



Paleosismolojik Veriler Işığında Eskişehir Fayı'nın Batı Segmentinin Deprem Davranışı
Earthquake Behaviour of the Western Segment of the Eskişehir Fault in Light of Paleoseismological Data

İsmet Elma^{*1}, Mirza Agha Safarov¹, Volkan Karabacak¹
Çağlar Özkaymak², Ökmen Sümer³

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi,
 Jeoloji Mühendisliği, Eskişehir, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Afyonkarahisar, Türkiye

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, İzmir, Türkiye

• Geliş/Received: 26.02.2025

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received: 16.05.2025

• Kabul/Accepted: 25.05.2025

• Çevrimiçi Yayın/Available online: 17.07.2025

• Baskı/Printed:

Araştırma Makalesi/Research Article

Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey

Öz: Bu makale, Eskişehir Fayı batı segmenti boyunca detaylı fay haritalamalarını, paleosismolojik gözlem ve analitik yaş verileri ışığında elde edilen eski deprem davranışına ilişkin çıkarımları sunmaktadır. Fayın en batı segmentini temsil eden uzanımı ile uyumlu olarak birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar sağ yanal ötelenmeler Eskişehir Fayı'nın bu kesiminde güncel hareketin baskın olarak sağ yönlü doğrultu atımlı karakterde olduğunu göstermektedir. Erikli (Bilecik) ve Kandilli (Eskişehir) Mahallelerinde gerçekleştirilen paleosismolojik fay kazılarında elde edilen bulgulara göre, Eskişehir Fayı batı segmentinde Holosen döneminde tekrarlanan yüzey kırıkları gerçekleştiği görülmektedir. 1956 Eskişehir depreminin ($M=6,5$) Eskişehir Fayı orta kesimlerinden kaynaklanmış olma olasılığı ve komşu segmentlere gerilim transferi yapabileceği hususu da göz önünde bulundurulduğunda, batı segment üzerinde ortaya konulan sismik suskunluk dönemi (~1500 yıl) ardından her an yüzey kırığı meydana getirebilecek bir deprem ($M \sim 6,59$) olma olasılığının yüksek olduğu değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir fayı, paleosismoloji, sismik tehlike.

Abstract: This paper presents the implications regarding earthquake behaviour through detailed fault mapping of the western segment of the Eskişehir Fault in light of paleoseismological observations and analytical age data. The stream beds are offset right-laterally by a few meters to a few hundred meters along the western extension of the fault, indicating that the current movement of the Eskişehir Fault is of right-lateral strike-slip character. Findings obtained from paleoseismological trenches in Erikli (Bilecik) and Kandilli (Eskişehir) villages reveal that recurrent surface ruptures occurred during the Holocene Period on the western segment of the Eskişehir Fault. Considering the possibility that the 1956 ($M=6.5$) Eskişehir earthquake may have originated from the central segments of the fault and transferred stress to adjacent segments, it is assessed that there is a high probability of a future earthquake ($M \sim 6.59$) on the western segment, which could potentially produce surface faulting following a seismic quiescence period of approximately 1500 years in this segment.

Keywords: Eskişehir fault, paleoseismology, seismic hazard.

GİRİŞ

Batıda Uludağ'dan doğuda Kaymaz'a kadar uzanan BKB-DGD doğrultulu bir deformasyon zonunun varlığı pek çok çalışmada delillendirilmiş olmakla birlikte, Eskişehir Fay Zonu (EFZ) olarak adlanan zonun genel uzanımı ve geometrik davranışı üzerine tartışmalar henüz netlik kazanmamıştır. EFZ'nin sağ yanal doğrultu atım bileşenli normal faylar ve baskın olarak sağ yanal doğrultu atımlı faylardan oluştuğuna dair farklı görüşler bulunmaktadır (Altunel ve Barka, 1998; Bozkurt, 2001; Yaltırak, 2002; Koçyiğit, 2005; Emre vd., 2013; Emre vd., 2018; Dirik ve Erol, 2003; Selçuk ve Gökten, 2012; Seyitoğlu vd., 2015). Örneğin; Şaroğlu vd. (1987) tarafından, Eskişehir ile Bursa arasında yer alan ve genel doğrultuları KB-GD olan diri faylar Eskişehir-Bursa Fay Zonu olarak adlanmıştır. Bu zon içerisinde yer alan faylar araştırmacılar tarafından İnönü-Dodurga Fay Zonu, EFZ ve Kaymaz Fayı olarak kendi içinde alt zonlara ayrılmıştır. Şaroğlu vd. (1987) Eskişehir havzasının kuzey ve güneyini sınırlayan eğim atım karakterindeki fayları EFZ olarak değerlendirmektedir. Tüm bu alt zonlar, Altunel ve Barka (1998) tarafından EFZ olarak değerlendirilmektedir. Yaltırak vd. (1998; 2010) ise bu zonun sağ yanal bir transform zon (Trakya-Eskişehir Fay Zonu) olarak Trakya'ya kadar uzandığını öne sürmektedir. Dirik ve Erol (2003), EFZ'yi Eskişehir-Sultanhanı Fay Sistemi'nin batıdaki kısmı olduğunu ileri sürmektedir. Benzer şekilde, Özsayın ve Dirik (2007) Uludağ ile Sivrihisar arasında BKB-DGD gidişli EFZ'nin, İnönü-Eskişehir Fay Sistemini oluşturan fay zonlarından biri olduğunu belirtmişlerdir.

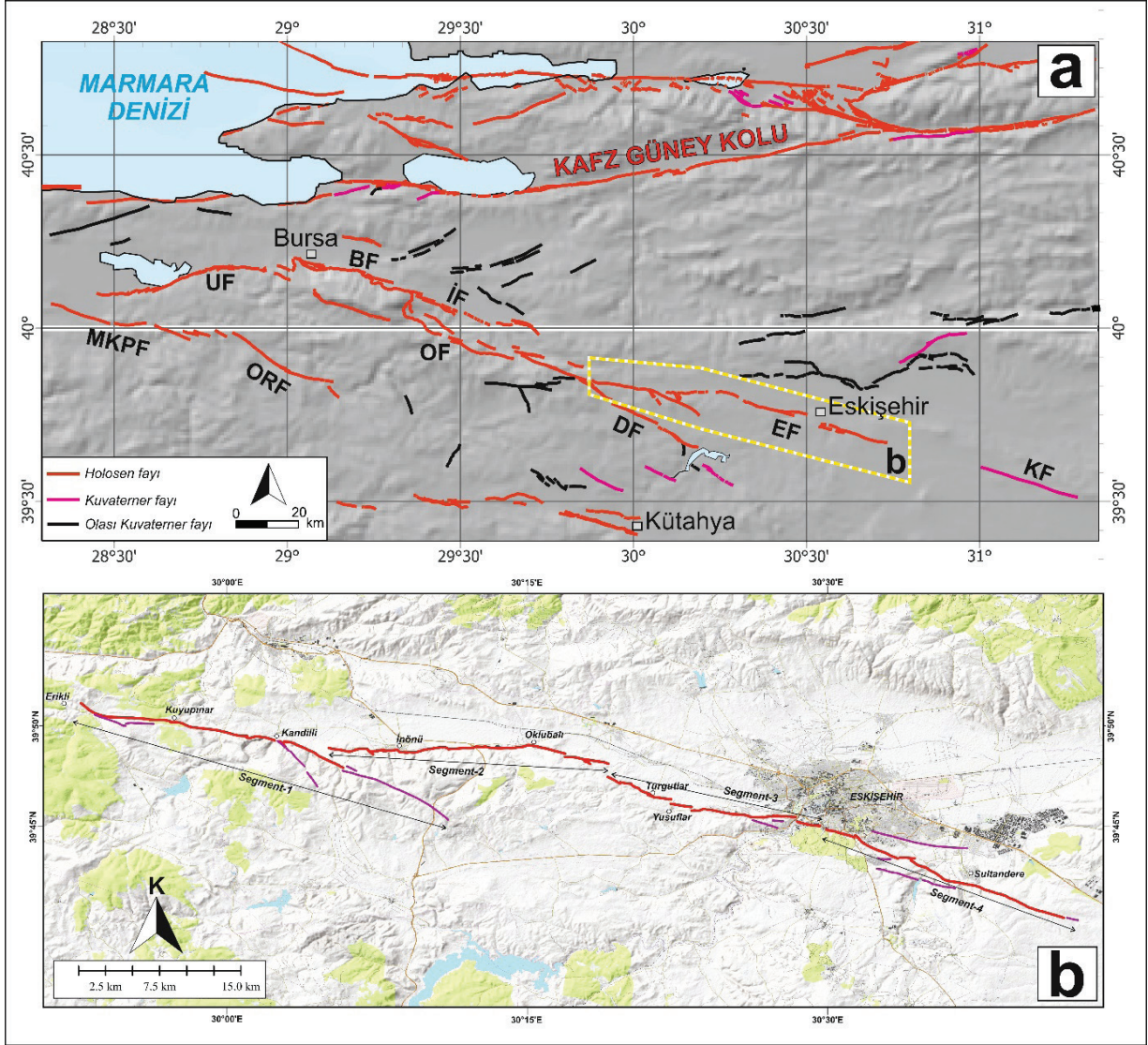
EFZ'nin Bilecik ili güneyinde Dodurga Fayı ile kesişiminden daha doğuya uzanımı güncel çalışmalarda Eskişehir Fayı olarak adlanmakta (örneğin; Emre vd., 2013; Elma vd., 2024) ve Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd., 2013), Eskişehir Fayı batıdan doğuya; BKB-DGD, D-B ve KB-GD uzanımına sahip, yaklaşık 75-85 km uzunluğunda Holosen fayı olarak

tanımlanmaktadır (Şekil 1). Eskişehir Fayı'nın kinematik evrimi ve fay geometrisi ile ilgili iki ana görüş bulunmaktadır; 1) Bölgede normal faylanma hakimdir (Gözler vd., 1985; Altunel ve Barka, 1998; Koçyiğit, 2005; Ocakoğlu, 2007). Bazı araştırmacılara göre, ilk evresinde sağ yanal doğrultu atımlı fay niteliği taşıırken günümüzde re-aktive olmuş normal fay olarak davranmaktadır (Yaltırak, 2002). Ocakoğlu (2007) Eskişehir Fayı'nın Bozüyük ile Alpu arasında Pliyosen sonrası aktif normal fay olarak ve KB-uzanımlı doğrultu atımlı fayları kestiğini belirtmektedir. 2) Bölgede aktif doğrultu atımlı faylar hakimdir (Şaroğlu vd., 2005; Seyitoğlu vd., 2010; Tün vd., 2010). Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd., 2013) ise, Eskişehir Fayı sağ yanal doğrultu atım bileşenli normal bir fay olarak tanımlanmaktadır. Güncel çalışmalarda ise, Elma vd. (2024) baskın normal faylanmanın jeolojik geçmişte uzunca bir dönem bölgeyi kontrol ettiğini ve güncel hareketin doğrultu atımlı karaktere evrildiğini ileri sürmektedir. Fay zonunun genel uzanımı hakkında tartışmalar devam etmekle birlikte, Eskişehir Fayı'nın Anadolu Bloku içerisinde kıta içi deformasyona neden olan önemli bir fay olduğu açıktır.

Eskişehir Fayı orta ve doğu kesimlerinde sınırlı olmakla birlikte hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar bulunmaktadır (Ocakoğlu vd., 2005; Kürçer vd., 2014; Altunel vd., 2015; Elma vd., 2024). Bununla birlikte, Eskişehir Fayı'nın en batı uzanımı ile ilgili yayınlanmış herhangi bir paleosismolojik veri literatürde yer almamaktadır. Fayın batı uzanımı Güney Marmara'da yoğun nüfus ve sanayi altyapısıyla stratejik konumundaki Bozüyük (Bilecik) ve İnönü (Eskişehir) ilçelerini etki alanı içerisine almaktadır. Dolayısıyla bu segmentin deprem tehlikesi açısından bütüncül olarak değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir. Bu çalışmada, KB'da Erikli Mahallesi'nin doğusundan itibaren GD'da Kandilli yerleşim alanına doğru uzanan ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip olan Eskişehir Fayı'nın

batı segmentinin (Segment-1, Şekil 1b) bazı karakteristik özelliklerinin (geometrisi ve deprem davranışı) ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen alanlarda, paleosismolojik

nitelikli fay kazısı çalışmaları yürütülmüş, segment özelinde deprem davranış özellikleri hakkında çıkarımlarda bulunulmuştur.



Şekil 1. a) Eskişehir Fay Zonu'nun, Türkiye'nin ana tektonik hatları ile ilişkisini gösteren aktif fay haritası (Emre vd., 2013). **b)** Eskişehir Fayı'nın genel uzanımını ve segment yapısını gösterir harita (Faylar Emre vd., (2011), Emre vd., (2013), Duman vd., (2017)'den faydalanılarak tarafımızdan arazide haritalanmıştır).

Figure 1. a) Active fault map showing the relationship of the Eskişehir Fault Zone with the main tectonic lines of Turkey (Emre et al. 2013). **b)** The map showing the general extension of the Eskişehir Fault and its segmentation (Faults were mapped by us based on Emre et al. (2011), Emre et al. (2013), Duman et al. (2017)).

ESKİŞEHİR FAYI ve YAKIN ÇEVRESİNİN SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Eskişehir Fayı ve yakın civarının depremselliği incelendiğinde; kataloglarda tarihsel dönemlerde meydana gelmiş depremlere ait sınırlı sayıda bilgilere rastlanılmaktadır. Örneğin, bazı tarihsel deprem kataloglarında (Pınar ve Lahn, 1952; Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981) bölgedeki tarihsel depremlere değinilmemiş olmakla birlikte, Ambraseys (2009), 17 Ocak 1862 tarihinde meydana gelen depremin Eskişehir’de yapısal hasarlara neden olduğunu ve bazı eski evlerin yıkıldığını belirtmiştir. Aynı deprem kataloğunda 15 Mart 1895 ve 10 Temmuz 1895 tarihlerinde İnönü ve batısında meydana gelen ve Bozüyük, Karaköy, Bilecik’te hissedilen depremlerden de bahsedilmektedir. Bununla beraber, diğer tarihsel deprem kataloglarında değinilmemiş olan bu depremlerin büyüklükleri ve depremlerin dış merkezleri tartışmalıdır.

Aletsel dönemde meydana gelen en büyük deprem, 20 Şubat 1956 ($M_w=6,5$) Eskişehir depremi (Öcal, 1959) olup, depremin kaynak fayı, merkez üssü ve büyüklüğü hala tartışılmaktadır. Öcal (1959), anket verilerine dayalı olarak yaptığı makrosismik değerlendirmelere göre depremin dış merkezini Çukurhisar yakınlarında belirlemiştir. Aynı çalışmada depremin yüzey kırığına ilişkin bilgi yer almamakla birlikte, depremin odak derinliğinin 23-24 km olduğu ileri sürülmektedir. Canitez ve Üçer (1967) depremin episantrının Eskişehir’in kuzeyine olduğunu ve büyüklüğünün $M=6,5$ olduğunu ileri sürmektedir. McKenzie (1972)’de depremin episantrının Eskişehir’in kuzeyinde olduğunu ileri sürmekle birlikte, depremin büyüklüğünün $M=6,0$ olduğunu belirtmiştir. Öcal (1959)’ın 1956 Eskişehir depremi için önerdiği izoseistleri ve McKenzie (1972)’nin odak mekanizması çözümlerini birlikte değerlendiren Altunel ve Barka (1998) depremin Oklubalı-Turgutlar arasındaki segment üzerinde meydana geldiğini ve yüzey kırığı oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir. Ocakoğlu vd. (2007) ve

Ocakoğlu ve Açıkalın (2010) depremin hasar dağılımı, depreme ait ikincil yüzey kırıkları ve kütle hareketlerini inceleyerek, 1956 depreminin kaynağının Eskişehir kuzeyinde yer alan faylar (Uludere-Kavacık, Muttalıp segmenti) olduğunu ileri sürmüşlerdir. Seyitoğlu vd. (2015) ise uluslararası sismolojik istasyonlarda ölçülen verileri derleyerek depremin dış merkezini yeniden hesaplamışlardır. Aynı çalışmada, 20 Şubat 1956 depreminin, 40 km uzunluğundaki Çukurhisar-Sultandere segmenti üzerinde meydana geldiğini ve episantrının Eskişehir yerleşim alanı içerisine düştüğünü belirtmişlerdir.

Güncel bazı çalışmalarda Eskişehir Fayı’nın orta ve doğu kesimlerinde gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik veriler ile fayın Holosen aktivitesi ortaya konmuştur (Ocakoğlu vd., 2009; Kürçer vd., 2014; Altunel vd., 2015; Elma vd., 2024). Örneğin; Kürçer vd. (2014) Eskişehir Fayı’nın en doğusunda yer alan segment üzerinde açtıkları paleosismolojik hendekte son 2800 yılda en az 3 olayın meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. Hendekten elde edilen yaş verilerine göre son olayın MS 1280-1320 yılları arasında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Altunel vd. (2015) ise Eskişehir’in hemen batısında açtıkları bir hendekte çökellerin son 12000 yıl içinde en az 3 adet yüzey kırığı oluşturan depremden etkilendiklerini belirtmişlerdir. Hendekte gözlenen en son depremin ise günümüzden yaklaşık 3200 yıl önce meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. Ocakoğlu vd. (2009) ise İnönü’nün hemen doğusunda, fay boyunca gelişmiş 3 farklı moloz akmasını günümüzden 18000 yıl, 7900 yıl öncesine ve 1960’lara tarihlendirmişler ve bu kütle hareketlerinin Geç Pleyistosen-Holosen döneminde fay boyunca meydana gelen depremler tarafından tetiklenmiş olabileceğini öne sürmüşlerdir. Elma vd. (2024) ise, İnönü ile Oklubalı arasında (Segment 2) yaptıkları paleosismolojik hendek çalışmalarında 2 eski yüzey faylanmasının varlığını net olarak ortaya koymuşlardır. Açtıkları hendeğin paleosismolojik

yorumlarına göre, bir önceki olayın günümüzden yaklaşık 6000-6500 yıl önce, en genç olayın ise günümüzden yaklaşık 2000-3000 yıl önce meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. En güncel çalışmalarda ise Segment 3 boyunca ötelenen genç dere yataklarının çökelleri tarihlendirilerek Eskişehir Fayı orta kesimlerinde sağ yanal kayma hızının $0,50 \pm 0,02$ mm/yıl olduğu ortaya konulmuştur (Karabacak vd., 2024; Elma vd., 2025).

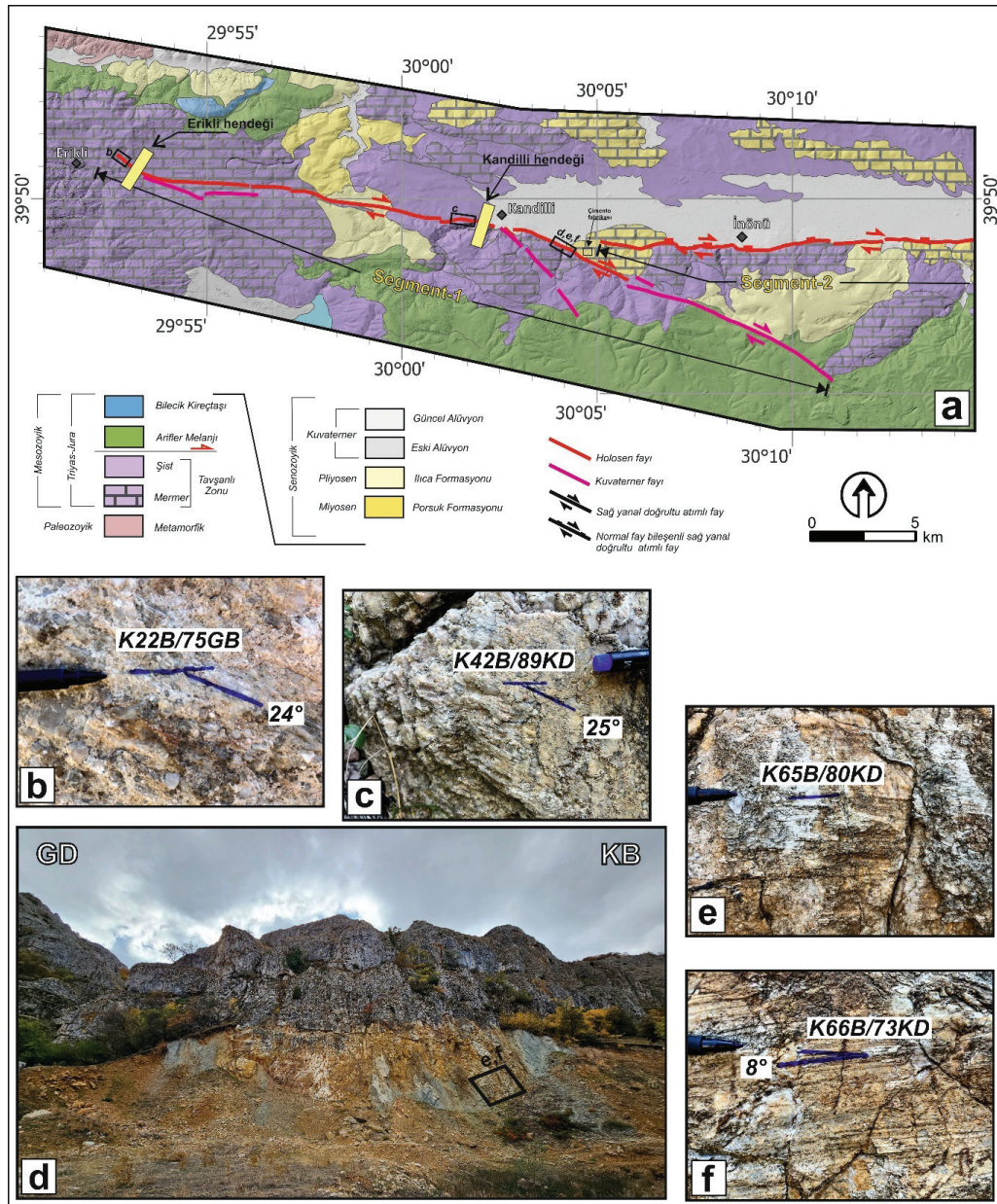
FAYLANMAYA İLİŞKİN ARAZİ GÖZLEMLERİ

Batıda Erikli'nin (Bilecik) hemen doğusundan başlayan BKB-DGD doğrultulu Eskişehir Fayı, Eskişehir yerleşim alanını güneyden sınırlayarak Kalkanlı (Eskişehir) Mahallesi'nin kuzeybatısına kadar uzanan farklı uzunluklarda dört segmentten oluşmaktadır. Bu çalışma Eskişehir Fayı'nın en batı segmenti üzerine odaklanmış olup, çalışma kapsamında bu segment boyunca diri fay haritalamaya ilişkin jeolojik ve jeomorfolojik gözlemler yapılarak 2 adet hendek tabanlı paleosismolojik fay kazısı gerçekleştirilmiştir.

Batı segment, kuzeybatıda Erikli Mahallesi'nin hemen doğusunda başlamaktadır (Şekil 1 ve 2). Bu alandan itibaren Kandilli Mahallesi'ne kadar yaklaşık BKB-DGD doğrultusunda çizgisel gidişli ve kesintisiz uzanmaktadır. Bu kesimde faya ait en önemli morfolojik yapılar dağ önlerinde gelişmiş fay sarplıklarıdır (Şekil 3a-c). Fayın oluşturduğu kuzeye eğimli morfolojik sarplık, Erikli hendeğinin yaklaşık 1 km güneydoğusundan itibaren başlamakta ve Kandilli Mahallesi'nin güneyine kadar takip edilebilmektedir. Benzer şekilde fayın aktivitesinin önemli delillerinden bir tanesi de Erikli köyü yolu üzerinde yüzlek veren fakat güncel yol yapımı çalışmaları sırasında morfolojisi tamamen dağıtılmış olan karbonat çökelleri kalıntılarıdır. Eski bir traverten kütesine ait olabileceği düşünülen çökeller günümüzde sadece yol yarmasında faya ait kırık dolgusu şeklinde gözlenmektedir (Şekil 3d).

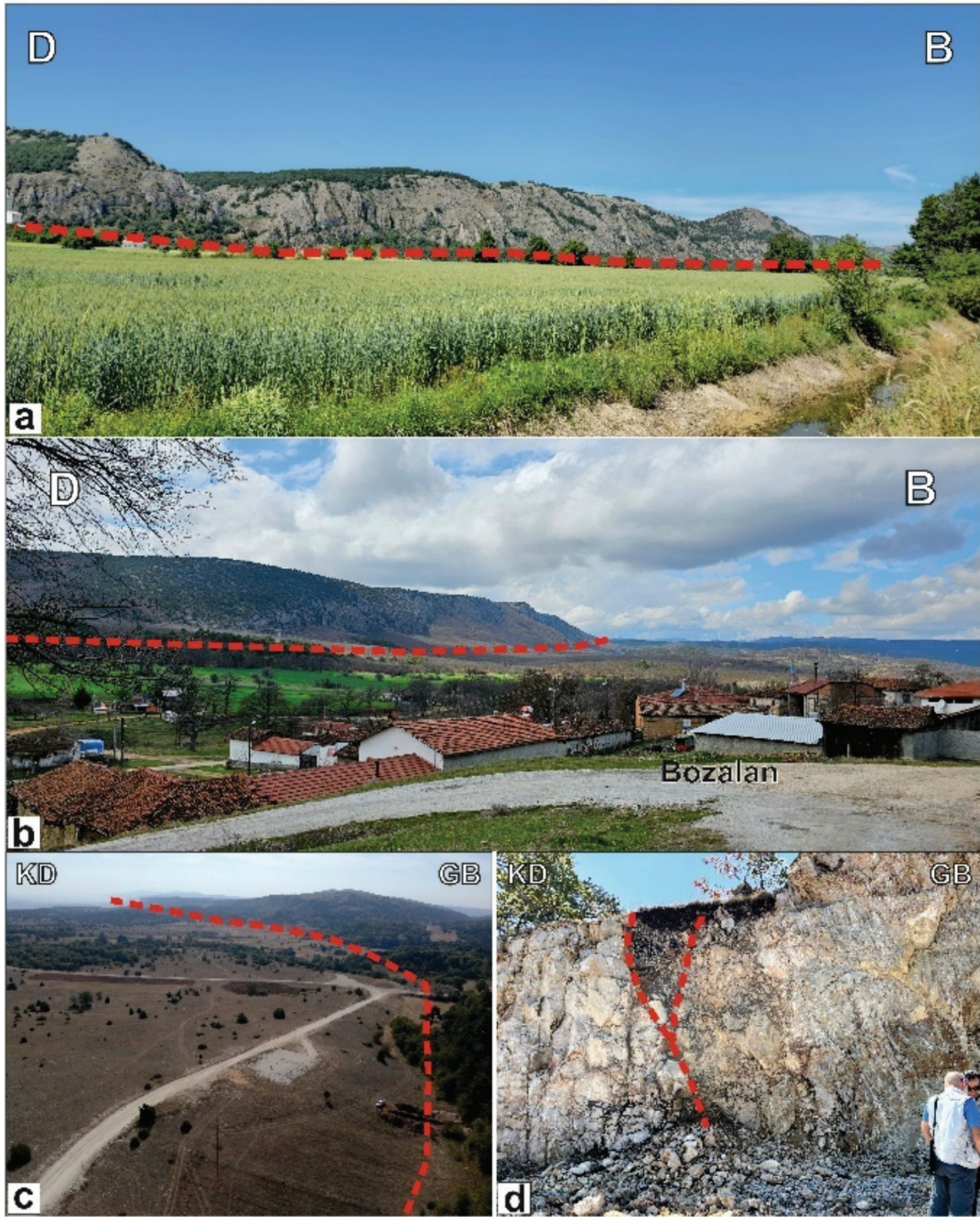
Kandilli Mahallesi'nin hemen doğusunda, KB-GD uzanımlı görece kısa fay kolu ile oblik olarak kesintiye uğradıktan sonra ($30^{\circ}03'$ boyları), yayvan bir yay çizerek GD yönüne dönmektedir. Bu alanda çimento fabrikası güneyinde, GD yönünde ($K50^{\circ}B$) yaklaşık 5 km'lik bir uzanım boyunca morfolojik ve jeolojik verilerle aktif faylanma varlığı belirgindir (Şekil 2a). Aynı doğrultuda Dutluca yönünde faylanmaya ait izler azalarak kaybolur. Çimento fabrikası kuzeyinde yaklaşık 1 km'lik bir sıçrama alanı sonrasında, yaklaşık D-B uzanımlı geometrisi ile Segment-2 en batı segmentten ayrılır (Şekil 1b ve 2a).

Bölgedeki deformasyonu kontrol eden gerilme sistemi ve fay hareket yönünün ortaya konulması amacıyla, segment boyunca farklı lokasyonlarda, iyi korunmuş fay düzlemleri üzerinde kinematik veriler toplanmıştır. Faylanmaya ait kinematik veriler, Eskişehir Fayı'nın batı segmentinin baskın olarak sağ yanal doğrultu atım karakterinde olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 2b-f). Batı segment boyunca yapılan jeomorfolojik arazi gözlemlerinde, derelerin fayın uzanımı ile uyumlu olarak farklı miktarlarda sağ yanal ötelenmeleri görülmektedir. Örneğin; segmentin en batı kesiminde genç bir dere yatağı fay tarafından 15 ± 1 metre sağ yanal olarak ötelenirken, aynı alanın doğusunda bir başka dere yatağının 70 ± 10 metre sağ yanal olarak ötelenmesi gözlenmektedir (Şekil 4a). Segmentin doğu kesiminde ise Sarısu Çayı, fay tarafından sağ yanal olarak yaklaşık 230 ± 10 metre ötelenmekte olup, bu ötelenme miktarı segment boyunca en yüksek ötelenme miktarını göstermektedir. Fayın GD'ya dönerek devam eden uzanımı boyunca bir başka dere yatağı 140 ± 10 metre sağ yanal olarak ötelenmiştir (Şekil 5). Jeolojik arazi gözlemleri sırasında segment boyunca görülen kayma düzlemlerinde ölçülen kinematik göstergelerin, fayın sağ yanal doğrultu atımlı karakterine işaret etmesi morfolojik gözlemleri desteklemesi açısından oldukça önemlidir.



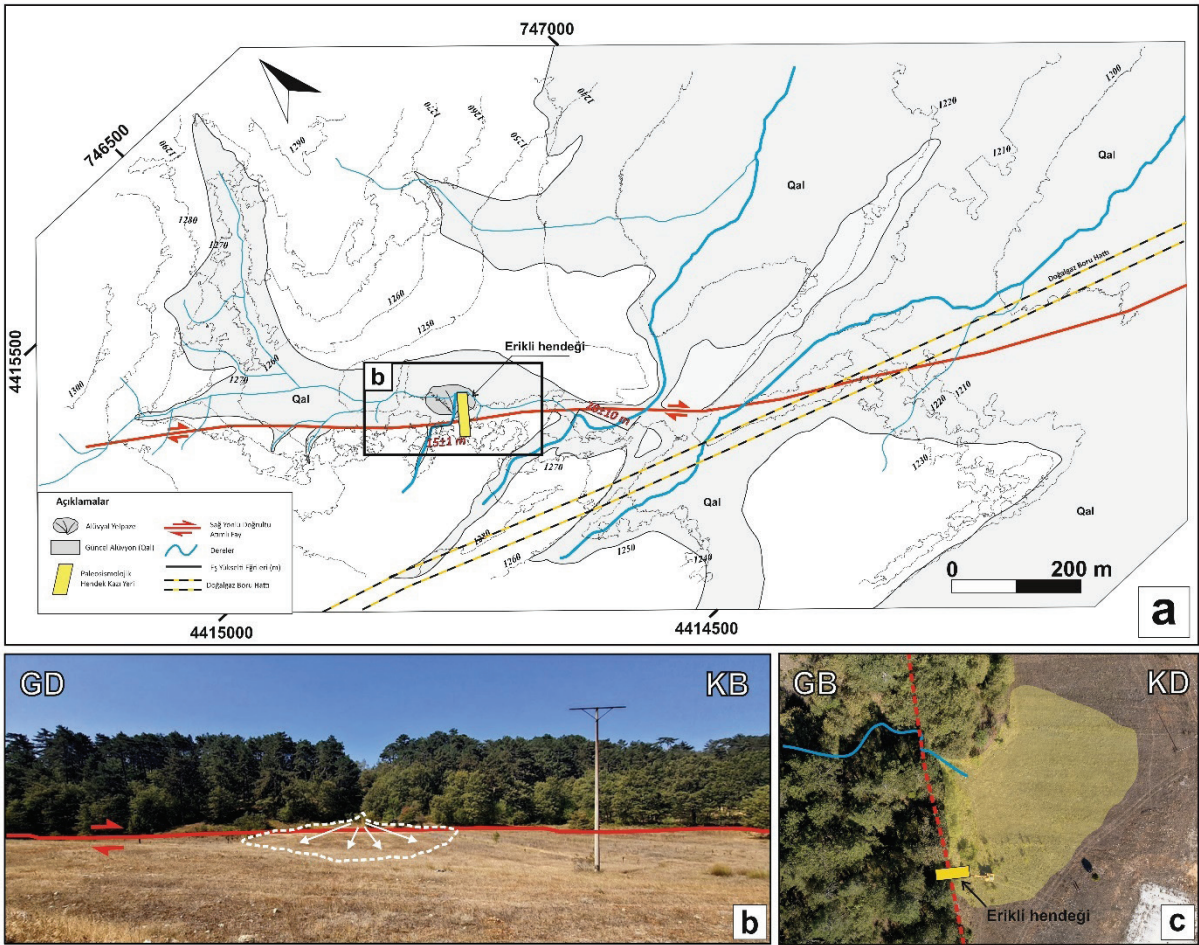
Şekil 2. a) Eskişehir Fayı batı kesiminin jeoloji haritası (Gözler vd., 1985'ten değiştirilmiştir). Siyah dikdörtgenler ilgili şekillerde görülen arazi verilerinin yerlerini göstermektedir. (Faylar Emre vd., (2011), Emre vd., (2013), Duman vd., (2017)'den faydalanılarak tarafımızdan arazide haritalanmıştır. **b)** Erikli civarında, Eskişehir fayına ait kayma düzleminin yakın görünümü. **c)** Kandilli batısında Eskişehir fayına ait kayma düzleminin yakın görünümü. **d)** Kandilli güneydoğusunda Eskişehir fayının genel görünümü. **e-f)** Kandilli güneydoğusunda Eskişehir fayına ait kayma düzleminin yakın görünümü.

Figure 2. a) Geological map of the western part of the Eskişehir Fault (revised after Gözler et al. 1985) Black rectangles are the locations of the field data seen in the related figures. Faults were mapped by us based on Emre et al. (2011), Emre et al. (2013), Duman et al. (2017)). **b)** Close-up view of the Eskişehir fault slickenside around Erikli. **c)** Close-up view of the Eskişehir fault slickenside west of Kandilli. **d)** General view of the Eskişehir fault southeast of Kandilli. **e-f)** Close-up view of the Eskişehir fault slickensides southeast of Kandilli.



Şekil 3. a) Kandilli mahallesinin güneydoğusunda fay boyunca belirgin morfolojik sarplık. **b)** Erikli hendek alanından itibaren doğuya doğru fay uzanımını gösteren İHA görüntüsü. **c)** Eskişehir Fayı'nın Bozalan ile Kandilli arasındaki uzanımı (tüm şekillerde kırmızı kesikli çizgiler fayın uzanımını göstermektedir). **d)** Faylanma boyunca deformasyon zonunu kullanan karbonatlı çökellerin görünümü.

Figure 3. a) Significant morphological scarp along the fault southeast of Kandilli village. **b)** Aerial imagery showing the extension of the fault eastward from the Erikli trench. **c)** The extent of the Eskişehir Fault between Bozalan and Kandilli (in all figures red dashed lines indicate the extension of the fault). **d)** View of the carbonate deposits utilizing deformation zone along faulting.



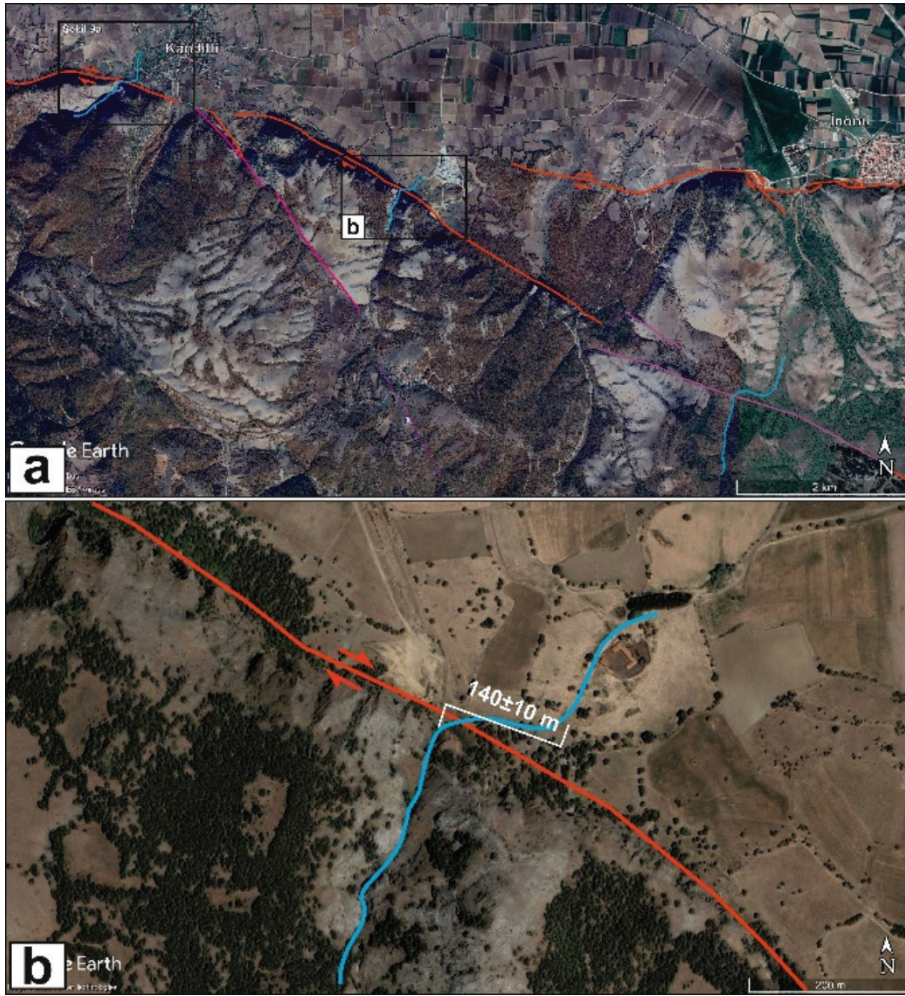
Şekil 4. a) Eskişehir Fayı en batı ucunun Kuvaterner haritası ve dere ötelenmelerinin konumu (temel birimler beyaz renkle gösterilmiştir, sağ yanallı faylanmaya işaret eden 15±1 ve 70±10 metrelik dere ötelenmeleri). **b)** Erikli hendeklerinin hemen batısında yer alan, azalan bir kalınlık ve eğime sahip alüvyal yelpazenin görünümü. **c)** Erikli hendek alanında ötelenmiş dere ve alüvyal yelpazeyi gösterir İHA görüntüsü.

Figure 4. a) Quaternary map of the westernmost extension of the Eskişehir Fault and the location of stream offset (basement is represented in white, and the observed stream offsets of 15 ± 1 meters and 70 ± 10 meters indicate right-lateral faulting). **b)** View of the alluvial fan with decreasing thickness and slope located west of the Erikli trench. **c)** Aerial imagery showing stream offset and alluvial fan in the Erikli trench site.

PALEOSİSMOLOJİK HENDEK ÇALIŞMALARI

Eskişehir Fayı batı segmentinin Holosen aktivitesi ve deprem üretme potansiyelinin ortaya konulabilmesi amacıyla Erikli ve Kandilli Mahalleleri yakınlarında iki adet paleosismolojik

fay kazısı yapılmıştır (Şekil 2a). Jeolojik ve jeomorfolojik arazi gözlemleri neticesinde, fayın denetlediği morfoloji üzerinde ve stratigrafik/sedimentolojik olarak genç çökellerin yer aldığı iki farklı lokasyonda hendek yerleri seçilmiştir.



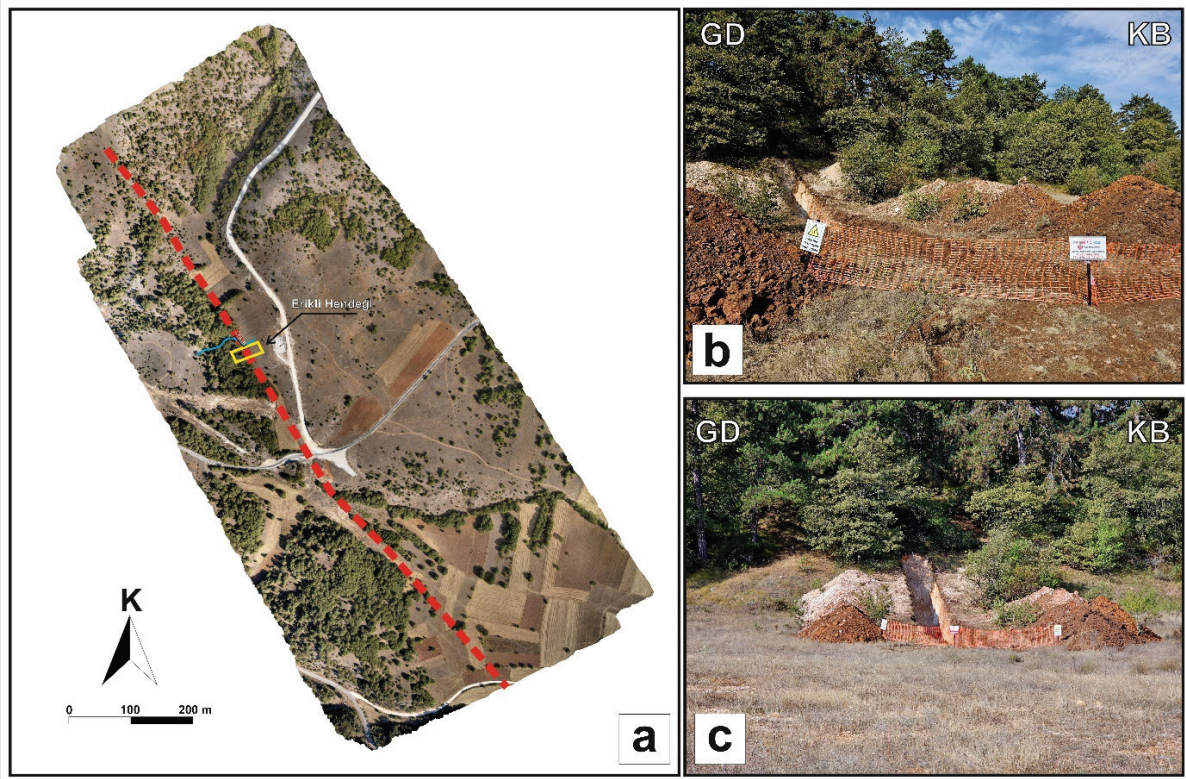
Şekil 5. a) Kandilli mahallesi civarında, Eskişehir Fayı boyunca ötelenmiş derelerin konumunu gösterir Google Earth uydu görüntüsü. **b)** Kandillinin doğusundan itibaren GD'ya dönen ana kol üzerinde sağ yanal faylanmaya işaret eden 140±10 metrelik dere ötelenmesi

Figure 5. a) Google Earth satellite image showing the location of stream offset along the Eskişehir Fault near Kandilli village. **b)** A stream offset of 140 ± 10 meters indicates right-lateral faulting along the main branch, which turns to the southeast south of Kandilli.

Erikli Hendeği

Erikli hendeği, Erikli yerleşim yerinin yaklaşık 1,5 km doğusunda, fayın kuzeybatıya büküm yaptığı alanda morfolojik çizgisellik üzerinde açılmıştır. Bu alanda fayın uzanımına dik olacak

şekilde yaklaşık K40°D doğrultulu açılan hendek 25 metre uzunluğunda, 2,2 metre genişlikte ve ortalama 3,2 metre derinliğindedir (Şekil 6).

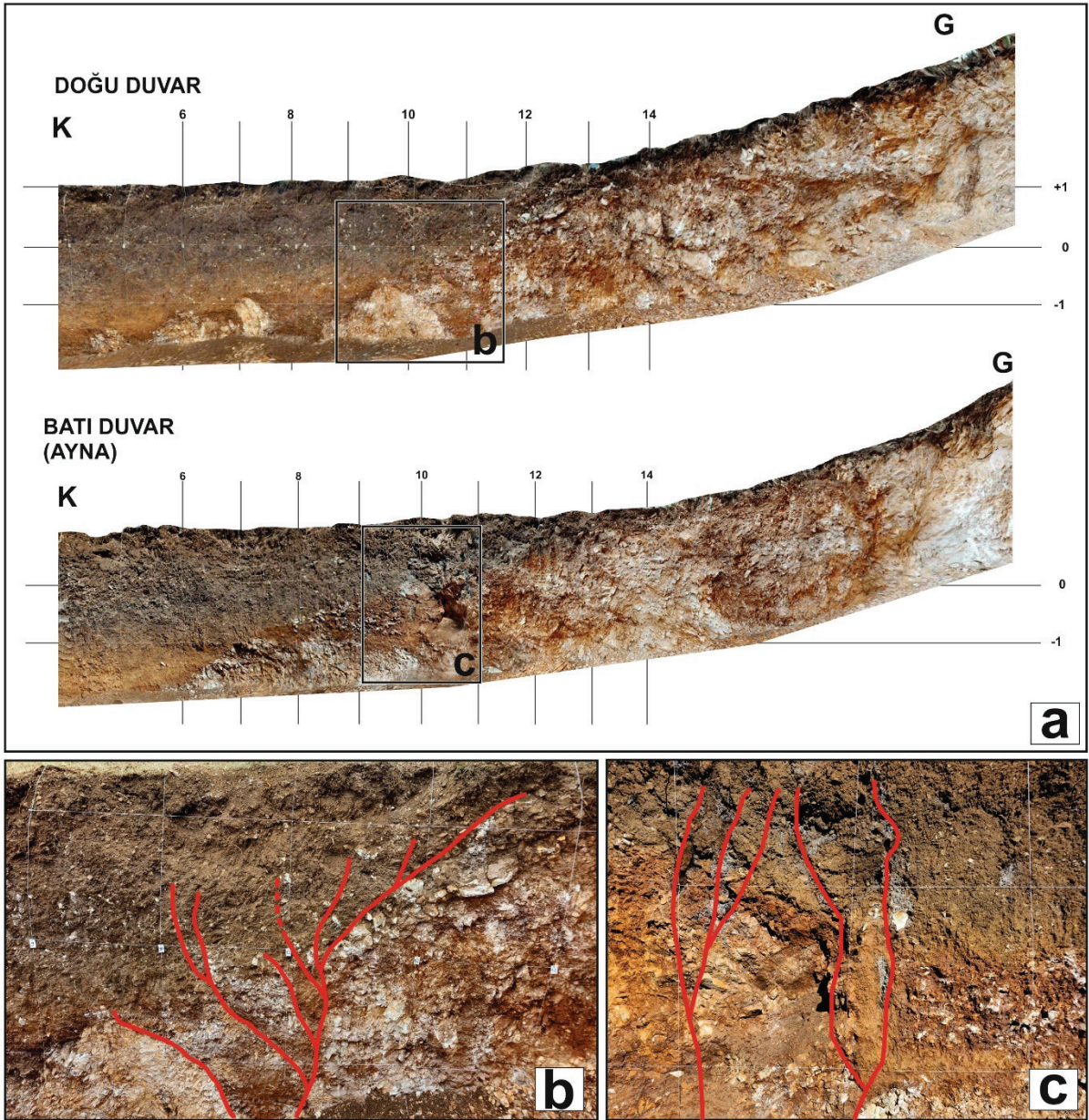


Şekil 6. a) Eskişehir Fayı'nın Erikli hendeki civarındaki uzanımını gösterir İHA görüntüsü (Kırmızı kesikli çizgi fay uzanımını göstermektedir). **b, c)** Erikli hendeginin yerini gösterir saha fotoğrafları.

Figure 6. a) Aerial imagery showing the extension of the Eskişehir Fault in the vicinity of the Erikli trench (red dashed lines indicate the extension of the fault). **b, c)** Field photographs indicating the location of the Erikli trench.

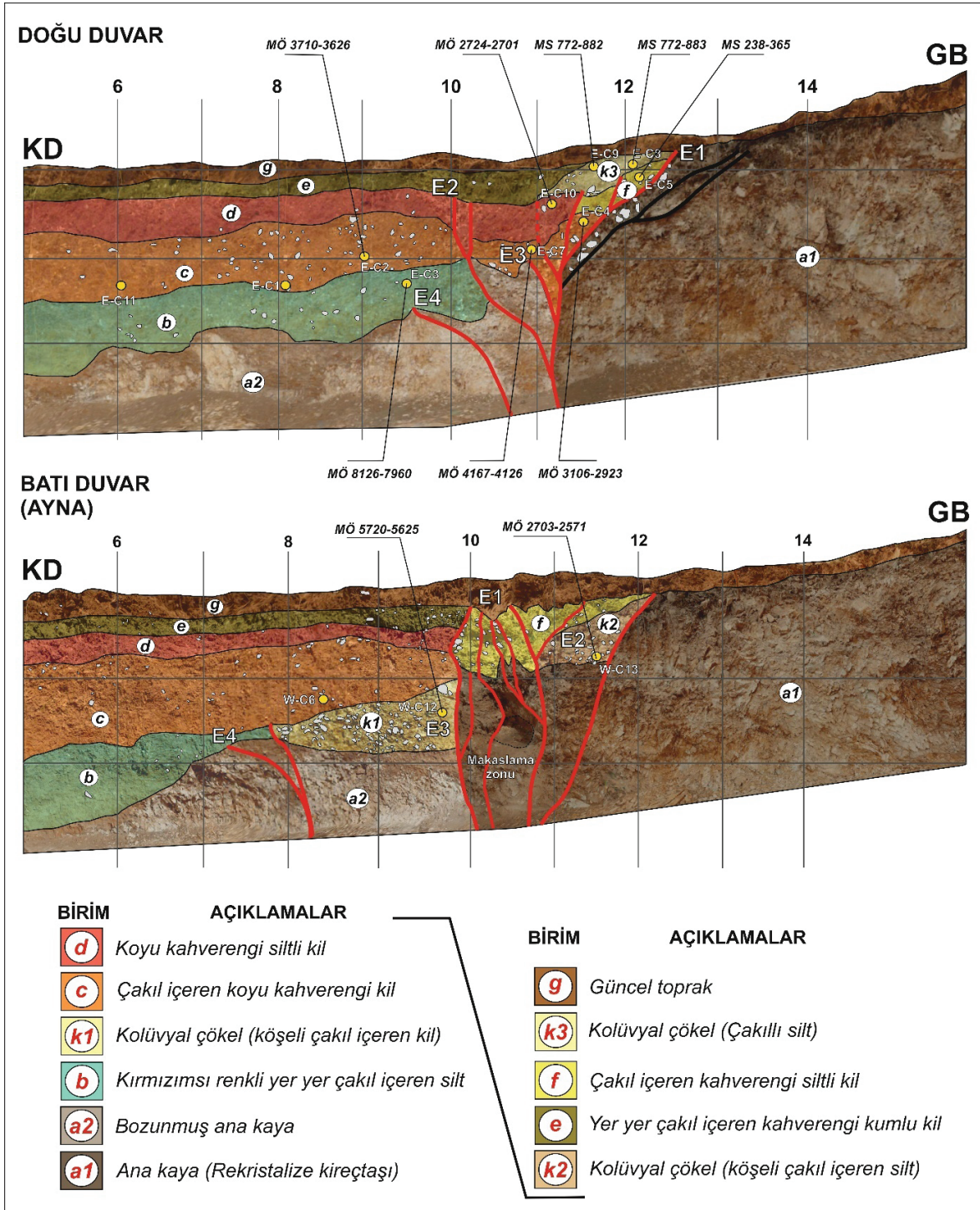
Erikli hendesinde yapılan loglama çalışmalarının ardından her iki duvarda stratigrafik olarak 9 farklı birim ayırt edilmiştir (Şekil 7 ve 8). Tanımlanan en yaşlı birim güney blokta yer alan rekristalize kireçtaşı (*a1*) birimidir. Bu birim kuzeye eğimli bir yapısal dokanak ile daha genç sedimanter paketlerden ayrılmakta ve yan yana gelmektedir. Fayın kuzey bloğunda ana kayadan ayrılmış paket (*a2*) stratigrafik olarak en alttaki birimi oluşturmaktadır. Ana kayaya ait ayrışma zonu, kırmızımsı renkli, yer yer çakıl içeren silt (*b*) birimi tarafından üzerlenmektedir. Hendeğin batı duvarının 10. metresinde görülen kol önünde köşeli çakıllarla temsil edilen kil tane boyu baskın kolüvyal çökel (*k1*) birimi yer almaktadır. Bu birimler üstte, çakıl içeren koyu kahverengi kil birimi (*c*) tarafından örtülmektedir. Bu birimin

üzerinde ise koyu kahverengi siltli kil birimi (*d*) yer almaktadır. Fayın kuzey bloğunda yer alan daha genç sedimanter birimler, yer yer çakıl içeren kahverengi kumlu kil (*e*) litolojisindeki çökel tarafından üzerlenmektedir. Hendeğin batı duvarında, en güneydeki kırık önünde gelişmiş köşeli çakıl içeren silt biriminden oluşan bir başka kolüvyal çökel (*k2*) birimi yer almaktadır. Kolüvyal çökelin üzerinde ise kireçtaşı çakılları içeren kahverengi siltli kil (*f*) birimi yer almaktadır. Doğu duvarda gözlenen en genç olayla ilişkili kırıklar *f* birimi tarafından doldurulmakta ve bu birimin hemen üzerinde çakıllı silt ile temsil edilen kolüvyal çökel (*k3*) yer almaktadır. Hendeğin her iki duvarı boyunca gözlenen tüm birimler, en üstte güncel toprak seviyesi (*g*) tarafından örtülmektedir.



Şekil 7. a) Erikli hendeği doğu ve batı duvarı (ayna görünümü) yorumlanmamış fotomozayiği **b)** Erikli hendeği doğu duvarında fay zonunun yakın görünümü. **c)** Erikli hendeği batı duvarında fay zonunun yakın görünümü.

Figure 7. a) Photomosaics of the east and west wall (mirror symmetry) of the Erikli trench. **b)** Close up view of the fault zone in east wall of the Erikli trench. **c)** Close up view of the fault zone in west wall of the Erikli trench.



Şekil 8. Erikli hendeği doğu ve batı duvarı (ayna görünümü) yorumlanmış logu. Dar bir deformasyon zonu içerisinde gelişmiş faylar 4 farklı olayın varlığına işaret etmektedir (tüm olaylara ait detaylar için metne bakınız).

Figure 8. Interpreted trench log of the east and west wall (mirror symmetry) of the Erikli trench. Faults developed within a narrow deformation zone reveal evidence of four paleo-earthquakes (see text for details).

Erikli hendeğindeki deprem ilişkili deformasyon yaklaşık 4 m genişlikteki dar bir zon içerisinde gelişmiştir (Şekil 7 ve 8). Fayların birimleri kesme ve birimler tarafından örtülme ilişkileri değerlendirildiğinde, en az 4 farklı olaya ait izler dikkati çekmektedir. Hendek boyunca gözlenen en eski olaya ait kırıklar (E4) a_2 birimini keserek deformasyona uğrattıkları görülmektedir. En eski olaya ait kırıklar b birimi tarafından örtülmektedir. Daha sonraki bir başka olaya ait kırıklar (E3), a_2 , b birimlerini kesmekte ve c birimi tarafından örtülmektedir. Daha genç bir olay ile ilişkili kırıklar (E2) ise yaşlıdan gence doğru sırasıyla a_2 , b , c ve d birimlerini kesmekte ve alüvyal çökel birimleri (e) tarafından örtülmektedir. Hendekte gözlenen en genç olaya ait kırıklar (E1) açılma geometrisi sunmakta ve f birimi tarafından doldurulurken kolüvyal çökeller (k_3) tarafından örtülmektedir.

Erikli hendeğinde gözlenen olayları tarihlendirmek amacıyla stratigrafik birimlerden 10 adet C14 örnekleme yapılmıştır (Çizelge 1). Stratigrafik birimlerden toplanan örneklerin tarihlendirme analiz sonuçları olası olay ilişkilerini desteklemektedir. Elde edilen yaş sonuçlarına göre, ana kayanın deformasyon zonunun üzerinde çökelmiş olan kırmızı renkli, çakıllı silt (b) biriminden alınan C14 örneği MÖ 8126-7960 yıllarına tarihlenmiştir. Bu birimin üzerinde çökelmiş olan, çakıl içeren kahverengi kil (c) biriminden alınan C14 örnekleri MÖ 4167-4126, MÖ 3710-3626 ve MÖ 3106-2923 yıllarına tarihlenmiştir. Bu birimi örten d biriminden alınan C14 örneği MÖ 2724-2701 yıllarına tarihlenmiştir. Doğu duvarda en genç olayla ilişkili kırıkları dolduran f biriminden alınan C14 örneği MS 238-365 yıllarına tarihlenirken bu birimi örten kolüvyal çökellerden (k_3) alınan örnekler ise MS 772-882 ve MS 772-883 yıllarına tarihlenmiştir. Batı duvarda 10. metre seviyesinde yer alan kırık önünde çökelmiş olan ve kolüvyal çökel niteliğindeki (k_1) birimden alınan C14 örneği MÖ 5720-5625 yıllarına tarihlenmiştir. Aynı şekilde

daha farklı bir olay ile ilişkili diğer kolüvyal çökel (k_2) biriminden alınan C14 örneği ise, MÖ 2703-2571 yıllarına tarihlenmiştir (Çizelge 1).

Hendekte gözlenen en eski olaya (E4) ait kırıkların b birimini kesmediği göz önünde bulundurulduğunda bu olayın MÖ 8126-7960 yıllarından daha önce meydana gelen bir depremle ilişkili olduğu görülmektedir. Daha sonraki olay (E3) ile ilişkili kolüvyal çökelin (k_1) ve olayı örten birimlerin yaşı birlikte değerlendirildiğinde ise bu olayın MÖ 6896±712 tarihlerinde meydana gelen bir deprem olduğu görülmektedir. Hendekte gözlenen bir önceki olaya (E2) ait kolüvyal çökelin (k_2) ve bu olaya ait kırıkların kestiği birimlerin yaşı birlikte değerlendirildiğinde ise bu olayın MÖ 2736±79 tarihlerinde meydana gelen bir deprem ile ilişkili olduğu görülmektedir. Hendekte gözlenen en genç olaya (E1) ait kırıkları örten birim (g) ile bu olayla ilişkili kolüvyal çökelin (k_3) yaşı birlikte değerlendirildiğinde, son depremin MS 542±144 tarihlerinde meydana geldiğine işaret etmektedir.

Kandilli Hendeği

Jeolojik ve jeomorfolojik arazi gözlemleri sonucunda, Kandilli yerleşim yerinin yaklaşık 500 m güneyinde, morfolojik olarak belirgin olan fay sarplığı üzerinde hendek lokasyonu seçilmiştir. Kuzeye eğimli fay, güney blokta yer alan temel kayalar ile kuzey blokta yer alan yamaç çökelleri/alüvyal çökeller arasında yapısal bir sınır oluşturmaktadır. Hendek alanının kuzeybatısında Sarısu Çayı'nın fay tarafından sağ yanal olarak yaklaşık 230±10 metre ötelendiği dikkati çekmektedir (Şekil 9a). Genç ve tarihlendirilebilir çökellerin yer aldığı bu alanda fayın uzanımına dik olacak şekilde yaklaşık K05°D doğrultulu açılan hendek, 10 metre uzunluğunda, 2,5 metre genişlikte ve ortalama 3,1 metre derinliğindedir (Şekil 9).

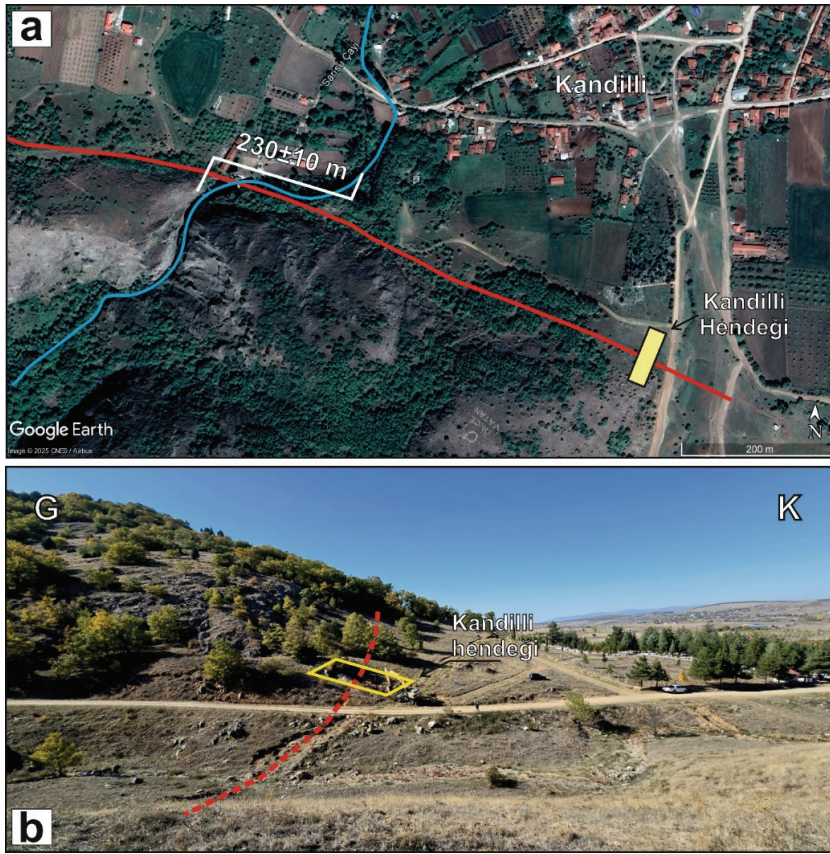
Çizelge 1. Paleosismolojik Fay kazılarında el edilen radyokarbon yaş analiz sonuçları (Geleneksel radyokarbon yaşları, Reimer vd. (2020) veri tabanına göre kalibre edilerek takvim yaşına OxCal formatında dönüştürülmüş ve Ramsey (2009)'da verilen olasılık yöntemi kullanılarak en yüksek ihtimalli yaş aralıkları (INTCAL20) belirlenmiştir.)

Table 1. Radiocarbon age analysis results of the paleoseismological trenches (Conventional radiocarbon ages were calibrated according to the Reimer et al. (2020) database and converted to calendar age in OxCal format, and the highest probability age intervals (INTCAL20) were determined using the probability method given in Ramsey (2009).)

Hendek	Stratigrafik birim	Örnek No	Malzeme türü Yaş (GÖ)	Geleneksel radyokarbon yaşı		Takvim yılına kalibre edilmiş radyokarbon yaşı
				Olasılık (%)	Tarih (MÖ/MS)	
ERİKLİ	<i>k3</i>	E-E-C8	Kömürleşmiş malzeme	1222±22	83,5	MS 772-883
	<i>k3</i>	E-E-C9	Kömürleşmiş malzeme	1224±21	82,5	MS 772-882
	<i>f</i>	E-E-C5	Sediman	1757±23	95,4	MS 238-365
	<i>k2</i>	E-W-C13	Sediman	4098±26	64,4	MÖ 2703-2571
	<i>d</i>	E-E-C10	Sediman	4223±26	9,0	MÖ 2724-2701
	<i>c</i>	E-E-C4	Sediman	4422±26	80,6	MÖ 3106-2923
	<i>c</i>	E-E-C2	Kavkı	4865±31	82,6	MÖ 3710-3626
	<i>c</i>	E-E-C7	Sediman	5240±29	17,9	MÖ 4167-4126
	<i>k1</i>	E-W-C12	Sediman	6761±30	95,4	MÖ 5720-5625
	<i>b</i>	E-E-C3	Kavkı	8944±33	51,7	MÖ 8126-7960
KANDİLLİ	<i>e</i>	KF-3	Sediman	583±31	65,7	MS 1303-1367
	<i>d</i>	KF-1	Kavkı	2410±30	81,1	MÖ 547-399
	<i>c</i>	KF-2	Sediman	2810±30	93,4	MÖ 1048-896

Kandilli hendeğinde yapılan loglama çalışmalarının ardından doğu duvarda stratigrafik olarak 7 farklı birim ayırt edilmiştir (Çizelge 1). Hendek içerisinde tanımlanan en yaşlı birim güney blokta yer alan kireçtaşı birimidir (*a1*). Ana kayanın hemen önünde, kuzey blokta ana kayadan ayrılmış (*a2*) birim yer almaktadır. Bu birimin üzerinde ise, hendeğin kuzey kesiminde gözlenen sarımsı renkli kil birimi (*b*) yer almaktadır. Bu birimler, üstte ana kayadan türemiş kireçtaşı blok ve çakılları içeren koyu kahverengi kil birimi (*c*) tarafından örtülmektedir. Hendekte gözlenen deformasyon zonu içerisinde gelişmiş paleotoprak (*d*) dikkati çekmektedir. 3. ve 6. metreler arasında son olaya ait kırıklar kolüvyal çökel (*k*) tarafından örtülmektedir. Bu birimin üzerinde ise köşeli, yarı köşeli çakıllar içeren kahverengi siltli kil birimi (*e*) yer almaktadır. Tüm birimler ise hendek boyunca güncel toprak (*f*) tarafından örtülmektedir.

Kandilli hendeğindeki deprem ilişkili deformasyonlar yaklaşık 4 m genişlikteki dar bir zon içerisinde gelişmiştir (Şekil 10). Fayların birimleri kesme ve birimler tarafından örtülme ilişkilerine göre değerlendirildiğinde en az 2 farklı olaya ait kırıkların varlığı dikkati çekmektedir. Kandilli hendeğinde, ana kaya kuzeye eğimli bir fay ile daha genç sedimanter birimlerden ayrılmaktadır. Hendek boyunca gözlenen en eski olaya ait kırıklar *b* birimini keserek *b* ve *c* birimlerini yan yana getirmektedir. Daha sonraki bir olaya ait kırıklar ise *a2*, *c* ve *d* birimlerini kesmekte olup *e* birimi tarafından örtülmektedir. Hendekte gözlenen en genç olaya ilişkin kırıklar genç sedimanter pakette yer alan *a2*, *b* ve *c* birimlerini kesmekte ancak güncel toprak seviyesine ulaşmamaktadır.

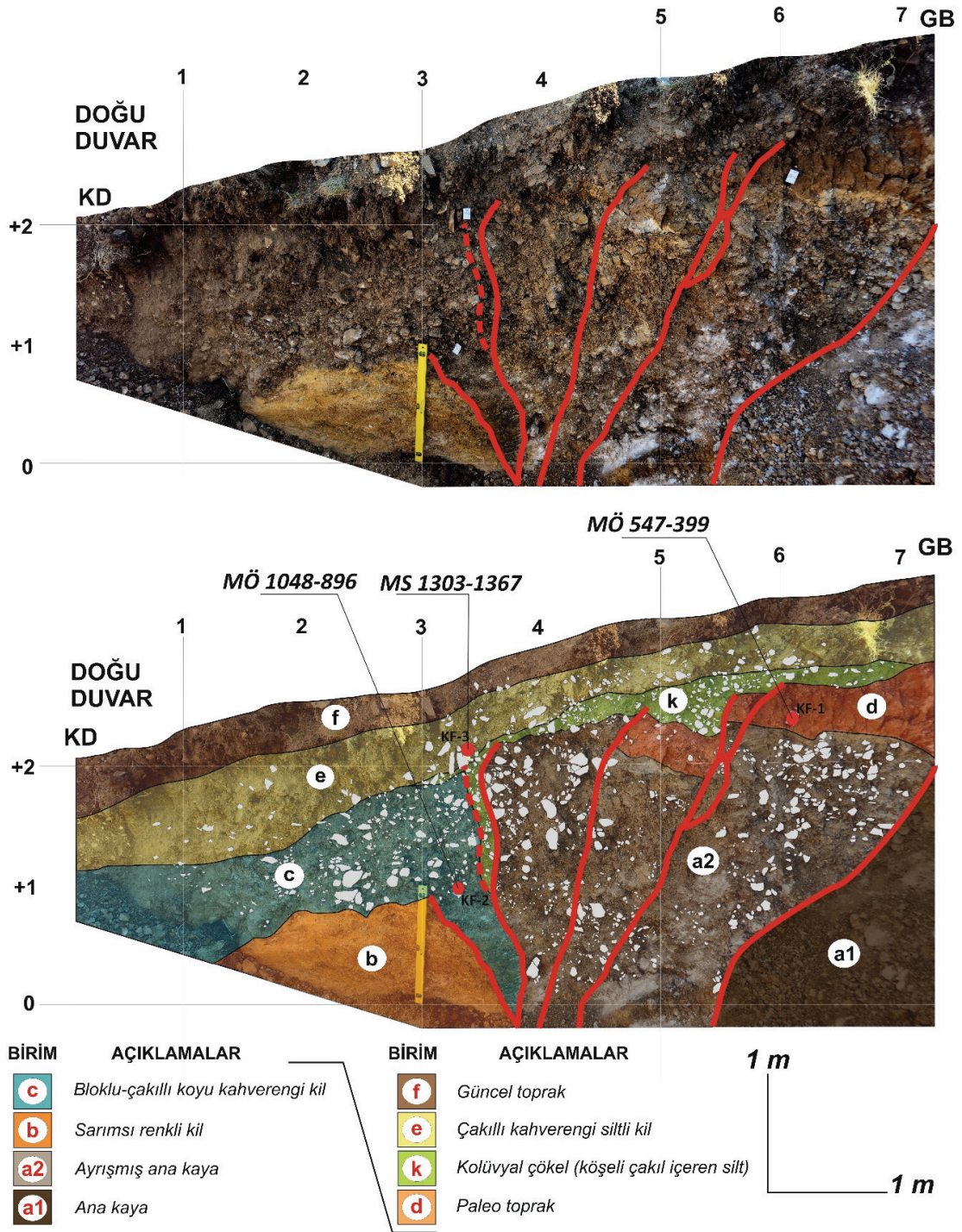


Şekil 9. a) Kandilli hendek alanını gösterir uydu görüntüsü. Kandilli civarında sağ yanal faylanmaya işaret eden 230 ± 10 metrelik dere ötelenmesi. **b)** Kandilli hendeğinin yerini gösterir saha fotoğrafı. Hendek kuzeye eğimli fay sarplığı üzerinde açılmıştır.

Figure 9. a) Satellite image of the Kandilli trench site. An approximately 230 ± 10 meter stream offset indicates right-lateral faulting near Kandilli. **b)** Field photograph indicating the location of the Kandilli trench. The trench was excavated across the scarp.

Kandilli hendeğinde gözlenen olayları tarihlendirmek amacıyla stratigrafik birimlerden 3 adet C14 örnekleme yapılmıştır (Çizelge 1). Stratigrafik olarak ayırt edilen olay tanımlamaları, segment üzerinde Holosen döneminde çökelmiş birimlerin en az 2 farklı yüzey faylanması ile sonuçlanmış deprem ürettiğini göstermektedir. Elde edilen yaş sonuçlarına göre, bloklu ve çakıllı koyu kahverengi kil (c) biriminden alınan C14 örneği MÖ 1048-896 yıllarına tarihlenmiştir. Ana kayanın önünde çökelmiş olan paleotoprak (d) biriminden alınan C14 örneği MÖ 547-399 yıllarına tarihlenmiştir. Son olayı örten e biriminin tabanından alınan C14 örneği ise MS 1303-1367

yıllarına tarihlenmiştir. Hendekteki en eski olaya ait kırıkları örten birimden (c) alınan örneğin yaşı, hendekteki en eski olayın MÖ 1048-896 yıllarından daha önce meydana geldiğine işaret etmektedir. Erikli hendeğinde gözlenen olaylar ile birlikte değerlendirildiğinde, E2 olayını desteklediği görülmektedir. Hendekteki en genç olaya ait kırıkların kestiği birimden (d) ve bu kırıkları örten birimden (e) alınan örneklerin yaşı ise, son olayın MS 1303-1367 ile MÖ 547-399 yılları arasında meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, Erikli hendeğinde gözlenen son olayı (E1) desteklemesi açısından önemlidir.



Şekil 10. Kandilli hendeki doğu duvarı fotomozayik ve yorumlanmış logu. Hendekte gözlenen faylar en az 2 farklı olayın varlığına işaret etmektedir (Kırmızı daireler C14 örneklerinin yerini göstermektedir.)

Figure 10. Photomosaic and interpreted trench log of the east wall of the Kandilli trench. Faults reveal the presence of at least 2 events. (Red circles indicate the location of C14 samples)

TARTIŞMA ve SONUÇ

Arazide yaklaşık 19 km'lik bir uzanım boyunca morfolojide belirgin bir çizgisel gidiş sunan batı segment, Erikli Mahallesi'nin hemen doğusunda başlamakta ve Kandilli Mahallesi'ne kadar genel anlamda BKB-DGD doğrultusunda uzanmaktadır. Kandilli Mahallesi'nin doğusunda GD'ya dönerek Dutluca Mahallesi'nin kuzeybatısında sonlanmaktadır. Jeolojik arazi gözlemleri segmentin güncel morfolojiyi denetlediğini ve bölgede deformasyona neden olduğunu ortaya koymaktadır. Tarafımızdan gerçekleştirilen gözlemler bu uzanım boyunca fay düzlemlerindeki üzerleyen kinematik belirteçlerin baskın doğrultu atımlı hareketin izlerini taşıdığını göstermektedir. Bu veriler, aynı bölgede Heidbach vd. (2016) tarafından ortaya konulan ve yatay sıkışma doğrultusunu ifade eden BKB-DGD uzanımlı maksimum gerilme yönleri ile uyumludur. Dahası, fay uzanımı boyunca genç dere yataklarında gözlemlenen sistematik sağ yanal yer değiştirmeler de güncel fay hareketinin doğrultu atım karakterinde olduğunu desteklemektedir.

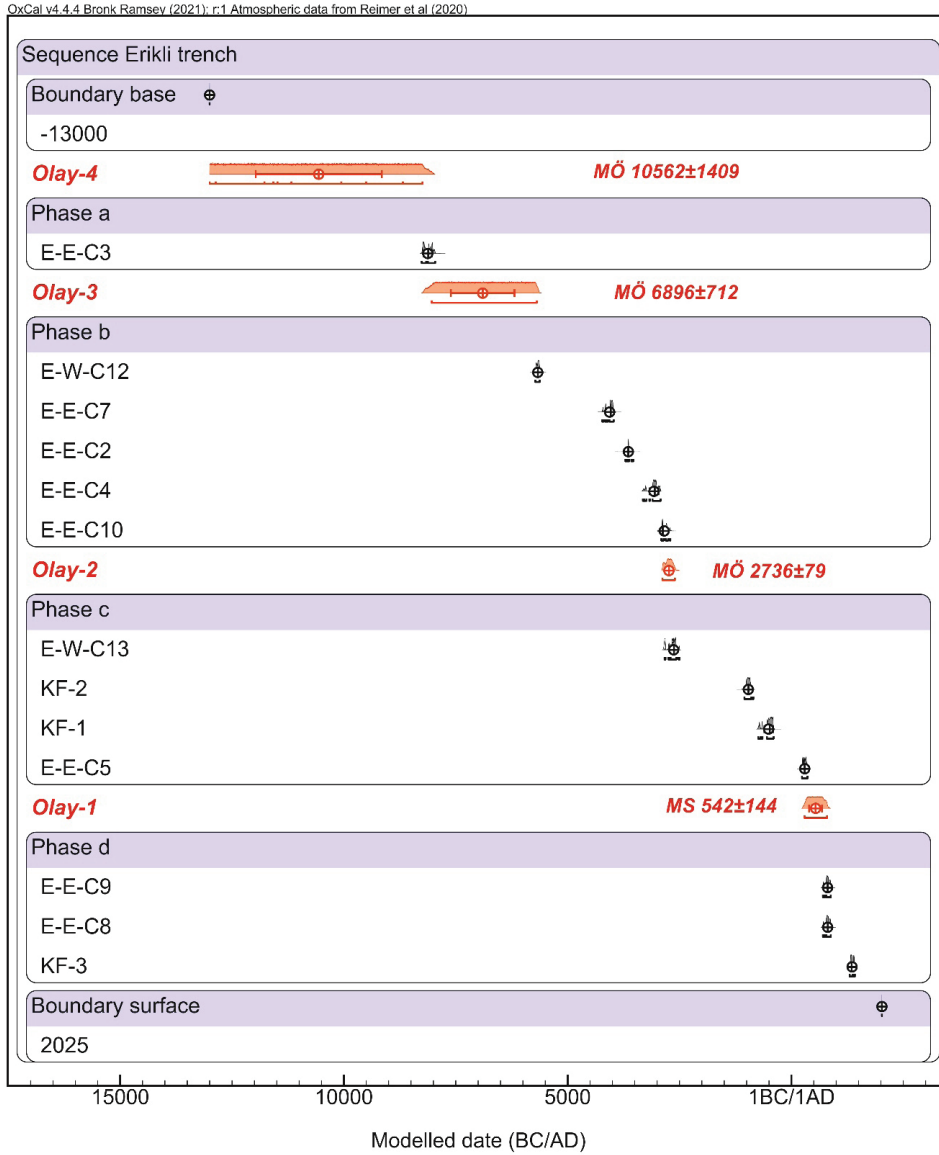
Batı segment üzerinde, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalardan elde edilen veriler literatürde ilk olma özelliği taşımaktadır ve segment boyunca tekrarlanan Holosen yüzey faylanmalarına ilişkin veriler sunmaktadır. Şekil 11 Erikli ve Kandilli hendek duvarlarından toplanan radyokarbon örneklerinden elde edilen kalibre edilmiş yaşların olasılıksal dağılımını ve olay seviyelerinin yaş aralıklarını göstermektedir. Buna göre, Erikli ve Kandilli hendeklerindeki stratigrafik birimlerin yapısal unsurlar ile birlikte değerlendirilmesi sonucunda elde edilen bulgular 4 eski yüzey faylanmasının delillerini sunmaktadır. Mevcut paleosismolojik bulgulara göre, meydana gelen en eski olay (E4) olasılıkla MÖ 10562±1409 tarihlerinde meydana gelen bir deprem ile ilişkilidir. Daha sonraki bir diğer olay (E3) ise MÖ 6896±712 tarihlerinde meydana gelmiş olmalıdır. Bu olay komşu segmentte

(Segment 2), İnönü ilçesinin hemen doğusunda Ocakoğlu vd. (2009) tarafından tarihlenen ve olasılıkla deprem tarafından tetiklenen büyük ölçekli kütle hareketi ile hata payları içerisinde uyumludur. Erikli hendeğinden elde edilen bulgular son olaydan bir öncekinin (E2) MÖ 2736±79 tarihlerinde meydana gelmiş olduğunu göstermektedir. Kandilli hendeğinden elde edilen bulgular aynı segment üzerinde bu olayın (E2) üstten sınırlanması açısından oldukça önemlidir. Segment üzerinde, en genç olay ise (E1) MS 542±144 yıllarına tarihlenmekle birlikte, bu durum Kandilli hendeğinde tarihlenen en genç olay ile de desteklenmektedir. Bu son olay ile ilişkili tarihsel kayıtlarda bir bulguya rastlanılmamıştır.

Mevcut bulgular, Eskişehir Fayı'nın batı segmentinin yaklaşık 3000 yıllık aralıklarla yüzey kırığı oluşturabilecek ölçekte deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada üretilen paleosismolojik verilere göre, son yüzey faylanmasından bu yana 1339-1627 yıl geçtiği öne sürülebilir. Paleosismolojik bulgular, Eskişehir Fayı'nın en batı segmentinin sismik olarak uzun bir suskunluk dönemi içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, 20 Şubat 1956 Eskişehir depreminin (M=6,5) Eskişehir Fayı'nın orta kesimlerinden kaynaklanmış olma olasılığı, bu depremin komşu segmentlere gerilme transfer etmiş olabileceğini düşündürmektedir. Dahası, güncel çalışmalarda (örneğin Karabacak vd., 2024, Elma vd., 2025) Eskişehir Fayı boyunca yıllık yanal kayma hızının en az 0,50±0,02 mm/yıl olduğu ortaya konulmuştur. Benzer bir yanal kayma hızı öngörüldüğünde, suskun geçen 1339-1627 yıllık dönemde, Eskişehir Fayı'nın batı uzanımının 66,9-81,3 cm yanal yerdeğiştirme meydana getirebilecek ölçekte bir gerilim biriktirdiği ileri sürülebilir. Tarafımızdan haritalanan Batı segment uzunluğu (19 km) Wesnousky (2008) tarafından sunulan ampirik bağıntı ile birlikte değerlendirildiğinde, doğrultu atımlı faylarda ortalama yanal yerdeğiştirme

miktarı 64 ile 87 cm arasında değişmektedir ve bu yerdeğiştirme miktarı tarafımızdan paleosismolojik verilerle hesaplanan yanal yer değiştirme miktarı ile hata payları içerisinde tam olarak örtüşmektedir. Söz konusu fay uzunluğu ve yanal yerdeğiştirme miktarı Wells ve Coppersmith (1994) tarafından oluşturulan ampirik eşitlikler

ile birarada değerlendirildiğinde, Batı Segment $M=6,59$ büyüklüğünde bir deprem üretme potansiyeline sahiptir. Segment üzerinde bu büyüklükte meydana gelecek bir depremin başta Bilecik ili Bozüyük ilçesi ile Eskişehir İli İnönü İlçesi için önemli bir sismik tehlike kaynağı olduğu açıktır.



Şekil 11. Erikli ve Kandilli hendek duvarlarından toplanan radyokarbon yaşlarından elde edilen kalibre edilmiş C14 yaşlarının olasılıksal dağılımı

Figure 11. Probability distribution of calibrated ^{14}C ages obtained from radiocarbon dates collected from the trench walls of Erikli and Kandilli

EXTENDED SUMMARY

The Eskişehir Fault Zone (EFZ), which occupies a unique position between the Western Anatolia Extensional Province (WAEP) and the North Anatolian Shear Zone (NASZ), is one of the key neotectonic elements contributing to the deformation of the Anatolian Block. This WNW–ESE-trending deformation zone extends from Uludağ in the west into the interior of the Anatolian Block in the east. The eastward extension of the EFZ, from its intersection with the Dodurga Fault south of Bilecik Province, is referred to as the Eskişehir Fault in recent studies (e.g., Emre et al., 2013; Elma et al., 2024). In the Türkiye Active Fault Map (Emre et al., 2013), the Eskişehir Fault is defined as a 75–85 km long Holocene fault trending NW–SE, E–W, and NW–SE from west to east (Figure 1). There are two prevailing interpretations regarding the kinematic evolution and geometry of the Eskişehir Fault: (1) the region is dominated by active normal faulting (Gözler et al., 1985; Altunel and Barka, 1998; Koçyiğit, 2005; Ocaloğlu, 2007), where the Eskişehir Fault initially functioned as a right-lateral strike-slip fault but has been reactivated as a normal fault in recent times (Yaltırak, 2002); and (2) the region is dominated by active strike-slip faulting (Şaroğlu et al., 2005; Seyitoğlu et al., 2010; Tün et al., 2010). In the Türkiye Active Fault Map (Emre et al., 2013), the Eskişehir Fault is described as a normal fault with a significant right-lateral strike-slip component. Recent studies (Elma et al., 2024) suggest that while normal faulting dominated the region during much of its geological history, the present-day deformation is increasingly characterized by strike-slip movement. Although debate continues regarding the overall extent and kinematics of the fault zone, it is evident that the Eskişehir Fault constitutes a major structure responsible for intracontinental deformation within the Anatolian Block.

Although limited paleoseismological studies have been conducted in the central

and eastern segments of the Eskişehir Fault (Ocaloğlu et al., 2005; Kürçer et al. 2014; Altunel et al. 2015; Elma et al. 2024), there is no published paleoseismological data regarding the westernmost extension of the Eskişehir Fault. The western extension of the fault includes Bozüyük (Bilecik) and İnönü (Eskişehir) districts, which are strategically located with dense population and industrial infrastructure in Southern Marmara. Therefore, a holistic approach of this extension in terms of seismic hazard is of critical importance. This study aimed to reveal some characteristic features (geometry and earthquake behaviour) of the western segment, which extends from the east of Erikli in the NW towards Kandilli in the SE and has the potential to produce a destructive earthquake. Within this scope, paleoseismological trench studies were carried out in the determined areas, and inferences were made regarding the earthquake behaviour characteristics of the segment.

It is well known that destructive earthquakes occurred on the Eskişehir Fault in recent and historical periods. The most significant earthquake that occurred in the instrumental period is the 20 February 1956 ($M_w=6.5$) Eskişehir earthquake (Öcal, 1959), but the exact epicentre and magnitude have been debated. Canitez and Üçer (1967) and McKenzie (1972) suggest that the epicentre of the earthquake was to the north of Eskişehir. Altunel and Barka (1998), by evaluating the isoseists proposed by Öcal (1959) for the 1956 Eskişehir earthquake and the focal mechanism solutions of McKenzie (1972), suggested that the earthquake occurred on the segment between Oklubalı-Turgutlar and produced a surface fracture. Ocaloğlu et al. (2007) and Ocaloğlu and Açıkalın (2010) suggested that the source of the 1956 earthquake was the faults (Uludere-Kavacık, Muttalıp segment) located north of Eskişehir. Seyitoğlu et al. (2015) recalculated the epicentre of the earthquake by compiling data measured at different seismological stations around the world.

In the same study, they stated that the 20 February 1956 earthquake occurred on the 40 km long Çukurhisar–Sultandere segment, with its epicentre located beneath the city of Eskişehir.

The Eskişehir Fault is an active fault that is approximately 75 km long in the WNW-ESE orientation and is geometrically divided into four different segments. This study focused on the westernmost segment of the Eskişehir Fault. The western segment extends approximately 19 km in a NW-SE direction from Erikli village in the west to Kandilli village in the east, and turns to SE south of Kandilli village and continues northeast of Dutluca village. The kinematic data of faulting reveals that the Eskişehir Fault is predominantly right-lateral strike-slip faulting (Figure 2). The western segment exhibits right-lateral displacements of up to 230 ± 22 metres along the Sarısu Stream (Figure 9a). Kinematic data obtained from the fault planes indicate the right lateral faulting, which is very important in terms of supporting the morphological observations.

The Erikli Trench was excavated in a N40°E direction, perpendicular to the possible fault trace, with a length of 25 meters and a depth of 3.2 meters (Figure 6). Stratigraphic analyses identified a total of nine units (a1-k3) distinguished by grain size, color, and composition (Table 1, Figure 7 and 8). The oldest unit identified is the recrystallised limestone (a1) unit in the southern block. This unit is separated and juxtaposed against younger sedimentary packages by fault with a high-angle inclination towards the north. The earthquake-related deformation in the Erikli trench developed within a narrow zone about 4 m wide (Figures 7 and 8). Four main event (E1-E4) were identified in the trench stratigraphy. The oldest event fault (E4) cuts through unit 'a2' and is overlain by unit 'b'. Fault E3 cuts through units 'a2' and 'b' and is overlain by unit 'c'. Fault E2 cuts the younger unit 'd' and is overlain by alluvial sedimentary units ('e'). The fault associated with the youngest event (E1) cuts through all stratigraphic units

and extends to the base of unit 'f'. Age analyses from seven distinct stratigraphic levels confirmed the stratigraphic observations. Unit 'b', which overlies the E4 event, was dated to 8944 BCE based on the E-EC3 analysis, indicating that the oldest earthquake occurred approximately 10000 years ago. Event E3 was dated to 6761 BCE based on the E-WC12 analysis, suggesting that this earthquake occurred approximately 7500–8000 years ago. Event E2 was dated between 4223 and 4098 BCE based on the E-EC10 and E-WC13 analyses, indicating that this earthquake occurred approximately 4500–5000 years ago. The most recent event, E1, was dated between 1757 and 1222 BCE based on the E-EC5 and E-EC8 analyses, indicating that this earthquake occurred approximately 1339–1627 years ago (Figure 10). Overall, these findings indicate that at least four distinct surface-rupturing events have occurred along the Eskişehir Fault during the Holocene Period.

The Kandilli Trench was excavated in a N05°E direction, perpendicular to the possible fault trace, with a length of 10 meters and a depth of 3.1 meters (Figure 9). Stratigraphic analyses identified a total of six units (a-f) distinguished by grain size, color, and composition (Table 1, Figure 10). Two main event were identified in the trench stratigraphy. The oldest event fault in the trench cuts through the unit 'b' and is overlain by unit 'c'. Unit 'c', which overlies the this event, was dated to 2810 BCE based on the KF-2 analysis. Another event fault identified in the trench cuts through units 'c' and 'd' and is overlain by unit 'e'. A sample collected from unit 'c' was dated to 2410 BCE based on the KF-1 analysis. These findings provide evidence of at least two distinct surface-rupturing events within the trench.

Geological, geomorphological and paleoseismological studies along the Eskişehir Fault indicate that the Eskişehir Fault controls the morphology as a dominantly right-lateral strike-slip fault. Likewise, kinematic data obtained from

fault planes also indicate right-lateral strike slip faulting. The dominant stress directions (Heidbach et al. 2016) support the present-day strike-slip faulting.

The data obtained in previous palaeoseismological studies in the central and eastern parts of the Eskişehir Fault revealed the Holocene activity of the fault. For example, Kürçer et al. (2014) suggested that at least three earthquakes occurred in the past 2800 years in the paleoseismological trench excavated on the easternmost segment of the Eskişehir Fault. According to the age data obtained from the trench, they stated that the last event occurred between 1280-1320 AD. They also stated that the first of the older events occurred between 390 BC and 20 AD, and that the oldest event occurred between 810-770 BC. Altunel et al. (2015) stated that the Holocene sediments observed in a trench opened west of Eskişehir were affected by at least 3 old earthquakes in the last 12000 years. They suggested that the last earthquake occurred approximately 3200 years ago. Ocakoğlu et al. (2009) dated three distinct debris flow deposits along the fault east of İnönü to approximately 18000 years ago, 7900 years ago, and the 1960s, and suggested that these mass movements may have been triggered by earthquakes occurring along the fault during the Late Pleistocene-Holocene period. Elma et al. (2024), on the other hand, revealed the presence of two old earthquakes in their palaeoseismological trench studies on the segment located east of the western segment. According to the palaeoseismological interpretations of the trench, they suggested that the previous event occurred approximately 6000-6500 years ago and that the youngest event occurred approximately 2000-3000 years ago.

The data obtained from the paleoseismological trench investigations conducted on the western segment within the scope of this study represent the first such findings reported in the literature and provide new insights into the earthquake

recurrence behaviour of this segment. Figure 10 shows the probabilistic distribution of calibrated C14 ages collected from Erikli and Kandilli trench walls and the age ranges of the event. Accordingly, the findings obtained as a result of the evaluation of the stratigraphic units in the Erikli and Kandilli trenches together with the structural elements provide evidence of four old earthquakes. According to the palaeoseismological findings, the oldest event (E4) on the westernmost segment of the Eskişehir Fault was dated to more than 10000 years before present in the Erikli trench. Another event (E3) was dated to approximately 7500-8000 years ago in the same trench. This event is consistent with the large-scale mass movement dated by Ocakoğlu et al. (2009) in the adjacent segment. Findings from the Erikli trench dated the previous event (E2) to approximately 4500-5000 years before present. The findings from the Kandilli trench are very important in terms of the upper boundary of this event (E2) on the same segment. The youngest event (E1) on the segment was dated to approximately 1339-1627 years before present in the Erikli trench and is supported by the youngest event dated in the Kandilli trench.

The findings indicate that the westernmost segment of the Eskişehir Fault generates earthquakes approximately every 3000 years. However, it can be suggested that 1339-1627 years have passed since the last earthquake. Palaeoseismological findings reveal that the westernmost segment of the Eskişehir Fault was in a long seismic quiescence. Furthermore, the possibility that the 1956 (M=6.5) Eskişehir earthquake may have caused a surface rupture in the central segments of the Eskişehir Fault suggests that this earthquake could have transferred stress to the adjacent segments. In addition, recent studies (e.g. Elma et al. 2025) suggest that the annual lateral slip rate along the Eskişehir Fault is at least 0.50 ± 0.02 mm/year. It can be argued that, assuming a similar lateral slip rate, the western extension of the Eskişehir Fault has the

potential to generate earthquakes with 66.9-81.3 cm lateral displacement during the seismic quiescence period of 1339-1627 years. According to the correlations based on the relationship between the amount of displacement and surface rupture length presented by Wesnousky (2008), the surface rupture length that may occur during such an earthquake is compatible with the length of the western segment of the Eskişehir Fault. It can also cause an earthquake with a magnitude of $M = 6.59$ according to the empirical equations established by Wells and Coppersmith (1994). It is evident that an earthquake of this magnitude on the segment is a significant source of seismic hazard for Bozüyük (Bilecik) and İnönü (Eskişehir).

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 123G010 numaralı TÜBİTAK-KAMAG projesi (Yürütücü Prof. Dr. Volkan Karabacak) tarafından desteklenmiştir. Çalışmadaki paleosismolojik fay kazıları ilk yazarın (İsmet Elma) ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde devam eden doktora tezinin bir kısmını içermektedir. Faylanmaya ilişkin arazi haritalamaları ikinci yazarın (Mirza Agha Safarov) aynı enstitüde devam eden Yüksek Lisans tezini içermektedir. Çalışma kapsamında tarihlendirme amaçlı radyokarbon analizleri TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi (MAM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Kandilli hendek çalışmaları ESOGÜ ile 18/10/2024 tarihinde yapılan protokol çerçevesinde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar katkılarından dolayı Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'ne ve makalenin yayın sürecince yapıcı değerlendirmelerinden dolayı adı belirtilmemiş hakemlere teşekkür eder.

ORCID

İsmet Elma  <https://orcid.org/0000-0002-8220-5178>

Mirza Agha Safarov  <https://orcid.org/0009-0008-6528-1014>

Volkan Karabacak  <https://orcid.org/0000-0003-2581-7984>

Çağlar Özkaymak  <https://orcid.org/0000-0002-0377-1324>

Ökmen Sümer  <https://orcid.org/0000-0003-3168-8728>

KAYNAKLAR / REFERENCES

- Altunel, E. ve Barka, A. (1998). Eskişehir Fay Zonunun İnönü ve Sultandere arasında neotektonik aktivitesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41(2), 41-52. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/1e7637e7b6a9f27_ek.pdf
- Altunel, E., Karabacak, V., Yalçın, C. Ç., Altınok, S., Tunçel, E. ve Kurban, Y. C. (2015). *Eskişehir Fayı'nın Paleosismolojisi*. UDAP G-13-17 proje sonuç raporu, 126 s.
- Ambraseys, N. N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 3-30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>
- Canitez, N. & Üçer, B. (1967). Computer determinations for the fault-plane solutions in and near Anatolia. *Tectonophysics*, 4, 235-244.
- Dirik, E. & Erol, O. (2003). Tectonomorphologic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia Turkey. *Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication*, 5, 27-46.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Çan, T., Olgun, Ş., Elmacı, H. ve Şaroğlu, F. (2017). *Türkiye ve Yakın Çevresindeki Diri Faylar ve Özellikleri. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı*, (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, Ankara-Türkiye.
- Elma, İ., Özçelik, B., Karabacak, V., Özkaymak, Ç. ve Sümer, Ö. (2024). Eskişehir Fayının İnönü-Oklubalı Segmentine Ait İlk Paleosismolojik Bulgular. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 6(2), 349-368. <https://doi.org/10.46464/tdad.1465558>
- Elma, İ., Safarov, M. A., Karabacak, V., Özkaymak, Ç. ve Sümer, Ö. (2025). Eskişehir fayı'nın Uzun Dönem Kayma Hızı ve Paleosismolojisi. 77. *Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı*, 14-18 Nisan 2025, MTA, Ankara.

- Emre, Ö., Duman, T.Y. ve Özalp, S. (2011). *1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Eskişehir (NJ 36-1) Paftası, Seri No: 15*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu F. (2013). *1/250.000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Çan, T. (2018). Active Fault Database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229–3275 <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>.
- Ergin, K. Güçlü, U. ve Uz, Z. (1967). *Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu Milattan Sonra 11-1964*. İTÜ Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, No:24, İstanbul, Türkiye
- Gözler, M. Z., Cevher, F. ve Küçükayman, A. (1985). Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 103-104, 39-54. https://dergi.mta.gov.tr/dosyalar/images/mtadergi/makaleler/tr/20150701102227_509_22794d06.pdf
- Heidbach, O., Custodio, S., Kingdon, A., Mariucci, M.T., Montone, P., Müller, B., Pierdominici, S., Rajabi, M., Reinecker, J., Reiter, K., Tingay, M., Williams, J. & Ziegler, M. (2016). *Stress Map of the Mediterranean and Central Europe 2016*. GFZ Data Services, <https://doi.org/10.5880/WSM.Europe2016>
- Karabacak, V., Özkaymak, Ç. ve Sümer, Ö. (2024). *Eskişehir Fayı ve Dodurga Fayının Paleosismolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, 1. Gelişme Raporu* (123G010 nolu Proje). TÜBİTAK.
- Koçyiğit, A. (2005). The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 18(3-4), 167-208. <https://doi.org/10.3166/ga.18.167-208>.
- Kürçer, A., Pekkan, E., Tün, M. & Kahraman, S. (2014). The first paleoseismic and new neotectonic data from Eskişehir fault, major Anatolian neotectonic structure, Central Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Abstracts*, 16, EGU2014-11937.
- McKenzie, D. (1972). Active Tectonics of Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Ocakoğlu, F. (2007). A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey. *Journal of Asian Earth Science*, 31, 91-103.
- Ocakoğlu, F. & Açıkalin, S. (2010). Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia. *Journal of Earth System Science*, 119(6), 841-851. <https://doi.org/10.1007/s12040-010-0057-y>
- Ocakoğlu, F., Açıkalin, S., Gökçeoğlu, C., Karabacak, V. & Cherkinsky, A. (2009). A multistory gigantic subaerial debris flow in an active fault scarp in NW Anatolia, Turkey: anatomy, mechanism and timing. *The Holocene*, 19(6), 955-965. <https://doi.org/10.1177/0959683609336566>
- Ocakoğlu F., Açıkalin S., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H. A. & Sönmez, H. (2007). Back-analysis of the source of the 1956 Eskişehir Earthquake using attenuation equation and damage data. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 66, 353-360. <https://doi.org/10.1007/s10064-006-0066-x>
- Ocakoğlu, F., Altunel, E. ve Yalçın, C. Ç. (2005). *Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimi, Eskişehir, Türkiye, Proje Final Raporu*. Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu (in Turkish).
- Öcal, N. (1959). *20 Şubat 1956 Eskişehir Zلزelesinin Makro ve Mikrosismik Etüdü*. İstanbul, Turkey. İTÜ Sismoloji Enstitüsü (in Turkish).
- Özsayın, E. & Dirik, K., (2007). Quaternary Activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba Fault Zones: İnönü-Eskişehir Fault System, Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16(4), 471-492.
- Pınar, N. ve Lahn, E. (1952). *Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu*. Bayındırlık Bakanlığı, Yapı ve İmar İşleri Reisliği, 36, No:6, Ankara, Türkiye.
- Ramsey, B. C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

- Reimer, P.J., Austin, W.E.N., Bard, E., Bayliss, A., Blackwell, P.G., Ramsey, B.C., Butzin, M., Cheng, H., Edwards, R.L., Friedrich, M., Grootes, P.M., Guilderson, T.P., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kromer, B., Manning, S.W., Muscheller, R., Palmer, J.G., Pearson, C., van der Plicht, J., Reimer, R.W., Richards, D.A., Scott, E.M., Southon, J.R., Turney, C.S.M., Wacker, L., Adolphi, F., Büntgen, U., Capano, M., Fahrni, S.M., Fogtmann-Schulz, A., Friedrich, R., Köhler, P., Kudsk, S., Miyake, F., Olsen, J., Reining, F., Sakamoto, M., Sookdeo, A. & Talamo, S. (2020). The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 62(4), 725-757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.
- Selçuk, A. S. & Gökten, E. (2012). Neotectonic characteristics of the İnönü-Eskişehir Fault System in the Kaymaz (Eskişehir) Region: influence on the development of the Mahmudiye-Çifteler-Emirdağ Basin. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21(4), 521-545.
- Seyitoğlu, G., Esat, K., Temel, A. & Telsiz, S. (2010). Determination of main strand of a strike-slip fault by using subsidiary structures: Eskişehir Fault Zone as a case study. In *Tectonic Crossroads: Evolving Orogens of Eurasia-Africa-Arabia, Abstracts with Programs* (8-1). Ankara, Turkey: METU, p. 38.
- Seyitoğlu, G., Ecevitoglu, G.B., Kaypak, B., Güney, Y., Tün, M., Esat, K., Avdan, U., Temel, A., Çabuk, A., Telsiz, S. & Uyar Aldaş, G. G. (2015). Determining the main strand of the Eskişehir strike-slip fault zone using subsidiary structures and seismicity: a hypothesis tested by seismic reflection studies. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 24(1), 1-20. <https://doi.org/10.3906/yer-1406-5>
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y. (1981). *Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu (MÖ 2100 - MS 1900)*, (Proje No: TBGA-341). TÜBİTAK.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A., (1987). *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri* (Rapor no: 8174). MTA derleme rapor. Ankara
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Doğan, A. ve Yıldırım, C. Ç. (2005). Eskişehir Fay Zonu ve Deprem Potansiyeli. *Eskişehir Fay Zonu ve İlişkili Sistemlerin Depremselliği Çalıştayı*, Osmangazi Üniversitesi, 28-30 Nisan 2005, Eskişehir, Bildiri Özleri Kitapçığı.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a case Study: Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation. In Biddle, K. T., Christie-Blick, N. (Eds.), *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 37, 227-264. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakinç, M., Eyidoğan H., Görür, N., Le Pichon, X. & Rangin, C. (2005). The North Anatolian fault: A new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120415>
- Tün, M., Avdan, U., Kaplan, O., Güney, Y., Çabuk, A., Kaypak, B., Uyar Aldaş, G., Ecevitoglu, B., Esat, K. & Seyitoğlu, G. (2010). A new look to the Eskişehir Fault. Seismic Interpretation Session 2, No: 43. *19th International Geophysical Congress & Exhibition*, Ankara, Turkey.
- Yaltrak, C. (2002). Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology*, 190, 493-529.
- Yaltrak, C., Alpar, B. & Yüce, H. (1998). Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey). *Tectonophysics*, 300, 227-248.
- Yaltrak, C., Mehmet, S., Tapırdamaz, C., Ocakoğlu, F., Demiroğlu, M., Özsayın, E. ve Açıkalın, S. (2010), Batı Anadolu ve Ege'de Miyosen tektonik bulmacasının kayıp parçası Trakya Eskişehir Fay Zonu TEFZ. 63. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Turkey.
- Wesnousky, S. G., (2008). Displacement and geometrical characteristics of earthquake surface ruptures: Issues and implications for seismic-hazard analysis and the process of earthquake rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(4), 1609-1632.
- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.