

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZİGA-YAPRAKHİSAR (AKSARAY) SICAK VE MİNERALLİ KAYNAK
ALANLARINDAKİ TRAVERTEN ÇÖKELİMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN SU
KİMYASI VE İZOTOPIK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

GÖKÇEN DURU

Haziran 2006

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ZİGA-YAPRAKHİSAR (AKSARAY) SICAK VE MİNERALLİ KAYNAK
ALANLARINDAKİ TRAVERTEN ÇÖKELİMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN SU
KİMYASI VE İZOTOPIK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Gökçen DURU

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Doç. Dr. Mustafa AFŞİN

Haziran 2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından.....ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Üniversite)

Üye :.....

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Üniversite)

Üye :.....

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Üniversite)

Üye :.....

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Üniversite)

Üye :.....

(Ünvan, Adı ve Soyadı) (Üniversite)

ONAY:

Bu tez. .. / .. /20... tarihinde, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun / ... / tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../200..

Doç. Dr. Meysun İBRAHİM

Enstitü Müdürü

ÖZET

ZİGA-YAPRAKHİSAR (AKSARAY) SICAK VE MİNERALLİ KAYNAK ALANLARINDAKİ TRAVERTEN ÇÖKELİMİNDE ETKİLİ OLAN FAKTÖRLERİN SU KİMYASI VE İZOTOPIK YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

DURU, Gökçen

Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mustafa AFŞİN

Haziran 2006, 117 sayfa

Aksaray ve çevresindeki sıcak ve mineralli sular Tuzgölü fay kuşağına paralel ve/veya verev faylar boyunca açığa çıkmaktadır. Hasandağı volkanizmasının etkin olduğu bölgedeki jeotermal suların asıl akiferi temelde yer alan mermerler; örtü kayaları evaporitler, tüfler, Hasandağı külleri ve diğer geçirimsiz birimler; ısıtıcı kayası ise granitlerdir. Sıcaklıkları (°C) 26-61 arasında değişen sıcak ve mineralli sular izotop değerlerine göre meteorik kökenlidir. Su türleri Acıgöl (AGMS)'de Ca-Na-HCO₃-Cl ve Tuzlusu (TZMS) ile Ziga (ZSMS)'de Na-Ca-Cl-HCO₃ şeklindedir. Hidrojeokimyasal anlamda olgun olmayan özellikli suların akifer sıcaklıkları farklı jeotermometrelerle TZMS'de 45°C, AGMS'de ise 80°C dolayında hesaplanmıştır. Karışım özelliği gösteren sulardan TZMS'de karışım oranının en fazla olması, jeotermal sistemin en sığ bölümünde bulunan bu suların diğer sulara göre yüzeye yükselimi sırasında daha fazla ısı kaybına uğramış olduğunun göstergesidir. $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine göre sulardaki yüksek CO₂'in bir bölümü denizel karbonat kökenlidir. Çoğunluğu kalsitten oluşmuş kaynak alanlarında çökelişi devam etmekte olan travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri iyi

pozitif korelasyon katsayısına ($r^2=0.86$) sahiptir. Yüksek kotlardan beslenen, sıcaklığı fazla ve evaporitlerle ilişkisi bulunmayan suların kaynak alanlarındaki travertenlerde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri dūşüktür.

Anahtar kelimeler Sıcak ve mineralli su, traverten, CO_2 , karışım oranı, Aksaray

SUMMARY

EVALUATION OF FACTORS INDUCED TRAVERTINE DEPOSITING ZİGA-YAPRAKHİSAR THERMAL-MINERAL WATERS IN AKSARAY BY USING HYDROCHEMICAL AND ISOTOPIC METHODS

DURU, Gökçen

Niğde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor : Doç. Dr. Mustafa AFŞİN

June 2006, 117 pages

Thermal-mineral waters in Aksaray and its vicinity emerge along the faults, parallel to Tuzgölü fault zone and oblique to these faults. The marbles in the basement are of the main aquifers, evaporites, tuffs, Hasandağı ashes and the other impermeable units are cap rocks and granites are heat rocks of the waters in region dominating Hasandağı volcanism. The thermal-mineral waters having 26-61 (°C) temperatures are of meteoric origin for isotopic results. Water types of the waters are Ca-Na-HCO₃-Cl in Acıgöl (AGMS) and Na-Ca-Cl-HCO₃ in Tuzlusu (TZMS)-Ziga (ZSMS), respectively. Aquifer temperatures of the immatured waters from hydrogeochemical viewpoint are calculated as 45°C for TZMS and 80°C for AGMS by different geothermometers. All the waters are mixed groundwaters. The mixing ratios of cold waters are minimum in TSMS and this result may suggest that TZMS is located at the most shallow part of the geothermal system compared to the other geothermal waters and has much more heat-

loss enroute to surface. A part of CO₂ of the waters is of marine carbonate origin according to the results of $\delta^{13}\text{C}$ and recent travertine depositions are going on the springs' areas. Travertines are almost formed by calcite mineral. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ values of the travertines have good positive correlation coefficient ($r^2=0.86$). $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of the travertines in the areas of springs having high temperature are lower, but are recharged from high altitudes and not conducted by evaporites.

Key words: Thermal-mineral waters, travertine, CO₂, mixing ratio, Aksaray

TEŞEKKÜR

Öncelikle, bu tezin hazırlanabilmesi için değerli katkılarını esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. Mustafa AFŞİN'e teşekkürlerimi sunarım.

İnce kesit fotoğraflarının çekilmesi ve yorumlanması konusunda yardımcı olan Yard. Doç. Dr. Ali GÜREL'e, su kimyası ve izotop örneklemelerinde yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Özcan ORUÇ'a şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı ÇAYDAG 104Y197 numaralı proje ile mali açıdan destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na çok teşekkür ederim.

Ayrıca, her konuda yardımlarını esirgemeyen aileme, eşime ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	1
1.2 İnceleme Alanı	1
1.3 Veri Toplama ve Yöntem	2
1.4 Önceki Çalışmalar	3
BÖLÜM II İNCELEME ALANININ BÖLGESEL JEOLJİSİ	6
2.1 Genel Jeoloji	6
2.1.1 Bozçaldağ Metamorfiti	8
2.1.2 Selime Tüfleri	8
2.1.3 Kızılkaya İgnimbiritleri	8
2.1.4 Hasandağı Külleri	9
2.1.5 Traverten	10
2.2 Kayaçların Hidrojeoloji Özellikleri	10
2.3 Yapısal Jeoloji	11
2.3.1 Faylar	11
2.3.2 Sıcak Su Kanalları, Çatlaklar ve Faylar Arasındaki İlişkiler	12

BÖLÜM III SU KİMYASI DEĞERLENDİRMESİ	16
3.1 Sularda Bulunan İyonların Kökenleri	16
3.1.1 Katyonlar ve anyonlar	16
3.2 Suların Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi	19
3.3 Suların Metal İçeriklerinin Grafiklerle Gösterilmesi	23
3.5 Hidrokimyasal Fasiyeler	30
3.6 Doygunluk İndislerinin Hesaplanması	32
BÖLÜM IV İZOTOP HİDROLOJİSİ	35
4.1 Jeotermal İncelemelerde İzotopların Kullanılması	36
4.2 Suların İzotop Verilerinin Değerlendirmesi	37
4.2.1 $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi	37
4.2.2 $\delta^2\text{H}$ - ^3H ilişkisi	39
4.2.3 ^3H -Cl ilişkisi	40
4.2.4 ^3H -EC ilişkisi	41
4.2.5 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{34}\text{S}$ ilişkisi	42
4.2.6 $\delta^{34}\text{S}$ - SO_4 ilişkisi	45
4.3 Jeotermometre Uygulamaları	48
4.3.1 Katyon jeotermometreleri	48
4.3.1.1 Li-Mg jeotermometresi	50
4.3.1.2 Li-Na jeotermometresi	50
4.3.2 SiO_2 jeotermometresi	50
4.3.3 Karışım modelleri	52
4.3.4 Mineral denge-sıcaklık jeotermometresi	53
BÖLÜM V TRAVERTENLER	59
5.1 Travertenin Tanımı, Traverten ve Tufa Çökelişi	59
5.1.1 Traverten oluşum modeli	59
5.2 Traverten Oluşumuna Etki Eden Faktörler	60
5.2.1 Kimyasal Parametreler	61
5.2.1.1 Doygunluk İndeksi	62
5.2.1.2 CO_2 Miktarı ve Kısmi CO_2 Basıncı	62
5.2.1.3 pH Etkisi	63
5.2.1.4 Sertlik ve Alkalinite	63
5.2.1.5 Diğer İyonların Etkisi ve Tuzluluk	63

5.2.1.6 Karışım Korozyonu Etkisi	64
5.2.1.7. Ortak İyon Etkisi.....	64
5.2.1.8. Asit Etkisi	64
5.2.2. Fiziksel Parametreler	64
5.2.2.1. İklim Etkisi	64
5.2.2.2. Karbonatlı Akiferin Hidrolik Özellikleri	66
5.2.2.3. Toprak ve Bitki Örtüsünün Varlığı.....	67
5.2.3. Biyolojik Etkiler	68
5.3 Tuzlusu, Ziga ve Yaprakhisar'daki Traverten Çökelinin İncelenmesi.....	70
5.4 Traverten Çökelim Mekanizmasının Deneysel Arazi Çalışmaları ile Belirlenmesi	71
5.5 Kaynak Alanındaki Travertenlerin Ayrıntılı İncelenmesi (Makro ve Mikro Özellikleri).....	96
5.5.1 Çatlak sırt tipi laminalı traverten	101
5.5.2 Mikroteras havuzları	102
5.5.3 Travertenlerin mikro özellikleri.....	103
5.6 Travertenlerin İzotopik Özellikleri	106
5.7 Ziga-Yaprakhisar Sıcak ve Mineralli Sularının Oluşturabileceği Bazı Çevresel Problemler.....	107
5.8 Ziga Sıcak ve Mineralli Sularının Sağlık Açısından Değerlendirilmesi.....	107
BÖLÜM VI SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
KAYNALAR.....	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (mg/l) (Mayıs 2005)	17
Çizelge 3.2 İnceleme alanındaki suların diğer analiz sonuçları (mg/l) (Mayıs 2005)..	17
Çizelge 3.3 İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (mg/l) (Kasım 2005)	18
Çizelge 3.4 İnceleme alanındaki suların diğer analiz sonuçları (mg/L) (Kasım 2005) ..	18
Çizelge 3.5 Sularda bulunan iyonların dizilimleri ve su türleri.	20
Çizelge 3.6 İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk değerleri (Mayıs 2005) ...	33
Çizelge 3.7 İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk değerleri (Kasım 2005) ...	33
Çizelge 4.1 İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları (Mayıs 2005)	38
Çizelge 4.2 İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları (Kasım 2005)	38
Çizelge 4.3 İnceleme alanındaki suların $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C analiz sonuçları ..	44
Çizelge 4.4 İncelenen sıcak ve mineralli suların hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C).....	51
Çizelge 4.5 İncelenen sıcak ve mineralli suların hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C).....	51
Çizelge 4.6 Karışım oranları (Mayıs 2005)	52
Çizelge 4.7 İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların, mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi ile hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları (°C)	53
Çizelge 5.1 Traverten çökeltim alanlarındaki deneysel çalışma noktalarına ilişkin ölçüm değerleri (8 Nisan 2006).	73
Çizelge 5.2 İnceleme alanındaki travertenlerden alınmış örneklerin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop analiz sonuçları.	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası [1].....	5
Şekil 2.1 İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [66]	6
Şekil 2.2 İnceleme alanının jeoloji haritası [5]	7
Şekil 2.3 Ziga Kaplıcası ve çevresinin jeolojik enine kesitleri [5]	12
Şekil 2.4 Hasan Dağı, Ziga-Yaprakhisar ve Ihlara sahalarının hidrotermal sistem model taslağı (Model [66]'dan kısmen değiştirilerek alınmıştır).	14
Şekil 2.5 Ziga sıcak su sondajı ve kaynak alanı ile Hasan Dağı-Ziga alanının hidrotermal sistem modeli taslağının A-A' boyunca jeolojik enine kesiti (kesit [66]'dan kısmen değiştirilerek alınmıştır).	15
Şekil 3.1 İnceleme alanındaki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramları (A: Mayıs 2005; B: Kasım 2005).....	21
Şekil 3.2 İncelenen suların Piper diyagramları (A: Mayıs 2005; B: Kasım 2005).....	22
Şekil 3.3 İncelenen suların Durov diyagramları (A: Mayıs 2005; B: Kasım 2005)	23
Şekil 3.4 İncelenen sulardaki bazı ağır metallerin değişim grafikleri (Mayıs 2005).....	24
Şekil 3.5 İncelenen sulardaki bazı ağır metallerin ve diğer iyonların değişim grafikleri (Mayıs 2005).....	25
Şekil 3.6 İncelenen sulardaki SiO ₂ 'nin değişim grafiğı (Mayıs 2005)	26
Şekil 3.7 İncelenen sulardaki bazı metallerin değişim grafikleri (Kasım 2005)	27
Şekil 3.8 İncelenen sulardaki bazı ağır metal iyonlarının değişim grafikleri (Kasım 2005)	28
Şekil 3.9 İncelenen sulardaki SiO ₂ 'nin değişim grafiğı (Kasım 2005).....	29
Şekil 3.10 Hidrokimyasal fasiyesler (A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005).	30
Şekil 3.11 Bazı iyonların analiz sonuçlarının grafiklerle gösterimi. (*: Mayıs 2005; **: Kasım 2005).....	31
Şekil 3.12 İnceleme alanındaki suların doygunluk indislerinin grafiksel değerlendirmesi (Mayıs 2005).....	34

Şekil 3.13 İnceleme alanındaki suların doygunluk indislerinin grafiksel değerlendirmesi (Kasım 2005).	34
Şekil 4.1 İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005).....	39
Şekil 4.2 İncelenen suların ^{18}O - ^3H diyagramı (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005).....	40
Şekil 4.3 İncelenen suların ^3H -Cl diyagramı (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005).....	41
Şekil 4.4 ^3H -EC ilişkisi (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005).....	42
Şekil 4.5 Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz, (1997)'e göre değerlendirmesi.	44
Şekil 4.6 İnceleme alanındaki suların ^{14}C ve $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ değişimleri	45
Şekil 4.6 İnceleme alanındaki suların ^{14}C (yüzde modern karbon) ve $^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ değişimleri	45
Şekil 4.8 İnceleme alanındaki suların SO_4 - $\delta^{34}\text{S}$ grafiği.....	47
Şekil 4.9 Suların Na-K-Mg üçgen diyagramı [40] üzerindeki dağılımı (Mayıs 2005)...	50
Şekil 4.10 Suların Na-K-Mg üçgen diyagramı [40] üzerindeki dağılımı (Kasım 2005).	50
Şekil 4.11 İncelenen suların karışım oranları (Mayıs 2005).....	53
Şekil 4.12 Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58]'nin gösterimi.	55
Şekil 4.13 Yaprakhisar sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58]'nin gösterimi.	56
Şekil 4.14 Koçpınar kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58]'nin gösterimi.....	57
Şekil 4.15 Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58]'nin gösterimi	58
Şekil 4.16 Ziga sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58]'nin gösterimi.	59
Şekil 5.1 Karbonatlı kayaçların çözünmesi [31].....	60
Şekil 5.2 Biyojenik kökenli traverten çökeliminin organik ve inorganik aşamaları [27]	69
Şekil 5.3 Deneysel çalışma alanı güzergâhı.....	74
Şekil 5.4 Tuzlusu ölçüm değerlerinin grafikleri	85-86
Şekil 5.5 Yaprakhisar yukarı kaynağın ölçüm değerlerinin grafikleri	87-88
Şekil 5.6 Yaprakhisar aşağı kaynağın ölçüm değerlerinin grafikleri	89-90

Şekil 5.7 Ziga sıcak ve mineralli su kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri.....	91-92
Şekil 5.8 Koçpınar Sarısu kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri	93-94
Şekil 5.9 Koçpınar Aksu kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri	95
Şekil 5.10 İnceleme alanındaki travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$ grafiği.....	106

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Foto 2.1 Selime tüfleri (Ts) ve Kızılkaya ignimbirtleri (Tk).	9
Foto 5.1 Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynaklarının (1. Havuz kaynağı) ölçüm güzergâhı.....	75
Foto 5.2 Yaprahisar sıcak ve mineralli su kaynaklarının (yukarı kaynak) ölçüm güzergâhı	76
Foto 5.3 Yaprahisar sıcak ve mineralli su kaynaklarının (aşağı kaynak) ölçüm güzergâhı ve ölçüm noktaları	77-78
Foto 5.4 Ziga sıcak ve mineralli su kaynaklarının ölçüm güzergâhı (A-B: 4,5m, B-C: 3m).....	79
Foto 5.5 Helvadere soğuk su kaynakları (1: Soğuk su kaynağı 1, 2: Soğuk su kaynağı 2).	80
Foto 5.6 Koçpınar (Sarısu) kaynaklarının ölçüm noktaları (1: Sarısu havuz, 2: Sarısu Kaynağı ölçüm noktası A, 3: Sarısu Kaynağı ölçüm noktası B, 4: Sarısu Kaynağı ölçüm noktası C.	81
Foto 5.7 Koçpınar (1: Sarısu ve 2: Aksu) kaynaklarının ölçüm güzergâhları.	82
Foto 5.8 Koçpınar (Aksu) kaynaklarının ölçüm noktaları (1: Aksu Kaynağı ölçüm noktası A, 2: Aksu Kaynağı ölçüm noktası B, 3: Aksu Kaynağı ölçüm noktası C.	83
Foto 5.9 Karbondioksit çıkışları (A: Tuzlusu havuzu, B: Koçpınar (Sarısu) havuzu). ..	84
Foto 5.10 Yaprahisar güncel travertenlerinden görünüşler.	97
Foto 5.11 Ziga güncel travertenlerinden görünüşler.	98
Foto 5.12 Yaprahisar eski ve güncel travertenlerinden (A: Eski travertenler, B: Eski ve güncel travertenler) görünüşler.	99
Foto 5.13 Eski travertenler (Yaprahisar)	100
Foto 5.14 Eski travertenler ve güncel travertenler (Yaprahisar)	100
Foto 5.15 Çatlak sırt tipi traverten oluşumuna örnek (Eski travertenler, Yaprahisar)	101
Foto 5.16 Mikroteras havuz yapıları.....	102
Foto. 5.17 Ziga (1) travertenlerine ait çift nikolde çekilmiş ince kesit fotoğrafları (4X).	103-104

Foto. 5.18 Ziga (2) travertenine ait ince kesit fotoğrafi (4X).	104
Foto. 5.19 Ziga (3) travertenine ait ince kesit fotoğrafi (4X).	105
Foto. 5.20 Yaprakhisar travertenine ait ince kesit fotoğrafi (4X).....	105

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EC	: Özgül Elektriksel İletkenlik (Mikrosimens/cm)
DO	: Çözünmüş Oksijen
UKAM	: Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi
YAS	: Yeraltı suyu
SI	: Doygunluk İndisi
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
m	: Metre
km	: Kilometre
mg/l	: Litrede miligram
mek/l	: Litrede miliekivalen değeri
°C	: Derece Santigrat
TDS	: Toplam çözünmüş madde
K	: Geçirimsizlik (m/s)
T	: İletimsizlik (m ² /s)
TFZ	: Tuzgölü Fay Zonu
SMOW	: standart ortalama okyanus suyu
TU	: Tritiyum birimi
δ	: ‰ (binde)

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Ülkemizde traverten çökelten birçok kaynak bulunmaktadır. Bu kaynaklar, ülke ekonomisine ve kültürüne önemli katkılar sağlayan zenginliklerimizdendir. Bu nedenle traverten çökelten kaynakların bulunması veya var olan kaynakların potansiyelinin artırılması önemlidir. Traverten çökelten kaynaklar ve traverten alanları, son yıllarda bilinçsiz kullanımın yol açtığı birçok tehlikeyle karşı karşıyadır. Bu nedenle bu konuya uzman kişiler tarafından daha profesyonel bir şekilde eğilinmelidir.

Bu kaynakların kökenlerinin değerlendirilmesinde önemli veriler sağlayan traverten çökelim süreçleri ve traverten çökeline etki eden faktörler farklı yöntemlerle incelenmektedir. Sıkça kullanılan hidrojeokimyasal yöntemlerin yanı sıra, son zamanlarda traverten çökeliminde önemli bir etken olan mikroorganizmaların biyokimyasal aktiviteleri üzerinde durulmaktadır.

Bu tezin amacı, Ziga-Yaprakhisar sıcak ve mineralli kaynak alanlarındaki traverten çökeliminde etkili olan faktörleri su kimyası ve izotopik yöntemlerle ayrıntılı şekilde ortaya koymaktır. Bu arada kaynak alanı dışında yer alan soğuk sulardan Helvadere, Koçpınar ve Acıgöl göl suyu ile sıcak ve mineralli sulardan Tuzlusu ve Acıgöl karşılaştırmalı köken değerlendirmesi yapmak için kullanılmıştır.

1.2. İnceleme Alanı

İnceleme alanı, İç Anadolu Bölgesi'nde, Aksaray İli'nin 35 km GD'sinde 1/25000 L32c1 paftasında yer almaktadır (Şekil 1.1). İnceleme alanının stratigrafisini Pliyosen başlarında başlayıp, Kuvaterner'de devam eden Hasandağı volkanizmasının püskürttüğü ignimbirit, volkan külü, tuf gibi çökeller ve andezit oluşturur.

1.3. Veri Toplama ve Yöntem

Yüksek lisans tezi kapsamındaki yapılan çalışmalar, literatür, arazi ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

Literatür çalışmaları, kaynak alanı ve çevresi hakkında jeolojik ve hidrojeolojik verilerin toplanması ve incelenmesi şeklinde yapılmıştır.

Arazi çalışmaları, su kimyası ve izotop analizleri için örneklerinin alınması şeklinde 18–20 Mayıs 2005 ve 18–20 Kasım 2005'te yağışlı ve kurak dönem olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamındaki su noktalarında pH, sıcaklık, iletkenlik (EC), çözünmüş oksijen ve serbest CO₂ ölçümleri yapılmış; bu su noktalarından su kimyası ve izotop (O-18, döteryum, trityum karbon-14 ve kükürt-34) örnekleri gerekli koruyucu kimyasallar katılarak çift kapaklı polietilen plastik şişelere alınmış ve ilgili laboratuvarlara ulaştırılmıştır.

Proje kapsamındaki su noktalarından derlenen su örneklerinin su kimyası ve trityum (³H) izotop analizleri H.Ü. Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi Su Kimyası Laboratuvarı'nda; oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve döteryum ($\delta^2\text{H}$) analizleri ise, DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite ve Kontrol Dairesi İzotop laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Kaynak alanlarından Ağustos 2005 tarihinde alınan traverten örnekleri Aksaray Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarı'nda 110 °C'ta etüvde bir gün süre ile kurutulduktan sonra öğütülmüş ve ardından 45 no.lu elekten geçirilmiştir. Elekten geçen örnekler plastik kaplar içinde Ehleringer Laboratuvarına (Department of Biology, University of Utah) $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ analizleri için gönderilmiştir. ¹⁴C analizleri Geochron Lab. (USA)'da, ve $\delta^{34}\text{S}$ analizleri ise Nevada Stable Isotope Lab. (USA)'da yapılmıştır.

Güncel traverten oluşumlarının devam ettiği kaynak alanlarında çökeltim mekanizmalarını açıklayabilmek için 8 Nisan 2006'da fiziksel parametrelerden pH, sıcaklık, EC, serbest CO₂ ve çözünmüş oksijen (DO) miktarı ölçülmüştür. W.T.W-LT 330 marka Portatif Kondüktivite Metre (SCT), Orion marka "pH Metre" ve YSI- 055 "Oksijen Metre" kullanılmıştır.

Proje kapsamındaki kaynaklar EC değerleri ve su türleri bakımından Helvadere soğuk su kaynakları genç suları; Koçpınar soğuk su, Tuzlusu, Yaprakhisar sıcak ve mineralli kaynakları karışım sularını; Ziga ve Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynakları yaşı suları temsil etmektedir. $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H değerleri bakımından meteorik kökenli olan inceleme alanındaki sular sığ ve hızlı dolaşımlı, karışım suları genelde orta (ara) dolaşımlı, derin dolaşımlı yaşı sular şeklinde üç gruba ayrılmıştır. Sığ dolaşımlı sularda genelde Ca ve HCO_3 'ın, derin dolaşımlı sularda ise Na ve Cl iyonlarının baskın olduğu gözlenmiştir. İçme suyu olarak kullanılan Helvadere kaynağında, bazı iz element değerlerinin yüksek olması bu sulardaki organik kirlenmeye işaret etmektedir. Söz konusu içme suyu kaynak alanlarında koruma kurallarına uyulması gerektiği anlaşılmaktadır. Ziga, Tuzlusu ve Acıgöl sıcak ve mineralli kaynakları CO_2 gazınca zengin olup, kaynak alanlarında suların akım yolu boyunca eski travertenlerin yanısıra güncel traverten çökelimleri de devam etmektedir.

Büro çalışmaları elde edilen veriler doğrultusunda, tez yazımı, grafiklerin hazırlanması ve düzenlemelerinin yapılması, şekillerin ilgili bilgisayar programlarında çizilmesi şeklinde, 2006 yılı, Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları içerisinde yapılmıştır.

Tez yazımında "N.. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans ve Doktora Tez Yazım Kılavuzu, 2006" esas alınmıştır.

1.4 nceki Çalışmalar

Afşin ve Elhatip (2000), Yaptıkları çalışmada; Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynaklarının, Aksaray'ın KB'sında Tuzgölü fay zonuna paralel ve buna verev fayların keşişme noktalarında yer aldıklarını, suların debilerinin düşük, CO_2 ve toplam çözünmüş madde miktarlarının yüksek olduğunu, yeni traverten çkelimlerinin devam ettiğini, Na-Ca-Cl- HCO_3 ve Na-Cl tipi su kimyası fasiyeslerine girdiklerini ve kaynak sularının hazne kaya sıcaklığının 115°C dolayında olduklarını, sertliği ve tuzluluk tehlikesi çk yüksek olan bu suların sulama suyu olarak kullanılmasının uygun olmadığını belirtmişlerdir.

Afşin ve Baş (1997), Aksaray-Niğde arasındaki bazı önemli soğuk ve sıcak su kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik inceleimesi ve kökensel yorumunu yapmışlardır. Bazıları tedavi etme ve içme suyu özelliğine sahip bu kaynakların yüzey

suları ile karışarak kendilerine özgü fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişimleri hidrokimyasal ve izotopik açıdan incelemişler ve Tuzlusu, Koçpınar ve Dertalan kaynaklarının koruma alanlarını belirlemişlerdir.

Burçak (2006), Aksaray jeotermal sahaları (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) jeotermal ısı kaynaklarını jeoloji, su kimyası, izotop hidrolojisi, hidrotermal alterasyon ve manyetotellürik çalışmalarla araştırarak jeotermal sistemlerin kavramsal modellemesini yapmıştır.

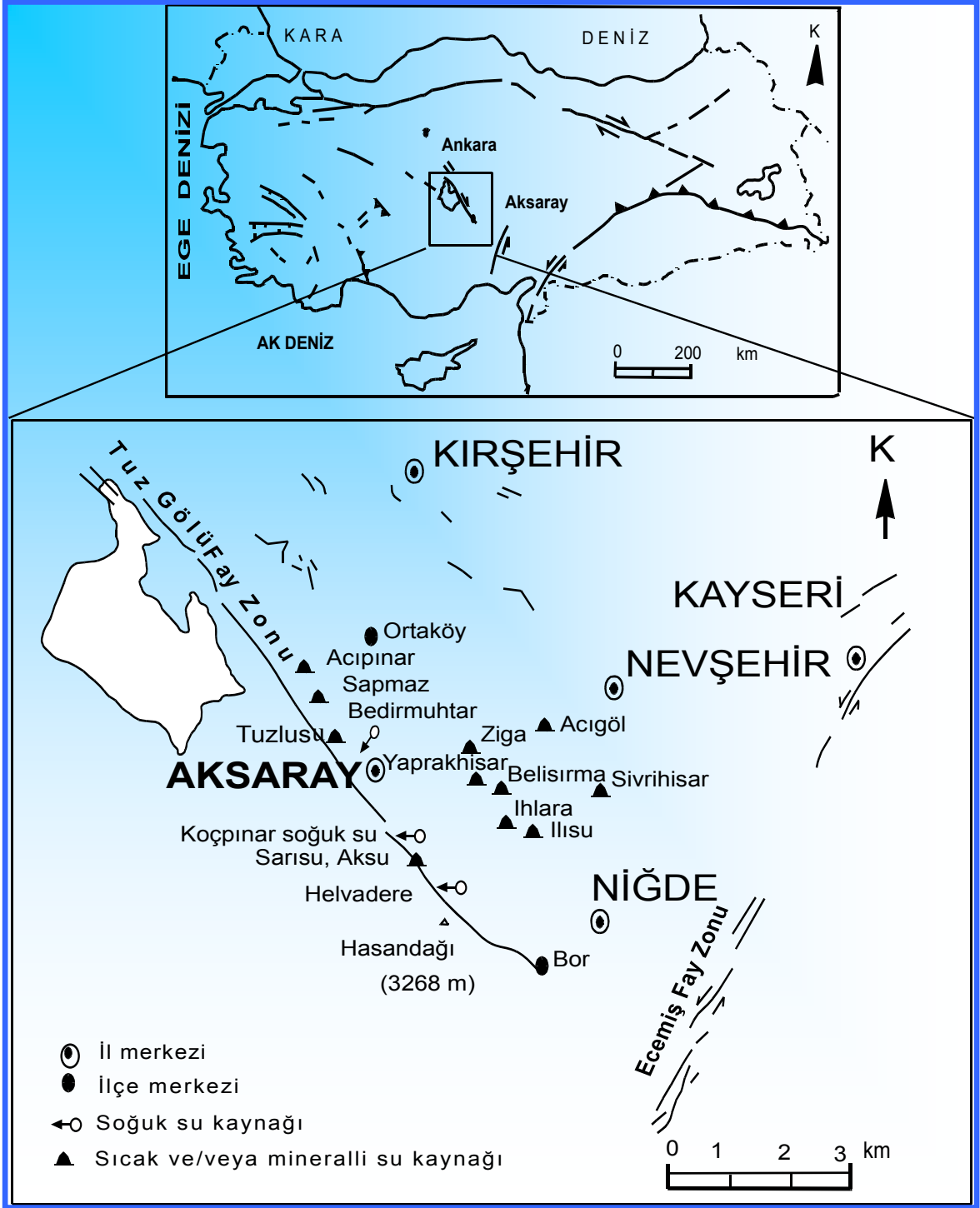
Ercan ve diğerleri (1986), Nevşehir ve Niğde illeri arasındaki volkanik kayalarda petro- kimyasal çalışma yapmışlardır. Volkanik kayaların çoğunlukla kalkalkalen, sadece Kuvaterner yaşlı bazaltik lavların bir kısmının hafif alkalin özellikler taşıdıkları sonucuna varmışlardır.

Göçmez (1997), Aksaray ve çevresindeki sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeolojik incelemesini yapmıştır. Alanda yer alan soğuk su kaynaklarının süreksizlikler boyunca oluştuğunu, sıcaklıklarının 16-19 °C arasında değiştiğini, Ziga sıcak ve mineralli su kaynaklarının GB-KB yönünde Ziga fayı boyunca çeşitli noktalardan çıktığını, sıcaklıklarının 47-51 °C arasında değişmekte olduğunu belirtmiş ve kaynak çevresinde üç koruma alanı önermiştir.

Güllü (2003), yaptığı çalışmada Aksaray doğusunda (Hamamboğazı mevki-Gücünkaya-Mamasun) yüzeyleyen magmatik kayaların felsik ve mafik iki magmanın karışım ürünleri olarak meydana geldiklerini ileri sürmüş, özellikle piroksenitlerle temsil edilen ultramafik kayaların varlığından da bahsetmiştir.

Özaydın (2004), yaptığı çalışmada Aksaray katı atık sahasındaki yeraltı suyu kirlenmesini jeoelektrik ve hidrokimyasal yöntemlerle belirlemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre katı atık sahası çevresindeki alüvyonun yıllık yağışların etkisi ile beslendiğini, katı atık sahasından sızan suların geçirimli ve yarı geçirimli birimlerden ilk önce düşey daha sonra da yarı geçirimli birimler boyunca yatay olarak akifer birimlere ulaştığını belirlemiştir.

Yenal ve diğerleri (1975), Aksaray ve çevresindeki sıcak suların volkanik, bazaltik kütleler ve tüfler arasında gelişen uzun şeritler halindeki çatlaklardan geldiğini, bu suların CO₂'ce zengin olduğunu ve romatizmal hastalıkların tedavisinde kullanılabileceğini belirtmiştir.



Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası [1].

BÖLÜM II

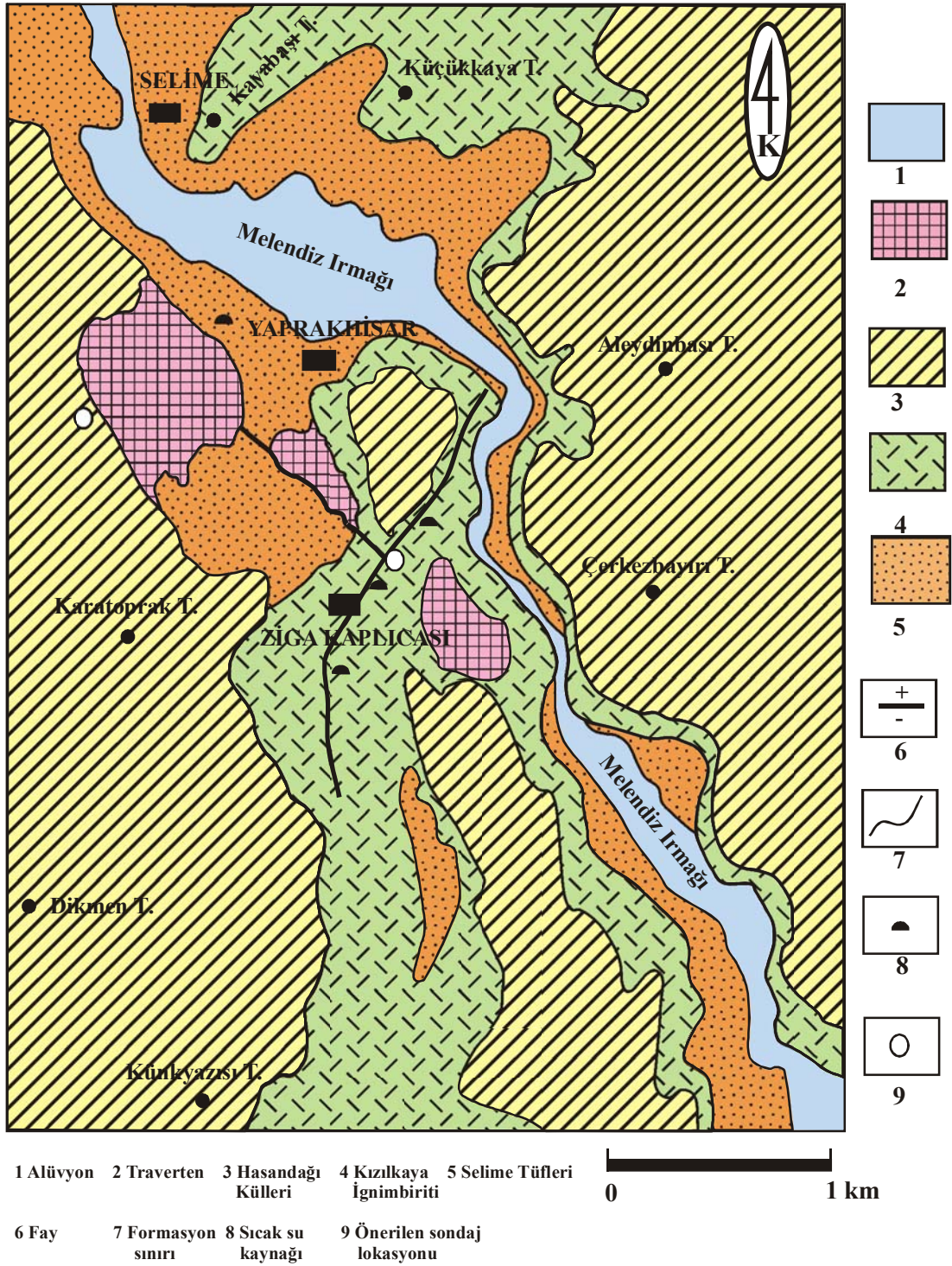
İNCELEME ALANININ BÖLGESEL JEOLJİSİ

2.1 Genel Jeoloji

İnceleme alanı, Anatolidler tektonik birliği içinde yer almaktadır [47]. Bölgenin temelini oluşturan Orta Anadolu Masifleri'nden olan Kırşehir Masifine ait metamorfitle, üzerine Eosen-Oligosen yaşlı Mezgit grubuna ait çökeller gelmektedir. Bölgedeki volkanizma faaliyetleri orta -üst Miyosen'de başlamış ve Pliyosen'de de aktivitesini sürdürmüştür. Güney ve Güneybatı'ya doğru uzanan kesimi ise, Hasandağı volkanizmasından yayılan piroklastikler ve lavlardan oluşmuştur (Şekil 2.1, 2.2).

Ü. SİSTEM	SİSTEM	SERİ	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ (Kayaç Çeşidi)	MORFOLOJİK DURUM	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER				
SENOZOYİK	KUVATERNER		Qt Qa	0 - 50	Alüvyon, traverten Açısal uyumsuzluk	Alüvyon gevşek Traverten dayanımlı	Alüvyon geçirimli Traverten karstik				
				Qh	0 - 120	Bazalt Hasandağ külleri tuf, tüfit İgnimbirit Bazalt	Dayanımlı Gevşek kolay aşınmalı Dayanımlı	Geçirimsiz			
	TERSİYER	PLİYÖSEN			Tk	5 - 100	KIZILKAYA İGNİMBİRİTLERİ	Sert, dayanımlı kırık ve çatlaklı kesimleri kolay kopmalı	Kırıklı, çatlaklı Akifer		
					Ts	20 - 100	SELİME TÜFLERİ (İgnimbiritleri)	Gevşek dokulu Dayanımsız Kolay aşınmalı	Geçirimsiz		
					Tka	50	Tuf, Tüflü kireçtaşı KARAKAYA VOLKANİTLERİ	Dayanımsız	Geçirimsiz		
					Tgü		GÖSTÜK İGNİMBİRİTİ Siyah İgnimbirit	Dayanımlı	İgnimbirit kırıklı çatlaklı		
					Pb		Temel	1- Kireçtaşı - marn Kumtaşı ardalınması (Oligomiyosen?-Eosen?) 2- Granadiyorit-Granit Ultrabazikler 3- Bozçaldağ Mermerleri 4- Çeşitli şistler	Kireçtaşı, kırıklı çatlaklı akifer	Yer yer kırıklı, Geçirimsiz Karstik, kırıklı çatlaklı, geçirimli	
										Geçirimsiz	
PALEZOYİK											

Şekil 2.1 İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [66].



Şekil 2.2 İnceleme alanının jeoloji haritası [5].

2.1.1 Bozçaldağ Metamorfiti (Pb)

İnceleme alanında gözlenemeyen fakat yapılan bölgesel incelemelerde temelde yer alması gerektiği düşünülen Paleozoyik yaşlı Bozçaldağ metamorfiti, kuvarsit, gnays ve mermer aralanmasından oluşmuştur. Gnayslar içinde yer yer mermer, amfibol ve kuvarsit bantları görülür. Kalınlıkları artarak üste doğru devam eden mermer bantlarının renkleri beyaz, pembe, mavimsi görünümlü olup yer yer kırıklı ve dağınık özelliğe sahiptir.

2.1.2 Selime Tüfleri (Ts)

Beekman [15] tarafından Selime tüfleri olarak adlandırılan birim, genellikle asit karakterli, uçuk pembe ve sarımsı beyaz renkli volkanizma ürünlerinden oluşmuştur. Tüfler bazalt, spilit obsidyen, pomza ve andezit bakımından zengindir.

Selime tüfleri en karakteristik olarak Selime, Yaprakhisar çevresinde gözlenir. Dayanımsız, kolay aşınmalı ve kalınlığı 80 m civarındadır. Tüfler ve üzerindeki ignimbiritler arasında bir pişme zonu izlenir. Selime ve çevresinde dayanımlı Kızılkaya ignimbiritinin aşındığı Melendiz çayı boyunca Selime tüfleri dik yamaçlar oluşturmuş ve bu yamaçlarda yörenin ilginç görüntülü aşınım şekilleri olan peri bacaları oluşmuştur (Foto. 2.1).

Tüfler Neojen yaşlı birimler içinde oluşturdukları peri bacaları oluşumları ve görünüşleri nedeniyle kılavuz seviye şeklindedir. İnce kesitler üzerinde yapılan incelemeler sonucu, litik tuf özelliğindeki kayaç bünyesinde bol miktarda volkanik cam parçaları, plajiyoklas, kuvars, biyotit, hornblend ve opak mineraller saptanmıştır [66,42]. Yaprakhisar'ın güneyinde tüfler içerisinde birbirini kesen 70°-80° eğimli kalsit dolgulu çatlaklar yer almaktadır. Selime tüfleri, Yaprakhisar'ın doğu ve güneyinde Kızılkaya ignimbiritlerine uyumlu geçiş göstermektedir. Selime tüflerinin yaşı alt Pliyosen olarak saptanmıştır [11].

2.1.3 Kızılkaya İgnimbiritleri (Tk)

Kızılkaya ignimbiritleri genellikle asit karakterli piroklastik akma ürünü olup, kaynaklı tuf özelliğine sahiptir. İnceleme alanında Ziga sıcak ve mineralli kaynakları çevresinde geniş bir alanda yüzeylenmektedir (Foto. 2.1). Bunlar beyazımsı gri renkli

olup, bozuşma yüzeyleri pembemsi kırmızı renkli, üst seviyeleri zayıf, alta doğru sık dokulu, pürüzlü 30 cm boyunda sünger taşı parçalarını içermektedir. Kalınlığı 10-100 m arasında değişmekte olan birimde düşey yönde soğuma çatlaklarına bağlı olarak oluşmuş sütunsu yapıdan dolayı kaya düşmeleri gerçekleşmektedir. İnce kesit incelemelerine göre ignimbiritler, tüf özelliği gösteren camsı mikrolitler içermekte fenokristallerin çoğunu ise plajiyoklas, biyotit, kuvars ve hornblend oluşturmaktadır. Kızılkaya ignimbiritlerinin yaşı alt Pliyosen olarak saptanmıştır [11]



Foto 2.1 Selime tüfleri (Ts) ve Kızılkaya ignimbirtleri (Tk).

2.1.4 Hasandağı Külleri (Qh)

İlk kez Beekman [15] tarafından isimlendirilmiştir. Çökelmeden önceki eski topografya çukurlarını dolduran birim topografya yüzeyine bağlı olarak genellikle yatay, yer yer eğimli görünüm sunmaktadır.

Çoğunlukla 10-100 m arasında değişen kalınlıkları Selime dolayında 2 m'ye kadar düşmektedir. Hasandağı külleri gölsel ve volkanizma ürünü olan birimlerin ar dalanmasından oluşmuştur. Gri-beyaz renkli kül ve lapilliden oluşan Hasandağı külleri, beyaz renkli vitrik kül matriksi içerisinde kaba kum boyundan 5–6 cm'ye kadar ulaşan obsidyen, pomza ve az miktarda da lav parçaları içerir. Kızılkaya ignimbiritlerini

örtlen Pleyistosen yaşlı bu birim Karatoprak Tepe’de Selime tüflerinin üzerinde yer almaktadır.

2.1.5 Traverten (Qtr)

Ziga Kaplıcası ile Yaprakhisar’ın çevrelerinde yer alan sıcak ve mineralli su oluşukları olan travertenler beyazımsı sarı renkli ve boşluklu yapıya sahip olup, kalınlıkları 1–30 m arasında değişmektedir.

Selime tüfleri içerisindeki çatlaklardan gelerek yüzeye ulaşan sıcak sular, zamanla buralarda kalınlıkları 30–40 cm’den 1 m’ye ulaşan kalsit damarları oluşturmuşlardır. Tüflerdeki birbirini kesen çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak sular kırık hatları boyunca aragonit şeklinde traverten oluşumuna sebep olmuştur. Bunun örnekleri de Yaprakhisar yokuşunda Karatoprak Tepe’nin kuzeyindeki travertenler yapıtaşı olarak işletilmiştir. İnceleme alanına ait travertenler bölüm 5’te detaylı olarak ele alınmıştır.

2.2 Kayaçların Hidrojeoloji Özellikleri

Ziga Kaplıcası ve çevresindeki kayaçlar farklı hidrojeolojik özelliklere sahiptirler. Bunlar göreceli olarak geçirimsiz, az geçirimli ve geçirimli olarak sınıflandırılabilir. Sıcak su kaynaklarında gözlenmeyen Bozçaldağ metamorfisinin kırıklı-çatlaklı ve karstik mermerli seviyeleri iyi bir akifer özelliğine sahiptir. Ziga ve Yaprakhisar sıcak ve mineralli suları, suların basınçlı akiferi olarak düşünülen birim üzerinde yer alan yarı geçirimli birimlerden ve süreksizlikler boyunca süzülen yağış sularından beslenmektedir.

Düşey yönde oluşmuş soğuma çatlaklarını içeren Kızılkaya ignimbiritleri de kırıklı çatlaklı akifer özelliği gösterirler. İgnimbiritler Hasandağı küllerinin bulunmadığı bölümlerde atmosferle doğrudan temas halinde olduğu için yağış suları düşey yönde dolaşabilmektedir. Birimin taban seviyelerine doğru çatlaklı yapının azalması ve altta yer alan Selime tüflerinin geçirimsiz olması nedeniyle kontak zonundan düşük debili soğuk su kaynakları boşalmaktadır. İnceleme alanında geniş bir alanda yayılım gösteren Hasandağı külleri gerek konumları gerekse litolojileri bakımından örtü kaya özelliğindedir.

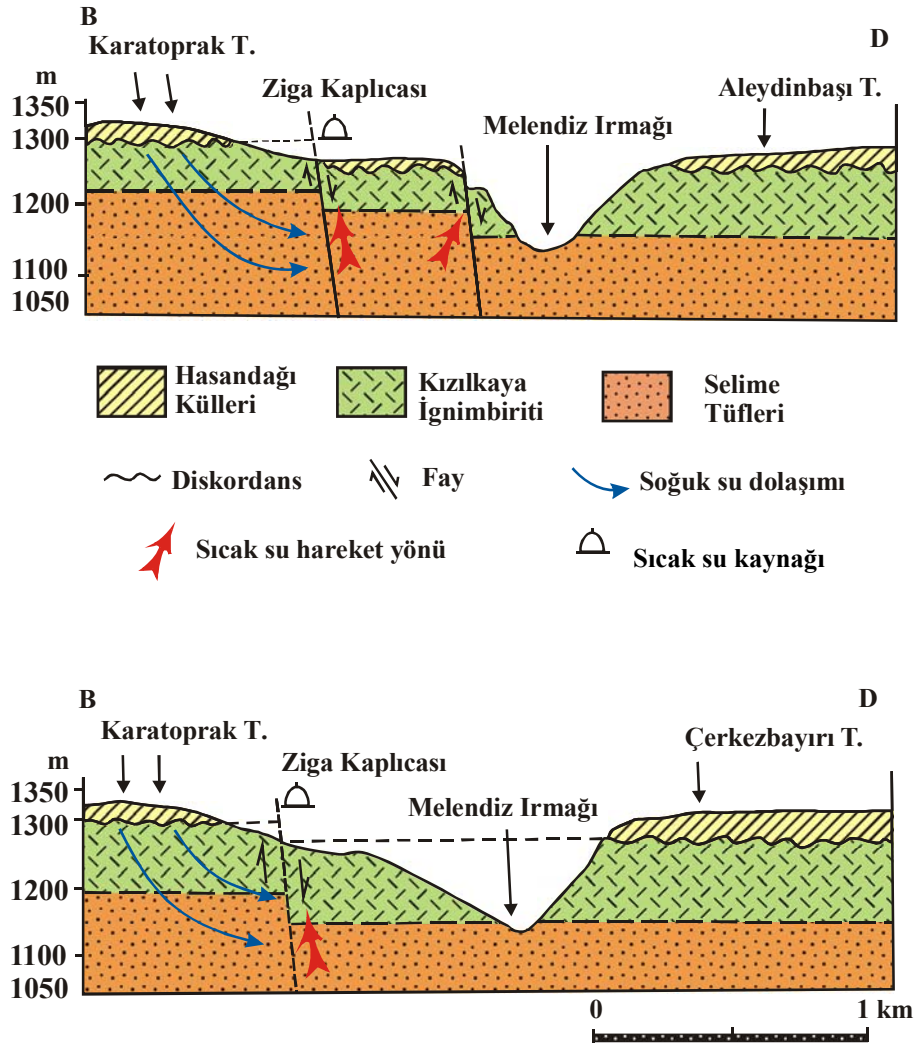
2.3 Yapısal Jeoloji

Şengör ve Yılmaz [65]'a göre çalışma alanı Anatolid-Torid Platformu'nda yer alır. Üst Kretase boyunca bu kuşağın üzerinde bir okyanus yer almaktadır. Kuzeye Pontidler altına dalan ve gittikçe daralan bu okyanusal kesimde deniz dibi yayılması olan ofiyolitler, Kampaniyen-Mastrihtiyen döneminde güneye doğru giderek Anatolid-Torid Platformu'nun Jura'dan beri süregelen karbonat çökelleri üzerine gelmiştir. Tuz Gölü Havzası'nın tabanını oluşturan Kırşehir Masifinin devamı niteliğinde olup, Mamasun Barajı çevresinde yer alan ofiyolit ve ultramafitlerle Bozdağlar birliğinde görülen ve Bozkır Napları adı verilen aynı türden kayalar, üzerledikleri çökel istifini büyük bir yük altına bırakarak çökellerde yüksek basınç metamorfizmasına sebep olmuştur.

Yük altında kalan bloklar yer yer çökmüş, ezilmiş, kırıklı bir yapı kazanmışlardır. K-G yönlü bu sıkışma D-B yönlü gerilmeye yaklaşık K-G doğrultusunda çekim faylarının oluşum nedenidir. Alanda Mastrihtiyen-Pliyosen döneminde genellikle K-G yönlü sıkışmaların D-B yönlü gerilmelerin etkisiyle K-G gidişli faylar ve kırık sistemleri geliştirmiştir. KB-GD ve GB-KD yönlü fay ve kırık hatlarının kesişmesiyle bölgedeki volkanizmanın gelişmesi sonucunda curuf konileri oluşmuştur. Genç birimlerin örtü şeklinde bölgeyi kaplamaları tektonik yapıların da örtülmesine neden olmuştur.

2.3.1 Faylar

Aktif gaz ve sıcak su çıkışları ve traverten oluşumu devam eden Ziga Fayı KB-GD yönlü eğim atımlı normal bir faydır. Fayın güney bloğu, kuzey bloğuna oranla yaklaşık 30 m aşağıya düşmüştür. Sıcak su ve gaz çıkışlarından fayın 1 km kadar devam ettiği gözlenmektedir. Selime tufünde Hasandağı külü ve Kızılkaya ignimbiritlerindeki belirgin kot farklarıyla düşen ve yükselen bloklar belirginleşmektedir. Jeolojik enine kesitlerde de bu açıkça gözlenmektedir (Şekil 2.3).



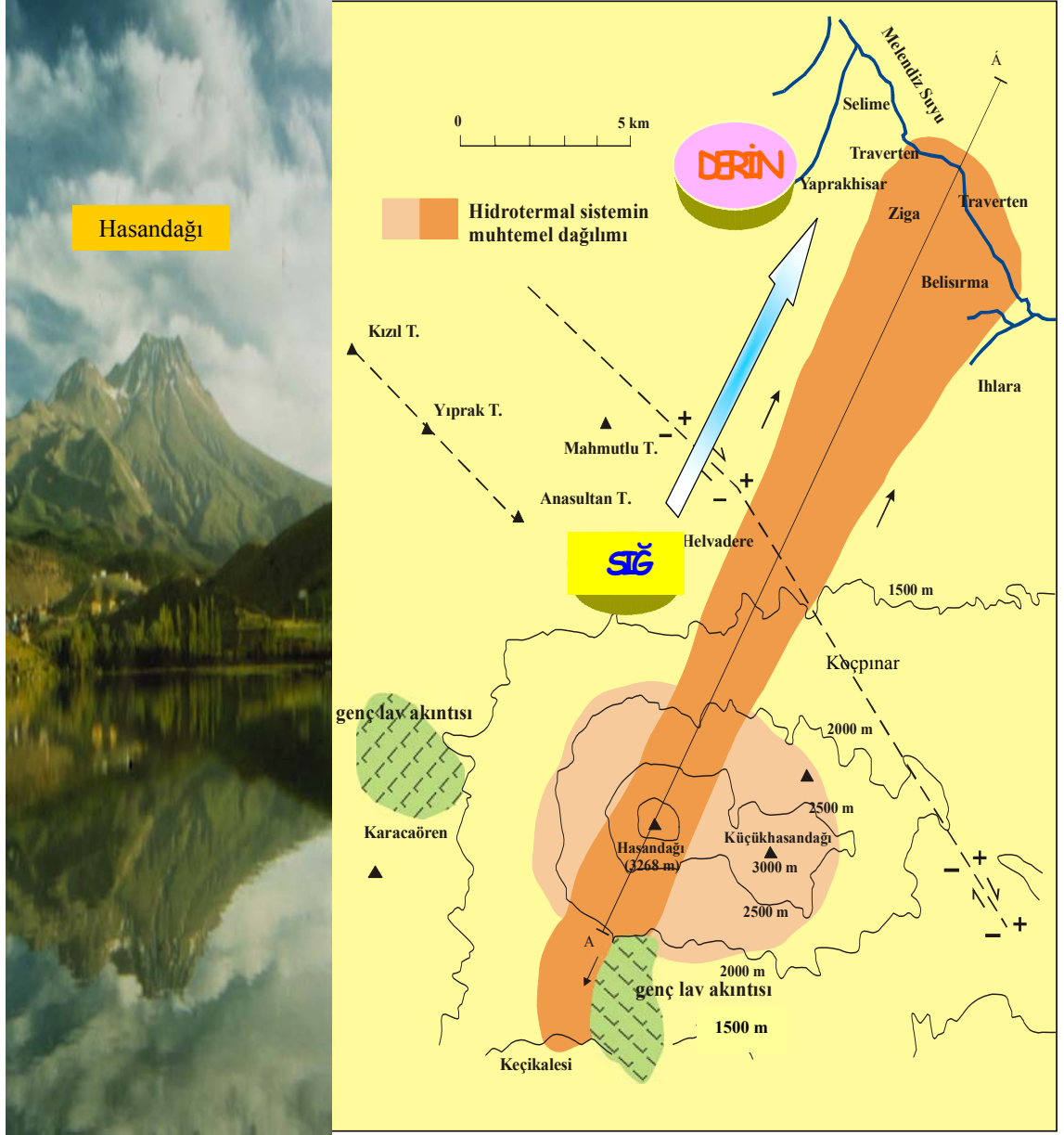
Şekil 2.3 Ziga Kaplıcası ve çevresinin jeolojik enine kesitleri [5].

2.3.2 Sıcak su kanalları, çatlaklar ve faylar arasındaki ilişkiler

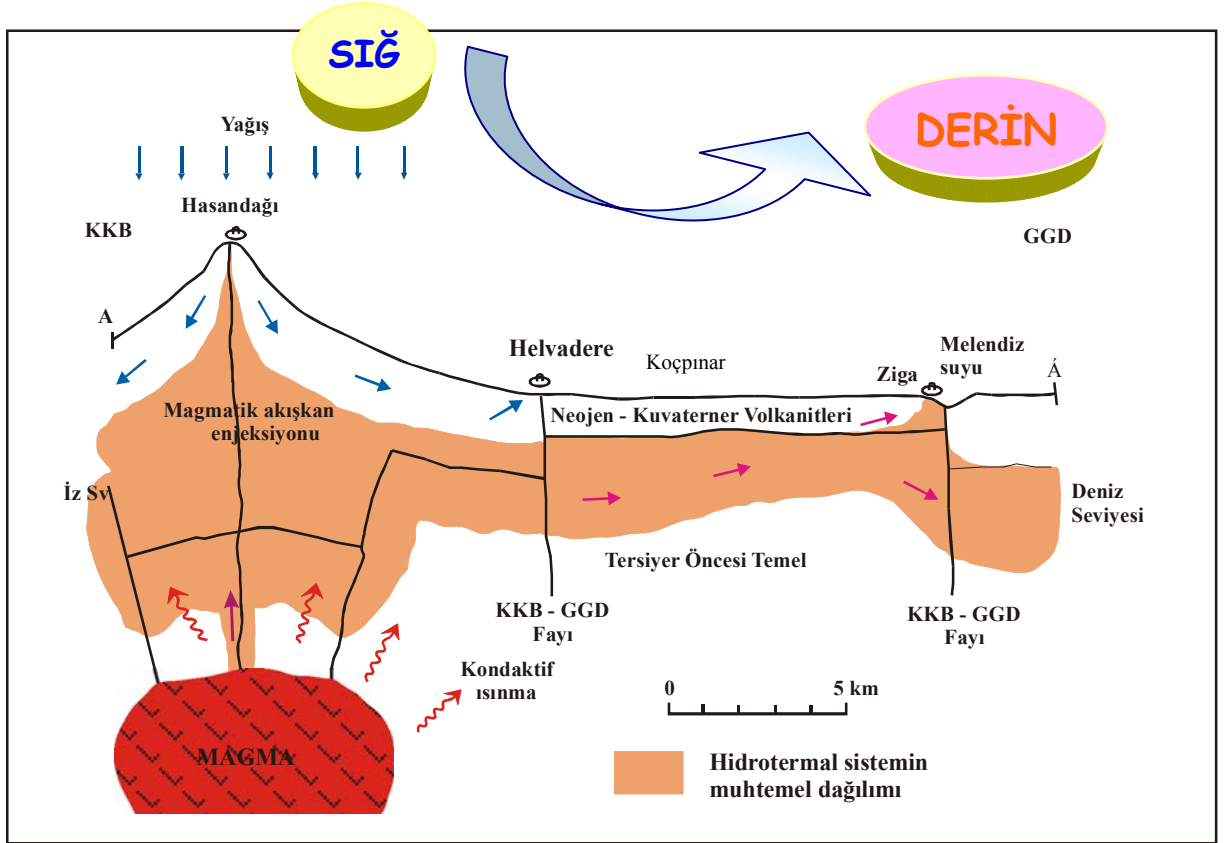
Traverten çökeltten sıcak su kanallarının doğrudan fay dokanağında yer alması veya çatlak konumları ile sıcak su kanalları arasındaki uyumluluk dikkate alındığında sıcak suların bu kırık ve çatlaklar boyunca yükseldiği anlaşılabilir. Kırık ve çatlakların keşiştiği yerlerde ve Ziga Fayı'nın GB yönünde devamı boyunca güncel traverten oluşumları devam etmektedir [5].

Sonuç olarak, Ziga ve çevresindeki sıcak ve mineralli su kaynaklarının kökeni Bozçaldağ metamorfiteine ait kırıklı-çatlaklı ve karstik mermerlerdir. Mermerler yağışlardan beslendiklerinden depolanan su meteoriktir. Derinlere doğru uygun boşluklardan süzülen yağış suları jeotermal gradyanla ve Hasandağı volkanizmasına

bağlı olarak yeryüzüne sıcak ve mineralli su kaynağı şeklinde çıkmaktadır (Şekil 2.4, 2.5). Bölgedeki bu termal sular Pliyosenden itibaren faaliyette bulunan Hasandağı volkanizması ve bölgesel magma yaklaşımı ile yakından ilgilidir. Hasandağı bölgesinde derinlerden yükselen sular ve meteorik sular, bölgesel kırıklar yoluyla Ihlara Vadisi yönünde hareket etmektedir. Bu vadide Ziga yöresinde gelişen derine inen fay sistemi, termal suları yüzeye taşımaktadır.



Şekil 2.4 Hasan Dağı, Ziga-Yaprakhisar ve Ihlara sahalarının hidrotermal sistem model taslağı (Model [66]'dan kısmen değiştirilerek alınmıştır).



Şekil 2.5 Ziga sıcak su sondajı ve kaynak alanı ile Hasan Dağı-Ziga alanının hidrotermal sistem modeli taslağının A-A' boyunca jeolojik enine kesiti (kesit [66]'dan kısmen değiştirilerek alınmıştır).

BÖLÜM III

SU KİMYASI DEĞERLENDİRMESİ

Ziga, Yaprakhisar, Tuzlusu ve Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynakları ile beslenme alanındaki çeşitli soğuk su kaynaklarından alınan su numunelerinin kimyasal analizleri çalışma süresince yeraltı sularının en alçak ve en yüksek olduğu devrelerde yapılmıştır. Suların kimyasal analiz sonuçları ve arazide yerinde saptanan parametrelerle ilgili diyagramlar çizilmiş ve yorumları yapılmaya çalışılmıştır. Su kimyası analiz sonuçları ve metal analizi sonuçları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir (Çizelge 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

3.1 Sularda Bulunan İyonlar ve Kökenleri

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların toplam mineralizasyonu 4500 mg/l civarındadır. Elektriksel iletkenlikleri ise soğuk sularda 207–800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sıcak sularda ise 3200-7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir.

3.1.1 Katyonlar ve anyonlar

Ca^{+2} : Mayıs ayında yapılan ölçümlerde bütün iyonların toplamında, soğuk sularda % 7-41, sıcak sularda % 17-27 arasında değişmektedir. Kasım ayında yapılan ölçümlerde, soğuk sularda % 5–17, sıcak sularda % 11–27 arasında değişmektedir.

Bu iyon, kireçtaşlarının CO_2 'li sularla yıkanmasından gelmektedir. Volkanik arazilerde ise bu iyon, anortit, amfibol gibi silikat minerallerinin bünyesinde bulunan Ca^{+2} iyonunun çözünmesi ile suya geçmiş olmalıdır.

Mg^{+2} : Mayıs ayında yapılan ölçümlerde bütün iyonların toplamında, soğuk sularda % 13, sıcak sularda % 3-14 arasında değişmektedir. Kasım ayında yapılan ölçümlerde ise, soğuk sularda %13–15, sıcak sularda %3–15 arasında değişmektedir.

Na^+ : Mayıs ayında yapılan ölçümlerde bütün iyonların toplamında, soğuk sularda % 12–28, sıcak sularda % 10–31 arasında, Kasım ayında yapılan ölçümlerde ise, soğuk sularda % 18–27, sıcak sularda % 7–33 arasında değişmektedir.

Çizelge 3.1 İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (mg/l) (Mayıs 2005)

Örnek Adı	<i>T</i> (°C)	<i>pH</i>	<i>EC</i> (µS/cm)	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Cl</i>	<i>SO₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>CO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>PO₄</i>	<i>NH₄</i>	<i>F</i>	<i>Br</i>	<i>Li</i>
TZMS	25,9	6,11	5230	437,73	51,81	710,81	32,22	998,75	64,44	1512,73	0	0	13,574	0	30,21	0	0	0,569
AGMS	61,1	6,44	5500	286,21	45,70	271,18	53,35	358,88	112,94	1066,03	0	0	0	0	21,42	0	0	2,78
AGGS	18	6,82	310	86,12	98,37	388,47	141,06	721,76	141,50	478,18	57,286	0	0	5,80	0	0	3,51	4,68
YHMS	33,5	6,08	5260	415,75	51,69	805,15	104,70	1180,78	58,19	1552,58	0	0	0	0	34,74	0	0	2,49
ZSMS	45,4	5,80	5500	460,11	48,60	917,38	127,57	1370,31	54,58	1408,82	0	0	0	100,83	34,24	0	0	3,70
HDS	10,4	7,17	207	50,243	9,70	16,71	2,11	12,18	11,54	95,02	0	0	2,45	54,78	1,49	0	0	0,015
KÇSS	20,3	5,76	748	79,328	23,98	33,73	5,57	8,05	8,45	404,40	0	0	0,679	0	3,91	0	0	0,030

(HDS: Helvadere kaynağı, KÇSS: Koçpınar kaynağı, TZSM: Tuzlusu sıcak ve mineralli kaynağı, YHSM: Yaprakhisar sıcak ve mineralli kaynağı, ZSMS: Ziga sıcak ve mineralli kaynağı, AGMS: Acıgöl sıcak ve mineralli kaynağı, AGGS: Acıgöl göl suyu)

Çizelge 3.2 İnceleme alanındaki suların diğer analiz sonuçları (mg/l) (Mayıs 2005) (Kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir.)

Örnek Adı	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Cd</i>	<i>Sr</i>	<i>B</i>	<i>SiO₂</i>
TZMS	0,044	0,040	0,048	0,037	0,010	0,144	0	0,018	0	2,33	29,99
AGMS	0,021	0,024	0,034	0,013	0,021	0,033	0	0,014	0	3,56	49,11
AGGS	0,084	0,039	0,053	0,018	0,014	0	0	0,005	0	12,18	48,10
YHMS	0,077	0,035	0,047	0,021	0,030	0,127	0	0,010	6,22	8,13	39,05
ZSMS	2,220	0,051	0,022	0,014	0,022	0,095	0	0,012	1,86	14,11	38,54
HDS	0,032	0,026	0,071	0,022	0,014	0,213	0	0,006	0,226	0	61,68
KÇSS	0,125	0,672	0,029		0,017	0,021	0	0	0	0	106,44

Çizelge 3.3 İnceleme alanındaki suların su kimyası analiz sonuçları (mg/l) (Kasım 2005) (Kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir.)

Örnek Adı	<i>T</i> (°C)	<i>pH</i>	<i>EC</i> (µS/cm)	<i>Ca</i>	<i>Mg</i>	<i>Na</i>	<i>K</i>	<i>Cl</i>	<i>SO₄</i>	<i>HCO₃</i>	<i>NO₂</i>	<i>NO₃</i>	<i>PO₄</i>	<i>NH₄</i>	<i>F</i>	<i>Br</i>	<i>Li</i>
TZMS	25,4	6,15	5710	435,73	51,91	746,37	33,44	1007,35	62,91	1535,22	0	4,826	0	0	0	0	0,5601
AGMS	40,0	6,29	3200	287,19	46,82	228,75	72,54	341,75	115,65	1039,04	0	0	0	4,12	0	0	3,0574
AGGS	10,5	7,22	800	68,94	110,25	416,63	155,83	756,26	197,95	735,50	0	0	0	0	0	1,7333	5,22
YHMS	30,8	6,18	5850	258,52	51,35	857,18	113,59	1257,79	80,99	1354,26	0	0	0	0	0	0	2,66
ZSMS	44,7	6,43	6910	492,26	49,75	857,69	127,47	1309,57	65,84	1821,24	0	0	0	0	0	0	3,81
HDS	10,4	5,97	214	15,21	7,76	18,47	2,10	11,82	11,30	99,234	0	2,3466	0	0	0	0	0,0177
KÇSS	18,5	5,57	586	63,05	20,71	17,95	5,38	10,10	12,04	332,72	0	0	0	0,631	0	0	0,0336

Çizelge 3.4 İnceleme alanındaki suların diğer analiz sonuçları (mg/L) (Kasım 2005) (Kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir.)

Örnek Adı	<i>Fe</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Cd</i>	<i>Sr</i>	<i>B</i>	<i>SiO₂</i>
TZMS	0,056	0,042	0,031	0,057	0,022	0,022	0,046	0,019	0	3,98	33,56
AGMS	0,032	0,017	0,024	0,034	0,022	0,020	0,084	0,008	0	5,81	50,06
AGGS	0,067	0,052	0,021	0,018	0	0	0	0	0,0225	8,51	51,52
YHMS	0,074	0,028	0,029	0,033	0,029	0,047	0,046	0,011	3,74	8,11	44,88
ZSMS	1,025	0,209	0,033	0,033	0,027	0,036	0,066	0,014	2,81	9,76	40,45
HDS	0,013	0,008	0,046	0,046	0	0	0	0	0	0,298	49,71
KÇSS	0,067	0,362	0,013	0,033	0	0	0,029	0	0	0	115,86

SO_4^{-2} : Mayıs ayında yapılan ölçümlerde bütün iyonların toplamında, soğuk sularda % 4-5, sıcak sularda % 1-4 arasında, Kasım ayında yapılan ölçümlerde, soğuk sularda % 5-6, sıcak sularda % 2-31 arasında değişmektedir.

HCO_3^- : Mayıs ayında yapılan ölçümlerde bütün iyonların toplamında, soğuk sularda % 13-25, sıcak sularda % 18-46 arasında, Kasım ayında yapılan ölçümlerde ise, soğuk sularda %18-37, sıcak sularda % 20-47 arasında değişmektedir.

3.2 Suların Analiz Sonuçlarının Grafiklerle Gösterilmesi

İnceleme alanındaki suların iyon bolluk dizilimleri Tuzlusu, Yaprakhisar ve Ziga sıcak ve mineralli su kaynaklarında, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$; $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$; Acıgöl sıcak ve mineralli sularında $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4$, Acıgöl göl suyunda ise $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$; $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4$, Koçpınar kaynağında $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ şeklinde olup, örnekleme dönemlerinde değişim saptanmamıştır (Çizelge 3.5). Helvadere soğuk su kaynağının iyon dizilimi yağışlı dönemde (Mayıs 2005) $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$, kurak dönemde (Kasım 2005) ise, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ şeklinde değişim göstermiştir.

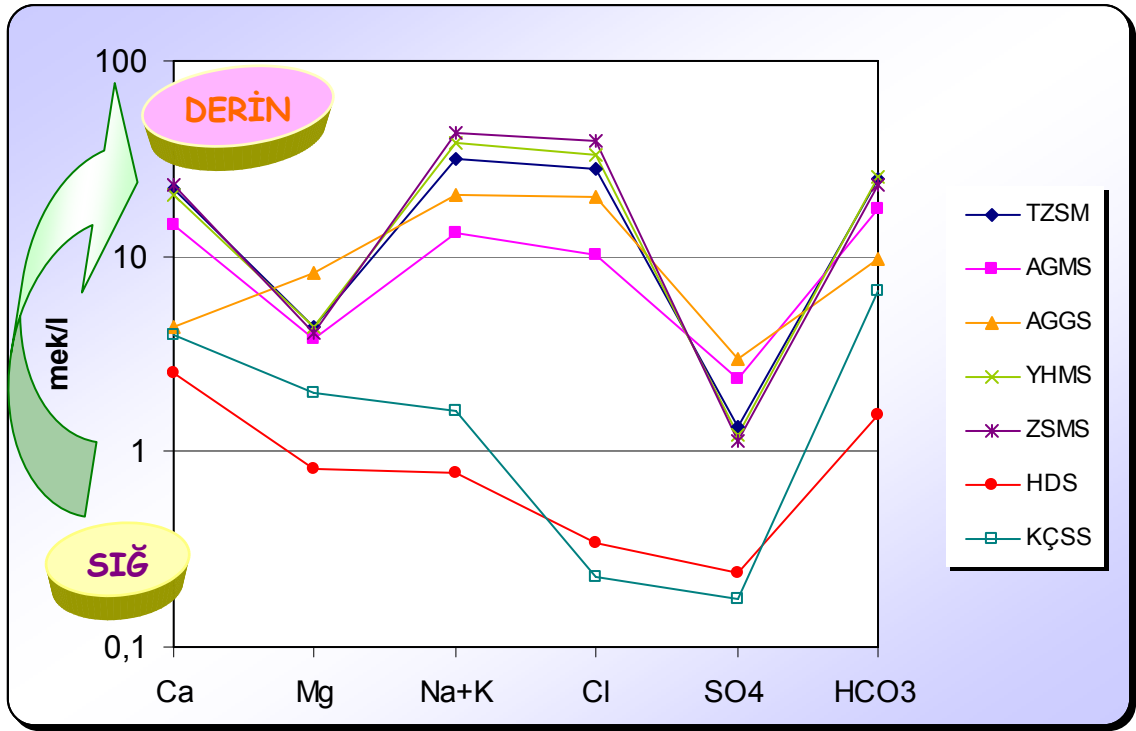
Yarılogaritmik diyagram üzerinde gruplar şeklinde olmak üzere Acıgöl, Ziga, Yaprakhisar, ve Tuzlusu sıcak ve mineralli sularının ve Helvadere ve Koçpınar sularının kendi aralarında genelde paralel bir dizilim göstermeleri bu suların aynı havzadan beslenen aynı veya benzer kökenli yeraltı suları olabileceğine işaret etmektedir. Bu bağlamda, beslenme alanından itibaren Helvadere, Koçpınar, Tuzlusu, Yaprakhisar, Ziga ve Acıgöl kaynak sularının sığdan derine doğru değişen dolaşım türleri sergilediği anlaşılmaktadır. Acıgöl göl suyu içerik olarak, mineralli sulara kısmen benzemekle birlikte Ca^{+2} değerinin düşük olması Acıgöl sıcak ve mineralli suyu ile göl suyunun karışımı sonucu açığa çıkan iyon değişiminden kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Başka bir deyişle, Acıgöl sıcak ve mineralli suyunun içerisindeki CO_2 'yi kaybederek çözücü özelliği azalarak içerisindeki CaCO_3 'ü çökeltmiş ve Ca^{+2} ve HCO_3^- içeriği azalmıştır.

Sıcak ve mineralli su kaynaklarının mineralizasyonu soğuk sulara göre oldukça fazladır (Şekil 3.1). Sıcak su derinlerde dolaşarak mineral yönünden zengin duruma geçer ve ısınarak yükselir. Soğuk su ise çok derine inmeden çatlaklar boyunca hareket ederek ve içinde dolaştığı kayalarla kimyasal tepkimeye girecek zamanı bulamadan kısa sürede yeryüzüne dönmektedir.

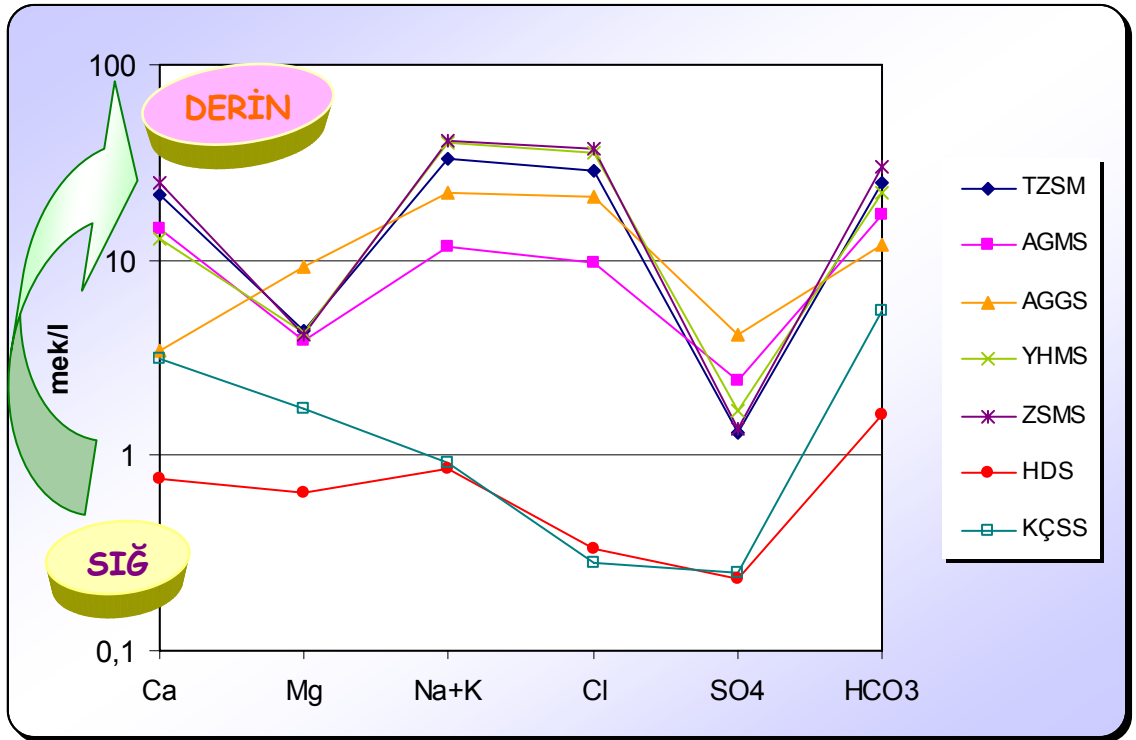
Çizelge 3.5 Sularda bulunan iyonların dizilimleri ve su türleri (Kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir.)

Mayıs 2005	İyon dizilimi	Su türü
TZSM*	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
AGMS*	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}; HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
AGGS*	$(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Mg-Cl-HCO ₃
YHMS*	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
ZSMS*	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
HDS*	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^+ + K^+); HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Mg-Na-HCO ₃
KÇSS*	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^+ + K^+); HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Mg-Na-HCO ₃
Kasım 2005	İyon dizilimi	Su türü
TZSM**	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
AGMS**	$Ca^{+2} > (Na^+ + K^+) > Mg^{+2}; HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Na-HCO ₃ -Cl
AGGS**	$(Na^+ + K^+) > Mg^{+2} > Ca^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Mg-Cl-HCO ₃
YHMS**	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
ZSMS**	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Cl-HCO ₃
HDS**	$(Na^+ + K^+) > Ca^{+2} > Mg^{+2}; HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Na-Ca-Mg-HCO ₃
KÇSS**	$Ca^{+2} > Mg^{+2} > (Na^+ + K^+); HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{-2}$	Ca-Mg-Na-HCO ₃

İnceleme alanındaki sular Piper diyagramlarına göre iki dönemde de kendi aralarında ayrı gruplar halinde genelde aynı bölgelere düşmüştür. Grafik üzerindeki konumlarına göre Tuzlusu, Yaprakhisar, Ziga sıcak ve mineralli ve Acıgöl göl suları $Na^+ + K^+ > Ca^{+2} + Mg^{+2}$, ve $Cl^- + SO_4^{-2} > HCO_3^- + CO_3^{-2}$ iyon dizilimli tuzlu ve sodalı sulardır. Karbonat olmayan alkalinite değerleri % 50'den fazla olan bu sular NaCl, Na₂SO₄ ve KCl'lüdür. Acıgöl sıcak ve mineralli, Koçpınar ve Helvadere soğuk suları ise, $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^+ + K^+$, $HCO_3^{-2} > Cl^- + SO_4^{-2}$ iyon dizilimli karbonat sertliği % 50'den büyük CaCO₃ ve MgCO₃ lü sulardır (Şekil 3.2).

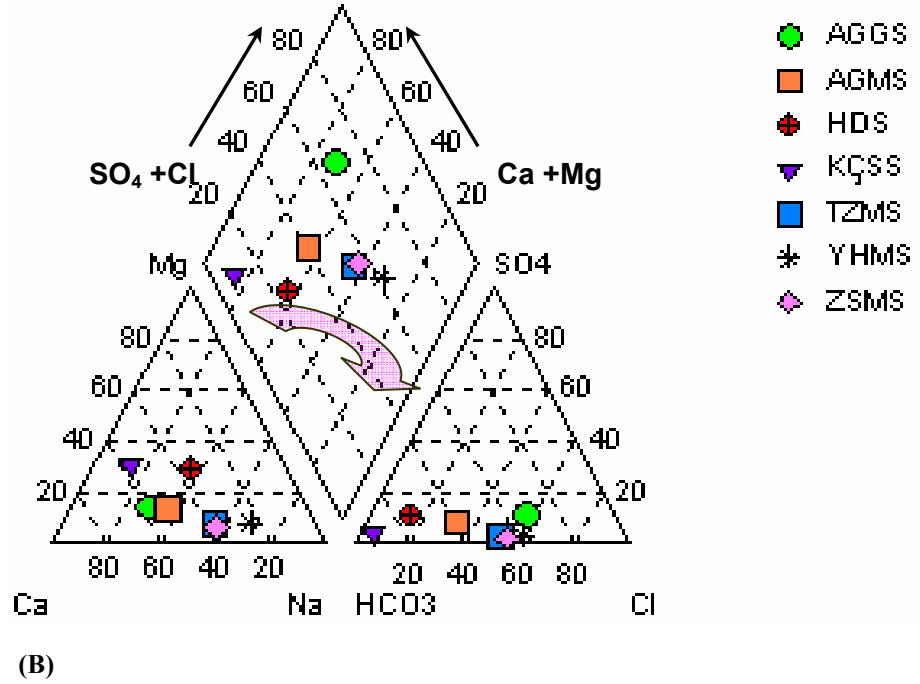
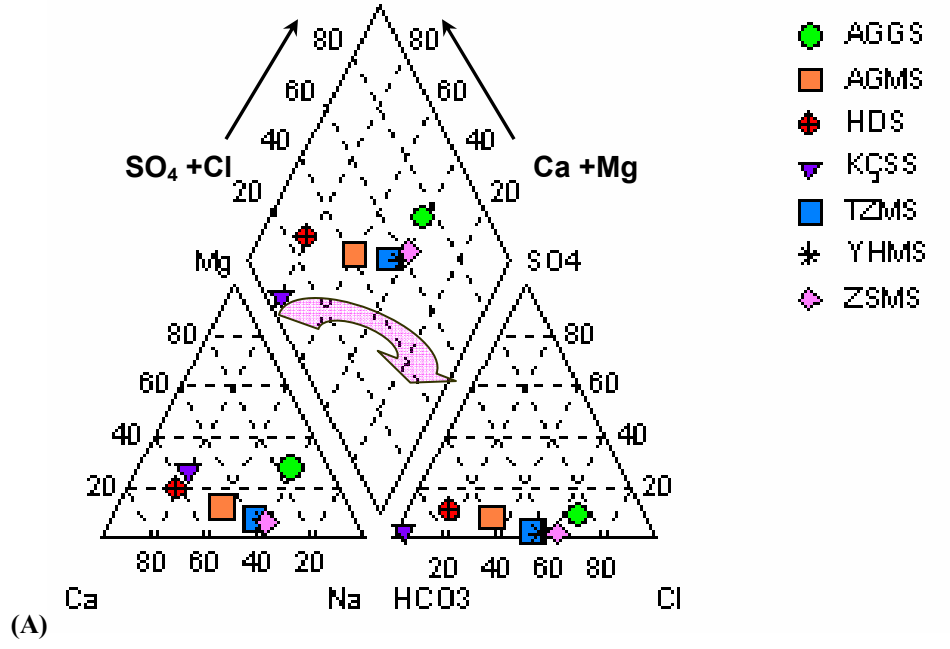


(A)



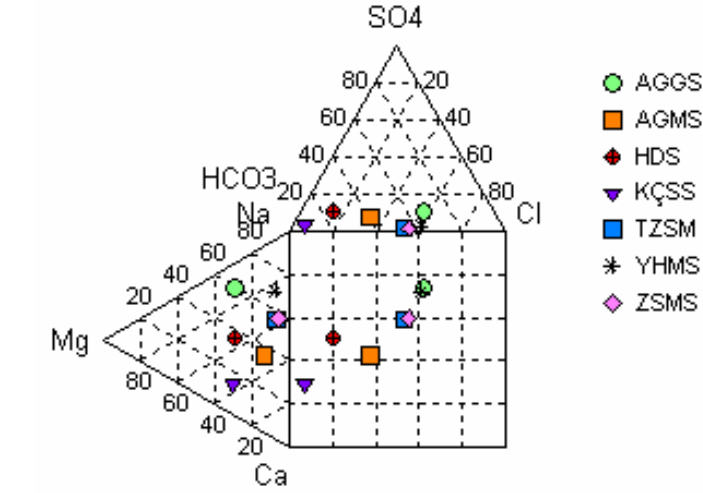
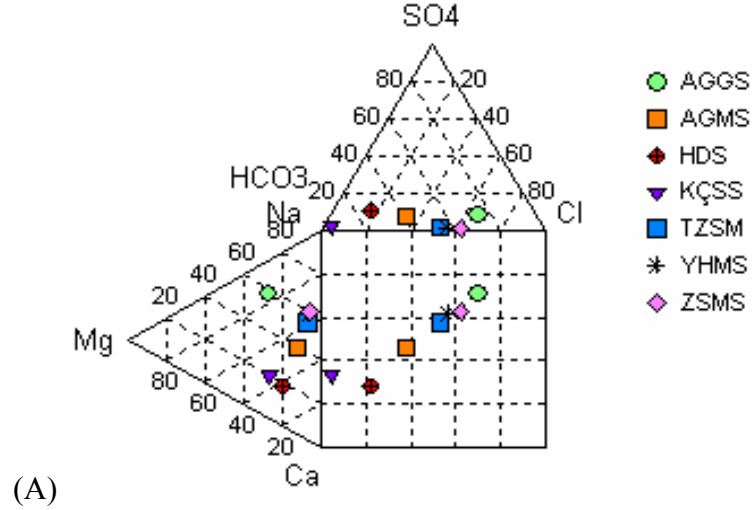
(B)

Şekil 3.1 İnceleme alanındaki suların yarılogaritmik Schoeller diyagramları (A: Mayıs 2005; B: Kasım 2005)



Şekil 3.2 İncelenen suların Piper diyagramları (A: Mayıs 2005; B: Kasım 2005) (Ok yönü hidrojeokimyasal gelişim yönünü göstermektedir).

İnceleme alanında 1. ve 2. dönem su kimyası analizlerine göre sıcak ve soğuk suların katyon ve anyonlarının % mek/L değerlerine göre Aquachem programı yardımıyla çizilen Durov diyagramlarına göre iki dönemde de sular aynı bölgede yer almış olup, elde edilen sonuçlar Piper diyagramlarıyla da uyumludur (Şekil 3.3).



(B)

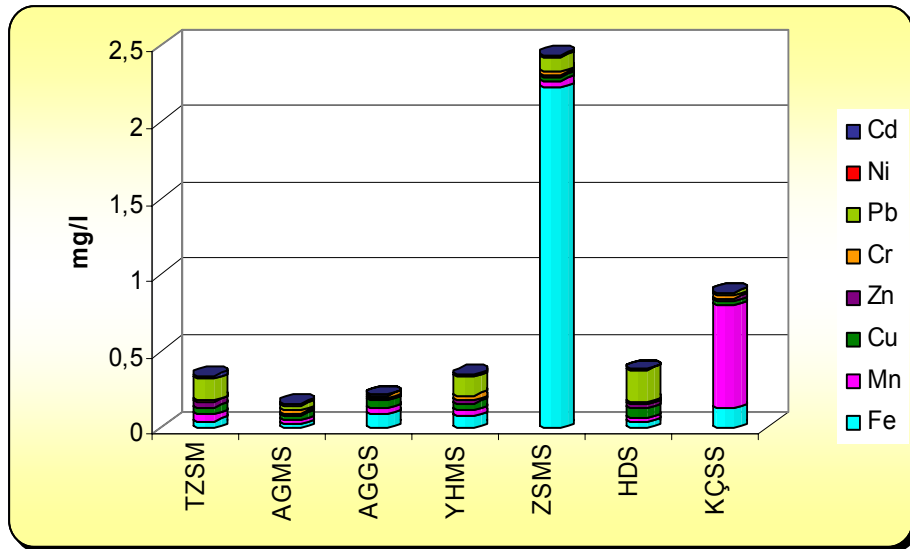
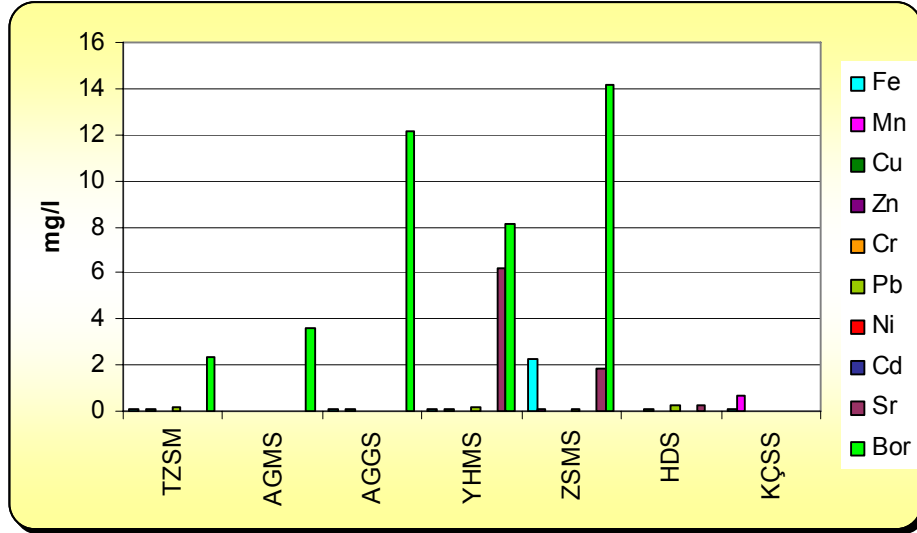
Şekil 3.3 İncelenen suların Durov diyagramları (A: Mayıs 2005; B: Kasım 2005)

3.3 Suların Metal İçeriklerinin Grafiklerle Gösterilmesi

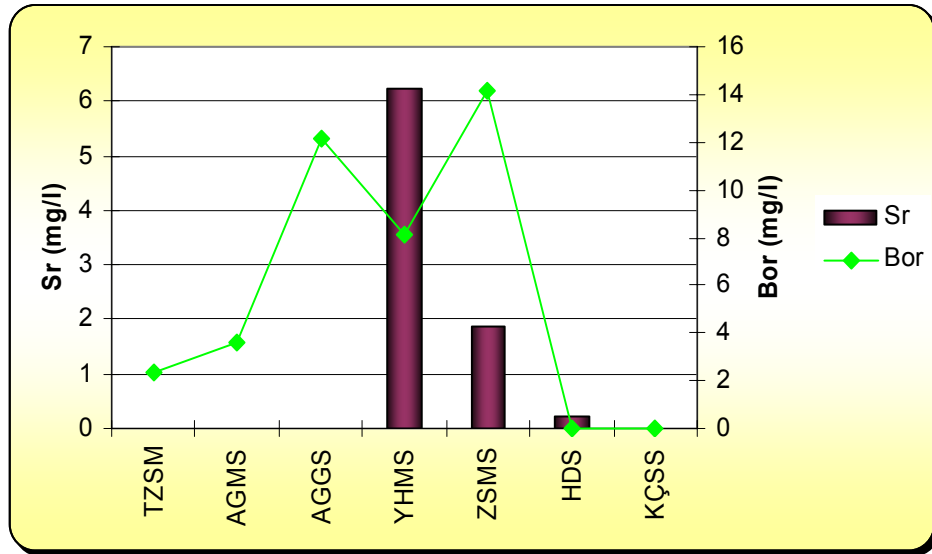
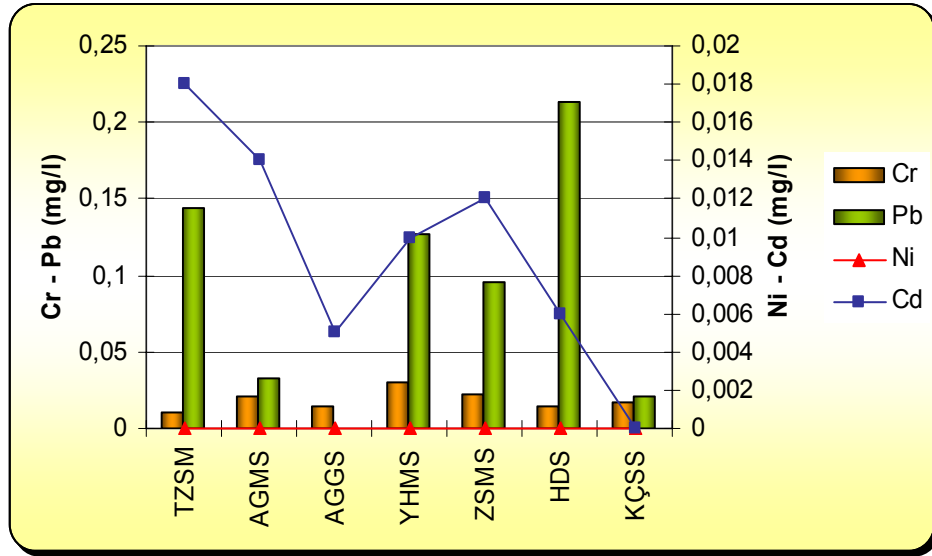
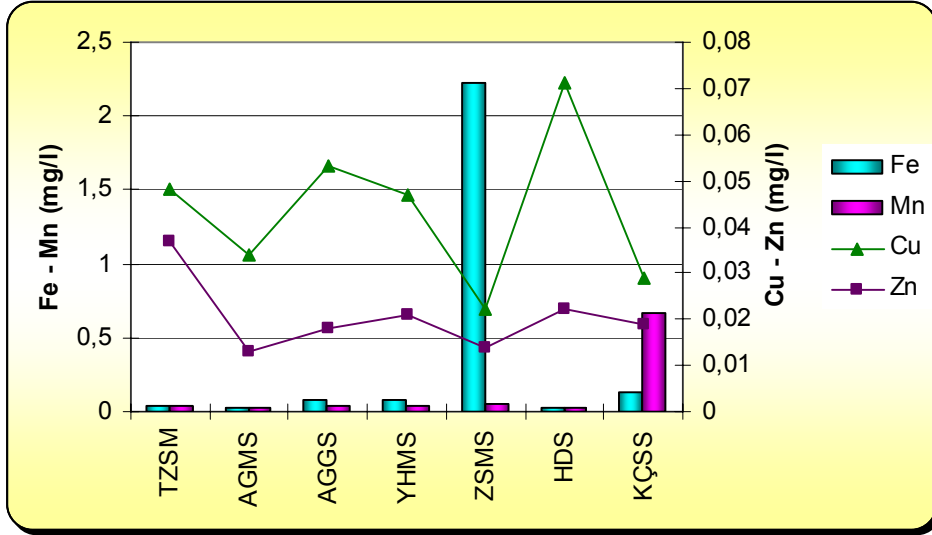
Suların Mayıs 2005 ve Kasım 2005 tarihlerinde yapılan ağır metal ve diğer analiz sonuçlarının değerlendirilmeleri grafikler yardımıyla yapılmıştır (Çizelge 3.2, 3.4 ve Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9).

Mayıs ayı metal analizlerine göre mg/l cinsinden, Fe en yüksek ZSMS’de, en düşük AGMS’de, Mn en yüksek KÇSS’de, en düşük AGMS’dedir. Cu en yüksek HDS’de en düşük ZSMS’dedir. Zn en yüksek TZSM’de ve en düşük AGMS’dedir. Cr’nin en yüksek değeri YHMS’de en düşük değeri TZSM’dedir. Pb, HDS’de en yüksek değerindedir ve en düşük AGGS’dedir. Ni, bütün kaynaklarda sıfırdır. Cd,

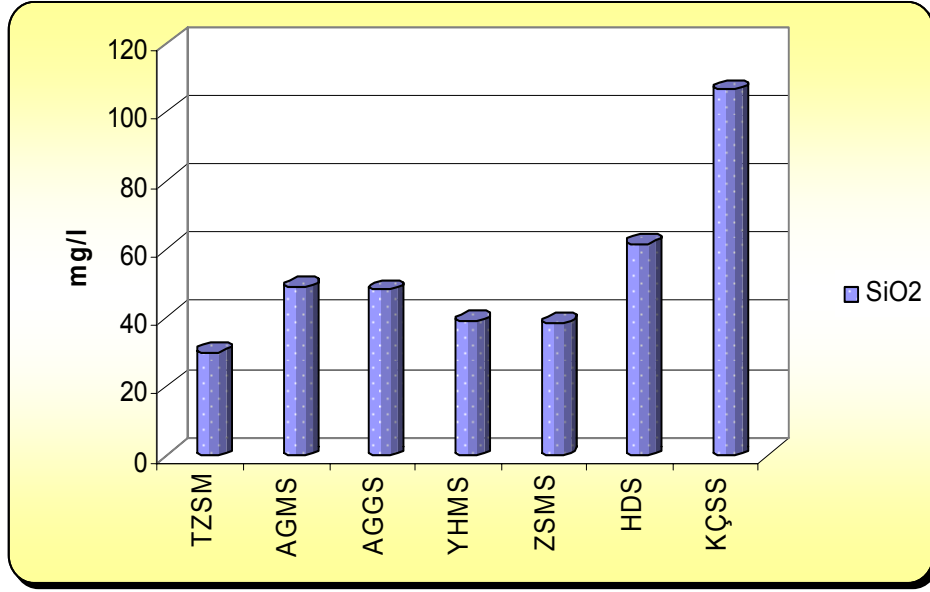
TZSM'de en yüksek değerindedir ve KÇSS'de sıfırdır. Sr, YHMS'de en yüksektir ve TZSM, AGMS, AGGS ve KÇSS'de sıfırdır. Borun en yüksek değeri Ziga'dadır, HDS ve KÇSS'de sıfırdır. SiO₂ ise en yüksek Koçpınar kaynağında olup en düşük değeri TZSM'dedir.



Şekil 3.4 İncelenen sulardaki bazı ağır metallerin değişim grafikleri (Mayıs 2005)

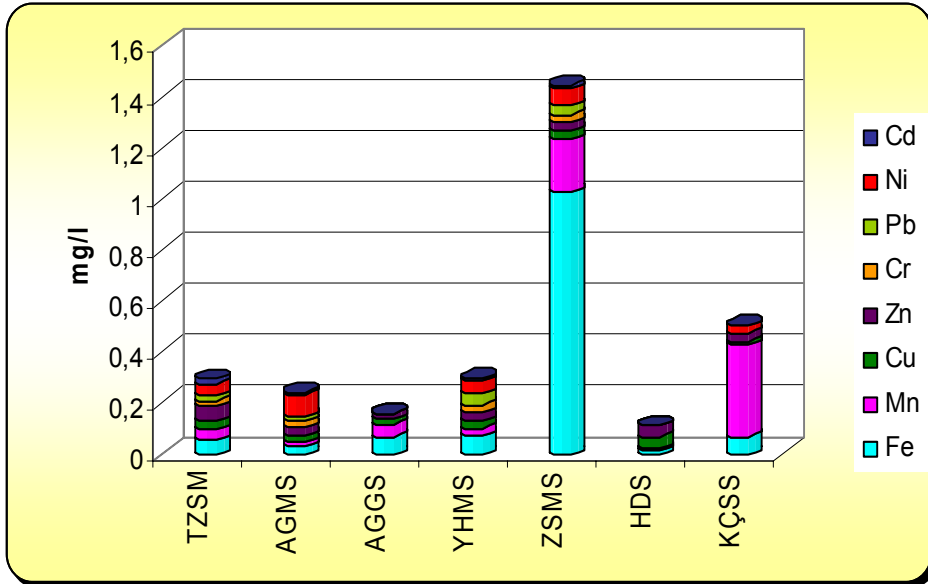
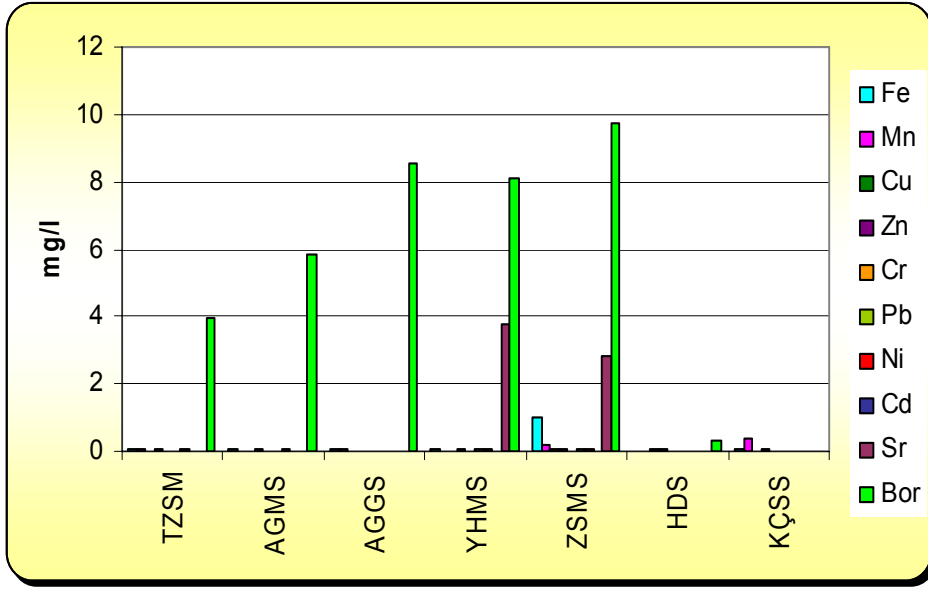


Şekil 3.5 İncelenen sulardaki bazı ağır metallerin ve diğer iyonların değişim grafikleri (Mayıs 2005)

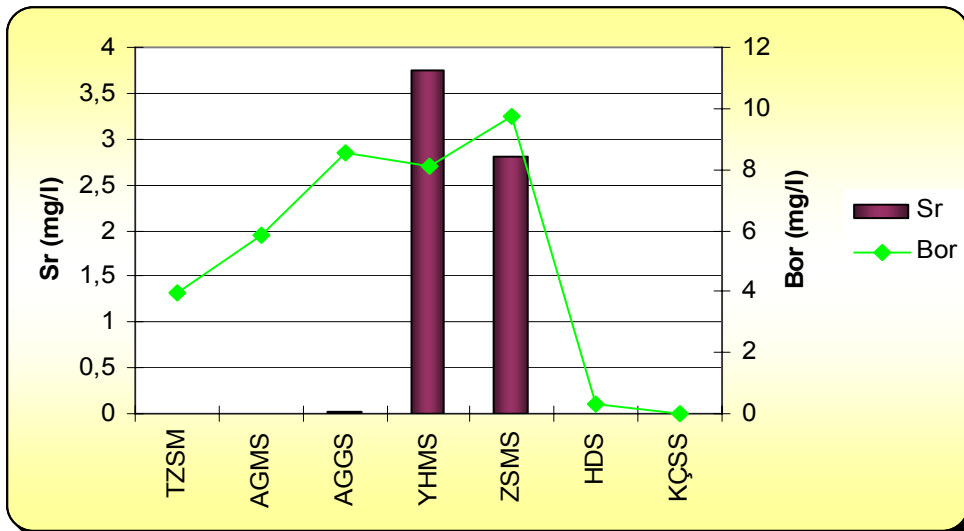
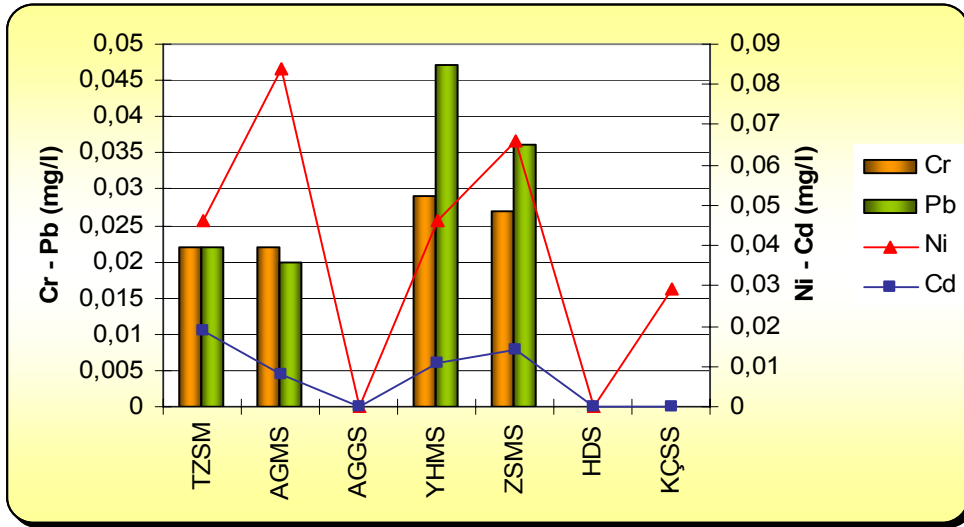
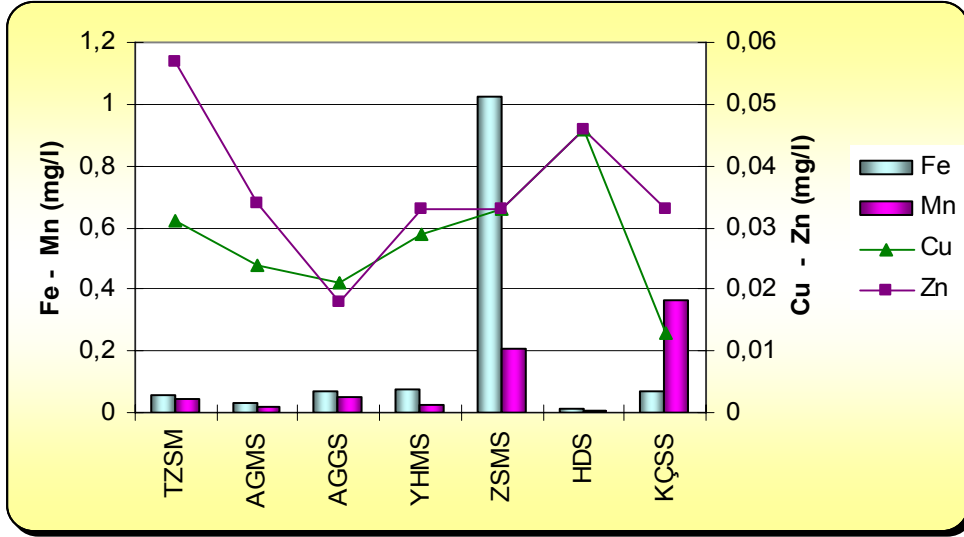


Şekil 3.6 İncelenen sulardaki SiO₂'nin değişim grafiği (Mayıs 2005)

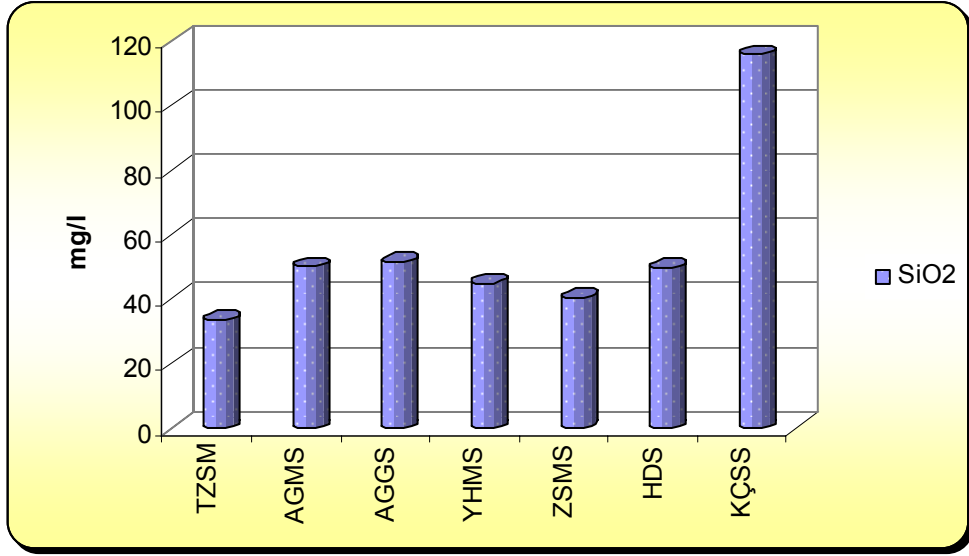
Kasım ayı metal analizlerine göre Fe en yüksek ZSMS'de, en düşük HDS'de, Mn en yüksek KÇSS ve ZSMS'de, en düşük HDS'dedir. Cu genellikle yakın değerlerdedir en yüksek HDS'de en düşük KÇSS'dedir. Zn en yüksek TZSM'de ve en düşük AGGS'dedir. Cr'nin en yüksek değeri YHMS'dedir ve AGGS, HDS ve KÇSS'de sıfırdır. Pb, YHMS'de en yüksek değerindedir ve AGGS, HDS ve KÇSS'de sıfırdır. Ni, AGMS'de en yüksektir ve AGGS ve HDS'de sıfırdır. Cd, TZSM'de en yüksek değerindedir ve AGGS, HDS ve KÇSS'de sıfırdır. Sr, YHMS'de en yüksektir ve TZSM, AGMS, HDS ve KÇSS'de sıfırdır. Borun en yüksek değeri Ziga'da olup, KÇSS'de sıfırdır. SiO₂ ise en yüksek Koçpınar kaynağında olup en düşük değeri TZSM'dedir.



Şekil 3.7 İncelenen sulardaki bazı metallerin değişim grafikleri (Kasım 2005)



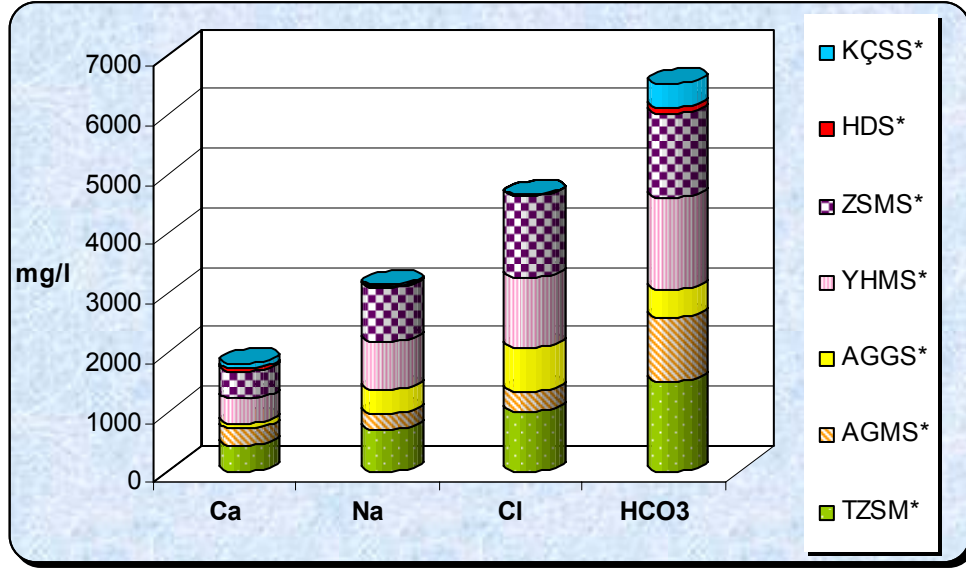
Şekil 3.8 İncelenen sulardaki bazı ağır metal iyonlarının değişim grafikleri (Kasım 2005)



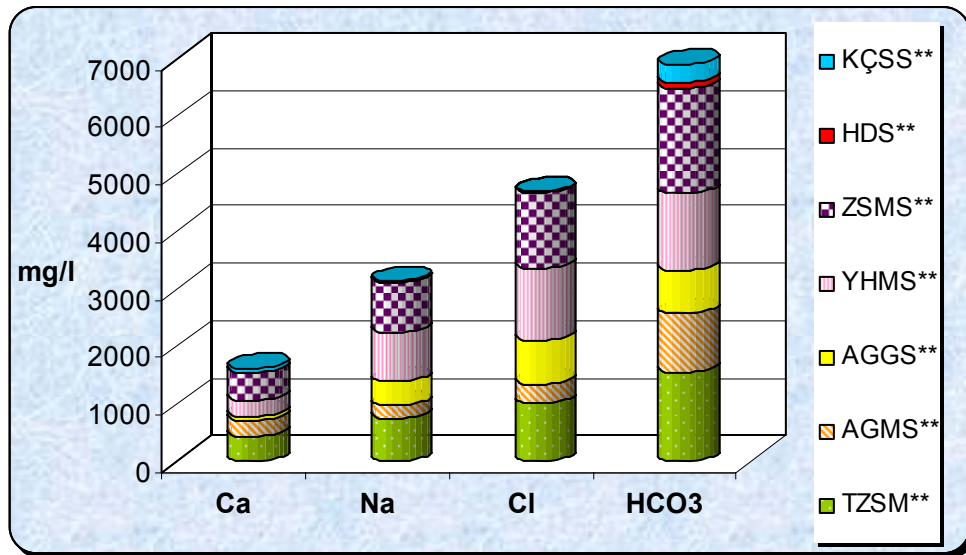
Şekil 3.9 İncelenen sulardaki SiO₂'nin değişim grafiği (Kasım 2005)

3.5 Hidrokimyasal Fasiyesler

İnceleme alanında, analizleri yapılan sıcak ve mineralli sular iki fasiyeste toplanmıştır. AGMS’de Ca-Na-HCO₃-Cl, Tuzlusu, Yaprakhisar ve Ziga sıcak ve mineralli su kaynaklarında ise Na-Ca-Cl-HCO₃ şeklindedir (Şekil 3.10, 3.11).

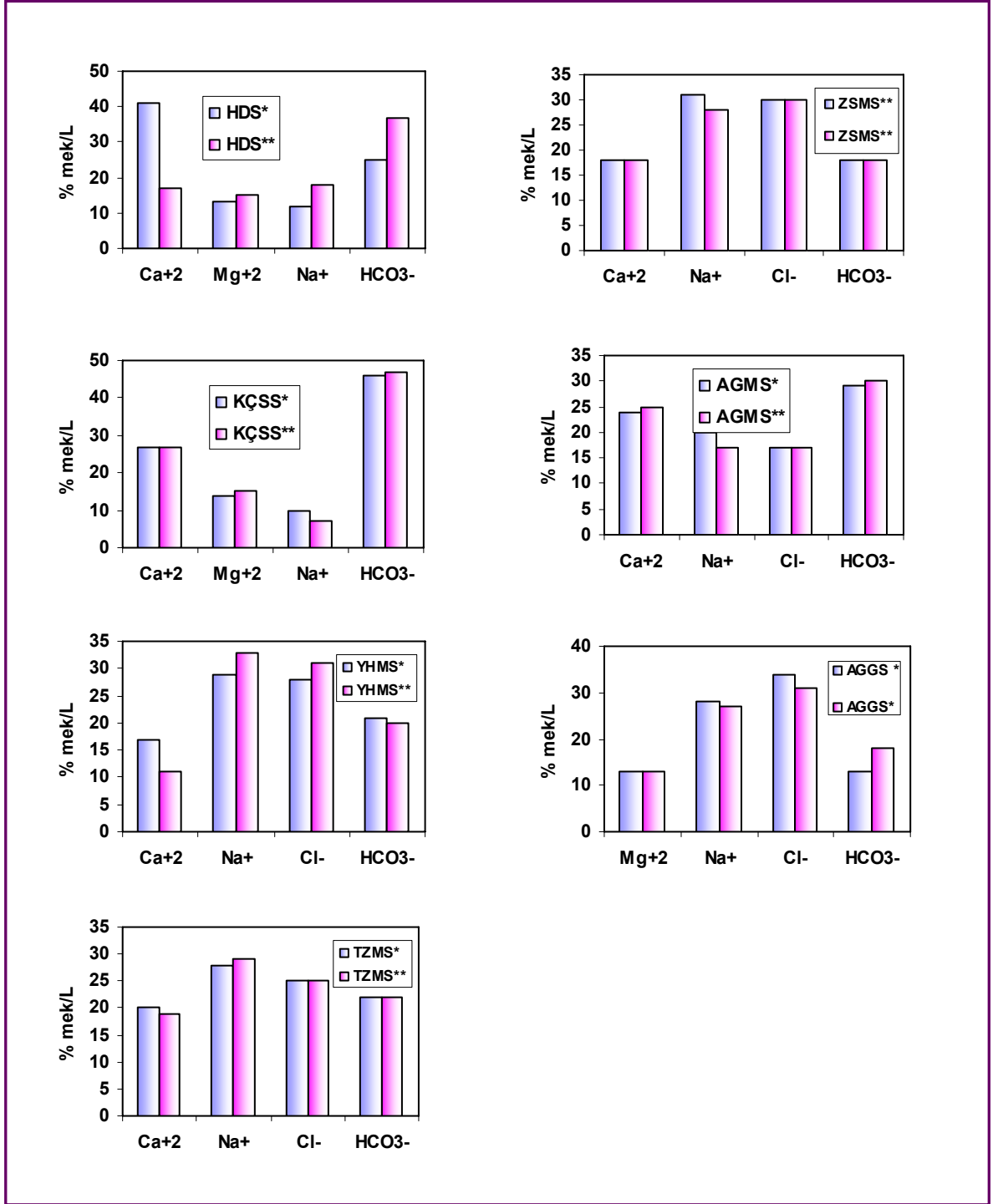


A



B

Şekil 3.10 Hidrokimyasal fasiyesler (A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005, kısaltmalar çizelge 3.1’deki gibidir).



Şekil 3.11 Bazı iyonların analiz sonuçlarının grafiklerle gösterimi. (*: Mayıs 2005; **: Kasım 2005, kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir)

3.6 Doğunluk İndislerinin Hesaplanması

Yeraltı suyu dolaşımı sırasında, akifer sisteminde oluşan kimyasal tepkimeler, hidrojeokimyasal ortam hakkında yorum yapabilmek için imkân sağlamaktadır. Bu amaçla yeraltı suyunda çeşitli minerallerin doğunluk durumlarının araştırılması gerekmektedir.

İncelenen sıcak ve mineralli suların ve soğuk suların doğunluk indisleri Phreeqc [56] bilgisayar programında hesaplanmıştır (Çizelge 3.6, 3.7). Ayrıca, suların anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, $Fe(OH)_3$, götit, jips, halit, hematit, manganit, kuvars, siderit ve talk gibi çökelme ortamlarında bulunabilecek başlıca minerallerin doğunluk durumları grafiksel olarak değerlendirilmiştir (Şekil 3.12, 3.13).

Yaprakhisar sıcak ve mineralli su kaynağı, kalsedon, götit, hematit, kuvars mineralleri bakımından doğundur.

Ziga sıcak ve mineralli su kaynağı, Mayıs ayında, kalsedon, götit, hematit, kuvars mineralleri bakımından doğundur. Kasım ayında ise anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, $Fe(OH)_3$, götit, hematit, kuvars mineralleri bakımından doğun hale gelmiştir. Bunun nedeni, yeraltı su seviyesi sonbahar aylarında, en düşük seviyesinde olup yeraltı suyu daha fazla tepkimeye girme eğilimlidir ve daha uzun süre kayaçlarla temas halindedir. Bu nedenle mineral doğunluklarında değişimler olmaktadır.

Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynağı, kalsedon, götit, hematit, kuvars mineralleri bakımından doğundur.

Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynağı, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, götit, hematit, kuvars mineralleri bakımından doğundur.

Koçpınar kaynağında, kalsedon, götit, hematit, kuvars mineralleri doğun durumdadır.

Soğuk sulardan, Helvadere soğuk su kaynağı kalsedon, götit, hematit, kuvars mineralleri bakımından doğundur.

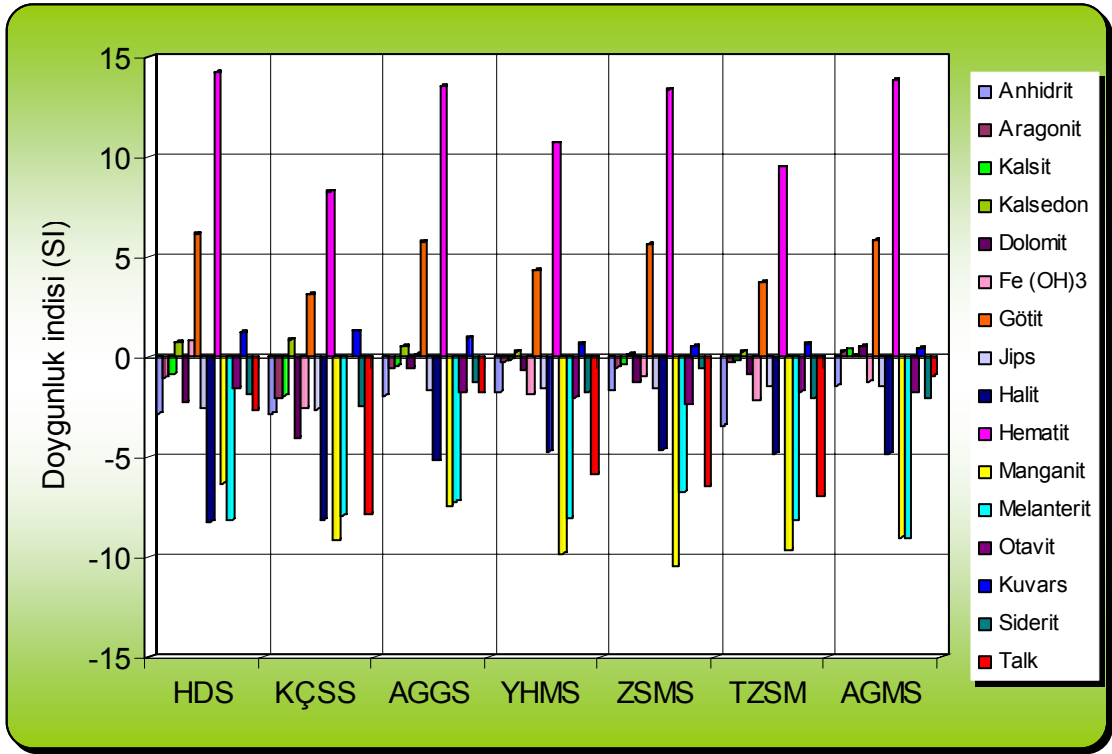
Acıgöl göl suyunda, kalsedon, $Fe(OH)_3$, götit, hematit, kuvars mineralleri doğun durumdadır.

Çizelge 3.6 İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk değerleri (Mayıs 2005)
(Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir)

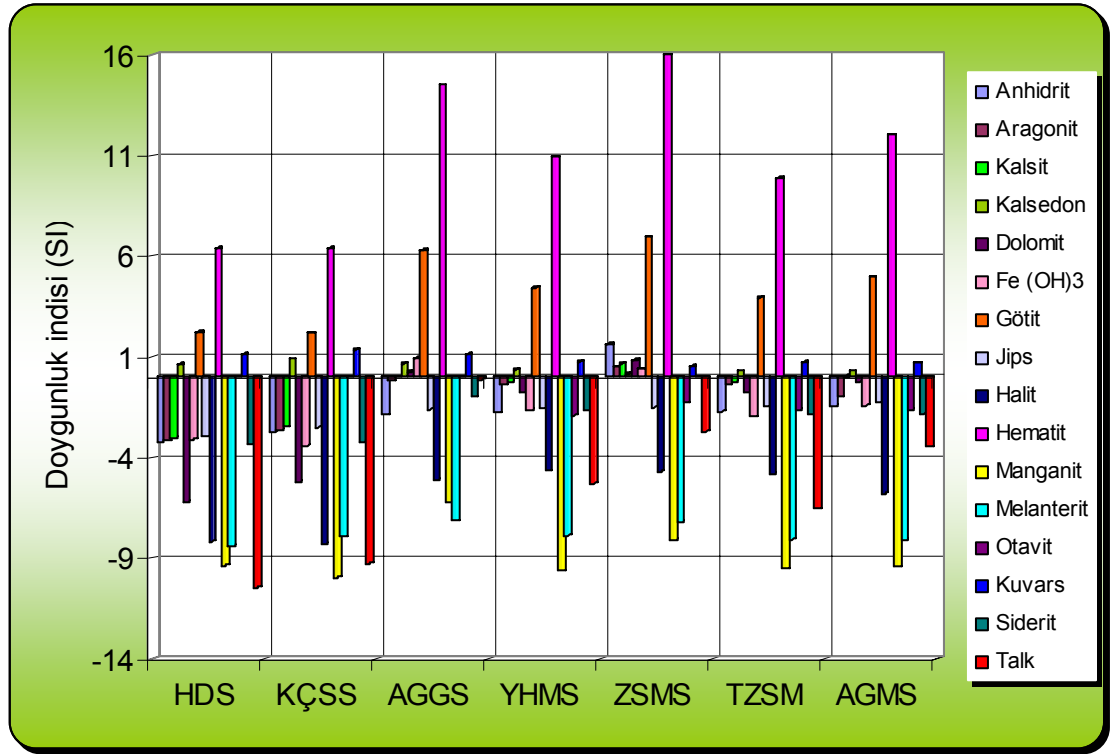
Mineraller	HDS	KÇSS	AGGS	YHMS	ZSMS	TZSM	AGMS
<i>Anhidrit</i>	-2,81	-2,84	-1,91	-1,77	-1,70	-3,41	-1,42
<i>Aragonit</i>	-1,01	-2,07	-0,59	-0,24	-0,53	-0,30	0,28
<i>Kalsit</i>	-0,85	-1,92	-0,44	-0,11	-0,40	-0,16	0,40
<i>Kalsedon</i>	0,74	0,86	0,54	0,28	0,15	0,25	0,10
<i>Dolomit</i>	-2,29	-4,08	-0,56	-0,67	-1,25	-0,87	0,53
<i>Fe(OH)₃</i>	0,80	-2,59	0,12	-1,87	-0,95	-2,18	-1,22
<i>Götüt</i>	6,14	3,13	5,76	4,32	5,62	3,73	5,81
<i>Jips</i>	-2,55	-2,61	-1,67	-1,59	-1,60	-1,49	-1,45
<i>Halit</i>	-8,21	-8,13	-5,19	-4,73	-4,64	-4,83	-4,81
<i>Hematit</i>	14,22	8,25	13,49	10,68	13,33	9,49	13,79
<i>Manganit</i>	-6,33	-9,16	-7,46	-9,83	-10,47	-9,67	-9
<i>Melanterit</i>	-8,14	-7,90	-7,21	-8,08	-6,77	-8,16	-9,05
<i>Kuvars</i>	1,22	1,30	0,99	0,68	0,52	0,67	0,43
<i>Siderit</i>	-1,87	-2,50	-1,29	-1,71	-0,56	-2,02	-2,08
<i>Talk</i>	-2,67	-7,88	-1,80	-5,86	-6,44	-6,94	-0,93
<i>log_pCO₂</i>	-2,35	-0,87	-1,35	-0,28	-0,12	-0,37	-0,42

Çizelge 3.7 İnceleme alanındaki suların mineral doygunluk değerleri (Kasım 2005)

Mineraller	HDS	KÇSS	AGGS	YHMS	ZSMS	TZSM	AGMS
<i>Anhidrit</i>	-3,24	-2,74	-1,88	-1,78	-1,63	-1,72	-1,44
<i>Aragonit</i>	-3,18	-2,64	-0,18	-0,38	0,52	-0,38	-0,99
<i>Kalsit</i>	-3,03	-2,49	-0,03	-0,25	0,66	-0,25	0,04
<i>Kalsedon</i>	0,65	0,91	0,67	0,37	0,17	0,30	0,31
<i>Dolomit</i>	-6,22	-5,21	0,28	-0,77	0,83	-0,76	-0,22
<i>Fe (OH)₃</i>	-3,11	-3,44	0,94	-1,64	0,40	-1,98	-1,43
<i>Götüt</i>	2,24	2,21	6,29	4,45	6,95	3,93	4,97
<i>Jips</i>	-2,98	-2,50	-1,62	-1,59	-1,52	-1,50	-1,29
<i>Halit</i>	-8,17	-8,29	-5,12	-4,66	-4,70	-4,81	-5,79
<i>Hematit</i>	6,41	6,40	14,51	10,94	15,99	9,87	12,02
<i>Manganit</i>	-9,37	-9,97	-6,24	-9,62	-8,11	-9,53	-9,44
<i>Melanterit</i>	-8,39	-7,93	-7,15	-7,86	-7,20	-8,06	-8,09
<i>Kuvars</i>	1,12	1,36	1,14	0,78	0,55	0,73	0,69
<i>Siderit</i>	-3,37	-3,22	-0,98	-1,66	-0,03	-1,87	-1,80
<i>Talk</i>	-10,44	-9,26	-0,12	-5,30	-2,71	-6,56	-3,48
<i>log_pCO₂</i>	-1,64	-0,96	-1,55	-0,40	-0,32	-0,39	-0,49



Şekil 3.12 İnceleme alanındaki suların doygunluk indislerinin grafiksel değerlendirmesi (Mayıs 2005).



Şekil 3.13 İnceleme alanındaki suların doygunluk indislerinin grafiksel değerlendirmesi (Kasım 2005).

BÖLÜM IV

İZOTOP HİDROLOJİSİ

Hidroloji alanında yeraltı suyu kökeninin belirlenmesi çalışmalarında, izotop tekniklerinin kullanılması büyük yararlar sağlamaktadır. Birçok araştırma ile izotoplar yeraltı suyunun akım hızının ve geçiş süresinin hesaplanması, baraj ve rezervuarlardan sızmanın belirlenmesi, akifer parametrelerinin belirlenmesi, yüzey suları ile yeraltı suları arasındaki ilişkinin araştırılması vb. gibi birçok konuda kullanılmıştır.

Hidrolojide kullanılan en önemli çevresel izotoplar ^{16}O , ^{18}O , ^2H (döteryum), ^{12}C , ^{13}C , ^3H (trityum) ve ^{14}C 'tür. Bunların son ikisi radyoaktif, diğerleri kararlı çevresel izotoplardır. Yeraltı suyu kökeninin belirlenmesi çalışmalarında çevresel izotoplar çok yararlı bilgiler vermektedir. Yeraltı ve yerüstü sularının asıl beslenmesi yağışlarla olmaktadır. Bu nedenle yağışların izotopik içeriklerinin değişimi ve bu değişimlere etki eden etmenlerin bulunması yeraltı suyu beslenme sisteminin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Suyu oluşturan hidrojen ve oksijen kararlı izotopları ^1H , ^2H , ^{16}O , ^{17}O ve ^{18}O 'dir. Su örneğinde kararlı izotoplar oranının değişimi kütle spektrometresi ile ölçülür ve δ (‰) ile ifade edilir.

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{smow}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{smow}}} * 1000$$

$$\delta \text{D} = \frac{(\text{D}/\text{H})_{\text{örnek}} - (\text{D}/\text{H})_{\text{smow}}}{(\text{D}/\text{H})_{\text{smow}}} * 1000$$

Denklemlerindeki SMOW (standart ortalama okyanus suyu) okyanus suyunun ortalama izotopik kompozisyonunu temsil eder. Standart olarak okyanus suyunun seçilmesinin nedeni okyanusların hidrolojik çevrimin başlangıç ve bitiş noktalarını temsil etmesi ve izotopik kompozisyon olarak oldukça homojen olmasıdır.

Yağışların ve yüzey sularının ^{18}O ve ^2H içeriklerinin değişimi paralellik gösterir. Craig [21] tatlı suların ^{18}O ve ^2H içeriği ile ilgili olarak aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$\delta ^2\text{H} \%_o = a.\delta ^{18}\text{O} \%_o + d$$

Denklemden eğer su hiç buharlaşmamış ise a değeri 8 ve ortalama yağışa ait d değeri (döteryum fazlası) ise 10'dur. Bu denklemin belirttiği doğru küresel meteorik su doğrusu olarak adlandırılmaktadır.

Hidrojen atomunun üç izotopundan birisi olan ^3H , 12.43 yıllık yarı ömürlü radyoaktif bir izotopdur. ^3H , 1950 yılında gerçekleştirilen termonükleer deneylerin sonucu, atmosferde derişiminin çok yüksek değerlere ulaştığının fark edilmesi ile çok önemli bir hidrolojik araç olarak kullanılmaya başlanmıştır. Doğal sularda bulunan ^3H miktarı TU (trityum birimi) ile ifade edilir. Radyoaktif bir izotop olan ^3H sürekli olarak bozunmaya uğradığından, belirli bir alanda yeraltı suyunun ve bu yeraltı suyunu besleyen yağışın ^3H içeriklerinin bilinmesi durumunda yeraltı suyunun, yağışın yeraltına sızmasından ne kadar bir süre akifer içinde kaldığı belirlenebilir.

4.1 Jeotermal İncelemelerde İzotopların Kullanılması

Jeotermal incelemelerde izotop tekniklerinin kullanılması oldukça önemlidir. Bunun birinci nedeni, sıcak suların izotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşmesine ve diğer fizikokimyasal işlemlere (örneğin, değişik kökenli suların karışımı, buharın ortamdaki ayrılması gibi) karşı oldukça hassas olması, ikinci nedeni ise izotopların fiziksel ve kimyasal karakterlerini oldukça iyi koruduklarından bölgesel akış yönünün ve sıcak suyun kökeninin belirlenmesinde oldukça iyi izleyici olmalarıdır. İzotopların jeotermal sistemlerin hazne kaya sıcaklıkları, beslenme akışkanlarının kökeni, sıcak ve soğuk su karışımları gibi sorunların çözümünde kullanılmaktadır. Duraylı izotoplardan ^{18}O ve ^2H hidrolojik koşulların belirlenmesinde ve akışkanı etkileyen işlemlerin değerlendirilmesinde kullanılırken ^3H radyoaktif izotop ise suların yaşının ve jeotermal rezervuara olan en son soğuk su akışının belirlenmesinde kullanılmaktadır [9].

$\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ grafiği üzerinde meteorik su doğrusu üzerine düşen su örneklerinin atmosferik sulardan kaynaklandığı ve diğer izotopik süreçlerden etkilenmediği varsayılır. Meteorik su doğrusundan olan sapmalar ise başka izotopik süreçlerin etkili olduğunu gösterir. Bu süreçlerden en çok karşılaşılanlardan birisi buharlaşma, diğeri ise su ile kayaç mineralleri arasındaki izotopik değişimdir. Buharlaşma sonucunda suların izotop içerikleri meteorik su doğrusundan saparak bir buharlaşma doğrusu oluştururlar.

Bu buharlaşma doğrusu üzerindeki noktalar meteorik su doğrusundan uzaklaştıkça buharlaşmanın arttığını işaret etmektedir [22].

Jeotermal sular başlıca meteorik sulardan kaynaklanmıştır [21,9]. Jeotermal suların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri yerel meteorik sularinkinden daha yüksektir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklarda su ile $\delta^{18}\text{O}$ 'ca zengin kayaç mineralleri arasındaki izotop alışverişidir. Oksijen izotopları arasındaki bu alışveriş olayı düşük sıcaklıklarda önemsenmeyecek kadar yavaş ve az olmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda hızlanarak sulara ^{18}O 'in yükselmesine, kayaçlarda ise düşmesine neden olur. $\delta^2\text{H}$ değerleri ise bazen sabittir. Çünkü, Giggenbach [40], sulara $\delta^2\text{H}$ değerlerinin zenginleşebileceğini ve $\delta^{18}\text{O}$ ile doğrusal olarak artacağını ispatlamıştır.

Jeotermal sular meteorik sular ile juvenil suların karışımından oluşursa karışımı gösteren suların doğruları $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ grafiği üzerinde birbirine paralel olmak yerine birbirlerine ve juvenil suyun izotop kompozisyonuna doğru yaklaşım gösterirler.

4.2 Suların İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

4.2.1 $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ ilişkisi

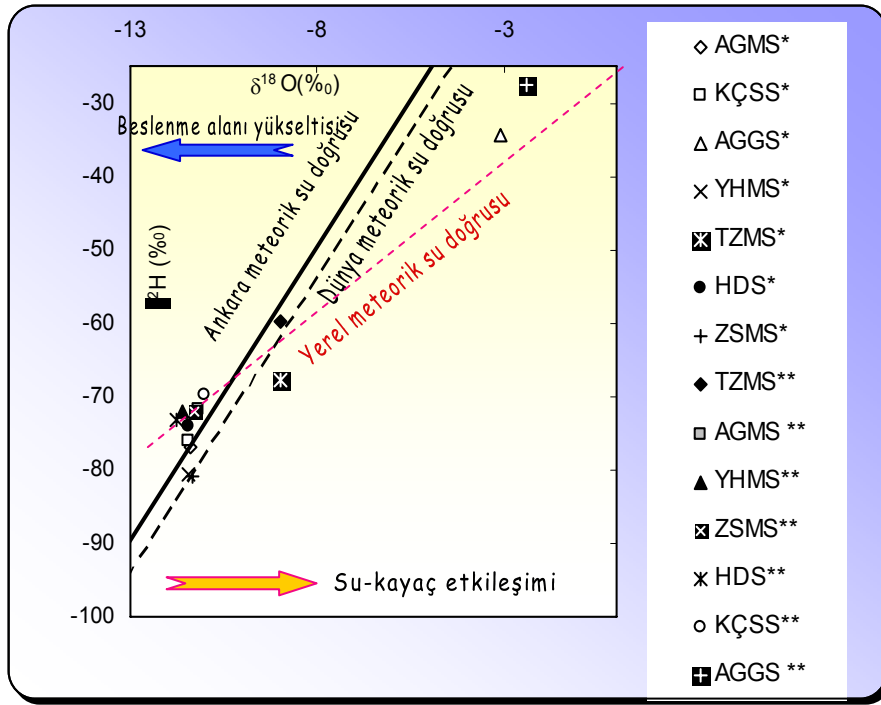
İncelenen sıcak ve mineralli sular ile Helvadere suyu ve Acıgöl göl suyundan 18. 05. 2005 ile 18. 11. 2005 tarihlerinde örnekler alınarak $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.1 ve 4.2). Analiz sonuçlarının $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ ilişkisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları (Mayıs 2005) (Kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir).

Örneğin adı	Örnekleme tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	^3H (TU)
<i>TZSM</i>	20.05.2005	25,9	6,11	5230	-9	-67,8	2,63
<i>AGMS</i>	18.05.2005	61,1	6,44	5500	-11,41	-76,94	1,49
<i>AGGS</i>	20.05.2005	18	6,82	310	-3,11	-34,32	4,8
<i>YHMS</i>	18.05.2005	33,5	6,08	5260	-11,47	-80,71	0,64
<i>ZSMS</i>	20.05.2005	45,4	5,80	5500	-11,34	-80,92	0,8
<i>HDS</i>	20.05.2005	10,4	7,17	207	-11,45	-74,15	6,75
<i>KÇSS</i>	20.05.2005	20,3	5,76	748	-11,45	-75,91	2

Çizelge 4.2 İnceleme alanındaki suların izotop analiz sonuçları (Kasım 2005) (Kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir).

Örneğin adı	Örnekleme tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	^3H (TU)
<i>TZSM</i>	20.11.2005	25,4	6,15	5710	-8,97	-59,83	2,63
<i>AGMS</i>	18.11.2005	40	6,29	3200	-11,16	-71,72	1,49
<i>AGGS</i>	20.11.2005	10,5	7,22	800	-2,43	-27,59	4,8
<i>YHMS</i>	18.11.2005	30,8	6,18	5850	-11,59	-72,11	0,64
<i>ZSMS</i>	20.11.2005	44,7	6,43	6910	-11,31	-72,13	0,8
<i>HDS</i>	20.11.2005	10,4	5,97	214	-11,75	-73,28	8,1
<i>KÇSS</i>	20.11.2005	18,5	5,57	586	-11,04	-69,90	2



Şekil 4.1 İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005) (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).

İnceleme alanında yer alan kaynaklar gerek kimyasal gerekse izotopik bakımdan farklı bileşime sahiptir (Çizelge 4.1 ve 4.2).

Yükselti arttıkça izotopik seyrelme nedeniyle daha negatif değerler açığa çıkar. Açıkça görülmektedir ki, Acıgöl göl suyu en düşük kottan, Tuzlusu sıcak ve mineralli kaynakları orta kotlardan, diğer kaynaklar ise yüksek kotlardan beslenmektedirler. Acıgöl göl suyu, Helvadere, Tuzlusu sıcak ve mineralli suyu, Acıgöl sıcak ve mineralli suyu ve Koçpınar kaynağının negatif yönde artış göstermesi kaynak sularının mevsimsel yağışlardan etkilenmiş olabileceğine işaret edebilir. Çünkü yeraltına süzülen yağmur suyu buharlaşırken hafif izotoplar daha kolay buhar fazına geçeceği için kalan su ağır izotoplarca zenginleşmiş olabilir.

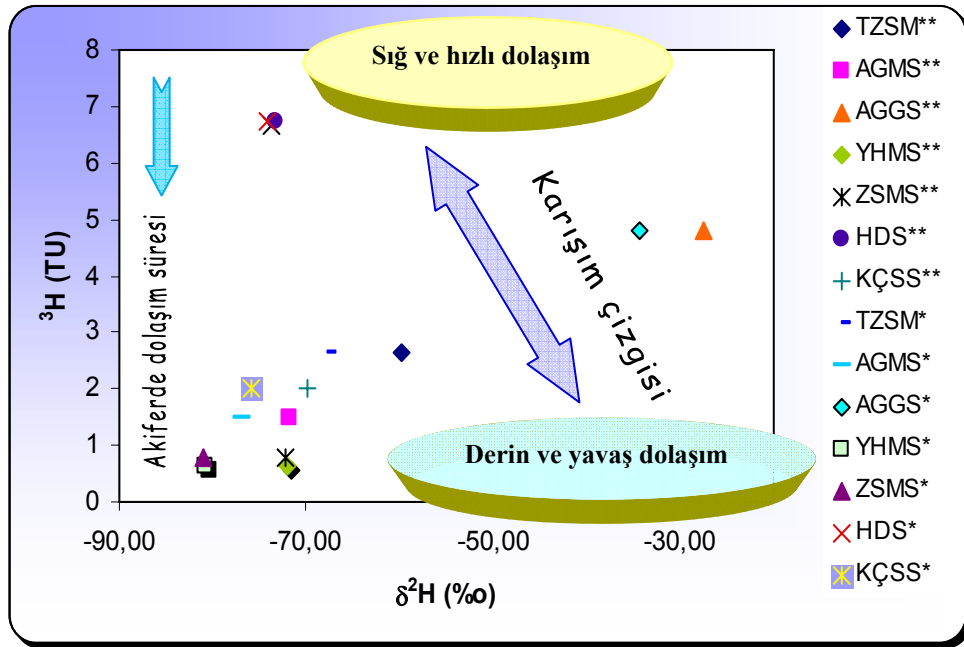
4.2.2 $\delta^2\text{H}$ - ^3H ilişkisi

Trityum (^3H) izotopu radyoaktif olduğu için yeraltı suyunun akiferde kalış süresine bağlı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Bu izotop, yeraltı sularının bağlı yaşının belirlenmesinde önemli parametredir.

$\delta^2\text{H}$ - ^3H grafiği kaynak sularının beslenme yükselteleri ile akifer içinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtır. Grafiğin yatay eksenini (^2H) boyunca başlangıca

yaklaştıkça beslenme alanı yükseltisi, düşey eksenini (^3H) boyunca başlangıca yaklaştıkça akiferde kalış süresi artmaktadır. Buna göre beslenme alanı en yüksek olan kaynaklar, Acıgöl sıcak ve mineralli suyu, Acıgöl göl suyu ve Helvadere suyudur. Bunu Ziga, Yaprakhisar ve Koçpınar kaynakları takip etmektedir. Tuzlusu sıcak ve mineralli kaynakları ise düşük kotlardan beslenmektedir.

^3H değerlerine göre Helvadere kaynağı ve Acıgöl göl suyu sığ dolaşımıdır. Yaprakhisar, Ziga, Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynağı derin dolaşımı olup bu daha uzun dolaşım süresine ve yüksek sıcaklığa işaret eder. Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynağı bu sıcak ve mineralli su kaynaklarına nispeten daha sığ dolaşımı, Koçpınar kaynağı ise orta dolaşımı kaynaklardır. (Şekil 4.2).

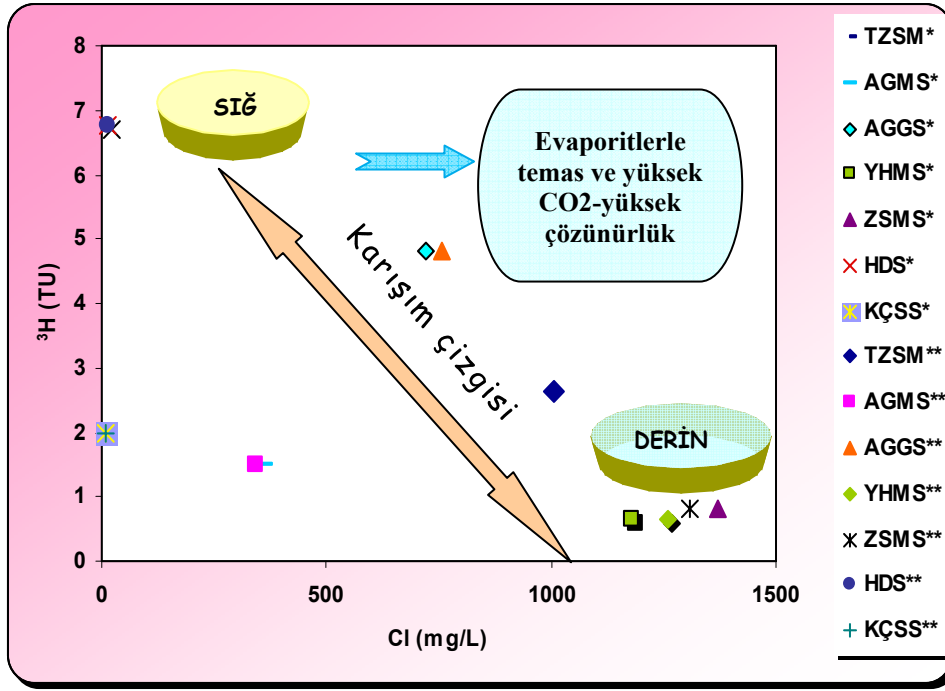


Şekil 4.2 İncelenen suların $\delta^2\text{H}$ - ^3H diyagramı (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005) (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).

4.2.3 ^3H -Cl ilişkisi

^3H -Cl diyagramında genel olarak sıcak ve mineralli suların yüksek Cl^- , düşük ^3H içeriğine sahip oldukları; Soğuk suların ise düşük Cl^- yüksek ^3H içeriğine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 4.3). Yüksek Cl^- ve düşük ^3H içeriği sığ dolaşım sistemine ait olan soğuk sular ile karşılaştırıldığında daha derin ve uzun akım ağlarına sahip olduklarına işaret edebilir [70]. Bu nedenle, incelenen sıcak ve mineralli sular daha derin ve uzun bir dolaşım sistemi içinde olabilirler.

^3H içeriği en yüksek olan Helvadere kaynağı güncel yağışlardan etkilenmektedir. Ziga ve Yaprakhisar kaynakları derin dolaşımıdır ve Cl^- miktarının yüksek olması da bunu desteklemektedir. Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynağı daha önce de belirtildiği gibi, derin dolaşım olmasına rağmen yüksek klorür içeriğinin nedeni, evaporitlerden kaynağa klorür geçişi olması olabilir.



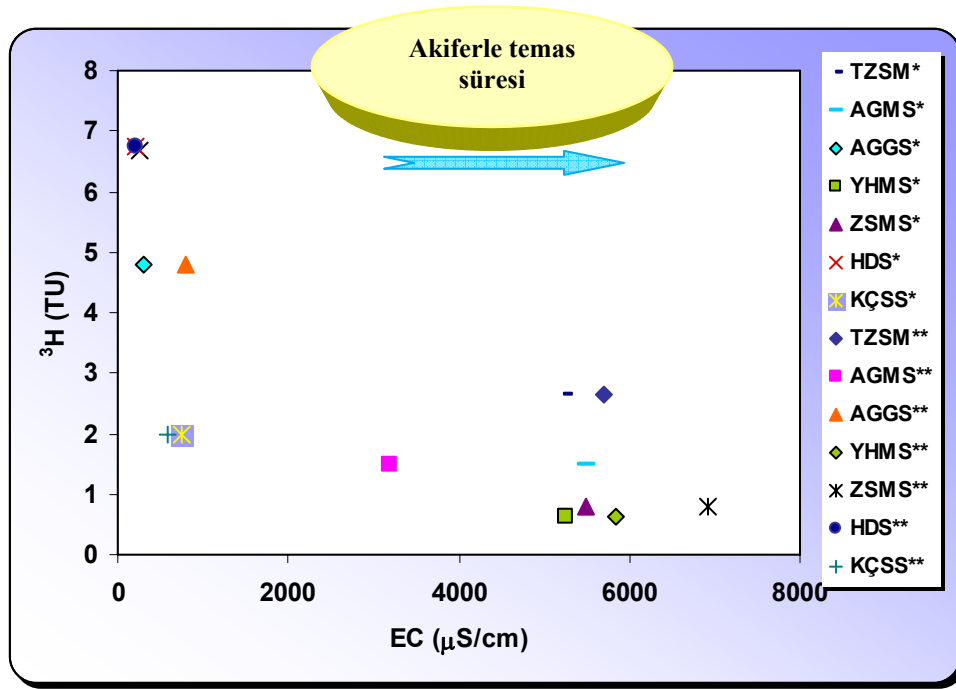
Şekil 4.3 İncelenen suların ^3H -Cl diyagramı (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005) (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).

4.2.4 ^3H -EC ilişkisi

Yüksek elektriksel iletkenliğe (EC) sahip yeraltı suları akiferde daha uzun süre kalmış olabilirler. Yüksek trityum-düşük EC değerleri geçiş süresinin kısa, düşük trityum-yüksek EC değerleri geçiş süresinin uzun olmasına işaret edebilir. Çünkü akiferle temas süresi arttıkça kayaç su arasındaki etkileşim sonucu iyon değişimi açığa çıkabilir [4].

Örneklerin ^3H -EC ilişkileri Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Buna göre, Helvadere ve Acıgöl göl suyu kısa süreli, sığ dolaşım sularıdır. Koçpınar kaynağı bunlara nispeten biraz daha uzun dolaşım süresindedir. Ziga, Yaprakhisar ve Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynakları çok uzun süreli dolaşım sularıdır. Tuzlu su sıcak ve mineralli su kaynağı orta süreli dolaşım sularıdır. TZSM'nin EC değerinin yüksekliği yüzünden uzun süreli

dolaşımli su gibi görünmesinin nedeni daha önce de belirtildiği gibi evaporit katkılarıdır.



Şekil 4.4 ^3H -EC ilişkisi (*: Mayıs 2005, **: Kasım 2005) (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).

4.2.5 $\delta^{13}\text{C}$ - ^{14}C ilişkisi

C elementinin ^{12}C ve ^{13}C izotopları duraylı, ^{14}C izotopu ise radyoaktiftir. Atmosferik CO_2 bu izotopların tümünü belli oranlarda içerir. Atmosferik CO_2 ile ilişkide bulunan canlılar da bu izotopları içermektedirler. ^{14}C izotopu atmosferin üst kesimlerinde kozmik partiküllerin özellikle ^{14}N izotopları ile çarpışması sonucu üretilir ve zaman içinde radyoaktif bozunma sonucu yeniden ^{14}N izotopuna dönüşür. Bu izotopun üretilme ve bozunma süreçleri arasında oluşan doğal denge sonucunda atmosferik CO_2 'in ^{14}C aktivitesi 100 pmc (yüzde modern karbon) düzeyindedir. Bu değer jeolojik zaman ölçeğinde değişim göstermektedir [13].

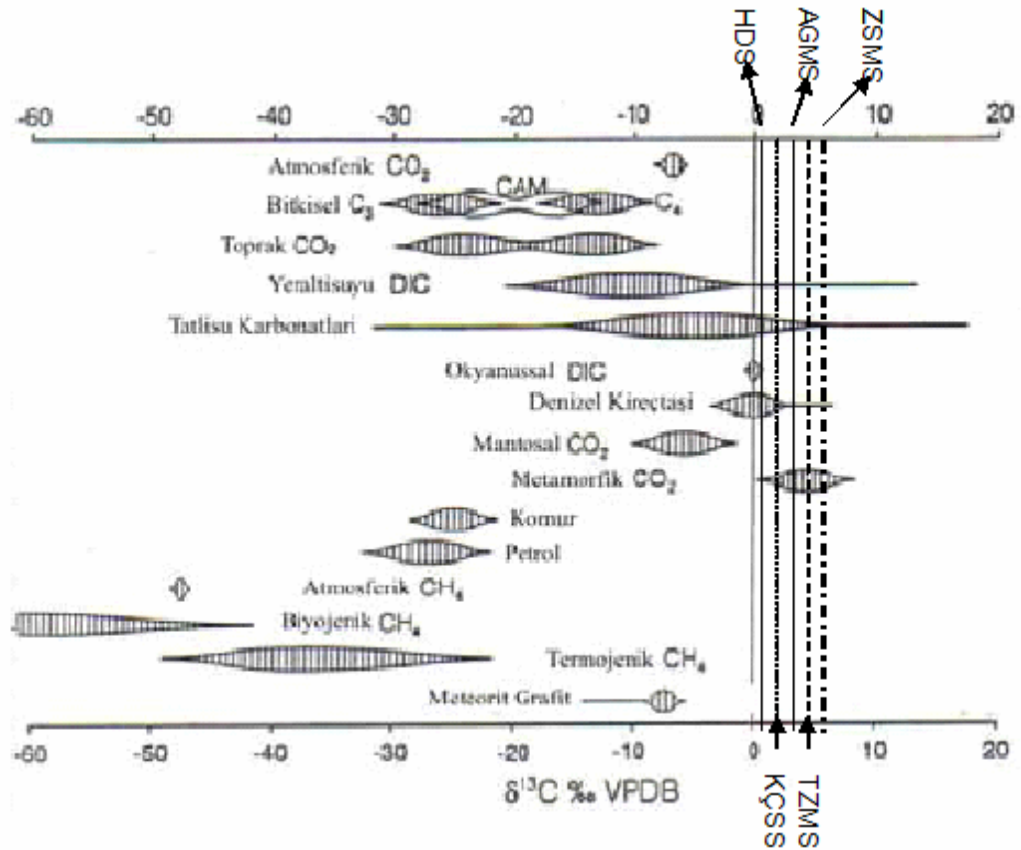
Yeraltı suyunda karbon elementinin başlıca kaynakları i) atmosferik CO_2 , ii) süzülme zonundaki organik faaliyetler sonucu üretilen biyolojik CO_2 , iii) jeojenik CO_2 ve iv) karbonatlı minerallerin çözünmesi ile suya geçen CO_3 iyonlarıdır. Jeojenik CO_2 'in başlıca kaynakları karbonatlı kayaların metamorfizması ve yer kabuğundan CO_2 kaçıdır. Atmosferik ve biyolojik kökenli CO_2 'in ^{14}C içermesine karşın, jeojenik ve çözünme kökenli CO_2 , ^{14}C içermez [13].

Sıcak, mineralli su çıkışları ile bunlarla bağlantılı fay-çatlaklarda gerçekleştirilen asal gaz ve ^{13}C - CO_2 gaz ölçümleri [28, 43] ile soğuk karstik yeraltısularında gerçekleştirilen asal gaz ölçümleri [55] kabuksal, manto kökenli ve derinlerdeki karbonatlı kayaçların metamorfizmaya uğraması ile ilgili gaz getirimlerinin Anadolu genelinde yaygın olduğunu göstermektedir [13]. Bor-Aksaray ile orta kesimde bulunan Karapınar dolayındaki sondajlarda yoğun CO_2 gaz çıkışları ile karşılaşılması havza genelinde jeojenik gaz getiriminin önemli bir süreç olduğunu kanıtlamaktadır [13]. Analiz sonuçlarına göre $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) soğuk sulara (HDS ve KÇSS) 1.6 ile 3.7; AGMS, TZMS ve ZSMS’de sırasıyla 5.6, 6.3 ve 6.7 olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar sulardaki CO_2 ’nin kökeninin metamorfik olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.6). İnceleme alanının jeolojisi dikkate alındığında CO_2 ’nin jeotermal sistemin asıl akiferi olan, denizel karbonatların metamorfizmasına bağlı olarak oluşmuş Bozçaldağ metamorfitlerine ait mermerlerle ilişkili olabileceği yorumu yapılabilir. Soğuk sulara $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin düşük olması, bunlara metamorfik CO_2 ’nin yanı sıra güncel CO_2 girişlerinin de olabileceğinin göstergesidir. İnceleme alanındaki bazı kaynaklardan alınmış CO_2 gazlarının Tokyo Deprem Kimyası Laboratuvarında yapılmış $\delta^{13}\text{C}$ analizleri sonucu Tuzlusu’da 0.87 ve Koçpınar’da 0.86 ‰ PDB olarak saptanmıştır [3]. ^{14}C yaşlandırmalarında Libby yarılanma ömrü olan 5570 yıl esas alınmıştır. İncelenen suların yaşları Geochron Laboratuvar yetkilisi (Dr. Alexander Cherchinsky) tarafından 1950 sonrasına ait (the age is referenced to the year A.D. 1950) olarak yorumlanmıştır. Düzeltilmiş ^{14}C ile $\delta^{13}\text{C}$ ve modern karbon girdisi ^{14}C (pmC) ile $\delta^{13}\text{C}$ arasındaki korelasyon katsayılarının (r^2) sırasıyla 0.56 ve 0.66 olması düşük derecede de olsa söz konusu suların bu izotop değerlerinin kısmen uyumlu olduğunun göstergesidir (Şekil 4.7). ^{14}C yaşlarının (x1000 yıl) olmak üzere 18.51 ile 43.21 şeklinde HDS’den ZSMS’ye doğru (ZSMS>AGMS>KÇSS>TZMS>HDS), modern karbon (pmC) değerlerinin ise 0.54 ile 2.54 arasında ZSMS’den HDS’ye doğru (HDS>TZSMS>KÇSS>AGMS>ZSMS) artmış olmaları modern karbon girdisi nedeniyle çok abartılı olmasına rağmen, Helvadere kaynaklarından Ziga/Acıgöl’e doğru sığdan derine gerçekleşen bir dolaşım türüne işaret etmesi bakımından anlamlı olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, Na ve Cl’ce zengin olan Ziga ve Tuzlusu sıcak ve mineralli sularında $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin yüksek olması HCO_3^- ’in ortamdan ayrılmasıyla $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin artmış olduğunu belirtebilir.

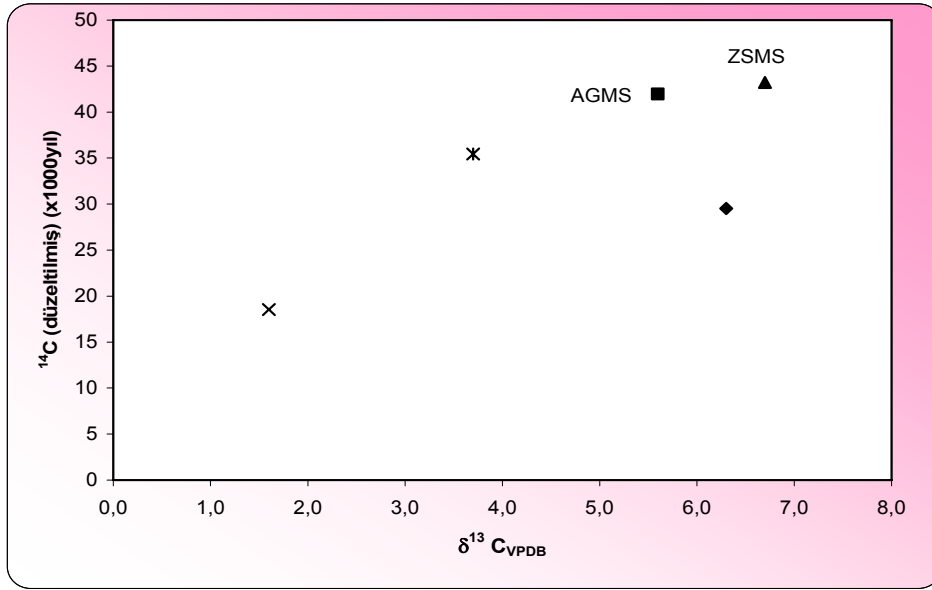
Çizelge 4.3 İnceleme alanındaki suların $\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C ve $\delta^{34}\text{S}$ analiz sonuçları, (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir)..

Örnek/Sıc. (°C)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	^{14}C yaş, düzeltilmiş (x1000 yıl) ± hata		^{14}C (pmC, düzeltilmiş) ± hata		$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)	SO_4 (mg/L)
TZMS (25.4°C)	6,3	29.51	230	2,54	0,08	16,9	62,91
AGMS (40°C)	5,6	41.97	500	0,54	0,03	6,8	115,65
ZSMS (44.7 °C)	6,7	43.21	560	0,46	0,03	20,7	65,84
HDS (10.4 °C)	1,6	18.53	110	9,98	0,15	b	11.30
KÇSS (18.4 °C)	3,7	35.43	370	1,22	0,06	12,7	12,04
AGGS (10.5°C)	b	b	b	b	b	13,9	197,95

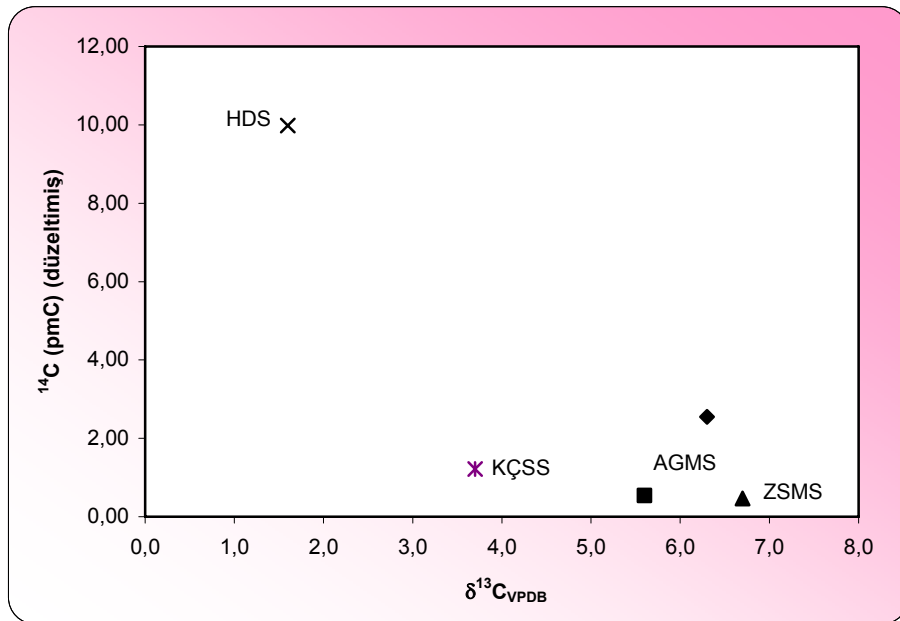
b: Belirlenmedi; PDB: Pee Dee Belemnitella; CDT: Canon Diablo Troilite)



Şekil 4.5 Doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı sulardaki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin Clark ve Fritz, (1997)'e göre konumu (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).



Şekil 4.6 İnceleme alanındaki sularda ^{14}C ve $\delta^{13}C_{PDB}$ değişimleri (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).



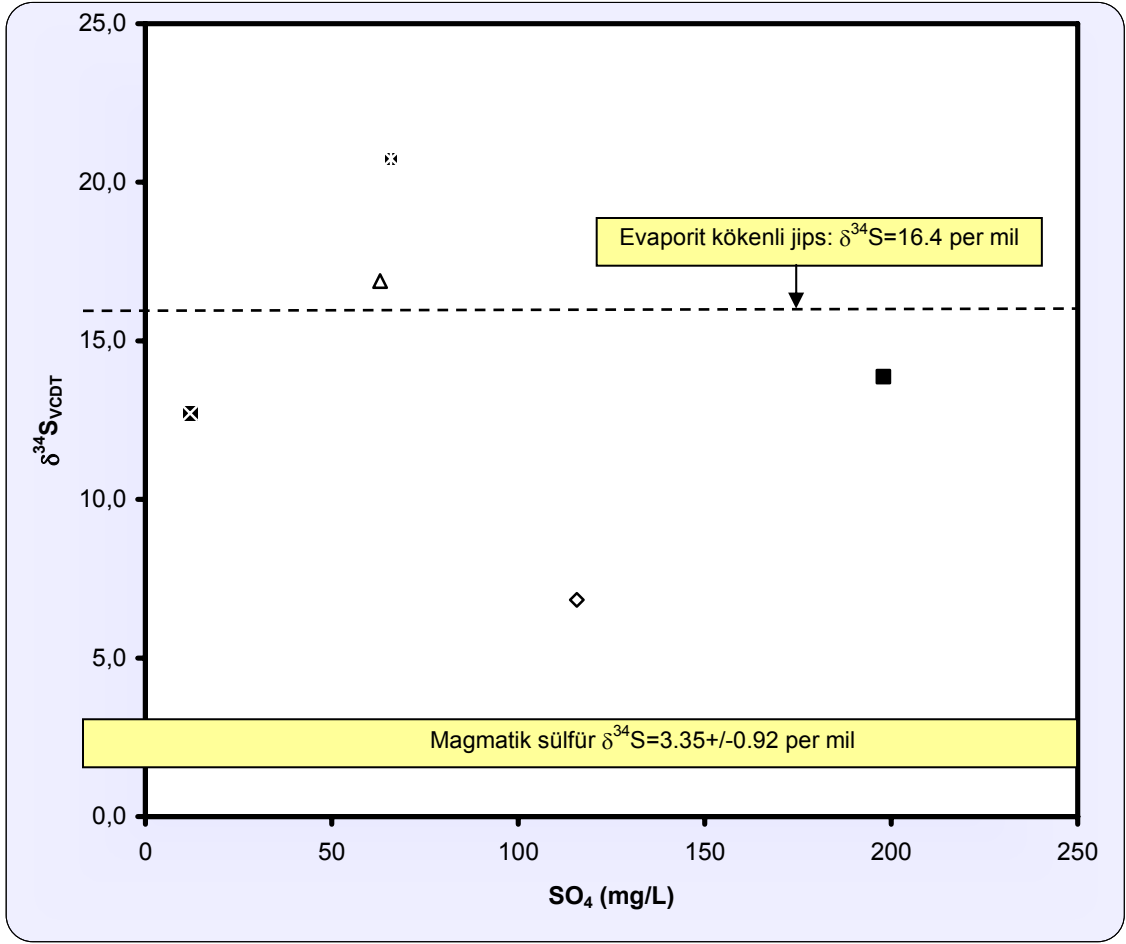
Şekil 4.7 İnceleme alanındaki sularda ^{14}C (yüzde modern karbon) ve $\delta^{13}C_{PDB}$ değişimleri (Kısaltmalar çizelge 3.1'deki gibidir).

4.2.6 $\delta^{34}S$ - SO_4 ilişkisi

Yerkabuğunda kükürdün bulunuş şekli çözünmüş sülfat, çözünmüş sülfid, hidrojen sülfid, sülfat ve sülfid mineralleri şeklindedir. Organik kükürt hümik maddeler, kerojen ve hidrokarbon olarak bulunur. Topraktaki oksidasyon ve çevrim yarı kurak bölgelerde karasal sülfatı oluşturur. Atmosferik kükürt ise doğal ve endüstriyel SO_2 ve

denizel aerosolü içerir. Kükürdün değişik ortamlardaki dolaşımı kükürt çevrimi oluşturur. Yüzey sularındaki çözülmüş kükürt kaynakları denizel aerosol, yağış, topraklar ve evaporitlerdeki sülfatın çözünmesi, jeolojik devirlerdeki eski kayaçların yeraltı suyu tarafından çözünmesi, sülfid mineralleri ile organik kükürtün oksidasyonu ve gaz fazındaki kükürt oksid ile fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan kükürdün çözünmesidir [20, 73].

İnceleme alanındaki suların $\delta^{34}\text{S}$ analiz sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiş ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. $\delta^{34}\text{S}$ ‰_{VCDT} değerleri AGMS'de en düşük (6,8), ZSMS'de ise en yüksektir (20,7). SO_4 miktarları (mg/L) HDS'de en düşük (11,30), AGGS'de ise en yüksektir (197,95). AGGS'de SO_4 miktarının en fazla olmasının nedeni, göl alanının atmosfer ile uzun süreli temasıdır. AGMS yüzeye çıktığında atmosferle uzun süreli temas sağlayacak zamanı bulmuştur. Böylece indirgenme ürünü olan H_2S gazı tekrar oksidasyona uğrayarak SO_4 iyonunu oluşturmuş [73] ve AGMS'deki $\delta^{34}\text{S}$ değerinin düşük olmasına ve SO_4 iyonunun kökeninin bir bölümünün de atmosferik SO_4 olarak yorumlanmasına neden olmuştur. AGMS'de H_2S gazının varlığı kaynak çıkışında çürük yumurta kokusunun alınmasından anlaşılmaktadır. Benzer yorumlar KÇSS için de yapılabilir. ZSMS ve TZMS ise evaporitik kökenli jipse işaret etmektedir. ZSMS ve TSMS kaynak alanlarında Oligomiyosen yaşlı Mezgit formasyonunun en üst seviyesinde bulunan jips çökellerinin bulunması [42] bu yorumu desteklemektedir.



Şekil 4.8 İnceleme alanındaki sulara ait δ³⁴S-SO₄ grafiği. [46, 41, 51]

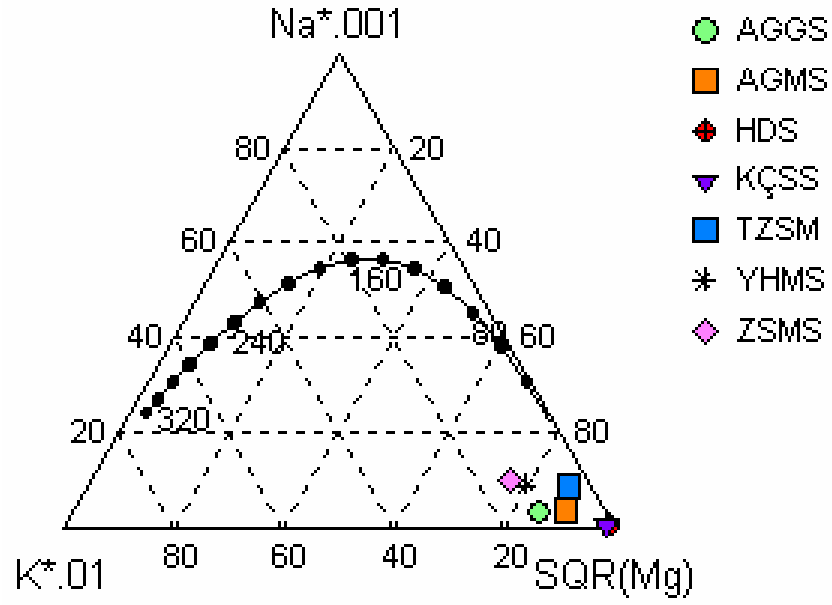
4.3 Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermometre, jeotermal alanlardan çıkan akışkanların özelliklerinden yararlanılarak sıcak su rezervuarı veya akiferin sıcaklıklarını tahmin yöntemlerini açıklayan bir terim olup, jeotermal sularda bulunan kimyasal elementler yardımıyla (iyon, gaz, izotop vb.) sıcak su akiferinin sıcaklığını tahmin etme yöntemidir.

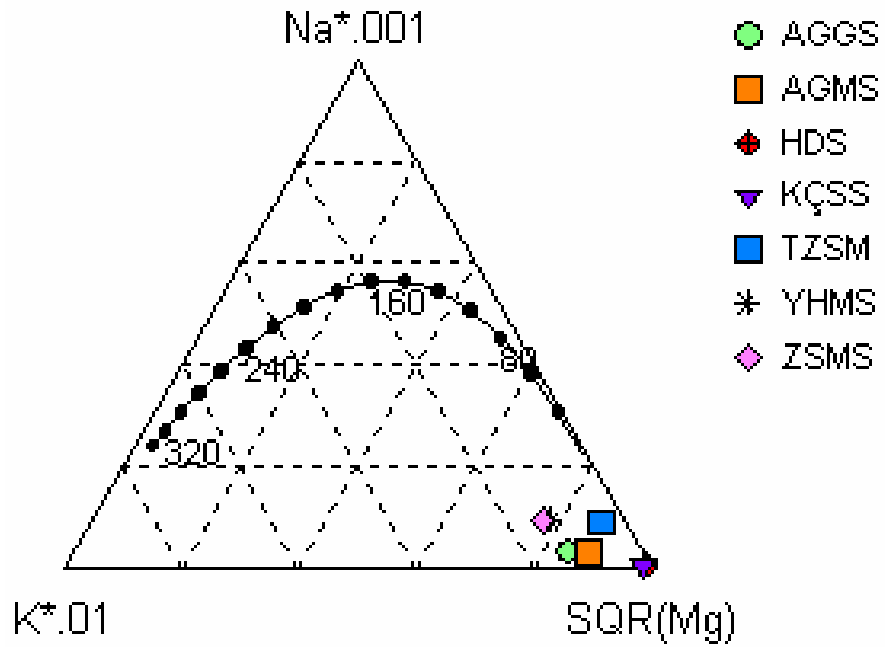
İnceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suların, hazne kaya sıcaklıkları uygun jeotermometreler kullanılarak hesaplanmıştır.

4.3.1 Katyon jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri, iyon değişimine dayalı jeotermometrelerdir. Bu jeotermometrelerin uygulanabilmesi için bazı şartlar aranır. Bu jeotermometrelerden sıkça kullanılan Giggenbach [40] tarafından önerilmiş olan Na-K-Mg üçgen diyagramıdır. Bu diyagramda, olgun (denge durumunda olan) sular bölümünde yer alan suların analizleri katyon jeotermometresi olarak kullanılabilir. Diğer bölgelerde ise katyon jeotermometresinin kullanılması yanlış sonuçlar verebilir. İnceleme alanındaki sular Na-K-Mg üçgen diyagramında denge durumundan oldukça uzak, olgun olmayan sular grubuna girmektedir (Şekil 4.9, 4.10). Bu nedenle bu suların hazne kaya sıcaklıklarının hesaplanmasında, katyon jeotermometrelerinin kullanılması hatalı sonuçlar verebilir.



Şekil 4.9 Suların Na-K-Mg üçgen diyagramı [40] üzerindeki dağılımı (Mayıs 2005).



Şekil 4.10 Suların Na-K-Mg üçgen diyagramı [40] üzerindeki dağılımı (Kasım 2005).

4.3.1.1 Li-Mg jeotermometresi

Li / Mg^{1/2} jeotermometresi üzerinde yapılan çalışmalar sonucu Kharaka ve Mariner (1989), Li / Mg^{1/2} oranının etkili bir jeotermometre olarak kullanılabileceğini önermişlerdir. Bunun yanında bu jeotermometrenin kuyudan alınmış jeotermometrelerde iyi sonuç vermesine rağmen, kaynak sularında alınan numunelerde hazne kaya sıcaklığından daha düşük bir değer vermektedir.

Mayıs ve Kasım 2005 analizlerine göre hesaplanan Li / Mg^{1/2} jeotermometre sonuçlarına göre sıcak ve mineralli suların hazne kaya sıcaklıkları 3 °C ile 112 °C arasında değişmektedir (Çizelge 4.4, 4.5). Bu değer aralığı oldukça abartılı olduğu için hazne kaya sıcaklığı tahmininde kullanılmamıştır.

4.3.1.2 Li-Na jeotermometresi

Li-Na jeotermometresi sudaki çözülmüş toplam katı maddeden ve kayaç türünden oldukça fazla etkilenmektedir. Çünkü, Li elementi jeotermal akışkanın minör bileşeni; Na ise majör bileşeni olup, Li'deki çok küçük bir değişim Na/Li oranını büyük oranda etkilemektedir [9]. Bu nedenle bu jeotermometreyi kullanırken abartılı sonuçlar çıkması muhtemeldir.

Bu jeotermometrenin uygulanması sonucu elde edilen maksimum hazne kaya sıcaklığı 223°C, minimum hazne kaya sıcaklığı ise 33°C'dir (Çizelge 4.4, 4.5).

4.3.2 SiO₂ jeotermometresi

SiO₂ jeotermometreleri mineral çözünürlüğüne dayalıdır. SiO₂'nin çözünürlüğü diğer mineraller gibi sıcaklık ve basınçla değişmektedir. Bu jeotermometrelerin esas bu temel bağıntıya dayanmaktadır. Silis jeotermometre bağıntıları, kimyasal tepkimeyi etkileyen hazne kaya sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına bağlı olarak hazırlanmıştır [64].

Kuvars jeotermometreleri çok yüksek sıcaklıklı sulara daha doğru sonuçlar vermektedir. İnceleme alanındaki suların SiO₂ jeotermometre sonuçları Çizelge 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 İncelenen sıcak ve mineralli suların hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C) (kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir).

	Mayıs 2005	AGMS	KÇSS	TZSM	YHMS	ZSMS
	<i>Ölçülen T (°C)</i>	61.1	20.3	25.9	35.5	45.4
Jeotermometreler	<i>Kristobalit alfa (a)</i>	51	90	30	40	40
	<i>Kalsedon(b)</i>	71	114	48	60	59
	<i>Kuvars(c)</i>	101	141	79	91	90
	<i>K/Mg (d)</i>	40	57	47	35	33
	<i>Mg/Li (e)</i>	103	3	56	97	111
	<i>Na/Li (f)</i>	197	41	36	104	121
	<i>Na/Li (g)</i>	180	50	46	105	119
	<i>Na-K-Ca (h)</i>	96	47	99	113	127

Jeotermometre referansları:

a,b,c,. [34], d. [38] e.[49], f,g [32], h. [35].

Çizelge 4.5 İncelenen sıcak ve mineralli suların hesaplanan tahmini rezervuar sıcaklıkları (°C) (kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir).

	Kasım 2005	AGMS	KÇSS	TZSM	YHMS	ZSMS
	<i>Ölçülen T (°C)</i>	40	18.5	25.4	30.8	44.7
Jeotermometreler	<i>Kristobalit alfa (a)</i>	51	95	34	46	42
	<i>Kalsedon(b)</i>	72	120	53	66	62
	<i>Kuvars(c)</i>	102	146	84	97	92
	<i>K/Mg (d)</i>	38	56	46	34	33
	<i>Mg/Li (e)</i>	105	6	56	99	112
	<i>Na/Li (f)</i>	223	76	33	104	128
	<i>Na/Li (g)</i>	200	81	43	105	125
	<i>Na-K-Ca (h)</i>	105	45	98	89	130

Jeotermometre referansları:

a,b,c,. [34], d. [38] e.[49], f,g [32], h. [35].

4.3.3 Karışım modelleri

Bir çok alandaki sıcak sular yüzeye çıkarken belli oranlarda soğuk sularla karışarak yer altındaki sıcaklıklarından daha düşük değerler verir. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerinde ve sıcaklığında meydana gelen değişiklikler kullanılarak jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir [67].

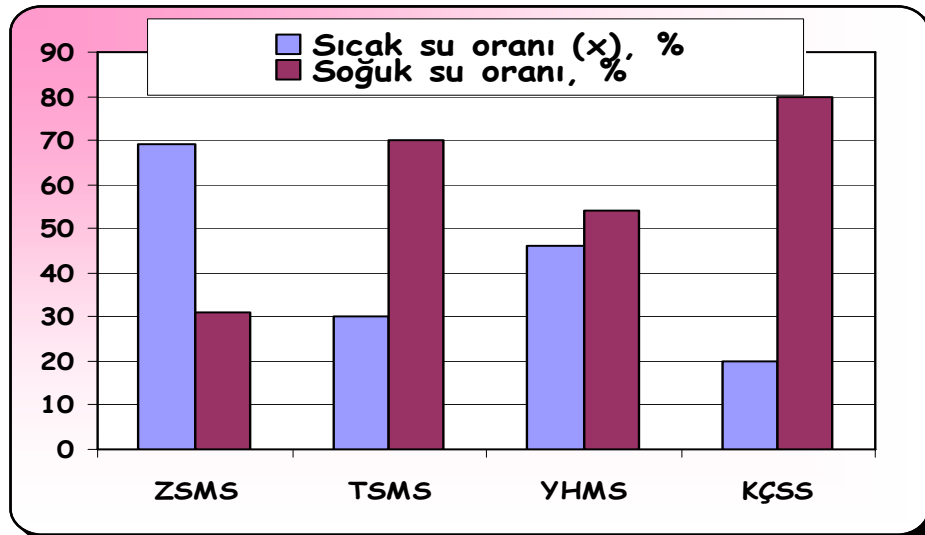
Sıcaklık ve SiO₂ dengesine dayalı olarak geliştirilmiş olan SiO₂-entalpi karışım modeli entalpi - SiO₂ diyagramını kullanarak karışım öncesi sıcaklık-buhar kaybının gerçekleşip gerçekleşmediği her iki durum için de uygulanabilmektedir [34, 67]

İncelenen suların hesaplanan karışım oranları Çizelge 4.6 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

$X = (H_m - H_c) / (H_h - H_c)$ [64]; X= Sıcak suyun oranı, H_m=Karışım suyunun entalpi, H_c= Soğuk suyun entalpi (HDS), H_h= Sıcak suyun entalpi (AGMS), (Hesaplamalarda entalpi (e) yerine kaynak sıcaklıkları kullanılmıştır).

Çizelge 4.6 Karışım oranları (Mayıs 2005) (kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir).

	Sıcak su oranı (X) %	Soğuk su oranı %
<i>ZSMS</i>	69	31
<i>TZSM</i>	30	70
<i>YHMS</i>	46	54
<i>KÇSS</i>	20	80



Şekil 4.11 İncelenen suların karışım oranları (Mayıs 2005).

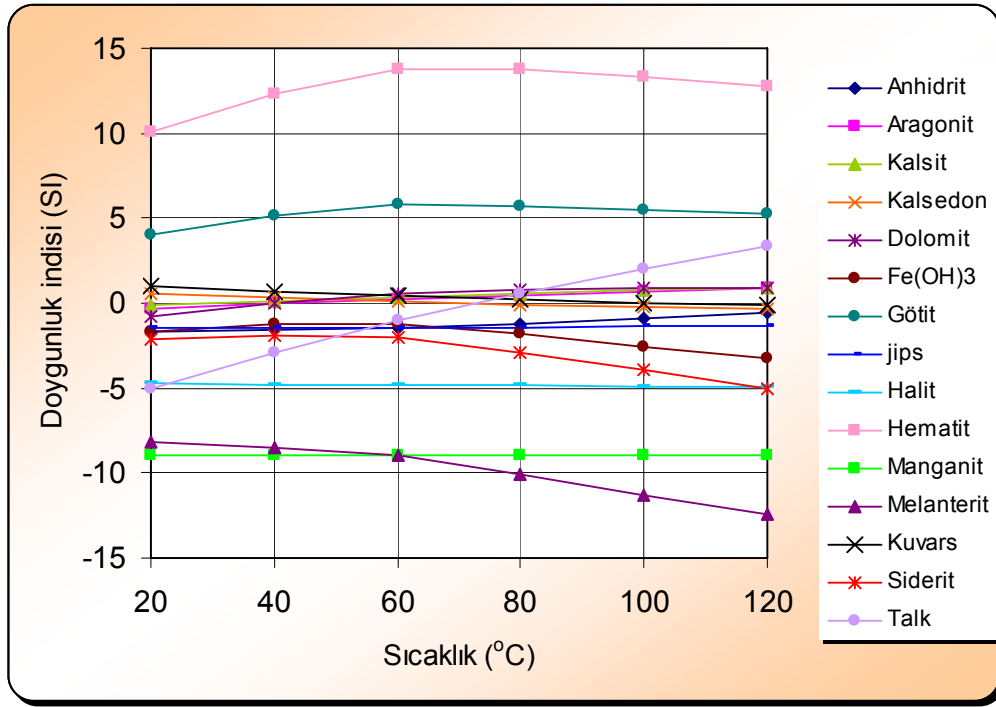
4.3.4 Mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi

Reed ve Spycher [58]'in jeotermal alanlardaki hazne kaya sıcaklığının tahmin edilmesi için önermiş oldukları bu yöntem sıcaklıkla mineral doygunluklarının değişimi esasına dayalıdır. Gerçekte bilinmektedir ki, minerallerin denge sabitleri hem sıcaklıkla hem de basınçla ilişkilidir. Ancak Arnorsson vd. [8]'nin belirttiği gibi alterasyon minerallerinin denge sabitlerinin değişiminde basıncın etkisi (0-200 bar arası) oldukça sınırlıdır. Bu gerçekten yola çıkılarak her bir su için sıcaklığın bir fonksiyonu olan pek çok hidrotermal mineral ile denge durumları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi ile oluşturulan sıcaklık-mineral denge diyagramı geliştirilmiştir [58, 67].

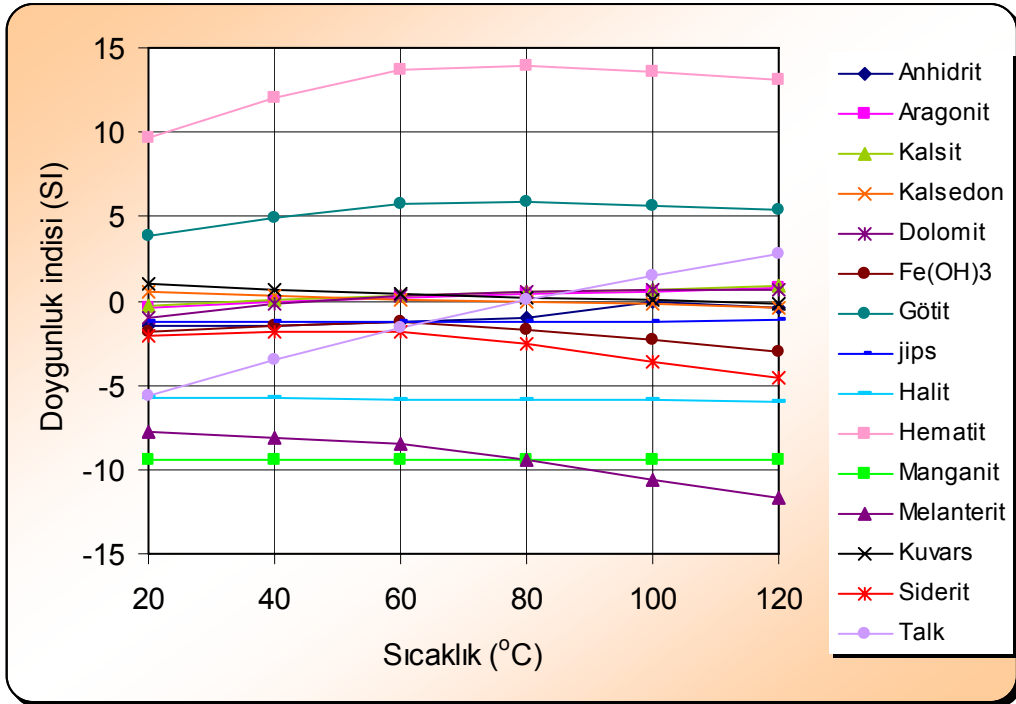
İncelenen sıcak ve mineralli su tahlil sonuçlarına ait sıcaklık-mineral denge diyagramları Şekil 4.12-4.16'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli suların, mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi ile hesaplanan tahmini hazne kaya sıcaklıkları (°C) (kısaltmalar Çizelge 3.1'deki gibidir).

Ölçüm yeri	AGMS		YHMS		KÇSS		TZSM		ZSMS	
Tarih (2005)	<i>Mayıs</i>	<i>Kasım</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Kasım</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Kasım</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Kasım</i>	<i>Mayıs</i>	<i>Kasım</i>
Ölçülen (°C)	61.1	40	35.5	30.8	20.3	18.5	25.9	25.4	45.4	44.7
Minimum	65	60	50	50	-	-	50	50	60	60
Maksimum	75	75	70	70	40	40	60	60	75	75

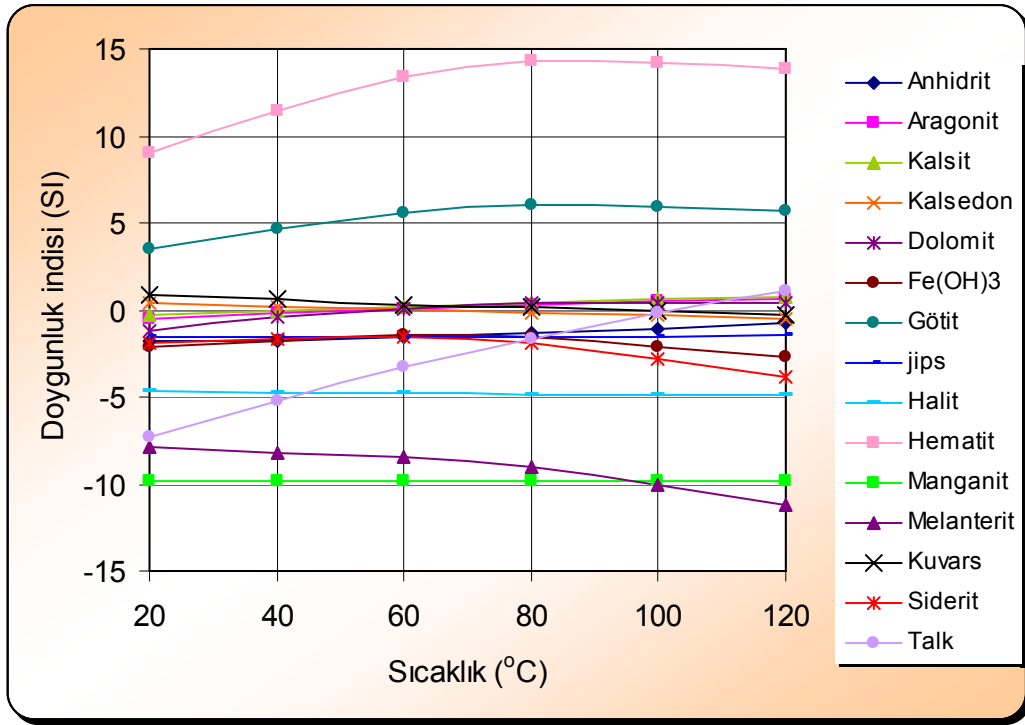


A

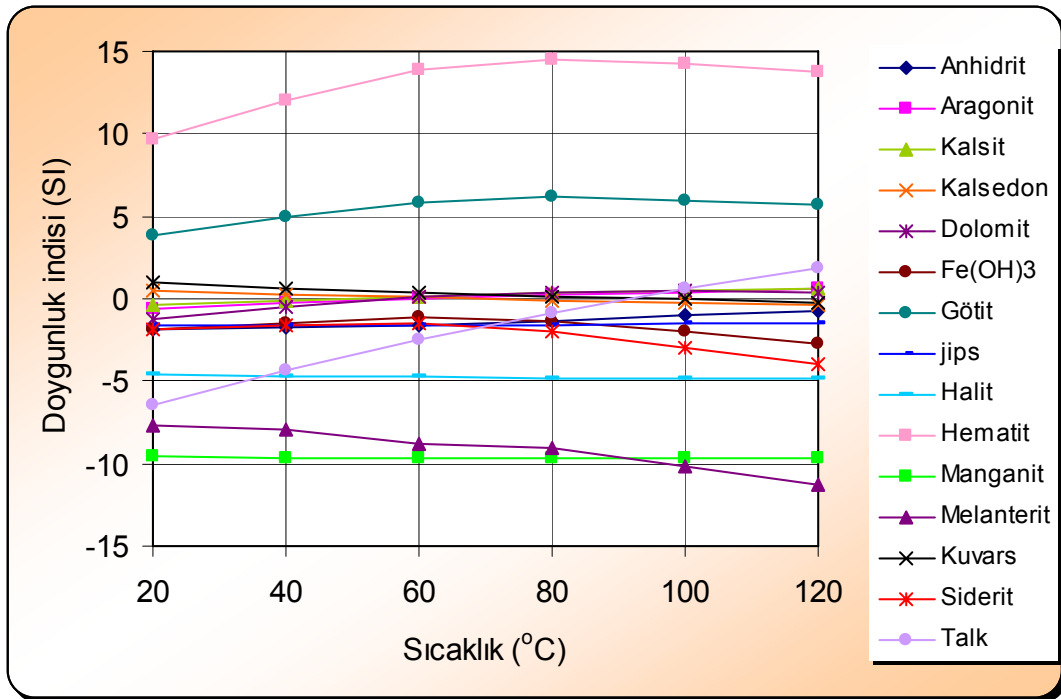


B

Şekil 4.12 Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58] gösterimi.

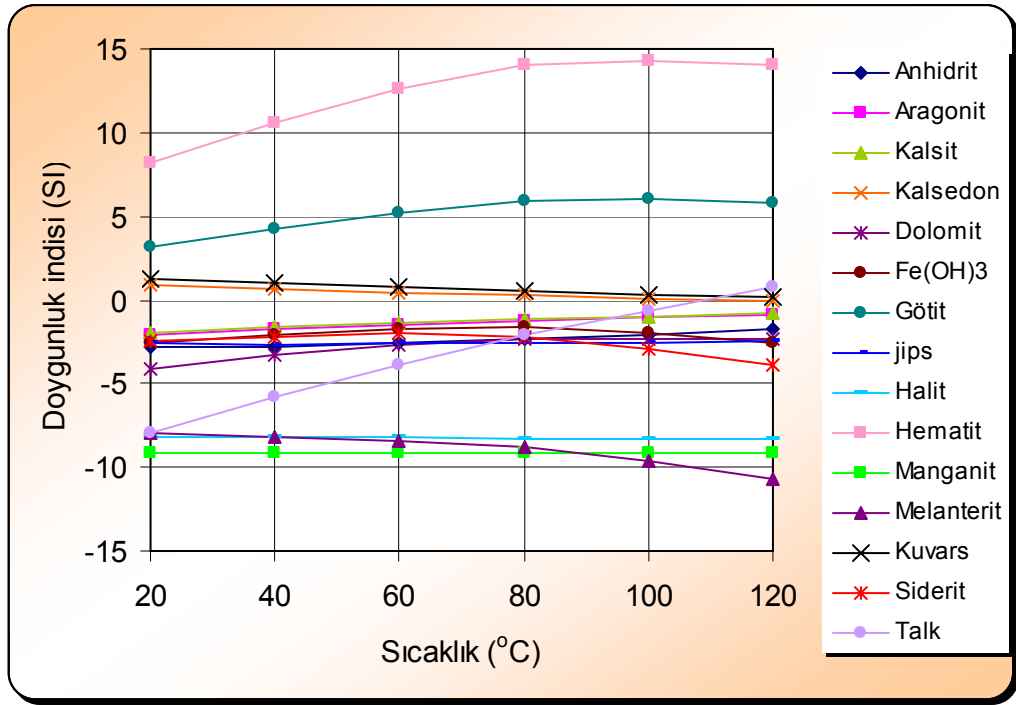


A

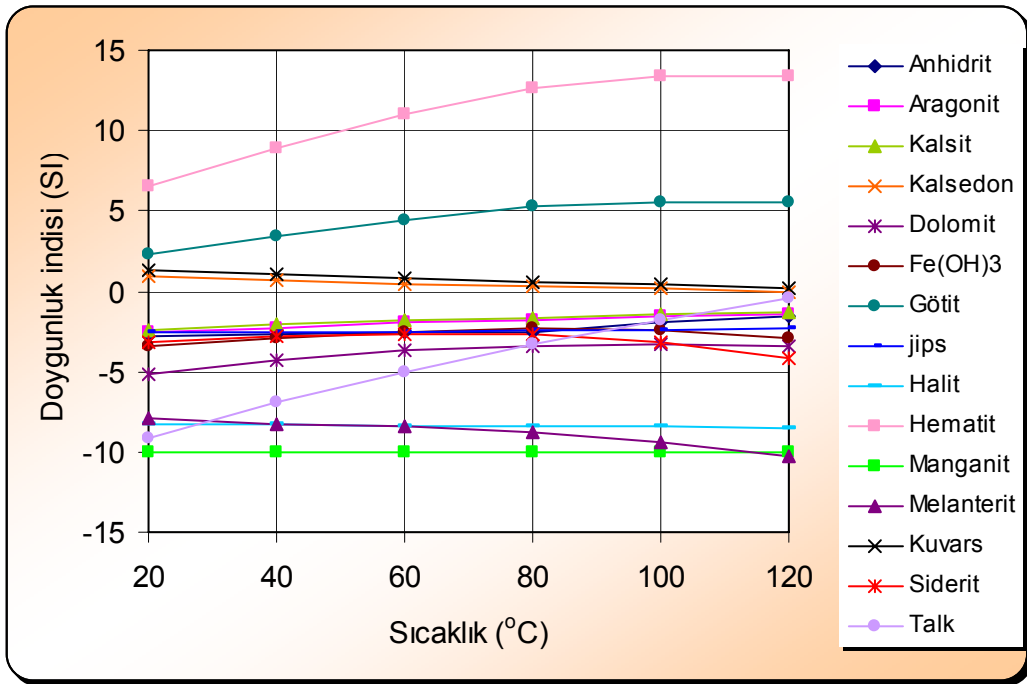


B

Şekil 4.13 Yaprakhisar sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58] gösterimi.

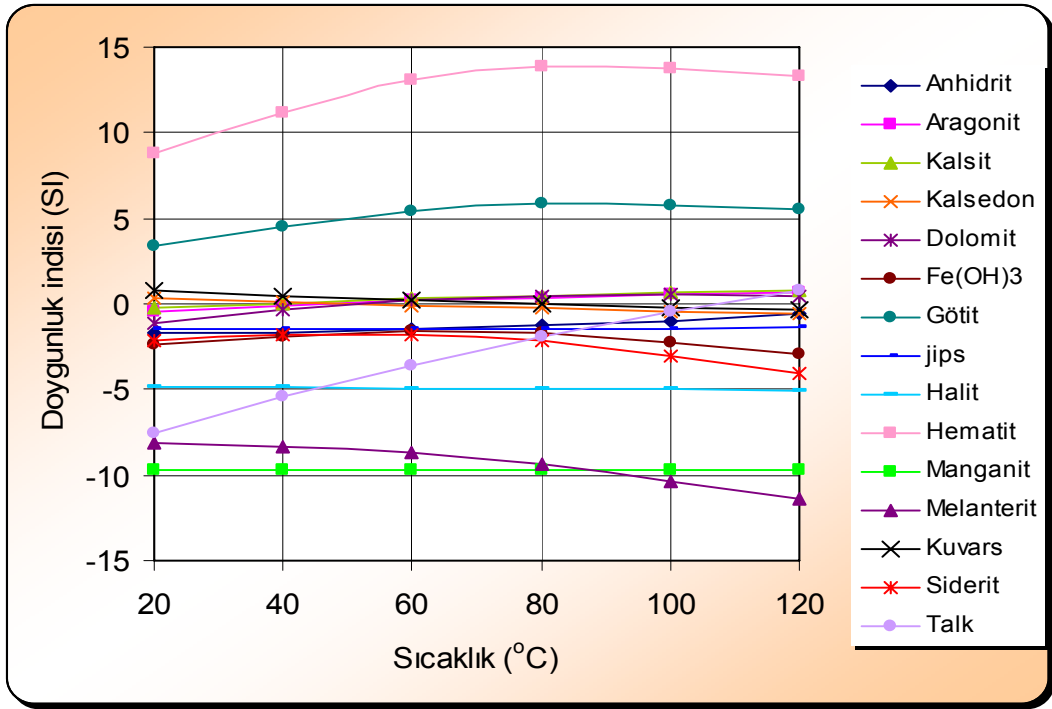


A

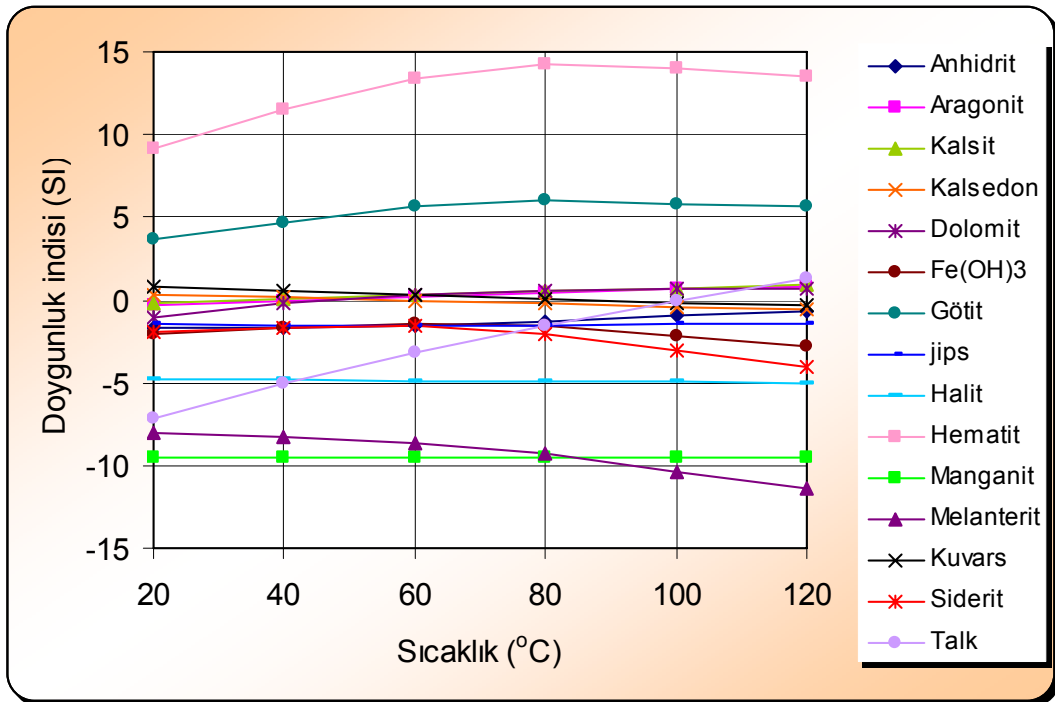


B

Şekil 4.14 Koçpınar kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58] gösterimi.

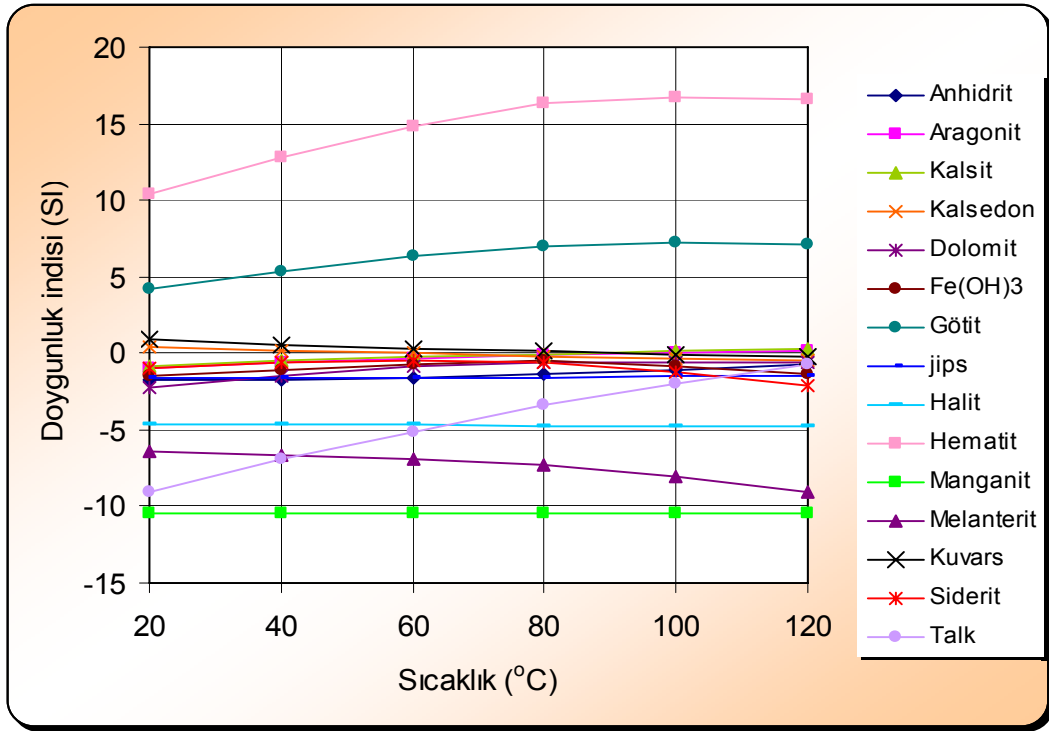


A

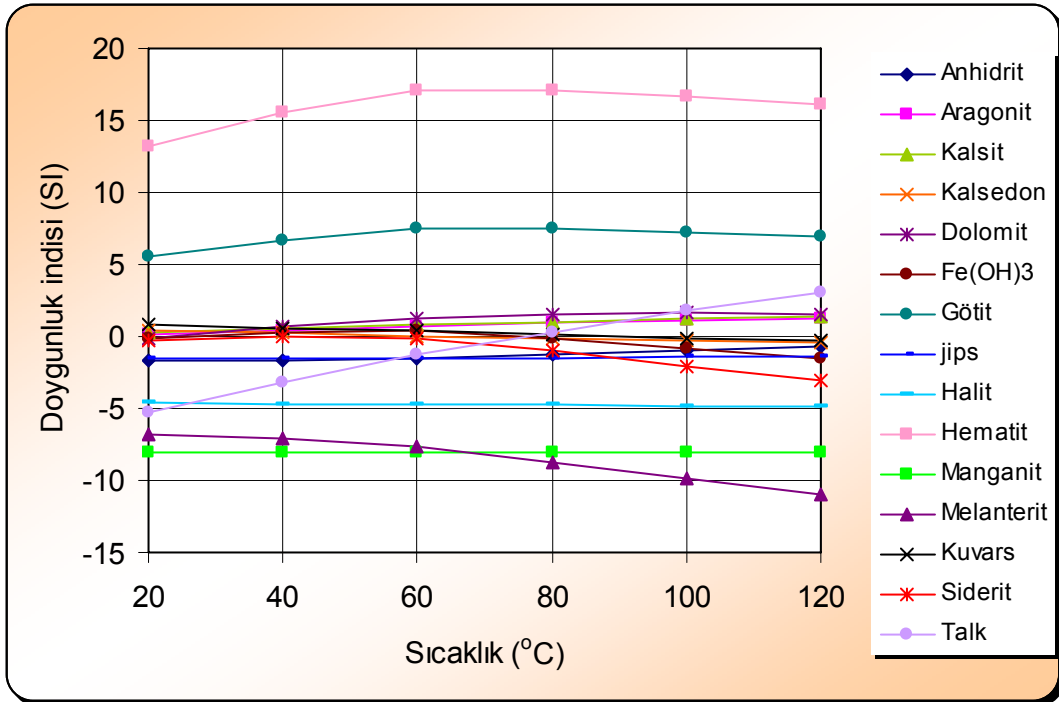


B

Şekil 4.15 Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58] gösterimi.



A



B

Şekil 4.16 Ziga sıcak ve mineralli su kaynağının A: Mayıs 2005, B: Kasım 2005 sıcaklık-mineral denge diyagramları [58] gösterimi.

BÖLÜM V

TRAVERTENLER

5.1 Travertenin Tanımı, Traverten ve Tufa Çökeli mi

Latince “tibürtino” ile İtalyanca “travertino” dan türemiş bir terim olan traverten, İtalya’daki Tivoli yakınında yer alan tatlı su karbonatlarına verilen isimdir [71]. Günümüze kadar travertenlerle ilgili pek çok çalışma yapılmış olmasına rağmen traverten teriminin bir tek tanımlaması yapılmamıştır. Literatürde “tufa”, “kalkerli tuf”, “sinter”, “kalkerli sinter” vb terimler kullanılmaktadır [16, 14].

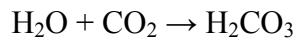
Karbonat çökellerinden en yaygın olarak görülenlerden birisi de travertenlerdir. Kaynaklardan çıkan karst suları, doygun ya da çok az doygun olmalarına rağmen önemli ölçüde yüksek karbondioksit kısmi basıncına sahip, çözülmüş kalsit içerirler. Artan sıcaklığa bağlı olarak ve suyun kanalda akışı sırasında meydana gelen havalanma sonucu CO₂ kaybı olur. Böylece su kalsite doygun hale geçerek kalsitin çökmesine neden olur.

5.1.1 Travertenlerin oluşum modeli

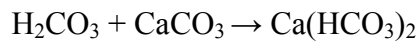
Yüksek oranda CaCO₃ ve CO₂ içeriğiyle kaynaklardan çıkan sular, basıncın düşmesiyle CO₂ kaybederler ve CaCO₃ çökeli mi gerçekleşir. Bu olay traverten oluşumuna sebep olur. Kaynaktan uzaklaştıkça CO₂ kaybı artacağı için CaCO₃ çökeli mi de fazla olacaktır. Sıcaklık artışı, buharlaşma, bitki ve alglerin özümleme yoluyla CO₂ alması, sıcak sularda bakteriler, CaCO₃ çökeli mini artırıcı etkenlerdir. Kaynak ağzında inorganik çökeli m, kaynaktan uzaklaştıkça ise organik çökeli m gerçekleşmektedir.

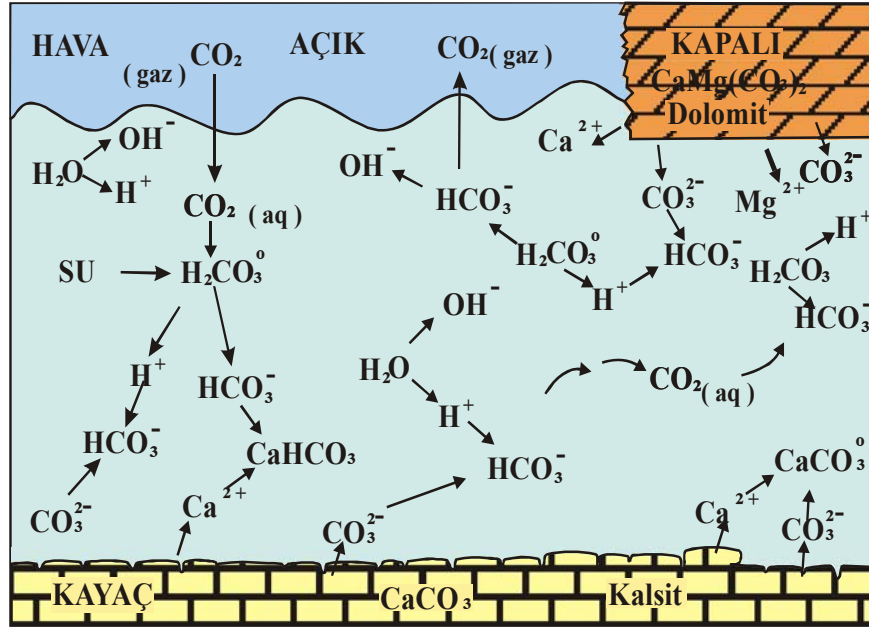
CO₂, H₂O ve CaCO₃ maddelerinin oluşturduğu sistemde meydana gelen süreçler şu şekildedir.

a) Yağış etkisi, atmosfer veya diğer kaynaklardan gelen CO₂, karbonik asit oluşturarak suyun eritici özelliğini artırır (Şekil 5.1);



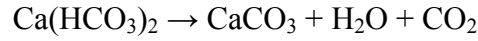
b) Bu sular karbonatlı kayaç ile temasa geçtiğinde bol miktarda CaCO₃ eriterek, bünyesine alır ve kalsiyum bikarbonatça zengin duruma geçer.





Şekil 5.1 Karbonatlı kayaçların çözünmesi [31].

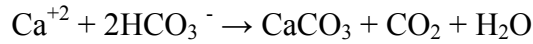
c) Bu sular zayıf zonlar boyunca ilerleyip yüzeye çıktığı zaman basıncın ve sıcaklığın değişmesiyle CO₂'yi atmosfere bırakır ve ikincil CaCO₃ çökelişi meydana gelir.



Karasal ortamlarda bu ikincil çökelim sonucu travertenler oluşur.

5.2 Traverten Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Traverten, kalsite doymuş tatlı su çözeltisinde, aniden CO₂ kaybı olması ya da CO₂ kısmi basıncının azalması sonucu meydana gelir.



Bu nedenle, traverten oluşabilmesi için öncelikle CaCO₃'ça doymuş bir sulu çözeltinin varlığı ve daha sonra da bu çözeltide bulunan CO₂'nin kendi kısmi basıncından daha düşük CO₂ kısmi basıncına sahip bir ortamda yok olması gerekir. Bu nedenle traverten oluşumuna etki eden fizikokimyasal koşulları incelerken, traverten oluşumuna neden olan kaynak suyunun doymunluğuna yani bu doymunluk derecesiyle doğrudan ilgili olan CO₂ basıncındaki değişimlere etki eden ve suyun geçtiği

bölgelerdeki kısmi CO₂ basıncının değişimini kontrol eden parametreleri göz önünde bulundurmak gerekir. Bu parametreler şu şekilde sınıflandırılabilir:

a) Kimyasal Parametreler

Doygunluk indisi (SI)
Karbondiyoksit kısmi basıncı (P_{CO2})
pH
Sertlik ve alkalinite
Diğer iyonların etkisi-tuzluluk
Karışım korozyonu etkisi
Ortak iyon etkisi
Asit etkisi

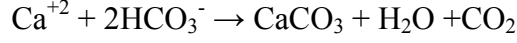
b) Fiziksel Parametreler

İklim etkisi
Sıcaklık
Yağış
Buharlaşıma
Atmosfer basıncı
Karbonatlı akiferin özellikleri
Akım
Depolama kapasitesi
Beslenme koşulları
Toprak ve bitki örtüsünün varlığı

c) Biyolojik Etkiler

5.2.1 Kimyasal parametreler

Karbonatlar CaCO₃-CO₂-H₂O sıvı katı ara yüzeyinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu çökelirler (Şekil 5.1). Atmosferdeki CO₂'den, sıvı / katı ara yüzeyine kadar olan sıcaklık değişimleri veya sistemdeki her bileşenin konsantrasyonları tüm dengenin yeniden düzenlenmesine neden olur. Bitkiler CO₂'yi atmosferden çok sudan alırlar. Bu da kirecin çökmesine neden olur [16]. Doğal sulardan traverten oluşumu için sulu çözeltinin [Ca⁺] ve [HCO₃⁻] iyonlarınca zengin bir çözelti ve CO₂'nin açığa çıkacağı bir ortam gerekmektedir.



Bu reaksiyonu kontrol eden en önemli faktörler doygunluk indeksi ve kısmi CO₂ basıncıdır.

5.2.1.1 Doymunluk indeksi

Herhangi bir çözeltilde, herhangi bir minerale göre doymunluk Şu üç durumdan birine uygunluk gösterir [62].

a) Çözeltili içerisinde, söz konusu mineral yeterince çözünmemiŐi ise, mineral çözünmeye devam eder. Bu tür çözeltiler “doymun olmayan” ya da “agresif” çözeltiler olarak adlandırılır.

b) Çözeltili ile mineral arasında dinamik bir denge görülebilir. Mineral, çözeltili içerisinde hem çökeliyor hem de çözünyüyor olabilir. Bu durumda çözeltili “doymun çözeltili” olarak adlandırılır.

c) Çözeltilde mineral aşırı miktarda çözümlü halde bulunuyor olabilir. Bu durumda mineral çökeliimi gözlenir ve çözeltili “aşırı doymun çözeltili” adını alır.

Doğadaki suların çok az kısmında denge görülür. Çoğu denge durumundan sapma gösterir. Doymunluk indeksi ile bu sapma yönü yani suyun doymun ya da çözücü olduğu saptanır.

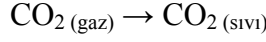
Traverten oluşumu, çözeltilde bulunan Ca⁺² ve HCO₃⁻ iyonlarının bolluğuna bağlıdır ve traverten oluşumu için çözeltilinin aşırı doymun olması gerekmektedir.

5.2.1.2 CO₂ miktarı ve kısmi CO₂ basıncı

CO₂ sistemin sürekli bir bileşeni olup miktarı yani kısmi basıncı geniş bir aralıkta deđiŐir. CO₂'nin en önemli kaynağı atmosfer ve topraktır. Topraktaki CO₂ atmosferde 10–100 kat daha fazladır. Atmosferdeki P_{CO2} daha büyüktür. Dolayısıyla sudan atmosfere CO₂ aktarımı olur. Yeraltı suyundaki CO₂ miktarı arttıkça kalsit çözebilme yeteneği de artacaktır. Toprak hacminin ~ %10'unu işgal eden CO₂, kalsit çözünlüğünü 500 mg/l'ye kadar artırabilmektedir [57].

Doğal sularda, kireçtaşı çözünlüğüne etki eden en önemli asit karbonik asittir (H₂CO₃). Bu asit CO₂'nin yeraltı suyunda CO₂ + H₂O ↔ H₂CO₃ reaksiyonu ile çözeltiliye karışması sonucu oluşur. Karbonik asitin yanı sıra çok az miktarda da olsa, sülfid cevherinin oksitlenmesi ile ortaya çıkan H₂SO₄, bitkilerin çürümelere ile ortaya çıkan organik asitler vb. asitler de kalsit çözünlüğünü artırır.

CO₂ atmosferik gazlar içerisinde en kolay çözünen gazdır. CO₂ çözünlüğü;



şeklinde ifade edilmekte olup, kısmi CO₂ basıncı ile doğru orantılı (Henry Yasası), sıcaklık ile ters orantılıdır. Kısmi CO₂ basıncı bir gaz karışımında CO₂ gazının basıncının, toplam gaz basıncına oranını ifade eder [31].

Henry yasası $\text{CO}_2 (\text{SIVI}) = C_{\text{ab}} \times P_{\text{CO}_2} \times 1.963$ eşitliği ile ifade edilir. Burada;

$\text{CO}_2 (\text{SIVI})$ = Karbondioksit çözünürlüğü (g/l)

P_{CO_2} = Kısmi CO₂ basıncı

1.963 = 20°C'de 1 litre CO₂'nin gram olarak ağırlığı

C_{ab} = Sıcaklığa bağlı bir katsayıdır

5.2.1.3 pH etkisi

Çözeltinin pH değeri

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

şeklinde tanımlanır. Karbonat çözeltilerinde, sistemde bulunan karbonik asit (H₂CO₃) ve CO₂ kısmi basıncı pH değerine bağlı değildir. Ancak bikarbonat (HCO₃⁻) ve karbonat (CO₃⁻²) iyonlarının varlığı pH değerine bağlıdır. pH attıkça [CO₃⁻²] ve [HCO₃⁻] değerleri de artmaktadır. Bu da çözeltinin doymun hale geçmesini sağlayacağından travertenleşmede bir artış söz konusudur.

5.2.1.4 Sertlik ve alkalinite

Çözünmüş karbonat ve [Ca⁺²] iyonlarının varlığı CO₂ miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Bir çözeltinin alkalinitesi,

$$\text{Alkalinite} = \text{mHCO}_3 + 2\text{mCO}_3$$

şeklinde çözünmüş zayıf asitlerin eşdeğer toplamıdır. Sertlik ise çözeltideki Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının toplamıdır. Traverten oluşumu için çözeltinin aşırı doymun olması gerekmektedir. Bu nedenle yüksek alkalinite ve sertlik değerlerine sahip çözeltilerin traverten oluşturmaları daha kolaydır.

Alkalinite ve sertlik, CO₂ kısmi basıncı ile doğru orantılıdır.

5.2.1.5 Diğer iyonların etkisi ve tuzluluk

Bir çözeltinin doymunluk indeksi, çözeltide yer alan iyon konsantrasyonlarının aktivite değerlerine bağlıdır.

Karbonat çözeltilisine yüksek miktarda diğer iyonların katılması (Na^+ , K^+ , Cl^- vb.), $[\text{Ca}^{+2}]$ ve $[\text{HCO}_3^-]$ iyon aktivitelerini düşürür ve bu da kalsit çözünürlüğünün artmasına yol açar.

Deniz kenarlarında, tatlı su-tuzlu su girişim bölgelerinde kalsit çözünürlüğü iyon gücüne bağlı olarak artacağı için, kirlenmiş çözeltiler aşırı doymun hale geçerek traverten oluşumunu kolaylaştıracaktır.

5.2.1.6 Karışım korozyonu etkisi

Farklı kökene sahip, kalsite doymun iki çözeltilinin karışması ile oluşan yeni çözeltili, doymun olmayan bir çözeltili oluşturabilir. Bu durum çözeltilinin daha fazla kalsit çözümlenme ve traverten oluşturma yeteneğini artırır [16].

5.2.1.7 Ortak iyon etkisi

CaCO_3 çözeltilisinde, Ca^{+2} iyonu bir başka bileşeni ile bulunursa kalsit çözünürlüğü azalır. Örneğin bir çözeltiliye CaCO_3 ve CaCl_2 birlikte eklenirse kalsit çözünürlüğü azalacaktır [57].

5.2.1.8 Asit etkisi

Kuvvetli tüm asitler kalsit çözünürlüğünü artırır. SO_4^{-2} iyonu, Ca^{+2} ile reaksiyona girerek CaSO_4 oluşturabilir. Bu durumda kalsite doymunluk artacaktır. Mg^{+2} iyonu, CO_3^{-2} ve HCO_3^- ile reaksiyona girerek $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ve MgCO_3 oluşturacağından doymunluk derecesinin azalmasına neden olur. Bu iyonların varlığı halinde daha az kalsit (traverten) çökelir.

5.2.2 Fiziksel parametreler

5.2.2.1 İklim etkisi

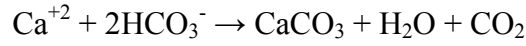
Sıcaklık

Karbonat çökelimi çözünmesi ve buna bağlı olarak kaynak sularının jeokimyasal özelliklerine iklim etkisi Drake ve Wigley [23] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sıcaklık ile karbondioksit kısmi basıncı arasında;

$$\log P_{\text{CO}_2} = -2 + 0.04 T$$

ilişkisi vardır (T (°C) sıcaklık, P_{CO_2} ise kısmi CO_2 basıncıdır). Sıcaklık arttıkça P_{CO_2} 'de de artış görülmektedir.

Beslenme bölgesinden karbonat akiferine giren su, atmosferdeki kısmi CO₂ basıncına eşdeğer bir P_{CO2}'ye (0.03 %, T=25°C) eşittir. Kış aylarında soğuk olan bu su, derinlerde yaklaşık ortalama hava sıcaklığına sahip daha sıcak bölgeye süzülürken, P_{CO2} artış göstermektedir. P_{CO2}'nin artması sonucu yeraltı suyu daha fazla CaCO₃ çözebilecek ve böylece kalsite doygunluk derecesi artacaktır. Bu su yüzeye çıktığında, tekrar soğuk bir ortama çıkarsa, ani bir P_{CO2} azalması gözlenecek ve



reaksiyonuna bağlı olarak CaCO₃ ya da traverten çökelişi gözlenecektir. Bu da sıcaklığın artışı ile doygunluk derecesinin (SI) artarak CaCO₃ çözünürlüğünün azaldığını ifade etmektedir. CO₂'nin sudaki çözünürlüğü de sıcaklık arttıkça artar.

Karst akifer sisteminde suyun sıcaklığında meydana gelen değişiklik, kısmi CO₂ basıncında da değişime yol açacaktır. Bu nedenle traverten çökeltme ortamlarında, su ve hava sıcaklığında da meydana gelen değişiklikler de traverten oluşum miktarını etkileyecektir. Kış aylarında sıcaklık arttıkça, yüzeye çıkan kaynak suyunda CO₂ basıncı daha çok azalacaktır. Düşük P_{CO2}'ye sahip sulara traverten oluşumu artacaktır. Yaz aylarında ise yüzeye çıkan suyun P_{CO2}'sinde düşüş fazla olmayacağından, kış aylarına göre daha az miktarda travertenleşme gözlenecektir.

Sıcaklığın artması doygunluğa neden olur. Kaynaklardan ve mağara ağızlarından akan soğuk sular yazın ısındığında kalkerli tufa oluşumları meydana gelir [16].

Yağış

Kısmi CO₂ basıncı ile yağış arasında [24] ve [23] tarafından;

$$\log P_{\text{CO}_2} = 2.55 + 0.0004 \times \text{Yağış}$$

ilişkisi belirlenmiştir. Yağış ile birlikte kısmi CO₂ basıncında çok az da olsa bir artış gözlenmektedir. Bu nedenle sisteme karışan suda P_{CO2}'de gözlenen artış CaCO₃ çözünürlüğü ve doygunluk derecesini artıracaktır. Ancak yağış ile sisteme giren suyun, akifer rezervuarındaki su hacminde yaratacağı artış, yeraltı suyunun seyrelmesine yol açacağından, doygunluk derecesinde azalmaya neden olacaktır. Bu da traverten çökelişini azaltacaktır.

Buharlaşma

Buharlaşma traverten çökelimini iki açıdan etkilemektedir. Kaynaktan çıkan suların, yüksek sıcaklığa sahip bölge ve mevsimlerde buharlaşmaya maruz kalması, suyun içinde çözülmesi bulunan karbonat konsantrasyonunda artışa neden olacaktır. Bu artış suyu aşırı doymuş ($SI > 1$) hale getirdiğinden traverten çökelimi gözlenecektir.

Toprak zonunda buharlaşma sonucu meydana gelen P_{CO_2} artışı bu zonda süzülerek akifere sızan suda P_{CO_2} artışına ve dolayısıyla yeraltı suyunun daha fazla $CaCO_3$ çözerek doymuşluk derecesinin artmasına neden olur. Bu şekilde traverten çökelimi artış göstermektedir.

Yükseklik Etkisi-Atmosfer Basıncı

Yüksek kotlarda atmosferik basınçta meydana gelen azalma, kısmi CO_2 basıncında çok az da olsa bir azalmaya neden olur. Deniz seviyesinde 0,0004 atm. olan P_{CO_2} , yüksek kotlarda 0.0002 atm'ye kadar düşmektedir. Bu nedenle, yüksek kotlarda yeraltı suyunun karbonat çözme yeteneği azalacaktır. Bu da yeraltı suyunun kalsite doymuşluk derecesinin düşük olmasına ($SI < 1$) neden olacağı için başka kaynaklardan CO_2 katkısı olmaması durumunda travertenleşme gözlenemez.

5.2.2.2 Karbonatlı akiferin hidrolik özellikleri

Akım

Karbonatlı akiferlerde yeraltı suyu akımı, yerel ve yaygın dolaşım rejimleri arasında gerçekleşmektedir. Yaygın dolaşım sistemlerinde yeraltı suyu akımı, çatlak ve yarıklarda, kırık eklem ve gözenekler arasında gerçekleşmekte, yeraltı suyu akım hızı oldukça yavaş olmaktadır. Yeraltı suyu akifer içerisinde uzun süre kalmakta ve böylece su-kayaç teması uzun bir süre içerisinde gerçekleşmektedir. Schuster and White [61], bu tür akım koşullarında, yeraltı suyunun doymuşluk derecesinin 1'den büyük olduğunu göstermişlerdir.

Yerel akım sisteminde ise beslenme bölgesinden düden ve dolinler aracılığı ile kaynağın boşaldığı akifere giren su, yeraltı kaynakları, erime boşlukları ve mağaralar aracılığı ile hızla çıkışa ulaşmaktadırlar. Bu tür dolaşım sisteminde su kayaç teması çok kısa sürmekte ve çoğunlukla bu tür sistemlerden boşalan sular kalsit ve dolomite doymuşluk olmamaktadır ($SI < 1$). Ayrıca bu tür akım sisteminde yeraltına giren su içerisinde CO_2 sadece atmosferden gelen CO_2 olmakta, toprak zonunda organik CO_2

zenginleşmesi gerçekleşmemektedir. Bu nedenle bu tür dolaşım sisteminden gelen suyun traverten oluşturması mümkün olmamaktadır.

Yeraltında uzun süre kalan ve kalsitçe doymuş suların boşaldığı yaygın dolaşım sistemine sahip kaynaklar ise traverten oluşturmaya daha uygundur.

Depolama Kapasitesi

Karstik akifer içerisinde yeraltı suyunun depolandığı rezervuar hacmi de akifer içerisinde dolaşan suyun hidrokimyasal özelliklerini etkilemektedir. Akiferin kaynak kotunun altında bulunan kısmında, büyük miktarda yeraltı suyu depolanması söz konusu ise bu zonda depolanan su karbonatlı kayalar ile oldukça uzun süre temasta bulunacağı için doymuşluk derecesi oldukça büyük olacaktır [31]. Bu durumda akifere yeni katılan ve bu rezervuarda yer alan sular ile karışarak kaynak çıkışına yönelen suların da kalsitçe doymuş olması beklenir. Bu da traverten oluşumunu kolaylaştırıcı bir etkidir.

Beslenme Koşulları

Karstik akiferin beslenmesi dolin ve düdenlerden noktasal olarak gerçekleşebileceği gibi, yüzeyden süzülme şeklinde geniş alanlardan da gerçekleşebilir. Yüzeysel süzülme ile karstik akifere giren su yüzeyden itibaren toprak zonuna ve daha derinlere inerken, bitki kökleri ve organik artıklar nedeni ile CO₂ açısından zenginleşir [31]. CO₂'ce zenginleşen bu sular tekrar atmosfere çıktıklarında hızlı bir CO₂ kaybı gerçekleşir ve traverten oluşumu gözlenir.

5.2.2.3 Toprak ve bitki örtüsünün varlığı

Karbonatlı kayaların çözünürlüğünde etkili olan CO₂'nin en önemli kaynağı toprak zonundaki boşluklarda bulunan CO₂'dir. Bu bölgede bulunan CO₂, organik maddelerin çürümesi ve bitkilerin fotosentez sırasında kökleri aracılığı ile bıraktığı CO₂'dir. Bu bölgede oluşan CO₂ miktarı, toprak türü, dokusu, derinliği, drenaj özellikleri, bitki türü ve faunanın tümüne bağlıdır. Genellikle toprak zonunda, atmosferden daha fazla CO₂ bulunur. Bu değer killi topraklarda %17 iken, kumlu topraklarda %31'e kadar çıkmaktadır. Yeşil yapraklı bitkiler, fotosentez yolu ile atmosferdeki CO₂'nin %40'ını köklere iletmektedir. Toprak faunası, mikro fauna ve flora, özellikle bakteriler ve mantarlar, oldukça önemli miktarda CO₂ üretirler.

Topraktaki CO₂ miktarı sıcaklıkla artar. Topraktaki su içeriğinin artması da bu bölgede CO₂ miktarını artırıcı rol oynar.

Yüzeyden toprak zonuna süzülen sular, bu zondan geçerken CO₂ ile zenginleşerek, kalsit çözücü özelliklerini arttırmaları. Tane boyu, toprağın rezervuar kapasitesi, bitki örtüsünün varlığı, CO₂ miktarının dolayısıyla kalsit çözünürlüğünün artmasına yol açar. Bu durumda aşırı doymuş hale geçen sular, yeraltından tekrar yüzeye çıktıklarında travertenleşmeye yol açarlar.

5.2.3 Biyolojik etkiler

Traverten oluşumu başlıca iki şekilde gerçekleşir [27]. İnorganik kökenli travertenler, daha önce de belirtildiği gibi kalsite aşırı doymuş hidrotermal kökenli çözeltilerin oluşturduğu çökellerdir. Pamukkale travertenleri bu konuda iyi bir örnek oluşturmaktadır.

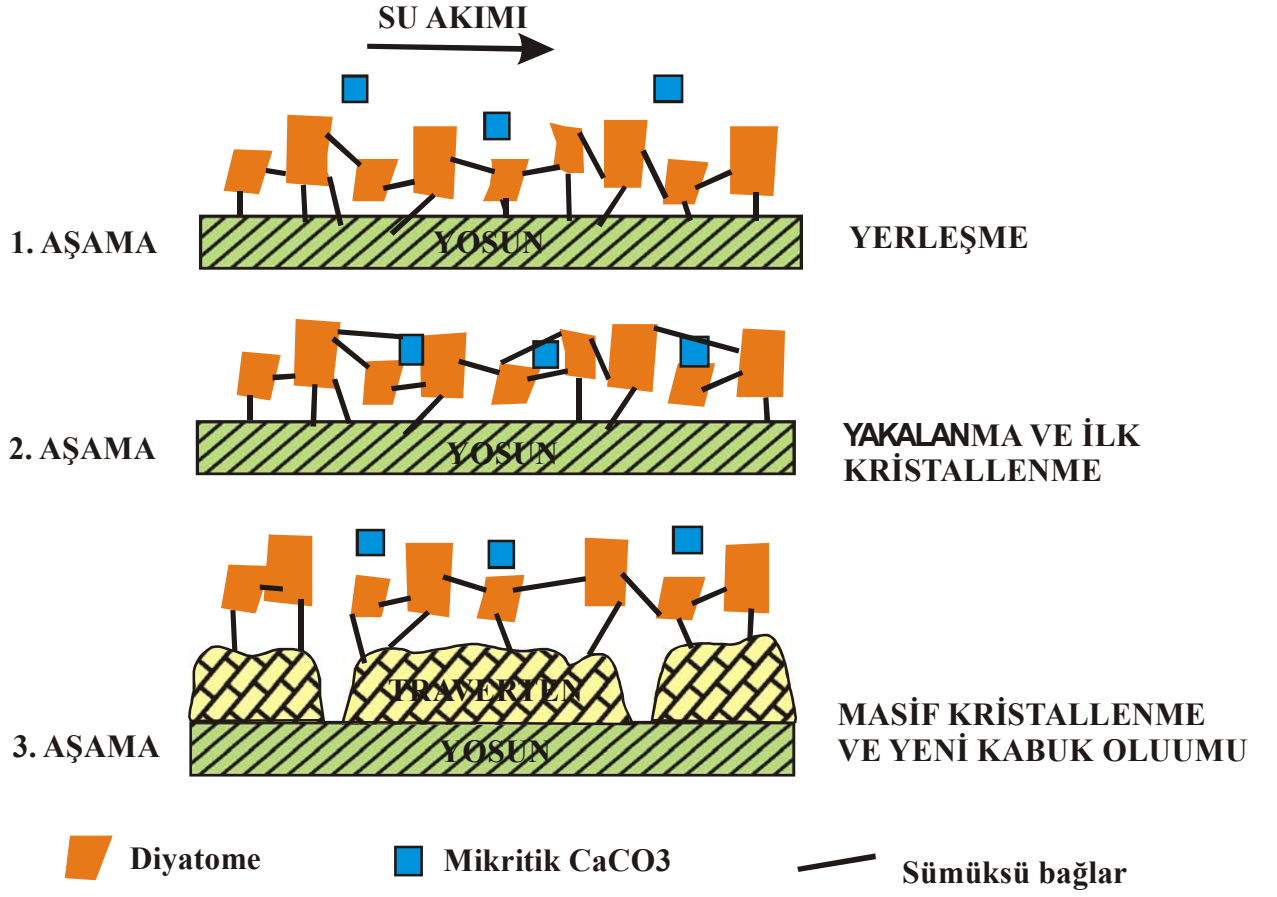
Diğer yandan daha yüksek gözeneklilikleri ve silis içermeyişleriyle tipik olan biyojenik kökenli travertenler ise, basit bitkilerin fotosentezi ile bakteriler, kaya yosunları ve mavi-yeşil algler tarafından denetlenen bir sürecin sonunda oluşurlar. Bu süreç Şekil 5.2'de özetlenmiştir.

Bu süreç, bakteri, alg ve/veya yosunların sümüksü salgılarından dolayı su içinde asılı olarak taşınmakta olan diyatomeleleri yüzeylerine yapıştırmaları ile başlamaktadır. Daha sonra su içinde asılı mikrit kristalleri halinde taşınmakta olan CaCO₃ molekülleri diyatomelelerin sivri kısımlarını kristal çekirdeği olarak kullanmakta ve daha iri kristaller oluşturmak üzere çökelmektedirler (Şekil 5.2).

Traverten oluşumunda bakterilerin rolü ise oldukça önemlidir. [19], bakterilerin H₂S yönünden zengin hidrotermal sularda traverten oluşumunda %90 etkili olduğunu belirtmiştir. Sülfürü okside eden bakteriler fotosentetiktir. Işık enerjisini kullanarak H₂S'den hidrojeni, H₂CO₃'den karbonu alarak karbonhidratları oluşturup, CaCO₃ çökeliminde etkili olurlar. Bu durum;



denkleminde gösterilebilir.



Şekil 5.2 Biyojenik kökenli traverten çökeliminin organik ve inorganik aşamaları [27].

5.3 Tuzlusu, Ziga ve Yaprakhisar'daki Traverten Çökelinin İncelenmesi

Traverten tatlı suların çökelttiği kalsitten oluşan tortul bir kayaç olup, genellikle yerel ölçeklerde, kaynak ağızlarında ve derelerde bulunur. Milimetreden yüzlerce metreye kadar farklı kalınlıklarda görülebilirler. Travertenler;

- a) Kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeriği yüksek olan suların sıcaklık etkisi ile doğrudan buharlaşması,
- b) Karbondioksit basıncı (P_{CO_2}), atmosferdeki kısmi P_{CO_2} 'den yüksek olan suların CO_2 gazını kaybederek CaCO_3 'e aşırı doymun hale gelmesi sonucu ile [26].
- c) Abiyojenik ve basit bitkilerin fotosentezi ile bakteriler, kara yosunları ve mavi-yeşil algler tarafından denetlenen bir sürecin sonunda biyojenik olarak [14] oluşabilmektedir.

Yeraltı suyunun kısmi P_{CO_2} 'nin atmosferdekinden 10 ile 100 kat daha büyük olabilir [45]. Atmosferdeki kısmi P_{CO_2} değeri $10^{-3.5}$ atm kadardır. Karbondioksit aşırı doymun yeraltı suyu, yüzeye kaynaklar halinde çıktığında, bünyesindeki CO_2 gazını kaybetmeye başlar. Atmosfere doğru olan bu kayıp, yeraltı suyu P_{CO_2} 'si ile atmosfer P_{CO_2} 'si arasında dengeye ulaşana kadar devam eder. Akım rejimini değiştiren fiziksel engeller ve akarsuyun türbülanslı akışından dolayı CO_2 gazının uçuşu hızlanmaktadır. [50] traverten çökeltten bir akarsu boyunca CO_2 gazı kayıplarını sayısal olarak belirlemiş ve 20 metre yüksekliğindeki bir çağlayan akışında CO_2 gazı kaybının 10-30 kat arttığını saptamışlardır. Daha düşük türbülansa sahip kesitlerde CO_2 gazı kaybı da oransal olarak azalmaktadır. Bu ölçüm ve gözlemler, hidrolik özelliklerin CO_2 gazı kaybı ve dolayısıyla traverten çökelimindeki önemini ortaya koymaktadır.

Çözeltiden (sudan) CO_2 gazı kayboldukça kalsitin çözünürlüğü azalmakta, böylece çözelti, kalsite göre aşırı doymun hale gelmekte ve kalsit mineralinin çökmesi mümkün olabilmektedir. Kalsit çökeli, ancak doymunluğun 5-10 kat artmasından sonra başlamaktadır.

5.4 Traverten Çökelim Mekanizmasının Deneysel Arazi Çalışmaları İle Belirlenmesi

Traverten çökeltten Tuzlusu, Ziga ve Yaprahisar sıcak ve mineralli kaynak alanlarında traverten çökelim mekanizmasını ortaya koymak ve karşılaştırma yapmak amacıyla mineralli olmayan ancak CO₂'ce zengin ve akış alanında çökelim gözlenen Koçpınar kaynaklarında da deneysel çalışma noktaları saptanmıştır. Söz konusu noktalarda 2006 Nisan ayı içerisinde pH, Eh, EC, TDS, CO₂, DO, tuzluluk, hava ve suyun sıcaklık değerleri gibi fiziksel parametreler ölçülmüştür. Bu çalışmada elde edilen değerler çizelgelerde verilmiş, fotoğraflar ve şekiller üzerinde gösterilmiştir (Çizelge 5.1 ve Şekiller 5.3-5.9, Fotolar. 5.1-5.9).

Tuzlusu, Yaprahisar yukarı kaynak, Yaprahisar aşağı kaynak, Ziga, Koçpınar Sarısu, Koçpınar Aksu kaynaklarında, kaynak ve eşik noktaları ile akım yolu boyunca üç yerde belirli aralıklarla ölçümler yapılmıştır (Şekil 5.3).

Bu ölçümlerde hava sıcaklığı ve bölge kotu etkili olduğu için her noktanın hava sıcaklığı ve kot değerleri ölçülmüştür.

Çizilen çeşitli grafikler yardımıyla bu değerlerin birbirleri ile ilişkisi ve akım yolu boyunca değişimleri açıklanmaya çalışılmıştır (Şekiller 5.4-5.9).

CO₂'nin sıcaklıkla değişimi, CO₂-pH ilişkisi, pH'ın sıcaklıkla değişimi, DO-CO₂ ilişkisi, DO-pH ilişkisi, DO sıcaklık değişimi bu grafiklerde açıkça gösterilmiştir.

Bu grafikler incelendiğinde, şu sonuçlar saptanmıştır.

CO₂ , T_{su} ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Suyun akış yolu boyunca sıcaklık ve CO₂ azalmaktadır. Suyun sıcaklığı ve basıncı düştükçe karbondioksiti tutamaz hale gelir ve CO₂ serbest kalır. Çözülü olarak bulunan CO₂ gaz haline geçer ve sudaki mg/l cinsinden değeri düşer.

CO₂ ile pH ters orantılıdır. Yani sudaki CO₂ miktarı azaldıkça pH asitlikten bazikliğe doğru yükselir. Asit olan sular daha çözücüdür. Akım yolu boyunca pH yükselmekte ve CO₂ miktarı düşmektedir. Su bazikleştikçe içerisindeki iyonları tutamaz hale gelir ve bu iyonları enerjisinin bittiği yerde çökelim gerçekleşir.

pH ile T_{su} arasında da yine ters orantı vardır. Yani su sıcaklığı düştükçe, su bazikleşmekte başka bir deyişle pH artmaktadır. Sıcaklığın düşüp suyun bazikleşmesi çözücülüğün azaldığı ve çökeltmenin olduğu anlamına gelmektedir.

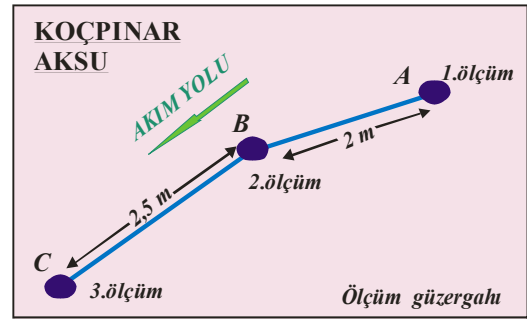
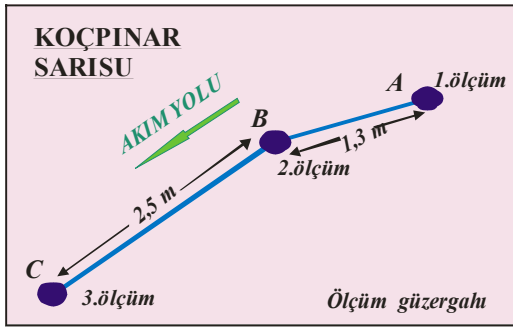
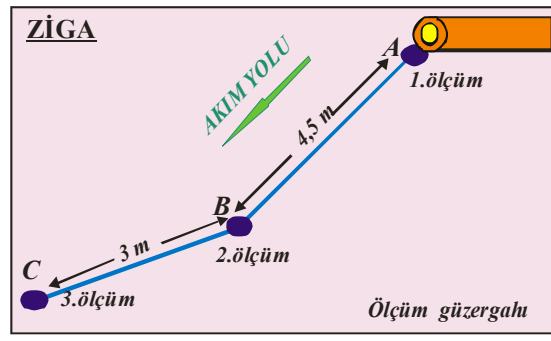
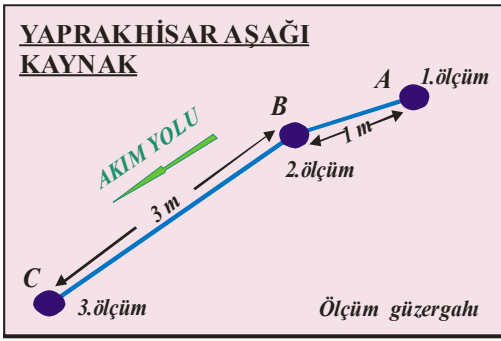
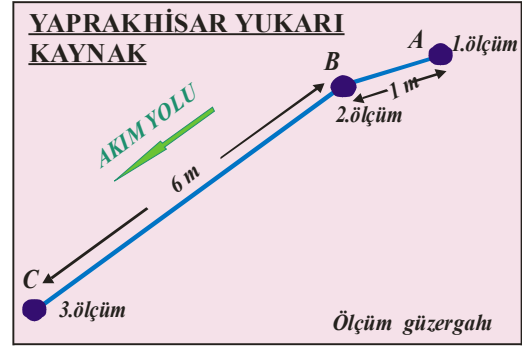
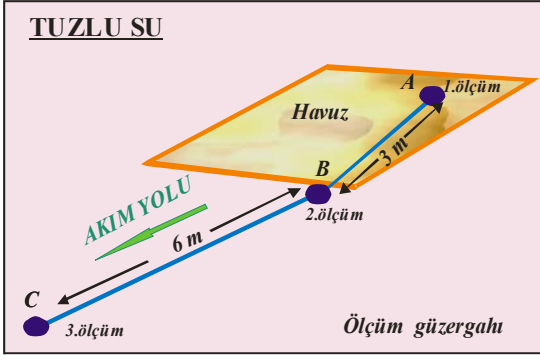
Yine grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi DO ile CO₂ arasında ters orantı vardır. Sudaki çözümlü haldeki CO₂ serbest kalıp gaz haline geçince sudaki DO miktarı mg/l cinsinden artmaktadır.

DO ile pH arasında doğru orantı vardır. Akım yolu boyunca pH artıp su bazikleştikçe DO miktarı artmaktadır. Yani bazik sulardaki DO miktarı, asit sulardaki DO miktarından daha fazladır.

Yine aynı şekilde akım yolu boyunca su sıcaklığı düşüp çözümlülük azaldıkça, DO miktarı artmaktadır. DO ile T_{su} arasında ters orantı vardır.

Çizelge 5.1 Traverten çökelim alanlarındaki deneysel çalışma noktalarına ilişkin ölçüm değerleri (8 Nisan 2006).

Ölçüm yapılan kaynak noktaları	pH	Eh (mV)	EC (μ S/cm)	CO ₂ (mg/L)	DO (mg/L)	T _{su} (°C)	T _{hava} (°C)	Tuzluluk (mg/L)	Kot (m)
<i>Tuzlusu (A) (Havuz içi)</i>	6,14	40	6590	475	1,45	25,5	14	3,6	1038
<i>Tuzlusu (B) (Havuz çıkışı)</i>	6,16	39	6600	425	1,60	25,3	14	3,6	1038
<i>Tuzlusu (C) (Akım yolu)</i>	6,33	28	6600	225	2,58	24,9	14	3,6	1038
<i>Yaprakhisar (A)(Yukarı kaynak)</i>	6,13	40	5630	275	1,60	24	15	3	1266
<i>Yaprakhisar (B)(Yukarı kaynak)</i>	6,36	26	5650	175	3,43	20,02	15	3	1266
<i>Yaprakhisar (C)(Yukarı kaynak)</i>	7,12	-17	5680	40	4,57	16,9	15	2,7	1266
<i>Yaprakhisar (A) Aşağı kaynak</i>	6,66	9	5630	140	3,2	18,6	15	3	1266
<i>Yaprakhisar (B) Aşağı kaynak</i>	6,8	1	5490	65	3,52	18	15	3	1266
<i>Yaprakhisar (C) Aşağı kaynak</i>	7,26	-25	5650	20	4,26	16,6	15	3	1266
<i>Ziga (A) Sondaj ağzı</i>	6,15	41	7050	485	1,3	13,5	16,5	3,8	1267
<i>Ziga (B)</i>	6,70	7	6990	190	2,35	37,5	16,5	3,8	1267
<i>Ziga (C)</i>	7,48	-39	6690	60	3,86	24,5	16,5	3,7	1267
<i>Koçpınar Sarısu (A)</i>	5,29	87	678	725	0,50	17,2	17	0,1	1248
<i>Koçpınar Sarısu (B)</i>	5,34	84	677	530	0,96	17	17	0,1	1248
<i>Koçpınar Sarısu (C)</i>	5,44	78	689	-	1,44	16,7	17	0,1	1248
<i>Koçpınar Aksu (A)</i>	5,19	92	677	-	0,54	18,1	17	0,1	1248
<i>Koçpınar Aksu (B)</i>	5,28	88	678	-	0,58	18	17	0,1	1248
<i>Koçpınar Aksu (C)</i>	5,31	86	677	-	0,75	17,8	17	0,1	1248



Şekil 5.3 Deneysel çalışma alanı güzergâhı.

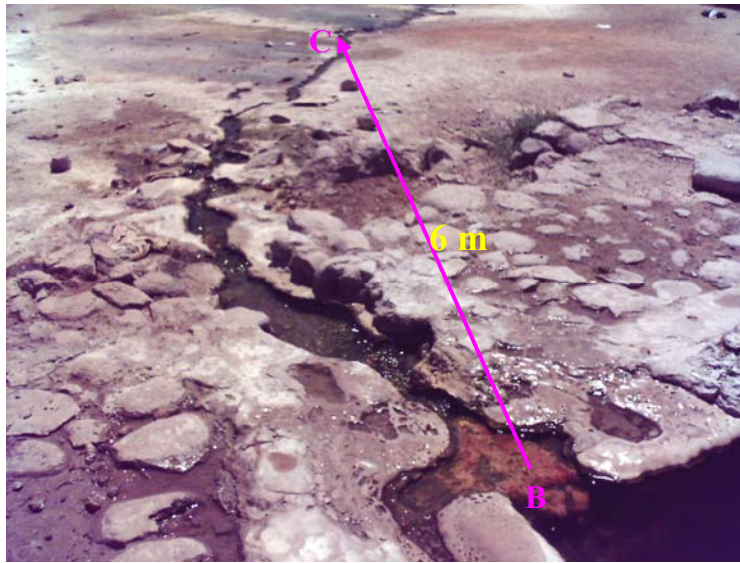
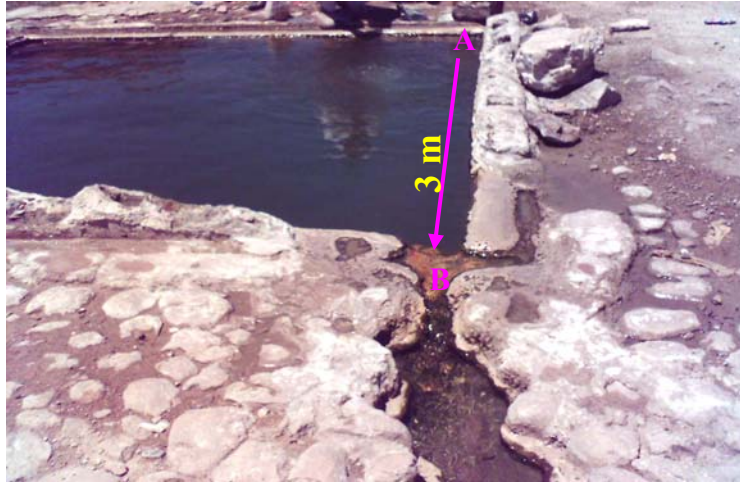
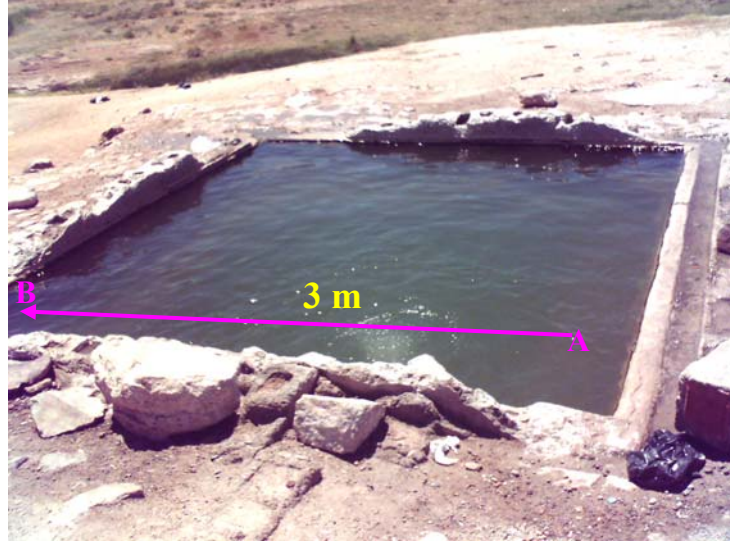


Foto 5.1 Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynaklarının (1. Havuz kaynağı) ölçüm güzergâhı.

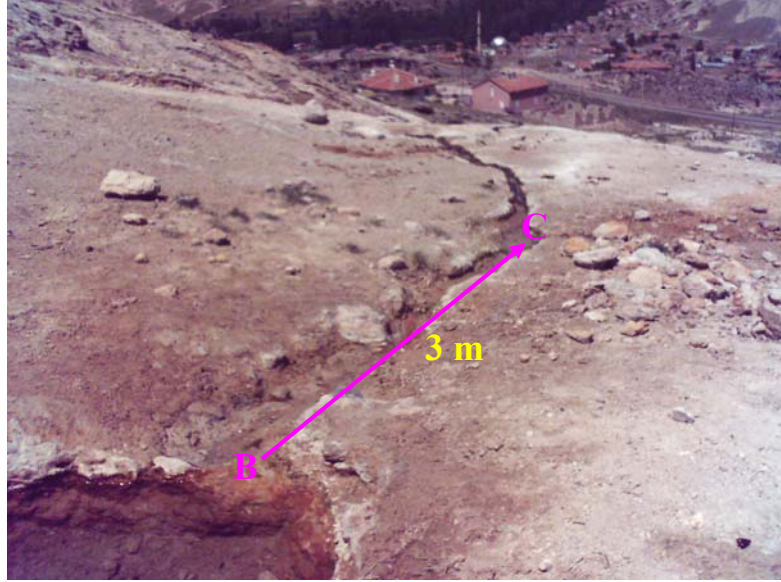
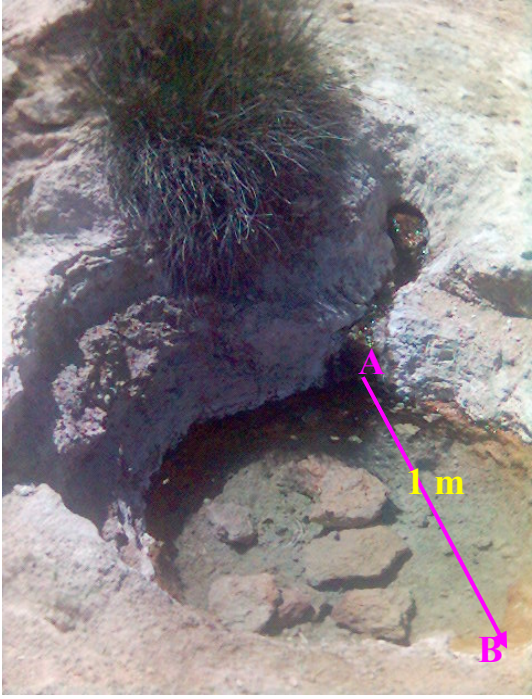


Foto 5.2 Yaprakhisar sıcak ve mineralli su kaynaklarının (yukarı kaynak) ölçüm güzergâhı



1



2

Foto 5.3 Yaprakhisar sıcak ve mineralli su kaynaklarının (aşağı kaynak) ölçüm güzergâhı ve ölçüm noktaları (1, 2).



3



4

Foto 5.3 (devamı) Yaprakhisar sıcak ve mineralli su kaynaklarının (aşağı kaynak) ölçüm güzergâhı ve ölçüm noktaları (3, 4).

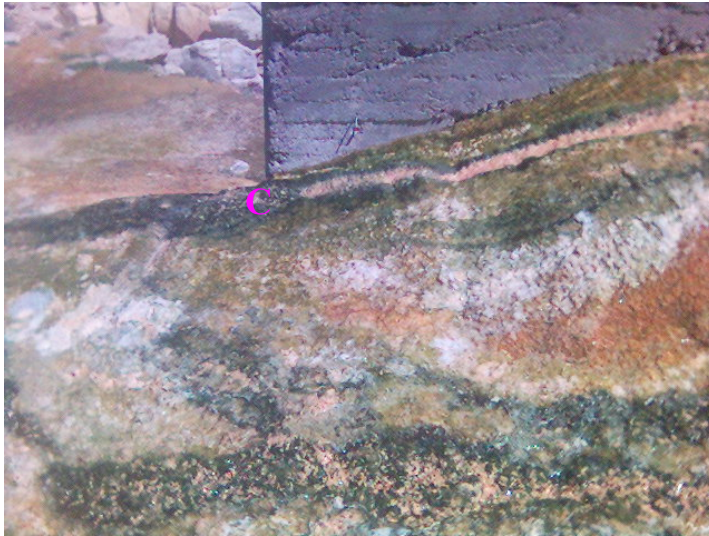
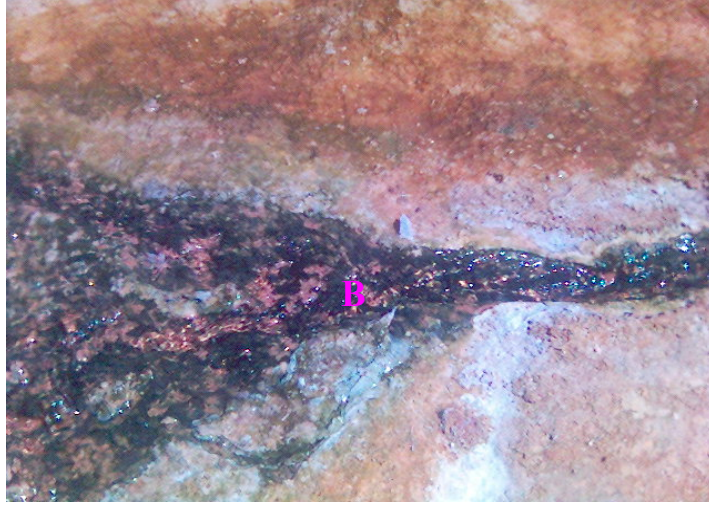


Foto 5.4 Ziga sıcak ve mineralli su kaynaklarının ölçüm güzergâhı (A-B: 4,5m, B-C: 3m)



1



2

Foto 5.5 Helvadere soğuk su kaynakları (1: Soğuk su kaynağı 1, 2: Soğuk su kaynağı 2)



1



2



3

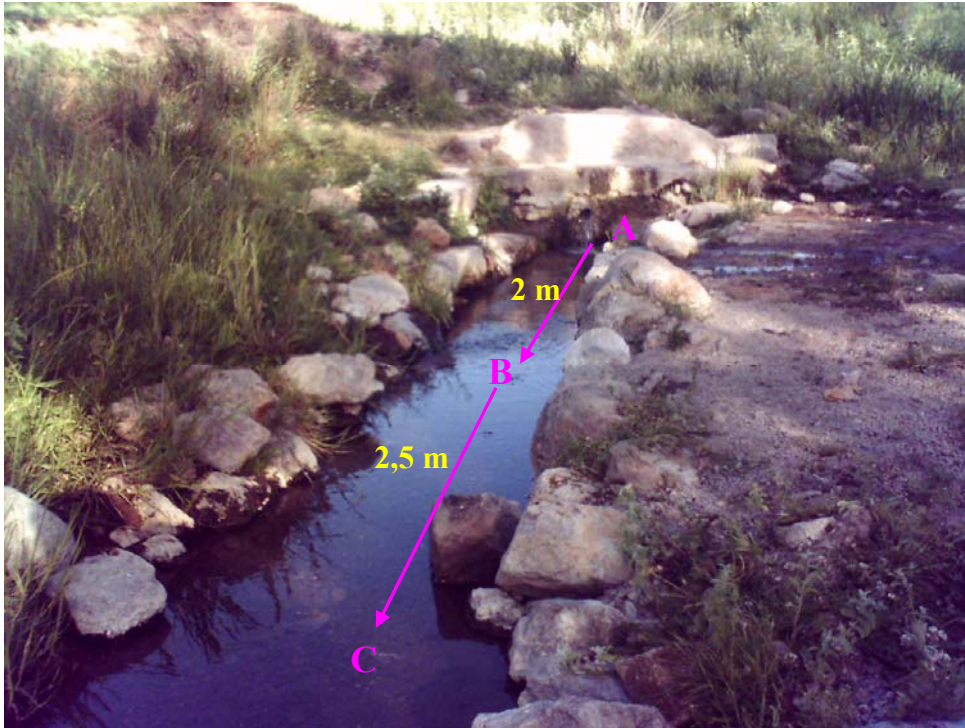


4

Foto 5.6 Koçpınar (Sarısu) kaynaklarının ölçüm noktaları (1: Sarısu havuz, 2: Sarısu Kaynağı ölçüm noktası A, 3: Sarısu Kaynağı ölçüm noktası B, 4: Sarısu Kaynağı ölçüm noktası C).



1



2

Foto 5.7 Koçpınar (1: Sarısu ve 2: Aksu) kaynaklarının ölçüm güzergâhları.

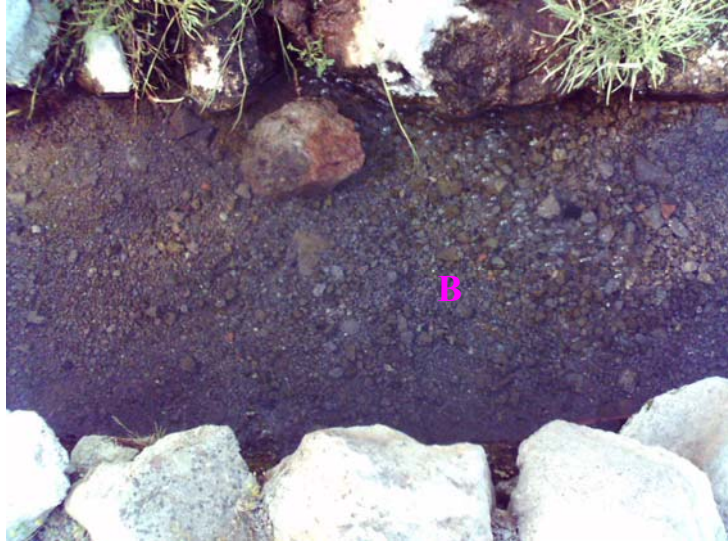


Foto 5.8 Koçpınar (Aksu) kaynaklarının ölçüm noktaları (1: Aksu Kaynağı ölçüm noktası A, 2: Aksu Kaynağı ölçüm noktası B, 3: Aksu Kaynağı ölçüm noktası C.

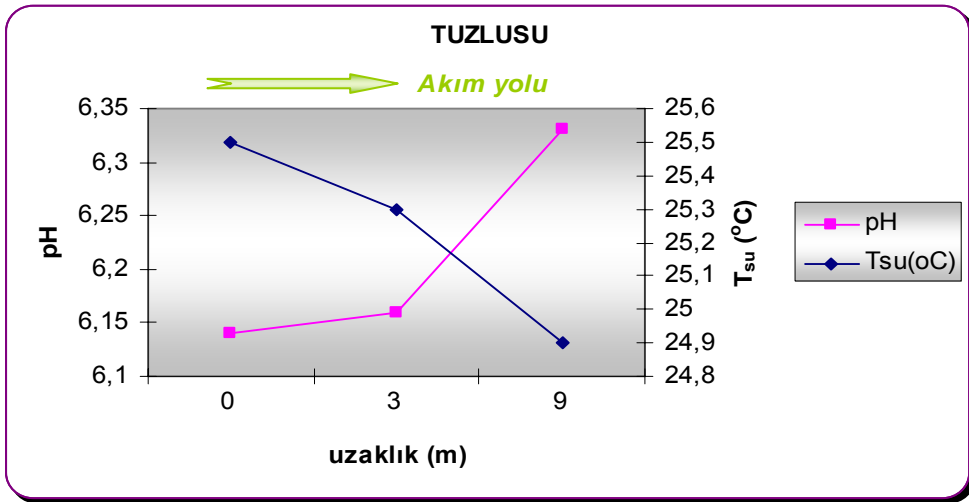
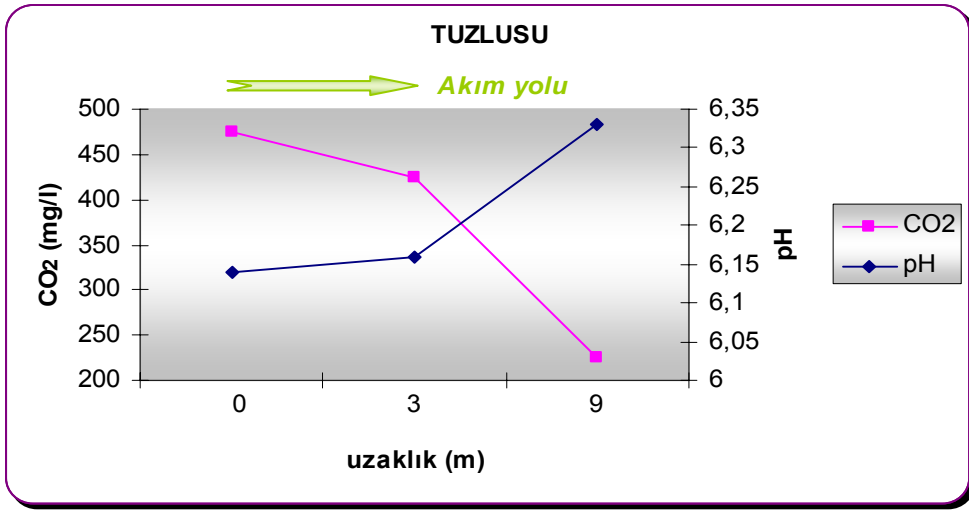
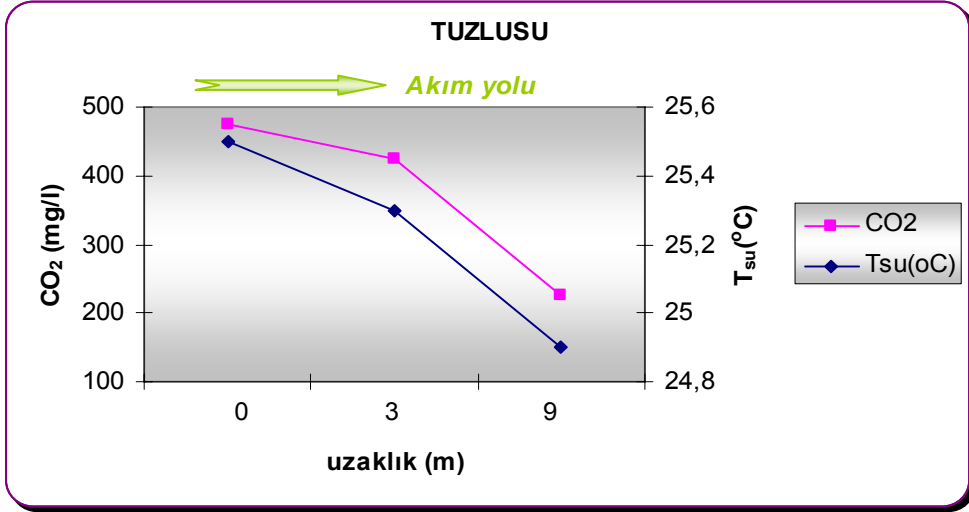


A

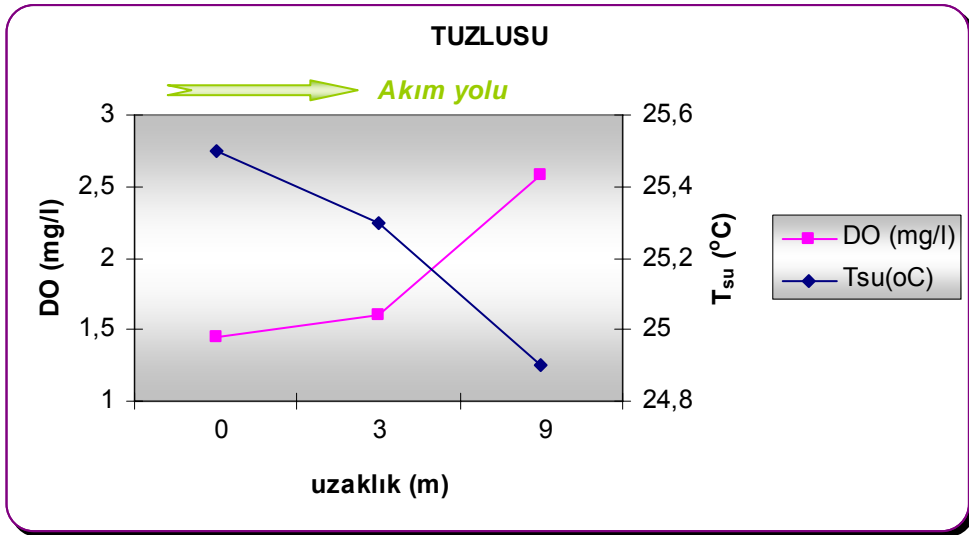
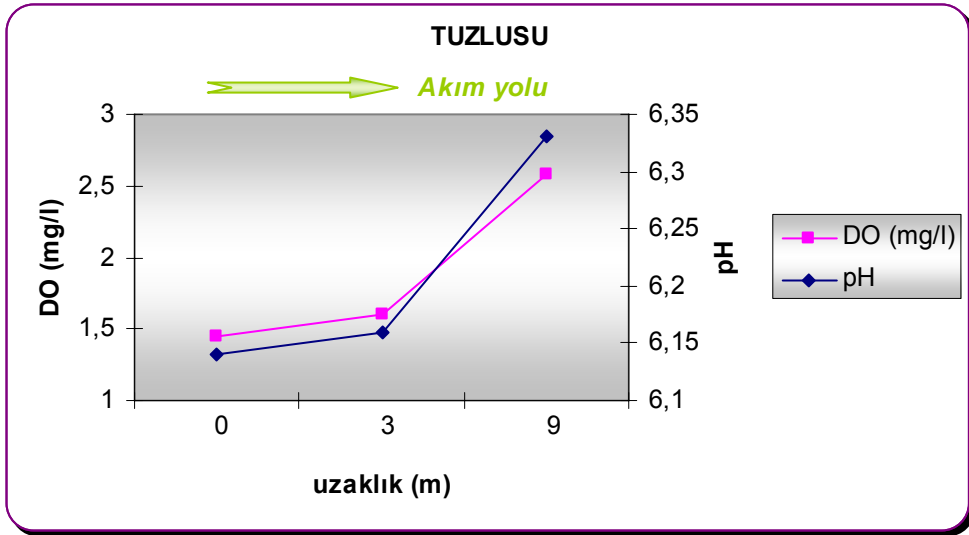
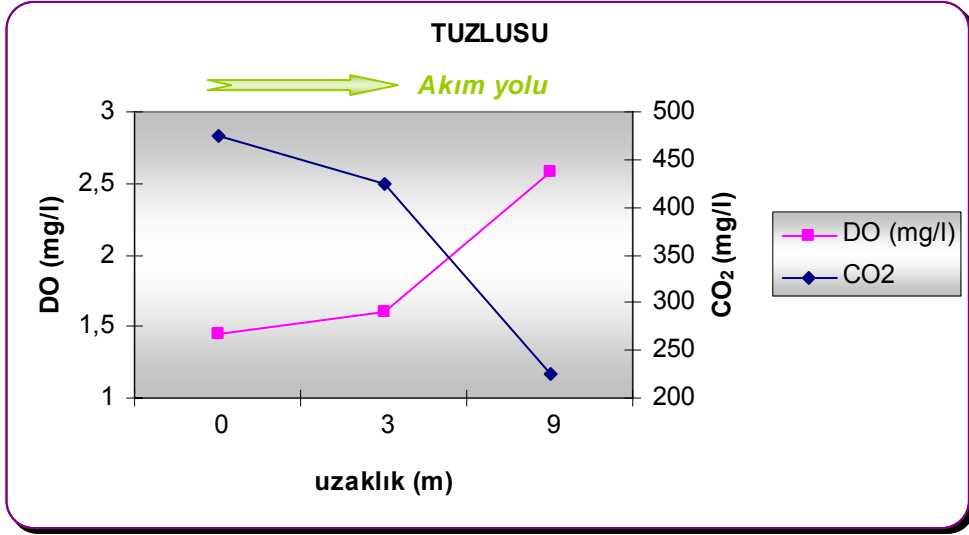


B

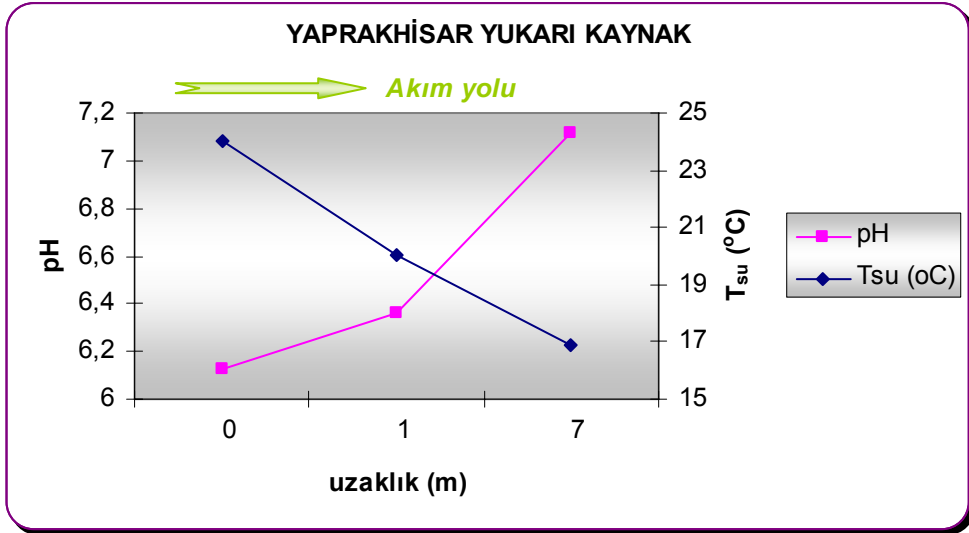
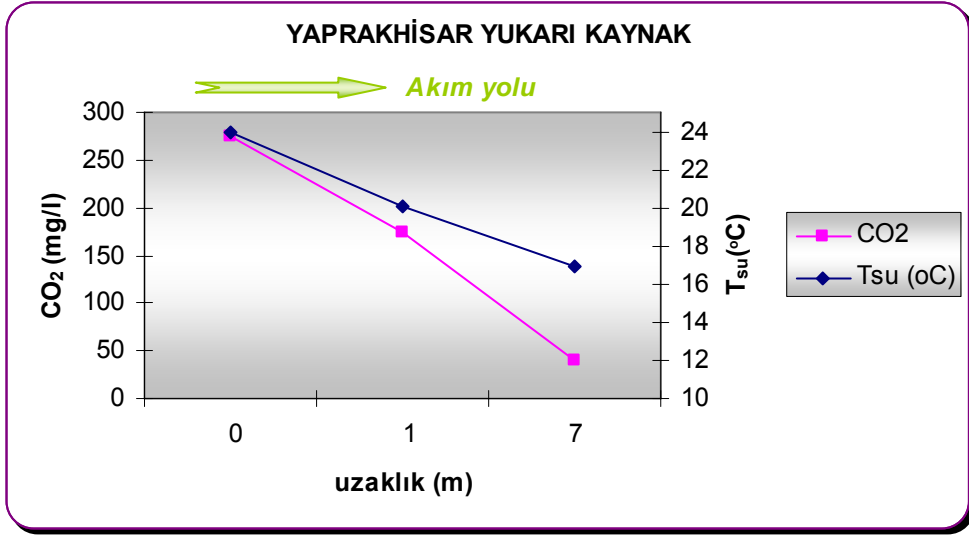
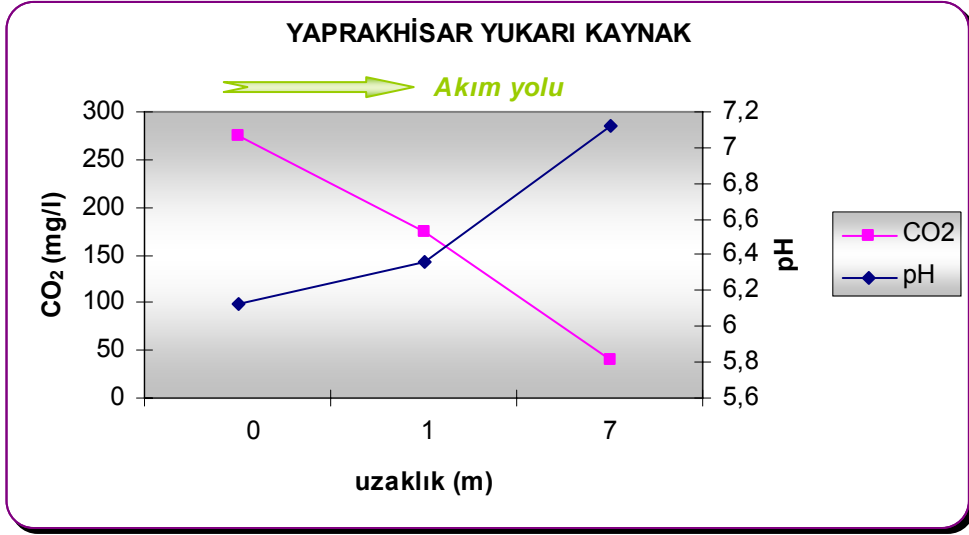
Foto 5.9 Karbondioksit çıkışları (A: Tuzlusu havuzu, B: Koçpınar (Sarısu) havuzu).



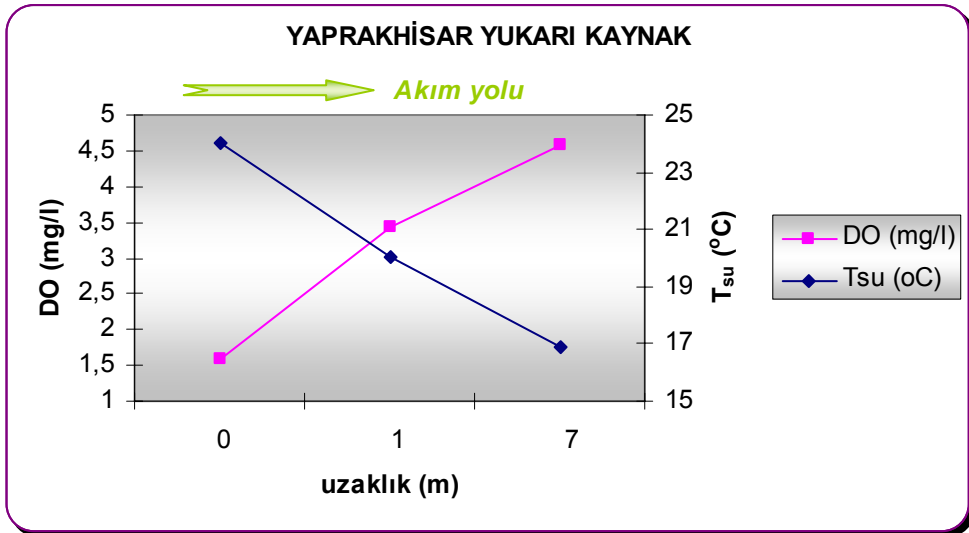
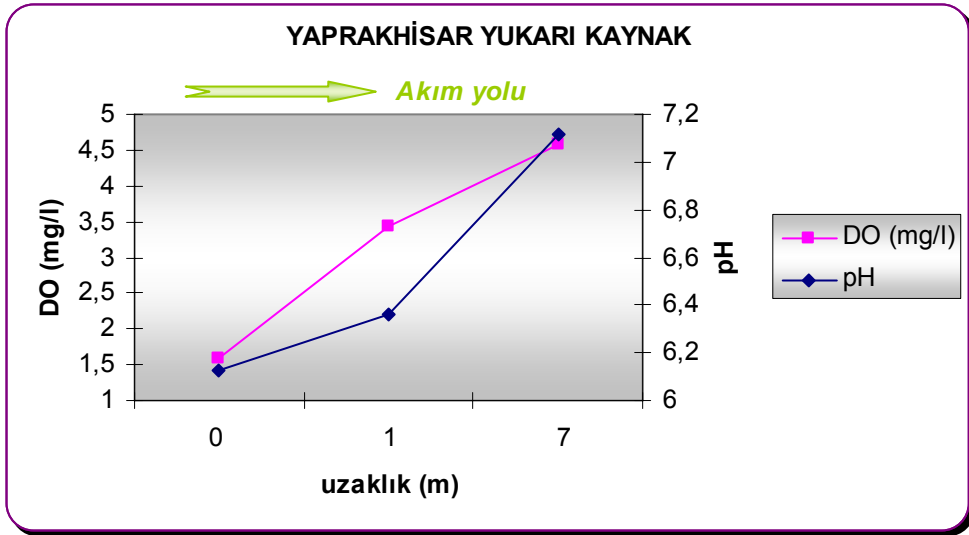
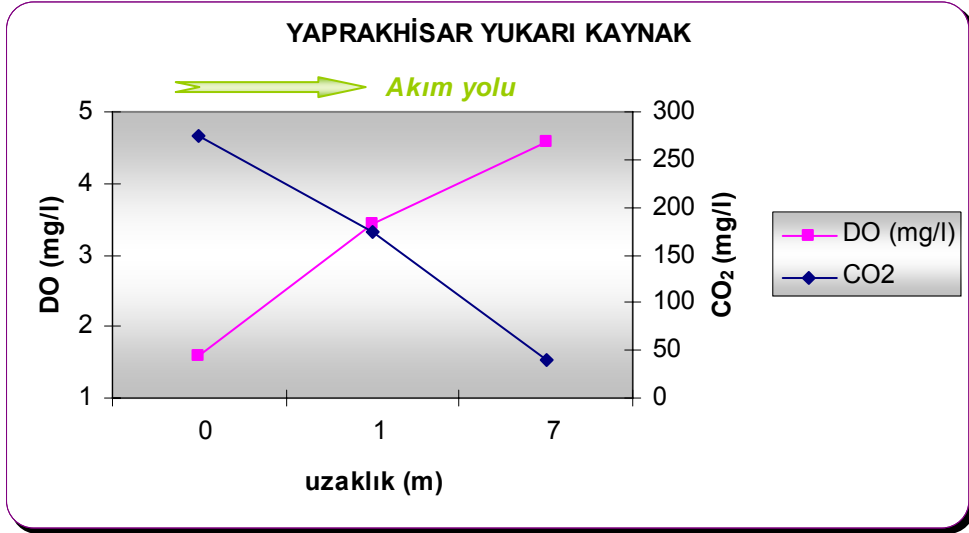
Şekil 5.4 Tuzlusu ölçüm değerlerinin grafikleri



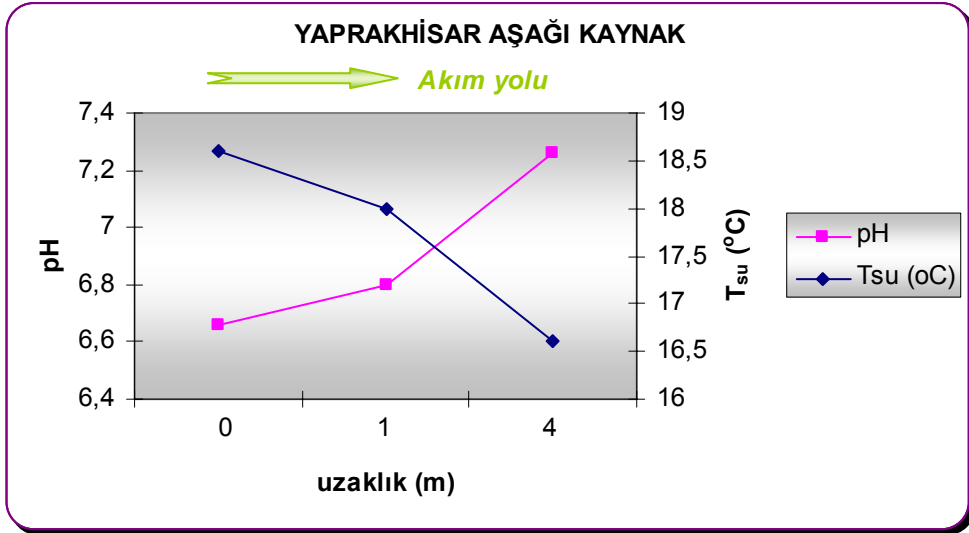
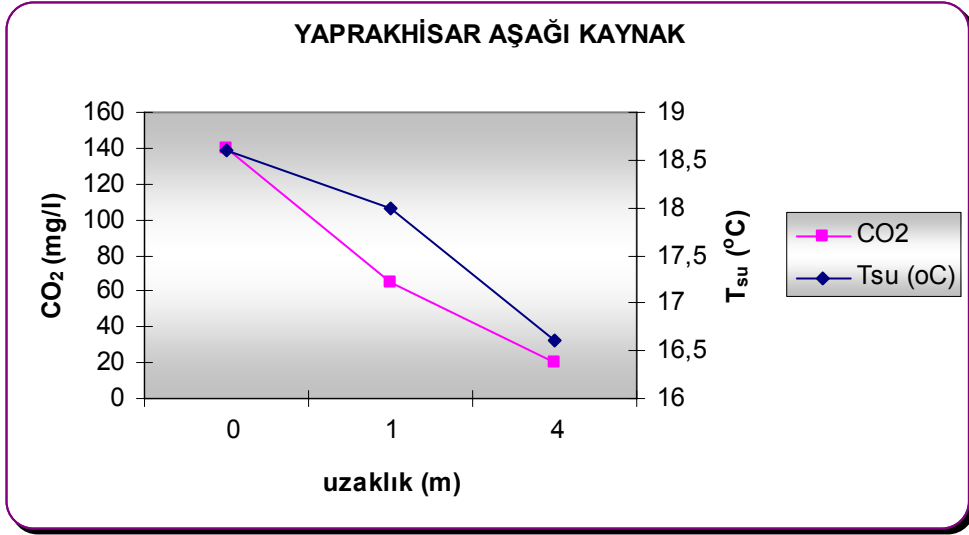
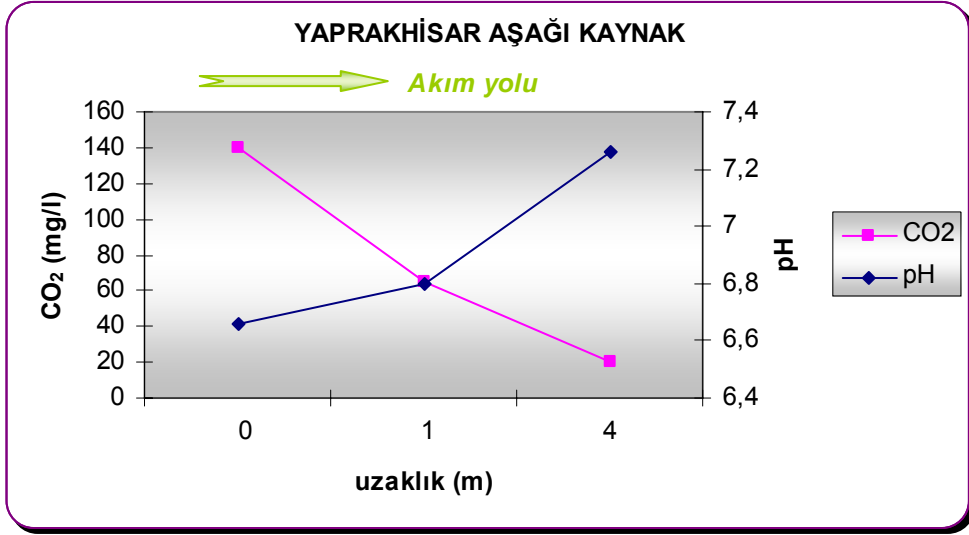
Şekil 5.4 (devamı) Tuzlusu ölçüm değerlerinin grafikleri



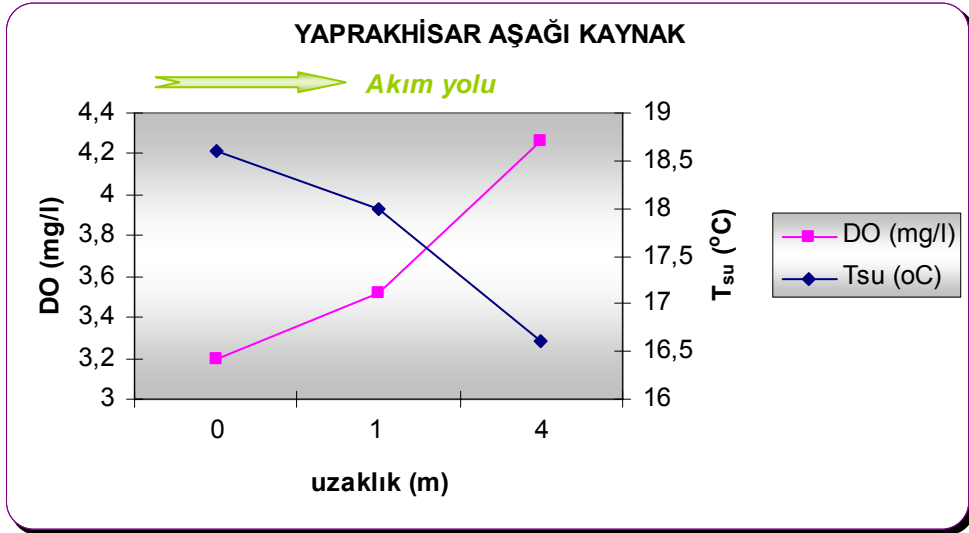
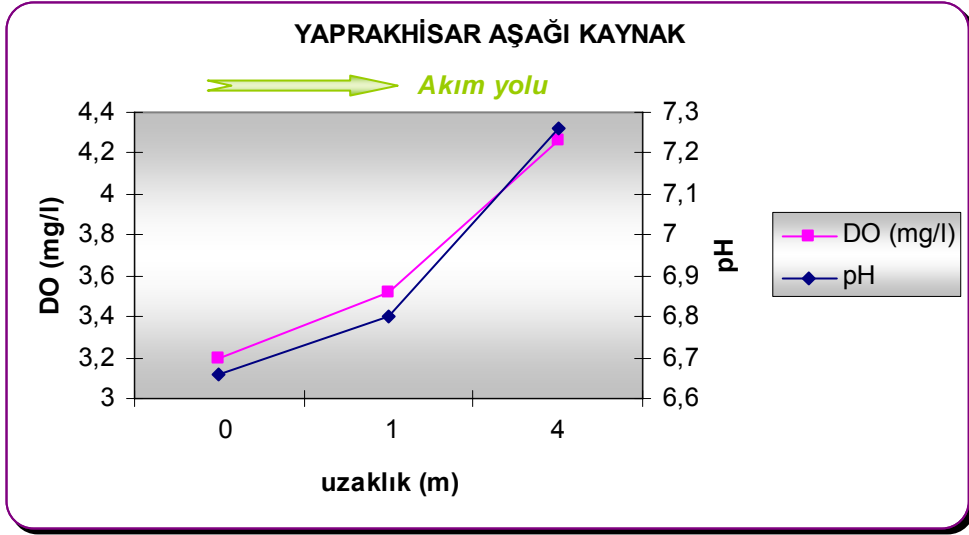
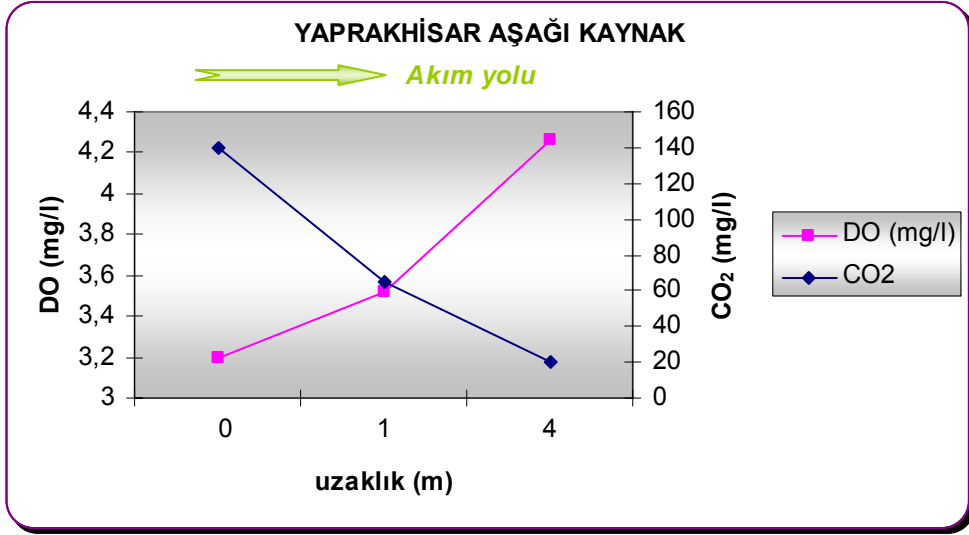
Şekil 5.5 Yaprakhisar yukarı kaynağın ölçüm değerlerinin grafikleri



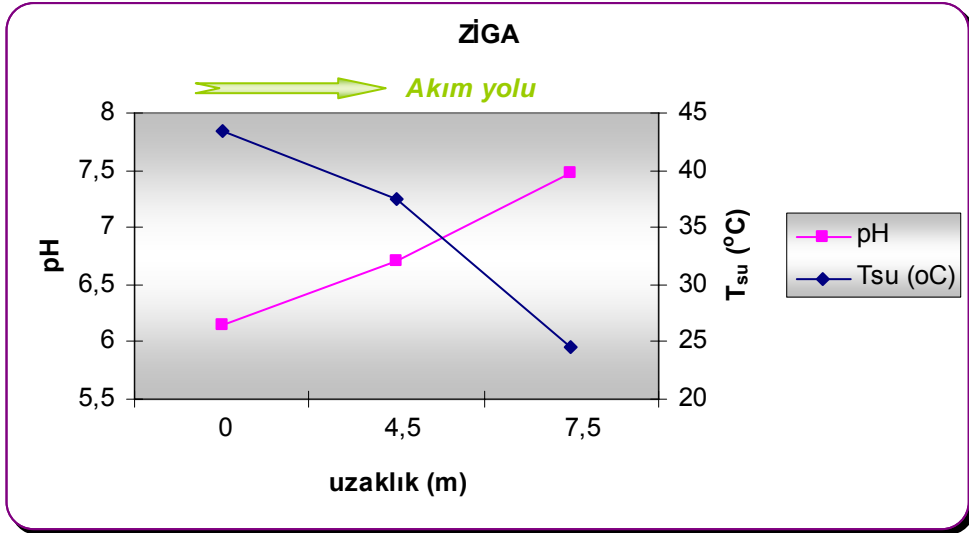
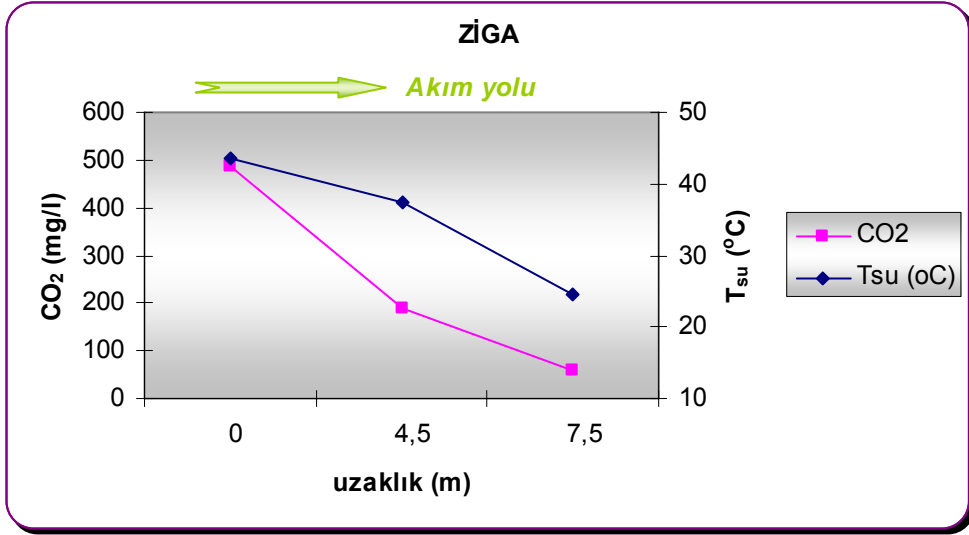
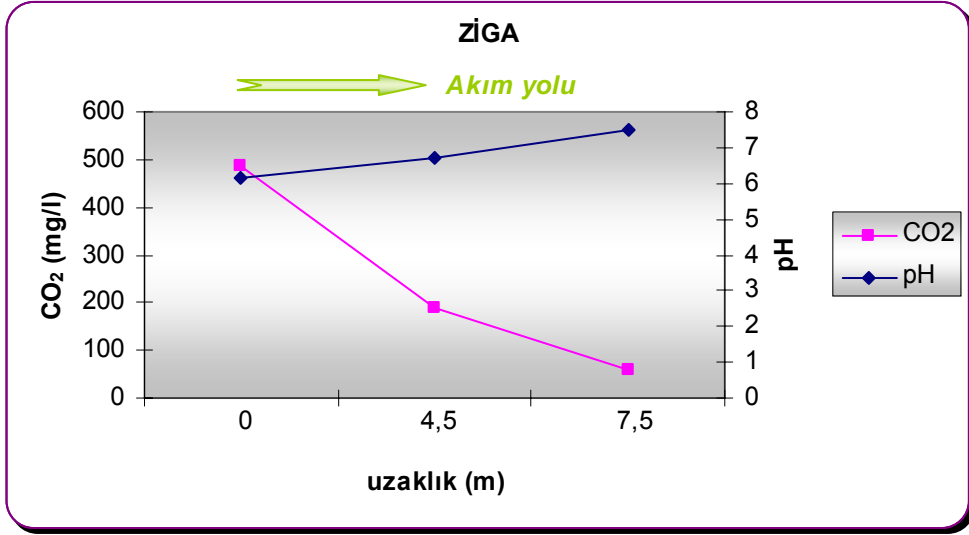
Şekil 5.5 (devamı) Yaprakhisar yukarı kaynağın ölçüm değerlerinin grafikleri



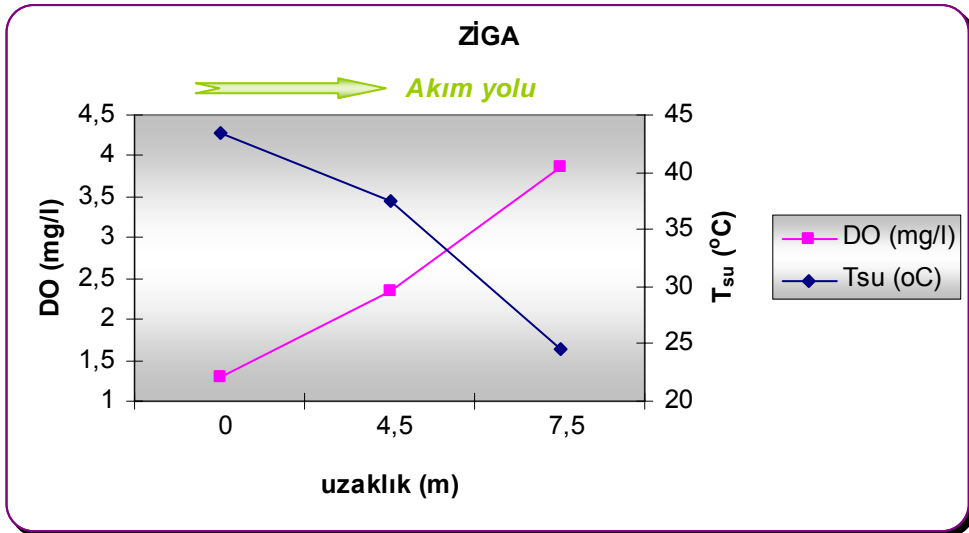
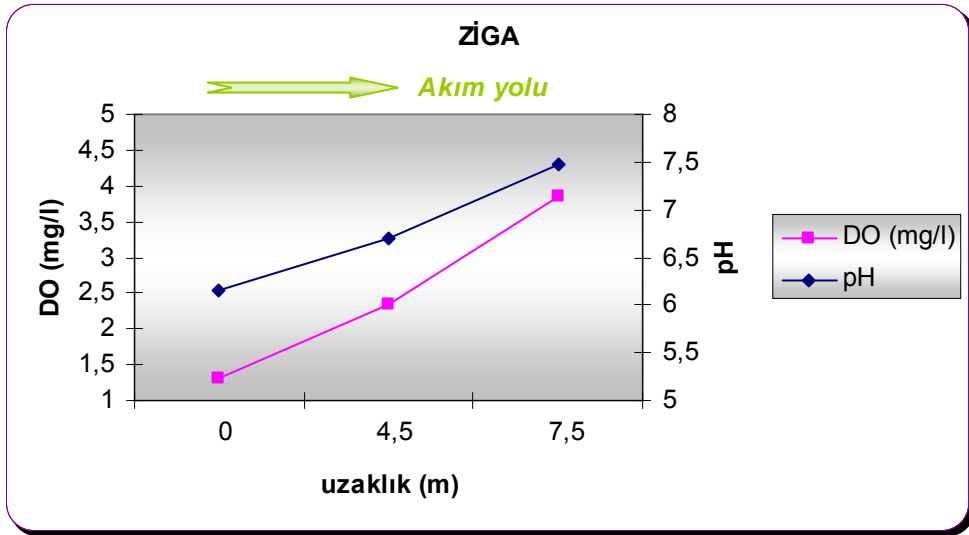
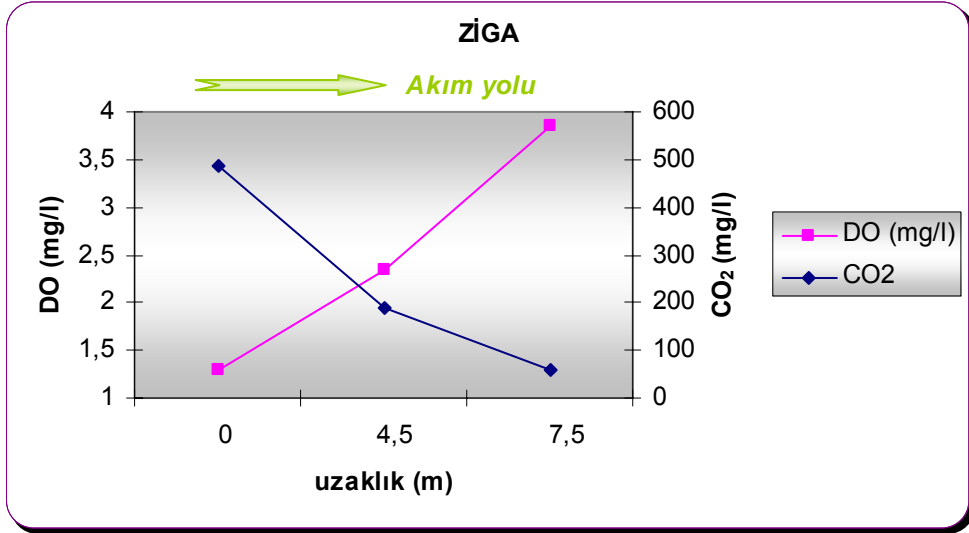
Şekil 5.6 Yaprakhisar aşağı kaynağın ölçüm değerlerinin grafikleri



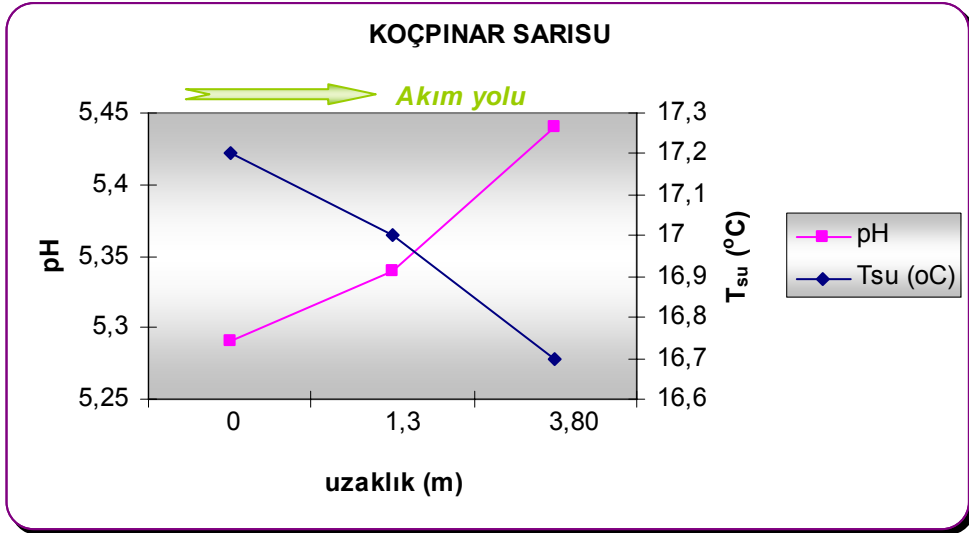
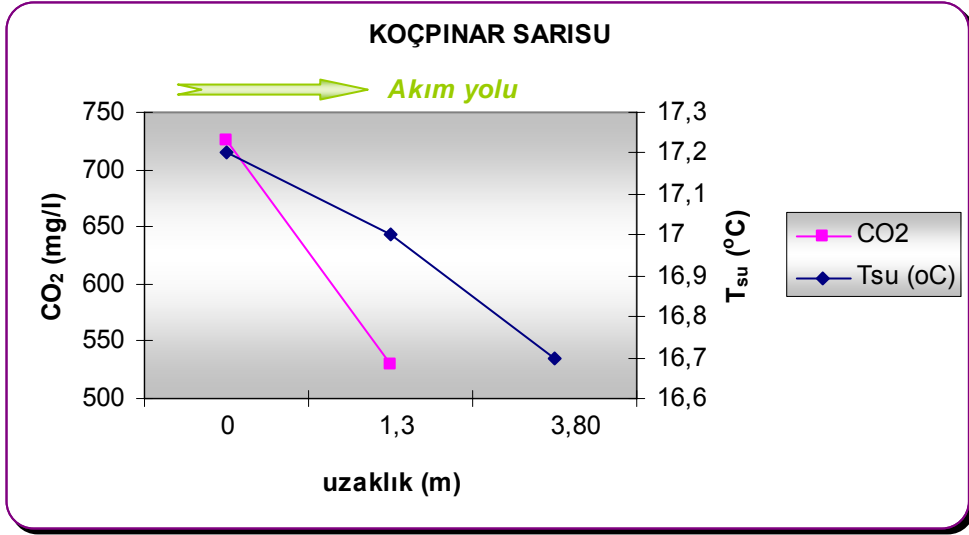
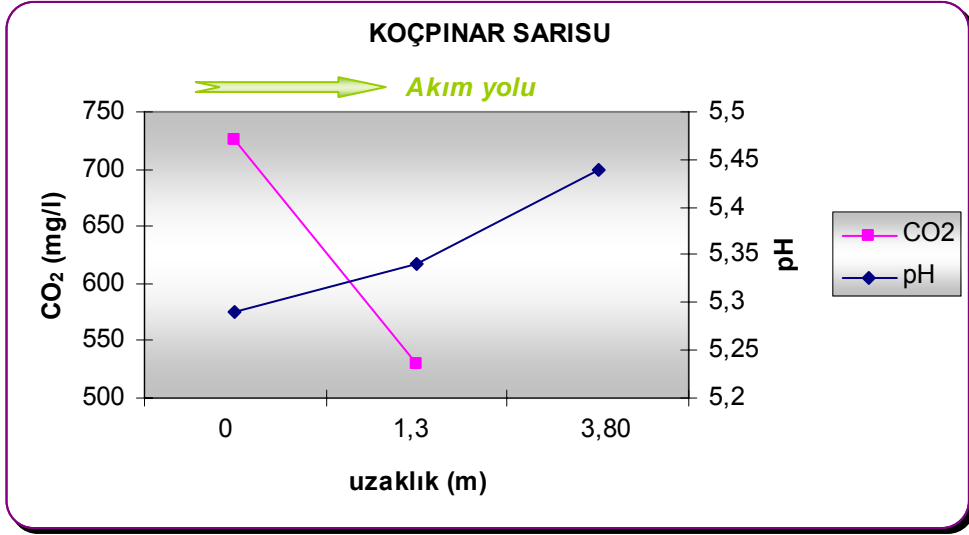
Şekil 5.6 (devamı) Yaprakhisar aşağı kaynağın ölçüm değerlerinin grafikleri



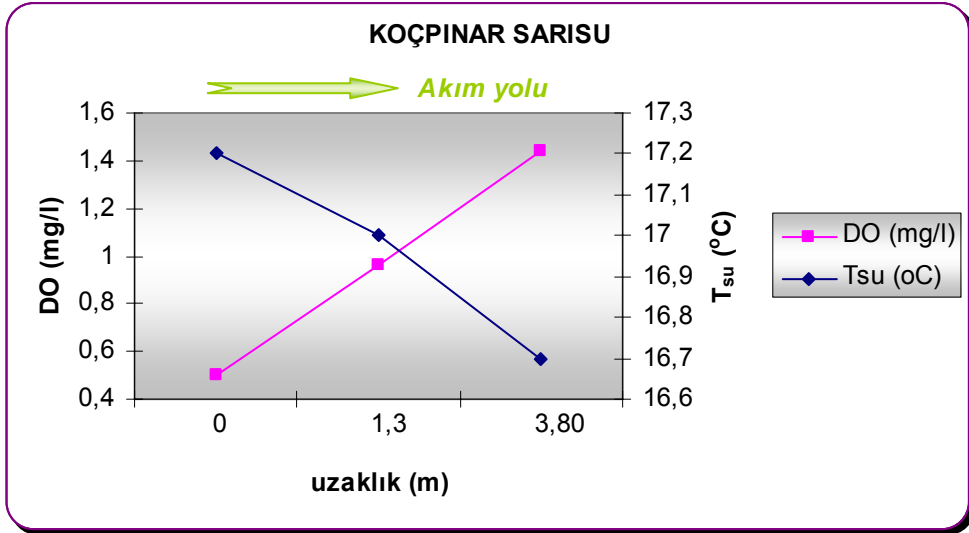
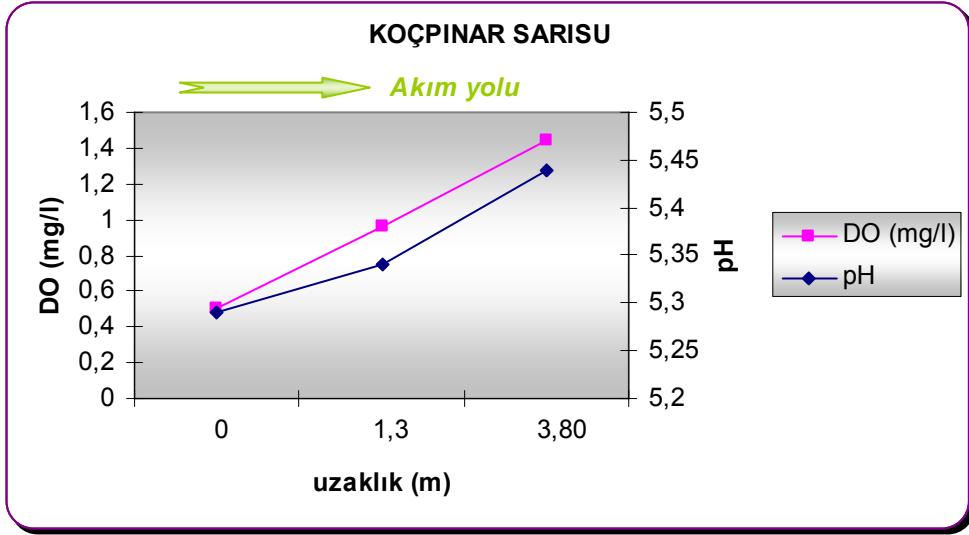
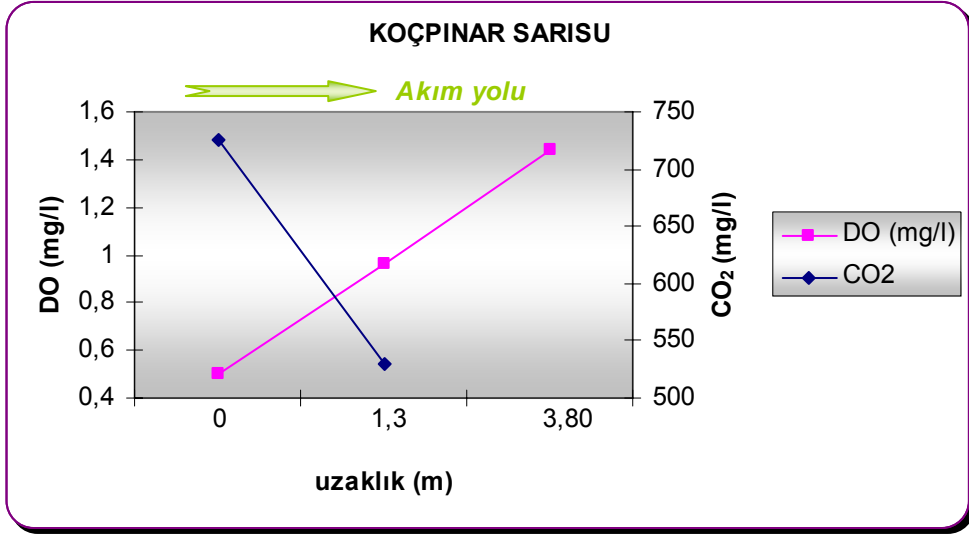
Şekil 5.7 Ziga sıcak ve mineralli su kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri



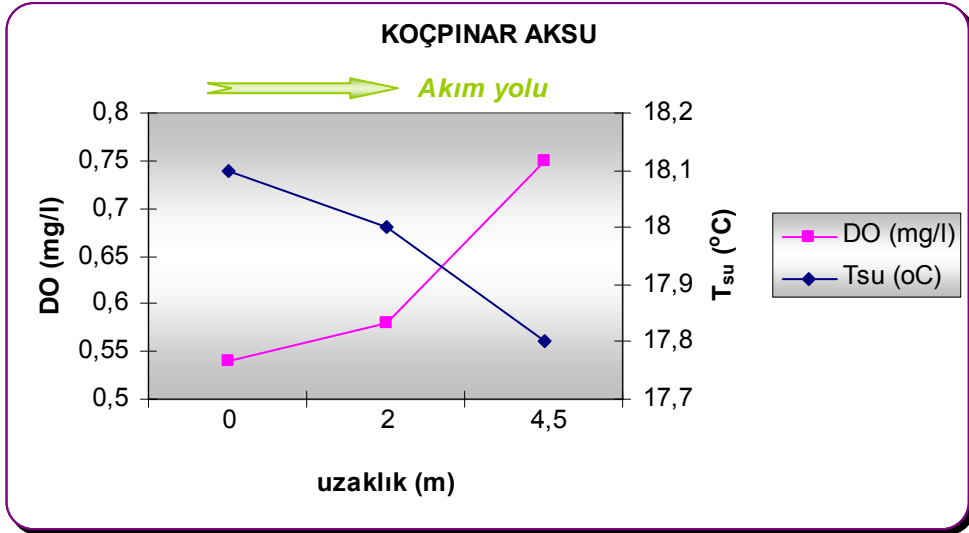
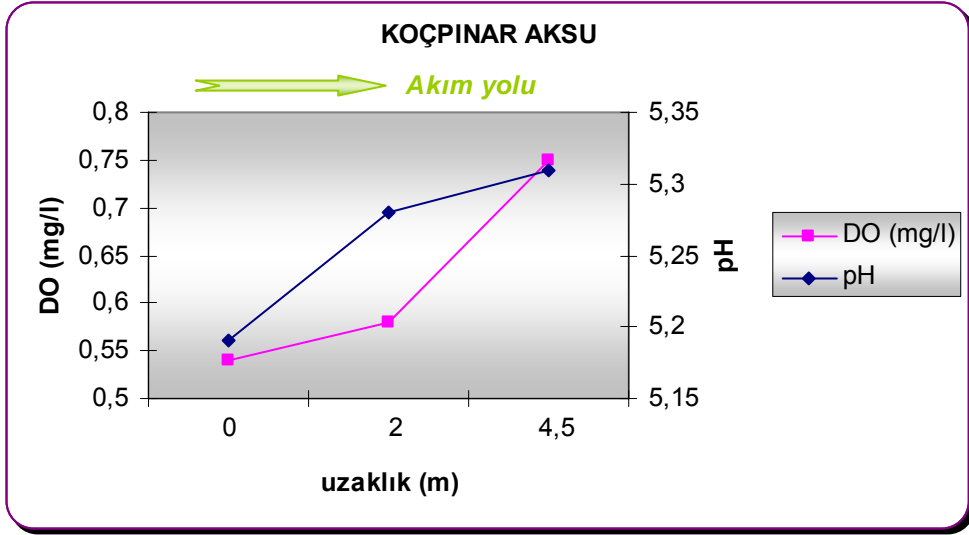
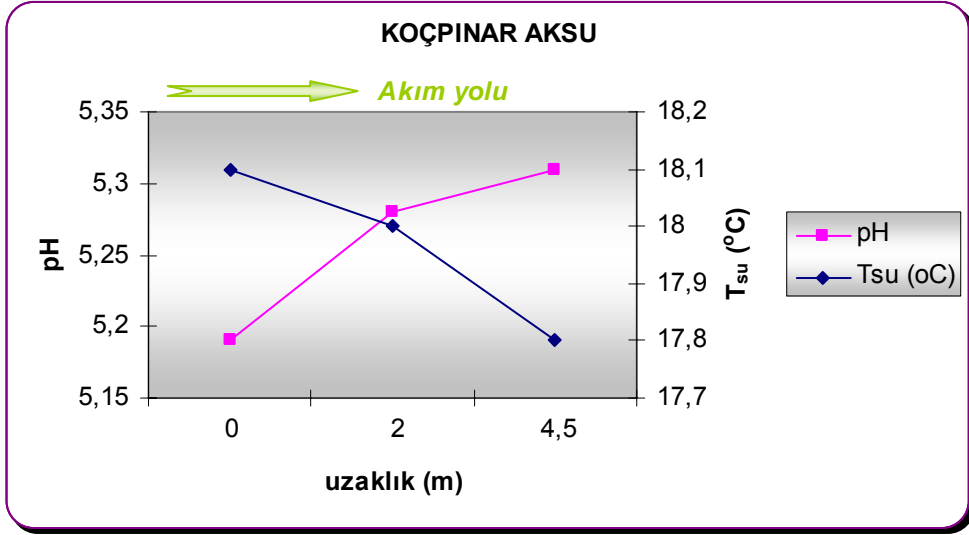
Şekil 5.7 (devamı) Ziga sıcak ve mineralli su kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri



Şekil 5.8 Koçpinar Sarısu kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri



Şekil 5.8 (devamı) Koçpınar Sarısu kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri



Şekil 5.9 Koçpinar Aksu kaynağının ölçüm değerlerinin grafikleri

5.5 Kaynak Alanındaki Travertenlerin Ayrıntılı Olarak İncelenmesi (Makro ve Mikro Özellikleri)

Ziga Kaplıcası ve çevresiyle Yaprahisar'ın çevresinde yer alan sıcak ve mineralli su oluşukları olan travertenler beyazımsı sarı renkli ve boşluklu yapıya sahip olup, kalınlıkları 1–30 m arasında değişmektedir.

Bölüm II'de de anlatıldığı gibi, Selime tüfleri içerisindeki çatlaklardan gelerek yüzeye ulaşan sıcak sular, zamanla buralarda kalınlıkları 30–40 cm'den 1 m'ye ulaşan kalsit damarları oluşturmuşlardır.

Traverten çökelinin kalınlığı ya da depolama miktarı temeldeki mermer kütlelerinin kalınlığı ve karakteri ile yakından ilişkilidir. Masif ve kalın mermer olan temel kayadan gelen bikarbonatça zengin sıcak su, daha kalın traverten depolar [10].

Kaynak alanlarının bazılarında çatlak sırt tipi traverten oluşumuna ilişkin örnekler de gözlenmektedir. Bu oluşuklar sıcak suların yüzeye çıktığı Yaprahisar çevresinde yaygındır. Yaprahisar ve Ziga bölgesinde sıcak su çıkışlarının devam ettiği kırık ve çatlaklarda, traverten oluşumları devam etmektedir (Foto. 5.10-5.13). Tüflerdeki birbirini kesen çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak sular kırık hatları boyunca aragonit şeklinde traverten oluşumuna sebep olmuştur. Bunun örneklerinin bulunduğu Yaprahisar yokuşunda Karatoprak Tepe'nin kuzeyindeki travertenler yapıtaşı olarak işletilmiştir. Bölgeye ait eski travertenler Karatoprak Tepe'de gözlenmektedir (Foto. 5.12-5.14).



A



B

Foto 5.10 Yaprakhisar güncel travertenlerinden görünüşler.



A



B

Foto 5.11 Ziga güncel travertenlerinden görünüşler.



A



B

Foto 5.12 Yaprakhisar eski ve güncel travertenlerinden grnler (A: Eski travertenler, B: Eski ve güncel travertenler).



Foto 5.13 Eski travertenler (Yaprakhisar)



Foto 5.14 Eski travertenler ve güncel travertenler (Yaprakhisar)

5.5.1 Çatlak sırt tipi laminalı traverten

Yaprakhisar atlak sırt tipi laminalı travertenini KD-GB yönlü bir açılma çatlağı boyunca depolanmış ve sırt tipini almıştır. Sıcak ve mineralli su bu yarıklardan yukarı çıkarken CO₂'yi kaybeder ve traverten çökelimine sebep olur.

Traverten sırtının ortasında bulunan yarığa paralel konumda laminalı ve ince tabakalı sert ve sık dokulu kristalin kabuklar mevcuttur. Bu kabuklar hidrostatik basıncın düşmesine, yavaş yeraltı suyu akışına ve yavaş CO₂ kaybı olduğuna işaret etmektedir. Su miktarının az olması yavaş çökelmeye neden olmuş ve zamanla suyun şiddetini tamamen yitirmesiyle de traverten kütlesi ortasındaki yarık karbonat kelimiyle tıkanmıştır [10] (Foto. 5.15).



Foto 5.15 atlak sırt tipi traverten oluşumuna rnek (Eski travertenler, Yaprakhisar)

5.5.2 Mikroteras havuzları

Su akımının devam ettiği yerlerde güncel olarak gözlenen ve oluşumları devam eden mikroteras havuz yapıları bulunmaktadır (Foto. 5.16). Mikroteras havuzları dendritik yapıların oluşması için uygun ortam sağlar. Algal etkinlik dendritlerin oluşmasına yol açmıştır. Bu havuzlarda suda erimiş CO₂'nin daha yavaş uzaklaşması alglerin mevcut CO₂'yi kullanmalarına ve sonrasında karbonat çökelmelerine neden olur [10]. Mikroorganizma etkinliği için az eğimli yüzeyler olması gerekmektedir. Ziga-Yaprakhisar traverten çökellerinin oluşumunda algal etkinliğin de etkisi vardır.

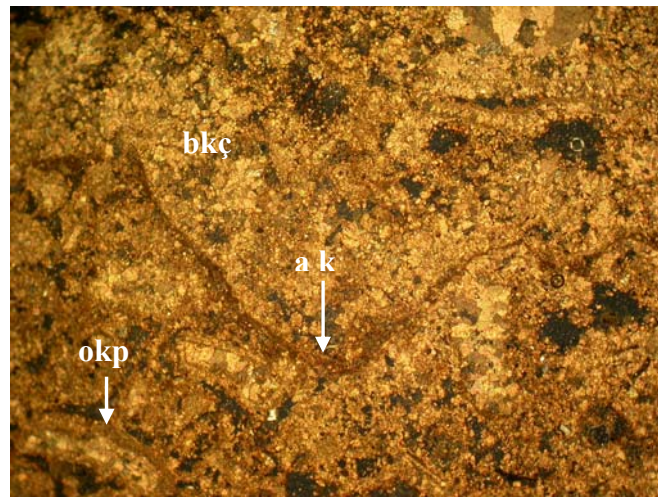


Foto 5.16 Mikroteras havuz yapıları.

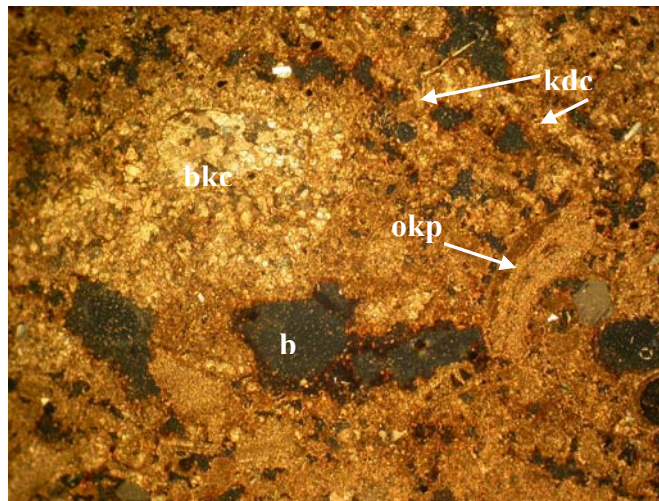
5.5.3 Travertenlerin mikro özellikleri

Sıcak ve mineralli kaynak alanlarında çökelmiş travertenlerin iç yapılarını belirlemek amacıyla travertenlerden alınan örneklerin ince kesit tanımlamaları polarizan mikroskopta yapılarak ilgili fotoğraf altlarında verilmiştir. Söz konusu tanımlamalar dikkate alınarak çökeltim mekanizmaları ilgili aşağıdaki yorumlar yapılmıştır.

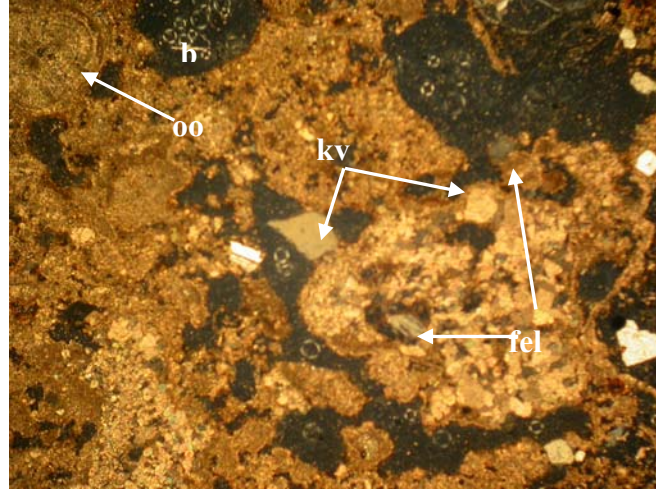
Algleri az, kavkuları bol ve iri taneli doğru sönmeli kalsit içeren travertenler sığ ve dingin bir ortamda çökeltim işaret eder (Foto. 5.17). Algleri fazla, uniaksiyal karakterde kalsitin dışında yabancı mineralleri bulunmayan travertenler kanal (akım yolu) içerisinde çökeltimin göstergesi olabilir (Foto. 5.18). İri taneli radiaksiyal lifsi, açık renkli, kirlenmemiş, saf ve izometrik kalsit içeren traverten akıntısının fazla olmadığı dingin bir ortama işaret edebilir (Foto. 5.19 ve 20). Alg faaliyetlerinin katkısı net bir biçimde gözlenmektedir.



A



B



C

Foto. 5.17 Ziga (1) travertenlerine ait çift nikolde çekilmiş ince kesit fotoğrafları (4X).

A: Ortada ince bant şeklide alg kolonisi (ak), bunun etrafında organik kavkı parçaları (okp) ve blok kalsit çimento (bkç)

B: Taneler (alg kolonisi (ak), organik kavkı parçaları (okp)) ince taneli mikrit ile bağlanmıştır. Boşluklar (b) köpek dişi kalsit çimento (kdç) ile doldurulmuş ve geriye kalan boşluklar ise daha iri taneli blok kalsit çimento (bkç) ile tutturulmuştur.

C:Örnekten bulunan diğer mineraller kuvars (kv) ve feldispat (fel) mineralleridir. Ayrıca burada oolid (oo)de gözlenmektedir.

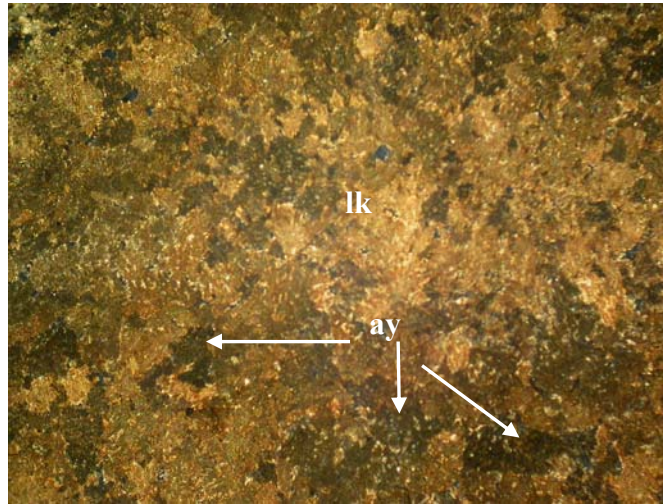


Foto. 5.18 Ziga (2) travertenine ait ince kesit fotoğrafı (4X).

Algler yumrular (ay) şeklinde gözlenmektedir. Kalsit genellikle lifsi (lk), ince taneli sparit ve mikrittir. Lifsi kalsit oldukça küçük parçalardan oluşmuş ve dalgalı sönme göstermektedir. Mikroskop altında uniaxial karakter sunmaktadır.

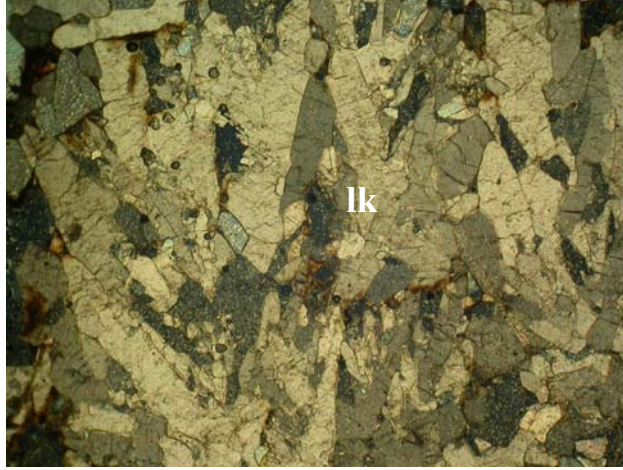


Foto. 5.19 Ziga (3) travertenine ait ince kesit fotoğrafı (4X).

Boşluğu dolduran çok iri taneli lifsi kalsit (lk) bulunmaktadır. Bu kristaller oldukça açık renkli, kirlenmemiş, saf ve izometrik kristaller olup, dalgalı sönmeli ve yakınsak optik özelliklidir.

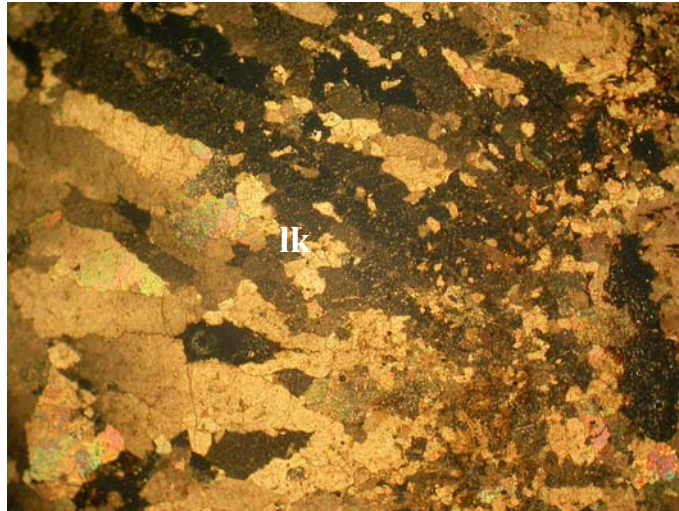


Foto. 5.20 Yaprakhisar travertenine ait ince kesit fotoğrafı (4X).

Çok iri taneli lifsi kalsit (lk).

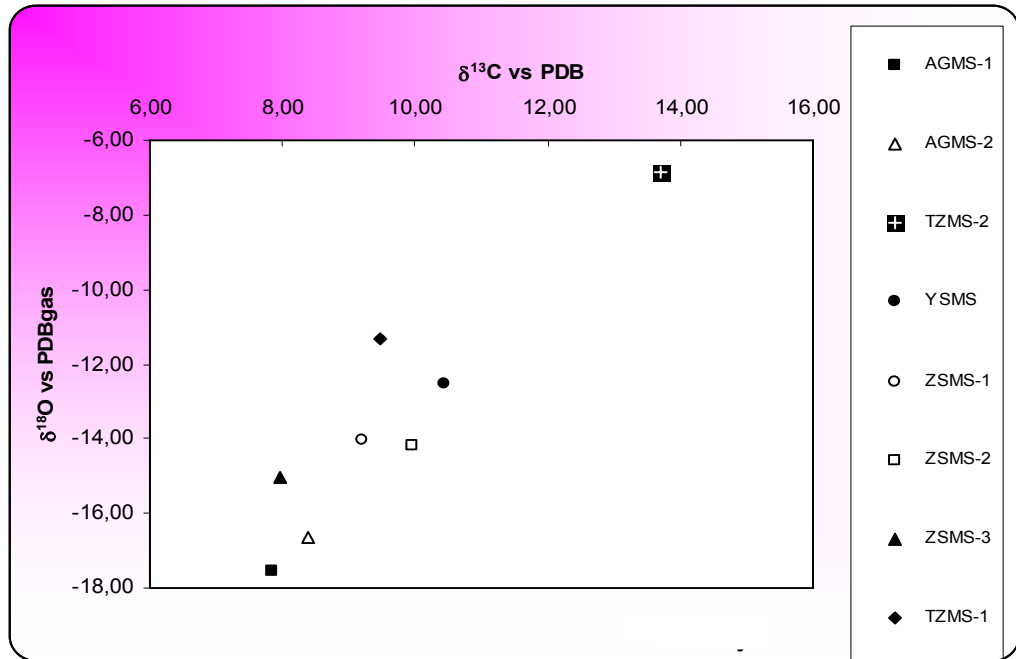
5.6 Travertenlerin İzotopik Özellikleri

İnceleme alanındaki kaynak alanlarında bulunan travertenlerden alınmış örneklerin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop analiz sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiş ve Şekil 5.10’da gösterilmiştir. Çoğunluğu kalsitten oluşmuş kaynak alanlarında çökelişi devam etmekte olan travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri iyi pozitif korelasyon katsayısına ($r=0.86$) sahiptir. Yüksek kotlardan beslenen, sıcaklığı fazla ve evaporitlerle ilişkisi bulunmayan suların kaynak alanlarındaki travertenlerde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri düşüktür.

Sıcaklık arttıkça ^{18}O ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri azalmıştır. Tuzlusudan Acıgöle doğru bu artış gözlenmiştir. TZSM ve ZSMS gibi sularda HCO_3 konsantrasyonları düşük ^{13}C değerleri yüksektir.

Çizelge 5.2 İnceleme alanındaki travertenlerden alınmış örneklerin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop analiz sonuçları (Kısaltmalar Çizelge 3.1’deki gibidir).

	$\delta^{13}\text{C}$ vs PDB	$\delta^{18}\text{O}$ vs PDBgaz
AGMS-1	7,86	-17,54
AGMS-2	8,38	-16,65
TZSM-1	9,47	-11,31
TZSM-2	13,71	-6,85
YAP-1	10,44	-12,53
ZSMS-1	9,19	-14,06
ZSMS-2	9,96	-14,17
ZSMS-3	7,97	-15,05



Şekil 5.10 İnceleme alanındaki travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$ grafiği (Kısaltmalar Çizelge 3.1’deki gibidir).

5.7 Ziga-Yaprakhisar Sıcak ve Mineralli Sularının Oluşturabileceği Bazı Çevresel Problemler

Sıcak ve mineralli suların yüksek oranlarda çözünmüş madde içermeleri yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesi gibi önemli çevresel problemlere yol açabilir. Türkiye'deki jeotermal alanlarda bazı sulara bulunan yüksek derişimli iyonlar bazı durumlarda soğuk yüzey veya yeraltı sularına karışarak, özellikle tarım alanlarında önemli üretim kaybına yol açmaktadır. Bazı zehirleyici elementlerin de jeotermal sulara yüksek olma olasılıkları bulunmaktadır. Bu nedenle içme amaçlı kullanımlarda bu tür tehlikelere dikkat etmek gereklidir [67]. Yeraltı sularındaki bor kirlenmesi topraktaki bor kirlenmesini de beraberinde getirmektedir. Yeraltı sularında ve toprakta bulunan yüksek bor derişiminin nedeni jeotermal sistemlerden kaynaklanmaktadır.

İnceleme alanındaki en önemli çevresel problemlerden birisi de toprakta ve yeraltı sularında gözlenen yüksek bor derişimi ya da kısaca bor kirlenmesidir. Ancak belli bir miktarı geçince de özellikle bazı bitkiler için son derece zararlı etkiye sahiptir. Sulama sularındaki bor miktarına göre bitkiler bora karşı duyarlı yarı duyarlı ve duyarsız olmak üzere üç grupta toplanmıştır [59, 63]. Çok genel bir değerlendirme yapılacak olursa, sulama sularındaki bor derişimi 1mg/l'yi aşarsa bitkiler için zararlı olduğu söylenebilir.

Ziga kaynak alanında yapılan termal işletme sırasında atık suları hiçbir işleme tabi tutulmadan açıktan Melendiz çayına bırakılmaktadır. Bu sıcak sulara yüksek miktarlarda bulunan bor, özellikle Ziga sondajının açıldığı tarih olan 1999 yılından sonra kaynak alanı yakınındaki bölgede tarımsal açıdan önemli ölçüde verim kaybına neden olmaya başlamıştır (Çizelge 3.2 ve 3.4). Bu kirliliği önlemek için en iyi çözüm söz konusu kaynak alanında en az bir adet reenjeksiyon kuyusunun açılması ve atık suyun yer altına geri basılmasıdır.

5.8 Ziga Sıcak ve Mineralli Sularının Sağlık Açısından Değerlendirmesi

Ziga sıcak ve mineralli su kaynakları uzun yıllardır bilimsel olmayan biçimde tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Söz konusu suların, romatizma, deri, kadın hastalıkları, iç salgı sistemi, sindirim sistemi, böbrek ve idrar yolu rahatsızlıkları, metabolizma bozuklukları gibi hastalıklara iyi geldiği bilinmektedir [30].

Yeterli ölçüde yararlanılmayan Ziga sıcak ve mineralli su kaynakları, uygun noktalardan yapılacak daha verimli sondajlarla tesis kapasitesi artırılarak ve gerekli sağlıklı şartlarda tıbbi denetim altında termal turizme kazandırılabilir. Ayrıca seracılık, şehir ısıtmacılığı vb. bakımından insanların hizmetine sunulabilir.

BÖLÜM VI

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- İnceleme alanında temeli Paleozoyik yaşlı mermer, gnays ve kuvarsitlerden oluşan Bozçaldağ metamorfiteyi oluşturmaktadır. Bunun üzerine gelen birimler Senozoyik boyunca Kuvaterner'e kadar devam etmiştir.
 - Ziga ve çevresindeki sıcak ve mineralli su kaynaklarının kökeni büyük bir olasılıkla basınçlı akifer konumundaki Bozçaldağ metamorfiteye ait kırıklı-çatlaklı ve karstik mermerlerdir. Bölgedeki tüfler ve Hasandağı külleri geçirimsiz birimleri oluşturmakta ve örtü kaya özelliğindedirler.
 - İnceleme alanına ait jeotermal sistemde ısınmayı jeotermal gradyan, Hasandağı volkanizması ve granitler sağlamaktadır.
 - Sıcak ve mineralli su kaynakları KB-GD doğrultulu Ziga Fayı boyunca açığa çıkmaktadır.
 - Sıcak ve mineralli su kaynakları 25.4-61.1°C sıcaklığa ve 3200-6910 $\mu\text{S/cm}$ EC'ye sahiptirler. Soğuk sular, 10.4 - 18 °C sıcaklığa ve 207-800 $\mu\text{S/cm}$ EC'ye sahiptirler.
 - Suların baskın katyonu Na olup onu Ca^{+2} ve Mg^{+2} izlemektedir. Sularda hakim anyon Cl^- ve onu sırasıyla HCO_3^- ve SO_4^{-2} izlemektedir.
 - Schoeller diyagramına göre; iyon dizilimleri Tuzlusu, Yaprakhisar ve Ziga sıcak ve mineralli su kaynaklarında, $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$; $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$, Acıgöl sıcak ve mineralli suyunda $\text{Ca}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2}$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$, Acıgöl göl suyunda ise $\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$; $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{-2}$; Koçpınar kaynağında $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$; Helvadere soğuk su kaynağında $\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$; $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{-2}$ şeklindedir.
- Piper diyagramına göre; Tuzlusu, Yaprakhisar, Ziga sıcak ve mineralli su kaynakları ve Acıgöl göl suyu NaCl, Na_2SO_4 ve KCl'lü sulardır. Acıgöl sıcak ve mineralli suyu, Koçpınar kaynağı ve Helvadere soğuk suyu, CaCO_3 ve MgCO_3 lü karbonatlı ve sülfatlı sulardır.
- İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular genelde hematit, götit, kuvars, kalsedon, kalsit, dolomit, aragonit, minerallerine doymuş olup bunları çöktürme, jips, halit, anhidrit, manganit, melanterit, talk minerallerine doymuş olmayıp bunları çözme eğilimlidir.

- İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sulara çeşitli jeotermometreler uygulanmış ve hazne kaya sıcaklıkları tahmin edilmiştir. Mineral denge-sıcaklık diyagramı jeotermometresi ile hesaplanan hazne kaya sıcaklıkları, AGMS’de 65–75°C, YHMS’de 50–70°C, KÇSS’de 40°C, TZSM’de 50–60°C, ZSMS’de 60–75°C’dir.
- İnceleme alanındaki suların ^{18}O , ^2H ve ^3H izotop analiz sonuçlarına göre Yaprakhisar, Ziga, Acıgöl sıcak ve mineralli su kaynağı derin dolaşimli, Tuzlusu sıcak ve mineralli su kaynağı orta dolaşimli ve Helvadere kaynağı ve Acıgöl göl suyu sığ dolaşimli sulardır.
- Kaynaklarda su çıkışları ile birlikte gaz çıkışları da gözlenmektedir. Bu gazlar $\delta^{13}\text{C}$ izotop analizlerine göre denizel karbonatların metamorfizması ve/veya volkanik kökenlidir.
- Suların analiz sonuçlarına göre $\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB) soğuk sulara (HDS ve KÇSS) 1.6 ile 3.7; AGMS, TZMS ve ZSMS’de sırasıyla 5.6, 6.3 ve 6.7 olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar sulardaki CO_2 ’nin kökeninin metamorfik olduğuna işaret etmektedir.
- Suların $\delta^{34}\text{S}$ ‰ $_{\text{VCDT}}$ değerleri AGMS’de en düşük (6.8), ZSMS’de ise en yüksektir (20.7). SO_4 miktarları (mg/L) HDS’de en düşük (11.30), AGGS’de ise en yüksektir (197.95). AGGS’de SO_4 miktarının en fazla olmasının nedeni, göl alanının atmosfer ile uzun süreli temasıdır.
- Traverten çökeliminde fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin uygunluğunun büyük önemi vardır. Burada pH, iklim (sıcaklık, yağış, buharlaşma vb.), CO_2 miktarı ve kısmi basıncının etkisi çok fazladır. Sulara CO_2 kaybı ile pH yükselmekte ve çözünürlük düşmektedir. Çözünürlük düştüğü için CaCO_3 doygunluğu artan sular bir süre sonra bu iyonları taşıyamaz hale gelmekte ve traverten çökelimi gerçekleşmektedir.
- Travertenlerde sıcaklık arttıkça $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ değerleri azalmıştır. Tuzlusu’dan Acıgöle doğru bu artış gözlenmiştir. TZSM ve ZSMS gibi sulara HCO_3 konsantrasyonları düşük $\delta^{13}\text{C}$ değerleri yüksektir.

İncelenen sularla ilgili bazı öneriler şöyle sıralanabilir:

- Bölgede koruma alanları belirlenip gereken kurallara uyulmalıdır.

- Traverten çökeltmekte olan bu sular, uygun koşullar sağlanarak Pamukkale benzeri traverten havuzları oluşturularak turizme sunulabilir. Mevcut işletmeler daha da modernize edilip ve sağlık açısından iyileştirildikten sonra daha çok insanın hizmetine sunulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Afşin, M., 2004, Aksaray'daki Bazı Önemli Soğuk ve Sıcak Su Kaynakları. TÜBİTAK Doğa Eğitimi Programı, (23.07 -02.08.2004) Aksaray.
- [2] Afşin, M., Baş, H., 1997, Bazı Önemli Soğuk ve Sıcak Su Kaynaklarının Hidrokimyasal ve İzotopik İncelemesi ve Kökensel Yorumu (Aksaray-Niğde arası). TÜBİTAK-195Y-009 (YDABÇAG-120) numaralı proje.
- [3] Afşin, M., ve Elhatip, H., 2000, Traverten Çökelten Tuzlusu (Aksaray) Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik Açından İncelenmesi. H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni.
- [4] Afşin, M. ve Ünsal, N., 1997, Helvadere (Aksaray) İçme Suyu Kaynağının Su Kimyası ve İzotopik Özeklikleri. Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu, bildirler (12–16 Mayıs 1997) 1–12.
- [5] Afşin, M. ve Yıldız, M., 1997, Ziga Kaplıcası ve Çevresinin Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi, Aksaray (Yayınlanmamış rapor).
- [6] Appelo, C. A. J., Postma, D., 1982, Geochemistry, Groundwater and Pollution, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- [7] Arnorsson, S., 1983, Chemical Equilibria in Icelandic Geothermal Systems, Implications for Chemical Geothermal Investigations, *Geothermics*, 12, 119-128.
- [8] Arnorsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H., 1983, The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland III., *Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations. Geochim. Cosmochim. Acta*, 47, 567-577s.
- [9] Arnorsson, S., 2000, Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use. IAEA publication, 351s., Vienna.
- [10] Atabey, E., 2002, Çatlak Sırt Tipi Laminallı Traverten-Tufa Çökelleri Oluşumu, Mikroskobik Özellikleri ve Diyajenezi, *Kırşehir, İç Anadolu, MTA Dergisi*, 123-124, 59-65.
- [11] Batum, İ. 1975, Petrografische und Geochemische Untersuchungen in den Vulkangebieten Göllü Dağ and Acıgöl (Zentralanatolie, Türkei) Doktora Tezi, Albert-Luawinas Üniv. Friburg, Almanya–102 s.

- [12] Bakalowicz, M., 1976, *Geochemie des eaux karstiques. Une methode d'etude de L'organisation des Ecoulements Sourterains*, Ann. Sci. Univ. Besancon 25, 49–58.
- [13] Bayarı, C.S. Özyurt, N.N. ve Kilani, S.,2005, Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyunda Karbon-14 Yaş Dağılımı, II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Bildiri Kitabı. İzmir, s.147-168.
- [14] Bayarı, S. ve Kurttaş, T., 1997, An iimportant in deposition of Karstic Travertines observation and natural bridge Yerköprü Travertines, Aladağlar, Eastern Tourids, Türkiye (H.Ü.) Ankara.
- [15] Beekman, P.H. 1966, Hasandağı Melendiz Bölgesinde Pliyosen ve Kuvaterner Volkanizma Faaliyetleri MTA Dergisi 66.88–103 s. Ankara.
- [16] Bögli, A., 1980, *Karst Hydrology and Physical Speleogy* Verlag, Berlin, 284 p.
- [17] Burçak, M., 2006, 2006, Aksaray jeotermal sahaları (Acıgöl-Ziga-Şahinkalesi) jeotermal ısı kaynaklarının araştırılması ve jeotermal sistemlerin kavramsal modellemesi. N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 70 s.
- [18] Canik, B., 1980, Bolu Sıcak Su Kaynaklarının Hidrojeoloji İncelemesi Doçentlik Tezi S.Ü. Fen Fak. Yayınları no:9 73s. Konya.
- [19] Chafetz, H.S., Folk, R.L., 1984, Travertines: Depositional Morrphology and the Bacterially Constructed Constituents, *J. Sed. Pet.* 54 (1), 289–316.
- [20] Clark and Fritz, 1997, *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis publishers, 328 pp
- [21] Craig, H., 1961, Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, Vol. 133, 1702–1703.
- [22] Domenico, P. and Schwartz, F., 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, 824s.
- [23] Drake, J.J., Wigly, T.M.L., 1975 The Effect of Climate on the Chemistry of Carbonate Groundwater, *Water Resources Research*, vol 11, no:6, USA, P. 958-62.
- [24] Drake, J.J., 1983, The Effect of Geomorphology and Seasonality on the Chemistry of Carbonate Groundwater. *Journal of Hydrology*, vol 61, (1/3), p. 233–286.
- [25] Duru, G., 2005, Traverten Çökeliminde Etkili Olan Faktörlerin Ziga-Yaprakhisar Örneğinde İrdelenmesi. Yüksek lisans semineri, N.Ü. Fen Bil. Enst. (yayımlanmamış).

- [26] Ekmekçi, M., Günay, G., Şimşek, Ş., Yeşertener, C., Elhatip, H., Dilsiz, C., 1995, Pamukkale Sıcak Sularının Traverten Çökeltme Özelliklerinin CO₂ Kaybı-Çökeltme Kinetiği İlişkileri Açısından İrdelenmesi, Yer bilimleri, 17. 1-13.
- [27] Emeis, K.C., Richnow, H.H. and Kempe, s., 1987, Travertino Formation in Plitvice National Park, Yugoslavia: Chemical Biological Control: Sedimentology, V. 3, 595-609.
- [28] Ercan, T., Matsuda J., Nagao, K. ve Kita, I.,1995, Noble Gas İstotopic Composition in Gas and Water Samples from Anatolia Proc. of ; Geology of The Black Sea Region, September 7-11, 1992, Ankara, Turkey, Publ. of MTA General Directorate, p.p. 197-206.
- [29] Ercan, T., 1986, Orta Anadoludaki Senozoyik Volkanizması MTA Dergisi sayı 107 119-141 s Ankara.
- [30] Erdoğan 2005, Ota Anadolu Termomineral Sularının Fizikseli Kimyasal ve Tıbbi Balneolojik Değerlendirilmesi. Orta Anadolu Jeotermal Enerji ve Çevre Sempozyumu. (8-11 Ekim 2002) Aksaray. S.95-100.
- [31] Ford, T.C.D., Williams, P.W., 1989, Karst Geomorphology and Hydrology, London, Unwin Hyman Ltd., 601
- [32] Foillac, C. and Michard, G., 1981, Sodium/Lithiyum Ratios in Water Applied to Geothermometry of Geothermal Reservoirs, Geothermics, 10, 55–70.
- [33] Fournier, R.O., 1973, Silica in Thermal Waters: Laboratory and Field Investigations. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Tokyo, Vol. 1, Clark Co., Washington D.C., 122-139.
- [34] Fournier, R.O., 1977, Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal systems, Geothermics, 5, 41–50.
- [35] Fournier, R.O., 1979, A Revised Equation for the Na/K Geothermometer, Geoth. Res. Council, Transactions, 3, 221–224.
- [36] Fournier, R.O. and Potter, R.W., 1982, A Revised and Expanded Silica (Quartz) Geothermometer, Geoth.Res.Council Bull., 11–10, 3–12.
- [37] Fournier, R.O., 1991, Water Geothermometer Applied to Geothermal Energy, In:D'amore, F. (Co-ordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, UNITAR/UNDP Publications, Rome, Italy, 37–69.

- [38] Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. and Truesdell, A.H., 1983, Isotopic and Chemical Composition of Parbatia Valley Geothermal Discharges, NW-Himalaya, India, *Geothermics*, 12, 199–222.
- [39] Giggenbach, W. F., 1988, Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoinicators, *Geochim. Cosmochim. Acta.* 52, 2749–2765.
- [40] Giggenbach, W. F., 1991, Collections and Analyses of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharge. In: D'Amore, F. (Co-ordinator). Application of geochemistry in geothermal reservoir development, UNITAR/UNDP Publications, p. 199-144, Rome.
- [41] Golf, F., Janik, C.J., Delgado, H., Werner, C., Counce, D., Stimac, J.A., Siebe, C., Love, S.P., Williams, S.N., Fischer, T., Johnson, L., 1980. Geochemical Surveillance of Magmatik Volatiles at Popocatepetl Volcano , Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.* 110, 695-710.
- [42] Göçmez, G., 1997, Aksaray Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeoloji İncelemesi S.Ü. Fen Fak.150 s.
- [43] Güleç, N., Hilton, D.R., ve Mutlu, H., 2002. Helium Isotope Variations in Turkey: Relationship to Tectonics, Volcanism and Recent Seismic Activites, *Chemical Geology*, Vol. 187, pp. 129-142.
- [44] Güllü, B., 2003, Mamasun Yöresi (Aksaray) Magmatik Kayaların Jeolojik Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yayımlanmamış).
- [45] Herman, J.S., Lorah, M.M., 1987, CO₂ Outgassing and Calcite Precipitation in Falling Pring Creek, Virginia, *Chemical Geology*, v. 62 p. 251-262.
- [46] Inguaggato, S., Rizzo, A., 2004, Dissolved Helium Isotope Ratio in Groundwaters: a New Technique Based on Gas-water reequilibration and its application to Stromboli Volkanik System. *Appl. Geochem.* 19, 665-673.
- [47] Ketin, İ., 1969, Tectonic Units of America (Asia Minor) MTA Böl. 66. 23-35 s. Ankara.
- [48] Kharaka, Y.K., Lico, U.S. and Law, L.M., 1982, Chemical Geothermometers Applied to Formations Waters, Gulf of Mexico and California Basins (Abstract), *Am. Assoc. Petrol Geol. Bull.*, 66, 588.
- [49] Kharaka, Y.K. and Mariner, R.H. 1989, Chemical Geothermometers and Their Application to Formation Waters from Sedimentary Basins, In: Naeser, N.D. and

- McCullon, T.H. (Eds), *Thermal History of Sedimentary Basins*, Springer-Verlag, New York, 99–117.
- [50] Lorah, M.M., Herman, J.S., 1988, The Chemical Evolution of a Travertine Depositing Stream: Geochemical Process and Mass Transfer Reactions, *Water Resources Research*, v. 24, p. 1541-1552.
- [51] Nielsen, H., Pilot, J., Grinenko, L.N., Grinenko, V.A., Lein, A. Yu., Smith, J.W., Pankina, R.G., 1991, Litospheric Sources of Sulphur. In: Krouse, H.R., Grinenko, V.A. (Eds.), *Scope 43-Stable Isotopes: Natural and Anthropogenic sulfur in the environment*. Wiley, Chichester, pp. 65-132.
- [52] Nivea, D. and Nivea, R., 1987, Developments in Geothermal Energy in Mexico, Part 12-A Cationic Composition Geothermometer for Prospection of Geothermal Resources, *Heat Recovery Systems and Chp*, 7, 243-258.
- [53] Özyayın, C.M., Aksaray Katı Atık Sahasının Hidrokimyasal ve Jeoelektrik Yöntemlerle İncelenmesi, N.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s.
- [54] Öztekin Okan, Ö., 2004, Kolan (Karakoçan) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağının Hidrojeokimyasal İncelemesi. Doktora Tezi, F. Ü. Fen Bil. Enst.
- [55] Özyurt, N.N., 2005, Aladağ (Kayseri-Adana) Karstik Akiferinde Yeraltı Suyu Geçiş Zamanı Dağılımının İncelenmesi. Doktora Tezi, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 274 s (yayımlanmamış).
- [56] Parkhurst, D. L., Appelo, C. A. J., 1999, Phreeqc (version 2), A computer program for speciation, batch-reaction, one dimensional transport and inverse geochemical calculations. U. S. Geological Survey Water Resources Investigations.
- [57] Picknett, R.G., Bray, L.G., Stenner, R.D., 1976, The Chemistry of Cave Waters, in *Science of Speology*, T.D. Ford, C.D., Cullingford (Eds.) Academic Press, London.
- [58] Reed, M., Spycher, N., 1984, Calculation of pH and Mineral Equilibria in Hydrothermal Waters With Application to Geothermometry and Studies of Boiling and Dilution. *Geochim. Cosmochim. Acta* 48, 1479–1492.
- [59] Richards, L. A., 1954, Diagnosis and Improvement Of saline and alkali soils, *Agric. Handbook 60*, U.S. Dept. Agric., Washington, D.C., 160 pp.
- [60] Sayın, M., 1987, İzotop Teknikleri Kullanılarak Yeraltı Suyu Orijinin Belirlenmesi Hidrolojide İzotoplar ve Nükleer Teknikler, DSİ-TAKK Dairesi Başkanlığı IAEA, 177–196.

- [61] Schuster, E.T., White, W. B., 1971, Seasonal Fluctuations in the Chemistry of Limestone Springs; A Possible Means for Characterizing Carbonate Aquifers, Jour. of Hyd., vol 14, p. 93–128.
- [62] Stumm, W., Morgan, J.J., 1981, Aquatic Chemistry; Introduction Emphasizing Equilibria in Natural Waters, New York, John Wiley.
- [63] Şahinci, A., 1991a, Doğal Suların Jeokimyası. Reform matbaası, 548s., İzmir.
- [64] Şahinci, A., 1991b, Jeotermal Sistemler ve Jeokimyasal Özellikleri. Reform Matbaası, No.37/4, Beyler-İzmir, 247s.
- [65] Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey. A Plate Tectonic Approach: Tectonophysics, 75, 181-241 s., Ankara.
- [66] Şimşek, Ş., 1993, Ihlara (Kapadokya) Özel Koruma Bölgesinin ve Bölgede Yer Alan Termal Kaynakların Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal Araştırması ve Korumaya İlişkin Öneriler. Özel Çevre Koruma Kurumu Teknik Raporu 6, 116 s. Ankara.
- [67] Tarcan, G., 2002, Jeotermal su kimyası. Jenarum Yaz Okulu, 11–21 Haziran 2002, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, 198–245s.
- [68] Tonani, F., 1980, Some Remarks on the Applications of Geochemical Techniques in Geothermal Explaration. Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., 2nd Symp., Strasburg, 428–443.
- [69] Truesdell, A.H. and Fournier, R.O., 1976, Calculations of Deep Temperatures in Geothermal Systems from The Chemistry of Boiling Spring Waters of Mixed Origin, Proceedings of 2nd United Nations Symposium on The Develeopment and Use of Geothermal Resources, 1, 837–844.
- [70] Ünsal, N., ve Afşin, M., 1996, Mahmutlu ve Bağdatoğlu (Çiçekdağı-Kırşehir) Sıcak ve Mineralli Sularının Kimyasal ve İzotopik Özellikleri. Jeoloji Müh. Böl. 30. Yıl Sempozyumu (16–20 Ekim 1995) Bildirileri, KTÜ-Trabzon, 479–490.
- [71] Viles, H.A., Goudie, A.S., 1990, Tufas Travertines and Alliet Carbonate Deposits: Prog. Phys, Geogr, 14, 19.
- [72] Yenal, O., Usman, N., Bilecen, L. ve Kanan, E., 1975. Türkiye Maden Suları, İç Anadolu Bölgesi. İ.Ü. Tıp Fakültesi Hidroklimatoloji Kürsüsü,4, 257-263.
- [73] Yıldırım, N., Güner, İ. N., 2002, Büyük Menderes Grabeninin Doğusunda Yeralan Jeotermal Sahalarda Bulunan Suların İzotopik ve Hidrojeokimyasal Özellikleri. Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu (21-25 Ekim 2002) Adana, Düzeltilmiş ikinci baskı, s. 83-101.