

## 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri: Sahadan Jeolojik Veriler, Değerlendirme ve Adana için Etkileri

Ahmet Can AKINCI\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-6608-6607

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ<sup>1</sup> ORCID 0000-0002-4092-7041

<sup>1</sup> Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 28.04.2023

Kabul tarihi: 23.06.2023

*Atıf şekli/ How to cite: AKINCI, A.C., ÜNLÜGENÇ, U.C., (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri: Sahadan Jeolojik Veriler, Değerlendirme ve Adana için Etkileri. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 553-569.*

### Öz

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta yerel saat ile 04:17 ile 13:24 de yaklaşık 9 saat ara ile gerçekleşen 2 büyük depremin (Mw 7.8 ve 7.6) ardından sahadan jeolojik veriler derlenmiş ve oluşan deformasyon yapıları incelenmiştir. Depremlerin etkilediği Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman ve Adana yörelerinde meydana gelen yüzey yırtılmaları belirlenmiş, bunların yönelimi, kayma yönü, atımı gibi unsurlar ile heyelan, kaya devrilmesi gibi yüzey hareketleri detayları ile raporlanmıştır. Depremlerin ardından Doğu Anadolu Fayı'nın güney segmentleri boyunca oluşan yüzey yırtılmasının izleri sahada gözlenmiş ve sol yönlü ortalama 3.5 metre sol yönlü atım tespit edilmiştir. Düşey atım 1 metreye kadar ulaşmakla beraber genellikle kuzey blok yükselmiştir. Fay yüzey kırığının yönelimi İslahiye civarında K10°D iken Türkoğlu kuzeydoğusunda K45°-50°D yönelimine geçmektedir. İkinci depremin meydana geldiği Çardak Fayı üzerinde Göksun ilçesi güneydoğu kesimlerinde ortalama 3.5 metre civarında sol yönlü atım belirlenmiştir. Depremlerin ardından Adana çevresinde meydana gelen daha küçük çaplı yüzey deformasyonları incelenmiş ve Adana'nın geçmiş dönem depremselliği ile beraber değerlendirilerek yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Deprem, 6 Şubat 2023, Kahramanmaraş, Hatay, Deformasyon, Yüzey yırtılması

### 6 February 2023 Kahramanmaraş Earthquakes: Geological Data from the Field, Implications and Assessment for Adana City

#### Abstract

After two major earthquakes (Mw 7.8 and 7.6) that occurred in Kahramanmaraş on Feb. 6, 2023 at 04:17 and 13:24 local time with an interval of approximately 9 hours, the geological data from the field were compiled and the formed surface deformation structures were examined. Surface ruptures that occurred in Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman and Adana regions were defined and their orientation, slip direction, slip and surface movements such as landslides and rockfalls were reported in detail. After the earthquakes, the traces of the surface rupture along the southern segments of the East Anatolian Fault were observed in the field and an average of 3.5 meters sinistral offset was detected. Although the vertical offset reaches up

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Ahmet Can AKINCI, [acakinci@cu.edu.tr](mailto:acakinci@cu.edu.tr)

to 1.5 meters, the northern block is generally elevated. While the orientation of the fault surface rupture is N10°E in the south (İslahiye), it changes to N45°-50°E in the northeast of Türkoğlu. On the Çardak Fault, where the second earthquake occurred, an average of 3.5 meters of left lateral slip was determined in the southeast parts of the Göksun district. Smaller-scale surface deformations interpreted together with the seismicity of Adana city.

**Keywords:** Earthquake, 6 February 2023, Kahramanmaraş, Hatay, Deformation, Surface rupture

## 1. GİRİŞ

Anadolu'nun güney-güneydoğusunda 6 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 04:17 ile 13:24 de yaklaşık 9 saat ara ile 2 büyük deprem meydana gelmiştir. Suriye'nin kuzey kesimlerini de etkileyen depremlerin yıkıcı etkisi Türkiye Cumhuriyet tarihinin en büyüğü olmuştur. Kandilli Rasathanesi (KRDAE) [1] verilerine göre sabahın ilk saatlerinde meydana gelen depremin merkez üssü Sofalaca mahallesi (Gaziantep) (Şekil 1) olup öğle saatlerinde gerçekleşen ikinci büyük depremin merkez üssü ise Ekinözü (Kahramanmaraş)'tır [2]. AFAD ise depremlerin merkez üslerini sırası ile Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olarak açıklamıştır [3]. 04:17 deki ilk depremin büyüklüğü Kandilli rasathanesi tarafından  $M_w=7.7$ , odak derinliği ise 5 km olarak belirtilmiştir. İkinci depremin büyüklüğü ise yine Kandilli rasathanesi raporunda  $M_w=7.6$ , odak derinliği ise yine 5 km olarak belirtilmiştir. Her iki deprem de sığ odaklı depremlerdir [1-3]. Bunun yanında ilk depremin yaklaşık 10-11 dk. sonrasında  $M_w=6,6$  büyüklüğünde bir artçı deprem daha meydana gelmiştir. Benzer şekilde ikinci depremin de hemen ardından yaklaşık 6 büyüklüğünde bir artçı şok Saimbeyli civarında meydana gelmiştir [4]. Böylece 24 saatlik bir zaman dilimi içinde doğada nadir görülebilecek yoğunlukta ve büyüklükte bir deprem silsilesi yaşanmıştır. Bu iki büyük deprem başta Kahramanmaraş ve Hatay olmak üzere Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ'da çok şiddetli hissedilmiş, çok büyük can kaybı ve ağır hasarlara neden olmuştur. Öğle saatlerinde gerçekleşen depremde vatandaşların büyük bir bölümünün ilk depremden dolayı dışarda olmaları can kaybını azaltmıştır ancak Malatya ili oldukça etkilenmiştir. Özellikle ilk depremin üzerinde meydana geldiği Amanos segmentinin geçtiği Karasu Grabeni ve Amik Ovası içinde

kurulmuş ilçe ve mezralarda (Türkoğlu, Şekeroba, Beyoğlu, Nurdağı, İslahiye vb.) yıkımın fazla olduğu dikkat çekmektedir. İlk depremin merkez üssüne bakıldığında en yakın konumda bulunan Ölü Deniz Fayı'nın Narlı segmentine yakın bir bölgede olduğu görülmektedir. Ancak, saha gözlemlerinde bu alanda herhangi bir büyük ölçekli yüzey kırığı görülmemiştir. Öğle saatlerindeki ikinci deprem ise yaklaşık ilk depremin merkez üssünün yaklaşık 100 km. kuzeyindeki başka bir fay olan doğu-batı uzanlı Çardak Fayı üzerindedir.

Depremlerin ardından meydana gelen yüzey deformasyonları, özellikle yüzey kırıkları depremin hemen ardından gözlenmesi ve kayda geçirilmesi gereken unsurlardır. Bunların uzanımı, yanal, düşey atımları ve meydana getirdiği küçük ölçekli yarıklar, sırtlar ve çökmeler daha sonraki çalışmalara yön verecek önemli parametreleri oluşturmaktadırlar. Bunun yanında yörede meydana gelen heyelanlar, yüzey yayılmaları, ikincil yüzey deformasyonları (konjugate faylar-riedel kırıkları vs.), zemin sıvılaşmaları ise kayda geçmesi gereken diğer önemli unsurlardır. Bu çalışmanın amacı depremin hemen ardından sahada meydana gelen bu parametreleri mümkün ölçüde tespit etmek ve diğer deprem verileri (uydu görüntüleri, odak mekanizması çözümleri, yatay yüzey yer değişimi ve stres transfer modelleri) ile beraber değerlendirerek yorumlamaktır.

### 1.1. 6 Şubat Depremleri

Türkiye yerel saati ile 04.17'de ve 13.24'te merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan iki büyük deprem ( $M_w$  7,8 ve  $M_w$  7,7 (AFAD) Çizelge 1) meydana gelmiştir (Şekil 1-3). Depremleri izleyen ilk 1 hafta içinde yaklaşık 3000, ilk bir ay içinde ise 9000 civarında büyüklü küçükü artçı sarsıntılar meydana gelmiştir [1-4]. KRDAE her iki depremin de odak derinliğini

5 km olarak belirtirken AFAD ilk depremin derinliğini (37,236 K - 37,057 D) 8.6 km, ikinci depremin (37,239 K - 38,089 D) ise 7.0 km olarak belirtmiştir [3]. Sismik merkezlerden gelen ilksel/hızlı odak mekanizması çözümleri her iki depremin doğrultu atımlı bir faylanma ile meydana geldiğini göstermektedir. İlk depreme ait şiddet ve maksimum yer ivmesi haritalarına bakıldığında (Şekil 2). Adıyaman-Antakya hattı boyunca şiddetin 10-11'e ulaştığı, maksimum yer ivmesinin ise Fevzipaşa'daki (İslahiye) bir istasyon tarafından kaydedilen en yüksek değer olan 1.62 g olduğu görülmektedir [5]. Hassa'da maksimum yer hızı ise 2,15 cm/sn<sup>2</sup> olarak kaydedilmiştir (NEIC, 2023) (Şekil 2,3). 6 Mart 2023 itibarıyla Türkiye'de 46.100'den fazla ve Suriye'de 7.200'den fazla olmak üzere 53.300'den fazla vefat bildirilmiştir. Son yaşanan depremler 526 yılındaki Antakya depreminden bu yana Türkiye'deki en ölümcül, 2010 Haiti depreminden bu yana ise dünya çapında en ölümcül deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Öğle saatlerinde Ekinözü'ndeki deprem ise doğu-batı doğrultulu, kuzey eğimli, sol yönlü doğrultu atımlı bir fay boyunca kırılmış olup (Şekil 3) bunu iki ek Mw 6.0 civarı artçı şoku izlemiştir.



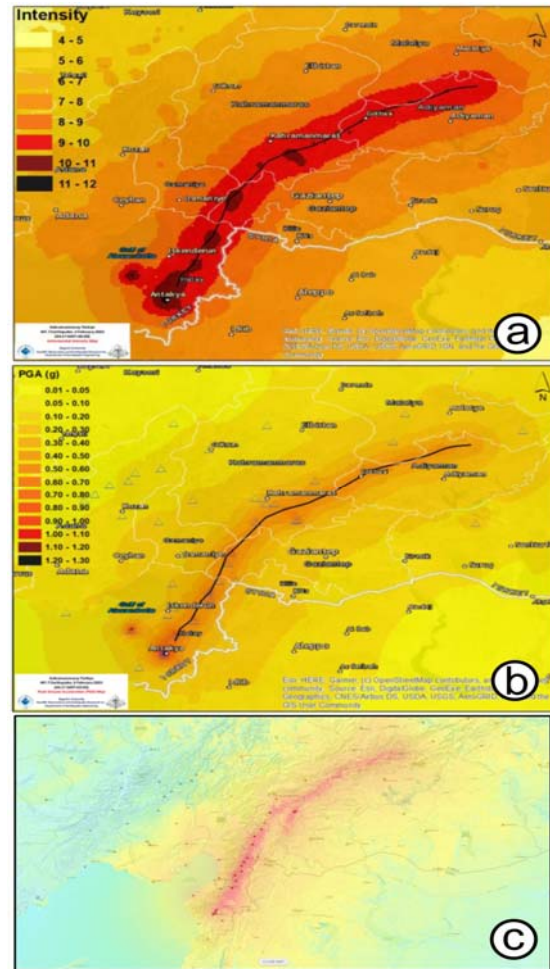
**Şekil 1.** Farklı kaynaklar tarafından verilen 6 Şubat 2023 04:17 depremi odak noktası konumları [1-3].

## 1.2. Artçı Şoklar

6 Şubat depremlerinin ardından 8 Mart tarihine kadar bölge ve yakın çevresinde 47 adet Mw>5 (3 adeti Mw>6 olmak üzere) artçı şok meydana gelmiştir (Şekil 4). Bunların önemli bir bölümü de kırılan ana faylardan farklı fay ve segmentlerde meydana gelmiştir. Örneğin deprem bölgesinden

yaklaşık 250 km uzaklıkta, sismik açıdan oldukça sakin görülen Kayseri ve Niğde bölgelerinde oldukça şiddetli artçı şoklar (Mw=5 civarı) meydana gelmiştir.

Depremlerin ardından 1 aylık süreçte bölgede meydana gelen Mw>3 artçı şok sayısı ise yaklaşık 2750'dir [4]. Bu artçı şokların doğal olarak Doğu Anadolu Fayının güney segmentleri ile Sürgü-Çardak fayları üzerinde yoğunlaştığı görülürken, kuzeydoğuda Sivrice-Palu hattında da özellikle bir yoğunlaşma dikkat çekmektedir.



**Şekil 2.** İlk depreme ait şiddet dağılım ve yer ivmesi haritaları (a, b) [7], USGS tarafından paylaşılan, deprem (04:17) maksimum yer ivmesi haritası (c) [5].



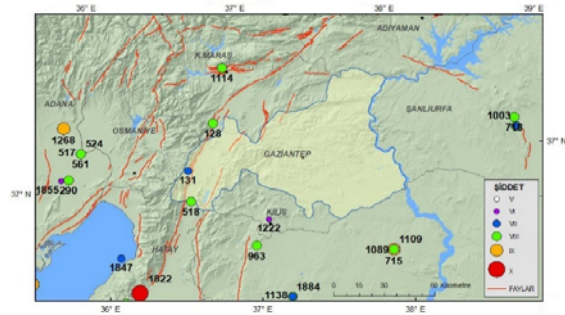
6 Şubat öğle saatlerinde meydana gelen ikinci deprem Adıyaman ilinin Çelikhan ilçesinin batı kesimlerinden Göksun'a kadar uzanan hat boyunca DAF'ın kuzey kolu olarak da nitelenen Sürgü ve Çardak fayları üzerindedir. Bu bölgede yapılan birçok çalışmada Sürgü ve Çardak fayları sol yanal doğrultu atımlı faylar olarak tanımlanmıştır [9-11,13]. Öte yandan, uzaktan algılama yöntemleri, saha gözlemleri ve fay atım verilerine dayanan diğer bir çalışmada ise, Sürgü ve Çardak fay segmentlerinden oluşan Sürgü Fay Zonu'nun sağ yanal doğrultu atımlı kinematik karakter gösterdiği öne sürülmüştür [14-16].

Yaklaşık 85 km uzunluğundaki Çardak fayı, Nurhak ile Göksun arasında yaklaşık doğu-batı uzanımlı içbükey bir geometri temsil eder (Şekil 5). Ericek'in (Göksun) yaklaşık 10 km doğusunda, fay yaklaşık 500 m genişliğindeki bir basamak üzerinden sağa doğru sıçramakta ve fay uçları doğu (35km) ve batı (50km) yönlerinde iki kola ayrılmaktadır [17]. Fay, Göksun ilçesi güney batısında ise bir dirsek yaparak KD-GB gidışe sahip Savrun Fayına bağlanmaktadır (Şekil 5). Duman ve Emre (2013) [9] Çardak Fayı'nın 50 km uzunluğundaki batı kesiminin bölgedeki kıvrımları ve daha eski bindirmeleri kestiğini ve belirgin bir aktif sol yanal fay morfolojisi sergilediğini; Holosen nehir vadilerinin ötedediğini belirtmişlerdir. Son zamanlarda gündeme gelen Savrun Fayı ile ilgili olarak ise Prof. Dr. Cenk Yaltrak (İTÜ) 18 Nisan 2023 tarihli bir sosyal medya paylaşımında jeoloji haritası ile beraber sunduğu sayısal arazi modellerine göre bölgede Miyosen yaşlı birimlerde ötelenme görülmediğini ve bu fayın 20 my. önce aktivitesinin sonlandığını belirtmiştir.

#### 1.4. Bölgenin Sismik Geçmiş

Avrasya, Afrika ve Arap levhaları arasında yer alan Anadolu sismik açıdan oldukça aktif bir konumda yer almaktadır. Başlıca KAF, DAF ve Ege genişleme sistemi tarafından denetlenen sismik çatı, fayların kıtasal alanlar üzerinde bulunması nedeni ile de şiddetini doğrudan yerleşim bölgelerine yansıtmaktadır. 1900 yılından bugüne Türkiye'de 21 adet  $M_w \geq 7$  deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden 11'i Kuzey Anadolu fayı üzerinde veya yakınında gerçekleşmişken; 5 tanesi

Türkiye'nin batısındaki genişleme rejimi içindedir; 3'ü ise Türkiye'nin doğusundadır (DAF). 6 Şubat 2023 depremleri ise ( $M_w$  7.8 ve  $M_w$  7.6) Doğu Anadolu fayının orta ve güney segmentlerinde meydana gelmiştir. Doğu Anadolu fayı üzerinde sismik olarak belgelenen en büyük deprem, sistemin orta kısmında (Malatya civarı) meydana gelen 1905  $M_w$  6.8 depremiydi. 20. yüzyılın başından bu yana Türkiye'yi en çok hasara uğratan depremler 1939  $M_w$  7.9 Erzincan ve 1999  $M_w$  7.6 İzmit (Kocaeli) depremleridir. 20. yüzyılda, Kuzey Anadolu Fayı'nın büyük bir bölümü doğudan batıya doğru bir dizi şeklinde  $M_w \geq 7$  depremlerle kırılmıştır. Aynı dönemde, Doğu Anadolu fayı boyunca çok sayıda  $M_w \geq 6$  deprem meydana gelmiş olup, aktivitenin çoğu en kuzey kesimde Karlıova-Palu ve Pütürge hattı boyunca gerçekleşmiştir. 2020 yılında  $M_w$  6.7 (Elazığ-Pütürge) deprem serisi ve son olarak 2023  $M_w$  7.8 ve  $M_w$  7.6 deprem serisi ile başlayan Doğu Anadolu fayının güney kesimindeki aktivite sonucu büyük bir kısmı kırılmıştır. Tarihsel döneme bakıldığında ise (Şekil 6) Doğu Anadolu fayının ilgili segmentleri boyunca MS 128, 131, 518 ve 1822 yıllarında 7 ile 10 şiddetindeki depremler dikkat çekmektedir. Adana bölgesinin depremselliği daha detaylı olarak ileriki bölümlerde ele alınacaktır.

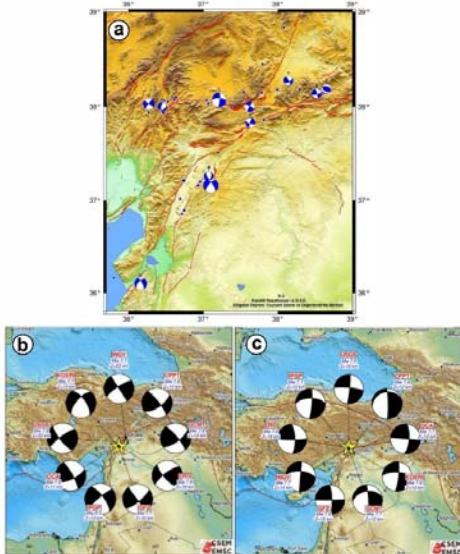


Şekil 6. Kahramanmaraş ve civarının tarihsel deprem kayıtları ([18]'den değiştirilerek).

## 2. DEPREM PARAMETRELERİ VE ODAK MEKANİZMASI

Bölgedeki sismometrelerce kaydedilen ilk harekete göre belirlenen "best-fitting" deprem-fay mekanizması odak çözümleri önemli deprem parametreleridir (Şekil 7). Odak çözümü sunumunda kullanılan plaj toplarının boyutu, ilk

sismik dalgaya karşılık gelen zaman penceresindeki maksimum etki oranı yoğunluğuna göre ölçeklenir. Optimum doğrultu/gidiş açısı, muhtemel fay düzleminin ve referans fay düzleminin fay-normal vektörlerinin iç çarpımını en aza indiren iki olası düğüm düzleminin biridir. Bunlar, Mw 7.8 ve Mw 7.6 depremleri olmak üzere sırasıyla ortalama-yaklaşık  $30^{\circ}$ - $50^{\circ}/90^{\circ}$  ve  $250^{\circ}$ - $270^{\circ}/90^{\circ}$  (doğrultu/eğim) olarak görünmektedir (Şekil 7,8). 06 Şubat 2023’de yerel saat ile 04:17’de gerçekleşen depreminin (Mw=7.7 derinlik=10 km) küresel sismoloji merkezleri tarafından verilen odak mekanizması çözümleri (Şekil 7) incelendiğinde depremin yaklaşık KD gidişli bir fay hattı boyunca yaklaşık K-G yönlü bir sıkışma ile meydana geldiği görülmektedir. Öğle saatlerinde Ekinözü’nde meydana gelen depremin odak çözümleri ise yaklaşık D-B uzanımlı bir kırılma düzlemine işaret ederken, stres KD-GB eksenleri üzerinde görülmektedir.



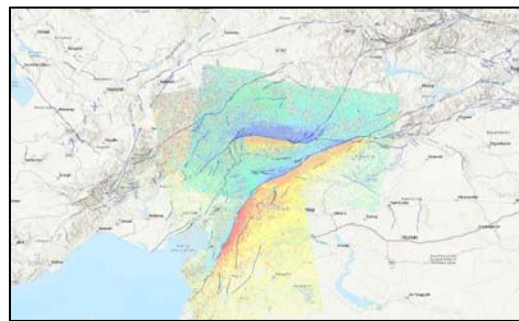
Şekil 7. a) 06 Şubat 2023 depremlerinin Odak Mekanizması Çözümleri [1-2]. b) 4:17 de ve c) 13:24’ de meydana gelen depremlerin farklı sismoloji merkezleri tarafından bildirilen odak mekanizması çözümleri.

6 Şubat 2023 depremlerinin sismik parametrelerine göre (Şekil 7,8 ve [19]) Arap ve Afrika plakaları arasındaki hareketi temsil eden Ölü Deniz Fayında (ÖDF) başlayan kırılmanın kuzeye doğru ilerlerken hızlı bir şekilde Kahramanmaraş Türkoğlu

civarındaki “Eklem Sistemi” ne ulaştığı anlaşılmaktadır. Bu noktada, yırtılma DAF boyunca iki taraflı olarak devam etmiştir. Kuzeydoğudaki kırılma Anadolu ve Arap levhaları arasındaki hareketi, güneybatıya doğru ilerleyen kırılma ise Anadolu ve Afrika levhaları arasındaki hareketi temsil etmektedir. Kahramanmaraş Eklemi yakınında, küçük bir Afrika plakası şeridi ile ayrılan iki fay segmentinde neredeyse aynı anda kırılma meydana geldiği düşünülmektedir.

### 3. FAY YÜZEY KIRIKLARI VE SAHA GÖZLEMLERİ

Depremin hemen ardından, Japon Uzay Ajansı (JAXA) ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) dahil olmak üzere optik ve radar sensörleri ile donatılmış uydular depremden etkilenen bölgeden veriler sunmuşlardır. Birçok farklı merkezden alınan görüntülerin analizi, Mw 7.8 ve Mw 7.6 depremlerinin deprem yüzey kırılmasının konumlarını ve bu fayların etrafındaki yüzey hareketlerini ortaya koymaktadır (Şekil 8). 28 Ocak 2023 ve 10 Şubat 2023’te alınan ESA Sentinel-1 radar görüntü çiftlerinden türetilen bu yer değiştirme haritası, uyduya doğru ve uydudan uzağa yapılan yüzey yer değiştirmelerinin büyüklüğünü göstermektedir. Depremlerin meydana geldiği her iki fay hattının güneyinde negatif yer değiştirme görülürken kuzey blokta pozitif yer değiştirme dikkat çekmektedir.



Şekil 8. ESA Sentinel-1 radar görüntü çiftlerinden türetilen yer değiştirme haritası [20], uyduya doğru ve uydudan uzağa yapılan yüzey yer değiştirmelerinin büyüklüğünü göstermektedir. Pozitif (mavi alanlar) ve negatif (kırmızı alanlar) yer değiştirmeler arasındaki belirgin doğrusal kırılma faylarının konumunu da belirlemiştir.

Farklı kaynaklarca paylaşılan (uydu [21] ve saha görüntüleri) fay yüzey kırıkları ve bölgede yaşayan halktan gelen bildirimler de göz önüne alınarak deprem sahasında arazi çalışmaları planlanmıştır. Bu kapsamda Kahramanmaraş il sınırlarında yer alan başlıca Beyoğlu, Türkoğlu, Çiğli, Şekeroba, Göksun, Çardak yörelerinde, Gaziantep'e bağlı Nurdağı, İslahiye, İdilli, Sakçagöz, Atalar ve Yamaçoba yörelerinde, Adıyaman'a bağlı Pazarcık, Gölbaşı, Balkar ve Harmanlı yöreleri ile Adana il sınırlarında bulunan Yumurtalık, Haylazlı, Aladağ, Eğner, Çiğşar yörelerinde saha gözlemleri yapılmıştır. Bunların büyük bir bölümü depremin gerçekleştiği ana faylar üzerinde yer alırken bazı yerler dolaylı yoldan etkilenmiş ve çeşitli (heyelan, yüzey yayılması, kaya düşmesi vs.) yüzey deformasyonlarına maruz kalmış alanlardır. Elde edilen saha verileri DAF ve Çardak Fayı (ÇF) üzerinde meydana gelenler olarak iki başlık altında incelenecektir.

### 3.1. Doğu Anadolu Fayı (DAF)

6 Şubat depremlerinin ilk şok merkez üssü verileri ve diğer sismik göstergeler [19] ilk kırılmanın büyük olasılıkla Ölü Deniz Fayının (ÖDF) en kuzey segmentlerinde başladığını ve çok hızlı bir şekilde ("super-shear" yırtılması) DAF'ı tetikleyerek kuzey ve güney kollarda kırılmanın devam ettiğini göstermektedir. ÖDF üzerinde yapılan saha gözlemleri bölgede önemli bir yüzey kırığı oluşturmadığı yönündedir. Ancak bu hat boyunca özellikle Sakçagöz yerleşim alanı oldukça etkilenmiştir. Atalar – Yamaçoba köyüne devam eden karayolu boyunca çok sayıda kaya devrilmeleri gözlenirken yerleşim alanı içinde özellikle stabilize yolları etkileyen yaklaşık K30°-40° D uzanımında yüzey kırık-çatlak sistemleri gözlenmiştir. Daha doğuda Atalar-Yamaçoba civarında ise karayolu asfaltını etkilemiş görülen birkaç ince fay yarığı haricinde yüzey deformasyonu gözlenmemiştir. DAF boyunca meydana gelen yüzey kırılmaları bu çalışma kapsamında Gaziantep'in İslahiye ilçesinin güney kesimlerinden Adıyaman ilinin Gölbaşı ilçesinin kuzey doğusundaki Harmanlı yöresine kadar izlenmiştir. Meydana gelen kırılma ve ötelenme parametreleri ile farklı yüzey deformasyonlarının detayları ileriki bölümde açıklanacaktır.

#### 3.1.1. DAF Yüzey Kırığı Parametreleri

Depremlerin ardından sahada meydana gelen yüzey yırtılmaları bazı yerlerde belirgin olarak izlenirken bazı yerlerde sönümlenmektedir. Haritada bunlar uydu görüntüleri [21] ile de denetirilerek birleştirilmiştir. DAF boyunca deprem yüzey kırığının en belirgin izlenebildiği yerlerden birisi Kahramanmaraş'ın 15 km güneydoğusunda yer alan Çiğli köyü civarıdır. Bu yörede fay kırığı yaklaşık K45°-50°D uzanımında olup, batıda Öksüzlü köyünün güney kesimlerinden ve Kocalar, Tevekkeli ve Kapıçam köylerinin hemen güneyinden geçerek Çiğli kasabasına doğru devam etmektedir (Şekil 9 a,b,c). Bu bölgede fay kırığı aynı zamanda Kahramanmaraş-Cumhuriyet karayolunu da keserek ötelemiştir. Bu bölgede ölçülen sol yönlü ötelenme 3.20 metre civarında olup önemli bir normal veya ters bileşen sunmamaktadır (30-40 cm).

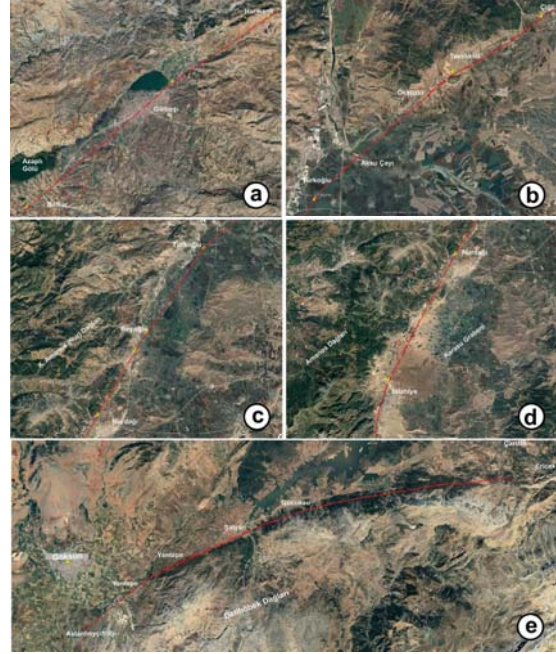
Güneyde fay hattı Kahramanmaraş ovası içinden tarlaları keserek devam etmekte ve Türkoğlu-Şihağalar civarında fay yüzey kırığı hafif bir kıvrım yaparak K30°-40°D gidişine dönmektedir (Şekil 10 a,b). Bu bölgede fay kırığı sulamada kullanılan kanalları ve tarla sınır yollarını ötelemiş, aynı zamanda 95 cm düşey atım meydana getirmiştir. Yanal atım yine sol yönlü ve 3 m civarında olup, düşey atım ile kuzey blok yükseltilmiştir.

DAF yüzey kırığı güneyde devamında Kahramanmaraş'a bağlı Türkoğlu ilçesi güneyinde Ceceli ve Akçalı köylerinin doğusunda kalan tarım alanları içerisinden (Şekil 10b) K35°D doğrultusunda geçerek (Şekil 9d) Beyoğlu mahallesinde GÖRPA tarım arazisi içine devam etmektedir. Bu alanda tarım alanlarını etkilemiş, derin yarıklar, ötelenmeler oluşturmuş ve bir adet köprüde sıkıştırma ile bükülme meydana getirmiştir. Tarım sahaları arasındaki tel örgülerden ölçülen ötelenme yine sol yönlü ve 2.70 m.'dir. Yer yer 1.3 metreye varan yaklaşık D-B uzanımlı derin yarılmalar ve küçük çaplı basınç sırtları meydana gelmiştir (Şekil 9e). Güneye devam eden fay Beyoğlu Yeni mah. güneyinde yaklaşık D-B uzanımlı bir sulama kanalını keserek ötelemiş, demir korkulukları kırmış ve zarar vermiştir. Devamında yaklaşık 67 cm düşey atım meydana

getirerek GB yönünde tarım arazileri içinden devam etmektedir (Şekil 9f). Bu noktada Gavurgölü olarak bilinen sulak alan içinde irili ufaklı bazı su birikintileri ve kanalları içinde balıkların topluca öldüğü ve yüzeye çıktığı da gözlenmiştir.



**Şekil 9.** DAF boyunca gözlenen önemli yüzey deformasyonları a,b,c) Çiğli civarında gözlenen yüzey yırtıkları ve yanal ötelenmeler; d) Türkoğlu Şihağalar civarında gözlenen 3 m. sol yanal ötelenme; e) Beyoğlu Yeni mah. Civarından yüzey yırtılmasının izi ve oluşan düşey atımlar, g) Şekeroba civarında bir kanal köprüsü üzerinde meydana gelen deformasyon.



**Şekil 10.** Farklı bölgelerde haritalanmış fay yüzey kırıklarının yerlerini gösterir (kırmızı çizgi) uydu fotoğrafları: a) Gölbaşı civarında DAF, b) Türkoğlu-Çiğli hattında DAF, c) Türkoğlu-Nurdağ hattında DAF, d) Nurdağı-İslahiye hattında DAF, e) Göksun güneyi (Aslanbeyçiftliği) ile Ericek arası ÇF yüzey kırığı.

Daha güneyde DAF yüzey kırığı Şekeroba mahallesine ulaşmaktadır. Şekeroba depremden en çok hasar alan yerleşim alanlarında birisi olarak göze çarpmaktadır. Bu bölgede tek ve çift katlı pek çok yapı döşeme katları birbiri üstüne yığılacak şekilde yıkılmıştır. Yörede hasar kuzey kesimlere nazaran belirgin şekilde fazladır. Fay kırığı yerleşim alanına KD yönünden tarım arazileri içinden girerek önce Nurdağı tarafından gelen tren raylarını kesmiştir. Hemen ardından Hatay-Kahramanmaraş karayolunu kesmiş, yol üzerinde bulunan bir sulama kanalı köprüsü üzerinde ağır hasar yaratmıştır (Şekil 9g). Karayolu boyunca çok sayıda paralel deformasyon sistemi gözlenmekte olup burada fayın gidişi K30°D şeklindedir. Dolayısı ile fay hattı, direkt olarak Şekeroba'nın yerleşim alanı içerisinde geçerek (Şekil 10c) büyük yıkım yaratmış olup güneyde Yeşilyurt,

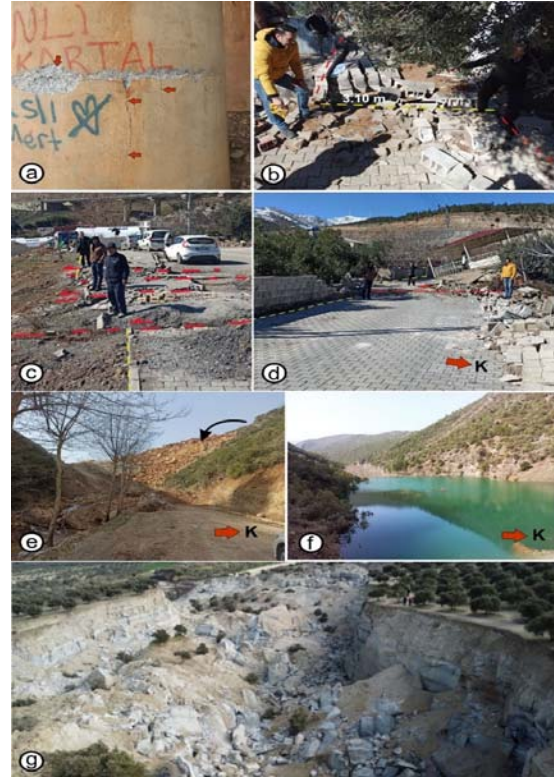


Bademli hattı üzerinden Nurdağı ilçesine doğru devamı izlenmektedir.

Gaziantep'e bağlı Nurdağı ilçesi (Şekil 10c,d) depremden en çok etkilenen yerleşim alanlarında bir diğeridir. DAF yüzey kırığı yerleşim alanının kuzey kesiminde Osmaniye-Bahçe tarafından gelen otoban viyadüklerinin ayak temellerini etkilemiştir (Şekil 12a). Bu taşıyıcı kolonlarda hafif hasar meydana gelmiş ve hafif oturma ve ötelenme ile karayolu yüzeyinde bağlantı noktalarında ayrılmalar oluşturmuştur. Ancak KGM ilk günlerde buralarda asfalt ile hızlı ön bakım-onarım yapmıştır. Otoban viyadüklerinin hemen altından Nurdağı yerleşim alanına giren fay yüzey kırığı ilçenin kuzeyindeki Başpınar mahallesini çok etkilemiştir. Bu bölgede 1970'li yıllarda meydana gelen depremin ardından yapılan afet evlerinin içinden geçen fay çok sayıda yapıya büyük zarar vermiş, yollarda ötelenme meydana getirmiştir (Şekil 11 b,c). Bu noktada basamaklı şekilde toplamda 3 metreyi bulan sol yönlü ötelenme ölçülmüştür (Şekil 12 b,c,d). Bu bölgede fayın gidişi K28°D olup önemli bir düşey atım gözlenmemiştir. Fay yüzey kırığı bu noktadan güneye Amanos segmentine geçmekte ve Gökçedere, Karaburçlu hattı boyunca devam ederek Fevziye ilçesine ulaşmakta ve hemen doğusundan geçerek İslahiye ilçesine doğru Karasu volkanitlerini kesecek şekilde devamı izlenmektedir (Şekil 10d).

DAF boyunca meydana gelmiş olan yüzey kırığı İslahiye Ceza İnfaz Kurumu yerleşkesinin hemen batısından tarlalar içinden geçerek Türkbahçe-İslahiye karayolu kenarında konumlanmış olan İslahiye devlet hastanesine ulaşmaktadır. Modern teknikler ile inşa edildiği anlaşılan Hastane üzerinde önemli bir hasar meydana getirmeyen fay güneybatı yönüne devam etmekte ve İslahiye'nin eteklerine kurulduğu KD-GB uzanımlı basıç sırtının batı yamaçlarından Değirmencik mahallesine ulaşmaktadır (Şekil 10d). Değirmencik mahallesinde oldukça büyük hasarlar meydana getiren deprem buradan batı yönüne İdilli köyüne bağlanan ve Amanos Dağlarını enine kesen vadi boyunca devam eden karayolu boyunca büyük çaplı bir heyelana neden olmuştur. Karayolunun kuzey yamaçlarından (Pancarlıkaya Tepe) dökülen önemli bir miktar kaya-moloz (Paleozoyik kireçtaşları)

vadi ve dere yatağını kapatarak (Şekil 11e) hem karayolunu ulaşımına kapatmış hem de batıdaki memba yönünde derinliği 8-9 metreye ulaşan bir gölet meydana getirmiştir (Şekil 11f). Bu bölgede fay yırtılması K10°-15°D yönelimini kazanmış ve güneyde Hassa yönünde devam etmektedir. En güneyde Antakya il merkezinin yaklaşık 8-10 km güneydoğusunda bulunan Altinkaya ilçesi Tepehan mahallesinde depremin ardından büyük çaplı bir heyelan meydana gelmiştir. Karbonatlı ve killi sedimanter kayaların hâkim olduğu bölgede (Tepehan Fm.) yaklaşık K60°B yönelimli ve 55 ila 100 metre genişliğinde, 20-30 m. derinliğinde bir çöküntü alanı oluşmuştur (Şekil 11g).



**Şekil 11.** DAF boyunca meydana gelen bazı deformasyonlar; a) Nurdağı girişinde otoban viyadük ayaklarında görülen hasar, b,c,d) Nurdağı, Başpınar mahallesinde görülen deformasyonlar ve yanal atım, e,f) İslahiye Değirmencik ile İdilli köyleri arasında heyelan ve ona bağlı gelişen gölet, g) Hatay Altinkaya Tepehan mahallesinde depremler sonucu meydana gelen heyelan sonucu ve oluşan kanyon.

Kuzeyde ise DAF fay yüzey kırığı Çiğli doğusunda Kartal köyünün hemen güneyinden KD-GB uzanımlı ince bir sırtın zirvesinden geçerek Büyüknacar ve Karaağaç yönüne devam etmektedir (Şekil 10a,b). Bu yörelerde fay kırığı çok net olarak gözlenmemiştir. Daha kuzeyde fay kırığı Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesi güneyindeki Küçükören ve Kösüklü köylerine komşu tarım arazilerinden geçerek Balkar Mahallesi mevkiine ulaşmaktadır. Balkar yerleşim alanının batı kesimlerinden (Aktepe civarı-Balkar köyü mezarlığı güneyi) yaklaşık  $K50^{\circ}D$  yönelimi boyunca (Şekil 10a) uzanan fay kırığı büyük hasarlar meydana getirmiş (Şekil 12a), yollarda ve su kanallarında ötelenmeler oluşturmuştur. Bu bölgede ölçülen yanal sol yönlü atım 3.10 m olup, yerel olarak 1 metreye ulaşan düşey atım ölçülmüştür (Şekil 12 b,c). Yükselen blok çoğunlukla kuzeydoğu bloktur. Bölgede Gölbaşından Kahramanmaraş yönüne devam eden demiryolu hattı boyunca büyük ölçekli burkulma ve eğilmeler dikkat çekmektedir.

Yüzey kırığı Balkar beldesi kuzeyinde Gölbaşı'na bağlanan karayolunun doğu tarafına geçerek  $K50^{\circ}D$  gidişli olarak devam etmekte ve Gölbaşı ilçe merkezine girmektedir. Gölbaşı merkez yerleşim alanının içinden geçen fay kırığı çok sayıda binaya zarar vermiş ve çok yakın geçtiği anayol üzerindeki 6-7 katlı bir binayı temeli ile beraber yerinden kaldırarak yıkılmaksızın batıya doğru yatırmıştır (Şekil 12d). Fay kırığı Gölbaşı kuzey çıkışında asfalt yolda da oldukça zararlara ve ötelenmelere neden olmuş ve KD yönünde Harmanlı mahallesine doğru devam ettiği izlenmiştir. Harmanlıda ortaları derecede yıkıma neden olan deprem yollarında da hasara sebep olmuş ana fayı çapraz kesen konjugate sıralı çatlaklar ve yarılmalar meydana getirmiştir. Ancak yüzey kırığı bu bölgede sönümlenmeye ve izini belirsizleştirmeye başlayarak KD yönünde Malatya'nın Çelikhan ilçesine doğru devam etmektedir (Şekil 10a). Dolayısı ile sahada DAF ana kolu boyunca yüzey yarılmasının net olarak izlendiği bu hattın toplam uzunluğu 160 km ye ulaşmaktadır. Deprem kırılma bölgesinin çoğu boyunca gözlenen bu yerel yüzey

kırılmaları yüzeye ulaşan sığ fay hareketlerini işaret etmektedir.



**Şekil 12.** DAF boyunca Türkoğlu-Gölbaşı yörelerinde görülen deformasyonlar; a) Pazarcık güney kesiminde kaya devrilmeleri ve heyelan, b,c) Gölbaşı Balkar civarında meydana gelen yüzey deformasyonları ve atım, d) Gölbaşı merkezde deprem nedeniyle sivilaşma sonucu yatan bina, e) Gölbaşı civarında arazide gözlenen düşey atım.

### 3.2. Çardak Fayı

Çardak Fayı (ÇF), DAF'ın Çelikhan bölgesinden geçen ana kolundan batıya doğru ayrılan Sürgü segmentinin devamı şeklinde uzanmaktadır (Şekil 5). Fay hattı doğuda Nurhak ilçesinden doğuya

doğru sırası ile Gözpinar, Kandil, Kabaktepe, Çardak, Ericek, Korkmaz, Gücüksu yörelerine devam ederek sonunda Göksun ovasına bağlanmaktadır. ÇF Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesinin hemen güneyinde genişçe bir dirsek yaparak yönelimini doğu-batıdan aşamalı olarak K30°D istikametine dönüşmekte ve Savrun Fayına bağlanmaktadır (Şekil 10e). Literatüre göre Göksun'dan GB yönüne Adana'nın Kozan-Sumbas bölgelerine kadar uzanan Savrun Fayının güneyde alüvyon altındaki devamı belirsizdir. Bu çalışma kapsamında özellikle ÇF'nın Göksun ile Ericek arasında kalan hattında saha gözlemleri yapılmıştır. Saha gözlemlerinin yapıldığı Şubat ayı boyunca bölgenin kar altında olması özellikle doğu kesimlerde fay kırığının izlenmesini zorlaştırmıştır.

### 3.2.1. ÇF Yüzey Kırığı Parametreleri

ÇF yüzey kırığı depremden oldukça fazla yara alan Göksun ilçesinin güneyindeki Yantepe Mahallesi civarında net olarak gözlenebilmektedir. Fay yüzey kırığı burada hemen güneyindeki dağ sırasının (Kaman Dağı) eteklerine yakın kesimden yaklaşık K60°D yöneliminde geçmektedir. Bu lokasyonda bir köy evinin neredeyse tam altından geçerek yıkımına neden olan fay yüzey kırığı hemen batıdaki devamında yine iki adet yeni inşa edildiği gözlenen evin ortasından geçmiş ancak bunlarda önemli bir hasara neden olmamıştır (Şekil 13a). Bu bölgede fay hattı boyunca bir tesviye edilmiş yama şevinde atım sol yönlü 3.5 m olarak ölçülmüştür (Şekil 13b). Yüzey kırığı boyunca zeminde, verev gelişmiş küçük ölçekli çek-ayır çukurları ve basınç sırtı tümsekleri izlenmektedir. Güneye doğru fay yüzey kırığı yüzlerce metre devam etmekte 1 m ye yakın derinlikte yüzey yarılmaları oluşturarak (Şekil 13c) tarım alanlarını ve patikaları keserek devam etmekte ve Aslanbeyçiftliği mahallesine bağlanmaktadır (Şekil 13d). Bu noktanın güneybatısında fayın yüzey kırığı net olarak gözlenememiş ancak yollarda yayılma çatlakları, heyelanlar ve benzeri deformasyonlar izlenebilmiştir. Fay yüzey kırığına ait ölçülen en güneydeki doğrultu değeri K40°D'dur.



**Şekil 13.** 6 Şubat depremleri ardından Çardak Fayı üzerinde ve çevresinde meydana gelen deformasyon yapıları: a-d) Göksun ilçesi güneyinde Yantepe mahallesi civarında gözlenen yüzey deformasyonları, yanal ve düşey atımlar, e) Salyan köyü civarında vadi boyunca görülen fay kırığı, f) Çardak beldesi yakınlarında görülen deformasyon.

ÇF yüzey kırığı doğuda ise K65°D yönelimde dağ yamacı boyunca sırası ile Karahmet, Saraycık köyleri civarındaki tarım alanlarından geçerek Salyan yönünde devam etmektedir. Bu mevkide ana fay kırığı Salyan köyünün güneyindeki Ahmetçik köyüne bağlayan karayolunu verev kesecek şekilde izlenmektedir. Hemen batıdaki vadi boyunca gelen fay kırığı (Şekil 13e), burada karayolunu ve yol yarması şevini kesmiş ve hafifçe sol yönlü ötelemiştir. Meydana gelen atım sol yönlü 3 metre olarak ölçülmüş olup kuzey blok hafifçe düşmüştür

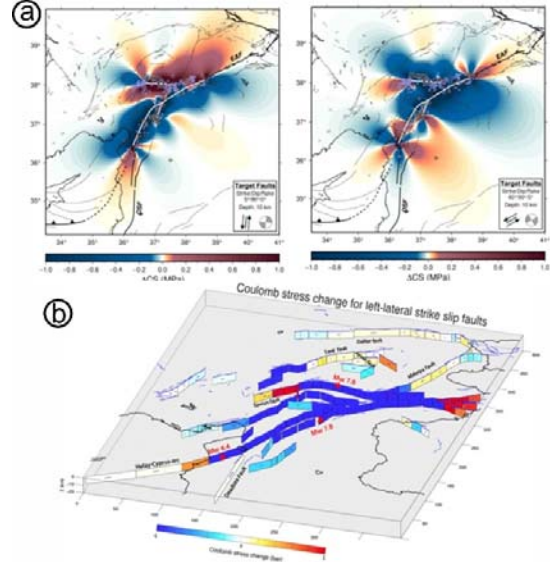
(yaklaşık 15-20 cm). Fay yüzey kırığı doğuda Gücüksü Köyü yönüne devam ederken artık dağ eteği önünden ayrılarak biraz daha güneye doğru sırtlar üzerinden devam eder pozisyona gelmiştir. Fay hattı daha doğuda Korkmaz köyünün güneyindeki dağ sırtlarında kar nedeni ile belli belirsiz olarak gözlenebilirken civarda ileri derecede yıkımlara ve kaya devrilmelerine yol açtığı görülmüştür. Daha doğuda Çardak beldesi yaklaşık 2 km güneyinde toprak satırlı köy yolunda faylanma nedeni ile oluşan yarılma ve çatlamlar, basamaklı yapılar (Şekil 13f) ve yüzey yayılmasına bağlı küçük çaplı heyelanlar gözlenmiştir.

#### 4. SİSMİK GÖSTERGELER VE STRES TRANSFERİ

İlk kırılmanın meydana geldiği ve DAF'ı tetikleyerek ilk depremde güney ve kuzeye doğru kırılmanın meydana geldiği sismik hareketliliğin kaynağı Arap plakasının kuzey yönlü (hafifçe saat yönü tersine) hareketidir. Bu hareket neticesinde ortaya çıkan elastik enerji yüzey dalgaları ile yayılırken kıta hareketinin sahada ölçülen 3-3.5 metre civarında yapmış olduğu atım kuzey kesimde Anadolu bloğuna stres transferi olarak aktarılmıştır. Anadolu bloğunun kuzeyden Avrasya Plakası ile sınırlanması neticesinde batı yönüne yaptığı mecburi hareketi karşılayan ve onu güneyindeki Adana bloğu ile ayıran Sürgü-Çardak fay hattı üzerinde 9 saat sonra meydana gelen kırılma bu hat boyunca da uzun süre bir enerji biriktirdiğini ortaya koymaktadır.

DAF'ın ve komşu fay sistemlerinin geometrik karmaşıklığı, M 7.8 depremi merkez üssünün ana DAF hattından uzaklığı, GCMT (Global Centroid Moment Tensör) çözümlerinin yüksek non-double (çift olmayan) bileşenleri ve çeşitli yönelimlere sahip artçı şok dağılımı beraber değerlendirildiğinde, deprem dizisinin hem kırılma evriminin hem de fay geometrisinin karmaşıklığını ortaya koymaktadır [22,23]. Ayrıca, farklı tektonik rejimlerdeki karmaşık fay sistemlerinde, fay kıvrımları boyunca süper-shear kırılmaları [24,25] farklı faylanma stilleriyle kırılmaların tetiklenmesi gibi, kırılma düzensizliğine ve farklı segmentlerde [23,26,27] belirgin kopma geri yayılımı veya

yeniden kopma [23, 28-31] olaylarına dair kanıtlar sunmaktadır.



Şekil 14. Mw 7.8 ve Mw 7.6 depremleri için uzaktan algılamayla gözlemlenen verilere dayalı Coulomb stress değişim haritaları. Beyaz çizgiler, modellemede kullanılan fayın segmentlerini temsil ederken, açık mor daireler depremselliği göstermektedir. Fay isimlerinin anahtarı: Ölü Deniz Fayı (ÖDF), Doğu Anadolu fayı (DAF) ve Sürgü fayı [5] b) DAF ve ÇF sol yanallı atımlı fayları boyunca bölgesel Coulomb stres değişimi haritası (Dr. Çakır Z., 2023 – Twitter hesabı).

Her iki deprem için Moment Tensörü çözümleri (Şekil 7), oblik sol yanallı doğrultu atımlı hareketi işaret etmektedir. İki çözümün fay yönelimleri, sırasıyla ana DAF segmenti ve ÇF'nin toplu genel yönelimleri ile tutarlı görünmektedir (Şekil 2), ancak, GCMT çözümleri, %42 ve %57'lik orta derecede yüksek non-double bileşenler göstermektedir.

7.8 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler için hazırlanmış olan Coulomb stres değişim haritaları (Şekil 14) değerlendirildiğinde DAF'ın en güney kesimlerindeki segment üzerine bir stres yükü geldiği görülmektedir. Ancak bu bölgede 20 Şubat 2023 akşamında meydana gelen Mw 6.4

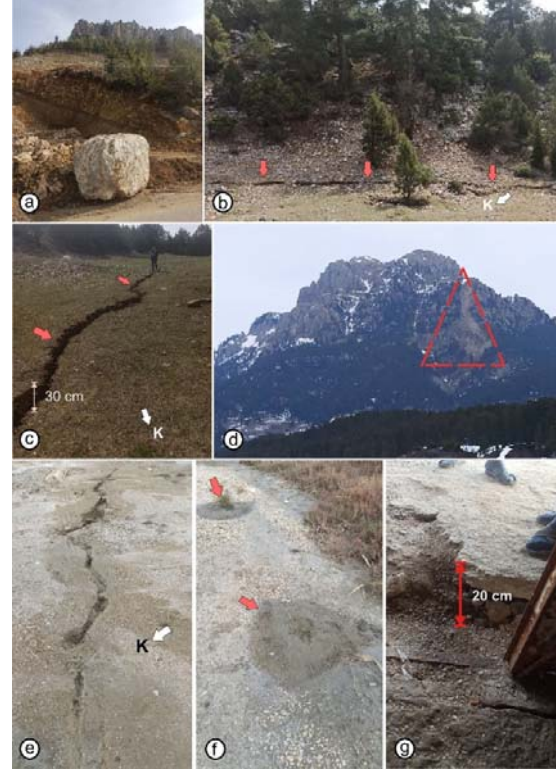
depreminin bu stresi büyük ölçüde harcadığı düşünülmektedir. Ancak bölgedeki stresin büyük bir kısmı daha güneydeki Ölü Deniz Fay hattına ve GB yönüne uzanan Kıbrıs-Helen yayına aktarılmış olabilir. DAF'ın kuzey segmentinde ise yırtılma yaklaşık Malatya Çelikhan civarına kadar gerçekleşmiş ve Coulomb stres değişim haritasında bu bölgede bir stres aktarımı görülmektedir. Çardak Fayı üzerinde meydana gelen depremde ise stres yükü yırtılmanın en batı ucunda kalan Göksun civarında düğümlenmektedir. Göksun yöresinde GB yönünde bir stres yükü dikkat çekmekle beraber depremler sonrası burada meydana gelen artçı şokların yoğunluğu da bu stresin önemli bir göstergesi olarak görülmektedir.

## 5. ADANA İÇİN OLASI ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Adana şehir merkezi 6 Şubat depremlerinin gerçekleştiği DAF hattının yaklaşık 120 km batısında yer almaktadır. Adana'ya bağlı Ceyhan ilçesi ise yaklaşık 70 km mesafede olup 4:17 depreminden merkeze göre daha fazla etkilenmiştir. Kozan ilçesi ise hem DAF hem de ÇF'na yaklaşık 90 km uzaklıkta olup, yine fazlaca etkilenen yerleşim yerlerindedir. Adana merkezde ölçülen yer ivmesi değerleri 0,05 g civarında görülmesine rağmen özellikle şehir merkezinin kuzeyinde yer alan Çukurova merkez ilçesinde çok sayıda yıkım (13 adet) meydana gelmiştir. 418 kişinin hayatını kaybettiği kentte, 2 bin 869 binanın ağır, 5 bin 136 binanın ise orta hasarlı olduğu bildirilmiştir.

Kentin alüvyon zemine sahip güney kesimlerinde de çok katlı yapılar olmasına rağmen bunların büyük bir çoğunluğu (özellikle 10 kat üzeri yapılar) 2000 yılı sonrası inşa edilmiştir. Sonbahar aylarında ve Ocak ayında yağışların çok az olması güney kesimde alüvyon zeminin suya doygunluğunu düşürerek sıvılaşma riskini düşürmüş olabilir. Kentin kuzey kesiminde yıkılan yapılarla ilgili adli süreç hem göçüklerden alınan beton karot örnekleri hem de zemin çalışmaları ile devam etmektedir. Öğleden sonra meydana gelen Elbistan-Ekinözü merkez üslü deprem ise Adana'nın kuzey kesimlerindeki Aladağ, Feke, Saimbeyli yörelerini önemli ölçüde etkilemiştir. Ancak bu yerleşim yerlerinde yapılaşma genellikle az katlı olduğundan

büyük bir yıkım oluşmamıştır. Bu bölgede genellikle heyelanlar ve kaya düşmeleri önemli zararlar oluşturmuştur.



**Şekil 15.** 6 Şubat depremleri ardından Adana civarında meydana gelen deformasyonlar; a) Aladağ ilçesi güney girişinde yol şevinde meydana gelen kaya devrilmesi; b,c) Aladağ Eğner civarında meydana gelen yüzey yırtılması; d) Aladağ Kuzeyinde Çiğsar beldesi güney kesimlerinde meydana gelen heyelan; e,f) Karataş ilçesi Haylazlı köyü sahil kesimlerinde meydana gelen yüzey deformasyonları ve kum volkanları; g) Haylazlı köyü civarında sıvılaşmaya bağlı yapıda meydana gelen oturma.

Aladağ ilçe merkezi güney girişinde karayolu şevlerinde önemli heyelanlar ve kaya devrilmeleri meydana gelmiştir (Şekil 15a). Bunun yanında yine Aladağ güneyinde Eğner yöresinde Ceritler köyünün 2.5 km batısında 1 km ye yakın bir fay

yüzey kırığı tespit edilmiştir (Şekil 15b). Fay kırığı uzanımı K30°D olup 0.4 m civarı sağ yönlü atım tespit edilmiş olup, kuzey blok yaklaşık 30 cm düşmüştür (Şekil 16b,c).

Aladağ'ın kuzey kesimlerinde Kahramanmaraş ilinin Andırın ilçesine bağlı Çiğsar mahallesinin güney kesimindeki dağ üzerinde büyük ölçekli bir heyelan meydana gelmiştir (Şekil 15d). Adana şehir merkezinin güney kesimlerinde ise Yumurtalık ilçesinde Haylazlı köyü civarında fay yüzey kırıkları izlenmiştir. Bu yüzey kırıklarının bölgedeki uzunluğu oldukça sınırlıdır, fakat deniz içine devamı tespit edilememiştir (Şekil 15e). Yöredeki balıkçılar deniz içinde zeminde fay kırılmasının izlerinden bahsetmektedirler. Yüzey kırığının yönelimi K65°B olup karada tespit edilebilen uzunluğu 300 metre civarındadır. Bölgede fayın yakın geçtiği sahildeki yapılarda 15-20 cm'ye varan sıvılaşmaya bağlı oturmalar gözlenmiştir (Şekil 15g). Ayrıca fay yüzey kırığı boyunca yer yer yüzeye çıkan çamur konileri görülmektedir (Şekil 15f).

Adana bölgesinin deprenselliği kent yakınındaki irili ufaklı faylar (doğuda Misis/İmamoğlu, Toprakkale; güneyde Yumurtalık, Karataş; kuzeyde Kozan, Savrun, İmamoğlu ve batıda Ecemiş fayları) ile doğuda daha uzakta bulunan majör DAF tarafından denetlenmektedir. Adana içindeki yakın zamanda meydana gelmiş en büyük deprem (Mw 5.9-6.2) 1998 Ceyhan depremidir (145 ölü). Ceyhan depreminin, Adana şehir merkezi ile Misis Dağları arasında geçen ve yaklaşık K57°D gidişli, hafif ters bileşenli (sismik kesitler ile belirlenen) sol yönlü doğrultu atımlı gömülü bir fay ile denetlendiği düşünülmektedir [32,33]. Aletsel dönemde ölçülmüş daha büyük bir deprem olmamakla beraber bölgede Mw 5-6 arası büyüklükte 8 adet deprem (1998 deki M 5.4 artçı hariç) meydana gelmiştir [4,34]. Bunlardan 3 tanesinin merkez üssü İskenderun Körfezi içinde iken 3 tanesi de Kent merkezine çok yakın konumdadır. Dolayısı ile aletsel dönem kayıtları bölgede yaklaşık ortalama 10 yılda bir M 5-6 büyüklüğünde deprem gerçekleştiğini göstermektedir. Tarihsel döneme bakıldığında ise 1268-1269 yılında yaklaşık 7 büyüklüğünde (8-9 şiddetinde) olduğu tahmin edilen Kilikya

depreminin bölgeyi etkilediği görülmektedir. Kozan ilçesi ve civarını etkilediği bildirilen bu deprem dışında 290, 334, 524 ve 1855 yıllarında meydana geldiği bildirilen ve genellikle Misis-Ceyhan ve Anavarza yöresini etkilemiş depremler görülmekte olup haklarında yeterli detay veri bulunmamaktadır. Dolayısı ile bölgede birkaç yüzyılda bir 7 büyüklüğüne ulaşan depremlerin de gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Adana ili yakın çevresindeki bu saha verileri bölgenin depremden oldukça etkilendiğini gösterirken farklı akademisyenler ve araştırmacılar tarafından yapılan basın açıklamaları tedirgin bekleliğini sürdüren bölge halkını endişelendirmeye devam etmektedir. Depremlerin ardından devam eden artçı şoklar sürerken Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen hasar belirleme çalışmaları ile tespit edilen orta ve ağır hasarlı yapılara vatandaşların girmemesi önerilmektedir.

Daha önceki bölümlerde bahsedilen "Coloumb" stres analizlerine göre depremlerin ardından hangi bölgelerde stresin yoğunlaştığı belirtilmişti. Bunlardan Adana ilini en çok tehdit eden kesimlerden biri kuzeydoğuda Göksun ilçesi civarındaki stres yoğunluğudur. Bu alan hem ikinci depremden yüzey yırtılmasının en batı kesimini oluşturmakta, hem de yoğun bir artçı şok dalgası yaşanmaktadır. Bu alanda depremin ardından geçen yaklaşık 1,5 aylık süreçte 650 adet Mw 3-4, 140 adet Mw 4-5 ve 11 adet de Mw>5 artçı şok meydana gelmiştir. Bu artçı şoklar neticesinde yaklaşık 73 trilyon joule enerji açığa çıktığı hesaplanmıştır. Ancak bu değer olası bir Mw 6,5 büyüklüğündeki bir depremin enerjisinin yaklaşık yarısına karşılık gelmektedir. Anadolu plakacığının Adana bloğuna göre batıya hareketini temsil eden bu fay segmenti (ÇF) batı ucunda (Aslanbeyçiftliği) bir dirsek yaparak Savrun fayına bağlanmaktadır. Bu büyüklük ve fay karakteristiğindeki değişim Savrun Fayının (K40°D) kırılmasını zorlaştırmış olabilir. Ancak ileri bir tarihte bölgede biriken enerjinin bu ve çevresindeki benzer mekanizmada çalışan diğer fay hatlarında (Saimbeyli, Sarız ve Ecemiş Fayları) bir kırılmayı tetikleyebileceği ihtimali tamamen göz ardı edilmemelidir. Bunun yanında, ÇF boyunca açığa çıkan enerji ve aktarılan stresin önemli bir

bölümü, batı yönünde, sismik açıdan görece sakin olarak bilinen Kayseri ve Niğde-Konya bölgelerindeki irili ufaklı fay segmentlerinde sismik etkinlikler (Niğde Bor batısı Mw 5.3 ve Hacılar Kayseri Mw 4.8'e varan büyüklüklerde) oluşturmuştur.

DAF boyunca Nurdağı civarından KB yönüne görünen stres transferi (Şekil 14, 15) ise İskenderun Körfezi kuzeyinden Adana'nın Osmaniye-Ceyhan yönüne etkilemektedir. Ancak bu bölgedeki fayların (Toprakkale, İskenderun-Düziçi, Karataş-Yumurtalık fayları) uzanımı KD-GB ve sol yönlü bir mekanizmaya sahip olduklarından kırılma ihtimalleri nispeten daha düşük görünmektedir. Bu bölgede, ana depremin ardından geçen 2 aylık süreçte Ceyhan batısındaki (muhtemelen Misis/İmamoğlu Fayı) Mw 4 büyüklüğündeki bir artçı depremin dışında önemli bir artçı şok etkinliği görülmemektedir.

Adana ilinin kuzey kesimlerinde Aladağ Küp yöresinden güneye Eğner, Çatalan bölgesine doğru bir artçı şok aktivitesi dikkat çekmektedir. Bu bölgede  $M_w \geq 2$  büyüklüğünde ve yaklaşık K-G uzanlı bir hat boyunca 50 civarında artçı şok meydana gelmiştir. Dolayısı ile bu bölgede tespit edilememiş K-G yönelimli bir fay hattı varlığı söz konusu olabilir. Diğer bir unsur ise Göksun-Savrun üzerinden gelebilecek stres sonucu etkilenmesi olası olan Kozan Fayıdır. Kozan Fayı, Adana'nın Kozan ilçesinin güney kesiminden Çatalan Barajı göletine doğru ve oradan GB yönüne devam eden bir fay hattı olup (Ünlügenç, 1993) geçmiş dönem aktivitesi ile ilgili veriler sınırlıdır.

## 6. SONUÇLAR

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş, Hatay ve çevre illeri etkileyen 2 büyük deprem ve artçıları ardından deprem bölgelerinde meydana gelen deformasyon yapıları saha çalışmaları ile detaylı olarak incelenerek ulusal ve uluslararası farklı kurumlar ve çalışmacılarca paylaşılan veriler [5,7,19,20,31,35] beraberce değerlendirilmiştir. DAF boyunca İslahiye güneyinden Gölbaşı kuzey doğusunda Harmanlı'ya kadar olan hat boyunca meydana gelen yüzey kırığı saha çalışmaları ve uydu görüntüleri üzerinden detaylı olarak

belirlenmiş ve ölçülen yapısal veriler (atımlar) paylaşılmıştır. Bu hat boyunca ortalama atım sol yönlü 3-3.5 metre olarak ölçülmüştür. Fay boyunca 1 metreye varan düşey atımlar ve fayı verev ve dike yakın kesen konjugate kırılmalar ve yarılmalar belirlenmiştir. Fay yüzey kırığının güneyde  $K10^\circ-15^\circ D$  doğrultusundan Türkoğlu bölgesine doğru  $K30^\circ D$  yönelimine geldiği ve burada saat yönünde bir kavis yaparak  $K45^\circ-50^\circ D$  doğrultusunda Gölbaşına doğru devam ettiği gözlenmektedir. Çardak Fayı boyunca özellikle Göksun ile Ericek yöresi arasında kalan alanda yüzey kırıkları haritalanmış ve atımın yine sol yönlü ve 3 metre civarında olduğu gözlenmiştir. Her iki fay hattı boyunca depreme bağlı olarak farklı bölgelerde heyelanlar, kaya devrilmeleri ve bunlara bağlı gölet oluşumu (Değirmencik) gözlenmiş ve lokasyonları belirlenmiştir. Sahada ölçülen fay kırıkları, sismik verilerle ortaya konulan odak mekanizmaları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bölgede meydana gelen deprem serisi, Hatay Üçlü Eklem bölgesi civarındaki üç levha arasındaki tektonik etkileşimlerle ilişkili karmaşık fay geometrisini temsil etmektedir. Deprem kırılma bölgesinin çoğu boyunca yerel yüzey kırılmaları yüzeye ulaşan sığ fay hareketlerini işaret etmektedir. Bölgede devam eden yoğun artçı sarsıntılar, depremlerden sonra açığa çıkan sismik enerjinin civardaki diğer faylarda stres değişimine bağlı meydana getirdiği plaka içi makaslama deformasyonlarına bağlı sismik aktivitesini ortaya koymaktadır. Dolayısı ile çevrede periyodu yaklaşmış olan fay hatlarında bu enerjinin açığa çıkması önümüzdeki dönemde tehlike arz ederken bu süreçte hem bu fayların detay özelliklerini belirlemek hem de yerleşim alanlarını hazır hale getirmek için gerekli önlemleri almak büyük önem arz etmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

1. KRDAE, 2023. 06 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil- Gaziantep; Ekinözü-Kahramanmaraş ve 20 Şubat 2023 Hatay Depremleri Ön Değerlendirme Raporu, 25.
2. KRDAE, 2023. 06 Şubat 2023 Ekinözü Kahramanmaraş Depremi Bülteni, 6.
3. AFAD, 2023. 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık ve Elbistan) Depremleri Saha Çalışmaları Ön Değerlendirme Raporu, 29.

4. Deprem Kataloğu, <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog> Erişim Tarihi: Nisan 2023
5. M 7.8 - Pazarcik earthquake, Kahramanmaraş Earthquake Sequence USGS, 2023. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive> Erişim tarihi: Mart 2023.
6. KRDAE, 2023. Kahramanmaraş - Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00) Strong Ground Motion and Building Damage Estimations Preliminary Report (v6), 42.
7. Hancılar, U., Şeşetyan, K., Çaktı, E., Yenihayat, E.Ş.N., Malcıoğlu, F.S., Dönmez, K., Tetik, T., Süleyman, H., 2023. Strong Ground Motion and Building Damage Estimations Preliminary Report, 42.
8. Menekşe, A., 2016. Probabilistic Seismic Hazard Assessment For East Anatolian Fault Zone Using Planar Source Models. M.Sc Thesis, Natural and Applied Sciences of METU, 132.
9. Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: Geometry. Segmentation and Jog Characteristics Geological Society, London, Special Publications, 372, 495-529, 615 s.
10. Westaway, R., 2004. Kinematic Consistency Between the Dead Sea Fault Zone and The Neogene and Quaternary Left-Lateral Faulting in SE Turkey. Tectonophysics, 391, 203-237.
11. Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T., 2016. Active Fault Database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-47.
12. Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications. Ankara, Serial Number, 13, 359.
13. Westaway, R., 2003. Kinematics of The Middle East and Eastern Mediterranean Updated. Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 5-46.
14. Koç, A., 2005. Remote Sensing Study of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey). Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Ankara, 90.
15. Sunkar, M., Günek, H., Canpolat, C., 2008. Kurucaova ve Yakın Çevresinin (Malatya) Jeomorfolojisi. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 18(2), 1-22.
16. Koç, A., Kaymakçı, N., 2013. Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study. Journal of Geodynamics, 65, 292-307.
17. Balkaya, M., Özden, S., Akyüz, H.S., 2021. Morphometric and Morphotectonic Characteristics of Sürgü and Çardak Faults (East Anatolian Fault Zone). Çanakkale Onsekiz Mart University, Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences, 7(3), 375-392
18. Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu. TUBITAK, Proje no. TBAG 341, İstanbul, 86.
19. Okuwaki, R., Yagi, Y., Taymaz, T., Hicks, S., 2023. Multi-scale Rupture Growth with Alternating Directions in a Complex Fault Network During the 2023 South-eastern Türkiye and Syria Earthquake Doublet. Geophysical Research Letters, 50.
20. Reitman, N.G., Briggs, R.W., Barnhart, W.D., Thompson, J.A., DuRoss, C.B., Hatem, A.E., Gold, R.D., Mejstrik, J.D., 2023. Preliminary Fault Rupture Mapping of the 2023 M7.8 and M7.5 Türkiye Earthquakes.
21. Harita Genel Müdürlüğü, 2023. <https://atlas.harita.gov.tr/#5.76/38.422/35.189> Erişim Tarihi: Nisan 2023.
22. Abercrombie, R.E., Antolik, M., Ekström, G., 2003. The June 2000 M w 7.9 Earthquakes South of Sumatra: Deformation in the India-Australia Plate. J. Geophys. Res. Solid Earth, 108(B1), ESE 6-1-ESE 6-16.
23. Okuwaki, R., Fan, W., 2022. Oblique Convergence Causes Both Thrust and Strike-Slip Ruptures During the 2021 M 7.2 Haiti Earthquake. Geophys. Res. Lett., 49(2), 1-12.
24. Bao, H., Ampuero, J.P., Meng, L., Fielding, E., Liang, C., Milliner, C., Feng, T., Huang, H., 2019. Early and Persistent Supershear Rupture of the 2018 Magnitude 7.5 Palu Earthquake. Nature Geoscience. 12.
25. Socquet, A., Hollingsworth, J., Pathier, E., Bouchon, M., 2019. Evidence of Supershear During the 2018 Magnitude 7.5 Palu Earthquake from Space Geodesy. Nature Geoscience. 12.



26. Nissen, E., Elliott, J.R., Sloan, R.A., Craig, T.J., Funning, G.J., Hutko, A., Parsons, B.E., Wright, T.J., 2016. Limitations of Rupture Forecasting Exposed by in Stantaneously Triggered Earthquake Doublet. *Nat. Geosci.*, 9(4), 330-336.
27. Fan, W., Shearer, P.M., 2016. Local Near Instantaneously Dynamically Triggered Aftershocks of Large Earthquakes. *Science*, 353(6304), 1133-1136.
28. Hicks, S.P., Okuwaki, R., Steinberg, A., Rychert, C. A., Harmon, N., Abercrombie, R. E., Bogiatzis, P., Schlaphorst, D., Zahradnik, J., Kendall, J., Yagi, Y., Shimizu, K., Sudhaus, H., 2020. Back-propagating Supershear Rupture in the 2016 Mw 7.1 Romanche Transform Fault Earthquake. *Nat. Geosci.*, 13(9), 647-653.
29. Vallée, M., Xie, Y., Grandin, R., Villegas-Lanza, J. C., Nocquet, J. M., Vaca, S., Meng, L., Ampuero, J.P., Mothes, P., Jarrin, P., Farfan, C.S., Rolandone, F., 2023. Self-reactivated Rupture During the 2019 Mw=8 Northern Peru Intraslab Earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 601, 117886.
30. Yamashita, S., Yagi, Y., Okuwaki, R., 2022. Irregular Rupture Propagation and Geometric Fault Complexities During the 2010 Mw 7.2 El Mayor-Cucapah Earthquake. *Sci. Rep.*, 12(1), 4575.
31. Yagi, Y., Okuwaki, R., Enescu, B., Lu, J., 2023. Irregular Rupture Process of the 2022 Taitung, Taiwan, Earthquake Sequence. *Sci. Rep.*, 13(1), 1107.
32. Budakoğlu, E., Utkucu. M., 2021. 27 Haziran 1998 Adana (Mw=6.2) Depreminin Uzak Alan Dalga Şekillerinden Elde Edilen Faylanma Parametreleri. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(3), 743-757.
33. Ünlügenç, U.C., 1993. Controls on Cenozoic Sedimentation in the Adana Basin, Southern Turkey. Unpublished Ph.D Thesis, Keele University, UK, 229.
34. Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N., Üçer, S.B., 1981. Turkey and Surrounding Earthquake Catalogue 1881-1980. Bogaziçi University Publications, İstanbul. 118.

