



Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcik Segments of the 6 February 2023 Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake: Observations from Celikhan-Golbasi (Adiyaman)

Ercan Aksoy¹, Elif Akgun¹, Mustafa Softa^{2,3}, Fikret Kocbulut⁴, Hasan Sozibilir^{2,3}, Orhan Tatar⁵ and Serap Colak Erol¹

¹ Firat University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 23119 Elazig, Turkiye

² Dokuz Eylul University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 35390 Izmir, Turkiye

³ Dokuz Eylul University, Earthquake Research and Implementation Center 35390 Izmir, Turkiye

⁴ Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering, 58140 Sivas, Turkiye

⁵ Ministry of Interior, Disaster and Emergency Management Presidency, 06800 Ankara, Turkiye

ORCID: 0000-0001-5078-7217, 0000-0002-6556-2413, 0000-0001-5064-9260, 0000-0003-3578-029X, 0000-0002-3777-4830, 0000-0001-9579-1607, 0000-0003-1957-3012

Keywords

East Anatolian Fault Zone, Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake, Surface rupture, Pull-apart basin.

Highlights

- * Effects of the Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake on the Erkenek segment
- * Surface Rupture Mapping
- * Deformation distribution along the East Anatolian Fault Zone

Aim

This study aims to evaluate the surface ruptures related to the 6 February 2023 Pazarcik earthquake on a regional scale.

Location

The study area is located on the Erkenek and Pazarcik segments of East Anatolian Fault Zone between the Celikhan and Golbasi (Adiyaman)

Methods

Field survey, surface rupture mapping, kinematic analysis

Results

The total surface rupture length is 80 km on the Erkenek and Pazarcik segments with the maximum left lateral displacement of 2.90 m and 3.80 m, respectively.

Supporting Institutions

--

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received financial support from TUBITAK/1002C (Project No: 123D004).

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 10.04.2023

Revised: 06.06.2023

Accepted: 06.06.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1280408

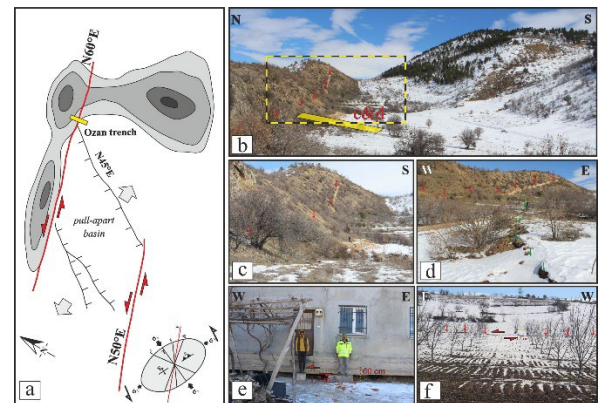


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Ercan Aksoy

Email: eaksoy@firat.edu.tr



Figure

a) Sketch drawing of the surface rupture developed at the Ozan trench location associated with the deformation ellipsoid, b) trench location and general and (c,d) close-up terrain view of surface rupture, e) the view of 1.70 m left lateral offset and approximately 60 cm vertical displacement developed on the step of the house with a surface rupture in Ozan village, f) the view of the 1.50 m left lateral displacement developed by the surface rupture in the tree lines

How to cite:

Aksoy E., Akgun E., Softa M., Kocbulut F., Sozibilir H., Tatar O., Erol S.C., 2023. Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcik Segments of the 6 February 2023 Pazarcik (Kahramanmaras) Earthquake: Observations from Celikhan-Golbasi (Adiyaman), Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 85-104, <https://doi.org/10.46464/tdad.1280408>



6 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu Erkenek ve Pazarcık Segmentleri Üzerindeki Etkisi: Çelikhhan-Gölbaşı (Adıyaman) Arasından Gözlemler

Ercan Aksoy¹, Elif Akgün¹, Mustafa Softa^{2,3}, Fikret Koçbulut⁴, Hasan Sözbilir^{2,3}, Orhan Tatar⁵, Serap Çolak Erol¹

¹ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ, Türkiye

² Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 35390 İzmir, Türkiye

³ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 Sivas, Türkiye

⁵ Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 06800 Ankara, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5078-7217, 0000-0002-6556-2413, 0000-0001-5064-9260, 0000-0003-3578-029X, 0000-0002-3777-4830, 0000-0001-9579-1607, 0000-0003-1957-3012

ÖZET

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) güney kolunu oluşturan parçalarda 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen $M_w=7.7$ büyüklüğündeki Pazarcık (Kahramanmaraş) depremine bağlı olarak gelişen yüzey kırıklarının, 1/25.000 ölçeğinde haritalanarak belirlenen morfolojisi ve atım miktarları esas alınarak bölgesel ölçekte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yüzey kırığı üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda, Çelikhhan'da 2.90 m olarak ölçülen sol yanallı yer değiştirmenin Gölbaşı/Balkar'a doğru 3.80 m'ye ulaştığı, ana şokun olduğu yere yaklaştıkça da arttığı görülmektedir. Çelikhhan'da dar bir deformasyon zonu geliştiren yüzey kırığı, Gölbaşı/Balkar mevkiine doğru sola sıçrama yaparak genişlemeli bir deformasyon zonu oluşturmaktadır. Bu duruma bağlı olarak 60 cm'ye varan düşey atımların da ölçüldüğü söz konusu alanda küçük ölçekli çek-ayır havzaların geliştiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Doğu Anadolu Fay Zonu, Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi, Yüzey kırığı, Çek-ayır havza

Öne Çıkanlar

- * Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminin Erkenek segmenti üzerindeki etkileri
- * Yüzey kırığı haritalama
- * Doğu Anadolu Fay Zonu Boyunca Deformasyon Dağılımı

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 10.04.2023

Düzeltilme: 06.06.2023

Kabul: 06.06.2023

Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1280408

Sorumlu yazar

Ercan Aksoy

Eposta:

eaksoy@firat.edu.tr

Effect on the Eastern Anatolian Fault Zone Erkenek and Pazarcık Segments of the 6 February 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake: Observations from Celikhhan-Golbasi (Adıyaman)

Ercan Aksoy¹, Elif Akgün¹, Mustafa Softa^{2,3}, Fikret Koçbulut⁴, Hasan Sozbilir^{2,3}, Orhan Tatar⁵, Serap Colak Erol¹

¹ Fırat University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 23119 Elazığ, Türkiye

² Dokuz Eylül University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering 35390 İzmir, Türkiye

³ Dokuz Eylül University, Earthquake Research and Implementation Center 35390 İzmir, Türkiye

⁴ Cumhuriyet University, Engineering Faculty, Department of Geology Engineering, 58140 Sivas, Türkiye

⁵ Ministry of Interior, Disaster And Emergency Management Presidency, 06800 Ankara, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5078-7217, 0000-0002-6556-2413, 0000-0001-5064-9260, 0000-0003-3578-029X, 0000-0002-3777-4830, 0000-0001-9579-1607, 0000-0003-1957-3012

ABSTRACT

This study aims to evaluate on a regional scale the surface ruptures that developed on the segments forming the southern branch of the Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ), on 2023 February 6, based on the morphology and slip amounts determined by mapping at 1/25,000 scale. It has in sight that the left lateral displacement, which measured 2.90 m at Celikhhan, reached 3.80 m towards Golbasi/Balkar along the surface rupture and increased as close to the location of the main shock. The surface rupture developing a narrow deformation zone in Celikhhan forms an extensional deformation zone by stepping to the left towards Golbasi/Balkar locality. Due to this situation, small-scale pull-apart basins have developed in the area, where vertical offsets up to 60 cm are also measured.

Keywords

East Anatolian Fault Zone, Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake, Surface rupture, Pull-apart basin

Highlights

- * Effects of the Pazarcık (Kahramanmaraş) Earthquake on the Erkenek segment
- * Surface Rupture Mapping
- * Deformation distribution along the East Anatolian Fault Zone

Manuscript

Research Article

Received: 10.04.2023

Revised: 06.06.2023

Accepted: 06.06.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1280408

Corresponding Author

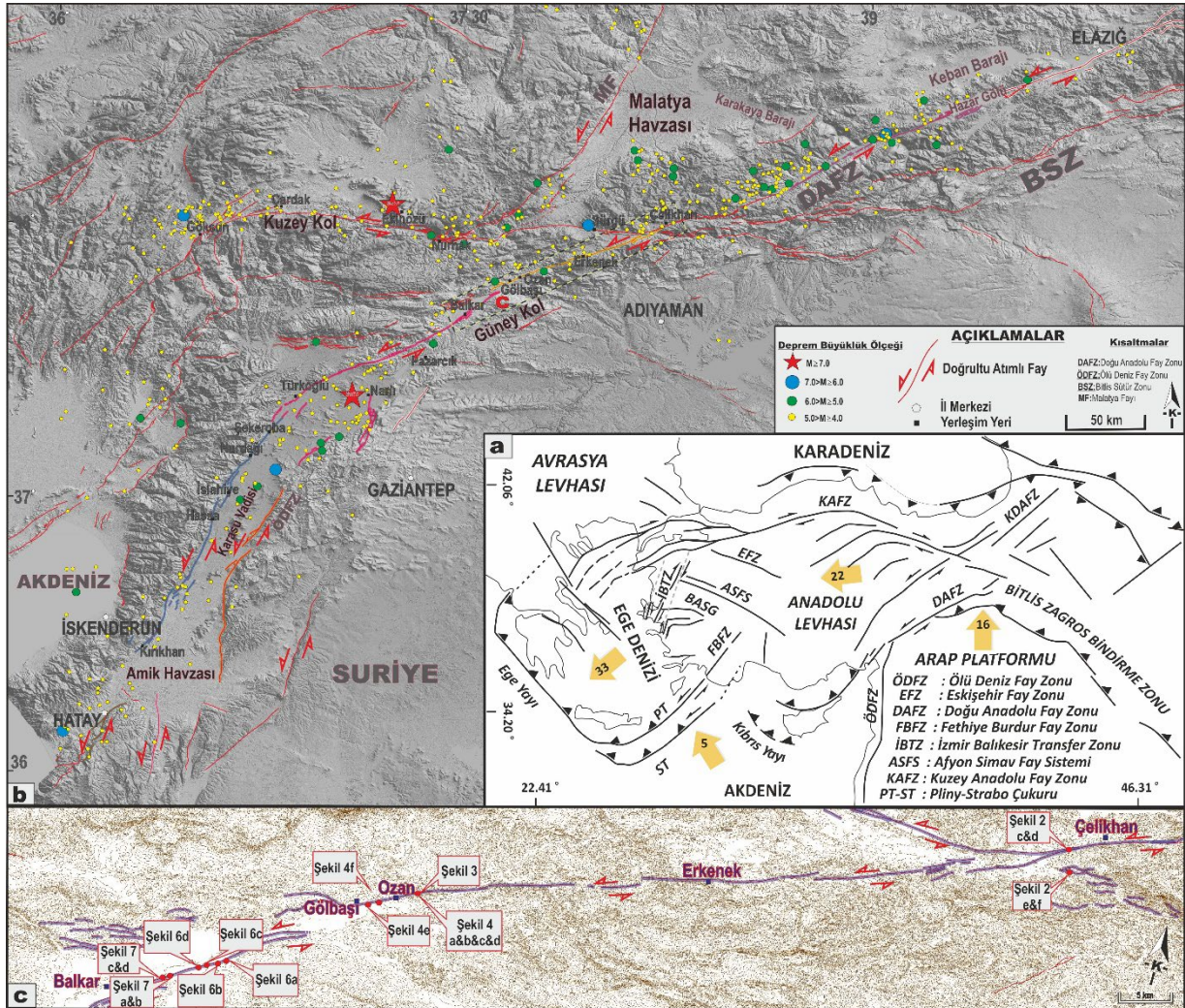
Ercan Aksoy

Email:

eaksoy@firat.edu.tr

1. GİRİŞ

Doğu Anadolu'daki son tektonik rejim değişikliğiyle meydana gelen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Arabistan Levhası ile Anadolu Bloğu arasındaki sınırı oluşturan kıta içi sol yanıl doğrultu atımlı bir fay zonudur (Şengör ve diğ. 1985, Muehlberger ve Gordon 1987). Kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) üçlü eklemünde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), güneybatıda Amik Havzası'nda ise Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile birleşen KD-GB uzanımlı DAFZ, yaklaşık 580 km uzunluğa sahiptir (Şekil 1a) (Şengör ve diğ. 1985, Saroglu ve diğ. 1992). DAFZ, geometrisi esas alınarak araştırmacılar tarafından farklı sayıda segmentlere bölünmüştür (Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Saroglu ve diğ. 1992, Herece 2008, Duman ve Emre 2013).



Üzerinde sınırlı sayıda paleosismoloji çalışmaları (Yönlü 2012) bulunan DAFZ'nin, Pütürge segmentinin kuzeydoğu ucunda 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelmiş olan Sivrice-Doğanyol Depreminden ($M_w=6.8$) sonra fay zonu boyunca meydana gelen depremlerin (Şekil 1b) tekrarlanma aralığının tespit edilebilmesi ve deprem davranışının anlaşılabilmesi için fay zonu boyunca paleosismoloji, jeodezi ve sismolojik açıdan çok sayıda çalışma başlatılmıştır. Sivrice-Doğanyol Depremi sonrası yapılan saha çalışmaları ve sismolojik çalışmalar depremin özellikle güney segmentlere enerji transfer ettiğini göstermiştir (Tatar ve diğ. 2020). Aletsel dönemde Kuzey Anadolu Fay Zonu'na oranla daha az sismik aktiviteye sahip olan DAFZ'nin tarihsel kayıtlara göre 19. yy. da çok sayıda yıkıcı deprem ile kırıldığı bilinmektedir (Ambraseys 1989).

Bunun yanında, 06 Şubat 2023 saat 04:17'de $M_w=7.7$ Kahramanmaraş/Pazarcık ve saat 13:24'te $M_w=7.6$ Kahramanmaraş/Elbistan depremleri (AFAD 2023) (Şekil 1b) Türkiye'nin güneydoğusu ve Suriye'de çok sayıda can kaybı ve büyük yıkımlara yol açmıştır. Kahramanmaraş/Pazarcık depremi Doğu Anadolu Fay Zonu'nun sismik boşluk olarak tanımlanan (Yönlü ve diğ. 2017) Pazarcık segmenti üzerinde meydana gelmiştir.

Bir faydan kaynaklanacak orta büyüklük ($M \geq 6$) veya üzerindeki bir deprem sonucunda yer yüzeyinde ortaya çıkabilecek deformasyon olarak tanımlanan yüzey faylanmasının, depremin büyüklüğü, odak derinliği, fay geometrisi, kırılma süreci ve yayılımı, fayın etkilediği ve yüzeye yakın birimlerin içsel özellikleri (reoloji) ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (Gürboğa ve diğ. 2016). Söz konusu depremlerden hemen sonra gerçekleştirilen bu çalışma, (i) yüzey kırığı haritalanması, (ii) kinematik analizler, (iii) atım miktarlarının yerinde ölçülebilmesi ve (iv) Pazarcık depreminin Doğu Anadolu Fay Zonu ve Ölüdeniz Fay Zonu içinde kinematik, sismolojik ve jeolojik açıdan değerlendirilmesi amacıyla Kahramanmaraş/Pazarcık depreminin yüzey kırığının izlendiği Balkar (Gölbaşı, Adıyaman)-Çelikhhan (Adıyaman) lokasyonları arasındaki saha gözlemlerini bildirmektedir (Şekil 1c).

1.1) Jeolojik ve Tektonik Özellikler

Doğu Anadolu'da neotektonik rejim başlangıcının günümüzden yaklaşık 12 milyon yıl öncesinde, Serravaliyen (Miyosen) katının son dönemlerinde başladığı kabul edilmektedir (Yılmaz ve diğ. 1987, Kocyigit ve diğ. 2001). Bu araştırmalarda, söz konusu neotektonik rejim değişimine, yaklaşık 12 milyon yıl önce Neotetis Okyanusu tabanının, yitime bağlı olarak tamamen yok olmasıyla, Avrasya ile Arabistan plakalarının çarpışmasının neden olduğu belirtilmektedir. Çarpışmayı takiben gelişen yeni bir tektonik rejim ile eşzamanlı olarak magmatik aktivite de başlamıştır. Doğu Anadolu'da neotektonik dönem boyunca, bölgesel bir yayılım gösteren D-B uzanımlı kıvrımlar ve bindirmeler ile eşlenik doğrultu-atımlı faylar etkin olmaya başlamış; ayrıca volkanların çıkışlarını denetleyen K-G yönlü açılma çatlakları da gelişmiştir. Çarpışma sonrası kıta-kıta birleşmesini takip eden bu dönemdeki etkin deformasyon, kabuk kısılması ve kalınlaşması, dolayısıyla da bölgenin yükselmesine neden olmuştur (Yılmaz ve diğ. 1987). Çarpışmadan sonra da bölgede devam eden K-G doğrultulu sıkışma etkisiyle kalınlaşan kabuk, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu transform faylarının oluşmasına, sonrasında ise K-G sıkışma tektoniğine uyum sağlamıştır (Yılmaz ve diğ. 1987). Kıta-kıta çarpışmasının olduğu bu bölgede, oluşan Bitlis Sütur Zonu (BSZ) (Şekil 1b) daha doğuda İran sınırına kadar uzanır. Bazı yeni araştırmalarda, Geç Miyosen sonu ile Erken Pliyosen sonu arasındaki dönemde, sıkışma ve kısılma ile temsil edilen tektonik rejimin, ancak Bitlis Kenet Kuşağı boyunca etkin olabileceğinden söz edilmektedir (Kocyigit ve diğ. 2001). Erken Pliyosen sonlarında sağ yönlü Kuzey Anadolu Fay Zonu, sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu ve ikisi arasında, Afrika okyanusal litosferine doğru kaçmaya başlayan Anadolu Plakacığı olmak üzere başlıca 3 ana yapının meydana geldiği bilinmektedir. Kocyigit ve diğ. (2001), sıkışmalı-daralmalı tektonik rejimin yerini, Geç Pliyosen'de doğrultu atımlı rejime bıraktığını, dolayısıyla da neotektonik dönemin başladığını belirtirler.

1.2) Doğu Anadolu Fay Zonu

Kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Akdeniz arasında uzanan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), ülkemizin deprem riski açısından en önemli sismik kaynaklarının başında gelir. Önceki çalışmalarda, ilkin Karlıova-Bingöl arasında Altınlı (1963) ve Ketin (1968) tarafından bir çizgisellik olarak haritalanan DAFZ'nin varlığı, ilk kez Allen (1969) tarafından tanımlanmıştır. Zon, 1971 Bingöl depremi (M=6.8) sonrasında birçok araştırmacının (Arpat ve Şaroğlu 1972, Ambraseys 1989) çalışma konusu olmuş ve "Doğu Anadolu Fay Zonu" olarak isimlendirilerek Amik Havzası'na kadar haritalanmıştır (Arpat ve Şaroğlu 1972). Literatürde fay zonunun başlangıç yerinin Karlıova (Bingöl) olduğu konusunda fikir birliği sağlansa da fayın güneybatıya olan uzanımı hakkında farklı görüşler ileri sürülmüştür. Bu kapsamda, bazı araştırmacılar (Muehlberger ve Gordon 1987) DAFZ'nin Karlıova (Bingöl) ile Türkoğlu (Kahramanmaraş) üçlü eklemeleri arasında bir uzanımına sahip olduğunu belirtirler.

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında; Duman ve Emre (2013), DAFZ'yi kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayırarak incelemişlerdir (Şekil 1b). Araştırmacılar, Karlıova (Bingöl) ve Antakya arasındaki yaklaşık 580 km uzunluğa sahip olduğunu belirttikleri güneydeki kolu ana kol olarak kabul etmişler ve Amik (Hatay) üçlü eklemesinde Ölü Deniz Fay Zonu ve Kıbrıs Yayı ile birleştiğini öne sürmüşlerdir. Yaklaşık 350 km uzunluğa sahip ve İskenderun Körfezi'nde Girne-Misis Fay Zonu ile birleştiğini ifade ettikleri kuzey kolu ise Sürgü-Misis Fay Sistemi olarak adlandırmışlar ve dokuz segmentten oluştuğunu ileri sürmüşlerdir (Şekil 1b). Kuzey kolun, çalışma alanındaki en doğu segmenti, aynı yazarlar tarafından Sürgü Fayı (segmenti) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan ve Çelikhhan (Adıyaman) yakınlarında DAFZ ile birleşen ya da ondan ayrılan bir görüntü veren Sürgü Segmenti (SS), bazı çalışmalarda da (Arpat ve Saroğlu 1972) DAFZ'nin bir kolu olarak haritalanmıştır. Buna karşın, DAFZ'nin kuzey ve güney kolları arasında transfer görevi gören bu segment üzerine yapılan bazı çalışmalarda (Perinçek ve Kozlu 1984) Çardak-Sürgü Fayı olarak isimlendirilirken, bazı çalışmalarda ise (Saroglu ve diğ. 1992) batı bölümünün ayrı bir fay olduğu belirtilerek bu bölüme Çardak Fayı adı verilmiştir.

DAFZ'nin oluşum yaşı ile ilgili literatürde biri Geç Pliyosen (Arpat ve Saroğlu 1972, Şengör ve diğ. 1985), diğeri ise Geç Pliyosen-Pleyistosen (Herece 2008) olmak üzere iki görüş baskındır.

Fay zonu boyunca gözlenen sıçrama ve büküm noktaları esas alınarak DAFZ'nin geometrisi ve segmentasyonu için 5-16 segment arasında değişen görüşler öne sürülmüştür. Bazı araştırmacılar (Şengör ve diğ. 1985, Muehlberger ve Gordon 1987) DAFZ'yi 5 segmente ayırırken, bazıları (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) 14, Saroglu ve diğ. (1992) 6, Herece (2008) ise 11 segmente ayırarak incelemişlerdir. Son yıllarda gerçekleştirilen günümüzde de yaygın olarak kabul gören sınıflamada ise Duman ve Emre (2013), DAFZ'nin kuzey ve güney olmak üzere iki koldan oluştuğunu (Şekil 1b) öne sürmüşler ve bu kolları da 16 segmente ayırarak incelenmişlerdir. Çalışmada, ana kol olarak isimlendirilen güney kolu oluşturan segmentler kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere sırasıyla Karlıova, Ilica, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde kuzeyde bulunanlar ise, Savrun, Çardak, Sürgü, Çokak, Toprakkale, Düziçi-İskenderun, Karataş, Yumurtalık ve Misis olarak isimlendirilmiştir. Her ne kadar literatürde Doğanşehir fayı olarak parçalı ayrı bir yapıda KD-GB uzanımında bir fay gösterilse de bu çalışmada, DAFZ'nin kuzey kolunu oluşturan segmentlerden biri şeklinde tanıtılmıştır. 2013 yılında güncellenen diri fay haritasında (Emre ve diğ. 2018), DAFZ'yi oluşturan bütün segmentlerin aktif oldukları belirtilmiştir.

Bu çalışmada yüzey kırığının izlendiği alan DAFZ'ye ait güney kolu oluşturan segmentlerden Erkenek Segmenti ve Pazarcık Segmenti olup sırasıyla Adıyaman ili Çelikhhan ilçesinin doğusundan başlayarak Gölbaşı ilçesi Ozan köyüne kadar 62 km uzunluğunda; diğeri segment ise Gölbaşı ilçesinden başlayarak KD-GB uzanımında Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesine doğru 82 km uzunluğundadır. Söz konusu segmentler için maksimum deprem büyüklüğü sırasıyla 7.2 ve 7.3 olarak önerilmiştir (Emre ve diğ. 2018).

1.3) Aletsel ve Tarihsel Dönem Depremleri

DAFZ üzerinde tarihsel dönemlerden günümüze kadar yüzey kırığı oluşturan, 6.5'ten büyük depremler dikkat çekicidir. Tarihsel ve aletsel dönem deprem kataloglarından (Ambraseys 1989, Guidoboni ve diğ. 1994) derlenen deprem verileri değerlendirildiğinde, MÖ 500'lü yıllardan günümüze kadar ciddi ölçüde can ve mal kaybına neden olmuş ve içinden geçtiği kentlere zarar vermiş 12 deprem göze çarpmaktadır. Bunlar: [524 (<6.5), 1114/1115 (7.8), 1513 (7.4) 1789 (7.0), 1822 (7.4), 1875 (6.7), 1893 (7.1), 1905 (6.8), 1971 (6.8), 2020 (6.8), 2023 (7.7; 7.6) ve 2023 (6.4)] olarak sıralanabilir.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığından (AFAD 2023) ve Uluslararası Sismoloji Merkezi'nden (ISC 2023) elde edilen verilerde, Çelikhan ve Gölbaşı ilçelerini içine alan çalışma alanı için 1976-2023 yılları arasına ait 4 ve üzeri büyüklükte meydana gelen 100'ü aşkın deprem bulunmaktadır. Tarihsel döneme ait olanların lokasyonları kesin olmasa da 524 yılından 2023 yılına kadar yaşanan depremlerin DAFZ'nin bütünü üzerinde yoğunlaştığı ve zonun parçalı kırıldığı dikkat çeker. Bununla birlikte 1976-2023 yılları arasında oluşmuş depremlerin özellikle Gölbaşı/Çelikhan'ın kuzeyinde ve doğusunda, Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait Çardak Segmenti, Adıyaman Fay Zonu ve Pazarcık Segmenti arasında kalan alanda yoğunlaştığı gözlenmektedir.

Literatürde DAFZ üzerinde yapılmış paleosismolojik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmalar kuzey kolda Çardak Segmenti ve Sürgü Segmentinde, güney kolda ise Toprakkale, Yumurtalık, Düziçi-İskenderun, Karataş ve Pazarcık segmentinde yoğunlaşmıştır (Yönlü 2012, Duman ve diğ. 2020, Balkaya ve diğ. 2023).

Balkaya ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada Sürgü Segmenti üzerinde kazılan 3 hendekte, fayın, Holosen döneminde biri MÖ 3350 civarında, biri de MÖ 790 ±20 ile MÖ 2085 ±65 arasında olmak üzere en az iki yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği saptanmıştır. Ayrıca bu fayın yaklaşık son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem üretmediği de tespit edilmiştir. Aynı çalışmacı tarafından Çardak Segmenti üzerinde yapılan 3 hendek çalışmasına göre fayın, MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±12 ile MS 825 ±55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği öne sürülmüştür.

Pazarcık Segmenti üzerinde Yönlü (2012), 5 adet hendek kazısı çalışmaları sonucunda 9 farklı olay ayırt etmiş ve en genç olayı MS 1630 ile 1440 yılları arasında tarihlendirmiştir. Tarihsel kaynaklarda bu zaman aralığında meydana gelmiş ve Maraş ile civarını etkileyen 1513 depremi görülmektedir. Daha kuzeyde Gölbaşı yakınlarında açılan hendeklerde son yüzey kırığı yaratan olaylar sırasıyla, MS 1482-1646 öncesi ile MS 70-224 sonrasına, MS 425-677 sonrasına, MS 992 sonrasına, MS 1030-1290 öncesine ve MS 1153 öncesine yaşılandırılmıştır. Elde edilen yaşlar tarihsel kaynaklarla karşılaştırıldığında, 1114 depreminin bu hendeklerde görülen son olay olduğunu göstermektedir. Bu veriler ışığında 1513 depreminin Türkoğlu yakınlarında, 1114 depreminin ise Gölbaşı yakınlarında yüzey kırığı meydana getirdiği ileri sürülmüştür.

Duman ve diğ. (2020) DAFZ'nin daha güneydeki segmentlerinde yaptıkları çalışmalarda, Yumurtalık segmenti üzerinde en az 3 yüzey kırığı oluşturmuş olay tanımlamış ve son olayın 242 depremi ile ilişkili olabileceğini öne sürmüşlerdir. Benzer şekilde Toprakkale Segmenti üzerindeki hendek kazısı çalışmalarında en az 2 olay tanımlamış ancak olayları tarihleyememişlerdir. Düziçi-İskenderun segmentinde ise en az 3 olay tanımlamış ve olayların 12-15. yy. sırasında gerçekleşmiş olabileceğini, 242 depremi ve 1115 depremlerine karşılık gelebileceğini ifade etmişlerdir. Karataş segmentinin son 9900 yılda en az 2 farklı deprem ürettiğini ve son olayın ise MS 3. ve 7. yy. arasında olduğunu öne sürmüşlerdir.

2. VERİ VE YÖNTEM

06 Şubat 2023 tarihinde saat 04:17'de meydana gelen Kahramanmaraş/Pazarcık ($M_w=7,7$) depremi hemen sonrasında saha verilerini toplamak için arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Saha çalışması öncesinde çalışma alanına ait hava fotoğrafları, Harita Genel Müdürlüğü'nün açık erişim (<https://www.harita.gov.tr/>) olarak sunduğu yüksek çözünürlüklü ortofotolar detaylı incelenmiş ve Adıyaman ili Çelikhan ilçesi doğusundan Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi batısına kadar yüzey kırığı 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerine işlenmiştir. Ölçümler için gerçekleştirilen saha çalışmaları kapsamında, söz konusu depreme kaynaklık eden zonun karakterinin anlaşılabilmesi için, gelişen yüzey kırıklarının haritalanması, kırıkların konumunun belirlenmesi ve gelişen atımların ölçülmesi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca fay segmentleri boyunca fay kayma verileri ölçülerek, Win TENSOR 5.9.2. yazılımı (Delvaux ve Sperner 2003) ile segmentlerin geçmişten günümüze deformasyon evrimi ve kinematik davranışı analiz edilmiştir.

3. BULGULAR

Kahramanmaraş depremlerinin hemen sonrasında gerçekleştirilen saha çalışmaları sonucu Pazarcık Segmenti üzerinde gelişmiş $M_w= 7.7$ büyüklüğündeki depremin Erkenek Segmenti üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Saha çalışmaları yanında ortofoto görüntüleri de kullanılarak, deprem sırasında gelişmiş yer değiştirmeler ve yüzey kırıkları KD-GB uzanımında Çelikhan doğusundan Balkar batısına kadar toplam 75 km boyunca izlenmiştir.

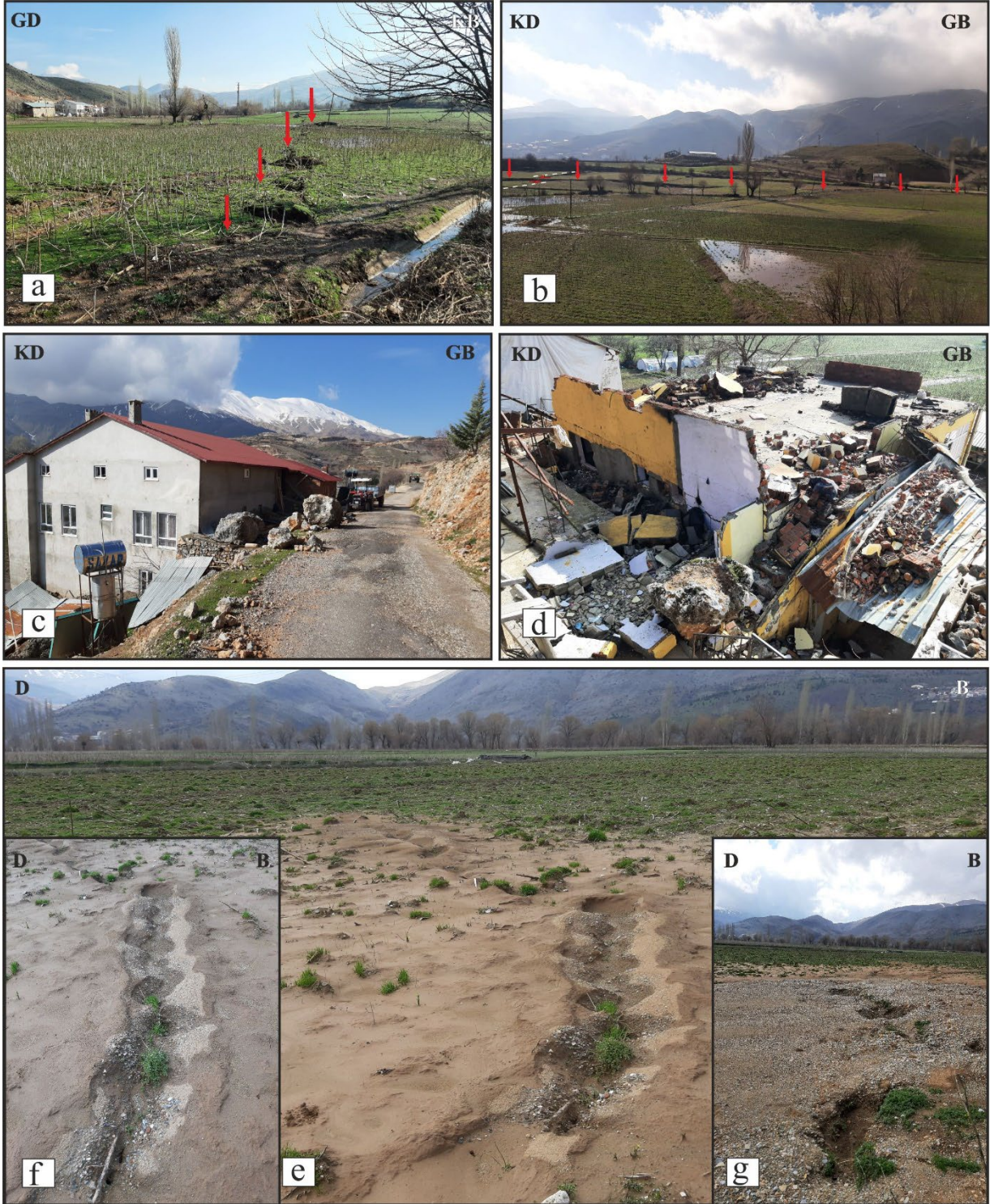
Çelikhan-Adıyaman karayolu üzerinde $K55^\circ D$ gidişli yüzey kırığı yolu kesmiş ve yolda 2,20 m sol yanıl yer değiştirme geliştirmiştir (Şekil 2d). Ayrıca yüzey kırığının deforme ettiği ve yanıl yayılmaların da gözlemlendiği yol üzerinde (Şekil 2c) yaklaşık D-B ve $K80^\circ D$ uzanlımlı tansiyon çatlakları gelişmiştir. Yolun her iki yanında devam eden yüzey kırığı ve sol yanıl yer değiştirmeler uydu görüntülerinden kar örtüsü üzerinde de net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 2a,b).

Çelikhan-Adıyaman yolunun güney kesimlerinde, $M_w=7.7$ büyüklüğündeki ana şok ardından Bulam 2 ve Bulam 3 köprüleri yıkılmış ve Adıyaman ile ulaşım bir süreliğine kesilmiştir. Bulam 3 köprüsünde yapılan gözlemlerde, $K10^\circ B$ ve yaklaşık K-G gidişli kırıkların oluşturduğu deformasyonlar ve yanıl yayılmalar görülmüştür. Ayrıca yaklaşık 35 cm sol yanıl atım ve batı blokta düşme tespit edilmiştir (Şekil 2e). Ayrıca Çelikhan İlçesine içme suyu sağlayan boru hattında çelik su borusunda yaklaşık 2.90 m sol yanıl ötelenme gelişmiştir (Şekil 2f). Erkenek (Doğanşehir/Malatya) yerleşim yerinde de büyük yıkımlara yol açan Pazarcık depremi Erkenek Tüneli'nin bir süre ulaşımına kapanmasına neden olmuş, daha sonra ulaşım tek tüpten sağlanmaya başlamıştır. Erkenek tünelinin kuzeyinde Karanlıkdere'de dağ yamaçlarında depreme bağlı heyelanlar ve su çıkışları gelişmiştir. Gölbaşı (Adıyaman) yerleşim yerine kadar dağ yamaçlarında heyelanlar ve su çıkışları gözlemlenmiştir. Yol boyunca farklı doğrultularda gelişmiş ikincil kırıklar yanıl deformasyonlara ve düşey yer değiştirmelere neden olmuştur.



Şekil 2: a,b)Çelikhhan-Adıyaman karayolu üzerinde gelişmiş yüzey kırığının ve ötelenmelerin uydu görünümü üzerinde işlenmiş görünümü, c) yüzey kırığının yolda geliştirdiği deformasyon ve tensiyon çatlakları, d) yol şeridinde ölçülen 2.20 m sol yanar atımın ve ana kırığın gidişi, e) Bulam-3 köprüsünde yol şeridinde 35 cm sol yanar ötelenme, f) çelik su borusundaki 2.90 m sol yanar atımın görünümü
Figure 2: a,b) The view on the processed satellite photo of the surface rupture and offsets developed on the Çelikhhan-Adıyaman road, c) deformation and tension cracks formed by the surface rupture on the road, d) 2.20 m left lateral offset measured on the road strip and track major rupture, e) 35 cm left lateral offset in the road lane at Bulam-3 bridge, f) the view of the 2.90 m left lateral offset in the steel water pipe

Mestan/Balıkburnu civarında yüzey kırığı, tarla içerisinde köstebek izi yapısı oluşturarak KD-GB doğrultusunda net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 3a). Ayrıca tarla sınırlarında birkaç metrelik sol yanar atımlar geliştirerek, morfolojik olarak oldukça belirgin basınç sırtlarının kenarlarını denetleyerek ilerlemiştir (Şekil 3b). Bazı alanlarda kaya düşmesine ve sarsıntıya bağlı (Şekil 3c,d) yıkımlar meydana gelmiştir. Yeraltı su seviyesindeki yükselmeye bağlı olarak bütün tarlaları su altında kalmış (Şekil 3b), zemin sıvılaşmasına bağlı olarak da kum (Şekil 3e,f) ve çakıl konilerinin yüzey kırığının doğrultusuna paralel olarak geliştiği gözlenmiştir (Şekil 3g).

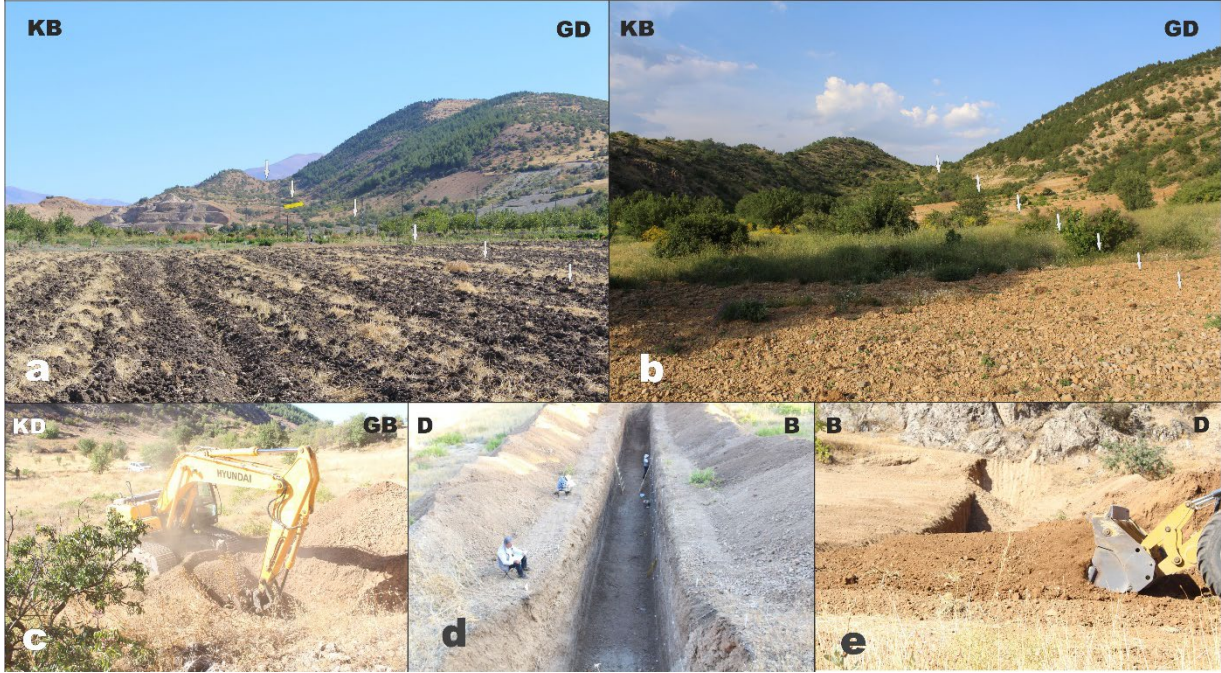


Şekil 3: a) Mestan/Balıkburnu civarındaki yüzey kırığı, b) tarla sınırlarındaki sol yanıl atım, c,d) yüzey kırığına bağıli gelişen kaya düşmelerine ve sarsıntıya bağıli gelişmiş yıkımlar, e,f,g) zemin sıvılaşmasına bağıli gelişmiş kum birikmeleri ve çakıl konileri

Figure 3: a) Surface rupture around Mestan/Balıkburnu, b) left lateral slip at field boundaries, c,d) surface rupture-related destruction and rockfalls, e,f,g) liquefaction-related sand accumulations and gravel cones

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesine bağıli Ozan köyü yerleşim yerinde de büyük hasara yol açan Pazarcık depreminin yüzey kırığı ve yer değıştirmeler net bir şekilde gözlenmiştir. Bununla birlikte Pazarcık depreminden yaklaşık 5 ay önce, makalenin yazarlarının da aralarında olduğı bir ekip tarafından yürütölen 121Y410 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında 2022 yılı Ekim

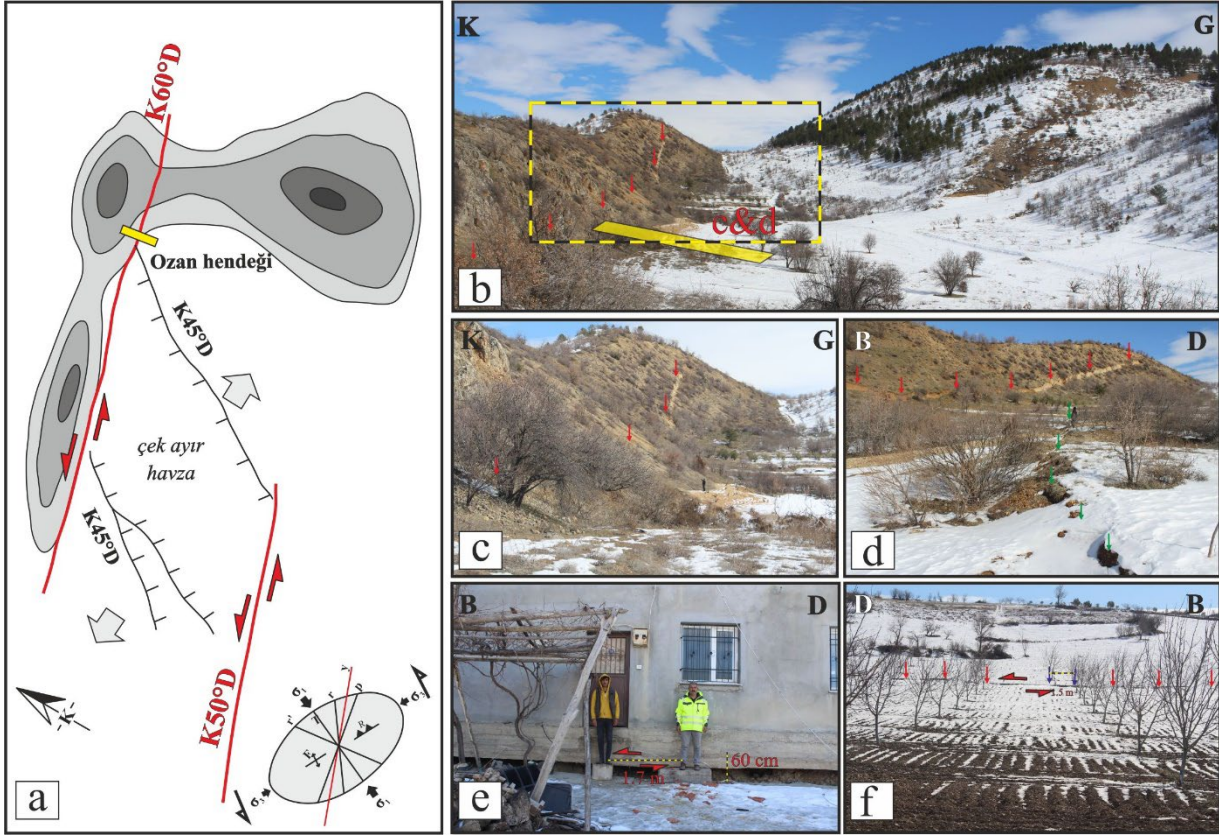
ayında gerçekleştirilen paleosismoloji çalışmalarında (Şekil 4) DAFZ Erkenek Segmenti üzerinde, Ozan köyü yerleşimi yakınlarında Ozan-1 rumuzlu hendek kazı çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Hendek çalışmalarında yüzey kırığı oluşturan en az 2 deprem saptanmış ve olayı sınırlayan seviyelerden alınan radyokarbon ve lüminesans tarihlendirme örnekleri ilgili laboratuvarlara gönderilmiştir.



Şekil 4: Ozan hendeği paleosismoloji çalışmaları, a,b) boynu denetleyen fayın arazi görünümü, c,d,e) faya dik olarak gerçekleştirilen hendek kazı çalışmaları
Figure 4: Paleoseismology studies of the Ozan trench, a,b) terrain view of the fault controlling the neck, c,d,e) the fault-perpendicular trench excavation works

Pazarcık depremine ait yüzey kırığı haritalama çalışmalarında, söz konusu Ozan-1 hendek kazısı içerisinde ilerleyen yüzey kırığı gözlenmiştir (Şekil 5b,c,d). Yüzey kırığı morfolojik olarak uzamış sırtı denetleyen faya dik olarak açılmış Ozan-1 hendeğini sol yanıl öteleyerek; bu alanda sola sıçrama yaparak iki kol şeklinde ilerlemiştir. Bunun sonucunda iki kol arasında küçük ölçekli bir çek-ayır havza geliştirmiştir. K60°D ve K50°D uzanımlı iki ana kırık ve deformasyon elipsoidinde tansiyon kırıklarına (T) karşılık gelen K45°D gidişli kırıklar boyunca yaklaşık 60 cm düşey atım ölçülmüştür (Şekil 5a,d).

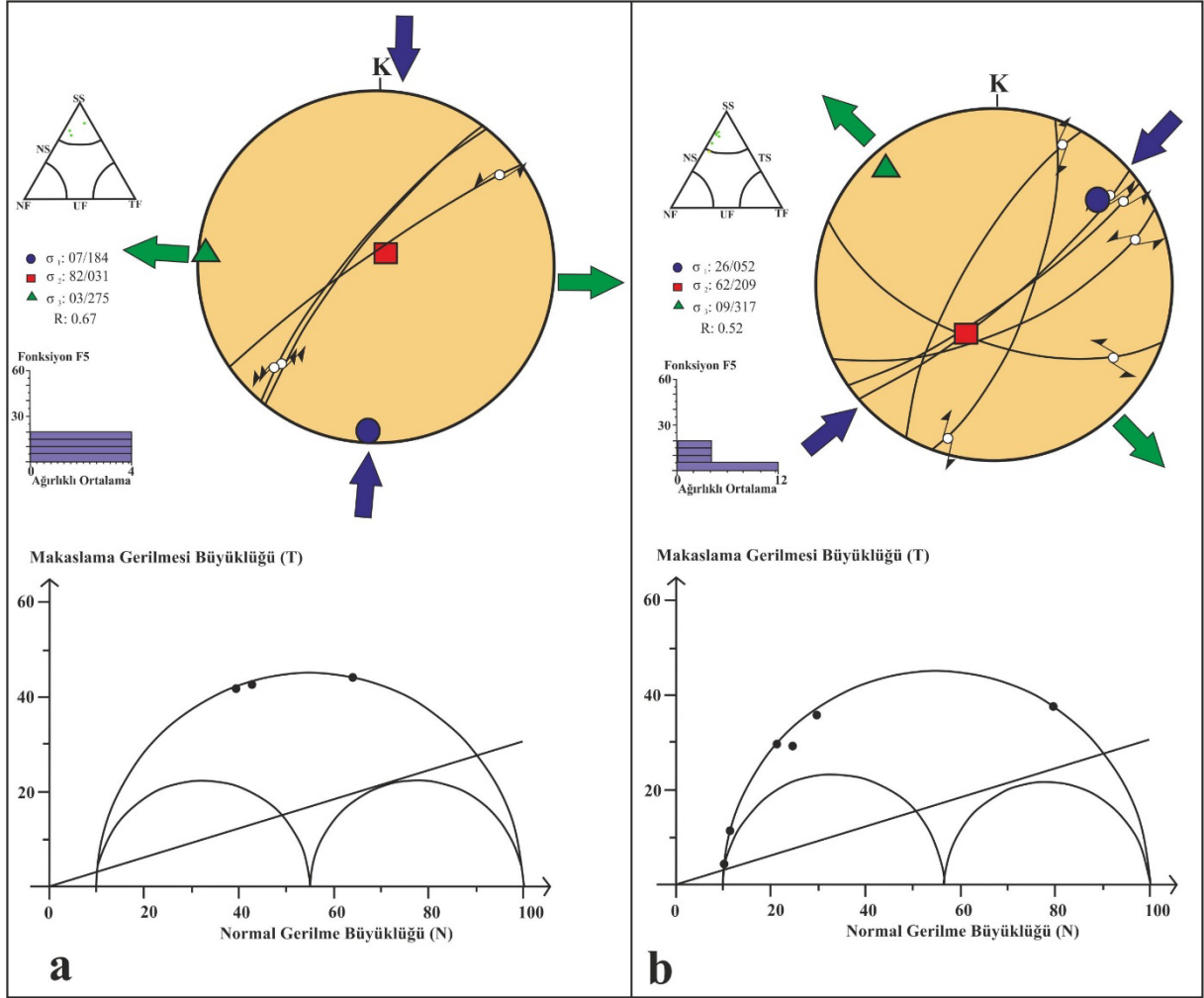
Yüzey kırığı, hendek lokasyonunda sola sıçrama yaptıktan sonra batıya, Ozan köyüne doğru ilerlemektedir. K85°D doğrultulu yüzey kırığı Ozan köyündeki bir evin taş merdivenini 1.70 m sol yanıl olarak ötelemiştir. Ayrıca evin temelinde yaklaşık 60 cm düşey yer değiştirme ölçülmüştür (Şekil 5e). Ceviz bahçesi içerisinde net bir şekilde izlenen yaklaşık D-B uzanımlı yüzey kırığı boyunca, ağaç sıralarında 1.50 m sol yanıl atım gelişmiştir (Şekil 5f). Ozan ve Gölbaşı arasında yüzey kırığının ve zemin sıvılaşmasının etkisi ile yollarda deformasyonlara, yanıl yayılma ve çökmelere; binalarda ise yıkımlara ve deformasyona neden olmuştur.



Şekil 5: a) Ozan hendeği lokasyonunda gelişmiş yüzey kırığının deformasyon elipsoidi ile ilişkilendirilmiş skeç çizimi, b) hendek lokasyonu ve yüzey kırığının genel ve (c,d) yakından arazi görünümü, e) Ozan köyü içerisinde yüzey kırığı ile evin basamağında gelişmiş 1.70 m sol yanıl atım ve yaklaşık 60 cm düşey yer değıştirmenin görünümü, f) yüzey kırığının bahçedeki ağaç sıralarında geliştirdiği 1.50 m sol yanıl atımın görünümü

Figure 5: a) Sketch drawing of the surface rupture developed at the Ozan trench location associated with the deformation ellipsoid, b) trench location and general and (c,d) close-up terrain view of surface rupture, e) the view of 1.70 m left lateral offset and approximately 60 cm vertical displacement developed on the step of the house with a surface rupture in Ozan village, f) the view of the 1.50 m left lateral displacement developed by the surface rupture in the tree lines in the garden

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesine bağlı Balkar köyü civarında yüzey kırığı gelişimi sırasında hem kaya hem de gevşek çimentolu zemin üzerinde fay düzlemlerinin geliştiği gözlemlenmiştir. Genellikle pekleşmemiş birimler içerisinde fayın hareketini veren kinematik göstergeler pusula yardımı ile ölçülmüştür. Ozan köyü girişinde daha önceki depremler sırasında gelişmiş fay düzlemleri ölçülmüştür. Hem yeni gelişmiş fay düzlemleri hem de eski fay düzlemleri üzerinde düşük yan yatım açıları ile baskın rejim doğrultu atımlı faylanmayı göstermektedir. Her iki veri seti de kendi içerisinde Win TENSOR 5.9.2 yazılımı (Delvaux ve Sperner 2003) ile değerlendirilmiş ve fay düzlemlerinin kinematik analiz hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 6). Sıkışma yönü ise yüzey kırığına bağlı gelişmiş fay düzlemi kinematik çözümlerine göre KKD-GGB doğrultulu σ_1 yönü (Şekil 6a); eski fay düzlemlerinde ise KD-GB doğrultulu σ_1 yönü (Şekil 6b) hesaplanmıştır. Gerilme oranı R ve gerilme rejimi indeksi R' saf doğrultu atımlı tektonik rejimi yansıtmaktadır.



Şekil 6: a) Yüzey kırığına bağlı gelişmiş yeni fay düzlemleri ve b) eski fay düzlemlerine ait fay kayma verilerinin kinematik analiz sonuçları

Figure 6: Kinematic analysis results of a) the surface rupture-related new fault planes and b) fault slip data of former fault planes

Gölbaşı ilçesi çıkışında ve Balkar köyü arasında topoğrafyada kar örtüsünde kabartılar oluşturmuş $K35^\circ D$ uzanımlı yüzey kırığı tarla sınırını oluşturan çitte 2.80 m sol yanal atım geliştirmiştir (Şekil 7a). Yüzey kırığı güneybatıda yaklaşık $K45^\circ D$ uzanımlı ile parke yolda kabarmaya, deformasyona ve 3.30 m sol yanal atıma neden olmuştur (Şekil 7b). Balkar köyü Asfalt Mahallesi'nde $K40^\circ D$ uzanımlı yüzey kırığı aynı hizadaki evler arasında 3.30 m sol yanal atım geliştirmiş ve yüzey kırığının etkisi ile evin duvarında yıkım meydana gelmiştir (Şekil 7c). Aynı mahallede Azaplı Gölü'nün güneyinde $K45^\circ D$ uzanımlı yüzey kırığı stabilize yolda 3.80 m sol yanal atım geliştirmiştir (Şekil 7d).



Şekil 7: Gölbaşı-Balkar arasında izlenen yüzey kırığının görünüşleri, a) Tarla sınırındaki çitte gelişmiş 2.80 m sol yanıl ötelenme ve yüzey kırığı, b) yolu 3.30 m sol yanıl atıma uğratan ve yolu deforme eden yüzey kırığı, c) evler arasında 3.30 m sol yanıl yer değişimine neden olan yüzey kırığı, d) Azaplı Gölü güneyinde stabilize yolda gelişmiş 3.80 m sol yanıl ötelenme

Figure 7: The views of the surface rupture observed between Gölbaşı and Balkar, a) 2.80 m left lateral displacement and surface rupture developed at the field border, b) surface rupture caused 3.30 m left lateral offset on the road and deform the road, c) a left lateral displacement of 3.30 m between the houses, d) 3.80 m left lateral offset developed on the stabilized road south of Lake Azaplı

Azaplı Gölü güneyinde morfolojik olarak kabartı oluşturan yaklaşık $K50^{\circ}D$ uzanımlı yüzey kırığı derede 2.50 m sol yanıl atım geliştirmiştir (Şekil 8a). Ayrıca tutturulmamış ince kırıntılı birim üzerinde fayın hareket mekanizmasını yansıtan kinematik belirteçler gelişmiştir. $K38^{\circ}D/80^{\circ}KB$ ve 25° güneye doğru yan yatım açısı ile doğrultu atımın baskın olduğu sol yanıl normal karakteri yansıtan bir fay düzlemi ölçülmüştür (Şekil 8b). Ayrıca patika yolda 2.80 m sol yanıl atım (Şekil 8c) geliştirmiş olan $K50^{\circ}D$ uzanımlı yüzey kırığı, tarla içerisinde geliştirdiği köstebek izi yapılarıyla net bir şekilde izlenmektedir (Şekil 8d).



Şekil 8: AzaplıGölü'nün güneyinde izlenen yüzey kırığının görünümleri, a) derede 2.50 m sol yanıl ötelenme, b) yüzey kırığının oluşturduğu fay düzlemi, c) yolu 2.80 m sol yanıl atıma uğratan ve yolu deforme eden yüzey kırığı, d) tarla içerisinde köstebek izi oluşturarak ilerleyen yüzey kırığı
 Figure 8: The views of the surface rupture observed in the south of Azaplı Lake, a) 2.50 m left lateral offset in the stream, b) the fault plane formed by the surface rupture, c) the surface rupture that causes the road to slip 2.80 m to the left lateral offset and deforms the road, d) the surface rupture of progress by forming a mole-track in the field

4. TARTIŞMA

Kuzey ve güney olmak üzere iki koldan oluşan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), 13 farklı segmentten oluşan karmaşık bir fay geometrisi sergilemektedir. 24 Ocak 2020'de Pütürge Segmenti üzerinde meydana gelen $M_w=6.8$ büyüklüğündeki Sivrice-Doğanyol depremi, bölgedeki gerilimi güney ve kuzey koldaki segmentlere aktarmış ve sismik boşluk olarak bilinen segmentlere dikkat çekmiştir. Her ne kadar söz konusu depremle ilgili olarak Pütürge Segmenti üzerindeki saha çalışmalarında sismo-gravitasyonel yapılar haricinde yüzey kırığı olarak haritalanabilecek bir veri elde edilemese de jeodezik veriler, ilgili segmentin 30 km uzunluğunda kırıldığını ortaya koymuştur (Tatar ve diğ. 2020). Literatürdeki çalışmalara göre sismik boşluk tanımında yer alan hem kuzey hem güney koldaki segmentlerden Pazarcık, Amanos, Erkenek ve Çardak segmentleri, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen deprem serileri ile kırılmıştır. Güney kolda meydana gelen $M_w=7.7$ büyüklüğündeki ilk depremin ardından 9 saat sonra kuzey kolda meydana gelen $M_w=7.6$ büyüklüğündeki deprem, fay segmentlerinin birbirini tetiklediğini işaret etmektedir.

Yapılan çalışmalarda ilk depremde Amanos, Narlı, Pazarcık, Erkenek segmentlerinin kırıldığı ve gözlenen yüzey kırığının 270 km olduğu, ikinci depremde ise Çardak Segmenti ve daha doğudaki Doğanşehir Fayı boyunca 130 km yüzey kırığı meydana geldiği saptanmıştır (Karabacak ve diğ. 2023, Aksoy ve diğ. 2023, Softa ve diğ. 2023).

Çelikhan'ın doğusundan Gölbaşı batısına kadar 80 km uzunluğunda yüzey kırığının izlendiği bu çalışmada, sol yanal doğrultu atımlı faylanmaya uygun olarak 35 cm ile 3.80 metre arasında değişen sol yanal atımlarla birlikte 60 cm'ye ulaşan düşey atımlar ve küçük ölçekli çek-ayır havza oluşumu gözlenmiştir. Doğrultu atımlı faylanma tipine uygun olarak fay parçalarının sağa ya da sola sıçramaları neticesinde oluşan bu tür çek-ayır havza ya da basınç sırtı gibi karakteristik yapılar fay boyunca farklı boyutlarda oluşabilmektedir (Örn. Niksar havzası). Tablo 1'de doğrultu atımlı faylara bağlı olarak ülkemizde yüzey kırığı oluşturmuş depremler verilmiştir. Bu depremlerin büyük bir bölümünün, aletsel dönemde Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde meydana gelmiş olduğu gözlenirken, 24 Ocak 2020 ve 6 Şubat 2023 tarihlerinde meydana gelen depremler, DAFZ'nin aletsel dönem içerisindeki suskunluğunu bozarak üzerindeki sismik boşlukları ortadan kaldırmaya başladığının işaretleri olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 1: Türkiye'de doğrultu atımlı faylar üzerinde yüzey kırığı oluşturmuş $M > 7.0$ depremler
Table 1: Earthquakes with a $M > 7.0$ have formed a surface rupture on strike-slip faults in Türkiye

Tarih	Lokasyon	Büyükklük (M_w)	Fay Adı-Hareket	Ölçülen Maksimum Atım (m)	Yüzey Kırığı Uzunluğu (km)	Yararlanılan Kaynaklar
09.08.1912	Tekirdağ	7.3	Ganos-Sağ	5.5	?	1
27.12.1939	Erzincan	7.9	KAFZ-Sağ	10.5	350	2
20.12.1942	Niksar	7	KAFZ-Sağ	2	50	3
26.11.1943	Tosya	7.2	KAFZ-Sağ	1.5	65	4
01.02.1944	Bolu	7.2	KAFZ-Sağ	6	180	5
18.03.1953	Yenice	7.4	KAFZ-Sağ	4.2	70	6
26.05.1957	Bolu	7.1	KAFZ-Sağ	1.6	40	4
22.07.1967	Adapazarı	7.2	KAFZ-Sağ	2.6	60	4
24.11.1976	Van	7.2	Çaldıran-Sağ	2.8	50	7
17.08.1999	Kocaeli	7.4	KAFZ-Sağ	6.3	120	8
12.11.1999	Düzce	7.2	KAFZ-Sağ	5	45	8
06.02.2023	K.Maraş	7.7	DAFZ-Sol	7.3	270	9
06.02.2023	K.Maraş	7.6	DAFZ-Sol	6.3	140	10,11

1: Altınok ve diğ. (2003), 2: Gursoy ve diğ. (2013), 3: Tatar ve diğ. (2006), 4: Ketin (1969), 5: Kondo ve diğ. (2010), 6: Kürçer ve diğ. (2019), 7: Arpat ve diğ. (1977), 8: Aydın ve Kalafat (2002), 9: Karabacak ve diğ. (2023), 10: Aksoy ve diğ. (2023), 11: Softa ve diğ. (2023).

Depremler sırasındaki en uzun yüzey kırılması 350 km olup 27 Aralık 1939 tarihinde Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda meydana gelen $M_w=7.9$ büyüklüğündeki Erzincan depreminde gelişmiştir (Gursoy ve diğ. 2013). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde ($M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$) ise DAFZ boyunca toplamda 400 km'lik yüzey kırılması ortaya çıkmıştır.

Üzerinde hendek açılan fayın, paleosismolojik amaçlı hendek kazılarının ardından, yüzey kırığı üretebilecek büyüklükte deprem ürettiği bilinmektedir. Yeni Zelanda'daki diri faylardan Kekerangu Fayı'nın paleosismolojik özelliklerini saptamak için yapılan paleosismolojik hendek çalışmasından (Morris ve diğ. 2021) 9 ay sonra meydana gelen $M_w=7.8$ büyüklüğünde depreme ait yüzey kırığı, açılan hendek kazısının üzerinden geçerek hendek içerisinde yapısal veri sağlanmasına olanak sağlamıştır. Benzer şekilde, Erkenek Segmenti üzerinde, Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi Ozan köyü yakınlarında en iyi izlenebilen yüzey kırığı, ana şoktan 4 ay evvel paleosismoloji amaçlı yapılan hendek kazısı alanını kesmektedir. DAFZ Erkenek Segmenti'nin deprem döngüsünün araştırıldığı Ozan-1 hendek kazısında saptanan 2 deprem olayından daha genç olanı, son yüzey kırığından evvelki olay olmalıdır. 2023 depremi esas alındığında Erkenek Segmenti'nin son deprem olayından itibaren geçen süre bilindiğine göre, fayın ve ilgili segmentin deprem tekrarlanma aralığına ulaşabilmek için saptanan deprem olaylarının başarı ile tarihlendirilmesi ve çapraz kalibrasyonu büyük önem taşımaktadır.

Sismolojik verilere göre, bir fayın uzunluğu, türü, üretebileceği maksimum moment büyüklüğü ile yüzey kırığı uzunluğu arasında bir logaritmik ilişki bulunmaktadır. Eşitlik 1'e göre hesaplanan değerler, Wells ve Coppersmith (1994) çalışmasındaki a ve b değerleri birlikte hesaplandığında, moment büyüklüğü 7.7 olan bir depremin oluşturabileceği maksimum yüzey kırığı uzunluğu 141 km olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Log (SRL)} = -3.55 + 0.74M \quad (1)$$

(SRL: Gözlenebilecek maksimum yüzey kırığı uzunluğu)

Ampirik eşitlikleri baz alan bu değerler, doğada ölçülen değerle tam olarak uyuşmamaktadır. Bu uyuşmazlığın, eşitliklerle belirlenen bağıntıları baz almasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Dahası, 6 Şubat 2023 $M_w=7.7$ depremi sırasında, toplam uzunluğu 273 km olan Amanos, Pazarcık ve Erkenek segmentlerinin birlikte kırıldığı düşüldüğünde (Karabacak ve diğ. 2023), Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısında fayın üreteceği maksimum moment büyüklüğü 8'e varmaktadır. Bu durum, yine sismolojik bağıntılar baz alındığında, ana şok ardından araziden toplanan veriler, ampirik verilerle hesaplanan sismolojik eşitliklerle karşılaştırıldığında, sahadan toplanan verilerle tam olarak örtüşmediği kısımların olabileceği sonucunu ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte jeodezi temelli çalışmalar, arazi verileriyle birlikte değerlendirildiğinde yine önemli sonuçları ortaya koymaktadır. Aktug ve diğ. (2016) DAFZ boyunca GPS çalışmaları yaparak ve bölgede daha önce yapılmış çalışmaların verilerini derleyerek fay zonu için güncellenmiş bir veri seti oluşturmuştur. Elde edilen bu sonuçlar, DAFZ'nin kayma hızının kuzeyde neredeyse sabit (~10 mm/yıl) iken, güneyde ise 4.5 mm/yıl'a indiğini göstermektedir. Ölü Deniz Fay Sistemi'nin (ÖDFZ) kuzey kısmındaki kayma oranı da önceki çalışmalarla uyumlu olarak $4.2 \pm 1,3$ mm/yıl olarak bulunmuştur. Yazarlara göre, DAFZ'deki sıkışma oranları 5 mm/yıl'ın altındadır; en kuzeyde, Karlıova bölümünde ise maksimum $6.3 \pm 1,0$ mm/yıl değerine ulaşır. Elde edilen bu sonuçlar, DAFZ'nin en iyi bilinen segmentlerinden olan Erkenek-Pazarcık segmentlerinde biriken kayma miktarının 5.2 m olduğunu ve bunun da $M_w=7.7-7.8$ büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. 6 Şubat 2023 depreminin açığa çıkardığı büyüklük dikkate alındığında, jeodezik çalışmaların doğruluğu dikkat çekmektedir.

5. SONUÇLAR

Sonuç olarak, 6 Şubat 2023 $M_w=7.7$ büyüklüğündeki depremde Adıyaman iline bağlı Çelikhhan ve Gölbaşı ilçeleri arasındaki yüzey kırığı üzerinde toplanan ve değerlendirilen gözlemler;

- Erkenek ve Pazarcık segmenti üzerinde toplam 80 km uzunluğunda yüzey kırılması meydana geldiğini ve Erkenek segmentinde maksimum sol yanal atımın 2.90 m, Pazarcık Segmenti'nde ise 3.80 m olduğunu,
- Erkenek Segmenti üzerinde küçük ölçekli bir çek-ayır havzası olduğu ve havzayı oluşturan diri segmentlerin daha önce paleosismolojik amaçlı açılan Ozan-1 hendeğini kestiğini,
- Pazarcık Segmenti üzerinde, Balkar köyü yakınlarındaki yüzey kırığının üzerinde saf doğrultu hareket mekanizmasını taşıyan yeni fay düzlemleri oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 1002-C Doğal Afetler Odaklı Saha Çalışması Acil Destek Programı ve 121Y410 numaralı TÜBİTAK Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, bu afet döneminde inkâr edilemez destekleri için AFAD ve TÜBİTAK'a, 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında yansıtılan yüksek çözünürlüklü ortofotoların temininden dolayı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve konaklama konusundaki yardımları için Çelikhhan (Adıyaman) Öğretmenevi Müdürü Mustafa Yücel'e teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

AFAD, 2023. AFAD Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü-Deprem Dairesi Başkanlığı Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>.

Aksoy E., Koçbulut F., Akgün E., Softa M., Sözbilir H., 2023. Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminin (Mw: 7.6) Yüzey Kırığı Ön Bulguları, Uluslararası Katılımlı 75. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 10-14 Nisan 2023, Ankara, Türkiye.

Aktug B., Ozener H., Dogru A., Sabuncu A., Turgut B., Halicioglu K., Yılmaz O., Havazli E., 2016. Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, *Journal of Geodynamics*, 94, 1-12.

Allen C.R., 1969. Active faulting in northern Turkey, Contr.1577, Division of Geology Sciences, California Institute of Technology, 32 s.

Altınlı İ.E., 1963. Explanatory text of the Geological Map of Turkey of 1:500000 scale, Erzurum sheet, Institute of Mineral Research and Exploration Report, Ankara.

Altınok Y., Alpar S.B., Yaltırak C., 2003. Sarkoy Murefte 1912 Earthquake's Tsunami extension of the associated faulting in the Marmara Sea Turkey, *Journal of Seismology*, Vol. 7(3), 329-346.

Ambraseys N.N., 1989. Temporary seismic, quiescence: SE Turkey, *Geophysical Journal*, 96, 311-331.

Arpat E., Şaroğlu F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler, *MTA Bülteni*, 73, 1-9.

Arpat E., Saroğlu F., İz H.B., 1977. Çaldıran Depremi, *Yeryuvarı ve İnsan*, 2, 29-41.

Aydin A., Kalafat D., 2002. Surface ruptures of the 17 August and 12 November 1999 Izmit and Duzce earthquakes in northwestern Anatolia, Turkey: their tectonic and kinematic significance and the associated damage, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 95-106.

Balkaya M., Akyuz H.S., Ozden S. 2023. Paleoseismology of the Sürgü and Çardak faults-splays of the Eastern Anatolian Fault Zone, Türkiye, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(3), 402-420.

Barka A.A., Kadinsky-Cade K., 1988. Strike-slip fault geometry and its influence on earthquake activity, *Tectonics*, 7(3), 663-684.

Delvaux D., Sperner B., 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program, *Geological Society of London*, Special Publications, 212(1), 75-100.

Duman T.Y., Emre O., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics, *Geological Society of London*, Special Publications, 372.

Duman T.Y., Elmaci H., Ozalp S., Kurcer A., Kara M., Ozdemir E., Yavuzoglu A., Guldogan C.U., 2020. Paleoseismology of the western Sürgü-Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey, *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2(3), 411-437.

Emre O., Duman T.Y., Ozalp S., Saroglu F., Olgun S., Elmaci H., Can T., 2018. Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275.

EMSC, 2023. Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <https://www.emsc-csem.org/#2>.

Guidoboni E., Comastri A., Traina G., 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century, Istituto nazionale di geofisica, Rome, 504 p.

Gürboğa Ş., Gökçe O., Tüfekçi M.K., 2016. Türkiye'de Yüzey Faylanması Tehlikesinin Değerlendirilmesi ve Fay Sakınım Bantlarının Oluşturulması. *MTA Doğal Kay. ve Eko. Bült.*, 21, 29-45.

Gurer A., Bayrak M., Gurer O.F., 2004. Magnetotelluric images of the crust and mantle in the southwestern Taurides, Turkey, *Tectonophysics*, 391(1):109–120.

Gursoy H., Tatar O., Akpınar Z., Polat A., Mesci L., Tuncer D., 2013. New observations on the 1939 Erzincan Earthquake surface rupture on the Kelkit Valley segment of the North Anatolian Fault Zone, Turkey, *Journal of Geodynamics*, 65, 259-271.

Herece E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası, MTA Özel Yayın Serisi-13, 359 s.

ISC, 2023. Uluslararası Sismoloji Merkezi Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>.

Karabacak V., Ozkaymak C., Sozibilir H., Tatar O., Aktug B., Ozdag O.C., Cakir R., Aksoy E., Kocbulut F., Softa M., Akgun E., Demir A., Arslan G., 2023. The 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş, Türkiye) Earthquake (Mw: 7.7): Implications for surface rupture dynamics along the East Anatolian Fault Zone, *Journal of the Geological Society*, jgs2023-020.

Ketin İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey, *MTA Bulteni*, Ankara.

Ketin İ., 1969. Kuzey Anadolu Fayı hakkında. *MTA Dergisi*, 72, 1-27.

Kocyigit A., Yilmaz A., Adamia S., Kuloshvili S., 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting, *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.

Kondo H., Ozaksoy V., Yıldırım C., 2010. Slip history of the 1944 Bolu-Gerede earthquake rupture along the North Anatolian fault system: Implications for recurrence behavior of multisegment earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 115, 1-16.

Kürçer A., Özalp S., Özdemir E., Gündoğan Ç.U., Duman T.Y., 2019. 18 Mart 1953 Yenice-Gönen Depremi (M_s= 7.2) ışığında Yenice-Gönen Fayı'nın aktif tektonik ve paleosismolojik özellikleri, *KB Türkiye, Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 159, 29-63.

Morris P., Little T., Van Dissen R., Hill M., Hemphill-Haley M., Kears J., Norton K., 2021. Evaluating 9 m of near-surface transpressional displacement during the Mw7.82016 Kaikōura earthquake: re-excavation of a pre-earthquake paleoseismictrench, Kekerengu Fault, New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1-19.

Muehlberger W.R., Gordon M.B., 1987. Observation on the complexity of The East Anatolian Fault, Turkey, *Jour. Structural Geology*, 9(7), 899-903.

Perinçek D., Kozlu H., 1984. Stratigraphy and structural relations of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir region (Eastern Taurus), In *Geology of the Taurus belt*, International symposium, 181-198.

Reillinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr L., 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: Solid Earth*, 111(B5).

Saroglu F., Emre O., Kuscu I., 1992. The East Anatolian fault zones of Turkey, *Annales Tectonicae*, 6, 99-125.

Softa M., Kocbulut F., Akgun E., Aksoy E., Sozbilir H., Tatar O., Karabacak V., Ozkaymak C., Utku M., Ozdag O.C., Cakir R., Demir A., Arslan G., 2023. Surface rupture during the 6th of February 2023 M_w 7.6 Elbistan-Ekinözü (Kahramanmaraş) earthquake: Implications for fault rupture dynamics along the northern branch of East Anatolian Fault Zone, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 32(SI), In Press.

Sengor A.M.C., Gorur N., Saroglu F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-slip deformation, basin deformation and sedimentation*, *Soc. Econ. Paleont. and Min. Spec. Publ.*, 37, 227-264.

Tatar O., Gürsoy H., Koçbulut F., Kavak K.Ş., Sezen T.F., Polat A., Akpınar Z., Mesci B.L., 2006. Kuzey Anadolu Fay Zonu-1942 Erbaa-Niksar Depremi Yüzey Kırığı: Yeni Gözlemler, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 10. Toplantısı, İzmir: 02-04 Kasım 2006, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Tatar O., Sozbilir H., Kocbulut F., Bozkurt E., Aksoy E., Eski S., Ozmen B., Alan H., Metin Y., 2020. Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)–Doğanyol (Malatya) earthquake (M_w = 6.8) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault Zone and its comparison with Turkey's 100-year-surface ruptures, *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2, 385-410.

Uzel B., Langereis C.G., Kaymakci N., Sozbilir H., Ozkaymak C., Ozkaptan M., 2015. Paleomagnetic evidence for an inverse rotation history of western Anatolia during the exhumation of Menderes core complex, *Earth and Planetary Science Letters*, 414: 108-125.

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.

Yilmaz Y., Saroglu F., Guner Y., 1987. Initiation of neomagmatism in East Anatolia, *Tectonophysics*, 134, 177-199.

Yonlu O., Altunel E., Karabacak V., 2017. Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 1-14.

Yönlü Ö., 2012. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) İle Karataş (Adana) Arasındaki Kesiminin Geç Kuvaterner Aktivitesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 438 s. (yayımlanmamış).

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*)

Çalışma kapsamında kullanılan deprem verileri Avrupa-Akdeniz Sismoloji Merkezi-EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) ve Uluslararası Sismoloji Merkezi-ISC (International Seismological Centre)'den temin edilmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

Araştırma kapsamında yer alan bilgiler; herhangi bir kişiye, kuruma, ekipmana çıkar sağlamayı veya kişisel/kurumsal menfaat kazandırmayı amaçlamamaktadır. Aynı şekilde çalışmada yer alan hususlar objektif değerlendirme sınırları dışına çıkarak herhangi bir şekilde kişi, kurum, kuruluş nezdinde zarara, kastı aşan kötü niyetli yoruma ya da itibar kaybına yol açmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

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