



Preliminary Paleoseismological Findings on the İnönü-Oklubalı Segment of the Eskişehir Fault

İsmet Elma¹, Busra Ozcelik¹, Volkan Karabacak¹, Caglar Ozkaymak² and Okmen Sumer^{3,4}

¹ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, 26040 Eskişehir, Türkiye

² Afyon Kocatepe University, Department of Geological Engineering, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

³ Dokuz Eylül University, Department of Geological Engineering, 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Earthquake Research and Implementation Center of Dokuz Eylül University, 35390 İzmir, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8220-5178, 0000-0003-2002-028X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-0377-1324, 0000-0003-3168-8728

Keywords

Eskişehir Fault, Paleoseismology, İnönü-Oklubalı Segment, Eskişehir

Highlights

- * Eskişehir Fault is an active right lateral strike-slip fault
- * Paleoseismological fault studies show that the Eskişehir Fault has produced at least two surface ruptures in the last 10800 years
- * The İnönü-Oklubalı segment of the Eskişehir Fault produces surface ruptures about 3000-3500 years recurrence

Aim

It is aimed to obtain information on the recurrence intervals of destructive earthquakes that occurred on the Eskişehir fault

Location

The study is carried out west of the city of Eskişehir in Central Anatolia (NW Türkiye)

Methods

Geological-geomorphological field observations and paleoseismological trenching studies

Results

It has been 2500-3000 years since the last surface rupture occurred. Therefore, there is a high risk of an earthquake large enough to produce surface faulting at any moment in the İnönü-Oklubalı segment of the Eskişehir Fault.

Financial Disclosure: This study is supported by The Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) (TÜBİTAK-KAMAG-123G010)

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

How to cite:

Elma İ., Ozcelik B., Karabacak V., Ozkaymak C., Sumer O., 2024. Preliminary Paleoseismological Findings on the İnönü-Oklubalı Segment of the Eskişehir Fault, Turk Deprem Arastirma Dergisi 6(2), 349-368, <https://doi.org/10.46464/tdad.1465558>.

Manuscript

Research Article

Received: 05.04.2024

Revised: 21.06.2024

Accepted: 27.06.2024

Printed: 30.12.2024

DOI

10.46464/tdad.1465558

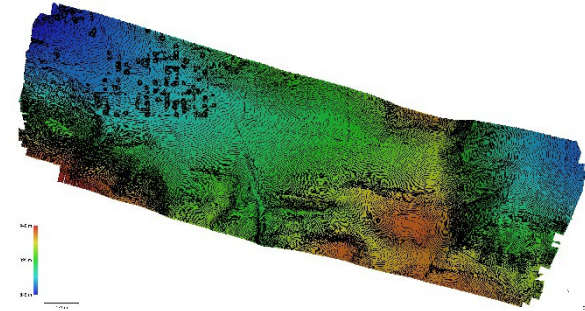


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

İsmet Elma

Email: elma.ismet@gmail.com



Figure

Digital Elevation Model (DEM) of the trench area



Eskişehir Fayının İnönü-Oklubalı Segmentine Ait İlk Paleosismolojik Bulgular

İsmet Elma ¹, Büşra Özçelik ¹, Volkan Karabacak ¹, Çağlar Özkaymak ² ve Ökmen Sümer ^{3,4}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, 26040 Eskişehir, Türkiye

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAUM), Dokuz Eylül Üniversitesi, 35390 İzmir, Türkiye

ORCID: 0000-0002-8220-5178, 0000-0003-2002-028X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-0377-1324, 0000-0003-3168-8728

ÖZET

Bu makale, Eskişehir Fayı boyunca yapılan paleosismolojik çalışmaların sonuçlarını ve Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı segmentinin deprem davranışına ilişkin ilk çıkarımları sunmaktadır. İnönü civarındaki morfotektonik belirteçler (asılı vadi, aktarım rampası gibi) baskın normal faylanmanın jeolojik geçmişte uzunca bir dönem bölgeyi kontrol ettiğini göstermektedir. Bununla birlikte, jeolojik arazi gözlemleri ve genç dere yataklarındaki sağ yanal ötelenme gibi morfotektonik belirteçler Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı arasındaki uzanımı boyunca güncel hareketin doğrultu atımlı karaktere evrildiğini göstermektedir. Paleosismolojik fay kazıları ile fay segmentinde son 10800 yılda en az 2 eski deprem izi ayırt edilmiştir ve fayın Holosen aktivitesi kanıtlanmıştır. Mevcut bulgular, Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı segmentinin kabaca 3000-3500 yıl aralıklı yüzey kırığı ürettiğini ve son yüzey faylanmasından bu yana 2500-3000 yıl geçtiğini ortaya koymaktadır. Geçen suskun dönem, segment boyunca önerilen kayma hızı ile birlikte değerlendirildiğinde, Eskişehir Fayı'nın bu bölümünde her an yüzey kırığı üretebilecek büyüklükte deprem meydana gelme riskinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Eskişehir Fayı, Paleosismoloji, İnönü-Oklubalı Segmenti, Eskişehir

Öne Çıkanlar

* Eskişehir Fayı boyunca güncel hareket sağ yanal doğrultu atım karakterindedir

* Paleosismolojik fay kazıları Eskişehir Fayı'nın son 10800 yılda en az 2 yüzey kırığı ürettiğini göstermektedir

* Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı segmenti kabaca 3000-3500 bin yıl aralıklı yüzey kırığı üretmektedir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 05.04.2024

Düzeltilme: 21.06.2024

Kabul: 27.06.2024

Basım: 30.12.2024

DOI

10.46464/tdad.1465558

Sorumlu yazar

İsmet Elma

Eposta:

elma.ismet@gmail.com

Preliminary Paleoseismological Findings on the İnönü-Oklubalı Segment of the Eskişehir Fault

İsmet Elma ¹, Busra Ozcelik ¹, Volkan Karabacak ¹, Çağlar Ozkaymak ² and Okmen Sumer ^{3,4}

¹ Eskişehir Osmangazi University, Department of Geological Engineering, 26040 Eskişehir, Türkiye

² Afyon Kocatepe University, Department of Geological Engineering, 03200 Afyonkarahisar, Türkiye

³ Dokuz Eylül University, Department of Geological Engineering, 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Earthquake Research and Implementation Center of Dokuz Eylül University, 35390 İzmir, Türkiye

ORCID: 0000-0002-8220-5178, 0000-0003-2002-028X, 0000-0003-2581-7984, 0000-0002-0377-1324, 0000-0003-3168-8728

ABSTRACT

This paper presents the results of paleoseismological studies along the Eskişehir Fault and the preliminary implications for the earthquake behavior of the İnönü-Oklubalı segment of the Eskişehir Fault. Morphotectonic markers (such as hanging valley, relay ramp) in the vicinity of İnönü indicate that dominant normal faulting controlled the region for a long period in the geological past. However, geological field observations and morphotectonic markers such as right lateral displacement of young stream beds indicate that the current movement along the extension of the Eskişehir Fault between İnönü and Oklubalı has evolved into a strike-slip character. Along the fault segment, at least 2 paleo events have been distinguished in the last 10800 years with paleoseismological fault excavations and Holocene activity of the fault has been proven. Our findings reveal that the İnönü-Oklubalı segment of the Eskişehir Fault has produced surface ruptures about 3000-3500 years recurrence and that 2500-3000 years have passed since the last surface faulting. When the quiescent period is evaluated together with the suggested slip rate along the segment, it shows that there is a high risk of an earthquake that may produce a surface rupture at any time in this part of the Eskişehir Fault.

Keywords

Eskişehir Fault, Paleoseismology, İnönü-Oklubalı Segment, Eskişehir

Highlights

* Eskişehir Fault is an active right lateral strike-slip fault

* Paleoseismological fault studies show that the Eskişehir Fault has produced at least two surface ruptures in the last 10800 years

* The İnönü-Oklubalı segment of the Eskişehir Fault produces surface ruptures about 3000-3500 years recurrence

Manuscript

Research Article

Received: 05.04.2024

Revised: 21.06.2024

Accepted: 27.06.2024

Printed: 30.12.2024

DOI

10.46464/tdad.1465558

Corresponding Author

İsmet Elma

Email:

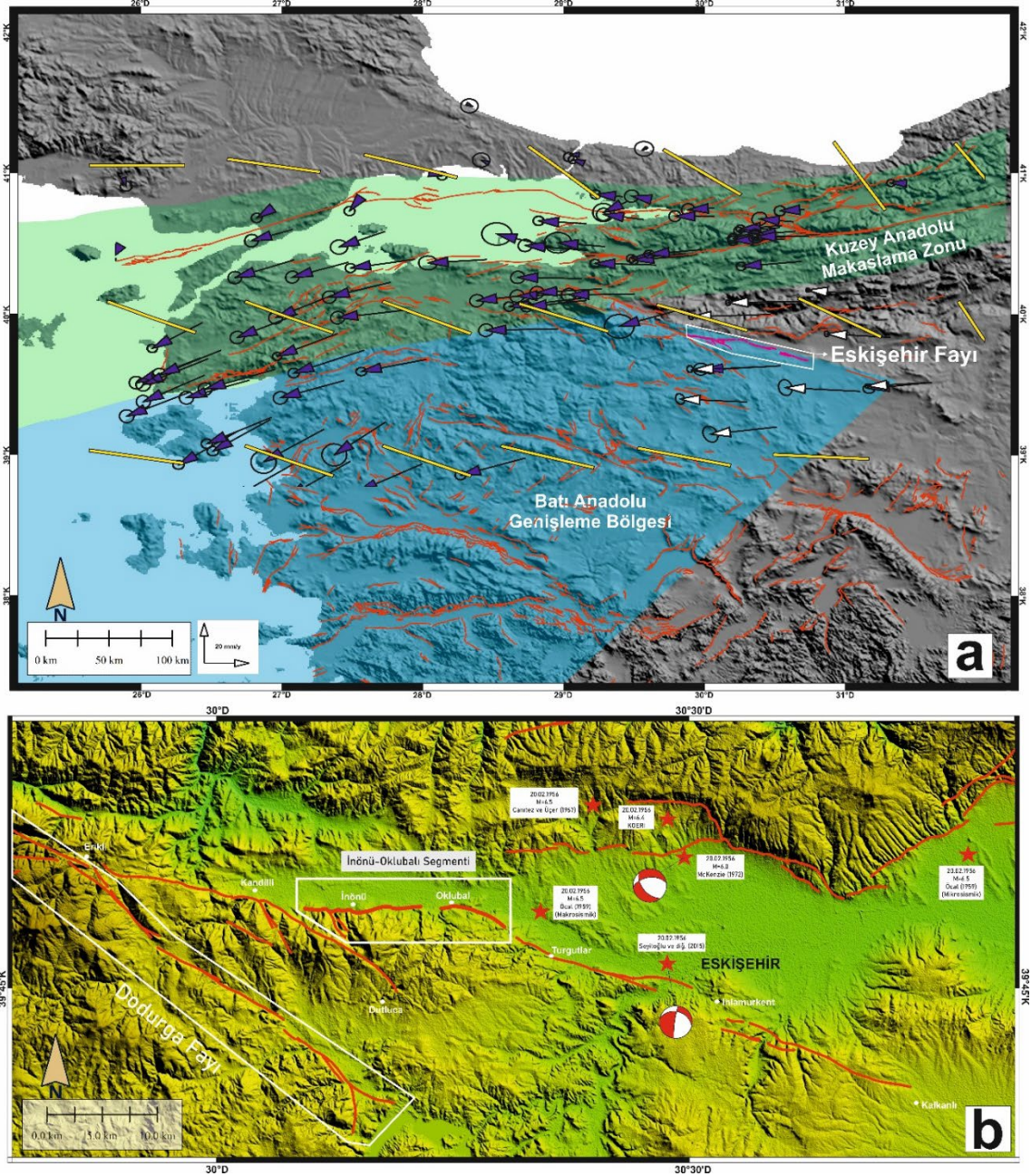
elma.ismet@gmail.com

1. GİRİŞ

Güney Marmara'da Uludağ Yükselimi kuzeyini sınırlayarak güneydoğu yönünde Anadolu Bloğu'nun iç kesimlerine uzanan Eskişehir Fay Zonu (EFZ), Batı Anadolu Genişleme Bölgesi (BAGB) ile Kuzey Anadolu Makaslama Zonu (KAMZ) arasında özel bir konuma sahiptir (Barka ve diğ. 1995, Şengör ve diğ. 2005, Okay ve diğ. 2008, Özalp ve diğ. 2013, Selim ve Tüysüz 2013) (Şekil 1a). Genel anlamda Uludağ yükselimi de kontrol ettiği düşünülen, bu uzanım ile ilişkili tektonik yapılar Oligosen'de ortaya çıkan KB-GD uzanımlı bir sağ-yanal makaslama zonunun ürünü olarak tanımlanmaktadır (Okay ve diğ. 2008). Yaltırak ve diğ. (1998; 2010) bu zonun sağ yanal bir transform zon (Trakya-Eskişehir Fay Zonu) olarak Trakya'ya kadar uzandığını öne sürmektedir. Araştırmacılara göre Uludağ Yükselimi bu zon içerisinde Miyosen'de transpresyonal bir yükselim olarak şekillenmiştir. Geç Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin Marmara bölgesine ulaşması ve bu zonu oblik olarak kesmesiyle Uludağ Yükselimi güneydoğusunda kalan uzanım (EFZ) gerilme tektoniği ile ilişkili normal fay zonuna dönüşmüştür (Yaltırak ve diğ. 1998; 2010).

Önceki çalışmalarda EFZ'nin Uludağ Yükselimi yakınlarındaki kesimlerinin neotektonik dönemde çoğunlukla KAFZ etkisinde şekillendiği öne sürülmektedir (Şengör 1979, Şengör ve diğ. 1985, Barka ve Kadinsky Cade 1988, Barka 1992, Seyitoğlu ve diğ. 2016). Örneğin bu bölge Şengör ve diğ. (2005) tarafından KAMZ içerisine dahil edilmiştir. Bölgenin neotektonik resmini net şekilde ortaya koyan son çalışma ise Karabacak ve diğ. (2022) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada Uludağ kuzey kesimlerini kontrol eden Ulubat, Bursa ve İnegöl faylarının KAFZ güney kolunu oluşturan segmentlerle benzer gerilme sistemi içerisinde şekillendiği ve en az 500 bin yıl önce KAFZ güney kolunun bölgeye ulaşması ile eş zamanlı reaktive olduğu ortaya konulmuştur. Diğer yandan doğrultu atımlı faylarla temsil edilen KAMZ ile normal faylarla temsil edilen BAGB arasında yer alan İnegöl ve İnönü-Eskişehir havzaları, bu geçişteki tektonik davranışın anlaşılmasını sağlayacak verilere de sahiptir. Bununla birlikte, EFZ'nin genel uzanımı ve geometrik davranışı üzerine tartışmalar da henüz netlik kazanmamıştır. Örneğin Dodurga Fayı, İnegöl ve İnönü-Eskişehir Havzaları uzanımında konumlandırılan BKB-DGD uzanımlı EFZ'yi KB-GD doğrultusunda düşük açılı oblik şekilde kesmektedir. Emre ve diğ. (2013; 2018) İnegöl Havzası güney kısmını kontrol eden İnegöl ve Oylat Faylarını EFZ içerisinde normal fay olarak tanımlamaktadır. Diğer yandan Seyitoğlu ve Esat (2022) bu fayları EFZ ile ilişkilendirmekle birlikte, doğrultu atımlı fay olarak tanımlamaktadır. Benzer şekilde, Selçuk ve Gökten (2012) de bu zonun Uludağ (Bursa)'ın batısından Tuzgölü'nün doğusuna kadar yaklaşık 400 km boyunca baskın olarak doğrultu atımlı faylanma ile karakterize veriler sunduğunu öne sürmektedir. Tokay ve Altunel (2005) ise EFZ'nin, İnönü-Dodurga arasındaki fay düzlemlerinin KD'ya dalımlı fay çizikleri sunduklarını ve bu nedenle fay zonunun sağ yönlü atım bileşeni olan verev fay olduğunu ileri sürmektedir.

EFZ'nin Dodurga Fayı ile kesişiminden daha doğuya uzanımı ise güncel çalışmalarda Eskişehir Fayı olarak adlanmakta (Emre ve diğ. 2013) ve BKB-DGD genel uzanımına sahip, yaklaşık 75 km uzunluğunda Holosen fayı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1b). Bu uzanım boyunca Eskişehir Fayı'nın kinematik evrimiyle ilgili iki ana görüş bulunmaktadır; 1) Eskişehir Fayı ilk evresinde sağ yanal doğrultu atımlı fay niteliği taşıırken günümüzde re-aktive olmuş normal fay olarak davranmaktadır (Gözler ve diğ. 1985, Yaltırak 2002, Koçyiğit 2005, Ocakoğlu 2007). 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 (Altunel ve Barka 1998, Ayday ve diğ. 2001, Şaroğlu ve diğ. 2005, Seyitoğlu ve diğ. 2010, Tün ve diğ. 2010). Örneğin, en güncel çalışma niteliği taşıyan Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre ve diğ. 2013) Eskişehir Fayı normal bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı bir karakterde tanımlanmaktadır.



Şekil 1: a) Eskişehir Fay Zonu'nun, Türkiye'nin ana tektonik hatları ile ilişkisini gösteren aktif fay haritası (Emre ve diğ. 2018) ve Marmara bölgesindeki güncel stres durumu (Mavi (Reilinger ve diğ. 2006) ve beyaz (Aktuğ ve diğ. 2013) oklar KKS (Küresel Konumlama Sistemi) vektörlerini, sarı çizgiler (SHmx) maksimum gerilme yönlerini (Heidbach ve diğ. 2016) göstermektedir.) b) Eskişehir Fayı'nın genel uzanımını (Emre ve diğ. 2018) ve 1956 Eskişehir depremi dış merkez lokasyonlarını gösterir sismotektonik harita (Kırmızı dolgulu yıldızlar farklı kaynaklara göre 1956 Eskişehir depreminin dış merkezlerini göstermektedir. Depremlerin dış merkez yerleri Canitez ve Üçer (1967); McKenzie (1972), Seyitoğlu ve diğ. (2015) ve Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nden KRDAE (2024) alınmıştır.)

Figure 1: a) Active fault map showing the relationship of the Eskişehir Fault Zone with the main tectonic lines of Türkiye (Emre et al. 2018) and current stress state in the Marmara region (Blue (Reilinger et al. 2006) and white (Aktuğ et al. 2013) arrows indicate GPS vectors, yellow lines (SHmx) indicate maximum stress directions (Heidbach et al. 2016).) b) Seismotectonic map showing the general extension of the Eskişehir Fault (Emre et al. 2018) and the epicenter locations of the 1956 Eskişehir earthquake (Red filled stars indicate the epicenters of the 1956 Eskişehir earthquake according to different sources. The epicenter locations of the earthquakes were obtained from Canitez and Üçer (1967); McKenzie (1972), Seyitoğlu et al. (2015) and Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute KOERI (2024).)

Literatür geneli bir arada değerlendirildiğinde özellikle Dodurga Fayı kesişiminden itibaren EFZ'nin güneydoğu uzanımı boyunca fay geometrisi konusunda tartışmaların devam ettiği açıktır. Eskişehir Fayı üzerinde sınırlı da olsa paleosismolojik çalışmalar bulunmaktadır (Altunel ve diğ. 2003, Ocakoğlu ve diğ. 2005, Kürçer ve diğ. 2014). Bununla birlikte, İnönü-Oklubalı segmentinde yayınlanmış herhangi bir paleosismolojik veri bulunmamaktadır. Bu çalışmada, İnönü yerleşim merkezi güneyini sınırlayarak Eskişehir yönünde uzanan ve deprem tehlikesi anlamında kaynaklık etme potansiyeline sahip İnönü-Oklubalı segmentinin bazı karakteristik özelliklerinin (geometrisi ve deprem davranışı) ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen alanda diri fay uzanımları, fizyografik yer değiştirme özellikleri ve jeolojik/morfolojik belirteçlerden yararlanılarak arazide haritalanmıştır. Eskişehir Fayı İnönü-Oklubalı segmenti boyunca ilk paleosismolojik nitelikli fay kazısı çalışmaları yürütülmüş, segment bazında deprem davranış özellikleri konusunda ilk kez çıkarımlarda bulunulmuştur.

2. ESKİŞEHİR FAYI SİSMOTEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Eskişehir Fayı ve yakın civarında tarihsel dönemlerde yıkıcı depremler meydana geldiği bilinmektedir. Örneğin, Ambraseys (2009) tarafından, 17 Ocak 1862 tarihinde meydana gelen depremde Eskişehir'de bazı eski evlerin yıkıldığı ifade edilmektedir. 15 Mart 1895 tarihinde yerel saat ile 10:11'de güçlü yerel bir depremin Bozüyük, Karaköy ve Bilecik'te hissedildiği belirtilmektedir. 10 Temmuz 1895 tarihinde ise İnönü'de bir depremin meydana geldiği ve sarsıntının Bozüyük, Karaköy ve Kütahya'dan hissedildiği belirtilmektedir. Aynı deprem kataloğunda 7 Şubat 1897 tarihinde Beylikahur (günümüzde Beylikova)'da meydana gelen depremin Eskişehir'den de rapor edildiği belirtilmektedir (Ambraseys 2009).

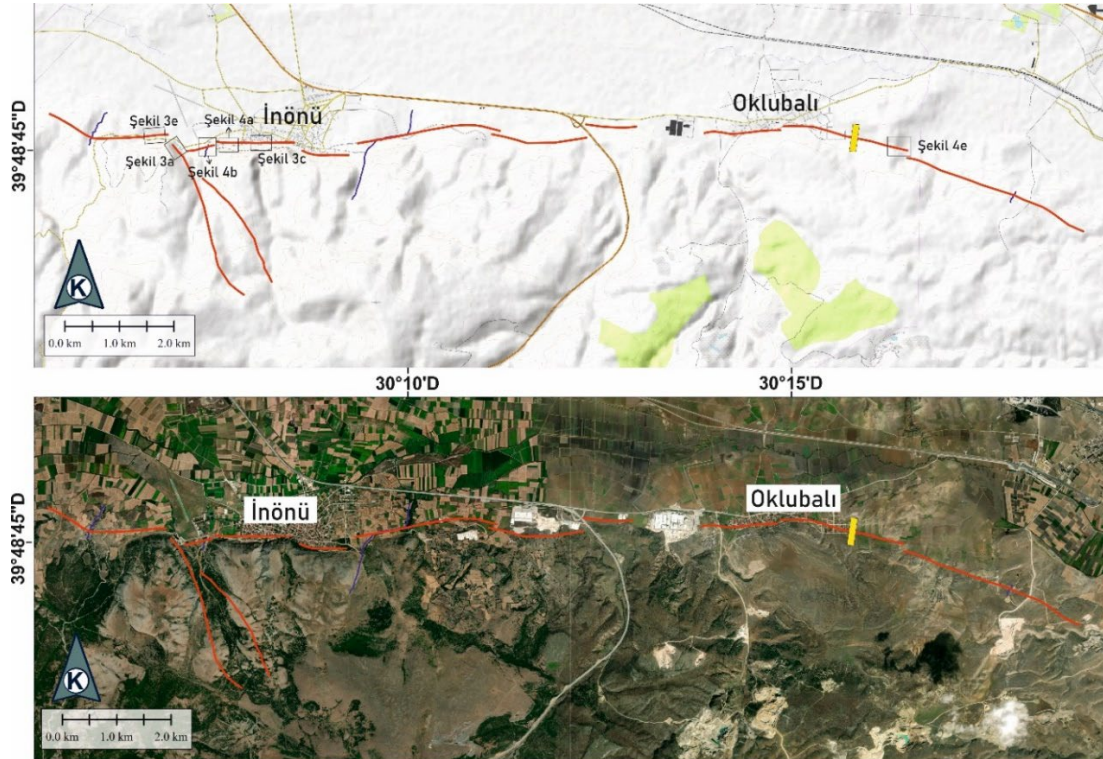
Küresel konumlama sistemi (KKS) hız vektörleri Eskişehir Fayının içerisinde yer aldığı bölgede güncel olarak batı yönünde hareketin varlığını ortaya koymaktadır (Relinger ve diğ. 2006, Aktuğ ve diğ. 2013). Yatay sıkışma doğrultusunu ifade eden maksimum gerilme yönleri ise (S_{Hmax}) çalışma alanında yaklaşık BKB-DGD uzanımlıdır (Heidbach ve diğ. 2016). Aletsel dönem depremlerine ait ($M > 4$) odak mekanizma çözümleri (AFAD 2024, Seyitoğlu ve diğ. 2016) KKS vektörleri ve gerilme yönleri ile uyumludur. Odak mekanizması çözümleri çalışma alanında sağ yanal doğrultu atımlı faylanma ve eğim atımlı normal faylanmanın verilerini ortaya koymaktadır.

Aletsel dönemde meydana gelen en büyük deprem, 20 Şubat 1956 ($M_w = 6.5$) Eskişehir depremidir (Öcal 1959). Depremin meydana geldiği dönemde sismik ağların yetersiz olmasından dolayı depremin dış merkezinin yeri ve büyüklüğü tartışmalıdır. Öcal (1959), depremin meydana geldiği sene ve takip eden senelerde maddi imkânsızlıklar nedeniyle, deprem bölgesinde yerinde tetkik yapılamadığını belirtmektedir. Depremden sonra yapılan anket çalışmalarına ve resmi hasar kayıtlarına dayanarak yaptığı makrosismik değerlendirmelere göre depremin dış merkezinin Çukurhisar yakınlarında olduğunu belirtmiştir. Depremin yüzey kırığı oluşturup oluşturmadığı ile ilgili bir bilginin yer almadığı aynı çalışmada, depremin odak derinliğinin 23-24 km olduğu ileri sürülmektedir. Canitez ve Üçer (1967) ise depremin dış merkezinin Eskişehir'in kuzeyine düştüğünü ve büyüklüğünün $M = 6.5$ olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde McKenzie (1972)'de depremin dış merkezinin Eskişehir'in kuzeyinde olduğunu ve büyüklüğünün $M = 6.0$ olduğunu belirtmiştir (Şekil 1b). Altunel ve Barka (1998) ise Öcal (1959)'un 1956 Eskişehir depremi için önerdiği izoseistleri ve McKenzie (1972)'nin odak mekanizması çözümlerini birlikte değerlendirmiş ve depremin Oklubalı-Turgutlar segmenti üzerinde meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. Ocakoğlu ve diğ. (2007) ve Ocakoğlu ve Açıkalın (2010) depremin hasar dağılımı ile depreme ait ikincil yüzey kırıkları ve kütle hareketlerini inceleyerek, 1956 depreminin kaynağının Eskişehir kuzeyinde bulunan faylar (Uludere-Kavacık, Muttalip segmenti) olduğunu ileri sürmüşlerdir. Seyitoğlu ve diğ. (2015) depremin dış merkezi ile ilgili görüş birliğinin sağlanamamış olmasından yola çıkarak depremin dış merkezini yeniden hesaplamayı denemiş ve dünya üzerindeki 145 farklı sismolojik istasyonda ölçülen verileri değerlendirmiştir. Sonuç olarak 20 Şubat 1956

depreminin dış merkezinin, 40 km uzunluğundaki Çukurhisar-Sultandere segmenti üzerinde olduğu ileri sürmüştür.

3. İNÖNÜ-OKLUBALI SEGMENTİ ARAZİ GÖZLEMLERİ

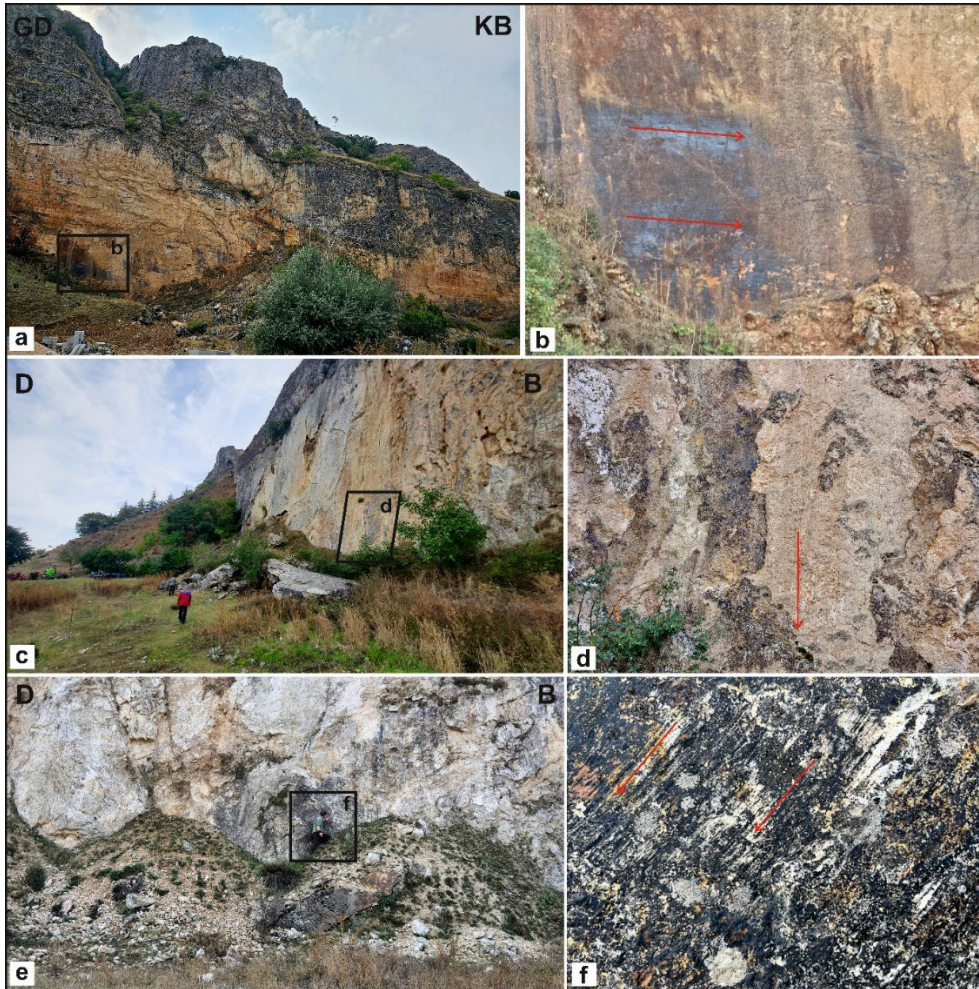
Eskişehir Fayı, batıda Erikli'nin (Bozüyük) doğusundan başlayarak, Türkmentokat'ın (Eskişehir) güneyine kadar devam etmektedir. Türkiye Diri Fay Haritasında (Emre ve diğ. 2013), toplam uzunluğu 75 km olan Eskişehir Fayının genel geometrisi ve segment yapısı göz önünde bulundurularak dört farklı segmentten oluştuğu kabul edilmektedir. Bu segmentler batıdan doğuya doğru sırasıyla Erikli-Kandilli, Kandilli-Dutluca, İnönü-Oklubalı ve Turgutlar-Kalkanlı segmentleridir. Bu çalışmada da Türkiye Diri Fay Haritasında belirtilen İnönü-Oklubalı segmenti üzerinde diri fay haritalama ve tektonik jeomorfoloji konularında gözlem ve araştırmalar yapılmıştır. 19 km uzunluğundaki segment, İnönü yerleşim yerinin batısında başlamaktadır. Bu alanda, daha batıda, Kandilli ile Dutluca arasında KB-GD uzanımlı bulunan fay segmentinden yaklaşık 1 km daha kuzeye sıçrayan segment 30.09° boylamından itibaren geometrik olarak ayrılmaktadır. Oklubalı yerleşim yerine kadar yaklaşık D-B uzanımlı olarak uzanan fay daha doğusunda GD'ya dönerek 30.30° boylamında sonlanmaktadır. Bu alanda daha doğudaki segmentten yaklaşık 1.5 km'lik sıçrama ile ayrılmaktadır. Oklubalı yerleşim yerinin hemen doğusundan itibaren ise KB-GD uzanımlı fay kolları ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Fay geometrisi genel anlamda çizgisel olup yer yer sağa sıçramalı fay kolları ve bu sıçrama alanlarında genişlemeli yapılar ile tipiktir.



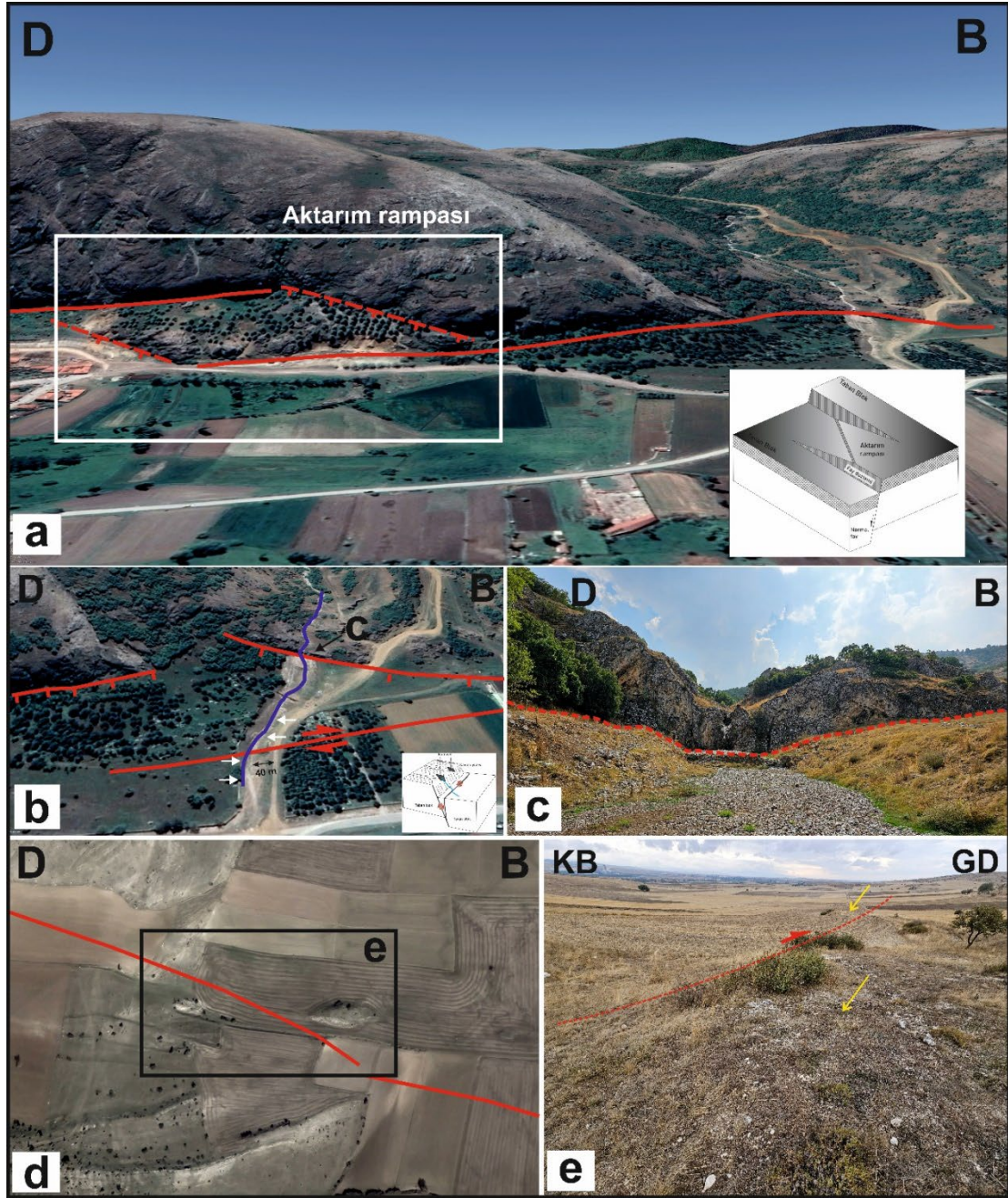
Şekil 2: Eskişehir Fayı İnönü-Oklubalı segmentinin genel uzanımı a) Taban harita olarak kullanılan sayısal yükseklik modeli Open Topo Map (2023) veri tabanından alınmıştır, b) Taban harita olarak kullanılan uydu görüntüsü için World Imagery görüntüsü kullanılmıştır (Sarı dikdörtgen Oklubalı Hendeği konumunu, siyah dikdörtgenler ilgili şekillerde görülen arazi verilerinin yerlerini göstermektedir.)

Figure 2: General extension of the İnönü-Oklubalı segment of the Eskişehir Fault a) The digital elevation model used as the base map was taken from the Open Topo Map (2023) database, b) World Imagery image was used for the satellite image used as the base map (Yellow rectangle shows the location of Oklubalı Trench, black rectangles are the locations of the field data seen in the related figures.)

Çalışma alanında faya ait en önemli morfolojik yapılar İnönü ilçesi yerleşim yerinin güneyinde gözlenen fay sarplıklarıdır. Bu alanda fay boyunca gelişmiş olan fay şevleri, çizgisel dağ önleri, kolüvyal fay önü çökelleri, üçgen yüzeyler, aktarım rampası, asılı vadi, ötelenen dereler gibi faylanmaya ait morfolojik ve jeolojik yapılar dikkat çekmektedir. İnönü ilçesinin güneyinde yer alan dağ önü boyunca Eskişehir Fayı'na ait hem normal bileşenli faylanmayı hem de doğrultu atımlı faylanmaya işaret eden fay düzlemleri yer almaktadır. Örneğin, İnönü ilçesinin yaklaşık 2 km güneybatısında KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylanmayı gösteren iyi korunmuş fay düzlemi dikkat çekmektedir (Şekil 3a,b). Fayın morfolojik izleri takip edildiğinde, doğrultu atımın görüldüğü fay düzleminin 500 m doğusunda ise normal faylar boyunca gelişmiş olan morfolojik yapılardan olan asılı vadi görülmektedir (Şekil 4b,c). Asılı vadinin 120 m kadar kuzeyinde ise bir derede, güncel morfolojiyi denetleyen fayın uzanımı ile uyumlu yaklaşık 40 metre sağ yanıl ötelenme gözlenmektedir (Şekil 4b). Asılı vadiden doğuya doğru fay takip edildiğinde, en-echelon olarak gelişmiş yarı paralel normal fayları birbirine bağlayan aktarım rampası dikkat çekmektedir (Şekil 4a). İnönü ilçesinin hemen güneyinde ise genel doğrultusu D-B olan ve fay tarafından oluşturulmuş olan sarplıkta gelişmiş kayma düzlemi üzerindeki fay çizikleri ve kertikleri gibi kinematik göstergeler normal ve oblik faylanmaya işaret etmektedir (Şekil 3c,d,e,f).



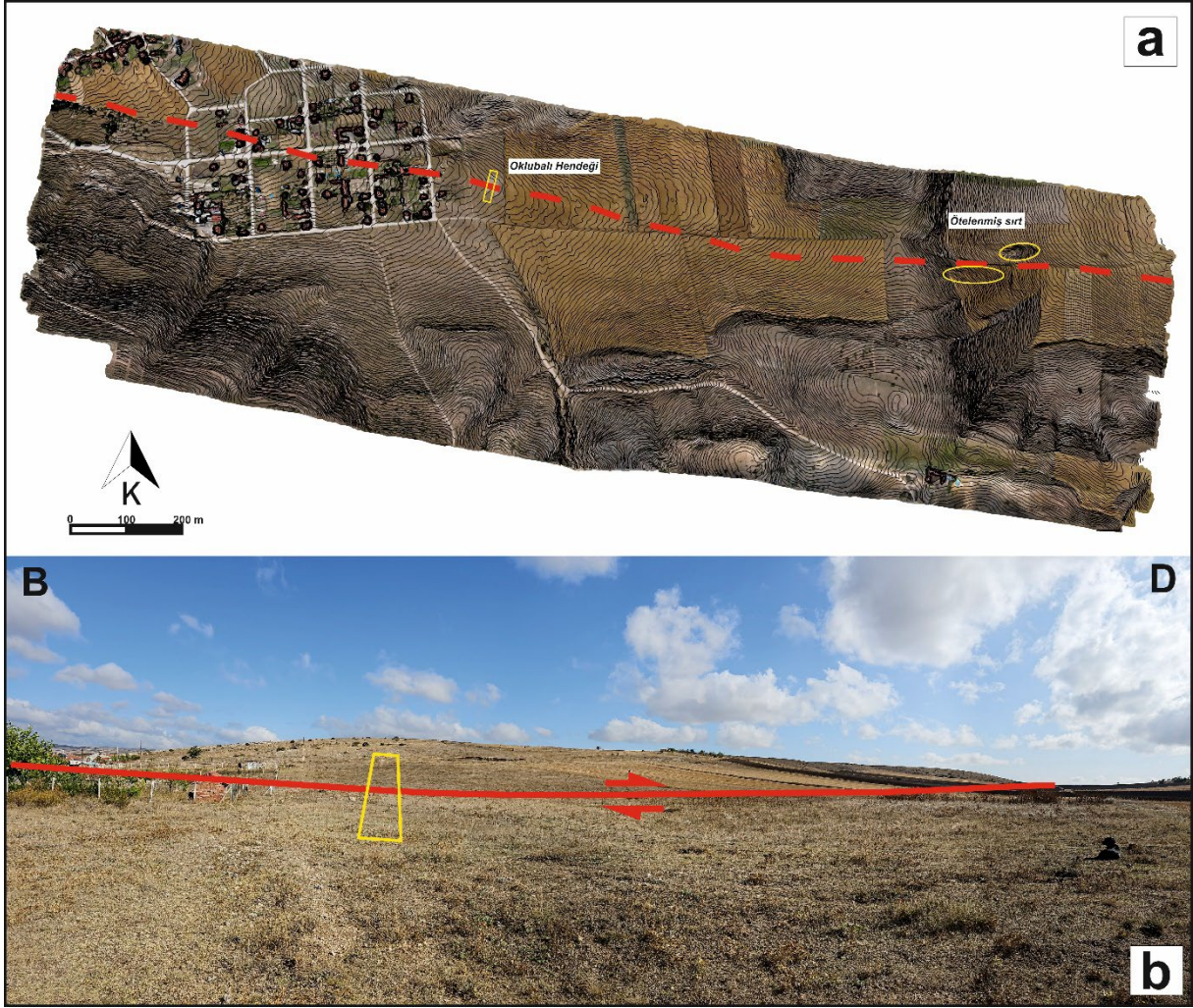
Şekil 3: İnönü ilçesinde dağ önü boyunca gözlenen Eskişehir fayına ait kayma düzlemlerinin genel görünümü; a,b) kayma düzlemleri üzerinde gelişmiş doğrultu atımlı hareketi gösterir kayma çizikleri c,d,e,f) kayma düzlemleri üzerinde gelişmiş eğim ve verev atımlı hareketi gösterir kayma çizikleri
Figure 3: General view of the fault planes of the Eskişehir fault observed along the mountain front in İnönü district; a,b) slip striations showing the strike-slip offset, c,d,e,f) slip striations showing the dip-slip and the oblique offset



Şekil 4: a) Normal fayları birbirine bağlayan aktarım rampası (aktarım rampasının şematik gösterimi Peacock ve Parfitt (2002)'den yeniden çizilmiştir.), b) asılı vadi ve hemen güneyinde sağ yanal ötelenmiş dere (beyaz oklar), c) asılı vadinin yakın görünümü, d) Oklubalı'nın güneydoğusunda yer alan ötelenmiş sırtın uydu görüntüsü, e) ötelenmiş sırtın yakın görünümü

Figure 4: a) Relay ramp linking the normal faults (schematic diagram of the relay ramp redrawn from Peacock and Parfitt (2002)), b) hanging valley and right-lateral offset stream south of it (white arrows), c) close-up view of the hanging valley, d) satellite image of the offset ridge southeast of Oklubalı, e) close-up view of the offset ridge

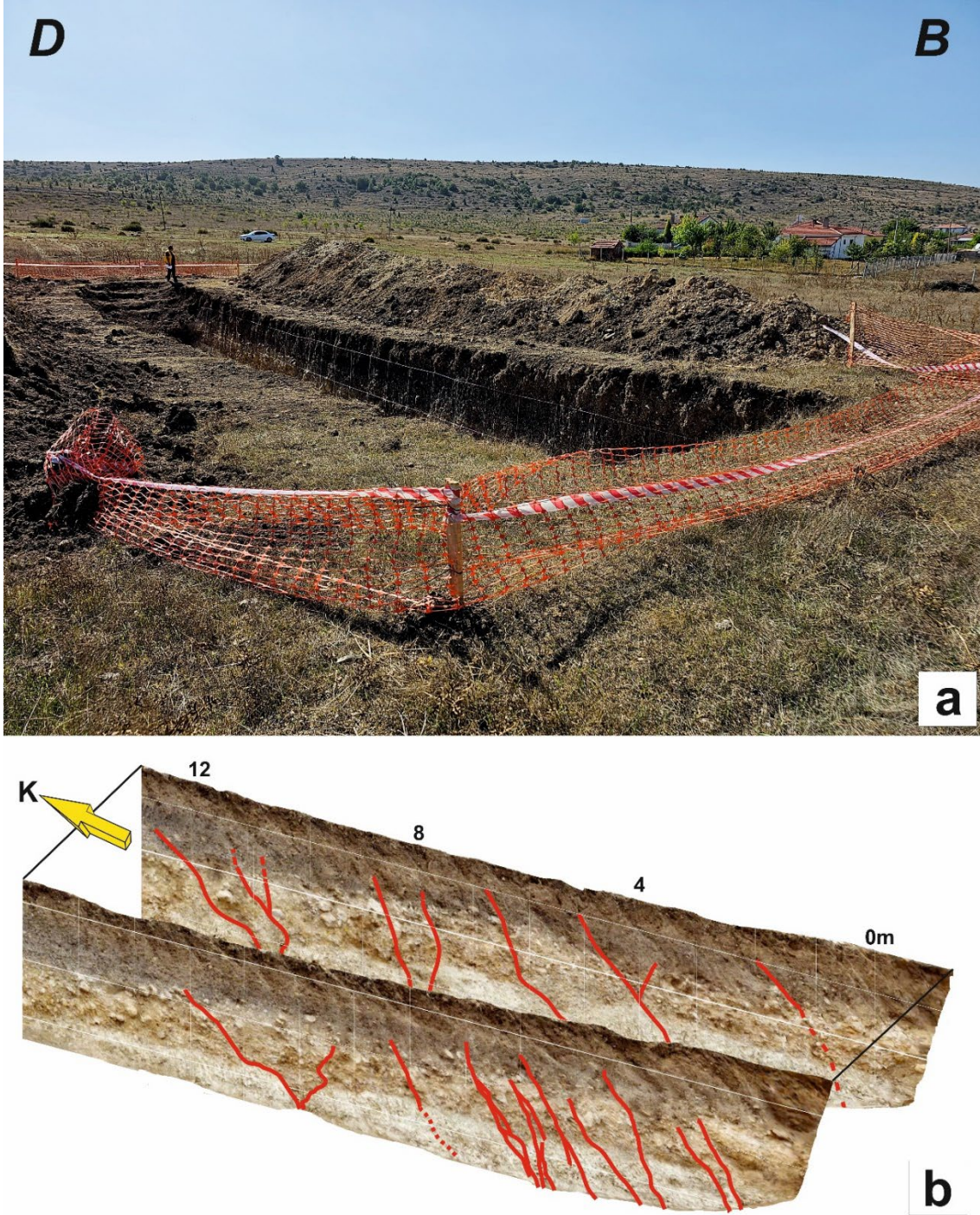
İnönü-Oklubalı segmenti boyunca fayın gidişinin GD'ya dönerek devam ettiği alanda fayın uzanımı ile uyumlu morfolojik çizgisel sarplıklar tipiktir (Şekil 5). Fay tarafından şekillendirilmiş olan morfoloji, fayın boyun yaptığı alana kadar takip edilebilmektedir. Fayın boyun yaparak GD'ya devamında ise fay tarafından ötelenmiş sırt dikkat çekmektedir (Şekil 4 d,e). Ancak, bu ötelenmiş sırtın güneydoğuya doğru devamında faylanmaya ait belirgin bir morfoloji izlenmemektedir.



Şekil 5: a) Eskişehir Fayı'nın Oklubalı civarındaki uzanımı, b) fayın uzanımı ile uyumlu morfolojik sarplık üzerindeki hendek lokasyonunu gösteren arazi fotoğrafı
Figure 5: a) Extension of the Eskişehir Fault in the vicinity of Oklubalı, b) field photograph showing the trench location on the morphological escarpment consistent with the fault extension

4. OKLUBALI HENDEĞİ

Eskişehir Fayı'nın Geç Kuvaterner aktivitesi ve eski deprem kronolojisinin ortaya konulabilmesi amacıyla İnönü-Oklubalı segmenti boyunca paleosismolojik fay kazısı yapılmıştır. Fay haritalama çalışmaları ve tektonik jeomorfoloji gözlemleri sonucunda, Oklubalı yerleşim yerinin hemen güneydoğusunda, fay tarafından şekillendirilmiş olan genç ve tarihlendirilebilir çökellerin yer aldığı morfolojik olarak görece yayvan bir boyun yapısı üzerinde hendek lokasyonu seçilmiştir. Bu alanda fayın uzanımına dik olacak şekilde yaklaşık K-G doğrultulu açılan hendek, 28 metre uzunluğunda, 4.7 metre genişlikte ve ortalama 3.2 metre derinliğindedir (Şekil 6).



Şekil 6: a) Oklubalı hendek alanı fay morfolojisi, b) yorumlanmış hendek duvarı panoramik fotoğrafları
Figure 6: a) Fault morphology of Oklubalı trench area, b) interpreted panoramic photographs of the trench wall

4.1) Stratigrafi

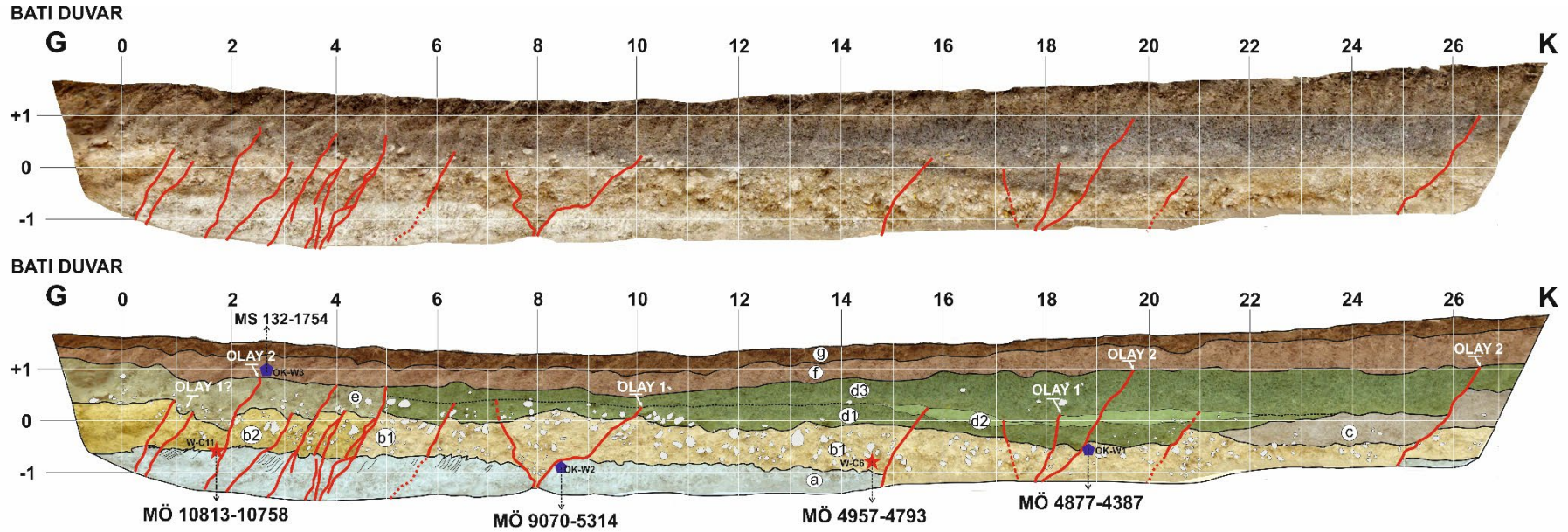
Oklubalı hendeğinde çift duvar başarılı bir şekilde loglanmış, her iki duvarda stratigrafik olarak 7 farklı birim ayırt edilmiştir (Tablo 1). Stratigrafik olarak tanımlanan en yaşlı birim Miyosen yaşlı kireçtaşı-marn ardalanmasına (a) ait ayrışma zonu olup, bu zon daha genç sedimanter paketler ile üzerlenmektedir. En alt seviyede yer alan ana kayanın üzerinde, bloklu-yarı köşeli iri çakıllı (b1) ve yarı/tam köşeli orta çakıllı (b2) kolüvyal çökeller tanımlanmıştır. Bu birimin üzerinde ise, hendeğin sadece kuzey ucunda organik olarak zengin paleotoprak birimi (c)

gözlenmektedir. Akarsu ortamında çökelen, yer yer çakıl içeren koyu kahverengi kalışli kil (d1), yer yer orta/iri çakıl içeren siltli kaba kum (d2) ile koyu kahverengi kalışli kil (d3) birimlerinden oluşan paket ise bu birimlerin üzerinde yer almaktadır. Hendeğin güney ucunda ise *d* birimleri ile yan yana gelmiş olan ve benzer özellikler gösteren ince-orta çakıl içeren kahverengi kalışli kil (e) birimi yer almaktadır. Bu birimler üstte doğru yer yer orta çakıl içeren kahverengi silt (f) birimi tarafından üzerlenirken, en üstte ise tüm birimler güncel bitkisel toprak seviyesi (g) tarafından örtülürler.

4.2) Yapısal ilişki

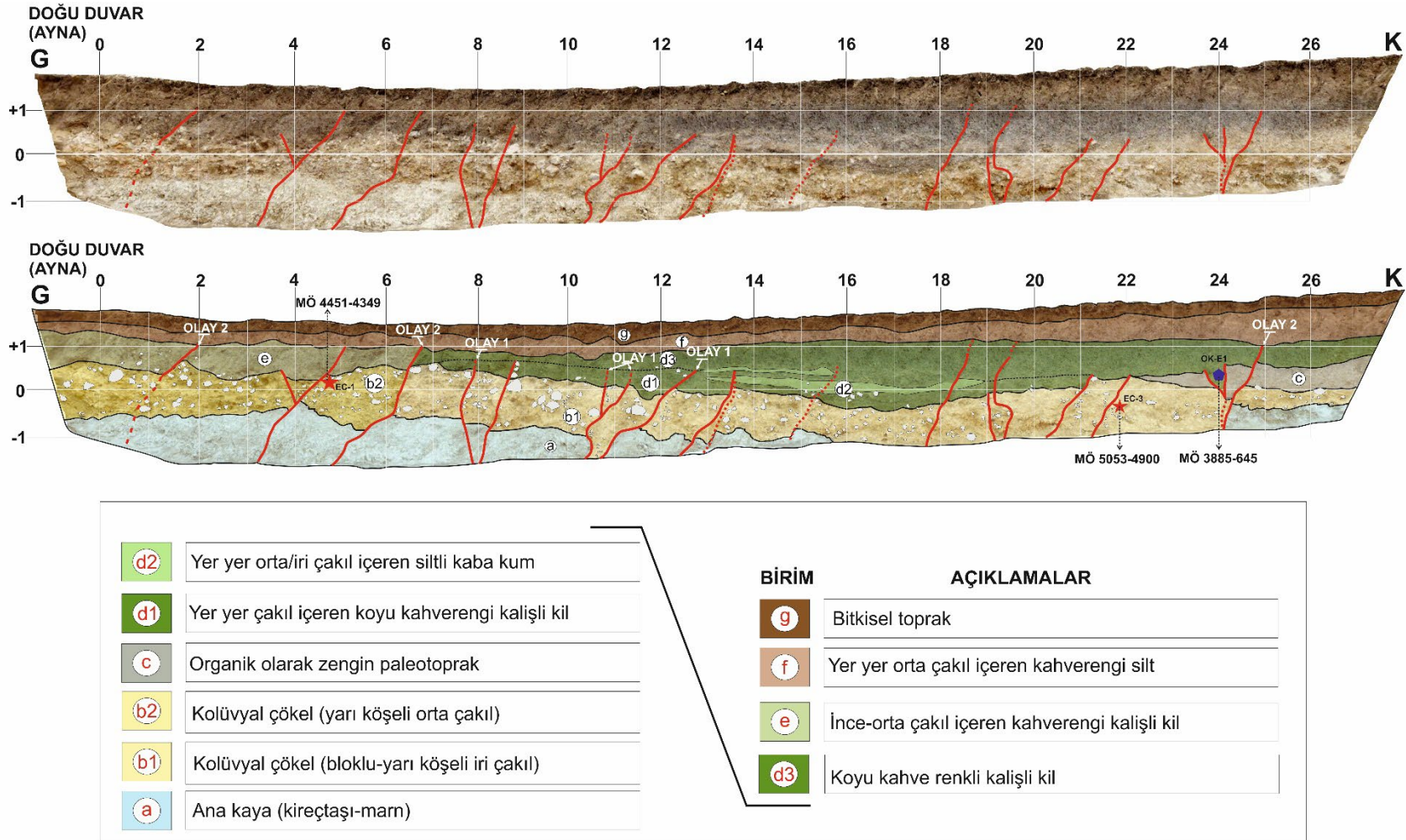
Oklubalı hendeğindeki deprem ilişkili deformasyon yaklaşık 25 m genişlikteki bir zon içerisinde gelişmiştir. Bununla birlikte hendeğin güneyinde gözlenen ana kayanın makaslama zonu içerisinde yoğun deformasyona uğradığı görülmektedir. Hendek, fayın türü göz önünde bulundurularak, fay gidişi ve varsa düşey yer değiştirmelerin de ortaya konulabilmesi için geniş ve derin açılmıştır (Şekil 7, Şekil 8). Fayların birimleri kesme ve birimler tarafından örtülme ilişkilerine göre değerlendirildiğinde 2 farklı olaya ait kırıkların varlığı dikkati çekmektedir. Hendek boyunca ilk olaya ait kırıklar hendek *a*, *b1*, *b2*, *d1* ve *d2* birimlerini kesmekte ve hendeğin güney kesiminde *e* birimi, hendeğin orta ve kuzey kesiminde ise *d3* birimi tarafından örtülmektedir. Aynı zamanda, bu olaya ait kırıkların hendeğin güney kesiminde bloklu ve iri çakıllı kolüvyal çökeller (*b1*) ile orta çakıllı kolüvyal çökelleri (*b2*) yan yana getirdiği görülmektedir. Hendek boyunca görülen 2'nci olaya ait kırıklar yaşlıdan gence sırasıyla, *a*, *b1*, *b2*, *d1*, *d2*, *d3* ve *e* birimlerini kesmekte ve *f* birimi tarafından örtülmektedir. 2'nci olaya ait kırıklar yüzeye en yakın kırıkları içermekte ve güneyde yüzeyden yaklaşık 50-60 cm derinde kuzeyde ise yüzeyden yaklaşık 90 cm derinde sonlanmaktadır. Her iki olayla ilişkili kırıklar boyunca çakılların uzun eksenleri boyunca kırıklara paralel şekilde dizilim gösterdikleri dikkati çekmektedir.

Tüm kırıklar birlikte değerlendirildiğinde kırıkların neredeyse tamamının güneye yüksek eğimli (70-90°) bir geometri sundukları görülmektedir. Olaylara ait kırılmalar tekil olarak değerlendirildiğinde 1'inci olaya ait kırıklarda 10-20 cm'ye kadar ulaşan düşey yer değiştirmeler görülmektedir. Benzer şekilde 2'nci olaya ait kırıklarda ise 30-40 cm'ye ulaşan düşey yer değiştirmeler görülmektedir. Kırıkların stratigrafik birimler ile olan kesme ve yer değiştirme ilişkileri bir arada değerlendirildiğinde fayların doğrultu atım ile beraber eğim atımlı normal bileşene (transtansiyonel) sahip oldukları görülmektedir.



BİRİM	AÇIKLAMALAR
d2	Yer yer orta/iri çakıl içeren siltli kaba kum
d1	Yer yer çakıl içeren koyu kahverengi kilişli kil
c	Organik olarak zengin paleotoprak
b2	Kolüvyal çökel (yarı köşeli orta çakıl)
b1	Kolüvyal çökel (bloklı-yarı köşeli iri çakıl)
a	Ana kaya (kireçtaşı-marn)
g	Bitkisel toprak
f	Yer yer orta çakıl içeren kahverengi silt
e	İnce-orta çakıl içeren kahverengi kilişli kil
d3	Koyu kahve renkli kilişli kil

Şekil 7: Oklubalı hendeği batı duvarı fotomozayik ve yorumlanmış logu (Kırmızı yıldızlar C14, mavi altgenler ise OSL örneklerinin yerini göstermektedir.)
Figure 7: Photomosaic and interpreted trench log of west wall of Oklubal trench (Red stars indicate the location of C14 samples, while blue hexagons indicate the location of OSL samples.)



Şekil 8: Oklubalı hendeği doğu duvarı(ayna görünümü) fotomozayik ve yorumlanmış logu (Kırmızı yıldızlar C14, mavi altgenler ise OSL örneklerinin yerini göstermektedir.)

Figure 8: Photomosaic and interpreted trench log of east wall (mirror symmetry) of Oklubalı trench (Red stars indicate the location of C14 samples, while blue hexagons indicate the location of OSL samples.)

4.3) Olay kronolojisi

Oklubalı hendeği duvarlarında ayırt edilen olayları tarihlendirmek amacıyla stratigrafik birimlerden 4 adet C14 ve 4 adet OSL olmak üzere 8 ayrı örnekleme yapılmıştır (Tablo 1). Stratigrafik birimlerden (a, b1, b2, d3 ve f) alınan örneklerden elde edilen yaşlar olası olay ilişkilerini doğrular niteliktedir. Elde edilen yaş sonuçlarına göre, ana kayanın ayrışma zonundan alınan C14 örneği MÖ 10813-10758 yıllarına tarihlenmiştir. Aynı birimden alınan OSL (Optically Stimulated Luminescence- Optik Uyarmalı Lüminesans) örneği ise MÖ 9070-5314 yıllarına tarihlenmiştir. b1 birimi içerisinde farklı seviyelerden alınan C14 örnekleri MÖ 5053-4900 ve MÖ 4957-4793 tarihlenmiş, aynı birimden alınan OSL örneği ise C14 örnekleri ile uyumlu olarak MÖ 4877-4387 yıllarına tarihlenmiştir. b2 biriminden alınan örnek MÖ 4451-4349 yıllarına tarihlenmiştir. Hendeğin kuzey kesiminde 1'inci olaya ait kırıkları örten d3 biriminden alınan örnek MÖ 3885-645 yıllarına tarihlenmiştir. d3 biriminin 1'inci olaya ait kırık ve bu kırığa antitetik konumda gelişmiş kırığı doldurduğu görülmektedir. d3 biriminin 1'inci olaya ait kırıkların üst sınırını örtmesi ve açılma geometrisi sunan kırıkları doldurması 1'inci olayın MÖ 4000'li yıllarda meydana gelen bir depremle kırılmış olabileceğini göstermektedir (Şekil 9).

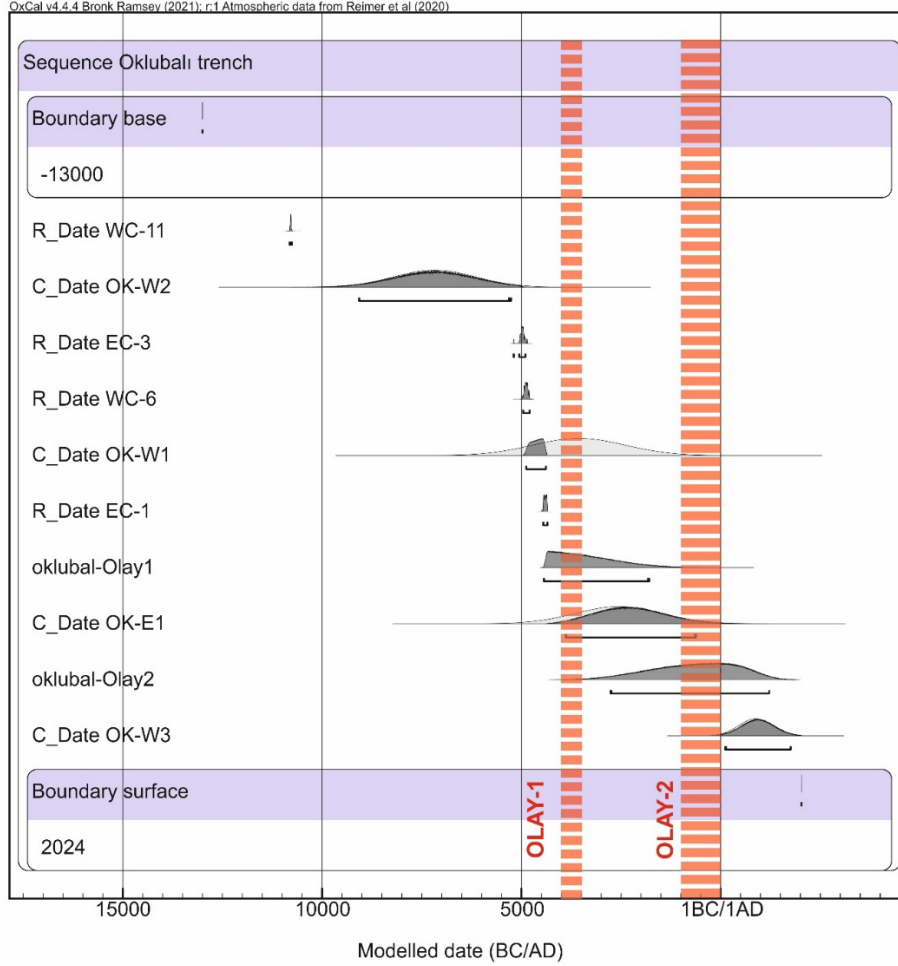
Hendekte ayırt edilen 2'nci olaya ait kırıklar f birimi tarafından örtülmektedir. f biriminden alınan örnek MS 132-1754 yıllarına tarihlenmiştir.

Oklubalı hendeğinden elde edilen veriler, Eskişehir Fayı üzerinde meydana gelen son depremlerin fayın önceki yüzey kırıkları üzerinde meydana geldiğini işaret etmektedir. Hendekte gözlenen kırıkların stratigrafik birimleri kesme ve yerdeğiştirme özellikleri, fay geometrisinin düşey bileşene sahip doğrultu atımlı fay karakterinde olduğunu göstermektedir.

Tablo 1: Oklupal hendeği radyokarbon ve OSL yaş analiz sonuçları (Geleneksel radyokarbon yaşları, Reimer ve diğ. (2020) veri tabanına göre kalibre edilerek takvim yaşına OxCal formatında dönüştürülmüş ve Ramsey (2009)'da verilen olasılık yöntemi kullanılarak en yüksek ihtimalli yaş aralıkları (INTCAL13) belirlenmiştir.)

Table 1: Radiocarbon and OSL age analysis results of the Oklupalı trench (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 (INTCAL13) were determined using the probability method given in Ramsey (2009).)

Hendek	Stratigrafik birim	Örnek No	Malzeme türü	Geleneksel radyokarbon yaşı		Takvim yılına kalibre edilmiş radyokarbon yaşı
				Yaş (GÖ)	Olasılık (%)	Tarih (MÖ/MS)
OKLUBALI	f	OK-W3	OSL	1150±420	95.3	MS 132-1754
	d3	OK-E1	OSL	4580±1080	95.4	MÖ 3885 - 645
	b2	EC-1	Kavkı	5571±29	95.4	MÖ 4451 - 4349
	b1	OK-W1	OSL	5580±1160	95.4	MÖ 4877 - 4387
	b1	WC-6	Sediman	5995±30	95.4	MÖ 4957 - 4793
	b1	EC-3	Sediman	6071±29	92.5	MÖ 5053 - 4900
	a	OK-W2	OSL	9200±1030	95.2	MÖ 9070 - 5314
	a	WC-11	Kavkı	10772±39	95.4	MÖ 10813 - 10758



Şekil 9: Oklubalı hendek duvarlarından toplanan radyokarbon yaşlarından elde edilen kalibre edilmiş C14 ve OSL yaşlarının olasılıksal dağılımı
 Figure 9: Probability distribution of calibrated 14C ages obtained from radiocarbon dates collected from the trench walls of Oklubalı

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Arazide yaklaşık 19 km'lik bir uzanım boyunca takip edilebilen İnönü-Oklubalı segmenti, genel anlamda D-B doğrultusunda uzanmakta ve Oklubalı doğusunda GD'ya kavis yaparak sonlanmaktadır. Yapılan gözlemler segmentin bölgedeki deformasyonda önemli bir rolü olduğu ve morfolojiyi denetlediğini göstermektedir.

İnönü-Oklubalı segmentinde yapılan jeolojik arazi gözlemleri, fay uzanımı boyunca eğim atımlı düşey yer değiştirmelerin varlığını belirgin şekilde ortaya koymaktadır. Düşey yer değiştirmeye ait bu veriler tamamıyla fay düzlemlerindeki kinematik verilerle kendini kanıtlamaktadır. Özellikle İnönü yakınlarında görece belirgin olan fay sarplığı, baskın normal faylanmanın jeolojik geçmişte uzunca bir dönem bölgeyi kontrol ettiğinin göstergesidir. Bununla birlikte, özellikle genç dere yatağı yer değiştirmeleri ve benzeri morfolojik belirteçler bu uzanım boyunca güncel hareketin doğrultu atımlı karaktere evrildiğini göstermektedir. Örneğin Şekil 4b'de sunulan morfolojik sarplık önünde genç bir dere yatağı net şekilde çarpılmakta ve fay morfolojisi boyunca sağ yanal yer değiştirmektedir. Önceki çalışmalarda (örneğin; Heidbach ve diğ. 2016 ve Seyitoğlu ve diğ. 2016) ortaya konulan baskın gerilme yönleri ve deprem odak mekanizmaları da güncel doğrultu atımlı hareketin varlığını destekler niteliktedir. Bu çalışma kapsamında Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı segmentinde yürütülen paleosismolojik çalışmalar ile literatürde ilk kez segmentin Holosen aktivitesine dair analitik yaş verileri elde

edilmiştir. Hendek çalışmasında belirlenen güncel fay izlerine ait geometri, İnönü-Oklubalı segmentinin güncel olarak doğrultu atımlı faylanma karakterine sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Stratigrafik olarak ayırt edilen olay tanımlamaları, segment üzerinde son 10800 (W-C11) yıl içerisinde çökelmiş birimlerin en az 2 farklı deprem ve yüzey faylanması ile kesildiğini göstermektedir. Bu durum fay uzanımının tekrarlanan depremler ürettiğini ve Holosen döneminde aynı uzanımı kullandığını kanıtlamaktadır.

Eskişehir Fayı'nın genel uzanımı boyunca farklı segmentlerinde yapılan paleosismolojik çalışmalarda, fayın Holosen aktivitesi kanıtlanmış olmakla birlikte, deprem tekrarlanma aralıklarına ait kısıtlı veriler sunulmuştur. Örneğin, Ocakoğlu ve diğ. (2005) Sultandere, Çukurhisar ve İnönü segmentleri üzerinde yaptığı derin hendek çalışmalarında olasılıkla sedimantasyon hızının deprem tekrarlanma aralığına oranla daha yüksek olması yüzünden herhangi bir güvenilir paleosismolojik veri elde edememiştir. Altunel ve diğ. (2015) ise, Eskişehir'in yaklaşık 8 km batısında açtıkları bir hendekte alüvyal bir terasın fay tarafından kesildiğini ve fay aynası önünde kolüvyal kamaların geliştiğini gözlemişler ve bu çökeller içinde son 12000 yıl içinde en az 3 adet yüzey kırığı oluşturan deprem tarihlendirmişlerdir. En son depremin ise günümüzden yaklaşık 3200 yıl önce meydana geldiğini ileri sürmüşlerdir. Kürçer ve diğ. (2014), ise Turgutlar-Kalkanlı segmenti üzerinde yaptıkları paleosismolojik hendek çalışmasında en az 3 paleosismik olayın varlığını ortaya koymuştur. Hendekten toplanan verilere göre son paleosismik olayın MS 1280-1320 arasında oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Çalışma alanında İnönü-Oklubalı segmentinde elde edilen en önemli eski deprem verisi ise Ocakoğlu ve diğ. (2009) tarafından öne sürülmüştür. İnönü'de fay boyunca gelişmiş 3 moloz akması 18000 yıl, 7900 yıl öncesine ve 1960'lara tarihlendirilmiş ve bu kütle hareketini tetikleyen en önemli etkenlerden birinin fay boyunca ortaya çıkan depremler olabileceği öne sürülmüştür.

Bu çalışmada gerçekleştirilen paleosismolojik hendek çalışmalarında elde edilen veriler tekrarlayan yüzey faylanmalarını ayırt etmeye yetecek veri sunmamış olmakla birlikte, 2 eski yüzey faylanmasının net olarak ayırtlanmasını sağlamıştır. Hendek loglarının paleosismolojik yorumlarına göre, bir önceki olay günümüzden yaklaşık 6000-6500 yıl önce (%80 ihtimal); en genç olay ise günümüzden yaklaşık 2000-3000 yıl önceye (%70 ihtimal) tarihlendirilmiştir. Hendek içerisinde saptanan depremler Eskişehir ve çevresinin tarihsel dönem kataloglarının geriye yönelik sınırlandırmaları nedeniyle tarihsel kayıtlar ile ilişkilendirilememiştir. Bununla birlikte segment üzerinde Ocakoğlu ve diğ. (2009) tarafından önerilen tetiklenmiş kütle hareketi (yaklaşık günümüzden 7900 yıl önce) ile tarafımızdan tarihlenen önceki yüzey faylanması (Olay1, günümüzden 6000-6500 yıl önce) olaylarının hata payları da göz önünde bulundurularak aynı büyük depreme işaret edebilme durumu dikkate değerdir. Dahası Altunel ve diğ. (2015) tarafından önerilen 3200 yıl önceki yüzey faylanması, komşu segmentle birlikte bir arada kırılma ve/veya yakın zamanda fay üzerinde aktarılan gerilme ile yeni depremin tetiklenmesi olarak değerlendirilebilir.

Mevcut bulgulara göre, Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı segmentinin kabaca 3000-3500 yıl aralıklı yüzey kırığı ürettiği ve son yüzey faylanmasından bu yana 2500-3000 yıl geçtiği öne sürülebilir. Ayrıca elde edilen bulgular, tarihsel deprem kataloglarında 10 Temmuz 1895 tarihli İnönü (Ambraseys 2009) ve 20 Şubat 1956 ($M_w= 6.5$) Eskişehir depremlerinin yüzey kırığı geliştirmediklerine veya Eskişehir Fayı'nın İnönü-Oklubalı segmentinden kaynaklanmadığına işaret etmektedir. Bu durum, son depremden sonra geçen zaman göz önüne alındığında, iki şekilde yorumlanabilir: 1) 20 Şubat 1956 ($M_w= 6.5$) Eskişehir depremi herhangi bir yüzey faylanması oluşturmamıştır ve Turgutlar Kalkanlı segmenti tekrarlanma aralığı (Altunel ve diğ. 2015) ile birlikte değerlendirildiğinde fay uzanımı 3000 yıllık bir suskunluk ile önem taşımaktadır, 2) 20 Şubat 1956 ($M_w= 6.5$) Eskişehir depremi komşu Turgutlar-Kalkanlı segmentinde yüzey kırığı oluşturmuştur ve olasılıkla İnönü-Oklubalı segmentinde gerilme yüklenmesine sebep olmuştur. Her iki durumda yaklaşık 19 km'lik fay segmenti üzerinde önerilen en az 1 mm/yıllık kayma hızı (Ocakoğlu ve Açıkalin 2009) ve 3000 yıllık suskunluk ile

birlikte değerlendirildiğinde, segment boyunca her an yüzey kırığı üretebilecek büyüklükte deprem meydana gelme riski oldukça yüksektir.

KAYNAKLAR

AFAD, 2024. DDA deprem kataloğu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>.

Aktuğ B., Parmaksız E., Kurt M., Lenk O., Kılıçoğlu A., Gürdal M.A., Özdemir S., 2013. Deformation of Central Anatolia: GPS Implications, *Journal of Geodynamics*, 67-78.

Altunel E., Barka A., 1998. Eskişehir Fay Zonunun İnönü ve Sultandere arasında neotektonik aktivitesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41, 41-52.

Altunel E., Ocakoğlu F., Karabacak V., Orhan A., Yalçiner C.Ç., 2003. Odunpazarı Belediyesi İçinde İmara Kapatılan Alanın Yerleşime Uygunluk Açısından İncelenmesi, Odunpazarı Belediyesi İçin Hazırlanmış Etüt Raporu (yayımlanmamış).

Altunel E., Karabacak V., Yalçiner C.Ç., Altınok S., Tunçel E., 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. ISBN 978 0 521 87292 8. <https://doi.org/10.1017/S0016756810000452>.

Ayday C., Atlan M., Nefeslioğlu H.A., Canıgür A., Yerel S., Tün M., 2001. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Eskişehir Yerleşim Yerinin Yerleşim Amaçlı Jeoloji ve Jeoteknik Etüt Raporu. Anadolu Üniversitesi, Uydu ve Uzay Bilimleri Araştırma Enstitüsü, Eskişehir.

Barka A., 1992. The North Anatolian fault zone, *Annales Tectonicae*, 6, 164-195.

Barka A., Kadinsky-Cade K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity, *Tectonics*, 7, 663-684.

Barka A., Reilinger R., Şaroğlu F., Şengör A.M.C., 1995. The Isparta Angle: Its evolution and importance in the tectonics of the eastern Mediterranean region: Int. Earth Sci. Colloq. Aegean Region, Abs., p.6.

Canitez N., Üçer B., 1967. Computer determinations for the fault-plane solutions in and near Anatolia, *Tectonophysics*, 4, 235-244.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., 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. *Bull Earthquake Eng.*, <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>.

Gözler M.Z., Cevher F., Küçükayman A., 1985. Eskişehir civarının jeolojisi ve sıcak su kaynakları, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 21, 39-54.

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., Sançar T., Yıldırım G., Uysal T., 2022. When did the North Anatolian fault reach southern Marmara, Turkey? *Geology*, 50, 432-436, <https://doi.org/10.1130/G49726.1>.

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>.

KRDAE, 2024. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>.

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, *Geophys. J.R. Astro. Soc.*, 30, 109-185.

Ocakoğlu F., 2007. A re-evaluation of the Eskişehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey, *J. Asian Earth Sci*, 31, 91-103.

Ocakoğlu F., Açıkalın S., 2009. Late Pleistocene fault-induced uplift and consequent fluvial response in Eskişehir Fault Zone NW Anatolia, *Zeitschrift Fur Geomorphologie*, 53(1), 121-136.

Ocakoğlu F., Açıkalın S., 2010. Field evidences of secondary surface ruptures occurred during the 20 February 1956 Eskişehir earthquake in the NW Anatolia, *J. Earth Syst. Sci.*, 119(6), 841-851.

Ocakoğlu F., Açıkalın 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.

Ocakoğlu F., Açıkalın 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, *B. Eng. Geo. I Env.*, 66, 353-360.

Ocakoğlu F., Altunel E., Yalçiner C.Ç., 2005. Eskişehir bölgesinin neotektonik dönemdeki tektono-stratigrafik ve sedimantolojik gelişimi, Eskişehir, Turkey: Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Final Raporu (in Turkish).

Okay A.I., Satir M., Zattin M., Cavazza W., Topuz G., 2008. An Oligocene ductile strike-slip shear zone: The Uludağ Massif, northwest Turkey—Implications for the westward translation of Anatolia, *GSA Bulletin* 120, 893-911.

Open Topo Map, 2023. Topographische Karten aus OpenStreetMap, Erişim adresi: <https://opentopomap.org/>.

Öcal N., 1959. 20 Şubat 1956 Eskişehir Zelzelesinin Makro ve Mikrosismik Etüdü. İstanbul, Turkey: İTÜ Sismoloji Enstitüsü (in Turkish).

Özalp S., Emre Ö., Doğan A., 2013. The segment structure of Southern Branch of the North Anatolian Fault and paleoseismological behaviour of the Gemlik Fault, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 147, 1-17.

Peacock D., Parfitt E., 2002. Active relay ramps and normal fault propagation on Kilauea Volcano, Hawaii, *Journal of Structural Geology- J. STRUCT. GEOL.*, 24, 729-742.
[https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(01\)00109-2](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(01)00109-2).

Ramsey B.C., 2009. Bayesian analysis of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, 51(1), 337-360.

Reillinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Çakmak R., Özener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., ArRajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.

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*, 2020, 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.

Selim H.H., Tüysüz O., 2013. The Bursa-Gönen Depression, NW Turkey: a complex basin developed on the North Anatolian Fault, *Geological Magazine* 150(5), 801-821.

Seyitoğlu G., Ecevitöglu 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 J. Earth. Sci.*, 24, 1-20.

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., Kaypak B., Aktuğ B., Gürbüz E., Esat K., Gürbüz A., 2016. An alternative route for the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, NW Turkey, *Geological Bulletin of Turkey*, 59(2), 115- 130.

Seyitoğlu G., Esat K., 2022. Uludağ Extensional Metamorphic Core Complex: preliminary field observations, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 169, 49-61.

Şaroğlu F., Emre Ö., Doğan A., 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., 1979. The North Anatolian Transform Fault: its age, offset and tectonic significance, *J. Geol. Soc. London*, 136, 269-82.

Şengör A.M.C., Görür N., Şaroglu 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, Edited by Biddle, K.T, and Mineralogists Special Publication, No. 37, 227-264.

Şengör A.M.C., Tüysüz O., Imren C., Sakinç M., Eyidogan H., Görür N., Le Pichon X., Rangin C., 2005. The North Anatolian fault: A new look, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 37-112.

Tokay F., Altunel E., 2005. Eskişehir Fay Zonu'nun İnönü-Dodurga Çevresinde Neotektonik Aktivitesi, *MTA Dergisi*, 130, 1-15

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. In: 19th International Geophysical Congress & Exhibition, Ankara, Turkey.

Yaltırak C., 2002. Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings, *Marine Geology*, 190, 493-529.

Yaltırak C., Alpar B., Yüce H., 1998. Tectonic elements controlling the evolution of the Gulf of Saros (northeastern Aegean Sea, Turkey), *Tectonophysics*, 300, 227-248.

Yaltırak C., Mehmet S., Tapırdamaz C., Ocakoğlu F., Demiroğlu M., Özsayın E., Açıkalin S., 2010. Batı Anadolu ve Ege'de Miyosen tektonik bulmacasının kayıp parçası Trakya Eskişehir Fay Zonu TEFZ. 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, Turkey.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 123G010 numaralı TÜBİTAK-KAMAG projesi (Yürütücü Prof. Dr. Volkan Karabacak) tarafından desteklenmiştir ve ilk yazarın (İsmet Elma) ESOGÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde devam eden doktora tezinin bir kısmını içermektedir. Çalışma sırasında tarihlendirme amaçlı radyokarbon çökeller TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi (MAM) laboratuvarlarında, OSL analizleri ise Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (YEBİM) laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, hakem sürecinde yapıcı değerlendirmelerinden dolayı adı belirtilmemiş hakemlere ve ayrıca konu editörü Prof. Dr. Azad Sağlam Selçuk'a teşekkür eder. Yazarlar, analitik yaşların kalibrasyonu aşamasında görüşlerini paylaşan Doç. Dr. Cengiz Zabcı'ya ve arazi çalışmaları sırasındaki desteklerinden dolayı Mirza Agha Safarov'a teşekkür eder.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ

Yazarlar, bu araştırma kapsamında yer alan bilgilerin, herhangi bir kişiye, kuruma finansal çıkar sağlamayı ve kişisel/kurumsal menfaat kazandırmayı amaçlamadığını beyan etmektedir.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): V.K.
- Literatür araştırması (*Literature research*): İ.E., V.K.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): İ.E., B.Ö., V.K., Ç.Ö., Ö.S.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): İ.E., V.K.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): İ.E.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): V.K., Ç.Ö., Ö.S.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): İ.E., V.K., Ç.Ö., Ö.S.