

83855

GÜLBAHÇE (URLA) JEOTERMAL ALANININ HİDROJEOLÖJİK İNCELENMESİ

Dokuz Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı

Dilek YAMAN

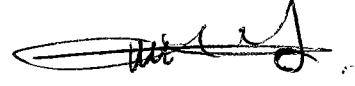
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**Şubat, 1999
İZMİR**

83855

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



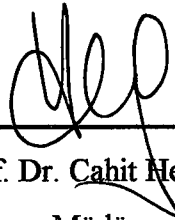
Yrd. Doç. Dr. Gültekin Tarcan
(Yönetici)



Prof. Dr. Şevki Filiz
(Jüri Üyesi)



Prof. Dr. Halil Köse
(Jüri Üyesi)



Prof. Dr. Cahit Helvacı
Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

ÖZ

İzmir'in yaklaşık 45 km batısında yeralan inceleme alanında, litolojik ve hidrojeolojik özellikleri birbirinden farklı, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı yedi ayrı kaya birimi bulunmaktadır. İçmeler kireçtaşı birimi, yeraltı suyu içeriği bakımından en zengin birimdir. Ortaç dayanımlı kireçtaşları ile yersel dolomitik kireçtaşlarından yapılı birim "karstik akifer" niteliğindedir. Demircili karmaşığı, içerdiği killi şeyl düzeyleri nedeni ile geçirimsiz temel özelliğindedir. Yağcılar biriminde yeralan kireçtaşı düzeyleri akifer seviyeyi oluşturur ve derinlerde basınçlı akifer niteliğindedir. Birim içinde, kireçtaşları üzerinde yeralan killi düzeyler ise basınç etkisi yaratır. Gülbahçe volkanik birimi içindeki andezitler, az miktarda fakat oldukça kaliteli yeraltı suyu içerir. Kızıltepe volkanik birimi kırıklı ve çatlaklı yapısıyla az miktarda yeraltı suyu içerir. Ballıkaya çakıltası birimi, gerek kalınlığının az olması, gerekse litolojik özellikleri nedeni ile yeraltı suyu içermemektedir. İnceleme alanında jeolojik formasyonlar içinde yeraltı suyu içeriği olarak en uygun birim ise alüvyondur.

Gülbahçe Kaplıcası ve Ilıksu sıcak su kaynakları gerek sıcaklık ve gerekse kimyasal özellikleri ile birbirine benzemektedir. Ilıksu kaynakları, Söğütköy fayı ve Kapıkaya fayının olası olarak doğrultusu izlenildiğinde fayların kesişim yerinde bir seri halinde bulunur. Açık jeotermal sistem sınıfına giren inceleme alanındaki üç sıcak su kaynağının hazne kayası karstik İçmeler kireçtaşı birimi, örtü kayası Yağcılar birimi ve ısı kaynağı tektonik hatlar boyunca yükselen genç volkanik etkinliklerdir. Kökenini deniz suyunun oluşturduğu sıcak su kaynakları, yüzeye erişirken büyük oranda soğuk deniz suyu ile karıştığından hazne kaya sıcaklığı çok düşüktür.

Yöredeki diğer su noktaları meteorik kökenlidir. İçmeler kaynağında çok az miktarda deniz suyu karışımı söz konusudur. İçmeler Ovası ile Turasan Ovası'nın

batı kesimleri az miktarda deniz suyunun etkisinde olup, yeraltı suyu işletmesine uygun değildir. Bu bölge dışında kalan yeraltı sularının içme, sulama ve endüstride kullanılmasında bir sakınca yoktur.



ABSTRACT

The study area, which has seven different Senozoic and Mesozoic rock units, is located at about 45 km distance from İzmir.

İçmeler limestone unit is the most suitable aquifer from the point of view of water capacity, in the study area. Also this unit is made of moderate strong limestone and locally dolomitic limestone is characteristic of “Karstic aquifer”. Since Demircili ophiolitic melange consists of clayey-shale levels, this unit is impermeable basement. Limestone levels of the Yağcılar unit form aquifer known as “confined aquifer” in the deep levels of this unit. The clayey levels of this unit are also cap rock characters. Andesites in the Gülbahçe volcanic unit consists of little amount of ground water which is high drinking quality in this unit. Moreover fractured and splitted Kızıltepe volcanic unit includes little ground water. Because of the thin levels and lithological features, Ballıkaya conglomerate unit doesn’t include ground water. From the point of view including groundwater, alluvium is the another important unit, among the geological formation in the study area.

Gülbahçe and Ilıksu hot springs resemble each other due to the temperature and chemical characteristics. Ilıksu hot springs are probably located at the intersection of Söğüt köy fault and Kapıkaya fault. İçmeler limestone unit is the aquifer of these hot springs. Yağcılar unit is the cap rock. Young volcanic activity moving up throughout tectonic line may be heat source of these three hot springs. Since the large amount of cold sea water mixed the thermal water, in the springs the reservoir rock temperature is quite low.

In the study area, the other water points are meteoric origin. It is mentioned that, little amount of sea water mix to the İçmeler Springs. Moreover the western parts of

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İçmeler Plain and Turasan Plain are affected little amount of sea water. Therefore this plains aren't suitable for extraction of ground water. The outside of this area, it hasn't paid to mind using the ground water on drinking, watering and industrial purposes.



ÖNSÖZ

Tarih çağları boyunca medeniyetler, yaşamlarını sürdürmek için suyu kolayca temin edecekleri yerlerde yerleşmişlerdir. Dünyada ve ülkemizde içme, sulama, sağlık tesisleri ve endüstri merkezlerinin geliştirilmesi için gün geçtikçe su ihtiyacı artmaktadır.

Yeraltı sularının kalitesi ve özellikleri, içinde bulundurduğu iyon miktarı ve çeşitliliğine bağlı bir parametre olup geçtikleri kayaların bileşimine göre değişmektedir. Yüzey sularının giderek gereksinimleri karşılayamaz olması ve özellikle endüstri ülkelerinde çabuk kirlenmesi insanları yeni kaynaklar araştırmaya yöneltmiştir. Tükenmez ve yenilenebilir olan jeotermal kaynaklar ise yeraltı suları açısından ayrı bir değer taşımaktadır.

Yeni yeraltı suları kaynaklarının araştırılması, ancak ciddi olarak yapılan hidrojeolojik çalışmalarla mümkündür. Bu açıdan ele alındığında “Gülbahçe (Urla) Jeotermal Alanının Hidrojeolojik İncelenmesi” adı altında yaptığım bu çalışmanın bölgenin gelişmesi bakımından yararlı olacağını umuyorum.

Bu çalışma Yrd. Doç. Dr. Gültekin TARCAN tarafından yönetilmiştir. Ayrıca çeşitli yönlerden katkılarından dolayı Prof. Dr. Şevki FİLİZ’ e, Yük. Müh. Ünsal GEMİCİ’ ye, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan Kimyager Nedim TATARI’ ye, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ONAY SAYFASI.....	ii
ÖZ.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiv

Bölüm 1

GİRİŞ

1.1. Çalışma Alanının Yeri.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1

Bölüm 2

JEOLojİ

2.1. İçmeler Kireçtaşı Birimi.....	3
2.2. Demircili Karmaşığı.....	6
2.3. Yağcılar Birimi.....	6
2.4. Gülbahçe Volkanik Birimi.....	6
2.5. Kızıltepe Volkanik Birimi.....	7
2.6. Ballıkaya Çakıltası Birimi.....	7
2.7. Alüvyon.....	7

Bölüm 3**HİDROJEOLJİ VE YERALTISULARI KİMYASI**

3.1. Stratigrafik Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	8
3.1.1. İçmeler Kireçtaşı Birimi.....	8
3.1.2. Demircili Karmaşığı.....	10
3.1.3. Yağcılar Birimi.....	11
3.1.4. Gülbahçe Volkanik Birimi.....	11
3.1.5. Kızıltepe Volkanik Birimi.....	11
3.1.6. Ballıkaya Çakıltası Birimi.....	12
3.1.7. Alüvyon.....	12
3.2. Temel Jeokimyasal Hesaplamalar.....	12
3.2.1. İyonlaşma Gücü (I).....	14
3.2.2. İyon Etkinliği (AC).....	14
3.2.3. İyon Etkinlik Katsayısı (F).....	14
3.3. İnceleme Alanında Örnek Alınan Su Noktaları.....	16
3.4. Havzaların Su İçeriğı ve Yeraltı suyu Taşıyan Formasyonların	
Hidrojeolojik Özellikleri.....	40
3.4.1. Kuşçular- İçmeler Ovası.....	40
3.4.2. Turasan Ovası.....	41
3.4.3. Yeraltı suyu İşletmesine Uygun Olan Alanlar.....	42
3.4.4. Tatlı-Tuzlu Su Girişimi.....	42
3.4.4.1. Ghyben-Herzberg Bağıntısı.....	42
3.4.4.2. Pompajda Suyun Tuzlanma Süresinin Saptanması.....	45
3.4.4.3. Kıyı Akiferlerine Deniz Suyu Girmesinin Önlenmesi.....	46
3.5. Gülbahçe Kaplıcasının Oluşumu.....	49
3.6. Ilıksu Kaynaklarının Oluşumu.....	53

3.7. Doğal İzotoplarla (O^{18} , H^2 ve H^3) Suyun Yaşı ve İzlediği	
Yolun Araştırılması.....	56
3.7.1. Tritiyum (H^3).....	56
3.7.2. O^{18} ve $D(H^2)$ Kararlı İzotopları.....	57
3.8. Jeotermal Sistemlerde Hazne Kaya Sıcaklıklarının Saptanması.....	62
3.8.1. Kimyasal Jeotermometreler.....	63
3.8.1.1. Kalitatif Kimyasal Jeotermometreler.....	63
- SiO_2	63
- Klorür.....	64
- B, NH_4 , H_2S , Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As.....	64
- Na / C Oranı.....	64
- Traverten Çökelmeleri.....	64
- Cl / ($HCO_3 + CO_3$).....	64
- Mg ve Mg / Ca Oranı.....	64
- Cl / F Oranı	65
- H_2 / Diğer Gazlar (Buhar Dışında) Oranı.....	65
3.8.1.2. Kantitatif Kimyasal Jeotermometreler.....	65
3.8.1.2.1. Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler.....	66
- Silis Jeotermometresi.....	66
- Silis Jeotermometre Bağıntılarının Çıkarılışı.....	66
3.8.1.2.2. İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler.....	71
- Na / K Jeotermometresi.....	71
- Na-K-Ca Jeotermometresi.....	73
- Na-K-Ca Jeotermometresinde Mg Düzeltmesi...74	
3.8.1.2.3. İyon Etkinliğine Bağlı Jeotermometreler.....	75
3.9. Suların Karışım Oranlarının Saptanması.....	76
3.9.1. Toplam İyon Derişimine Göre Suların Karışım Oranları.....	77
3.9.2. Klorür Miktarına Göre Suların Karışım Oranları.....	78

3.9.3. Suların Kimyasal Özellikleri.....	80
3.9.3.1. Suların Sertliği.....	81
3.9.3.2. Suların Kalsit (Sc), Dolomit (Sd), Sülfat (Ss) Doyma İndeksi ve CO ₂ Gaz Basıncı.....	83
3.10. Suların Kimyasal Sınıflaması.....	90
3.10.1. Çözülmüş Toplam Katı Maddelere Göre Sınıflama.....	90
3.10.2. Schoeller Sınıflaması.....	91
3.10.2.1. Klorür Değişimi.....	92
3.10.2.2. Sülfat Değişimi.....	92
3.10.2.3. Karbonat + Bikarbonat Değişimi.....	92
3.11. Suların Kullanma Özellikleri.....	93
3.11.1. Suların İçme Özellikleri.....	93
3.11.2. Suların Sulama Özellikleri.....	96
3.11.2.1. Sodyum Tehlikesi (SAR).....	96
3.11.2.2. Sulama Sularının Wilcox'a Göre Sınıflaması.....	97
3.11.2.3. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....	101
3.11.3. Suların Endüstride Kullanılma Özellikleri.....	103

Bölüm 4

ÖZET VE SONUÇLAR.....	107
-----------------------	-----

KAYNAKLAR.....	109
----------------	-----

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Çalışma alanının yeri.....	2
Şekil 2.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti.....	4
Şekil 2.2. Çalışma alanının jeolojik haritası (Tarcan, 1989'dan değiştirilerek).....	5
Şekil 3.1. Gülbahçe Kaplıcası.....	16
Şekil 3.2. Ilıksu 1 sıcak su kaynağı.....	17
Şekil 3.3. Ilıksu 2 sıcak su kaynağı.....	18
Şekil 3.4. Özbek Köyü Çeşmesi.....	19
Şekil 3.5. İçmeler Kaynağı.....	21
Şekil 3.6. Ghyben-Herzberg bağıntısı (Canik, 1998).....	43
Şekil 3.7. Basıncılı akiferde tuzlu su kaması(Canik, 1998).....	45
Şekil 3.8. Sahil akiferlerinde hareketli ara yüzey(Canik, 1998).....	46
Şekil 3.9. Pompaj kuyusunun kıyıdan uzakta açılması(Canik, 1998).....	47
Şekil 3.10. Yapay beslenme(Canik, 1998).....	48
Şekil 3.11. Kıyıya paralel düşüm çizgisi oluşturulması.....	49
Şekil 3.12. Gülbahçe Kaplıcası'nın genel görünümleri.....	50
Şekil 3.13. Gülbahçe Kaplıcası'nın oluşumunu açıklayan ölçeksiz şematik kesit (Tarcan, 1989).....	51
Şekil 3.14. Ilıksu 1 Kaplıcası kaynağı "kümbet" yapısı.....	53
Şekil 3.15. Ilıksu 2 Kaplıcası kaynağında gözlenen fay breşi.....	54
Şekil 3.16. Ilıksu Kaplıcası kaynaklarının jeotermal sistem içindeki oluşumunu açıklayan ölçeksiz şematik kesit.....	55
Şekil 3.17. Ilıksu Kaplıca kaynaklarının jeolojik kesiti.....	55
Şekil 3.18. Yağış ve doğal sularda O^{18} ile $D (H^2)$ ilişkileri.....	59
Şekil 3.19. Gülbahçe Kaplıcası, deniz suyu ve İçmeler Kaynağı'nın O^{18} - H^2 diyagramındaki yeri.....	60
Şekil 3.20. Sıcaklık ($t ^0C$) ve SiO_2 (mg/l) çözünürlüğü.....	68

	Sayfa No
Şekil 3.21. $\log \text{SiO}_2 - 1 / T^{\circ}\text{K} (10^3)$ diyagramı ve karşılık gelen sıcaklıklar.....	70
Şekil 3.22. İçmeler Kaynağı, Gülbahçe Kaplıcası ve Ilıksu Kaplıcası. kaynaklarının deniz suyu karışım oranının grafik yolla çözümü.....	79
Şekil 3.23. Schoeller'e göre suların içilebilirlik diyagramı.....	95
Şekil 3.24. Suların sulamada kullanılmasına yönelik ve Wilcox diyagramı.....	99
Şekil 3.25. Sulama suları için geliştirilen ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı....	101



ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Gülbahçe Kaplıcası sularının kimyasal özellikleri.....	22
Çizelge 3.2. Ilıksu 1 sıcak su kaynağının kimyasal özellikleri.....	23
Çizelge 3.3. Ilıksu 2 sıcak su kaynağının kimyasal özellikleri.....	24
Çizelge 3.4. K ₁ su noktasının (Özbek Köyü Çeşmesi) kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 3.5. K ₂ su noktasının kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 3.6. Saraç Çeşme'nin kimyasal özellikleri.....	27
Çizelge 3.7. Burgaz Çeşme'nin kimyasal özellikleri.....	28
Çizelge 3.8. K ₃ kuyusunun (Turasan Ovası) kimyasal özellikleri.....	29
Çizelge 3.9. K ₄ kuyusunun (İçmeler Ovası) kimyasal özellikleri.....	30
Çizelge 3.10. Ova Kaynağı'nın kimyasal özellikleri.....	31
Çizelge 3.11. İçmeler Kaynağı'nın kimyasal özellikleri.....	32
Çizelge 3.12. Gülbahçe Kaynağı'nın kimyasal özellikleri.....	33
Çizelge 3.13. K ₅ çeşmesinin (Gülbahçe) kimyasal özellikleri.....	34
Çizelge 3.14. K ₆ kuyusunun (Karapınar) kimyasal özellikleri.....	35
Çizelge 3.15. K ₇ çeşmesinin (Alüvyon) kimyasal özellikleri.....	36
Çizelge3.16. Karapınar su noktasının analiz sonuçlarına göre kimyasal özellikleri.....	37
Çizelge3.17. İnceleme alanında geçmiş yıllarda yapılan kimyasal analizler.....	38
Çizelge 3.18. İnceleme alanında bulunan su noktalarının bazılarının O ₁₈ , H ₂ ve H ₃ izotop analiz değerleri (.Filiz 1982, *Conrad,1997).....	61
Çizelge 3.19. 1 lt. suda çözünen deneysel silis miktarları.....	67
Çizelge 3.20. Ilıksu 1, Ilıksu 2 ve Gülbahçe kaplıcasının SiO ₂ miktarına göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları.....	71
Çizelge 3.21. Na / K jeotermometresine göre saptanan hazne kaya sıcaklıkları...	73

Çizelge 3.22. Tatlı su ortalamaları, deniz suyu ve karışımdan şüphe edilen su noktalarının toplam iyon değişimleri ve klorür miktarları (mek/l).....	77
Çizelge 3.23. İnceleme alanındaki bazı su noktalarının toplam iyon derişimine göre saptanan karışım oranları.....	78
Çizelge 3.24. İnceleme alanındaki bazı su noktalarının klorür derişimine göre saptanan karışım oranları.....	80
Çizelge 3.25. Suların Fransız sertliğine göre sınıflanması.....	82
Çizelge 3.26. İnceleme alanındaki suların (Fr) sertliğine göre sınıflanması.....	83
Çizelge 3.27. İnceleme alanındaki suların kalsit doyma indeksleri (Sc) ve yorumları.....	85
Çizelge 3.28. İnceleme alanındaki suların dolomit doyma indeksleri (Sd) ve yorumları.....	87
Çizelge 3.29. İnceleme alanındaki suların jips doyma indeksleri (Sj) ve yorumları.....	88
Çizelge 3.30. İnceleme alanındaki suların kısmi CO ₂ gaz basınçları (PCO ₂) ve yorumları.....	89
Çizelge 3.31. Su içinde çözünmüş iyonların toplam miktarlarına göre suların sınıflanması.....	90
Çizelge 3.32. İnceleme alanındaki suların suda çözünmüş toplam iyon miktarına göre sınıflaması ve yorumu.....	91
Çizelge 3.33. İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarına göre içilebilme özellikleri.....	94
Çizelge 3.34. SAR' a göre sulama sularının sınıflanması.....	97
Çizelge 3.35. İnceleme alanındaki suların SAR'a göre sınıflanması ve yorumu.....	98
Çizelge 3.36. Sulama sularının Wilcox'a göre sınıflanması.....	98
Çizelge 3.37. İnceleme alanındaki suların sulama amaçlı Wilcox sınıflamasındaki yeri.....	99

Çizelge 3.38. İnceleme alanındaki suların köpürme özellikleri.....104

Çizelge 3.39. Sudaki sülfat miktarına göre betonların etkime dereceleri.....104



Bölüm 1

GİRİŞ

1.1. Çalışma Alanının Yeri

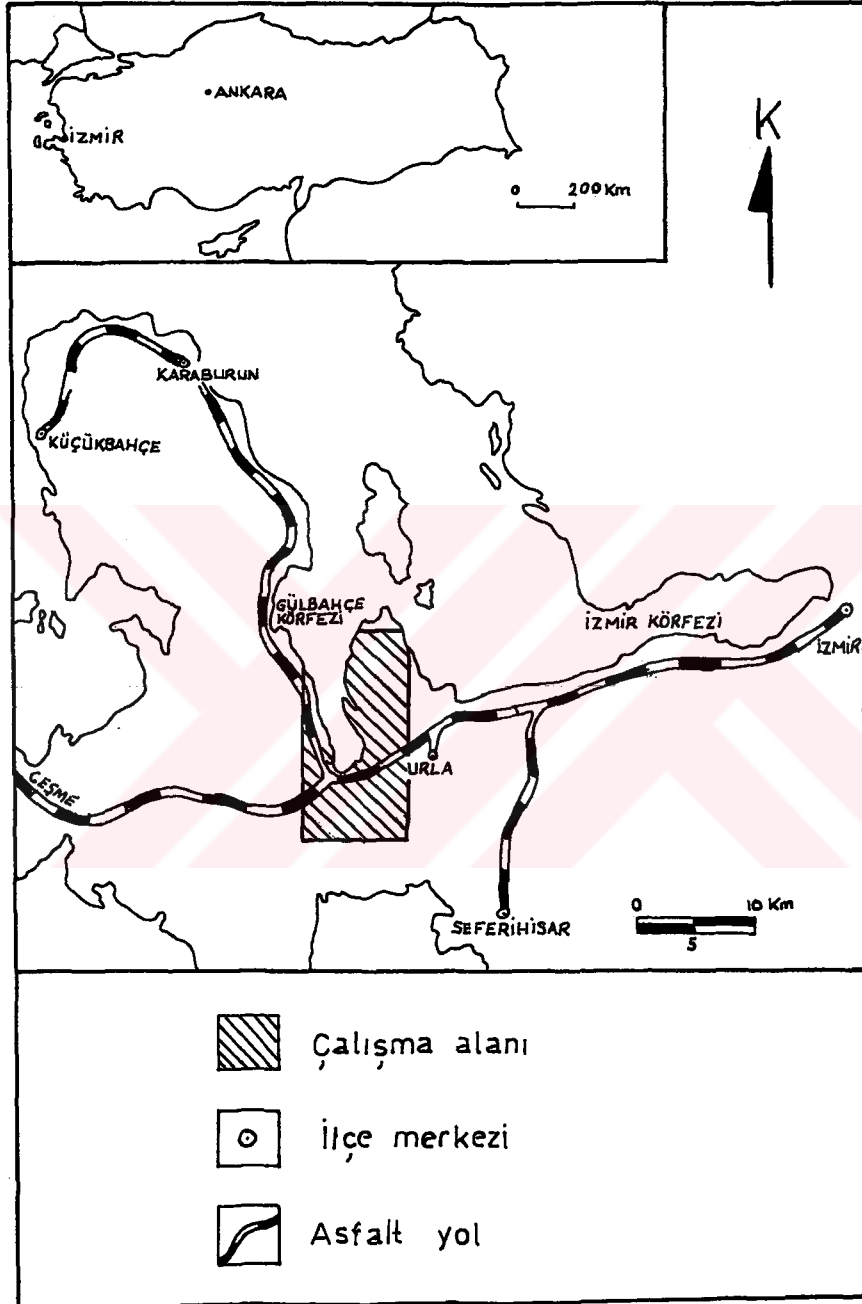
Batı Anadolu'da Karaburun Yarımadası'nın doğu kesimlerinde yer alan ve Gülbahçe Körfesini çevreleyen inceleme alanı, L-17 a₂ ve L-17 a₃ paftalarında 34 100 / 52 150 enlem ve 67 200 / 78 125 boylamları arasında yaklaşık 150 km²'lik bir alanı kaplar (Şekil 1.1).

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'nda, Yüksek Lisans tezi olarak sunulmak amacı ile hazırlanmıştır.

Yapılan çalışmalarda inceleme alanında bulunan sıcak ve soğuk sulardan örnekler alınmış, örnek alınan su noktaları 1 / 1 200 000 ölçekli topoğrafya haritasına işlenmiştir (Şekil 2.2). Ayrıca su örneklerinin kimyasal analizleri yapılarak, geçmiş yıllarda yapılan analizler ile karşılaştırma yapılmıştır. Çalışmada, yeraltı suyu taşıyan formasyonların hidrojeolojik özellikleri incelenmiş, bazı jeotermometre yöntemleri kullanılarak inceleme alanındaki sıcak su noktalarının hazne kaya sıcaklıkları saptanmıştır.

Yapılan kimyasal analizler ile suların kimyasal özellikleri, suların kökenleri, tarımsal, içilebilirlik ve termal amaçlarda kullanılabilme özelliklerinin saptanması, çalışmayı tamamlayan diğer öğelerdir.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yeri

Bölüm 2

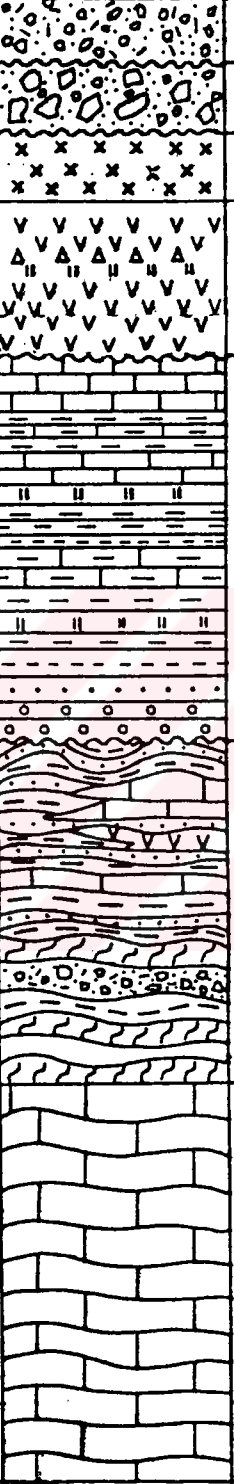
JEOLOJİ

İnceleme alanında litolojik ve hidrojeolojik özellikleri birbirinden farklı yedi ayrı kaya birimi bulunmaktadır. Bunlar Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı olarak iki grupta incelenebilir. Mesozoyik kaya birimleri, Orta-Üst Triyas yaşlı İçmeler kireçtaşı birimi ve Üst Kretase-Paleosen yaşlı Demircili karmaşığı ile temsil edilir. Senozoyik kaya birimleri ise Neojen yaşlı Yağcılar birimi, Gülbahçe Volkanik birimi ve Kızıltepe Volkanik birimi ise Kuvaterner yaşlı Ballıkaya Çakıltası ve Alüvyondan oluşur (Şekil 2.1). Bu bölüm Tarcan (1989) Yüksek Lisans tezinden derlenerek hazırlanmıştır.

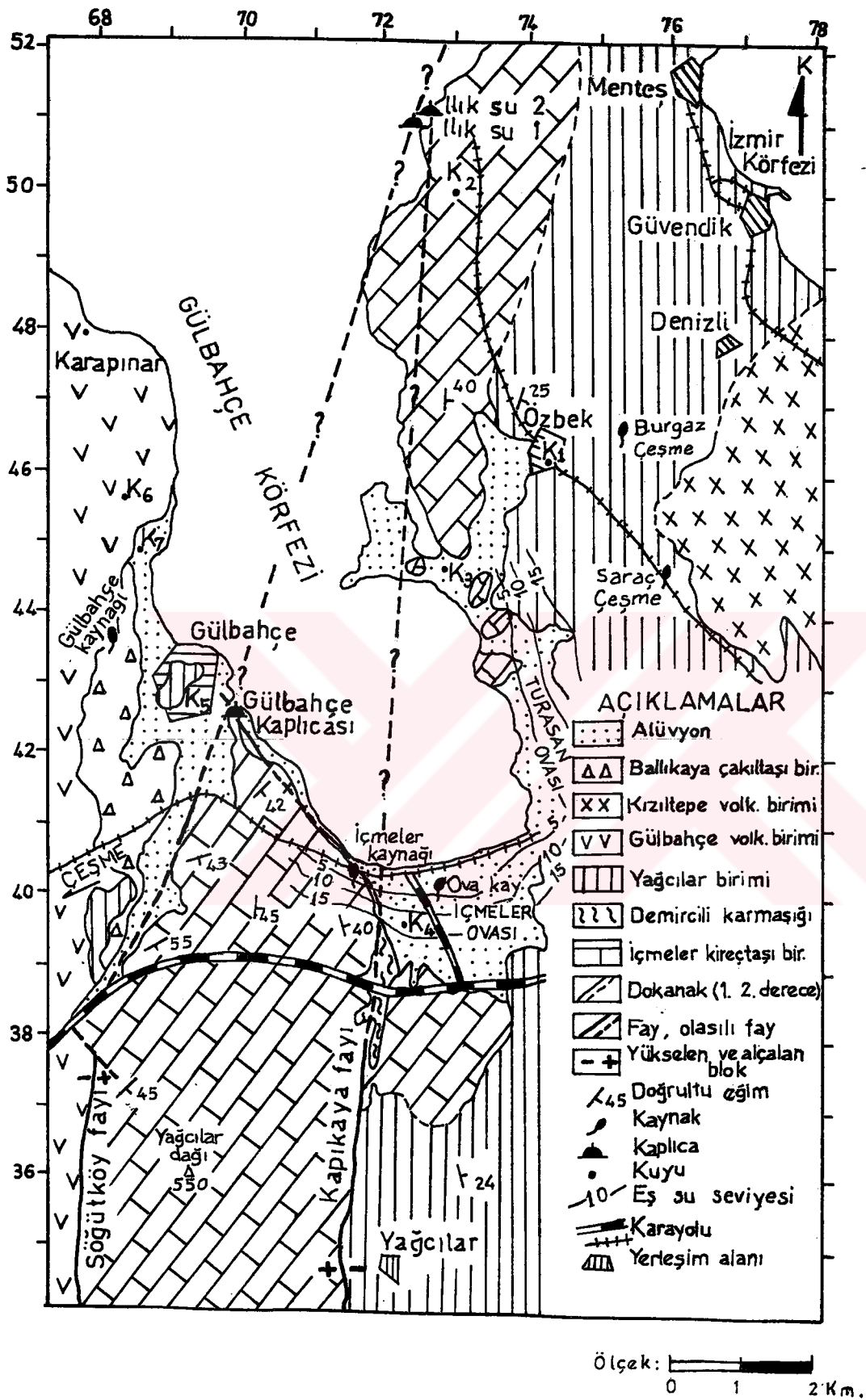
2.1 İçmeler Kireçtaşı Birimi

Çalışma alanının batısında, güneybatısında geniş yayılım sunan birim, Urla-İçmeler'den başlayarak güneybatıda Sığacık körfezine kadar uzanır. Krem beyaz, açık gri ve siyah renk tonlarında gözlenen birim, ince taneli, orta-kalın düzenli katmanlanmalı, yer yer bitüm kokulu, ortaça dayanımlı karstik kireçtaşları ile yersel dolomitik kireçtaşlarından yapılıdır.

Hematitli boksit oluşumları bulunan ve içerdiği *Megaladon* sp. fosillerine dayanılarak Orta-Üst Trias yaşı önerilen birim, inceleme alanının temelini oluşturan Demircili Karmaşığını bindirme fayı ile üstler. Birim, yanal itilmelerle allokton olarak yerleşmiş ve olasılıkla filiş çökelimi sırasında naplaşmaya uğramıştır. Birimin üst dokanağı, Yağcılar birimi ve volkanik kayalarla uyumsuz, yer yer de faylıdır. (Tarcan 1989).

M E S O Z O Y İ K				S E N O Z O Y İ K				ÜST SİSTEM											
T R İ Y A S		K R E T A S E		T E R S İ Y E R		K U V A T E R - N E R		SİSTEM											
ORTA - ÜST		ÜST		PALEOJEN		N E O J E N		ALT SİSTEM											
				PALEOSEN		Plejis-tosen		SERİ											
İÇMELER KIREÇTAŞI		DEMİRCİLİ KARMAŞIĞI		YAĞCILAR BİRİMİ		ANDEZİTİK VOLKANİTLER		BİRİM											
								KALINLIK(m)											
		Yapısal dokanak Kumtaşı şeyl, mafik volkanitler, kireçtaşı, serpantin, çört, kumtaşı, çakıllı kumtaşı, plakelli kireçtaşı Açısal uyumsuzluk Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, marn, tüfit, kireçtaşı ardalanması Uyumsuz dokanak Tüf, aglomera, andezit Asit volkanitler Uyumsuz dokanak Çok örnek çakıltası Uyumsuz dokanak Kum, kil, çakıl, blok, silt		1200		?		400	300	?	30	70							
						İÇMELER KIREÇTAŞI		DEMİRCİLİ KARMAŞIĞI		YAĞCILAR BİRİMİ		ANDEZİTİK VOLKANİTLER		RİYOLİTİK VOLKANİTLER		BALLIKAYA ÇAKILTAŞI BİRİMİ		ALÜVYON	

Şekil 2.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş kolon kesiti



Şekil 2.2. Çalışma alanının jeolojik haritası

2.2 Demircili Karmaşığı

İnceleme alanının güneyinde bulunan, Demircili köyünün batısında ve İçmeler Ovası'nın güneyinde gözlenen Demircili karmaşığı, İçmeler kireçtaşlarını uyumsuzlukla üstler. Birim, filiş fasiyesinde tortul kayalar ve mafik volkanik ara katkılarında yapıli bir matriks ve bu matriks içindeki irili ufaklı kireçtaşı bloklarından oluşmuştur (Tarcan, 1989).

2.3 Yağcılar Birimi

Çalışma alanının doğu ve güney doğusunda geniş yayılım sunan birim, Neojen yaşı çeşitli çökel kayalardan oluşmuştur. Tabanda gri-pembe renkli taban çakıl taşı ile başlayan birim, üste doğru kumtaşı, çamurtaşı, kil, marn ve yer yer tüfit ardalanması ile sürer. Bu ardalanmalı düzeyler üzerine açık beyaz-bej renkli, ince taneli, bol kırıklı, alg ve gastropod fosilleri içeren, yer yer ooid ve kuş gözü yapılarının bulunduğu ince-orta düzenli katmanlanmalı görsel kireç taşları ile yine marn ve kil ardalanması gelmektedir (Tarcan, 1989).

Miyosen yaşı önerilen bu birim, Mesozoyik yaşı birimleri açısai uyumsuzlukla örter ve Miyosen sonu-Pliyosen yaşı andezitik ve riyolitik volkanitler (Borsi, 1973 ve Savaşçın, 1978) tarafından kesilir.

2.4 Gülbahçe Volkanik Birimi

Çalışma alanının batısında geniş yayılım sunan birim, tuf, aglomera ve andezitik lavlardan oluşur. Gülbahçe volkanik biriminin alt kesimlerinde gözlenen kirli beyaz renkli ve az dayanımlı tüfler, üste doğru dereceli olarak aglomeralara dönüşür. İrili ufaklı andezit çakıl ve blokları ile tuf ara maddesinden oluşan aglomeralar ortaç dayanımlıdır. Gri-pembe arasında değişen taze kırık yüzey renkli, siyahımsı gri ayrışma renkli, sert, dayanımlı, masif, yersel akma yapıları içeren, bol çatlaklı andezitler, Gülbahçe volkanik biriminin üst seviyelerinde yer alır (Tarcan, 1989).

İstifteki tüflerin Yağcılar birimi içindeki aralanmada da yer alması ve hatta çamur taşlarıyla yer yer geçişli olması bölgede iki evreli bir volkanizmanın varlığını gösterir. Bu birime de çevredeki diğer volkanikler gibi önerilen Miyosen sonu-Pliosen yaşı önerilmiştir. Bu önerilen yaş radyometrik yaş tayinleri ile de desteklenir (Borsi, 1973 ve Savaşçın, 1978).

2.5 Kızıltepe Volkanik Birimi

Çalışma alanının kuzeydoğusunda yayılım gösteren, kırmızımsı kahverengi ve gri ayrışma renkli taze kırık yüzeyleri açık renk tonlarında gözlenen birim, riyolit-trakit arasında değişen asit volkanik türevlerden oluşur. Yer yer akma yapılarının gözlemlendiği birimin Yağcılar birimi ile olan dokanağı uyumsuzdur. Önceki araştırmacılar (Borsi, 1973 ve Savaşçın, 1978) tarafından yapılan yaş tayinlerinde bu birime andezitik volkanitler gibi Miyosen sonu-Pliosen yaşı verilmiştir.

2.6 Ballıkaya Çakıltası Birimi

İnceleme alanının batısında yayılım gösteren birim çok örnek bileşenli çakıl ve yer yer bloklardan oluşur. Bulunduğu ve dokanak yaptığı kaya birimine göre bileşenleri değişir. Tane bileşenlerini bolluk sırasına göre Gülbahçe volkanik birimi, Yağcılar birimi ve İçmeler kireçtaşı birimine ait çakıl ve bloklar oluşturur. Genellikle az pekleşmiş bir alüvyonal yelpaze oluşuğu olan birim yamaç molozu olarak nitelendirilebilir ve tortul kayalarındaki çakıl taşlarının türümsel ve kökensel sınıflamasında “fanglomera” terimine karşılık gelir. Kalınlığı az olan birim Yağcılar birimi ile andezitik volkanitleri uyumsuz olarak örter (Tarcın, 1989).

2.7 Alüvyon

Genellikle çalışma alanının kuzey kesiminde, Gülbahçe Körfezi çevresinde yer alan birim; kum, çakıl, kumlu çakıl, killi kum, sitli kum ile kil ve siltlerden oluşur. Ortalama kalınlığı 0-20 m., İçmeler Ovasında 60-70 m. olan ve diğer tüm birimleri uyumsuz olarak örten alüvyon güncel yaşlıdır.

Bölüm 3

HİDROJEOLJİ VE YERALTI SULARI KİMYASI

Bu bölümde inceleme alanında bulunan kaya birimlerinin hidrojeolojik özellikleri, havzaların yeraltı suyu potansiyelleri, sıcak ve soğuk suların kimyazsal özellikleri, kıyı akiferlerdeki tatlı-tuzlu su girişimi, hazne kaya sıcaklığının saptanması, suyun yeraltında izlediğı yolun araştırılması gibi konular üzerinde durulacaktır.

İnceleme alanındaki suların içme, sulama ve endüstride kullanma özellikleri, sıcak-soğuk su karışım modelleri, deniz suyu-tatlı su karışım modelleri ve suyun kimyasal özellikleri yapılan kimya analizlerinden yola çıkılarak incelenmiştir.

3.1 STRATİGRAFİK BİRİMLERİN HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanındaki kaya birimleri su içeriklerine göre ayrı ayrı incelenmiştir.

3.1.1 İçmeler Kireçtaşı Birimi

İnceleme alanında yeraltı suyu içeriğı bakımından en zengin birimdir. Gülbahçe Kaplıcası'nın hazne kayasını oluşturan İçmeler kireçtaşı birimi “ karstik akifer ” niteliğindedir. Karstik arazilerde yeraltı sularının çözündürüp genişlettiğı kanallar, derinlerde birleşerek, genellikle bir fay boyunca yüzeye erişirler ve karstik kaynakları meydana getirirler. Karstik kaynaklar çoğunlukla birbirinden uzak, debileri yüksektir (Şahinci, 1991).

Karstlaşmanın meydana gelmesi için aşağıdaki şartların bulunması gerekir ;

- Kireçtaşı, dolomit ile karbonat çimentolu konglomera gibi kayaçların saf olması,

- Karbonatlı kayaçların az da olsa kırık, çatlak ve eklem sistemlerini içermesi, tabakaların kalın olması ve geniş sahalar içermesi,
- Topografik meyilin az olması ve karbonatlı kayaçların çevreye göre daha yükseklerde yer alması ve bitki örtüsü ile kaplı olması,
- Meteorolojik şartların uygun olması, yüzey suları ile yeraltı sularının hareketli olması,
- Kırık ve çatlaklar boyunca süzülen suların CO₂ içermesi, karbonatın devamlı olarak erimesi.

Sonuç olarak belirtmek gerekirse jeolojik yapı, orojenez ve buna bağlı olarak tektonik hareketler, topografik durum ve meteorolojik, hidrojeolojik şartlar ile dış ve iç etkenler karstlaşmanın meydana gelmesinde ve şiddetinde önemli rol oynamaktadır (Filiz, Ş., ders notları).

Tektonik kırık ve çatlaklar boyunca yeraltına süzülen yağış suları klimatolojik etkenlerde bağlı olarak CO₂ ' ce zenginleşir ve hafif asidik bir özellik taşır. Suyun pH değeri içerdği CO₂ miktarı ile yakından ilgilidir.

$H_2O + CO_2 \rightleftharpoons HCO_3 + H^+$ tepkimesinde görüldüğü gibi suya giren CO₂ ile bikarbonat oluşur ve H⁺ açığa çıkar. Dolayısıyla $H^+ = 10^{-pH}$ olduğunda suyun pH' ı düşerek hafif asidik özellik kazanacaktır. Bu şekilde hafif asidik özelliğe sahip yeraltı suları, kireçtaşlarını çözündürerek lapyalar, kaşık, kepçe yapıları, düden, obruk, mağralar, polyeler olmak üzere çeşitli boyut ve çapta karstik yapıların oluşmasına neden olur (Filiz ve Tarcan, 1990).

Karstik alanlardaki yeraltı suyu rezervuarlarının da diğer akiferler gibi bir beslenme, bir de boşalım alanları vardır. Beslenme alanlarında yer alan kırık, çatlak, erime boşlukları ve düden gibi karstik oluşuklardan yeraltına süzülen yüzey suları, kendilerine hazırlamış oldukları kanallardan hızlı veya yavaş hareketlerle ilerleyerek, genellikle kaynak halinde yeryüzüne veya denizaltı ile göl gibi su kütlelerine yeraltı boşalımını olarak çıkmakta ve böylece hidrojeolojik devreyi tamamlamaktadır.

Özellikle kireçtaşları porozite ve permeabilite bakımından büyük farklar göstermektedir. Bunun sonucunda yeraltı suyunun akım hızı da yer yer çok farklıdır. Bu bakımından karstik bölgelerde yeraltı suyu hidroliği ile ilgili bağıntıları uygularken ayrıca büyük hacimli olmayan karbonatlı kayaçlarda yeraltı suyu beslenmesi genellikle çok hızlı ve aynı zamanda, düden, mağara ve erime kanalları yoluyla olduğundan suyun kirlenme ihtimali her zaman yüksektir.

İçmeler kireçtaşı birimi, geçirmiş olduğu deformasyon nedeni ile bol kırıklı ve çatlaklıdır. Değişik doğrultu ve eğimde olan bu çatlaklar yeraltında kesişmekte ve karstlaşmanın etkisiyle bağlantılı karst rejimini oluşturmaktadır. Karstlaşma henüz çok ileri boyutlarda değildir. Yeraltı suyu taban seviyesini, deniz seviyesi oluşturmaktadır. Bu nedenle denize yakın kesimlerde yeraltı suyuna deniz suyu karışımı olabilmektedir (Filiz ve Tarcan,1990). Halen inşaatı sürmekte olan Yüksek Teknoloji Enstitüsü kampüs alanı arazileri bu birim üzerinde bulunur. Dikey direnaj ve kapilarite nedeni ile tuzlanma tehlikesi söz konusudur.

Sonuç olarak; İçmeler kireçtaşı biriminden elde edilebilecek bol miktarda su, büyük olasılıkla İçmeler Kaynağı kalitesinde sıcak ya da tuzlu su olacaktır (Filiz, Türk, Tarcan ve Koca, 1994).

3.1.2 Demircili Karmaşığı

Birim, filiş fasiyesinde tortul kayalar ve mafik volkanik ara katkılarından yapılmış bir matriks ve bu matriks içindeki irili ufaklı kireçtaşı bloklarından oluşmuştur. Kumtaşı-şeyl düzeylerinin su içermediği birim, içerdiği ara katkı olarak yer alan kumtaşı, çakıllı kumtaşı düzeyleri, ayrılmış serpantinitle, çatlaklı çört ve kireçtaşı düzeyleri su içerebilmektedir. Yüzey direnaji, tektonik ve morfolojik koşullarında etkili olduğu yeraltı suyu içeriği, Demircili karmaşığı içinde bazı küçük debili kaynaklar ve üç-dört adet adi sığ kuyularla kanıtlanmaktadır (Tarcan, 1989).

Genel olarak incelendiğinde, Demircili karmaşığı, içerdiği killi şeyl düzeyleri nedeniyle geçirimsiz taban özelliğindedir.

3.1.3 Yağcılar Birimi

Birim içinde yer alan ve kalınlıkları 1-25 m. arasında değişen çatlaklı kireçtaşı düzeyleri, yeraltı suyu beslenme ve depolanması açısından çok önemli bir konumdadır. Yağcılar biriminde akifer seviyeyi oluşturan bu kireçtaşları derinlerde basınçlı akifer niteliğindedir. Buna bağlı olarak açılacak derin sondajlarda bol miktarda su almak olasıdır. İnceleme alanında, bu birim içinde açılmış olan eski ve yeni olmak üzere bir çok sığ adi kuyu ve küçük debili soğuk su kaynakları bulunmaktadır. Kireçtaşları bu kuyularda hazne kayasını oluşturur. Birimde yer alan kaynaklar, beslenme alanı az olan yüzey kireçtaşları ile daha alt düzeydeki killi seviyelerin kontağından çıkmaktadır (Tarcan, 1989).

Yağcılar birimi içindeki ardalımda çakıllı, kumlu düzeyler iyi kalitede yeraltı suyu beslenmesi ve depolanması açısından önemlidir. Birim içinde yer alan killi seviyeler geçirimsiz temel niteliğindedir ve yeraltı suyunu tutucu özelliğe sahiptir. Birim içinde, kireçtaşlarının üzerinde yer alan killi düzeyler ise basınç etkisi yaratır.

3.1.4 Gülbahçe Volkanik Birimi

Bu birim içinde yer alan andezitler bol kırıklı ve çatlaklı olmaları nedeniyle jeolojik ve morfolojik koşullara da bağlı olarak az miktarda fakat oldukça kaliteli yeraltı suyu içerirler. Gülbahçe Kaynağı bu birimde yer alır. Buradan yararlanılan sular memba suyu niteliğindedir.

Gülbahçe çevresinde bu birim üzerinde özel amaçlı olarak açılan sondajlardan 0,5-2 lt / sn'lik debi ile su çekilebilmektedir (Tarcan, 1989).

3.1.5 Kızaltepe Volkanik Birimi

Birim, kırıklı ve çatlaklı yapısıyla az miktarda su içermektedir. Bu birim üzerinde açılmış birkaç sayıda adi sığ kuyu yüzey sularını toplamaktadır. Derinlere doğru

gidildikçe kırık ve çatlaklar etkisini yitirdiğinden derin sondaj kuyuları için uygun değildir (Tarcan, 1989).

3.1.6 Ballıkaya Çakıltası Birimi

Gerek kalınlığının az olması, gerekse sahip olduğu litolojik özellikleri nedeniyle bu birim yeraltı suyu içermemektedir. Ancak kalınlığının yer yer arttığı yerlerde açılan kuyulardan az da olsa yararlanılabilir.

3.1.7 Alüvyon

İnceleme alanındaki jeolojik formasyonlar içinde yeraltı suyu içeriği olarak en uygun birim alüvyondur. Birçok sığ adi kuyunun bulunduğu birimde, özel amaçlı, derinliği fazla olmayan sondaj kuyularından bol miktarda su alınabilmektedir. Özellikle İçmeler Ovası'nda kalınlaşan alüvyonun kumlu, çakıllı seviyeleri yeraltı suyu açısından oldukça zengindir.

Urla İlçesinin su ihtiyacı İçmeler Ovasının doğusunda açılan kuyulardan sağlanmaktadır. Denize yakın kesimlerde ve İçmeler kaynağı çevresindeki kuyulardan az miktarda (yaklaşık % 1-10 arasında) deniz suyu karışmış su elde edilmektedir (Filiz, Türk, Tarcan ve Koca, 1994)

3.2 TEMEL JEOKİMYASAL HESAPLAMALAR

Bu çalışmada 3 sıcak su ve 13 soğuk su noktası olmak üzere toplam 16 su noktası pilot olarak seçilmiş ve bu noktalardan örnek alınarak kimya analizleri yapılmıştır. Bu su noktaları ve kimyasal özellikleri çalışmanın ilerleyen bölümlerinde belirtilecektir.

Kimya analizlerinde, yeraltı sularında en çok bulunan Anyon (Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$) ve katyonlarla (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}), silisyum değerleri litrede miligram

(mg/l) olarak bulunmuştur. Bu noktaların pH ve elektriksel iletkenlikleri de ölçülmüştür.

Su içindeki iyonlar, litrede gram veya miligram olarak tanımlanır. Sudaki iyonlar milyonda bir anlamına gelen “ppm” olarak gösterilir. Litrede miligram ile ppm arasındaki bağıntı şöyledir.

$$\text{ppm (mg/kg)} = (\text{mg/l}) / \text{suyun özgül ağırlığı}$$

Suyun özgül ağırlığı çoğunlukla 1 olarak kabul edildiğinden ppm ile mg/l eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bazı kimyasal incelemelerde iyonların su içindeki ağırlıkları yerine kimyasal tepkimeye giren miktarların saptanması istenir. Kimyasal tepkimelerde iyonların miktarı litrede miliekiyalan (mek/l) ve molarite (mol/l) olarak tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} \text{mek/l} &= (\text{mg/l}) / (P/Z) & P &= \text{İyonun atom ağırlığı} \\ \text{Molarite} &= (\text{mg/l}) / P \cdot 10^{-3} & Z &= \text{İyon değeri} \end{aligned}$$

Su içindeki anyon ve katyonların mek/l toplamaları birbirine eşit olmalıdır. Anyon ve katyonların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hata aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$e = 100 \cdot (rp - rn) / (rp + rn)$$

rp = Sudaki toplam katyon miktarı (mek/l)

rn = Sudaki toplam anyon miktarı (mek/l)

e, % 2' den küçük veya eşit olmalıdır. Bu çalışma kapsamında tarafımızdan yapılan analizlerin birçoğu kabul edilebilir hata sınırı içindedir. Bir kısmında oldukça fazla hata çıkmaktadır. Bu durum kimyasal analiz sırasında tüm iyonların tahlil edilememiş olması, analiz sırasında yapılan hatalar, suyun alındığı tarihten analize

kadar geçen süre içinde bir kısım iyonların çökelmesi, kullanılan aletlerin yeterince hassas olmaması ve benzeri nedenlerden kaynaklanmaktadır.

3.2.1 İyonlaşma Gücü (I)

Büyüklik olarak iyonların her birinin stokiyometrik molaritesinin (C) yarısı ile iyon değerliği (z) karesinin çarpımına eşittir (Şahinci, 1991)

$$I = 0,5 (C_1Z_1^2 + C_2Z_2^2 + \dots + C_nZ_n^2) = 0,5 \sum C_iZ_i^2$$

Eğer iyonların mek/l değerleri alınırsa iyonlaşma gücü şöyle bulunur ;

$$I = [(rNa^+ / 2) + (rK^+ / 2) + (rCl^- / 2) + (rHCO_3^- / 2) + rCa^{++} + rMg^{++} + rSO_4^{--}] \times 10^{-3}$$

Bağıntıda r = mek/l' dir.

3.2.2 İyon Etkinliği (AC)

Tuzların suda çözünürlüğünün iyonlar arası kimyasal tepkime hızlarını etkileyen nedenlerden biridir. İyon etkinliği ile herhangi bir iyonun tahlil edilen derişimi (C) arasında şu bağıntı vardır (Şahinci, 1991).

$$AC = F \times C$$

AC = İyon etkinliği (gerçek derişim)

F = İyon etkinlik katsayısı

C = Görünür derişim (molarite)

3.2.3 İyon Etkinlik Katsayısı (F)

İyon etkinlik katsayısı boyutsuzdur ve genellikle birden küçük olduğunda gerçek derişim, görünür derişimden küçüktür. Böylece çözeltilerde bulunan iyonlar, derişimlerinden çok etkinlikleri gerçek derişimleri ile tepkimeleri denetlerler.

İyon etkinlik katsayısının saptanması için değişik bağıntılar verilmiştir. Bunlardan bazıları şunlardır ;

a. Debye – Hückel Bağıntısı :

$$\log F = -A z_i^2 \sqrt{I} \dots (I < 0,01 \text{ için})$$

Genişletilmiş Debye-Hückel bağıntısı ;

$$\log F = -A z_i^2 \sqrt{I} / (1 + B a) \dots (I < 0,1 \text{ için})$$

b. Güntelberg Bağıntısı :

$$\log F = -A z_i^2 \sqrt{I} / (1 + \sqrt{I}) \dots (I < 0,1 \text{ için})$$

c. Davies Bağıntısı :

$$\log F = -A z_i^2 \left(\sqrt{I} / 1 + \sqrt{I} \right) - 0,2 I \dots (I < 0,5 \text{ için})$$

İyon etkinlik katsayılarının (F) hesabı için iyonlaşma gücü (molarite olarak) 0,1'den düşük olan sularda **Debye-Hückel** ($\log F = -A Z_i^2 I^{0,5} / 1 + B r_0 I^{0,5}$) bağıntısı kullanılır. A ve B sabitleri sıcaklık ve basınca bağlı parametreler olup, 25 °C ve 1 atm. Basınç koşullarında 0,51 ve 0,33 değerine sahiptir. Ancak hesaplamalar kaynak çıkış sıcaklığına göre yapılmalıdır.

İyonlaşma gücü 0,1 ile 0,5 arasında olan suların iyon etkinlik katsayısının hesabında ise **Davies bağıntısı** ($\text{Log}F = -A Z_i^2 (I^{0,5} / 1 + I^{0,5} - 0,2 I)$) kullanılır (Filiz, Tarcan ve Gemici, 1998) I = İyonlaşma gücü, F = İyon etkinlik katsayısı, Z = Değerlik, A = Sıcaklığa bağlı sabittir. Suda çözünmüş iyonların yüzde değerleri anyonlar ve katyonlar olmak üzere ayrı ayrı ele alınmıştır.

3.3 İNCELEME ALANINDA ÖRNEK ALINAN SU NOKTALARI

Gülbahçe Kaplıcası

Gülbahçe Köyü'nün güneydoğusunda 42 650 / 69 700 koordinatlarında yer alan kaplıcanın ortalama sıcaklığı 37 °C'dir. Deniz kenarında bulunan kaplıca klor sodyumlu sular grubundandır (Reman, 1942). Tarihi kümbet yapısı, sıcaklığı ve kimyasal analiz sonuçları nedeniyle Ilıksu 1 Kaplıcası kaynağı ile büyük benzerlikler sunduğu saptanmıştır (Çizelge 3.1, Şekil 3,1).



Şekil 3.1 Gülbahçe Kaplıcası

Ilıksu 1 Kaynağı

Menteş Yarımadası'nın ve Özbek Köyü'nün kuzeybatısında, Ilıca Tepe' nin kuzeyinde Ilıksu Kaplıcası kaynakları bulunur. Urla-İstihkâm Okulu Komutanlığı sahası içinde, deniz kenarında, 51 080 / 72 580 koordinatlarında yeralan bu kaynağın ortalama sıcaklığı 37 °C'dir. Kaynak civarında Gülbahçe körfezi kıyısında aynı özellikte ve birbirine yakın Ilıksu kaynakları bulunmaktadır. Cenevizlilerden kalma "kümbet" özelliğindeki Ilıksu 1 sıcak su kaynağı, tarihi yapısı, sıcaklık ve kimyasal analiz sonuçları nedeniyle Gülbahçe Kaplıcası ile büyük benzerlikler sunmaktadır (Çizelge 3.2, Şekil 3.2). Ilıksu kaynakları, inceleme alanında bulunan Söğütköy fayı ile Kapıkaya fayının olası olarak kesiştiği yerde yüzylemektedir.



Şekil 3.2 Ilıksu 1 Kaplıcası kaynağı

Ilıksu 2 Kaplıcası Kaynağı

Ilıksu 1 Kaynağının kuzeyinde, 51 250 / 72 660 koordinatlarında bulunan kaynak deniz kenarında yüzylemektedir. Kaynağın sıcaklığı yaklaşık olarak 35 °C'dir

(Eşder ve Çağlav, 1986). Kıyı boyunca ilerlenildiğinde aynı özellikte sıcak su kaynaklarının bulunduğu Yrb. Dursun Altıntaş ile yapılan sözlü görüşme sonucu anlaşılmıştır.



Şekil 3.3 Ilıksu 2 Kaplıcası kaynağı

K₁ Su Noktası (Özbek Köyü Çeşmesi)

Bu su örneği Özbek Köyü merkezinde bulunan tarihi çeşmeden alınmıştır. Çeşme, 46 250 / 74 160 koordinatlarında yer almaktadır (Çizelge 3.4, Şekil 3.4).

K₂ Su Noktası

Ilıksu mevkiinde, askeri sahaya yakın olan artezyen kuyusu örneği, inşaatı henüz devam eden tatil sitesindeki su ihtiyacını karşılamak amacıyla açılmıştır. 50 000 / 72 833 koordinatlarında bulunan kuyu, İçmeler kireçtaşı birimi içinde yer alır (Çizelge 3.5).



Şekil 3.4 Özbek Köyü çeşmesi

Saraç Çeşme

İnceleme alanında Özbek Köyü yol kenarında Turasan ovası kuzeyinde yer alan çeşme, 75 900 / 44 665 koordinatlarında bulunur. Kaynak, Yağcılar birimi içindeki kireçtaşı ve marnlı seviyelerden süzülmetedir (Çizelge 3.6)

Burgaz Çeşme

İnceleme alanında Saraç Çeşme'nin kuzeyinde, Özbek köyü yol kenarında bulunan çeşme 75 250 / 46 825 koordinatlarında bulunur. Kaynak, Yağcılar birimi içindeki kireçtaşı ve marnlı seviyelerden süzülmetedir (Tarcan, 1989) (Çizelge 3.6).

K₃ Su Noktası

Turasan Ovası'nın kuzeyinde bulunan kuyu, Özbek köyüne doğru uzanan alüvyon birimi içinde yer alır. Kuyu, 73 150 / 44 750 koordinatlarında bulunur (Çizelge 3.8).

K₄ Su Noktası

İçmeler Ovasında 72 750 / 39 750 koordinatlarında yer alır (Çizelge 3.9).

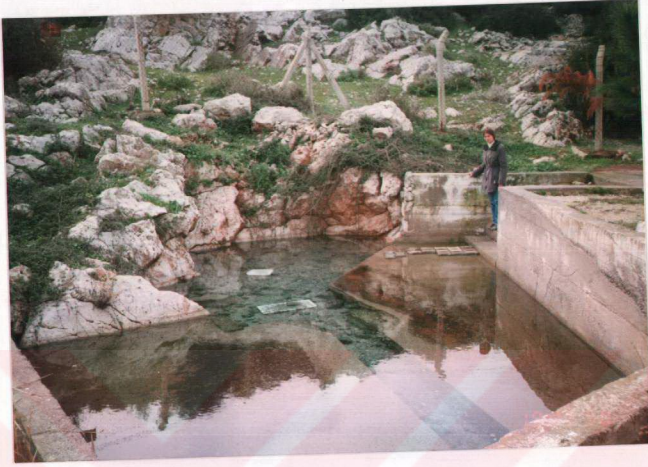
Ova Kaynağı

İçmeler Ovasında 72 800 / 40 200 koordinatlarında yer alan bu kaynak, alüvyon biriminde yüzylemektedir (Çizelge 3.10).

İçmeler Kaynağı

Gülbahçe körfezinin güneyinde yer alan kaynak 40-41 enlemleri ile 71-72 boylamları arasında yer alır. "Malkaça İçmecesı" olarak da bilinen ve yöre halkının Urla İçmeleri olarak adlandırdığı kaynak sularının özellikle mide, bağırsak ve cilt hastalıklarına iyi geldiği bilinmektedir. Kaynağın kaptajı betonla örtülmüş ve yakın çevresi düzenlenerek halkın kullanımına sunulmuştur (Çizelge 3.11, Şekil 3.5).

Mesozoik kireçtaşları İçmeler kaynağının hazne kayasını oluşturur. Kireçtaşları arasında bulunan Kumtaşı-Şeyl ardalanması, geçirimsiz tabanı oluşturur (Şahinci ve Gümüş, 1984). İçmeler kireçtaşı birimi "karstik akifer" niteliğinde olup, inceleme alanında yeraltı suyu içeriği bakımından en zengin birimdir. İçmeler kaynağı, yağış sularının karstik kireçtaşları içinde süzülerek fazla derinlere inmeden, kireçtaşı ile temeldeki kumtaşı-şeyl faylı dokanağından yüzeye erişen karstik bir kaynaktır. İçmeler kaynak sularına belirli oranda deniz suyu karışımı söz konusudur.



Şekil 3.5 İçmeler Kaynağı

Gülbahçe Kaynağı

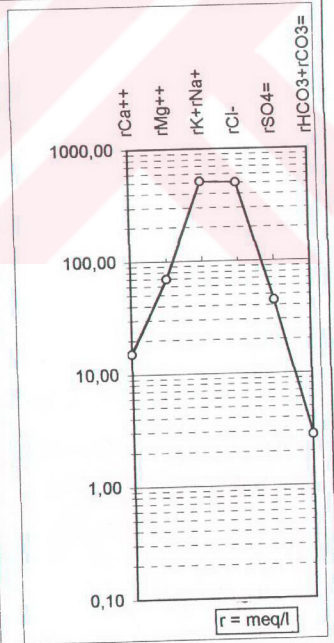
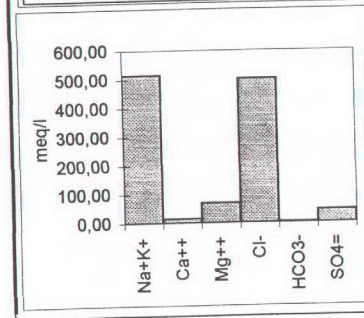
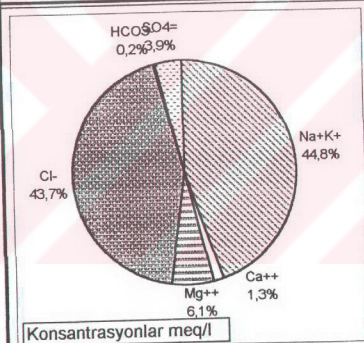
İnceleme alanının batısında 68 100 / 43 600 koordinatlarında bulunan kaynak, Gülbahçe volkanik birimindeki andezitlerin kırık ve çatlakları boyunca süzülerek yüzeylemektedir. Andezitlerin hazne kayayı oluşturması nedeni ile kaynak, memba suyu niteliğindedir (Çizelge 3.12).

K₅ Su Noktası

Gülbahçe'nin merkezinde 42 580 / 69 250 koordinatlarındaki kaynak, alüvyon birimi içinde bulunur (Çizelge 3.13)

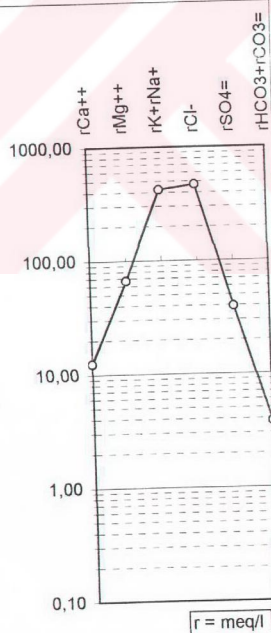
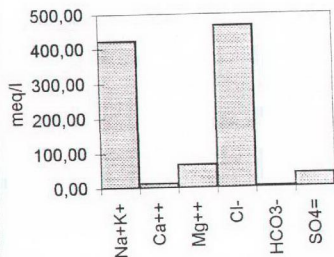
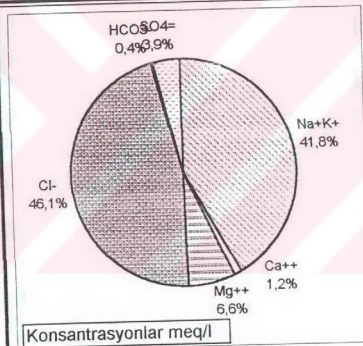
Çizelge 3.1. Gülbahçe Kaplıcası sularının kimyasal özellikleri

Örnek Adı :Gülbahçe Kaplıcası				Lab no.	1	pH	7,21	
Örnekleme Tarihi: 19.12.1998				Sıcaklık	37 °C	EC(µmho/cm)	45600	
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	11659	507,13	84,71	89,2	0,50713	0,2536	0,68	0,3464
K ⁺	257	6,59	1,10	2,0	0,00659	0,0033	0,68	0,0045
Ca ⁺⁺	302	15,07	2,52	2,3	0,00753	0,0151	0,22	0,0016
Mg ⁺⁺	850	69,90	11,68	6,5	0,03495	0,0699	0,22	0,0076
Cl ⁻	17750	500,30	91,40	88,5	0,50030	0,2501	0,68	0,3417
HCO ₃ ⁻	171	2,80	0,51	0,9	0,00280	0,0014	0,68	0,0019
SO ₄ ⁻	2125	44,27	8,09	10,6	0,02214	0,0443	0,22	0,0048
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				598,694	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		13068,0	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				547,370	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		20046,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				1146,065	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		33114,0	
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,638	% e (Hata Yüzdesi)		4,48	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				77,804	Sertlik (Fr)		424,86	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				10,628	rCa/rMg Oranı		0,22	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0,063	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)		-0,49	
SIğ(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,660	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı)		-2,08	
Fo (Küpürme Katsayısı)				31956,3	SiO ₂ (mg / l)		7,71	
Hidrokimyasal fasiyes tipi:				Na-Cl	B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



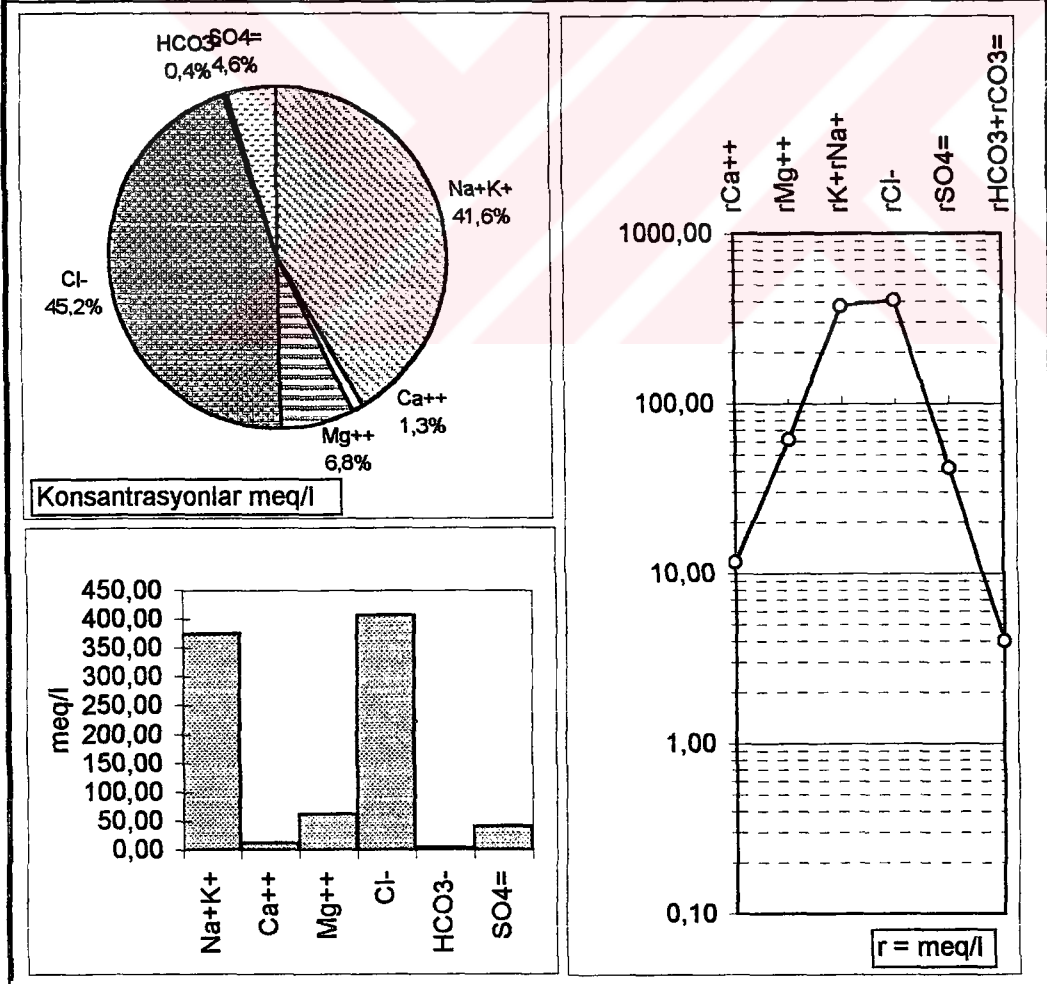
Çizelge 3.2. İlk su sıcak su kaynağının kimyasal özellikleri

Örnek Adı :İlksu 1				Lab no.	2	pH		7,3
Örnekleme Tarihi: 19.12.1998				Sıcaklık	37	EC(µmho/cm)		52700
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	9565	416,05	82,96	88,0	0,41605	0,2080	0,68	0,2843
K ⁺	241	6,18	1,23	2,2	0,00618	0,0031	0,68	0,0042
Ca ⁺⁺	249	12,43	2,48	2,3	0,00621	0,0124	0,22	0,0014
Mg ⁺⁺	813	66,86	13,33	7,5	0,03343	0,0669	0,22	0,0073
Cl ⁻	16500	465,06	91,53	88,6	0,46506	0,2325	0,68	0,3178
HCO3 ⁻	232	3,80	0,75	1,2	0,00380	0,0019	0,68	0,0026
SO4 ⁻	1884	39,25	7,72	10,1	0,01963	0,0393	0,22	0,0043
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				501,514	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		10868,0	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				508,117	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		18616,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				1009,631	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		29484,0	
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,564	% e (Hata Yüzdesi)			-0,65
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				66,080	Sertlik (Fr)			396,42
rCl / (rSO4+rHCO3) Oranı				10,802	rCa/rMg Oranı			0,19
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,077	Slj(Dips Doygunluk İndeksi)			-0,63
Std(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,832	LogPCO2(CO2) Kısmi Basıncı			-2,04
Fo (Köpürme Katsayısı)				26277,1	Si (mg / l)			7,14
Hidrokimyasal fasiyes tipi:				Na-Cl	B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



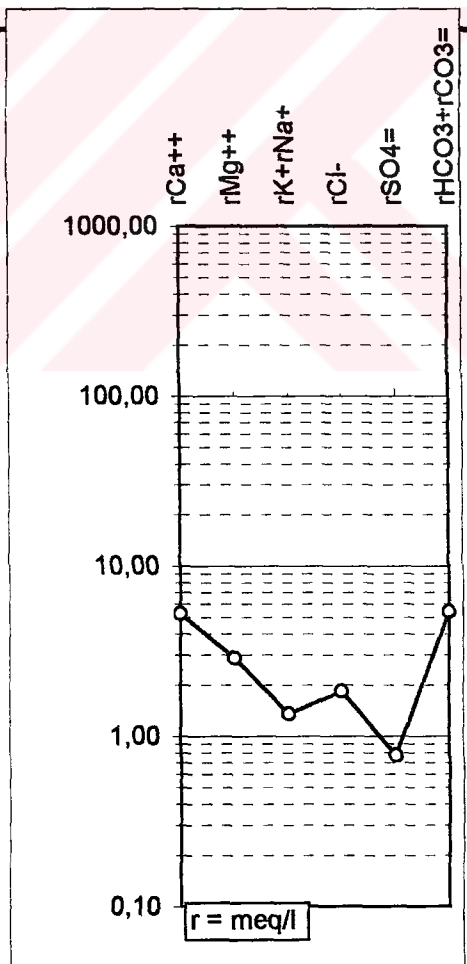
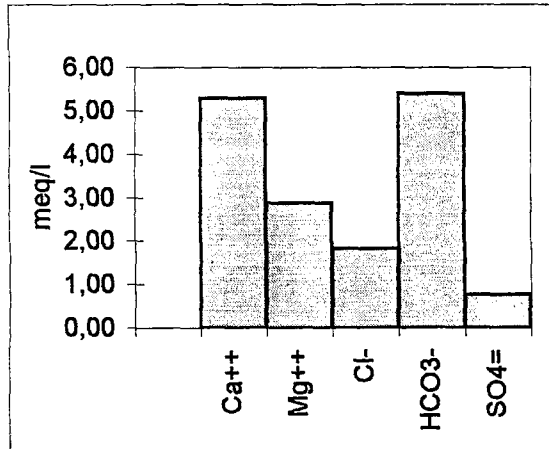
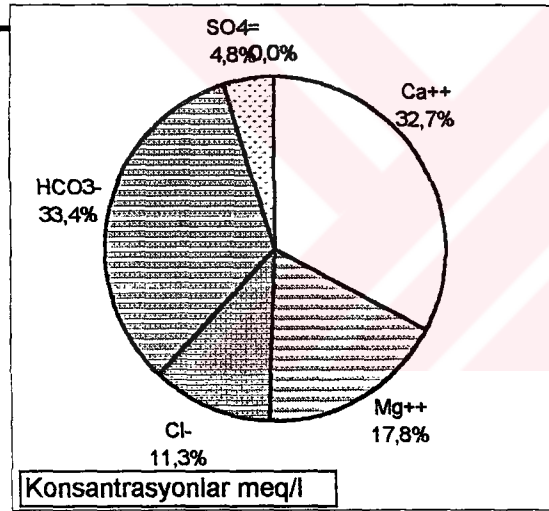
Çizelge 3.3. İlksu 2 sıcak su kaynağının kimyasal özellikleri

Örnek Adı :İlksu 2				Lab no.	3	pH		7,39
Örnekleme Tarihi: 19.12.1998				Sıcaklık	37	EC(µmho/cm)		51600
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	8470	368,42	82,26	87,4	0,36842	0,1842	0,68	0,2522
K ⁺	241	6,18	1,38	2,5	0,00618	0,0031	0,68	0,0042
Ca ⁺⁺	234	11,68	2,61	2,4	0,00584	0,0117	0,22	0,0013
Mg ⁺⁺	749	61,60	13,75	7,7	0,03080	0,0616	0,22	0,0068
Cl ⁻	14450	407,28	89,94	86,6	0,40728	0,2036	0,68	0,2788
HCO3 ⁻	244	4,00	0,88	1,5	0,00400	0,0020	0,68	0,0027
SO4 ⁼	1994	41,54	9,17	11,9	0,02077	0,0415	0,22	0,0046
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				447,873	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		9694,0	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				452,825	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		16688,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				900,697	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		26382,0	
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,508	% e (Hata Yüzdesi)		-0,55	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				60,868	Sertlik (Fr)		366,36	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				8,943	rCa/rMg Oranı		0,19	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,166	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)		-0,62	
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,917	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı)		-2,10	
Fo (Köpürme Katsayısı)				23324,1	Si (mg / l)		7,39	
Hidrokimyasal fasiyes tipi:				Na-Cl	B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



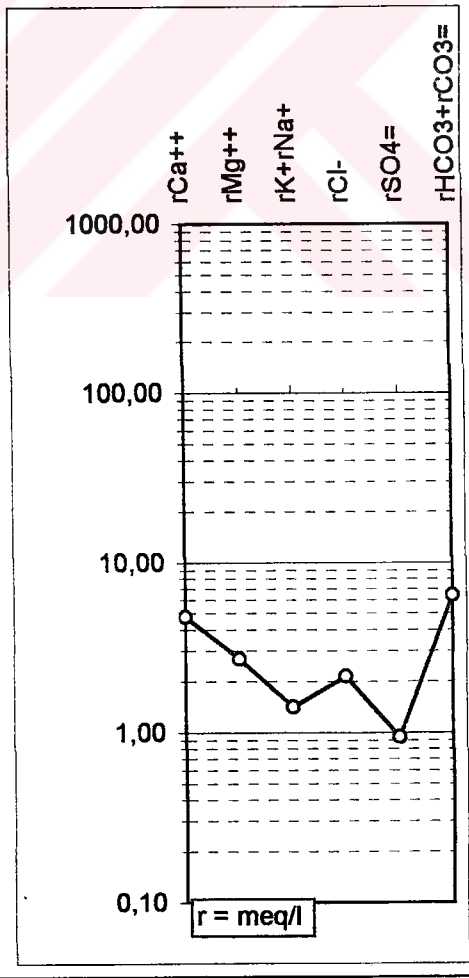
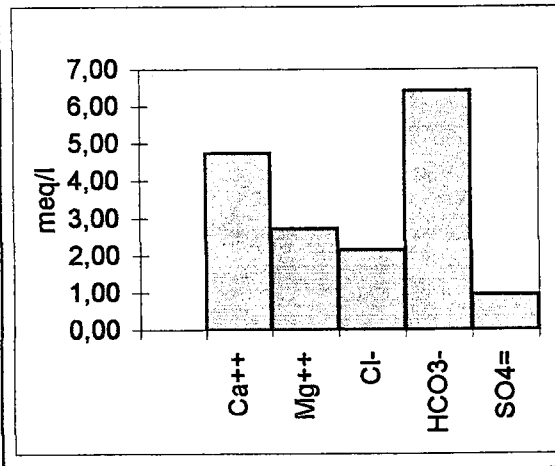
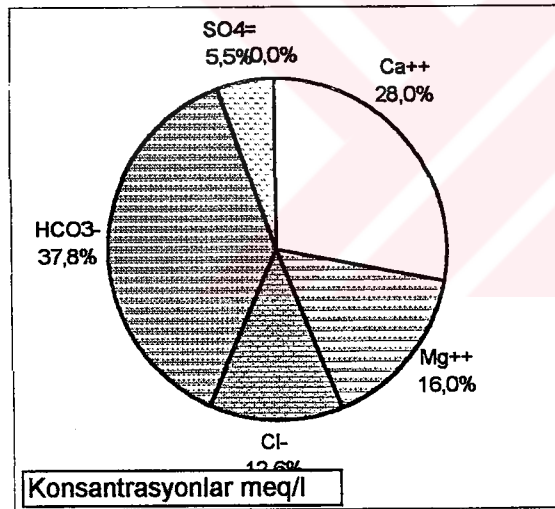
Çizelge 3.4. K₁ su noktasının (Özbek Köyü Çeşmesi) kimyasal özellikleri.

Örnek Adı : K1					pH(-logH)		7,2	
Örnekleme Tarihi :		19.12.1998	Lab. :	4	EC(μmho/cm)		710	
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	27	1,17	12,33	15,4	0,00117	0,0006	0,89	0,0010
K ⁺	7	0,18	1,89	4,0	0,00018	0,0001	0,89	0,0002
Ca ⁺⁺	106	5,29	55,55	60,6	0,00264	0,0053	0,65	0,0017
Mg ⁺⁺	35	2,88	30,23	20,0	0,00144	0,0029	0,66	0,0010
Cl ⁻	65	1,83	22,91	15,1	0,00183	0,0009	0,89	0,0016
HCO3 ⁻	329	5,39	67,45	76,3	0,00539	0,0027	0,89	0,0048
SO4 ⁼	37	0,77	9,64	8,6	0,00039	0,0008	0,63	0,0002
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				9,522	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		175,0	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				7,996	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		431,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				17,518	Toplam İyon Miktarı (mg/l)		606,0	
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,013	% e (Hata Yüzdesi)		8,71	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				0,581	Sertlik (Fr)		40,84	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,297	rCa/rMg Oranı		1,84	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,184	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)		-1,77	
SIğ(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,053	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-1,73	
Fo (Köpürme Katsayısı)				86,8	Si (mg / l)		9,71	
Hidrokimyasal fasiyes tipi:			Ca-Mg-HCO3-Cl	B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



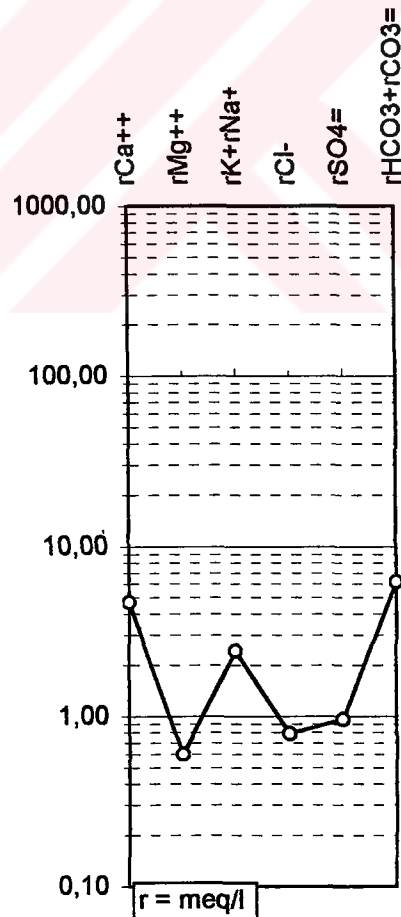
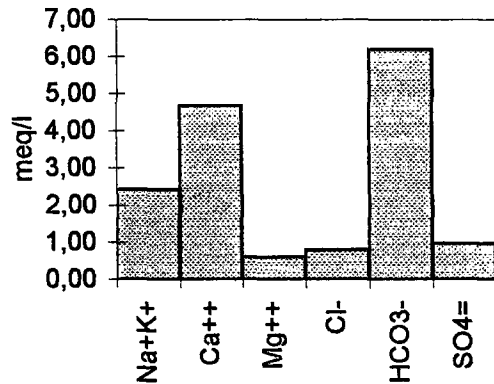
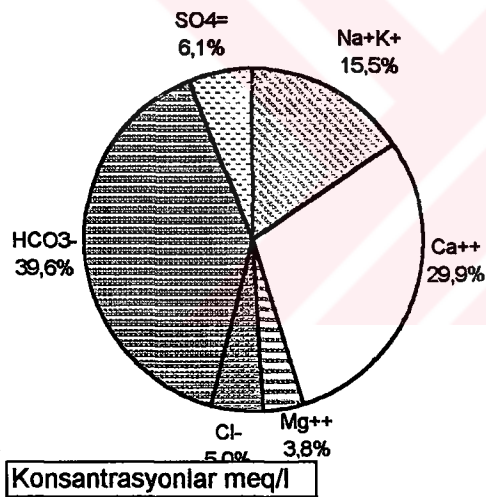
Çizelge 3.5. K₂ su noktasının kimyasal özellikleri

Örnek Adı: K2						pH(-logH)		7,82	
Örnekleme Tarihi :			19.12.1998	Lab. :	5	EC(μmho/cm)		600	
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	31	1,34	15,16	19,1	0,00134	0,0007	0,89	0,0012	
K ⁺	3	0,07	0,74	1,6	0,00007	0,0000	0,89	0,0001	
Ca ⁺⁺	95	4,74	53,48	58,8	0,00237	0,0047	0,65	0,0015	
Mg ⁺⁺	33	2,71	30,62	20,4	0,00136	0,0027	0,66	0,0009	
Cl ⁻	76	2,14	22,57	14,8	0,00214	0,0011	0,89	0,0019	
HCO3 ⁻	391	6,41	67,55	76,4	0,00641	0,0032	0,89	0,0057	
SO4 ⁼	45	0,94	9,88	8,8	0,00047	0,0009	0,63	0,0003	
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				8,864	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				161,5
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				9,489	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				512,0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				18,354	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				673,5
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,013	% e (Hata Yüzdesi)				-3,41
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				0,696	Sertlik (Fr)				37,27
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,292	rCa/rMg Oranı				1,75
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,831	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)				-1,73
SId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,710	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-2,27
Fo (Köpürme Katsayısı)				88,5	Si (mg / l)				31,00
Hidrokimyasal fasiyes tipi: Ca-Mg-HCO3					B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



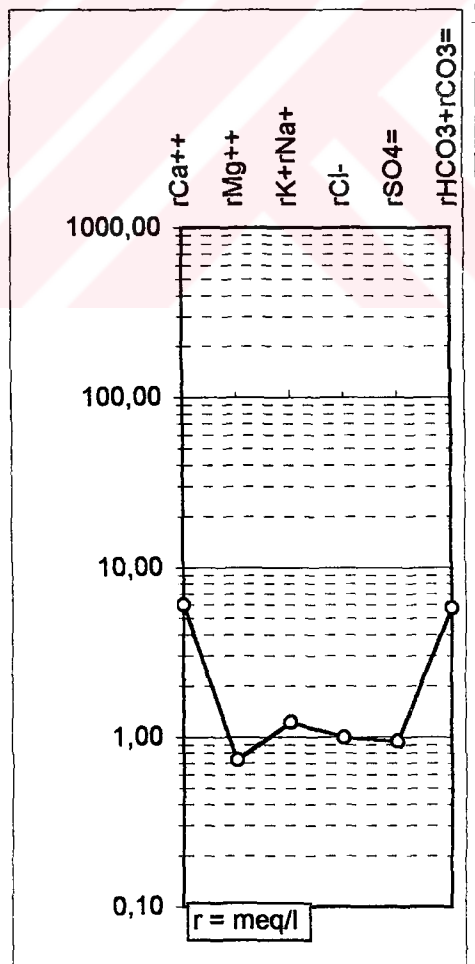
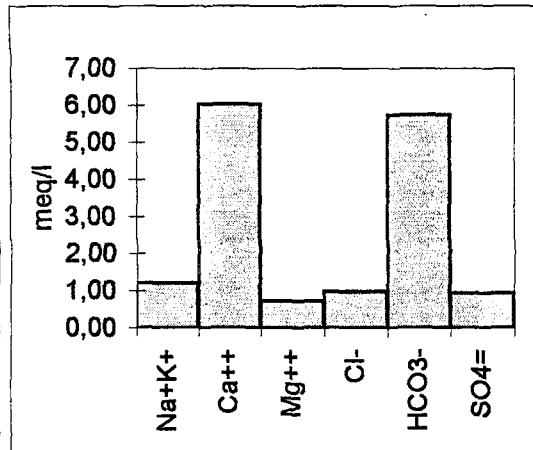
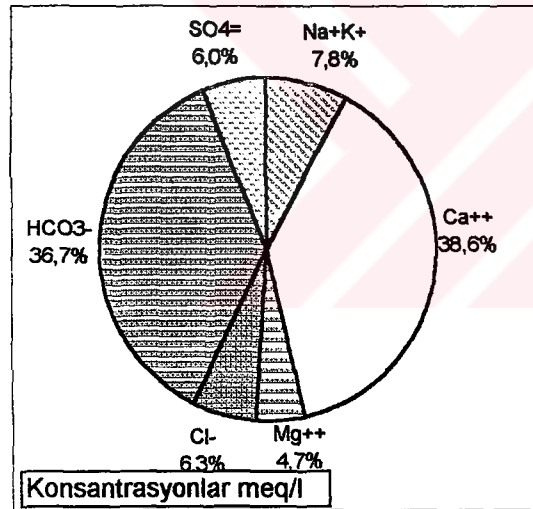
Çizelge 3.6. Saraç Çeşme'nin kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			Saraç Çeşme 19/12/1998			pH(-logH)		7,3
Lab no:	6		Sıcaklık (°C)		17	EC(µmho/cm)		900
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	55	2,40	31,18	35,1	0,00240	0,0012	0,90	0,0022
K ⁺	1	0,02	0,25	0,5	0,00002	0,0000	0,89	0,0000
Ca ⁺⁺	94	4,68	60,78	59,7	0,00234	0,0047	0,67	0,0016
Mg ⁺⁺	7	0,60	7,79	4,6	0,00030	0,0006	0,68	0,0002
Cl ⁻	28	0,79	9,93	6,2	0,00079	0,0004	0,89	0,0007
HCO ₃ ⁻	378	6,20	78,00	83,6	0,00620	0,0031	0,90	0,0056
SO ₄ ⁼	46	0,96	12,06	10,2	0,00048	0,0010	0,65	0,0003
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				7,701	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			157,1
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				7,944	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			452,0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				15,646	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			609,1
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,011	% e (Hata Yüzdesi)			-1,55
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				1,478	Sertlik (Fr)			26,40
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,110	rCa/rMg Oranı			7,80
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,338	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1,71
SID(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0,003	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1,69
Fo (Köpürme Katsayısı)				150,4	Si (mg / l)			17,14
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Na-Cl		B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



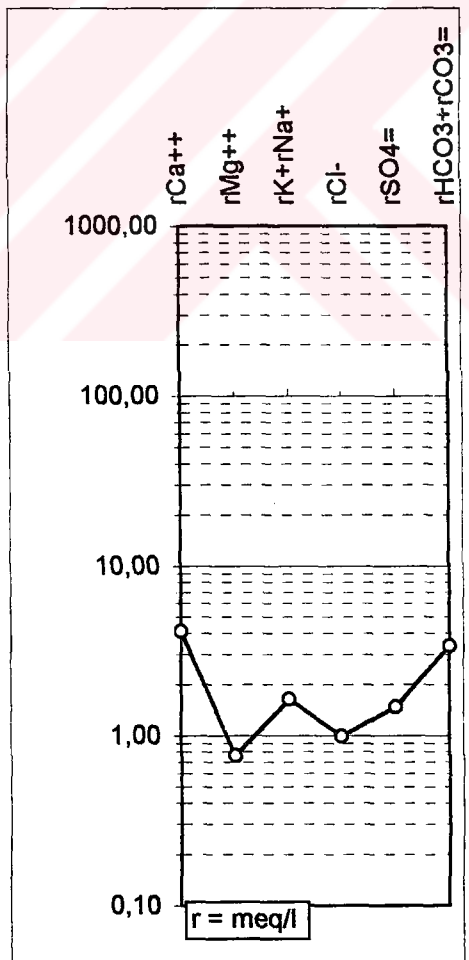
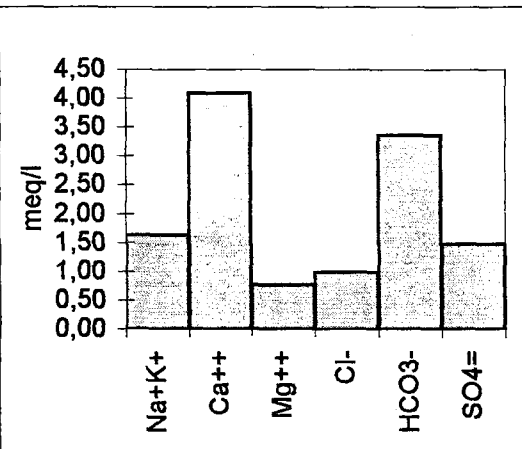
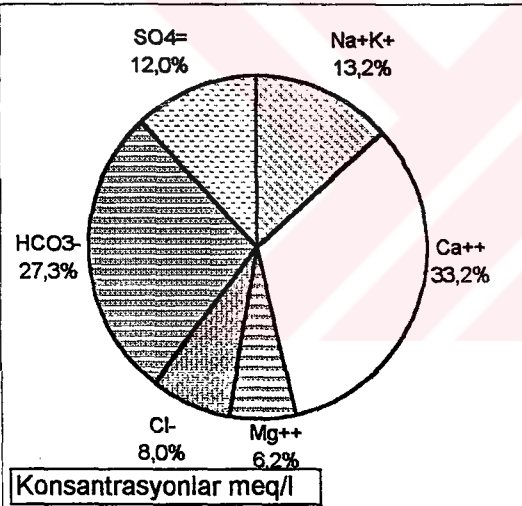
Çizelge 3.7. Burgaz Çeşme'nin kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			Burgaz Çeşme 19/12/1998		pH(-logH)		7,5	
Lab no:	7		Sıcaklık (°C)		17	EC(umho/cm)		720
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	27	1,18	14,76	17,1	0,00118	0,0006	0,89	0,0011
K ⁺	1	0,04	0,45	0,9	0,00004	0,0000	0,89	0,0000
Ca ⁺⁺	121	6,04	75,62	76,4	0,00302	0,0060	0,66	0,0020
Mg ⁺⁺	9	0,73	9,17	5,6	0,00037	0,0007	0,67	0,0002
Cl ⁻	35	0,99	12,88	8,1	0,00099	0,0005	0,89	0,0009
HCO ₃ ⁻	350	5,74	74,89	81,4	0,00574	0,0029	0,89	0,0051
SO ₄ ⁼	45	0,94	12,24	10,5	0,00047	0,0009	0,64	0,0003
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				7,985	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			158,4
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				7,662	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			430,0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				15,646	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			588,4
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,012	% e (Hata Yüzdesi)			2,06
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				0,641	Sertlik (Fr)			33,85
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,148	rCa/rMg Oranı			8,25
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,609	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1,62
SId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,256	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1,93
Fo (Köpürme Katsayısı)				75,9	Si (mg / l)			17,14
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Na-Cl		B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



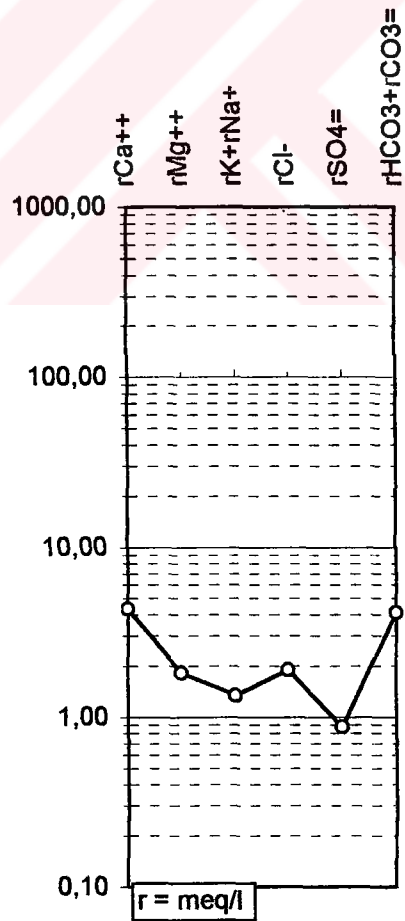
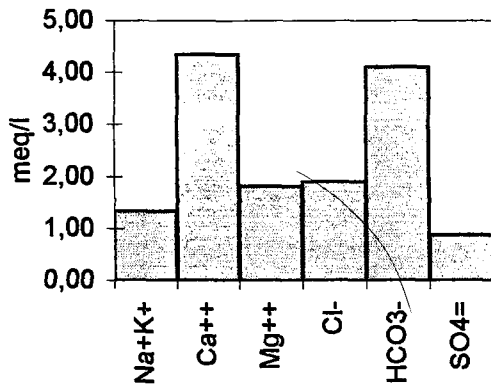
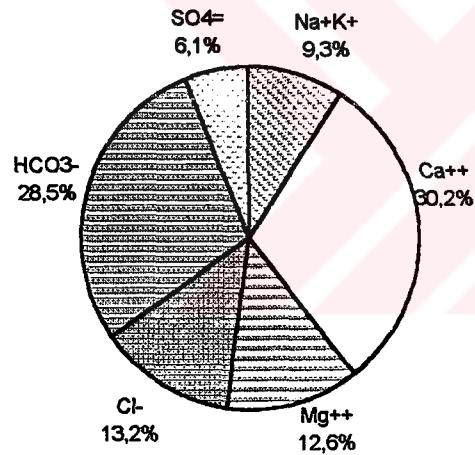
Çizelge 3.8. K₃ kuyusunun (Turasan Ovası) kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi		K3 19/12/1995		pH(-logH)		7,75	
Lab no:	8	Sıcaklık (°C)		17	EC(μmho/cm)		652
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F
Na ⁺	35	1,52	23,47	26,8	0,00152	0,0008	0,90
K ⁺	4	0,11	1,66	3,2	0,00011	0,0001	0,90
Ca ⁺⁺	82	4,09	63,08	62,8	0,00205	0,0041	0,68
Mg ⁺⁺	9	0,76	11,79	7,1	0,00038	0,0008	0,70
Cl ⁻	35	0,99	16,93	11,3	0,00099	0,0005	0,90
HCO ₃ ⁻	205	3,36	57,68	65,9	0,00336	0,0017	0,90
SO ₄ ⁼	71	1,48	25,39	22,8	0,00074	0,0015	0,67
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)		6,487		Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		130,5	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)		5,826		Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		311,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)		12,313		Toplam İyon Miktarı (mg/l)		441,5	
İyonlaşma Gücü (mol/l)		0,009		% e (Hata Yüzdesi)		5,36	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)		0,977		Sertlik (Fr)		24,28	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı		0,204		rCa/rMg Oranı		5,35	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)		0,478		SIj (Jips Doygunluk İndeksi)		-1,56	
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)		0,218		LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-2,41	
Fo (Köpürme Katsayısı)		102,8		Si (mg / l)		8,65	
Hidrokimyasal fasiyes tipi		Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄		B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



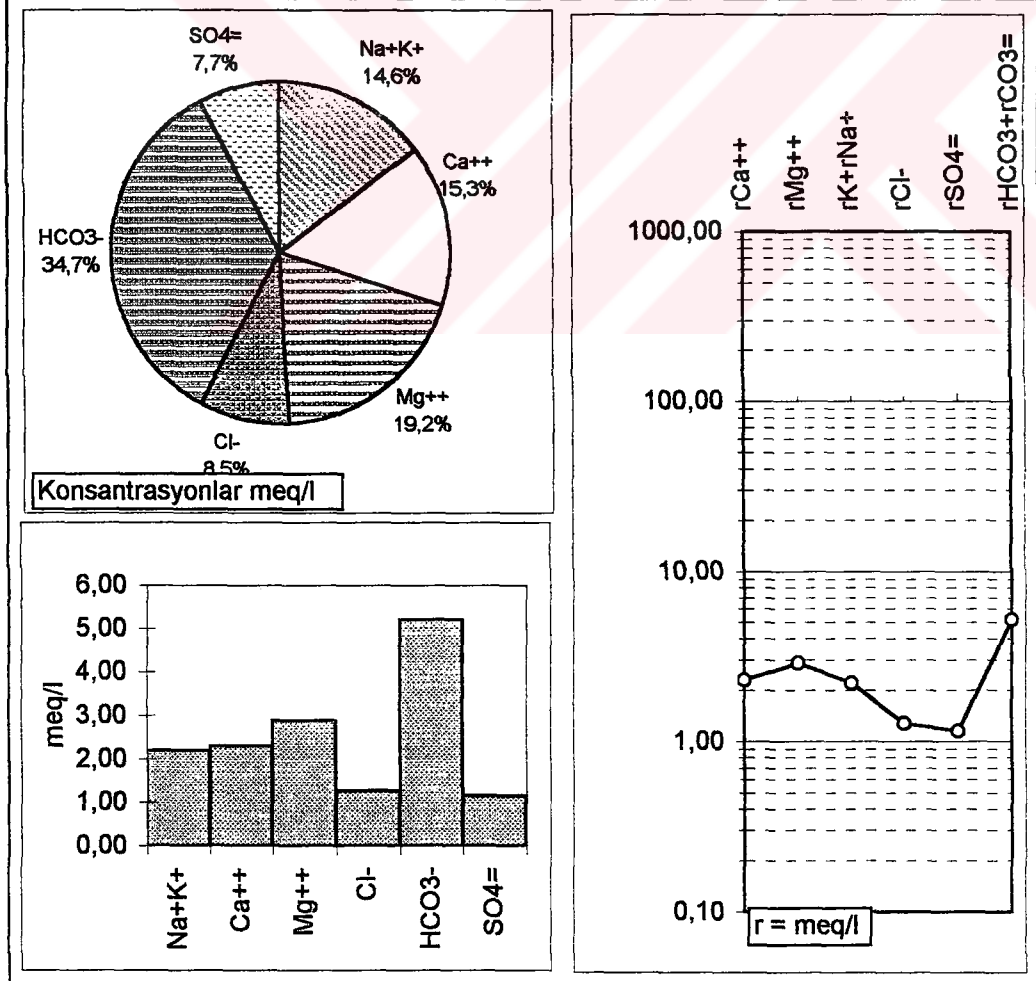
Çizelge 3.9. K₄ kuyusunun (İçmeler Ovası) kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			K4 19/12/1998		pH(-logH)		7,7		
Lab no:		9	Sıcaklık (°C)		17		EC(µmho/cm)		754
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC	
Na ⁺	30	1,30	17,43	21,4	0,00130	0,0007	0,90	0,0012	
K ⁺	1	0,03	0,41	0,9	0,00003	0,0000	0,90	0,0000	
Ca ⁺⁺	87	4,34	57,99	62,1	0,00217	0,0043	0,67	0,0015	
Mg ⁺⁺	22	1,81	24,17	15,7	0,00090	0,0018	0,68	0,0006	
Cl ⁻	67	1,90	27,61	18,7	0,00190	0,0009	0,90	0,0017	
HCO3 ⁻	250	4,10	59,65	69,6	0,00410	0,0020	0,90	0,0037	
SO4 ⁼	42	0,88	12,74	11,7	0,00044	0,0009	0,65	0,0003	
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				7,486	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)				140,2
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				6,870	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)				359,3
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				14,356	Toplam İyon Miktarı (mg/l)				499,5
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,011	% e (Hata Yüzdesi)				4,29
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				0,744	Sertlik (Fr)				30,75
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,381	rCa/rMg Oranı				2,40
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				0,528	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)				-1,78
SID(Dolomit Doygunluk İndeksi)				0,442	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı				-2,27
Fo (Köpürme Katsayısı)				83,3	Si (mg / l)				5,20
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Ca-Mg-HCO3-Cl		B ⁺⁺⁺ (mg / l)				



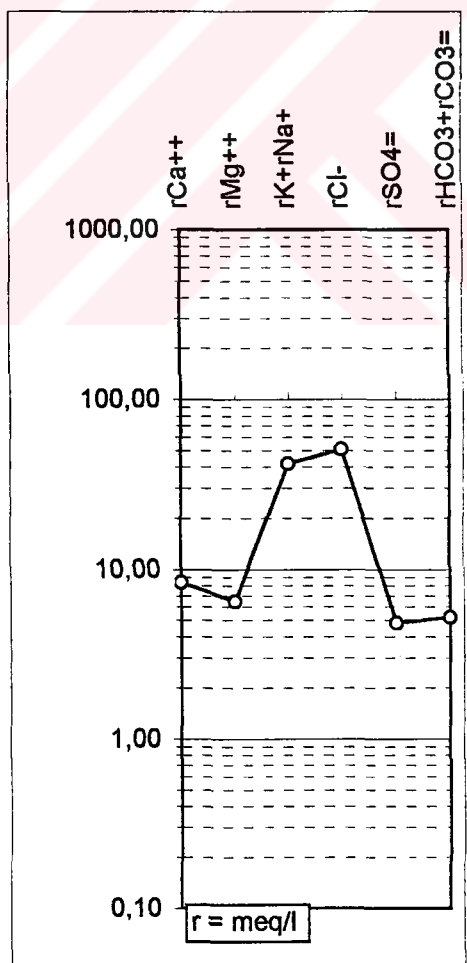
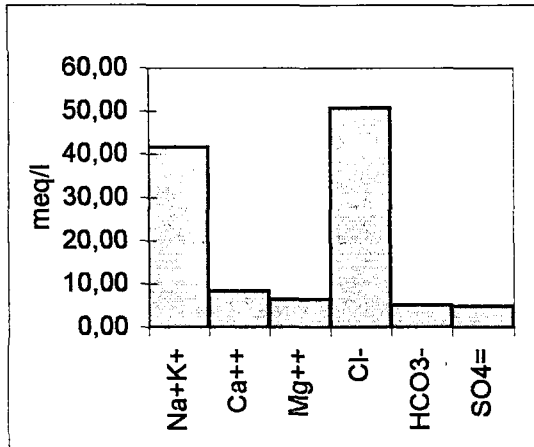
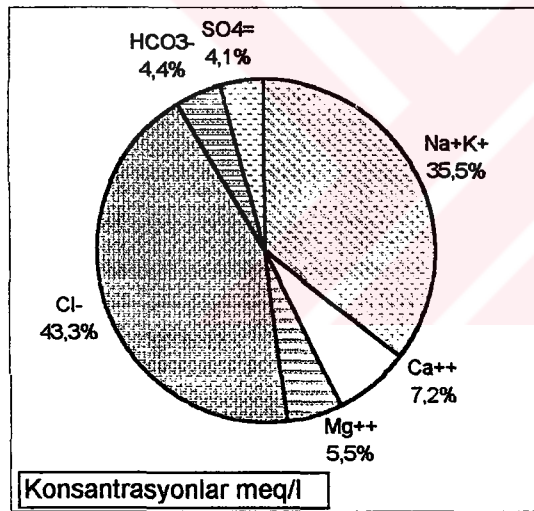
Çizelge 3.10. Ova Kaynağı'nın kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi		Ova Kaynağı		11/10/1998	pH(-logH)		7	
Lab no:	10	Sıcaklık (°C)		17	EC(µmho/cm)		950	
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	50	2,19	29,70	38,2	0,00219	0,0011	0,90	0,0020
K ⁺	0	0,01	0,08	0,2	0,00001	0,0000	0,90	0,0000
Ca ⁺⁺	46	2,30	31,16	35,0	0,00115	0,0023	0,67	0,0008
Mg ⁺⁺	35	2,88	39,07	26,6	0,00144	0,0029	0,68	0,0010
Cl ⁻	45	1,27	16,66	10,8	0,00127	0,0006	0,90	0,0011
HCO ₃ ⁻	317	5,20	68,28	76,0	0,00520	0,0026	0,90	0,0047
SO ₄ ⁼	55	1,15	15,06	13,2	0,00057	0,0011	0,65	0,0004
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				7,367	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				7,611	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				14,978	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,011	% e (Hata Yüzdesi)			
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				1,360	Sertlik (Fr)			
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı				0,200	rCa/rMg Oranı			
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0,346	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			
SIId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0,192	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			
Fo (Köpürme Katsayısı)				136,1	Si (mg / l)			
Hidrokimyasal fasiyes tipi				Mg-Ca-Na-HCO ₃	B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



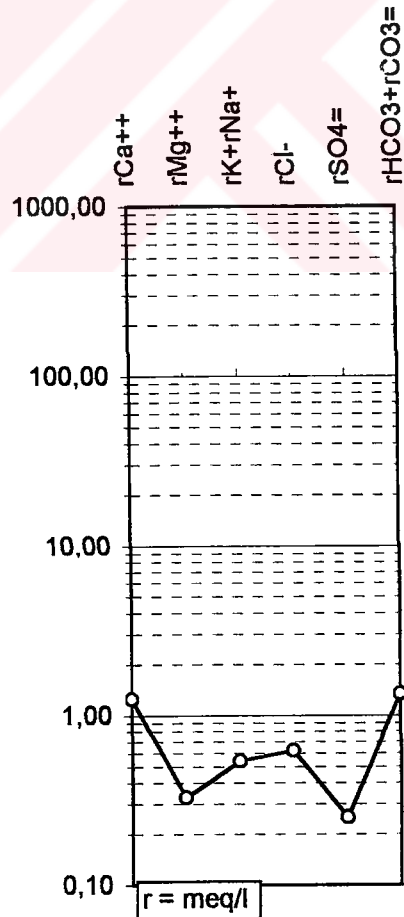
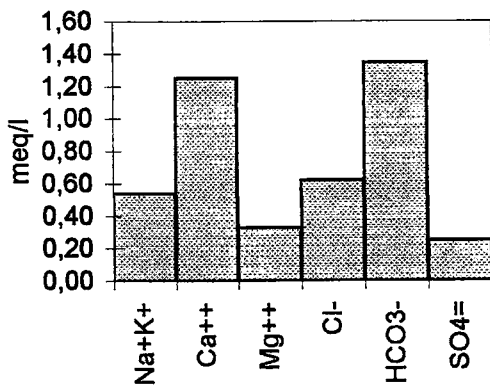
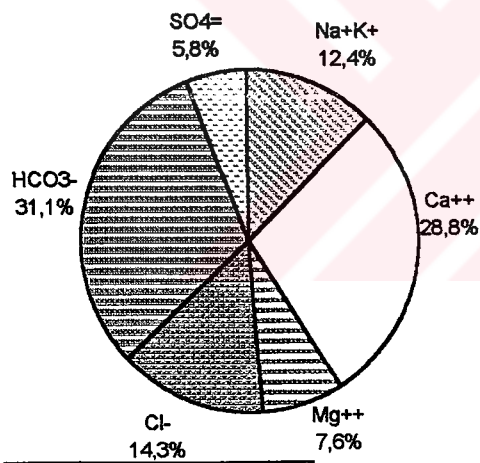
Çizelge 3.11. İçmeler Kaynağı'nın kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			İçmeler Kaynağı 19712/1998			pH(-logH)		7,35
Lab no:	11		Sıcaklık (°C)		17	EC(μmho/cm)		4730
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	952	41,40	73,26	78,8	0,04140	0,0207	0,80	0,0329
K ⁺	9	0,24	0,42	0,8	0,00024	0,0001	0,78	0,0002
Ca ⁺⁺	168	8,40	14,86	13,9	0,00420	0,0084	0,45	0,0019
Mg ⁺⁺	79	6,47	11,45	6,5	0,00324	0,0065	0,48	0,0016
Cl ⁻	1800	50,73	83,52	76,7	0,05073	0,0254	0,78	0,0397
HCO ₃ ⁻	317	5,20	8,56	13,5	0,00520	0,0026	0,80	0,0041
SO ₄ ⁼	231	4,81	7,92	9,8	0,00241	0,0048	0,40	0,0010
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			56,508		Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		1208,1	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			60,743		Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		2348,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			117,252		Toplam İyon Miktarı (mg/l)		3556,1	
İyonlaşma Gücü (mol/l)			0,068		% e (Hata Yüzdesi)		-3,61	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)			15,183		Sertlik (Fr)		74,35	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı			5,069		rCa/rMg Oranı		1,30	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)			0,338		SIj (Jips Doygunluk İndeksi)		-1,14	
SID (Dolomit Doygunluk İndeksi)			0,399		LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-1,87	
Fo (Köpürme Katsayısı)			2585,4		Si (mg / l)		6,57	
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Mg-Cl-HCO ₃		B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



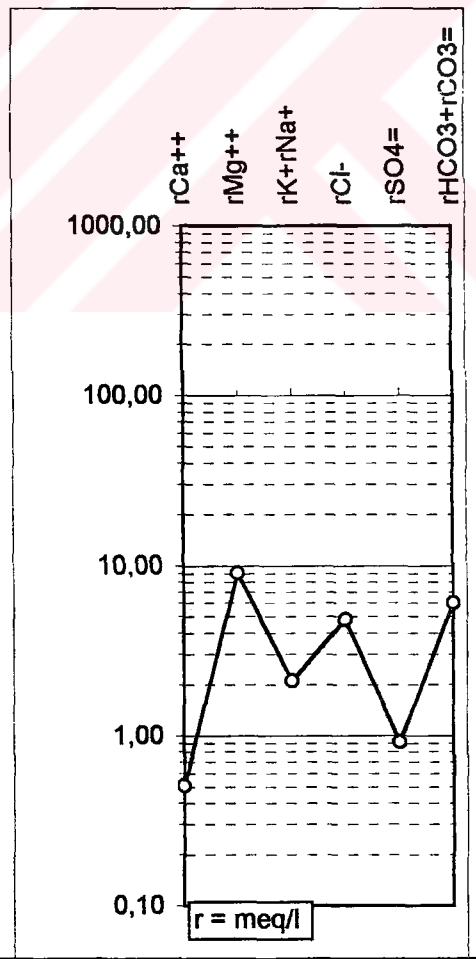
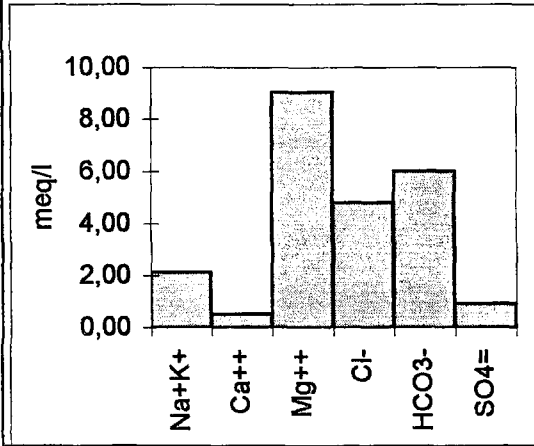
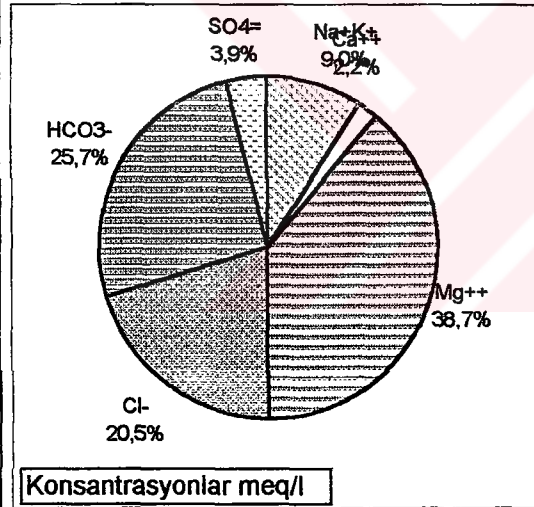
Çizelge 3.12. Gülbahçe Kaynağı'nın kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			Gülbahçe Kaynağı 11/10/1998			pH(-logH)		7,05
Lab no:	12		Sıcaklık (°C)		17	EC(µmho/cm)		510
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	10	0,43	20,58	23,3	0,00043	0,0002	0,94	0,0004
K ⁺	4	0,10	4,85	9,3	0,00010	0,0001	0,94	0,0001
Ca ⁺⁺	25	1,25	59,01	58,1	0,00062	0,0012	0,79	0,0005
Mg ⁺⁺	4	0,33	15,56	9,3	0,00016	0,0003	0,80	0,0001
Cl ⁻	22	0,62	28,00	19,0	0,00062	0,0003	0,94	0,0006
HCO3 ⁻	82	1,34	60,71	70,7	0,00134	0,0007	0,94	0,0013
SO4 ⁼	12	0,25	11,29	10,3	0,00013	0,0003	0,78	0,0001
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				2,114	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			43,0
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				2,214	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			116,0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				4,328	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			159,0
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,003	% e (Hata Yüzdesi)			-2,32
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				0,490	Sertlik (Fr)			7,88
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı			12	0,389	rCa/rMg Oranı			3,79
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-1,055	SIj (Jips Doygunluk İndeksi)			-2,72
SId (Dolomit Doygunluk İndeksi)				-1,243	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-2,09
Fo (Köpürme Katsayısı)				35,0	Si (mg / l)			44,70
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Na-Ca-HCO3-Cl		B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



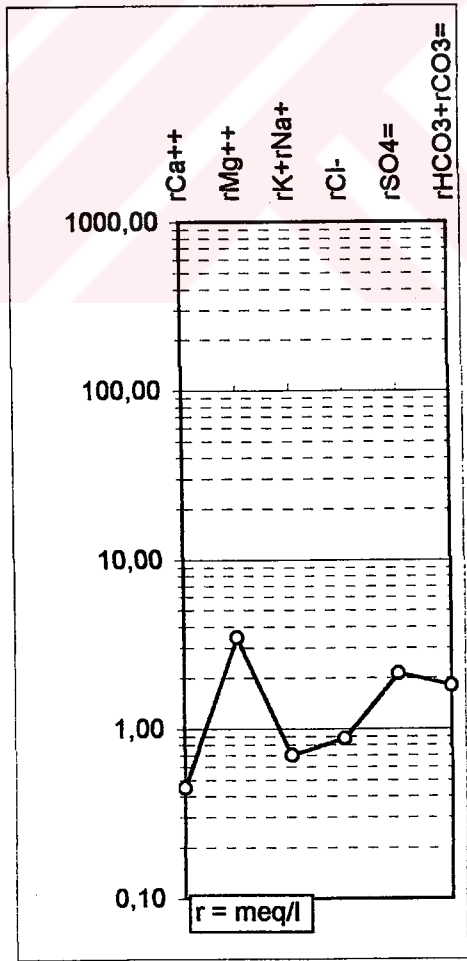
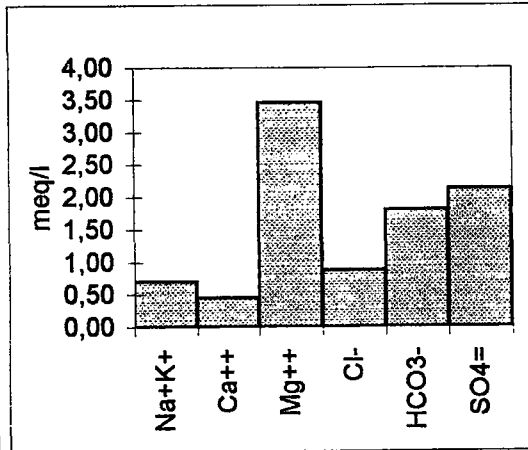
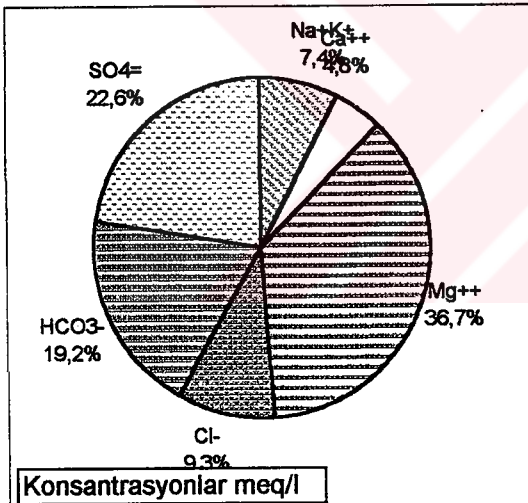
Çizelge 3.13. K₅ çeşmesinin (Gölbhçe) kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			K5 19/12/1998		pH(-logH)		6,78	
Lab no:	13		Sıcaklık (°C)		17	EC(µmho/cm)		2630
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	48	2,09	17,89	28,4	0,00209	0,0010	0,88	0,0018
K ⁺	1	0,03	0,22	0,6	0,00003	0,0000	0,87	0,0000
Ca ⁺⁺	10	0,51	4,36	6,0	0,00025	0,0005	0,62	0,0002
Mg ⁺⁺	110	9,05	77,53	65,0	0,00452	0,0090	0,63	0,0029
Cl ⁻	170	4,79	40,92	29,3	0,00479	0,0024	0,87	0,0042
HCO ₃ ⁻	366	6,00	51,25	63,1	0,00600	0,0030	0,88	0,0053
SO ₄ ⁼	44	0,92	7,83	7,6	0,00046	0,0009	0,59	0,0003
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			11,669		Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		169,2	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			11,708		Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		580,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			23,377		Toplam İyon Miktarı (mg/l)		749,2	
İyonlaşma Gücü (mol/l)			0,017		% e (Hata Yüzdesi)		-0,17	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)			0,955		Sertlik (Fr)		47,78	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı			0,693		rCa/rMg Oranı		0,06	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)			-1,204		SIj (Jips Doygunluk İndeksi)		-2,77	
SID (Dolomit Doygunluk İndeksi)			-0,472		LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-1,20	
Fo (Köpürme Katsayısı)			131,4		Si (mg / l)		34,90	
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Mg-HCO ₃ -Cl		B ⁺⁺ (mg / l)			



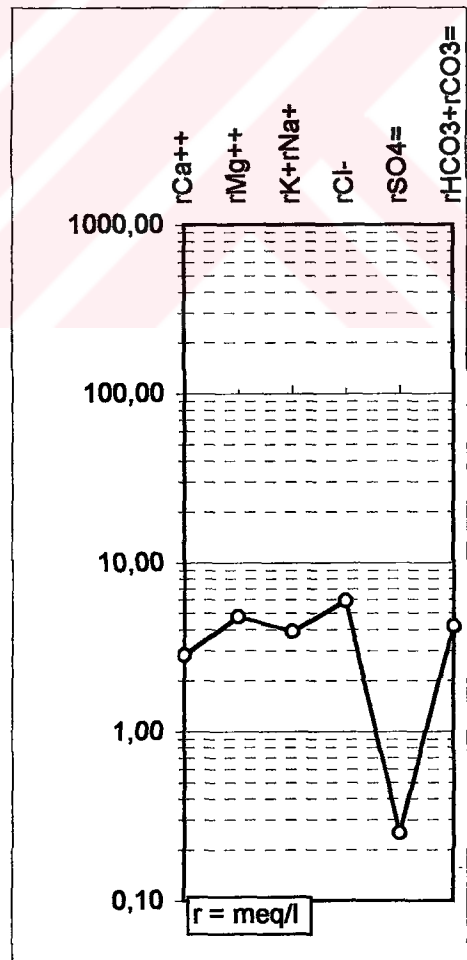
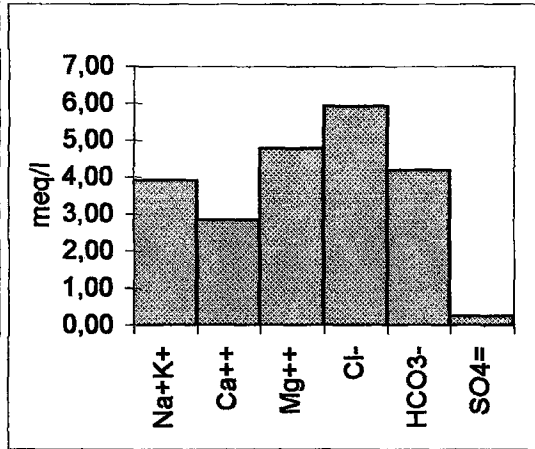
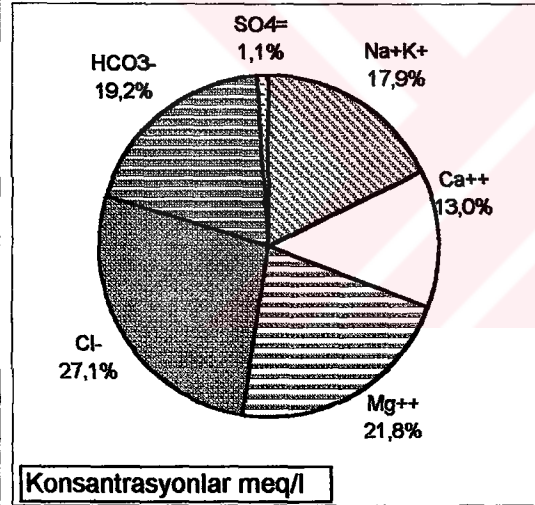
Çizelge 3.14. K₆ kuyusunun (Karapınar) kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			K6 19/12/1998		pH(-logH)		7,11	
Lab no:	14		Sıcaklık (°C)		17	EC(µmho/cm)		570
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	10	0,45	9,74	14,5	0,00045	0,0002	0,91	0,0004
K ⁺	10	0,25	5,41	13,7	0,00025	0,0001	0,91	0,0002
Ca ⁺⁺	9	0,45	9,76	12,7	0,00022	0,0004	0,70	0,0002
Mg ⁺⁺	42	3,45	75,09	59,2	0,00173	0,0035	0,72	0,0012
Cl ⁻	31	0,87	18,20	12,8	0,00087	0,0004	0,91	0,0008
HCO ₃ ⁻	110	1,80	37,55	45,3	0,00180	0,0009	0,91	0,0016
SO ₄ ⁼	102	2,13	44,25	42,0	0,00106	0,0021	0,69	0,0007
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)			4,600		Toplam Katyon Miktarı (mg/l)		71,0	
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)			4,802		Toplam Anyon Miktarı (mg/l)		243,0	
Toplam İyon Miktarı (meq/l)			9,402		Toplam İyon Miktarı (mg/l)		314,0	
İyonlaşma Gücü (mol/l)			0,008		% e (Hata Yüzdesi)		-2,15	
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)			0,321		Sertlik (Fr)		19,52	
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı			0,222		rCa/rMg Oranı		0,13	
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)			-1,375		SIj (Jips Doygunluk İndeksi)		-2,34	
SID (Dolomit Doygunluk İndeksi)			-0,829		LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı		-2,03	
Fo (Köpürme Katsayısı)			47,2		Si (mg / l)		47,10	
Hidrokimyasal fasiyes tipi			Mg-SO ₄ -HCO ₃		B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



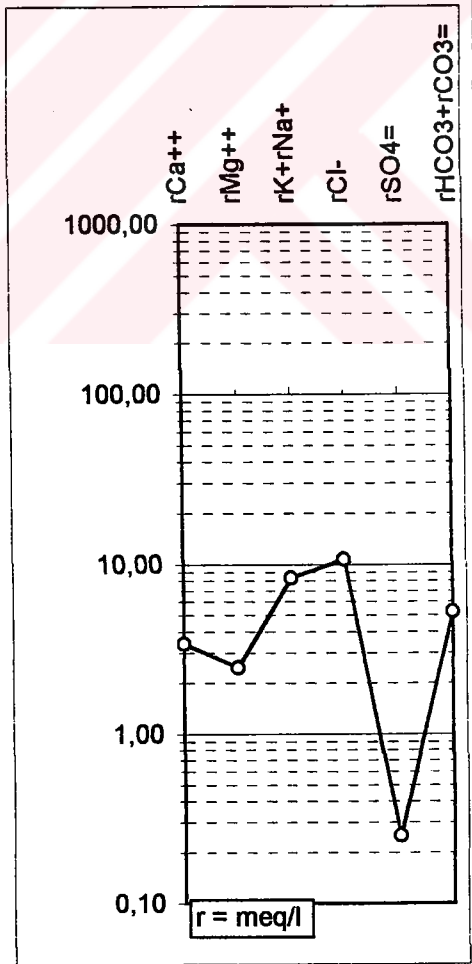
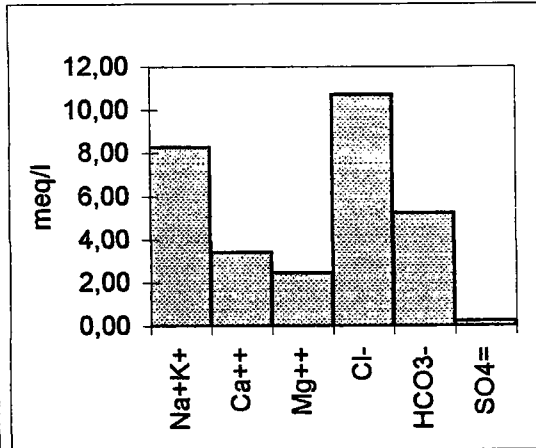
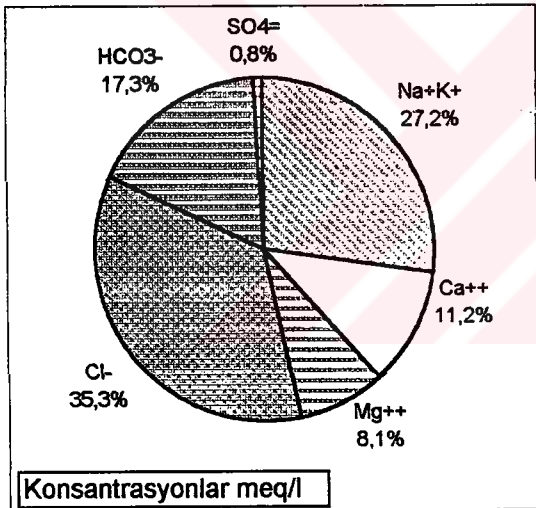
Çizelge 3.15. K₇ çeşmesinin (Alüvyon) kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			K7 11/10/1998			pH(-logH)		6,98
Lab no:	16			Sıcaklık (°C)	=17	EC(µmho/cm)		620
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	90	3,89	33,81	43,7	0,00389	0,0019	0,88	0,0034
K ⁺	1	0,01	0,11	0,2	0,00001	0,0000	0,88	0,0000
Ca ⁺⁺	57	2,84	24,66	27,8	0,00142	0,0028	0,62	0,0009
Mg ⁺⁺	58	4,77	41,42	28,3	0,00238	0,0048	0,64	0,0015
Cl ⁻	210	6	50,58	43,9	0,00592	0,0030	0,88	0,0052
HCO3 ⁻	256	4,20	35,88	53,6	0,00420	0,0021	0,88	0,0037
SO4 ⁼	76	1,58	13,54	2,5	0,00079	0,0016	0,60	0,0005
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				11,515	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			204,9
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				11,696	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			478,0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				23,210	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			682,9
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,016	% e (Hata Yüzdesi)			-0,78
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				1,996	Sertlik (Fr)			38,05
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oranı			12	1,023	rCa/rMg Oranı			0,60
Slc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0,408	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1,78
Sld(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0,189	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1,55
Fo (Köpürme Katsayısı)				242,4	Si (mg / l)			19,44
Hidrokimyasal fasiyes tipi =Mg-Na-Ca-Cl-HCO3					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



Çizelge3.16. Karapınar su noktasının kimyasal özellikleri

Örnek Adı ve Tarihi			Karapınar 11/10/1998			pH(-logH)		7,17
Lab no:	16			Sıcaklık (°C) =17		EC(µmho/cm)		1700
İYON	mg/l	meq/l	% meq/l	% mg/l	C (mol/l)	.5CZ ²	F	AC
Na ⁺	190	8,26	58,43	65,9	0,00826	0,0041	0,87	0,0072
K ⁺	0	0,01	0,05	0,1	0,00001	0,0000	0,87	0,0000
Ca ⁺⁺	68	3,40	24,05	23,6	0,00170	0,0034	0,60	0,0010
Mg ⁺⁺	30	2,47	17,46	10,4	0,00123	0,0025	0,62	0,0008
Cl ⁻	380	11	62,61	53,4	0,01070	0,0054	0,87	0,0093
HCO3 ⁻	320	5,25	30,69	44,9	0,00525	0,0026	0,87	0,0046
SO4 ⁼	55	1,15	6,70	1,7	0,00057	0,0011	0,58	0,0003
Toplam Katyon Miktarı (meq/l)				14,129	Toplam Katyon Miktarı (mg/l)			288,2
Toplam Anyon Miktarı (meq/l)				17,096	Toplam Anyon Miktarı (mg/l)			712,0
Toplam İyon Miktarı (meq/l)				31,225	Toplam İyon Miktarı (mg/l)			1000,2
İyonlaşma Gücü (mol/l)				0,019	% e (Hata Yüzdesi)			-9,50
SAR (Sodyum Ad. Oranı) (%)				4,821	Sertlik (Fr)			29,33
rCl / (rSO ₄ +rHCO ₃) Oran				12	rCa/rMg Oranı			1,38
SIc (Kalsit Doygunluk İndeksi)				-0,061	SIj(Jips Doygunluk İndeksi)			-1,87
SIId(Dolomit Doygunluk İndeksi)				-0,023	LogPCO ₂ (CO ₂) Kısmi Basıncı			-1,65
Fo (Köpürme Katsayısı)				512,5	Si (mg / l)			33,90
Hidrokimyasal fasiyes tipi = Na-Ca-Cl-HCO3					B ⁺⁺⁺ (mg / l)			



ÖRNEK ADI	ÖRNEK TARİHİ	EC	Ph	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	KAYNAK
Gulbahçe Kaplıcası				12467		1679	367	21650	169	2210	Reman, 1942
Gulbahçe Kaplıcası				12075,86	448,4	769	1319	21898		3069	Şahinci ve Gümüş, 1984
Gulbahçe Kaplıcası	Yıllık Ortalama	34390	7,39	11468	469	1383	835	19877	140	2865	Tarcan, 1989
Gulbahçe Kaplıcası				11240	398,7	1140	830	21480	153,8	3311	Conrad, Hipfel ve Satır, 1997
Gulbahçe Kaplıcası	19.12.1998	45600	7,21	11659	256	302	850	20200	171	2723	Bu çalışma
Ilıksu 1	23.07.1986					602,9	840	17786	214		Eşder, Çağlav, 1986
Ilıksu 1	19.12.1998	52700	7,3	9565	263,4	249,4	813	16500	232	1884	Bu çalışma
Ilıksu 2	23.07.1986					570	749	19042		2525	Eşder, Çağlav, 1986
Ilıksu 2	19.12.1998	51600	7,39	8470	240,5	233,8	20	14450	244	1994	Bu çalışma
Ova Kaynağı	Yıllık Ortalama	871	7,77	61	2	83	35	99	254	39	Tarcan, 1989
Ova Kaynağı	11.10.1998	950	7	50	0	46	57	45	317	55	Bu çalışma
İçmeler Kaynağı	06.06.1931		9	1950	332	229	200	3727		575	Reman, 1942
İçmeler Kaynağı	26.06.1971			2119,45	105,18	286,12	142	3725	451	635	İ.Ü. Tıp Fak., 1971
İçmeler Kaynağı				1661	403	196,8	124	3078		572	Şahinci ve Gümüş, 1984
İçmeler Kaynağı	Yıllık Ortalama	5320	7,47	1167	48	198	79	2357	230	334	Tarcan, 1989
İçmeler Kaynağı	19.12.1998	4730	7,35	951,8	9	168	6	1800	317	231	Bu çalışma
Saraç Çeşme	Yıllık Ortalama	607	7,4	16	2	80	7	26	263	38	Tarcan, 1989
Saraç Çeşme	19.12.1998	900	7,3	55	1	94	12	28	378	46	Bu çalışma
Burgaz Çeşme	Yıllık Ortalama	695	7,53	22	4	75	9	35	333	56	Tarcan, 1989
Burgaz Çeşme	19.12.1998	720	7,5	27	1	121	5	35	350	45	Bu çalışma
Gulbahçe Kaynağı		244		18,2	5,7	13,5	4	35	72		Filiz ve Yalçın, 1984
Gulbahçe Kaynağı	Yıllık Ortalama	219	7,38	18	5	15	4	24	94	50	Tarcan, 1989
Gulbahçe Kaynağı	11.10.1998	350	7,05	10	4	25		22	82	12	Bu çalışma
Karapınar		1040		114	5,5	64	26,7	461	270		Filiz ve Yalçın, 1984
Karapınar	11.10.1998	1700	7,17	190	0	68	30	380	320	55	Bu çalışma

Çizelge3.17. İnceleme alanında geçmiş yıllarda yapılan kimyasal analizler

K₆ Su Noktası

45 580 / 48 417 koordinatlarındaki kaynak, Egesev Tatil Sitesi içinde bulunan çeşmeden alınmıştır. Gülbahçe volkanik birimindeki andezitler hazne kayayı oluşturur. Kaynak, memba suyu niteliğinde olup yöre halkı tarafından kullanılmaktadır (Çizelge 3.14).

K₇ Su Noktası

Gülbahçe Körfezinin batısında 45 000 / 68 750 koordinatlarındaki çeşme, alüvyon birimi içinde bulunur (Çizelge 3.15).

Karapınar

48 000 / 67 917 koordinatlarında bulunan kaynak, Kadıovacık doğusundaki polyelerden doğarak, volkanitler içindeki litoloji ve yapının özelliklerine göre yeraltından kuzeydoğu yönüne doğru akaçlanarak kıydan kullanıma alınır (Şahinci ve Gümüş, 1984) (Çizelge 3.16).

İnceleme alanına ait geçmiş yıllarda yapılan kimyasal analizler (Çizelge 3.17) karşılaştırıldığında Reman (1942)'den başlayarak günümüze kadar yapılan analiz sonuçlarında Gülbahçe Kaplıcası'na ait iyon değerlerinde büyük benzerlikler saptanmıştır. Reman (1942), Gülbahçe Kaplıcası'na ilişkin yaptığı çalışmasında $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ değerini 70 mg/l, çözünmüş toplam katı miktarını 38900 mg/l olarak kaydeder. Mg^{++} değerini 367 mg/l olarak belirtmesine rağmen son 10 yıllık çalışmalarda Mg^{++} değerinde yaklaşık 500 mg/l'lik bir artış söz konusudur. Bu artış analiz yapımında farklı standartlar kullanılması ile açıklanabilir.

İlksu Kaynaklarına ilişkin, Eşder ve Çağlav (1986) MTA raporu bulunmaktadır. Urla Askeri İstihkâm Okulu'nun talebi doğrultusunda hazırlanan rapor ile bu çalışma karşılaştırıldığında kimyasal analiz sonuçlarında büyük bir uyum söz konusudur.

İçmeler Kaynağı'na ait en eski analiz Malgaça İçmesi adı ile Reman (1942)'ye aittir. Çizelge 3.17 incelendiğinde bugüne kadar yapılan çalışmalarda kimyasal analiz sonuçları yaklaşık değerler vermektedir. Fakat Cl⁻ değerinde belirgin farklılıklar saptanmıştır. Bu farklılıklar büyük olasılıkla yeraltı sularında gözlenen mevsimsel değişimden kaynaklanmaktadır. Reman (1942) ve İ.Ü.Tıp Fak. (1971) örnekleme tarihini Haziran ayı olarak belirtir. İçmeler Kaynağı'nda hızlı bir hidrodinamik döngü söz konusudur ve kaynak yağışlardan büyük ölçüde etkilenmektedir. Bu durum Tarcan (1989)'un 10 ay boyunca periyodik olarak yaptığı kimyasal analizlerle de kanıtlanmaktadır. Tarcan (1989)'a göre İçmeler Kaynağı'nda yaz aylarında alınan örneklerdeki Cl⁻ miktarı yüksek değerler verirken kış aylarına doğru Cl⁻ miktarında önemli bir düşüş saptanmıştır. Bu çalışmada Aralık ayında örnek alındığından düşük Cl⁻ miktarı bulunmaktadır. Böylece İçmeler kaynağında yağışların, yeraltı suyunu seyrelterek Cl⁻ miktarında düşüşe neden olduğu sonucuna varılabilir. Sonuç olarak; kimyasal analizlerdeki farklı sonuçlar, her yıl değişen teknik olanaklar ve analizlerin yapımı sırasındaki kişisel hatalar ile açıklanabilir

3.4 HAVZALARIN SU İÇERİĞİ VE YERALTI SUYU TAŞIYAN FORMASYONLARIN HİDROJEOLJİK ÖZELLİKLERİ

İnceleme alanında Turasan Ovası ve İçmeler Ovası'nda alüvyon birimi yer alır. Yağcılar biriminde bulunan Kuşçular Ovasında ise kalınlığı 1-10 m. arasında değişen bitkisel toprak bulunmaktadır (Tarcan, 1989).

3.4.1 Kuşçular – İçmeler Ovası

Kil, marn, kireçtaşı, tüfit, çamurtaşı aralanmasından oluşan Yağcılar birimi alüvyonun altında da yayılım gösterir. İçmeler bölümünde DSİ tarafından açılan 8318 numaralı sondaj kuyusunda 61 m. kalınlığında alüvyon geçilmiştir. Alüvyon. Moloz özellikli kaba malzeme ile kil ve çakıldan oluşur. Aynı kuyuda 61 m.' den sonra Yağcılar birimine girilmiştir.

Bu havzanın toplam akaçlama alanı yaklaşık 50 km²'dir. Bunun yaklaşık 12 km²'lik kısmı ovalıktır. 18 km²'lik kısmını Yağcılar birimi, 20 km²'lik kısmını İçmeler kireçtaşı birimi oluşturur (Tarcan, 1989). Yıllık ortalama yağışın yaklaşık 700 mm. olduğu düşünülürse havzaya ;

$$0,7 \times 50 \times 10^6 = 35 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ yağış düşmektedir.}$$

Bu toplam yağışın yarısı buharlaşma terlemeyle ve geriye kalan kısmının 1/3' ü yüzey akışı ile harcandığı düşünülürse, kalan $12 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'lük su yeraltına süzölmektedir. Bu da havzada hergün ve sürekli çekim yapılırsa açılan kuyuların tümünden saniyede 0,38 m³ debi ile su çekilebileceğini gösterir. İller bankası tarafından açılmış içme suyu amaçlı iki, şahıslar tarafından açılmış üç adet derin kuyu, ayrıca yaklaşık 100 kadar sığ adi kuyu bulunmaktadır (Tarcan, 1989).

Sığ kuyularda 3 lt/s debi ile günde 8 saat ve yılda 300 gün çekim yapıldığında

$$0,003 \times 60 \times 8 \times 3600 \times 300 = 1,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$$

Hidrolik eğim, İçmeler kesiminde 1/300-1/800 arasında değişmektedir. Kuşçular kesiminde ise ortalama 1/300'dür. Statik su seviyesi Kuşçular'da 0,2-47 m. arasında değişir. Kuşçular kesiminde açılan kuyulardan DSİ tarafından yapılan pompaj deneylerinde akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı $T = 206,47 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ olarak bulunmuştur (Tarcan, 1989).

3.4.2. Turasan Ovası

Yaklaşık 3 km²'lik bir alan kaplayan bu ovanın toplam akaçlama alanı 20 km²'dir. Bir önceki havzada olduğu gibi bu havzaya $0,7 \times 20 \times 10^6 = 14 \times 10^6 \text{ m}^3$ yağış düşmektedir. Bu havzada bulunan kuyulardan veya yeni açılacak kuyulardan her gün ve 24 saat çekim yapılırsa toplam 0,15 m³/s'lik su verebilecek kapasitededir (Tarcan, 1989).

3.4.3. Yeraltı Suyu İşletmesine Uygun Alanlar

İçmeler Kaynağı ve yakın çevresi İçmeler etkisi altında olduğundan ovanın bu kesimi yeraltı suyu işletmesine uygun değildir. Yine aynı ovada ve Turasan Ovası'nda denize yakın kesimler tuzlu suyun etkisi altında kalabilir. Denizden ortalama 500-800 m. içeride açılacak olan bu iki ovadaki kuyular oldukça bol miktarda su verebilir. Kuşçular-İçmeler ovasında 100-150 m. derinlikte açılacak olan sondaj kuyularında 10-30 l/s debi ile su elde etmek olasıdır. Turasan ovasında da 100-150 m. derinlikteki kuyularda 10-25 l/s'lik su alınabilir. İçmeler-Kuşçular ovasındaki kuyuların ortalama özgül debileri 12 lt/s/m.'dir. Ancak açılacak olan özellikle derin kuyularda akiferin verimi dikkate alınmalı ve denize yakın kesimlerde deniz suyu ile ilişkili olabileceği düşünülmelidir (Tarcan, 1989).

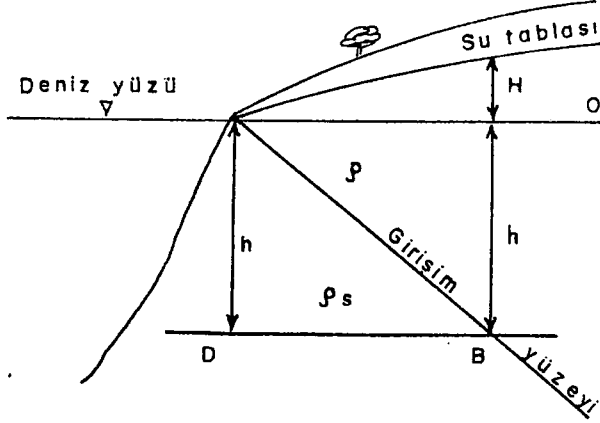
3.4.4. Tatlı-Tuzlu Su Girişimi

Kıyı akiferleri normal koşullarda suyunu denize boşaltırlar. Yerleşim ve endüstri bölgelerinde suya olan ihtiyaç nedeni ile, akiferler aşırı pompalanmaya başlamış ve denize akan yeraltı suyu azalmıştır. Kuyulardan pompa ile aşırı su çekilmesi, denize doğru olan su tablasının eğimini azaltır veya su seviyesi deniz seviyesinden aşağı düşer. Bu durumda deniz suyunun tatlı su akiferlerine doğru sokulduğu görülür. Tuzlu suyun kıyılardaki tatlı su akiferlerine doğru ilerlemesi olayına deniz suyu girişi ve ya intrüzyonu denir. Deniz suyunun tatlı su akiferine doğru ilerlemesi ile bu akiferlerin suları tuzlanır ve faydalanılmaz hale gelir. Tuzlanan akiferin tekrar tatlı su akiferine dönüşmesi uzun yılları gerektirir (Canik, 1998).

3.4.4.1 Ghyben-Herzberg Bağntısı

Ghyben kuyularda tuzlu suyun deniz seviyesinden başlamadığını, üstteki tatlı su ile alttaki tuzlu suyun bir girişim yüzeyi ile birbirinden ayrıldıklarını ileri sürmüştür. Herzberg'te gözlemlerinde benzer sonuçlar bulmuştur. Tatlı su- tuzlu su ilişkisi üzerine kurulan ilk bağıntıya, birbirlerinden habersiz çalışarak çeşitli sonuçlara varan bu araştırmacıların adlarına mül edilerek Ghyben-Herzberg bağıntısı denir. Bu bağıntı,

tatlı yeraltı suyu ile tuzlu su arasındaki girişim yüzeyi boyunca, yoğunluk farkından ileri gelen statik bir dengenin varlığı esasına dayanır. Serbest bir kıyı akiferinde tatlı-tuzlu su ilişkisi şematik olarak çizilirse, girişim yüzeyinin karaya doğru meyilli olduğu görülür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 Ghyben-Herzberg bağıntısı (Canik, 1998)

Şekilde su tablası ST, tatlı ve tuzlu su arasındaki girişim yüzeyinin düşey düzlemle ara kesiti AB, B noktasından geçecek bir referans düzleminin de düşey düzlemle ara kesiti BD olsun.

ρ : Tatlı su yoğunluğu -gr / cm³

ρ_s : Tuzlu su yoğunluğu -gr / cm³

h : D noktasının deniz seviyesinden itibaren derinliği-m

H : Tatlı suyun deniz seviyesinden itibaren yüksekliği-m

g : Yer çekimi ivmesi-m/s²

D noktasındaki hidrostatik basınç $P_D = \rho_s \cdot h \cdot g$ dir.

B noktasındaki hidrostatik basınç ise su tablasından itibaren ;

$$P_B = \rho \cdot h \cdot g + \rho \cdot H \cdot g \text{ olur.}$$

Tatlı ve tuzlu suda hiçbir akım olmadığı varsayımına göre BD düzlemi üzerinde her noktadaki hidrostatik basınç aynı olacaktır. O halde D ve B noktalarındaki basınçlar eşitlenirse ;

$$\rho_s \cdot h \cdot g = \rho \cdot h \cdot g + \rho \cdot H \cdot g \text{ elde edilir.}$$

Buradan ;

$$h = \rho / (\rho_s - \rho) \cdot H \text{ bulunur.}$$

$$\rho : \text{Tatlı su yoğunluğu} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_s : \text{Deniz suyunun ortalama yoğunluğu} = 1,025 \text{ g/cm}^3 \text{ alınırsa,}$$

$$h = (1 / 0,025) \cdot H \text{ buradan,}$$

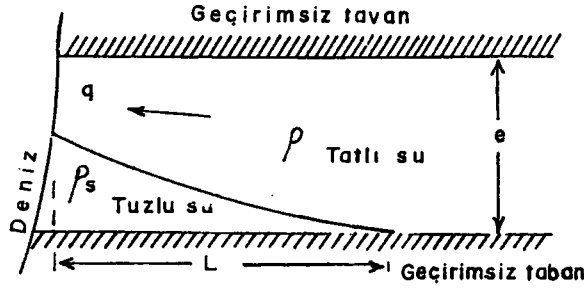
$$h = 40 H \text{ bağıntısı elde edilir.}$$

Buna göre, bir kıyı akiferinde herhangi bir noktada su tablasının deniz seviyesine kadar olan “H” derinliği bilinirse, o noktada deniz seviyesinden girişim yüzeyine olan yaklaşık “h” derinliği hesaplanabilir. Deniz seviyesinden başlayarak 40 misli derinliğinde tuzlu suya rastlanacak demektir.

Basıncılı akiferler için de aynı bağıntılar kullanılabilir. O zaman su tablası yerine basınç yüzeyi alınır (Canik, 1998).

3.4.4.2 Akifer İçine Sokulan Tuzlu Su Kamasının Uzunluğu

Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişi sivi ucu karaya doğru bir kama şeklindedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Basınçlı akiferde tuzlu su kaması (Canik, 1998)

Basınçlı bir akiferde bu kamanın L uzunluğunu hesaplamak için Darcy kanunundan yararlanılarak şu formül bulunmuştur ;

$$L = 1/2 [(\rho_s - \rho) / \rho] \cdot K \cdot e^2 / q$$

Burada ;

q : Tatlı suyun birim debisi- m^3/s

e : Akifer tabakanın kalınlığı- m

K : Akiferin geçirgenlik katsayısı- m/s

Formülde tuzlu su kamasının L uzunluğunun, tatlı suyun birim debisi ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Debi arttığı sürece tuzlu su kamasının L boyu kısılacaktır (Canik, 1998).

3.4.4.3 Pompajda Suyun Tuzlanma Süresinin Saptanması

Kıyıdaki serbest bir akiferde açılan kuyudan çekilen suyun ne kadar zamanda tuzlanacağını Hantush (1970) şu formülle vermiştir.

$$t = 2\pi \cdot ne / 3Q (h^3 - 3hl^2 + 2l^3)$$

t : Kuyudan çekilen suyun tuzlanacağı zaman- saniye

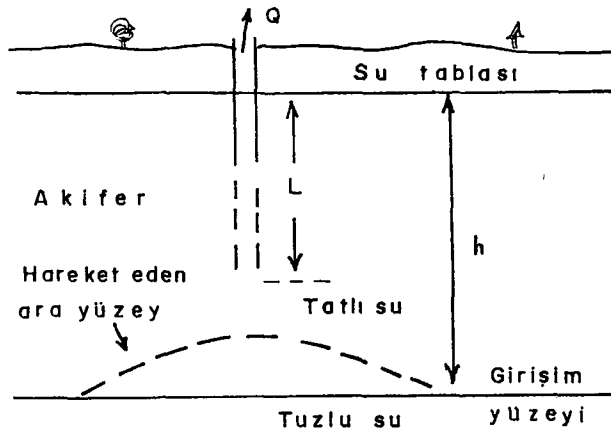
h : Akiferin kalınlığı- m.

Q : Kuyudan çekilen suyun debisi- m^3/s

ne : Etkili gözeneklilik- %

L : Su tablası altında sondajın derinliği (veya filitre boyu)- m.

Böylece, kuyularda pompajdan dolayı tuzlu suyun dikey hareketi ile tatlı suyun ne kadar zamanda tuzlanacağı hesaplanır (Şekil, 3.8).

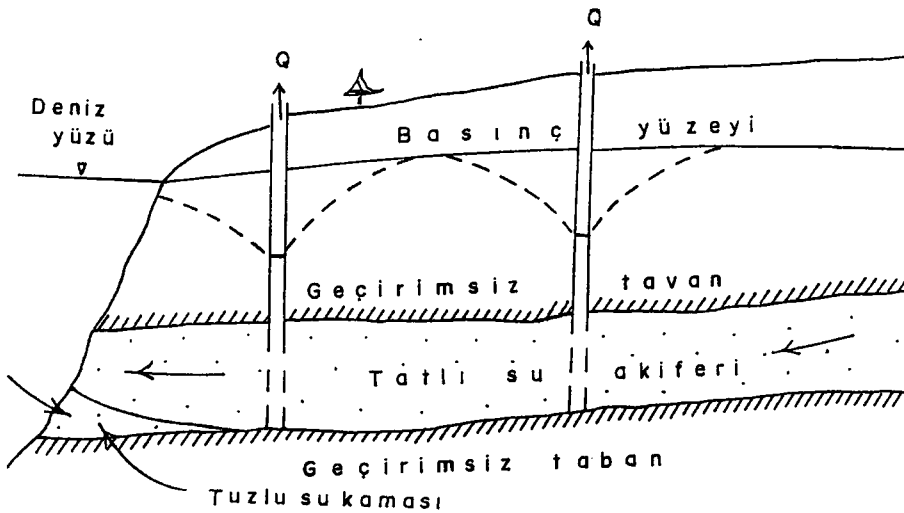


Şekil 3.8 Sahil akiferlerinde hareketli ara yüzey (Canik, 1998)

3.4.3.4 Kıyı Akiferlerine Deniz Suyu Girmesinin Önlenmesi

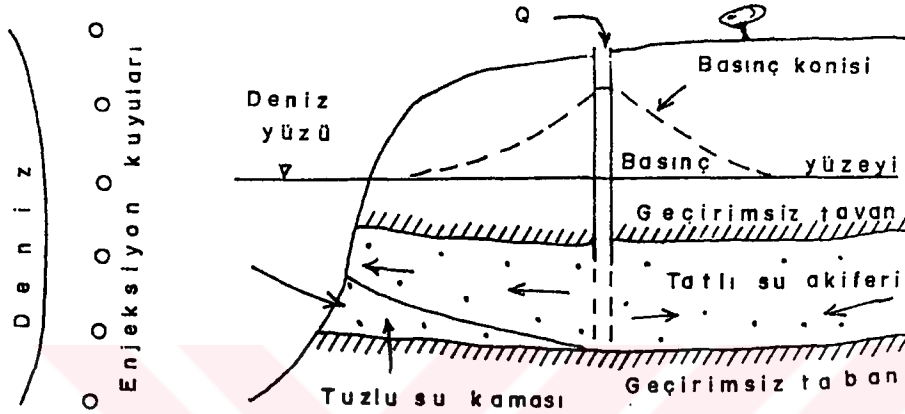
Kıyı akiferlerinden aşırı su çekilmesi ile bu akiferler zamanla tuzlanmakta ve kullanılmaz hale gelmektedir. Deniz suyunun bu akiferlere girmesini önlemek için pek çok saha ve laboratuvar çalışması yapılmaktadır. Tuzlanan bir akiferin tekrar tatlı su akiferine dönüştürülmesinde, çok uzun zamana ve büyük masraflara gereksinme olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle kıyı akiferlerinin işletilmesi, tuzlu suyun girişimini önlemeye yönelik sıkı ve devamlı bir denetim gerektirir. Deniz suyu girmesini önlemek için uygulanan başlıca yöntemler şunlardır (Canik, 1998);

- **Kıyı akiferlerinde açılan kuyularda pompajın azaltılması :** Bu tür kuyulardan çekilecek su miktarı, akiferin kuyuyu besleyeceği kadar olmalı, kuyuda aşırı pompaj yapılmamalıdır. Böylece su tablasında yükselme sağlanacak ve denize doğru eğimi artacaktır.
- **Pompaj kuyularının kıyıdan uzakta açılması :** Kıyıdan uzaklaştıkça tuzlu su girişi olasılığı da o kadar azalacaktır. Bu durum şekilde görülmektedir. Pompaj sırasında kuyu dolayında basınç yüzeyi alçalırsa da, denize yakın yükselerek tekrar denize doğru eğim kazanacaktır. Kuyu, kıyı yakınında açılırsa basınç yüzeyinin eğimi karaya doğru olabilecektir (Şekil, 3.9).



Şekil 3.9 Pompaj kuyusunun kıyıdan uzakta açılması

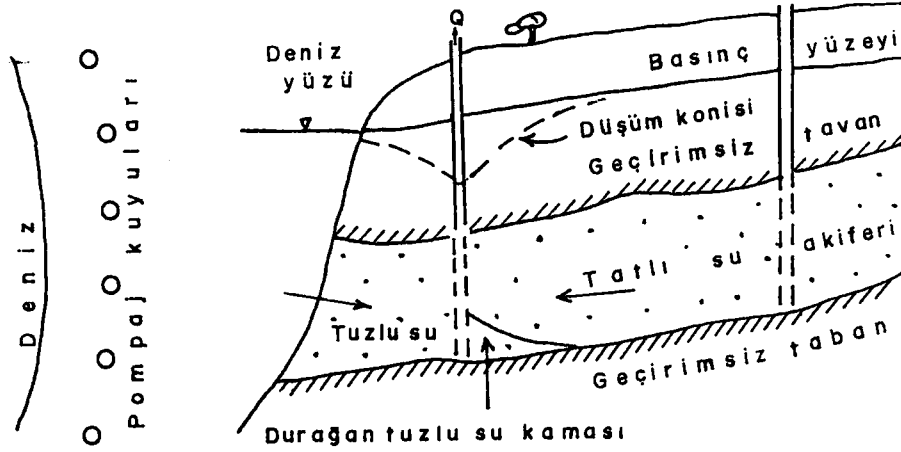
- **Yapay beslenme :** Tuzlu su kaması büyüdüğünde serbest akiferler yayma biçiminde yüzeyden basınçlı akiferlerde kuyulara su verilerek yeraltından beslenir (Şekil, 3.10).



Şekil 3.10 Yapay beslenme (Canik, 1998)

- **Kıyıya paralel düşüm çizgisi oluşturulması :** Kıyıya paralel açılacak kuyulardan devamlı tuzlu su çekilerek, tuzlu su kamasının akifere doğru yayılması önlenir. Bu yöntemde kuyular, pompaj sırasında birbirlerini etkileyecek mesafede açılmalıdır. Böylece sahile paralel uzanan kuyuların müşterek bir düşüm konisi oluşur (Şekil, 3.11).

Tuzlu su çekimi sürerken kuyu ile deniz arasında kalan akifer parçası tamamen tuzlanır. Kuyunun akifer yönünde küçük, durağan bir tuzlu su kaması kalır. Bu yöntem, çoğunluk tuzlanmış akiferlerin temizlenmesinde kısa süreler için uygulanır. Tuzlu su çekilen kuyunun kara yönünde ve kıyıdan uzakta tatlı su almak için başka kuyular yapılır.



Şekil 3.11 Kıyıya paralel düşüm çizgisi oluşturulması (Canik, 1998)

- **Yapay perdelerin yapımı :** Tuzlu suyun tatlı su akiferlerine girişini engellemek için akifere çimento, asfalt, kil v.b. enjekte edilerek geçirimsiz bir kuşak oluşturulur. Kimi yerde de yassı kazık ve madeni levhalar çıkarılır. Bu yöntem özellikle denizle ilişkisi dar boğazlarla olan alüvyon akiferlerini ve kalınlığı fazla olmayan kıyı akiferlerini tuzlu sudan korumada kullanılır. Kıyı akiferlerine tuzlu su girişiminin önlenmesinde en ekonomik yöntem, pompajın azaltılmasıdır. Bu akiferlerde beslenmeye göre saptanmış bir işletme düzeni uygulanmalıdır.

3.5. GÜLBAHÇE KAPLICASI'NIN OLUŞUMU

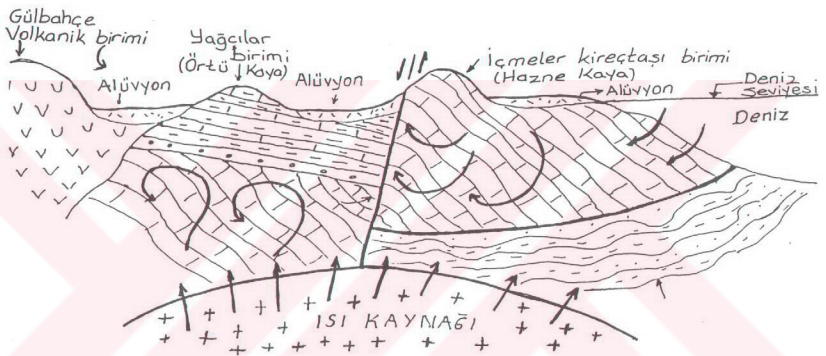
Gülbahçe kaplıcası yüzey sularının derinlere süzülerek ısınıp tekrar yüzeye erişmesi şeklinde tanımlanabilen “devirli sistem” sınıfına girer. Kökeni deniz suyudur. Ancak yüzeye erişirken az oranda soğuk yeraltı suları ile karışırlar. Devirli jeotermal sistemin oluşabilmesi için hazne kaya, örtü kaya, ısı kaynağı ve beslenme alanının bulunması gerekir.

Beslenme alanında hazne kaynağı besleyecek yüzey ve yeraltı suları bulunmalıdır. Eğer hazne kaya yeterince beslenmiyorsa jeotermal alanda açılan kuyularda



Şekil 3.12. Gülbahçe Kaplıcası'nın genel görünümüleri

başlangıçta verim yüksektir. Zaman içinde debi ve basınç düşmesi sonucu kuyular ekonomik olmaktan çıkar. Isı kaynağı olarak genç mağma sokunumları büyük miktarda ısı verebilir. Bu gibi alanlar genç (senozoyik) volkanik etkinliklerini içeren bölgelerdir. Hazne kaya, ısı kaynağına yakın, gözenekli, geçirgen, su veya buhar ile doygun olmalıdır. Sıcak su veya buhar ile dolu hazne kayadan konveksiyon akımları doğmalıdır. Hazne kayanın sıcaklığını doğal olarak yitirmemesi için düşük geçirgenlikte bir örtü kaya ile korunmalıdır. Eğer örtü kaya olmaz ise konveksiyon akımı doğmaz ve akışkan ısını ve sıcaklığını yitirir.



Şekil 3.13 Gülbahçe kaplıcasının oluşumunu açıklayan ölçeksiz şematik kesit
(Tarcan,1998)

Bu açıklamalara göre Gülbahçe Kaplıcası' nın oluşumu beslenme alanında bulunan deniz suyunun derinlere süzülerek hazne kayaya erişmesi, burada sıcaklığını henüz yitirmemiş olan genç mağmatik sokulumların etkisi ile ısınması ve sonuçta Söğütköy fayının süreksizlik hatlarını izleyerek tekrar yüzeye çıkması şeklinde açıklanabilir.

Tasarlanan şematik kesitte de görüldüğü gibi yüzey beslenmesinin büyük bir bölümünü deniz suyu oluşturmaktadır. Az miktarda yağış suyu da yüzeyden

süzülerek deniz suyuna karışmaktadır. İzotopik ve jekimyasal verilerde bu olayı desteklemektedir.

Önceki bölümlerde değinildiği gibi inceleme alanı, Üst Miyosen'den Pliyosen'e değin iki evreli bir volkanik etkinliğe sahip olmuştur. Bu genç volkanik sokulumlar, derinlerde olasılıkla sıcaklıklarını korurlar. Gülbahçe Kaplıcası'nın ısı kaynağını oluştururlar. Büyük olasılıkla ısıtıcı kaya olarak yakın çevrede yüzeyleyen ve andezitik volkanitlerden oluşan Gülbahçe volkanik biriminin derinlik eşdeğeri ile mağma ısı kaynağını oluşturmaktadır.

Karstik İçmeler kireçtaşı birimi, Gülbahçe Kaplıcası'nın hazne kayasını oluşturmaktadır. Karstlaşma nedeni ile son derece gözenekli ve geçirgen olan kireçtaşlarında konveksiyon akımı ile ısı iletimi söz konusudur ve hidrotermal karst sistemi oluşmuştur.

Hazne kaya derinliği şu bağıntı ile yaklaşık olarak hesaplanabilir ;

$$\begin{array}{ll} \text{Derinlik} = \text{Gradyan} \times (t_1 - t_2) & \text{bağıntıda ; } t_1 = \text{su sıcaklığı} \\ \text{(m)} & 33 / 1 ^\circ\text{C} \quad t_2 = \text{mevsim ortalama sıcaklığı} \end{array}$$

Kaplıcanın kaynaktan çıkış sıcaklığı $37 ^\circ\text{C}$ ve inceleme alanının yıllık ortalama sıcaklığı yaklaşık olarak $17 ^\circ\text{C}$ ' dir. Normal olarak her 33 m. derinliğe inildikçe sıcaklık $1 ^\circ\text{C}$ artmaktadır. Yani bu bağıntıda normal olarak 33 m. alınması gerekir. Ancak yöre bir jeotermal bölge olduğu için bu değer daha yüksek olduğundan 20 m. olarak kabul edilmiştir (Tarcan, 1989). Buna göre Gülbahçe Kaplıcası' nın hazne kaya derinliği ;

$$D = 20 \times (37 - 17) = 400 \text{ m.'dir.}$$

İnceleme alanındaki Yağcılar biriminin killi, marnlı ve yer yer siltli düzeyleri çok düşük geçirgenliğe sahiptir. İçmeler kireçtaşı birimi üzerinde aşıl uyumsuz olarak yer alan bu Neojen tortullar Gülbahçe Kaplıcası'nın örtü kayasını oluştururlar

(Tarcan, 1989). Gülbahçe Kaplıcası deniz kenarında bulunmaktadır. Kuzey ve doğu kesimleri deniz ile çevrili olan bu kaplıcanın en önemli beslenme alanı deniz suyudur.

3.6 ILIKSU KAPLICASI KAYNAKLARININ OLUŞUMU

Eski antik bir hamam içerisinde kireçtaşı çatlaklarından süzülen ve küçük bir havuzda toplanan Ilıksu 1 Kaplıcası kaynağının sıcaklığı 37°C dolayındadır. Kaynak civarında, Ilıksu Kaynağından başka, ilgili koyun batısında, doğu-batı boyunca ve koyun kuzey kenarlarından aynı özellikte sıcak su kaynaklarının bulunduğu tesbit edilmiştir.

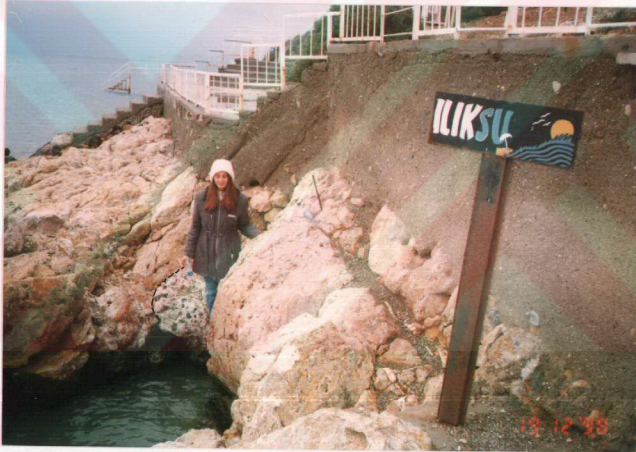


Şekil 3.14 Iıksu 1 Kaplıcası kaynağının “kumbet” yapısı

Tüm Iıksu Kaplıcası kaynakları, Jurasik yaşlı, kalın, bol eklem ve çatlaklı, megalodon sp. Fosilli dolomitik kireçtaşlarından boşalım yapmaktadır (Eşder ve Çağlav, 1986). Urla-İstihkâm Okulu Komutanlığı sahası içerisinde bulunan Iıksu 1

sıcak su noktası, Yrb.Dursun Altıntaş ile yapılan sözlü görüşme (Aralık, 1998) sonucu Cenevizlilerden kalma tarihi “kümbet” yapısındadır (Şekil, 3.14)

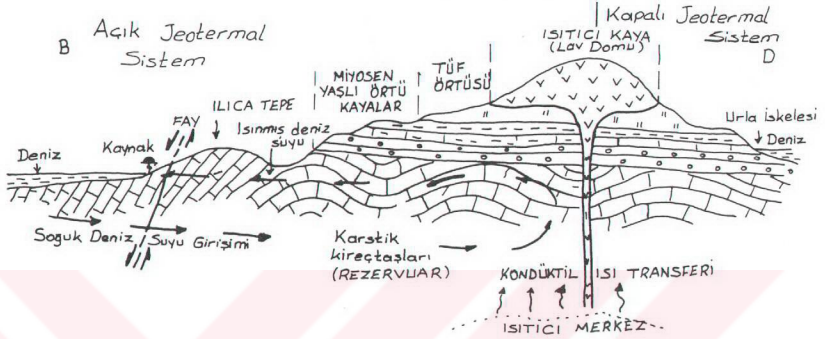
Bu çalışmada gerek tarihi kümbet yapısı, gerekse sıcaklık ve kimyasal özellikleri nedeniyle Gülbahçe Kaplıcası ile Ilıkso sıcak su kaynaklarının Söğütköy fayının benzer özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır. Gülbahçe Kaplıcası Söğütköy fayının yarattığı süreksizlik boyunca yüzeylemektedir. İnceleme alanında bulunan Söğütköy ve Kapıkaya faylarının doğrultusu olası olarak izlenildiğinde söz konusu fayların kesişim noktasında Ilıkso sıcak su kaynaklarının bir seri halinde bulunduğu saptanmıştır. Ayrıca Ilıkso 2 kaynağında fay breşi kaynağın çıkış noktasında net bir şekilde gözlenmektedir (Şekil, 3.15).



Şekil 3.15 Ilıkso 2 sıcak su noktasında gözlenen fay breşi

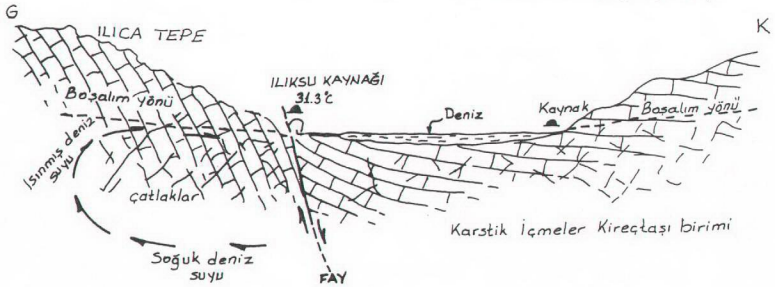
İçmeler kireçtaşı birimi Ilıkso kaynaklarının hazne kayasını oluşturur. Karstik özelliğe sahip birim içine yoğun ve soğuk deniz suları girmekte, kireçtaşı boşluk ve çatlaklarında dolaşan bu sular, bölgedeki genç volkanik etkinlikler sonucu ısınmaktadır. Isınma sonucu hafifleyen deniz suyu, fay hatları boyunca sokularak

sıcak su kaynağı şeklinde yüzeyler. Hazne kayada dolaşan su, derin kökenli olmayıp bütünüyle deniz suyudur (Şekil, 3.16). Ilıksu sıcak su kaynaklarında silis jeotermometresi ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıklarının oldukça düşük olması, hazne kayada dolaşan suyun denizel kökenli olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 3.16 Ilıksu sıcak su kaynaklarının jeotermal sistem içindeki oluşumunu açıklayan ölçeksiz şematik kesit (Eşder ve Çağlav, 1986)

Ilıksu mevkiinde yapılan jeolojik gözlemden, Ilıksu'nun Doğu-Batı yönlü kireçtaşlarını kat eden fayın arka kesiminden, genellikle Kuzey-Güney yönlü ve bunları kesen çatlaklardan geldiği belirlenmiştir (Şekil, 3.17). Birçok açık çatlakta, şimdiki çıkış noktalarından yukarı kesimlerde, suların yaptığı aragonit ve kalsit damar dolgularının bulunması bu görüşü doğrulamaktadır (Eşder ve Çağlav, 1986).



Şekil 3.17 Ilıksu sıcak su kaynaklarının jeolojik kesiti

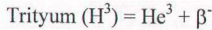
3.7 DOĞAL İZOTOPLARLA (O^{18} , H^2 , H^3) SUYUN YAŞI VE İZLEDİĞİ YOLUN ARAŞTIRILMASI

Hidrolojik çevrimin çeşitli kesimlerindeki su hareketlerinin incelenmesi için O^{18} , H^2 , H^3 izotopları bir izleyici olarak kullanılırlar ve hidrolojik sistemlerle ilgili gerek statik ve gerekse dinamik parametrelerin saptanması olanağını sağlarlar.

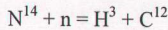
İzotoplar arasında özellikle döteryum ($H^2=D$), trityum ($H^3=T$) ve O^{18} , kaynakların beslenme alanlarının ve kökenlerinin belirlenmesinde su-hazne kayaç ilişkilerinin saptanmasında, suların bağlı yaşlarının ve jeotermal sistemlerinin saptanmasında, jeotermal sistemlerin hazne kaya sıcaklıklarının saptanması. Sıcak-soğuk su karışımları gibi sorunların çözümünde kullanılmaktadır. İnceleme alanında bulunan dört kaynaktan uygulanan bu yöntemlerde kullanılan izotop analizleri Şevki FİLİZ'in (1982) ve Conrad (1997)'den alınmıştır.

3.7.1 Trityum (H^3)

İzotop hidrojeolojisinde çoğunlukla su molekülünün $H^3H^1O^{16}$, $H^1H^1O^{18}$ ve $H^1H^1O^{16}$ türleri kullanılır. Bunlardan H^3 (trityum) hidrojenin radyoaktif izotopu olup yarılanma yaşı 12,26 yıldır. Eksi beta ışınımı yaydığından kolayca radyoaktif sayılarda saptanabilir.



Trityum'un doğal ve yapay iki kökeni vardır. Doğal kökeni kozmik ışınlardaki nötronların (n) N^{14} üzerine etkimesiyle oluşur.



Trityumun yapay kökeni nükleer patlamalardır. 1952 yılından sonra atmosferde nükleer denemeler sonucu trityum miktarı hızla artmıştır. Yağışlarda doğal trityum miktarı, bölge ve iklim kuşaklarına bağlı olarak 5-20 trityum birimi (UT) arasında

iken nükleer patlamalar sonucu binlerce trityum birimine erişmişlerdir. Bir trityum birimi (UT) $1 \times 10^{18} \text{ H}^1$ atomunun içindeki bir atom trityum miktarıdır.

Radyoaktif izotoplarda parçalanma hızı yan etkilerle değişmez.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-at}$$

bağıntısı, çürüme ile zaman arasındaki doğrusal ilişkiyi verir. Bağıntıda

N_t = t anındaki radyoaktif atom sayısı,

N_0 = Başlangıçtaki radyoaktif atom sayısı

a = Radyoaktif çürüme katsayısı

t = Zaman olarak verilmiştir.

Bağıntıyı “e” tabanından kurtarıp trityumun radyoaktif çürüme katsayısını “a” yerine koyarsak trityum yarı ömrü,

$$t_{1/2} = \ln 2 / 0,0564 = 12,268 \quad \text{yıl olarak bulunur.}$$

3.7.2 O^{18} ve $\text{D}(\text{H}^2)$ Kararlı İzotopları

O^{18} ve H^2 (döteryum), su molekülünün duraylı izotoplarındandır. Bunların ölçülmeleri kütle spektrometresinde yapılmakta ve sonuçlar % 0 δ ile gösterilmektedir. δ değerleri uluslararası başvuru standardı olarak kabul edilmiş olan SMOW (Standart Mean Ocean Water)’a göre verilmektedir. SMOW, Atlas okyanusu sularının çeşitli noktalarından alınmış deniz suyunun bir karışımıdır. 1 δ yaklaşık olarak 2 ppm O^{18} ve 0,3 ppm H^2 ’yi karşılamaktadır. δ’nın tanım eşitliği CRAIG tarafından 1961’de geliştirilen bağıntıyla tanımlanır (Filiz, 1982).

$$\delta = (\text{Örneğin izotop oranı} / \text{Standart izotop oranı} - 1) \cdot 1000$$

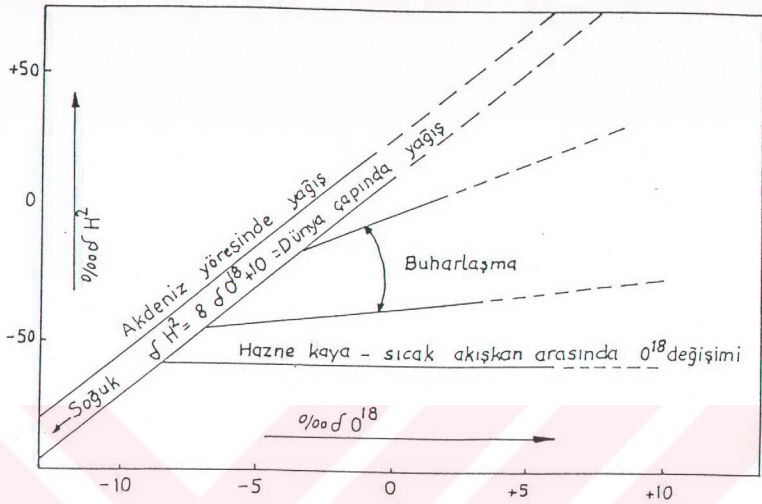
Ölçüm duyarlılıkları O^{18} için yaklaşık olarak % 0,1 δ , H^2 için % 2 δ 'dır. Okyanuslar, hidrojeolojik devrin başlangıcını ve sonunu oluşturması nedeni ile herhangi bir suyun içerdiği O^{18} miktarı okyanus suları ile karşılaştırılır. Eğer suyun deltası -5 ise bu suyun ağır izotopları, okyanus suları ortalamasına (SMOW)'a göre % 0,5 fakirdir. Tersine delta $+5$ ise, konu edilen suyun ağır izotopları SMOW'a göre % 0,5 daha zengindir. Yerküresinde doğal sulardaki O^{18} miktarları çok değişiktir. Sahra ortalarında $+30$ 'a erişen suyun deltası, güney kutbu kar sularında -55 'e düşer. Döteryum'da benzer özellik gösterir (sahrada $+150 \delta H^2$, güney kutbu kar sularında $-150 \delta H^2$).

Buharlaşma ve hazne kaya yapısındaki minerallerle akışkan (su) arasındaki kimyasal tepkimelerde H ve O değişimi, suyun ilkel izotop yapısını etkiler. Suyun hafif izotopları buharlaşma ile ortamdan kolayca ayrılırken, ağır izotoplar sıvı fazda zenginleşir. Buharın yoğunlaşmasında öncelikle ağır izotoplar sıvı faza geçer ve geride kalan artık buhar, ağır izotoplarca fakirleşir.

Böylece birbirini izleyen aynı bulut kütesinden gelen yağışlarda, bulutlar yağışlarının bir kısmını yüksek bölgelere bıraktıklarından, kıta içlerine düşen yağışlar ağır izotoplarca fakirleşir. Şiddetli buharlaşma etkisinde kalan suların ağır izotopları buharlaşma göstermeyen sulara göre fazladır (Şekil 18). Ağır izotop zenginleşmesi, buharlaşmanın şiddetiyle orantılıdır. Bununla birlikte aynı yörede farklı buharlaşma etkisinde kalan sular O^{18} döteryum arasında doğrusal bir ilişki gösterirler.

$$\% \delta H^2 = a \% \delta O^{18} + b$$

Bağıntıda "a", 3'ten büyük, 8'den küçüktür, "b" ise 10'dan küçüktür. Buharlaşma doğrusunun eğimi, yağış doğrusunun eğiminden azdır ve yağış eğrisinin sağında, altında yer alır. Bu iki doğrunun kesim noktası, buharlaşmadan önceki suyun izotop içeriğini tanımlar (Şekil, 3.18).

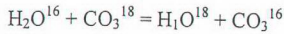


Şekil 3.18 Yağış ve doğal sularda O^{18} ile D (H^2) ilişkileri

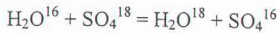
$$\delta D = 8 \delta O^{18} + 22 \quad \text{Akdeniz yöresindeki yağış.}$$

$$\delta D = 8 \delta O^{18} + 10 \quad \text{Dünya çapında yağış.}$$

Jeotermal sistemlerin hazne kayalarını oluşturan silikat ve karbonat mineralleri, genellikle O^{18} 'ce zengindir. Kimyasal tepkime sonucu, hazne kayadaki sıcak akışkanın O^{18} oranı artar.



ya da ;

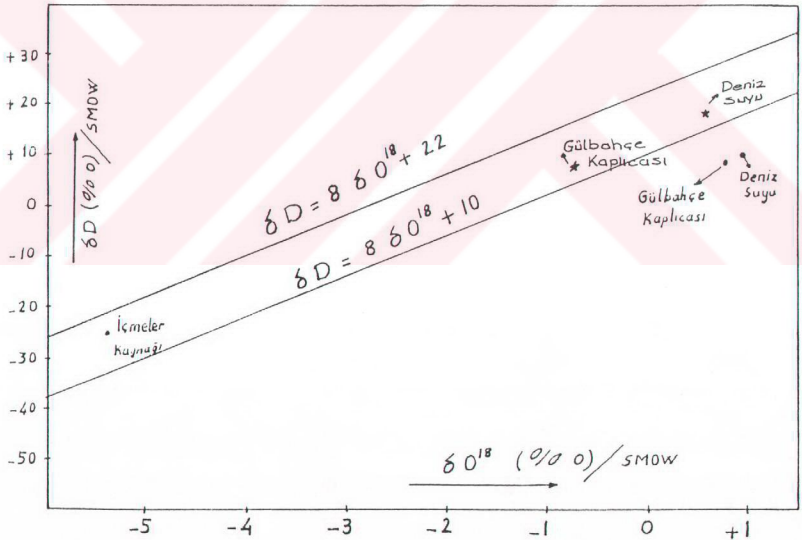


Çok yüksek sıcaklıkta kaya-akışkan arasındaki O^{18} oranları bire erişir. Buna karşın kayalarda hidrojen mineralleri yok denecek kadar az olduğundan, döteryum miktarında fazla değişiklik gözlenmez. Böylece δO^{18} ve δH^2 diyagramları üzerinde termal sular soğuk yeraltı sularının ve yağış sularının sağında yer alır (Şekil, 3.18). Şekil 3.18'de ve Şekil 3.19'da yatay bir doğru üzerinde hazne kaya içindeki

akışkanın, ısı alışverişine bağlı O^{18} evrimi gözlenebilir. Bu doğrunun yağış suları doğrusunu kestiği nokta ilksel suyun izotop yapısını belirler.

İnceleme alanında bulunan Gülbahçe Kaplıcası, İçmeler Kaynağı ve Gülbahçe Kaynağı, izotop teknikleri ile incelenirken, O^{18} kaynakların beslenme alanlarını ve kökenlerini saptamada, O^{18} - H^2 ikilisi su-hazne kaya ilişkilerini ve sıcaklıklarını belirlemede, trityum suların bağlı yaşlarını, sistemdeki dolaşım hızlarını saptamada kullanılmıştır (Çizelge, 3.18).

O^{18} - H^2 arasında doğrusal bir ilişki olduğu daha önce belirtilmişti. Akdeniz yöresindeki yağış ($\delta D = 8 \delta O^{18} + 22$), dünya çapındaki yağış ($\delta D = 8 \delta O^{18} + 10$), standart doruları O^{18} - H^2 diyagramına yerleştirilirse ve aşağıdaki çizelgede verilen değerlerle yerinde incelenirse şu yorumlar yapılabilir.



Şekil 3.19 Gülbahçe Kaplıcası, deniz suyu ve İçmeler Kaynağı'nın O^{18} - H^2 diyagramındaki yeri (. Filiz 1982, * Conrad 1987).

Şekil 3.19'da görüldüğü gibi Gülbahçe Kaplıcası ve deniz suyu yağış doğrularının sağında ve altında yer almaktadır. Gülbahçe kaplıca suyunun kökeni deniz suyudur. O^{18} zenginleşmesi göstermesi nedeniyle hazne kaya sıcaklığının yüksek olabileceği ve jeotermal enerji açısından elverişli olabileceği söylenebilir.

Çizelge 3.18 İnceleme alanında bulunan su noktalarından bazılarının O^{18} H^2 ve H^3 izotop analiz değerleri (Filiz 1982, * Conrad 1997)

KAYNAK ADI	O^{18}	H^2 / SMOW	TU H^3 TRITYUM BİRİMİ	TARİHİ
* Deniz Suyu	-1,17	7,23		
Deniz Suyu	0,96	10,1	10 + 1	10.05.1980
* Gülbahçe Kaplıcası	0,69	17,2	13-26	
Gülbahçe Kaplıcası	0,61	9,1		15.05.1979
Gülbahçe Kaplıcası	0,79		1,8	10.05.1980
Gülbahçe Kaynağı	-6,33		26 + 1	10.05.1980
İçmeler Kaynağı	-5,37			14.08.1978
İçmeler Kaynağı	-5,27			14.09.1978
İçmeler Kaynağı	-5,27			16.10.1978
İçmeler Kaynağı	-5,37			10.11.1978
İçmeler Kaynağı	-4,21			02.02.1979
İçmeler Kaynağı	-4,7			11.03.1979
İçmeler Kaynağı	-5,37	-25,1	13-26	17.07.1979
İçmeler Kaynağı	-5,4		22 + 1	
* Soğuk yeraltı suyu	-4,79	-25,2		
* Soğuk yeraltı suyu	-5,71	-24,4		
* Soğuk yeraltı suyu	-5,64	-29		

İçmeler kaynağı, Akdeniz yöresindeki yağış doğrusunun altında dünya çapındaki yağış doğrusunun üzerinde yer alır. İçmeler kaynağının kökeni meteorik (yağış) sularıdır. Ancak az miktarda deniz suyu ile karışmaktadır.

3.8 JEOTERMAL SİSTEMLERDE HAZNE KAYA SICAKLIKLARININ SAPTANMASI

Yüzeye erişen kaplıca sularının sıcaklıkları, genellikle hazne kaya içindeki sıcaklıklarından düşüktür. Sıcak suların yeraltında, yüzeye erişirken doku bulundduğu kayalarla ısı alışverişi, soğuk yeraltı suları ile karışımı, hazne kaya sıcaklığının atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz örtü kayaların çok ince olması veya bulunmayışı gibi nedenler, suların sıcaklıklarının azalmasında başlıca etkilendir.

Suların yeraltında katettikleri yol, ne denli kısa ve debisi yüksekse sıcaklıkları oranda hazne kaya sıcaklığına yakındır. İnceleme alanındaki Gülbahçe Kaplıcası ve Iıksu Kaplıcasında suların yeraltında katettiği yolun kısa olmadığı ve ağır bir hidrolojik çevrimde olduğu izotopik verilerden anlaşılmaktadır. O halde yüzeyde ölçülen 37°C - 34°C arasında değişen ısı hazne kaya sıcaklığından çok farklı olmalıdır (Şahinci, 1991).

Sıcak suların hazne kayadaki sıcaklıkları, verimleri ve kimyasal özellikleri ekonomik yönden çok önem taşır. Hazne sıcaklığının saptanmasında çok değişik yöntemler önerilmiştir. Bunlardan bazıları doğal izotop jeotermometreleri, sığ ve derin kuyularda ölçülen sıcaklıklardan yararlanarak hazne kaya sıcaklığının tahmini, jeotermal alanlarda izlenen hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin incelenmesi ve kimyasal jeotermometreler gibi yöntemlerdir. Ancak hazne kayadaki suların sıcaklığı, verimleri ve diğer gerçek bilgiler, hazne kayaya değin inen kuyuların incelenmesinden elde edilir. Sondajların çok pahalı ve bazı durumlarda ekonomik olmaması, her zaman hazne kayaya inilememesi, uzun zaman alması gibi nedenlerle diğer bilimsel incelemelerin olumlu sonuç verdiği yerlerde açılmalıdır.

Bu bölümde kimyasal jeotermal termometrelerle hazne kaya sıcaklık tahminlerine değinilecektir.

3.8.1 Kimyasal Jeotermometreler

Diğer Jeotermometre yöntemlerine göre, kimyasal tahlilleri ucuz ve kısa sürede yapıldığından, jeotermal araştırmalarda hazne kaya sıcaklığının tahmininde kimyasal jeotermometrelerden daha fazla yararlanılır.

Kimyasal jeotermometreler kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki bölümde incelenebilir ;

3.8.1.1 Kalitatif Kimyasal Jeotermometreler

Birçok kalitatif jeotermometreler, uçucu elementlerin sıcak akışkanlarda ve zeminde görelî miktarların, dağılımlarına veya zemin gazlarındaki oranlarına dayanır. Termal akışkanlarda bulunan bazı element, bileşik ve oranların sıcaklık hakkında verdikleri görelî bilgiler aşağıda belirtilmiştir ;

- **SiO₂** : Hazne kaya sıcaklığı hakkında en iyi bilgi veren silistir ve kuvarsın dengelenmesi yüksek sıcaklıkta gerçekleşir. Yüksek sıcaklıktaki suda, yaklaşık 180°C de başlayan silis çökmesi, sıcaklığın düşmesi ile hızla artar. Klorürce fakir, asid sular 100°C civarında kayalardaki silikatları bozundurarak amorf silisçe çok zenginleşebilir. 140°C'nin üzerinde, örtü kaya tıkama malzemesi olarak genellikle kuvars ve kalseduan izlenir. Opal, kristobalit örtü kaya oluşturmışsa düşük sıcaklığı belirler. Doğal gayzerlerde, yüzeyde amorf silis veya kristalleşmiş sils çökerleri, hazne kaya sıcaklığının 180°C veya daha fazla olabileceğini gösterir.

Yapılan kimyasal analizler sonucunda Gülbahçe ve Ilıkso Kaplıcası'nın silis miktarı oldukça azdır. Bu nedenle söz konusu sıcak suların hazne kaya sıcaklıkları da düşük kabul edilebilir.

- **Klorür** : Hazne kaya sıcaklığı 150°C 'nin üzerindeki sulara, genellikle 150 ppm' den fazla klorür (kökeni deniz suyu olanlar dışında) ender sıcak su sistemlerinde (200°C ' nin üzerinde) ise 40 ppm 'in altındadır. Klorür, sıcak su sistemi ile buhar sistemini ayıran en önemli kriterdir. Bir çok klorür tuzları sıcak sulara çözünür ve sıcak sistemlerde bol bulunur. 400°C 'de bile klorür tuzlarının uçuculuğu önemsizdir. Bu nedenle, düşük basınçlı buhar sistemlerinde klorür azdır, 50 ppm' in üzerinde klorür izlenirse sıcak su sistemini belirler (Şahinci,1991).
- **B, NH_4 , H_2S , Hg, Cl, Na, K, Li, Rb, Cs, As** : Bu gibi element ve bileşiklerin bir veya bir kısmının suda fazla bulunması, hazne kaya sıcaklığının yüksek olabileceğini gösterir.
- **Na / K oranı** : Bu oranın yüksekliği, genellikle hazne kaya sıcaklığının fazla olabileceğini işaret eder. Özellikle bu oran, 20/1 – 8/1 arasında anlamlıdır. Bu oran ile hesaplanan hazne kaya sıcaklığı, suyun keldiği başlangıç derinlik veya yatay uzaklığın sıcaklığını tanımlar. Yüzeydeki sıcak suyun kimyasal tahlillerine göre silis jeotermometresi ile hesaplanan hazne kaya sıcaklık değeri, Na/K ile bulunandan küçük ise, akışkanın hazne kayadan yüzeye gelişi sırasında soğuk sular ile karışmış olabileceği vurgulanır.
- **Traverten Çökelmeleri** : Hazne kaya sıcaklığının düşük olduğunu (100°C civarında) gösterir. Ancak bikarbonatlı sular yeraltında soğuduktan sonra kireçtaşlarından geçmiş ise, hazne kaya sıcaklığı yüksek olabilir.
- **Cl / ($\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$)** : Bu oran yüksek ise hazne kaya sıcaklığı fazla olabilir.
- **Mg ve Mg / Ca Oranı** : Mg^{++} miktarı ve Mg/Ca oranı küçük ise hazne kaya sıcaklığı yüksek olabilir.
- **Cl / SO_4 Oranı** : Bu oran yüksek ise hazne kaya sıcaklığı yüksektir.

- **Cl / F Oranı :** Bu değer fazla ise hazne kaya sıcaklığında yüksek olabilir.
- **H₂ / Diğer Gazlar (Buhar Dışında) Oranı :** Oran yüksek ise hazne kaya sıcaklığı fazladır. Sıcaklığın düşmesi ile hidrojen, diğer gazlara oranla azalır.

3.8.1.2 Kantitatif Kimyasal Jeotermometreler

Kantitatif kimyasal jeotermometrelerin kullanılmasında bazı varsayımlar göz önünde bulundurulur. Bunlardan bazıları şunlardır ;

- Sıcak sulardaki kimyasal maddelerin oluşması için gerekli kimyasal tepkimeler, hazne kaya – su arasında gerçekleşmektedir.
- Sıcaklık saptanmasında gerekli maddelerin ortaya çıkması için oluşan kimyasal tepkimeler devamlıdır ve tepkimelerin hammaddesi hazne kayada boldur.
- Hazne kaya sıcaklığında kaya – su arasında kimyasal denge gerçekleşmiştir.
- Hazne kayadan yüzeye erişen sıcak suyun, soğuma sonucunda kimyasal yapısı değişmez veya yeni bir kimyasal denge gerçekleşmez.
- Hazne kayadan gelen sıcak suların, soğuk yeraltı ve yüzey suları ile bir karışımı söz konusu değildir.

Bu varsayımların ilk üçü SiO₂ ve Na - K - Ca jeotermometreleri için kullanılır. Son iki varsayım tam olarak gerçeği yansıtmaz. Çünkü hazne kayadan yüzeye doğru gelen sıcak suyun soğuması veya soğuk suların karışımı ile kimyasal yapısı değişebilir. Kantitatif kimyasal jeotermometreler çözünürlüğe, iyon değişimine ve iyon etkinliğine bağlı olmak üzere üçe ayrılır ;

3.8.1.2.1 Çözünürlüğe Bağlı Jeotermometreler

Silis Jeotermometresi

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, hazne kaya sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler $150 - 225^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda hazne kayadan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C 'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz.

Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır.

Silis Jeotermometre Bağıntılarının Çıkarılışı : 1 lt suda çözünen deneysel silis miktarları aşağıda verilmiştir. Bu değerler $1/T^{\circ}\text{K}$ cinsinden ve $\log \text{SiO}_2$ olarak ele alınırsa aşağıdaki değerler bulunur(Çizelge 3. 19).

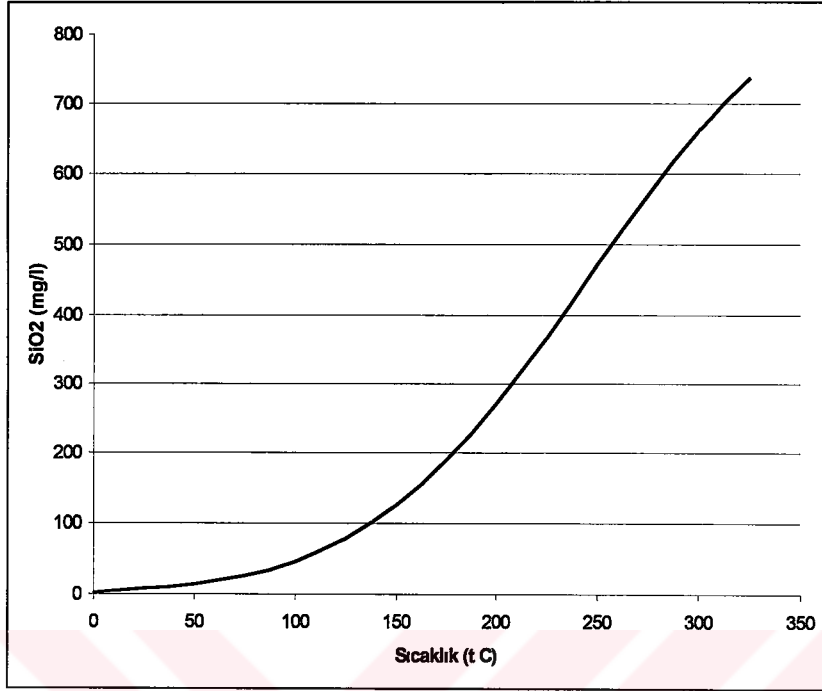
Bu hesaplanan değerleri önce sıcaklık ($t^{\circ}\text{C}$) yatay eksene, SiO_2 (mg/l) olarak düşey eksene denk gelecek şekilde her sıcaklık değerine karşılık gelen SiO_2 miktarı belirlenerek eğri çizilir. Yaklaşık olarak $175-250^{\circ}\text{C}$ arasında eğrinin doğrusallık taşıdığı görülür (Şekil 3.20).

Tam bir doğrusallık elde etmek için SiO_2 'nin logaritmik değerleri düşey eksene $1/T^{\circ}\text{K} \cdot (10^3)$ değerleride yatay eksene denk gelecek şekilde işaretlenir ve yine yatay eksende $t^{\circ}\text{C}$ değerleri işaretlenerek eğri çizilir (Şekil 3.20).

Çizelge 3.19 1 lt. Suda çözünen deneysel silis miktarı

T (°C)	SiO ₂ (mg/l)	T (°K)	1/T (°K) x 10 ³	LogSiO ₂
0	2	273,15	3,66	0,3
25	7	298,15	3,35	0,85
50	13	323,15	3,09	1,11
75	25,5	348,25	2,87	1,41
100	46	373,15	2,68	1,66
125	79	398,15	2,51	1,9
150	126	423,15	2,36	2,1
175	190	448,15	2,23	2,28
200	271	437,15	2,11	2,43
225	367	498,15	2	2,56
250	471	523,15	1,91	2,67
275	571	548,15	1,82	2,76
300	660	573,15	1,74	2,82
325	738	598,15	1,67	2,87

Şekil 3.20'te görüldüğü gibi eğride 50-175 °C arasında bir doğrusallık gözlenmektedir. O halde verilen örnekte bulunacak olan hazne kaya sıcaklığının saptanmasını sağlayan bağıntı 50-175 °C sıcaklıkları arasında geçerlidir.



Şekil 3.20 Sıcaklık (t⁰C) ve SiO₂ (mg/l) çözünürlüğü

Bağıntıyı çıkarmak için log SiO₂ değerlerine (düşey eksene) y, 1/T (°K)x10³ değerlerine de x dersek, Şekil 3.20' dteki doğrusallık gösteren kısmın denklemi y = a +bx şeklinde gösterilebilir. a ve b değerleri en küçük kareler yöntemi ile bulunur.

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

logC = 5,117 - 1,2918 (1000 / T) bağıntısı elde edilir.

$$y = a - bx$$

$$\log C = 5,117 - 1291,8 / T \quad C = \text{SiO}_2 \text{ (mg/l)}$$

$$T = 1291,8 / (5,117 - \log C) \text{ ve } t(^{\circ}\text{C})' \text{ ye çevrilirse}$$

$t \text{ } ^\circ\text{C} = (1291,8 / 5,117 - \log C) - 273,15$ bağıntısı elde edilir.

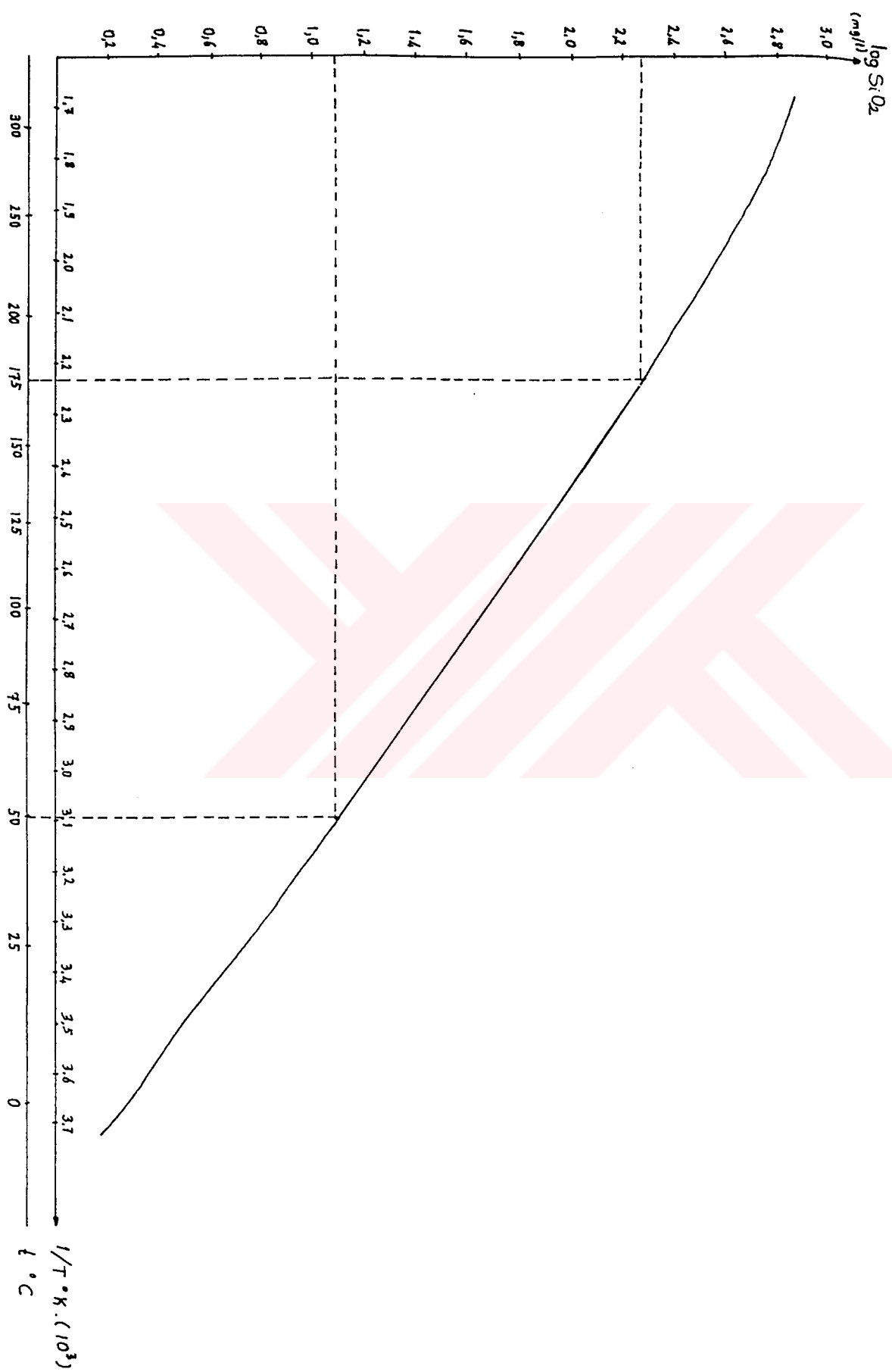
Yukarıda örnekte uygulanan yolla değişik araştırmacılar değişik silisyum jeotermometre bağıntıları önermişlerdir. Düşük sıcaklıklarda kalseduan, amorf silis veya kristobalit silisin suda çözünürlüğünü denetlerler (Fournier ve Truesdel, 1970). Silisin allotrop çeşitleri sıcaklığa bağlı olarak, $160 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' de kuvars, $120\text{-}160 \text{ } ^\circ\text{C}$ arasında kuvars veya kalseduan, $120 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' nin altında yalnızca kalseduanıdır (Arnorsan, 1975). $250 \text{ } ^\circ\text{C}$ ' ye kadar hazne kaya sıcaklığını veren bağıntılar şunlardır ;

Amorf silis	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 731 / (4,52 - \log C) - 273,15$
Beta kristobalit	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 781 / (4,51 - \log C) - 273,15$
Alfa kristobalit	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1000 / (4,78 - \log C) - 273,15$
Kuvars	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1309 / (5,19 - \log C) - 273,15$
Kalseduan	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1032 / (4,69 - \log C) - 273,15$

Silisin değişik koşullarda soğumasına bağlı hazne kaya sıcaklıklarını veren bağıntılar şöyledir ;

Kuvars adyabatik soğuma	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1533,5 / (5,768 - \log C) - 273,15$
Kuvars iletimi ile soğuma	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1315 / (5,205 - \log C) - 273,15$
Kalseduan iletimi ile soğuma	$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1015,1 / (4,655 - \log C) - 273,15$

Bağıntılarda C, sıcak sulardaki SiO_2 'yi tanımlar ve mg/l olarak alınır. İnceleme alanındaki sıcak su kaynakları olan Ilıksu 1, Ilıksu 2 ve Gülbahçe Kaplıcası'nın SiO_2 değerleri sırası ile 15,27, 15,81 ve 16,49 (mg/l)'dir. Buna göre yukarıdaki bazı bağıntılarla hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları aşağıda belirtilmiştir.



Çizelge 3.20 Ilıksu 1, Ilıksu 2 ve Gülbahçe Kaplıca'larının SiO_2 miktarına göre hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları

	ILIKSU 1	ILIKSU 2	GÜLBAHÇE
Alfa kristobalit	$t = 4,63 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 6,17 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 7,75 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kalseduan	$t = 20,86 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 22,55 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T = 24,26 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kuvars	$t = 53,28 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 54,84 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T = 56,27 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kuvars (buhar kaybindan sonra)	$t = 59,89 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 61,28 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T = 62,83 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kuvars (adyabatik soğuma)	$t = 61,09 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 62,48 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T = 64,03 \text{ } ^\circ\text{C}$
Kuvars (iletim ile soğuma)	$t = 53,56 \text{ } ^\circ\text{C}$	$t = 55,11 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T = 56,84 \text{ } ^\circ\text{C}$

Tarcan (1989) deniz suyundaki Si miktarının yıllık ortalama olarak 3 mg/l olarak belirtmiştir. Buna göre genel anlamda deniz suyunda çok az miktarda silisyum bulunduğundan, hesaplamalarda da görüldüğü gibi hazne kaya sıcaklığı çok düşük çıkmaktadır. Böylece Gülbahçe, Ilıksu 1 ve Ilıksu 2 Kaplıca sularının kökeninin deniz suyu olduğu sonucuna varılabilir.

3.8.1.2.2 İyon Değişimine Bağlı Jeotermometreler

İyon değişim denge sabitleri sıcaklığın etkisindedir. Suda iyon değişimine uğrayan birçok mineral bulunur ve bunlar jeotermometre olarak kullanılabilir.

Na / K Jeotermometresi

Bu jeotermometreler suda fazla miktarda Ca^{++} iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log(\sqrt{\text{Ca} / \text{Na}})$ değerinin 0,5'ten az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 $^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuçlar vermektedir.

Değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen Na/K jeotermometre bağıntılarından bazıları şunlardır ;

Hazne kaya sıcaklığı 25-250 °C arası ;

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = 933 / [\log (\text{Na} / \text{K}) + 0,933] - 273,15$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1319 / [\log (\text{Na} / \text{K}) + 1,966] - 273,15$$

Hazne kaya sıcaklığı 100-275 °C arası ;

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = 855,6 / [\log (\text{Na} / \text{K}) + 0,857] - 273,15$$

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = 777 / [\log (\text{Na} / \text{K}) + 0,70] - 273,15$$

Hazne kaya sıcaklığı 100-300 °C arası ;

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = 1217 / [\log (\text{Na} / \text{K}) + 1,48] - 273,15$$

Bu çalışmada yapılan kimya analizleri sonucunda üç sıcak su noktasında (Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu 1 ve Ilıksu 2) noktasından elde edilen Na⁺ ve K⁺ değerleri şöyledir ;

SU NOKTASI	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
Ilıksu 1	11659	263.4
Ilıksu 2	9565	240.5
Gülbahçe Kaplıcası	8470	256.7

Buna göre üç sıcak su noktasında Na / K jeotermometresine göre elde edilen hazne kaya sıcaklıkları aşağıda belirtilmiştir ;

Çizelge 3.21 Na-K jeotermometresine göre saptanan hazne kaya sıcaklıkları

	ILIKSU 1	ILIKSU 2	GÜLBAHÇE KAPLICASI
1. Bağıntı	t= 88.61 °C	t= 95.33 °C	t= 107.51 °C
2. Bağıntı	t= 92.02 °C	t= 96.84 °C	t= 105.44 °C
3. Bağıntı	t= 68.67 °C	t= 75.22 °C	t= 87.10 °C
4. Bağıntı	t= 58.05 °C	t= 64.82 °C	t= 77.17 °C
5. Bağıntı	t= 116.17 °C	t= 122.17 °C	t= 132.78 °C

Çizelge 3.21’de görüldüğü gibi inceleme alanındaki sıcak suların Na/K jeotermometresinde bulunan bağıntılar yolu ile elde edilen hazne kaya sıcaklıkları yaklaşık değerler sunmaktadır.

Na – K – Ca Jeotermometresi

Özellikle Ca/Na (mol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir. Bu olumsuz yönü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından şöyle bir bağıntı önerilmektedir.

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{1647}{\log (\text{Na} / \text{K}) + B \log (\sqrt{\text{Ca} / \text{Na}}) + 2,24} - 273,15$$

Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. B bir katsayıdır. Eğer $\log (\sqrt{\text{Ca} / \text{Na}})$ değeri (-) ise $B = 1 / 3$, (+) ise $B = 4 / 3$ olarak bağıntıya konur. Ayrıca $B = 4 / 3$ olarak hesaplanan hazne kaya sıcaklığı 100 °C’ den fazla ise $B = 1 / 3$ alınarak hazne kaya sıcaklığı tekrar hesaplanabilir.

Bu çalışmada Na-K-Ca jeotermometresine göre Ilıksu 1 kaynağının hazne kaya sıcaklığı 163,72 °C, Ilıksu 2 kaynağının hazne kaya sıcaklığı 169,59 °C ve Gülbahçe Kaplıcası’nın hazne kaya sıcaklığı 158,00 °C olarak saptanmıştır.

Na – K – Ca Jeotermometresinde Magnezyum Düzeltmesi

Fournier ve Potter (1979), Na – K – Ca jeotermometre bağıntısında bağızı koşullarda düzeltmeler yapılmasını önermişlerdir. Buna göre düzeltme katsayısı (R) şu bağıntı ile bulunur ;

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

Bağıntıda iyonlar mek/l olarak ele alınır. Eğer R, 50' den büyük ise, suların oldukça soğuk bir ortamdan geldiği ve hazne kaya sıcaklığının, kaynakta ölçülen sıcaklığa yakın olduğu düşünülebilir. Bu nedenle Na – K – Ca bağıntısından elde edilen yümsek hazne kaya sıcaklıklarında bağızı düzeltmeler yapılması gereklidir.

Bulunan hazne kaya sıcaklığı 70 °C'nin altında ise düzeltme yapılmaz. Tersine hazne kaya sıcaklığı 70 °C'den fazla ve 5 – 50 arasında veya daha yüksek ise aşağıda belirtilen bağıntılardan yararlanarak düzeltme hesaplanabilir ve hazne kaya sıcaklığından çıkarılır.

$$t^{\circ}C = 10,66 - 4,71 R + 325,87 (\log R)^2 - [1,032 - 10^5 (\log R)^2 / T] - [1,968 \times 10^7 - (\log R)^2 / T^2] + 1,605 \times 10^7 (\log R)^3 / T^2$$

Eğer R, 0,5 – 5 arasında ise şu bağıntı kullanılır ;

$$t^{\circ}C = - 1,03 + 59,971 (\log R) + 145,05 (\log R)^2 - 36711 (\log R)^2 / T - 1,67 \times 10^7 (\log R) / T^2$$

Bağıntılarda t °C, magnezyum düzeltme sıcaklığı (°C), R, düzeltme katsayısı ; T, Na-K-Ca jeotermometresinde hesaplanan hazne kaya sıcaklığıdır (°K).

Bu çalışmada Rdeğerleri Ilıksu 1 Kaplıcası'nın 78.22, Ilıksu 2 Kaplıcası'nın 77.52 ver Gülbahçe Kaplıcası'nın 76.34 olarak saptanmıştır. Saptanan R değerleri 70'den

fazla olduğundan magnezyum düzeltmesi yapılmıştır. Magnezyum düzeltmesi sonucunda Ilıksu 1, Ilıksu 2 ver Gülbahçe Kaplıcası'nın hazne kaya sıcaklıkları sırası ile 120.82 °C, 126 °C ve 106.48 °C olarak bulunmuştur.

3.8.1.2.3 İyon Etkinliğine Bağlı Jeotermometreler

Bu tür jeotermometrelerde sıcak akışkanların kimyasal tahlillerinde bulunan iyon değerleri yerine bu iyonları hesaplanan iyon etkinlikleri kullanılır.

İyon Etkinliğine Bağlı Kalseduan Jeotermometresi

Bu tür jeotermometre genellikle 25–180 °C arasında iyi sonuç vermektedir. Kalseduan jeotermometresi şu bağıntı ile tanımlanır ;

$$t^{\circ}\text{C} = [1101 / 0,11 - \log (\text{SiO}_2)] - 273,15$$

Bağıntıda, silis asitlerinin iyon etkinliği (aH_4SiO_4) mol/l kullanılır. Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu 1 ve lıksu 2 sıcak su noktalarında H_4SiO_4 sırası ile 28.08 mg/l, 26.01mg/l ver 26.92 mg/l 'dir. İyon etkinliği ise 2.52×10^{-4} mol/l, 2.74×10^{-4} mol/l ve 2.86×10^{-4} mol/l' dir. Buna göre üç sıcak su noktasında hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları 34.6 °C, 28.6 °C ve 28.2 °C olarak kaplıca yüzey sıcaklığından bile az çıkmaktadır. Bunun nedeni silis jeotermometrelerde belirtildiği gibi yorumlanabilir.

3.9 SULARIN KARIŞIM ORANLARININ SAPTANMASI

Suların karışım oranlarını saptamak için değişik yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada, suların derişim ve hacimsel miktarlarına bağı bağıntılar üzerinde durulmuştur. Buna göre karışım oranları aşağıdaki basit bağıntılarla saptanabilir.

$$V_1 = V_3 (C_2 - C_3) / (C_2 - C_1)$$

$$V_2 = V_3 (C_3 - C_1) / (C_2 - C_1)$$

$$V_3 = V_1 C_1 + V_2 C_2 / C_3$$

V_1 = Karışımındaki birinci suyun hacmi,

V_2 = Karışımındaki ikinci suyun hacmi,

V_3 = Karışım suyunun hacmi,

C_1 = Birinci suyun toplam iyon derişimi (mek/l veya mg/l)

C_2 = İkinci suyun toplam iyon derişimi (mek/l veya mg/l)

V_3 = Karışım suyunun toplam iyon değışimi (mek/l veya mg/l)

Suların toplam iyon derişimi (C) yerine herhangi bir iyonun derişimi de alınabilir. Karışım suyu 1 lt olarak kabul edilirse $V_3 = 1$ olur. Hesaplamalara gereksinmeden basit bir grafikte suların karışım oranları bulunabilir (Şekil 3.22). Düşey eksenler karışma katılan suların derişimini, yatay eksen ise iki suyun yüzde karışım oranını belirler. Karışımın iyon derişimi düşey eksen de bulunur ve yatay eksene koşt çizilir. İki suyun derişimlerini birleştiren doğruyu kestiği noktadan yatay eksene dikme indirilerek iki suyun yüzde karışım oranları bulunur.

Urla-İçmeler'i ve çevresinde, denize yakınlığı ve elektriksel iletkenlik, klorür gibi yıllık ortalama analiz sonuçlarına göre deniz suyu ile karışmış olabileceği şüphe edilen su noktalarında karışım oranları saptanmıştır (Tarcın, 1989). Bu hesaplamalar için su noktalarının yıllık ortalama analiz sonuçları göz önüne alınmıştır. Karışım oranlarının saptanmasında en belirgin iyon klorürdür. Bu nedenle hem toplam iyon

miktarları, hem de klorür iyon miktarlarına göre ayrı ayrı ele alınmıştır. Deniz suyu tatlı su ortalamaları ve karışımdan şüphe edilen su noktalarının toplam iyon derişimi (mek/l) ve klorür iyonları aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 3.22).

Çizelge 3.22 Tatlı su ortalamaları, deniz suyu ve karışımdan şüphe edilen su noktalarının toplam iyon derişimleri ve klorür miktarı (mek/l). (*Tarcan,1989).

SU NOKTASI	TOPLAM İYON (mek/l)	KLORÜR (mek/l)
*Deniz suyu	1374,14	627,5
*Tatlı su (ortalama)	12,5	1,2
İçmeler Kaynağı	50,73	117,25
Gülbahçe Kaplıcası	1146,06	500,30
İlksu 1	1009,63	465,06
İlksu 2	900,697	407,28

3.9.1 Toplam İyon Derişimine Göre Suların Karışım Oranları

$V_1 = V_3 \times (C_2 - C_3) / (C_2 - C_1)$ bağıntısında ;

$$V_3 = 1$$

Deniz suyu (C_2) = 1374,14 mek/l

Tatlı su (C_1) = 4,328 mek/l (Gülbahçe Kaynağı) olarak alınmıştır. C_3 değeri ise her karışım için ayrı ayrı ele alınarak hesaplamalar yapılır. Bağıntılarda deniz suyu derişimi Tarcan (1989)'dan alınmıştır.

Çizelge 3.23 İnceleme alanında bulunan bazı su noktalarının toplam iyon derişimine göre saptanan karışım oranları

SU NOKTASI	TATLI SU ORANI (%)	DENİZ SUYU ORANI (%)
İçmeler Kaynağı	96,61	3,69
Gülbağçe Kaplıcası	16,65	83,35
Ilıksu 1	26,61	63,39
Ilıksu 2	34,56	65,64

Aynı iyon değerlerine göre bir de grafik yolla karışım oranları hesaplanırsa sonuçların birbirine ne denli yakın olduğu görülebilir.

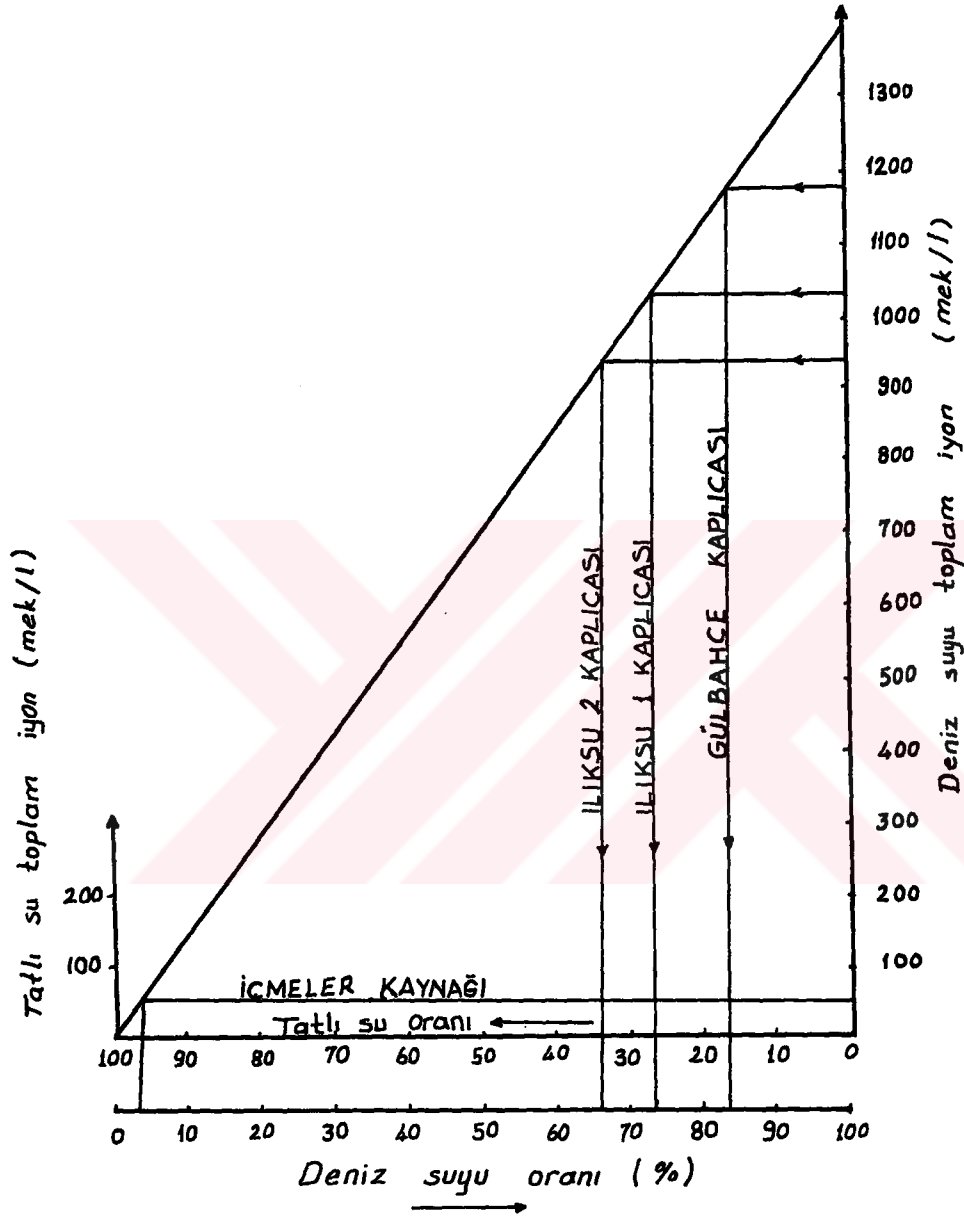
3.9.2 Klorür Miktarlarına Göre Suların Karışım Oranları

$$V_1 = V_3 (C_2 - C_3) / (C_2 - C_1)$$

Bağıntısında $V_3 = 1$

Deniz suyu (C_2) = 625,5 mek/l

Tatlı su (C_1) = 4,328 mek/l (Gülbağçe Kaynağı) olarak alınmıştır. C_3 , her karışım için klorür iyonu miktarını (mek/l) belirtir. Buna göre sonuçlar Çizelge 3.24' de verilmiştir. Bağıntılarda deniz suyu derişimi Tarcan (1989)'dan alınmıştır.



Şekil 3.22. İçmeler Kaynağı, Gülbahçe Kaplıcası ve İlksu Kaplıcası kaynaklarının deniz suyu karışım oranının grafik yolla çözümü

Çizelge 3.24 İnceleme alanında bulunan bazı su noktalarının klorür derişimine göre saptanan karışım oranları

SU NOKTASI	TATLI SU ORANI (%)	DENİZ SUYU ORANI (%)
İçmeler Kaynağı	81,82	18,18
Gülbahçe Kaplıcası	20,01	79,99
Ilıksu 1	25,83	74,17
Ilıksu 2	35,14	64,86

Toplam iyon miktarına ve klorür iyonu miktarına göre yapılan hesaplamalar yaklaşık olarak birbirini tutmaktadır.

3.9.1 Suların Kimyasal Özellikleri

İnceleme alanındaki sular, içerdikleri anyon ve katyon miktarlarına (mek/l) şöyle sınıflanabilir.

Katyonlar :

$Na^+ + K^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$	İçmeler Kaynağı, Karapınar
$Na^+ + K^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$	Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu 1 ve Ilıksu 2 Kaplıcası
$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ - K^+$	K ₁ , K ₂ , K ₄
$Ca^{++} > Na^+ + K^+ > Mg^{++}$	Saraç Çeşme, Burgaz Çeşme, K ₃ , Gülbahçe Kaynağı
$Mg^{++} > Ca^{++} > Na^+ + K^+$	K ₅ , K ₆ , K ₇ , Ova Kaynağı

Anyonlar :

$HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{=}$	K ₂ , K ₃ , K ₄ , K ₅ , K ₆ , Ova Kaynağı, Gülbahçe Kaynağı
$HCO_3^- > SO_4^{=} > Cl^-$	K ₃ , Saraç Çeşme, Burgaz Çeşme
$Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{=}$	K ₇ , İçmeler Kaynağı, Karapınar
$Cl^- > SO_4^{=} > HCO_3^-$	Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu 1 ve Ilıksu 2 Kaplıcası

3.9.3.1 Suların Sertliği

Sertlik, su içinde çözülmüş halde bulunan Ca ve Mg bileşiklerinden ileri gelen bir özelliktir. Bu bileşikleri çoğu Ca ve Mg' un oluşturdıkları bikarbonatlar, sülfatlar, ve nitratlardır. Ca ve Mg bikarbonatlarından ileri gelen sertliğe “geçici sertlik” denir ve ısıtılmakla CaCO_3 ve MgCO_3 çökelerek bu sertlik giderilir. Suyun ısıtılarak geçici sertliğinin giderilmesinin oldukça pahalı olması nedeni ile kimyasal yöntemler uygulanır. Suyu amonyak ve sönmüş kireç katıldığında geçici sertlik, karbonat tuzları şeklinde çökelir (Şahinci,1991).

Sudaki kalıcı sertlik ise Ca ve Mg' un karbonatlarından başka tuzlardan ileri gelir ve ısıtılarak giderilemez. Bu sertliği azaltmak için suya Na_2CO_3 konur. Kalıcı ve geçici sertliklerin toplamı ise toplam sertliği oluşturur.

Suların sertliğini gidermek için, sulara boraks, trisodyum, fosfat, sodyum metasilikat gibi maddeler atılır. Bu maddeler, bazik özellikleri nedeni ile, sudaki bikarbonatları karbonat tuzları ile, anyonları ise Ca^{++} ile birleşerek çözünmeyen çökelleri oluştururlar. Zeolitler olarak tanımlanan sodyum alümina silikatların bünyelerindeki Na^+ iyonları, sudaki Ca^{++} ve Mg^{++} iyonları ile yer değiştirerek suyun yumuşamasını sağlarlar. Günümüzde zeolitlerden daha etkin yapay iyon değiştiriciler (reçineler) suların yumuşatılmasında kullanılmaktadır.

Suların sertliğini ölçmek için değişik yöntemler vardır. Bir Alman sertliği 100 ml suda bulunan 1 mg Ca miktarıdır. Bir İngiliz sertliği 70 ml suda bulunan 1 mg CaCO_3 ' dür. Bir Fransız sertliği ise 100 ml suda bulunan 1 mg CaCO_3 miktarı ile tanımlanır.

$$\text{Bir Fransız Sertliği} = 0,56 \text{ Alman Sertliği} = 0,5 \text{ İngiliz Sertliği}$$

Suların sertliği özel olarak hazırlanmış sabun çözeltileri veya değişik kimyasal yöntemlerle doğrudan saptanır. Ancak bazı bağıntılarla suların sertliği hesap edilebilir.

$$\text{Toplam Sertlik} = 0,2497 \text{ Ca}^{++} + 0,4115 \text{ Mg}^{++}$$

Ca^{++} ve Mg^{++} , mg/l' dir. Bu bağıntı Fransız Sertliğini verir. Suların sertliği basit olarak Ca^{++} ve Mg^{++} iyonlarının mek/l cinsinden toplamını 5 ile çarpmakla Fransız sertliği cinsinden bulunur. Suları sertliklerine göre sınıflamak mümkündür. Suların fransız sertliğine göre sınıflaması şöyledir ;

Çizelge 3.25 Suların Fransız sertliğine göre sınıflanması

FRANSIZ SERTLİĞİ	SUYUN SINIFI
0,0 - 7,2	Çok Yumuşak
7,2 - 14,5	Yumuşak
14,5 - 21,5	Az Sert
21,5 - 32,5	Oldukça Sert
32,5 – 54	Sert
54' ten fazla	Çok Sert

İnceleme alanındaki suların yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre Fransız Sertlik değerleri aşağıda belirtilmiştir ;

Bu sınıflamaya göre inceleme alanındaki sulardan Ilıksu Kaplıcaları, Gülbahçe Kaplıcası çok sert sular sınıfına girer. İçmeler Kaynağı oldukça sert, Gülbahçe Kaynağı ise yumuşak sular olarak kabul edilebilir.

Çizelge 3.26 İnceleme alanındaki suların sertliklerine göre sınıflanması

SU NOKTASI	SERTLİĞİ (Fr)	SINIFI
İlksu 1	396.42	Çok Sert
İlksu 2	366.36	Çok Sert
Gulbahçe Kaplıcası	424.86	Çok Sert
K ₁	40.84	Sert
K ₂	37.27	Sert
Saraç Çeşme	26.40	Oldukça Sert
Burgaz Çeşme	33.85	Sert
K ₃	24.28	Oldukça Sert
K ₄	30.75	Oldukça Sert
Ova Kaynağı	25.87	Oldukça Sert
İçmeler Kaynağı	74.35	Çok Sert
Gulbahçe Kaynağı	7.88	Yumuşak
K ₅	47.78	Sert
K ₆	19.52	Az Sert
K ₇	38.05	Sert
Karapınar	29.33	Oldukça Sert

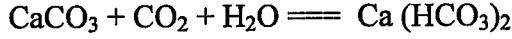
3.9.3.2 Suların Kalsit, Dolomit, Jips Doygunluğu ve CO₂ Gaz Basıncı

Suların kalsit, dolomit ve sülfat gibi tuzlarla doyumluğu hakkında bilgi edinmek çok önemlidir. Sondaj kuyuları ve su dağıtım borularında oluşacak kimyasal çökeltiler sorun yaratabilir. Bu nedenle açılan kuyu ve kapıtaç yapılacak kaynak sularında kimyasal çökeltilme özelliklerinin önceden bilinmesi gerekir.

Suların kalsit, dolomit, sülfat doyumluğu ile kısmi CO₂ basınçları, grafik ve hesaplama yöntemleri ile bulunabilir. Bu çalışmada yalnızca hesaplama yöntemleri üzerinde durulacaktır.

Kalsit Doyma İndeksi (Sc)

CaCO_3 ' ün suda çözünmesi, su içinde çözünmüş halde bulunan CO_2 gazı ile doğru orantılıdır. CO_2 gazının etkisi ile çözünen CaCO_3 ' ün kimyasal denklemi şöyledir (Şahinci, 1991) ;



Suyun sıcaklığına göre kalsit doyma indeksi (Sc) ;

$$\text{Sc} = \log [(a\text{Ca}^{++}) (a\text{CO}_3^{--})] / K_c \quad K_c = \text{CaCO}_3 \text{ denge sabitidir.}$$

25 °C ve 1 atm basınç koşulları için $a\text{CO}_3^{--}$ değeri ;

$$(a\text{Ca}^{++}) (a\text{CO}_3^{--}) / (a\text{CaCO}_3) = K_c = 10^{-8,3} \text{ bağıntısında}$$

$(a\text{H}^+) (a\text{CO}_3^{--}) / (a\text{HCO}_3^-) = K_2 = 10^{-10,3}$ bağıntısından çekilerek yerine konur. K_2 HCO_3^- ün denge sabitidir. a ise iyon etkinliğini (mol/l) tanımlar.

$$a\text{CO}_3^{--} = K_2 (a\text{HCO}_3^-) / (a\text{H}^+) \quad (a\text{H}^+ = 10^{-\text{pH}})$$

bu durumda $\text{Sc} = \log (\text{IAPc} / K_c)$ olur.

$$\text{Sc} = \log [(a\text{Ca}^{++}) (a\text{HCO}_3^-) K_2] / K_c \cdot 10^{-\text{pH}}$$

$$K_2 / K_c = 0,01 \text{ (sabit)}$$

$$\text{Sc} = \log [(a\text{Ca}^{++}) (\text{HCO}_3^-) 0,01] / 10^{-\text{pH}}$$

$$\text{IAPc} = (a\text{Ca}^{++}) (a\text{HCO}_3^-) K_2 / 10^{-\text{pH}}$$

$\text{Sc} > +0,1$ ise suda CaCO_3 çökmesi izlenir.

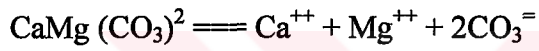
$-0,1 > \text{Sc} > +0,1$ ise su CaCO_3 ' ce doygundur.

$Sc < -0,1$ ise su $CaCO_3$ çözündürür.

Buna göre inceleme alanındaki suların yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre Sc değerleri ve yorumları Çizelge 3.27 'de verilmiştir.

Dolomit Doyma İndeksi (Sd)

Dolomit çözünürlüğü, $CaCO_3$ ' te olduğu gibi, su içinde çözölmüş CO_2 gazına bağlıdır. Dolomitin sudaki çözünürlüğü ;



Çizelge 3.27 İnceleme alanındaki suların kalsit doyma indeksleri (Sc) ve yorumları

SU NOKTASI	Sc DEĞERİ	YORUMU
Ilıksu 1	+0.177	$CaCO_3$ Çökelir
Ilıksu 2	+0.166	$CaCO_3$ Çökelir
Gulbahçe Kaplıcası	-0.063	$CaCO_3$ 'ce Doygundur
K ₁	+0.184	$CaCO_3$ Çökelir
K ₂	+0.831	$CaCO_3$ Çökelir
Saraç Çeşme	+0.338	$CaCO_3$ Çökelir
Burgaz Çeşme	+0.609	$CaCO_3$ Çökelir
K ₃	+0.478	$CaCO_3$ Çökelir
K ₄	+0.442	$CaCO_3$ Çökelir
Ova Kaynağı	-0.346	$CaCO_3$ Çözünür
İçmeler Kaynağı	+0.338	$CaCO_3$ Çökelir
Gulbahçe Kaynağı	-1.055	$CaCO_3$ Çözünür
K ₅	-1.204	$CaCO_3$ Çözünür
K ₆	-1.375	$CaCO_3$ Çözünür
K ₇	-0.408	$CaCO_3$ Çözünür
Karapınar	-0.061	$CaCO_3$ 'ce Doygundur

Dolomit doyma indeksi (Sd) şöyledir ;

$$Sd = \log [(aCa^{++}) (aMg^{++}) (aCO_3^{--})^2 / K_d]^{1/2}$$

ya da

$$Sd = \log [IAP_d / K_d]^{1/2}$$

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

K_d, dolomit denge sabitidir ve 25 °C ve 1 atm koşulları için K_d = 10⁻¹⁷, dir. (aCa⁺⁺) (aMg⁺⁺) ve (aHCO₃⁻) söz konusu iyonların etkinlikleri mol/l' dir. Sd' nin yorumu kalsit doyma indeksine benzer. Burada K₂ = 10^{-10,3}, tür.

Sd > +0,1 ise dolomit çökmesi izlenir.

+0,1 > Sd > -0,1 ise su dolomitçe doygundur.

Sd < -0,1 ise su dolomiti çözündürür.

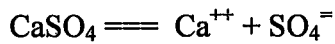
İnceleme alanındaki suların yapılan kimya analizleri sonucunda elde edilen dolomit doyma indeksleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.28 İnceleme alanındaki suların dolomit doyma indeksleri (Sd) ve yorumları

SU NOKTASI	Sd DEĞERİ	YORUMU
Ilıksu 1	+0.832	Dolomit Çökelir
Ilıksu 2	+0.917	Dolomit Çökelir
Gulbahçe Kaplıcası	+0.660	Dolomit Çökelir
K ₁	+0.053	Dolomitçe Doygundur
K ₂	+0.710	Dolomit Çökelir
Saraç Çeşme	-0.003	Dolomitçe Doygundur
Burgaz Çeşme	+0.256	Dolomit Çökelir
K ₃	+0.218	Dolomit Çökelir
K ₄	+0.442	Dolomit Çökelir
Ova Kaynağı	-0.192	Dolomit Çözündürür
İçmeler Kaynağı	+0.399	Dolomit Çökelir
Gulbahçe Kaynağı	-1.243	Dolomit Çözündürür
K ₅	-0.472	Dolomit Çözündürür
K ₆	-0.829	Dolomit Çözündürür
K ₇	-0.189	Dolomit Çözündürür
Karapınar	-0.023	Dolomitçe Doygundur

Jips Doyma İndeksi (Ss)

Sülfat iyonları yeraltı sularında daha çok kalsiyum iyonları ile dengededir. CaSO₄' in suda çözünürlüğü şöyledir ;



Jips doyma indeksi yukarıdaki kimyasal dengeye göre şöyle yazılabilir ;

$$Ss = \log [(a\text{Ca}^{++}) (a\text{SO}_4^{--}) / K_{\text{CaSO}_4}]$$

K_{CaSO_4} , kalsiyum sülfatın denge sabitidir ve 25 °C, 1 atm koşullarında $K_{\text{CaSO}_4} = 10^{-2,31}$ dir. Ss' in yorumu kalsit doyma indeksinde olduğu gibidir. Buna göre

inceleme alanındaki suların jips doyma indeksleri ve yorumları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 3.29 İnceleme alanındaki suların jips doyma indeksleri (Sj) ve yorumları

SU NOKTASI	Sj DEĞERİ	YORUMU
Ilıksu 1	-9.04	CaSO ₄ Çözündürür
Ilıksu 2	-9.05	CaSO ₄ Çözündürür
Gulbahçe Kaplıcası	-8.72	CaSO ₄ Çözündürür
K ₁	-13.83	CaSO ₄ Çözündürür
K ₂	-13.75	CaSO ₄ Çözündürür
Saraç Çeşme	-13.74	CaSO ₄ Çözündürür
Burgaz Çeşme	-13.51	CaSO ₄ Çözündürür
K ₃	-13.44	CaSO ₄ Çözündürür
K ₄	-13.91	CaSO ₄ Çözündürür
Ova Kaynağı	-14.28	CaSO ₄ Çözündürür
İçmeler Kaynağı	-11.54	CaSO ₄ Çözündürür
Gulbahçe Kaynağı	-16.39	CaSO ₄ Çözündürür
K ₅	-16.03	CaSO ₄ Çözündürür
K ₆	-15.32	CaSO ₄ Çözündürür
K ₇	-13.74	CaSO ₄ Çözündürür
Karapınar	-13.89	CaSO ₄ Çözündürür

Suda Çözünmüş Kısmi CO₂ Basıncının (P_{CO2}) Saptanması

Suda çözünmüş CO₂ gazının su ile yaptığı tepkimenin denge sabiti aşağıda verilmiştir.

$$K_{CO2} = a_{H_2CO_3} / P_{CO2}$$

Bağıntıda K_{CO2}, CO₂'nin denge sabitidir ve 1 atm., 25 °C sıcaklık koşullarında K_{CO2} = 10^{-1,46}, dır.

Yukarıdaki bağıntıda aH_2CO_3 yerine,

$(aH^+) (aHCO_3^-) / (aH_2CO_3) = K_1 = 10^{-6,35}$ bağıntısındaki karşılığı konursa suda çözünmüş kısmi CO_2 gazının basıncı şöyle bulunur ;

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

$aH^+ = 10^{-pH}$ $K_1 = 10^{-6,35}$ $K_{CO_2} = 10^{-1,46}$ olarak alınırsa inceleme alanındaki suların kısmi karbondioksit gaz basınçları çizelge 'da verilmiştir. Atmosferdeki CO_2 gazının kısmi basıncı $10^{-3,5}$ atm.' dir. Eğer sudaki kısmi CO_2 basıncı (P_{CO_2}) atmosferdeki kısmi CO_2 basıncından büyük ise karbonat çökmesi izlenebilir.

Çizelge 3.30 İnceleme alanındaki suların kısmi CO_2 gaz basınçları (P_{CO_2}) ve yorumları

SU NOKTASI	$\log P_{CO_2}$	YORUMU
Ilıksu 1	-2.04	Karbonat Çökelebilir
Ilıksu 2	-2.10	Karbonat Çökelebilir
Gulbahçe Kaplıcası	-2.08	Karbonat Çökelebilir
K ₁	-1.73	Karbonat Çökelebilir
K ₂	-2.27	Karbonat Çökelebilir
Saraç Çeşme	-1.69	Karbonat Çökelebilir
Burgaz Çeşme	-1.93	Karbonat Çökelebilir
K ₃	-2.41	Karbonat Çökelebilir
K ₄	-2.27	Karbonat Çökelebilir
Ova Kaynağı	-1.47	Karbonat Çökelebilir
İçmeler Kaynağı	-1.87	Karbonat Çökelebilir
Gulbahçe Kaynağı	-2.09	Karbonat Çökelebilir
K ₅	-1.20	Karbonat Çökelebilir
K ₆	-2.03	Karbonat Çökelebilir
K ₇	-1.55	Karbonat Çökelebilir
Karapınar	-1.65	Karbonat Çökelebilir

3.10 SULARIN KİMYASAL SINIFLAMASI

Kimyasal sınıflama, yeraltı sularının kökeni, egemen ve toplam çözünmüş iyon miktarı, değişik formasyonlardan gelen suların karşılaştırılması, içme, kullanma, endüstri ve tarımda kullanılabilme özellikleri gibi birçok sorunların yanıtlanmasıyla yardımcı bir faktördür.

Birçok farklı kimyasal sınıflama vardır. Bu çalışmada suların çözünmüş toplam katı maddelere göre sınıflaması ile Schoeller sınıflamasına değinilmiştir. Ayrıca ilk bakışta istenilen özelliklerin kolayca saptanabilmesi ve karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla Schoeller yarı logaritmik diyagram kullanılmıştır.

3.10.1 Çözünmüş Toplam Katı Maddelere Göre Sınıflama

Su içinde çözünmüş iyonların toplam miktarlarına göre, yeraltı suları şöyle sınıflanabilir ;

Çizelge 3.31 Su içinde çözünmüş iyonların toplam miktarlarına göre suların sınıflanması

SUYUN NİTELİĞİ	SUDA ÇÖZÜNÜŞ TOPLAM İYON mg/l
Tatlı Sular	0 – 1000
Hafif Tuzlu Sular	1000 – 10000
Tuzlu Sular	10000 – 100000
Çok Tuzlu Sular	100000' den fazla

Çizelge 3.32 İnceleme alanındaki suların suda çözünmüş toplam iyon miktarına göre sınıflanması ve yorumu

SU NOKTASI	SUDA ÇÖZÜNMÜŞ TOPLAM İYON	SUYUN NİTELİĞİ
Ilıksu 1	33114	Tuzlu sular
Ilıksu 2	29484	Tuzlu sular
Gulbahçe Kaplıcası	26382	Tuzlu sular
K ₁	606	Tatlı sular
K ₂	673,5	Tatlı sular
Saraç Çeşme	609	Tatlı sular
Burgan Çeşme	588	Tatlı sular
K ₃	441,5	Tatlı sular
K ₄	499,5	Tatlı sular
Ova Kaynağı	548,5	Tatlı sular
İçmeler Kaynağı	3556,1	Hafif tuzlu sular
Gulbahçe Kaynağı	159	Tatlı sular
K ₅	749	Tatlı sular
K ₆	314	Tatlı sular
K ₇	682,9	Tatlı sular
Karapınar	1000,2	Hafif tuzlu sular

Bu sınıflamaya göre inceleme alanındaki sulardan Gulbahçe Kaplıcası ve Ilıksu Kaplıcası kaynakları tuzlu sular, İçmeler Kaynağı ve Karapınar hafif tuzlu sular, diğer su noktaları ise tatlı sular sınıfına girmektedir.

3.10.2 Schoeller Sınıflaması

Schoeller, suları klorür, sülfat, karbonat miktarına, iyon, baz değişimine ve anyon-kasyon derişim ilişkilerine göre sınıflar. İnceleme alanındaki sular, klorür, sülfat ve karbonat, bikarbonat derişimine göre sınıflanmıştır.

3.10.2.1 Klorür Derişimi

- **Hiper Klorürlü Sular** : Klorür miktarı 700 mek/l' den doygunluğa kadar olan sulardır.
- **Klorotalasik Sular** : Klorür miktarı 420-700 mek/l arasında olan sulardır.
- **Klorürce Zengin Sular** : Klorür miktarı 140-420 mek/l arasındaki sulardır (Devamlı içilebilen sularda bulunabilecek en yüksek klorür miktarı 40 mek/l' dir).
- **Orta Klorürlü Sular** : Klorür miktarı 40-140 mek/l arasındaki sulardır.
- **Oligoklorürlü Sular** : Klorür miktarı 15-40 mek/l arasındaki sulardır.
- **Olağan Klorürlü Sular** : Klorür miktarı 15 mek/l' den az olan sulardır (Yeraltı sularında çoğunlukla klorür miktarı 10 mek/l' den azdır).

3.10.2.2 Sülfat Derişimi

- **Hiposülfatlı Sular** : Sülfat miktarı 58 mek/l' den fazla olan sulardır (Deniz sularında ortalama 58 mek/l sülfat bulunur).
- **Sülfatlı Sular** : Sülfat miktarı 24-58 mek/l arasındaki sulardır (İçme suları için sülfat üst sınırı 24 mek/l' dir).
- **Oligosülfatlı Sular** : Sülfat miktarı 6-24 mek/l arasındaki sulardır.
- **Olağan Sülfatlı Sular** : Sülfat miktarı 6 mek/l' den az olan sulardır.

3.10.2.3 Karbonat + Bikarbonat Derişimi

- **Hiperkarbonatlı Sular** : $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ toplamı 5 mek/ l' den fazla olan sulardır.
- **Olağan Karbonatlı Sular** : $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ toplamı 2-7 mek/l arasında olan sulardır.
- **Hipokarbonatlı Sular** : $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{=}$ toplamı 2 mek/l' den az olan sulardır.

İnceleme alanındaki sulardan Gülbahçe Kaplıcası ve Ilıksu Kaplıcası suları klorotalasik, hiposülfatlı, İçmeler Kaynağı orta klorürlü, oligosülfatlı sular sınıfına girmektedir.

3.11 SULARIN KULLANMA ÖZELLİKLERİ

Doğal suların çok değişik kullanma alanları vardır. Bu kullanma alanları suyun kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Birçok yazar tarafından değişik sınıflamalar yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen suların içme ve sulamada kullanılabilirliği araştırılmıştır.

3.11.1 Suların İçme Özellikleri

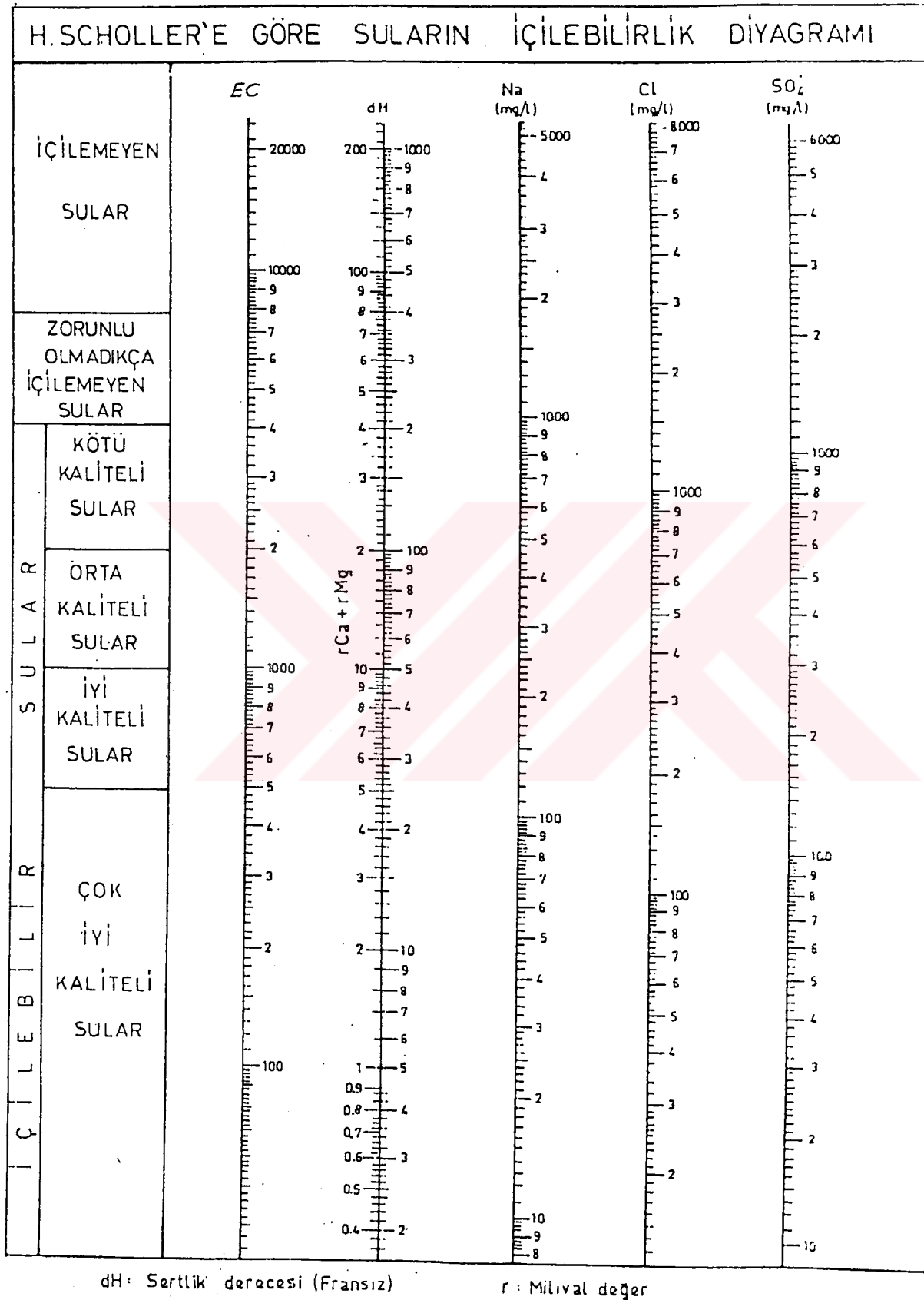
Suların içme özelliklerinin saptanması, iklim koşullarına, su potansiyeline ve jeolojik formasyonlara bağlı olarak ülkeden ülkeye değişir. Genel olarak içme sularının sıcaklığı 7-10 °C arasında bulunmaktadır. 5 °C alt sınır, 18 °C üst sınır kabul edilir. İnceleme alanında bulunan suların sıcaklığı Gülbahçe Kaplıcası ve Ilıksu Kaplıcası kaynakları dışında 18 °C geçmemektedir(Şahinci,1991) .

İçme suları renksiz ve kokusuz olmalıdır. İçinde hastalık yapan hiçbir bakterinin bulunmaması gerekir. Elektriksel iletkenlik (EC) 2200 mikro mho/cm' yi, toplam sertlik (Fransız) 45' i, buharlaşma kalıntısı 1500 mg/l' yi, klorür miktarı 750 mg/l' yi geçmemelidir. İnceleme alanında İçmeler Kaynağı ve Ilıksu ile Gülbahçe Kaplıca suları bu sınırlar dışında kalmaktadır. İyi bir içme suyunda toplam iyon miktarı 7,5 mek/l'yi geçmez. 15 mek/l' den daha fazla toplam iyonu bulunan sular ancak zorunlu koşullarda içilebilir. İçme ve kullanma sularının pH' ı, 7-8,5 arasında değişir. İçme suları aşındırıcı, çürütücü ve kabuk yapıcı olmamalıdır. Schoeller tarafından geliştirilen ve suyun EC, sertlik (Fr), Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} (mg/l) miktarına göre suların içilebilirlik diyagramı oldukça yaygındır. Aşağıdaki çizelgede suların kimyasal analiz sonuçlarına göre içilebilme özellikleri verilmiştir

Çizelge 3.33 İnceleme alanındaki suların kimyasal analiz sonuçlarına göre içilebilirlik özellikler

SU NOKTASI	EC (mmho/cm)	SERTLİK (Fr)	Na ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
Ilıksu 1	52700	369.42	9565	16500	1884
Ilıksu 2	51600	366.36	8470	14450	1994
Gulbahçe Kaplıcası	45600	424.86	11659	17750	2125
K ₁	710	40.84	27	65	37
K ₂	600	37.27	31	76	45
Saraç Çeşme	900	26.40	55	28	46
Burgaz Çeşme	720	33.85	27	35	45
K ₃	652	24.28	35	35	71
K ₄	754	30.75	30	67	42
Ova Kaynağı	950	25.87	50	45	55
İçmeler Kaynağı	4730	74.35	952	1800	231
Gulbahçe Kaynağı	510	7.88	10	22	12
K ₅	2630	47.78	48	170	44
K ₆	510	19.52	10	31	102
K ₇	620	38.05	90	210	76
Karapınar	1700	29.33	190	380	55

Schoeller içilebilirlik sınıflamasına göre Gülbahçe ve Ilıksu Kaplıca suları kesinlikle içilemez. İçmeler kaynağı zorunlu olmadıkça içilmeyen sulardır. Özellikle Gülbahçe kaynağı kaliteli sulardır. Diğer sular orta ile çok iyi arasında değişen içilebilir sular sınıfına girer.



Şekil 3.23. Schoeller'e göre suların içilebilirlik diyagramı

3.11.2 Suların Sulama Özellikleri

Suda çözülmüş iyon miktarı fazla ise bitkilere ve tarımsal toprağa fiziksel ve kimyasal yollarla etkiyerek verimi düşürür. Bu iyonların fiziksel etkisi, bitki yapısındaki hücrelerde osmotik basıncı azaltarak suların dal ve yapraklara erişmesini engeller. Kimyasal yolla ise bitki metabolizmasını bozarlar. Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum iyonları ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini ve havalanmasını azaltır. Dolayısıyla bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Bitkilerin sudaki tuzlara karşı dirençleri farklı olduğundan, sulama için kullanılan suların tuz derişiminin üst sınırını vermek güçtür.

Bitki gelişmesi ile su kalitesi arasındaki ilgi yanında toprağın akaçlaması da önemli yer tutar. Geçirgenliği fazla, akaçlaması iyi tarım topraklarında su, tuzlu da olsa bitkilerin gelişmesini engellemez. Tersine geçirgenliği ve akaçlaması kötü zeminlerde su az tuzlu olsa bile, bitki köklerinde tuz birikimleri oluşarak bitkilerin gelişmesi güçleşir.

Sonuç olarak; bitkilerin gelişmesini su kalitesinden başka toprağın cinsi, geçirgenliği, akaçlaması, iklim koşulları, kullanılan su miktarı, bitki türü, sulama şekilleri ve uygulanan yetiştirme yöntemleri gibi özellikleride etkiler.

Sulama sularının kimyasal özelliklerini saptamak için çeşitli yöntemler önerilmiştir.

3.11.2.1 Sodyum Tehlikesi (SAR) :

Sulama sularında sodyum iyonunun fazla olması, toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltır. Sulamadan sonra zeminin üst yüzeylerinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur ve bitki köklerinin havalanması engellenir. Ayrıca bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Sudaki sodyum miktarı % olarak şöyle bulunur ;

$$\% Na = 100 (Na + K) / (Ca + Mg + K + Na)$$

Yukarıdaki bağıntının farklı biçimde ifadesi şöyledir ;

$$\text{Sodyum Adsorption Ratio (SAR)} = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2}$$

Bağıntılarda, iyonlar mek/l alınır.

SAR' a göre sulama suları aşağıdaki şekilde sınıflanır ;

Çizelge 3.34 % SAR'a göre sulama sularının sınıflanması

SUYUN NİTELİĞİ	SAR (%)
Çok iyi özellikteki sulama suları	< 10
İyi özellikteki sulama suları	10-18
Orta özellikteki sulama suları	18-26
Fena özellikteki sulama suları	> 26

İnceleme alanındaki su noktaları SAR' a göre sınıflanırsa; Gülbahçe Kaplıcası ve Ilıkso Kaplıcası kaynakları fena özellikte, İçmeler Kaynağı iyi özellikte, diğer su noktaları ise çok iyi özellikteki sulama suları sınıfına girer.

3.11.2.2 Sulama Sularının Wilcox' a Göre Sınıflaması

Wilcox sulama sularını % Na, klorür, sülfat, bor ve elektriksel iletkenliğe karşı duyarlılıklarına göre sınıflar. Bu çalışmada yapılan kimyasal analizlerde bor tahlili yapılmadığından bor tehlikesine değinilmemiştir.

Wilcox ayrıca düşey ekseninde % Na miktarı ve yatay ekseninde EC miktarını belirten suların sulama amacıyla kullanılmasına ilişkin diyagram geliştirmiştir (Şekil 3.25). Verilen EC yatay ekseninde bulunarak, bu noktadan yatay eksene bir dik çıkılır ve % Na' dan çizilen paraleli kestiği nokta suyun özelliğini verir.

İnceleme alanındaki suların % Na, rCl, rSO₄ ve EC değerleri Çizelge 3.37’de belirtilmiştir. Burada “r” mek/l’ yi tanımlar.

Çizelge 3.35 İnceleme alanındaki suların % SAR’a göre sınıflanması

SU NOKTASI	SAR (%)	SUYUN NİTELİĞİ
Ilıksu 1	66.080	Fena özellikteki sulama suları
Ilıksu 2	60.868	Fena özellikteki sulama suları
Gulbahçe Kaplıcası	77.804	Fena özellikteki sulama suları
K ₁	0.581	Çok iyi özellikteki sulama suları
K ₂	0.696	Çok iyi özellikteki sulama suları
Saraç Çeşme	1.478	Çok iyi özellikteki sulama suları
Burgaz Çeşme	0.641	Çok iyi özellikteki sulama suları
K ₃	0.977	Çok iyi özellikteki sulama suları
K ₄	0.744	Çok iyi özellikteki sulama suları
Ova Kaynağı	1.360	Çok iyi özellikteki sulama suları
İçmeler Kaynağı	15.183	İyi özellikteki sulama suları
Gulbahçe Kaynağı	0.490	Çok iyi özellikteki sulama suları
K ₅	0.955	Çok iyi özellikteki sulama suları
K ₆	0.321	Çok iyi özellikteki sulama suları
K ₇	1.996	Çok iyi özellikteki sulama suları
Karapınar	4.821	Çok iyi özellikteki sulama suları

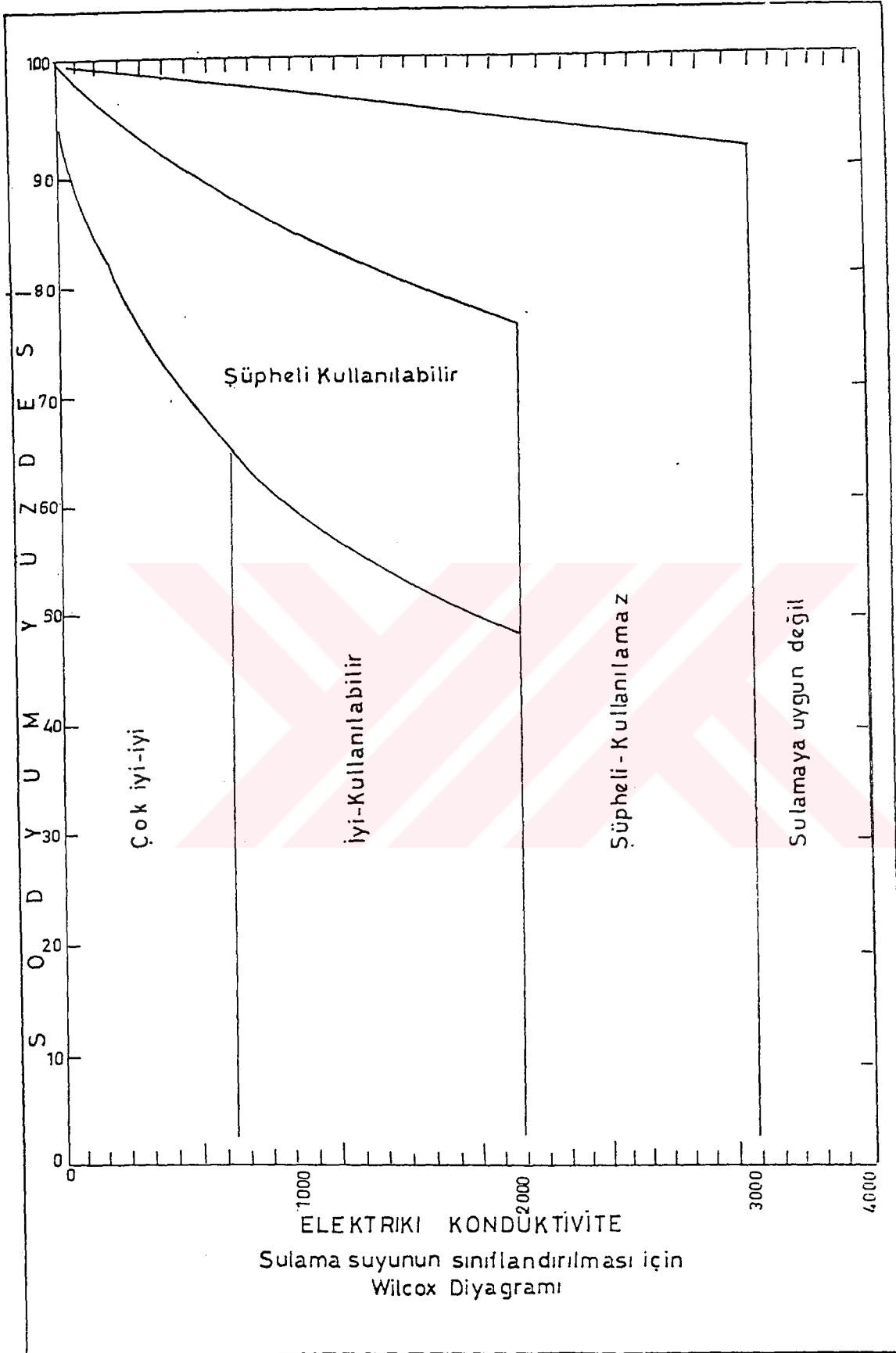
Çizelge 3.36 Sulama sularının Wilcox’a göre sınıflanması

SUYUN SINIFI	% Na	r Cl	R SO ₄ ⁼	EC (mmho/cm)
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

Wilcox diyagramına göre Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu Kaplıcası kaynağı sulamaya uygun değildir. Ova Kaynağı, K₂, K₃ ve K₆ su noktaları “iyi-kullanılabilir” sınıfına, diğer su noktaları ise “çok iyi-iyi” sınıfına girmektedir.

Çizelge 3.37 İnceleme alanındaki su noktalarının sulama amaçlı Wilcox sınıflamasındaki yeri (bor hariç)

SU NOKTASI	% Na	r Cl ⁻	r SO ₄ ⁼	EC (mmho/cm)
Ilıksu 1	84.19	465.06	39.25	52700
Ilıksu 2	83.64	407.28	41.54	51600
Gulbahçe Kaplıcası	85.80	500.30	44.27	45600
K ₁	14.10	1.83	0.77	710
K ₂	17.01	2.14	0.99	600
Saraç Çeşme	31.42	0.79	0.96	900
Burgaz Çeşme	15.26	0.99	0.94	720
K ₃	25.15	0.99	1.48	652
K ₄	17.78	1.90	0.88	754
Ova Kaynağı	29.81	1.27	1.15	950
İçmeler Kaynağı	73.69	50.73	4.81	4730
Gulbahçe Kaynağı	25.11	0.62	0.25	510
K ₅	18.15	4.79	0.92	2630
K ₆	15.22	0.87	2.13	510
K ₇	33.88	6.00	1.58	620
Karapınar	57.67	11.00	1.15	1700



Şekil 3.24. Suların sulamada kullanılmasına yönelik ve Wilcox diyagramı

3.11.2.3 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

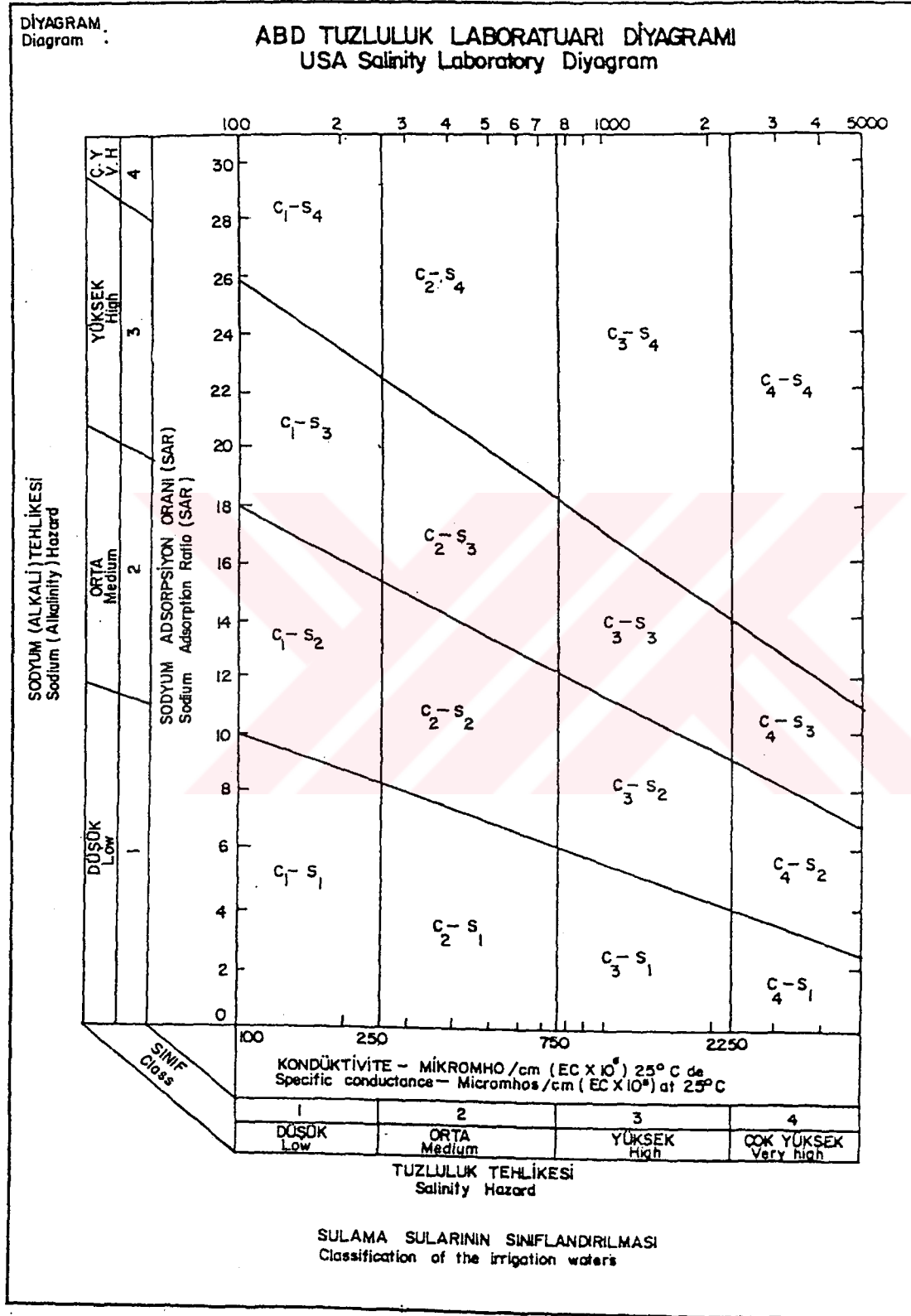
Wilcox diyagramında bazı değişiklikler yapılarak hazırlanan bu diyagramda sulama suları 16 sınıfa ayrılmıştır. Düşey ekseninde SAR değeri, yatay ekseninde EC bulunur. Suyun sınıfının saptanması Wilcox diyagramında olduğu gibidir. Bu diyagramın yorumu şöyledir ;

(i) Genel Tuzluluk Özellikleri

- **C₁ (EC 250 mmho/cm' den az), az tuzlu sular** : Her toprakta tüm bitkilerin sulamasına uygundur.
- **C₂ (EC 250-750 mmho/cm), orta tuzlu sular** : Orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.
- **C₃ (EC 750-2250 mmho/cm), tuzlu sular** : Akaçlaması kötü olan arazilerde ve sulamada kullanılamaz. Zeminde tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa tuza karşı dayanıklı bitkiler seçilmelidir.
- **C₄ (EC 2250 mmho/cm' den fazla), çok tuzlu sular** : Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlama için bol su verilmelidir. Tuza karşı çok dayanıklı bitki türleri seçilmelidir.

(ii) Sodyum Tehlikesi Özellikleri

- **S₁ (az sodyumlu sular)** : Hemen hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.
- **S₂ (orta sodyumlu sular)** : Geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir. Yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılabiliyorsa özellikle bu tip sular kullanılmalıdır.
- **S₃ (yüksek sodyumlu sular)** : Birçok toprak cinslerinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanarak belirli sürelerde yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir.



Şekil 3.25. Sulama suları için geliştirilen ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı

- **S₄ (çok yüksek sodyumlu sular) :** Genel olarak sulama için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşük ise sulamada kullanılabilir.

Böylece C₁S₁, C₂S₁, C₃S₁ her türlü sulamada, C₄S₁, C₃S₂ bazı özel koşullarda kullanılabilir. C₄S₂ ve C₄S₃ sulamada kullanılmaz. İnceleme alanında bulunan sulardan Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu Kaynağı ve İçmeler Kaynağı C₄S₃ sınıfına girmektedir ve sulamada kullanılmamalıdır. Gülbahçe Kaynağı C₁S₁, Ova Kaynağı ile K₂, K₃ ve K₇ kuyuları C₃S₁, diğer su noktaları ise C₂S₁ sınıfına girmektedir ve her türlü sulamada kullanılabilir.

3.11.3 Suların Endüstride Kullanılma Özellikleri

Endüstride kullanılan suların özellikleri, kullanma amacına göre değişir. Buhar kazanlarında kullanılan sularda köpürme çok önemlidir. Suların köpürmesi, kaynama sırasında su yüzeyine biriken köpüklerden ileri gelir. Bu olayda su fişkırmaları ve önemli su değişimleri buharlaşmayı, kazan sistemlerini olumsuz yönde etkiler. Suların kaynarken köpürmesinin nedeni, su yüzeyinde sodyum ve potasyum tuzlarınca çok zengin bir zar tabakasının oluşmasıdır. Suyun kaynarken köpürmesi (F), aşağıdaki bağıntıya göre sınıflanır ;

$$F = rNa^{+} + 78rK^{+} \quad (r = \text{mek/l})$$

Bu bağıntıya göre suların köpürmesi ;

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

İnceleme alanındaki suların köpürme özellikleri çizelge 3.38 'de verilmiştir.

Çizelge 3.38 İnceleme alanındaki suların köpürme özellikleri

SU NOKTASI	F DEĞERİ	YORUMU
Ilıksu 1	26277.1	Kaynarken çok köpüren sular
Ilıksu 2	23324.1	Kaynarken çok köpüren sular
Gulbahçe Kaplıcası	31956.3	Kaynarken çok köpüren sular
K ₁	86.8	Kaynarken köpüren sular
K ₂	88.5	Kaynarken köpüren sular
Saraç Çeşme	150.4	Kaynarken köpüren sular
Burgaz Çeşme	75.9	Kaynarken köpüren sular
K ₃	102.8	Kaynarken köpüren sular
K ₄	83.3	Kaynarken köpüren sular
Ova Kaynağı	136.1	Kaynarken köpüren sular
İçmeler Kaynağı	2585.4	Kaynarken çok köpüren sular
Gulbahçe Kaynağı	35.0	Kaynarken köpürmeyen sular
K ₅	131.4	Kaynarken köpüren sular
K ₆	47.2	Kaynarken köpürmeyen sular
K ₇	242.4	Kaynarken çok köpüren sular
Karapınar	512.5	Kaynarken çok köpüren sular

Bu sınıflamaya göre inceleme alanındaki sulardan Gülbahçe Kaplıcası, Ilıksu Kaplıcası kaynakları ve İçmeler Kaynağı kaynarken çok köpüren sular sınıfına girer.

Beton yapımında kullanılan sularda genellikle sülfat, 150 mg/l ve serbest CO₂, 20 mg/l üst sınır olarak kabul edilir. Suda sülfatın derişim miktarı betonun parçalanmasında önemlidir. Suda bulunan sülfat miktarına göre betonların etkiye dereceleri şöyledir.

Çizelge 3.39 Sudaki sülfat miktarına göre betonların etkiye dereceleri

ETKİME DERECEİ	SUDAKİ SO ₄ ²⁻ (mg/l)
Pratik olarak yok	0-150
Etkime var	150-1000
Önemli	1000-2000
Çok önemli	> 2000

Bu sınıflamaya göre inceleme alanındaki sulardan Ilıksu ve Gülbahçe Kaplıcası sularının betona etkisi çok önemlidir.



Bölüm 4

ÖZET VE SONUÇLAR

1. Bu çalışmada Gülbahçe Körfezi çevresinde yaklaşık 150 km²'lik bir alanda yeraltı suyu taşıyan formasyonlar hidrojeolojik olarak incelenmiştir. İnceleme alanında litolojik ve hidrojeolojik özellikleri birbirinden farklı yedi ayrı kaya birimi bulunmaktadır. Yeraltı suyu içeriği bakımından en zengin birim İçmeler kireçtaşı birimidir. Kireçtaşı ile yersel dolomitik kireçtaşlarından yapılı olan birim “karstik akifer” niteliğindedir. Yağcılar biriminde yer alan kireçtaşı düzeyleri akifer seviyeyi oluşturur. Birim içinde yer alan killi düzeyler ise basınç etkisi yaratır. Gülbahçe volkanik birim içindeki andezitler az miktarda, fakat oldukça kaliteli yeraltı suyu içerir. İnceleme alanında yeraltı suyu içeriği olarak en uygun diğer birim ise alüvyondur.
2. İnceleme alanında üçü sıcak su olmak üzere 16 değişik noktadan su örnekleri alınmış, örnek alınan su noktaları 1 / 1 200 000 ölçekli topoğrafya haritasında belirtilmiştir.
3. Alınan su örneklerinin kimyasal analizleri yapılarak Na⁺, K⁺, Ca⁺, Mg⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄⁼ ve Si miktarları (mg / l) ile EC ve pH değerleri saptanmıştır. Bu çalışmada yapılan kimyasal analiz sonuçları ile geçmiş yıllarda yapılan kimyasal analiz sonuçları karşılaştırılmış ve büyük ölçüde bir değişime rastlanmamıştır.
4. Gülbahçe Kaplıcası ile Ilıksu 1 ve Ilıksu 2 Kaplıcaları, inceleme alanının sıcak su noktalarını oluşturur. Bu noktalar gerek sıcaklık gerekse kimyasal özellikleri ile büyük ölçüde birbirine benzemektedir. “Açık Jeotermal Sistem” sınıfına giren sıcak su noktalarının hazne kayası İçmeler kireçtaşı birimi, örtü kayası Yağcılar birimidir. Isı kaynağı ise tektonik hatlar boyunca yükselen genç volkanik etkinliklerdir.

5. Jeotermometre bağıntıları ile saptanan hazne kaya sıcaklıkları üç sıcak su noktasında da çok düşük çıkmaktadır (100-150 °C). Kökenini deniz suyunun oluşturduğu sıcak su kaynakları, yüzeye erişirken büyük oranda deniz suyu karıştığından hazne kaya sıcaklıkları çok düşüktür.
6. Gülbahçe Kaplıcası Söğütköy fayının yarattığı süreksizlik boyunca yüzeyler. Ilıksu Kaplıcası kaynakları inceleme alanında bulunan Söğütköy fayı ile Kapıkaya fayının doğrultusu boyunca ilerlenildiğinde, fayların kesişme noktasında bir seri halinde yüzeyler.
7. Scholler sınıflamasına göre İçmeler Kaynağı, orta klorürlü, oligosülfatlı; Gülbahçe Kaplıcası ve Ilıksu Kaplıcası kaynakları ile Deniz suyu klorotalasik, hiposülfatlı, diğer su noktaları ise olağan klorürlü ve olağan sülfatlı sulardır.
8. Gülbahçe volkanik biriminden kaynaklanan suların sertlikleri çok düşüktür ve memba suyu niteliğindedir. İnceleme alanında bulunan Ilıksu Kaplıcası kaynakları ve Gülbahçe Kaplıcası çok sert sular sınıfına girer.
9. İncemen su örnekleri kalsit, dolomit, jips doygunluğu ve CO₂ kısmi gaz basıncı ile endüstride kullanılma açısından irdelenmiştir.

KAYNAKLAR

- Arnorsson, S. (1978). Aquifer Chemistry of Four High Temperature Geothermal System in Iceland. Geochimica et Cosmochimica Acta, 42, 523-536.
- Borsi, S. & et al. (1973). Geochronology and Petrology of Recent Volcanics in the Eastern Aegan Sea (West Anotolia and Lesbos Island). Bull. Volkanal. 36, 473-496.
- Canik, B. (1998) Hidrojeoloji. A.Ü. Fen Fak. Ankara, 5, 105-117.
- Conrad, M.A., Hipfel., & Satır, M.(1997). Chemical and Stable Isotopic Characteristics of Thermal Waters From the Çeşme-Seferihisar Area, İzmir (W. Turkey). 669-679.
- Eşder, T. ve Çağlav, F. (1986). Ilıksu Jeotermal Kaynakları Etüd Raporu. M.T.A. Genel Müd., İzmir, 1-5.
- Filiz, Ş. (1982). Ege Bölgesindeki Önemli Jeotermal Alanların O^{18} , H^2 , H^3 , C^{13} İzotoplarıyla incelenmesi. Doçentlik tezi. E.Ü.Y.B.F. (Yayınlanmamış).
- Filiz, Ş. ve Yalçın, L. (1984). Ildır-Balıklıova Karbonat Köprüsünün Karst Hidrojeolojisi, (Karaburun Yarımadası). TJK Bült., 5, 189-197.
- Filiz, Ş. ve Tarcan, G. (1990). Gülbahçe Körfezi (İzmir) Güneyindeki Alanın Hidrojeolojik, Jeokimyasal ve İzotopsal İncelenmesi. TPJD Bült., 2, 69-81.

- Filiz, Ş., ve Tarcan, G. (1991). Urla-İçmeler (İzmir) Çevresinin Korumaya Yönelik İmar Plânlarının Hazırlanmasında Hidrolojik, Hidrojeolojik, Jeokimyasal ve İzotopik Bulguların Değerlendirilmesi. A.Ü. Isparta Müh. Fak. Derg., 6, 131-142.
- Filiz, Ş., Tarcan, G. ve Gemici, Ü. (1998). Çevre Jeolojisi ve Yeraltı Suyu Kimyası Dersleri Aydın-Denizli-Alaşehir-Salihli Jeotermal Alanları Teknik Gezisi Klavuzu. D.E.Ü., Jeoloji Müh. Böl., İzmir, 8-9.
- İ.Ü.T.F. (1971). Türkiye Maden Suları. İstanbul, 90-93.
- Reman, R. (1942). Şifalı Suları Kullanma İlmi, Balneoloji ve Şifalı Kaynaklarımız. İstanbul. 416-420.
- Savaşçın, M.Y. (1978). Foça- Urla Neojen Volkanitlerinin Mineralojik Jeokimyasal Özellikleri ve Soğuk Sularla İlişkileri. E.Ü.Y.B.F., Profesörlük tezi (Yayınlanmamış).
- Şahinci, A. ve Gümüş, H. (1984). Urla-Gülbahçe Ilıcası ve Malkaça İçmesi Hidrojeoloji İncelemesi. TJK Bült., 5, 199-206
- Şahinci, A. (1991). Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, İzmir, 83-131.
- Şahinci, A. (1991). Doğal Suların Jeokimyası. D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, İzmir, 175-244.
- Şahinci, A. (1991). Karst. D.E.Ü. Müh. Mim. Fak. Yayınları, İzmir, 1-4.
- Tarcan, G. (1989). Urla-İçmeler (İzmir) ve Çevresinin Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelenmesi, Yeraltı Sularının Jeokimyasal Yorumlanması. Yüksek Lisans tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enst., İzmir, 50-153.