

1995-00116



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

1997-1272

PROJE NO: YBAG-108

Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve
Çevre Araştırma Grubu

Earth Marine Atmospheric Sciences and
Environmental Researches Grant Group

1995-00116

**AŞAĞI ZAMANTI HAVZASI (ALADAĞLAR)
KARSTİK TRAVERTEN ÇÖKELLERİNİN
HİDROJEOKİMYASAL-JEOKİMYASAL
İNCELENMESİ**

1997-1272

PROJE NO: YBAG-108

**YRD. DOÇ.DR. C. SERDAR BAYARI
AR.GÖR. TÜRKER KURTTAŞ
YRD. DOÇ.DR. ABİDİN TEMEL
YRD. DOÇ.DR. LEVENT TEZCAN
YRD. DOÇ.DR. MEHMET EKMEKÇİ
YRD.DOC.DR. CEMAL TUNOĞLU**

H. Ü. Uluslararası
karst Su kaynakları
uygulama ve Arast.
Mer. (UROM)

S - 121

R - 39

Tv, En

**HAZİRAN 1995
ANKARA**

ÖNSÖZ

Aşağı Zamanlı Havzası'nda (Aladağlar) yer alan aktif traverten çökellerinin hidrojeokimyasal ve jeokimyasal açılardan incelenmesini amaçlayan bu araştırma 1993 ve 1994 yılları boyunca yürütülen saha ve laboratuvar çalışmaları ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmada esas olarak traverten oluşturan kaynaklarda neden karbonat çökeliminin gözlemlendiği ve bu kaynaklardan itibaren oluşan çökelimin nelerden etkilendiği gibi soruların yanıtlanmasına çalışılmıştır.

Araştırmacıların çalışmanın değişik bölümlerine katkılarından dolayı aşağıda belirtilen kişilere teşekkür borçludurlar.

Güç koşullar altında çadırli kamplarda sürdürülen saha çalışmaları sırasında Yeşilköy, Tatlar, Büyükcakır, Kapuzbaşı ve Küpköyü halkı araştırmacılara her zaman yardımcı olmuşlardır. Bessem Altınay saha çalışmalarının birisine katılmış, uzun saatler boyunca alkalinite analizlerinin yapılmasını gerçekleştirmiştir. Duygu Bektaş ve Esin Öncel sahadan toplanan su örneklerinin analizini gerçekleştirmişler, analiz hatalarının en aza indirgenmesi için sabırla çalışmışlardır. Hakan Gençoğlu ve Ferda Öner (MTA) elektron mikroskopi çalışmaları sırasında en küçük ayrıntının kaçırılmaması için özel bir çaba göstermişlerdir. Prof.Dr. Haluk Soran (HÜ, Biyoloji Eğitimi Bölümü), Aydın Akbulut (HÜ, Biyoloji Bölümü) ve Prof. Dr. Allan Pentecost (King's College, University of London) alg örneklerinin tanımlanmasını özenle gerçekleştirmişlerdir. Enis Karaduman (HÜ Jeoloji Müh. Bölümü) ince kesit fotograflama çalışmalarına yardımcı olmuştur.

Çalışmada elde edilen akademik bulguların yurtiçinde (Bayarı ve Kurttaş, 1995a) ve yurtdışında (Bayarı and Kurttaş, 1995b; Bayarı et al., 1994) yayınlanmasına başlanmıştır.

Dr. Serdar Bayarı
15 Ağustos 1995, Ankara

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZ	1
ABSTRACT	2
1. Giriş	3
1.1. Amaç ve Kapsam	3
1.2. Çalışma Alanı	3
1.2.1. Konum ve ulaşım	3
1.2.2. İklim	6
1.2.3. Bitki Örtüsü	7
1.3. Önceki Çalışmalar	7
2. BÖLGESEL JEOLJİK YAPI	8
2.1. Otokton Birimler	8
2.2. Allokon Birimler	9
2.2.1. Karbonat napları	9
2.2.2. Aladağ ofiyolit napı	10
2.3. Post-orosenik Birimler	10
3. BÖLGESEL HİDROJEOLJİK YAPI	11
4. TRAVERTEN ALANLARI	13
4.1. Traverten Alanlarının Havzadaki Dağılımı ve Morfolojisi	13
4.1.1. Yerköprü 1 traverteni	13
4.1.2. Yerköprü 2 traverteni	19
4.1.3. Yerköprü 3 traverteni	19
4.1.4. Tatlar traverteni	27
4.1.5. Tıhraz traverteni	27
4.2. Traverten Alanlarının Yerel Jeoloji ve Hidrojeolojisi	27
4.2.1. Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenleri	27
4.2.1.a. Jeoloji	27
4.2.1.b. Hidrojeoloji	29
4.2.3. Yerköprü 3 traverteni	29
4.2.3.a. Jeoloji	30
4.2.3.b. Hidrojeoloji	31
5. HİDROJEOKİMYA	32
5.1. Giriş	32
5.2. Çalışma Yöntemleri	32
5.3. Bölgesel Hidrojeokimyasal Akım Modeli	34
5.3.1. Temsil edici su noktalarının belirlenmesi	34
5.3.2. Temsil edici veriler	34
5.3.3. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin bölgesel akım yolu boyunca değişimi	35
5.3.4. İyonik kompozisyonun bölgesel akım yolu boyunca değişimi	38
5.3.5. Olası kütle transferi reaksiyonları	39
5.3.5.a. Kalsit, dolomit ve jips doygunluk indislerinin akım yolu boyunca değişimi	39
5.3.5.b. Kütle transferi (mass transfer) hesaplamaları	40
5.4. Traverten Kaynaklarının Hidrojeokimyası	43
5.4.1. Yerköprü 1 traverteni	43
5.4.1.a. örnekleme-ölçüm kesitleri	43
5.4.1.b. Eylül 1993 saha çalışması	44
5.4.1.c. Ağustos 1994 saha çalışması	49
5.4.1.d. Mayıs 1993 saha çalışması	53
5.4.2. Yerköprü 2 traverteni	57
5.4.2.a. örnekleme-ölçüm kesitleri	57
5.4.2.b. Eylül 1993 saha çalışması	57

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)**Sayfa**

5.4.2.c. Ağustos 1994 saha çalışması	62
5.4.2.d. Mayıs 1993 saha çalışması	66
5.4.3. Yerköprü 3 traverten	70
5.4.3.a. örnekleme-ölçüm kesitleri	70
5.4.3.b. Eylül 1993 saha çalışması	71
5.4.3.c. Ağustos 1994 saha çalışması	77
5.5. Traverten kaynaklarının İz Element İçeriği	82
6. JEOKİMYA	83
6.1 Giriş	83
6.2. Örnekleme	83
6.3. XRD Değerlendirmeleri	83
6.4. Kimyasal Analizler	84
6.4.1. Elementler arası ilişkilerin belirlenmesi	84
6.4.1.a. çoklu korelasyon analizi	87
6.4.1.b. öbekleme analizi	87
6.4.1.c. faktör analizi	88
6.4.2. Örnekler arası ilişkilerin belirlenmesi	90
6.5. SEM ve İnce-kesit İncelemeleri	91
6.5.1. Güncel travertenler	92
6.5.2. Onkolitler	92
6.6. Onkolit Kimyası	95
6.7. Kalsit-Kil Oranının Yaşlanmayla Değişimi	96
7. TATLI-SU ALGLERİ ve TRAVERTEN OLUŞUMDAKİ ETKİLERİ	98
7.1. Giriş	98
7.2. Algler, Morfoloji ve Genel Özellikler	98
7.3. Tatlı-su Alglerinin Traverten Oluşumundaki Etkileri	101
7.3.1. Kimyasal Etkiler	101
7.3.2. Fiziksel Etkiler	106
7.4. İncelenen Traverten Alanlarında Alglerin Karbonat Çökelimine Etkileri	106
7.4.1. Saptanan alg türleri	106
7.4.2. Kimyasal etkiler	107
7.4.3. Fiziksel etkiler	110
7.5. Traverten Alanlarında Saptanan Tatlı-su Ostrakodları	111
8. SONUÇLAR	116
DEĞİNİLEN BELGELER	119

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1.: Aşağı Zamantı Havzası basitleştirilmiş hidrojeoloji haritası ve traverten kaynaklarının konumları.	4
Şekil 4.1.: Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 traverten alanları dolayının hidrojeoloji haritası.	14
Şekil 4.2.: Yerköprü 1 traverten alanı morfoloji haritası.	15
Şekil 4.3.: Yerköprü 1 traverten alanında sol (altta) ve sağ sahil (üstte) kaynaklarının görünümü.	17
Şekil 4.4.: Yerköprü 1 traverten alanında sol sahil ana kaynağının görünümü.	17
Şekil 4.5.: Yerköprü 1 traverten alanında sol sahil ana kaynağı havuzunun kurak dönem sonundaki görünümü.	18
Şekil 4.6.: Yerköprü 1 traverten doğal köprüünün görünümü.	18
Şekil 4.7.: Yerköprü 2 traverten alanı morfoloji haritası.	20
Şekil 4.8.: Yerköprü 2 traverten alanından Yerköprü 1 traverten alanının görünümü.	21
Şekil 4.9.: Yerköprü 2 traverten alanında sağ sahilde yer alan büyük kaynağın oluşturduğu traverten çökeli.	21
Şekil 4.10.: Yerköprü 2 traverten alanında sağ sahilde yer alan kaynağın görünümü.	22
Şekil 4.11.: Yerköprü 2 doğal traverten köprüsü altına Zamantı Nehri'nin akış yukarıdan girişi.	22
Şekil 4.12.: Yerköprü 3 traverten alanı yakınlarındaki fosil travertenin aktif kesimden görünümü.	23
Şekil 4.13.: Yerköprü 3 traverten alanı morfoloji haritası.	24
Şekil 4.14.: Yerköprü 3 traverten alanında 800l/s debili kaynak.	25
Şekil 4.15.: Yerköprü 3 traverten alanında aktif (öndeki düzlük) ve fosil (yamaçtaki çıkmlar) travertenlerin görünümü.	25
Şekil 4.16.: Yerköprü 3 traverten alanının genel görünümü.	26
Şekil 4.17.: Tıhraz traverteninden bir bölümün görünümü.	28
Şekil 5.1.: Yerinde alkalinite tayini (Yerköprü 2, Ağustos 1994).	33
Şekil 5.2.: Bölgesel akım yolu boyunca bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin değişimi.	36
Şekil 5.3.: Bölgesel akım yolu boyunca iyonik kompozisyonun değişimi.	38
Şekil 5.4.: Bölgesel akım yolu boyunca kalsit, dolomit ve jips mineral doygunluk indis değerlerinin değişimi.	40
Şekil 5.5.: Bölgesel akım yolu boyunca kütle transferi.	42
Şekil 5.6.: Yerköprü 1 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	46

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa
Şekil 5.7.: Yerköprü 1 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	47
Şekil 5.8.: Yerköprü 1 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	48
Şekil 5.9.: Yerköprü 1 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	50
Şekil 5.10.: Yerköprü 1 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	51
Şekil 5.11.: Yerköprü 1 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	52
Şekil 5.12.: Yerköprü 1 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).	54
Şekil 5.13.: Yerköprü 1 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).	56
Şekil 5.14.: Yerköprü 1 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).	56
Şekil 5.15.: Yerköprü 2 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	59
Şekil 5.16.: Yerköprü 2 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	61
Şekil 5.17.: Yerköprü 2 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	61
Şekil 5.18.: Yerköprü 2 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	64
Şekil 5.19.: Yerköprü 2 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	65
Şekil 5.20.: Yerköprü 2 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	66
Şekil 5.21.: Yerköprü 2 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).	67
Şekil 5.22.: Yerköprü 2 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).	69
Şekil 5.23.: Yerköprü 2 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).	70
Şekil 5.24.: Yerköprü 3 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	73
Şekil 5.25.: Yerköprü 3 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa
Şekil 5.26.: Yerköprü 3 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	76
Şekil 5.27.: Yerköprü 3 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1993).	79
Şekil 5.28.: Yerköprü 3 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	80
Şekil 5.29.: Yerköprü 3 traverteninde logPCO ₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	81
Şekil 6.1.: Travertenlere ait jeokimyasal analiz bileşenleri arasındaki ilişkiyi gösterir öbekleme ağacı.	88
Şekil 6.2.: Faktör sayısı ile özdeğer arası ilişki.	88
Şekil 6.3.: Elementlerin 2 boyutlu faktör uzayındaki dağılımları.	89
Şekil 6.4.: Elementlerin 2 boyutlu faktör uzayındaki dağılımları.	90
Şekil 6.5.: Kimyasal analiz sonuçlarına göre örnekler arasındaki ilişkinin öbekleme ağacı ile gösterimi.	91
Şekil 6.6.: Yapay çekirdek üzerinde oluşmuş kalsit kristallerinin alglerle ilişkisi.	93
Şekil 6.7.: Mikro boşluk/oyuklar içeren özşekilli kalsit kristalleri.	93
Şekil 6.8.: Tipik bir onkolit ince kesit görüntüsü.	94
Şekil 6.9.: Tipik bir onkolit kesitindeki masif ve gözenekli bölümlerin SEM görüntüsü.	94
Şekil 6.10.: Bir oncolitte çekirdek ve kabuk bölümlerinin kimyasal bileşimi.	96
Şekil 6.11.: Yerköprü travertenlerine ait örneklerde "yaş" ile Al/Ca oranının değişimi.	97
Şekil 7.1. Hava-su-kayaç ortamında karbonatlı kayaçların çözünmesini denetleyen reaksiyonlar (Bögli'den (1980)).	102
Şekil 7.2. İncelenen tarverten alanlarında saptanan bazı alg türlerinin morfolojik görüntümleri (çizimler Dr. Allan Pentecost).	107a
Şekil 7.3.: Yerköprü 3 traverteninde logP _{CO2} ve SI _{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).	109
Şekil 7.4.: Yerköprü 3 traverteninde logP _{CO2} ve SI _{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).	109
Şekil 7.5.: Alg lifleri arasında tutulmuş kalsit kristallerinin oluşturduğu kümelenme (normal ışık, 150x büyültme).	112
Şekil 7.6. Alg lifleri arasında tutulmuş kalsit kristallerinin oluşturduğu kümelenme (Polarize ışık, 150x büyültme).	112
Şekil 7.7.: Alglerin oluşturduğu "alg örtüsü (algal mat)" batık durumda.	113
Şekil 7.8.: Kalsit kristalleri ile tutturulmuş diyatomlardan oluşan bir "aglomera".	113

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	Sayfa
Şekil 7.9.: Traverten içinde alg lifi.	114
Şekil 7.10.: Şekil 7.8.'deki alg lifinin yakın plan görünümü.	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1.: Yerinde ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassaslıkları.	32
Çizelge 5.2.: Bölgesel hidrojeokimyasal akım modeli hesaplamalarında kullanılan veriler.	35
Çizelge 5.3.: Kütle transferi hesaplama sonuçları.	41
Çizelge 5.4.: Yerköprü 1 traverteni Eylül 1993 saha çalışması verileri.	45
Çizelge 5.5.: Yerköprü 1 traverteni Ağustos 1994 saha çalışması verileri.	49
Çizelge 5.6.: Yerköprü 1 traverteni Mayıs 1993 saha çalışması verileri.	53
Çizelge 5.7.: Yerköprü 2 traverteni Eylül 1993 saha çalışması verileri.	58
Çizelge 5.8.: Yerköprü 2 traverteni Ağustos 1994 saha çalışması verileri.	63
Çizelge 5.9.: Yerköprü 2 traverteni Mayıs 1993 saha çalışması verileri.	67
Çizelge 5.10.: Yerköprü 3 traverteni Eylül 1993 saha çalışması verileri.	72
Çizelge 5.11.: Yerköprü 3 traverteni Ağustos 1994 saha çalışması verileri.	78
Çizelge 6.1.: Traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.	85
Çizelge 6.2.: Traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.	86
Çizelge 6.3.: Travertenlere ait jeokimyasal analiz bileşenleri arasındaki ilişkiyi gösterir korelasyon matrisi.	87
Çizelge 7.1.: Yerköprü 1, 2 ve 3 traverten alanlarında saptanan alg türleri.	108

ÖZ

Aşağı Zamantı Havzası'nda (Aladağlar, Doğu Toroslar) yer alan , Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 travertenleri Zamantı Nehri üzerinde doğal köprü oluşturmaktadırlar. Travertenleri besleyen karstik kaynakların kimyasal kompozisyonunda uzun dönemde önemli değişimler olmamakta, buna karşın pH dikkate değer düzeyde değişmektedir. Havzadaki diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında traverten kaynakları bağlı olarak yüksek iyonik bileşimleri ve $\log P_{CO_2}$ içerikleriyle tipiktirler. Havza genelinde yürütülen hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal gözlemler traverten kaynaklarının yeraltısuyunun giderek kalsite göre doygunluğa ulaştığı bölgesel akım yolunun uç noktasında bulunduğunu göstermektedir. Traverten çökelişi kaynaklardan sonraki dereler boyunca sudan CO_2 kaçışına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Traverten dereleri boyunca iki ve üç gün boyunca 4 saat aralıklarla gerçekleştirilen hidrojeokimyasal gözlemler CO_2 içeriğinin giderek azaldığına ve aynı zamanda, alglerin fotosentetik aktivitelerinden dolayı gün boyu salınım gösterdiğine işaret etmektedir. Ca ve HCO_3 kalsit çökelişi sonucunda çözeltiden ayrılan başlıca iyonlar olup; az miktarda Mg çökelişe eşlik etmektedir. X ışınları ve kimyasal analiz verilerine göre travertenler %95-97 oranında kalsit, %3-5 oranında kuvars ve %1-2 oranında, illit, kaolinit ve simektitten oluşan, kil bileşeni içermektedir. Jeokimyasal verilerin istatistiksel değerlendirmesi kalsit çökelişine Mg'un katıldığına işaret etmektedir. Stratigrafik konuma göre daha yaşlı olan travertenlerde kalsit/kil bileşeni oranı yüksek olup, bu durumun ilksel oluşumdan sonra traverten içinden sızan suların çöktirdiği kalsitten kaynaklandığı düşünülmektedir. Algler kalsit çökelişine fiziksel ve kimyasal olarak katkıda bulunmaktadır. Alg miktarının su hacmine oranının yüksek olduğu kesimlerde alglerin kimyasal yolla çökelişe katkısı daha önemli boyutlardadır. Lifli algler organik yada inorganik yolla çökelmiş kalsit taneciklerini tutarak çökelişe katkıda bulunmaktadır. Bazı alg türleri kristal oluşumu karşısındaki enerji bariyerinin büyük oranda azaltıldığı kristalleşme alanları sağlayarak çökelişe fiziksel olarak yardımcı olmaktadır. Mavi-yeşil algler ve diatomlar traverten derelerinde saptanan başlıca alg türleridir.

Anahtar Sözcükler: Zamantı Nehri Havzası, traverten, hidrojeokimya, jeokimya, alg

ABSTRACT

Three travertine sites, namely Yerköprü 1, Yerköprü 2 and Yerköprü 3, located in Lower Zamantı Basin (Aladağlar, Eastern Taurids-Turkey) form natural bridges over Zamantı River. Karstic springs feeding travertine creeks were found not to show long-term hydrochemical variations though, substantial difference were observed among pH values observed during the study period. Compared to all karstic springs located in the basin, the travertine depositing springs are characterized by their relatively high ionic composition and high $\log P_{CO_2}$ values. Basin-wide hydrogeologic and hydrochemical observations indicate that travertine springs are located at the end of regional flow path through which groundwater becomes increasingly saturated with respect to calcite. Travertine deposition occurs as a result of CO_2 outgassing along the travertine creeks. Two and three day long 4 hourly hydrochemical observations along travertine creeks indicate that CO_2 values decreases gradually and, show a diurnal fluctuation due to the photosynthetic activity of alga living in water. Ca and HCO_3 are the major ions removed from solution by calcite precipitation. Calcite precipitation involves also small amount of Mg. XRD and chemical analysis data indicate that travertines compose of 95-97 % calcite, 3-5% quartz and 1-2% clay minerals which are simnectite, illite and kaolinite. Statistical evaluation of geochemical data also suggests the incorporation of Mg in calcite precipitation. Stratigraphically older travertines were found to have higher calcite/clay ratio which is probably due to the secondary precipitation of calcite from waters that leach the travertine after initial formation. Algae contribute both physically and chemically to the precipitation of calcite. Chemical contribution by algae becomes important in places where the ratio of algal mass to water volume is higher. Filamentous algae helps travertine formation by trapping the calcite crystals formed by either inorganic or organic processes. Some algae help precipitation by providing nucleation sites where the energy barrier against crystal formation is reduced greatly. Cyanobacteria and diatoma are the major types of alga found over travertine creeks.

Keywords: Zamantı River Basin, travertine, hydrogeochemistry, geochemistry, alga

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Aşağı Zamantı Havzası'nda yer alan ve halen karstik kaynaklardan itibaren aktif olarak çökelmekte olan travertenleri konu alan bu çalışmada;

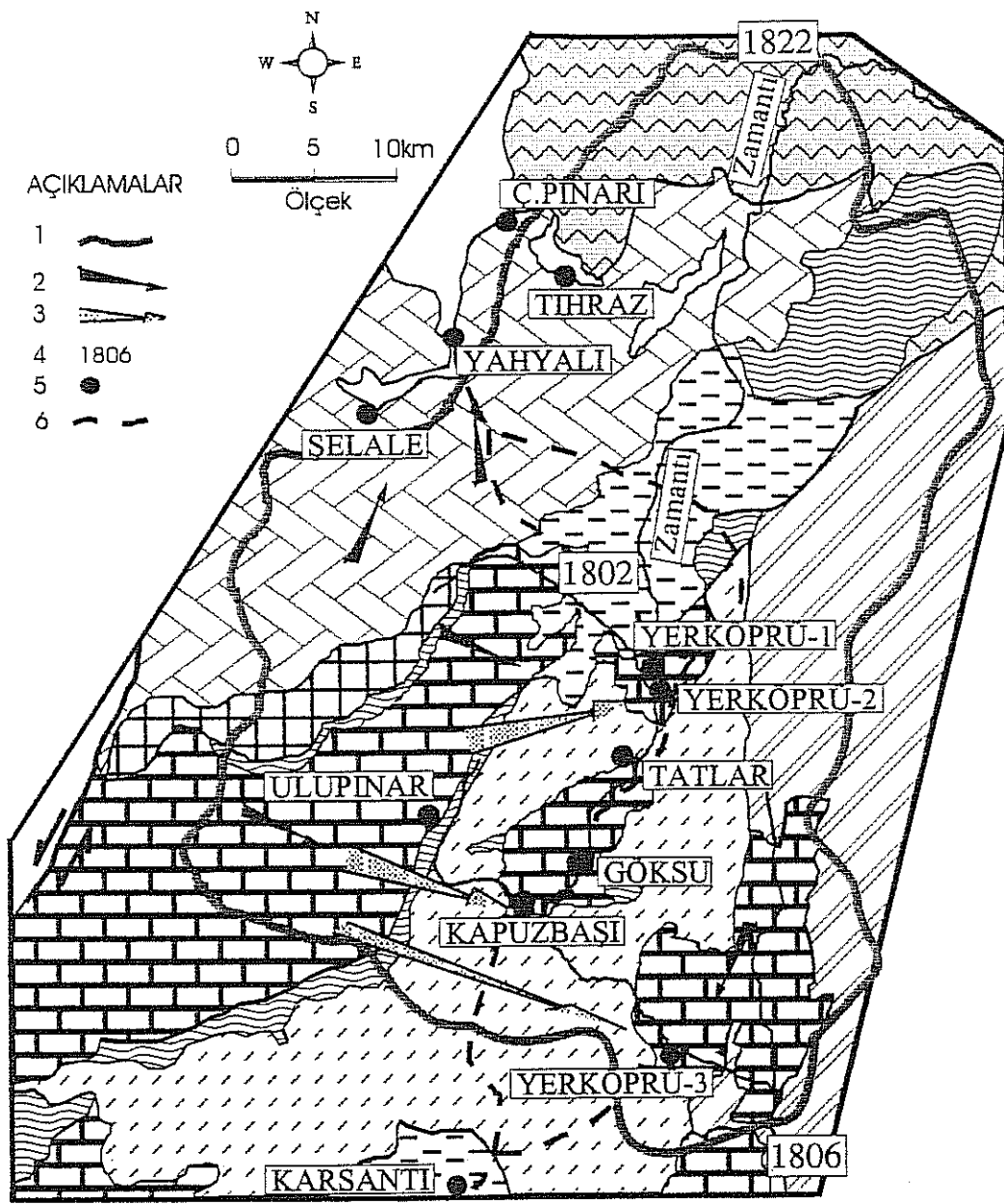
- i) traverten oluşturan kaynakların bölgesel karst yeraltısuyu akım sistemi içindeki yerinin ve traverten oluşturmayan diğer kaynaklardan farklılıklarının,
- ii) bu kaynaklardan boşalan yeraltısuyunun hidrojeokimyasal karakterinin zaman içindeki değişiminin,
- iii) bu kaynaklardan boşalan yeraltısuyunun hidrojeokimyasal karakterinde travertenler üzerindeki akışı sırasında yer ve zaman içinde oluşan değişikliklerin,
- iv) travertenlerin jeokimyasal bileşiminindeki değişikliklerin,
- v) travertenler üzerindeki akarsularda yer alan alglerin yer ve zaman içindeki türsel dağılımının ve
- vi) bu alglerin traverten çökelimine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Söz konusu amaçlar doğrultusunda çalışma, yerinde yapılan fiziksel ve kimyasal amaçlı hidrojeokimyasal ölçümleri, sahadan toplanan su örneklerinin majör ve iz elementler açısından analizini, kayaç örneklerinin X-ışını toz difraktogramlarının alınmasını, tüm kayaç kimyasal analizlerinin yapılmasını, kayaç ve traverten örneklerinin elektron ve polarize mikroskopta incelemesini ve sahadan toplanan alglerde tür tanımlamalarını kapsamaktadır.

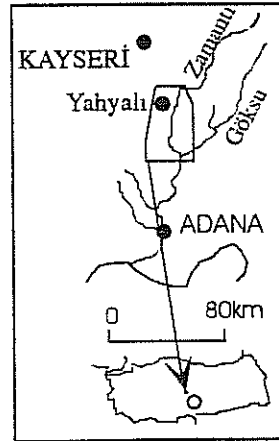
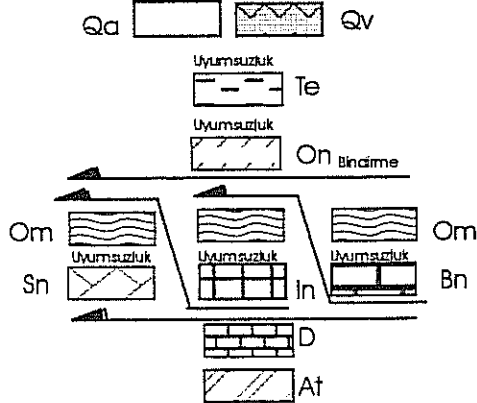
1.2. Çalışma Alanı

1.2.1. Konum ve ulaşım

Çalışmaya konu olan traverten alanları Seyhan Nehri'nin iki ana kolundan birisi olan Zamantı Nehri Havzası'nın (diğer Göksu Nehri) aşağı bölümünde yer alırlar. Bu alanda, 4 tanesi aktif, birisi de fosil olmak üzere 5 ayrı traverten çökeli bulunmaktadır. Havza içinde, kuzeyden güneye doğru bunlar, Tıhraz, Yerköprü 1, Yerköprü 2, Tatlar ve Yerköprü 3 traverten çökelleridir (Şekil 1.1.). Tıhraz travertenini fosil karakterde olup, Yahyalı ilçe merkezinin 10km kuzeydoğusunda uzanan Göynük Poyesi'nin güney kesiminde yer alır. Fosil olması nedeniyle bu traverten üzerinde her hangi bir çalışma yürütülmemiştir. Havzada yer alan diğer traverten çökelleri Zamantı Nehri kıyısı boyunca yerleşiktirler.



TEKTONO-STRATİGRAFİK İSTİF



Açıklamalar:

- 1: Yüzey su bölüm çizgisi, 2: Serbest yeraltısuyu akım yönü, 3: Basıncılı yeraltısuyu akım yönü
 4: Akım gözlem istasyonu, 5: Kaynak, traverten, yerleşim, 6: Ana yollar
 Qa: Kuvaterner alüvyon, Qv: Kuvaterner volkanik, Te: Tersiyer, On: Ofiyolit napı
 Om: Ofiyolitli melanj, Sn: Siyah Aladağ napı, In: Ara naplar, Bn: Beyaz Aladağ napı
 D: Divrikdağı otoktonu, At: Doğu Toros Otoktonu

Şekil 1.1.: Aşağı Zamanlı Havzası basitleştirilmiş hidrojeoloji haritası ve traverten kaynaklarının konumları.

En kuzeyde yer alan Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenlerine Yahyalı ilçe merkezinden iki ayrı yolla ulaşmak mümkündür. Bu yollardan her mevsim işlek olanı Yahyalı - Mansurlu devlet karayolunun 40.km'sinden ayrılarak Dikme Köyü üzerinden güneye havza içine giren köy yoludur. Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenlerine Dikme - Delialuşağı köyleri üzerinden Yeşilköy'e uzanan bu yoldan ayrılan tali bir toprak yolla ulaşılabilir. Söz konusu toprak yol Yerköprü 1 kaynağının 50m yakınında sona ermekte olup; bu noktadan traverten alanına ulaşım yaya olarak mümkündür. Yerköprü 2 kaynağına ise, Yeşilköy'den Yerköprü 1 travertenine uzanan yolun 3.km'sinden ayrılan yaklaşık 3km'lik (25dk) bir patika ile ulaşılabilir. Dikme köyü üzerinden Yeşilköy'e ulaşan toprak yol güneyde yer alan Büyükçakır Köyü'ne kadar uzanmaktadır. Bu yol hemen hemen tamamen Zamantı Nehri'nin sol sahili boyunca uzanır ve Yeşilköy'den itibaren 10.km'de Büyükçakır Köyü'ne bağlı Tatlar Mahallesi yakınından geçer. Bu noktada Tatlar Mahallesi sağ sahilde yer almakta olup; Zamantı Nehri üzerindeki tahta bir köprüden mahallenin içine kadar araçla ulaşmak mümkündür. Tatlar traverten alanına bu yolun bitim noktasından itibaren yaya olarak 15dk'da ulaşılabilir. Tatlar'dan güneye uzanan yol uzun süre sol sahil boyunca yer alır 1995 yılında inşa edilen beton bir köprü üzerinden sağ sahile geçerek Büyükçakır Köyü'ne ulaşır.

Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Tatlar travertenlerine ulaşan diğer yol Yahyalı - Mansurlu devlet karayolunun 15.km'sinden ayrılarak Aladağlar'ın iç kesimine, Maden Boğazına ulaşan yoldur. Maden Boğazı yolunun 5.km'sinden ayrılan tali bir toprak yol ile Zamantı Nehri'nin sağ sahilinde yer alan Faraşa (Çamlıca) Köyü'ne, buradan da nehir üzerinde yer alan beton bir köprü ile Yeşilköy'e ulaşmak mümkündür. Bununla birlikte bu yolun Maden Boğazı'ndan geçen bölümü yoğun kar yağışı nedeniyle sonbahar-kış aylarında kapanmakta ve ilk bahara kadar açılmamaktadır.

Çalışma alanındaki son traverten olan Yerköprü 3 travertenine Büyükçakır'dan Kapuzbaşı Köyü'ne uzanan yolun 4.km'sinden ayrılan tali bir orman yolu ile ulaşılabilir. Kapuzbaşı Kaynakları'ndan sonra Şamadan Beli üzerinden Karsantı'ya uzanan bu yolun 25.km'sinden Menkez Köyü'ne ayrılan tali orman yolu üzerinden, aynı köyün Küp Mahallesi'ne ulaşılabilir. Yerköprü 3 travertenine ulaşmak için Küp Mahallesi'nden itibaren oldukça dik eğimli bir dere yatağı boyunca yaya olarak yada katır sırtında 45dk'lık bir yolculuk gereklidir. Küp Mahallesi'ne ayrıca Adana iline bağlı Karsantı (Aladağ) ilçesi üzerinden tali bir orman yolu ile de ulaşmak mümkündür. Bu yol, Aladağ ilçesi yakınlarında, Kapuzbaşı (Şamadan Beli) üzerinden gelen yolla birleşmektedir. Yerköprü 3 travertenine gerek Kapuzbaşı'ndan ve gerekse Karsantı ilçesinde ulaşan yollar yılın her mevsiminde yoğun

yağışların neden olduğu moloz akıntısı yada heyelan nedeniyle kapanabilmektedir. Bu gibi durumlarda K p Mahallesinin ulaşımı Zamantı Nehri vadisi boyunca uzanan ve Yerköprü 3 traverteninden geçerek Tetiri (Işikkaya) Köyü'ne ulaşan patikadan yaya olarak sağlanabilmektedir.

Çalışma alanında yer alan yollardan Yahyalı - Mansurlu yolu halen asfalt kaplanmakta olup; bunun dışında yöredeki tüm yollar Köy Hizmetleri yada Orman Genel Müdürlükleri şebekelerine bağlı toprak yollardır. Yaz ayları dışında yöredeki toprak yollarda ulaşım son derece güç olup; kimi zaman da olanaksızdır. Söz konusu yollar, yaz aylarında dahi yerel sağanaklar sonucu oluşan sellenme ile tahrip olduğundan; yöreye yapılacak yolculuklarda her mevsimde arazi taşıtlarının kullanılması zorunludur. Yörede yerleşimler birbirinden uzak ve taşıt trafiği oldukça seyrek olduğundan, arazi taşıtlarının gerektiğinde kendilerini kurtarabilecek vinç vb. araçlarla donanmış olması önerilir.

1.2.2. İklim

Çalışma alanının içinde bulunduğu Aşağı Zamantı Havzasının güney kesiminde Akdeniz, kuzey kesiminde ise Karasal iklim etkili olup; her iki iklim tipi arasındaki yaklaşık doğu - batı uzanımlı geçiş zonu Yahyalı dolaylarında yer almaktadır. Çalışma kapsamında ayrıntılı biçimde incelenen traverten alanlarının yer aldığı Zamantı Nehri vadisi Akdeniz'den gelerek iç kesimlere uzanan bir boğaz oluşturur. Bu boğaz boyunca yılın her mevsiminde denizden iç kesimlere doğru bağlı olarak sıcak hava akımı oluştuğundan, traverten alanları yakın dolaylarına göre her zaman daha sıcak bir iklime sahiptirler. Örneğin, hemen yakınlardaki yükseltilere kar düşmesine karşın, traverten alanlarında kar yağışı hiç görülmez. Zamantı Nehri vadisinin oluşturduğu hava yolu nedeniyle, yılın her mevsiminde ( zellikle Ağustos-Eylül aylarında), zaman zaman bölgesel hava hareketlerine bağlı olarak şiddetli fırtınalar oluşmaktadır. Bunların bir kısmı, 10-15m'lik ağaçları devirecek kadar şiddetli olup, bu tür fırtınalar genellikle bir hafta kadar sürmekte ve bu süre boyunca saha çalışmalarının yürütülmesi hemen hemen olanaksız olmaktadır. Traverten alanları ve yakın dolayında ortalama yıllık hava sıcaklığı 18 C olup; en düşük ve en yüksek sıcaklıklar sırasıyla 15 C ve 35 C'tır.

Aşağı Zamantı Havzasında yer alan (ve traverten oluşturan da dahil olmak üzere) karstik kaynakları besleyen karst akiferi büyük oranda Aladağlar kütlesi içinde yer almaktadır.

Ortalama yükseltinin 2800m dolayında olduğu bu alanda hakim yağış türü kar şeklinde olup; Kasım-Mayıs ayları arasında sürekli bir kar örtüsü vardır.

1.2.3. Bitki Örtüsü

Büyük oranda Akdeniz iklim tipinin etkisi altında olan çalışma alanında, bitki örtüsü oldukça zengindir. Havzanın bol yağış alması, nüfus yoğunluğunun düşük ve ulaşım ağının seyrek olması bu zenginliğin başlıca nedenleridir. Bölgede orman örtüsü yoğun olarak Kızılçam (*Pinus nigra*), Sarıçam (*Pinus sikrestis*), Kızılçam (*Pinus brutia*), Köknar (*Abies cilicia*), Sedir (*Cedrus libani*) ve Gürgen (*Carpinus*) türü ağaçlardan oluşur. Orman çizgisi (timber line) yaklaşık olarak 1750m yükseltisinden geçmekte olup; bu yükseltinin üzerinde 1850m kotuna kadar uzanan maki tipi bitkiler hakimdir. Daha üst kotlara doğru bitki örtüsü azalarak kaybolur.

1.3. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve dolayının jeolojik yapısı Tekeli ve diğ. (1987), Tekeli (1981), Ayhan (1988a), Ayhan (1988b) ve Ayhan (1988c) tarafından ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Jeolojik yapının ayrıntılarına ilişkin diğ. kaynaklar bu yayınlarda verilmiştir. Aşağı Zamantı Havzası'nın su kaynakları potansiyeli DSİ(1984) tarafından değerlendirilmiştir. Bölgesel hidrojeolojik yapıya ilişkin en ayrıntılı çalışma Bayarı (1991) tarafından yapılan çalışmadır. Kısmen bu çalışmanın, kısmen de daha sonra elde edilen hidrojeolojik verilerin Bayarı and Denizman (1993), Bayarı and Gürer (1993a), Bayarı and Gürer (1993b), Bayarı and Günay (1995), Bayarı and Kurttaş (1995a) ve Bayarı and Kurttaş (1995b) tarafından yayınlanmıştır.

2. BÖLGESEL JEOLJİK YAPI

Çalışma alanının içinde bulunduğu Aşağı Zamantı Havzası'nın jeolojisi Tekeli ve diğ. (1987) ve Ayhan (1988a, 1988b ve 1988c) tarafından ayrıntılı biçimde, 1/25,000'lik düzeyde çalışılmıştır. Genel olarak, havzanın doğu bölümü Doğu Toros Otoktonu'na, batı bölümü ise Aladağ karbonat napları'na ait formasyonlardan oluşmaktadır (Şekil 1.1.). Bu alanlardan Doğu Toros Otoktonunun yayılım gösterdiği kabaca 1/100,000'lik L35-M35 paftalarından oluşan saha Ayhan (1988a, 1988b ve 1988c) tarafından; Aladağ karbonat napları'nın yayılım gösterdiği genel olarak 1/100,000'lik L34-M34 paftalarından oluşan saha ise Tekeli ve diğ. (1987) tarafından incelenmiştir. Bölgenin jeolojik yapısına ilişkin bilgiler söz konusu yayınlarda ayrıntılı biçimde verildiğinden, burada, jeolojik yapıya ilişkin kısa bilgilerin verilmesi ile yetinilmiştir.

Aşağı Zamantı Havzası'nda jeolojik yapı otokton, allokton ve post-orojenik örtü birimleri olmak üzere üç ana yapısal kaya topluluğundan oluşmaktadır. Otokton ve allokton birimler arasındaki sınır kabaca Zamantı Nehri boyunca uzanmakta olup, bölgede yer alan Pozantı-Faraşa Ofiyolit Napı tarafından örtülmüş durumdadır. Üst bölümleri Zamantı Nehri boyunca Pozantı-Faraşa Ofiyolit Napı'nın altından tektonik pencereler olarak yüzeylenen otokton birimler esas olarak havzanın doğu kesiminde yüzeylenirler (Şekil 1.1.).

2.1. Otokton Birimler

Otokton istif Alt Kambriyen - Üst Kretase zaman aralığında çökelmiş, -alansal olarak- çoğunlukla detritik, kısmen de karbonatlı kayalardan yapılmış formasyonları içeren sürekli bir dizilime sahiptir. İstifin Alt Kambriyen - Alt Karbonifer dönemini kapsayan bölümünde sürekli çökelime bağlı olarak formasyonlar arasındaki dokanak ilişkileri uyumludur. Alt Karbonifer üzerine uyumsuz olarak gelen Permien ve Triyas formasyonları arasındaki dokanak da uyumlu olup, daha üstte aralarındaki dokanak ilişkisi yine uyumlu olan Alt Jura - Üst Kretase yaşlı karbonat formasyonları yer almaktadır. Otokton istif Ayhan'a (1988a) göre Aladağ karbonat naplarının istife bindirmesi ile sona ermekte; buna karşın Tekeli ve diğ. (1987) bu istifin üst kesimlerinde ofiyolitli melanjin bulunduğunu belirtmektedir. Bayarı (1991) tarafından yürütülen saha çalışmaları sırasındaki gözlemlere göre otokton birimlerin üst kesimlerinde çoğunlukla ofiyolitli melanjin yer aldığı gözlenmiştir. Yörede yayılım gösteren ofiyolitli melanjin Toroslar'ın diğer kesimlerinde alışlagelen ofiyolitli melanjin yapısından belirgin farklılıklar göstermekte olup; melanjin alt kesimleri, alttaki birimler

üzerinde uyumsuz olarak çökelen, ince tabakalı, yer yer sileksit bantları içeren, aşırı derecede kıvrımlanmış görünümündedir ve üst bölümlere göre nispeten düzenli bir karaktere sahiptir. Melanj üst kesimlere doğru gidildikçe karmaşık bir yapı kazanmakta ve önce olistostromal, daha sonra da tipik ofiyolitli melanj görünümüne sahip olmaktadır. Aladağ ofiyolitli melanjının özellikleri Tekeli (1981) tarafından ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

2.2. Allohton Birimler

Allohton birimler Üst Devoniyen - Üst Kretase aralığında çökelmiş çoğunlukla karbonatlı formasyonları içeren 5 ayrı karbonat napı ile bunları tektonik olarak üzerleyen Aladağ Ofiyolit Napı'ndan (Pozantı-Faraşa Ofiyoliti) oluşmaktadır.

2.2.1. Karbonat napları

Karbonat napları, yapısal konumlarına göre alttan üste doğru Siyah Aladağ, Minaretepeler, Çataloturan, Emli ve Beyaz Aladağ naplarından oluşurlar. Her bir karbonat napının üst kesimlerinde ofiyolitli melanjın bulunması, naplar arasındaki sınırın belirginleştirmekte ve sahada ayırımı kolaylaştırmaktadır. Karbonat napları aynı yada benzer paleocoğrafik çökelim ortamlarında gelişen, benzer fasiyes özelliklerine sahip formasyonlardan oluşmaktadır. İksel çökelim ortamlarının yakınlığına bağlı olarak bazı naplar içinde aynı formasyonlar da gözlenebilmektedir. Örneğin, killi kireçtaşlarından oluşan Küçükusu formasyonu Siyah Aladağ ve Çataloturan naplarında, kireçtaşından oluşan Divrikdağı formasyonu Minaretepeler ve Emli naplarında yer almaktadırlar.

2.2.2. Aladağ Ofiyolit Napı

Allohton karbonat napları üzerinde tektonik dokanakla yer alan Aladağ Ofiyolit Napı alttan üste subofiyolitik metamorfitle, harzburgit-dünit, dünit, piroksenit ve gabro kayaç dizilimine sahiptir. Ofiyolit napı çalışma alanının dışında, güneybatıda yer alan Pozantı yöresinden, çalışma alanı içinde Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenlerinin yakınlarında yer alan Faraşa Köyü dolaylarına kadar uzanmaktadır. Napın kalınlığı yer yer 1500m'yi aşmaktadır.

2.3. Post-orojenik Birimler

Çalışma alanındaki post-orojenik birimler ofiyolit napının yerleşimi ve dağ oluşumu hareketleri sonrasında çökelmiş Miyosen yaşlı denizel ve Pliyokuvaterner yaşlı volkanik ve volkano-sedimater birimleri kapsar. Bu birimler büyük oranda çalışma alanının ve Aşağı Zamantı Havzası'nın kuzey bölümünde yüzeylenirler.

Alt Miyosen yaşlı birimler Ulakoğlu (1984) tarafından Zebil Formasyonu olarak adlandırılmış olup; yaklaşık 500m kalınlığa sahip silttaşı aratabakalı konglomera ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Konglomera ve kumtaşları karbonat çimentosu ile tutturulmuş çoğunlukla kireçtaşı ve kısmende ofiyolitik kayalara ait tanelerden yapılmıştır. Zebil formasyonu çalışma alanı yakınlarında, Faraşa köyünün kuzey ve batısında yüzeylenmektedir. Birim genellikle yatay konumlu olmasına karşın, özellikle Divrikdağı formasyonu üzerinde uyumsuz olarak yer alan, Faraşa köyünün kuzey kesiminde Zamantı Nehri vadisi yamaçlarında yüzeylenen taban bölümlerinde sin-sedimater, senklinal şekilli kıvrımlanmaların olduğu gözlenmiştir. Birimin yüzeylendiği pek çok alanda hakim litoloji konglomera olup; bunlar üzerinde çok sayıda düden ve dolin gibi erime ve çökme yapıları gelişmiştir.

Post-orojenik birimlerin diğer bölümünü oluşturan volkano-sedimater çökeller Erciyes Dağı volkanizmasının ürünleridir. Bu birimler, esas olarak çalışma alanı kuzeyinde, Göynük Polyesi'nin kuzey yamaçlarında yayılım gösterirler.

3. BÖLGESEL HİDROJEOLÖJİK YAPI

Çalışma alanında su ileten birimlerin yapısal konumlarına bağlı olarak bölgesel karst yeraltısuyu akımı ana beslenme alanını oluşturan Aladağlar yükseltisinden Zamanlı Nehri'ne (batıdan doğuya) doğrudur. Havzanın doğu kesiminde yer alan otokton birimlerin bu alanda çoğunlukla su iletme kapasitesi düşük kırıntılı birimlerden oluşması ve yine bu alanda karstik karbonatlı birimlerin oldukça sınırlı bir alansal yayılıma sahip olmalarından dolayı, bu kesimde önemli bir yeraltısuyu hareketi yoktur.

Bölgede asıl yeraltısuyu besleniminin gerçekleştiği Aladağlar yükseltisinde en geniş yayılıma sahip olan karbonat napı Beyaz Aladağ napıdır. Bu alanda, yüzeye yakın kesimlerde ofiyolitli melanjin karbonat napları arasında yeraltısuyu geçişini engellemesine karşın, sürüklenme sırasında melanjin büyük oranda sıyrılarak temizlenmesinden dolayı akiferin derinliklerinde tüm karbonat napları birbirleriyle hidrolik olarak bağlantılıdır (Bayarı, 1991). Yerleşim sırasında güneydoğudan kuzeybatıya sürüklenen karbonat naplarında eğimin güneydoğuya (Zamanlı Nehri'ne) doğru olması, bu yöndeki yeraltısuyu akımını destekleyen yapısal bir durumdur.

Aladağlar yükseltisinden Zamanlı Nehri'ne doğru olan bölgesel yeraltısuyu akımı yer yer, özellikle geçirimsiz karakterli ofiyolitli melanj ve/veya ofiyolit napı tarafından oluşturulan tektonik bariyerler nedeniyle karst kaynakları şeklinde yüzeylemektedir.

Bölgesel yeraltısuyu akımının ilk olarak yüzeylediği yer Aladağlar'ın hemen doğu yamacında yer alan mevsimlik karakterdeki Barazama kaynaklarıdır. Beslenme alanından Zamanlı Nehri'ne doğru hareket eden bölgesel yeraltısuyu akımının sığ dolaşımdaki bölümü, bölgesel su tablasının (yada piyezometrik seviyenin) yağmur şeklindeki yağışlar ve kar erimesinden dolayı yüksek olduğu ilkbahar aylarında ve yaz başlangıcında ofiyolitli melanjin oluşturduğu tektonik bariyerden dolayı bu kaynaklardan boşalmaktadır. Barazama kaynaklarındaki boşalım bölgesel piyezometrik seviyenin zamanla alçalmasından dolayı yaz ortasında kesilmektedir. Bu kaynaklardan boşalan yeraltısuyunun düşük sıcaklık ve elektriksel iletkenliğe sahip olması, yeraltısuyunun akifer içinde daha kısa süre kalan sığ dolaşımdaki yeraltısuyu olduğuna yönelik başlıca kanıtları oluşturmaktadır. Kaynaklar tüm boşalım süresince karbonat minerallerine göre çözücü (agresif) durumda olup; kaynakların boşaldığı alanda karbonat minerali çökelişi görülmez.

Barazama kaynaklarından sonra bölgesel yeraltısuyu akımının yüzeylediği ikinci yer Kapuzbaşı kaynaklarıdır. Kapuzbaşı kaynakları karst akiferi ile ofiyolitli melanj arasındaki

dokanaktan boşalırlar. Kapuzbaşı kaynakları sürekli karakterde olup, yılın her dönemi sürekli boşalım gösterirler. Bununla birlikte, bu kaynaklardan boşalan yeraltısuyunun oldukça soğuk ve düşük iyonik bileşime sahip olması; boşalan yeraltısuyunun sığ dolaşıma ait olduğunu göstermektedir.

Öte yandan, Kapuzbaşı kaynaklarının hemen yakınlarında, Kapuz boğazının güney ucunda, Bozarmut Deresi yamaçlarında yer alan Bozarmut kaynakları Kapuzbaşı kaynakları ile benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olup; sürekli boşalım göstermemektedirler. Bozarmut kaynaklarını yaz ortasında-sonunda kesilmesi, bu bölgeye doğru olan yeraltısuyu hareketinin sığ karakterli olduğuna işaret eden önemli kanıtlardan birisidir.

Aladağlar'dan Zamantı Nehri'ne doğru olan bölgesel yeraltısuyu akımının Kapuzbaşı ve Bozarmut kaynaklarından yüzeye çıkan bölümünün dışında kalan kısmı akifer içindeki hareketine devam ederek önce Tatlar kaynağına, daha sonra da Yerköprü kaynakları'na ulaşmaktadır. Yerköprü 1, 2, 3 kaynakları bölgesel yeraltısuyu akımının son noktasını oluşturmaktadır.

Aladağ karst akiferinde bölgesel yeraltısuyu akışını denetleyen en temel etken tektonik yapıdır. Havzada yer alan önemli büyüklükteki tüm karstik boşalmalar yeraltısuyu akışının tektonik unsurlarca engellenmesi sonucunda oluşmuşlardır. Tektonik yapının bölgesel yeraltısuyu akımı üzerindeki etkisi Bayarı (1991) tarafından ayrıntılı biçimde açıklanmıştır.

4. TRAVERTEN ALANLARI

4.1. Traverten Alanlarının Havzadaki Dağılımı ve Morfolojisi

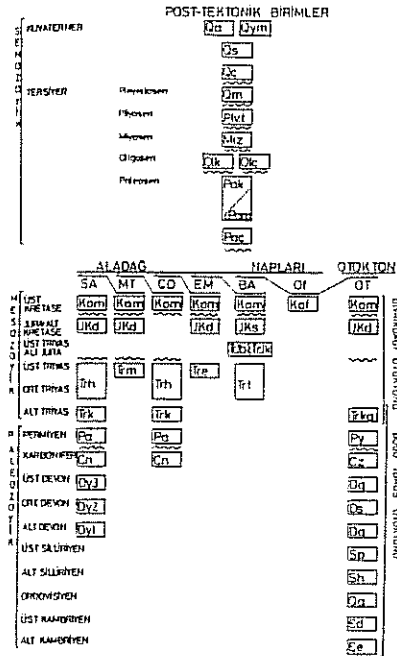
Aşağı Zamantı Havzası içinde 5 adet dikkate değer büyüklükte traverten oluşumu bulunmaktadır. Bunlarda, havzanın kuzey kesiminde, Yahyalı ilçe merkezinin 15km KD'sunda, Göynük Polyesinin güneyinde yer alan Tıhraz travertenini fosil karakterde olup; civarında önemli bir yeraltısuyu boşalımı gözlenmez. Bölgedeki diğer travertenler aktif olup, halen boşalmakta olan yeraltısuyunca çökelimleri devam etmektedir. Bunlardan, Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 olarak adlandırılan üç tanesinde yoğun traverten oluşumu gözlenmektedir. Söz konusu travertenlerin alansal yayılımlarının belirlenmesi amacıyla pusula ve klinometre kullanılarak topografik ölçümler yapılmıştır. BCRA (British Cave Research Association) sınıflamasına göre 4a ölçüm kalitesinde olan topografik veriler daha sonra bilgisayar ortamında işlenerek her bir alanın planı oluşturulmuştur.

4.1.1. Yerköprü 1 travertenini

Yerköprü 1 travertenini, havzanın orta üst kesiminde, Zamantı Nehri üzerinde yer alır. Yerköprü 1, 2, 3 travertenleri arasında alansal ve hacımsal olarak en küçük olan traverten çökeli budur. Faraşa ve Yeşilköy yakınlarında bulunan bu traverten alanına Yeşilköy'den itibaren karayolu ile ulaşmak mümkündür (Şekil 4.1.). Yaklaşık 3600m²'lik yüzey alanına sahip olan travertenin çökeli günümüzde de devam etmektedir. Travertenin yayılım gösterdiği alanda ikisi sol, biri sağ sahilde olmak üzere üç adet kaynak boşalımı vardır (Şekil 4.2.). Bu kaynaklar akarsudan 5 ila 30m yukarıdan, vadi yamaçlarından boşalırlar. Toplam boşalımın, yıl içinde değişim göstermekle birlikte, 5 m³/s dolayında olduğu tahmin edilmektedir. Halen traverten oluşumunda etkili olan kaynak sol sahilde, akarsudan yaklaşık 30m kadar yukarıda bulunmaktadır (Şekil 4.2 ve 4.3.). Kaynağın boşaldığı göz yaklaşık 1m x 2m boyutlarında, maksimum su seviyesinde 1.5m kadar derinliğe sahip olan bir havuz şeklindedir. Yaklaşık 1m³/s'lik boşalıma sahip olan bu gözedeki su akışı genellikle son bahar aylarına doğru 1-2 ay kadar kesilmekte, sonbahar, kış aylarındaki ilk yağışların başlamasıyla birlikte kaynak tekrar boşalıma geçmektedir. Yöre halkından edinilen bilgilere göre 1940-1950'li yıllarda kaynak iki kez bir yıl süre ile hiç boşalım göstermemiştir. Traverten oluşumunda birinci derecede etkili olan bu kaynağın sol sahilden boşalmasına karşın, asıl beslenim alanı, sağ sahil tarafında yer alan Aladağ yükseltisidir.

ACIKLAMALAR

HARITA BİRİMLERİNİN KORELASYONU



POST-TEKTONİK BİRİMLER

Ga	Allyson
GyH	Tamara Masala
Ha	Selvi
Hc	Estelita Kumpungense
Hm	Haryani
HnI	Pratiwi (Londari, Ut, Anggrana, Syarifuddin); 13 November
HnII	Zebul Kanti Kumpung-kumpung silihi nyanti
HnIII	Karisma Kumpung Kumpung Kumpung
HnIV	Quarantini Kanti Kumpung Kumpung Kumpung Kumpung
Pak	Karandak Kumpung Kumpung Kumpung Kumpung Kumpung
PnH	Kumpung Kumpung
PnV	Kumpung Kumpung Kumpung Kumpung Kumpung

ALLOKTON BİRİMLER

[illegible]

OTOKTON BİRİMLER

	Öllyusill meang
	Duwitaga form
	Katansa form: man kiretasu kumasi
	Higilepa form: kiretasi
	Zhetetepa form: kiretasi kumasi man
	Gumasi form: kumasi kiretasi syi
	Sakalepa form: sakale kumasi
	Ayilepa form: kumasi kiretasi syi
	Pusalepa form: syi
	Halliyasa form: kumamasa kumasi
	Kumukigasa form: syi yumuk kiretasi pilik
	Degfimenas form: sakale kumamamasa kiretasi
	Emogasi form: sakalepa sakale kiretasi
	Haga Masit meimortilieri

JEOL

- DENEME, YERİ YAKLAŞIK OKUNAK
 FAY YERİ YAKLAŞIK FAT (MUKTELEH - ALICAH BLOK)
 DOĞRULTU ATILMIŞ FAY YERİ YAKLAŞIK İZMLER BAĞLI HAREKET YÖNÜNE GÖSTERİR
 BİNDİRME FAYI (DİSLER ÜST BLOKTA)
 DÜŞÜRME AÇILI TEHS FAYI (DİSLER ÜST BLOKTA)
 EKİLEM İZMLERİ DOĞRULTU VE EĞİM
 HAVA FOTOĞRAFINDAN BELİRLENEN CİZGİSELİK OLASI CİZGİSELİK
 CİZGİSELİK DOĞRULTU GÜL DİYAGRAMI
 ANTIKLİNAL
 SENKLİNAL
 TABAKA DOĞRULTU VE EĞİMİ

KEŞİT DOĞRULTUSU

- HİDROLOJİ

GÜZLEH AKARSU VE ARIM YOLU

WEYSHILIN AKARSU VE ARIM YOLU

WEYSHILIK GÖL

AKIM GÜZLEH İSTASYONU

ORIENTAL ALAN (Orta)
ORTALAMA YILLIK AKIM (mm/y)
İSTASYONU AİD

GÜZLEH

▲ 4376

GÜZLEH GÜZLEH İSTASYONU

ORTALAMA YILLIK GÜZLEH (mm/y)

TÜZEL SU DÖKÜM ÇİZGİSİ

VERATIL SU DÖKÜM ÇİZGİSİ

KARST HIDROJEOLGIJA

-  12 KARST KAYNAĞI VE NO
 13 KARST KAYNAK GRUBU VE NO
 14 ÇEŞME VE NO
 15 KESON KUYU VE NO
 16 SİMHÖZLÜ MÜLÜSÜ VE NO
 17 DÜDEN
 18 SULTAN
 19 KARSTİK ÇEŞME VE ZEMİN YAPILARI (DOLİN, UVALA, POLYE) KAYNAĞI
 20 İZOTOP ÖRNEKLEME NORTASI VE NO
 21 AKARSIZ KİMYASAL ÖRNEKLEME NORTASI VE NO
 22 POLYE TASARIM ŞİMHÖZLÜ
 23 KARST YERALISIMI ANH YÖNÜ (İNGÖRÜLEME)
 24 KARST YERALISIMI ANH YÖNÜ (İNGÖRÜLEME-ARTİZYEM)
 25 ALLİYON AKIFER YERALISIMI ESSEVİTE EĞRİSİ VE ANH YÖNÜ

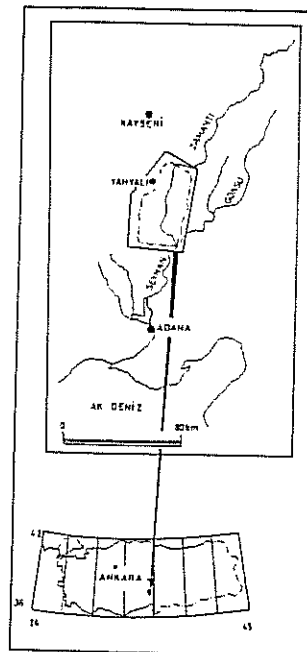
SU YAPILARI

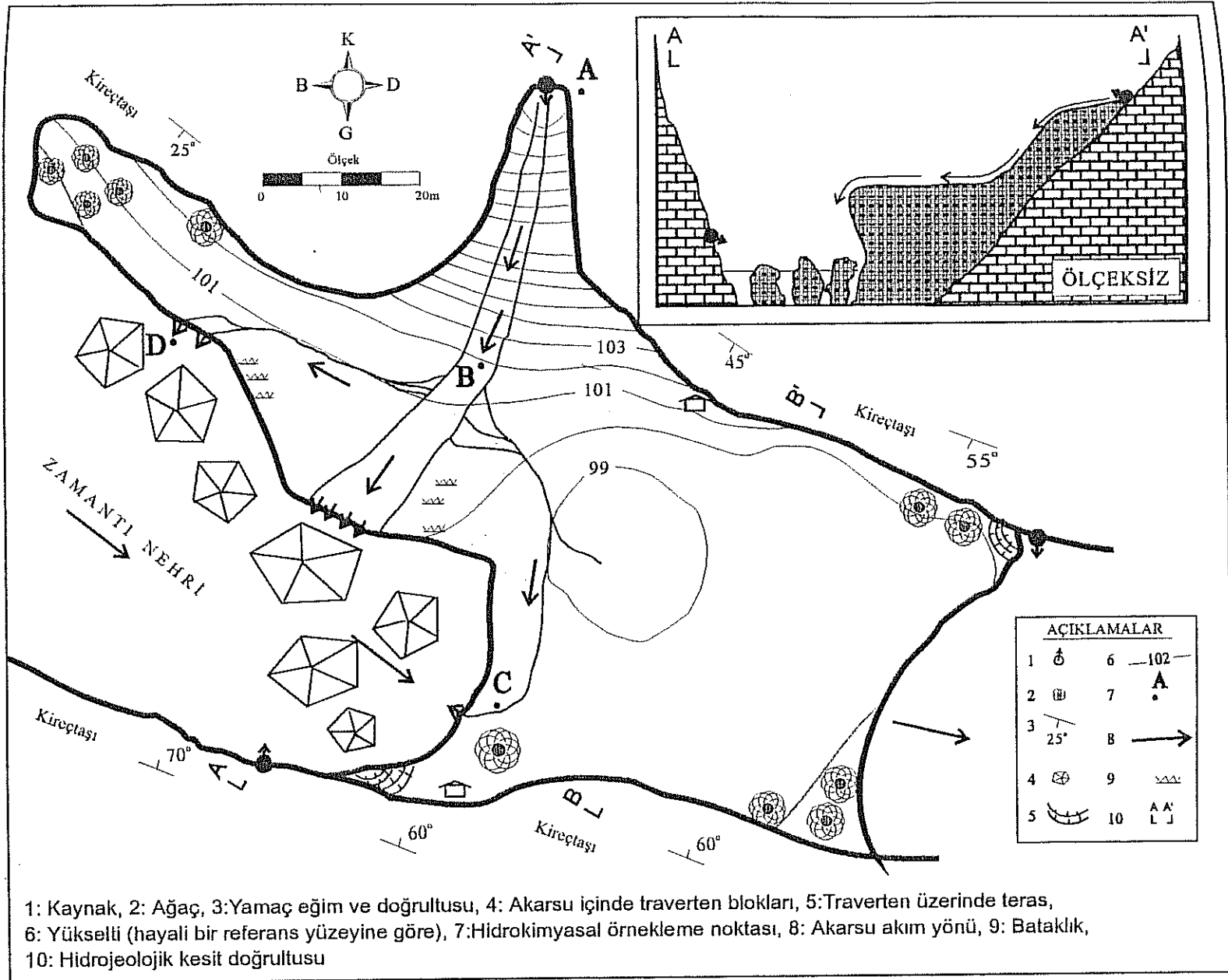
- BARAJ BENT YERİ (MEVCUT)
BARAJ BENT YERİ (PLANLANAN)
REGÜLÖR BENT YERİ (PLANLANAN)

GENEL

- YERLEŞİM MERKEZİ
ANA MÜHÜRLENER

BU HARİTA AYRANCIHO - TEKELİ 1987 YILI
JEOLOJİK DEĞİŞİKLİKLER - HİDROJEOLOJİK ELEMENLER
TAPILANAR HAZIRLANMIŞTIR



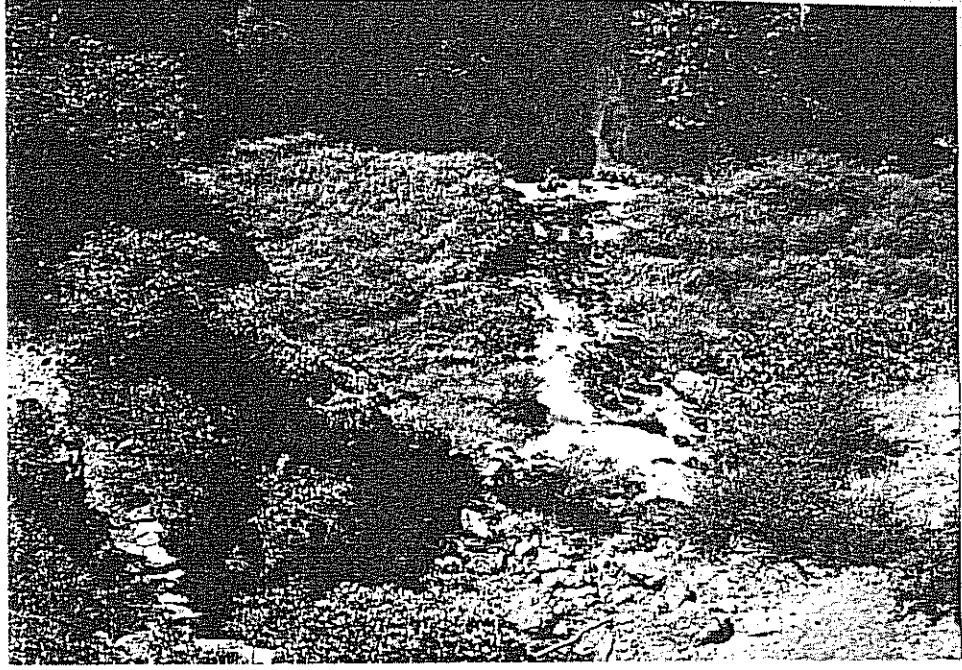


Şekil 4.2.: Yerköprü 1 traverten alanı morfoloji haritası.

Kaynağa ulaşan yeraltısuyu, bir tür “sifon” aracılığıyla Zamanlı Nehri yatağı altından geçerek yüzeye çıkmaktadır. Söz konusu “sifon” yapısının varlığı hakkında en belirgin kanıtlardan birisi yöre halkınca kaynağın kuruduğu dönemlerde zaman zaman yapılan bir tür deneydir. Son bahar aylarında, gözeden su akışı kesildiğinde havuzdaki su seviyesi yöredeki piyezometrik seviye ile bağlantılı olarak alçalmaktadır (Şekil 4.4). Taban kısmı büyükçe bir kanal (conduit) şeklinde, gittikçe daralarak derinlere inen bu havuzdaki durgun suya tüfekte ateş edildiğinde, oluşan basınç dalgası sifon içinden akım kanalına aktarılmakta ve bir kaç dakika içinde aktarılan hava hacmi (basıncı) kadar yeraltısuyu göze doğru hareket ederek; kaynağın 5-10 dakika kadar boşalmasına neden olmaktadır. Bu gözedeki sifon yapısının varlığına ilişkin bir diğer belirgin kanıtta kaynak suyunun oksijen-18 izotop içeriğinden tahmin edilen beslenme alanı yükseltisidir (Bayarı 1991). Kaynaktan boşalan yeraltısuyunun tahmin edilen beslenme alanı yükseltisi beslenimin Aladağlar tarafından olduğuna işaret etmekte olup; havzanın kaynağın boşaldığı sol sahil tarafında bu yükseltide akifer oluşturacak bir birim bulunmamaktadır.

Bu alanda bulunan diğer iki kaynaktan birincisi, ana gözeden Zamanlı Nehri yatağına dik olarak uzanan bir çizginin sağ sahile ulaştığı noktada, yaklaşık 75°'lik eğime sahip olan kireçtaşı duvarının traverten düzlüğüne göre 5m kadar alt tarafında bulunmaktadır (Şekil 4.3.). Kaynakta boşalan yeraltısuyu, suyun kireçtaşı yamaç ile temas ettiği yüzey üzerinde çok az miktarda traverten çökelimine neden olmaktadır. Traverten alanındaki son kaynak, ana göze gibi sol sahilde yer alır (Şekil 4.2.). Bu kaynak, akarsu üzerinde traverten örtüsünün sol sahildeki kireçtaşı duvarı ile kesiştiği noktada yer alır ve doğrudan akarsuya boşalır. Kaynağın doğrudan akarsuya boşalmasından dolayı bu noktada traverten çökelimi görülmez. Ana göze dışındaki diğer iki kaynaktaki boşalım yıl boyunca kesilmemektedir. Dolayısıyla, Yerköprü 1 traverteninde bulunan ana gözenin Yerköprü 1, 2, 3 kaynaklarına ulaşan yeraltısuyu akımını en üst noktadaki boşalım olduğu söylenebilir. Zaten, bu göze, anılan boşalım arasında topografik olarak da en üst nokta da bulunmaktadır.

Yerköprü 1 travertenini morfolojik olarak biri yatay, diğeri eğimli olmak üzere iki kesimden oluşmaktadır (Şekil 4.2). Yatay bölüm, yaklaşık 45m x 45m boyutlarında olup; Zamanlı Nehri yatağının üzerini kaplamaktadır (Şekil 4.6.). Eğimli bölüm, yatay bölümle, halen traverten oluşturan ana göze arasında yer almaktadır.



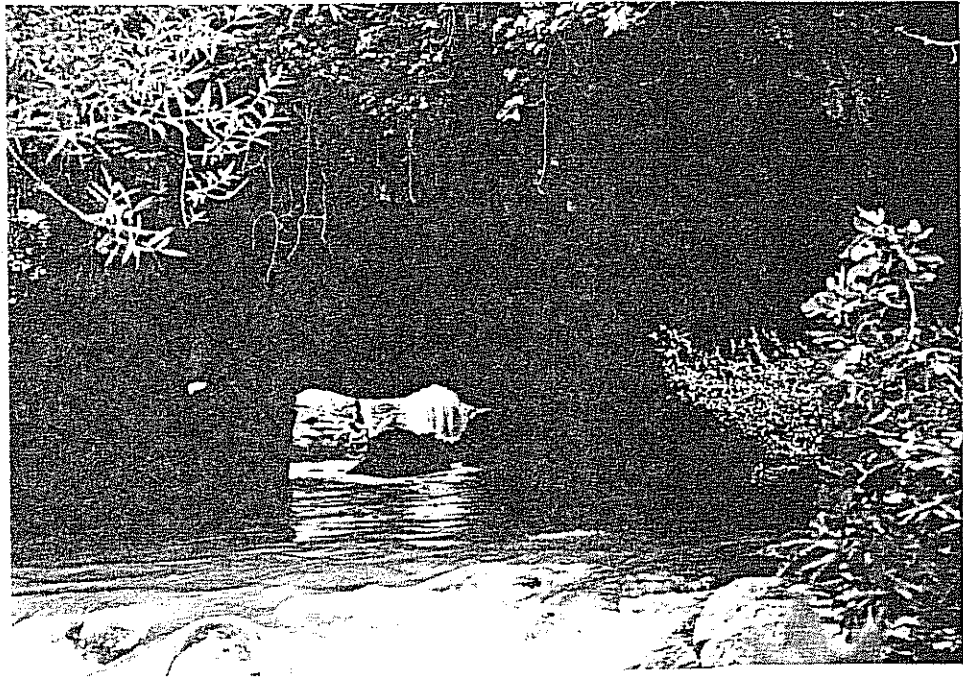
Şekil 4.3.: Yerköprü 1 traverten alanında sol (altta) ve sağ sahil (üstte) kaynaklarının görünümü (bakış güneye).



Şekil 4.4.: Yerköprü 1 traverten alanında sol sahil ana kaynağının görünümü (bakış doğuya).



Şekil 4.5.: Yerköprü 1 traverten alanında sol sahil ana kaynağı havuzunun kurak dönem sonundaki görünümü. Tabanda durgun su görülmektedir (havuz genişliği tabanda yaklaşık 1m).



Şekil 4.6.: Yerköprü 1 traverten doğal köprünün görünümü (bakış akış aşağıdan yukarıya).

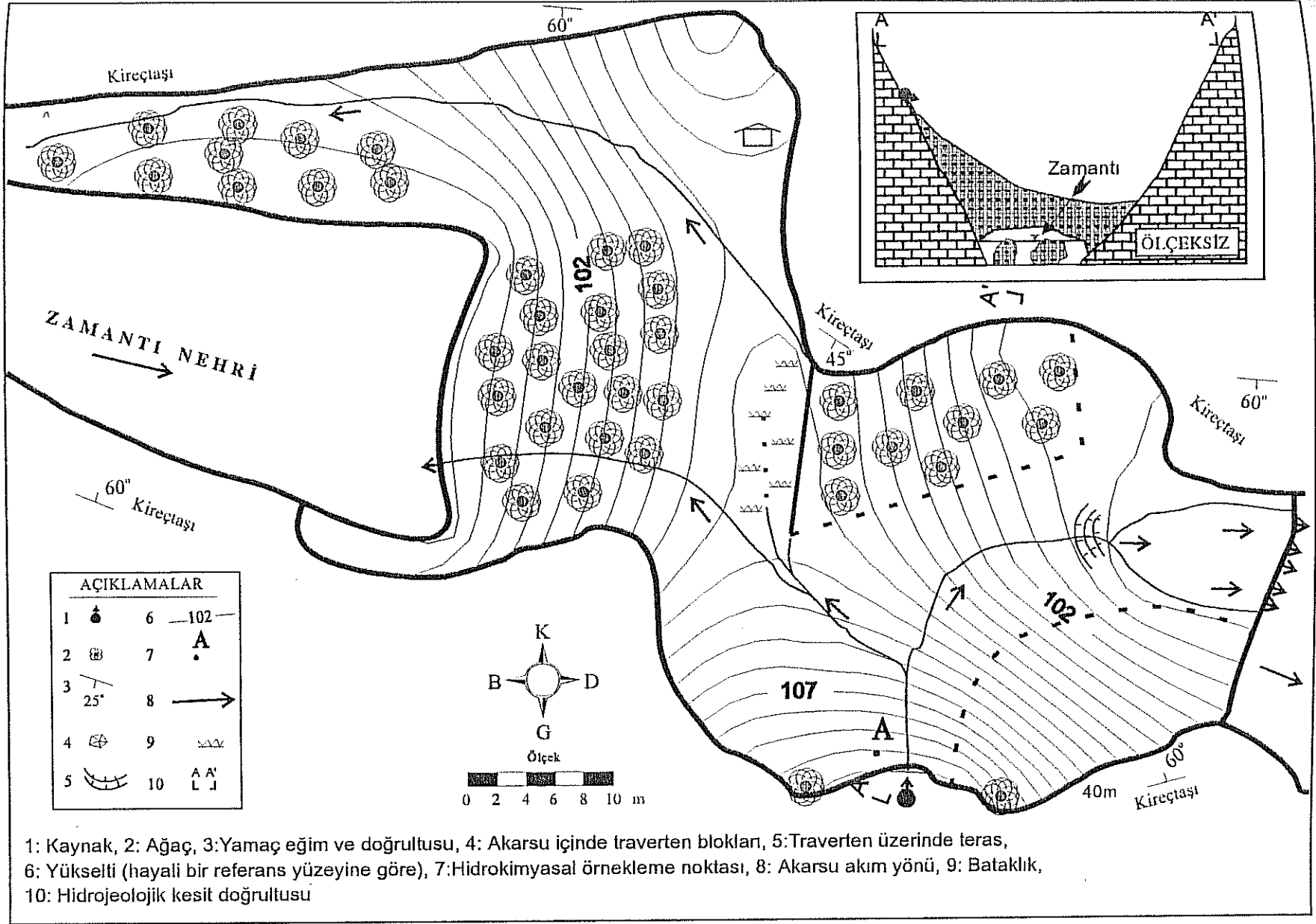
Yerköprü 1 traverteninin akarsu üzerinde uzanan bölümü köylülerce tarla olarak kullanılmakta, travertenin sol sahilde akış yukarıya doğru uzanan kısmının bir bölümünde ise kavak ağacı yetiştirilmektedir.

4.1.2. Yerköprü 2 traverteni

Yerköprü 2 traverteni, Zamantı Nehri üzerinde, Yerköprü 1 traverteninin 2km kadar akış aşağısında yer alır (Şekil 4.7. ve 4.8.). Bu travertene, Yerköprü 1 travertenine ulaşan yolun 1.5. km'sinden itibaren 25 dk yürüyerek ulaşılabilir. Bu alanda iki adet karstik kaynak bulunmakta olup; bunlar sağ sahilde yer almaktadırlar. Kaynaklardan büyük olanı yaklaşık $1\text{m}^3/\text{s}$ 'lik ortalama debiye sahiptir ve traverten alanından 40m kadar akış aşağıda, akarsudan 20m kadar yukarıda yer almaktadır (Şekil 4.9.). Bu boşalmanın oluşturduğu traverten çökeli, Yerköprü 2 traverteni ile bağlantılı değildir. Halen Yerköprü 2 alanında çökeline katkıda bulunan kaynak ilkinde göre daha düşük debiye sahiptir. Ortalama debinin 50 l/s dolayında olduğu tahmin edilmektedir. Kaynak, sağ sahilde, traverten düzlüğünden 15m kadar yukarısından, yaklaşık 25° eğimli bir yamaçtan boşalmaktadır (Şekil 4.10.). Kaynak suyunun bir bölümü yaz aylarında sulama amacıyla sağ sahile aktarılmakta, kalan bölümü ise ana yatağı boyunca traverten çökeline ulaşarak, travertenin akış aşağı kesiminden Zamantı Nehri'ne boşalmaktadır. Traverten alanının büyük bir bölümü kavak ağacı ve diğer tarımsal üretimler için kullanılmakta olup halen traverten oluşumu oldukça sınırlı bir alanda gerçekleşmektedir. Yerköprü 2 traverteninin oluşturduğu doğal köprünün ağız açıklığı yeterince geniş olmayıp (Şekil 4.11), bazı taşkın dönemlerinde Zamantı Nehri'nce taşınan suyun bir bölümü traverten alanı üzerinde akmaktadır.

4.1.3. Yerköprü 3 traverteni

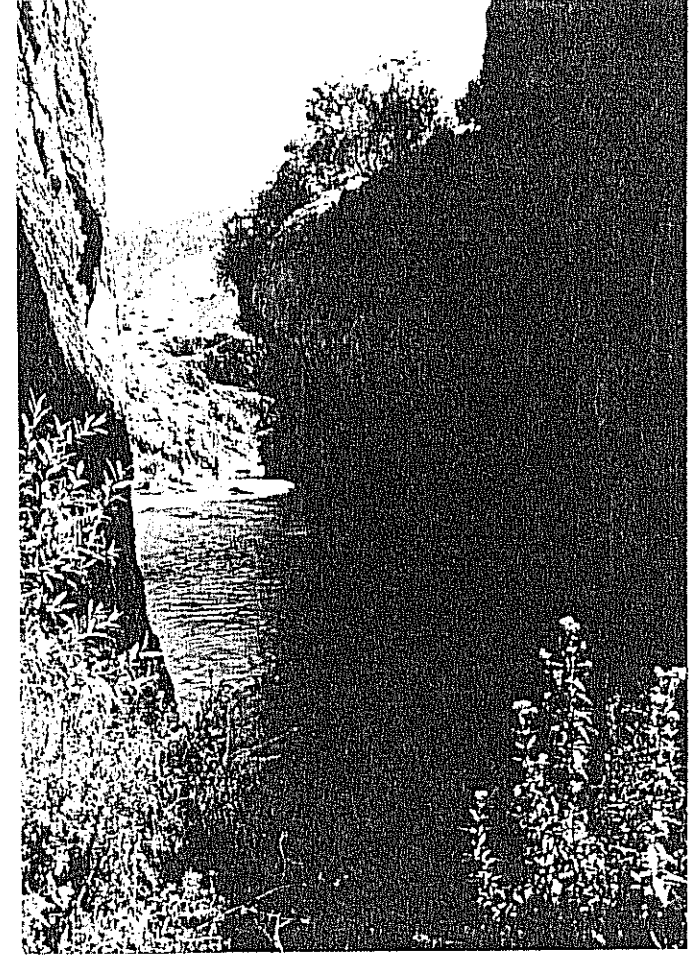
Yerköprü 3 traverteni, Yerköprü 2 traverteninin 35km kadar akış aşağısında, Zamantı Nehri'nin sağ sahilinde yer almaktadır (Şekil 4.1.). Halen aktif olan travertenin 200m kadar akış aşağısında ise Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenlerinde olduğu gibi doğal köprü biçimli, yaklaşık $25\text{m} \times 25\text{m}$ boyutlarında fosil durumda ikinci bir traverten çökeli daha bulunmaktadır (Şekil 4.12.). Bu çökelin sağ sahile doğru eğimli oluşunda, traverten oluşturan kaynağın geçmişte sol sahilde yer aldığı anlaşılmaktadır. Günümüzde aktif olan kısım ise yaklaşık 500m uzunlukta, ortalama 50m genişlikte bir şerit halinde sağ sahil boyunca uzanmaktadır (Şekil 4.13.).



Şekil 4.7.: Yerköprü 2 traverten alanı morfoloji haritası.



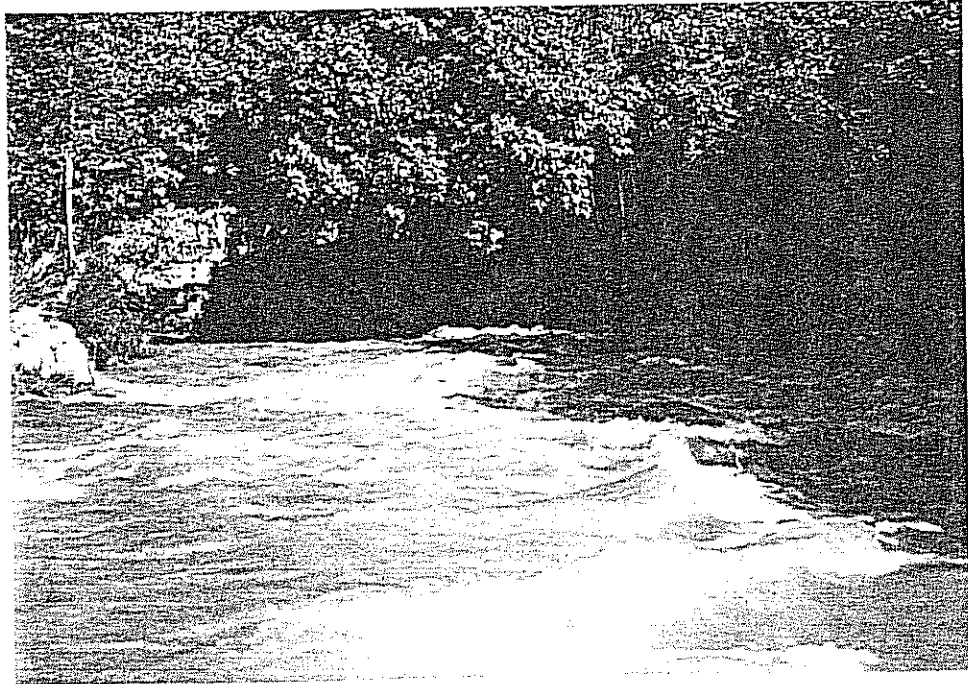
Şekil 4.8.: Yerköprü 2 traverten alanından Yerköprü 1 traverten alanının görünümü (bakış kuzeybatıya).



Şekil 4.9.: Yerköprü 2 traverten alanında sağ sahilde yer alan büyük kaynağın oluşturduğu traverten çökeli (bakış güneydoğuya).



Şekil 4.10.: Yerköprü 2 traverten alanında sağ sahilde yer alan kaynağın görünümü (bakış kuzeye).



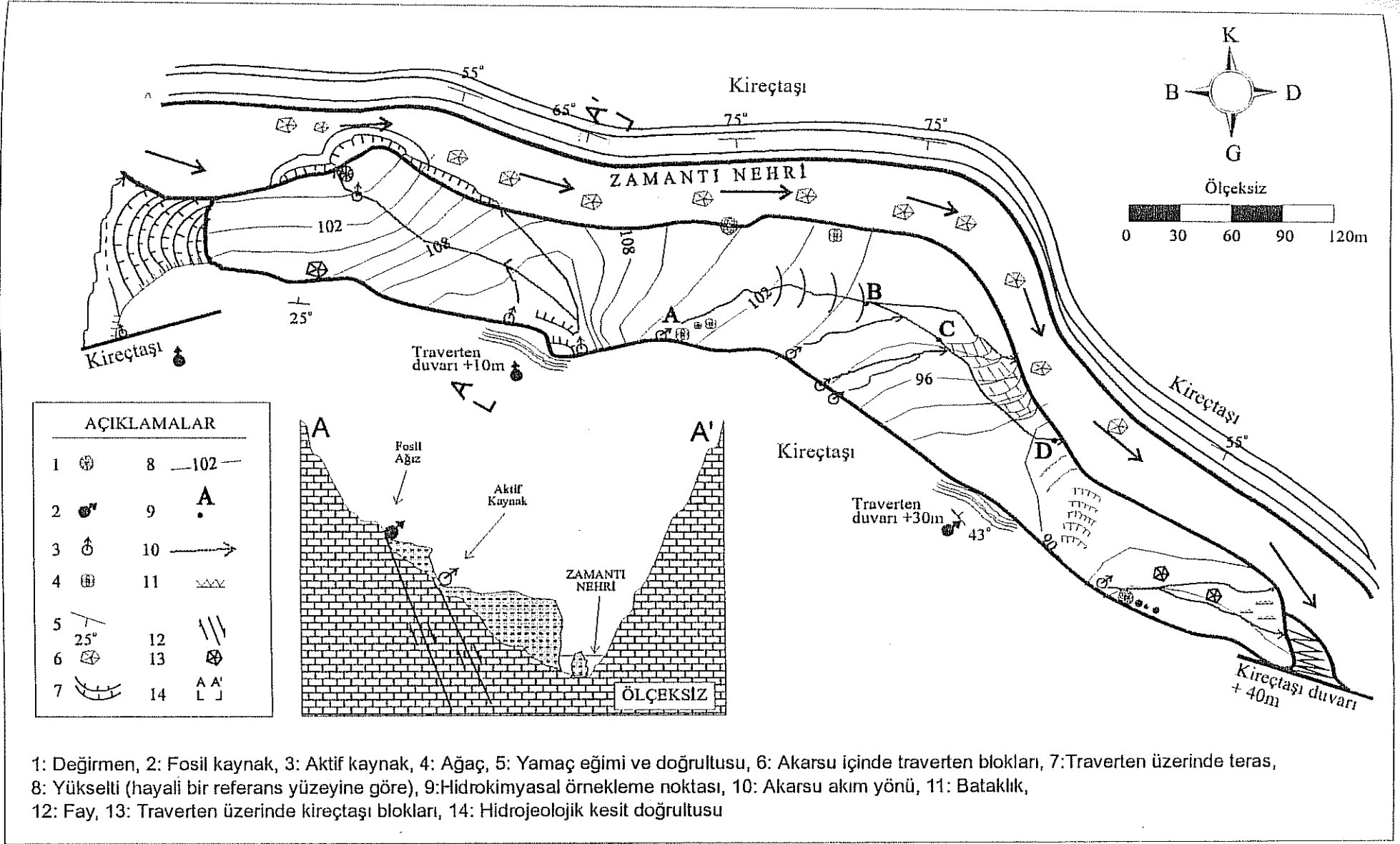
Şekil 4.11.: Yerköprü 2 doğal traverten köprüsü altına Zamantı Nehri'nin akış yukarıdan girişi (bakış doğuya).



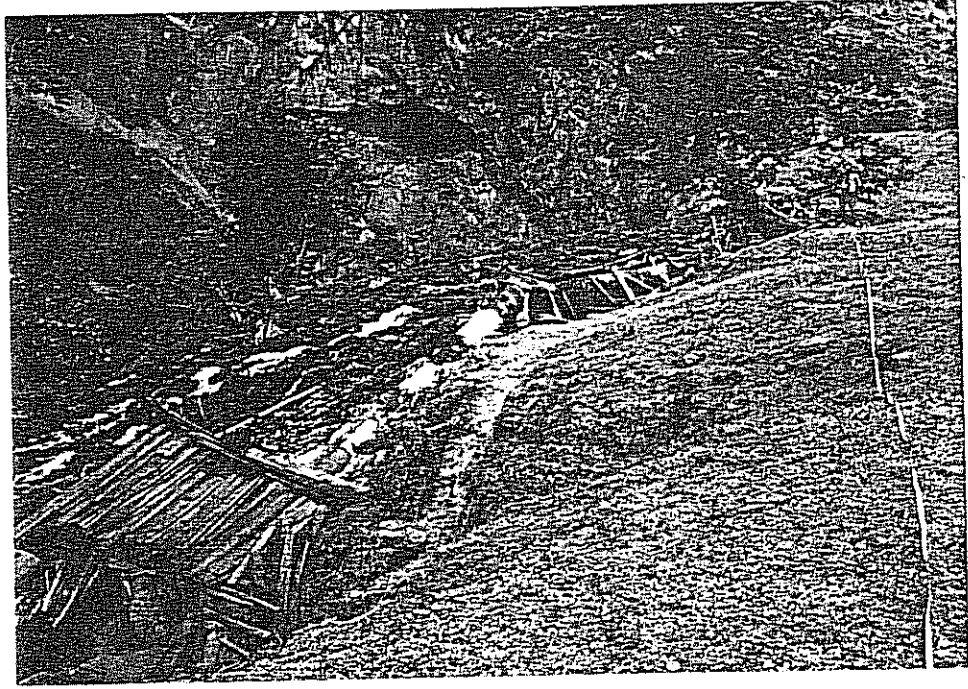
Şekil 4.12.: Yerköprü 3 traverten alanı yakınlarındaki fosil travertenin aktif kesimden görünümü (bakış güneydoğuya).

Traverten oluşturan kaynaklar, traverten-kireçtaşı dokanağı boyunca debileri 1-10 l/s arasında değişen bir dizi gözeden boşalmaktadır. Bir bölüm kaynak ise akarsu seviyesinden, travertenin batı ve doğu uçlarından doğrudan Zamantı Nehri'ne boşalmaktadırlar. Traverten üzerinde yer alan kaynaklardan en yüksek debili olanı en batıda bulunandır. Kaynak gözede 10 l/s dolayında bir debi ile boşalırken akım dere yatağı boyunca artmakta ve akarsuya boşalma noktasında yer alan değirmenin hemen öncesinde 800 l/s'lik bir düzeye çıkmaktadır (Şekil 4.14.). Yerköprü 3 travertenini dolayında yer alan tüm kaynaklardan toplam boşalımın $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir (Bayarı, 1991).

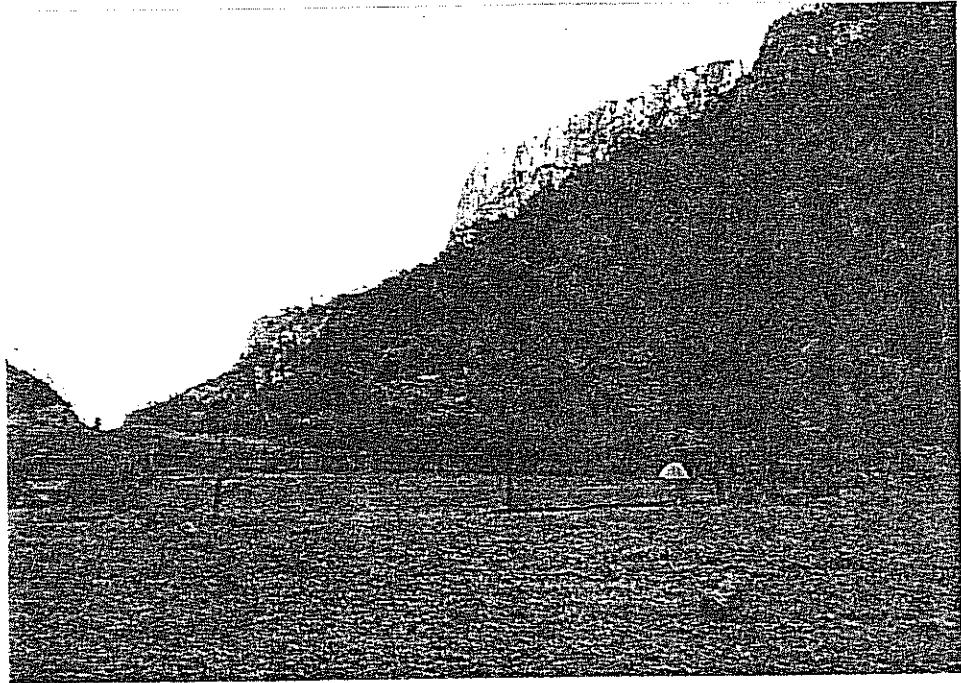
Travertenin güneyde kireçtaşı ile olan sınırı boyunca, yer yer aktif çökelim alanının 10m-40m kadar üzerinde fosil konumlu travertenlerin bulunduğu görülmüştür (Şekil 4.15.). Bu travertenler, günümüzde traverten oluşturan kaynakların geçmişte daha üst kotlardan boşaldığına işaret etmektedir. Fosil ve aktif durumdaki travertenler arasında keskin bir kot farklılığının olması, geçmişte üst kotlardan boşalan kaynakların aniden daha alt kotlardan (bu günkü seviyelerinden) boşalmaya başladıklarına işaret etmektedir. Bu durum, bölgesel piyezometrik seviyede iklimsel nedenle oluşan ani bir değişimle açıklanabileceği gibi, faylanma gibi tektonik bir nedenle de ortaya çıkmış olabilir. Saha gözlemleri ikinci seçeneğin daha akıllı yakın olduğunu göstermektedir. Yerköprü 3 traverteninin günümüzde aktif olan bölümü yaklaşık yatay konumlu bir morfolojiye sahip olup; akarsuya doğru hafif eğimlidir (Şekil 4.16.).



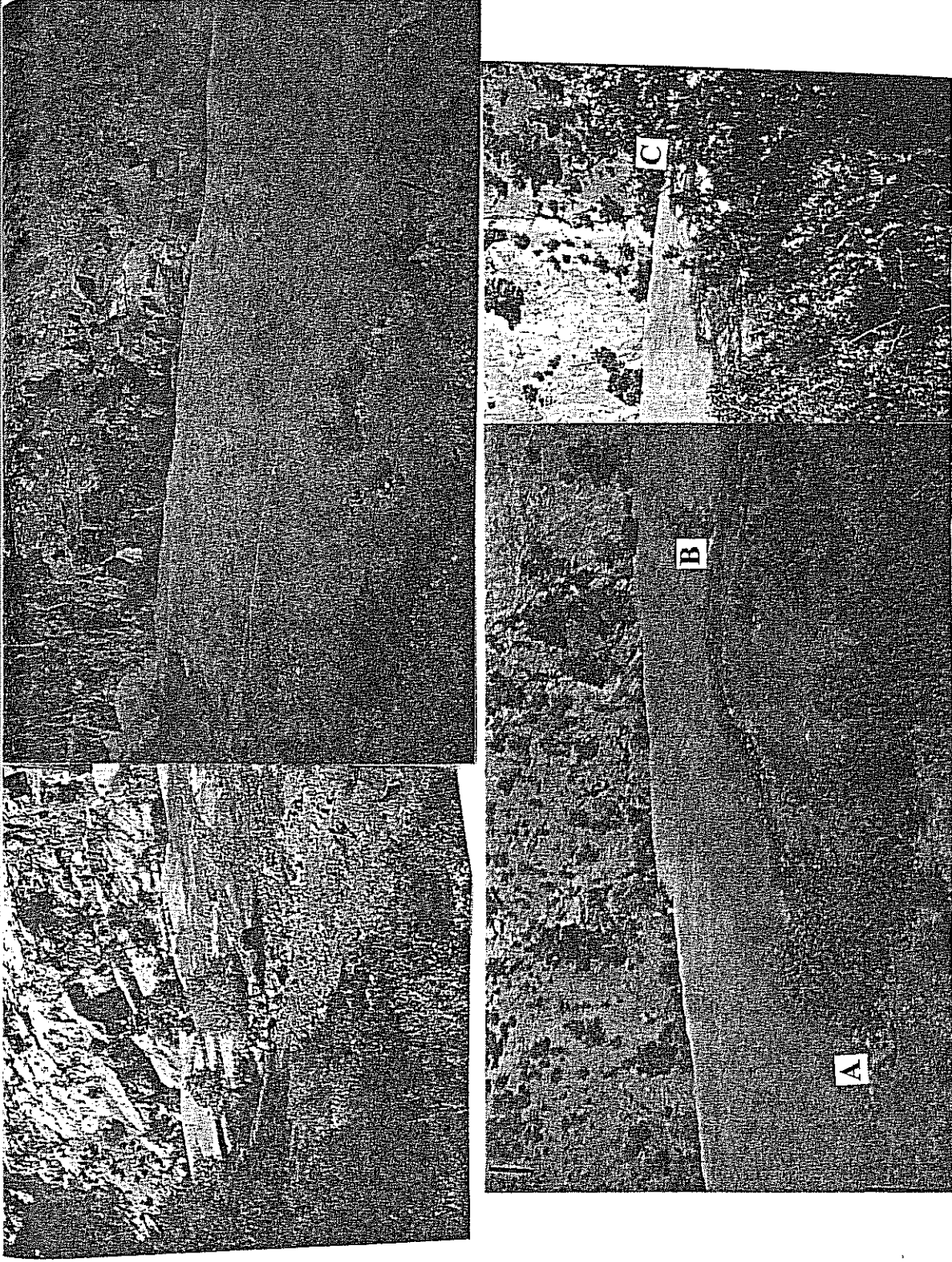
Şekil 4.13.: Yerköprü 2 traverten alanı morfoloji haritası.



Şekil 4.14.: Yerköprü 3 traverten alanında 800l/s debili kaynak (Fotograf topografik ölçümler sırasında çekilmiştir. Bakış doğuya)



Şekil 4.15.: Yerköprü 3 traverten alanında aktif (öndeki düzlük) ve fosil (yamaçtaki çıkmlar) travertenlerin görünümü (bakış güneydoğuya).



Şekil 4.16.: Yerköprü 3 traverten alanının genel görüntüsü (Hidrokimyasal gelişmelerin yitirildiği dere alt fotoğrafı gösterilmiştir. A, B, C: hidrokimyasal örneklem noktaları).

4.1.4. Tatlar traverteni

Tatlar traverteni, Yerköprü 2 traverteninden 10km akış aşağıda bulunan Büyükçakır köyüne bağlı Tatlar mahallesi içinde yer alır. Yaklaşık 15m yüksekliğinde, 10m eninde ve tahminen birkaç m derinliğe sahip bir duvar görünümünde olan traverten yarı aktif olarak kabul edilebilir. Halen travertenin üst noktasında boşalmakta olan Tatlar kaynağı yıl boyu sürekli akışa sahip olmasına karşın, yaklaşık 1-2 l/s'lik akışa sahiptir. Tatlar traverteninin büyük oranda geçmişte, kaynağın daha yüksek debiye sahip olduğu bir dönemde oluştuğu düşünülmektedir. Halen kaynak suyun traverten üzerinden akmadığı gibi, kaynak suyundan itibaren suyun akışta olduğu derecik boyunca traverten çökelişi dikkate alınmayacak kadar azdır.

4.1.5. Tıhraz traverteni

Tıhraz traverteni, Aşağı Zamantı Havzası'nın KB'sında, Yahyalı ilçe merkezi yakınlarındaki Göynük Polyesinin güney kesiminde yer alır. GK doğrultusunda uzanan traverten yaklaşık 4 km'lik uzanıma, 1 km'lik genişliğe sahiptir. Halen fosil durumda olan travertenin yakınlarında mevsimlik yada sürekli boşalım gösteren önemli büyüklükte bir karstik kaynak yoktur. Halen fosil durumda bulunan traverten olasılıkla çökelin güney kesiminde bulunan ve birbirini kesen çok sayıda fay boyunca yüzeye çıkan yeraltı sularınca geçmişte oluşturulmuştur. Çökelin hafif biçimde kuzeye doğru eğimli olması, traverteni oluşturan suların bu yöne doğru akmakta olduğunu göstermektedir. Tıhraz traverteni olasılıkla Pliyosen'e kadar uzanan bir süreç içinde oluşmuş olmalıdır. Halen tavan kesimi polye seviyesinden 15m kadar yukarıda bulunan travertenin uzanımı boyunca her iki yanındaki bölümün akarsu aşınması ile zaman içinde derinleştiği düşünülmektedir (Şekil 4.17.).

4.2. Traverten Alanlarının Yerel Jeoloji ve Hidrojeolojisi

4.2.1. Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenleri

4.2.1.a. Jeoloji:

Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenleri dolayında jeolojik yapının hakim bileşenleri alttan üste doğru Divrikdağı kireçtaşı, ofiyolitli melanj ve ofiyolit napıdır (Şekil 4.1.). Bu alanda Divrikdağı kireçtaşı esas olarak Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenlerinin K'inde kalan

Belenhavlu Tepe ve eteklerinde yayılım göstermektedir. Belenhavlu T.'yi oluşturan Divrikdağı kireçtaşları yükseltinin K kesiminde KD uzanımlı Faraşa Fayı ile düşürülmüş olup, bu alanda kireçtaşları ve ofiyolitli melanjın üst kesimini oluşturan tipik melanj görünümlü kesim dokanak halindedir. Yerköprü 1 travertenini yakınlarında kireçtaşları ile melanj arasındaki dokanak diskordan konumludur. Faraşa köyünden traverten alanına ulaşan, bir kısmı heyelanla nehre kaymış olan melanj üzerinden geçen patika boyunca, melanj ile kireçtaşları arasındaki uyumsuz dokanak belirgin biçimde gözlenebilmektedir. Patika boyunca yer yer melanjın alt seviyelerini oluşturan ince tabakalı, silis bantlı, bol kıvrımlı kireçtaşı tabakalarını izlemek mümkündür. K'de olduğu gibi Belenhavlu T.'nin Yerköprü 1 ve 2 travertenlerine bakan G yamacı da normal bir fayla kesilmiş olup, bu alanda kireçtaşları ve melanj tektonik dokanaklıdır.



Şekil 4.17.: Tıhraz traverteninden bir bölümün görünümü (bakış batıya).

Yerköprü 1 ve 2 travertenleri dolayında Divrikdağı kireçtaşının üzerinde uyumsuz olarak yer alan ofiyolitli melanj, bu alanlardan uzaklaşıldıkça ofiyolit napınca tektonik dokanakla örtülür. Aladağ tipi ofiyolitli melanj, ofiyolit napının bölgeye yerleşmesinden önce blok faylanmayla parçalanmış olup, melanjın kireçtaşı blokları arasındaki çukurlukları doldurmasından dolayı, ofiyolit napı yalnızca ofiyolitli melanj ile değil aynı zamanda

kireçtaşı'nın yüksek kesimleri ile de temas halindedir. Nitekim, Belenhavlu T.'nin KD yamaçlarında ofiyolit napı doğrudan Divrikdağı Kireçtaşı üzerine yerleşmiş durumdadır.

Öte yandan, Yerköprü 1 ve 2 travertenlerinin bulunduğu alanın kuzey bölümünde, Faraşa köyünden K'e doğru Miyosen yaşlı Zebil Formasyonu, uyumsuz olarak ofiyolitli melanj ve Divrikdağı Kireçtaşı üzerinde bulunmaktadır. Bu formasyon KD'da, Delialıuşağı köyü dolayında ofiyolit napı üzerinde de gözlenmektedir. Zebil Formasyonu, konglomera, kumtaşı ve az miktarda da kiltaşından yapılmış bir birim olup; konglomera ve kumtaşları karbonat çimentoludur.

4.2.1.b. Hidrojeoloji:

Yerköprü 1 ve 2 travertenlerinin bulunduğu alanda Divrikdağı Kireçtaşı ve Zebil Formasyonuna ait birimler hidrojeolojik açıdan geçirimli birimleri oluştururlar. Ofiyolitli melanj, kireçtaşlarının bulunduğu alt kesimlerde geçirimli, olistostromal ve kaotik yapının hakim olduğu üst kesimlerde pratik olarak geçirimsizdir. Ofiyolit napına ait kayaçlar yalnızca yüzeye yakın kesimlerde çatlaklar boyunca az miktarda yeraltısuyu taşırlar.

Divrikdağı Kireçtaşı ve Zebil Formasyonu içindeki karbonat çimentolu konglomeralarda karstlaşma gelişmiştir. Özellikle, Zebil Formasyonunun Faraşa köyü K'ine doğru yüzeylenen bölümünde yaygın karstik çukurluklara rastlanır. Divrikdağı Kireçtaşı'nın bu bölgede yüzeylenen bölümünde yüzey karst şekilleri yaygın olarak gözlenmemekle birlikte birimin aşırı derecede karstlaşmış olduğu, Yerköprü 1 ve 2 traverten alanlarında yer alan yüksek debili karst kaynaklarının varlığından anlaşılmaktadır.

Öte yandan, söz konusu traverten alanlarındaki kaynakların Faraşa köyü yakınlarında Zamantı Nehri ile doğrudan temasta olan Divrikdağı Kireçtaşı yerine, bu birimin üzerinde uyumsuz olarak bulunan ofiyolitli melanjin alt kesimine ait kireçtaşlarından boşalması ilgi çekici bir durumdur. Bu durum karst akiferindeki yeraltısuyu akımının kireçtaşı içinde yaygın olarak değil, kırıklar boyunca gelişen erime ile fiziksel ve kimyasal genişletilmiş kanallar boyunca geliştiğini göstermektedir. Bununla birlikte, ofiyolitli melanjin üst kesimlerinin kolayca aşınabilir, yumuşak bir yapıya sahip olmasından dolayı söz konusu kaynaklara yeraltısuyunun ulaşmasını sağlayan kırıkları yüzeyde belirgin biçimde izlemek mümkün olmamaktadır.

4.2.2. Tatlar traverteni

Yerköprü 1 ve 2 travertenlerinin 6km kadar G'inde yer alan Tatlar traverteni dolayındaki jeolojik yapı da yukarıda açıklanana benzer özellikler göstermektedir (Şekil 4.1.). Yalnız, bu alanda Zebil formasyonuna ait çökeller gözlenmez. Tatlar traverteni, Divrikdağı Kireçtaşlarının tektonik pencere biçiminde ofiyolit napı altından yüzeylendiği Divrikdağı antiklinalinin K ucunda yer almaktadır. Traverten alanını besleyen Tatlar karstik kaynağı Divrikdağı Kireçtaşından ofiyolitli melanj ile olan dokanak boyunca boşalmaktadır. Bu alanda da, daha düşük kotlarda, Zamantı Nehri seviyesinde kireçtaşının doğrudan akarsu ile temasta olmasına karşın, yeraltısuyunun bu alandan yüzeylemesi, yeraltısuyu akımının yaygın olarak değil, kırıklar boyunca geliştiğini göstermektedir. Tatlar kaynağını, yüksekliği 2500m'yi aşan Divrikdağı antiklinalinin K ucunda bulunması, ilk bakışta kaynağın büyük oranda bu kütleden beslendiği kanısını yaratmasına karşılık, kaynak suyunun sıcaklık ve iyonik bileşiminin zenginliği beslenimin büyük oranda Aladağlar yükseltisinden sağlandığını göstermektedir.

4.2.3. Yerköprü 3 traverteni

4.2.3.a. Jeoloji:

Yerköprü 3 traverten alanı Yerköprü 2 traverten alanının 35km akışaşağısında, Küp köyünün 1km KD'sunda, Zamantı Irmağının sağ sahili üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.1.). Yerköprü 3 traverten alanının bulunduğu kesimde jeolojik yapı, diğer traverten alanları dolayında gözlenen jeolojik yapıdan farklıdır. Bu alanda ofiyolit napının altından yüzeylenen Divrikdağı Kireçtaşı tabanda, Doğu Toros Otoktonu'na ait Devoniyen yaşlı birimlerle temas halindedir. Bu alanda, ofiyolit napı ile kireçtaşları arasında ofiyolitli melanj yer almamaktadır. Kireçtaşları masif görümlü olup, altta yer alan Üst Devoniyen yaşlı Gümüşali formasyonu üzerinde ekaylı konumdadırlar. Kireçtaşı, kumtaşı, şeyl ardalanmasından yapılmış olan Gümüşali formasyonu bu alanda esas olarak şeyllerden oluşmaktadır. Birim Zamantı Irmağı vadisine dik konumlu küçük çıkımlar halinde traverten alanının akışaşağı bölümünde yer yer yüzeylebilir. Hemen tüm çıkımlarda birim ile üstte yer alan kireçtaşları arasındaki sınır faylıdır. Bölgesel ölçekte, Divrikdağı formasyonu, altta yer alan Gümüşali formasyonu üzerinde ekaylı olarak yer almaktadır.

4.2.3.b. Hidrojeoloji:

Yerköprü 3 traverteninin bulunduğu alanda tek geçirimli birim, Divrikdağı formasyonuna ait karstik kireçtaşlarıdır. Bu alanda yüzeylenen kireçtaşları ile beslenim alanının oluşturan Aladağlar yükseltisi arasında kalan alan ofiyolit napınca tamamen örtülü olup; bölgesel yeraltısuyu akımı ofiyolit napının altından gerçekleşmektedir. Yerköprü 3 travertenini dolayında Divrikdağı formasyonuna ait kireçtaşları Geç Devoniyen yaşlı Gümüşali formasyonu üzerinde naplı, ekaylı olarak yer almaktadır. Gümüşali formasyonu, şeyl aratabakalı kumtaşları ve kireçtaşlarından oluşmakta olup; bu alanda, şeyller hakim litoloji durumundadır. Dolayısıyla, Yerköprü 3 traverten alanını oluşturan karstik kaynakların boşaldığı kireçtaşı akiferi alttan ve üstten geçirimsiz birimlerce sınırlandırılmış durumdadır. Üstte yer alan ofiyolit napının oluşturduğu örtünün aşınma sonucu sıyrılması ve altta yer alan geçirimsiz karakterli Gümüşali formasyonunun yeraltısuyu akımı önünde engel oluşturması nedeniyle bölgesel yeraltısuyunun bu alanda yüzeylenebileceği tek alan Yerköprü 3 kaynaklarının bulunduğu alandır.

Yerköprü 3 traverten alanındaki karstik kaynakların tümü D-B uzanımlı, akarsuya paralel ve kireçtaşı ile traverten sınırı boyunca uzanan bir fay zonundan boşalmaktadır. Bu zon boyunca yer alan kaynakların bir bölümü travertenin üzerinde, diğerleri ise travertenin doğu ve batı ucunda akarsu seviyesinde yada bir kaç metre üzerinde bulunmaktadır. Akarsu seviyesinden boşalan kaynakların bir bölümü ancak akarsuyun yüksek sediman içeriği nedeniyle bulanık aktığı ilkbahar aylarında belirgin biçimde gözlenebilmektedir.

Yerköprü 3 traverten alanındaki kaynakların ortalama toplam boşalımının $4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu miktarın yaklaşık $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bölümü travertenin üzerinde yer alan kaynaklarca sağlanmaktadır.

5. HİDROJEOKİMYA

5.1. Giriş

Araştırma kapsamındaki hidrojeokimyasal çalışmalarda i) traverten oluşturan karstik kaynakların bölgesel yeraltısuyu akımı içindeki konumunun belirlenmesi ve ii) bu kaynaklardan itibaren boşalan suların traverten üzerindeki akışları boyunca geçirdikleri hidrojeokimyasal değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

5.2. Çalışma Yöntemleri

Hidrojeokimyasal çalışmalar sahada yapılan ölçüm ve analizler, örnekleme, laboratuvar analizleri ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesini kapsayacak biçimde yürütülmüştür. Çalışmalar kapsamında traverten oluşturan kaynakların (ve bunlardan itibaren oluşan derelerin) yanısıra, bölgesel yeraltısuyu akım sistemi içinde temsil edici konumda bulunan diğer kaynaklar da incelenmiştir.

Hidrojeokimyasal saha çalışmaları kapsamında incelenen su noktalarının tümünde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik parametreleri yerinde yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Çalışmanın amaçları doğrultusunda büyük öneme sahip olmasından dolayı özellikle pH ölçümlerinin hassas biçimde yapılması için büyük özen gösterilmiş, bu amaçla pH metre kalibrasyonunda incelenen su noktalarının pH değerlerini kapsayacak şekilde pH4, pH7 ve pH10 tamponlar kullanılarak kalibrasyon yapılmıştır.

Yerinde ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassaslıkları Çizelge 5.1.de belirtilmiştir:

Çizelge 5.1.: Yerinde ölçümlerde kullanılan cihazlar ve ölçüm hassaslıkları.

Parametre	Cihaz	Hassaslık
pH	ORION 290A pH metre	+/- 0.001 pH birimi
Sıcaklık	YSI Model 33 SCT metre	+/- 0.1 °C
Elektriksel İletkenlik	YSI Model 33 SCT metre	+/- okunan değer % 5i
Çözünmüş Oksijen	YSI Model 54 DO metre	+/- okunan değer % 2si

Öte yandan, sıcaklık değişimi ve özellikle örnek çözünmüş karbondioksit (CO₂) içeriğinin atmosferik derişimden daha yüksek olmasının bir sonucu olarak hızla değişim göstermesi nedeniyle, incelenen su noktalarında alkalinite değeri yerinde yapılan analizlerle belirlenmiştir (Şekil 5.1.). Yerinde alkalinite analizlerinde Gran potansiyometrik titrasyon yöntemi (Appelo and Postma, 1992; Stumm and Morgan, 1981) uygulanmıştır. Yöntemin

uygulanmasında pH4 ve pH7 tamponla kalibre edilmiş pH metre, manyetik karıştırıcı, 0.01N H_2SO_4 titrant ve otomatik büretten oluşan bir düzenek kullanılmıştır.



Şekil 5.1.: Yerde alkalinite tayini (Yerköprü 2, Ağustos 1994).

Sahadan toplanan örneklerde, örnekleme ile analiz arasında geçen süre içinde özellikle asılı tortul maddelerden dolayı karbonat çökeliiminin engellenmesi amacıyla, Nuçe erleni ve vakum pompasından oluşan bir düzenek ile 0.45 μm 'lik selüloz-asetat filtreden geçirilerek süzölmüştür. Süzölen örnekler 150 ml'lik, çift kapaklı polietilen şişelere aktarılmış ve katyon analizinde kullanılacak örnekler pH<2 olacak şekilde derişik HCl, iz metal analizinde kullanılacak örnekler pH<2 olacak şekilde derişik HNO_3 eklenerek korunmuştur. Anyon örneklerine literatürde önerildiğı üzere herhangi bir koruyucu eklenmemiştir (APHA et al., 1981).

Örneklerin analizinde Standard Methods'da (APHA et al, 1981) önerilen yöntemler uygulanmıştır. Katyon (Ca, Mg, Na, K) ve iz element (Sr, Cu, Cd, Fe, Mn, Zn vb) analizleri Perkin Elmer Model 2280 Atomik Absorbsiyon spektrofotometresinde yapılmıştır. Klorür analizlerinde titrimetrik Arjantometri, Sülfat analizlerinde spektrometrik $BaCl_2$ yöntemi uygulanmıştır. Tüm majör iyon analizleri elektriksel denge açısından kontrol edilmiş, hatalı bulunan analizler anyon-katyon dengesinde $\pm 5\%$ sınırının altına inilene kadar

yenilenmiştir. Toplam çözünmüş katı, CO₂ kısmi basıncı ve mineral doygunluk indeksi değerlerinin belirlenmesi amacıyla analiz sonuçları WATEQ (Trusdell and Jones, 1974) jeokimyasal model programı aracılığıyla değerlendirilmiştir. Ağustos 1994 saha çalışmasında toplanan örneklerde yalnızca Ca, Mg ve alkalinite analizleri yapıldığından bu örneklerin CO₂ kısmi basıncı ve kalsit mineral doygunluk indeksi değerlerinin belirlenmesi amacıyla Appelo and Postma (1992) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir.

5.3. Bölgesel Hidrojeokimyasal Akım Modeli

Aşağı Zamantı Havzasında yer alan bir kısım karstik kaynaklarda traverten çökeliiminin gözlenmesine karşın, diğer kaynaklarda benzer bir çökeliimin neden oluşmadığının belirlenmesi çalışma kapsamında yanıt aranan sorulardan birisidir. Bu amaçla, bölgesel yeraltısuyu akım sisteminin belirli noktalarından boşalan kaynaklar arasında, akım sistemi içinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonların belirlenmesine ve bu yolla traverten oluşturan kaynaklar ile diğer kaynaklara ait suların hidrojeokimyasal evriminde etkili olan süreçlerin ayırtlanmasına çalışılmıştır.

5.3.1. Temsil edici su noktalarının belirlenmesi

Çalışma alanı içinde yer alan kaynakların tümü Aladağlar yükseltisinden beslenmektedir. Bu alanda, yağıştan itibaren yeraltına sızan suların ilksel kimyasal kompozisyonun her yerde aynı olacağı varsayılarak, kaynak sularının bölgesel akım sistemi içindeki konumlarının (birbirlerine göre öncelik sıralarının) belirlenmesi amacıyla Toplam Çözünmüş Katı (TDS) değerleri kullanılmıştır. TDS değerleri dikkate alındığında beslenme alanından itibaren bölgesel yeraltısuyu akımını terk eden karstik kaynaklar sırasıyla Ulupınar, Kapuzbaşı, Tatlar, Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 kaynakları olarak belirlenmiştir. TDS değerlerinden belirlenen bu sıralama kaynakların beslenme alanına (Aladağlar yükseltisine) olan coğrafi uzaklıkları ile de uyum göstermektedir.

5.3.2. Temsil edici veriler

Hidrojeokimyasal bölgesel akım modeli hesaplamalarında kullanılmak üzere yukarıda sözü edilen su noktalarına ait uzun dönemde elde edilen ortalama fiziksel ve kimyasal parametre değerleri Çizel 5.2.de verilmiştir. Çizelge 5.2.'de belirtilen kalsit, dolomit ve jips doygunluk

indisi değerleri ile TDS değerleri ilgili su noktalarına ait majör iyon içerikleri ve diğer fiziksel, kimyasal parametreler kullanılarak NETPATH (Plummer et al., 1991) programı aracılığıyla hesaplanmıştır. Çizelgede ayrıca, beslenme alanındaki yağış suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bir fikir vermesi amacıyla, beslenme alanı içinde, Hacer Boğazının st kesiminde yer alan ve kar erimesinden beslenen Soğukpınar kaynağına ait değerlerde verilmiştir. Bununla birlikte, model hesaplamalarında bu değer kullanılmamış, yağış suyunun saf su kompozisyonunda olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 5.2.: Bölgesel hidrojeokimyasal akım modeli hesaplamalarında kullanılan veriler.

	pH	TEMP °C	EC μS/cm	DO mg/l	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	TDS mg/l	SICc	SIDo	SIGy
1 Soğukpınar (Yağış)	6.580	4.3	12.2	14.1	0.045	0.074	0.019	0.005	0.160	0.029	0.042	12.1	-4.651	-9.308	-4.917
2 Ulupınar	7.360	8.5	85.0	13.1	0.207	0.071	0.035	0.028	0.060	0.010	0.665	143.5	-1.681	-3.952	-4.197
3 Kapuzbaşı	7.490	9.0	90.0	9.5	0.649	0.165	0.152	0.179	0.050	0.041	1.736	150.9	-0.683	-2.076	-3.189
4 Tadar	7.778	13.5	233.0	8.4	1.575	0.367	0.303	0.145	0.450	0.198	3.768	345.2	+0.292	-0.079	-2.266
5 Yerköprü-1	7.549	13.8	320.0	8.5	2.078	0.511	0.749	0.257	1.000	0.369	4.800	479.1	+0.290	-0.054	-1.938
6 Yerköprü-2	7.594	13.6	335.0	8.0	2.133	0.527	0.570	0.247	0.740	0.337	4.959	481.3	+0.358	+0.080	-1.966
7 Yerköprü-3	7.670	15.0	455.0	7.4	2.838	0.416	1.109	0.060	1.320	0.489	5.370	573.1	+0.588	+0.338	-1.730

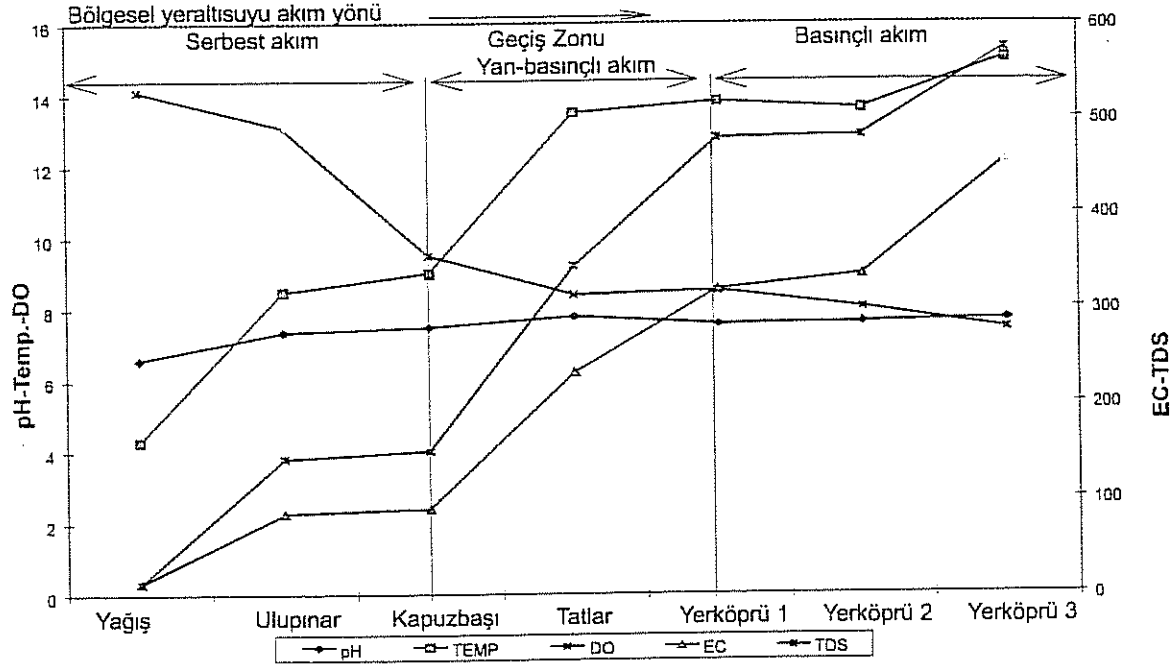
Not: Derişimler mmol/l birimindedir. SI: Doygunluk Indisi = log (iyon aktivite çarpımı/çözünürlük arpımı); Cc: Kalsit, Do: Dolomit, Gy: Jips.

5.3.3. Fiziksel ve kimyasal parametrelerin bölgesel akım yolu boyunca değişimi

Fiziksel ve kimyasal parametrelerin (sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik ve ayrıca kimyasal analiz sonuçlarından belirlenen toplam çözünmüş katı-TDS) bölgesel akım yolu boyunca değişimi şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Parametrelerinin akım yolu boyunca değişiminden, üç ayrı bölgede farklılıkların oluştuğu gözlenmektedir. Bu bölgelerde yer alan kaynakların hidrojeolojik yapı içindeki konumları dikkate alındığında ilk bölgede serbest, üçüncü bölgede basınçlı akım koşullarının etkili olduğu; bu bölgeler arasında yer alan ikinci bölgede ise serbest ve basınçlı akım sistemleri arasında bir geçiş bölgesi oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Söz konusu bölgelerden ilki yağış suyu ile Kapuzbaşı kaynağı arasındaki akım alanında yer almakta olup; bu alanın yağış suyu ile Ulupınar kaynağı arasında yer alan başlangıç bölümünde yağıştan itibaren akifere giren suyun ilk aşamada nasıl etkilendiği açıkça gözlenmektedir. Bu alanda çözünmüş oksijen (DO) dışında kalan tüm parametrelerin değerlerinde ani bir artış gözlenmektedir. Buna karşın, DO değerinde gözlenen hafif azalma

ilksel çözünmüş oksijenin bir kısmının (olasılıkla) CO_2 oluşumuyla sonuçlanan organik bileşiklerin oksitlenmesi reaksiyonlarında kullanıldığına işaret etmektedir. TDS değerinde gözlenen artış ise, bölgesel akım sisteminin beslenme alanına çok yakın kesimlerinde bile çözünme reaksiyonlarının önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.2.: Bölgesel akım yolu boyunca bazı fiziksel ve kimyasal parametrelerin değişimi (Bayarı and Kurttaş'tan (1995)).

Şekil 5.2.'de belirlenen birinci değişim bölgesinin Ulupınar ve Kapuzbaşı kaynakları arasında kalan bölümünde ise DO dışında kalan parametrelerin değerlerinde hafif bir artışın olduğu, buna karşın akiferden çözünme yoluyla önemli düzeyde bir kütle transferinin olmadığına işaret etmektedir. İncelenen parametreler açısından bu alanda gözlenen en önemli değişiklik DO değerinde gözlenen ani düşüştür. Bu durum akım sisteminin söz konusu kaynaklar arasında kalan ve sığ dolaşımın etkili olduğu bu bölümünde oksijen kullanımına yönelik reaksiyonların (büyük olasılıkla organik madde oksidasyonu yoluyla CO_2 üretiminin) oldukça yoğun biçimde gerçekleştiğine işaret etmektedir.

Bölgesel akım sisteminin Kapuzbaşı ve Yerköprü 1 kaynakları arasında kalan ikinci bölümünde DO dışındaki tüm parametrelerin değerlerinde önemli (ve yaklaşık doğrusal) bir artış olduğu gözlenmektedir. Bu alanın Kapuzbaşı ve Tatlar kaynakları arasında ilk bölümünde sıcaklıkta gözlenen dikkate değer artış, yeraltısuyu akımının akiferin derinliklerine yönelerek ısındığını göstermektedir. TDS ve EC değerlerinde gözlenen benzer artıştan bölgesel akım sisteminin bu kesiminde yeraltısuyunun akiferden önemli miktarda

kütle transfer ettiğini göstermektedir. Öte yandan, yine bu kesimde DO değerinin bölgesel akım sisteminin akış yukarı bölümünde olduğu gibi dikkate değer oranda azalması organik madde oksidasyonu yoluyla CO₂ üretiminin devam ettiğini göstermektedir.

Yukarıda belirtilen reaksiyonlar bölgesel akım sisteminin Tatlar ve Yerköprü 1 kaynakları arasında kalan bölümünde de benzer biçimde devam etmektedir. Bununla birlikte, bu alanda sıcaklıktaki artış hızı ve DO kullanımı azalmaktadır.

Basıncılı yeraltısuyu akımının etkili olduğu, Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 kaynaklarınca temsil edilen bölgesel yeraltısuyu akımının üçüncü bölümü yukarıda sözü edilen ilk iki bölüme oranla bağıl olarak daha duraylı bir görünüme sahiptir. Bu alanda, özellikle Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 kaynakları arasında önemli bir değişim gözlenmemektedir. Bu durum olasılıkla, söz konusu kaynakların yeraltısuyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından önemli bir değişime uğramasına fırsat vermeyecek kadar birbirlerine yakın olmalarından kaynaklanmaktadır. Öte yandan, Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 kaynaklarına göre bölgesel akım yolunun daha akım aşağı kesiminde yer alan Yerköprü 3 kaynağında sıcaklık, EC (electrical conductivity= elektriksel iletkenlik) ve TDS değerlerinde dikkate değer artışların olduğu gözlenmektedir.

Yerköprü kaynaklarının boşaldığı bölgesel akım sisteminin üçüncü bölümünün önemli bir özelliği bu kesimde DO değerindeki azalmanın bağıl olarak yavaşlamış olmasıdır. Bu durum olasılıkla oksitlenebilecek organik bileşiklerin büyük bölümünün akım yolunun daha akış yukarı kesimlerinde tüketilmesinden kaynaklanmaktadır.

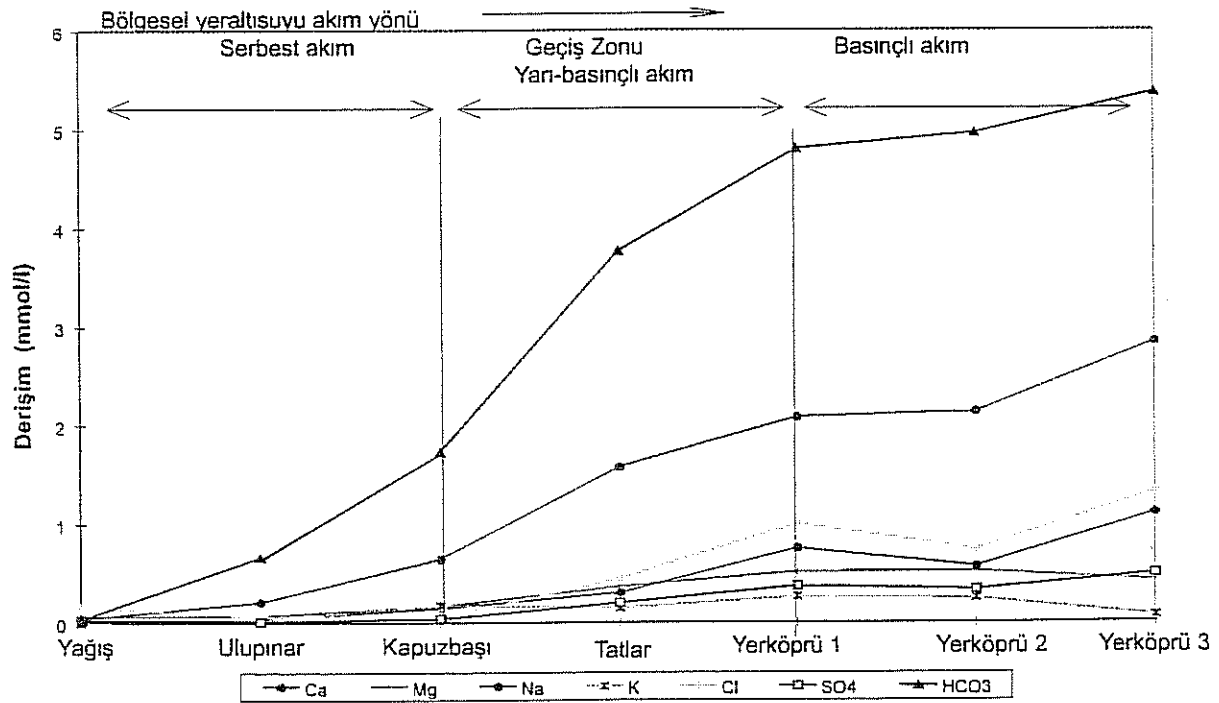
Fiziksel ve kimyasal parametrelerin bölgesel akım yolu boyunca gösterdikleri değişimlerden elde edilen önemli bir sonuç, akım yolunun uzunluğu (ve dolayısıyla geçiş zamanı-transit time) ile TDS içeriği arasında belirgin, pozitif bir korelasyonun varlığıdır. Diğer bir deyişle, yeraltısuyu akifer içinde akışına devam ettiği sürece akiferden sürekli olarak mineral çözmektedir. Bu durum, karst yeraltısuyunun evrimine ilişkin değerlendirmelerde denge reaksiyonlarının (equilibrium reactions) yanısıra reaksiyon kinetiğinin de (reaction kinetics) dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Öte yandan, TDS içeriğindeki artış ile DO içeriğindeki azalma arasında görülen yüksek negatif korelasyon, yeraltısuyunun akiferden mineral çözmesindeki başlıca yönlendirici faktörlerden birisinin organik madde oksidasyonu yoluyla CO₂ üretimi olduğunu göstermektedir. Bu durum, beklenen bir özellik olmakla birlikte, söz konusu oksidasyon reaksiyonunun akiferin hidrolik özelliklerine bağlı olması dikkate çekicidir. Oksidasyon

yoluyla CO₂ üretiminin en yüksek olduğu kesim akiferin serbest olduğu beslenme alanıdır. Akım sisteminde serbest akifer koşullarından basınçlı akifer koşullarına geçildikçe söz konusu oksidasyon reaksiyonlarının hızı azalmaktadır.

5.3.4. İyonik kompozisyonun bölgesel akım yolu boyunca değişimi

Beklendiği gibi karstik kaynakların iyonik kompozisyonu bölgesel akım yolu boyunca sürekli bir artış göstermektedir (Şekil 5.3.). Söz konusu artış özellikle bölgesel akım sistemi boyunca serbest ve yarı-basınçlı akım koşullarının etkili olduğu birinci ve ikinci bölgelerinde belirgindir. Basınçlı akım koşullarının etkili olduğu, yeraltı suyu boşalımının Yerköprü kaynaklarıncı temsil edildiği üçüncü bölgede iyonik kompozisyonda bazı salınımlar gözlenmektedir. Bölgesel akım yolu üzerinde Yerköprü 1 kaynağından sonra yer almasına karşın Yerköprü 2 kaynağının Na ve Cl değerlerinde gözlenen bu azalma killele temas sonucu gerçekleşmesi olası olan iyon değişim (ion exchange) reaksiyonları ile açıklanabilir.



Şekil 5.3.: Bölgesel akım yolu boyunca iyonik kompozisyonun değişimi (Bayarı and Kurttaş'tan (1995)).

Akım sisteminin basınçlı bölümünde ortaya çıkan bir diğer dikkat çekici durum serbest akifer koşullarının etkili olduğu başlangıç kesimine oranla bu alanda Mg içeriğinin Na ve Cl içeriğinden daha az olmasıdır. Bu durum, akım sisteminin ileri bölgelerinde akifer malzemesinde bulunan evaporitik minerallerin çözünmesine yada formasyon suyunda

bulunan Na ve Cl iyonlarının yeraltısuyuna geçmesi ile açıklanabilir. Evaporitik minerallerin ve/veya formasyon suyunun akiferlerin yüzeye yakın bölümlerinde yeraltına sızan sularca zamanla yıkanması (flushing) karşın; derin bölümlerde söz konusu yıkanma işlemi daha uzun sürebilmektedir.

Bölgesel akım sisteminin basınçlı bölümüne ilişkin bir diğer gözlem de K içeriğinin Yerköprü 3 kaynağında bariz biçimde azalmasıdır. Bu durum olasılıkla iyon değişim reaksiyonlarının bir sonucudur.

İyonik kompozisyonun bölgesel akım sistemi boyunca değişiminden elde edilen bir diğer sonuç ise, özellikle Ca ve Alkalinite derişimlerinin en büyük artışı serbest ve basınçlı akifer koşulları arasında geçiş bölgesi oluşturan Kapuzbaşı ve Yerköprü 1 kaynakları arasında göstermesidir. Bu durum, daha önce incelenen fiziksel ve kimyasal parametrelerin bölgesel akım yolu üzerindeki değişimleri ile uyumluluk göstermektedir.

5.3.5. Olası kütle transfer reaksiyonları

5.3.5.a. kalsit, dolomit ve jips doygunluk indislerinin akım yolu boyunca değişimi:

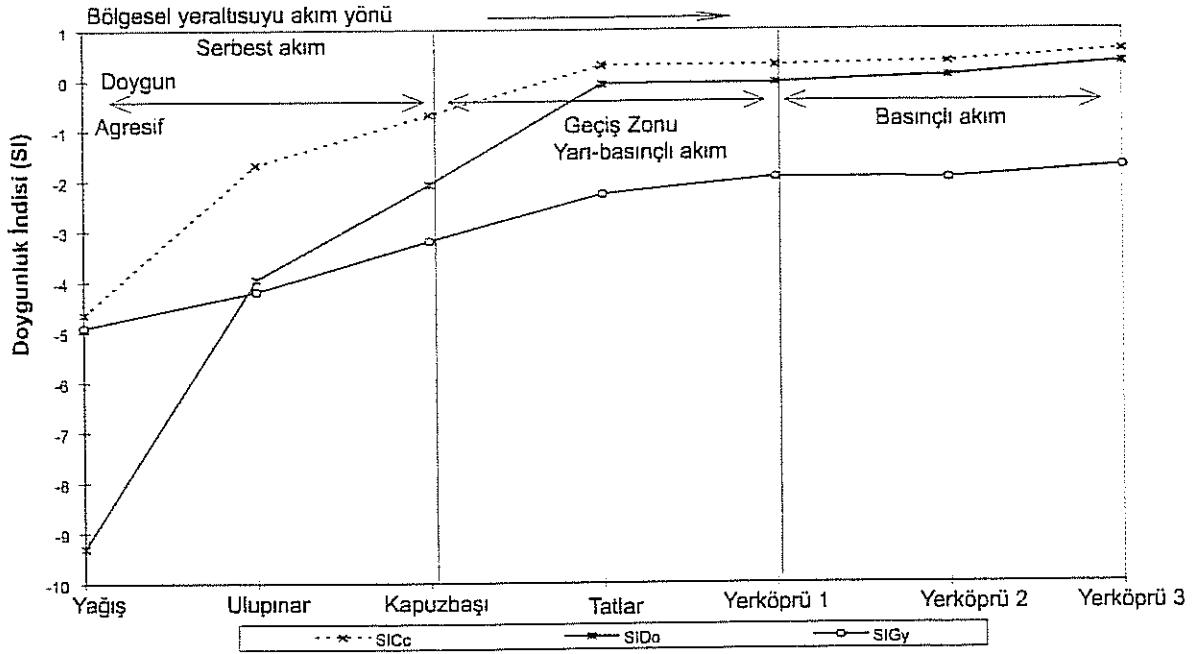
Yukarıdaki bölümlerde yapılan değerlendirmelerden, Aladağ karst akiferi içinde bölgesel akım yolu boyunca iyonik kompozisyonun sistematik bir artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Akiferden yeraltısuyuna sürekli bir kütle transferinin olduğunu gösteren bu durumun ayrıntılı bir değerlendirmesi aşağıda verilmiştir:

Günümüze değin yapılan araştırmalar kireçtaşları ve dolotaşlarından oluşan karst akiferlerinde yeraltısuyuna kütle transferi açısından önem taşıyan mineral türlerinin başlıca kalsit, dolomit ve jips olduğunu göstermiştir. Kalsit ve dolomit mineralleri söz konusu kayaçların ana bileşenleri olup; jips ise, sığ denizel ortamda oluşan karbonatlı kayaçlarda söz konusu minerallerle birlikte (daha az miktarlarda da olsa) birlikte çökelebilmektedir (co-precipitation).

Bölgesel akım yolu boyunca ele alınan su noktalarının söz konusu minerallere göre doygunluk indislerinin değişiminin gösterildiği Şekil 5.4.'ten de görüldüğü gibi her üç minerale ait doygunluk indisleri akım yolu boyunca artış göstermektedir. İncelenen minerallerden jips doygunluk indisi akım yolu boyunca düzenli bir artış göstermesine karşın pozitif değerlere ulaşamamaktadır. Bu durum, özellikle, jipsin yüksek çözünürlüğe sahip bir mineral olduğu dikkate alınırca, akım sistemi içinde yüksek miktarlarda jipsin bulunmayışının

bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Gerçekte de, günümüze değin yapılan gözlemler, karbonat akiferlerinde bu mineralin iz miktarlarda bulunduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, inceleme alanında ortaya çıkan durum günümüze değin yürütülen çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir.

Öte yandan, kalsit ve dolomit doygunluk indisleri akım yolunun başlangıç kısmında (yağış suyu ile Tatlar kaynağı arasında) negatif değerlere sahip olmasına karşın akım yolunun ilerleyen bölümlerinde yeraltısuyu her iki minerale göre doygun duruma geçmektedir.



Şekil 5.4.: Bölgesel akım yolu boyunca kalsit, dolomit ve jips mineral doygunluk indis değerlerinin değişimi (Bayarı and Kurttaş'tan (1995)).

5.3.5.b. kütle transferi (mass transfer) hesaplamaları:

Yukarıdaki bölümde de belirtildiği gibi yeraltısuyu Aladağ karst akiferi içindeki bölgesel akışı sırasında akifer malzemesinden kalsit, dolomit ve jips minerallerini çözerek bünyesine almaktadır. Söz konusu çözünme miktarlarının bölgesel akım sisteminin belirli kesitlerinde ne oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için, akiferin serbest, yarı-basınçlı ve basınçlı bölümlerinde gerçekleşen kütle transferi miktarları kalsit, dolomit ve jips mineralleri için hesaplanmıştır (Çizelge 5.3.).

Çizelge 5.3.: Kütle transferi hesaplama sonuçları.

Tür/Süreç	Akiferden kazanılan kütle		
	Yağış-Kapuzbaşı	Kapuzbaşı-Tatlar	Tatlar-Yerköprü I
Ca	0.649	0.926	0.503
Mg	0.165	0.202	0.144
SO ₄	0.041	0.157	0.171
HCO ₃	1.736	2.023	1.032
Jips çözünmesi	0.041	0.157	0.171
Dolomit çözünmesi	0.165	0.202	0.144
Kalsit çözünmesi	0.433	0.567	0.188
H ₂ CO ₃ ayrışması	0.773	0.971	0.476
Hesaplanan HCO ₃	1.546	1.942	0.952
Gözlenen HCO ₃	1.736	2.032	1.032
Fark	0.190	0.090	0.080

Note: Derişimler mmol/l birimindedir. Fark= Gözlenen HCO₃ - Hesaplanan HCO₃.
H₂CO₃* çözünmüş karbondioksit ve karbonik asidi temsil eder.

Kütle transferi hesaplamalarında aşağıda belirtilen varsayımlar esas alınmıştır:

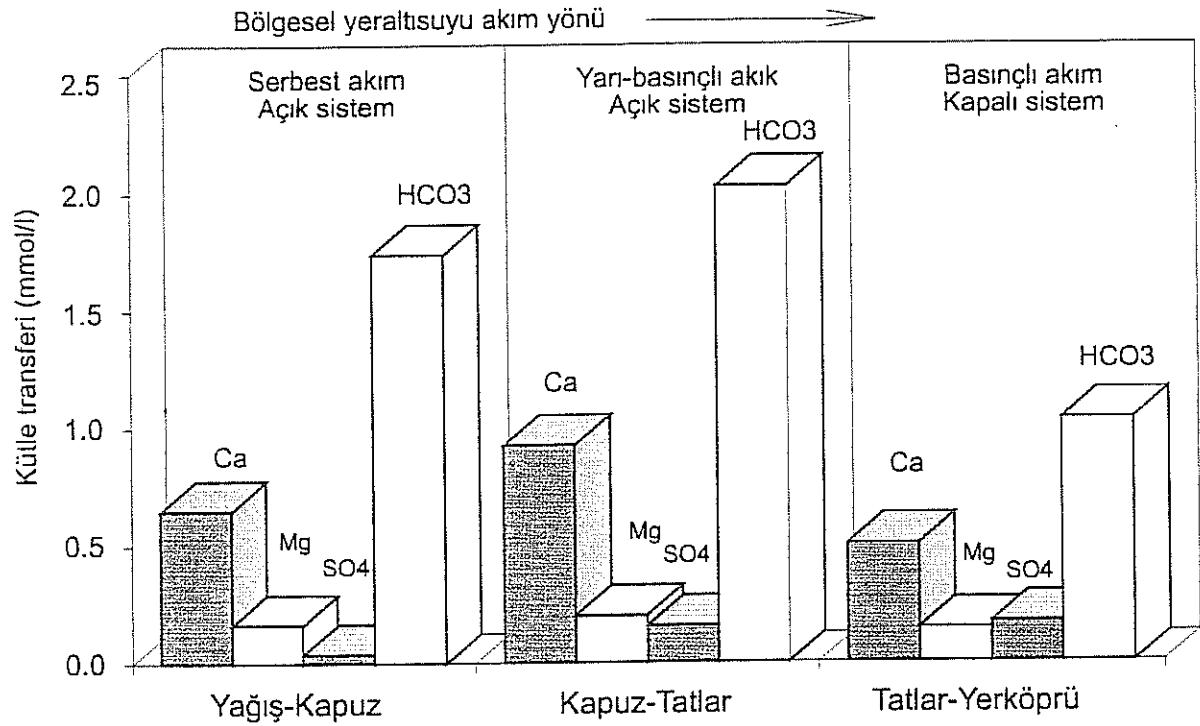
- * Suda bulunan SO₄ iyonlarının jips çözünmesinden kaynaklandığı, pirit (FeS₂) oksidasyonu yada benzeri yollarla ile yeraltısuyuna SO₄ girişi olmadığı varsayılmıştır,
- * Dolomit mineralinde stokiyometrik Ca/Mg oranının 1 olduğu varsayılmıştır,
- * Yağış suyunun saf su olduğu varsayılmıştır.

Hesaplamalarda Appelo and Postma (1992) ve Plummer and Back (1980) tarafından uygulanan yaklaşımlar uygulanmıştır. Hesaplamalarda, öncelikle suda bulunan SO₄ iyonlarının kaynağı olarak çözünen jips miktarı belirlenmiş, daha sonra sırasıyla dolomit ve kalsit çözünme miktarları suda bulunan Mg ve Ca iyon derişimleri üzerinden hesaplanmıştır. Bölgesel akım yolunun serbest, yarı-basınçlı ve basınçlı kesimleri için yapılan tüm hesaplamalarda Hesaplanan HCO₃ miktarı ile Gözlenen HCO₃ arasındaki fark oldukça küçük olup; bu durum uygulanan hesaplama yaklaşımının ve varsayımların geçerliliğinin bir kanıtı olarak kabul edilmiştir.

Kütle transferi hesaplamalarında Na, K ve Cl iyonları bu iyonların kaynakları (source) hakkında yeterli ve güvenilir bilgilerin mevcut olmaması ve farklı kaynakların dikkate alınması durumunda hesaplamalarda ortaya çıkacak yorumlama güçlükleri nedeniyle dikkate alınmamıştır.

Kütle transferi hesaplamalarının ilk basamağında her bir bölgedeki uç su noktaları (end members) arasındaki Ca, Mg, SO₄ ve HCO₃ iyon farkları (örğ: yağış suyu ve Kapuzbaşı

kaynak suyu arasındaki farklar) hesaplanmıştır (Şekil 5.5.). Bu hesaplamalardan, SO_4 iyonunun akım yolu boyunca sürekli arttığı, buna karşın diğer iyonların derişimlerin serbest ve yarı basınçlı kesimlerde artmasına karşın, basınçlı kesimde azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.5.: Bölgesel akım yolu boyunca kütle transferi (Bayarı and Kurttaş'tan (1995)).

Yeraltısuyunun beslenme alanından itibaren bölgesel erozyon tabanında yeralan Yerköprü kaynaklarına kadar olan hareketi sırasında akiferden çözdüğü kalsit, dolomit ve jips miktarının serbest, yarı basınçlı ve basınçlı bölgelerdeki değişimi Şekil 5.4.'te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi akım yolunun serbest ve yarı basınçlı karakterde olduğu başlangıç ve orta kesimlerinde tüm minerallerin çözünme miktarı doğrusal bir artış göstermekte; basınçlı bölümde ise jips çözünme miktarındaki artış devam ederken, kalsit ve dolomit çözünme miktarları azalmaktadır. Kalsit ve dolomit çözünmesinde, akiferin basınçlı bölümünde ortaya çıkan bu azalma çözünme için gerekli CO_2 miktarındaki azalmadan dolayı ortaya çıkmaktadır. Bölüm 5.3.3.te de belirtildiği gibi akiferin bu bölümünde DO miktarındaki azalma daha önceki bölümlere göre daha azdır. Dolayısıyla DO tüketimindeki azalmanın oksitlenebilecek organik madde miktarındaki azalmadan kaynaklandığı varsayıldığında, sistemin bu bölümünde karbonat çözünmesini aynı hızda devam ettirecek düzeyde yeterli CO_2 üretiminin olmadığı anlaşılmaktadır. Öte yandan, jips çözünmesinde benzer bir durumun ortaya çıkmayışının başlıca nedeni, söz konusu mineralin çözünmesinin sudaki CO_2 miktarı

ile bir ilgisinin olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, yeraltı suyu sistemi jips mineraline karşı doymuş hale gelmediğinden çözünme akiferin daha önceki bölümlerinde gerçekleşen hızda devam etmektedir.

5.4. Traverten Kaynaklarının Hidrojeokimyası

Traverten kaynaklarında oluşan hidrojeokimyasal değişimlerin incelenmesi amacıyla Mayıs 1993, Eylül 1993 ve Ağustos 1994 aylarında üç ayrı saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sırasında traverten oluşturan kaynaklar ile bu kaynaklardan itibaren akışa geçen suyun oluşturduğu dere yatakları boyunca sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmış, kimyasal analiz amaçlı örnekler alınmıştır. Sıcaklık değişimi ve atmosfere CO₂ kaçıışı nedeniyle hızla değişim göstermesi nedeniyle örneklerin alkalinitesi sahada, Gran potansiyometrik yöntemi uygulanarak belirlenmiştir. Mayıs 1993 ve Eylül 1993 saha çalışmalarında alınan su örneklerinde tüm majör iyon içerikleri belirlenmiş, buna karşın Ağustos 1994 saha çalışmasında alınan örneklerde yalnızca Ca ve Mg analizleri yaptırılmıştır.

5.4.1. Yerköprü 1 traverten

5.4.1.a. örnekleme-ölçüm kesitleri:

Yerköprü 1 traverten alanında yürütülen hidrojeokimyasal çalışmalarda ölçüm ve örnekleme seçilen 4 ayrı kesitte yürütülmüştür. İncelenen su noktalarının traverten alanındaki konumları Şekil 4.2.'de gösterilmiş olup; bunların özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

A noktası:

A noktası Yerköprü 1 traverten alanında sol sahilde, tüm kaynaklar içinde en üst kotta yer alan karstik boşalımdır.

B noktası:

Kaynaktan hemen sonra oluşan derecik yaklaşık 45° eğimli bir yüzey üzerinden çağlayan oluşturarak akmakta ve 15m kadar aşağıda bağıl olarak yatay konuma sahip olan yatağa ulaşmaktadır. B noktası olarak çağlayanın bitip, yatay konumlu yatağın başladığı nokta seçilmiştir.

C ve D noktaları:

B noktasından sonra akışa devam eden suyun önemli bir bölümü aynı doğrultuda 10m'lik bir yatak boyunca akışa devam etmekte ve bir şelaleden akarsuya dökülmektedir. B noktasından şelaleye uzanan yatağın yaklaşık 3. metresinden itibaren sol ve sağ sahile iki küçük kol ayrılmaktadır. Bu kollar, yöre halkınca traverten alanı üzerindeki ekili alanların sulanması amacıyla yapay olarak açılmış yataklar olup; sol sahildeki kol yaklaşık 10 l/s, sağ sahildeki kol 2 l/s kadar su taşımaktadır. C noktası sol kol üzerinde, kolun travertenini terk ettiği şelalenin 5m kadar berisinde seçilmiştir. D noktası ise sağ kol üzerinde, bu kolun oluşturduğu şelalenin altında seçilmiştir.

5.4.1.b. Eylül 1993 saha çalışması:

Eylül 1993 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında A, B, C ve D noktalarında 4'er saat ara ile (saat 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 ve 24:00) 48 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada üretilen veriler Çizelge 5.4.'te verilmiştir.

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin yer ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.6.'da gösterilmiştir.

Kaynak suyunun sıcaklık değeri zaman içinde sabit olup, 14.0°C'dir. Buna karşın B, C ve D noktalarındaki sıcaklık, gün boyu hava sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak salınım göstermekte; güneşlenmenin yüksek olduğu öğle saatlerinde en yüksek, hava sıcaklığının düşük olduğu gece yarısı ise en düşük değerleri almaktadır. Akım yolu boyunca en yüksek sıcaklık değerleri kaynağa göre en uzak konumda yer alan D noktasında gözlenmektedir.

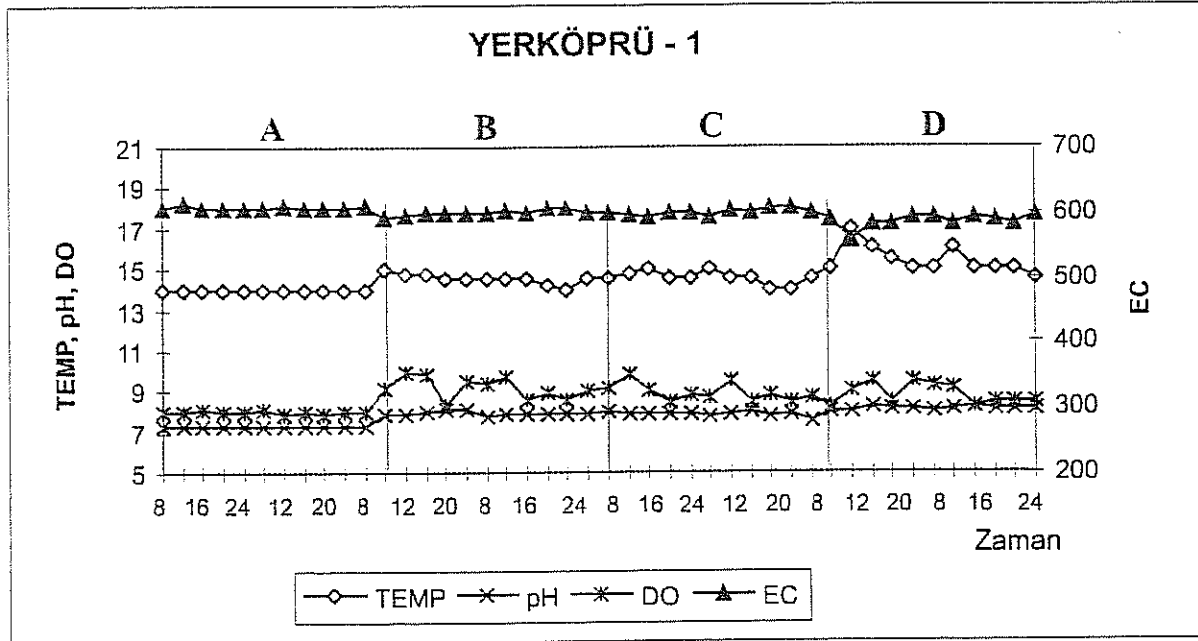
Kaynak suyunun elektriksel iletkenliği, iyon içeriğinde ve sıcaklığında önemli bir değişim olmamasının bir sonucu olarak, önemli bir değişim göstermemektedir. Gözlenen salınımlar, ölçümler sırasında elektrod sıcaklığının su sıcaklığı ile dengeye gelmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Buna karşın, EC değeri akım yolu boyunca azalmakta, en büyük azalma D noktasında gözlenmektedir. EC değerinin akım yolu boyunca değişimi kalsit çökelişi sonucu iyon derişimini azalmasının bir sonucudur.

Çizelge 5.4.: Yerköprü 1 travertenini Eylül 1993 saha çalışması verileri.

(TEMP: sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, $\mu\text{S}/\text{cm}$; DO: çözünmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 : meq/l; L-PCO2: log karbondioksit basıncı, atm; SICa: kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO2 Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO_3/l)

Y1-A	SAAT	TEMP	EC	pH	DO	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	PCO2	SICa	CO2 Top	
1	1	8	14.0	608	7.354	8.0	4.708	1.117	0.630	0.128	0.850	0.749	5.089	-1.940	0.160	5.61E-03
2	2	12	14.0	614	7.357	8.0	4.740	1.127	0.648	0.153	0.850	0.730	5.130	-1.947	0.195	5.65E-03
3	3	16	14.0	608	7.358	8.1	4.684	1.121	0.620	0.128	0.850	0.716	5.050	-1.954	0.215	5.56E-03
4	4	20	14.0	608	7.356	8.0	4.741	1.121	0.623	0.128	0.838	0.722	5.100	-1.950	0.154	5.61E-03
5	5	24	14.0	608	7.353	8.0	4.741	1.123	0.642	0.128	0.850	0.760	5.128	-1.937	0.274	5.66E-03
6	6	8	14.0	608	7.353	8.1	4.684	1.111	0.631	0.153	0.868	0.703	5.032	-1.945	0.283	5.55E-03
7	7	12	14.0	611	7.351	7.9	4.716	1.123	0.614	0.128	0.850	0.734	5.060	-1.943	0.218	5.58E-03
8	8	16	14.0	608	7.357	8.0	4.677	1.126	0.638	0.153	0.830	0.718	5.080	-1.951	0.177	5.59E-03
9	9	20	14.0	608	7.358	7.9	4.731	1.114	0.623	0.128	0.850	0.734	5.050	-1.954	0.208	5.56E-03
10	10	24	14.0	608	7.353	8.0	4.691	1.128	0.652	0.128	0.866	0.715	5.055	-1.943	0.285	5.58E-03
11	11	8	14.0	610	7.355	8.0	4.741	1.110	0.649	0.153	0.835	0.734	5.100	-1.950	0.253	5.61E-03
Y1-B																
12	1	8	15.0	593	7.830	9.2	4.552	1.107	0.631	0.128	0.835	0.703	4.930	-2.830	1.016	4.90E-03
13	2	12	14.8	596	7.830	9.9	4.606	1.107	0.652	0.128	0.850	0.734	5.060	-2.704	0.969	5.05E-03
14	3	16	14.8	599	8.010	9.8	4.591	1.119	0.622	0.128	0.823	0.734	4.888	-2.723	0.945	4.88E-03
15	4	20	14.5	600	8.070	8.3	4.641	1.105	0.631	0.128	0.818	0.757	5.006	-2.692	0.899	5.02E-03
16	5	24	14.5	600	8.110	9.5	4.591	1.117	0.643	0.102	0.860	0.716	4.868	-2.753	0.939	4.86E-03
17	6	8	14.5	600	7.790	9.4	4.560	1.097	0.632	0.128	0.850	0.757	4.909	-2.870	1.063	4.86E-03
18	7	12	14.5	604	7.920	9.7	4.591	1.120	0.627	0.128	0.825	0.743	5.043	-2.812	1.092	4.99E-03
19	8	16	14.5	600	7.830	8.6	4.540	1.104	0.638	0.153	0.850	0.728	4.949	-2.770	1.026	4.92E-03
20	9	20	14.2	605	7.830	8.9	4.620	1.098	0.630	0.128	0.872	0.753	4.911	-2.701	0.925	4.92E-03
21	10	24	14.0	608	7.880	8.6	4.560	1.102	0.652	0.102	0.825	0.731	4.918	-2.714	0.921	4.92E-03
22	11	8	14.5	600	7.830	9.0	4.568	1.103	0.635	0.153	0.864	0.700	4.980	-2.815	1.054	4.94E-03
Y1-C																
23	1	8	14.5	600	8.020	9.2	4.240	1.098	0.615	0.102	0.850	0.726	4.519	-2.900	0.976	4.48E-03
24	2	12	14.8	596	7.840	9.8	4.256	1.092	0.652	0.128	0.840	0.758	4.485	-2.856	0.990	4.45E-03
25	3	16	15.0	593	7.900	9.0	4.240	1.090	0.620	0.128	0.850	0.749	4.527	-2.825	0.953	4.50E-03
26	4	20	14.5	600	7.910	8.4	4.291	1.103	0.629	0.128	0.866	0.734	4.591	-2.788	0.896	4.59E-03
27	5	24	14.5	600	7.850	8.8	4.232	1.101	0.652	0.128	0.835	0.716	4.634	-2.824	0.935	4.62E-03
28	6	8	15.0	593	7.750	8.7	4.225	1.090	0.634	0.128	0.823	0.750	4.513	-2.955	1.054	4.45E-03
29	7	12	14.5	603	7.930	9.5	4.248	1.108	0.621	0.128	0.850	0.749	4.580	-2.902	1.077	4.51E-03
30	8	16	14.5	600	7.950	8.5	4.192	1.092	0.652	0.128	0.823	0.742	4.574	-2.844	1.001	4.53E-03
31	9	20	14.0	608	7.810	8.8	4.242	1.097	0.629	0.153	0.850	0.722	4.500	-2.812	0.918	4.49E-03
32	10	24	14.0	608	7.930	8.4	4.201	1.092	0.652	0.102	0.848	0.726	4.499	-2.823	0.921	4.48E-03
33	11	8	14.5	600	7.530	8.7	4.256	1.088	0.652	0.128	0.835	0.769	4.626	-2.895	1.049	4.57E-03
Y1-D																
34	1	8	15.0	587	8.040	8.2	3.780	1.100	0.643	0.102	0.850	0.738	4.160	-2.718	0.695	4.20E-03
35	2	12	17.0	555	8.040	9.0	3.788	1.091	0.630	0.128	0.850	0.749	4.150	-2.709	0.723	4.18E-03
36	3	16	16.0	580	8.180	9.5	3.827	1.091	0.634	0.128	0.831	0.723	4.200	-2.853	0.852	4.19E-03
37	4	20	15.5	580	8.150	8.5	3.780	1.095	0.617	0.102	0.850	0.757	4.130	-2.831	0.805	4.13E-03
38	5	24	15.0	593	8.090	9.5	3.743	1.102	0.640	0.102	0.833	0.730	4.100	-2.775	0.734	4.12E-03
39	6	8	15.0	593	8.050	9.3	3.812	1.097	0.652	0.128	0.850	0.738	4.200	-2.724	0.712	4.23E-03
40	7	12	16.0	581	8.150	9.1	3.796	1.108	0.632	0.128	0.864	0.730	4.120	-2.830	0.812	4.12E-03
41	8	16	15.0	593	8.180	8.2	3.842	1.092	0.625	0.128	0.850	0.738	4.150	-2.863	0.835	4.14E-03
42	9	20	15.0	587	8.120	8.4	3.743	1.096	0.634	0.128	0.850	0.747	4.090	-2.807	0.761	4.10E-03
43	10	24	15.0	581	8.140	8.5	3.842	1.094	0.634	0.102	0.827	0.716	4.180	-2.819	0.800	4.19E-03
44	11	8	14.5	594	8.060	8.5	3.749	1.100	0.652	0.128	0.850	0.738	4.180	-2.738	0.706	4.21E-03

Kaynak suyunda hafif bir salınım gösteren pH değeri sudan CO₂ kaçışına bağlı olarak akım yolu boyunca artmaktadır. En yüksek pH değerleri, kaynaktan itibaren en uzun akım yoluna sahip olan D noktasında gözlenmektedir.



Şekil 5.6.: Yerköprü 1 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

Benzer şekilde kaynak suyunda hafif bir salınım gösteren çözülmüş oksijen içeriği, atmosferik oksijen girişinden dolayı akım yolu boyunca artış göstermektedir. B, C ve D noktalarında çözülmüş oksijen içeriğinin zaman içinde gösterdiği salınımlar hava ve su sıcaklığındaki değişimlerle ilgili olup, sıcaklık değişimine bağlı olarak oksijenin sudaki çözünürlüğünün değişmesinden kaynaklanmaktadır.

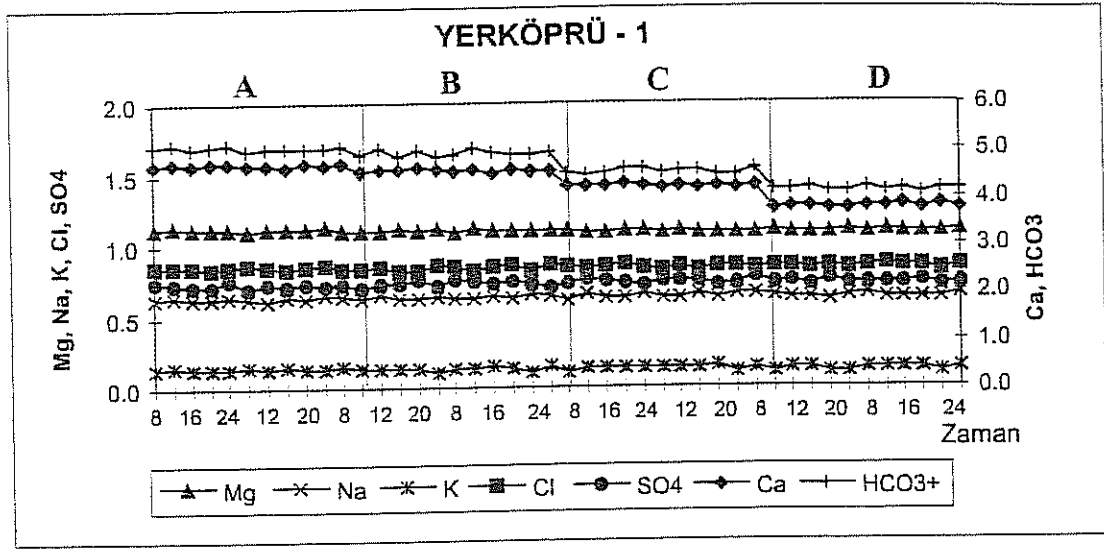
Majör iyon içeriğinin değişimi:

Kaynak suyunda ve kaynaktan itibaren oluşan dereler üzerindeki kesitlerde majör iyon içeriğinin değişimi Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Majör iyon içeriği A noktasında zaman içinde önemli bir değişim göstermemekte olup, herbir iyon derişimindeki salınımlar analiz hata sınırları içinde kalmaktadır.

Majör iyonlar arasında en belirgin değişim Ca ve HCO₃⁻ iyonlarında gözlenmektedir. Grafikte net olarak gözlenememesine karşın, Çizelge 5.7.'deki verilerden özellikle A ve D noktaları

arasında Mg derişiminde de hafif bir azalmanın olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, traverten alanındaki karbonat çökeliminin az miktarda Mg içeren kalsit (düşük magnezyumlu kalsit = low magnesian calcite) şeklinde olduğunu göstermektedir.

Majör iyon içeriğinin her bir örnekleme noktasında zamana bağılı değışimi yaklaşık sabit olup; zaman içinde belirgin bir salınım gözlenmemektedir. Diğer bir deyişle her bir örnekleme noktasında suyun kimyasal kompozisyonu sabittir.



Şekil 5.7.: Yerköprü 1 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değışimi (Eylül 1993).

Kalsit çökelimine bağılı olarak akım yolu boyunca Ca ve HCO₃ iyon derişimlerinde gözlenen azalma A ve B noktaları arasında bağılı olarak daha az olup; B-C ve B-D noktaları arasında belirgin biçimde yüksektir. Bu durum, A-B, B-C ve B-D akım yollarında yatak özelliklerinin bir birinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.2..’den görüleceğı gibi A-B akım yolu en kısa, B-D akım yolu en uzun olanıdır.

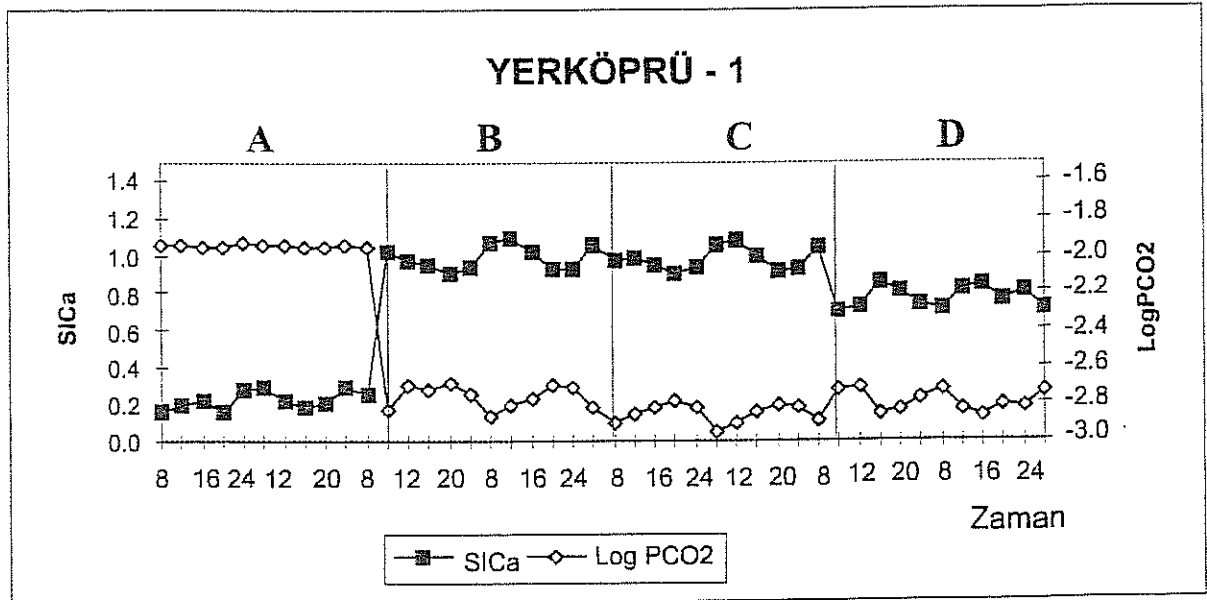
SI_{Ca} ve LogPCO₂ değışimi

Kaynakta ve akım yolu boyunca seçilen kesitlerde kalsit doygunluk indisinin (SI_{Ca}) ve CO₂ kısmi basıncının (logPCO₂) zaman içindeki değışimi Şekil 5.8.’de gösterilmiştir. Her iki değışken birbirlerine bağımlı olduklarından zaman içindeki değışimleri paralellik göstermektedir. Kaynak logPCO₂ değeri -2.0 dolayında olup, gözlem süresi boyunca yaklaşık sabit kalmıştır. Buna karşın SI_{Ca} değerinde düzensiz ve zayıf bir salınım gözlenmektedir. Bu

durumun, özellikle analiz ve ölçümlerde ortaya çıkan kısmi hataların bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Gaz kaçısındaki artışa bağlı olarak, $\log P_{CO_2}$ değeri kaynaktan uzaklaştıkça azalmakta, bunun bir sonucu olarak ta SI_{Ca} değerinde artış gözlenmektedir. Kaynakta 0.2 düzeyinde olan SI_{Ca} değeri B ve C kesitlerinde 1.0 düzeyine yükselmekte, B noktasından akım aşağıda yer alan D noktasında ise 0.8 düzeyine inmektedir. B ve D noktaları arasında SI_{Ca} değerinin azalması bu iki kesit arasında belirgin bir kalsit çökeliminin olmasından kaynaklanmaktadır. B-D akım yolunun B-C akım yolundan daha uzun olması ve burada akım miktarının düşük olması doygun kristal oluşumunu kolaylaştırmaktadır.

Kaynak suyunda $\log P_{CO_2}$ değerlerinin yaklaşık sabit olmasına ve SI_{Ca} değerlerinin az bir salınım göstermesine karşın akım yolu üzerinde yer alan B, C ve D noktalarında her iki değişken belirgin biçimde salınım göstermektedir. Akım yolu üzerindeki B, C ve D kesitlerinde SI_{Ca} değerlerinin zaman içindeki değişimi incelendiğinde en yüksek değerlere saat 12 dolayında (kısmen de 8 ve 16 dolayında) ulaşıldığı gözlenmektedir. SI_{Ca} değeri saat 20 ve 24 dolayında en düşük değerlere sahiptir. Bu durum, gündüz saatlerinde $\log P_{CO_2}$ değerlerinin gece değerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.8.: Yerköprü 1 traverteninde $\log P_{CO_2}$ ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

$\log P_{CO_2}$ değerlerinin gündüz saatlerinde düşük olması sudaki bir kısım CO_2 'in akım yolu üzerinde bulunan bitkilerce (algler) kullanılmasından kaynaklanması mümkündür. Diğer bir neden ise artan hava sıcaklığına bağlı olarak akış halindeki suyun sıcaklığının artması ve

bunun bir sonucu olarak da sudan fiziksel yolla CO₂ kaçışının hızlanması olabilir. Söz konusu nedenlerden hangisinin daha etkili olduğunun belirlenebilmesi ise ancak akım yolu üzerindeki bitkilerin fotosentez miktarlarının ölçülmesi ile mümkündür. Bununla birlikte, akım yolundaki bitki örtüsünün farklı fotosentez hızına sahip farklı türler içermesi ve bu türlerin homojen dağılmaması nedeniyle net fotosentez miktarının doğrudan belirlenmesi mümkün değildir.

5.4.1.c. Ağustos 1994 saha çalışması:

Ağustos 1994 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında iki gözlem noktasında (A ve B) 4'er saat ara ile (saat 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 ve 24:00) yaklaşık 48 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada B noktası olarak adlandırılan kesit Eylül 1993 saha çalışmasında C olarak adlandırılan kesittir. Ağustos 1994 saha çalışması döneminde üretilen veriler Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin yer ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.

Bu dönemde de kaynak suyu sıcaklık değerinin zaman içinde sabit olduğu (14.0°C) ve Eylül 1993 döneminde gözlenen değer ile aynı olduğu saptanmıştır. Bu durum kaynağı besleyen yeraltısuyunun bölgesel akım sistemi içinde uzun süre kalarak akifer ile sıcaklık dengesine ulaştığını göstermektedir. B noktasındaki sıcaklık değeri gün boyu salınım göstermekte olup; bu salınım hava sıcaklığının değişimine bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Çizelge 5.5.: Yerköprü 1 traverteni Ağustos 1994 saha çalışması verileri.

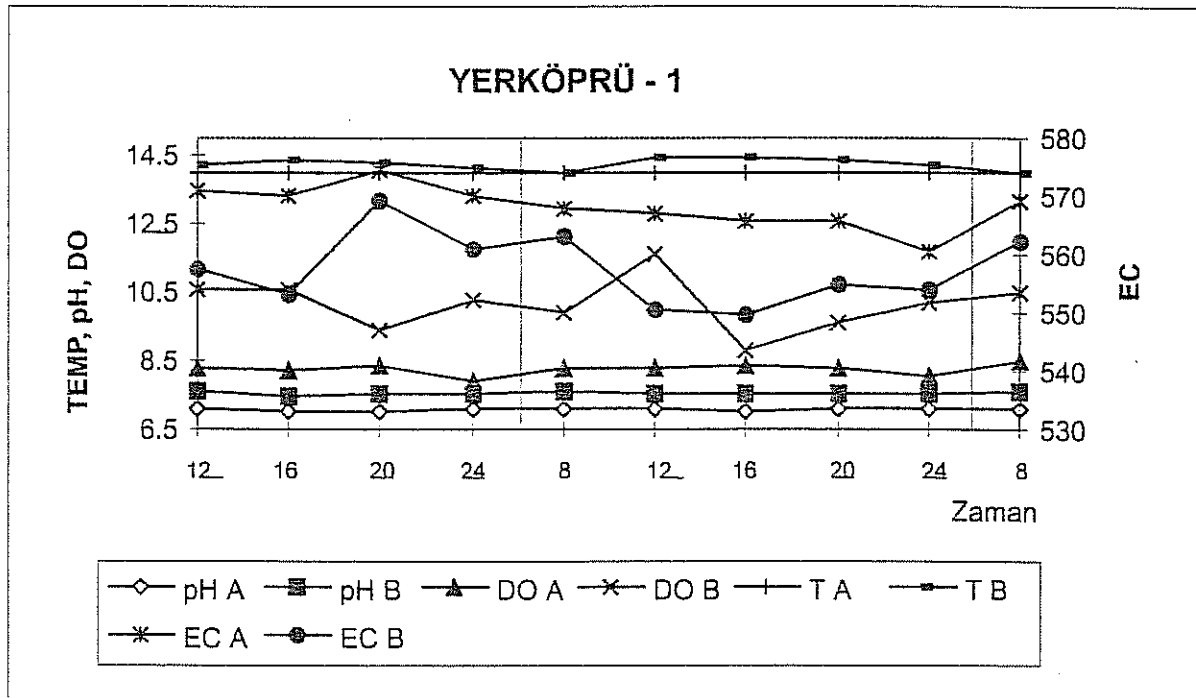
(TEMP: sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, µS/cm; DO: çözülmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄: meq/l; L-PCO₂: log karbondioksit basıncı, atm; SICa: kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO₂ Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO₃/l)

	SAAT	pH A	pH B	DO A	DO B	EC A	EC B	T A	T B	Alk A	Alk B	Ca A	Ca B	Mg A	Mg B	PCO ₂ A	PCO ₂ B	SI-Ca A	SI-Ca B
1	1200	7.10	7.60	8.3	10.6	571	558	14.0	14.2	4.815	4.740	3.786	3.730	0.913	0.905	-1.801	-2.311	-0.427	0.023
2	1600	7.00	7.48	8.2	10.6	570	553	14.0	14.3	4.811	4.730	3.791	3.741	0.914	0.903	-1.702	-2.193	-0.526	-0.094
3	2000	7.05	7.55	8.4	9.4	574	569	14.0	14.2	4.810	4.715	3.810	3.730	0.912	0.905	-1.752	-2.264	-0.476	-0.034
4	2400	7.07	7.50	7.9	10.3	570	561	14.0	14.1	4.828	4.740	3.804	3.730	0.915	0.903	-1.770	-2.210	-0.453	-0.080
5	800	7.10	7.58	8.3	9.9	568	563	14.0	14.0	4.805	4.745	3.785	3.709	0.909	0.899	-1.802	-2.289	-0.426	-0.004
6	1200	7.08	7.51	8.3	11.6	567	551	14.0	14.4	4.812	4.720	3.792	3.721	0.913	0.900	-1.782	-2.225	-0.445	-0.065
7	1600	7.01	7.53	8.4	8.8	566	550	14.0	14.4	4.805	4.740	3.778	3.734	0.916	0.903	-1.712	-2.243	-0.516	-0.041
8	2000	7.08	7.51	8.3	9.6	566	555	14.0	14.3	4.815	4.708	3.786	3.696	0.913	0.906	-1.781	-2.225	-0.444	-0.072
9	2400	7.07	7.55	8.1	10.2	560	554	14.0	14.2	4.814	4.750	3.793	3.750	0.915	0.905	-1.771	-2.260	-0.451	-0.022
10	800	7.11	7.61	8.5	10.5	569	562	14.0	14.0	4.812	4.740	3.792	3.750	0.916	0.906	-1.812	-2.319	-0.415	0.031

Kaynak suyunun elektriksel iletkenliği zaman içinde zayıf bir salınım göstermekte olup yaklaşık 560 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dolayındadır. B noktasında gözlenen EC değeri her zaman kaynak suyu EC değeri altında bir değere sahip olmaktadır. Bu durum, kalsit çökelimi sonucu sistemden iyon ayrılmasından kaynaklanmaktadır.

Bu dönemde kaynak suyu pH'ının 7.10 dolayında olduğu ve Eylül 1993'te gözlenen değerlere göre ($\text{pH}=7.35$) kısmen düşüktür. pH değeri akım yolu boyunca sistemden CO_2 kaçışından dolayı yükselmekte ve B noktasında 7.60 dolayında bir değeri ulaşmaktadır. pH değerinin A ve B noktalarında zaman içindeki değışimi birbirine paralellik göstermektedir.

DO değeri kaynakta 8.25mg/l dolayında hafif bir salınım göstermektedir. Bu değeri Eylül 1993 döneminde belirlenen değere (8mg/l) yakın bir değeri olup, bölgesel yeraltı suyu akış sisteminin bu bölümünde oksijen içeriğinin zaman içinde fazla değışmediğine işaret etmektedir. Atmosferden sisteme gaz girişinden dolayı akım yolu boyunca DO içeriğı artmaktadır. Bu artışın bir sonucu olarak B noktasında gözlenen DO değerleri her zaman A noktasındakilerden yüksektir. B noktasında gözlenen DO değerlerinin zaman içinde gösterdiği salınımın hava ve su sıcaklığında ortaya çıkan değışimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

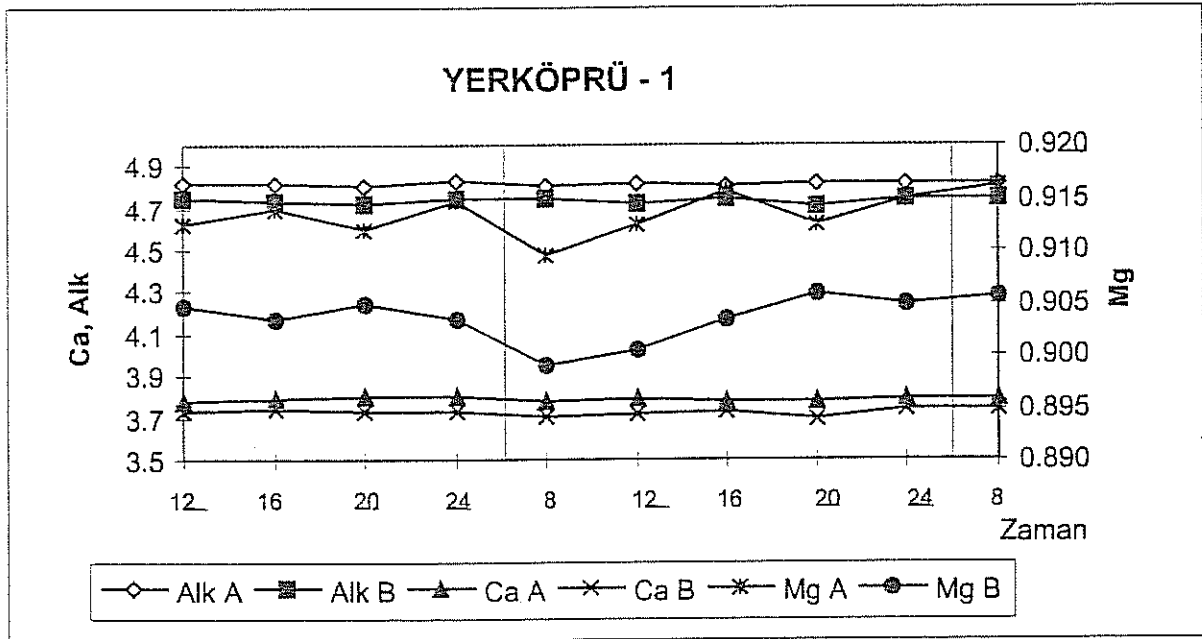


Şekil 5.9.: Yerköprü 1 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değışimi (Ağustos 1994).

Kaynak suyunun EC değeri 570 $\mu\text{S/cm}$ dolayında hafif bir salınım göstermektedir. Kaynak suyu EC değerinde önemli bir değişimin olmaması su sıcaklığı ve iyon içeriğinde önemli bir değişimin olmayışından kaynaklanmaktadır. Kalsit çökeliminin bir sonucu olarak EC değeri akım yolunun B noktasında azalarak 560 $\mu\text{S/cm}$ dolayına inmektedir. EC değerleri B noktasında zaman içinde daha büyük bir salınım göstermektedir. Bu durum olasılıkla ölçüm sırasında elektrod sıcaklığının su sıcaklığına yeterince yaklaşmamasından kaynaklanmaktadır.

Majör iyon içeriğinin değişimi:

Kaynak suyunda ve akış aşağıda yer alan B noktasına ait Ca, Mg ve Alkalinite değerlerinin değişimi Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Kaynak suyunun Ca, ve alkalinite içeriği zaman içinde önemli bir değişim göstermemekte, Mg içeriğinde hafif bir salınım gözlenmektedir.



Şekil 5.10.: Yerköprü 1 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

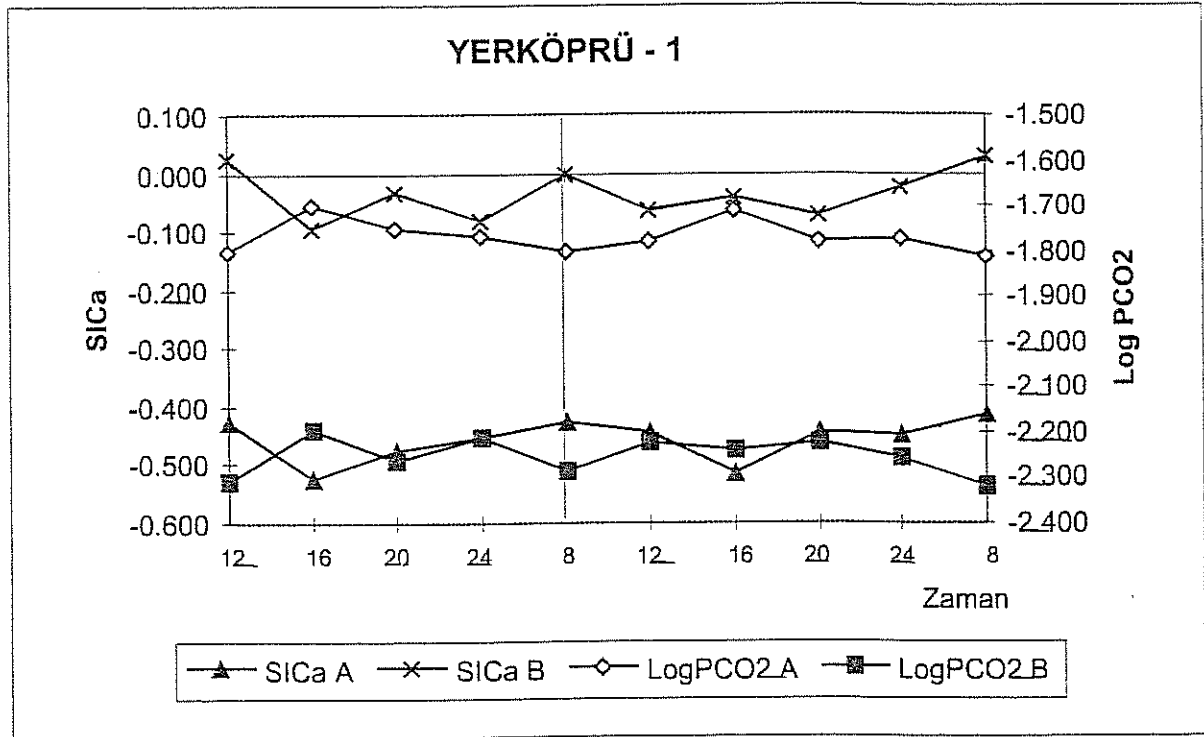
Ortalama Ca, Mg ve alkalinite değerleri sırasıyla 3.7, 0.9 ve 4.8 meq/l dolayındadır. Öte yandan, kalsit çökeliminin bir sonucu olarak aynı parametrelere ait B noktasında gözlenen değerler her zaman daha düşüktür. B noktasında gözlenen Ca ve alkalinite değerleri önemli bir salınım göstermezken, Mg değerlerinde A noktasında olduğu gibi hafif bir salınım gözlenmektedir. Mg derişiminde saptanan salınımlar analitik hata sınırları içinde kabul edilebilir. Ca derişiminin yanısıra Mg derişiminin de akım yolu boyunca azalması kalsit çökelimine az miktarda Mg'un da eşlik ettiğine işaret etmektedir. Bu durum Bölüm 4.1.b.'de

belirtilen, çökelen kalsitin “düşük magnezyumlu kalsit” olduğu şeklindeki görüşü desteklemektedir.

SI_{Ca} ve LogPCO₂ değişimi:

Kaynakta ve akım yolu boyunca seçilen B kesitindeki kalsit doygunluk indisinin (SI_{Ca}) ve CO₂ kısmi basıncının (logP_{CO2}) zaman içindeki değişimi Şekil 5.11.’de gösterilmiştir. Daha önce de değinildiği gibi her iki değişken birbirlerine bağımlı olduklarından zaman içindeki değişimleri paralellik göstermektedir.

Kaynak logP_{CO2} değeri -1.8 dolayında olup, gözlem süresi boyunca yaklaşık sabit kalmıştır. Bu dönemde gözlenen kaynak suyu logP_{CO2} değeri Ağustos 1994 döneminde gözlenen değere (logP_{CO2} = -2.0) yakındır. Sistemden CO₂ kaçışına bağlı olarak B noktasında gözlenen logP_{CO2} değerleri daha düşük olup; -2.3 dolayındadır.



Şekil 5.11.: Yerköprü 1 traverteninde logP_{CO2} ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

Benzer biçimde kaynak suyunda -0.45 dolayında olan SI_{Ca} değeri akım yolu boyunca artarak B noktasında -0.5 civarında değerler almaktadır. SI_{Ca} değerinin B noktasında sıfıra yaklaştığı dikkate alınırsa, kalsit çökeliminin -yada sudan Ca ve CO₃ iyonlarının ayrılışının- büyük

oranda A ve B noktaları arasında tamamlandığı düşünülebilir.

5.4.1.d. Mayıs 1993 saha çalışması:

Mayıs 1993 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında iki gözlem noktasında (A ve B) 4'er saat ara ile (saat 08:00, 12:00, 16:00, 20:00, 24:00 ve 06:00) yaklaşık 24 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada B noktası olarak adlandırılan kesit Eylül 1993 saha çalışmasında C olarak adlandırılan kesittir. Mayıs 1993 saha çalışması döneminde üretilen veriler Çizelge 5.6.'da verilmiştir.

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin A ve B noktalarında ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6.: Yerköprü 1 traverteni Mayıs 1993 saha çalışması verileri.

(TEMP:sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, $\mu\text{S}/\text{cm}$; DO: çözülmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 : meq/l; L-PCO2:log karbondioksit basıncı, atm; SICA:kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO2 Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO_3/l)

YI-A	SAAT	pH	EC	TEMP	DO	Ca	Mg	Na	K	SO_4	Cl	HCO_3	L-PCO2	SICA	CO2 Top
1	8	7.534	436	13.5	8.5	4.404	1.069	0.810	0.240	0.784	0.980	4.625	-2.165	0.274	4.93E-03
2	12	7.592	432	13.5	8.2	4.138	1.049	0.830	0.270	0.777	1.000	4.675	-2.219	0.318	4.94E-03
3	16	7.627	436	13.5	7.4	4.293	1.049	0.828	0.269	0.749	0.974	4.750	-2.254	0.374	4.99E-03
4	20	7.664	436	13.5	8.0	4.341	1.028	0.798	0.217	0.770	0.995	4.775	-2.282	0.410	5.00E-03
5	24	7.555	432	13.5	8.0	4.416	1.049	0.810	0.222	0.751	0.970	5.025	-2.159	0.339	5.34E-03
6	6	7.591	436	13.5	7.7	4.292	1.049	0.846	0.269	0.777	0.975	4.835	-2.206	0.341	5.11E-03
YI-B															
1	8	7.640	424	14.0	9.2	4.204	1.007	0.798	0.247	0.765	1.002	4.375	-2.296	0.350	4.59E-03
2	12	7.993	425	13.9	9.1	3.953	1.007	0.842	0.307	0.775	1.005	4.450	-2.644	0.673	4.51E-03
3	16	7.991	420	14.0	8.9	4.129	0.987	0.833	0.244	0.754	0.960	4.550	-2.634	0.702	4.61E-03
4	20	7.965	429	13.5	8.6	4.154	1.007	0.805	0.217	0.756	0.985	4.655	-2.606	0.686	4.73E-03
5	24	7.995	429	13.5	8.7	4.104	1.007	0.826	0.270	0.751	0.975	4.650	-2.637	0.710	4.71E-03
6	6	7.987	429	13.5	8.7	4.179	1.028	0.816	0.266	0.795	1.000	4.625	-2.629	0.709	4.69E-03

Bu dönemde de kaynak suyu sıcaklık değerinin zaman içinde sabit olduğu (13.5°C) ve Eylül 1993 ve Ağustos 1994 döneminde gözlenen değerlerin biraz altında olduğu saptanmıştır. Bu durumun olasılıkla bahar aylarında sisteme giren soğuk suların etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer dönemlerde olduğu gibi, bu dönemde de atmosferik sıcaklık girişiminden dolayı B noktasında gözlenen sıcaklıklarda hafif oynamalar gözlenmektedir.

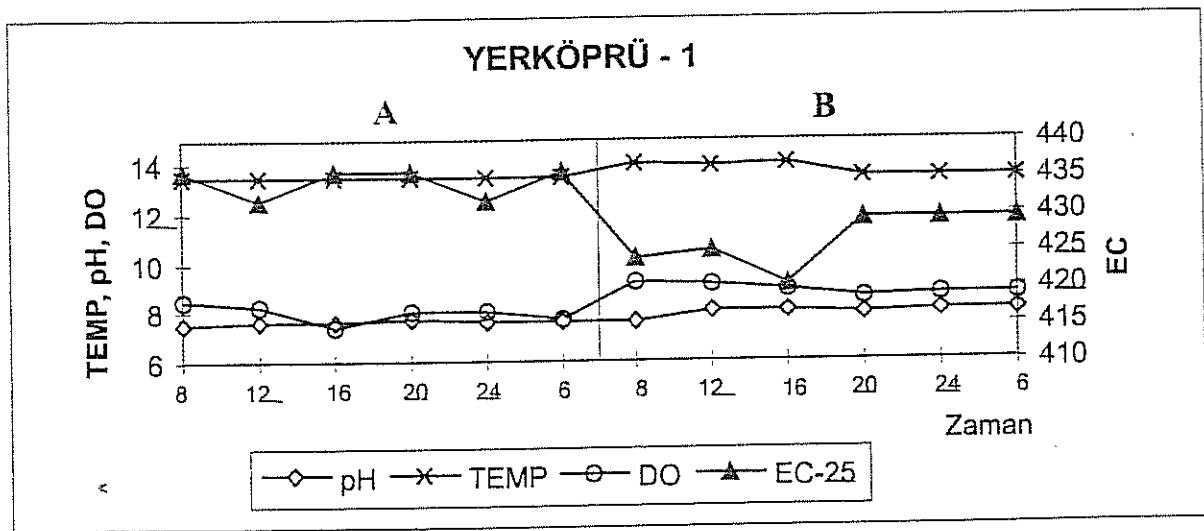
Yine diğer dönemlerde olduğu gibi, kaynak suyunun elektriksel iletkenliği zaman içinde zayıf bir salınım göstermekte olup; bu dönemde diğer dönemlere göre biraz daha düşüktür ($430\mu\text{S}/\text{cm}$). B noktası ile kaynağın EC değerleri arasında gözlem süresi boyunca önemli bir

farklılık gözlenmemekte, A ve B noktaları bazen aynı EC değerine sahip olmakta, bazı ölçümlerde ise B noktasının EC değeri kaynak suyu EC değerinin altına düşmektedir.

Bu durum A ve B noktaları arasında suların iyonik kompozisyonu arasında önemli bir farklılık olmadığına işaret etmektedir. Bazı gözlemlerde B noktası EC değerinin kaynak suyu EC değerinin altına düşmesi sistemden az miktarda iyon ayrılışına (kalsit çökelimine) bağlanabilir.

Mayıs 1993 döneminde, kaynak suyu pH'ının 7.60 dolayında olduğu saptanmıştır. Bu değer Eylül 1993 ve Ağustos 1994 dönemlerinde belirlenen pH değerlerinin dikkate değer derecede üstündedir. B noktasındaki pH değeri sistemden atmosfere CO₂ kaçışından dolayı yükselmektedir. Eylül 1993 ve Ağustos 1994 dönemlerinde kaynağın akış aşağısında gözlenen pH salınımları bu dönemde belirgin biçimde gözlenmemektedir. Bu durum, pH salınımlarında etkili olabilecek alg aktivitesinin bu dönemde oldukça az oluşuna bağlanabilir.

DO değeri kaynakta 8.00mg/l dolayında hafif bir salınım göstermektedir. Bu değer Eylül 1993 ve Ağustos 1994 dönemlerinde belirlenen değerlere yakın bir değer olup, bölgesel yeraltısuyu akış sisteminin bu bölümünde oksijen içeriğinin zaman içinde fazla değişmediğine işaret etmektedir. Atmosferden sisteme gaz girişinden dolayı kaynaktan itibaren akım yolu boyunca DO içeriği artmaktadır. Bu artışın bir sonucu olarak B noktasında gözlenen DO değerleri her zaman A noktasındakilerden yüksek olmaktadır. B noktasında gözlenen DO değerlerinin zaman içinde gösterdiği salınımın diğer gözlem dönemlerinde olduğu gibi hava ve su sıcaklığında ortaya çıkan değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.12.: Yerköprü 1 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).

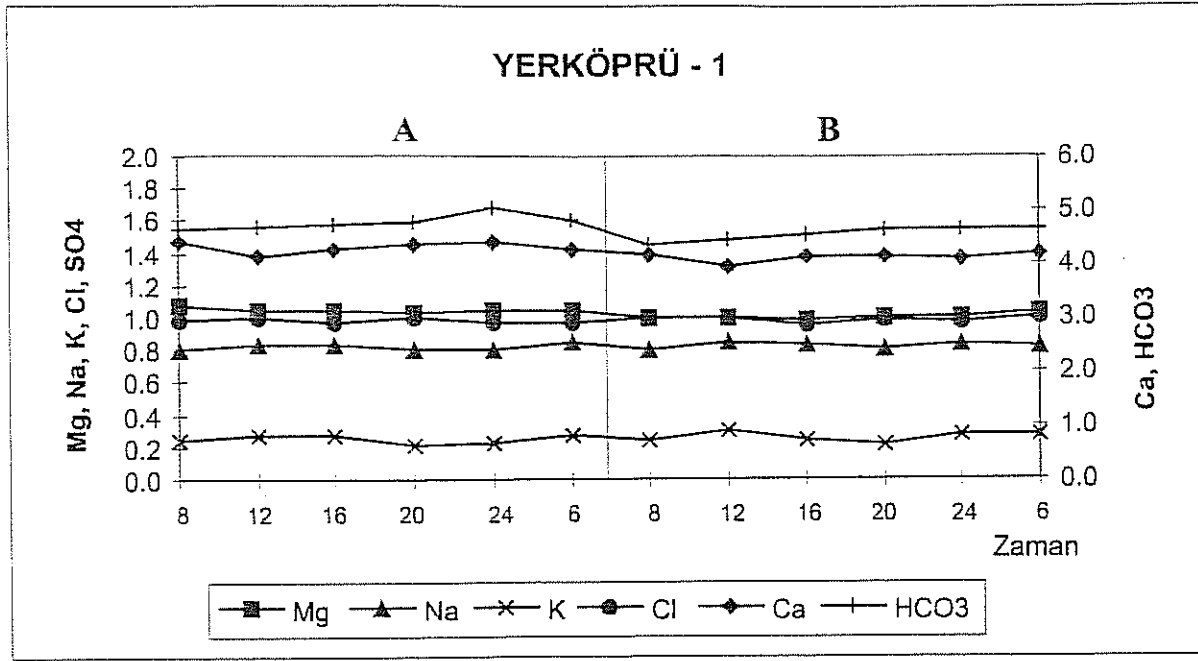
Majör iyon içeriğinin değişimi:

Kaynak suyunda ve akış aşağıda yer alan B noktasına ait suda majör iyon içeriğinin değişimi Şekil 5.13.'te gösterilmiştir. Diğer dönemlerde olduğu gibi, bu dönemde de her iki noktada hakim bileşenler Ca ve alkalinitedir. Kaynak suyunun kimyasal kompozisyonu gözlem süresi boyunca zayıf bir değişim göstermektedir. Benzer bir değişim B noktasında da gözlenmektedir. Bununla birlikte, B noktasında Ca ve alkalinite A noktasına göre kısmen daha düşük olup; zayıf bir kalsit çökelimine işaret etmektedir. Mg değerlerinde gözlenen azalma, analitik hata sınırlarına yakın olmakla birlikte, kalsit çökelimine Mg'un eşlik ettiği düşünülebilir. Diğer majör iyonların A ve B noktalarında gözlenen derişimleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemektedir.

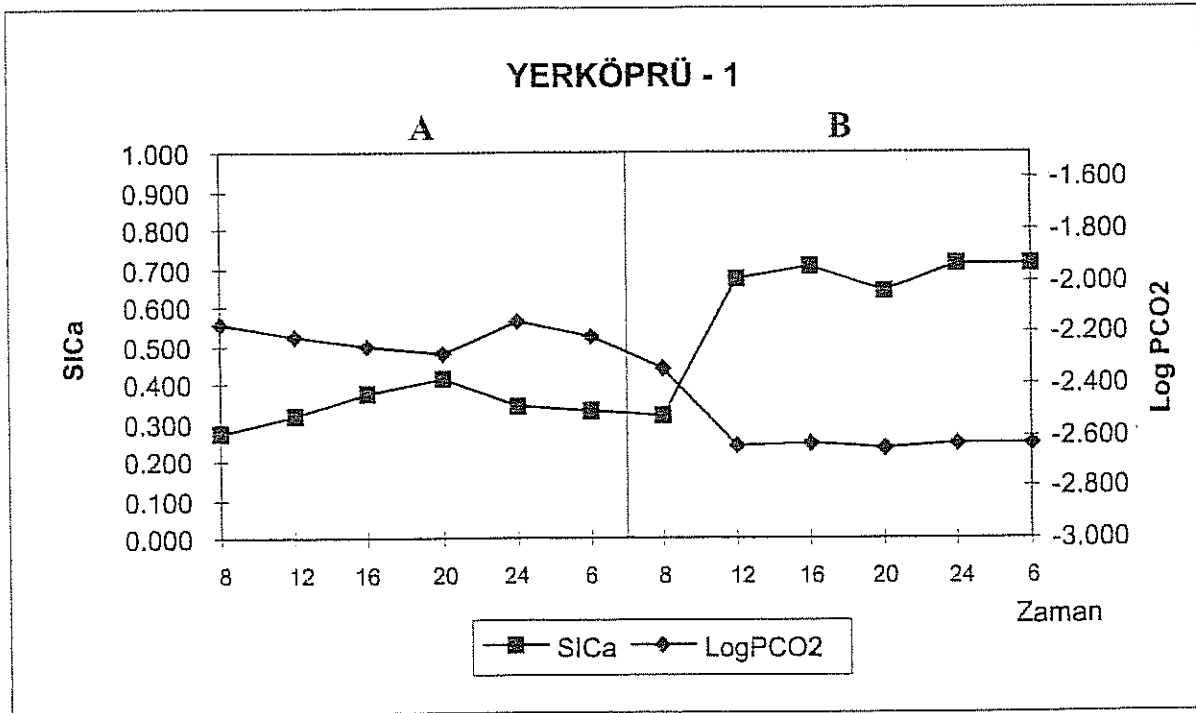
SI_{Ca} ve LogPCO₂ değişimi:

Kaynakta ve akım yolu boyunca seçilen B kesitindeki kalsit doygunluk indisinin (SI_{Ca}) ve CO₂ kısmi basıncının (logP_{CO2}) zaman içindeki değişimi Şekil 5.14.'te gösterilmiştir. Bu dönemde kaynak suyunun logP_{CO2} değeri -2.2 dolayında olup; bu değer diğer dönemlere ait değerlerden düşüktür. Yine diğer dönemlerde olduğu ve teorik olarak ta beklendiği gibi her iki değişken birbirlerine bağımlı olduklarından zaman içindeki değişimleri paralellik göstermektedir. Sistemden CO₂ kaçışına bağlı olarak B noktasında gözlenen logP_{CO2} değerleri daha düşük olup; -2.6 dolayındadır.

Kaynak ile B noktası arasında sistemden CO₂ kaçışına bağlı olarak SI_{Ca} değeri de yükselmektedir. Kaynakta 0.25 dolayında olan SI_{Ca} değeri B noktasında 0.70 dolayına yükselmektedir. B noktasına ait ilk örnekte gözlenen ve aynı noktaya ait diğer değerlerden farklılık gösteren logP_{CO2} ve SI_{Ca} değerlerinin bu gözlem saatinde yapılan hatalı pH ölçümünden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.13.: Yerköprü 1 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).



Şekil 5.14.: Yerköprü 1 traverteninde $\log P_{CO_2}$ ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).

5.4.2. Yerköprü 2 traverten

5.4.2.a. örnekleme-ölçüm kesitleri:

Yerköprü 2 traverten alanında yürütülen hidrojeokimyasal çalışmalarda ölçüm ve örneklemeler seçilen 3 ayrı kesitte yürütülmüştür. İncelenen su noktalarının traverten alanındaki konumları Şekil 4.7.'te gösterilmiş olup; bunların özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

A noktası:

A noktası Yerköprü 2 traverten alanında sağ sahilde yer alan ve traverten alanını besleyen tek kaynak olan karstik boşalımdır. Kaynaktan çıkan sular büyük oranda yamaçlardan yuvarlanan kireçtaşı çakıllarından oluşan çarşak biçimindeki bir yatak içinden akmakta; kaynaktan 10m kadar akış aşağıda iki kola ayrılmaktadır. Bu kollardan sol sahilde yer alanı yapay olarak açılmış olup; kaynak suyunun bir kısmını sulamada kullanmak üzere traverten alanının sol sahiline taşımaktadır. Ayrım noktasından sağa ayrılan kol doğal olarak gelişmiştir.

B noktası:

Ayrım noktasından sağa ayrılan kol, bu noktadan itibaren 10m boyunca hafif eğimli bir yatak içinde akmakta ve 0.5 m yükseklikteki küçük bir şelalelden eğimi yatay olan bir yatağa boşalmaktadır. B noktası anılan küçük şelalenin hemen akış yukarısında seçilmiştir.

C noktası:

B noktasından eğimi yataya yakın olan ikinci bir yatağa boşalan su bu alanda 5mx10m boyutlarında, derinliği 40cm kadar olan bir göl oluşturmaktadır. Göldeki su traverten alanının Zamantı Nehri'ne göre akış aşağı kesiminden şelale şeklinde akarsuya boşalmaktadır. C noktası, anılan şelalenin 1m kadar akış yukarısında seçilmiştir. B ve C noktaları arasında yer alan bölüm akım hızının düşük olması nedeniyle alglerin ve diğer makroskopik sucul bitkilerin gelişimi açısından oldukça zengin bir alan oluşturmaktadır.

5.4.2.b. Eylül 1993 saha çalışması:

Eylül 1993 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında A, B ve C noktalarında 4'er saat ara ile (saat 12:00, 16:00, 20:00, 24:00 ve 8:00) 48 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada üretilen veriler Çizelge 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7.: Yerköprü 2 travertenin Eylül 1993 saha çalışması verileri.

(TEMP: sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, $\mu S/cm$; DO: çözülmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄: meq/l; L-PCO₂: log karbondioksit basıncı, atm; SICA: kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO₂ Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO₃/l)

Y2-A	SAAT	TEMP	EC	pH	DO	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HC03	L-PCO2	SICA	CO2 Tot
1	12	13.8	579	7.447	7.5	4.741	0.870	0.656	0.161	0.856	0.720	4.834	-2.064	0.251	5.23E-03
2	16	13.8	579	7.530	7.4	4.751	0.875	0.609	0.179	0.857	0.730	4.944	-2.135	0.339	5.27E-03
3	20	13.8	579	7.459	7.5	4.747	0.870	0.652	0.179	0.850	0.716	4.877	-2.070	0.265	5.26E-03
4	24	13.8	579	7.457	7.4	4.735	0.865	0.652	0.170	0.869	0.722	4.880	-2.070	0.264	5.27E-03
5	8	13.8	579	7.428	7.9	4.742	0.878	0.600	0.179	0.850	0.730	4.771	-2.049	0.226	5.18E-03
6	12	13.8	579	7.473	7.5	4.742	0.874	0.614	0.178	0.857	0.720	4.962	-2.072	0.281	5.35E-03
7	16	13.8	579	7.465	7.4	4.731	0.864	0.640	0.179	0.862	0.734	4.730	-2.083	0.251	5.11E-03
8	20	13.8	579	7.506	7.4	4.730	0.865	0.640	0.168	0.852	0.718	4.807	-2.126	0.307	5.14E-03
9	24	13.8	579	7.456	7.5	4.734	0.878	0.633	0.166	0.862	0.734	4.865	-2.071	0.262	5.25E-03
10	8	13.8	579	7.540	7.2	4.734	0.874	0.609	0.157	0.853	0.715	4.853	-2.152	0.341	5.17E-03
11	12	13.8	579	7.248	7.4	4.735	0.880	0.640	0.179	0.850	0.713	4.921	-1.855	0.059	5.57E-03
Y2-B															
12	12	14.5	569	7.910	8.4	4.653	0.847	0.649	0.165	0.853	0.719	4.777	-2.530	0.701	4.87E-03
13	16	15.0	562	8.050	8.9	4.635	0.864	0.624	0.179	0.860	0.734	4.778	-2.671	0.839	4.81E-03
14	20	14.0	576	7.840	9.1	4.655	0.840	0.637	0.167	0.850	0.715	4.662	-2.472	0.615	4.78E-03
15	24	13.8	579	7.930	8.6	4.657	0.847	0.609	0.179	0.850	0.723	4.731	-2.557	0.710	4.81E-03
16	8	14.0	576	7.920	9.2	4.647	0.853	0.610	0.153	0.859	0.720	4.691	-2.551	0.696	4.78E-03
17	12	14.5	569	7.920	8.2	4.635	0.864	0.602	0.153	0.850	0.722	4.646	-2.552	0.698	4.73E-03
18	16	15.0	562	8.000	8.4	4.649	0.847	0.614	0.164	0.852	0.734	4.755	-2.627	0.779	4.81E-03
19	20	14.5	569	7.930	8.9	4.631	0.841	0.645	0.179	0.845	0.715	4.689	-2.563	0.694	4.77E-03
20	24	13.8	579	7.950	8.6	4.660	0.854	0.635	0.151	0.860	0.718	4.735	-2.579	0.727	4.81E-03
21	8	13.8	579	8.010	8.9	4.644	0.851	0.602	0.179	0.850	0.725	4.678	-2.644	0.779	4.73E-03
22	12	14.0	576	7.970	8.9	4.652	0.853	0.602	0.166	0.857	0.731	4.743	-2.597	0.744	4.81E-03
Y2-C															
23	12	15.0	562	7.980	8.6	4.240	0.754	0.609	0.153	0.853	0.727	4.210	-2.652	0.690	4.27E-03
24	16	15.5	556	8.120	8.3	4.245	0.764	0.633	0.153	0.850	0.712	4.347	-2.782	0.845	4.36E-03
25	20	15.0	562	7.980	8.7	4.245	0.750	0.609	0.168	0.849	0.720	4.160	-2.662	0.674	4.22E-03
26	24	14.0	576	8.000	8.3	4.228	0.765	0.609	0.153	0.846	0.734	4.235	-2.675	0.697	4.29E-03
27	8	14.5	569	7.970	9.1	4.215	0.769	0.644	0.180	0.860	0.716	4.112	-2.651	0.655	4.17E-03
28	12	15.0	562	7.990	8.3	4.242	0.749	0.633	0.162	0.850	0.730	4.017	-2.687	0.668	4.07E-03
29	16	15.5	556	7.940	8.2	4.206	0.767	0.609	0.179	0.850	0.724	4.045	-2.633	0.611	4.11E-03
30	20	14.5	569	8.050	8.6	4.245	0.757	0.635	0.153	0.858	0.720	4.205	-2.729	0.748	4.24E-03
31	24	14.0	576	8.010	8.7	4.235	0.757	0.614	0.167	0.857	0.716	4.208	-2.688	0.701	4.26E-03
32	8	14.0	576	8.050	8.6	4.251	0.750	0.659	0.153	0.850	0.734	4.122	-2.737	0.736	4.16E-03
33	12	14.5	569	8.050	8.6	4.228	0.758	0.622	0.179	0.850	0.710	4.125	-2.737	0.734	4.16E-03

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

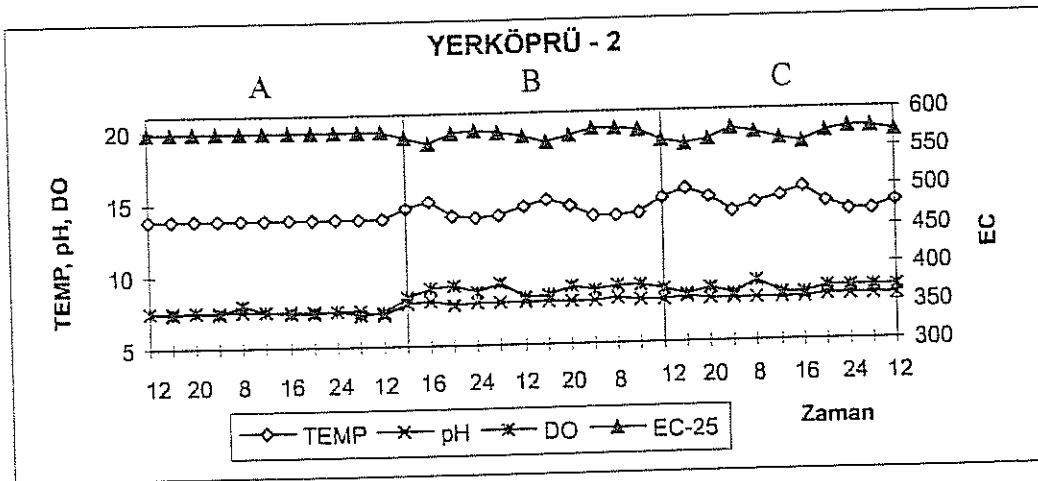
Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin yer ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.15.'te gösterilmiştir.

Kaynak suyunun sıcaklık değeri zaman içinde sabit olup, 13.8 °C'dir. kaynaktan itibaren akım yolu boyunca hareket eden su, hava sıcaklığındaki değişim ve atmosferik ısı girdisi sonucu B ve C noktalarında salınım göstermektedir. Bu dönemde traverten alanının maksimum güneşlenmesi saat 16 dolayında gerçekleşmiş olup, bunun bir sonucu olarak 48 saat boyunca su sıcaklığı saat 16 dolayında maksimum değerine ulaşmıştır. Gece hava sıcaklığının

düşmesine bağlı olarak su sıcaklığı B ve C noktalarında kaynak suyu sıcaklığı dolayına düşmekte ve endüyük sıcaklık değerlerine saat 24 gözlemlerinde rastlanmaktadır.

DO içeriği kaynak suyunda 7.5 mg/l dolayında hafif bir salınım göstermektedir. Gerçekte kaynak DO içeriğinin sabit olduğu, ölçümelerde ortaya çıkan salınımların oksijen elektrodu sıcaklığının kaynak suyu sıcaklığı ile yeterince dengeye gelmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. DO içeriği kaynaktan sonra B ve C noktalarında atmosferik oksijen girdisinden dolayı yükselmektedir. B ve C noktalarında DO içeriğinin gözlem süresi boyunca günlük salınımlar göstermesi hava ve su sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak sistemin DO çözünürlüğündeki oynamalardan kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Kaynak suyunun EC değeri 580 μ S/cm dolayında sabittir. Kaynak suyu EC değerinde, elektrod sıcaklığı ile su sıcaklığı arasındaki farklılıktan kaynaklanan sapmalar düzeltilmiş, ayrıca yerinde ölçülen EC değerleri 25.0 °C'deki eşdeğeri hesaplanarak, EC değerleri standartlaştırılmıştır. Kaynaktan akım aşağıda yer alan B ve C noktalarında EC değeri kalsit çökelimine bağlı olarak azalmaktadır. Öte yandan, B ve C noktalarında gözlenen EC değerleri gözlem süresi boyunca günlük salınımlar göstermektedir. Söz konusu salınımların, EC ve alkalinite değişimleri arasındaki paralellikten de anlaşılacağı gibi, gün boyu kalsit çökeliminde ortaya çıkan salınımdan kaynaklandığı düşünülmektedir. B ve C noktalarında en düşük EC değerleri saat 16 dolayında en yüksek (yada kaynak EC değerine en yakın) EC değerleri saat 24-8 dolayında ortaya çıkmaktadır. Güneşlenme şiddetindeki değişimlerin sonucu olarak maksimum ve minimum alg aktivitesinin (algler aracılığı ile sistemden CO₂ çıkışının) sırasıyla saat 16 ve saat 24 dolayında gerçekleşmesi beklenen bir durumdur.



Şekil 5.15.: Yerköprü 2 traverteninde sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

Kaynak suyu pH değeri 7.45 civarında hafif bir salınım göstermektedir. Teorik olarak da beklendiği gibi, kaynağın akış aşağısında yer alan B ve C kesitlerinde sudan CO_2 kaçışına bağlı olarak pH yükselmektedir. B noktasında gözlenen pH A noktasındakinden, C noktasında gözlenen pH da B noktasındakinden her zaman daha yüksek değerler almaktadır. Gözlem süresi boyunca en büyük pH artışı her zaman A ve B noktaları arasında ortaya çıkmaktadır.

Majör iyon içeriğinin değişimi:

Kaynak suyunda ve kaynaktan itibaren oluşan dereler üzerindeki kesitlerde majör iyon içeriğinin değişimi Şekil 5.16.'da gösterilmiştir. İncelenen tüm noktalarda gözlem süresi boyunca başlıca majör bileşenler Ca ve alkalinitedir. Diğer majör iyonların derişimleri her zaman bunların altında kalmaktadır. Gözlem süresince kaynak suyu kimyasal kompozisyonu zaman içinde önemli bir değişim göstermemektedir. Bununla birlikte, kaynak suyunun alkalinite değerlerinde hafif salınımlar gözlenmekte olup, bu salınımlar analitik hata sınırları içinde kalmaktadır.

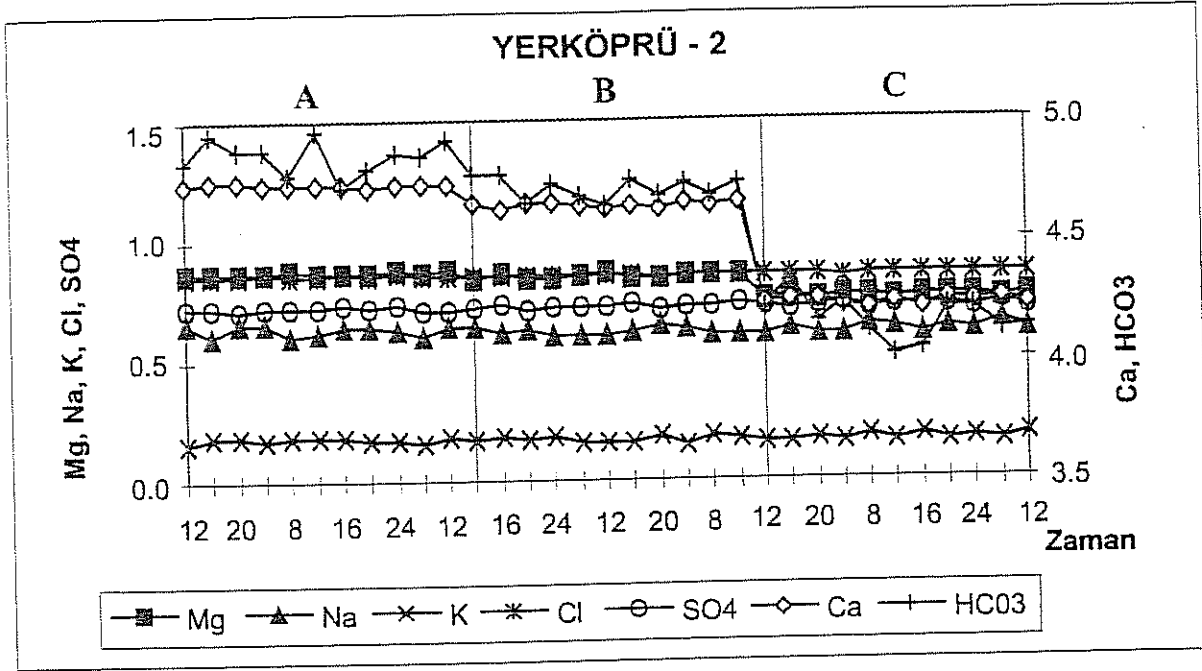
Akım yolu boyunca majör iyonlar arasında en belirgin değişim Ca ve HCO_3^- 'ta gözlenmektedir. Öte yandan, daha az miktarlarda olmakla birlikte Mg değerlerinde de kalsit çökelimine bağlı bir azalma görülmektedir. Bu durum, Yerköprü 1 traverteninde olduğu gibi burada da karbonat çökeliminin az miktarda Mg içeren kalsit (düşük magnezyumlu kalsit = low magnesian calcite) şeklinde olduğunu göstermektedir.

Kalsit çökelimine bağlı olarak akım yolu boyunca Ca ve HCO_3^- iyon derişimlerinde gözlenen azalma A ve B noktaları arasında bağl olarak daha az olup; B ve C noktaları arasında belirgin biçimde yüksektir. Bu durum Yerköprü 1 travertenindeki benzer gözlemlerle uyumluluk göstermektedir. Olasılıkla B ve C noktaları arasında alg aktivitesinin daha yoğun olması bu kesimdeki çökelimin daha yüksek olmasının başlıca nedenidir.

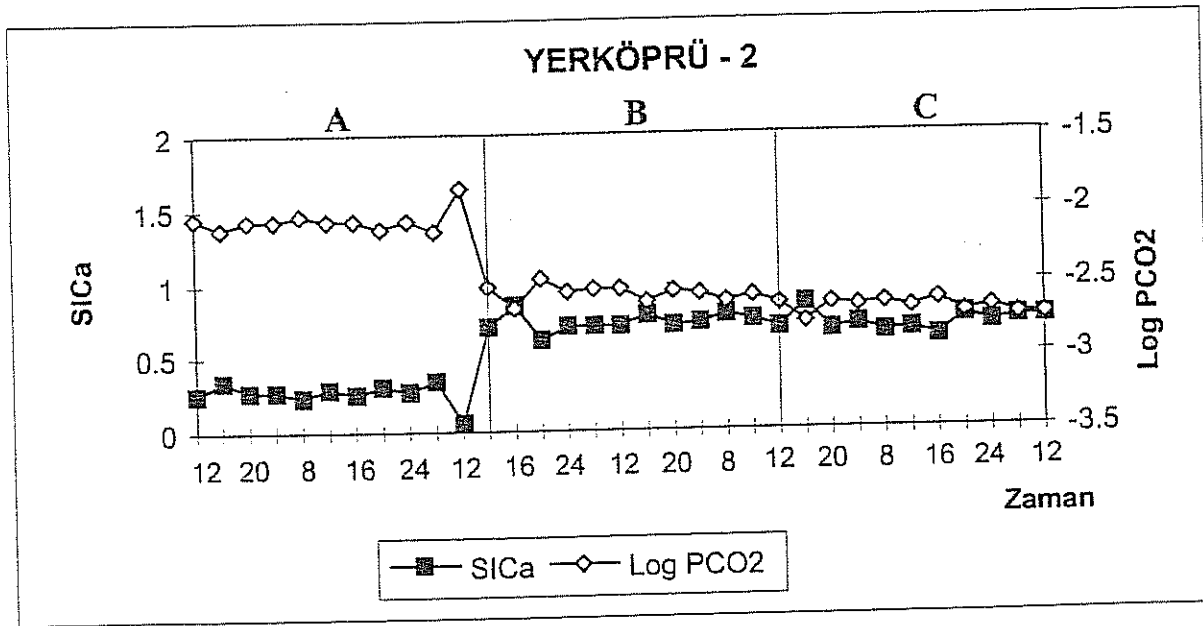
SI_{Ca} ve LogPCO_2 değişimi:

Kaynakta ve akım yolu boyunca seçilen kesitlerde kalsit doygunluk indisinin (SI_{Ca}) ve karbondioksit kısmi basıncının ($\text{logP}_{\text{CO}_2}$) zaman içindeki değişimi Şekil 5.17.'de gösterilmiştir. Her iki değişken birbirlerine bağımlı olduklarından zaman içindeki derişimleri paralellik göstermektedir. Kaynak $\text{logP}_{\text{CO}_2}$ değeri -2.0 dolayında olup, gözlem süresi boyunca

yaklaşık sabit kalmıştır. Benzer şekilde kaynak suyuna ait SICa değeri de 0.2 dolayında bir değere sahip olup, zaman içinde hafif bir salınım göstermektedir. Kaynak suyuna ait son ölçümlerde



Şekil 5.16.: Yerköprü 2 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).



Şekil 5.17.: Yerköprü 2 traverteninde logPco2 ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

SICa ve $\log P_{CO_2}$ değerlerinin daha önceki değerlerden farklı olduğu görülmektedir. Bu durum olasılıkla kaynak suyu pH'ının hatalı ölçülmüş olmasından kaynaklanmaktadır.

Kaynaktan itibaren atmosfere CO_2 kaçışına bağlı olarak $\log P_{CO_2}$ değeri B ve C noktalarında daha düşük değerler almaktadır. Gözlem noktaları arasında SICa ve $\log P_{CO_2}$ değerleri arasında en büyük farklılık A ve B noktaları arasında gözlenmektedir. Bu durumun A noktasında suyun $\log P_{CO_2}$ değeri ile atmosferik $\log P_{CO_2}$ değeri (ortalama $10^{-3.5}$ atm) arasındaki farklılığın diğer noktalara göre daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Öte yandan, A ve B noktaları arasında akım yatağının daha eğimli ve akımın çalkantılı olmasından dolayı atmosfere gaz kaçışının daha hızlı olduğu açıktır.

Öte yandan, akım yolu boyunca kalsit çökelişinin alg aktivitesinden dolayı gün boyu salınım gösterebileceği şeklinde yorumlanan EC değerlerinde gözlenen salınımlar $\log P_{CO_2}$ ve SICa değerlerince belirgin biçimde desteklenmemektedir. Örneğin B noktasında, güneşlenmenin ve dolayısıyla algler aracılığı ile sistemden CO_2 uzaklaşmasının maksimum düzeyde olduğu 13 ve 18 nolu örneklerde (her ikisi de saat 16'da yapılan gözlemler) beklendiği gibi daha düşük $\log P_{CO_2}$ değerleri elde edilmiştir. Buna karşın, C noktasında aynı zamanlara karşılık gelen 24 ve 29 nolu örneklerden, ilki sistemden algler aracılığı ile CO_2 uzaklaşmasını destekleyen bir görüntü sunarken 29 nolu örneğe ait $\log P_{CO_2}$ değeri beklenenin tersine daha yüksektir. Bu durum olasılıkla, C noktasından alınan örneklerin (ve bu noktaya ait pH ölçümlerinin) göllenmeden ve örneklemeden kaynaklanan bazı hatalar içermesinden kaynaklanmaktadır. C noktasına ulaşılırken, kısmen göl alanı içinde yürünmüştür. Bu durumun, gölün ölü kesimlerindeki suyun akış halindeki aktif kesime karışmasına neden olmuş olması mümkündür. Sonuç olarak, çok belirgin olmamakla birlikte, B ve C noktalarında günboyu $\log P_{CO_2}$ ve SICa değişimlerinde alg aktivitesinin etkili olduğu söylenebilir.

5.4.2.c. Ağustos 1994 saha çalışması:

Ağustos 1994 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında iki gözlem noktasında (A ve B) 4'er saat ara ile (saat 12:00, 16:00, 20:00, 24:00 ve 8:00) yaklaşık 48 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada B noktası olarak adlandırılan kesit Eylül 1993 saha çalışmasında C

olarak adlandırılan kesittir. Ağustos 1994 saha çalışması döneminde üretilen veriler Çizelge 5.8.'de verilmiştir.

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin yer ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.18.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8.: Yerköprü 2 traverteni Ağustos 1994 saha çalışması verileri.

(TEMP:sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, $\mu\text{S}/\text{cm}$; DO: çözülmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄: meq/l; L-PCO₂:log karbondioksit basıncı, atm; SICA:kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO₂ Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO₃/l)

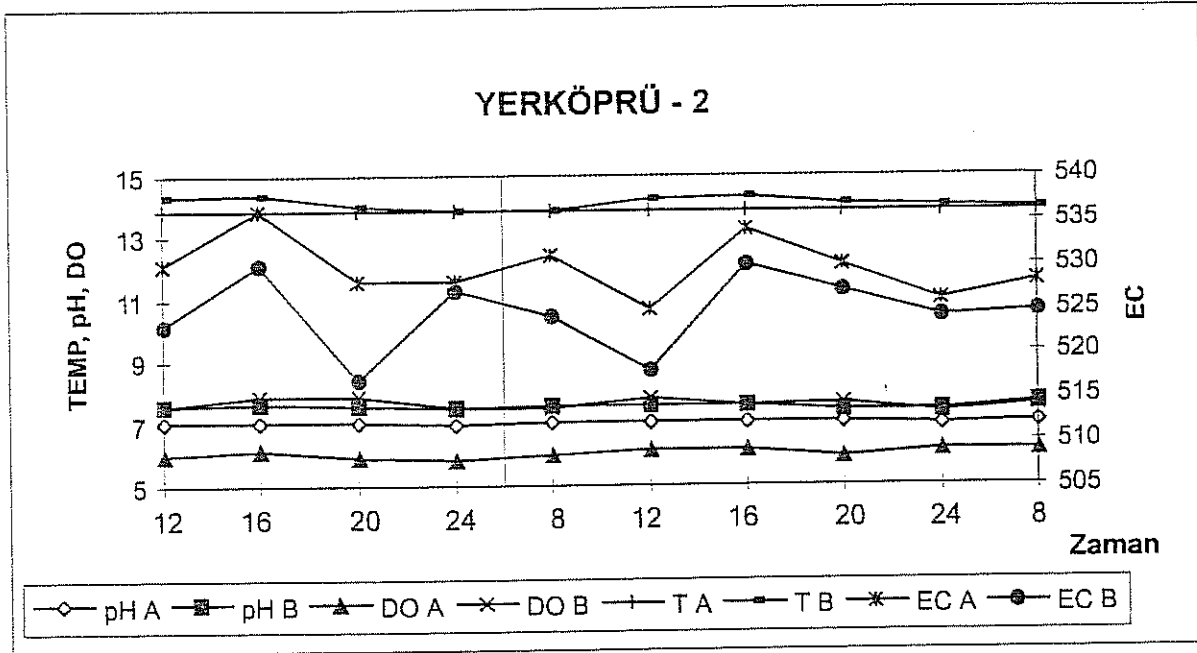
	SAAT	pH A	pH B	DO A	DO B	EC A	EC B	T A	T B	ALK A	ALK B	Ca A	Ca B	Mg A	Mg B	PCO ₂ A	PCO ₂ B	SI-CA A	SI-CA B
1	1200	7.08	7.54	6.0	7.6	530	523	13.9	14.3	4.770	4.590	3.755	3.682	0.934	0.911	-1.785	-2.268	-0.439	-0.041
2	1600	7.02	7.63	6.1	7.9	536	530	13.9	14.4	4.921	4.640	3.772	3.700	0.945	0.919	-1.709	-2.354	-0.486	0.054
3	2000	7.06	7.59	5.9	7.9	528	517	13.9	14.0	4.697	4.511	3.781	3.684	0.938	0.923	-1.773	-2.324	-0.462	0.001
4	2400	7.00	7.47	5.8	7.5	528	527	13.9	13.9	4.721	4.618	3.786	3.702	0.943	0.922	-1.710	-2.192	-0.519	-0.112
5	800	7.08	7.55	6.0	7.5	531	524	13.9	13.9	4.660	4.491	3.767	3.681	0.937	0.917	-1.797	-2.286	-0.448	-0.045
6	1200	7.01	7.59	6.1	7.8	525	518	13.9	14.3	4.726	4.520	3.773	3.693	0.947	0.919	-1.720	-2.326	-0.508	0.005
7	1600	7.04	7.58	6.1	7.6	534	530	13.9	14.3	4.872	4.680	3.767	3.706	0.944	0.916	-1.734	-2.298	-0.470	0.007
8	2000	7.03	7.46	5.9	7.6	530	527	13.9	14.1	4.870	4.620	3.784	3.682	0.934	0.924	-1.725	-2.183	-0.476	-0.122
9	2400	6.96	7.40	6.1	7.4	526	524	13.9	14.0	4.850	4.640	3.775	3.699	0.943	0.919	-1.657	-2.120	-0.547	-0.178
10	800	7.05	7.68	6.1	7.5	528	525	13.9	13.9	4.890	4.590	3.773	3.705	0.940	0.919	-1.742	-2.405	-0.455	0.097

Bu dönemde de kaynak suyu sıcaklık değerinin zaman içinde sabit olduğu (13.9°C) ve Eylül 1993 döneminde gözlenen değer (13.8°C) ile hemen hemen aynı olduğu saptanmıştır. Bu durum kaynağı besleyen yeraltısuyunun Yerköprü 1 kaynağında olduğu gibi bölgesel akım sistemi içinde uzun süre kalarak akifer ile sıcaklık dengesine ulaştığını göstermektedir. B noktasındaki sıcaklık değeri gün boyu salınım göstermekte olup; bu salınım hava sıcaklığının değişimine bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Bu dönemde kaynak suyu pH'ının 7.00 dolayında olduğu ve Eylül 1993'te gözlenen değerlere göre (pH=7.50) belirgin biçimde düşük olduğu gözlenmektedir. Beklendiği gibi, pH değeri akım yolu boyunca sistemden CO₂ kaçışından dolayı yükselmekte ve B noktasında 7.50 dolayında bir değere ulaşmaktadır. pH değerinin A ve B noktalarında zaman içindeki değişimi birbirine paralellik göstermektedir.

Bu dönemde gözlenen DO değeri kaynakta 6.0mg/l dolayında hafif bir salınım göstermektedir. Bu değer Eylül 1993 döneminde belirlenen değer (7.5mg/l) belirgin biçimde altında olup, bölgesel yeraltısuyu akış sisteminin bu bölümünde oksijen içeriğinin zaman içinde ölçülebilir değişim gösterebileceğine işaret etmektedir. Atmosferden sisteme

gaz girişinden dolayı kaynaktan itibaren akım yolu boyunca DO içeriği artmakta (yaklaşık 7.5mg/l) ve B noktasında gözlenen DO değerleri her zaman A noktasındakilerden yüksek olmaktadır. Hava ve su sıcaklığında ortaya çıkan değişimlerin bir sonucu olarak akış halindeki su ile dengede olan DO miktarının değişmesinden dolayı B noktasında gözlenen DO değerleri zaman içinde salınım göstermektedir.



Şekil 5.18.: Yerköprü 2 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

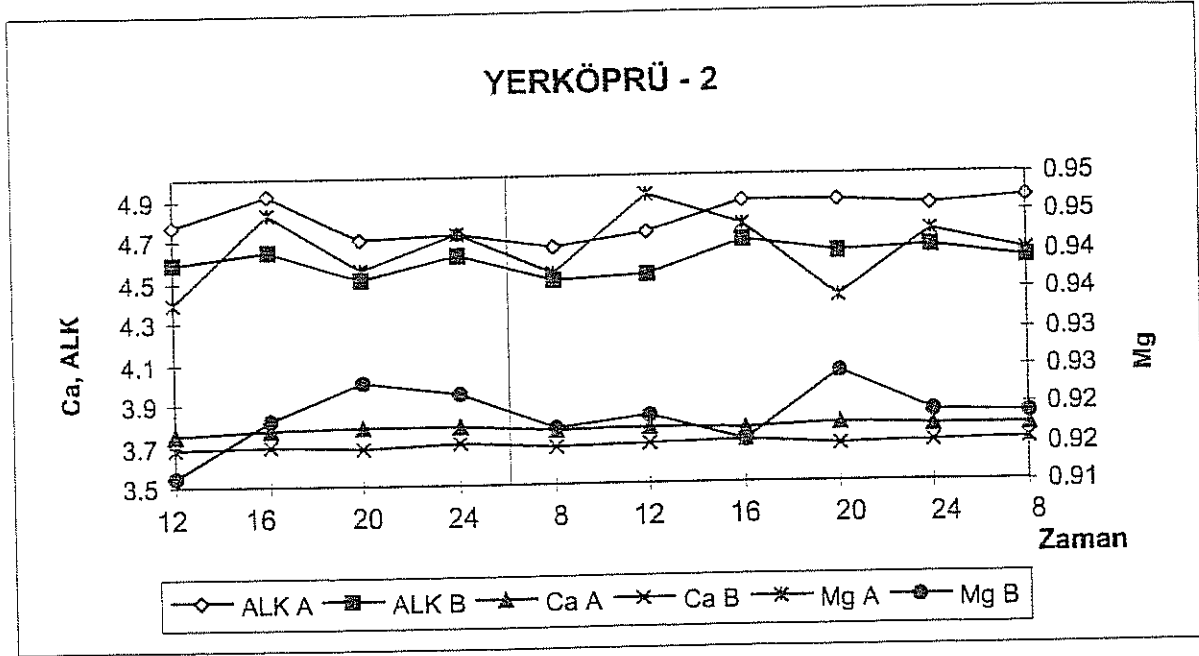
Kaynak suyunun EC değeri 530 μ S/cm dolayında hafif bir salınım göstermektedir. Kaynak suyu EC değerinde önemli bir değişimin olmaması su sıcaklığı ve iyon içeriğinde önemli bir değişimin olmayışından kaynaklanmaktadır. Kalsit çökeliminin bir sonucu olarak EC değeri akım yolunun B noktasında azalarak 525 μ S/cm dolayına inmektedir. A ve B noktalarında gözlenen EC değerlerinin salınımı birbirine paralel olup, B noktasına ait EC değerleri kalsit çökeliminin bir sonucu olarak her zaman A noktasında gözlenen değerlerin bir miktar altında kalmaktadır.

Majör iyon içeriğinin değişimi:

Kaynak şuyunda ve akış aşağıda yer alan B noktasına ait Ca, Mg ve Alkalinite değerlerinin değişimi Şekil 5.19.'te gösterilmiştir. A ve B noktalarında gözlenen Ca Mg ve alkalinite

içerikleri zaman içinde hafif bir salınım göstermektedir. B noktasının Ca, Mg ve alkalinite değerleri, kalsit çökeliminin bir sonucu olarak her zaman A noktasına ait değerlerin altında kalmaktadır. Öte yandan, A ve B noktalarının Mg içeriklerinde gözlenen (özellikle 8 nolu örneklerde) bazı düzensizliklerin analitik hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kaynak suyunun ortalama Ca, Mg ve alkalinite değerleri sırasıyla 3.75, 0.95 ve 4.85 meq/l dolayındadır. B noktasına ait Ca, Mg ve alkalinite içeriği ise sırasıyla 3.70, 0.92 ve 4.65 meq/l dolayında değerler almaktadır.



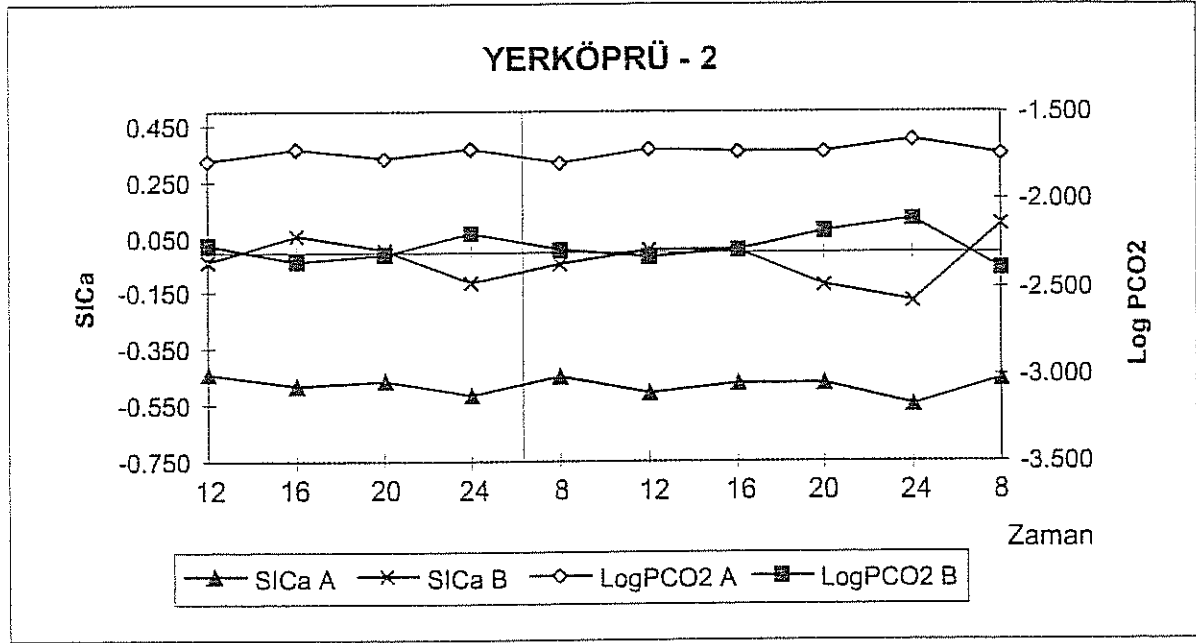
Şekil 5.19.: Yerköprü 2 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

SI_{Ca} ve LogPCO₂ değişimi:

Bu dönemde kaynak suyunun logP_{CO2} değeri -1.75 atm civarında olup, gözlem süresi boyunca çok zayıf bir salınım gözlenmektedir (Şekil 5.20). Bu salınımın olasılıkla analitik hatalardan kaynaklandığı ve logP_{CO2} değerinin sabit olduğu düşünülebilir. Benzer şekilde kaynak suyuna ait SI_{Ca} değerleri de -0.45 dolayında olup, yeraltısuyu akış sisteminin kalsite göre doygunluğa ulaşmadığını göstermektedir. Kaynaktan sonra atmosfere CO₂ kaçışına bağlı olarak logP_{CO2} değeri B noktasında -2.2 atm dolayına düşmekte ve buna bağlı olarak ta, B noktasındaki SI_{Ca} değeri -0.05 dolayına yükselmektedir. B noktasında gözlenen SICa değerlerinin 0'ın üzerine

çıkarmaması, bir kısım suyun traverten oluşumuna katkıda bulunamadan Yerköprü 2 traverten alanını terk ettiğini göstermektedir.

Kaynak suyunun bu dönemde gözlenen $\log P_{CO_2}$ değeri (-1.7atm) Eylül 1993'teki değere (yaklaşık -2.0 atm) bir miktar daha yüksektir. Benzer biçimde SI_{Ca} değeri de (-0.45) Eylül 1993'te belirlenen değerin (+0.25) oldukça altında kalmaktadır.



Şekil 5.20.: Yerköprü 2 traverteninde $\log P_{CO_2}$ ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

5.4.3.d. Mayıs 1993 saha çalışması:

Mayıs 1993 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında iki gözlem noktasında (A ve B) 4'er saat ara ile (saat 12:00, 16:00, 20:00, 24:00 ve 08:00) yaklaşık 24 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada B noktası olarak adlandırılan kesit Eylül 1993 saha çalışmasında C olarak adlandırılan kesittir. Mayıs 1993 saha çalışması döneminde üretilen veriler Çizelge 5.9.'da verilmiştir.

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

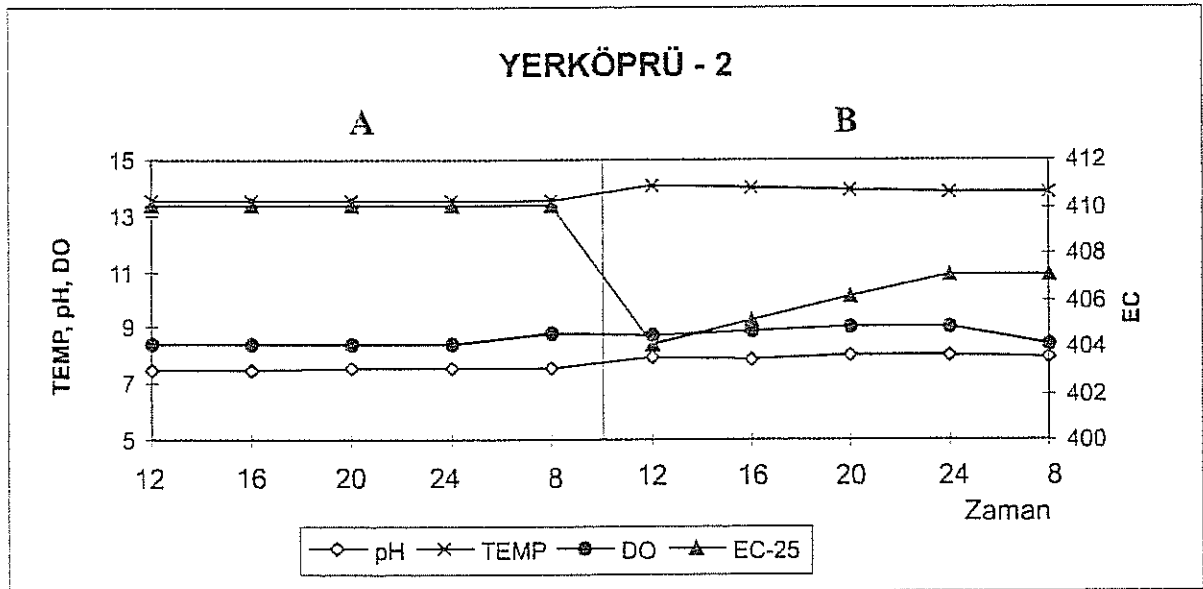
Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin A ve B noktalarında ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.

Bu dönemde de kaynak suyu sıcaklık değerinin zaman içinde sabit olduğu (13.5°C) ve Eylül 1993 (13.8 °C) ve Ağustos 1994 (13.9 °C) döneminde gözlenen değerlerin biraz altında olduğu saptanmıştır. Benzer durum Yerköprü 1 kaynağında da gözlenmiş olup; olasılıkla bahar aylarında sisteme giren soğuk suların etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer dönemlerde olduğu gibi, bu dönemde de atmosferik sıcaklık girişiminden dolayı B noktasında gözlenen sıcaklıklarda hafif oynamalar gözlenmektedir.

Çizelge 5.9.: Yerköprü 2 travertenini Mayıs 1993 saha çalışması verileri.

(TEMP:sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, µS/cm; DO: çözülmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO4: meq/l; L-PCO2:log karbondioksit basıncı, atm; SICA:kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO2 Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO3/l)

Y2-A	SAAT	pH	EC-25	TEMP	DO	Ca	Mg	Na	K	SO4	Cl	HCO3	L-PCO2	SICA	CO2 Tot
1	12	7.519	410	13.5	8.4	4.271	1.069	0.609	0.313	0.684	0.700	4.750	-2.142	0.267	5.08E-03
2	16	7.493	410	13.5	8.4	4.316	1.069	0.555	0.230	0.665	0.750	4.743	-2.111	0.246	5.09E-03
3	20	7.560	410	13.5	8.4	4.250	1.110	0.544	0.243	0.684	0.750	4.950	-2.163	0.327	5.25E-03
4	24	7.593	410	13.5	8.4	4.192	1.049	0.587	0.313	0.665	0.750	4.789	-2.207	0.337	5.06E-03
5	8	7.579	410	13.5	8.8	4.366	1.028	0.620	0.160	0.665	0.750	4.725	-2.205	0.334	5.00E-03
Y2-B															
6	12	7.971	404	14.1	8.7	4.129	1.049	0.583	0.275	0.613	0.700	4.572	-2.611	0.690	4.64E-03
7	16	7.882	405	14.0	8.9	4.173	1.049	0.552	0.216	0.632	0.750	4.600	-2.517	0.607	4.70E-03
8	20	7.994	406	13.9	9.0	4.200	1.028	0.544	0.205	0.632	0.750	4.800	-2.611	0.732	4.86E-03
9	24	7.992	407	13.8	9.0	4.117	1.028	0.588	0.198	0.627	0.700	4.625	-2.628	0.709	4.69E-03
10	8	7.941	407	13.8	8.4	4.094	1.028	0.587	0.122	0.665	0.750	4.600	-2.579	0.655	4.68E-03



Şekil 5.21.: Yerköprü 2 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).

Kaynak suyunun elektriksel iletkenliği gözlem süresince zaman içinde sabit olduğu gözlenmiştir (410 μ S/cm). Bu dönemdeki EC değeri diğer dönemlere (Eylül 1993, 580 μ S/cm; Ağustos 1994, 530 μ S/cm) göre belirgin biçimde daha düşüktür. B noktası ile kaynağın EC değeri arasında gözlem süresi boyunca küçük bir farklılığın olduğu saptanmıştır. B noktasının EC değeri her zaman kaynak suyu EC değerinin altında bulunmaktadır.

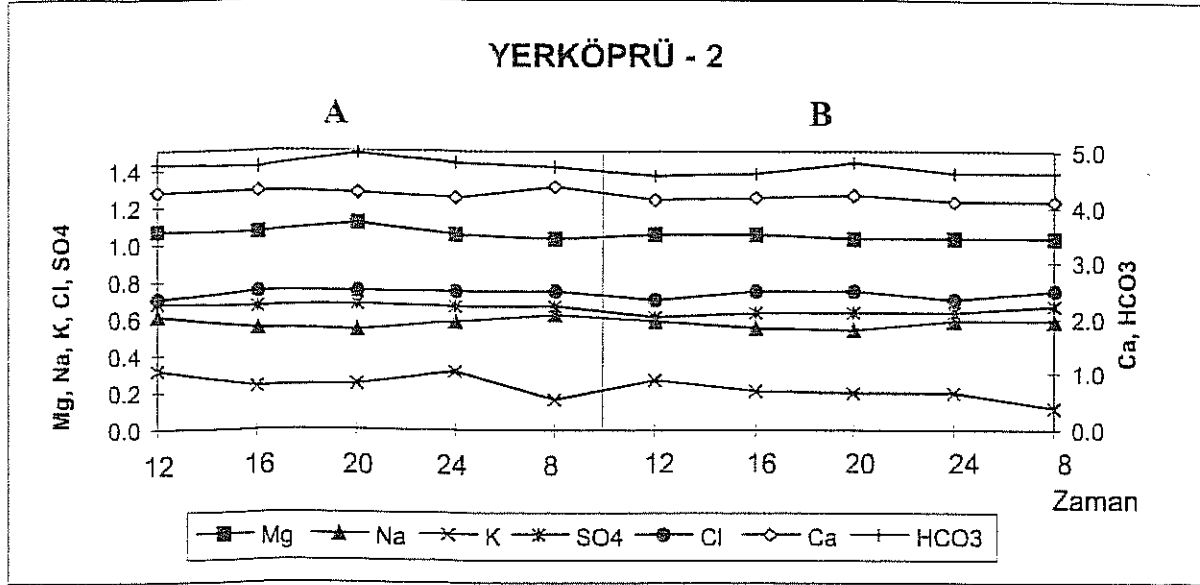
Bu dönemde, kaynak suyu pH'ının 7.55 dolayında olduğu saptanmıştır. Bu değeri Eylül 1993 (pH=7.45) döneminde belirlenen pH'a yakın olmasına karşın Ağustos 1994 (pH=7.0) döneminde belirlenen pH değerinin belirgin biçimde üstündedir. B noktasındaki pH değeri sistemden atmosfere CO₂ kaçışından dolayı akım yolu boyunca yükselmektedir. Eylül 1993 ve Ağustos 1994 dönemlerinde kaynağın akış aşağısında gözlenen pH salınımları bu dönemde belirgin biçimde gözlenmemektedir. Bu durum, pH salınımlarında etkili olabilecek alg aktivitesinin bu dönemde oldukça az oluşundan yada söz konusu salınının gözlenebilmesi için yeterince uzun gözlem yapılmamış olmasından kaynaklanabilir.

DO değeri kaynakta 8.40mg/l dolayında sabit bir değere sahiptir. Kaynakta yapılan son DO ölçümü (5 nolu değeri) 8.8 mg/l olup, bu değeri olasılıkla ölçüm hatasından kaynaklanmaktadır. DO içeriği Kaynaktan sonra B noktasında artış göstermektedir. Önceki bölümlerde değinildiği gibi atmosferden sisteme gaz girişinden dolayı kaynaktan itibaren akım yolu boyunca DO içeriği artmaktadır.

Majör iyon içeriğinin değışimi:

Kaynak suyunda ve akış aşağıda yer alan B noktasına ait suda majör iyon içeriğinin değışimi Şekil 5.22.'de gösterilmiştir. Diğer dönemlerde olduğu gibi, bu dönemde de her iki noktada da hakim bileşenler Ca ve alkalinitedir. Yine her iki noktada da gözlem süresince önemli bir salınım gözlenmemektedir. K derişiminde gözlenen bazı sapmaların normal sınırlardaki analitik hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir. A ve B noktaları arasında iyonik kompozisyonda gözlenen en belirgin değışiklik Ca ve alkalinite parametrelerinde saptanmıştır. Mg içeriğindeki azalma çok az olmakla birlikte bunun kalsit çökelimine Mg'un eşlik etmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Sonuç olarak, bu dönemde Yerköprü 2 traverten alanında diğer dönemlere göre daha az miktarda kalsit çökeliminin olduğu

anlaşılmaktadır. Diğer majör iyonların A ve B noktalarında gözlenen derişimleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemektedir.



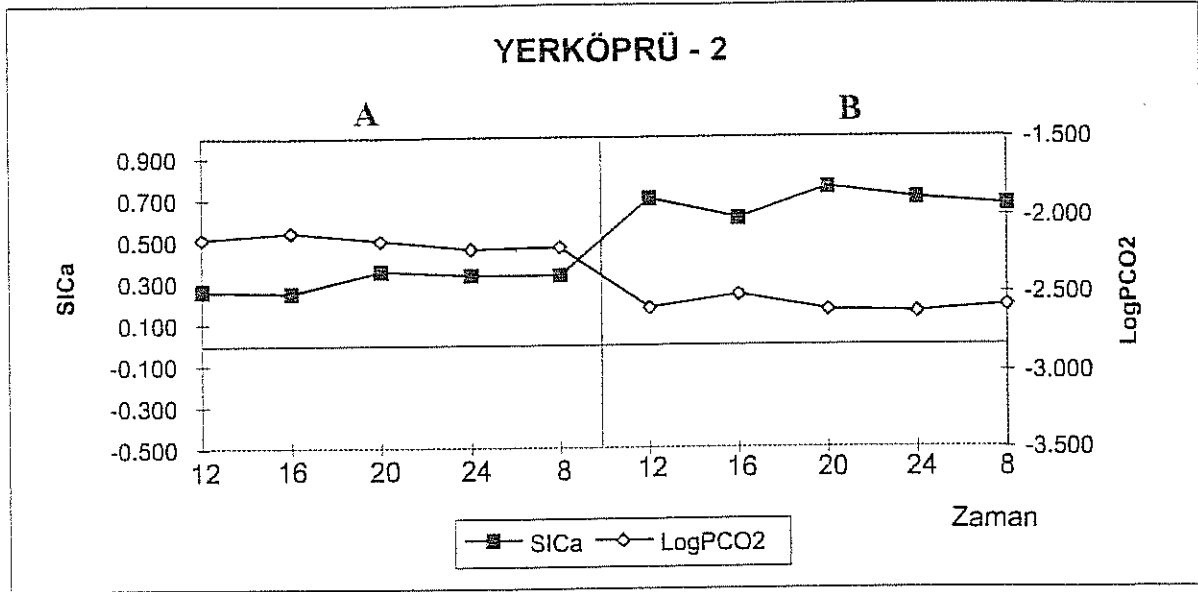
Şekil 5.22.: Yerköprü 2 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).

SI_{Ca} ve $\log PCO_2$ değişimi:

Kaynakta ve akım yolu boyunca seçilen B kesitindeki kalsit doygunluk indisinin (SI_{Ca}) ve karbondioksit kısmi basıncının ($\log PCO_2$) zaman içindeki değişimi Şekil 5.23.'te gösterilmiştir. Bu dönemde kaynak suyunun $\log PCO_2$ değeri -2.15atm dolayında olup; bu değer Eylül 1993 (-2.0atm) ile Ağustos 1994 (-1.75atm) dönemlerinde gözlenen değerlerden düşüktür. Yine diğer dönemlerde olduğu ve teorik olarak da beklendiği gibi $\log PCO_2$ ve SI_{Ca} değerleri birbirlerine bağımlı olduklarından zaman içindeki değişimleri paralellik göstermektedir. Sistemden CO_2 kaçışına bağlı olarak B noktasında gözlenen $\log PCO_2$ değerleri daha düşük olup; -2.6 dolayındadır.

Kaynak ile B noktası arasında sistemden CO_2 kaçışına bağlı olarak SI_{Ca} değeri de yükselmektedir. Kaynakta yaklaşık 0.30 dolayında olan SI_{Ca} değeri B noktasında 0.70

dolayına yükselmektedir. Bu değerler Yerköprü 1 kaynağının aynı dönemdeki değerleri ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 5.23.: Yerköprü 2 traverteninde logP_CO2 ve SI_Ca değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Mayıs 1993).

5.4.3. Yerköprü 3 travertenini

5.4.3.a. örnekleme-ölçüm kesitleri:

Yerköprü 3 traverten alanında yürütülen hidrojeokimyasal çalışmalarda ölçüm ve örneklemler seçilen 4 ayrı kesitte yürütülmüştür. İncelenen su noktalarının traverten alanındaki konumları Şekil 4.13.'te gösterilmiş olup; bunların özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

A noktası:

Yerköprü 3 traverten alanı üzerinde, traverten ile kireçtaşı sınırı boyunca bir dizi küçük (1-10 l/s) debili kaynak boşalmakta, bunlardan boşalan sular dereler aracılığı ile traverten üzerinden akarak, akarsuya boşalmaktadırlar. Bu derelerden en uzun olanı bu çalışmada traverten

ökeliminin incelenmesi amacıyla seçilmiştir. A noktası söz konusu dereyi besleyen kaynaktır.

B noktası:

Kaynak tarafından oluşturulan derecik kuzey doğuya yönelerek akışa devam etmekte yaklaşık 50m sonra çatallanarak iki ayrı kola ayrılmaktadır. B noktası derenin çatallandığı noktanın 5m kadar akış yukarısında seçilmiştir.

C noktası:

B noktasından sonra çatallanan derenin kuzeyde kalan kolu daha kısa olup, yaklaşık 50m sonra akarsuya boşalmaktadır. C noktası daha uzun olan ikinci kol üzerinde çatallanma noktasının 30m kadar akışaşağısında seçilmiştir. C noktasının bulunduğu kesimin hemen akış aşağısında dere yatağı genişlemekte ve yatak eğimi artmaktadır. Bu kesimde yatak mikro boyutlu traverten teraslarından oluşmaktadır.

D noktası:

D noktası, C noktasından sonra akışa devam eden dereciğin akarsuya boşaldığı noktanın 2m kadar akış yukarısında seçilmiştir. Bu noktada, dere bir dizi yükseklikleri 0.5 m dolayında olan küçük şelalelerden geçmektedir. D noktası ile C noktası arasındaki uzaklık yaklaşık 50m kadardır.

Hidrojeokimyasal gözlemlerin yürütüldüğü derenin B ve D kesitleri arasında kalan bölümde, dereye 3 ayrı kaynaktan katılım olmaktadır. Söz konusu katılımlar küçük ölçekli olup, dereyi besleyen kaynak ile benzer fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptirler. Dolayısıyla bu katılımlardan dolayı dere suyu kimyasının önemli oranda değişmediği düşünülmektedir.

5.4.3.b. Eylül 1993 saha çalışması

Eylül 1993 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında A, B, C ve D noktalarında 4'er saat ara ile (saat 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 ve 24:00) 48 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada üretilen veriler Çizelge 5.10.'da verilmiştir.

Çizelge 5.10.: Yerköprü 3 travertenini Eylül 1993 saha çalışması verileri.

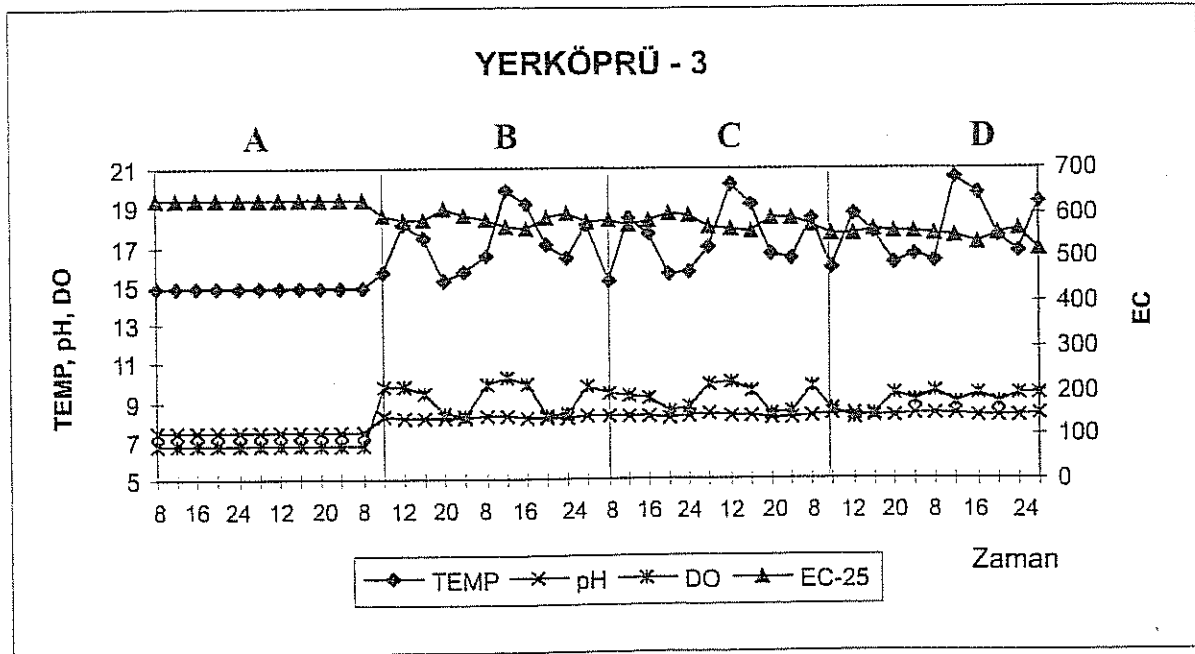
(TEMP: sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, $\mu\text{S}/\text{cm}$; DO: çözünmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 : meq/l; L-PCO₂: log karbondioksit basıncı, atm; SICA: kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO₂ Tot: Toplam karbondioksit, meq HCO₃/l)

Y3-A	SAAT	TEMP	EC	pH	DO	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	L-PCO ₂	SICA	CO ₂ Tot
1	8	14.8	627	7.480	6.7	5.240	0.987	0.652	0.179	1.100	0.916	5.059	-2.072	0.346	5.43E-03
2	12	14.8	627	7.442	6.7	5.140	0.971	0.652	0.168	1.100	0.898	4.921	-2.043	0.288	5.32E-03
3	16	14.8	627	7.414	6.7	5.240	0.971	0.652	0.168	1.136	0.912	4.870	-2.017	0.262	5.29E-03
4	20	14.8	627	7.459	6.7	5.140	0.965	0.627	0.162	1.100	0.896	5.021	-2.054	0.316	5.41E-03
5	24	14.8	627	7.465	6.7	5.240	0.987	0.652	0.162	1.120	0.888	5.099	-2.048	0.330	5.49E-03
6	8	14.8	627	7.440	6.7	5.140	0.971	0.652	0.169	1.100	0.902	4.935	-2.042	0.289	5.33E-03
7	12	14.8	627	7.416	6.7	5.190	0.977	0.640	0.164	1.100	0.888	4.986	-2.017	0.278	5.41E-03
8	16	14.8	627	7.414	6.7	5.240	0.987	0.652	0.165	1.098	0.898	5.050	-2.002	0.276	5.49E-03
9	20	14.8	627	7.442	6.7	5.190	0.971	0.665	0.170	1.120	0.896	5.092	-2.028	0.306	5.50E-03
10	24	14.8	627	7.446	6.7	5.240	0.971	0.652	0.168	1.100	0.888	5.269	-2.024	0.333	5.68E-03
11	8	14.8	627	7.429	6.7	5.240	0.987	0.652	0.173	1.160	0.908	5.110	-2.017	0.300	5.53E-03
Y3-B															
12	8	15.7	596	8.220	9.7	4.777	0.928	0.696	0.169	1.156	0.892	4.370	-2.883	0.984	4.34E-03
13	12	18.1	582	8.120	9.7	4.610	0.930	0.682	0.161	1.120	0.897	4.374	-2.767	0.909	4.37E-03
14	16	17.4	585	8.120	9.4	4.641	0.913	0.696	0.160	1.133	0.902	4.374	-2.770	0.902	4.37E-03
15	20	15.2	609	8.090	8.4	4.607	0.922	0.696	0.179	1.140	0.897	4.534	-2.734	0.854	4.55E-03
16	24	15.7	596	8.140	8.3	4.598	0.913	0.696	0.163	1.162	0.899	4.512	-2.786	0.906	4.51E-03
17	8	16.5	585	8.260	9.9	4.591	0.930	0.676	0.163	1.124	0.888	4.325	-2.925	1.013	4.28E-03
18	12	19.8	566	8.230	10.2	4.564	0.931	0.685	0.169	1.124	0.898	4.300	-2.880	1.025	4.25E-03
19	16	19.2	562	8.180	9.9	4.591	0.921	0.691	0.171	1.142	0.898	4.381	-2.823	0.980	4.35E-03
20	20	17.1	589	8.100	8.2	4.572	0.925	0.663	0.159	1.160	0.893	4.541	-2.735	0.888	4.55E-03
21	24	16.4	598	8.110	8.4	4.592	0.905	0.694	0.161	1.127	0.896	4.571	-2.746	0.892	4.58E-03
22	8	18.1	576	8.220	9.7	4.610	0.928	0.675	0.159	1.153	0.893	4.453	-2.863	1.010	4.41E-03
Y3-C															
23	8	15.2	584	8.250	9.4	4.573	0.872	0.652	0.164	1.156	0.890	4.150	-2.938	0.969	4.11E-03
24	12	18.5	571	8.220	9.3	4.393	0.855	0.702	0.170	1.153	0.906	4.089	-2.896	0.964	4.05E-03
25	16	17.6	582	8.190	9.2	4.391	0.868	0.705	0.166	1.130	0.902	4.182	-2.860	0.932	4.16E-03
26	20	15.5	599	8.150	8.5	4.367	0.860	0.688	0.172	1.160	0.894	4.267	-2.820	0.871	4.26E-03
27	24	15.7	596	8.190	8.7	4.396	0.863	0.708	0.161	1.168	0.906	4.332	-2.854	0.920	4.32E-03
28	8	17	567	8.310	9.9	4.358	0.855	0.702	0.167	1.150	0.897	4.182	-2.988	1.034	4.12E-03
29	12	20.2	561	8.280	10.0	4.376	0.870	0.696	0.165	1.136	0.906	4.040	-2.956	1.036	3.98E-03
30	16	19.1	558	8.220	9.5	4.364	0.864	0.696	0.161	1.156	0.898	4.178	-2.884	0.978	4.14E-03
31	20	16.6	590	8.170	8.4	4.382	0.873	0.688	0.172	1.165	0.907	4.270	-2.835	0.907	4.26E-03
32	24	16.4	586	8.180	8.5	4.376	0.864	0.696	0.157	1.165	0.894	4.371	-2.836	0.923	4.35E-03
33	8	18.5	571	8.270	9.8	4.391	0.840	0.684	0.170	1.168	0.906	4.180	-2.939	1.019	4.13E-03
Y3-D															
34	8	15.9	551	8.340	8.6	4.391	0.823	0.720	0.162	1.124	0.902	3.883	-3.056	1.020	3.82E-03
35	12	18.7	551	8.330	8.1	4.147	0.803	0.711	0.169	1.150	0.894	3.890	-3.031	1.028	3.82E-03
36	16	17.7	564	8.300	8.4	4.142	0.812	0.711	0.161	1.165	0.894	3.955	-2.997	0.993	3.90E-03
37	20	16.1	560	8.280	9.4	4.142	0.812	0.694	0.153	1.142	0.886	4.063	-2.972	0.963	4.02E-03
38	24	16.6	560	8.310	9.1	4.142	0.805	0.708	0.167	1.145	0.899	4.047	-3.002	0.996	3.99E-03
39	8	16.3	552	8.380	9.5	4.150	0.827	0.711	0.153	1.147	0.899	4.007	-3.082	1.054	3.93E-03
40	12	20.5	547	8.350	8.9	4.129	0.796	0.696	0.168	1.176	0.901	3.800	-3.053	1.059	3.72E-03
41	16	19.7	534	8.290	9.4	4.147	0.814	0.708	0.153	1.165	0.894	3.934	-2.979	1.008	3.88E-03
42	20	17.5	554	8.240	9.0	4.142	0.806	0.708	0.166	1.150	0.898	4.078	-2.922	0.946	4.04E-03
43	24	16.7	564	8.280	9.4	4.148	0.814	0.696	0.166	1.156	0.896	4.171	-2.958	0.982	4.13E-03
44	8	19.3	516	8.310	9.4	4.158	0.814	0.696	0.153	1.168	0.906	3.979	-2.997	1.027	3.92E-03

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin yer ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.24.'te gösterilmiştir.

Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 kaynaklarından her zaman daha yüksek sıcaklığa sahip olan Yerköprü 3 kaynak suyu sıcaklığı bu dönemde 14.8 °C olup, gözlem süresince bu değerde sabit kalmıştır. Kaynaktan sonra B, C ve D noktalarında su sıcaklığı atmosferden ısı girişi nedeniyle değişmekte, ısı girdisinin yüksek olduğu gündüz saatlerinde en yüksek düzeyine ulaşmakta, gece saatlerinde ise azalmaktadır. Gece hava sıcaklığının kaynak suyu sıcaklığının altına düşmemesi nedeniyle, akım yolu üzerinde bulunan B, C ve D noktalarında da su sıcaklığı kaynak suyu sıcaklığının altına düşmemiştir. Akım yolu boyunca sıcaklık artışı devamlı olup, en yüksek değerler, derenin kaynağa en uzak kesiminde yer alan ve dolayısıyla atmosferik ısı girişinin daha etkili olduğu D noktasında gözlenmiştir.



Şekil 5.24.: Yerköprü 3 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

Sıcaklıkta olduğu gibi, benzer şekilde Yerköprü 3 kaynağı diğer kaynaklara oranla daha yüksek EC değerine sahiptir. Bu dönemde kaynak suyu EC değeri zaman içinde sabit olup, 627 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak belirlenmiştir. EC değeri kaynağın akım aşağısında kalsit çökelimine bağlı olarak belirgin biçimde azalmaktadır. B, C ve D noktalarında gözlenen EC değerleri gün

boyu salınım göstermekte olup en yüksek değerler saat 12-16 dolayında, en düşük değerler ise saat 24 dolayında gözlenmektedir. Bu durum, kalsit çökeliminin gün boyu salınım gösterdiğine işaret etmekte olup, ileride değinileceği üzere çökelimdeki salınımlar dere yatağında yaygın olarak yer alan alglerin yaşamsal aktiviteleri ile ilişkilidir.

Bu dönemde kaynak suyu pH değeri 7.4 dolayında olup, gözlem süresi boyunca hafif salınımlar göstermiştir. Söz konusu salınımların büyük oranda ölçümler sırasında elektrod sıcaklığının kaynak suyu sıcaklığı ile yeterince dengeye ulaşmamasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Diğer kaynaklarda olduğu ve teorik olarak da beklendiği gibi kaynaktan hemen sonra atmosfere hızla CO₂ kaçışından dolayı pH yükselmektedir. pH akım yolu boyunca sürekli yükselmekte ve sırasıyla B, C, ve D noktalarında yükselen değerler almaktadır. Atmosferik CO₂ ile aradaki farkın büyüklüğünden dolayı en hızlı CO₂ kaçıışı A ve B noktaları arasında olmakta, bunun bir sonucu olarak da en yüksek pH artışı bu kesimde gözlenmektedir. Bu dönemde B, C ve D noktalarında gözlenen pH sırasıyla 8.1, 8.2 ve 8.3 düzeyindedir.

Kaynak suyunun DO içeriğinin bu gözlem döneminde 6.7 mg/l düzeyinde sabit olduğu, önemli bir değişim göstermediği saptanmıştır. Kaynaktan hemen sonra, atmosferik oksijen girdisinden dolayı suyun DO içeriği artmaktadır. B, C ve D kesitlerinde yapılan gözlemlerde DO değerinin gün boyu salınım gösterdiği saptanmıştır. İncelenen diğer traverten alanlarında olduğu gibi, burada da DO içeriğindeki salınımların temel nedeni su sıcaklığının değişen hava sıcaklığına uyum göstermeye çalışması, bunun bir sonucu olarak da DO çözünürlüğünün değişmesidir.

Majör iyon içeriğinin değişimi:

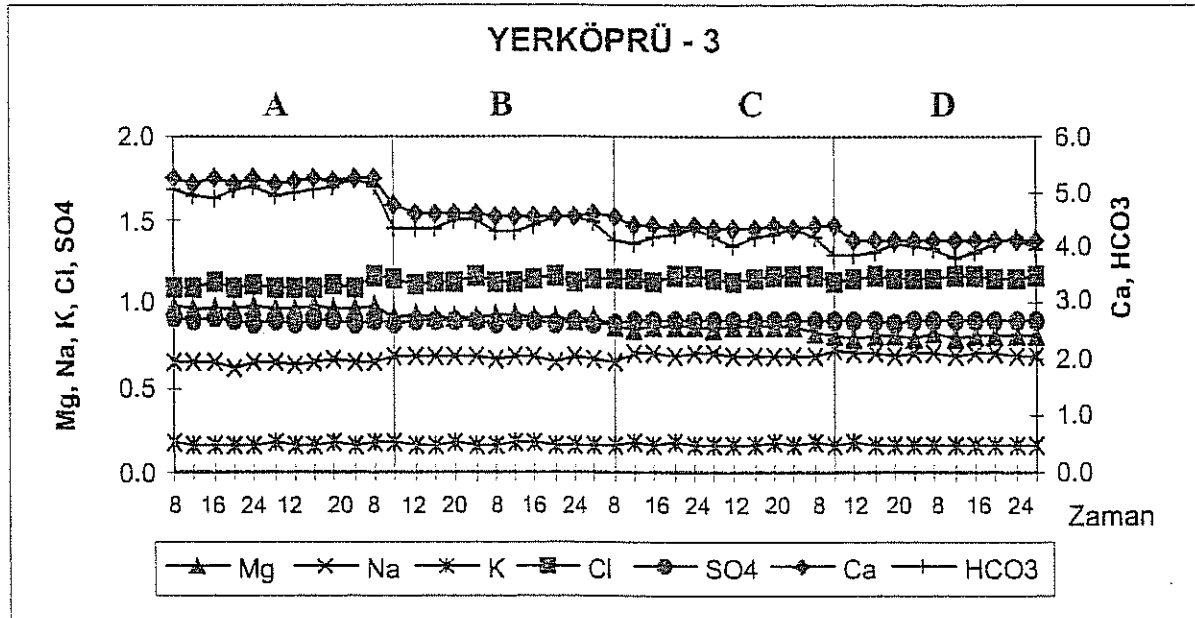
Kaynak suyunda ve kaynaktan itibaren oluşan dereler üzerindeki kesitlerde majör iyon içeriğinin değişimi Şekil 5.25.'te gösterilmiştir. Majör iyon içeriği A noktasında zaman içinde önemli bir değişim göstermemekte olup, her bir iyon derişimindeki salınımlar analitik hata sınırları içinde kalmaktadır.

Majör iyonlar arasında en belirgin değişim Ca ve HCO₃⁻ iyonlarında gözlenmektedir. Kalsit çökelimine bağlı olarak akım yolunun ilerleyen bölümlerinde suyun Ca ve HCO₃⁻ derişimi belirgin biçimde azalmaktadır. Benzer şekilde Mg içeriğinde de azalma gözlenmektedir. Bu durum diğer kaynaklarda olduğu gibi bu traverten alanında da kalsit çökelimine Mg'un eşlik

ettiğini göstermektedir. Ca ve Mg iyon derişimlerinde net olarak gözlenememekle birlikte alkalinite gün boyunca periyodik bir salınım göstermektedir. Bu durum, kalsit çökeliminde alg aktivitesinin etkili olduğu şeklindeki daha önce belirtilen görüşleri desteklemektedir.

Öte yandan, Na ve Cl iyonları kaynaktan itibaren akım yolu boyunca hafif bir artış göstermektedir. Yerköprü 3 traverten alanı incelenen traverten alanları içinde denize en yakını olup, ayrıca en uzun akım yatağına sahiptir. Dolayısıyla, Akdeniz'den itibaren Zamantı Nehri vadisi boyunca yüksek kotlara doğru hareket eden hava akımlarının atmosferik nem içinde "kuru yağış" (dry fall-out) şeklinde Na ve Cl iyonlarını denizden iç kesimlere taşıdığı incelenen derenin akım yolu boyunca söz konusu iyon derişimlerinde hafif bir artışa neden olduğu düşünülmektedir.

Diğer majör iyonların akım yolu boyunca derişimlerinde önemli bir değişim olmayıp; K'un gösterdiği salınımın bu iyonun saptanmasında karşılaşılan analitik hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.25.: Yerköprü 3 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

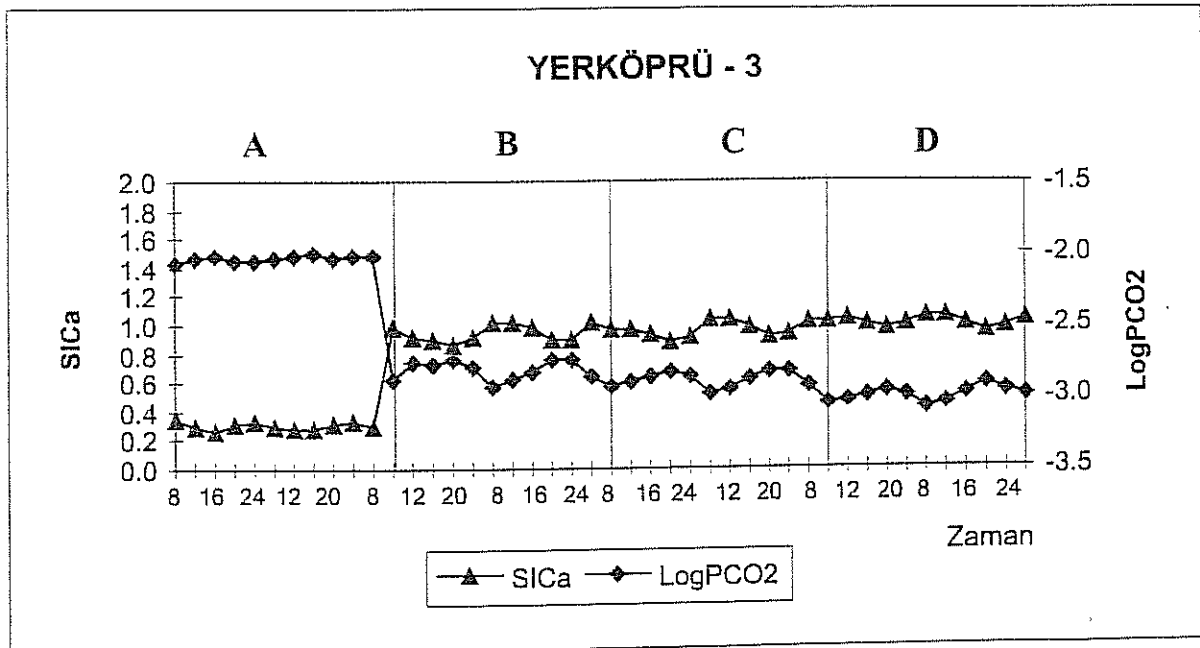
SI_{Ca} ve LogPCO₂ değişimi:

Kaynakta ve akım yolu boyunca seçilen kesitlerde kalsit doygunluk indisinin (SI_{Ca}) ve karbondioksit kısmi basıncının (logP_{CO2}) zaman içindeki değişimi Şekil 5.26.'da

gösterilmiştir. Her iki değişken bir birlerine bağımlı olduklarından zaman içindeki değişimleri paralellik göstermektedir. Bu dönemde kaynak $\log P_{CO_2}$ -2.1atm dolayında olup; zaman içinde sabittir. Buna karşın, SI_{Ca} değerinde (0.3) gözlem süresince gün boyu hafif değişimler olduğu saptanmıştır. Daha önce de değinildiği gibi, kaynaktan akış aşağıda atmosfere hızlı gaz kaçışından dolayı $\log P_{CO_2}$ değeri azalarak B noktasında -2.8 atm dolayına inmektedir. $\log P_{CO_2}$ değerindeki düşüş akım yolunun aşağı kesimlerinde yer alan C ve D noktalarında azalarak devam etmekte, D noktasında atmosferik değere ($\log P_{CO_2} = 10^{-3.5}$ atm) oldukça yaklaşmaktadır.

Kaynağın akım aşağısında yer alan B, C ve D kesitlerinde gözlenen $\log P_{CO_2}$ değerleri gün boyu belirgin bir salınım göstermektedir. $\log P_{CO_2}$ değerinin akım yolu boyunca azalmasına karşın, bu kesitlerin tümünde en yüksek değerlere gündüz saat 8-12 dolaylarında, en düşük değerlere ise gece saat 20-24 dolayında rastlanmaktadır. Diğer kaynaklarla kıyaslandığında, Yerköprü 3 traverten alanında $\log P_{CO_2}$ salınımının daha belirgin olması burada akım yolu üzerinde daha bol miktarda algin bulunuşu ile açıklanabilir. Yerköprü 3 traverten alanında alg/su hacmi oranı diğer traverten alanlarına göre belirgin biçimde yüksektir.

Akım yolu boyunca $\log P_{CO_2}$ salınımına bağlı olarak SI_{Ca} değeri de salınım göstermekte, en yüksek SI_{Ca} değerlerine gündüz saat 8-12 dolayında, en düşük değerler ise gece saat 20-24 dolayında rastlanmaktadır.



Şekil 5.26.: Yerköprü 3 traverteninde $\log P_{CO_2}$ ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).

5.4.3.c. Ağustos 1994 saha çalışması:

Ağustos 1994 döneminde gerçekleştirilen saha çalışmasında üç gözlem noktasında (A, B ve C) 4'er saat ara ile (saat 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 ve 24:00) yaklaşık 72 saat boyunca gözlem yapılmıştır. Bu çalışmada C noktası olarak adlandırılan kesit Eylül 1993 saha çalışmasında D olarak adlandırılan kesittir. Ağustos 1994 saha çalışması döneminde üretilen veriler Çizelge 5.11.'de verilmiştir.

Sıcaklık, pH, DO ve EC değişimi:

Sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen (DO) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin yer ve zaman içindeki değişimi Şekil 5.27.'de gösterilmiştir.

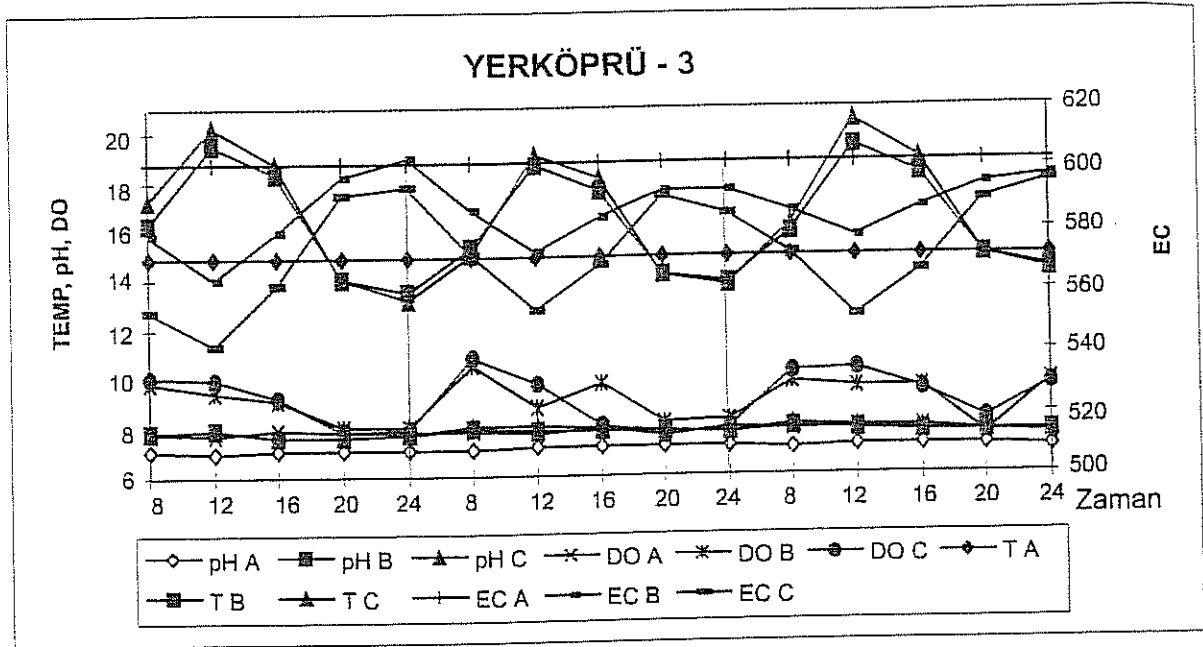
Bu dönemde de kaynak suyu sıcaklık değerinin zaman içinde sabit olduğu (14.9°C) ve Eylül 1993 döneminde gözlenen değer (14.8°C ile hemen hemen aynı olduğu saptanmıştır. Bu durum kaynağı besleyen yeraltısuyunun diğer Yerköprü kaynaklarında olduğu gibi yeraltında uzun süre kalarak akifer ile sıcaklık dengesine ulaştığını göstermektedir. B ve C noktalarındaki sıcaklık değeri gün boyunca salınım göstermekte olup, atmosferle ısı alış-verişinden dolayı gündüz (saat 8, 12 ve 16) kaynak sıcaklığının üstünde değerler almakta, buna karşın gece (saat 20 ve 24) bu noktalarındaki sıcaklık kaynak sıcaklığının altına düşmektedir.

Kaynak suyu pH değeri diğer kaynaklarda ve bu kaynakta yürütülen Eylül 1993 dönemi çalışmalarında olduğu gibi gün boyunca bağıl olarak sabit kalmaktadır. Yapılan 3 günlük gözlemler sırasında kaynak pH'ı 7.01 ile 7.19 arasında değişim göstermiştir. Gerçekte kaynak pH'ının ortalama bir değerde sabit olduğuna ve gözlenen değişimin ölçümler sırasında elektrod sıcaklığının kaynak sıcaklığı ile dengeye gelmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynağın akım aşağısında kalan B ve C noktalarında pH akış aşağıya doğru artış göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi bu durum sudan CO₂ kaçışının bir sonucudur. CO₂ kaçışının daha hızlı olduğu A ve B noktaları arasındaki kesitte doğal olarak pH artışı da daha yüksektir. B ve C noktalarında gözlenen pH gün boyunca periyodik salınımlar göstermektedir. Akım yolu boyunca pH artışının yanısıra, B ve C noktalarında yüksek pH değerlerine gündüz (saat 8-16 arası), düşük pH değerlerine ise gece (saat 20-24 arası) rastlanmaktadır. Genel olarak kaynak suyunda 7.0 dolayında olan pH, B ve C noktalarında ortalama 7.8 düzeyine çıkmaktadır.

Çizelge 5.11.: Yerköprüü 3 travertenü Ağustos 1994 saha çalışması verileri.

(TEMP: sıcaklık, °C; EC: elektriksel iletkenlik, µS/cm; DO: çözülmüş oksijen, mg/l; Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄: meq/l; J-PCO₂: log karbondioksit basıncı, atm; SI-Ca: kalsit doygunluk indeksi, boyutsuz; CO₂ Tot: Toplam karbondioksit, meq/l; HCO₃/l)

		pH			pH			DO	DO	DO	EC	EC	EC	T	T	T	ALK	ALK	Ca	Ca	Cu	Mg	Mg	PCO2	PCO2	PCO2	SI-CA	SI-CA	SI-CA	
	SAAT	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	800	7.02	7.77	7.83	7.8	9.9	10.1	602	579	554	14.9	16.3	17.3	5.805	5.596	5.142	4.915	4.700	4.298	0.756	0.749	0.715	-1.497	-2.255	-2.346	-0.476	0.435	0.445		
2	1200	7.01	7.88	7.91	7.8	9.4	10.0	602	564	543	14.9	19.5	20.3	5.780	5.504	5.093	4.788	4.622	4.257	0.744	0.725	0.708	-1.489	-2.354	-2.412	-0.470	0.585	0.566		
3	1600	7.09	7.57	7.62	7.9	9.1	9.2	602	580	563	14.9	18.3	18.8	5.780	5.498	5.093	4.739	4.609	4.257	0.742	0.718	0.708	-1.569	-2.052	-2.131	-0.476	0.248	0.246		
4	2000	7.07	7.56	7.60	7.8	8.0	7.8	602	598	592	14.9	14.0	14.0	5.784	5.587	5.118	4.918	4.692	4.279	0.755	0.745	0.712	-1.549	-2.059	-2.135	-0.483	0.180	0.143		
5	2400	7.10	7.70	7.75	7.8	8.0	7.9	602	604	594	14.9	13.5	13.2	5.784	5.726	5.638	4.846	4.804	4.730	0.787	0.773	0.734	-1.579	-2.191	-2.248	-0.486	0.331	0.368		
6	800	7.05	7.93	8.00	7.8	10.5	10.8	602	587	572	14.9	15.3	15.0	5.780	5.415	5.135	4.825	4.548	4.293	0.732	0.731	0.714	-1.529	-2.435	-2.530	-0.479	0.548	0.571		
7	1200	7.15	7.82	8.07	7.8	8.8	9.8	602	573	554	14.9	18.6	19.1	5.784	5.340	5.080	4.701	4.639	4.495	0.748	0.746	0.712	-1.629	-2.312	-2.581	-0.473	0.496	0.726		
8	1600	7.18	7.84	7.94	7.9	9.8	8.0	602	584	569	14.9	17.6	18.1	5.790	5.580	5.304	4.819	4.766	4.434	0.767	0.737	0.730	-1.658	-2.319	-2.438	-0.478	0.528	0.588		
9	2000	7.16	7.80	7.83	7.6	8.1	7.6	602	593	591	14.9	14.1	14.1	5.789	5.653	5.563	4.807	4.748	4.650	0.774	0.764	0.728	-1.638	-2.293	-2.330	-0.481	0.434	0.449		
10	2400	7.13	7.67	7.71	7.9	8.2	7.9	602	593	585	14.9	13.8	13.7	5.790	5.740	5.660	4.826	4.698	4.667	0.776	0.756	0.731	-1.608	-2.158	-2.205	-0.481	0.301	0.334		
11	800	7.11	7.95	8.03	7.9	9.8	10.2	602	586	572	14.9	15.9	16.2	5.774	5.580	5.397	4.865	4.686	4.511	0.754	0.750	0.737	-1.589	-2.439	-2.531	-0.479	0.604	0.663		
12	1200	7.17	7.88	7.96	7.9	9.5	10.3	602	577	551	14.9	19.4	20.5	5.780	5.353	5.000	4.769	4.496	3.971	0.723	0.722	0.661	-1.649	-2.361	-2.473	-0.475	0.549	0.582		
13	1600	7.19	7.73	7.81	7.9	9.5	9.4	602	587	566	14.9	18.2	18.9	5.780	5.430	5.100	4.620	4.373	4.173	0.704	0.700	0.694	-1.669	-2.217	-2.320	-0.479	0.376	0.428		
14	2000	7.16	7.68	7.73	7.7	7.6	8.2	602	594	589	14.9	14.9	14.9	5.790	5.630	5.490	4.570	4.504	4.408	0.725	0.733	0.692	-1.638	-2.169	-2.233	-0.482	0.301	0.335		
15	2400	7.11	7.72	7.76	7.7	9.8	9.6	602	597	595	14.9	14.4	14.3	5.780	5.700	5.600	4.540	4.471	4.399	0.732	0.719	0.688	-1.589	-2.208	-2.255	-0.483	0.335	0.358		



Şekil 5.27.: Yerköprü 3 traverteninde sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen ve elektriksel iletkenliğin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

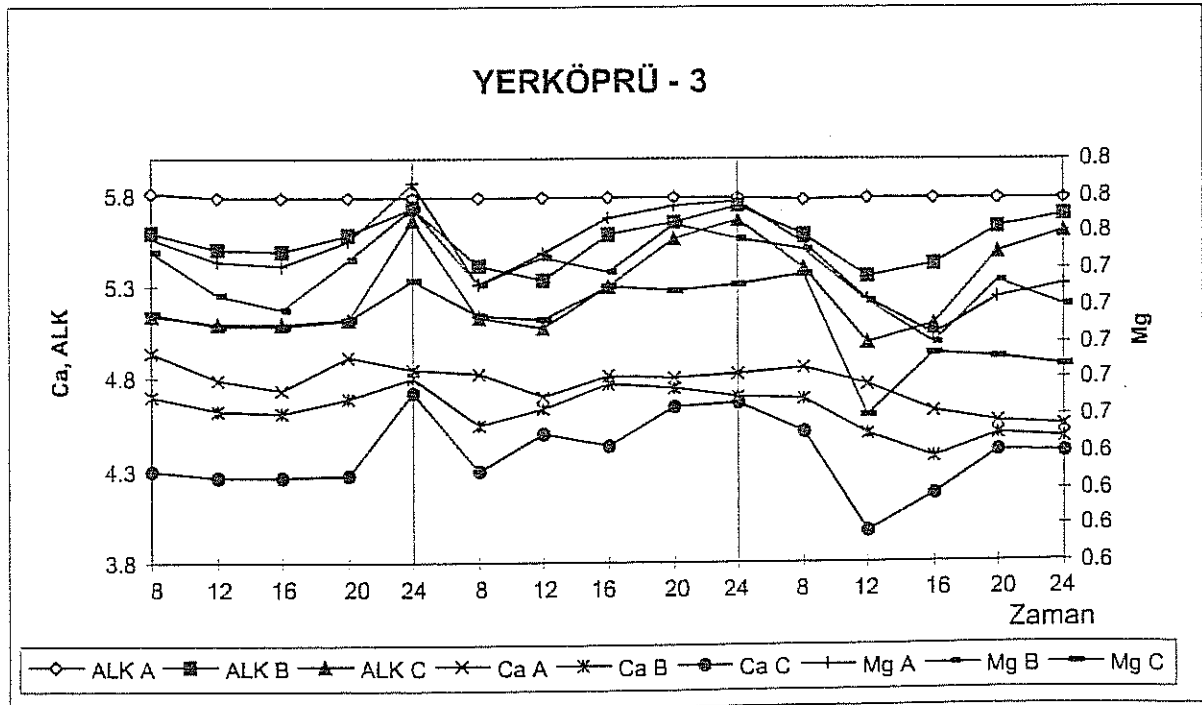
Bu dönemde kaynak suyunun DO değeri ufak salınımlar göstermekle birlikte 7.8mg/l dolayında sabittir. Söz konusu salınımlar su ve elektrod sıcaklığı arasındaki dengenin kurulamaması şeklindeki ölçüm hatalarına bağlanmaktadır. Kaynağın bu dönemde saptanan DO değeri, Eylül 1993'te belirlenen değerden (6.7mg/l) biraz yüksek olup, yeraltısuyu sisteminde DO derişiminin zaman içinde değiştiğini göstermektedir. Daha önceki gözlemlerde olduğu gibi DO değeri kaynağın akım aşağısında artmakta ve hava-su sıcaklıklarının değişmesine bağlı olarak gün boyu salınım göstermektedir.

Kaynak suyunun EC değeri 600 μ S/cm dolayında olup, gözlem süresince sabittir. Bununla birlikte akım yolunun aşağı bölümlerinde kalsit çökelimine bağlı olarak EC değeri azalmaktadır. B ve C noktalarında pH değerlerinde gün boyu görülen periyodik salınımlar EC değerlerinde de gözlenmektedir. B ve C noktalarında EC değerlerinin gün boyu değişimi bir birine paralel olup, C noktasında EC her zaman B noktasındaki değerin altında kalmaktadır. Bu durum, akım yolu boyunca sistemden (kalsit çökelimi ile) sürekli iyon ayrılışının iyi bir göstergesidir. Kaynak suyunun bu dönemdeki EC değeri (602 μ S/cm) Eylül 1993 dönemiindeki değerden (627 μ S/cm) biraz daha düşüktür ve zaman içinde kaynaktan boşalan yeraltısuyunun kimyasal kompozisyonunda küçük değişimler olduğunu göstermektedir.

Majör iyon içeriğinin değişimi:

Kaynak suyuna ve akış aşağıda yer alan B ve C noktalarına ait Ca, Mg ve Alkalinite değerlerinin değişimi Şekil 5.28.'de gösterilmiştir. Kaynak suyunun alkalinitesi zaman içinde önemli bir değişim göstermemekte, buna karşın Ca ve Mg derişimlerinde bazı düzensizlikler görülmektedir. Bu sapmaların analitik hatalardan (olasılıkla analiz öncesi seyreltme hatası) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Öte yandan kaynağın akım aşağısında yer alan B ve C noktalarında Ca, Mg ve alkalinite içeriğinin gün boyunca düzenli bir salınım gösterdiği saptanmıştır. Bu durum, kalsit çökeliminde alg aktivitesinde gün boyu ortaya çıkan değişimlerin etkili olduğunu göstermektedir. Şekil 5.28.'den özellikle B ve C noktalarına ait alkalinite değerlerinin gün boyu değişiminden en fazla çökelimin gündüz (saat 12-16 arasında) en az çökelimin de gece (saat 20-24 arasında) gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Bu dönemde de akım yolu boyunca Mg derişiminde gözlenen azalma kalsit çökelimine Mg'un da eşlik ettiği şeklinde yorumlanmaktadır.

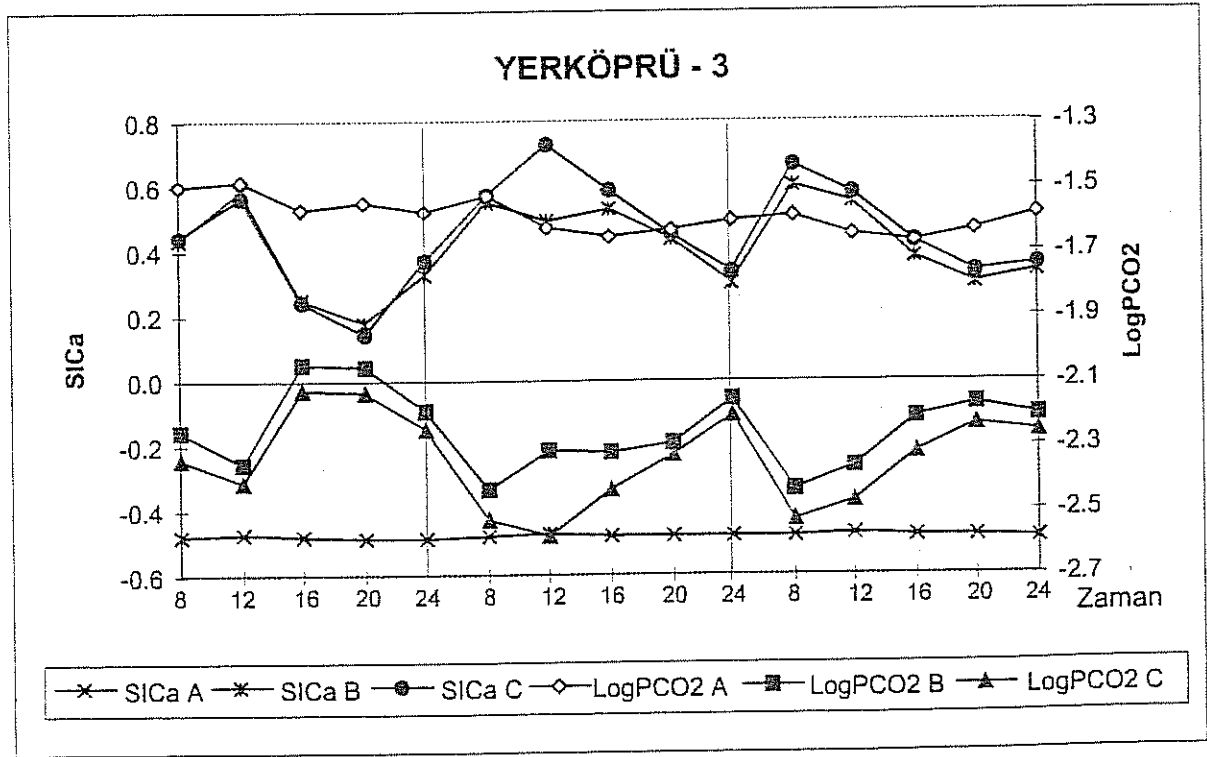


Şekil 5.28.: Yerköprü 3 traverteninde majör iyon içeriğinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

SI_{Ca} ve LogPCO₂ değişimi:

Bu dönemde kaynak suyunun logP_{CO2} değeri -1.5 atm civarında olup, gözlem süresi boyunca çok zayıf bir salınım gözlenmektedir (Şekil 5.29). Gözlenen logP_{CO2} değeri aynı kaynaktan Eylül 1993 döneminde gözlenen değerden (logPCO₂ = -2atm) belirgin biçimde yüksektir. Benzer biçimde Eylül 1993 döneminde kaynak SI_{Ca} değeri 0.3 dolayında iken bu dönemde SI_{Ca} değeri -0.45 dolayına düşmüştür. SI_{Ca} değerindeki değişim logP_{CO2} değerindeki değişime bağlı olarak oluşmaktadır.

Kaynak suyunda -1.5 düzeyinde olan logP_{CO2} değeri akım yolunun aşağı kesimlerinde azalarak B noktasında -2.3, C noktasında -2.4 düzeyine düşmektedir. Bu durumla bağlantılı olarak kaynak suyunda -0.4 olan SI_{Ca} değeri B noktasında pozitif değerlere ulaşmakta ve C noktasında daha da artmaktadır.



Şekil 5.29.: Yerköprü 3 traverteninde logP_{CO2} ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

Ca, Mg ve HCO₃⁻ iyon derişimlerinde gözlenen gün boyu salınım logP_{CO2} ve SI_{Ca} değerlerinde de gözlenmektedir. Gözlem süresi boyunca en yüksek SI_{Ca} değerleri alg

aktivitesi yoluyla sistemden CO₂ çıkışının olduğu gündüz saatlerinde (8-16 arası) en düşük SI_{Ca} değerlerinin de söz konusu aktivitenin az miktarda da olsa tersine döndüğü gece saatlerinde (20-24 arası) ortaya çıkmıştır. Benzer şekilde gündüz saatlerinde gözlenen logP_{CO2} değerleri de gece boyunca gözlenen değerlerin altında kalmaktadır.

5.5. Traverten Kaynaklarının İz Element İçeriği

Proje kapsamında traverten kaynaklarının iz element içeriğinin belirlenmesine yönelik analizler de yapılmıştır. Yapılan analizlerde su örneklerinin Zn, Cd, Cr, Pb, Co, Mn ve Cu içerikleri alev atomik absorpsiyon spektrofotometresi saptama sınırları (detection limits) altında bulunmuştur. Öte yandan, Sr, Fe ve SiO₂ analizlerinde bağl olarak yüksek değerlere rastlanmıştır. Örneğin Yerköprü 1 kaynağında belirlenen Sr, Fe ve SiO₂ derişimleri sırasıyla 0.36, 0.40 ve =.25mg/l olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Yerköprü 2 kaynağında Sr, Fe ve SiO₂ derişimleri sırasıyla 0.31, 0.35 ve 0.30mg/l düzeyinde olup; Yerköprü 1 kaynağında belirlenen değerlere oldukça yakındır. Yerköprü 3 kaynağının iz element içeriğine yönelik analiz yapılmamıştır.

6. JEOKİMYA

6.1. Giriş

İncelenen alanlardaki travertenlerin kimyasal bileşiminin belirlenmesi ve kimyasal bileşimin oluşmasında etkili olan faktörlerin belirlenmesi amacıyla el örnekleri toplanmıştır. El örneklerinin tümünde mineralojik kompozisyonun belirlenmesi amacıyla tüm kayaç ve kil fraksiyonu X ışını toz difraktogramları (XRD) çekilmiştir. XRD verilerine göre daha ayrıntılı incelenmesi öngörülen örneklerin kimyasal analizleri (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K ve Sr) yaptırılmış, bir kısım örnek ise mineralojik yapının incelenmesi için Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile incelenerek görüntülenmiştir.

6.2. Örnekleme

Jeokimyasal değerlendirme amacıyla kullanılan traverten örnekleri esas olarak Yerköprü 1 (10 örnek), Yerköprü 2 (9 örnek) ve Yerköprü 3 (9 örnek) travertenlerinden toplanmıştır. Bunun yanı sıra, mineralojik ve kimyasal kompozisyonları hakkında fikir edinebilmek için, bu araştırma kapsamında ayrıntılı olarak ele alınmaları planlanmamış olmakla birlikte Tatlar (2 örnek) ve Tıhraz (1 örnek) traverten çökellerinden de örnek alınmıştır.

Yerköprü travertenlerinden alınan örnekler farklı oluşum yaşına sahip olduğu düşünülen seviyelerden alınmıştır. Traverten çökeliminin karmaşık bir süreç olması, düzgün bir tabakalanmanın oluşmaması, zaman içinde eski travertenlerin erozyon sonucu parçalanarak daha genç çökellerin arasına karışması vb nedenlerden dolayı belirli bir kesit üzerinden örnekleme yapmak mümkün olmamıştır. Örnekler, oluşum zamanlarının birbirlerinden belirgin biçimde farklı olduğu kesin görülen farklı yükseltilerdeki çökellerden toplanmıştır.

6.3. XRD Değerlendirmeleri

Traverten örneklerinin XRD analizlerinden tüm örneklerde kalsitin hakim mineralojik bileşen olduğu, örneklerin hemen tümünde az miktarda kuvars bulunduğu belirlenmiştir. Örneklerin büyük bir çoğunluğunda, özellikle de genç örneklerde az miktarda kil fraksiyonu da saptanmıştır. Genel olarak, incelenen örneklerde toplam mineralojik kompozisyonun %95-97'si kalsit, % 3-5'i kuvars ve % 1-2'si kil minerallerinden oluşmaktadır.

Kil mineral oranının belirgin derecede yüksek olduğu örneklerde ayrıca kil fraksiyonu ayrılarak XRD yoluyla kil minerallerinin bolluk oranları belirlenmiştir. Bu örneklerden, hakim kil mineral türlerinin simektit, illit ve kaolinit olduğu saptanmıştır. İncelenen örneklerde söz konusu kil minerallerinden herhangi birisi baskın olmayıp; toplam kil mineralizasyonunda simektit oranı % 22-45, illit oranı % 27-37 ve kaolinit oranı % 24-41 arasında değişmektedir.

6.4. Kimyasal Analizler

Traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları genel olarak belirlenen tüm elementlerin kendi aralarında benzer derişimlere sahip olduğunu göstermektedir (Çizelge 6.1. ve Çizelge 6.2.). Örneğin, hemen tüm analizlerde ateşte kayıp %40, CaO %50, SiO₂ %3, Al₂O₃ %2 dolayında olup; diğer elementlerin oranı % 0.5'ten küçüktür. Kimyasal analiz sonuçları da XRD sonuçlarında olduğu gibi örneklerin büyük oranda kalsitten oluştuğunu, bunun yanısıra kuvars ve kil mineralleri gibi bazı safsızlıkların da içerildiğini göstermektedir.

Çok sayıdaki verinin yorumlanmasında sağladığı kolaylıklar nedeniyle kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde istatistiksel yaklaşımlar uygulanmıştır. Uygulanan her bir istatistiksel yaklaşım sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıdaki bölümlerde belirtilmiştir:

6.4.1. Elementler arası ilişkilerin belirlenmesi

Kimyasal analiz sonuçlarına göre belirlenen element derişimleri -ve bunlara bağlı mineraller- arasındaki ilişkilerin ortaya konması amacıyla çoklu korelasyon analizi, öbekleme analizi ve faktör analizi gibi istatistiksel teknikler uygulanmıştır. İstatistiksel değerlendirmelerde, derişimler arasındaki büyük farklılıkların yaratacağı büyük sapmalardan kaçınmak için, ham veriler (analiz sonuçları) her bir değişken (element) için ortalama 1, standart sapma 0 olacak şekilde normalize edilmişlerdir. Hesaplamalarda normalize edilmiş seriler kullanılmıştır.

Çizelge 6.1.: Traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.

(Değişim değerleri ppm olarak verilmiştir. AK: % ateşte kayıp, TOT: % toplam)

			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Sr	AK	TOT
YAŞLI - ORTA YAŞLI ÖRNEKLER (Y, OY)													
YERKÖPRÜ 1													
OY	Y1	Z-11A	4996.9	52.9	69.9	77.4	2110.5	396181.5	890.4	166.0	286.0	43.4	100.4
OY	Y1	Z-11B	15457.7	793.5	69.9	77.4	2713.5	382525.0	1038.8	498.0	204.0	41.8	99.4
OY	Y1	Z-19	4670.0	7670.5	908.7	77.4	1929.6	366866.5	4897.2	747.0	418.0	43.1	98.0
OY	Y1	Z-21	8966.4	10685.8	3495.0	77.4	2110.5	357571.5	8013.6	1577.0	353.0	42.2	98.2
Y	Y1	Z-22	22602.8	2010.2	69.9	77.4	3195.9	373444.5	1113.0	996.0	286.0	41.2	99.5
ORTALAMA			11338.8	4242.6	922.7	77.4	2412.0	375317.8	3190.6	796.8	309.4	42.3	99.1
STD. SAPMA			7651.2	4682.4	1483.1	0.0	529.1	14808.0	3178.5	533.4	80.5	0.9	1.0
YERKÖPRÜ 2													
Y-OY	Y2	Z-27	5137.0	3967.5	2446.5	77.4	2773.8	382525.0	964.6	830.0		43.6	100.0
OY	Y2	Z-24+	8406.0	5554.5	3145.5	77.4	2894.4	374302.5	1038.8	913.0		42.6	99.0
OY	Y2	Z-30	6071.0	5131.3	3075.6	77.4	3256.2	369083.0	1261.4	1660.0		42.9	98.2
OY	Y2	Z-24	16298.3	4443.6	69.9	77.4	2954.7	373444.5	964.6	498.0	327.0	42.8	100.0
OY	Y2	Z-26	32643.3	10051.0	69.9	77.4	5246.1	355212.0	964.6	747.0	327.0	40.1	99.8
Y-OY	Y2	Z-28	39321.4	10474.2	69.9	77.4	2110.5	350636.0	1113.0	498.0	245.0	40.5	100.5
OY	Y2	Z-30	10040.5	12643.1	3495.0	154.8	2954.7	357571.5	4155.2	2075.0	321.0	42.2	98.6
OY	Y2	Z-32	10741.0	10315.5	2027.1	77.4	2653.2	352924.0	3635.8	1162.0	386.0	43.5	98.5
ORTALAMA			16082.3	7822.6	1799.9	87.1	3105.5	364462.3	1762.3	1047.9	321.2	42.3	99.3
STD. SAPMA			12863.9	3383.1	1500.5	27.4	925.8	11847.1	1327.8	561.1	50.2	1.3	0.9
YERKÖPRÜ 3													
OY	Y3	Z-38	7145.1	9945.2	4194.0	387.0	2231.1	362219.0	4377.8	1162.0	321.0	43.3	99.1
Y	Y3	Z-41	5370.5	8040.8	3145.5	154.8	2412.0	371514.0	2819.6	1162.0	321.0	42.8	98.8
Y	Y3	Z-43	3595.9	5713.2	1258.2	154.8	2050.2	380809.0	3339.0	664.0	353.0	43.3	99.5
Y	Y3	Z-44	3222.3	8411.1	1817.4	154.8	1748.7	376161.5	3635.8	1245.0	482.0	43.4	99.5
OY	Y3	Z-45	7145.1	3438.5	1817.4	154.8	2351.7	380809.0	2819.6	996.0	353.0	43.6	100.2
OY	Y3	Z-46	15737.9	10685.8	3495.0	154.8	3135.6	352924.0	2819.6	1328.0	289.0	43.2	99.6
Y	TH	Z-34	8592.8	13383.7	2935.8	232.2	1688.4	362219.0	5416.6	1826.0	161.0	42.7	99.4
OY	TA	Z-35	48708.1	26026.8	12232.5	309.6	2532.6	306520.5	3116.4	5063.0	353.0	37.9	99.4
ORTALAMA			12439.7	10705.6	3862.0	212.9	2268.8	361647.0	3543.1	1680.8	329.1	42.5	99.4
STD. SAPMA			15167.1	6893.0	3521.8	90.2	463.7	24372.3	926.5	1404.9	88.7	1.9	0.4
GÜNCEL ÖRNEKLER (G)													
YERKÖPRÜ 1													
G	Y1	Z-18	15411.0	10791.6	6570.6	77.4	3437.1	370656.0	1558.2	2241.0	-	40.6	99.8
G	Y1	-	41002.6	15711.3	69.9	77.4	2954.7	346060.0	1113.0	581.0	245.0	40.1	100.9
G	Y1	Z-59	22229.2	10315.5	6920.1	77.4	1989.9	343629.0	3339.0	1826.0	386.0	42.0	98.8
G	Y1	Z-61	24003.8	14124.3	5522.1	232.2	2472.3	343629.0	4674.6	2324.0	546.0	41.7	99.7
ORTALAMA			25661.7	12735.7	4770.7	116.1	2713.5	350993.5	2671.2	1743.0	392.3	41.1	99.8
STD. SAPMA			10877.4	2608.9	3189.7	77.4	622.8	13158.3	1645.8	804.7	150.6	0.9	0.9
YERKÖPRÜ 2													
G	Y2	Z-29	16485.1	10685.8	4054.2	77.4	2653.2	348276.5	5119.8	1743.0	386.0	42.4	98.5
G	Y2	Z-60	23350.0	14917.8	6780.3	232.2	2894.4	334334.0	3116.4	2573.0	321.0	41.4	98.2
ORTALAMA			19917.6	12801.8	5417.3	154.8	2773.8	341305.3	4118.1	2158.0	353.5	41.9	98.4
STD. SAPMA			4854.2	2992.5	1927.6	109.5	170.6	9858.8	1416.6	586.9	46.0	0.7	0.2
YERKÖPRÜ 3													
G	Y3	Z-62	31289.0	17192.5	5661.9	154.8	1929.6	338981.5	3339.0	2573.0	321.0	41.0	100.3

Çizelge 6.2.: Traverten örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.

(Derişim değerleri % olarak verilmiştir. %AK: % ateşte kayıp, %TOT: % toplam)

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	Sr	AK	TOT
YAŞLI - ORTA YAŞLI ÖRNEKLER (Y, OY)												
YERKÖPRÜ 1												
OY	Y1	Z-11B	3.31	0.15	0.01	0.01	0.45	53.50	0.14	0.07	0.02	99.46
OY	Y1	Z-19	1.00	1.45	0.08	0.01	0.32	51.31	0.66	0.10	0.05	98.08
OY	Y1	Z-21	1.92	2.02	0.31	0.01	0.35	50.01	1.08	0.21	0.04	98.16
Y	Y1	Z-22	4.84	0.38	0.01	0.01	0.53	52.23	0.15	0.13	0.03	99.51
AVG			2.77	1.00	0.10	0.01	0.41	51.76	0.51	0.13	0.04	98.80
STD			1.68	0.89	0.15	0.00	0.10	1.47	0.45	0.06	0.01	0.79
YERKÖPRÜ 2												
Y-OY	Y2	Z-27	1.10	0.75	0.22	0.01	0.46	53.50	0.13	0.11	0.00	99.88
OY	Y2	Z-24+	1.80	1.05	0.28	0.01	0.48	52.35	0.14	0.12	0.00	98.84
OY	Y2	Z-30	1.30	0.97	0.28	0.01	0.54	51.62	0.17	0.22	0.00	98.01
OY	Y2	Z-24	3.49	0.84	0.01	0.01	0.49	52.23	0.13	0.07	0.04	100.10
OY	Y2	Z-26	6.99	1.90	0.01	0.01	0.87	49.68	0.13	0.10	0.04	99.83
Y-OY	Y2	Z-28	8.42	1.98	0.01	0.01	0.35	49.04	0.15	0.07	0.03	100.55
OY	Y2	Z-30	2.15	2.39	0.31	0.02	0.49	50.01	0.56	0.28	0.04	98.45
OY	Y2	Z-32	2.30	1.95	0.18	0.01	0.44	49.36	0.49	0.16	0.05	98.43
AVG			3.44	1.48	0.16	0.01	0.52	50.97	0.24	0.14	0.02	99.26
STD			2.75	0.64	0.13	0.00	0.15	1.66	0.18	0.08	0.02	0.94
YERKÖPRÜ 3												
OY	Y3	Z-38	1.53	1.88	0.38	0.05	0.37	50.66	0.59	0.16	0.04	98.95
Y	Y3	Z-41	1.15	1.52	0.28	0.02	0.40	51.96	0.38	0.16	0.04	98.71
Y	Y3	Z-43	0.77	1.08	0.11	0.02	0.34	53.26	0.45	0.09	0.04	99.46
Y	Y3	Z-44	0.69	1.59	0.16	0.02	0.29	52.61	0.49	0.17	0.06	99.48
OY	Y3	Z-45	1.53	0.65	0.16	0.02	0.39	53.26	0.38	0.13	0.04	100.17
OY	Y3	Z-46	3.37	2.02	0.31	0.02	0.52	49.36	0.38	0.18	0.03	99.40
Y	TH	Z-34	1.84	2.53	0.26	0.03	0.28	50.66	0.73	0.25	0.02	99.30
OY	TA	Z-35	10.43	4.92	1.10	0.04	0.42	42.87	0.42	0.68	0.04	98.82
AVG			2.66	2.02	0.35	0.03	0.38	50.58	0.48	0.23	0.04	99.29
STD			3.25	1.30	0.32	0.01	0.08	3.41	0.12	0.19	0.01	0.47
GÜNCEL ÖRNEKLER (G)												
YERKÖPRÜ 1												
G	Y1	Z-18	3.30	2.04	0.59	0.01	0.57	51.84	0.21	0.30	0.00	99.46
G	Y1		8.78	2.97	0.01	0.01	0.49	48.40	0.15	0.08	0.03	101.01
G	Y1	Z-59	4.76	1.95	0.62	0.01	0.33	48.06	0.45	0.25	0.05	98.47
G	Y1	Z-61	5.14	2.67	0.50	0.03	0.41	48.06	0.63	0.31	0.06	99.51
AVG			5.50	2.41	0.43	0.02	0.45	49.09	0.36	0.23	0.03	99.62
STD			2.33	0.49	0.29	0.01	0.10	1.84	0.22	0.11	0.03	1.05
YERKÖPRÜ 2												
G	Y2	Z-29	3.53	2.02	0.36	0.01	0.44	48.71	0.69	0.23	0.05	98.45
G	Y2	Z-60	5.00	2.82	0.61	0.03	0.48	46.76	0.42	0.35	0.04	97.90
AVG			4.27	2.42	0.49	0.02	0.46	47.74	0.56	0.29	0.04	98.17
STD			1.04	0.57	0.17	0.01	0.03	1.38	0.19	0.08	0.01	0.38
YERKÖPRÜ 3												
G	Y3	Z-62	6.70	3.25	0.51	0.02	0.32	47.41	0.45	0.35	0.04	100.04

6.4.1.a. çoklu korelasyon (multiple-correlation) analizi:

Çoklu korelasyon analizi, farklı elementlerin bollukları arasında pozitif ve negatif yöndeki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır. Çizelge 6.3.'te verilen çoklu korelasyon sonuçlarından görüldüğü gibi Ca ile Ateşte Kayıp (Ak), Fe ile Al, K ile Fe ve Al, Mn ile Al, Fe ve K, Si ile Al arasında dikkate değer pozitif, Al ile Ak, Ca ile Al, Fe ile Ca, K ile Ak ve Ca, Si ile Ak ve Ca arasında dikkate değer negatif korelasyon olduğu gözlenmektedir. En yüksek pozitif korelasyon değerleri Ca ile Ak (0.6816), Al ile Fe (0.7222), K (0.8033) ve Si (0.6459), Fe ile K (0.9312) arasında gözlenmektedir. Benzer şekilde, Ak ile Si (-0.9060) ve Al (-0.6499), Ca ile Al (-0.9197), Fe (-0.6981), K (-0.7661), Si(-0.7511) arasında gözlenmektedir.

Her durumda kendi aralarında pozitif ilişkiye sahip olan Ca ve Ak bileşenleri tüm diğer bileşenler ile belirgin negatif ilişkiye sahiptir. Korelasyon matrisinden elde edilen bu değerler travertenlerin ana bileşeni olan kalsit (Ca ve Ak) ile diğer minerallerden türeyen elementlerin ilişkili olmadığını göstermektedir. Diğer elementler arasında gözlenen yüksek korelasyon ise, bu elementlerin traverten içindeki dağılımının rastsal olmayıp, bazı mineral türleri ile ilişkili olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 6.3.: Travertenlere ait jeokimyasal analiz bileşenleri arasındaki ilişkiyi gösterir korelasyon matrisi (+0.5'in üzerindeki değerler koyu, +0.5'in altındaki değerler italik gösterilmiştir.)

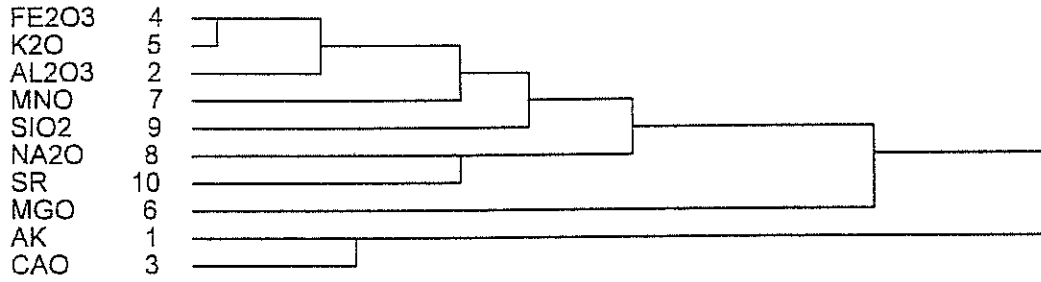
	AK	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	Sr
AK	1.0000									
Al ₂ O ₃	<i>-0.6499</i>	1.0000								
CaO	.6816	<i>-.9197</i>	1.0000							
Fe ₂ O ₃	<i>-.4231</i>	.7222	<i>-.6981</i>	1.0000						
K ₂ O	<i>-.5547</i>	.8033	<i>-.7661</i>	.9312	1.0000					
MgO	<i>-.3394</i>	<i>-.0518</i>	<i>-.0429</i>	<i>-.1232</i>	<i>-.0611</i>	1.0000				
MnO	<i>-.1125</i>	<i>.5165</i>	<i>-.4056</i>	<i>.5441</i>	<i>.5405</i>	<i>-.2601</i>	1.0000			
Na ₂ O	<i>.1805</i>	<i>.3846</i>	<i>-.3108</i>	<i>.3303</i>	<i>.3426</i>	<i>-.4876</i>	<i>.3671</i>	1.0000		
SiO ₂	<i>-.9060</i>	.6459	<i>-.7511</i>	<i>.3121</i>	<i>.4281</i>	<i>.2718</i>	<i>.0999</i>	<i>-.2267</i>	1.0000	
Sr	<i>.0061</i>	<i>.2589</i>	<i>-.3228</i>	<i>.0576</i>	<i>.1242</i>	<i>-.2894</i>	<i>.2840</i>	<i>.5110</i>	<i>.1348</i>	1.0000

6.4.1.b. öbekleme (cluster) analizi:

Kimyasal analiz sonuçlarına uygulanan öbekleme analizi sonuçları Şekil 6.1.'de verilmiştir. Öbekleme analizinde, tek bağlantılı (single linkage) öklid uzaklığına (Euclidian distance) bağlı öbekleme yaklaşımı uygulanmıştır. Öbekleme ağacı (cluster dendrogram) ele alınan tüm elementler içinde Fe, K ve Al arasında yüksek ilişki olduğunu göstermektedir. Bu grupta yer alan elementler sırasıyla Mn, Si ve Na elementleri ile ilişkili bulunmuştur. Bu gruba Sr ve Mg elementleri daha düşük bir ilişki ile bağlanmaktadır. Öte yandan, Ca ve Ak kendi

aralarında yüksek ilişkiye sahip olup; diğer elementlerin oluşturduğu gruptan bağımsız bir birliktelik oluşturmaktadırlar.

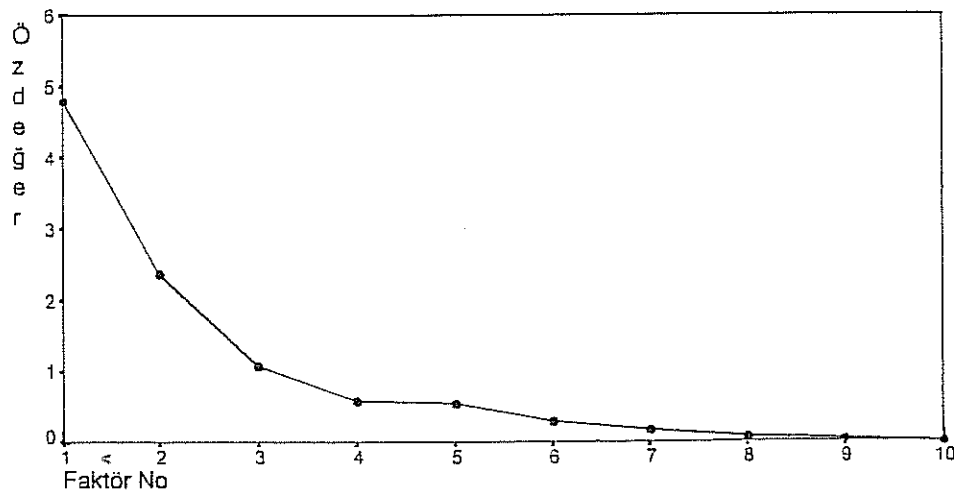
Sr ve Mg elementlerinin ilk grupta yer almalarına karşın; bu gruba daha düşük ilişki derecesi ile bağlı olmaları bunların (özellikle Mg'un) Ca ve Ak'ın oluşturduğu gruba da bağlanabileceklerini işaret etmektedir. Bu durumda, travertenleri oluşturan kalsitin, bünyesinde değişimle (replacement) Sr yer alan, Mg'lu kalsit (düşük magnezyumlu kalsit = low magnesian calcite) olabileceği düşünülebilir.



Şekil 6.1.: Travertenlere ait jeokimyasal analiz bileşenleri arasındaki ilişkiyi gösterir öbekleme ağacı (cluster dendogram)

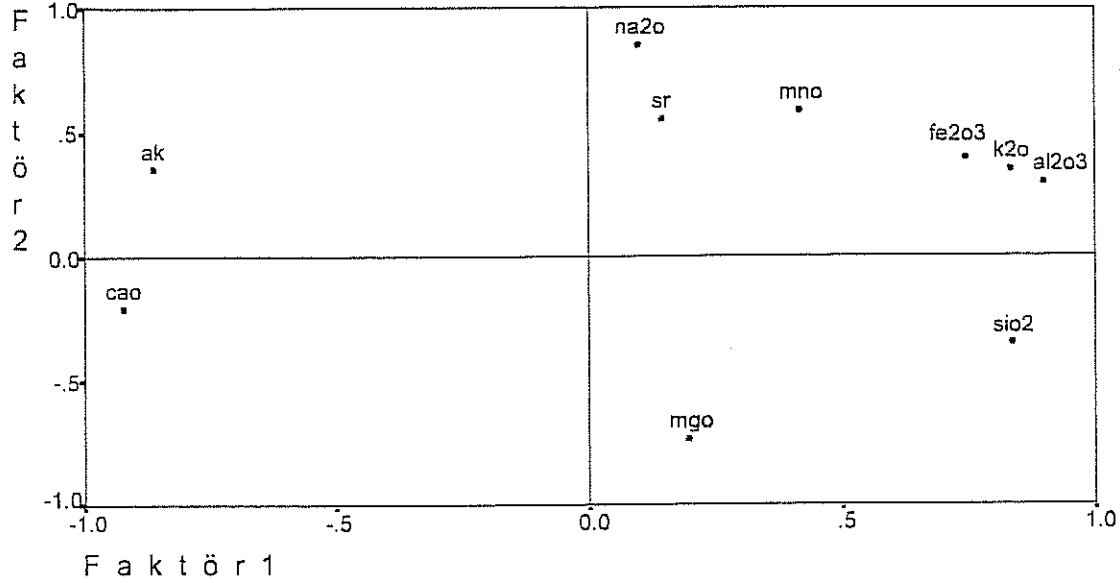
6.4.1.c. faktör (factor) analizi:

Kimyasal analiz sonuçlarına uygulanan faktör analizi iki ve üç faktör için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır. Normalize edilmiş değişken dizilerinde özdeğere (eigen value) bağlı olarak toplam değişimin açıklanması için 2 yada 3 faktörün kullanılabileceği görülmüştür (Şekil 6.2.).



Şekil 6.2.: Faktör sayısı ile özdeğer arası ilişki.

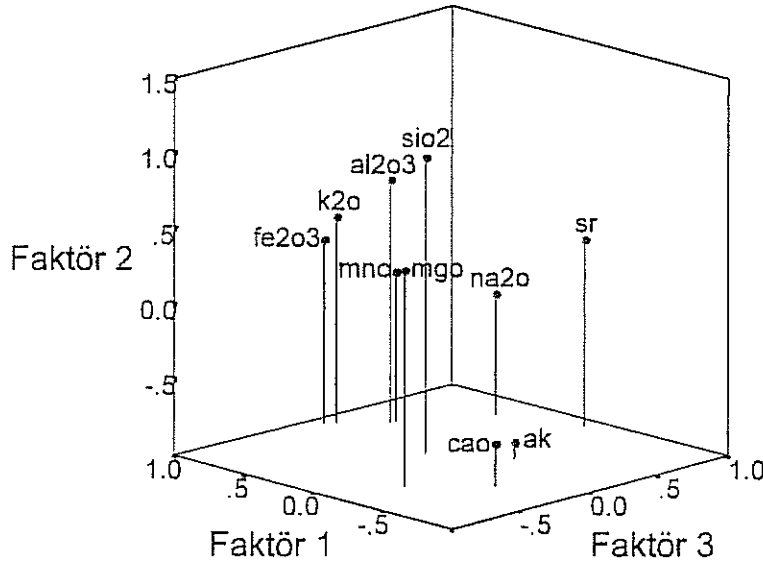
Değişkenler (elementler) arasındaki ilişkinin 2 faktörle açıklanması durumunda elementlerin faktör uzayındaki dağılımları Şekil 6.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3.: Elementlerin 2 boyutlu faktör uzayındaki dağılımları.

İki boyutlu faktör analizi incelenen değişkenlerden Ca ile Ak arasında belirgin birliktelik olduğunu göstermektedir. Diğer değişkenlerden Fe, K, Al arasında güçlü bir birliktelik gözlenmekte olup; Na, Sr ve Mn bu gruba bağlantılı görünmektedir. Öte yandan Si ve Mg diğer gruplardan farklı bir konumda yer almakta olup; Si Fe, K, Al grubuna, Mg, Ca'la ilişkili olabilecekleri izlenimine veren konumlarda yer almaktadırlar.

Değişkenlere (elementler) arasındaki ilişkinin 3 faktörle açıklanması durumunda elementlerin faktör uzayındaki dağılımları Şekil 6.4.'te gösterilmiştir. Değişkenlerin 3 boyutlu faktör uzayındaki dağılımlarından, 2 boyutlu uzayda olduğu gibi, Ca ve Ak arasında belirgin bir ilişkinin varlığı gözlenmektedir. Benzer şekilde, burada da Fe, K, Al birbirleriyle ilişkili olup, Mn'ın bu gruba olan ilişkisi 3 boyutlu uzayda belirgin biçimde gözlenmektedir. İki boyutlu uzayda belirgin bir birliktelik sergilemeyen Sr ve Mg, 3 boyutlu uzayda Ca ve Ak grubuna daha yakın konumda yer almaktadırlar. Bu durum, öbekleme analizinde göze çarpan, bu iki elementin kalsiti oluşturan Ca ve Ak grubuyla ilişkili olabilecekleri tezini güçlendirmektedir.



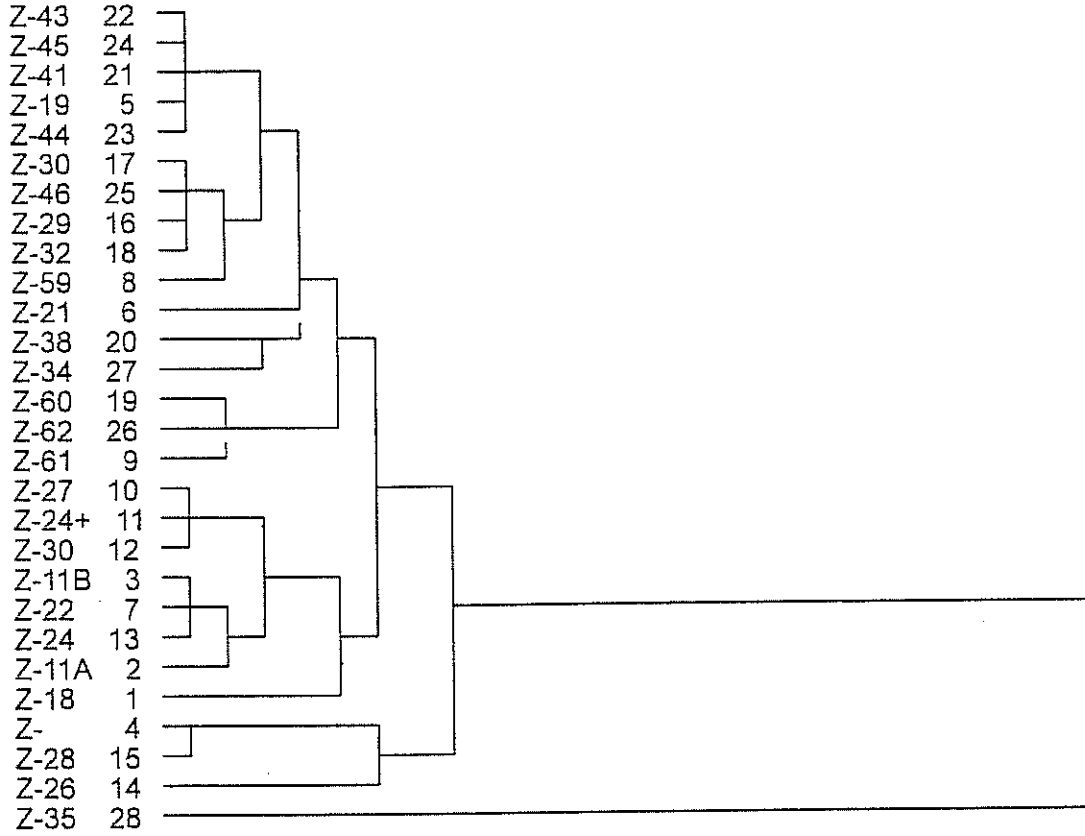
Şekil 6.4.: Elementlerin 3 boyutlu faktör uzayındaki dağılımları.

6.4.2. Örnekler arası ilişkilerin belirlenmesi

Sahadan toplanan örneklerin kimyasal bileşimleri ile ait oldukları traverten alanları arasında bir ilişki olup, olmadığının belirlenmesi amacıyla 28 adet el örneğinden elde edilen normalize edilmiş değerlere öbekleme analizi uygulanmıştır (Şekil 6.5.). Analiz sonuçlarının gösterildiği öbekleme ağacından, örnekler arası birlikteliklerin traverten alanları arasında homojen bir dağılım gösterdiği; diğer bir deyişle, oluşan grupların belirgin bir traverten bağlı olmadığı gözlenmektedir. Örneğin Yerköprü 3 traverten alanından alınan 43, 45, 41 ve 44 nolu örnekler öbekleme ağacının üst kesiminde gruplaşırken, aynı alana ait 46, 38 ve 34, 62, 35 nolu örnekler başka kesimlerde yer almaktadırlar. Bu durum, diğer traverten alanlarına ait örnekler için de geçerlidir.

Bununla birlikte, daha ayrıntılı bir inceleme öbekleme ağacında oluşan gruplardaki örneklerin "yaş" açısından zayıf ta olsa ilişkili olduğunu göstermektedir. Örneğin, Yerköprü 3 alanına ait 43, 45, 41 ve 44 nolu yaşlı örnekler ile Yerköprü 1 alanına ait 19 nolu yaşlı örnek aynı grupta yer almaktadır. Benzer şekilde, 60, 61 ve 62 nolu örneklerden oluşan grup Yerköprü 1 (61), Yerköprü 2 (60) ve Yerköprü 3 (62) alanlarına ait genç traverten örneklerini kapsamaktadır. Bununla birlikte, öbeklenme ile yaş arasında, öbekleme ağacında gözlenen ilişkiler güçlü olmayıp, genç (G) örneklerin oluşturduğu bir grup, orta yaşlı (OY) örneklerin oluşturduğu bir diğer grupla bağlanabilmektedir. Ayrıca, örneğin 30, 46, 29 ve 32 nolu örnekleri kapsayan grupta olduğu gibi orta yaşlı örneklerin çoğunluğu oluşturduğu bir grupta

genç bir örnek te (29) yer alabilmektedir. Genç ve orta yaşlı örnekler ile orta yaşlı ve yaşlı örneklerin birbirleriyle aynı grupta yer almalarına karşın genç ve yaşlı örnekler hiç bir grupta birarada bulunmamaktadırlar. Örneklerin kimyasal kompozisyonu ile “yaşları” arasındaki ilişki ayrıntılı olarak Bölüm 6.7.’te incelenmektedir.



Şekil 6.5.: Kimyasal analiz sonuçlarına göre örnekler arasındaki ilişkinin öbekleme ağacı ile gösterimi.

6.5. SEM ve İnce Kesit İncelemeleri

İncelenen traverten alanlarında, güncel ve eski çökellerde kristal yapısının, değişik mineraller arasındaki birlikteliğin şeklinin araştırılması amacıyla SEM ve ince kesit incelemeleri yapılmıştır.

6.5.1. Güncel traverten çökelleri

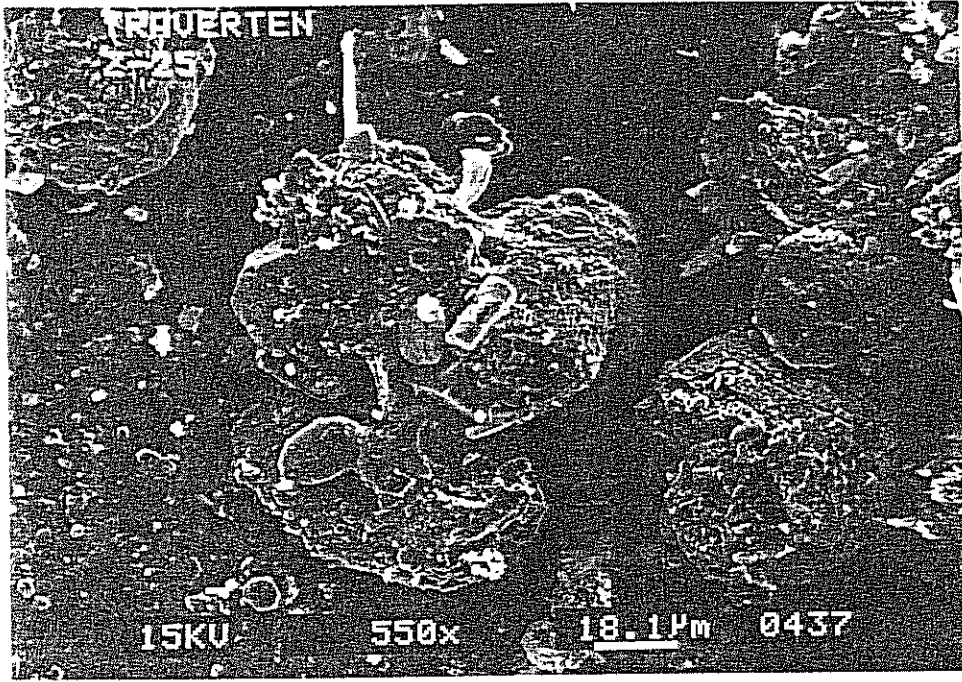
Güncel traverten çökellerinde kristal oluşumunun araştırılması amacıyla dere yataklarına bahar sonunda yapay çekirdekler (sünger, tahta, plastik vb) bırakılmış; bunlar yaz sonunda toplanarak üzerlerinde oluşan çökeller taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir (Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.).

Yapay çekirdek üzerinde oluşan kalsit kristallerinin büyük çoğunluğu özşekilli (hegzagonal) olup; oluşan kristaller çoğunlukla alglerle ilişkili durumdadırlar. Bu durum, alglerin (burada özellikle diyatomların) uygun çekirdekleşme alanları (nucleation sites) oluşturarak kalsit çökelişini kolaylaştırdığı (provoke) şeklindeki görüşleri (Pentecost, 1988) desteklemektedir.

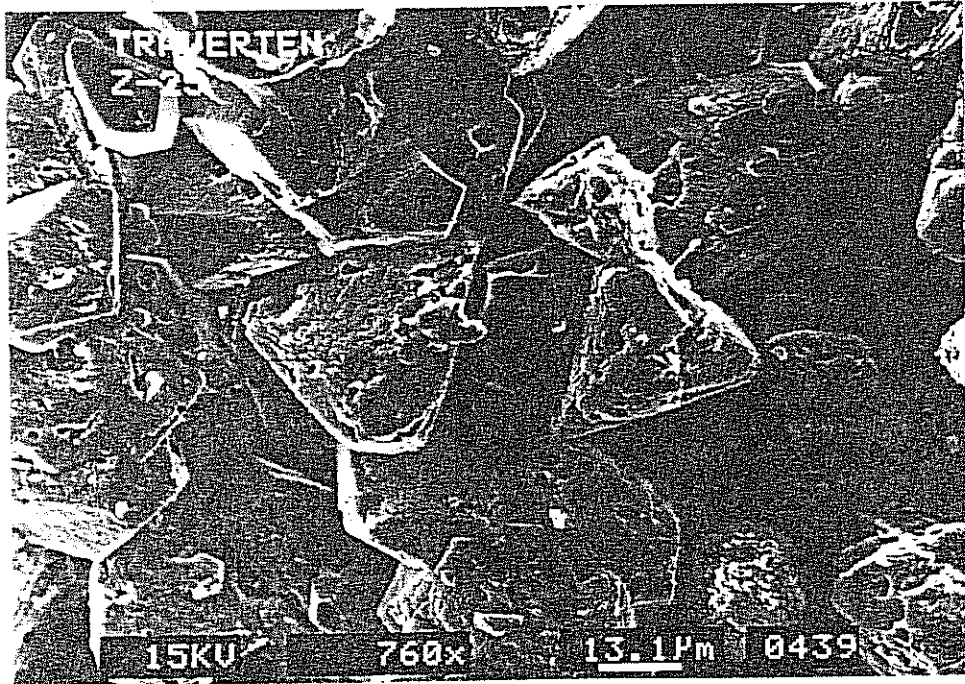
Öte yandan, bazı SEM görüntülerinde, özşekilli kalsit kristalleri üzerinde gözlenen çok sayıdaki oyukların (hollow-boring) da, kristalleşme sırasında mevcut olan alg liflerinin kristalleşme sırasında ve sonrasında çürüyerek yok olması sonucunda oluştuğu anlaşılmaktadır. Söz konusu yapıların alglerin salgıladığı asidik organik bileşiklerin de etkili olduğu düşünülmektedir. Diğer bir deyimle, algler inorganik/organik süreçler sonucu kalsit çökelişine katkıda bulunurlarken, aynı zamanda kısmi çözünmeye de neden olmaktadır. Bununla birlikte, alglerin çürütmesi ve/veya asit salgılaması ile oluşan bu boşluklar daha sonra ikincil kalsit çökelişimi ile dolmaktadır. Dolma işleminin bir tür neomorflaşma olduğu düşünülmektedir.

6.5.2. Onkolitler

Onkolitler, incelenen traverten alanlarında kaynaklardan itibaren gelişen dereciklerin, akım enerjisinin yüksek olduğu (özellikle ağıza yakın) kesimlerinde çökelişle oluşan traverten formlarından birisidir. Onkolitler uygun bir çekirdek (mavi-yeşil alg, diyatome, kayaç parçası vs) üzerinde inorganik-organik kalsit çökelişimi ile oluşmaktadır. Onkolitler üzerinde yapılan ince kesit ve SEM incelemelerinde zonlu bir yapının varlığı gözlenmiştir. Bu durum literatürde de belirtilmekte olup; ince kesit fotoğraflarında aydınlık (sparitik kalsit) ve karanlık (mikritik kalsit) olarak gözlenen bölümler mevsimlik çökeliş farklılığından kaynaklanmaktadır (Şekil 6.8.). İnce kesitte karanlık olarak görülen bölümler alglerin katkıda bulunduğu yılın sıcak dönemindeki çökelişimi yansıtmaktadır. Aydınlık bölümler ise, alg aktivitesinin minimum düzeyde olduğu kış aylarında gerçekleşen ve büyük oranda inorganik kökenli olan çökelişimi yansıtmaktadır (Chafetz and Folk, 1984).



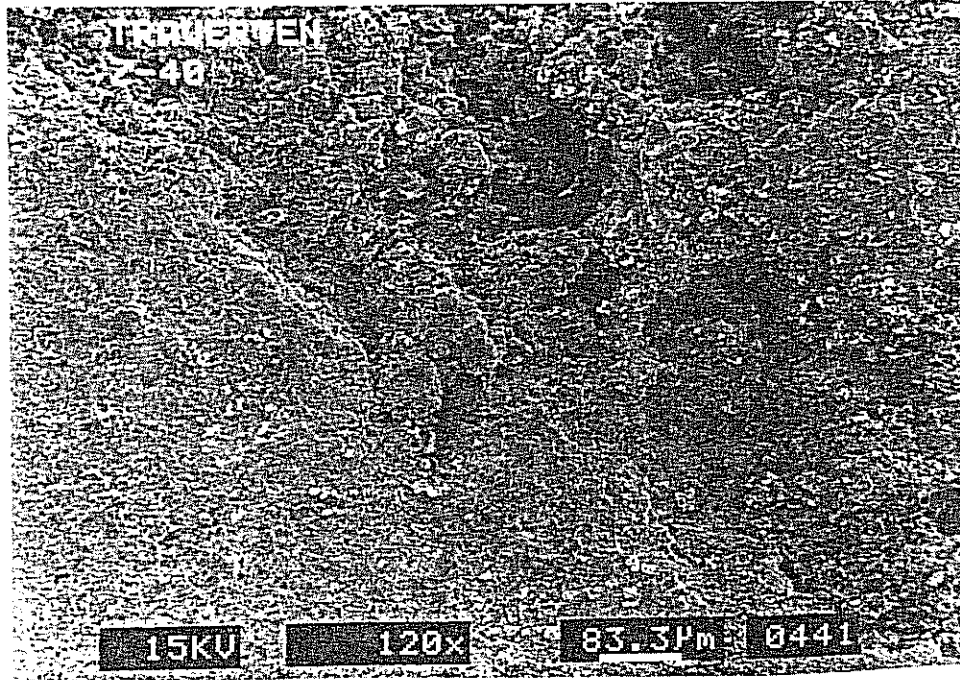
Şekil 6.6.: Yapay çekirdek üzerinde oluşmuş kalsit kristallerinin alglerle ilişkisi.



Şekil 6.7.: Mikro boşluk/oyuklar içeren özşekli kalsit kristalleri.



Şekil 6.8.: Tipik bir onkolit ince kesit görüntüsü (normal ışık, 6x).



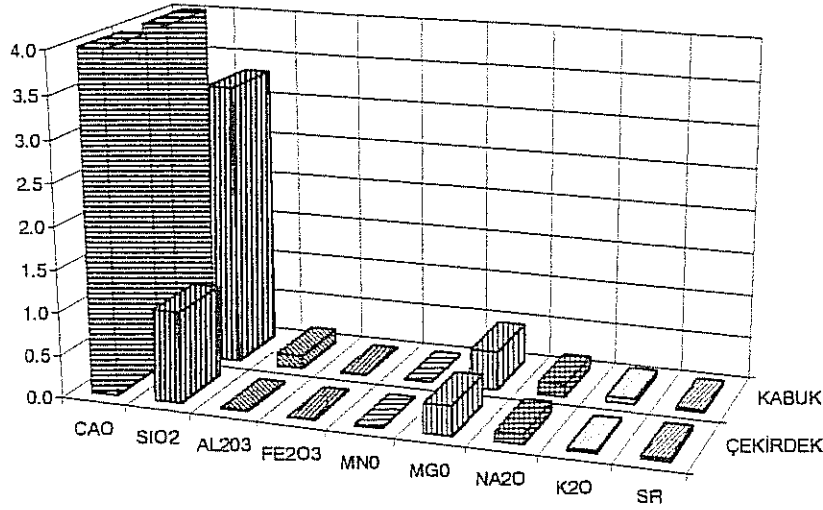
Şekil 6.9.: Tipik bir onkolit kesitindeki masif ve gözenekli bölümlerin SEM görüntüsü.

Yine ince kesit fotoğraflarından alglerin etkisi ile gerçekleşen çökelim miktarının daha fazla - karanlık bölümlerin daha kalın- olduğu gözlenmektedir. İnce kesitlerde karanlık ve aydınlık bölümler olarak gözlenen mevsimlik çökel tabakalarının daha ayrıntılı biçimde incelenmesi amacıyla alınan SEM fotoğrafından, onkolitlerin inorganik çökelimle oluşan bölümünün masif, inorganik/organik çökelimle (alglerin etkisiyle) oluşan bölümünün ise gözenekli bir yapıya sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 6.9.). Gözenekli bölüm dikkatle incelendiğinde, alglerce oluşturulan gözenekler seçilebilmektedir. Bu gözeneklerin bir bölümü masif bölümün gözenekli bölüme yakın kesimlerinde de gözlenmekte olup; bu durum iki çökelim tipi arasındaki geçişin dereceli olduğuna işaret etmektedir.

6.6. Onkolit kimyası

Sahadan toplanan onkolit örneklerinden hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan incelemelerde, bazı örneklerde çekirdek ve kabuk arasında belirgin bir yapı/doku farklılığı olduğu gözlenmiştir. Çoğunlukla bu tür onkolitlerde çekirdek kısmı daha masif, kabuk kısmı ise daha seyrek dokulu bir görünüme sahiptir. XRD analizi sonucunda çekirdek ve kabuk kısmının her ikisinde de kalsitin hakim mineral olduğu anlaşılmıştır. Tipik bir onkolitin çekirdek ve kabuk kesimlerinin kimyasal analiz sonuçları Şekil 6.10.'da gösterilmiştir.

Çekirdek ve kabuk bölümlerinin kimyasal bileşimleri arasındaki en belirgin farklılık Mg, Na, Al ve K gibi daha çok kil mineralleri ile ilgili elementlerde gözlenmektedir. Söz konusu elementlerin derişimi kabuk kısmında çekirdek kısmına göre az yada çok miktarda yüksektir. Bu bolluğun, özellikle onkolitlerin dere yatağındaki sürüklenimi sırasında yüzeye yapışan kil partiküllerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çekirdeğin bu elementlerce daha fakir olması olasılıkla çekirdekte yer alan travertenin daha yaşlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bölüm 6.7.'de açıklandığı gibi yaşlı travertenlerde kil bileşenlerine ait elementlerin oranı azalmaktadır. Nitekim, SEM incelemelerinde, çekirdek bölümünün, kabuğa oranla daha masif olduğu, kabuk kısmında gözlenen gözeneklerin burada tamamen ikincil çökelimle doldurulmuş olduğu gözlenmektedir.



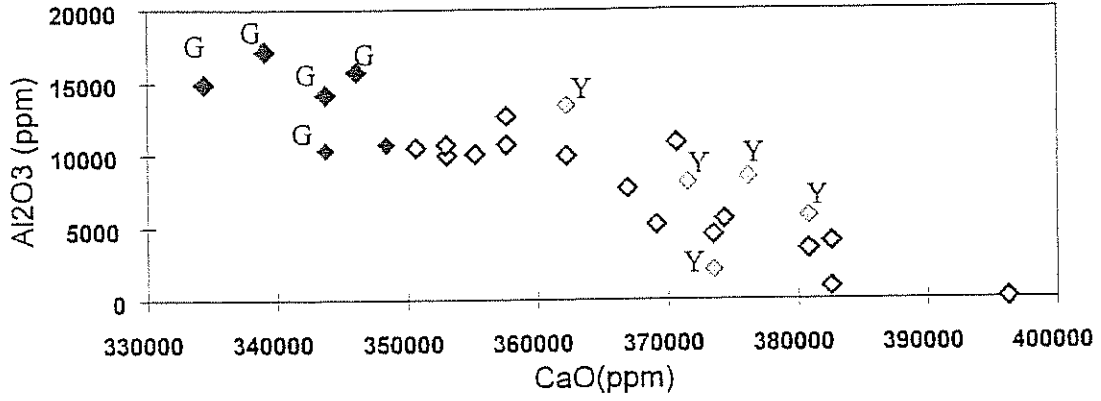
Şekil 6.10.: Bir onkolitte çekirdek ve kabuk bölümlerinin kimyasal bileşimi (Yüzde kimyasal derişimi gösteren düşey eksen ölçeği kısaltılmıştır. Çekirdek ve Kabuk bölümleri için gerçek Ca derişimleri sırasıyla %55.41 ve %53.50'dir).

6.7. Kalsit-Kil oranının yaşlanmayla değişimi

Yerköprü travertenlerine ait örneklerin kimyasal analiz sonuçları, hemen tüm örneklerde, Ca içeriği ile Al, Si, Fe ve K gibi elementlerin bollukları arasında ters bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Örneklerin Al ve Ca içeriklerinin değişimi Şekil 6.11.'de verilmiş olup; bu değişimin örneklerin stratigrafik konumlarından belirlenen "yaşları" ile bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır. Genç örneklerde Al içeriği daha yüksek olup; yaşlı örneklerde Al/Ca oranı azalmaktadır. Bu ilişki Si, Fe ve K gibi elementler için de geçerlidir.

Bu durumun, neomorfizm ve/veya ikincil kalsit çökeliminin bir sonucu olduğu düşünölmektedir. Olasılıkla, travertenin ilksel oluşumundan sonra, kalsitin tekrar tekrar çözünüp yeniden çökelmesi sonucunda mikritik kalsitler sparitik kalsitlere dönüşmekte ve kil bileşeninden kaynaklanan (Al, Si, Fe ve K gibi elementler içeren) safsızlık unsurları travertenin bünyesinden (olasılıkla) yıkanarak uzaklaşmaktadır. Diğer bir olasılık ise, ilksel travertenin çökeliminden sonra traverten içinden sızan suların zaman içinde kalsit çökeltmeye devam etmesi olabilir. Sızma ile travertenin derinliklerine inen sular yüzey akışı sırasında bünyelerinde asılı olarak taşıdıkları kil partiküllerini tutulma sonucu yüzeyde bırakacaklarından; bu tür sulardan oluşan çökeller kil bileşeni açısından fakir olacaklardır. Kil

bileşeni içermeyen yada bu bileşence fakir olan suların traverten içindeki boşluklarda kalsit çökeltmesi, zamanla bu travertenlerdeki kil bileşeni (örneğin Al) Ca oranının azalmasına neden olacaktır. Travertende yaşlanmayla Al/Ca oranında gözlenen azalmanın yukarıda belirtilen ikinci yolla oluşma olasılığı daha akla yakın bulunmaktadır.



Şekil 6.11.: Yerköprü travertenlerine ait örneklerde “yaş” ile Al/Ca oranının değişimi (G: genç traverten, Y: yaşlı traverten, etiketlenmemiş örnekler orta yaşlı örneklerdir).

7. TATLI-SU ALGLERİ ve TRAVERTEN OLUŞUMDAKİ ETKİLERİ

7.1. Giriş

Proje kapsamında yürütülen çalışmalar sırasında tatlı-su alglerinin traverten oluşundaki rollerinin de belirlenmesine çalışılmıştır. Konuyla ilgili gerek yurt içinde ve gerekse yurt dışında, tatlı-su algleri konusunda çalışmalar yürüten bilimcilerle temasa geçilmiş, toplanan alg örneklerinin tanımlanması sağlanmıştır.

İncelenen traverten alanlarında bulunan alg örnekleri traverten oluşturan akarsular boyunca sistematik olarak toplanmış, toplanan örnekler plastik kavanozlara aktararak çürümenin engellenmesi için formaldehit ile korunmuştur. Örneklerin tanımlanması (tür tayinleri), Prof.Dr. Haluk Soran (Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi, Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü), Uzman Aydın Akbulut (Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü) ve Dr. Allan Pentecost (King's College, London) tarafından yapılmıştır. Tanımlamalarda değişik büyültme kapasiteli, alttan aydınlatmalı mikroskoplar kullanılmıştır.

7.2. Algler, Morfoloji ve Genel Özellikler

Algler günümüzde de yeterince çalışılmamış 13 sınıf ve birkaç alt gruptan oluşan kriptogamik bitkilerden oluşan heterojen bir gruptur (Steen, 1971). Oldukça uzun bir fosil tarihçesine sahip olan alglerin, yeryüzünde yaşamın ilk oluştuğu zamanlardaki ilk fotosentetik bitkilere kadar ulaşan bir evrim tarihçesine sahip olduğu düşünülmektedir. Çekirdekli (cellular) bitkiler olan algler bir hücreden oluşabildikleri gibi günümüzdeki dallı bitkilere benzer çok sayıda hücrenin kümelenmesi şeklinde bir yapıya da sahip olabilmektedirler. Algler bir kaç mikron büyüklüğündeki hücrelerden, Antarktika'da gözlenen deniz kamışlarında olduğu gibi bir ağaç büyüklüğüne ulaşan boyutlara ulaşabilirler (Round, 1973). Bir kısım alglerde ilkel hayvan türlerinde (protozoa) gözlenen hareket etme kabiliyeti bulunmakta ve bazı türlerde ilkel hayvan özellikleri ile bitki özelliklerinin tam olarak ayırt edilemediği gözlenmektedir.

Ekolojik açıdan algler, toprak, su, çöl, buzullar ve kar örtüsünü kapsayan oldukça geniş bir ortam aralığında yaşam sürebilmektedirler (Round, 1973). Bununla birlikte, alglerin önemli bir bölümü yeryüzünün %70'ini kaplayan sulu ortamlarda yaşarlar. Mikroskopik fitoplanktonlar yada makroskopik bitkiler şeklinde sulu ortamda yaşayan algler aynı zamanda yerküredeki birincil organik karbonun üreticileridir (Wetzel, 1983).

Algler morfolojik olarak, tek hücreli (unicellular), kolonimsi (colonial), ipliksi (filamentous) yada dallı (siphonaceous) bir yapıya sahip olabilirler. Sulu karasal ortamlarda (kaynaklar, akarsular, göller vb) yaşayan algler, planktonik yada bentik bir yaşam tarzına sahip olabilirler. Bazı türler su üzerinde serbestçe yüzer şekilde yaşam sürerken, bazıları sulu ortamın tabanındaki kil topaklarına (epipelic), kayaç parçalarına (epilithic), kum tanelerine (episammic) ve mikroskopik hayvanlara (epizooic) tutunarak yaşarlar.

Alglerin yaşamında su sıcaklığının önemli bir rolü olup, pek çok alg türü serin suları (örn: 10°C) sevmektedir. Günümüze değin yapılan gözlemlerde alglerin (yalnızca Cyanophyta türü) yaşayabileceği en yüksek su sıcaklığının 85°C olduğu belirlenmiştir. Öte yandan, Diatome (Bacillariophyceae) türü algler en fazla 40°C sıcaklıkta yaşayabilmektedir (Pentecost, A., 1995, sözlü görüşme). Bununla birlikte suda bulunan ve alglerin beslenimi açısından önem taşıyan iyonların bolluk miktarı türlerin farklı ortam koşullarına (özellikle daha yüksek sıcaklıklara) uyum sağlamalarına yardımcı olmaktadır. Suda bulunan çözünmüş iyonlarca sağlanan besin miktarına olan gereksinimin farklı alg türleri arasında değişim göstermesine karşın, çok düşük toplam çözünmüş madde içeriğine sahip suların alglerin beslenmesi açısından yeterli olduğu bilinmektedir. Suda bulunan hemen tüm iyonlar (majör iyonlar, fosfat, azot türevleri, silis vs) farklı alg türleri tarafından metabolik aktivitelerin sürdürülmesi amacıyla değişik miktarlarda kullanılmaktadır. Bazı algler, gereksinim duydukları elementin azlığı yada yokluğu durumunda bunun yerine başka elementleri kullanma konusunda özel yetenekler geliştirmişlerdir (Golubic, 1973; Vinogradov, 1953). Bununla birlikte, herhangi bir elementin yüksek miktarlarda bulunması alglerin büyük çoğunluğu için öldürücü etki yapmaktadır.

Kalsifikasyon:

Günümüze değin yapılan araştırmalar, denizel ve tatlı-su ortamlarında yaşam süren alglerden bir bölümünün doğrudan yada dolaylı olarak karbonat minerallerinin çökelişi ile ilişki olduğunu göstermiştir. Alg biyolojisinde bu olay kalsifikasyon olarak adlandırılmakta olup, ayrıntıları aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

Algler üzerindeki karbonat minerali çökelişi kalsit yada aragonit şeklinde olup; bu iki mineralin aynı anda çökelişini sağlayan bir alg türü bilinmemektedir (Chave, 1954). Öte yandan, Lewis (1962), literatürden derlediği bilgiler ışığında, alglerle ilişkili aragonit şeklindeki karbonat çökelişinin yalnızca ılık sularda yaşayan denizel türlere özgü olduğunu

belirtmektedir (Round, 1973). Nitekim, tatlı-su alglerinin katkıda bulunduğu serin sulardan itibaren oluşan traverten çökellerinde de günümüze değin gözlenen kalsiyum karbonat kristallerinin tümünün kalsit formunda olduğu belirtilmektedir. Bazı türlerde sulu kalsit kompleksleri gözlenmişse de bunların birbiri ile bağlantılarının olmadığı bilinmektedir (Vinogradov, 1953).

CaCO_3 kristalleri alglerin sümüksü salgılarında, hücre duvarların üzerinde çökelebilmekte, bazı türlerde ise değişmez bir biçimde iskelet yapısında yer almaktadır. Algler üzerinde çökelen kalsit kristalleri öncelikle hücre örtüsü (cell sheath) üzerinde bireysel kristaller şeklinde belirlemekte, bunlar daha sonra birbirleriyle kaynaşarak bazen, tüm sümüksü salgının tamamen kalsit ile kaplanmasına neden olabilmektedir. Karbonat çökelişi ile ilişkili tüm alglerde gözlenen önemli bir ortak özellik bunların tümünün sümüksü yada jelatinimsi sıvılar salgılamalarıdır. Bu tür sıvılar salgılayan tüm alg türlerinde karbonat çökelişi görülmemekle birlikte (Pentecost and Terry, 1988), çökelimle bu organik madde arasında belirgin bir bağlantının olduğu açıktır (Round, 1973; Chang, 1980). Örneğin *Lyngbya*, *Schizotrix* ve *Rivularia* vb. gibi türlere ait pek çok algin salgıladıkları sümüksü sıvılar yardımıyla hücre duvarı ve alg iplikçikleri arasında karbonat çökelişini sağladığı bilinmektedir.

Alg türlerinin önemli bir bölümü suda bulunan serbest karbondioksiti fotosentez aracılığı ile metabolik aktiviteleri için gerekli çeşitli tipteki şekerlerin üretiminde kullanmaktadır. Bununla birlikte, bazı türler, CO_2 yerine HCO_3^- iyonlarını aynı amaçla kullanmaktadır. Metabolik aktivitenin devam ettirilmesi amacıyla CO_3^{2-} iyonlarından yararlanan bir alg türü günümüzde bilinmemektedir. Öte yandan, denizel alglerce çökeltile kalsitler üzerinde yürütülen karbon izotop çalışmaları, çökelimde fotosentez dışındaki diğer (olasılıkla inorganik) süreçlerin de etkili olduğunu göstermiştir (Vinogradov, 1953). Spiro ve Pentecost (1991), tatlı-su algleri üzerinde yürüttükleri çalışmalarında da benzer sonuçlara ulaşmış olup; çökelen kalsit miktarının fotosentez yoluyla çökelebilecek miktardan belirgin biçimde yüksek olduğunu belirtmektedir.

Öte yandan, algler karbonat çökelişinde doğrudan yada dolaylı olarak etkili olabildikleri gibi, çökelmiş karbonatların çözünmesine de neden olurlar. Normal metabolik faaliyetin bir sonucu olarak bütün alg türleri çoğunlukla polisakkaritlerden oluşan organik maddeleri salgırlar. Bu olay yüksek gelişmişlik düzeyindeki (örneğin: sıcak kanlı memeliler) dışkılama olayının bir benzeridir. Algler tarafından salgılanan yada alglerin çürütmesi sonucunda oluşan organik moleküllerin bir bölümü asidik karakterde olup; bunlar alglerle temasta olan kalsit kristallerinin çözünmesine neden olur. Bazı taramalı elektron mikroskop

belirtmektedir (Round, 1973). Nitekim, tatlı-su alglerinin katkıda bulunduğu serin sulardan itibaren oluşan traverten çökellerinde de günümüze değin gözlenen kalsiyum karbonat kristallerinin tümünün kalsit formunda olduğu belirtilmektedir. Bazı türlerde sulu kalsit kompleksleri gözlenmişse de bunların birbiri ile bağlantılarının olmadığı bilinmektedir (Vinogradov, 1953).

CaCO_3 kristalleri alglerin sümüksü salgılarında, hücre duvarların üzerinde çökelebilmekte, bazı türlerde ise değişmez bir biçimde iskelet yapısında yer almaktadır. Algler üzerinde çökelen kalsit kristalleri öncelikle hücre örtüsü (cell sheath) üzerinde bireysel kristaller şeklinde belirmekte, bunlar daha sonra birbirleriyle kaynaşarak bazen, tüm sümüksü salgının tamamen kalsit ile kaplanmasına neden olabilmektedir. Karbonat çökelişi ile ilişkili tüm alglerde gözlenen önemli bir ortak özellik bunların tümünün sümüksü yada jelatinimsi sıvılar salgılamalarıdır. Bu tür sıvılar salgılayan tüm alg türlerinde karbonat çökelişi görülmemekle birlikte (Pentecost and Terry, 1988), çökelişle bu organik madde arasında belirgin bir bağlantının olduğu açıktır (Round, 1973; Chang, 1980). Örneğin *Lyngbya*, *Schizotrix* ve *Rivularia* vb. gibi türlere ait pek çok algin salgıladıkları sümüksü sıvılar yardımıyla hücre duvarı ve alg iplikçikleri arasında karbonat çökelişini sağladığı bilinmektedir.

Alg türlerinin önemli bir bölümü suda bulunan serbest karbondioksiti fotosentez aracılığı ile metabolik aktiviteleri için gerekli çeşitli tipteki şekerlerin üretiminde kullanmaktadır. Bununla birlikte, bazı türler, CO_2 yerine HCO_3^- iyonlarını aynı amaçla kullanmaktadır. Metabolik aktivitenin devam ettirilmesi amacıyla $\text{CO}_3^{=}$ iyonlarından yararlanan bir alg türü günümüzde bilinmemektedir. Öte yandan, denizel alglerce çökeltile kalsitler üzerinde yürütülen karbon izotop çalışmaları, çökelişle fotosentez dışındaki diğer (olasılıkla inorganik) süreçlerin de etkili olduğunu göstermiştir (Vinogradov, 1953). Spiro ve Pentecost (1991), tatlı-su algleri üzerinde yürüttükleri çalışmalarında da benzer sonuçlara ulaşmış olup; çökelen kalsit miktarının fotosentez yoluyla çökelebilecek miktardan belirgin biçimde yüksek olduğunu belirtmektedir.

Öte yandan, algler karbonat çökelişinde doğrudan yada dolaylı olarak etkili olabildikleri gibi, çökelmiş karbonatların çözünmesine de neden olurlar. Normal metabolik faaliyetin bir sonucu olarak bütün alg türleri çoğunlukla polisakkaritlerden oluşan organik maddeleri salgırlar. Bu olay yüksek gelişmişlik düzeyindeki (örneğin: sıcak kanlı memeliler) dışkılama olayının bir benzeridir. Algler tarafından salgılanan yada alglerin çürümesi sonucunda oluşan organik moleküllerin bir bölümü asidik karakterde olup; bunlar alglerle temasta olan kalsit kristallerinin çözünmesine neden olur. Bazı taramalı elektron mikroskop

görüntülerinde yeni oluşmuş kalsit kristalleri üzerinde izlenen mikro-kanalların (micro borings) varlığı bu yolla (özellikle asidik karakterli organik salgılarla) açıklanabilir (bkz. Şekil 6.7.).

Tatlı-su alglerinin yaygın biçimde görüldüğü serin karstik sulardan itibaren oluşan travertenler kahverengi tonlarda çökeller oluştururken, sıcak sulardan itibaren oluşan ve tatlı-su alglerinin pek bulunmadığı travertenler genellikle saf kalsit çökeliminden dolayı beyaz renklidirler. Buna karşın, sıcak suyun akışı sırasında sıcaklığın alglerin yaşayabileceği kadar düştüğü yerlerde çökelen travertenlerde renklenmeler görülebilir. Bu tür travertenlerde (örğ: Pamukkale travertenleri) renklenmeyi denetleyen temel faktör inorganik olarak çökelen kalsit miktarı ile çürümeyle kalsit kristalleri arasına karışan alg miktarı arasındaki orandır.

7.3. Tatlı-su Alglerinin Traverten Oluşumundaki Etkileri

Bölüm 7.2.'de de belirtildiği gibi, algler traverten oluşumunda doğrudan yada dolaylı olarak etkili olmaktadır. Alglerin çökelimdeki doğrudan etkisi fotosentez sonucu sudaki serbest CO_2 ve HCO_3^- iyonlarının çözeltiden uzaklaştırılması sonucunda sudaki mevcut CO_2 dengesinin bozulmasına bağlı olarak kullanılan CO_2 'e eşdeğer miktarda kalsitin çökmesi şeklindedir. Öte yandan, dolaylı etki inorganik yada organik yolla çözeltiden ayrılarak oluşan kalsit mikro kristallerinin alg liflerince tutulması ve/veya hücre duvarı üzerindeki uygun kesimlerin kristal oluşumunda önemli bir faktör olan uygun çekirdekleşme (nucleation) alanları yaratması şeklinde olmaktadır. Bu süreçlerin ayrıntıları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır. Emeis et al. (1987) ve Weijermars et al. (1986) Yugoslavya (Piltvice) ve İspanya'da bu çalışmada incelenlere benzer aktif traverten çökellerinde yürüttükleri çalışmalarında traverten oluşumunda alglerin belirgin fiziksel ve kimyasal rolünün olduğunu belirtmektedirler. Benzer sonuçlara Chafetz and Folk (1984) tarafından da ulaşılmıştır.

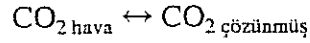
7.3.1. Kimyasal Etkiler

Alglerin traverten çökelimindeki doğrudan etkisi fotosentez sırasında suda bulunan serbest CO_2 'in kullanılması ile olmaktadır. Doğal suların karbonat kimyası sudaki CO_2 türleri ($\Sigma \text{CO}_2 = \text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) arasındaki bir dizi denge reaksiyonu ile denetlenmektedir. Tatlı-su ortamlarındaki karbonun önemli bir bölümü inorganik türlerden oluşmakta olup; az

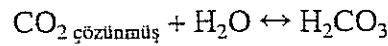
miktardaki karbon çözülmüş ve partikül haldeki karbon yada sucul canlıların bünyesinde organik olarak bulunmaktadır (Wetzel, 1983).

Normal çözünürlük yasalarına uyan bir gaz olan CO_2 , suya oldukça yüksek çözünürlüğe sahip olup; atmosferdeki başlıca gazlardan oksijene oranla yaklaşık 200 kat daha yüksek çözünürlüğe sahiptir.

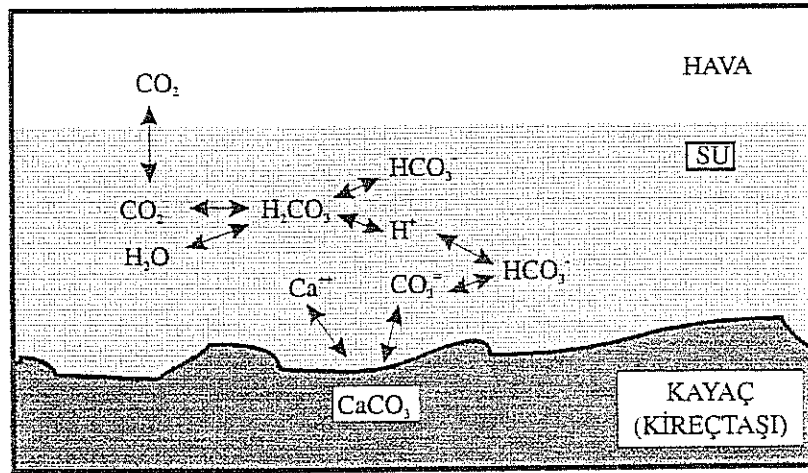
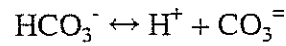
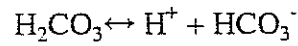
Havadaki CO_2 'in suya girmesi ile ilk aşamada bu gaz su içinde fiziksel olarak çözünür:



İkinci aşamada fiziksel olarak çözülmüş CO_2 su molekülleri ile reaksiyona girerek (hidratasyon) H_2CO_3 (karbonik asit) molekülleri oluşmasına neden olur:



Bu reaksiyon kinetik açıdan oldukça yavaştır ve yaklaşık 15 dk'lık bir yarılanma ömrüne sahiptir. Zayıf bir asit olan H_2CO_3 daha sonraki aşamada hızla bikarbonat ve karbonat iyonlarına dönüşür:



Şekil 7.1. Hava-su-kayaç ortamında karbonatlı kayaçların çözünmesini denetleyen reaksiyonlar (Bögli'den (1980)).

(Şekilde kireçtaşının kalsit (CaCO_3) kristallerinden oluştuğu varsayılmaktadır. Kalsitin çözünmesi; özellikle toprak zonundaki organik reaksiyonlar sonucu sağlanan karbondioksitin (CO_2) su (H_2O) ile birleşerek karbonik asit (H_2CO_3) oluşturması ve oluşan karbonik asitçe sağlanan protonların (H^+) kalsit kristalini oluşturan kalsiyum (Ca^{++}) ve karbonat (CO_3^{2-}) iyonları arasındaki bağı kırmalarıyla sağlanmaktadır. Suyu geçen çözünme ürünleri Ca^{++} ve HCO_3^- iyonlarıdır.)

Karbonatlı kayacı oluşturan temel mineralin kalsit (CaCO_3) olduğu kabul edilirse, karbonik asidin aşamalı olarak çözünmesi sonucu ortaya çıkan protonlar (H^+) kalsit kristalinde Ca^{++} ve $\text{CO}_3^{=}$ iyonları arasındaki bağı kopararak bu iyonların serbest kalmasına neden olurlar.



Dolayısıyla, kalsitin çözünme miktarı doğrudan doğruya sistemdeki (sudaki) proton bolluğu yada proton bolluğunu belirleyen karbonik asit bolluğu ile orantılıdır. Karbonik asit bolluğunu belirleyen temel süreç ise suda fiziksel olarak çözünmüş CO_2 miktarıdır.

Başlangıçtaki belirli, sabit bir miktardaki karbondioksit karşılık sistem tarafından belirli miktarda kalsit çözülerek çözeltiliye (suya) alınır. Bu süreç, başlangıç CO_2 miktarı ile çözünmüş kalsit miktarı arasında bir kimyasal denge (chemical equilibrium) oluşuncaya kadar devam eder. Tüm kimyasal dengelerde olduğu gibi, denge reaksiyonlarında temel belirleyici faktörler sistemin sıcaklığı ve basıncıdır. Bu iki parameterden özellikle sıcaklık kimyasal denge üzerinde önemli etkiye sahiptir ve sıcaklıktaki herhangi bir değişim denge reaksiyonunun ileri yada geri yönde (kalsit örneğinde çözünme yada çökme yönlerinde) hareket ederek sistemde yeni bir dengenin kurulmasına neden olur.

Belirli bir reaksiyon (örneğin kalsitin çözünmesi) üzerinde sıcaklık değişiminin yarattığı etkiler bir yana bırakıldığında, kimyasal dengeyi etkileyen bir diğer faktör de denge reaksiyonuna katılan kimyasal türlerin çözeltildeki (sudaki) miktarlarının doğrudan yada dolaylı olarak değişmesi yada değiştirilmesidir. Örneğin başlangıçta belirli miktarda çözünmüş CO_2 içeren bir sistem, söz konusu CO_2 miktarının gerektirdiği oranda kalsit çözecektir ve belirli bir süre sonra denge durumuna ulaşılacak, kalsit çözünmesi sona erecektir. Bununla birlikte, suya yeniden CO_2 eklenmesi durumunda daha önceden oluşan denge bozulacağından, sisteme yeni giren CO_2 nedeniyle yeni bir denge oluşana kadar kalsit çözünmesi yeniden başlayacaktır.

Benzer şekilde, sistemden herhangi bir nedenle karbondioksitin ayrılması durumunda, sistemin dengesi bozulacağından, çözeltilde (su) bulunan Ca^{++} ve HCO_3^- iyonlarının sistemden ayrılan CO_2 miktarını dengeleyecek kadarı kristal oluşturarak çökecek ve sistemden ayrılacaktır. Dolayısıyla, herhangi bir nedenle sistemden CO_2 ayrılması kalsit çökelişini ile sonuçlanacaktır.

Sistemden karbondioksitin ayrılmasına neden olan başlıca süreçler:

- a) atmosferdekinden yüksek CO_2 içeriğine sahip olan suyun atmosferle temas etmesi,
- b) su sıcaklığının artması ve,
- c) sudaki CO_2 'in biyokimyasal yolla (fotosentezle) kullanılmasıdır.

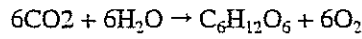
Doğa bütün sistemler çevreleri ile dengeye ulaşmak istediklerinden, akifer içinde atmosferdeki CO_2 miktarının üzerinde CO_2 içeren yeraltısuyu kaynak şeklinde yüzeye çıkıp atmosferle temas ettiğinde, bünyesindeki karbondioksiti atmosferdeki karbondioksitle aynı düzeye getirmek için hızla atmosfere boşaltır (out gassing). Bu durumun doğal bir sonucu, dışa atılan CO_2 sayesinde suda çözülmüş halde bulunan Ca^{++} ve HCO_3^- iyonlarının kalsit kristali oluşturarak sistemden ayrılmasıdır. Bu nedenle, yüksek düzeyde CO_2 içeren tüm yeraltıları kaynak şeklinde yüzeye çıkıp atmosferle temas ettiklerinde, bünyelerinde yeterli miktarda Ca^{++} içermeleri durumunda kalsit çökeltirler. Bu çalışmada incelenen Yerköprü kaynaklarında itibaren traverten oluşumunun temel nedeni, kaynaklardan boşalan yeraltısuyunun atmosferik CO_2 'in çok üzerinde CO_2 içermeleridir.

Doğal olarak sudan atmosfere CO_2 kaçış hızını denetleyen önemli faktörlerden birisi de su ile atmosfer arasındaki temas yüzeyinin büyüklüğüdür. CO_2 içerikleri aynı olan iki sudan atmosferle temas alanı daha büyük olanından atmosfere daha fazla gaz kaçışı olmaktadır. Dolayısıyla, daha geniş yüzey alanına sahip olan traverten derelerinde daha fazla gaz kaçışı ve bunun bir sonucu olarak da kalsit çökelişi gerçekleşmektedir. Öte yandan, traverten akarsuları en geniş yüzey alanına suyun küçük tanecikler halinde saçılarak havada serbest düşmeye uğradığı şelalelerde sahip olmaktadır. Bu ortamlarda suyun 'parçalanarak' küçük taneciklere ayrışması yüzey alanını büyük oranda arttırmakta, bunun bir sonucu olarak da atmosfere gaz kaçışı en yüksek düzeyde olmaktadır.

Genel olarak gazların sudaki çözünürlükleri sıcaklık ile ters orantılı olup, sabit bir basınç altında suda çözünebilir gaz miktarı azalan su sıcaklığı ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla, belirli bir sıcaklıkta belirli miktarda gaz (örneğin karbondioksit) içeren su, sıcaklığının artması sonucunda yeni sıcaklık koşullarının gerektirdiğinden fazla olan gazı bünyesinden atacaktır. Atmosferle su arasında gazların geçişme (difüzyon) hızı çeşitli gazlar için farklılık göstermektedir. CO_2 geçişme hızı en yüksek olan gazlardan birisi olup, atmosferden suya, sudan atmosfere geçişi oldukça hızlıdır. Sonuç olarak, yeraltısuyunun hava sıcaklığından daha düşük sıcaklığa sahip olması durumunda, kaynak şeklinde yüzeye çıkan ve atmosferle temas ederek ısınan su bünyesindeki CO_2 'in bir kısmını atmosfere boşaltacaktır. Sistemden CO_2

ayrılışının bir sonucu olarak, yukarıda da değinildiği gibi, ayrılan CO₂'e eşdeğer miktarda kalsit çökelimi gerçekleşecektir.

Öte yandan, inceleme alanında olduğu gibi CO₂'ce zengin kaynaklardan beslenen dereler içinde yaşayan mikroskopik bitkiler (algler) sistemden CO₂ ayrılışında etkili faktörlerden bir diğeridir. Algler sudaki CO₂'i fotosentez reaksiyonlarında kullanmak üzere bünyelerine alırlar. Fotosentez, yeşil bitkilerin kloroplastlarında gerçekleşen bir reaksiyon olup; CO₂'in ve ışık enerjisinin var olması durumunda bitkiler fotosentez reaksiyonları sonucunda basit şeker moleküllerini daha büyük ve kompleks karbonhidrat molekülleri oluşturmak üzere sentezlerler. Bu yolla, ışık enerjisi metabolik aktivitede kullanılabilir kimyasal enerji şeklinde karbonhidrat moleküllerinde depolanmış olur. Basit şekliyle fotosentez reaksiyonu



şeklindedir (Steen, 1971).

Basınç yada sıcaklık farklılığı atmosfere CO₂ kaçışında olduğu gibi fotosentezle sistemden CO₂ ayrılması sonucunda da, çözelti ayrılan CO₂'e eşdeğer oranda kalsit çökeltmeye çalışır. Fotosentez reaksiyonları ışık enerjisine gereksinim duyduğundan sadece gün ışığı var olduğu sürece gerçekleşirler. Gün ışının en şiddetli olduğu öğle saatleri bu reaksiyonların en yoğun olduğu zamanlardır. Dolayısıyla fotosentez aracılığı ile sistemden CO₂ uzaklaşması yalnızca gündüz saatlerinde gerçekleşen bir süreçtir.

Öte yandan, bitkiler fotosentezle sistemden aldıkları CO₂'in bir kısmını gece boyunca sisteme geri verirler. Spiro ve Pentecost (1991) İngiltere'de 600m uzunluğunda bir akarsuda CO₂ geçiş oranlarındaki değişimi gün boyu incelemişler ve toplam CO₂'in %14.5'inin inorganik kalsit çökelimi, %12.1'inin fotosentez ve %9.5'inin atmosfere boşalma ile sistemi terk ettiğini; buna karşın %5.4'ünün algler tarafından sisteme geri verildiğini belirlemişlerdir. Bu değerler, algler tarafından kullanılan CO₂ miktarının atmosfere kaçışla kaybolan CO₂ miktarını aşabileceğini göstermektedir.

Alglerin kalsit çökelimi (yada traverten oluşumu) ile ilgili bir diğer ilginç özelliği sistemde (sudan) metabolik aktiviteleri için gereken yeterli miktarda CO₂ bulunmaması durumunda suda bulunan HCO₃⁻ iyonlarını CO₂ üretiminde (HCO₃⁻ → CO₂ + OH⁻) kullanmalarıdır. Bu süreçte, normal CO₂ kullanımında olduğu gibi kimyasal dengeyi bozmakta ve kalsit çökelimine neden olmaktadır.

7.3.2. Fiziksel Etkiler

Suda çözülmüş CO₂'i kullanarak kalsit çökelimini biyokimyasal yolla teşvik etmelerinin (provoke) yanısıra algler, aynı zamanda fiziksel yolla da traverten oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Alglerin traverten oluşumundaki başlıca fiziksel rolleri:

a) suda oluşmuş ve akıntıyla hareket eden kalsit kristal komplekslerinin (Ca(HCO₃)^o) alg liflerine takılması ve,

aynı kalsit kristal kompleksleri için çökelme ortamı (nucleation site) sağlamaları şeklinde olmaktadır.

Ortamdan CO₂ ayrılışının bir sonucu olarak oluşan kalsit kristal kompleksleri uygun bir ortamca tutulmadıkları sürece akıntıyla akış aşağıya doğru sürüklenmektedirler. Özellikle akıntı hızının düşük olduğu traverten derelerinde bol miktarda bulunan alglerin oluşturduğu filament yumakları doğal bir filtre malzemesi gibi davranmakta, suyun bu 'filtre' içinden akışı sırasında kalsit mikro kristalleri alg liflerine takılmaktadır. Alg liflerine takılan kalsit mikro kristalleri ayrıca kristal oluşumunda aşılması gereken enerji bariyerini azaltarak daha sonraki kalsit çökelimi için de uygun ortam sağlamakta ve çökelimi hızlandırmaktadırlar.

Yukarıda da değinildiği gibi traverten akarsuları kalsite karşı doygunluğa ulaşmış olsalar bile çökelimin gerçekleşebilmesi (kristal oluşumu) için belirli bir enerji bariyerini aşmaları gerekmektedir (Appelo ve Postma, 1992). Enerji bariyerinin aşılması ise ya suyun aşırı derecede kalsite karşı doygunlaşması ile yada söz konusu enerji gereksiniminin daha düşük olduğu uygun kristalleşme ortamlarının (nucleation sites) mevcut olması ile mümkündür. Algler (özellikle diatom türü) uygun yüzey şekilleri ile kalsit kristallerinin oluşması için uygun ortam yaratmaktadırlar.

7.4. İncelenen Traverten Alanlarında Alglerin Karbonat Çökelimindeki Etkileri

7.4.1. Saptanan Alg Türleri

Bu çalışmada alglerin traverten oluşumundaki etkilerinin belirlenmesi amacıyla traverten derecelerinde yaşayan alg türleri sistematik biçimde toplanmış ve tür tanımlamaları yaptırılmıştır. Alglerin mikroskop altında tanımlanmaları oldukça güç, deneyim gerektiren ve hataya açık bir işlem olduğundan, toplanan örneklerin üç ayrı yerde tanımlanmasına çalışılmıştır. Örneklerin bir bölümü, traverten oluşturan algler konusunda önde gelen uzmanlardan birisi olan Dr. Allan Pentecost'a (İngilyere'ye) gönderilmiş ve tanımlamaları

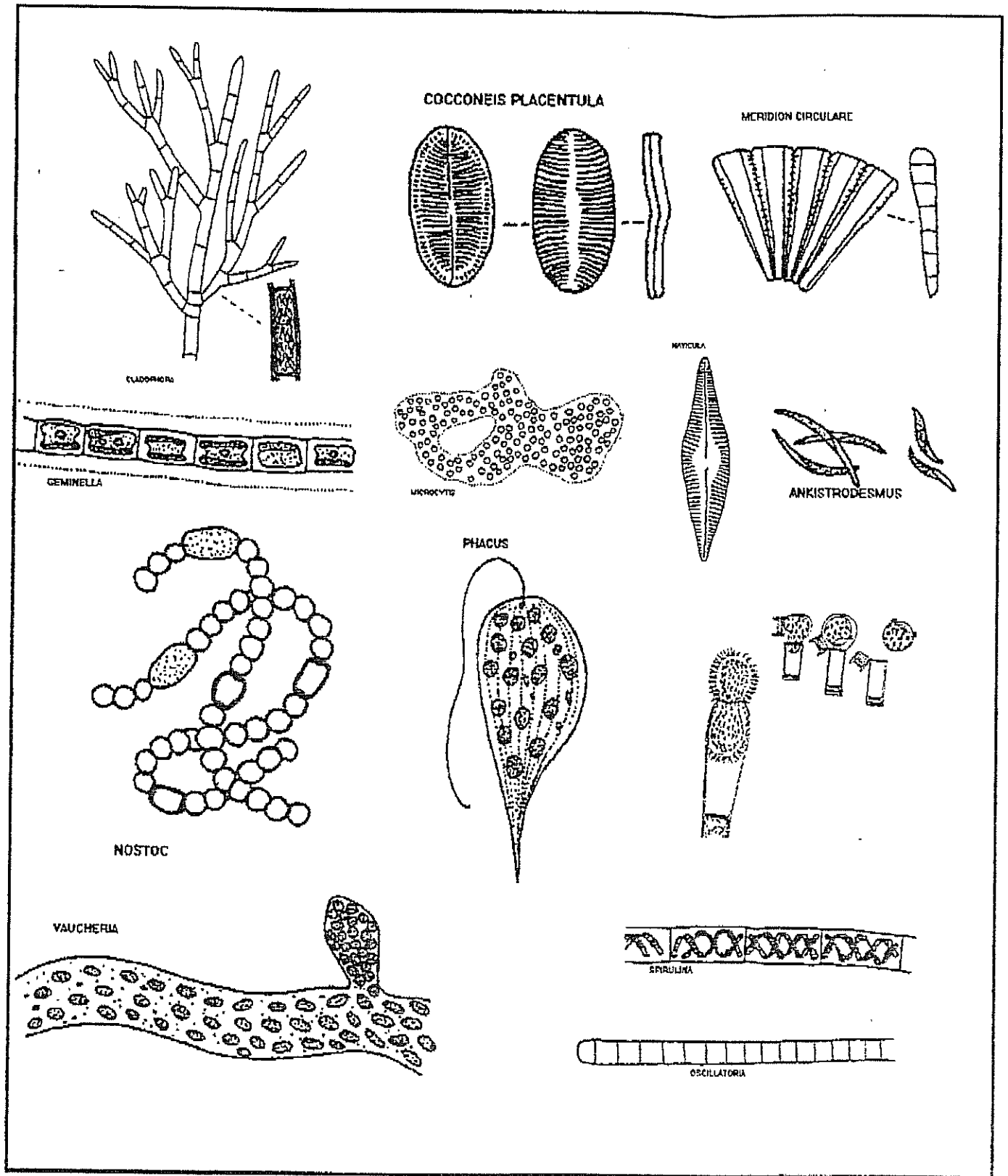
yaptırılmıştır. Bu konuda daha ayrıntılı verilerin üretilmesi amacıyla Dr. Allan Pentecost Türkiye'ye davet edilmiş, Haziran 1995'te (proje çalışmalarının tamamlanmasından sonra) Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenlerinde saha çalışmaları yürütülmüştür. Proje alanında traverten oluşumunda alglerin rolü üzerine hazırlanan bir tebliğ (Bayarı and Kurttaş, 1995b) Eylül 1995'te düzenlenecek olan "Karst Waters and Environmental Impacts" adlı sempozyumda sunulmak üzere hazırlanmıştır. Söz konusu tebliğ metni yayına kabul edilmiş olup, tebliğler kitabında basılacaktır. Öte yandan, Dr. Pentecost ile yürütülen saha çalışmasının verileri halen değerlendirilmekte olup; bulgular ileriki bir tarihte yayınlanacaktır.

Traverten alanlarında saptanan alg türleri Çizelge 7.1.'de belirtilmiş ve Pentecost (1990) tarafından dünyadaki çeşitli traverten alanlarında gerçekleştirilen gözlemlere dayanılarak hazırlanan liste ile karşılaştırılmıştır. İnceleme alanında saptanan türlerin bollukları Pentecost'un (1990) verileri ile büyük uyumluluk göstermektedir. İncelenen traverten alanlarında saptanan alg türlerinden bazılarının morfolojik görünümü Şekil 7.2.'de verilmiştir.

7.4.2. Kimyasal Etkiler

Alglerin traverten oluşumundaki kimyasal rolleri ayrıntılı olarak Bölüm 7.3.1.'de açıklanmıştır. İncelenen traverten alanları arasında özellikle Yerköprü 3 traverteninde alglerin çökelimde önemli rol üstlendiklerine işaret eden bulgulara rastlanmıştır. Yerköprü 3 traverten alanında yürütülen ilk saha çalışmasındaki (Eylül 1993) 48 saatlik gözlemlerde $\log P_{CO_2}$ değerinin günboyu salınım gösterdiği saptanmış; bu salınımların alglerin günlük metabolik faaliyetlerinden kaynaklanabileceği düşünülmüştür. Bunun üzerine, aynı alanda yürütülen ikinci saha çalışmasında (Ağustos 1994) gözlem süresi 72 saate çıkartılmış ve yine benzer veriler elde edilmiştir. Her iki dönemde elde edilen $\log P_{CO_2}$ ve SI_{Ca} verilerinin zaman içindeki değişimi Şekil 7.3. ve Şekil 7.4.'te gösterilmiştir.

Yerköprü 3 traverten deresinde her iki dönemde gerçekleştirilen gözlemlerden $\log P_{CO_2}$ değerinin gün boyu bir salınım gösterdiği saptanmıştır (ayrıca bkz. Bölüm 5.4.). $\log P_{CO_2}$ değerinin gündüz saatlerinde azalması, buna karşın gece saatlerinde artması, CO_2 'in sistemden uzaklaşmasında periyodik bir etkinin olduğunu göstermektedir.

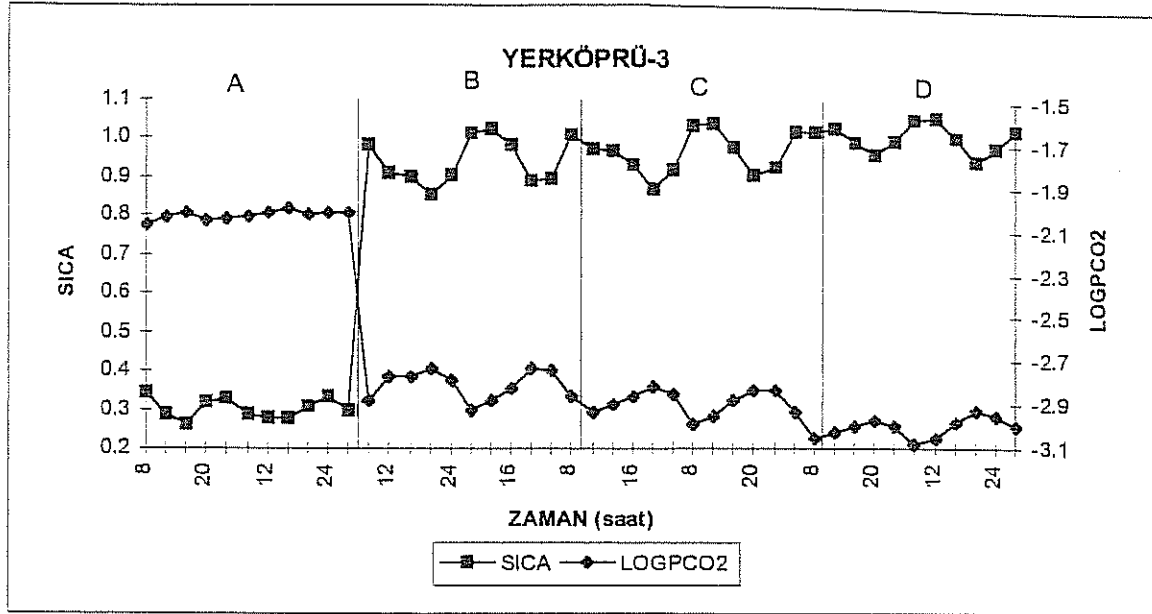


Şekil 7.2.: İncelenen traverten alanlarında saptanan bazı alg türlerinin morfolojik görünüşleri
(çizimler Dr. A. Pentecost)

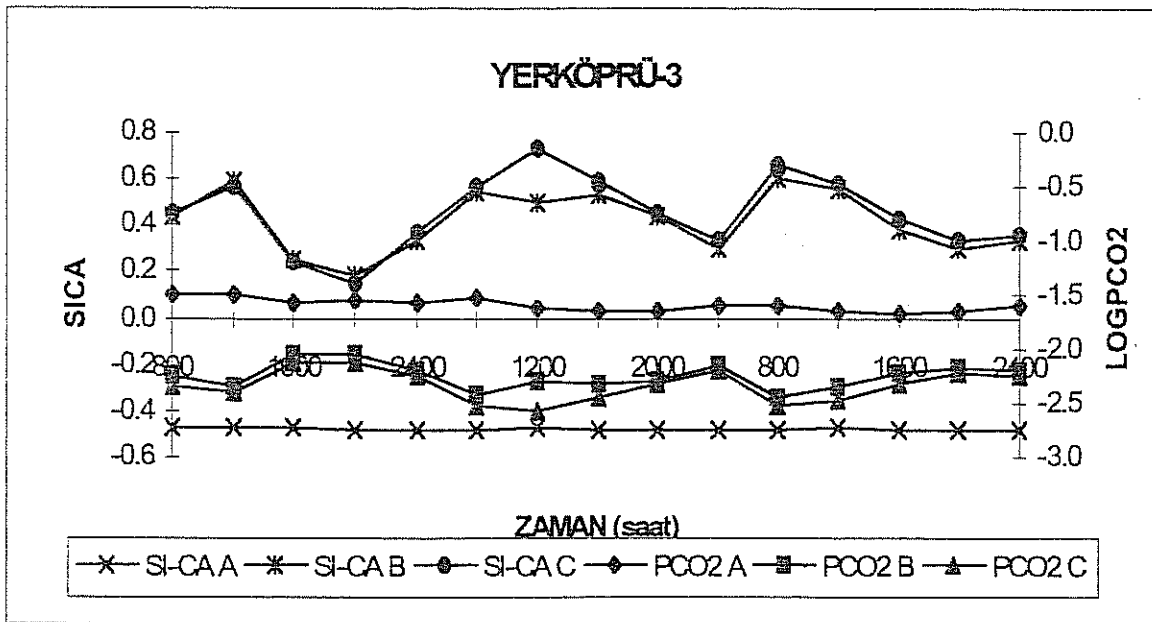
Çizelge 7.1.: Yerköprü 1, 2 ve 3 traverten alanlarında saptanan alg türleri.

TÜRLER	A	B
PROCARYOTA		
Divizyo: <i>Cyanophceae</i> , (mavi-yeşil algler)		
<i>Microcystis</i> sp.	-	a
<i>Oscillatoria</i> sp. x	-	çb
<i>Phormidium</i> sp.	**	a
<i>Lyngbya incrustatum</i>	*	a
<i>Nostoc verrucosum</i>	by	çb
<i>Schizotrix</i> sp.	-	o
EUCARYOTA		
Divizyo: <i>Chlorophyceae</i> , (yeşil algler)		
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	-	ça
<i>Oocytis</i> sp.	-	a
<i>Microspora</i> sp.	-	ça
<i>Cladophora</i> sp. x	*	çb
<i>Oedogonium</i> sp.	-	a
<i>Spirogyra</i> sp.	by	b
<i>Geminella</i> sp.	-	o
<i>Ulothrix</i> sp.	-	o
<i>Rhizoclonium</i> sp.	-	o
Divizyo: <i>Bacillariophyceae</i> , (diyatomlar)		
<i>Achnantes</i> sp.	**	çb
<i>Cocconeis placentula</i> x	*	b
<i>Cymbella</i> sp.	**	çb
<i>Diatoma</i> sp. x	*	çb
<i>Gomphonema</i> sp.	*	çb
<i>Hantzschia</i> sp.	-	ça
<i>Mastoglia</i> sp.	-	çb
<i>Meridion circulare</i>	by	b
<i>Nitzschia</i> sp.	*	a
<i>Navicula</i> sp. x	*	b
<i>Rhodosphenia</i> sp.	by	ça
<i>Synedra</i> sp.	*	a
<i>Tabellaria</i> sp.	-	o
<i>Amphipleura</i> sp.	-	o
Divizyo: <i>Euglenophyceae</i>		
<i>Phacus</i> sp.	-	ça
Divizyo: <i>Xanophyceae</i>		
<i>Vaucheria</i> sp.	*	çb

Açıklamalar: A: Pentecost (1990) gözlemleri, B: Bu çalışma, * : hemen her zaman gözlenen, **: çoğunlukla gözlenen, by: bilgi yok., -: listede yok, çb: çok bol, b: bol, a: az, ça: çok az, o: olasılıkla mevcut, 'X' kurak dönemde de var olan türleri belirtir.



Şekil 7.3.: Yerköprü 3 traverteninde logP_{CO2} ve SI_{Ca} değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Eylül 1993).



Şekil 7.4.: Yerköprü 3 traverteninde logPCO₂ ve SICa değerlerinin yer ve zaman içinde değişimi (Ağustos 1994).

Gerçekte, gündüz saatlerinde hava sıcaklığındaki artışın su sıcaklığına yansımaları sonucu CO₂ gazının dere suyundaki çözünürlüğünün azalması, bunun bir sonucu olarak da sistemden CO₂ kaçışının hızlanması teorik olarak beklenen bir durumdur. Bununla birlikte, incelenen traverten deresinde alg yoğunluğunun oldukça yüksek, debisini ise bağıl olarak düşük olması söz konusu CO₂ azalmasının büyük oranda alglerin fotosentez aktivitesinden kaynaklandığı düşüncesini uyandırmaktadır. Bu konuda daha kesin sonuçlara ulaşılabilmesi için akarsu boyunca fotosentez oranının değişimini saptamaya yönelik deneyler yapılması gerekmektedir.

7.4.3. Fiziksel Etkiler

İncelenen traverten alanları arasında özellikle Yerköprü 3 traverteninde, traverten deresi üzerinde yoğun biçimde lifsi alglerin bulunduğu ve bunların dere üzerinde yer yer örtü (algal mat) oluşturdukları gözlenmiştir. Bu alg liflerinden alınan örneklerin polarize mikroskop altında incelenmesi sonucunda, lifler arasında kalsit kristallerinin yer yer kümелendikleri saptanmıştır (Şekil 7.5. ve Şekil 7.6.). Yapılan incelemelerden anlaşıldığı kadarıyla, lifler arasında tutulan bireysel kalsit kristalleri dah sonraki çökelim için iyi bir temel oluşturmakta; bir kez kalsit kristali alg lifleri tarafından tutulduktan sonra bunun üzerinde 'ikincil' çökelim hızla devam etmekte ve küme büyümektedir. Bu gözlemin saha gözlemleri ile birleştirilmesi sonucunda, alg liflerinin oluşturduğu su üstünde yüzer durumda bulunan alg örtüleri içinde (algal mats) zamanla kalsit kristal yoğunluğunun arttığı anlaşılmaktadır. Artan kalsit kristalizasyonu alg liflerinin yeterli güneş ışığı almasını engellemekte, gerek bu durumun ve gerekse son bahar aylarına doğru yeterli CO₂'i sağlayacak su miktarının azalması ve hava sıcaklığının alg aktivitesini kısıtlayacak derecede azalması sonucunda büyük oranda ölen alglerden oluşan örtü 'batarak' dere tabanı üzerine yerleşmektedir (Şekil 7.7.). Kış aylarında alg aktivitesinin sınırlı olması nedeniyle kalsit çökeli mi büyük oranda inorganik yollar gerçekleşmekte ve 'batık' durumdaki alg örtüsü üzerinde inorganik olarak çökelmiş bir kalsit tabakası oluşmaktadır. Bu sürecin uzun yıllar devam etmesi sonucunda, incelenen alana benzer traverten dereciklerinin yataklarında ardalanmalı bir traverten türü oluşmaktadır. Bu oluşum, bir anlamda stromatolitik kireçtaşları ile benzer bir görünüm sunmaktadır.

Traverten oluşumunda alglerin fiziksel etkisine yönelik bir diğer oluşum da onkolitlerdir. Onkolitler incelenen traverten alanları arasında özellikle Yerköprü 3 traverteninde, kaynakların yakın civarında, dere yatağı içinde saptanmışlardır. Toplanan onkolit örneklerinden yaptırılan ince kesitlerde yapılan incelemelerde bunların bir kısmında

çekirdeğin eski traverten yada kireçtaşı parçacıklarından oluştuğu saptanmıştır. Bir kısım onkolit ise çekirdekte herhangi bir yabancı kayaç parçası içermeyip; bunların oluşumunun alglar (olasılıkla diyatomlar) üzerinde gerçekleşen kalsit çökelimi ile başladığı düşünülmektedir (Şekil 7.8.). Öte yandan, ilksel oluşumu hangi yolla başlarsa başlasın, sahada incelenen onkolitlerin hemen tamamının üzerinde ince bir alg tabakasının bulunduğu gözlenmiştir. Onkolitler üzerindeki algların gerek biyokimyasal yolla ve gerekse fiziksel olarak kalsit çökelimine yardımcı olduğu düşünülmektedir.

Alglerin kristalleşme alanı (nucleation site) oluşturarak traverten oluşumuna sağladıkları katkılara ayrıca Bölüm 6.5.2.'de değinilmiştir. Alg liflerinin kalsit çökelimindeki rolünü gösteren SEM fotoğrafları Şekil 7.9. ve Şekil 7.10.'da verilmiştir.

7.5. Traverten Alanlarında Saptanan Tatlısu Ostrakodları

Proje çalışmaları kapsamında, traverten oluşumu ile doğrudan ilişkileri olmamakla birlikte, sucul ortamın fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmeleri ve zaman zaman bu özellikleri temsil etmeleri nedeniyle pekişmiş traverten örneklerinin ostrakod içeriği de incelenmiştir.

Her üç traverten alanından alınan örneklerden Yerköprü 1'e ait örnekler steril olup, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 traverten örneklerinde saptanan ostrakod türleri aşağıda belirtilmiştir:

Eucyprinotus rostratus (SYWULA)

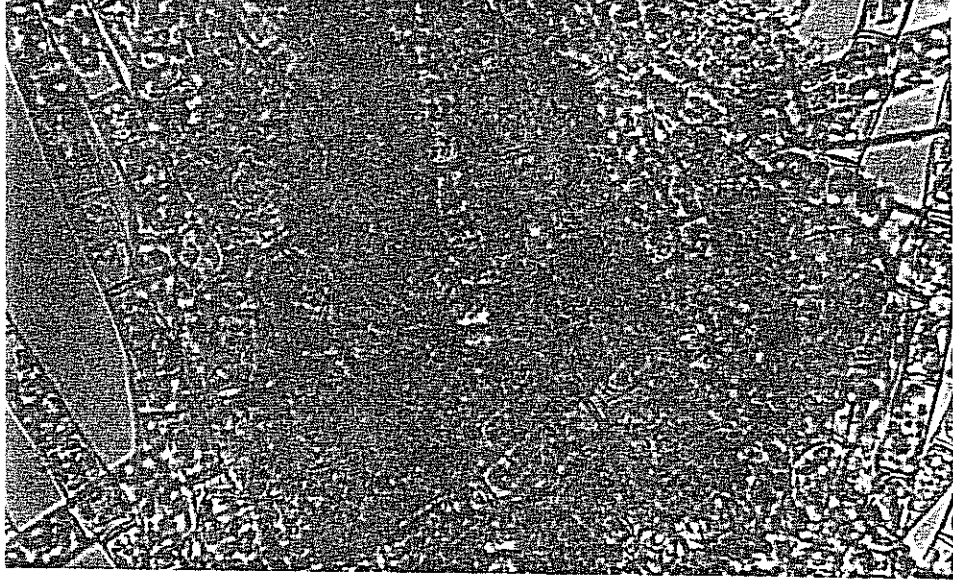
Scottia pseudobrowniana KEMPF

Psychodromus olivaceous BRADY and NORMAN

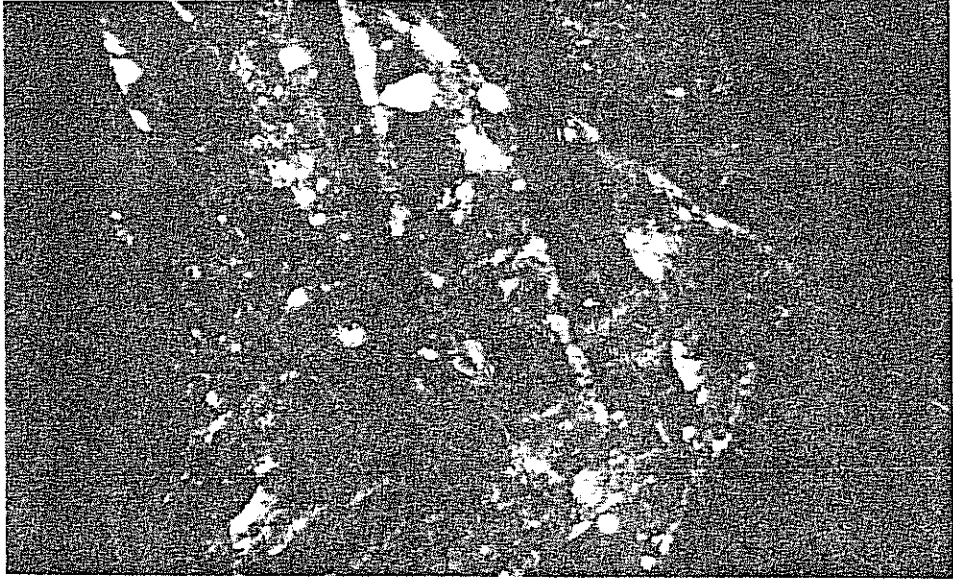
Patomocypris dianeae FOX

Limnocythere sp.

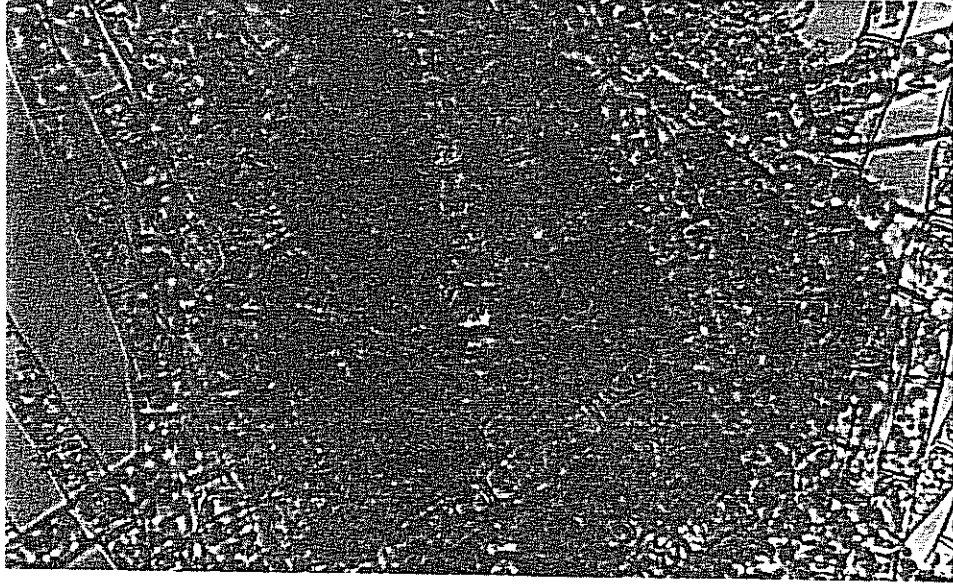
Psychodromus sp.



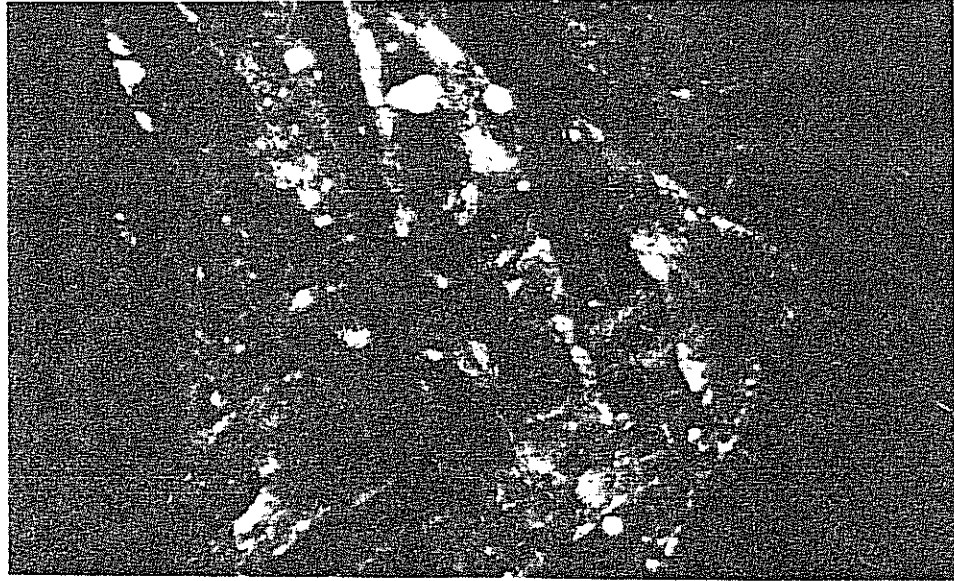
Şekil 7.5.: Alg lifleri arasında tutulmuş kalsit kristallerinin oluşturduğu kümelenme (normal ışık, 150x büyültme).



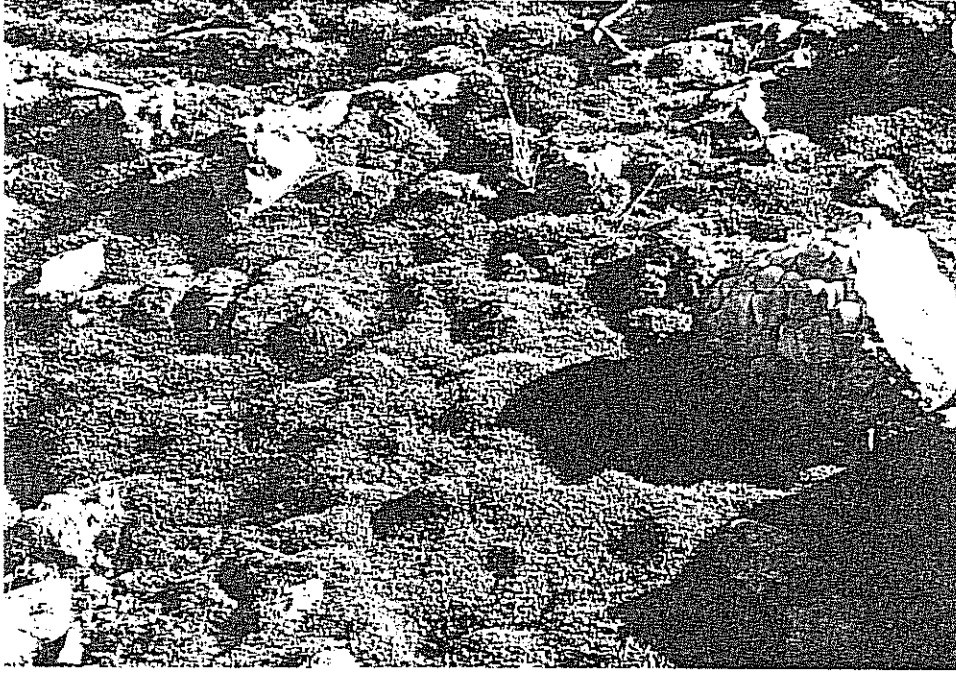
Şekil 7.6. Alg lifleri arasında tutulmuş kalsit kristallerinin oluşturduğu kümelenme (Polarize ışık, 150x büyültme).



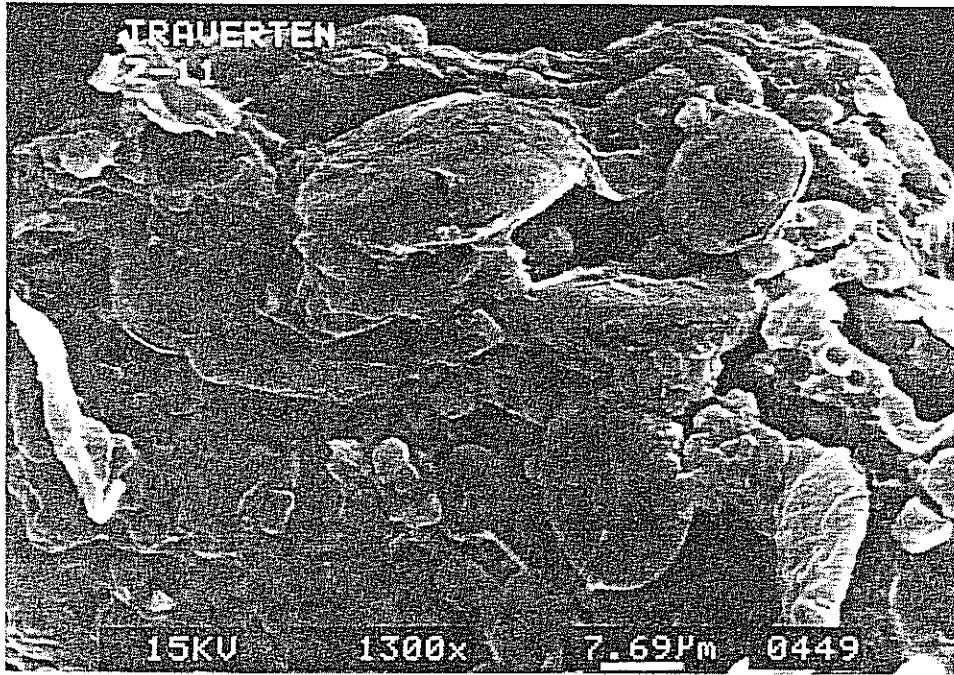
Şekil 7.5.: Alg lifleri arasında tutulmuş kalsit kristallerinin oluşturduğu kümelenme (normal ışık, 150x büyültme).



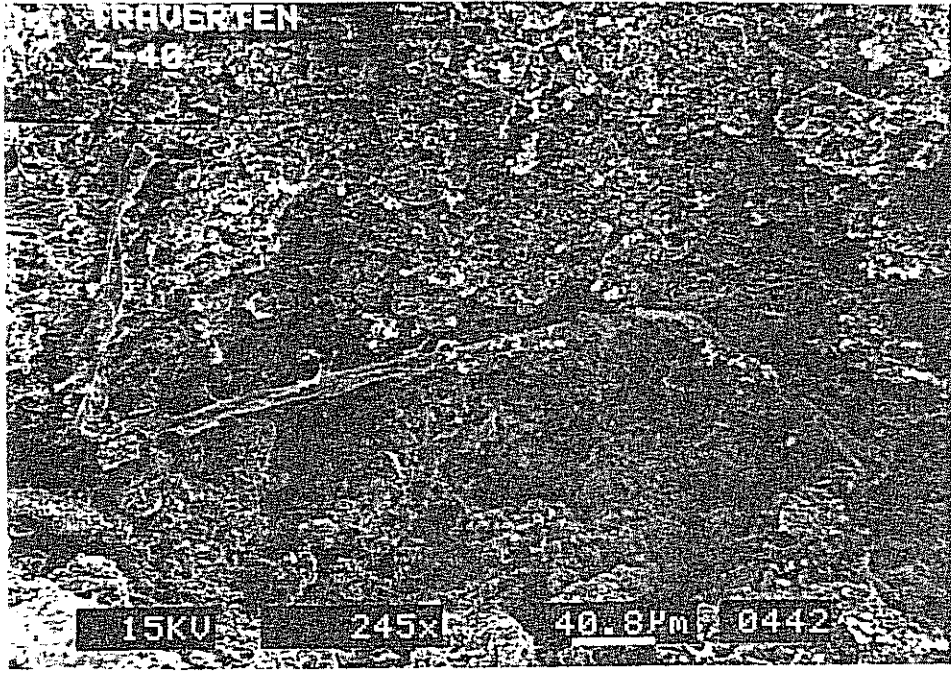
Şekil 7.6. Alg lifleri arasında tutulmuş kalsit kristallerinin oluşturduğu kümelenme (Polarize ışık, 150x büyültme).



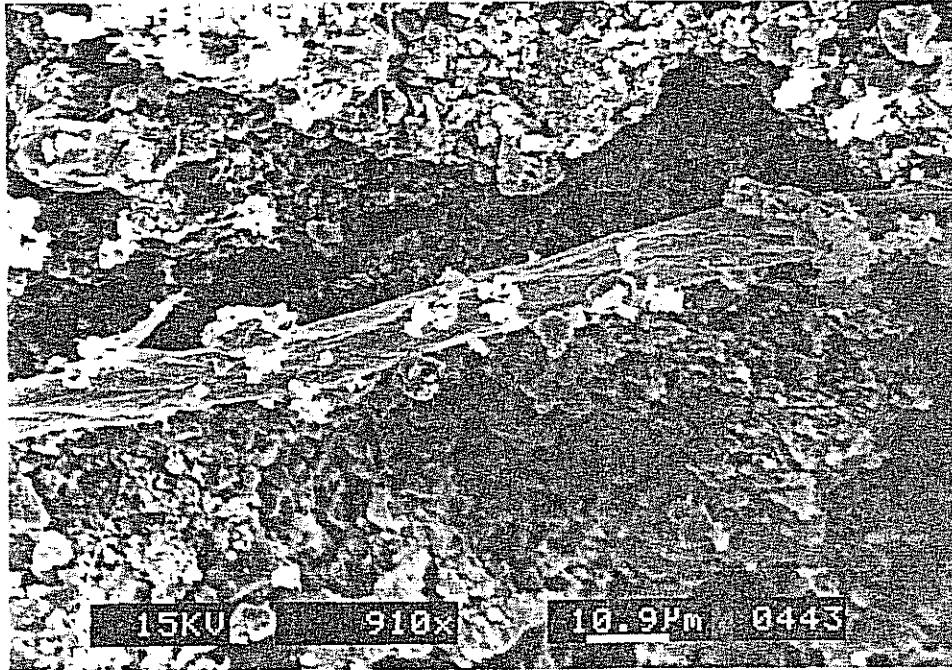
Şekil 7.7.: Alglerin oluşturduğu “alg örtüsü (algal mat)” batık durumda. Alg örtüsünün oluşturduğu yüzey ile fotoğrafın sağ tarafındaki traverten blok arasındaki görünüm benzerliğine dikkat ediniz.



Şekil 7.8.: Kalsit kristalleri ile tutturulmuş diyatomlardan oluşan bir “aglomera” (Diyatomlar olasılıkla *Cyclotella* sp.).



Şekil 7.9.: Traverten içinde alg lifi.



Şekil 7.10.: Şekil 7.8.'deki alg lifinin yakın plan görünümü (lif üzerindeki saçılmış kalsit kristallerine dikkate ediniz).

Saptanan türlerden *Eucyprinotus rostratus* (Sywula) daha önce İsrail'de Mammila Havuzu'nda da gözlenmiştir. (Martens et al., 1992). Benzer şekilde *Patomocypris* ve ilgili türlerin pH aralığı 7-9 olan, alkali sular içeren akarsular ve gölssel ortamlarda gözleendiği belirtilmektedir (Dolerio, 1990). Ayrıca, yine bu türler İngiltere, Belçika, Polonya, Macaristan ve Fransa'da benzer ortamlarda saptanmışlardır (Griffiths et al., 1993). Roca and Balton (1993) İspanyol Pireneleri'nde yürüttükleri çalışmalarında *P. olivaceous* türünün soğuk ve element açısından zengin suları karakterize ettiğini belirtmektedirler. Söz konusu ortamlarda dikkate değer yıllık iklimsel değişimlerin olmadığı belirtilmekte olup; bu durum, bu çalışma da incelenen traverten alanları için de söz konusudur. Öte yandan, Griffiths et al. (1993) *P. olivaceous* türünün egemen olarak İngiltere'de South Wales dolayında yer alan travertenlerde yaygın olarak gözleendiğini belirtmektedir. Dolayısıyla, bu türün tatlı-soğuk su traverten ortamları için karakteristik bir tür olduğu düşünülebilir. Proje alanında saptanan ostrakod türlerinin Avrupa ülkelerinde ve İsrail'de de gözlenmesi, bunların söz konusu iki nokta arasında seyahat eden göçmen kuşlarca dolaylı olarak taşınmış olabileceklerine işaret etmektedir.

8. SONUÇLAR

Proje kapsamında ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- ⇒ Çalışma alanında 5 adet traverten çökeli yer almaktadır. Bunlar, kuzeyden güneye, Tıhraz, Yerköprü 1, Yerköprü 2, Tatlar ve Yerköprü 3 travertenleridir. Yahyalı ilçe merkezinin 10km KD'sunda yer alan Tıhraz travertenini fosil olup; yakın dolayında traverten oluşumunu sağlayacak kaynak bulunmamaktadır. Diğer travertenlerden Tatlar travertenini Yerköprü travertenlerine oranla daha küçük ölçekli olup, günümüzde 1l/s dolayında boşalımı olan bir kaynak bulunmaktadır. Bu traverten gelişimini büyük oranda geçmişte tamamlamış olup, günümüzde önemli boyutta traverten çökeliyi yoktur.
- ⇒ Günümüzde çökelimleri aktif olarak devam etmekte olan Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 travertenleri Zamanlı Nehri kıyısında yer alırlar. Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenleri halen akarsu üzerinde doğal köprü oluşturan bir morfolojiye sahiptirler. Yerköprü 3 travertenini akarsunun sağ sahilinde yer almaktadır. Bu travertene ait fosil kesim Yerköprü 1 ve Yerköprü 2 travertenleri gibi akarsu üzerinde doğal köprü oluşturmaktadır.
- ⇒ Günümüzde aktif olarak traverten çökeliminin görüldüğü Yerköprü kaynakları Aladağlardan beslenen bölgesel yeraltısuyu akımının en uç noktadaki boşalımını oluşturmaları. Karst akiferinin ana beslenme alanını oluşturan Aladağlar'dan Zamanlı Nehri'ne uzanan bölgesel yeraltısuyu akımının bir bölümü Yerköprü kaynaklarına ulaşmadan önce Ulupınar, Kapuzbaşı ve Göksu gibi önemli karst kaynaklarınca boşaltılır. Bu kaynaklardan boşalan sular akiferin serbest ve yarı basınçlı kısımlarının boşalımı olup; bu sular karbonat minerallerine göre yeterince doygun değildir. Bu nedenle, Yerköprü kaynaklarından önce akiferi terk eden sularda traverten oluşumu gözlenmemektedir. Traverten oluşturan kaynaklar ile traverten çökeliminin gözlenmediği kaynaklar arasındaki en büyük farklılık, traverten çökeliminin gözlendiği kaynakların bölgesel yeraltısuyu akım yolunun daha uç noktalarında yer almalarıdır. Bu nedenle bu kaynaklardan boşalan yeraltısuyu akifereden daha fazla karbonat minerali çözerek bu minerallere göre doygunlaşmakta ve traverten çökeline neden olmaktadır.

- ⇒ Traverten oluşturan kaynakların kimyasal kompozisyonu zaman içinde önemli sayılabilecek bir değişim göstermemektedir. Buna karşın, pH değerlerinde çalışma süresi boyunca önemli sayılabilecek değişimler gözlenmiştir. Yerköprü kaynaklarının CO₂ içeriği diğer kaynaklara göre daha yüksek olup; logPCO₂ değeri -1.8/-2.0 atm dolayındadır. Bu kaynaklarına SICa değeri doygunluk sınırının biraz altında yada üstünde olabilmektedir.
- ⇒ Yerköprü kaynaklarından itibaren oluşan dereler üzerinde yapılan ölçümlerde, logPCO₂ değerinin gün boyu salınım gösterdiği belirlenmiştir. Bu salınımlar alglerin bol olduğu kesimlerde daha belirgin olması, akış halindeki suyun içerdiği CO₂ 'in bir kısmının alglerce fotosentez reaksiyonlarında kullanıldığına işaret etmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak, söz konusu alanlarda traverten çökelişi gün boyunca salınım göstermekte; fotosentetik aktivitenin en yoğun olduğu gündüz saatlerinde daha fazla karbonat çökelişi olmaktadır.
- ⇒ Gerek güncel ve gerekse yarı-güncel (yaşlı) traverten örneklerinin kimyasal kompozisyonu büyük oranda (%95-97) kalsitten oluşuklarını göstermektedir. Jeokimyasal verilerin istatistiksel değerlendirmesi kalsit çökelişine az miktarda Mg'un da eşlik ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla oluşan kalsitlerin "düşük magnezyumlu kalsit" (low magnesian calcite) oldukları düşünülmektedir. Travertenlerde kalsitin yanısıra %3-5 oranında silis (kuvars) ve %1-2 oranında kil bileşeni saptanmıştır. Killer illit, kaolinit ve simektit'ten oluşmakta olup; bunların yağışlı dönemde yamaçlardan traverten üzerine taşınan kırıntılı malzemeden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- ⇒ Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 travertenlerinden alınan el örneklerinin kimyasal kompozisyonları arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Buna karşın, "genç (güncel)" ve "yaşlı" traverten örneklerinin kalsit-kil bileşeni oranında belirgin farklılıklar saptanmıştır. Yaşlı travertenlerde kalsit miktarı daha fazla olup; bu durumun ilksel traverten içinden daha sonra sızan suların itibaren oluşan ikincil çökelişin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.
- ⇒ Travertenlerden toplanan alg örneklerinin dünyanın diğer yerlerinde benzer traverten çökellerinde benzer türlerden oluşukları saptanmıştır. İnce kesit ve elektron mikroskopi incelemeleri alglerin traverten çökelişinde önemli bir role

sahip olduğuna işaret etmektedir. Suyun CO₂'inin bir bölümünü kullanarak kalsit çökelimini teşvik etmelerinin yanısıra, alglerin kalsit kristalleşmesi için uygun temel oluşturarak çökelime yardımcı oldukları saptanmıştır. Öte yandan, uygun akarsu kesitlerinde alg liflerinin oluşturduğu filtreler, inorganik yada organik yolla oluşan kalsit mikro kristallerini tutarak çökelime katkıda bulunmaktadır. Elektron mikroskop fotoğraflarında kalsit kristalleri üzerinde gözlenen mikro boşluk-oyukların alglerin çürümesi ve/veya salgıladıkları asidik organik bileşiklerin kalsiti çözmesi sonucunda oluştuğu düşünülmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Appelo, C.A.J. and Postma, D., 1992, *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, Publ. of Universiteit Amsterdam, 549p.
- APHA, AWWA and WPCF., 1981, *Standard Methods for the Determination of Water and Waste Water*, 15th Ed., APHA Publ., 1134p.
- Ayhan, A., 1988a, Aladağlar ve Karsanti Civarının Jeolojisi, MTA Arşivi, Ankara.
- Ayhan, A., 1988b, Kozan-Ceyhan-İmamoğlu Civarının Jeolojisi, MTA Arşivi, Ankara.
- Ayhan, A., 1988c, *Kozan J21 Paftası*, 1/100,000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, MTA yayını, Ankara.
- DSİ, 1984, *Yukarı Seyhan Havzası Master Plan Raporu*, Verbund Plan, Romconsult ve Temelsu), c. 1-4, DSİ yayını, Ankara.
- Tekeli, O., Aksay, A., ve Ürgün, B.M., 1987, *Kozan J20 Paftası*, 1/100,000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, MTA yayını, Ankara.
- Bayarı, C.S., 1991, *Aşağı Zamanti Havzası (Aladağlar) Karst Hidrojeolojisi İncelemesi*, Doktora Tezi, HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 164s.
- Bayarı, C.S. and Denizman, C., 1993, Preliminary Hydrogeologic Evaluation of the Travertine-Depositing Karstic Springs in the Lower Zamanti Basin, Eastern Taurids, Turkey, *Geosound, Bull. of Depts. of Geological and Mining Engineering*, Çukurova University, 22, p.95-110.
- Bayarı, C.S. and Gürer, İ., 1993a, Hydrogeology of the Reservoirs Planned in the Lower Zamanti Basin and Karst Related Problems, *Turkish J. Earth.Sci.*, vol.2, p.49-59.
- Bayarı, C.S. and Gürer, İ., 1993b., Use of Hydrologic, Hydrochemical and Isotopic Data in Identification of Groundwater Flow Patterns in the Lower Zamanti Basin (Eastern Taurids-Turkey), *Turkish J. Earth.Sci.*, vol.2, p.37-47.
- Bayarı, C.S. and Günay, G., 1995, Combined Use of Environmental Isotopic and Hydrochemical Data in Differentiation of Groundwater Flow Patterns Through the Aladağ Karstic Aquifer-Turkey, *Proc. First Int. Symp.on Application of Tracers in Arid Zone Hydrology*, 22-26 August 1994, Vienna (in print).
- Bayarı, C.S. and Kurttaş, T., 1995a, Geochemistry of Regional Groundwater Flow in the Aladağ Karstic Aquifer, Eastern Taurids-Turkey, Effect of Flow Conditions, *Turkish J. Earth.Sci.*, vol.4, p.37-47.
- Bayarı, C.S. and Kurttaş, T., 1995b, Algae, An Important Agent in Deposition of Karstic Travertines, Observations on Natural-bridge Yerköprü Travertines, Aladağlar, Eastern Taurids-Turkey, *Proc.Int.Symp. on Karst Waters and Environmental Impacts*, 10-20 September, 1995, Antalya, Turkey.
- Bögli, A., 1980, *Karst Hydrology and Physical Speleology* (translated by J.C. Schmid), Springer-Verlag, New York, 284p.
- Chafetz, H.S. and Folk, R.L., 1984, Travertines, Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents, *Jour. Sed. Petrol.*, vol 54, no, 1, p. 289-316.
- Chang, T.P., 1980, Mucilage Sheath As A Barrier To Carbon Uptake In A Cyanophyte, *Oscillatoria rubescens*, *D.C. Arch. Hydrobiol.* vol.88, p.128-133

Chave, K.E., 1954, Aspects Of Biochemistry Of Magnesium. I. Calcareous Marine Organisms. *J.Geol.* 62. 266-283

Dolermo, L.D., 1989, Methods in Quaternary Ecology, 7. Freshwater Ostracodes, *Geoscience Canada*, vol.16, no.2, 85-90.

Emeis, K.C., Richnow, H.H. and Kempe, S., 1987, Travertine Formation In Plitvice National Park, Chemical Versus Biological Control, *Sedimentology*, vol. 34, p. 595-610.

Golubic, S., 1973, The Relationship Between Blue-Green Algae And Carbonate Deposits. In N.G. Carr and B.A. Whitton, eds. *The Biology of Blue-Green Algae*. Berkeley, University of California Press, p.434-472.

Griffiths, H.I. Pilidge, K.E., Hill, C.T.Y., Evans, J.G. and Learner, M.A., 1993, Ostracod Distribution In Calcareous Coastal Stream, Implications For The Interpretation Of Holocene Tufas And Travertines, 2nd. *European Ost. Meeting*, 23-27 July 1993, Univol. of Glasgow, Scotland, 109-121.

Martens, K., Ortal, R., Meisch, C., 1992, The Ostracod Fauna Of Mammilia Pool (Jerusalem, Israel) (Crustacea, Ostracoda), *Zoology in the Middle East*, 7, Crustacea, p. 95-114.

Pentecost, A., 1990, The Algal Flora Of Travertine, An Overview. In (Herman, J.S. and Hubbard, D.A. eds.) *Travertine-marl, Stream Deposits in Virginia*, Virginia Div. of Mineral Resources, Publ. no. 101, Charlottesville, Virginia, 184 p.

Pentecost, A. and Terry, C., 1988, Inability To Demonstrate Calcite Precipitation By Bacterial Isolates From Travertine, *Geomicrobiology Journal*, vol. 6, p. 185-194.

Plummer, L.N. and Back, W., 1980, The Mass Balance Approach, Application To Interpreting The Chemical Evolution Of Hydrologic System, *Am. J. Sci.*, vol.280, p.130-142.

Plummer, L.N., Prestemon, E.C. and Parkhurst, D.L., 1991, *An Interactive Code (NETPATH) for Modeling Net Geochemical Reactions Along a Flow Path*, USGS, Water Resources Investigations Report 91-4078, Reston, Virginia, 227p.

Roca, J.R. and Balton, A., 1993, Ecology And Distribution Of Ostracods (Crustacea, Ostracoda) in Pyrenean springs, *J.Crustacean Biol.*, 13, 165-174.

Round, F.E., 1973, *The Biology of Algae*, Edward Arnold Ltd., London, 278 p.

Spiro, B. and Pentecost, A., 1991, One Day In The Life Of A Stream- A Diurnal Inorganic Carbon Mass Balance For A Travertine-Depositing Stream (Waterfall Beck, Yorkshire), *Geomicrobiology*, vol.9, p. 1-11.

Steen, E., 1971, *Dictionary of Biology*, Barnes and Noble, New York, 630p.

Stumm, W. and Morgan, J.J., 1981, *Aquatic Chemistry*, John Wiley and Sons, New York, 780p.

Tekeli, O., 1981, Toroslarda Aladağ Ofiyolitli Melanjının Özellikleri, *TJK Bülteni*, c.24, s.57-64.

Trusdell, A.H. and Jones, B.F., 1974, WATEQ-A Computer Program for Calculating Geochemical Equilibria of Natural Waters, *USGS J.Research*, vol.2, p.223-248.

Ulakoğlu, S., 1984, Aladağlar'da Yahyalı (Kayseri) Bölgesinin Jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, c.4, s.1-2, 1-44s.

Viles, H.A. and Goudie, A.S., 1990, Tufas, Travertines And Allied Carbonate Deposits, *Prog. Phys. Geogr.* vol.14, p. 19-41.

Vinogradov, A.P., 1953, The Elementary Chemical Composition Of Marine Organisms, *Mem. II. Sears Foundation for Marine Research*, Yale University, New Haven, Connecticut.

Weijermars, R., Mulder-Blanken, C.W. and Wiegers, J., 1986, Growth Rate Observations From The Moss-Built Checa Travertine Terrace, Central Spain, *Geol. Mag.* vol. 123, no. 3, p. 279-286.

Wetzel, R.G., 1983, *Limnology*, CBS College Publishing, 383 Madison Avenue, New York, 767p.

BİBLİYOGRAFİK BİLGİ FORMU	
1- Proje No: YBAG-108	2- Rapor Tarihi: 15 Ağustos 1995
3- Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 15 Ağustos 1993 - 15 Şubat 1995	
4- Projenin Adı: AŞAĞI ZAMANTI HAVZASI (ALADAĞLAR) KARSTİK TRAVERTEN ÇÖKELLERİNİN HİDROJEOKİMYASAL-JEOKİMYASAL İNCELENMESİ	
5- Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Proje Yürütücüsü: Yrd. Doç.Dr. C.Serdar Bayarı Yardımcı Araştırmacılar: Ar.Gör. Türker Kurttaş, Yrd.Doç.Dr. Abidin Temel, Yrd.Doç.Dr. Levent Tezcan, Yrd.Doç.Dr. Mehmet Ekmekçi, Yrd. Doç.Dr. Cemal Tunçoğlu	
6- Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), Beytepe 06532 Ankara	
7- Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:	
8- Öz (Abstract): Aşağı Zamanti Havzası'nda (Aladağlar, Doğu Toroslar) yer alan , Yerköprü 1, Yerköprü 2 ve Yerköprü 3 travertenleri Zamanti Nehri üzerinde doğal köprü oluşturmaktadırlar. Travertenleri besleyen karstik kaynakların kimyasal kompozisyonunda uzun dönemde önemli değişimlerin olmamakta, buna karşın pH'ın dikkate değer düzeyde değişmektedir. Havzadaki diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında traverten kaynakları bağıl olarak yüksek iyonik bileşimleri ve $\log P_{CO_2}$ içerikleriyle tipiktirler. Havza genelinde yürütülen hidrojeolojik ve hidrokimyasal gözlemler traverten kaynaklarının yeraltısuyunun giderek kalsite göre doygunluğa ulaştığı bölgesel akım yolunun uç noktasında bulunduğunu göstermektedir. Traverten çökelişi kaynaklardan sonraki dereler boyunca sudan CO_2 kaçışına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Traverten dereleri boyunca iki ve üç gün boyunca 4 saat aralıklarla gerçekleştirilen hidrojeokimyasal gözlemler CO_2 içeriğinin giderek azaldığına ve aynı zamanda, alglerin fotosentetik aktivitelerinden dolayı gün boyu salınım gösterdiğine işaret etmektedir. Ca ve HCO_3 kalsit çökelişi sonucunda çözeltiden ayrılan başlıca iyonlar olup; az miktarda Mg çökelişe eşlik etmektedir. X ışınları ve kimyasal analiz verilerine göre travertenler %95-97 oranında kalsit, %3-5 oranında kuvars ve %1-2 oranında, illit, kaolinit ve simektitten oluşan, kil bileşeni içermektedir. Stratigrafik konuma göre daha yaşlı olan travertenlerde kalsit/kil bileşeni oranı yüksek olup, bu durumun ilksel oluşumdan sonra traverten içinden sızan suların çökelttiği kalsiiten kaynaklandığı düşünülmektedir. Algler kalsit çökelişine fiziksel ve kimyasal olarak katkıda bulunmaktadır. Alg miktarının su hacmine oranının yüksek olduğu kesimlerde alglerin kimyasal yolla çökelişe katkısı daha önemli boyutlardadır. Lifli algler organik yada inorganik yolla çökelmiş kalsit taneciklerini tutarak çökelişe katkıda bulunmaktadır. Bazı alg türleri kristal oluşumu karşısındaki enerji bariyerinin büyük oranda azaltıldığı kristalleşme alanları sağlayarak çökelişe fiziksel olarak yardımcı olmaktadır. Mavi-yeşil algler ve diatomlar traverten derelerinde saptanan başlıca alg türleridir. Anahtar Kelimeler: Zamanti Nehri Havzası, traverten, hidrojeokimya, jeokimya, alg	
9- Proje ile ilgili Yayın/Tebliğlerle ilgili Bilgiler Bayarı and Kurttaş, 1995, Algae: An Important Agent In Deposition of Karstic Travertines: Observations On Natural-Bridge Yerköprü Travertines, Aladağlar, Eastern Taurids-Turkey: Proc.Int.Symp. on Karst Waters and Environmental Impacts, 10-20 Sept.1995, Antalya-Turkey	
10- Bilim Dalı: Doçentlik B. Dalı Kodu: 623.01.00 Uzmanlık Alanı Kodu: 623.01.01 ISIC Kodu:	
11- Dağıtım (*): ☐ Sınırlı ☒ Sınırsız	
12- Raporun Gizlilik Durumu : ☐ Gizli ☒ Gizli Değil	

(*) Projenizin Sonuç Raporunun ulaştırılmasını istediğiniz kurum ve kuruluşları ayrıca belirtiniz