



ARAŞTIRMA ÜNİVERSİTESİ

06 ŞUBAT 2023 04:17, Mw=7.7 PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ),
06 ŞUBAT 2023 13:24, Mw=7.6 ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) VE
20 ŞUBAT 2023 20:04, Mw=6.4 DEFNE (HATAY) DEPREMLERİ

SAHA ÇALIŞMALARI YERBİLİMSEL ÖN RAPORU 1



Mart 2023, İZMİR



ARAŞTIRMA ÜNİVERSİTESİ

RAPORA KATKI KOYANLAR

Doç. Dr. Ökmen Sümer
Prof. Dr. Mahmut Göktuğ Drahor
Araş. Gör. Dr. Atilla Ongar
Öğr. Gör. Semih Eski
Araş. Gör. Dr. Çiğdem Tepe
Jeo. Müh. Ali Duman

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	ii
TABLO LİSTESİ	iv
ÖNSÖZ	v
BÖLÜM BİR - GİRİŞ	1
1.1 BÖLGESEL TEKTONİK	2
1.1.1 Bölgenin Ana Neotektonik Yapıları	4
1.1.1.1 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ).....	4
1.1.1.2 Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)	6
1.2 Bölgenin Tarihsel (1900 Öncesi) ve Aletsel (1900 Sonrası) Deprem Aktivitesi	8
BÖLÜM İKİ SİSMOGRAVİTASYONEL DEFORMASYON YAPILARI.....	13
BÖLÜM ÜÇ - SİSMOTEKTONİK DEFORMASYON YAPILARI.....	24
BÖLÜM DÖRT - UZAKTAN ALGILAMA TABANLI ÇALIŞMALAR.....	35
4.1 InSAR (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar) Çalışmaları	35
4.2 Uydu ve İHA Temelli Optik Görüntüleme Çalışmaları	37
4.3 RTK-GNSS Modüllü İHA Görüntüleri ile Hassas Yüzey Kırığı Modellemesi Çalışmaları	41
BÖLÜM BEŞ - ÖN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	49
KAYNAKLAR.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Ana şokların konumu ve ana neotektonik yapılar üzerindeki dağılımı..	1
Şekil 1.2 Ana şok ve artçı depremlerin faylar üzerindeki dağılımı.....	2
Şekil 1.3 Türkiye ve yakın çevresindeki ana neotektonik yapıları gösteren basitleştirilmiş bölgesel harita.	3
Şekil 1.4 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nin uzanımını ve yakın çevresindeki ana tektonik yapılar gösteren diri fay haritası.....	4
Şekil 1.5 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nin ana segmentleri ve bu segmentler üzerinde ayrılan fay parçalarını gösteren basitleştirilmiş harita.....	5
Şekil 1.6 Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)'nin Türkiye ve Suriye sınırları içindeki uzanımını gösteren basitleştirilmiş tektonik harita.....	8
Şekil 1.7 Tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş yıkıcı önemli depremlerin DAFZ boyunca dağılımları.....	10
Şekil 1.8 19. ve 20. yy.da meydana gelen önemli yıkıcı depremlerin DAFZ boyunca meydana getirdiği yüzey kırıklarının dağılımı.....	11
Şekil 2.1 Hatay ili Kırıkhan ilçesi Mahmutlu mahallesi ve Antakya ilçesi Demirköprü ve Kumlu mahallelerinde ilk büyük deprem ile ilişkili sınıvlaşma yapıları..	14
Şekil 2.2 Hatay ili Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyündeki zeytinlikte meydana gelen kütle hareketi.....	15
Şekil 2.3 Hatay ili Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyündeki zeytinlikte meydana gelen kütle hareketi.....	17
Şekil 2.4 İlk büyük depremin sonucunda Gaziantep il sınırlarındaki Nurdağı-İslahiye arası Göltepe mahallesinde ve Hatay ili Antakya ilçesi meydana gelen kütle hareketleri	18

Şekil 2.5 Hatay ili Hassa ilçesine bağlı Aktepe mahallesinde meydana gelen kütle hareketleri.	20
Şekil 2.6 İlk büyük depremin etki alanında gözlenen yanal yayılma yapıları.	21
Şekil 2.7 Yayladağı – Samandağ merkezli deprem ile ilişkili kütle hareketlerine ait arazi fotoğrafları.	23
Şekil 3.1 Amanos Segmenti’nde görülen yüzey kırıklarının Kırıkhan (Hatay) yerleşiminde oluşturduğu deformasyonların İHA görüntüleri.....	25
Şekil 3.2 Amanos Segmenti’nde görülen yüzey kırıklarının Nurdağı ve Hassa (Hatay) ilçelerinde oluşturduğu deformasyonların İHA görüntüleri.	27
Şekil 3.3 Türkoğlu – Pazarcık Segmentinde görülen yüzey kırıklarının oluşturduğu yüzey deformasyonlarının İHA görüntüleri.....	29
Şekil 3.4 Türkoğlu – Pazarcık Segmentinde görülen yüzey kırıklarının oluşturduğu yüzey deformasyonlarının İHA görüntüleri.....	30
Şekil 3.5 Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentleri arasında görülen yüzey kırığının oluşturduğu deformasyonlarının İHA görüntüleri. 31	31
Şekil 3.6 Sürgü Fayı’nın batı bölümlerinde gözlenmiş yüzey kırığının oluşturduğu sismotektonik deformasyon öğelerine ait İHA görüntüleri.....	33
Şekil 3.7 Çardak Fayı’nda üzerinde izlenen yüzey kırıklarının oluşturduğu yüzey deformasyonlarının İHA görüntüleri.....	34
Şekil 4.1 Sentinel-1 uydu görüntüleri ile hazırlanmış (Ascending Path14) 20230128 ve 20230209 tarihleri arasındaki diferansiyel farkın fazı.....	36
Şekil 4.2 20 Şubat günü meydana gelen Mw 6.4 büyüklüğündeki son depreme ait DInSAR sonuçları.....	37
Şekil 4.3 İlk iki büyük depreme ait HGM, Maxar ve Airbus’dan elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinden takip edilebilen yüzey kırığı.	38

Şekil 4.4 Deprem ile ilişkili sıvılaşmanın en yoğun olduğu alanların NDWI bant matematiği yapılmış Sentinel 2 görüntüleri..	40
Şekil 4.5 DAFZ'nin Amanos segmentinin kuzey ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Türkoğlu ilçe merkezi yakınında gözlenen yüzey kırığının sayısal yükseklik modeli ve sol yanal ötelenme miktarları.	42
Şekil 4.6 DAFZ'nin Türkoğlu-Pazarcık segmentinin güneybatı ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Dulkadiroğlu ilçesine bağlı Tevekkelli mahallesinde gözlenen yüzey kırığının sayısal yükseklik modeli ve sol yanal ötelenme miktarları	44
Şekil 4.7 DAFZ'nin Türkoğlu-Pazarcık segmentinin en kuzeydoğu ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ilçesine bağlı Büyüknacar mahallesinde gözlenen yüzey kırığının sayısal yükseklik modeli ve sol yanal ötelenme miktarları.	45
Şekil 4.8 DAFZ'nin Erkenek segmentinin en güneybatı ucunda Adıyaman ili Gölcük ilçesine bağlı Ozan mahallesi gözlenen yüzey kırığının sayısal yükseklik modeli ve sol yanal ötelenme miktarları.....	46
Şekil 4.9 Sürgü Fayı'nın en batı ucunda Kahramanmaraş ilinin Nurhak ilçesine bağlı Kullar mahallesinde gözlenen yüzey kırığının sayısal yükseklik modeli ve sol yanal ötelenme miktarları.....	47
Şekil 4.10 Çardak Fayı'nın oluşturduğu yüzey kırığının Kahramanmaraş ili Göksun ilçesine bağlı Kale mahallesinde gözlenen yüzey kırığının sayısal yükseklik modeli ve sol yanal ötelenme miktarları.	48

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Doğu Anadolu ve Antakya bölgesinde tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen yıkıcı depremler	9
Tablo 1.2 DAFZ boyunca gerçekleştirilmiş bazı paleosismolojik hendek çalışmalarının sonuçları.....	12

ÖNSÖZ

06 Şubat 2023 günü yerel saat ile 04:17'de merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw: 7,7 ve aynı gün saat 13:24'de merkez üssü Elbistan (Kahramanmaraş) Mw: 7,6 ve 20 Şubat 2023 günü saat 20:04'de yaşanan Defne (Hatay) Mw: 6,4 depremlerinin, ülkemizin güneydoğusu ve doğusunda meydana getirdiği felaketin derin üzüntüsü içindeyiz. Hepimizi derinden yaralayan bu iki büyük depremde, Kahramanmaraş başta olmak üzere Adıyaman, Hatay, Malatya, Gaziantep, Osmaniye, Kilis, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Adana illerinde çok fazla sayıda insanımız hayatını kaybetmiş, yüzlercesi yaralanmış, yerleşim alanları özelinde bina ve altyapı sistemlerinde büyük yıkımlar ve hasarlar meydana gelmiştir. Sosyoekonomik ve çevresel etkileri bakımından, 1939 Erzincan depremi (Mw: 7,9) ve 1999 Kocaeli-Düzce depreminden (Mw: 7,4) daha sarsıcı olan bu depremler, Türkiye'nin tektonik konumu itibariyle bir deprem ülkesi olduğu gerçeğini bir kez daha hatırlatmıştır.

Meydana gelen depremlerin hemen ardından, depremlerin büyüklüğü ve yeryüzünde meydana getireceği yerbilimsel etkiler dikkate alınarak, Üniversitemiz öz kaynakları ve TÜBİTAK-1002-C Doğal Afet Odaklı Saha Çalışması Acil Destek Programı desteğiyle, bilimsel incelemelerde bulunmak üzere deprem bölgesine intikal edilerek saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji ve Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğretim üye ve yardımcılarının iş birliğiyle 15 günlük saha gözlemleri yapılarak yüksek çözünürlüklü yerbilimsel veriler toplanmıştır. Saha çalışmalarında, depremlerin meydana getirdiği sismotektonik ve sismogravitasyonel deformasyon etkileri yerinde gözlem ve İHA uçuşlarıyla takip edilerek belgelenmiştir. Arazi çalışmalarını takiben gerçekleştirilen ofis çalışmaları ile elde edilen veriler derlenerek "Yerbilimsel Deprem Ön Raporu" olarak kamuoyunun bilgisine sunulmaktadır.

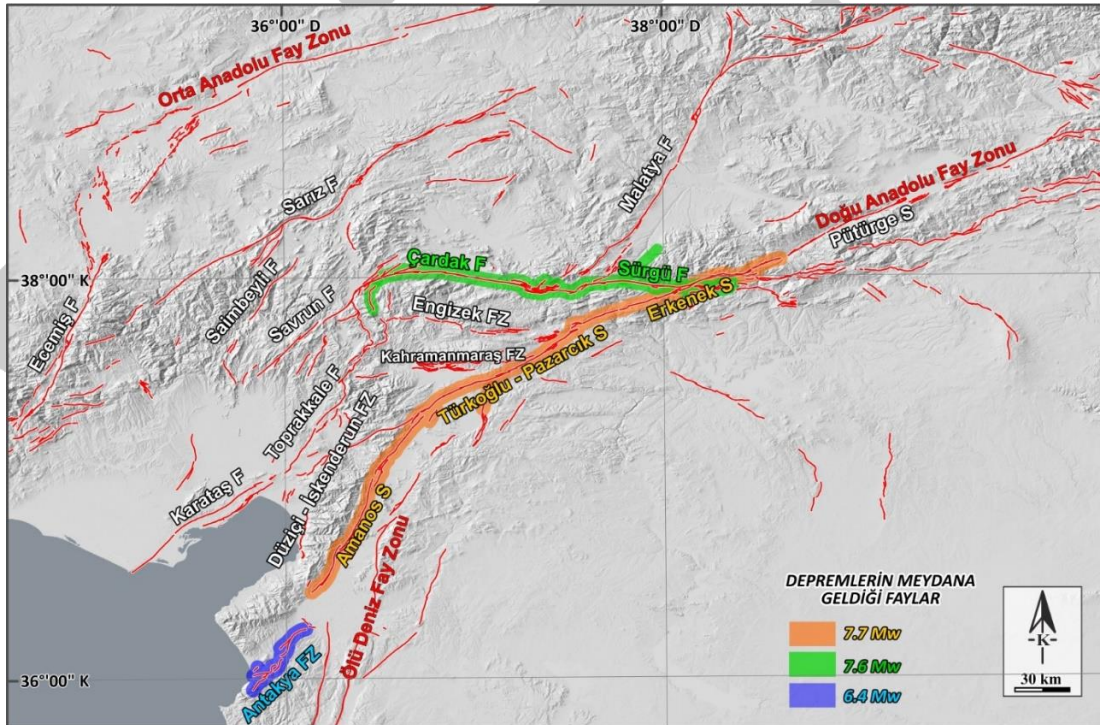
Tarihsel dönemden bugüne kadar devam eden depremler Türkiye'nin bir gerçeğidir ve Türkiye'nin deprem tarihi dikkate alındığında, meydana gelen bu büyük felaket jeolojik alt yapı itibariye sonuncu da olmayacaktır. Bu bilinçle, deprem öncesinde ve sonrasında, meydana gelen kayıpları azaltmak ve kamuoyu farkındalığı yaratmak için, bir Araştırma Üniversitesi olan Dokuz Eylül Üniversitesi bilim insanları olarak üzerimize düşeni fazlasıyla yapacağımızı, bilimsel bakış açısıyla çalışmalarımızı sürdüreceğimizi belirtmek isteriz.

Son olarak, yaşanan acı bu felaketin ardından, depremde yaşamını yitiren vatandaşlarımızın ailelerine ve sevdiklerine en derin üzüntülerimizi iletiyor, yaralılara ise acil şifalar diliyoruz.

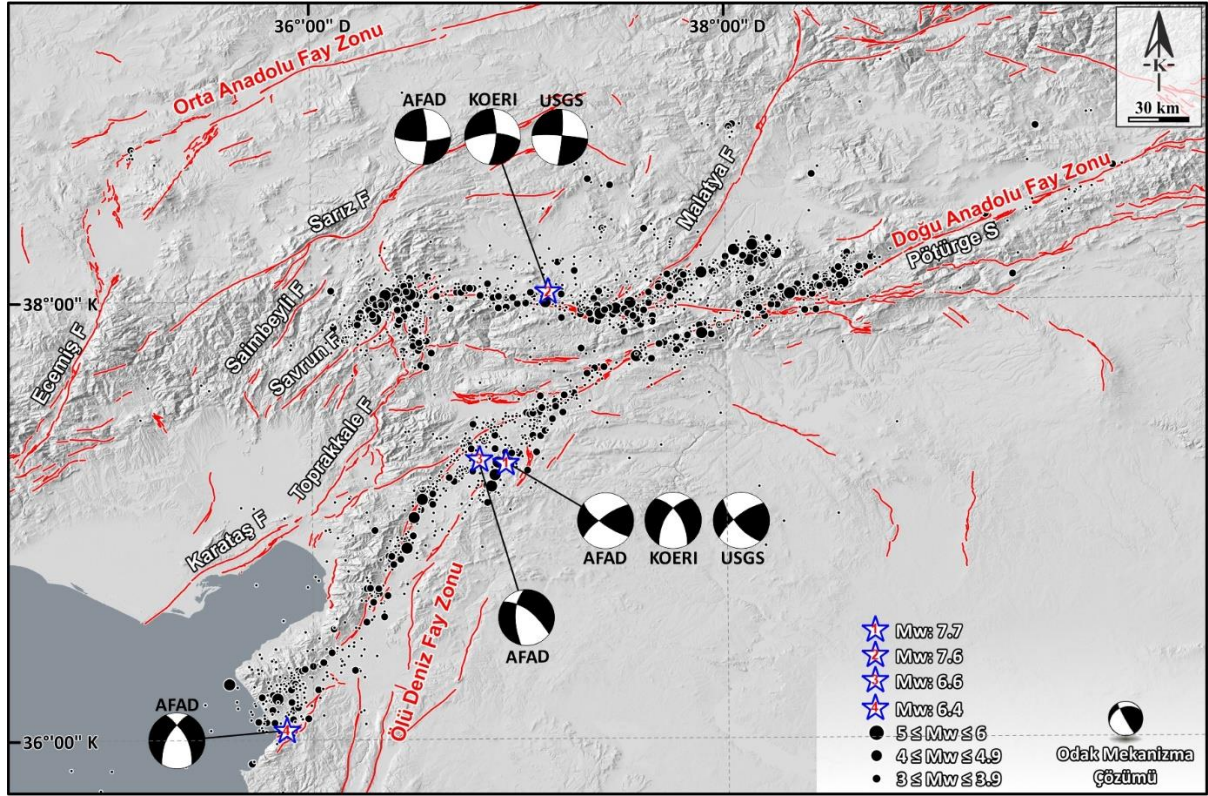
BÖLÜM BİR

GİRİŞ

06 Şubat 2023 saat: 04:17 (Türkiye Saati İtibariyle/TSİ) AFAD verilerine göre merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) olan Mw 7,7 depremi ve 13:24'te Mw 7,6 Elbistan (Kahramanmaraş) merkezli ikinci bir deprem meydana gelmiştir. İlk deprem Doğu Anadolu Fay Zonu'na dahil olan Türkoğlu-Pazarcık, Amanos ve Erkenek segmentleri üzerinde, yaklaşık 9 saat sonra ise ikinci depremin Çardak Fayı ile Sürgü Fayı'nın batı ucunda olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca saha çalışmaları sırasında 20 Şubat 2023 TSİ saat: 20:04'de meydana gelen Mw 6,4 Yayladağı-Samandağı (Hatay) depremi ise Antakya Fay Zonu'nun etki alanı içinde gerçekleşmiştir (Şekil 1.1). Raporun hazırlanma tarihine kadar AFAD verilerine göre 11425 adet artçı deprem kayıt edilmiştir. Bu depremlerin 8720'si $1 \leq M \leq 2.9$, 2081'i $3 \leq M \leq 3.9$, 497'si $4 \leq M \leq 4.9$, 44'ü $5 \leq M \leq 5.9$ büyüklüğündedir. Mw 7.7'lik depremden 11 dakika sonra gerçekleşen Mw 6.6 Nurdağı (Gaziantep) merkezli deprem dahil an itibariyle afet bölgesi içinde 4 adet Mw: 6'dan büyük deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin odak dağılımları ve farklı gözlem evlerinin odak mekanizma çözümleri Şekil 1.2'de sunulmuştur.



Şekil 1.1 Meydana gelen ana şokların konumu ve ana neotektonik yapılar üzerindeki dağılımı. Diri faylar Emre vd. 2018; Karabacak 2007; Karabacak vd. 2012 ve Meghraoui, 2017'den birleştirilmiştir.

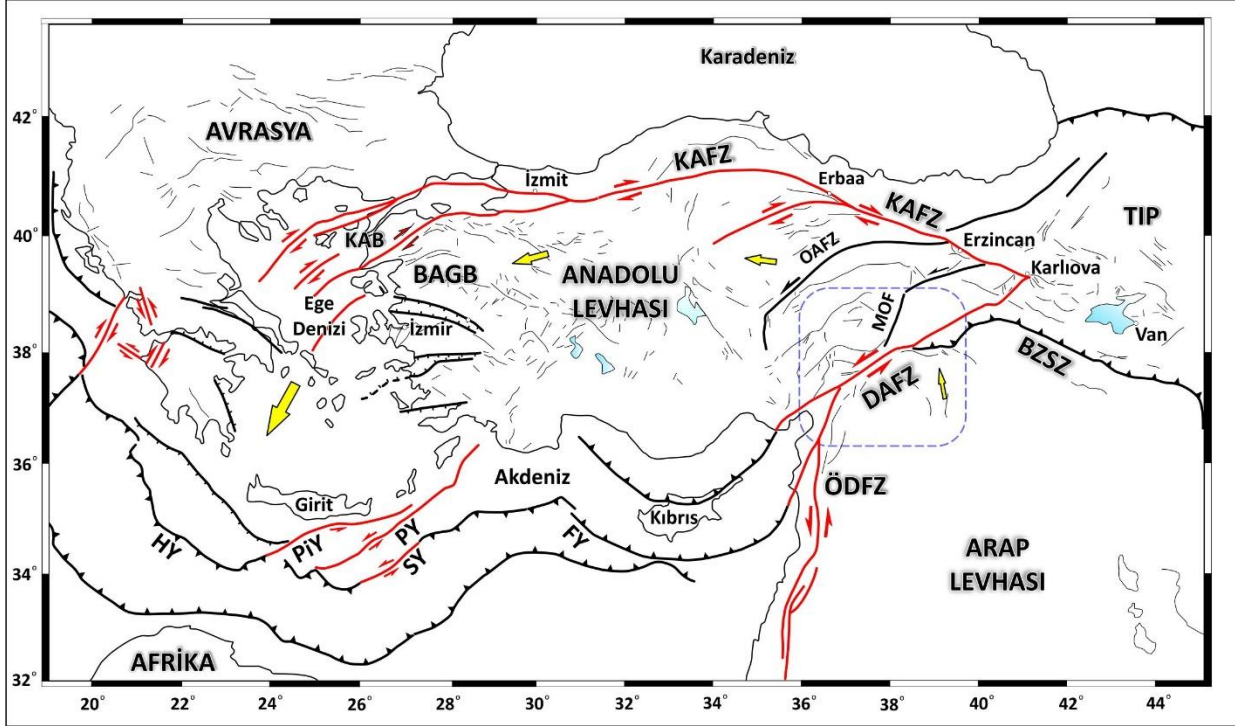


Şekil 1.2 Ana şok ve artçı depremlerin faylar üzerindeki dağılımı. Diri faylar Emre vd. 2018; Karabacak 2007; Karabacak vd. 2012 ve Meghraoui, 2017'den birleştirilmiştir, deprem odak çözüm mekanizmaları AFAD, KOERI ve USGS'den alınmıştır.

1.1 BÖLGESEL TEKTONİK

Doğu Anadolu tektoniğinin zamansal gelişimi ve günümüz kinematığı temelde, Arap, Afrika ve Avrasya levhaları arasındaki göreceli hareket ile ilişkilidir. Neotetis'in, Afrika ve Avrasya levhaları arasında kalan güney kolunun kapanması, Anadolu ve Arap levhalarının Bitlis-Zagros Sütür Zonu (BZSZ) boyunca çarpışmasını sonuçlamış, meydana gelen kıtasal çarpışma ise Anadolu levhasının sıkışarak kalınlaşmasına ve oluşan ana neotektonik hatlar boyunca batıya doğru ilerleyerek Helenik Yay (HY) boyunca Afrika levhası üzerine itilmesine neden olmuştur (Şekil 1.3) (McKenzie, 1972; Jackson ve McKenzie, 1974; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986; Hempton vd., 1987; Barka ve Kadinsky-Code, 1988; Le Pichon ve Gaulier, 1988; Barka ve Reilinger, 1997). Bu jeodinamik etkileşim Anadolu levhasının doğu, orta ve batı bölümlerinde farklı deformasyon yapılarına sahip neotektonik alanlar ve yapılar oluşturmaktadır (Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1980; Barka, 1992). Doğu Anadolu'daki sıkışmalı tektonik, kuzeyde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), doğuda Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), güneyde ise Arap, Afrika ve Avrasya levhalarının birleştiği Ege ve Kıbrıs yaylarındaki hareketin ürünüdür.

Avrasya ve Afrika levhaları arasındaki çarpışmaya bir yanıt olarak Anadolu'nun batıya kaçıışı, sağ yanal KAFZ ve sol yanal DAFZ boyunca gerçekleşirken, sol yanal ÖDFZ ise Afrika ve Arap plakaları arasındaki görel hareketi barındırır (McKenzie, 1972; Şengör, 1980; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986).



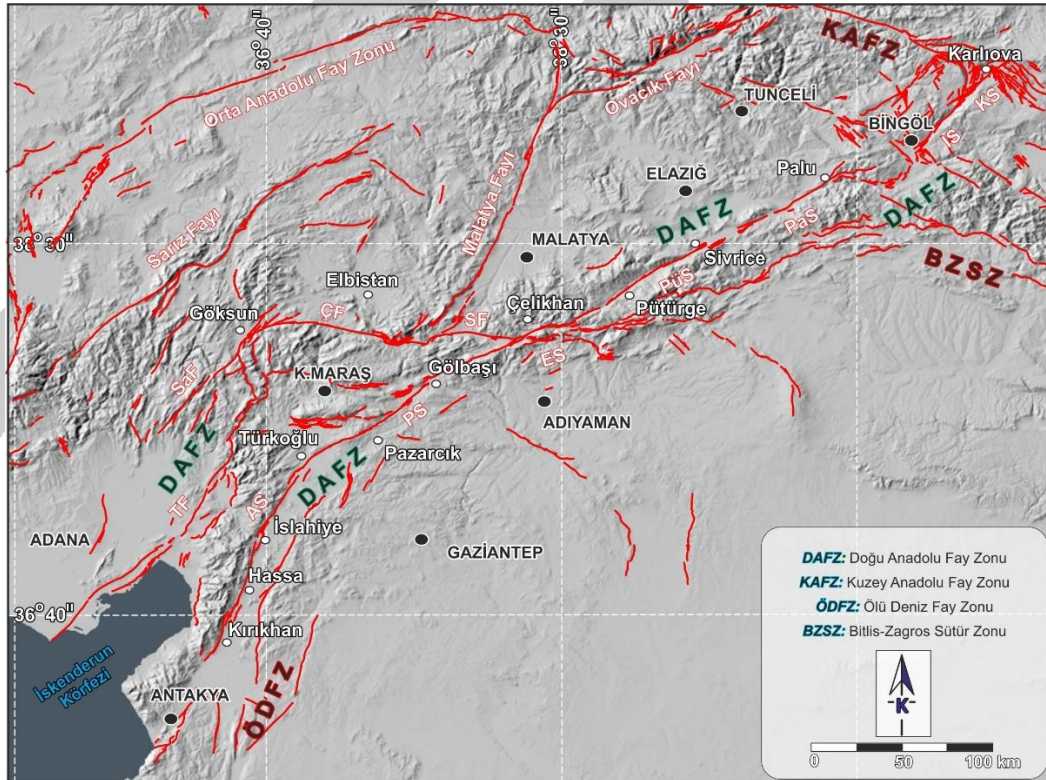
Şekil 1.3 Türkiye ve yakın çevresindeki ana neotektonik yapıları gösteren basitleştirilmiş bölgesel harita (Barka, 1992; Barka ve Reilinger, 1997; Bozkurt, 2001; Reilinger vd., 2006; McClusky vd., 2000). Kısaltmalar; KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu; DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu; ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu; MoF: Malatya-Ovacık Fayı; OAFZ: Orta Anadolu Fay Zonu; BZSZ: Bitlis-Zagros Sütur Zonu; TIP: Türkiye-İran Platosu; BAGB: Batı Anadolu Genişleme Bölgesi; KAB: Kuzey Anadolu Bölgesi; HY: Hellen Yayı; PY: Pliny Yayı; SY: Strabo Yayı (sarı oklar plaka hareketini göstermektedir).

Arap, Afrika ve Anadolu levhaları arasında sınır oluşturmaları nedeniyle Doğu Anadolu ve Orta Doğu bölgelerinin ana aktif yapısal unsurlarından kabul edilen DAFZ ve ÖDFZ'ye ait karakteristik tanımlamalar aşağıdaki alt başlıklarda özetlenmiştir.

1.1.1 Bölgenin Ana Neotektonik Yapıları

1.1.1.1 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)

Anadolu levhasını güneydoğudan sınırlayan DAFZ, Anadolu levhası ile Arap levhası arasındaki etkileşimi sol yanal bir hareketle karşılayan kıta içi transform faylardan biridir (Arpat ve Şaroğlu, 1972; McKenzie, 1972; Hempton vd., 1981; Jackson ve McKenzie, 1984; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986; Muehlberger ve Gordon, 1987; Barka ve Kadinsky-Code, 1988; Lyberis vd., 1992; Şaroğlu vd., 1992; Westaway, 1994, 2003). Karlıova (Bingöl) ve Hazar Gölü (Elazığ) arasında uzanan bir fay parçası olarak, ilk kez Allen (1969) tarafından fark edilen, Arpat ve Şaroğlu (1972) tarafından haritalanarak isimlendirilen DAFZ, kuzeydoğuda KAFZ ile birleştiği Karlıova ilçesinden başlayarak güneybatıya doğru Amanos sıradağları boyunca Antakya-Amik havzası ve İskenderun Körfezi'ne kadar 550 km'lik bir kuşak şeklinde uzanır (Şekil 1.4) (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Hempton vd., 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985; Perinçek ve Çemen, 1990; Şaroğlu vd., 1992; Tatar vd., 2004; Duman ve Emre, 2013; Karabacak ve Altunel, 2013; Yönlü vd., 2013, 2017; Melgar vd., 2020; Güvercin vd., 2022).



Şekil 1.4 Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) 'nin uzanımını ve yakın çevresindeki ana tektonik yapıları gösteren diri fay haritası (aktif faylar Emre vd., 2018'den) KS: Karlıova segmenti, IS: Ilica segmenti, PaS: Palu segmenti, PüS: Pütürge segmenti, ES: Erkenek segmenti, PS: Pazarcık segmenti, AS: Amanos segmenti, ÇF: Çardak Fayı; SF: Sürgü Fayı, SaF: Savun Fayı, T: Toprakkale Fayı

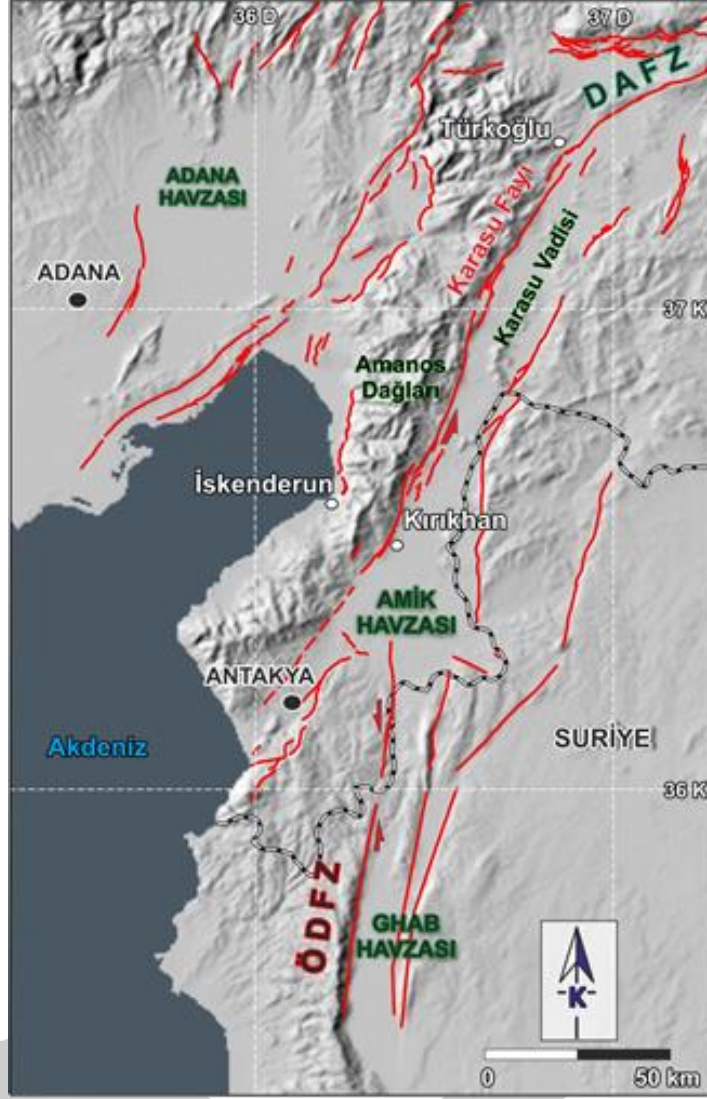
civarında sonlanarak ÖDFZ'ye bağlanan DAFZ, Amanos Dağları'nı keserek, Karataş-Osmaniye Fay Zonu ile birleşip İskenderun Körfezi'nden Akdeniz içinde güneybatıya doğru devam eder ve Kıbrıs Yayı'na kadar uzanır (McKenzie, 1972; Dewey vd., 1973; Dewey ve Şengör, 1979; Şengör, 1980; Jackson ve McKenzie, 1984; Hempton, 1987; Muehlberger ve Gordon, 1987; Barka ve Kadinsky-Code, 1988; Karig ve Kozlu, 1990; Perinçek ve Çemen, 1990; Kempler ve Garfunkel, 1991; Chorowicz vd., 1994; Westaway ve Arger, 1996; Yürür ve Chorowicz, 1998; Arger vd., 2000; Westaway, 2003; Meghraoui vd., 2011; Karabacak ve Altunel, 2013; Mahmoud vd., 2013). DAFZ'nin uzanımı ile ilgili bir başka görüş, DAFZ'nin Karasu segmenti boyunca GB'ya doğru devam ederek Antakya (Hatay)'ya kadar uzandığını, Amanos'u sınırlayan Amanos Fayı'nın aslında DAFZ'nin bir parçası olduğunu ve dolayısıyla DAFZ'nin ÖDFZ ile Amik (Kilikya) havzasında birleştiğini ileri sürmektedir (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975; Büyükaşikoğlu, 1980; Rotstein, 1984; Şengör vd., 1985; Kelling vd., 1987; Şaroğlu vd., 1992; Kiratzi, 1993; Duman ve Emre, 2013).

1.1.1.2 Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)

Akdeniz'in doğu kenarına paralel olarak, en güzeyde Kızıldeniz-Aqabe Körfezi'nden en kuzeyde DAFZ'ye kadar uzanan Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ), yer yer rift çöküntüleri oluşturan baskın olarak sol yanal bir transform fay olarak tanımlanmaktadır (Quennell, 1958; Freund, 1965; Freund vd., 1968; Nur ve Ben-Avraham, 1978; Garfunkel, 1981; Mart ve Robinowitz, 1986; Hempton, 1987). 1000 km'den daha uzun olan bu fay zonu, Afrika ve Arap levhaları arasında sınır oluşturmasının yanı sıra, okyanusal yayılmanın gerçekleştiği Kızıldeniz'i Toros çarpışma bölgesine bağlar (Garfunkel vd., 1981). Farklı görüşler ileri sürülse de genel çerçevede ÖDFZ'deki hareketin, Erken-Orta Miyosen döneminde Kızıldeniz'deki açılma ile başladığı kabul edilmektedir (Garfunkel, 1981; Hempton, 1987; Steinitz ve Bartov, 1992). Ayrıca, ÖDFZ'nin güney kesimindeki toplam yer değiştirme miktarının, kuzey kesimine göre daha fazla olduğu belirtilmektedir (Quennell, 1984; Garfunkel, 1981; Westaway, 2003).

Güneyde Kızıldeniz'den belirgin bir çizgisellik ile yaklaşık K-G yönde uzanım sunan ÖDFZ, kuzeyde Türkiye-Suriye sınırı itibariyle çok sayıda kola ayrılmaktadır (Nur ve Ben-Avraham, 1978; Muehlberger, 1981; Muehlberger ve Gordon, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Brew vd., 2001; Gomez vd., 2003; Meghraoui vd., 2003; Karabacak ve Altunel, 2013; Yönlü vd., 2017). ÖDFZ, güneye doğru, Suriye sınırında Ghab çek-ayır havzası ve Türkiye sınırı içinde Amik ovası gibi Pliyo-Kuvaterner dolgu içeren önemli havzaları sınırlamaktadır (Şekil 1.6) (Gülen vd., 1987; Brew vd., 2001).

ÖDFZ'nun, Ghab havzası kuzeyinde farklı kollara ayrılarak ülkemiz sınırları içine girdiği belirtilmektedir (Perinçek ve Çemen, 1990; Rojay vd., 2001; Westaway, 2003; Tatar vd., 2004; Akyüz vd., 2006; Karabacak ve Altunel, 2013; Yönlü vd., 2017). ÖDFZ'nun Westaway (2003) tarafından Qanaya-Babatorun olarak adlandırılan kolu, Ghab havzasının batısını sınırlayarak Türkiye'ye K-G doğrultuda uzanırken, Armanaz Fayı olarak bilinen bir diğer segment havzanın doğusundan KKD yönünde devam ederek Reyhanlı (Hatay)'a ulaşmaktadır (Westaway, 2004). Faya ait bir diğer segmentin ise Suriye'den KD-GB doğrultusunda Gaziantep'e doğru uzandığı belirtilmektedir (Westaway, 2004). Bunun yanı sıra, Yurtmen vd. (2002), Tatar vd. (2004) gibi çalışmalar, ÖDFZ'nun KKD-GGB yönünde uzanan ve Doğu Hatay Fayı olarak tanımlanan bir kolunun Amik ovası içinden Karasu vadisine kadar geldiğini öne sürmektedir. Perinçek ve Çemen (1990) ise, bu kolun Amik ovasından sola sıçrayıp Amanos Fayı olarak KKD-GGB yönünde Karasu vadisinin batı yamaçları boyunca uzandığını belirtmektedir. ÖDFZ'nun Türkiye güneyindeki ana kolu, Asi nehri batı kıyısı boyunca Amik havzası (ovası)'nın güneyi boyunca uzanır (Rojay vd., 2001; Akyüz vd., 2006; Karabacak ve Altunel, 2013; Yönlü vd., 2017).



Şekil 1.6 Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ)'nin Türkiye ve Suriye sınırları içindeki uzanımını gösteren basitleştirilmiş tektonik harita (ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu) (Şaroğlu vd., 1992; Karabacak vd., 2010; Karabacak ve Altunel, 2013)

1.2 Bölgenin Tarihsel (1900 Öncesi) ve Aletsel (1900 Sonrası) Deprem Aktivitesi

Herhangi bir bölgenin deprem potansiyelinin belirlenmesi, o bölgede etkili olan tektonik rejim temelinde, mevcut faylarla depremler arasındaki ilişkinin anlaşılmasını gerektirir. Bölgenin sismotektonik çatısı içinde, bir fayın deprem üretip üretmediği, o bölgede meydana gelmiş depremlerin incelenmesi ile mümkündür. Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan aktif fay sistemlerinin varlığı ve dağılımı nedeniyle bölge yoğun sismik aktivite ile karakterize edilir.

DAFZ'nin tarihsel ve aletsel dönemde, değişik büyüklüklerde ve hatta yüzey faylanmasıyla sonuçlanan çok sayıda yıkıcı depreme kaynaklık ettiği bilinmektedir (Pınar ve Lahn, 1952; Ergin vd., 1967; McKenize, 1972; Soysal vd., 1981; Ambraseys, 1989; Eyidoğan vd., 1991;

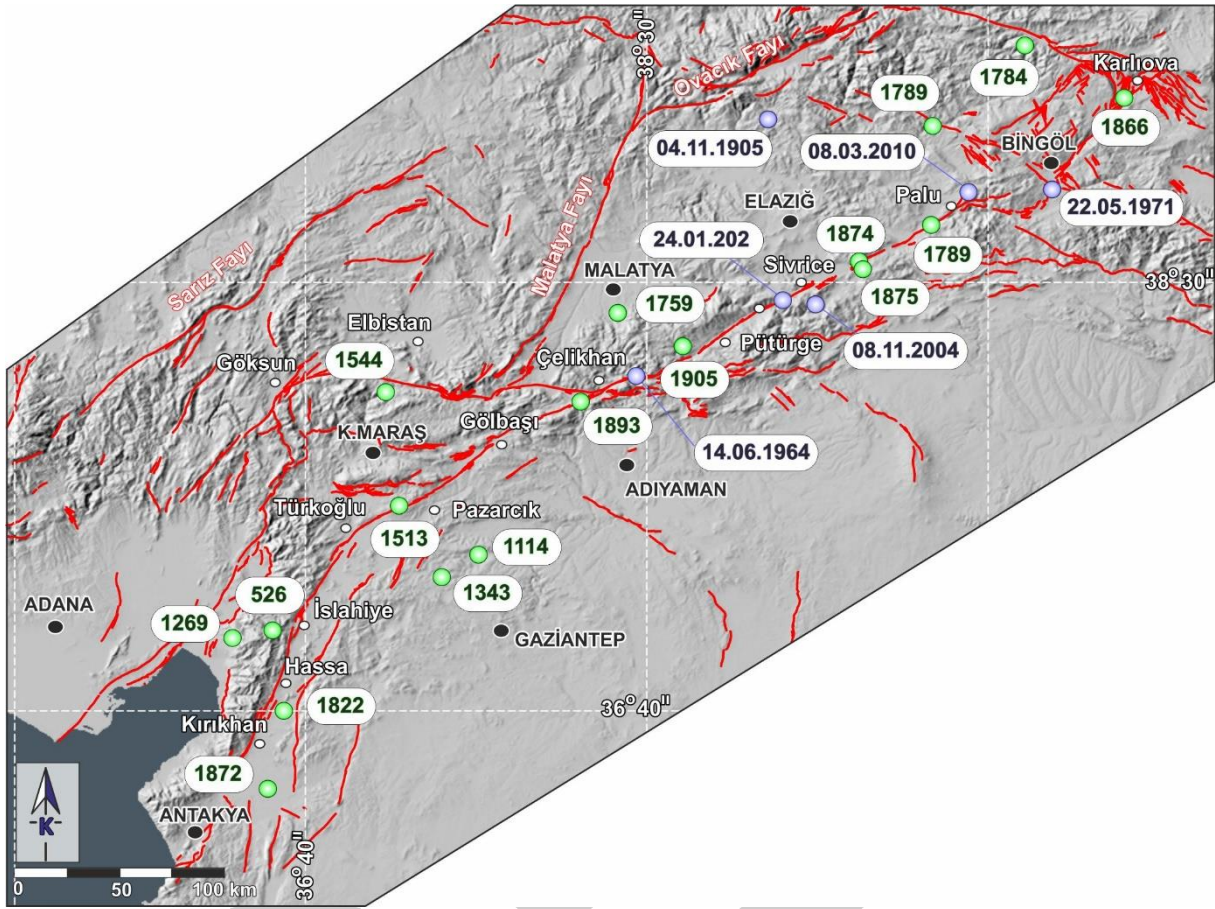
Taymaz vd., 1991; Ambraseys ve Jackson, 1998; Nalbant vd., 2002; Guidoboni ve Comastri, 2005; Tan vd., 2008; Duman ve Emre, 2013; Meghraoui, 2015; Taymaz vd., 2021). Tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen önemli yıkıcı depremler Tablo 1.1’de listelenmiş, DAFZ boyunca dağılımları Şekil 1.7’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1 Doğu Anadolu ve Antakya bölgesinde tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen yıkıcı depremler.

	TARİH	ENLEM	BOYLAM	I	M	LOKASYON	KAYNAK	
	<i>G/A/Y</i>	<i>derece</i>	<i>derece</i>					
TARİHSEL DÖNEM	1	110	36,25	36,10	VIII		Antakya, Samandağ	<i>Soysal vd., 1981</i>
	2	128	37,30	36,80	VIII		İslahiye, Maraş	<i>Soysal vd., 1981</i>
	3	526/527	36,23	36,10	IX		Antakya, Samandağ	<i>Soysal vd., 1981</i>
	4	30.09.587	36,25	36,10	IX		Antakya	<i>Soysal vd., 1981</i>
	5	10.08.114	36,50	35,50	IX		Kilikya	<i>Ergin vd., 1967</i>
	6	13.11.1114	37,36	36,55	X	7,8 +	Maraş-Adıyaman	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	7	17.04.1269	37,01	36,21	X		Osmaniye-Kilikya	<i>Guidoboni ve Comastri, 2005</i>
	8	1513	37,50	36,50	IX	7,4 +	Maraş-Malatya	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	9	1544	38,00	37,03	IX	6,7 +	Zitun-Malatya	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	10	22.01.1544	38,20	37,15	VIII		Elbistan-Maraş	<i>Soysal vd., 1981</i>
	11	29.05.1789	39,00	40,00		7,0 +	Palu-Elazığ	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	12	18.07.1784	39,50	40,00		7,6	Elmalı-Kemah	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	13	13.08.1822	36,70	36,90	IX	7,4	Antakya, Samandağ	<i>Ambraseys, 1989</i>
	14	12.05.1866	39,20	41,10		7,2	Gönek-Bingöl	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	15	03.04.1872	36,40	36,50	X	7,2	Antakya, Samandağ	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	16	03.05.1874	38,50	39,50		7,1	Gölcük gölü-Elazığ	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	17	27.03.1875	38,50	39,50		6,7	Gölcük gölü-Elazığ	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	18	02.03.1893	38,00	38,30	X	7,1 +	Malatya	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
ALETSEL DÖNEM	19	04.12.1905	38,10	38,60	IX	6,8	Malatya	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	20	17.08.1949	39,40	40,08		6,9	Elmalı-Kemah	<i>KOERI</i>
	21	14.07.1964	38,13	38,51		6,0	Malatya	<i>KOERI</i>
	22	19.08.1966	39,20	41,40		6,8	Varto-Karlıova	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	23	20.08.1966	39,30	41,20		6,2	Varto-Karlıova	<i>Ambraseys ve Jackson, 1998</i>
	24	22.05.1971	38,90	40,50	IX	6,8	Bingöl	<i>Ambraseys, 1989</i>
	25	06.09.1975	38,50	40,80	IX	6,6	Lice-Diyarbakır	<i>Ambraseys, 1989</i>
	26	05.05.1986	37,95	37,80		5,8	Doğanşehir-Malatya	<i>KOERI</i>
	27	06.06.1986	38,01	37,91		5,6	Doğanşehir-Malatya	<i>KOERI</i>
	28	27.01.2003	39,45	39,77		5,8	Pülümür-Tunceli	<i>KOERI</i>
	29	01.05.2003	39,01	40,49		6,4	Bingöl	<i>KOERI</i>
	30	08.03.2010	38,80	40,10		6,0	Karakoçan-Elazığ	<i>KOERI</i>
	31	24.01.2020	38,37	39,10		6,7	Doğanyol-Sivrice	<i>KOERI</i>

DAFZ’nin Türkoğlu (Kahramanmaraş) ve Çelikhhan (Adıyaman) arasında kalan kısmında meydana gelen 1114, 1513 ve 1893 depremleri tarihsel dönemde meydana geldiği bilinen ve günümüzde $7 \leq$ bir deprem büyüklüğüne karşılık gelen en büyük depremlerdir (Ambraseys ve Jackson, 1998; Nalbant vd., 2002; Duman ve Emre, 2013). Literatürde, DAFZ’nin Karlıova’dan

Antakya'ya kadar uzanan segmentlerinde yüzey kırılmaları meydana getiren tarihsel depremlerin varlığına ilişkin görüşler de mevcuttur.

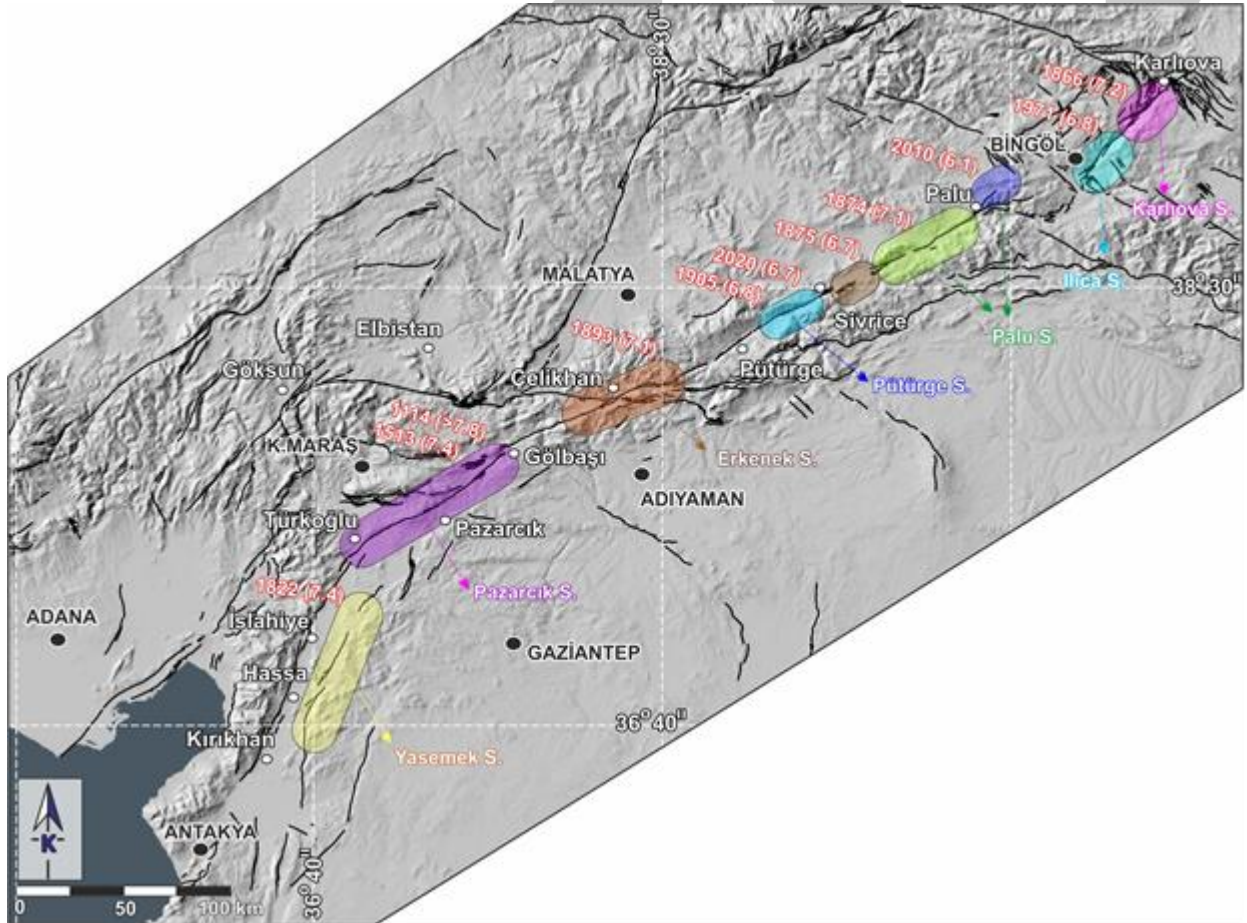


Şekil 1.7 Tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş yıkıcı önemli depremlerin DAFZ boyunca dağılımları (deprem lokasyonları Ambraseys ve Jackson, 1998; Tan vd., 2008; Duman ve Emre, 2013; Taymaz vd., 2021'den derlenmiştir)

Maras-Adiyaman arası bölgede 1114 ve 1513 tarihlerinde yüzey kırılması ile sonuçlanan depremlerin yanı sıra, DAFZ boyunca, 1866 depreminin Karlıova-Bingöl, 1789 ve 1874 depremlerinin Palu, 1875 depreminin Pütürge, 1893 depreminin Erkenek segmentlerini kopardığı öne sürülmektedir (Şekil 1.8) (Ambraseys, 1989; Seymen ve Aydın, 1972; Ambraseys ve Jackson, 1998; Nalbant vd., 2002; Herece, 2008; Karabacak vd., 2011; Duman ve Emre, 2013; Meghraoui, 2015; Taymaz vd., 2021). 1795'te Pazarcık segmenti ve 1872'de Amanos segmenti üzerinde meydana gelen depremlerin kırık uzunlukları hakkındaki bilgi ise azdır (Duman ve Emre, 2013).

Tarihsel dönemde bölgede yıkımlara neden olan deprem aktivitesi, aletsel dönemde de devam etmiştir. Aletsel dönemde DAFZ üzerinde 4 ve üzeri büyüklükte çok sayıda deprem

kaydedilmekle birlikte bazılarının yüzey kırığı oluşturduğu bilinmektedir (Taymaz vd., 1991; Tan vd., 2008; Kalafat vd., 2011; Duman ve Emre, 2013; Taymaz vd., 2021). Aletsel dönemde DAFZ üzerinde kaydedilen en önemli depremlerden biri 4 Aralık 1905 depremidir. Büyüklüğü $M \geq 6,8$ olan bu deprem, DAFZ üzerinde Çelikhán ve Pütürge arasındaki 38 km uzunluğunda bir fay parçasının kırılmasına neden olmuştur (Ambraseys, 1989; Ambraseys ve Jackson, 1998; Nalbant vd., 2002; Duman ve Emre, 2013; Meghraoui, 2015). Benzer şekilde 6,8 büyüklüğündeki 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi, DAFZ'nin Ilıca segmentinde yüzey kırığı oluşturmuştur (Ambraseys ve Jackson, 1998; Duman ve Emre, 2013; Taymaz vd., 2021). 8 Mart 2010 Karakoçan-Elazığ depremi ($M=6,1$), Palu ve Ilıca segmentleri arasındaki Gökdere bükümünün kırılmasıyla sonuçlanırken, 24 Ocak 2020 Doğanyol-Sivrice ($M_w=6,7$) depremi Pütürge segmentinin yaklaşık 45 km'lik kısmını kırmıştır (Duman ve Emre, 2013; Melgar vd., 2020; Tatar vd., 2020; Taymaz vd., 2021).



Şekil 1.8 19. ve 20. yy.da meydana gelen önemli yıkıcı depremlerin DAFZ boyunca meydana getirdiği yüzey kırıklarının dağılımı (Ambraseys, 1989; Ambraseys ve Jackson, 1998; Karabacak vd., 2011; Duman ve Emre, 2013; Meghraoui, 2015'den düzenlenmiştir)

Tektonik hareketle gelişen gerilme durumunu belirlemek için, DAFZ üzerinde meydana gelen 10 tarihsel deprem kullanılarak yapılan Coulomb gerilme analizleri, Türkoğlu-Gölbaşı (Kahramanmaraş-Adıyaman) ve Elazığ (Palu)-Bingöl arasındaki 2 bölgede stress biriktiğini ve DAFZ üzerindeki sismik boşlukları ifade eden bu bölgelerin yüksek deprem potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Nalbant vd., 2002).

Literatürde DAFZ boyunca farklı çalışmacılar tarafından gerçekleştirilmiş sınırlı sayıda paleosismolojik çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda, DAFZ'nin farklı segmentlerinde tarihsel depremlerle korale edilebilecek olaylar belirlenmiş ve belirli segmentler için tekrar aralığı belirlenebilmiştir (Tablo 1.2). Bunlar dışında, DAFZ'nin farklı segmentlerinde, günümüzde de devam etmekte olan bilimsel çalışmaların olduğu da bilinmektedir. DAFZ'nin deprem üretme potansiyelinin belirlenebilmesi için bu tür segment bazlı paleosismolojik çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Tablo 1.2 DAFZ boyunca gerçekleştirilmiş bazı paleosismolojik hendek çalışmalarının sonuçları (veriler Gürboğa ve Gökçe, 2019'dan derlenmiştir)

Segment	Hendek adı	Olay sayısı	Min. yaş	Max. yaş	Korale Deprem	Tekrar Aralığı	Kaynak
Pötürge-Palu	Hazar Gölü	8	-650/400	-300/1	1874 1739 1513 1284 99 602	300	Hubert-Ferrari vd., 2005
Palu	Hazar Gölü	5	1680	400/1940	1874 1513 450 150	100-360	Çetin vd., 2003
Pazarcık	Balkar	5	-2800/900	-200/1200	1114	1000-1200	Karabacak vd., 2012
	Nacar	3	300/900	-1000/1200	1114	1000-1200	
	Tevekkeli	5	-8000/1500	-7500/1600	1513	1200-1300	
	İmalı	2		-100			
Toprakkale	Toprakkale	2	-1900/425	400/570			Yönlü vd., 2017
Yumurtalık	İncirli	2	-7292	-2814/-544			

BÖLÜM İKİ

SİSMOGRAVİTASYONEL (SARSINTI KAYNAKLI) DEFORMASYON YAPILARI

Yapılan arazi gözlemlerinde gerek Doğu Anadolu Fay Zonu'na (DAFZ) ait Amanos, Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentleri üzerinde gerçekleşen ilk büyük deprem (AFAD verilerine göre 06 Şubat 2023 tarihinde 04:17'de Mw: 7,7 büyüklüğünde gerçekleşen), gerek Çardak ve Sürgü faylarında gerçekleşen ikinci büyük deprem (AFAD verilerine göre 06 Şubat 2023 tarihinde 13:24'de Mw:7,6 büyüklüğünde) ve gerekse Antakya Fay Zonu üzerinde gerçekleşmiş üçüncü depremde (AFAD verilerine göre 20 Şubat 2023 tarihinde 20:04'de Mw:6,4 büyüklüğünde) ilgili fay zonlarının etki alanlarında ilk saha gözlemleri sırasında Dramis ve Blumetti (2005)'in önerdiği bölümlenmeye göre birçok sismogravitasyonel deformasyon yapısı oluştuğu belirlenmiştir. Bu yapılar (1) Sıvılaşma yapıları (sismitler) ve (2) Kütle hareketleri şeklinde iki ana başlık altında değerlendirilmiştir.

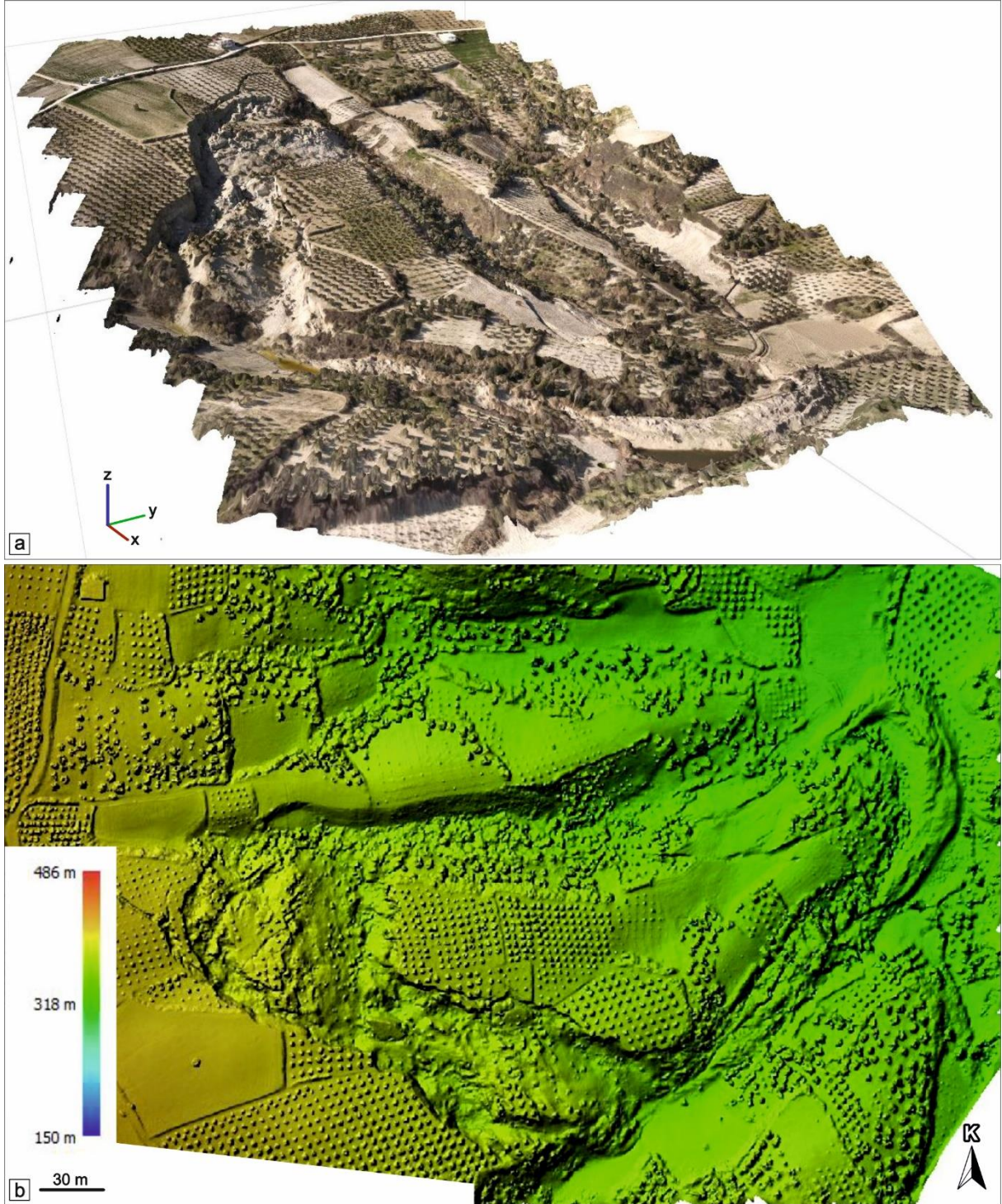
Sıvılaşma yapıları özellikle Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait Amanos Segmenti'nin doğudan sınırladığı Amik Havzası içindeki alüvyal düzlüklerde ve pekleşmemiş akarsu sedimentlerin taşkın alanlarında yayılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu sıvılaşma yapıları geometrik olarak; sırt tipi, yarık tipi, kum volkanları ve bacaları şeklinde tanımlanarak ayrılmıştır (Şekil 2.1). Bu yapıların en iyi örnekleri, özellikle Demirköprü ve Kumlu mahallelerinde, Arpahan ile Hatay Havalimanı arasındaki kalan alanda, Kırıkhan'ın doğusundaki Mahmutlu çevresinde ve Türkoğlu güneydoğusunda izlenmiştir. Özellikle sırt tipi sıvılaşmaların uzanımları yaklaşık K-G ve KKD-GGB, boyutları ise 100 metre varan uzunluklarda gözlenirken, baca tipi yapıların yükseklikleri 30 cm'ye, volkan tipi olanların ise genişliklerinin 2 metreye ulaştığı belirlenmiştir. Kütle hareketlerine ait yapılar ise Highland ve Bobrowsky (2008) USGS terminolojisine sağdık kalınarak sınıflanmış ve oluşum mekanizmaları dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan ön arazi çalışmalarında bu yapılar, rotasyonel ve ötelenme tipi heyelanlar, kitle kaymaları, kaya düşmesi, kaya devrilmesi, döküntü akması, döküntü çığı, toprak akması ve özellikle akarsu kanallarına yakın alanlarda gözlenen yanal yayılma yapıları olarak değerlendirilmiştir. Bu yapılardan medyada da en çok haber yapılan ve en çok ilgi çeken, ilk büyük depremden sonra meydana geldiği yerel halktan öğrenilen, Hatay ili Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyündeki bir zeytinlikte oluşmuş kütle hareketidir. Bu kütle hareketinin olduğu alan yapısal anlamda Antakya Fay Zonu'nun (AFZ) doğu bölümüyle, Ölü Deniz Fay Zonu'nun (ÖDFZ) batı bölümünde kalan yükselimde gerçekleşmesi ve ilk büyük depremde oluşan ve Kırıkhan'a kadar takip edilen yüzey kırığının güneye devam eden izdüşümüne

karşılık geliyor olması da ayrıca önem arz etmektedir. Araziye intikalden sonra tarafımızdan bölgede yapılan ön incelemelerde bu yapının oluştuğu jeolojik birimler ve kütle hareketi ile ilgili gözlemler yapılmış ve yapının tamamını kapsayacak şekilde modellemesinin yapılabilmesi adına GNSS verileriyle kalibre edilen ve RTK modüllü İnsansız Hava Araçlarıyla (İHA) görüntüleri alınmıştır.



Şekil 2.1 Hatay ili Kırıkhan ilçesi Mahmutlu mahallesi ve Antakya ilçesi Demirköprü ve Kumlu mahallelerinde ilk büyük deprem ile ilişkili sıvılaşma yapıları. (a ve b) sırt tipi, (c) yarık tipi, (d) volkan tipi, (e) volkan ve baca tipi, (f ve g) baca tipi sıvılaşma yapıları.

Toplamda 24 profil üzerinden otonom uçuşla 4,8 cm/px çözünürlükte 562 ortofotodan yararlanılarak kütle hareketinin üç boyutlu ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Hatay ili Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyündeki zeytinlikte meydana gelen kütle hareketinin, (a) İnsansız Hava Araçlarıyla (İHA) çekilmiş ortofotolarından elde edilmiş üç boyutlu (3D) görüntüsü, (b) çekilen görüntüler ile oluşturulan dijital yükseklik modeli.

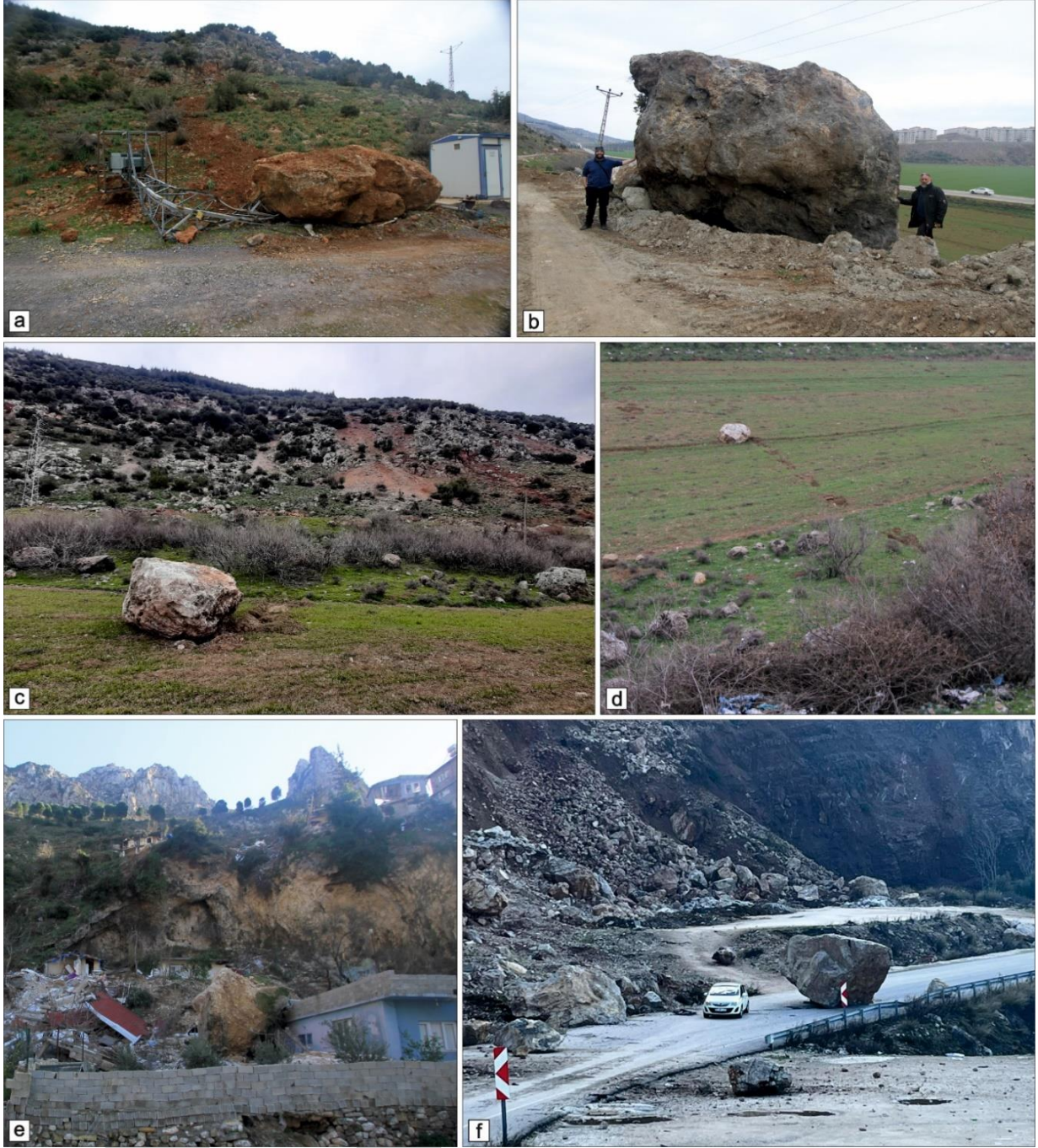
Sayıllaştırılmış modellerden yapılan ölçümlerden, bu rotasyonel heyelanın taç bölümündeki maksimum düşey ötelenmenin 19,7 metre, hareket eden kütle için en uzun ekseninin 476 metre, çevresinin 1,26 km ve toplam hareket eden kütle için alanının 7,8 hektar olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca heyelanın batı ucundaki en iyi gözlenen topuk bölümünde yüksekliği 22 metreye ulaşan çevre uzunluğu 387 metre alını 0,45 hektar olan bir malzeme birikimi oluşturduğu hesaplanmıştır. Jeolojik olarak bu kütle hareketi Selçuk (1985) ve Herece (2008a)'nin tanımladığı ince kırıntılı ve karbonatlı kayalardan yapıları Langiyen-Serravaliyen yaşlı Tepeköy formasyonu üzerinde gerçekleşmiştir. Yapılan saha gözlemlerinde kayan kütle için stratigrafik olarak alt bölümleri kalın katmanlı beyazımsı bej renkli killi kireçtaşı ve marn litolojilerinden oluşurken, üst bölümü ise baskın olarak sütlü kahve renkli ince-orta katmanlı ince kırıntılı ve beyazımsı renkli karbonatlı çökellerden yapılarıdır (Şekil 2.3a ve b). Heyelanın batı bölümünün iç merkezinde yaklaşık D-B uzanımlı süreksizlikler boyunca 3 metreye varan açılmalar dikkat çekicidir. Topuk bölümünün üst seviyeleri ise kalış içeriği yüksek bir toprak örtüsü ile temsil edilirken, özellikle en uç bölümünde yeraltı ve/veya yüzey sularından kaynaklanan ufak topuk gölcüklerinin oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 2.3c ve d).

Yapılan ön saha çalışmalarında kaya düşmesi tipi sismogravitasyonel deformasyon yapılarına ise DAFZ'nin Amanos Segmenti'nin etki alanında daha sık rastlanılmaktadır. Özellikle Amanos Segmenti'nin Nurdağı – İslahye arasındaki bölümünün kuzeybatı bloğunda yükselen ve Herece (2008b) tarafından haritalanan Geç Jura – Erken Kretase yaşlı Karadağ kireçtaşı birimine ait dolomitik ve rekristalize kireçtaşı litolojilerinden kopan bloklar Göltepe mahallesinin batısında oldukça yoğunlaşmaktadır (Şekil 2.4 a-d). Bu blokların bazılarının çapları 5 metreyi aşmaktadır. Özellikle dağ yolu üzerine düşen bu blokların bazı altyapı elemanlarına da zarar verdiği net bir şekilde gözlenmiştir. Tarlalar içinde konumlanmış kaya düşmesi tipi deformasyon elemanları yüzen şekilli tektas konumlu olarak bulunurlar. Bu blokların koptuğu noktalardan yüzlerce metre taşındığı bıraktığı izlerden net bir şekilde takip edilebilmektedir. Ayrıca ilk büyük depremde gerçekleşen kaya düşmelerinin hasara yol açtığı başka bir bölge ise Antakya ilçe merkezinde Habib-i Neccar Dağı'nın yamaç eteklerinde bulunan yerleşimlerde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu lokasyonda Herece (2008a) tarafından haritalanan İlerdiyen – Lütesiyen (erken-orta Eosen) yaşlı Okçular formasyonuna ait kireçtaşı litolojilerinden oluşan bazı blokların konutlara yapısal olarak aşırı derecede hasar verdiği bazılarını ise kısmen ve/veya tamamen yıktığı görülmüştür (Şekil 2.4e). Bu alanın güneyine doğru yine aynı hat boyunca Döver – Harbiye karayolu üzerinde de çapı 6 metreye ve ağırlığı yaklaşık 250 tonun üzerine çıkan neritik kireçtaşı bloklarının bulunduğu bildirilmiştir (Şekil

2.4f). Bu blokların oluştuğu formasyon Herece (2008a) tarafından yapılan haritaya göre Geç Kretase yaşındadır.



Şekil 2.3 Hatay ili Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyündeki zeytinlikte meydana gelen kütle hareketi, (a-b) Tepehan formasyonuna ait killi kireçtaşı, marn, ince kırıntılı ve karbonatlı çökellerine ait yüzlekler, (c) topuk bölümünün üst seviyelerini oluşturan kaliş içeriği yüksek toprak örtüsü, (d) yer altı ve yüzey sularının oluşturduğu topuk gölcükleri.



Şekil 2.4 İlk büyük depremin sonucunda Gaziantep il sınırlarındaki Nurdağı-İslahiye arası Göltepe mahallesinde meydana gelen (a) altyapı elemanlarını hasara uğratan kaya düşmesi, (b) 5 m çapa ulaşan blok, (c ve d) tarla içinde konumlu blok ve sürüklenme izi, (e) Hatay ili Antakya ilçesi sınırları içinde konutları kullanılmaz hale getiren kaya düşmesi, (f) Hatay ili Antakya ilçesi Döver mahallesinde meydana gelen karayoluna düşmüş 250 tonun üzerindeki blok (f harfli fotoğraf bölgeye ilk ulaşan ekip içinde yer alan Prof. Dr. Çağlar Özkaymak tarafından çekilmiştir).

Saha çalışmaları sırasında deprem alanında gözlenen diğer sismogravitasyonel deformasyon yapıları döküntü çığı, döküntü akması, toprak akması ve kaya düşmeleri ile karışık döküntü çığı tipi kütle hareketleri ile temsil edilirler. Özellikle DAFZ'nin Amanos Segmenti'nin etki alanında Hatay ili, Hassa ilçesi Aktepe Mahallesi sınırlarında döküntü çığı ve döküntü akması tipi kütle hareketlerinin %35'e varan yamaç eğimleri üzerinde ve boyutları 40 dekardan daha geniş bir alana yayıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 2.5a). Diğer yandan az miktarda da olsa daha düşük yamaç eğimine sahip alanlarda, suya doymun ince kırıntılı pekleşmemiş sedimanların, yüzey alanı düşük toprak akması tipi kütle hareketleri şeklinde geliştiği belirlenmiştir (Şekil 2.5b). İkinci büyük depremde Çardak Fayı etki alanı içinde gelişmiş en belirgin döküntü akması ve çığı tipi kütle hareketleri Kahramanmaraş ilinin Göksun ilçesine bağlı Arslanbeyçiftliği mahallesinin güneyde uzanan Tekne Dağı'nın batı yamaçlarında gerçekleşmiştir (Şekil 2.5c). Bu noktada kütle hareketleri 65°'lik eğim açısına sahip dik yamaç boyunca güneye doğru ardışık şekilde dizilmiş olarak gözlenmektedir. Saha çalışmaları sırasında ikinci büyük deprem sırasında Kahramanmaraş ili Nurhak ilçesine bağlı Tatlı köyünün ana bağlantı karayolu ise kaya düşmeleri ile karışık döküntü çığı tipi kütle hareketleri tarafından bloke edilmiş olarak gözlenmiştir (Şekil 2.5d). Özellikle Tatlar Çayı'nın aktığı "v" profilli vadinin en güneyindeki yaklaşık K-G uzanan 100 metre genişliğindeki dar koridorunda çeşitli boyutlarda birçok kaya düşmesi tipi sismogravitasyonel kütle hareketi geliştiği de belirlenmiştir. Bu alanda kaya düşmesi tipi deformasyon ögelerinin yoğun olarak gözlenmesinin nedeni, gerek vadi profilinin dik morfolojik özellikleri ve gerekse Sürgü Fayı'nın batı ucundaki yüzey kırığına coğrafik yakınlığı şeklinde yorumlanmıştır.

Sismogravitasyonel deformasyon ögelerinden olan yanal yayılma ürünü yapılar ise genelde ilk depremin etki alanı içinde ve yoğunlukla DAFZ'nin Amanos ve Türkoğlu-Pazarcık segmentlerinin önlerinde gelişmiş alüvyon düzlüklerinde ve bu düzlüklerdeki güncel akarsu kanallarına yakın alanlarda gelişmişlerdir. Amik Havzası'nın güney sınırında Karasu Çayı'nın yapay kanallarına koşut şekilde gelişmiş olan bu yanal yayılma ürünü kütle hareketleri yatayda 100 metreye ulaşan boyutlara ve genelde dairesel ve bazen kaotik sınırlara sahipken, Kırıkhan doğusundaki tarlalarda farklı boyutlarda ve basamaklı/kademeli bir geometri sergilediği tespit edilmiştir (Şekil 2.6a-c). Yanal yayılma ürünü olan yapıların en çok belirginleştiği alan ise Asi Nehri'nin ana kolunun bulunduğu Hatay ilinin Antakya ilçesine bağlı Demirköprü mahallesidir. Bu lokasyonda yanal yayılma ürünü sismogravitasyonel deformasyon yapılarının Antakya – Cilvegözü karayolunun Kırıkhan kavşağına kadar olan bölümünü aşırı derecede etkilediği gözlenmiş ve özellikle bu yapıların Taşköprü çevresinde boylarının 180 metreye ulaştığı tespit

edilmiştir (Şekil 2.6d ve e). Asi Nehri'nin Madenboyu mahallesinin kuzey bölümde akan güncel kanal fasiyesine yakın taşkınlarında ise uzunlukları 570 metreye genişlikleri 100 metreye ulaşan çok sayıda yanal yayılma yapılarının oluştuğu saptanmıştır.



Şekil 2.5 Hatay ili Hassa ilçesine bağlı Aktepe mahallesinde meydana gelen (a) döküntü çığı ve döküntü akması, (b) toprak akması, (c) Kahramanmaraş ili Göksün ilçesine bağlı Arslanbey köyünde meydana gelen döküntü akması ve çığı, (d) Kahramanmaraş ili Nurhak ilçesine bağlı Tath köyü kara yolunda gözlenen kaya düşmeleri ile karışık döküntü çığı.



Şekil 2.6 İlk büyük depremin etki alanında (a) Karasu Çayı'nın yapay kanalları boyunca, (b ve c) Kırıkhan doğusundaki tarlalarda kademeli geometrideki yanıl yayılma yapıları. Sırasıyla Antakya-Cilvegözü karayolu (d) ve Demirköprü mahallesinde Asi Nehri boyunca (e) gözlenen yanıl yayılma yapıları.

Saha çalışmaları sırasında 20 Şubat 2023 tarihinde Hatay Yayladağı – Samandağ merkezli 6,4 Mw büyüklüğünde bir deprem daha gerçekleşmiştir. Bu deprem sonucunda oluşan sismogravitasyonel deformasyon yapılarının yerel halkla yapılan görüşmelerde Yayladağı – Samandağ merkezli son deprem sırasında gerçekleştiği bilgisi alınmıştır. Bu yapılar, Hatay ilinin Samandağ ilçesinin Çökek ve Toygarlı mahalleri ile Antakya ilçesinin Karaali mahallesinde yüzlek verdiği tespit edilmiştir.

Çökek ve Toygarlı kara yollarına yakın alanlarda gerçekleşen sarsıntı kaynaklı kütle hareketleri; kitle kayması ve rotasyonel heyelan tip yapılar olarak sınıflanmıştır. Bu yapılar Selçuk (1985) ve Herece, (2008a)'nin kumtaşı, kumtaşı arakatmanlı kıltaşı ve kıltaşı litolojilerinden oluştuğunu bildirdiği Samandağ formasyonu içerisinde yer almaktadır. Kitle kaymasının gerçekleştiği lokasyonda kıltaşı ve kumtaşı katmanlarının konumu K37D/12 GD olarak ölçülmüş ve kaymanın katmanların eğim yönü boyunca güneydoğu yönünde gerçekleştiği belirlenmiştir (Şekil 2.7a ve b). Kitle kaymasının taç bölümünün yüksekliği 10,62 m, kayma miktarı ise yaklaşık 20 m olarak ölçülmüştür. Rotasyonel heyelan olarak tanımlanan deformasyon yapısı ise Çökek mahallesinin kuzeyinde Toygarlı yolu boyunca kesintisiz izlenmektedir. Ön ölçüm sonuçları, yapının yolu kesen taç bölümünün üç basamaklı olduğunu, çevresinin 195 m uzunluğunda ve 2.479 m²'lik bir alanda geliştiğini göstermektedir. Heyelanın toplam kayma miktarı yaklaşık 17 m olarak ölçülmüştür. Kayma düzleminin daireselliği arazide ve İHA ile çekilmiş ortofotoğraflarda net bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 2.7c).

Karaali mahallesinin kuzeyinde Amanos Dağları'nın batı eteğinde gerçekleşen kütle hareketleri ise Herece (2008a)'nin tanımlamasına göre Hatay Ofiyoliti ve yamaç molozları üzerinde gerçekleşmiştir. Yamaç molozları üzerinde gerçekleşen kütle hareketleri, döküntü çığı tipinde sınıflanırken, Karaali dağ yolları üzerindeki yapılar kaya düşmeleri ile karışık döküntü çığları şeklinde tanımlanmıştır. Bu sismogravitasyonel deformasyon yapıları yer yer dağ yollarının tıkanmasına neden olmuşlardır (Şekil 2.7d). Özellikle Karaali köyünün kuzey bölümündeki tarlalarda 3 - 4 metre boylarındaki zeytin ağaçlarının döküntü çığları ile tetiklenip köklerinden sökülerek eğim yönünde hareket ettiği gözlenmiştir (Şekil 2.7e).

Hatay Ofiyoliti içindeki diyabaz ve bazalt litolojilerinden oluşmuş bölümlerin eski zayıflık zonları boyunca yer yer kaya düşmesi (Şekil 2.7f), yer yer ise kaya devrilmesi (Şekil 2.7g) şeklinde bloklar oluşturduğu belirlenmiştir. Uzun eksenleri 2 m'ye varan bu blokların Karaali – Dikmece arasındaki köy yolları üzerinde yer yer 30 m genişlikte yüzleklerde meydana geldiği

ve yolları ulaşıma elverişsiz hale getirdiği bazı lokasyonlarda blokların vadi tabanına kadar ulaştığı ve dere yataklarını da etkilediği gözlenmiştir.



Şekil 2.7 Yayladağı – Samandağ merkezli deprem ile ilişkili kütle hareketlerine ait arazi fotoğrafları. Hatay ili Samandağ ilçesine bağlı Çökek – Toygarlı yolu üzerinde (a-b) kiltası ve kumtaşı katman düzelmlerini kullanarak gerçekleşen kütle kayması, (c) rotasyonel heyelanın insansız hava aracı (İHA) ile çekilmiş ortofotosu. (d ve e) Karaali mahallesinin batısında gözlenen döküntü çığı tipi kütle hareketleri, (f ve g) sırasıyla bazik magmatiklerden kopan bloklar ve eski süreksizlikler boyunca gelişmiş kaya devrilmeleri.

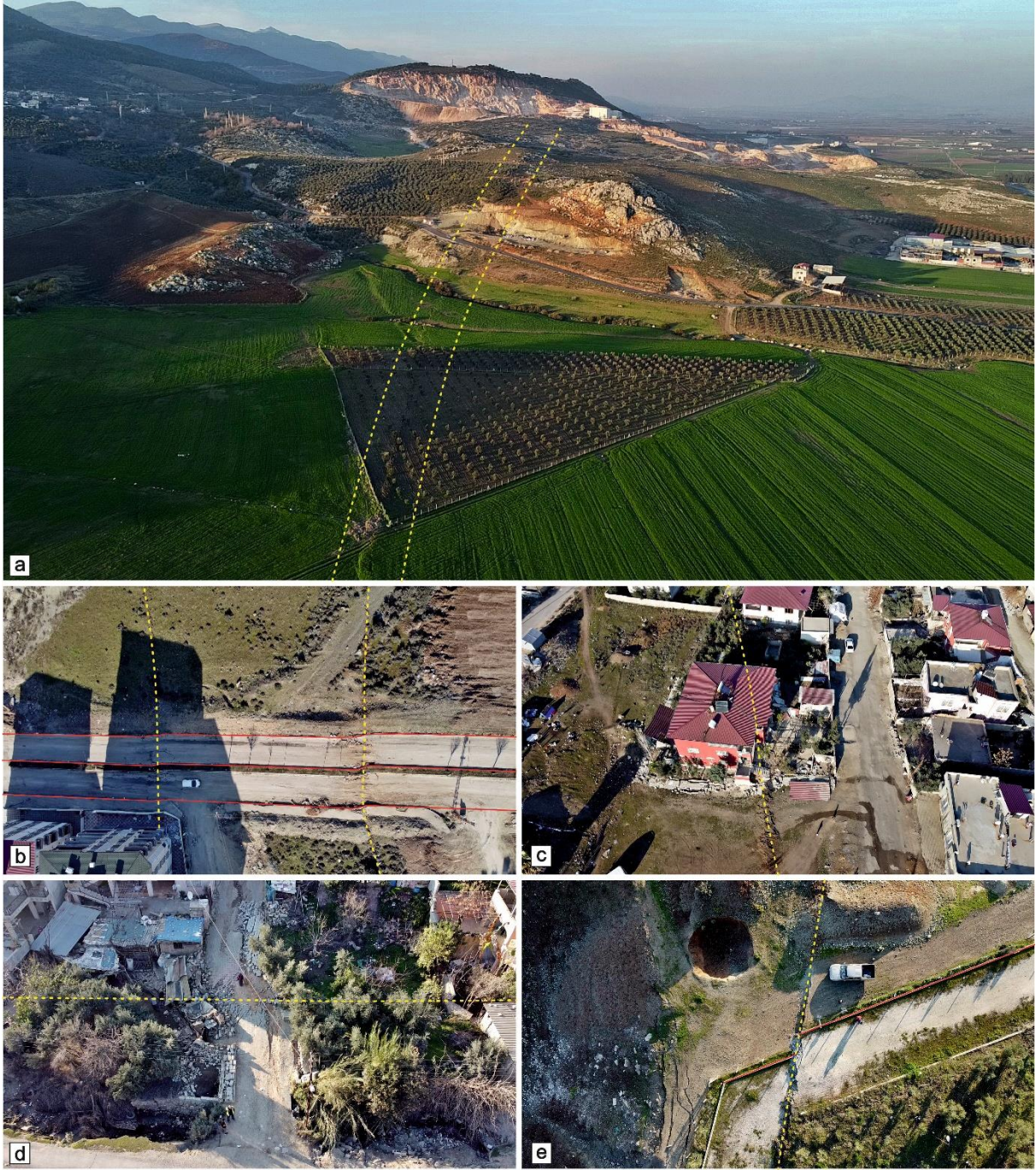
BÖLÜM ÜÇ

SİSMOTEKTONİK (YÜZEY KIRIĞI KAYNAKLI) DEFORMASYON YAPILARI

Bu bölümde 06.02.2023 tarihinde saat 04:17'de meydana gelen 7,7 Mw büyüklüğündeki ilk büyük deprem ile aynı tarihte saat 13:24'te büyüklüğü 7,6 Mw olan ikinci büyük depremin oluşturduğu sismotektonik deformasyon öğelerinin ön bulgularına değinilecektir. Bu ön bulgular, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Amanos, Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentleri ile Çardak Fayı ve Sürgü Fayı'nın batı ucundaki gözlemleri kapsamaktadır.

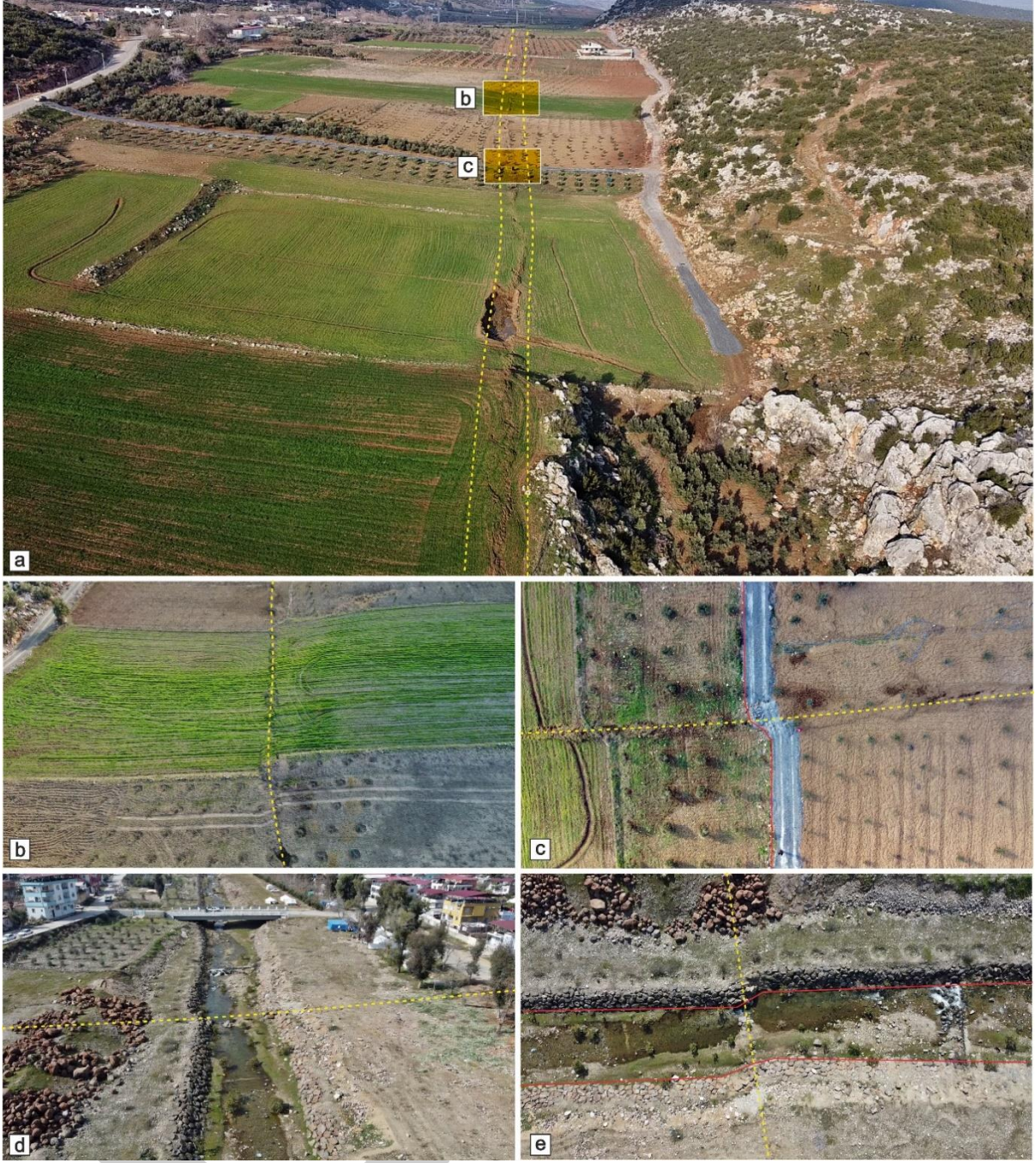
Yürütülen saha çalışmaları sırasında oluşan sismogravitasyonel deformasyon yapıları izlenmiş ve oluşan yüzey kırıklarının belgelenmesinde İnsansız Hava Aracı da (İHA) kullanılarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde edilmiştir yapıların ayrılmasında Dramis ve Blumetti (2005)'in basit sınıflamasına sağdik kalınmıştır. İlk büyük depremin en güneyindeki Amanos Segmenti'nde bulunan yüzey kırığının en iyi gözlendiği lokasyonlardan biri Kösürük Dağı'nın doğusunda Hatay il sınırları içindeki yer alan Kırıkhan ilçesinin merkezinde bulunmaktadır. Yüzey kırığı, ilçenin kuzeyinde yer alan Kırıkhan sanayi sitesinden kuzeye doğru taş ocağına kadar İHA görüntüsü içerisinde kalan alanda 1.476 metre boyunca kesintisiz olarak izlenebilmektedir (Şekil 3.1a). Kırıkhan Devlet hastanesinin doğusunda bulunan ve D-B uzanan TOKİ-Hastane yolunu iki farklı yerden kesen yüzey kırığı, iki kol olarak gözlenmiştir ve batıdaki kol üzerindeki atımın doğudaki kol üzerindeki atımdan daha düşük olduğu çekilen İHA fotoğrafı üzerinden net bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.1b). Bu alanda Kırıkhan ilçesinin merkezinin en kuzeyindeki yerleşim alanı içerisinde geçen yüzey kırığının, çekilen fotoğraflarından çeşitli altyapı elemanlarını ve konutları sol yanal atıma uğratarak kestiği gözlenmiştir (Şekil 3.1c). Bu lokasyonun 200 m kuzeydoğusunda yüzey kırığının geçtiği hattın devamı ve yerleşim alanlarına doğru uzanımı görülebilmektedir (Şekil 3.1d). Kırıkhan ilçesinin merkezi yerleşim alanının bittiği ve kuzeye doğru tarlaların başladığı Menderes mahallesinin batısında ise yüzey kırığının tarla yolunu net bir şekilde sol yönlü yanal atıma uğrattığı da görüntülenmiştir (Şekil 3.1e). Saha verileri, ilk büyük depremle ilişkili Amanos Segmenti boyunca gelişen yüzey kırığının Kırıkhan ilçesini tam merkezinden geçerek, ilçeyi güneyden kuzeye kadar kesintisiz bir şekilde kat ettiğini göstermektedir. Amanos Segmenti boyunca kuzeye doğru Hatay ilinin Kırıkhan ilçesinin yaklaşık 85 km kuzey doğusunda Gaziantep iline bağlı Nurdağı ilçe merkezinin kuzeybatısında ise Gaziantep-Kahramanmaraş yolu üzerindeki Şehitler Viyadüğünün hemen kuzeyinde, yüzey kırığı İHA görüntüsü içerisinde kalan alan boyunca 898 m kesintisiz olarak izlenebilmektedir (Şekil 3.2a). Bu hat boyunca yüzey kırığının

BKB-DGD olan tarla sınırlarını dik olarak kestiği ve sol yönlü atıma uğrattığı yine çekilen İHA görüntülerinden net bir şekilde anlaşılabilir (Şekil 3.2b).



Şekil 3.1 Amanos Segmenti'nde görülen yüzey kırıklarının Kırıkhan (Hatay) yerleşiminde oluşturduğu deformasyonların İHA görüntüleri. (a) Kırıkhan (Hatay) yerleşiminin KKD'sinden çekilmiş yüzey kırığı. (b,c,d,e) Yüzey kırığının ilçe içerisinde geçtiği alanlar. Sarı kesikli çizgiler doğrudan sismotektonik deformasyon ögesini veya alan çerçeve sınırlarını temsil etmektedir.

Bunun yanında aynı bölgede yüzey kırığının toprak tarla yollarını da sol yönlü keserek sismotektonik deformasyona uğrattığı belirlenmiştir (Şekil 3.2c). Nurdağı ve Kırıkhan ilçelerinin arasında olan Hatay iline bağlı Hassa ilçesinin merkezinden geçen ve Göldağı'nın doğuya olan yamacındaki D-B uzanan Tiyek Deresi'nin, üzerine kurulmuş olan Tiyek ve Çay köprüleri arasında kalan bölümünün, ilk büyük depremin Amanos Segmenti'ne ait yüzey kırığı tarafından KKD-GGB doğrultuda kesilerek sol yönlü yanal bir deformasyonla atıldığı İHA aracı ile net bir şekilde görüntülenmiştir (Şekil 3.2d ve e).



Şekil 3.2 Amanos Segmenti'nde görülen yüzey kırıklarının Nurdağı ve Hassa (Hatay) ilçelerinde oluşturduğu deformasyonların İHA görüntüleri. (a) Şehitler Viyadüğü'nün kuzeyinde görülen yüzey kırığı. (b,c) Tarla sınırlarında ve yolunda görülen sol yanıl ötelenmeler. (d,e) Hassa yerleşimindeki Tiyek Dere'sinde görülen ötelenme. Kırmızı düz çizgiler dere kenarını, sarı kesikli çizgiler yüzey kırığını veya kırığın geçtiği alanı vurgulamak için kullanılmıştır.

İlk büyük depremde kırılan DFAZ'ye ait Türkoğlu-Pazarcık Segmenti'nin en güney bölümünde, Kahramanmaraş ilinin Türkoğlu ilçesinin doğusunda bulunan tarlalar boyunca, yüzey kırığının İHA görüntüsünde 1750 m boyunca kesintisiz ilerleyip güneye doğru çok düşük açıda büküm yaptığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.3a). Tarlalar boyunca K-G doğrultusunda yilankavi geometride dönerek uzanan sulama kanalının, kanala verev gelişen yüzey kırığı boyunca sol yönlü ötelendiği İHA görüntülerinden rahatlıkla izlenebilmektedir (Şekil 3.3b ve c). Türkoğlu ilçesinin kuzeyinde bulunan Aksu Çayı'nın 2000 m kuzeydoğusuna doğru, ilçeye bağlı Kuyumcular mahallesine güneyden giriş yapan yolunun güneyinde bulunan tarlayı ve karayolunu kesen yüzey kırığının, KD-GB doğrultusu boyunca yerleşim alanına giriş yaptığı ve altyapı elemanlarına hasar verdiği görüntülenmiştir (Şekil 3.3d ve e). Daha kuzeydoğuya doğru aynı segment boyunca yüzey kırığı Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ilçesinin kuzeyindeki yerleşimlerden Büyüknacar mahallesinin güneydoğusundaki kırsalında bulunan Yavuz Sultan Selim mahallesine ait tarlaları ve köy yollarını keserek devam eder. Bu kesintisiz devam eden bölümün en iyi izlendiği lokasyon İHA görüntüsünde 158 m boyunca görüntülenmiştir (Şekil 3.4a). Bu noktada yüzey kırığı, KB-GD doğrultuda uzanan tarla sınırlarını dik kesip sol yönlü ötelemektedir (Şekil 3.4b ve c). Benzer şekilde DAFZ'nin Türkoğlu-Pazarcık Segmenti boyunca KD'ye doğru yüzey kırığının vadi ve sırtları KKD-GGB doğrultusunda keserek kat ettiği bazı alanlarda ise yaklaşık D-B uzanımlı vadilerden geçerek, kuzeydoğuya doğru büküm yaparak devam ettiği gözlenmektedir (Şekil 3.4d).

İlk büyük depremin kaynağı olan DAFZ'nin kırılan parçasının en kuzeydoğusunda bulunan Erkenek Segmenti ile daha güneybatısındaki Türkoğlu-Pazarcık Segmenti arasında kalan Gölbaşı ilçesinin en güneyinde Adıyaman-Kahramanmaraş il sınırının hemen kuzeyinde bulunan alanda, Adıyaman ili sınırları içerisinde yer alan Gölbaşı, Azap ve İnekli göllerinin güneybatıya drene olduğu Aksu Çayı'nın ovasında, kavak ağaçları ile çevrilmiş tarlaları KD-GB doğrultusuyla kesen yüzey kırığı, İHA görüntüsünde 319 m kesintisiz olarak görselleştirilmiştir (Şekil 3.5a). Bu hat boyunca, kavak ağaçlarının dikilmiş olduğu tarla sınırları ve daha kuzeyde yüzey kırığı tarafından dik bir açıyla boş tarla sınırlarının kesildiği ve sol yönlü ötelendiği yine İHA fotoğraflarından açıkça görülebilmektedir (Şekil 3.5b ve c).



Şekil 3.3 Türkoğlu – Pazarcık Segmentinde görülen yüzey kırıklarının oluşturduğu yüzey deformasyonlarının İHA görüntüleri. (a) Türkoğlu (Kahramanmaraş) yerleşiminin DKD'sinde çekilmiş yüzey kırığı. (b ve c) Türkoğlu (Kahramanmaraş) yerleşimindeki sulama kanalında görülen sol yanal ötelenme. (d) Kuyumcular (Kahramanmaraş) yerleşimindeki tarlalarda görülen yüzey kırığı. (e) Kuyumcular (Kahramanmaraş) yerleşimindeki yüzey kırığının altyapı elemanlarında oluşturduğu deformasyonlar. Sarı kesikli çizgiler yüzey kırığını veya kırığın geçtiği alanı vurgulamak için kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Tırkoğlu – Pazarcık Segmentinde görülen yüzey kırıklarının oluşturduğu yüzey deformasyonlarının İHA görüntüleri. (a) Pazarcık (Kahramanmaraş) yerleşiminin KKD'sundan çekilmiş yüzey kırığı. (b,c) tarla sınırlarında görülen sol yönlü ötelenmeler. (d) Büyüknacar (Kahramanmaraş) yerleşimi sınırları içinde görülen yüzey kırığı ve sismotektonik deformasyonlar. Sarı kesikli çizgiler yüzey kırığını göstermektedir.



Şekil 3.5 Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentleri arasında görülen yüzey kırığının oluşturduğu deformasyonlarının İHA görüntüleri. (a) Aksu Çayı çevresinde çekilmiş yüzey kırığı. (b ve c) tarla sınırlarında görülen sol yönlü ötelenmeler. Sarı kesikli çizgiler yüzey kırığını veya kırığın geçtiği alanı vurgulamak için kullanılmıştır.

Saha çalışmaları sırasında ikinci büyük deprem sırasında gerçekleşen sismotektonik deformasyon yapıları ise yaklaşık D-B uzanımında, doğuda Sürgü Fayı'nın batı ucunda ve batıda Çardak Fayı boyunca gözlenebilmiştir. Yoğun kar örtüsü nedeniyle kırığın Sürgü Fayı boyunca doğusundaki ve Doğanşehir Fay Zonu'na doğru kuzeydoğudaki olası devamlılığı takip edilememiştir. Bu doğrultuda ikinci büyük deprem sırasında gelişen yüzey kırığının en iyi gözlenebildiği alanlarda saha gözlemleri ve yüksek çözünürlüklü İHA görüntüleriyle belgeleme yapılmıştır. Bu alanlardan ilki, Sürgü Fayı'nın batı bölümüne karşılık gelen alanda Kahramanmaraş-Malatya il sınırının hemen doğusundaki Tatlar mahallesinde konumlanmaktadır. Bu noktada mahallenin ana giriş köy yolunun başlangıcındaki yaklaşık K-G bölümünün sonunda yüzey kırığı yaklaşık D-B uzanımlı bir şekilde yamaçları ve sırtları keserek gerek eğim gerekse sol yanal olarak çok geniş bir fay aynası oluşturmuştur (Şekil 3.6a ve b). Bu alanın yaklaşık 4

km batısında Kahramanmaraş iline bağlı Nurhak ilçesinin doğusunda yer alan Kullar mahallesinin kuzeydoğusunda dar bir alanda birbirine koşturmuş gelişen iki yüzey kırığı kolunun sıkışmalı tip bir yukarı yükselme (pop-up) yapısı geliştirdiği de İHA görüntülerinde belgelenmiştir (Şekil 3.6c). Daha doğuda ise yüzey kırığının kesintisiz bir şekilde vadi, sırt ve yamaç gibi topografik öğelerin tümünü keserek batıya doğru uzandığı da İHA görüntülerinde net bir şekilde izlenmiştir (Şekil 3.6d).

İkinci büyük depremin oluşturduğu sismotektonik yüzey deformasyonlarının en iyi gözlemlendiği alanlar ise yaklaşık D-B uzanımlı ve dış bükey bir geometrideki Çardak Fayı boyunca izlenebilmiştir. Bu alandaki lokasyonlardan yüzey kırığının düşey bileşene ait en iyi veri seti sunan noktalardan biri, Çardak Fayı'nın orta bölümünün bulunduğu Kahramanmaraş ilinin Göksun ilçesine bağlı Ericek mahallesi ve çevresinde konumlanmıştır. Bu lokasyonda Armut Dağı'nın kuzey kenarında D-B uzanan sırt üzerinde gelişmiş yüzey kırığının karakteri, yamaç ve sırtları keserek taze fay sarplıkları oluşturması sebebiyle oldukça dikkat çekmektedir (Şekil 3.7a). Bu lokasyonda yüzey kırığı sırtları kestiği alanlara benzer bir geometri sunmaktadır. Mahallenin yaklaşık 34 km doğusunda bulunan Nurhak-Ekinözü ilçe sınırlarının Ekinözü tarafında kalan Gözpinar yerleşkesinde ise, yüzey kırığının tek kol şeklinde yerleşim alanı içinde devam ettiği ve bazı konutları tamamen yıkmadan saat yönünün tersi yönde rotasyona uğrattığı da gözlemlenmiştir (Şekil 3.7b). Aynı zamanda bu lokasyonda yüzey kırığı boyunca yer yer 1 m'yi aşan düşey atımların da varlığı söz konusudur (Şekil 3.7c).



Şekil 3.6 Sürgü Fayı'nın batı bölümlerinde gözlenmiş yüzey kırığının oluşturduğu sismotektonik deformasyon öğelerine ait İHA görüntüleri. (a ve b) Tatlar (Kahramanmaraş) yerleşimde görülen sol yönlü ve düşey bileşenli yüzey kırığı, (c) Kullar (Kahramanmaraş) yerleşiminde görülen yüzey kırıkları arasında sıkışarak yükselen yukarı yükselme (pop-up) yapısı ve (e) yerleşimin kuzeydoğusunda uzanan yüzey kırığının İHA görüntüsü. Sarı kesikli çizgiler yüzey kırığını veya kırığın geçtiği alanı vurgulamak için kullanılmıştır.



Şekil 3.7 Çardak Fayı'nda üzerinde izlenen yüzey kırıklarının oluşturduğu yüzey deformasyonlarının İHA görüntüleri. (a) Ericek (Kahramanmaraş) yerleşimde görülen sol yönlü düşey bileşenli yüzey kırığı sarplığı. (b) Gözpinar (Kahramanmaraş) yerleşiminde rotasyona uğramış binanın fotoğrafı, (c) yüzey kırığının düşey bileşeni gösteren arazi fotoğrafı. Sarı kesikli çizgiler yüzey kırığını veya kırığın geçtiği alanı vurgulamak için kullanılmıştır. Gölge alan taze yüzey kırığı sarplığının geometrisini belirginleştirmek için oluşturulmuştur.

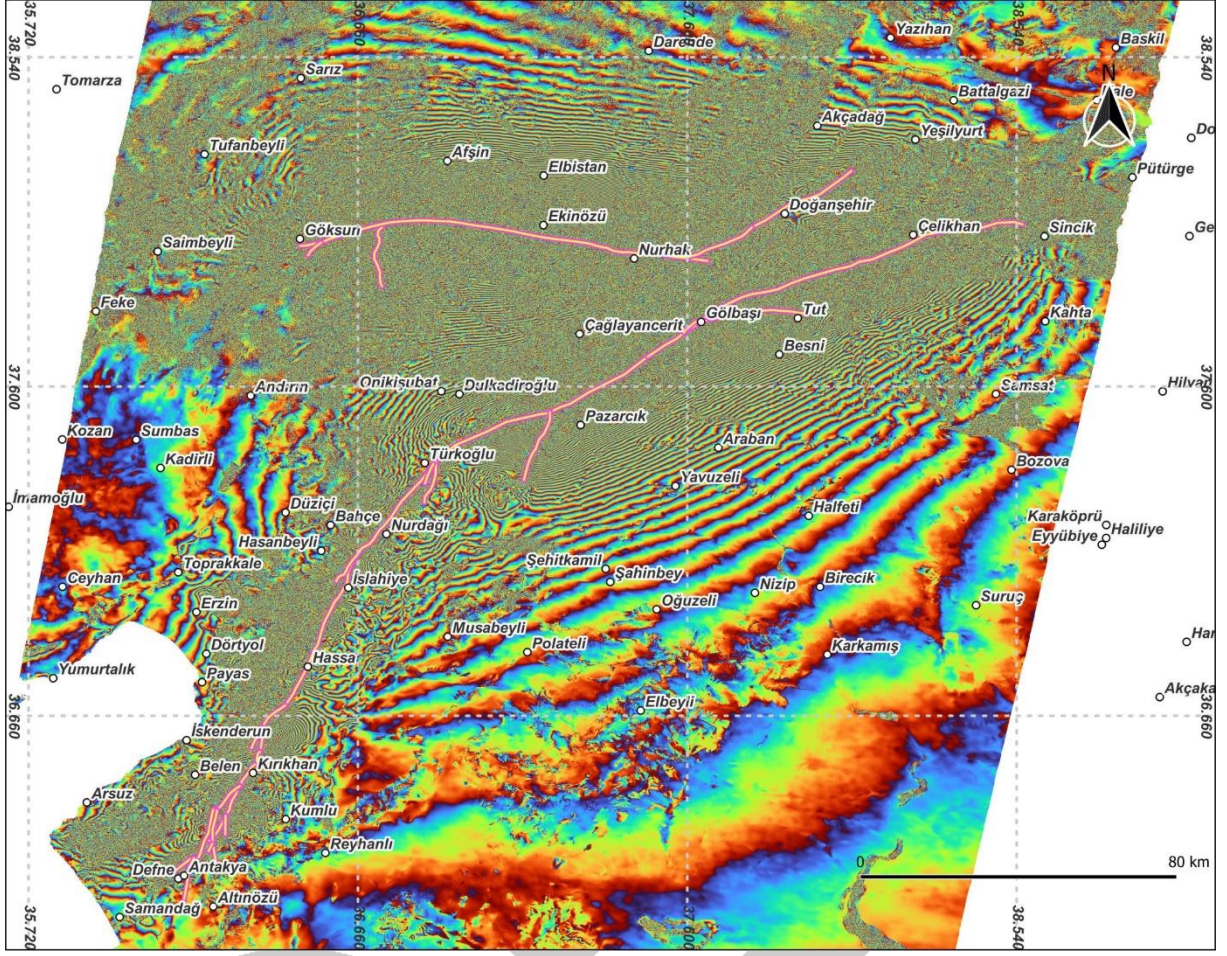
BÖLÜM DÖRT

UZAKTAN ALGILAMA TABANLI ÇALIŞMALAR

Uzaktan algılama tabanlı çalışmalar ilk büyük depremin olduğu andan itibaren başlamış, takibinde saha çalışmalarını koordine etmesi açısından büyük önem arz etmiştir. Avrupa Uzay Ajansı'na ait Sentinel-1 ve Sentinel-2 görüntülerinin yanı sıra, Maxar Technology ve Airbus şirketlerinin deprem sonrası açık erişim sağladığı yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden de yararlanılmıştır. İlerleyen günlerde Harita Genel Müdürlüğü'nün (HGM) erişime açtığı, İHA (Aksungur ve Bayraktar) ve uçaklarla elde edilen ortofotolardan da yüzey kırığına dair veriler elde edilmiştir. Saha çalışmaları sırasında coğrafik koşullar sebebiyle erişimin zor olduğu alanlarda Dokuz Eylül Üniversitesi'ne ait olan ve RTK sistemine sahip İnsansız hava Araçları (İHA) kullanılarak yüzey kırıkları daha hassa bir biçimde kayıt altına alınmıştır. Afet sonrası uzaktan görüntüleme sistemlerinin faydaları bu depremle birlikte bir kez daha önemini vurgulamıştır. Bu bölümde çalışmalar 3 ana alt başlık altında ayrılacaktır. Bunlar; (1) Sentinel-1 uydusuna ait radar verileriyle hazırlanan radar interferometri çalışmaları, (2) İHA, Sentinel-2 ve özel şirketlerin sağladığı yüksek çözünürlüklü optik verilerle elde edilen yüzey kırığı haritalaması ve (3) Saha çalışmalarında kullanılan İHA görüntüleri ile cm hassasiyetinde yüzey deformasyonunun haritalanması çalışmalarıdır.

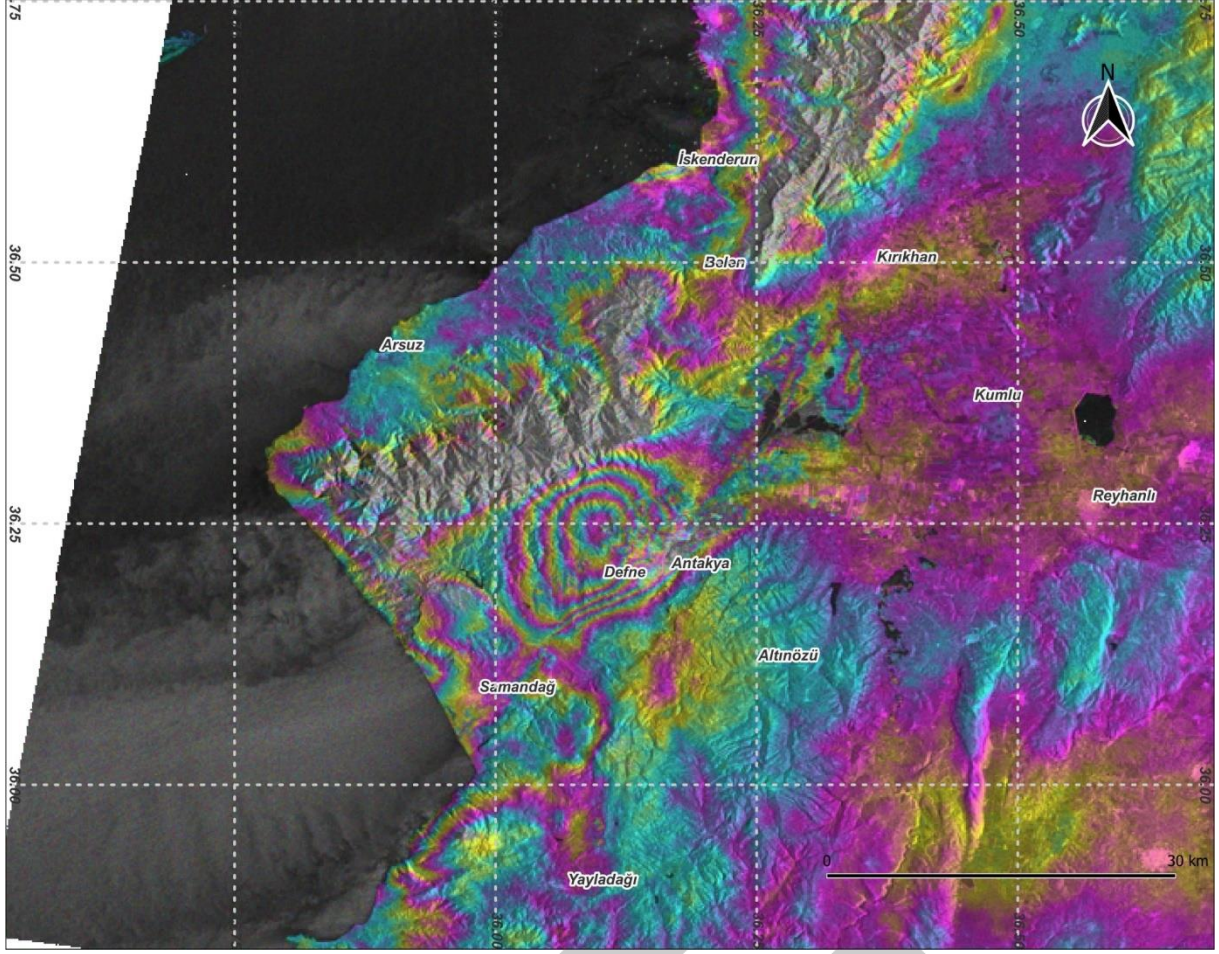
4.1 InSAR (İnterferometrik Yapay Açıklıklı Radar) Çalışmaları

Meydana gelen depremlerde sorumlu sismik kaynakların neden olduğu yüzey deformasyonlarını araştırmak için Sentinel-1 (S1) Interferometric Wide Swath (IWS) InSAR görüntüleri analiz edilerek, depremlerden kaynaklanan deformasyonlar DInSAR yöntemi ile tespit edilmiştir. Ascending Path 14 20230128-20230209 tarihli ve Descending Path 21 20230129-20230210 tarihli deprem öncesi ve sonrası görüntüleri kullanılarak, meydana gelen sismotektonik deformasyon ürünü olan yüzey kırığının toplam uzunluğu ve bölgesel ölçekteki deformasyon dağılımının tespiti yapılmıştır. Hızla elde edilen ilk sonuçlara göre yüzey kırığı uzunluğu; Doğu Anadolu Fay Zonu'nda yaklaşık 309 km, Çardak Fayı ve Sürgü Fayı'nın batı ucunda ise 158 km olması olasılığı öngörülmüştür (Şekil 4.1). Saha çalışmaları sırasında 20 Şubat günü meydana gelen Mw 6,4 büyüklüğündeki depreme ait DInSAR ölçümleri de yapılmış ve Antakya Fay Zonu'ndan kaynaklandığı yorumlanan deformasyonlar Hatay ili Samandağ ve Defne ilçelerinde yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 Sentinel-1 uydu görüntüleri ile hazırlanmış (Ascending Path14) 20230128 ve 20230209 tarihleri arasındaki diferansiyel farkın fazı. Pembe-Beyaz çizgi görüntü işlenerek oluşturulmuş yüzey kırık izini göstermektedir.

İlk analizlerin sonuçları, Mw 6,4 büyüklüğündeki son depremin deformasyon izlerinin, 6 Şubat 2023 günü meydana gelen depremlere ait deformasyon izlerinden farklı olarak düşey bileşeni yüksek bir tektonik hareketin varlığına işaret ettiği yorumu değerlendirilmiştir. İlk iki büyük depremden 14 gün sonra meydana gelen bu deprem, özellikle Toygarlı mahallesi ve çevresinde kütle hareketlerine neden olmuş, Defne ilçesi ile olan karayolu bağlantısının kapanmasına neden olmuştur.

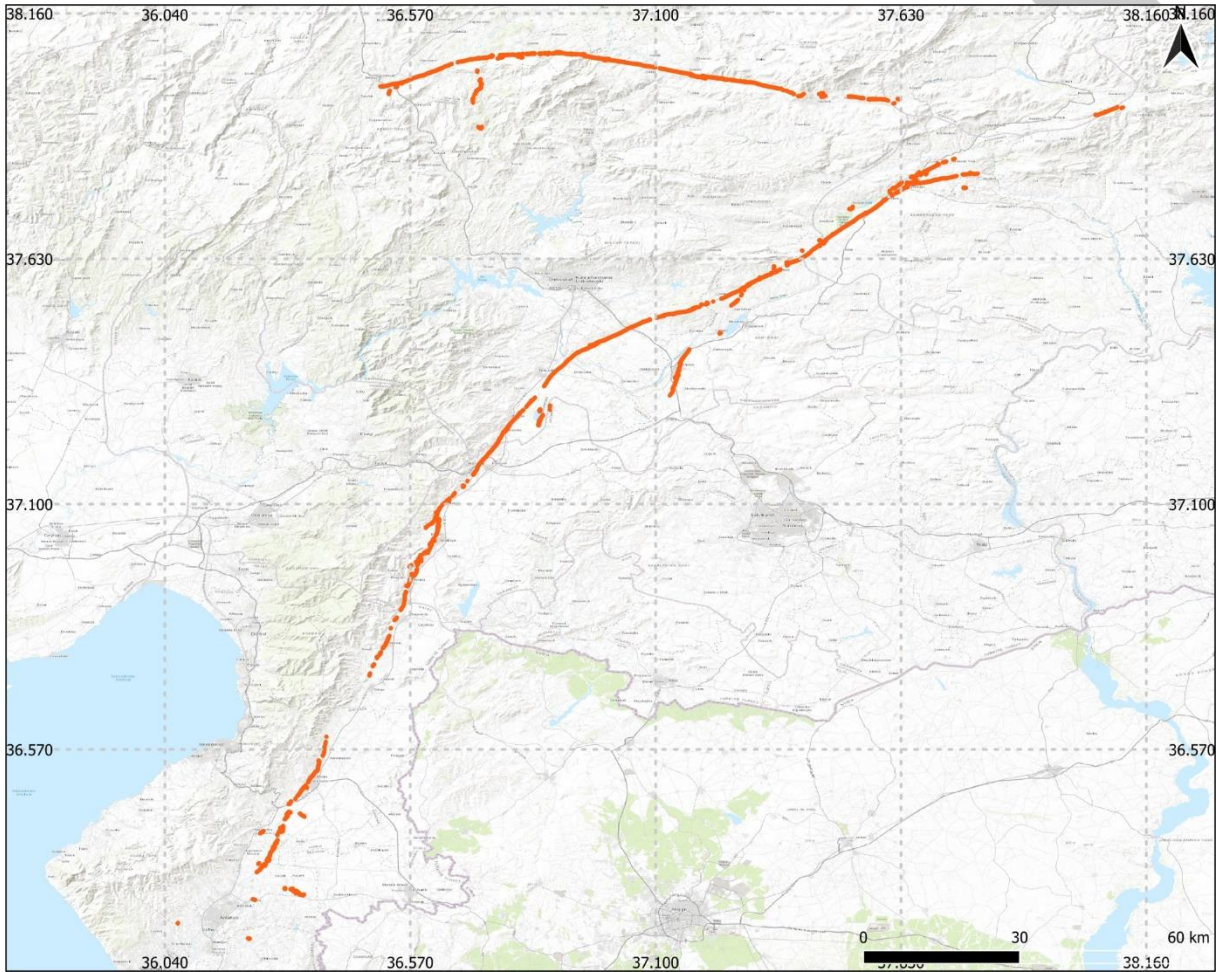


Şekil 4.2 20 Şubat günü meydana gelen Mw 6.4 büyüklüğündeki son depreme ait DInSAR sonuçları.

4.2 Uydu ve İHA Temelli Optik Görüntüleme Çalışmaları

Saha çalışmalarına paralel olarak yüksek çözünürlüklü görüntüler sayesinde ilk iki büyük depremin oluşturduğu yüzey kırıklarının takibi yapılmış, ilk yaklaşımda geometrik ölçümleri ve segment bazlı dağılımları analiz edilmiştir. İlk belirlemelere göre görüntüler üzerinden izlenebilen sismotektonik yapıların tek ve bütün bir çizgiselliğe sahip olmadığı, özellikle bazı lokasyonlarda sürekliliklerini koruyamadıkları yorumlanmıştır (Şekil 4.3). Görüntülerinin ilk analizleri, yüzey kırığının Hatay ili Kırkhan ilçesinde yaklaşık 20 km, Hatay ili Haspa ilçesi ve Gaziantep ili İshaliye ilçeleri arasında yaklaşık 35 km takip edilebildiğini göstermektedir. İshaliye'den sonra farklı kollara ayrılan kırılma, 11 km boyunca Gaziantep ili Nurdağı ilçesine kadar devam etmektedir. Kahramanmaraş ili, Türkoğlu ilçesine bağlı Şekeroba mahallesinin kuzeyinde sola sıçrayan kol Türkoğlu'na kadar 24 km, sonrasında parçalı şekilde yaklaşık 94 km boyunca Adıyaman ili Gölbaşı ilçesine kadar net bir biçimde takip edilebilmektedir.

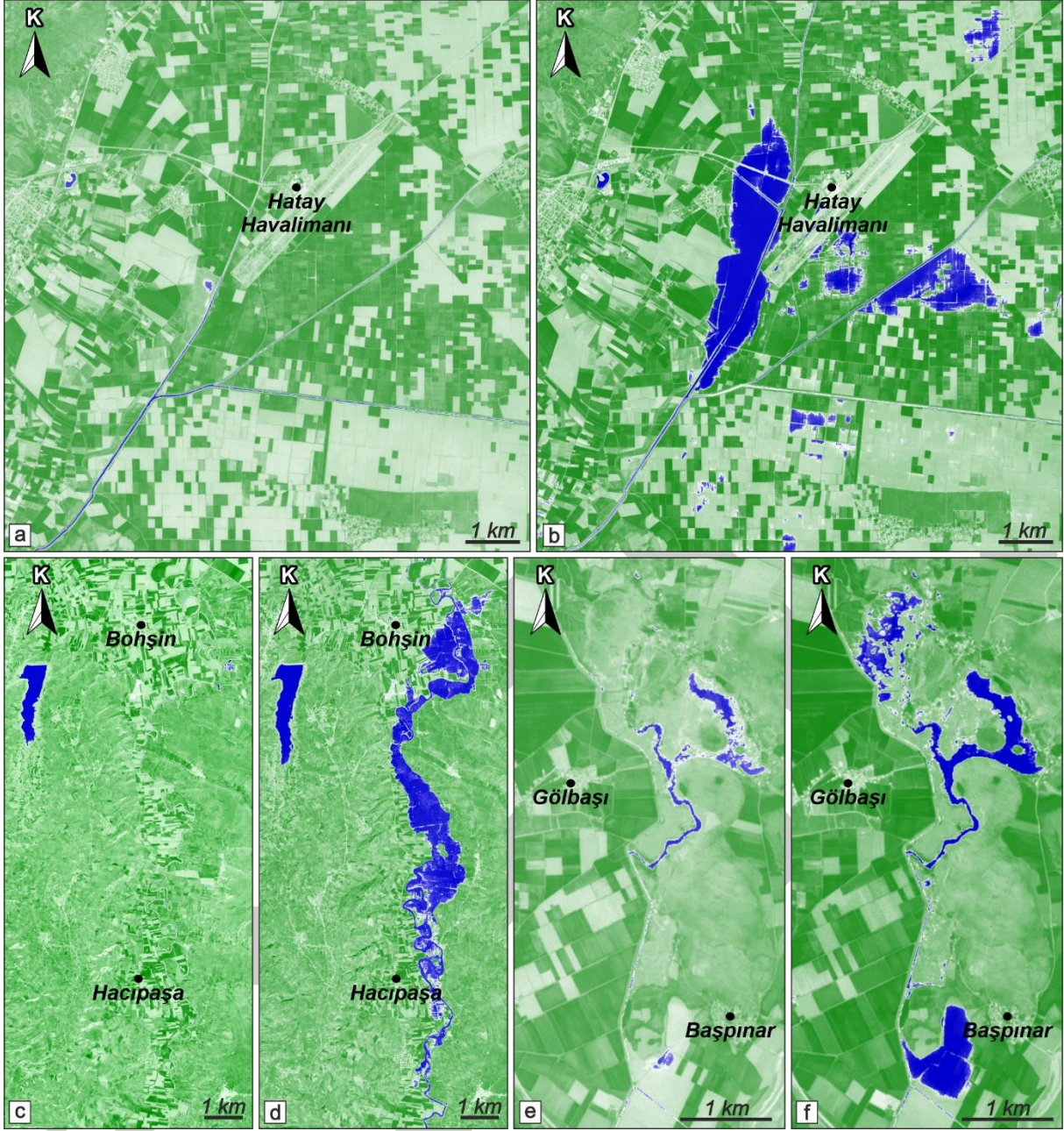
Gölbaşından hemen sonra çatallanarak iki kol olarak devam eden yüzey kırığı, kuzeybatıda Harmanlı mahallesine kadar ve kuzeydoğuya doğru kesikli olarak Malatya ilinin Doğanşehir ilçesine bağlı Kurucaovanın güneybatısına kadar devam eder. Çardak Fayı'nda ise kar örtüsüne rağmen takibi nispeten daha kolay olan kırık, yaklaşık D-B uzanımında ve 105 km olarak haritalanabilmiştir. Batı ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Göksun ilçesinde çatallanarak biten kırık, Yeşilköy mahallesinin güneyinde yaklaşık K-G uzanımlı ve 6 km uzunluğunda bir yüzey deformasyonu da oluşturduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.3 İlk iki büyük depreme ait HGM, Maxar ve Airbus'dan elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntüler üzerinden takip edilebilen yüzey kırığı.

Özellikle ilk büyük deprem sırasında ve sonrasında meydana gelen sıvılaşmalar ise ağırlıklı olarak Hatay ili ve çevresinde genellikle Amik Ovası boyunca gözlenmiştir. Depremin ardından Sentinel 2 uydusunun deprem öncesi ve sonrası görüntülerinin NDWI bant matematiği $(B3 - B8)/(B3 + B8)$ kullanılarak sıvılaşma alanlarının ilk verilerle belirlenmesi çalışmaları

yapılmıştır. Görüntüler kullanılırken bulut örtüsünün %30'dan daha az olmasına dikkat edilmiştir. Depremden önceki uygun görüntü tarihi 28 Ocak 2023 olarak belirlenmiş olup deprem sonrası görüntü tarihi için ise 09 Şubat 2023 günü uygun görülmüştür. Belirlenen günler için görüntüler Sentinel Hub EO Browser kaynağından elde edilmiştir. Bant matematiği yapılmış olan uydu görüntülerinin üzerindeki sınırlama alanları ArcGIS programı üzerinden poligonları çizilerek, depremin etkilemiş olduğu ve analizin yapıldığı 50.473,320 km² alan içerisinde toplam sınırlama alanı 36.741,531 km² olarak hesaplanmıştır. Buna göre sınırlamanın en yoğun olduğu alanlar Amik Ovası içerisinde; Hatay Havalimanı ve çevresi (Şekil 4.4a ve b), ovanın güneyinde Türkiye-Suriye sınırı boyunca Hatay ilinin Antakya ilçesine bağlı Bohşin mahallesinden başlayıp Altınözü ilçesine bağlı Hacıpaşa mahallesine kadar devam eden alanda (Şekil 4.4c ve d), ovanın kuzeyinde yer alan Hatay ilinin Kırıkhan ilçesinin Gölbaşı ve Başpınar mahalleri boyunca (Şekil 4.4e ve f), ve ovanın en kuzeyindeki Hatay ilinin Hassa ilçesinin Mazmanlı mahallesi çevresinde belirlenmiştir. Diğer yandan, kuzeye doğru yüzey kırığına yakın alanlarda Kahramanmaraş ilinin Türkoğlu ilçesinin merkezinde de yayılım gösteren bazı sınırlama yapıları olduğu tespit edilmiştir. İlksel yaklaşımda sınırlama yapılarının, özellikle ilk büyük deprem etki alanı içinde ve depreminin yüzey kırığına koşut olarak ve ağırlıklı olarak Amik Ovası içerisinde yoğunlaştığı yorumu yapılmıştır.



Şekil 4.4 Deprem ile ilişkili sivilaşmanın en yoğun olduğu alanların NDWI bant matematiği yapılmış Sentinel 2 görüntüleri (mavi alanlar suya doymun sivilaşma alanlarını temsil eder). (a) Hatay Havalimanı deprem öncesi (b) sonrası görüntüsü, (c) Bohşin ve Hacipaşa mahalleri arasında kalan alanın deprem öncesi (d) sonrası görüntüsü, (e) Gölbaşı ve Başpınar mahalleri çevresinin deprem öncesi (f) sonrası görüntüleri.

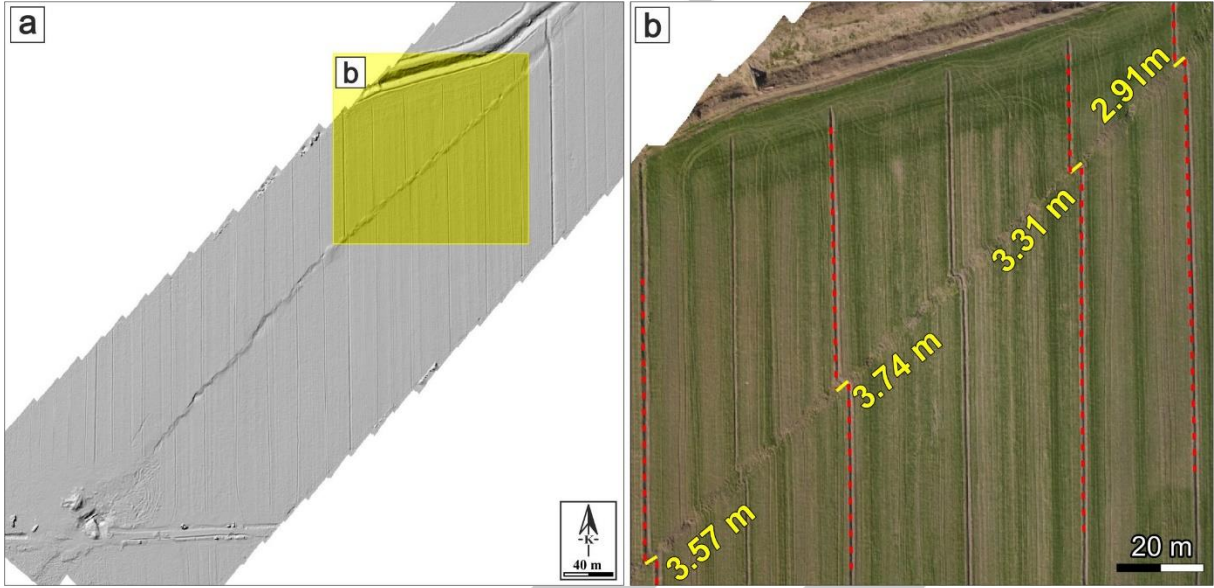
4.3 RTK-GNSS Modüllü İHA Görüntüleri ile Hassas Yüzey Kırığı Modellemesi Çalışmaları

Uzaktan algılama çalışmaları ile net bir şekilde belirlenen sismotektonik deformasyon yapılarında özellikle ötelenme miktarlarının ölçümü ve deformasyon desenlerinin belirlenmesi adına gelecek dönemlerde izlenemez hale gelebilecek, daha sonraki dönemlerde yapılacak yer bilimsel çalışmalara altlık sağlaması amacıyla en belirgin alanlarda sayısallaştırma çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışmalarda sahada TUSAGA-Aktif'den (Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif) alınan Real Time Kinematic (RTK) / Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) - Global Navigation Satellite System (GNSS) / Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (KNUS) konum bilgileriyle desteklenmiş İHA ile veriler toplanmış sonrasında ofis çalışmalarında üçboyutlu modeller üretilerek üzerlerinde santimetre hassasiyetinde ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler birinci büyük depremde yüzey kırığı gerçekleşmiş DAFZ üzerindeki Amanos, Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentleri ile ikinci büyük depremde yüzey kırığı oluşturmuş Çardak ve Sürgü fayları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu noktada her üç segment ve iki fay için üzerlerindeki asismik ve postsismik deformasyonlarda gelişebileceği öngörüsüyle en uygun şekilde modellenmiş lokasyonlardaki ilksel sonuçlar yorumsuz şekilde paylaşılacaktır.

İlk modelleme çalışması birinci büyük depremin etki alanında ve DAFZ'nin Amanos segmentinin kuzey ucunda gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş iline bağlı Türkoğlu ilçe merkezinin yaklaşık 3,5 km doğusundaki alüvyonel düzlüklerde yapılan otonom uçuşla toplamda 47 profil üzerinden 5,3 cm/px çözünürlükte 401 ortofotodan yararlanılarak yüzey kırığının üç boyutlu ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuş, bu modelde kırığın en karakteristik olarak gözlemlendiği yaklaşık 400 metrelik bölümü Şekil 4.5a'da sunulmuştur. Bu modelde yüzey kırığının tek bir kolda kesintisiz şekilde ilerlediği gözlenmiştir. Modeli oluşturan ortofotolar üzerinde yapılan ölçüm çalışmalarında tarla sınırları ve sürülme hatları boyunca yüzey kırığının yatay düzlem üzerinde 3,74 m ile 2,91 m arasında değişen sol yanal atımlara sebebiyet verdiği belirlenmiştir (Şekil 4.5b).

Sıralamada ikinci modelleme çalışması yine birinci büyük depremin etki alanında ve DAFZ'nin Türkoğlu-Pazarcık segmentinin kuzey ucunda gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş iline bağlı Dulkadiroğlu ilçesine bağlı Tevekkelli mahallesinin merkezinden yaklaşık 650 m güneyindeki alüvyonel düzlüklerde yapılan otonom uçuşla toplamda 12 profil üzerinden 5,3 cm/px çözünürlükte 316 adet ortofotodan yararlanılarak yüzey kırığının üç boyutlu ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuş, bu modelde kırığın en karakteristik olarak gözlemlendiği

yaklaşık 1,1 kilometrelik bölümü Şekil 4.6a’da sunulmuştur. Bu modelde de yüzey kırığının kabaca tek bir kolda kesintisiz bir şekilde ilerlediği belirlenmiştir. Modeli oluşturan ortofotolar üzerinde ve yüzey kırığının alan içindeki orta noktasında yapılan ölçüm çalışmalarında iki tarla sınırını ayıran toprak yolda yatay düzlem üzerinde 3,51 m’lik sol yanal bir ötelenme gerçekleştirildiği hesaplanmıştır (Şekil 4.6b).



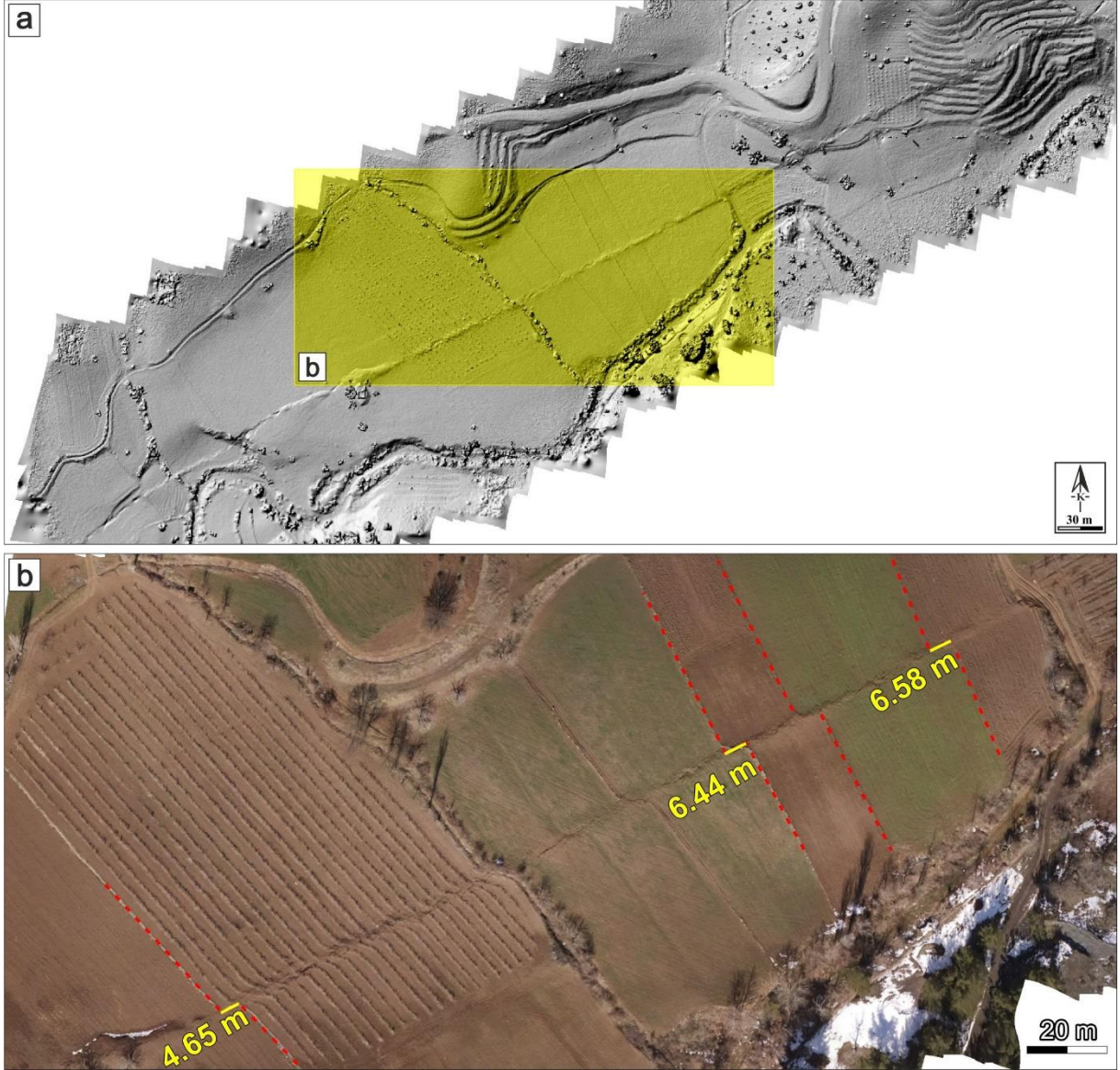
Şekil 4.5 DAFZ’nin Amanos segmentinin kuzey ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Türkoğlu ilçe merkezi yakınında gözlenen yüzey kırığından alınan verilerden oluşturulmuş (a) sayısal yükseklik modeli ve (b) alandan seçilmiş ortofoto üzerinden hesaplanmış sol yanal ötelenme miktarları.

Üçüncü alandaki çalışmalar yine benzer şekilde DAFZ’nin Türkoğlu-Pazarcık segmentinin en kuzeydoğu ucunda gerçekleştirilmiştir. Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesine bağlı Büyüknacar mahallesinde gerçekleştirilen otonom uçuşlarda toplamda 22 profil üzerinden 5,3 cm/px çözünürlükte 242 ortofotodan yararlanılarak yüzey kırığının üç boyutlu ve sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuş, bu modelde kırığın en karakteristik olarak gözlemlendiği yaklaşık 833 metrelik bölümü Şekil 4.7a’da sunulmuştur. Bu modelde de yüzey kırığının tek bir kolda kesintisiz şekilde ilerlediği gözlemlenmiştir. Modeli oluşturan ortofotolar üzerinde yapılan ölçüm çalışmalarında tarla sınırları ve sürülme hatları boyunca yüzey kırığının yatay düzlem üzerinde 4,65 m ile 6,58 m arasında değişen sol yanal ötelenmelerle karakteristik olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.7b).

DAFZ'nin Erkenek segmentinin en güneybatı ucunda ise dördüncü görüntüleme alanı yer almaktadır. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesine bağlı Ozan mahallesinin yaklaşık 2 km kuzeydoğusunda yapılan otonom uçuşla toplamda 34 profil üzerinden 5,3 cm/px znrlkte 375 adet ortofotodan yararlanılarak yüzey kırığının üç boyutlu ve sayısal ykseklilik modelleri oluşturulmuş, bu modelde kırığın en karakteristik olarak gözlendiği yaklaşık 900 metrelik bölümü şekil 4.8a'da verilmiştir. Modeli oluşturan ortofotolar üzerinde ve yüzey kırığının alan içindeki güneybatı ucundan yeni dikilmiş zeytinlikteki iki toprak yolda yatak düzlem üzerinde güneybatıdan kuzeydoğuya doğru sırasıyla 2,58 ve 2,04 metrelik sol yanal atımların geliştiği hesaplanmıştır (şekil 4.8b).



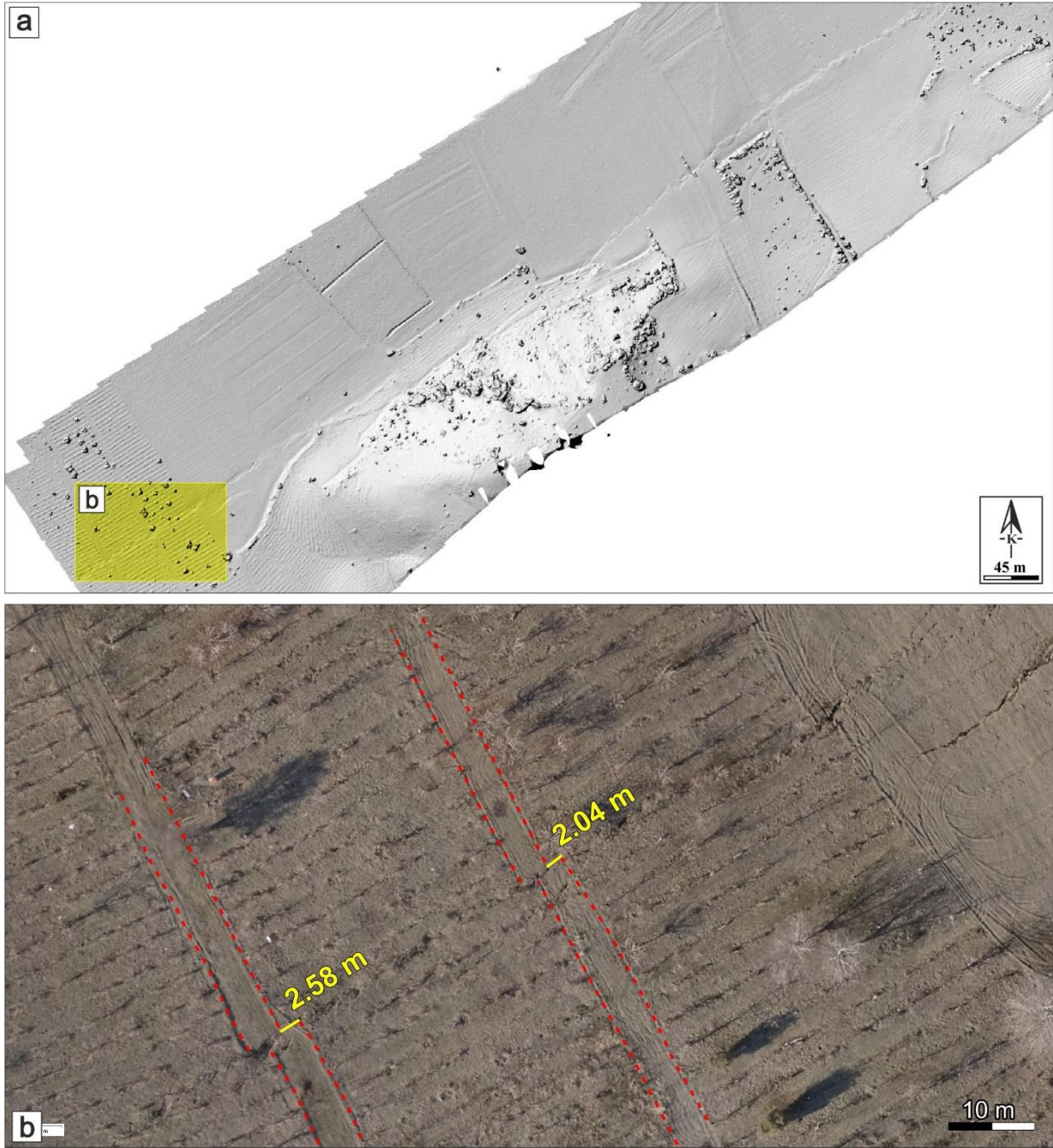
Şekil 4.6 DAFZ'nin Türkoğlu-Pazarcık segmentinin güneybatı ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Dulkadiroğlu ilçesine bağlı Tevekkelli mahallesinde gözlenen yüzey kırığından alınan verilerden oluşturulmuş (a) sayısal yükseklik modeli ve (b) alandan seçilmiş ortofoto üzerinden hesaplanmış sol yanıl ötelenme miktarları.



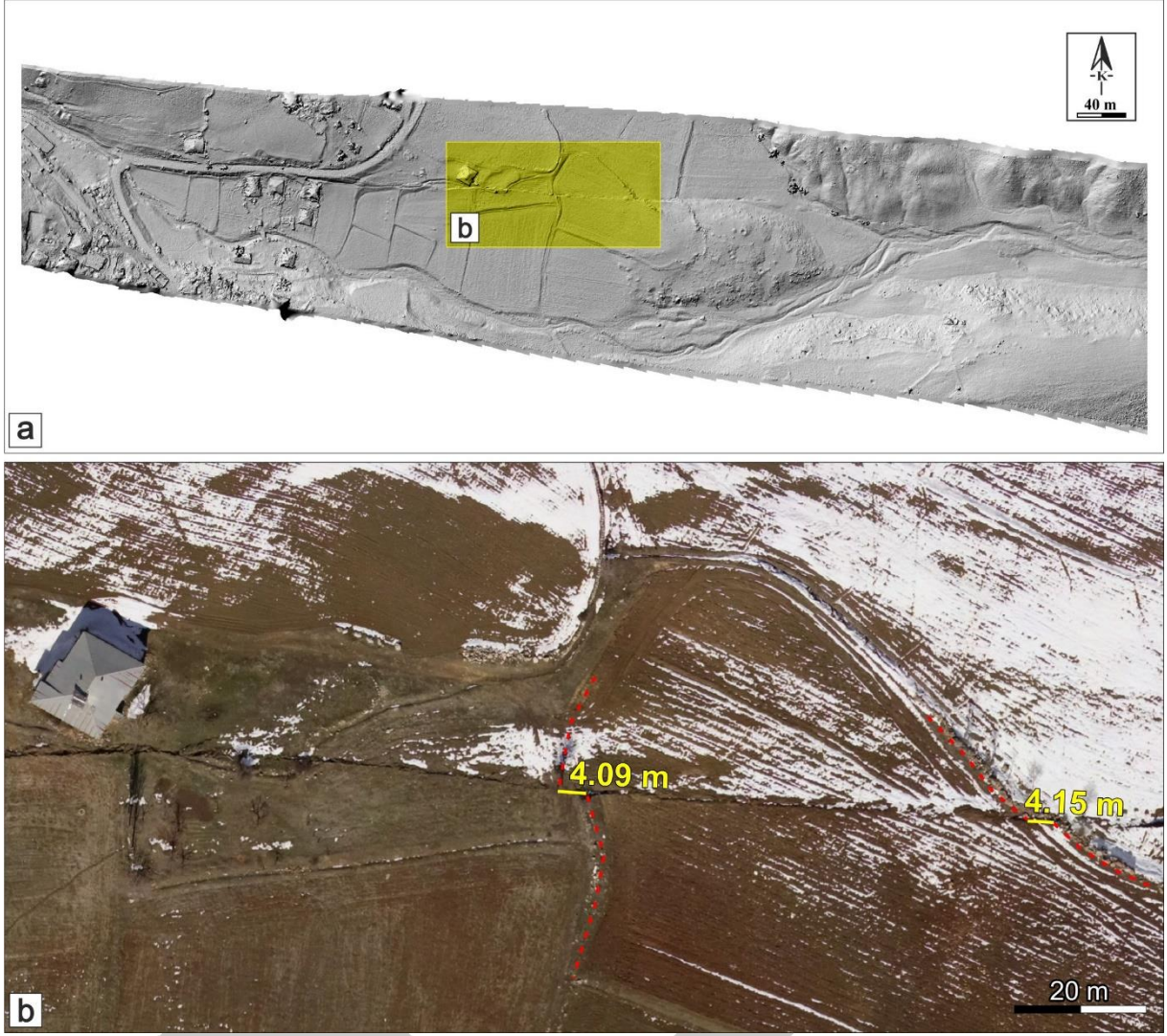
Şekil 4.7 DAFZ'nin Türkoğlu-Pazarcık segmentinin en kuzeydoğu ucunda Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ilçesine bağlı Büyüknacar mahallesinde gerçekleştirilen uçşlardan elde edilen verilerden oluşturulmuş (a) sayısal yükseklik modeli ve (b) alandan seçilmiş ortofoto üzerinden hesaplanmış sol yanal ötelenme miktarları.

Saha çalışmalarında özellikle ikinci büyük depreme kaynaklık eden Sürgü ve Çardak fayları üzerinde de benzer çalışmalar yürütülmüştür. İlk alan Sürgü Fayı'nın en batısında Kahramanmaraş ilinin Nurhak ilçesine bağlı Kullar mahallesinde konumlanmaktadır. Mahalle merkezi içinde 100 metre uçş yüksekliğine sahip görüntülemelerde toplamda 5 profil üzerinden 4,7 cm/px çözünürlükte 264 adet ortofotodan yararlanılmıştır. Oluşturulan modellerde kırığın en karakteristik olarak gözlemlendiği yaklaşık 940 metrelik bölümü Şekil 4.9a'da sunulmuştur. Benzer şekilde ortofotolar üzerinde yüzey kırığının alan içinde küçük bir

akaçlama kanalı ile bir tarla taş duvar sınırında 4,09 ve 4,15 metrelik sol yanal ötelenmeler geliştirdiği belirlenmiştir (Şekil 4.9b).

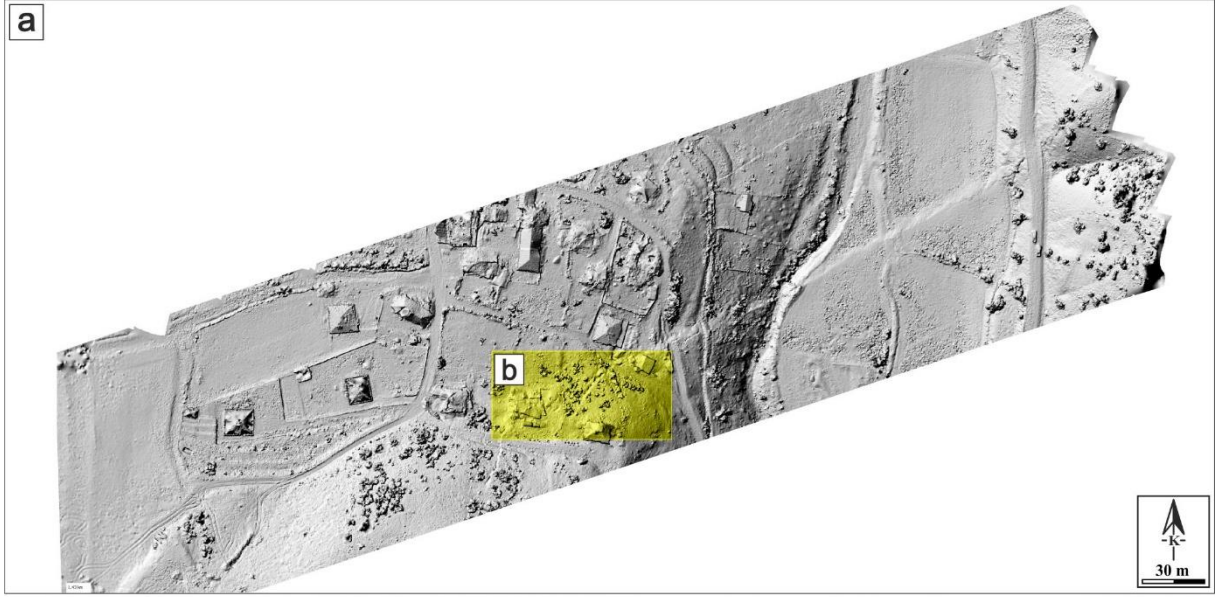


Şekil 4.8 DAFZ'nin Erkenek segmentinin en güneybatı ucunda Adıyaman ili Gölcük ilçesine bağlı Ozan mahallesi çevresinde gözlenen yüzey kırığının (a) sayısal yükseklik modeli ve (b) alandan seçilmiş ortofoto üzerinden hesaplanmış sol yanal ötelenme miktarları.



Şekil 4.9 Sürgü Fayı'nın en batı ucunda Kahramanmaraş ilinin Nurhak ilçesine bağlı Kullar mahallesinde yapılan otonom uçuşa ait verilerden elde edilmiş (a) sayısal yükseklik modeli ve (b) alandan seçilmiş ortofoto üzerinden hesaplanmış yatay düzlem üzerindeki sol yanal ötelenme miktarları.

Bu çalışmada sunulacak son alan ise Çardak Fayı'nın dışı konkav geometrisinin orta noktasından itibaren batı bölümünde bulunan Kahramanmaraş ilinin Göksun ilçesine bağlı Kale mahallesinde bulunmaktadır. Otonom uçuş için çokta elverişli olmayan bu alanda toplamda 32 profil üzerinden 5,2 cm/px çözünürlükte 397 adet ortofotodan yararlanılarak kırığın en karakteristik olarak gözlemlendiği yaklaşık 500 metrelik bölümü modellenmiştir (Şekil 4.10a). Benzer şekilde birleştirilmiş ortofotolar üzerinde yüzey kırığının alan içindeki bir tarla sınır sarplığında, yatay düzlem üzerinde 1,59 metrelik sol yanal ötelenme oluşturduğu belirlenmiştir (Şekil 4.10b).



Şekil 4.10 Çardak Fayı'nın oluşturduğu yüzey kırığının Kahramanmaraş ili Göksun ilçesine bağlı Kale mahallesinde yapılan otonom uçuşla modellenmiş (a) sayısal yükseklik modeli ve (b) alandan seçilmiş ortofotolar üzerinden hesaplanmış yatay düzlem üzerindeki sol yanıl ötelenme miktarı.

ÖN SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Aletsel dönem içinde sol yanal faylanma mekanizmalarına sahip Dünya'daki en büyük depremlerden ikisi 6 Şubat 2023 tarihinde ve birbirlerinden sadece 9 saat ara ile meydana gelmiştir. Bunlardan Kahramanmaraş ili Pazarcık merkezli ilki (Mw: 7,7) Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) içindeki Amanos, Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentlerinde, ikinci ise Kahramanmaraş Elbistan merkezli (Mw: 7,6) Çardak Fayı, Sürgü Fayı'nın batı ucu ve olasılı olarak Doğanşehir Fay Zonu üzerinde meydana gelmiştir. Üçüncü deprem ise (Mw: 6,4) 20 Şubat 2023 tarihinde saat 20.04'de Hatay ili Defne merkezli olarak Antakya Fay Zonu (AFZ) deformasyon alanı içinde gerçekleşmiştir.

Yapılan saha gözlemlerinde bu depremlere ait deformasyon yapıları sismogravitasyonel (sarsıntı kaynaklı) ve sismotektonik (yüzey kırığı kaynaklı) olarak iki ana başlık altında ele alınmıştır. Sismotektonik deformasyonlar yüzey kırığı şeklinde gerek arazi gerekse uzaktan algılama yöntemleriyle DAFZ'nin Amanos, Türkoğlu-Pazarcık ve Erkenek segmentleri ile Çardak ve Sürgü Fayı'nın batı ucu boyunca yaklaşık 400 km'nin üzerinde bir boyutta izlenebilmiştir. Saha verileri ve RTK-GNSS modüllü İHA görüntüleriyle oluşturulan cm hassasiyetli sayısal yüzey modelleri sayesinde yapılan ön değerlendirmelerde, ilk büyük depreme ait olan yüzey kırığının 7 metreye varan baskın olarak sol yanal ötelenmelere ve yer yer 2 metreye ulaşan düşey bileşenlere sahip olduğu, ikinci büyük depreme ait yüzey kırığının ise yine sol yanal bir deformasyon desenine sahip olduğu belirlenmiştir. Bu noktada ilk gözlemler, yeni gelişen yüzey kırıklarının yer yer eski fay sarplıklarını ve/veya breşik zonları takip ettiği görülse de, genelde yeni taze ve daha önce çalışmamış deformasyon alanları oluşturduğu yorumlanmıştır.

Sismogravitasyonel deformasyon yapıları ise gerek ilgili yapısal süreksizlere yakın konumlarda gerekse uzak alanlarda oldukça yoğun şekilde gözlenmiştir. Bu yapılar kendi aralarında sıvılaşma yapıları (simitler) ve kütle hareketleri şeklinde iki ana başlık altında değerlendirilmiştir. Yapılan ön değerlendirmelerde sıvılaşma yapıları sırt tipi, yarık tipi, kum volkanları ve bacaları şeklinde, kütle hareketleri ise rotasyonel ve ötelenme tipi heyelanlar, kitle kaymaları, kaya düşmesi, kaya devrilmesi, döküntü akması, döküntü çığı, toprak akması ve yanal yayılma yapıları olarak yorumlanmıştır. Sıvılaşma ve yanal yayılma yapılarının özellikle Amik Ovası içinde, kütle hareketlerinden heyelan ve kitle kaymaları tipi deformasyonların ise baskın olarak Hatay il sınırları güneyindeki Miyosen - Pliyosen yaşlı sedimentler kayalarda

yoğunlaştığı gözlenmiştir. Kaya düşmesi, devrilmesi ve döküntü akması ve çığı gibi yapıların ise genelde Paleozoyik - Mezozoyik yaşlı jeolojik formasyonlardan yapıları dik yamaçların önünde geliştiği belirlenmiştir. Bu yapıların genelde yüzey kırığı izine paralel şekilde morfolojik sarplıklarda yoğunlaştığı yorumlanmıştır.

Uzaktan algılama çalışmaları içindeki radar interferometri sonuçları sayesinde elde edilen maksimum deformasyon, tahmini yüzey kırığı ve kütle hareketleri lokasyonları tespit edilmiş, arazi çalışmaları sırasında depreme ait deformasyon yapıları, yüzey kırığı haritalamaları ve ölçümleri, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, RTK destekli ve yüksek çözünürlüklü İHA'larla elde edilen görünür spektrum özellikli bantlar üzerinden yapılmıştır. Bu sayede verimli arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş, saha koşulları sebebiyle ulaşılması mümkün olmayan alanlar incelenebilir kılınmıştır. Ön saha çalışmaları sonucu izlenebilen yaklaşık 400 km'lik toplam yüzey kırığının %85'i uzaktan algılama yöntemleri ile de net şekilde izlenebilmiştir. DInSAR yöntemiyle bulunan ko-sismik deformasyon deseni, her iki yöre için de doğrultu atımlı fay deseni göstermekle beraber, yapılan ayrıştırma (decomposition) uygulamaları ile arazide izlenebilen düşey bileşen içeren hareketlerin varlığı belirlenmiştir. Ayrıca bu depremlerle birlikte ciddi hasarlara neden olan zemin sıvılaşması alanları tespit edilmiş, özellikle 7,7 Mw Kahramanmaraş depreminin yüzey kırığı boyunca, kırığa koşut olarak ve ağırlıklı olarak Amik Ovası içerisinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Ön incelemeler sonucu depremlerin etki bölgesinde hesaplanan toplam sıvılaşma alanı 36.741,531 km²'dir. Deprem sonrası yeni yapılaşma için belirlenecek alanların seçilmesinde bu çalışmalara ek olarak yapılacak hassas uzaktan algılama çalışmaları, gelecekte yaşanacak olası zemin kaynaklı hasar ve can kayıplarının önüne geçilmesinde önem arz edecektir. İnterferometri ön sonuçlarından da anlaşılacağı üzere, deprem sonrası 10 ilimizi etkileyen kalıcı yeryüzü şekli değişimi meydana gelmiştir. Bu alanın büyüklüğü sayısal olarak 90.000 km²'nin üzerinde hesaplanmıştır. Bu doğrultuda Ülkemiz toplam yüz ölçümünün yaklaşık %11,5'inin, doğu ve güneydoğusunun ise yarıya yakın alanının sadece ana şoklar sebebiyle etkilendiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/last-earthquakes.html>
- Airbus, <https://www.airbus.com/en>
- Akyuz, H.S., Altunel, E., Karabacak, V. ve Yalciner, C.C. (2006). Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey. *Tectonophysics*, 426(3-4), 281-293.
- Allen, C.R. (1969). Active faulting in northern Turkey. Division of Geological Sciences, California Institute of Technology, Contribution no. 1577, USA.
- Ambraseys, N.N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331.
- Ambraseys, N.N. ve Jackson, J.A. (1998). Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
- Arger, J., Mitchell, J. ve Westaway, R.W. (2000). Neogene and Quaternary volcanism of southeastern Turkey. Geological Society, London, Special Publications, 173(1), 459-487.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler. *MTA Dergisi*, 78, 33-39.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975). Türkiye’de bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 29-41.
- Barka, A.A. (1992). The north Anatolian system. *Annales Tectonicae*, 6, 164-165.
- Barka, A.A. ve Kadinsky-Code, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, 663-684.
- Barka, A.A. ve Reilinger R. (1997). Active Tectonics of Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic ve seismicity data, *Annali Di Geofisica*, X2(3), 587-610.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3-30.

- Brew, G., Lupa, J., Barazangi, M., Sawaf, T., Al-Imam, A. ve Zaza, T. (2001). Structure and tectonic development of the Ghab basin and the Dead Sea fault system, Syria. *Journal of the Geological Society*, 158 (4), 665-674.
- Büyükaşikoğlu, S. (1980). Sismoloji verileri göre doğu Akdeniz'in kuzeyinde ve Güneydoğu Anadolu'da Avrasya-Afrika levha sinirinin özellikleri. *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni*, 29, 58-74.
- Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Parrot, J.F., Yürür, T., ve Gündoğdu, N. (1994). The Maras Triple Junction (southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B10), 20225-20242.
- Cetin, H., Güneşli, H. ve Mayer, L. (2003). Paleoseismology of the Palu–Lake Hazar segment of the East Anatolian fault zone, Turkey. *Tectonophysics*, 374(3-4), 163-197.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia, a young collision zone, in; M.P Coward ve A.C: Ries, *Collision Tectonics* (eds), Geological Society Special Publication, 19, 3-36.
- Dewey, J.F., Pitman, W.C.III., Ryan, W.B.F. ve Bonnin, J. (1973). Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. *Geological Society of America Bulletin*, 84, 3137-3180.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, I (90), 84-92.,
- Dramis, F., Blumetti, A.M. (2005). Some considerations concerning seismic geomorphology and paleoseismology. *Tectonophysics*, 408(1-4), 177-191.
- Duman, T.Y. ve Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. *Geological Society, London, Special Publications*, 372.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. ve Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3229-3275.

Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z. (1967). Türkiye ve Civarı'nın Deprem Kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 yılının sonuna kadar). 24, İTĞ Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, İstanbul.

European Space Agency, <https://www.esa.int/>

Eyidoğan, H., Güçlü, U., Utku, Z. ve Değirmenci, E. (1991). Türkiye büyük depremleri makrosismik rehberi (1900-1988). İTÜ MF Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yayınları, 200.

Freund, R. (1965). A model of the structural development of Israel and adjacent areas since Upper Cretaceous times. *Geological Magazine*, 102(3), 189-205.

Freund, R., Zak, I. ve Garfunkel, Z.W.I. (1968). Age and rate of the sinistral movement along the Dead Sea Rift. *Nature*, 220(5164), 253-255.

Garfunkel, Z. (1981). Internal structure of the Dead Sea leaky transform (rift) in relation to plate kinematics. *Tectonophysics*, 80(1-4), 81-108.

Gomez, F., Meghraoui, M., Darkal, A. N., Hijazi, F., Mouty, M., Suleiman, Y., Sbeinati R., Darawcheh R., Al-Ghazzi R. ve Barazangi, M. (2003). Holocene faulting and earthquake recurrence along the Serghaya branch of the Dead Sea fault system in Syria and Lebanon. *Geophysical Journal International*, 153(3), 658-674.

Guidoboni, E. ve Comastri, A. (2005). *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century* (p. 1037). Rome, Italy: Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia.

Gülen, L., Barka, A. ve Toksöz, M.N. (1987). Kıtaların çarpışması ve ilgili kompleks deformasyon: Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları. *Yerbilimleri*, 14, 319-336.

Gürboğa, Ş., ve Gökçe, O. (2019). Paleosismoloji kataloğu: 2012 yılı öncesi Türkiye'deki aktif faylar üzerinde yapılmış hendek çalışmaları. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, (159), 65-89.

Güvercin, S.E., Karabulut, H., Konca, A.Ö., Doğan, U. ve Ergintav, S. (2022). Active seismotectonics of the East Anatolian Fault. *Geophysical Journal International*, 230, 50-69.

- Hempton, M.R. (1987). Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. *Tectonics*, 6, 687-705.
- Hempton, M.R., Dewey, J.F. ve Şaroğlu, F. (1981). The East Anatolian Transform Fault: along strike variations in geometry and behavior. *EOS Transac*, 62,393.
- Herece, E. (2008a) DAF Boyu Jeoloji Haritası Kırıkhan ve Hacıpaşa Bölütleri EK 13 (P36, P37, R36), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Herece, E. (2008b) Doğu Anadolu Fay (DAF) Jeoloji Atlası 1/100.000 Ölçekli Vektör Fay Haritası EK 10 (Kırıkhan Bölütü O36), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Herece, E. (2008). Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications, Ankara, Serial Number, 13, 359.
- Highland, L., Bobrowsky, P.T. (2008). The landslide handbook: a guide to understanding landslides (p. 129). Reston, VA, USA: US Geological Survey.
- Hubert-Ferrari, A., Lamair, L., Hage, S., Avşar, U., El Ouahabi, M. ve Çağatay, N. (2015). Paleoseismological record of the Hazar Lake along the East Anatolian Fault (Turkey). In INQUA Congress.
- INGV, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <http://autorcmt.bo.ingv.it/quicks.html>
- Jackson, J. ve McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, 185-264.
- Kalafat, D., Günes, Y., Kekovali, K., Kara, M., Deniz, P. ve Yilmazer, M. (2011). A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 ($M \geq 4.0$) (in Turkish). Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Istanbul, 1049, 640 pp.
- Karabacak, V. (2007). Ölü deniz fay zonu kuzey kesiminin kuanterner aktivitesi. Doktora tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 286, Eskişehir.

- Karabacak, V. ve Altunel, E. (2013). Evolution of the northern Dead Sea Fault Zone in southern Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 282-291.
- Karabacak, V., Altunel, E., Meghraoui, M., ve Akyüz, H. S. (2010). Field evidences from northern Dead Sea Fault Zone (South Turkey): new findings for the initiation age and slip rate. *Tectonophysics*, 480(1-4), 172-182.
- Karabacak, V., Akyüz, H.S., Kıyak, G.N., Altunel, E., Meghraoui, M., Yönlü, Ö. (2012). Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç Kuvaterner aktivitesi, Tübitak Projesi, No: 109Y043, Eskişehir, 418 s.
- Karig, D.E. ve Kozlu, H. (1990). Late Palaeogene-Neogene evolution of the triple junction region near Maraş, south-central Turkey. *Journal of the Geological Society*, 147(6), 1023-1034.
- Kelling, G., Gökçen, S.L., Floyd, P.A. Ve Gökçen, N. (1987). Neogene tectonics and plate convergence in the eastern Mediterranean: new data from southern Turkey. *Geology*, 15(5), 425-429.
- Kempler, D. ve Garfunkel, Z. (1991). The northeast Mediterranean triple junction from a plate kinematics point of view. *Bull. Tech. Univ. Istanbul*, 44 (spec. issue), 425-454.
- Kiratzi, A.A. (1993). A study on the active crustal deformation of the North and East Anatolian Fault Zones. *Tectonophysics*, 225(3), 191-203.
- KOERI, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM), <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/lst6.asp>
- LePichon, X. ve Gaulier, J.M. (1988). The rotation of Arabia and the Levant fault system. *Tectonophysics*, 153, 271-294.
- Lovelock, P.E.R. (1984). A review of the tectonics of the northern Middle East region. *Geological Magazine*, 121(6), 577-587.
- Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E. ve Gündoğdu, N. (1992). The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt. *Tectonophysics*, 204, 1-15.

- Mahmoud, Y., Masson, F., Meghraoui, M., Cakir, Z., Alchalbi, A., Yavasoglu, H., Yönlü O., Daoud M., Ergintav S. ve Inan, S. (2013). Kinematic study at the junction of the East Anatolian fault and the Dead Sea fault from GPS measurements. *Journal of Geodynamics*, 67, 30-39.
- Mart, Y. ve Rabinowitz, P.D. (1986). The northern red sea and the dead sea rift. *Tectonophysics*, 124(1-2), 85-113.
- Maxar Technologies, <https://www.maxar.com/>
- McKenzie, D.P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- Meghraoui, M. (2015). Paleoseismic History of the Dead Sea Fault Zone. *Encyclopedia of Earthquake Engineering*.
- Meghraoui, M., Cakir, Z., Masson, F., Mahmoud, Y., Ergintav, S., Alchalbi, A. ve Altunel, E. (2011). Kinematic modelling at the triple junction between the Anatolian, Arabian, African plates (NW Syria and in SE Turkey). In *Geophysical Research Abstracts*, 13, EGU2011-12599.
- Meghraoui, M., Gomez, F., Sbeinati, R., Van der Woerd, J., Mouty, M., Darkal, A.N., Radwan, Y., Layyous I., Al Najjar, H., Darawcheh R., Hijazi, F., Al-Ghazzi, R. ve Barazangi, M. (2003). Evidence for 830 years of seismic quiescence from palaeoseismology, archaeoseismology and historical seismicity along the Dead Sea fault in Syria. *Earth and Planetary Science Letters*, 210(1-2), 35-52.
- Melgar, D., Ganas, A., Taymaz, T., Valkaniotis, S., Crowell, B.W., Kapetanidis, V., Tsironi, V., Yolsal-Çevikbilen, S. ve Öcalan, T. (2020). Rupture kinematics of 2020 January 24 Mw 6.7 Doğanyol-Sivrice, Turkey earthquake on the East Anatolian Fault Zone imaged by space geodesy. *Geophysical Journal International*, 223, 862-874.
- Muehlberger, R.W. (1981). The splintering of the Dead Sea Fault Zone in Turkey. *Yerbilimleri (Bull. Inst. Earth Science, Hacettepe University)*, 8, 123-130.
- Muehlberger, R.W. ve Gordon, M.B. (1987). Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey. *Journal of Structural Geology*, 9, 899-903.

- Nalbant, S.S., McCloskey, J., Steacy, S. ve Barka, A.A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3-4), 291-298.
- Nur, A. ve Ben-Avraham, Z. (1978). The eastern Mediterranean and the Levant: tectonics of continental collision. *Tectonophysics*, 46(3-4), 297-311.
- Perinçek, D. ve Çemen, İ. (1990). The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey. *Tectonophysics*, 172, 331-340.
- Pınar, N. ve Lahn, E. (1952). Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu. 6-36, T.C. Bayındırlık Bakanlığı Yapı ve İmar İşleri Yayınları, Ankara.
- Quennell, A.M. (1958). The structural and geomorphic evolution of the Dead Sea Rift. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 114(1-4), 1-24.
- Quennell, A.M. (1984). The western Arabia rift system. Geological Society, London, Special Publications, 17(1), 775-788.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R. ve diğ. (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.
- Rojay, B., Heimann, A. Ve Toprak, V. (2001). Neotectonic and volcanic characteristics of the Karasu fault zone (Anatolia, Turkey): the transition zone between the Dead Sea transform and the East Anatolian fault zone. *Geodinamica Acta*, 14(1-3), 197-212.
- Rotstein, Y. (1984). Counterclockwise rotation of the Anatolian block. *Tectonophysics*, 108(1-2), 71-91.
- Selçuk, H. (1985). Kızıldağ-Keldağ-Hatay dolayının jeolojisi ve jeodinamik evrimi. Ankara: MTA. Enst., Jeoloji Etütleri Dairesi Derleme Raporu No: 7787.
- Sentinel HUB EO Browser, <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>
- Seymen, İ., ve Aydın, A. (1972). The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian fault zone. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 79(79), 8-12.

- Steinitz, G. Ve Bartov, Y. (1992). The Miocene-Pleistocene history of the Dead Sea segment of the Rift in light of K-Ar ages of basalts. *Israel Journal of Earth-Sciences*, 38(2-4), 199-208.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D.ve Altınok, Y. (1981). Türkiye Çevresinin Deprem Kataloğu (M.Ö. 2100 – M.S. 1900). TÜBİTAK, Proje No: TBGA-341, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992). Türkiye diri fay haritası. Ölçek 1:2.000.000, MTA Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Şengör, A.M.C. (1980). Türkiye Neotektoniğinin Esasları. Türkiye Jeoloji Konferansları Serisi 2, Ankara, 40 s.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. (1985). Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study. In K Biddle, N. Christie-Blick (eds), *Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publications*, 37, 227-264.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C. ve Yörük, A. (2008). The earthquake catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(2), 405-418.
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., Heimann, A. ve Koçbulut, F. (2004). Neotectonic deformation in the transition zone between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone, southern Turkey: a paleomagnetic study of the Karasu Rift volcanism. *Tectonophysics*, 385, 17-43.
- Tatar, O., Sözbilir, H., Koçbulut, F., Bozkurt, E., Aksoy, E., Eski, S., ... ve Metin, Y. (2020). Surface deformations of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ)–Doğanyol (Malatya) earthquake ($M_w=6.8$) along the Pütürge segment of the East Anatolian Fault Zone and its comparison with Turkey's 100-year-surface ruptures. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 2, 385-410.
- Taymaz, T., Eyidoğan, H. ve Jackson, J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*, 106(3), 537-550.

- Taymaz, T., Ganas, A., Yolsal-Çevikbilen, S., Vera, F., Eken, T., Erman, C., ... ve Öcalan, T. (2021). Source mechanism and rupture process of the 24 January 2020 Mw 6.7 Doğanyol–sivrice earthquake obtained from seismological waveform analysis and space geodetic observations on the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Tectonophysics*, 804, 228745.
- Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı – Aktif, <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/>
- Türkiye Cumhuriyeti Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü, <https://www.harita.gov.tr/>
- Türk Havacılık Uzay Sanayi, <https://www.tusas.com/urunler/iha/yuksek-faydali-yuk-kapasitesi/aksungur>
- USGS, United States Geological Survey, <https://www.usgs.gov/>
- Westaway, R. (1994). Present-day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 99, 12071-12090.
- Westaway, R. (2003). Kinematics of the Middle east and Eastern Mediterranean updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 5-46.
- Westaway, R. ve Arger, J.A.N. (1996). The Gölbaşı basin, southeastern Turkey: a complex discontinuity in a major strike-slip fault zone. *Journal of the Geological Society*, 153(5), 729-744.
- Yönlü, Ö., Altunel, Ö., Karabacak, V. ve Akyüz, H.S. (2013). Evolution of the Gölbaşı basin and its implications for the long-term offset on the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Journal of Geodynamics*, 65, 272-281.
- Yönlü, Ö., Altunel, E. ve Karabacak, V. (2017). Geological and geomorphological evidence for the southwestern extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 49, 1-14.
- Yürür, M.T. ve Chorowicz, J. (1998). Recent volcanism, tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian plates in the eastern Mediterranean. *Journal of Volcanology and geothermal Research*, 85(1-4), 1-15.