

AKÜ FEMÜBİD 22 (2022) 025804 (417-430)

AKU J. Sci. Eng. 22 (2022) 025804 (417-430)

DOI: 10.35414/akufemubid.1077643

Araştırma Makalesi / Research Article

Paleosismoloji Çalışmalarında Kolüvyal Çökellerdeki Su İçeriğinin Lüminesans Tarihlendirmeye Etkisinin Değerlendirilmesi; Soma-Kırkağaç Fayı'ndan Bir Örnek

Mustafa SOFTA^{1*}, Mehmet UTKU²¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir.² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir.

*Sorumlu yazar e-posta: mustafa.softa@deu.edu.tr. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5064-9260>
e-posta: mehmet.utku@deu.edu.tr. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-0554>

Geliş Tarihi: 23.02.2022

Kabul Tarihi: 19.04.2022

Öz

Soma-Kırkağaç Fayı'nda gerçekleştirilen paleosismolojik amaçlı hendek kazılarında, toplanan örneklerin su içeriği değişiminin Lüminesans tarihlendirmeye (OSL ve TL) etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, kolüvyal çökellerin su içeriklerine bağlı olarak yıllık doz önemli boyutta etkilediği, dolayısıyla analiz edilecek örneğin tarihini %16 oranında değiştirdiği saptanmıştır. Bu kapsamda OSL tarihlendirme için, Soma-Kırkağaç Fayı üzerinde açılan hendekteki KF8 örneğine ait doymun ve doğal ortamdaki su miktarlarının değişkenliğinin yıllık doz ve doğrudan yaşa etkisi iki farklı senaryoda tartışılmıştır. Yapılan çalışmada, örneklerin oluşumunda derinlik, tane boyu, sıkışma ve iklimsel özelliklerin de etkileri olduğundan dolayı oluşum anındaki iklim şartları da göz önünde bulundurularak önce doğal su içeriği ve sonra doymun su içeriği baz alınmıştır. Ağustos ayında toplanan 9 adet örnek üzerinde yapılan çalışmalarda, KF8 örneğine ait tarih, ilk senaryoya göre 17,47±2,71 bin yıl saptanmıştır. İkinci senaryoda vurgulanan doymun su parametrelerinin düzeltme katsayısına göre tek başına esas alındığında ise örneğin yaşı 20,19±3,11 bin yıl olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, saptanacak yaşların hassas olarak elde edilebilmesi için, su içeriklerinin literatürde verilen katsayı ile elde edilmesi yerine, çalışılan bölgeye ait oluşturulması gereken detaylı iklimsel özelliklere göre saptanması ve tarihlendirmeyi denetleyecek farklı bir metodolojinin de uygulanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

Anahtar kelimeler

Lüminesans
tarihlendirme; Su
içeriği; Paleosismoloji;
Soma-Kırkağaç fayı

Evaluation of the Effect of Water Content in Colluvial Sediments on Luminescence Dating in Paleoseismology Studies; An Example From Soma-Kırkağaç Fault

Abstract

To reveal the effect of the change in water content for luminescence dating (OSL and TL), in this study, nine samples were collected from the paleoseismological trench wall on the Soma-Kırkağaç fault. The results indicated that the dose rate significantly is affected by colluvial deposits having different water content, which signifies it was determined that the date of the level be date changed by 16%. In this context, the effects of the variability of the saturated and the natural water content for the KF8 sample on the dose rate and luminescence age were discussed in two different scenarios. In the study, since depth, grain size, compaction, and climatic characteristics of the region are also effective in the formation of the colluvial samples in both scenarios, in the light of the paleoclimatic conditions, the natural and the saturated water content were examined, respectively. According to the first scenario, the KF8 samples dated 17.47±2.71 ka. However, in the second scenario, it was found as 20.19±3.11 ka taken into correction factor regarding the saturated water content. As a result, it is necessary to determine the water contents according to the detailed climatic characteristics of the study area, instead of using the coefficient given in the literature. Moreover, it is strongly recommended here that a different dating methodology should be performed to determine the more realistic and the more accurate ages in paleoseismological studies.

Keywords

Luminescence dating;
Water content;
Paleoseismology;
Soma-Kırkağaç fault

1. Giriş

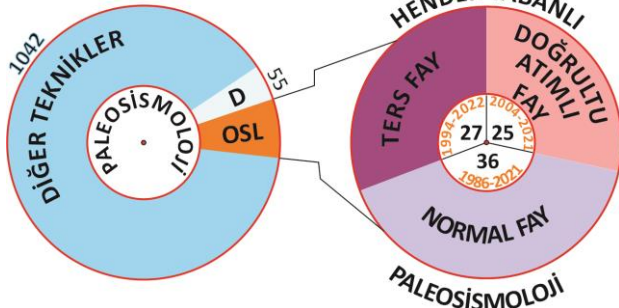
Paleosismoloji diri fayların Geç Kuvaterner/Holosen dönemindeki deformasyon desenini, deprem tekrarlanma aralıklarını, fayın kayma hızını ve kaynaklık ettiği depremler ile fayın ürettiği son yıkıcı depremden bu yana geçen sürenin tespitinde uygulanan multi-disipliner bir tekniktir. Paleosismoloji çalışmaları, karada fay üzerinde/önünde hendek açılarak, sualtından karotlar alınarak (denizaltı paleosismolojisi) ve fayın günleyen yüzeyi üzerinden örnekler toplanarak olmak üzere 3 farklı şekilde, fay üzerinde meydana gelen eski yıkıcı depremlerin tarihlendirilmesi amacıyla uygulanabilmektedir. "Web of Science" ve "Google Akademik" akademik alanda tarama yapan arama motorlarında, "paleoseismology+palaeoseismology" anahtar kelimeleri ile arama yapıp listelendiğinde, 1986-2022 yılları arasında toplam 1185 adet makaleye ulaşılmaktadır (Şekil 1). Ülkemizde de söz konusu çalışmalar diri fayların geçmiş hareketlerine yönelik veri toplamak için 1993 yılında Okumura ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan günümüze kadar özellikle hendek açılarak ya da fay yüzeyi üzerinde ve az oranda da göl tortullarında uygulanmıştır (örn. Özkaymak vd. 2011, Akçar vd. 2012, Hubert-Ferrari vd. 2012, Sözbilir vd. 2016, Duran vd. 2021). Yapılan bu çalışmalarda fay parametrelerine ulaşabilmek için uygun seviyelerden alınan (kolüvyal, alüvyal, paleotoprak gibi) örnekler üzerinde uygun ve modern tekniklerle gerçekleştirilecek tarihlendirme çalışmaları olmazsa olmaz kabul edilmektedir (Schwartz 1987, Pantitosti and Yeats 1993). Bu kapsamda fay yüzeyinin topoğrafyadaki izine dik ya da koşut olarak açılan hendek kazılarında, saptanan eski deprem seviyelerinin tarihlendirilebilmesi için kolüvyal çökeller ve eski toprak seviyelerinden faydalanılmakta, lüminesans ve radyometrik yöntemler kullanılmaktadır (Forman *et al.* 1987, McCalpin 2009). Radyometrik yöntemlerden radyokarbon tekniğinin kullanılabilmesi için ilgili seviyelerden tane olarak ya da hacimsel olarak alınan organik materyaller (örn. kömürleşmiş odun, fosil parçası, kemik) üzerinde, lüminesans tekniğinin kullanılabilmesi için de kuvars ve feldspat

mineralleri üzerinde çalışılması ve ilgili seviyelerin tarihlendirilmesi gerekmektedir (Damon 1987, Forman 1987). Ayrıca, literatürde U-Th (Muhs 1987, Vanneste and Verbeeck 2001) yıllık ağaç halkası sayımı (Page 1970, Jacoby 1987, Scheppard and Jacoby 1989) ve mağaralardaki sarkıt/dikitlerin analizi (Forti and Postpischl 1984, Gilli 1999, Szczygiel 2021) gibi tekniklerle de Holosen dönemi kapsamında paleosismoloji çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Aitken (1985) ve Forman (1987) tarafından yapılan çalışmalara göre, lüminesans tarihlendirme yöntemi, temelde eş değer doz ve yıllık doz olmak üzere iki farklı değişkene bağlıdır. Bu değişkenler de kendi içerisinde tanecik boyutu, su-nem miktarı, alfa dozu etkisi ve kozmik radyasyonun katkısı gibi faktörlere bağlıdır. Tarihlendirme hesaplarında bu değişkenlerden alfa dozu etkisi ve kozmik radyasyonun katkısı, önceki çalışmalardan faydalanarak hesaplanabilmekte ve tarihlendirme sonucunu önemli derecede etkilememektedir. Ancak bu çalışmada da üzerinde durulacak olan konu, örnek içerisindeki su içeriğinin tarihlendirme hesaplamalarında hassas bir şekilde değerlendirilmemesi ve bunun bir sonucu olarak özellikle yıllık doz önemli oranda etkilemesidir (Zimmerman 1971, Aitken 1985, Rendell 1985, Aitken 1998). Zimmerman (1971) ve Aitken (1985)'e göre su miktarının %10 yerine, %20 olarak hesaplanması yıllık doz oranını düşürecek ve dolayısıyla saptanan yaşın değerini de yaklaşık olarak %15 oranında artıracaktır. Bu durum paleosismoloji çalışmalarında gerekli olan hassas tarihlendirmenin hesapların hata paylarını ve bu değerlerden elde edilen verilere bağlı olarak ortaya konulan yorum ve değerlendirmeleri önemli oranda etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada paleosismoloji çalışmalarında tarihlendirme aşamasında kullanılan örneklerin su içeriğinin tarihlendirme sonucunda etki oranını ortaya çıkarabilmek amacı ile, Batı Anadolu'da Kırkağaç Fayı'nda açılan hendek duvarlarındaki kolüvyal seviyelerden toplanan örneklerin su miktarı oranları ölçülmüş ve sonuçları, bir adet örneğe ait saptanan eş değer doz ve radyoaktivite oran

hesaplamalarıyla karşılaştırılarak, su miktarındaki değişime karşın ortaya çıkan farklı değerler yorumlanmıştır. Bu çalışma kapsamında öncelikle OSL tarihlendirmesindeki su içeriği problemi ve iklim etkisi, daha sonra da araştırma alanı ve yöntem tanıtılarak elde edilen bulgular sunulmuştur.



Şekil 1. “Web of Science” ve “Google Akademik” akademik arama motorlarında “paleoseismology+palaeoseismology” anahtar kelimeleri ile arama yapıp listelendiğinde, 1986-2022 yılları arasında yayınlanan 1185 adet çalışmanın, kullanılan tarihlendirme tekniklerine göre dağılımı. Radyokarbon, ağaç halkası sayımı, U-Th, ESR, ve CRN tarihlendirme teknikleri, diğer teknikler içerisinde değerlendirilmiştir. D: Derleme, OSL: Optik Uyarımlı Lüminesans ve Termolüminesans (TL). Solda verilen diyagramda ise lüminesans tarihlendirme tekniklerinin hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarında fay türlerine göre sınıflandırılması yer almaktadır.

1.1 Lüminesans Tarihlendirme Çalışmalarında Su İçeriği Problemi

“Web of Science” ve “Google Akademik” akademik arama motorlarında, “paleoseismology+palaeoseismology+luminescence dating” anahtar kelimeleri arama yapıp listelendiğinde, 88 adet lüminesans tarihlendirme içeren hendek tabanlı paleosismoloji çalışması bulunmaktadır (Şekil 1). Bu çalışmalar 1986-2022 yılları arasında, normal fay üzerinde 36 adet, doğrultu atımlı faylar üzerinde 25 ve ters faylar üzerinde ise 27 adet olarak listelenmiştir. Ülkemizde ise 2006-2021 yılları arasında gerçekleştirilen ve yayınlamış 10 adet hendek tabanlı paleosismoloji çalışmada lüminesans tarihlendirme tekniği kullanılmıştır. Bu çalışmalar, Kuzey Anadolu Fayı, Doğu Anadolu Fayı ve Batı Anadolu Graben kenar fayları üzerinde yoğunlaşmıştır (Çizelge 1). Yapılan

çalışmalarda Duran vd. (2021) ve Civico vd. (2021) çalışmaları dışında, incelenen örneğin su içeriğine ilişkin veriye değinilmemiştir.

Çizelge 1. Hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarında kullanılan lüminesans tarihlendirme tekniklerinin ve diğer parametrelerin Türkiye’deki diri faylar üzerindeki dağılımı. Kısaltmalar: KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu.

Fayın Adı	Türü	Yöntem	Su İçeriği	Kaynak
KAFZ-Gölcük S.	Normal Fay			Pavlidis vd. (2006)
Manyas FZ.				Kürçer vd. (2017)
Dinar F.				Kürçer vd. (2021)
Yatağan F.				Basmenji vd. (2021)
Manisa F.	Doğrultu Atımlı Fay	OSL+ ¹⁴ C	2,75-16,24	Duran vd. (2021)
Orhaneli F.				Özaksoy vd. (2018)
KAFZ-Akyazı S.	Doğrultu Atımlı Fay			Dikbaş vd. (2018)
Yenice-Gönen F.				Kürçer vd. (2019)
DAFZ-Sürgü F.				Duman vd. (2020)
İzmit F.				Civico vd. (2021)

-: Su içeriği belirtilmemiştir.

Yıllık doz oranı, özellikle çevresel radyoaktivite miktarının (örneğin gömülü olduğu süre boyunca maruz kaldığı çevresel radyoaktivite miktarı ile ilgili olup) ne kadarının su içeriği tarafından barındırıldığı tarihlendirme çalışmaları açısından önemlidir. Bu nedenle bu radyoaktivite seviyesinin günümüzdeki su içeriğinden yola çıkılarak örneğin oluştuğu andaki paleoklimsel koşullar altında tahmin edilmesi gerekmektedir (Aitken and Aldred 1972, Aitken 1998). Bu değer örneğin içerdiği porozite (gözeneklilik) değeri ile yakından ilişkilidir. Özellikle gömülme süreci boyunca örneğin maruz kaldığı ağırlık göz önünde bulundurulduğunda, taneler arası boşluk ve suyun serbestçe dolaşabileceği alan, o anki paleoklimsel koşullara göre değişkenlik gösterecektir.

Literatürde bu durumun bilimsel olarak ortaya konularak hesaplamalara dahil edilmesi ve bu karşılaşılan hesap hatalarının giderilebilmesi “F” değeri olarak adlandırılan porozite değeri (Aitken and Aldred 1972, Huxtable *et al.* 1972, Aitken 1985, Aitken 1998), örnek içerisinde saptanan doygun su içeriği ile çarpılması yoluyla hesaplanmaktadır. 0 ile 1 arasında değişen bu değer, bazı çalışmalarda

"0,6±0,2" bazılarında ise "0,8±0,2" olarak alındığı görülmektedir (Huxtable *et al.* 1972, Aitken 1985, Personius and Mahan 2005, Atlıhan vd. 2012, Atlıhan vd. 2018, Şahiner vd. 2018, Softa vd. 2021, Guidorzi *et al.* 2021). "0" değeri çoğunlukla kurak ve çöl iklimlerine sahip çalışma alanlarında porozitenin olmadığı yaklaşımla kullanılırken, "1" değeri ise yağışlı ve su seviyesi oldukça fazla olan çalışma alanlarında porozitenin yüksek olduğu yaklaşımla kullanılmaktadır (Aitken 1985, Aitken 1998). Ayrıca, su etkisinin göz ardı edildiği çalışmalar da bulunmaktadır (Porat *et al.* 1997). Yukarıda verilen çalışmalarda farklı katsayı değerlerinin (0,6±0,2-0,8±0,2) kullanılıyor olması, yerbilimsel çalışmalarda aynı alanlarda yapılan çalışmalardan farklı sonuçlar elde edilmesine sebep olabilmektedir.

1.2 İklim/Paleoiklim Etkisi

Soma-Kırkağaç arasında yer alan çalışma alanı, 170 m ile 1060 m arasında değişen yükseltiye sahiptir. Kocatepe yükseltisi ve yakın çevresinde akaçlama alanı içerisine düşen yıllık yağış miktarı Eroğlu ve Bozyiğit (2012)'e göre 800-900 mm arasında değişmektedir. Benzer şekilde Soma-Kırkağaç bölgesinde 16, 48 ve 90 yıllık periyotlarla ölçülen yıllık yağışın en az olduğu zaman dilimi Temmuz-Ağustos ayı olarak listelenmiştir (Eroğlu ve Bozyiğit 2012, Akbaş 2020).

Şu anki iklim koşullarından yola çıkarak, eski iklim özelliklerini yorumlamaya çalışmak tarihlendirme çalışmalarındaki hata payını artırabilir. Dolayısıyla, eski iklim özelliklerinin saptanabilmesi için çalışılan alanda ya da en yakın çevrede bulunan mağara çökellerinden alınan örneklerin oksijen izotop analizleri, o döneme ait koşullara ışık tutmaktadır (Göktürk vd. 2011, Yamaç vd. 2021). Benzer şekilde, toplanan örnek içerisinde saptanacak palinolojik topluluklar analiz edilecek örneğin olduğu zamandaki topoğrafik-iklimsel koşulları yansıtabilecek veri içerebilir (Kayseri-Özer 2017, Akkiraz vd. 2020).

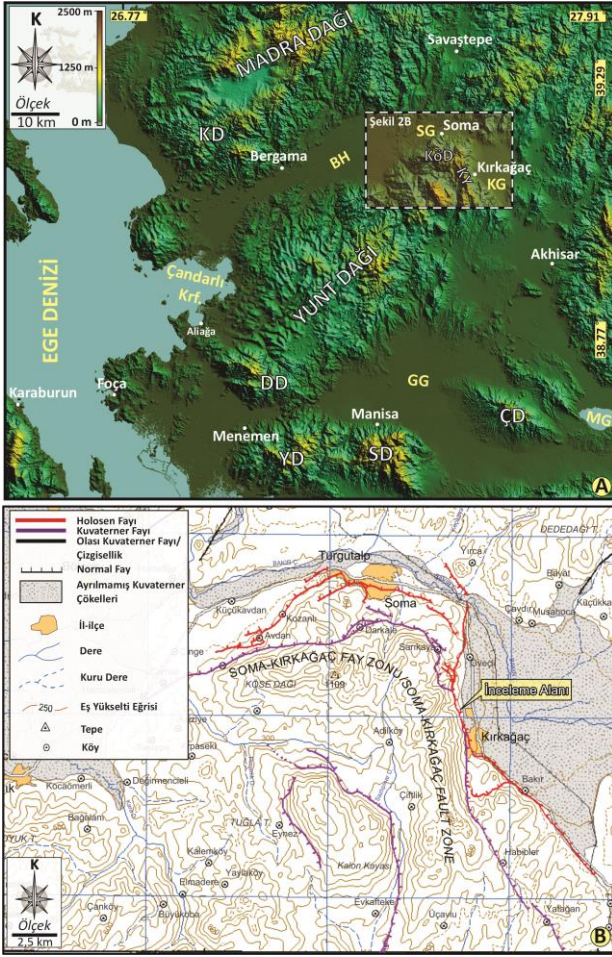
Manisa Soma'da gerçekleştirilen paleoiklimsel çalışmalar daha çok Miyosen dönemini kapsamaktadır (Akkiraz vd. 2020, Denk *et al.* 2022).

Holosen dönemi içerisinde, Göktürk vd. (2011) çalışmasında, Sofular mağarasından toplanan örneklerle ait paleoiklimsel kayıtlar, 8-10 bin yıl civarında aşırı yağışlı iklimin hüküm sürdüğünü göstermektedir. Benzer şekilde son buzul maksimum döneminin hüküm sürdüğü günümüzden ~19-23 by önceki zaman aralığında, şu anki sıcaklıktan daha soğuk bir mevsimin var olduğunu ifade eden çalışmalar bulunmaktadır (Barron *et al.* 2003, Robinson *et al.* 2006, Sarıkaya vd. 2014, Yılmaz 2021).

Sarıkaya vd. (2014) çalışmasındaki modellerine göre Türkiye'nin Akdeniz kıyı kısımlarının iç bölgelere göre, son buzul döneminin günümüzden daha yağışlı bir iklim altında olduğunu vurgulamaktadır. Ek olarak, Yılmaz (2021) çalışmasında, son buzul maksimum dönemindeki yağışların günümüze göre daha yoğun olduğunu modellemiştir. Bu sebeple tarihlendirme çalışmalarında yıllık yağış miktarının aydan aya, yıldan yıla bile değişiklik gösterdiği alanlarda, tek bir örnekten saptanacak su miktarı, tüm örnekler için su miktarını doğru olarak yansıtmayacağından, örneğin gömülme süresiyle ilişkili paleoiklimsel koşullarında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

1.3 Araştırma Alanı

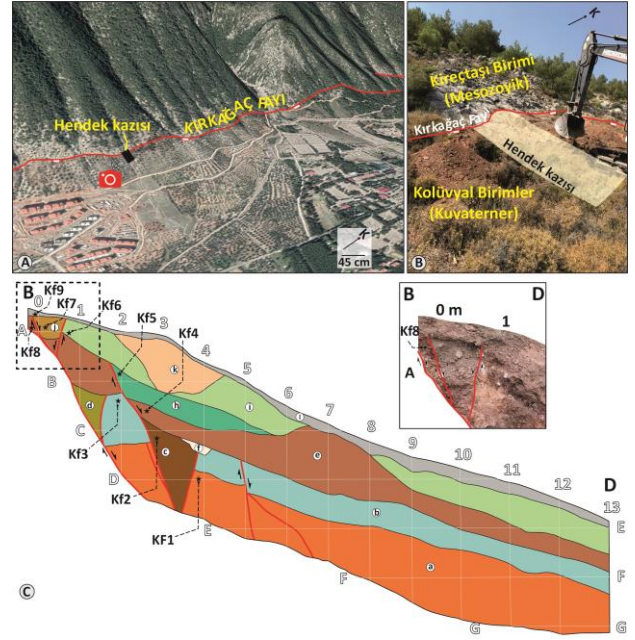
Bu çalışmada uygulama alanı olarak Kırkağaç Grabenini denetleyen Soma-Kırkağaç Fay Zonu'na ait yaklaşık K-G uzanımlı Kırkağaç Fay segmentinin, Öveçli-Kırkağaç köyleri arasındaki kalan kısmı seçilmiştir. Kocatepe yükseltisini doğudan sınırlayan Kırkağaç fayı, çalışma alanı içerisindeki uzunluğu 9 km'ye ulaşan eğim atımlı normal bir faydır (Emre vd. 2018, Yerli vd. 2021) (Şekil 2). Fayın yükselen bloğu Triyas yaşlı Kırkağaç formasyonu, Miyosen yaşlı Soma formasyonu ile temsil edilirken, düşen bloğunda ise Kuvaterner yaşlı kolüvyal çökeller, yamaç molozu ve alüvyon birimleri yer alır (Arpalıyigit 1996, Arpalıyigit ve İnci 2000, Arpalıyigit 2003, Yerli vd. 2021). Çalışmanın uygulandığı alanda açılan hendekler içerisinde kolüvyal çökellerden toplanan örnekler, çoğunlukla karbonat bileşenli çakıl, kum, kil ve silt boyunda tanelerden oluşmaktadır.



Şekil 2. Batı Anadolu’da yer alan çalışma alanının (A) DEM ve (B) Diri fay haritası (Emre vd. 2018) üzerinde görünümü. BH: Bakırçay Havzası, SG: Soma Grabeni, KG: Kırkağaç Grabeni, GG: Gediz Grabeni, KD: Kozak Dağı, YD: Yamanlar Dağı, SD: Spil Dağı, ÇD: Çaldağı, DD: Dumanlı Dağ, KY: Kocatepe Yükseltisi, KöD: Köse Dağı MG: Marmara Gölü.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 2020 yılı Ağustos ayında Kırkağaç fayında paleosismolojik amaçlı açılan hendek içerisinde, hendek loğu McCalpin (2009) çalışması baz alınarak çizilmiş ve güney duvarda tanımlanan ilgili kolüvyal birimlerden 49 mm çapında ve 120 mm uzunluğundaki karotiyer tüplerle örnekler toplanmıştır (Şekil 3). Örneklerle OSL tarihlendirme analizi amacı ile toplandığından örneklerin ışığa maruz kalmaması için örnekleme işlemleri gece yapılmıştır. Yıllık dozun hesaplanması için örneklerin barındırdığı radyoaktivite miktarının tespit edilmesi amacıyla örneklerin alındığı yerlerin hemen çevresinden ayrıca örnekleme yapılmıştır.



Şekil 3. (A) KKB uzanımlı Kırkağaç Fayı’nın Google Earth üzerindeki görünümü. (B) Fayın tavan bloğunda faya dik konumlu gerçekleştirilen hendek kazısı çalışmaları. (C) Hendek kazısı sonrası güney duvarın loğu ve örnek lokasyonları.

Su miktarlarının ölçülmesi için toplanan örnekler Dokuz Eylül Üniversitesi Lüminesans Tarihlendirme Örnek hazırlama laboratuvarında açılmış ve olası ışığa maruz kama problemini ortadan kaldırmak için tamamen dolu olan örneklerin baş ve son kısımlarında yaklaşık 30 mm’lik kısımları analize dahil edilmemiştir. Geriye kalan 60 mm’lik kısım hassas olarak çıkarılarak, ağırlığı hassas terazide tartılmış ve plastik beher içerisinde 50°C etüv içerisinde konulmuştur. Örneklerin 6, 12, 24, 48 saat geçtikten sonra su oranları kaydedilerek, son ölçümdeki su içeriğinin sabit kalana kadar örneklerin su içeriklerinin zamana bağlı değişimi saptanmıştır. Ardından 700µm’den küçük, 700- 450µm, 450-250µm, 250- 150µm, 150- 75µm ve 75 µm’den büyük elek aralıklarında analiz yapılarak her bir örnek, tane boyuna göre ayırtlanmış ve bunlar % cinsinden sınıflandırılmıştır.

Bir örnek boyuna getirildikten sonra “coarse grain” olarak 250-150µm aralığındaki mineral örnekleri üzerinde Wintle (1997) ve Pressuer vd. (2008)’e göre rutin mineral hazırlama aşamalarından geçirilmiştir. Bu kapsamda örnekler sırasıyla, %10’luk derişimdeki HCl (30 dk.), ve %30’luk derişimdeki H₂O₂ (tepkime bitene kadar) asitlerden geçirilmiştir. Her bir

kimyasal işlem sırasında saf su ve aseton ile yıkanan örneklerin kuvars minerallerinin diğer minerallerden ayrılabilmesi için ağır sıvı kullanılmıştır. Takip eden aşamada ise kalıntı feldspat minerallerinden arındırmak ve alfa radyosyonundan etkilenen kuvars tanelerinin dış yüzeylerini kazımak için %48'li derişimdeki Hidrojen Florür (HF- 40 dk.)'den geçirilmiştir. Elde edilen örneklerden KF8'a ait, eş değer doz ölçüm aşamaları Ankara Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü'nde gerçekleştirilmiştir.

Yıllık doz oranı aşamalarında ise öncelikle farklı derinlikler boyunca toplanan toplam 9 adet örnek üzerinde su miktarı değişimi hem doğal hem de doygun su içeriği ölçülerek ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Doğal su değişiminde, toplanan örnekler eşdeğer doz hesaplanma aşamaları için örnek hazırlığında gerçekleştirilen 6, 12, 24, 48 saatlik su değişimleri baz alınmıştır. Benzer şekilde doygun su oranı tespitinde ise, şırınga içerisine ağırlığı bilinen miktarda (30 g-her tane boyu 5'er g) örnekle birlikte su eklenerek, örneklerin suya doygun hale gelmesi sağlanmıştır. Takip eden aşamada ise şırınga yardımıyla örneklerin içerindeki su tamamen deşarj edilmiş, ağırlıkları tartılmıştır.

Bununla birlikte, doğal (W_n) ve doygun (W_s) su içerikleri saptanan örnekler, aşağıdaki eşitlikler yardımıyla % cinsinden ifade edilmiştir.

$$W_n = [(B + S_{nw}) - (B + S_{nd}) - (B + S_{nd}) - (B)] * 100 \quad (1)$$

$$W_s = [(B + S_{sw}) - (B + S_{sd}) - (B + S_{sd}) - (B)] * 100 \quad (2)$$

Lüminesans tarihlendirme hesaplamalarında eş değer dozun (D_e) yıllık doza (D) oranı eşitlikleri kullanıldığından, bu parametrelerden KF 8'e ait eş değer doz oranı ve bir yılda soğurduğu çevresel radyoaktivite miktarları (U , Th , ve K kaynaklı) kullanılarak, örneklerin içerdiği su oranlarına göre iki farklı yaş elde edilmiştir.

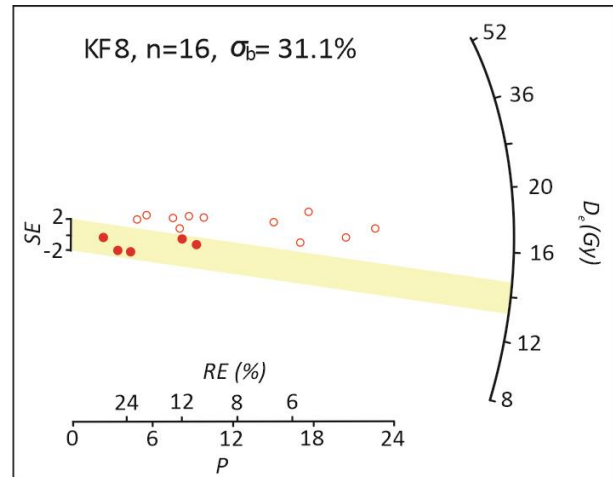
$$D = D\alpha + D\beta + D\gamma + D_{kozmetik} \quad (3)$$

$$Yaş = \frac{D_e(Gy)}{D(Gy/a)} \quad (4)$$

KF8 örneğinin yılda barındırdığı U , Th ve K oranları Maden Tetkik Arama (MTA)'da belirlenmiştir. Yıllık doz hesaplamasındaki α dozu etkisi Vandenberghe vd. (2008) çalışmasına göre $0,01 \pm 0,002$ mGy/a kabul edilmiştir.

3. Bulgular

KF8 örneğine ait eş değer doz ölçüm sonucu $14,3 \pm 1,9$ Gy olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Ölçüm tekniğinde kullanılan güvenli doz değer aralıklarında Şahiner vd. (2018) çalışması esas alınmıştır. Doz dağılımları tablosuna bakıldığında, "overdispersion" olarak belirtilen değer (%31,1); "CAM" adı verilen ortalama yaş modeli kullanımı için güvenilir sınırı aştığından (%10-%30; Galbraith and Roberts 2012), bu çalışmada "MAM" adı verilen en küçük yaş modeli baz alınmıştır. Yıllık doz için saptanan U , Th ve K değerleri ise bölgesel olarak tahmin edilen değerlerle uyumludur. Değerler, doğal su içeriği ve doygun su içeriği altındaki sınır değerler baz alınarak, bunun yanında paleoiklimsel özelliklere göre tahmin edilen F değeri saptanarak elde edilmiştir. KF8 örneğine ait yaş doğal su içeriği dikkate alındığında $17,47 \pm 2,71$ binyıl saptanmıştır. Doygun su parametrelerinin düzeltme katsayısına göre tek başına esas alındığında ise örneğin yaşı $20,19 \pm 3,11$ binyıl olarak bulunmuştur. Buna göre su miktarındaki değişimlerin yaşı %16 oranında etkilediği gözlenmiştir (Çizelge 2).



Şekil 4. KF8 numaralı örneğe ait eşdeğer doz dağılımı. σ_b : "overdispersion" değeri. D_e : Eşdeğer doz değeri. SE: 2-sigma band değeri. P: Doğruluk değeri. RE: Görelî hata yüzdesi.

Su miktarı dağılımları ise, yüzeyden itibaren 12,5 cm ile 250 cm arasında değişen derinliklerde alınan KF (1-9) örneklerinin analiz öncesi ağırlıkları 222,15 g ile 320,47 g arasında değişim göstermektedir. Hazırlanan örnekler boş ağırlığı 80,14 g olan plastik beher içerisinde 50°C etüvde, doğal su içeriklerinin %90'dan fazlasını ilk 12 saat içerisinde kaybettiği ve 48. saat sonunda ise su değişimlerinde kayda değer bir değişim olmadığı gözlenmiştir. Saptanan ağırlıklar 214,53 g ile 316,28 g arasında dağılım göstermektedir (Çizelge 3). Buradan yola çıkarak eşitlik 1 kullanıldığında doğal su içeriğinin %3,55 ile %0,19 arasında değiştiği görülmektedir. Bununla

birlikte elek boylarına göre ayrıştırılan örneklerde; kaba kumdan çakıl tane boyuna kadar %58,07 ile %75,33; kaba kumdan orta kum boyu aralığında %2,39 ile %7,91; orta kumdan ince kum boyu aralığında %3,88 ile %12,25; ince kumdan çok ince kum boyu aralığında %4,32 ile %15,16; ve çok ince kumdan kil boyu aralığında %2,44 ile %12,11 dağılım göstermektedir (Çizelge 4). Her bir tane boyundan alınan spesifik örneklerin şırınga içerisinde doygun su miktarının ölçülmesi sonucunda, eşitlik 2 yardımıyla her bir örneğin doygun su miktarları %13,6 ile %27,1 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 2. KF8 örneğine ait değişen su miktarları karşısında hesaplanan lüminesans tarihlendirme sonuçları.

	U ²³⁸	Th ²³²	K ⁴⁰	W (%)		OD	De (Gy)	Yaş (binyıl)	
	ppm	ppm	%	W _n	W _d			Y _{wn}	Y _{wd}
KF8	2,0	0,2	0,13	3,55	23,93	31,1	14,3±1,9	17,47±2,71	20,19±3,11

W: Su içeriği. Wn: Doğal su içeriği. Wd: Doymuş su içeriği. OD: "Overdispersion" değeri. De: Eşdeğer doz. Ywn: Doğal su içeriğine göre hesaplanan yaş değeri. Ywd: Doymuş su içeriğine göre hesaplanan yaş değeri.

Çizelge 3. Kırkağaç Fayı'ndan toplanan örneklerin zamana bağlı doğal su değişimleri ve doygun su içerikleri.

No	Süre						W				D (cm)
	0	6sa	12sa	24sa	36sa	48sa	W _s	W _d	W _n		
KF1	327,64	325,41	322,73	322,4	322,31	322,3	62,47	14,57	2,21	250	
KF2	387,47	381,39	377,46	377,41	377,39	377,38	62,18	13,60	3,40	237,5	
KF3	400,61	398,53	397,61	396,97	396,43	396,42	65,04	23,13	1,33	150	
KF4	326,13	323,67	321,72	321,63	321,59	321,58	65,29	23,97	1,89	175	
KF5	377,19	375,16	373,59	371,76	371,28	371,26	63,16	16,87	2,04	112,5	
KF6	374,75	373,51	373,42	373,37	373,34	373,32	64,75	22,17	0,49	50	
KF7	321,73	321,5	321,36	321,31	321,29	321,28	64,72	22,07	0,19	50	
KF8*	302,29	299,73	296,49	294,94	294,69	294,67	65,28	23,93	3,55	37,5	
KF9	351,4	349,41	347,83	347,67	347,63	347,61	66,23	27,10	1,42	12,5	

Ws: Beher ağırlığı+alınan spesifik örnek

ağırlığı+su. Wd: Doymuş su içeriği. Wn: Doğal su

içeriği. D: Derinlik. Su miktarındaki değişim hesaplamaları için yöntem bölümüne bakınız. Asteriks: Değerlendirme için kullanılan tip örnek.

Çizelge 4. Kırkağaç Fayı'ndan toplanan örneklerin lüminesans tarihlendirmede "coarse grain" için hesaplanan spesifik elek analizi sonuçları.

No	Elek Analizi Dağılımları					
	700µm< g/%	700-425µm g/%	425-250µm g/%	250-150µm g/%	150-75µm g/%	75 µm> g/%
KF1	175,4/73,03	11,6/4,9	10,17/4,23	11,21/4,67	21,13/8,80	10,52/4,38
KF2	222,37/75,34	7,46/2,53	7,13/2,42	10,48/3,55	24,24/8,21	23,49/7,96
KF3	202,12/63,94	12,46/3,94	9,38/2,97	17,75/5,62	36,07/11,41	38,31/12,12
KF4	158,74/66,08	15,43/6,42	14,18/5,90	15,27/6,36	20,21/8,41	16,39/6,83
KF5	168,43/58,07	22,97/7,92	16,41/5,66	21,12/7,28	43,97/15,16	17,13/5,91
KF6	214,77/74,68	12,37/4,3	10,17/3,54	18,83/6,55	24,41/8,49	7,03/2,44
KF7	209,17/86,81	5,78/2,40	4,89/2,03	4,46/1,85	10,43/4,33	6,21/2,58
KF8*	156,97/73,46	12,72/5,95	9,74/4,56	10,14/4,75	12,43/5,82	11,67/5,46
KF9	176,26/68,42	16,18/6,28	12,81/4,97	14,63/5,68	21,27/8,26	16,48/6,40

4. Tartışma ve Sonuç

Paleosismoloji çalışmalarında deprem sonrası oluşan çökel olarak değerlendirilen kolüvyal kama çökelleri ile deprem öncesi var olan eski toprak düzeylerinin hassas şekilde tarihlendirilmesi (sırasıyla lüminesans ve radyokarbon), söz konusu depremin tarihini ortaya koymak için elzemdir. Çoğunlukla eski toprak biriminin içinde gözlenen karbon seviyelerinin radyokarbon tekniği ile tarihlendirilmesi, hem deprem seviyelerinin iki farklı teknik kullanılarak deneştirilmesi hem de lüminesans tarihlemede kamaların gömülmeye ve derinliğe bağlı su değişimine daha hassas yaklaşılabilmesi açısından önemlidir. Tanaka vd. (2007) çalışmasında, elde edilmek istenilen en doğru tarih aralığının doymuş ve doğal su içeriği hesaplanarak bulunan iki farklı tarihin arasında olduğunu vurgulamaktadır. Bununla ilişkili birçok araştırmacı (örn. Persenous and Mahan 2005, Shao *et al.* 2017) lüminesans tarihleme çalışmalarında doğal ya da doymuş su içeriklerinin birine göre su oranını belirleyip, tarihleme çalışmalarını gerçekleştirirse de bazı araştırmacılar (örn. Spencer *et al.* 2015, Şahiner vd. 2018, Softa vd. 2021) doymuş su oranlarını Aitken (1985) tarafından önerilen "F" değeri ile çarpılmasıyla çıkan sonucu göz önünde bulundurmaktadır. Literatürde hangisinin net olarak kullanılacağına dair bir fikir birliği olmasa da güncel çalışmalar örneklerin alındığı coğrafik, iklimsel koşulları ve toprak sınıflamaları göz önünde bulundurularak değerlendirme yapmaktadır (Rosenzweig and Porat 2015, Nelson and Ritteneour 2015). Ancak burada önemli olan, söz konusu tarihlerin, deprem tekrarlanma aralıkları, fayın ürettiği son yıkıcı deprem tarihi, son yıkıcı depremden sonra geçen süre, kayma hızı gibi önem arz eden faya ait geçmiş özelliklerin tanımlandığı parametrelerde ihmal edilebilir hataya yer olmadığına anlaşılmasıdır (Şekil 5).

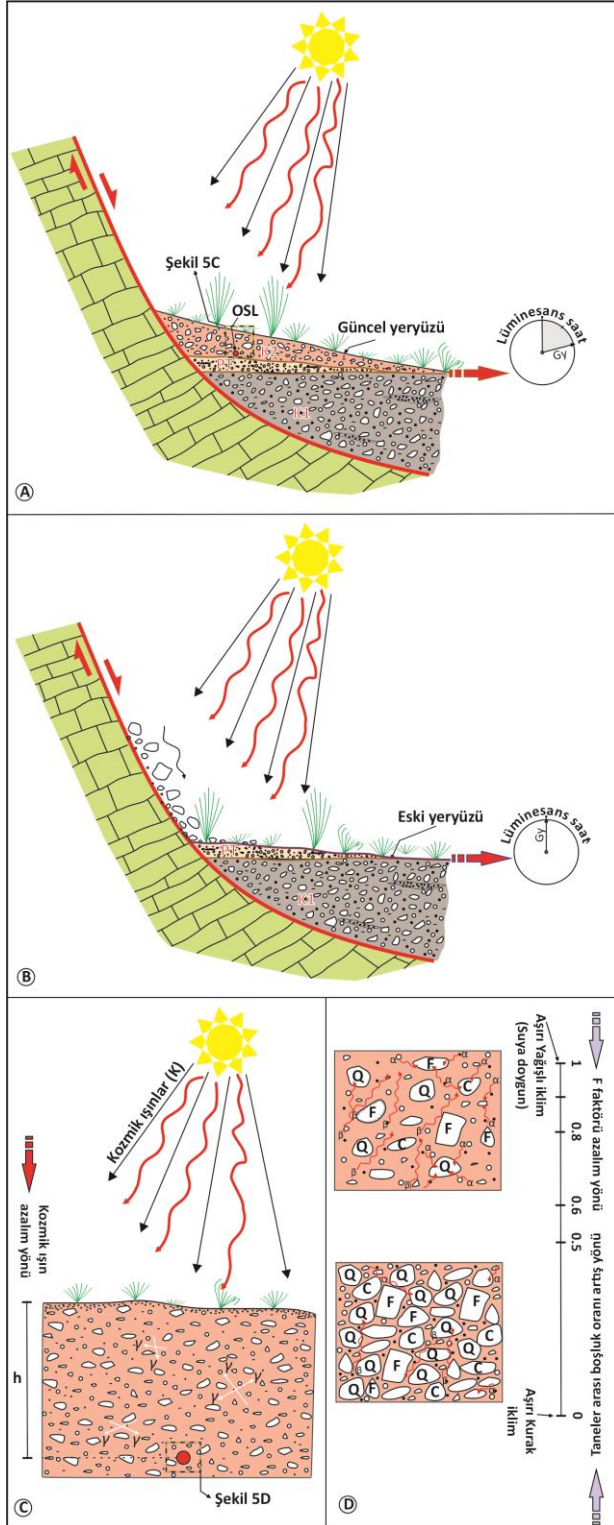
Lüminesans tarihlemede önemli olan değişkenlerden birisi eş değer dozudur (Aitken and Allred 1972, Aitken 1985, Huntley *et al.* 1993). Saptanacak yaşı doğrudan etkileyebilecek değişkenlerden birisi olan eş değer dozun bağımlı olduğu en önemli parametre, lüminesans sinyalin

ölçüleceği ve gömüldüğü andan itibaren doz aldığı miktarın belirleneceği mineral türü ve ilgili minerale ait kristal boy aralığıdır (Wallinga 2002, Duller 2004, Pressuer *et al.* 2008). Yapılan önceki çalışmalarda "coarse grain" ya da "fine grain" olarak ölçülmesi istenilen mineraller, 250-150µm, 75-150µm, 75-45µm, 4-11 µm tane boyu gibi aralıklarda, farklı doz sonuçlarıyla saptanabilmektedir (Olley *et al.* 1998, Colls *et al.* 2001). Bununla birlikte, yıllık doz oran hesaplamalarında soğrulan yıllık radyoaktivite miktarında da örneğin boylanma parametreleri, örneğin barındırdığı U, Th ve K oranlarını etkileyebilmektedir. Son çalışmalarda bu değişiklik fark edilerek kötü boylanma gösteren taraça, kolüvyal, alüvyal yelpaze gibi çökellerde iki farklı tane boyu üzerinde radyoaktivite ölçümleri yapılmaya başlanmış, böylece aranan tarih aralığının daha hassas saptanabilmesi sağlanmıştır (Softa vd. 2021).

Ülkemizde hendek tabanlı olarak gerçekleştirilen paleosismoloji çalışmalarında, deprem ilişkili seviyelerin tarihlendirilmesinde çoğunlukla organik malzemelerin örneklendiği çalışmalarda radyokarbon tekniği tercih edilmiştir. Bununla birlikte radyokarbon tekniğinin uygulanamayacağı alanlarda lüminesans tekniği 2006 yılından günümüze kadar yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yerbilimleri alanında oldukça yaygın kullanılan lüminesans çalışmalarının, paleosismoloji çalışmalarındaki kullanımı oldukça yenidir. Ölçüm tekniğinde konvansiyonel ve yenilikçi metodlar kullanılan lüminesans çalışmalarında, yerbilimsel çalışmalarda metodolojik yaklaşımlara ve ölçüm hassasiyetlerine detaylı olarak yer verilse de (Şahiner vd. 2018, Erturaç vd. 2019, Softa vd. 2021), paleosismoloji çalışmalarında bu durumun Duran vd. (2021) ve Civico vd. (2021) dışında oldukça kısır olduğu görülmektedir.

Lüminesans çalışmalarında yıllık dozu önemli oranda etkileyen su değişimlerinin kolüvyal çökellerdeki tarihlendirmeye etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, su miktarlarındaki değişimlerin örneğin alındığı yerdeki yıllık dozları, dolayısıyla elde edilen tarihleri kayda değer oranda etkilediği saptanmıştır. Bu kapsamda özellikle Akdeniz iklimi gibi kışların yağışlı

ve nemli, yazların sıcak ve kurak olduğu alanlarda toprakların sınıflaması oldukça önemlidir. ICOMMOTR (1991)'e göre, "Xeric" olarak adlandırılan ve yağışlı seviyelerin -600kpa ile -1000kpa arasında kurak seviyelerin ise -1kpa ile -100kpa arasında sınıflandırılan toprak türlerinde, örneğin ne zaman alındığı, hangi derinlikten alındığı, tane boylarının oranları oldukça önemli bir faktördür.



Şekil 5. Deprem sonrası gelişen kolüvyal kama oluşum modelinin lüminesans tarihlendirme çalışmalarındaki konsept değerlendirilmesi. A). Önceden meydana gelen deprem sonrası gelişen kama (K1), üzerinde gelişen eski toprak yüzeyi (PT), ve en son meydana gelen depremden sonra gelişen Kama (K2) seviyesi. B). PT çöktükten sonra üzerine K2'nin gelmesi ile lüminesans saat çalışmaya başlamaktadır. En son meydana gelen deprem zamanını tespit edebilmek için K2'den alınan OSL örneği, lüminesans saatin çalıştığı süreyi yani örneğin en son gün ışığı gördüğü andan itibaren geçen süreyi ölçmektedir. C). Doğal radyoaktivitenin derinliğe (h) ve sediman tane boylarına göre etkisini gösteren şematik model (Aitken 1998'den değiştirilerek). İçi dolu kırmızı daire örnek lokasyonunu temsil etmektedir. D). Tane boyu, tane kökeni ve taneler arası boşluklarda soğrulan alfa, beta, gama ve kozmik radyasyonun dağılımı (Aitken 1998'den değiştirilerek). Porozite, doymun su içeriği ve paleoklimsel değerlendirme kapsamında için şematik konsept diyagram. Q: Kuvars, F: Feldspat, C: Kalsit.

Özellikle KF8 numaralı örneğe bakıldığında, arazi şartlarında doğal su içeriği ve doymun su içeriğinin literatürde verilen katsayının doymun su içeriği birlikte saptanan yaş değeri arasında $2,72 \pm 0,4$ (bin yıl) by fark bulunmaktadır. Literatürde, porozite olarak bilinen ve minerallerin birbirleri arasındaki boşluk oranının gömülme boyunca ne kadarının su ile dolu olduğunun bir göstergesi olarak F değeri adıyla anılan bu değer, 0 ile 1 arasında değişkenlik göstermektedir (Aitken 1985). Literatürde söz konusu düzeltme faktörü çoğunlukla $0,8 \pm 0,2$ olarak bilirse de Aitken ve Alldred (1972) çalışmalarında porozitenin yani F faktörünün hesaplanmasında aşağıdaki eşitliğin kullanılabileceğini ifade etmektedirler.

$$F =$$

$$\frac{\text{Gömülme boyunca tahmin edilen su içeriği / Doymun su içeriği}}{\text{Doymun su içeriği}} \quad (5)$$

Buradan yola çıkarak söz konusu değer bir sabit katsayı olarak değil de örneğin doymun su içeriğine bağlı olarak değişim gösterebileceği ifade edilmektedir. F faktörünün örneğin alındığı yerdeki

nem, su, iklim ve toprak çeşidine de bağlı olduğu için ve söz konusu değerlerin örneğin çökeldiği andaki değerlerine bir yaklaşımda bulunabilmesi için hem derinliğe bağlı hem de paleoiklimsel verilerin birlikte değerlendirilmesi zaruridir. Eğer örneğin alındığı alanın iklim özellikleri şu anki iklim özelliklerinden daha kuru-sıcak bir iklim olarak ifade edilirse, söz konusu faktörün hesaplanmasına gereksinim duyulmamaktadır (Aitken 1985). Tam tersi durumda, yani daha yağışlı bir iklimde, F faktörünün derinliğe ve boşluk oranına bağlı değerlendirilmesi yapılarak radyoaktivitenin ne kadarının su tarafından soğurulduğunun da anlaşılması açısından oldukça önemli olacaktır. Bu durum ise tamamen hesaplanan tarihleri doğrudan etkilemektedir.

Sarikaya vd. (2014) çalışmasına göre, günümüzden ~19-23 binyıl arası dönemde Türkiye'nin güney Akdeniz kıyı kesimleri ve yakın çevresinin günümüze göre daha yağışlı dönemler olduğu düşünüldüğünde, maksimum su tutma kesrinin 1' e yakın bir değer alması oldukça olasıdır. Bu durumda literatürde verilen, $0,6 \pm 0,2$ ve $0,8 \pm 0,2$ değerlerinden çok o bölgenin paleoiklimsel değerlendirmeleri sonucunda, bir katsayı ile çarpılması beklenen sonucu daha iyi yansıtabilecektir. Dolayısıyla bu çalışma için alt sınır F değeri $0,95 \pm 0,05$ (Aitken and Alldred 1972) alınarak yapılan hesaplama doğru bir sonuca daha yakın olacaktır. Ancak bölgedeki paleoiklimsel çalışmaların daha detaylı olması durumunda daha hassas sonuçlara ulaşılabilir. Benzer şekilde kolüvyal kamalardaki eski su içeriğine en etkili yaklaşımlardan biri de paleoiklimsel çalışmalar değerlendirilebilir.

Kolüvyal düzeylerde detaylı palinolojik çalışmalar sonucunda saptanacak polen ve spor verileri de iklim kayıtlarına dair veri sunabileceği gibi, özellikle karbonatlı kayaların yaygın olduğu çalışma alanına yakın bölgelerde mağara içi çökellerde ve incelenen kolüvyal içindeki karbonatlı düzeylerde oksijen izotoplarına bağlı veriler, ilgili deprem zamanına ait olabilecek eski iklim kayıtlarına dair kesin veri sunabilir. Ancak bu tür verilerin doğrulanması için bölgede yapılacak detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple, özellikle doğal afetlerin risk azaltma planı çerçevesinde ve diri fayların kat

ettiği yerleşim alanlarında yapılan paleosismoloji çalışmaları, diri fayın deprem üretme aralığına ve kayma hızına bağlı olarak ilgili bölgenin yerleşime kapatılıp kapatılmayacağı kararına doğrudan etki yapacağından, tarihlendirme çalışmalarındaki hata paylarının dikkatli olarak değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Yazarlar makalenin paleosismoloji çalışmalarının değerlendirilmesine katkı sağlayarak çalışmanın bilimsel değerini artıran Dr. Hasan Sözbilir'e, ayrıca lüminesans tarihlendirme aşamalarında eşdeğer doz ölçümleri için Dr. Eren Şahiner'e ve yıllık doz değerlendirme bölümlerine katkılarından dolayı için Dr. Mehmet Yüksel'e, aynı zamanda arazi çalışmalarındaki yardımları için Büşra Yerli ve Ali Duman'a teşekkür ederler.

5. Kaynaklar

- Aitken, M.J., and Alldred, J.C., 1972. The assessment of error limits in thermoluminescent dating. *Archaeometry*, **14(2)**, 257-267.
- Aitken, M.J., 1985. Thermoluminescence Dating. 1st Edt. Academic Press, London, 351.
- Aitken, M.J., 1998. Introduction to optical dating: the dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence. 1st Edt. Oxford University Press. Newyork, 267.
- Akçar, N., Tikhomirov, D., Özkaymak, Ç., Ivy-Ochs, S., Alfimov, V., Sözbilir, H., Uzel, B., and Schlüchter, Ch., 2012. ³⁶Cl exposure dating of paleoearthquakes in the Eastern Mediterranean: first results from western Anatolian Extensional Province, Turkey. *GSA Bulletin*, **124**, 1724–1735.
- Atlıhan, M.A., Şahiner, E., and Alanyalı, F.S., 2012. Dose estimation and dating of pottery from Turkey. *Radiation Physics and Chemistry*, **81(6)**, 594-598.
- Atlıhan, M.A., Koralay, T., and Sahiner, E., 2018. Luminescence dating and mineralogical investigations of bricks from Erikli Basilica in Stratonikeia ancient city (SW-Turkey). *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, **18(1)**, 77-91.
- Akbaş, F., 2020. Gördes İlçesi'nin (Manisa) İklim Özellikleri. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi*, **3(1)**, 46-73.
- Akkiraz, M.S., Utescher, T., Bruch, A.A., Wilde, V., Durak, S.D., and Mosbrugger, V., 2020. Early Miocene palaeoflora and palaeoecology of the Soma Basin,

- Western Turkey. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, **100(4)**, 921-938.
- Arpalıyığıt, İ., 1996. Quaternary geology of the soma district, western Turkey (Master Thesis), Dokuz Eylül University The Graduate School of Natural and Applied Science, 56.
- Arpalıyığıt, İ., 2004. Pliocene-quaternary geology of the Soma graben, Western Turkey (PhD Thesis), Dokuz Eylül University The Graduate School of Natural and Applied Science, 98.
- Arpalıyığıt, İ., ve İnci, U., 2000. Kırkağaç diri fay zonu. *Batı Anadolu'nun Depremelliği Sempozyumu, BADSEM-2000 Bildiriler Kitabı*, 184-189.
- Barron, E., van Andel, T.H., and Pollard, D., 2003. Glacial environments II: Reconstructing the climate of Europe in the last glaciation. *Neanderthals and modern humans in the European landscape during the last glaciation*, 57-78.
- Basmenji, M., Akyuz, H.S., Kirkan, E., Aksoy, M. E., Ucar, G., and Yakupoglu, N., 2021. Earthquake history of the Yatagan Fault (Mugla, SW Turkey): implications for regional seismic hazard assessment and paleoseismology in extensional provinces. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **30(2)**, 161-181.
- Civico, R., Smedile, A., Pantosti, D., Cinti, F.R., De Martini, P.M., Pucci, S., ... and Şentürk, S., 2021. New trenching results along the İznik segment of the central strand of the North Anatolian Fault (Turkey): an integration with preexisting data. *Mediterranean Geoscience Reviews*, **3(1)**, 115-128.
- Colls, A.E., Stokes, S., Blum, M. D., and Straffin, E., 2001. Age limits on the Late Quaternary evolution of the upper Loire River. *Quaternary Science Reviews*, **20(5-9)**, 743-750.
- Damon, P., 1987. Radiocarbon dating techniques: TAMS versus Quantulus. In Directions in Paleoseismology (Ed: Crone, A.J; Omdahl, E.M.), *United States Department Of The Interior Geological Survey Proceedings Of Conference XXXIX*, 23-29.
- Denk, T., Güner, H.T., and Bouchal, J.M., 2022. Catalogue of revised and new plant macrofossils from the Aquitanian-Burdigalian of Soma (W Turkey)–Biogeographic and palaeoclimatic implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **296**, 104550.
- Dikbaş, A., Akyüz, H.S., Meghraoui, M., Ferry, M., Altunel, E., Zabcı, C., ... and Yağcıner, C.Ç., 2018. Paleoseismic history and slip rate along the Sapanca-Akyazi segment of the 1999 İzmit earthquake rupture (Mw=7.4) of the North Anatolian Fault (Turkey). *Tectonophysics*, **738**, 92-111.
- Duller, G.A., 2004. Luminescence dating of Quaternary sediments: recent advances. *Journal of Quaternary Science*, **19(2)**, 183-192.
- Duman, T.Y., Elmacı, H., Özalp, S., Kürçer, A., Kara, M., Özdemir, E., ... and Uygun Gündoğan, Ç., 2020. Paleoseismology of the western Sürgü–Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, **2(3)**, 411-437.
- Duran, I., Sözbilir, H., Eski, S., Softa, M., Uytun, H., Yüksel, M., and Topaksu, M., 2021. Paleoseismic history of the Manisa fault zone, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **30(SI-1)**, 806-832.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., and Çan, T., 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**, 3229-3275.
- Eroğlu, İ., ve Bozyığıt, R., 2012. Yunt Dağıve Çevresinin İklim Özellikleri. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, **27**, 129-151.
- Erturaç, M.K., Şahiner, E., Zabcı, C., Okur, H., Polymeris, G.S., Meriç, N., and İkiel, C., 2019. Fluvial response to rising levels of the Black Sea and to climate changes during the Holocene: Luminescence geochronology of the Sakarya terraces. *The Holocene*, **29(6)**, 941-952.
- Forman, S., 1987. The Application Of Thermoluminescence (TL) Dating To Normal Faulted Terrain. In Directions in Paleoseismology (Ed: Crone, A.J; Omdahl, E.M.), *United States Department Of The Interior Geological Survey Proceedings Of Conference XXXIX*, 42-49.
- Forti, P., and Postpischl, D., 1984. Seismotectonic and paleoseismic analyses using karst sediments. *Marine geology*, **55(1-2)**, 145-161.
- Galbraith, R.F., and Roberts, R.G., 2012. Statistical aspects of equivalent dose and error calculation and display in OSL dating: an overview and some recommendations. *Quaternary Geochronology*, **11**, 1-27.
- Gilli, E., 1999. Evidence of palaeoseismicity in a flowstone of the Observatoire cave (Monaco). *Geodinamica Acta*, **12(3-4)**, 159-168.
- Göktürk, O.M., Fleitmann, D., Badertscher, S., Cheng, H., Edwards, R. L., Leuenberger, M., ... and Kramers, J., 2011. Climate on the southern Black Sea coast during the Holocene: implications from the Sofular Cave record. *Quaternary Science Reviews*, **30(19-20)**, 2433-2445.

- Guidorzi, L., Fantino, F., Durisi, E., Ferrero, M., Re, A., Vigorelli, L., ... and Lo Giudice, A., 2021. Age determination and authentication of ceramics: advancements in the thermoluminescence dating laboratory in Torino (Italy). *Acta Imeko*, **10(1)**, 32-39.
- Hubert-Ferrari, A., Avşar, U., El Ouahabi, M., Lepoint, G., Martinez, P., and Fagel, N., 2012. Paleoseismic record obtained by coring a sag-pond along the North Anatolian Fault (Turkey). *Annals of Geophysics*, **55(5)**, 929-953.
- Huxtable, J., Aitken, M.J., and Weber, J.C., 1972. Thermoluminescent dating of baked clay balls of the Poverty Point Culture. *Archaeometry*, **14(2)**, 269-275.
- Huntley, D.J., Hutton, J.T., and Prescott, J.R., 1993. Optical dating using inclusions within quartz grains. *Geology*, **21(12)**, 1087-1090.
- ICOMMOTR, 1991. International Committee on Soil Moisture and Temperature Regimes. Circular letter no. 2.
- Jacoby, G., 1987. Potential and limits for dating prehistoric earthquakes using tree-ring analysis. In Directions in Paleoseismology (Ed: Crone, A.J; Omdahl, E.M.), *United States Department Of The Interior Geological Survey Proceedings Of Conference XXXIX*, 18-22.
- Kayseri-Özer, M.S., 2017. Cenozoic vegetation and climate change in Anatolia-A study based on the IPR-vegetation analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **467**, 37-68.
- Kürçer, A., Özaksoy, V., Özalp, S., Gülüdoğan, Ç. U., Özdemir, E., and Duman, T.Y., 2017. The Manyas fault zone (southern Marmara region, NW Turkey): active tectonics and paleoseismology. *Geodinamica Acta*, **29(1)**, 42-61.
- Kürçer, A., Özalp, S., Özdemir, E., Gülüdoğan, Ç.U., and Duman, T.Y., 2019. Active tectonic and paleoseismologic characteristics of the Yenice-Gönen fault, NW Turkey, in light of the 18 March 1953 Yenice-Gönen Earthquake (Ms= 7.2). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **159(159)**, 29-62.
- Kürçer, A., Özdemir, E., Olgun, Ş., Özalp, S., Çan, T., and Elmacı, H., 2021. Active tectonic and paleoseismological characteristics of the Dinar Fault, SW Anatolia, Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews*, **3(2)**, 219-251.
- McCalpin, J. P., 2009. Paleoseismology in extensional tectonic environments. *International Geophysics*, **95**, 171-269.
- Muhs, D., 1987. Applications Of Aminostratigraphy, Strontium-Isotope Stratigraphy, And Uranium-Trend Dating To Paleoseismology And Neotectonics. In Directions in Paleoseismology (Ed: Crone, A.J; Omdahl, E.M.), *United States Department Of The Interior Geological Survey Proceedings Of Conference XXXIX*, 76-83.
- Nelson, M.S., and Rittenour, T.M., 2015. Using grain-size characteristics to model soil water content: application to dose-rate calculation for luminescence dating. *Radiation Measurements*, **81**, 142-149.
- Okumura, K., Yoshioka, T., Kuşçu, İ., Nakamura, T., and Suzuki, Y., 1993. Recent surface faulting on the North Anatolian Fault East of Erzincan Basin, Turkey – a trenching survey. *EOS*, **74(43)**, supplement p.545.
- Olley, J., Caitcheon, G., and Murray, A., 1998. The distribution of apparent dose as determined by optically stimulated luminescence in small aliquots of fluvial quartz: implications for dating young sediments. *Quaternary Science Reviews*, **17(11)**, 1033-1040.
- Özaksoy, V., Elmacı, H., Özalp, S., Meryem, K. and Duman, T.Y., 2018. Holocene activity of the Orhaneli Fault based on palaeoseismological data, Bursa, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **156(156)**, 1-16.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Uzel, B., and Akyüz, H. S., 2011. Geological and palaeoseismological evidence for late Pleistocene– Holocene activity on the Manisa Fault Zone, western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **20(4)**, 449-474.
- Page, R., 1970. Dating episodes of faulting from tree rings: effects of the 1958 rupture of the Fairweather fault on tree growth. *Geological Society of America Bulletin*, **81(10)**, 3085-3094.
- Pantosti, D., and Yeats, R. S., 1993. Paleoseismology of great earthquakes of the late Holocene. *Annals of Geophysics*, **36(3-4)**, 237-257.
- Pavlidis, S.B., Chatzipetros, A., Tutkun, Z.S., Özaksoy, V., and Doğan, B., 2006. Evidence for late Holocene activity along the seismogenic fault of the 1999 Izmit earthquake, NW Turkey. *Geological Society of London Special Publications*, **260(1)**, 635-647.
- Personius, S.F., and Mahan, S.A., 2005. Unusually low rates of slip on the Santa Rosa Range fault zone, northern Nevada. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **95(1)**, 319-333.

- Porat, N., Amit, R., Zilberman, E., and Enzel, Y., 1997. Luminescence dating of fault-related alluvial fan sediments in the southern Arava Valley, Israel. *Quaternary Science Reviews*, **16(3-5)**, 397-402.
- Preusser, F., Degering, D., Fuchs, M., Hilgers, A., Kadereit, A., ... and Spencer, J.Q.G., 2008. Luminescence dating: basics, methods and applications. *E&G Quaternary Science Journal*, **57 (1/2)**, 95-149.
- Rendell, H.M., 1985. The precision of water content estimates in the thermoluminescence dating of loess from northern Pakistan. *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **10(4-6)**, 763-768.
- Robinson, S.A., Black, S., Sellwood, B.W., and Valdes, P.J., 2006. A review of palaeoclimates and palaeoenvironments in the Levant and Eastern Mediterranean from 25,000 to 5000 years BP: setting the environmental background for the evolution of human civilisation. *Quaternary Science Reviews*, **25(13-14)**, 1517-1541.
- Rosenzweig, R., and Porat, N., 2015. Evaluation of soil-moisture content for OSL dating using an infiltration model. *Ancient TL*, **33(2)**, 10-14.
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Haybat, H., and Zreda, M., 2014. An early advance of glaciers on Mount Akdağ, SW Turkey, before the global Last Glacial Maximum; insights from cosmogenic nuclides and glacier modeling. *Quaternary Science Reviews*, **88**, 96-109.
- Schwartz, D.P., 1987. Earthquakes of the Holocene. *Reviews of Geophysics*, **25(6)**, 1197-1202.
- Shao, Y., Yuan, D., Oskin, M. E., Wang, P., Liu-Zeng, J., Li, C., and Wu, Z., 2017. Historical (Yuan Dynasty) Earthquake on the North Danghe Nanshan Thrust, Western Qilian Shan, China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **107(3)**, 1175-1184.
- Sheppard, P. R., and Jacoby, G. C., 1989. Application of tree-ring analysis to paleoseismology: two case studies. *Geology*, **17(3)**, 226-229.
- Softa, M., Spencer, J.Q., Sözbilir, H., Huot, S., and Emre, T., 2021. Luminescence dating of Quaternary marine terraces from the coastal part of Eastern Black Sea and their tectonic implications for the Eastern Pontides, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **30(3)**, 359-378.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Güler, T., and Eski, S., 2016. Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey. *Geodinamica Acta*, **28(4)**, 273-294.
- Spencer, J. Q., Oviatt, C. G., Pathak, M., and Fan, Y., 2015. Testing and refining the timing of hydrologic evolution during the latest Pleistocene regressive phase of Lake Bonneville. *Quaternary international*, **362**, 139-145.
- Szczygieł, J., Gradziński, M., Bella, P., Hercman, H., Littva, J., Mendecki, M. J., ... and Wróblewski, W., 2021. Quaternary faulting in the Western Carpathians: Insights into paleoseismology from cave deformations and damaged speleothems (Demänová Cave System, Low Tatra Mts). *Tectonophysics*, **820**, 229111.
- Şahiner, E., Erturaç, M.K., Polymeris, G.S., and Meriç, N., 2018. Methodological studies on integration time interval's selection for the luminescence ages using quartz and feldspar minerals; sediments collected from Sakarya, Turkey. *Radiation Measurements*, **120**, 163-169.
- Tanaka, K., Hataya, R., Spooner, N.A., Questiaux, D.G., Saito, Y., and Hashimoto, T., 1997. Dating of marine terrace sediments by ESR, TL and OSL methods and their applicabilities. *Quaternary Science Reviews*, **16(3-5)**, 257-264.
- Vandenbergh, D., De Corte, F., Buylaert, J.P., and Kučera, J., 2008. On the internal radioactivity in quartz. *Radiation Measurements*, **43(2-6)**, 771-775.
- Vanneste, K., and Verbeeck, K., 2001. Paleoseismological analysis of the Rurand fault near Julich, Roer Valley graben, Germany: Coseismic or aseismic faulting history?. *Geologie en Mijnbouw*, **80(3/4)**, 155-170.
- Wallinga, J., 2002. Optically stimulated luminescence dating of fluvial deposits: a review. *Boreas*, **31(4)**, 303-322.
- Wintle, A.G., 1997. Luminescence dating: laboratory procedures and protocols. *Radiation measurements*, **27(5-6)**, 769-817.
- Yamaç, A., Gilli, E., Tok, E., and Törk, K., 2021. Caves and Karst of Turkey. History, Archaeology and Caves. 1st Edt. James W. LaMoreaux (Editor), Springer Nature, 108.
- Yerli, B., Sözbilir, H., Softa, M., 2021. Kırkağaç Fayı'nın Paleosismolojisi ve Morfometrik Özelliklerine Dair Ön Bulgular. 24. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı*, s.25.
- Yılmaz, E., 2021. Yüksek Çözünürlüklü CCSM4 Model Verilerine Göre Son Buzul Maksimumunda (SBM) Türkiye'nin Holdridge Ekolojik Bölgeleri ve Günümüz İklim Şartlarıyla Karşılaştırılması. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, **19(2)**, 331-367.

Zimmerman, D.W., 1971. Thermoluminescent dating using fine grains from pottery. *Archaeometry*, **13(1)**, 29-52.