuyu depolama katsayısı (m ³ /Pa)	1.16×10^{-3}	4.49×10^{-3}
Zar faktörü	3.44	3.07
Zar faktörü basınç düşümü (atm)	2.54565	2.37486
Statik rezervuar basıncı (atm)	8.57986	8.87276
Geçirgenlik-kalınlık (m ³)	6.38×10^{-12}	6.10×10^{-12}
Geçirgenlik (md)	18.5	17.6
Sınır yarıçapı - sabit basınç (m)	91.4	108.0
Test edilen hacim (m ³)	1.37906×10^6	1.93849×10^6

Jeotermal Enerji Potansiyeli

Jeotermal enerji, kaynak sıcaklığı ve debiye bağlı olarak çok farklı uygulama alanları bulabilmektedir. İlk olarak Lindal (1973) tarafından önerilen, gelişen teknoloji ile yeniden düzenlenen bir diyagram ile jeotermal enerji uygulama alanları sıcaklığın fonksiyonu olarak gösterilmektedir (Şekil 75).

Şekil 75. Lindal Diyagramı (Lindal, 1973)

	Sıcaklık (°C)	Uygulama
DOYMUŞ BUHAR	200	
	190	
	180	Amonyak absorblanması ile soğutma
	170	Hidrojen sülfür yöntemi ile ağır su üretimi
	160	Balık yemi ve kereste kurutulması
	150	Bayer yöntemi ile Alüminyum üretimi
	140	Yüksek hızla meyve-sebze kurutulması, konservecilik
SICAK SU	130	Şeker rafinasyonunda buharlaştırma Tuzların buharlaştırma ve kristalizasyon yöntemiyle eldesi Damıtma ile temiz su eldesi
	120	Tuzlu çözeltilerin konsantre edilmesi
	110	Çimento kalıplarının kurutulması ve prizlenmesi
	100	Çim, sebze ve organik maddelerin kurutulması, yün yıkama ve kurutma
	90	Balık kurutulması, yoğun buz çözem işlemleri
	80	Alan ısıtıcılığı (konut ve sera)
	70	Soğutma (alt sıcaklık değeri))
	60	Ahır ve sera ısıtıcılığı
	50	Mantar üretimi, sağlık amaçlı banyolar
	40	Toprak ısıtıcılığı
	30	Yüzme havuzları, buzdan arındırma
	20	Balık çiftlikleri

ALIŞILAGELMİŞ ELEKTRİK ÜRETİMİ

İKİLİ ÇEVİRİM ELEKTRİK ÜRETİMİ

ISI POMPASI UYGULAMALARI

Şekil 75 ten görüldüğü gibi jeotermal enerji uygulamalarını iki grup altında toplamak mümkündür:

- Doğrudan kullanım: Bu kullanım şeklinde jeotermal akışkanın içerdiği termal enerji çoğunlukla ısı uygulamalarında kullanılmakta ve düşük entalpili (sıcaklıklı) akışkanlar bu uygulamaların hedef akışkanları olmaktadır
- Dolaylı kullanım: Bu kullanım şeklinde ise jeotermal akışkanın içerdiği termal enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Alışlagelmiş yöntemlerle elektrik üretimi için sıcaklık alt sınırı 120 °C iken ikincil bir akışkan kullanılarak elektrik üretiminin yapıldığı ikili çevrim tekniğinde alt sıcaklık değeri 90 °C ye kadar düşebilmektedir.

Bursa ili jeotermal kaynak sıcaklıkları gözden geçirildiğinde en yüksek sıcaklık değerleri, doğal kaynaklar içinde 81,2 °C ile Kaynarca kaynağında, açılan sondajlarda ise 88 °C ile BK-2 kuyusunda karşılanmaktadır. Bu sıcaklık değerleri elektrik enerjisi üretimi için yeterli görülmemekte olup doğrudan kullanım (konut, sera ısıtmacılığı ve kaplıca uygulamaları) için uygun görülmektedir. Ayrıca 50 °C sıcaklık ve 3,5 lt/sn debi ile artezyen üretim yaptığı belirlenen BK-1 kuyusu akışkanının kaplıca ve yüzme havuzu amaçlı kullanıma uygun olduğu öngörülmektedir. Takip eden paragraflarda bu konuda yapılan değerlendirmeler sunulacaktır.

BK-1 Kuyusu

BK-1 kuyusu Bursa ovasında jeotermal amaçlı açılan ve doğal termal su çıkışlarından uzakta açılan ilk kuyu olma özelliğini taşımaktadır. Gerek sondaj aşamasında BK-1 ve BK-2 kuyularında kesilen jeolojik birimler arasındaki farklılıklar gerekse de her iki kuyudan üretilen suyun kimyasal kompozisyonundaki farklılıklar nedeniyle BK-1 kuyusunun Kaynarca-Kükürtlü jeotermal sistemiyle doğrudan ilintili olmadığı düşünülmektedir. 50 °C sıcaklık ve 3,5 lt/sn debi ile artezyen üretim yapan BK-1 kuyusunun kaplıca amaçlı kullanımı hedeflendiğinde aşağıdaki kapasite hesabı yapılabilir.

Sağlık Bakanlığı ve Uluslararası Kaplıcalar Birliği FITEC tanım ve kurallarına göre (İsmet Ülker, Sağlık Turizmi - Kaynaklar, Planlama ve Tanıtım) kaplıca banyolarında kişi başı termal su kullanımı 350 lt/gün olarak verilmektedir. Bursa ve ülkemiz şartlarında açık kurna Türk hamamları ve havuzlarının da göz önüne alınmasıyla bu değer % 100 arttırılması ile yapılacak hesaplamada;

$$3,5 \text{ lt/sn} \times 3600 \text{ sn/saat} \times 24 \text{ saat/gün} / (700 \text{ lt/gün-kışı}) = 432 \text{ kışı}$$

BK-1 kuyusu akışkanının kaplıca kullanımı için kimyasal kompozisyonu açısından uygun olması durumunda, gerek sıcaklık gerekse debi açısından yeterliliği görülmekte ve en az 400 kışı kapasiteli bir termal tesisi besleyebileceği öngörülmektedir.

BK-2 Kuyusu

BK-2 kuyusu yüksek sıcaklık ve debi değerleri ile (88 C, 45 lt/sn) doğrudan ısıtma uygulaması için uygun koşullara sahiptir. Isıtma sistemi sonrası (ısı eşanjörü) enerjisi belli oranda alınmış suyun bir kısmının (retilen akışkanın büyük oranda yer altına geri basılması planlanmalıdır) kaplıca uygulamalarında da kullanılması söz konusudur. Böylesi bir entegre kullanım ile akışkanın enerji verimi (faydalanılabilen enerji yüzdesi) arttırılabilir. Ayrıca her geçen gün yoğun yapılaşmanın getirdiği artan yüzey atık suları nedeniyle kirlenme tehlikesi yaşayan doğal çıkışlı kaplıca kullanımı yerine, yerin derinliklerinden kontrollü olarak üretilen akışkan sayesinde Bursa ili kaplıca uygulamaları rahat nefes alabilecektir.

Isıtma amaçlı doğrudan kullanım uygulamalarında ısıtılabilecek alan hesaplamasında aşağıda verilen denklem kullanılmaktadır:

$$E = m \times C_p \times (T_{\text{kaynak}} - T_{\text{atık}})$$

Burada

E = Isıl enerji (kW)

$T_{\text{atık}}$ = En düşük uygulama sıcaklığı (C)

T_{kaynak} = Kaynak sıcaklığı (C)

C_p = Suyun zgl ısısı (kJ/kgC)

m = Suyun kütle akış hızı (kg/sn)

Yapılan ölçümlerin hacimsel debi olarak rapor edilmesi nedeniyle kütle akış hızının hesaplanabilmesi için suyun verilen sıcaklıktaki yoğunluğu kullanılmalıdır.

$$m = Q \times \rho$$

Burada

Q = Hacimsel debi (m³/sn)

ρ = Suyun yoğunluğu (kg/m³)

Hacimsel ölçümlerin ve sıcaklığın ölçüldüğü durumda, buhar tablolarından elde edilecek yoğunluk değeri kullanılarak herhangi bir kaynağın ısı enerjisi potansiyeli hesaplanabilir.

BK-2 kuyusunda yapılmış olan kısa süreli testlerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

$$Q = 45 \text{ lt/sn}$$

$$T_{\text{kaynak}} = 88 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kaynak sıcaklığında (88 °C) suyun özellikleri ise:

$$C_{p, 88 \text{ }^\circ\text{C}} = 4.204 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{88 \text{ }^\circ\text{C}} = 966 \text{ kg/m}^3$$

$$T_{\text{atık}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

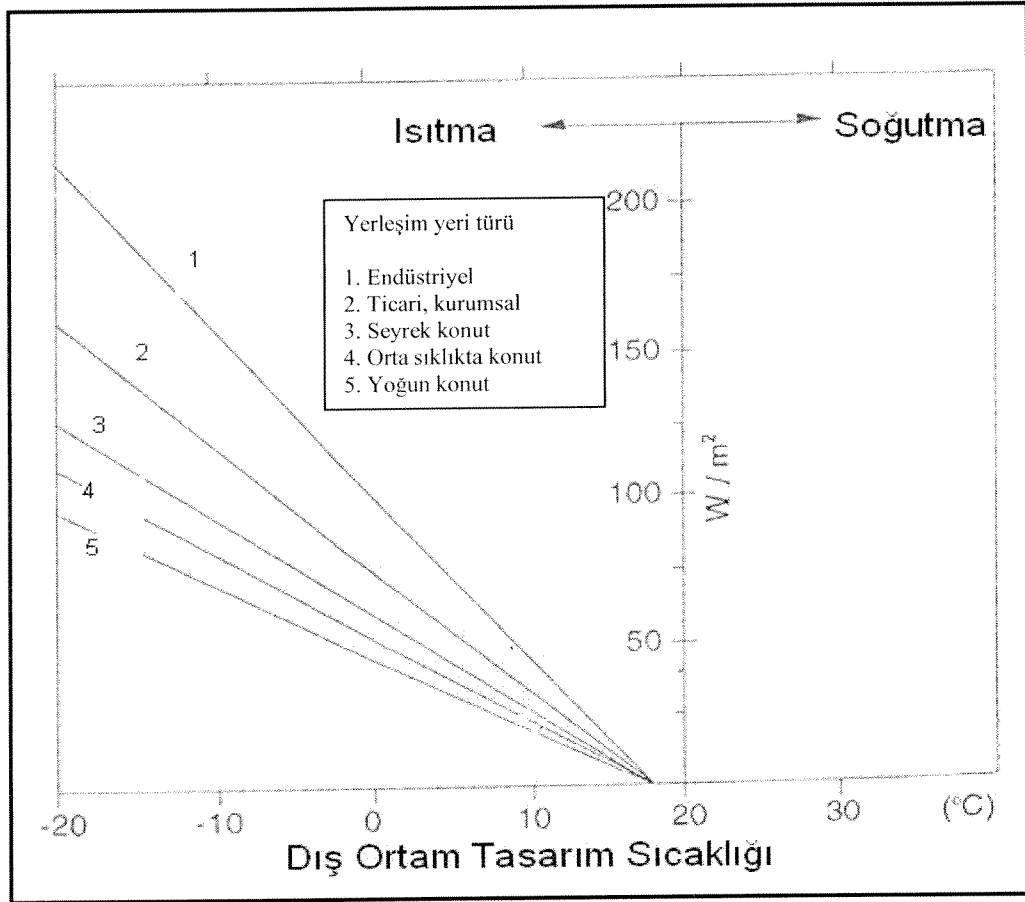
Buradan,

$$m = 45 \text{ lt/sn} \times 1/1000 \text{ m}^3/\text{lt} \times 966 \text{ kg/m}^3 = 43.5 \text{ kg/sn}$$

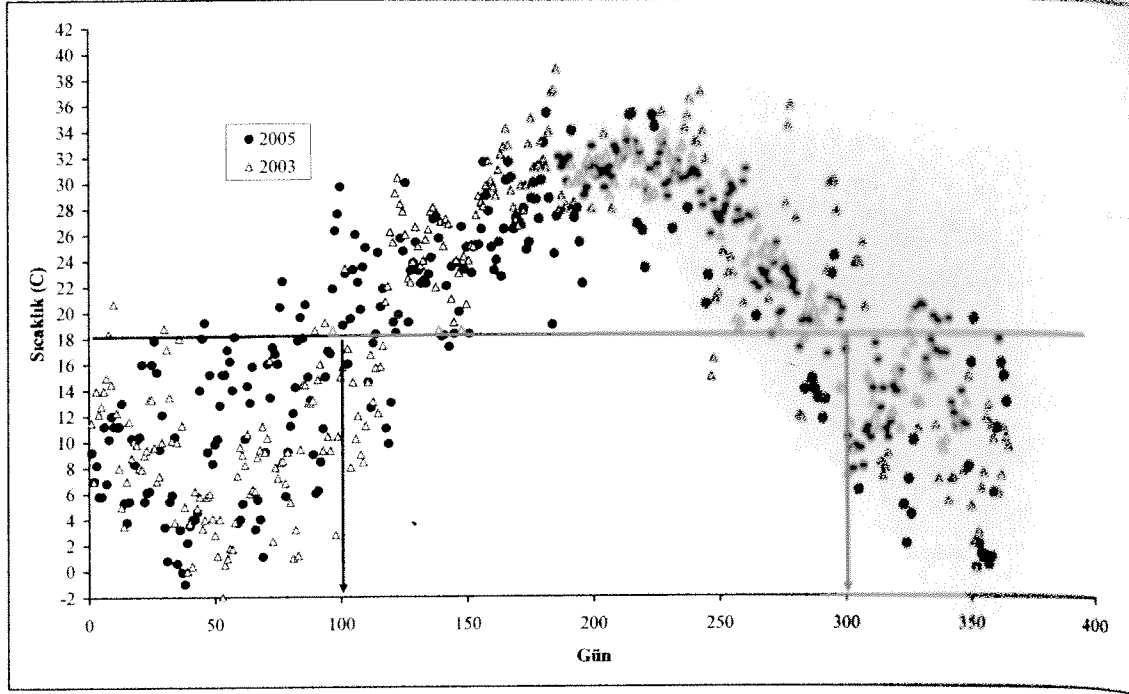
$$E = 43.5 \text{ kg/sn} \times 4.204 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C} \times (88-45) \text{ }^\circ\text{C} = 7863.5 \text{ kJ/sn} = 7863.5 \text{ kW}$$

Bu noktada Bursa ilinde konut ısıtmacılığında gereksinim duyulacak enerji miktarının saptanması gerekmektedir. Şekiller 76 ve 77 bu amaçla kullanılacaktır. Şekil 76 birim taban alanı için ısıtma enerjisi miktarını dış ortam tasarım sıcaklığına göre sunmaktadır (Lund ve Lineau, 2005). Dış ortam tasarım sıcaklığı ise, ısıtmanın yapılacağı ilin yıllar boyunca kaydedilen günlük ortalama sıcaklıklarına göre değişmektedir. Şekil 77 de Bursa ili için Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nce 2003 ve 2005 yıllarında her gün saat 14:00 itibariyle kaydedilmiş sıcaklıklar sunulmaktadır. Yılın ilk günü olan 1 Ocak ile başlayan sıcaklık değerleri 365 gün boyunca Şekil 77 de gösterilmektedir. Konutlardaki konfor sıcaklığının 18 °C olarak alınması durumunda (yatay mavi çizgi), bu sıcaklığın altında kalan günlerde Bursa ilinde ısıtma gereksinimi vardır diyebilmekteyiz. 2003 ve 2005 yılları ölçümleri baz alındığında Bursa'da yılın ilk 100 günü ile son 65 günü boyunca (toplam 165 gün) ısıtma ihtiyacı vardır demek mümkündür (saat 14:00 itibariyle). Öte yandan, ısıtma ihtiyacının olduğu bu günlerde en düşük - 2 °C sıcaklık gözlenirken, bahsedilen aylar için oldukça yüksek değerlerinde (>15 °C) kaydedildiği görülmektedir. Bir ısıtma projesinin karşılaşılan en düşük sıcaklık değeri için tasarlanması, yılın sadece birkaç gününde karşılaşılan bu değer için

tasarlanan projenin yılın diğer günlerinde atıl kapasite ile çalışması ve gereksiz yüksek yatırım anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, genelde ısıtma projelerinde karşılaşılan en düşük sıcaklıktan birkaç derece daha yüksek sıcaklık değerlerine göre tasarım yapılmaktadır. Elde mevcut sıcaklık değerlerinin günün en sıcak saati olabilecek olan 14:00 itibariyle olması nedeniyle, bu çalışma kapsamında, tasarım sıcaklığının $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, yerleşim yeri türünün ise orta sıklıkta konut alınması öngörülmüş ve bu koşullar çerçevesinde birim alan için ısı gereksinimi 70 W/m^2 olarak bulunmuştur. Bu koşullarda, Bursa ilinde 100 m^2 lik ortalama bir evin ısıtma gereksinimi 7 kW olarak hesaplanmıştır. Tüm bu değerlendirmeler çerçevesinde, BK-2 kuyusundan üretilebilecek $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahip 45 lt/sn debili jeotermal akışkanın, 100 m^2 taban alanına sahip 1100 konutu ısıtabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 76. Birim taban alanı için ısıtma enerjisi miktarının dış ortam tasarım sıcaklığı ile değişimi (Lund ve Lineau, 2005)



Şekil 77. Bursa ili 2003 ve 2005 yılları en düşük sıcaklık değerleri (saat 14:00 itibariyle)

Isıtma sisteminde (ısı eşanjörü) enerjisi büyük oranda alınan termal suyun eşanjör çıkış sıcaklığının 45 °C olarak alındığı bu tasarımda termal suyun büyük kısmının (%80 gibi) yer altına geri basılacağı, geri kalanının ise kaplıca uygulamaları için kullanılacağı öngörülür ise 9 lt/sn debi ve 45 °C sıcaklıklı termal suyun destekleyebileceği kaplıca sisteminin

$$9 \text{ lt/sn} \times 3600 \text{ sn/saat} \times 24 \text{ saat/gün} / (700 \text{ lt/gün-kışı}) = 1110 \text{ kişi}$$

kapasiteye sahip olacağı hesaplanabilir.

SONUÇLAR

Bursa ili jeotermal enerji potansiyelinin tesbiti amaçlı çalışma sonucu aşağıda sıralanan sonuçlara varılmıştır:

1. Jeofizik-sismik çalışmalar çerçevesinde, Ocak – Nisan 2004 döneminde 653 adet sismik aktivite tesbit edilmiş, bunlardan 470 adedinin değerlendirilmesi yapılmış ve
 - Sismik aktivitelerin kuzey-güney yönlü yoğunlaştığı,
 - KB-GD yönelimli Eskişehir fayı ile Kuzey Anadolu Fayı çakışma noktasında kümelenme olduğu,
 - Derinlik – sismik aktivite ilişkisi irdelendiğinde aktivitenin en çok 10 – 20 km derinlik aralığında yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.
2. Bursa ilinin iki önemli termal bölgesi olan Çekirge ve Kaynarca-Kükürtlü bölgelerinin sıcaklık – elektrik geçirgenlik ilişkileri irdelendiğinde bu iki parametre arasında Kaynarca - Kükürtlü Bölgesi için doğrusal bir ilişki olduğu, ancak Çekirge bölgesi için ilişkinin olmadığı gözlenmiştir. Çekirge bölgesi termal kaynaklarının her birinin farklı yükselim yolları ve farklı yükselim hızlarına sahip olmaları ihtimali bu farklılığın nedeni olarak düşünülmektedir.
3. Soğuk suların sıcaklığının yükseklikle değişimi irdelendiğinde, kaynak sıcaklığının 0,65 °C/100 m ile değiştiği saptanmıştır.
4. Örneklenen suların kararlı izotop bileşenleri analizi sonucu, Bursa yöresine ait termal sular ile Bursa ili ve Uludağ etrafından toplanan soğuk suların meteorik kökenli olduğu ve bu suların Uludağ’ın yüksek kotlarındaki yağışlarla beslendiği belirlenmiştir.
5. Kaynarca – Kükürtlü ve Çekirge termal bölgeleri suları karşılaştırmasında, Kaynarca – Kükürtlü termal bölgesi sularının daha çok su-kayaç etkileşimine maruz kaldığı ve daha derin dolaşım ve daha yaşlı bir su sisteminin ürünleri olduğu düşünülmektedir.
6. Ölçülmüş olan debi ve sıcaklık değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucu:
 - BK-1 kuyusu akışkanının 400 kişilik bir termal tesisi,
 - BK-2 kuyusu akışkanının ise 100 m² taban alanına sahip 1100 konut ile 1100 kişi kapasiteli bir termal tesisi besleyebileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akyüz, S., (1995): Manyas-Kepsut-Susurluk (Balıkesir) çevresinin jeolojisi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Andrews, J.N., (1985): The isotopic Composition of Radiogenic Helium and its Use to Study Groundwater Movement in Confined Aquifers, *Chemical Geology* 49, 339-351.
- Arnorsson, S., (1983): Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems. Implications for Chemical Geothermometry Investigations., *Geothermics*, 12., 119-128.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G., Barka, A.A., (2002): Asymmetric slip partitioning in the Aea of Marmara pull-apart: A clue to propagation processes of the North Anatolian Fault, *Terra Nova*, 14, P. 80-86.
- Barka, A.A., (1997): Neotectonics of the Marmara Region, in active tectonics of Northwestern of Antolia. The Marmara Poly Prject, edited by C. Schindler, M. Pfisters, Horcschulverlag A Gander ETH Zurich, P.55-87. .
- Başkan, E., Şamilgil, E. (1972): Sosyal Sigortalar Kurumuna ait Bursa, Cekirge'deki Sıcaksu Kaynağının Hidrojeolojik Ön Etüdü. MTA Rapor No: 2393.
- Benson, B.B. ve Krause, DJ., (1976): Empirical lavvs for dilute aqueous solutions of non polar gases: *J. Chem.Phys.*,64, 689-709.
- Bingöl E., Delaloye, M., Ataman, G., (1982): Granitic Intrusions in Western Anatolia: A Contribution of the Geodynamic Study of this Area, *Eclogae Geol. Helv.*, 75, pp. 437-446.
- Bozkurt, E. 2001, "Neotectonics of Turkey-a synthesis", *Geodinamica Acta* 14, P.3-30.
- Bürküt, Y., (1966): Kuzeybatı Anadolu'da yer alan plutonların mukayeseli jenetik etüdü. İTÜ Maden Fakültesi, Doktora Tezi.
- Calvi, W.S., (1939): Bursa Membaları Hakkında Rapor, MTA Rapor No: 974.
- Chaput, E., (1947): Türkiye'de Jeolojik ve Jeomorfolojik Tetkik Seyahatleri. İTÜ Yayını. No: 324.
- Craig, H., (1961):. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Delaloye, M., Bingöl, E. (2000): "Granitoyids from Western and Northern Anatolia: Geochemistry and Modelling of geodynamic evolution ". *International Geology Review*: 42. P. 241-268.
- Dewey, J.F., Şengör, A.MC., (1979): Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone. *Geological Society of American Bulletin*. V.90, 84-92.
- Didik, S., (1990): Bursa ili Hidrojeolojik Etüdü, M.T.A.
- Erişen, B., Öngür, T., (1976): Bursa Kenti Sıcaksu Kaynaklar Hidrojeoloji Etüdü, MTA Rapor No: 5659.
- Erk, A.S., (1942): Etude geologique de la region entre Gemlik (Vilayet de Bursa). *Pub. Inst. De Geol. Uni. Istanbul, nouv. Serie* 3.

- Eyidoğan, H., Utku, Z., Güçlü, U., Değirmenci, E., (1991): Türkiye Büyük Depremleri Makro Sismik Rehberi (1900-1988).İstanbul Üniversitesi Maden Fakültesi, 198 S.
- Ezen, Ü., 1973. Yüzey dalgalarının dispersiyonuna göre Batı Anadolu'da kabuk yapısı, *Deprem Araştırma Bülteni*, 62, 77-95.
- Fournier, R., (1977): Chemical geothermometers and mixing models for geothermal system., in Proceedings of the symposium on Geothermal Energy, pp. 199-210, Cento Scientific Programs, Ankara.
- Fournier, R., (1979): A revised equation for the Na/K Geo thermometer., *GRC Trans.*, 3, 221-224.
- Giggenbach, W.F., (1988): Geothermal Solute Equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57, 2749-2765.
- Harris, N.B.W, Massey, J.A., (1994): Decompression and anatexis of Himalayan metapelites, *Tectonics*.
- IAEA (1981): Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in Water Cycle, Ed. J.R. GAT, R. Gonfiantini, International Atomic Energy Agency, Vienna, Technical Reports, No: 210, p. 1-339.
- Imbach, T., (1992): Thermalwaesser von Bursa. Geologische und hydrogeologische Untersuchungen am Berg Uludag (NW-Turkei), Doktora Tezi, ETH Zurich, no. 9988, 178 pp., (Almanca).
- Imbach, T., (1997): Geology of Mount Uludağ with emphasis on the genesis of the Bursa thermal waters, Northwest Anatolia, Turkey. In: C. Schindler and M. Pfister (editors), *Active Tectonics of Northwestern Anatolia – the Marmara Poly-Project*. Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich, pp. 239-266.
- İnan, K., (1908): Uludağ Skarn Kuşağının Petrojenez ve Jeokimyası, Teknik Rapor, İTÜ Maden Fakültesi, 131 sayfa.
- Kaaden, G. Van der (1958): Bursa-Uludağ Volfram Madeninin Jenez ve Mineralizasyonu Hakkında , MTA Rapor no: 50, Ankara.
- Ketin, İ., (1947): Uludağ Masifinin Tektoniği Hakkında (Über die Tektonik des Uludag-Massivs), *Bull. Geol. Soc. Turk.*1, 61-88.
- Ketin, İ., (1966): Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, *MTA Dergisi*, S.66, 20-34.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C., Şengör, A.M.C., (2003): The North Anatolian Fault in the Sea of Marmara. *Journal Geophysical Research*, 108, ETG 1, 1-20.
- Lindal, B., (1973): Industrial and Other Applications of Geothermal Energy, *Geothermal Energy: Review of Research and Development*, Paris, UNESCO, LC No. 72-97138, 135-148.
- Lund, J.W., Lienau, P.J., (2005): Geothermal District Heating, Pre and Post Congress Short Courses, World Geothermal Congress, Turkey 2005, İzmir-Antalya, April 2005.
- Matthess, G., (1990):The condition of the Groundwater, 498 pp., Berlin.
- McKenzie, D.P., (1972): Active Tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. Jour. Roy. Astron. Soc.*, 30, 109-185.

- Meade, B.J., Hager, B.H., McClusky, S.C., Reilinger, R., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, AA., Özener, H., (2002): Estimates of Seismic Potential in the Marmara Sea Region from Block Models of Secular Deformation Constrained by Global Positioning System Measurements. Bulletin Seismological Society of America, 92.pp. 208-215.
- Nicholson, K., (1993): Geothermal Fluids, Berlin-New York, Springer.
- Nieva, D. and Nieva, R., (1987): Developments in geothermal energy in Mexico, part 12. A cationic geothermometer for prospecting of geothermal resources. Heat Recovery Systems and CHP, 7, 243-258.
- Okay, A.I., (1981): KB Anadolu'daki Ofiyolitlerin Jeolojisi ve Mavişist metamorfizması; (Tavşanlı-Kütahya). TJK Bülteni S. 24. 85-95.
- Okay, A.İ., Siyako, M., Bürkan, K.A., (1990): Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Tektonik Evrimi, TPJD Bülteni, 211, S.83-121.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., (1999): Tethyan Sutures of Northern Turkey. In: Durand, B., Jolivet, L., Horvart, F., Serrane, M. (ed.) The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within Alpin Orogene. Geological Society, London, Special Publications v.156 p. 475-515.
- Ozima, M. ve Podosek, F.A., (1983): Noble Gas Geochemistry: Cambridge University Press, 367, Cambridge.
- Özgüler, M.E., Ünay, T., (1978): Bursa Ovası Jeotermal Enerji Aramaları Rezistivite Etüd Raporu, MTA Rapor No: 6255.
- Öztunalı, Ö., (1967): Uludağ (Kuzeybatı Anadolu) ve Eğrigöz Masiflerinin Petrolojileri ve Jeokronolojileri. İ.Ü Fen Fak. Monografileri Tabii İlimler. Sayı:23.
- Öztürk, A. (ed.), (2001): Kalite Kontrol Teknik Semineri Bildirileri, DSİ No. 949, 349 p.
- Penck, W., (1918): Die Tektonischen Grundzüge Westkleinasiens, Verl. Engelhorn's Nachf. Stuttgart.
- Philippson, (1913): Reisen und Forschungen im westl.Kleinaisen. III. Heft-Das östliche Mysien und die benachbarten Teile von Phrygien und Bithynien. Petermann's Mitteilungen, Ergänzungsheft, 177.
- Rahe, B., Ferrill, D.A., Morris, A.P., (1998): Physical Analog Modeling of Pull-Apart Basin Evolution. Tectonophysics, V. 285, P. 21-40.
- Robertson, A.H.F. ve Dixon, J.E., (1984): Introduction : aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean. In: *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*, J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (eds.), Geological Society Special Publication No. 117, 1-74
- Ronner, F., (1954): Geologie und Tektonik der Wolframlagerstätte Uludağ (Bursa) und deren näheren Umgebung. MTA Rap. No: 2203.
- Sağiroğlu, G., (1956): Sur quelques gisements de scheelite en Turquie, Berg-Und Hüttenmännische Monatshefte 101, Heft 2.
- Sağiroğlu, G.N., Bürküt, Y., (1966): Sur age et petrographic du massif d'Uludağ (Turquie). C.R.SPHN Geneve, NS.1, fasc. 1, 21-32.

- Selim H.S., Tüysüz, O., Barka, A., (2006): Güney Marmara'nın Neotektoniği. İTÜ Mühendislik Dergisi. Cilt 5, Sayı:1 S:151-160.
- Şengör, A.M., (1979): Mid Mesozoic Closure of Permo-Triassic Tethys and its Implications. Nature, 279, 590-593.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., and Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study: The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 37, p. 227-264.
- Şimşek, Ş., Gülgör, A., Parlaktuna, M., (2002): Jeotermal Enerji Sondaj Kuyusu İle İlgili Danışmanlar Kurulu Ortak Raporu, Bursa Büyükşehir Belediyesi, Temmuz 2002.
- Şimşek, Ş., Gülgör, A., Parlaktuna, M., (2003): Bursa Kükürtlü-Kaynarca-Yenikaplıca Sıcaksu Bölgesinde Delinen BK-2 Kuyusunun İlk Verilere Göre Değerlendirme Raporu, Bursa Büyükşehir Belediyesi, Haziran 2003.
- Tchihatcheff, P., (1869): Asie Mineure, Paris.
- Tonani, F., (1980): Some Remarks on the Application of Geochemical Techniques in Geothermal Exploration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., Second Symp., 428-443.
- Trusdell, A.H., (1976): Summary of Section III geochemical techniques in exploration., in Proceedings, Second UN Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources., San Francisco, 1975.
- Yalıtırak, C., Gazioğlu, C., Selim, H., Yücel, Z.Y., (2004): Uludağ Nasıl Yükseliyor. Aktif Tektonik Araştırma Grubu 8. Toplantısı Bildiri Kitabı, Fırat Üniversitesi –Elazığ.
- Yalıtırak, C., (2007): Kuzey Anadolu Fayı'nın Orta ve Güney Kolu Üzerinde Bursa ve Çevresinin Aktif Tektoniği ve Depremelliği.
- Yılmaz, Y., (1990): Allochthonous Terranes in the Tethyan Middle East:Anatolia and Surrounding Regions. Phil. Trans. R. Soc. London., 331, 611-624.

**TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

Proje No: 102Y156 (JULICH)
Proje Başlığı: Geothermal Energy Potential Assesment of Bursa-Turkey
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof.Dr. Mahmut PARLAKTUNA, Prof. Dr. Şeref GÜÇER, Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ, Prof. Dr. Yılmaz SAVAŞCIN, Prof. Dr. Halim MUTLU, Dr. Murat TOKCAER, Fusun Servin TUT, Zülfikar ERHAN, Selin SÜER, Serkan ARKAN, Elçin GÖK, Anıl ÇETİNOĞLU
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: Dokuz Eylül Üniversitesi, Osmangazi Üniversitesi, TUBİTAL-BUTAL, Berlin Frei Üniversitesi, Almanya GeoForschungsZentrum - Potsdam ve Alfred Wegener Institute – Potsdam
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.07.2003 – 01.10.2006
Öz (en çok 70 kelime): Bursa ili jeotermal enerji potansiyelinin tesbiti amaçlı bu çalışmada, jeofizik-sismik, jeokimyasal çalışmalar ile rezervuar mühendisliği çalışmaları çok disiplinli bir ekip anlayışıyla gerçekleştirilmiştir. Sismik çalışmalar ile Bursa yöresi depremselliği ile ilgili gözlemler yapılmış, alınan su örneklerinin analizi ile termal sular, maden suları ve soğuk suların köken, tür, yaş ve su-kayaç ilişkileri konularında bilgiler türetilmiştir. Bölgede açılmış iki adet jeotermal enerji amaçlı kuyuda yapılan ölçümler kullanılarak yapılan rezervuar mühendisliği çalışmaları bu iki kuyudan elde edilebilecek ısı enerjinin hesaplanması ile sonuçlanmıştır.
Anahtar Kelimeler: Bursa, Jeotermal, Uludağ, Termal Akışkan
Projeden Yapılan Yayınlar: Gök, E., Milkereit, C., Akcig, Z., Parlaktuna, M., Erhan, Z., Polat, O., "Seismicity of the Bursa Region (Turkey) and its Vicinity: Results from a Microseismic Experiment", Geophysical Research Abstracts, Vol. 9., 01089, 2007, European Geosciences Union. Woith, H., Venedikov, A.P., Milkereit, C., Parlaktuna, M., Pekdeğer, A., "Observation of Crustal Deformation by Means of Wellhead Pressure Monitoring", Bulletin d'Information des Marees Terrestres, vol. 141, 2006, 11277- 11285.