



Doğrultu Atımlı Fay Sistemlerindeki Traverten Oluşumlarının Jeolojik, Tektonik, Jeokimyasal ve Jeokronolojik Özelliklerine Sivrice (Elazığ) Güneybatısı'ndan Bir Örnek

Geological, Tectonic Geochemical and Geochronological Properties of Travertine Occurrences Along the Strike-Slip Fault Systems: A Case From Southwestern Part of Sivrice (Elazığ)

Serap ÇOLAK EROL

*Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ
e-posta: serapcolak@firat.edu.tr*

ÖZ

Türkiye'nin en önemli ikinci neotektonik yapısı olan sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin önemli zonlarından biri olan Sivrice Fay Zonu üzerinde ve Sivrice İlçesi'nin (Elazığ) 20 km GB'sında yer alan traverten yüzleği, güney-güneydoğuya bakan duraysız bir yamaç üzerinde, yamaç topoğrafyasına uyumlu olarak depolanmıştır.

Traverten yüzleğinin üzerinde yer aldığı Orta Eosen yaşlı Maden Grubu, esas olarak volkanik ara katkılı çamurtaşları ile andezit, bazalt ve bunları kesen diyabaz dayklarından oluşur. Traverten oluşumunda ana kaya rolü üstlenen Pütürge Metamorfite'leri ise Sivrice çevresindeki yüzleklerinde, kalkıştı ve mermerlerle temsil edilir. Pütürge Metamorfite'leri'nin litolojisi ve sol yanal doğrultu atımlı Sivrice Fay Zonu'nun oluşturduğu kırıklı yapı, akışkan dolaşımında ve dolayısıyla travertenlerin oluşumunda önemli rol oynamıştır. Traverten yüzleği, normal bileşenli sol yanal doğrultu atımlı faylar boyunca, fayların ve ana kayanın oluşturduğu uygun koşullarda yüzeye kadar çıkan sular tarafından fay önünde çöktüldüğünden, travertenlerin morfolojik sınıflamasına göre 'fay önu traverteni' olarak değerlendirilmiştir.

Traverten örneklerinin element oranları, Ca: 378216-385220 ppm, Mg: 5428-8021 ppm, Sr: 2133-6046 ppm mertebesindedir. $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, +3,5 ile +6,7 (‰ PDB), $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -8.1 ile -9.6 (‰ PDB) arasındadır. Bu jeokimyasal verilere göre incelenen travertenler, termojen kökenlidir. Travertenlerden elde edilen U-Th yaş verilerine göre, traverten sahasında günümüzden en azından 30.86 ± 0.49 önce traverten çökelişi başlamıştır.

Anahtar kelimeler: Doğu Anadolu Fay Sistemi, fay önu traverteni, sol yanal doğrultu atımlı fay, U-Th yaşlandırması

ABSTRACT

The East Anatolian fault system (EAFS) of left lateral strike-slip is the second most important neotectonic structure of Turkey. The travertine occurrence is located on the Sivrice fault zone, which is one the significant zone of the EAFS and precipitated on a S to SW-facing slope, 20 km SW of the Sivrice town (Elazığ) in accordance with the slope topography.

The Maden Group of Middle Eocene age, on which the travertine occurrence took place, composed mostly of mudstones with volcanic intercalations, andesite, basalt and diabase dykes that cut them. The Pütürge Metamorfics that play role as a basement rock are represented by calcschist and marble around their Sivrice exposures. Lithology of the Pütürge Metamorfics and the fractured structure of the left lateral strike-slip Sivrice Fault Zone play an important role on the travertine formation. As the travertine exposures has been precipitated under appropriate conditions that formed by faults and bedrock in front of a fault along the left lateral strike-slip fault zone with normal component, they have been evaluated as 'fault-front travertines' depending on the morphological classification.

The most abundant element concentrations of the travertine samples are: Ca: 378216-385220 ppm, Mg: 5428-8021 ppm, Sr: 2133-6046 ppm. The $\delta^{13}\text{C}$ values range from +3,5 to +6,7 (‰ PDB), while the $\delta^{18}\text{O}$ values are between -8.1 and -9.6 (‰ PDB). These geochemical signatures indicate that the travertines studied are of thermogene origin. Travertine precipitation began at least 30.86 ± 0.49 ka ago with respect to today in the field based on the U-Th age data.

Key Words: *Left lateral strike-slip fault, range-front travertine, The East Anatolian Fault System, U-Th dating*

GİRİŞ

Traverten terimi için birçok araştırmacı, birbirine benzeyen tanımlar yapmış olmakla birlikte (Bates ve Jackson, 1980; Julia, 1983; Chafetz ve Folk, 1984; Wyatt, 1986; Guo ve Riding, 1998) genel olarak traverten, karstik ve sıcak su kaynakları çevresinde, küçük nehirler ve bataklıklarda oluşabilen, kimyasal ve/veya biyokimyasal yolla çökelebilen sık dokulu kalsiyum karbonat (CaCO_3) birikimleridir. Travertenlerin birincil minerali, kalsittir.

Barnes vd. (1978)'in belirttiği gibi, tektonik olarak aktif olan zonlar ile traverten çökeli arasında dünya çapında çok yakın bir ilişki vardır. Çünkü faylanmalar, hidrotermal akışkanın yüzeye taşınmasında önemli rol oynarlar (Sibson vd., 1975). Dolayısıyla travertenler, bölgesel tektoniğin bazı belirtilerini yansıtır. Birçok traverten kütlesi, Pleyistosen'den bu

yana oluşmaya devam ettiğinden (Schwarcz ve Latham, 1984; Goff ve Shevenell, 1987; Kronfeld vd., 1988; Heimann ve Sass, 1989), aktif ve aktif olmayan travertenlerin varlığı, tektonik aktivitenin günümüzde veya yakın geçmişte devam ettiğinin bir göstergesidir. Travertenler, çökme sırası ve sonrasına ait tektonik kayıtları içerdiğinden, çökme sırasındaki ve sonrasındaki tektonizma hakkında önemli bilgiler sağlar (Altunel, 1996).

Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Akdeniz arasında uzanan, ülkemizin deprenselliği açısından en önemli fay sistemlerinden biridir. Fay sistemi, Arap-Afrika plakaları ile Anadolu bloğu arasında ortaya çıkan etkileşimi yanal bir hareketle karşılamaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985; Gülen vd., 1987; Muehlberger ve Gordon, 1987; Lyberis vd., 1992; Şaroğlu vd., 1992b; Westaway, 1994;

Westaway, 2003; Gürsoy vd., 2003). Bu özelliği ile Doğu Akdeniz'in en önemli aktif tektonik yapılarından olan fay sistemi, günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından farklı disiplinler kullanılarak çalışılmıştır.

Faylar ile travertenler arasındaki ilişki, Türkiye'de de birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Altunel ve Hancock (1993a, b), Altunel (1994, 1996), Çakır (1996, 1999), Ayaz (1998), Karabacak (2002), Özkul vd. (2010, 2013, 2014), Mesci (2004, 2013b), Mesci vd. (2008), Uysal vd. (2007, 2009), Çolak Erol vd. (2015)).

JEOLojİK-TEKTONİK ÖZELLİKLER

Çalışma konusu olan traverten yüzleği, Sivrice İlçesi'nin (Elazığ) 20 km GB'sında yer alan Kılıçkaya Köyü yakın GD'sunda yüzeyler (Şekil 1, 2). Traverten yüzleği, deniz seviyesi üzerinde 750 ila 950 metreler arasında, güney-güneydoğuya bakan duraysız bir yamaç üzerinde, yamaç topoğrafyasına uyumlu olarak depolanmıştır.

Traverten yüzleğinin üzerinde geliştiği Bingöl-Yarpuzlu Segmenti Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin en uzun yapısal bölümü olup K50°D doğrultusundadır (Şekil 1). 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.

Traverten depolanmasının üzerinde yer aldığı, Bingöl-Yarpuzlu Segmenti'ne ait olan ve DAFS'nin ana fayını içeren Sivrice Fay Zonu (SFZ), 2-4 km genişliğinde, 180 km uzunluğundadır ve birkaç alt fay kuşağı ile çok sayıda tekil faya ayrılır (Şekil 1). Sahip olduğu bu yapısal özelliği, 5 km genişlikte, 32 km uzunlukta, kenarları önemli miktarda normal atım bileşenli olan, kısa ve uzun bir seri fay ile sınırlanmış, günümüzde büyümesini sürdüren, bir bölümünde Hazar Gölü'nü de bulduran mercek biçimli bir

çöküntü oluşturur. Aksoy vd. (2007), Sivrice Fay Zonu boyunca birikmiş olan sol yanal doğrultu atım ve düşey atım miktarlarını sırasıyla 9 ± 1 km ve 1317 ± 10 m olarak belirtmişlerdir. Bu değerler, Sivrice Fay Zonu üzerindeki yıllık yanal ve düşey kayma hızlarının sırasıyla 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 yalnızca 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.

Söz konusu traverten depolanması, Orta Eosen yaşlı Maden Grubu üzerinde yer almaktadır. Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Pütürge Metamorfitleri ile Orta Eosen yaşlı Maden Grubu, Kılıçkaya Köyü çevresinde yüzeyleyen birimlerdir (Şekil 3, 4, 5).

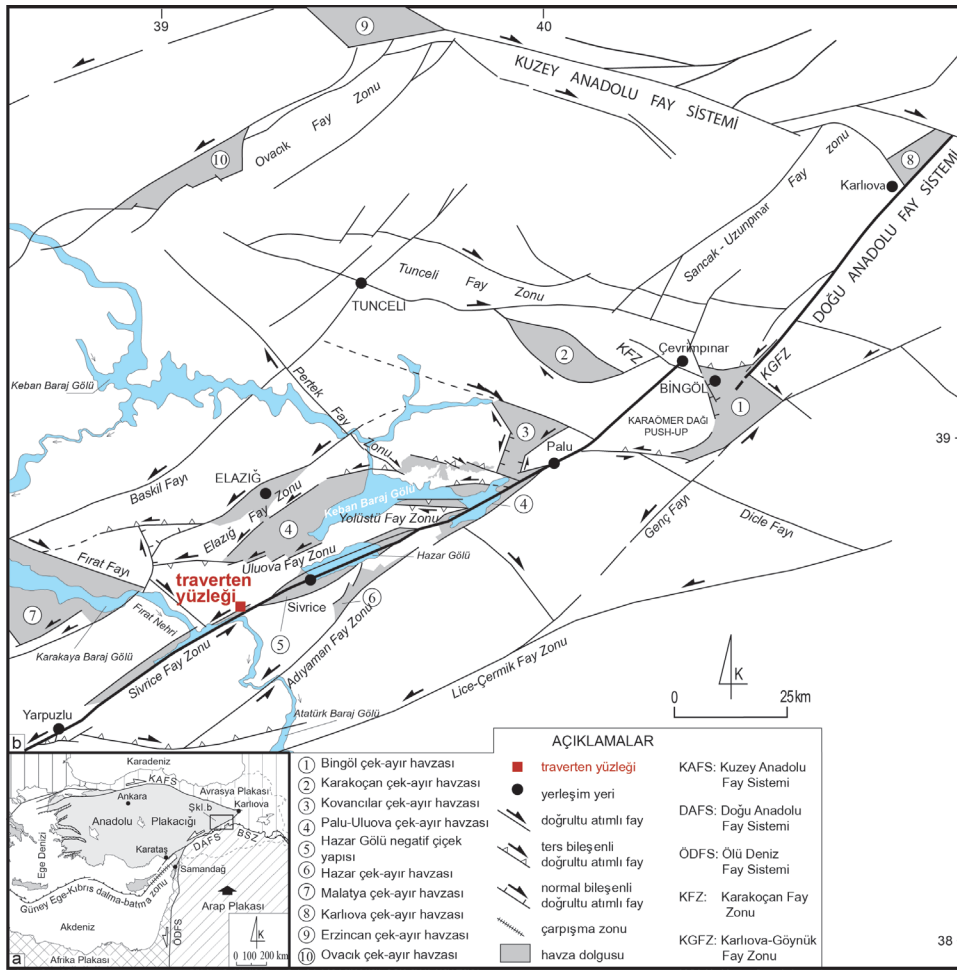
Traverten oluşumunda ana kaya rolü üstlenen Pütürge Metamorfitleri'nin metamorfizma özellikleri birbirinden farklı olan alt ve üst grup ya da alt ve üst birlik olarak adlandırılan iki bölümden oluştuğu kabul edilir (Sungurlu vd., 1985; Erdem, 1994). Alt grup ya da birlik; gözlü gnays, biyotit şist ve amfibol şist, amfibolit ve granitik gnayslardan oluşurken, üst grup ya da birlik ise muskovit şist, granatlı mika şistler, kalkşist ve mermerlerden oluşur. Kılıçkaya Köyü çevresindeki yüzleklerinde Pütürge Metamorfitleri, üst birliğe ait kalkşist ve mermerlerle temsil edilir.

Temel kaya olan Orta Eosen yaşlı Maden Grubu ise, söz konusu traverten yüzleği çevresinde, esas olarak volkanik ara katkılı bordo-şarabi renkli çamurtaşları ile andezit, bazalt ve

bunları kesen diyabaz dayklarından oluşur (Çelik, 2003).

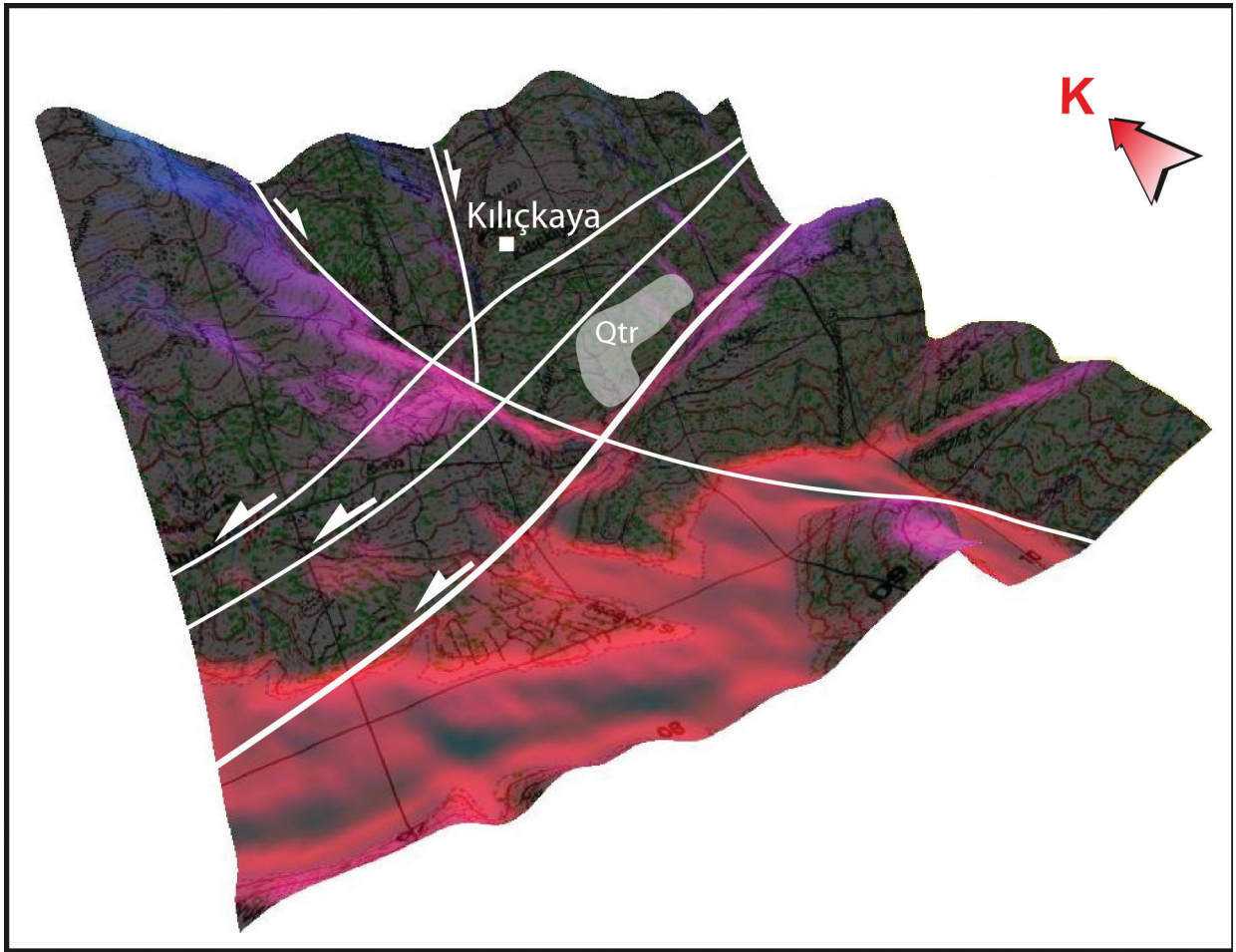
Maden Grubu'na (Tm) ait kayalar, Değirmen Dere Vadisi'ni denetleyen Sivrice Fay Zonu'nun ana kırığı boyunca Pütürge Metamorfileri ile yan yana görülür (Şekil 6). Pütürge Metamorfileri'nin litolojisi ve sol yanal doğrultu atımlı Sivrice Fay Zonu'nun oluşturduğu kırıklı yapının, travertenlerin oluşumunda önemli rol oynadığı düşünülmektedir. Söz

konusu traverten yüzleği, Sivrice Fay Zonu'nu oluşturan faylar boyunca, fayların ve ana kayanın oluşturduğu uygun koşullarda yüzeye kadar çıkan sular tarafından fay önünde çökeltmiştir. Bu durumda traverten yüzleğini, morfolojik sınıflamaya göre (Chafetz ve Folk, 1984; Altunel ve Hancock, 1993a; Altunel, 1996; Ayaz, 2002a), *fay önü traverten* olarak değerlendirebiliriz (Şekil 3b, 5). Traverten oluşumu, SFZ ana kırığına paralel olan Y kırığı üzerinde gelişmiştir (Şekil 3c).



Şekil 1. İnceleme alanının konumunu gösteren harita. a-Doğu Akdeniz Bölgesi'nin ana levhaları ve bunları sınırlayan fayları gösteren sadeleştirilmiş harita; b-İnceleme alanının konumu ve Bingöl-Elazığ çevresinde Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan ana fay zonları ve doğrultu atım havzalarını gösteren sadeleştirilmiş tektonik harita (Koçyiğit vd., 2003'den değiştirilerek)

Figure 1. Location map of investigated area. a-Simplified map showing major plates and their boundary faults in East Mediterranean surrounding areas; b-simplified map showing strike-slip basins and major fault zones of the East Anatolian Fault System around Bingöl-Elazığ (modified from Koçyiğit et al. 2003)



Şekil 2. Kılıçkaya Köyü ve çevresi tektoniğinin DEM üzerinde gösterimi. Qtr: traverten yüzleği
Figure 2. DEM image and tectonic of Kılıçkaya Village and surroundings area. Qtr: travertine

DEPOLANMA ÖZELLİKLERİ

Traverten yüzleği, güney-güneydoğuya bakan bir yamaç üzerinde, yamaç topoğrafyasına uyumlu olarak depolanmıştır (Şekil 7). Tabanındaki ana kaya üzerinde, ana kayadan türemiş çakıl boyutundaki parçaları içeren kırıntılı bir seviye ile uyumsuz olarak başlar (Şekil 8a, b) ve bu kırıntılı seviye yukarıya doğru, yerini önce ince tabakalı, daha üstlere doğru ise kalın tabakalı-masif traverten düzeylerine bırakır (Şekil 8a).

MİNERALOJİK BİLEŞİM VE ELEMENT JEOKİMYASI

Mineralojik olarak travertenler CaCO_3 'ün iki ana polimorfundan birisi olan kalsitten oluşur. Ancak, bazı durumlarda bu iki mineral dışında dolomit, barit vb. mineraller de oluşumda yer alabilirler (Pentecost, 2005; Özkul vd. 2013). Kılıçkaya sahasından alınan 3 adet traverten örneği, XRD analiz sonuçlarına göre tamamen kalsitten oluşmaktadır. Örneklerde, eser miktarda kuvars tespit edilmiştir (Şekil 9).

Kılıçkaya travertenlerine ait 5 adet örneğin element konsantrasyonları, Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre Ca: 378216-385220 ppm, Sr: 2133-6046 ppm ve Mg: 5428-8021 ppm mertebesindedir.

Travertenlerin Sr konsantrasyonları ile mineralojik bileşimleri arasında yakın bir ilişki olduğu birçok çalışmada bildirilmiştir (Folk, 1994; Fouke vd., 2000; Pentecost, 2005; Kele vd., 2008, 2011). Çoğunlukla kalsit bileşimli olan meteojen travertenler (tufalar), genellikle 20-200 ppm gibi düşük Sr değerleri sunarlar. Buna karşılık, İtalya’da olduğu gibi, aragonit bileşimli termojen travertenlerde 9500 ppm’e kadar Sr değerleri rapor edilmiştir (Cipriani vd., 1977; Duchi vd., 1978). Karlıova (Bingöl) yakınlarındaki kalsit bileşimli Hacılar sırt tipi travertenlerinin Sr içerikleri çok yüksek olup, 7104 ppm ile 16292 ppm arasında değişmektedir (Aksoy vd., 2011; Çolak Erol, 2014). Diğer taraftan, Pamukkale’de kalsit bileşimli güncel yamaç travertenlerinde ise 3028 ppm Sr belirlenmiştir (Özkul vd., 2013). Kılıçkaya sahasının 2133-6046 ppm’lik yüksek Sr değerleri, oldukça derin dolaşımılı sıcak sulardan çökelen termojen kökenli bir traverten oluşumunu işaret eder.

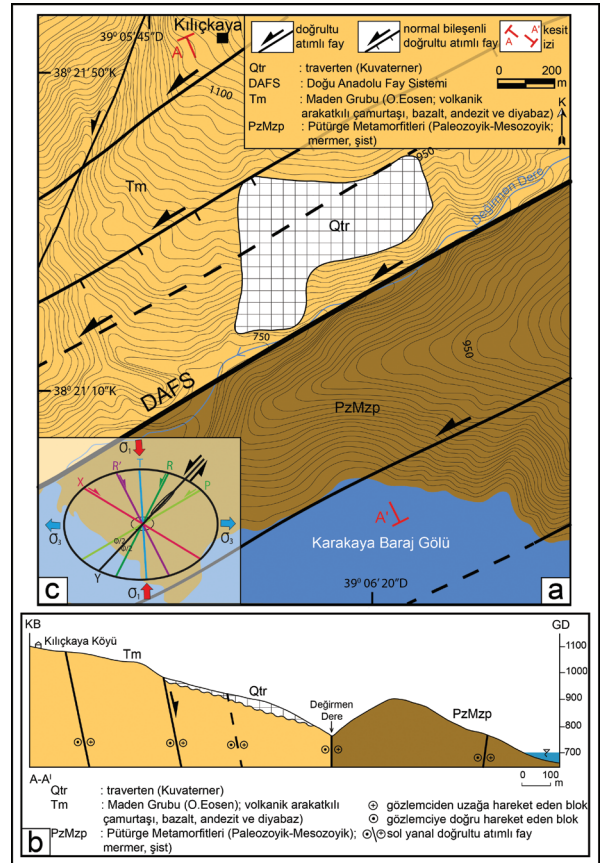
Termojen travertenlerde Kılıçkaya travertenlerinin Mg değerleri de yüksek olup, 5428-8021 ppm arasındadır. Yüksek Fe ve Mg oranları, hidrotermal suların şist ve ofiyolitik kayalarla etkileşiminin bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

DURAYLI İZOTOP BİLEŞİMİ

Termojen ve meteojen travertenlerin duraylı izotop kayıtları farklılık gösterir. Termojen travertenler daha çok pozitif değerler sunarken, meteojen travertenler negatif değerler sunar (Pentecost, 2005). Pozitif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, magmatik

faaliyetlerin yanı sıra termometamorfik süreçler sonucu açığa çıkmış CO_2 ’in katkısına işaret eder. Oysa negatif $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, muhtemelen derin kaynaklı CO_2 ile toprak zonundan türemiş CO_2 ’in karışmasından ortaya çıkar.

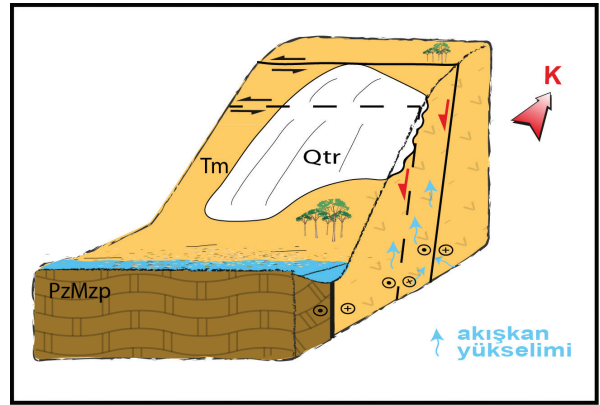
Kılıçkaya traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri, +3,5 ila +6,7 (‰ PDB), $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -8.1 ila -9.6 (‰ PDB) arasındadır (Çizelge 2; Şekil 10). Bu değerler çalışılan travertenlerin termojen kökenli olduğuna ilişkin kuvvetli bir kanıttır.



Şekil 3. Traverten çevresinin a- jeolojik haritası; b- enine jeolojik kesiti; c- travertenin deformasyon elipsoidi üzerindeki konumu

Figure 3. a- geological map and, b-cross section of travertine area; c-position on the deformation ellipsoid of the travertine

Yaş	Kayaç Birimi	Litoloji	Açıklama
Paleozoyik - Mesozoyik	Kuvaterner		traverten
	O. Eosen	Maden Grubu	volkanik arakatlı çamurtaşı, bazalt, andezit ve diyabaz
	Pütürge Metamorfileri	Üst grup	mermer
		Alt Grup	kalk şist muskovit şist amfibolit şist biotit şist gnays



Şekil 5. Travertenin oluşum modeli. Qtr: traverten (Kuvaterner), Tm: Maden Grubu (O.Eosen); volkanik arakatlı çamurtaşı, bazalt, andezit ve diyabaz), PzMzp: Pütürge Metamorfileri (Paleozoyik-Mesozoyik); mermer, şist

Figure 5 Blockdiagramshowingtravertineformation model. Qtr: travertine (Quaternary), Tm: Maden Group (M. Eocene); mudstone with volcanic interbedded, basalt, andesite and diabase), PzMzp: Pütürge Metamorphics (Paleozoic-Mesozoic); marble, schist

Şekil 4. Traverten yüzleği ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti

Figure 4. Generalized stratigraphic columnar section of travertine area



Şekil 6. Sivrice Fay Zonu ana kırığının denetlediği Değirmen Dere boyunca Pütürge Metamorfileri (PzMzp) ile Maden Grubu'nun (Tm) yanyana gelişi. Bakış güneybatıya.

Figure 6. Juxtaposition of Pütürge Metamorphics (Paleozoic-Mesozoic) and Maden Group (M. Eocene) along main fracture of Sivrice fault zone that control the Değirmen stream. View to SW

Çizelge 1. Traverten örneklerinin element konsantrasyonları**Table 1.** *Element concentrations of travertine samples*

Kılıçkaya Örnek No	Ca	Si	Al	Fe (ppm)	Mg	Mn	Sr
KK-2	382361	1028	212	1049	7961	542	5983
KK-4	378216	3085	900	1049	7358	310	6046
KK-5	382647	2337	159	560	8021	< 78	3626
KK-6	381075	4721	1694	699	7538	< 78	2133
KK-7	385220	28045	582	490	5428	< 78	3910

U-Th YAŞLARI

Uranyum-Toryum yaş analizi tekniğinin genel prensipleri için Smart (1991) esas alınmıştır. Teorik olarak U, kalsiyum içeren doğal sularda kolaylıkla çözülebilir ve kolaylıkla anyon kompleksleri oluşturur. Buna karşın Th, çözeltide hızlıca hidroliz olur ve kil mineralleri ile diğer katı yüzeyler üzerine sıkıca adsorblanır (tutunur). Yani U, kalsiyum karbonatın (CaCO₃) kimyasal ya da biyolojik çökmesi sırasında, aynı zamanda çökmekte ve kalsit kristalleri arasında korunmaktadır. Ancak Th, çökelmemektedir ve doğal sulardaki Th miktarı, dikkate alınmamaktadır. Bundan dolayı ana izotop ²³⁴U'a karşın ²³⁰Th eksikliği vardır. Zaman içinde ²³⁰Th/²³⁴U oranı eşitlik sağlanıncaya kadar kademeli olarak artar. Çünkü ²³⁴U ve ²³⁸U arasında da bir eşitsizlik vardır ve ²³⁴U'nun ayrışması, zamanla ²³⁰Th/²³⁴U oranını yavaş yavaş artırır.

Uranyum serisi yaş tekniğinin herhangi bir karbonat örneğinde başarılı uygulanabilmesi, aşağıdaki varsayımlar ve kriterler üzerine inşa edilmiştir. 1) Karbonat örneği aynı çözeltiden hemen kristallenmiştir. 2) Depolanma sırasında

kristallerde ²³⁰Th mevcut olmayıp ve tane yüzeylerinde toryum, ²³²Th'dir. Bundan dolayı bu uzun ömürlü izotop, sonradan gelen toryum kirliliğini izlemek için kullanılabilir. Eğer ²³⁰Th/²³²Th oranı 20'den düşük ise ²³⁰Th için düzeltme gereklidir; onun için kırıntılı ve bol gözenekli örneklerden kaçınmak gerekir. Bu düzeltme için değişik yöntemler kullanılmaktadır. 3) Sistem, çökme tamamlandıktan sonraki uranyum ve toryum dolaşımına kapalıdır. Rekristalleşme, ikincil kristalleşme ve yüksek porozite belirtileri gösteren örneklerden kaçınılmalıdır. Smart (1991)'a göre U-Th yaş metodu, özellikle 400.000 yıl ila 5.000 yıl arasında uygulanabilir.

Traverten sahasından alınan 3 adet traverten örneği U-Th yöntemi ile yaşlandırılmıştır (Çizelge 3). KK-1 örneğinden 29.245 ± 0.621 by, KK-6 örneğinden 16.087 ± 0.380 by ve KK-7 örneğinden ise 30.861 ± 0.491 by yaşları elde edilmiştir. Bu yaş verilerine göre traverten sahasında günümüzden en azından 30.861 ± 0.491 by önce traverten çökelişi başlamıştır. Bu yaş, Holosen (MIS 3, Marine Isotope Stage)'e denk gelmektedir.

Çizelge 2. Traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ duraylı izotop değerleriTable 2. $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ stable isotope values of travertine samples

Kılıçkaya Örnek No	Traverten Tipi	$\delta^{13}\text{C}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (PDB)
KK-1	Tabakalı	5,4	-9,3
KK-2	Tabakalı	6,7	-9,6
KK-3	Tabakalı	3,5	-9,5
KK-4	Laminalı	6,2	-8,1
KK-5	Damar	4,3	-9,2
KK-6	Akmataş	5,2	-8,8
KK-7	Tabakalı	4,9	-9,2

Çizelge 3. Travertenlerinin U-Th yaşlandırma analiz sonucu

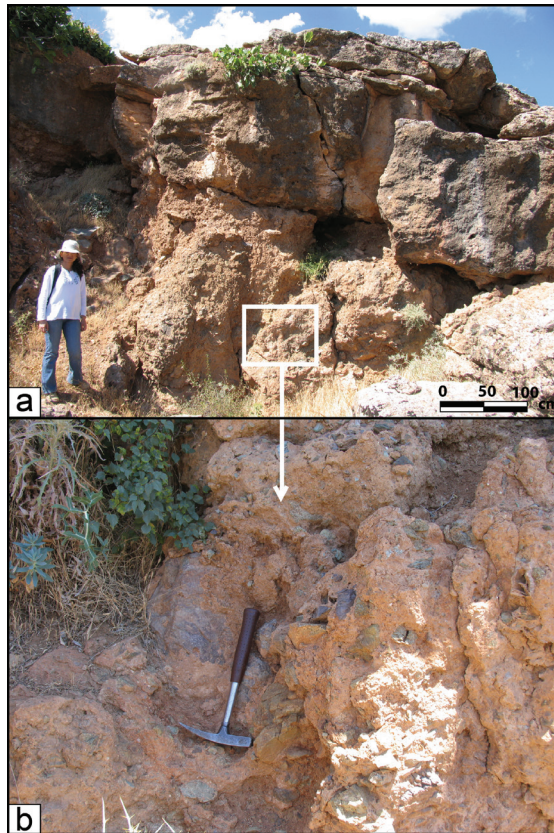
Table 3. U-Th dating results of travertine samples

	Örnek No		
	KK-1	KK-6	KK-7
^{238}U ppm	2,067	0.9686	1,816
±	0.0136	0.0043	0.0069
^{232}Th ppm	0.053	0.0322	0.071
±	0.0004	0.0003	0.0006
$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	1,0243	1,0525	1,0212
±	0.012	0.007	0.0063
$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	0.2403	0.1445	0.2542
±	0.0034	0.003	0.0029
$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$	0.2462	0.1521	0.2596
±	0.0028	0.0031	0.0027
$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	29,3567	13,9661	20,3006
±	0.368	0.3169	0.2774
Hesaplanan Yaş (binyıl)	29,855	16,952	31,864
Hata	0.484	0.383	0.432
Düzeltilen Yaş (binyıl)	29,245	16,087	30,861
Hata	0.621	0.38	0.491



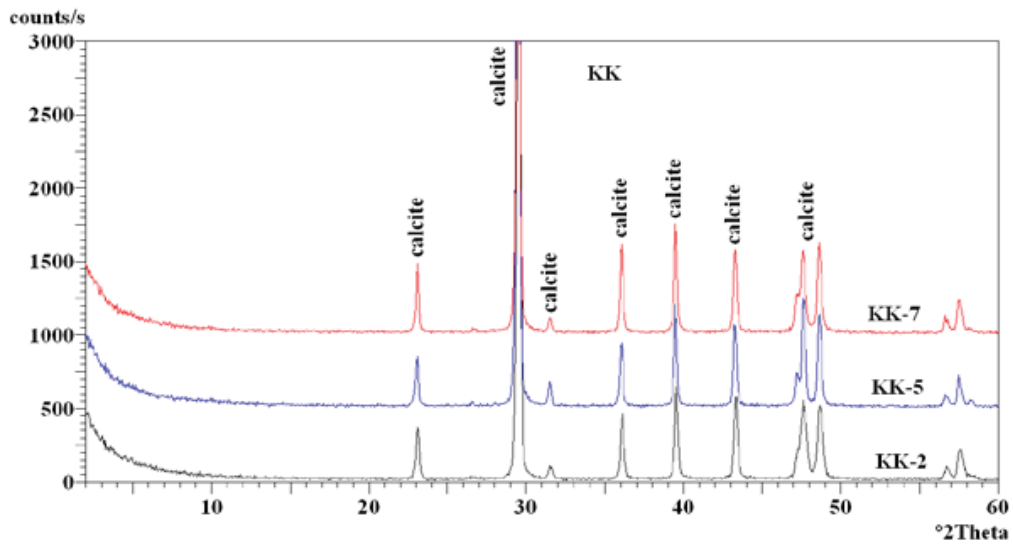
Şekil 7. Traverten yüzleğinden bir arazi görünümü. Yamaç duraysızlığı nedeniyle, traverten kütlesi yer yer parçalanmıştır. Bakış kuzeybatıya

Figure 7. Field view of travertine. Travertine outcrop shattered due to slope instability. View to NW

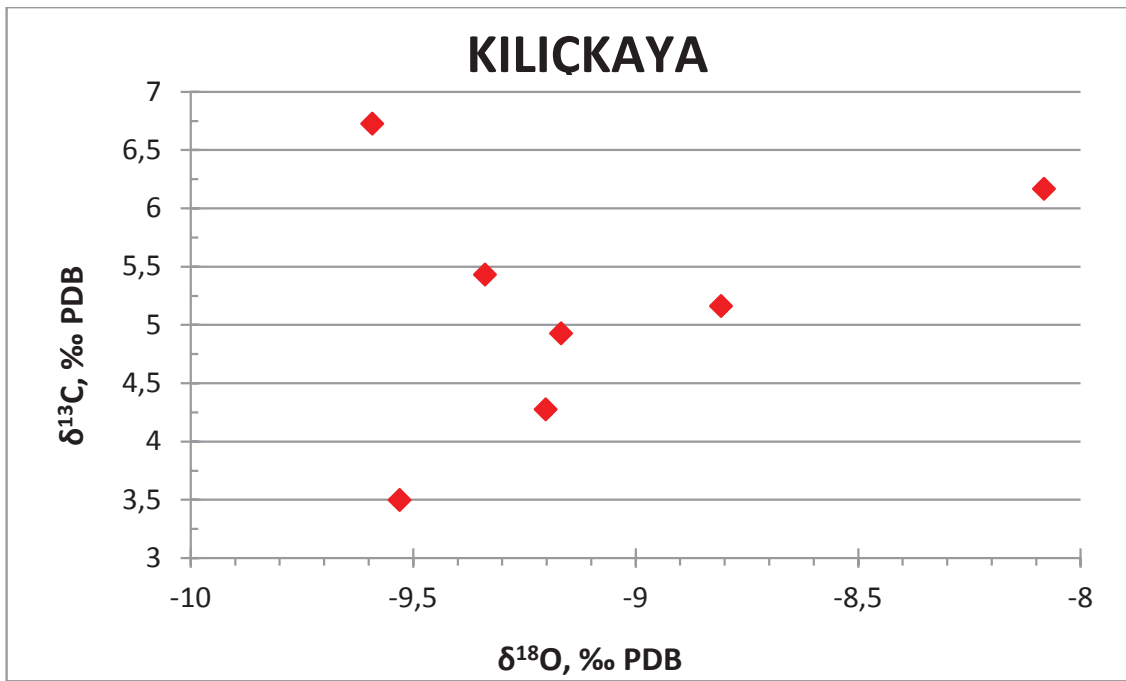


Şekil 8. a- Traverten istifinin tabanı. İstif, üzerinde uyumsuz olarak yer aldığı Maden Grubu üzerinde kırıntılı bir seviye ile başlar ve yukarı doğru masif travertenlere geçer; b- a'daki kutucukta bulunan kırıntılı seviyenin yakından görünümü

Figure 8. a-The bottom of the travertine sequence. This sequence start on the Maden Group with a detrital level and continue with massif travertine; b- close-view of the rectangular on the (a)



Şekil 9. Traverten örneklerinin XRD difraktogramı
Figure 9. XRD diffractogram of travertine samples



Şekil 10. Traverten örneklerinin $\delta^{13}C$ ve $\delta^{18}O$ izotop değerleri grafik dağılımı
Figure 10. $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ isotope values of travertine samples

SONUÇLAR

Traverten yüzleği, büyük bir makaslama zonu olan sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Sistemi'ni oluşturan fay zonlarından Sivrice Fay Zonu'nun aktivitesiyle ilişkili olarak genişlemeli bir alanda çökelmiştir. Traverten oluşumuna kaynak sağlayan ana kaya, Pütürge Metamorfikleri'dir. Farklı litolojilerden oluşan birimin mermerleri, CaCO₃ kaynağıdır.

Morfolojik sınıflamaya göre, fay önü travertenini olarak çökelmiştir. Travertenin oluşmasını sağlayan kırıklar, deformasyon elipsoidi üzerine yerleştirildiğinde Y kırığı üzerinde depolanmış oldukları anlaşılır. Travertenlerin geliştiği sol yanal doğrultu atımlı fayların normal bileşene sahip olmasından dolayı düşen bloklarda, normal faylarda görülen tavan bloğu deformasyonuna tanık olunur. Bu deformasyonla ilişkili genişleme, traverten çökeltin Ca(HCO₃)₂'li suların yeryüzüne çıkmasına olanak sağlar.

Yapılan XRD analizlerine göre travertenler, tamamen kalsitten meydana gelmişlerdir ve eser miktarda kuvars içermektedirler. Jeokimyasal verilere göre incelenen travertenler, termojen kökenlidir.

Yaş verileri, neotektonik dönemin Doğu Anadolu Bölgesi için öngörülen sınırları içinde yer aldığı ve traverten oluşumunun, doğrultu atımlı sistemin bu dönemdeki etkinliğiyle ilişkili olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, TÜBİTAK 110Y172 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazar, ayrıca Fırat Üniversitesi'nden Ercan AKSOY ve Pamukkale Üniversitesi'nden Mehmet ÖZKUL'a teşekkür eder.

EXTENDED SUMMARY

Travertine is a hard compact limestone deposited from solution by springs or percolating waters that can formed under chemical and/or biochemical processes around karstic and thermal springs. Primary mineral of travertines are calcite. There is worldwide association of travertine deposits with tectonically and seismically active zones. Because, faulting plays a key role in the transport of hydrothermal fluids forming travertines. Therefore, travertines reflect some signs of regional tectonics. Because of many travertines have been depositing since the Pleistocene and, the occurrence of active and inactive travertines indicates the tectonic activity continues or continued into the recent past. Wherefore travertines contain syndepositional and postdepositional tectonic structures, provide important information about syndepositional and postdepositional tectonic.

The East Anatolian fault system (EAFS) of left lateral strike-slip is second important neotectonic structure of Turkey. In this study the travertine occurrence is located on the Sivrice fault zone, which is one the significant zone of the EAFS and precipitated on a S to SW-facing slope, 20 km SW of the Sivrice town (Elazığ) in accordance with the slope topography.

The Maden Group of Middle Eocene age, on which the travertine occurrence took place, composed mostly of mudstones with volcanic intercalations, andesite, basalt and diabase dykes that cut them. The Pütürge Metamorphics that play role as a basement rock are represented by calcschist and marble around their Sivrice exposures. Lithology of the Pütürge Metamorphics and, the fractured structure due to left lateral strike-slip Sivrice Fault Zone play an important role on the travertine formation. As the travertine exposures located along the left lateral strike-slip fault zone with normal component has been

precipitated in front of a fault, under appropriate conditions that formed by faults and bedrock, they have been evaluated as 'fault-front travertines' depending on the morphological classification. The bottom of the travertine sequence starts on the Maden Group with a detrital level and then passes into massif travertine.

According to XRD analysis travertines completely composed of calcite and, contain quartz slightly. The most abundant element concentrations of the travertine samples are: Ca: 378216-385220 ppm, Mg: 5428-8021 ppm, Sr: 2133-6046 ppm. The $\delta^{13}C$ values range from +3,5 to +6,7 (‰ PDB), while the $\delta^{18}O$ values are between -8.1 and -9.6 (‰PDB). These geochemical signatures indicate that the travertines studied are of thermogene origin. Travertine precipitation began at least 30.86 ± 0.49 ka ago with respect to today in the field based on the U-Th age data. This age data is suitable with predetermined neotectonic period of Eastern Anatolia and travertine occurrence is associated with the activities of the strike-slip system in this period. Interpreted that take place within the limits prescribed for the Eastern Anatolia Region of neotectonic period and.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Aksoy, E., İnceöz, M. and Koçyiğit, A., 2007. Lake Hazar basin: A negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, Vol. 16, 319-338.
- Aksoy, E., Özkul, M. ve Çolak, S., 2011. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Kuzeydoğu Bölümündeki Travertenlerin Neotektonik Önemi. TÜBİTAK Raporu, 66 s. (Basılmamış).
- Altunel, E., 1994. Active Tectonics and the Evolution of Quaternary travertines at Pamukkale, Western Turkey. PhD Thesis, University of Bristol, Department of Geology, 236 p.
- Altunel, E., 1996. Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri. MTA Dergisi, 118, 47-64.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993a. Morphology and Structural Setting of Quaternary Travertines at Pamukkale, Turkey. Geological Journal, 28, 335-346.
- Altunel, E. and Hancock, P.L., 1993b. Active Fissuring and faulting in Quaternary Travertines at Pamukkale, Western Turkey. Zeitschrift Geomorphologie, Supplementary 94, 285-302.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. MTA Bült., 73, 1-9.
- Ayaz, E., 1998. Sıcak Çermik (Yıldızeli-Sivas) Yöresindeki Traverten Sahalarının Jeolojisi ve Travertenlerin Endüstriyel Özellikleri. Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 157 s. (yayınlanmamış).
- Ayaz, E., 2002a. Travertenlerde Gözlenen Morfolojik Yapılar ve Tabiat Varlığı Olarak Önemleri. Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.19, S.2, 123-134.
- Bates, R. L. and Jackson, J. A., 1980. Glossary of Geology (Second Edition). American Geology Institute Falls Church, Virginia, 751.
- Chafetz, H. S. and Folk, R. L., 1984. Travertines, depositional morphology and the bacterially constructed constituents. Journal of Sedimentary Petrology, 54, 289-316.
- Cipriani, N., Malesani, P., Vannucci, S., 1977. I travertini dell'Italia centrale, Boll. Serv. Geol. Ital., 98, 85-115.
- Çakır, Z., 1996. Tectonic Significance of Quaternary Travertine Deposits in the Gediz and Menderes Grabens. Western Turkey. Yüksek Lisans Tezi, Bristol Üniversitesi, UK.
- Çakır, Z., 1999. 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.
- Çelik, H., 2003. Master Dağı (Elazığ GD'su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95 s. (yayınlanmamış).

- Çolak Erol, S., 2014. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin kuzeydoğu bölümündeki travertenlerin neotektonik önemi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 184s. (yayımlanmamış).
- Çolak Erol, S., Özkul, M., Aksoy, E., Kele, S. and Ghaleb, B., 2015. Travertine occurrences along major strike-slip fault zones: Structural, depositional and geochemical constraints from the Eastern Anatolian Fault System (EAFS), Turkey. *Geodinamica Acta*, Volume 27, Issue 2-3, pp. 154-173.
- Duchi, V., Giordano, M.V. and Martini, M., 1978. Riesame del problema della precipitazione di calcite od aragonite da soluzione naturali, *Rend. Soc. Ital. Miner. Pet.*, 34, 605-618
- Erdem, E., 1994. Pütürge (Malatya) Metamorfitlelerinin petrografik ve petrolojik özellikleri. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s.
- Folk, R., 1994. Interaction between bacteria, nanobacteria, and mineral precipitation in hot springs of central Italy. *Geographic physique et Quaternaria*, 48, 3, 233-246.
- Fouke, B.W., Farmer, J.D., Des Marais, D.J., Pratt, L., Sturchio, N.C., Burns, P.C. and Discipulo, M.K., 2000. Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertinedepositing hot springs (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, USA). *J. Sediment. Res.*, 70, 265-285.
- Guo, L., and Riding, R., 1998. Hot-springs travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 45, 163-180.
- Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M. N., 1987. Kıtaların çarpışması ve ilgili kompleks deformasyon, Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları, *Yerbilimleri*, 14, 319-336.
- Gürsoy, H., Tatar, O., Piper, J. D. A., Heimann, A. and Mesci, L., 2003. 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 volcanics, *Tectonics*, vol. 22, no. 6, 1067. Hall, R., 1976. Ophiolite emplacement and the evolution of the Taurus Suture Zone, south-eastern Turkey, *Bull.Geol.Soc.Ame.*, 87, 1078-88.
- Jackson, J. and McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, *Geoph. J. Royal Astr. Soc.*, 77, 185-264.
- Julia, R., 1983. Travertines. In: P.A. Scholle, D.G. Bebout and C.H. Moore (Editors), *Carbonate depositional Environments*. Am Assoc. Petrol. Geol. Mem. 33, 64-72.
- Karabacak, V., 2002. İhlara Vadisi civarındaki traverten oluşumları ve tektonik önemleri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 70 s. (yayımlanmamış).
- Kele, S., Demény, A., Siklósy, Z., Németh, T., Mária, T.B., Kovács, M., 2008. 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.
- Kele, S., Özkul, M., Gökgöz, A., Föziz, I., 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* 238, 191-212.
- 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.
- Lyberis, N., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E. and Gündoğdu, N., 1992. The East Anatolian Fault: An Oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204, 1-15.
- Mesci, B.L., 2004. Sıcak Çermik ve Yakın Yöresindeki (Sivas) Travertenlerin Gelişimi ve Aktif Tektonikle İlişkisi. Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 245 s. (yayımlanmamış).
- Mesci, B.L., 2013b. Active Tectonics of the Ortaköy Fissure-Ridge-Type Travertines: Implications for the Quaternary Stress State of the Neotectonic

- Structures of the Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 25, 12-25.
- Mesci, B.L., Gürsoy, H. and Tatar, O., 2008. The Evolution of Travertine Masses in the Sivas Area (Central Turkey) and Their Relationship to Active Tectonics. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, pp. 219-240.
- Muehlberger, W.R. and Gordon, M.B., 1987. Observation on the complexity of The East Anatolian Fault, Turkey. *Jour. Structural Geology*, 9/7, 899-903.
- Özkul, M., Gökgöz, A., and Horvatinčić, N., 2010. 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. Special Publications 336, pp. 245–262.
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Fórizs, I., Nemeth, T., Chang, Y.W., and Alçiçek, M.C., 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli Extensional Basin based on their depositional and geochemical data. *Sedimentary Geology*, 294, 179–204.
- Özkul, M., Gökgöz, A., Kele, S., Baykara, M.O., Shen, C.-C., Chang, Y.-W., Kaya, A., Hançer, M., Aratman, C., Akın, T. and Örü, Z., 2014. Sedimentological and geochemical characteristics of a fluvial travertine: a case from the eastern Mediterranean region. *Sedimentology*, 61, 291–318.
- Pentecost, A., 2005. *Travertine* (p. 446). Berlin: Springer Verlag.
- Smart, P.L., 1991. 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, pp.45-83.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H., 1985. Elazığ - Hazar - Palu alanının jeolojisi. *Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi*, 29, 83–191.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. and Kuşçu, İ., 1992b. The East Anatolian fault zones of Turkey, *Annales Tectonicae*, 6, 99-125.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. 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., 37, 227-264.
- Uysal, T., Feng, Y., Zhao, J., Altunel, E., Weatherley, D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding, S.D., Lawrence, M.G. and Collerson, K.D., 2007. U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertines in co-seismic fissures, *Earth and Planetary Science Letters*, 257, pp. 450-462.
- Uysal, I. T., Feng, Y., Zhao, J., Işık, V., Nuriel, P. and Golding, S.D., 2009. Hydrothermal CO₂ degassing in seismically active zones during the late Quaternary, *Chemical Geology*, 265, 442-454.
- Westaway, R., 1994. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *Jour. Geophys. Res.*, 99/B6, 12,071-12090.
- Westaway, R., 2003. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, *Turkish J. Earth Sci. J.*, 12, 5-46.
- Wyatt, A. (ed.), 1986. *Challinor's Dictionary of Geology* (6th Edition). University of Wales Press, Cardiff, pp. 374.

Makale Geliş Tarihi : 15 Temmuz 2016
Kabul Tarihi : 18 Ağustos 2016

Received : 15 July 2016
Accepted : 18 August 2016

