

Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Kuzeydoğu Bölümündeki Travertenlerin Neotektonik Önemi

Proje No: 110Y172

Prof. Dr. Ercan AKSOY
Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL
Araş. Gör. Serap ÇOLAK

ARALIK 2011
ELAZIĞ

ÖNSÖZ

“Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Kuzeydoğu Bölümündeki Travertenlerin Neotektonik Önemi” başlıklı bu projede, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğu bölümündeki traverten yüzeylemeleri konu edilmiştir. Kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere Hacılar, Elmalı, Baltaş (Kaf ve Bağlarbaşı olmak üzere iki farklı yüzeyleme), Kılıçkaya ve Bağdere olarak adlandırılan bu yüzeylemelerdeki travertenler haritalanmış; projede belirtilmiş olan amaçlara ulaşabilmek SEM çalışmaları ile duraylı izotop, jeokimyasal ve jeokronolojik amaçlı analizler için örnekler alınmıştır. Alınan örnekler analiz için hazırlanmış, sayıları bütçe durumu dikkate alınarak belirlenmiş ve çalışma takviminde öngörülen zamanda ilgili laboratuvarlara gönderilmiştir.

Bir yıl süreli “Hızlı Destek Programı” çerçevesinde desteklenen ve 01 Ağustos 2010 tarihinden itibaren başlayan proje çalışmaları, yukarıda verilen bilgilerden de anlaşılacağı üzere, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Arazi çalışmaları büyük oranda 2010 yılı Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleştirilmiş; büro çalışmaları sonucunda ortaya çıkan bazı belirsizliklerin giderilmesi amacıyla, arazi verilerinin yerinde tekrar kontrol edilmesine yönelik olarak 2011 yılı Haziran ayı sonlarında kısa süreli bir arazi çalışması daha gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 110Y172 nolu proje çerçevesinde desteklenmiştir. Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesine sağladıkları katkıdan dolayı, TÜBİTAK yetkililerine teşekkürü bir borç bilirler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Doğu Anadolu Fay Sistemi	3
2.2. Neotektonik Dönem	6
2.3. Traverten-Tektonik İlişkisi	7
2.4. Travertenle İlgili Temel Bilgiler	9
3. GEREÇ VE YÖNTEM	11
3.1. Traverten Analizleri	11
3.1.1. SEM ve XRD analizleri	11
3.1.2. Jeokimyasal analizler	11
3.1.3. Yaşlandırma	11
4. BULGULAR	13
4.1. Hacılar Traverten Sahası	13
4.1.1. Jeolojik-tektonik özellikler	13
4.1.2. Depolanma özellikleri	18
4.1.3. Mineralojik bileşim	22
4.1.4. Element jeokimyası	22
4.1.5. Duraylı izotop bileşimi	23
4.1.6. U-Th yaşları	24
4.2. Elmalı Traverten Sahası	24
4.2.1. Jeolojik-tektonik özellikler	24
4.2.2. Depolanma özellikleri	25
4.2.3. Mineralojik bileşim	28
4.2.4. Element jeokimyası	29
4.2.5. Duraylı izotop bileşimi	30
4.2.6. U-Th yaşları	30
4.3. Baltaşı Traverten Sahası	31
4.3.1. Jeolojik-tektonik özellikler	31

4.3.2. Depolanma özellikleri	33
4.3.3. Mineralojik bileşim	34
4.3.4. Element jeokimyası	38
4.3.5. Duraylı izotop bileşimi	39
4.3.6. U-Th yaşları	42
4.4. Kılıçkaya Traverten Sahası	42
4.4.1. Jeolojik-tektonik özellikler	42
4.4.2. Depolanma özellikleri	45
4.4.3. Mineralojik bileşim	47
4.4.4. Element jeokimyası	48
4.4.5. Duraylı izotop bileşimi	48
4.4.6. U-Th yaşları	49
4.5. Bağdere Tufa Sahası	49
4.5.1. Jeolojik-tektonik özellikler	50
4.5.2. Depolanma özellikleri	52
4.5.3. Mineralojik bileşim	52
4.5.4. Element jeokimyası	54
4.5.5. Duraylı izotop bileşimi	54
4.5.6. U-Th yaşları	54
5. TARTIŞMA	55
5.1. Traverten-Tektonik İlişkisi	55
5.2. Element Oranları	56
5.3. Duraylı İzotop Değerleri Arasında Sahalara Göre Fatklılıklar	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	58
7. REFERANSLAR	59

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Traverten yüzeylemelerinin Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) üzerindeki konumları	1
Şekil 2. (a) Doğu Akdeniz Bölgesi'nin ana levhaları ve bunları sınırlayan fayları gösteren sadeleştirilmiş harita; (b) Elazığ-Bingöl arasındaki bölgede DAFS ni oluşturan ana fay zonları ve doğrultu atım havzalarını gösteren sadeleştirilmiş tektonik harita	4
Şekil 3. Hacılar traverten yüzeylemesinin jeoloji haritası ve kesiti	14
Şekil 4. Hacılar çatlak sırtı travertenin genel görünümü	15
Şekil 5. Solhan Formasyonu'nun genel litolojisi, faylanmaya bağlı olarak Bitlis Metamorfileri ile yan yana gelmesi ve fayın aktivitesini gösteren heyelanlar	15
Şekil 6. DAFS ve bu sistem içinde gelişmiş olan uzamış sırtlar ve traverten sırtının Hacılar Köyü yakınındaki görünümü	16
Şekil 7. DAFS boyunca çizgisel bir dizilim ve fayın aktivitesini gösteren heyelanlar	17
Şekil 8. Hacılar sırt tipi traverteninin haritası	17
Şekil 9. Hacılar sırt tipi traverteninin ana çatlağının arazi görünümü	18
Şekil 10. Hacılar sırt tipi traverteninin eksen çatlaklarındaki sıçramalar	19
Şekil 11. Hacılar sırt tipi travertenlerden arazi ve mikroskop görüntüleri	20
Şekil 12. Hacılar sırt tipi travertenin ana eksenini boyunca gözlenen yapılar	21
Şekil 13. Hacılar sırt tipi travertenindeki tabakalı bölümler	22
Şekil 14. Hacılar traverten örneklerinin XRD grafikleri	22
Şekil 15. Hacılar sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı	24
Şekil 16. Elmalı traverten sahasının jeolojik haritası ve jeolojik kesiti	26
Şekil 17. Elmalı travertenlerinin arazi görünümü	27
Şekil 18. Elmalı traverten örneklerinin XRD grafikleri	28
Şekil 19. Elmalı traverten örneklerinden SEM görüntüleri	29
Şekil 20. Elmalı sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı	30
Şekil 21. Baltaşlı traverten sahasının jeolojik haritası ve kesiti	32
Şekil 22. Baltaşlı alt sahası olan Bağlarbaşı travertenini ile fay zonlarının genel görünümü	34
Şekil 23. Baltaşlı alt sahası olan Kaf sahasındaki travertenlerin genel görünümü	34
Şekil 24. Baltaşlı travertenlerindeki çatlaklara ait gül diyagramı	35
Şekil 25. Bağlarbaşı alt sahası traverten örneklerinin mineralojik bileşimini gösteren XRD grafiği	36

Şekil 26. Baltaşı travertenlerinden SEM görüntüleri	37
Şekil 27. Kaf alt sahasında traverten-kiltaşı ilişkisi	37
Şekil 28. Şekil 27 de konu edilen kiltaşının XRD grafiği	38
Şekil 29. Bağlarbaşı alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri ..	40
Şekil 30. Kaf alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri	41
Şekil 31. Kılıçkaya traverten sahasının jeolojik haritası ve jeolojik kesiti	43
Şekil 32. Karadere Formasyonu'nun litolojisine ait genel görünüm	44
Şekil 33. Pütürge Metamorfizmi ile Karadere Formasyonu arasındaki ilişki	44
Şekil 34. Kılıçkaya travertenlerinden arazi görünümü	45
Şekil 35. Kılıçkaya travertenlerindeki istiflenme özelliklerinden görünüm	46
Şekil 36. Kılıçkaya sahasında masif traverten	47
Şekil 37. Kılıçkaya traverten örneklerinin XRD grafikleri	47
Şekil 38. Kılıçkaya sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı	49
Şekil 39. Bağdere tufa sahasının jeoloji haritası ve jeolojik kesiti	50
Şekil 40. Bağdere tufa sahasının genel görünümü	51
Şekil 41. Bağdere tufa sahasındaki istiflenmenin genel görünümü	53
Şekil 42. Bağdere sahası tufa örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı	54
Şekil 43. Çalışılan traverten sahalarının karbon ve oksijen duraylı izotop bileşimleri .	57

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. Hacılar sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları	23
Tablo 2. Hacılar sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri ..	23
Tablo 3. Elmalı sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları	29
Tablo 4. Elmalı sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri ..	30
Tablo 5. Kaf sahası traverten örneklerinin mineralojik bileşimi	38
Tablo 6. Baltaşu sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları	39
Tablo 7. Bağlarbaşı alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri	40
Tablo 8. Kaf alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri ..	41
Tablo 9. Kılıçkaya sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları	48
Tablo 10. Kılıçkaya sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri	48
Tablo 11. Bağdere tufalarının element bileşimi	54
Tablo 12. Bağdere sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri	54

ÖZET

Proje kapsamında, sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin doğu bölümünde çeşitli depolanma konumlarında oluşmuş traverten yüzeylemeleri incelenmiştir.

İncelenen travertenler, Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan farklı segmentler ve zonlar üzerinde yer alır. Traverten depolanmalarının ortak özelliği, doğrultu atımlı rejim içinde ortaya çıkan genişlemeli alanlarda yer almalarıdır. Bu genişlemeli alanlar, ilgili fay segmenti ya da fay zonunun dallanması ve/veya ana karakteri doğrultu atımlı olan bu fayların normal bileşene de sahip olmalarıyla ilişkilidir. Fayın katettiği ana kayaların litolojik özellikleri ve yüzeyleme koşulları nedeniyle kinematik analiz için yeterli veri elde edilememiştir. Bununla birlikte Hacılar sırt tipi traverteninin ana fayın doğrultusuna paralel olduğu belirlenmiştir. Baltaşı travertenleri de, fayın aktivitesiyle ilişkili olarak, basamaklı bir yapı kazanmıştır.

Sr değerleri, 16292 ppm ile Hacılar'da en yüksek, Bağlarbaşı'nda en düşüktür (52 ppm). En yüksek Fe ve Mg değerleri ise Baltaşı sahası travertenleri içindeki hidrotermal kökenli kalsit damarlarında bulunmuştur.

Duraylı izotop değerleri de traverten sahaları arasında belirgin farklılıklar göstermektedir. En yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, +7.7 – +11.2 (‰ PDB) ile, Elmalı sahasındaki yamaç tipi örneklerden alınmıştır. Buna karşılık en düşük $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, Elazığ il merkezinin yaklaşık 20 km kuzeybatısındaki Bağdere tufa sahasından alınan örneklerle aittir.

Traverten sahalarından 318.000 yıl ile 301 yıl arasında değişen U-Th yaşları elde edilmiştir. Bölgedeki doğrultu atım rejiminin başlangıcı Geç Pliyosen olarak kabul edildiğine göre, bu yaş verileri, en azından travertenlerin üzerinde buldukları segmentlerin aktif oldukları dönemleri işaret eder.

Anahtar Kelimeler: Traverten, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Elazığ

ABSTRACT

In frame of the project, travertine occurrences have been investigated, which were precipitated in various depositional conditions, at the eastern part of the left lateral strike-slip East Anatolian fault system. The studied travertines are located in the different segments and zones comprising the East Anatolian Fault System. Accompanying features of these depositions are that they are situated through the extensional areas emerged in a strike slip regime.

These extensional areas are related to bifurcation of the fault zone and normal components of the faults, of which main character are strike slip. Because of the exposure conditions and lithological features of the basement rocks that the faults track, sufficient data can not be obtained for kinematic analyses of the fault planes. However, the Hacilar fissure ridge is found out that it is parallel to the strike of main fault. In addition, the Baltaşı travertines have gained a stepped structure due to activity of the fault.

The Sr amounts are the highest at Hacilar, with a value of 16292 ppm and the lowest (52 ppm) at Bağlarbaşı. The highest values of Fe and Mg were determined from the hydrothermal calcite veins within the travertine mass of the Baltaşı locality.

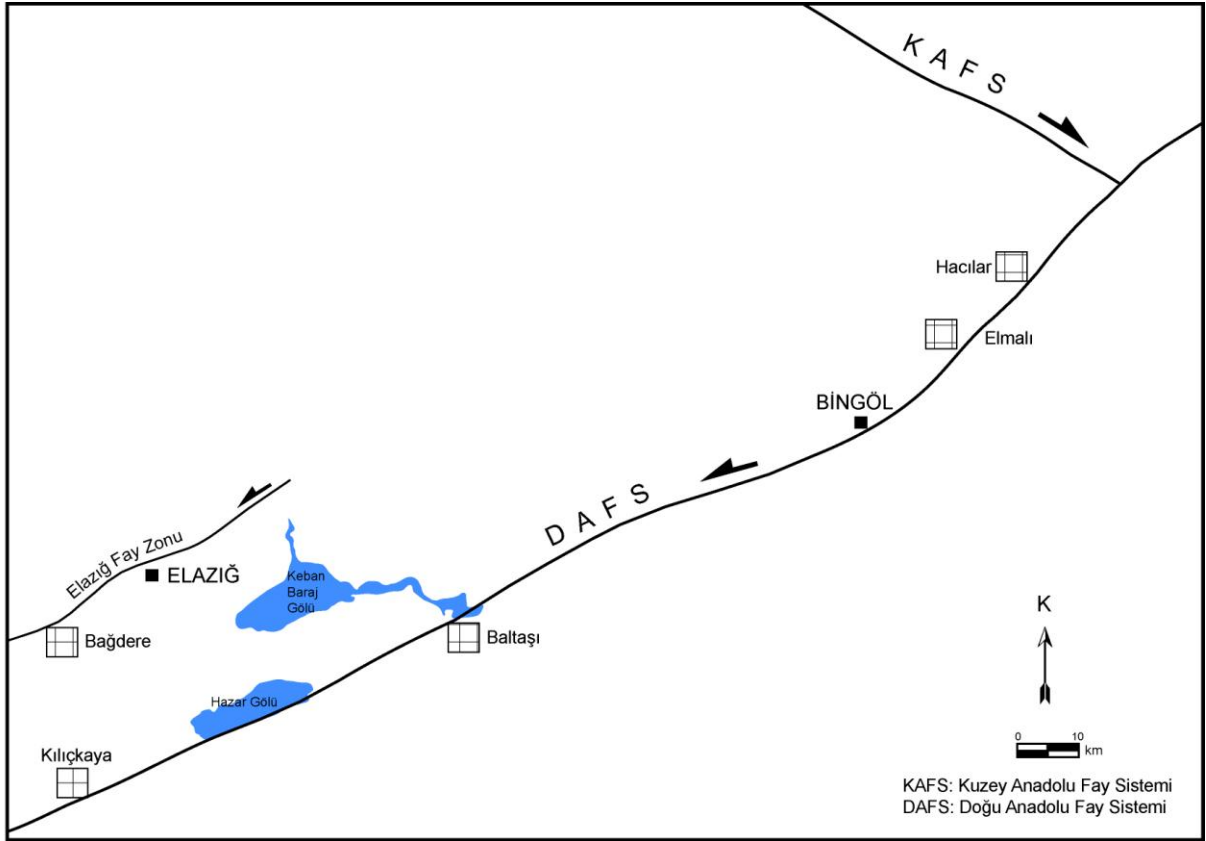
The stable isotope values show important difference depending on the travertine localities. The most positive $\delta^{13}\text{C}$ values, ranging from +7.7 to +11.2 (‰ PDB), were yielded from the slope travertines in the Elmalı locality. In contrast, the lowest $\delta^{13}\text{C}$ values are from the samples of the Bağdere tufa, situated 20 km northwest of Elazığ.

The U-Th ages between 318.000 and 301 years have been obtained from the travertine localities. As the initiation of the strike slip regime in the region were regarded as Late Pliocene, these age data point out at least the time intervals when the fault segments, on which the travertines occurred, were active.

Key words: Travertine, East Anatolian Fault System, Elazığ

1. GİRİŞ

“Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Kuzeydoğu Bölümündeki Travertenlerin Neotektonik Önemi” başlıklı bu proje, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına, kuzeydoğu bölümünde depolanmış olan travertenlerin incelenmesiyle elde edilecek veriler yardımıyla katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Karakaya Baraj Gölü (Elazığ) arasında kalan yaklaşık 200 km uzunluğundaki kuzeydoğu bölümünün değişik kesimlerinde söz konusu fay sisteminin aktivitesi ile ilişkili olarak oluşmuş traverten depolanmaları yüzeylemektedir. Bu traverten depolanmaları kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere Hacılar, Elmalı, Baltaş (Kaf ve Bağlarbaşı olmak üzere iki farklı yüzeyleme), Kılıçkaya ve Bağdere olarak adlandırılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Proje kapsamında çalışılan traverten yüzeylemelerinin Doğu Anadolu Fay Sistemi üzerindeki konumları.

Proje kapsamındaki arazi çalışmalarının büyük bölümü 2010 yılı Ağustos ve Eylül aylarında proje personelinin tümünün katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Söz konusu arazi çalışmaları sırasında, yukarıdaki satırlarda isimleri belirtilmiş olan traverten yüzeylemeleri, üzerinde depolandıkları ana kaya ve oluşumlarını sağlayan suların türediği kaynak kayanın ortaya konulması, depolanma morfolojileri, fasiyes tipleri ve bunların birbiriyle olan yanaldüşey ilişkilerinin belirlenmesi, amacıyla 1/ 10 000 ölçeğinde haritalanmışlardır. Haritalama

sirasında, projede belirtilmiş olan amaçlara ulaşabilmek için SEM çalışmaları, XRD analizleri ile jeokimyasal ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotopları dahil) ve jeokronolojik amaçlı örnekler alınmıştır. Duraylı izotop analizleri için 88, mineralojik analiz (XRD yöntemi ile) için 32, SEM çalışmaları için 18, U-Th yaş tayinleri için de 12 örnek kullanılmıştır.

Travertenler, oluştukları bölgenin jeolojik geçmişine ait ortamsal, iklimsel ve tektonik verileri içeren arşiv görevi yapmaktadırlar. Bu nedenle travertenlerin depolanma mimarileri, yaşları ve kökenlerinin ortaya konulması planlanmıştır. Bu amaçla, söz konusu traverten yüzeylemelerinden fasiyes tanımlamaları, alınan örneklerin jeokimyasal, duraylı izotop ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$), SEM, XRD ve jeokronolojik analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada kuzeydoğu bölümündeki traverten depolanmalarının konu edildiği Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin (DAFS), jeolojik ve sismolojik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla bir çok araştırma yapılmıştır (ARPAT ve Şaroğlu, 1972; SEYMEN ve Aydın, 1972; GÜLEN ve diğ., 1987; ŞAROĞLU ve diğ., 1987; PERİNÇEK ve diğ., 1987; TATAR, 1987; PERİNÇEK ve Çemen, 1990; TAYMAZ ve diğ., 1991; HERECE ve Akay 1992; LYBERİS ve diğ., 1992; ŞAROĞLU ve diğ., 1992; REİLİNGER ve diğ., 1997; AMBRASEYS ve Jackson, 1998; ROJAY ve diğ., 2001; GÜNEYLİ, 2002; NALBANT ve diğ., 2002; ÇETİN ve diğ., 2003; GÜRSOY ve diğ., 2003; KOÇYİĞİT ve diğ., 2003; ERGİN ve diğ., 2004; HEMPTON ve Dunne, 1984; MUEHLBERGER ve Gordon, 1987; WESTAWAY ve Arger, 1996; KOÇYİĞİT, 2003). Bu çalışmalardan bazılarında, bu çalışmanın ana konusunu oluşturan travertenlerin varlığına değinilmiş olmakla birlikte yaş ve kökenleri konusunda herhangi bir veriye rastlanmamıştır.

Traverten depolanmalarından bazılarının yüzeylediği alanların jeolojik özelliklerine yönelik araştırmalar da yapılmıştır (ÖZKAN, 1983, ÇETİNDAĞ, 1985; ÖZKUL, 1988; AKSOY 1993; İNCEÖZ ve İnce 1999; BAL, 2002). ÖZKAN (1983), Palu'nun yaklaşık 5 km kadar GB'sında, Baltaş (Nacaran) köyü çevresindeki travertenleri Nacaran Kireçtaşları (Geç Miyosen) olarak adlandırmış ve haritalamıştır. ÇETİNDAĞ (1985), Örençay Havzası'ndaki benzer oluşumları "Pliyosen Gölsel Kireçtaşları" olarak adlandırmış ve haritalamıştır. ÜSTÜNDAĞ (1996) ise Elazığ yakın çevresindeki bu karbonat oluşumlarının petrografik özelliklerini incelemiştir. Dolayısıyla travertenlerin kökeni, yaşı, bölgesel ve yerel tektonikle ilişkisine yönelik bir araştırma yapılmamıştır. Çalışmanın, bu alanlardaki bilgi eksikliğini kısmen karşılayacağı gibi, daha büyük bütçelerle yapılacak daha ayrıntılı çalışmalara da temel oluşturacağı düşünülmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

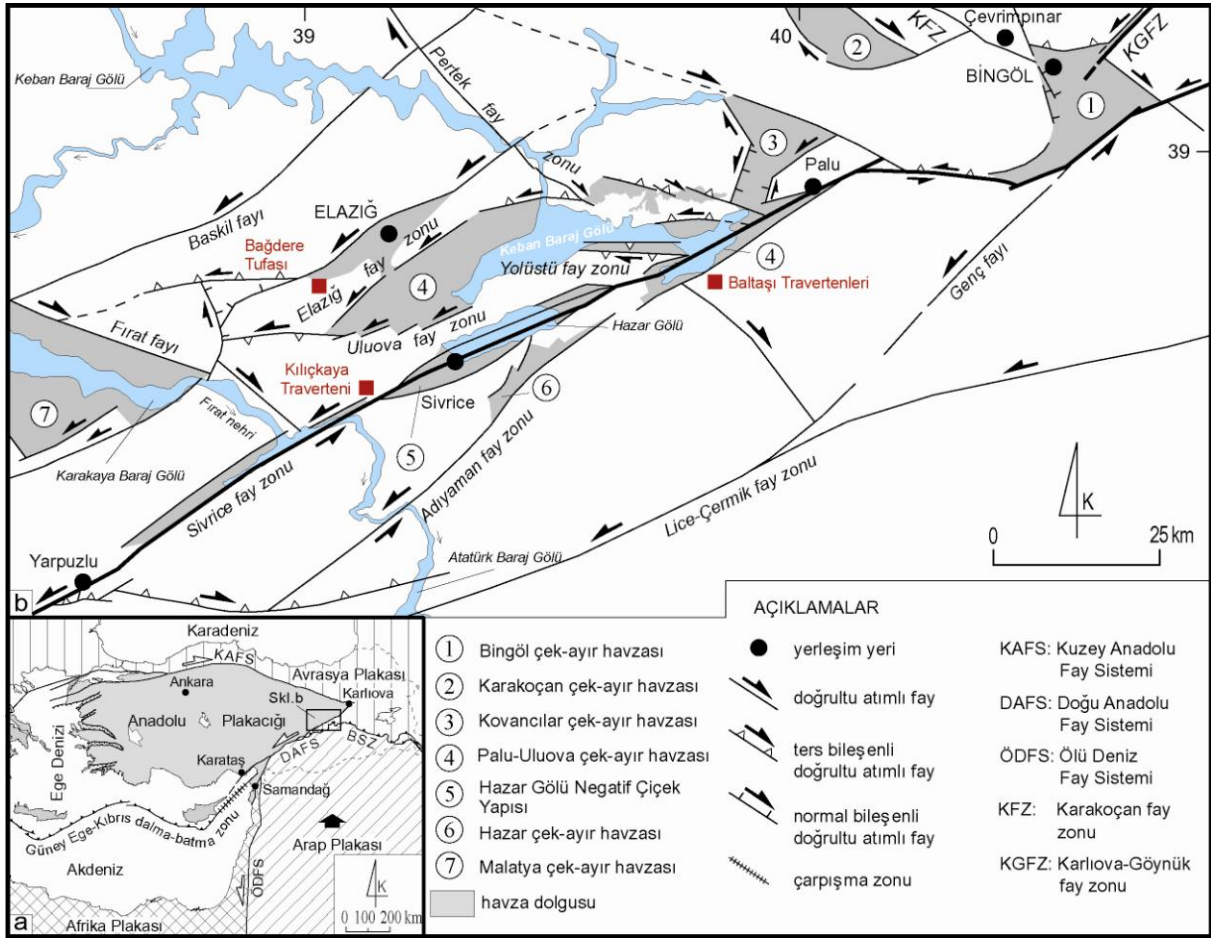
2.1. Doğu Anadolu Fay Sistemi

Bu çalışmada kuzeydoğu bölümündeki traverten depolanmalarının konu edildiği Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), kuzeybatıda Anadolu Levhacığı ve güneydoğuda Arap-Afrika levhaları arasında yer alan, ortalama 30 km genişlikte, 700 km uzunlukta ve KD-GB doğrultusunda uzanan, sol yanal doğrultu atımlı büyük bir makaslama kuşağıdır. Söz konusu fay sistemi kuzeydoğuda Karlıova İlçesi (Bingöl) ile güneybatıda Karataş (Adana)–Samandağ (Antakya) ilçeleri arasında uzanır (Şekil 2a). Bu uzanımı boyunca, adından da anlaşılacağı gibi tek bir faydan oluşmaz. Sol yanal doğrultu atımlı ana özelliğini koruyan Doğu Anadolu Fay Sistemi, sıkıştırıcı sığramalar (restraining stepovers), gevşeten bükümler (relaxing bends) ve dallanmalar (bifurcations) esas alınarak bazı alt bölümlere ayrılmıştır. Bu yapısal alt bölümlere ayırma işlemine segmentasyon (bölümleme), tanımlanan her bir bölüme de segment (bölüt) adı verilmiştir. Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni bazı araştırmacılar (ŞAROĞLU ve diğ., 1992) altı, bazıları da (KOÇYİĞİT ve diğ., 2003) yedi segmente ayırmışlardır.

Bu çalışmanın konusunu oluşturan traverten depolanmaları, kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere, Karlıova-Bingöl Segmenti (KBS) ile Bingöl-Yarpuzlu Segmenti (BYS) üzerinde yer alırlar. Hacılar ve Elmalı traverten yüzeylemeleri Karlıova-Bingöl Segmenti, diğer yüzeylemeler ise Bingöl-Yarpuzlu Segmentini oluşturan faylarla ilişkili olarak depolanmışlardır. HERECE (2008), Karlıova-Bingöl Segmentini, Göynük Bölütü olarak adlandırmıştır. Söz konusu segment kuzeydoğuda, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin, Kuzey Anadolu Fay Sistemi ile birleştiği Karlıova'dan (Bingöl) başlar ve K 60° D doğrultusunda yaklaşık 80 km güneybatıya doğru devam ederek Bingöl Havzası'na kadar uzanır.

Kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere sırasıyla Baltaş, Kılıçkaya ve Bağdere traverten depolanmaları ise Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin en uzun yapısal bölümü olan Bingöl-Yarpuzlu Segmentini oluşturan faylarla ilişkili olarak gelişmişlerdir (Şekil 2b). Bu segment, Karlıova-Bingöl segmenti ile aynı doğrultuda olmak üzere, kuzeydoğuda Bingöl Şehri'nin 10 km kadar kuzeybatısında Çevrimpınar Köyü yakınından başlar ve güneybatıya doğru yaklaşık 180 km devam ederek Yarpuzlu Köyü'ne (Sincik, Adıyaman) kadar uzanır. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Bingöl-Yarpuzlu Segmenti yapısal olarak oldukça karmaşıktır. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin ana fayı, bu bölümde, sıkıştırıcı ve gevşeten sığramalar, tekli ya da ikili bükümler, dallanmalar gibi doğrultu atımlı faylara özgü karmaşıklıklar oluşturarak, doğrultu atımlı faylar boyunca gözlenebilen yapılardan yükselimler ve doğrultu atımlı havzaların ortaya çıkmasına neden olur. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin ana kırığı, Palu yakınında çok sayıda fay zonuna (kuşağına) ayrılır. Bunlar kuzeyden güneye doğru Pertek, Elazığ, Uluova, Yolüstü, Sivrice ve Adıyaman fay zonları olarak adlandırılmıştır (ÇOLAK ve diğ., 2011; Şekil 2b). Bunlar dışında Baskil Fayı, Lice-Çermik Fay Zonu, Genç Fayı ve Fırat

Fayı gibi faylar da Bingöl-Yarpuzlu Segmentini oluşturan ve çalışma alanından oldukça uzakta yer alan faylardır. 2–4 km genişliğinde ve 180 km uzunluğundaki Sivrice fay kuşağı DAFS'nin ana fayını içerir ve birkaç alt fay kuşağı ile çok sayıda tekil faya ayrılır. Sahip olduğu bu yapısal özelliği 5 km genişlikte, 32 km uzunlukta, kenarları önemli miktarda normal atım bileşeni olan, kısa ve uzun bir seri fay ile sınırlanmış, günümüzde büyümesini sürdüren, mercek biçimli bir çöküntü oluşturur. Baltaşı traverten depolanmaları bu çöküntünün kuzeydoğu ucunda, Bingöl-Yarpuzlu Segmenti'nin alt fay zonlarına (kuşaklarına) ayrıldığı Palu İlçesi'nin yakın güneybatısındaki alanda, Adıyaman Fay Zonu üzerinde oluşmuştur (Şekil 2b).



Şekil 2. (a) Doğu Akdeniz Bölgesi'nin ana levhaları ve bunları sınırlayan fayları gösteren sadeleştirilmiş harita; **(b)** Bingöl-Elazığ çevresinde Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan ana fay zonları ve doğrultu atım havzalarını gösteren sadeleştirilmiş tektonik harita (ÇOLAK ve diğ., 2011 den değiştirilmiştir)

AKSOY ve diğ., (2007), Sivrice Fay Zonu boyunca birikmiş olan sol yanal doğrultu atım ve düşey atım miktarlarını sırayla 9 ± 1 km ve 1317 ± 10 m olarak belirtmişlerdir. Bu değerler, Sivrice fay kuşağı üzerindeki yıllık yanal ve düşey kayma hızlarının sırayla 4 mm/yıl ve 0.5 mm/yıl olduğunu gösterir. Ancak, DAFS üzerindeki kayma hızları bu değerlerden çok daha

büyüktür; çünkü DAFS, Hazar Gölü bölgesinde, pek çok fay zonundan oluşmakta ve kayma hızları yalnız Sivrice Fay Zonu tarafından değil, tüm fay zonları tarafından bölüşülmektedir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğu bölümünü oluşturan fay zonları veya tekil faylar, özellikle doğrultu atım havzalarının iyi geliştiği alanlarda önemli oranda düşey bileşene de sahiptir. Bu bileşenin varlığı ve oranı, doğrultu atımlı tektonik rejim içinde genişleme alanları oluşturmaktadır.

Bingöl-Yarpuzlu Segmenti'nin önemli alt bölümlerinden biri olan Adıyaman Fay Zonu (AFZ), kuzeydoğuda Palu yakın batısında, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin ana fayından ayrılarak K 50° D doğrultusunda güneybatıya, Narlı (Kahramanmaraş) kuzeydoğusuna kadar uzanır (AKSOY ve diğ., 2007). 3 km genişliğinde, 210 km uzunluğunda sol yanal doğrultu atımlı faylanmayla karakterize edilen aktif bir deformasyon zonedir. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nden ayrıldığı Palu yakınlarında, Palu-Uluova doğrultu atım havzasının bir alt bölümü olan 6 km genişlik, 26 km uzunluğunda, kuzeydoğu gidişli bir fay kaması tipindeki Palu-Kumyazı alt havzasının güneydoğu kenarını kontrol eder. Bu bilgiden de anlaşılacağı üzere Palu yakın batısında, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin ana fayından ayrılan fay zonları, doğrultu atımlı fayların ana karakteristiklerinden biri olan doğrultu atım havzalarının oluşumunu sağlarlar. Adıyaman Fay Zonu, farklı uzunluktaki faylardan oluşur. ZENGİN (2005), Adıyaman Fay Zonu'nun kuzeydoğu bölümünü oluşturan fayları altı başlık altında incelemiştir. Oldukça sık aralıklı olan bu faylar, birbirine paralel ya da yarı paralel olarak uzanırlar. Faya paralel dizilmiş traverten oluşumları (en önemlisi, bu çalışmada da incelenmiş olan Baltaşı travertenleri), Palu yakınlarındaki Caru Çayı ile güneybatı uzanımı boyunca Maden Çayı ve Fırat Nehri'nde neden olduğu çarpılma, bükülme ve atımlar, derin, dar ve uzun fay koridorları, Hazar çek-ayır havzası gibi genç havzalar, örgülü geometri, basınç sırtları ve basamaklı morfoloji doğrultu atımlı faylanmaya özgü morfotektonik özellikler ile yapıların en yaygın örnekleridir. Sahip olduğu bu özellikler, Adıyaman Fay Zonu'nun varlığı ve aktivitesinin göstergesi olarak kabul edilir.

Sismik bakımdan oldukça aktif olan Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin yaklaşık KD-GB uzanımı boyunca, fay sistemini oluşturan fay zonları ve tekil fayların çoğunlukla morfotektonik özelliklerine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bazılarında ise fay sisteminin sismik özellikleri de konu edilmiştir. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğu bölümündeki çalışmalarda, bu bölümde yer alan travertenlerle ilgili analitik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla söz konusu traverten depolanmaları ayrıntılı bir şekilde incelenmiş; elde edilmiş olan verilerle ortaya konularak Türkiye'nin önemli tektonik hatlarından biri olan Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin özelliklerinin ortaya çıkarılmasına, ilk defa aletsel ve sayısal verilerle katkı sağlanmıştır. Bu veriler, daha

önce arazi çalışmalarıyla ortaya konulan verilerle denetlenmiş ve daha sağlıklı yorumlar yapılmıştır.

Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin yaşı konusunda değişik görüşler ileri sürülmüştür. ARPAT ve Şaroğlu (1972), oluşum yaşının, kıta- kıta çarpışmasından yani Geç Miyosen'den sonra olması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bazı araştırmacılar (DEWEY ve Şengör, 1979; ŞENGÖR ve diğ., 1985) fayın yaşının Orta Miyosen'den daha fazla olamayacağını belirtirlerken, Geç Pliyosen yaşını önerenler de vardır (HERECE ve Akay, 1992; ŞAROĞLU ve diğ., 1992; HERECE, 2008; AKSOY ve diğ., 2007; ÇOLAK ve diğ., 2011).

2.2. Neotektonik Dönem

Çalışmanın başlığında, travertenlerin neotektonik önemine vurgu yapılmasından dolayı neotektonik dönemle ilgili kısaca bilgi verilmesi yararlı görülmüştür.

Bir bölgede meydana gelen son tektonik rejim değişikliğinden sonra o bölgede etkili olan yeni tektonik rejim, neotektonik dönem olarak adlandırılır. Dolayısıyla çalışılan bölge için neotektonik dönem, sıkışmalı rejimden doğrultu atımlı rejime geçiş ile başlamıştır. Bazı yazarlarca (DEWEY ve Şengör, 1979; ŞENGÖR, 1980; ŞENGÖR ve Yılmaz, 1981; ŞENGÖR ve diğ., 1985; DEWEY ve diğ., 1986; ŞAROĞLU ve Yılmaz, 1987) inceleme alanını kapsayan Doğu Anadolu Bölgesi'nde neotektonik dönemin Orta-Geç Miyosen'de başladığı ileri sürülmüştür. Bu dönemin başlamasını sağlayan olay da, güneydeki Arabistan Levhası ile kuzeydeki Avrasya Levhası'nın Bitlis Kenet Kuşağı boyunca çarpışmasıdır. Bu kıta-kıta çarpışması, bölgede yaklaşık K-G doğrultulu bir sıkışma rejimi ve bununla ilişkili bölgesel uyumsuzluklar, yaklaşık D-B doğrultulu eksene sahip kıvrımlar ile yine aynı doğrultulu bindirme ve/veya ters faylar gibi yapıları ortaya çıkarmıştır.

Yaklaşık K-G doğrultulu sıkışmalı deformasyonun Doğu Anadolu'daki kabuk kısılması ve kalınlaşması ile karşılanamaz hale gelmesiyle, doğrultu atımlı tektonik rejime geçilmiştir. Böylece deformasyon, yanal hareketlerle karşılanmaya başlamıştır. Bu yanal hareketleri karşılayan yapılar, Kuzey ve Doğu Anadolu Fay sistemleridir. Bu fay sistemlerinin sınırladığı Anadolu Levhacığı, kendisini sınırlayan fay sistemleri boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamış olup, bu hareketi halen devam etmektedir.

Kıvrımlanma ve bindirme-ters faylanmanın baskın olduğu paleotektonik dönemden doğrultu atımlı faylanmanın egemen olduğu neotektonik döneme geçişin zamanı hala tartışmalıdır. Bu geçiş zamanı sadece neotektonik dönemin başlangıcını belirtmekle kalmaz; aynı zamanda bu dönemle ilişkili Kuzey Anadolu Fay Sistemi ve Doğu Anadolu Fay Sistemi ile bunların sınırladığı Anadolu Levhacığı gibi ana yapıların oluşumunu da belirtir. Bu bölümün ikinci paragrafında da belirtildiği gibi bazı araştırmacılar neotektonik dönemin, dolayısıyla doğrultu atımlı rejimin başlangıcını Orta-Geç Miyosen olarak kabul ederler.

FACCENNA ve diğ. (2006) ise, neotektonik dönemin başlangıcı olarak Geç Miyosen- Erken Pliyosen aralığını önerirler. Araştırmacılar, Bitlis Kenet Kuşağı altındaki dalan okyanusal litosferin kopması sonucu bazı olayların tetiklendiğine vurgu yapmışlardır. Bu olaylardan biri de kıtasal litosferin batıya doğru yanal kaçışını ve kendi ifadeleriyle Kuzey Anadolu Fayı'nın oluşumunu sağlayan koşulların ortaya çıkmasıdır.

GÖĞÜŞ ve Pysklywec (2008), Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan yaklaşık D-B gidişli havzaların (Tuzluca, Hınıs, Karlıova ve Muş) normal faylar denetiminde gelişmiş çöküntü alanları olduğunu ve bölgedeki sıkışmayla eş zamanlı genişleme rejimi altında meydana geldiklerini ileri sürmüşlerdir. Genişleme rejiminin kaynağını ise manto litosferinin tabakalara ayrılmasına (delamination) dayandırmışlardır. Ancak gerek Doğu Anadolu Platosu'nun orta bölümünde etkili olduğu öne sürülen genişleme rejimiyle uyuşmayan söz konusu havzaların yerleri, gerekse bölgesel deformasyon modeli ve bu havzaları sınırlayan faylar üzerinde meydana gelmiş olan depremlerin mekanizma çözümleri, araştırmacıların ileri sürdüğü genişleme rejiminin, arazi verileriyle desteklenmediğini ortaya koyar.

KOÇYİĞİT ve diğ. (2001) arazi verilerini esas alarak, Doğu Anadolu Platosu'nda 9.5 milyon yıl önce paleotektonik dönemden neotektonik döneme geçiş sürecinin başladığını belirtirler. Bu süreç zarfında tektonik rejim, deformasyon modeli, magmatik etkinlik karakteri ve sismik etkinlik düzeni gibi birçok özellikte dönüşümün olduğunu ve doğrultu atımlı neotektonik dönemin başlangıcının Geç Pliyosen olması gerektiğini savunurlar. Neotektonik dönemin bu başlangıç yaşı, başka araştırmacılar tafainda da kabul görmüştür (HEMPTON, 1987; KOÇYİĞİT ve Beyhan, 1988). Doğu Anadolu Fay Sistemi boyunca, kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere Bingöl, Karakoçan, Kovancılar, Palu-Uluova, Hazar Gölü, Hazar ve Malatya doğrultu atım havzaları gibi çok sayıda havzanın varlığı bilinmektedir. KOÇYİĞİT (1996), bu havzaların, birbirinden açılı uyumsuzlukla ayrılan iki farklı dolgu tipi ile karakterize edildiğini ve bu açılı uyumsuzluğun varlığının, Doğu Anadolu'daki doğrultu atımlı neotektonik rejimin Geç Pliyosen'de başlamış olduğunu kanıtı olduğunu belirtir. Baltaş traverten depolanmalarının yüzeyletiği Palu-Uluova Havzası da, bu iki farklı havza dolgusu örneğinin en iyi gözlendiği alanlardan biridir. Geç Miyosen-Orta Pliyosen yaşlı havza dolgusu (Çaybağı Formasyonu olarak bilinir) ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı doğrultu atım havzası dolgusu olan neotektonik dönem çökelleri (Palu Formasyonu adıyla bilinir) arasındaki açılı uyumsuzluk çok belirgindir.

2.3. Traverten-Tektonik İlişkisi

Son yıllarda özellikle traverten ile normal fay, açılma çatlak ve transtansiyonel fay gibi genişleme tektoniği ürünü olan yapılar arasındaki yakın ilişki birçok çalışmada vurgulanmıştır (ALTUNEL ve Hancock, 1993a,b; ALTUNEL,1994, 1996; ÇAKIR, 1999; HANCOCK ve

Altunel, 1997; HANCOCK ve diğ., 1999; ALTUNEL, 2005; BROGİ, 2004; FACCENNA ve diğ., 2008; UYSAL ve diğ., 2007, 2009; BROGİ and Capezzuoli, 2009). Jeotermal sahalarda fayların ezilme zonlarındaki kırık ağları, hidrotermal sıvıların dolaşımı ve yer yüzüne çıkmasında önemli rol oynarlar (BROGİ, 2004; FACCENNA ve diğ., 2008; UYSAL ve diğ., 2007; BROGİ and Capezzuoli, 2009).

Travertenler, morfolojik özelliklerine göre beş ayrı kategoride sınıflandırmıştır (CHAFETZ and Folk, 1984; ALTUNEL, 1996). Bunlar: teras tipi travertenler, sırt tipi travertenler, fay önü travertenleri, kendiliğinden oluşan kanal travertenleri ve aşınmış örtü travertenleridir. Bunlardan sırt tipi, fay önü ve kendiliğinden oluşmuş kanal tipi travertenler, traverten oluşumu sırası ve sonrasına ait tektonik kayıtları içerdiklerinden, tektonik açıdan büyük bir öneme sahip oldukları vurgulanmıştır.

Tektonik çalışmalarda travertenlerin kullanılmasının avantajı, bu tür çökellerin U-Th (ALTUNEL ve Hancock, 1993a,b; ALTUNEL, 1994, 1996; FACCENNA ve diğ., 2008; UYSAL ve diğ., 2007, 2009; BROGİ and Capezzuoli, 2009), termoluminesans (ÖZKUL vd., 2004), elektrik spin rezonans (ENGİN ve Güven, 1997; ENGİN ve diğ., 1999) gibi radyometrik yöntemlerle yaşlandırılabilmesidir.

Pamukkale travertenlerinde uygulanan U-serisi yaşlandırma yöntemi, travertenlerin en azından 400 bin yıldan bu yana değişik lokasyonlarda çökmeye devam ettiklerini ortaya koymuştur (ALTUNEL, 1996; UYSAL ve diğ., 2007; ÖZKUL ve diğ., 2009). ÇAKIR (1996), Gediz ve Menderes grabenlerindeki Kuvaterner travertenlerinin tektonik önemlerini araştırmıştır. ÇAKIR (1999), Denizli havzasının kuzeybatı kenarı boyunca traverten kütlelerinin tercihli olarak eğim atımlı normal fay parçalarının sıçrama yaptığı alanlarda depolandığını ortaya koymuş ve Kuvaterner yaşlı travertenlerin aktif fay parçalarının uç kısımlarının belirlenmesinde kullanılabileceğini önermiştir. MESCİ ve Gürsoy (2003), Sıcak Çermik (Sivas) ve yakın çevresindeki Kuvaterner yaşlı traverten oluşumlarının Neotektonik dönem açısından önemini araştırmışlardır.

UYSAL ve diğ. (2007), Uranyum serisi yaşlandırma teknikleri kullanarak, Batı Anadolu'da Geç Kuvaterner sismik olayları ile ilişkili çatlakların açılma zamanlarını daha doğru bir şekilde belirlemeye yönelik yöntem sunmuşlardır. Yazarlara göre, çatlak dolgusu travertenlerin oluşumu, bölgedeki hidrolik rejimle ilişkili değildir. Ayrıca duraylı izotop ve nadir toprak elementleri, çatlak dolgusu travertenleri oluşturan suların, bölgedeki jeotermal kökenli sulardan ve spelotem oluşturmuş sulardan farklı bir kökene sahip olduklarını işaret etmektedir.

UYSAL ve diğ. (2009), Türkiye'de aktif fay zonlarında doğal CO₂ boşalımının fazla olduğunu, bu zonlarda oluşan damar tipi ve bunlara eşlik eden breşik travertenlerin deprem aktivitesine bağlı bir tür hidrotermal fışkıрма ürünleri olduklarını belirtmişlerdir.

Jeotermal sahalarda, fayların hareketine bağılı olarak oluşan ezilme zonlarındaki kırık ağılarının, hidrotermal sıvıların dolaşımı ve yer yüzüne çıkmasında önemli rol oynadığı düşünceyi yaygındır (BROGİ, 2004; FACCENNA ve diğ., 2008; UYSAL ve diğ., 2007; BROGI and Capezzuoli, 2009)

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi, traverten tektonik ilişkisi üzerine yapılan çalışmaların çoğu normal faylanmalarla ilişkili genişleme alanlarında gerçekleştirilmiştir. Doğrultu atımlı fay sistemlerinde pek fazla çalışma yoktur.

Bu proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda; Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğu bölümündeki travertenler de bütçe olanakları çerçevesinde ayrıntılı olarak incelenmiş ve elde edilen veriler ışığında bölgenin neotektonik özellikleri ve bununla ilişkili olarak söz konusu fayın yaşı ve aktivitesi hakkında daha sağlıklı sonuçlara ulaşılmıştır. Elbette belirli bir alanda ve sınırlı bir bütçeyle yapılan çalışmalardan elde edilmiş verilerle ulaşılan sonuçların, çalışılan bölgedeki bütün neotektonik özelliklilerin ortaya konulmasına yetmeyeceği açıktır. Bununla birlikte, elde edilen sonuçların, bu konudaki literatür boşluğunun doldurulmasına önemli katkılar sağlayacağına inanılmaktadır.

2.4. Travertenlerle İlgili Temel Bilgiler

BATES ve Jackson (1980) traverten terimini, yüzey ve yer altı sularında bulunan kalsiyum karbonatın hızlı kimyasal ökeliyi ile oluşan, çoğunlukla lifli ya da konsantrik yapıya sahip, beyaz, sarımsı, kahverengi ya da bej renkli; yoğun, iyi kristallenmiş masif ya da konsantrik kireçtaşları biçiminde tanımlamışlardır.

JULIA (1983) ise travertenini, bataklıklarda, küçük nehirlerde, karstik ya da hidrotermal kaynaklarda genellikle kabuk bağlama (biyokimyasal çökelleme ve/veya imento ökeliyi) şeklinde oluşan kalsiyum karbonat yığışımları olarak tanımlamıştır.

Travertenler içerisinde zaman zaman aragonit, opal, kil ve kuvars mineralleri bulunmasına karşın birincil minerali kalsittir. Travertenler, kimyasal ve/veya biyokimyasal yollarla oluşmaktadır. Yüzey ya da yeraltı suları, atmosferik koşullar altında veya evre kayalardan etkileşim yolu ile bünyelerine CO₂ olarak karbonik asit bakımından zenginleşirler. Karbonik asitçe zengin bu sular, CaCO₃ bileşimli kayalarla etkileşerek kalsiyum bikarbonata zengin bir bileşim kazanır. Çeşitli yollar, özellikle de tektonik süreksizlikleri izleyerek yüzeye ulaşan kalsiyum bikarbonat bakımından zengin suların üzerindeki diş basıncın azalması ve içerdikleri CO₂ nin atmosferdeki CO₂ ile dengede olmayışı gibi nedenlerle, atmosferdeki CO₂ ile yüzeye ulaşan su içindeki CO₂ arasındaki oran dengeye ulaşıncaya kadar su bünyesindeki CO₂ kaybedilir. CO₂ nin ayrılması nedeniyle bikarbonat bileşimi parçalanır ve traverten ökeliyi gerçekleşir.

Araştırmacılar, travertenleri farklı özelliklerine göre sınıflandırmışlardır. GUO ve Riding (1998), litofasiyes özelliklerine göre makroskobik ölçekte sekiz gruba ayırmıştır. Bunlar: 1. Kristalin kabuk, 2. Çalı tipi, 3. Pisoid, 4. Zarflı hava kabarcıkları, 5. Sal tipi, 6. Kamış tipi, 7. Litoklast, 8. Paleotoprak. ÖZKUL ve diğ., (2001), depolanma ve fasiyes özelliklerine esas alarak üç gruba ayırmışlardır. Bunlar: 1. Yamaç depolanma sistemi (teraslı yamaç, düz yamaç ve şelale fasiyesleri), 2. öküntü depolanma sistemi (alı düzlüğü ve bataklık-havuz fasiyesleeri), 3. Tümsek depolanma sistemi (kamış tümseği fasiyesi. ÖZKUL ve diğ., (2002), bu üç gruba traverten sırtları ve kanal tipi travertenleri eklemişlerdir. ALTUNEL (1996) ise sınıflandırmada morfolojik özelliklerini dikkate almış ve travertenleri beş gruba ayırmıştır. Bunlar: 1. Teras tipi, 2. Sırt tipi, 3. Fay önü, 4. Tabaka, 5. Kanal tipi travertenlerdir. AYAZ (2002), bu beş gruba dom, mağara ve damar tipi travertenleri de eklemiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Traverten Analizleri

3.1.1. SEM ve XRD analizleri

Seçilmiş traverten örnekleri, Ankara'da Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Araştırma Merkezi'nde bulunan Jeol JSM 6490 LV model, taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Taze kırılmış yüzeylerden elde edilen SEM görüntüleri yardımıyla mineral şekilleri, inorganik ve organik kökenli doku özellikleri incelenmiştir. SEM görüntüleri çalışılırken gerekli görülen noktalarda enerji dispersive spectrometer (EDS) analizleri ile element bileşimleri tayin edilmiştir.

Traverten örneklerinin mineralojik bileşimleri, Budapeşte'deki Macar Bilimler Akademisi Jeokimya Araştırma Enstitüsü'nde XRD (X-ray powder diffraction) tekniği ile tayin edilmiştir. XRD ölçümleri 45 kV ve 35 mA koşullarında CuK α ışıklı Philips PW 1710 cihazı ile yapılmıştır.

3.1.2. Jeokimyasal analizler

Ana ve iz element analizleri

Traverten örneklerinin majör oksit ve iz element analizleri hizmet alımı yoluyla ACMELAB Laboratuvarları'nda (Kanada) yaptırılmıştır.

Duraylı izotop analizleri

Farklı traverten sahalarını temsil eden yaklaşık 77 adet traverten örneğinin duraylı izotop ($\delta^{18}O$ ve $\delta^{13}C$) analizleri Macar Bilimler Akademisi Jeokimya Araştırma Enstitüsü'nde yapılmıştır. Duraylı izotop analizleri McCrea'nın (1950) fosforik asit yöntemi kullanılarak Finnigan delta Plus XP mass spectrometer ile yapılmıştır. İzotopik bileşimler geleneksel δ notasyonu ile ‰V-PDB ($\delta^{13}C$) ve ‰V-SMOW ($\delta^{18}O$) cinsinden gösterilmiştir. Yeniden üretilebilirlik, traverten örneklerinin $\delta^{13}C$ ve $\delta^{18}O$ değerleri için \pm ‰ 0,1'den daha yüksektir.

3.1.3. Yaşlandırma

U/Th yaş tayinleri Quebec Üniversitesi GEOTOP Araştırma Merkezi'nde (Montreal, Kanada) yaptırılmıştır. Traverten örnekleri, detritik fraksiyonları uzaklaştırmak için DeremelTD cihazına bağlı elmas başlıklı mekanik aşındırıcılarla tamamen temizlenmiştir. Daha sonra, hazırlanan 1–5 gramlık daha küçük örnekler tartıldıktan sonra, içinde ağırlığı bilinen bir ^{233}U - ^{236}U - ^{229}Th karışık "spike" in olduğu 250 ml'lik teflon beherlere aktarılmış ve ardından izotop seyreltme tekniği ile U ve Th izotoplarını tayin etmek için buharlaştırılmıştır. Örnek ve spike suya konduktan sonra, yavaş yavaş örnek tamamen eriyene kadar 14M nitric asit (HNO_3) ilave edilmiştir. Çözülen örneğe yaklaşık 7 mg demir taşıyıcı ($FeCl_3$) eklenmiş ve çözeltinin dengeye ulaşması için gece boyunca sallantı masası

üzerinde bırakılmıştır. pH'ın 8-9' a yükseltilmesi ve $Fe(OH)_3$ in çöktürülmesiyle Uranyum ve Toryumun çözeltilerden ayrılması sağlanmıştır. Bu pH'ta demir, $Fe(OH)_3$ olarak çökecek, Uranyum ve Toryum izotopları rezidüden ayrılmış olacaktır. Rezidüler santrifüjlenmiş ve "supernatant" uzaklaştırılmıştır. Daha sonra rezidü MilliQ® su ile yıkanarak en son 6 N HCl'de çözülmüştür. U-Th ayrımı, AG1X8 anionic resin banyosu kullanılarak yapılmıştır. Th ve U-Fe fraksiyonları sırasıyla 6 N HCl ve H₂O "elution" ile geri kazanılmıştır. U fraksiyonunun saflaştırılması 0.2 ml U-Teva (Eichrom) resin volume kullanılarak gerçekleştirilmiştir. U-Fe ayrımı 3 N HNO₃ (Fe fraksiyonu) ve 0.02 N HNO₃ (U fraksiyonu) kullanılarak "elution" yoluyla/ile yapılmıştır. Toryumun saflaştırılması, 7 N HNO₃ de 2 ml AG1X8 resin kullanarak ve 6 N HCl ile "elution" yoluyla yapılmıştır. Toryumun en son saflaştırma işlemi ise, 7N HNO₃ te 0.2 ml AG1X8 resin üzerinde yapılmış ve Toryum 6 N HCl ile geri kazanılmıştır. Tüm kimyasal işlemler temiz oda laboratuvarında (klas 100) yürütülmüştür. U ve Th fraksiyonları, iki grafit katmanı arasındaki rafine edilmiş Re filament zonunda biriktirilmiş ve 10 cm electrostatic filtre ve Daly iyon sayıcının bağlı olduğu VG sektör kütle spektrometresi (TIMS) ile ölçülmüştür. U ve Th izotopları Daly iyon sayıcısı üzerinde pik sıçrama modunda ölçülmüştür. Uranyumun kütle fraksiyonlaşması için çift spike $^{236}U/^{233}U$ (1.1322) ile düzeltme yapıldı, buna karşılık Toryumun kütle fraksiyonlaşması analitik hata açısından ihmal edilebilir olarak kabul edildi. Tüm analitik tekrarlanabilirlikler, standartların belirli aralıklarla ölçülmesi sonucu tahmin edildiğinden, U concentration ve $^{234}U/^{238}U$ oranları için genellikle %0.5'den daha düşük, $^{230}Th/^{234}U$ oranları için 0.5% ile 1% arasında değişen hata sınırları içindedir. Veri düzenleme çalışmalarında, içersine "spike" ların izotop bileşimleri ve izotop seyreltme yöntemlerinde kullanılan eşitliklerin de dâhil edildiği, Excel dağılım sayfası kullanıldı.

4. BULGULAR

Bu bölümde, inceleme konusunu oluşturan her bir traverten depolanması, kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere, ayrı başlıklar halinde verilmiştir. Her bir alt başlıkta, bu depolanmaların jeolojik-tektonik özellikleri ile yüzeylemelerden alınmış olan örneklerin değişik analizlerinden elde edilen veriler ve bunların yorumlanmasıyla ulaşılan sonuçlara değinilecektir.

4.1. Hacılar Traverten Sahası

Hacılar travertenini olarak adlandırılan bu yüzeyleme, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Karlıova-Göynük Segmenti (Şekil 1) üzerinde depolanmış olan sırt tipi (fissure-ridge) travertendir. Söz konusu traverten, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğu ucuna yakın bir kesiminde yer alan Hacılar Köyü'nün (Karlıova, Bingöl) yaklaşık 1 km güneybatısında yüzeyleyir. Bu traverten sahasıyla ilgili olarak elde edilen veriler, aşağıdaki alt başlıklar altında verilmiştir.

4.1.1. Jeolojik-tektonik özellikler

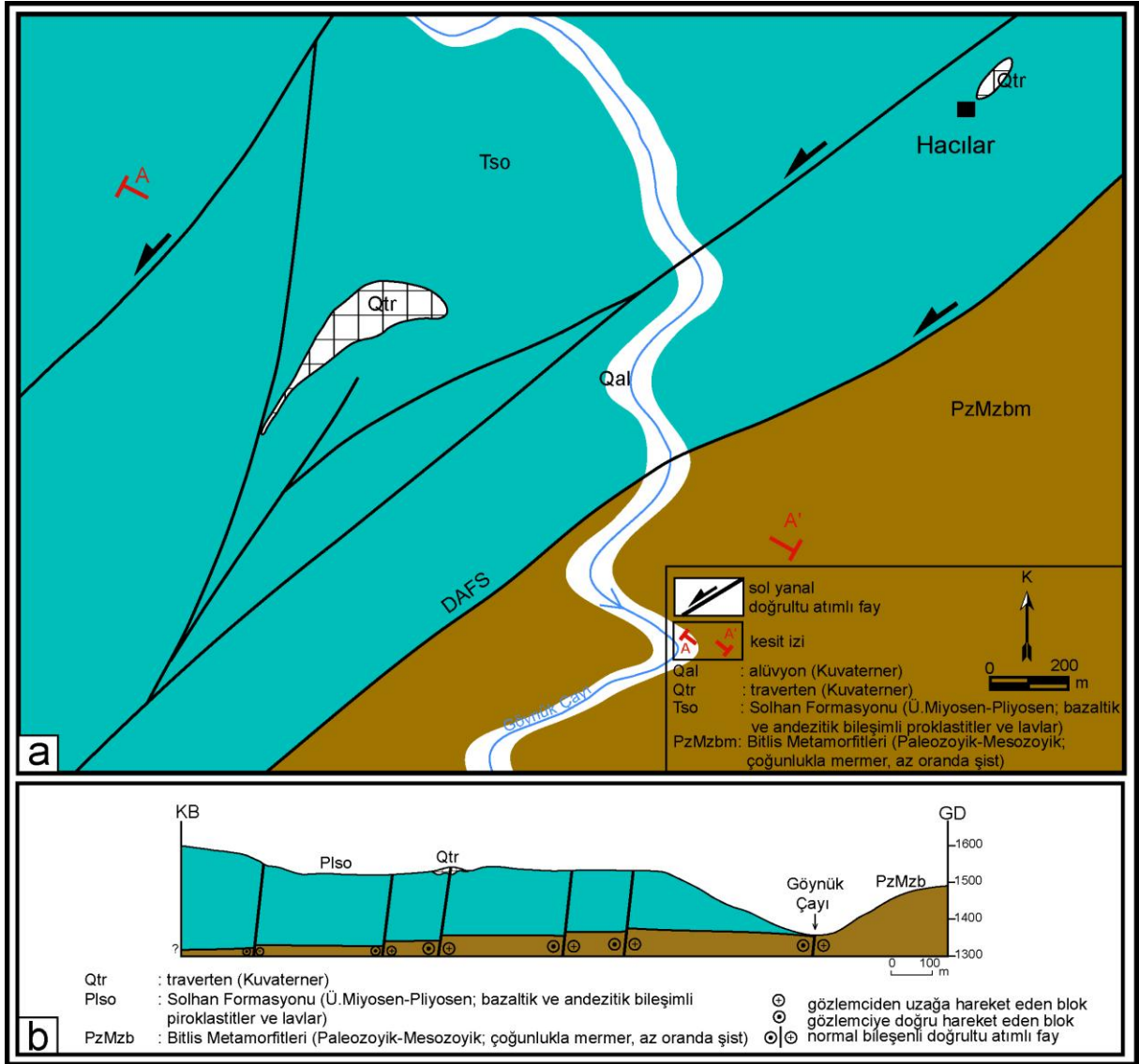
Hacılar Köyü çevresinde Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Bitlis Metamorfittleri ile Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Solhan Formasyonu yüzeyleyir (Şekil 3 ve Şekil 4).

Bitlis metamorfittlerini oluşturan kayalar, deformasyon ve metamorfizma özellikleri farklılıklar gösteren iki grup halinde incelenmektedir. İleri derecede metamorfizma ürünleri olan gnays, amfibol gnays, metavolkanitler ve metaaglomeralar alt grubu; daha düşük dereceli metamorfizma sonucu oluşmuş olan mikaşist, kuvarsit ve mermer gibi kayalar ise üst grubu temsil ederler. Buradaki alt ve üst grup terimleri ile ifade edilen kayaç topluluklarını adlandırmak için, değişik araştırmacılar tarafından "alt topluluk, üst topluluk" (ERDOĞAN, 1982), "alt birlik, üst birlik" (BORAY, 1975), "iç zon, dış zarf" (YILMAZ, 1978) gibi kavramlar da kullanılmıştır.

Toroslar'ın doğu bölümünde, Geç Triyas'ta Bitlis-Pütürge Levhacığının kuzeyindeki alanlar ile Arabistan Platformu arasında açılmaya başlayan Neotetis'in güney kolu, Geç Kretase'de, kuzeye eğimli bir yitime bağlı olarak kapanmaya başlamıştır (TURAN ve diğ., 1995). Kuzey kolun Erken Maastrichtiyen'de tamamen kapanmasıyla sonuçlanan süreçte, kıtasal kabuk üzerine yerleşmiş okyanusal kabuk parçaları (Guleman ofiyolitleri), bölgesel metamorfizmanın nedeni olarak kabul edilmiştir. Çalışmacılar, Bitlis Metamorfittleri'nin çok sayıda tektonik dilimden meydana geldiği konusunda görüş birliği içerisinde (ŞENGÖR ve Yılmaz, 1981; GÖNCÜOĞLU ve Turhan, 1984).

Bitlis Metamorfittleri Hacılar Köyü yakınında, üst gruba ait olan mermerlerle karakterize edilir. Fay zonu içinde olmaları nedeniyle son derece ezik, breşik bir yapı kazanmış olan

mermerlerin bu yapısı, hidrotermal akışkanların dolaşımı ve yüzeye yükselimi için uygun ortam oluşturur. Dolayısıyla, çoğunlukla mermerlerden oluşan Bitlis Metamorfitleleri'nin, traverten oluşumunu sağlayan sıcak sular için hazne kaya, çoğunlukla piroklastik kayalardan oluşan Solhan Formasyonu'nun ise, bu sıcaklığı koruyan bir örtü kaya rolü oynadığı düşünülmektedir.



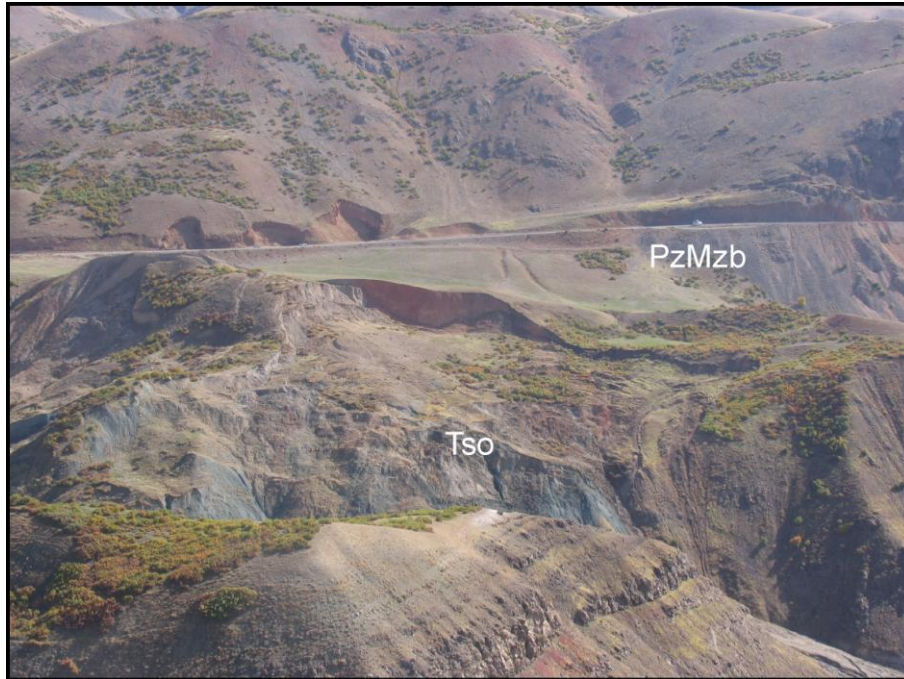
Şekil 3. (a)Hacilar sırt tipi traverten yüzeylemesinin jeolojik haritası; **(b)** jeolojikkesiti.

Solhan Formasyonu ilk kez YILMAZ ve diğ., (1987) tarafından tanımlanmıştır. Hacilar sırt tipi traverteni, Doğu Anadolu'da, özellikle de Bingöl çevresinde geniş yayılımlar sunan ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı olarak kabul edilen (AKAY ve diğ., 1989) bu formasyon üzerinde yer almaktadır (Şekil 3 ve Şekil 4). Doğu Anadolu Bölgesi'nde kendisinden yaşlı birimleri keserek yüzeye kadar ulaşan volkanik kayalar ile karasal kökenli sedimanter kayalardan oluşan birim, değişik alanlarda değişik kayaç birimlerini örter. Hacilar Köyü

yakınında ise çoğunlukla bazaltik-andezitik bileşimli piroklastitlerle temsil edilen birimin (Şekil 5) tabanında, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Bitlis Metamorfitleri'nin mermer ve şistleri bulunur (Şekil 3).

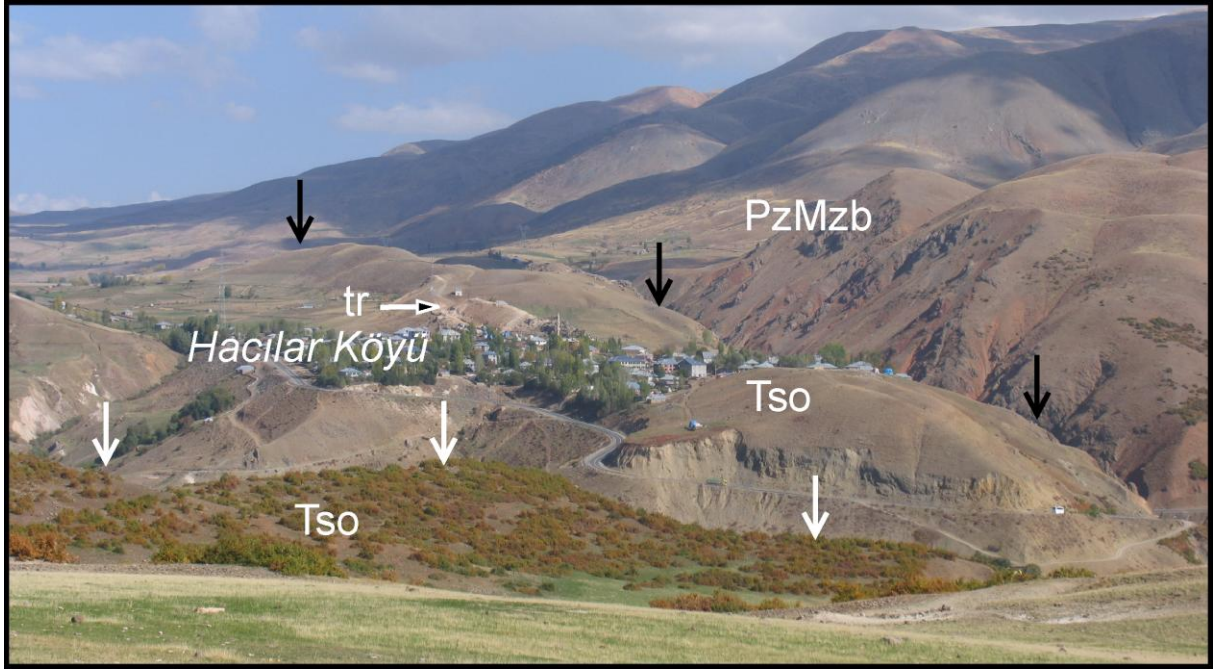


Şekil 4. Hacılar Köyü'nün (Karlıova, Bingöl) yaklaşık 1,5 km batı-güneybatısında yer alan sirt tipi traverten. Bakış güneybatıya



Şekil 5. Solhan Formasyonu'nun (Tso) bazaltik, andezitik bileşimli ve çoğunlukla piroklastitler, az oranda da volkanitlerden oluşan litolojisi. Hacılar Köyü 1 km güneybatısı. Bakış doğu-güneydoğuya. Faylanmaya bağlı olarak Bitlis Metamorfitleri (PzMzb) ile yan yana gelmişlerdir. Fayın aktivitesini gösteren heyelanlar, her iki birimde de gelişmiştir. Bakış doğuya

Hacılar sırt tipi traverteni yakın çevresinde, her iki birim arasındaki sınırı Karlıova-Göynük Segmenti oluşturur (Şekil 3 ve Şekil 6). Hacılar yakınında fayın dallanması ve örgülü yapısı nedeniyle, doğrultu atımlı faylara özgü yapılardan uzamış sırtlar ile yine doğrultu atımlı fayların karakteristiklerinden çizgisel dizimli heyelanlar oldukça yaygındır (Şekil 7). Hacılar çevresindeki bu özelliklerin varlığı, fayın bu bölümünü “Göynük Bölütü” adı altında inceleyen HERECE (2008) tarafından da ifade edilmektedir.

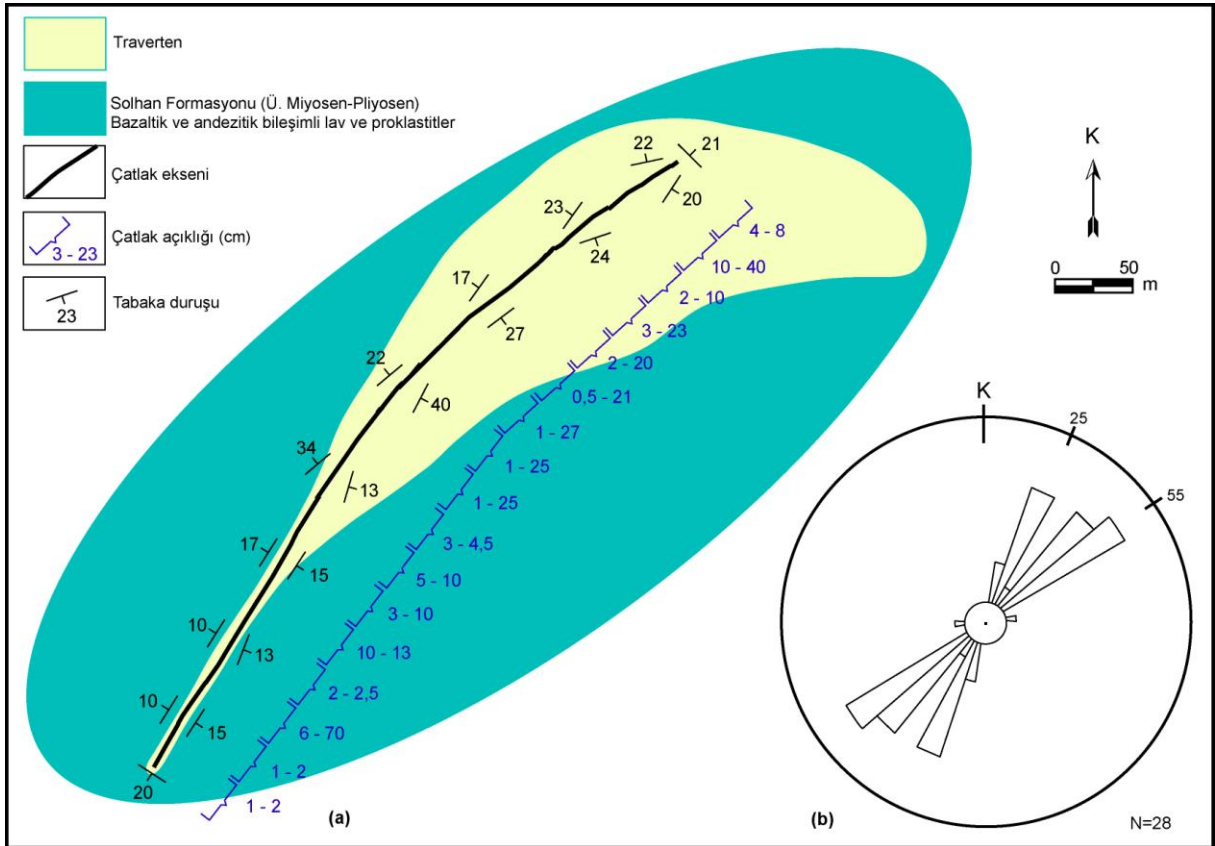


Şekil 6. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin (oklarla işaretlenmiş) Karlıova-Göynük Segmenti'nin Hacılar Köyü yakınındaki görünümü. Fay boyunca Bitlis Metamorfikleri (PzMzb) ile Solhan Formasyonu'nun (Tso) yan yana gelmiştir. Fay zonu boyunca uzamış sırtların güzel örnekleri gelişmiştir. Bakış doğu-kuzeydoğuya.

Hacılar köyü çevresinde 2 adet traverten sırtı bulunmaktadır (Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 6). Bunlardan ilki deniz seviyesinin 1580 m üzerinde yer alan ve köyün 1,5 km batı-güneybatısındaki sırttır (Şekil 3 ve Şekil 4). İkinci sırt ise deniz seviyesinin 1600 m üzerinde yer alır ve köyün yerleşim alanı içinde kalmıştır (Şekil 6). Bu sırtın Hacılar Köyü yerleşim alanı içinde kalmış olmasına bağlı olarak, sırtı oluşturan travertenler, köylüler tarafından yaygın bir biçimde yapı taşı olarak kullanılmıştır. Bu durum, söz konusu sırtın tahrip edilmesine yol açmıştır. Bu nedenle, proje çalışmaları sırasında sadece 1,5 km batı-güneybatıdaki sırt incelenmiştir. Raporda bundan sonra bu sırttan, “Hacılar sırt tipi traverten” adı ile söz edilecektir (Şekil 4 ve Şekil 8a).



Şekil 7. Fayın etkinliği ve Solhan Formasyonu'nun litolojisinin de uygun olmasına bağlı olarak gelişmiş ve çizgisel bir dizilim gösteren heyelanlar (H). Hacılar Köyü 1 km güneybatısı. Bakış batıya.



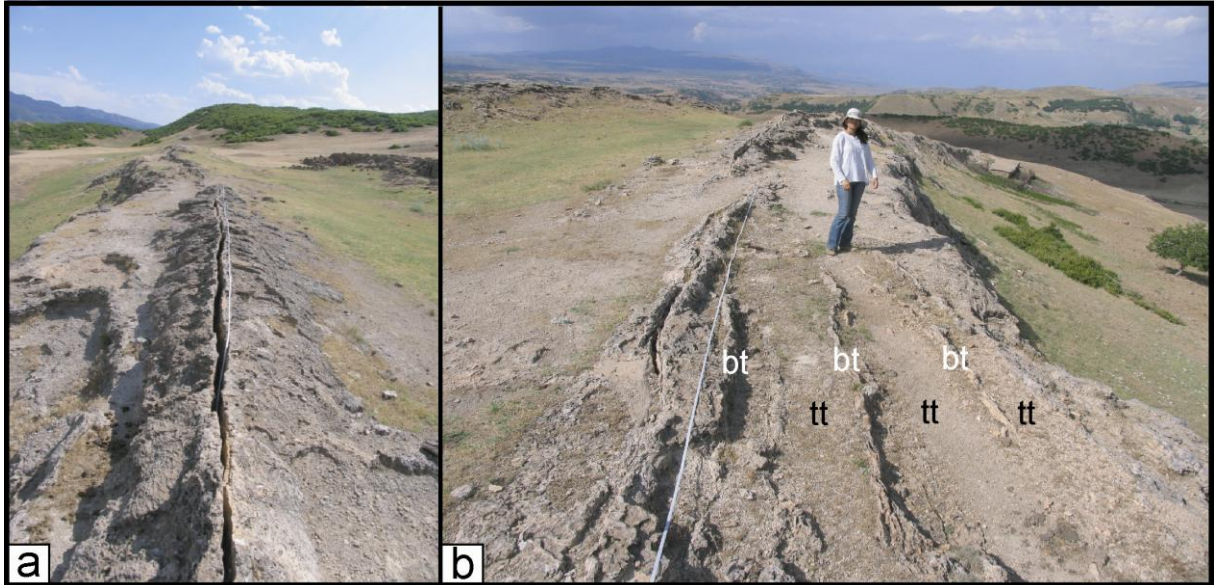
Traverten sırtları, ana kayadaki kırıklar boyunca yükselen sıcak sularla oluşan traverten depolanmalarını karakterize eden yaygın morfolojik özelliklerdir (CHAFETZ ve Folk, 1984; GUO ve Riding, 1992,1994; FORD ve Pedley, 1996). Sırtlar harita görünüşlerinde çizgisel veya eğri biçimli olup, HANCOCK ve diğ., (1999) tarafından belirtildiği gibi 2 km uzunluğa, 400 m genişliğe ve 20 m yüksekliğe sahip olabilirler.

4.1.2. Depolanma özellikleri

Hacılar sırt tipi traverten KD-GB (Şekil 8b) gidişli, 510 m uzunluğunda, 7 m yüksekliğinde olup, orta kesimindeki taban genişliği 80 m'dir (Şekil 4 ve Şekil 8). Aşağıda, sırtın değişik bölümleri ayrı ayrı ele alınmıştır.

Çatlak

Sırtın ana çatlağı, iç bükey kısmı GD'ya bakan 510 m uzunluğunda bir yay şeklindedir (Şekil 4 ve Şekil 8a). Sırt eksenini boyunca bazı kesimlerde tek (Şekil 9a), bazı kesimlerde sayıları 6'ya kadar çıkan birbirine paralel çatlaklar gelişmiştir (Şekil 9b).



Şekil 9. Hacılar sırtının ana çatlağından arazi görünüşleri. **(a)** Tek çatlak, çatlak duvarları 2-4 cm kalınlığında düşey bantlı travertenle kaplanmış, ortadaki boşluğun genişliği ~5 cm'dir; **(b)** birbirine paralel gelişmiş ve kısmen ya da tamamen bantlı travertenlerle (bt) doldurulmuş açılma çatlakları. Bantlı travertenlerin kalınlıkları 3-5 cm'dir. Çatlaklar arasında kalan kısımlar tabakalı travertenlerle (tt) temsil edilir. Bakış güneybatıya.

Çatlak açıklıkları 0,5- 70 cm arasında değişir. Çatlaklar yer yer sıçramalar yapar (Şekil 10). Çatlak boşlukları düşey konumlu bantlı travertenlerle (ALTUNEL, 1994, 1996) doldurulmuştur. Bantlı travertenler birkaç mm-birkaç cm kalınlığında çatlak duvarına dik gelişmiş kalsit kristallerinden oluşmuştur. Kalsit kristalleri ince kristalli, sıkı ve boşluksuzdur (Şekil 11g). Bantlı travertenler ile tabakalı travertenler arasındaki dokanak keskindir. Ana

çatlağın bazı kesimlerinde, sıcak suların yüzeye ulaştığı kaynak ağızları gözlenir. Kâse/çanak şeklindeki kaynak ağızlarının çapları 15 cm ile 220 cm arasında değişir.

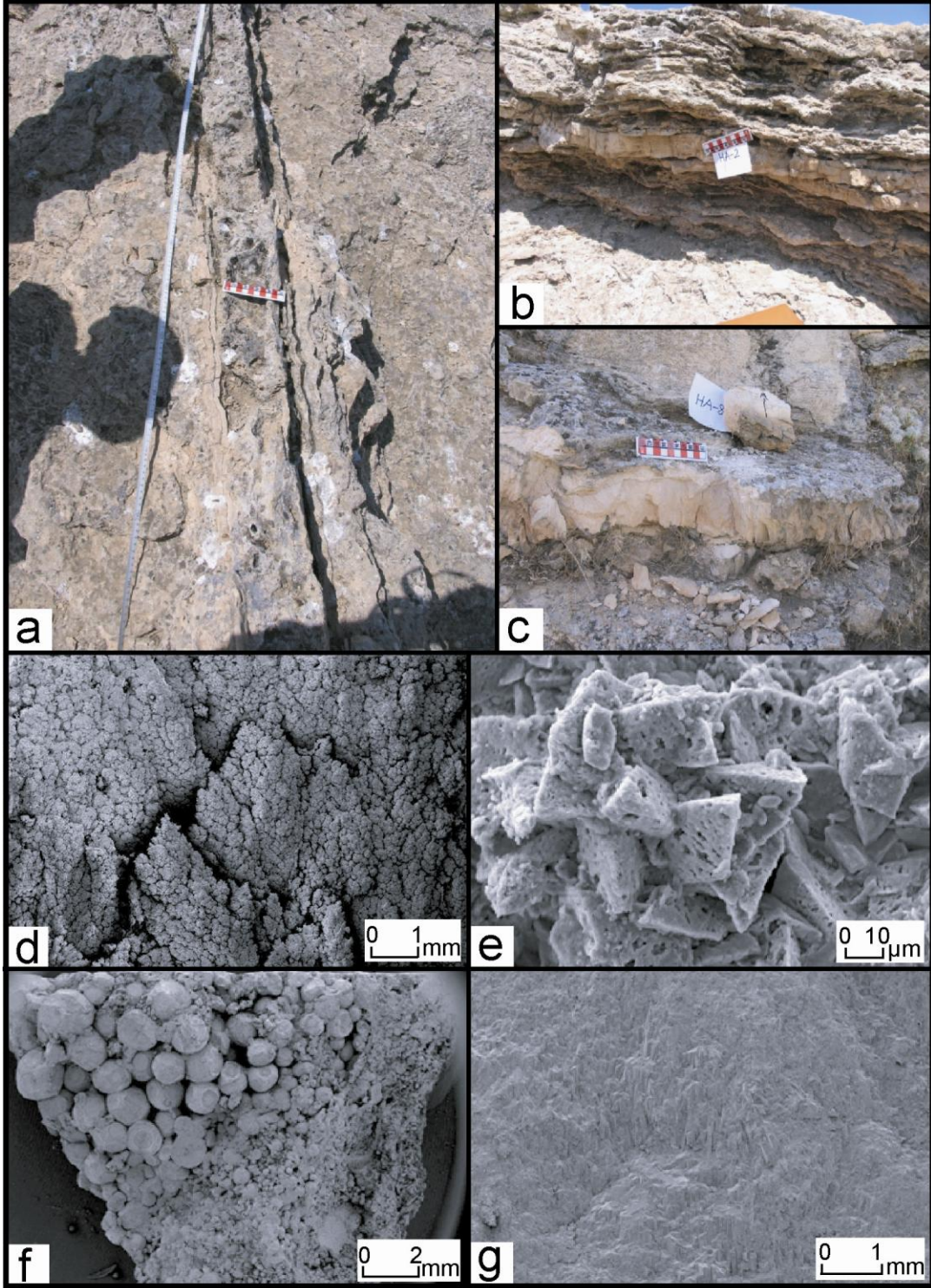


Şekil 10. Hacılar sırtı eksenindeki çatlaklarda (beyaz ve siyah oklarla işaretlenmiştir) gözlenen sıçramalar

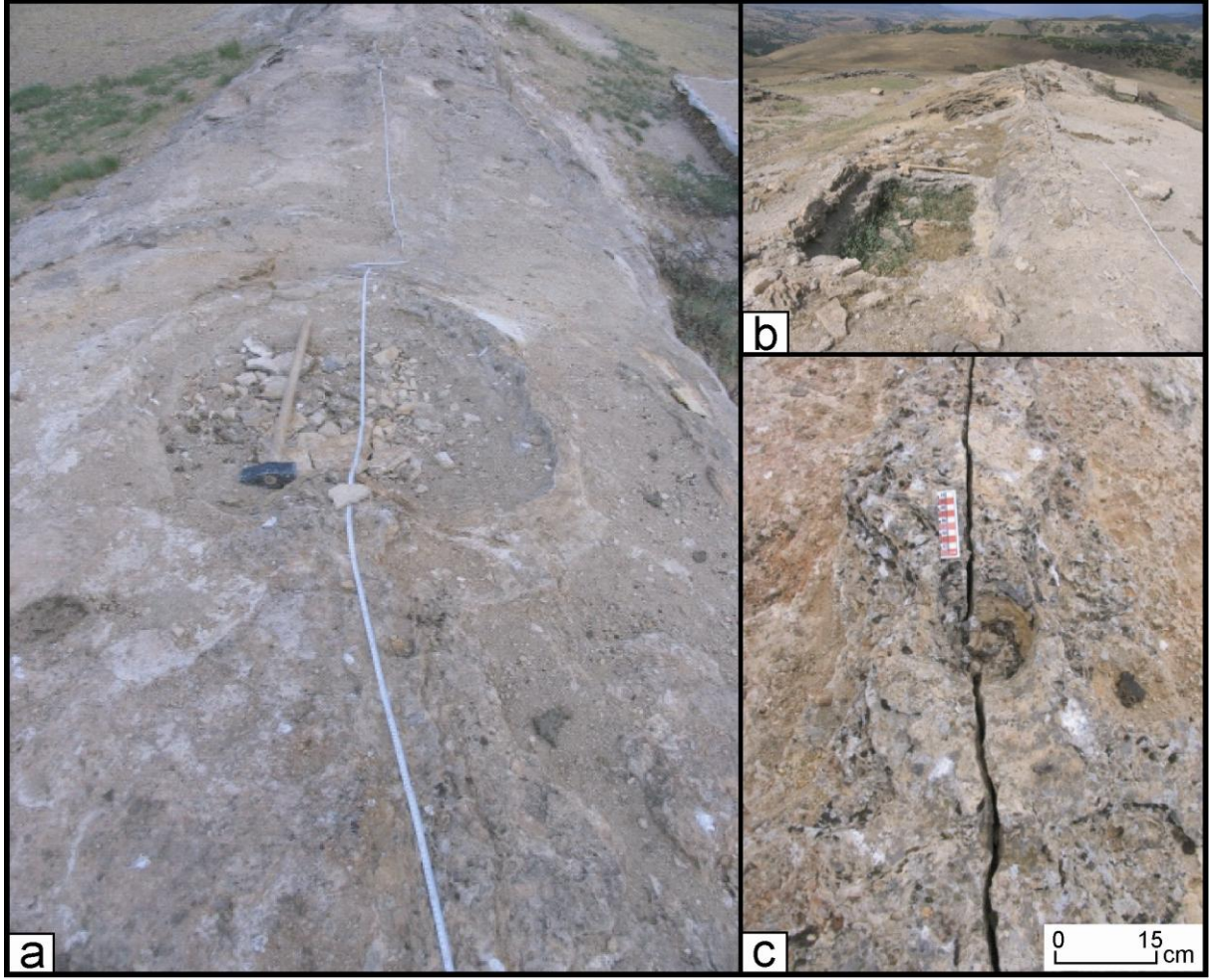
Çalışmanın yapıldığı tarihte sırtın GB ucuna yakın kesimlerinde, ılık denebilecek sıcaklıkta (36.4°C) termal suların boşaldığı birkaç aktif kaynak gözlenmiştir. Buna karşılık uzun sırtın batısında sıcaklığı 64.5°C'ın üzerinde olan ve debisi yüksek ikinci bir kaynak gözlenmiştir. Çalışmalarımız sırasında maalesef bu kaynakların fizikokimyasal özelliklerini ölçmek mümkün olmamıştır. Aktif olmayan bazı kaynak ağızlarına bitişik, hayvan sulamada/yıkamada kullanılmış, ~ 2x4m boyutlarında, dikdörtgen şekilli yalak (havuz) kalıntılarına rastlanmıştır (Şekil 12b). Bazı kaynak ağızları sırtın ana çatlağı tarafından kesilmiştir (Şekil 12c).

Bazı kaynak ağızlarında ve çatlak duvarlarına tutunmuş halde, çapları 2 cm'ye kadar ulaşan pizoidler gözlenmiştir (Şekil 11f). Bunların ana çatlak boyunca yer alan kaynak ağızlarında çalkantılı ve fokurdayan sıcak sular tarafından oluşturuldukları düşünülmektedir.

Pamukkale (Denizli) yakınlarındaki Çukurbağ kaynağının çıkışında oluşmuş bu tür pizoidler "orifis pizoidleri" olarak adlandırılmıştır (ÖZKUL ve diğ., 2009).



Şekil 11. Hacılar sırt tipi travertenlerden arazi ve mikroskop görüntüleri. **(a)** Sırtın doruk eksenini boyunca uzanan ana çatlaktan bir görünüm. Çatlak genişliği 3-4 cm. **(b)** ana çatlağın her iki tarafında yer alan eğimli, tabakalı travertenler içinde 10cm kalınlığında bir kristalin kabuk seviyesi; **(c)** kristalin kabuk seviyesinin yakından görünümü; **(d)** Kristalin kabuk seviyesinden alınan bir örneğin SEM görüntüsü, sedir ağacı şeklindeki kalsit büyümeleri; **(e)** Kristalin kabuğu oluşturan kalsit kristalleri; **(f)** Ana çatlak boyunca yer alan kaynak ağızlarında oluşmuş pizolitler; **(g)** Ana çatlak duvarında oluşmuş düşey konumlu bantlı/ damar tipi traverten örneğinin SEM görüntüsü.



Şekil 12. Hacılar sırt tipi travertenin ana eksenini boyunca gözlenen yapılar. **(a)** Sırtın GB ucuna yakın kâse/çanak şeklindeki kaynak ağzı. Kaynak ağzının uzun eksenini, 220 cm; kısa eksenini 100 cm'dir; **(b)** sırt ekseninin doğusunda köylülerin kullandıkları dikdörtgen şekilli yalak (havuz); **(c)** ana çatlak tarafından kesilmiş 15 cm çaplı bir kaynak ağzı.

Sırt yamaçları

Sırt yamaçları tabakalı travertenlerden oluşmuştur. Yamaç yüzeylerinde tekçe traverten tabakalarının eğimleri kısa mesafede sık sık değişir ve 40°'ye kadar eğimlerle sırt ekseninden uzaklaşırlar (Şekil 10 ve Şekil13). Kristalin kabuk tipi travertenler (GUO ve Riding, 1998; ÖZKUL ve diğ., 2002) yamaç yüzeylerinde termal suyun türbülanslı akışı ile oluşmuş bir litotiptir ve tabakalı travertenlerin en önemli bileşenidir (Şekil 11b, 11c). Kalınlıkları 10 cm'ye kadar çıkan kristalin kabuk tabakaları, depolanma yüzeyine dik gelişmiş sedir ağacı görünümündeki kalsit kristal demetlerinden kuruludur (Şekil 11d). Bazı kalsit kristal yüzeyleri korozyon nedeniyle kısmen bozulmuş ve delikli bir görünüm kazanmıştır (Şekil 11e). Kristalin kabuk tabakalarının üst yüzeyleri mikroteras havuzları ile kaplıdır.

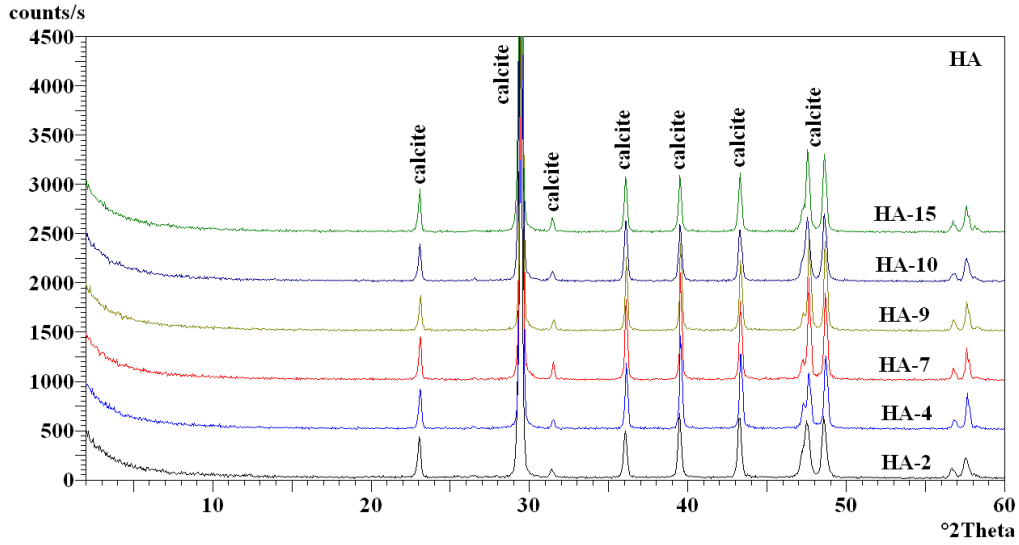
Sırt yamaçlarında ana çatlaktan boşalan sıcak suların yamaç aşağı aktığı 3–5 m boyunda kanallar gelişmiştir. Kanalların aşağı uçlarında termal suyun biriktirildiği yapay havuzlar gözlenir. Havuzların çapları 0.5–1.5 m dir.



Şekil 13. Sırt ekseninin her iki tarafında, eğimleri 40° ye kadar kadar çıkan tabakalı travertenler. Bakış güneybatıya.

4.1.3. Mineralojik bileşim

Hacılar sırt tipi traverteninden alınan 6 örnek, XRD sonuçlarına göre tamamen kalsitten oluşmaktadır. Bazı örneklerde eser ise eser miktarda kuvarsa rastlanmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Hacılar traverten örneklerinin XRD grafikleri.

4.1.4 Element jeokimyası

Hacılar sırt tipi traverteninden toplanan 6 adet traverten örneğinin element bileşimi Tablo 1’de verilmiştir. Örneklerde Ca ve Mg konsantrasyonları, sırasıyla 380.789 ppm ve 9.468 ppm ile, en yüksek olan elementlerdir. Sr içerikleri de aynı şekilde çok yüksek olup, 7104 ppm ile 16292 ppm arasında değişmektedir.

Tablo 1. Hacılar sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları

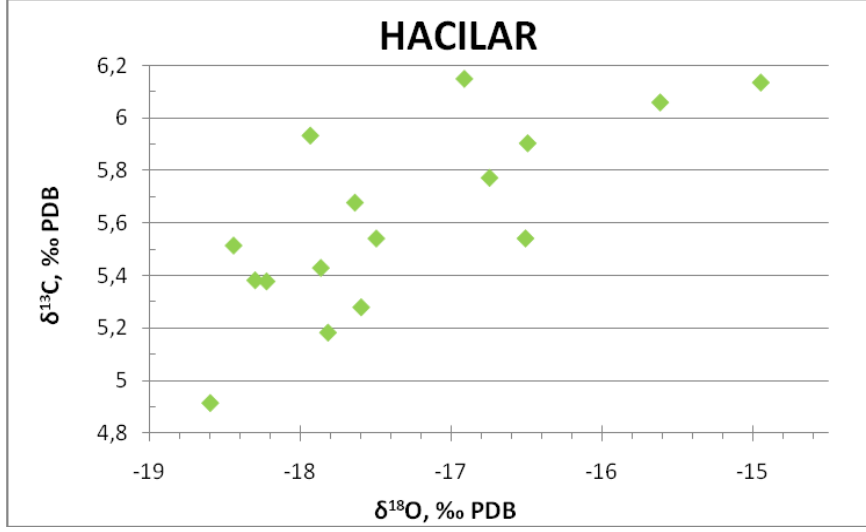
Hacılar	Ca	Si	Al	Fe	Mg	Mn	Ba	Sr
Lokalite ve örnek No	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
HA-2	370.140	6.030	2.858	2.308,14	7.960,61	< 77,45	107	15.007
HA-7	379.645	1.963	371	5.595,49	8.201,84	< 77,45	45	7.104
HA-9	380.217	1.075	476	3.217,41	8.563,68	< 77,45	65	9.210
HA-9A	374.714	2.104	847	1.818,53	9.468,30	< 77,45	117	16.292
HA-10	376.643	1.169	318	5.595,49	7.116,30	< 77,45	109	13.728
HA-15	380.789	1.075	212	3.357,29	8.865,22	< 77,45	81	11.431

4.1.5. Duraylı izotop bileşimi

Hacılar traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, +5.3 ile +6,1 (‰ PDB) arasında, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -15.0 ile -18.6 (‰ PDB) arasında değişmektedir (Tablo 2, Şekil 15). Gerek $\delta^{13}\text{C}$, gerekse $\delta^{18}\text{O}$ değerleri oldukça homojen bir dağılım sunarlar. Elmalı'dan sonra, en yüksek pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri Hacılar örneklerinden elde edilmiştir.

Tablo 2. Hacılar sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri

Örnek No	Traverten tipi	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (SMOW)
HA-1	Bantlı	5,5	-16,5	14,1
HA-2	Kristalin kabuk	6,1	-16,9	13,5
HA-3	Bantlı	5,4	-18,3	12,0
HA-4	Bantlı	5,5	-18,4	11,9
HA-5	Bantlı	5,3	-17,6	12,8
HA-6	Bantlı	5,5	-17,5	12,9
HA-7	Bantlı	5,8	-16,8	13,7
HA-8	Kristalin kabuk	5,4	-17,9	12,5
HA-9	Pizolit	6,1	-15,0	15,5
HA-10	Kristalin kabuk	5,9	-17,9	12,4
HA-10a	Bantlı	5,9	-16,5	13,9
HA-11	Oolit	5,7	-17,6	12,7
HA-12	Bantlı	5,2	-17,8	12,6
HA-13	Bantlı	4,9	-18,6	11,7
HA-14	Bantlı	6,1	-15,6	14,8
HA-15	Bantlı	5,4	-18,2	12,1



Şekil 15. Hacılar sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı.

4.1.6. U-Th yaşları

Hacılar traverten sahasından alınan 3 adet traverten örneğinden elde edilen U-Th yaşları: HA–1 örneğinden $0,487 \pm 0,455$ ka, HA–7 örneğinden $0,301 \pm 0,014$ ka, HA–15 örneğinden $6,994 \pm 0,175$ ka yaşlar elde edilmiştir.

Bu yaş verilerine göre Hacılar sırt tipi traverten sahasında, günümüzden en azından yaklaşık 7 ka önce traverten çökelişinin başlamış olduğunu söylemek mümkündür.

4.2. Elmalı Traverten sahası

Bingöl-Karlıova karayolunun yaklaşık 28. km sinde yer alan olan Elmalı Köyü (Bingöl) kuzey bitişiğinde bulunur (Şekil 16). Hacılar sırt tipi traverteninde olduğu gibi, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Karlıova-Göynük Segmenti (Şekil 2 ve Şekil 16) üzerinde yer alır.

4.2.1. Jeolojik-tektonik özellikler

Bingöl-Karlıova karayolu üzerinde ve yaklaşık 28 km de kurulmuş olan Elmalı Köyü (Bingöl) yakın kuzeyinde yer alan traverten oluşumları deniz seviyesi üzerinde 1235 ile 1450 metreler arasında Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Bitlis Metamorfite'lerinin mermer ve şistleri üzerinde yer almaktadır (Şekil 16). Fayın doğu bloğunda ise, Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Solhan Formasyonu'nun piroklastik kayalar yüzeyler. Her iki birimin özellikleri, bir önceki Hacılar traverten bölümünde açıklandığından ve her iki bölgede de aynı litolojik özelliklere sahip olduklarından, tekrar olmaması amacıyla burada ayrıca verilmemiştir. Her iki traverten alanının jeolojik haritaları incelendiğinde, Hacılar Köyü yakınında fayın doğu bölümünde yer alan Bitlis Metamorfite'lerine ait mermer ve şistlerin, aynı ana fayın batı bloğunda yer aldıkları

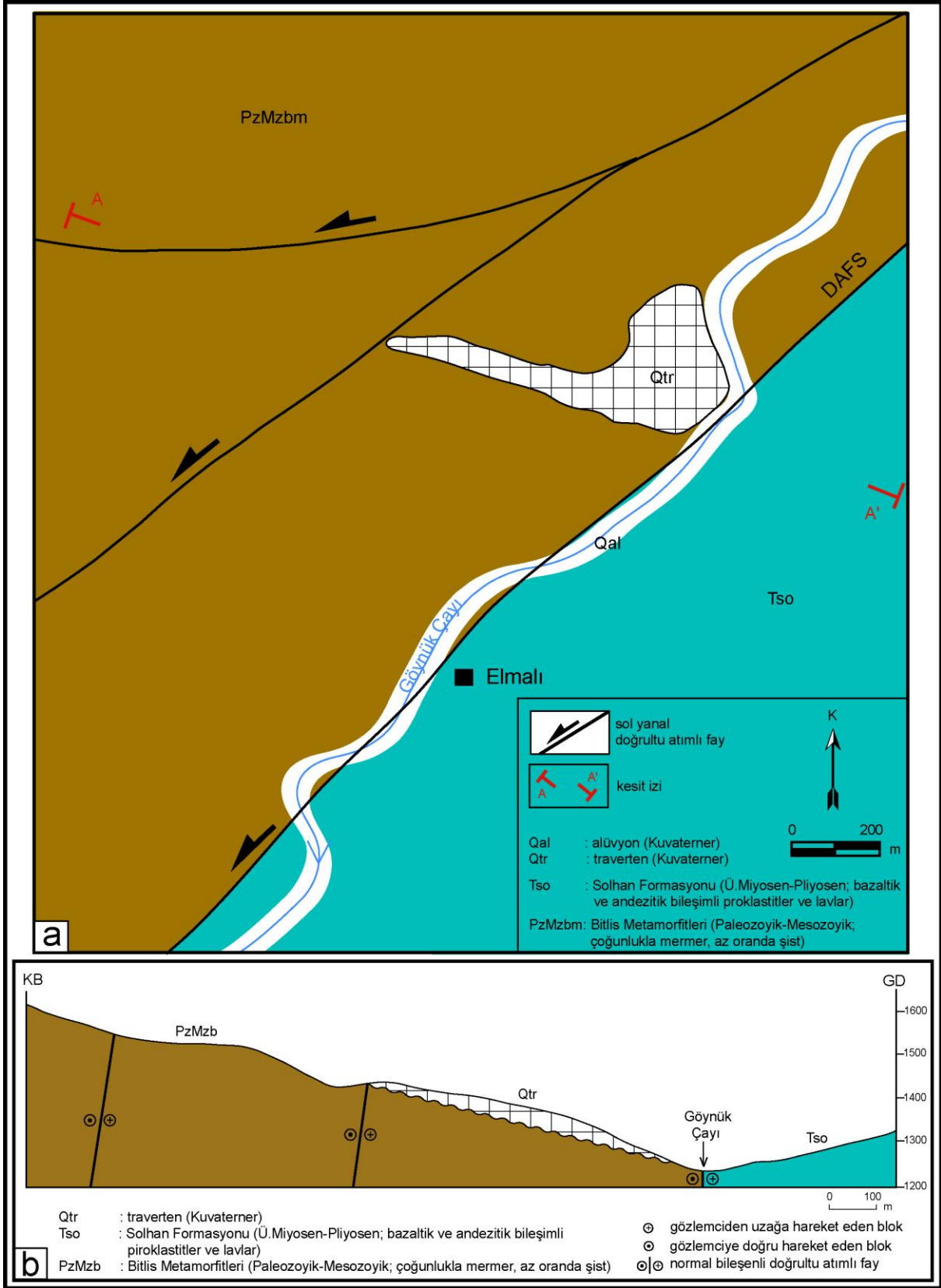
görülür. Bu durum, fayın atımını hesaplamak için kullanılmış ve Karlıova-Göynük Segmenti için 14,5 km lik bir yer değiştirme önerilmiştir (HERECE, 2008).

4.2.2. Depolanma özellikleri

Elmalı sahasındaki travertenler, Göynük vadisi batı-kuzeybatı yamaçlarında, gözlenir. Traverten çökeli az çok alttaki fay kontrollü yamaç ve sekilerden oluşan topoğrafyaya uyumlu olarak gerçekleşmiştir (Şekil 17a,f). Teras havuzlarının gelişmediği düz yamaç fasiesi (GUO ve Riding, 1998) belirgindir (Şekil 17d,e). Sadece Göynük vadisi tabanına yakın konumda çökelmiş olan travertenler yatay ve ince tabakalıdır. Vadi tabanından itibaren 15 m kalınlığındaki bu traverten istifi, üstten bir düzlükle sınırlandırılmıştır (Şekil 17a). Düzlükteki yol seviyesinin üzerinde benzer özellikte 18 m lik bir istif daha gelişmiştir (Şekil 17b,c).

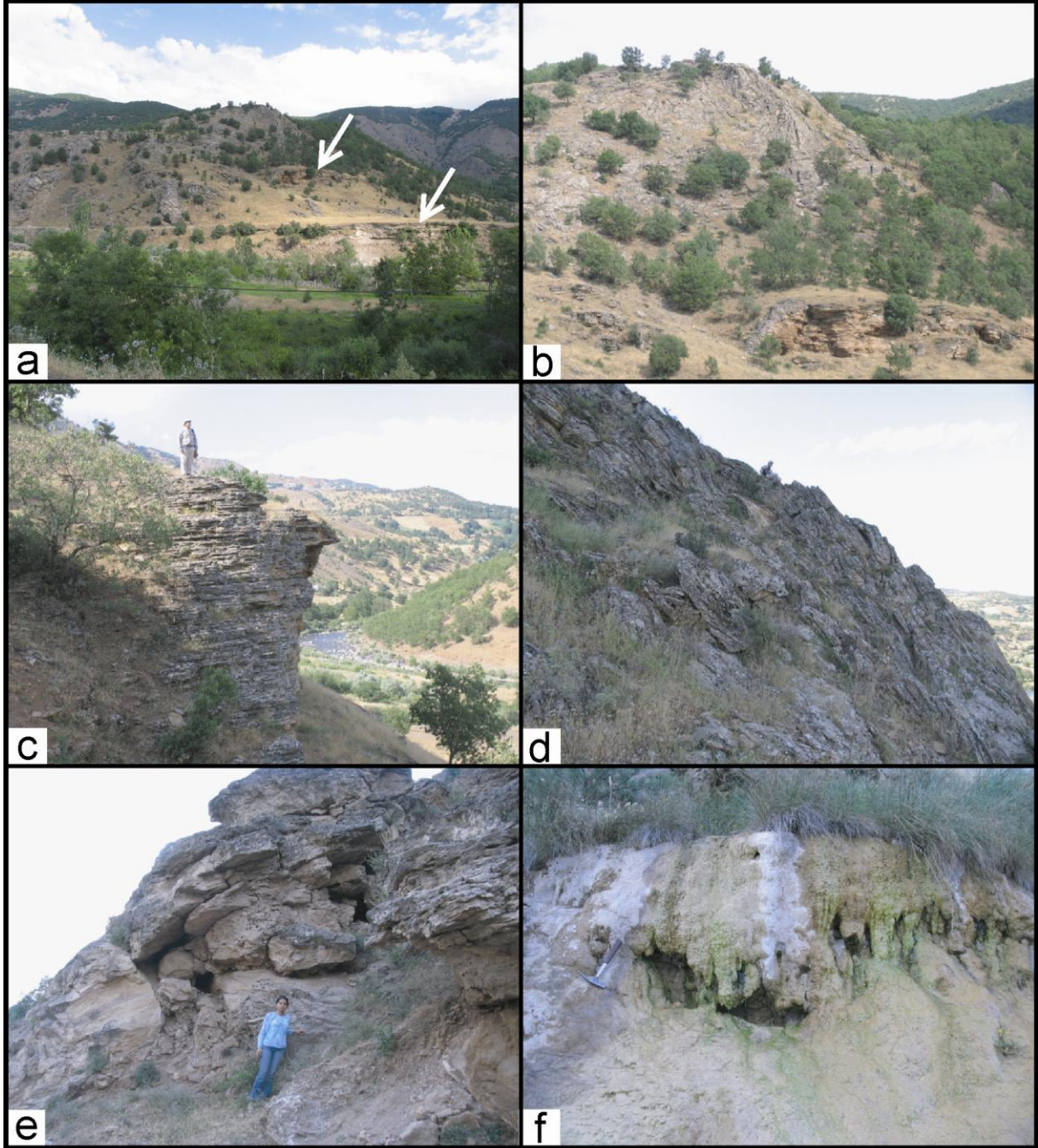
Göynük vadisi batı yamacı üzerinde, yamaç yüzeyine az çok uyumlu olarak, vadi tabanına doğru, eğimli olarak depolanmış travertenlerde kristalin kabuk tipi traverten düzeyleri belirgindir (Şekil 17d,e). Bu tür kristalin kabuk oluşumları dik yamaç koşullarında çok yaygındır (Guo ve Riding, 1998; Özkul ve diğ. 2002). JONES ve Renaut (2008) bunların CO₂ kaybı ile aşırı doymun hale gelen termal sular tarafından türbülanslı akışlarla dik yamaçlar üzerinde çökeltildiklerini belirtmiştir.

Eğimli traverten tabakaları yer yer kaba kırıntılı ara düzeyler içerir. Bu kaba kırıntılı ara düzeyler, yamacın üst kesimlerinden yamaç aşağı sürüklenmiş temeldeki mermerlere ait değişik boyutlardaki köşeli ve kötü boylanmış kırıntılardır (Şekil 17e).



Şekil 16. (a) Elmalı traverten sahasının jeolojik haritası; (b) jeolojik kesiti

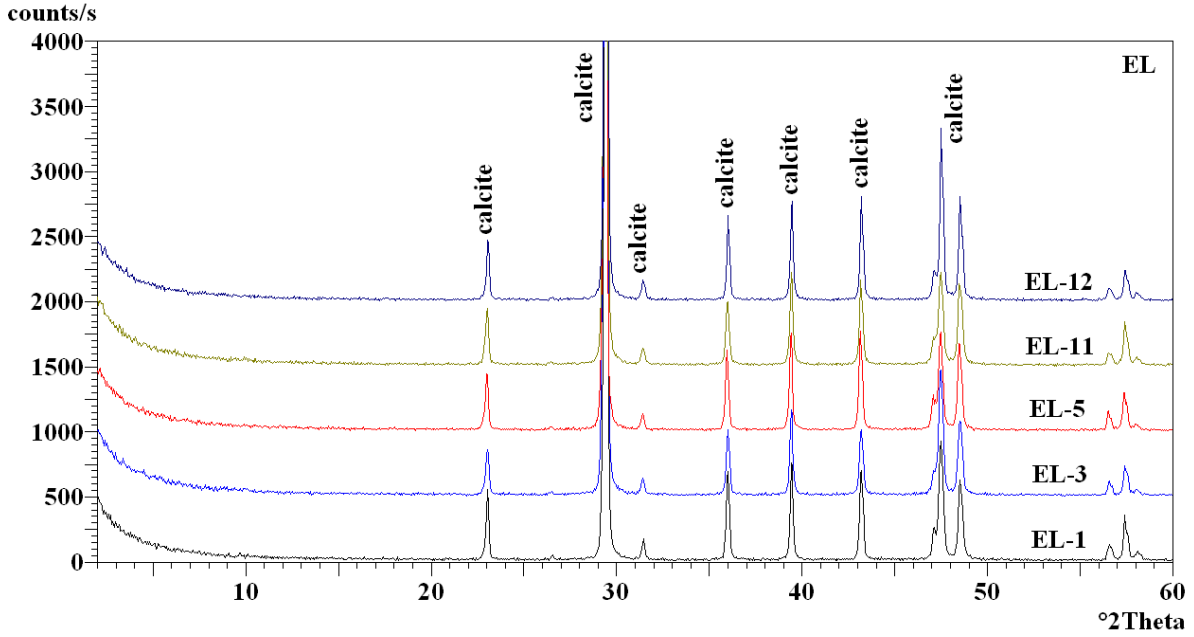
Elmalı sahasında, güncel traverten çökelişi, sadece vadi tabanına yakın tek bir noktada gözlenmiştir. Bu noktada, sızıntı şeklinde boşalan termal sular sınırlı da olsa traverten çöktürmeye devam etmektedir (Şekil 17f).



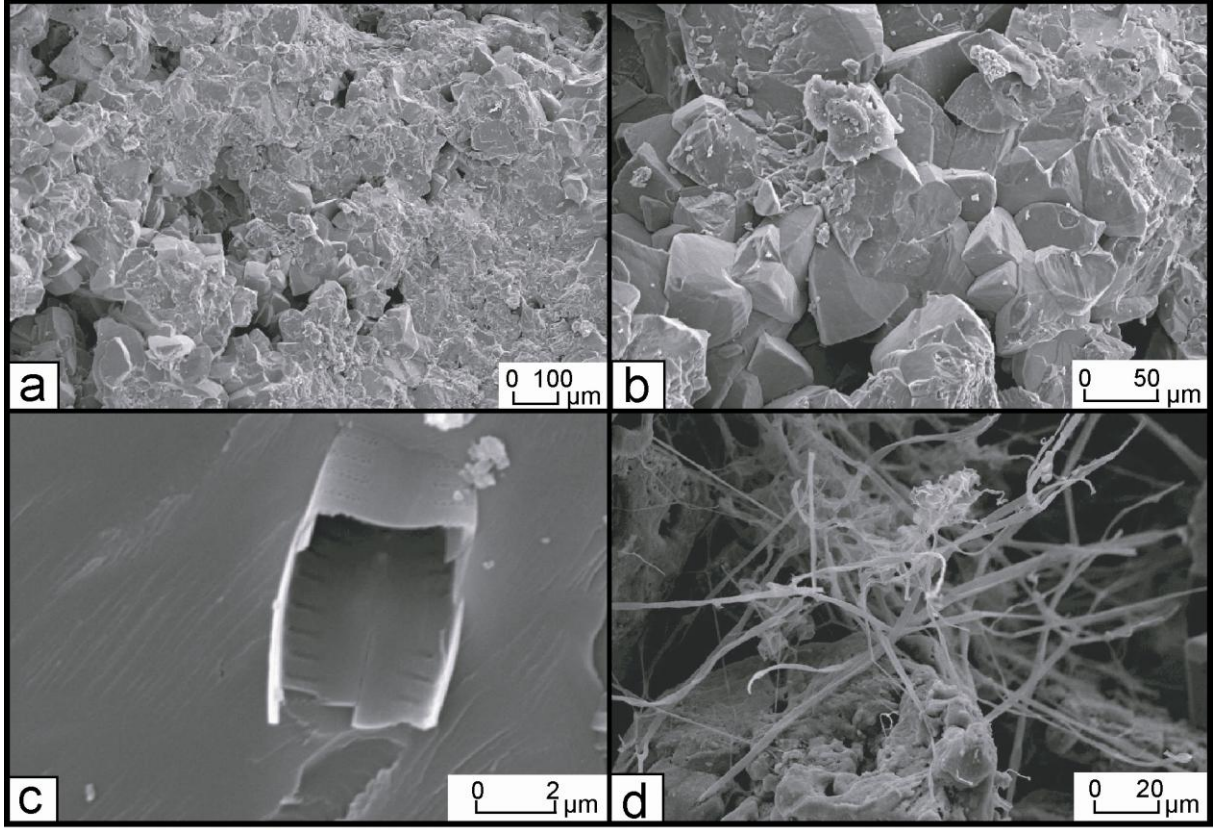
Şekil 17. Elmalı travertenlerinden arazi görünüşleri, Göynük vadisi batı yamaçları. **(a,b)** Üstte yamaç üzerinde depolanmış travertenler, altta yatay, ince tabakalı travertenler (okla işaretli); **(c)** yatay, ince tabakalı travertenler, arka planda Göynük vadisi; **(d)** Yamaç üzerinde çökelmiş, vadi tabanına doğru eğimli travertenler; **(e)** Eğimli traverten tabakaları ve kaba kırıntılı yamaç molozu ara düzeyleri. Vadi tabanından yaklaşık 10 metre yukarıda yol seviyesi; **(f)** vadi tabanından yaklaşık 5 metre yukarıda, yamaç üzerinde aşağı doğru sızan termal suların çöktüğü güncel traverten.

4.2.3. Mineralojik bileşim

Elmalı sahasından alınan 5 adet traverten örneğinin XRD sonuçları, mineralojik bileşimin %100 kalsit ve eser miktarda kuvarstan meydana geldiğini göstermektedir (Şekil 18). Dikçe yamaç yüzeylerinde termal suların türbülanslı ve sürekli aktığı durumlarda kristalin kabuk tipi traverten düzeyleri gelişmiştir. Kalsit kristallerinin şekilleri romboedriktir. Bazı örneklere kristal oluşumlarına diyatom ve mikobiyal filamentler eşlik etmiştir (Şekil 19c,d).



Şekil 18. Elmalı traverten örneklerinin XRD grafikleri.



Şekil 19. Elmalı traverten örneklerinden SEM görüntüleri. **(a)** Mikrit ve mikrosparitik (rombik) kalsitten oluşan bir traverten örneği. Mikrosparitik romboedreler daha çok boşluk çeperlerinde gelişmiştir; **(b)** Boşluk çeperlerinde gelişmiş mikrosparitik romboedrik kalsitin yakından görünümü; **(c)** Mikrobiyal bileşenlerden kırılmış bir diyatom kavkısı; **(d)** Mikrobiyal filamentler, kalsit kristallerinin gelişiminde ve birbirlerine tutunmalarında uygun bir zemin oluştururlar.

4.2.4. Element jeokimyası

Elmalı sahasından alınan traverten örneklerinin element miktarları Tablo 1’de topluca verilmiştir. Elmalı örneklerinin Sr değerleri Hacılar, Kılıçkaya örneklerinden düşük, buna karşılık Baltaş ve Bağdere örneklerinden yüksektir.

Tablo 3. Elmalı sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları

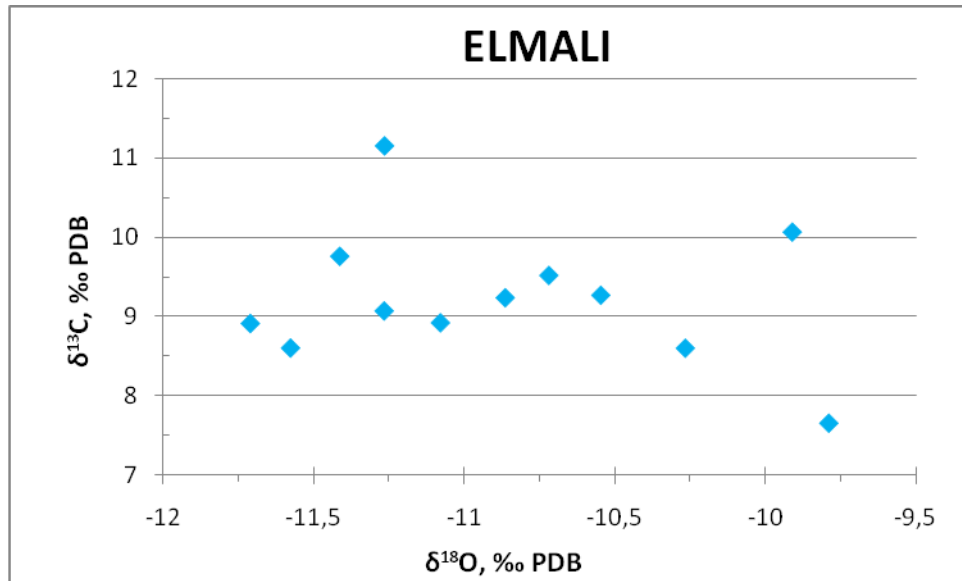
Örnek No	Ca (ppm)	Si (ppm)	Al (ppm)	Fe (ppm)	Mg (ppm)	As (ppm)	Sr (ppm)
EL-1	392.295	2.197,09	423,38	559,55	2.653,54	63,8	3.540
EL-3	396.226	1.215,41	158,77	419,66	1.507,69	66,9	3.923
EL-7	381.360	10.003,76	2.751,98	2.238,20	2.412,30	124,3	2.338
EL-9	379.788	8.040,41	2.540,29	3.916,84	2.713,84	151,3	5.039
EL-11	390.722	888,18	264,61	419,66	2.713,84	97,0	4.512
EL-12	394.439	1.682,88	< 52,92	419,66	1.266,46	57,9	3.158

4.2.5. Duraylı izotop bileşimi

Elmalı traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri +7,8 ile +11,2 (‰ PDB), $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -9,8 ile -11,7 (‰PDB) arasında değişmektedir (Tablo 4, Şekil 20). İncelenen diğer sahalarla kıyaslandığında, en yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri Elmalı traverten örneklerinden elde edilmiştir (Şekil 43).

Tablo 4. Elmalı sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri

Örnek No	d13C (PDB)	d18O(PDB)	d18O(SMOW)
EI-1	10,1	-9,9	20,7
EI-2	8,6	-10,3	20,3
EI-3	9,2	-10,9	19,7
EI-4	8,9	-11,7	18,8
EI-5	8,9	-11,1	19,5
EI-6	8,6	-11,6	19,0
EI-7	9,1	-11,3	19,3
EI-8	9,5	-10,7	19,9
EI-9	9,3	-10,5	20,0
EI-10	7,7	-9,8	20,8
EI-11	11,2	-11,3	19,3
EI-12	9,8	-11,4	19,1



Şekil 20. Elmalı sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı.

4.1.6. U-Th yaşları

Elmalı traverten sahasından alınan 2 adet traverten örneğinden elde edilen U-Th yaşları: EL-1 örneğinden $1,799 \pm 0,033$ ka, EL-9 örneğinden ise 66.344 ± 1.941 ka yaşları elde edilmiştir.

Bu yaş verilerine göre Elmalı traverten sahasında, günümüzden en azından yaklaşık 66 ka önce traverten çökelişi başlamıştır.

4.3. Baltaşı Traverten Sahası

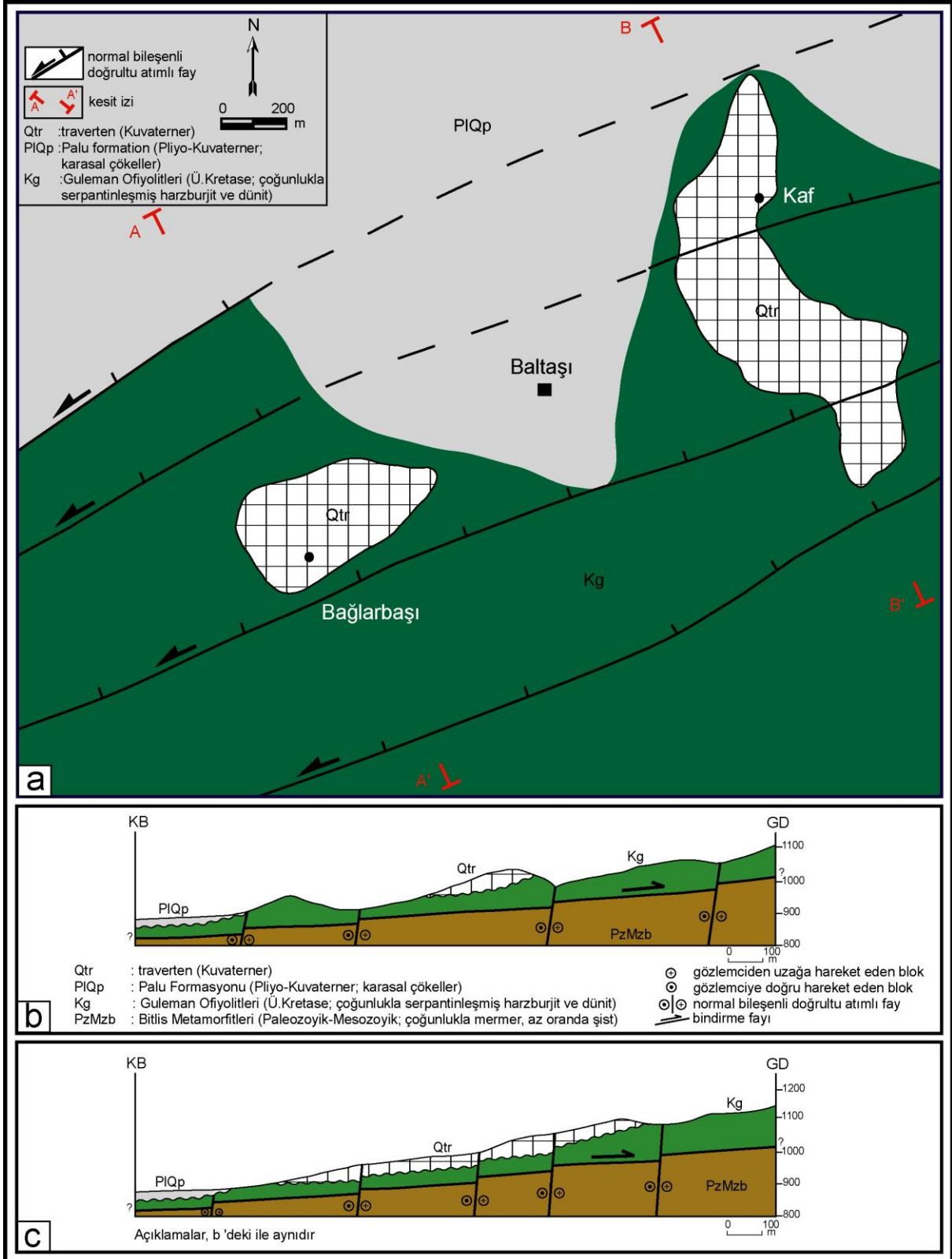
Baltaşı traverten sahası, Elazığ ilinin yaklaşık 45 km doğusunda, Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan ve "Adıyaman Fay Zonu" olarak bilinen, normal bileşene sahip, sol yanal doğrultu atımlı fay zonu üzerinde gelişmiştir. Normal bileşen kuzeybatıya doğrudur. Traverten çökelleri deniz seviyesi üzerinde, 900–1000 m yüksetilerde yer alır. Baltaşı travertenleri, Bağlarbaşı ve Kaf olmak üzere 2 alt sahadan oluşur (Şekil 21). İki alt saha arasındaki mesafe yaklaşık 1.5 km'dir. Travertenler, Guleman Ofiyolitleri üzerinde bulunmaktadır. Ofiyolitlerin altında ise bunlarla tektonik dokanaklı Permo-Triyas yaşlı metamorfite yer alır (Şekil 21). Permo-Triyas metamorfite başlıca mermer ve şist aralanmalarından kuruludur.

4.3.1. Jeolojik-tektonik özellikler

Her iki traverten depolanmasının üzerinde yer aldığı ana kaya ve tektonik özellikler aynıdır. Bu nedenle jeolojik-tektonik özellikler aynı başlık altında verilecektir. Buna karşılık çeşitli analizlerin yapılabilmesi amacıyla her iki yüzeylemeden ayrı örnekler alınmıştır. Buna bağlı olarak da analiz sonuçları ayrı alt başlıklar halinde verilecektir.

Baltaşı travertenleri, bölgeye Geç Kretase'de yerleşmiş olan Guleman Ofiyolitleri üzerinde yer almaktadır (Şekil 21 ve Şekil 22). Toroslar'ın doğu bölümünde yaygın olarak yüzeyleyen ofiyolitik kütlelerin en önemlileri doğudan batıya doğru Guleman, İspendere ve Kömürhan Ofiyolitleri olarak adlandırılır. Bunların, Bitlis-Pütürge Levhası'nın kuzeyinde Geç Triyas'da açılmış olan okyanusal litosfere ait parçalar olduğu düşüncesi yaygındır (MICHARD ve diğ., 1984; BİNGÖL, 1986, BEYARSLAN ve Bingöl, 1991; TURAN ve diğ., 1995). Bu ofiyolitlerin, söz konusu okyanusun Geç Kretase'de başlayan kapanması sırasındaki yitim zonunda, üstteki okyanusal levhada meydana gelen açılma (supra-subduction) ile ilişkili olduğu kabul edilir (BEYARSLAN ve Bingöl, 2000; ROBERTSON, 2002). Dolayısıyla Kretase yaşlı olan birim, okyanusun kapanmasını izleyen dönemde, güneyindeki kıtasal kabuk, yani Bitlis-Pütürge Masifi üzerine yerleşmiştir. Kendisini nonkonformiteyle üzerleyen ilk birimin Geç Maastrhiyen yaşlı olduğu dikkate alındığında, kıtasal kabuk üzerine yerleşmesinin, Geç Maastrhiyen'den önce tamamlanmış olması gerekir.

Guleman Ofiyolitleri Elazığ yakınındaki yüzeylemelerinde çoğunlukla tabandan tavana doğru harzburjit, dünit-verlit-klinopiroksenit aralanması, bantlı gabrodan oluşan bir litolojiyle temsil edilir (BİNGÖL, 1986). Traverten yüzeylemelerinin üzerinde yer aldığı alanlarda ise hâkim litoloji harzburjitlerdir. Taze örneklerde yeşilimsi siyah renkte olan harzburjitler, serpantinleşmiş harzburjitler ise yeşilimsi renkleri ve yağlımsı parlaklığıyla karakteristiktir.



Şekil 21. (a) Baltaşı Köyü'nün (Palu, Elazığ) yakın doğu ve batısında yer alan travertenlerin jeolojik haritası; **(b ve c)** jeolojik enine kesitler.

Serpantinleşme oldukça yaygındır. Harzburjitleerin üzerinde, çoğunlukla yuvarlağımsı aşınma yüzeyleri veren ve boz rengiyle karakteristik olan dünitler bulunur. Çok sınırlı alanlarda korunabilmişlerdir. Serpantinleşmeye bağılı olarak yeşilimsi sarı renk alırlar.

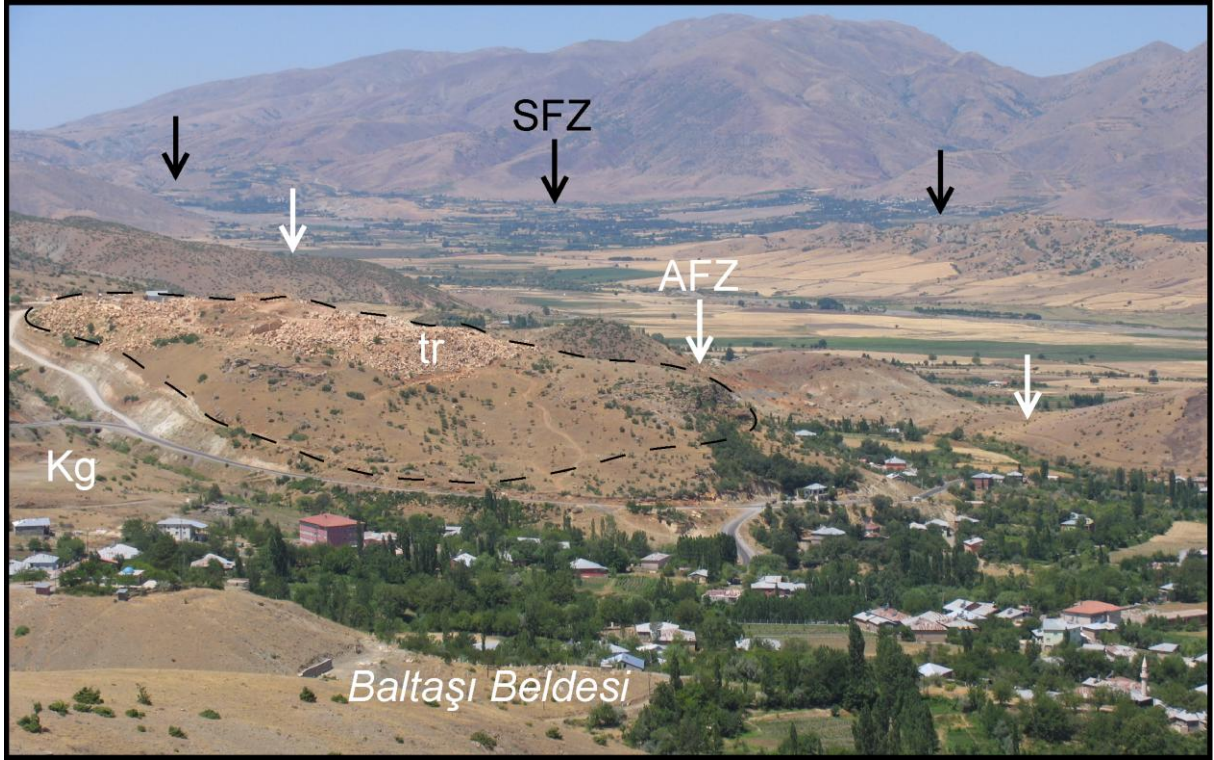
Guleman Ofiyolitleri'nin üzerine yerleşmiş olduğı birim, Torosların doğıu bölümünde Bitlis-Pütürge Metamorfitleleridir. Bu masifin Palu doğıusunda kalan bölümü Bitlis Masifi olarak isimlendirilirken, Hazar Gölü doğıusundaki alanlardan batı-güneybatıda yer alan yüzeylemeler ise Pütürge Metamorfitleleri olarak adlandırılmıştır. Bitlis Metamorfitleleri, Baltaşı travertenlerinin depolandığı alanın yakın doğıusunda yüzeyleme verir. Hacılar ve Elmalı travertenleri bölümlerinde de bahsedildiğı gibi, üst gruba ait mermer ve değışik tür şistlerle temsil edilen birimin Palu yakınlarında sarp topoğrafik çıkıntılar oluşturan yüzeylemelerinin çoğunlukla mermer ve kalkşistlerden oluştugu belirtilir (SUNGURLU ve diğı., 1985). Bu kayaçların Adıyaman Fay Zonu'nda oldukça ezik ve kırıklı bir yapı kazandıkları da düşünöldüğünde, travertenleri oluşturacak CaCO₃ bakımından zengin suların kaynağıının bu birim olduğı düşüncesini kabul etmek gerekir.

Baltaşı travertenleri, Adıyaman Fay Zonu'nu oluşturan faylar boyunca, onların ve ana kayanın oluşturduğı uygun koşullarda yüzeye kadar çıkan sular tarafından çökeltiştir. Fayların aktivitesine bağılı olarak güneyden kuzeye doğıru düşürölmüş ve askıda bırakılmış yüzeylemeler görünümündedirler. Doğrultu atım havzasının günümüzdeki tabanına göre daha yüksek kotlarda yer almaları (Şekil 22), bunların, havzanın daha önceki dönemlerinde oluştuklarını ve havzayı kontrol eden fayların devam eden aktivitelere bağılı olarak yükselttikleri ve askıda kalmış fay terasları şeklinde bir görünüm kazandıklarının göstergesi olarak yorumlanmıştır (Şekil 23).

Baltaşı travertenlerinin yaklaşık 12 km batısında, Sivrice Fay Zonu'nun ana kırığı boyunca güncel karbonat çökeliiminin devam ettiğı bilinir. Bunlar sırtı tipi travertenler olup, değışik boyutta, kısmen taşlaşmış ve yüksek gözenekliliğe sahiptir.

4.3.2. Depolanma özellikleri

Baltaşı travertenleri genellikle yatay ya da yataya yakın konumlu, tabakalı, yanal yönde birkaç yüz metre devamlı ve tipik olarak sarı renklidirler. İstifin kalınlığı ~ 35 m kadardır. Yer yer paleosol, aşınma düzeyleri ve çamurtaşı-kiltaşı ara katmanları içerir. Kilttaşları yeşil-yeşilimsi gri renklidir. İstifin üst kesimlerinde, özellikle kırık ve tabakalanma gibi süreksizlikler boyunca karstlaşma yaygındır. Traverten istifi içinde gelişmiş ve çoğunlukla damar şeklinde kalsitle doldurulmuş olan çatlaklar KB-GD ve KD-GB doğırultuludur (Şekil 24). Çatlaklardan yararlanarak elde edilen maksimum sıkışma doğırultusu K-G olarak belirlenmiştir. Bu doğırultu, Doğıu Anadolu Fay Sistemi'nin aktivitesini devamını sağılayan sıkışma doğırultusu ile uyumludur.



Şekil 22. Baltaşı traverten yüzeylemelerinden biri olan Bağlarbaşı traverten yüzeylemesi ve Palu-Kumyazi alt havzasının genel görünümü. Bakış batıya.

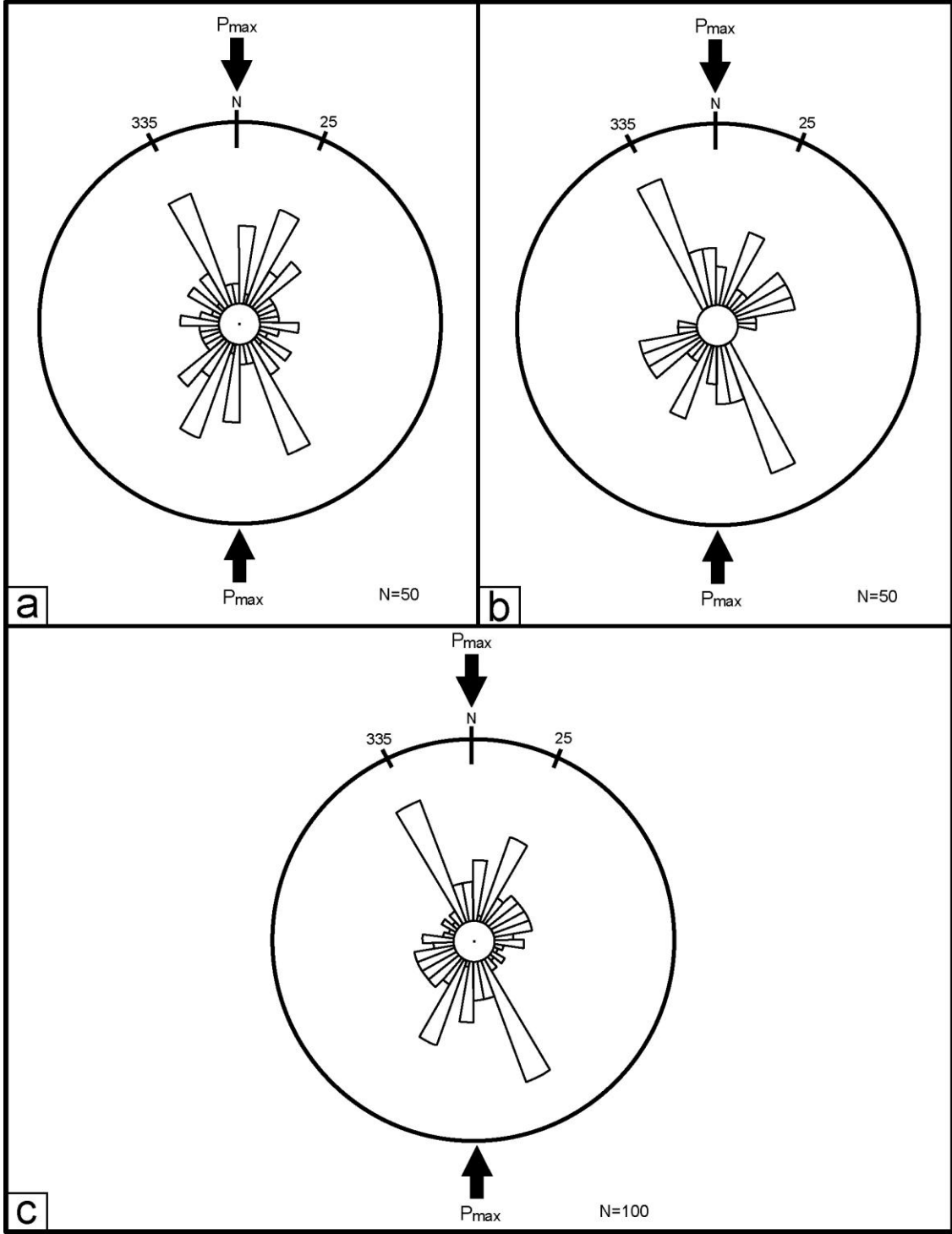


Şekil 23. Fayların aktivitesine bağlı olarak Kaf olarak isimlendirilen alandaki travertenlerin basamaklı yapısı. Baltaşı Köyü batısı. Bakış doğuya.

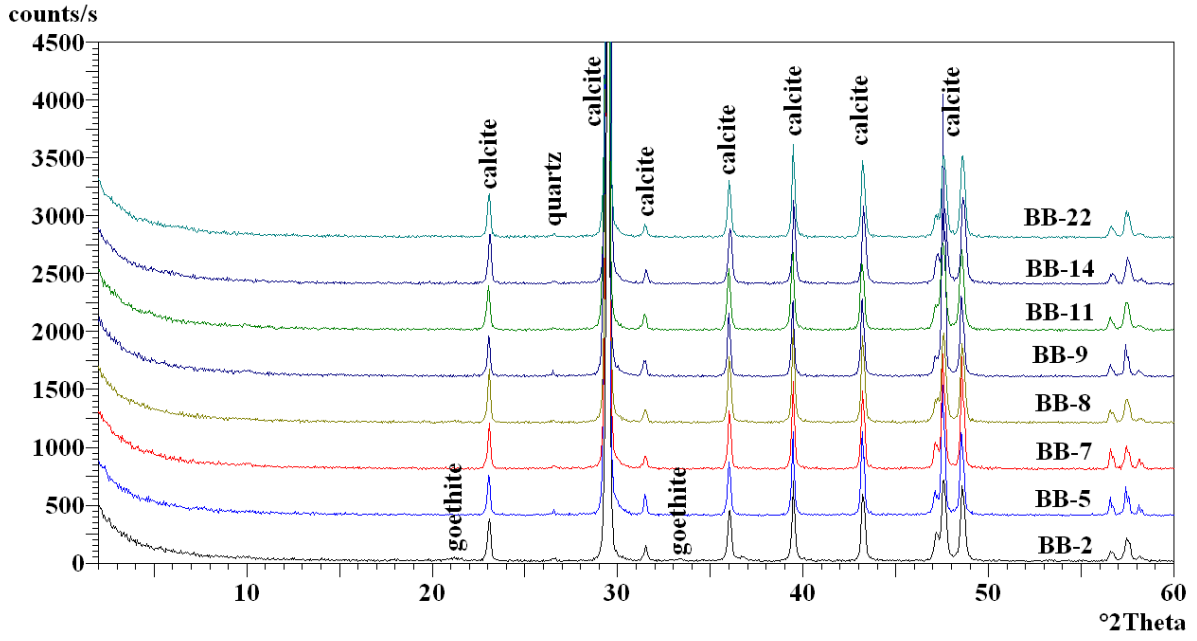
4.3.3. Mineralojik bileşim

XRD sonuçlarına göre, Bağlarbaşı ve KAF sahalarından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimi hemen hemen tamamen kalsittir (Şekil 25). Tabakalı travertenlerde kalsit daha çok mikritik, buna karşılık çatlak dolgularında iri sparikalsittir. Kristalin kabuk tipi traverten örneklerinde ise, kalsit kristalleri depolanma yüzeyine dik gelişmiş uzun prizmalar şeklindedir (Şekil 26b).

Çoğu traverten örnekleri eser miktarda kuvars içerir. Bunun yanında Kaf sahasından alınan bir örnekte (KF-3) eser miktarda dolomite (Tablo 5), Bağlarbaşı'ndan alınan diğer bir örnekte de götit mineraline rastlanmıştır (Şekil 25; Tablo 5).

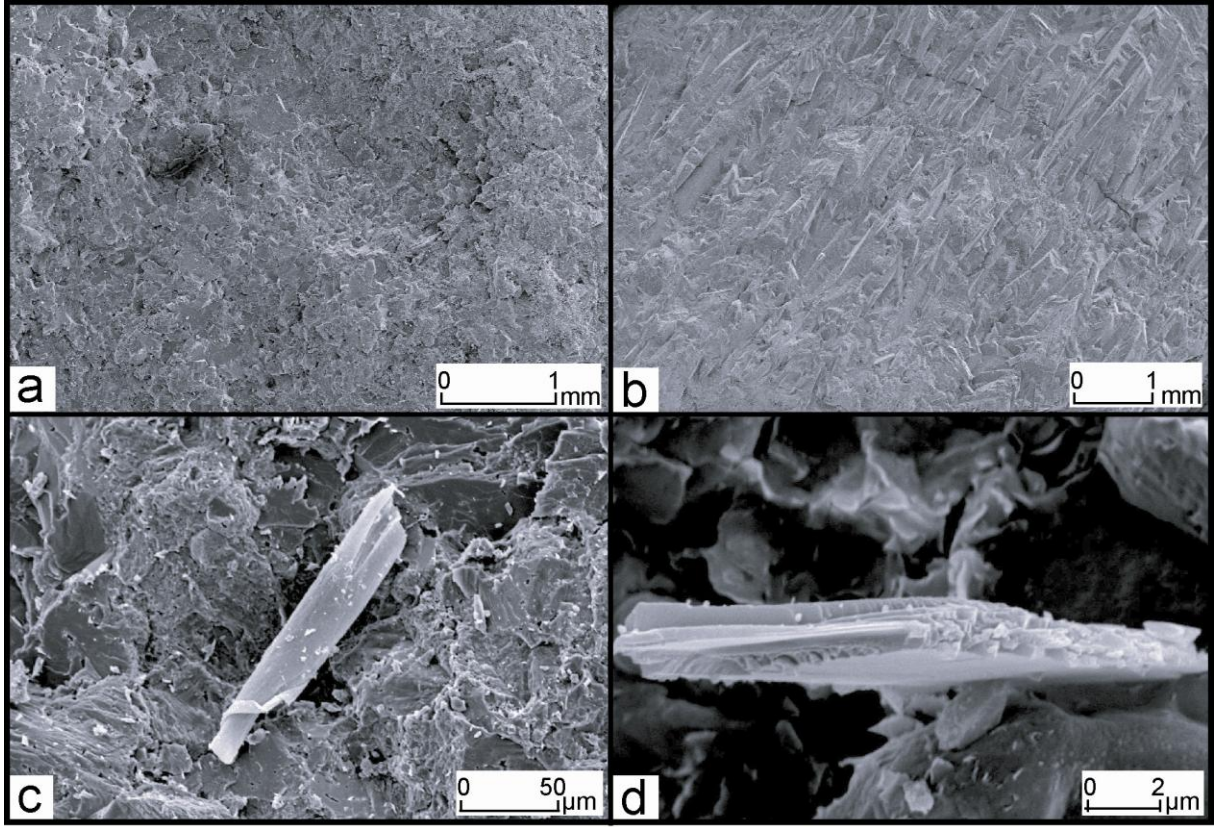


Şekil 24. (a) Kaf alt sahasındaki travertenlerde ölçülen çatlakların gül diyagramı; **(b)** Bağlarbaşı alt sahasındaki travertenlerde ölçülen çatlakların gül diyagramı; **(c)** Her iki alt sahadaki çatlak ölçülerinden hazırlanmış gül diyagramı.

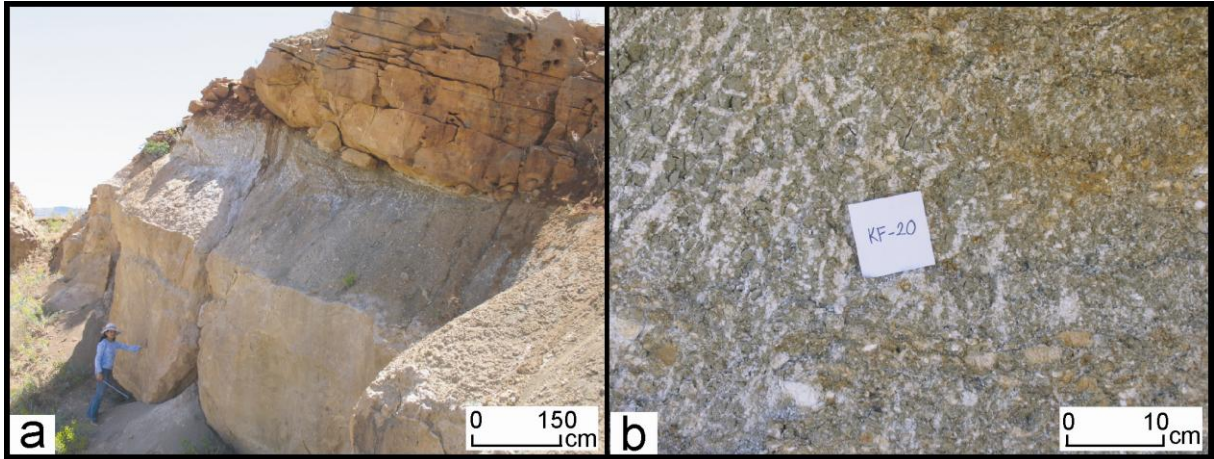


Şekil 25. Bağlarbaşı alt sahasından alınan traverten örneklerinin mineralojik bileşimini gösteren XRD grafiği.

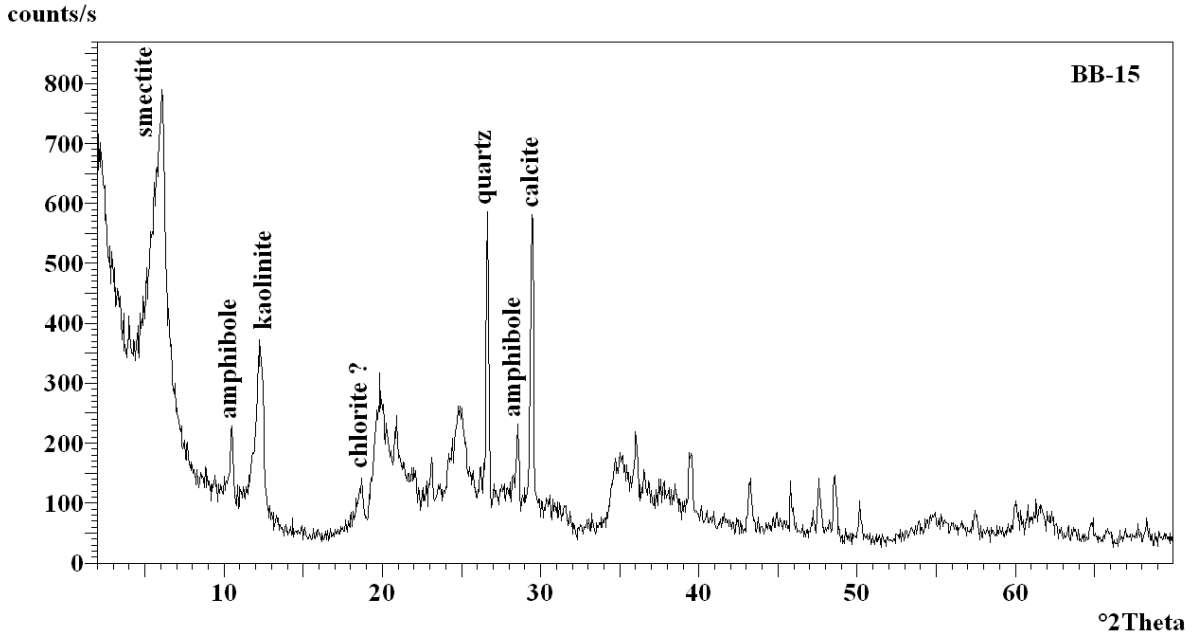
Kaf sahasında traverten düzeyleri arasında yer alan 8.2 m kalınlığındaki yeşil renkli kiltaşından (Şekil 27) alınan bir örnek (KF-20), XRD sonuçlarına göre %50 smektit, %15 kaolinit, % 10 klorit, %10 kuvars, % 10 kalsit ve % 5 amfibolden oluşmaktadır (Şekil 28). Ayrıca bazı traverten örneklerinde seyrek olarak diyatom kavrıklarına rastlanmıştır (Şekil 26c,d).



Şekil 26. Baltaşı travertenlerinden SEM görüntüleri. **(a)** Mikritik dokulu traverten; **(b)** kristalin kabuk tipi traverten örneğinde uzunlamasına gelişmiş kalsit kristalleri; **(c ve d)** traverten örnekleri içinde diyatom kavkıkları.



Şekil 27. **(a)** Kaf alt sahasında 8.2 m kalınlığındaki traverten seviyesinin altında yer alan yeşil renkli kil; **(b)** Yeşil renkli kilin yakın görünümü. Beyaz renkli kısımlar kalış oluşumlarıdır.



Şekil 28. Kaf sahasında 8.2 m kalınlığındaki bir traverten seviyesinin tabanında yer alan yeşil renkli kıltaşının (KF-20), XRD grafiği. Kıltaşı %50 smektit, %15 kaolinit, % 10 klorit, %10 kuvars, % 10 kalsit ve % 5 amfibolden oluşmaktadır.

Tablo 5. Kaf sahası traverten örneklerinin mineralojik bileşimi

Örnek No	Kalsit (%)	Kuvars (%)	Dolomit (%)	Örnek No	Kalsit (%)	Kuvars (%)	Dolomit (%)	Götüt (%)
KF-3	100	Eser		BB-2	99	Eser	Eser	1
KF-5	99.5	Eser	Eser	BB-5	100	Eser		
KF-6	100	Eser		BB-7	100	Eser		
KF-7	100	Eser		BB-8	100	Eser		
KF-11 Gri	100	Eser		BB-9	100	Eser		
KF-11 Sarı	100	Eser		BB-11	100	Eser		
KF-16	100	Eser		BB-14	100	Eser		
KF-19	100	Eser		BB-22	100	Eser		
KF-22	100	Eser						
KF-27	100							

4.3.4. Element jeokimyası

Baltaşı sahasında Ca element konsantrasyonu örnek türüne göre değişmektedir. Tabakalı traverten örneklerinde Ca 380932-399585 ppm, akmetaş ve damarlarda 379431-401443 ppm düzeyindedir. Fe-oranları, tabakalı travertenlerde geniş bir dağılım gösterse de (909-11121 ppm), daha yüksektir. Diğer taraftan çatlakları dolduran damarlarda Fe oranları düşüktür (<280-979 ppm). Mg-oranları, tabakalı travertenlerde, 1086-9287ppm düzeyinde, damar ya da akmetaşlarda ise kökene bağlı olarak farklı değerler gözlenir. Hidrotermal kökenlilerde en fazla 12906ppm, hidrotermal olmayanlarda en az 483-965 ppm düzeyindedir.

Çatlakları dolduran damar tipi travertenlerin Sr-değerleri, tabakalı travertenlerde 150-518 ppm, hidrotermal kökenli travertenlerde 754-1646 ppm, hidrotermal kökenli olmayan damar ve akmataşlarda ise 52-83 ppm seviyesindedir (Tablo 6).

Tablo 6. Baltası sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları

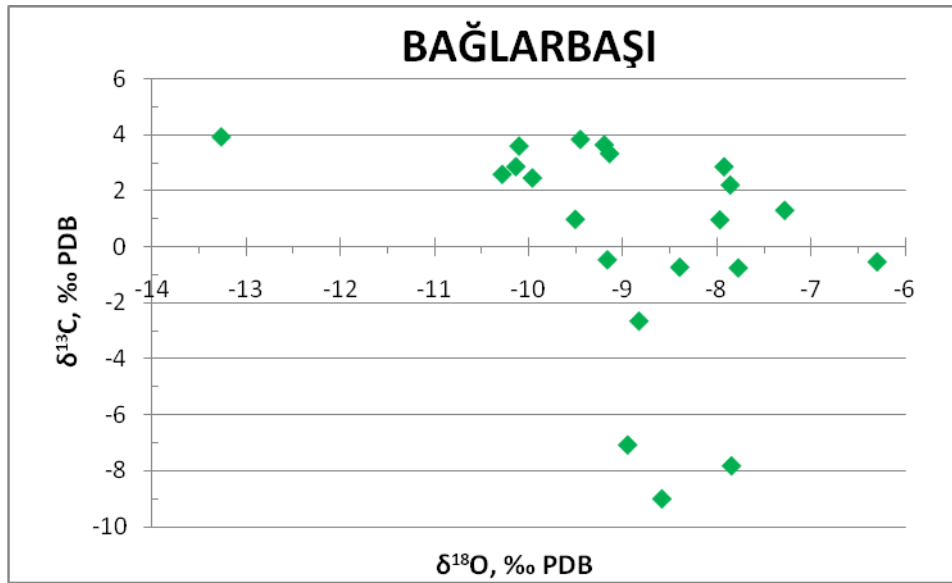
Lokalite, örnek No	Ca	Si	Al	Fe	Mg	Mn	Ba	Sr
Baltası	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
<i>Bağlarbaşı alt lokalitesi</i>								
BB-1	381.646	3.740	1.217	11.121	3.317	232	92	367
BB-6	380.932	467	< 53	6.715	9.287	310	67	409
BB-7 (akmataş)	397.298	1.823	688	979	965	< 78	19	83
BB-8	392.009	514	< 53	5.945	2.533	< 78	55	223
BB-9 (akmataş)	401.443	374	< 53	< 280	483	< 78	19	52
BB-10	394.868	655	106	3.777	2.593	< 78	75	265
BB-14	383.290	4.488	1852	6.505	4.040	232	115	322
BB-15 (Kil)	152.158	135.752	65.836	43.925	20.384	387	170	254
BB-16	385.220	2.898	1.006	5.246	4.041	155	124	337
BB-19	386.149	2.898	1.270	1.399	4.945	78	171	464
BB-22	381.217	6.872	3.281	5.316	3.498	155	106	284
<i>Kaf alt lokalitesi</i>								
KF-1	384.719	2.711	847	3.427	4.403	232	233	518
KF-3	398.442	1.402	159	909	1.327	< 78	109	243
KF-5 (damar)	383.576	1.122	< 53	< 280	7.840	< 78	551	1440
KF-6	395.654	655	106	3.637	1.628	78	70	195
KF-7 (damar)	387.507	234	< 53	350	7.659	< 78	274	754
KF-8	399.585	608	53	1.049	1.086	78	71	150
KF-9 (sal)	393.582	1.636	582	1.609	799	155	112	334
KF-10 (damar)	379.431	234	< 53	< 280	12.906	< 78	806	1646

4.3.5. Duraylı izotop bileşimi

Baltası travertenlerinin duraylı izotop bileşimleri Bağlarbaşı ve Kaf alt sahalarında benzer özellikler gösterir. Buna göre tabakalı travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri -0.2 ile + 3.9 (‰ PDP) arasında, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri -12.2 ile -6.3 (‰ PDP), arasında değişmektedir (Tablo 7 ve Tablo 8; Şekil 29 ve Şekil 30). Buna karşılık çatlakları dolduran kalsit damarları ise iki farklı izotop dağılımı gösterirler. Bazı damarlar pozitif ile az negatif değerler [+3.7 – (-2.3)] verirken, bazı damarlar daha negatif (-11.0 ve -5.1) değerler verirler (Tablo 7 ve Tablo 8; Şekil 29 ve Şekil 30).

Tablo 7. Bağlarbaşı alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri

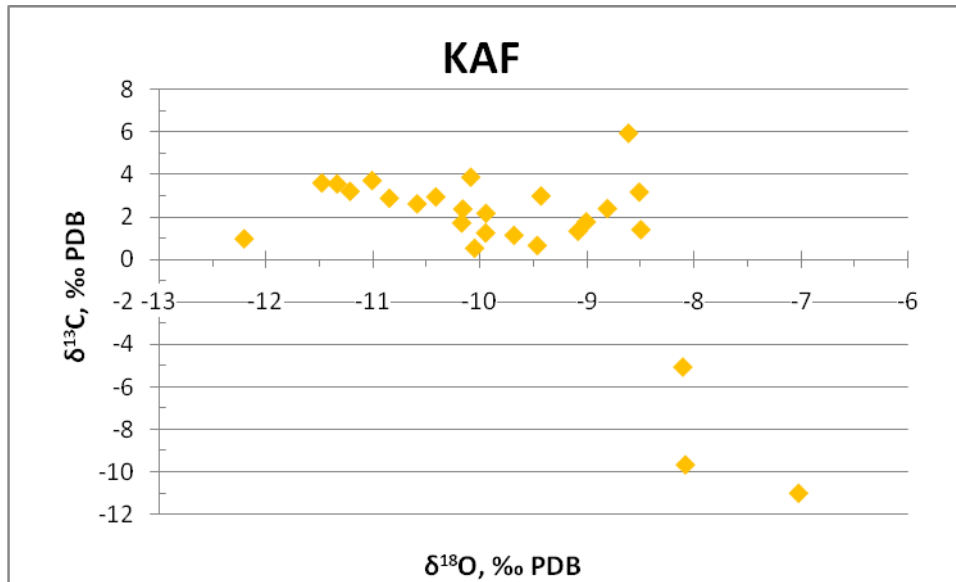
	Tr. tipi	d13C (PDB)	d18O(PDB)	d18O(SMOW)
BB-1	Tabakalı	-0,7	-8,4	22,3
BB-2	Tabakalı	-0,5	-6,3	24,4
BB-3	Tabakalı	2,2	-7,9	22,8
BB-4	Tabakalı	1,3	-7,3	23,4
BB-5	Akmataş	-7,1	-9,0	21,7
BB-6	Akmataş	3,9	-13,3	17,2
BB-7	Akmataş	-9,0	-8,6	22,1
BB-8	Tabakalı	1,0	-8,0	22,7
BB-9	Damar	-7,8	-7,8	22,8
BB-10	Tabakalı	2,8	-7,9	22,7
BB-11	Tabakalı	-0,8	-7,8	22,9
BB-12	Damar	-2,7	-8,8	21,8
BB-13	Tabakalı	-0,5	-9,2	21,5
BB-14	Tabakalı	3,8	-9,5	21,2
BB-16	Tabakalı	3,6	-10,1	20,5
BB-17	Tabakalı	3,6	-9,2	21,4
BB-18	Tabakalı	2,8	-10,1	20,5
BB-19	Tabakalı	3,3	-9,1	21,5
BB-20	Tabakalı	2,6	-10,3	20,3
BB-21	Tabakalı	1,0	-9,5	21,1
BB-22	Tabakalı	2,4	-10,0	20,6



Şekil 29. Bağlarbaşı alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri.

Tablo 8. Kaf alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri

Örnek No	d13C (PDB)	d18O(PDB)	d18O(SMOW)	Tr. tipi
KF-1	1,4	-8,5	22,2	Tabakalı
KF-2	2,4	-8,8	21,8	Tabakalı
KF-3	1,7	-9,0	21,6	Tabakalı
KF-4	3,1	-8,5	22,3	Tabakalı
KF-5	2,3	-10,2	20,4	Damar
KF-6	1,7	-10,2	20,4	Tabakalı
KF-7	3,5	-11,3	19,2	Damar
KF-8	1,1	-9,7	20,9	Tabakalı
KF-9	2,9	-10,4	20,2	Sal
KF-10	3,2	-11,2	19,3	Damar
KF-11a	3,0	-9,4	21,2	Damar+tabakalı
KF-11b	3,6	-11,5	19,1	Damar+tabakalı
KF-12a	-11,0	-7,0	23,4	Damar
KF-12b	-9,7	-8,1	22,6	Damar
KF-13	3,7	-11,0	19,6	Damar
KF-14	-5,1	-8,1	22,4	Damar
KF-15	5,9	-8,6	22,0	Damar
KF-18 1a	2,2	-9,9	20,7	Tabakalı
KF-19	2,9	-10,8	19,7	Rimstone
KF-20	2,6	-10,6	20,0	Tabakalı
KF-21	1,2	-9,9	20,7	Tabakalı
KF-23	0,5	-10,0	20,6	Tabakalı
KF-25	3,9	-10,1	20,5	Tabakalı
KF-26	1,3	-9,1	21,5	Tabakalı
KF-27	1,0	-12,2	18,3	Tabakalı
KF-28	0,6	-9,5	21,2	Tabakalı



Şekil 30. Kaf alt sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri.

Baltaşı sahasının daha çok düşük pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerler (+ 3.9'a kadar) sunan tabakalı travertenlerinin sığ, geniş havuz/ göl koşullarında çökelmiş olduğu düşünülmektedir. Pozitif

$\delta^{13}\text{C}$ değerlerin fazla yüksek olmaması sığ havuz ya da göl ortamlarının yüzey /yağış sularının hidrotermal sularla karışmasına açık olduğunu işaret etmektedir.

Diğer taraftan pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri sunan, çatlaklara yerleşmiş kalsit damarlarının hidrotermal sıvılar tarafından oluşturulduğu, buna karşılık negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri sunan kalsit damarların ise çatlaklarda ve karstik boşluklarda dolaşan CaCO_3 'lü yüzey suları ile oluşturulmuşlardır. Bu ikinci tip kalsit damarları sarkıt, dikit veya akmetaş gibi mağara çökellerinin özelliklerini gösterirler.

4.3.6. U-Th yaşları

Kaf alt sahasından alınan 4 adet traverten örneğinden elde edilen U-Th yaşları: KF-27 örneğinden 203.568 ± 58.694 ka, KF-3 örneğinden 235.215 ± 15.121 ka, KF-7 örneğinden 305.060 ± 39.687 ka, KF-19 örneğinden ise 317.658 ± 44.136 (ka) yaşlar elde edilmiştir.

Bu yaş verilerine göre Baltaşı sahasında günümüzden en azından 318 (ka) önce traverten çökeli başlamıştır.

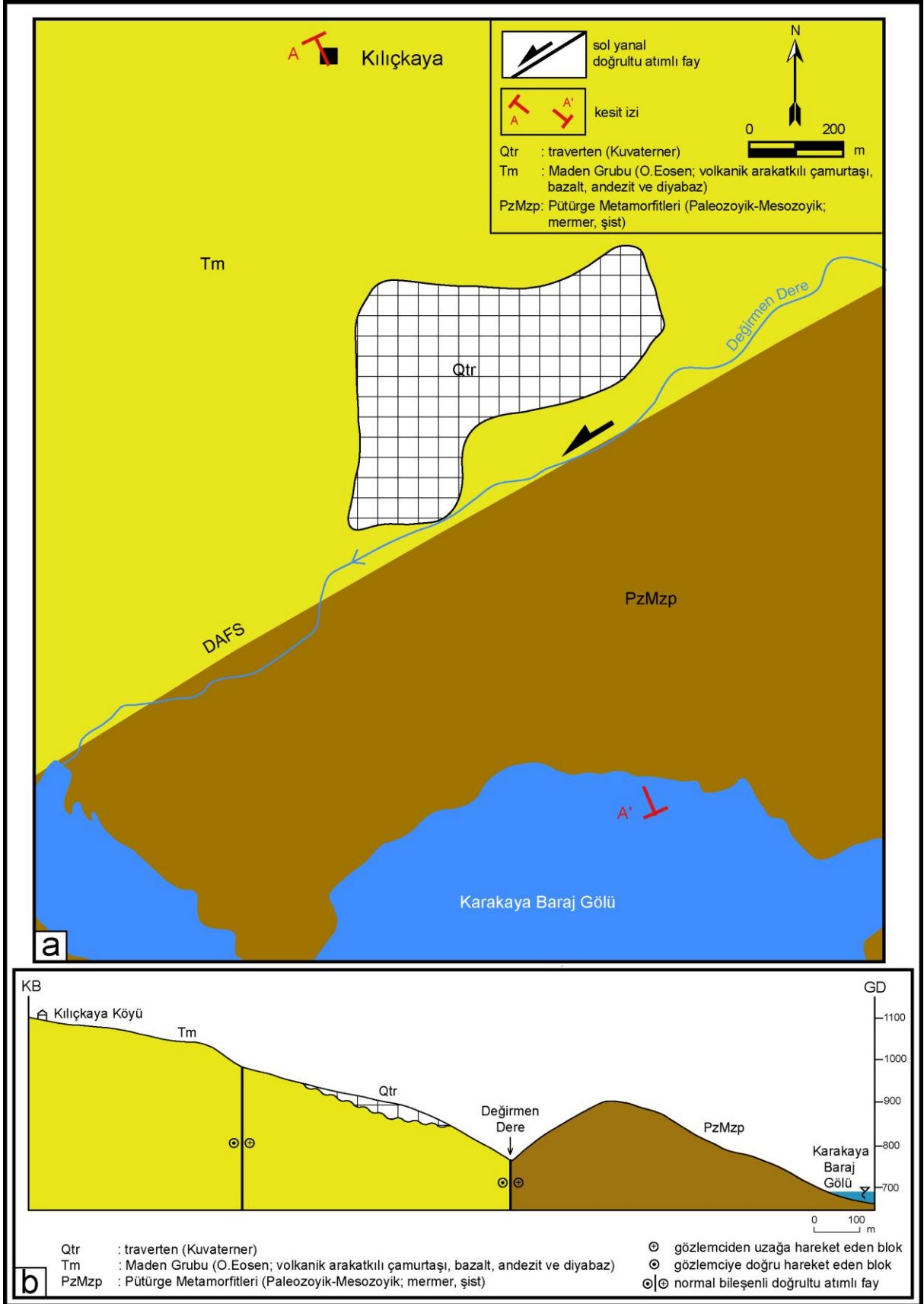
4.4. Kılıçkaya Traverten Sahası

Kılıçkaya traverteni, Doğu Anadolu Fay Sisteminin önemli segmentlerinden biri olan Sivrice Fay Zonu ana kırığı üzerinde ve Kılıçkaya Köyü (Sivrice, Elazığ) yakınında yüzeyler (Şekil 1). Traverten, bir süre ticari olarak işletilmiş olmakla birlikte, fayın devam eden etkinliği ve yamaç duraysızlığına bağlı olarak çok kırıklı bir yapı kazanması ve bunun sonucu olarak blok almadaki zorluk nedeniyle, işletme faaliyeti durdurulmuştur.

4.4.1. Jeolojik-tektonik özellikler

Söz konusu traverten depolanması, Orta Eosen yaşlı Maden Grubu üzerinde yer almaktadır (Şekil 31). Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Pütürge Metamorfileri ile Orta Eosen yaşlı Maden Grubu, Kılıçkaya Köyü yakınında yüzeyleyen birimlerdir.

Bu birimlerden Pütürge Metamorfileri, çalışma alanının kuzeydoğusunda yüzeyleme veren Bitlis Metamorfileri gibi, metamorfizma özellikleri birbirinden farklı olan alt ve üst grup ya da alt ve üst birlik olarak adlandırılan iki bölümden oluştuğu kabul edilir (SUNGURLU ve diğ., 1985; ERDEM,1994). Alt grup ya da birlik; gözlü gnays, biyotit şist ve amfibol şist, amfibolit ve granitik gnayslardan oluşurken, üst grup ya da birlik ise muskovit şist, granatlı mika şistler, kalkşist ve mermerlerden oluşur. Kılıçkaya çevresindeki yüzeylemelerinde Pütürge Metamorfileri, üst birliğe ait kalkşist ve mermerlerle temsil edilir. Bir kıta kenarında oluşmuş olan sedimanter istifin, Baltaşı traverteni bölümünde açıklanan bölgenin jeotektonik evrimiyle ilişkili olarak (yitim zonu gelişimi-okyanus kapanması ve ofiyolitlerin kıtasal kabuk



Şekil 31. (a) Kılıçkaya traverten sahasının jeolojik haritası; (b) jeolojik kesiti.

üzerine yerleşmesi), Kampaniyen-Maastrichtiyen'de yeşilist fasiyesinde metamorfizmaya uğramasıyla oluştuğu görüşü ağırlık kazanır.

Orta Eosen yaşlı Maden Grubu ise, söz konusu traverten yüzeylemesi çevresinde, Karadere Formasyonu'na (ÇELİK, 2003) ait kayaçlarla temsil edilir. Bunlar esas olarak volkanik ara katkılı bordo-şarabi renkli çamurtaşları (Şekil 32) ile andezit, bazalt ve bunları kesen diyabaz dayklarından oluşur. Pütürge Metamorfiteği üzerinde açılı uyumsuzlukla yer alan birim içerisinde, metamorfitlerden türemiş değişik boyutlu bloklar yer alır ve bunlar, çökme ortamının tektonik bakımdan hareketli olduğunun göstergesi olarak yorumlanır. Traverten yüzeylemesinin yakın kuzeydoğusunda, olistolit olarak adlandırılan bu blokları izlemek mümkündür.



Şekil 32. Maden Grubu Karadere Formasyonu'nun litolojisi. Kılıçkaya Köyü yakın güneydoğusu. Bakış kuzeye.



Şekil 33. Sivrice Fay Zonu ana kırığının denetlediği Değirmen Dere boyunca Pütürge Metamorfiteği (PzMzp) ile Maden Grubu Karadere Formasyonu'nun (Tm) yanyana gelişi. Bakış güneybatıya.

Maden Grubu, Karadere Formasyonu'na ait kayaçları, Değirmen Dere Vadisi'ni denetleyen Sivrice Fay Zonu'nun ana kırığı boyunca yan yana görülür (Şekil 33).

Pütürge Metamorfikleri'nin litolojisi ve sol yanal doğrultu atımlı Sivrice Fay Zonu'nun oluşturduğu kırıklı yapının, travertenlerin oluşumunda önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

4.4.2. Depolanma özellikleri

Kılıçkaya travertenleri deniz seviyesi üzerinde 750 ile 950 metreler arasında, güney-güneydoğuya bakan bir yamaç üzerinde, yamaç topoğrafyasına uyumlu olarak depolanmıştır (Şekil 34). Kılıçkaya travertenini, tabanındaki ana kaya üzerinde, ana kayadan türemiş çakıl boyutundaki parçaları içeren kırıntılı bir seviye ile uyumsuz olarak başlar (Şekil 35) ve yukarıya doğru bu kırıntılı seviye yerini önce ince tabakalı, daha üstlere doğru ise kalın tabakalı-masif traverten düzeylerine bırakır (Şekil 35 ve Şekil 36).



Şekil 34. Kılıçkaya travertenlerinden bir arazi görünümü. Yamaç duraysızlığı nedeniyle, traverten kütlesi yer yer parçalanmıştır. Bakış kuzeybatıya.



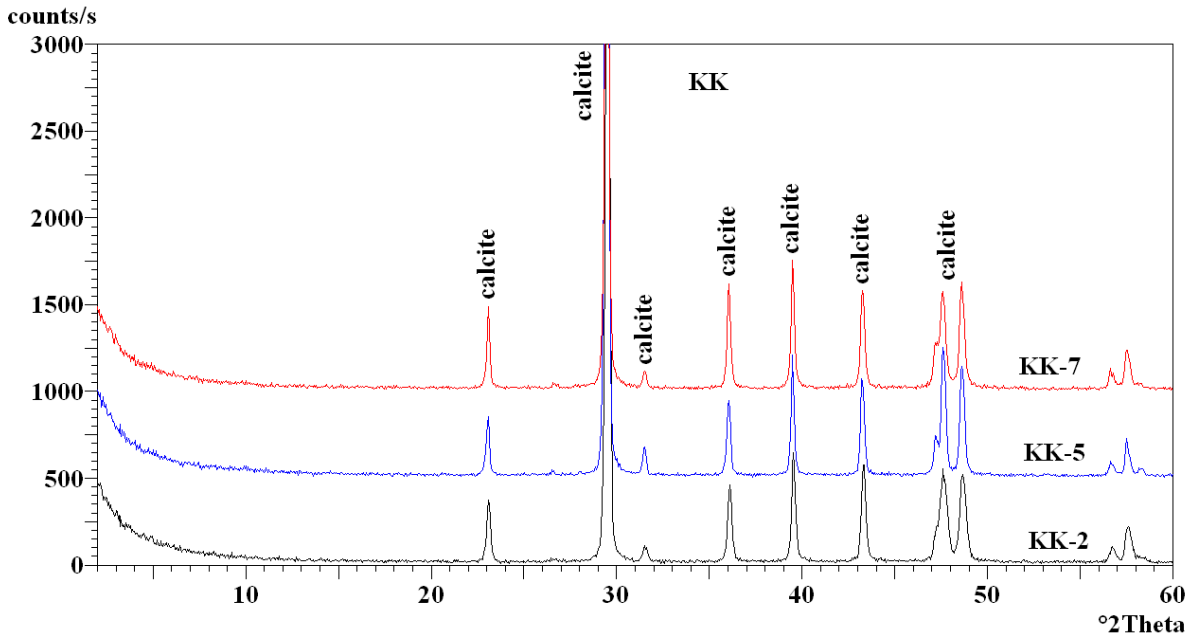
Şekil 35. Traverten istifinin tabanı. İstif, üzerinde uyumsuz olarak yer aldığı Maden Grubu Karadere Formasyonu üzerinde kırıntılı bir seviye ile başlar ve yukarı doğru masif travertenlere geçer. (Fotoğraftaki kişinin boyu 1.70 m).



Şekil 36. Birbirine paralel, açık ve koyu renkli düzeyler içeren az boşluklu traverten.

4.4.3. Mineralojik bileşim

Kılıçkaya sahasından alınan 3 adet traverten örneğinin mineralojik bileşimi tamamen kalsittir. Örneklerde eser miktarda kuvars tespit edilmiştir (Şekil 37).



Şekil 37. Kılıçkaya traverten örneklerinin XRD grafikleri.

4.4.4. Element jeokimyası

Kılıçkaya sahasına ait 5 adet traverten örneğinin element oranları Tablo 9'da verilmiştir. Ca: 378216-385220 ppm, Mg: 5428-8021 ppm, Sr: 2133-6046 ppm mertebesindedir. Bu sahada Sr-değerleri Hacılar ve Elmalı sahalarında olduğu gibi yüksektir. Mg değerleri ise hidrotermal kökenli olmayan örnekler dikkate alınmazsa, tüm sahalarda olduğu gibi, Kılıçkaya sahasında da yüksektir.

Tablo 9. Kılıçkaya sahası traverten örneklerinin element konsantrasyonları

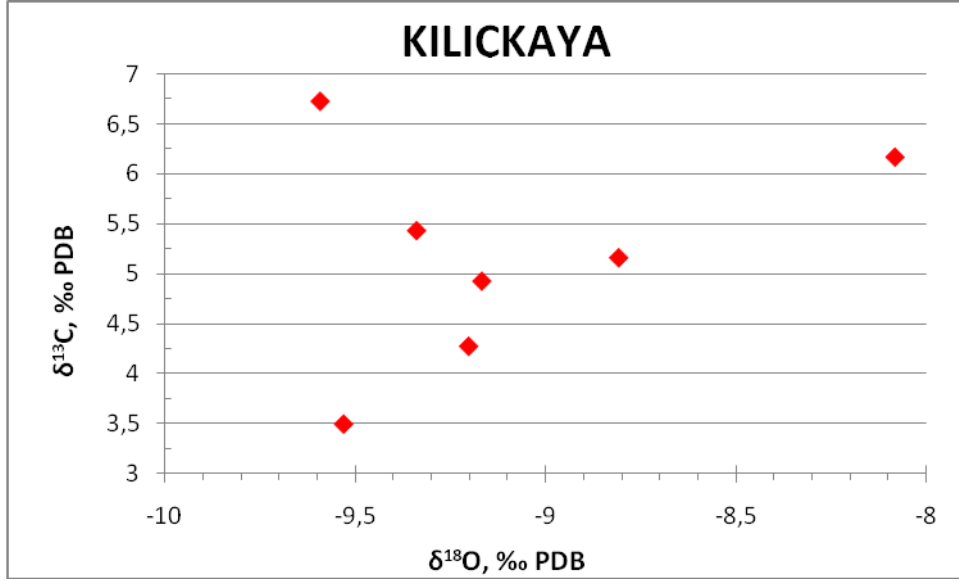
Lokalite ve örnek No	Ca	Si	Al	Fe	Mg	Mn	Sr
Akseki	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
KK-2	382.361	1.028	212	1.049	7.961	542	5.983
KK-4	378.216	3.085	899	1.049	7.358	310	6.046
KK-5	382.647	2.337	159	560	8.021	< 78	3.626
KK-6	381.075	4.721	1.694	699	7.539	< 78	2.133
KK-7	385.220	2.805	582	490	5.428	< 78	3.910

4.4.5. Duraylı izotop bileşimi

Kılıçkaya traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri +3,5 ile +6,7 (‰ PDB), $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -8.1 ile -9.6 (‰PDB) arasındadır (Tablo 10, Şekil 38). Kılıçkaya örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri Hacılar'daki sırt tipi travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine oldukça yakındır (Şekil 15 ve Şekil 43).

Tablo 10. Kılıçkaya sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri

Örnek No	Tr. tipi	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)
KK-1	Tabakalı tr.	5,4	-9,3	21,3
KK-2	Tabakalı tr.	6,7	-9,6	21,0
KK-3	Tabakalı tr.	3,5	-9,5	21,1
KK-4	Laminalı tr	6,2	-8,1	22,6
KK-5	Damar	4,3	-9,2	21,4
KK-6	Akmataş	5,2	-8,8	21,8
KK-7	Tabakalı tr.	4,9	-9,2	21,5



Şekil 38. Kılıçkaya sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı

4.4.6. U-Th yaşları

Kılıçkaya traverten sahasından alınan 3 adet traverten örneği U-Th yöntemi ile yaşlandırılmıştır. KK-1 örneğinden 29.245 ± 0.621 ka, KK-6 örneğinden 16.087 ± 0.380 ka ve KK-7 örneğinden ise 30.861 ± 0.491 ka yaşları elde edilmiştir.

Bu yaş verilerine göre Kılıçkaya traverten sahasında günümüzden en azından 30.861 ± 0.491 ka önce traverten çökelişi başlamıştır.

4.5. Bağdere Tufa Sahası

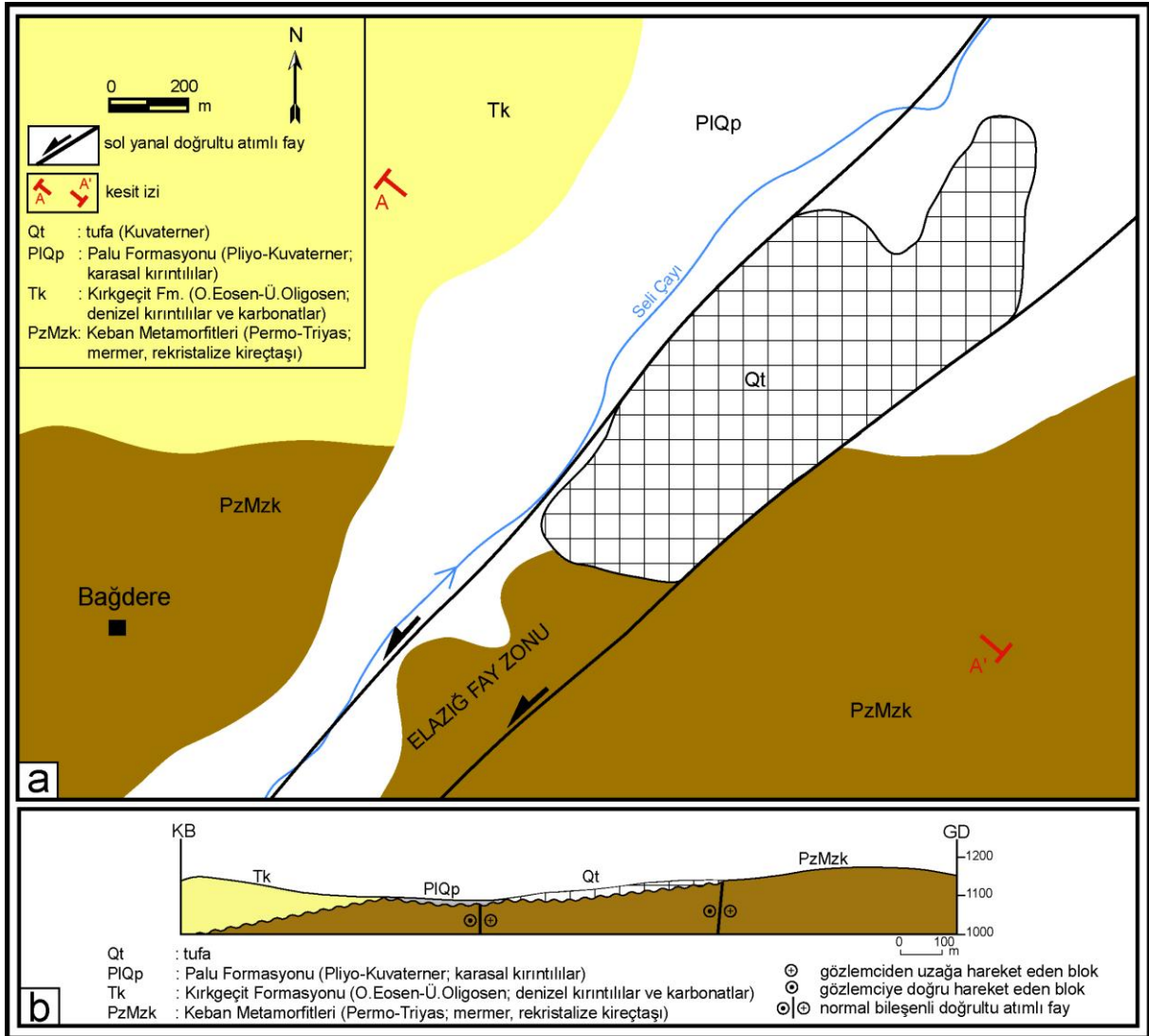
Elazığ şehir merkezinin yaklaşık 15 km güneybatısındaki Bağdere Köyü'nün, 2 km kadar kuzeydoğusunda bulunan tufa yüzeylemesi, Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan fay zonlarından biri olan sol yanal doğrultu atımlı karakterdeki Elazığ Fay Zonu ile ilişkili olarak depolanmıştır (Şekil 39).

Yoğun gözenekli ve süngerimsi yapıda olan ve bitki kırıntıları içeren, tam pekişmemiş, soğuk ve ılık su kaynakları çevresindeki karbonat çökeltileri için tufa terimi kullanılmıştır. BATES ve Jackson (1980) e göre tufa, bir göl içinde ya da kıyısında, karbonatlı ırmak kenarlarında, sıcak ve soğuk kalkerli kaynak ağızlarında çökelen, kalın, soğansı yapıda ve yığılımlı şekilde, bazen ince kabuksu yapıda, kırılğan ve süngerimsi, gözenekli olan kimyasal kökenli sedimanter kayaç olarak tanımlanmıştır. Tufalar, algler ve bakterilerce çökeltilirler. Tufa genel olarak, tüm soğuk ya da ılık tatlı su ortamlarında yaşayan algler ya da bakterilerce çökeltilen, gözenekli ve süngerimsi yapıdaki düşük Mg kalsit çökeltileri olarak tanımlanmaktadır.

Tufalar, çeşitli araştırmacılar tarafından sedimantolojik, petrolojik, jeomorfolojik ve fasiyes ilişkilerine göre sınıflandırılmışlardır. En yaygın kullanılan sınıflama ise PEDLEY'in (1990) yaptığı petrolojik kriterlere dayanan sınıflamadır. Buna göre tufalar iki gruba ayrılır: 1.Otokton tufa çökeltieri (fitoherm çatıtaşı ve fitoherm bağlamtaşı), 2. Kırıntılı tufa çökeltieri (fitoklast tufa, cyanolit "onkoidal" tufa, intraklast tufa, mikrodetritik tufa ve paleotopraklar).

4.5.1. Jeolojik-tektonik özellikler

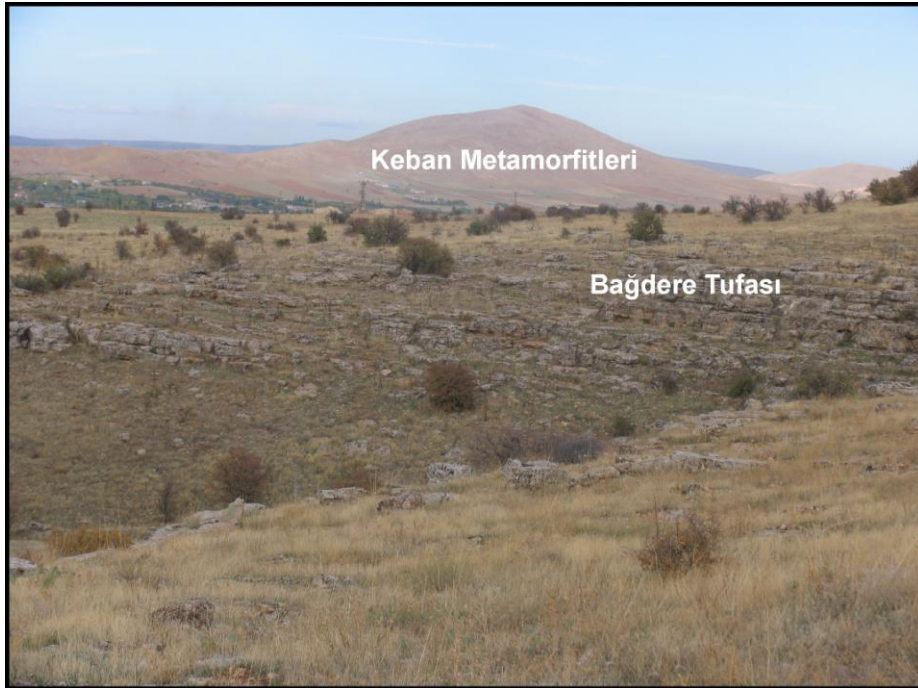
Bağdere sahasındaki oluşumlar daha çok tufa karakterindedir. O nedenle bu sahadan söz ederken "Bağdere tufası" ifadesi kullanılması tercih edilmiştir. Saha, Elazığ il merkezinin yaklaşık 15 km güneybatısında, deniz seviyesi üzerinde 1090–1140 metreler arasındadır. Tufa kütlesi KD-GB uzanımlı Elazığ Fay Zonuna paraleldir. Alttaki Keban Metamorfittleri'nin mermerleri üzerinde uyumsuz olarak duran tufalar yaklaşık 0.75 km² lik bir alan kaplar.



Şekil 39. (a) Bağdere tufa sahasının jeoloji haritası; (b) jeolojik kesiti.

Söz konusu tufa depolanmasının yüzelediği Bağdere Köyü çevresinde Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfitleri, Orta Eosen-Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı havza dolgusu, stratigrafik istifini oluşturan başlıca birimlerdir. Travertenler, bu birimlerden Keban Metamorfitleri üzerinde yer alır (Şekil 39 ve Şekil 40). Kendileri gibi havza dolgusu olan karasal kırıntılı çökellerle yanal ve düşey ilişkiye sahiptirler. Burada, sadece tufa ile dokanak ilişkisine sahip iki birim hakkında bilgi verilecektir.

Keban İlçesi (Elazığ) civarındaki geniş yüzeylemeleri nedeniyle bu isim verilen birim, Elazığ'ın batı kısmındaki yüksek alanları oluşturur (Şekil 40). Permo-Triyas'ta depolanmış olan şelf tipi karbonat ve kırıntılılardan oluşan bir istifin, Geç Kretase'de bölgede etkili olan ve Elazığ Magmatitleri olarak adlandırılan yay magmatitlerinin oluşumunu sağlayan yitim olayları sırasında yeşil şist fasiyesinin düşük derecelerde metamorfizmaya uğramasıyla oluştuğu genel kabul gören bir yaklaşımdır. Bölgesel metamorfizma sonucu oluşan metamorfitler, alttan üste doğru rekristalize kireçtaşı-kalkşistler, mermerler ve metakonglomera-kalkfillitler şeklinde bir sıralanmaya sahiptir.



Şekil 40. Bağdere Köyü'nün (Elazığ) yakın kuzeydoğusunda yer alan tufa yüzeylemesinden bir görünüm.

Elazığ çevresindeki yüzeylemeleri çoğunlukla mermerlerle karakterize edilir. Metamorfizmayı oluşturan yitim olayının sona ermesini takibeden Geç Kretase sonlarındaki yaklaşık K-G doğrultulu sıkışmaya bağlı olarak, Keban Metamorfitleri güneye, Üst Kretase yaşlı yay magmatizması ürünü olan Elazığ Magmatitleri üzerine sürüklenmiştir. Bu sürüklenme örtüsü, özellikle Geç Pliyosen'den sonraki doğrultu atım rejimindeki neotektonik dönemde parçalanmış ve günümüz topoğrafyasında Elazığ yakın batısındaki yüksek alanları

oluşturan tektonik klipleri oluşturmuştur. Birimin oluşumunu izleyen dönemde, bölgede etkili olmuş olan yoğun tektonizma nedeniyle Elazığ çevresindeki yüzeylemeleri oluşturan mermerler çok kırıklı bir yapı kazanmışlardır.

Tufaların yanal ve düşey ilişkili olduğu Pliyo-Kuvaterner yaşlı havza dolgusu karasal kökenli kırıntılı çökellerle karakterize edilir. Bu çökeller, Elazığ çevresindeki doğrultu atım havzalarında çökelmiş ve Palu Formasyonu olarak adlandırılan çökellere benzerlik gösterir. Dolayısıyla bu çalışmada da aynı isim benimsenmiştir. Bunların en yaygını da, havzayı kontrol eden faylara bağlı olarak yüksek alanlarda türeyen malzemenin, az eğimli alanlarda depolanmasıyla oluşmuş alüvyal yelpazelerdir. Kaynak alanla ilişkili olarak, çakılların çoğu Keban Metamorfileri'nden türemiştir.

4.5.2. Depolanma özellikleri

Bağdere tufaları genellikle yatay ve kalın tabakalı, rengi açık-koyu kahverengi tonlarda, diyajenez süreçleri nedeniyle iyi sıkışmış ve bununla ilişkili olarak birincil depolanma özellikleri kolay seçilememektedir. Tufa istifinin en üstteki ~6 m'lik bölümü ocak işletme faaliyetleri nedeniyle kesildiği için, depolanma ile ilgili gözlemler, bu seviyedeki ocak aynalarında yapılmıştır. 6 metrelik aynanın değişik düzeylerinde büyüme konumunda korunmuş kamış kalıpları, onkolit seviyeleri (Şekil 41a), tufa intraklastları ve tabanda çamurtaşı ara düzeyleri (Şekil 41b) bulunmaktadır. Aynanın orta kesimindeki 15–20 cm kalınlığında bir onkolit seviyesinde, farklı boyuttaki onkolit taneleri en fazla 3 cm çapındadır (Şekil 41a). Ayrıca bazı blok yüzeylerinde, birbiriyle ardışık açık ve koyu paralel bantlardan oluşan seviyeler gözlenmektedir.

4.5.3. Mineralojik bileşim

Bağdere tufası tamamen kalsit bileşimlidir.



Şekil 41. (a)Bağdere tufa istifinin üst kesimlerinde bir onkolit seviyesi. Onkolit tanelerinin çapları 3 cm ye kadar çıkmaktadır. İstifin en üstündeki ~ 6 metrelik ayananın ortası; **(b)** Bağdere tufa istifinde bir çamurtaşı ara düzeyi

4.5.4. Element jeokimyası

Tablo 11 de Bağdere tufalarının başlıca element konsantrasyonları görülmektedir. Buna göre tufalarda Ca: 384719- 390151 ppm, Mg: 3498-4764 ppm, Sr: 111-337 ppm düzeyindedir.

Tablo 11. Bağdere tufalarının element bileşimi.

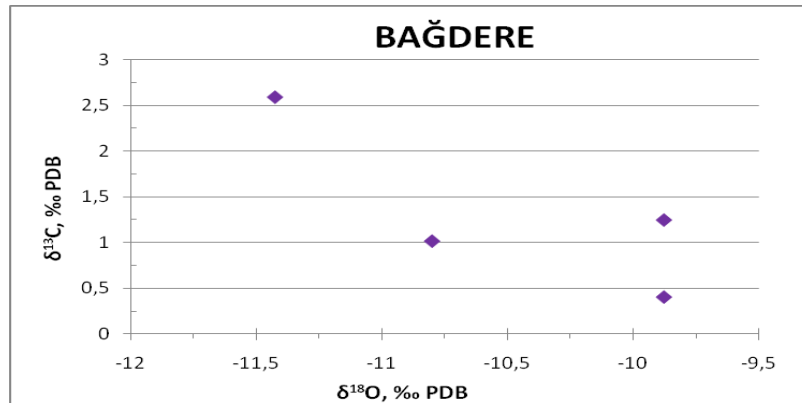
Bağdere	Ca	Si	Al	Fe	Mg	Ba	Sr
Lokalite ve örnek No	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
BD-1	386.649	3.740	1.482	1.749	3.860	21	111
BD-2	389.008	3.039	794	1.329	3.498	55	139
BD-3	390.151	982	371	909	4.704	14	337
BD-4	384.719	4.394	1.535	1.399	4.764	17	181

4.5.5. Duraylı izotop bileşimi

Bağdere tufa sahasından alınan 4 adet örneğin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri +0.4 ile 2.6 (‰ PDP) arasında, $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri ise -9.9 ile -11.4 (‰ PDP)'dür. Bağdere travertenlerinin duraylı izotop değerleri, Palu yakınlarındaki Baltaş sahasına benzerlik gösterir. (Şekil 43).

Tablo 12. Bağdere sahası traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri

Örnek No	$\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)
BD-1	0,4	-9,9	20,8
BD-2	1,2	-9,9	20,7
BD-3	2,6	-11,4	19,1
BD-4	1,0	-10,8	19,8



Şekil 42. Bağdere sahası tufa örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı.

4.5.6. Yaşlandırma

Proje çalışmaları sırasında Bağdere tufasından radyometrik yaş elde edilememiştir.

5. TARTIŞMA

5.1. Traverten-Tektonik İlişkisi

Son yıllarda yapılmış olan çalışmalarda (ALTUNEL ve Hancock, 1993a,b; ALTUNEL,1994, 1996; ÇAKIR, 1999; HANCOCK ve Altunel, 1997; HANCOCK ve diğ., 1999; ALTUNEL, 2005; BROGİ, 2004; FACCENNA ve diğ., 2008; UYSAL ve diğ., 2007, 2009; BROGİ and Capezzuoli, 2009), traverten çökeli ile tektonik arasında yakın bir ilişkinin varlığı vurgulanmıştır. Bu ilişkide traverten çökelinin, normal fay, açılma çatlak ve transtansiyonel fay gibi genişleme tektoniğinin egemen olduğu alanlarda yaygın olduğuna dikkat çekilmiştir. Bunun nedeni olarak da jeotermal sahalarda, fayların hareketine bağlı olarak oluşan ezilme zonlarındaki kırık ağlarının, hidrotermal sıvıların dolaşımı ve yer yüzüne çıkmasında önemli rol oynadığı düşüncesi gösterilmiştir (BROGİ, 2004; FACCENNA ve diğ., 2008; UYSAL ve diğ., 2007; BROGİ and Capezzuoli, 2009).

Traverten sırtlarının yukarıdaki paragrafta belirtilen nedenlerle çoğunlukla normal fayların tavan blokları ve serbestleyen (releasing) sıçramalar yaptığı yerlerde veya doğrultu atımlı ya da eğik atımlı faylarla ilişkili makaslama zonlarında yer alırlar (ALTUNEL ve Hancock, 1993a,b; ÇAKIR, 1999; HANCOCK ve diğ., 1999).

Hacılar sırt tipi traverteni, sol yanal doğrultu atımlı bir makaslama zonunda gelişmiştir. Bu tür sistemler içinde traverten sırtlarının geliştiği bilinmektedir (KOÇYİĞİT, 2003; BROGİ ve diğ., 2010). Doğrultu atımlı sistem içinde Karakoçan (Bingöl) yakınında gelişen sırtın uzun ekseninin, fayın oluşumunu sağlayan en büyük basınç gerilmesi doğrultusuna paralel olduğu belirtilmiştir (KOÇYİĞİT, 2003).

BROGİ ve diğ., (2010) ise, Kuzey Apenninlerin orta bölümünde, Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne benzer şekilde, sol yanal atımlı Bagni S.Filippo Fayı ile ilişkili traverten depolanmalarından bahsederler. Araştırmacılar, bölgedeki travertenlerin, söz konusu fayın oluşturduğu transtansiyonel makaslama zonu içinde yer aldığını belirtmekle birlikte, fayın doğrultusu ile traverten yüzeylemeleri arasında herhangi bir geometrik ilişkiye değinmemişlerdir.

Hacılarda traverten sahasındaki her iki sırtın uzanımı da fayın doğrultusuna yaklaşık paraleldir. Bu durumda, travertenlerin oluşumunu sağlayan sıcak su çıkışlarının, faya paralel uzanan çatlaklardan kaynaklandığını kabul etmek gerekecektir.

Elmalı ve Kılıçkaya sahalarındaki travertenler yamaç koşullarında depolanmışlardır. Fayın geometrisiyle belirgin bir ilişki göstermezler. Ancak arazi gözlemleri, her iki traverten depolanmasının oluşumunun da faylanmayla ilişkili olduğunu gösterir. Travertenleri ve sahip olduğu litolojik özelliklerden dolayı ana kayayı kesen fay düzlemleri gözlenemediğinden, kinematik analiz yapma olanağı bulunamamıştır. Ancak yakın alanlardaki veriler ve morfolojik özellikler açıktır.

Baltaşı traverten sahasında, özellikle Kaf olarak adlandırılan alt sahadaki basamaklı yapı, bu alandaki travertenlerin oluşumunun da Adıyaman Fay Zonu'nun aktivitesiyle ilişkili olduğunun göstergesi olarak yorumlanmıştır.

Sığ göl ortamında olduğu belirlenen Bağdere tufası da, Elazığ Fay Zonu'nun oluşturduğu doğrultu atım havzasında depolanmıştır.

5.2. Element Oranları

Element analiz sonuçlarına göre, en yüksek Fe ve Mg oranlarına hidrotermal kökenli damarlarda rastlanmıştır. Buna karşılık düşük Fe ve Mg değerlerine hidrotermal olmayan damar ve akmetaşlarda rastlanmıştır. Yüksek Fe ve Mg oranları, hidrotermal suların şist ve ofiyolitik kayalarla etkileşiminin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

Dünya ölçeğinde travertenlerdeki Sr içeriği 20 ppm'den 14000 ppm'e değişmektedir (PENTECOST, 2005). Sr konsantrasyonu ile mineralojik bileşim arasında yakın bir ilişki olduğu birçok çalışmada bildirilmiştir (FOLK, 1994; FOUKE, 2001; PENTECOST, 2005; KELE et al., 2008, 2011). Aragonit içeren örnekler daha yüksek Sr oranına sahipken, kalsit bileşimli traverten örneklerinde Sr değerleri daha düşüktür (ÖZKUL ve diğ., 2009; FOUKE ve diğ., 2000). FOLK'a göre (1994) traverten çökeliminde temel belirleyiciler, sıcaklık ve Mg/Ca oranıdır. Yazara göre aragonit, 40°C'den daha sıcak kaynaklardan çökeltir.

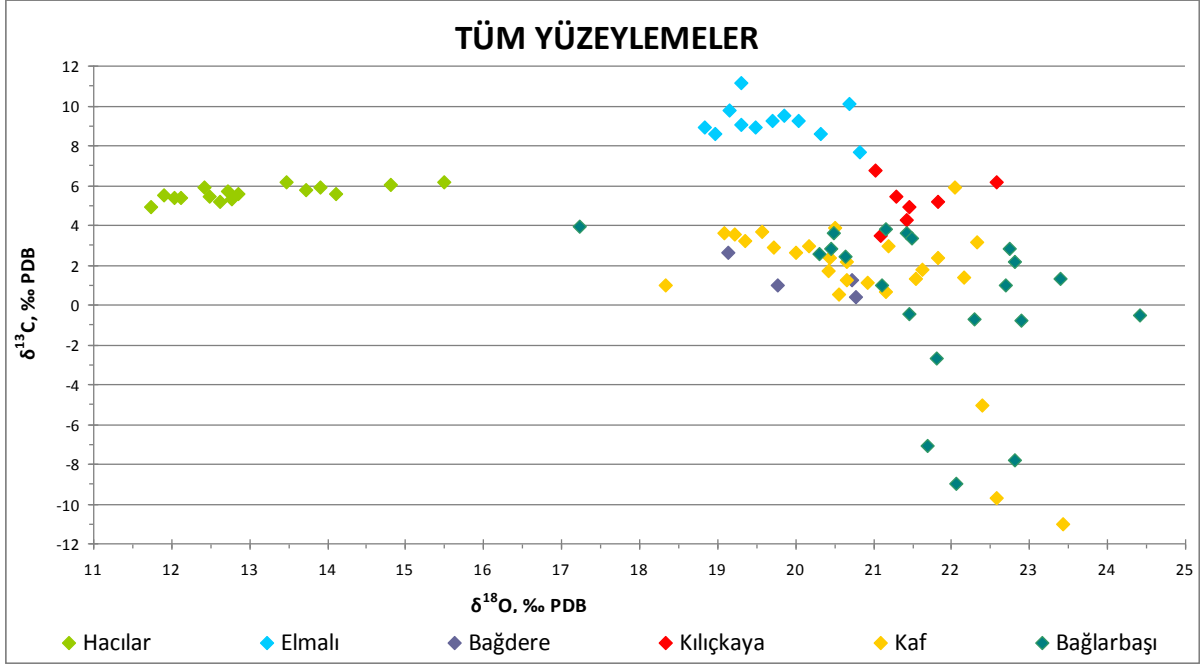
Batı Anadolu'da Pamukkale traverten sahasında en yüksek Sr değerleri, 7392 ppm ile Çukurbağ kaynağı çıkışında oluşmuş aragonit bileşimli pizolitlerde ve aynı yerdeki bantlı travertenlerden elde edilmiştir (ÖZKUL vd., 2010).

Ancak bu durum bir kural değildir. Sr elementinin yüksek olduğu Hacılar sahasında aragonit bileşimli traverten çökmemiştir. Aynı şekilde Kenya ve Yeni Zelanda'da yapılan çalışmalarda, 90°C'den sıcak suların kalsit çökeldiği rapor edilmiştir (JONES ve Renaut, 1995; JONES ve diğ., 1996). Bu nedenle 40–45°C'den sıcak suların aragonit çökelttiği görüşü her zaman geçerli değildir (JONES ve Renaut, 2010).

5.3. Duraylı İzotop Değerleri Arasında Sahalara Göre Farklılıklar

Çalışılan sahalara ait izotop değerleri arasında belirgin farklılıklar vardır. En yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, (+7.7 ile 11.2 arasında) yamaç koşullarında depolanmış Elmalı örneklerinden elde edilmiştir (Şekil 43). Bunun nedeni, termal suların yamaç aşağı akış sırasında, pH'ının yükselmesi, CO_2 kaybı ve buharlaşma gibi fiziksel değişimler nedeniyle ^{13}C ve ^{18}O gibi ağır izotopların bakımında giderek zenginleşmiş olmasıdır. Bu tür değişimler daha önce Yellowstone (ABD), Egerzalog (Macaristan) ve son olarak Pamukkale'de izlenmiştir (FOUKE, 2000; KELE et al., 2008; KELE et al., 2011). Pamukkale güncel travertenlerinde yapılan çalışmada yamacın en yüksek noktasında $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri sırasıyla 6.1(‰ PDB) ve

-10.7 (‰ PDB) iken, yamaç tabanındaki son noktada 11.7(‰ PDB) ve -9.1(‰ PDB) değerlerine yükselmiştir. Hacılar, Elmalı ve Kılıçkaya sahalarına ait $\delta^{13}\text{C}$ değerleri daha homojen bir dağılım gösterir. Buna karşılık Baltaşı örneklerinin gerek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, gerekse $\delta^{18}\text{O}$ değerleri dağınıktır (Şekil 43).



Şekil 43. Çalışılan traverten sahalarının karbon ve oksijen duraylı izotop bileşimleri.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Proje kapsamında incelenen traverten depolanmaları, büyük bir makaslama zonu olan sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan segmentler ya da fay zonlarının aktivitesiyle ilişkili olarak genişlemeli alanlarda çökelmişlerdir. Doğrultu atımlı sistem içindeki bu genişlemeli alanlar ya normal bileşenin de etkili olduğu yerlerde (Hacılar, Elmalı ve Kılıçkaya sahalarında olduğu gibi), ya da hem normal bileşen hem de dallanmanın (bifurcation) etkili olduğu yerlerde (Baltaşı traverten ve Bağdere tufa sahalarında olduğu gibi) ortaya çıkmıştır.

Yamaç ve sırt koşullarında depolanmış Elmalı, Hacılar ve Kılıçkaya travertenleri daha pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine sahiptirler ve daha homojen bir dağılım sunarlar. Buna karşılık havuz ya da sığ göl ortamlarında oluşmuş Baltaşı (Bağlarbaşı ve Kaf alt sahaları) ve Bağdere örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri geniş bir dağılım sunarlar. Baltaşı ve Bağdere örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri daha az pozitifdir.

Baltaşı traverten sahasındaki çatlaklar, traverten oluşumunu izleyen dönemlerde fayın aktivitesini devam ettiren yaklaşık K-G doğrultulu sıkışma gerilmesiyle oluşmuşlardır. Söz konusu çatlaklar, iki farklı kökenli kalsitle doldurulmuştur. Bazı çatlaklardaki kalsit damarlarının hidrotermal kökenli olarak gelişmesine karşılık, bazı çatlaklardaki kalsit damarlarının ise yüzey sularından çökelindiği sonucuna varılmıştır. Bu iki tip damar farklı izotop değerleri sunar.

Traverten sahalarından elde edilen U-Th yaş verileri, 0.301 ile 317 ka gibi geniş bir aralıkta değişmektedir. Bu kadar geniş bir aralık, traverten oluşumlarının, Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin doğu bölümünde farklı alanlarda bulunmasının yanı sıra, sistemi oluşturan farklı segment ve zonlarla ilişkili olarak depolanmasıyla ilişkilendirilmiştir. Yaşlandırma konusunda, bütçe olanaklarının sınırlı olması nedeniyle, arzulanan sayıda örneğin yaş analizinin yaptırılmadığını vurgulamak gerekir. Dolayısıyla bu yaş verilerinin daha fazla sayıda örnekle desteklenmesi gerektiği düşünülmektedir. Yaş verileri sınırlı da olsa, neotektonik dönemin Doğu Anadolu Bölgesi için öngörülen sınırları içinde yer aldığı ve traverten oluşumlarının, doğrultu atımlı sistemin bu dönemdeki etkinliğiyle ilişkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin doğu bölümündeki travertenlerle ilgili olarak projenin amacı doğrultusunda, ilk kez bu çalışmada, analizlere dayalı veriler elde edilmiştir. Bu verilerin, bundan sonra her bir sahada yapılacak olan daha ayrıntılı, özellikle e daha fazla analize dayalı çalışmalar için bir temel oluşturacağı düşünülmektedir.

7. REFERANSLAR

- AKAY, E., Erkan, E., Ünay, E., Muş Tersiyer Havzasının stratigrafisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 109, 59-76, (1989).
- AKSOY, E., Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. *TÜBİTAK Yerbilimleri Dergisi*, 1,1, 113 – 123, (1993),
- AKSOY, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A., Lake Hazar basin: A negative flower structure on the East Anatolian fault system (EAFS), SE Türkiye. *Turkish Journal Earth Science* 16, 319-338, (2007).
- ALTUNEL, E., *Active tectonics and the evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey*. (Ph.D. Thesis), University of Bristol, United Kingdom, pp. 236 (1994).
- ALTUNEL, E., Pamukkale travertenlerinin morfolojik özellikleri, yaşları ve neotektonik önemleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 118, 47–64, (1996).
- ALTUNEL E., *Travertines: neotectonic indicators*. eds: Ozkul M, Yagiz S, Jones B., Travertine, Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, September 21–25, 2005, Denizli-Turkey, (2005), 120–127.
- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Morphology and structural setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey, *Geological Journal*, 28, 335–346, (1993a).
- ALTUNEL, E., Hancock, P.L., Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey, *Zschr. Geomorph. Suppl.* 94, 285–302, (1993b).
- ALTUNEL, E., Karabacak, V., Determination of horizontal extension from fissure-ridge travertines: a case study in the Denizli Basin, southwestern Turkey, *Geodinamica Acta*, 18/3-4, 333-342, (2005).
- AMBRASEYS, N.N., Jackson, J.A., Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, 133, 390–406, (1998).
- ARPAT, E., Şaroğlu, F., Doğu Anadolu Fayı ile ilgili gözlemler ve düşünceler, *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 78, 44–50, (1972).
- AYAZ, E., Travertenlerde Gözlenen Morfolojik Yapılar ve Tabiat Varlığı Olarak Önemleri, *Cumhuriyet Üniversitesi Müh. Fakültesi Dergisi Seri A-Yerbilimleri*, 19, 2, 123-134, (2002).
- BATES, R. L., Jackson, J. A., Glossary of Geology (Second edition), American Geological Institute, Falls Church, Virginia, (1980). Pp;751.
- BEYARSLAN, M., Bingöl, A.F., Petrographical features of the İspendere Ophiolite Kale-Malatya, *Geosound*, 19, 59-68, (1991).

- BEYARSLAN, M., Bingöl, A.F.. Petrology of a supra-subduction zone ophiolite (Elazığ, Turkey). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 37, 1411-1424, (2000).
- BİNGÖL, A.F., Petrographic and petrological characteristic of the Guleman ophiolite (E. Turkey), *Yerbilimleri Geosound*, 13,14, 41-57, (1986).
- BORAY, A., Bitlis dolayının yapısı ve metamorfizması: *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 81-84, (1975).
- BAL, S., *Hazar Fayı'nın Tekevler-Baltaşı arasında (Hazar Gölü KD su) yapısal ve morfotektonik özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 37 s., (2002).
- BROGİ, A., Faults linkage, damage rocks and hydrothermal fluid circulation: tectonic interpretation of the Rapolano Terme travertines (southern Tuscany, Italy) in the context of Northern Apennines Neogene–Quaternary extension, *Eclogae Geol. Helv.*, 97, 307–320, (2004).
- BROGİ, A., Capezzuoli, E., Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy), *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*, 98, 931–947, (2009).
- BROGI, A., Liotta, D., Meccheri, M., Fabbrini, L., Transtensional shear zones controlling volcanic eruptions: the Middle Pleistocene Mt Amiata volcano (inner Northern Apennines, Italy), *Terra Nova*, 22, 137–146, (2010).
- CHAFETZ, H.S., Folk, R.L., Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *J. Sediment. Petrol.* 54, 289– 316, (1984).
- ÇAKIR, Z., *Tectonic Significance of Quaternary Travertine Deposits in the Gediz and Menderes Grabens. Western Turkey*. Yüksek Lisans Tezi, Bristol Üniversitesi, UK (1996).
- ÇAKIR, Z., Along–strike discontinuity of active normal faults and its Influence on Quaternary travertine deposition: Examples from western Turkey, *Tr. J. of Earth Sciences*, 8, 67–80, (1999).
- ÇELİK, H., *Mastar Dağı (Elazığ GD'su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 95 s., (2003).
- ÇETİN, H., Güneşli, H., Mayer, L., Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374, 3-4, 163-197, (2003).
- ÇETİNDAG, B., *Palu-Kovancılar (Elazığ) dolayının hidrojeoloji incelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 117s., (1985).
- ÇOLAK, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A., İnceöz, M., ve diğ., Palu-Uluova Strike-Slip Basin on the East Anatolian Fault System, Turkey: Transition from Palaeotectonic Period to Neotectonic Period. *Turkish Journal of Earth Sciences* (in press), (2011)

- DEWEY, J. F., Şengör, A.M.C., Aegean and surrounding regions; complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 66, 843-868, (1979)
- DEWEY, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia – a young collision zone. eds: Coward, M.P. & Ries, A.C., *Collisional Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 19, 3–36, (1986).
- ENGİN B., Güven, O., Thermoluminescence dating of Denizli travertines from the southwestern part of Turkey . *Applied Radiation and Isotopes*, 48, 1257-1264, (1997).
- ENGİN B., Güven, O. ve Köksal, F., Electron spin resonance age determination of a travertine sample from the southwestern part of Turkey, *Applied Radiation and Isotopes* 51, 689-699, (1999).
- ERDEM, E., *Pütürge (Malatya) Metamorfitlerinin petrografik ve petrolojik özellikleri*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s., (1994).
- ERGİN, M., Aktar, M., Eyidoğan, H., Present-day seismicity and Seismotectonics of the Cilician Basin: Eastern Mediterranean Region of Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, 930-939, (2004).
- ERDOĞAN, B., *Bitlis masifinin Avnik (Bingöl) yöresinde jeolojisi ve yapısal özellikleri*. Doçentlik tezi. Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi. 106 s., (1982).
- FACCENNA, C., Bellier, O., Martinod, J., Piromallo, C., Regard, V., Slab detachment beneath eastern Anatolia: A possible cause for the formation of the North Anatolian fault. *Earth and Planetary Science Letters* 242, 85-97, (2006).
- FACCENNA, C., Soligo, M., Bili, A., De Filippis, L., Funiciello, R., Rossetti, C., Tuccimei, P., Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): Possible influence of climate and fault activity, *Global and Planetary Change*, 63, 299–308, (2008).
- FOLK, R., Interaction between bacteria, nannobacteria, and mineral precipitation in hot springs of central Italy, *Geographic physique et Quaternaria*, 48, 3, 233-246, (1994).
- FOUKE, B. W., Farmer J. D., Des Marais, D. J., Pratt L., Sturchio N. C., Burns P. C., Discipulo, M. K., Depositional facies and aqueous–solid geochemistry of travertine-depositing hot springs (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, U.S.A.) *Journal of Sedimentary Research*, 70, 3, 565–585, (2000).
- FOUKE, B.W., Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertine-depositing hot springs (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA), Reply. *Journal of Sedimentary Research*, 71, 497–500, (2001).

- GÖNCÜOĞLU, M. C., Turhan, N., Geology of the Bitlis metamorphic belt, eds: Tekeli, O., Göncüoğlu, M. C., Geology of the taurus belt proceedings, Ankara, (1984), 237-244.
- GÖĞÜŞ, O. H., Pysklywec, R.N., Mantle lithosphere delamination driving plateau uplift and synconvergent extension in Eastern Anatolia. *Geology* 36, 723-726, (2008).
- GUO L, Riding R., Micritic aragonite laminae in hot water travertine crust, Rapolano Terme, *Sedimentology*, 39, 1067–1079, (1992).
- GUO L, Riding R., Origin and diagenesis of Quaternary travertine shrub facies, Rapolano Terme, central Italy, *Sedimentology* 41:499–520, (1994).
- GUO, L., Riding, R., Hot-Spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme. *Sedimentology*, 45, 163–180, (1998).
- GÜLEN, L., Barka, A., Toksöz, M. N., Kıtaların çarpışması ile ilgili kompleks deformasyon: Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları, *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Bülteni*, 14, 319-336, (1987).
- GÜNEYLİ, H., *Doğu Anadolu Fay Sistemi, Palu-Hazar Gölü segmentinin neotektoniği ve paleosismolojisi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 143 s., (2002).
- GÜRSOY, H., Piper, J. D. A., Tatar, O., Neotectonic deformation in the western sector of tectonic escape in Anatolia: alaeomagnetic study of the Afyon region, central Turkey. *Tectonophysics*, 374, 57-79, (2003).
- HANCOCK, P.L., Altunel, E., Faulted archaeological reliefs at Hierapolis (Pamukkale), Turkey, *J. Geodyn.*, 24, pp. 21-36, (1997).
- HANCOCK, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Çakır, Z., Travertines: using travertines in active fault studies, *Journal of Structural Geology*, 21, 903–916, (1999).
- HEMPTON, M.R., Constrains on Arabian plate motion and extensional history of Red Sea. *Tectonics*, 6, 687-705, (1987).
- HEMPTON, M.R., Dunne, L., Sedimentation in pull-apart basins: Active examples in Eastern Turkey. *Journal Geology*, 92, 513-530, (1984).
- HERECE, E., Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-13, 359 s., (2008).
- HERECE, E., Akay, E., East Anatolian Fault between Karlıova and Çelikhan. Türkiye 9. Petrol Kongresi, Bildiriler, Ankara, (1992), 361-372.
- İNCEÖZ, M., İnce, S.C., Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Palu çevresinde yapısal ve morfolotektonik özellikleri. Aktif Tektonik Araştırma Grubu İkinci Toplantısı, Bildiriler, İstanbul, (1999), 98-110.
- JONES, B., Renaut, R.W., Noncrystallographic dendrites from hot-spring deposits at Lake Bogoria, Kenya, *Journal of Sedimentary Research*, 65, 154-169, (1995).

- JONES, B., Renaut, R.W., Rosen, M.R., High-temperature (> 90°C) calcite precipitation at Waikite Hot Springs, North Island, New Zealand, *Geological Society of London*, 153, 481-496, (1996).
- JONES, B., Robin, W. R., Cyclic development of large, complex, calcite dendrite crystals in the Clinton travertine, Interior British Columbia, Canada, *Sedimentary Geology*, 203 17–35, (2008).
- JONES, B., Renaut, R.W., Calcareous Spring Deposits in Continental Settings, eds: Alonso Zarza, A.M., Taner, L.H. Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments, and Processes, Developments in Sedimentology, (2010), 61, 177–204.
- JULIA, R., *Travertines: Carbonate depositional environments*, eds: Scholle, P. A., Bebout, D. G., Moore, C. H., [AAPG memoir 33], Tulsa, Oklahoma, (1983) p. 64-72.
- KELE, S., Demény, A., Siklósy, Z., Németh, T., Mária, T.B., Kovács, M., Chemical and stable isotope compositions of recent hot-water travertines and associated thermal waters, from Egerszalók, Hungary: depositional facies and non-equilibrium fractionations. *Sedimentary Geology*, 211, 53-72, (2008).
- KELE, S., Özkul, M., Fórizs, I., Gökgöz, A., Baykara, M.O., Alçiçek, M.C., Németh, T., 2011, Stable isotope geochemical and facies study of Pamukkale travertines: New evidences of low-temperature non-equilibrium calcite-water fractionation. *Sedimentary Geology*, in press, (2011).
- KOÇYİĞİT, A. 1996. Superimposed basins and their relations to the recent strike-slip fault zone: a case study of the Refahiye superimposed basin adjacent to the North Anatolian Transform Fault, northeastern Turkey. *International Geology Review* 39, 701-713, (1996).
- KOÇYİĞİT, A., Seyrantepe Barajı ve Hidroelektrik Santral Yerinin Stratigrafik- jeolojik özellikleri ve depremselliği, Karakoçan-Elazığ. Teknik rapor, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, (2003) 30 s.
- KOÇYİĞİT, A., Beyhan, A.. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. *Tectonophysics* 284, 317–336, (1998).
- KOÇYİĞİT, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S., Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195, (2001).
- KOÇYİĞİT, A., Aksoy, E., İnceöz, M., Basic Neotectonic Characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. Excursion Guide Book, International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Palaeosismology, 31 August to 12 September 2003, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara (2003), 20 s.

- LYBERİS, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N., The East Anatolian Fault: An Oblique collisional belt, *Tectonophysics*, 204, 1-15, (1992).
- McCREA, J.M., On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *The Journal of Chemical Physics*, 18, 849–857, (1950).
- MESCİ, L. ve Gürsoy, H., , Sıcak çermik (Sivas) Travertenlerinin Gelişimi ve Aktif Tektonikle İlişkisi. ATAG -7 Makaleler Kitabı, YYÜ, Van (2003), 24-38,
- MICHARD, A., Whitechurch, H., Ricou, L. E., Montigny, R., Yazgan, E., Tauric subduction (Malatya-Elazığ Provinces) and its bearing on tectonics of the Tethyan realm in Turkey. eds: Dixon, J. E. and Robertson, A. H. F., The Geological Evolution of the Meditteranean , *Geol. Soc. Spec. Publ.* 17, 361-375, (1984)
- MUEHLBERGER, W.R., Gordon, M.B., Observation on the coplexity of The East Anatolian Fault, Turkey, *Jour. Structural Geology*, 9/7, 899-903, (1987).
- NALBANT, S.S., Mccloskey, J., Steacy, S., Barka, A.A., Stress accumulation and increased seismic risk in Eastern Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 195, 291-298, (2002).
- ÖZKAN, Y.Z., Caferi volkanitlerinin kökeni sorununa jeokimyasal bir yaklaşım, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bült.*, 4, 53-58, (1983).
- ÖZKUL, M., *Elazığ batısında Kırkgöçit Formasyonu üzerinde sedimentolojik incelemeler*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, 186 s., (1988).
- ÖZKUL, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., Depositional environments and Petrography of Denizli Travertines, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 125, 13-29, (2002).
- ÖZKUL, M., Engin, B., Alçiçek, M.C., Koralay, T., Demirtaş, H., Thermoluminescence dating of Quaternary hot spring travertines and some implications on graben evolution, Denizli, Western Turkey, 32nd International Geological Cogress, August 20-28, Florence- Italy, (2004).
- ÖZKUL, M., Kele, S., Gökgöz, A., Forisz, I., Alçiçek, M.C., Eros, A., Stable isotopic studies on travertines for paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction: A comparative study on the genesis of occurrences in Turkey and Hungary, TÜBİTAK Projesi, Proje No.106Y207, (2009).
- ÖZKUL, M., Gökgöz, A., Horvatinčić, N., Depositional properties and geochemistry of Holocene perched springline tufa deposits and associated spring waters: A case study from the Denizli province, Western Turkey. ed: Pedley, H.M. Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls. The Geological Society of London, (2010). 245-262.
- PENTECOST, A., *Travertine*, Springer Verlag, (2005), 446p.
- PERİNÇEK, D., Günay, Y., Kozlu, H., Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki yanal

- atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, Türkiye 7. Petrol Kongresi, Türkiye Petrol Jeologları Derneği, tebliğler, 89-103, (1987).
- PERİNÇEK, D., Çemen, İ., The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in Southeastern Turkey, *Tectonophysics*, 172, 331-340, (1990).
- REİLİNGER, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksöz, M.N., Barka, A.A., Kınık, I., Lenk, O., Sanlı, I., Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *Jour. Geophys. Res.*, 102/B5, 9983-9999, (1997).
- ROBERTSON, A.H.F., Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos*, 65, 1-67 (2002).
- ROJAY, B., Heimann, A., Toprak, V., Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone (Anatolia, Turkey): The transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone, *Geodinamica Acta*, 14, 197-212, (2001).
- SEYMEN, İ., Aydın, A., Bingöl Deprem Fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fayı ile ilişkisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 79, 1-9, (1972).
- SUNGURLU, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E., Naz, H., Elazığ - Hazar - Palu alanının jeolojisi. *Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi*, 29, 83-191, (1985).
- ŞAROĞLU, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., The East Anatolian Fault Zone of Turkey, *Annales Tectonicae*, 6, 99-125, (1992).
- ŞAROĞLU, F., Yılmaz, Y., Doğu Anadolu'da Neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107, 73-94, (1987).
- ŞAROĞLU, F., Emre, O., Boray, A. 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, (1987), rapor no. 8174.
- ŞENGÖR, A.M.C. 1980. Türkiye'nin neotektoniinin esasları. Türkiye Jeoloji Kurumu Konferanslar Serisi, 2, Ankara, (1980), 40 s.
- ŞENGÖR, A.M.C., Yılmaz, Y., Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241, (1981).
- ŞENGÖR, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. eds: Biddle, K.T. & Christie-Blick, N., *Strike-Slip Faulting and Basin Formation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications, (1985), 37, 227-264.
- TATAR, Y., Elazığ bölgesinin genel tektonik yapıları ve Landsat fotoğrafları üzerinde yapılan bazı gözlemler. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 14, 295-308, (1987).

- TAYMAZ, T., Eyidoğan, H., Jackson, J., Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey), *Geophys., Jour. Int.*, 106, 537-550, (1991).
- TURAN, M., Aksoy, E., Bingöl, A. F., Doğu Toroslar'ın jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7,2, 1–23, (1995).
- UYSAL, T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel, E., Weatherley, D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding, S.D., Lawrence, M.G., Collerson, K.D., U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertines in co-seismic fissures, *Earth and Planetary Science Letters*, 257, pp. 450–462, (2007).
- UYSAL, I. T., Feng, Y., Zhao, J., Işık, V., Nuriel, P., Golding, S.D., Hydrothermal CO₂ degassing in seismically active zones during the late Quaternary, *Chemical Geology*, 265, 442–454, (2009).
- ÜSTÜNDAĞ, Ş., *Elazığ yöresindeki Karabakır Formasyonu kireçtaşlarının petrografik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, 39 s., (1996).
- WESTAWAY, R., Arger, J., The Gölbaşı basin, southeastern Türkiye: A complex discontinuity in a major strike-slip fault zone. *Journal Geology Society*, 153, 729–743, (1996).
- YILMAZ, Y., Gevaş (Van) dolayında Bitlis masifi/ofiyolit ilişkisi, Türkiye Dördüncü Petrol Kongresi Tebliğleri, Ankara, (1978), 83-93.
- YILMAZ, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y., Initiation of the neomagmatism in the Eastern Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199, (1987).
- ZENGİN, E., *Adıyaman Fay Zonunun kuzeydoğu bölümünün sismotektonik özellikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bil. Enstitüsü, 90 s., (2005).

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 110Y172
Proje Başlığı: Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Kuzeydoğu Bölümündeki Travertenlerin Neotektonik Önemi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Prof. Dr. Ercan AKSOY (Proje Yürütücüsü) Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL (Araştırmacı) Araş. Gör. Serap ÇOLAK (Araştırmacı)
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Fırat Üniversitesi, ELAZIĞ
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01/08/2010 – 01/08/2011
Öz (en çok 70 kelime) <p>Proje kapsamında, sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin doğu bölümünde, doğrultu atımlı rejim içinde ortaya çıkan genişlemeli alanlarda, çeşitli depolanma konumlarında oluşmuş traverten yüzeylemeleri incelenmiştir.</p> <p>Travertenlerin element analiz sonuçları ve izotop değerleri arasında belirgin farklar vardır. Bu farklar ana kayanın litolojisi ve travertenlerin depolanma koşullarından değişikliğin göstergesi olarak yorumlanmıştır.</p> <p>U-Th yöntemiyle elde edilen yaş verileri, travertenlerin neotektonik dönemde, günümüzden 318 ila 0.301 ka aralığında çökelmiş olduğunu gösterir.</p>
Anahtar Kelimeler: Traverten, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Elazığ
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> <small>Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.</small>
Projeden Yapılan Yayınlar:
Ekte Bulunan "ARDEB Başarı Öyküsü Formu", "Kazanımlar" Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşındığını Düşünüyorsanız "ARDEB Başarı Öyküsü Formu"nu doldurunuz.