

Bağdere Tufası'nın Jeolojik, Jeokimyasal ve Jeokronolojik Özellikleri (Elazığ, D Türkiye)

Serap ÇOLAK EROL^{1*}, Ercan AKSOY¹, Mehmet ÖZKUL²

¹ Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye

*¹serapcolak@firat.edu.tr, ¹eaksoy@firat.edu.tr, ²mozkul.mehmet@gmail.com

(Geliş/Received: 07/12/2021;

Kabul/Accepted: 10/01/2022)

Öz: Çalışmaya konu olan tufa yüzleği, Türkiye'nin ikinci büyüklükteki neotektonik yapısı olan sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin önemli zonlarından biri olan Elazığ Fay Zonu üstünde, Elazığ şehir merkezinin yaklaşık 20 km güneybatısında bulunur. Tufaların yanal-düşey ilişkili olduğu Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu, karasal kökenli kırıntılı çökellerle karakterize edilir. Tufa oluşumunda kaynak kaya rolü oynayan Devoniyen-Jura yaşlı Keban Metamorfitleri'nin Elazığ çevresindeki yüzlekleri, çoğunlukla mermerlerle karakterize edilir. Keban Metamorfitleri'nin litolojisi ve sol yanal doğrultu atımlı Elazığ Fay Zonu'nun meydana getirdiği kırıklı yapı, akışkan dolaşımında ve bundan dolayı tufanın oluşmasında önemli bir görev almıştır. Tufa örneklerinde belirlenen element miktarları, Ca: 384719-390151 ppm, Mg: 3498-4764 ppm, Sr: 112-338 ppm düzeyindedir. $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, 0.4 ila 2.6 (‰ PDP), $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -9.9 ila -11.4 (‰PDB) arasındadır. Çalışmadan elde edilen veriler birlikte değerlendirildiğinde, Bağdere tufasının, sığ göl ortamında oluştuğu düşünülmektedir. Örneklerden elde edilen U-Th yaş verileri, tufa çökelişiminin günümüzden en azından 524,597 yıl önce başlamış olduğuna işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Doğu Anadolu Fay Sistemi, Elazığ, Tufa, U-Th Yaş Analizi, Jeokimya.

Geological, Geochemical and Geochronological Characteristics of the Bağdere Tufa (Elazığ, E. Turkey)

Abstract: The tufa outcrop which is the subject of the study, is located on the Elazığ Fault Zone, which is one of the important zones of the left lateral strike slip East Anatolian Fault System, which is Turkey's second largest neotectonic structure, approximately 20 km southwest of the city center of Elazığ. Quaternary aged Palu Formation to which tufas are related vertically and laterally is characterized by clastic deposits of terrestrial origin. The outcrops of Devonian-Jurassic Keban Metamorphics, which played the role of source rock in the tufa occurrence, around Elazığ are mostly characterized by marbles. The lithology of the Keban Metamorphics and the fractured structure formed by the left lateral strike slip Elazığ Fault Zone played an important role in the fluid circulation and thus in the occurrence of the tufa. Element amounts determined in tufa samples are at the level of Ca: 384719-390151 ppm, Mg: 3498-4764 ppm, Sr: 112-338 ppm. $\delta^{13}\text{C}$ values range from 0.4 to 2.6 (‰ PDP), and $\delta^{18}\text{O}$ values range from -9.9 to -11.4 (‰PDB). When the data obtained from the study are evaluated together, it is thought that the Bağdere tufa was formed in a shallow lake environment. U-Th age data obtained from the samples indicate that tufa deposition started at least 524,597 years ago.

Key Words: The East Anatolian Fault System, Elazığ, Tufa, U-Th Age Analysis, Geochemistry.

1. Giriş

Ford ve Pedley [1]'e göre tufa terimi, Eski Roma devirlerinde ince tanelere ufalanabilen kayacı (günümüzde tufa olarak adlandırılır) ve ince taneli beyazımsı volkanik tozları (günümüzde tuf olarak adlandırılır) içeren beyaz kayalara verilen bir ad olan "tophus" 'dan türetilmiştir. Bates ve Jackson [2] ise tufayı, bir gölde, suyu karbonatlı olan bir ırmak kenarında ya da sıcak ve soğuk kaynak çıkışlarında çökelen kalın soğansı biçimde ve yığışım şeklinde, bazen ince kabuksu yapıda, ge^fvrek ve süngerimsi, poroziteli olan kimyasal kökenli tortul kaya olarak tanımlamışlar; algler ve bakteriler tarafından çökteldiğini belirtmişlerdir. Challinor'un Jeoloji Sözlüğü [3] tufayı, kaynak veya süzülen sulardan oluşan yumuşak ve gözenekli (poröz) bir çeşit kireçtaşı olarak tanımlar. Pedley [4] tufayı, ılık ve soğuk su kaynakları etrafında çökelen aşırı poroziteli ve süngerimsi yapılı, yaprağımsı ve odunsu dokulu karbonat oluşumu şeklinde nitelerken, Ford ve Pedley [1] ise terimin, İngilizce konuşulan ABD dışındaki ülkelerde, Kuvaterner ve günümüzde yaygın olan kalkerli tatlı su çökellerini tanımlamak için kullanıldığını belirtirler. Bunlar; serin, ılıman ve yarı kurak yerlerdeki şelaleler ve kaynaklarda oluşmaktadır. ABD, İspanyolca konuşulan ülkeler ve günümüz Avrupa'sındaysa çoğunlukla tufa tabirine karşılık traverten

* Sorumlu yazar: serapcolak@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numaraları: 1* 0000-0003-1957-3012, 1 0000-0001-5078-7217, 2 0000-0002-0949-4225

kullanılmaktadır [5]. Çoğunlukla tufa, bütün soğuk ya da ılık tatlı su ortamında hayat süren algler ya da bakterilerce çöktürülen, organik madde içeriğinden dolayı gözenekli ve süngerimsi yapıdaki kalsiyum karbonat (CaCO_3) çöktürmeleri olarak kabul edilir.

Traverten terimi için birbirine yakın tanımlar yapılmakla beraber [2, 3, 6-8] yaygın olarak traverten, karstik ve sıcak su kaynakları etrafında, ufak ırmaklar ve bataklıklarda meydana gelebilen, kimyasal ve/veya biyokimyasal sistemle çökelebilen sıkı yapıli kalsiyum karbonat (CaCO_3) çöktürleridir. Travertenlerde ilksel mineral, kalsittir.

Traverten ve tufaların ortak yönü, kalsiyum karbonatlı (CaCO_3) kaynak veya diğler sulardan çöktürmüş karasal kökenli karbonat kayaçları olmalarıdır. Birbirinden, dokularını yansıtan özellikleri esas alınarak ayrılırlar. Bazı araştırmacılara göre 'traverten', genellikle sert ve kompakt, sıcak su (hidrotermal) çöktürü için; buna karşılık 'tufa' ise soğuk su kaynağında ya da göllerde oluşun gözenekli, süngerimsi çöktürüm için kullanılmıştır [9-10]. Çalışma alanındaki oluşum, tam pekişmemiş, yoğun gözenekli, süngerimsi yapıli ve bitki kırıntıları içerdüğinden dolayı tufa olarak adlandırılmıştır.

Kaynak sularından oluşun tufa ve traverten, birçok farklı çöktürme, iklim ve tektonik ortamda oluşur [7, 10-14]. Bu birikintilerin depolanma, jeokimyasal ve izotopik imzaları, paleoçevresel, paleoiklimsel ve tektonik koşulların kritik kayıtlarını sağlayabildiğinden önem [7-8, 13, 15-17]. Akdeniz civarında yaygın olarak gelişen tufalar ve travertenler, klasik Yunan ve Roma dönemlerinden beri ilgi görmektedir.

Tufa konusunda birkaç on yıldır pekçok çalışma yapılmıştır [4, 10-12, 14, 18-32]. Bunların çoğunluğu tufa litofasiyelerinin belirlenmesi, tufaların sınıflandırılması, oluşum ortamları, kökenleri, diyajenezi ve yaşlandırılmaları ile iklim değışimleriyle ilgili konulardadır.

Çalışma konusu olan tufaların oluşumunda önemli rol oynayan Doğı Anadolu Fay Sistemi (DAFS), kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Akdeniz arasında uzanan, Türkiye'nin depremselliğı yönünden en mühim fay sistemlerindedir. Bu sistem, Arabistan-Afrika levhaları ile Anadolu bloğı arasındaki yakınlaşmayı yanal bir hareketle karşılamaktadır [33-44]. Bu niteliğiyile Doğı Akdeniz'in en mühim aktif tektonik yapılarından olan fay sistemi, bugüne dek çeşitli araştırmacılar tarafından farklı disiplinlerde değıerlendirilerek incelenmiştir.

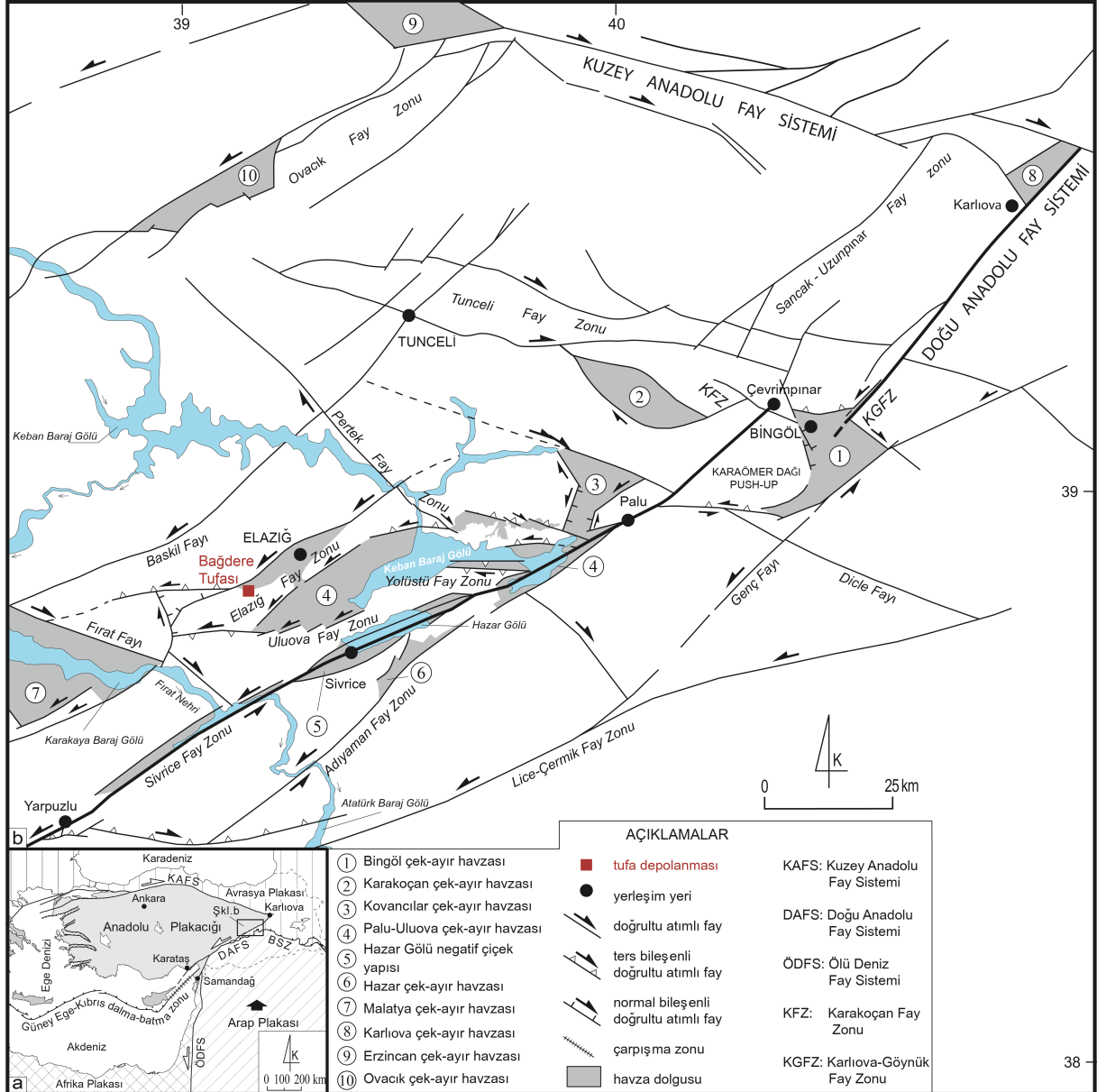
Doğı Anadolu Fay Zonu'nun geometrisi ve segmentasyonu için fay zonu boyunca gözlenen sıçrama ve büküm noktaları esas alınarak değışik çalışmalarda farklı önerilerde bulunulmuştur. DAFZ'yi, Hempton ve Dewey (1983) [45], Muehlberger ve Gordon (1987) [37] ile Westaway (1994) [40], 5 segmente; Barka ve Kadinsky-Cade (1988) [46], 14 segmente; Perinçek ve Çemen (1990) [47], 3 segmente; Şaroğı vd. (1992) [39], 6 segmente; Herece (2008) [48], 11 segmente; Koçyiğit (2003) [49], 5 segmente; Duman ve Emre (2013) [43] tarafından ana (güney) kol, 7 segmente ayrılarak incelenmiştir. Bu çalışmada, Koçyiğit (2003) [49] tarafından yapılmış olan sınıflama esas alınmıştır.

DAFS'nin üzerinde çalışma alanına yakın yapılan traverten konulu çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bunlardan [50], DAFS'ne ait Karlıova-Bingöl Segmenti ve Adıyaman Fay Zonu üzerinde gelişen traverten depolanmalarının özelliklerini ve tektonik aktivite ile ilişkilerini multi-disipliner yöntemlerle incelemişlerdir. Yine [51], Sivrice Fay Zonu üzerinde yamaç topoğrafyasına uyumlu olarak fay önü traverteni olarak çöktürülen oluşumun depolanma, yapısal, jeokimya ve jeokronolojik özelliklerini incelemiştir. Tufa içerikli herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

2. Jeolojik Konum

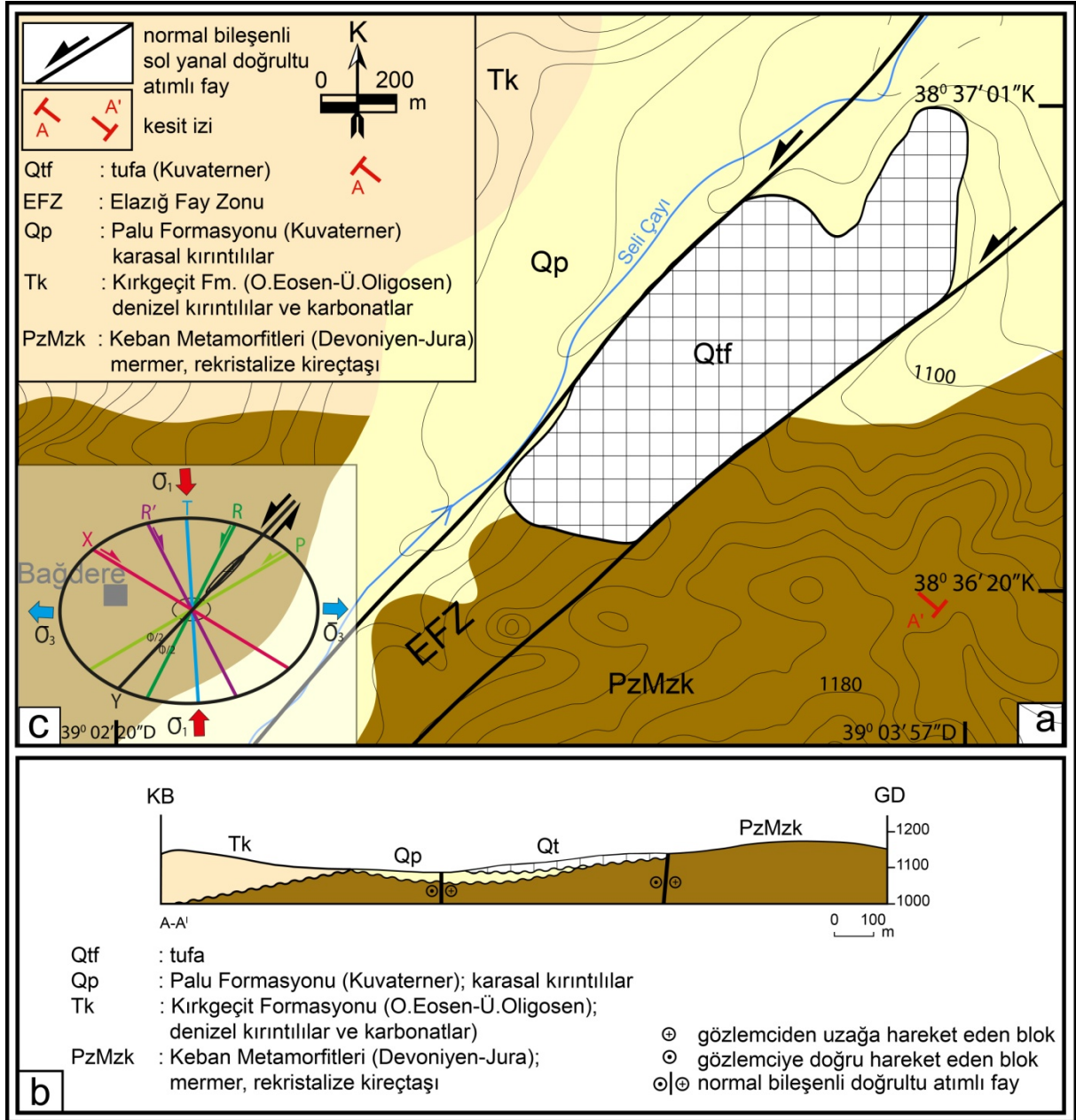
Elazığ şehir merkezinin yaklaşık 20 km güneybatısındaki Bağdere Köyü'nün 3 km kadar kuzeydoğusunda bulunan tufa yüzleğı, Doğı Anadolu Fay Sistemi'ni meydana getiren zonlardan biri olan sol yanal doğrultu atımlı karakterdeki Elazığ Fay Zonu ile ilişkili olarak depolanmıştır (Şekil 1 ve Şekil 2). Deniz seviyesi üzerinde 1090-1140 metreler arasında yer alan yüzlek, 0.75 km² lik bir alan kaplar (Şekil 3).

Bingöl-Yarpuzlu Segmenti, Doğı Anadolu Fay Sistemi'nin en uzun yapısal bölümü olup [52] K 50° D gidişlidir (Şekil 1). Kuzeydoğuda Bingöl il merkezinin yaklaşık 10 km kuzeybatısında Çevrimpınar Köyü yakınından başlar ve güneybatıya doğru yaklaşık 180 km uzanarak Yarpuzlu köyüne (Sincik, Adıyaman) ulaşır. Bingöl-Yarpuzlu Segmenti'nin bir alt bölümü olan ve Bağdere tufasının üzerinde depolandığı Elazığ Fay Zonu (EFZ), KD gidişli 54 km uzunluğunda ve 8 km genişliğinde, sol yanal doğrultu atımlı aktif bir fay zonu olup, Palu-Uluova çek-ayır havzasının Uluova bölümünün kuzeybatı kenarını denetler [53] (Şekil 1). Birbirine yakın mesafeli, uzunlukları 0,3-15 km arasında değışen, birçok paralel-yarı paralel KD gidişli faydan meydana gelir. Yüksek eğimli çizgisel fay diklikleri, üçgen yüzeyler, havzaya bakan basamak yapmış topoğrafya, çalışma alanı batısında Fırat Nehri ve bazı kollarında 5 km'ye varan sol yanal atımlar, faya paralel dizilmiş alüvyal yelpazeler ve yaşlı birimlerle Kuvaterner çöktürlerinin yan yana olması, Elazığ Fay Zonu'nun varlığının ve aktivitesinin açık morfolojik göstergeleridir. Fay zonu boyunca meydana gelen küçük magnitüdü depremlerin episantır dağılımı [54], fay zonunun varlığı ve aktivitesinin başka bir göstergesidir. Faylanmalar, hidrotermal akışkanın yeryüzüne ulaşmasında etkin görevleri vardır [55]. Bağdere tufa oluşumu da, Elazığ Fay Zonu ile ilişkili olarak depolanmıştır. Deformasyon elipsoidi üzerine yerleştirildiğı zaman, ana kırığa paralel olan KD gidişli sol yanal Y kırığı üzerinde gelişmiş olduğu görülür (Şekil 2a, c ve Şekil 3).

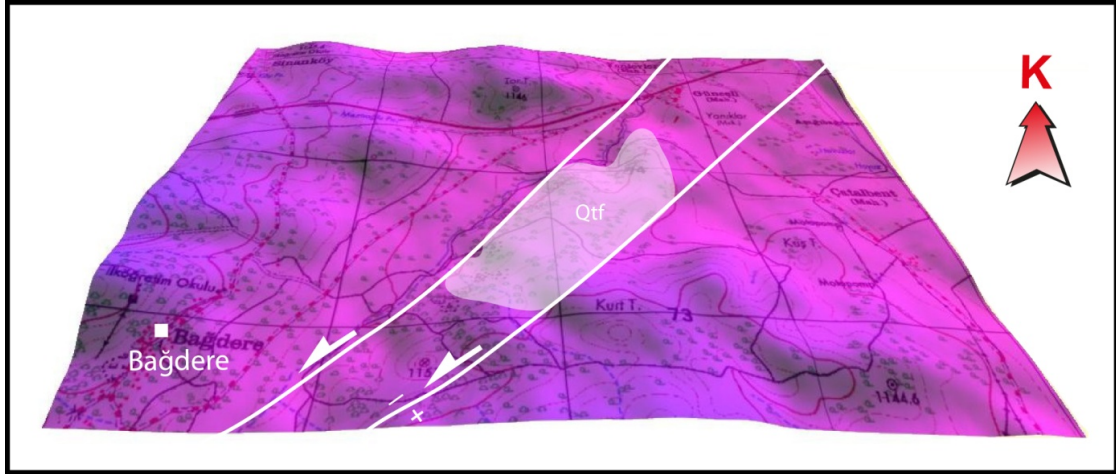


Şekil 1. Çalışma sahasının yerini belirten harita. a-Doğu Akdeniz Bölgesi'nin ana plakaları ve bunları sınırlayan fayları gösteren sadeleştirilmiş harita; b- Çalışma sahasının yeri ve Bingöl-Elazığ dolayında Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni meydana getiren ana fay zonları ve doğrudu atım havzalarını gösteren tektonik harita ([52]'den değiştirilerek.)

Söz konusu tufa depolanmasının yüzeyletiği Bağdere Köyü çevresinde Devoniyen-Jura yaşlı [56] Keban Metamorfitleleri, O. Eosen-Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı havza dolgusu karakterindeki Palu Formasyonu, stratigrafik istifi oluşturan başlıca birimlerdir. Tufalar, bu birimlerden Keban Metamorfitleleri üzerindeki Palu Formasyonu'yla yanal ve düşey ilişkili olarak bulunurlar (Şekil 2, 4, 5).



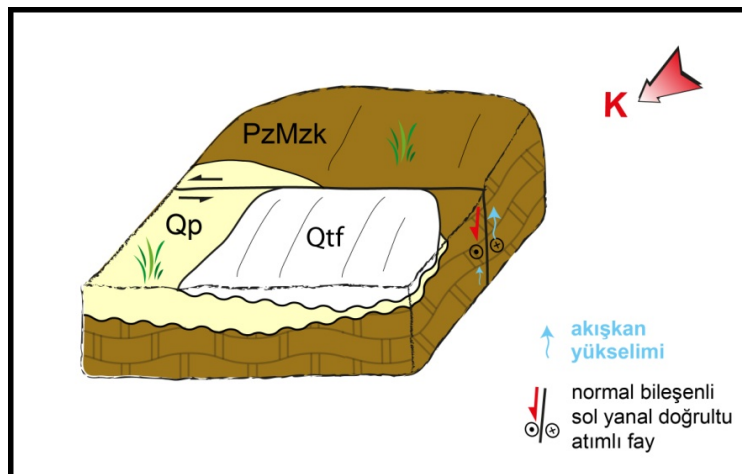
Şekil 2. Bağdere tufası çevresinin a- jeolojik haritası; b- enine jeolojik kesiti; c- tufanın deformasyon elipsoidi üzerindeki konumu



Şekil 3. Bağdere tufasını kontrol eden fayların DEM görüntüsü. Qtf: tufa yüzleği

Yaş	Kayaç Birimi	Litoloji	Açıklama
Kuvaterner	Tufa Palu Fm.		tufa kumtaşı koglomera
Devoniyen-Jura	Keban Metamorfileri		mermer ve rekritalize kireçtaşı
Ü. Kretase	Elazığ Magmatitleri		çoğunlukla andezitik volkanitler ve volkanoklastik kayalar

Şekil 4. Bağdere tufa yüzleği ve çevresinin tektono-stratigrafik kesiti

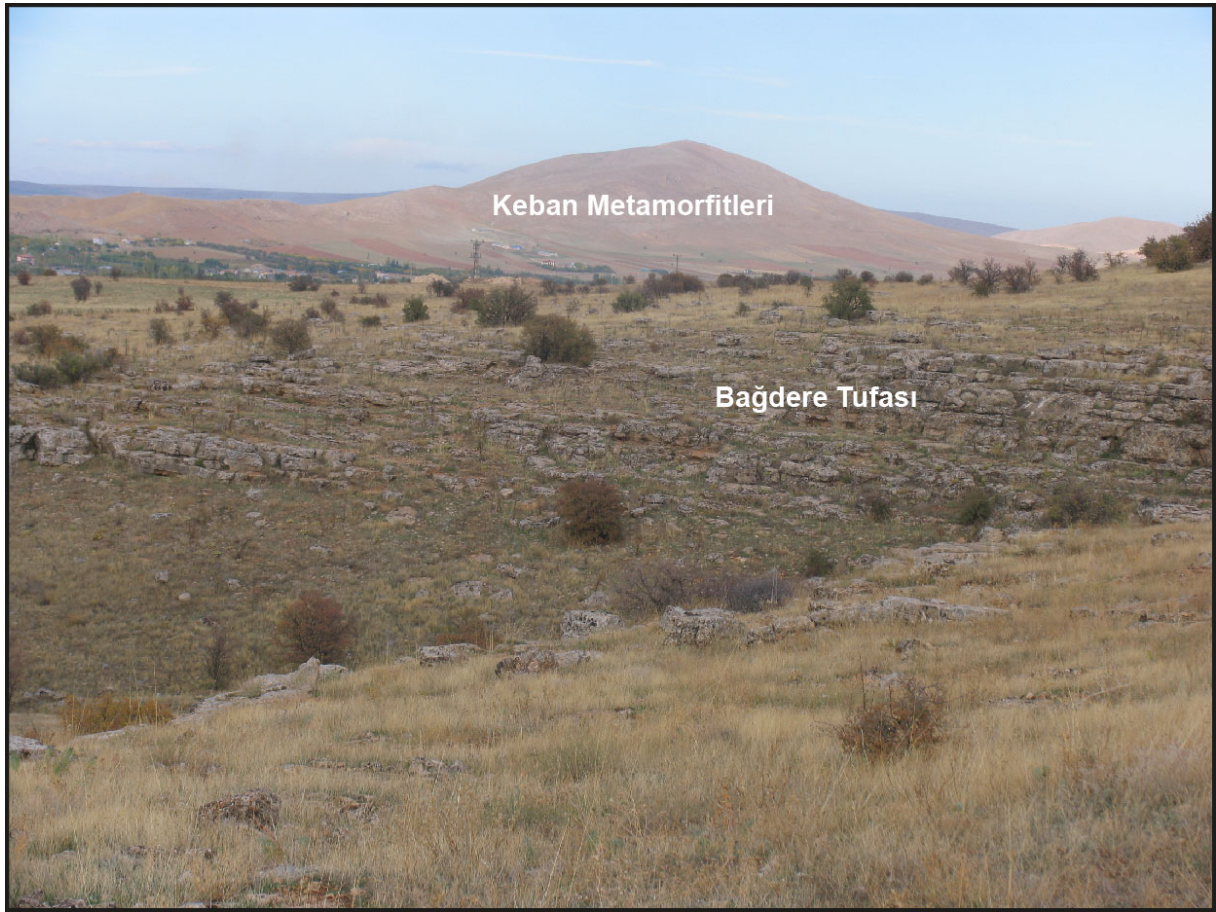


Şekil 5. Bağdere Tufası oluşum modeli. Qtf: Kuvaterner yaşlı tufa; Qp: Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu karasal kırıntılıları; PzMzk: Devoniyen-Jura yaşlı Keban Metamorfileri mermerleri ve rekristalize kireçtaşları

Tufa oluşumunda ana kaya rolü üstlenen, Keban ilçesi (Elazığ) civarındaki geniş yüzlekleri nedeniyle Keban Metamorfileri ismi verilen birim, Elazığ'ın batı kısmındaki yüksek alanları oluşturur (Şekil 6). Devoniyen-Jura'da depolanmış olan şelf tipi karbonat ve kırıntılardan oluşan bir istifin, Geç Kretase'de bölgede etkili olan ve Elazığ Magmatitleri olarak adlandırılan yay magmatitlerinin oluşumunu sağlayan yitim olayları sırasında, yeşilist

fasiyesinin düşük derecelerde metamorfizmaya uğramasıyla oluştuğu genel kabul gören bir yaklaşımdır. Bölgesel metamorfizma sonucu oluşan metamorfitle, alttan üste doğru rekristalize kireçtaşı-kalkıştler, mermerler ve metakonglomera-kalkfillitler şeklinde bir sıralanmaya sahiptir. Elazığ çevresindeki yüzlekleri, çoğunlukla mermer ve rekristalize kireçtaşlarıyla karakterize edilir.

Neotetis Okyanusu'nun kapanmasına neden olan kuzey yönlü yitim olayının sona ermesini takiben devam eden Arabistan-Anadolu levhaları arasındaki yakınlaşmayla ilişkili olan yaklaşık K-G doğrultulu sıkışmaya bağlı olarak Keban Metamorfitle, Geç Kretase sonlarında ve Erken Miyosen sonrasında güneye, Geç 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 yoğun tektonizma nedeniyle Elazığ çevresindeki yüzlekleri oluşturan mermerler ve rekristalize kireçtaşları, çok kırıklı bir yapı kazanmışlardır.



Şekil 6. Bağdere Köyü'nün (Elazığ) yakın kuzeydoğusunda yer alan tufa yüzleğinden bir görünüm; arka planda Keban Metamorfitle'nin mermerleri. Bakış kuzeydoğuya.

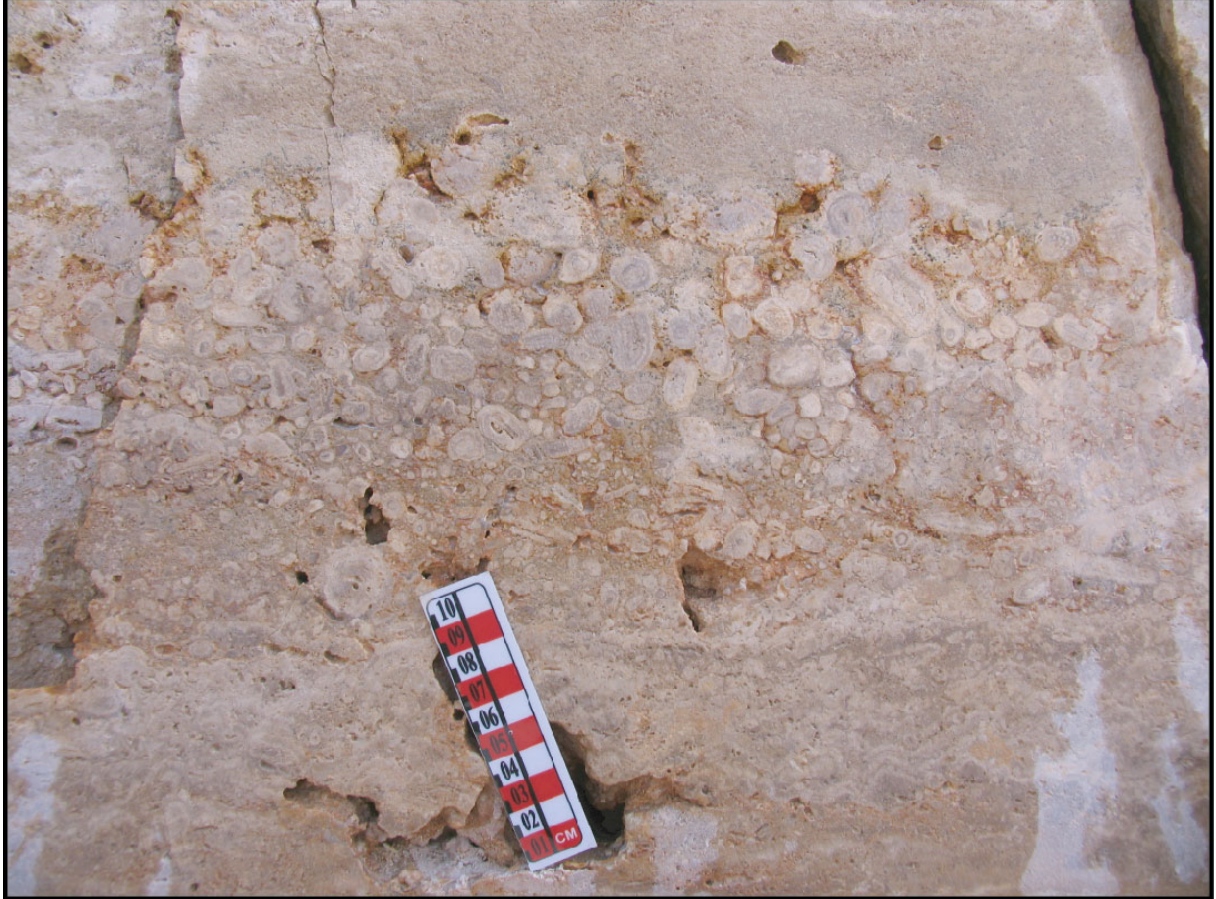
Tufaların yanıl ve düşey ilişkili olduğu Kuvaterner yaşlı havza dolgusu, karasal kökenli kırıntılı çökellerle karakterize edilir [53]. Bu çökeller, Elazığ çevresindeki doğrultu atım havzalarında çökemiş ve Palu Formasyonu [57] olarak adlandırılan çökellere benzerlik gösterir. Bunların en yaygını da, havzayı kontrol eden faylara bağlı olarak yüksek alanlarda türeyen malzemenin, az eğimli alanlarda depolanmasıyla oluşmuş alüvyal yelpazelerdir. Kaynak alanla ilişkili olarak, çakılların çoğu Keban Metamorfitle'nden türemiştir.

3.BULGULAR

3.1.Depolanma Özellikleri

Bağdere tufası genellikle yatay ve kalın tabakalı, açık-koyu kahverengi tonlarda, diyajenez süreçleri nedeniyle iyi sıkışmış ve bununla ilişkili olarak birincil depolanma özellikleri kolay seçilememektedir. 9 metrelik 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 7), tufa intraklastları ve tabanda çamurtaşları ara düzeyleri (Şekil 8) bulunmaktadır. Aynanın orta kesiminde, suyun türbülanslı akışını gösteren 15-20 cm kalınlığında bir onkolit seviyesinde, 3 cm'ye kadar ulaşan farklı boyuttaki onkolit taneleri gözlenmektedir (Şekil 7). Onkolitler, biyogenik bir tanenin etrafına sarılan bir dizi konsantrik CaCO_3 laminasyonudur. Ayrıca bazı blok yüzeylerinde, birbiriyle ardışık, açık ve koyu paralel bantlardan oluşan seviyeler de gözlenmektedir. Bu depolanma sistemi, genellikle durgun ya da düşük hızlı akıntıların olduğu, sığ, mevsimsel kuruyan gölcükler ve bataklık ortamını yansıtmaktadır [22, 58].



Şekil 7. Bağdere tufa istifinin üst kısımlarında bir onkolit düzeyi. Onkolit tanelerinin çapları 3 cm'ye kadar çıkmaktadır. İstifin en üstündeki ~ 6 metrelik ocak aynasının tabanı

3.2. Mineralojik Bileşim

XRD yöntemi, karbonat minerallerinin türü ve optik mikroskop ile incelenemeyecek boyutlardaki (submikroskopik) tane boyuna sahip minerallerin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Mineralojik olarak travertenler ve tufalar, CaCO_3 'ün iki temel polimorfundan biri olan kalsitten (çoğunlukla) ve az miktarda aragonitten meydana gelir. Fakat, bazı hallerde bunlardan başka dolomit, barit vb. mineraller de oluşumda bulunabilirler [14, 59]. Bağdere tufası, tamamen kalsit bileşimlidir.

Bağdere tufasından alınan 4 örneğin element analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir. Tufaların element bileşimleri, literatürdeki değerlerle çoğunlukla uyumludur [23, Çizelge 2; 12, Çizelge 1]. Buna göre tufalarda en bol element, 384719-390151 ppm ile Ca'dur. 112-338 ppm arasındaki Sr değerleri termojen travertenlerdeki değerlere göre oldukça düşüktür [14, Çizelge 4]. Bu değerler, Bağdere tufalarını oluşturan kaynak sularının sığ dolaşımını işaret etmektedir.



Şekil 8. Bağdere tufa istifinde bir çamurtaşı ara düzeyi (tabanda okla işaretli)

Çizelge 1. Bağdere tufa örneklerinin element konsantrasyonları

Örnek No	Ca	Si	Al	Fe	Mg	Ba	Sr
	(ppm)						
BD-1	386649	3740	1482	1749	3860	21	112
BD-2	389008	3039	794	1329	3498	55	140
BD-3	390151	982	370	910	4704	14	338
BD-4	384719	4394	1535	1399	4764	17	182

3.3. Duraylı İzotop Bileşimi

“Meteojen” terimi, topraktan ve atmosferden gelen CO₂'yi kullanan çökeller için; “termojen” terimi ise kireçtaşlarından çözünen veya doğrudan üst mantodan gelen CO₂ kaynaklı çökeller için kullanılmış ve bu termojen çökellerin yaygın olarak volkanik veya tektonik aktivitenin olduğu bölgelerde gözlemlendiği belirtilmiştir [60]. Termojen travertenlerin ve meteojen travertenlerin (=tufaların) duraylı izotop kayıtları, değişiklik sunar. Termojen travertenler, genellikle pozitif değerler verirken meteojen travertenler (=tufalar), negatif değerler verir [59]. Pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, magmatik faaliyetlerin yanında termo-metamorfik prosesler neticesinde ortaya çıkmış CO₂'nin katkısını gösterir. Halbuki negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, olasılıkla derin kökenli CO₂ ve toprak zonundan gelmiş CO₂'in birleşmesinden meydana gelir.

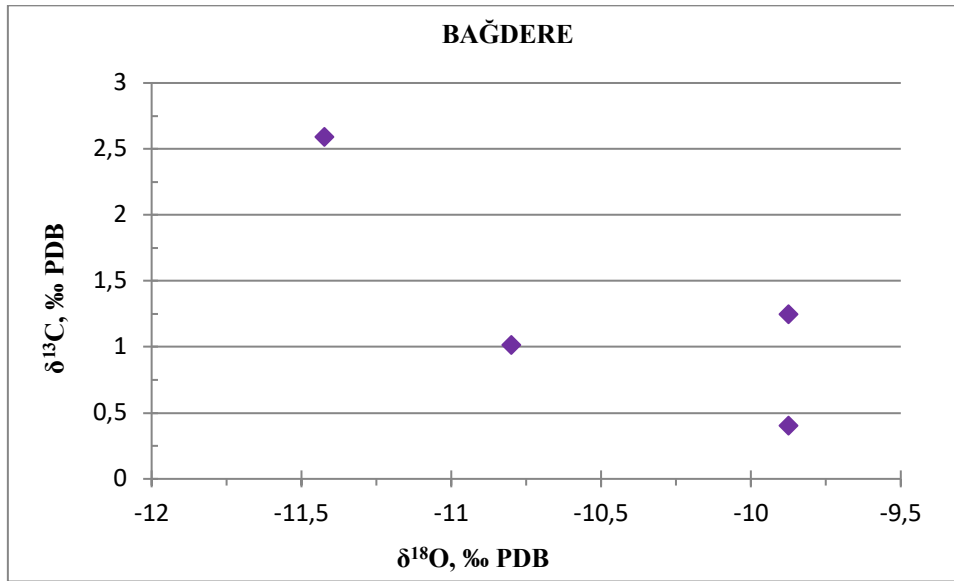
Tufa çökellerinin duraylı izotop değerleri ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$), karbonatlardaki CO₂ kaynağının yanı sıra, sıcaklık, nem, beslenme alanı, toprak ve bitki gelişimi gibi önemli parametrelerin elde edilmesinde ve böylelikle paleoortamsal yorumlamalarda oldukça önemli veriler sunmaktadır [13, 22, 61].

Bu amaçlarla tufa örnekleri üzerinde duraylı izotop analizi ($\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$) yapılmış ve alınan 4 adet örneğin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, 0.4 ila 2.6 (‰ PDP) arasında; $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri ise -9.9 ila -11.4 (‰ PDP) olduğu görülmüştür. $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin düşük pozitif olması, tufa oluşumuna organik kökenli karbondan çok, inorganik kökenli

karbonun girmiş olmasından kaynaklı olabilir. Çalışma alanında temel kaya olan Keban Metamorfizmaları'nın mermerleri, inorganik karbon kaynağı olarak düşünülmektedir (Çizelge 2; Şekil 9). $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin ise kendi içerisindeki daha az negatife doğru geçişi, kapalı bir çökeltme ortamında iklimsel salınma bağlı olarak artan buharlaşma ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Bunlara göre Bağdere tufalarının, sıg göl ortamında oluştuğu yorumlanmıştır.

Çizelge 2. Bağdere tufa örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleri

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



Şekil 9. Bağdere tufa örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri grafik dağılımı

3.4. Yaş Bulguları

Uranyum-Toryum, kalsiyum karbonat (CaCO_3) materyallerin yaşını saptamak için yaygın olarak kullanılan bir radyometrik yaşlandırma tekniğidir. Bu çalışmada da kullanılan tekniğin genel ilkeleri için, Smart (1991) [62] temel alınmıştır. Kuramsal açıdan U (uranyum), Ca (kalsiyum) içeren doğal sularda rahatlıkla çözülebilir. Bu yüzden çökelti sonucu oluşan kayaç, uranyum izleri taşır. Aksine Th (toryum), çözeltide çözülemez, hızlıca hidroliz olur ve katı yüzeyler üzerine sıkıca tutunur. Dolayısıyla bu sulardan çökelen kayaçlar, genellikle toryum içermez. Yani uranyum, kalsiyum karbonatın biyolojik ve ya kimyasal çökmesi esnasında, aynı anda çökmekte ve kalsit kristalleri arasında depolanmaktadır. Fakat toryum çökmemektedir ve doğal sulardaki toryum miktarı, göz ardı edilmektedir. Dolayısıyla ana izotop olan ^{234}U 'a karşın ^{230}Th eksikliği vardır. Zamanla $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ oranı, eşitlik sağlanıncaya dek aşamalı bir şekilde artar. Çünkü ^{234}U ve ^{238}U arasında da, bir eşitsizlik vardır ve ^{234}U 'nun ayrışması, $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ oranını giderek artırır.

Bir karbonat örneğinde Uranyum serisi yaş tekniğinin başarılı olarak uygulanabilmesi için bazı önkabuller ve kriterler temel alınır. Bunlar, karbonat örneğinin aynı çözeltiden hemen kristallenmiş olması ve depolanma esnasında kristallerde ^{230}Th var olmayıp tane yüzeylerindeki toryumun, ^{232}Th olmasıdır. Bu nedenle bu uzun ömürlü izotoptan, sonradan gelen toryum kirliliğini takip amaçlı yararlanılabilir. Şayet $^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ değeri, 20'den azsa ^{230}Th için düzeltme zorunludur; bunun için taneli ve çok poroziteli örneklerden sakınmak icap eder. Bu düzeltme için farklı metodlar uygulanmaktadır. Bir diğer önkabul ise sistemin, çökeltme bittikten sonraki U ve Th sirkülasyonuna kapalı olmasıdır. Rekristalleşme, ikincil kristalleşme ve de fazla gözeneklilik emareleri olan örneklerden sakınılmalıdır. Smart (1991), U-Th yaşlandırma tekniğinin, bilhassa 400.000-5.000 sene arasında uygulanabilir olduğunu belirtmektedir.

Bağdere tufasından alınan dört örneğin U/Th yaş analizi sonuçları, Çizelge 3'de verilmiştir. Buna göre Bağdere'de tufa oluşumu, günümüzden 524,597 yıl önce başlamıştır. Bu yaş, Pleyistosen (MIS 13, Marine Isotope Stage)'e karşılık gelmektedir.

Çizelge 3. Bağdere tufaların U-Th yaşlandırma analiz sonuçları

	Örnek No			
	BD-1	BD-2	BD-3	BD-4
²³⁸ U ppm	0,268	0,037	0,391	0,455
±	0,001	0,000	0,002	0,002
²³² Th ppm	0,0067	0,0011	0,0040	0,0960
±	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011
²³⁴ U/ ²³⁸ U	1,1420	1,0698	1,1335	1,0479
±	0,0091	0,0071	0,0091	0,0073
²³⁰ Th/ ²³⁴ U	0,8899	0,9095	0,8751	1,0108
±	0,0092	0,0156	0,0078	0,0135
²³⁰ Th/ ²³⁸ U	1,0163	0,9731	0,9920	1,0592
±	0,0073	0,0155	0,0054	0,0127
²³⁰ Th/ ²³² Th	124,6780	99,1800	294,5430	15,3310
±	1,2880	1,7890	2,4990	0,2570
Hesaplanan Yaş (binyıl)	216,131	243,682	206,884	529,839
Hata	7,697	15,687	6,488	190,311
Düzeltilen Yaş (binyıl)	215,545	242,906	206,637	524,597
Hata	7,728	15,729	6,491	225,215

4. Sonuçlar

Bağdere tufası, büyük bir makaslama zonu olan sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni meydana getiren fay zonlarından biri olan Elazığ Fay Zonu'nun aktivitesiyle ilgili olarak genişlemeli bir alanda çökelmiştir.

Tufa çökeline köken olan ana kaya, Keban Metamorfiteri'nin mermerleri ve rekrystalize kireçtaşlarıdır.

Duraylı izotop analizlerinden $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin, 0.4 ila 2.6 (‰ PDP) arasında; $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerlerinin ise -9.9 ila -11.4 (‰ PDP) arasında olduğu görülmektedir.

Bağdere tufalarının, sığ göl ortamında oluştuğu yorumlanmıştır.

Yapılan XRD analizlerine göre tufaların, tamamen kalsitten meydana geldiği belirlenmiştir.

Yaş verileri tufa oluşumunun günümüzden en az 524,597 yıl önce başladığını işaret eder ki bu yaş Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin oluşum yaşıyla da uyumludur.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 110Y172 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Ford, T.D., Pedley, M.H. Tufa deposits of the world. J. Speleol. Soc. Japan 1992; 17, 46-63.
- [2] Bates, R. L., Jackson, J. A. Glossary of Geology (Second Edition). Virginia, USA: American Geology Institute Falls Church, 1980.
- [3] Wyatt, A. Challinor's Dictionary of Geology (6th Edition). University of Wales Press: Cardiff, 1986.
- [4] Pedley, H.M. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. Sedimentary Geology 1990; 68, 143-154.

- [5] Atabey, E. Tufa ve traverten. Ankara, Türkiye: TBMMO Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 2003.
- [6] Julia, R. Travertines. In: P.A. Scholle, D.G. Bebout and C.H. Moore (Editors), Carbonate depositional Environments. Am Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1983; 33, 64-72.
- [7] Chafetz, H. S., Folk, R. L. Travertines, depositional morphology and the bacterially constructed constituents. Journal of Sedimentary Petrology 1984; 54, 289-316.
- [8] Guo, L., Riding, R. Hot-springs travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. Sedimentology 1998; 45, 163-180.
- [9] Muir-Wood, R. Neohydrotectonics. In: Neotectonics and active faulting (edited by Steward, I.S., Vita-Finzi, C. and Owen, L.A.) Zeitschrift Geomorphologie Supplementary 1993; Volume, 94, 275-284.
- [10] Ford, T.D., Pedley, M.H. A review of tufa and travertine deposits of the world. Earth Sci. Review 1996; 41, 117-175.
- [11] Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Çakır, Z. Travertines: using travertines in active fault studies. Journal of Structural Geology 1999; 21, 903-916.
- [12] Arenas, C., Gutiérrez, F., Osácar, C., Sancho, C. Sedimentology and geochemistry of fluvio-lacustrine tufa deposits controlled by evaporite solution subsidence in the central Ebro Depression, NE Spain. Sedimentology 2000; 47, 883-909.
- [13] Andrews, J. E. Paleoclimatic record from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and review. Earth-Science Review 2006; 75, 85-104.
- [14] Özkul, M., Kele, S., Gökğöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Fórizs, I., Nemeth, T., Chang, Y.W., Alçiçek, M.C. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli Extensional Basin based on their depositional and geochemical data. Sedimentary Geology 2013; 294, 179-204.
- [15] Altunel, E., Hancock, P.L. Morphology and Structural Setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey. Geological Journal 1993; 28, 335-346.
- [16] Minissale, A., Kerrick, D. M., Magro, G., Murrell, M. T., Paladini, M., Rihs, S., Sturchio, N. C., Tassi, F., Vaselli, O. Geochemistry of Quaternary travertines in the region north of Rome (Italy): structural, hydrologic and paleoclimatologic implications. Earth and Planetary Science Letters 2002; 203, 709-728.
- [17] 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. Sedimentology 2010; 61, 177-204.
- [18] Goudie, A. S., Viles, H. A., Pentecost, A. The late-Holocene tufa decline in Europe. The Holocene 1993; 3.2: 181-186.
- [19] Violante, C., Ferreri, V., D'argenio, B. and Golubic, S. Quaternary travertines at Rochetta a Volturmo (Isernia, Central Italy). Facies analysis and sedimentary model of an organogenic carbonate system. PreMeeting Fieldtrip Guidebook, A1. International Association of Sedimentologist, Ischia'94, 15th regional meeting; 1994; Italy. 3-23.
- [20] Pedley, H.M., Martin, J.A.G., Ordonez, D.S., Garcia del Cura, M.A. Sedimentology of Quaternary perched springline and paludal tufas: criteria for recognition with examples from Guadalajara Province, Spain. Sedimentology 2003; 50.
- [21] Arenas, C., Cabrera, L., Ramos, E. Sedimentology of tufa facies and continental microbialites from the Palaeogene of Mallorca Island (Spain). Sedimentary Geology 2007; 197 (2007), 1-27.
- [22] Arenas-Abad, C., Vazquez-Urbez, M., Pardo-Tirapu, G., Sancho-Marcen, C. Fluvial and associated carbonate deposits. In: Alonso-Zarza, A.M., Tanner, L.H. (Eds), Continental Settings: Facies, Environments and Processes. Sedimentology 2010; 61, 133-176.
- [23] Özkul, M., Gökğöz, 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. In: Pedley, H.M. (Ed.), Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls. The Geological Society, London 2010; Special Publications 336, pp. 245-262.
- [24] Koşun, E. Facies characteristics and depositional environments of Quaternary tufa deposits, Antalya, SW Turkey. Carbonates Evaporites 2012, 269-289.
- [25] Auqué, L. F., Arenas, C., Osácar, C., Pardo, G., Sancho, C., Vázquez-Urbez, M. Tufa sedimentation in changing hydrological conditions: the River Mesa (Spain). Geologica Acta 2013; 11(1), 85-102.
- [26] Capezzuoli, E., Gandin, A., Pedley, M. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: the state of the art. Sedimentology 2014; 61(1), 1-21.
- [27] Horvatinčić, N., Sironić, A., Barešić, J., Sondi, I., Krajcar Bronić, I., Borković, D. Carbon Based Proxies of Palaeoenvironmental Records in the Sediments of Two Lakes, the Plitvice Lakes, Croatia, 2017.
- [28] Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D. Soil pollution: a hidden reality: FAO, 2018.
- [29] Brook, G. A., Cowart, J. B., Brandt, S. A. Comparison of Quaternary environmental change in eastern and southern Africa using cave speleothem, tufa and rock shelter sediment data. Quaternary deserts and climatic change 2020; 239-249.
- [30] Barešić, J., Faivre, S., Sironić, A., Borković, D., Lovrenčić Mikelić, I., Drysdale, R. N., Krajcar Bronić, I. The Potential of Tufa as a Tool for Palaeoenvironmental Research-A Study of Tufa from the Zrmanja River Canyon, Croatia. Geosciences 2021; 11(9), 376.
- [31] Sallam, E. S., Abou-Elmagd, K. Paleospring freshwater tufa carbonates of the Kurkur Oasis Geosite (southern Egypt): archives for paleoenvironment and paleoclimate. International Journal of Earth Sciences 2021; 110(3), 1073-1075.
- [32] Ranjbaran, M., Zamanzadeh, S. M. Determining the role of chemical and biological factors in controlling precipitation of tufa and travertine deposits in Shurab area, Northern Iran. Carbonates and Evaporites 2021; 36(4), 1-18.
- [33] Arpat, E., Şaroğlu, F. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. MTA Bült. 1972; 73, 1-9.
- [34] Jackson, J., McKenzie, D. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, Geoph. J. Royal Astr. Soc. 1984; 77, 185-264.

- [35] Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study. In: "Strike-slip deformation, basin deformation and sedimentation". Edited by: K.T. Biddle&N. Christie-Blick. Soc. Econ. Paleont. and Min. Spec. Publ. 1985; 37, 227-264.
- [36] Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M. N. Kıtaların çarpışması ve ilgili kompleks deformasyon, Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları. *Yerbilimleri* 1987; 14, 319-336.
- [37] Muehlberger, W.R., Gordon, M.B. Observation on the complexity of The East Anatolian Fault, Turkey. *Jour. Structural Geology* 1987; 9/7, 899-903.
- [38] Lyberis, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N. The East Anatolian Fault: An Oblique collisional belt. *Tectonophysics* 1992, 204, 1-15.
- [39] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. The East Anatolian fault zones of Turkey. *Annales Tectonicae* 1992; 6, 99-125.
- [40] Westaway, R. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *Jour. Geophys. Res.* 1994; 99/B6, 12,071-12090.
- [41] Westaway, R. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, *Turkish J.Earth Sci. J.* 2003; 12, 5-46.
- [42] Gürsoy, H., Tatar, O., Piper, J. D. A., Heimann, A., Mesci, L. Neotectonic deformation linking the east Anatolian and Karatas-Osmaniye intracontinental transform fault zones in the Gulf of İskenderun, southern Turkey, deduced from paleomagnetic study of the Ceyhan-Osmaniye volcanic. *Tectonics* 2003; vol. 22, no. 6, 1067.
- [43] Duman, T., Emre Ö. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society of London* 2013; Special Publications, 372.
- [44] Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Kürçer, A., Kara, M., Özdemir, E, Yavuzoğlu, A., Gündoğan, Ç. U. Paleoseismology of the western Sürgü-Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews* 2020; 2(3), 411-437.
- [45] Hempton, M.R., Dewey J.F. Earthquake-induced deformational structures in young lacustrine sediments, East Anatolian Fault, Southeastern Turkey. *Tectonophysics* 1983; 98, 7-14.
- [46] Barka, A.A., Kadinsky-Cade, K. Strike-slip fault geometry and its influence on earthquake activity. *Tectonics* 1988; 7/3, 663-684.
- [47] Perinçek, D., Çemen, İ. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in Southeastern Turkey. *Tectonophysics* 1990;172, 331-340.
- [48] Herece, E. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. Ankara Türkiye: MTA Özel Yayın Serisi-13, 2008.
- [49] Koçyiğit, A. Segmentation and near future seismicity of the East Anatolian Fault System. International workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault System: recent progress in tectonics and paleoseismology; 31 August-12 September 2003, METU, Ankara. Abstracts, p.7.
- [50] Çolak Erol, S., Özkul, M., Aksoy, E., Kele, S., Ghaleb, B. Travertine occurrences along major strike-slip fault zones: Structural, depositional and geochemical constraints from the Eastern Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. *Geodinamica Acta* 2015; 27, Issue 2-3, 154-173.
- [51] Çolak Erol, S. Doğrultu Atımlı Fay Sistemlerindeki Traverten Oluşumlarının Jeolojik, Tektonik, Jeokimyasal ve Jeokronolojik Özelliklerine Sivrice (Elazığ) Güneybatısı'ndan Bir Örnek. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 2016; 59(3), 341-356.
- [52] Koçyiğit, A., Aksoy, E. and İnceöz, M., 2003. Basic neotectonic characteristics of the Sivrice Fault Zone in the Sivrice-Palu area, East Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault systems: Recent progress in Tectonics and Paleoseismology, 31 August to 12 September 2003, METU-Ankara-Turkey. Pre-International workshop excursion guide-book, 20 p.
- [53] Çolak, S., Aksoy, E., Koçyiğit, A., İnceöz, M. The Palu-Uluova Strike-Slip Basin in the East Anatolian Fault System, Turkey: Its Transition from the Paleotectonic to Neotectonic Stage. *Turkish Journal of Earth Sciences* 2012; 21, 547-570.
- [54] Tan, O., Pabuçcu, Z., Tapırdamaz, C., İnan, S., Ergintav, S., Eyidoğan, H., Aksoy, E., Kuluöztürk, F. Aftershock study and seismotectonic implications of the 8 March 2010 Kovancılar (Elazığ, Turkey) earthquake (Mw= 6.1). Active Tectonic Research Group (ATAG) Workshop 14, 3-6 November 2010; Adıyaman, Turkey. Abstracts, p. 56.
- [55] Sibson, R.H., Moore, J.McM. Rankin, A.H. Seismic pumping a hydrothermal fluid transport mechanism. *Jour. Geol. Soc. London* 1975; 131, 653-659.
- [56] Kaya, A. Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey. *Journal of African Earth Sciences* 2016; 124, 245-257.
- [57] Çetindağ, B., Palu-Kovancılar (Elazığ) dolayının hidrojeoloji incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (yayımlanmamış), 1985.
- [58] Henchiri, M. Quaternary paludal tufas from the Ben Younes spring system, Gafsa, southwestern Tunisia: Interactions between tectonics and climate. *Quaternary International* 2014; 338, 71-87.
- [59] Pentecost, A. Travertine. Berlin: Springer Verlag, 2005. [60] Pentecost, A. British travertines: A review. *Proceedings of the Geologists Association* 1993; 104, 23-39.
- [60] Deocampo, D. M. The geochemistry of continental carbonates. *Developments in Sedimentology* 2010; 62, 1-59.
- [61] Smart, P.L. Uranium series dating. In: P.L. Smart and P.D. Francis (Eds.). *Quaternary dating Methods-a User's Guide*. Quart. Res. Assoc. Tech. Guide. 4, London 1991; pp.45-83.