



MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi

<https://www.mta.gov.tr/mtayerbilimleri/>



06 Şubat 2023 Ekinözü (Kahramanmaraş) Depremi (Mw 7,6) saha gözlemleri ve ön değerlendirmeler

Oktay PARLAK^{a,*}, Ayhan YAVUZOĞLU^b, Ahmet BAYRAK^c, Ozan KARAYAZI^c ve Şeyda OLGUN^c

^aMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Etüt ve Arama Dairesi, Ankara

^bMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Deniz Araştırmaları Dairesi, Ankara

^cMaden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Araştırmaları Dairesi, Ankara

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Ekinözü Depremi, Elbistan Depremi, Çardak Fayı, Nurhak Fayı, Doğanşehir Fayı.

ÖZ

06.02.2023 tarihinde yerel saatle 04.17'de ve 13.24'te, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun farklı kolları üzerinde merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Ekinözü (Kahramanmaraş) olan Mw 7,8 ve Mw 7,6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. Sol yanal doğrultu atımlı faylanma ile gerçekleşen Ekinözü Mw 7,6 depreminde 147 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşmuştur. Göksun ile Nurhak arasında yer alan Çardak Fayı'nda oluşan yüzey kırığı çoğu yerde dar bir zonda tek kol şeklinde ilerlemektedir. Nurhak Fayı'nda oluşan yüzey kırığı ise Nurhak yerleşim alanında geniş bir zona yayılmış olup ters bileşene de sahiptir. Devamında tekrar doğrultu atım özellikleri gösteren fay Bıçakçı Köyü'ne kadar çizgisel bir şekilde uzanmaktadır. Bıçakçı Köyü'nden itibaren KD'ya dönen yüzey kırığı Doğanşehir KD'suna kadar takip edilebilmektedir. Depremde gelişen maksimum sol yanal ötelenme Ekinözü GD'sunda 880 cm olarak ölçülmüştür. Minimum yer değiştirme ise Göksun GD'sunda 25 cm olarak ölçülmüştür. Atım dağılımına bakıldığında ölçülen değerlerin depremin merkez üssü ve fayın geometrisi ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ekinözü depreminde yukarıda sözü edilen yüzey kırıkları dışında Göksun ve Çardak ilçeleri güneyinde, daha önce haritalanmayan K-G doğrultulu bir yüzey kırığı daha tespit edilmiştir. Tarafımızca "Sisne Fayı" olarak isimlendirilen bu yeni normal fay üzerinde 20 km yüzey kırığı gelişmiştir. Ekinözü depreminde oluşan yüzey kırıkları boyunca, fay sarplıkları, basınç sırtları, açılma çatlakları, köstebek izi yapıları, kapatan sırtlar ve sol yanal makaslamayla ilişkili yapılar gözlenmiştir.

Gönderim Tarihi: 05.05.2023

Kabul Tarihi: 30.05.2023

Keywords:

Ekinözü Earthquake, Elbistan Earthquake, Çardak Fault, Nurhak Fault, Doğanşehir Fault.

ABSTRACT

The two earthquakes with magnitudes of Mw 7.8 and Mw 7.6 occurred on different branches of the East Anatolian Fault Zone on 06.02.2023, at local times 04:17 and 13:24 that epicenters are in Pazarcık (Kahramanmaraş) and Ekinözü (Kahramanmaraş), respectively. A surface rupture with a length of 147 km occurred during the Ekinözü Mw 7.6 earthquake, that caused by left-lateral strike-slip faulting. The surface rupture formed along the Çardak Fault, located between Göksun and Nurhak, mostly proceed in a narrow zone with a single branch. The surface rupture formed along the Nurhak Fault that extends over a wide zone in the Nurhak settlement area and has a reverse component. Following that, a fault with strike-slip characteristics extends linearly until Bıçakçı village. Surface rupture that turns towards the northeast (NE) from Bıçakçı village can be followed until Doğanşehir. The maximum left-lateral displacement developed during the earthquake was measured as 880 cm at southwest of Ekinözü. The minimum displacement was measured 25 cm at southwest of Göksun. Investigation of displacement distribution indicates that measured values are consistent with the epicenter of the earthquake and the geometry of the

Received Date: 05.05.2023

Accepted Date: 30.05.2023

Atıf Bilgisi: Parlak, O., Yavuzoğlu, A., Bayrak, A., Karayazı, O., Olgun, Ş. 2023. 06 Şubat 2023 Ekinözü (Kahramanmaraş) Depremi (Mw 7,6) saha gözlemleri ve ön değerlendirmeler. MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi 3, 81-98.

*Başvurulacak Yazar: Oktay PARLAK, oktay.parlak@mta.gov.tr

fault. In addition to the surface ruptures mentioned above in the Ekinözü earthquake, another surface rupture oriented in the NE-SW direction, which had not been previously mapped, was detected south of the Göksun and Çardak districts. 20 km surface rupture was developed. Along this newly identified normal fault, referred to as the "Sisne Fault" by us, a 20 km surface rupture has developed. Along the surface ruptures that occurred in the Ekinözü earthquake, fault scarps, pressure ridges, opening cracks, mole tracks, shutter ridges, and structures associated with left-lateral shearing have been observed.

1. Giriş

06.02.2023 tarihinde yerel saatle 04.17'de ve 13.24'te merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Ekinözü (Kahramanmaraş) olan Mw 7,8 ve Mw 7,6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. Kahramanmaraş, Malatya, Adıyaman, Diyarbakır, Şanlıurfa, Kilis, Gaziantep, Hatay, Osmaniye ve Adana'da ağır hasara yol açan depremler çok sayıda can kaybına neden olmuştur.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)'nın açıklamasına göre 22.04.2023 tarihi itibari ile depremlerde 50.783 kişi yaşamını yitirmiş, 107.000'den fazla kişi yaralanmıştır. Depremlerde yıkılan ve ağır hasarlı bina sayısı, Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından 227.027 adet olarak açıklanmıştır.

AFAD tarafından koordinatları 37,236 K – 37,057 D ve odak derinliği 8,6 km olarak tespit edilen Pazarcık depremi, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) ana kolu üzerinde meydana gelmiştir.

Ekinözü merkezli ikinci depremin merkez üssü AFAD tarafından 37,239 K – 38,089 D, derinliği ise 7,0 km olarak verilmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ise depremin koordinatlarını 38,0818 K - 37,1773 D, odak derinliğini 5 km olarak saptamıştır.

Doğu Akdeniz'in jeodinamik evrimindeki önemli yapılardan birisi olan sol yanal doğrultu atımlı DAFZ, KD'da Karlıova (Bingöl) üçlü eklemi ile GB'da Hatay arasında yer almaktadır. KD-GB doğrultulu çok sayıda faydan oluşan DAFZ'nin ana kolu yaklaşık 580 km uzunluğundadır. Çelikhan yakınlarında DAFZ'nin ana kolundan ayrılan kuzey kol ise önce D-B doğrultusunda devam etmekte, Göksun'dan itibaren ise GB'ya dönmektedir. Çelikhan-Göksun arasındaki

yaklaşık D-B doğrultulu olan bölüm, doğudan batıya doğru sırasıyla Sürgü, Nurhak ve Çardak faylarından oluşmaktadır.

Pazarcık merkezli (Mw) 7,8 büyüklüğündeki depremde DAFZ'nin ana kolu üzerinde, Hatay ile Sincik (Adıyaman) arasında yaklaşık 400 km uzunluğunda yüzey kırığı meydana gelmiştir. (Mw) 7,6 büyüklüğündeki Ekinözü depreminde ise Çardak, Nurhak ve Doğanşehir faylarında toplam 147 km yüzey kırığı gelişmiştir. Ayrıca bu depremde yaklaşık D-B doğrultulu 147 km'lik kırığa ek olarak K-G doğrultulu daha önce haritalanmayan, yaklaşık 20 km uzunluğunda yeni bir yüzey kırığı oluşmuştur.

06.02.2023 Ekinözü depremi sonrası gelişen yüzey kırıklarının ve jeolojik yapıların tespit edilmesi amacıyla, MTA Genel Müdürlüğü tarafından bölgede arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Andırın-Göksun-Çardak-Ekinözü-Nurhak-Doğanşehir arasında kalan geniş bir alanda yapılan çalışmalar sonucunda, Göksun ile Doğanşehir KD'su arasındaki yüzey kırığı haritalanmış, depremde meydana gelen ötelenmeler ve deformasyonlar kayıt altına alınmıştır. Bu çalışmada haklarında oldukça az bilgiye sahip olduğumuz Çardak, Nurhak, Doğanşehir ve Sisne fayları boyunca yapılan saha gözlemlerinden elde edilen veriler sunulmuştur.

2. Bölgesel Tektonik

Doğu Akdeniz bölgesinde günümüzde hakim olan jeodinamik rejim Afrika, Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki göreceli hareketlerle şekillenmektedir (Şekil 1). Doğuda Neotetis Okyanusu'nun güney kolunun kapanmasının ardından Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucunda Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı meydana gelirken, batıda Afrika Levhası ile Anadolu Bloğu

arasındaki yakınsamaya bağlı olarak Kıbrıs Yayı ve Helenik Yayı oluşmuştur. Bölgedeki neotektonik rejimin en önemli unsurları olan 3 transform fay; Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) olarak sıralanabilir. Karlıova üçlü eklemine birleşerek Anadolu Levhası'nı kama şeklinde sınırlandıran KAFZ ve DAFZ (McKenzie 1970, 1972; Şengör ve Yılmaz, 1981; Dewey vd., 1986) boyunca olan hareket Anadolu Bloğu'nun batıya doğru olan hareketine katkıda bulunmaktadır. Afrika ve Arabistan levhaları arasındaki sol yanal hareket ÖDFZ ile Afrika Levhası ve Anadolu Bloğu arasındaki yakınsama ise Kıbrıs Yayı ve Helenik Yayı tarafından karşılanmaktadır. Arabistan Levhası-Anadolu Bloğu yakınsaması ise DAFZ'deki sol yönlü doğrultu atım hareketi ile gerçekleşmektedir (McKenzie, 1972; Harch vd., 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985).

2.1. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)

KD'da Karlıova üçlü ekleminden başlayarak ve GB'ya doğru uzanan yaklaşık 580 km uzunluğundaki

DAFZ, geç Pliyosen yaşlı sol yanal doğrultu atımlı bir fay zonudur. Farklı araştırmacılar tarafından fay doğrultusundaki değişimlere, fay sıçramalarına göre 5-14 farklı segmente bölünen fay zonu, birbirine paralel ve/veya yarı paralel konumlu, sol yönlü doğrultu atımlı ve verrev bileşenli faylardan oluşmaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Hempton vd., 1981; Şengör vd., 1985; Muehlberger ve Gordon, 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Şaroğlu vd., 1992; Westaway, 1994; Herece, 2003, 2008; Duman ve Emre, 2013; Emre vd., 2016).

DAFZ'na ait farklı segmentler için 10-27 km arasında değişen atım değerleri önerilmiştir (Arpat, 1971; Seymen ve Aydın, 1972; Hempton, 1985; Dewey vd., 1986; Herece ve Akay, 1992; Şaroğlu vd., 1992; Herece, 2008). DAFZ için jeolojik, jeodezik ve jeofizik veriler kullanılarak hesaplanan kayma hızı değerleri 6-29 mm/yıl arasında değişmektedir. Güncel kayma hızlarını Lyberis vd. (1992) 19 mm/yıl, Oral vd. (1992) 10 ± 5 mm/yıl, Kiratzi ve Papazachos (1995) 6 mm/yıl, Westaway (1994) 13 ± 1 mm/yıl,



Şekil 1- Türkiye'deki neotektonik bölgeler, önemli neotektonik yapılar (Şengör vd., 1985, Barka, 1992 ve Bozkurt, 2001'den alınmıştır. Kısaltmalar: KAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ, Doğu Anadolu Fay Zonu; ÖDFZ, Ölü Deniz Fay Zonu; KDAFZ, Kuzeydoğu Anadolu Fay Zonu).

Barka ve Reilinger (1997) 11±1mm/yıl, Reilinger vd. (1997) 15±3 mm/yıl, McClusky vd. (2000) 9±1 mm/yıl, Çetin vd. (2003) 11 mm/yıl, Westaway (2003) 8 mm/yıl, Reilinger vd. (2006) 10 mm/yıl ve Herece (2008) 8,3 mm/yıl olarak hesaplamışlardır. Taymaz vd. (1991) ise plaka hareketleri ve sismik verilere dayanarak DAFZ'nun kayma hızı için 29 mm/yıl gibi yüksek bir değer önermiştir.

Duman ve Emre (2013), Çelikhan ile İskenderun Körfezi arasında uzanan ve Sürgü-Misis Fay Sistemi olarak adlandırılan fayları DAFZ'nun kuzey kolu şeklinde tanımlanmışlardır (Şekil 2). Bu fay sisteminin doğu kolunu, Çelikhan ile Göksun arasında kabaca D-B doğrultulu Çardak ve Sürgü segmentlerinin, batı kolunu ise Göksun güneyinden itibaren KD-GB doğrultulu Savrun, Yakapınar, Çokak, Toprakkale, Andırın, Karataş ve Yumurtalık segmentlerinin oluşturduğunu belirtmektedirler (Duman ve Emre, 2013).

Sürgü Fayı ilk kez Arpat ve Şaroğlu (1975) tarafından DAFZ'nun bir kolu olarak çizilmiş, daha sonra Perinçek ve Kozlu (1984) tarafından isimlendirilmiştir. Perinçek vd. (1987) çalışmasında Sürgü Fayı'nın yaşlı (Üst Eosen ?) bir fay olduğu ancak meydana gelen zayıflık zonunun neotektonik dönemde aktivitesini koruduğu belirtilmiştir.

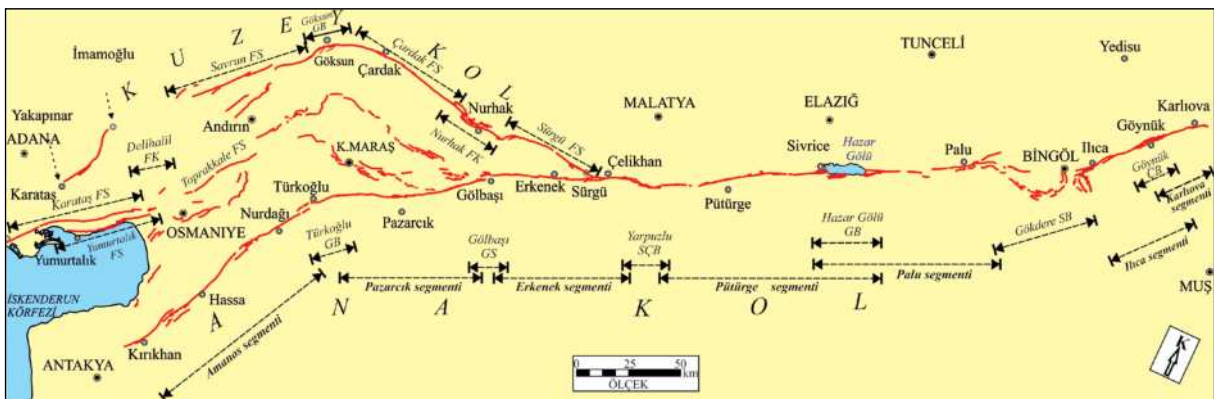
Çelikhan güneyinde K60°D doğrultusunda, iki kol halinde uzanan DAFZ'nin kuzey kolu Çelikhan'ın

yaklaşık 4 km GB'sında Doğu Anadolu Fayı'ndan ayrılarak Sürgü Fayı'nı oluşturmaktadır. Bu alanda morfolojik olarak oldukça belirgin olan Sürgü Fayı, Çelikhan Ovası'nı geçtikten sonra B-GB'ya doğru devam ederek Malatya metamorfitlerini kesmekte ve bir fay vadisi oluşturmaktadır. Kasımoğlu Mahallesi yakınlarında D-B doğrultusunda uzamış sırtları sınırlandıran fay, Malatya metamorfitleri ile alüvyon dokanağını takip ederek batıya doğru devam etmektedir (Parlak, 2004).

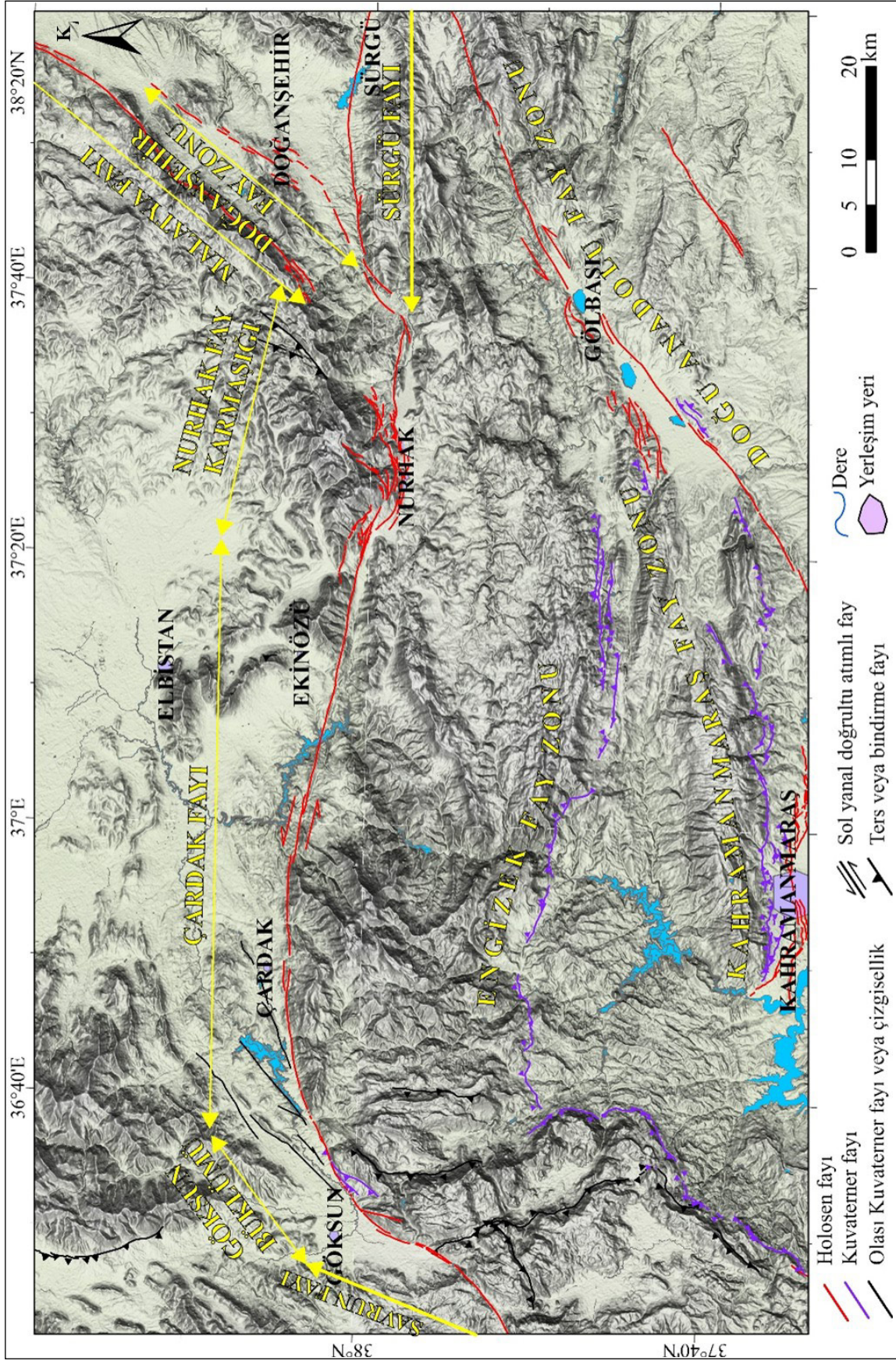
Balkaya vd. (2021) ve Balkaya (2022) tarafından Sürgü Fayı üzerinde yapılan paleosismoloji çalışmalarına göre Sürgü Fayı'nın Holosen'de yüzey kırığı oluşturma ihtimali olan en az iki deprem ürettiği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmalarda depremlerin ilki MÖ 3350, diğeri ise MÖ 790 $\pm$ 20 ile MÖ 2085 $\pm$ 65 arasında olacak şekilde tarihlendirilmiş ve bu fayın son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmadağı belirtilmiştir.

5 Mayıs 1986 ve 6 Haziran 1986 tarihlerinde meydana gelen $M_s=5,8$ ve $M_s=5,6$ büyüklüğündeki iki depremin merkez üslerinin Sürgü yakınlarında olması, bu depremlerin Sürgü Fayı'nda gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır. Ters bileşenli sol yanall doğrultu atımlı faylanmayla gerçekleşen depremlerde yüzey kırığı oluşmamıştır. (Taymaz vd., 1991).

Nurhak doğusundaki Bıçakçı Köyü yakınlarında sola sıçrayan Sürgü Fayı Nurhak Fayı ile birleşmektedir (Şekil 3). Sürgü, Doğanşehir, Malatya



Şekil 2- Doğu Anadolu Fay Zonu'nun ana kolu, kuzey kolu ve segmentleri (Duman ve Emre, 2013). Kısaltmalar: FS, fay segmenti; RB, gevşemeli büküm; RS, gevşemeli sıçrama; RDB, sıkışmalı çift büküm; RSB, sıkışmalı büküm; PB, eşleştirilmiş büküm; (1) Düziçi-Osmaniye Segmenti, (2) Erzin Segmenti, (3) Payas Segmenti, (4) Yakapınar Segmenti, (5) Çokak Segmenti, (6) İslahiye gevşemeli bükümü, (7) Demrek sıkışmalı sıçraması, (8) Engizek Fay Zonu, (9) Maraş Fay Zonu.



Şekil 3- Sürgü, Nurhak, Çardak ve bölgedeki diğer faylara ait harita (Faylar Duman ve Emre, 2013'ten alınmıştır).

ve Çardak faylarının birleştiği bu alan Duman ve Emre (2013) tarafından Nurhak Fay Karmaşığı olarak isimlendirilmiştir. Nurhak Fayı Nurhak ilçesi kuzeyinde birbirine yaklaşık paralel, kuzeye doğru içbükey konumda bulunan iki ana kol ve pek çok küçük kırktan oluşan geniş bir deformasyon zonu ile temsil edilmektedir. Nurhak KB'sından başlayan K75°B doğrultulu Çardak Fayı, Çardak güneyinde D-B, Göksun civarında ise K70°D doğrultusunda uzanmaktadır. Duman ve Emre (2013) yaklaşık 85 km uzunluğundaki Çardak Fayı'nın Ekinözü batısında Ceyhan Nehri'ni 11 km sol yanal olarak ötelediğini ve bunun toplam atıma karşılık geldiğini belirtmiştir. Fayın batı bölümünde yer alan nehir yataklarındaki ötelenmelere dayanarak 2,5 mm/yıllık kayma hızı hesaplamışlardır. Balkaya vd. (2021) ve Balkaya (2022), Çardak ve Sürgü faylarının morfometrik indislerini hesaplayarak, bu fayların o bölgedeki morfotektonik gelişimi belirleyen aktif yapılar olduklarını saptamışlardır. Çardak Fayı üzerinde yaptıkları üç hendek çalışmasına göre; Çardak Fayı'nda yüzey kırığı oluşturan en az iki deprem

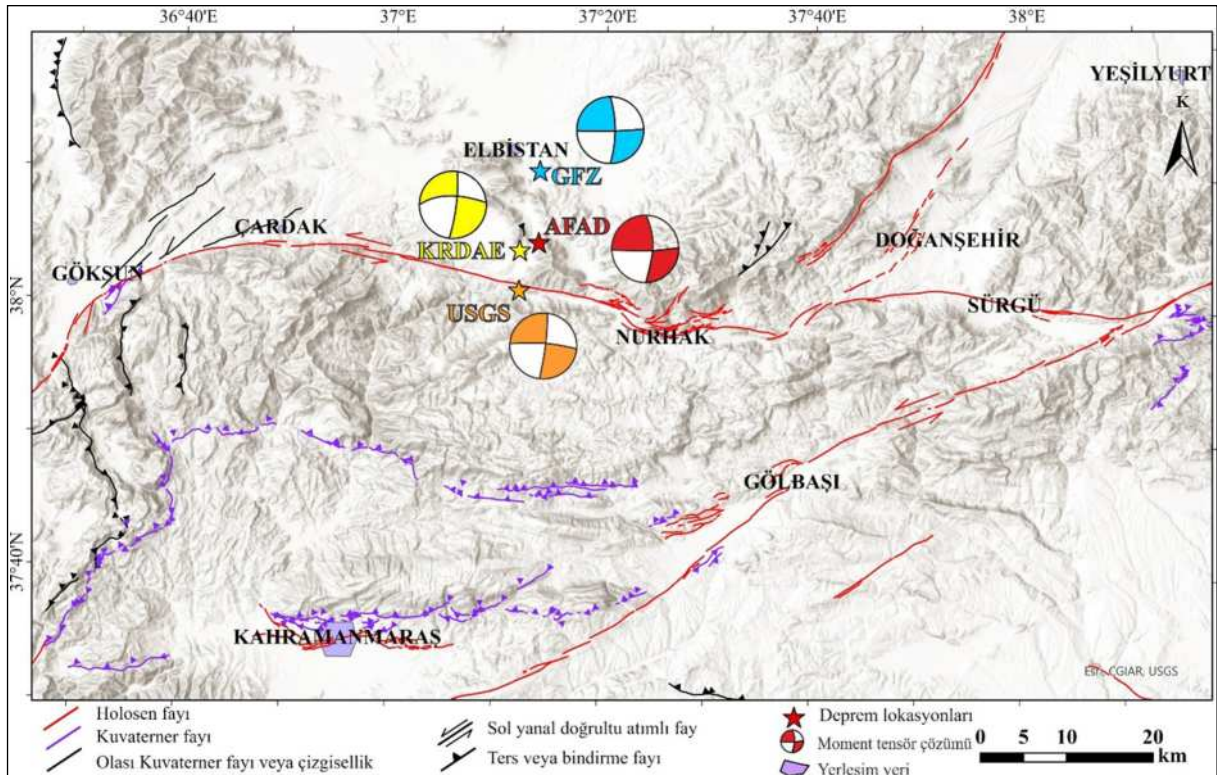
geliştiği sonucuna varmışlardır. Bu depremlerden ilki MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 aralığında, diğeri ise MÖ 3215 ±125 ile MS 825 ±55 aralığında tarihlendirilmiştir.

3. 6 Şubat 2023 Ekinözü (Kahramanmaraş) Depremi (Mw 7,6)

6 Şubat 2023 tarihinde saat 13.24'te meydana gelen Ekinözü depreminin merkez üssü Ekinözü (Kahramanmaraş) ilçesi yakınlarına karşılık gelmektedir. Deprem için farklı sismoloji merkezleri tarafından önerilen lokasyonlar Şekil 4'te, depreme ait koordinat, derinlik ve büyüklük değerleri ise Çizelge 1'de sunulmuştur.

Farklı kurumlar tarafından yapılan moment tensör çözümleri ve artçı depremlerin dağılımı da Ekinözü merkezli Çardak Fayı üzerinde gerçekleşen depremin sol yönlü doğrultu atımlı faylanma mekanizmasıyla gerçekleştiğini göstermektedir (Şekil 4).

6 Şubat 2023 tarihli Pazarcık (7,8) ve Ekinözü (7,6) depremleri sonrası bölgede 27.000'den fazla



Şekil 4- 06.02.2023 13.24 Ekinözü (Kahramanmaraş) depreminin farklı sismoloji merkezleri tarafından önerilen lokasyonları ve moment tensör çözümleri (AFAD, GFZ, KRDAE, USGS).

Çizelge 1- 06.02.2023 13.24 Ekinözü (Kahramanmaraş) depremine ait koordinat, derinlik ve büyüklük değerleri.

Kaynak	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Büyüklük (Mw)
AFAD	37.239	38.089	7,0	7,6
KRDAE	38.0818	37.1773	5.0	7,6
EMSC	38.11	37.24	10,0	7,5
USGS	38.011	37.196	7,4	7,5
GFZ	38.11	37.23	10.0	7.6

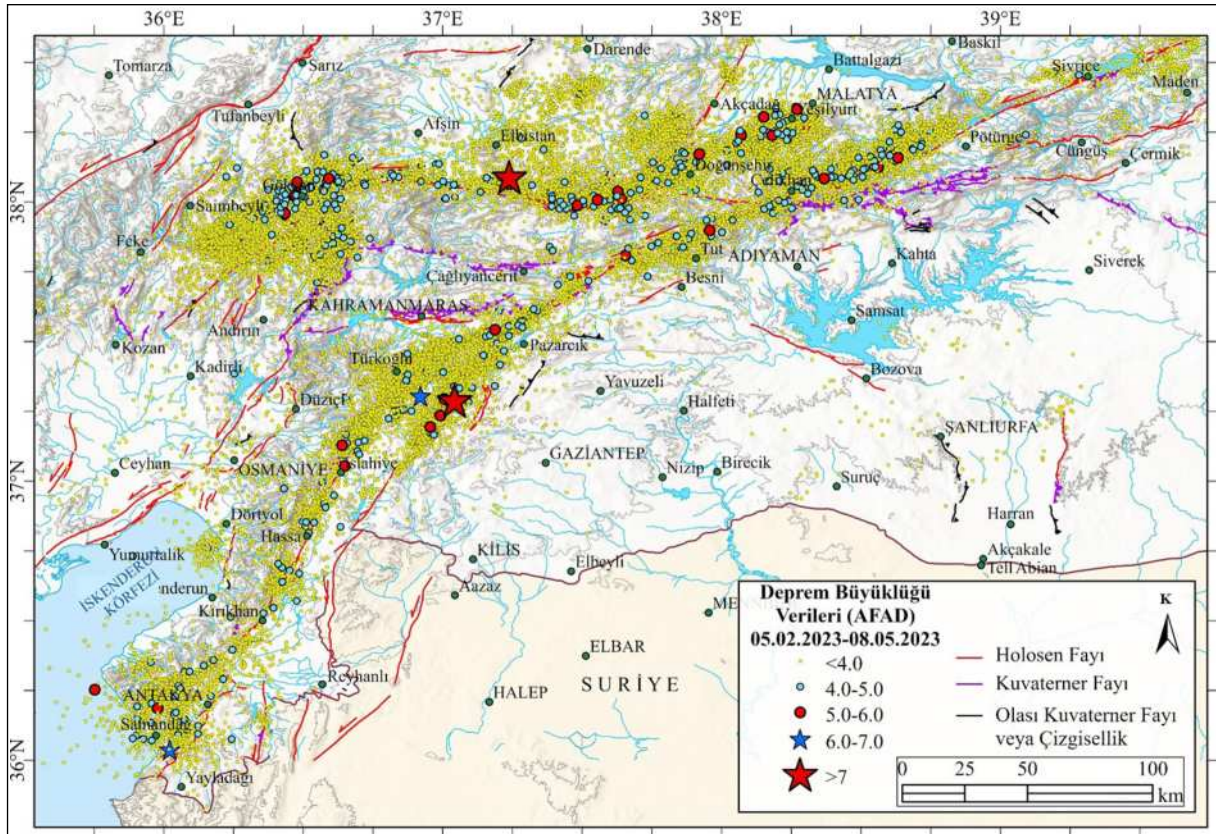
artçı deprem meydana gelmiştir. Ana depremler sonrasında gelişen artçı şok dağılımına bakıldığında, artçı şokların büyük oranda yüzey kırıkları boyunca yoğunlaştıkları gözlenmektedir (Şekil 5).

4. Saha Gözlemleri

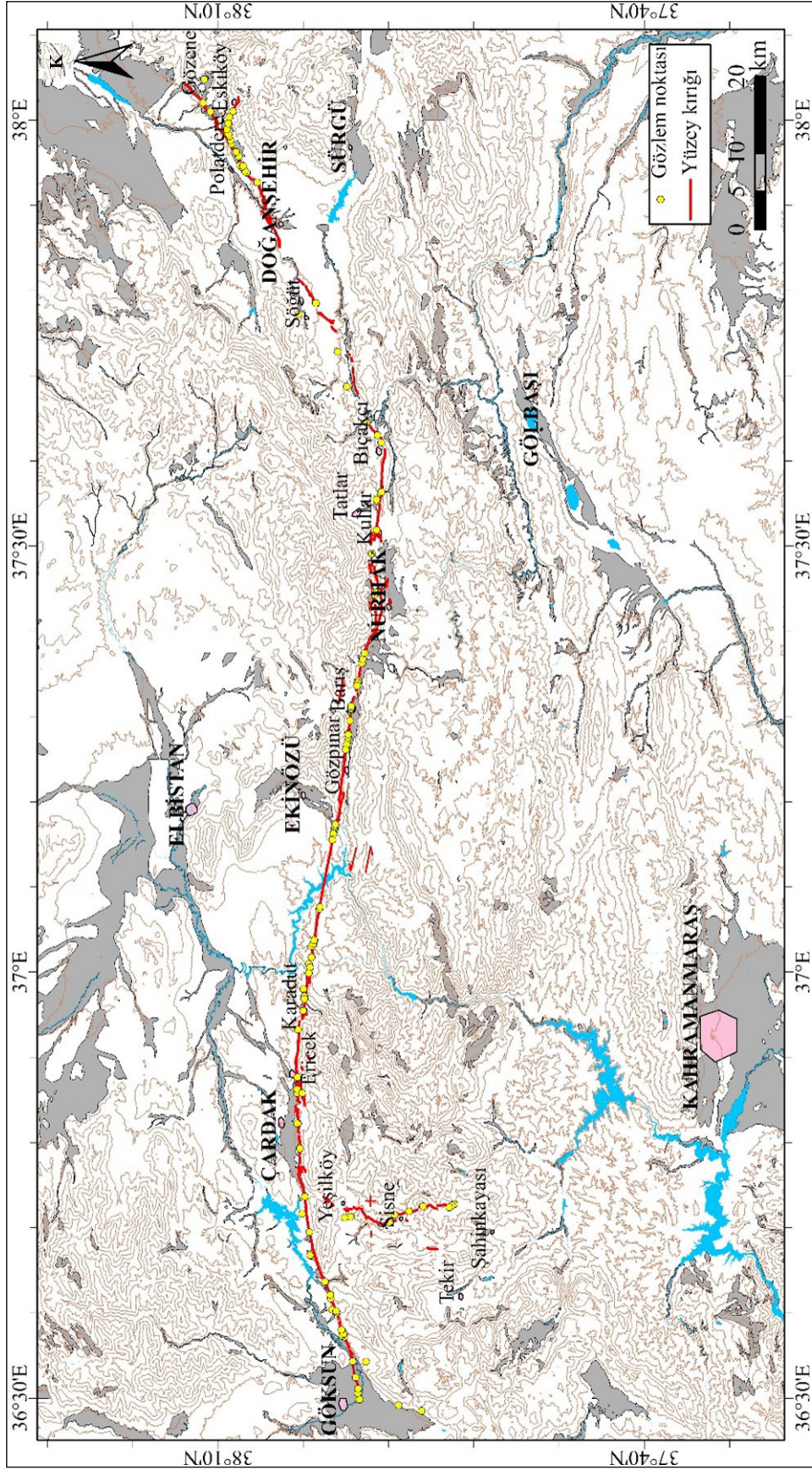
6 Şubat 2023 tarihinde saat 13.24'te meydana gelen Ekinözü depreminde oluşan yüzey kırığı, kabaca D-B doğrultulu olup, batıda Göksun'dan başlayarak, doğuya doğru Çardak-Ekinözü-Nurhak-Bıçakçı hattını takip etmektedir. Bıçakçı Köyü doğusundan itibaren yüzey kırığı K25°D doğrultusunu kazanmakta

ve kademeli bir şekilde Gözene Köyü kuzeyine kadar devam etmektedir (Şekil 6). Çok sayıda ötelenmiş yapının tespit edildiği yüzey kırığı boyunca, fay sarplıkları, basınç sırtları, açılma çatlakları, köstebek izi yapıları, kapatan sırtlar ve sol yanal makaslamayla ilişkili yapılar gelişmiştir.

Göksun doğusunda ortalama K70°D doğrultulu olan yüzey kırığı, Çardak güneyinde D-B doğrultusuna dönmekte, Ericcek-Nurhak KB'sı arasında ise K75°B doğrultusunda uzanarak, güneye doğru içbükey bir geometri sunmaktadır. Göksun GD'su ile Nurhak



Şekil 5- 06 Şubat 2023 tarihinde Pazarcık ve Ekinözü'nde (Kahramanmaraş) meydana gelen depremler ve artçı şoklarının Türkiye Diri Fay Haritası (Emre vd., 2013) üzerindeki dağılımı. Sismolojik veri AFAD'tan alınmıştır.



Şekil 6- 6 Şubat 2023 Ekinözü (Kahramanmaraş) depreminde gelişen yüzey kırığı ve saha gözlem noktalarına ait harita.

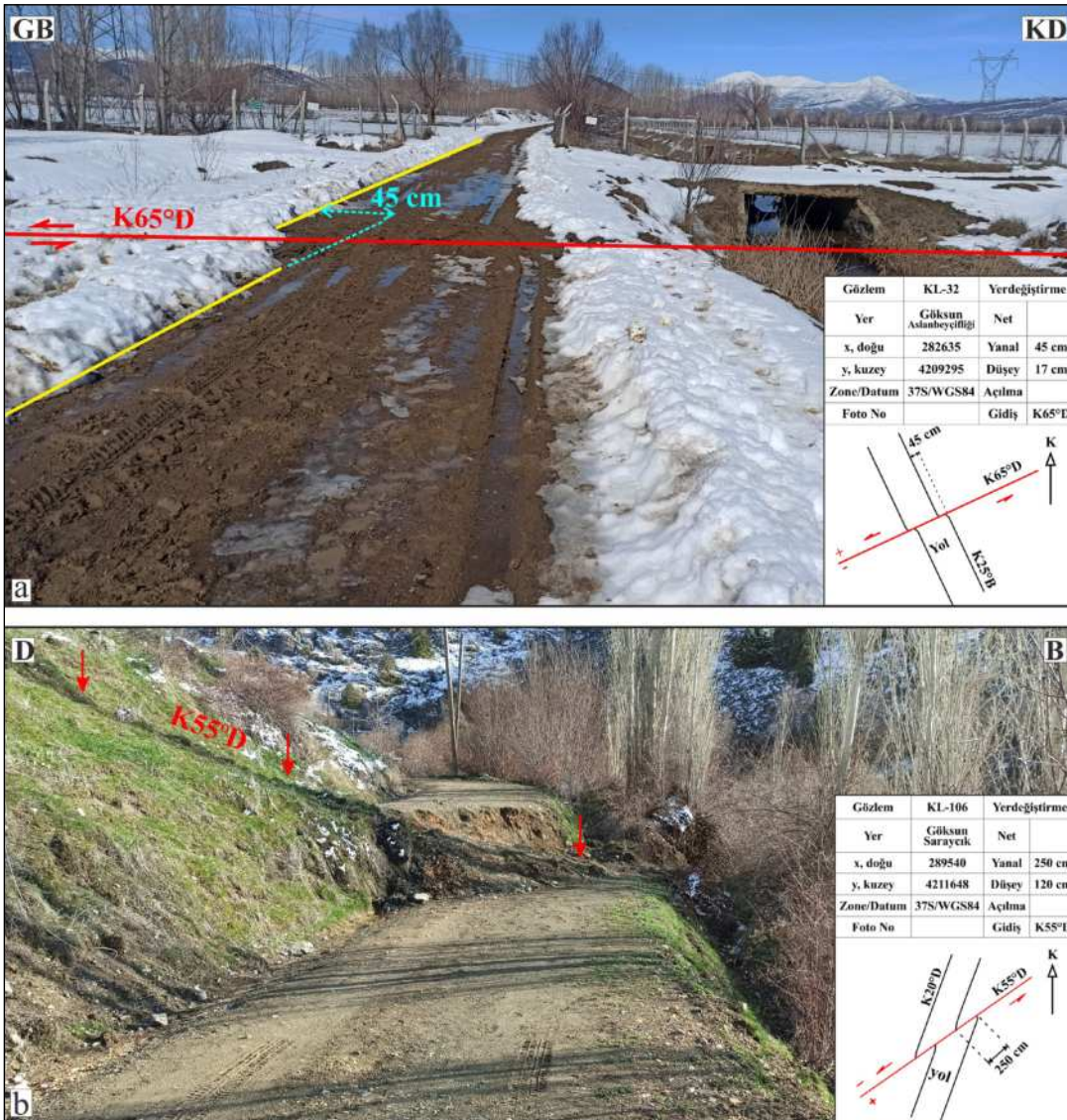
KB'sı arasında deformasyon zonu oldukça dar olup yüzey kırığı genellikle tek kol halinde ilerlemektedir. Ericek Köyü batısında, güneyinde, Karadut Köyü doğusunda ve Ekinözü GGD'sunda fay sıçrama yapmakta ve/veya birkaç küçük kola ayrılmaktadır. Bu kesimlerde deformasyon zonunun genişliği 300-1200 metre arasında değişmektedir.

4.1. Çardak Fayı

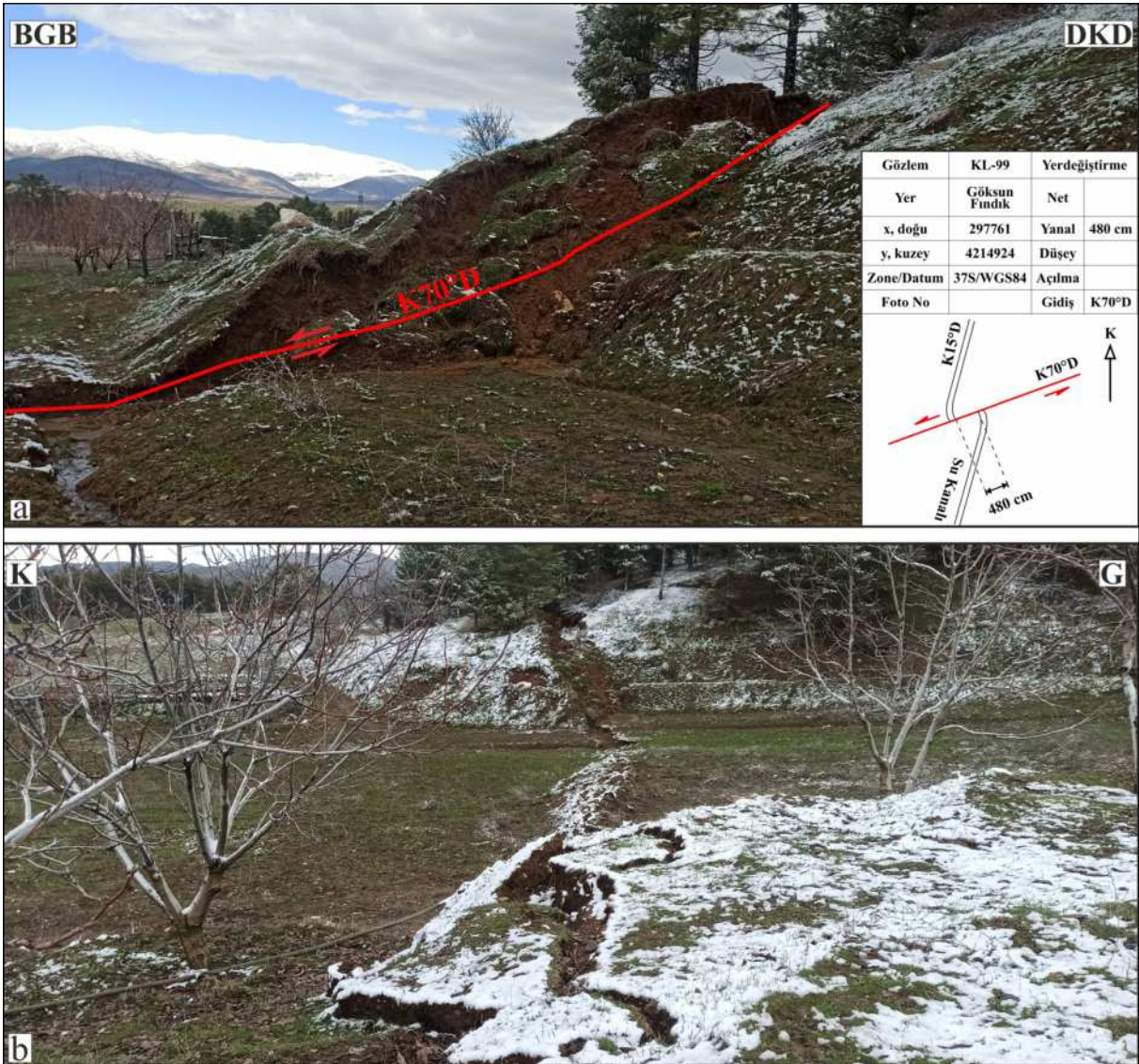
Yüzey kırığının oldukça belirgin olduğu Göksun GD'su ile Nurhak KB'sı arasında 81 km yüzey kırığı haritalanmış ve 66 gözlem yapılmıştır. Fayın bu

bölümünde ölçülen sol yanal yer değiştirme miktarları 25-880 cm arasında; düşey yer değiştirme miktarları ise 17-150 cm arasında değişmektedir.

Yüzey kırığının en batıda gözlemlendiği ilk nokta Göksun ilçesinin yaklaşık 2 km GGD'sunda yer almaktadır (Şekil 6). Fayın D-B doğrultulu olduğu bu lokasyonda tarladaki kanaletlerde 25 ± 5 cm sol yanal yer değiştirme ölçülmüştür. Bu lokasyonun batısında ve GB'sında yüzey kırığına dair bir veri bulunamamış ve yüzey kırığının sönümlendiği sonucuna varılmıştır. Doğuya doğru ötelenme değerleri kademeli olarak artmakta ve Çardak güneyinde 5 metreyi aşmaktadır (Şekil 7 ve 8).



Şekil 7- a) Göksun İlçesi'nin 3 km GD'sunda toprak yolu kesen yüzey kırığı ve yoldaki ötelenme (Yanal ötelenme 45 ± 10 cm, düşey ötelenme 17 ± 5 cm) ve b) Göksun İlçesi Saraycık Köyü GD'sunda toprak yolu kesen yüzey kırığı ve yoldaki ötelenme (Yanal ötelenme 250 ± 15 cm, düşey ötelenme 120 ± 10 cm).

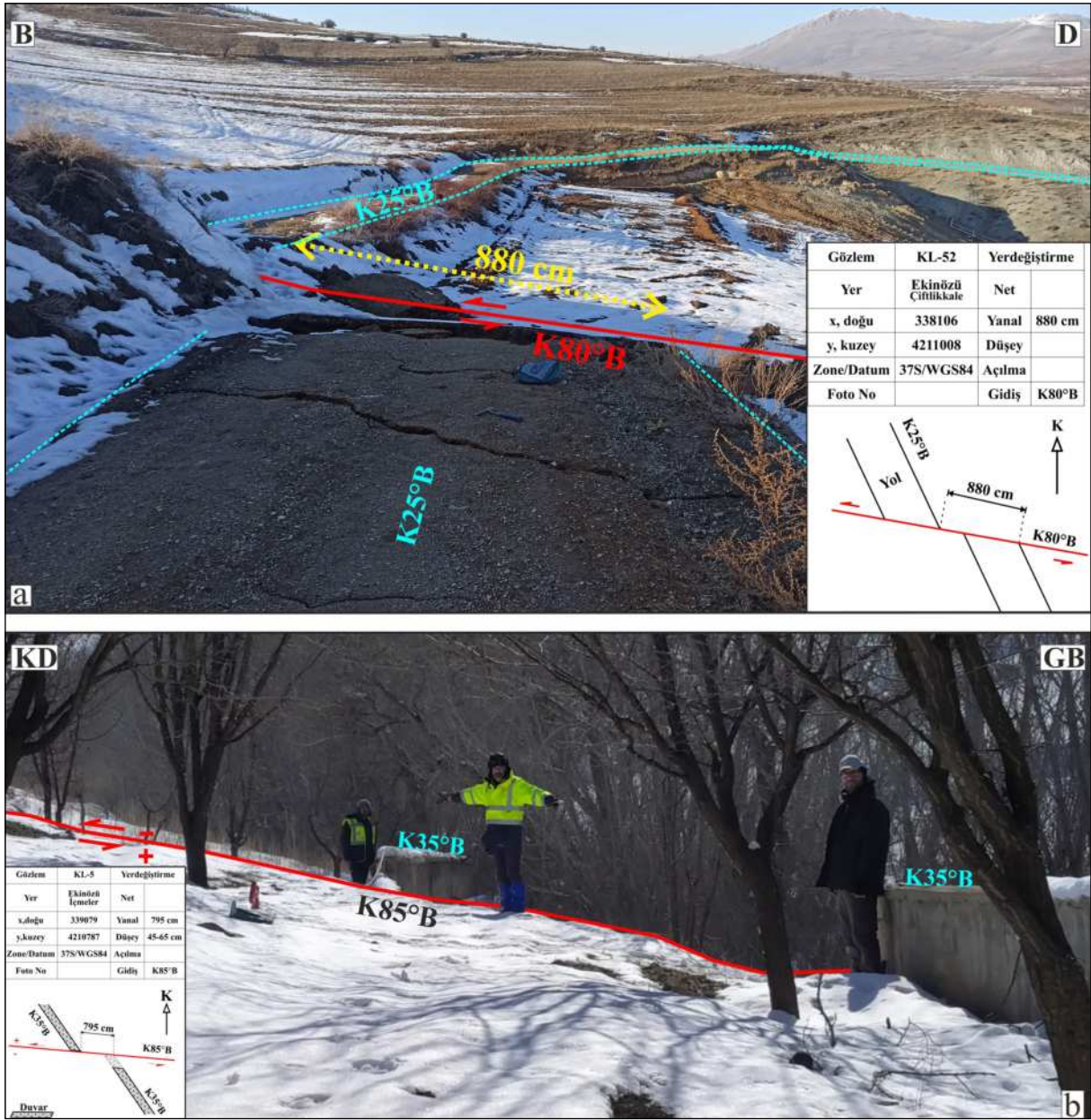


Şekil 8- Göksun İlçesi Gücüksü Köyü KD'sundaki a) yanall ötelenme (480±20 cm) ve b) yüzey kırığı boyunca gelişen köstebek izi yapısı.

6 Şubat 2023 Ekinözü depremindeki maksimum yer değıştirme Ekinözü İlçesi İçmeler Köyü GB'sında meydana gelmiştir. Buradaki asfalt yolda 880±20 cm sol yanall yer değıştirme ölçülmüştür. 1 km GD'daki başka bir lokasyonda, bahçe duvarında 795±5 cm sol yanall yer değıştirme ve 45-65 cm düşey yer değıştirme tespit edilmiştir (Şekil 9).

Yaklaşık 250 metre GD'da ise 590±20 cm ötelenmiş dere yatağı ve kapatan sırt (shutter ridge) oluşumu gözlenmiştir. K80°B doğrultulu fay yüzeyi üzerindeki kayma çizikleri doğrultuya paralel olup saf doğrultu atımlı faylanmayı göstermektedir (Şekil 10).

Ekinözü-İçmeler güneyinde yüzey kırığı birkaç kola ayrılmakta ve sağa sıçramaktadır. 2,3 km sonra yaklaşık 500 metre sola aşmalı sıçrama yapan fay, Gözpınar ve Barış köylerinden geçerek Nurhak KB'sına doğru uzanmaktadır (Şekil 6). Bu alanda genellikle tek kol halinde ve kesintisiz ilerleyen yüzey kırığı çok sayıda yapıyı ötelemiştir. Ekinözü-İçmeler güneyi ile Nurhak KB'sı arasında sol yanall yer değıştirme miktarları 340-690 cm, düşey yer değıştirme miktarları ise 40-125 cm arasında değışmektedir (Şekil 11).



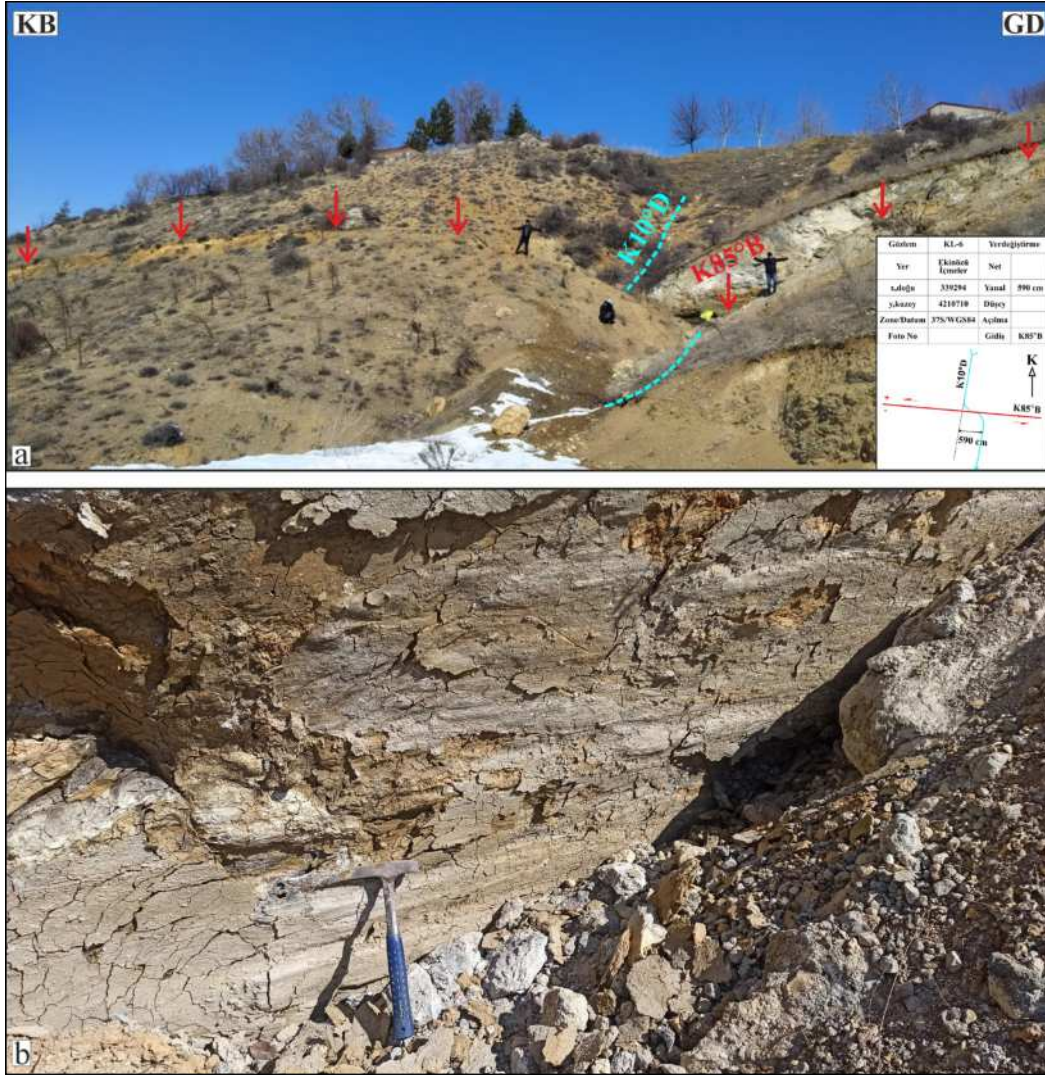
Şekil 9- a) Ekinözü İlçesi Aşağıçelmeler Köyü GB'sında bulunan yoldaki yer değiştirme (880±20 cm) ve b) Ekinözü İlçesi Aşağıçelmeler Köyü'ndeki yüzey kırığı ve bahçe duvarındaki yer değiştirme (795±5 cm).

4.2. Nurhak Fayı

Yaklaşık 20 km uzunluğunda yüzey kırığının olduğu Nurhak bölümünde yüzey kırığı kuzeye doğru içbükey geometri sunan, ters bileşene sahip, birbirine yaklaşık paralel iki ana koldan oluşmaktadır. Nurhak KB'sında yaklaşık K50°B olan fayın doğrultusu Nurhak kuzeyinde doğu-batıya dönmekte devamında ise K75°D doğrultusunda uzanmaktadır (Şekil 6). Yaklaşık 2,5 km genişliğindeki deformasyon zonu içerisinde iki ana kırık

dışında çok sayıda küçük kırık gözlenmektedir. Yüzey kırığının kesintisiz izlenemediği bu bölümde depremle tetiklenmiş heyelanlar, kaya düşmeleri, su çıkışları ve sıvılaşmalar gözlenmektedir (Şekil 12).

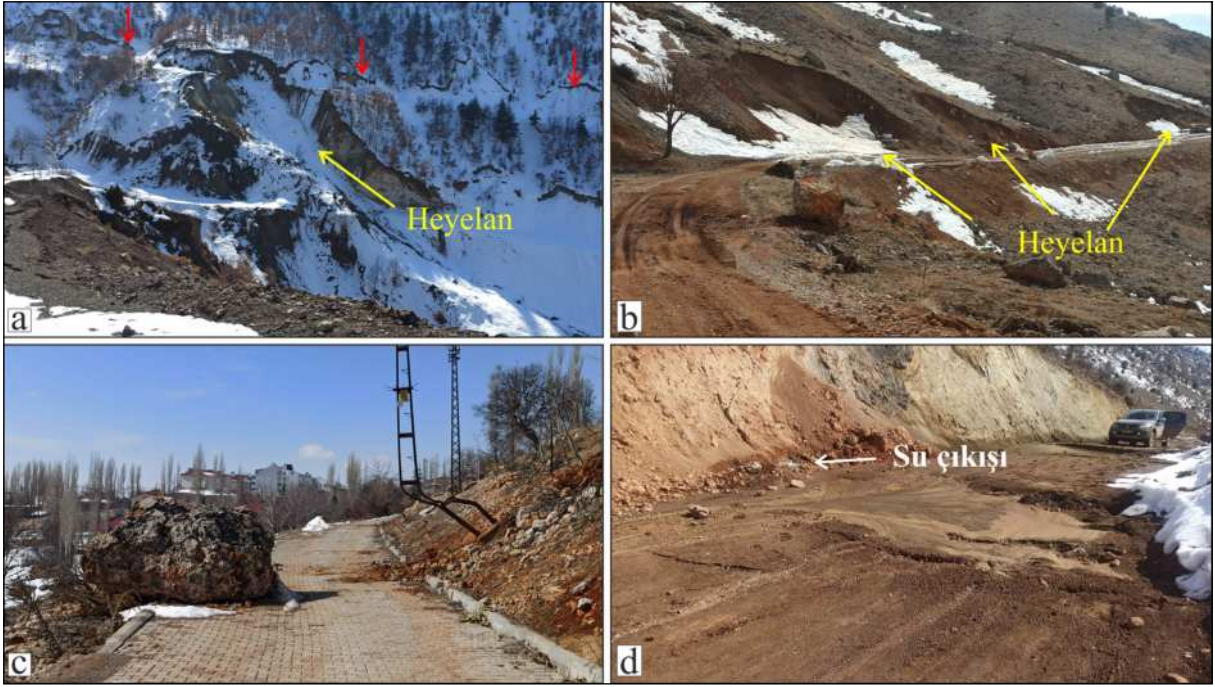
Nurhak KD'sundaki Kullar Köyü'nden itibaren morfolojik olarak daha belirgin olan yüzey kırığı K80°-85°B doğrultusunda 10 km boyunca uzanmaktadır. Tatlar Köyü güneyindeki sırt ve derede ötelenmeler tespit edilmiştir (Şekil 13).



Şekil 10- Ekinözü İlçesi Aşağııçmeler Köyü'nde a) dere yatağındaki ötelenme ve kapatan sırt oluşumu (yanal ötelenme 590±20 cm) ve b) depremde oluşmuş fay yüzeyinin ve kayma çiziklerinin yakından görünümü.



Şekil 11- Nurhak İlçesi Barış Köyü'nün doğusundaki ağaç sırasını kesen yüzey kırığının genel görünümü (yanal ötelenme 540±20 cm).



Şekil 12- a) Karadut Köyü GD'sundaki yüzey kırığı (kırmızı oklar) ve heyelan; b) Nurhak KD'sunda yol boyunca gelişen küçük heyelanlar; c) Kullar Köyü'ndeki kaya düşmesi ve d) Kullar Köyü KB'sındaki su çıkışı ve sıvılaşma.



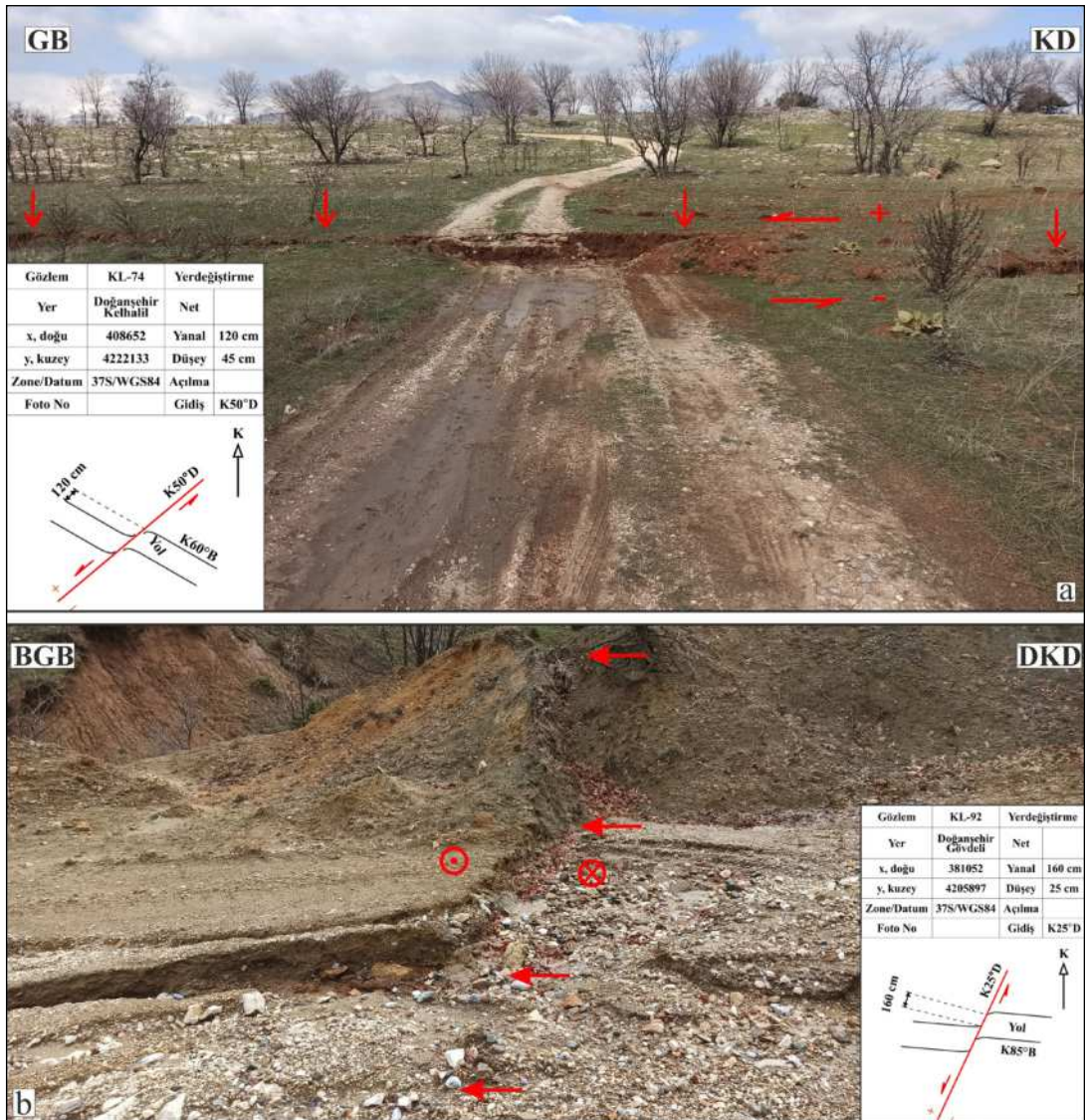
Şekil 13- Nurhak İlçesi Tatlar Köyü GD'sunda bulunan bir tepeyi öteleyen yüzey kırığının genel görünümü.

4.3. Doğanşehir Fayı (Bıçakçı-Gözene Arası)

Bıçakçı Köyü GD'sundan itibaren yüzey kırığının doğrultusu ani bir şekilde değişmekte ve KD'ya dönmektedir. 46,2 km yüzey kırığının haritalandığı Bıçakçı Köyü GD'su ile Gözene Köyü kuzeyi arasında yüzey kırığı genellikle sağa sıçramalı küçük faylarla temsil edilmektedir. Fayların doğrultuları $K20^{\circ}D$ ile $K70^{\circ}D$ arasında değişmekte; bu değişime ve sıçramalara bağlı olarak da sıkışma ve genişleme yapıları gelişmektedir. Genel doğrultusu $K50^{\circ}-60^{\circ}D$ civarında olan yüzey kırığı, Söğüt Köyü KD'suna kadar Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd., 2013) "Doğanşehir

Fay Zonu" olarak çizilen fay zonunu büyük ölçüde takip etmekte, Söğüt KD'sundan sonra ise bu fay zonundan ayrılmakta ve daha doğuya dönerek Gözene Köyü kuzeyine kadar uzanmaktadır. Polatdere Köyü'nün yaklaşık 3 km doğusundan itibaren yüzey kırığının ana kolundan ayrılan $K55^{\circ}-75^{\circ}B$ doğrultulu yaklaşık 4,5 km uzunluğundaki diğer bir yüzey kırığı Eskiköy güneyine doğru uzanmaktadır (Şekil 6).

Bıçakçı Köyü GD'su ile Gözene Köyü kuzeyi arasında ölçülen sol yanal ötelenme değerleri 40-315 cm arasında, düşey ötelenme değerleri ise 25-160 cm arasında değişmektedir (Şekil 14).



Şekil 14- a) Malatya ili Doğanşehir İlçesi Polatdere Köyü GD'sundaki yüzey kırığı ve yoldaki ötelenme (yanal ötelenme 120 ± 15 , düşey ötelenme 45 ± 5 cm) ve b) Bıçakçı Köyü'ndeki yüzey kırığı ve yoldaki ötelenme (yanal ötelenme 160 ± 20 , düşey ötelenme 25 ± 5 cm).

4.4. Sisne Fayı

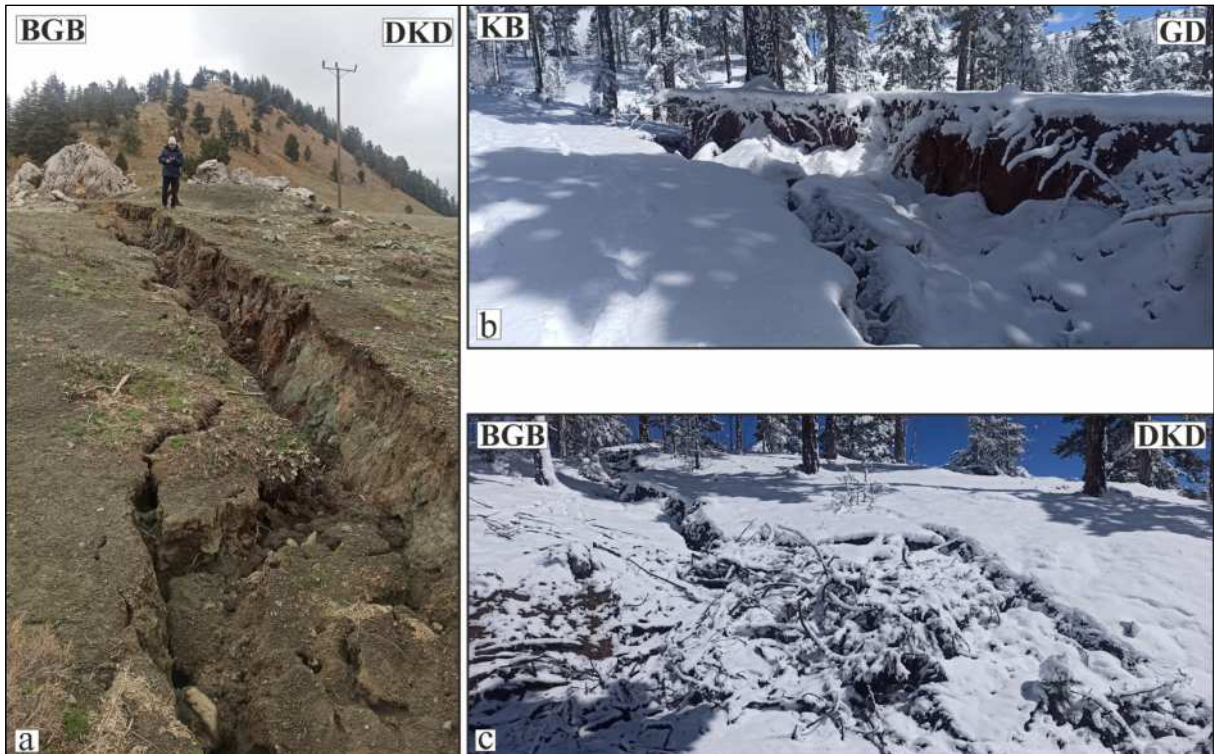
Ekinözü depremi sonrası yaklaşık D-B doğrultulu Çardak, Nurhak fayları ile KD-GB doğrultulu Doğanşehir Fayı'nda toplam 147 km yüzey kırığı haritalanmıştır. Bunun dışında Göksun ve Çardak ilçeleri güneyinde, yaklaşık K-G doğrultusuna sahip yeni bir yüzey kırığı daha gelişmiştir. Türkiye Diri Fay Haritası'nda bulunmayan bu fay, güneyde Şahinkayası Köyü kuzeyinden başlamakta, Sisne ve Yaylacık köylerinden geçerek Yeşilköy kuzeyine doğru uzanmaktadır (Şekil 6). “Sisne Fayı” olarak isimlendirilmesi önerilen bu normal fay üzerinde 20 km yüzey kırığı haritalanmış, 50-150 cm arasında düşey yer değiştirme tespit edilmiştir (Şekil 15).

5. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

06.02.2023 tarihinde yerel saatle 13.24'te merkez üssü Ekinözü (Kahramanmaraş) olan Mw 7,6 büyüklüğündeki deprem sol yanal doğrultu atımlı Çardak Fayı'nda gerçekleşmiştir. Depremde Çardak, Nurhak ve Doğanşehir faylarında yüzey kırığı gelişmiştir. Güneye doğru içbükey bir geometriye sahip olan Çardak Fayı batıda K70°D, Çardak güneyinde D-B, doğuda ise K75°B doğrultusuna

sahiptir. Depremde Çardak Fayı üzerinde gelişen deformasyon zonu oldukça dar olup yüzey kırığı çoğu yerde tek kol şeklinde izlenebilmektedir. Nurhak Fayı'nda ise yüzey kırığı, daha geniş bir alana yayılmış, birbirine yaklaşık paralel, ters bileşene sahip, kuzeye doğru içbükey konumda bulunan kırıklar ile temsil edilmektedir. Nurhak'tan doğuya doğru devam eden yüzey kırığı KD'ya dönerek Doğanşehir Fayı'nı takip etmektedir. Söğüt Köyü'nden itibaren Doğanşehir Fayı'ndan ayrılarak Yeşilyurt GB'sına doğru uzanmakta ve Gözene Köyü kuzeyinde sonlanmaktadır. Doğanşehir bölümündeki yüzey kırığı, düşey bileşeni genellikle daha fazla olan, sağa ya da sola sekmeli küçük kırıklardan oluşmaktadır.

Saha çalışmaları sırasında Göksun GD'su ile Nurhak KB'sı arasında 81 km, Nurhak KB'sı ile Bıçakçı Köyü arasında 20 km ve Bıçakçı Köyü ile Gözene Köyü arasında 46 olmak üzere toplam 147 km yüzey kırığı haritalanmıştır. Buna ek olarak güneyde Şahinkayası Köyü ile kuzeyde Yeşilköy arasında yaklaşık K-G doğrultulu yeni bir fay tespit edilmiştir. En iyi gözlemlendiği lokasyonların Sisne Köyü civarında olması sebebiyle “Sisne Fayı” olarak isimlendirilmesi



Şekil 15- a) Göksun İlçesi Sisne Köyü kuzeyindeki; b ve c) Sisne Köyü güneyindeki yüzey kırığının genel görünümü.

önerilmiştir. Normal fay karakterinde olan bu faya ait yaklaşık 20 km’lik yüzey kırığı haritalanmış olup, 150 cm’ye yakın düşey atım değerleri ölçülmüştür.

Bu depremde gerçekleşen en büyük sol yanal yer değiştirme Ekinözü İlçesi’nin yaklaşık 4 km GB’sında asfalt yolda, 880 ± 20 cm olarak ölçülmüştür. Bu lokasyondan batıya ve doğuya doğru yer değiştirme miktarları kademeli olarak azalmakta, batıda Göksun güneyinde, doğuda ise Gözene Köyü kuzeyinde sönümlenmektedir. Atım dağılımına bakıldığında ölçülen değerlerin depremin merkez üssü ve fayın geometrisi ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Çardak Fayı için Duman ve Emre (2013) tarafından önerilen 2,5 mm/yıllık kayma hızı ve sahada ölçülen maksimum yer değiştirme miktarına (880 ± 20 cm) göre yüzey kırığı oluşturmuş son depremin günümüzden 3520 yıl önce gerçekleşmiş olması gerekmektedir. Yaklaşık MÖ 1500 yıllarına karşılık gelen bu tarih Balkaya vd. (2021) ve Balkaya (2022) tarafından hesaplanan MÖ 3215 ± 125 ile MS 825 ± 55 aralığı içerisinde kalmaktadır.

Ekinözü depreminde yüzey kırığına ek olarak depremle tetiklenmiş çok sayıda heyelan, kaya düşmesi, yanal yönde yayılma gibi kütle hareketleri ve su çıkışları gözlenmiştir.

Katkı Belirtme

06 Şubat 2023 Ekinözü (Kahramanmaraş) depreminden sonra arazi çalışmaları için gerekli olanakları sağlayan MTA Genel Müdürlüğü yetkililerine; çalışmalarımız sırasında ve sonrasında destek ve iletişimini eksik etmeyen Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanı Dr. M. Bahadır Şahin’e; Aktif Tektonik ve Deprem Araştırmaları Koordinatörü Doç. Dr. Selim Özalp’e ve Elbistan’daki yardımları için Dr. Gökhan Atıcı, Mehmet Çobankaya ve Erhan Karakuş’a teşekkür ederiz. Ayrıca Sisne Fayı’na dikkatimizi çeken ve bölgeyle ilgili bilgi veren Şerafettin Ateş’e teşekkür ederiz. Bu çalışma MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2023 yılı iş programında yer alan Türkiye Ulusal Paleosismoloji Araştırmaları Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Değinilen Belgeler

- AFAD, (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). <https://deprem.afad.gov.tr/last-earthquakes.html> (Erişim tarihi: 6 Şubat 2023).
- Arpat, E. 1971. 22 Mayıs 1971 Bingöl Depremi; Ölü Deniz fay sisteminin Karlıova ilçesi ile Hazar Gölü arasındaki bölümü (ön rapor). Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Rapor No: 4697, Ankara (yayımlanmamış).
- Arpat, E., Şaroğlu, F. 1972. The East Anatolian Fault System: thoughts on its development. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 78, 33-39.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. 1975. Türkiye’de bazı önemli genç tektonik olaylar. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 18, 29-41.
- Balkaya, M. 2022. Sürgü Ve Çardak Faylarının (Doğu Anadolu Fay Zonu) Morfotektonik Ve Paleosismolojik Özellikleri. Doktora Tezi, 125, Çanakkale (yayımlanmamış).
- Balkaya, M., Özden, S., Akyüz, H. S. 2021. Morphometric and Morphotectonic Characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences 7, 3, 375-392.
- Barka, A. 1992. The North Anatolian Fault Zone. Annales Tectonicae 6, 164-195.
- Barka, A., Kadinsky-Cade, K. 1988. Strike-slip fault activity. Tectonics 7, 663-684.
- Barka, A., Reilinger, R. 1997. Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, Annale de Geofisica XL 587-610.
- Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis, Geodinamica Acta 14, 3-30.
- Çetin, H., Güneşli, H., Mayer, L. 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics 374, 163-197.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., Şengör, A. M. C. 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia: a young collision zone. Collision Tectonics. Geological Society London Special Publications 19, 3-36.
- Duman, T. Y., Emre, Ö. 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geological Development of Anatolia and the Easternmost Mediterranean Region 372, 495-529.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay

- Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara, 89.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroglu, F., Olgun, S., Elmacı, H., Can, T. 2016. Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering* 16, 3229-3275.
- EMSC. (European-Mediterranean Seismological Centre). <http://www.emsc-csem.org> (Erişim tarihi: 6 Şubat 2023).
- GFZ. Geo Forschungs Zentrum, German Research Centre for Geosciences. <https://geofon.gfz-potsdam.de/old/eqinfo/list.php> (Erişim tarihi: 6 Şubat 2023).
- Harch, W., Kupfer, T., Rust, B., Sager, R. 1981. Seismotectonic consideration on the nature of the Turkish-African plate boundary, *Geologische Rundschau* 70, 368-384.
- Hempton, M. R., Dewey, J.F., Şaroglu, F. 1981. The East Anatolian Transform Fault: Along Strike Variations in Geometry and Behavior. *EOS* 62, 393.
- Hempton, M. R. 1985. Structure and deformation history of the Bitlis Suture near Lake Hazar, SE Turkey. *Geological Society of America Bulletin* 96, 233-243.
- Herece, E. 2003. Doğu Anadolu Fayı, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2003 Ankara, 309-310.
- Herece, E. 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi, Ankara, 13, 359.
- Herece, E., Akay, E. 1992. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı. *Proceeding of the 9th Petroleum Congress of Turkey*, 17-21 Şubat 1992, Ankara, 361-372.
- Kiratz, A., Papazachos, C. B. 1995. Active crustal deformation from the Azores triple junction to the Middle East. *Tectonophysics* 243, 1-24.
- KRDAE. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil-Gaziantep; Ekinözü-Kahramanmaraş ve 20 Şubat 2023 Hatay Depremleri Ön Değerlendirme Raporu, <http://www.koeri.boun.edu.tr>. (Erişim tarihi: 6 Şubat 2023).
- Lyberis, N. T., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N. 1992. The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics* 204, 1-15.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, O., Hamburger, M., Kurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N., Veis, G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research* 105, B3, 5695-5719.
- McKenzie, D. P. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 109-185.
- McKenzie, D. P., Davies, D., Molnar, P. 1970. Plate tectonics of the Red Sea and East Africa. *Nature* 226, 243-248.
- Muehlberger, R. W., Gordon, M. B. 1987. Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey., *Journal of Structural Geology* 9, 899-903.
- Oral, M. B., Reilinger, R., Toksöz, R. 1992. Deformation of the Anatolian block as deduced from GPS measurements, *Transactions, American Geophysical Union, EOS* 73, 120.
- Parlak, O. 2004. Çelikhan-Erkenek Arasında Doğu Anadolu Fayı'nın Özellikleri. *Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi*, 99, İstanbul (yayınlanmamış).
- Perinçek, D., Kozlu, H. 1984. Afşin-Elbistan Doğanşehir dolayının stratigrafisi ve bölgedeki birliklerin yapısal ilişkileri. *TPAO Arama Grubu, Rapor No:1909*, 28, Ankara (yayınlanmamış).
- Perinçek, D., Günay, Y., Kozlu, H. 1987. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler. *Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri*, Ankara, 89-103.
- Reilinger, R., McClusky, S., Oral, B., King, R., Toksöz, M. N., Barka, A. A., Kinik, I., Lenk, O., Sanlı, I. 1997. Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, *Journal of Geophysical Research* 102, 9983-9999.
- Reilinger, 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, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S. V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. 2006. GPS constraints on continental deformation in

- the Africa-ArabiaEurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411.
- Seymen, İ., Aydın, A. 1972. Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkisi. *Bulletin Of The Mineral Research and Exploration* 79, 1-8.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşcu, İ. 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey. *Annalae Tectonicae* 6, 99-125.
- Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics* 75, 181-241.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Strike-slip Faulting and Basin Formation. Society of Economic Mineralogists and Petrologists Special Publication* 37, 227-264.
- Taymaz, T., Jackson, J. A., McKenzie, D. 1991. Active tectonics of the north and Central Aegean Sea. *Geophysical Journal of International* 106, 433-490.
- USGS. (United States Geological Survey). <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/> (Erişim tarihi: 6 Şubat 2023).
- Westaway, R. 1994. Present-day kinematics of the Middle East and eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research* 99, 12071-12090.
- Westaway, R. 2003. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, *Turkish Journal of Earth Sciences* 12, 5-46.