

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

35332

**PAMUKKALE-KARAHAYIT-GÖLEMEZLİ
HİDROTHERMAL KARSTININ HİDROJEOLJİSİ**

35332

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Ali GÖKGÖZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11. 01. 1994
Tezin Savunulduğu Tarih : 18. 02. 1994

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şevki FİLİZ
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ali BİLGİN
Doç. Dr. Erkan KARAMAN

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON MÜDÜRLÜĞÜ

OCAK - 1994

ÖNSÖZ

Pamukkale, UNESCO'nun "Dünya Kültürel ve Doğal Mirasın Korunması Sözleşmesi" uyarınca oluşturulan Dünya Miras Listesi'ndeki yer alan gerek sıcak su kaynakları ve travertenleri, gerekse de tarihsel zenginlikleriyle dünyaya malolmuş bir doğa harikasıdır. Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynaklarıyla bir bütün oluşturan Pamukkale, günümüzde tarihinde yaşamadığı bir insan tahribatına ve kirlenmeye maruz kalmıştır. Doğal afetler karşısında insanlar gibi su kaynakları da çaresizdir. Ama, kendi ülkesindeki bir eşsiz güzelliği bu denli çirkinleştirme çabasına giren insanların mantığını anlamak güçtür. Sağduyulu ve çevre bilincine sahip bir yaklaşımla tüm potansiyel kirleticiler ortadan kaldırıldığı ve titiz bir koruma sağlandığı takdirde bu eşsiz belde eskisinden daha güzel hale gelecek ve daha uzun yıllar ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.

Bu incelemenin konusunu öneren ve araştırmanın her safhasında büyük bir ilgi ile yapıcı eleştiri ve önerilerini esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Şevki FİLİZ'e şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım sırasında büyük destek veren Denizli Valiliği'ne, saha çalışmaları için araç temin eden ve bir kısım suların kimyasal analizini yapan Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü'ne, literatür sağlayan D.S.İ. 21. Bölge Müdürlüğü'ne, bakteriyolojik analizleri yapan Denizli Halk Sağlığı Müdürlüğü'ne, çalışma süresince tartışmalarından yararlandığım Yrd.Doç.Dr. Yahya ÖZPINAR'a, Jeo.Müh. Kenan DEĞİRMENCİOĞLU'na, Jeo.Müh. İsmail Edip YILMAZLI'ya, Jeo.Yük.Müh. Salim YÜZEREROĞLU'na, Jeo.Müh. Ahmet DIVARCI'ya, SİAL Ltd.Şti.'ne, yazım safhasında büyük katkıları olan Yrd.Doç.Dr. Halil KUMSAR'a, Araş.Gör. Bülent ŞAHAN'a, Araş.Gör. Halim CEYLAN'a, Araş.Gör. İbrahim ÇELİK'e ve Bilgisayar İşletmeni İsmail YILMAZ'a, ayrıca bu çalışmanın her safhasında manevi katkı, emek ve anlayış gösteren annem Sabiha GÖKGÖZ'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. İnceleme Alanının Yeri	1
1.2. Amaç	1
1.3. Coğrafya	1
1.4. İnceleme Yöntemi ve Süresi	5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. JEOLojİ	11
3.1. Stratigrafi	11
3.1.1. Paleozoyik	11
3.1.1.1. Mikaşist, kuvarşist, kuvarsit, kalkşist (Pş)	11
3.1.1.2. Mermer (Pm)	13
3.1.2. Senozoyik	13
3.1.2.1. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı (Ms)	13
3.1.2.2. Kıltaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı (Mpk)	14
3.1.2.3. Kumtaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı (Plg)	15
3.1.2.4. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı (Plk)	16
3.1.2.5. Traverten (Qt)	16
3.1.2.6. Alüvyon (Qal)	18
3.1.2.7. Yamaç Molozu (Qy)	18
4. HİDROLOJİ	20
4.1. Yağış	20
4.2. Buharlaşma	25
4.2.1. Thornthwait yöntemi	25
4.2.2. Turc yöntemi	28
5. HİDROJEOLojİ	35
5.1. Hidrojeoloji Birimleri	35
5.1.1. Geçirimli birim (Gç.1)	35
5.1.2. Geçirimli birim (Gç.2)	35
5.1.3. Geçirimli birim (Gç.3)	36
5.1.4. Yarı geçirimli birim (Ygç)	36
5.1.5. Geçirimsiz birim (Gz.1)	37
5.1.6. Geçirimsiz birim (Gz.2)	37
5.2. Su Noktaları	37
5.2.1. Soğuk sular	37
5.2.1.1. Sondajlar	37
5.2.1.2. Kaynaklar	64
5.2.1.3. Akarsular	66
5.2.2. Sıcak Sular	67
5.2.2.1. Pamukkale sıcak suları	67
5.2.2.2. Karahayıt sıcak suları	70
5.2.2.3. Gölemezli sıcak suları	74
5.2.2.4. Gözpınarı	80

5.2.2.5. Kocagöz Pınarı	80
5.3. Sıcak Suların Oluşumu.....	80
5.3.1. Isı kaynağı.....	81
5.3.2. Hazne kaya	88
5.3.3. Örtü kaya	91
5.3.4. Beslenme.....	92
5.4. Su Kimyası	98
5.4.1. Suların genel kimyasal özellikleri	99
5.4.1.1. Anyon ve katyonlar	99
5.4.1.2. Suların elektriksel iletkenliği	161
5.4.1.3. Suların sertliği.....	163
5.4.1.4. Suların doyma endeksleri ve kısmi CO ₂ gazı basınçları	163
5.4.1.4.1. Kalsit doyma endeksi (Sc).....	166
5.4.1.4.2. Dolomit doyma endeksi (Sd).....	167
5.4.1.4.3. Sülfat doyma endeksi (Ss).....	167
5.4.1.4.4. Suda çözünmüş kısmi CO ₂ gazı basıncı (P _{CO₂})	167
5.4.2. Suların kimyasal sınıflaması	177
5.4.2.1. Çözünmüş toplam katı madde miktarına göre sınıflama	177
5.4.2.2. Schoeller sınıflaması	177
5.4.2.3. Piper sınıflaması.....	177
5.4.3. Suların kullanılabilme özellikleri	188
5.4.3.1. Suların içilebilme özellikleri	189
5.4.3.2. Suların sulamada kullanılabilme özellikleri.....	192
5.4.3.2.1. Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR).....	192
5.4.3.2.2. Klorür tehlikesi	193
5.4.3.2.3. Bor tehlikesi	193
5.4.3.2.4. Wilcox diyagramı.....	193
5.4.3.2.5. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı	194
5.4.3.2.6. Sulama suyu sınıflamalarının sentezi.....	197
5.4.3.3. Suların endüstride kullanılabilme özellikleri.....	197
5.4.3.3.1. Suların kaynarken köpürme özelliği	197
5.4.3.3.2. Suların beton üzerine etkileri.....	200
5.4.3.3.3. Kabuklaşma ve korozyon	202
5.5. Sıcak Suların Kimyasal Evriminin Kuramsal İncelenmesi.....	209
5.6. Sıcak Suların Hazne Kaya Sıcaklıklarının Saptanması.....	210
5.6.1. Kimyasal jeotermometreler	210
5.6.1.1. Kalitatif jeotermometreler	215
5.6.1.2. Kantitatif jeotermometreler	218
5.6.1.2.1. Çözünürlüğe dayalı silis jeotermometreleri ..	223
5.6.1.2.2. İyon değişimine dayalı jeotermometreler	224
5.6.1.2.3. İyon etkinliğine dayalı Na/Li jeotermometresi	233
5.6.1.2.4. Karışım modelleri.....	234
5.6.1.2.5. Kantitatif jeotermometrelerin yorumlanması	240
5.6.2. Doğal izotop jeotermometreleri	241
5.7. Su Ekonomisi	244
5.8. Sıcak-Soğuk Yeraltı suları Kirlenmesi ve Koruma Alanları	246

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	252
KAYNAKLAR.....	256



ŞEKİLLER

Şekil	1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil	2. İnceleme alanının doruk ve akarsu ağı haritası	3
Şekil	3. İnceleme alanının 1/500 000 ölçekli jeoloji haritası (M.T.A., 1965)' ndaki yeri	7
Şekil	4. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	12
Şekil	5. Denizli'de rüzgar yönleri ve yoğunluklarını gösteren gül diyagramı	21
Şekil	6. Denizli ilinin 1931-1990 ve 1991-1992 yıllarındaki aylık sıcaklık ve yağış ortalamalarının karşılaştırılması	22
Şekil	7. Denizli ortalama yıllık yağışından eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılımı	23
Şekil	8. Denizli ili eş yağış haritası.....	26
Şekil	9. Denizli ilinde 1931-1990 yıllarının yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği	33
Şekil	10. Denizli ilinde 1991-1992 yıllarının yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği	34
Şekil	11. Çürüksu Ovası'ndaki suların lokasyon haritası.....	40
Şekil	12. Çürüksu ve Denizli ovalarındaki D.S.İ. sondajlarının lokasyonları ve kuyu logları	41
Şekil	13. Pamukkale-Karahayıt-Akköy civarındaki sondajların lokasyonları ve kuyu logları.....	42
Şekil	14. 38559 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi	45
Şekil	15. 38559 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi	46
Şekil	16. 38559 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	47
Şekil	17. 42719 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	48
Şekil	18. 42719 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	49
Şekil	19. 42719 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	50
Şekil	20. 8238 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	52
Şekil	21. 8238 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	53
Şekil	22. 8238 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	54
Şekil	23. 8238 nolu sondaj kuyusu, kuyu ayırtman eğrisi.....	55
Şekil	24. 37129 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	56
Şekil	25. 37129 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	56

Şekil 26.	37129 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	56
Şekil 27.	37126 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	58
Şekil 28.	37126 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	59
Şekil 29.	37126 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	60
Şekil 30.	34220 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	61
Şekil 31.	34220 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	62
Şekil 32.	34220 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.....	63
Şekil 33.	Pamukkale sıcak su kaynaklarının lokasyon haritası.....	68
Şekil 34.	Karahayıt Kızılgeğen Kaynağı ve bazı sondajların lokasyon haritası.....	72
Şekil 35.	Gölemezli sıcak su kaynaklarının lokasyon haritası.....	75
Şekil 36.	Sıcak suların oluşumunun inceleme alanı için genelleştirilmiş şematik gösterimi.....	82
Şekil 37.	Güneybatı Anadolu'daki graben sistemi ve Tersiyer yaşlı şoşonitik volkanizma (Ercan ve diğ., 1983'den).....	83
Şekil 38.	Güneybatı Türkiye'nin yalınlaştırılmış sismo-tektonik haritası (Koçyiğit, 1984'den).....	84
Şekil 39.	İnceleme alanı ve civarının sismo-tektonik haritası (Faylar Henden, 1981; Özpınar ve diğ., 1992' den alınmıştır).....	85
Şekil 40.	Büyük Menderes Grabeninde 1976-1986 yılları arasındaki deprem sayıları ve açığa çıkan enerji miktarları.....	86
Şekil 41.	Büyük Menderes Grabeni ve inceleme alanında 1976-1986 yılları arasındaki deprem sayıları ve açığa çıkan enerjilerin karşılaştırılması.....	87
Şekil 42.	Karakova civarında (Pamukkale güneyi) izogradyan eğrileri (Ürgün, 1976'dan geliştirilerek).....	88
Şekil 43.	Yukarı Çürüksu Ovası yeraltısularının eş sıcaklık haritası.....	90
Şekil 44.	Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının ikinci türev gravite haritası (Özgüler ve diğ., 1983'den).....	92
Şekil 45.	Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının eşrezistivite haritası, a) Schlumberger, AB/2=300 m., b) Schlumberger, AB/2=50 (Özgüler ve diğ., 1983'den).....	93
Şekil 46.	Şekil 20'deki a) 0-0, b) G-160 profilinin eşrezistivite ve elektrik yapı kesiti (Özgüler ve diğ., 1983'den).....	95
Şekil 47.	Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının elektrik taban eşderinlik kontur haritası (Özgüler ve diğ., 1983'den).....	96
Şekil 48.	Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli hidrotermal karstının beslenme alanı.....	97
Şekil 49.	Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.....	121
Şekil 50.	Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.....	122
Şekil 51.	Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.....	123

Şekil 52.	Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı	124
Şekil 53.	Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı	125
Şekil 54.	Suların yarı logaritmik diyagramı	126
Şekil 55.	Suların yarı logaritmik diyagramı	127
Şekil 56.	Suların yarı logaritmik diyagramı	128
Şekil 57.	Suların yarı logaritmik diyagramı	129
Şekil 58.	Suların yarı logaritmik diyagramı	130
Şekil 59.	Suların yarı logaritmik diyagramı	131
Şekil 60.	Suların yarı logaritmik diyagramı	132
Şekil 61.	Pamukkale Özel İdare Kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi	133
Şekil 62.	Pamukkale Belediye Kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi	134
Şekil 63.	Pamukkale Jandarma Kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi	135
Şekil 64.	Karahayıt Kızılçeşme Kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi	136
Şekil 65.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi	137
Şekil 66.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sodyum haritası	138
Şekil 67.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş potasyum haritası	139
Şekil 68.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş kalsiyum haritası	141
Şekil 69.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş magnezyum haritası	142
Şekil 70.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş bikarbonat haritası	144
Şekil 71.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş klorür haritası	145
Şekil 72.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sülfat haritası	146
Şekil 73.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş stronsiyum haritası	148
Şekil 74.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş lityum haritası	149
Şekil 75.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş alüminyum haritası	150
Şekil 76.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş kurşun haritası	151
Şekil 77.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş çinko haritası	152
Şekil 78.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş bakır haritası	153
Şekil 79.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş manganez haritası	154
Şekil 80.	Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynakları arasında iyon-sıcaklık ilişkisi	156
Şekil 81.	Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynakları arasında iyon-sıcaklık ilişkisi	157
Şekil 82.	Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynakları arasında iz element-sıcaklık ilişkisi	158
Şekil 83.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının kimyasal özellikleri	160
Şekil 84.	İnceleme alanı sularında toplam iyon-EC değerleri arasındaki doğrusal ilişki	162
Şekil 85.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısuları sertlik haritası	164
Şekil 86.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularında toplam iyon miktarlarındaki dağılım	178
Şekil 87.	İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı	183
Şekil 88.	İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı	184

Şekil 89.	İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı	185
Şekil 90.	İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı	186
Şekil 91.	İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı	187
Şekil 92.	Pamukkale, Karahayit ve Gölemezli sıcak sularının kimyasal özelliklerinde çalışma süresince gözlenen değişim aralıkları	189
Şekil 93.	İnceleme alanı sularının Schoeller'e göre içilebilirlik diyagramı	190
Şekil 94.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltı suyu içilebilirlik haritası	191
Şekil 95.	İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımları	195
Şekil 96.	İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramındaki dağılımları	196
Şekil 97.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının kondüktivite (mikromho/cm) değerlerine göre sulamada kullanılabilirlik haritası	198
Şekil 98.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının sülfat değerlerine göre sulamada kullanılabilirlik haritası	199
Şekil 99.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının endüstride kullanılabilme özellikleri	201
Şekil 100.	Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının beton için uygunluk haritası	203
Şekil 101.	Kızıldere jeotermal alanında, borulardaki kabuklaşmanın a) basınçla b) optimum basınçta sıcaklıkla değişimi (Acar, 1983'den)	205
Şekil 102.	Kuyularda a) demir boruda, b) eski ve yeni borular arasında doğan elektrokimyasal korozyon (Şahinci, 1987-b'den)	207
Şekil 103.	a) Klor içermeyen yükseltgen bir ortamda demirdeki, b) klor içeren indirgen bir ortamda demirdeki, c) sülfirik asitli bir ortamda paslanmaz çelikte korozyon hızının alaşım elementi ile değişimi (Doruk, 1989'dan)	208
Şekil 104.	Albit, Na-montmorillonit, kaolinit ve gibsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atmosfer)	211
Şekil 105.	Mikroklin, muskovit, kaolinit ve gibsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1atmosfer)	212
Şekil 106.	Anortit, Ca-montmorillonit, kaolinit ve gibsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atmosfer)	213
Şekil 107.	Mg-klorit, Mg-montmorillonit, kaolinit ve gibsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atmosfer)	214
Şekil 108.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş EC haritası	216
Şekil 109.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş klorür/sülfat haritası	217
Şekil 110.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş klorür/bikarbonat haritası	219
Şekil 111.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sodyum/potasyum haritası	220
Şekil 112.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş magnezyum/kalsiyum haritası	221
Şekil 113.	Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sodyum/kalsiyum haritası	222
Şekil 114.	Sıcak suların bazı silis ve Na/K jeotermometrelerinin grafik çözümlerine uygulanışı	226
Şekil 115.	Sıcak suların bazı silis jeotermometrelerinin grafik çözümlerine uygulanışı	227
Şekil 116.	Sıcak suların, kuvars çözünürlüğüne bağlı hazne kaya sıcaklıklarının saptanması	228
Şekil 117.	Sıcak suların hazne kaya sıcaklıklarının Na/K oranına dayalı grafik çözümle belirlenışı	230

Şekil 118. Sıcak suların hazne kaya sıcaklıklarının Na,K,Ca değerlerine dayalı grafik çözümle belirlenişi.....	232
Şekil 119. Magnezyum düzeltme diyagramı	232
Şekil 120. Silis karışım modeline göre, sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları	237
Şekil 121. Silis karışım modeline göre, sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları	238
Şekil 122. Klorür karışım modeline göre, sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları	240
Şekil 123. Denizli yöresi sıcak ve soğuk sularının $O^{18} - H^2$ diyagramı (Filiz, 1982'den)	243



ÇİZELGELER

Çizelge 1.	Denizli il merkezinin 1931-1990 yılları arasındaki ortalama meteorolojik verileri	20
Çizelge 2.	Denizli yöresi istasyonlarının yükseklikleri ve yıllık toplam yağış ortalaması	24
Çizelge 3.	Denizli ilinin 1931-1990 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu (Thornthwait)	27
Çizelge 4.	Denizli ilinin 1991-1992 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu (Thornthwait)	29
Çizelge 5.	Denizli ilinin 1931-1990 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu (Turc)	30
Çizelge 6.	Denizli ilinin 1991-1992 yıllarındaki deneştirmeli su bilançosu (Turc)	32
Çizelge 7.	İnceleme alanındaki soğuk su sondajlarına ait bilgiler	39
Çizelge 8.	Pamukkale sıcak su kaynaklarında ölçülen debi değerleri (lt/sn)...	69
Çizelge 9.	Karahayıt'ta bir kısım sıcak sondaj sularına ait bilgiler	74
Çizelge 10.	Özel İdare sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları	100
Çizelge 11.	Belediye sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları	101
Çizelge 12.	Jandarma sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları	102
Çizelge 10.	Kızıllağın sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları	103
Çizelge 14.	Gölemezli Yeni Hamam sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları	104
Çizelge 15.	Suların kimyasal analiz sonuçları	105
Çizelge 16.	Suların kimyasal analiz sonuçları	106
Çizelge 17.	Suların kimyasal analiz sonuçları	107
Çizelge 18.	Suların kimyasal analiz sonuçları	108
Çizelge 19.	Suların kimyasal analiz sonuçları	109
Çizelge 20.	Suların ppb olarak iz element analizi sonuçları	110
Çizelge 21.	Özel İdare sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	111
Çizelge 22.	Belediye sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	112
Çizelge 23.	Jandarma sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	113
Çizelge 24.	Kızıllağın sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	114
Çizelge 25.	Gölemezli Yeni Hamam sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	115
Çizelge 26.	Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	116
Çizelge 27.	Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	117
Çizelge 28.	Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	118

Çizelge 29. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	119
Çizelge 30. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri	120
Çizelge 31. Özel İdare sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	168
Çizelge 32. Belediye sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	169
Çizelge 33. Jandarma sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	170
Çizelge 34. Kızıltepe sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	171
Çizelge 35. Gölemezli Yeni Hamam sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	172
Çizelge 36. Suların I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	173
Çizelge 37. Suların I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	174
Çizelge 38. Suların I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	175
Çizelge 39. Suların I, Sc, Sd, Ss ve P_{CO_2} değerleri	176
Çizelge 40. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilme özellikleri	179
Çizelge 41. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilme özellikleri	180
Çizelge 42. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilme özellikleri	181
Çizelge 43. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilme özellikleri	182
Çizelge 44. Sıcak sulardaki iyonların denge oranları	210
Çizelge 45. Sıcak suların silis jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları	225
Çizelge 46. Sıcak suların Na/K jeotermometreleriyle hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları	229
Çizelge 47. Sıcak suların Na-K-Ca jeotermometresiyle hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları	233
Çizelge 48. Hazne kaya kuramsal sıcaklıklarının entalpileri ve silis miktarları (Şahinci, 1987'den)	235
Çizelge 49. İnceleme alanı sıcak sularının kuramsal hazne kaya sıcaklıklarına göre x_i ve x_{Si} değerleri	236

RESİMLER

Resim 1.	Haydarbaba Düdeni	65
Resim 2.	Karstik Pınarbaşı Kaynağından bir görünüm.....	66
Resim 3.	Pamukkale Özel İdare Kaynağı	67
Resim 4.	Karahayıt Kızılçeğren Kaynağı.....	71
Resim 5.	Kızılçeğren Kaynağının oluşturduğu travertenlerden bir görünüm.....	71
Resim 6.	Karahayıt Kurtur Oteli sondajından kompresörle su çıkarılması	73
Resim 7.	Kurtur Oteli sondajı çevresindeki hidrotermal çökeller	73
Resim 8.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı yanındaki ilkel tesisler (kuzeye bakış).....	75
Resim 9.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı (Mart, 1993)	77
Resim 10.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağındaki debi artışı (Ağustos,1993) ..	77
Resim 11.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı yanında banyolara dağıtım havuzu	78
Resim 12.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağından bir görünüm (kuzeye bakış).	78
Resim 13.	Gölemezli Yeni Hamam Kaynağından bir görünüm (güneye bakış)	79
Resim 14.	Gölemezli Sızıntı Kaynağı.....	79
Resim 15.	Yukarı Çürüksu Ovası'nda kabuklaşmayı önleme amaçlı havalandırma yapısı.....	205
Resim 16.	Yukarı Çürüksu Ovası'nda 33276 nolu D.S.İ. sondaj kuyusu borularında gözlenen korozyon	207
Resim 17.	Pamukkale travertenlerinde insanların yol açtığı kirlilik (batıya bakış).....	248
Resim 18.	Pamukkale travertenlerinde yosunlaşma	248
Resim 19.	Karahayıt Kızılçeğren Kaynağında açılan sondaj delikleri.....	249
Resim 20.	Karahayıt Kızılçeğren Kaynağının debiyi arttırmak için travertenlerin kırılmasından sonraki görünümü.....	250

EKLER

- Ek 1. Pamukkale-Karahayıt-Gölemmezli dolayının jeoloji haritası
ve enine kesitleri**
- Ek 2. Pamukkale-Karahayıt-Gölemmezli dolayının hidrojeoloji haritası**
- Ek 3. Pamukkale sıcak su kaynakları civarının hidrojeoloji haritası**



ÖZET

İnceleme alanı, İç Ege Bölgesi'nde Denizli il merkezini de içine alan yaklaşık 1200 km²'lik bir alanı kapsar.

Çalışmanın amacı, Kaklık'tan Kızıldere'ye kadar uzanan hidrotermal karst sisteminin orta kesiminde yer alan Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak sularının oluşumunu, yöredeki sıcak-soğuk yeraltısularının kimyasal özelliklerini ve bununla bağlantılı olarak hidrotermal karst sistemi ile Çivril-Baklan Ovası ve Acıgöl Havzası arasındaki hidrolik ve hidrojeolojik ilişkiyi ortaya koymaktır.

İnceleme alanında alttan üste Paleozoyik yaşlı şistler ve mermerler, Alt Pliyosen yaşlı gölsel ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal çökellerle, traverten, alüvyon ve yamaç molozu birimleri ayrırtlanmıştır.

Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği alanda bulunan ve yaklaşık KB-GD doğrultulu faylar boyunca sıralanan sıcak sular, devirli bir hidrotermal sisteme bağlı olarak gelişmişlerdir. Sıcak suların ısı kaynağı üst mantoda yükselme sonucu mağma yaklaşımı, fayların sürtünme enerjisi ve mağmadan kaçan çok sıcak gazlardır. Hazne kayalar üstten alta traverten, Pliyosen kireçtaşları, Paleozoyik yaşlı mermerler ve olasılı olarak gnayslardır. Örtü kayalar Alt Pliyosen yaşlı birimin killi, siltli seviyeleridir. Beslenme, yağış suları ile Çivril-Baklan Ovası ve Acıgöl Havzası'ndan gelen yeraltısuları tarafından sağlanır. Sıcak sular, dengeyi bozan yapay faktörler olmadığı takdirde, sıcaklık ve debi itibarıyla kararlı bir sistemi simgelerler. Sırasıyla GD-KB yönünde dizilen Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli sıcak sularında Pamukkale'den Gölemezli'ye gidildikçe hazne kaya derinliği ve sıcaklığı, iyon derişimi, juvenil su katkısı ve suların sirkülasyon derinliği artar; karstlaşma, pH ve soğuk yeraltısuyu karışım oranları azalır. Öngörülen hazne kaya sıcaklıkları, travertenlerde 40°C; Pliyosen kireçtaşlarında 75-90°C; mermerlerde, Pamukkale ve Karahayıt'ta 110-175°C, Gölemezli'de 205-240°C'dir. Soğuk su karışım oranları Pamukkale'de %84-88, Karahayıt'ta %60-78 ve Gölemezli'de %38-46'dır.

Çürüksu Ovası yeraltısularının sıcaklığı orta kesimden güney ve kuzeydeki fay zonlarına gidildikçe yükselir ve suların içerdiği iyon ve element miktarı sıcak su kaynaklarına yaklaştıkça düzenli olarak artar.

Genel olarak, sıcak sular ve Çürüksu Ovası yeraltısuları içme ve endüstride kullanılamayan, beton üzerine zararlı etkileri olan, sulamada kullanılabilirliği sınırlı sular sınıfındadır. Bu suların tümü kabuklaşma ve korozyona neden olur.

Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının içinde bulunduğu hidrotermal karst sistemi hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrodinamik yönden bir bütün oluşturur.

ABSTRACT

The study area, where the city centre of Denizli is located, is an area of about 1200 km². The aim of this project is to investigate the occurrence of hydrothermal waters of Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli basins which are located in the middle of the hydrothermal karst system situated between Kaklık and Kızıldere, and to investigate the hydrothermal karst system in the study area and the hydrological and hydrogeological relationships between Çivril-Baklan plain and Acıgöl basin.

Following geological formations have been differentiated in the project areas: Palaeozoic aged schist and marbles, Lower Pliocene aged lagoonal and Plio-Quaternary aged continental sediments, travertine, alluvium and scree.

The hydrothermal waters, which discharge through a fault zone aligning along NW-SE direction in the junction of Büyük Menderes and Gediz grabens, occurred as a result of a hydrothermal circulation system. The heating sources of water within the study area are magmatic convergence due to upwards movement of the upper mantle, the frictional energy of faults and very hot gases escaping from magma. The water-bearing strata are as follow in the order from top to bottom: travertine, Pliocene aged limestone, marble and probably gneiss. These formations are covered by clayey and silty layers of the Lower Pliocene aged formation. The sources of recharge are rain water and groundwater discharging from Çivril-Baklan plain and Acıgöl. The hydrothermal hot water symbolises a stable system in terms of temperature and discharge if there are no artificial factors that affect the system. The depth of water-bearing stratum and its temperature, ion balance, juvenile water supplement and the circulation depth of water increases, and karst development, pH and the mixing ratios of cold groundwater decrease in the hydrothermal hot waters of Pamukkale, Karahayıt and Gölemezli in the direction of SE-NW when travelled from Pamukkale to Gölemezli. The proposed temperatures of water-bearing rocks are as follow: 40°C in travertine, 75-90°C in Pliocene aged limestone, 110-175°C in the marbles of Pamukkale and Karahayıt and 205-240°C in Gölemezli. The mixing ratio of cold water are 84-88% in Pamukkale, 60-78% in Karahayıt and 38-46% in Gölemezli. The temperature of groundwater in Çürüksu Basin increases when travelled from the middle of the basin to the South and the fault zones at the North. The ion and the element amounts within the water increase regularly when hot water springs are reached.

In general, the hot water and groundwater of Çürüksu Basin are classified in the group of the non-drinkable and non-industrial, harmful in concrete and limited in use in irrigation. All types of water in the study area lead to lime and corrosion.

The hydrothermal karst system, which includes Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli hot water springs, forms a complete system with respect to hydrology, hydrogeology and hydrodynamic.

1. GİRİŞ

1.1. İnceleme Alanının Yeri

İnceleme alanı, İç Ege Bölgesi'nde, Denizli il merkezinin de içinde bulunduğu 28°56'25" ve 29°22'50" doğu boylamları ile 37°45'00" ve 38°00'00" kuzey enlemleri arasında yer alır ve yaklaşık 1200 km² 'lik bir alanı kapsar (Şekil 1).

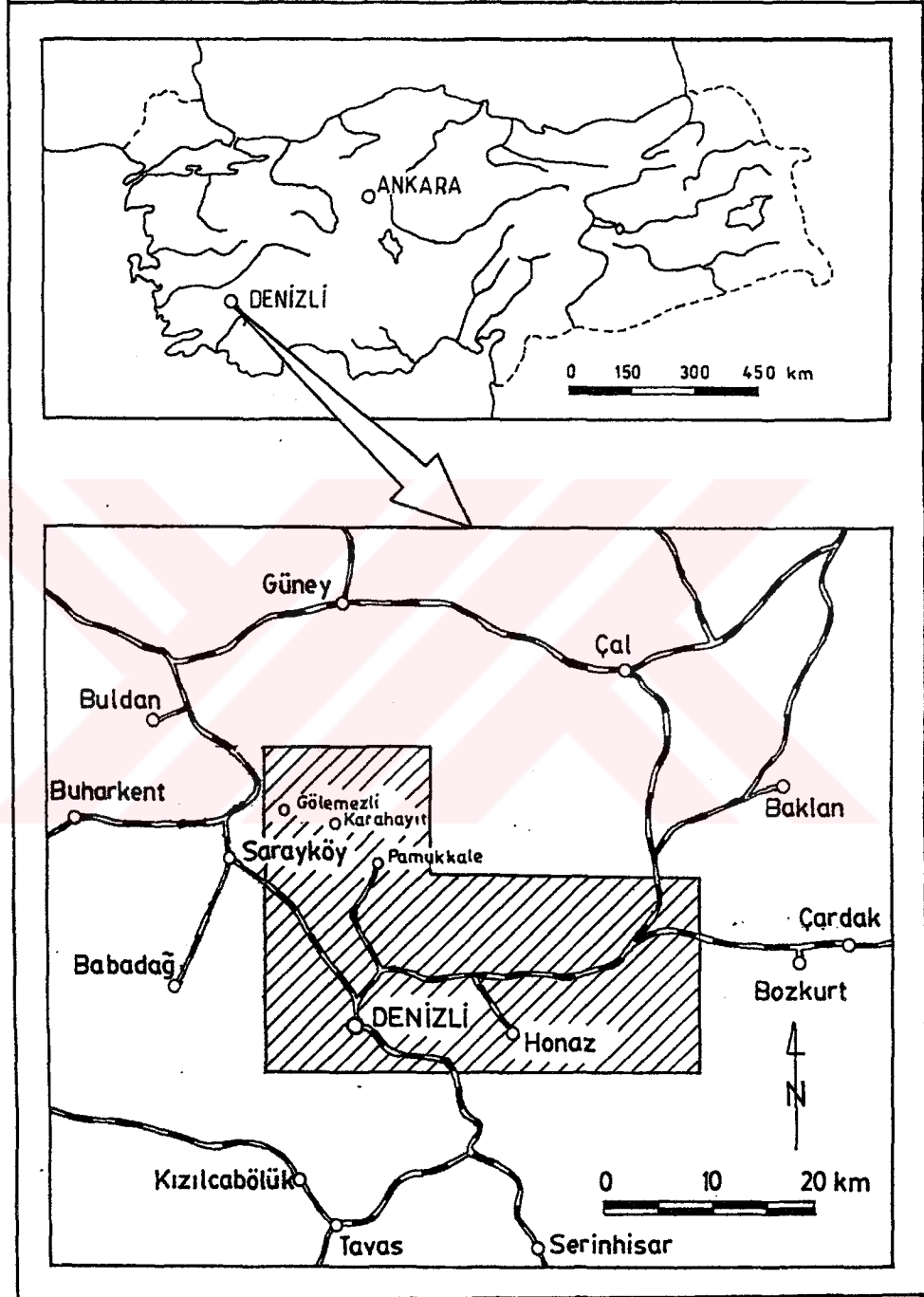
1.2. Amaç

Bu inceleme, doğuda Kaklık'tan batıda Kızıldere'ye kadar uzanan hidrotermal karst sisteminin orta kesiminde yer alan Pamukkale-Karahayıt-Gölemmezli sıcak sularının oluşumunu, yöredeki sıcak-soğuk yeraltısularının kimyasal özelliklerini ve bununla bağlantılı olarak hidrotermal karst sistemi ile Çivril-Baklan Ovası ve Acıgöl Havzası arasındaki hidrolik ve hidrojeolojik ilişkiyi ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

1.3. Coğrafya

İnceleme alanı, graben tektoniğine bağlı olarak gelişen bir morfoloji sunmaktadır. Yaklaşık doğu-batı uzanımlı tektonik bir ova olan Çürüksu Ovası'nın doğu ve batı uçları arasındaki kot farkı 300 m.'dir. Ovanın kuzey ve güneyinde, eğimleri tektonik ve litoloji denetiminde değişen en önemli yükseltiler, kuzey kesimde Büyükçökelez Dağı (1840 m.), Küçükçökelez Dağı (1733 m.), Bereket Tepe (1570 m.), Mal Dağı (1275 m.), Kıranyol Tepe (1210 m.) ve Kara Tepe (1063 m.); güney kesimde ise Honaz Dağı (2571 m.)'dir.

Yörenin başlıca akarsuyu, Çürüksu Ovası'nı boydan boya kateden batıya akışlı Çürüksu Çayı'dır. Çürüksu Çayı, birçok dere tarafından beslenerek Sarayköy'ün 6 km. kadar doğusunda Büyük Menderes Nehri ile birleşir. İnceleme alanı ve yakın çevresinin doruk ve akarsu ağı haritası Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Şekil 2. İnceleme alanının doruk ve akarsu ağı haritası.

İnceleme alanında jeolojik harita alımı yapılan 184 km²'lik alandaki önemli yükseltiler Arpaalanı Tepe (264 m.), Gölemizin Tepe (287 m.), Arpasekisi Tepe (324 m.), Kızılseki Tepe (330 m.), Akyar Tepe (339 m.), Kocadüz Tepe (411 m.), Çakallı Tepe (539 m.), Bölükdağ Tepe (554 m.), Kızılkaya Tepe (576 m.), Küçükkurt Tepe (621 m.), Büyükkurt Tepe (628 m.), Kayraklık Tepe (777 m.), Marmar Tepe (909 m.) ve Kurt Tepe (961 m.)'dir.

Harita alanındaki mevsimsel akışlı dereler, Yeldere, Çakallı Dere, Gelinteli dere, Karacakaz Dere, Uzunpınar Dere, Kocahasan Dere, Cutakayası Dere, Gökdere, Cindere, Kadı Deresi, Acidere, Sarıkapız Dere, Çakıllı Dere, Karamusa Dere, Karakuz Dere, Honalı Deresi, İncirli Dere, Nesirli Dere, Gökgölet Dere, Bağrsak Dere, Küçükkapı Dere, Asar Dere ve İğdeli Dere'dir.

İnceleme alanı Ege, Akdeniz ve İç Anadolu iklim kuşaklarının etkisi altındadır. Yükseklik ile yağış miktarı arasında doğrusal bir ilişki olmaması da bu etki nedeniyledir. Thornthwait (1948)'a göre hesaplanan Denizli'nin iklim formülü $C_1B'_3S_2b'_3$ 'dür. Bu formül, kurak-yarı nemli, mezotermal, yazın çok kuvvetli su noktası görülen, okyanusala daha yakın bir iklim tipini belirler.

Genellikle bitki örtüsü yönünden fakir olan inceleme alanında güney ve kuzey kesimlerin yükseltilerinde görülen ormanlarda sarıçam, ardıç ve meşe ağaçları boldur. Çürüksu Ovası'nda pamuk, buğday, mısır, şekerpancarı, tütün yetiştirilir. Kızılyer civarında bağcılık çok yaygındır. Kızılyer-Honaz arasında ve yüksek köylerde bahçe tarımı yapılır.

Harita alanındaki yerleşim birimleri Akköy ilçesi ile Aşağışamlı, Yukarışamlı, Adaköy, Gölemizli, Çeşmebaşı, Kavakbaşı, Senekçi Mahallesi, Develi, Karahayıt ve Pamukkale'dir. Ancak bunlara ek olarak, hidrojeolojik inceleme yapılan bölgede Denizli il merkezi, Honaz ilçesi, Yeniköy, Karakova, Küçükderköy, Irlıganlı, Eldenizli, Kocadere, Kocabaş, Acidere, Alikurt, Kaklık, Dereköy, Çömleksaz, Kızılyer, Menteş, Karateke, Emirazizli, Ovacık ve Koyunaliler de yer alır.

Denizli-İzmir, Denizli-Ankara, Denizli-Acıpayam karayolları inceleme alanından geçer. Tüm yerleşim birimleri birbirine asfalt ya da stabilize yollarla bağlıdır.

1.4. İnceleme Yöntemi ve Süresi

Bu incelemede, amaca uygun olarak, Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli çevrelerinde yaklaşık 184 km²'lik bir alanın jeoloji haritası, yörede daha önce MTA tarafından yapılan jeoloji haritası revize edilerek yapılmıştır. Ayrıca, Pamukkale sıcak su kaynakları civarının 1/5000 ölçekli hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Bu haritanın yapılmasında yollar ve su kanallarını da gösteren topoğrafik harita SIAL Limited Şirketi'nden alınmıştır. İncelemenin başlıca amaçlarından biri olan su kimyası çalışmaları, gerekli finansmanın geç sağlanması nedeniyle Ağustos, 1991 tarihinde başlayabilmiştir. Maddi kaynağın bir kısmı ile portatif pHmetre-dijital termometre ve kondüktivimetre alınmış, diğer kısmı, kimyasal analizler için D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne aktarılmış, ancak analizler yüz şişe su ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle bir kısım su analizlerinin Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü Laboratuvarı'nda yapılması sağlanmıştır. Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynaklarından periyodik olmak üzere yağmur ve kar suyu ile birlikte 63 değişik sudan alınan 173 adet numunenin 82'si D.E.Ü. Müh. Fak. Jeo.Müh.Böl. Kimya Laboratuvarı'nda, 91'i Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü'nde analiz ettirilmiştir. 22 adet suyun analizleri ise Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü ve D.S.İ. 21. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İz element analizleri D.E.Ü.'ne, bakteriyolojik analizler ise Denizli Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır.

D.S.İ. 21. Bölge Müdürlüğü ve Egesu Sondajcılık-Madencilik Şirketi'nden alınan kuyu logları da değerlendirilmiştir.

08.08.1991 'den 04.09.1993 tarihine kadar, Ağustos ve Kasım 1991, Şubat 1992, Nisan 1992-Aralık 1992, Ocak 1992-Mart 1993, Haziran 1993 ve Eylül 1993 aylarında örnekleme yapılmıştır. Örnekler o günkü şartlara göre (alet arızası, elaman ve malzeme eksikliği gibi) ya İzmir'e ya da Denizli Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü Laboratuvarı'na götürülmüştür. Örnekleme için genellikle Köy Hizmetleri araçlarından yararlanılmış, bazen de araç kiralama yoluna gidilmiştir. Suların pH'ı ve sıcaklığı arazide ölçülmüş ve sular kimyasal analiz için standartlara uygun olarak şişelenmiştir. Sıcak su kaynaklarından alınan numuneler Oksijen-18 ve döteryum analizi için D.S.İ. Genel Müdürlüğü'ne iletilmiştir. Ancak burada da alet döngüsünün çok geç yapılması ve arızalar nedeniyle sadece döteryum analizleri yapılabilmiş, Oksijen-18 analizlerinin Şubat 1994 tarihinde yapılabileceği belirtilmiştir. Bu nedenle izotop analizleri bu çalışmada değerlendirilememiştir. Pamukkale ve Karahayıt sıcak su kaynakları civarında izleyici olarak boya deneyi yapılmasına İl Kültür Müdürlüğü izin vermemiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

İnceleme alanında ilk araştırmalar Strickland (1841) ve Hamilton (1842) tarafından Pamukkale travertenleri üzerine yapılmıştır. Aşağıda, inceleme alanı ve yakın dolayında yapılan değişik amaçlı araştırmaların sonuçları kronolojik sırayla ve bu çalışmanın amacı doğrultusunda özetlenmiştir (Şekil 3).

ERENTÖZ (1956), Denizli yöresindeki brahik çökellerin, Miyosen'de, Burdur, Acıgöl üzerinden gelen bir deniz kolunun ürünleri olduğuna değinmiştir.

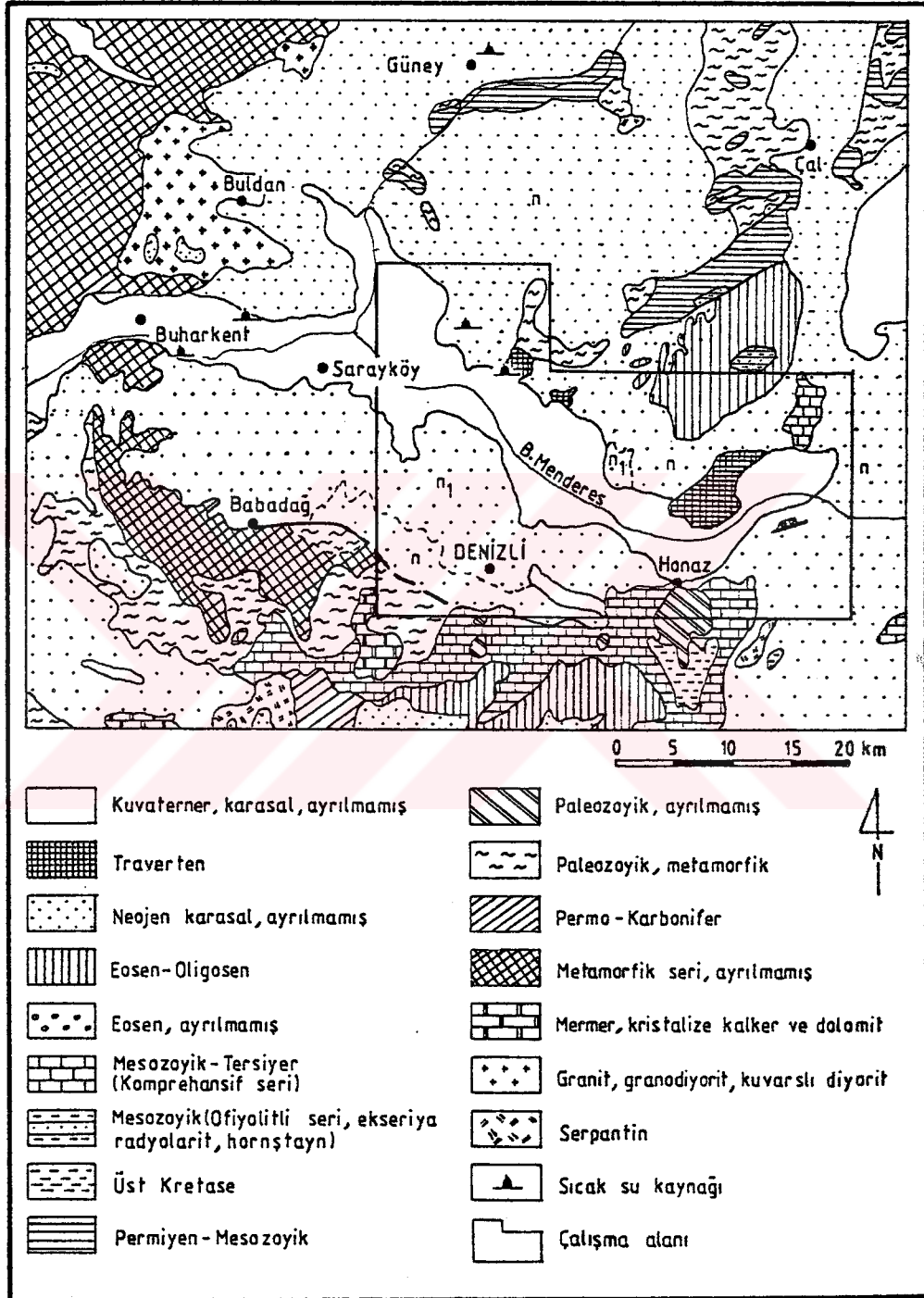
NEBERT (1958), Denizli-Sarayköy-Pamukkale yörelerinde Pliyosen çökellerini inceleyerek Pliyosen'in altta Meosiyen, Ponsiyen yaşlı denizel-brahik, üstte ise uyumsuzlukla gelen Dasiyen-Levantien yaşlı tatlı su çökellerinden oluştuğunu belirtmiştir.

TEZCAN (1967), Buharkent-Sarayköy-Buldan civarında gravite ve rezistivite çalışmaları yapmış ve Neojen kalınlığının değişken olduğunu belirlemiştir.

EKİNGEN (1970), Denizli - Pamukkale - Denizler - Dereköy - Honaz yörelerinde yaptığı gravite çalışmalarında Kurudere, Dereköy çevrelerinin Jeotermal açıdan umut verici olduğu sonucuna varmıştır.

GÖKALP (1971) Yenice - Gölemezli - Karahayıt kaplıcaları çevresinde jeolojik çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı, Pamukkale ve Karahayıt'taki sıcak suların kökeninin kristalen masif olduğunu, bu suların yüzeye erişirken soğuk sularla karışarak debilerinin ve kalsiyum miktarlarının arttığını ve sıcaklıklarının azaldığını vurgulamıştır.

KASTELLİ (1971), Tavas, Babadağ ve Honaz civarında 400 km² 'lik bir alanda yaptığı jeolojik incelemeler sonucunda sahanın jeotermik yönden değerlendirilebilecek olumlu bir alan olmadığını belirtmiştir.



Şekil 3. İnceleme alanının 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası (MTA, 1965)'ndaki yeri.

KESKİN (1972), Kızıldere jeotermal alanında yaptığı çalışmada, ısı kaynağı olarak öngördüğü yüzeye yakın magma sokulumlarının graben kenarlarına doğru daha aktif olduğunu, bunun da Kızıldere'de "farklı ısıli hazne kaya kuşakları" meydana getirdiğini ve temeldeki gnaysların bol kırıklı yapılarıyla bir hazne kaya özelliği taşıdığını ifade etmiştir.

ŞAMİLGİL (1973), Denizli yöresindeki sıcak suların analizlerini yapmış ve değerlendirmiştir. Yazar, bölgedeki tüm sıcak suların kökeninin aynı olduğuna, ancak soğuk sularla az ya da çok karıştığına ve bu karışımın Pamukkale'den Kızıldere'ye kadar giderek artan Na/Ca oranlarıyla belgelendiğine değinmiştir.

TANER (1974-a,b, 1975), Denizli bölgesi Neojen'inde yaptığı paleontolojik ve stratigrafik incelemede, Paleozoyik yaşlı metamorfiteğin üzerine uyumsuz olarak gelen çökellerin Meosiyen yaşında olduğunu belirlemiştir. Araştırmacı, Pliyosen'de, küçük kapalı bir havza şeklinde gelişen Denizli havzası göl ortamının az derin ve sakin olduğunu, tatlı su içerdığını, ancak daha sonraları biraz tuzlandığını ileri sürmüştür.

ŞİMŞEK (1977), Tekke ılıcaları ve Gölemezli civarındaki kükürt cevherleşmeleri üzerine yaptığı çalışmada, ekonomik olmayan cevherleşmelerin derinden gelen H_2S gazına bağılı olarak geliştiğini sonucuna varmıştır.

CANİK (1978), Pamukkale sıcak su kaynaklarının inceleyerek, suların kalsiyumlu, bikarbonatlı, sülfatlı ve karbondioksitli, mineralli termal su sınıfında olduğunu ve bu suların yaz aylarında travertenler üzerinden akıtılmadan tarla sulamasında kullanılmasının travertenlerin kararmasına yol açtığını belirtmiştir.

ŞİMŞEK (1978), Tekke Hamam jeotermal alanındaki gradient sondajlarını değerlendirmiş ve sıcaklıkların grabenden horsta doğru yükseldiğinden söz etmiştir.

FİLİZ (1982), Ege Bölgesi'ndeki önemli jeotermal alanları O^{18} , H^2 , H^3 , C^{13} izotoplarıyla incelemiştir. İzotop tekniklerinden O^{18} 'i, kaynakların beslenme alanlarını ve kökenlerini kestirmede; O^{18} - H^2 'yi su-hazne kaya ilişkilerini ve hazne kaya sıcaklıklarını belirlemede; H^3 'ü, suların bağılı yaşlarını ve jeotermal sistemlerdeki dolaşım hızlarını saptamada; C^{13} 'ü, Denizli yöresi sıcak su kaynaklarından yayılan CO_2 gazlarının kökeninin ortaya konmasında uygulayan yazar, araştırmaları sonunda jeotermal alanların değişik amaçlı üretim olanaklarını ortaya koymuştur.

ERCAN ve diğ. (1983), Denizli'deki volkanik kayalar üzerinde yaptıkları çalışmada, Üst Pliyosen yaşlı ve tümü şoşonitik nitelikte olan bazalt, latit ve trakit türündeki Denizli volkanitlerinin kıtasal riftleşme ürünü olarak meydana geldiklerine değinmişlerdir.

ÖZGÜLER ve diğ. (1983), Tekke Hamam, Kızıldere, Tosunlar, Bölmekaya, Yenice, Gölemezli, Karahayıt ve Pamukkale jeotermal alanlarında yaptıkları gravite çalışmalarıyla sahanın genel tektonik yapısını, öz direnç çalışmaları ile ise jeotermal anomalileri, bunların yayılımlarını ve temel kaya derinliğini belirlemişlerdir.

ŞİMŞEK (1984), Sarayköy - Buldan yöresinin jeotermal enerji olanaklarına yönelik doktora çalışmasında, Paleozoyik yaşlı metamorfitle "İğdecik Formasyonu", birbiriyle uyumlu olan ve temel üzerine uyumsuz olarak gelen Alt Pliyosen çökellerini alttan üste "Kızılburun Formasyonu", "Sazak Formasyonu" ve "Kolankaya Formasyonu" ve bu çökelleri açısız uyumsuzlukla üstleyen Üst Pliyosen yaşlı "Tosunlar Formasyonu"nu ayırtlamıştır. Yazar, sıcak suların birinci hazne kayanın Sazak Formasyonu'nun kireçtaşları, ikinci hazne kayanın, İğdecik Formasyonu, birinci örtü kayanın Kolankaya, ikinci örtü kayanın Kızılburun Formasyonu olduğunu, ayrıca gnayaların üçüncü bir hazne kaya oluşturabileceğini belirtmiştir.

GEVREK (1985), Aydın ve Denizli'deki mevcut sıcak su çökellerinin Hg, As ve Pb miktarlarını inceleyerek, Denizli yöresinden aldığı örneklerdeki Hg değerlerinin daha yüksek çıkmasını, Denizli jeotermal alanlarının haznelerinin ve ısıtıcılarının daha sıkda olması ve yoğun kırıkların varlığı ile açıklamıştır.

BİLGİN (1986), Denizli - Babadağ yörelerinde yaptığı çalışmada metamorfitle ayırmış, metamorfizmanın yeşilist fasiyesinde ve Barrowiye tıpte geliştiğini, metamorfitlelerin para kökenli olduğunu belirterek, yörede Mesozoyik ve Tersiyer başında sözkonusu olan bir sıkışmanın çevredeki kayaların bölgesel anlamda başkalaşım geçirmesinde önemli rol oynadığını vurgulamıştır.

ÖZPINAR (1987), Denizli-Acıpayam batısında yaptığı doktora çalışmasında yöredeki tortul kayaları ayırmış ve ofiyolitik serinin bugünkü yerini tektonik olarak Lütesiyen'de veya Lütesiyen-Oligosen evresinde aldığına işaret etmiştir.

OKAY (1989), Honaz Dağı yöresinde çalışmış ve bölgede alttan üste Göbecik tepe birimi, Honaz şeyli, Menderes masifi, Sandak birimi ve Honaz ofiyolitinden oluşan beş ana tektonik birimin yer aldığını, bunlardan Göbecik tepe biriminin "nispi

otokton" birimi oluşturduğunu, Menderes masifi istifinin allokton konumda olup Honaz şeyli ve Göbecik tepe birimi üzerine itildiğini, Honaz dağının ise doğuya doğru devrik büyük bir antiklinal yapısı oluşturduğunu ifade etmiştir. Yazar, bölgede üç ana deformasyon fazı ayırt etmiştir.

EşDER ve YILMAZER (1991), Pamukkale jeotermal kaynaklarında yaptıkları çalışmada, Gölemezli, Yenice termal sularının yüksek sıcaklıklı bir hazneden çıktığını, birbirleriyle ilişkili olan Pamukkale ve Karahayıt sularının ise düşük hazne sıcaklıklarına sahip bir jeotermal sistem içerisinden geldiğini ileri sürmüşlerdir.

EşDER ve diğ. (1991), Pamukkale'deki termal suların, artan yapılaşma ile birlikte bakteriyolojik ve kimyasal olarak tehlikeli biçimde kirlendiğini, bu suların da travertenlerin kararmasına ve irkinleşmesine neden olduğunu kaydetmişlerdir.

FİLİZ ve diğ. (1992), Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinde bulunan tüm sıcak suların kimyasal sınıflamalarını yaparak her iki alandaki suların da meteorik kökenli olduğunu, Gediz grabenindeki suların kimyasal kompozisyonunun zaman içinde değişim arz ettiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, jeokimyasal ve izotopik verilerin işığında Büyük Menderes grabenindeki jeotermal potansiyelin, Gediz grabeninden daha yüksek olduğunu vurgulamışlardır.

3. JEOLojİ

3.1. Stratigrafi

İnceleme alanında alttan üste Paleozoyik yaşı Menderes Masifi Metamorfitle'inden çeşitli şist ve mermerler, Alt Pliyosen yaşı gölsel çökeller, Pliyo-Kuvaterner yaşı fluvial çökeller ile Kuvaterner yaşı travertenler ayrıtlanmıştır (Şekil 4, Ek 1).

3.1.1. Paleozoyik

3.1.1.1. Şist (Pş)

İnceleme alanında batıdan doğuya Gökdere vadisinde, Küçükkurt Tepe batısında, Çatmak mevkiinde ve Marmar Tepe batısında yaklaşık 2 km²'lik bir alanda görülür. Mikaşist, kuvarşist, kuvarsit ve kalkışist ardalanmasından oluşan birimde üst kesimlere doğru kalkışist kalınlığı artar. Rengi, kirli beyaz, gri, sarımsı ve açık kahverengi arasında değişir. Şistozite belirgindir. Kuvarsitler, birim içerisinde 30 cm'ye kadar kalınlıklarda izlenirler ve kirli beyaz renkleri, kırılmaya karşı dirençli olmalarıyla kolayca tanınırlar. İstifte yer yer ince mermer düzeyleri gözlenir.

İnceleme alanındaki en yaşı birim olan şistlerin alt dokanağı gözlenememekle birlikte, genel istifte, bu dokanağın gnayslarla olduğu bilinmektedir. Birim üst dokanağını mermerlerle uyumlu olarak yapar. Dokanak ilişkisi yer yer faylıdır.

Çağlayan ve diğ. (1980), Pamukkale kuzeyindeki şistler içerisinde yer alan mermer düzeylerinde Permo-Karbonifer yaşı veren fosiller bulmuşlardır. Bu durumda şistlerin yaşının Permo-Karbonifer öncesi olması gerekmektedir. Ancak, Menderes Masifi örtü metamorfitlelerinin yaşı oldukça tartışmalı olduğu için genel kabule göre Paleozoyik yaşı öngörülmüştür.

PALEOZOYİK	S E N O Z O Y İ K										ÜST SİSTEM	LİTOLOJİ	A Ç I K L A M A L A R							
	T E R S İ Y E R										SİSTEM									
	N E O J E N										KUVATERN									
	P L İ Y O S E N										SERİ									
	A L T										ÜST	Qy	Qal	Qt	Pik	Pİg	Mpk	Ms	Pm	Pş
											~10	~1-130	~85	~90	~160	~270	~300	~250		

ÖLÇEKSİZ

Şekil 4. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti.

3.1.1.2. Mermer (Pm)

Şistlerin bulunduğu kesimlerde yaklaşık 8 km²'lik bir alanda yüzeylemiştir. Açık gri-koyu gri renk tonlarında izlenen mermerlerin kırılma yüzeyleri açık gri-kirli beyaz renklidir. Kırıldıklarında bitüm kokuludurlar. Yer yer dolomitiktir. Katman kalınlıkları değişken olmakla birlikte genellikle kalındır. Mostra verdiği alanlarda faylanmanın da etkisi ile sarp kayalıkları oluşturan mermerler sert, bol çatlaklı, çatlakları kısmen kalsit dolgulu, karstlaşmanın pek fazla gözlenmediği ancak ikincil gözenekliliği yüksek bir görünümde olup, yaklaşık 250 m'lik kalınlığa sahiptir.

Birim, alt dokanağını şistlerle geçişli olarak yapar. Üst dokanak, Alt Pliyosen yaşlı birimlerle aşıl uyumsuz ya da faylıdır.

3.1.2. Senozoyik

3.1.2.1. Çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası (Ms)

Özellikle inceleme alanının kuzeydoğusunda çok geniş bir alanda gözlenen birim çakıtaşı-kumtaşı-silttaşı-kiltası aralanmasından oluşur. Rengi kırmızımsı, kahverengi, sarımsıdır. Alt düzeylerde çakıtaşları egemendir. Yer yer ara madde, genellikle tane destekli dokuda ve karbonat çimentoludur. Çakıllar, çeşitli şist, kuvarsit ve mermer bileşenli olup yarı yuvarlanmış, kötü-orta küreselleşmiştir. Çakıl boyutları genellikle 1-5 cm olmasına karşın yer yer bloklar da izlenir. Katman kalınlıkları orta-kalın arasında değişmektedir. Kumtaşları genellikle grimsi, açık kahverengimsi renklerde orta-iyi pekleşmiş, karbonat çimentoludur. Katman kalınlığı ince-ortadır. Silttaşları ve kilttaşları gri-yeşil renk tonlarında ve ince katmanlıdır. Aralanmalı istif içerisinde, yer yer, yanal süreksiz olan kirli beyaz renkli ve çözünme boşluklu killi kireçtaşları yer almaktadır. Birimin inceleme alanındaki kalınlığı yaklaşık 300 m. kadardır.

Birim alt dokanağını uyumsuz ya da faylı olarak Menderes Masifi metamorfiteyle yapar. Üst dokanak silttaşı-kiltası-killi kireçtaşı-kireçtaşı aralanmasından oluşan birim ile uyumlu veya tektoniktir.

Birim, Kastelli (1971)'nin "kızıl seri", Taner (1974-a,b;1975)'in "kırmızı kaide konglomeraları", Şimşek (1984)'in "Kızılburun Formasyonu"na karşılık gelmektedir.

Kastelli (1971), birimin killi düzeyleri içinde bulduğu
 Planorbis off. thiolieriei (MİCHAUD)
 Chilostoma (Drobacia) sp.

fosillerinin Alt Pliyosen yaşını verdiğini belirtmiştir. Buna dayanarak birimin yaşı Alt Pliyosen kabul edilmiştir.

3.1.2.2. Siltaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı (Mpk)

Birim, inceleme alanında Bölükdağ Tepe başta olmak üzere bir çok kesimde yüzeylemiştir. Genel olarak rengi açık kahverengi, sarımsı, bozdur. Üst kesimlerde yer alan kireçtaşları kirli beyaz renkli, dayanımlı, orta katmanlı, oldukça çatlaklı ve çözünme boşlukludur. Yer yer, ince katmanlı killi kireçtaşı düzeyleri içerir. Yanal yönde devamlılığı sınırlıdır. Bol Gastropoda fosillidir. Üst düzeylerde fosilli kumtaşlarına geçer. Altta kumtaşı, siltaşı ve kıltaşı, üstte doğru kireçtaşları ve en üstte fosilli kumtaşı-killi kireçtaşı şeklinde yaklaşık 270 m. kalınlık sunan birimde kireçtaşları 50-60 m. civarında bir kalınlığa sahiptir. Birimin en belirgin özelliği, çoğunlukla kıltaşı ve killi kireçtaşı düzeylerinde görülen jips oluşuklarıdır. 7-8 cm kalınlıktaki bu oluşuklara istif içinde sıkça rastlanır.

Alt dokanağı çakıltaşı-kumtaşı-siltaşı-kıltaşı ardalanmasıyla uyumlu veya tektonik olarak yapan birimin üst dokanağı, kumtaşı-kıltaşı-killi kireçtaşı birimi ile, inceleme alanında tektoniktir.

Birim, Taner (1974-a,b; 1975)'in "Heyelanlı marn ve sıkı dokulu kalker", Şimşek (1984)'in "Sazak Formasyonu" na karşılık gelmektedir.

Taner (1974-a,b; 1975), Sarayköy civarında, birimde
 Radix (A) Phrygovata (OPPENHEIM)
 zonu ve bu zon içinde
 Congeria filifera (ANDRUSÓW)
 Dresensia hiera politena (OPPENHEIM)

fosillerini belirleyerek Alt Pliyosen yaşı vermiştir. Buradan hareketle birim için Alt Pliyosen yaşı öngörülmüştür.

3.1.2.3. Kumtaşı, kıltaşı, killi kireçtaşı (Plg)

İnceleme alanında Gölemezli ve Kavakbaşı köyleri kuzeyinde, Pamukkale güneyindeki Kocadüz mevkiinde gözlenir. Kumtaşı-kıltaşı-killi kireçtaşı ardaalanmasından oluşan birimde egemen litoloji kumtaşıdır. Kumtaşları açık kahverengi, sarımsı ve gri renklerde, fosilsiz, zayıf pekleşmiş, bol mikalı ve genel olarak çapraz katmanlıdır. Kıltaşları yeşil-gri renkli ve az pekleşmiştir. Killi kireçtaşları gri renkli, plakette, bol fosillidir. Yer yer kireçtaşları da izlenen istifin kalınlığı yaklaşık 160 m. dir.

Alt dokanağını kıltaşı, silttaşı, killi kireçtaşı, kireçtaşı birimiyle İncirli Dere civarında uyumlu, diğer kesimlerde tektonik olarak yapar. Üst dokanak, çakıltaşı-kumtaşı-silttaşı ardaalanmasıyla uyumsuzdur.

Birim, Taner (1974-a,b; 1975)'in "gri ve sarı renkli gre-marn münavebesi", Şimşek (1984)'in "Kolankaya Formasyonu" na karşılık gelmektedir.

Birim içinde, Kastelli (1971), Tekke Hamam yöresinde
Cyprideis pannonica (MEHES)
Cyprideis tuberculata (MEHES)
Cyprideis cf. torosa (JONES)

ve Şimşek (1984), Softalar Köyü batısında

Hemicythere sp.
Tyrhenocythere sp.
Candona sp.
Miocyprides
Cyprinotus

fosilleri bulmuşlar ve birime Alt Pliyosen yaşı vermişlerdir. Bu incelemeler ışığında birimin yaşı Alt Pliyosen kabul edilmiştir.

3.1.2.4. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı (Plk)

İnceleme alanında Develi ve Gölemezli köyleri kuzeyinde dar bir alanda görülür. Genellikle sarımsı, boz renklidir. Bileşen taneleri çeşitli şist, kuvarsit, mermer, altlayan birime ait kireçtaşı olan çakıltaları, kum ve silt aramaddeli olup az pekleşmiştir. Tane boyları değişkendir. Taneler kötü-iyi arasında yuvarlanmış ve küreselleşmiştir. Katmanlanma belirsiz ya da az belirgindir. Kumtaşı ve silttaşlarının rengi biraz daha koyudur ve kırmızımsı-sarımsı tonlardadır. İnce-orta katmanlı olan kumtaşı ve silttaşları içinde çakıltası düzeyleri de gözlenir. Birimin belirgin özellikleri düşük kotlarda bulunması, az pekleşmiş, dayanımsız olmaları ve belirsiz katmanlanma sunmalarıdır. Katmanlar genelde yataydır. Kalınlık yaklaşık 90 m.'dir.

Alt dokanağı Plg birimiyle, üst dokanağı ise traverten ve alüvyonlarla uyumsuzdur.

Birim, Şimşek (1984)'in "Tosunlar Formasyonu" nun korelanıdır.

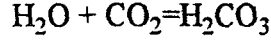
Birime stratigrafik konumu nedeniyle Pliyo-Kuvaterner yaşı öngörülmüştür .

3.1.2.5.Traverten (Qt)

İnceleme alanında Pamukkale ve Karahayıt arasında 8 km² civarındaki bir alanda görülür. Travertenler değişik renk tonlarında gözlenirler. Pamukkale civarında kirli beyaz, sarımsı renklerde, Karahayıt'ta ise Kızılçeğen kaynağı civarında kırmızımsı, sarı, açık kahverengi renklerde. Pamukkale'de güncel travertenler beyaz ve kirlenmeye bağlı olarak da gri ve yeşil renklerde izlenirler. Eski travertenler sıkı dokulu, dayanımlı ve kırılmaya karşı dirençlidir. Bunun yanında az dayanımlı, elde ufalanabilen süngerimsi ve bitki artıkları içeren travertenler de yaygındır. Travertenler içinde yer yer kumlu ve çakıllı düzeyler gözlenir. Suyun akış yönü ile ilgili olarak katmanlanan travertenlerin sondajlardan elde edilen bilgilere göre kalınlığı en fazla 84 m.'dir. Harita alanının dışında Yeniköy, Çömleksaz, Kocabaş ve Dereköy civarında kalın traverten oluşumları vardır. Kocabaş kuzeyindeki kalınlık yaklaşık 110 m.'dir. Güncel traverten oluşumu Pamukkale ve Karahayıt sıcak su kaynakları dışında Dereköy'de Kelkaya Düdeni'nden çıkan soğuk su kaynağı civarında gözlenmektedir.

Traverten oluşumu ile su içinde çözünmüş karbondioksit arasında sıkı bir ilişki vardır. Pamukkale ve Karahayıt sıcak suları derinlerde basınç altındadır. Bu basınç

nedeniyle karbondioksit gazı su içinde çözünmüş halde bulunur ve su içinde karbonik asiti oluşturur.



Karbonik asit, karbonatlı kayalara saldırarak kalsiyumkarbonatla tepkimeye girer ve kalsiyumbikarbonatı oluşturur.



Kalsiyumbikarbonatça zenginleşen bu sular yüzeye eriştiklerinde basınç azalması nedeniyle karbondioksit sudan ayrılarak atmosfere geçer. Böylece yukarıdaki ilk tepkime sola kayar, bazik ve kalsiyumbikarbonatça zengin ortamda kalsiyumkarbonat çökelmeye başlar.



Gerek haritalanan, gerek hidrojeolojik inceleme yapılan alandaki travertenlerin en belirgin özelliği yoğun çatlaklı olmaları ve ileri derecede karstlaşma göstermeleridir.

Travertenler altlayan tüm birimleri uyumsuz olarak örter.

Altunel (1993), Pamukkale ve Karahayit travertenleri üzerine yaptığı çalışmada Th/U yaş metodu ile travertenlerin en az 400.000 yıldan beri oluştuğunu belirlemiştir. Bu yaş Pleyistosen ortasına karşılık gelmektedir.

Pamukkale travertenlerinin Yalçın ve Ağacık (1971) tarafından yapılan kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir:

<u>Alındığı yer</u>	<u>%CaCO₃</u>	<u>%CaSO₄·2H₂O</u>	<u>%MgCO₃</u>	<u>%CaSiO₃</u>	<u>%Organik Madde</u>
TUSAN Moteli yanı					
a)Beyaz renkli	94.3	4.83	0.80	0.10	0.24
b)Sarı renkli	93.6	4.66	1.00	0.35	0.78
c)Koyu renkli	93.5	4.83	0.70	0.19	1.37
Pamukkale Köyü yanı					
a)Beyaz renkli	95.4	4.83	0.40	0.00	0.09
b)Koyu renkli	95.4	4.12	0.60	0.00	0.44

Çimento fabrikası batısında yer alan traverten yatakları işletilmektedir.

3.1.2.6. Alüvyon (Qal)

İnceleme alanının güneybatısında Çürüksu Çayı'nın sağ ve sol sahillerinde çok geniş bir yayılım gösterir. Ayrıca, mevsimsel akışlı derelerde de ince düzeyler şeklinde izlenir. Kötü-orta boylanmış, düzensiz çakıl, kum, silt ve kilden oluşan alüvyon kalınlığının Çürüksu Çayı civarındaki sondajlarda 130 m.'yi bulduğu belirlenmiştir.

3.1.2.7. Yamaç molozu (Qy)

Pamukkale-Karahayit arasında gözlenen, blok, çakıl, kum, silt, kil boyutundaki malzemeden oluşan ve fay zonuna bağlı olarak gelişen yığıntılardır.

3.2. Yapısal Jeoloji ve Jeoloji Evrimi

Çalışma alanı ve yakın çevresi Paleozoyik döneminde deniz altındadır. Bu denizde çökelen çakıllaşları ve kumtaşıları daha sonra bir metamorfizma geçirerek gnaysları oluşturmuştur. Kaledoniyen Orojenezi'yle yükselerek kara haline geçen gnayslar aşınma sürecine girmiştir. Hersiniyen Orojenezi ile tekrar deniz altında kalan gnayslar üzerine silttaşı, kiltası ve kireçtaşları çökelmiş ve bu birimler de uğradıkları metamorfizma sonucu Menderes Masifi örtü metamorfizmaları olan şist ve mermerleri oluşturmuşlardır. İnceleme alanının doğusunda yer alan Mesozoyik kireçtaşları, ortamın Mesozoyik'te deniz altında olduğunu göstermektedir. Bu denizde çökelen ve Büyük ve Küçükçökelez dağları ile Mal Dağı'nda gözlenen kireçtaşları muhtemelen Alpin Orojenezi ile diğer birimlere bindirmiştir. Paleosen döneminde karasal olan ortam Eosen döneminde yarı denizel konuma geçmiş ve Kelkaya Tepe civarında gözlenen çakıllaşı, biyoklastik kireçtaşı ve kumtaşı-şeyl istifi çökelmiştir. Eosen sonundaki regresyonla karasal olan ortamda birimler şiddetli bir aşınmaya uğramıştır. Oligosen'de yersel olarak sığ bir deniz altında kalan inceleme alanı ve yakın çevresi Oligosen sonrası karasal duruma geçmiştir.

Neotektonik dönemde Batı Anadolu'da gelişen grabenleşme ile ilgili çeşitli araştırmacılar değişik modeller öngörmüşlerdir. Mc Kenzie (1978), Batı Anadolu'nun

kıtasal litosferinin bir elin parmaklarının açılmasına benzer şekilde gerilerek yayıldığını ve bunun sonucunda K-G doğrultulu açılma tektoniğinin oluştuğunu ileri sürmüştür. Alptekin (1973), batıya doğru hareket eden bir tek Anadolu plakasının varlığını kabul etmekte ve K-G yönlü açılmanın nedenini üst mantoda meydana gelen yükselme ile açıklamaktadır. Dewey ve Şengör (1979), Anadolu bloğunun batıya hareketinin Yunan makaslama zonu boyunca D-B doğrultulu sıkışmaya neden olduğu ve bu sıkışmanın da K-G doğrultulu açılma ile karşılandığı görüşünü ortaya atmışlardır. Araştırmalar, Ege'deki K-G yönlü gerilmenin yaşıнын en çok Tortoniyen'e kadar indiğini, ancak grabenlerin bugünkü boyutlara ulaşmasının Pliyosen'e hatta Pleyistosen'e kadar çıktığını göstermektedir (Şengör, 1982). Grabenleşmenin başlamasıyla gelişen büyük akarsular Pliyosen başında çakıtaşı, kumtaşı, silttaşından oluşan ve litolojisinin akarsuyun enerjisine bağlı olarak değiştiği istifli metamorfitlet üzerine çökeltilmişlerdir. Çökellerin kırmızı rengi okside ortamı göstermektedir. Pliyosen sonlarına kadar yörede yersel, kapalı sığ göller oluşmuş ve bu göllerde silttaşı, kiltası, killi kireçtaşı, kireçtaşı birimlerinden oluşan litolojiler depolanmıştır. İstif içindeki jips düzeyleri sıcak, buharlaşmanın egemen olduğu bir ortamı karakterize etmektedir. Pliyo-Kuvaterner'de büyük akarsuların taşıdığı çakıl, kum ve siltler akarsuyun göle ulaştığı yerlerde çökelmişlerdir.

Pamukkale ve Karahayıt travertenlerinin yaşları gözönüne alındığında yörede en az 400.000 yıldan beri jeotermal aktivitenin varlığı anlaşılmaktadır. Batı Anadolu'daki jeotermal alanların oluşumunu sağlayan graben sistemlerinden Büyük Menderes ve Gediz grabenleri çalışma alanında kesişmektedir. D-B, BKB-DGD, KB-GD doğrultulu faylar da bunu belirlemektedir. Ana faylara paralel olarak gelişen sentetik faylar kırılğan kayalarla ikincil geçirimsizliği artırmış ve onlara hazne kaya özelliği kazandırmıştır. İnceleme alanı doğusunda alüvyon-traverten dokanağında traverten yamaçlarının yüksek ve dik olması tektonik aktivitenin sürdüğünü gösteren verilerden biridir.

4. HİDROLOJİ

Bu bölümde, çalışma alanı içinde bulunan Denizli il merkezine ait meteorolojik verilerden yararlanarak su bilançosu yapılmıştır. 1931-1990 yılları arasında ve bu çalışma süresince elde edilen yıllık ortalama Etp değerlerinin değişimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.1. Yağış

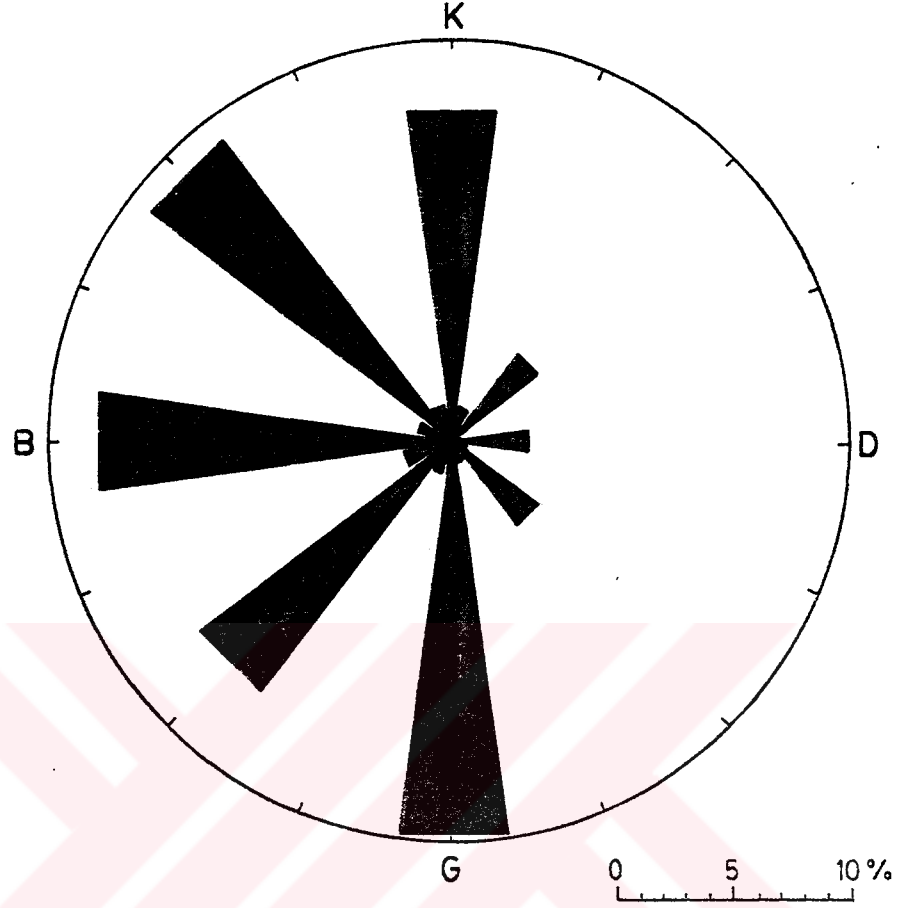
Denizli Devlet Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1931-1990 yılları arasındaki ortalama veriler, il merkezine ait meteorolojik elemanlar hakkında genel bilgi vermektedir (Çizelge 1)

Çizelge 1.Denizli il merkezinin 1931 - 1990 yılları arasındaki ortalama meteorolojik verileri.

Hava basıncı ortalaması (milibar)	= 964.73
Buhar basıncı ortalaması	= 10.93
Nisbi nem ortalaması (%)	= 61.47
Buharlaşma ortalaması (mm)	= 4.91
Fırtınalı gün sayısı (17.2 m/sn <)	= 7.95
Kuvvetli rüzgarlı gün sayısı (10.8 - 17.1 m/sn)	= 23.36
Bulutluluk ortalaması (gün)	= 3.64
Açık günler sayısı	= 146.09
Bulutlu günler sayısı	= 165.54
Kapalı günler sayısı	= 49.68
Yağmurlu günler sayısı	= 93.63
Karlı günler sayısı	= 4.52
Karla örtülü günler sayısı	= 3.80
Ortalama en yüksek kar kalınlığı (cm)	= 24.10
Sisli günler sayısı	= 3.01
Dolulu günler sayısı	= 1.29
Çiğli günler sayısı	= 113.79
Kırağılı günler sayısı	= 36.90
Orajlı günler sayısı	= 22.08
Donlu günler sayısı	= 27.58
Yağış ortalaması (mm)	= 557.42
Sıcaklık ortalaması (°C)	= 15.75

Çalışma alanı, esme sayısındaki azalma sırasına göre G, KB, B, K ve GB yönlerinden rüzgar almaktadır. Doğudan ise hemen hemen hiç rüzgar etkisi yoktur

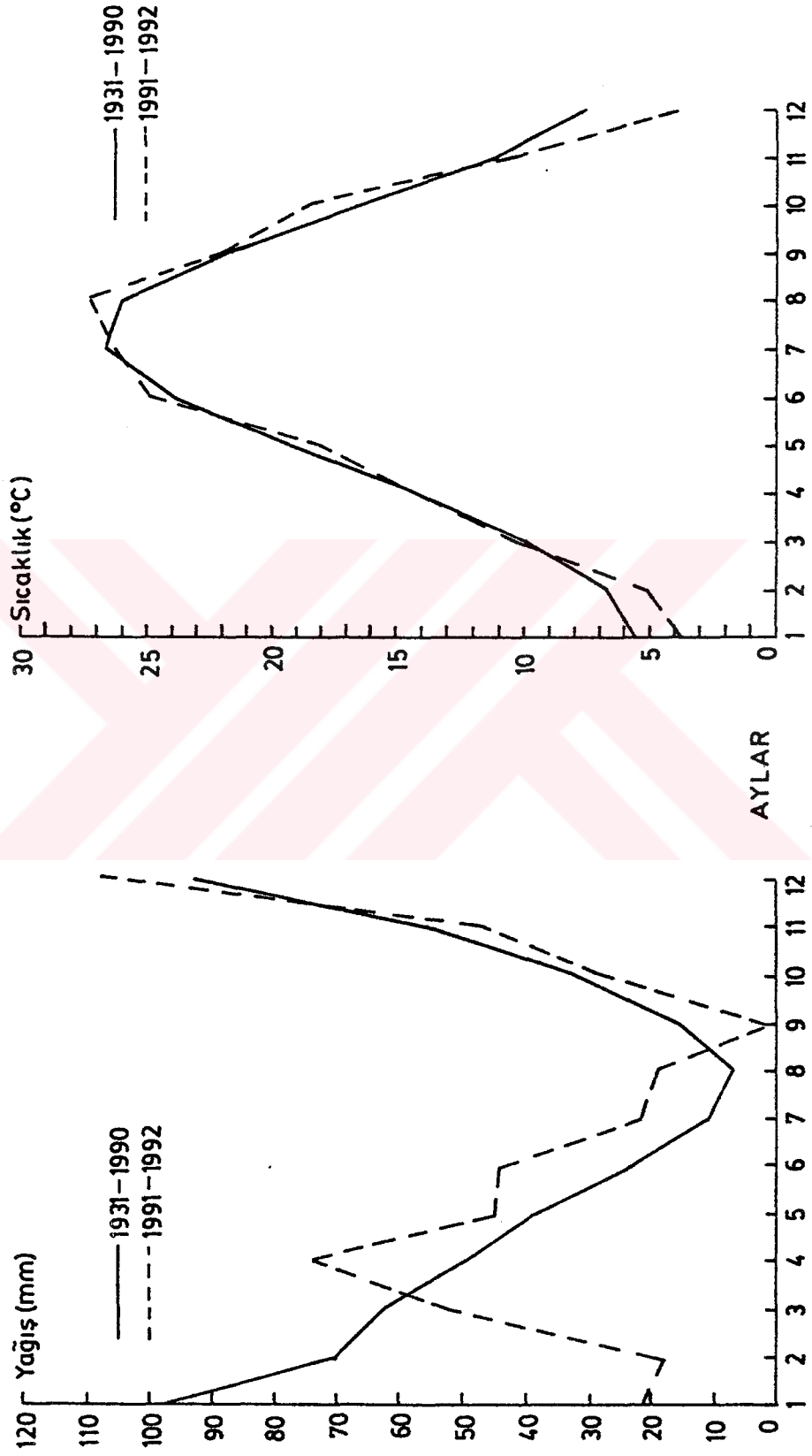
(Şekil 5). Yörede, özellikle kış aylarında esen şiddetli rüzgar ve fırtınaların yağmur bulutlarının hareketi üzerine büyük etkisi vardır.



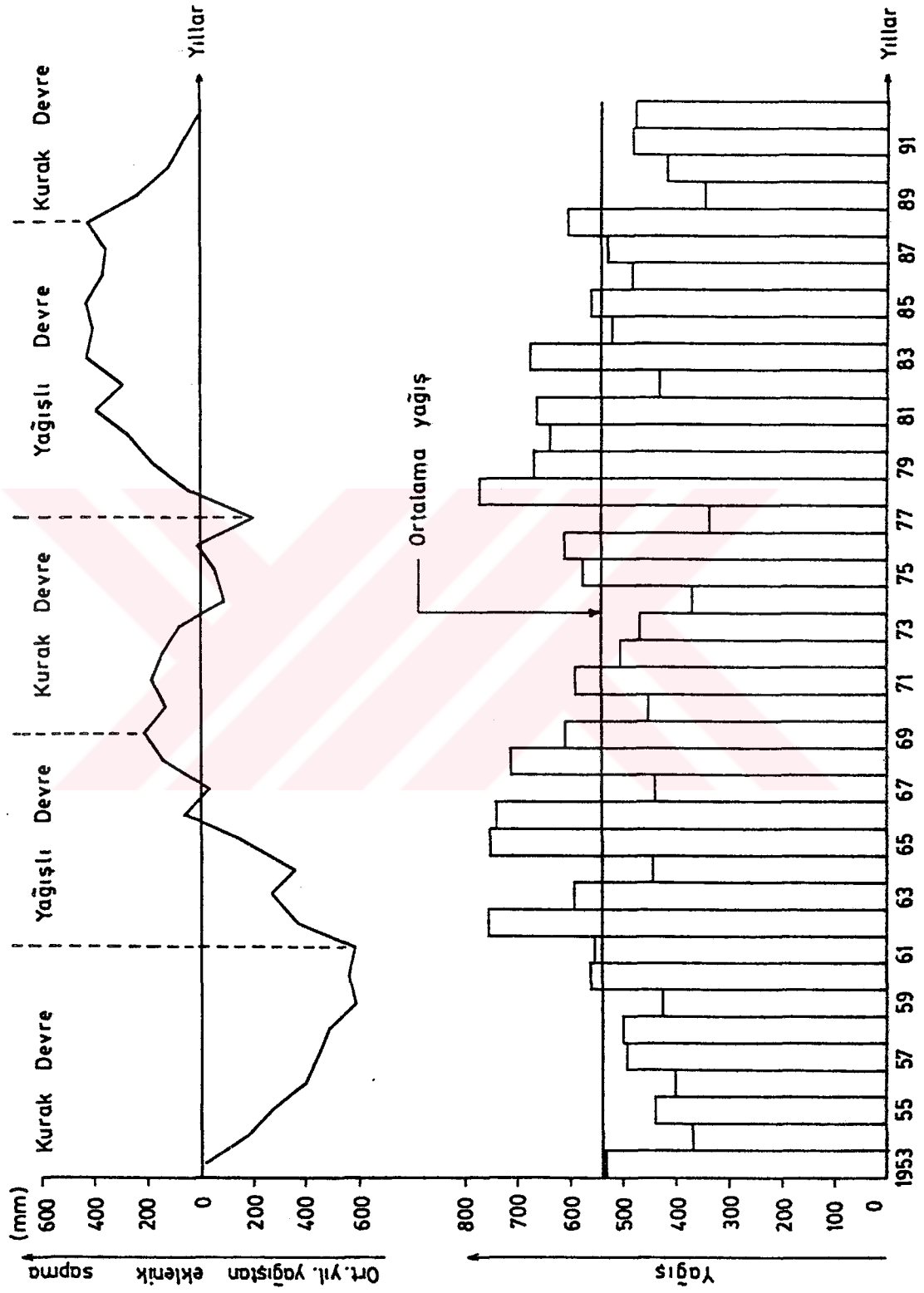
Şekil 5. Denizli'de rüzgar yönleri ve yoğunluklarını gösteren gül diyagramı.

Denizli'de en fazla yağış 77 mm ile 06.02.1936, en yüksek sıcaklık 41.3°C ile 20.07.1973 ve en düşük sıcaklık -11.6°C ile 09.02.1965 tarihinde kaydedilmiştir. Yıllık toplam yağış ortalaması 557.42 mm'dir. En az yağış Ağustos (6.78 mm), en fazla yağış ise Ocak (97.81 mm) ayında olur. Yıllık ortalama sıcaklık 15.75°C 'dir. Temmuz ayı en sıcak (26.67°C), Ocak ayı en soğuk (5.64°C) aylardır. Çalışma süresince ise yıllık toplam yağış ortalaması 477.40 mm. ve sıcaklık ortalaması 15.38°C olmuştur. 1931-1990 yılları ve bu çalışma süresince yıllık sıcaklık ve toplam yağış ortalamaları Şekil 6'da karşılaştırılmıştır.

Denizli'de hassas meteorolojik ölçümlerin yapılmaya başlandığı 1953 yılından 1992 yılına kadar olan yağış ölçümlerinden, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma eğrisi çizilmiştir (Şekil 7). Şekilden, yörede 8-9 yıllık periyodlarla kurak ve yağışlı devrelerin birbirini izlediği ve 1988'den bugüne devam eden kurak devrenin bir kaç yıl daha etkili olabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Denizli ilinin 1931-1990 ve 1991-1992 yıllarındaki aylık sıcaklık ve yağış ortalamalarının karşılaştırılması.



Denizli il sınırları içinde 23 yağış ölçüm istasyonu vardır. Bunlardan 13'ü Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 10'u Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne aittir. Bu istasyonların yükseklikleri ve yağış değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Denizli yöresi istasyonlarının yükseklikleri ve yıllık toplam yağış ortalamaları (* işaretli istasyonlar DSI Genel Müdürlüğü, diğerleri Meteoroloji Genel Müdürlüğüne aittir).

İSTASYON	GÖZLEM YILLARI	YÜKSEKLİK (m)	ORTALAMA YAĞIŞ (mm)
Denizli	1931-1990	425	557.42
Acıpayam	1950-1990	941	514.70
Yeşilova (Acıpayam)*	1961-1980	1100	553.14
Gölcük (Acıpayam)*	1961-1980	750	1037.40
Çardak	1961-1990	920	393.07
Çivril	1963-1990	840	451.34
Kavakalanı (Çivril)*	1968-1990	1200	771.97
Işıklı Gölü Regülatörü*	1963-1990	825	444.00
Tavas	1938-1990	950	654.62
Sofular (Tavas)*	1968-1982	935	628.70
Kozlar (Tavas)*	1970-1990	1000	756.00
Gümüşsu	1969-1990	950	562.29
Çal	1957-1990	850	498.27
Yeşiloba-Medele (Çal)*	1967-1979	710	664.40
Sarayköy	1938-1990	169	421.84
Güney	1938-1990	825	548.75
Babadağ	1966-1990	950	842.82
Kelekçi	1965-1990	-	667.60
Bekilli	1965-1990	940	532.30
Buharkent*	1963-1990	115	502.29
Buldan	1964-1990	-	773.50
Dindarlı (Buldan)*	1963-1990	685	444.22
Buldan Barajı*	1968-1990	480	477.10

Ölçüm istasyonları bulunmayan, ancak yağış miktarlarının bilinmesine ihtiyaç duyulan yerlerin yağış değerleri yükseklik-yağış arasındaki doğrusal ilişki yardımıyla bulunabilir. Denizli yöresinde ise düşük kotlarda yüksek, yüksek kotlarda düşük yağış değerleri kaydedilen istasyonlar vardır. Bu nedenle yağış, yükseklikten çok, Ege,

Akdeniz ve İç Anadolu iklim kuşaklarının yöredeki egemenlikleri, hakim rüzgar yönleri, yamaç eğimleri ve bitki örtüsü ile kontrol edilmektedir.

Denizli il sınırları içindeki meteoroloji istasyonları verilerinden yararlanılarak eşyağış haritası çizilmiştir (Şekil 8). Harita üzerinde inceleme alanı için her eşdeğişim alanı ait olduğu ortalama yağış yükseklikleri ile çarpılmış ve toplam değer tüm alana bölünerek ortalama yağış miktarı 579.64 mm bulunmuştur. 1200 km²'lik yüzey drenaj alanına düşen yağış miktarı ise 6,95.10⁸ m³/yıl olarak hesaplanmıştır (Castany, 1969; Şahinci, 1986-a; Wiessman ve diğ., 1989; Bayazıt, 1991).

4.2. Buharlaşma

Denizli'nin 1931-1990 yılları ve bu çalışma süresince potansiyel ve gerçek buharlaşma-terleme değerleri, karşılaştırma için Thornthwait ve Turc yöntemleri ile hesaplanmıştır.

4.2.1. Thornthwait Yöntemi

Bu yöntemle, 1931-1990 yılları için, yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 858.19 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 399.69 mm hesaplanmıştır (Çizelge 3). Ortalama yağış ve Etp' nin aylık değişimleri Şekil 9'da verilmiştir.

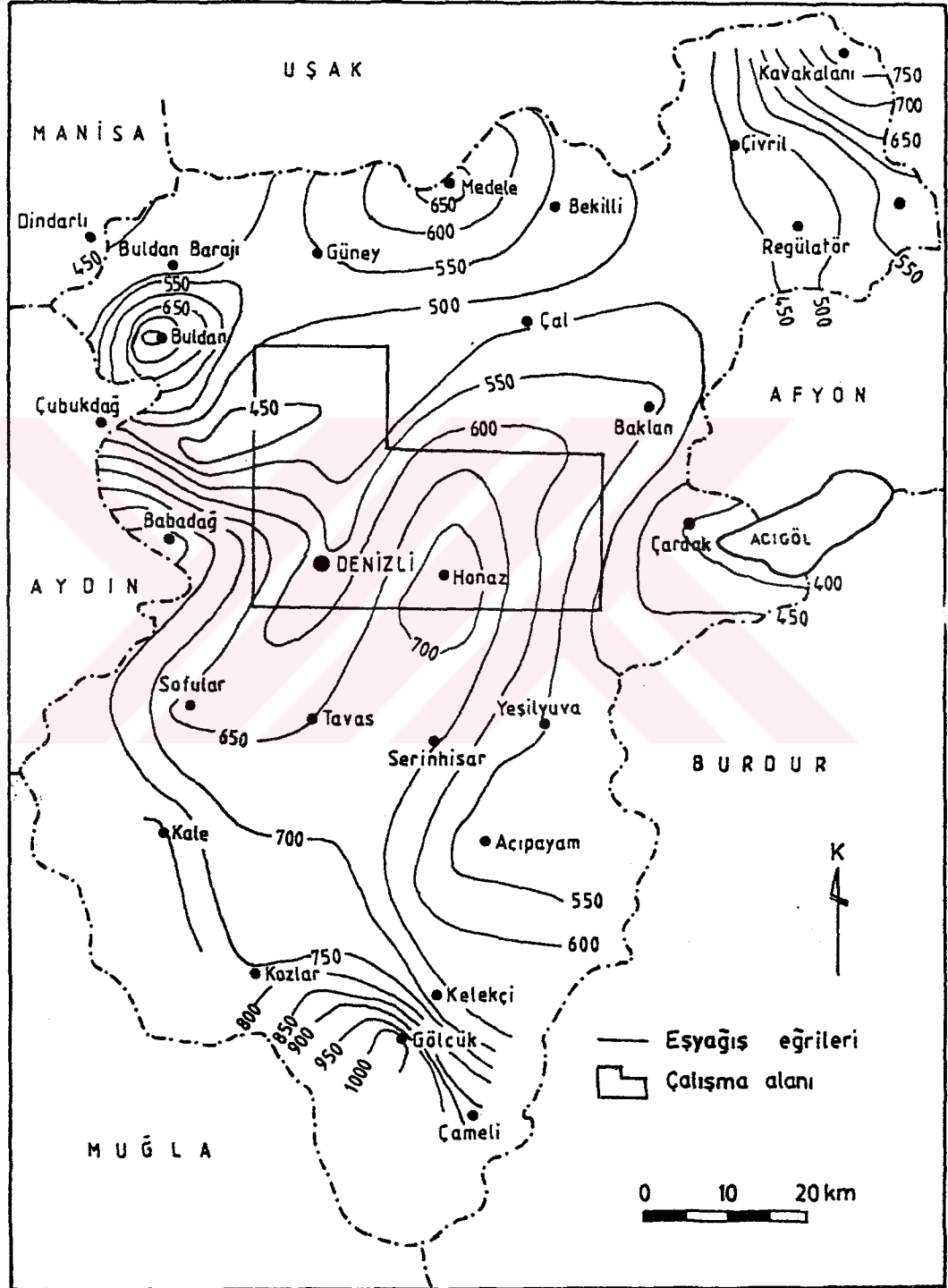
Nisan ayı ortasına kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Yağış fazlası 192.24 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzyssel akışa geçer, bir kısmı da yeraltına süzülür.

Nisan ayı ortalarından Haziran ayı ortalarına kadar zemin rezervi olan ve teorik olarak 100 mm kabul edilen su kullanılır.

Haziran ayı ortasından Kasım ayı ortasına dek su noksanı, başka bir deyimle tarım su açığı vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde Etp 771.01 mm ve yağış 178.0 mm'dir. Buna göre su noksanı:

$$771.01 - (178.0 + 100) = 493.01 \text{ mm}$$

olur.



Şekil 8. Denizli ili eş yağış haritası.

Kasım ayı ortasından sonra yağış Etp'den fazladır. Aralık ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar.

Bu hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın %71'ine karşılık gelen 399.69 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında görülen yağış fazlası toplam yağışın %34.48'idir.

1991-1992 yıllarına ait sıcaklık ve yağış değerlerini Thornthwait yöntemi uygulandığında yıllık Etp için 834.97 mm, yıllık Etr için 360.28 mm değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4). Bu dönemde Mayıs ayı ortasına kadar 117.12 mm'lik yağış fazlası vardır (Şekil 10). Haziran ayı ortalarında zemin rezervi tümüyle harcanmıştır. Kasım ayının ilk yarısına kadar su noksanı görülür. Kurak dönemde Etp 732.71 mm ve yağış 158.05 mm olduğundan su noksanı:

$$732.24 - (158.05 + 100) = 474.19 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır. Kasım ayı ortalarında Etp'den fazla olan yağış, Aralık ayı içinde zemin rezervini tamamlar. Bu yöntemle göre 1991-1992 yıllarında toplam yağışın 360.28 mm'sinin, yani %75.46'sının atmosfere geri döndüğü hesaplanmıştır. Yağış fazlası ise toplam yağışın %24.54'üdür.

4.2.2. Turc Yöntemi

Ortalama yağış ve sıcaklıktan başka aylık astronomik gün süresi (H), aylık güneşlenme miktarı (h), aylık ortalama güneş ışıınım enerjisi (I_{gA}) değerlerini de hesaba katan ve daha hassas sonuçların alınabildiği Turc yöntemine göre 1931-1990 yıllarında yıllık Etp 1155.16 mm, yıllık Etr ise 440.04 mm'dir (Çizelge 5, Şekil 9).

Mart ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazla ve Etp, Etr'ye eşittir. Mayıs ayı içinde zemin rezervi harcanır ve Kasım ayı ortasına kadar sürecek olan su noksanı açığa çıkar. Etp'nin yağıştan fazla olduğu dönemde Etp 975.46 mm ve yağış 178.0 mm' dir. Bu dönemde 178.0 mm'lik yağış ile birlikte zemin rezervi olan 100 mm tümüyle buharlaşır. Sonuç olarak su noksanı:

$$975.46 - (178.0 + 100) = 697.46 \text{ mm}$$

bulunur. Zemin rezervi ise Aralık ayı ortalarında tamamlanır.

Bu yöntemle, toplam yağışın 440.04 mm'sinin (%78.9) buharlaşma-terleme yoluyla atmosfere döndüğü hesaplanmıştır. Yağış fazlası ise 121.25 mm'dir ve bu değer toplam yağışın %21.75'idir.

1991-1992 dönemindeki yıllık Etp ve Etr değerleri ile ortalama yağış ve Etp'nin aylık değişimleri Çizelge 6 ve Şekil 10'da verilmiştir.

Bu dönemde Mart ayı sonuna dek Etp, Etr'ye eşittir. Nisan ve Mayıs ayları ile Haziran ayının ilk yarısında zemin rezervi harcandıktan sonra Kasım ayı ortalarına kadar su noksanı yaşanır. Aralık ayı ortasında zemin rezervi tamamlanır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu aylarda toplam Etp 875.10 mm, toplam yağış 249.85 mm'dir. Buna göre su noksanı:

$$875.10 - (249.85 + 100) = 525.25 \text{ mm}$$

olarak hesaplanır. Toplam yağışın 457.94 mm'si (%95.9) buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmüştür. Yağış fazlası olan 19.40 mm ise toplam yağışın ancak %4'ü kadardır.

Turc, yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık değerlerini kullanarak yıllık Etr'yi veren diğer bir bağıntı önermiştir:

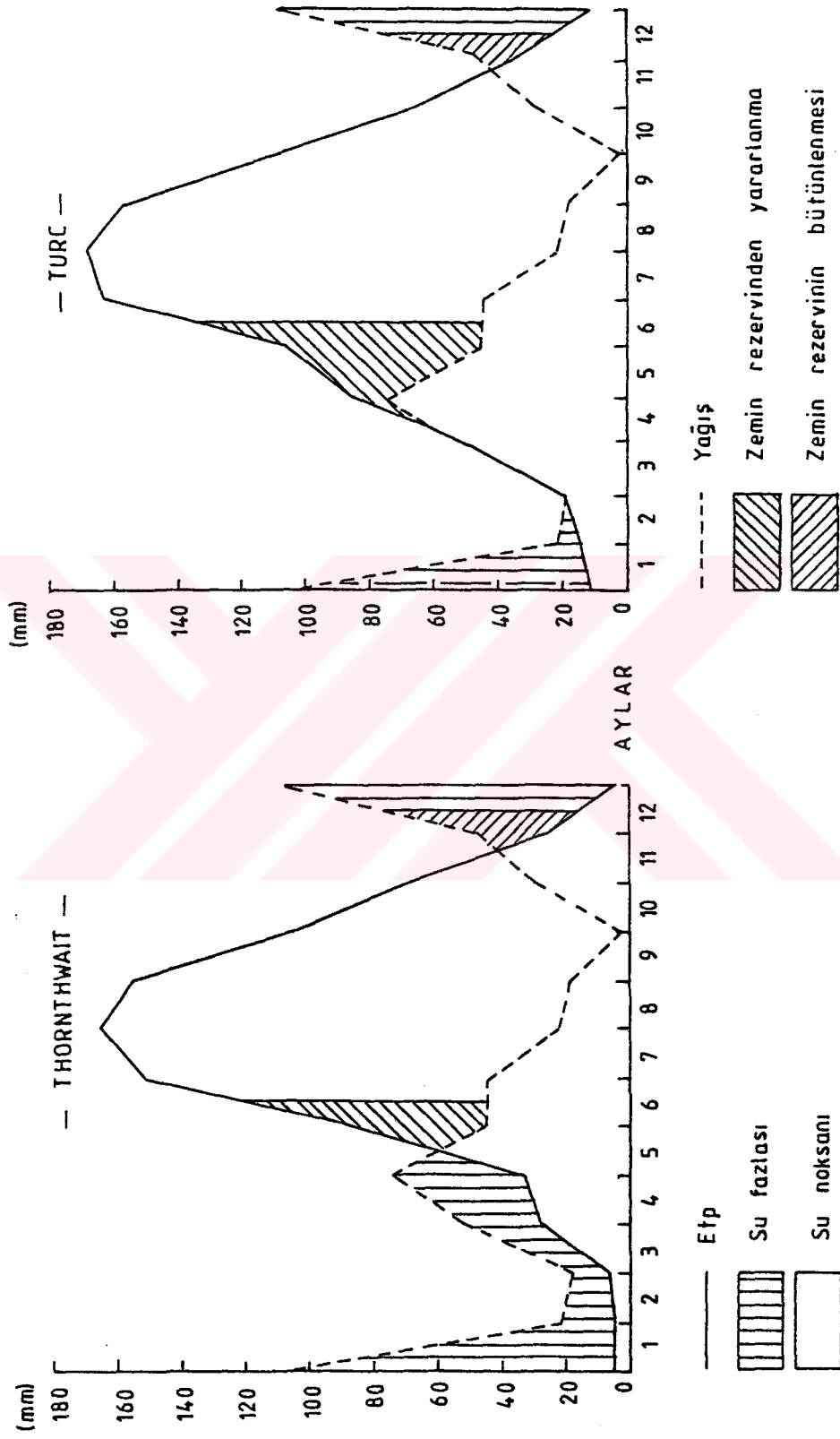
$$Etr = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

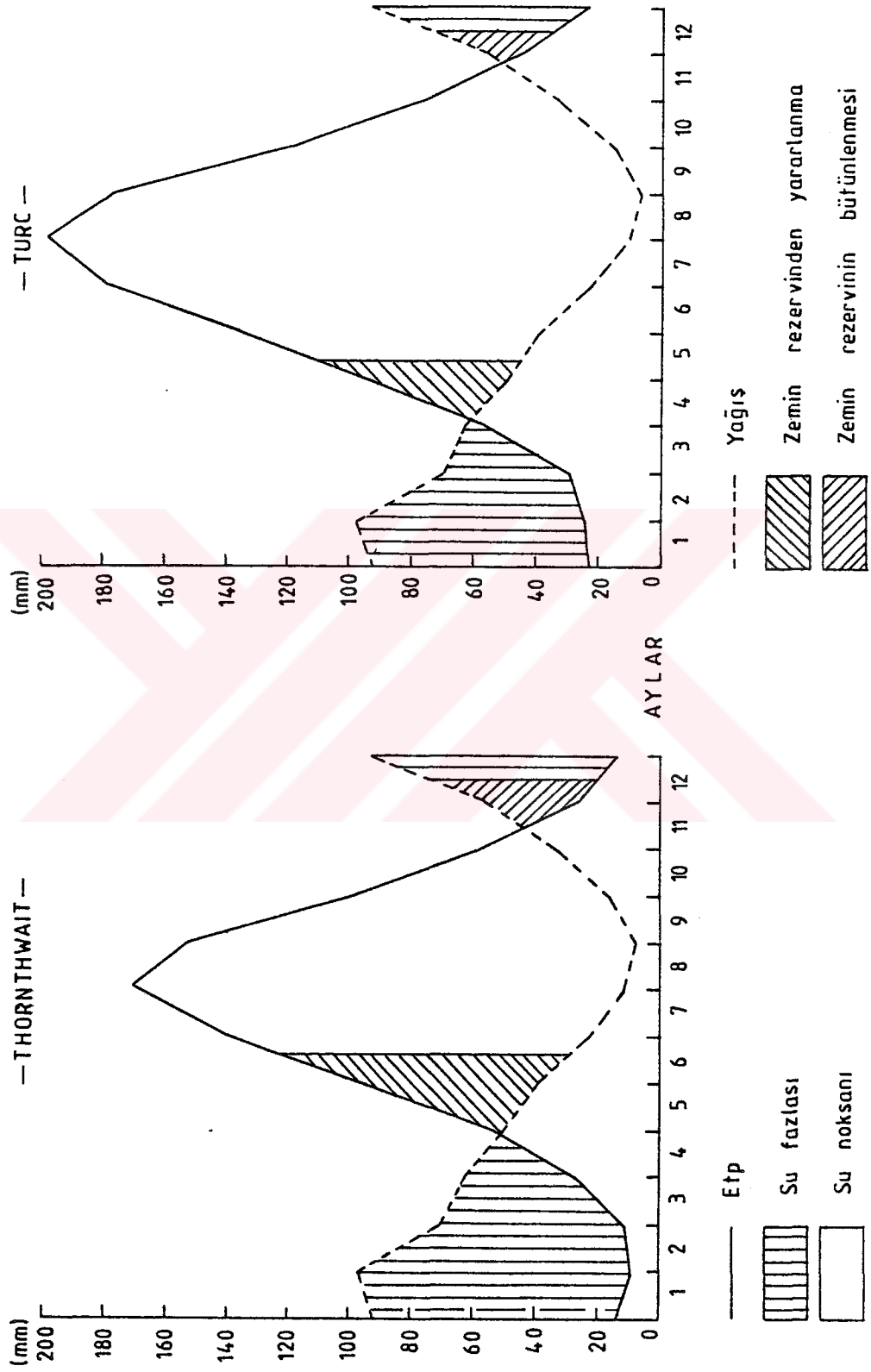
$$P = \text{Yıllık toplam yağış (mm)}$$

$$t = \text{Yıllık sıcaklık ortalaması (°C)}$$

Bu bağıntı ile hesaplanan yıllık Etr değerleri, 1931-1990 yıllarında 490.19 mm ve 1991-1992 yıllarında 435.14 mm'dir.



Şekil 9. Denizli ilinde 1931-1990 yıllarının yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği.



Şekil 10. Denizli ilinde 1991-1992 yıllarının yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği.

5. HİDROJEOLOJİ

5.1. Hidrojeoloji Birimleri

İnceleme alanındaki birimler litolojik ve yapısal özellikleri gözönüne alınarak geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olarak ayrılmış ve stratigrafik kesite uygun düzende sunulmuştur (Ek 2,3).

5.1.1. Geçirimli birim (Gç.1)

İnceleme alanında yer alan geçirimli birimlerden en yaşlısı Paleozoyik yaşlı mermerlerdir. Mermerler maruz kaldıkları yoğun tektonik hareketler sonucu bol çatlaklı ve eklemli bir yapı kazanmışlardır. Eklem, çatlak ve katman yüzeylerinde çözünme boşlukları ve fazla ilerlememiş karstlaşma görülür. Bu yapısal özellikler ve birim içindeki faylar mermerlere ikincil geçirimlilik kazandırmıştır. Bu özelliği ile mermerler çok uygun bir hazne kaya niteliği taşımaktadır.

5.1.2. Geçirimli birim (Gç.2)

Bu birim travertenlerden oluşur. Traverten kalınlığı Pamukkale ve Karahayıt civarında maksimum 84 m, Çürüksu Havzası'nda ise 110 m'dir. Sıcak su kaynakları civarındaki travertenler ile Kocabaş, Honaz, Karateke yörelerindeki travertenlerde yoğun tektonizmanın izleri olarak eklem ve çatlak takımları ile faylanmalar izlenir. Çürüksu Havzası'ndaki travertenlerde katmanlanma çok belirgindir. İnceleme alanında karstlaşmanın en iyi geliştiği birimdir. Haydarbaba Düdeni, mağaralar, Gemili Kaynağı ve civarında gözlenen obruklar yüzeydeki karstik oluşuklardır. Birim içinde açılan sondajlarda da sık sık büyük boşluklara girilmesi ve sirkülasyon kayıpları yeraltında da bu oluşukların ve karstlaşmanın boyutları hakkında fikir vermektedir. Pamukkale ve Karahayıt civarındaki sıcak sular yüzeye çıkarken travertenleri eriterek karstik boşlukları oluşturmakta, yüzeyde ise yeni travertenleri meydana getirmektedir. Bu birim hidrotermal karstın en güzel örneklerinden biridir. Travertenler içerisinde açılan

sondajlarla ortalama 10 lt/sn su alınabilmektedir. Geçirimsizliği çok yüksek olan bu birim Çürüksu Ovası'nda soğuk yeraltı suları için iyi bir akifer, Pamukkale ve Karahayıt'ta ise sıcak sular için hazne kaya özelliğindedir. Çimento fabrikası güneyinde, travertenlerde açılan ve artezyen yapan kuyulardan, Haydarbaba Düdeni'nde suyun akış yönünden, birimin yüksek kotlardaki Çivril-Baklan Ovası ile Acıgöl Havzası'ndan beslendiği anlaşılmaktadır.

5.1.3. Geçirimli birim (Gç.3)

Bu birim alüvyon ve yamaç molozundan oluşmaktadır. İnceleme alanında geniş bir yayılıma sahip olan ve kalınlığı 130 m'yi bulan alüvyonlar iyi bir akifer olup bol yeraltı suyu taşır. Alüvyonda açılan sondajlarla yüksek debili su alınabilmektedir. Bazı kuyuların artezyen yapması yanal devamlılığı olan geçirimli litolojileri ve yarı basınçlı akiferleri göstermektedir. Honaz-Kızıyer arasında yer alan alüvyon yelpazeleri büyük boyutludur ve yeraltı suyu potansiyeli fazladır. Kızıyer Köyü civarında açılan 6 adet D.S.İ. sondaj kuyusunda alınan yüksek debili sular bunun kanıtıdır. Çürüksu Ovası yeraltı suları komşu akiferlerle hidrolik ve hidrojeolojik ilişki içindedir. Pamukkale-Karahayıt arasında gözlenen yamaç molozu, litoloji ve akifer özellikleri alüvyonlarla benzer olmasına rağmen, sıcak sularla ilişkili ve kalınlığının az olması nedenleriyle fazla önem taşımaz.

5.1.4. Yarı geçirimli birim (Ygç)

Kiltaş, silttaş, killi kireçtaş, kireçtaş biriminin (Mpk) kireçtaş düzeyleri ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı çakıltaş, kumtaş, silttaş (Plk) biriminin özellikle çakıltaş düzeyleri bu birimi oluşturur. Kireçtaşlarının tektonizma ile kazandığı ikincil geçirimsizlik ve suların, süreksizlik yüzeyleri boyunca ilerlettiği karstlaşma kireçtaşlarına iyi bir akifer özelliği kazandırmıştır. Ancak, yeraltı suyu taşıma derecesi, kalınlığında görülen değişimler, yanal süreksizlik, kiltaş ve silttaşlarının varlığı gibi faktörlerle sınırlanır. Kireçtaşları sıcak su kaynaklarının ikinci hazne kayasını oluşturmaktadır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimin çakıltaşları, kumtaş ve silttaşları ile düzensiz ardalanma sunması ve yayılımının az olması nedeniyle önemsiz bir akiferdir.

5.1.5. Geçirimsiz birim (Gz.1)

Bu birim, Paleozoyik yaşı şistlerden oluşur. Mikaşist, kuvarşist, kalkışist ile ardalanmalı olan kuvarsitler sert ve kırılğan olmaları sonucu ikincil geçirimsizlik kazanmalarına karşın, ince olmaları nedeniyle akifer oluşturmazlar. Şistler, geçirimsizlikleri nedeniyle mermerlerdeki yeraltısularını tutarlar. Ayrıca gnaysların oluşturduğu düşünülen hazne kaya için çok iyi bir örtü kayadırlar.

5.1.6. Geçirimsiz birim (Gz.2)

Alt Pliyosen yaşı çakıtaşı-kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanması (Ms) ile kumtaşı-kiltaşı-killi kireçtaşı ardalanması (Plg)'ndan oluşur. Çakıtaşı-kumtaşı-silttaşı-kiltaşı ardalanmasında silttaşı, kiltası düzeylerinin istifte sıkça tekrarlanması ve kalın olması, ayrıca çakıtaşı ve kumtaşlarının çimentolu oluşları, bu birimi geçirimsiz kılmıştır. Bu özelliğinden dolayı üçüncü hazne kaya olan mermerler üzerinde çok iyi bir örtü kaya niteliğindedir. Kumtaşı-kiltaşı-killi kireçtaşı ardalanması da litolojiden anlaşıldığı gibi geçirimsizdir. Bu özelliği ile ikinci hazne kaya olan Pliyosen kireçtaşlarının örtü kayasıdır.

5.2. Su Noktaları

Bu bölümde inceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların tanımlamaları yapılmış; bazı sondaj kuyularına ait pompaj deney verilerine göre kuyu parametreleri saptanmış ve sıcak suların oluşumu açıklanmıştır.

5.2.1. Soğuk sular

5.2.1.1. Sondajlar

İnceleme alanında Çürüksu Ovası'nda 55, Denizli Ovası'nda 13, Pamukkale-Karahayıt-Akköy çevresinde 23 ve Karahayıt civarında iki tane olmak üzere toplam 91 sondaj değerlendirilmiştir. Çürüksu Ovası'ndaki 55 sondajdan 23'ü sıcak su kategorisinde olmasına rağmen, sulamada kullanıldığı için soğuk su sondajları kapsamına alınmıştır. Toplam 91 sondajın 61'inin kuyu logu, 57'sinin kimyasal analizi

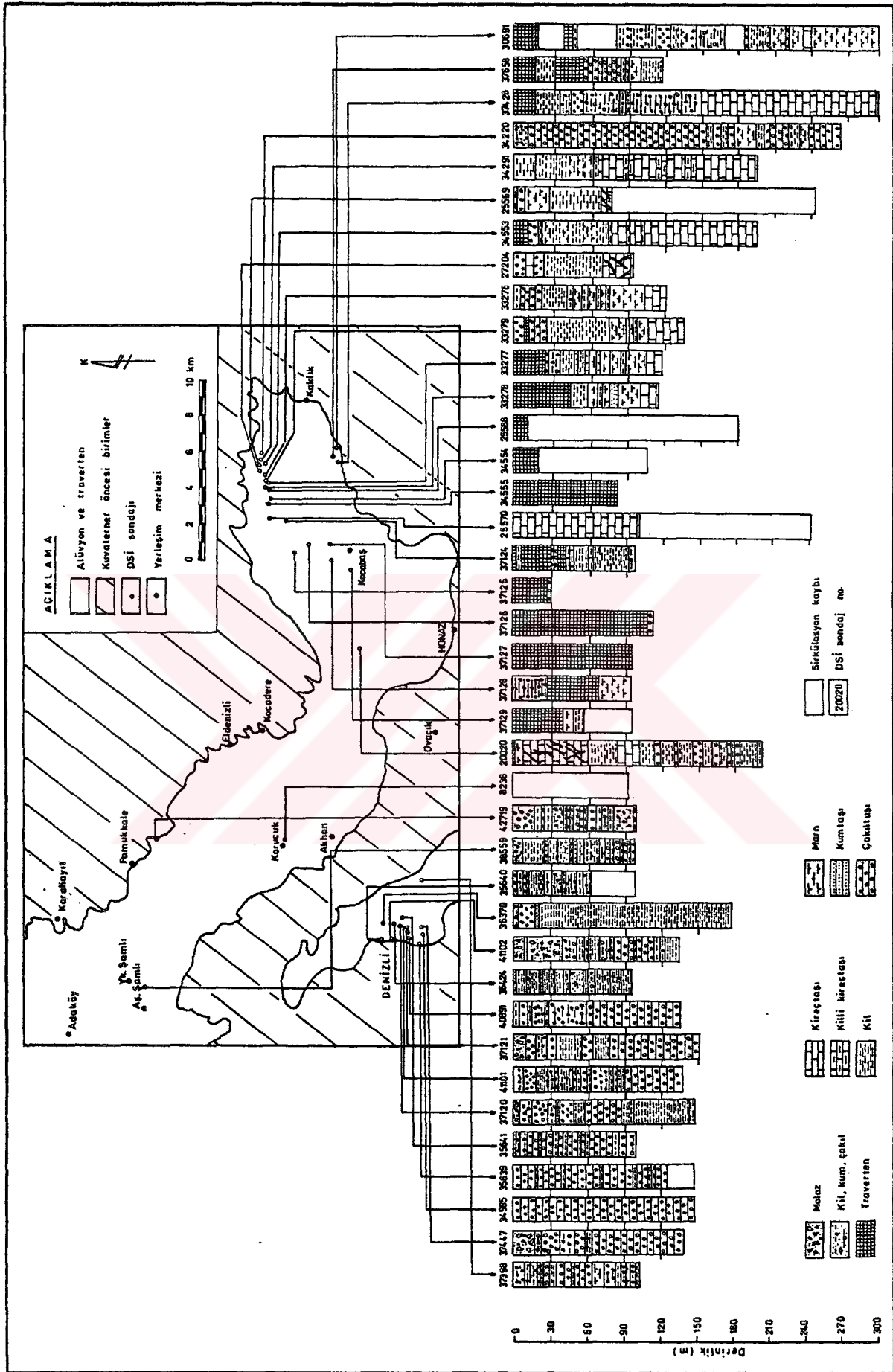
verilmiştir (Çizelge 7). Kimyasal analizlerin 35'i bu çalışma süresince yaptırılmış, 22'si ise önceki analizlerden derlenmiştir. Sondajların lokasyonları ve kuyu logları Şekil 11,12,13'de sunulmuştur. Bu sondajlardan 59'u sulama amaçlı ya da bedelli olarak D.S.İ., 4'ü Köy Hizmetleri tarafından açılmıştır. 28 sondaj ise özel sondajlardır. D.S.İ.tarafından açılan sondajlar sulama, Köy Hizmetleri tarafından açılanlar içme, genellikle Pamukkale - Karahayıt-Akköy civarında açılan özel sondajlar da içme ve kullanma suyu amaçlıdır.

Çürüksu Ovası sondajlarının derinliği 30 ile 300 m. arasında değişmektedir. Kuyu logları, Kocabaş kuzeyinde traverten kalınlığının 110 m'ye kadar çıktığını göstermektedir. Kocabaş civarında ve kuzeyindeki kuyularda yeraltısuyu travertenlerden alınmaktadır. Havza doğusunda ise travertenler ile ardalanmalı olmakla beraber Pliyosen'inin kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşları akifer oluşturmaktadır. Kuyu loglarından sağlıklı bilgi alınamamakla birlikte alüvyon kalınlığının 100 m.'yi aştığı tahmin edilmektedir. Dolayısıyla alüvyon da önemli bir akiferdir. Ovada yeraltısuyu seviyesi yüzeye çok yakındır. Gölemezli civarında bu değer 50 cm. kadardır. Bu sular drenaj kanallarına boşalmaktadır. Bu durum Gölemezli sıcak suları civarında alüvyonda gözlenmesine rağmen, Yukarı Çürüksu'da Gemili Kaynağı çevresinde travertenlerde de mevcuttur. Buradaki drenaj sularının debisi travertenlerin tektonik ve karstlaşma ile kazandığı ikincil gözenekliliğin boyutlarını göstermektedir. Kuyu loglarında gözlenen, travertenlerdeki büyük karstlaşma ve sirkülasyon kayıpları da bunu ortaya koymaktadır.Çimento fabrikası güneyindeki 33277, 33278, 33276 ve 34553 nolu D.S.İ. kuyuları artezyen yapmaktadır. Bu kuyulardan ilk üçünde toplam debi 300 lt/sn kadardır. Yöredeki köylülerle yapılan görüşmelerde 33276 nolu ve 110 m. derinliğindeki sondaj kuyusunun açılmasından sonra 50 m. yüksekliğe kadar su fişkırdığı, boruların basınca dayanamadığı, bu nedenle kuyunun "patlak kuyu" olarak nitelendiği belirtilmiştir. Daha sonra kuyuda içiçe iki boru yerleştirilerek aralarına çimento enjeksiyonu yapılmış ve kuyu sağlamlaştırılmıştır. Suyun 50 m. fişkırtma yüksekliği basınç yüzeyini gösterir. Artezyen yapan kuyuların logları incelendiğinde kil ve marn kalınlığının fazla olduğu (50-90 m) görülmektedir. Diğer bazı sondajlarda izlenen artezyen sularının kaynağı yarı basınçlı akiferlerdir. Yörede artezyen ya da pompajla çalışan kuyuların muazzam debileri (tahminen toplam 5 m.³/sn) havzanın kapalı bir havza olmadığını ve daha yüksek olan Çivril-Baklan Ovası ve kısmen de Acıgöl Havzası'ndan beslendiğini ortaya koymaktadır.

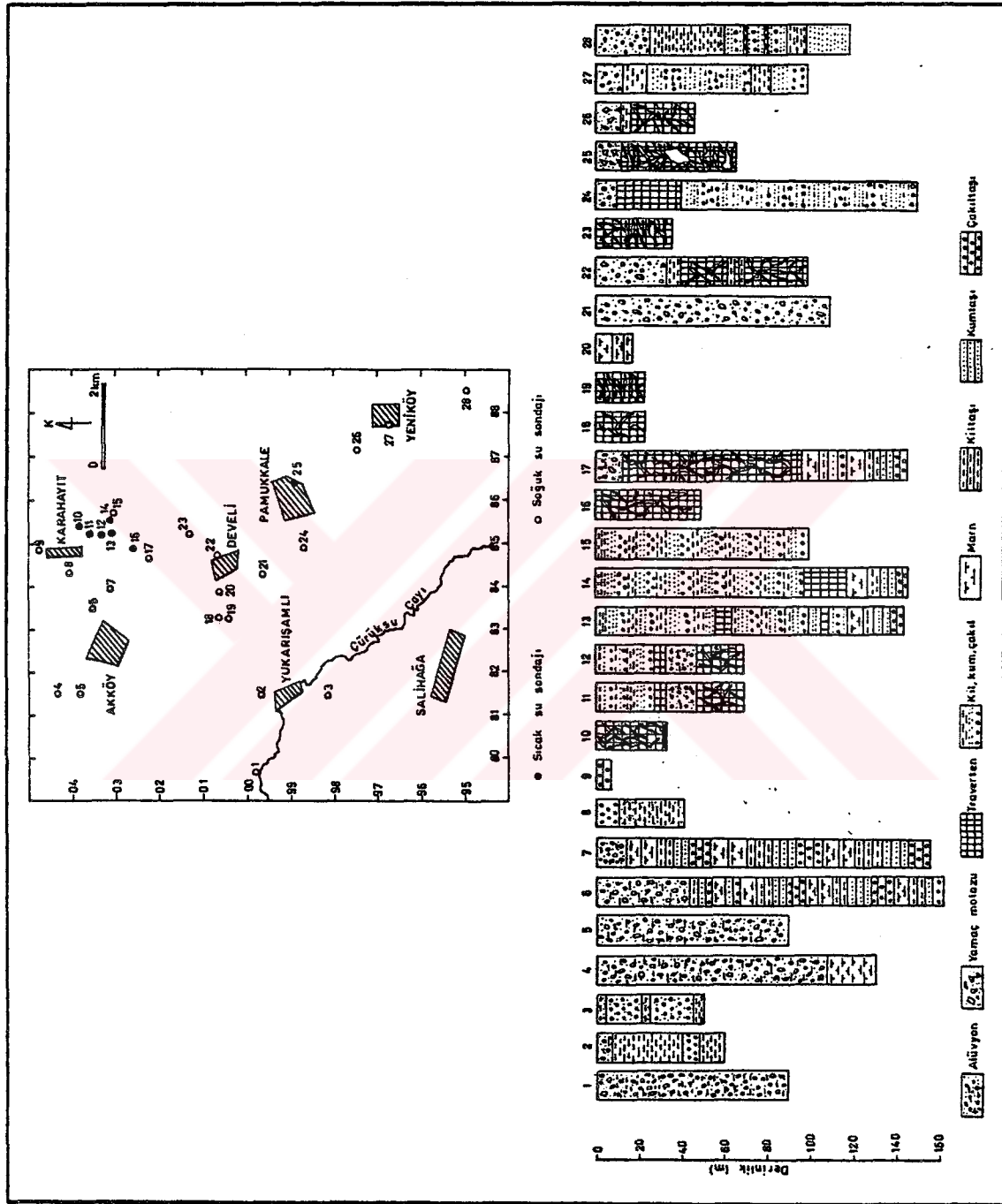
İnceleme alanının Çürüksu kesimindeki sondaj borularında kabuklaşma yoktur. Özellikle çimento fabrikası güneyindeki kuyu sularında yoğunlaşan çürük yumurta kokusu H₂S gazının varlığını gösterir. Bu gazın oksitlenmesi ile su saldırgan hale

Çizelge 7. İnceleme alanındaki soğuk su sondajlarına ait bilgiler.

No	Açıklama	Kim Anal.	Log.	No	Açıklama	Kim Anal.	Log.	No	Açıklama	Kim Anal.	Log.
1	37128 nolu DSİ sondajı	+	+	34	Sarıyer Sondajı	+	-	K8	Özel sondaj	-	+
2	39338 nolu DSİ sondajı	+	-	35	İrışanlı Sondajı	+	-	K9	Özel sondaj	-	+
3	39340 nolu DSİ sondajı	+	-	36	Dereköy Sondajı	+	-	K15	Özel sondaj	-	+
4	39337 nolu DSİ sondajı	+	-	37	42719 nolu DSİ sondajı	+	+	K17	Özel sondaj	-	+
5	37127 nolu DSİ sondajı	+	+	38	20020 nolu DSİ sondajı	+	+	K18	Özel sondaj	-	+
6	39339 nolu DSİ sondajı	+	-	39	34220 nolu DSİ sondajı	+	+	K19	Özel sondaj	-	+
7	39336 nolu DSİ sondajı	+	-	40	34555 nolu DSİ sondajı	+	+	K20	Özel sondaj	-	+
8	39335 nolu DSİ sondajı	+	-	41	36834 nolu DSİ sondajı	+	-	K21	Özel sondaj	-	+
9	39126 nolu DSİ sondajı	+	-	42	Ali Kara sondajı	+	-	K22	Özel sondaj	-	+
10	39334 nolu DSİ sondajı	+	-	43	Belediye sondajı	+	-	K24	Özel sondaj	-	+
11	37125 nolu DSİ sondajı	+	+	44	İsa Baydil sondajı	+	-	25	Özel sondaj	-	+
12	37124 nolu DSİ sondajı	+	+	45	Ramazan Akbaba sondajı	+	-	26	Özel sondaj	-	+
13	34554 nolu DSİ sondajı	+	+	46	Musa Doğan sondajı	+	-	27	Özel sondaj	-	+
14	25568 nolu DSİ sondajı	+	+	51	39559 nolu DSİ sondajı	-	-	28	Özel sondaj	-	+
15	33278 nolu DSİ sondajı	+	+	52	8238 nolu DSİ sondajı	-	+	K33	Özel sondaj	-	+
16	33276 nolu DSİ sondajı	+	+	53	37129 nolu DSİ sondajı	-	+	K34	Özel sondaj	-	+
17	27204 nolu DSİ sondajı	+	+	54	37127 nolu DSİ sondajı	-	+	D1	35639 nolu DSİ sondajı	+	+
18	25569 nolu DSİ sondajı	+	+	55	37126 nolu DSİ sondajı	-	+	D2	34985 nolu DSİ sondajı	+	+
19	34553 nolu DSİ sondajı	+	+	56	25570 nolu DSİ sondajı	-	+	D3	40891 nolu DSİ sondajı	+	+
21	34291 nolu DSİ sondajı	+	+	57	33277 nolu DSİ sondajı	-	+	D4	41102 nolu DSİ sondajı	+	+
22	43530 nolu DSİ sondajı	+	-	58	33279 nolu DSİ sondajı	-	+	D5	41101 nolu DSİ sondajı	+	+
23	45600 nolu DSİ sondajı	+	-	59	37428 nolu DSİ sondajı	-	+	D6	37447 nolu DSİ sondajı	+	+
24	40979 nolu DSİ sondajı	+	-	60	37658 nolu DSİ sondajı	-	+	D7	37121 nolu DSİ sondajı	+	+
25	32647 nolu DSİ sondajı	+	-	61	30691 nolu DSİ sondajı	-	+	D8	35640 nolu DSİ sondajı	+	+
26	32648 nolu DSİ sondajı	+	-	K1	Özel sondaj	-	+	D9	37120 nolu DSİ sondajı	+	+
27	DSİ sondajı	+	-	K2	Özel sondaj	-	+	D10	35641 nolu DSİ sondajı	+	+
29	DSİ sondajı	+	-	K3	Özel sondaj	-	+	D11	36424 nolu DSİ sondajı	+	+
30	DSİ sondajı	+	-	K4	Özel sondaj	-	+	D12	36370 nolu DSİ sondajı	+	+
31	DSİ sondajı	+	-	K5	Özel sondaj	-	+	D13	37398 nolu DSİ sondajı	+	+
32	DSİ sondajı	+	-	K6	Özel sondaj	-	+				
33	DSİ sondajı	+	-	K7	Özel sondaj	-	+				



Şekil 12. Çürüksu ve Denizli ovalarındaki D.S.İ. sondajlarının lokasyonları ve kuyu logları.



Şekil 13. Pamukkale-Karahayit-Akköy civarındaki sondajların lokasyonları ve kuyu logları.

geçerek korozyona yol açar. Yoğun korozyon etkisi borularda incelmeye, delinme ve demir pasına neden olmuştur. Korozyon etkisinin en iyi gözlemlendiği kuyu 33276 nolu sondajdır. Asidik etkiden dolayı borularda gözlenmeyen kabuklaşma, sulama kanallarında etkilidir. Bu nedenle sudaki uçucu maddelerin ayrılmasını ve bazik ortam yaratarak kimyasal çökelmeleri hızlandırmak amacıyla D.S.İ. tarafından havalandırma yapısı inşa edilmiştir. Buradan sulama kanallarına verilen suyun kabuklaşma etkisi önemli ölçüde önlenmiştir.

Çürüksu Ovası sondaj sularının 23'ünün sıcaklığı 21-28°C arasındadır. Honaz batısındaki 27 nolu sondaj kuyusunun sıcaklığı 27.8°C'dir ve sudaki yüksek demir miktarından dolayı suyun aktığı kanalda kırmızı renk egemendir. Bu kuyularda yüksek sıcaklık, H₂S gazı varlığı ve bazı kuyulardaki yüksek demir miktarı hidrotermal katkının en büyük delilidir.

Pamukkale-Karahayıt-Akköy çevrelerinde 7 ile 160 m. arasında değişen derinliklerde sondajlar açılmıştır. Egesu Sondajcılık Limited Şirketi tarafından yapılan bu sondajların logları Şekil 13'te verilmiştir. Kuyu loglarına göre alüvyon kalınlığı, Akköy kuzeyinde 110 m. civarındadır. Özellikle travertenlerde ileri düzeyde karstlaşma vardır. Yeraltısu alüvyondan, Pliyosen birimlerinin çakıltısı, kumtaşı düzeylerinden alınmaktadır.

Çürüksu Ovası'nda ovayı batıdan doğuya temsil edebilecek 38559, 42719, 8238, 37129, 37126 ve 34220 nolu kuyularda D.S.İ.'nin yaptığı pompaj deneylerindeki düşüm ve yükselim değerlerinden yararlanılarak permeabilite katsayısı (K) ve transmissibilite (T) değerleri Theis alçalım, Jacob yaklaşık, Houpeurt-Pouchan Yükselim ve Chow yöntemleriyle hesaplanmıştır (Eroskay ve Uz, 1981; Krujeman ve Ridder , 1982). Permeabilite katsayısının hesaplanmasında filtre kalınlıkları kullanılmıştır. Gözlem kuyusu olmadığı için depolama katsayısı ve etki yarıçapı değerleri hesaplanamamıştır.

Akifer Karakteristikleri:

38559 nolu sondaj kuyusu (Şekil.14,15,16)

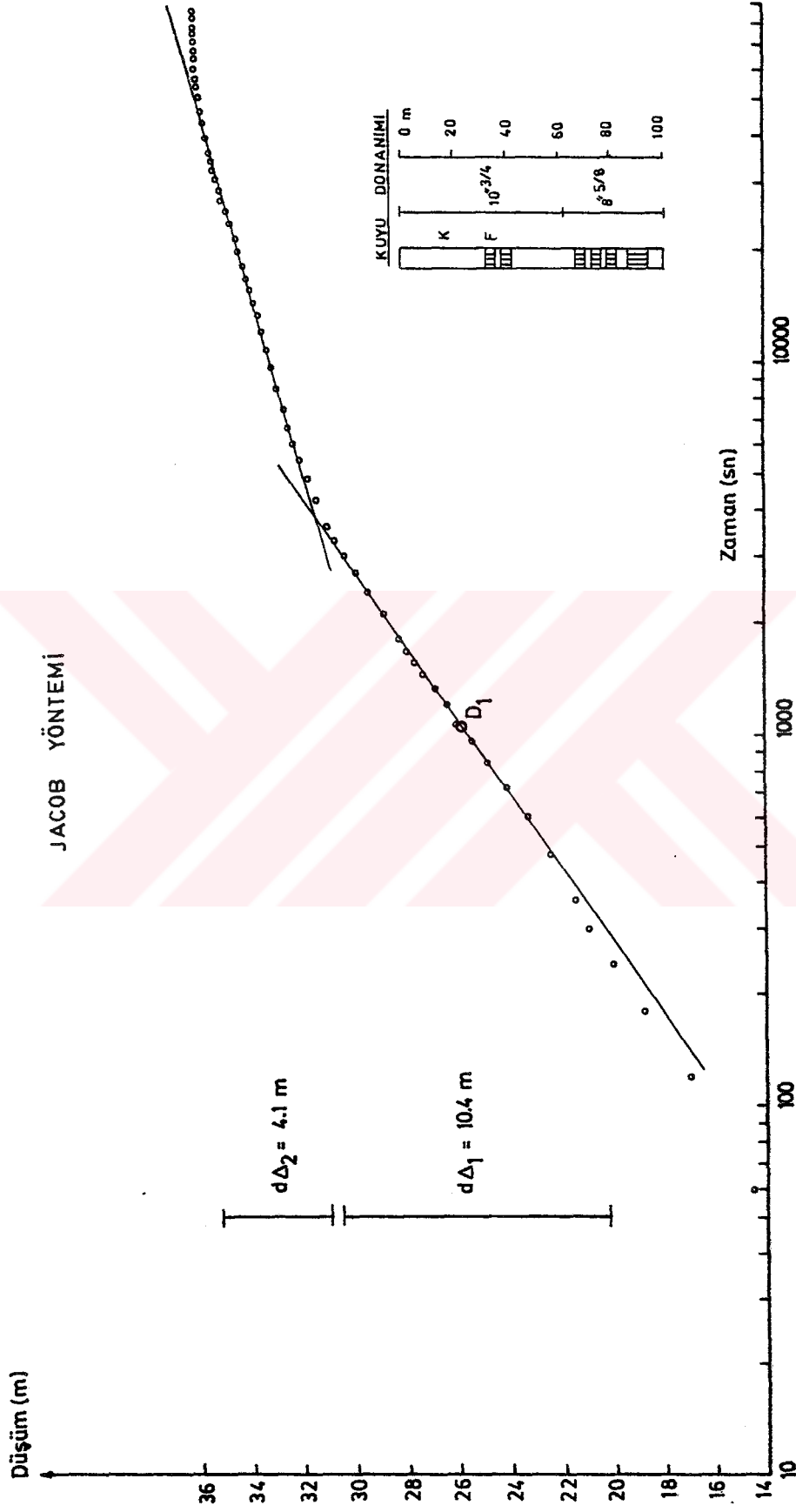
Yer	=	Aşağısamlı doğusu
Derinlik	=	100 m.
Statik seviye	=	0 m.
Debi	=	20.66 lt/sn
Pompaj süresi	=	24 saat
Toplam düşüm	=	35.88 m.
Artık düşüm	=	2.45 m.
Yükselim süresi	=	24 saat

<u>Yöntem</u>	<u>K (m/sn)</u>	<u>T (m²/sn)</u>
Theis	1.43×10^{-5}	4.01×10^{-4}
Jacob	1.29×10^{-5}	3.63×10^{-2}
	3.29×10^{-5}	9.22×10^{-2}
Chow	1.29×10^{-5}	3.62×10^{-4}
Yükselim	1.73×10^{-5}	4.84×10^{-4}

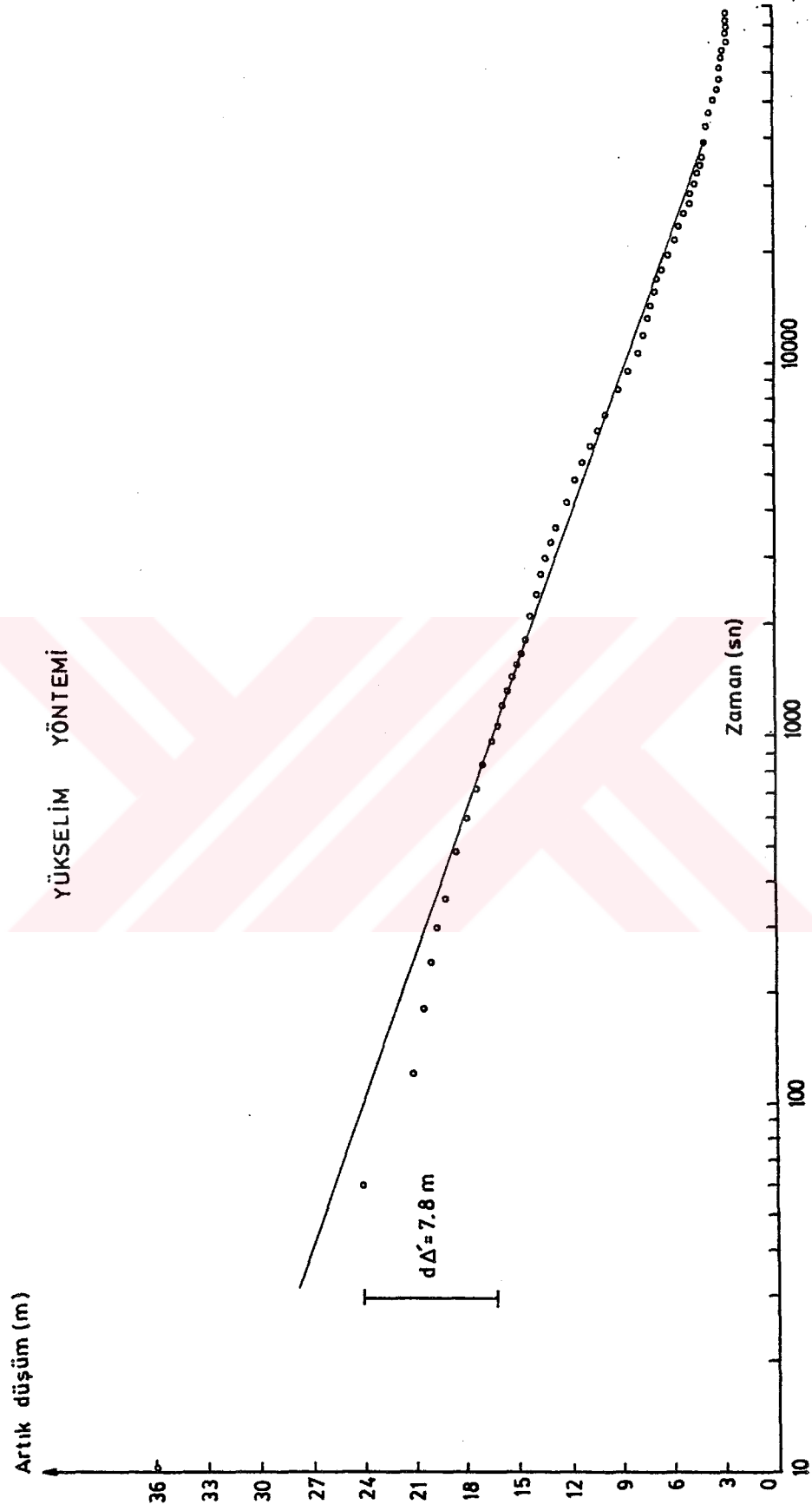
42719 nolu sondaj (Şekil .17,18,19)

Yer	=	Yeniköy
Derinlik	=	100 m.
Statik seviye	=	12.40 m.
Debi	=	37.73 lt/sn
Pompaj süresi	=	24 saat
Toplam düşüm	=	29.78 m.
Yükselim süresi	=	5 saat

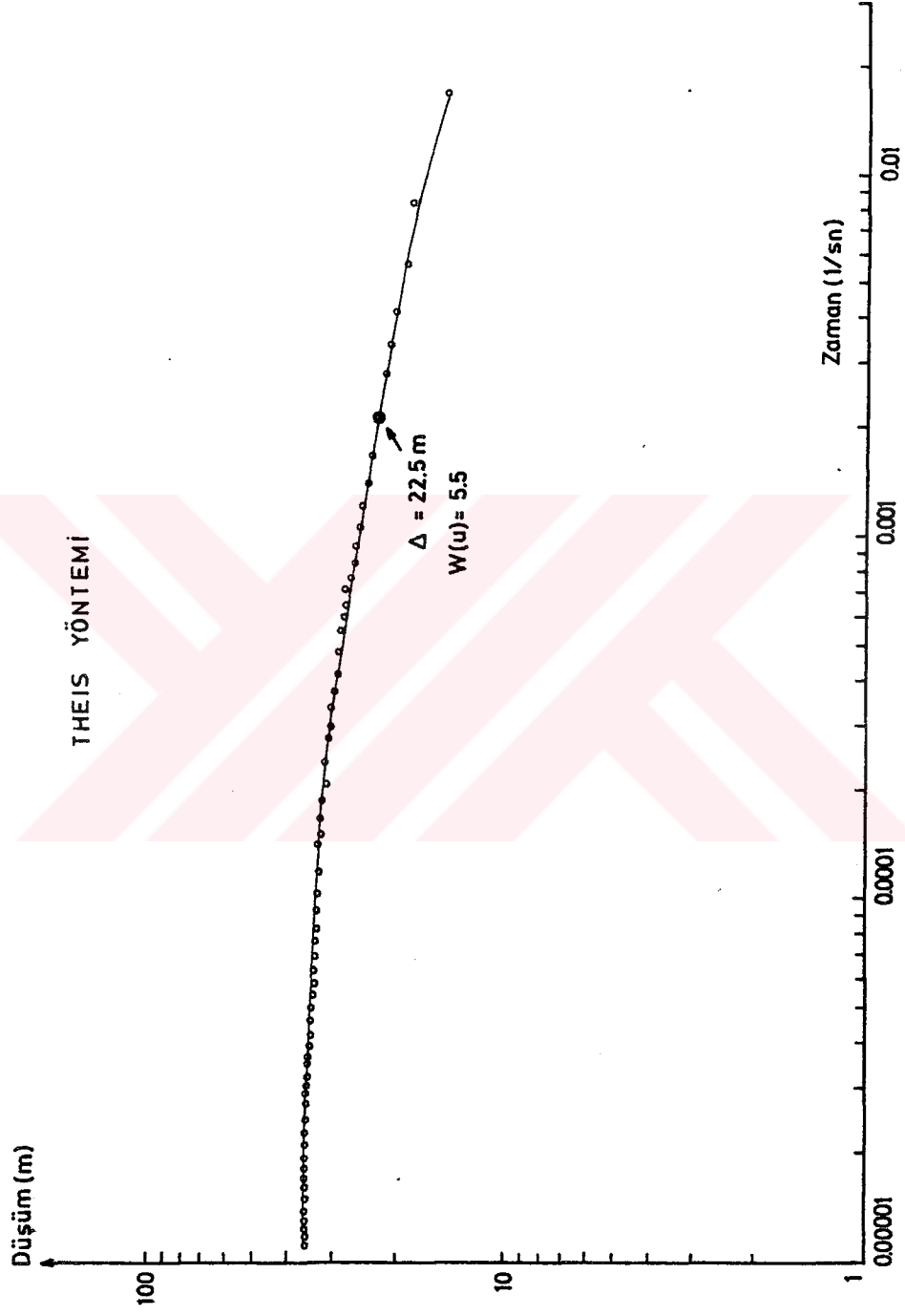
<u>Yöntem</u>	<u>K (m/sn)</u>	<u>T (m²/sn)</u>
Theis	8.73×10^{-6}	4.89×10^{-4}
Jacob	9.41×10^{-6}	5.27×10^{-4}
Chow	9.35×10^{-6}	5.24×10^{-4}
Yükselim	1.86×10^{-6}	1.05×10^{-3}



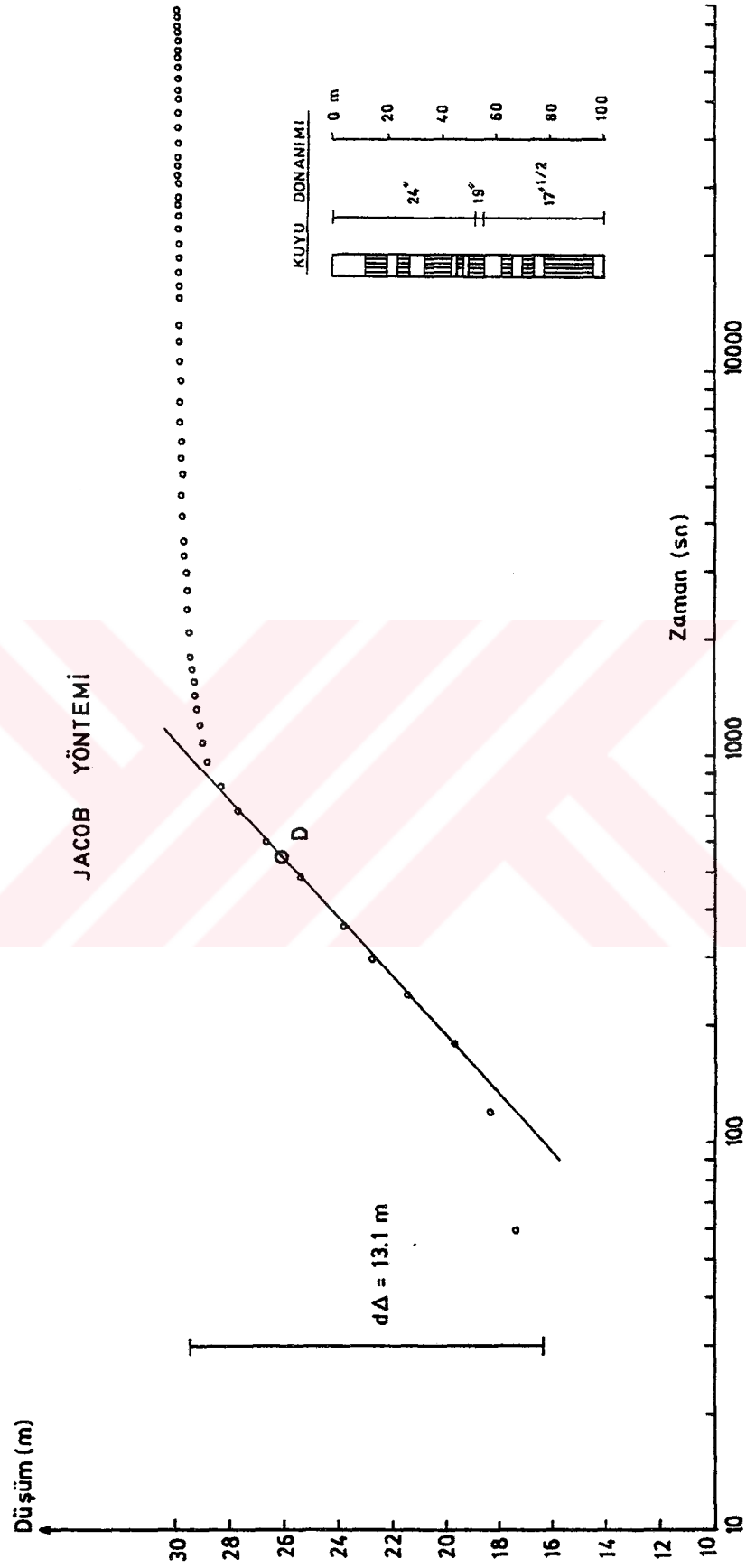
Şekil 14. 38559 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemleriyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



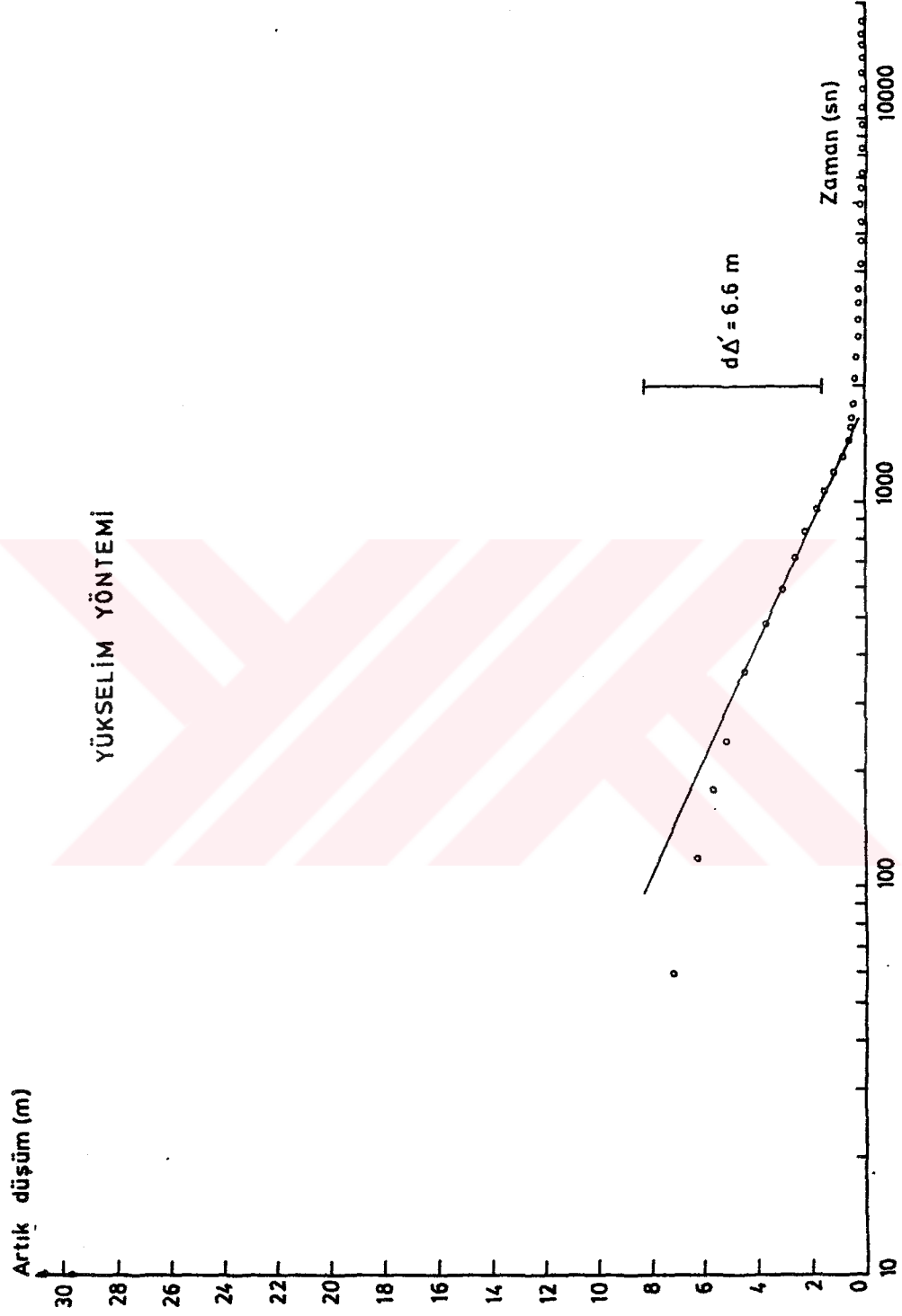
Şekil 15. 38559 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



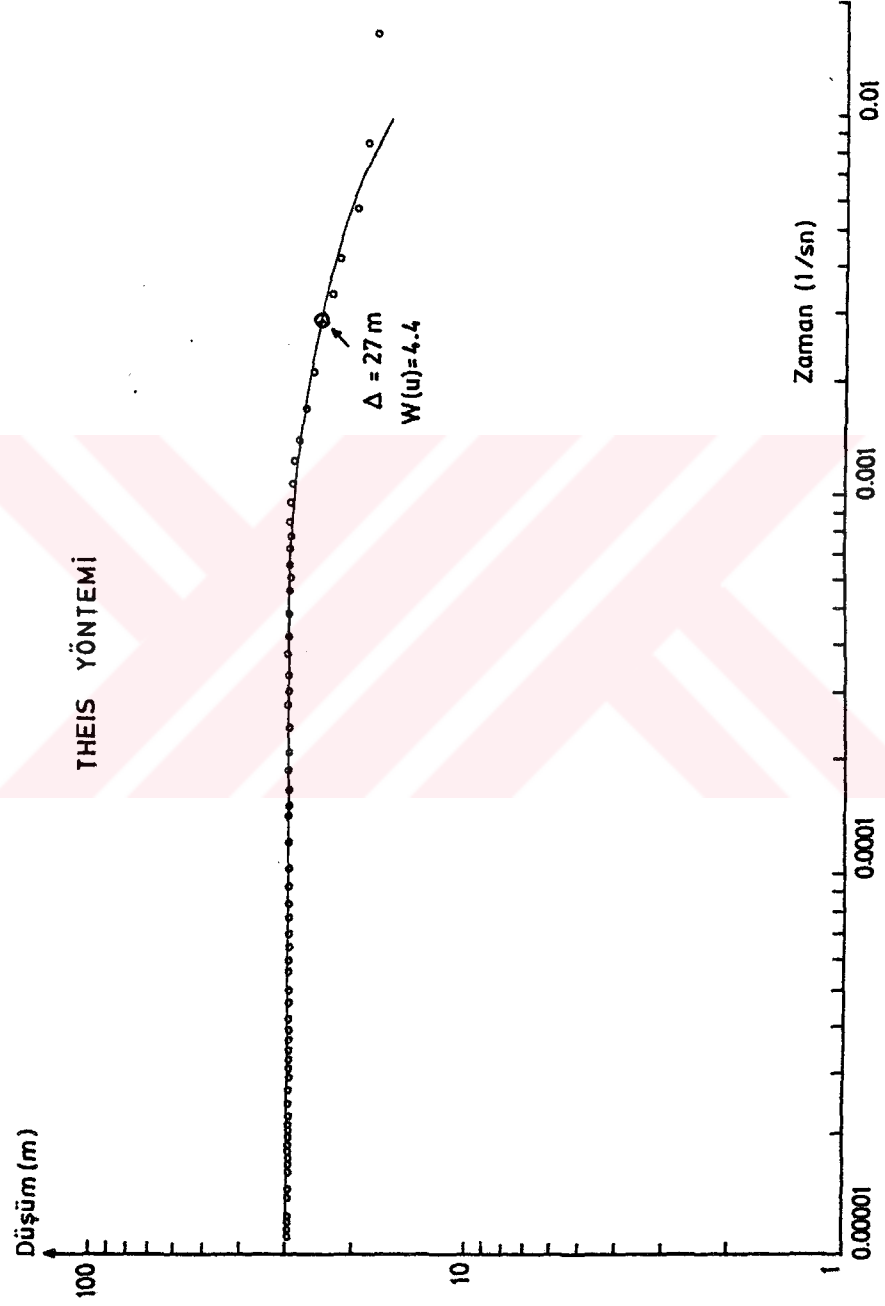
Şekil 16. 38559 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 17. 42719 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 18. 42719 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 19. 42719 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.

8238 nolu kuyu (Şekil.20,21,22,23)

Yer = Korucuk
 Derinlik = 95.5 m.
 Statik seviye = 0 m

	<u>Debi (lt/sn)</u>	<u>Pompaj süresi(saat)</u>	<u>Düşüm(m)</u>
1.kademe	25.00	1.5	1.43
2.kademe	34.43	1.5	2.05
3.kademe	48.00	1.5	3.07
4.kademe	64.00	11.5	4.68

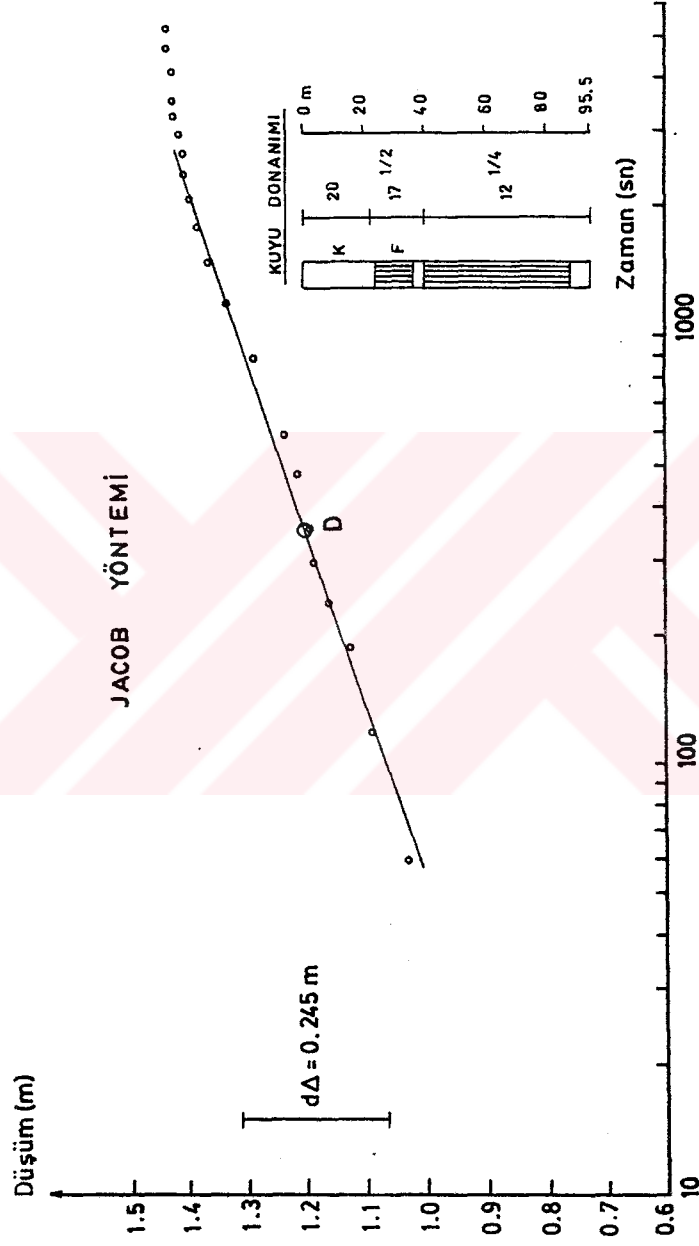
Yükselim süresi = 9 saat
 İşletme debisi = 48 lt/sn

<u>Yöntem</u>	<u>K(m/sn)</u>	<u>T(m²/sn)</u>
Theis	1.93×10^{-4}	1.16×10^{-2}
Jacob	3.10×10^{-4}	1.87×10^{-2}
Chow	2.76×10^{-4}	1.66×10^{-2}
Yükselim	0.10	6.1×10^{-3}

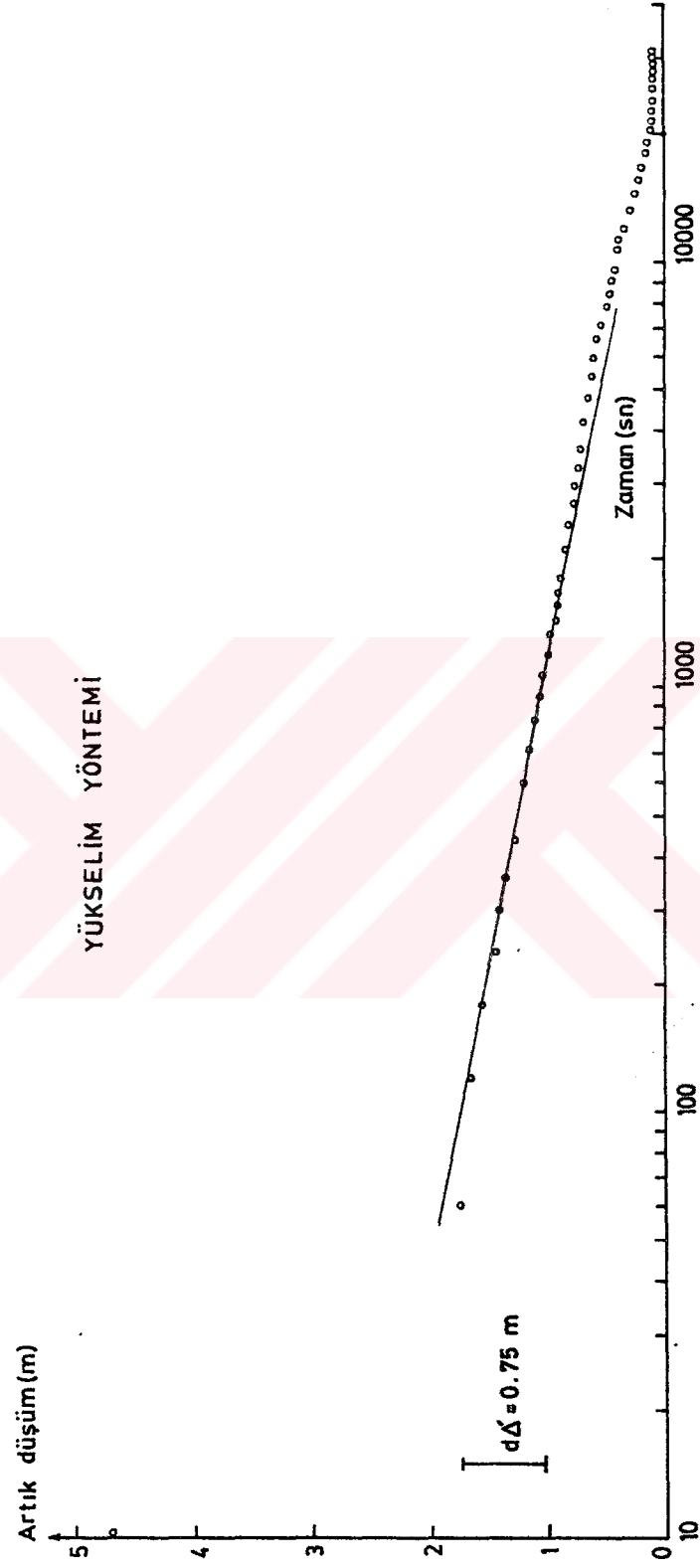
37129 nolu sondaj kuyusu (Şekil 24,25,26)

Yer = Kocabaş
 Derinlik = 100 m.
 Statik seviye = 20.70 m.
 Debi = 62.75 lt/sn.
 Pompaj süresi = 24 saat
 Toplam düşüm = 5.55 m.
 Yükselim süresi = 110 dakika

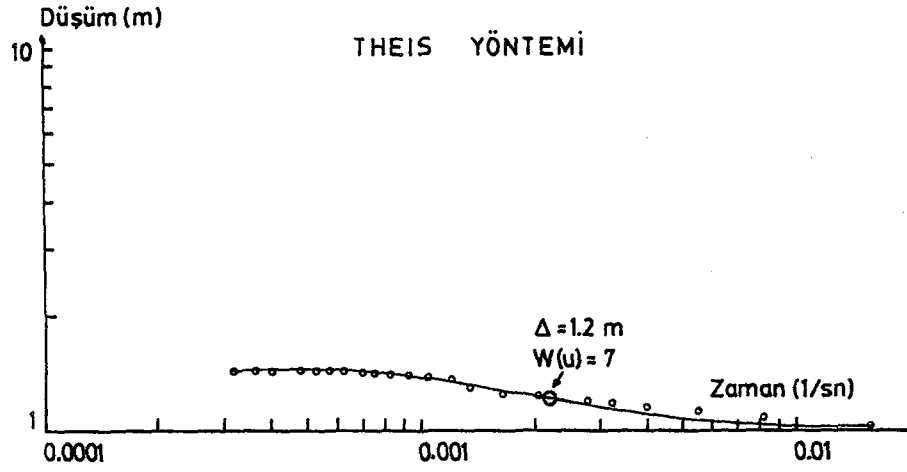
<u>Yöntem</u>	<u>K(m/sn)</u>	<u>T(m²/sn)</u>
Theis	2.05×10^{-5}	1.80×10^{-3}
Jacob	1.44×10^{-4}	1.27×10^{-2}
Chow	1.17×10^{-4}	1.03×10^{-2}
Yükselim	2.17×10^{-4}	1.91×10^{-2}



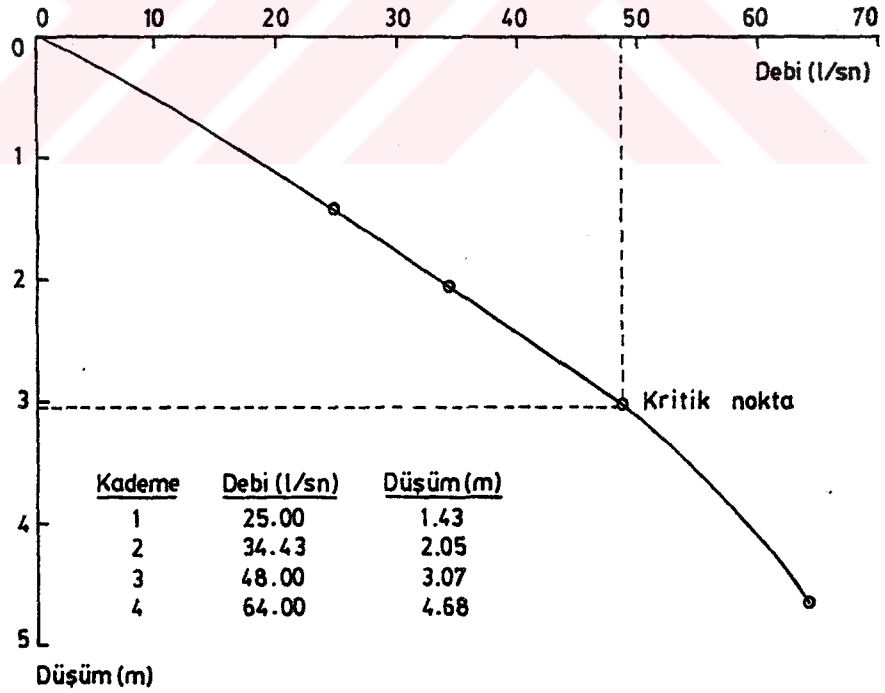
Şekil 20. 8238 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemleriyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



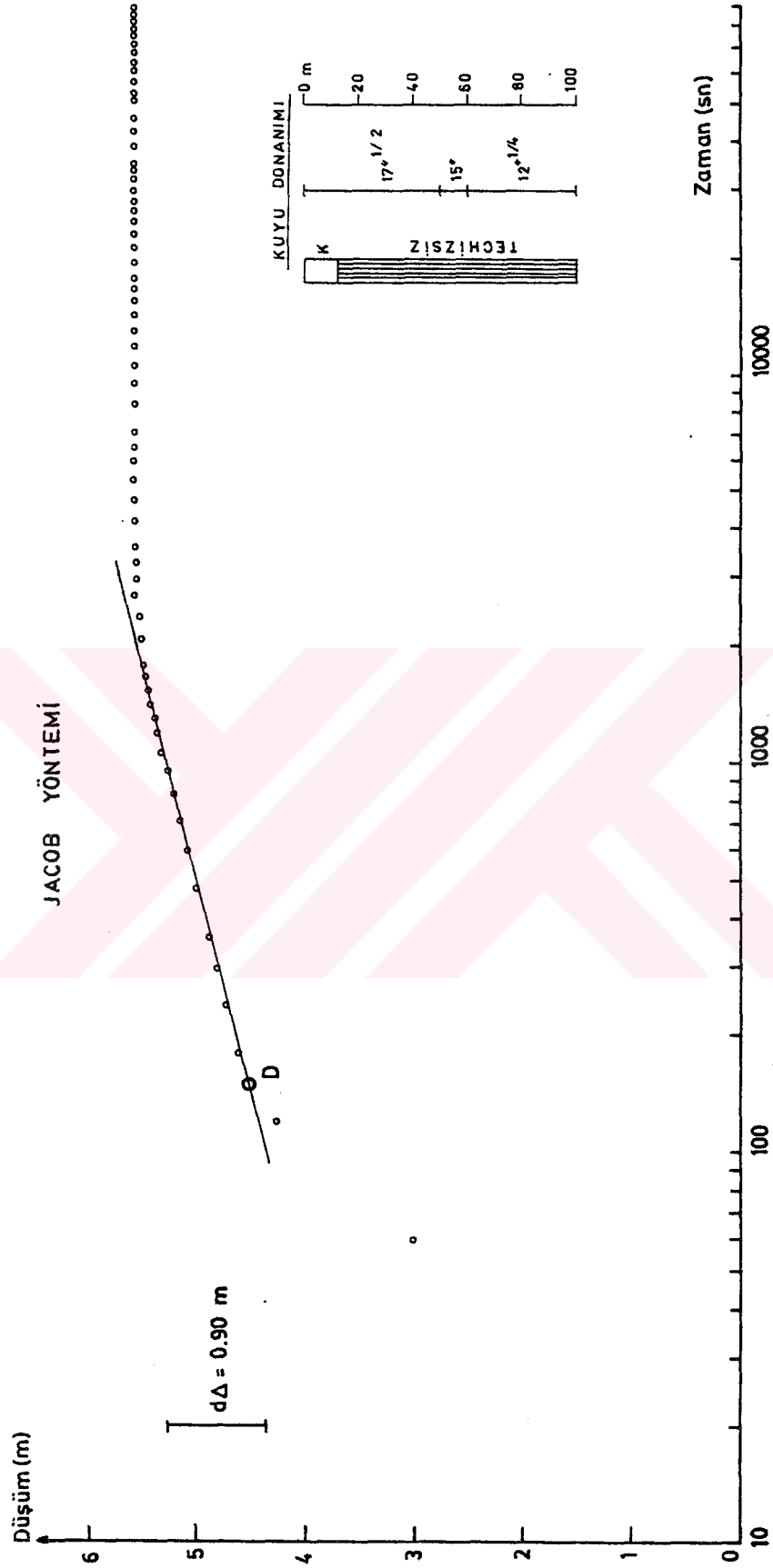
Şekil 21. 8238 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



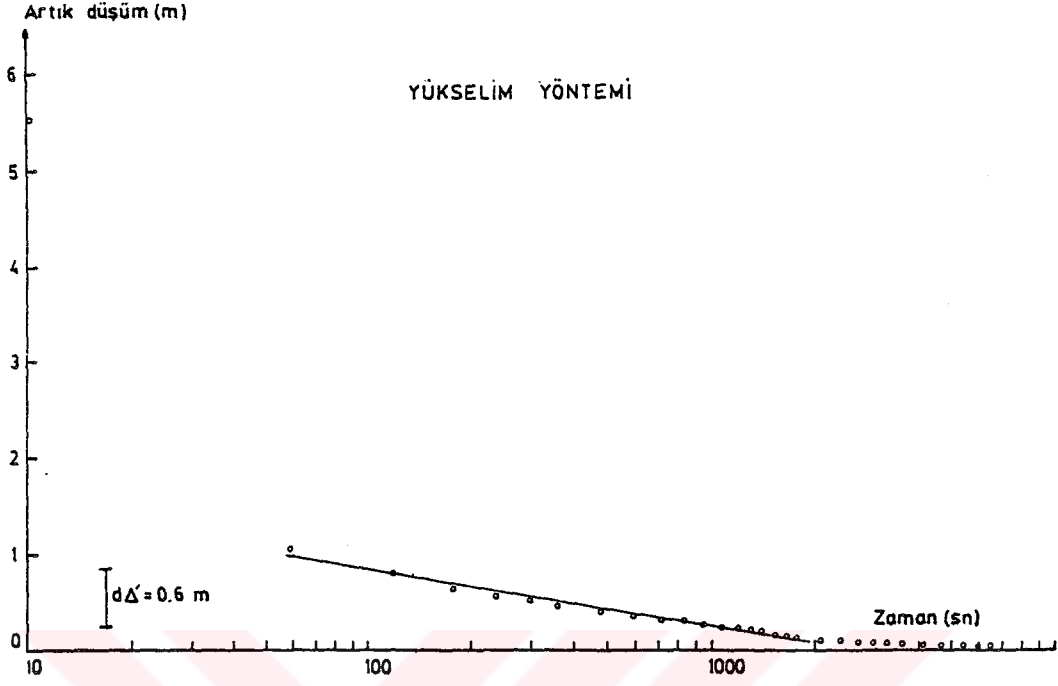
Şekil 22. 8238 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



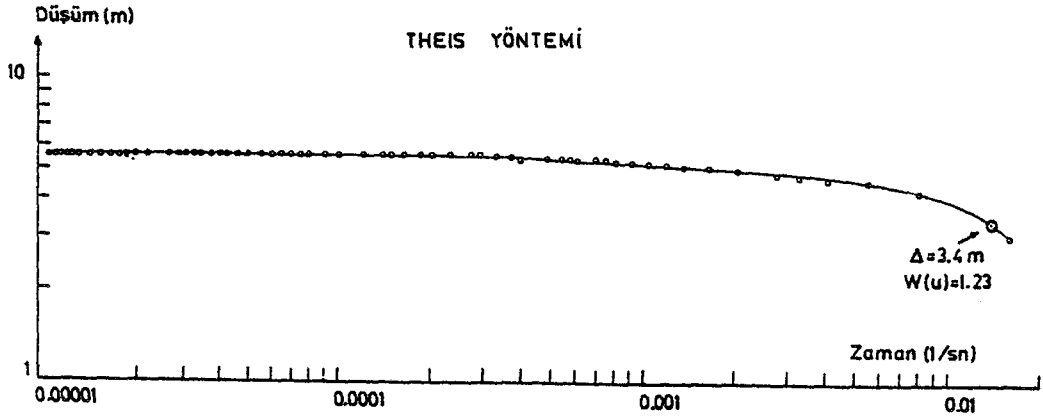
Şekil 23. 8238 nolu sondaj kuyusu, kuyu ayırtman eğrisi.



Şekil 24. 37129 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemleriyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 25. 37129 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 26. 37129 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemi ile K ve T parametrelerinin belirlenmesi.

37126 nolu sondaj kuyusu (Şekil.27,28,29)

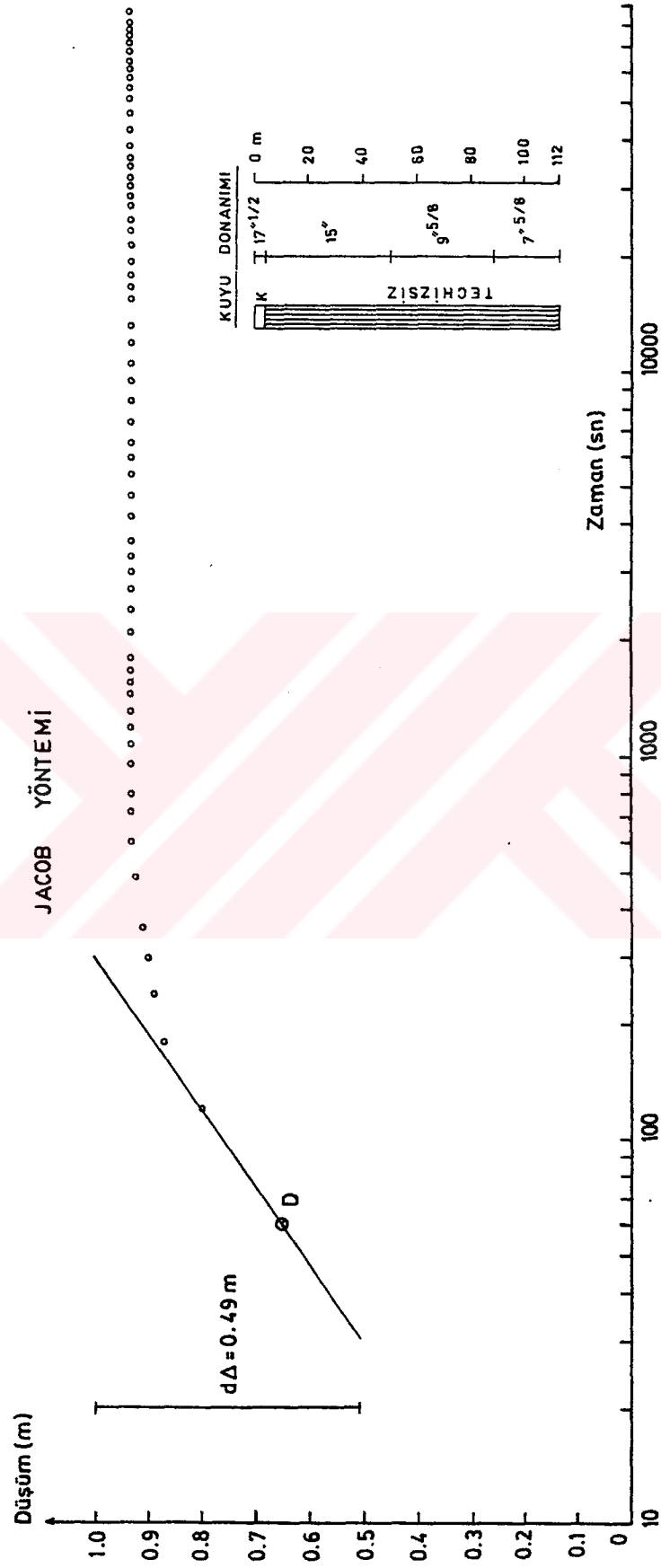
Yer	=	Kocabaş kuzeyi
Derinlik	=	112 m.
Statik seviye	=	15.00 m.
Debi	=	89.15 lt/sn
Pompaj süresi	=	24 saat
Toplam düşüm	=	0.93 m.
Yükselim süresi	=	18 dakika

<u>Yöntem</u>	<u>K(m/sn)</u>	<u>T(m²/sn)</u>
Theis	2.80×10^{-4}	3.03×10^{-2}
Jacob	3.08×10^{-4}	3.33×10^{-2}
Chow	2.99×10^{-4}	3.23×10^{-2}
Yükselim	1.37×10^{-3}	0.148

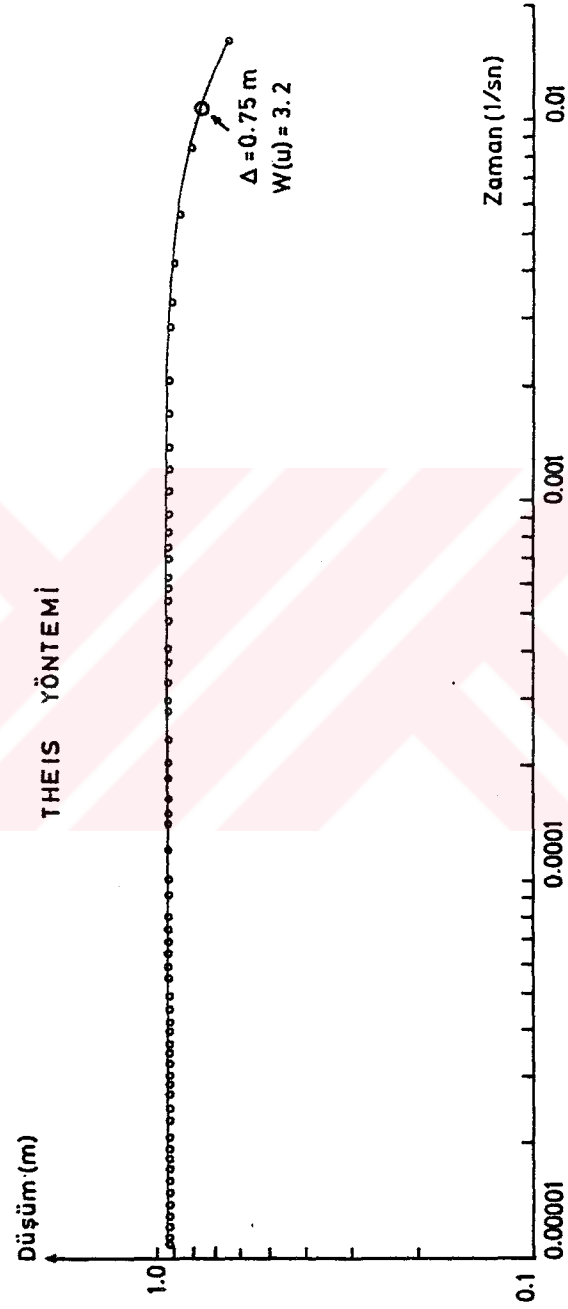
34220 nolu sondaj kuyusu (Şekil.30,31,32)

Yer	=	Kaklık kuzeybatısı
Derinlik	=	272 m.
Statik seviye	=	16.14 m.
Debi	=	35.28 lt/sn.
Pompaj süresi	=	24 saat
Toplam düşü	=	26.78 m.
Yükselim süresi	=	10 saat

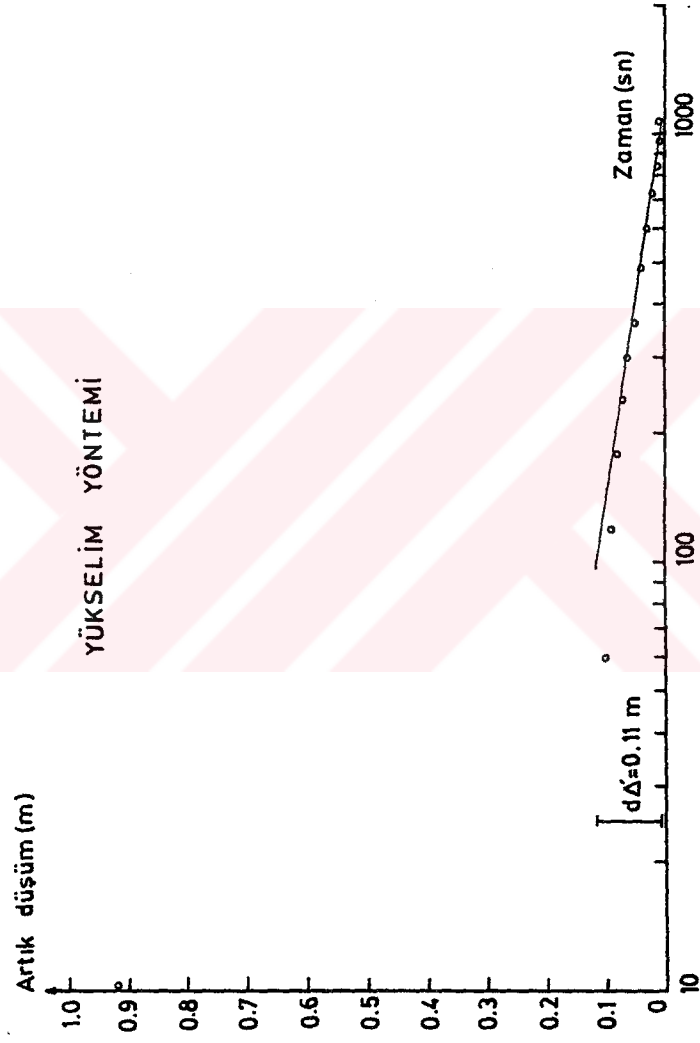
<u>Yöntem</u>	<u>K (m/sn)</u>	<u>T (m²/sn)</u>
Theis	6.85×10^{-6}	1.64×10^{-4}
Jacob	2.41×10^{-6}	2.99×10^{-4}
Chow	2.25×10^{-6}	2.79×10^{-4}
Yükselim	2.74×10^{-6}	3.39×10^{-4}



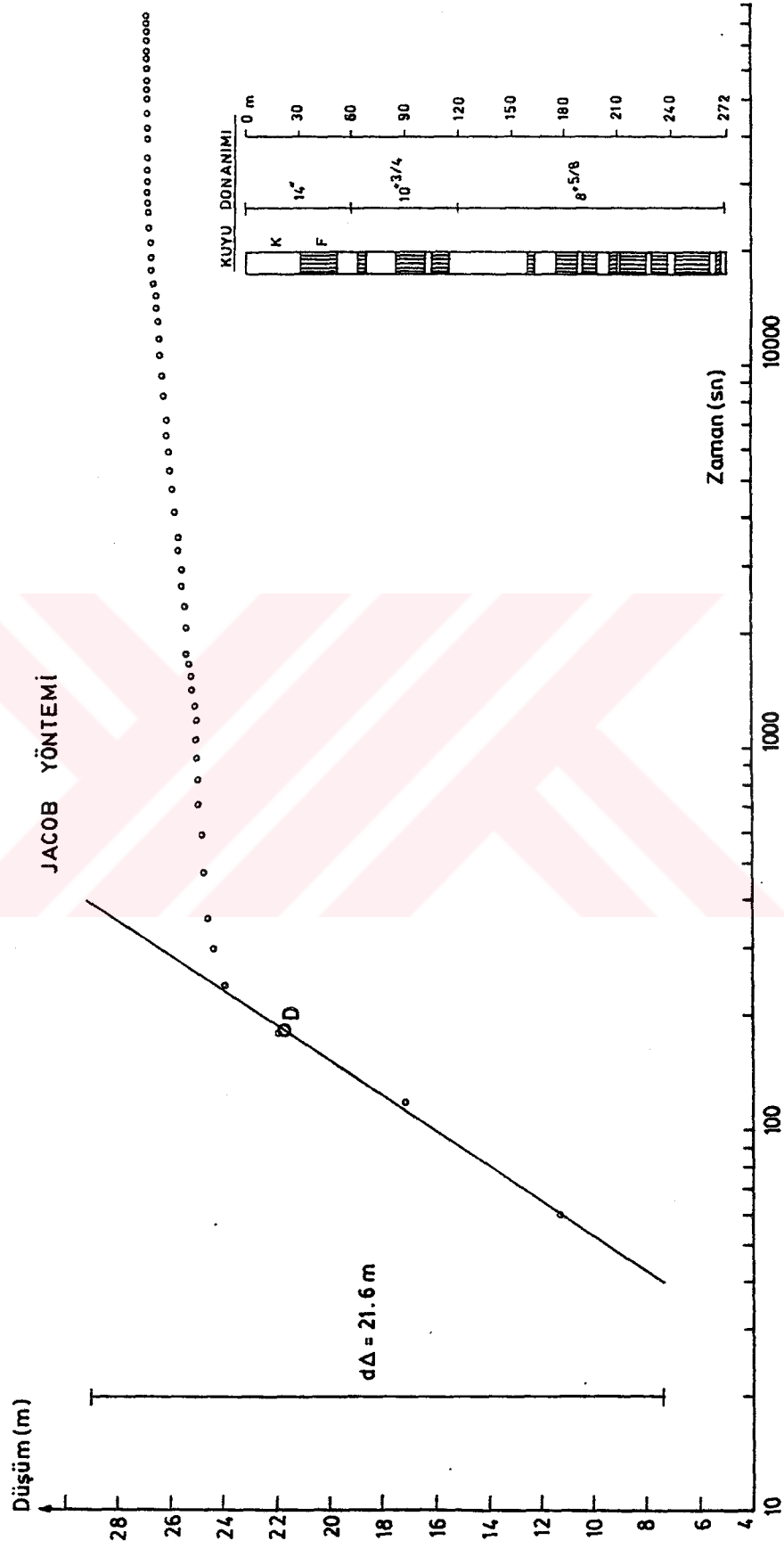
Şekil 27. 37126 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemleriyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



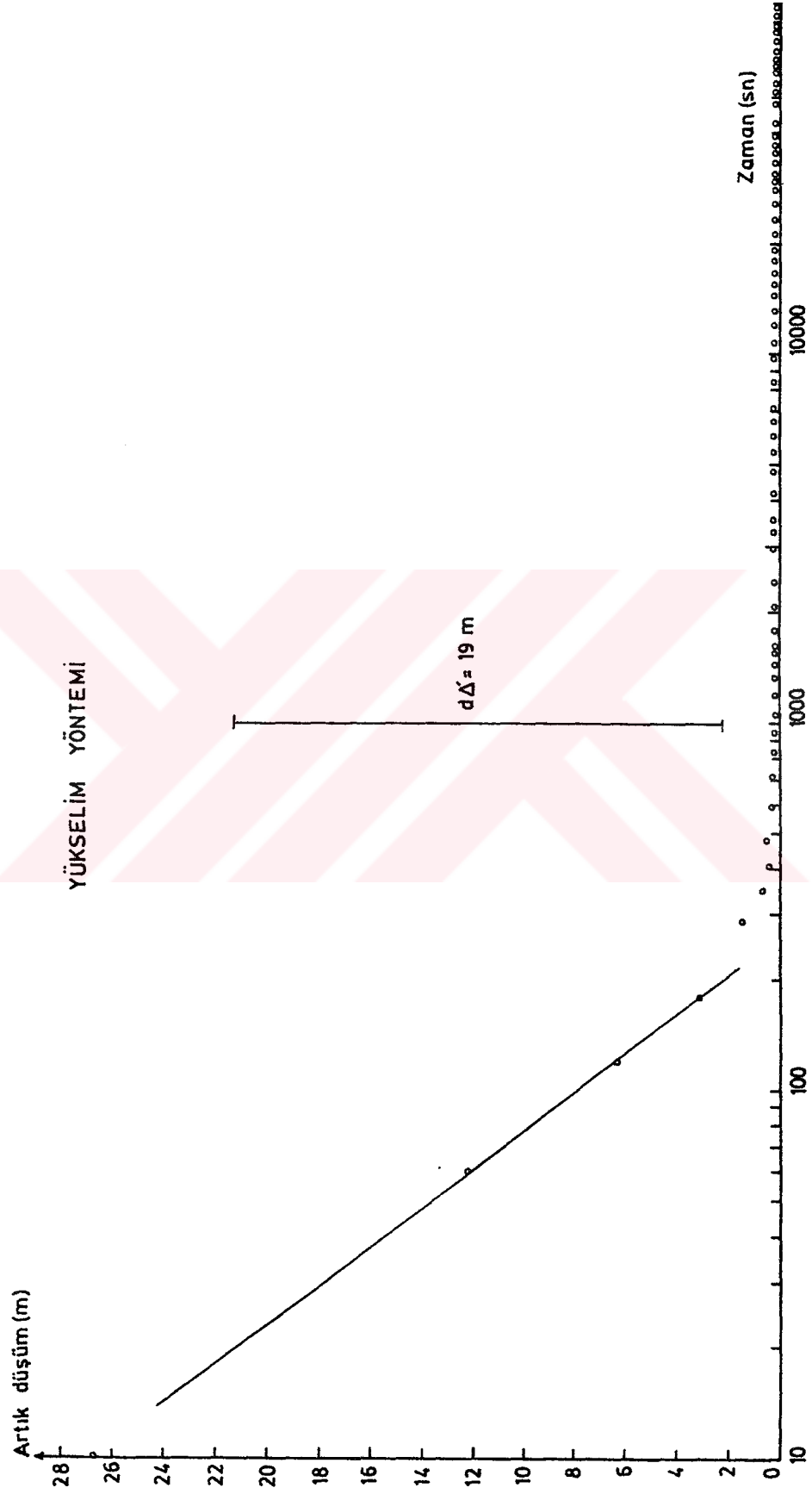
Şekil 29. 37126 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



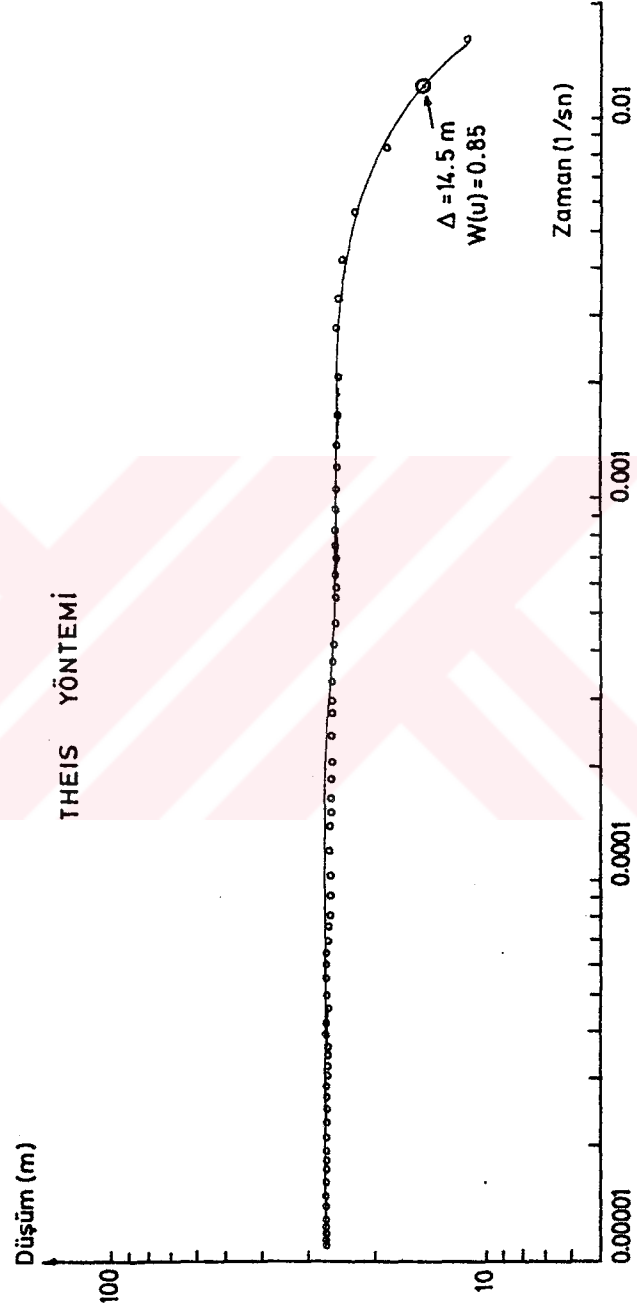
Şekil 28. 37126 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 30. 34220 nolu sondaj kuyusunda Jacob ve Chow yöntemleriyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 31. 34220 nolu sondaj kuyusunda Yükselim yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.



Şekil 32. 34220 nolu sondaj kuyusunda Theis yöntemiyle K ve T parametrelerinin belirlenmesi.

5.2.1.2. Kaynaklar

İnceleme alanında debileri değişken birçok kaynak vardır. Bunlardan , havzanın güneyinde bulunan ve güneyden gelen sularla beslenen Böceli Pınarı, Kazan Pınarı, Deniz Pınarı gibi yüksek debili kaynaklarla, havza kuzeyinde yer alan ve genellikle Pliyosen'in kireçtaşı ve kumtaşlarından faylarla ya da bu birimlerin kıltaşları ile yaptığı dokanaklardan çıkan önemsiz kaynaklar bu çalışmaya konu edilmemiştir.

Gemili Kaynağı: Yukarı Çürüksu 'da Münir Kuyumcu'ya ait çiftlik evinin 250 m. kuzeyinde bulunur. 27 m. civarında derinliği olan bir obruktan gelen suyun sıcaklığı 22.8°C'dir. Debi ölçülememekle birlikte çok yüksektir. Periyodik gözlemlerden olumlu sonuç alındığında su seviyesinin 2 m. düşürülmesi, ovanın su ihtiyacını karşılayabilir. Kaynağın güneyinde iki kaynak daha bulunur. Bu kaynakların da sıcaklıkları 22°C civarında olup obruktan çıkmaktadırlar. Beslenmeleri diptendir. En güneydeki obrukta buna ilaveten doğudan ve kuzeyden beslenme de gözlenmiştir. Kaynak suları, güneye doğru açılan toprak kanallara verilmektedir. Köylüler tarafından bu kaynağın varlığının 50 yıldan beri bilindiği ifade edilmektedir. Hidrojeolojik düşünceyle seyrine doyum olmayan Gemili Kaynağı muazzam suyuyla karstlaşmanın boyutlarını ve beslenmenin büyüklüğünü tipik olarak ortaya koymaktadır.

Haydarbaba Düdeni: Havzanın kuzeydoğusunda artezyen yapan sondaj kuyularının hemen güneyinde yer alır (Resim 1). Buradaki karstlaşma travertenler içerisinde yaklaşık 7-8 m. yüksekliğinde ve 30 m. uzunluğunda bir mağarayı sonuçlamıştır. Mağara içindeki su, kuzeyden Mal Dağı civarından gelmekte ve debisi civar sondajların çalışması ile ilgili olarak değişmektedir. Suyun sıcaklığı 23.2°C'dir. Mağara tavanı en az 30 cm. kalınlığındaki travertenden oluşmaktadır. Mağara, bu tavanın üzerinde gezen bir tarım makinasının ağırlığını taşıyamayarak göçmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Havzanın bu bölümlerinde karstlaşma, insanı arazide dolaşmaya çekindirecek kadar ileridir. Köyden ve şehirden gelen bir kısım insanlar bu mağara içindeki sudan ve çamurdan yararlanmakta ve bidonlarla evlerine götürmektedirler. Düdendeki su ve çamurun kaşıntı ve romatizmal hastalıklara iyi geldiği söylenmektedir.

Haydarbaba Düdeninin 20 m. kadar batısında "Küçük Düden" olarak adlandırılan bir düden daha vardır. Yaklaşık 20 m. çapında ve derinliği az bir

düdüdür. Yaz aylarında kurudur. Ancak Ekim ayından sonra sondajların kapatılması ile düden çalışmaya başlar ve küçük bir gölcük oluşturur.

Gerek Yukarı Çürüksu'daki ileri karstlaşma, gerek havzanın kuzeydoğusundaki Büyük ve Küçükçökelez dağlarında gözlenen büyük karstik mağaralar inceleme alanının kuzey ve kuzeydoğusundaki havzalarla hidrolik ve hidrojeolojik bağlantısını ortaya koymaktadır.



Resim 1. Haydarbaba Düdeni.

Kelkaya Düdeni: Aşağıdağdere Köyü batısında Mesozoyik kireçtaşlarında oluşmuştur. Burada da, Yukarı Çürüksu'daki kadar olmamakla birlikte karstlaşma ve karstik mağaralar mevcuttur. Su, kireçtaşlarını katederek güneyden gelmektedir. Debisi önemli değildir. İnceleme alanında, Pamukkale'den sonra, aktığı yamaçlarda güncel traverten oluşturan tek kaynaktır.

Pınarbaşı Kaynağı: Honaz'ın 2 km. kadar batısında Karateke Fayı'nın hemen kuzeyinde yer alan karstik bir kaynaktır (Resim 2). Karstlaşma, Mesozoyik kireçtaşlarında ve ileri boyuttadır. Suyun sıcaklığı 19.8°C'dir. Kaynak suyu bir restaurant tarafından alabalık üretiminde kullanılmaktadır. Kaynağın 200 m. doğusunda açılan bir sondajdan yüksek demir içeren 27.8°C sıcaklığında su, 100 m.

batısındaki bir sondajdan da 22.2°C sıcaklığında su alınmaktadır. Bu sondaj suları, fay zonu aracılığıyla olan bir hidrotermal katkının belirtisidir.



Resim 2. Karstik Pınarbaşı Kaynağından bir görünüm.

5.2.1.3. Akarsular

İnceleme alanında en önemli yüzeysel akış Çürüksu Çayı'dır. Havzanın orta kesimlerinde yatak genişliği azalan Çürüksu Çayı, Çömleksaz kuzeyinde Sarıçay, Gürlek civarında ise Acidere adını alır. Akışı kuzeyden batıyadır. Diğer bir akarsu, Kaklık'tan itibaren doğu-batı yönünde akarak Çömleksaz'ın 1.5 km. kadar kuzeybatısında Çürüksu Çayı ile birleşir. Bu akarsu akış yönünde Emir Çayı, Aksu Çayı ve Honaz Çayı olarak adlandırılır. Çürüksu Çayı Sarayköy'ün yaklaşık 6 km. doğusunda Büyük Menderes Nehri'ne katılır. Ayrıca, Denizli'nin güneydoğusundan gelen Gökpınar Çayı'nda önemli miktarda su taşır. Bu çay üzerine baraj inşaatı için çalışmalar sürdürülmektedir. Havzadaki diğer dereler genellikle mevsimsel akışlıdır.

5.2.2. Sıcak sular

5.2.2.1. Pamukkale sıcak suları

Pamukkale'de, Türkiye turizmine büyük ekonomik katkı sağlayan eşsiz travertenler üç sıcak su kaynağı tarafından oluşturulmaktadır. Bu suların lokasyonları Şekil 33'de verilmiştir.

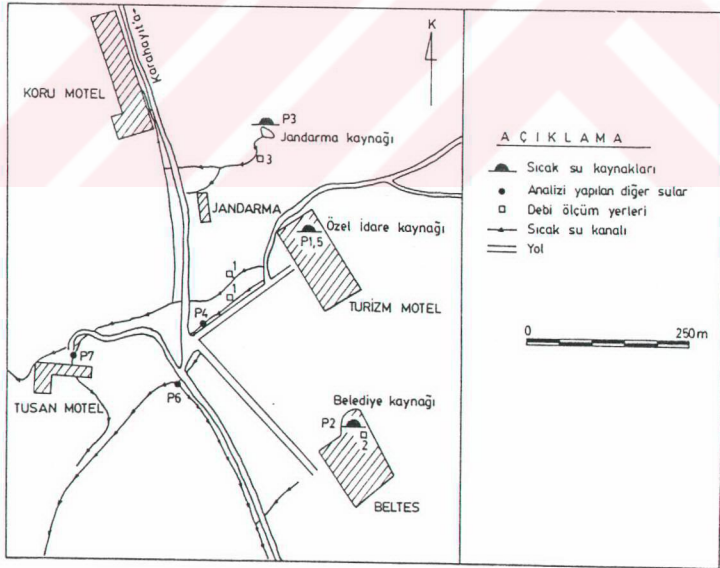
Özel İdare Oteli (Turizm Motel) içinde yer alan Özel İdare Kaynağı en yüksek debili kaynaktır (Resim 3). Kaynağın oluşturduğu doğal havuz içindeki antik Hierapolis kentine ait kalıntılar çekiciliği artırmaktadır. Kaynak, otel içinden geçen fay boyunca boşalmaktadır. Bu fay ve çevresindeki zayıflık zonlarında sıcak suların da etkisi ile ilerletilen karstlaşma büyük boyutlara ulaşmıştır. Öyle ki, su altındaki geniş mağaralar çok derinlere uzanmaktadır ve önceki yıllarda havuza giren bir turistin hayatına malolmuştur. Daha sonra hemen önlem alınmış ve bu mağaraların ağızları demir parmaklıklarla kapatılmıştır.



Resim 3. Pamukkale Özel İdare Kaynağı.

Özel İdare Kaynağında karbondioksit gazı çıkışı belirgindir. Bu gazın miktarı, D.S.İ., 1971 ve İ.T.Ü., 1971 tarafından sırasıyla 1010 mg/l ve 999 mg/l; M.T.A tarafından 1976'da 109 mg/l ve SIAL tarafından 1990'da 725 mg/l olarak ölçülmüştür. Özel İdare kaynağında periyodik olarak sıcaklık, pH, debi ölçümü ve kimyasal analiz yapılmıştır. Suyun sıcaklığı 34.7 ile 36.5°C arasında değişmektedir. Debinin arttığı aylarda sıcaklığın çok az da olsa azaldığı gözlenmiştir.

Sıcak su, havuzlarda kullanıldıktan sonra diğer otellere ve travertenlere verilmektedir. İletim, sağ kanal ve sol kanal olarak adlandırılan iki kanal ile sağlanmaktadır. Debi, bu kanallarda ölçülmüş ve değerleri Çizelge 8'de sunulmuştur.



Şekil 33. Pamukkale sıcak su kaynaklarının lokasyon haritası.

Çizelge 8. Pamukkale sıcak su kaynaklarında ölçülen debiler (lt/sn).

ÖLÇÜM TARİHİ	ÖZEL İDARE KAYNAĞI			BELEDİYE	JANDARMA	TOPLAM
	Sol Kanal	Sağ Kanal	Toplam	KAYNAĞI	KAYNAĞI	
24.02.1992	65	110	175	40	97	312
15.04.1992	68	104	172	42	83	297
22.05.1992	53	107	160	31	85	276
29.06.1992	62	102	164	33	81	278
24.07.1992	71	134	205	37	77	319
25.08.1992	70	137	207	42	89	338
29.09.1992	65	130	195	43	101	339
27.10.1992	67	123	190	49	93	332
24.11.1992	67	147	214	47	96	357
28.12.1992	71	149	220	41	84	345
29.01.1993	62	146	208	33	115	356
25.02.1993	65	143	208	42	110	360
29.03.1993	70	151	221	42	107	370
27.06.1993	67	140	207	40	104	351

Belediye Kaynağı, Beltes tesislerinin kuzeyinde yer almakta ve su, kanalla tesislere verilmektedir. Pamukkale'de debisi en düşük kaynaktır (Çizelge 8). Debisi 31-49 lt/sn , sıcaklığı 33.8-36°C arasında değişir. Ortalama olarak sıcaklığı Özel İdare Kaynağından biraz daha düşüktür. Suyu havuzlarda kullanıldıktan sonra tek bir kanalla iletim sistemine verilir.

Jandarma Kaynağı, Jandarma'nın 150 m. kuzeydoğusunda doğal bir havuz oluşturmuştur. Etrafı çevrili ve sivillerin girmesinin yasak olduğu bu suyun sıcaklığı 34.2-38°C arasındadır. Geniş bir karstik yarıktan gelen su, bir kanalla diğer kanallara bağlanmıştır. Suyun geldiği yarık herhangi bir tehlikeye karşı demir parmaklıklarla örtülmüştür. Jandarma Kaynağı 81-115 lt/sn'lik debisiyle yöredeki ikinci büyük kaynaktır.

Pamukkale beldesinde 5 tane sondaj vardır.Bunlardan soğuk ve ılık su alınmaktadır. Yöredeki sondaj loglarından travertenlerdeki karstlaşma görülebilmektedir (Şekil 13).

Pamukkale sıcak sularında kimyasal analizi yapılan suların, bundan sonraki bölümlerde kullanılacak numaralandırmaları şöyledir:

- P.1 : Özel Idare Kaynağı
- P.2 : Belediye Kaynağı
- P.3 : Jandarma Kaynağı
- P.4 : Özel Idare'den gelen kanaldan alınan su
- P.5 : Özel Idare havuzundan alınan su
- P.6 : Maslaktan alınan su
- P.7 : TUSAN Motel girişindeki kanaldan alınan su

5.2.2.2. Karahayit sıcak suları

Karahayit Kasabası'ndaki tek sıcak su kaynağı Kızılleğen Kaynağıdır (Resim 4-5). Diğer kaynaklar kasabadaki 100'ü aşkın sıcak su sondajındaki aşırı çekim nedeniyle kurumuştur. Bu sondajlar Kızılleğen Kaynağını da etkilemiş ve su çalışma başlangıcından sonuna kadar sürekli azalmıştır. Kaynakta debi ölçümü mümkün olmamıştır. Kaynak çevresindeki travertenlerin kırmızı rengi, suyun derinlerden getirdiği demir nedeniyledir. Yalnız bu renk günümüzde sarımtırak renge dönüşmüştür. Bu da debinin büyük miktarda azalmasından kaynaklanmaktadır. Kaynak debisinin azalması Karahayit Belediye'sinin debiyi artırma çareleri aramaya itmiş ve bunun sonucunda 1993 Haziran ayı başında, binlerce yılda oluşan travertenler 60 cm. kalınlığında bir düzlem boyunca kırılmıştır. Ayrıca kaynak yanına iki de sondaj yapılmış, ancak debide gözle görülür bir artış olmamıştır. Göze hitap etmesiyle turist çeken bu kaynağın bu özelliği artık kalmamıştır. Sıcaklığı 51 ile 55°C arasında değişen kaynağın ve kasabadaki sıcak su sondajlarından bazılarının lokasyonu Şekil 34'de verilmiştir. Kimyasal analizi yapılan suların numaralandırılmaları şöyledir:

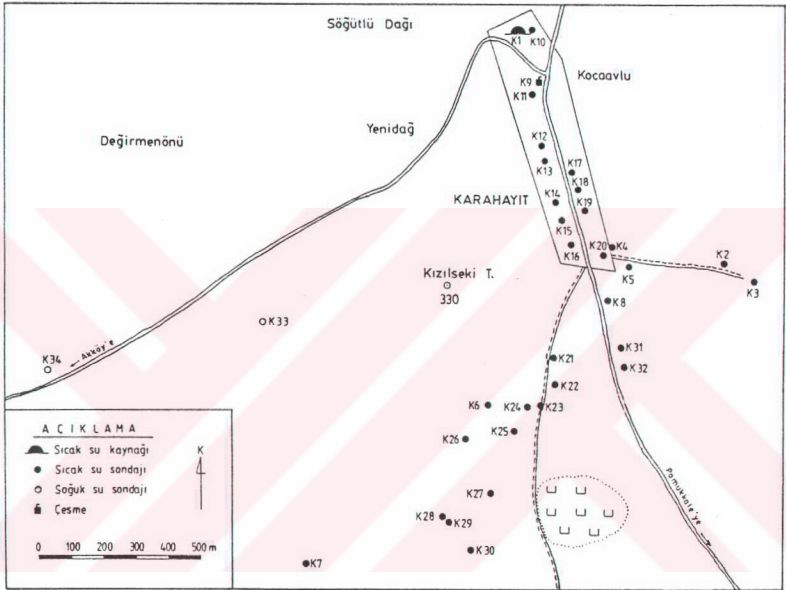
- K.1 : Kızılleğen Kaynağı
- K.2 : Kurtur Otel sondajı
- K.3 : Kızılhamam sondajı
- K.4 : Rüzgar Pansiyon sondajı
- K.5 : Osmanlı Pansiyon sondajı
- K.6 : Yavuz Pansiyon sondajı
- K.7 : Ergür Otel sondajı
- K.8 : Hierapolis Otel sondajı
- K.9 : Çeşme suyu



Resim 4. Karahayit Kızilleğen Kaynağı.



Resim 5. Kızilleğen Kaynağı'nın oluşturduğu travertenlerden bir görünüm.



Şekil 34. Karahayit Kızılbaş Kaynağı ve bazı sondajların lokasyon haritası.

Kurtur Otel'e sıcak su temin etmek amacıyla açılan 80 m. derinliğindeki sondajda, boru içine hortum indirilerek kompresörle hava verilmekte ve böylece su yüzeye çıkmaktadır (Resim 6,7). Suyun sıcaklığı 54.4-57.1°C arasındadır. Otelin hemen yanında kuruyan Kızılhamam Kaynağı yerine 6-7 m'lik bir sondaj daha yapılarak düşük debili ve sıcaklıklı (41-45°C) su alınmıştır. Bu sondaj ana fay hattı üzerindedir. Karahayit'ta bir kısım sıcak su sondajlarına ait bilgiler Çizelge 9'da verilmiştir.



Resim 6. Karahayit Kurtur Oteli sondajından kompresörle sıcak su alınması.



Resim 7. Kurtur Oteli sondajı çevresindeki hidrotermal çökeller.

Çizelge 9. Karahayıt'ta bir kısım sıcak sondaj sularına ait bilgiler

No	Derinlik(m)	t ⁰ C	Litoloji	No	Derinlik(m)	t ⁰ C	Litoloji
K-4	-	59	Traverten	K-19	3	52	Traverten
K-5	-	56	Traverten	K-20	13	53	Traverten
K-6	-	46	Traverten	K-21	0	49	Traverten
K-7	-	42	Traverten	K-22	0	50	Traverten
K-8	-	57	Traverten	K-23	0	51	Traverten
K-10	9	58	Traverten	K-24	0	52	Traverten
K-11	2	56	Traverten	K-25	0	52	Traverten
K-12	3	56	Traverten	K-26	0	51	Traverten
K-13	3	56	Traverten	K-27	0	49	Traverten
K-14	6	55	Traverten	K-28	4	51	Traverten
K-15	7	55	Traverten	K-29	7	51	Traverten
K-16	20	54	Traverten	K-30	0	52	Traverten
K-17	13	50	Traverten	K-31	8	52	Traverten
K-18	29	55	Traverten	K-32	38	67	Kil. kum. traverten

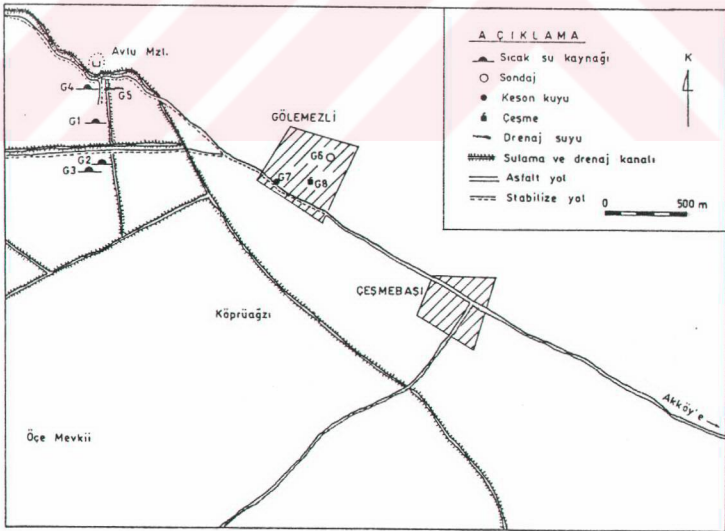
5.2.2.3. Gölemezli sıcak suları

Gölemezli sıcak su kaynakları, Gölemezli'nin 1.5 km. kadar batısında alüvyon üzerinde yer alır (Şekil 35). Bu çalışmada "Gölemezli Yeni Hamam" olarak adlandırılan kaynak Mustafa Taban'a ait 6 dönümlük arazi üzerindeyken Ağustos 1993'te el değiştirmiştir. Elektriği ve suyu olmayan son derece ilkel tesislerde yapılan banyonun sağlıklı olduğu şüphelidir (Resim 8). Kaynağa hiç turist gelmemekte, buna rağmen civar yerleşim alanlarından gelenlerce tesisler tümüyle dolabilmektedir. Ancak, arazi el değiştirdikten sonra elektriği bağlanmış ve modern tesislerin yapılması yönünde çalışmalar başlamıştır. Kaynağa periyodik çalışan taşıtlar yoktur; özel ya da kiralanan araçlarla ulaşım mümkündür. Ayrıca yol, Gölemezli'den sonra son derece bozuk stabilize bir yoldur. Tüm bu olumsuzluklar bu kaynakları Pamukkale ve Karahayıt yanında ikinci plana itmiştir.

Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı, suyun çıkış noktasına yerleştirilmiş 6-7 m. uzunluğundaki bir plastik boru aracılığı ile çıkmaktadır. Çıkış noktasının etrafı beton ile sağlamlaştırılmıştır. Debi ölçümü mümkün olmamıştır. Ancak 1 lt/sn'den az olduğu tahmin edilen su borularla banyolara verilmektedir. Tesis sahibi, suyun kışın



Resim 8. Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı yanındaki ilkel tesisler (kuzeye bakış).



Şekil 35. Gölemezli sıcak su kaynaklarının lokasyon haritası.

azaldığını, yaz aylarında ise arttığını ve bu durumun yıllardır böyle olduğunu belirtmiştir. Dehide yaz ve kış aylarında görülen farklılık çalışma süresince de gözlenmiştir (Resim 9,10,11). Suyun sıcaklığı gözlem yapılan aylar boyunca 41.1 ile 52°C arasında değişmiştir. Gölemezli kaynaklarının ortak özelliği yoğun H_2S gazı çıkışıdır. Bu durum H_2S 'in karakteristik kokusu ile hemen belirlenebilmektedir. Bu yönüyle yöredeki kaynaklar, Yukarı Çürüksu sondaj suları ile benzerlik gösterir.

"Gölemezli Eski Hamam Kaynağı" olarak adlandırılan diğer kaynak Yeni Hamam'ın 300 m. kadar güneyinde sızlıklar içinde yer alır. Onlarca gözden çıkan sıcak sular bir gölcük oluşturmuştur (Resim 12,13). Su kaynağını içine alan ve şu anda yıkılmış eski banyo kalıntıları sudan daha önce yararlanıldığını göstermektedir. Ancak şimdi çok az sayıda kişiye, özellikle civar köylerden gelenlere hizmet vermektedir. Burada da yoğun H_2S kokusu mevcuttur. Kaynağın sıcaklığı 40-48°C arasında ve toplam debi tahminen 10 lt/sn'den fazladır. Kış aylarındaki buharlaşma, kaynağın çok uzaklardan farkedilmesini sağlar. Sıcaklığı, yüzeysel soğuma nedeni ile bir miktar azalmıştır.

"Gölemezli Sızıntı" ismi verilen kaynak, Eski Hamam'ın yanında 24.11.1992 tarihinde tarafımızdan zeminin 10 cm. kazılması ile ortaya çıkarılmıştır (Resim 14). Yöredeki jeotermal aktiviteyi göstermesi açısından ilginçtir. Adı üzerinde, debisinin çok az, sızıntı şeklinde olduğu kaynağın sıcaklığı 56.6-58.3°C arasında olup Gölemezli yöresindeki en sıcak kaynaktır. Eski Hamam ve Sızıntı kaynakları civarında hidrotermal alterasyon belirgindir.

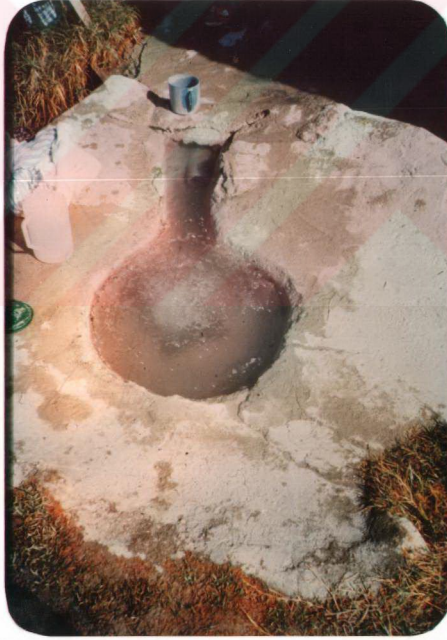
"Gölemezli Kaynak" olarak adlandırılan kaynak Yeni Hamam'ın 200 m. kadar kuzeyinde, tesislerden gelen yolun Gölemezli'ye giden yolla kesiştiği noktanın sol tarafında bulunur. Yeni Hamam ve soğuk yeraltısularının etkisinde olan düşük debili kaynağın sıcaklığı 34-39°C arasındadır.

Gölemezli Kaynak suyunun doğusunda, yolu geçtikten sonra, yeraltısu suyu seviyesini düşürmek için açılan kanala boşalan bir drenaj suyu vardır. Sıcak suların etkisinde olan bu drenaj suyunun sıcaklığı 30°C'dir.

Gölemezli Köyü içinde Ahmet Çevik adlı şahsa ait evin bahçesinde bir sığ kuyu bulunmaktadır. Kuyunun derinliği 8.5 m.'dir. Yaklaşık 3-4 m. derinlikteki suyun sıcaklığı 35°C'dir. Bu da yörede sıcak-soğuk su etkileşimini gösteren bir delildir.



Resim 9. Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı (Mart, 1993).



Resim 10. Gölemezli Yeni Hamam Kaynağındaki debi artışı (Ağustos, 1993).



Resim 11. Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı yanında banyolara dağıtım havuzu.



Resim 12. Gölemezli Eski Hamam Kaynağından bir görünüm (kuzeye bakış).



Resim 13. Gölemezli Eski Hamam Kaynağından bir görünüm (güneye bakış).



Resim 14. Gölemezli Sızıntı Kaynağı.

Gölemezli sularında bundan sonraki bölümlerde kullanılacak adlandırmalar şöyledir:

- G.1 : Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı
- G.2 : Gölemezli Eski Hamam Kaynağı
- G.3 : Gölemezli Sızıntı Kaynağı
- G.4 : Gölemezli Kaynak
- G.5 : Drenaj suyu
- G.6 : Gölemezli sondaj suyu
- G.7 : Ahmet Çevik kuyusu
- G.8 : Çeşme suyu

5.2.2.4. Gözpınarı

Yukarı Şamlı'nın 1 km. kuzeyinde alüvyon içinde bulunur. Yaklaşık 5 m. çapında ve köylülerce belirtildiğine göre 8 m. derinliğindeki bir çukurdan gelmektedir. Akıntı gözlenememiştir. Sıcaklığı 30°C 'dir. Şekil 11'de 47 no ile simgelendirilmiştir.

5.2.2.5. Kocagöz Pınarı

Pamukkale'nin 1.5 km. kadar güneybatısında Yenitimar mevkiinde yer alır. Görünüşü, daha küçük boyutlu olarak Gözpınarı gibidir. Sıcaklığı 32°C'dir. Köylüler tarafından Pamukkale'den verilen boyanın Kocagöz Pınarı'ndan çıktığı ifade edilmişse de literatürde böyle bir incelemeye rastlanmamıştır. Şekil 11'de 48 no ile simgelendirilmiştir.

5.3. Sıcak suların oluşumu

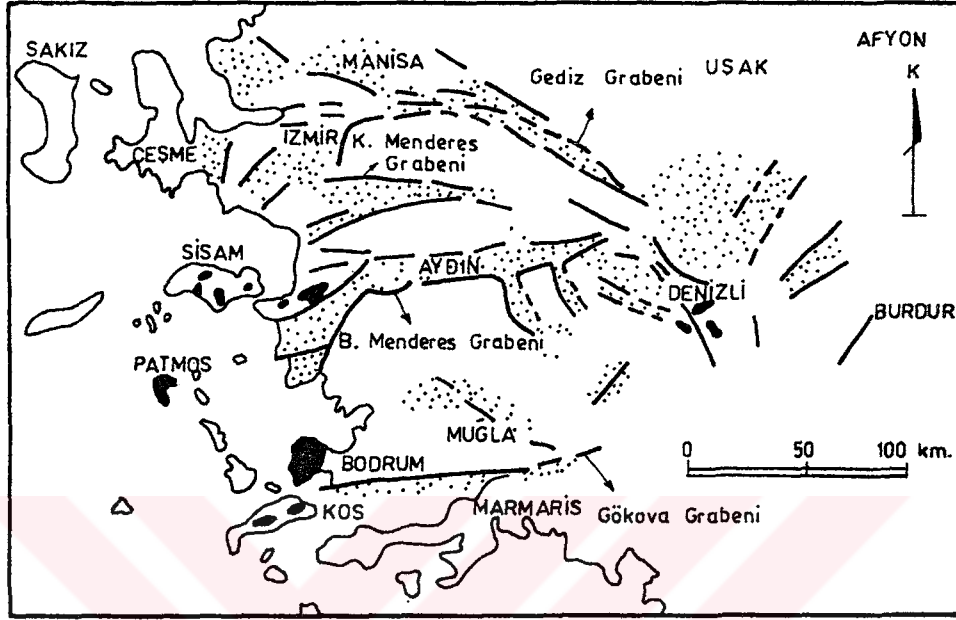
İnceleme alanı sıcak suları, graben tektoniğine bağlı olarak gelişen ve Kızıldere'den Alikurt'a kadar uzanan blokta oluşmuş devirli hidrotermal sistemin ürünüdürler. Devirli bir hidrotermal sistemin oluşması için aşağıdaki faktörlerin birlikteliği gerekir:

1. Gözenekliliği ve geçirimliliği yüksek ve atmosferle bağlantısı olan bir hazne kaya
2. Hazne kayaya yeterince su sağlayan beslenme alanı,
3. Hazne kayadaki akışkanı ısıtacak bir ısı kaynağı,
4. Sıcak akışkanın yüzeyde akarak neden olacağı ısı ve akışkan kaybını önleyecek bir örtü kaya.

Fay, kırık ve çatlaklar boyunca hazne kayaya ulaşarak, burada bir ısı kaynağı tarafından ısıtılan ve kaya-su arasındaki tepkimelerle kimyasal kompozisyonları değişen yağış ve yeraltı suları, yine faylar aracılığıyla yüzeye erişerek sıcak su kaynaklarını oluştururlar (Şekil 36).

5.3.1. Isı kaynağı

Hidrotermal sistemlerde ısı kaynağı, genç volkanitler ya da genç tektonizma ile gelişebilir. İnceleme alanında volkanik kayalar bulunmamaktadır. Ancak, bölgede genç volkanik etkinlikler mevcuttur. Örneğin, Kula volkanitleri son püskürmenin 12000 yıl önce olduğu volkanizmanın ürünüdür (Ercan, 1979). Söke volkanitleri de Pliyo-Kuvaterner yaşlıdır (Şimşek ve diğ., 1980; Şimşek, 1981). Denizli'nin güneydoğusunda Aydınlar ve Yukarıkaraçay köyleri civarında şoşonitik bazalt, latit ve trakit türündeki volkanitler Üst Pliyosen yaşlıdır (Ercan ve diğ., 1983; Şekil 37). Bu volkanitlerin oluşumu kıtasal rift sistemi ile yakından ilişkilidir (Ercan, 1981; Ercan ve diğ., 1983). Türkiye için önerilen plaka tektoniği modellerinde, mantoda bir yükselme (kabukta incelme) olgusu öngörülmüştür (Arpat ve Bingöl, 1969; Alptekin, 1973; Bingöl, 1976; Kaya, 1981). Akçığ (1988), Batı Anadolu'nun yapısal sorunlarını gravite verileri ile irdeleyerek Büyük Menderes ve Gediz Ovaları'nın üst mantoda bir yükselim (kabukta incelme) sonucu K-G doğrultulu açılma tektoniğine bağlı olarak oluşmuş kıtasal rift sistemleri olduğunu ve Batı Anadolu'da saptanan 12.5 ve 10.7 km'lik kıtasal kabuk kalınlığının mağmatik sokulumlar (intrüzyonlar) ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Yine, Batı Anadolu'da 2.0-2.5 hfu değerlerinde ısı akısının varlığı saptanmıştır (Cermak, 1977). Üst mantoda bir yükselme olgusu bölgenin sismo-tektoniğini de açıklayabilmektedir. Güneybatı Anadolu'nun sismo-tektonik haritası Şekil 38'de, inceleme alanı ve civarının sismo-tektonik haritası da Şekil 39'da verilmiştir. Şekil 39'daki deprem episantırları Ayhan ve diğ. (1989) ve Papazachos ve diğ (1984)'den; yapısal elemanlar Henden (1981) ile Özpınar ve diğ.(1992)'nden alınmıştır. Her iki haritada, deprem episantırlarının fay zonlarında yoğunlaştıkları görülmektedir. Şekil 40'da, Ayhan ve diğ. (1989)'nden alınan değerlere göre, Büyük

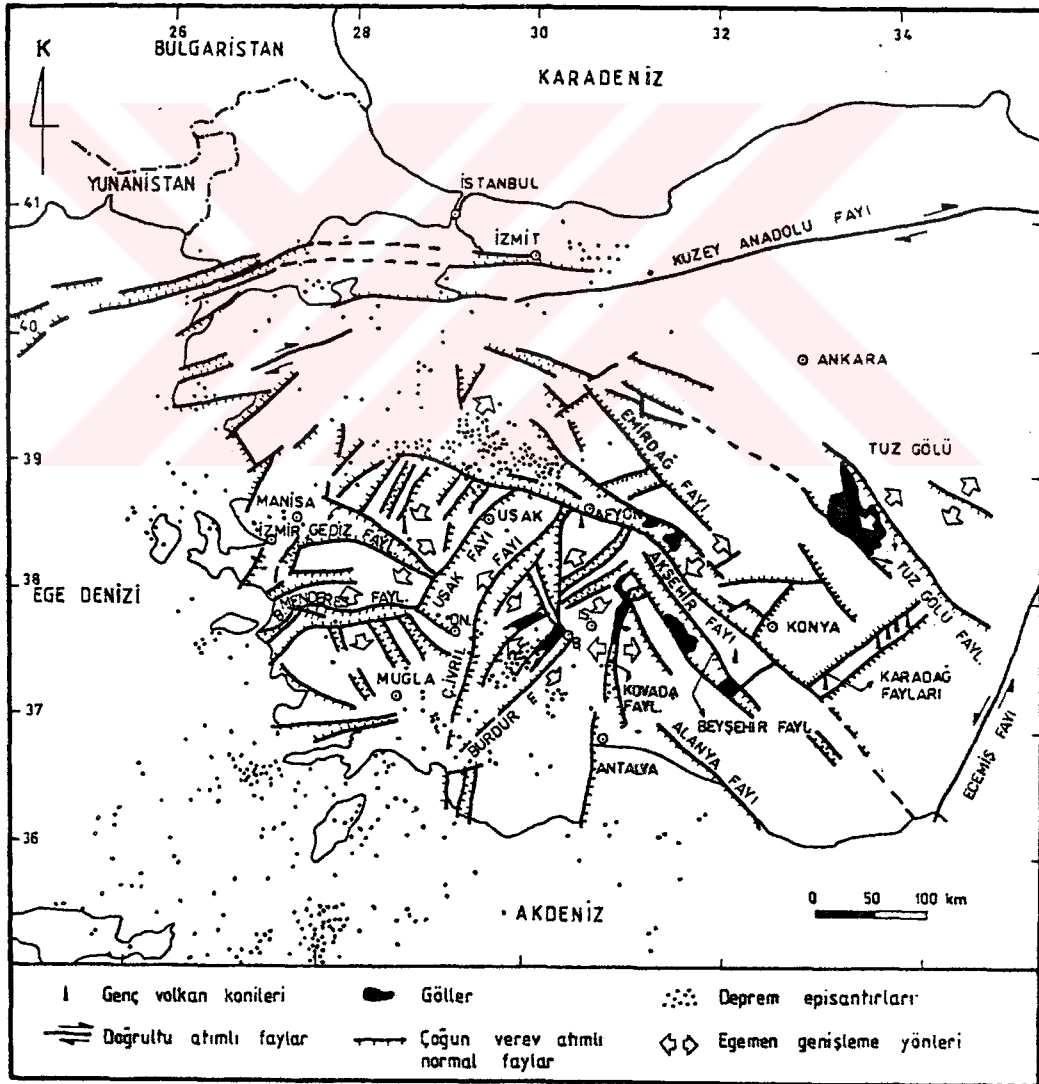


Şekil 37. Güneybatı Anadolu'daki graben sistemi ve Tersiyer yaşlı şoşonitik volkanizma (Ercan ve diğ., 1983'den).

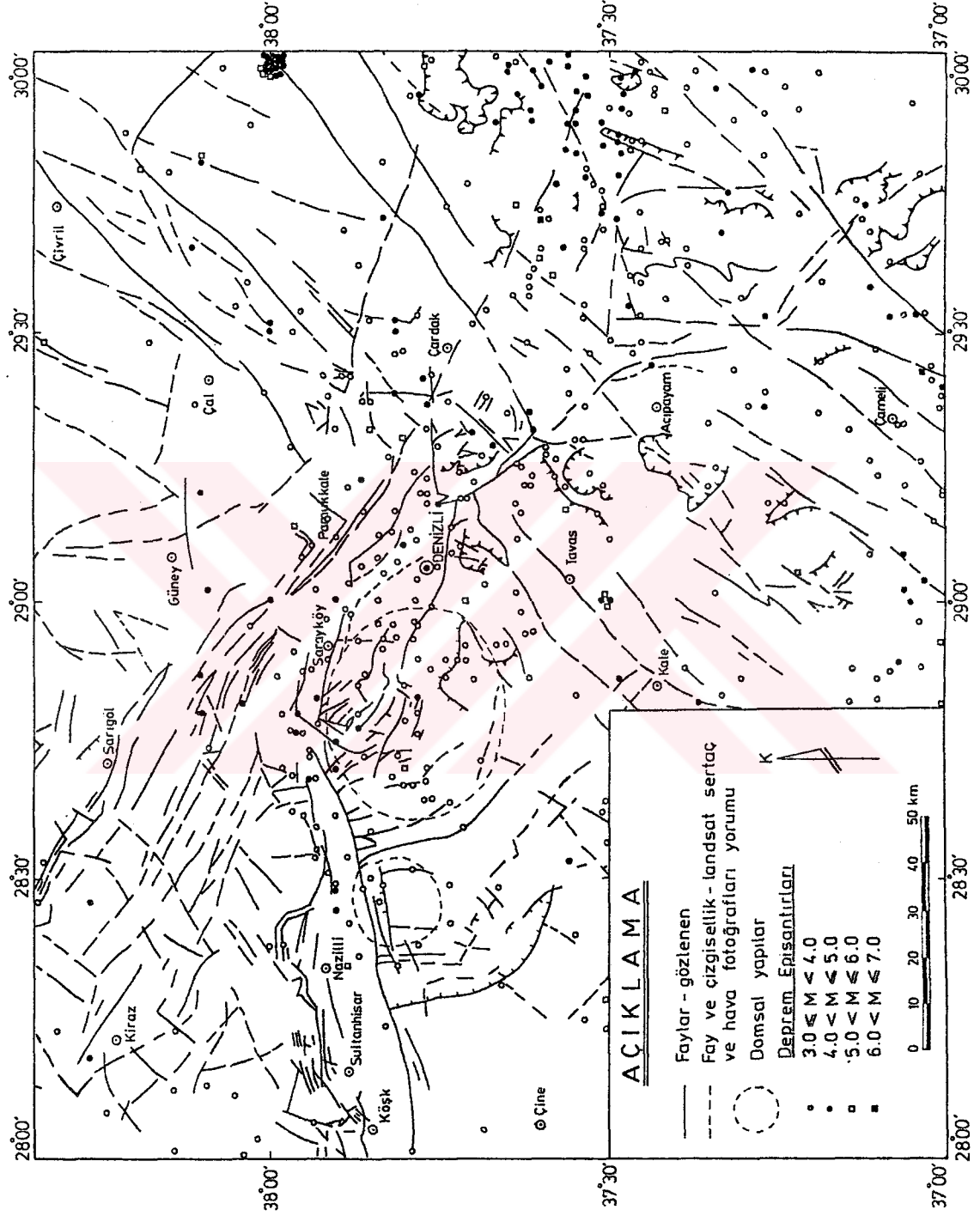
Menderes Grabeni'nde 1976-1986 yılları arasında olan deprem sayısı ve bu depremlerden açığa çıkan enerji miktarlarının yıllara göre dağılımları sunulmuştur. Bu yıllarda, magnitüdü 3-4 arasında ve 4'ten büyük depremlerin oluş sayıları ile açığa çıkan enerjinin yıllara göre dağılımının, Büyük Menderes Grabeni'nin inceleme alanı içinde kalan bölümü ile karşılaştırması Şekil 41'de verilmiştir. Grabenin küçük bir kesimini oluşturmasına rağmen, inceleme alanında 1976-1986 yılları arasında kaydedilen depremlerden açığa çıkan 364.33×10^{17} erg'lik enerji, tüm graben alanında boşalan enerjinin %28.75'ine karşılık gelmektedir. Güleç (1988), yöredeki sıcak suların yüksek helyum-3 içeriğinin manto kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Filiz (1982), Pamukkale sıcak su kaynağına ortamın izotoplarından C^{13} 'ü uygulayarak, kaynaktan yayılan CO_2 gazının magma kökenli olduğunu ortaya koymuştur. Karahan ve diğ. (1986), Büyük Menderes Grabeni'ndeki faylarda bloklar arasında 5 mm/yıl hızında hareketler saptamışlardır. Pamukkale güneyindeki Karakova ve Hacıyüplü köyleri civarında yapılan gradyan ölçümlerinden yararlanarak çizilen izogradyan haritası Şekil 42'de sunulmuştur. Haritada, güneyden kuzeye, başka bir deyişle Pamukkale sıcak su kaynaklarına doğru gradyan değerlerinin $0.3^\circ C/10$ m'den $1.4^\circ C/10$ m'ye çıktığı görülmektedir. Diğer taraftan, Yukarı Çürüksu Ovası yeraltısularının 04.09.1993

tarihinde ölçülen sıcaklıklarına göre eşsıcaklık haritası çizilmiş ve sıcaklığın, orta kesimden kuzey ve güneydeki fay zonlarına yaklaştıkça 8°C'ye kadar artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 43).

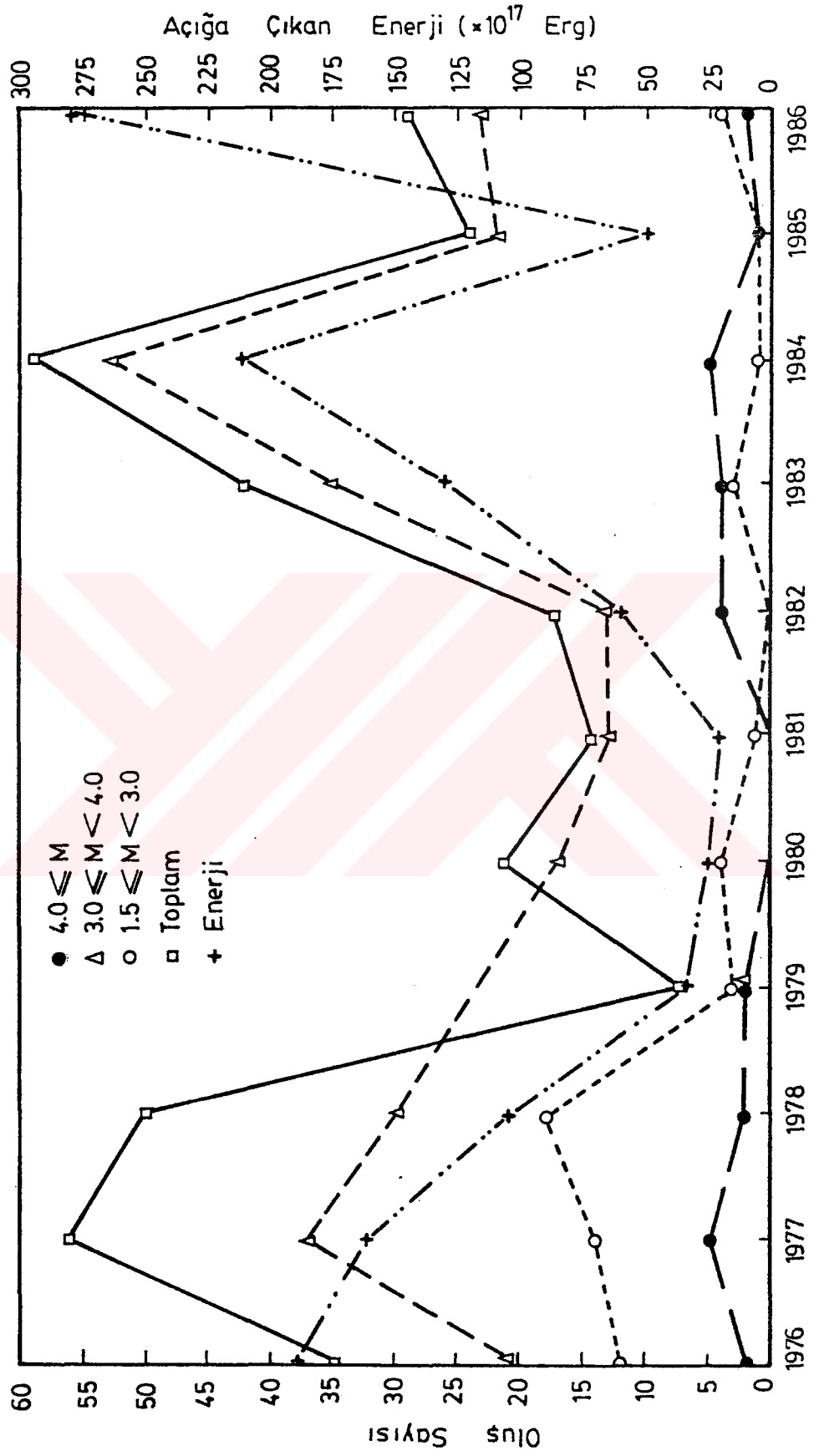
Tüm bu verilerin ışığı altında, inceleme alanı sıcak sularının ısı, magma sokulumları, önemsiz miktarlarda da fayların ortaya çıkardığı sürtünme enerjisi, fay ve kırıklar boyunca mağmadan kaçan çok sıcak gazların hazne kayaya sızmaları ile sağlanmaktadır. Mağmadan hazne kayaya ısı iletimi kondüksiyon yoluyla olur. Bir miktar ısı da faylar aracılığıyla konvektif iletimle olur. Faylarla yüzeye ya da yüzeye yakın kesimlere yükselen sıcak sular graben ortasına doğru akmaları sırasında soğuk yeraltısuları ile giderek artan oranda karışarak sıcaklıklarını kaybederler. Bu durum Şekil 43'te açıkça görülebilmektedir.



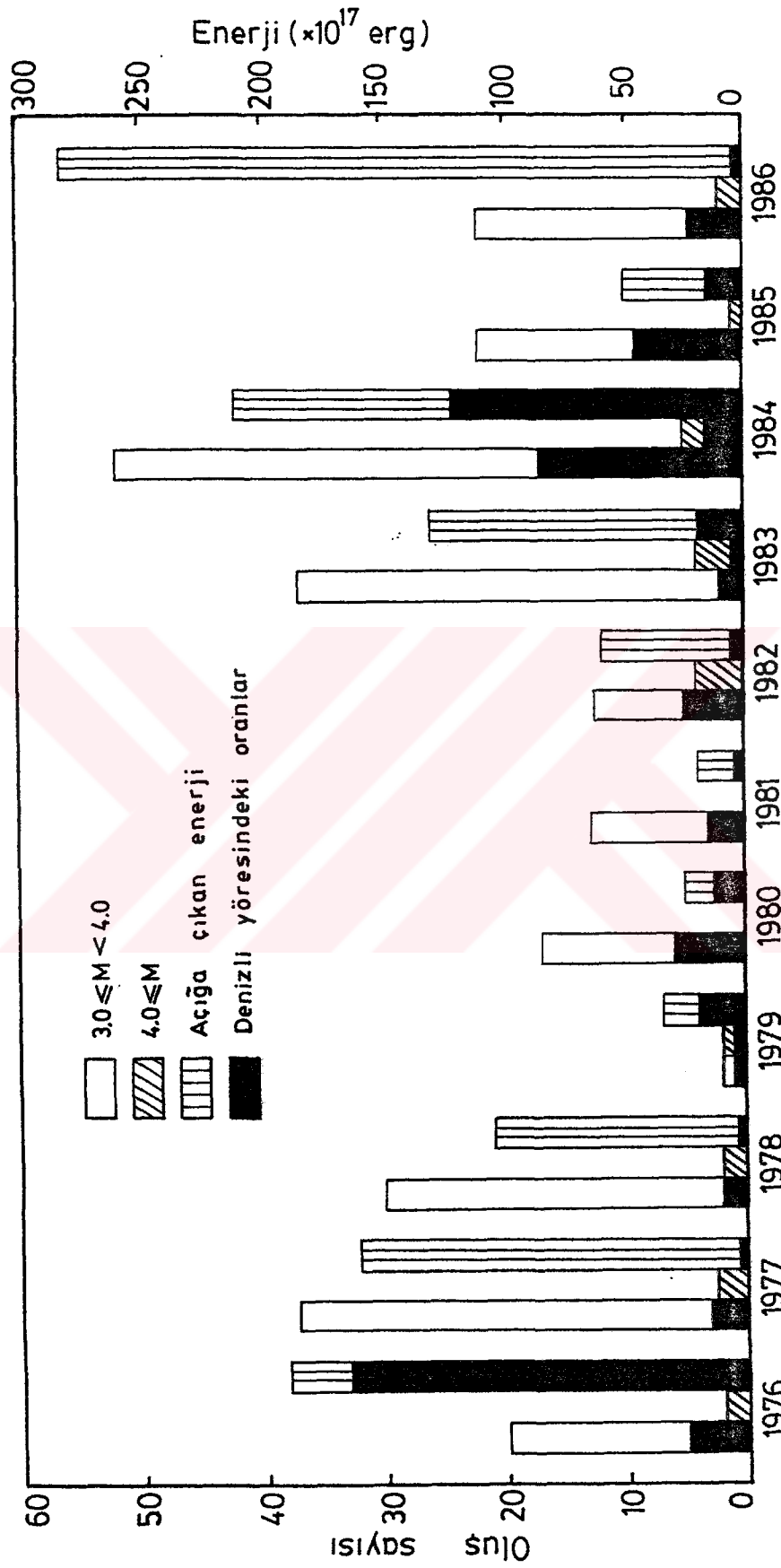
Şekil 38. Güneybatı Türkiye'nin yalınlaştırılmış sismo-tektonik haritası (Koçyiğit, 1984'den).



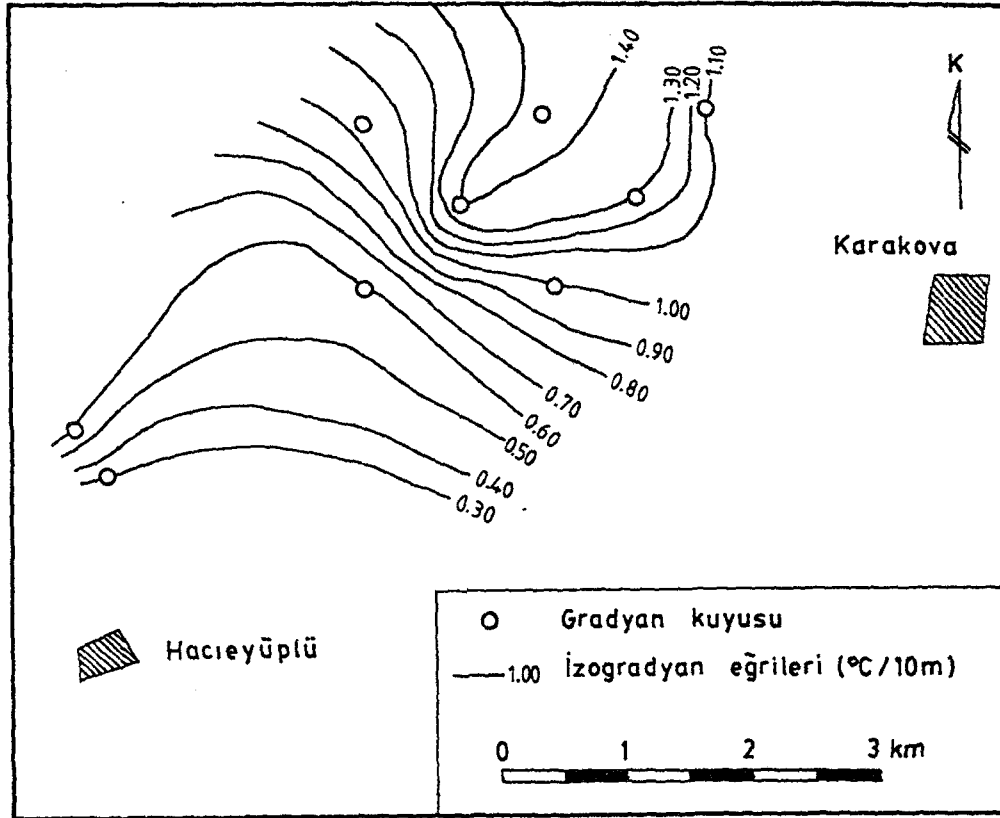
Şekil 39. İnceleme alanı ve civarının sismo-tektonik haritası (Faylar Henden, 1981; Özpınar ve diğ., 1992' den alınmıştır).



Şekil 40. Büyük Menderes Grabeninde 1976-1986 yılları arasındaki deprem sayıları ve açığa çıkan enerji miktarları



Şekil 41. Büyük Menderes Grabeni ve inceleme alanında 1976-1986 yılları arasındaki deprem sayıları ve açığa çıkan enerjilerin karşılaştırılması.



Şekil 42. Karakova civarında (Pamukkale güneyi) izogradyan eğrileri (Ürgün, 1976'dan geliştirilerek).

5.3.2. Hazne kaya

Bir kayacın hazne kaya niteliğinde olabilmesi, yüksek gözeneklik ve geçirgenlikte, yeterince kalın ve atmosferle hidrolik ilişkide olmasına bağlıdır. İnceleme alanında, gözlemlere ve jeotermometrelere göre birden fazla hazne kaya belirlenmiştir.

En üstte yer alan birinci hazne kaya travertenlerdir. Ancak, Gölemezli sıcak su kaynakları civarında traverten oluşmamıştır. Bu nedenle travertenler Pamukkale ve Karahayıt sıcak suları için bir hazne kaya özelliği taşır. Bol kırıklı, çatlaklı, karstik olması ve 84 m'ye varan kalınlığı ile faylarla iletilen sıcak suları depolama niteliği yüksektir. Bunun yanında, debinin yüksek olması, alttaki Pliyosen kireçtaşları ile ilişkiyi ve soğuk su karışımlarını göstermektedir. Son yıllarda Karahayıt'ta açılan sondajlarla Kızılgeçen Kaynağının debisinin azalması, burada, Pliyosen kireçtaşlarından beslenmenin Pamukkale'deki kadar güçlü olmadığını, sudaki yüksek demir miktarı ise, kaynağın daha derinlerde yeralan mermer ve şistlerle bağlantılı olduğuna işaret etmektedir. Karahayıt sıcak suları da, yükselirken bir miktar soğuk yeraltısuları ile karışırlar. Karahayıt'taki sondajlarla aşırı çekim, Kızılgeçen Kaynağının

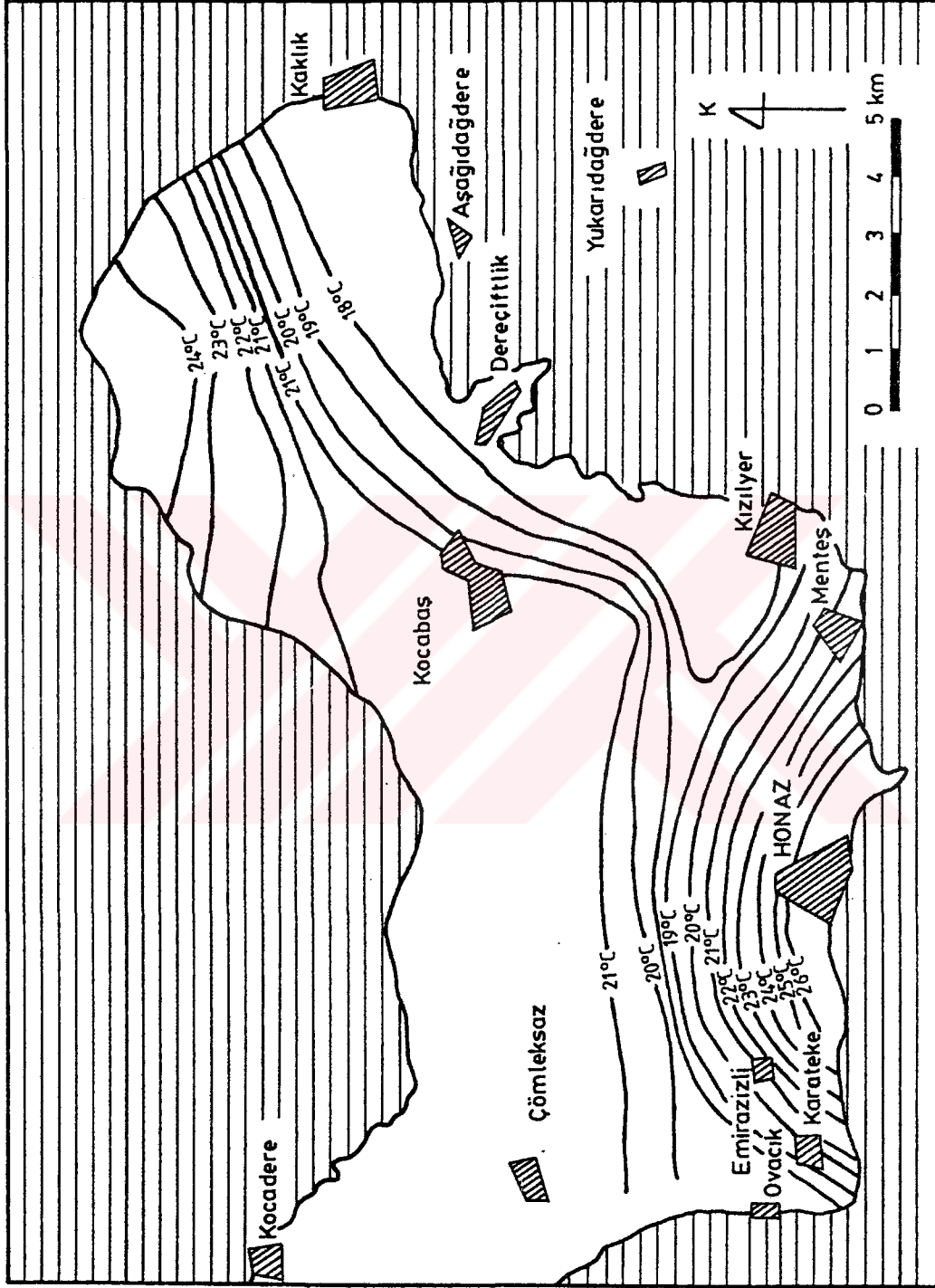
yüzeye erişmesini sağlayan kanallarda basıncın düşmesini ve dolayısıyla karbonat çökelmelerinin kanalları tıkamasını (self sealing) sonuçlamaktadır. Sondajlarla aşırı çekim devam ettiği takdirde yakın bir gelecekte kuruma tehlikesi vardır.

İkinci hazne kayayı oluşturan Pliyosen kireçtaşları (Mpk), Pamukkale ve Karahayıt'ta birinci hazne olan travertenleri beslemektedir. Traverten oluşumları da, altta karbonatlı bir hazne kayayı belgelemektedir. Pliyosen kireçtaşlarında görülen karstlaşma ve yüksek ikincil geçirimsilik, bir hazne kaya için iyi nitelikler olmasına karşın, birimin kalınlığındaki değişimler ve yanal süreksizlik bu özelliği sınırlamaktadır.

Üçüncü hazne kaya Paleozoyik yaşlı mermerler ve mermerler içindeki kuvarsit, kuvarssist düzeyleridir. Gölemezli'de suyun diğer kaynaklara göre daha derinden geldiği H_2S gazından anlaşılmaktadır. Gölemezli kaynaklarında, debinin yaz aylarında gözle görülür şekilde artması, kış ve bahar aylarında yağış ve yeraltı suları tarafından oluşturulan ve giderek artan hidrostatik basıncın, yazın "piston flow" etkisiyle hazne kayadaki akışkanın yükselme hızını artırması ile açıklanabilir.

Yüksek jeotermometre verilerine ve Bölüm 5.5'de değinilen kuramsal incelemelere göre şistlerin altında yer alan gnaysların dördüncü bir hazne kaya oluşturabileceği düşünülmektedir.

Hazne kayada gelişen konveksiyon akımları akışkan sıcaklığının her noktada aynı olmasını sağlar. Böylece hazne kayada suyun ya da buharın egemenliğini basınç denetler. Mermerlerde konveksiyon akımlarının iyi geliştiği düşünülmektedir. Ancak travertenlerin ve Pliyosen kireçtaşlarının soğuk yeraltı sularının etkisinde olmaları travertenlerde bu akımın doğmasını engellerken kireçtaşlarında düzensiz akımlara neden olur. Pamukkale'de debinin artmasıyla sıcaklık bir miktar düşer. Bu da, debi artışının soğuk yeraltı suları karışımından kaynaklandığını gösterir. Karahayıt'ta sondajlar nedeniyle kaynak debisindeki doğal değişimler gözlenememiştir. Pamukkale kaynaklarında debi ve sıcaklığın zaman içinde sabit sayılabilecek bir düzende olması, sistemin kendi içinde dengede olduğunun belirtisidir.



Şekil 43. Yukarı Çürüksu Ovası yeraltısularının eş sıcaklık haritası.

5.3.3. Örtü kaya

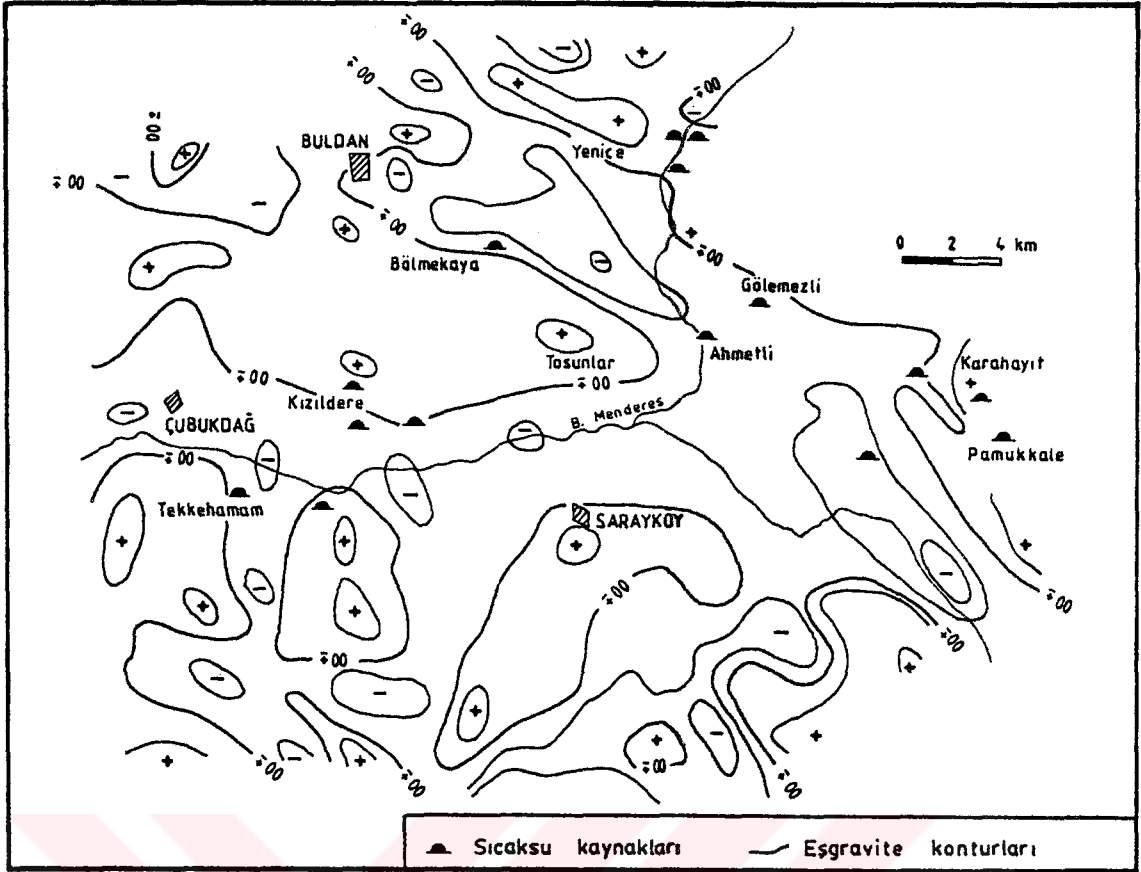
Hazne kayanın üzerinde yer alan geçirimsiz kayalar örtü kaya özelliğindedir. Örtü kaya, hazne kayadaki akışkanın yüzeye çıkarak sistemin ısı kaybetmesini önleyen bir elemandır. Aslında, örtü kayada kondüktif ısı iletimiyle bir miktar ısı kaybı olur. Ama, kondüksiyonla kaybedilen ısı, konveksiyon ile kazanılan ısı yanında önemsizdir.

İnceleme alanında birinci örtü kaya olan kıltaşı ve killi kireçtaşları (Plg), ikinci hazne kaya üzerinde; ikinci örtü kaya olan kumtaşı ve kıltaşı (Ms), üçüncü hazne kaya üzerinde ve üçüncü örtü kaya olan şistler de gnayslar üzerinde yer alır.

Özgüler ve diğ. (1983), yöredeki jeotermal alanlarda jeofizik çalışmalar yapmışlardır. Gravite çalışmaları sonucunda yaptıkları ikinci türev gravite haritasında pozitif alanların yükseltileri, negatif alanların örtünün kalın olduğu graben alanlarını gösterdiğini ve bunun da bölgenin tektonik yapısıyla uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 44). Öz direnç çalışmaları sonucunda verdikleri eşrezistivite haritalarında yüksek değerlerin horstları, düşük değerleri ise graben alanlarını işaret ettiğine değinmişlerdir (Şekil 45-a,b). Araştırmacılar, düşey elektrik sondajı (DES) verilerine göre üç farklı elektrik seviye saptamışlardır:

1. Alüvyon, yamaç molozu ve travertenlere karşılık gelen yüksek öz dirençli üst seviye (30 - 2000 ohm.m),
2. Örtü görevi yapan Pliyosen yaşlı ardalımalı birime karşılık gelen iletken orta seviye (2 - 30 ohm.m),
3. Mermer, kuvarsit, şist ve gnayslara karşılık gelen yüksek öz dirençli taban seviye (50 - 1000 ohm.m).

Şekil 45-b'deki, Gölemezli'nin kuzeyinden geçen O-O profili ve Karahayıt civarından geçen G-160 profilinin eşrezistivite ve elektrik yapı kesitleri 46-a,b'de ve bölgenin elektrik taban eşderinlik kontur haritası Şekil 47'de verilmiştir (Özgüler ve diğ., 1983). Kesitlerde horst-graben yapıları ve basamak faylar açıkça görülebilmektedir. Sahada gözlenemeyen, ancak O-O profilinde Gölemezli sıcak su kaynakları civarında izlenen gömülü horst, temel kayaçların Gölemezli'de yüzeye sanıldığından daha yakın olduğunu belirlemektedir. Şekil 47'de, sıcak su kaynakları altındaki temel kotları yaklaşık olarak Pamukkale'de (-200)-(-300) m., Karahayıt'ta (-500) m. ve Gölemezli'de (-700) m.'dir. Karahayıt ve Gölemezli'deki değerler jeolojik kesitlerle uyum içerisindedir.

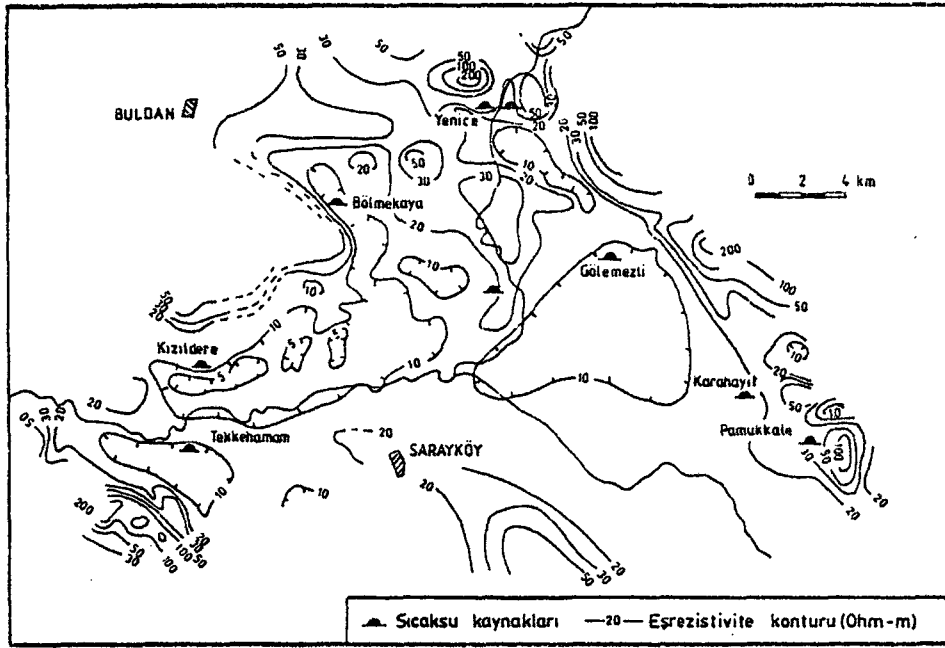


Şekil 44. Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının 2.türev gravite haritası (Özgüler ve diğ.,1983'den).

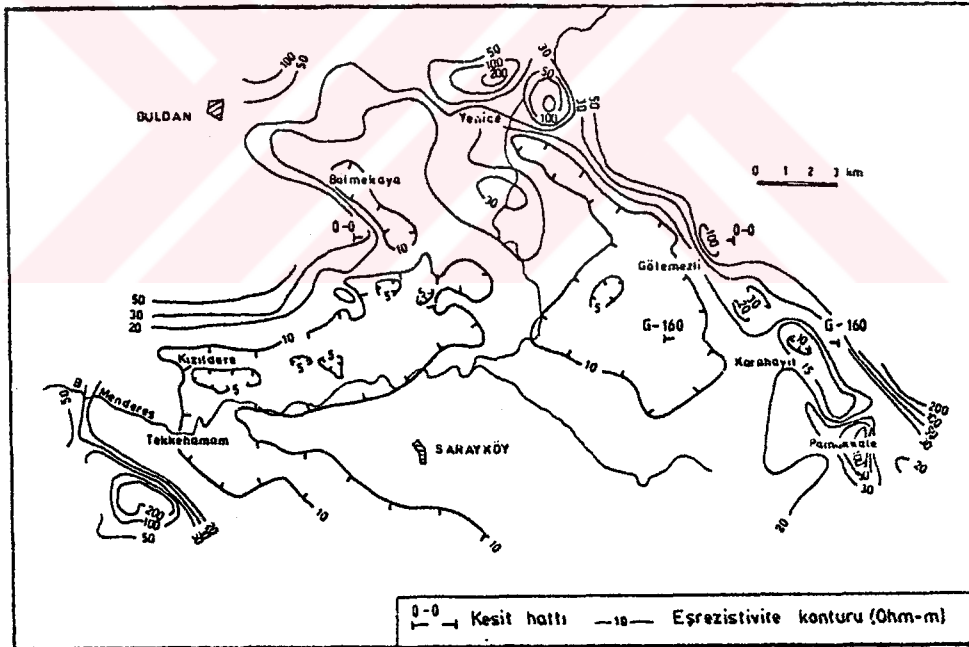
5.3.4. Beslenme

Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli hidrotermal karstının, tümüyle havzadaki geçirimli birimler üzerine düşen yağış sularının, teorik süzülme katsayıları ile belirlenen miktarlarda yeraltına süzülmesiyle beslendiğini düşünmek büyük yanlışlara neden olabilir. Çürüksu Ovası'ndaki düden ve obruklarda yeraltısuyunun kuzeyden ve doğudan geldiği gözlenmiştir. Çimento fabrikası güneyinde birbirine çok yakın kuyuların artezyen yapması ve bu kuyuların Çivril-Baklan Ovası ile Çürüksu Ovası'nın birbirinden Mal Dağı ile ayrıldığı kesimde yer alması hidrotermal karstın yağış sularıyla birlikte, daha çok Çivril-Baklan Ovası ve Acıgöl Havzası yeraltısuları tarafından beslendiğini göstermektedir. Çürüksu Ovası'nda yeraltısuyu akım yönü güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur (Şekil 48). Filiz (1982), yöredeki izotop çalışmaları sonucunda sıcak suların beslenme alanlarının çok daha yüksek kotlarda olduğunu belirlemiştir.

Sonuç olarak beslenmede yağışın katkısı büyüktür. Ancak, yağış kadar önemli bir diğer beslenme de, yukarıdaki verilerin ışığında, bir kısmı Çivril -Baklan Ovası ile



(a)



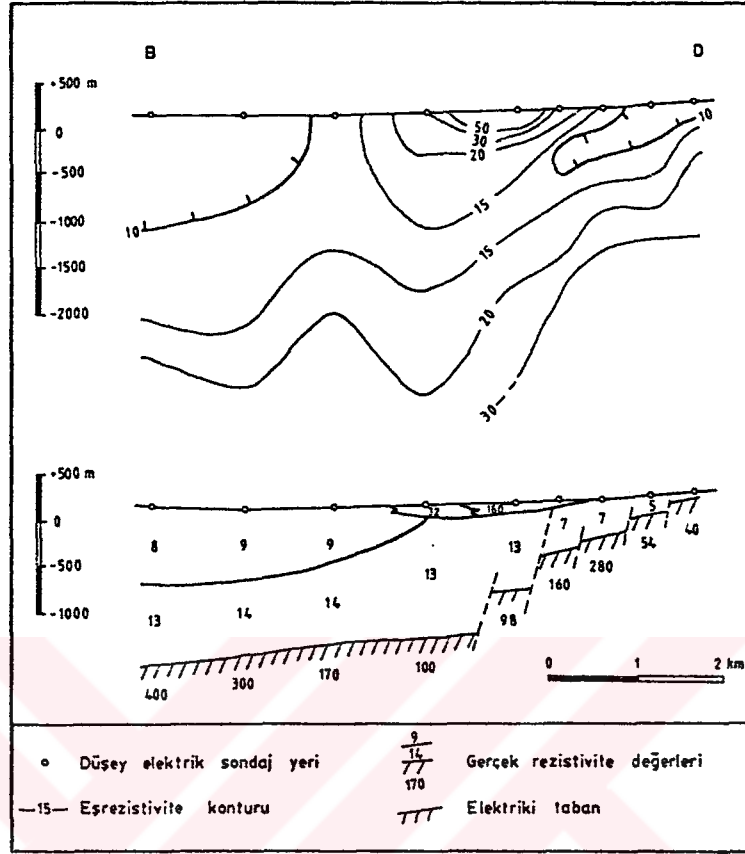
(b)

Şekil 45. Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının eş rezistivite haritası, a) Schlumberger, $AB/2 = 300$ m., b) Schlumberger, $AB/2 = 500$ m., (Özgüler ve diğ., 1983'den).

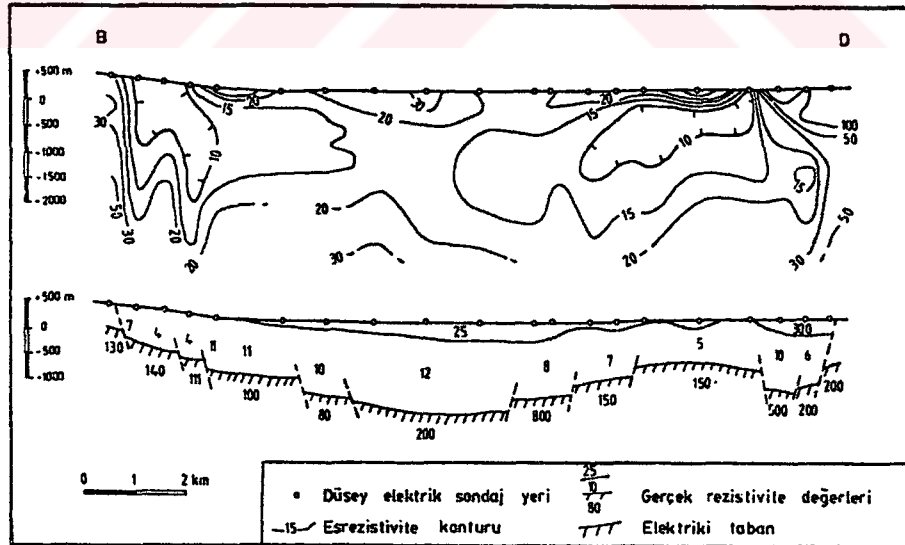
Acıgöl Havzası'ndan gelen ve Çürüksu Ovası'nda muazzam bir potansiyel oluşturan yeraltısularıdır. Bu sular karstlaşmanın ve diğer yoğun süreksizlik düzlemlerinin etkisiyle hızla yeraltına süzülerek hazne kayalara erişirler. Pamukkale sıcak sularında önceki ve bu çalışma süresince yapılan debi ölçümlerinde fazla bir değişikliğin gözlenmemesi beslenmenin kararlı olduğunu göstermektedir. Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli hidrotermal karst sisteminde beslenme-boşalma ilişkisinin belirlenebilmesi ve en az hata payıyla bir su bilançosunun ortaya konabilmesi için, bu amaç doğrultusunda, geniş ölçekli ve ayrıntılı hidroloji-hidrojeoloji çalışmasının yapılması zorunludur.

İnceleme alanında mermerlere ve Pliyosen kireçtaşlarına düşen yağış suları ile birlikte Çürüksu Ovası'na diğer komşu havzalardan giren yeraltısuları zayıflık zonları boyunca yeraltına süzülürler. Pamukkale ve Karahayıt'ta sığ derinliklerde traverten ve Pliyosen kireçtaşlarının oluşturduğu hazne kayaya alttaki haznelerden ve Filiz (1982)'in ortaya koyduğuna göre de mağmadan bir miktar akışkan katkısı vardır. Gölemezli'de hazne kayayı mermer, kuvarşist ve kuvarsitler oluşturur. Burada da diğer kaynaklardan daha fazla olmak üzere mağmatik katkı vardır. Hazne kayadaki su, mağma yaklaşımı, fayların oluşturduğu sürtünme enerjisi ve mağmadan kaçan sıcak gazların hazne kayaya sızmaları sonucu gelişen ısı kaynakları ile ısınır. Faylar ve kırıklar hazne kayalar arasında ısı ve akışkan transferini sağlar. Mermerler içinde geçerli olan konveksiyon akımları, üstteki hazne kayalar için soğuk su karışımları sonucu dengede değildirler. Örtü kayalardan kondüktif ısı kaybı, hazne kayanın konveksiyonla kazandığı ısı yanında önemsizdir. Yeraltında yüksek basınç altında olan sıcak akışkan yüzeye en kolay erişebileceği fay zonlarını izleyerek inceleme alanı sıcak su kaynaklarını oluşturur. Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli sıcak suları için Pamukkale'den Gölemezli'ye doğru:

1. Karstlaşma azalmaktadır.
2. Hazne kaya derinliği artmaktadır.
3. Suların sirkülasyon derinliği artmaktadır.
4. Hazne kaya sıcaklıkları artmaktadır.
5. Soğuk yeraltısuyu karışımları azalmaktadır.
6. Jüvenil su katkısı artmaktadır.
7. Suların iyon derişimi artmakta, pH'ları azalmaktadır.

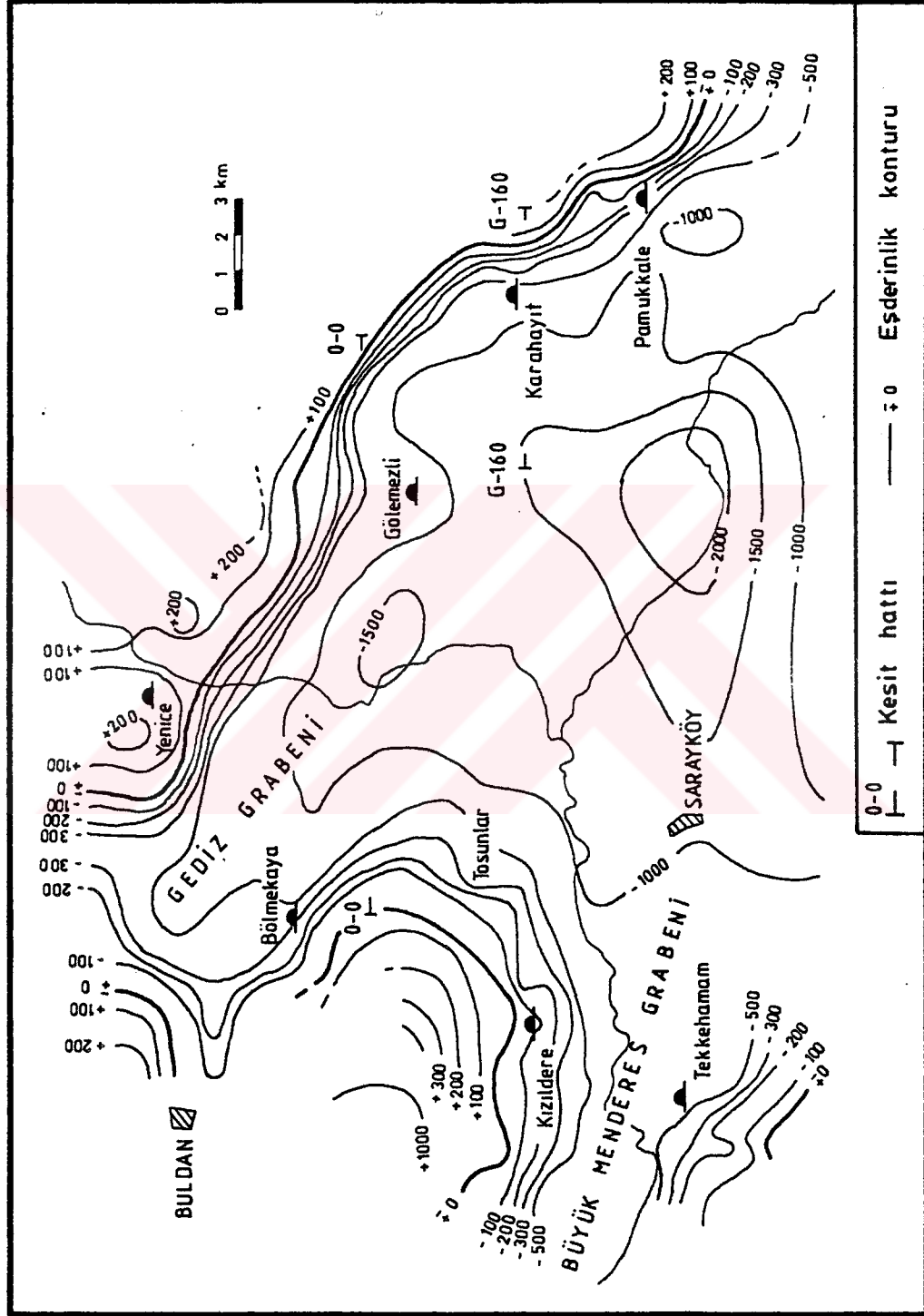


(a)

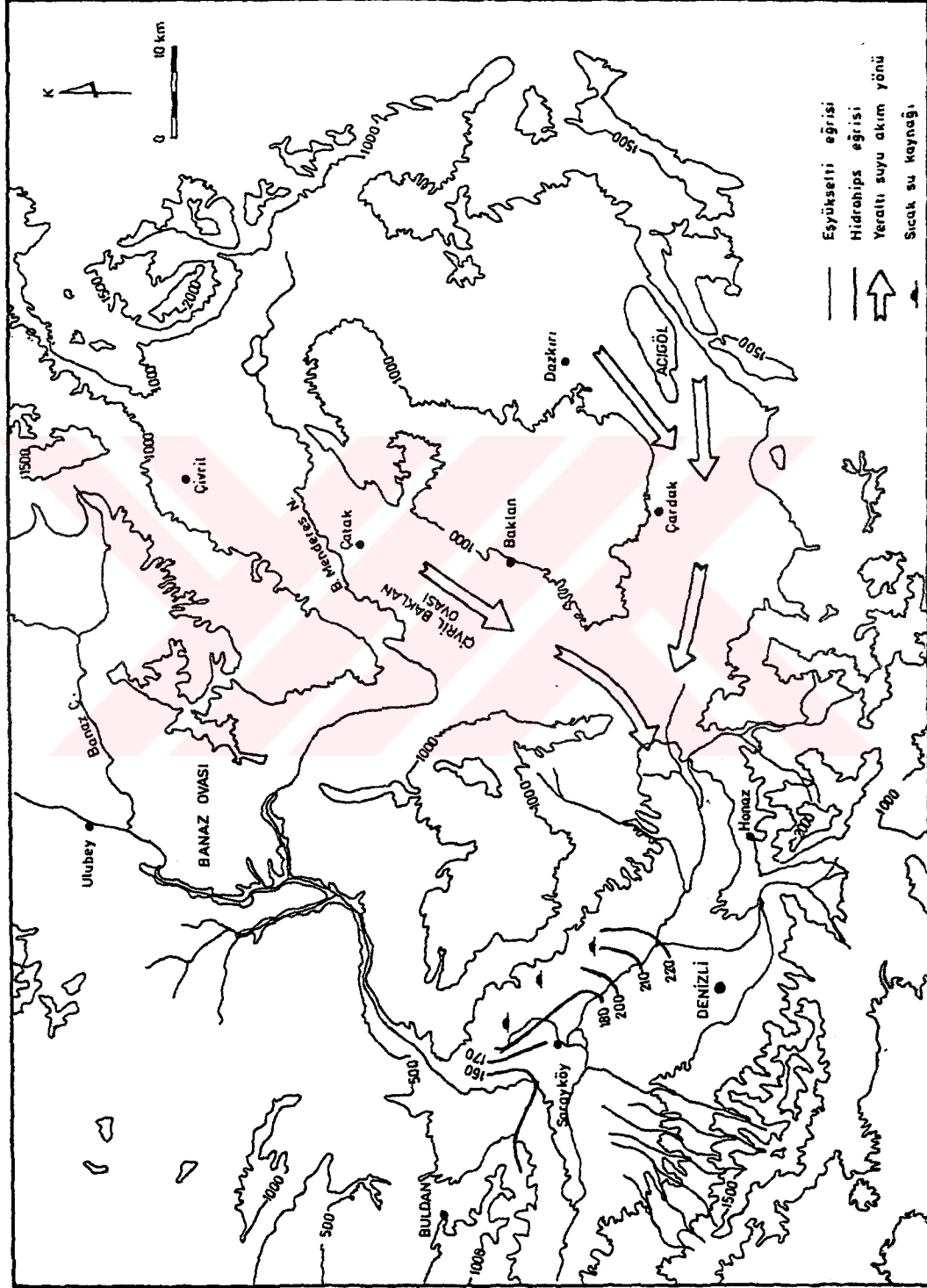


(b)

Şekil 46. Şekil 45'deki a) G-160, b) O-O profilinin eş rezistivite ve elektrik yapı kesiti (Özgüler ve diğ., 1983'den).



Şekil 47. Denizli-Sarayköy-Pamukkale-Buldan jeotermal sahalarının elektrik taban eşderinlik kontur haritası (Özgüler ve diğ., 1983'den).



Şekil 48. Pamukkale-Karahayit-Gölemezli hidrotermal karstın beslenme alanı.

İnceleme alanı sıcak sularının Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği kesimde yer alması nedeniyle tektonik etkinlik, grabenlerde olduğundan daha fazladır. Yoğun kırık ve çatlaklar özellikle Pamukkale'de yüksek debili karışım sularını sonuçlamıştır. Yöredeki güncel sıcak su çökelleri, eski sıcak su çökellerine benzer tortullaşma koşullarında oluşum göstermektedirler (Filiz,1982).

5.4. Su Kimyası

Olağan yeraltısularının kökeni yağış sularıdır. Yağış sularının bir kısmı yeraltına süzülerek akifere ulaşır. Ancak bu süzülme sırasında ve akiferde, geçtiği kayaları kısmen çözündürerek yeni bir kimyasal kompozisyon kazanır. Yeraltısularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltısuyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine bağlı olarak değişir. Yeraltısularının kimyasal analizleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanılabilirlik özelliklerini belirlemede büyük önem taşır.

Bu bölümde, Kızıldere jeotermal alanından başlayarak Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli ile devam eden ve Haydarbaba Düdeni doğusuna kadar uzanan hidrotermal karst bloğundaki suların kimyasal karakteristikleri ortaya konmuştur.

Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynaklarından periyodik olmak üzere 14 kaynak, 65 sondaj, 1 keson kuyu ve 1 drenajdan oluşan 81 su noktasından alınan toplam 191 adet su numunesinin kimyasal analizleri amaca uygun olarak değerlendirilmiştir. Bu sulardan 169'unun analizi bu çalışma kapsamında yaptırılmış, D.1-D.13 arasındaki nolar D.S.İ sondaj suları ile 33,34,35,36,37,38,39,40 ve 41 nolu sondaj sularından oluşan toplam 22'sinin analizi ise önceki çalışmalardan alınmıştır.

5.4.1. Suların genel kimyasal özellikleri

Çalışma alanındaki sulardan alınan örneklerin kimyasal analizleri ile suların Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , HCO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Cl^- ve bazı aylarda Si^{+4} , B^{+3} miktarları belirlenmiştir. Bunun dışında, bir kısım sularda alınan örneklerin de Fe, Mn, Cu, Sr, Zn, Li, Pb ve Al analizleri yaptırılmıştır.

Bu bölümde sunulan grafik ve hesaplamalarda, su içinde çözünmüş iyonların mg/l, r(miliekiyalan/l=mek/l), mol/l ve % mek/l değerleri kullanılmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik (EC, mikromho/cm) değerleri ile kimyasal analizleri mg/l cinsinden Çizelge 10-20'de, aynı analizlerin mek/l değerleri, sodyum yüzdesi (% Na), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sulama suyu sınıfı, Fransız sertliği (FS) ve anyon-kasyon dağılımları Çizelge 21-30'da sunulmuştur.

5.4.1.1. Anyon ve katyonlar

Çalışma alanındaki suların anyon ve katyon dağılımları Çizelge 21-30'da, yarı logaritmik diyagramları Şekil 49-60'da, Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin aylara göre değişimleri Şekil 61-65'de verilmiştir. Sulardaki çözünmüş maddeler aşağıda incelenmiştir:

Sodyum: Çürüksu Ovası doğusunda 4 mg/l civarında olan sodyum Pamukkale'ye doğru düzenli olarak artarak burada yaklaşık 40 mg/l, Karahayıt'ta 100 mg/l, Gölemezli'de ise 500 mg/l 'ye ulaşır. Sıcak sulardaki yüksek sodyum değeri metamorfik kayalardan gelen suların karakteristiğidir. Sodyumun kaynağı metamorfikler, özellikle gnayslardaki feldispatlardır. Sodyumun çözünürlüğü sıcaklıkla artar. İyon değişimi de sulardaki sodyum miktarı üzerine etkilidir. Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak sularında sodyum değeri aylara göre fazla bir değişim göstermez. Sıcak sulardaki sodyum, sıcak suların geldiği derinlikle bağlantılı olarak artar. İnceleme alanı eş sodyum haritasında (Şekil 66) bu ilişki açık olarak gözlenmektedir.

Potasyum: Özellikleri sodyuma benzer. Havzanın doğusunda soğuk sularda 1 mg/l civarında iken Pamukkale'de 5, Karahayıt'da 20, Gölemezli'de 50 mg/l 'yi bulur (Şekil 67). Potasyumun kaynağı metamorfik kayalardaki mika ve potasyum feldispatlardır. Sıcak sularda sodyuma oranla düşük değerlerde bulunması

Çizelge 10. Özel İdare sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları .

ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)						ANYONLAR(mg/l)			TOPLAM
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ³⁺	Si ⁴⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
08.08.1991	35.7	6.43	2220.0	38.7	3.51	400.8	170.5	0.51	-	890.4	29.8	977.7	2511.92
24.11.1991	36.5	6.40	2450.0	37.0	4.00	284.0	87.0	-	18.0	1062.0	14.0	682.0	2188.00
24.02.1992	35.5	6.55	2100.0	40.0	4.00	409.0	89.0	3.00	18.0	1050.0	14.0	668.0	2295.00
15.04.1992	34.7	6.38	2128.0	40.0	3.51	377.6	126.9	1.95	-	758.5	21.1	868.3	2197.86
22.05.1992	35.7	5.90	2350.0	23.0	4.00	258.0	87.0	2.00	14.0	988.0	14.0	683.0	2073.00
29.06.1992	35.7	6.79	1800.0	29.0	3.78	174.9	231.8	-	-	982.4	22.7	595.6	2040.18
24.07.1992	35.7	6.15	2304.0	30.2	3.20	451.2	20.7	-	-	1042.7	25.3	374.8	1948.10
25.08.1992	35.7	6.13	2220.0	34.3	3.80	490.2	91.6	-	-	1093.3	210.7	465.1	2389.00
29.09.1992	35.8	6.25	2193.0	35.3	4.09	499.9	170.7	1.00	-	992.1	168.6	942.7	2814.39
27.10.1992	35.8	6.30	2168.4	36.3	3.51	423.0	217.4	2.50	-	1122.1	147.5	869.7	2822.01
24.11.1992	35.2	6.42	2001.6	35.3	5.65	576.9	51.3	1.05	-	1070.9	87.0	703.2	2531.30
28.12.1992	35.2	6.53	2188.8	36.0	4.83	499.5	76.3	1.80	-	1025.9	131.7	592.8	2368.83
29.01.1993	35.1	5.96	2199.6	36.4	3.51	518.0	181.9	0.10	-	1042.5	17.08	1585.9	3485.39
25.02.1993	35.6	6.12	2168.4	37.0	4.36	407.0	131.8	1.80	-	1076.6	87.8	612.5	2358.86
29.03.1993	35.5	6.30	2064.0	28.0	4.09	462.5	73.9	0.00	-	967.3	131.7	608.3	2275.79
27.06.1993	36.0	6.59	1990.0	39.0	5.00	406.0	96.0	0.30	16.0	1025.0	21.0	822.0	2430.30

Çizelge 11. Belediye sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları.

ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)					ANYONLAR (mg/l)				TOPLAM
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ³⁺	Si ⁴⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
08.08.1991	35.5	7.12	1757.5	37.0	3.78	311.3	114.9	0.05	-	572.4	24.9	797.3	2346.00
24.11.1991	36.0	6.35	2400.0	50.0	4.00	261.0	80.0	-	15.0	1074.0	14.0	679.0	2177.00
24.02.1992	34.9	6.51	2150.0	40.0	4.00	435.0	90.0	2.00	18.0	1074.0	15.0	668.0	2346.00
15.04.1992	34.4	6.30	2128.0	40.0	3.78	357.6	147.0	2.85	-	847.5	19.4	832.8	2251.23
22.05.1992	34.8	5.80	2200.0	23.0	4.00	249.0	86.0	0.00	14.0	988.0	15.0	687.0	2066.00
29.06.1992	34.9	6.73	2100.0	32.3	3.78	337.4	117.6	-	-	967.2	21.0	556.8	2036.08
24.07.1992	35.2	6.24	2208.0	28.3	3.20	347.2	46.5	-	-	973.3	24.4	279.8	1702.70
25.08.1992	35.3	6.21	2127.5	37.0	3.80	470.6	103.8	-	-	1045.1	189.6	538.5	2388.40
29.09.1992	35.3	6.15	2193.0	36.4	3.70	442.3	145.0	0.05	-	1177.5	147.5	630.2	2522.65
27.10.1992	35.1	6.63	2112.8	37.0	3.51	557.60	172.3	1.60	-	1163.1	231.8	868.8	3035.71
24.11.1992	34.5	6.55	2112.8	35.3	5.93	519.2	171.3	0.05	-	1082.7	87.0	1030.1	2931.58
28.12.1992	34.1	6.63	2188.8	36.0	4.83	481.0	132.3	2.60	-	1030.6	109.8	795.8	2592.93
29.01.1993	33.8	6.10	2199.6	31.6	4.09	407.0	149.5	0.10	-	1006.9	16.5	820.8	2436.49
25.02.1993	34.3	6.30	2224.0	37.0	4.60	499.5	75.3	2.50	-	1129.9	87.8	568.8	2405.40
29.03.1993	34.3	6.45	2064.0	28.0	4.09	444.0	131.8	0.00	-	924.0	131.7	1099.6	2763.19
27.06.1993	35.4	6.74	2050.0	39.0	5.00	380.0	103.0	0.20	16.0	1025.0	16.0	830.0	2414.20

Tag: 101. A
DOKÜMANTASYON İZLENİ

Çizelge 12. Jandarma sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları.

ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)						ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ³⁺	Si ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		
08.08.1991	38.0	6.35	2220.0	38.7	3.20	424.2	77.0	0.50	-	908.3	27.8	652.8	2132.50	
24.11.1991	36.5	6.35	2450.0	37.0	4.00	306.0	87.0	-	18.0	1049.0	14.0	692.0	2207.00	
24.02.1992	35.8	6.35	2100.0	40.0	4.00	448.0	89.0	3.00	18.0	111.0	19.0	694.0	2426.00	
15.04.1992	34.0	6.50	2234.0	40.2	3.70	239.4	156.0	3.45	-	801.7	19.4	749.7	2013.55	
22.05.1992	35.6	6.10	2000.0	23.0	4.00	256.0	85.0	0.00	14.0	1013.0	15.0	683.0	2093.00	
29.06.1992	35.7	6.55	2000.0	29.0	3.51	291.6	168.3	-	-	1030.8	22.7	586.5	2132.41	
24.07.1992	35.7	6.13	2304.0	33.0	3.20	292.0	75.1	-	-	1028.4	23.6	231.3	1686.60	
25.08.1992	36.0	6.18	2220.0	37.8	4.40	470.6	103.5	-	-	1081.0	189.6	512.6	2399.50	
29.09.1992	35.7	6.20	2142.0	36.4	3.78	480.7	133.8	0.70	-	1094.7	168.6	671.5	2590.18	
27.10.1992	35.1	6.20	2168.4	36.3	3.20	596.1	63.9	1.70	-	1135.8	147.5	666.0	2650.80	
24.11.1992	34.6	6.51	2001.6	35.3	5.93	519.2	171.3	0.20	-	1101.7	87.0	1015.2	2935.83	
28.12.1992	34.7	6.55	2188.8	36.0	5.07	407.0	154.4	2.70	-	980.8	109.8	744.9	2440.67	
29.01.1993	34.5	6.13	2734.7	35.3	3.51	740.0	271.3	1.20	-	1070.9	17.5	2059.2	4198.91	
25.02.1993	34.2	6.20	2112.8	37.0	5.07	444.0	109.5	2.70	-	115.9	175.7	463.7	2353.57	
29.03.1993	35.2	6.58	2112.0	28.0	4.60	518.0	87.0	0.00	-	936.3	219.6	615.3	2408.80	
27.06.1993	36.3	6.53	2030.0	40.0	5.00	370.0	190.0	0.30	-	1074.0	43.0	1288.0	3027.30	

Çizelge 13. Kızılgegen sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları.

ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)						ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ³⁺	Si ⁴⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		
08.08.1991	55.0	6.46	2775.0	106.7	13.3	451.4	132.8	0.80	18.0	1038.0	42.4	978.7	2764.10	
24.11.1991	54.0	6.35	2800.0	96.0	19.0	306.0	110.0	-	18.0	1159.0	25.0	942.0	2675.00	
24.02.1992	54.5	6.13	2500.0	120.0	22.0	483.0	114.0	1.00	-	1187.0	28.0	944.0	2917.00	
15.04.1992	51.1	6.38	2660.0	96.7	22.0	317.6	182.2	5.20	13.0	895.9	32.0	960.6	2512.20	
22.05.1992	51.9	6.25	2550.0	105.0	24.0	297.0	111.0	0.00	-	1184.0	28.0	934.0	2696.00	
29.06.1992	52.2	6.60	2200.0	113.4	22.8	416.6	119.5	-	-	1094.4	35.4	825.6	2627.70	
24.07.1992	52.1	6.26	2592.0	81.7	18.9	452.0	99.8	-	-	1040.3	32.8	806.8	2532.30	
25.08.1992	52.8	6.50	2590.0	107.0	20.8	549.0	92.3	-	-	1136.0	168.6	804.5	2878.20	
29.09.1992	53.4	6.18	2550.0	86.7	20.8	480.7	170.3	1.60	-	1140.3	189.6	876.5	2966.50	
27.10.1992	52.9	6.42	2557.6	86.7	20.1	499.9	256.0	1.90	-	1128.9	147.5	1325.7	3466.70	
24.11.1992	51.6	6.52	2557.6	113.4	23.6	576.9	197.0	1.55	-	1065.1	131.8	1393.9	3503.25	
28.12.1992	52.1	6.63	2553.6	96.7	24.1	462.5	178.4	4.70	-	1142.0	109.8	994.5	3012.40	
29.01.1993	51.0	6.20	2615.8	93.4	16.0	703.0	107.8	2.50	-	1151.4	18.8	1393.4	3486.30	
25.02.1993	51.9	6.20	2613.2	96.7	24.1	407.0	154.2	4.80	-	1185.9	87.8	763.2	2723.70	
29.03.1993	51.9	6.44	2488.2	86.7	21.2	518.0	144.4	0.80	-	1022.6	131.7	1033.9	2959.30	
27.06.1993	53.1	6.71	2450.0	107.0	22.0	309.0	118.0	0.40	17.0	1135.0	30.0	1080.0	2818.40	

Çizelge 14. Gölemezli Yeni Hamam sıcak su kaynağının kimyasal analiz sonuçları.

ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)					ANYONLAR (mg/l)					TOPLAM
				Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ⁺³	Si ⁺⁴	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		
08.08.1991	50.0	6.46	4070.0	533.6	47.3	311.3	178.2	5.00	-	-	1068.5	99.6	1654.4	3888.90
24.11.1991	52.0	6.70	4000.0	405.0	56.0	195.0	117.0	-	77.0	1245.0	83.0	1672.0	3850.00	
24.02.1992	50.4	5.90	4000.0	560.0	60.0	379.0	121.0	21.00	75.0	1330.0	89.0	1662.0	4297.00	
15.04.1992	50.5	6.50	4043.2	475.2	37.8	408.0	131.9	8.60	-	946.8	48.9	1724.6	3781.80	
22.05.1992	50.4	3.50	3900.0	534.0	58.0	265.0	129.0	5.00	71.0	1208.0	82.0	1632.0	3984.00	
29.06.1992	50.5	6.60	4300.0	413.5	35.1	441.6	98.5	-	-	1221.7	105.3	1249.4	3565.10	
24.07.1992	50.4	6.15	4224.0	560.3	43.6	520.0	10.7	-	-	1279.5	105.3	1388.1	3907.50	
25.08.1992	50.6	6.25	3977.5	960.3	42.3	450.9	151.9	-	-	1303.4	337.2	1427.0	4273.00	
29.09.1992	50.5	6.00	4182.0	450.2	48.3	480.7	194.6	7.00	-	1347.7	231.8	1543.6	4303.90	
27.10.1992	50.1	6.30	4003.6	421.9	43.6	123.0	181.0	6.60	-	1341.0	273.9	1236.0	3927.00	
28.12.1992	45.9	6.79	4012.8	435.5	53.4	388.5	211.4	4.40	-	1322.0	173.7	1591.6	4180.50	
29.01.1993	41.1	6.00	4042.6	541.9	53.4	444.0	379.8	7.40	-	1184.6	194.2	2561.7	5367.00	
25.02.1993	50.4	6.23	3892.0	436.8	56.5	425.5	257.3	7.40	-	1275.7	219.6	1672.3	4351.10	
29.03.1993	50.4	6.54	3864.0	560.3	46.0	481.0	97.9	3.40	-	1091.5	175.7	1668.4	4124.20	
27.06.1993	49.3	6.72	3600.0	528.0	66.0	299.0	134.0	0.90	70.0	1233.0	90.0	1818.0	4247.00	

Çizelge 15. Suların kimyasal analiz sonuçları.

No	ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)						ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ⁺³	Si ⁺⁴	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		
P-4	29.03.1993	33.4	7.05	2340.0	40.0	6.00	457.7	77.0	0.00	16.0	1013.0	14.0	724.0	2347.70	
	27.06.1993	35.6	6.62	2230.0	39.0	5.00	416.0	111.0	0.30	16.0	1086.0	20.0	826.0	25.19.30	
P-5	27.09.1993	36.1	6.58	2030.0	39.0	5.00	396.0	96.0	0.30	16.0	1074.0	21.0	830.0	2477.30	
P-6	29.03.1993	34.4	6.55	2620.0	40.0	6.00	471.5	91.0	0.00	15.0	1062.0	15.0	725.0	2425.50	
P-7	29.03.1993	33.8	6.86	2410.0	40.0	6.00	456.3	99.0	0.00	15.0	1049.0	21.0	725.0	2411.30	
	24.02.1992	55.0	6.49	2550.0	111.0	21.0	478.0	114.0	6.00	16.0	1208.0	27.0	924.0	2905.00	
K-2	15.04.1992	55.9	6.52	2660.0	101.7	22.0	319.5	128.0	5.20	-	979.9	35.4	988.8	2580.50	
	22.05.1992	54.4	6.05	2400.0	108.0	24.0	483.7	112.0	0.00	13.0	1123.0	28.0	935.0	2826.70	
	29.06.1992	57.6	6.60	2400.0	113.4	20.8	529.1	100.8	-	-	883.2	42.1	1176.0	2865.40	
	24.07.1992	57.2	6.35	2688.0	77.0	19.3	468.0	62.1	-	-	1136.0	37.1	615.8	2415.30	
	25.08.1992	56.7	6.38	2590.0	93.4	22.8	490.2	115.9	-	-	1171.8	210.7	647.5	2752.30	
	29.09.1992	57.1	6.40	2550.0	71.7	20.1	480.7	206.7	1.00	-	1311.4	189.6	853.9	3135.10	
K-3	27.10.1992	54.6	6.53	2557.6	93.4	18.2	634.5	174.3	1.80	-	1300.0	189.6	1145.3	3557.10	
	24.11.1992	52.5	6.82	2557.6	81.7	23.6	576.9	136.3	0.95	-	1179.9	131.0	1012.8	3143.15	
	29.03.1993	56.5	6.68	2682.5	93.4	22.8	555.0	84.2	1.00	14.0	1116.2	87.8	900.4	2874.80	
	27.06.1993	57.0	6.81	2720.0	106.0	22.0	324.0	115.0	0.30	17.0	1330.0	29.0	1080.0	3023.30	
	08.08.1991	45.0	6.46	2775.0	104.7	16.8	474.8	146.7	1.30	-	1063.4	37.8	1068.0	2913.50	
	24.11.1991	41.0	6.26	2900.0	103.0	17.0	528.2	100.0	-	15.0	1196.0	27.0	919.0	2905.20	
K-4	08.08.1991	59.0	6.54	2775.0	110.1	18.2	435.9	54.1	1.30	-	1017.6	36.8	659.9	2333.90	
	24.11.1991	55.0	6.52	2900.0	106.0	18.0	534.4	98.0	-	18.0	1184.0	27.0	943.0	2928.40	
	24.02.1992	53.0	6.79	2250.0	117.0	22.0	401.0	114.0	5.00	17.0	1233.0	31.0	921.0	2861.00	
	15.04.1992	47.9	6.73	2553.6	107.7	22.0	315.9	132.0	4.60	-	992.6	33.7	975.4	2583.90	
	22.05.1992	44.0	6.10	2750.0	107.0	24.0	481.9	113.0	0.00	14.0	1123.0	27.0	957.0	2854.90	
	29.01.1993	50.6	6.63	2615.0	106.7	16.7	721.5	348.6	1.20	-	1142.0	18.7	2425.9	4781.30	

Çizelge 16. Suların kimyasal analiz sonuçları.

No	ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)						ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ⁺³	Si ⁺⁴	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		
K-5	29.01.1993	55.7	6.63	2734.7	93.4	15.6	518.0	381.0	1.20	-	1156.2	18.9	2024.6	4208.90	
K-6	27.06.1993	45.7	6.65	2500.0	113.4	20.8	473.3	179.7	-	-	1145.3	31.2	1162.1	3125.80	
K-7	27.06.1993	41.4	7.46	2090.0	113.0	24.0	155.0	111.0	0.20	17.0	671.0	33.0	1109.0	3235.20	
K-8	27.06.1993	56.8	6.85	2760.0	108.0	22.0	324.0	115.0	0.20	16.0	671.0	32.0	1074.0	2362.20	
K-9	08.08.1991	33.0	7.76	342.2	3.6	0.0	116.7	78.7	0.05	-	178.1	13.9	439.2	830.25	
	24.11.1991	30.0	7.20	440.0	9.0	0.1	84.0	6.0	-	11.0	195.0	6.0	55.0	366.10	
	24.02.1992	21.0	7.59	350.0	4.0	0.0	34.0	1.0	3.00	11.0	207.0	12.0	14.0	286.00	
G-2	15.04.1992	41.9	6.25	3936.8	400.2	35.1	362.9	197.6	7.30	-	941.7	84.3	1910.8	3579.70	
	22.05.1992	47.8	3.50	4200.0	528.0	59.0	437.0	129.0	10.0	57.0	1245.0	56.0	1677.0	4198.00	
	29.06.1992	47.6	6.84	4000.0	541.9	37.8	449.5	77.8	-	-	1247.1	102.8	1441.9	3898.80	
	24.07.1992	48.4	6.32	4128.0	516.9	48.3	340.0	156.1	-	-	1171.8	84.3	1533.1	3850.50	
	25.08.1992	49.1	6.44	3977.5	560.3	46.3	450.9	139.7	-	-	1260.4	316.1	1439.0	4212.40	
	29.09.1992	47.3	6.22	3978.0	436.8	40.3	442.3	205.8	7.60	-	1124.2	210.7	1673.3	4141.00	
	27.10.1992	42.3	6.47	3892.0	421.8	40.9	461.5	218.4	6.80	-	1554.4	252.9	1596.1	4552.90	
	28.12.1992	40.1	6.48	4012.8	450.2	53.4	444.0	143.4	4.40	-	1177.5	241.6	1381.2	3895.90	
G-3	24.11.1992	57.4	6.69	3892.0	541.9	67.4	615.4	173.7	6.70	-	1291.3	263.5	2001.6	4961.50	
	28.12.1992	58.0	6.77	4134.4	430.2	53.4	425.5	200.4	5.40	-	1255.7	173.7	1578.2	4122.50	
	29.01.1993	57.1	6.20	4042.6	580.3	56.5	555.0	253.6	5.00	-	1232.0	201.9	2367.8	5252.10	
	25.02.1993	56.6	6.40	4003.2	443.5	56.5	425.5	177.4	5.00	-	1500.0	219.6	1237.9	4065.40	
	29.03.1993	57.6	6.66	5470.0	504.0	56.0	477.9	132.0	8.00	57.0	1257.0	89.0	1679.0	4259.95	
	27.06.1993	58.3	6.91	4560.0	568.0	71.0	375.0	164.0	0.90	59.0	1257.0	80.0	2091.0	4665.90	
G-4	15.04.1992	33.8	6.13	3830.4	483.5	40.9	266.4	173.6	9.20	-	1056.2	29.5	1655.5	3714.80	
	29.06.1992	39.3	6.60	4300.0	413.5	35.1	441.6	98.5	-	-	1221.7	105.3	1249.4	3565.10	
G-5	15.04.1992	30.0	6.50	2234.4	186.8	24.1	470.8	208.0	2.40	-	636.3	48.9	1482.7	3060.00	
G-6	15.04.1992	30.7	6.57	3085.6	330.2	29.2	394.4	138.1	6.25	-	646.5	74.2	1606.1	3224.95	
G-7	08.08.1992	35.0	6.85	4255.0	450.2	37.6	369.7	191.7	4.80	-	821.7	199.2	1711.6	3786.50	
G-8	15.04.1992	-	7.50	489.4	12.3	1.44	56.0	40.7	0.85	-	274.8	19.4	80.2	485.69	

Çizelge 17. Suların kimyasal analiz sonuçları.

No	ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)				ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼		
1	04.09.1993	21.5	6.52	1958.0	26.3	2.61	396.0	122.0	485.5	87.9	987.3	2103.61	
2	04.09.1993	21.5	6.45	2104.8	25.1	2.61	364.3	119.4	521.0	87.9	870.7	1991.01	
3	04.09.1993	21.4	6.45	2104.8	26.3	2.61	383.3	127.4	532.0	87.9	940.8	2100.31	
4	04.09.1993	21.4	6.52	2055.9	26.3	2.61	376.9	179.2	527.7	87.9	1138.1	2336.71	
5	04.09.1993	21.8	6.48	2006.9	29.6	2.61	399.1	156.7	556.5	65.9	1112.1	2322.51	
6	04.09.1993	21.9	6.48	2104.8	29.0	2.61	427.6	102.3	537.6	65.9	979.7	2144.71	
7	04.09.1993	21.9	6.48	2104.8	29.6	2.61	402.3	113.9	521.0	65.9	978.7	2114.01	
8	04.09.1993	21.5	6.57	2153.8	31.0	2.61	326.3	187.5	509.2	65.9	1190.9	2313.41	
9	04.09.1993	21.9	6.45	2153.8	31.0	2.61	383.3	148.8	525.7	65.9	1069.4	2226.71	
10	04.09.1993	20.5	6.50	2121.7	33.0	3.20	370.6	164.2	502.1	87.9	1124.2	2285.20	
11	04.09.1993	19.5	6.70	2121.7	35.3	4.36	367.5	136.9	374.2	131.8	1026.7	2076.76	
12	04.09.1993	22.7	6.45	2121.7	24.6	2.92	411.8	98.3	592.1	131.8	785.3	2046.82	
13	04.09.1993	23.0	6.58	1980.3	24.6	2.92	400.7	130.4	587.3	109.8	918.2	2173.92	
14	04.09.1993	25.6	6.54	2027.4	27.0	3.51	391.2	112.8	592.1	131.8	798.7	2057.11	
15	04.09.1993	24.8	6.40	2074.4	31.0	4.09	354.8	96.0	539.9	153.8	664.8	1844.39	
16	04.09.1993	24.4	6.50	2074.6	32.3	1.75	354.8	105.7	563.6	87.9	803.5	1949.55	
17	04.09.1993	25.0	6.46	2027.4	36.3	1.75	354.8	27.9	587.3	131.8	396.9	1536.75	
18	04.09.1993	23.8	6.50	1886.0	31.0	1.75	316.8	51.0	592.1	131.8	382.1	1506.55	
19	04.09.1993	23.7	6.65	1697.4	33.0	2.06	285.1	21.6	530.5	87.9	302.8	1262.96	
20	04.09.1993	23.2	7.00	1697.4	33.0	2.01	300.9	80.1	544.7	131.8	501.1	1594.21	
21	04.09.1993	23.4	6.70	2086.0	20.0	2.06	372.6	114.3	678.5	21.1	828.0	2036.56	
22	04.09.1993	16.8	7.50	1001.3	41.3	0.85	47.7	95.5	439.2	26.4	310.1	901.05	
23	04.09.1993	16.3	7.50	688.4	14.0	0.87	47.7	97.7	402.6	19.3	147.8	529.97	
24	04.09.1993	18.0	7.25	1564.5	3.6	0.58	270.7	59.5	231.8	7.09	699.8	1274.13	

Çizelge 18. Suların kimyasal analiz sonuçları.

No	ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)				ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM	
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ⁺³	Si ⁺⁴	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻		SO ₄ ⁼
25	04.09.1993	21.9	7.36	1564.5	4.33	0.85	254.7	71.1	-	-	219.6	8.79	716.0	1274.77
26	04.09.1993	17.9	7.36	1564.5	4.33	0.58	226.1	78.2	-	-	248.9	8.79	654.7	1220.00
27	04.09.1993	27.8	6.94	1147.3	15.0	1.44	191.1	39.7	-	-	607.6	8.79	157.4	1021.03
28	04.09.1993	19.8	7.40	625.8	5.6	0.58	95.5	19.9	-	-	317.2	5.31	62.8	506.95
29	04.09.1993	22.2	7.30	771.8	7.2	1.17	133.7	35.6	-	-	412.4	5.31	145.4	740.75
30	04.09.1993	19.8	7.55	688.4	3.6	0.50	95.5	34.5	-	-	317.2	7.03	114.2	572.59
31	04.09.1993	18.8	7.63	667.5	2.8	0.58	85.9	29.6	-	-	307.7	7.03	100.8	534.44
32	04.09.1993	18.1	7.50	625.8	2.3	0.58	79.6	48.9	-	-	305.0	7.03	140.1	583.54
33	18.11.1991	-	7.35	619.6	13.5	-	46.8	55.9	-	-	310.4	22.8	85.9	535.30
34	08.06.1992	-	7.20	1950.0	80.0	2.06	158.3	190.8	-	-	343.6	60.6	949.9	1785.26
35	08.06.1992	-	6.94	1400.0	51.7	2.92	62.5	143.3	-	-	394.5	36.2	467.8	1158.92
36	08.06.1992	-	6.54	1800.0	13.5	0.87	226.6	150.8	-	-	661.7	16.8	624.6	1694.87
37	08.05.1992	-	7.60	1440.0	84.2	8.20	46.1	122.8	1.20	-	625.8	70.9	182.0	1141.20
38	1975	-	6.80	2085.0	14.5	2.73	252.5	128.9	-	-	442.2	28.3	761.3	1630.59
39	30.04.1986	-	7.40	1900.0	13.8	2.30	206.4	114.3	-	-	451.4	70.5	528.3	1387.00
40	21.10.1987	-	6.60	2200.0	17.1	2.90	330.7	139.8	0.60	-	591.8	67.4	835.7	1986.00
41	21.10.1987	-	6.70	2800.0	52.4	19.80	390.8	195.0	2.60	-	1067.7	63.8	686.8	2478.90
42	29.06.1992	-	6.48	2100.0	44.3	5.65	295.8	132.2	-	-	839.9	21.1	641.3	1980.25
43	29.06.1992	-	6.48	2150.0	42.2	5.65	272.5	144.3	-	-	880.6	28.6	585.1	1958.95
44	29.06.1992	-	6.48	2150.0	40.0	5.65	187.5	210.9	-	-	827.2	25.3	687.3	1983.85
45	29.06.1992	-	6.54	2200.0	40.0	5.65	206.6	227.6	-	-	827.2	22.7	803.0	2132.75
46	08.08.1991	26.0	6.50	2200.0	61.0	7.02	420.3	72.3	1.00	-	793.7	27.8	766.1	2149.22
47	08.08.1991	30.0	6.70	2775.0	103.4	9.94	400.8	189.2	0.05	-	750.5	51.7	1274.4	2779.99
48	08.08.1991	32.0	6.46	2127.5	52.3	5.65	369.7	77.2	0.05	-	717.4	32.8	717.1	1972.20

Çizelge 19. Suların kimyasal analiz sonuçları.

No	ALINDIĞI TARİH	t°C	pH	EC	KATYONLAR(mg/l)					ANYONLAR(mg/l)				TOPLAM
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	B ⁺⁺	Si ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
D-1	09.10.1986	-	7.70	530.0	6.8	1.00	66.1	26.7	0.80	-	329.4	7.1	9.6	447.50
D-2	18.04.1986	-	7.50	640.0	7.0	1.00	54.1	24.3	-	-	170.8	49.6	14.4	321.20
D-3	31.03.1990	-	7.60	545.0	5.4	0.80	82.2	24.3	0.40	-	329.5	32.6	2.0	477.20
D-4	13.12.1990	-	7.30	595.0	4.0	1.00	80.2	35.3	-	-	378.3	17.7	7.5	524.00
D-5	17.04.1990	-	7.80	525.0	43.7	0.80	54.1	21.9	0.20	-	292.8	21.3	10.0	444.80
D-6	03.02.1988	-	7.37	-	50.6	2.34	48.5	29.7	-	-	315.4	46.5	30.7	523.74
D-7	11.10.1987	-	7.13	578.0	9.6	1.17	63.2	27.8	-	-	357.9	12.0	0.96	452.63
D-8	09.07.1986	-	7.70	500.0	4.3	0.90	32.1	34.0	-	-	195.2	21.3	28.8	316.60
D-9	13.11.1987	-	7.43	540.0	13.3	0.78	48.5	30.4	-	-	284.8	21.6	11.5	410.88
D-10	02.08.1987	-	7.40	600.0	3.6	0.90	72.1	21.9	-	-	250.1	24.8	43.2	416.60
D-11	22.04.1987	-	7.20	520.0	3.5	0.80	38.1	25.5	-	-	189.1	10.6	48.0	315.60
D-12	28.02.1987	-	7.60	460.0	11.7	0.80	48.1	30.4	-	-	268.4	10.6	28.8	398.80
D-13	11.12.1987	-	7.40	728.0	14.6	2.34	74.8	35.6	-	-	268.4	42.6	84.9	523.24
Y-1	18.02.1992	-	6.05	225.0	E	E	4.0	2.0	0.00	0.7	37.0	2.0	68.0	113.70
KR-1	05.02.1992	-	6.10	120.0	E	2.00	E	0.7	0.00	0.0	37.0	2.0	58.0	99.70

Çizelge 20. Suların ppb olarak iz element analiz sonuçları.

NO	ALINDIĞI TARİH	Fe	Mn	Cu	Sr	Zn	Li	Pb	Al
P-1	29.03.1993	71	0.0	1	7270	9	80	25	159
P-2	29.03.1993	108	0.0	4	7020	26	70	28	0.0
P-3	29.03.1993	74	0.0	3	7270	12	70	14	133
P-4	29.03.1993	105	0	1	6790	401	70	21	-
P-6	29.03.1993	85	0	2	7170	14	70	14	-133
P-7	29.03.1993	128	0	1	6980	10	70	21	186
K1	29.03.1993	128	0	11	10250	18	300	38	186
K2	29.03.1993	391	0	11	9830	9	300	8	212
G1	29.03.1993	317	32	4	11770	12	1860	38	212
G2	29.03.1993	142	0	9	11590	17	1820	28	186
1	04.09.1993	59	7	218	8396	12	45	98	0
2	04.09.1993	346	7	240	8634	4	42	92	0
3	04.09.1993	100	7	230	8871	4	42	92	0
4	04.09.1993	154	7	247	7743	3	46	105	0
5	04.09.1993	92	12	237	7743	11	42	98	0
6	04.09.1993	70	13	220	8277	33	32	92	0
7	04.09.1993	154	9	225	8930	5	43	105	0
8	04.09.1993	43	9	237	7743	31	51	111	0
9	04.09.1993	57	19	208	7803	7	48	105	0
10	04.09.1993	184	11	216	9346	14	51	92	0
11	04.09.1993	211	5	213	10474	8	61	85	0
12	04.09.1993	54	8	206	9405	7	48	85	0
13	04.09.1993	54	8	194	10058	6	49	92	0
14	04.09.1993	2000	18	196	9821	53	48	98	0
15	04.09.1993	35	5	204	9880	2	45	98	0
16	04.09.1993	59	6	194	9346	4	44	92	0
17	04.09.1993	54	8	223	9108	40	40	98	0
18	04.09.1993	114	9	230	8337	85	42	92	0
19	04.09.1993	46	6	249	7209	20	35	85	0
20	04.09.1993	27	5	252	7506	15	36	92	0
21	04.09.1993	84	8	201	8634	4	48	105	0
22	04.09.1993	143	4	216	976	3	0	59	0
23	04.09.1993	865	5	225	620	5	0	46	0
24	04.09.1993	54	6	288	11905	63	0	82	0
25	04.09.1993	81	7	387	12900	9	0	87	0
26	04.09.1993	71	42	438	12563	7	0	110	0
27	04.09.1993	132	34	358	3214	6	0	82	0
28	04.09.1993	2581	14	425	1694	10	0	57	0
29	04.09.1993	43	42	303	1962	39	0	57	0
31	04.09.1993	65	7	628	1807	11	0	70	0
32	04.09.1993	155	6	600	1847	8	0	66	0

Çizelge 21. Özel İdare sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

ALINDIĞI TARİH	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				TOP.	%Na	SAR	Sımf	FS	İYON DAĞILIMI	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
08.08.1991	1.70	0.09	19.90	14.00	35.69	14.60	0.84	20.30	35.74	5.01	0.41	C ₃ S ₁	169.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.11.1991	1.60	0.10	14.20	7.10	23.00	17.40	0.39	14.20	31.99	7.39	0.49	C ₃ S ₁	106.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.02.1992	1.74	0.10	20.40	7.32	29.56	17.20	0.39	13.90	31.49	6.22	0.46	C ₃ S ₁	138.6	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
15.04.1992	1.70	0.09	18.80	10.40	30.99	12.40	0.59	18.10	31.09	5.77	0.44	C ₃ S ₁	146.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
22.05.1992	1.00	0.10	12.90	7.10	21.10	16.20	0.39	14.20	30.79	5.21	0.31	C ₃ S ₁	100.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.06.1992	1.30	0.09	8.70	19.10	29.19	16.10	0.64	12.40	29.14	4.92	0.34	C ₃ S ₁	139.0	Mg>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.07.1992	1.30	0.08	22.50	1.70	25.58	17.10	0.71	7.80	25.61	5.39	0.37	C ₃ S ₁	121.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
25.08.1992	1.50	0.09	24.50	7.50	23.59	17.90	5.94	9.70	33.54	4.73	0.37	C ₃ S ₁	160.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.09.1992	1.50	0.10	24.90	14.00	40.50	16.30	4.75	19.60	40.65	3.95	0.34	C ₃ S ₁	194.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
27.10.1992	1.50	0.09	21.10	17.90	40.59	18.40	4.15	18.10	40.65	3.91	0.33	C ₃ S ₁	195.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.11.1992	1.50	0.14	28.80	4.20	34.64	17.60	2.45	14.60	34.65	4.73	0.36	C ₃ S ₁	165.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
28.12.1992	1.50	0.12	24.90	6.30	32.82	16.80	3.71	12.30	32.81	4.93	0.37	C ₃ S ₁	156.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.01.1993	1.50	0.09	25.80	23.20	50.59	17.10	0.48	33.00	50.58	3.14	0.30	C ₃ S ₁	245.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
25.02.1993	1.60	0.11	20.30	10.80	32.81	17.60	2.47	12.70	32.77	5.21	0.40	C ₃ S ₁	155.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.03.1993	1.20	0.10	23.10	6.10	30.50	15.80	3.71	12.70	32.21	4.26	0.31	C ₃ S ₁	146.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
27.06.1993	1.69	0.12	20.24	7.88	29.93	16.79	0.59	17.10	34.48	6.17	0.45	C ₃ S ₁	140.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 22. Belediye sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

ALINDIĞI TARİHİ	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼					KATYONLAR	ANYONLAR
08.08.1991	1.60	0.09	15.50	9.40	26.59	9.40	0.70	16.60	6.35	0.45	C ₃ S ₁	124.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.11.1991	2.20	0.10	13.00	6.60	21.90	17.60	0.40	14.10	10.50	0.70	C ₃ S ₁	98.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.02.1992	1.70	0.10	21.70	7.40	30.90	17.60	0.42	13.90	5.82	0.44	C ₃ S ₁	145.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
15.04.1992	1.70	0.10	17.80	12.10	31.69	13.90	0.50	17.30	5.64	0.43	C ₃ S ₁	149.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
22.05.1992	1.00	0.10	12.40	7.10	20.60	16.20	0.40	14.30	5.33	0.32	C ₃ S ₁	97.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.06.1992	1.40	0.09	16.80	9.70	27.99	15.80	0.60	11.60	5.32	0.38	C ₃ S ₁	132.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.07.1992	1.20	0.08	17.30	3.80	22.38	15.90	0.70	5.80	5.71	0.36	C ₃ S ₁	105.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
25.08.1992	1.60	0.09	23.40	8.50	33.59	17.10	5.30	11.20	5.03	0.40	C ₃ S ₁	159.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.09.1992	1.60	0.09	22.10	11.90	35.69	19.20	4.10	13.10	4.73	0.38	C ₃ S ₁	170.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
27.10.1992	1.60	0.08	27.80	14.20	43.68	19.00	6.50	18.10	3.84	0.34	C ₃ S ₁	210.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.11.1992	1.50	0.15	25.90	14.10	41.65	17.70	2.40	21.40	3.96	0.33	C ₃ S ₁	200.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
28.12.1992	1.60	0.12	24.00	10.90	36.62	16.90	3.00	16.60	4.49	0.38	C ₃ S ₁	174.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.01.1993	1.40	0.10	20.30	12.30	34.10	16.50	0.50	17.10	4.39	0.34	C ₃ S ₁	163.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
25.02.1993	1.60	0.11	24.90	6.20	32.71	18.50	2.50	11.80	5.21	0.40	C ₃ S ₁	155.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.03.1993	1.20	0.10	22.10	10.80	34.20	15.10	3.70	22.90	3.80	0.29	C ₃ S ₁	164.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
27.06.1993	1.69	0.12	18.96	8.46	29.23	16.79	0.45	1728	6.19	0.45	C ₃ S ₁	137.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 23. Jandarma sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

ALINDIĞI TARİH	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)			TOP.	%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
08.08.1991	1.70	0.08	21.20	6.30	14.90	0.78	13.60	29.28	6.07	0.45	C ₃ S ₁	137.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.11.1991	1.60	0.10	15.30	7.10	17.20	0.39	14.40	31.99	7.05	0.47	C ₃ S ₁	112.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.02.1992	1.74	0.10	22.30	7.32	18.20	0.53	14.44	33.17	5.84	0.45	C ₃ S ₁	148.1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
15.04.1992	1.70	0.09	11.90	12.80	13.10	0.54	15.60	29.24	6.75	0.48	C ₃ S ₁	123.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
22.05.1992	1.00	0.10	12.80	7.00	16.60	0.42	14.20	31.22	5.26	0.31	C ₃ S ₁	99.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.06.1992	1.30	0.09	14.50	13.80	16.90	0.64	12.20	29.74	4.68	0.34	C ₃ S ₁	141.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.07.1992	1.40	0.08	14.60	6.20	16.80	0.66	4.80	22.26	6.64	0.43	C ₃ S ₁	104.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
25.08.1992	1.60	0.11	23.50	8.50	17.70	5.34	10.70	33.74	5.07	0.40	C ₃ S ₁	160.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.09.1992	1.60	0.09	23.90	11.00	17.90	4.75	13.90	36.55	4.61	0.38	C ₃ S ₁	174.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
27.10.1992	1.60	0.08	29.70	5.20	18.60	4.16	13.80	36.56	4.59	0.38	C ₃ S ₁	174.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.11.1992	1.50	0.15	25.90	14.10	18.00	2.45	21.10	41.55	3.96	0.33	C ₃ S ₁	200.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
28.12.1992	1.60	0.13	20.30	12.70	16.10	3.09	15.50	34.69	4.98	0.39	C ₃ S ₁	165.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.01.1993	1.50	0.09	36.90	22.30	17.50	0.49	42.80	60.79	2.61	0.27	C ₃ S ₁	296.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
25.02.1993	1.60	0.13	22.10	9.00	18.30	4.95	9.65	32.90	5.26	0.40	C ₃ S ₁	155.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.03.1993	1.20	0.12	25.80	7.10	15.30	6.19	12.80	34.29	3.85	0.29	C ₃ S ₁	164.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
27.06.1993	1.74	0.12	18.46	15.62	17.60	1.21	26.81	45.62	5.17	0.42	C ₃ S ₁	170.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 24. Kızılgeçen sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

ALINDIĞI TARİHİ	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)			TOP.	%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
08.08.1991	5.22	0.56	24.10	9.37	19.45	0.78	19.65	39.88	14.72	1.27	C ₂ S ₁	167	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.11.1991	4.64	0.34	22.52	10.92	17.01	1.19	20.37	38.57	12.96	1.13	C ₂ S ₁	167	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.02.1992	4.17	0.48	15.26	9.04	18.99	0.70	19.61	39.30	16.06	1.19	C ₂ S ₁	121	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
15.04.1992	4.20	0.56	15.84	14.98	14.68	0.90	19.99	35.57	13.37	1.06	C ₂ S ₁	154	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
22.05.1992	4.56	0.61	14.82	9.12	19.40	0.78	19.44	39.62	17.76	1.31	C ₂ S ₁	120	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
29.06.1992	4.93	0.58	20.78	9.82	17.93	0.99	17.18	36.10	15.25	1.26	C ₂ S ₁	153	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24.07.1992	3.55	0.48	22.55	8.20	17.05	0.92	16.79	34.76	11.52	0.90	C ₂ S ₁	151	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
25.08.1992	4.65	0.53	27.39	7.59	18.61	4.75	16.74	40.10	12.89	1.11	C ₂ S ₁	175	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.09.1992	3.57	0.53	23.98	14.00	18.68	5.34	18.24	42.26	10.17	0.86	C ₂ S ₁	190	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
27.10.1992	3.77	0.51	24.94	21.05	18.50	4.15	27.60	50.25	8.51	0.78	C ₂ S ₁	230	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.11.1992	4.93	0.60	28.78	16.20	17.45	3.71	29.02	50.18	10.94	1.03	C ₂ S ₁	225	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
28.12.1992	4.20	0.61	23.07	14.64	18.71	3.09	20.70	42.50	11.31	0.96	C ₂ S ₁	188	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
29.01.1993	4.06	0.40	35.07	8.87	18.87	0.53	29.01	48.41	9.21	0.86	C ₂ S ₁	220	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
25.02.1993	4.20	0.61	20.30	12.68	19.43	2.47	15.88	37.78	12.72	1.03	C ₂ S ₁	165	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29.03.1993	3.77	0.54	25.84	11.87	16.76	3.71	21.52	41.99	10.25	0.86	C ₂ S ₁	188	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
27.06.1993	4.65	0.56	15.41	9.70	18.60	0.84	22.48	41.92	17.18	1.31	C ₂ S ₁	125	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 25. Gölemezli Yeni Hamam sıcak su kaynağının iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

ALINDIĞI TARİH	KATYONLAR (mek/l)				TOP.	ANYONLAR (mek/l)			TOP.	%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
08.08.1991	23.20	1.21	15.50	14.65	54.56	17.51	2.80	34.44	54.75	44.73	5.97	C ₄ S ₃	150.7	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.11.1991	17.60	1.43	9.70	9.62	38.35	20.40	2.34	34.81	57.55	49.62	5.66	C ₄ S ₃	96.6	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.02.1992	24.30	1.53	18.91	9.95	54.69	21.79	2.50	34.60	58.89	47.22	6.39	C ₄ S ₃	144.3	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
15.04.1992	20.60	0.96	20.30	10.84	52.70	15.51	1.37	35.89	52.77	40.91	5.22	C ₄ S ₃	155.7	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
22.05.1992	23.20	1.48	13.20	10.60	48.48	19.79	2.31	33.97	56.07	50.90	6.72	C ₄ S ₃	119.0	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
29.06.1992	17.90	0.89	22.00	8.10	48.89	20.02	2.96	26.00	48.98	38.43	4.61	C ₄ S ₃	150.5	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
24.07.1992	24.30	1.11	25.90	0.88	52.19	20.97	2.96	28.90	52.83	48.68	6.64	C ₄ S ₃	133.9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
25.08.1992	24.30	1.08	22.50	12.48	60.36	21.36	9.50	29.71	60.57	42.04	5.81	C ₄ S ₃	174.9	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
29.09.1992	19.50	1.23	23.90	16.00	60.63	22.08	6.53	32.13	60.74	34.19	4.36	C ₄ S ₃	199.5	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
27.10.1992	18.30	1.11	21.10	14.88	55.39	21.97	7.72	25.73	55.42	35.04	4.31	C ₄ S ₃	179.9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
28.12.1992	18.90	1.36	19.40	17.38	57.04	21.66	4.89	33.13	59.68	35.51	4.40	C ₄ S ₃	183.9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
29.01.1993	23.50	1.36	22.10	31.20	78.16	19.41	5.47	53.33	78.21	31.80	4.55	C ₄ S ₃	266.5	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
25.02.1993	19.00	1.44	21.20	21.16	62.80	20.90	6.19	34.81	61.90	32.54	4.12	C ₄ S ₃	211.8	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
29.03.1993	24.30	1.17	24.00	8.04	57.51	17.90	4.95	34.73	57.58	44.28	6.07	C ₄ S ₃	160.2	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
27.06.1993	22.96	1.68	14.92	11.02	50.58	20.20	2.53	37.85	60.58	48.71	6.37	C ₄ S ₃	129.0	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 26. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

No	ALINDIĞI TARİHİ	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				TOP.	%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
P-4	29.03.1993	1.74	0.15	22.84	6.33	31.06	16.60	0.39	15.07	32.06	6.08	0.45	C ₄ S ₁	145.8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
	27.06.1993	1.69	0.12	20.75	9.12	31.68	17.79	0.56	17.19	35.54	5.71	0.43	C ₄ S ₁	149.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
P-5	27.06.1993	1.69	0.12	19.76	7.89	29.46	17.60	0.59	17.28	35.47	6.14	0.45	C ₄ S ₁	138.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
P-6	29.03.1993	1.74	0.15	23.53	7.48	32.90	17.40	0.42	15.09	32.91	5.74	0.44	C ₄ S ₁	155.0	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
P-7	29.03.1993	1.74	0.15	22.77	8.14	32.80	17.19	0.59	15.09	32.87	5.76	0.44	C ₄ S ₁	154.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
K-2	24.02.1992	4.82	0.53	23.85	9.37	38.57	19.79	0.76	19.23	39.78	13.87	1.18	C ₄ S ₁	166.1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
	15.04.1992	4.42	0.56	15.94	10.52	31.44	16.06	0.99	20.58	37.63	15.83	1.21	C ₄ S ₁	132.3	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	22.05.1992	4.69	0.61	24.14	9.21	38.64	18.40	0.79	19.46	38.65	13.71	1.14	C ₄ S ₁	166.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.06.1992	4.93	0.53	26.40	8.29	40.15	14.47	1.18	24.48	40.13	13.59	1.18	C ₄ S ₁	173.4	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	24.07.1992	3.34	0.49	23.35	5.10	32.28	18.62	1.04	12.82	32.48	11.86	0.88	C ₄ S ₁	142.2	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
	25.08.1992	4.06	0.58	24.25	9.53	38.62	19.20	5.94	13.48	38.62	12.01	0.98	C ₄ S ₁	169.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
	29.09.1992	3.11	0.51	23.98	16.99	44.59	21.49	5.34	17.77	44.60	8.11	0.68	C ₄ S ₁	204.8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
	27.10.1992	4.06	0.46	31.66	14.23	50.51	21.30	5.34	23.84	50.48	8.94	0.84	C ₄ S ₁	229.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	24.11.1992	3.55	0.60	28.78	11.25	44.18	19.33	3.69	21.08	44.10	9.59	0.79	C ₄ S ₁	200.1	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.03.1992	4.06	0.58	27.69	6.92	39.25	18.29	2.47	18.74	39.50	11.82	0.97	C ₄ S ₁	173.0	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
K-3	27.06.1993	4.61	0.56	16.16	9.45	30.79	21.79	0.81	22.48	45.08	16.79	1.28	C ₄ S ₁	128.0	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	08.08.1991	4.55	0.43	23.69	12.06	40.73	14.42	1.06	22.23	40.71	12.22	1.07	C ₄ S ₁	178.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
K-4	24.11.1991	4.48	0.43	26.36	8.22	39.49	19.60	0.76	19.13	39.49	12.43	1.07	C ₄ S ₁	172.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
	08.08.1991	4.78	0.46	21.75	4.45	31.44	16.67	1.03	13.74	31.44	16.66	0.93	C ₄ S ₁	131.0	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
	24.11.1991	4.61	0.46	26.67	8.05	39.79	19.40	0.76	19.63	39.79	12.74	0.78	C ₄ S ₁	173.6	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	24.02.1992	5.08	0.56	20.00	9.37	35.01	20.20	0.87	19.17	40.24	16.10	1.32	C ₄ S ₁	146.8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
	15.04.1992	4.68	0.56	15.76	10.87	31.85	16.26	0.95	20.30	37.51	16.45	1.28	C ₄ S ₁	133.0	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	22.05.1992	4.65	0.61	24.45	9.29	39.00	18.40	0.76	19.92	39.08	13.48	1.13	C ₄ S ₁	168.7	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.01.1993	4.64	0.42	36.00	28.67	69.73	18.71	0.52	50.50	69.73	7.25	0.81	C ₄ S ₁	323.3	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 27. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

No	ALINDIĞI TARİH	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				TOP.	%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
K-5	29.01.1993	4.06	0.39	25.84	31.34	61.63	18.95	0.53	42.15	61.63	7.22	0.76	C ₁ S ₁	285.4	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
K-6	27.06.1993	4.93	0.53	23.61	14.77	43.84	18.77	0.88	24.19	43.84	12.45	1.12	C ₁ S ₁	191.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
K-7	27.06.1993	4.91	0.61	7.73	9.12	23.37	10.99	0.93	23.08	35.00	24.67	1.69	C ₂ S ₁	84.0	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
K-8	27.06.1993	4.69	0.56	16.16	9.45	30.86	10.99	1.01	22.36	34.36	17.01	1.31	C ₁ S ₁	128.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
K-9	08.08.1991	0.15	0.00	5.82	6.47	12.44	2.91	0.39	9.14	12.44	1.20	0.06	C ₂ S ₁	61.4	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	24.11.1991	0.39	0.00	4.19	0.49	5.07	3.19	0.17	1.14	4.50	7.69	0.25	C ₂ S ₁	23.4	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
G-2	24.02.1992	0.17	0.00	1.69	0.08	1.94	3.39	0.34	0.29	4.02	8.76	0.18	C ₂ S ₁	8.8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
	15.04.1992	17.40	0.89	18.10	16.25	52.64	15.43	2.37	39.78	57.58	34.74	4.19	C ₁ S ₁	171.7	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	22.05.1992	22.96	1.51	21.81	10.60	56.88	20.40	1.57	34.91	56.88	43.02	5.70	C ₁ S ₁	162.0	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.06.1992	23.57	0.96	22.43	6.39	53.35	20.43	2.89	30.02	53.34	45.97	6.20	C ₁ S ₁	144.1	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	24.07.1992	22.48	1.23	16.96	12.83	53.50	19.20	2.37	31.91	53.48	44.31	5.82	C ₁ S ₁	148.9	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	25.08.1992	24.37	1.17	22.49	11.48	59.51	20.65	8.91	29.95	59.51	42.91	5.91	C ₁ S ₁	169.8	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.09.1992	19.00	1.03	22.05	16.92	59.02	18.42	5.94	34.83	59.19	33.93	4.30	C ₁ S ₁	194.9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	27.10.1992	18.35	1.04	23.02	17.96	60.37	25.47	7.13	33.23	65.83	32.11	4.05	C ₁ S ₁	204.9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
G-3	28.12.1992	19.58	1.36	22.15	11.79	54.88	19.29	6.81	38.76	54.86	38.15	4.75	C ₁ S ₁	169.7	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	24.11.1992	23.57	1.72	30.70	11.28	70.27	21.16	7.43	41.67	70.26	35.98	4.97	C ₁ S ₁	224.9	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	28.12.1992	18.71	1.36	21.23	16.48	57.78	20.58	4.89	32.85	58.32	34.73	4.30	C ₁ S ₁	188.5	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.01.1993	25.24	1.44	27.69	20.85	75.22	20.19	5.69	49.29	75.17	35.46	5.12	C ₁ S ₁	242.7	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	25.02.1993	19.29	1.44	21.23	14.58	56.54	24.58	6.19	25.77	56.54	36.66	4.55	C ₁ S ₁	179.0	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	29.03.1993	21.92	1.43	23.85	10.85	58.05	20.60	2.50	34.95	58.08	40.22	5.26	C ₁ S ₁	173.5	Ca>Na>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	27.06.1993	24.70	1.81	18.71	13.48	58.70	20.60	2.25	43.52	66.38	45.16	6.15	C ₁ S ₁	160.0	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
	15.04.1992	21.03	1.04	13.29	14.27	49.63	17.31	0.83	34.46	52.60	44.46	5.66	C ₁ S ₁	137.0	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
G-4	29.06.1992	17.98	0.89	22.03	8.10	49.00	20.02	2.96	26.01	48.99	38.51	4.63	C ₁ S ₁	150.6	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
G-5	15.04.1992	8.12	0.61	23.09	17.10	49.32	10.42	1.37	30.87	42.66	17.70	1.80	C ₁ S ₁	202.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
G-6	15.04.1992	14.36	0.74	19.68	11.35	46.13	10.59	2.09	33.43	46.11	32.73	3.64	C ₁ S ₁	155.1	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
G-7	08.08.1991	19.58	0.96	18.44	17.76	54.74	13.46	5.61	35.63	54.70	37.52	4.73	C ₁ S ₁	171.0	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
G-8	15.04.1992	0.53	0.03	22.79	3.34	6.69	4.50	0.54	1.66	6.70	8.37	0.09	C ₁ S ₁	30.6	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl

Çizelge 28. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özelliklikleri.

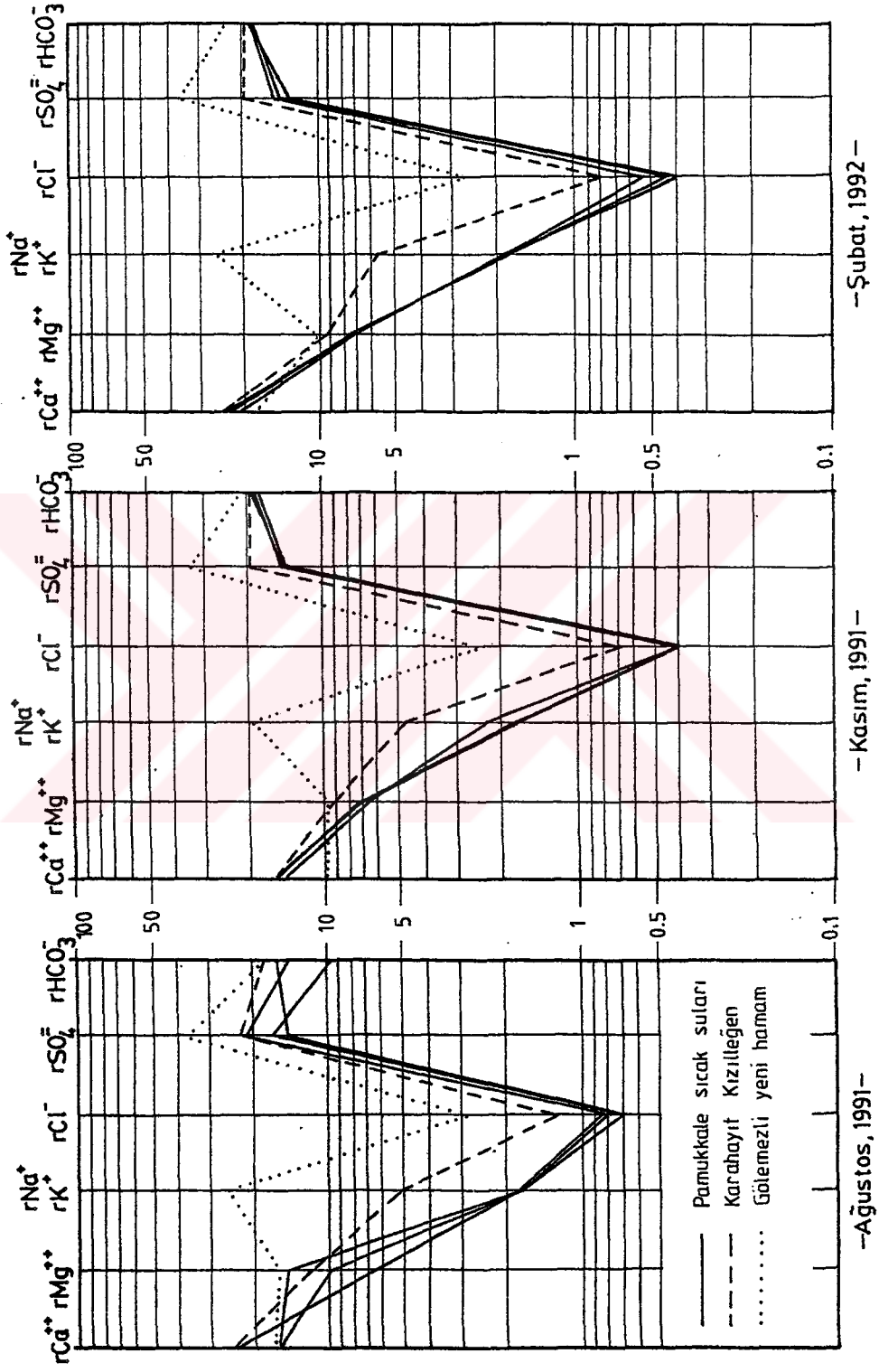
No	ALINDIĞI TARİH	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				TOP.	%Na	SAR	Simif	FS	İYON DAĞILIMI	
															KATYONLAR	ANYONLAR
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼							
1	04.09.1993	1.14	0.07	19.76	10.03	31.00	7.95	2.47	20.55	30.97	3.90	0.29	C ₃ S ₃	148.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
2	04.09.1993	1.08	0.07	18.16	9.81	29.12	8.53	2.47	18.12	29.12	3.94	0.28	C ₃ S ₃	139.8	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
3	04.09.1993	1.14	0.07	19.12	10.47	30.80	8.72	2.47	19.58	30.77	3.92	0.29	C ₃ S ₃	147.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
4	04.09.1993	1.14	0.07	18.80	14.73	34.74	8.61	2.47	23.69	34.77	3.48	0.27	C ₃ S ₃	167.6	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
5	04.09.1993	1.28	0.07	19.91	12.88	34.14	9.12	1.85	23.15	34.12	3.95	0.31	C ₃ S ₃	163.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
6	04.09.1993	1.25	0.07	21.33	8.41	31.06	8.81	1.85	20.39	31.05	4.25	0.32	C ₃ S ₃	148.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
7	04.09.1993	1.28	0.07	20.07	9.36	30.78	8.54	1.85	20.37	30.76	4.38	0.33	C ₃ S ₃	147.1	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
8	04.09.1993	1.34	0.07	16.28	15.42	33.11	8.34	1.85	24.79	34.98	4.25	0.33	C ₃ S ₃	158.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
9	04.09.1993	1.34	0.07	19.12	12.23	32.76	8.61	1.85	22.26	32.72	4.30	0.33	C ₃ S ₃	156.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
10	04.09.1993	1.43	0.08	18.49	13.50	33.50	8.23	2.47	23.40	34.10	4.50	0.36	C ₃ S ₃	159.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
11	04.09.1993	1.53	0.11	18.33	11.25	31.22	6.13	3.71	21.37	31.21	5.25	0.40	C ₃ S ₃	147.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
12	04.09.1993	1.06	0.07	20.54	8.08	29.75	9.70	3.71	16.34	29.75	3.79	0.28	C ₃ S ₃	143.1	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
13	04.09.1993	1.06	0.07	19.99	10.72	31.84	9.60	3.09	19.11	31.80	3.55	0.27	C ₃ S ₃	153.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
14	04.09.1993	1.17	0.09	19.52	9.27	30.08	9.70	3.71	16.62	30.03	4.19	0.31	C ₃ S ₃	143.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
15	04.09.1993	1.34	0.10	17.70	7.89	27.03	9.62	4.33	13.84	27.79	5.32	0.37	C ₃ S ₃	127.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
16	04.09.1993	1.40	0.04	17.70	8.69	27.83	9.23	2.47	16.72	28.42	5.17	0.38	C ₃ S ₃	131.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
17	04.09.1993	1.57	0.04	17.70	2.29	21.60	9.62	3.71	8.26	21.59	7.45	0.49	C ₃ S ₃	99.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
18	04.09.1993	1.34	0.04	15.80	4.19	21.37	9.70	3.71	7.95	21.36	6.45	0.42	C ₃ S ₃	99.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
19	04.09.1993	1.43	0.04	14.22	1.77	17.47	8.69	2.47	6.30	17.66	8.47	0.50	C ₃ S ₃	79.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
20	04.09.1993	1.43	0.07	15.01	6.58	23.10	8.92	3.71	10.43	23.06	6.49	0.43	C ₃ S ₃	107.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
21	04.09.1993	0.86	0.03	16.34	9.40	26.65	11.12	0.59	17.23	28.94	3.41	0.24	C ₃ S ₃	128.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
22	04.09.1993	1.79	0.02	2.38	7.85	12.04	7.19	0.74	6.45	14.38	15.03	0.79	C ₃ S ₃	51.1	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
23	04.09.1993	0.60	0.02	2.38	8.03	11.03	6.59	0.54	3.07	10.20	5.62	0.26	C ₃ S ₃	52.1	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
24	04.09.1993	0.15	0.01	13.50	4.89	18.55	3.79	0.19	14.56	18.54	0.85	0.05	C ₃ S ₃	91.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 29. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

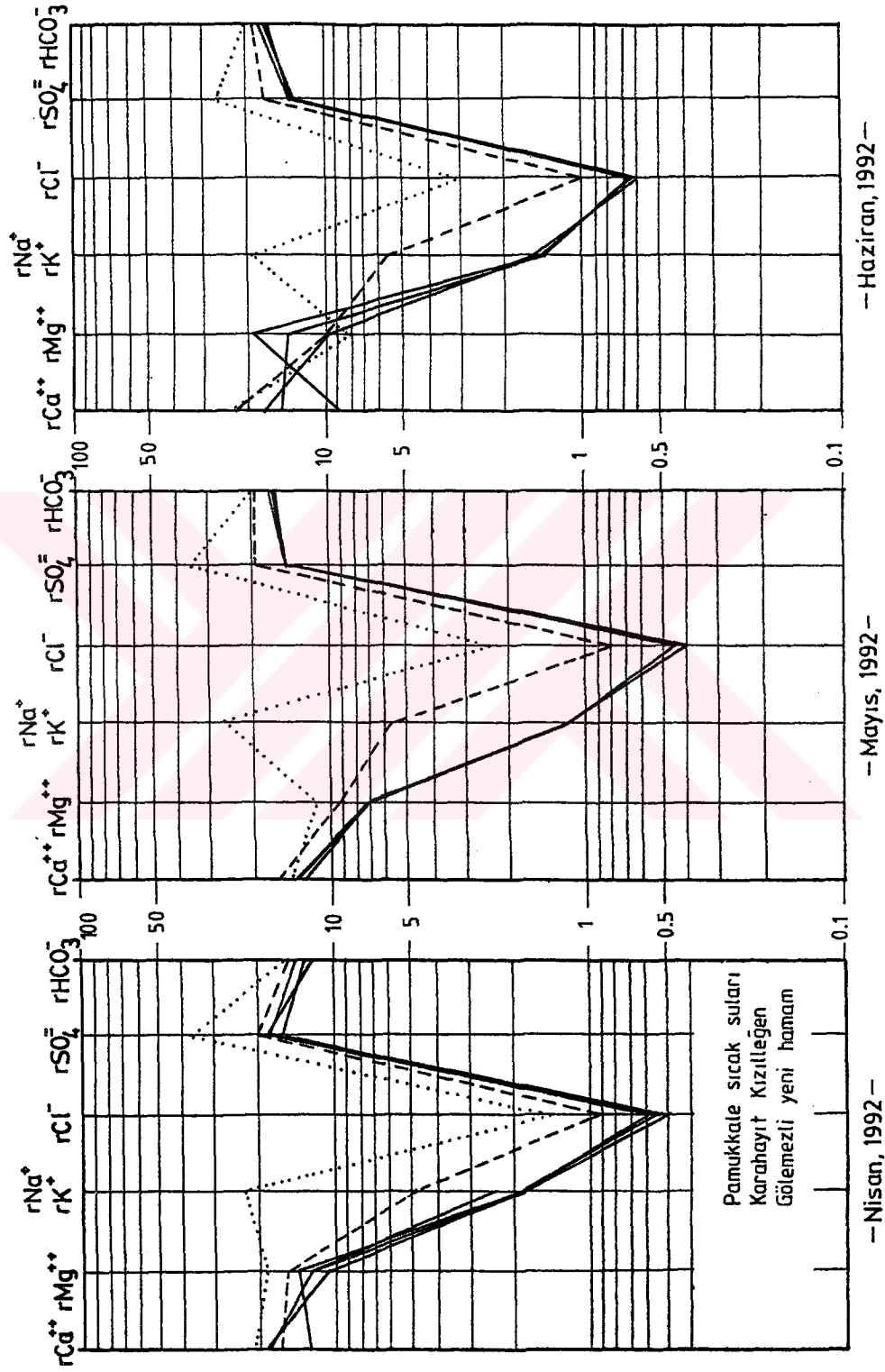
No	ALINDIĞI TARİHİ	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼⁼					KATYONLAR	ANYONLAR
25	04.09.1993	0.18	0.02	12.70	5.84	18.74	3.59	2.47	14.90	20.96	0.06	C ₃ S ₁	92.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
26	04.09.1993	0.18	0.01	11.28	6.43	17.90	4.08	2.47	13.63	20.18	0.06	C ₃ S ₁	88.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
27	04.09.1993	0.65	0.04	9.53	3.26	13.48	9.95	2.47	3.27	15.69	0.25	C ₃ S ₁	63.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
28	04.09.1993	0.24	0.01	4.76	1.63	6.64	5.19	0.15	1.30	6.64	0.13	C ₃ S ₁	31.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
29	04.09.1993	0.31	0.03	6.67	2.92	9.93	6.75	0.15	3.02	9.92	0.14	C ₃ S ₁	47.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
30	04.09.1993	0.15	0.01	4.76	2.83	7.75	5.19	0.19	2.37	7.75	0.07	C ₃ S ₁	37.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
31	04.09.1993	0.12	0.01	4.28	2.43	6.83	5.04	0.19	2.09	7.32	0.06	C ₃ S ₁	33.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
32	04.09.1993	0.10	0.01	3.97	4.02	8.10	4.99	0.19	2.91	8.09	0.05	C ₃ S ₁	39.9	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
33	18.11.1991	0.58	-	2.33	4.59	7.50	5.08	0.64	1.78	7.50	0.31	C ₃ S ₁	34.6	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
34	08.06.1992	3.48	0.05	7.89	15.69	27.11	5.63	1.70	19.77	27.10	1.01	C ₃ S ₁	117.9	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
35	08.06.1992	2.24	0.07	3.11	11.78	17.20	6.46	1.02	9.73	17.21	0.82	C ₃ S ₁	74.4	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
36	08.06.1992	0.58	0.02	11.30	12.40	24.30	10.84	0.47	13.00	24.31	0.16	C ₃ S ₁	118.5	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
37	08.06.1992	1.48	0.20	2.30	10.09	14.07	10.24	1.99	3.78	16.02	0.59	C ₃ S ₁	61.9	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
38	1975	0.63	0.07	12.60	10.60	23.90	7.24	0.79	15.85	23.88	0.18	C ₃ S ₁	116.0	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
39	30.04.1986	0.60	0.06	10.29	9.40	20.35	7.39	1.98	10.99	20.36	0.19	C ₃ S ₁	98.4	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
40	21.10.1987	0.74	0.07	16.50	11.49	28.80	9.69	1.90	17.39	28.98	0.19	C ₃ S ₁	139.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
41	21.10.1987	2.27	0.50	19.50	16.03	38.30	17.49	1.79	14.29	33.57	0.53	C ₃ S ₁	177.6	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
42	29.06.1992	1.92	0.14	14.76	10.87	27.69	13.76	0.59	13.35	27.70	0.53	C ₃ S ₁	128.1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
43	29.06.1992	1.83	0.14	13.59	11.86	27.42	14.43	0.80	12.18	27.41	0.51	C ₃ S ₁	127.2	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
44	29.06.1992	1.74	0.14	9.35	17.34	28.57	13.55	0.71	14.30	28.56	0.47	C ₃ S ₁	133.4	Mg>Ca>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
45	29.06.1992	1.74	0.14	10.30	18.71	31.06	13.55	0.64	16.71	32.06	0.45	C ₃ S ₁	145.8	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
46	08.08.1991	2.65	0.18	20.97	5.94	29.74	13.00	0.78	15.95	29.73	0.72	C ₃ S ₁	134.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
47	08.08.1991	4.49	0.25	19.99	15.55	40.28	12.30	1.45	26.53	40.28	1.07	C ₃ S ₁	175.5	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
48	08.08.1991	2.27	0.14	18.44	6.34	27.19	11.75	0.92	14.93	27.60	0.64	C ₃ S ₁	123.9	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl

Çizelge 30. Suların iyon dağılımı ve bazı kimyasal özellikleri.

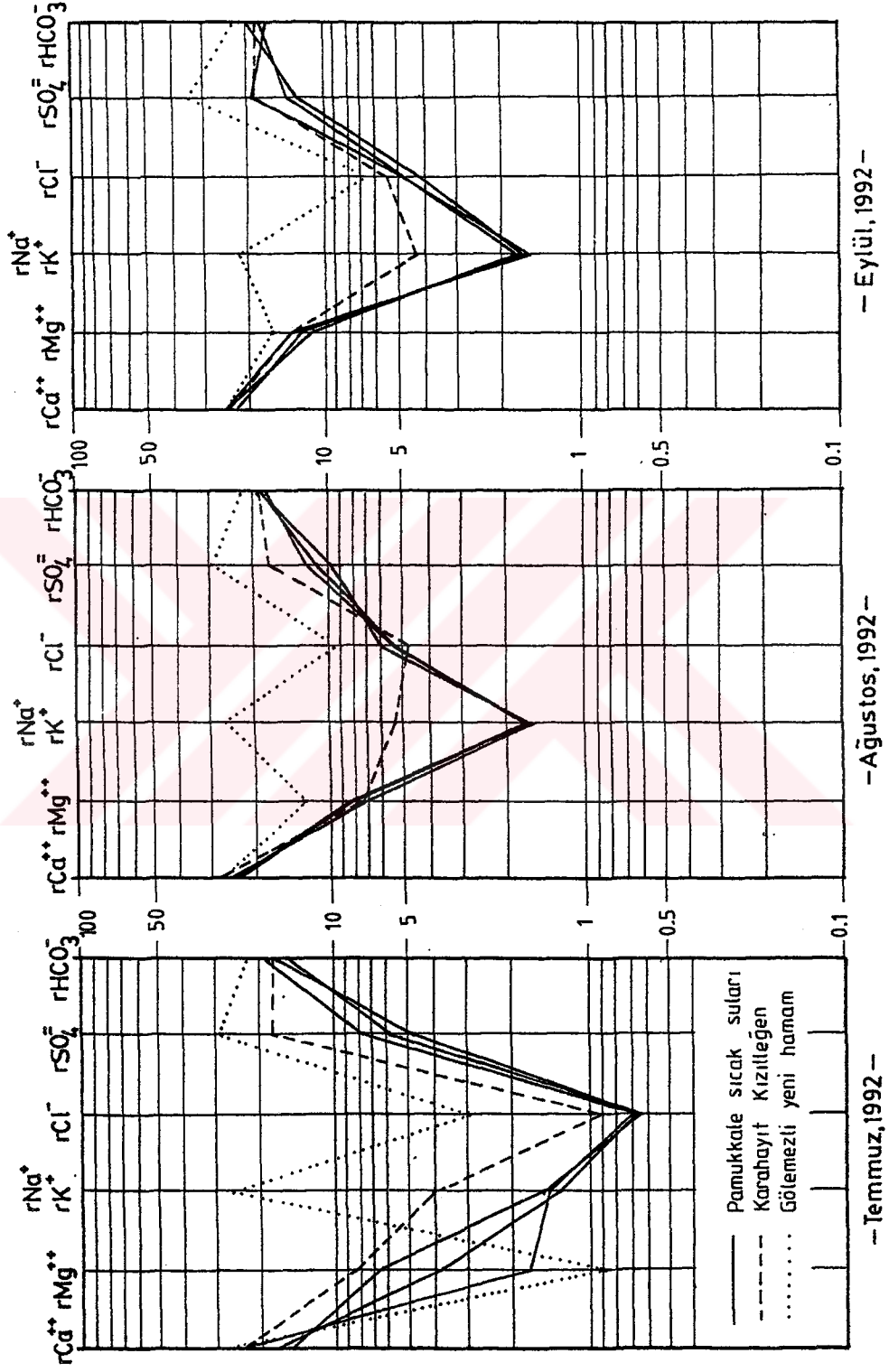
No	ALINDIĞI TARİH	KATYONLAR (mek/l)				ANYONLAR (mek/l)				TOP.	%Na	SAR	Sınıf	FS	İYON DAĞILIMI	
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	TOP.	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼						KATYONLAR	ANYONLAR
D-1	09.10.1986	0.29	0.02	3.29	2.19	5.79	5.39	0.20	0.19	5.79	5.35	0.17	C ₂ S ₁	27.4	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-2	18.04.1986	0.30	0.02	2.69	1.99	5.00	2.79	1.39	0.29	4.47	6.40	0.19	C ₂ S ₁	23.4	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-3	31.03.1990	0.23	0.02	4.10	1.99	6.34	5.40	0.92	0.04	6.36	3.94	0.13	C ₂ S ₁	30.4	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-4	13.12.1990	0.17	0.02	4.00	2.90	7.09	6.20	0.49	0.15	6.84	2.67	0.09	C ₂ S ₁	34.5	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-5	17.04.1990	1.90	0.02	2.69	1.80	6.41	4.79	0.60	0.20	5.59	29.95	1.26	C ₂ S ₁	22.4	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-6	03.02.1988	2.20	0.06	2.42	2.44	7.12	5.16	1.31	0.64	7.11	31.74	1.41	C ₂ S ₁	24.3	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-7	11.10.1987	0.41	0.03	3.15	2.28	5.87	5.54	0.33	0.02	5.89	7.49	0.24	C ₂ S ₁	27.1	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-8	09.07.1986	0.18	0.02	1.60	2.79	4.59	3.19	0.60	0.59	4.38	4.35	0.12	C ₂ S ₁	21.9	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-9	13.11.1987	0.57	0.02	2.42	2.50	5.51	4.66	0.61	0.24	5.51	10.70	0.36	C ₂ S ₁	24.6	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >Cl>SO ₄
D-10	02.08.1986	0.15	0.02	3.59	1.80	5.56	4.09	0.69	0.89	5.67	3.05	0.09	C ₂ S ₁	26.9	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
D-11	22.04.1987	0.15	0.02	1.90	2.09	4.16	3.09	0.30	0.99	4.38	4.08	0.10	C ₂ S ₁	19.9	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
D-12	28.02.1987	0.50	0.02	2.40	2.50	5.42	4.40	0.30	0.59	5.29	9.59	0.32	C ₂ S ₁	24.5	Mg>Ca>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
D-13	11.12.1987	0.63	0.06	3.73	2.92	7.34	4.40	1.20	1.76	7.36	9.40	0.34	C ₂ S ₁	33.2	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl
Y-1	18.02.1992	0.00	0.00	0.19	0.16	0.35	0.60	0.05	1.41	2.06	0.00	0.00	C ₁ S ₁	1.7	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl
KR-1	05.02.1992	0.00	0.05	0.00	0.05	0.10	0.60	0.05	1.20	1.85	0.00	0.00	C ₁ S ₁	0.2	Mg>K>Na>Ca	SO ₄ >HCO ₃ >Cl



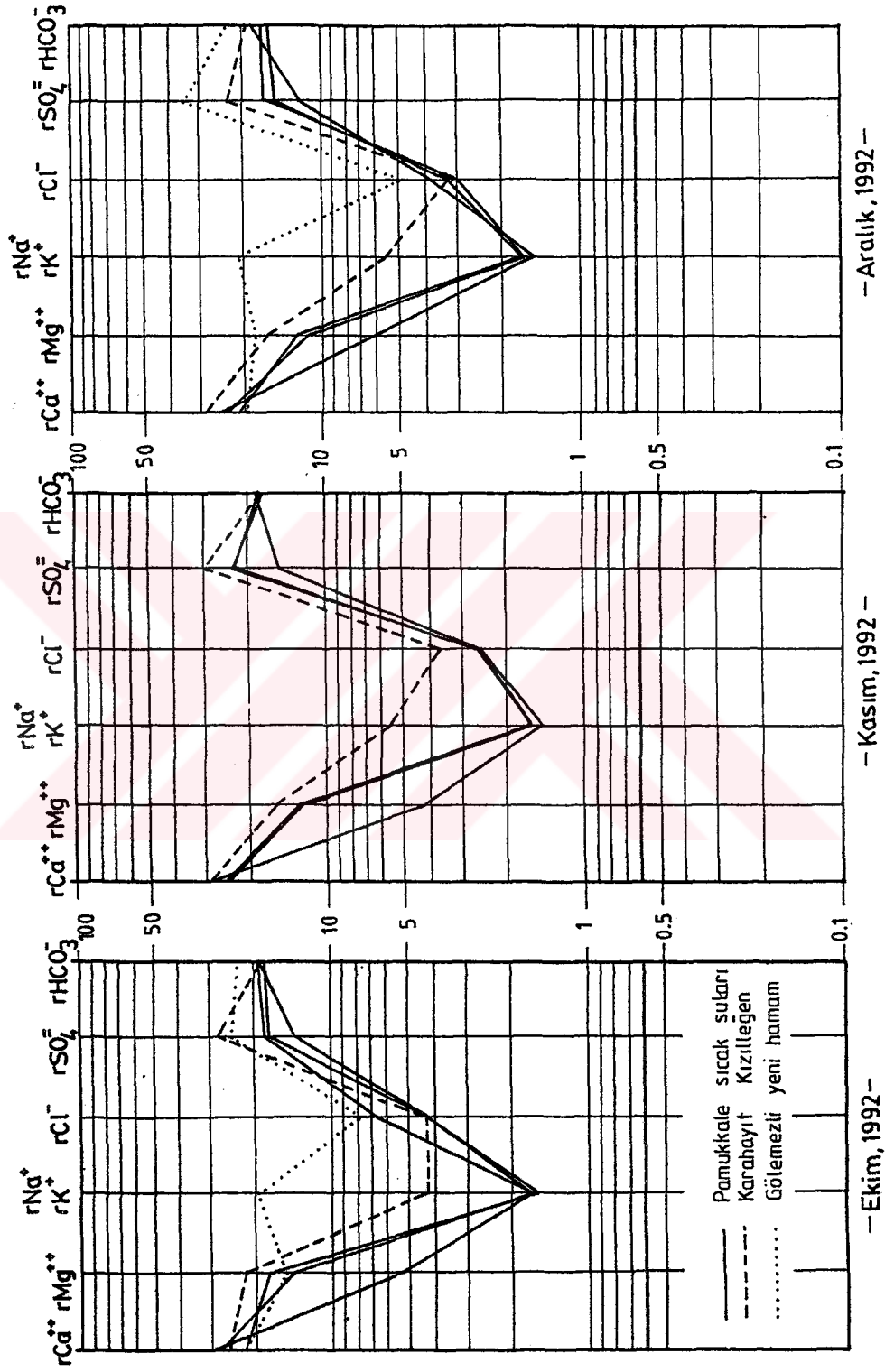
Şekil 49. Pamukkale-Karahayit-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yanı logaritmik diyagramı.



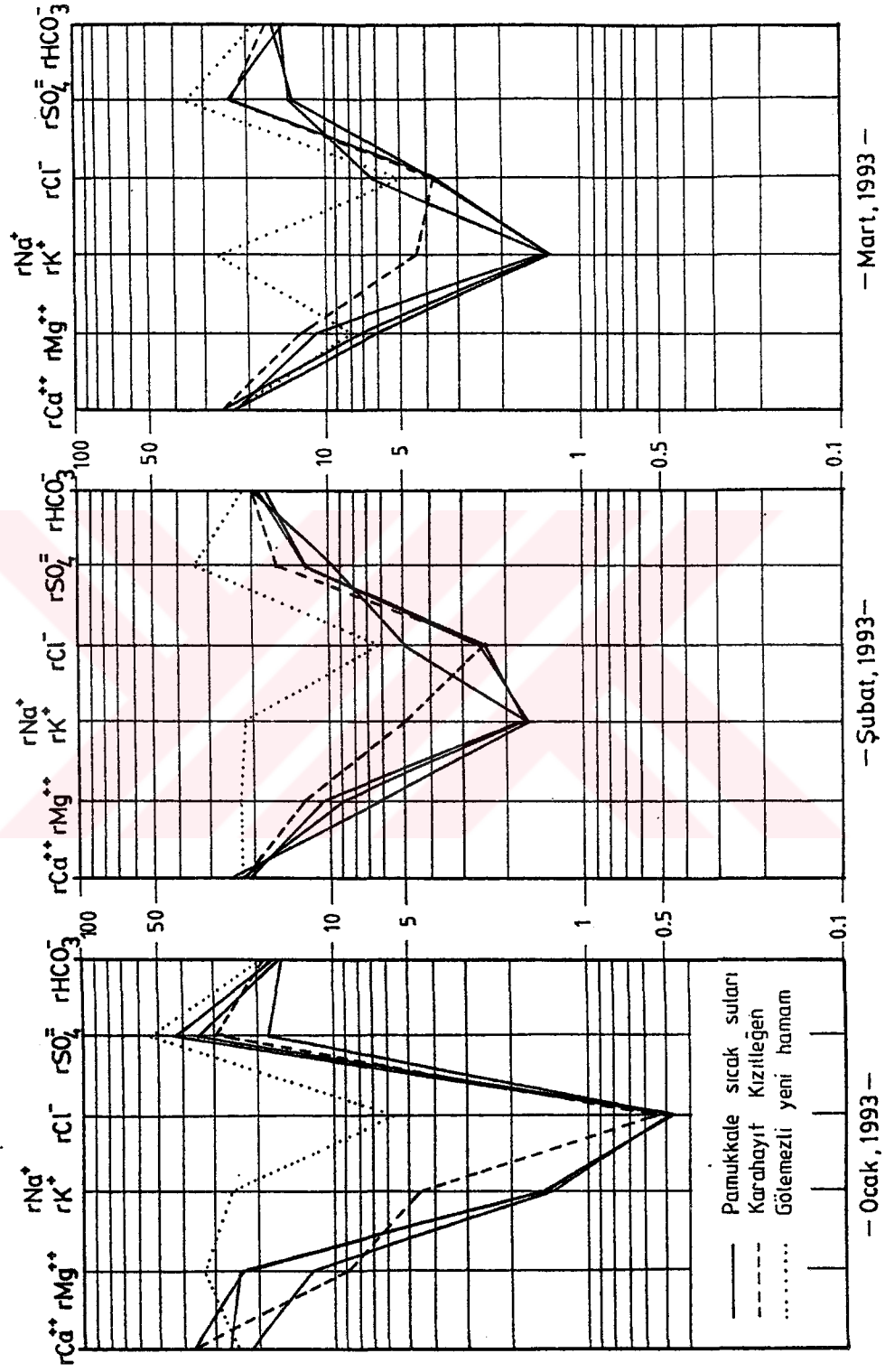
Şekil 50. Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.



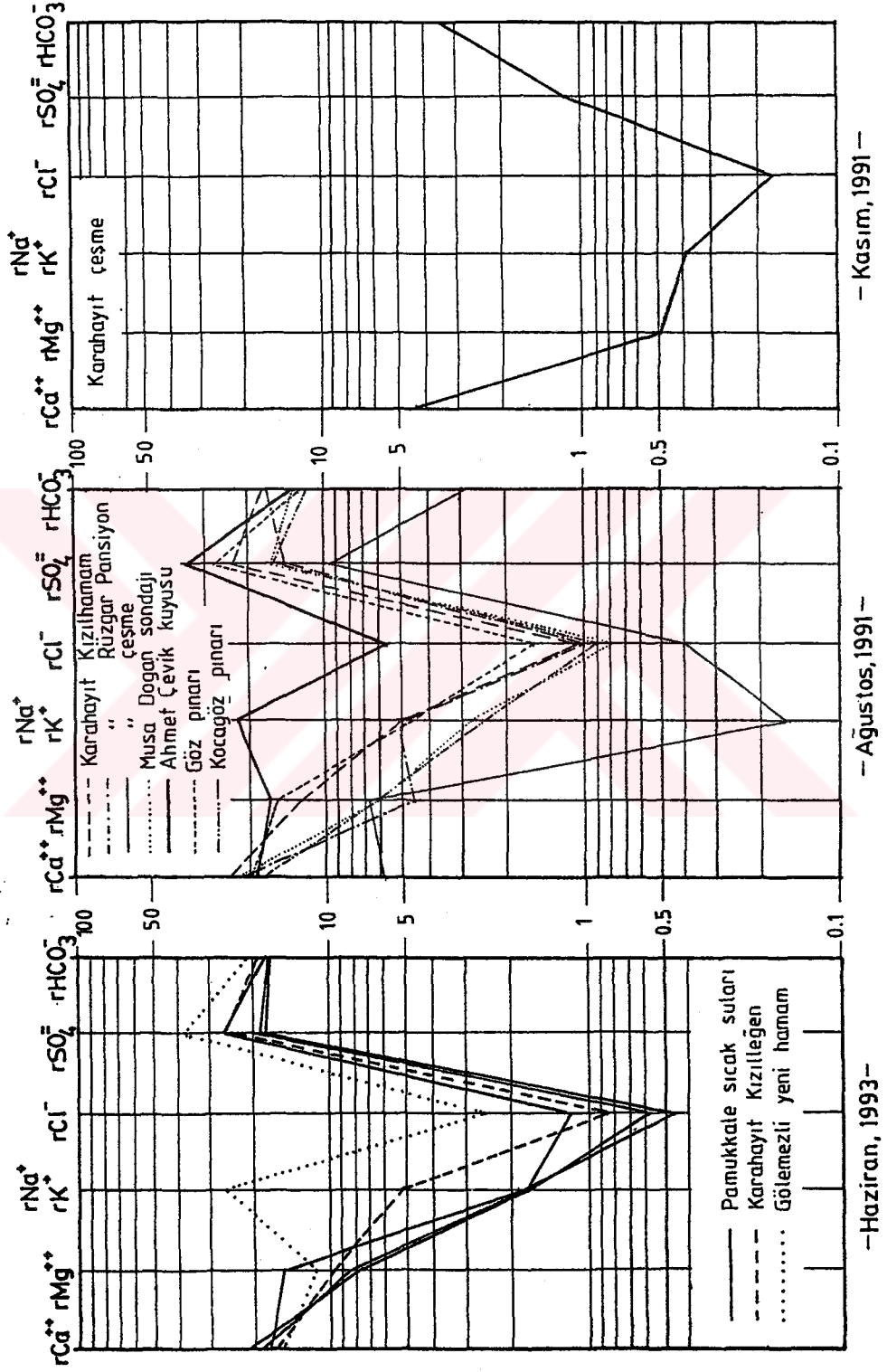
Şekil 51. Pamukkale-Karahayit-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.



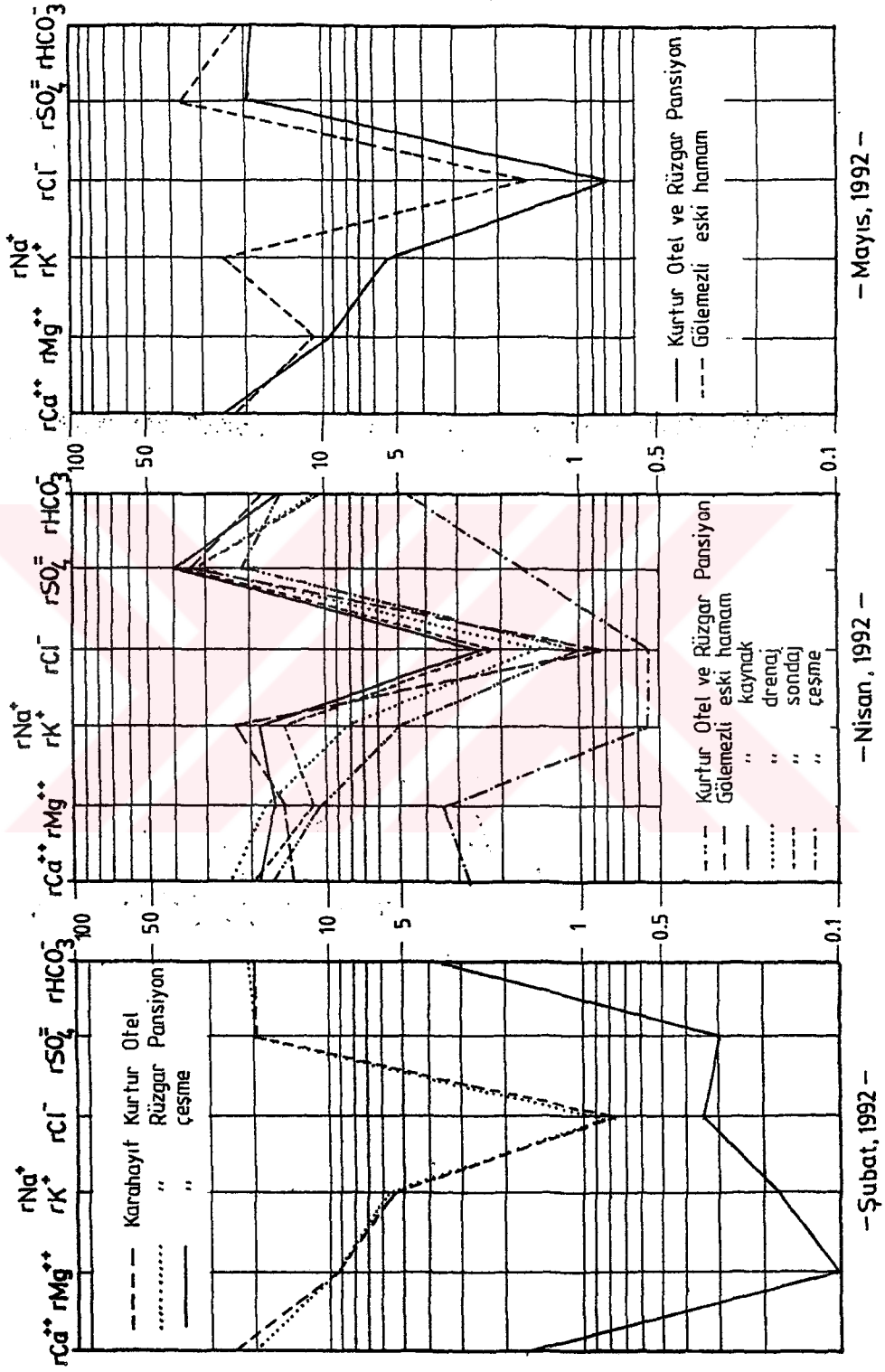
Şekil 52. Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.



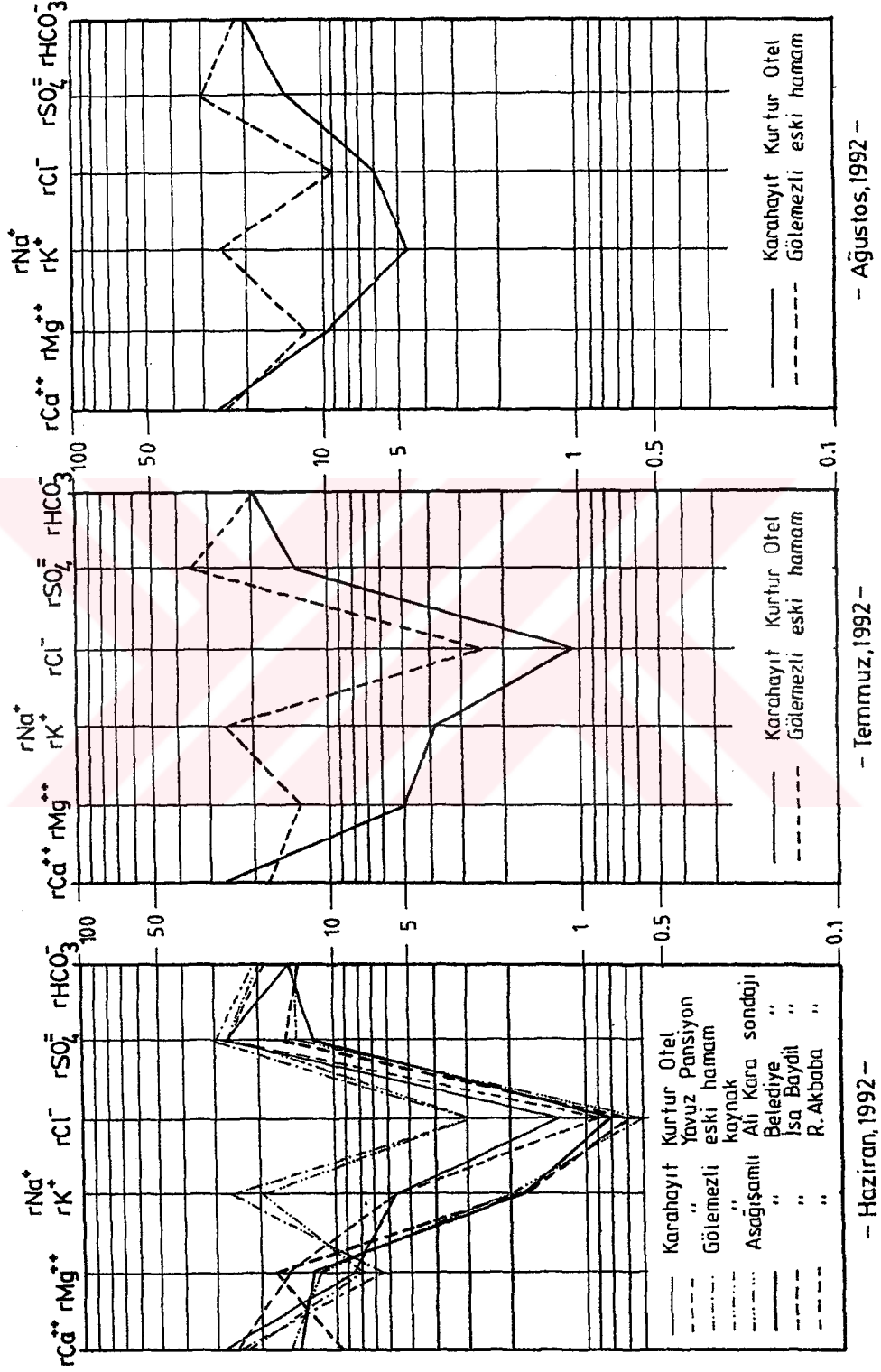
Şekil 53. Pamukkale-Karahayıt-Gölemizli sıcak su kaynaklarının yarı logaritmik diyagramı.



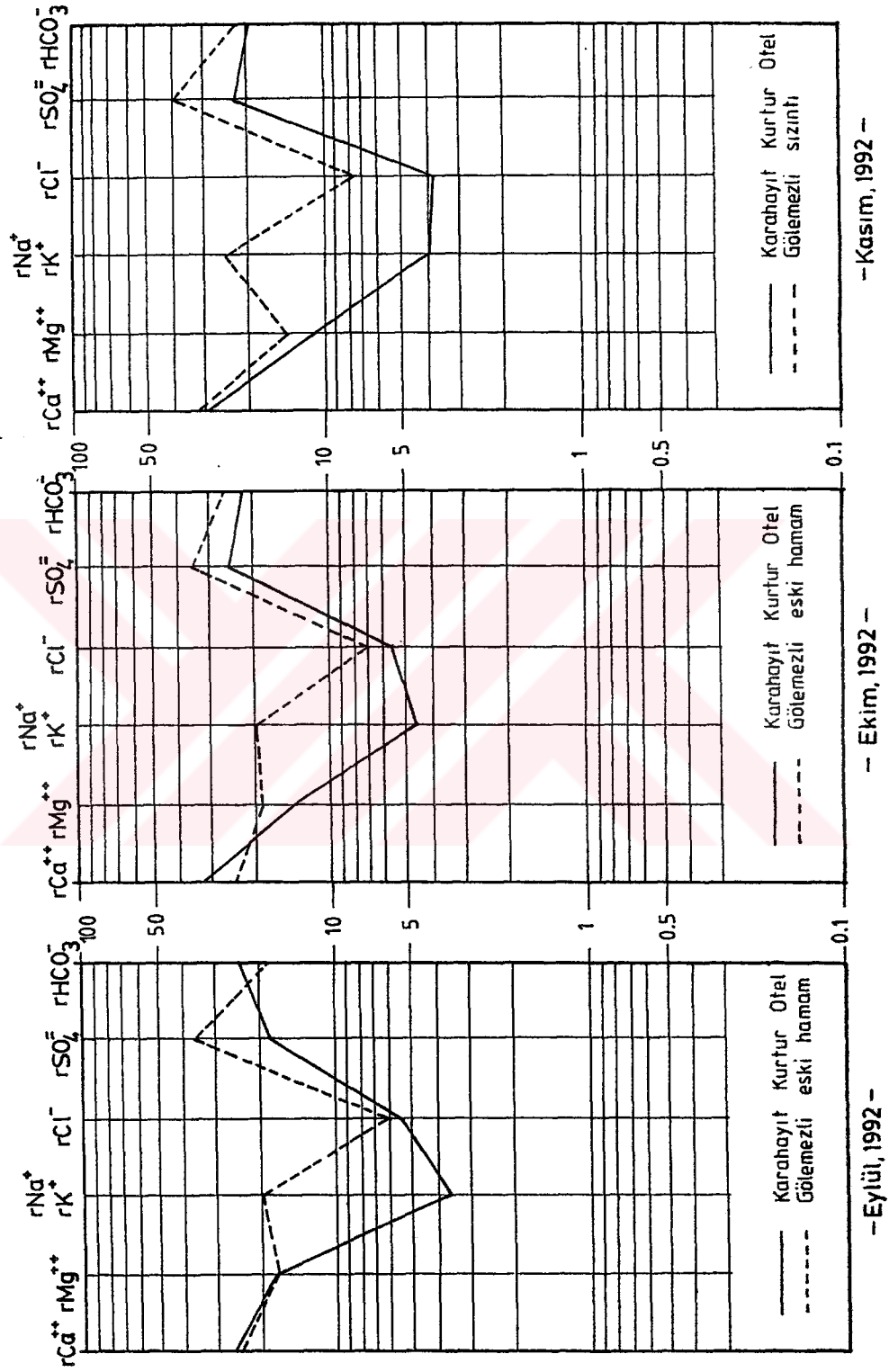
Şekil 54. Suların yanı logaritmik diyagramı.



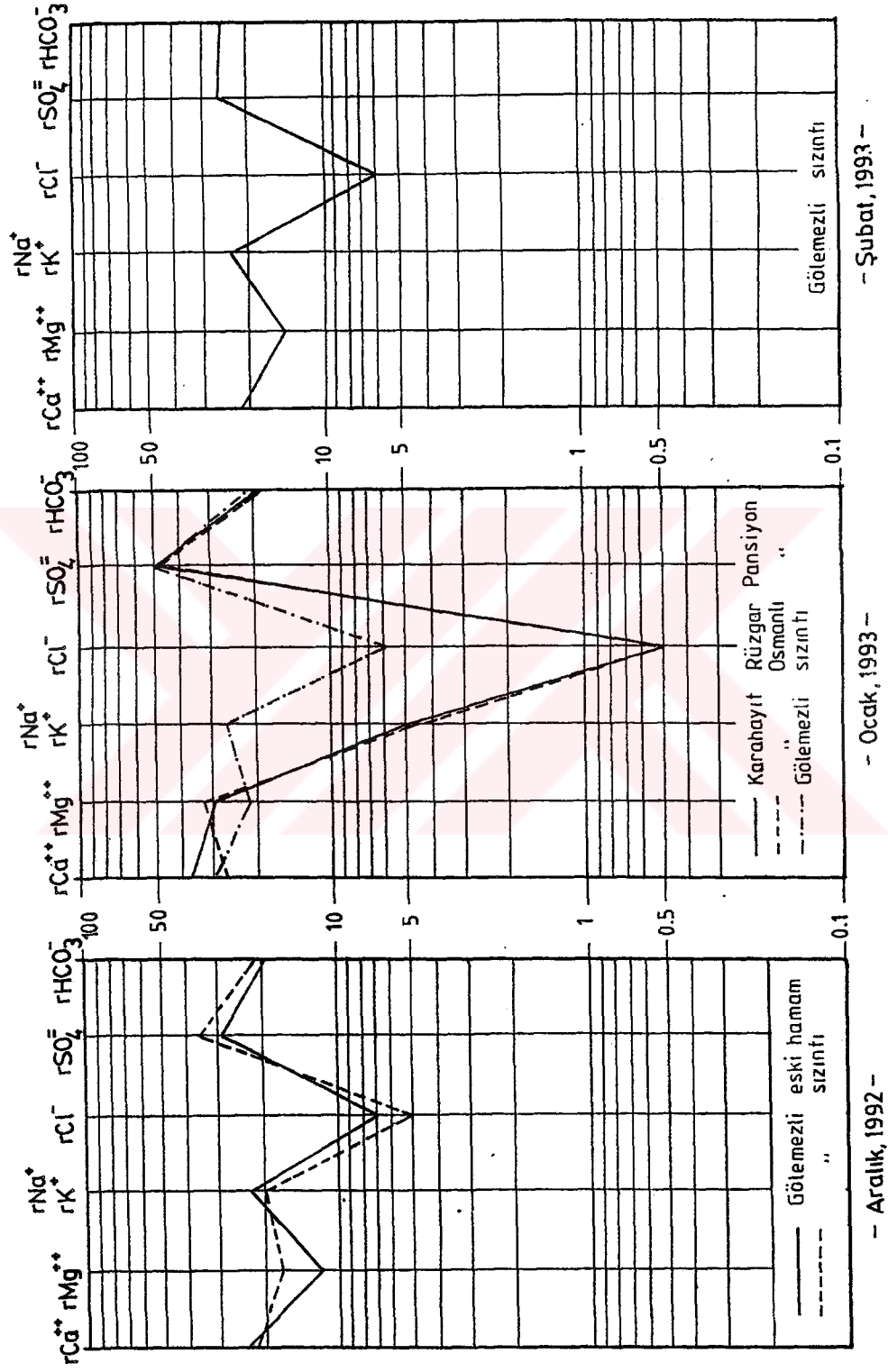
Şekil 55. Suların yarı logaritmik diyagramı.



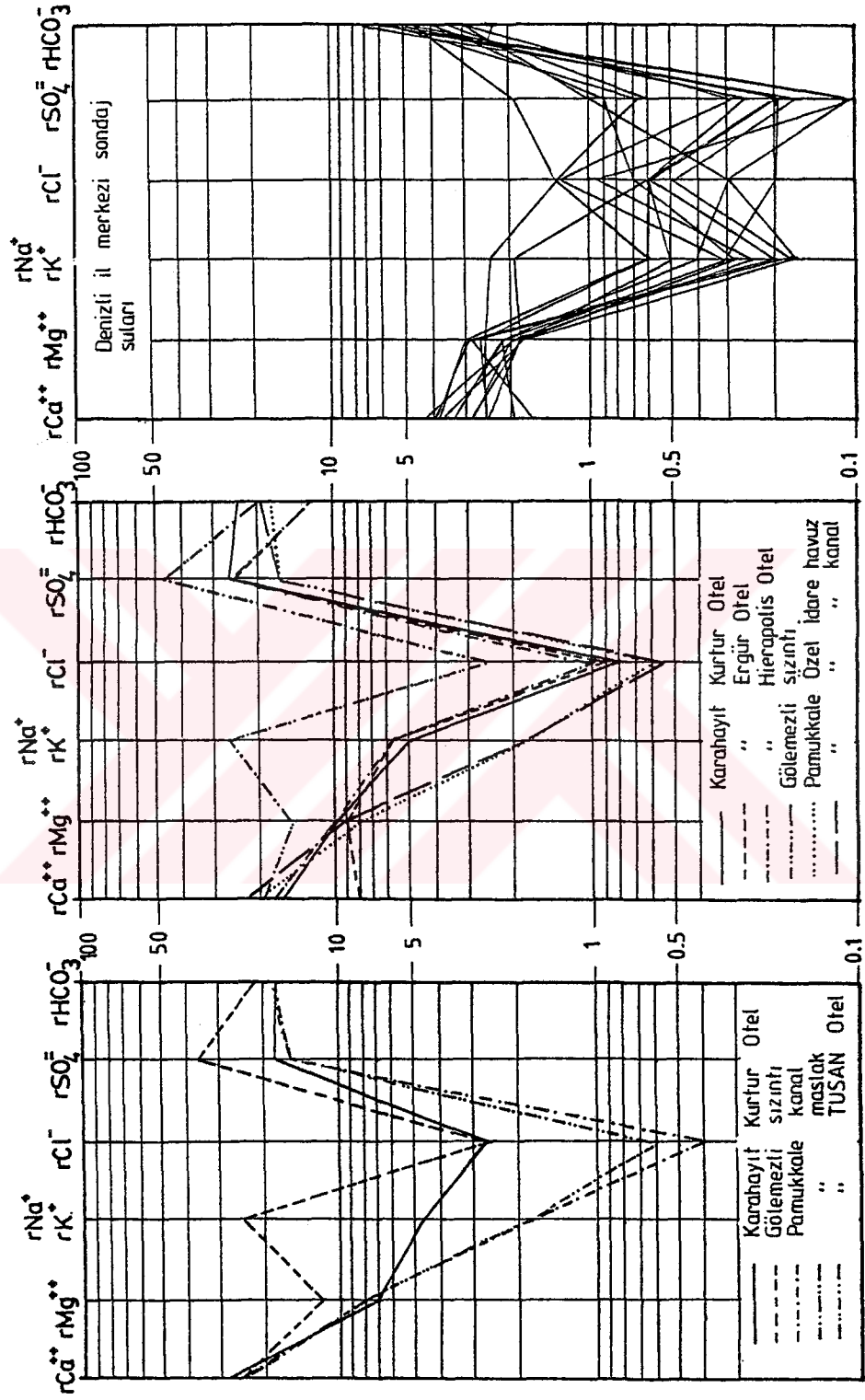
Şekil 56. Suların yarı logaritmik diyagramı.



Şekil 57. Suların yanı logaritmik diyagramı.



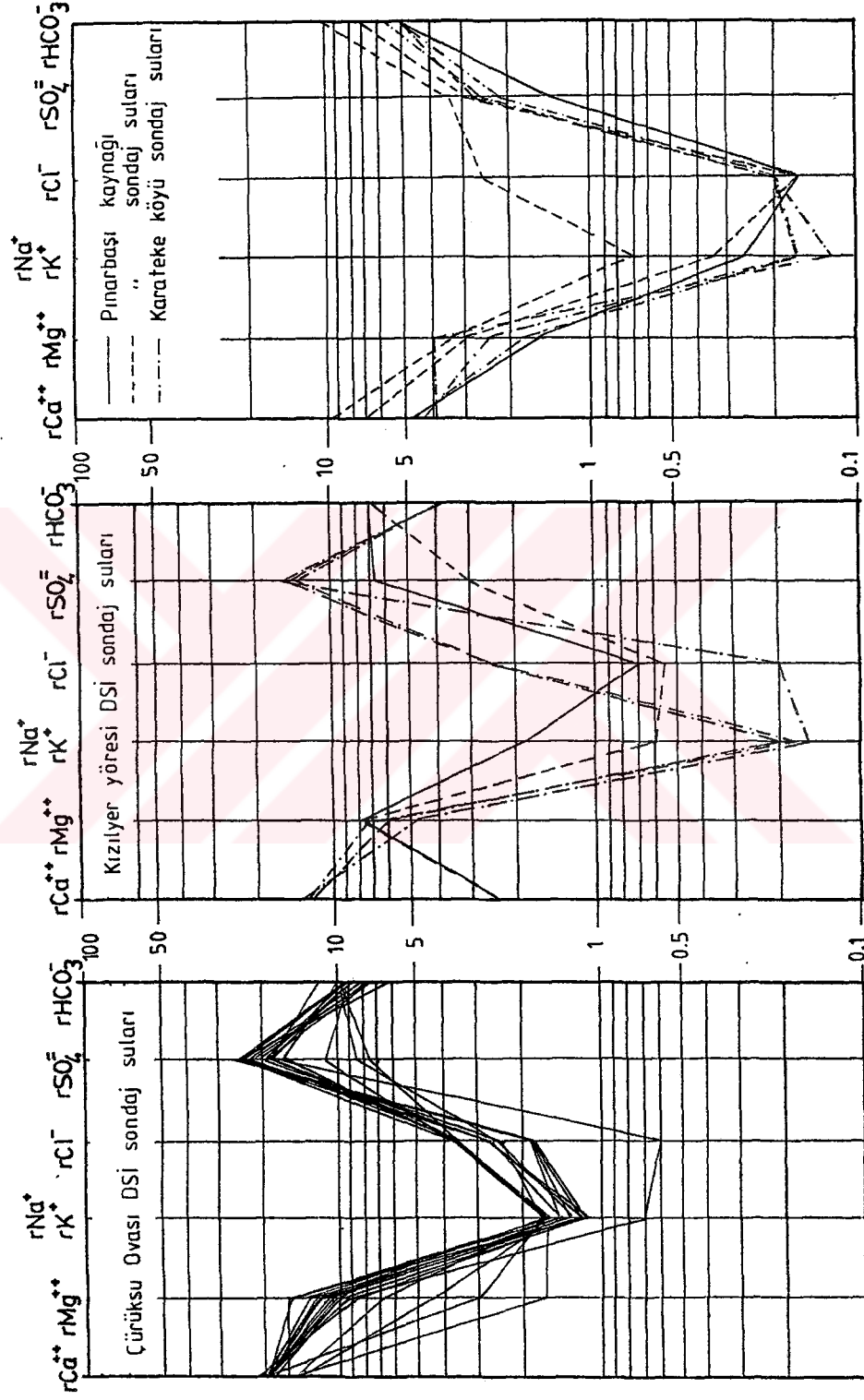
Şekil 58. Suların yarı logaritmik diyagramı.



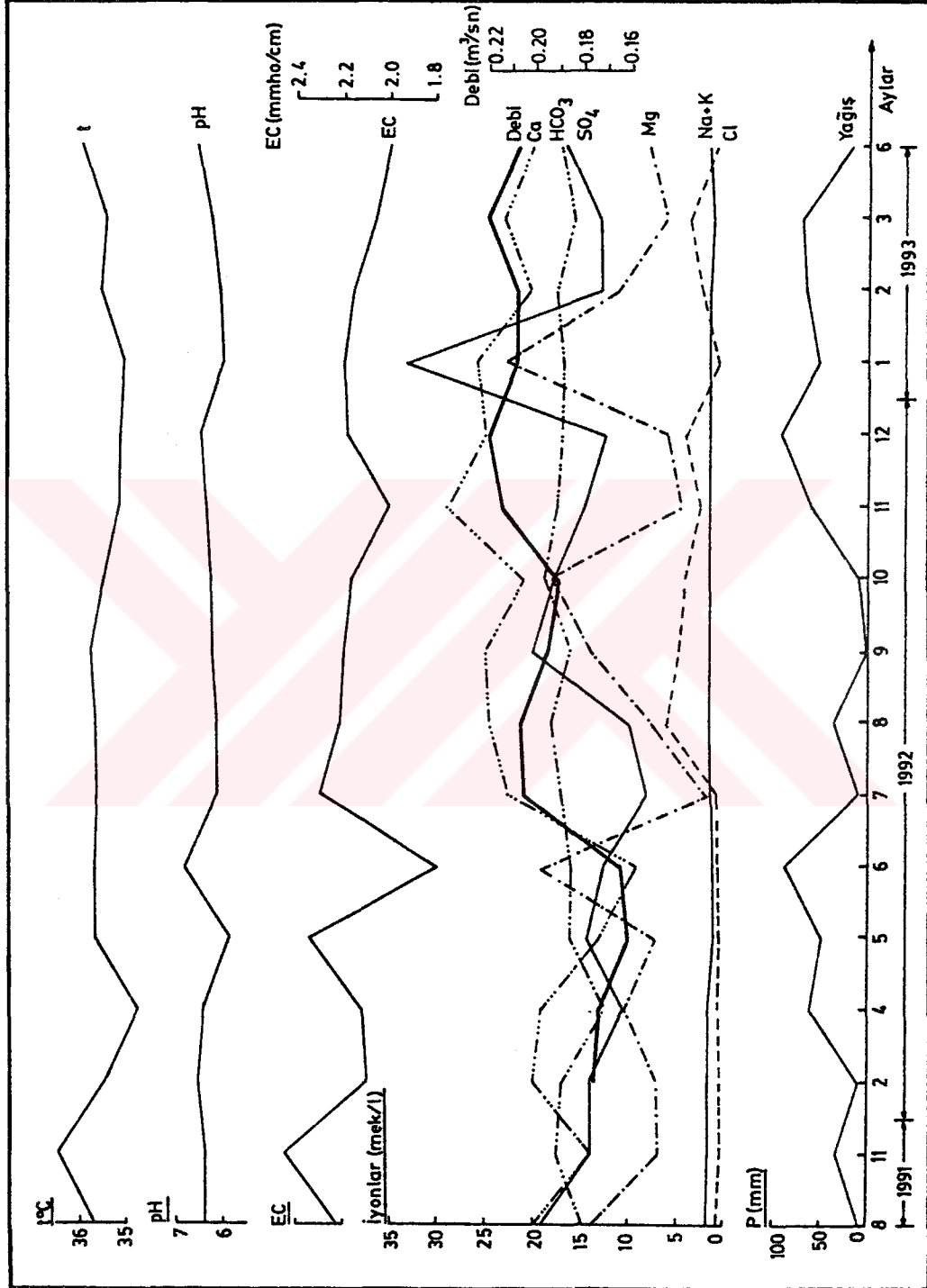
- Haziran, 1993 -

- Mart, 1993 -

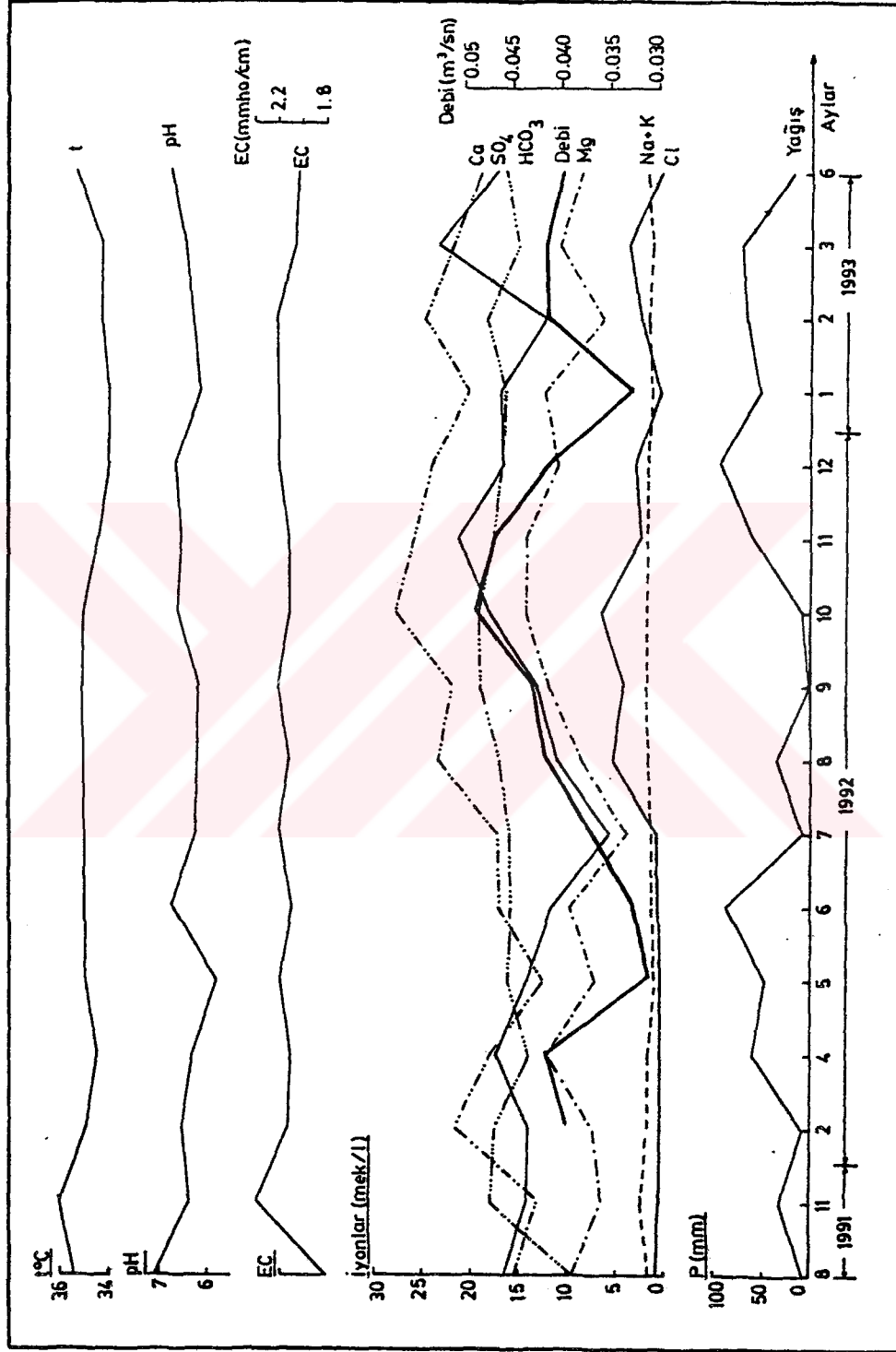
Şekil 59. Suların yan logaritmik diyagramı.



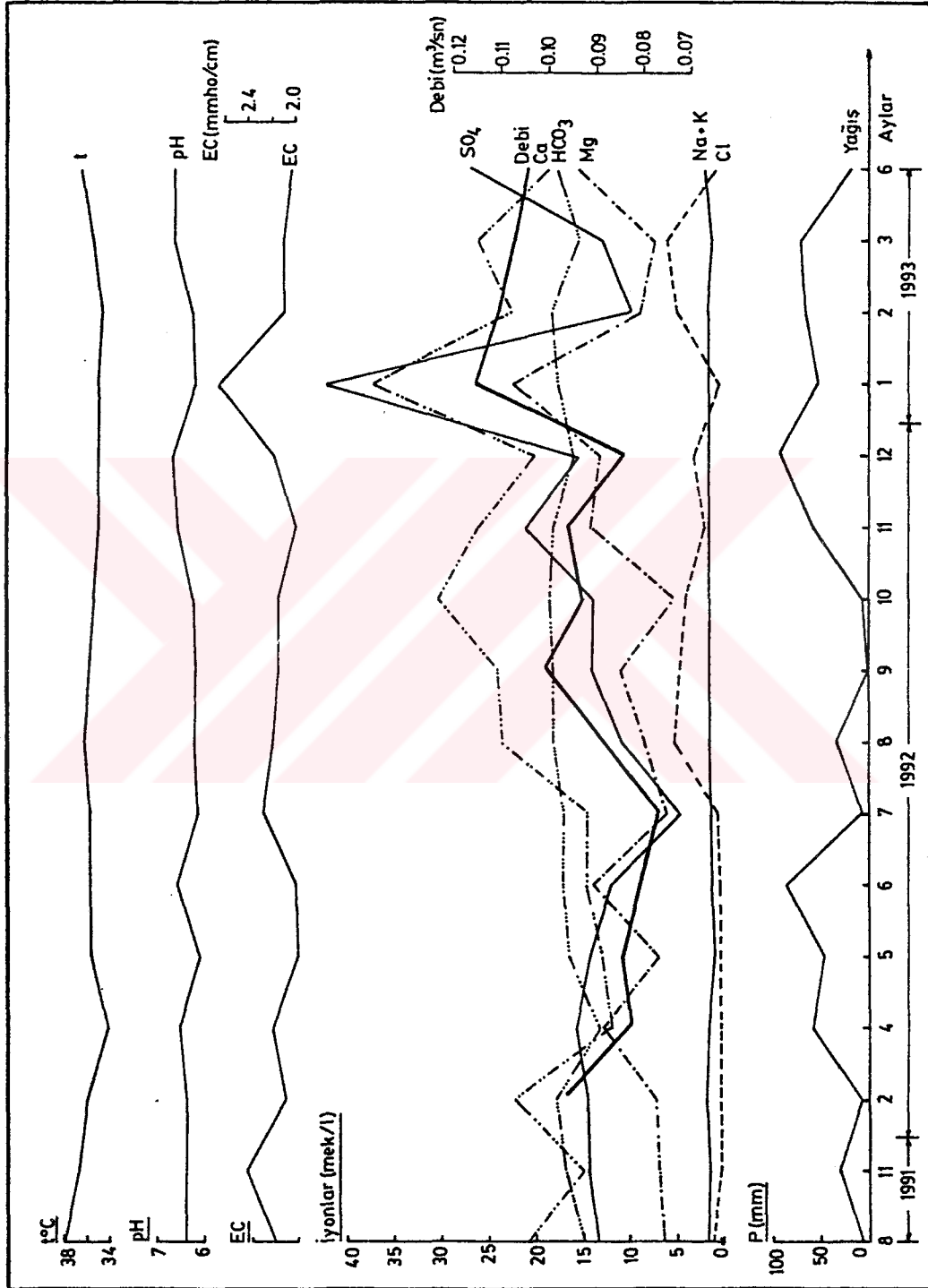
Şekil 60. Suların yarı logaritmik diyagramı.



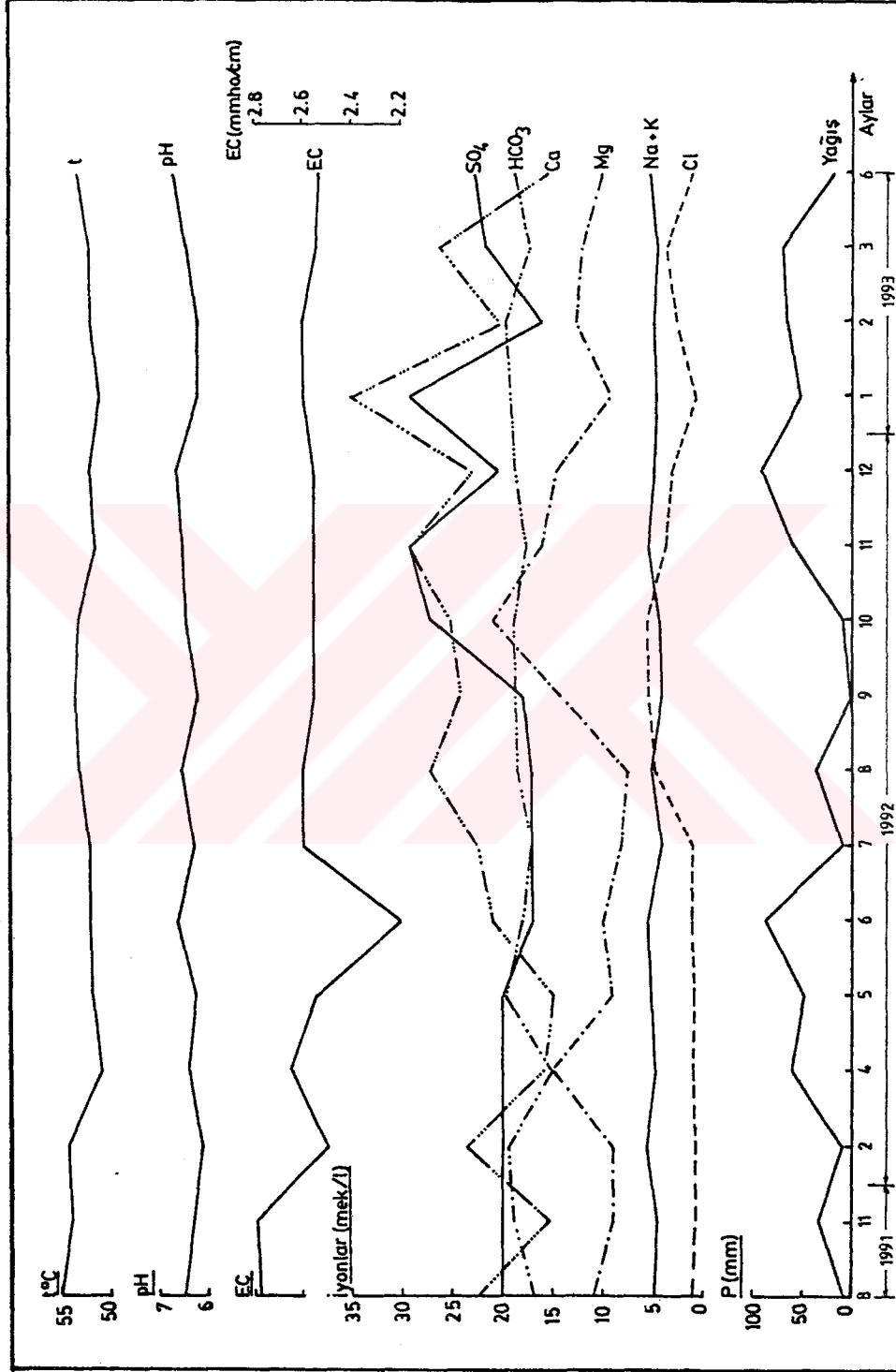
Şekil 61. Pamukkale Özel İdare kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi.



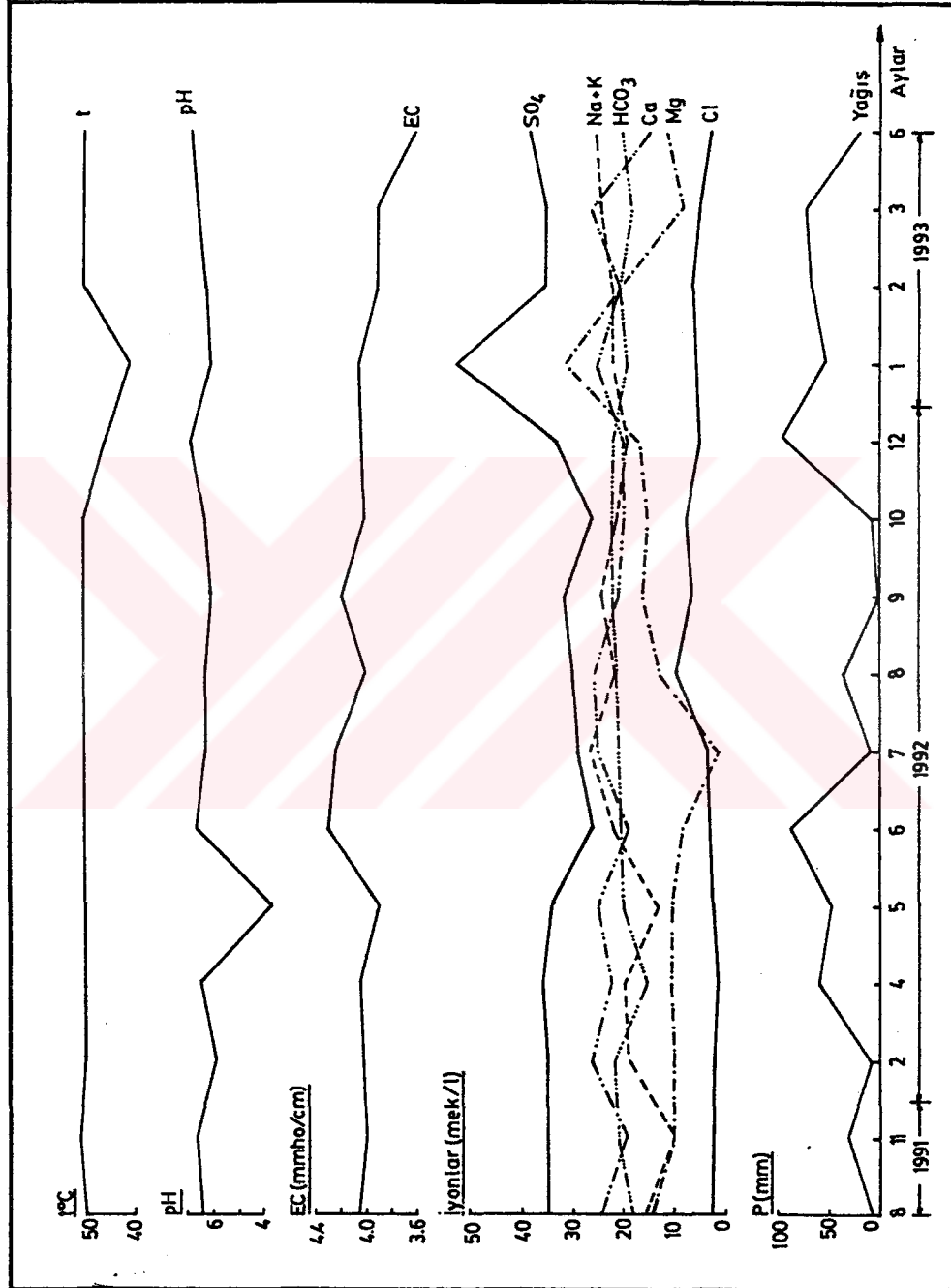
Şekil 62. Pamukkale Belediye kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi.



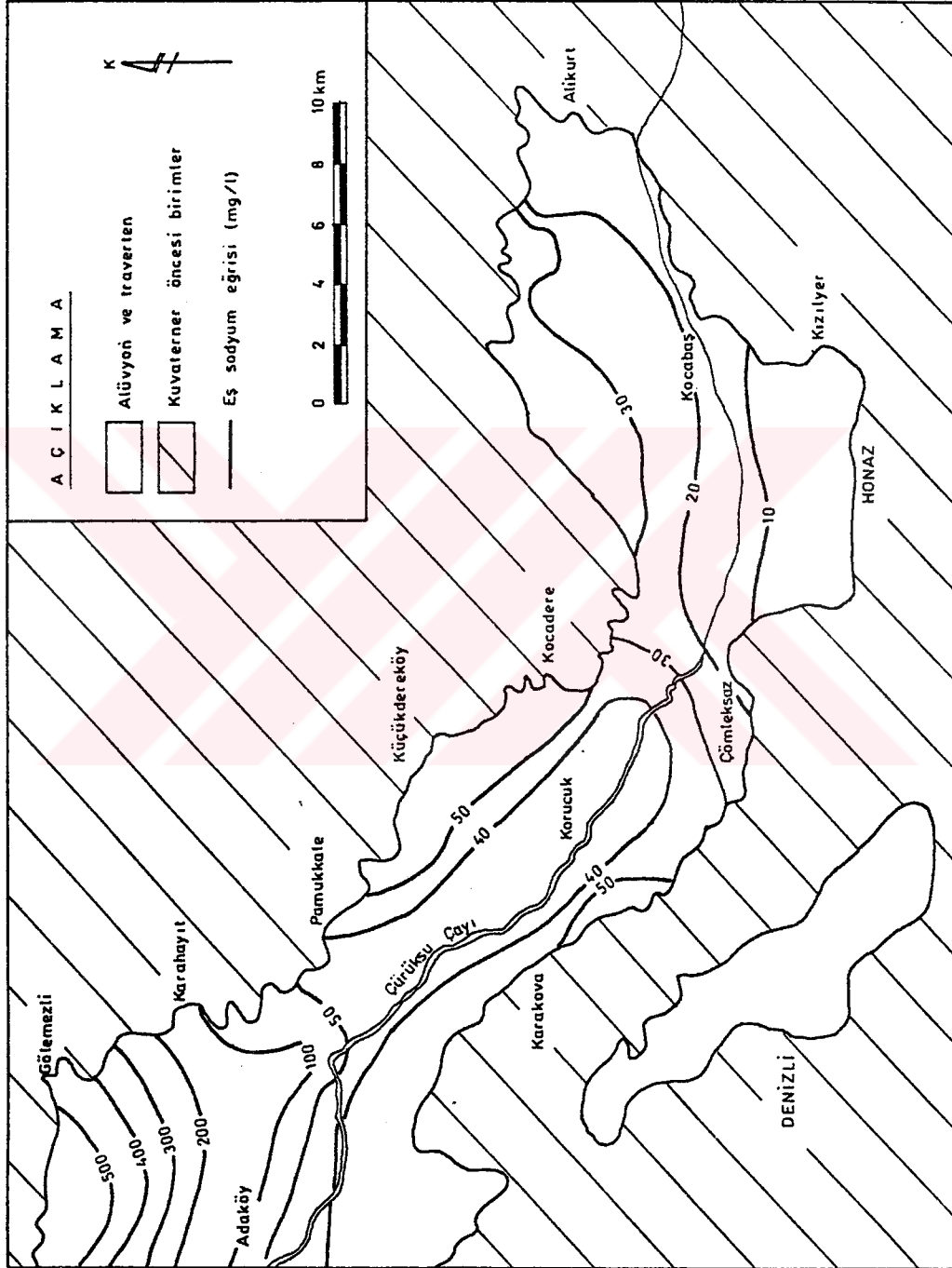
Şekil 63. Pamukkale Jandarma kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi.



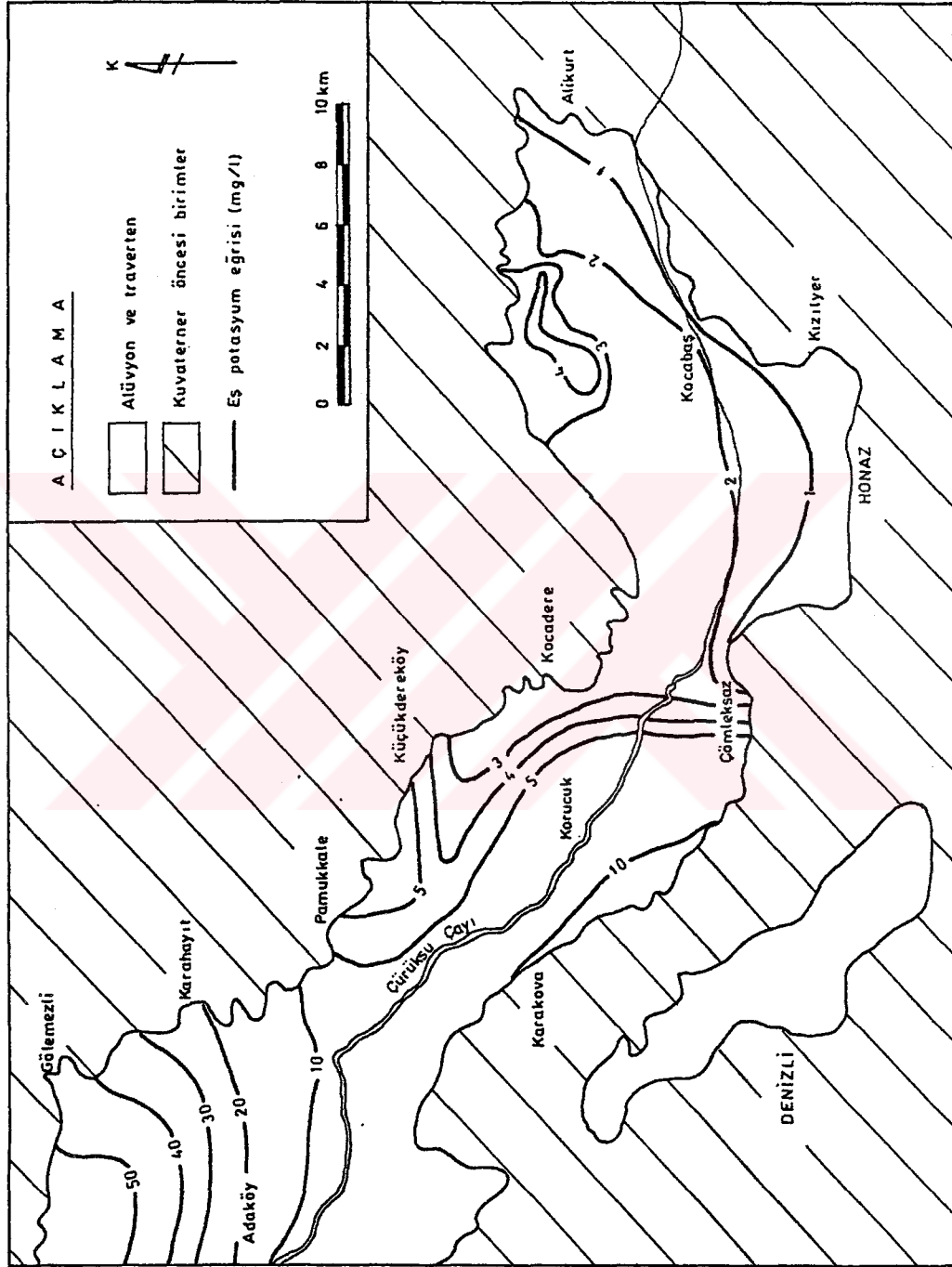
Şekil 64. Karahayıt Kızılgeçen kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi.



Şekil 65. Gölemezli Yeni Hamam kaynağında debi ve kimyasal özelliklerin aylara göre değişimi.



Şekil 66. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sodyum haritası.

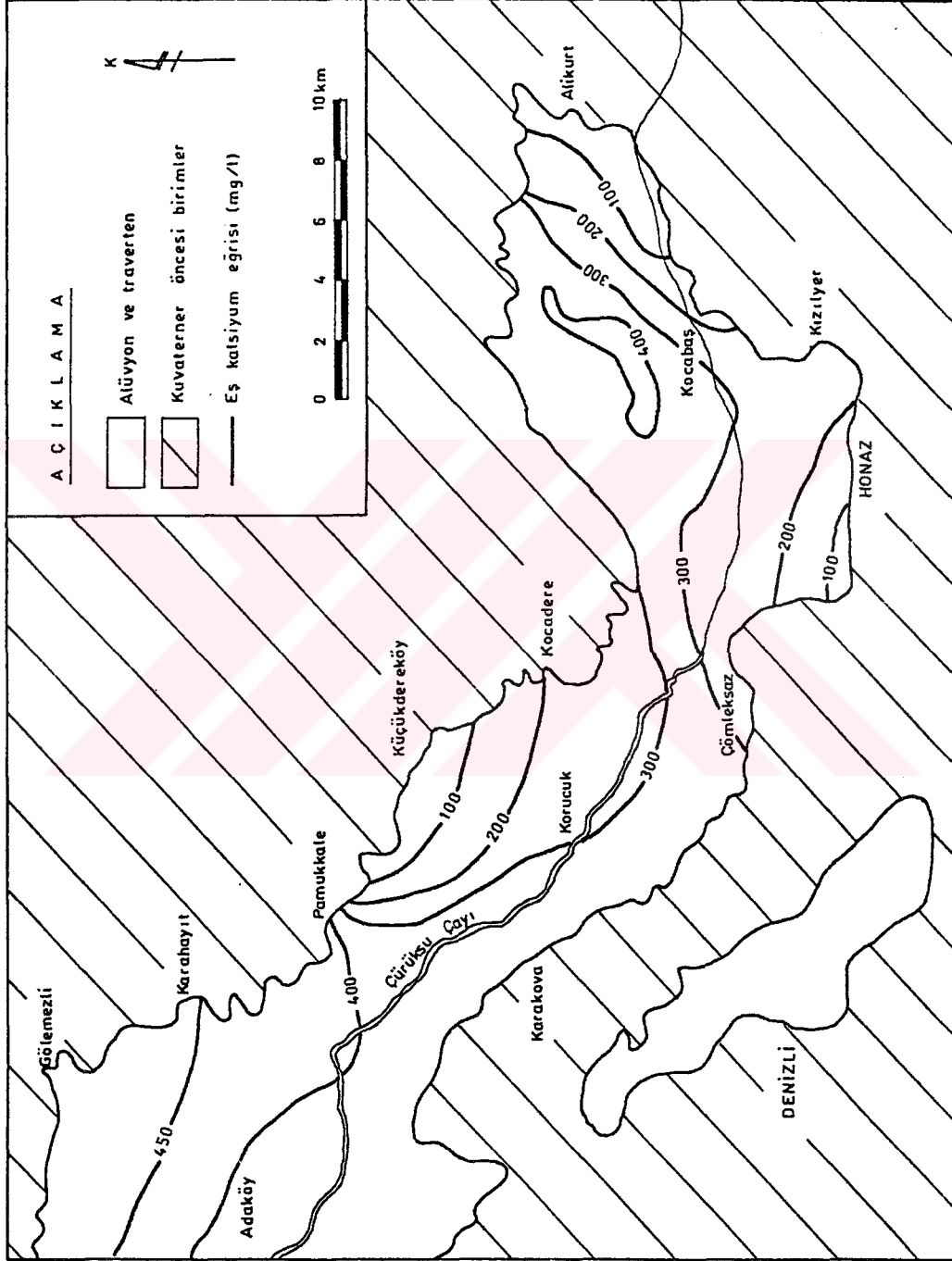


Şekil 67. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş potasyum haritası.

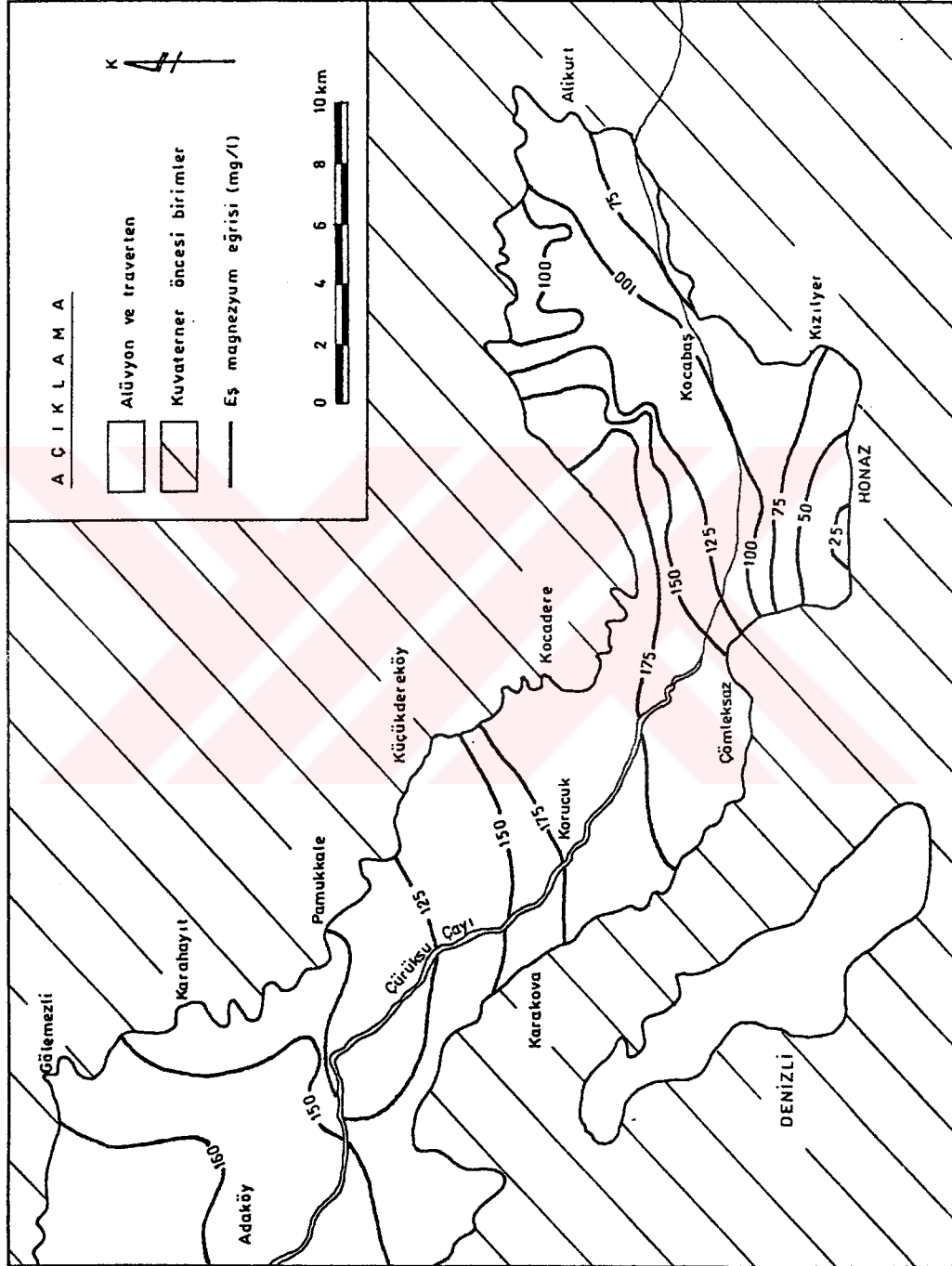
çözünürlüğünün daha az olması nedeniyledir. Ayrıca sular yüzeye çıkarken potasyumun kil mineralleri tarafından soğurularak azalabileceği de gözününde tutulmalıdır. Potasyum miktarları Pamukkale'den Gölemezli'ye sıcak suların geldiği derinliğin arttığını gösterir. Çürüksu Ovası'ndaki yeraltı sularında potasyumun azlığı kil mineralleri ve bitkilerce soğurulmasından dolayıdır.

Kalsiyum: İnceleme alanındaki suların kalsiyum kompozisyonu ilginçtir. Yukarı Çürüksu Ovası ve Kızıyer civarında 300-400 mg/l olan kalsiyum orta kesimde Korucuk yörelerinde bir miktar azalarak Pamukkale'ye doğru tekrar artış gösterir ve 400 mg/l'ye erişir (Şekil 68). Sularda kalsiyum çözünürlüğü birçok faktörün etkisi altındadır. Soğuk yeraltısuları geçtikleri kireçtaşları ve travertenlerden kalsiyumca zenginleşirler. Ayrıca, çalışma alanında Pliyosen birimleri içinde bol miktarda jips düzeyleri yer almaktadır. Kızıyer yöresinde de işletilen büyük alçıtaşı yatakları vardır. Jipsin çözünürlüğü çok yüksektir. Buradan kazanılan kalsiyum ile birlikte ortamda bol kalsiyum iyonu bulunur. Bu durumda havzanın güneyinde Kocabaş ve civarında gözlenen geniş traverten yatakları, güneyden gelen kalsiyum ve bikarbonat iyonlarınca çok zengin bol debili kaynaklar ile jips yataklarından gelen kalsiyum ve sülfatça zengin suların karışması ve ortak iyon etkinliğine bağlı olarak kalsiyumkarbonat çökmesinin hızlandırılması ile oluşmuş olmalıdır. Havzanın kuzey ve güneyindeki fay zonları boyunca yükselen sıcak sular da soğuk yeraltısularına karışarak sıcaklığı yükseltir ve pH'ı düşürerek suya hafif asidik özellik kazandırır. Bu da jips ve kireçtaşı çözünmesini kolaylaştırır. Yörede sıkça gözlenen düden, obruk ve mağaralar karstlaşmanın boyutları hakkında fikir vermektedir. Kalsiyumun çözünürlüğü sıcaklık yanı sıra basınç ve CO_2 gazına bağlıdır. Derinlerde yüksek basınçta suda çözünen CO_2 gazı kalsiyumkarbonat çökmesini önler. Sular yüzeye eriştiğinde CO_2 gazı basınç azalması nedeniyle sudan ayrılarak atmosfere geçer. Bu durumda pH'ı yükselerek kalsiyumkarbonat çökmesi izlenir ve suda kalsiyum iyonları azalır. Tüm bu etkenlerle birlikte sıcak-soğuk yeraltısuyu karışımları, suların debisindeki değişimler olağan olarak sularda bir kalsiyum dengesi oluşmasını önler.

Magnezyum: Denizle hidrolik bağlantısı olmayan jeotermal alanlarda magnezyum değeri düşüktür. Kızıldere KD-16 sondajında magnezyum 0.1 mg/l kadardır (Şimşek, 1984). İnceleme alanındaki sularda magnezyum iyonları kalsiyumun üçte biridir. Havzanın doğusunda 75-100, Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak sularında 125-150 mg/l olan magnezyum orta kesimlerde zenginleşir (Şekil 69). Kaynağı, Pliyosen birimleri içindeki olası magnezyum tuzlarının çözünmesidir. Sulardaki magnezyum miktarlarının aylık değişimleri sıcak-soğuk su karışımlarından kaynaklanır.



Şekil 68. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş kalsiyum haritası.



Şekil 69. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş magnezyum haritası.

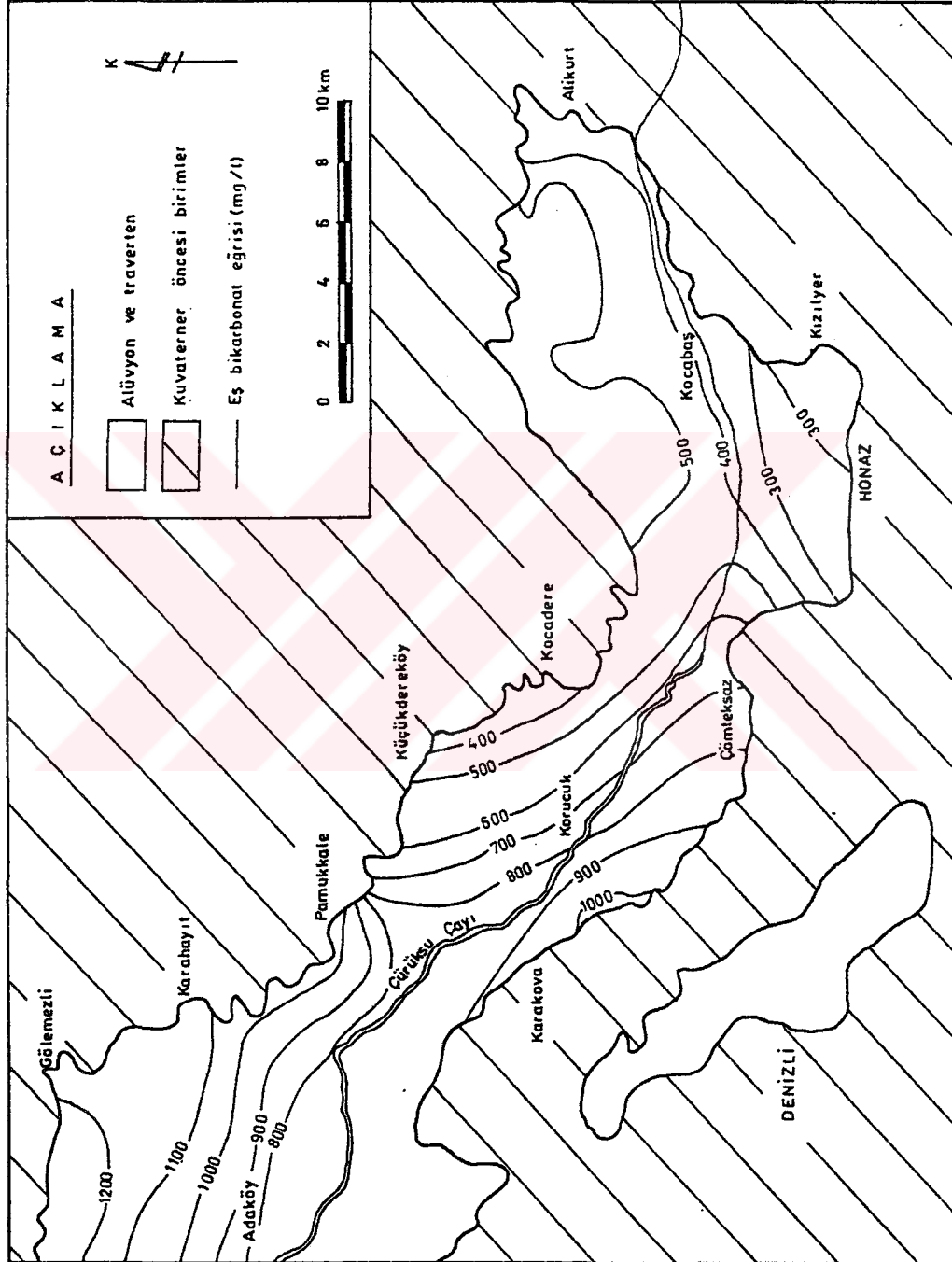
Bikarbonat: Havza doğusunda 300 mg/l iken Gölemezli'ye doğru düzenli olarak artarak burada 1200 mg/l'ye ulaşır (Şekil 70). Kaynağı ve çözünürlük özellikleri kalsiyumla benzerdir. mg/l değeri kalsiyumdan üç kat fazla görünse de mek/l olarak kalsiyuma eşdeğerdir.

Klorür: Denizle bağlantısı olmayan jeotermal alanların klorür değerleri genellikle düşüktür. Kızıldere KD-16 sondajında klorür 122 mg/l'dir (Şimşek, 1984). Yukarı Çürüksu Ovası'nda 140 mg/l'ye kadar yükselen klorür Pamukkale'de 18, Karahayıt'ta 30, Gölemezli'de ise 80 mg/l civarındadır. Kaynağı, soğuk sulara klorür tuzlarının çözünmesi, sıcak sulara buna ek olarak magmadır. Eş klorür haritası Şekil 71'de verilmiştir.

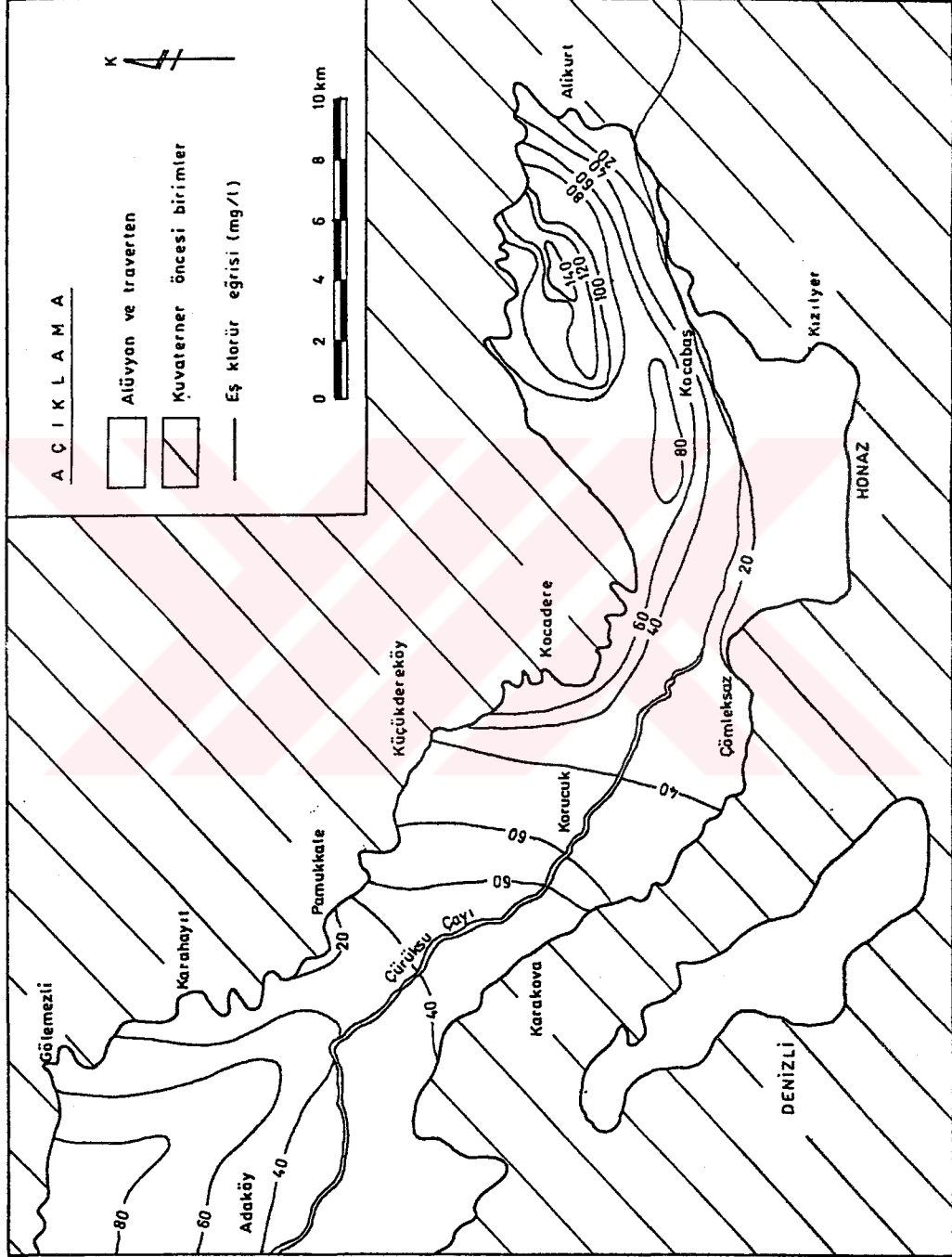
Sülfat: İnceleme alanının jeolojisine uygun olarak kalsiyumla benzerlik gösterir. Doğuda Alikurt civarında 85 mg/l olan sülfat miktarı Kızılyer civarında 500-750 mg/l ve Gölemezli'ye doğru 1500 mg/l 'ye yükselir (Şekil 72). Kızılyer'de jips yataklarından çözündürme sonucu sülfat yüksek değerlere ulaşır. Doğudan batıya, yeraltısu akımı yönünde Pliyosen birimlerindeki jips düzeylerinden sülfat kazanılır. Orta kesimlerde azalan sülfat sıcak su kaynaklarına doğru tekrar yükselir. Özellikle Gölemezli'deki yüksek değer, soğuk su karışımları derinlerden gelen H_2S gazının oksitlenmesi sonucudur. Gölemezli sıcak sularının kuzeydoğusunda gözlenen kükürt oluşumları da bunun bir göstergesidir. H_2S gazı, Yukarı Çürüksu'daki sondaj kuyularında ve Gölemezli sıcak sularında karakteristik kokusu ile tanınır. Bu durum Yukarı Çürüksu Ovası yeraltısularına derinden faylar aracılığıyla magmatik katılımlar olduğunu işaret eder.

Silis: SiO_2 çözünürlüğü sıcaklık ve pH'a bağlıdır. Bu nedenle jeotermal alanların karakteristiğidir. SiO_2 çözünürlüğü yüksek sıcaklıkta hızla artarak dengeye erişir. pH'ın bazik, özellikle 9'un üzerinde olduğu ortamlarda SiO_2 çözünürlüğü artar. Pamukkale ve Karahayıt sıcak sularında 38 mg/l civarında olan SiO_2 Gölemezli'de 165 mg/l'ye yükselir. Ancak, bu suların hazne kayaya oranla sıcaklıkların düşük ve pH'ın hafif asidik olması silisyum çökmesi için gerekli ortamı hazırlar ve sudaki SiO_2 miktarı azalır. Bu durumda derinlerdeki sıcak sulara daha yüksek SiO_2 bulunacağı gözönüne alınmalıdır. Silisyumun kaynağı metamorfik kaya mineralleridir.

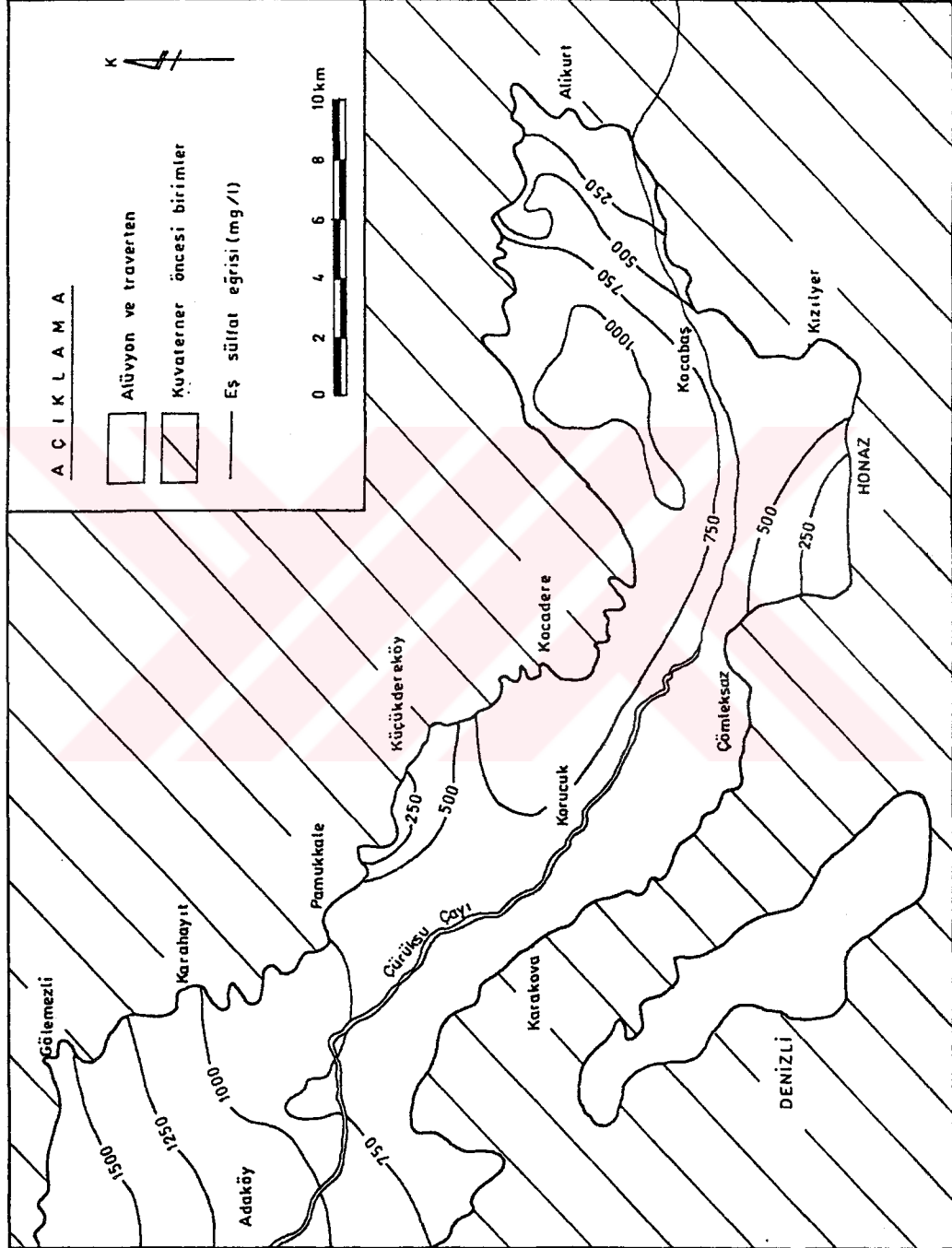
Bor: Pamukkale'de 3, Karahayıt'ta 5, Gölemezli'de 10 mg/l civarındadır. Derin kırıklar yardımıyla magmadan hazne kayaya ulaştıklarından, jeotermal alanların belirlenmesinde önemlidir. Sıcaklıkla çözünürlüğü artan bor, hidrotermal ortamlarda hızlı göçeder. İnceleme alanındaki sulara bulunan bor magma kaynaklıdır.



Şekil 70. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş bikarbonat haritası.



Şekil 71. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş klorür haritası.



Şekil 72. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sülfat haritası.

Stronsiyum: Kimyasal özellikleri kalsiyuma benzer. Bu nedenle çalışma alanının eş stronsiyum haritası (Şekil 73) eş kalsiyum haritası ile uyumludur. Havza doğusundaki Kızıyer yöresinde 12 mg/l'ye kadar çıkan stronsiyum orta kesimde azalır ve sıcak su kaynakları civarında tekrar yükselir. Stronsiyumun, jips yataklarının gözlendiği Kızıyer'de yoğunlaşması anlamlıdır. Çözünürlük özelliği jipsle benzer olan stronsiyumun kaynağı olasılıkla jips ile birlikte çökmesi olağan olan selestin(SrSO_4) mineralidir.

Lityum: Soğuk yeraltısularında 0.001 mg/l değerinde olan lityum sıcak sularda, özellikle Gölemezli'de 1.75 mg/l'ye yükselir (Şekil 74). Asidik ortamda sülfirik asit etkisiyle lityumlu mineraller bozunuma uğrar. Bu nedenle sudaki pH ve sülfat değerleri ile lityum arasında doğrusal bir ilişki vardır. Sıcak sularda derinlerden gelen lityumun kil mineralleri tarafından soğurulması derişimini azaltan bir etkidir.

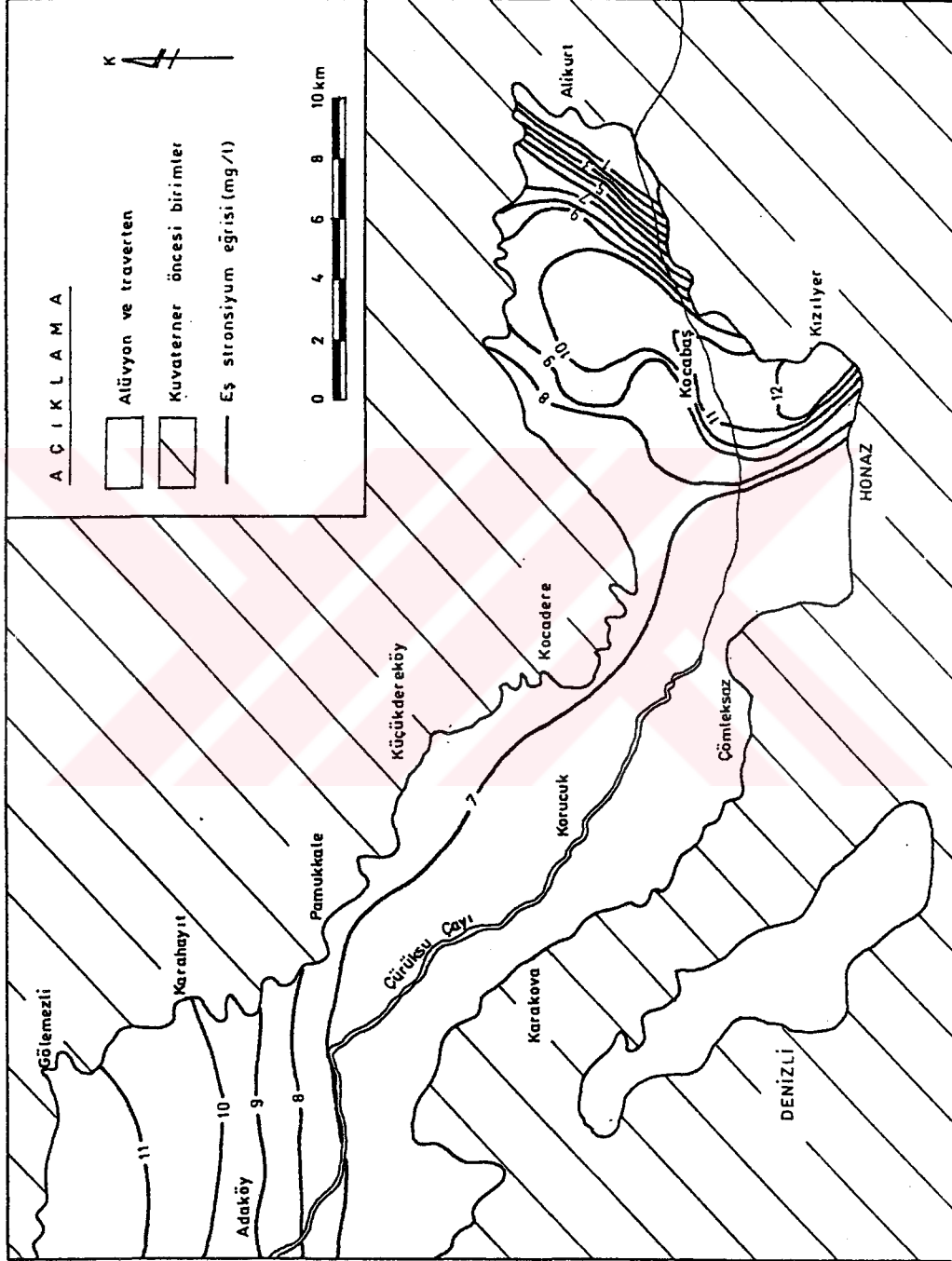
Alüminyum: Soğuk yeraltısularında eser olarak bulunan alüminyum Pamukkale'de 150, Gölemezli'de ise 210 $\mu\text{g/l}$ kadardır (Şekil 75). Kaynağı metamorfik kaya mineralleridir.

Kurşun: İnceleme alanındaki sıcak sularda 35 $\mu\text{g/l}$ olan kurşun doğruya doğru artarak Kızıyer civarında 100 $\mu\text{g/l}$ 'yi bulur (Şekil 76). Sıcak sulardaki kaynağı, derinlerdeki K-feldispat ve muskovitlerin bozunumudur. Ancak Kızıyer yöresindeki artış hidrotermal kurşun oluşumlarını gösterebilir.

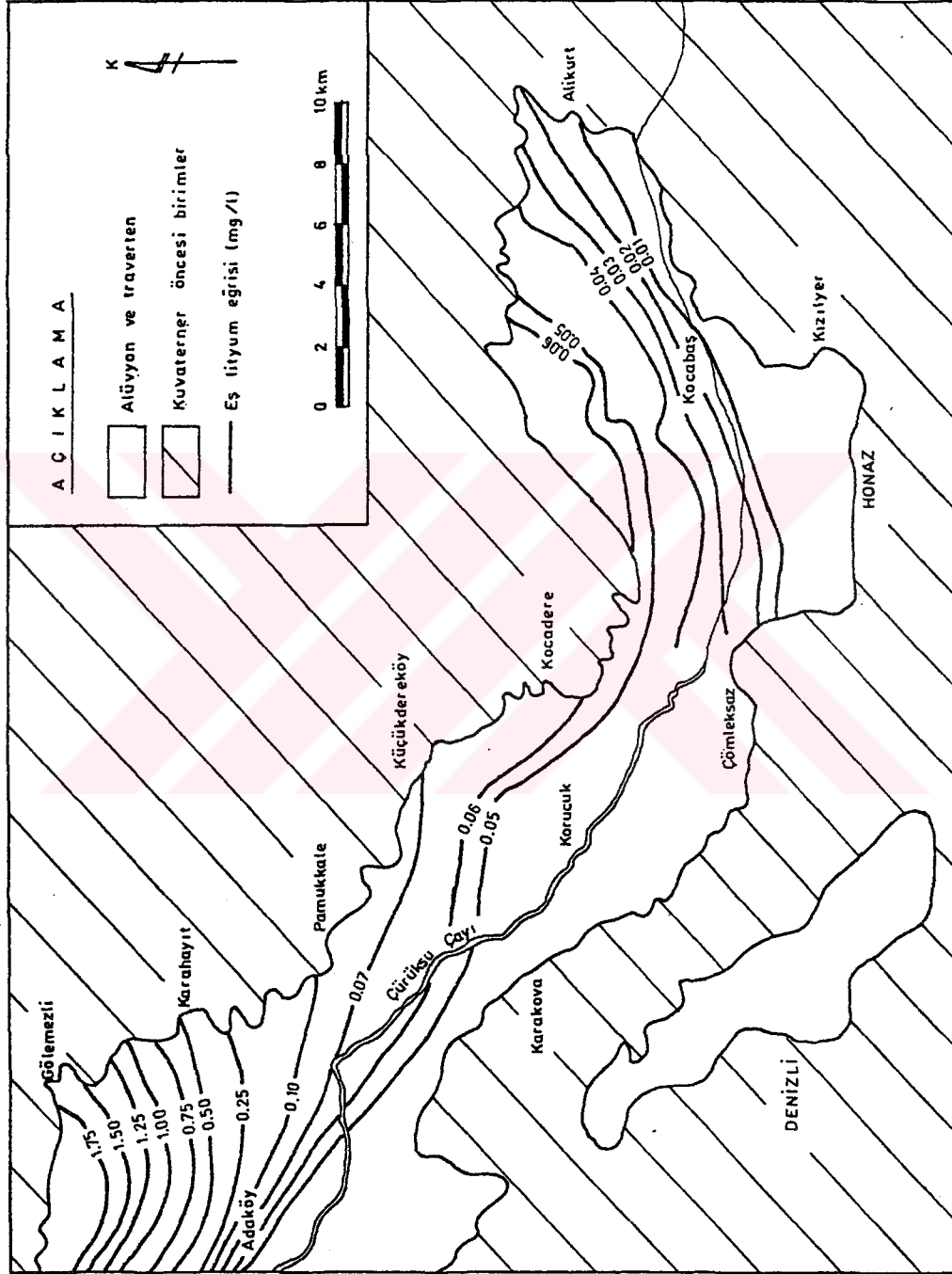
Çinko: İnceleme alanının eş çinko haritası, eş kurşun haritası ile benzerdir (Şekil 77). Sıcak sularda 18 $\mu\text{g/l}$ civarında olan çinkonun kaynağı biyotit olmalıdır. Kızıyer yöresinde 60 $\mu\text{g/l}$ 'lik yüksek çinko değeri hidrotermal çinko oluşumlarını işaret edebilir.

Bakır: Sıcak sularda, şist ve gnayslardaki silikatların çözünümü ile zenginleşir. Değeri Gölemezli sıcak sularında 10 $\mu\text{g/l}$, Honaz batısında ise yaklaşık 600 $\mu\text{g/l}$ 'dir. Bu durum, yersel bakır oluşumlarının yeraltısularını bakırca zenginleştirmesi şeklinde açıklanabilir (Şekil 78).

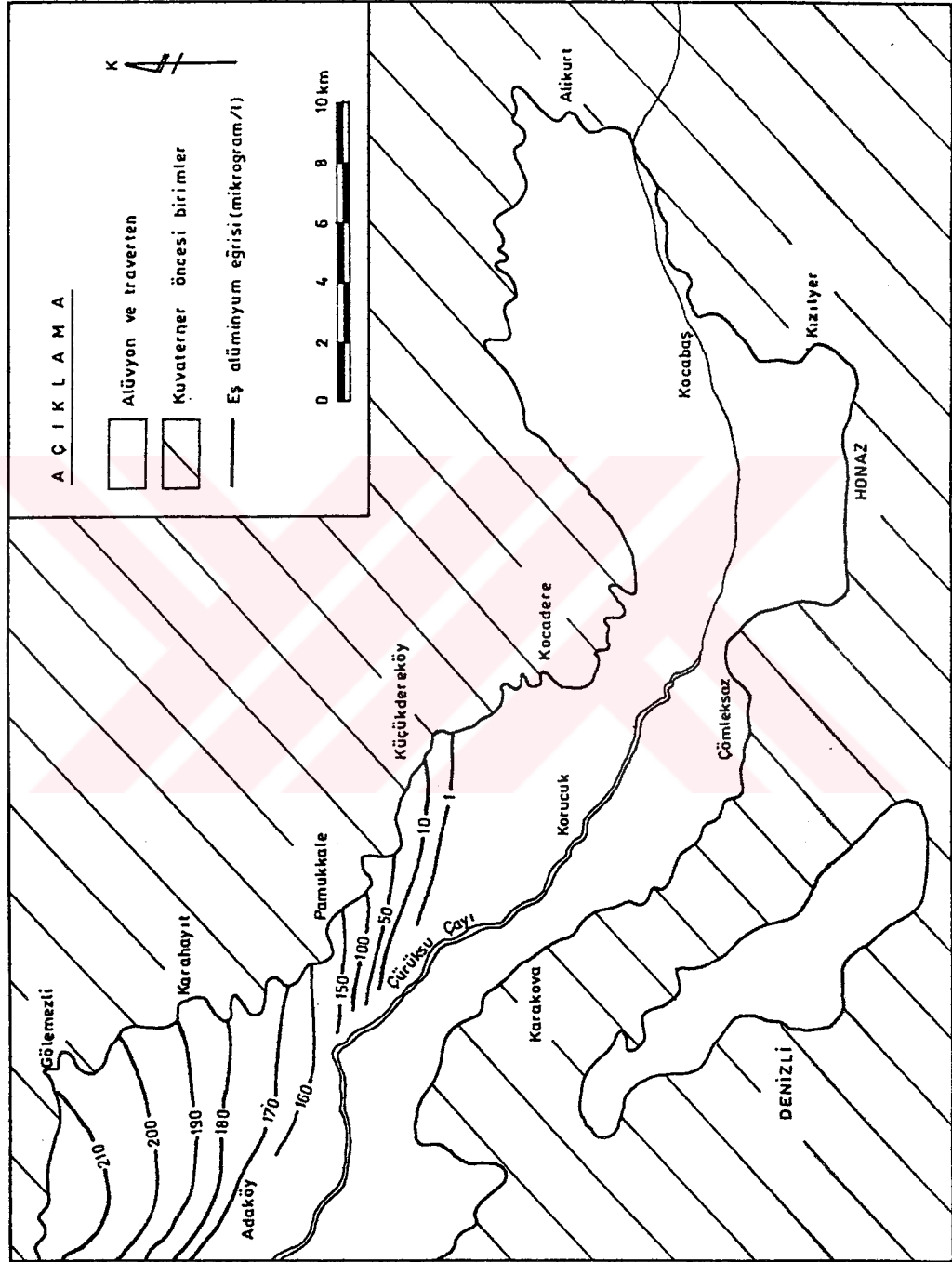
Manganez: Sıcak su kaynakları ile Honaz-Kızıyer arasındaki yeraltısularında yaklaşık aynı değerde olup 30-40 $\mu\text{g/l}$ civarındadır (Şekil 79). Orta kesimdeki sularda ise manganez yoktur. Manganez, metamorfik kayalarda biyotit ve hornblend minerallerinin çözünmesi sonucu sulara katılmış olmalıdır.



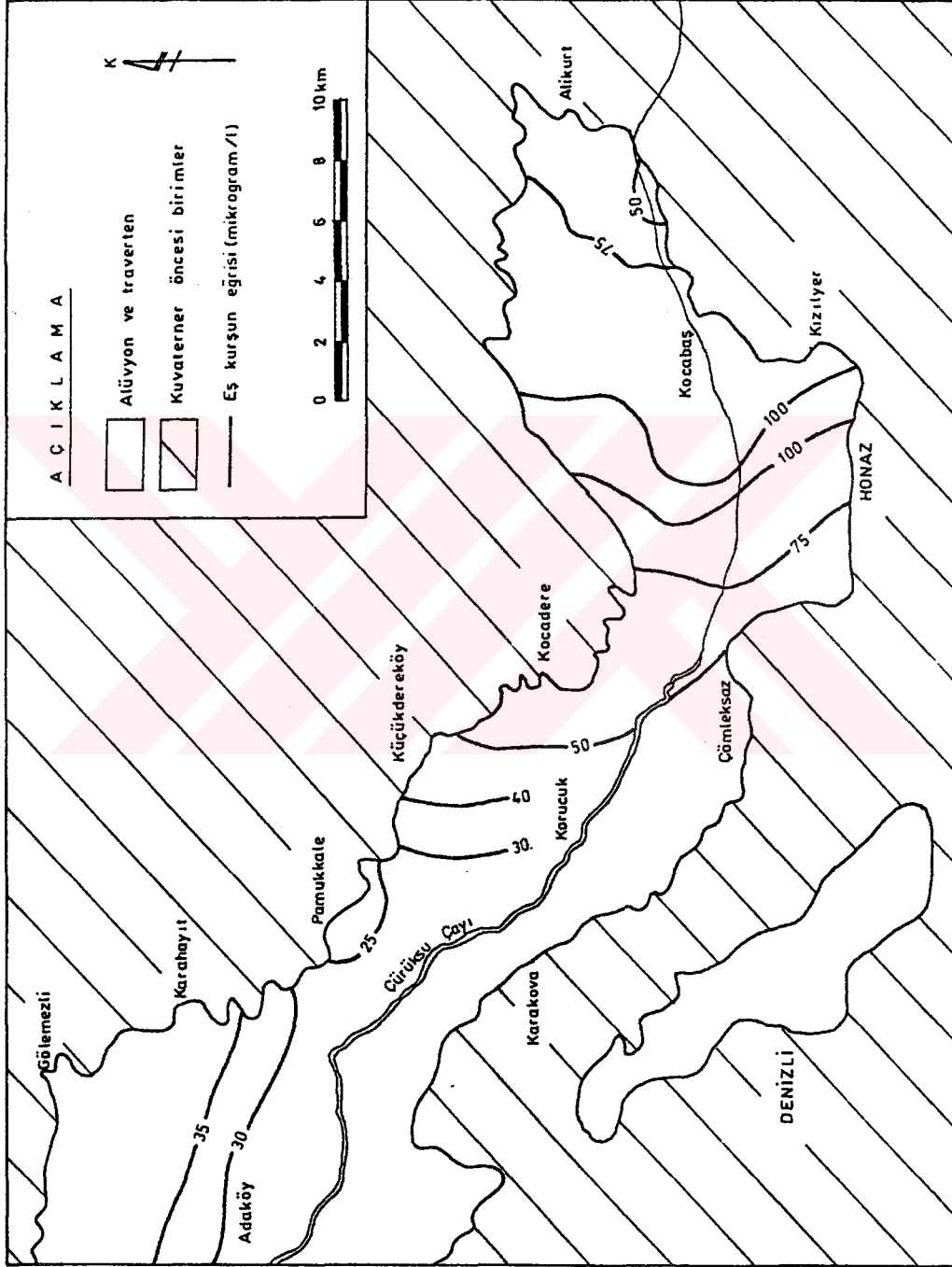
Şekil 73. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş stronsiyum haritası.



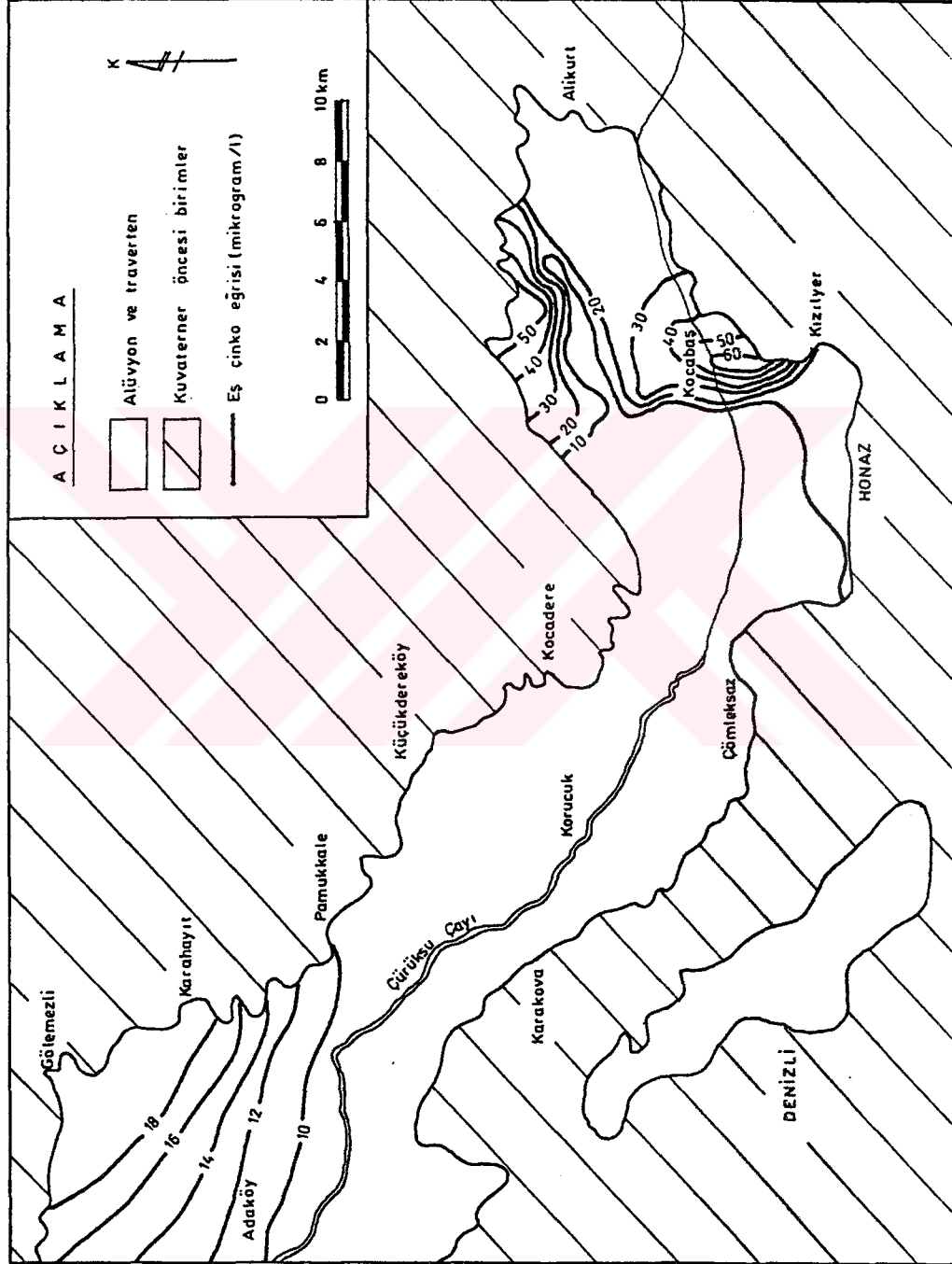
Şekil 74. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş lityum haritası.



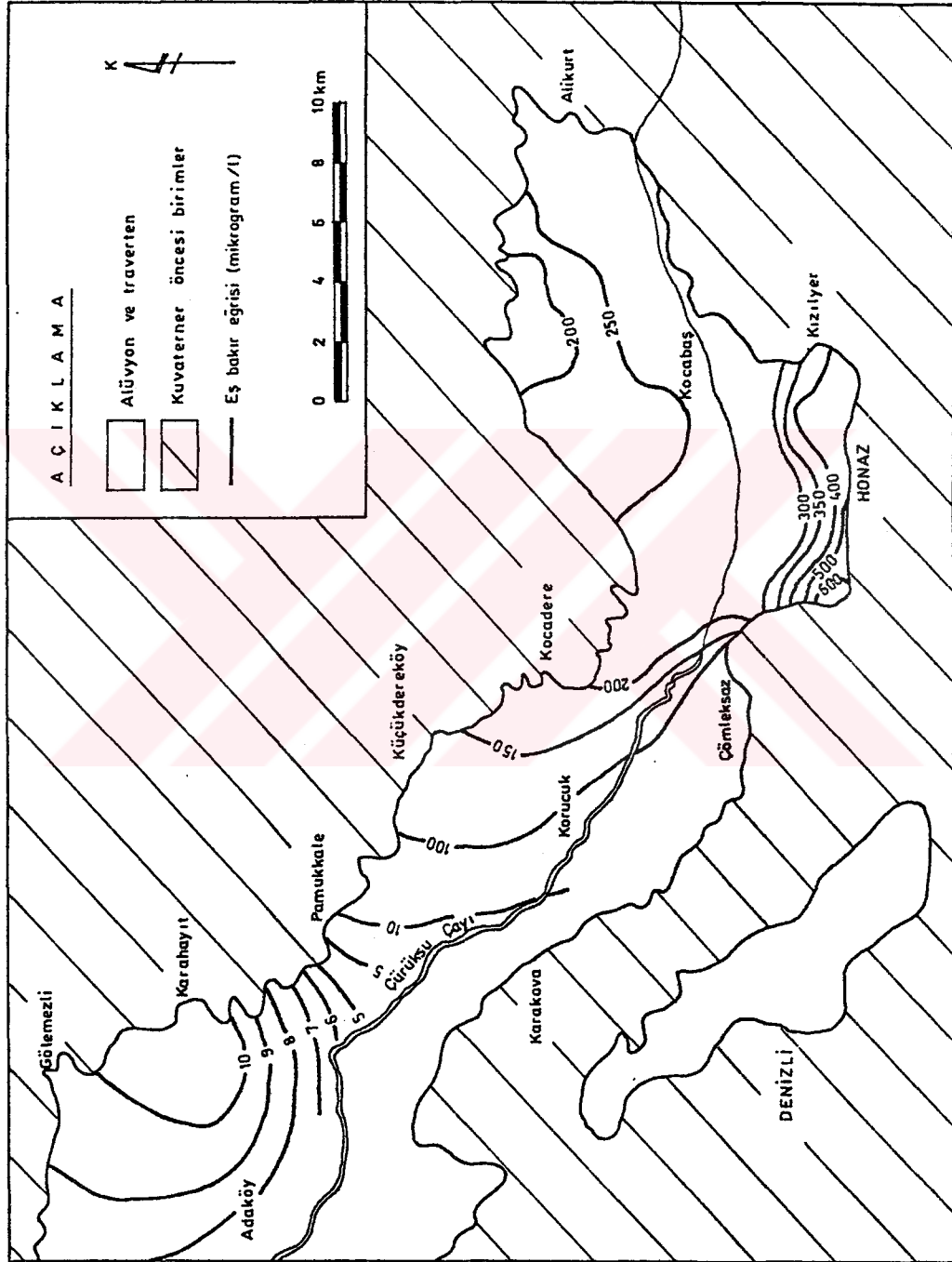
Şekil 75. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş alüminyum haritası.



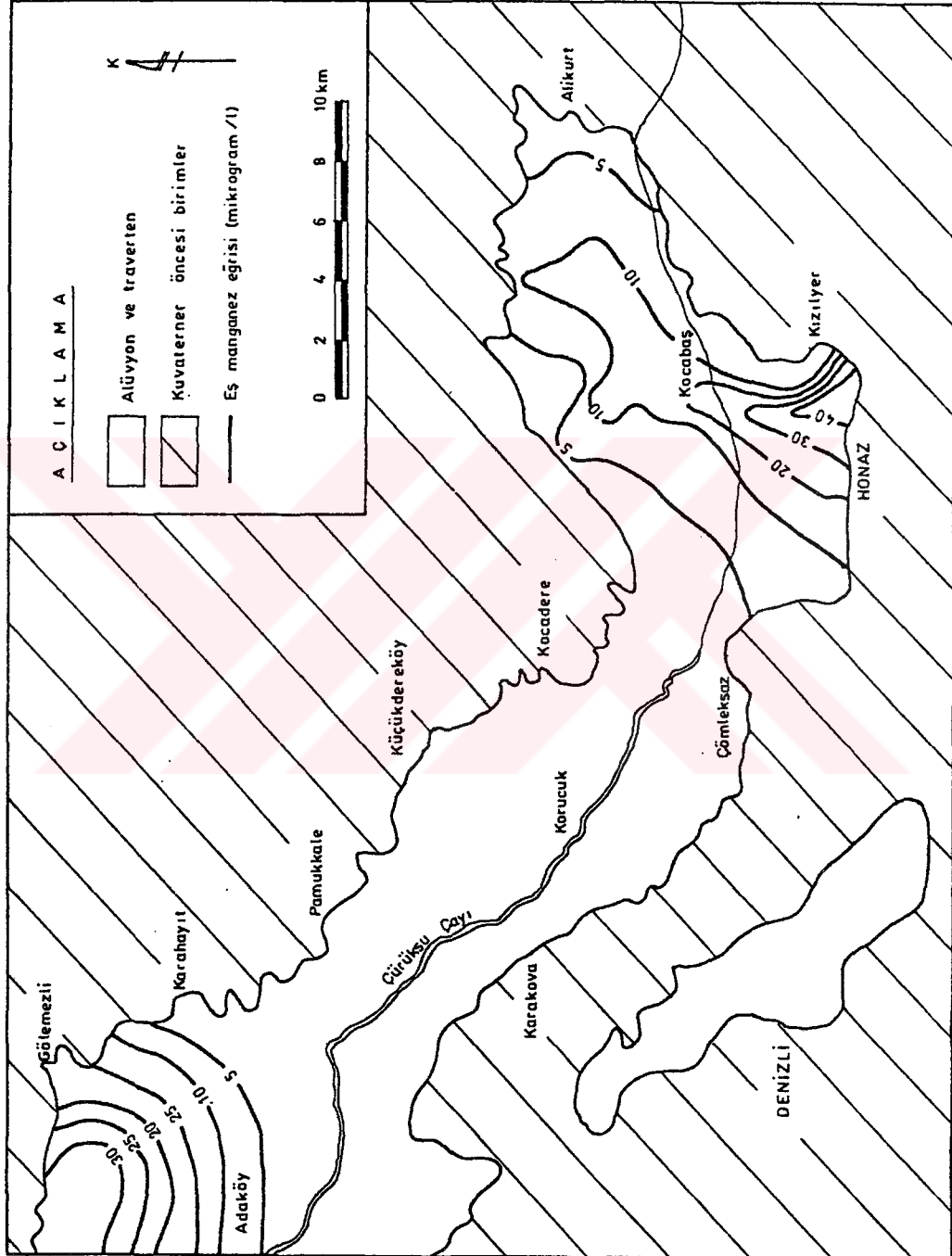
Şekil 76. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş kurşun haritası.



Şekil 77. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş çinko haritası.



Şekil 78. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş bakır haritası.

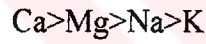


Şekil 79. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş manganez haritası.

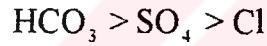
Demir: Demir, özellikle piroksen, amfibol, magnetit, biyotit ve granat gibi minerallerin bozunumundan ortaya çıkar. Ayrıca, silikatlı bileşiklere sahip gnays, mikaşist, kumtaşı, kum, alüvyon ve killi kayalarda da demir bulunur. Bu nedenle inceleme alanındaki suların demir dağılımı düzensizdir. Çürüksu Ovası doğusunda görülen demir fazlalığı sondaj borularındaki korozyondan kaynaklanabilir. Kimyasal özellikleri manganaze benzeyen demirin oksitlenmesi manganaze göre daha kolaydır. Karahayıt'taki Kızıllağın sıcak su kaynağı çevresinde gözlenen kırmızı travertenler, sıcak suların yükselirken Pamukkale ve Gölemezli sıcak sularına oranla demirce zengin oluşuklardan geçtiğini ve yüzeyde demirin oksitlendiğini gösterir. Kızıllağın'deki demir miktarının azalması (0.4 mg/l) ve kırmızı rengin giderek kaybolması, sondajlarla fazla su çekimi sonucu debinin azalması nedeniyledir.

Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynaklarında bulunan iyon ve eser elementlerin sıcaklıkla olan doğrusal ilişkileri Şekil 80, 81 ve 82'de verilmiştir.

Pamukkale Özel İdare, Belediye ve Jandarma sıcak su kaynaklarındaki katyon dağılımı,



şeklinde. Anyon dağılımı ise genellikle,



ve bazı aylarda,

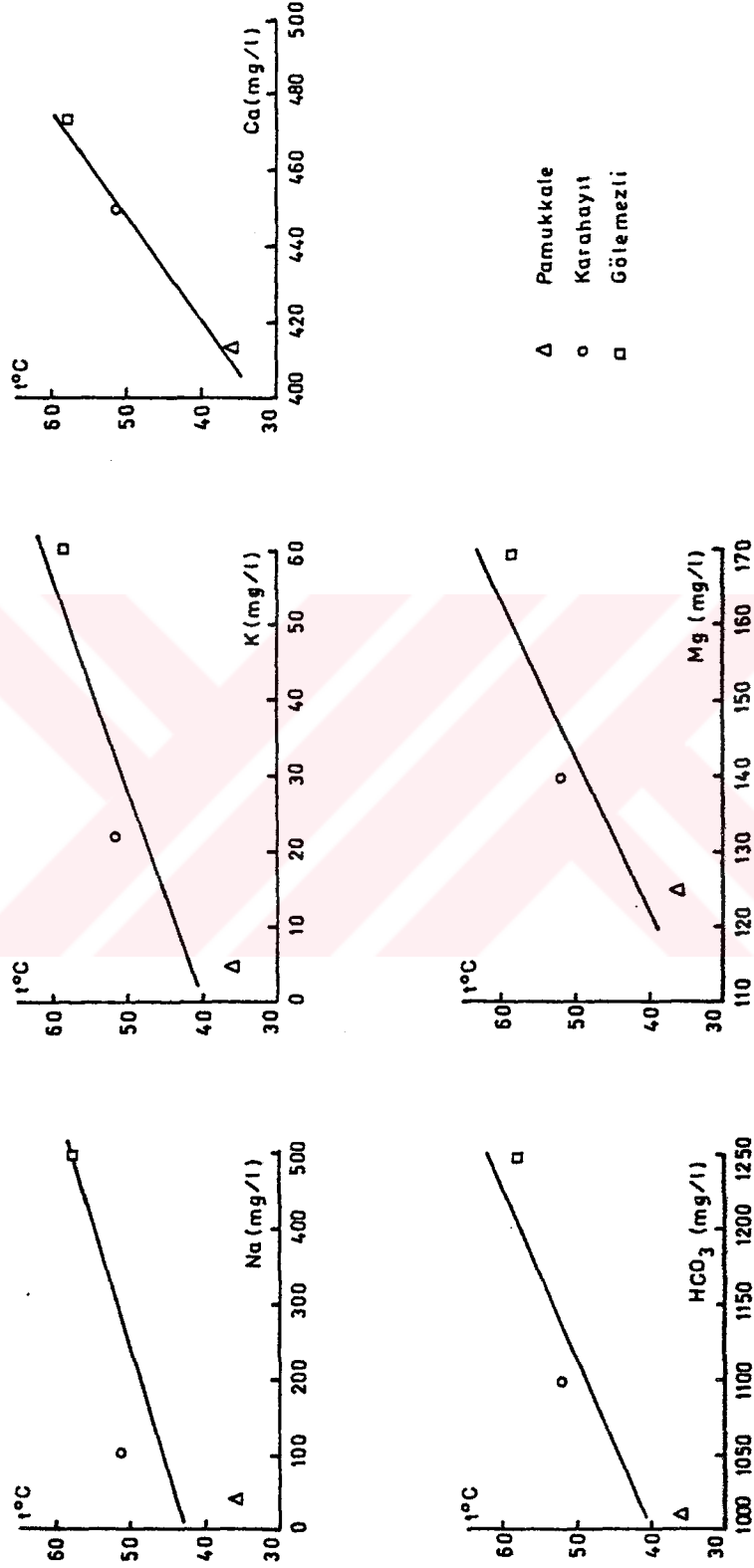


olup anyon dağılımındaki bu farklılık sıcak-soğuk su karışımlarından kaynaklanmaktadır. Pamukkale sıcak suları kalsiyumbikarbonatlı sular sınıfındadır.

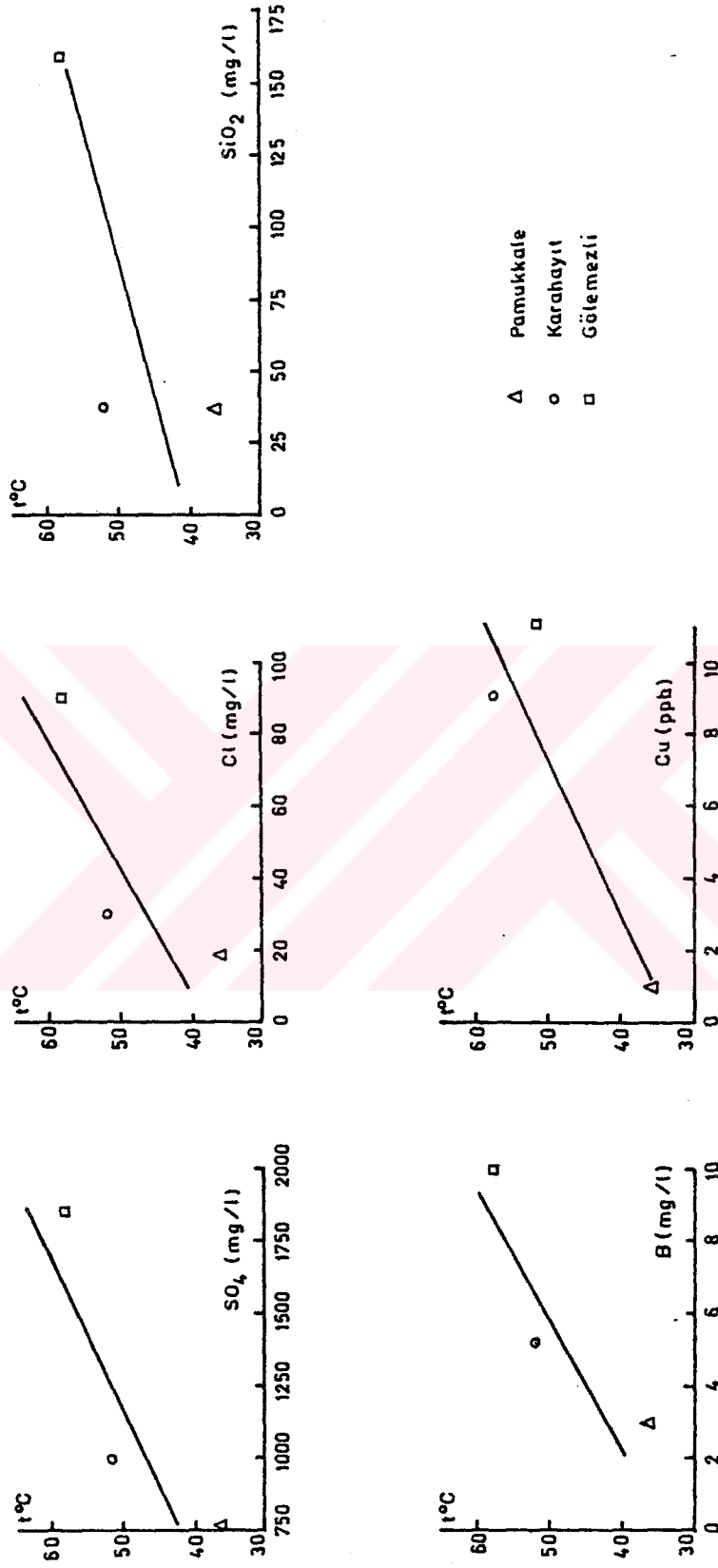
Gölemezli sıcak sularındaki iyon dağılımı şöyledir:



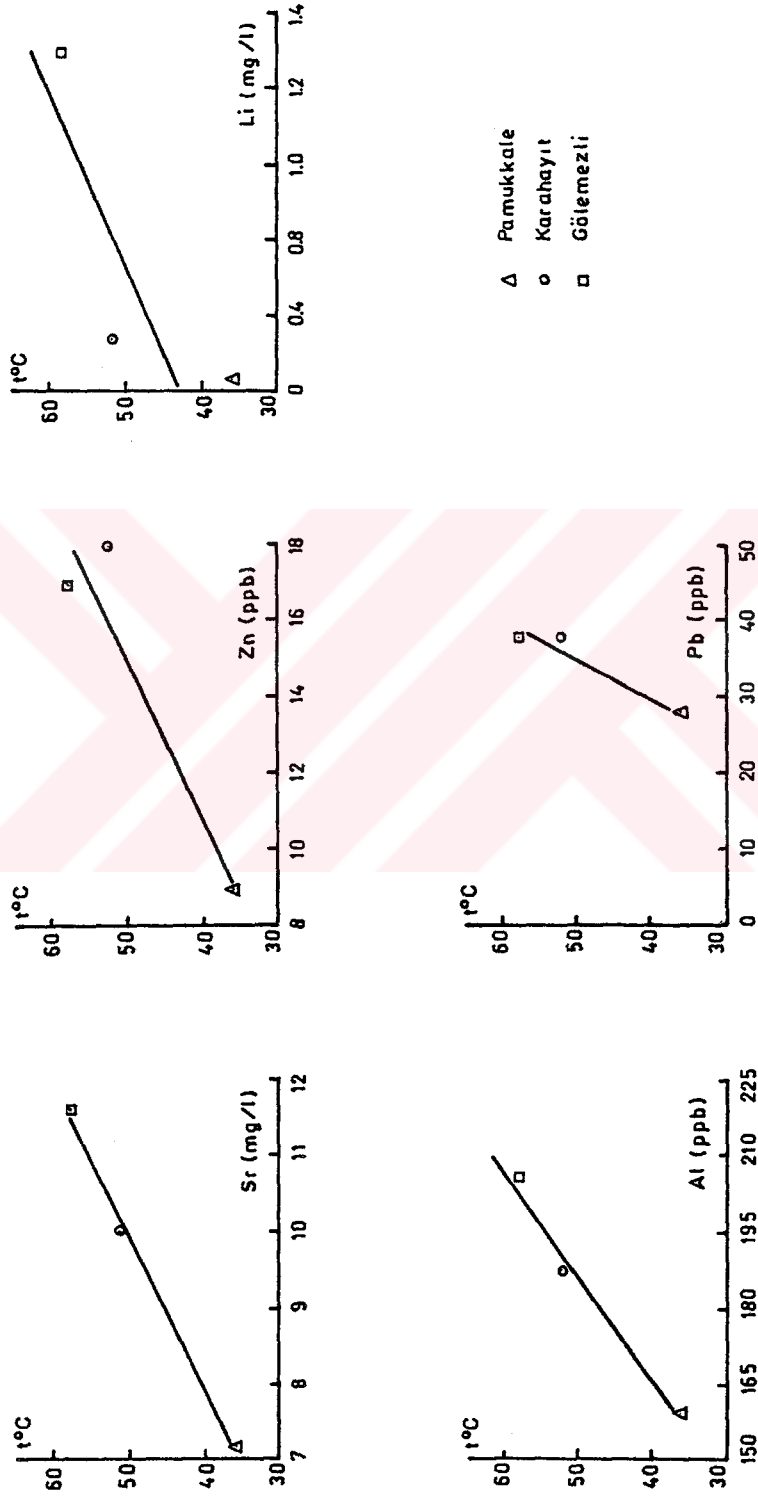
Bazı aylarda katyon dağılımındaki Na ile Ca'un yer değiştirmesi, bu aylarda soğuk su karışımının etkin olmasından kaynaklanır. Gölemezli sıcak suları, egemen olarak sodyumsülfatlı sular ile kalsiyumsülfatlı sular arasında değişim gösterir.



Şekil 80. Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynakları arasında iyon-sıcaklık ilişkisi.

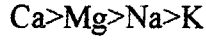


Şekil 81. Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynakları arasında iyon-sıcaklık ilişkisi.

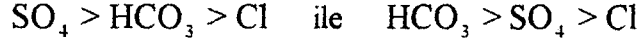


Şekil 82. Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynakları arasında iz element-sıcaklık ilişkisi.

Karahayıt Kızılleğen sıcak su kaynağı ve sıcak su sondajlarındaki katyon dağılımı,

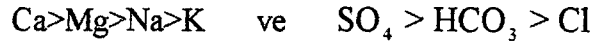


iken, anyon dağılımı ,



arasında değişir. Pamukkale ve Gölemezli sıcak suları arasında bir geçiş oluşturan Kızılleğen'deki bu anyon dağılımı olağandır.

Çürüksu Ovası'ndaki suların iyon dağılımı jeolojik yapıya uygun olarak



şeklinde dir. Kalsiyumsülfatlı sular sınıfında olan Çürüksu Ovası yeraltısuları bu yönüyle Gölemezli sıcak sularına benzerlik gösterir. Orta kesimlerde ise yer yer sülfatın yerini bikarbonat alır.

Honaz suları gibi iyon derişimi düşük Denizli yöresi yeraltısuları kalsiyumbikarbonatlı sular sınıfına girer.

Çürüksu ve Denizli ovalarındaki soğuk yeraltısularının kimyasal özellikleri inceleme alanında iki ayrı karakterde yeraltısuyunun mevcut olduğunu göstermektedir (Şekil 83). Çürüksu Ovası'nda doğudan batıya iyon derişimi yüksek, kimyasal özellikleri fazla değişken olmayan kalsiyumsülfatlı yeraltısuları bulunur. Orta kesimlerde sülfat miktarı biraz azalır. Kızıyer civarındaki sularda jips yataklarından kaynaklanan sülfat zenginleşmesi vardır. İyon derişimindeki yükselme de bu nedenledir. Kocabaş doğusu havza kenarı suları, Kızıyer ve Honaz suları ile Denizli Ovası yeraltısuları ilkel yapılarıyla benzer sulardır. Güneyden gelen bu suların iyon derişimleri ve kimyasal özelliklerindeki farklılık jeolojik formasyonlar ile ilgilidir. Çürüksu Ovası yeraltısuları ise kimyasal özelliklerini havza içinde kazanırlar. Bölge yeraltısuları doğudan ve kuzeydoğudaki Çivril-Baklan Ovasından gelen muazzam su kütleleri ile beslenirler.

5.4.1.2. Suların elektriksel iletkenliği

Suların elektriksel iletkenliği (Kondüktivite=EC) elektriği geçirme özelliğidir ve mikromho/cm ile tanımlanır. Kondüktivimetre ile ölçülen elektriksel iletkenlik sıcaklıkla artar ve değişik sular arasında karşılaştırma yapmak için genellikle 25 °C'ye indirgenerek verilir.

Sularda çözünmüş toplam katı madde miktarı ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki vardır. Bu ilişkiyi ortaya koymak amacıyla çalışma alanındaki suların EC-toplam iyon grafiği çizilmiştir (Şekil 84). Grafikteki doğrunun denklemi ,

$$y = a + bx$$

dir. Bağıntıda, y:elektriksel iletkenlik, x:toplam iyon miktarıdır.

n, toplam numune sayısı olmak üzere suların korelasyon katsayısı (r) şu bağıntıyla verilir:

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

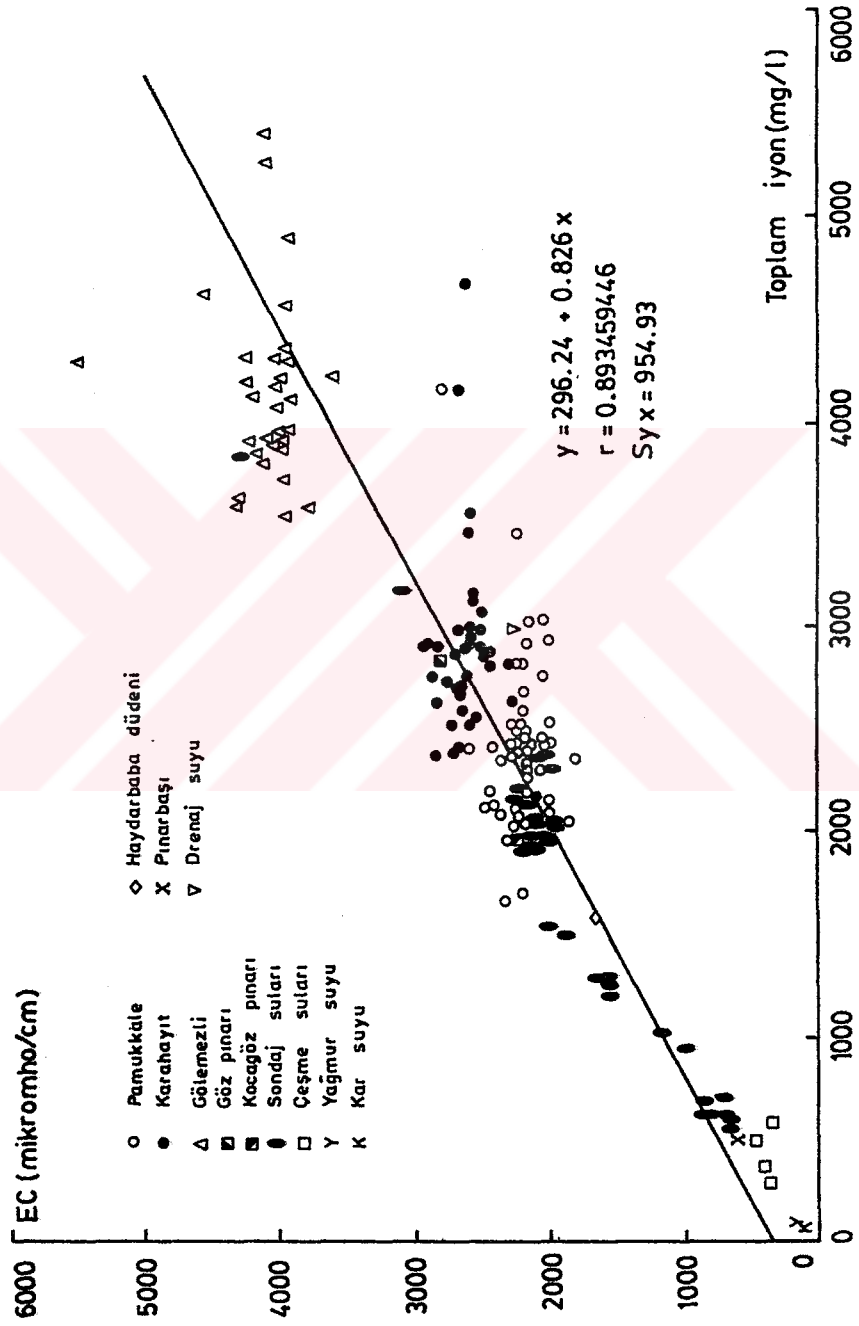
a ve b katsayılarını veren bağıntılar şunlardır.

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Standart sapma (S_{yx}):

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum y^2 - b \sum xy}{n - 2}}$$



Şekil 84. İnceleme alanı sularında toplam iyon-EC değerleri arasındaki doğrusal ilişki.

bağıntısıyla hesaplanır.

Buna göre, inceleme alanı sularında EC-toplam iyon miktarı arasındaki korelasyon katsayısı:

$$r = 0.893459446$$

regresyon denklemi:

$$y = 296.24 + 0.826x$$

ve standart sapma:

$$S_{yx} = 954.93$$

olarak hesaplanmıştır.

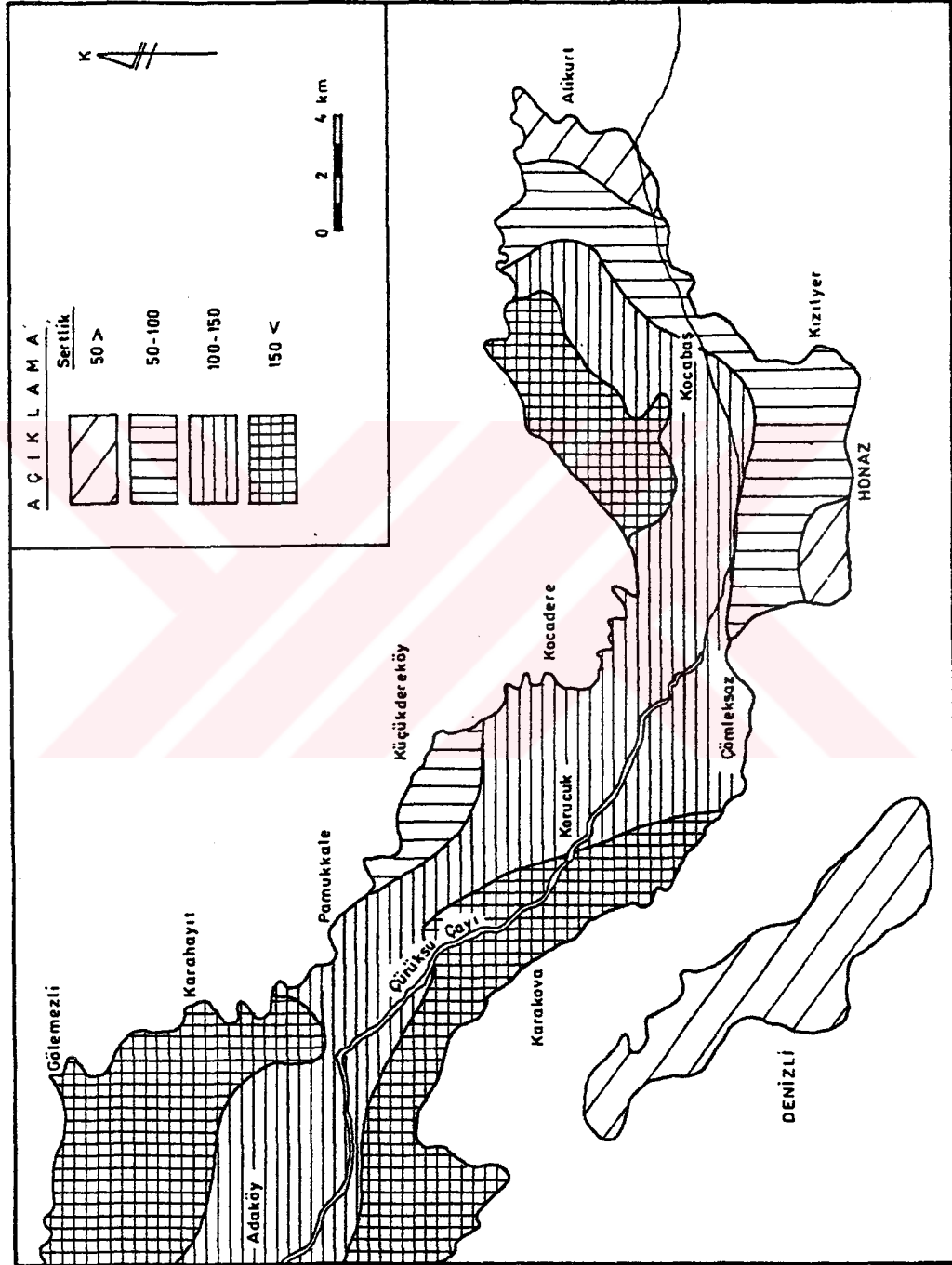
5.4.1.3. Suların sertliği

Sertlik, su içinde çözülmüş halde bulunan Ca ve Mg'un bikarbonat, sülfat, klorür ve nitratlarla yaptığı bileşiklerden meydana gelen ve bütün kullanım alanlarında su kalitesini etkileyen bir özelliktir.

İnceleme alanındaki suların Fransız sertliğine (FS) göre yapılan sertlik haritası Şekil 85'de verilmiştir. Denizli yöresi, Honaz batısı ve Alikurt civarındaki yeraltısuları içmeye uygun yumuşak sulardır. Yukarı Çürüksu Ovası'ndan başlayıp Gölemezli'ye uzanan hat boyunca suların sertliği 100°FS'den, havza güneyi ile sıcak su kaynakları civarında ise 150° FS'den fazladır.

5.4.1.4. Suların doyma endeksleri ve kısmi CO₂ gazı basınçları

Suların kalsit, dolomit, sülfat gibi tuzlarla doygunluğu hakkında bilgi edinmek, sondaj kuyuları ve su dağıtım borularında meydana gelebilecek kimyasal çökelme özelliklerinin önceden bilinmesi açısından çok önemlidir. Böylece, zamanında önlem almak mümkün olabilir. Bu nedenle inceleme alanındaki kalsit, dolomit, sülfat doyma



Şekil 85. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltı suları sertlik haritası.

endeksleri ve kısmi CO_2 gazı basınçları termodinamik yasalara dayanan hesaplama yöntemleri ile bulunmuştur.

Kimyasal analizi yapılan bir sudaki iyonların iyon etkinlikleri şu sıra izlenerek bulunmuştur:

- İyonların mg/l değerleri mol/l'ye çevrilir.
mol/l=(g/l)/Atom ağırlığı
- İyonlaşma gücü (I) bulunur.

$$I = 0.5 \left[cNa^{+1^2} + cK^{+1^2} + cCa^{++2^2} + cMg^{++2^2} + cCl^{-1^2} + cSO_4^{=2^2} + cHCO_3^{-1^2} \right]$$

Bağıtıda c , molarite dir.

- İyon etkinlik katsayısı (f_i) hesaplanır.

$$I < 0.01 \text{ için } ; \log f_i = -Az_i^2 \sqrt{I}$$

$$I < 0.1 \text{ için } ; \log f_i = \frac{-Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$$

$$I < 0.5 \text{ için } ; \log f_i = -Az_i^2 \left[\left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} \right) - 0.2I \right]$$

Bağıntılarında A , çözeltinin dielektrik sabitesi ile mutlak sıcaklığa bağlıdır, 1 atmosfer basınç ve $25^\circ C$ 'deki değeri yaklaşık 0.51'dir. z_i ise iyon değerliğini tanımlar.

- İyon etkinliği (a_i) saptanır.

$$a_i = f_i c_i \text{ veya } \log a_i = \log f_i + \log c_i$$

İyon etkinliği gerçek derişimdir ve suyun analizinden elde edilen derişimden daha küçük değerdedir. Bu yönüyle iyon etkinliği tuzların suda çözünürlüğünü, iyonlar arası tepkime hızlarını etkiler.

Hesaplamalarda kullanılan denge sabitleri aşağıdadır (25° C'de):

$$K_1 = (aH^+)(aHCO_3^-) / (aH_2CO_3) = 10^{-6.35}$$

$$K_2 = (aH^+)(aCO_3^{2-}) / (aHCO_3^-) = 10^{-10.33}$$

$$K_c = (aCa^{++})(aCO_3^{2-}) / (aCaCO_3) = 10^{-8.41}$$

$$K_d = \sqrt{(aCa^{++})} \sqrt{(aMg^{++})} (aCO_3^{2-}) / (aCaMg(CO_3)_2) = 10^{-17}$$

$$K_{CaSO_4} = (aCa^{++})(aSO_4^{2-}) / (aCaSO_4) = 10^{-2.31}$$

$$K_{CO_2} = (aH_2CO_3) / P_{CO_2} = 10^{-1.46}$$

5.4.1.4.1. Kalsit doyma endeksi (Sc)

Kalsit doyma endeksi şöyle tanımlanır:

$$S_c = \log(IAP_c / K_c)$$

$$IAP_c = (aCa^{++})(aHCO_3^-) K_2 / 10^{-pH}$$

IAP_c , kalsit iyon etkinlik çarpımıdır. Bu iki bağıntı birleştirilerek

$$S_c = \log(aCa^{++}) + \log(aHCO_3^-) + \log K_2 - \log 10^{-pH} - \log K_c$$

yazılabilir. Bağıntıda a , iyon etkinliğidir. S_c 'nin yorumu şöyledir:

$S_c > 0$ ise suda $CaCO_3$ çökmesi izlenir.

$S_c = 0$ ise su $CaCO_3$ 'a doygundur.

$S_c < 0$ ise su $CaCO_3$ çözündürür.

Ancak $S = \pm 0.1$ değerleri arası belirsiz doymuluk alanı olarak kabul edilir.

5.4.1.4.2. Dolomit doyma endeksi (Sd)

Dolomit doyma endeksi,

$$S_d = \log \sqrt{IAPd / K_d}$$

$$IAPd = (aCa^{++})(aMg^{++})(aHCO_3^-)^2 (K_2)^2 / 10^{-2pH}$$

$$S_d = 0.5 \left[\log(aCa^{++}) + \log(aMg^{++}) + 2 \log(aHCO_3^-) \right. \\ \left. + 2 \log K_2 - \log 10^{-2pH} - \log K_d \right]$$

bağıntılarıyla bulunur. $IAPd$, dolomit iyon etkinlik çarpımıdır. Dolomit doyma endeksinin yorumu kalsit doyma endeksinde olduğu gibidir.

5.4.1.4.3. Sülfat doyma endeksi (Ss)

Sülfat iyonları yeraltısularında daha çok kalsiyum iyonları ile dengededir. Sülfat doyma endeksi şöyle yazılabilir:

$$S_s = \log \left[(aCa^{++})(aSO_4^{=}) / K_{CaSO_4} \right]$$

$$S_s = \log(aCa^{++}) + \log(aSO_4^{=}) - \log K_{CaSO_4}$$

Sülfat doyma endeksi, kalsit doyma endeksinde olduğu gibi yorumlanır.

5.4.1.4.4. Suda çözünmüş kısmi CO_2 gazı basıncı (PCO_2)

Suda çözünmüş kısmi CO_2 gazı basıncı,

$$P_{CO_2} (atm) = (aH^+)(aHCO_3^-) / K_1 K_{CO_2}$$

bağıntısıyla verilir. (aH^+) , suyun pH 'ını tanımlar. Sudaki CO_2 gazı kısmi basıncı, atmosferdeki değeri olan $10^{-3.5}$ 'dan fazla ise suda çözünmüş CO_2 gazının bir kısmı atmosferle dengeyi sağlamak için sulu ortamdan atmosfere geçer ve karbonat çökmesi beklenebilir.

İnceleme alanında örneklenen suların doyma endeksleri ile kısmi CO_2 gazı basınçları Çizelge 31-39'da verilmiştir. Pamukkale ve Gölemezli sıcak su kaynakları bu değerlere göre genellikle kalsit ve dolomit çökeltten sulardır. Bazı aylarda gözlenen doygunluk ve karbonat çözündürme değerleri kalsiyum ve magnezyum iyonlarındaki azalma nedeniyledir. Karahayıt sıcak suları ise tümüyle kalsit ve dolomit çökmesi izlenen sulardır. Çürüksu ve Denizli yöresi sularında yine kalsit ve dolomit çökmesi beklenir. Suların tümü sülfat çözüdüren ve kısmi CO_2 gazı basınçları atmosferdekinden daha yüksek olan sulardır.

Çizelge 31. Özel İdare sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
08.08.1991	0.06281	0.16066	0.17432	-2.50457	-0.55817
24.11.1991	0.04524	0.12320	0.06199	-2.70447	-0.43955
24.02.1992	0.05133	0.40006	0.26668	-2.59466	-0.60138
15.04.1992	0.05469	0.04197	0.00343	-2.53516	-0.57348
22.05.1992	0.04304	-0.44418	-0.48379	-2.73243	-0.02793
29.06.1992	0.04926	0.24708	0.50776	-2.00122	-0.87008
24.07.1992	0.04159	0.08175	-0.39085	-2.73947	-0.19325
25.08.1992	0.05441	0.06751	-0.19902	-2.68957	-0.16405
29.09.1992	0.06982	0.10253	0.06748	-2.45964	-0.33585
27.10.1992	0.06917	0.13454	0.18886	-2.56082	-0.33314
24.11.1992	0.05844	0.40419	0.07574	-2.46344	-0.46698
28.12.1992	0.05456	0.44682	0.23790	-2.58017	-0.59160
29.01.1992	0.09158	-0.20990	-0.14317	-2.31000	-0.03639
25.02.1992	0.05469	-0.03230	-0.07965	-2.65593	-0.16139
29.03.1993	0.05230	0.16389	-0.03527	-2.58625	-0.38825
27.06.1993	0.05481	0.41612	0.30051	-2.52788	-0.65192

Çizelge 32. Belediye sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
08.08.1991	0.47470	0.60587	0.59788	-2.61082	-1.42930
24.11.1991	0.05797	-0.00720	-0.06691	-2.51901	-0.39387
24.02.1992	0.05293	0.39273	0.24847	-2.57739	-0.55047
15.04.1992	0.05543	-0.01365	-0.00785	-2.58038	-0.44475
22.05.1992	0.06505	-0.11271	-0.16198	-2.45061	-0.07923
29.06.1992	0.04722	0.20813	0.08221	-2.73215	-0.61177
24.07.1992	0.03594	0.05287	-0.18527	-2.94050	-0.30863
25.08.1992	0.05528	0.10551	-0.02517	-2.65263	-0.26391
29.09.1992	0.05916	0.0373	-0.00962	-2.63188	-0.17773
27.10.1992	0.07369	0.58756	0.53085	-2.46476	-0.64915
24.11.1992	0.07235	0.49871	0.45610	-2.41488	-0.64980
28.12.1992	0.05890	-0.00742	-0.01991	-2.59366	-0.28380
29.01.1992	0.10855	0.12650	0.10763	-2.07478	-0.18859
25.02.1992	0.05429	0.25953	0.04508	-2.59512	-0.31973
29.03.1993	0.06592	0.08291	0.01721	-2.42116	-0.41445
27.06.1993	0.05422	0.60997	0.52402	-2.54982	-0.72997

Çizelge 33. Jandarma sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
08.08.1991	0.04980	0.16206	-0.01000	-2.57781	-0.23572
24.11.1991	0.04648	0.09618	0.02155	-2.67263	-0.39508
24.02.1992	0.05436	0.21329	0.08127	-2.59857	-0.37683
15.04.1992	0.04815	0.01511	0.12064	-2.75663	-0.66346
22.05.1992	0.04305	-0.23288	-0.27381	-2.73411	-0.15758
29.06.1992	0.05001	0.18240	0.16656	-2.78982	-0.60614
24.07.1992	0.03508	-0.10425	-0.20057	-3.09124	-0.17421
25.08.1992	0.05504	0.09199	-0.03959	-2.67229	-0.21924
29.09.1992	0.06114	0.10623	0.02648	-2.57672	-0.23771
27.10.1992	0.06104	0.21535	-0.07180	-2.48668	-0.22179
24.11.1992	0.07219	0.50650	0.46389	-2.42153	-0.64201
28.12.1992	0.05895	0.34420	0.33218	-2.59181	-0.63346
29.01.1992	0.11195	0.13828	0.11887	-2.02453	-0.19202
25.02.1992	0.03700	0.17359	0.06753	-2.62348	-0.21073
29.03.1993	0.05720	0.00307	-0.18725	-2.56406	-0.22292
27.06.1993	0.07121	0.28138	0.33481	-2.45961	-0.58264

Çizelge 34. Kızılgeçen sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
08.08.1991	0.06541	0.30276	0.23557	-2.46150	-0.52321
24.11.1991	0.05611	0.10240	0.07873	-2.59878	-0.35881
24.02.1992	0.06610	0.05688	-0.05928	-2.45321	-0.13587
15.04.1992	0.06100	0.01993	0.09970	-2.60018	-0.50449
22.05.1992	0.08242	-0.08061	-0.09577	-2.37004	-0.26559
29.06.1992	0.05999	0.37749	0.20894	-2.54362	-0.63740
24.07.1992	0.05855	0.12611	0.00341	-2.50961	-0.31806
25.08.1992	0.06597	0.46291	0.27326	-2.46853	-0.52475
29.09.1992	0.07038	0.07406	0.04723	-2.50821	-0.20624
27.10.1992	0.08704	0.28016	0.33300	-2.38756	-0.45924
24.11.1992	0.08734	0.59679	0.56205	-2.30255	-0.76516
28.12.1992	0.07170	0.25346	0.24444	-2.47852	-0.40594
29.01.1993	0.12419	0.19798	-0.01080	-1.87554	-0.23454
25.02.1993	0.06221	0.06408	0.05158	-2.60094	-0.20360
29.03.1993	0.07161	0.02570	-0.05378	-2.41068	-0.22372
27.06.1993	0.05990	0.16876	0.15670	-2.94704	-0.78605

Çizelge 35. Gölemezli-Yeni Hamam sıcak su kaynağının I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
08.08.1991	0.08701	0.09198	0.16938	-2.49353	-0.52289
24.11.1991	0.07506	0.22827	0.31580	-2.63993	-0.68969
24.02.1992	0.08856	-0.28912	-0.33978	-2.40994	0.13167
15.04.1992	0.08637	0.19911	0.15236	-2.34517	-0.61507
22.05.1992	0.08121	0.29110	-0.35781	-2.54790	-0.15715
29.06.1992	0.07704	0.39774	0.34916	-2.42205	-0.59994
24.07.1992	0.08044	0.10200	-0.53731	-2.31712	-0.13075
25.08.1992	0.09284	0.11515	0.07677	-2.42055	-0.22968
29.09.1992	0.09681	0.10315	-0.10119	-2.37462	0.03245
27.10.1992	0.08627	0.16401	0.17793	-2.48586	-0.26469
28.12.1992	0.09330	0.10349	0.17001	-2.44099	-0.27436
29.01.1993	0.13166	0.19927	-0.03470	-2.19834	-0.02436
25.02.1993	0.10094	0.03948	0.12884	-2.40905	-0.22327
29.03.1993	0.09094	-0.00115	-0.14864	-2.31902	-0.23646
27.06.1993	0.08746	0.39490	0.41871	-2.47255	-0.72163

Çizelge 36. Suların I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

NO	ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
P-4	29.03.1993	0.05366	0.92654	0.73700	-2.52421	-1.11647
	27.06.1993	0.05712	0.43570	0.34747	-2.60324	-0.65863
P-5	27.06.1993	0.05492	0.41605	0.30574	-2.53354	-0.62139
P-6	29.03.1993	0.05594	0.45025	0.28871	-2.52891	-0.59917
P-7	29.03.1993	0.05582	0.37130	0.60256	-2.53728	-0.91296
K-2	24.02.1992	0.06537	0.42220	0.30867	-2.46305	-0.48771
	15.04.1992	0.05825	0.20936	0.20913	-2.57200	-0.60414
	22.05.1992	0.04114	0.04240	-0.07661	-2.31552	-0.06159
	29.06.1992	0.06971	0.35718	0.10049	-2.33540	-0.73653
	24.07.1992	0.05302	0.28941	0.04900	-2.57982	-0.36588
	25.08.1992	0.06235	0.32012	0.20516	-2.59061	-0.38930
	29.09.1992	0.07394	0.34393	0.35887	-2.53664	-0.36754
	27.10.1992	0.08540	0.55964	0.47739	-2.33896	-0.50754
	24.11.1992	0.07464	0.78693	0.67365	-2.39703	-0.83739
	29.03.1993	0.06624	0.36009	0.14906	-2.41469	-0.43254
	27.06.1993	0.06196	0.62597	0.59971	-2.54686	-0.76371
K-3	08.08.1991	0.06972	0.32197	0.26538	-2.42299	-0.51531
	24.11.1991	0.06631	0.22309	0.06017	-2.43112	-0.26587
K-4	08.08.1991	0.05141	0.40606	0.15158	-2.57315	-0.60289
	24.11.1991	0.06694	0.48398	0.31283	-2.41530	-0.53016
	24.02.1992	0.06187	0.66382	0.58832	-2.52722	-0.77723
	15.04.1992	0.05812	0.42162	0.43000	-2.58071	-0.80806
	22.05.1992	0.06606	0.00855	-0.11165	-2.44183	-0.12983
	20.01.1993	0.12730	0.62982	0.67026	-2.00416	-0.66955

Çizelge 37. Suların I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

NO	ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
K-5	29.01.1993	0.11127	0.51550	0.64746	-2.18822	-0.65893
K-6	27.06.1993	0.07509	0.11527	0.34845	-2.41409	-0.67683
K-7	27.06.1993	0.04864	0.70276	0.82924	-2.78319	-1.70207
K-8	27.06.1993	0.05658	0.38655	0.35979	-2.52031	-1.09799
K-9	08.08.1991	0.02317	0.43228	0.54517	-3.10508	-2.55223
	24.11.1991	0.00881	-0.13805	-0.52355	-3.69957	-1.93515
	24.02.1992	0.00398	-0.04067	-0.60831	-4.89760	-2.28307
G-2	15.04.1992	0.09254	-0.39590	-0.06533	-2.66985	-0.37300
	22.05.1992	0.09055	-0.13388	-0.13100	-2.35595	-0.09854
	29.06.1992	0.08274	0.63946	0.36048	-2.37655	-0.83382
	24.07.1992	0.08436	0.03699	0.06645	-2.47793	-0.34179
	25.08.1992	0.09149	0.29366	0.23770	-2.41094	-0.43382
	29.09.1992	0.09599	0.00297	0.03563	-2.37389	-0.26573
	27.10.1992	0.10020	0.45446	0.49034	-2.30848	-0.36619
	28.12.1992	0.08620	0.30916	0.26194	-2.41164	-0.50061
G-3	24.11.1992	0.11062	0.80996	0.68837	-2.11531	-0.78102
	28.12.1992	0.09331	0.30145	0.33644	-2.40503	-0.47631
	29.01.1993	0.12412	0.12460	0.15292	-2.11999	-0.20530
	25.02.1993	0.08731	0.31286	0.32161	-2.48783	-0.31584
	29.03.1993	0.09285	0.44901	0.36703	-2.46129	-0.67246
	27.06.1993	0.10038	0.65917	0.67812	-2.36633	-0.90938
G-4	15.04.1992	0.08514	-0.49138	0.19976	-2.73895	-0.19690
	29.06.1992	0.07705	0.46830	0.34163	-2.42205	-0.59938
G-5	15.04.1992	0.08173	0.10117	0.12123	-2.33819	-0.78582
G-6	15.04.1992	0.07837	0.11007	0.08064	-2.36614	-0.84671
G-7	08.08.1991	0.08964	0.43543	0.49133	-2.41673	-1.02830
G-8	15.04.1992	0.01061	0.13954	0.26711	-2.01148	-2.08469
Y-1	18.02.1992	0.02109	-3.20875	-3.16019	-2.03179	-1.48184
KR-1	05.02.1992	0.00162	-	-	-	-1.52882
1	04.09.1993	0.05615	-0.15994	-0.05272	-2.47956	-0.90634
2	04.09.1993	0.05216	-0.07630	-0.12013	-2.57138	-0.80621
3	04.09.1993	0.05537	-0.04470	-0.17112	-2.51575	-0.79676
4	04.09.1993	0.06336	-0.00401	0.03319	-2.46281	-0.87749
5	04.09.1993	0.06210	0.00616	0.00158	-2.44699	-0.81266
6	04.09.1993	0.05612	0.03139	-0.08065	-2.45099	-0.82801

Çizelge 38. Suların I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

NO	ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
7	04.09.1993	0.05567	-0.00243	-0.07808	-2.47726	-0.83557
8	04.09.1993	0.06229	-0.03071	0.04731	-2.50589	-0.94177
9	04.09.1993	0.05954	-0.06694	-0.07393	-2.48196	-0.80749
10	04.09.1993	0.06149	-0.07130	-0.02895	-2.47473	-0.87708
11	04.09.1993	0.05669	0.01751	0.00140	-2.51823	-1.20515
12	04.09.1993	0.05223	0.03264	-0.08033	-2.56399	-0.75013
13	04.09.1993	0.05674	0.14121	0.09593	-2.50696	-0.88975
14	04.09.1993	0.05274	0.10092	0.02897	-2.57779	-0.84013
15	04.09.1993	0.04712	0.08507	-0.12233	-2.70008	-0.70407
16	04.09.1993	0.04968	0.01625	-0.04722	-2.57531	-0.82194
17	04.09.1993	0.03572	0.06109	-0.29631	-2.78310	-0.74799
18	04.09.1993	0.03533	0.05516	-0.14390	-2.85111	-0.78420
19	04.09.1993	0.02861	0.14295	-0.22043	-2.94387	-0.97727
20	04.09.1993	0.03908	0.48173	0.39231	-2.77378	-1.32608
21	04.09.1993	0.04928	0.26419	0.23378	-2.59719	-0.94109
22	04.09.1993	0.02155	0.17716	0.52621	-3.64327	-1.89901
23	04.09.1993	0.01735	0.17700	0.53032	-3.90176	-1.93184
24	04.09.1993	0.03502	0.32798	0.19780	-3.64491	-1.94307
25	04.09.1993	0.03657	0.38697	0.30822	-3.67171	-2.07724
26	04.09.1993	0.03471	0.40028	0.36835	-3.44305	-2.02108
27	04.09.1993	0.02261	0.36189	0.21917	-3.33558	-1.19803
28	04.09.1993	0.01048	0.33403	0.19100	-4.87641	-1.92629
29	04.09.1993	0.01623	0.21309	0.23811	-2.67615	-1.72136
30	04.09.1993	0.01273	0.46101	0.43711	-3.65935	-2.07629
31	04.09.1993	0.01148	0.48838	0.45523	-2.74335	-2.16872
32	04.09.1993	0.01354	0.30524	0.39703	-3.66273	-2.04753
42	29.06.1992	0.04719	0.14084	0.16443	-2.72663	-0.59266
43	29.06.1992	0.04625	0.09974	0.16012	-2.79606	-0.60110
44	29.06.1992	0.04908	0.09961	0.12372	-2.90531	-0.63042
45	29.06.1992	0.05375	0.08863	0.20149	-2.82584	-0.69497
46	08.08.1991	0.05117	0.24358	0.05977	-2.52123	-0.67020
47	08.08.1991	0.07130	0.33125	0.36667	-2.42868	-0.90800
48	08.08.1991	0.04727	0.11950	0.02213	-2.58128	-0.67081

Çizelge 39. Suların I, Sc, Sd, Ss, Pco₂ değerleri.

NO	ALINDIĞI TARİH	I	Sc	Sd	Ss	Pco ₂
33	18.11.1991	0.01185	0.04916	018822.	-2.07611	-1.88486
34	08.06.1992	0.04878	0.16332	040318.	-2.83937	-1.73198
35	08.06.1992	0.02951	0.35310	002634.	-2.41051	-1.39520
36	08.06.1992	0.04265	0.03116	007937.	-2.82620	-0.78256
37	08.05.1992	0.02313	0.41588	082617.	-2.89328	-1.84650
38	--.1975	0.04341	0.09874	015070.	-2.69629	-1.21841
39	30.04.1986	0.03569	0.65485	072530.	-2.88763	-1.80253
40	21.10.1987	0.05158	0.10935	012145.	-2.59107	-0.89846
41	21.10.1987	0.06084	0.50609	055377.	-2.65549	-0.74823
D-1	09.10.1986	0.00863	0.50892	0.76306	-4.84926	-2.20247
D-2	18.04.1986	0.00724	-0.04668	-0.02467	-4.72151	-2.28516
D-3	31.03.1990	0.00941	0.49697	0.43025	-5.55966	-2.10336
D-4	13.12.1990	0.01049	0.23488	0.25545	-4.89816	-1.74570
D-6	17.04.1990	0.00834	0.45547	0.45805	-4.93507	-2.35653
D-6	03.02.1988	0.00986	-0.00851	-0.08347	-4.50930	-1.89818
D-7	11.10.1987	0.00860	-0.08677	-0.06691	-5.87607	-1.62451
D-8	09.07.1986	0.00697	-0.02670	-0.18412	-4.65875	-2.42910
D-9	13.11.1987	0.00809	0.03148	0.12849	-4.89862	-1.99778
D-10	02.08.1986	0.00875	0.10643	0.04629	-4.17067	-2.02651
D-11	22.04.1987	0.00676	-0.46666	-0.35412	-4.36530	-1.94284
D-12	28.02.1987	0.00810	0.17201	0.27095	-4.50902	-2.19340
D-13	11.12.1987	0.01155	0.14590	0.13266	-4.03759	-1.94671

5.4.2. Suların kimyasal sınıflaması

5.4.2.1. Çözünmüş toplam katı madde miktarlarına göre sınıflama

Bu sınıflamada toplam iyon miktarı 1000 mg/l'den az olan sular tatlı sular sınıfına girer. Şekil 86'da çalışma alanının toplam iyon haritası verilmiştir. Denizli civarı ile Honaz ve Alikurt yöreleri tatlı sular sınıfına girer. Havzanın doğusunda Gölemezli'ye doğru toplam iyon miktarı dereceli olarak artar ve Gölemezli'de 4000 mg/l'ye erişir. Bu sular hafif tuzlu sular sınıfındadır. Şekil, soğuk yeraltısularından sıcak sulara geçişi temsil etmesi açısından anlamlıdır.

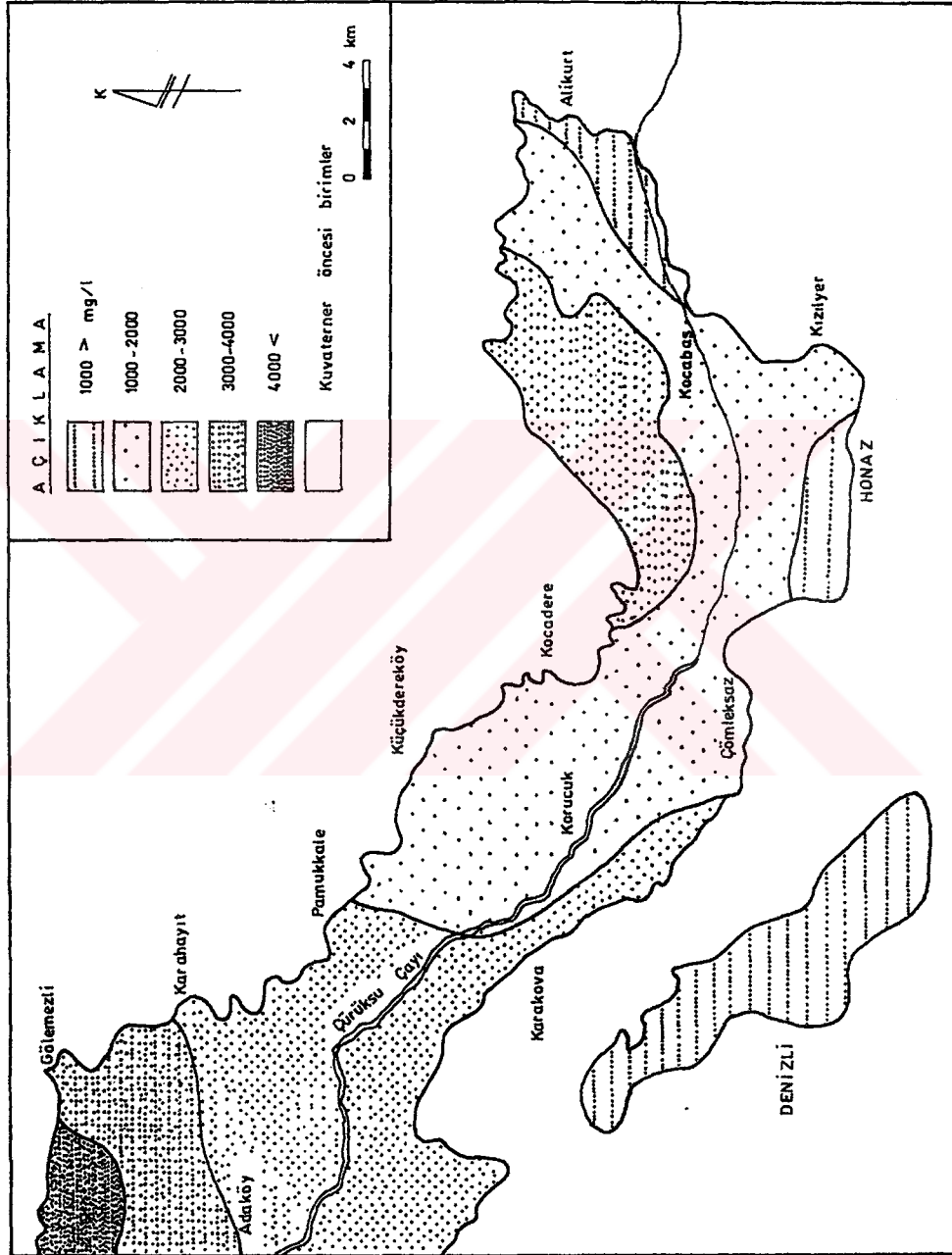
5.4.2.2. Schoeller sınıflaması

Schoeller, suları klorür, sülfat ve bikarbonat miktarlarına göre sınıflandırmıştır. Bu sınıflamaya göre Pamukkale ve Karahayıt sıcak suları olağan klorürlü ($rCl < 15$), oligosülfatlı ($6 < rSO_4 < 24$), hiperkarbonatlı ($rHCO_3 + rCO_3 > 7$) sular; Gölemezli sıcak suları ise olağan klorürlü, sülfatlı ($24 < rSO_4 < 58$), hiperkarbonatlı sular sınıfına girmektedir. Suların Schoeller sınıflaması Çizelge 40-43'de verilmiştir.

5.4.2.3. Piper sınıflaması

Piper, üçgen diyagramlarla suları sınıflandırmıştır. Bu sınıflamaya göre her bir üçgende, anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür. İnceleme alanındaki suların içerdiği iyonlar % mek/l cinsinden Piper diyagramlarına yerleştirilmiştir (şekil 87-91). Suların Piper sınıflaması (Freeze and Cherry, 1979; Şahinci 1986-b) şöyledir:

Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak suları alkali toprak elementlerin (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) fazla olduğu, iyonların hiçbirini %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girmektedir. Gölemezli sıcak sularında bazı aylarda alkali elementler, alkali toprak elementlerinden daha baskındır. Pamukkale suları, karbonat sertliği %50'den fazla olan sular, Karahayıt ve Gölemezli suları ise güçlü asit kökleri, zayıf asit köklerinden büyük olan sulardır.



Şekil 86. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltılarında toplam iyon miktarlarındaki dağılım.

Çizelge 40. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilme özellikleri.

NO	ALINDIĞI TARİH	SCHOELLER SINIFLAMASI	SULAMA SUYU SINIFI	İÇİLEBİLİRLİK ÖZELLİĞİ	KAYNARKEN KÖPÜRME ÖZELLİĞİ
P1	Ortalama	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
P2	Ortalama	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
P3	Ortalama	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
P4	29.03.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
	27.06.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
P-5	27.06.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
P-6	29.03.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
P-7	29.03.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
K-1	Ortalama	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	24.02.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	15.04.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	22.05.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	29.06.1992	Olağan klorürlü-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
K-2	24.07.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	25.08.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	29.09.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köpüren sular
	27.10.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köpüren sular
	24.11.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	29.03.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	27.06.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
K-3	08.08.1991	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	24.11.1991	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	08.08.1991	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	24.11.1991	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
K-4	24.02.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	15.04.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	22.05.1992	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
	29.01.1993	Olağan klorürlü-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köpüren sular
K-5	29.01.1993	Olağan klorürlü-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köpüren sular
K-6	27.06.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
K-7	27.06.1993	Olağan klorürlü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılamaz	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular

Çizelge 41. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabileme özellikleri.

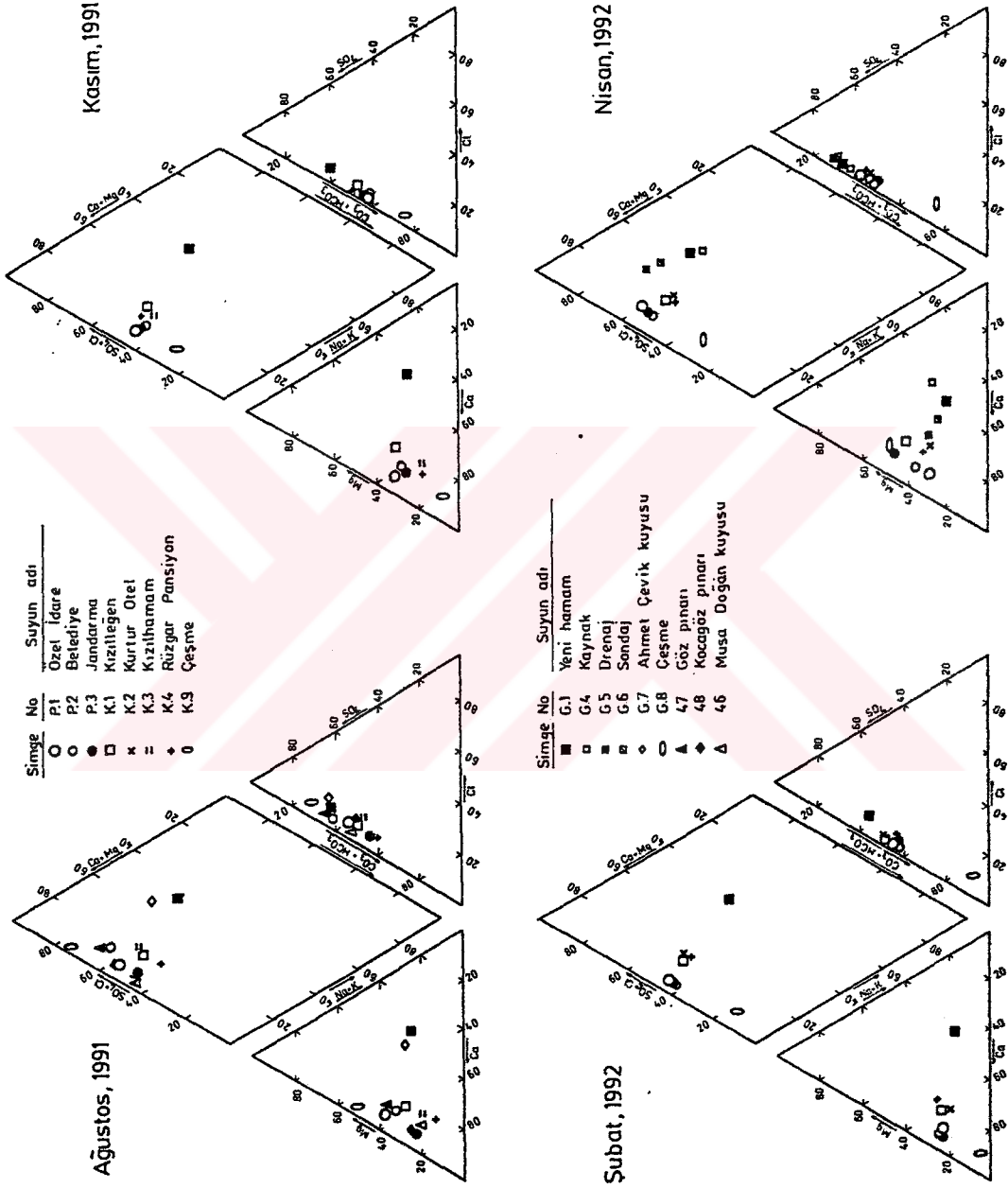
NO	ALINDIĞI TARİH	SCHOELLER SINIFLAMASI	SULAMA SUYU SINIFI	İÇİLEBİLİRLİK ÖZELLİĞİ	KAYNARKEN KÖPÜRME ÖZELLİĞİ
K-8	27.06.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Çok köptren sular
K-9	08.08.1991	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-olağankarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köptremeyen sular
	24.11.1991	Olağan kloritrit-olağanüstüfatlı-olağankarbonatlı	İyi	Çok iyi kaliteli sular	Köptremeyen sular
	24.02.1992	Olağan kloritrit-olağanüstüfatlı-olağankarbonatlı	İyi	Çok iyi kaliteli sular	Köptremeyen sular
G-1	Ortalama	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	15.04.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	22.05.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
G-2	29.06.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	24.07.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	25.08.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	29.09.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	27.10.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	28.12.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	24.11.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	28.12.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
G-3	29.01.1993	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	İçilemez	Çok köptren sular
	25.02.1993	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	29.03.1993	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	27.06.1993	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	15.04.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	29.06.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	15.04.1992	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
	08.08.1993	Olağan kloritrit-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Zorunlu olmadıkça içilemez	Çok köptren sular
G-8	15.04.1992	Olağan kloritrit-olağanüstüfatlı-hiperkarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köptremeyen sular
1	04.09.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köptren sular
2	04.09.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köptren sular
3	04.09.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köptren sular
4	04.09.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köptren sular
5	04.09.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köptren sular
6	04.09.1993	Olağan kloritrit-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köptren sular

Çizelge 42. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilirlik özellikleri.

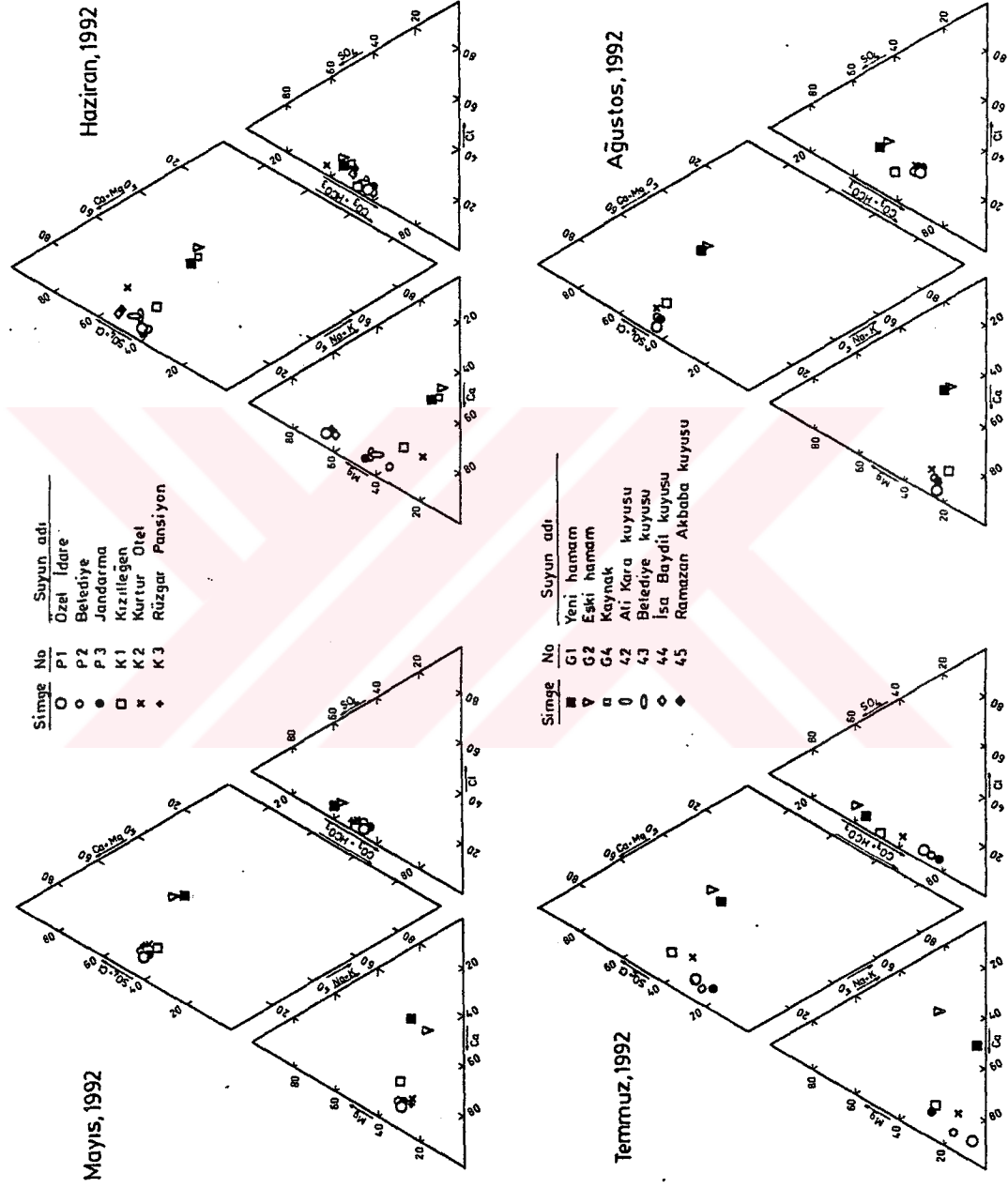
NO	ALINDIĞI TARİH	SCHOELLER SINIFLAMASI	SULAMA SUYU SINIFI	İÇİLEBİLİRLİK ÖZELLİĞİ	KAYNARKEN KÖPÜRMİYE ÖZELLİĞİ
7	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
8	04.09.1993	Olağan klorürü-sülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
9	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
10	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
11	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-olağankarbonatlı	Kullanılmaz	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
12	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
13	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
14	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
15	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
16	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
17	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
18	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köpüren sular
19	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köpüren sular
20	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
21	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
22	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
23	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-olağankarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
24	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
25	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-olağankarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
26	04.09.1993	Olağan klorürü-oligosülfatlı-olağankarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
27	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köpürmeyen sular
28	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-olağankarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
29	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-olağankarbonatlı	Kullanılabilir	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
30	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-olağankarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
31	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-olağankarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
32	04.09.1993	Olağan klorürü-olağansülfatlı-olağankarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular

Çizelge 43. Suların Schoeller sınıflaması ve kullanılabilirlik özellikleri.

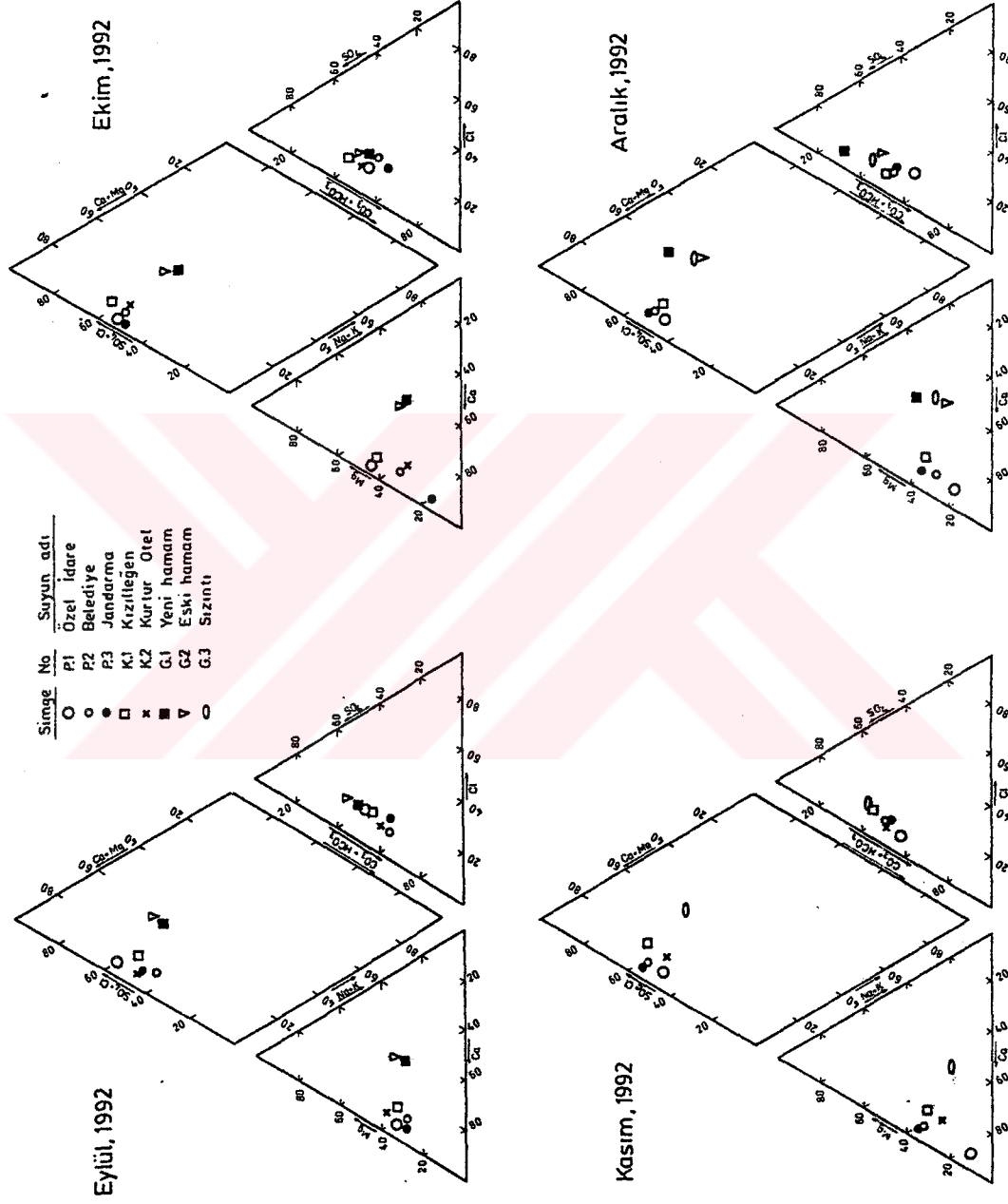
NO	ALINDIĞI TARİH	SCHOELLER SINIFLAMASI	SULAMA SUYU SINIFI	İÇİLEBİLİRLİK ÖZELLİĞİ	KAYNARKEN KÖPÜRME ÖZELLİĞİ
33	18.11.1991	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-olağankarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
34	08.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-olağankarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
35	08.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-olağankarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köpüren sular
36	08.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
37	08.05.1992	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köpüren sular
38	--.1975	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
39	30.04.1986	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Kullanılabilir	Orta kaliteli sular	Köpürmeyen sular
40	21.10.1987	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpürmeyen sular
41	21.10.1987	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
42	29.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
43	29.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
44	29.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
45	29.06.1992	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
46	08.08.1991	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
47	08.08.1991	Olağan klorürüt-stülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Çok köpüren sular
48	08.08.1991	Olağan klorürüt-oligosülfatlı-hiperkarbonatlı	Şüpheli	Kötü kaliteli sular	Köpüren sular
D-1	09.10.1986	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-2	18.04.1986	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-3	31.03.1990	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-4	13.12.1990	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-5	17.04.1990	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-6	03.02.1988	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-7	11.10.1987	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-8	09.07.1986	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-9	13.11.1987	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-10	02.08.1986	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-11	22.04.1987	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-12	28.02.1987	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
D-13	11.12.1987	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	İyi	İyi kaliteli sular	Köpüren sular
Y-1	18.02.1992	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	Çok İyi	Çok iyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular
KR-1	05.02.1992	Olağan klorürüt-olağanstülfatlı-hipokarbonatlı	Çok İyi	Çok iyi kaliteli sular	Köpürmeyen sular



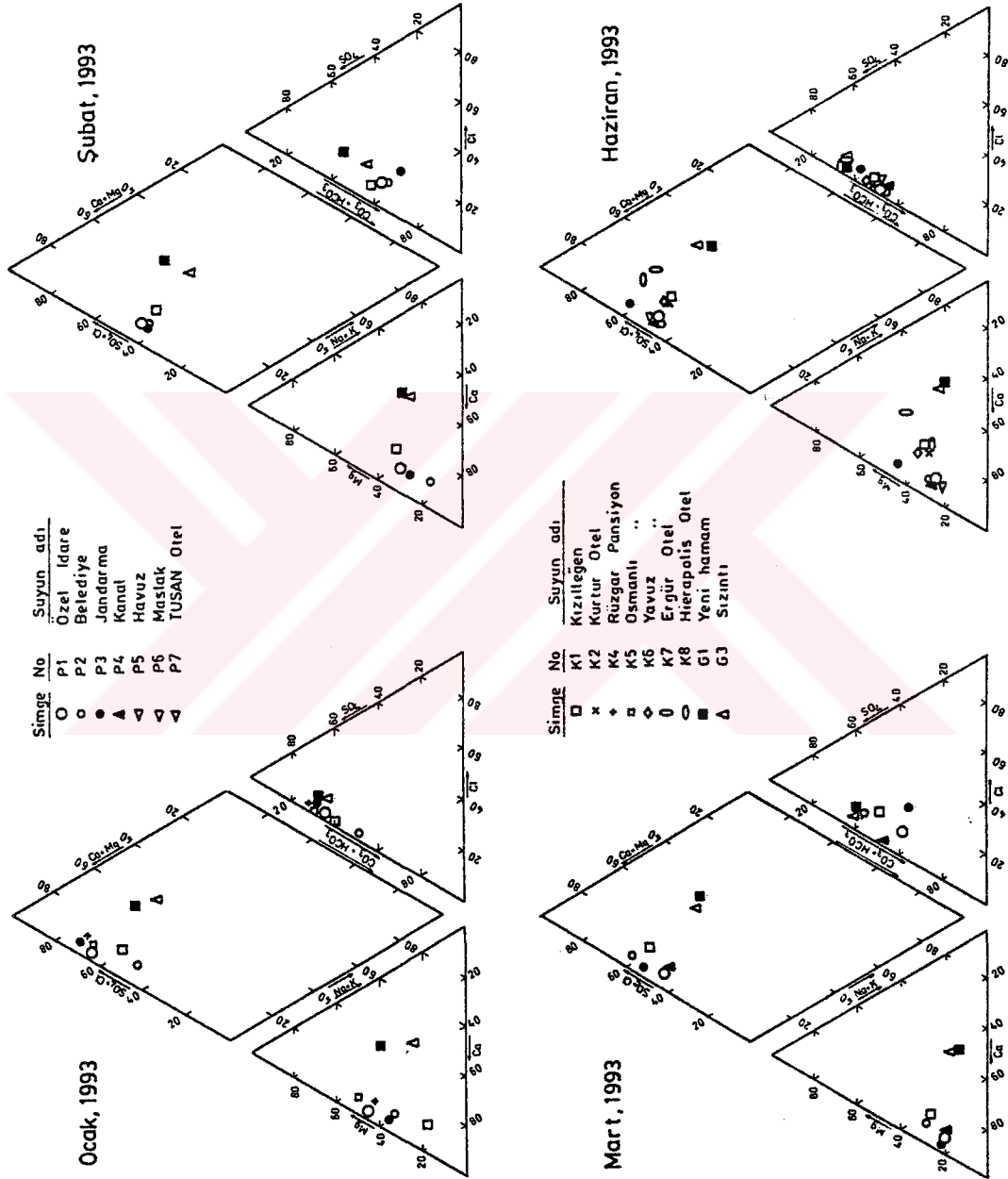
Şekil 87. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.



Şekil 88. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.



Şekil 89. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.



Şekil 90. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.



Şekil 91. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı.

Çürüksu Ovası yeraltı suları genel olarak, alkali toprak elementleri alkali elementlerden, güçlü asit kökleri zayıf asit köklerinden büyük ve karbonat olmayan sertliği (özellikle CaSO_4) %50'den fazla olan sular sınıfına girmektedir.

Denizli Ovası yeraltı suları ise, alkali toprak elementleri alkali elementlerden, zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden büyük, karbonat sertliği %50'den fazla olan sular sınıfındadır.

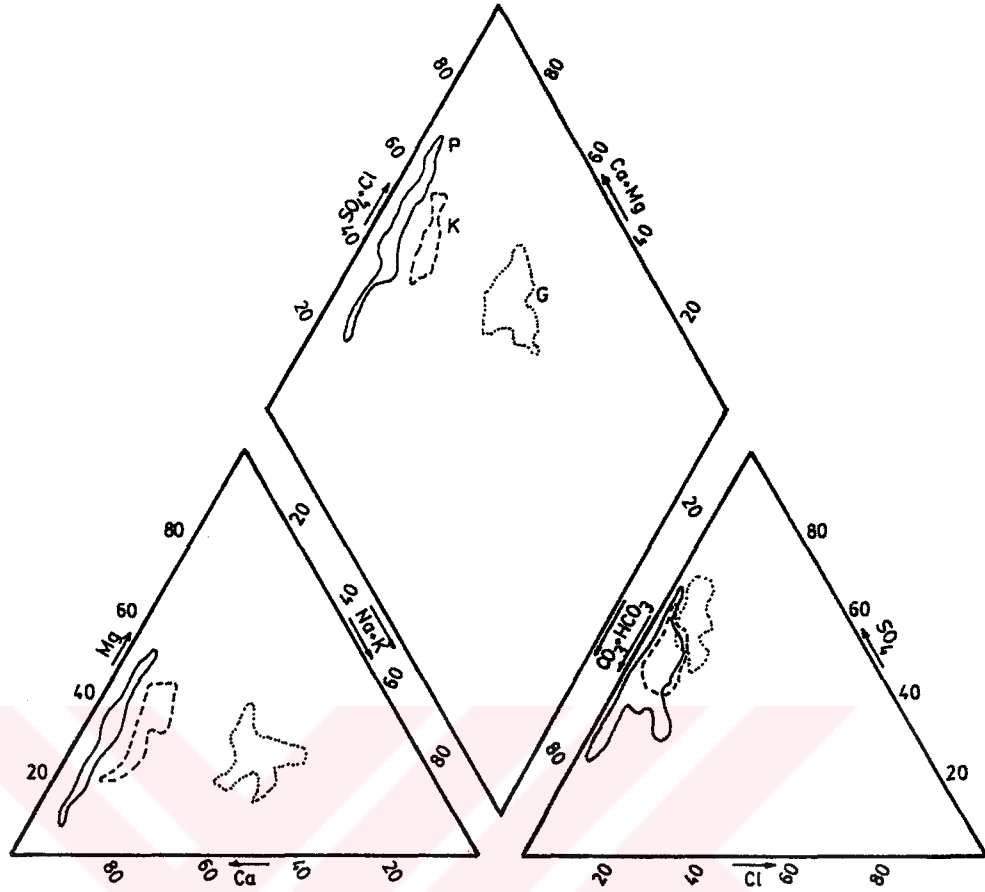
Şekil 49-60'ın diğer bir gösterimi olan şekil 87-91'den çıkarılan sonuçlar şunlardır:

Pamukkale Özel İdare, Belediye ve Jandarma sıcak su kaynakları aynı kimyasal kompozisyona sahip sulardır. Gölemezli Yeni Hamam, Eski Hamam, Sızıntı ve Kaynak sularının özellikleri benzerdir. Karahayit'da değişik sıcak su sondajlarından alınan suların kimyasal özellikleri Kızıltepe sıcak su kaynağı ile aynıdır.

Şekil 92'de Pamukkale, Karahayit ve Gölemezli sıcak suları periyodik analizlerinin Piper diyagramında sınırladığı alanlar görülmektedir. Şekil, gözlem yapılan aylar boyunca Pamukkale sıcak sularında Na + K'un sabit, ancak Mg ve SO_4 'ün geniş bir yayılım alanı olduğunu; aynı özelliklerin Pamukkale'deki kadar olmasa bile Karahayit sıcak sularında da bulunduğunu; Gölemezli sıcak suları kimyasal kompozisyonunun ise daha dengeli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bu diyagram, Pamukkale'den Gölemezli'ye yüzeye yakın, soğuk yeraltı sularıyla karışan sıcak sulardan, daha derinden gelen ve soğuk su karışımı az olan sıcak sulara geçişi açıkça ortaya koymaktadır.

5.4.3. Suların kullanılabilme özellikleri.

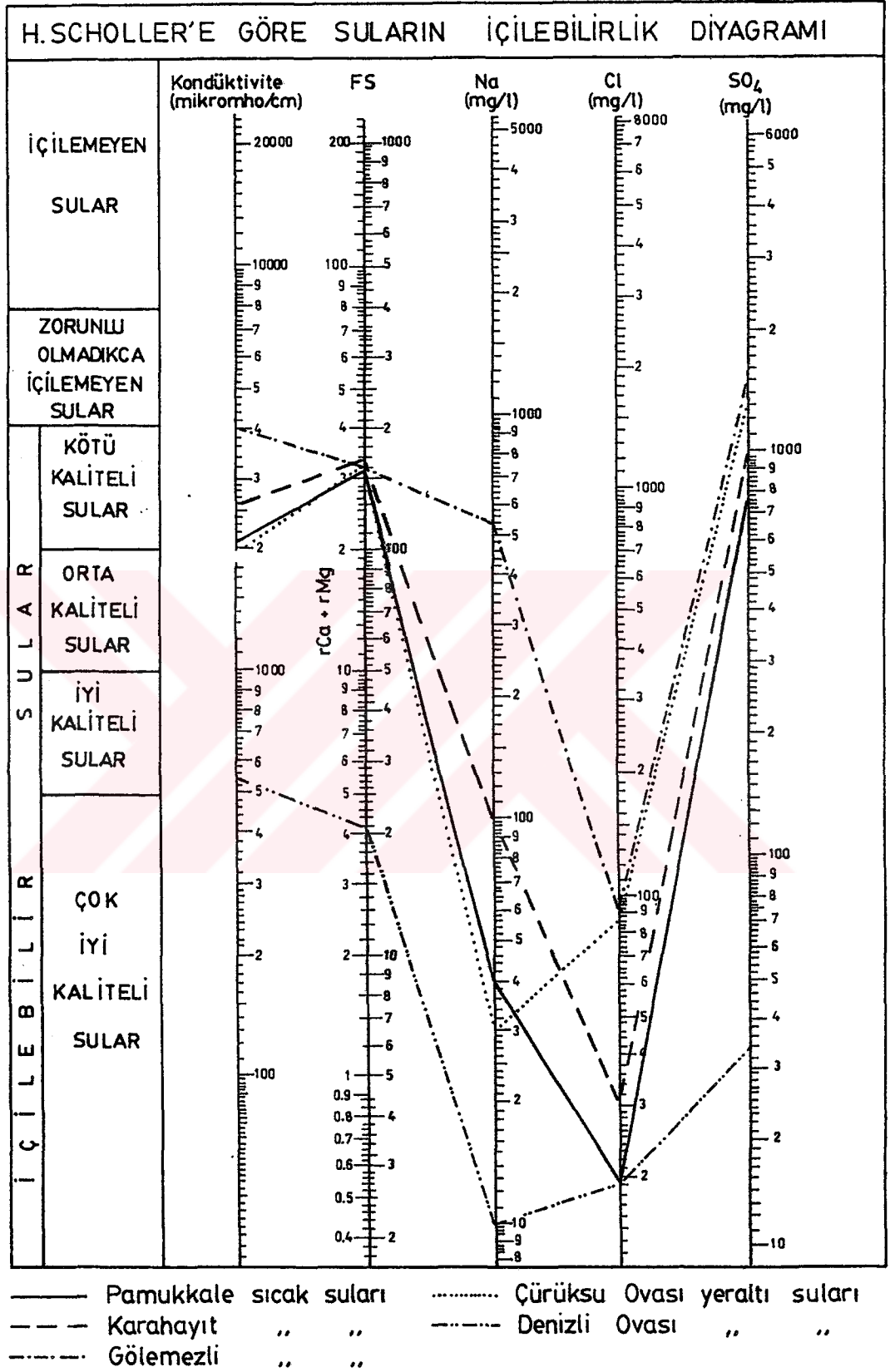
Doğal suların çok değişik kullanım amaçları vardır. Suların sıcaklığı, debisi, iyon derişimi ve kimyasal özellikleri kullanım alanlarını belirleyen etkenlerdir. Bu bölümde inceleme alanındaki suların içme, tarımda sulama ve endüstride kullanılabilme özelliklerinden söz edilmiştir.



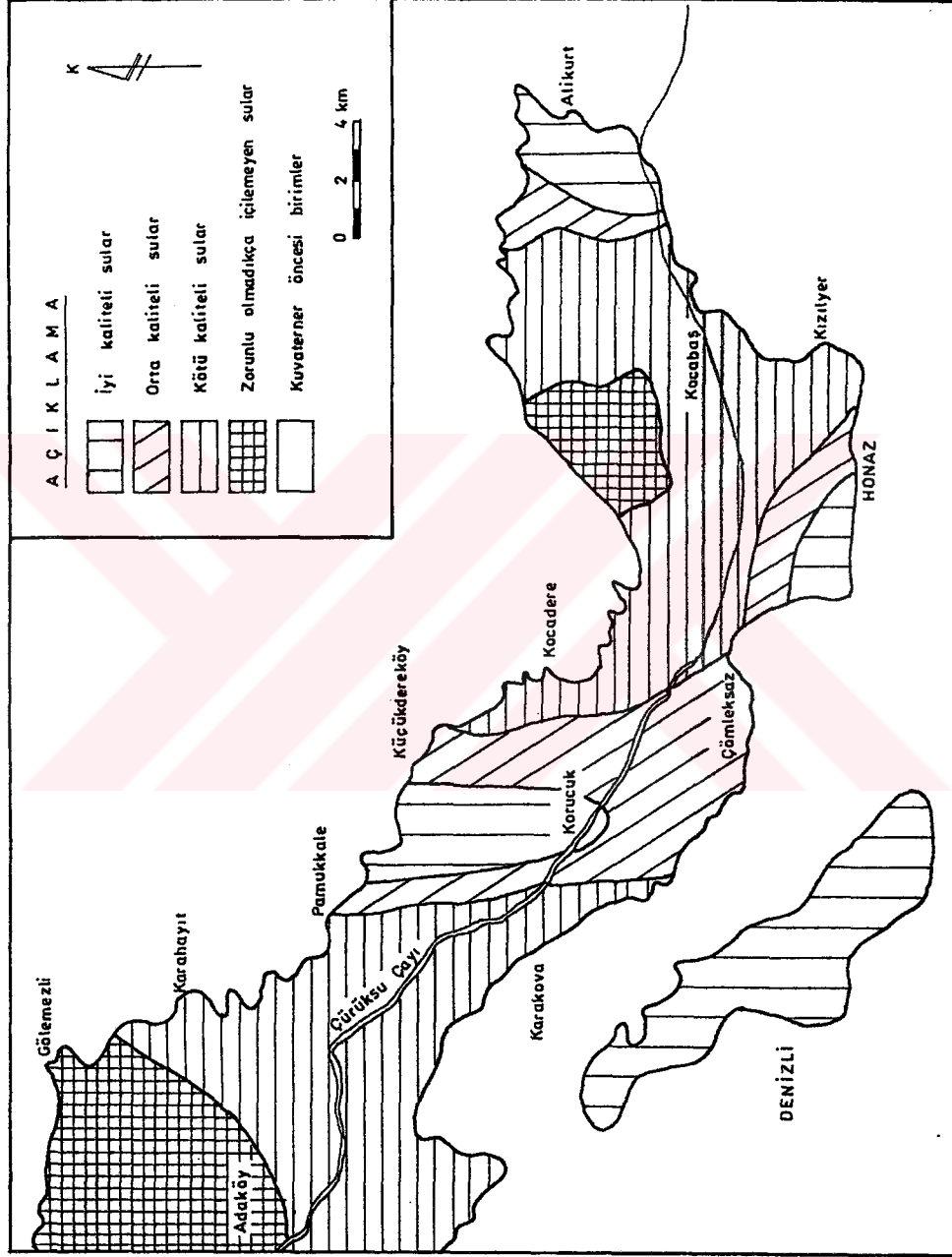
Şekil 92. Pamukkale, Karahayit ve Gölemezli sıcak sularının kimyasal özelliklerinde çalışma süresince gözlenen değişim aralıkları.

5.4.3.1. Suların içilebilme özellikleri.

İnsan hayatı için elzem olan içme suyu bazı kimyasal kriterlere göre sınıflandırılabilir. Bu kriterler ülkeden ülkeye, bir araştırmacıdan diğerine değişir. Bir ülke için kötü kaliteli olan bir su, su kaynakları yetersiz bir başka ülke için vazgeçilmez olabilir. Schoeller sınıflaması, içme suları kalitesinin ortaya konmasında hidrojeolojide kullanımı çok yaygın olan bir sınıflamadır. Bu sınıflamaya göre Pamukkale ve Karahayit sıcak suları kötü kaliteli sular; Gölemezli sıcak suları ile Çürüksu Ovası yeraltısularının Kocabaş kuzeyinde kalan kısmı zararlı olmadıkça içilemeyen sular; Denizli Ovası ve Korucuk kuzeyi yeraltısuları iyi kaliteli sular sınıfındadır (Şekil 93). Şekil 94'te inceleme alanı yeraltısularının içilebilirlik haritası verilmiştir.



Şekil 93. İnceleme alanı sularının Schoeller'e göre içilebilirlik diyagramı.



Şekil 94. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltı suyu içilebilirlik haritası.

5.4.3.2. Suların sulamada kullanılabilme özellikleri

Günümüzde birçok ülke sulama suyu sıkıntısı çekmekte, yüzey ve yeraltısularını optimum şekilde kullanmaya çalışmaktadır. Ancak, tarımda yüksek verim almak için su faktörü tek başına yeterli değildir. Bunun yanında sulama suyunun kimyasal özellikleri ve toprağın akaçlaması da önemlidir.

Sulamada kullanılan sulara iyon derişiminin yüksekliğı verimi düşürür. Tuzlu sulardaki sodyum zemindeki kalsiyum ile yer değıştirerek toprağın geçirgenliğini ve havalandırmasını azaltır; böylece bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Sularda bor ve klorür gibi iyonların varlığı da bitki gelişmesi üzerine olumsuz etki yapar.

Sulama sularını sınıflamak için değışik diyagram ve sınır değıerler önerilmiştir. Bunlardan yararlanılarak çalışma alanındaki suların sulamaya uygunluğu incelenmiştir.

5.4.3.2.1. Sodyum Adsorption Oranı (SAR)

Sulama sularındaki fazla sodyum toprağın geçirgenliğini azaltır. Toprağın üst seviyelerinde soğurulan sodyum toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur. Sodyumlu sularla sulanan bitkiler, türüne bakılmaksızın ya az gelişirler ya da yetişmezler.

Sodyum adsorpsiyon oranı şu formülle hesaplanmıştır :

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa + rMg}{2}}}$$

SAR'a göre sulama suları şöyle sınıflanır:

<u>SAR</u>	<u>Sulama suyu sınıfı</u>
10>	Çok iyi özellikte sulama suları
10 - 18	İyi özellikte sulama suları
18 - 26	Orta özellikte sulama suları
26<	Fena özellikte sulama suları

Bu sınıflamada inceleme alanındaki suların hiçbirinin SAR değeri 10'u aşmadığı için tüm sular "çok iyi özellikte sulama suları" sınıfına girmektedir. Suların SAR değerleri Çizelge 21-30' da verilmiştir.

5.4.3.2.2. Klorür tehlikesi

Sulama sularında fazla miktarda bulunan klorür (özellikle 5 mek/l'den fazla) bitkiler tarafından soğurularak yaprak yanmasına neden olur. Çalışma alanı sularında bitkileri olumsuz yönde etkileyecek kadar yüksek klorür yoktur.

5.4.3.2.3. Bor tehlikesi

Bor, sulama sularında fazla bulunursa bitkiler için zehirleyici etki yapar. Bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları farklıdır. Başta narenciye olmak üzere meyveler bora karşı çok duyarlıdır. Arpa, buğday ve bazı sebzeler yarı dayanıklı; havuç, lahana, soğan, şekerpancarı gibi bitkiler ise dayanıklıdır.

İnceleme alanında tüm havzayı temsil edebilecek bor analizi yapılamamıştır. Sıcak su kaynaklarındaki maksimum bor değerleri Pamukkale'de 3, Karahayıt'da 5.2 ve Gölemezli'de 21 mg/l'dir. Bu sulara kullanım zincirinin son halkasını sulama oluşturmaktadır. Ancak yüksek bor değerleri bu suları, sulamada kullanılması şüpheli ve kullanılamaz kılmaktadır.

5.4.3.2.4. Wilcox diyagramı

Wilcox diyagramı, suları sodyum yüzdesi ve elektriksel iletkenlik değerlerine göre sınıflar. Bu diyagramda sular beş sınıfa ayrılır.

- çok iyi - iyi
- iyi - kullanılabilir
- şüpheli - kullanılabilir
- şüpheli - kullanılamaz
- sulamaya uygun değil

Suların EC değerleri çizelge 10-20'de, sodyum yüzdeleri de 21-30'da verilmiştir.

%Na değeri,

$$\%Na = rNa / (rCa + rMg + rNa + rK)$$

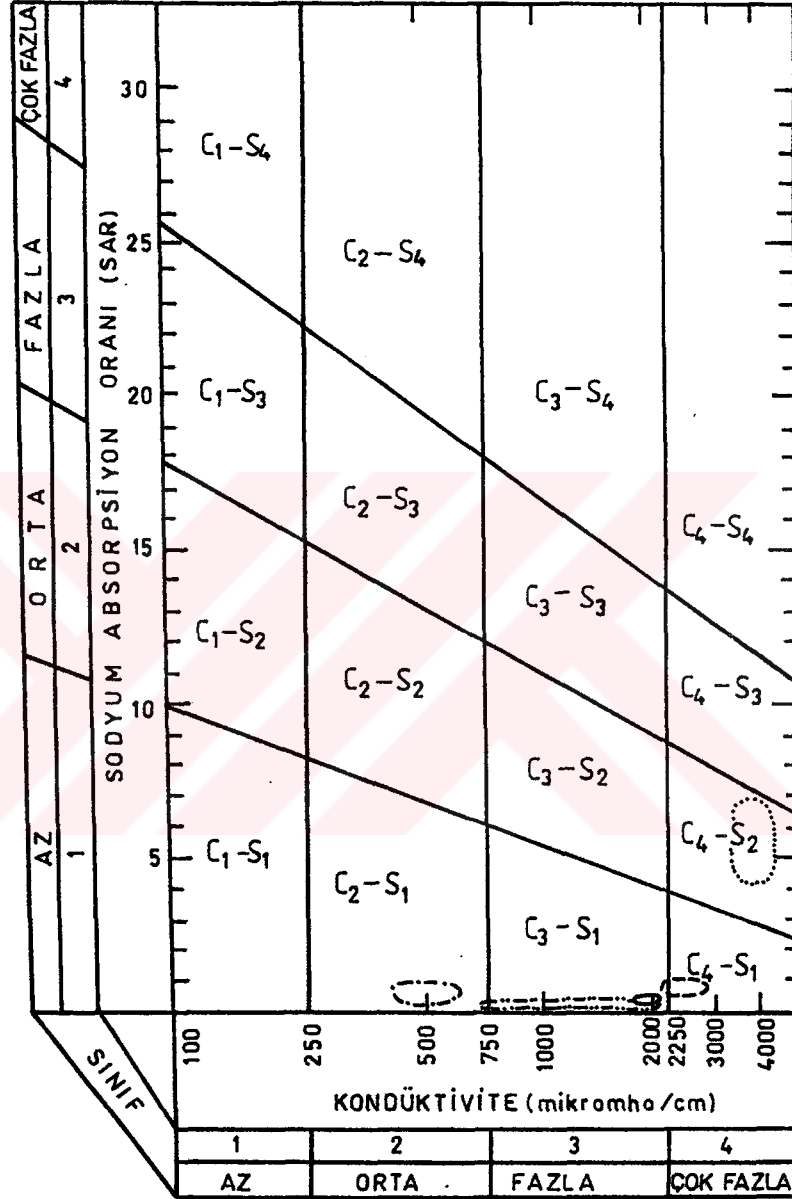
bağıntısıyla hesaplanmıştır.

İnceleme alanındaki suların Wilcox diyagramındaki yayılımları Şekil 95'de görülmektedir. Buna göre Pamukkale ve Karahayit sıcak suları "Şüpheli-kullanılamaz", Gölemezli sıcak suları "Sulamaya uygun değil "ve Denizli Ovası yeraltısuları "Çok iyi-iyi" alanlarına düşmektedir. Çürüksu Ovası yeraltısuları diyagramda geniş bir yayılım gösterse de büyük bir çoğunluğu (%80) "Şüpheli-kullanılamaz" alanında yoğunlaşır.

5.4.3.2.5. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı

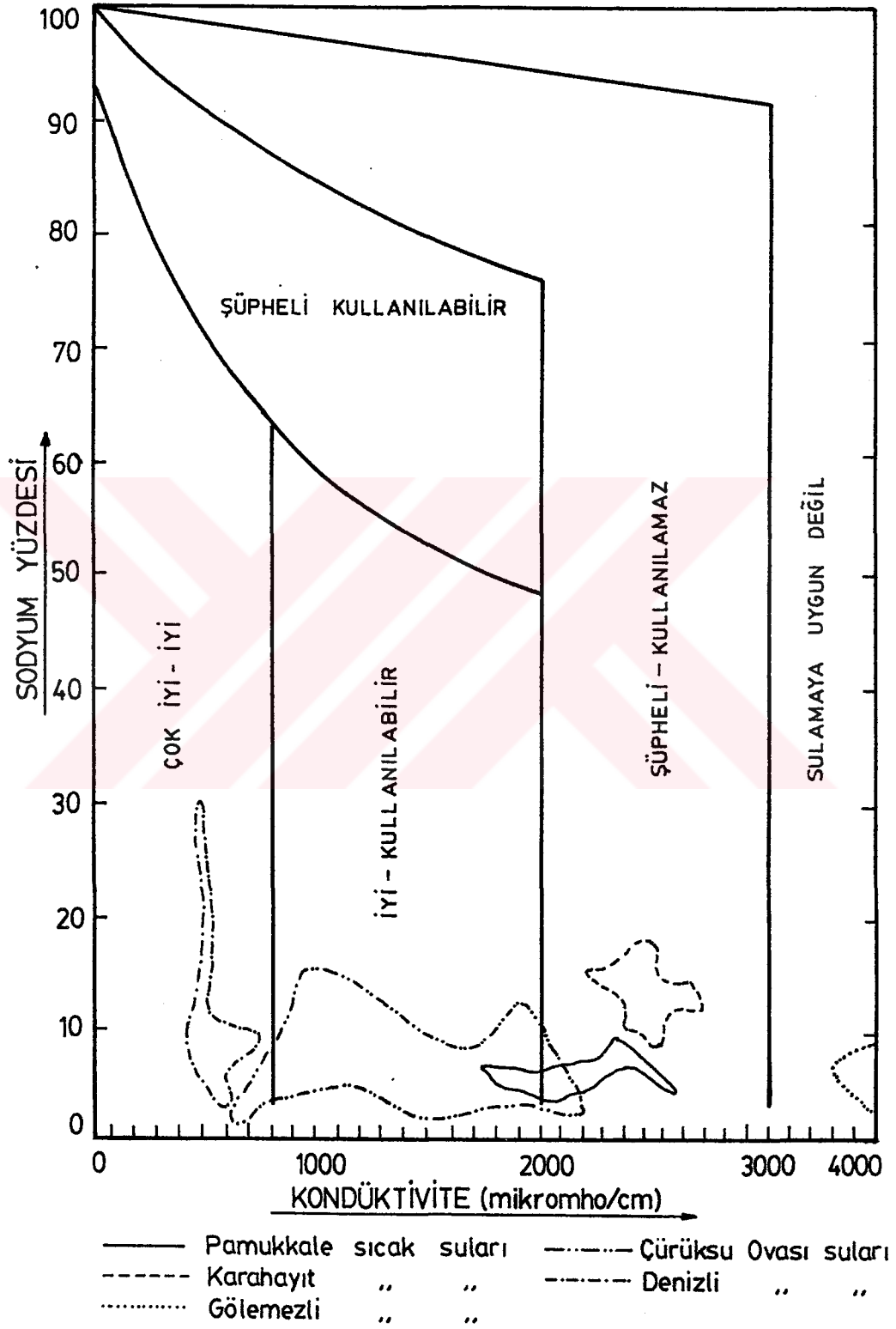
ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarında sular SAR ve EC değerlerine göre 16 sınıfa ayrılmıştır.

Bu diyagramda Denizli Ovası yeraltısuları $C_2 - S_1$ alanına düşmektedir. Bu sular her türlü sulamada kullanılabilir. Pamukkale sıcak suları ile Çürüksu Ovası yeraltısuları $C_3 - S_1$ sınıfındadır. Sulamada bir sorun yaratmamakla birlikte zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekmektedir. Karahayit sıcak suları $C_4 - S_1$ sınıfındadır ve akaçlaması iyi olan topraklarda kullanılabilir. Gölemezli sıcak suları ise $C_4 - S_2$ sınıfında olup sulamaya uygun olmayan sulardır (şekil 96). Bu diyagrama göre inceleme alanındaki suların sınıfları Çizelge 21-30'da verilmiştir.



- Pamukkale sıcak suları
 - - - Karahayıt " "
 Gölemezli " "
 - . - . - Çürüksu Ovası yeraltı suları
 - - - - - Denizli " " "

Şekil 95. İnceleme alanı sularının Wilcox Diyagramı'ndaki dağılımları.



Şekil 96. İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'ndaki dağılımları.

5.4.3.2.6. Sulama suyu sınıflamalarının sentezi

Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramlarına taşınan çalışma alanı suları, sulamaya uygunluk yönünden bazı farklılıklar sunmaktadır. Bunu önlemek için sular % Na, Cl, SO₄ ve EC değerlerine göre tekrar sınıflanmıştır (Şahinci 1986-b).

Bu sınıflamada sınır değerler şöyledir:

<u>Suyun sınıfı</u>	<u>% Na</u>	<u>rCl</u>	<u>rSO₄</u>	<u>EC</u>
Çok iyi	<20	<4	<4	<250
İyi	20 - 40	4 - 7	4 - 7	250-750
Kullanılabilir	40 - 60	7 - 12	7 - 12	750-2000
Şüpheli	60 - 80	12 - 20	12 - 20	2000-3000
Kullanılamaz	>80	>20	>20	>3000

İnceleme alanı suları için sulama yönünden % Na ve klorür bir sorun yaratmaz. Ancak EC ve sülfat değerleri, havzanın büyük bir bölümünde suları kullanılamaz kılmaktadır (Şekil 97-98).

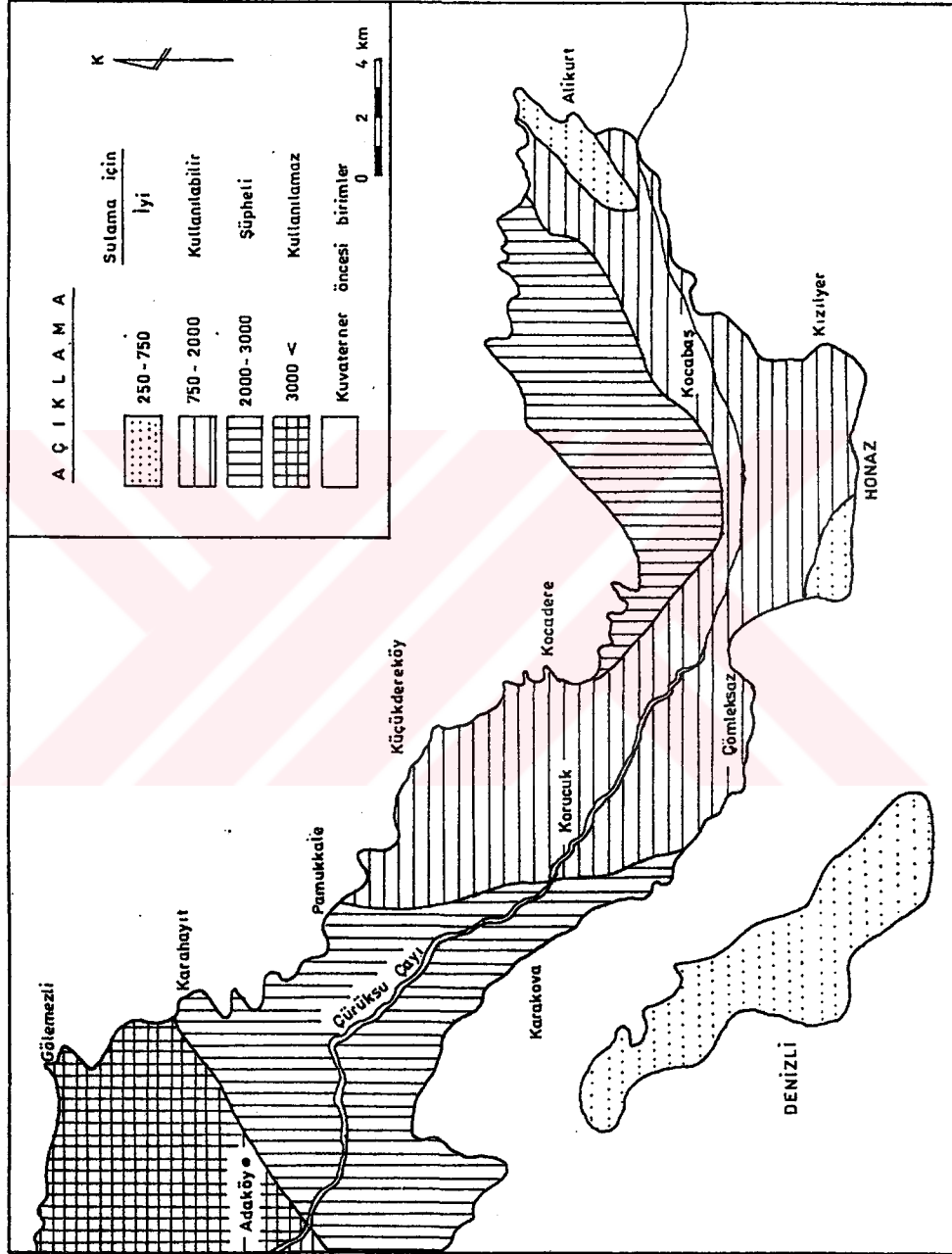
5.4.3.3. Suların endüstride kullanılabilme özellikleri

Endüstride kullanılan suların özellikleri kullanım amacına göre değişir. Soğutmada kullanılacak suyun kimyasal kompozisyonu önemli değildir. Aranılan tek özellik sıcaklığıdır. Diğer endüstri dallarında kullanılacak suların kimyası önem taşır.

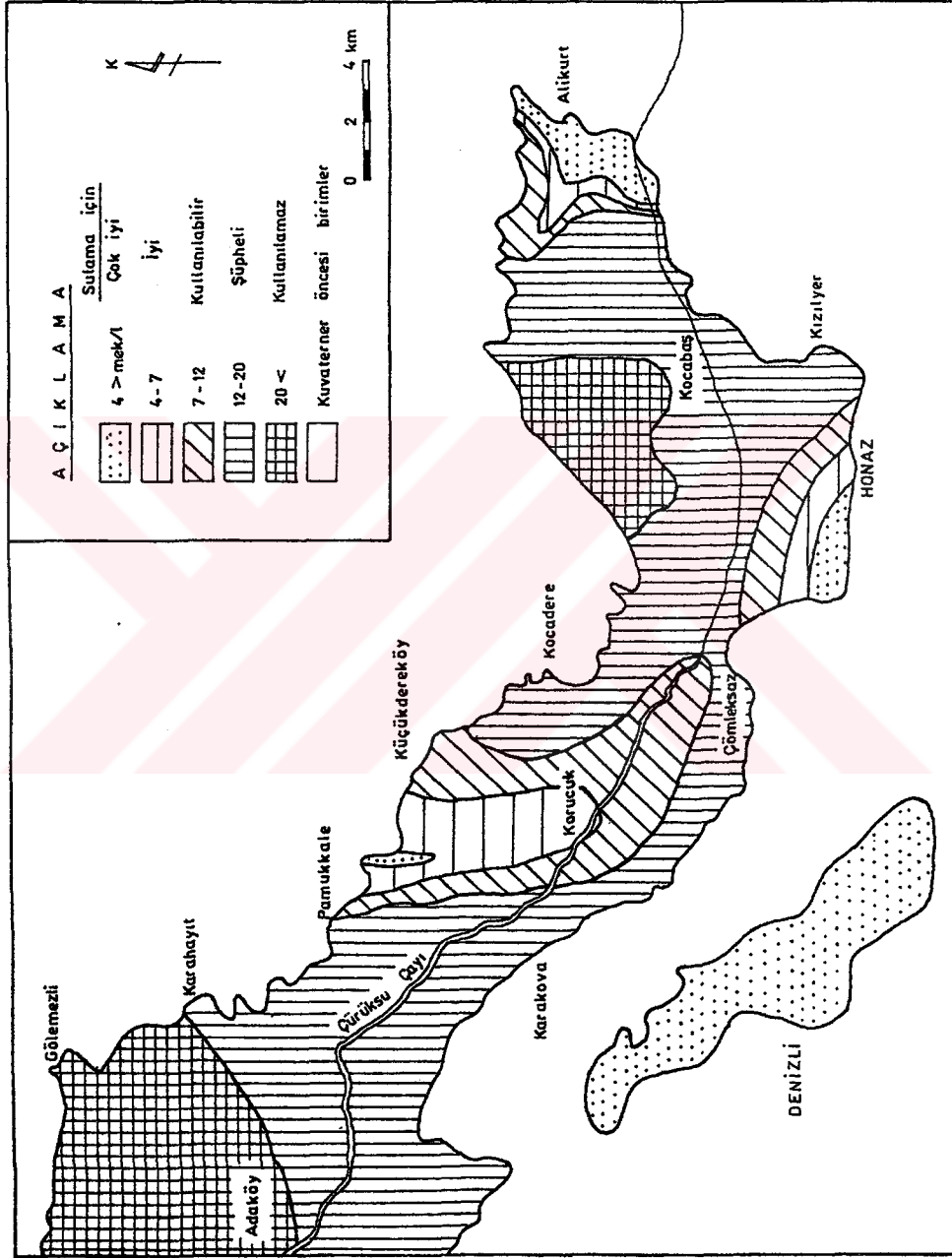
Bu bölümde, çalışma alanındaki suların kaynarken köpürme, beton üzerine etkileri ve kabuklaşma-korozyon özellikleri incelenmiştir.

5.4.3.3.1. Suların kaynarken köpürme özelliği

Suların köpürmesi, kaynama sırasında su yüzeyinde biriken köpüklerden meydana gelir. Suların kaynarken köpürmesi, su yüzeyinde sodyum ve potasyum tuzlarınca zengin bir zar tabakasının oluşması nedeniyle. Bu olay sonucu gelişen su fişkırmaları, buharlaşmayı ve kazan sistemlerini olumsuz yönde etkiler.



Şekil 97. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının kondüktivite (mikromho/cm) değerlerine göre sulamada kullanılabilirlik haritası.



Şekil 98. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının sülfat değerlerine göre sulamada kullanılabilirlik haritası.

Köpürme (F), aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$F = 62rNa + 78rK$$

Köpürmeye göre suların sınıflaması şöyledir:

$F < 60$	Kaynarken köpürmeyen sular
$60 < F < 200$	Kaynarken köpüren sular
$F > 200$	Kaynarken çok köpüren sular

İnceleme alanı sularının köpürme haritası Şekil 99'da verilmiştir. Yukarı Çürüksu Ovası kuzeyi ile Korucuk'tan başlayarak havza batısına kadar uzanan alandaki yeraltısuları ve sıcak sular "kaynarken köpüren ve çok köpüren sular" sınıfındadırlar. Bu suların buhar kazanlarında kullanılmaları yukarıda değinilen olumsuz etkilere neden olur.

5.4.3.3.2. Suların beton üzerine etkileri

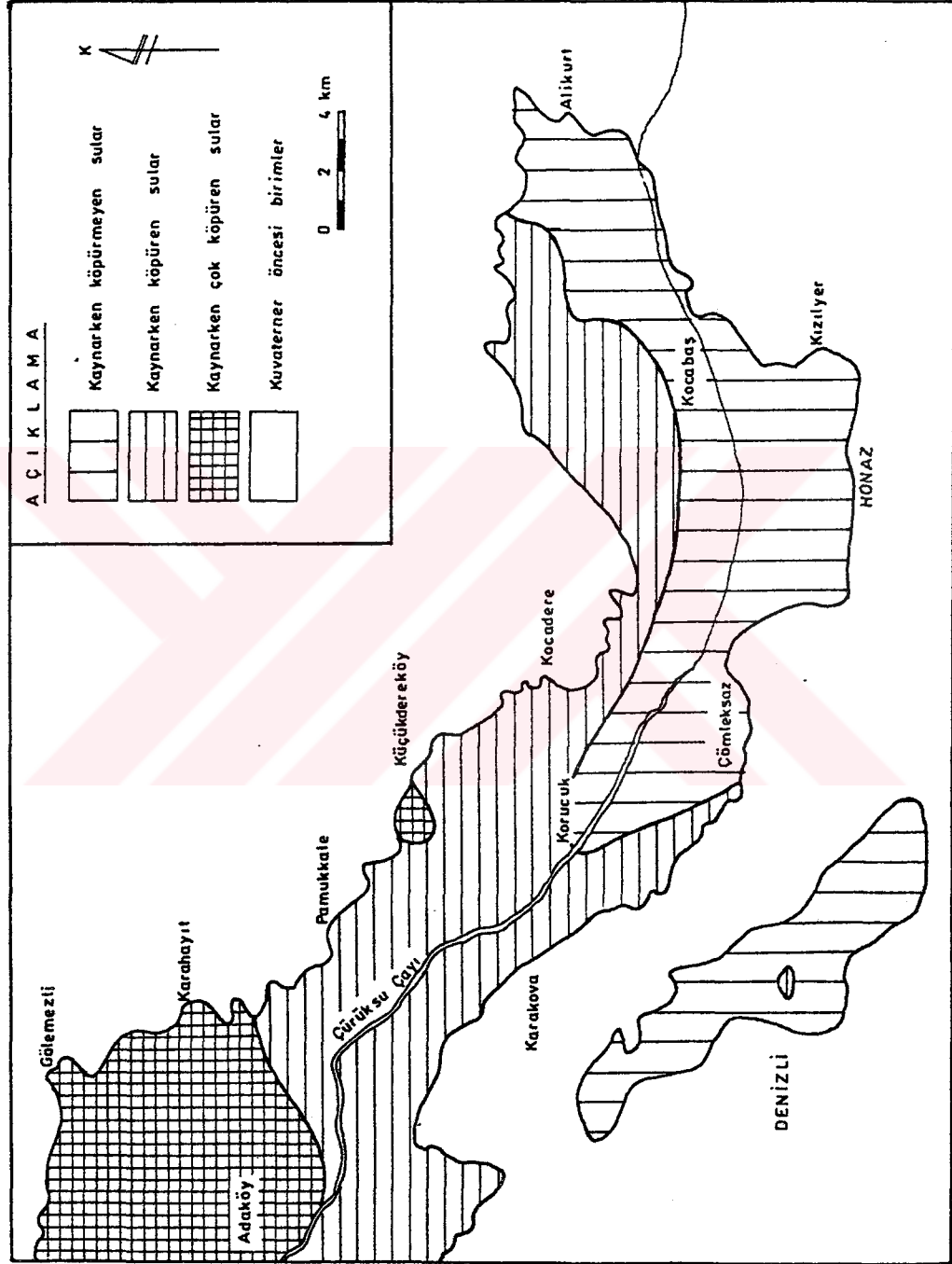
Bu bölümde, çalışma alanı sularının bina temellerine ve karışım suyu olarak kullanıldığında beton üzerine zararlı etkileri incelenmiştir.

T.S. 3440, doğadaki suların beton üzerine zararlı etkinlik dereceleri için sınır değerler vermiştir.

	<u>Zararlı etkinlik derecesi</u>		
	<u>Zayıf</u>	<u>Kuvvetli</u>	<u>Çok Kuvvetli</u>
pH	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5'dan küçük
Magnezyum(mg/l)	100-300	300-1500	1500'den büyük
Sülfat (mg/l)	200-600	600-3000	3000'den büyük

Bu değerler, durgun veya yavaş akan, büyük miktarlarda bulunan ve beton ile doğrudan doğruya temas halinde olan sular için geçerlidir. Suların basınç ve sıcaklığının artması ve/veya betonun bu suyu çalkantılı ya da hızlı akıntı gibi mekanik etkileri karşısında kalması halinde zararlı etkinlik derecesi artar.

Suların beton üzerine etkisi iki türlüdür. Birincisi, beton karışım suyu olarak kullanıldığında ortaya çıkar. pH'ın 6.5'dan küçük olduğu durumlarda, suda çözünmüş



Şekil 99. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının endüstride kullanılabileme özellikleri.

Tab. III
DENİZLİ

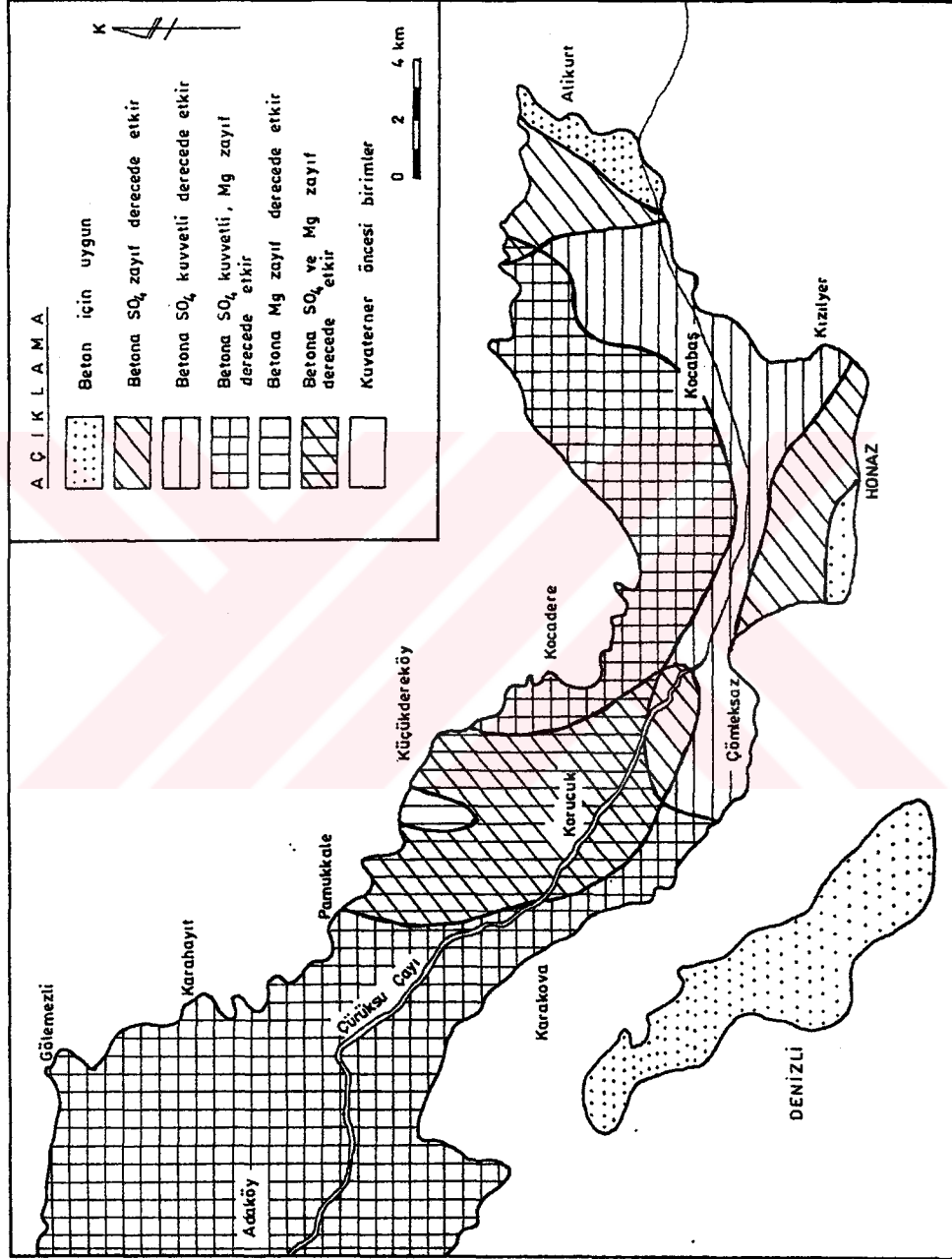
halde bulunan CO_2 , önce karbonik asit ve daha sonra kalsiyumbikarbonatı oluşturarak betonun ayrışmasına neden olur. Beton üretiminde kullanılan sülfatlı sular çimento ile reaksiyona girdiklerinde hacim artışı ve betonda patlamalar meydana gelir. Magnezyumun zararı da sülfat gibi olmakla birlikte etkisi sülfattan iki kat daha fazladır. Beton üzerine ikinci etki, saldırgan yeraltı sularının bina temellerine verdikleri zarardır. Bu etki yeraltı su seviyesinin yüksek ve suyun hareketli olmasıyla artar.

İnceleme alanındaki suların sülfat ve magnezyum değerlerinden yararlanarak beton üzerine etkinlik haritası yapılmıştır (Şekil 100). pH, sadece sıcak sularda betona zayıf derecede etkidiği için değerlendirmeye alınmamıştır. Alikurt ve Honaz civarı ile Denizli Ovası yeraltı suları beton için uygun sulardır. Bunun dışında tüm havza suları beton üzerine zayıf ya da kuvvetli derecede etkilidir. Çürüksu Ovası yeraltı sularından ve Karahayıt sıcak sularından beton karışım suyu olarak yararlanılmaktadır. Betonda portland çimentosu bu sularla birlikte kullanıldığı zaman hacim genişlemesi ve patlamalar olur. CaSO_4 , alüminli çimentolar üzerine etki yapamaz. Alüminli çimento kullanıldığında bir dizi su-çimento tepkimesi sonucu oluşan sülfalüminat kristaller betonun dayanıklılığını artırır. Bu nedenlerden dolayı beton üretiminde zararlı etkinlikleri olan suları kullanmak zorunlu olursa, alüminli çimentolar betonun dayanıklılığını arttırmada önemli bir faktördür. Çalışma alanında yeraltı sularının bina temellerine verdiği zararı görmek mümkündür. Bu zararı önlemek için bina temelleri ile yeraltı suyunun temasını engellemek veya beton üretiminde alüminli çimento kullanmak uygun olur.

5.4.3.3.3. Kabuklaşma ve korozyon

Sular, sıcaklık, basınç, pH, çözülmüş CO_2 kısmi basıncı ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak sondaj ve dağıtım borularının cidarlarında bazı tuzların çökmesine neden olabilir. Kabuklaşma olarak tanımlanan bu durum boruların daralarak tıkanmasına ve boru içinde basınç değişimlerine neden olarak boruları kullanılamaz hale getirebilir ya da temizleme veya yenileme gibi ekonomik kayıplara yol açabilir.

Bölüm 5.4.1.4'de değinildiği gibi inceleme alanındaki soğuk yeraltı suları ve sıcak sularda kalsit, dolomit doygunluğu ve çökeltme özelliği vardır. Sülfat ise doygunluğa erişmemiştir. Bu nedenle borularda olağan olarak CaCO_3 kabuklaşması beklenir. Kızıldere sondaj borularında oluşan kabuklaşmanın analizi şöyledir (Ürgün, 1976):



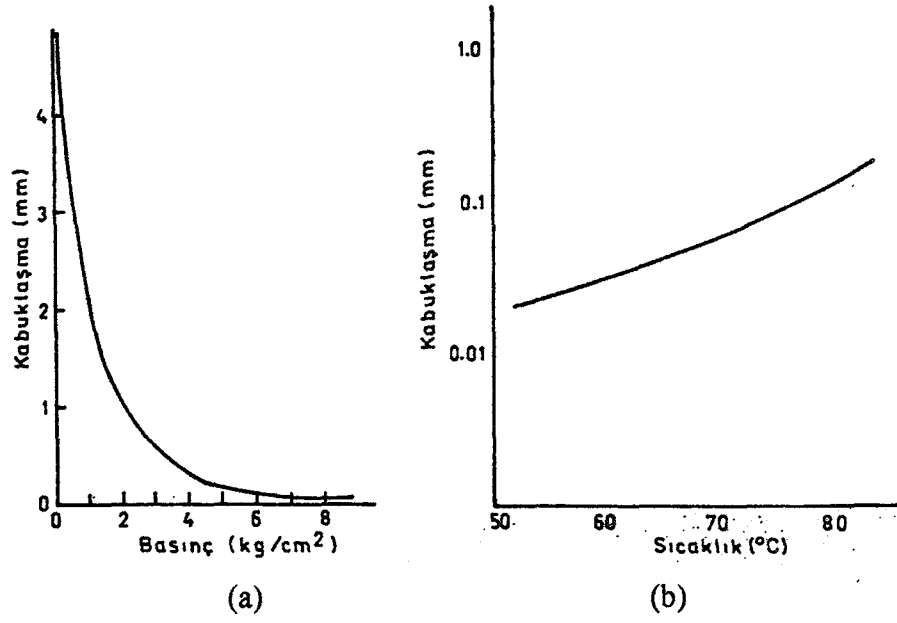
Şekil 100. Çürüksu ve Denizli ovaları yeraltısularının beton için uygunluk haritası.

CaCO_3	%90
MgCO_3	%2
SiO_2	%6
Na_2CO_3	%1
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Eser

Acar (1983), Kızıldere jeotermal sahasında, borularda oluşan kabuklaşmanın basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişimini ortaya koyan iki deneysel çalışma yapmıştır. Deneyler sonucunda $4 \text{ kg} / \text{cm}^2$ ve daha yukarı basınçlarda kabuklaşmanın minimum olduğu, optimum basınçta ise sıcaklık azalması ile kabuklaşmanın bir miktar azaldığını belirlemiştir (Şekil 101).

İnceleme alanı suları doyma endeksi değerlerine uygun olarak kabuklaşma yaparlar. Çürüksu Ovası'nda açılan sondaj kuyularında kabuklaşma gözlenmez (Salim Yüzereroğlu ve Kenan Değirmencioğlu ile sözlü görüşme). Bunun nedeni basınç ve suyun atmosferle temas etmemesidir. Ancak sondajlarla çekilen sular sulama suyu dağıtım kanallarında ve içme suyu iletim borularında yoğun kabuklaşmaya neden olurlar. Gölemezli sıcak sularında fazla kabuklaşma gözlenmez. Pamukkale sularının yoğun karbonat çökeltme özelliği eşsiz travertenleri sonuçlamıştır. Karahayıt sondaj sularında da bu özellik vardır. Kabuklaşma, sondaj borularının yüzeye yakın kesimlerinde artmaktadır. Sondajların yaklaşık üç yılda tıkanarak kullanılmaz hale gelmesi Karahayıt'taki kabuklaşmanın derecesi hakkında bir fikir vermektedir (Ahmet Divarcı ile sözlü görüşme).

Çürüksu Ovası yeraltısularının sulama kanallarında oluşturduğu ve kanal çapını daraltan kabuklaşmayı önlemek için havalandırma yapıları inşa edilmiştir (Resim 15). Bunların amacı suları havalandırarak CO_2 gazının sudan ayrılmasını temin etmek ve böylece pH'ı yükselterek karbonat çökmesine yardımcı olmaktır. Bu durumda sularda kalsiyum ve bikarbonat iyonları azalarak kabuklaşma minimuma indirilmiş olmaktadır. Sıcak su sondajlarındaki kabuklaşmayı önlemek için ise sulardaki CO_2 gazı kaçışını engelleme, eşanjör kullanma, kuyuları mekanik temizleme ve hidroklorik asit, sülfamik asit, polisülfatlar gibi maddelerle kimyasal temizleme yolları denenebilir.



Şekil 101. Kızıldere jeotermal alanında, borulardaki kabuklaşmanın a) basınçla, b) optimum basınçta sıcaklıkla değişimi (Acar, 1983'den).



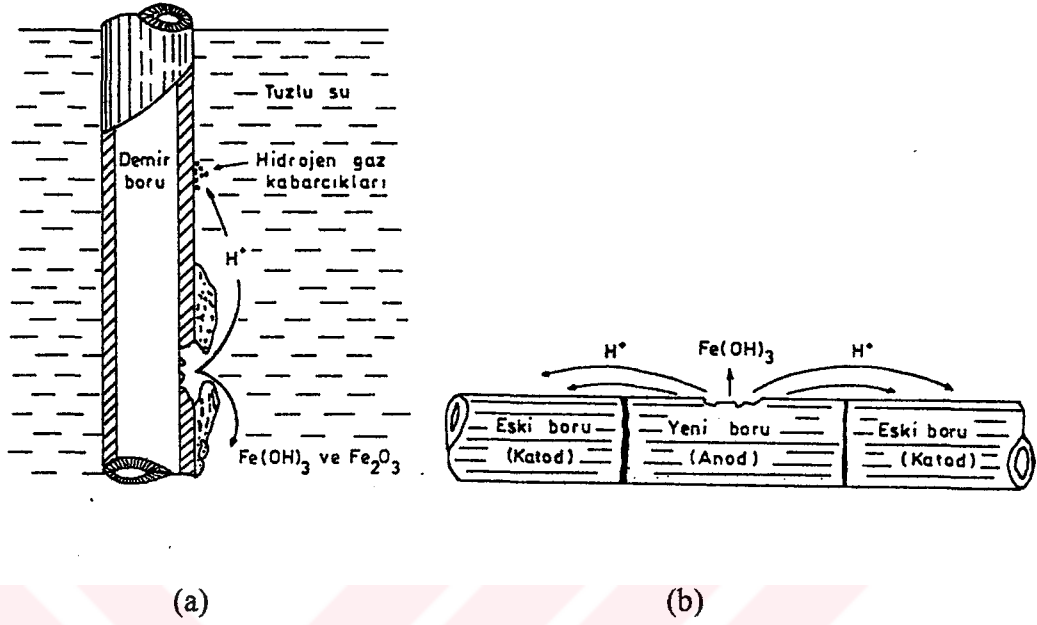
Resim 15. Yukarı Çürüksu Ovası'nda kabuklaşmayı önleme amaçlı havalandırma yapısı.

Korozyon, suların kimyasal yapısına bağılı olarak sondaj boru ve filtrelerinin aşınmasıdır. Bu aşınma, suyun pH'ına, sıcaklığına, akım hızına, korozyona uğrayan yüzeyin genişliğine ve suların kimyasal özelliklerine bağılıdır. Suda başlıca korozyon nedenleri çözünmüş CO_2 , H_2S , O_2 gazları, yüksek iyon derişimi ve kuyu içindeki su akım hızının yüksek olmasıdır. CO_2 ve H_2S gazları suyun pH'ını düşürerek demir boruların korozyonunu hızlandırırlar. O_2 gazı, metallerin oksitleşmesini sağlar. Yüksek EC, çelik boruların korozyonunu hızlandırır. Korozyonu hızlandıran bir başka neden pompaj sırasında su ile boru arasındaki kısmi kimyasal dengenin bozulmasıdır.

Korozyon oluşumu, elektrolit bir ortamda, kimyasal tepkimeye bağılı olarak ortaya çıkan elektrokimyasal akım nedeniyledir. Bu akımın doğması için her zaman iki farklı metal gerekmez. Şekil 102-a'da görüldüğü gibi demir boru yüzeyinde yersel olarak iyonlaşan demir, demir hidroksitleri meydana getirerek bir noktada toplanırken hidrojen iyonları diğer bir noktada toplanır. İki nokta arasındaki elektron akımını demir boru sağlar. Kuyularda çürüyen borular, yenileri ile değiştirildiğinde, eski ve yeni borular iki farklı metal gibi davranarak korozyona neden olurlar. Anod görevi gören yeni borunun korozyonu eski borulara oranla daha hızlıdır (Şekil 102-b).

İnceleme alanında, özellikle Yukarı Çürüksu Ovası yeraltısuları yüksek sülfat derişimine bağılı olarak sülfirik asit etkisiyle sondaj borularını korozyona uğratırlar. Yüksek debi korozyonu hızlandıran bir etkindir. Buradaki sondaj borularında delinme ve çürüme şeklindeki korozyon etkisi açıkça görülmektedir (Resim 16). Gölemezli sıcak suları, diğer sıcak su kaynaklarına göre çok daha saldırgandır.

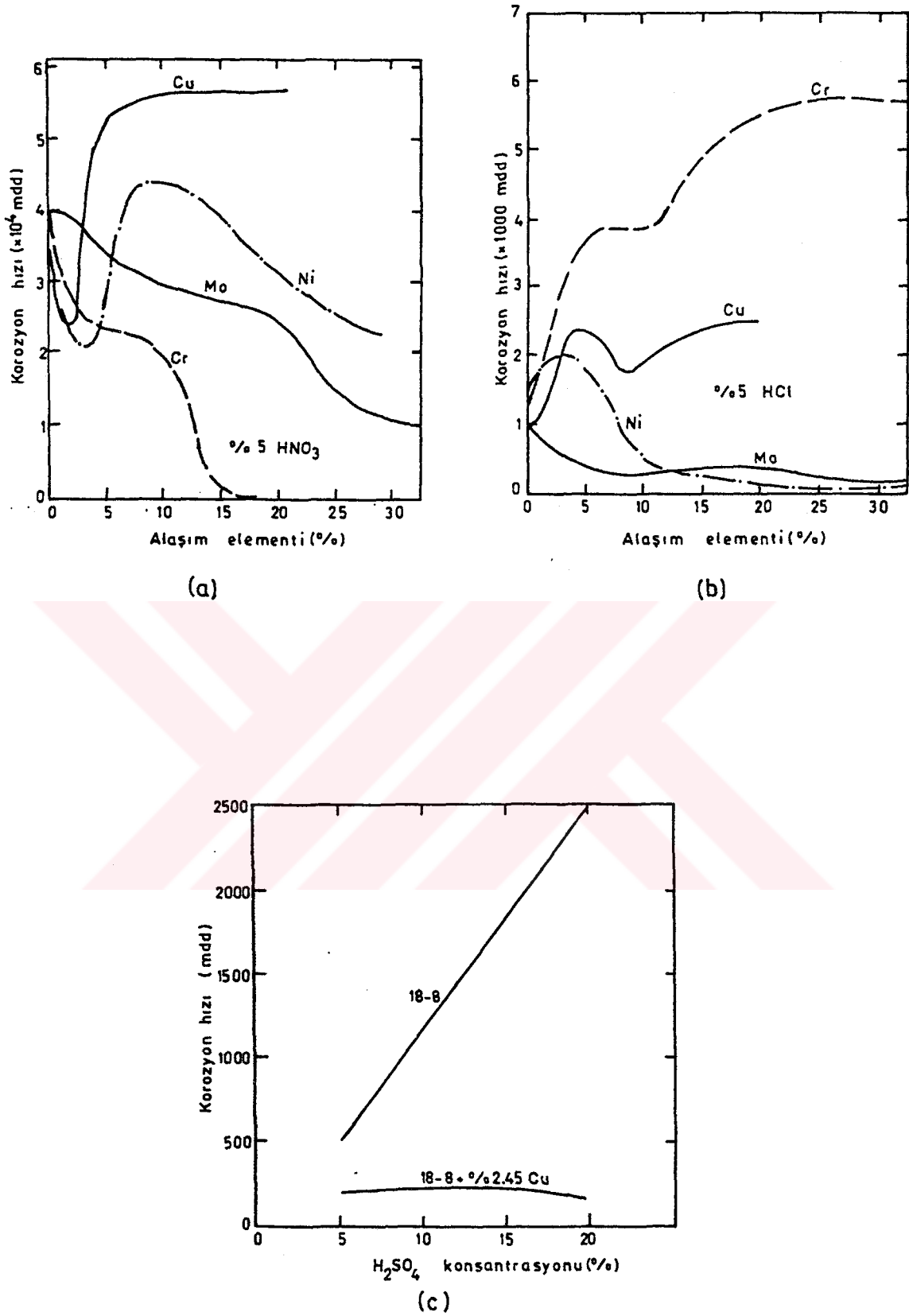
Korozyonu önleme yollarından biri alaşım elementleridir. Klor içermeyen yükseltgen bir ortamda demirin korozyon hızını gerileten en etkili alaşım elementi kromdur (Şekil 103-a). Buna karşın klor içeren indirgen bir ortamda demirin korozyonunda en iyi iyileşme nikel ile sağlanmaktadır (Şekil 103-b). Çelik borularda, paslanmaz çeliğin korozyon hızı sülfirik asit konsantrasyonu ile hızla artarken, %2.45 oranında bakır içeren bir çeliğin korozyonu çok düşük olmaktadır (Şekil 103-c). Korozyonu önlemenin bir başka yolu kurban elektrottur. Örneğin, kuyularda kullanılacak demir boruların iç ve dış yüzeyleri kurban elektrot olarak demire oranla daha az soy metal olan çinko ile kaplanırsa, demir boru herhangi bir nedenle saldırgan suyla temas ettiğinde anod görevi yapan çinko korozyona uğrarken demir korunur. Sıcak suların çürütme ve aşındırma etkilerini azaltmak için borulardaki suların atmosfer oksijeni ile temasını engellemek, buhar fazını sudan ayırmak, %15 kromlu veya %2.45 bakırlı çelik borular kullanmak yararlı olabilir.



Şekil 102. Kuyularda a) demir boruda, b) eski ve yeni borular arasında doğan elektrokimyasal korozyon (Şahinci, 1987-b'den).



Resim 16. Yukarı Çürüksu Ovası'nda 33276 nolu DSİ sondaj kuyusu borularında gözlenen korozyon



Şekil 103. a) Klor içermeyen yükseltgen bir ortamda demirde, b) klor içeren indirgen bir ortamda demirde, c) sülfirik asitli bir ortamda paslanmaz çelikte korozyon hızının alaşım elementiyle değişimi (Doruk, 1989'dan).

5.5. Sıcak Suların Kimyasal Evriminin Kuramsal İncelenmesi

Mağmatik ve metamorfik kayalardan gelen sular iki şekilde incelenebilir. Birincisi, sulardaki bazı anyon ve katyonlar silikat bozunum denge diyagramlarına taşınarak, silikatların bozunumu sonucu hangi duraylı yeni mineral ürünlerinin ortaya çıkacağı tahminidir. İkincisi, bozunum ile ortaya çıkan kil mineralleri ve sudaki iyonlardan giderek, hazne kayayı oluşturan ilksel alüminosilikat minerallerinin saptanmasıdır.

Mağmatik ve metamorfik kayalar feldispat ve mika gibi alüminosilikat mineralleri ve kuvars içerirler. Feldispatların bozunumu sonucu kil mineralleri ve diğer bozunum ürünleri ortaya çıkar. Gibsit, uygun koşullarda kil minerallerine dönüşebilir. Asidik ortamda kaolinit, bazik ortamda montmorillonit ortaya çıkar. Gibsit veya kaolinit, potasyum iyonlarının bol olduğu bazik ortamda muskovite dönüşür. Gnayslardan gelen sular yarı kurak iklimlerde montmorillonit denge alanına düşer (Şahinci 1986-b).

Faz diyagramları, kimyasal bozunum tepkimelerinin denge sabitelerinden yararlanılarak çizilmiştir. Daha sonra inceleme alanındaki sıcak suların SiO_2 , H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} derişimlerinden yararlanarak $\log(\text{Na}^+ / \text{H}^+)$, $\log(\text{K}^+ / \text{H}^+)$, $\log(\text{Ca}^{++} / (\text{H}^+)^2)$, $\log(\text{Mg}^{++} / (\text{H}^+)^2)$ değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 44). Hesaplarda SiO_2 mg/l, diğer iyonlar mol/l alınmıştır. Bu değerler denge faz diyagramına taşındığında sıcak suların kaolinit ve montmorillonit duraylılık alanına düştüğü görülmektedir (Şekil 104-107). Şekilde, kireçtaşı ve gnayslardan gelen suların diyagramlarda düştüğü noktalar Şahinci 1986-b'den alınmıştır. Bu mineral parajenezi geçiş zonunu yansıtmaktadır. Sonuçta, silikatların bozunumu sonucu montmorillonit ve kaolinit duraylı minerallerinin ortaya çıkacağı tahmin edilebilir. Pamukkale, Karahayır ve Gölemezli sıcak sularının diyagramda düştüğü alanlar, kireçtaşı ve gnayslardan gelen suların düştüğü alanlarla aynıdır. Bu da, sıcak suların hazne kayaları ile ilgili yorumu desteklemektedir.

Çizelge 44. Sıcak sulardaki iyonların denge oranları

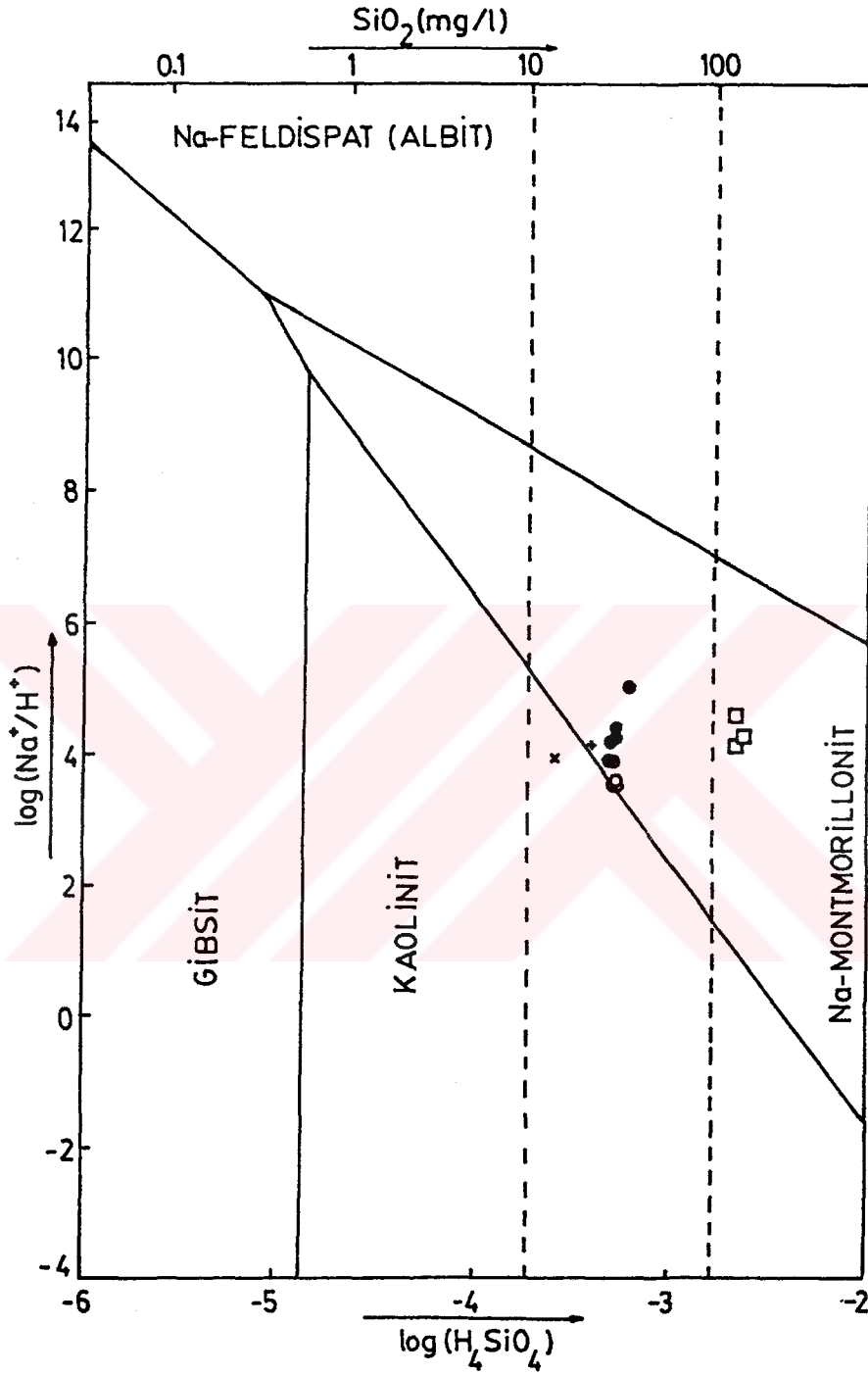
SUYUN ADI	pH	SiO ₂ (Mg/l)	Log (Na ⁺ /H ⁺)	Log (K ⁺ /H ⁺)	Log {Ca ²⁺ /(H ⁺) ² }	Log {Mg ²⁺ /(H ⁺) ² }
Pamukkale Özel İdare	6.32	38.57	3.49	2.42	11.85	11.55
Pamukkale Beledive	6.42	38.57	3.60	2.35	10.84	10.52
Pamukkale Jandarma	6.34	38.57	3.52	5.10	10.70	10.39
Karahavıt Kızıllağın	6.38	38.57	4.01	5.24	10.81	10.53
Karahavıt Kurtur Otel	6.51	34.28	4.12	3.24	11.10	10.72
Karahavıt Kızıllağın	6.36	32.14	4.01	2.99	10.81	10.42
Karahavıt Rüzgar Pansiyon	6.55	38.57	4.22	3.25	11.18	10.87
Karahavıt Ergür Otel	7.46	40.71	5.15	4.24	12.50	12.57
Karahavıt Hierapolis Otel	6.85	34.28	4.52	3.59	11.60	11.37
Gölemezli Yeni Hamam	6.17	165.00	4.50	3.27	10.33	10.15
Gölemezli Eski Hamam	6.07	122.14	4.39	3.13	10.16	9.95
Gölemezli Sızıntı	6.60	126.42	4.94	3.78	11.27	11.07

5.6. Sıcak Suların Hazne Kaya Sıcaklıklarının Saptanması

Yüzeye erişen sıcak suların sıcaklıkları, genellikle hazne kaya sıcaklıklarından düşüktür. Sıcak suların yüzeye erişirken katettiği kayalarla yaptığı ısı alışverişi, örtü kayanın ince oluşu veya bulunmaması, soğuk yeraltı suları ile karışımı gibi nedenler suların sıcaklıklarının azalmasında en önemli etkenlerdir. Suların hazne kayadan yüzeye erişirken katettiği yol ne kadar kısa ve debisi ne kadar yüksekse sıcaklıkları o oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. Sıcak suların hazne kaya sıcaklıklarının belirlenmesi, jeotermal enerji potansiyeli ve suların kullanım alanlarının ortaya konmasında çok önemlidir. Hazne kaya sıcaklığının kesin değeri, hazne kayaya kadar inen sondaj kuyularında ölçülen sıcaklıktır. Ancak, sondajın ekonomik yük getirmesi ve zaman alması, hazne kaya sıcaklığının tahmininde bazı yöntemleri ön plana çıkarmıştır. Bu bölümde, kimyasal ve doğal izotop jeotermometreleriyle hazne kaya sıcaklıklarına yaklaşım sağlanmaya çalışılmıştır.

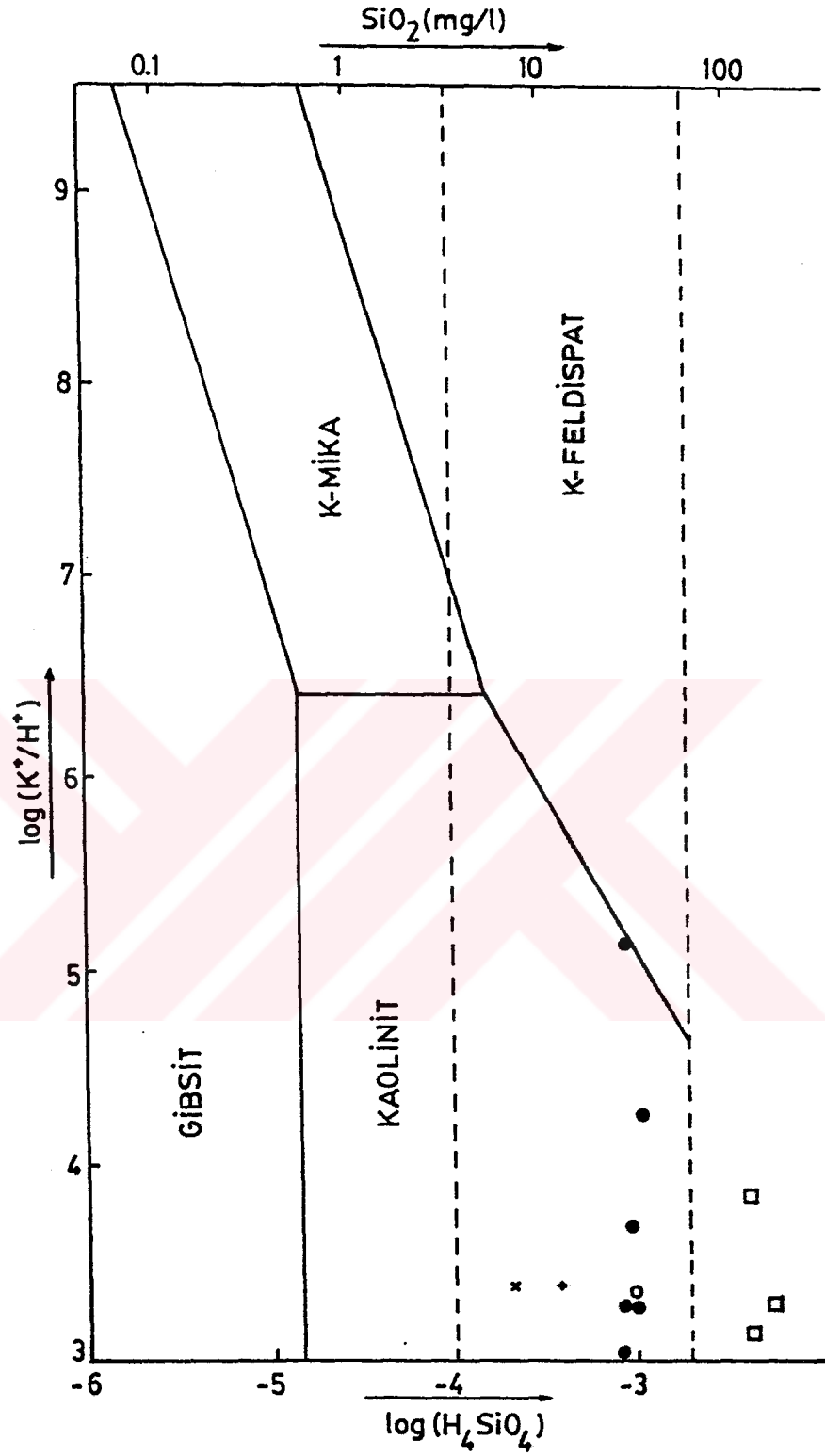
5.6.1. Kimyasal jeotermometreler

Kimyasal jeotermometreler suların kimyasal analizlerine dayanır. Bu analizlerin ucuz olması ve kısa sürede yapılması kullanım sıklığı açısından bu jeotermometreleri



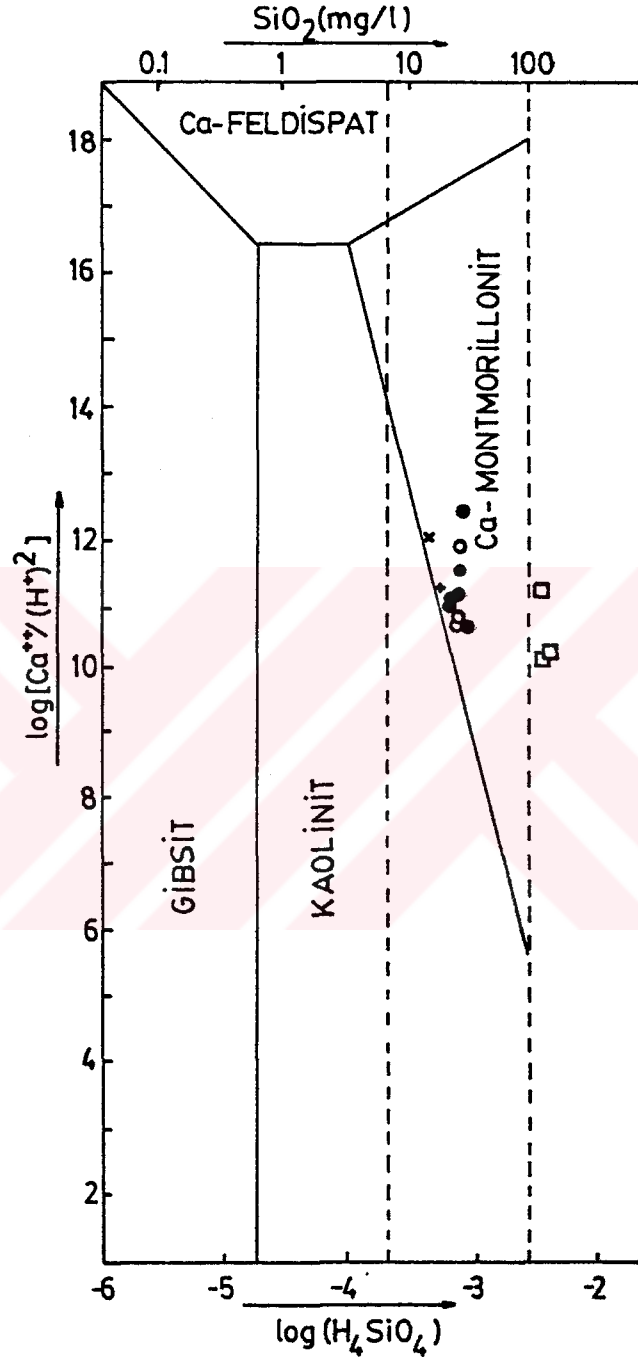
- Pamukkale yöresi sıcak suları
- Karahayıt " " "
- Gölemezli " " "
- Gnayslardan gelen sular
- * Kireçtaşından " "

Şekil 104. Albit, Na-montmorillonit, kaolinit ve gıbsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atm).

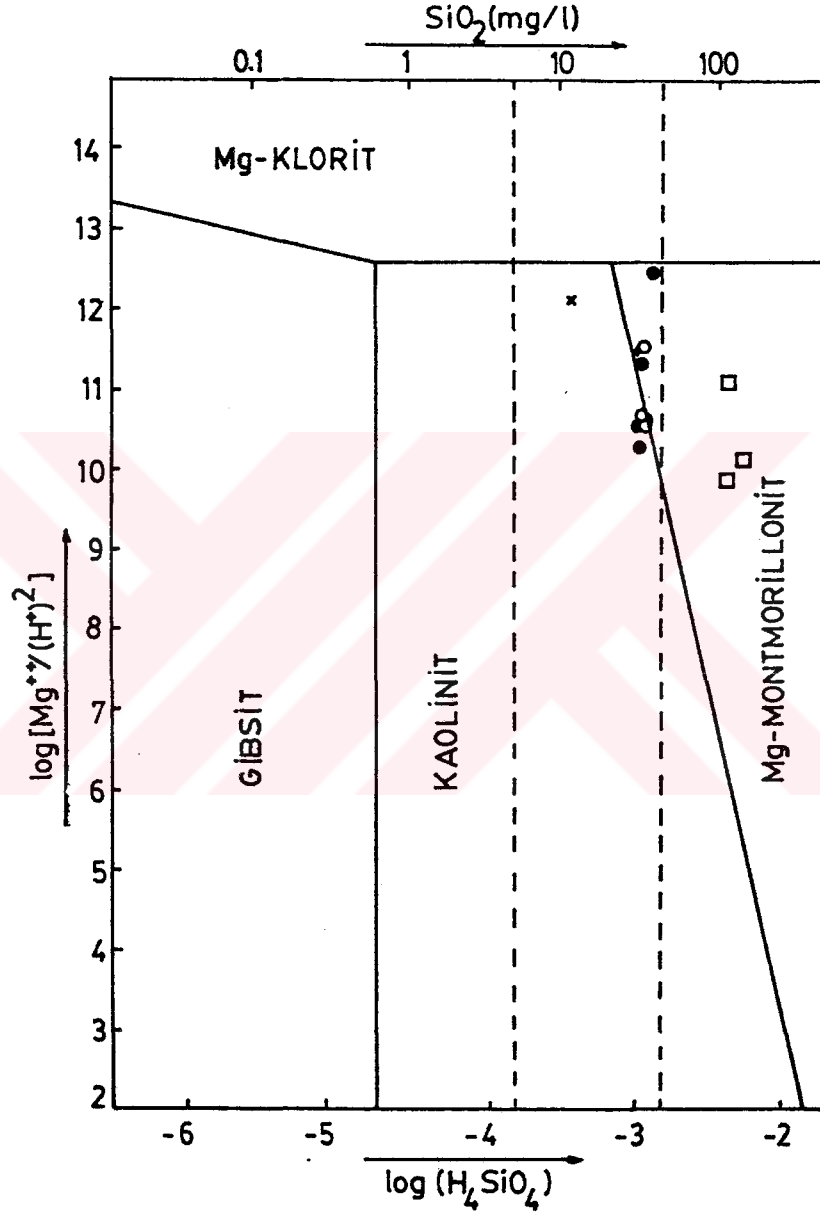


- Pamukkale yöresi sıcak suları
- Karahayıt " " "
- Gölemezli " " "
- + Gnayslardan gelen sular
- x Kireçtaşından " "

Şekil 105. Mikroclin, muskovit, kaolinit ve gipsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atm).



Şekil 106. Anortit, Ca-montmorillonit, kaolinit ve gipsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atm).



- Pamukkale yöresi sıcak suları
- Karahayıt " " "
- Gölemezli " " "
- ♦ Gnayslardan gelen sular
- * Kireçtaşından " "

Şekil 107. Mg-klorit, Mg-montmorillonit, kaolinit ve gipsitin denge-faz ilişkileri (25°C, 1 atm).

diğerlerine üstün kılar. Kimyasal jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere ikiye ayrılır.

5.6.1.1. Kalitatif jeotermometreler

Sıcak su kaynakları civarında gözlenen kimyasal çökeller, sulardaki iyon, element, gaz ve bunların derişimleri ile bazı oranlar hazne kaya sıcaklığı hakkında bir fikir verir. Bu jeotermometreler aşağıda incelenmiştir.

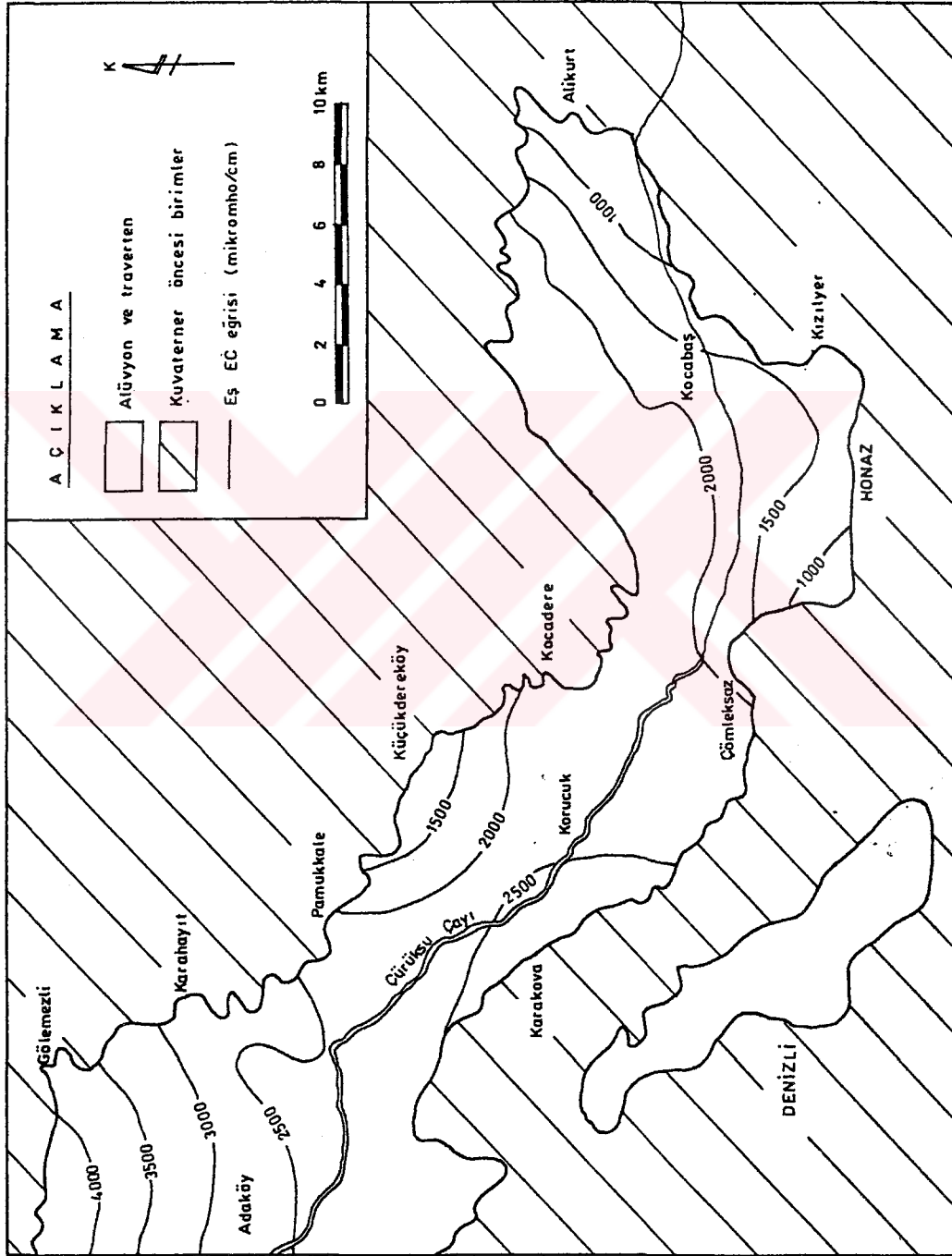
Elektriksel iletkenlik: Sulardaki iyon derişimi arttıkça EC de buna bağılı olarak yükselir. Çözünürlük genel olarak sıcaklıkla doğru orantılı olduğı için yüksek EC değeri yüksek sıcaklığın göstergesidir. Pamukkale'den Karahayıt ve Gölemezli'ye EC'lerin artışı hazne kaya sıcaklığının ve suların geldiğı derinliklerin bu yönde arttığının bir işaretidir (Şekil 108).

SiO₂: Hazne kaya sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silistir. Silis çözünmesi yüksek sıcaklıkta gerçekleştiğı için sulardaki yüksek silis değeri hazne kaya sıcaklığının fazla olduğunu gösterir. Yüzeyde silis çökellerinin gözlenmemesi inceleme alanı sıcak sularında hazne kaya sıcaklığının 180°C'den daha düşük olduğı şeklinde yorumlanır.

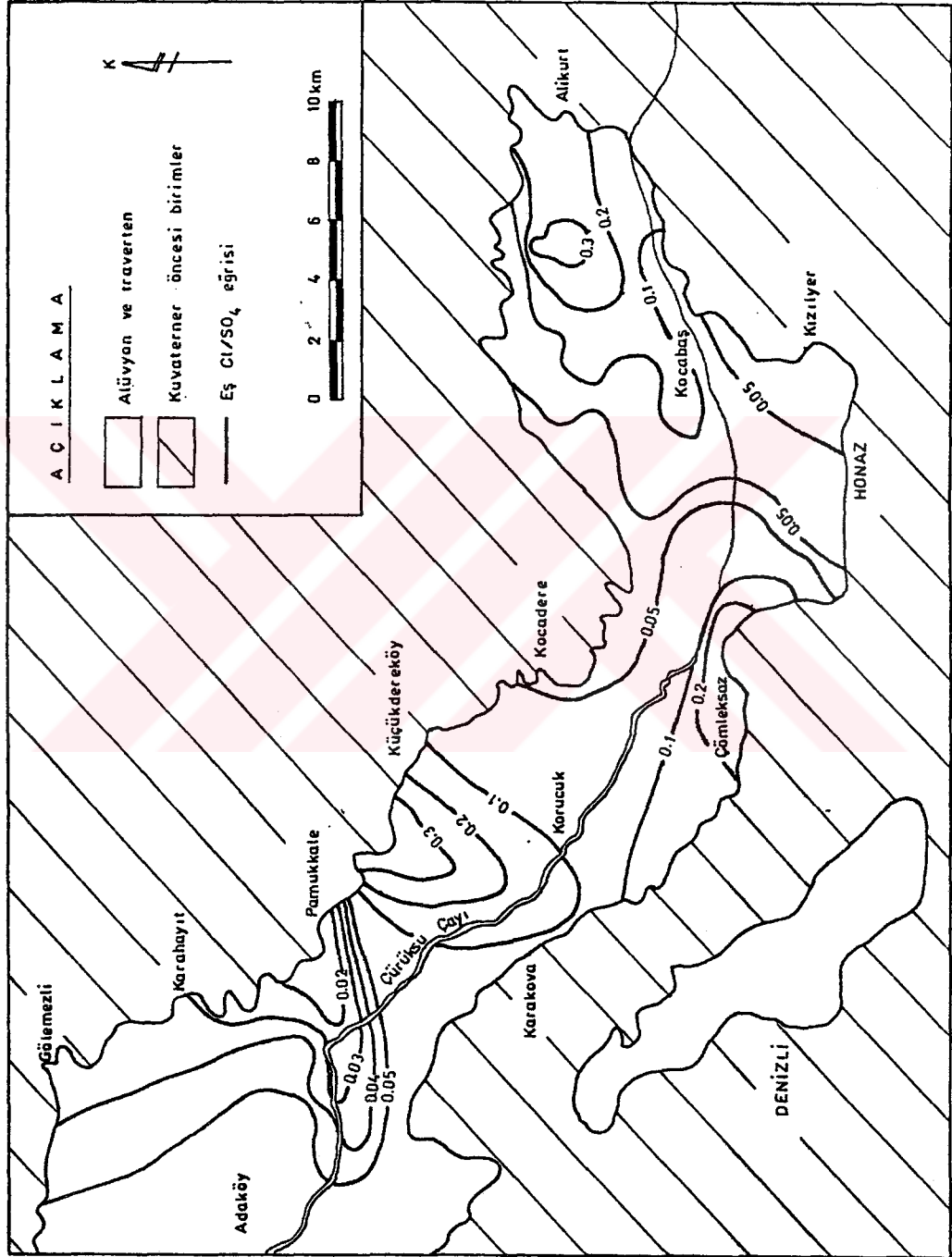
Traverten çökelmeleri: Hazne kaya sıcaklığının 100°C civarında olduğunu gösterir. Pamukkale ve Karahayıt sıcak suları taverten oluştururken Gölemezli'de bu özellik gözlenmez. Ancak, suların yükselirken geçtiğı kayalardan kalsiyum ve bikarbonat iyonlarınca zenginleşmesi bu jeotermometre hakkında dikkatli karar verme gereğini ortaya koyar.

Klorür: Genellikle jeotermal alanlarda suların klorür miktarı sıcaklıkla artar. Pamukkale'den Gölemezli'ye artan klorür değeri yüksek hazne kaya sıcaklığına işaretir (Şekil 71). Özellikle Gölemezli'de 80 mg/l civarında olan klorür, "sıcak su egemen sistem"i belirler.

Cl/SO₄ oranı: Oran yüksekse hazne kaya sıcaklığı fazladır. Yukarı Çürüksu Ovası soğuk yeraltısularında Cl/SO₄ oranının sıcak sulara göre daha yüksek olması klorür tuzları nedeniyledir. Pamukkale'den Gölemezli'ye bu oranın artması hazne kaya sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir (Şekil 109).



Şekil 108. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş EC haritası.



Şekil 109. Çürüksu Ovası yeraltı suları eş klorür/sülfat haritası.

Cl/HCO₃ oranı: Yüksek oran yüksek hazne kaya sıcaklığı demektir. Yorumu Cl / SO₄ ile benzerdir (Şekil 110).

Na ve Na/K oranı: Sodyum ve Na/K oranının yüksekliği hazne kaya sıcaklığının fazla olabileceğini gösterir. İnceleme alanının Na/K haritasında (Şekil 111) belirgin olmamakla birlikte Şekil 66 ve 67'de doğudan sıcak sulara doğru düzenli olarak Na ve K artışı, yüksek hazne kaya sıcaklığının göstergesidir.

Mg ve Mg/Ca oranı: Magnezyum ve Mg/Ca oranı küçükse hazne kaya sıcaklığı fazla olabilir. İnceleme alanında havza doğusundan sıcak su kaynaklarına doğru bu oranın azaldığı görülmektedir (Şekil 112).

Na/Ca oranı: Yüksek oran, yüksek hazne kaya sıcaklığını gösterir. Oranın küçülmesi soğuk su karışımlarını gösterir ve soğuk su karışım yönünü belirler. İnceleme alanında bu ilişki Şekil 113'de açık olarak belirlenebilir.

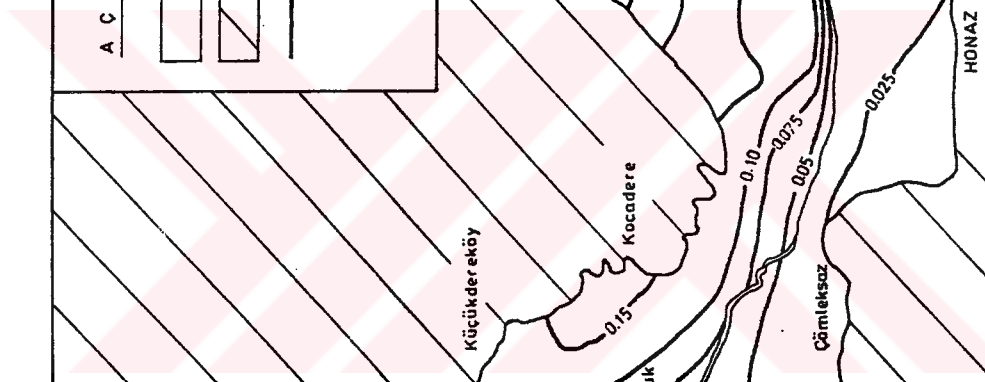
Bor, potasyum, lityum: Havza doğusundan Pamukkale'ye düzenli olarak artan bu iyon ve elementler yüksek hazne kaya sıcaklığını ifade eder.

H₂S gazı: Yukarı Çürüksu Ovası sondajlarında ve özellikle Gölemezli sıcak su kaynaklarında kendine has kokusuyla varlığını belli eden H₂S gazı hazne kaya sıcaklığının yüksek olduğunu gösterir. H₂S gazı magma ile ilişkilidir ve indirgen bir ortamı belirler.

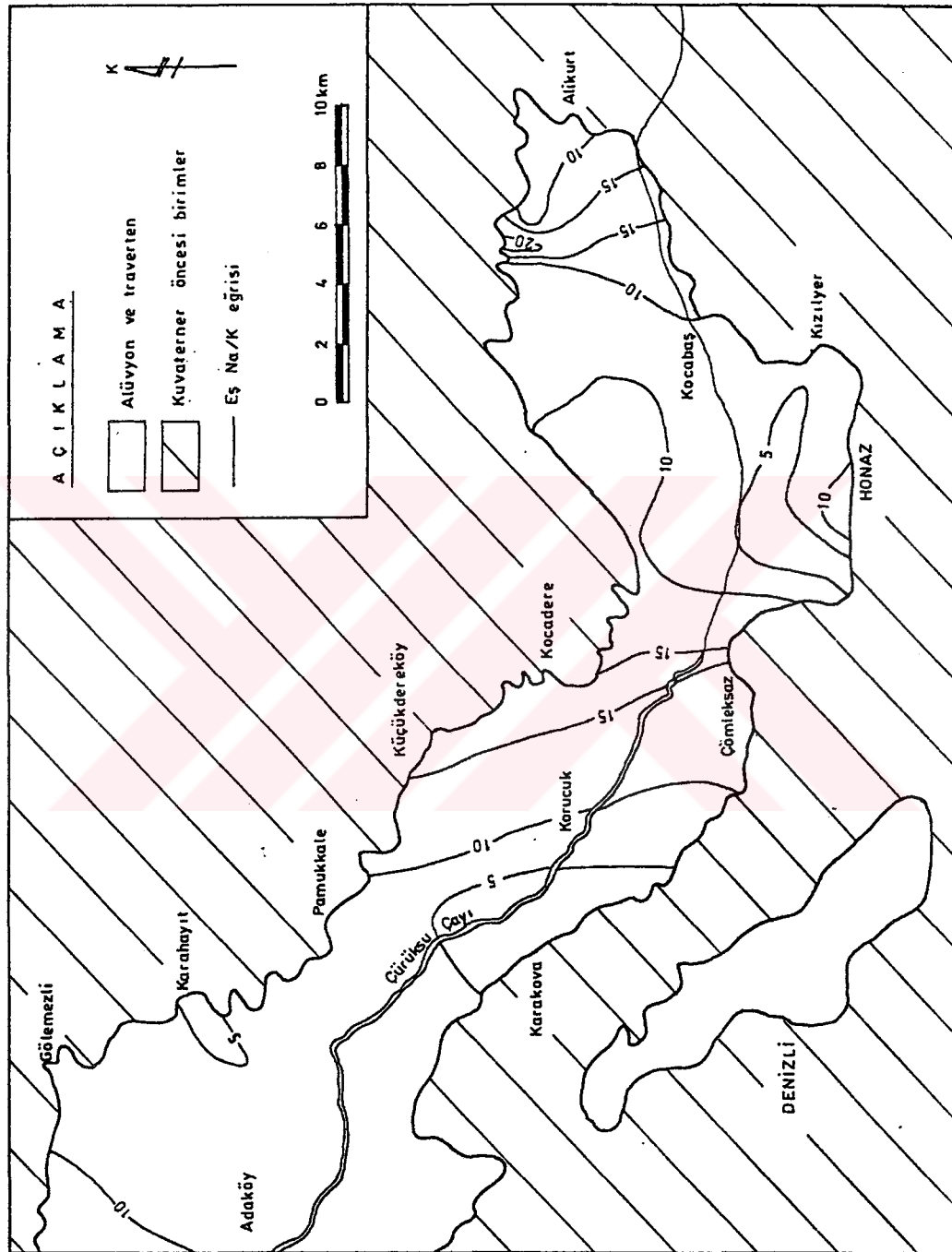
5.6.1.2. Kantitatif jeotermometreler

Kantitatif jeotermometrelerin kullanılmasında bazı varsayımlar gözönüne alınır. Bunlardan bazıları şunlardır:

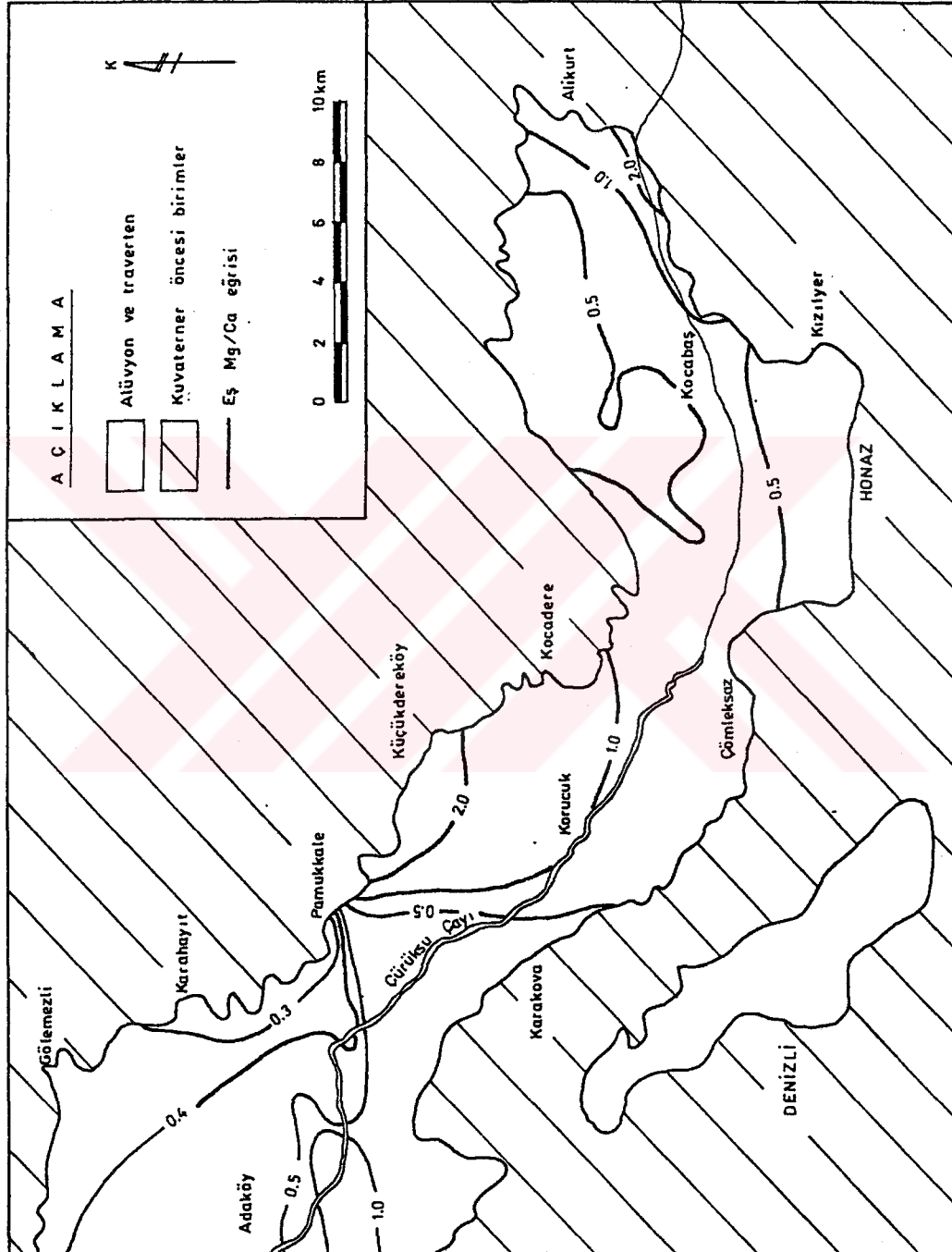
- Sıcak sular, kimyasal özelliklerini hazne kaya-su arasında gerçekleşen kimyasal tepkimelerden kazanmaktadır.
- Hazne kaya-su arasındaki kimyasal tepkimeler devamlıdır.
- Hazne kaya sıcaklığında kaya-su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- Sıcak sular yüzeye erişirken kimyasal özelliklerini kaybetmemişlerdir.
- Sıcak sulara soğuk yeraltı ve yüzey suları karışmamıştır.



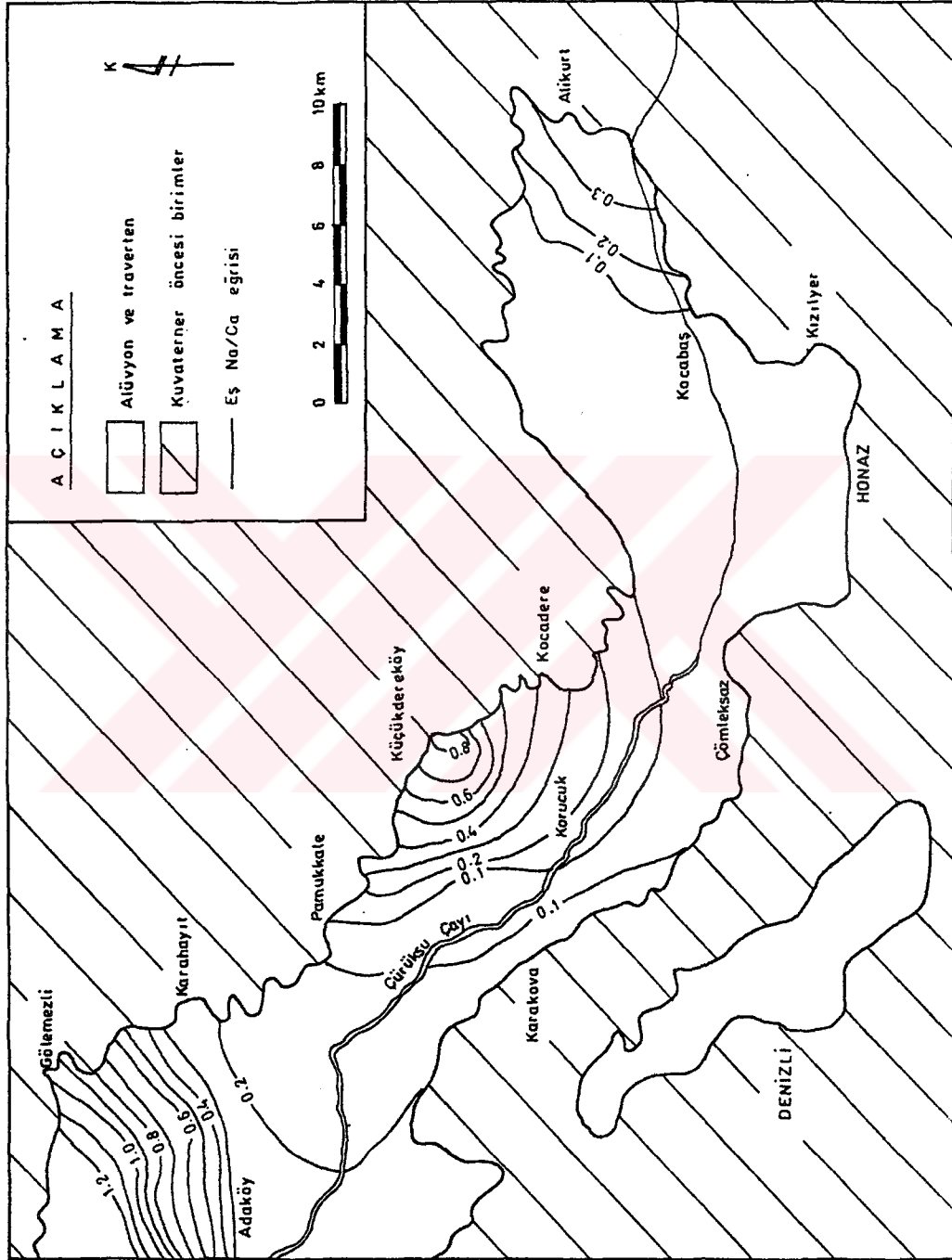
Şekil 110. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş klorür/bikarbonat haritası.



Şekil 11.1. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sodyum/potasyum haritası.



Şekil 112. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş magnezyum/kalsiyum haritası.



Şekil 113. Çürüksu Ovası yeraltısuları eş sodyum/kalsiyum haritası.

Bu varsayımlardan hareketle sıcak suların SiO_2 , Na, K, Ca, Cl değerlerinden yararlanarak çeşitli ampirik bağıntı ve diyagramlar yardımıyla hazne kaya sıcaklığına yaklaşım sağlanmaya çalışılmıştır.

Kantitatif jeotermometreler çözünürlük, iyon değişimi ve iyon etkinliğine dayalı jeotermometreler olmak üzere üçe ayrılır.

5.6.1.2.1. Çözünürlüğe dayalı silis jeotermometreleri

Silis çözünürlüğü, diğer iyonların, bileşiklerin, uçucu maddelerin ortamdan ayrılmasından etkilenmediği için hazne kaya sıcaklığının saptanmasında kuvars çözünürlüğüne dayalı jeotermometrelerin kullanımı yaygındır. Birçok araştırmacı bu jeotermometre ile ilgili matematiksel ve grafik çözüm yöntemleri önermişlerdir (Fournier ve Row, 1966; Ellis, 1970; Sigvaldason, 1973; Fournier ve Truesdell, 1974-a; Arnorsson, 1975). Silis jeotermometreleri hazne kaya sıcaklığının $150-225^\circ\text{C}$ arasında olduğu durumlarda iyi sonuçlar vermektedir. Silis jeotermometre bağıntıları, hazne kaya sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır.

250°C 'ye kadar hazne kaya sıcaklığını veren bağıntılar şunlardır:

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Amorf silis | : $t^\circ\text{C} = (731/(4.52-\log c)) - 273.15$ |
| 2. Beta kristobalit | : $t^\circ\text{C} = (781/(4.51-\log c)) - 273.15$ |
| 3. Alfa kristobalit | : $t^\circ\text{C} = (1000/(4.78-\log c)) - 273.15$ |
| 4. Kalseduan | : $t^\circ\text{C} = (1032/(4.69-\log c)) - 273.15$ |
| 5. Kuvars | : $t^\circ\text{C} = (1309/(5.19-\log c)) - 273.15$ |
| 6. Kuvars buhar kaybindan sonra | : $t^\circ\text{C} = (1522/(5.75-\log c)) - 273.15$ |

Silisin değişik koşullarda soğumasına bağlı hazne kaya sıcaklıklarını veren bağıntılar aşağıdadır:

- | | |
|--------------------------------|--|
| 7. Kuvars adyabatik soğuma | : $t^\circ\text{C} = (1533.5/(5.768-\log c)) - 273.15$ |
| 8. Kuvars iletim ile soğuma | : $t^\circ\text{C} = (1315/(5.205-\log c)) - 273.15$ |
| 9. Kalseduan iletim ile soğuma | : $t^\circ\text{C} = (1015.2/(4.655-\log c)) - 273.15$ |

Bağıntılarda c, SiO_2 (mg/l)'i tanımlar. Düşük sıcaklıklarda amorf silis, kristobalit veya kalseduan, silisin suda çözünürlüğünü denetler. Silis jeotermometre

bağıntıları ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları Çizelge 45'de verilmiştir. Bu yöntemle bulunan gerçekçi hazne kaya sıcaklıkları Pamukkale ve Karahayıt için 90°C, Gölemezli için 150-167°C'dir. Yukarıdaki bağıntıların grafik çözümleri Şekil 114 ve 115'de sunulmuştur. Ayrıca, kaynayarak buhar kaybeden ve kaynamayan kaynakların hazne kaya sıcaklıklarını saptamak için verilen diyagramda, sıcak suyun silis miktarı düşey eksene işaretlenerek, yatay eksene çizilen paralelin istenen jeotermometre eğrisini kestiği noktadan yatay eksene inilen dikme hazne kaya sıcaklığını verir(Şekil 116). Grafik çözümlerle bulunan hazne kaya sıcaklıkları Pamukkale ve Karahayıt için 40-75°C, Gölemezli için 110-175°C arasındadır.

5.6.1.2.2. İyon değişimine dayalı jeotermometreler

Suda iyon değişimine uğrayan mineraller jeotermometre olarak kullanılabilir. Burada Na/K ve Na-K-Ca jeotermometrelerine değinilecektir:

Na/K jeotermometreleri:

Sulardaki Na/K oranının sıcaklıkla doğrusal ilişkisinden yararlanılarak geliştirilen jeotermometre bağıntılarından bazıları şunlardır (Fournier, 1979):

Hazne kaya sıcaklığı 25-250°C arası:

1. $t^{\circ}\text{C} = (933/\log(\text{Na/K}) + 0.933) - 273.15$
2. $t^{\circ}\text{C} = (1319/\log(\text{Na/K}) + 1.699) - 273.15$

Hazne kaya sıcaklığı 100-275°C arası:

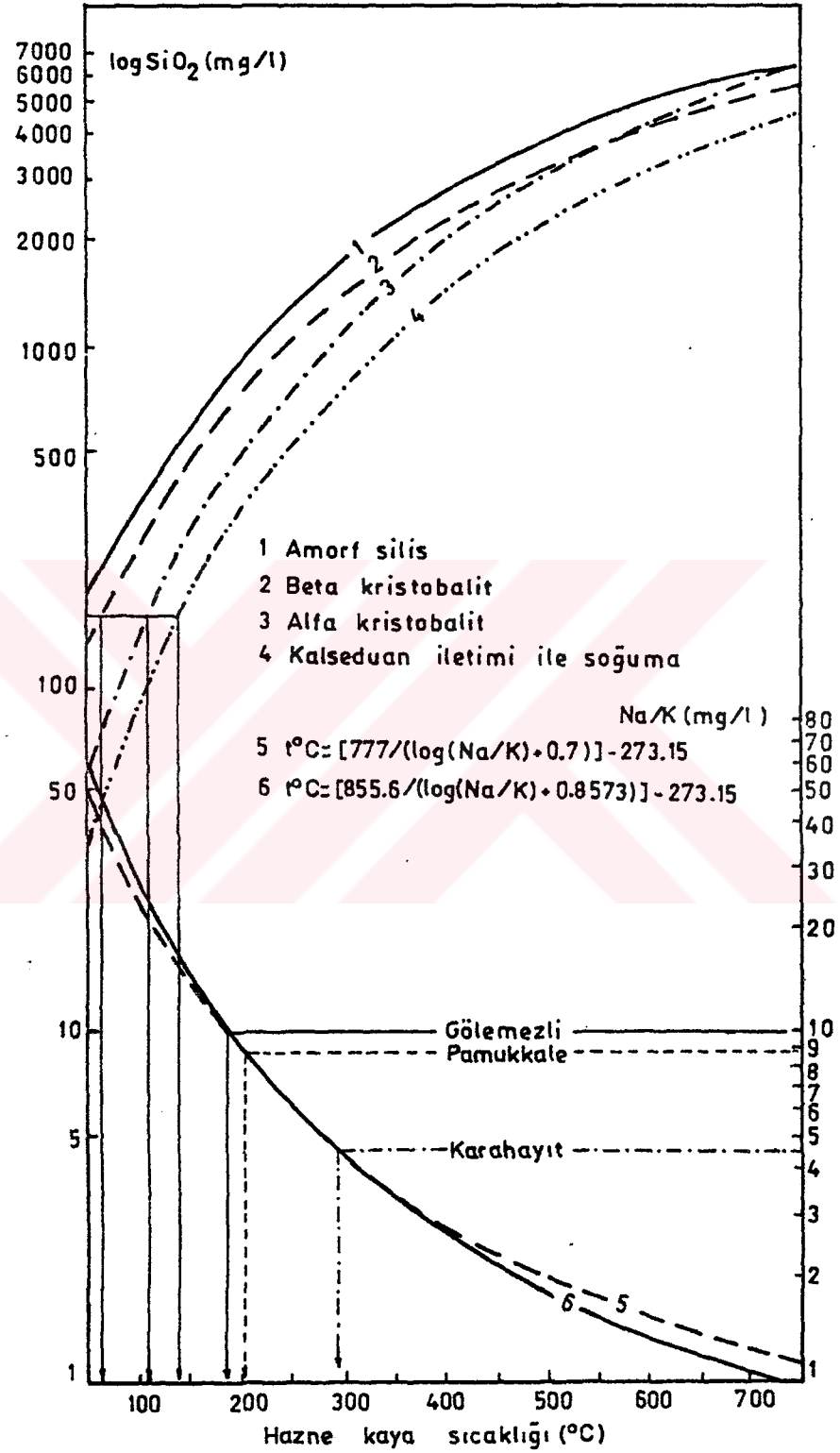
3. $t^{\circ}\text{C} = (855.6/\log(\text{Na/K}) + 0.857) - 273.15$
4. $t^{\circ}\text{C} = (777/\log(\text{Na/K}) + 0.70) - 273.15$

Hazne kaya sıcaklığı 100-300°C arası:

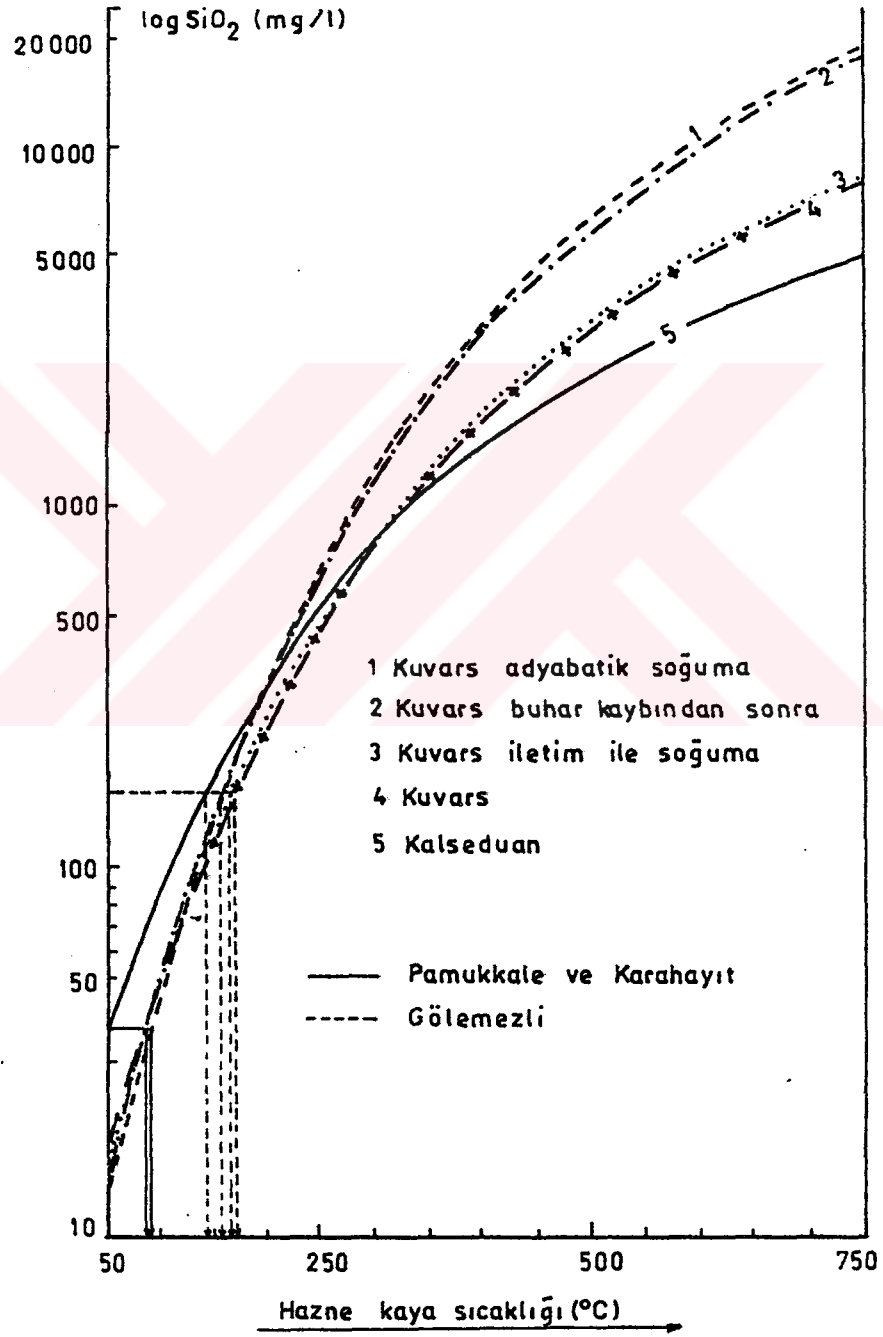
5. $t^{\circ}\text{C} = (1217/\log(\text{Na/K}) + 1.48) - 273.15$

Çizelge 45. Sıcak suların silis jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları

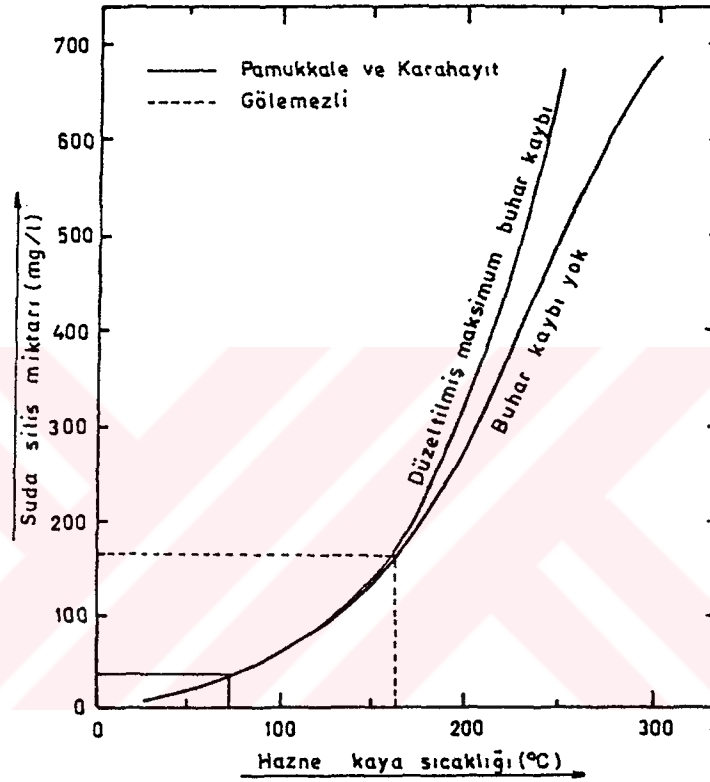
SUYUN ADI	SiO ₂ (mg/l)	t ⁰ C	HAZNE KAYA SICAKLIĞI (°C)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pamukkale Özel İdare	38.57	36.5	-23.9	-6.02	39.9	59.3	90.1	92.4	93.5	90.2	57.6
Pamukkale Belediye	38.57	36.0	-23.0	-6.02	39.9	59.3	90.1	92.4	93.5	90.2	57.6
Pamukkale Jandarma	38.57	38.0	-23.0	-6.0	39.9	59.3	90.1	92.4	93.5	90.2	57.6
Karahayıt Kızıltepe	38.57	55.0	-23.0	-6.0	39.9	59.3	90.1	92.4	93.5	90.2	57.6
Karahayıt Kurtur Otel	34.28	57.6	-28.2	-10.6	35.0	53.9	84.9	87.9	89.1	85.1	52.2
Karahayıt Kızılhamam	32.14	45.0	-30.5	-13.0	32.3	51.1	82.3	85.6	86.7	82.4	49.3
Karahayıt Rüzgar Pansiyon	38.57	59.0	-23.9	-6.0	39.9	59.3	90.1	92.4	93.5	90.2	57.6
Karahayıt Ergür Otel	40.71	41.4	-21.9	-3.8	42.2	61.9	92.5	94.4	95.6	92.6	60.2
Karahayıt Hierapolis Otel	34.28	56.8	-28.2	-10.6	35.0	53.9	84.9	87.9	89.1	85.1	52.2
Göremezli Eski Hamam	165.00	52.0	44.3	67.5	117.1	144.2	167.2	157.7	158.7	167.0	143.3
Göremezli Yeni Hamam	122.14	49.1	27.3	49.1	98.1	123.3	148.7	142.3	143.4	148.6	122.1
Göremezli Sızıntı	126.42	58.3	29.1	51.1	100.2	125.6	150.7	144.0	145.1	150.6	124.4



Şekil 114. Sıcak suların bazı silis ve Na/K jeotermometrelerinin grafik çözümlerine uygulanışı.



Şekil 115. Sıcak suların bazı silis jeotermometrelerinin grafik çözümlerine uygulanışı



Şekil 116. Sıcak suların, kuvars çözünürlüğüne bağlı hazne kaya sıcaklıklarının saptanması.

Bağıntılarda iyonlar mg/l alınır. İnceleme alanı sıcak sularının Na/K jeotermometreleri ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları Çizelge 46'dadır. Bu sıcaklıklar Pamukkale için 244-273°C, Karahayit için 250-360°C ve Gölemezli için ise 205-240°C arasında bulunmuştur. Sıcak sulardaki Na/K oranları Şekil 114 ve 117'de verilen abaklara uygulandığında Pamukkale'de 200-270°C, Karahayit'ta 290°C ve Gölemezli'de 180-255°C arasında hazne kaya sıcaklığı değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 46. Sıcak suların Na/K jeotermometreleriyle hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları

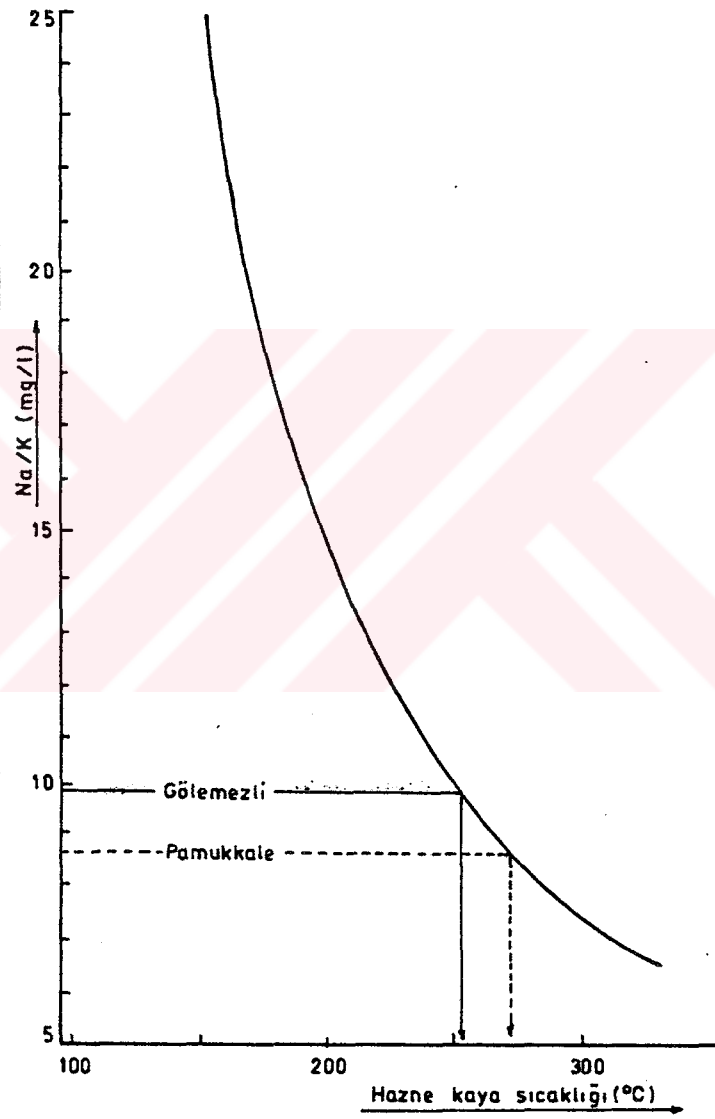
	Na/K	t°C	HAZNE KAYA SICAKLIĞI (°C)				
			1	2	3	4	5
Pamukkale Özel İdare	6.24	36.5	266.7	255.6	244.7	246.5	261.7
Pamukkale Belediye	5.95	36.0	273.2	260.1	251.3	253.8	266.6
Pamukkale Jandarma	5.95	38.0	273.2	260.1	251.3	253.8	266.6
Karahayit Kızılleğen	4.01	55.0	334.2	299.8	312.8	323.1	311.1
Karahayit Kurtur Otel	3.46	57.6	360.6	316.2	339.7	359.9	329.6
Karahayit Kızılhamam	6.05	45.0	270.9	258.5	248.9	251.2	364.9
Karahayit Rüzgar Pansiyon	4.45	59.0	316.8	288.7	295.2	303.1	298.6
Karahayit Osmanlı Pansiyon	5.98	55.7	272.5	259.6	250.5	253.0	266.1
Karahayit Yavuz Pansiyon	5.45	45.7	285.7	268.4	263.8	267.8	275.9
Karahayit Ergür Otel	4.70	41.4	308.1	283.1	286.4	293.1	292.3
Karahayit Hierapolis Otel	4.90	56.8	301.6	278.9	279.8	285.7	287.6
Gölemmezli Yeni Hamam	7.73	52.0	239.1	236.7	217.1	216.1	240.7
Gölemmezli Eski Hamam	8.43	49.1	228.8	229.3	206.8	204.7	232.7
Gölemmezli Sızıntı	7.85	58.3	237.3	235.3	215.2	214.0	239.3
Gözpınarı	10.40	30.0	205.3	212.5	183.4	179.4	214.2

Na-K-Ca jeotermometresi:

Fournier ve Truesdell (1973), Na-K-Ca jeotermometre bağıntısını şöyle vermişlerdir:

$$t^{\circ}C = \left[\frac{1647}{(\log(Na / K) + \beta \log(\sqrt{Ca} / Na) + 2.24)} \right] - 273.15$$

Bağıntıda, Na, K ve Ca mol/l'dir. β , bir katsayıdır. Eğer $\log(\sqrt{Ca} / Na)$ değeri eksi ise $\beta=1/3$, artı ise $\beta=4/3$ olarak bağıntıya konur. Ayrıca, $\beta=4/3$ ile hesaplanan hazne kaya sıcaklığı $100^{\circ}C$ 'den fazla ise, $\beta=1/3$ alınarak tekrar hesap edilir. Ters durumda $\beta=4/3$ kabul edilir.



Şekil 117. Sıcak suların hazne kaya sıcaklıklarının Na/K oranına dayalı grafik çözümle belirlenişi.

Fournier ve Potter (1979), Na-K-Ca jeotermometre bağıntısında bazı koşullarda düzeltmeler yapılmasını önermişlerdir. Buna göre düzeltme katsayısı (R) şöyle hesaplanır.

$$R = (Mg / Ca + Mg + K) \cdot 100$$

Bağıntıda iyonlar mek/l alınır. Bulunan hazne kaya sıcaklığı 70°C'den fazla ve R=5-50 arasında veya daha yüksek ise aşağıdaki bağıntıdan yararlanılarak düzeltme sayıları hesabedilir ve hazne kaya sıcaklığından çıkarılır:

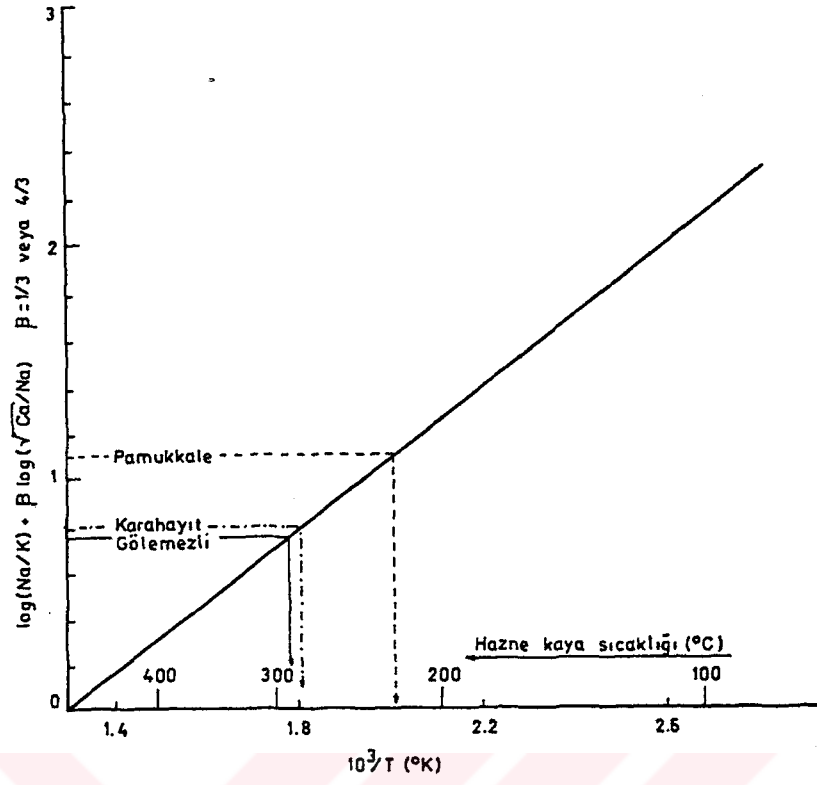
$$t^{\circ}Mg = \left[\frac{10.66 - 4.7415R + 325.87(\log R)^2 - (1.032)10^5(\log R)^2 / T -}{(1.968)10^7(\log R)^2 / T^2 + (1.605)10^7(\log R)^3 / T^2} \right]$$

Eğer R = 0.5-5 arasında ise şu bağıntı kullanılır:

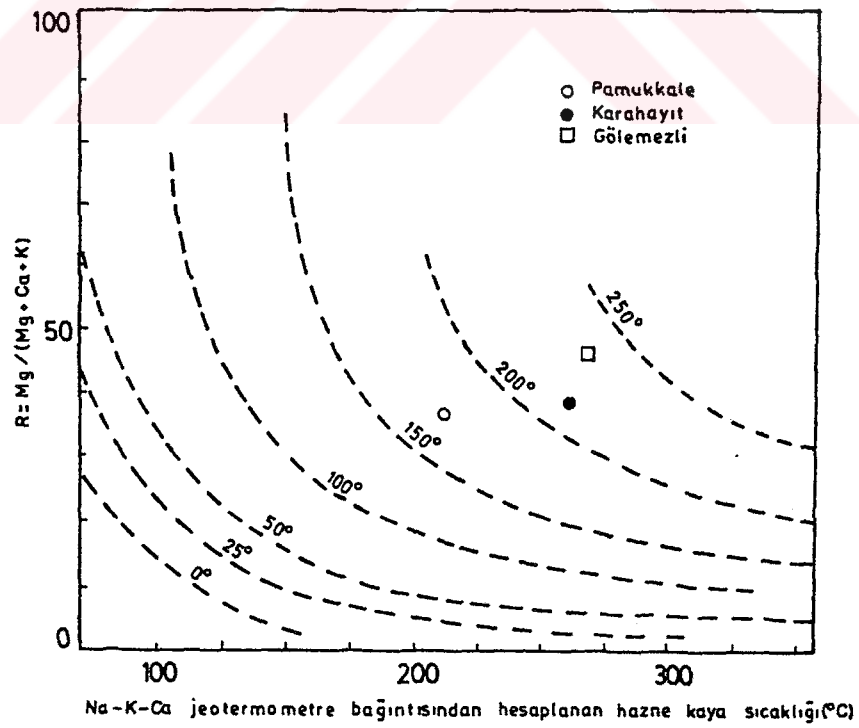
$$t^{\circ}Mg = \left[\frac{-1.03 + 59.971(\log R) + 145.05(\log R)^2 -}{(36711)(\log R)^2 / T - (1.67)10^7(\log R) / T^2} \right]$$

Bağıntılarda $t^{\circ}Mg$, magnezyum düzeltme sıcaklığı (°C); R, düzeltme katsayısı; T, Na-K-Ca jeotermometresinde hesaplanan hazne kaya sıcaklığıdır(°K).

$\log(Na / K) + \beta \log(\sqrt{Ca} / Na)$ bağıntısına bağlı hazne kaya sıcaklıkları Şekil 118, magnezyum düzeltme diyagramı Şekil 119 ve Na-K-Ca jeotermometre bağıntısından hesaplanan ve düzeltilmiş hazne kaya sıcaklıkları Çizelge 47'de verilmiştir. Düzeltilmemiş hazne kaya sıcaklıkları Pamukkale'de 220°C, Karahayıt ve Gölemezli'de 260°C; düzeltilmiş sıcaklıklar ise sırasıyla 47, 47-88 ve 59°C'dir. Düzeltilmiş sıcaklıklardan bir kısmı suyun yüzeydeki sıcaklığından daha düşük olduğu için dikkate alınmamıştır.



Şekil 118. Sıcak suların hazne kaya sıcaklığının Na, K, Ca değerlerine dayalı grafik çözümüyle belirlenişi.



Şekil 119. Magnezyum düzeltme diyagramı.

Çizelge 47. Sıcak suların Na-K-Ca jeotermometresiyle hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları

SUYUN ADI	t°C	HAZNE KAYA SICAKLIĞI (°C)			
		Na-K-Ca	R	t°Mg	T
Pamukkale Özel İdare	36.5	214.8	35.3	169.4	45.4
Pamukkale Belediye	36.30	219.4	35.1	172.5	47.0
Pamukkale Jandarma	38.0	219.4	35.1	172.5	46.9
Karahayit Kızılleğen	55.0	267.3	38.2	216.2	-
Karahayit Kurtur Otel	57.06	271.9	27.7	187.7	84.2
Karahayit Kızılhamam	45.0	237.2	23.5	148.5	88.7
Karahayit Rüzgar Pansiyon	59.0	261.4	27.0	178.4	83.0
Karahayit Osmanlı Pansiyon	55.7	235.2	54.4	218.1	-
Karahayit Yavuz Pansiyon	45.7	248.7	37.9	201.9	46.8
Karahayit Ergür Otel	41.4	273.4	52.2	245.4	-
Karahayit Hierapolis Otel	56.8	259.7	36.1	205.6	-
Gölemezli Yeni Hamam	52.0	270.5	46.4	234.9	-
Gölemezli Eski Hamam	49.1	251.1	33.4	192.2	58.9
Gölemezli Sızıntı	58.3	262.8	39.6	216.2	-
Gözpınarı	30.0	205.1	43.4	177.4	-

5.6.1.2.3. İyon etkinliğine dayalı Na/Li jeotermometresi

İyon etkinliğine dayalı Na/Li jeotermometre bağıntısı şöyledir (Şahinci, 1987):

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1000}{0.38 + \log(a\text{Na} / a\text{Li})} - 273.13$$

Bağıntıda, aNa ve aLi mol/kg alınır.

Bu yöntemle hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları Pamukkale Özel İdare'de 158, Belediye ve Jandarma kaynaklarında 148, Karahayit Kızılleğen'de 163 ve Gölemezli sıcak sularında 182°C'dir.

5.6.1.2.4. Karışım modelleri

Sıcak suların yüzeye erişirken çevreyle hiç bir ısı ve madde alışverişi yapmadığı jeotermal sistemler enderdir. Sıcak sular yüzeye doğru hareketleri sırasında az veya çok soğuk yeraltısuları ile karışabilir. Bu sıcak-soğuk su karışımından yararlanan bir çok araştırmacı (Fournier ve Truesdell, 1974-b; Fournier, 1977; Truesdell ve Fournier, 1977), hazne kaya sıcaklığını ve karışım oranlarını veren yöntemler önermişlerdir. Bu yöntemler iki varsayım üzerine kurulmuştur. Birinci varsayıma göre sıcak-soğuk su karışımı derindedir ve karışım öncesi veya sonrası buhar kaybı yoktur. Bu varsayımla en yüksek hazne kaya sıcaklığı değerleri elde edilir. İkinci varsayımda buharın derinlerde sıcak akışkandan ayrılarak ortamdan uzaklaştığı, daha sonra sıcak-soğuk su karışımının gerçekleştiği kabulüne dayanır. En düşük hazne kaya sıcaklığı değerleri bu varsayımla hesaplanır. Karışım modelleri silise ve klorüre dayalı olarak iki grupta incelenmiştir.

1. Silise dayalı karışım modelleri

a-) Buhar kaybının bulunmadığı varsayımına dayalı karışım modeli:

Bu modelde, karışım ile soğuk yeraltısularını ısıtan akışkan (buhar + sıcak su) entalpisinin hazne kayadaki entalpisine eşit olduğu varsayılır. Hazne kaya sıcaklığı ve soğuk su karışım oranını saptamak için şu iki bağıntı verilmiştir:

$$H_s = H_c x + H_h (1 - x)$$

$$Si_s = Si_c x + Si_h (1 - x)$$

Bağıntılarda, H_c , H_h , H_s sırası ile soğuk, hazne kaya ve karışım sularının entalpileri (cal/g); Si_c , Si_h , Si_s soğuk, hazne kaya ve karışım sularında bulunan silis miktarları (mg/l); x , karışımı temsil eden sıcak sudaki soğuk su oranıdır. Bu soğuk su oranı çekildiğinde yukarıdaki bağıntılar şöyle yazılabilir:

$$x = \frac{H_h - H_s}{H_h - H_c}, \quad x = \frac{Si_h - Si_s}{Si_h - Si_c}$$

H_h , Na-K-Ca jeotermometresi ile hesaplanan sıcaklık yardımıyla bulunur.

Bu yöntem, karışım suyu kabul edilen Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak sularına uygulanmıştır. Bu suların ve soğuk suyun sıcaklık ve silis değerleri aşağıdadır:

	t°C	SiO ₂ (mg/l)
Soğuk su	16.0	23.5
Pamukkale Özel İdare Kaynağı	36.0	38.5
Karahayıt Kızılgeçen Kaynağı	55.0	38.5
Gölemezli Yeni Hamam Kaynağı	58.0	165.0

Hazne kaya kuramsal sıcaklıklarının entalpileri ve silis miktarları Çizelge 48'de verilmiştir.

Çizelge 48. Hazne kaya kuramsal sıcaklıklarının entalpileri ve silis miktarları
(Şahinci, 1987'den)

t°C	Entalpi(cal/g)	SiO ₂ (mg/l)
50	50.0	13.50
75	75.0	26.60
100	100.1	48.00
125	125.4	125.0
175	177.0	185.0
200	203.6	275.0
225	230.9	365.0
250	259.2	486.0
275	289.0	614.0
300	321.0	692.0

Hazne kaya sıcaklığı ve karışım oranlarını bulmak için yukarıda verilen bağıntılardan her kuramsal hazne kaya sıcaklığına karşılık gelen X_t ve X_{st} değerleri hesaplanır. Bu hesaplamalarda Çizelge 48'de Pamukkale için 50°C, Karahayıt ve Gölemezli için ise 75°C'den başlamak gerekir. İnceleme alanı sıcak sularının hesaplanan X_t ve X_{st} değerleri Çizelge 49'dadır. Kuramsal hazne kaya entalpi değerleri düşey ve kuramsal soğuk su karışım oranları yatay ekseninde olmak üzere her sıcak su kaynağı için $X_t - H_h$ ve $X_{st} - H_h$ grafiği çizilir. Bu iki eğri ailesinin

kesiştiği noktadan yatay eksene inilen dikme soğuk su karışım oranını, dışey eksene inilen dikme ise hazne kaya sıcaklığını verir.

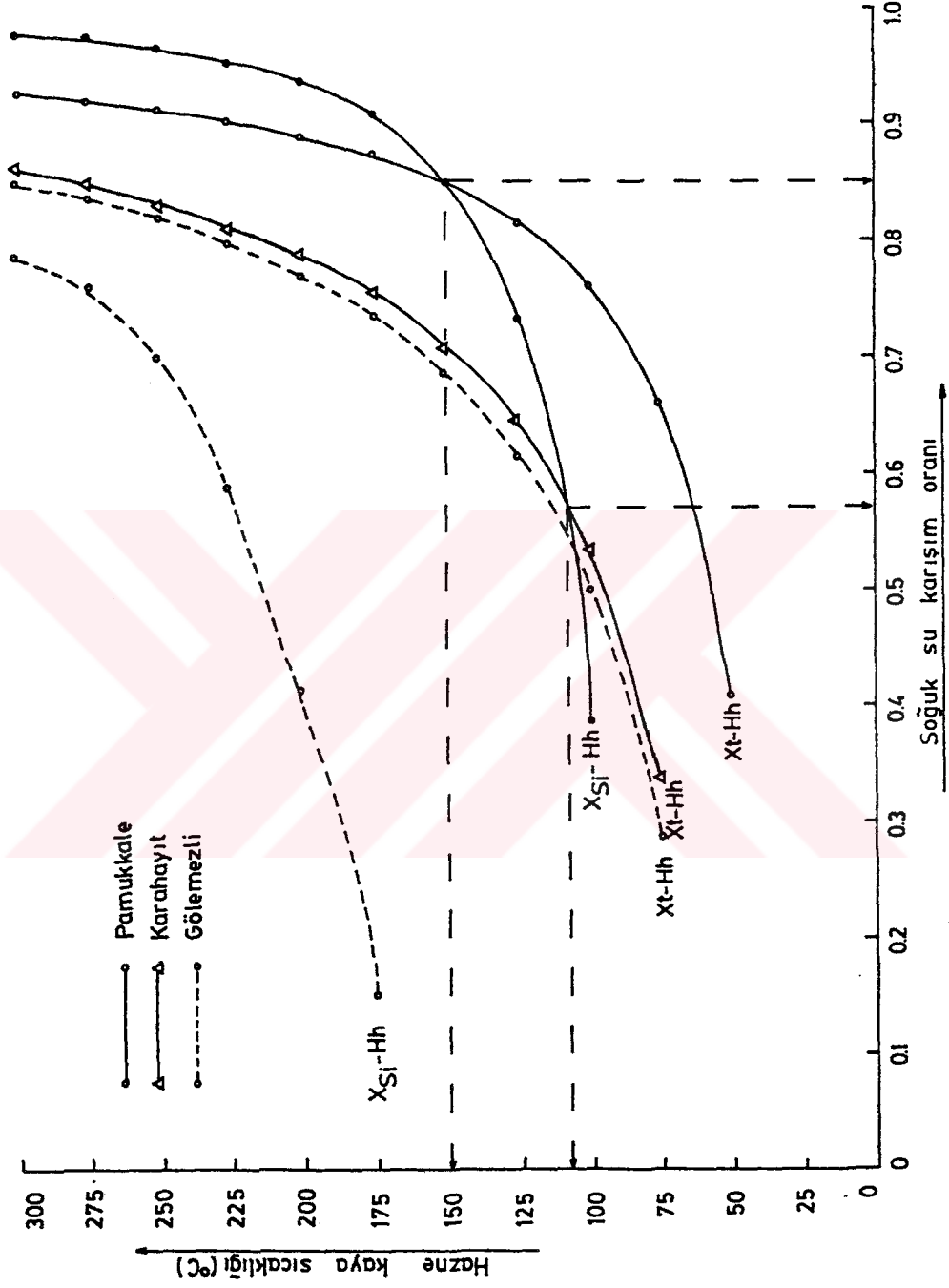
Çizelge 49: İnceleme alanı sıcak sularının kuramsal hazne kaya sıcaklıklarına göre X_t ve X_{si} değerleri

$t^{\circ}\text{C}$	PAMUKKALE		KARAHAYIT		GÖLEMEZLİ	
	X_t	X_{si}	X_t	X_{si}	X_t	X_{si}
50	0.411	-	-	-	-	-
75	0.661	-	0.338	-	0.288	-
100	0.761	0.387	0.535	0.387	0.500	-
125	0.816	0.734	0.642	0.734	0.614	-
150	0.850	0.852	0.708	0.852	0.686	-
175	0.874	0.909	0.755	0.909	0.735	0.150
200	0.891	0.937	0.788	0.937	0.771	0.414
225	0.904	0.956	0.813	0.956	0.799	0.588
250	0.914	0.967	0.833	0.967	0.820	0.696
275	0.922	0.974	0.849	0.974	0.837	0.760
300	0.930	0.977	0.862	0.977	0.852	0.784

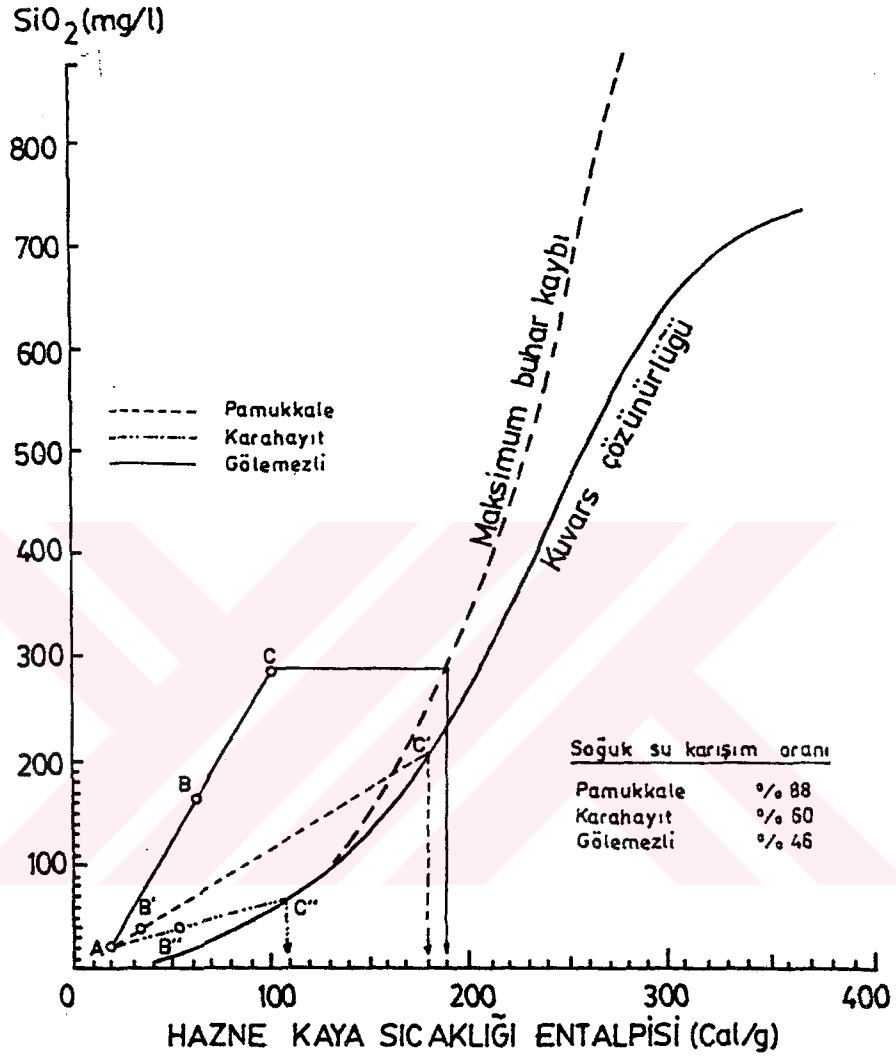
Pamukkale ve Karahayıt sıcak sularında silis değerleri aynı olduğu için H_h-X_{si} grafikleri de aynıdır. Bu yöntemle hazne kaya sıcaklıkları Pamukkale için 150°C , Karahayıt için ise 110°C bulunmuştur. Ayrıca Pamukkale'nin %85, Karahayıt'ın %57 oranında soğuk sularla karıştığı belirlenmiştir (şekil 120). şekil 120'de görüldüğu gibi Gölemezli sıcak su kaynağı için X_t-H_h ve $X_{si}-H_h$ eğri grubu kesişmemektedir. Bunun nedeni sudan buhar ayrılması veya yüzeeye erişirken silisçe zenginleşmedir.

b-) Buhar kaybı varsayımına dayalı karışım modeli:

Truesdell ve Fournier (1977), silis karışım modeli için diğer bir diyagram vermişlerdir (şekil 121). Bu diyagramda dışey eksende silis (mg/l), yatay eksende ise hazne kaya sıcaklığı entalpisi işaretlenmiştir. Diyagram üzerinde "kuvars çözünlürlüğu" ve "maksimum buhar kaybı" eğrileri çizilmiştir.



Şekil 120. Silis karışım modeline göre sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları.



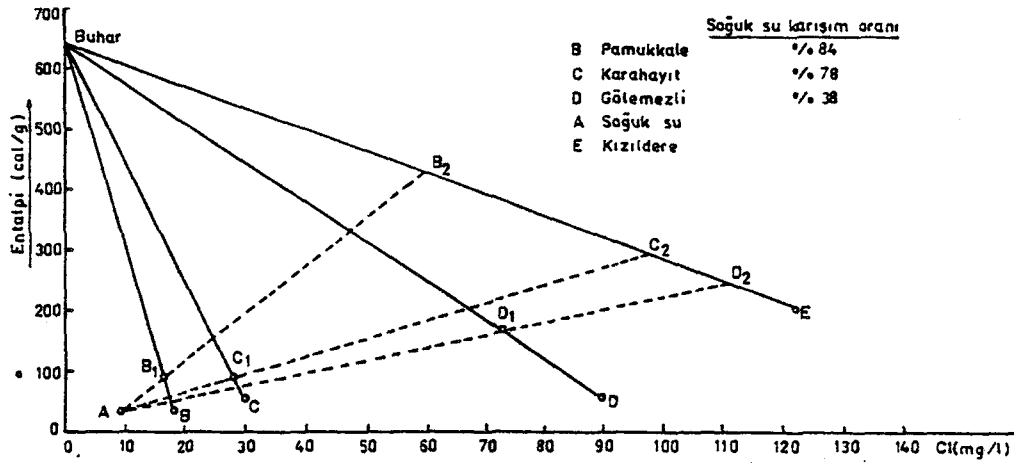
Şekil 121. Silis karışım modeline göre sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları.

Diyagramda, önce soğuk suyun silis miktarı ve sıcaklığına göre A, daha sonra karışımı temsil eden sıcak suyun silis miktarı ve ölçülen sıcaklığından yararlanarak B noktası bulunmuştur. A ve B noktaları birleştirilerek uzatılmış ve "kuvars çözünürlüğü" eğrisini kestiği C noktasından yatay eksene dik inilerek hazne kaya sıcaklığı bulunmuştur. Karışım sularındaki sıcak su oranı AB/AC oranı ile elde edilmiştir. Bu diyagramda da Gölemezli sıcak suyuna ait değerlerle çizilen AB doğrusu, eğrileri kesmemiştir. Bu durumda suyun kaynama sıcaklığı entalpisi olan 100 cal/g, yatay eksen üzerinde işaretlenerek yukarıya doğru dik çıkılmıştır. AB doğrusu uzatılarak bu dikey kestiği noktaya C noktası denmiştir. Bu noktadan yatay eksene paralel çizilmiş ve çizginin "maksimum buhar kaybı" eğrisini kestiği noktadan yatay eksene dik inilerek hazne kaya sıcaklığı bulunmuştur. Bu yöntemle bulunan hazne kaya sıcaklıkları Pamukkale'de 180°C, Karahayıt'ta 110°C, Gölemezli'de 190°C; soğuk su karışım oranları ise Pamukkale'de %88, Karahayıt'ta %60 ve Gölemezli'de %46'dır.

2. Klorüre dayalı karışım modeli

Truesdell ve Fournier (1977) ve Fournier (1977), klorüre dayalı karışım modeli için bir diyagram önermişlerdir (Şekil 122). Diyagramda, düşey eksene suların entalpileri, yatay eksene ise suların klorür değerleri konmuştur. Buharın sıcak sudan ayrılma entalpisi olan 639.15 cal/g düşey eksen üzerine işaretlenmiş ve bu nokta "buhar" olarak tanımlanmıştır. Soğuk ve sıcak sular içerdikleri klorür ve sıcaklıklarına göre diyagrama yerleştirilmiştir. Kızıldere KD.16 sondajı (212°C sıcaklık ve 122 mg/l klorür ;Şimşek,1984) hazne kayadaki akışkan kabul edilerek diyagrama alınmıştır. Sıcak suların diyagram üzerinde belirledikleri noktalar "buhar" noktası ile birleştirilmiştir. Daha sonra, her bir kaynağın hazne kaya sıcaklıkları silis (iletim ile soğuma) jeotermometre bağıntısı ile hesaplanmış ve bulunan değerler kaynak noktalarını buhar noktasına birleştiren doğrular üzerine işaretlenmiştir. Bu noktalar soğuk su noktası ile birleştirilmiştir.

Bu yöntemle inceleme alanı sıcak sularının hazne kaya sıcaklıkları 170-320°C arasında değişmektedir. Şekil 122'de sıcak su karışımları AB₁/AB₂, AC₁/AC₂ ve AD₁/AD₂ oranlarıyla belirlenmiştir. Buna göre Pamukkale %84, Karahayıt %78 ve Gölemezli %38 oranında soğuk sularla karışmaktadır.



Şekil 122. Klorür karışım modeline göre sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları ve karışım oranları.

5.6.1.2.5. Kantitatif jeotermometrelerin yorumlanması

Çeşitli jeotermometrelerle saptanan hazne kaya sıcaklıkları aşağıda toparlanmıştır:

	Pamukkale	Karahayıt	Gölemezli
1) Silis jeotermometreleri			
Matematiksel	90	90	150-167
Grafik	40-75	40-75	110-175
2) Na/K jeotermometresi			
Matematiksel	244-273	250-360	205-240
Grafik	200-270	290	180-225
3) Na-K-Ca jeotermometresi			
Düzeltilmemiş	220	260	260
Düzeltilmiş	47	47-48	59
Grafik	230	280	290

4) Na/Li	158	163	182
5) Silis karışım modeli			
Buhar kaybı yok	150	110	—
Buhar kaybı var	180	110	190
6) Klorür karışım modeli	—170-320 arası ———		

Traverten oluşturan sulara Na/K jeotermometreleri geçerliliklerini yitirirler. Bu nedenle Pamukkale ve Karahayıt sularına uygulanamazlar. Na-K-Ca jeotermometrelerinin uygulanabilmesi için suların kimyasal yapısında yeni dengelenmelerin olmaması gerekir. Ancak Pamukkale ve Karahayıt sıcak sularının yükselirken karbonat çökelmeleri sonucu kalsiyum miktarları azalır. Bu da Na-K-Ca jeotermometresinin yüksek değerler vermesine neden olur ve kullanılmasını sınırlar. Pamukkale sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri uygun sonuçlar vermektedir. Bu sular için birinci hazne kaya olan travertenlerde 45°C, ikinci hazne kaya olan Pliyosen yaşlı kireçtaşları için 75-90°C hazne kaya sıcaklıkları kabul edilebilir. Karahayıt sıcak sularında birinci hazne kaya travertenlerin kırıklar yardımıyla ikinci hazne kaya Pliyosen kireçtaşlarından beslendiği düşünülmektedir. Pliyosen kireçtaşları için yine 75-90°C'lik hazne kaya sıcaklığı uygundur. Ancak Karahayıt sıcak sularında demir miktarındaki fazlalık suların şistlerle ilişkide olduğunu göstermektedir. Bu durumda sular mermer-şist ardalanmasından oluşan üçüncü hazne kaya ile de ilişkilidirler. Üçüncü hazne kaya sıcaklığı silis jeotermometrelerine göre 110-175°C'dir. Gölemezli sıcak sularında yüksek Na ve K, B, SiO₂ miktarı ve H₂S varlığı suların derinlerden geldiğine işaret eder. Kaynaklar çevresinde traverten çökelmelerinin olmaması ve $\log(\sqrt{Ca} / Na)$ değerinin 0.5'ten az olması nedeniyle bu sular için Na/K jeotermometreleri uygulanmış ve 205-240°C'lik hazne kaya sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Gölemezli sıcak suları, üçüncü hazne kaya olan mermerlerden gelmekte ve çok az bir mağmatik katkıya beraberinde taşımaktadır.

5.6.2. Doğal izotop jeotermometreleri

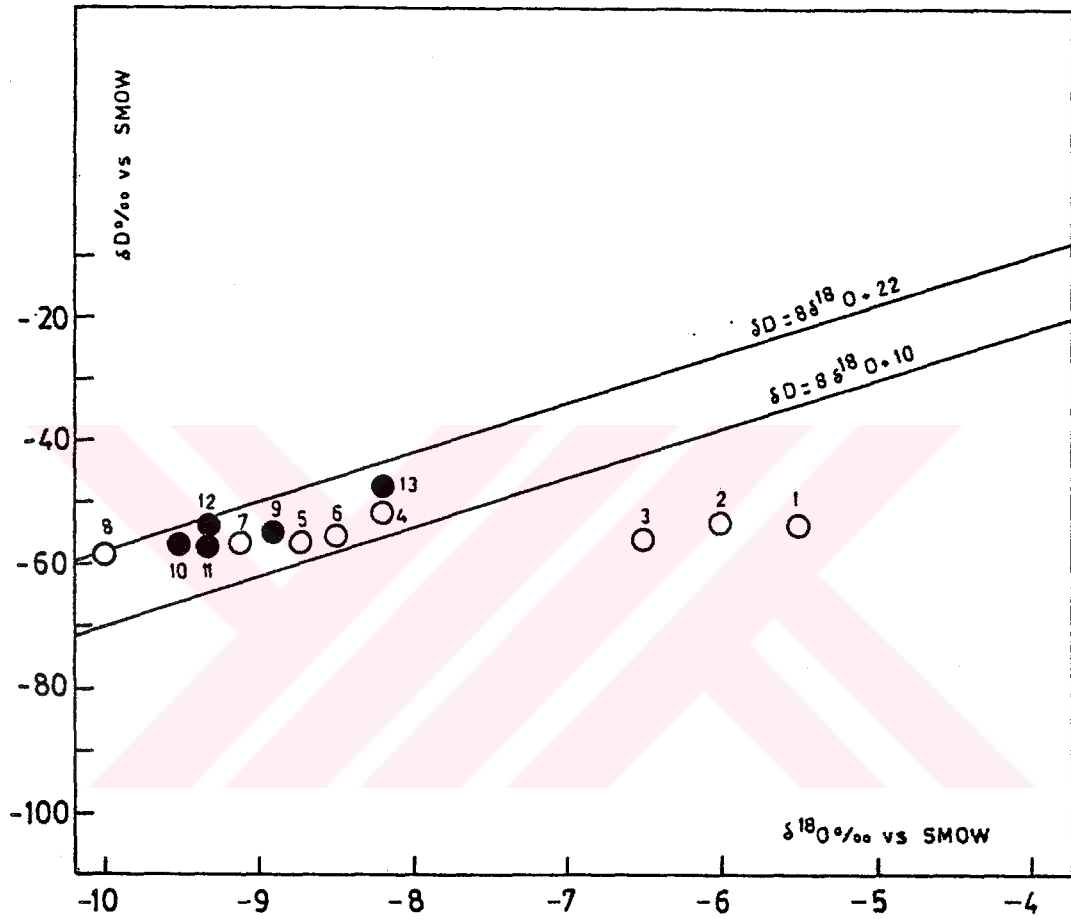
Kimyasal jeotermometreler, sıcak suların kimyasal özelliklerinin hazne kaya içindeki ile aynı olduğu, suların yüzeye erişirken soğuk sularla karışmadığı ve yeni kimyasal dengeler oluşmadığı varsayımına dayandığı ve bu varsayımların tümüyle gerçekleşmesi mümkün olmadığı için hazne kaya sıcaklıklarını belirlemede araştırmacıları şüpheye düşürmektedir. Bu nedenle yakın zamanda doğal izotop

jeotermometreleri kullanılmaya başlanmıştır. En çok kullanılan izotoplar oksijen ve hidrojenin duraylı izotopları olan O^{18} (oksijen-18) ve H^2 (döteryum)'dur. O^{18} 'in doğada bulunuş miktarı %99.76, H^2 'un ise %0.015'tir. İzotopların değerlendirilmesinde, gerçek ölçüm değerleri yerine bağıl derişim oranlarının verilmesi daha anlamlıdır. İzotop değerleri devirsel hidrojeolojinin başlangıcı ve sonu sayılan okyanus sularının izotop bileşim ortalamaları ile karşılaştırılır ve sonuçlar Craig (1961) tarafından verilen şu bağıntı ile tanımlanır:

$$\delta = 1000(R_{örnek} - R_{standart}) / R_{standart}$$

δ , uluslararası başvuru standart değeridir. SMOW, okyanus suları izotop bileşim ortalamasıdır ve tanım gereği δ 'sı sıfırdır. Eğer bir meteorik suyun δ 'sı -5 ise, bunun anlamı bu suyun ağır izotoplarının SMOW'a göre %0.5 daha fakir olduğudur. Suyun hafif izotopları buharlaşmayla ortamdan ayrılırken sıvı fazda ağır izotoplar zenginleşir. Başka bir deyişle akışkanın sıcaklığı ne kadar artarsa sıvı fazdaki ağır izotop zenginleşmesi de o denli fazla olur. Bu özellikten faydalanarak suların hazne kaya sıcaklıkları, bilinen bir sıcaklıktan gidilerek bağıl olarak kestirilebilir.

Filiz (1982), Ege Bölgesi'ndeki önemli jeotermal alanları izotop yöntemleriyle incelemiş ve Denizli yöresi sıcak ve soğuk suları için $O^{18} - H^2$ diyagramını çizmiştir (Şekil 123). Burada en yüksek hazne kaya sıcaklığı değeri Kızıldere KD-13 kuyusundadır. Kuyuda ölçülen sıcaklığın $212^{\circ}C$ olduğu gözönüne alınırsa diyagramda KD-13 kuyusunun sağına düşen değerler $212^{\circ}C$ 'den fazla, soluna düşen değerler ise daha düşük hazne kaya sıcaklıkları verecektir. Bu diyagrama göre Gölemezli kaynağı KD-13'ün solunda kalmakta ve böylece hazne kaya sıcaklığının $212^{\circ}C$ 'den düşük olduğu sonucuna varılmaktadır. Aynı şekilde en solda Pamukkale, Gölemezli ile Pamukkale arasında ise Karahayit sıcak suları kalmakta ve hazne kaya sıcaklığının Pamukkale'den Gölemezli'ye doğru arttığı gözlenmektedir. Güvenirliği tam olan bu yöntem, iyon etkinliğine dayalı Na/Li jeotermometre değerleri ile uyum sağlamaktadır.



- 1- Kızıldere KD-13
2- Kızıldere KD-6
3- Tekke hamamı
4- Yenice
5- Kamara

- 6- Gölemezli
7- Karahayıt-Kızıllağın
8- Pamukkale
9- B. Menderes (Köprübaşı)
10- Haydarbaba düdeni

- 11- Haydarbaba DSİ sondajı
12- Kelkaya düdeni
13- Ulukent karstik kaynak
○ Sıcak su
● Soğuk su

Şekil 123. Denizli yöresi sıcak ve soğuk sularının $O^{18} - H^2$ diyagramı (Filiz, 1982'den).

5.7. Su Ekonomisi

Pamukkale sıcak su kaynaklarının travertenlerle süslenen eşsiz güzelliği ve suların şifalı özelliği insanları çağlar boyu kendisine çekmiş ve bir çok uygarlığı bünyesinde barındırmasına neden olmuştur. Yörede ilk kentin İ.Ö. II.yüzyılda Bergama krallarından II.Eumenes tarafından kurulduğu ve Hierapolis adını aldığı tahmin edilmektedir. İ.S. 17'de büyük bir depremle yerle bir olan kent, İ.S. 60'da yine şiddetli bir deprem yaşamıştır. Ama hiç bir felaket insanları bu su kaynakları civarında yaşamaktan alıkoyamamıştır.

Günümüzde Pamukkale'de bir çok tesis mevcuttur. Bunlar arasında en büyükleri Özel İdare Motel, Tusan Motel, Kuru Motel, Mistur Motel ve Beltes'tir. Özel İdare, Beltes ve Jandarma tesislerinde havuzlarda kullanılan sular daha sonra diğer otellere ve travertenlere verilmektedir. Görsel, tarihsel zenginlikleri ve şifalı sularından yararlanmak isteyenler hem Pamukkale'ye girişte hem de havuzlara girerken bir miktar para ödemektedirler.

Karahayıt'ta Kurtur Otel, Ergür Otel ve Hierapolis Otel başta olmak üzere bir çok otel yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Beldede, pansiyonlaşma da çok yaygındır. Yaklaşık her evde sondajla sıcak su çıkartılmış, yeni düzenlemelerle evler pansiyon haline dönüştürülmüştür. Ucuzluğu nedeniyle bu pansiyonlar otellerden daha çok rağbet görmekte ve genellikle yerli turistlere ve yöre halkına hizmet vermektedir. Pamukkale'ye oranla yabancı turist azdır. Pamukkale'ye gelen yabancı turistler, Kızılçeşme Kaynağını görmek için Karahayıt'a kısa bir süre uğramaktadırlar.

Gölemizli Yeni Hamam Kaynağı şahıs arazisi üzerindedir ve elektriği, suyu olmayan ilkel tesislere sahiptir. Bu koşullarda hijyenik olması şüphelidir. Odalarda sadece hasır ve bir testi içme suyu vardır. Bu nedenle sudan yararlanmak için gelenler ihtiyaçlarını da getirmek zorundadırlar. Ağustos, 1993'te el değiştiren arazide kaynak civarına bir otel yapılması düşünülmektedir. Bu amaçla elektrik bağlanmıştır. Ancak, yörede görsel güzelliğin ve hiç bir alt yapının olmaması Gölemizli sıcak su kaynaklarının Pamukkale ve Karahayıt'a göre ikinci planda kalacağını göstermektedir.

Pamukkale ve Karahayıt sıcak sularındaki radyoaktivite değerleri ve suların tıbbi değerlendirilmesi Türkiye Maden Suları (1975)'nda şöyle özetlenmiştir:

	<u>Pamukkale</u>	<u>Karahayit</u>
Toplam alfa aktivitesi (Pci/lt)	3.75 m0.62	55.34 m3.78
Toplam beta aktivitesi (Pci/lt)	5.22 m1.46	62.95
Radon Rn^{222} (Pci/lt)	1381	156
Radyum Ra^{226} (Pci/lt)	0.42	5.16
Serbest CO ₂ gazı (mg/l)	998.97	1116.54

"Pamukkale ve Karahayit sıcak suları içme kürleri halinde değerlendirildiğinde sindirim sistemi üzerinde, özellikle mide-bağırsak, karaciğer ve safra yolları üzerinde olumlu etki gösterir. Terkinde bulunan bol miktarlarda CO₂, bir taraftan içimini kolaylaştırırken, diğer taraftan peristaltizmi artırıcı, sindirimi hızlandırıcı bir rol oynar. Bu nitelikleri gözönünde tutularak, bilhassa hipostenik dispepsiler ve karaciğerin fonksiyonel bozukluklarında, safra pigmentlerinin stazlarında, safra kesesi ve yollarının kronik iltihapları ve safra taşlarında ortaya çıkan sindirim bozukluklarında kullanılır. Suların, kanda yedek alkali miktarının düzenlenmesi nedeniyle şişmanlık, diabetes ve gut gibi metabolizma hastalıklarında etkin bir yardımcı olarak kullanılabilirdi de unutulmamalıdır. Bu gayelerle şişelendirilerek sofraya suyu olarak da istifadeye sunulabilir. Banyo şeklindeki uygulamalarda başlıca iki endikasyon kazanır: Bunlardan birincisi, dolaşım sistemine ait hastalıklardır. CO₂'li banyoya giren şahıslarda vazodilatasyon görülür; bunun sonucu olarak da kan basıncı düşer, kalbin çalışması rahatlar. Bilhassa sol kalp üzerinde koruyucu tesiri etkindir. Sağ kalbin çalışmasında artma olurken, diğer taraftan CO₂ yardımıyla banyo kürleriyle bir taraftan solunum sistemi üzerinde de olumlu, sedatif bir etki yaratmak olanağı elde edilir. Şu halde ön planda kalp, beyin ve etraf atardamarlarındaki iskemik sendromlar olmak üzere damar sertliği tansiyon değişimi ve bazı bronşiyal astma vakalarında bu sular geniş bir uygulama sahasına sahiptirler. İkinci endikasyon grubu içinde, osteoartroz sınıfına giren ve bilhassa alt ekstremitlerde yerleşme gösteren romatizmal sendromlar dikkate alınır. Buna akut devresini geçirmiş ve stabilize durumda bulunan artritis sendromları da ilave edilebilir. Özellikle akut eklem romatizması geçirmiş olanlarda medikal kontrol altında bulundurulmak üzere uygulanabilir."

Ülker (1988), sulara bulunan radyoaktif ürünlerin insan bünyesi üzerinde uyarıcı etki yaptığını, bu nedenle "gençlik suyu" olarak adlandırıldığını belirtmektedir. Ayrıca, Pamukkale ve Karahayit sıcak sularının banyo ve içme kürlerine elverişli olduğuna ve romatizmal hastalıklar, kan dolaşımı ve kalp hastalıkları, solunum yolu hastalıkları, sindirim sistemi hastalıkları, böbrek ve idrar yolu hastalıkları ile metabolizma bozukluklarında yararlı olduğuna değinmiştir. Her insan farklı bünyede

ve sulardan bilinçsizce yararlanma eğiliminde olduğu için kürlerin bir doktor denetiminde yapılması şarttır.

Gölemezli sıcak su kaynakları şu anda şifalı sudan yararlanma şeklinde sadece arazi sahibine kazanç getirmektedir. Karahayit beldesi geçimini hemen hemen tümüyle pansiyonculuktan temin etmektedir. Pamukkale ise ayrıcalıklı olarak Denizli Özel İdare Müdürlüğü, Denizli Belediyesi ve dolayısıyla ülke ekonomisine büyük katkı sağlayan ve gözden çıkarılmasına asla izin verilmemesi gereken bir doğa ve tarih hazinesidir.

Çürüksu Ovası yeraltı suları kalitesi düşük olmasına rağmen potansiyeli büyük sulardır. Yaz ve sonbahar aylarında sulamada kullanılarak tarım su açığını kapatırlar. Gemili Kaynağı gibi enaz 50 yıldır su bulunduran obruklarda, seviye bir miktar düşürülerek elde edilecek suyun sulamada kullanılması sondaj kuyularındaki pompaj masrafını azaltabilir.

Pınarbaşı Kaynağı çevresindeki restaurantta kaynak suyundan yararlanarak alabalık yetiştiriciliği yapılmaktadır. Aynı yerde D.S.İ. tarafından açılan sondajla 28°C'lik su alınması jeotermal potansiyelin varlığını göstermektedir. Bu nedenle, yörede daha yüksek sıcaklık ve debide su alınıp alınamayacağını ortaya koyacak ayrıntılı araştırma yapılmalıdır. Eğer bu sağlanabilirse, kurulacak bir kür merkezi, eşsiz ormanları, havası ve karstik su kaynağıyla birlikte il ve ülke ekonomisine katkıda bulunabilecektir.

5.8. Sıcak-Soğuk Yeraltı suları Kirlenmesi ve Koruma Alanları

Pamukkale, Karahayit ve Gölemezli sıcak sularının belde halkı ile il ve ülke ekonomisine olan katkılarının devamlılığı, suların debisi ve traverten oluşumundaki süreklilik ile mümkündür. Bu da ancak, insan eliyle yapılan her türlü kirliliğin önlenmesi sonucu gerçekleşebilir.

Bugün Pamukkale travertenlerine baktığımızda kartpostallardaki güzelliği göremeyiz. Bunun bir çok nedeni vardır. Yöredeki sıcak su kaynakları tektonik olarak çok aktif bir bölgede yer almaktadır. Yoğun karstlaşma ve çatlak sistemlere su akımını ve kirlenmeyi hızlandıran faktörlerdir. Pamukkale'deki hiç bir otelde atık su arıtma tesisi ve atık su deşarj sistemi yoktur. Su kaynakları ve foseptikler neredeyse içiçedir. Foseptiklerden çekilerek travertenlerdeki çatlaklara verilen atık sular hızla sıcak su

kaynaklarına doğru hareket etmektedir. Kaynaklardaki kirliliğin derecesini öğrenmek amacıyla Özel İdare havuzu ile çıkışta sol kanaldan ve ayrıca Jandarma kaynağından bakteriyolojik analiz için alınan su örnekleri Denizli Halk Sağlığı Laboratuvarı'nda analiz ettirilmiş ve her üç suda da KMS:39/100 bulunmuştur. Sağlık Bakanlığı gıda maddeleri ve sulardan numune alma rehberine göre sularda 100 cm^3 'te 2.2'den fazla koliform bakteri bulunmamalıdır. Pamukkale sıcak sularının bakteriyolojik analizleri sonucunda İl Sağlık Müdürlüğü, "yapılan su ekiminde koliform bakteri ürediğinden girilmesinin sağlık açısından sağlığa zararlı olduklarını bildirir rapordur" şeklindeki raporuyla kirlenmenin boyutunu ortaya koymuştur. Bu durum, sıcak su kaynaklarını ve yeraltısularını kirleten en önemli etkidir. Ayrıca travertenlerdeki çatlaklarda gözlenen çöp birikintileri de kirliliği artırmaktadır. Su kaynaklarının kirlenmesinde diğer bir faktör havuzlara giren insanların sürdükleri krem, güneş yağı gibi kimyasal maddelerdir.

Kirlenmenin bir boyutu da tavertenlerdir. Önce atık sularla, sonra havuzlarda kirlenen sular travertenlere verildiğinde kararmaya neden olmaktadır. Güner (1966), Pamukkale sıcak su kaynağının mikroflorasını incelemiş ve suda mikrofloranın %80'ini Cyanophyceae, %10'unu Diatomea ve %10'unu da Chlorophyceae gibi kalsifil (kalsiyum seven) ve termofil (sıcak seven) yosun türlerinin oluşturduğunu belirlemiştir. Suların travertenler üzerinden devamlı aktığı yerlerde yosunlaşmanın sonucu olarak sarımsı, yeşil renkler ve kararma gözlenmektedir (Resim 17). Kirlenmeye bir diğer etken de yerli ve yabancı turistlerin, yasak olmasına ve bu yasağın levhalarla birkaç dilde belirtilmesine rağmen travertenler üzerinde dolaşmaları ve hatta gruplar halinde bazen elbiselerle traverten kazanlarındaki sulara girmeleridir (Resim 18). Başlangıçta bir jel halinde çökelen CaCO_3 bu etkiler karşısında ezilmekte, doğal pürüzlülüğünü kaybetmekte, çökemedeki kimyasal ve fiziksel denge bozulmaktadır. Travertenlerin ortasından geçen asfalt yolda seyreden araçlar da egzozlarından çıkan gazlar aracılığıyla kirlenmeye neden olur. Bu kirlilik etkisi kendini, travertenlerde kararma ile gösterir. Ancak bu etki, yeni açılan ve travertenlerin doğusundan geçen yolla azalabilecektir. Kararmanın bir nedeni de yeterince sıcak suyun travertenler üzerinden akıtılmamasıdır.

Karahayit sıcak sularında kirlenme üç boyutludur. Birinci boyut, tüm pansiyon ve otellerde çoğu ruhsatsız açılan sondajlarla aşırı su çekimi sonucu Kızılçeğen Kaynağı debisinin azalmasıdır (Resim 19). Çalışma süresince kaynaktan sürekli bir debi azalması izlenmiştir. Debideki düşüş ile birlikte kaynak civarındaki karakteristik kırmızı travertenlerin rengi sarımsı, kahverengimsi renge dönüşmeye başlamıştır.



Resim 17. Pamukkale travertenlerinde insanların yolaçtığı kirlilik.



Resim 18. Pamukkale travertenlerinde yosunlaşma.



Resim 19. Karahayıt-Kızıllağın Kaynağında açılan sondaj delikleri.

İkinci boyut, debiyi artırmak için Karahayıt Belediyesi tarafından yapılan büyük hata ile, binlerce yılda oluşan travertenlerin 60 cm. kadar kırılmasıdır (Resim 20). Böylece travertenlerin görsel güzelliği kalmadığı gibi debi de artmamıştır. Debiyi artırmanın yolu travertenleri kırarak yok etmek değil, sondajlarla aşırı çekimi önlemektir. Üçüncü boyut, travertenlerdeki açık çatlakların Belediye'ce çöplük olarak kullanılmasıdır. Çatlaklar kurudur, ancak yağmur sularıyla çöplerin yıkanması ve süzülen suların kaynaktan çıkması ihtimali yüksektir. Bu durum, suyu içme olarak değerlendirenler için tehlike yaratmaktadır.



Resim 20. Karahayıt-Kızılteğen Kaynağının debiyi artırmak için travertenlerin kırılmasından sonraki görünümü.

Gölemesli sıcak su kaynaklarında şimdilik sadece foseptikten doğan kirlenme tehlikesi vardır. Yeni yapılacak tesislerde bu tehlikenin gözönüne alınacağı ümit edilmektedir.

Gerek sıcak sularıyla gerek travertenleriyle dünyada eşsiz olan, ancak o denli de tektonik ve karstik bir bölgede yer alan kaynakların hızla kirlenebileceği muhakkaktır. Özellikle Pamukkale ve Karahayıt'ta yıllardır insan eliyle yok edilmeye çalışılan bu güzelliklerin eski haline döndürülmesi, eski-yeni tüm traverten alanlarının birinci derece koruma alanı içine alınmasıyla sağlanabilir (Ek 2). Daneli zeminlerde yer alan kaynaklar için öngörülen bir kaç on metre yarıçaplı teorik daire şeklindeki koruma

alanları, inceleme alanı sıcak suları için uygulanamaz. Çünkü, yoğun çatlak sistemleri ve karstlaşma, suların laminar akımlarını önler. Sular süresizler boyunca karstik boşluklarda ve kendilerinin açtığı kanallarda sürekli, ancak düzensiz-girdaplı akım gösterirler. Deprem gibi doğal ve sondaj gibi yapay müdahaleler bu dengeyi bozarak su kaynaklarının kurumasına veya debilerinin azalmasına neden olabilir. Bugünkü uygulamaya göre Pamukkale kaynak sularının üçte biri doğal şartlarda, üçte ikisi ise tesislerde kullanıldıktan sonra travertenlere verilmektedir. Zaten foseptiklerden karışım nedeniyle kirlenerek havuzlara gelen ve burada bir biyolojik kirlenmeye daha maruz kalan bu sular travertenlerde beyazlatma yerine yosunlaşma ve kararmaya neden olmaktadır. Ayrıca, havuzlarda kullanılan sular, bir anlamda dinlendirilmekte, karbondioksit gazı kaçıışı süratle gerçekleşmekte ve dolayısıyla kalsiyumkarbonat havuzlarda jel haline gelmekte, böylece suların kalsiyum ve bikarbonat miktarları azalarak, travertenler üzerinde kalsiyumkarbonat çökeltme, başka bir deyişle traverten oluşturma dengesi bozulmaktadır.

Pamukkale ve Karahayit sıcak suları için önerilen birinci derece koruma alanı tüm traverten alanını içine almaktadır. Bu alan içerisinde hiç bir tesis kalmamalı, bu tesisler uygun yerlere nakledilmelidir. Çevre ile bir bütün oluşturacak ve göze hoş gelecek ağaçlandırma ve çimlendirme yapılmalı, sıcak suların, koruma alanı dışındaki tesislere dağıtımı tek elden olmalıdır. Bugünkü koşullarda bu şartların uygulanabilirliği imkansız gibi görünse de, potansiyel kirletici insan faktörü olduğu için başka yolu da yoktur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli hidrotermal karstının hidrojeoloji özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler şöyle özetlenebilir:

1. Pamukkale- Karahayıt- Gölemezli jeotermal alanının jeotermal modelini ortaya koymak için 184 km²'lik bir alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası revize edilmiş, jeoloji enine kesitleri çıkarılmış alanın 1/25000 ve Pamukkale sıcak su kaynakları civarının 1/5000 ölçekli hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

İnceleme alanı sıcak sularının Çürüksu Ovası ile ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla da yaklaşık 1200 km²'lik alanda hidrojeoloji çalışması yapılmıştır.

2. İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı şist ve mermerler, Alt Pliyosen yaşlı gölsel ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı karasal çökellerle traverten, alüvyon ve yamaç molozu birimleri ayırtlanmıştır.

3. Denizli ili için eş yağış haritası çizilerek ortalama yıllık yağış miktarı 579.64 mm. bulunmuştur. 1200 km²'lik alana düşen yağış miktarı 6.95.10⁸ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Thornthwait yöntemine göre çalışma süresince yağışın %75.46'sının Etr, %24.54'ünün su fazlası olduğu belirlenmiştir.

4. Çürüksu Ovası'nı temsil edecek şekilde seçilen 6 adet D.S.İ kuyusunun pompaj deneylerinden yararlanılarak Jacob, Chow, Houpeurt-Pouchan Yükselim ve Theis yöntemleriyle ovanın çeşitli kesimlerine ait K ve T parametreleri hesaplanmış ve batıdan doğuya doğru ortalama değerler aşağıda verilmiştir:

<u>Kuyu No</u>	<u>T(m²/sn)</u>	<u>K(m/sn)</u>
38559	2.59x10 ⁻²	1.80x10 ⁻⁵
42719	6.47x10 ⁻⁴	1.15x10 ⁻⁵
8238	1.32x10 ⁻²	2.51x10 ⁻³
37129	1.09x10 ⁻²	1.24x10 ⁻⁴
37126	6.09x10 ⁻²	5.64x10 ⁻⁴
34220	2.70x10 ⁻⁴	3.56x10 ⁻⁵

5. İnceleme alanındaki kaynaklardan Haydarbaba Düdeni, Gemili Kaynağı travertenlerden, Pınarbaşı Kaynağı ve Kelkaya Düdeni Mesozoyik yaşlı kireçtaşlarından çıkan karstik kaynaklardır.

6. Büyük menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği alanda yer alan ve KB-GD doğrultulu faylar boyunca sıralanan Pamukkale-Karahayıt-Gölemezli sıcak suları devirli bir hidrotermal sisteme bağlı olarak gelişmişlerdir. Sıcaklıkları Pamukkale'de 33.8°C-38°C, Karahayıt'ta 51°C-55°C ve Gölemezli'de 34°C-58°C arasındadır.

Pamukkale sıcak su kaynaklarının toplam debisi inceleme süresince 270 ile 370 lt/sn arasında değişmiştir. Debideki değişikliklerin suların sıcaklığı üzerine önemli bir etkisi yoktur. Bu nedenle, hidrotermal karst sistemi kararlıdır.

Sıcak suların ısı kaynağı magmatik sokulumlar, fayların sürtünme enerjisi ve hazne kayaya sızan magma kökenli sıcak gazlardır. Hazne kayalardan birincisi travertenler, ikincisi Pliyosen kireçtaşları, üçüncüsü mermerler, mermerler içindeki kuvarşist, kuvarsit düzeyleri ve dördüncüsü olasılı olarak gnayslardır. Sıcak sulardaki iyonların denge-faz ilişkileri incelenerek, suların kireçtaşı ve gnayslardan gelen sularla aynı alana düştükleri belirlenmiştir. Örtü kayalar Pliyosen birimlerinin geçirimsiz düzeyleri ile Paleozoyik yaşlı şistlerdir. Beslenme, yağış suları ve olasılı olarak Çivril-Baklan Ovası ile Acıgöl Havzası'ndan gelen yeraltısularından sağlanır.

7. Çürüksu Ovası'nda yeraltısuyu sıcaklıklarının orta kesimden fay zonlarına doğru giderek arttığı saptanmıştır.

8. Sıcak suları kantitatif jeotermometre bağıntıları ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları travertenler için 40 °C, Pliyosen kireçtaşları için 75-90 °C, mermerler için Pamukkale ve Karahayıt'ta 110-175 °C, Gölemezli'de ise 205-240 °C'dir.

9. Pamukkale'den Karahayıt ve Gölemezli sıcak su kaynaklarına gidildikçe hazne kaya derinliği, hazne kaya sıcaklığı, suların sirkülasyon derinliği, iyon derişimi ve juvenil su katkısının arttığı, buna karşın, karstlaşma, soğuk yeraltısuyu karışımı ve pH'larının azaldığı tespit edilmiştir.

10. Kimyasal analiz sonuçlarına göre Karahayıt'taki sondajlardan alınan sıcak suların kimyasal özellikleri Kızılçeğen Kaynağı ile aynıdır. Pamukkale sıcak su kaynakları kalsiyumbikarbonatlı, Karahayıt sıcak suları kalsiyumbikarbonatlı veya kalsiyumsülfatlı, Gölemezli sıcak su kaynakları ise sodyumsülfatlı sulardır. Karahayıt

sıcak suları, Pamukkale ile Gölemezli sıcak suları arasında bir geçiş oluşturmalarına rağmen kimyasal özellikleri Pamukkale sıcak sularına daha yakındır.

11. Çürüksu Ovası yeraltısularının kimyasal özelliklerinin genel olarak benzer, Honaz civarı ve Denizli Ovası yeraltısularının ise köken olarak farklı olduğu, ayrıca Çürüksu Ovası yeraltısularının kimyasal kompozisyonlarını havza içinde kazandıkları belirlenmiştir.

Genel olarak, Çürüksu Ovası'nın doğusundan sıcak su kaynaklarına doğru yeraltısularındaki iyon ve iz element miktarlarının düzenli olarak arttığı saptanmıştır.

12. H.Schoeller'in içilebilirlik diyagramına göre Çürüksu Ovası yeraltısularının kalitesi kötü kaliteli sular ile zorunlu olmadıkça içilemeyen sular arasında değişmektedir.

ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre Pamukkale sıcak suları ile Çürüksu Ovası yeraltısuları $C_3 - S_1$, Karahayıt sıcak suları $C_4 - S_1$, Gölemezli sıcak suları ise $C_4 - S_2$ sınıfındadır.

Wilcox diyagramında, Pamukkale ve Karahayıt sıcak suları ile Çürüksu Ovası yeraltısularının çoğunluğu "Şüpheli-kullanılamaz", Gölemezli sıcak suları "Sulamaya uygun değil" alanlarına düşmektedir.

Çürüksu Ovası batısı ve kuzeyindeki yeraltısuları buhar kazanlarında kullanılamazlar.

Denizli Ovası ile Alikurt ve Honaz civarı yeraltısuları dışında, inceleme alanındaki sıcak-soğuk tüm suların beton üzerine zararlı etkileri vardır.

Doyma endeksleri ve kısmi CO_2 gazı basınçlarına göre, sıcak su kaynakları ve Çürüksu Ovası yeraltısuları karbonat çökelten ve sülfat çözüdüren sulardır.

İnceleme alanındaki tüm sıcak sular ve Çürüksu Ovası yeraltısuları sondaj ve dağılım borularını çürüten saldırgan sulardır.

13. Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli sıcak sularını içeren ve Çürüksu Ovası doğusundan Kızıldere'ye doğru devam eden hidrotermal karst sisteminin hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrodinamik yönden bir bütün oluşturmaktadır.

14. Pamukkale sıcak sularının kullanıldığı havuzlara girilmesinin bakteriyolojik kirlenme nedeniyle sağlığa zararlı olduğu saptanmış ve bu kaynaklar için koruma alanları önerilmiştir.

Pamukkale travertenlerinin eşsiz güzelliğinin tekrar kazanılması için travertenler üzerindeki tüm tesislerin kaldırılması, traverten üzerinde gezinmenin yasaklanması ve bu yasağın sıkı bir şekilde denetlenmesi, tesislerin Pamukkale Kasabası'na kaydırılması, arazi sulamasına uygun olarak düzenlenmiş sıcak su kanallarının travertenleri beyazlatacak şekilde yeniden planlanması ve travertenlerle bir bütün oluşturacak çevre düzenlenmesinin yapılması zorunludur. Özel girişimciler bu doğa harikasını korumanın kişisel çıkarların çok üzerinde kutsal bir görev olduğu bilincine varmalıdırlar.

Bugünkü durumu ile Karahayıt Kızılkeğen Kaynağı gözden çıkarılmış gibidir. Kaynak debisinin artırılması ve kırmızı traverten oluşumunun tekrar hızlanması için yöredeki tüm sondajlar kapatılmalı ve kaynak suyunun pansiyon ve diğer tesislere tek elden dağıtımı sağlanmalıdır. Ayrıca, travertenler üzerindeki çöplük derhal temizlenmeli, hiç olmazsa Pliyosen'in killi seviyelerine aktarılmalıdır.

Pamukkale, Karahayıt ve Gölemezli sıcak suları, her türlü koruma, çevre düzenlemesi ve standardın sağlandığı dünya çapında bir kür merkezini haketmektedir.

15. Sıcak su kaynakları çevresinde ve Çürüksu Ovası'nda yapılacak inşaatlarda, suların beton üzerine zararlı etkisini önlemek için alüminli çimento kullanmak yararlı olacaktır.

16. Çürüksu Ovası'nda varlığı en az 50 yıldır bilinen Gemili Kaynağı'dan arazi sulamasında yararlanılmalıdır.

Karstik Pınarbaşı Kaynağının civarında olumlu gözükten jeotermal veriler, ayrıntılı araştırmayı gerektirmektedir. Yörede elde edilecek sıcak su, çam ormanı ve karstik kaynağın birlikteliğindeki bir kür merkeziyle ülke ekonomisine büyük katkı sağlamaya adaydır.

KAYNAKLAR

- ACAR, M., 1983, Jeotermal enerjiden yararlanarak sera ve konut ısıtılması yapılırken karşılaşılan kabuklaşma sorunu ve çözüm yöntemleri, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, c.6,1 21-26.
- AKÇIĞ, Z., 1988, Batı Anadolu'nun yapısal sorunlarının gravite verileri ile irdelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 31, 63-70, ANKARA.
- ALPTEKİN, Ö., Focal mechanisms of earthquakes in western Turkey and their implications, Ph.D. thesis, New Mexico Institute of mining and Technology, 95 p., Socorro, NEW MEXICO.
- ALTUNEL, E., HANCOCK, P.L., 1993, Active fissuring and faulting in Quarternary travertines at Pamukkale, western Turkey, Neotectonics and Active Faulting (In Press).
- ARNORSSON, S., 1975, Application of the silica geothermometer in low temperature area in Iceland, Amer.J.Sci., 275, 763-784.
- ARPAT, E., BİNGÖL, E., 1969, Ege Bölgesi graben sistemi üzerine düşünceler, M.T.A. Dergisi, 73, 1-9, ANKARA.
- AYHAN, E., KASNAK, E., ÖĞÜTÇÜ, Z., KALAFAT, D., İNCE, Ş., AKKARTAL, B., PÜSKÜLCÜ, S., ÖZEL, N., ÖZ, G., SEVİMAY, K., KARA, M., PINAR, A. 1989, 1976-1986 Yılları arasında Batı Türkiye'de diri fay zonlarının ve depremlerin etkinliği, Deprem Araştırma Bülteni, 64, 1-191, ANKARA.
- BAYAZIT, M., 1991, Hidrojeoloji uygulamaları, İ.T.Ü. Yayın No.1455, 280 s., İSTANBUL.
- BİLGİN, A., 1986, Denizli -Babadağ dolayındaki metamorfizma, Ak.Ü., Isparta Müh.Fak. Dergisi, 2, 11-23, ISPARTA.

BİNGÖL, E., 1976, Batı Anadolu'nun jeotektonik evrimi, M.T.A. Dergisi 86, 14-34, ANKARA.

CANİK, B., 1978, Denizli Pamukkale sıcak su kaynaklarının sorunları, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 5, 29-33, ANKARA.

CASTANY, G., 1969, Yeraltıları Hakkında Pratik Uygulamalar (Çeviri: KARACADAĞ, K.), D.S.İ.Yayın No.638, 692 s., ANKARA

CERMAK, V., 1977, Heat flow map of southern Europe and the Mediterranean Region, Geothermal Energy and Volcanism of the Mediterranean Area, Athens, Oct., 1976, vol.1, Geothermal Energy, 49-168.

CRAIG, H., 1961, Standarts for reporting concentrations of deuterium and oxygen in natural waters. Science, 133, 1833-1834.

ÇAĞLAYAN, M.A., ÖZTÜRK, E.M., ÖZTÜRK, Z., SAV, H., AKAT, U., 1980, Menderes Masifinin güneyine ait bulgular ve yapısal yorum, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 10, 9-17, ANKARA.

DEWEY, J.F., ŞENGÖR, A.M.C., 1979, Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continium tectonics in a convergent zone, Geol. Soc. of America Bull, Part I, 90, 84-92.

DORUK, M., 1989, Korozyona dayançlı metalik malzemelerin seçiminde temel ilkeler, Korozyon Dergisi, c.1, 1, 9-18.

EKİNGEN, A., 1970, Denizli-Dereköy gravite etüdü, M.T.A, Rapor No.4190, ANKARA.

ELLIS, A.J., 1970, Quantitative interpretation of chemical characteristics of hydrothermal systems, UN Symp.on Geothermal Energy, 2,1, 516-528, PISA.

ERCAN, T., 1979, Batı Anadolu, Türkiye ve Ege adalarındaki Senozoyik volkanizması, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 9, 23-46, ANKARA

ERCAN, T., 1981, Kula yöresinin jeolojisi ve volkanitlerin petrolojisi, İ.Ü. Yer Bil.Fak., Doktora Tezi, 168, s., İSTANBUL.

ERCAN, T., GÜNAY, E., BAŞ, H., 1983, Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu, T.J.K. Bülteni, 26, 153-160, ANKARA.

ERENTÖZ, L., 1956, Türkiye stratigrafisinde yeni bilgiler, M.T.A. Mec., 48, ANKARA.

EROSKAY, S.O., UZ, N.Ö., 1981, Yeraltısuyu Kuyu Verilerinin Değerlendirilmesi, İ.Ü., Yayın No. 2816, Yer Bil. Fak. , Yayın No.5, İSTANBUL.

EŞDER, T., YILMAZER, S., SARIKAYA, H., 1991, Antik Hierapolis (Pamukkale) kentinde yapılaşmanın termal kaynaklar üzerine etkileri, II. Ulusal Balneoloji ve Tıbbi Biyometeoroloji Kongresi, Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Kongre Özel Sayısı, 53-66, İSTANBUL.

EŞDER, T., YILMAZER, S., 1991, Pamukkale jeotermal kaynakları ve travertenlerin oluşumu, II. Ulusal Balneoloji ve Tıbbi Biyometeoroloji Kongresi, Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Dergisi, Kongre Özel Sayısı, 32-52, İSTANBUL.

FİLİZ, Ş., 1982, Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O^{18} , H^2 , H^3 , C^{13} , izotoplarıyla incelenmesi, E.Ü. Yer.Bil.Fak., Doçentlik Tezi, 95 s., İZMİR.

FİLİZ, Ş., GÖKGÖZ, A., TARCAN, G., 1992, Hydrogeologic comparisons of geothermal fields in the Gediz and Büyük Menderes grabens, XI. Congress of World Hydrothermal Organization, İSTANBUL.

FOURNIER, R.O., ROWE, J.J., 1966, Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot spring and wet-steam wells, Am. Jour. Sci., 264, 685-697.

- FOURNIER, R.O., TRUSDELL, A.H., 1973, An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 37, 1255-1275.
- FOURNIER, R.O., WHITE, D.E., TRUSDELL, A.H., 1974-a, Geochemical indicators of subsurface temperature-Part 1, Basic assumptions, *USGS J.Res.*, 2, 3, 259-262.
- FOURNIER, R.O., TRUSDELL, A.H., 1974-b, Geochemical indicators of subsurface temperature and fraction of hot water mixed with cold water, *USGS J.Res.*, 2, 3, 263-270
- FOURNIER, R.O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal system, *U.S. Geol. Survey, Geothermics*, 5, 41-50.
- FOURNIER, R.O., 1979, A revised equation for the Na/K geothermometer, *Geoth. Res.Consil, Transac*, 3, 221-224.
- FOURNIER, R.O., POTTER, R.W., 1979, Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 1543-1550.
- FREEZE, R.A., CHERY, J.A., 1979 *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., 604 pp, NEW JERSEY.
- GEVREK, A.İ., 1985, Aydın-Denizli jeotermal alanlarında civa, arsenik ve kurşun elementlerinin jeotermal kaynak araştırmalarına uygulanması, M.T.A. Rapor No.7948, ANKARA.
- GÖKALP E., 1971, Denizli Vilayeti, Yenice-Gölemezli-Karahayıt kaplıcaları çevresi jeolojik etüdları ve jeotermik enerji imkanları, M.T.A Rapor No. 4571, ANKARA.
- GÜLEÇ, N., 1988, Batı Türkiye'de helyum-3 dağılımı, *M.T.A. Dergisi*, 108, 98-105. ANKARA.
- GÜNER, H., 1966, Pamukkale termal suyunun mikroflorası, E.Ü. Fen Fak., İlmi Raporlar Serisi No. 31, İZMİR.

- HENDEN, İ., 1981, Uzay görüntülerinden Türkiye çizgisellik haritası ve maden aramaları için hedef sahalarının seçilmesi, bölgesel çizgiselliklerin deprem ve sıcaksu kaynakları ile ilişkisi, M.T.A. Dergisi, 95/96, 68-76, ANKARA.
- KARAHAN, Z., ÖZTÜRK, E., ŞAROĞLU, F., UYSAL, K., 1986, Büyük Menderes grabenindeki yerkabuğu hareketlerinin duyarlı nivelman yöntemiyle yorumlanması, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, 41, ANKARA.
- KASTELLİ, M., 1971, Denizli Vilayeti güneyinin jeolojik incelemesi ve jeotermal alan olanakları, M.T.A. Rapor No.5199, ANKARA.
- KAYA, O., 1981, Batı Anadolu alta bindirmesi: Ultramafik birimin ve Menderes Masifi'nin jeolojik konumu, Doğa Dergisi, Atatürk Özel Sayısı, 15-36, ANKARA.
- KESKİN, R., 1972, Kızıldere hidrojeoşimisi ve 3. rezervuar, M.T.A. Rapor No.5269, ANKARA.
- KOÇYİĞİT, A., 1984, Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, T.J.K. Bülteni, 27, 1-16, ANKARA.
- KRUSEMAN, G.A., RIDDER, N.A., 1982, Hidrojeolojide Pompaj Deney Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi (Çeviri: DİLEK, R.), K.Ü. Genel Yayın N o.1, Müh.Mim.Fak., Yayın No.1, TRABZON.
- Mc KENZİE, D.P., 1972, Active tectonics of the Alpin-Himalayan Belt: The Aegean sea and surrounding regions: Geophys. Jour. Roy. Astr. Soc., 5, 212-254.
- NEBERT, K., 1958, Denizli Pliosen teressübatı ve bunların Batı Anadolu tatlı su Neojen stratigrafisi için ehemmiyeti, M.T.A. Dergisi, 48, 83-96, ANKARA.
- OKAY, A.İ., 1989, Denizli'nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya naplarının jeolojisi, M.T.A. Dergisi, 109, 45-59, ANKARA.

- ÖZGÜLER, M.E., TURGAY, M.İ., ŞAHİN, H., 1983, Denizli jeotermal alanlarında jeofizik çalışmalar, M.T.A. Dergisi, 99/100, 129-142, ANKARA.
- ÖZPINAR, Y., 1987, Denizli-Acıpayam batısının jeolojik, petrografik ve petrokimyasal incelenmesi, K.T.Ü. Fen Bil. Ens. Doktora Tezi (Yayınlanmamış), 220 s. TRABZON.
- ÖZPINAR, Y., ŞİMŞEK, A., KÜÇÜK, B., KAPLAN, H., GÖKGÖZ, A., KÜLTÜR, Ö.F., 1992, Denizli ilinin sismotektonik özellikleri ve Denizli betonu üzerine bir inceleme, VII. Mühendislik Haftası, Ak. Ü. Isparta Müh. Fak., ISPARTA.
- PAPAZACHOS, B.C., KIRATZI, A.A., HATZIDIMITRIOU, P.M., ROCCA, A.C., 1984, Seismic faults in the Aegan area, Tectonophysics, 106, 71-85.
- SIGVALDASON, G.E., 1973, Geochemical methods in geothermal energy, "Geothermal Energy" de, Unesco, PARIS.
- ŞAHİNCİ, A., 1986-a, Genel Hidrojeoloji, D.E.Ü. Müh.Mim.Fak. Yayını 169 s., İZMİR
- ŞAHİNCİ, A., 1986-b, Yeraltı suları Jeokimyası, D.E.Ü. Müh.Mim.Fak. Yayını 394 s., İZMİR
- ŞAHİNCİ, A., 1987, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri, D.E.Ü. Müh.Mim. Fak. Yayını, İZMİR
- ŞAMİLGİL, E., 1973, Jeotermal enerji aramasının Menderes grabeninde bir uygulaması, Cumhuriyetin 50.Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler Kitabı, 257-278, ANKARA.
- ŞENGÖR, A.M.C., 1982, Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler, TJK Batı Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması paneli, Özel Sayısı, 59-71.
- ŞİMŞEK, M., 1977, Tekke ılıcaları (Denizli-Sarayköy), Gölemezli (Denizli-Merkez) kükürt sahaları jeoloji etüd raporu, M.T.A. Rapor No.6788, ANKARA.

ŞİMŞEK, Z., 1978, Tekkehamam jeotermal alanı gradyent sondajlarının değerlendirilmesi, M.T.A. Rapor No. 6236, ANKARA.

ŞİMŞEK, Ş., UYGUR, N., ÖZBAYRAK, T.H., DİKMENOĞLU, T., COŞKUN, S.B., ARAS, A., 1980, Germencik-Söke (Aydın) alanının jeotermal enerji olanakları, TÜBİTAK VI.Temel Bilimler Kongresi, KUŞADASI.

ŞİMŞEK, Ş., 1981, Ömerbeyli-Germencik alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Semineri, ANKARA.

ŞİMŞEK, Ş., 1984-a, Denizli Sarayköy-Buldan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, İ.Ü. Yer Bil.Fak. Yayın Organı, 3, 145-162, İSTANBUL.

ŞİMŞEK, Ş., 1984-b, Geothermal model of Denizli, Sarayköy-Buldan area: United Nations Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Ep/sem. 9/R.33, Florence, ITALY.

TANER, G., 1974-a, Denizli Bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü, M.T.A. Dergisi, 82, 89-127, ANKARA.

TANER, G., 1974-b, Denizli Bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü, M.T.A. Dergisi, 83, 145-178, ANKARA.

TANER, G., 1975, Denizli Bölgesi Neojenin paleontolojik ve stratigrafik etüdü, M.T.A. Dergisi, 85, 45-67, ANKARA.

TEZCAN, K., 1967, Denizli-Sarayköy jeotermik enerji araştırmaları gravite ve rezistivite etüdüleri, M.T.A. Rapor No. 3896, ANKARA.

THORNTWAITE, C.W., 1948, An approach a rational classification of climate, Geographical Review, vol. 38, No.1.

TRUESDELL, A.H., FOURNIER, R.O., 1977, Procedure for estimating the temperature of a hot water component in mixed water by using a plot of dissolved silica versus enthalpy, Jour. Res. U.S. Geol.Survey, 2, 2, 233-348.

TÜRKİYE MADEN SULARI, 1975, Ege ve Marmara Bölgesi Maden Suları ve Kaplıcaları, İ.Ü. Tıp Fak., Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji ABD ve Çekmece Nükleer Araş.Enst.Eğt.Merk.Sağlık Fiziği Böl., publish, V.1, İSTANBUL.

ÜLKER, İ., 1988, Türkiye'de Sağlık Turizmi ve Kaplıca Planlaması, Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, No.1006, ANKARA.

ÜRGÜN, S., 1976, Denizli-Kızıldere jeotermal alanındaki çalışmaların komplasyonu, M.T.A. Raporu, ANKARA.

WIESSMAN, W. JR, LEWIS, GL., KNAPP, C.W., 1989, Introduction to Hydrology, third edition, Harper Collins Publishers, 780 pp, NEW YORK.

YALÇIN, H., AĞACIK, G., 1971, Pamukkale sıcak suları ve travertenleri üzerinde araştırma, D.S.İ. Genel Md., Araştırma Dairesi Başkanlığı, Rapor No: Ki-507, ANKARA.

DOCUMENTATION