



## 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Ekinözü depremi (Mw 7.6) ile ilişkili Çardak Fayı yüzey kırığının tektonik jeomorfolojisi

### *Tectonic geomorphology of the Çardak Fault surface rupture associated with the February 6, 2023 Kahramanmaraş-Ekinözü earthquake (Mw 7.6)*

Cihan Bayrakdar <sup>a</sup> Onur Halis <sup>a\*</sup> Ergin Canpolat <sup>b</sup> M. Fatih Döker <sup>c</sup> Ferhat Keserci <sup>a</sup>

<sup>a</sup> İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye.

<sup>b</sup> Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü Hatay, Türkiye.

<sup>c</sup> Sakarya Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya, Türkiye.

ORCID: C.B. 0000-0001-5542-700X; O.H. 0000-0002-0643-2651; E.C. 0000-0003-2123-3551; M.F.D. 0000-0002-0414-0428 F.K. 0000-0002-8653-6177

#### BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 12.04.2023

Kabul/Accepted: 02.05.2023

#### Anahtar Kelimeler:

Çardak Fayı

Yüzey kırığı

Tektonik jeomorfoloji

Web tabanlı haritalama

İHA

#### Keywords:

Çardak Fault

Surface rupture

Tectonic geomorphology

Web-based mapping

UAV

\*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(O.Halis) [onurhalis@istanbul.edu.tr](mailto:onurhalis@istanbul.edu.tr)

DOI: 10.17211/tcd.1281680



#### Atf/Citation:

Bayrakdar, C., Halis, O., Canpolat E., Döker, M.F., & Keserci F. (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Ekinözü depremi (Mw 7.6) ile ilişkili Çardak Fayı yüzey kırığının tektonik jeomorfolojisi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (83), 7-22.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1281680>

#### ÖZ / ABSTRACT

6 Şubat 2023 saat 13:24'te moment büyüklüğü 7.6 (Mw) olan Ekinözü depremi, sol yanal atımlı Çardak Fayı üzerinde gerçekleşmiştir. Çardak Fayı üzerinde 105 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşan bu deprem, Kahramanmaraş ilinin Göksun ilçesinden doğuda Malatya ilinin Doğanşehir ilçesine bağlı Bıçakçı'ya kadar takip edilebilmiş ve haritalanmıştır. Deprem sonucunda oluşan yüzey kırığı üzerinde fayın karakterini yansıtan 8 metreye varan sol yanal ötelenmelerin yanı sıra 3-5 metre düşey atımların da geliştiği saptanmıştır. Çardak Fay Zonu içerisinde yüzey kırığı ile birlikte yanal yayılmalar, çek-ayır havzalar, fay diklikleri ve köstebek yapıları gibi yüzey deformasyonları da gelişmiştir. Çardak Fayı'nın yüzey kırığı ilk olarak Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından deprem sonrası çekilen hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile tespit edilmiş ve sonrasında 14-20 ve 26-27 Şubat 2023 tarihleri arasında yapılan arazi çalışmaları ile teyit edilmiştir. Fayın jeomorfolojik izleri lazermetre yardımıyla yerden, insansız hava araçları (İHA) ile havadan hassas bir şekilde ölçülerek haritalandırılmıştır. Ayrıca çalışmada toplanan veriler coğrafi veri servisi olarak bulut ortamında depolanarak web tabanlı haritalar (Cbskampus, 2023) ile araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.

*On February 6, 2023 at 13:24, an earthquake with a moment magnitude of 7.6 (Mw) occurred on the left-lateral strike-slip Çardak Fault. This earthquake, which created a 105 km long surface rupture on the Çardak Fault, could be traced and mapped from Göksun district of Kahramanmaraş province to Bıçakçı in Doğanşehir district of Malatya province in the east. The surface rupture produced left-lateral offsets of up to 8 meters and vertical displacements of 3-5 meters, which reflect the character of the fault. Within the Çardak Fault zone, surface deformations such as lateral spreads, pull-apart basins, fault scarps, and mole tracks also developed. The surface rupture of the Çardak Fault was firstly detected by the General Directorate of Mapping (GGM) with aerial photographs and satellite images taken after the earthquake and then confirmed by field works conducted between February 14-20 and 26-27, 2023. The geomorphologic traces of the fault were precisely measured and mapped from the ground with laser meters and from the air with unmanned aerial vehicles (UAVs). In addition, the data collected in the study were stored in the cloud environment as a geographic data service and made available to researchers with web-based maps (Cbskampus, 2023).*

## Extended Abstract

### Introduction

According to Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) data, 7.7 (Mw) magnitude earthquake occurred near Pazarcık (Kahramanmaraş) on February 06, 2023 at 04:17 national time. On the same day nine hours later the second earthquake with a magnitude of 7.6 (Mw) occurred near Ekinözü (Kahramanmaraş) at 13:24. The second earthquake occurred on the left lateral strike-slip Çardak Fault, one of the northern branch segments of the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) (Figure 1). The last large earthquake produced by the fault segments which close to Elbistan was magnitude 6.8 in 1544 (Ambraseys, 2009; Duman & Emre, 2013; Balkaya et al., 2021).

The fact that the 7.6 (Mw) magnitude earthquake that occurred on the Çardak Fault created a 105 km long surface rupture is a remarkable issue in terms of tectonic geomorphology. In this study, it was aimed to measure the amount of surface rupture and surface offset of the earthquake, to investigate and map the deformations it created in its immediate vicinity.

The active tectonic field in the Eastern Mediterranean Basin is shaped by the collision between the Arabian and African Plates and the Eurasian Plate (Figure 1). Due to the faster northward movement of the Arabian Plate compared to the African Plate, crustal thickening and compression in Eastern Anatolia was more pronounced (Koçyiğit, 1984; Şengör & Yılmaz, 1981; Bozkurt, 2001; Barka et al., 1987). This compression regime, which was initially compensated by east-west oriented folds and thrusts in Eastern Anatolia, led to the development of lateral faulting in the Upper Miocene. Thus, Eastern Anatolia and Dead Sea Faults were formed. The Çardak Fault, which is the subject of this study, is the northern branch of the Eastern Anatolian Fault and is defined by Balkaya et al. (2021) as a seismically active, left-lateral strike-slip fault with a length of 85 km extending roughly D-W between Göksun and Nurhak districts of Kahramanmaraş.

### Method and Material

The data sources of the study consist of topography maps with scales of 1:25,000 and 1:5,000 and Digital Elevation Models (DEM) obtained from these maps, geological maps with a scale of 1:500,000, GPS and laser meter measurements, Satellite Images and maps produced as a result of field work. In addition, unmanned aerial vehicles (UAVs) were used to produce maps suitable for the purpose with elevation data with a sensitivity of less than 1 meter from orthophotos at key locations in the field.

The surface rupture of the Çardak Fault was first detected with aerial photographs and satellite images taken by the General Directorate of Mapping (HGM) after the earthquake and shared on <https://atlas.harita.gov.tr> and HGM Küre applications, and then confirmed by field works carried out between February 14-20 and 26-27, 2023. In addition, the data collected in the study were stored in the cloud environment as a geographic data service and made available to researchers with web-based maps.

## Results and Discussion

On February 6, 2023, an earthquake of Mw 7.6 occurred near Ekinözü settlement in Kahramanmaraş on the Çardak Fault. After the evaluations made on field observations and aerial photographs, it was determined that the whole of the Çardak Fault was ruptured because of the earthquake. In the section from sought of Göksun to Bıçakçı in the east, the surface rupture could be traced and mapped for 105 km. Additionally, the surface rupture caused by the Ekinözü earthquake can be traced discontinuously and independently from the Çardak Fault eastward to Bıçakçı and up to 35 km northeast of Doğanşehir through aerial photographs and satellite images.

In the scope of the study it was determined that left lateral displacements of up to 8 meters, reflecting the character of the fault, as well as vertical displacements between 3-5 meters developed on the surface rupture formed as a result of the earthquake. Along with the surface rupture, surface deformations such as lateral spreading, pull-apart basins and fault steepness have also developed within the Çardak Fault Zone.

While AFAD and Kandilli Observatory And Earthquake Research Institute (KOERI/KRDAE) show the epicenter near Ekinözü to the north of the fault, USGS shows a point just south of the Çardak fault. As a result of our observations in the field, at the point where the surface rupture was detected in the south of Aşağıçmeler, surface ruptures with circular geometry were observed in addition to the parallel linear extension unlike the other regions. In addition, vertical displacement close to 5 meters on the slope were also observed. This complex geometric structure and intense fracture systems suggest that the epicenter of the earthquake may be in this part.

Within the scope of the study, the highest horizontal displacement was measured 2 km west of the epicenter of the earthquake in the south of Aşağıçmeler (8 m). This value is larger than the horizontal displacements (6.5-7 m) generated by the first earthquake of Mw 7.7. In addition to the left lateral displacement on the surface rupture of the Çardak Fault, vertical displacements were also observed in some localities. These vertical displacement are shown in the form of uplift of the south block west of the epicenter, while the north block is uplifted east of the epicenter. This situation also shows that the east and west of Ekinözü are skewed in opposite directions.

In understanding the characteristics of faults, it is very important to identify and map the landforms formed by the fault while they are still fresh. In this study, the surface rupture of the Çardak Fault was mapped and the location of the fault's rupture and termination was tried to be determined by field observations. Our preliminary results indicate that the Çardak Fault is completely ruptured.

### 1. Giriş

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre 06 Şubat 2023 tarihinde ulusal saat ile 04:17'de Pazarcık (Kahramanmaraş) yakınlarında merkez üssü 37,288K- 37,043D

ve odak derinliği 8,6 km olan 7.7 (Mw) büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Bu yıkıcı deprem ile aynı gün saat 13:24'te ise Ekinözü (Kahramanmaraş) yakınlarında merkez üssü 38,089 K- 37,239 D, odak derinliği 7,0 km olan 7.6 (Mw) büyüklüğünde ikinci bir deprem meydana gelmiştir. 7.6 (Mw) büyüklüğündeki ikinci deprem sol yanal atımlı Çardak Fayı üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 1). Elbistan'da deprem üreten fay segmentlerinin en son ürettiği büyük deprem 1544'te 6.8 büyüklüğündedir (Ambraseys, 2009; Duman & Emre, 2013; Balkaya vd., 2021). Bu depremin Elbistan'da büyük bir yıkıma yol açtığı ve artçıların 6 ay devam ettiği belirtilmektedir (Ambraseys, 1989). Buradan hareketle bu yörenin büyük depremler açısından yaklaşık 480 yıllık bir suskunluğu olduğu anlaşılmaktadır. 06 Şubat 2023 tarihindeki bu iki depremin ana şoku, 24.03.2023 tarihine kadar Mw 6 üzerinde 2, Mw 5 ve üzerinde ise 47 deprem olmak üzere toplamda 19.000 üzerinde artçı deprem yaratmıştır. Ana depremler ve artçıları 10 ilimizde can, mal ve doğal kaynak kayıplarına neden olmuştur. İlk depremin gerçekleştiği Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Karasu, Pazarcık ve Erkenek segmentlerinde Karabacak vd. (2023) tarafından elde edilen ön sonuçlara göre yüzey kırığı uzunluğu  $270 \pm 10$  km tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada sol yanal doğrultu atımlı faylanma sonucunda maksimum yatay yer değiştirme 7.30 m ve ortalama yer değiştirme 3.00 m ölçülmüştür (Karabacak vd., 2023).

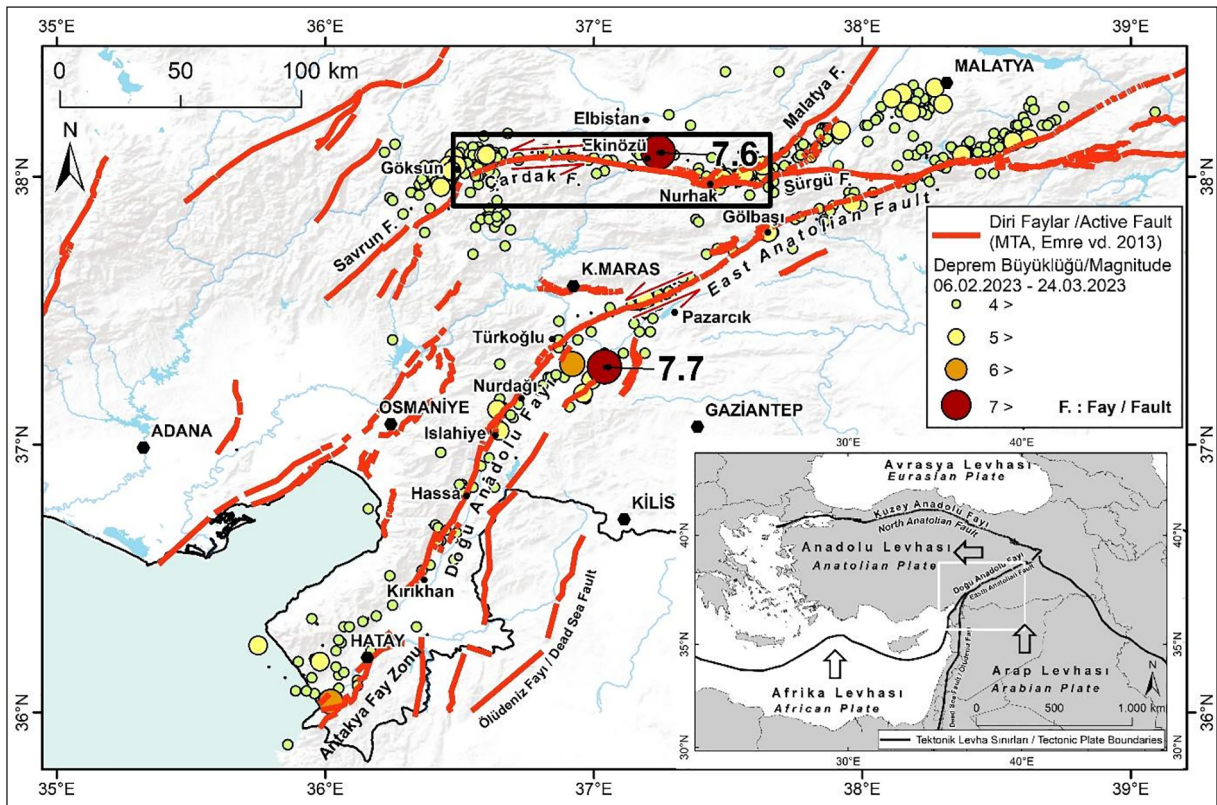
Wells ve Coppersmith (1994) tarafından 7.6 büyüklüğündeki bir depremin en az 70 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturması gerektiği belirtilmiştir. Çardak Fayı üzerinde de meydana gelen 7.6 (Mw) büyüklüğündeki depremin 105 km uzunluğunda bir yüzey kırığı oluşturması tektonik jeomorfoloji açısından dikkate değer bir konu olup, bu çalışmada depremin yüzey

kırığı ve yüzey atım miktarlarının ölçülmesi, yakın çevrede oluşturduğu deformasyonların araştırılması ve haritalanması hedeflenmiştir.

Depreme neden olan faylar mikro ve/veya makro morfolojiler oluştururlar. Özellikle tektonik hareketler sonucunda oluşan küçük boyutlardaki (mikro) yer şekilleri erozyonel süreçler ve antropojenik etkilerle hızlı bir şekilde aşınmakta ya da tamamen kaybolmaktadır. Bu nedenle fayların karakteristik özelliklerinin anlaşılmasında fayın oluşturduğu yer şekillerinin henüz tazeliğini korurken tespit edilmesi ve haritalandırılması önemlidir. Bu kapsamda depremin ardından (i) yüzey kırığının haritalanması, (ii) atım miktarlarının yerinde ölçülmesi, (iii) fay geometrisine bağlı oluşan şekillerin değerlendirilebilmesi amacıyla arazi çalışması ve analizlere gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla 14-20 ve 26-27 Şubat 2023 tarihleri arasında ikinci depremin gerçekleştiği Çardak Fayı üzerindeki Göksun-Ekinözü-Nurhak bölgelerinde deprem sonrasında tarihlendirilmiş olan uzaktan algılama verileri ile belirlenen alanlara arazi çalışmaları düzenlenerek jeomorfolojik gözlemler, ölçümler ve haritalamalar yapılmıştır.

## 2. Tektonik Yapı

Doğu Akdeniz Havzası'ndaki aktif tektonik saha, Arabistan-Afrika levhaları ile Avrasya levhası arasındaki çarpışma ile şekillenmektedir (Şekil 1). Arabistan levhasının Afrika levhasına göre daha hızlı kuzeye hareketi nedeniyle Doğu Anadolu'daki kabuk kalınlaşması ve sıkışma daha belirgin gerçekleşmiştir (Koçyiğit, 1984; Şengör & Yılmaz, 1981; Bozkurt, 2001; Barka vd., 1987). Bu kalınlaşma ve sıkışma hareketi yaklaşık 12 Milyon yıl önce başlamıştır (Şengör, Görür & Şaroğlu 1985; Dewey



Şekil 1. Türkiye ve yakın civarındaki tektonik levhalar ile Doğu Anadolu Fay Zonu'nu oluşturan diri faylar (Maden Tetik ve Arama (MTA), Emre vd., 2013) ve 6 Şubat - 24 Mart 2023 arasındaki artçı depremlerin dağılımı (AFAD, 2023).

Figure 1. Tectonic plates in and around Turkey and active faults forming the Eastern Anatolia Fault (General Directorate of Mineral Research And Exploration (MTA), Emre et al. 2013) and the distribution of aftershocks between February 6 and March 24, 2023 (AFAD, 2023).

vd., 1986). Nitekim Avrasya ve Arap Plakalarının çarpışması ile Doğu Anadolu Fay sisteminin oluşum zamanı, Bitlis-Zargos bindirme zonundan ilk kez elde edilen apatit fizyon iz yaşlarına göre 18 ile 13 Milyon yılları arasına işaret etmektedir (okay vd. 2010).

Doğu Anadolu'da önceleri doğu-batı eksenli kıvrım ve bindirmelerle telafi edilen bu sıkışma rejimi Üst Miyosen ile birlikte yanal atımlı faylanmaların gelişmesine neden olmuştur. Böylece Doğu Anadolu ve Ölü Deniz Fayları oluşmuştur. Ölü Deniz Fayı, Kızıldeniz-Akabe Körfezi'nden başlayan ve kuzeyde Türkoğlu'nda Doğu Anadolu Fayı ile kesişen bir tektonik yapıdır (Yurtmen vd., 2002).

Allen (1969) tarafından adlandırılan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ise ilk olarak Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından haritalanmıştır. Över vd. (2004)'e göre DAFZ, Kuzey Anadolu Fay Zonu ile birleştiği Karlıova üçlü kavşağından güneybatıya doğru yaklaşık 600 km boyunca Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile birleştiği Antakya yakınlarındaki Kahramanmaraş üçlü kavşağına kadar uzanır. DAFZ'nin kuzey kolu Sürgü, Çardak, Savrun, Çokak ve Toprakale segmentlerinden ve güney kolu Gölbaşı, Amanos segmentleri ile Engizek Fay Zonu, Kahramanmaraş Fay Zonu ve ÖDFZ'nun Narlı segmentlerinden oluşmaktadır (Palutluoğlu & Şaşmaz, 2017).

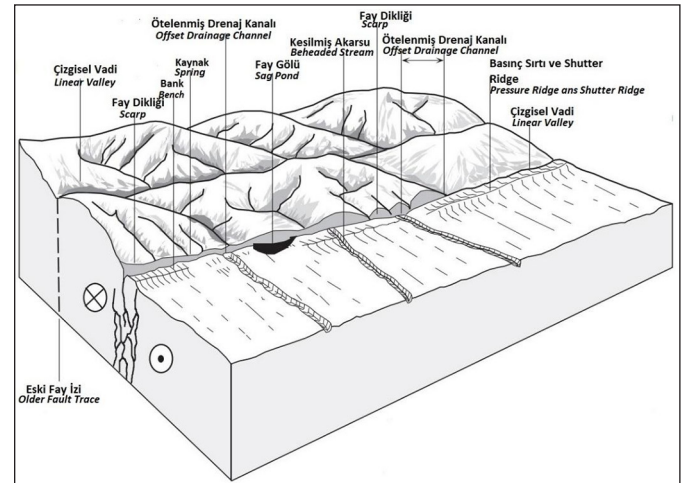
Bu çalışmaya konu olan Çardak Fayı, Doğu Anadolu Fayı'nın kuzey kolu olup Balkaya vd. (2021) tarafından Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesi ile Nurhak ilçeleri arasında kabaca D-B uzanan 85 km uzunluğunda sismik olarak aktif, sol yanal atımlı bir fay olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1). Duman ve Emre (2013) Çardak Fayı'na bağlı Barış ve Gözpınarı arasındaki geniş alüvyon yelpazelere gömülmüş nehirlerin kümülatif olarak sol yanal ötelenme miktarlarının 100 ile 135 m arasında değiştiği belirtilmektedir.

Çardak Fayı'nın da parçası olduğu Doğu Anadolu Fay Zonu 20. yy'da 19. yy'la nazaran depremsellik aktivitesi açısından nispeten daha durgun bir periyod geçirmiştir (Ambraseys 1989; Nalbant vd., 2002). Bulut vd. (2012) çalışmalarında DAFZ'nin uzun yıllardır büyük deprem üretmeme potansiyelini yani sismik durgunluğunu, fayın kilitli olmasıyla açıklamışlardır. Fay boyunca görülen DAFZ'nin mikro ve orta büyüklükteki depremlerinin birkaç gün içerisinde ana faydan bitişik fay segmentine sistematik olarak transfer edildiğini, fayın ana ve tali kolları arasında etkileşimin varlığı şeklinde önermişlerdir. Yapılan çalışmalarda DAFZ boyunca mevcut kayma hızlarının GPS ve jeolojik bulgulara göre 6-10 cm olarak tespit edilmiştir (Taymaz vd., 1991; McClusky vd., 2000; McKenzie, 1972; Örgülü vd., 2003; Reilinger vd., 2006; Şaroğlu vd., 1992).

### 3. Doğrultu Atımlı Faylar ve Oluşturduğu Jeomorfolojik Şekiller

Çalışmaya konu olan Çardak Fayı, sol yanal atımlı bir fay olup doğrultu atımlı faylarda görülen yüzey şekillerinin birçoğunun arazide gözlemlenebildiği tektonik jeomorfoloji bakımından laboratuvar niteliğinde bir sahadır. Doğrultu atımlı faylar maksimum basınç gerilmelerinin yatay olduğu ve yatay yönelimli deviatorik çekme gerilmesinin bulunduğu yerlerde gelişme eğilimi göstermektedir (Anderson & Burbank 2011). Bu yapı

temel olarak gerilmenin yatay/yataya yakın ve paralel olduğu, ancak birbirine zıt yönlerde hareket eden iki kabuk bloğunun olduğu kesimlerde görülmektedir (Sylvester, 1988). Bu fayların zaman içerisindeki aktiviteleri neticesinde önemli büyüklüklerde depremler ortaya çıkabilmektedir. Buna bağlı olarak ise depremler ve/veya sismik aktiviteler önemli jeomorfolojik şekillerin gelişimine neden olabilmektedir (Şekil 2). Doğrultu atımlı fayların sismik etkinliğinin en belirgin özelliği veya yakın zamanda aktif olan doğrultu atımlı faylar üzerinde gelişen jeomorfolojik yapılar yapısal ve topoğrafik doğrusalılıklarıdır (Noble, 1927; Willis, 1937; Biç, 1959; Allen, 1962, 1965). Doğrultu atımlı fayların aktif nitelikli önemli örneklerini Kuzey Amerika'nın batı kıyılarındaki San Andreas, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları oluşturmaktadır. Bu fay hatları boyunca gelişen topoğrafik doğrusalılıklar boyunca akarsular, doğrusal vadiler oluşabilmektedir (Braun & Sambridge, 1997). Bu gelişen doğrusal hatların kenar kısımlarında ortaya çıkan gerilme çatlakları ve kabarmalar neticesinde uygun topoğrafik boşluklar boyunca fay gölleri (sag pond), (Steinbrugge vd., 1960; Rogers & Nason, 1971; Zhang vd., 1986, 1987), basınç sırtları (pressure ridge) (Gilbert, 1907; Lawson vd., 1908; Noble, 1927; Davis, 1927; Wallace, 1949), "rift" şekilli kapalı çöktürler (Gilbert, 1907; Fairbanks, 1907; Anderson & Burbank, 2011), fay boyunca çukurlar ve toprak yapısında deformasyonlar (Fairbanks, 1907; Allen vd., 1960; Vedder & Wallace, 1970; Wallace, 1976; Sylvester, 1988), fay düşey bileşene sahip ise fay dikliği (fault scarp) veya fay façetaları ve bunların çevresinde su kaynakları (springs) meydana gelebilmektedir (Şekil 2). Tüm bu jeomorfolojik özellikler, fayların tanımlanmasında ve tarihlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Higgins, 1961; Allen, 1962, 1965; Wallace, 1976; Patterson, 1979; Peltzer vd, 1988; Anderson & Burbank, 2011).



Şekil 2. Doğrultu atımlı faylarda gelişen temel jeomorfolojik şekiller (Anderson & Burbank, 2011'den düzenlenerek).

Figure 2. Main geomorphologic features developed on strike-slip faults (modified from Anderson & Burbank, 2011).

### 4. Yöntem

Çalışmanın veri kaynaklarını, 1:25.000 ve 1:5.000 ölçekli topografya haritaları ve bu haritalardan elde edilen Sayısal Yükselti Modelleri (SYM/ DEM), 1:500.000 ölçekli jeoloji haritaları, GPS ve lazermetre ölçümleri, Uydu Görüntüleri ve arazi çalışmaları sonucunda üretilen haritalar oluşturmaktadır. Ayrıca insansız hava araçları (İHA) ile sahanın anahtar yerlerinde ortofotolardan 1 metrenin altında hassasiyete sahip yükselti

verisi ile amaca uygun haritalar üretilmiştir.

Çardak Fayı'nın yüzey kırığı ilk olarak Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından deprem sonrası çekilen ve <https://atlas.harita.gov.tr> ve HGM Küre uygulamalarında paylaşılan hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ile tespit edilmiş ve sonrasında 14-20 ve 26-27 Şubat 2023 tarihleri arasında yapılan arazi çalışmaları ile teyit edilmiştir (Şekil 3). Özellikle doğrudan atımlı Çardak Fayı'nın jeomorfolojik izleri lazermetre yardımıyla yerden, insansız hava araçları (İHA) ile havadan hassas bir şekilde ölçülerek haritalandırılmıştır. Arazi çalışmalarında İHA'lar araziye farklı açılardan fotoğraflamakta kullanıldığı gibi anahtar lokalitelerde elde edilen ortofotolar ile yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükselti Modelleri (SYM) üretilmesine de olanak sağlamıştır. Bir metrenin altında (20-30 cm) çözünürlük sunması ve SYM üretimini mümkün kılması ile yüzey kırıkları hassas bir şekilde haritalandırılabilmiştir (Şekil 3). Bu kapsamda 2.5 km<sup>2</sup>'lik alanın SYM verisi üretilerek, yüzey kırığına ait 9 farklı lokalitede analizler gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında ulaşılmaması zor olan lokaliteler için bu yüksek çözünürlüklü SYM üzerinden yanal ötelenme miktarları ölçüldüğü gibi düşey atım ölçümleri için de topoğrafik profiller oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında Çardak Fayı'nın yüzey kırığı üzerindeki yanal ve dikey atım miktarlarında hata payları da eklenmiştir. Hata paylarının hesaplanmasında lazermetre ile arazide yapılan ölçümler için  $\pm 0.2m$ , İHA ile edilde edilen ortofotolardan üretilen sayısal yükseklik modellerinden yapılan ölçümlerde  $\pm 0.5m$  ve HGM ortofotoğraflarından yapılan ölçümlerde ise  $\pm 1m$  hata payları eklenmiştir. Lazermetre ölçümleri oldukça hassas olup maksimum  $\pm 1,5mm$  hata payı ile ölçüm yapmaktadır. Fakat arazide atımın başlangıç ve bitim noktalarının mm hasiyetinde belirlenmesinin zor olması nedeniyle 20cm hata payının makul olacağı düşünülmüştür. İHA ile edilde edilen sayısal yükseklik modellerinde ise 25cm yersel çözünürlükte veri üretilmiştir. Bu nedenle İHA verilerinden elde edilen ölçümler için 50 cm hata payı verilmiştir. HGM ortofotoğrafları için ise 1 m hata payı verilmiştir.

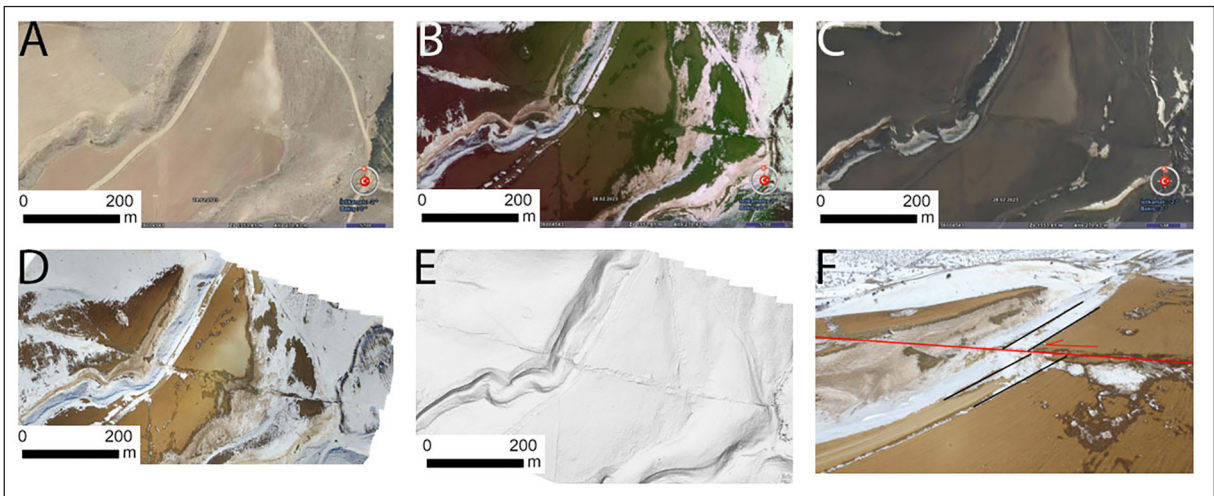
Arazi çalışması sırasında veri toplama süreci ve örnek lokas-

yonlar saha çalışması öncesinde hazırlanan web tabanlı haritalar yardımı ile yapılmıştır. Veri toplamaya yönelik web haritaları, mobil cihazlar ile çalışanların sahada veri toplamasına ve incelemeler yapmasında önemli kolaylıklar sağlamıştır. İlgili web haritalarının arazide kullanımı için ArcGIS Online platformunun bir hizmeti olan ArcGIS Field Maps kullanılmıştır. ArcGIS Field Maps Esri (2023a) tarafından geliştirilen ve Android, iOS ve Windows platformları için kullanılabilen bir mobil haritalama uygulamasıdır. Bu uygulama, sahada çevrimdışı ve çevrimiçi operasyonlara olanak tanıyarak, GPS uydularını kullanarak veya yalnızca haritadan elle veri girerek haritalama olanağı sunar (Nowak vd., 2020).

Çalışmada toplanan veriler coğrafi veri servisi olarak bulut ortamında depolanarak araştırmacıların kullanımına sunulması hedeflenmiştir. Günümüzde geleneksel masaüstü CBS uygulamaları birçok kullanıcının coğrafi bilgi ve mekânsal veri işleme ihtiyaçlarını karşılamada yetersizdir. Çünkü CBS yazılımı bilgisayara kurulum ve veriler bu bilgisayarda depolanır (Bandibas & Takarada, 2019). Bulut bilişimin gelişimi ile birlikte güçlenen Web CBS araçları ise verilerin internet ortamında depolanmasına, web ve mobil uygulamalar ile son kullanıcıya ulaştırılmasına imkân sağlamaktadır. Çalışma kapsamında arazi çalışması gözlem noktaları, yüzey kırıkları ve fay atımları Web Feature Service (WFS) olarak ArcGIS Online ortamına aktarılmıştır. ArcGIS Online, internet erişimi olan herhangi bir cihazdan erişilebilen, interaktif web haritaları ile web-mobil uygulamalar oluşturmaya olanak tanıyan bulut tabanlı bir servistir (SaaS).(Esri 2023 b). WFS ise mekansal verilerin sorgulanabildiği ve güncellenebildiği vektör verileri veya meta verileri web üzerinden paylaşmak için kullanılan bir protokoldür. WFS'lerin yayınlanmasının ardından web uygulaması için gerekli olan web haritası oluşturulmuştur. Son olarak, web uygulaması ilgili web haritasının eklenmesi, kullanıcı arayüzünün, parametrelerin ve araçların ayarlanmasıyla Web AppBuilder üzerinde geliştirilmiştir.

## 5. Bulgular

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta gerçekleşen ikinci deprem Ekinözü ilçesi yakınlarında 13:24'te ve Mw 7.6 büyük-



**Şekil 3.** Yüzey kırığının haritalamasında kullanılan veriler: Deprem öncesi (A) ve sonrası (B) HGM tarafından çekilen hava fotoğrafları ile Göktürk 2' ye ait uydu görüntüleri (C). İHA ile elde edilen ortofotolar (D) ve bu ortofotolardan üretilen yüksek çözünürlüklü gölgelendirme (E) haritaları (hillshade) ile İHA ile yüzey kırığının oblik fotoğrafları (F).

**Figure 3.** Data used for mapping the surface rupture: Aerial photographs taken by HGM before (A) and after (B) the earthquake and satellite images of Göktürk 2 (C). Orthophotos obtained by UAV (D) and high resolution hillshade maps (hillshade) produced from these orthophotos (E) and oblique photographs of the surface rupture by UAV (F).

lüğünde Çardak Fayı üzerinde gerçekleşmiştir. Arazi gözlemleri ve hava fotoğrafları üzerinde yapılan değerlendirmeler sonrasında Çardak Fayı'nın tamamının kırıldığı tespit edilmiştir. Göksun'un güneyinden doğuda Bıçakçı'ya kadar olan kesimde yüzey kırığı 105 km kadar takip edilebilmiş ve haritalanmıştır (Şekil 4). Yine Ekinözü depreminin oluşturduğu yüzey kırığı Bıçakçı'nın doğusunda Çardak Fayı'ndan bağımsız olarak kesintiler halinde Doğanşehir'in kuzeydoğusuna 35 km kadar da hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden takip edilebilmektedir.

Çardak Fayı kabaca doğu – batı doğrultusunda uzanmakta olup doğuda Bıçakçı yakınlarında 1100 metrelerde Tatlar Çayı'nı 10 km kadar ötelemiştir. Batıya doğru ise Nurhak Dağı'nın (3081m) güney eteklerinden geçerek 23 km uzunluğundaki tektonik hat boyunca Ceyhan Nehri'ne kadar uzanmaktadır. Fay bu kısımda Ceyhan Nehri'ni 12 km kadar öteleyerek batıya doğru tektonik bir sırt boyunca devam eder. Fay hattı, daha batıda Çardak köyünün güneyinden güneybatıya Berit Dağı'nın (3027m) kuzey yamacında fay diklikleri oluşturarak Göksun Ovasına (1330 m) kadar 36 km boyunca devam edip sonlanmaktadır (Şekil 4).

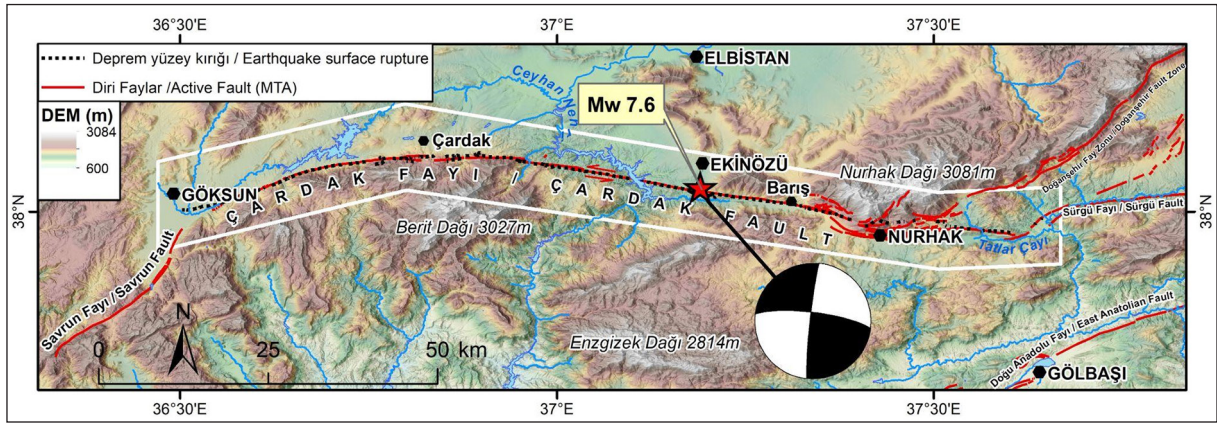
Çardak Fayı doğuda büyük ölçüde Paleozoyik metamorfiklerin içerisinde ilerlerken; Ekinözü batısından sonra Mezozoik ofiyolitleri ve Eosen volkanitleri ile güney bloktaki Paleozoyik metamorfiklerin sınırını veya diğer bir deyişle dokanağını oluşturarak Göksun Ovası'ndaki ayrılmamış Kuvaterner birimlerinin içerisinde sonlanmaktadır (Şekil 5, MTA 1/500 binlik jeoloji haritaları).

### 5.1. Çardak Fayı'nın Yüzey Kırığı

Ekinözü depremi sonucunda oluşan Çardak Fayı'nın yüzey kırığı, arazi gözlemleri ve hava fotoğrafları yardımıyla depremin merkez üssü olan Ekinözü'den batıya Göksun'a kadar ve Ekinözü'nden doğuya Bıçakçı Mahallesi doğusuna kadar 105 km uzunlukta tespit edilmiş ve haritalanmıştır (Şekil 4, 6).

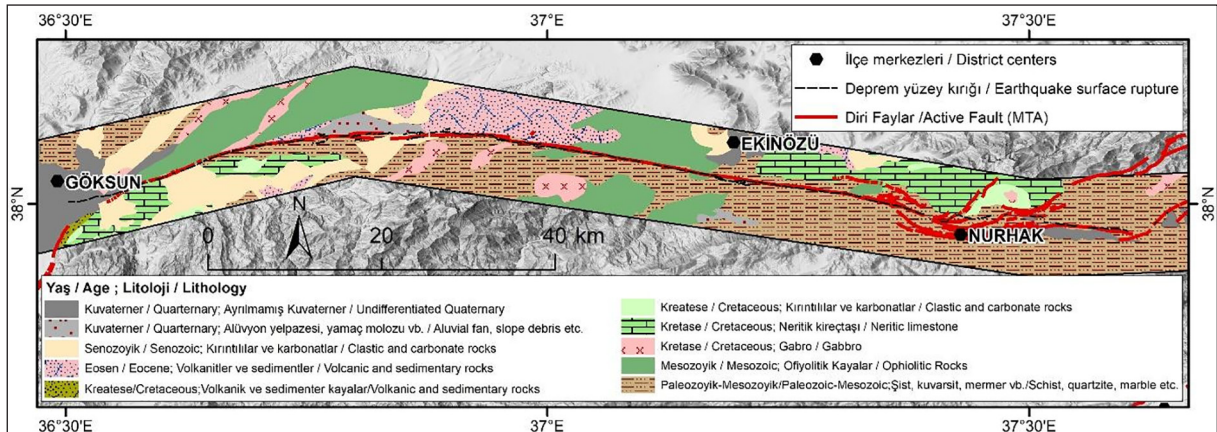
#### 5.1.1. Yüzey kırığının merkez üssünden batıya doğru olan kesimi

Yüzey kırığı depremin merkez üssü olan Ekinözü, İçmeler mevkii güneyinden batıya doğru Kandil Baraj Gölü'nün doğusuna kadar aynı istikamette yer alan tektonik sırt boyunca 5 km kadar tek hat olarak takip edilir. Bu hat üzerinde Aşığıçme güneyinde yaptığımız arazi gözlemleri sonucunda  $8\pm 0.2$  metrelik sol yanal atım belirlendiği gibi güney bloktaki en fazla  $3\pm 0.2$  m'lik düşey atımlar da tespit edilmiştir (Şekil 6-B, Şekil 7-A, C, D).  $8\pm 0.2$  metrelik yanal atım fay üzerinde tespit edilen en yüksek sol yanal atımdır. Bu kesimde aynı zon boyunca 1 km uzunluğunda bir hat üzerinde İHA ile elde ettiğimiz verilerde ise 6 tarla sınırı ve 1 yol üzerinde  $5-8\pm 0.5$  m arasında sol yanal atımlar da tespit edilmiştir. Ayrıca yüzey kırığının sıçrama yaptığı bir bölgede mikro çek ayır depresyonu gözlenmiştir (Şekil 7-B). Kandil Baraj Gölü'nün batısında yine tek bir hat halinde batıya devam eden yüzey kırığı, 6.5 km kadar KKB-GGD istikametinde uzun sırt mevkiinde genel olarak sırtı takip ederek Tepebaşı doğusuna kadar gözlemlenmektedir. Uzun sırt üzerinde hava fotoğraflarından yapılan ölçümler sonucunda  $5\pm 1$  metrelik sol yanal atım tespit edilmiştir. Tepebaşı doğusundan batıya 1 km uzunluğunda takriben 400 metre genişliğinde deformasyon



Şekil 4. Çardak Fayı ve yakın çevresinin topografik özellikleri ile Ekinözü depreminin merkez üssü ve odak mekanizması çözümü (USGS 2023, Mart 1).

Şekil 4. Topographic features of the Çardak Fault and its vicinity and the epicenter with focal mechanism of the Ekinözü earthquake (USGS 2023, March 1).



Şekil 5. Çardak Fayı'nın 12 km'lik zon boyunca jeolojik özellikleri (MTA, 1/500 binlik jeoloji haritalarından faydalanılarak hazırlanmıştır).

Figure 5. Geologic features of the Çardak Fault along the 12 km zone (prepared by utilizing MTA, 1/500 thousand geological maps).

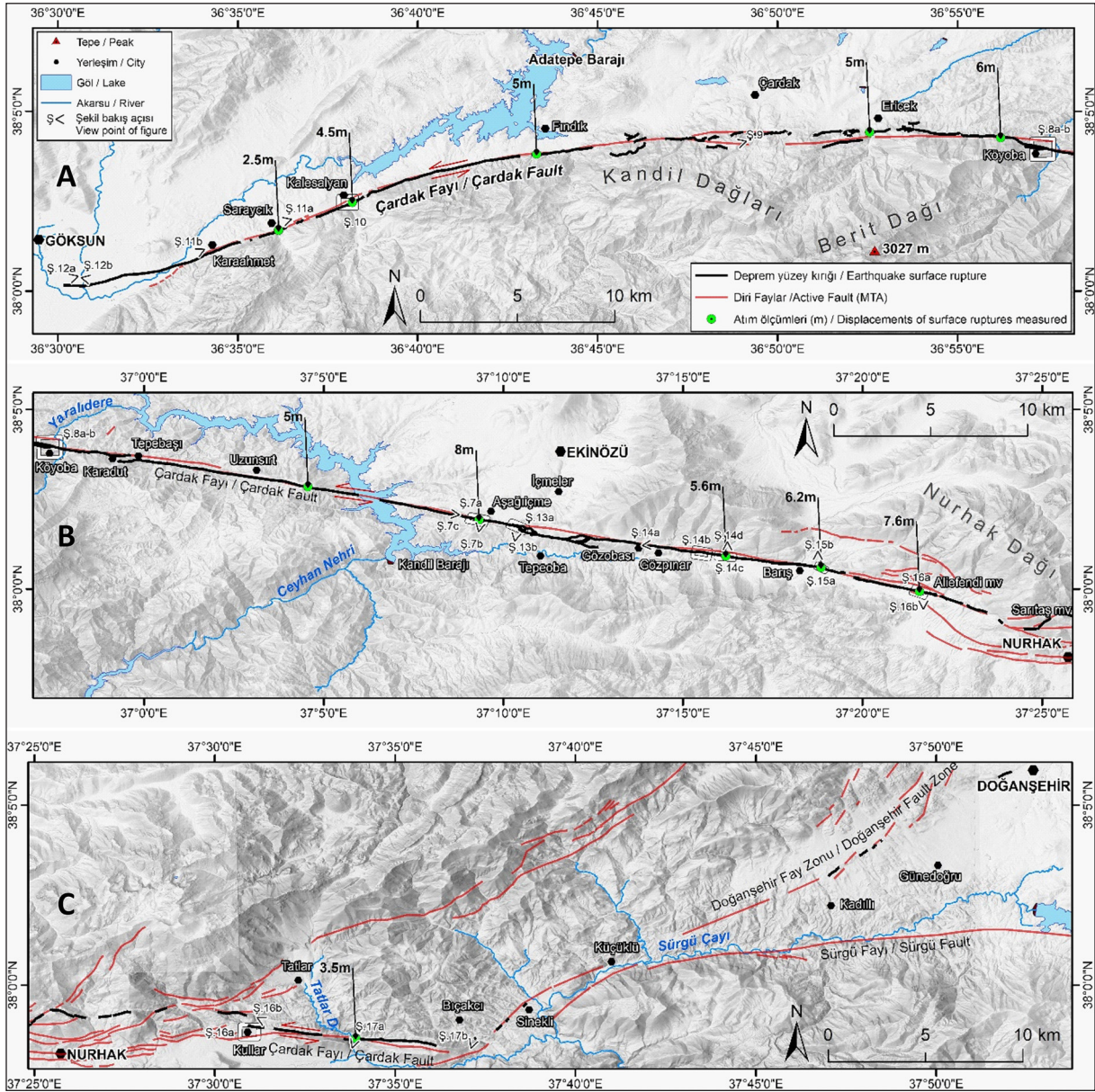
zonu oluşturan yüzey kırığı Karadut doğusunda Yaralı Dere vadisini keserek tek bir hat halinde uzanış gösterir (Şekil 6-B).

Yüzey kırığının batıya doğru devamında Köyobası'nda deformasyon zonu biraz genişleyip, birbirine paralel iki yüzey kırığı gözlemlenmiş ve bu bölgedeki deformasyonlar İHA ile hassas bir şekilde haritalandırılmaya çalışılmıştır (Şekil 8). Köyobası'ndan Ericek güneydoğusuna kadar yüzey kırığı dar bir deformasyon zonu halinde devam etmektedir. Bu kısımda Köyobası'nda İHA verilerinden  $6\pm 0.5$  metre, Ericek de hava fotoğrafından  $5\pm 1$  metre kadar sol yanal atımlar tespit edilmiştir (Şekil 6-A).

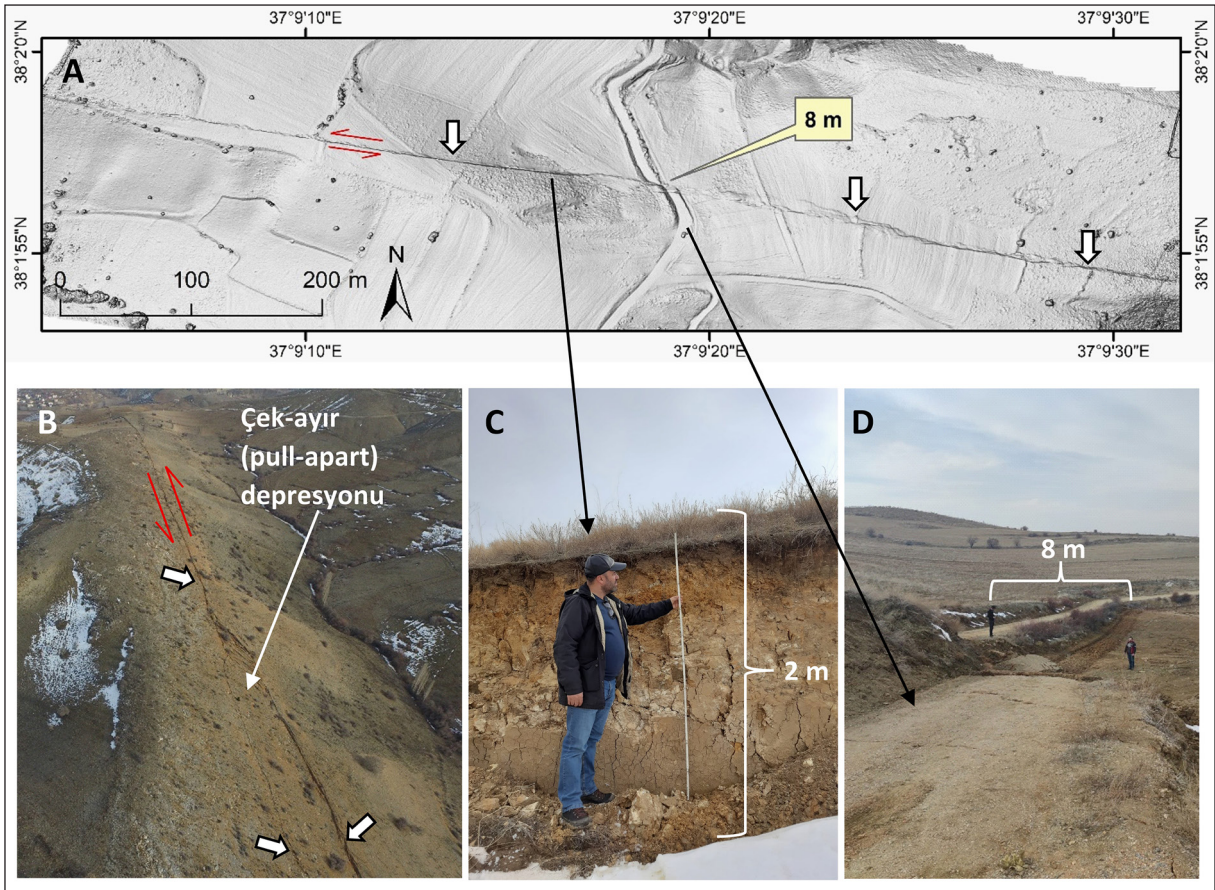
Ekinözü depreminin yüzey kırığı, Ericek güneydoğusundan itibaren batıya doğru deformasyon zonu genişlemiş bir şekilde tek bir yüzey kırığından çok kesintili, birbirine paralel ve genişliği 1 km'yi bulan bir zon halinde takriben 13 km Fındık doğusuna kadar uzanmaktadır (Şekil 9). Fındık güneyinde de hava fotoğraflarından yollar üzerinde  $5\pm 1$  metrelik atım belirlenmiştir (Şekil 6-A).

Yüzey kırığı Fındık güneyinden güneybatıya doğru MTA'nın diri fay haritasına paralel ve fayın önceki morfolojisine büyük ölçüde uyumlu tek bir hat boyunca Karahmet Mahallesi'ne kadar takip edilmektedir. Bu hatta Kalesalyan Mahallesi'ndeki arazi gözlemleri ve İHA ile elde edilen verilerden  $4.5\pm 0.5$  metre (Şekil 10) ve Saraycık da ise hava fotoğraflarında  $2.5\pm 1$  metre sol yanal atımlar tespit edilmiştir (Şekil 11).

Karahmet Mahallesi güneybatısına kadar takip edilebilen yüzey kırığı batıda Göksun Ovası içerisinde devam eder. Ova içerisinde yüzey kırığı belirgin atımlar yaratmaz ve düşük oranda deformasyonlar gözlenir (Şekil 12). Ova tabanı içerisinde birkaç noktada su kanallarını tahrip eden yüzey kırığı batıya doğru Göksun-Kahramanmaraş karayolunu keserek, Göksun güneyinde sönümlenir. Göksun Ovası içerisindeki bu kısım MTA'nın diri fay haritasında haritalandırılmamıştır (Şekil 4, 6).

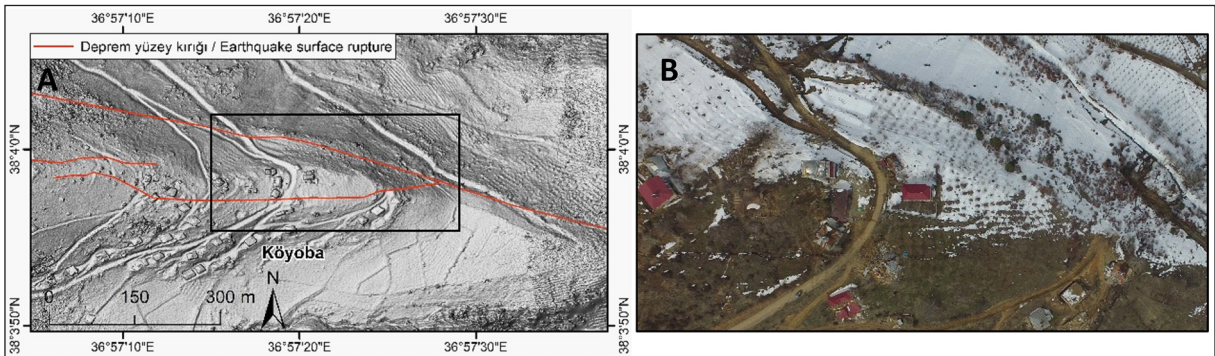


Şekil 6. Çardak Fayı'nın yüzey kırığının batı (A) merkezi (B) ve doğu (C) kesimi.  
Figure 6. West (A) center (B) and east (C) section of the surface rupture of the Çardak Fault.



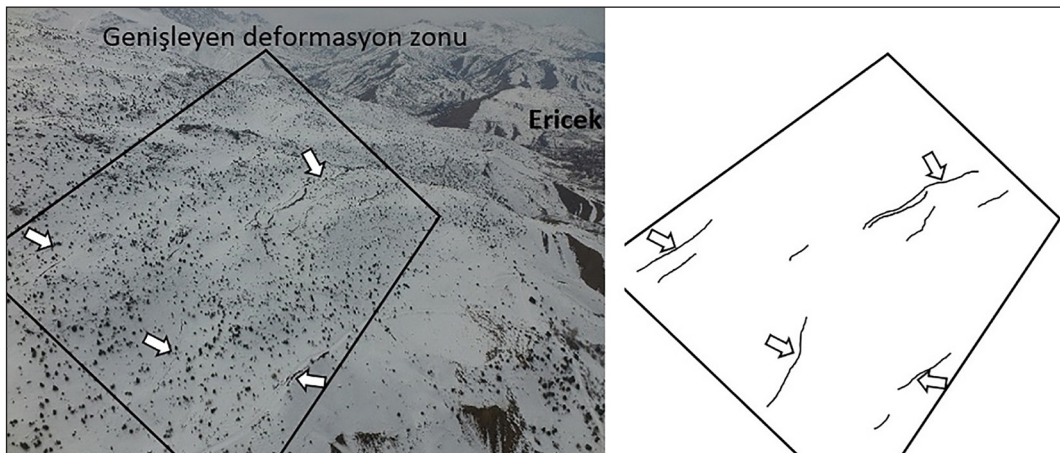
**Şekil 7.** Depremin merkez üssü olan Ekinözü'nün batısında Aşığiiçme köyünün 2 km güneyinde yüzey kırığının SYM (A) ve bu hatta fay üzerindeki çek-ayır (B), güney blokta  $2\pm 0.2$  metreyi bulan düşey atımlar (C) ve  $8\pm 0.2$  m sol yanall atım (D).

**Figure 7.** DEM of the surface rupture 2 km south of Aşığiiçme village west of Ekinözü, the epicenter of the earthquake (A) and the pull-apart on the fault on this line (B), vertical displacements up to  $2\pm 0.2$  m in the southern block (C) and  $8\pm 0.2$  m left lateral displacements (D).



**Şekil 8.** Köyobası'nda önce birbirine paralel devam edip sonra birleşen iki yüzey kırığının İHA ile elde edilen SYM (A) ve ortofotosu (B).

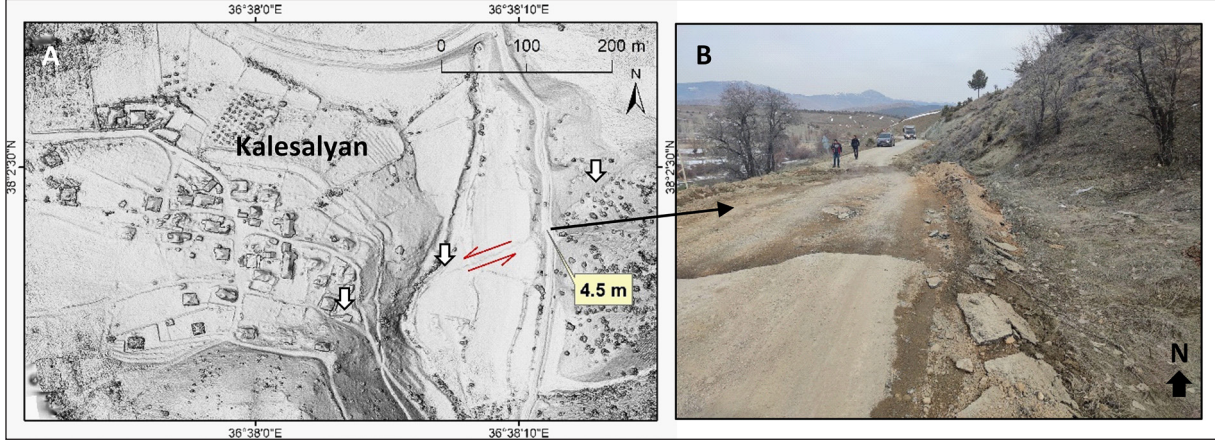
**Figure 8.** UAV-derived DEM (A) and orthophoto (B) of two surface rupture that first run parallel to each other and then merge in Köyobası.



**Şekil 9.** Ericek'in güneyinde yüzey kırığı birbirine paralel ve genişliği 1 km'yi bulan bir deformasyon zonu halinde devam etmektedir.

**Figure 9.** South of Ericek, the surface rupture continues parallel to each other as a deformation zone up to 1 km in width.

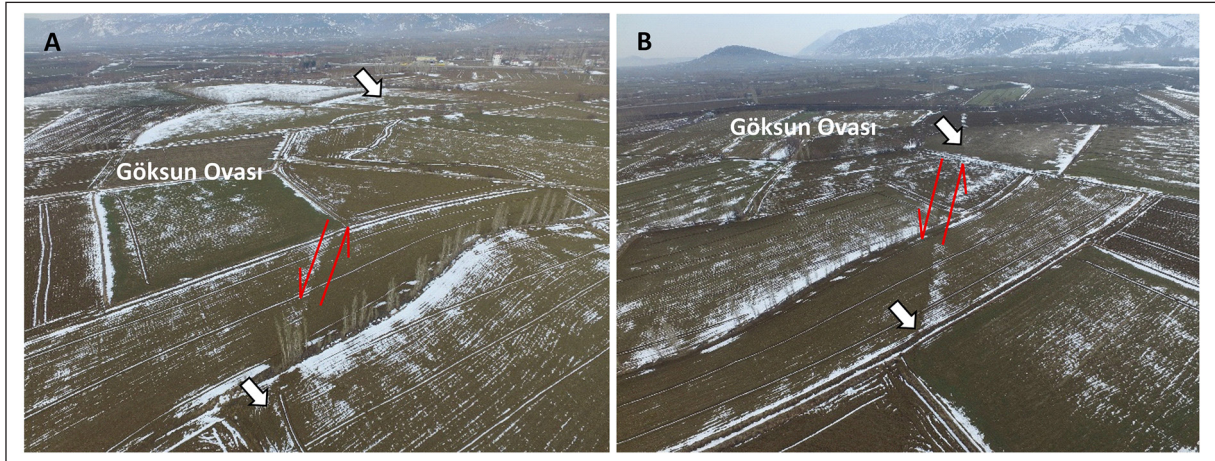




Şekil 10. İHA ve arazi gözlemleri ile elde edilen verilerden  $4.5\pm 0.5$  metrelik atım (A) ve Kalesalyan Mahallesi'ndeki arazi gözlemleri (B).  
Şekil 10.  $4.5\pm 0.5$  meter horizontal displacement from the data obtained by UAV and fieldwork (A) and field observations in Kalesalyan Neighborhood (B).



Şekil 11. Saraycık güneyinde arazide gözlemlenen  $2.5\pm 1$  metrelik atım (A) ile yüzey kırığının Karahmet güneyinde Göksun Ovasına girdiği kısım (B).  
Şekil 11. The  $2.5\pm 1$  meter horizontal displacement observed in the field south of Saraycık (A) and the part where the surface rupture enters the Goksun Plain south of Karahmet (B).

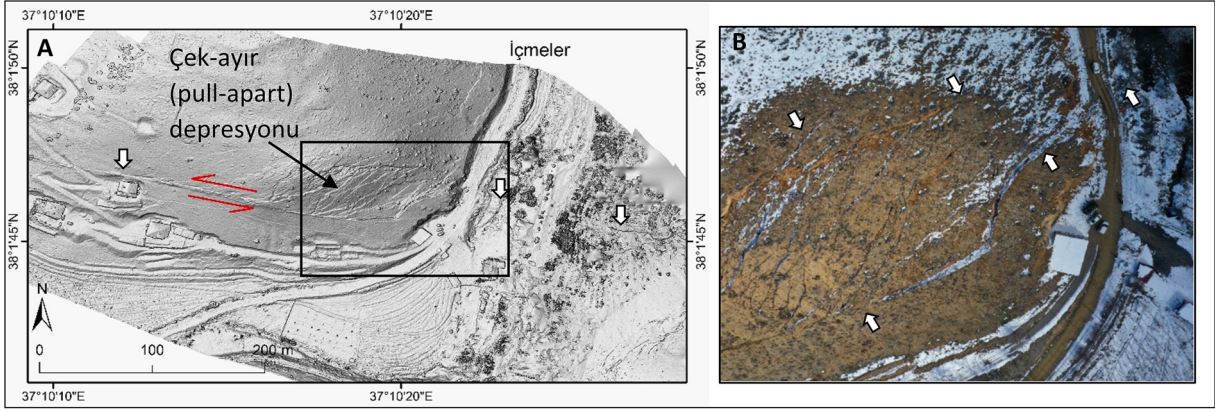


Şekil 12. Göksun güneyinde yüzey kırığının sönümlendiği son kısım (A) ve Göksun Ovası'nda doğuya devamı (B).  
Figure 12. The last part of the surface rupture observed south of Göksun (A) and its continuation to the east in Göksun Plain (B).

### 5.1.2. Yüzey kırığının merkez üssünden doğuya doğru olan kesimi

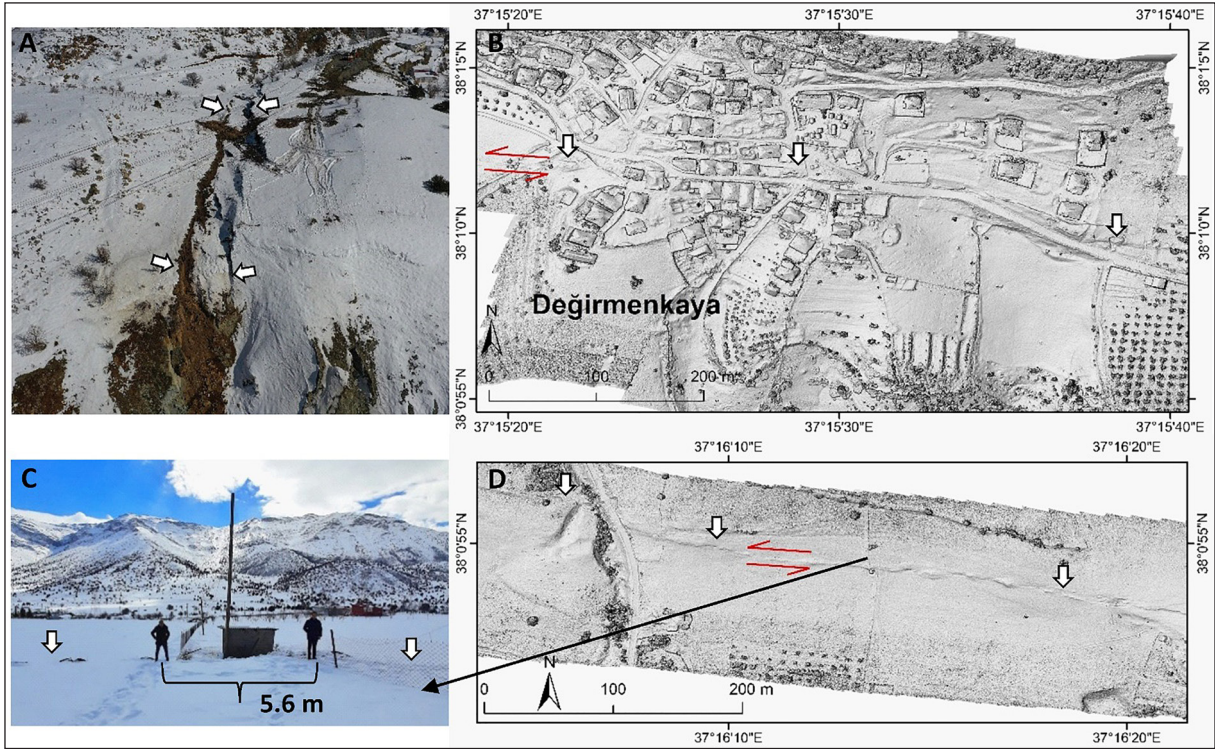
İçmeler güneyi ile Tepeoba kuzeyi arasındaki kısımda yüzey kırığı doğuya doğru 4 km uzunluğunda 600 metre genişliğinde deformasyon zonu yaratmaktadır. Bu kısımda yüzey kırığı sık sık sıçramalar yaratarak ve çek ayır depresyonları oluşturarak devam eder (Şekil 13). Yine İçmeler doğusunda bu zonu kuzey sınırında anakayanın eğimli yamacı üzerinde  $5\pm 1$  metreye yakın düşey atımlar gözlemlenmiştir.

Tepeoba'nın doğusunda yüzey kırığı, Barış Mahallesi'ne kadar yaklaşık 10 km'lik tek bir hat boyunca izlenebilmektedir (Şekil 6-B). Tepeoba kuzeyi ile Gözobası arasında faya paralel 3 km uzanan tektonik sırtın kuzeyinden devam eden yüzey kırığı Gözobası yakınlarında 250 m uzunluğunda 10 m genişliğinde ve 2 metre derinliğinde çöküntü alanı oluşturmuştur (Şekil 14-A). Gözpınar'dan doğuya doğru Değirmenkaya Mahallesi'nin içinden geçen yüzey kırığı bu kesimde yer yer bahçe çitlerinde arazi gözlemleri sonucunda  $5.6\pm 0.2$  metrelik sol yanal atımlar yaratarak devam ettiği gözlemlenmiştir (Şekil 14 B-C-D).



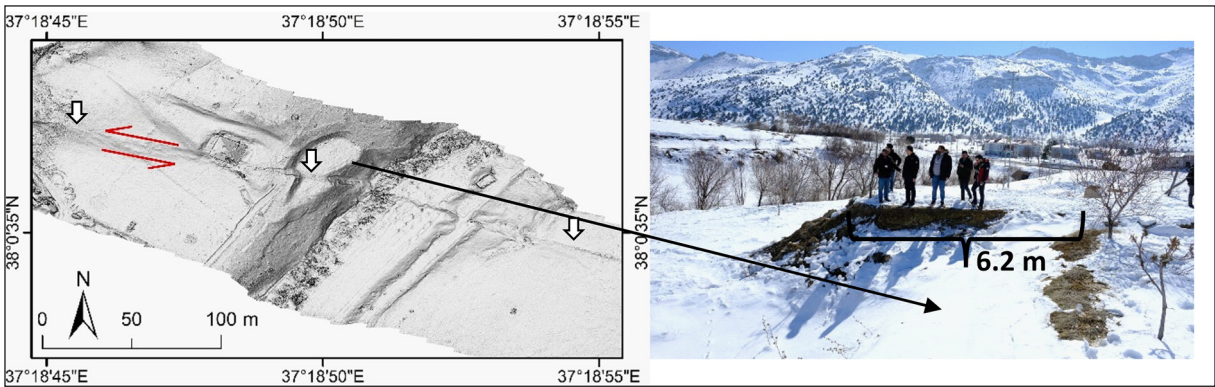
Şekil 13. İcmeler güneyinde yüzey kırığının sıçrama yaparak çek-ayır depresyonu yarattığı kısım.

Şekil 13. South of İcmeler, where the surface rupture makes step to the left and formed a pull-apart depression.



Şekil 14. Gözbası'nda 10 m genişliğinde ve 2 metre derinliğinde çöküntü alanı (A) oluşturan Çardak Fayı'nın Gözpinar doğusunda oluşturduğu deformasyonlar (B) ve atımlar (C, D).

Şekil 14. 10 m wide and 2 m deep depression at Gözbası (A) deformations formed by the Çardak Fault east of Gözpinar (B) horizontal displacements (C, D).



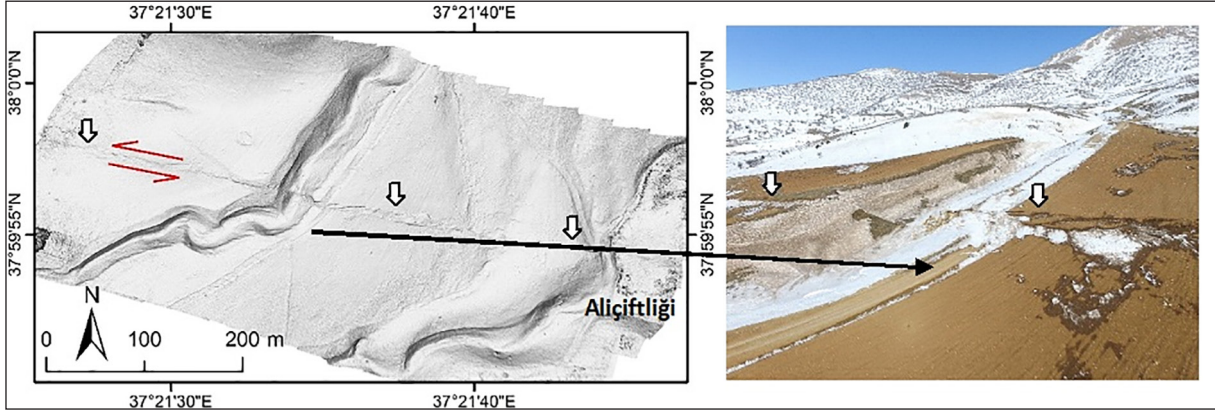
Şekil 15. Barış doğusunda arazide tespit edilen 6.2±0.2 metrelik sol yanal atım.

Figure 15. 6.2±0.2 m left-lateral displacement detected in the field east of Barış.

Barış Mahallesi doğusunda yüzey kırığı Nurhak'a kadar KKB-GGD doğrultusunda uzanmakta olup Nurhak batısı Sarıtaş mevkiine kadar anakaya ve birikinti yelpazelerini deforme ederek uzanmaktadır (Şekil 6-B). Yüzey kırığının bu kesiminde Barış Mahallesi'nde 6.2±0.2 metre (Şekil 15), daha doğuda Aliefendi mev-

kiinde ise 7.6±0.2 metrelik sol yanal atım (Şekil 16) hem arazi gözlemleri hem de İHA ile elde edilen SYM'den tespit edilmiştir.

Çardak Fayı'nın yüzey kırığı, Nurhak doğusunda doğu-batı doğrultulu olarak Bıçakçı'ya kadar yer yer birbirine paralel yüzey



Şekil 16. Barış doğusunda Aliçiftliği mevkiinde arazide tespit edilen  $7.6 \pm 0.2$  metrelik sol yanal atım.

Şekil 16.  $7.6 \pm 0.2$  meter left-lateral displacement detected in the field at Aliçiftliği locality east of Barış.

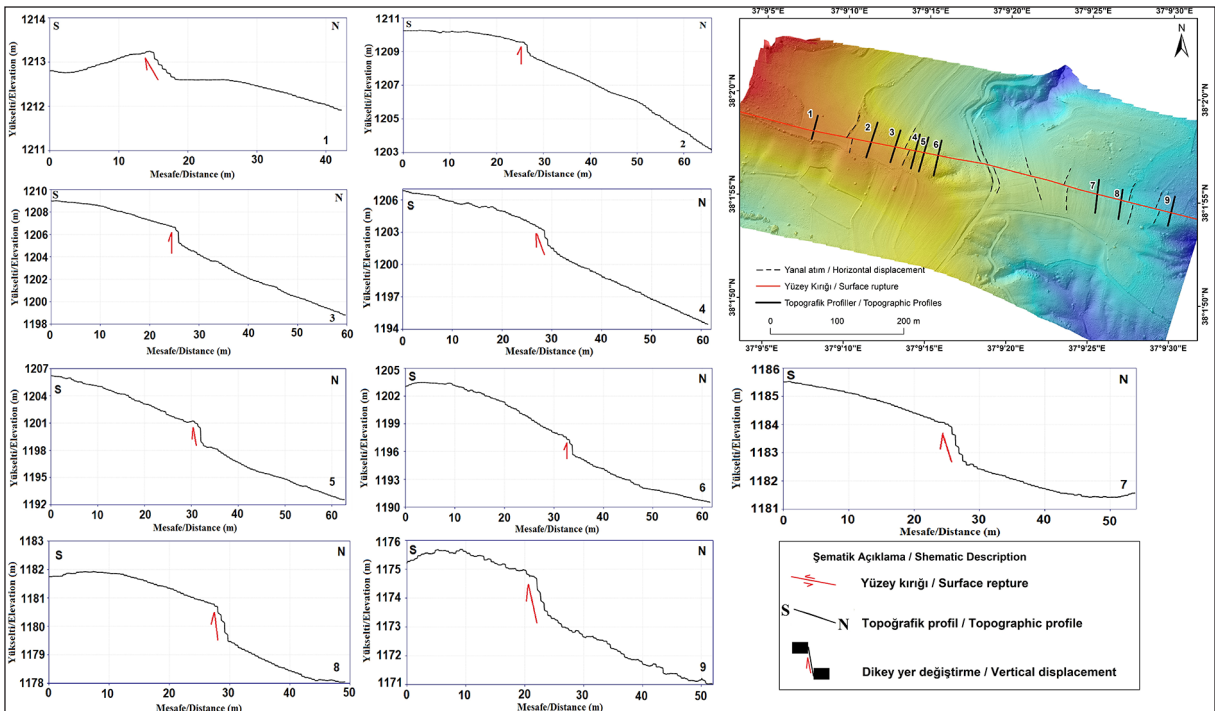


Şekil 17. Nurhak doğusunda yıkımın büyük olduğu Kullar köyünün hemen kuzeyinde tespit edilen yüzey kırığı.

Şekil 17. Surface rupture detected just north of Kullar village, east of Nurhak, where the devastation was great.

kırıkları ve kesintiler halinde uzanarak devam eder. Özellikle Nurhak kuzeyinde Nurhak Dağı'nın dik eğimli güney yamaçlarında çok net seçilememekle birlikte kesintili halde yüzey deformasyon zonu görülmektedir (Şekil 6-C). Yüzey kırığı Kullar Mahallesi kuzeyinde belirgin olup Bıçaçkı batısına kadar tek bir hat halinde izlenebilmektedir (Şekil 17). Çardak Fayı'nın Tatlar Vadisini kestiği noktada  $3.5 \pm 1$  m sol yanal atım ile birlikte, kuzey blokta  $5 \pm 1$  metrenin üzerinde düşey atımlarda

net bir şekilde gözlenmektedir. Yüzey kırığı Bıçaçkı'dan sonra kuzeydoğuya doğru Sinekli'ye kadar 3 km kesintili bir şekilde belirgin bir atım üretmeyerek devam edip sonlanmaktadır (Şekil 6-C). Bu noktanın devamında Doğanşehir'e doğru uzanan kuzeydoğu hattı boyunca uzun kesintiler halinde yüzey kırığı hava fotoğraflarından belirlenebilmekte olup bu kısım Çardak Fayı'nın dışında Doğanşehir ve Sürgü Fayları arasındaki kısma denk gelmektedir.



Şekil 18. Aşığışiçme güneyinde 1 km boyunca uzanan güney blokta düşey atım ve profillerin konumları.

Figure 18. Locations of vertical displacement and profiles in the southern block extending for 1 km south of Aşığışiçme.



Şekil 19. Aşağıiçmeler güneyi (A), Tatlar güneyi (B) ve İçmeler doğusundaki düşey atımlar (C).

Figure 19. South of Aşağıiçmeler (A), Tatlar south (B) and vertical displacements east of İçmeler.

### 5.1.3. Yüzey kırığında görülen düşey atımlar

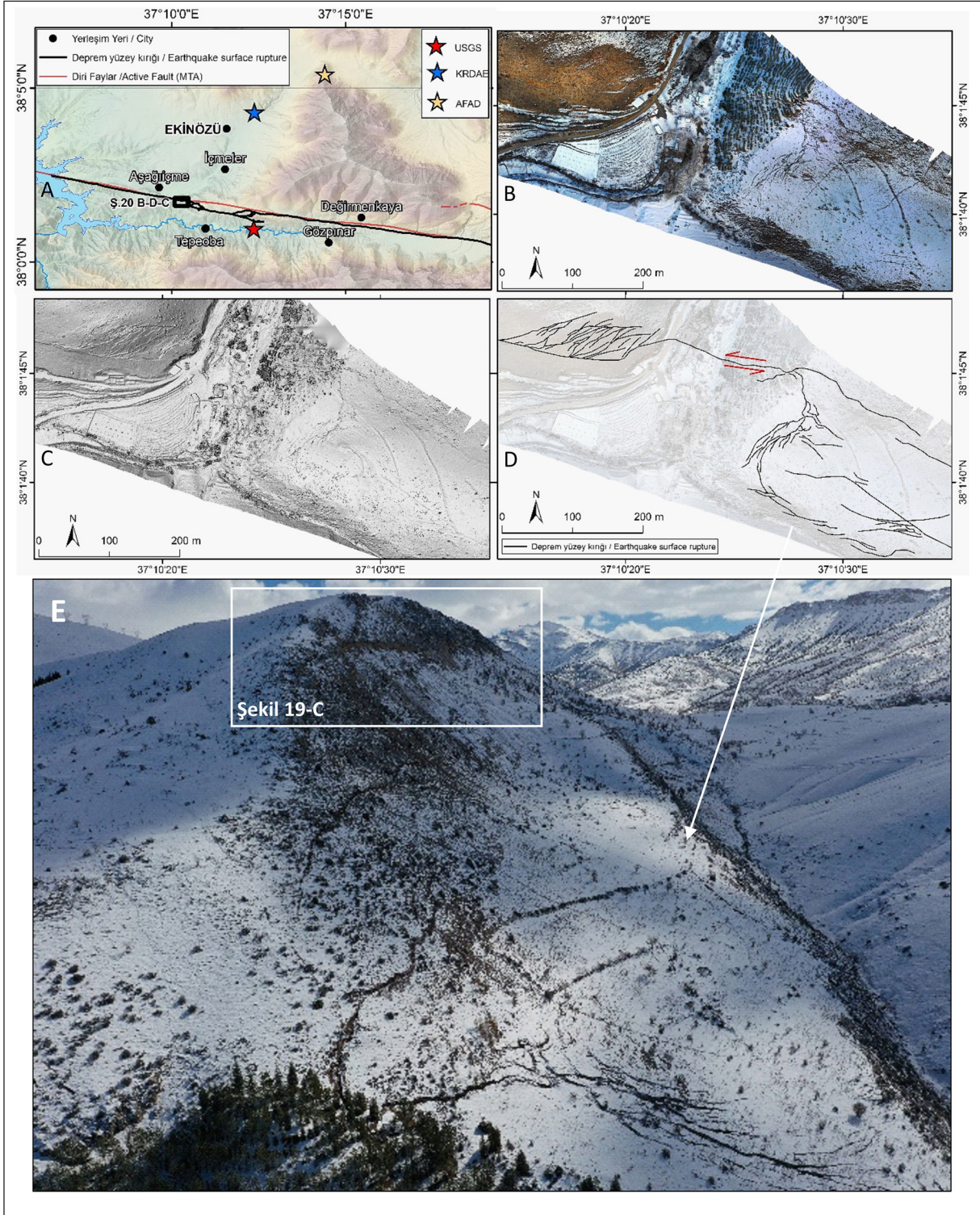
Doğrultu atımlı faylar her ne kadar yanal atımlar üretse de yer yer düşey bileşenleri de gözlemlenir. Bu kapsamda Çardak Fayı yüzey kırığı üzerinde belirli noktalardaki düşey atımlar gözlemlenmiş hassas bir şekilde ölçülmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda düşey atımların en net gözlemlendiği alanlardan biri olan Aşağıiçmeler güneyindeki sahada İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü SYM’de şerit genişliği 1 m’ye kadar düşürülerek kuzey-güney yönlü 9 adet topoğrafik profil oluşturulmuştur. Bu kesimde ötelenme miktarları arazi çalışmalarında tespit edilen maksimum atıma ( $8\pm 0.2$  m) karşılık geldiği gibi arazide 1 km boyunca izlenebilen düşey atımlar ise maksimum 3 m’ye ulaşmaktadır (Şekil 18, 19). Çardak Fayı’nın bu kesiminde fay dikliğinin oluşması, fay düzlemi boyunca hareketin hem eğim hem de yatay yönde olması ile ilişkilidir. Deprem merkez üssünün batısındaki Çardak Fayı’nın bu kesiminde, hem eğim hem de yatay yöndeki atım doğrusal olmayan bir şekilde artmış, düşey atımlı karakter kazanmıştır. Güney bloktaki yükselmelerin yanı sıra, Ekinözü’nün hemen doğusunda dik yamaçta  $5\pm 1$  m ve daha doğuda Barış Mahallesi yakınlarında  $2\pm 0.5$  m kuzey blokta yükselmeler söz konusudur. Özellikle Nurhak’a bağlı Tatlar Mahallesi güneyinde kayma düzlemi dikkat çekicidir. Bu kesimde kuzey blokta anakaya üzerinde düşey atım  $5\pm 1$  m dolaylarındadır (Şekil 19).

## 6. Tartışma ve Sonuç

6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinden 13:24’te Mw 7.6 büyüklüğünde olan ikinci depremin merkez üssü Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) ve ABD Jeoloji

Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından Ekinözü yakınlarını göstermektedir. AFAD ve KRDAE merkez üssünü fayın kuzeyinde Ekinözü yakınlarını gösterirken, USGS fayın hemen güneyindeki bir noktayı göstermektedir. Deprem merkez üssü derinliği KRDAE’ye göre 5 km, AFAD’a göre 7 km ve USGS’e göre ise 13.1 km olarak belirtilmiştir. Dolayısıyla deprem merkez üssü ve derinliği hakkında birbirine yakın ama farklılık içeren sonuçlar mevcuttur. Arazide yaptığımız gözlemler sonucunda Aşağıiçmeler güneyinde yüzey kırığının tespit edildiği noktada diğer bölgelerden farklı olarak birbirine paralel çizgisel uzanışın yanında dairesel geometri sunan yüzey kırıkları gözlemlenmiştir. Ayrıca yamaçta 5 metreye yakın dikey atımlar da gözlemlenmiştir (Şekil 19-C). Bu karmaşık geometrik yapı, yoğun kırık sistemleri depremin merkez üssünün yüzeye yansımalarının bu kesim olduğunu düşündürmektedir. İHA görüntüleri ve İHA’lardan elde ettiğimiz demlerde belirtilen bu yapılar açıkça görülmektedir (Şekil 20).

Arazi gözlemleri ve uzaktan algılama verileriyle 105 km tespit edilen Çardak Fayı’nın yüzey kırığı dağılımı ile ana şok sonrası meydana gelen artçıların dağılımı arasında büyük bir benzerlik bulunmaktadır. Özellikle büyüklüğü 4 ve üzeri olan artçılar batıda Göksun da doğuda ise Nurhak doğusunda ve Doğanşehir’de yoğunluk kazanmaktadır. Artçıların dağılımlarına, arazi gözlemlerine ve hava fotoğrafları üzerinde yapılan değerlendirmelere bağlı olarak Çardak Fayı’nın tamamının kırıldığı anlaşılmaktadır. Yine yüzey kırığının haritalanması sonucunda Çardak Fayı’nın tek bir yüzey kırığından çok, kesintili, birbirine paralel uzanan ve genişliği yer yer 1 km’yi bulan sol ve sağ yönlü ani sıçramalar gösteren geniş bir deformasyon zonu olduğu anlaşılmaktadır.

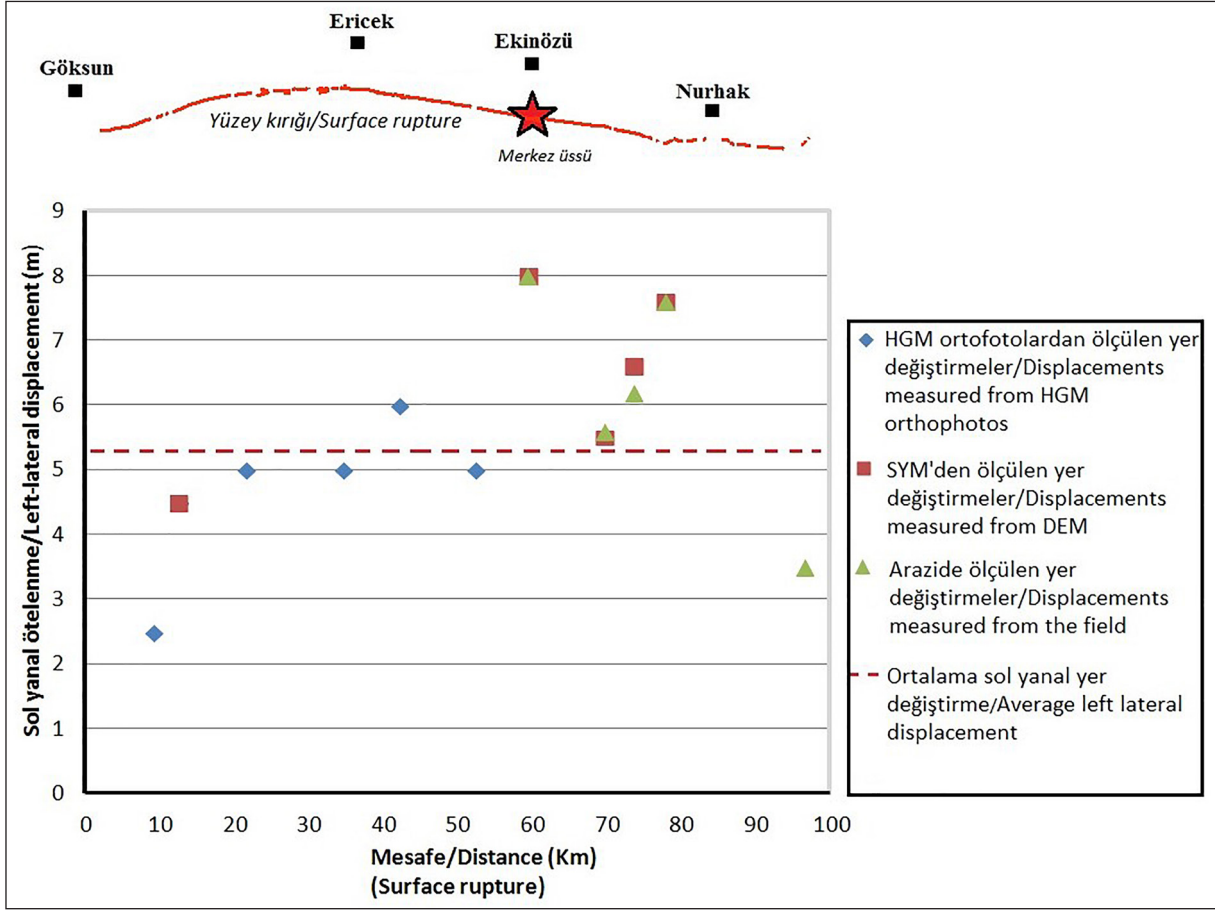


**Şekil 20.** Ekinözü depremin merkez üssü için AFAD, KRDAE ve USGS'in belirlediği konumlar (A) ile Ekinözü güneyinde yüzey kırıkları ve depreme bağlı çatlakların yoğunlaştığı alanın ortofotosu (B) yüksek çözünürlüklü SYM'i (C), kırık yoğunluğunu gösteren harita (D) ve fotoğraf (E).

**Figure 20.** Locations determined by AFAD, KRDAE and USGS for the epicenter of the Ekinözü earthquake (A) and orthophoto of the area south of Ekinözü where surface ruptures and earthquake-related cracks are concentrated (B) high resolution DEM (C), map showing fracture density (D) and photograph (E).

105 km'lik Çardak Fayı'nın yüzey kırığında sol yanal atımların değerleri litolojik özelliklere göre değişiklik göstermekle birlikte, depremin merkez üssünden batıya doğru düzenli bir azalış tespit edilmiştir (Şekil 21). Merkez üssünden doğuya doğru ise tezat teşkil edecek şekilde Nurhak'a kadar yüzey kırığı üzerinde yanal atımlarda artışlar gözlemlenmekte ve Nurhak doğusunda azalır yüzey kırığı sönümlenmektedir (Şekil 6). Çalışma kapsamında en yüksek atım depremin merkez üssünün 2 km kadar batısında Aşağıçimeler güneyinde ölçülmüştür (8 m) (Şekil 7-D). Bu değer Mw 7.7 büyüklüğündeki ilk depremin oluşturduğu atımlardan (6.5-7 m) daha büyüktür.

Çardak Fayı'nın yüzey kırığında sol yanal atımların yanında bazı lokalitelerde düşey atımlarda gözlemlenmiştir. Bu düşey atımlar merkez üssünün batısında güney bloğun yükselmesi şeklinde kendini gösterirken merkez üssün doğusunda ise kuzey blok yükselmiştir. Bu durum Ekinözü doğusu ve batısının birbirine ters yönlere çarpıldığını da göstermektedir. Yine depremin merkez üssü hemen doğusu ve batısında görülen yoğun yüzey kırıkları ve çatlaklar bu çarpılmanın göstergesi olarak yorumlanabilir.



Şekil 21. Çardak Fayı'nın yüzey kırığında sol yanal atımların değerlerini gösteren grafik.

Figure 21. Graph showing the values of left lateral slip at the surface rupture of the Çardak Fault.

Tektonik hareketler sonucunda oluşan küçük boyutlardaki (mikro) yer şekilleri erozyonel süreçler ve antropojenik etkilerle hızlı bir şekilde aşınmakta ya da tamamen kaybolmaktadır. Bu nedenle fayların karakteristik özelliklerinin anlaşılmasında fayın oluşturduğu yer şekillerinin henüz tazeliğini korurken tespit edilmesi ve haritalandırılması çok önemlidir. Bu çalışma ile de Çardak Fayı'nın yüzey kırığı hızlı bir şekilde haritalanarak fayın nerede kırılıp nerede sonlandığı arazi gözlemleri ile tespit edilmeye çalışılmıştır. Elde ettiğimiz ilksel sonuçlar Çardak Fayı'nın tamamen kırılmış olduğu yönündedir.

Bu çalışma kapsamında haritalanan Çardak Fayı'nın yüzey kırığı ve atımlar ayrıca web tabanlı bir uygulama üzerinden kamuoyuna açık bir şekilde paylaşılmıştır (Cbskampus, 2023), (<https://cbskampus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=845c9d4291414e46ad43ab65f615b6c8>).

**Katkı Belirtme:** Bu çalışma 123D011 Nolu TÜBİTAK 1002-C Doğal Afetler Odaklı Saha Çalışması Acil Destek Programı kapsamında desteklenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında verdiği desteklerden dolayı Onur Yasan'a ve Göksun'da proje ekibini evinde misafir eden Mustafa Kızılırmak'a çok teşekkür ederiz. Ayrıca depremlerde vefat eden vatandaşlarımıza Allah'tan rahmet, yakınlarına başsağlığı, yaralılarına acil şifalar dileriz.

**Çıkar Çatışması/Conflict of Interest:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. The authors declare that there is no conflict of interest.

**Veri erişebilirliği / Data availability:** Çardak Fayı'nın yüzey kırığına ait ilk veriler <https://atlas.harita.gov.tr/#5/36.52/40.6> adresinden, deprem merkez üssü verisi <https://deprem.afad.gov.tr/map> ve <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/> ile <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st4.asp> adreslerinden temin edilmiştir. Ayrıca odak mekanizması çözümünde ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu <https://www.usgs.gov/> verisi kullanılmıştır. Preliminary data on the surface rupture of the Çardak Fault were obtained from <https://atlas.harita.gov.tr/#5/36.52/40.6>, earthquake epicentre data were obtained from <https://deprem.afad.gov.tr/map> and <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/> and <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st5.asp>. In addition, the US Geological Survey <https://www.usgs.gov/> data was used in the focal mechanism solution.

**Yazar katkısı/Author contribution:** C.B, O.H ve E.C çalışmayı tasarlamıştır. E.C ve F.K kavramsal çerçevenin oluşturulmasında, CB ve O.H şekillerin üretilmesinde ve M.F.D web tabanlı haritaların oluşturulmasına katkı vermiştir. Tüm ortak yazarların katkılarıyla araştırma sonuçları yorumlanmış ve tartışılmıştır. C.B, O.H and E.C designed the study. E.C and FK contributed to the creation of the conceptual framework, C.B and O.H contributed to the production of figures, and M.F.D contributed to the creation of web-based maps. The research results were interpreted and discussed with the contributions of all co-authors.

## Kaynakça

- AFAD (2023, Mart 23). *AFAD son depremler(son 100 deprem)*. T. C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı. <https://deprem.afad.gov.tr/last-earthquakes.html>
- Allen, C. R. (1969). Active faulting in northern Turkey. *Division of Geological and Planetary Sciences Contribution*, 1577. <https://resolver.caltech.edu/CaltechAUTHORS:20170207-130936360>
- Allen, C. R.(1962). Circum-Pacific faulting in the Philippines-Taiwan region. *Journal of Geophysical Research*, 67(12), 4795-4812. <https://doi.org/10.1029/JZ067i012p04795>
- Allen, C. R. (1965) *Transcurrent faults in continental areas*. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical and physical sciences*, 258 (1088). pp. 82-89. <https://resolver.caltech.edu/CaltechAUTHORS:20151120-091941666>
- Allen, C. R., Silver, L. T., & Stehli, F. G. (1960). Agua Blanca fault—A major transverse structure of northern Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 71(4), 467-482. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1960\)71\[467:ABFMTS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1960)71[467:ABFMTS]2.0.CO;2)
- Ambraseys, N. N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1989.tb04453.x>
- Ambraseys, N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: A multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.
- Anderson, R. S., & Burbank, D. W. (2011). *Tectonic Geomorphology*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781444345063>
- Arpat, E., & Şaroğlu, F. (1972). Some observations and thoughts on the East Anatolian fault, *Bull. Miner. Res. Explor. Inst. Turk.*, 73,44–50.
- 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. <https://doi.org/10.28979/jarnas.939075>
- Bandibas, J., & Takarada, S. (2019). Mobile application and a web-based geographic information system for sharing geological hazards information in East and Southeast Asia. *Journal of Geographic Information System*, 11, 309-320. <https://doi.org/10.4236/jgis.2019.113018>
- Barka, A. A., Toksöz, M. N., Gülen, L., & Kadinsky-Cade, K. (1987). Kuzey Anadolu Fayının doğu kesiminin segmentasyonu, sismitesi ve deprem potansiyeli: *Yerbilimleri*, 14, 337-352. <https://yerbilimleri.hacettepe.edu.tr/no14/25.pdf>
- Biq C. (1959). The structural pattern of Taiwan compared with the eta type of shear form. *Geological Society of China Proceedings*, 2, 33-46.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey—a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 3-30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>
- Braun, J., & Sambridge, M. (1997). Modelling landscape evolution on geological time scales: A new method based on irregular spatial discretization. *Basin Research*, 9, 27- 52. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2117.1997.00030.x>
- Bulut, F., M. Bohnhoff, T. Eken, C. Janssen, T. Kılıç, & G. Dresen (2012). The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B7), <https://doi.org/10.1029/2011JB008966>
- Cbskampus (2023). *Kahramanmaraş depremleri 06 Şubat 2023*. Cbskampusmaps. <https://cbskampus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=845c9d4291414e46ad43ab65f-615b6c8>
- Davis, W. M. (1927). The rifts of southern California. *American Journal of Science*, 5(73), 57-72. <https://doi.org/10.2475/ajs.s5-13.73.57>
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F. A. M. C., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone. *Geological Society, London, Special Publications*, 19(1), 1-36. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.01>
- Duman, T. Y., & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications*, 372(1), 495-529. <https://doi.org/10.1144/SP372.1>
- Esri 2023a (2023, Nisan 5). *ArcGIS field maps*. <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-field-maps/overview>
- Esri 2023b (2023, Nisan 5). *About ArcGIS online*. <https://doc.arcgis.com/en/arcgis-online/get-started/what-is-agoi.htm>
- Fairbanks, H. W. (1907). The great earthquake rift of California, in Jordan, D. S. (ed.), *The California earthquake of 1906* (pp. 371). San Francisco, A. M. Robertson.
- Gilbert, G. K. (1907). The investigation of the California earthquake of 1906, in Jordan, D. S., (ed.), *The California earthquake of 1906* (pp. 215-256) San Francisco, A. M. Robertson.
- Harita Genel Müdürlüğü (2023). *Deprem ortofotolar*. Harita Genel Müdürlüğü
- Higgins, C. G. (1961). San Andreas Fault North of San Francisco, California. *Geological Society of America Bulletin*, 72(1), 51-68. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[51:SAFNOS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[51:SAFNOS]2.0.CO;2)
- Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (2023, Şubat 20). *Türkiye ve yakın çevresindeki son depremler*. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst4.asp>
- Karabacak, V., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tatar, O., Aktuğ, B., Özdağ, Ö. C., Çakır, R., Aksoy, E., Koçbulut, F., Softa, M., Akgün, E., Demir, A., & Arslan, G. (2023). The 2023 Pazarlık (Kahramanmaraş, Türkiye) earthquake (Mw 7.7): implications for surface rupture dynamics along the East Anatolian Fault Zone. *Journal of the Geological Society*, 180(3), jgs2023-020. <https://doi.org/10.1144/jgs2023-020>
- Koçyiğit, A. (1984). Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27(1), 1-15.
- Lawson, A. C. (1908). *The California earthquake of April 18, 1906*. Report of the State Earthquake Investigation Commission: Carnegie Institution of Washington Publication 87, v. 1. [https://publicationonline.carnegiescience.edu/publications\\_online/earthquake\\_volume.pdf](https://publicationonline.carnegiescience.edu/publications_online/earthquake_volume.pdf)
- Maden Tetik Arama (2023). *Yerbilimleri harita görüntüleyici*. Maden Tetik Arama ve Genel Müdürlüğü. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- Maden Tetik Arama (2003). *1/500.000 ölçekli jeoloji haritaları*. Maden Tetik Arama ve Genel Müdürlüğü
- Okay, A. I., Zattin, M., & Cavazza, W. (2010). Apatite fission-track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision. *Geology*, 38(1), 35-38. <https://doi.org/10.1130/G30234.1>

- McClusky, S. Balassanian, A. Barka, C. Demir, S. Ergintav, I. Georgiev, O. Gurkan, M. Hamburger, K. Hurst, H. Kahle, K. Kastens, G. Kekelidze, R. King, V. Kotzev, O. Lenk, S. Mahmoud, A. Mishin, M. Nadariya, A. Ouzounis, D. Paradissis, Y., & G. Veis (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal Of Geophysical Research*, 105(B3), 5695– 5719, <https://doi.org/10.1029/1999JB900351>
- McKenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30, (2), 109–185, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Nalbant, S. S., McCloskey, J., Steacy, S., & Barka, A. A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3-4), 291-298. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(01\)00592-1](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(01)00592-1)
- Noble, L. F. (1927). San Andreas rift and some other active faults in the desert region of southern California. *Seismological Society of America Bulletin*, (17), 25-39.
- Nowak, M. M., Dziób, K., Ludwisiak, Ł., & Chmiel, J. (2020). Mobile GIS applications for environmental field surveys: A state of the art. *Global Ecology and Conservation*, 23, (e01089) 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01089>
- Örgülü, G., Aktar, M., Türkelli, N., Sandvol, E., & Barazangi, M. (2003). Contribution to the seismotectonics of Eastern Turkey from moderate and small size events. *Geophysical Research Letters*, 30(24). <https://doi.org/10.1029/2003GL018258>
- Över, S., Özden, S., & Yılmaz, H. (2004). Late Cenozoic stress evolution along the Karasu Valley, SE Turkey. *Tectonophysics*, 380(1-2), 43-68. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.11.011>
- Palutoğlu, M., & Şaşmaz, A. (2017). 29 Kasım 1795 Kahramanmaraş depremi, Güney Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (155), 191-206. <https://search.trdizin.gov.tr/tr/publication/detail/294780/29-kasim-1795-kahramanmaras-depremi-guney-turkiye>
- Patterson, R. H. (1979). *Tectonic geomorphology and neotectonics of the Santa Cruz Island fault Santa Barbara County, California* [Doctoral dissertation, University of California, Santa Barbara].
- Peltzer, G., Tapponier, P., Gaudemer, Y., Meyer, B., Guo, S., Yin, K., Chen, Z., & Dai H. (1988). Offsets of late Quaternary morphology, rate of slip, and recurrence of large earthquakes on the Chang Ma fault (Gansu, China). *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B7), 7793-7812. <https://doi.org/10.1029/JB093iB07p07793>
- Reilinger, 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., ... & 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, <https://doi.org/10.1029/2005JB004051>
- Rogers, T. H., & Nason, R. D. (1971). Active fault displacement on the Calaveras fault zone at Hollister, California. *Seismological Society of America Bulletin*, (61), 399-416. <https://doi.org/10.1785/BSSA0610020399>
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., & Kuşçu, İ. (1992). Active fault map of Turkey. *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey*, 2.
- Steinbrugge, K. V., Zacher, E. G., Tocher, D., Whitten, C. A., & Claire, C. N. (1960). Creep on the San Andreas fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 50(3), 389-415. Sylvester, A. G. 1986. <https://doi.org/10.1785/BSSA0500030389>
- Sylvester, A. G. (1988). Strike-slip faults. *Geological Society of America Bulletin*, 100(11), 1666-1703. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1988\)100<1666:SSF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100<1666:SSF>2.3.CO;2)
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In Kevin T. Biddle, Nicholas Christie-Blick (Eds.), *Strike Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, (pp. 227-264), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, OK. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Şengör, A.M.C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, p.181-241.
- Taymaz, T., Eyidoğan, H., & Jackson, J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*, 106(3), 537-550. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06328.x>
- United States Geological Survey (2023, Mart 1) *Latest earthquakes map*. United States Geological Survey.
- Vedder, J. G., & Wallace, R. E. (1970). Map showing recently active breaks along the San Andreas and related faults between Cholame Valley and Tejon Pass, California: U.S. Geological Survey Map 1-574, <https://doi.org/10.3133/i574>
- Wallace, R. E. (1949). Structure of a portion of the San Andreas rift in southern California. *Geological Society of America Bulletin*, 60(4), 781-806. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1949\)60\[781:SO-APOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1949)60[781:SO-APOT]2.0.CO;2)
- Wallace, R. E. (1976). The Talas-Fergana fault, Kirghiz and Kazakh, U.S.S.R. *Earthquake Information Bulletin*, 8, p. 4-13.
- 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. <https://doi.org/10.1785/BSSA0840040974>
- Willis, B. (1937). Geologic observations in the Philippines archipelago. *National Research Council of the Philippines Bulletin*, 13.
- Yurtmen, S., Guillou, H., Westaway, R., Rowbotham, G., & Tatar, O. (2002). Rate of strike-slip motion on the Amanos Fault (Karasu Valley, southern Turkey) constrained by K–Ar dating and geochemical analysis of Quaternary basalts. *Tectonophysics*, 344(3-4), 207-246. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(01\)00265-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(01)00265-7)
- Zhang, B., Liao, Y., Guo, S., Wallace, R. E., Bucknam, R. C., & Hanks, T. C. (1986). Fault scarps related to the 1739 earthquake and seismicity of the Yinchuan graben, Ningxia Huizu Zizhiqu, China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76(5), 1253-1287. <https://doi.org/10.1785/BSSA0760051253>
- Zhang, W., Jiao, D., Zhang, P., Molnar, P., Burchfiel, B.C., Deng, Q., Wang, Y., & Song, F. (1987). Displacement along the Haiuan fault associated with the great 1920 Haiyuan, China, earthquake. *Seismological Society of America Bulletin*, 77 (1), 117-131. <https://doi.org/10.1785/BSSA0770010117>