T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

06 ŞUBAT 2023, 04:17, Mw=7.7, h=9 km
PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ) DEPREMİ

06 ŞUBAT 2023, 13:24, Mw=7.6, h=7 km
ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) DEPREMİ

20 ŞUBAT 2023, 20:04, Mw=6.4, h=22 km
DEFNE (HATAY) DEPREMİ

ÖN DEĞERLENDİRME RAPORU

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Alsancak / İZMİR
03.03.2023

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

RAPORA KATKI KOYANLAR

Prof. Dr. Yeliz YÜKSELEN AKSOY (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Burak FELEKOĞLU (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Okan FISTIKOĞLU (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Gökhan GÖKTÜRKLER (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Ali Hakan ÖREN (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Gürkan ÖZDEN (İnşaat Mühendisliği Bölümü/DAUM)
Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR (Jeoloji Mühendisliği Bölümü/DAUM)
Prof. Dr. Oya ANKAYA PAMUKÇU (Jeofizik Mühendisliği Bölümü/DAUM)
Prof. Dr. Burak ŞENGÖZ (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Murat TANARSLAN (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Ali TOPAL (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Prof. Dr. Halit YAZICI (İnşaat Mühendisliği Bölümü)

Doç. Dr. Serdar AYDIN (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Meriç Aziz BERGE (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Cem POLAT ÇETİNKAYA (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç.Dr. Ayça ÇIRMIK (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Mustafa DOĞAN (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Sadık Can GİRGİN (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Tolga GÖNENÇ (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. İbrahim Serkan MISIR (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Okan ÖNAL (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Derya KAYA ÖZDEMİR (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç.Dr. Emre TİMUR (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Mehmet UTKU Jeofizik Mühendisliği Bölümü/DAUM)
Doç. Dr. Çağlar YALÇINKAYA (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Doç. Dr. Hüseyin YİĞİTER (İnşaat Mühendisliği Bölümü)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Dr. Öğr. Ü. Mehmet KURUOĞLU (İnşaat Mühendisliği Bölümü)

Öğr. Gör. Dr. Özgür BOZDAĞ (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Öğr. Gör. Dr. Özkan Cevdet ÖZDAĞ (DAUM)

Araş. Gör. Dr. Tuğçe ÖZDAMAR KUL (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Araş. Gör. Dr. Aykut TUNÇEL (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)
Araş. Gör. Dr. Mustafa SOFTA (Jeoloji Mühendisliği Bölümü/DAUM)

Öğr. Gör. Zülfikar ERHAN (Jeofizik Mühendisliği Bölümü)

Araş. Gör. Mert Can GÜNAÇTI (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Araş. Gör. Onur ÖZTÜRKOĞLU (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Araş.Gör. Rasim Cem SAKA (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Araş. Gör. Yaşar TANER (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Araş. Gör. Muhammed İkbal TORTUMLUOĞLU (İnşaat Mühendisliği Bölümü)
Araş. Gör. Zeynel Baran YILDIRIM (İnşaat Mühendisliği Bölümü)

Yük. Müh. Metehan ULUĞTEKİN (FBE Jeofizik Müh. AD)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

İçindekiler

ÖNSÖZ **1**

1.JEOLOJİK-JEOMORFOLOJİK ARAZİ GÖZLEMLERİ **2**

1.1 Doğu Anadolu Fay Zonu 2

1.2 Doğu Anadolu Fay Zonu ve Antakya Fayı'nın Tarihsel Deprem Aktivitesi 4

1.3 Yüzey Kırıkları/Deformasyonları Üzerinde Gerçekleştirilen Arazi Çalışmaları 5

2. JEOFİZİK VE JEODEZİK ÖN DEĞERLENDİRME SONUÇLARI **11**

2.1 Sismolojik Değerlendirme 11

2.2 Deprem Bölgesindeki Bouguer gravite verilerine ait çalışmalar 15

2.3 Mw= 7.7 Pazarcık ve Mw= 7.6 Elbistan Depremlerine ait Coulomb Stress (Gerilim) Analizi ..17

2.4 Deprem Bölgesine ait GNSS ve Deformasyon çalışmaları 19

2.5 Hatay-İskenderun İlçesinde Gerçekleştirilen Mikrotremor ve SPAC Çalışmaları 24

3. BİNA HASARLARI ÖN DEĞERLENDİRMESİ **30**

3.1 Yetersiz Temel Performansına Bağlı Bina Hasarları 31

3.2 Sıvılaşmaya Bağlı Hasarlar 31

3.3 Şevlerden Kaya Düşmesine Bağlı Oluşan Hasarlar 35

3.4 Karayolu ve Demiryolu Ulaşım Sistemlerinde Gözlemlenen Hasarlar 38

3.5 Toptan Göçen Binalar 49

3.6 Ağır Hasarlı Binalar 56

3.7 Duvar Hasarlı Binalar 61

3.8 Hasar Görmeyen Binalar ve Yapılar 66

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER **70**

KAYNAKLAR **72**

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

ÖNSÖZ

Bu rapor, 06 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 04.17'de Pazarcık (Kahramanmaraş) dolayında kaydedilen yıkıcı bir deprem (Mw 7.7) ile bu depremden 9 saat sonra Elbistan (Kahramanmaraş) dolayında yerel saat ile 13.24'te (Mw 7.6) kaydedilen ikinci bir yıkıcı deprem (Mw 7.6) ve 19 gün sonra 20 Şubat 2023 tarihinde Defne (Antakya) merkezli 3. Depreme ait saha gözlemleri, sismolojik/jeodezik veriler işe bina hasarları konusundaki bulgu ve değerlendirmeleri içerir (Şekil 1). AFAD kayıtlarında söz konusu ilk depremin koordinatı 37,288K-37,043D, odak derinliği 8,6 km; ikinci depremin koordinatı 38,089K – 37,239D, odak derinliği 7,0 km olarak verilmektedir. Söz konusu depremler Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Malatya, Kilis, Diyarbakır, Adana, Osmaniye ve Şanlıurfa'da çok şiddetli hissedilmiştir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

1. JEOLOJİK-JEOMORFOLOJİK ARAZİ GÖZLEMLERİ

Bu bölümde öncelikle Kahramanmaraş depremlerine kaynaklık eden Doğu Anadolu Fay Zonu tanımlanarak, bu fayın tarihsel deprem aktivitesi ile ilgili bilgiler verilecek ve ana şokun ilk 20 gününde araziden toplanan gözlemsel bulgular sunulacaktır.

1.1 Doğu Anadolu Fay Zonu

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) ile güneybatıda Akdeniz arasında uzanan, ülkemizin deprem riski açısından en önemli sismik kaynakların başında gelir. Önceki çalışmalarda, ilkin Karlıova-Bingöl arasında Altınlı (1963) ve Ketin (1966, 1968) tarafından çizgisellik olarak haritalanan (DAFZ)'nin varlığı, ilk kez Allen (1969) tarafından tanımlanmıştır. Zon, 1971 Bingöl depremi (M: 6,8) sonrasında birçok araştırmacının (Ambraseys, 1970, 1972; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Aydın ve Seymen, 1972) çalışma konusu olmuş ve "Doğu Anadolu Fay Zonu" olarak isimlendirilerek Amik ovasına kadar haritalanmıştır (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975). Literatürde fay zonunun başlangıç yerinin Karlıova (Bingöl) olduğu konusunda fikir birliği sağlansa da fayın uzanımı hakkında farklı görüşler ileri sürülmüştür. Bu kapsamda, bazı araştırmacılar (Görür vd., 1984; Lovelock, 1984; Muehlberger ve Gordon, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Yürür ve Chorowicz, 1998) DAFZ'nin Karlıova (Bingöl) ile Türkoğlu (Kahramanmaraş) üçlü eklemleri arasında bir uzanıma sahip olduğunu belirtirler.

Son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, Duman ve Emre (2013) çalışmasında, DAFZ'yi kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayırarak incelemişlerdir (Şekil 1). Araştırmacılar, Karlıova (Bingöl) ve Antakya arasındaki yaklaşık 580 km uzunluğa sahip olduğunu belirttikleri güneydeki kolu ana kol olarak kabul etmişler ve Amik (Hatay) üçlü ekleminde Ölü Deniz Fay Zonu ve Kıbrıs Yayı ile birleştiğini öne sürmüşlerdir. Yaklaşık 350 km uzunluğa sahip ve İskenderun Körfezi'nde Girne-Misis Fay Zonu ile birleştiğini ifade ettikleri kuzey kolu ise Sürgü-Misis Fay Sistemi olarak adlandırmışlar ve dokuz segmentten oluştuğunu ileri sürmüşlerdir (Şekil 1.1). Kuzey kolun, çalışma alanındaki en doğu segmenti, aynı yazarlar tarafından Sürgü Fayı (segmenti) olarak adlandırılmıştır. Yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan ve Çelikhan (Adıyaman) yakınlarında DAFZ ile birleşen ya da ondan ayrılan bir görüntü veren Sürgü segmenti (SS), bazı çalışmalarda da (Arpat ve Şaroğlu,1975; Yılmaz, 2003) DAFZ'nin bir kolu olarak haritalanmıştır. Bunan karşın, DAFZ kuzey kol ile güney kol arasında transfer görevi gören bu segment üzerine yapılan çalışmalarda, bazı araştırmacılar tarafından (Perinçek ve Kozlu, 1984) Çardak-Sürgü fayı olarak isimlendirilirken, bazı çalışmalarda ise (Şaroğlu vd., 1992) batı bölümünün ayrı bir fay olduğu belirtilerek bu bölüme Çardak fayı adı verilmiştir.

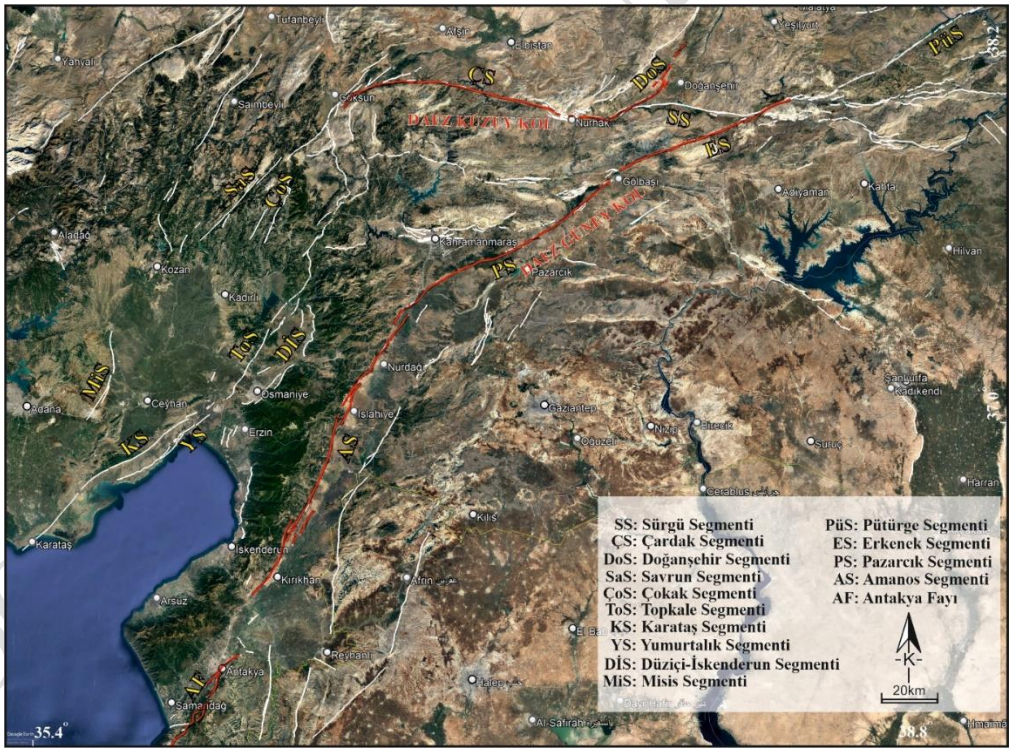
Literatürde sol yanal doğrultu atımlı fay olarak tanımlanan Sürgü segmentini, Koç ve Kaymakçı (2013), uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve sayısal yükseklik modellerine dayanan analizler sonucunda, diğer araştırmacıların aksine, sağ yanal doğrultu atımlı faylara özgü basınç sırtları,

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

yer değiştirmiş çizgisel vadiler ve saptırılmış dere yatakları içeren deformasyon modeli gösterdiğini ve 3 km'lik toplam atıma sahip olduğunu öne sürmüşlerdir.

Bununla birlikte DAFZ'nin oluşum yaşı ile ilgili de literatürde biri Geç Pliyosen (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şengör ve Yılmaz, 1981; Şengör vd., 1985; Dewey vd., 1986; Hempton, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Lyberis vd., 1992; Westaway ve Arger, 2001; Aksoy vd., 2007), diğeri ise Geç Pliyosen- Pleyistosen (Herece ve Akay, 1992; Herece, 2008) olmak üzere iki görüş baskındır.

DAFZ'nin geometrisi ve segmentasyonu için fay zonu boyunca gözlenen sıçrama ve büklüm noktaları esas alınarak 5-16 segment arasında değiştiği öne sürülen birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bazı araştırmacılar (McKenzie, 1976; Hempton vd., 1981; Muehlberger ve Gordon, 1987) DAFZ'yi 5 segmente ayırırken, bazıları (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) 14, Şaroğlu vd. (1992) 6, Herece (2008) ise 11 segment olarak incelemişlerdir. Son yıllarda gerçekleştirilen günümüzde kabul gören sınıflama ise, Duman ve Emre (2013) tarafından kuzey ve güney olmak üzere iki koldan oluştuğu öne sürülen DAFZ 16 segmente ayrılarak incelenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Doğu Anadolu Fay Zonu'na ait segmentasyon ve bölgedeki diğer önemli yapısal unsurlar (Duman ve Emre, 2013; Duman vd., 2020). Beyaz renkle gösterilen sismik kaynaklar Emre ve diğ. (2013)'den alınmıştır. Kırmızı hatla belirtilen çizgiler, Şubat 2023 7,7; 7,6 ve 6,4 depremlerinde kırılan segmentleri simgelemektedir.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Çalışmada, ana kol olarak isimlendirilen güney kolu oluşturan segmentler kuzeydoğudan güneybatıya doğru olmak üzere sırasıyla Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos olarak adlandırılmıştır. Benzer şekilde kuzeyde bulunanlar ise, Savrun, Çardak, Sürgü, Çokak, Topkale, Düziçi-İskenderun, Karataş, Yumurtalık ve Misis olarak isimlendirilmiştir. Her ne kadar literatürde Doğanşehir fayı olarak parçalı ayrı bir yapıda KD-GB uzanımında fay sistemi gösterilse de, bu çalışmada, DAFZ'nin kuzey kolunu oluşturan segmentlerden biri şeklinde tanıtılmıştır.

2012 yılında güncellenen diri fay haritalarına (Emre vd. 2013) bakıldığında listelenen bütün segmentlerin (DAFZ-Kuzey -Güney kollar) aktif oldukları belirtilmiştir. Bununla beraber, 6,4 depreminin yaşandığı Antakya ve çevresinde, KD-GB uzanımlı gözlenen Antakya Fayı, söz konusu diri fay haritasında 43 km uzunluğunda belirtilmiş ve Wells ve Coppersmith (1994) eşitliğine göre, üretebilecek maksimum deprem büyüklüğü ise, 6,8 olarak saptanmıştır. Buna karşın literatürde Antakya Fayı'nın diri olmadığını öne süren çalışmalar mevcuttur (Lom, 2011).

Şubat ayı 2023 yılında yaşanan 6,4; 7,6 ve 7,7 büyüklüğündeki anaşoklar, artçı deprem dağılımları ve arazi çalışmalarındaki veriler dikkate alındığında, DAFZ kuzey ve güney kolları oluşturan segmentler (Amanos, Pazarcık, Erkenek, Çardak ve Doğanşehir) ile birlikte, Antakya Fayı'ının da kırıldığı sonucuna varılabilir.

1.2 Doğu Anadolu Fay Zonu ve Antakya Fayı'nın Tarihsel Deprem Aktivitesi

DAFZ üzerinde tarihsel dönemlerden günümüze kadar yüzey kırığı oluşturan büyüklüğü 6,5 aşkın depremler dikkat çekicidir. Tarihsel ve aletsel deprem kataloglarından (Ambraseys, 1989; Taymaz vd., 1991; Guidoboni vd., 1994; Guidoboni ve Comastri, 2005; Duman ve Emre, 2013) derlenen aşağıda listelenen deprem verileri harita düşürüldüğünde ve birlikte değerlendirildiğinde, [524 (<6,5), 1114 (7,8), 1513 (7,4) 1789 (7.0), 1822 (7.4), 1875 (6,7), 1893 (7,1), 1905 (6,8), 1971 (6,8), 2020 (6,8), 2023 (7,7; 7,6) ve 2023 (6,4)], tarihsel döneme ait olanların lokasyonları kesin olmasa da, 524 yılından 2023 yılına kadar yaşanan depremler Karlıova'dan Antakya'ya kadar uzanan fay zonları üzerine yoğunlaştığı ve bu zonun parçalı kırıldığı dikkate değerdir. Bununla birlikte, zon üzerindeki aletsel deprem aktivitesine dayalı sismolojik verilere ve değerlendirmelere ilgili bölümde yer verilecektir.

Literatürde DAFZ üzerinde yapılmış paleosismolojik çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmalar kuzey kolda, Çardak segmenti ve Sürgü segmentinde, güney kolda ise Toprakkale, Yumurtalık, Düziçi-İskenderun, Karataş ve Pazarcık segmentinde yoğunlaşmıştır (Yönlü, 2012; Yönlü ve diğ, 2017; Duman ve diğ., 2020; Balkaya, 2022). Bu çalışmaların bir bölümü ulusal uluslararası düzeyde yayınlanmışken, bir bölümü ise henüz yayınlanmamıştır.

Bu çalışmalardan Balkaya (2022), Sürgü segmentinin üzerinde kazılan 3 hendekten; Sürgü Fayı'nın Holosen döneminde biri MÖ 3350 civarında, biri de MÖ 790 ±20 ile MÖ 2085 ±65 arasında olmak üzere en az iki yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiği saptanmıştır. Ayrıca bu

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

fayın yaklaşık son 500 yılda yüzey kırığı oluşturmuş bir deprem üretmediği de tespit edilmiştir. Ayrıca, Çardak segmenti üzerinde yapılan 3 hendek çalışmasına göre, MÖ 10580 ±95 ile MÖ 5780 ±65 arasında en az bir adet, MÖ 3215 ±12 ile MS 825 ±55 arasında da bir adet yüzey kırığı oluşturmuş deprem ürettiğini öne sürmüştür.

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

Duman ve diğ., (2020) çalışmasında Yumurtalık segmenti üzerinde en az 3 yüzey kırığı oluşturmuş olay tanımlamış ve son olayın 242 depremi ile ilişkili olabileceğini öne sürmüştür. Benzer şekilde Toprakkale segmenti üzerindeki hendek kazısı çalışmalarında en az 2 olay tanımlamış ancak olayları tarihleyememiştir. Düziçi-İskenderun segmentinde ise en az 3 olay tanımlamış ve olayların 12-15. yy sırasında gerçekleşmiş olabileceğini ifade etmiş ve 242 depremi ve 1115 depremlerine karşılık gelebileceğini yorumlamışlardır. Karataş segmentinin son 9900 yılda en az 2 farklı deprem olayını ürettiğini ve son olayın ise MS 3 ve 7.yy arasında olduğunu öne sürmüşlerdir.

Bununla birlikte DAFZ Sürgü, Erkenek ve Pütürge segmentlerinin hendek kazısı çalışmaları ile kaynaklık ettiği tarihsel/tarih öncesi depremlerin ve jeolojik özelliklerinin saptanması için TÜBİTAK tarafından desteklenmiş 121Y410 (Proje yürütücüsü-Prof. Dr. Ercan Aksoy), 122Y266 (Proje Yürütücüsü-Dr. Elif Akgün) numaralı projeler ile sürdürülmektedir.

1.3 Yüzey Kırıkları/Deformasyonları Üzerinde Gerçekleştirilen Arazi Çalışmaları

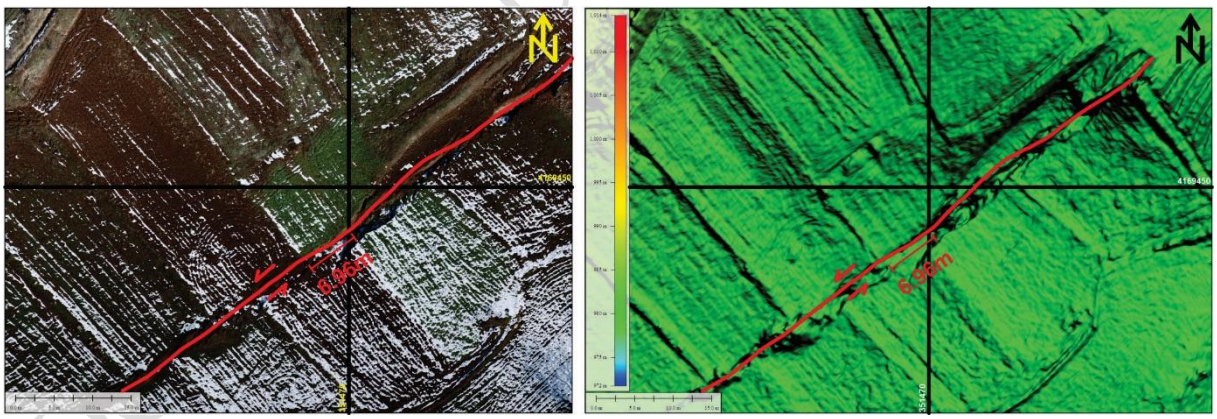
Yapılan arazi çalışmalarında, güney kol üzerinde 7,7 büyüklüğündeki, kuzey kol üzerinde 7,6 ve son olarak Antakya Fayı üzerinde meydana gelen 6,4 depremine ait arazi gözlemleri, fay segmentlerinin arazide devamları saptanmış (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3) ve bu denli büyüklükteki deprem silsilelerinin ardından kentlerdeki şiddetlerin berileri detaylarıyla ilgili bölümlerde verilmiştir.

6 Şubat 2023'te meydana gelen depremlerin ardından ilk 10 gün içerisinde gerçekleştirilen çalışmalarda, 7,7 büyüklüğündeki depremin yaklaşık 220 km yüzey kırığı oluşturduğu, kırığın Kırıkhan'dan Çelikhan'a kadar izlenebildiği gözlenmiştir. 9 saat sonra meydana gelen 7,6 depreminin ise yaklaşık 120 km uzunluğunda yüzey kırığı oluşturduğu ve kırığın Göksun'dan

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

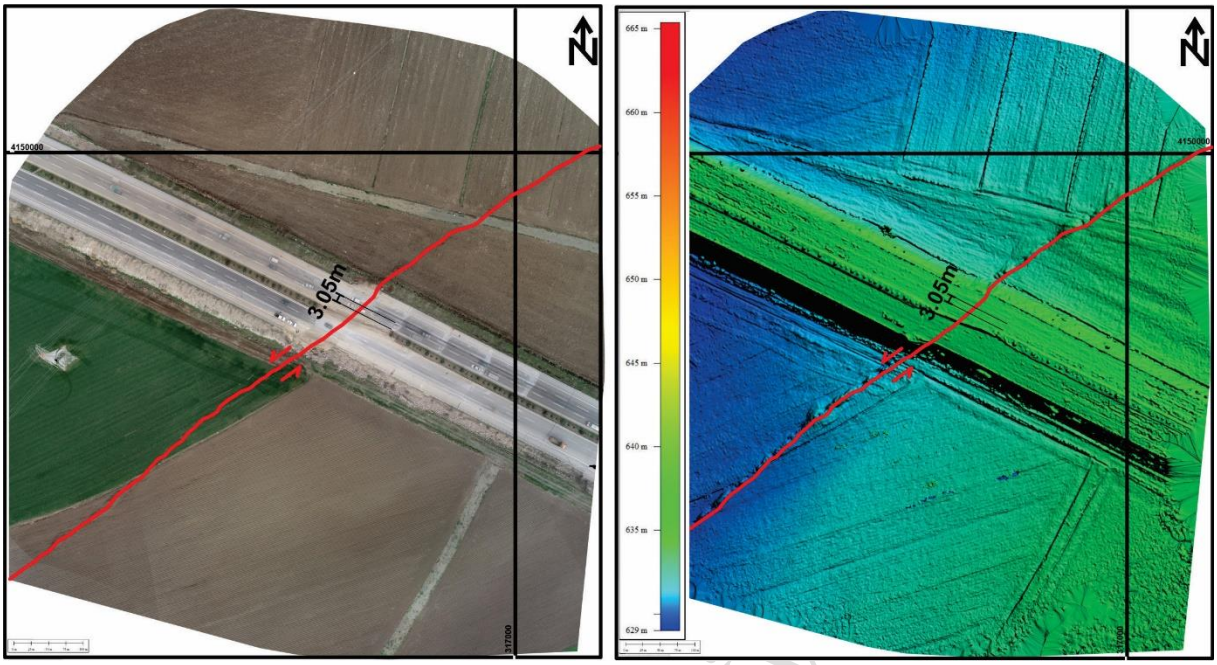
Doğanşehir'e kadar net izlenebilmektedir. Gözlemlerden bazıları Şekil 1.4 ve Şekil 1.5'te verilmiştir. Yapılan çalışmalarda en büyük sol yanal atım, güney kolda Nacar yakınlarında gözlenirken, kuzey kolda ise Karadut yakınlarında ölçülmüştür. 2 hafta sonra Antakya yakınlarında meydana gelen 6,4 büyüklüğündeki depremde, KD-GB uzanımlı fay üzerinde yüzey kırığı oluşmuş (Şekil 1.6) ve öncesindeki depremlerin silsilelerinin ardından kısa sürede meydana geldiğinden bölgeye yoğun hasar vermiştir.

121Y410 numaralı Fırat Üniversitesi bünyesinde, Prof. Dr. Ercan Aksoy yürütücülüğünde ve araştırma ekibinde bir çok ulusal üniversite ile birlikte Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezinin de yer aldığı "Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) Erkenek ve Sürgü Segmentlerinin Deprem Davranışının Çok Disiplinli Yöntemlerle İncelenmesi" isimli çalışmada DAFZ Erkenek segmentinin GB ucunda Ozan yakınlarında 2022 yaz aylarında gerçekleştirilen paleosismolojik kazı çalışmalarında, ilgili segmentin daha önce yüzey faylanmasıyla sonuçlanmış olaylar içerdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, deprem sonrasında yüzey kırığı haritalama çalışmalarında, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen 7,7 büyüklüğündeki depremin yüzey kırığının, Ozan yakınlarında açılan hendek içerisinden geçtiği gözlenmiştir. Bu durum paleosismoloji çalışmalarının en önemli aşamalarından olan hendek kazısı yer seçiminin çalışma ekibi tarafından yüksek doğrulukta gerçekleştirildiğini göstermiştir. Aynı zamanda paleosismolojik çalışmalarda aranan önemli verilerden olan yüzey faylanması ile sonuçlanmış son olay zamanı, bu segment için 2023 olarak kayıtlara geçirilmiştir. Dolayısıyla bu durum, yakın gelecekte bu segmentin yüzey kırığı oluşturabilecek düzeyde deprem üretme potansiyelinin bulunmadığını ortaya koymuştur.



Şekil 1.2. DAFZ kuzey kol üzerinde Çardak Segmentinde Ortofoto görüntülerinden hassas olarak ölçülen sol yanal atımlar.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 1.3. DAFZ güney kol üzerinde Pazarcık Segmentinde Ortofoto görüntülerinden hassas olarak ölçülen sol yanal atımlar.

DOKUZ EYLÜL ÜNİV

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 1.4. DAFZ güney kol üzerinde 6 Şubat 2023 7,7 Pazarcık depremi sonrasında gözlenen yüzey deformasyonları. Yaklaşık KD-GB uzanımlı Pazarcık ve Amanos segmentleri üzerinde ve Balkar, Şekeroba ve Tetirlik yakınlarında gözlenen yüzey kırıkları, ve sol yanal ötelenen yollar.

DOKUZ EYL

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 1.5. DAFZ kuzey kol üzerinde 6 Şubat 2023 7,6 Ekinözü depremi sonrasında gözlenen yüzey deformasyonları. Yaklaşık D-B uzanımlı Çardak segmenti üzerinde ve Tatlar köyü, Karadut köyü ve Kandilköy yakınlarında gözlenen yüzey kırıkları, ve yeni oluşmuş fay düzlemlerinde gözlenen yataya yakın yan yatım açıları.

DOKUZ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 1.6. 20 Şubat 2023 6,4 Antakya depremi sonrasında gözlenen yüzey deformasyonları. KD-GB uzanımlı Antakya fayı ve yakınlarında gözlenen yüzey deformasyonları ve sıvılaşmalar.

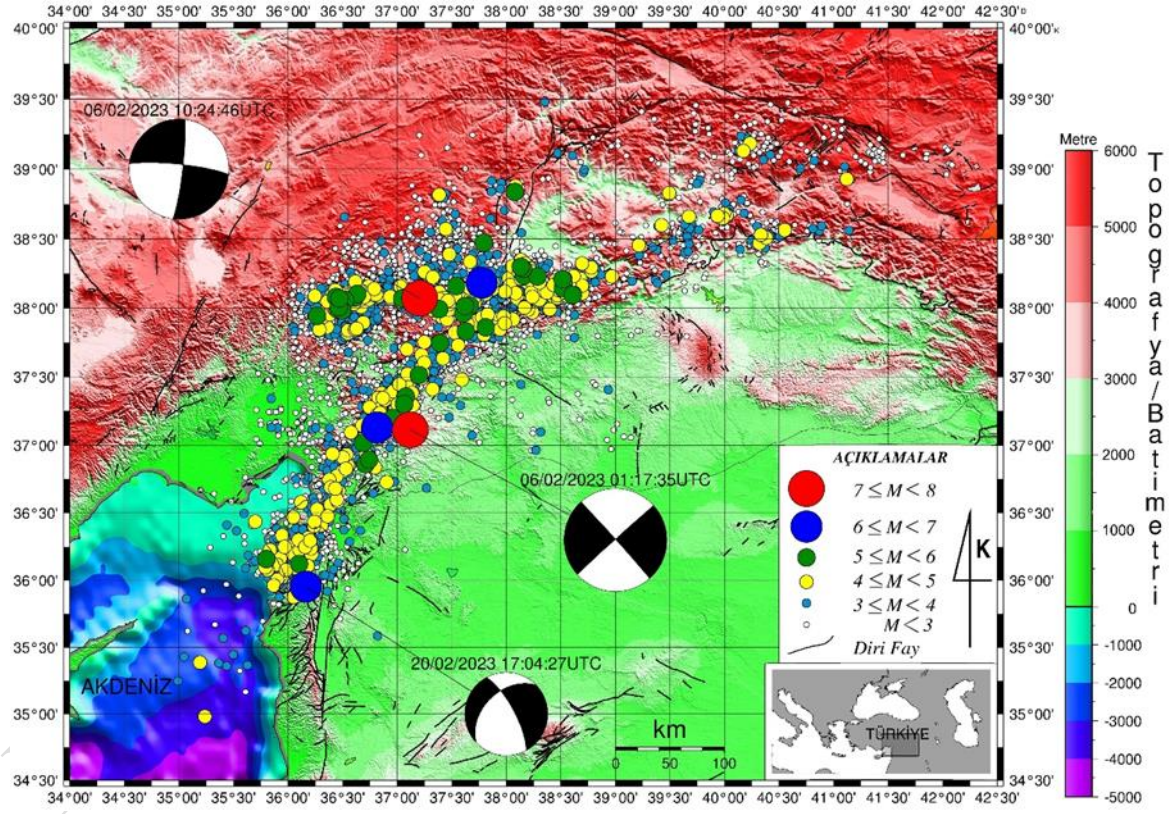
Çalışmanın yukarıda açıklanan ilk bölümü, TÜBİTAK 1002-C Doğa Kaynaklı Acil Afet Programı ve AFAD tarafından finanse edilmiştir.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

2. JEOFİZİK VE JEODEZİK ÖN DEĞERLENDİRME SONUÇLARI

2.1. Sismolojik Değerlendirme

06.02.2023 01:17.35UTC'de meydana gelen ilk ana şok için yapılan çözümlere göre depremin episantırının Nurdağı (Gaziantep)'nın 26 km doğusunda bulunduğu, odak derinliğinin 17.9 (±3.7, USGS) km civarında, büyüklüğünün 7.7 (AFAD) ve 7.8 (±0.1, USGS) olarak kestirildiği görülmektedir. İzleyen saatlerde yüksek bir sismik etkinlik gerçekleşmiş, ilk 21 günde toplam 8319 art sarsıntı meydana gelmiştir. Şekil 2.1, tüm art sarsıntıları, 06.02.2023 10:24:49UTC'da meydana gelen 2. Ana şoku ve kestirilen fay düzlemi çözümlerini göstermektedir.



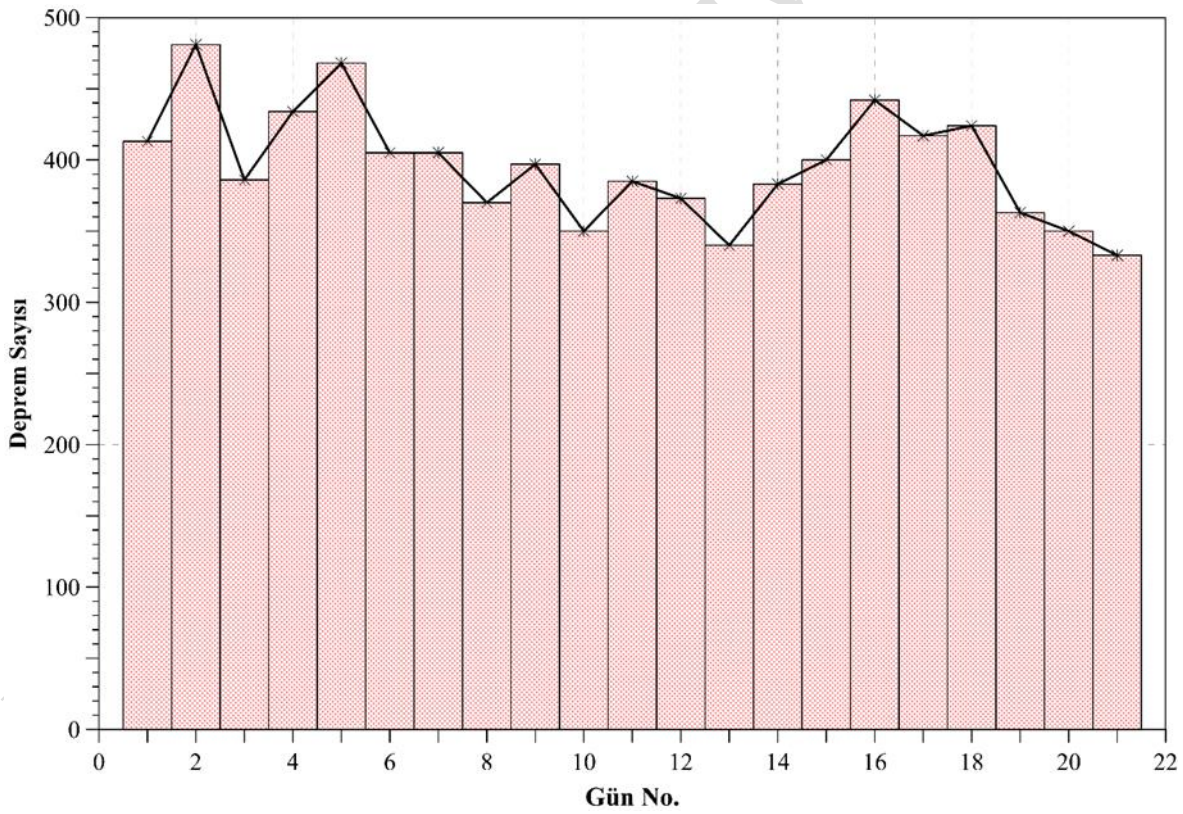
Şekil 2.1. 06/02/2023 01:17.35UTC deprem süreci episantır dağılımı ve fay düzlemi çözümleri.

Veri, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü elektronik kataloğundandır. Mekanizma çözümleri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS)'na aittir. Altlık harita, GMT ile yapılmıştır (Wessel ve Smith, 2006).

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Topoğrafya ve batimetri verisi USGS'dendir. Diri faylar, Şaroğlu vd. (1992)'den düzenlenmiştir.

06.02.2023 01:17.35UTC deprem sürecinin ilk 21 gününde sismik etkinliğin günlük değişimi, olayın doğasına uygun olarak azalma trendinde olmasına rağmen düşük bir eğimle gerçekleşmektedir. Şekil 2.2, günlere göre deprem sayıları değişimini göstermektedir. Şekil 2.2'den de görüldüğü gibi yüksek bir sismik enerji boşalımı söz konusudur. Bir sismik etkinliği değerlendirmek için 21 günlük süre çok-çok kısadır. Bu tür yüksek enerji boşalımının gerçekleştiği süreçlerde art sarsıntı etkinliği çok uzun süre alır. Dolayısıyla 06.02.2023 01:17.35UTC deprem sürecinde art sarsıntılar en az 3 yıl sürebilecektir.

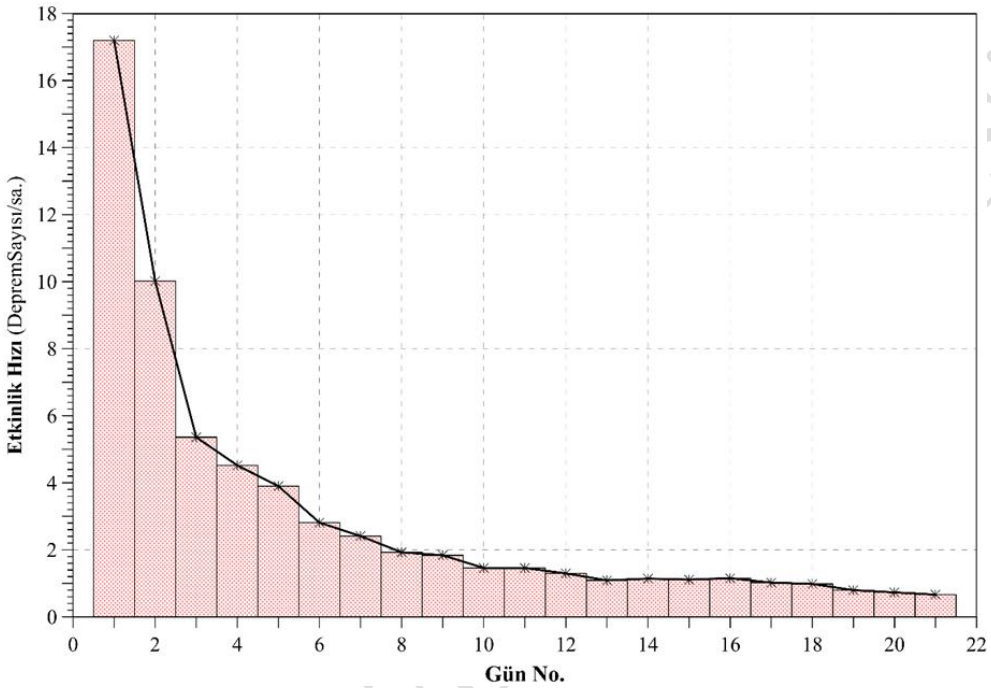


Şekil 2.2. 06/02/2023 01:17.35UTC deprem sürecinin günlük art sarsıntı değişimi.

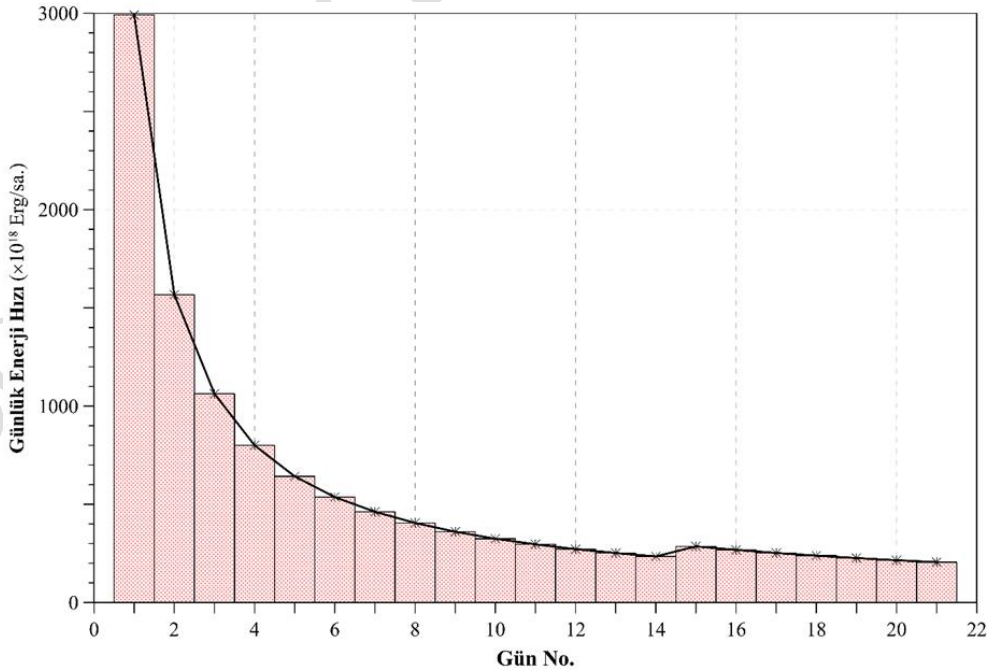
Eğer günlük sismik etkinlik hızına bakılacak olursa, etkinlikteki azalma belirgin olarak görülebilir. Bu hesaplamada, günlük saat başına düşen deprem sayısı ele alınmaktadır. Şekil

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

2.3, bu değişimi göstermektedir. Şekil 2.4 ise günlük sismik enerji hızındaki değişimi verir. Sismik enerjinin hesaplanmasında, ampirik bağıntılar (Gutenberg&Richter, 1956) kullanılmıştır.

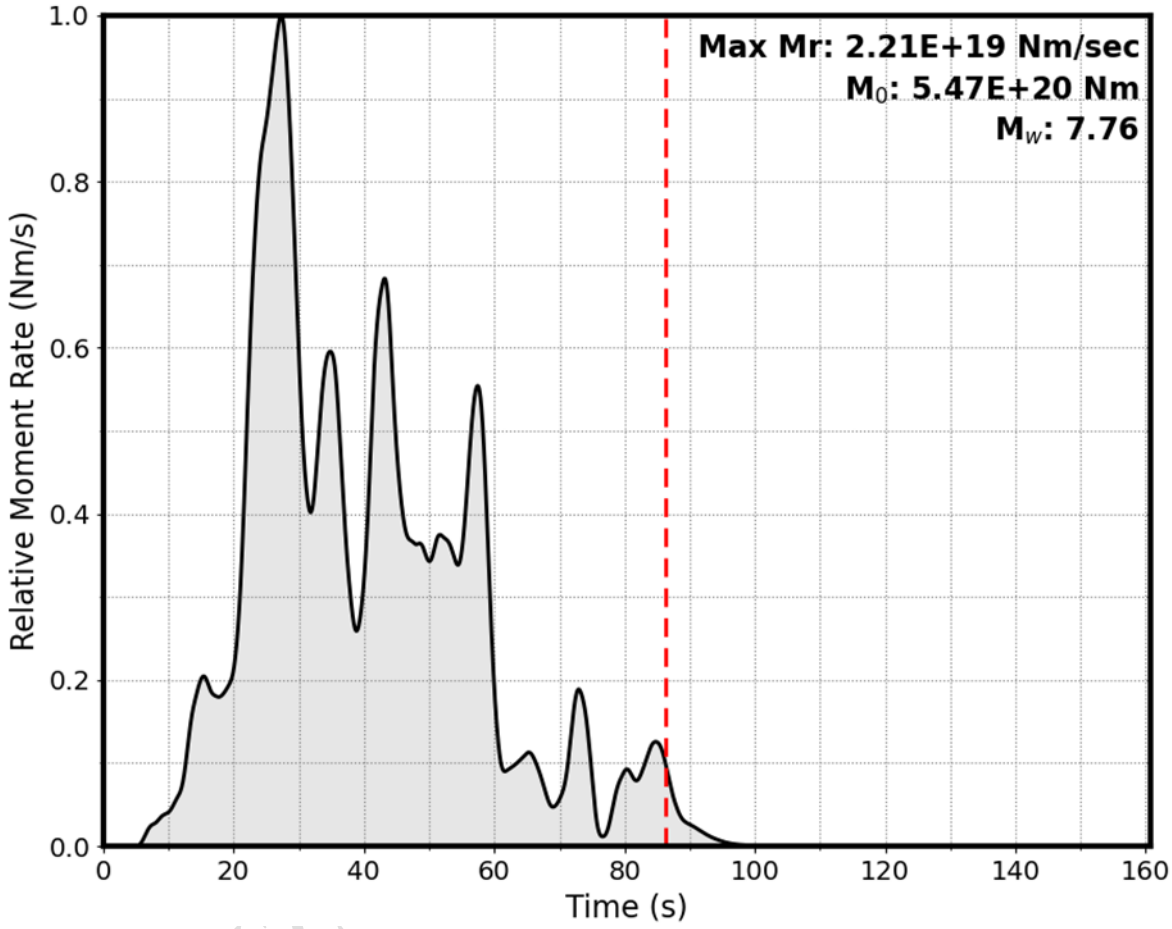


Şekil 2.3. 06/02/2023 01:17.35UTC deprem sürecinin sismik etkinlik hızı değişimi.



Şekil 2.4. 06/02/2023 01:17.35UTC deprem sürecinin günlük sismik enerji hızı değişimi.

USGS tarafından yapılan sonlu fay çözümünden, 06/02/2023 01:17.35UTC deprem sürecindeki yırtılmanın, 3 aşamalı gerçekleştiği görülmektedir (USGS, 13.02.2023). Şekil 5, gerçekleşen yırtılmanın zamana göre sismik moment değişiminin sergilemektedir.



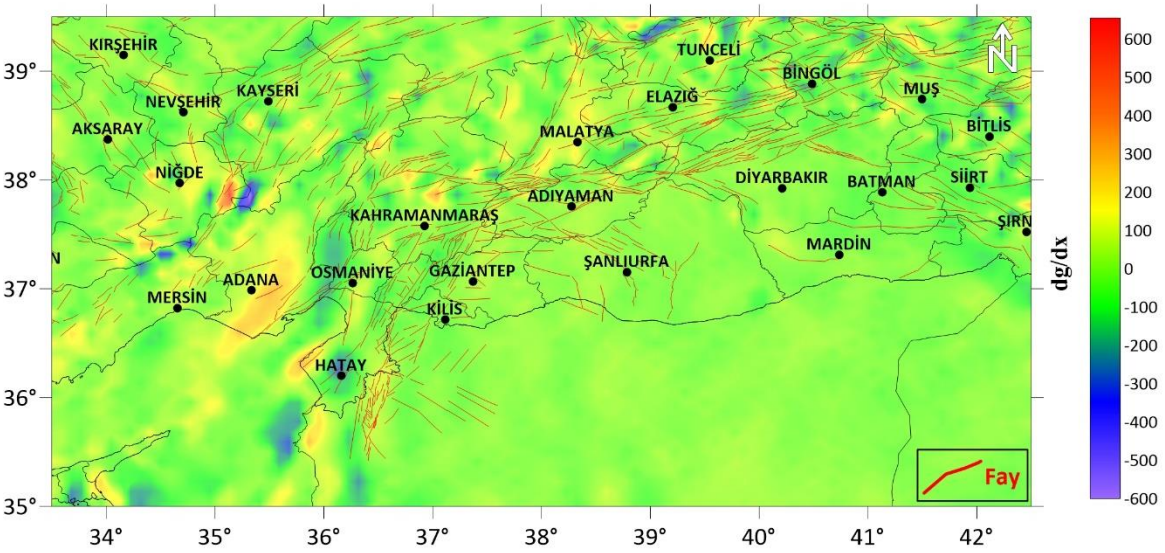
Şekil 2.5. 06/02/2023 01:17.35UTC anaşokuna ait sismik moment değişimi (USGS, 13.02.2023).

Şekil 2.5'den de görüldüğü gibi ilk ~38. sn'den sonra 2. yırtılma, ~68. Sn'den sonra da bir küçük kırılma daha (3. yırtılma) gerçekleşmiştir. İlk yırtılmadaki max. Moment oranı 2.21E+19 Nm/sn'dir.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

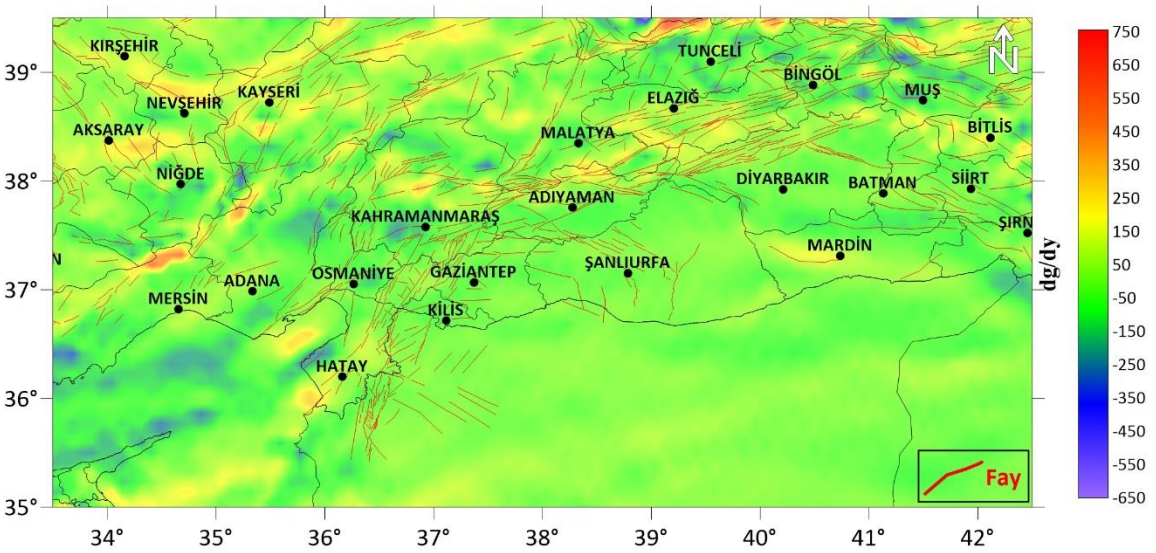
2.2. Deprem Bölgesindeki Bouguer gravite verilerine ait çalışmalar

İnceleme alanına ait uydu gravite verileri 22/02/2023 tarihinde açık erişim sağlanan https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi internet sayfası üzerinden indirilmiştir. İndirilen ham haldeki uydu verilerine Bouguer düzeltmesi yapılarak Bouguer gravite anomali haritası elde edilmiştir. Elde edilen verilere trend analizi uygulanarak rezidüel anomali haritası oluşturulmuştur. Daha sonra bu rezidüel gravite anomali değerlerine yönlü türev uygulamaları yapılmıştır. Çalışma alanına ait batı doğu (Şekil 2.6) ve kuzey güney (Şekil 2.7), doğrultulu türev uygulaması sonucunda elde edilen anomali haritaları incelendiğinde, yeraltındaki yapı sınırlarının Ölü Deniz Fay Zonu, Kıbrıs'tan yaklaşık GB-KD doğrultu ile gelen yapısal sınır izi ve Doğu Anadolu Fay Zonu ile birleştiği görülmektedir. Bu durum Hatay, Mersin, Adana, Kahramanmaraş, Malatya ve çevresindeki gravite genlik değerlerindeki değişim olarak gözlenmektedir. Ayrıca deprem bölgesinin batısında Aksaray tarafında da benzer yapı sınırları izlenmektedir. Şekil 8' da ise bölgedeki düşey yöndeki gravite değişiminin Hatay, Kahramanmaraş, Malatya ve yine batıda Aksaray'da (Şekil 2.7) genlik değerlerinde değişim mevcuttur.

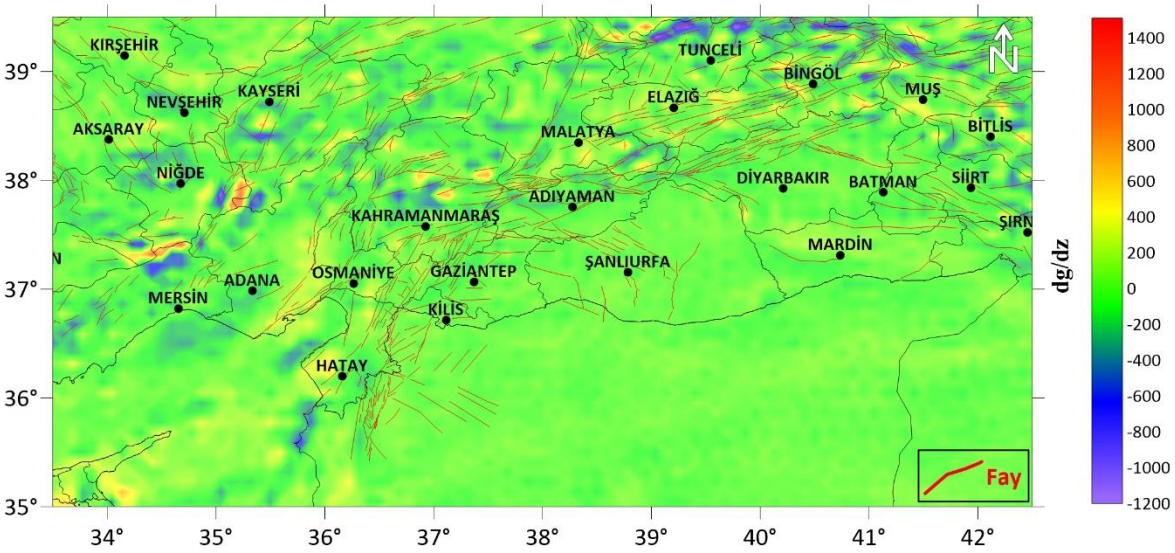


Şekil 2.6. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde etkilenen illere yakın çevresine ait Tam Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen batı-doğu doğrultulu yatay türev anomali haritası (Faylar Emre vd 2013' den alınmıştır).

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 2.7. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde etkilenen illere yakın çevresine ait Tam Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen kuzey güney doğrultulu yatay türev anomali haritası (Faylar Emre vd 2013' den alınmıştır).



Şekil 2.8. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde etkilenen illere yakın çevresine ait Tam Bouguer gravite anomali haritasından elde edilen düşey türev anomali haritası (Faylar Emre vd 2013' den alınmıştır).

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

2.3. Mw= 7.7 Pazarcık ve Mw= 7.6 Elbistan Depremlerine ait Coulomb Stress (Gerilim) Analizi

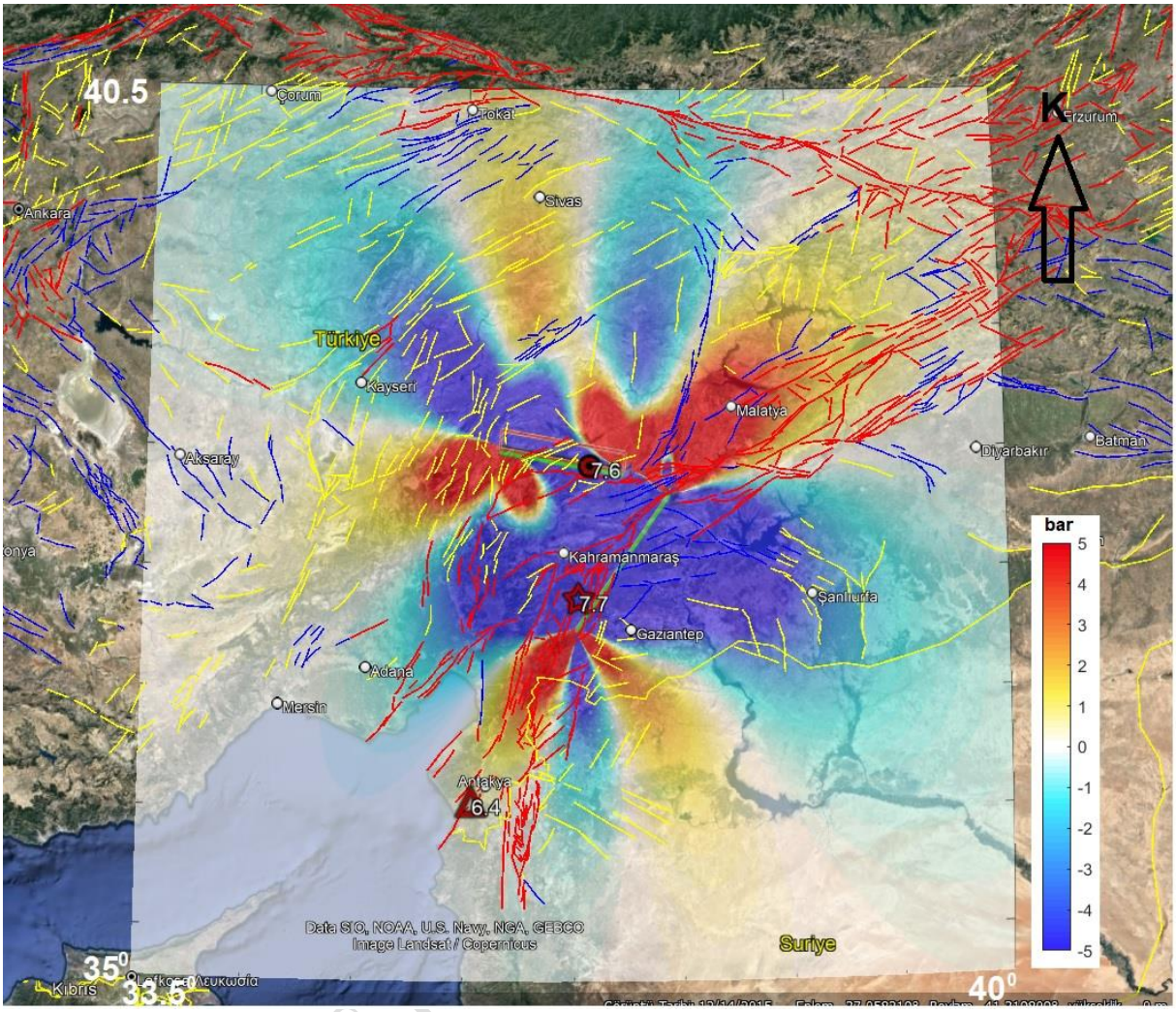
Bu depremlerden büyüklüğü Mw=7.7 olan Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Mw= 7.6 Elbistan (Kahramanmaraş) depremlerinin meydana getirdiği stres (gerilim) dağılımını gözlemlemek için Coulomb v3.4 (Toda vd. 2011) programı kullanılmış ve depremden kaynaklı gerilimin dağılım analizi edilmiştir (Şekil 2.9). Değerlendirmede kullanılan parametreler Tablo 2.1'de görülmektedir. Coulomb gerilim analizinde, USGS tarafından sunulan moment tensör çözümü değerleri kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Coulomb v3.4 (Toda vd., 2011) gerilim analizinde kullanılan parametreler

	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Derinlik (km)	Poisson Oranı	Young Modülü (kbar)	Efektif Sürtünme Katsayısı
Mw=7.7 Pazarcık Depremi	228	89	-1	10	0.25	80	0.4
Mw=7.6 Elbistan Depremi	276	82	-6	10	0.25	80	0.4

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 2.9. Mw=7.7 olan Pazarcık depreminin Coulomb gerilim dağılımı. Kırmızı renk; gerilimin arttığı bölgeleri, mavi renk; gerilimin azaldığı bölgeleri belirtmektedir. Kırmızı yıldız; 06.02.2023 Mw=7.7 Pazarcık depremini, kırmızı daire; 06.02.2023 Mw=7.6 Elbistan, kırmızı üçgen; 20.02.2023 Ml= 6.4 Hatay depremlerinin merkez üslerini göstermektedir.

Mw= 7.7 Pazarcık depremine ait Coulomb gerilim analizinden elde edilen sonuçlardan gerilimin azaldığı ve arttığı bölgeler Şekil 2.9'da görülmektedir. Burada kırmızı renk, gerilimin artış gösterdiği bölgeleri, mavi renk ise gerilimin azalım gösterdiği bölgeleri belirtmektedir. Ayrıca büyüklüğü M≥4 olan depremlerin dağılımı irdelenirse Şekil 2.9'da Coulomb gerilimine ait genlik artımının yüksek olduğu bölgelerde depremlerin kümelendiği görülmektedir.

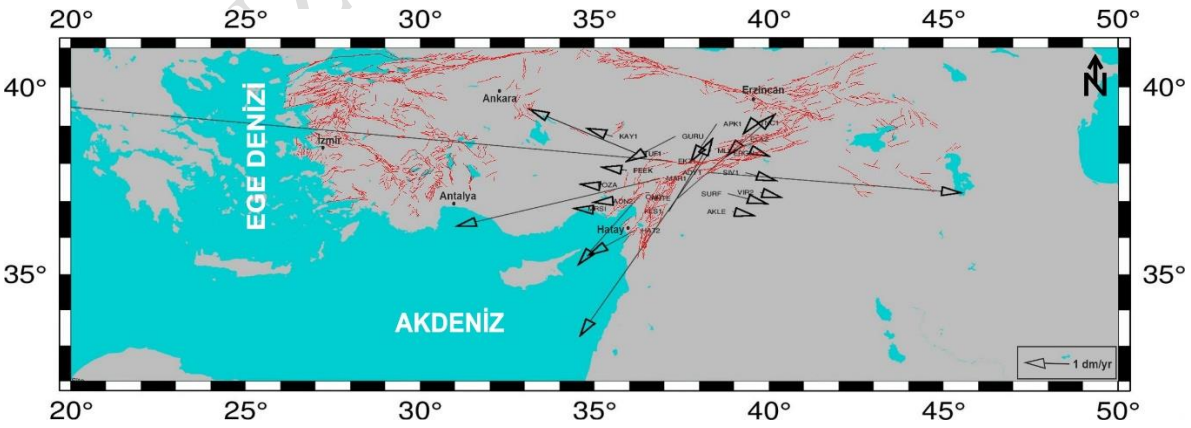
Sonuç olarak Şekil 2.9'daki gerilimin diyagramının kırmızı renkli bölgelerine karşılık gelen kuzeybatıda Sivas ve çevresi, kuzeydoğuda Malatya ve çevresi, güneydoğuda Gaziantep'in

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

güneyi ve Suriye, Güneybatıda Hatay ve çevresi, batıda ise Aksaray'a kadar gerilim artımının olması nedeniyle deprem riskini yüksek olduğu söylenebilir.

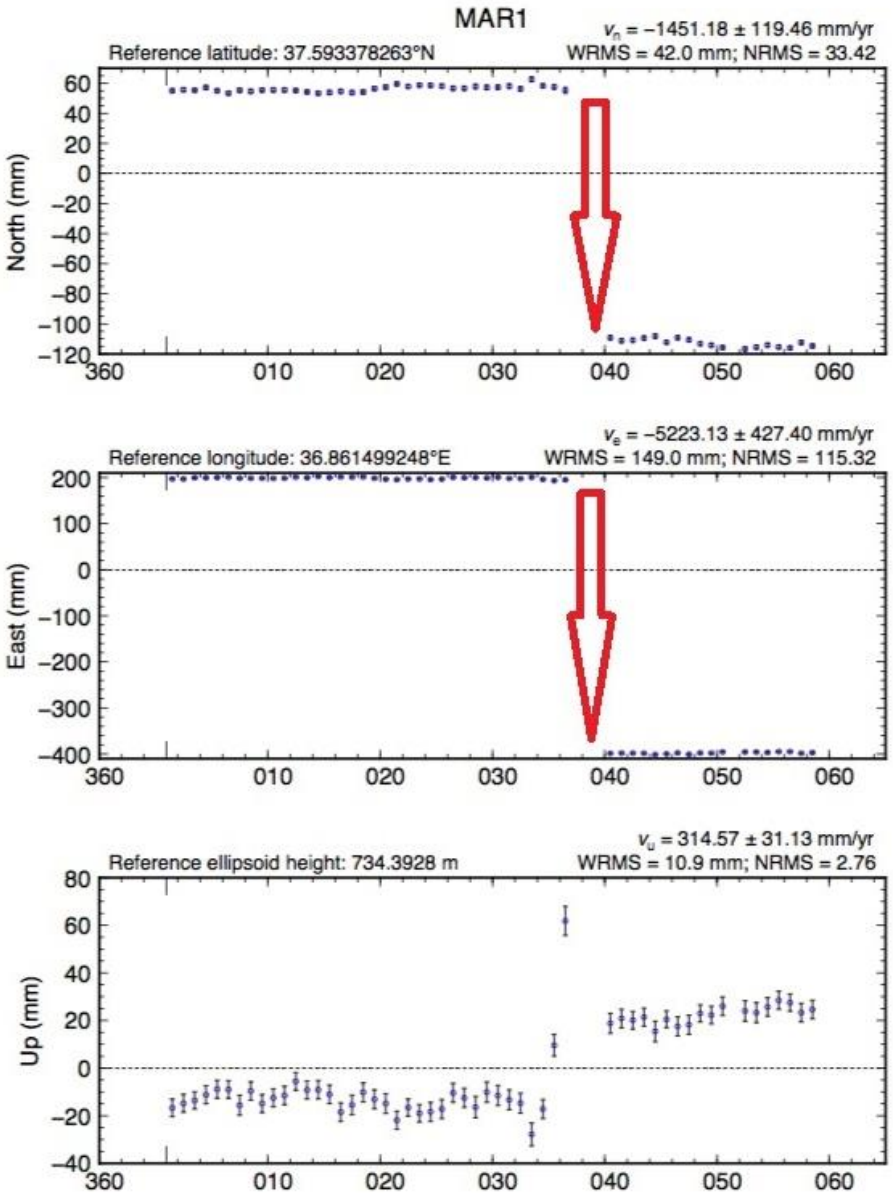
2.4. Deprem Bölgesine ait GNSS ve Deformasyon çalışmaları

TUSAGA-Aktif istasyonlarından MAR1 (Kahramanmaraş, Merkez), EKZ1 (Ekinözü, Kahramanmaraş), ANTE (Gaziantep), HAT2 (Hatay), ADY1 (Adıyaman), ONIY (Osmaniye), KLS1 (Kilis), FEEK (Feke, Adana), TUF1 (Tufanbeyli, Adana), MLY1 (Malatya), ELAZ (Elazığ), ADN2 (Adana, Merkez), AKLE (Akçakale, Şanlıurfa), APK1 (Arapgir, Malatya), ERGN (Ergani, Diyarbakır), GURU (Gürün, Sivas), KAY1 (Kayseri), MRSI (Mersin), POZA (Pozantı, Adana), SIV1 (Sivas), SURF (Şanlıurfa), TNC1 (Tunceli), istasyonlarına ait 1 Ocak-27 Şubat 2023 tarihleri arasındaki (1. gün ile 58. gün day of year (doy)) 30 s'lik GNSS verileri, Avrasya plakasının sabit varsayılmasıyla ITRF2014 ile GAMIT/GLOBK 10.71 (Herring vd., 2018) yazılımı kullanılarak proses edilmiştir. Elde edilen zaman serilerinin yatay (North (Kuzey), East (Doğu) ve düşey (Up (Yükseklik)) bileşenlerinden, bölgede meydana gelen atımların yönleri ve deformasyon irdelenmiştir. Bu istasyonlarda yatay yönde meydana gelen atımlar Şekil 2.10'da görülmektedir. Bu istasyonlardan Kahramanmaraş merkezde yer alan MAR1 ve Hatay'da bulunan HAT2 istasyonlarının zaman serileri Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de görülmektedir. Mw 7.7 Pazarcık ve Mw 7.6 Elbistan depremlerinin meydana geldiği 06 Şubat 2023 tarihi zaman serileri diyagramlarında 37. gündür.



Şekil 2.10. 6 Şubat 2023'de Mw= 7.7 Pazarcık ve Mw= 7.6 Elbistan depremlerinden kaynaklı Tusaga-Aktif istasyonlarında meydana gelen atım.

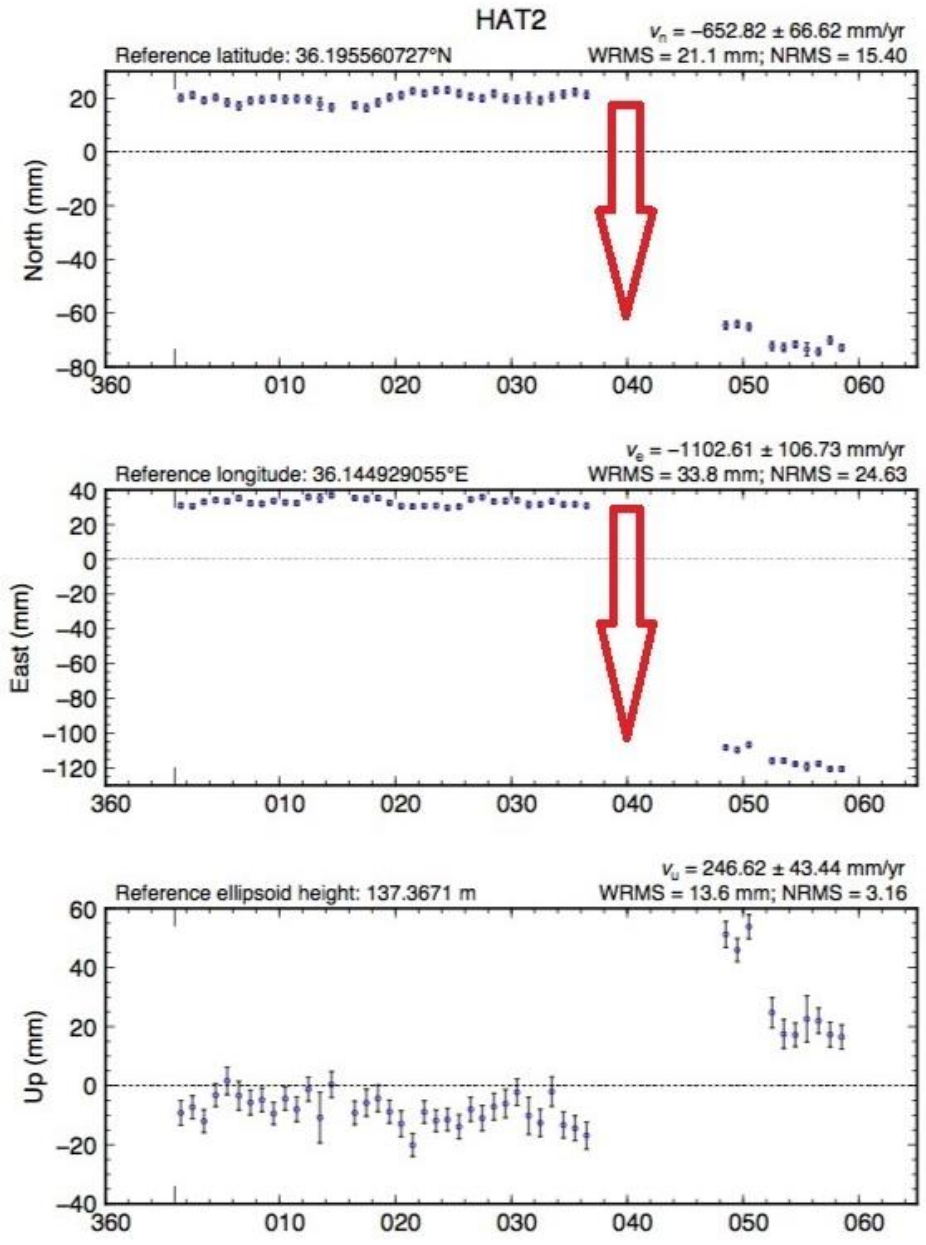
Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 2.11. 1 Ocak- 27 Şubat 2023 tarihleri arasında Kahramanmaraş (Merkez)'da bulunan MAR1 istasyonunun North (Kuzey), East (Doğu), Up (Yükseklik) bileşenlerine ait zaman serileri. 06 Şubat 2023 tarihi 37. Güne denk gelmektedir. Deprem dolayısıyla Güneybatıya doğru yer değiştirme meydana gelmiştir.

.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 2.12. 1 Ocak- 27 Şubat 2023 tarihleri arasında Hatay'da bulunan HAT2 istasyonunun North (Kuzey), East (Doğu), Up (Yükseklik) bileşenlerine ait zaman serileri. 06 Şubat 2023 tarihi 37. Güne denk gelmektedir. Deprem dolayısıyla Güneybatıya doğru yer değiştirme meydana gelmiştir.

GNSS istasyonlarının yatay (North (Kuzey), East (Doğu)) ve düşey (Up (Yükseklik)) bileşenlerine ait zaman serilerinden bu istasyonlarda meydana gelen yatay bileşendeki atım

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

yönleri ve düşey bileşendeki hareketlilik yönlerinden bölgedeki yükselme ya da çökme hareketleri Tablo 2.2'de görülmektedir. Bu hareket yönleri hesaplanırken, zaman serilerinden North (Kuzey) bileşenindeki hareket pozitif değerlere sahipse hareketin kuzeye doğru, negatif değerlere sahipse güneye doğru olduğu; East (Doğu) bileşeninde ise hareket pozitif değerlere sahipse doğuya doğru, negatif değerlere sahipse batıya doğru olduğu dikkate alınır. Bu iki bileşenin (Kuzey ve Doğu) bileşkesi ise yatay yöndeki hareketin yönünü vermektedir. Düşey yöndeki (Up (Yükseklik)) hareket için ise eğer hareket pozitif değerlere sahipse ortamda yükselme, negatif değerlere sahipse çökme meydana geldiğini göstermektedir.

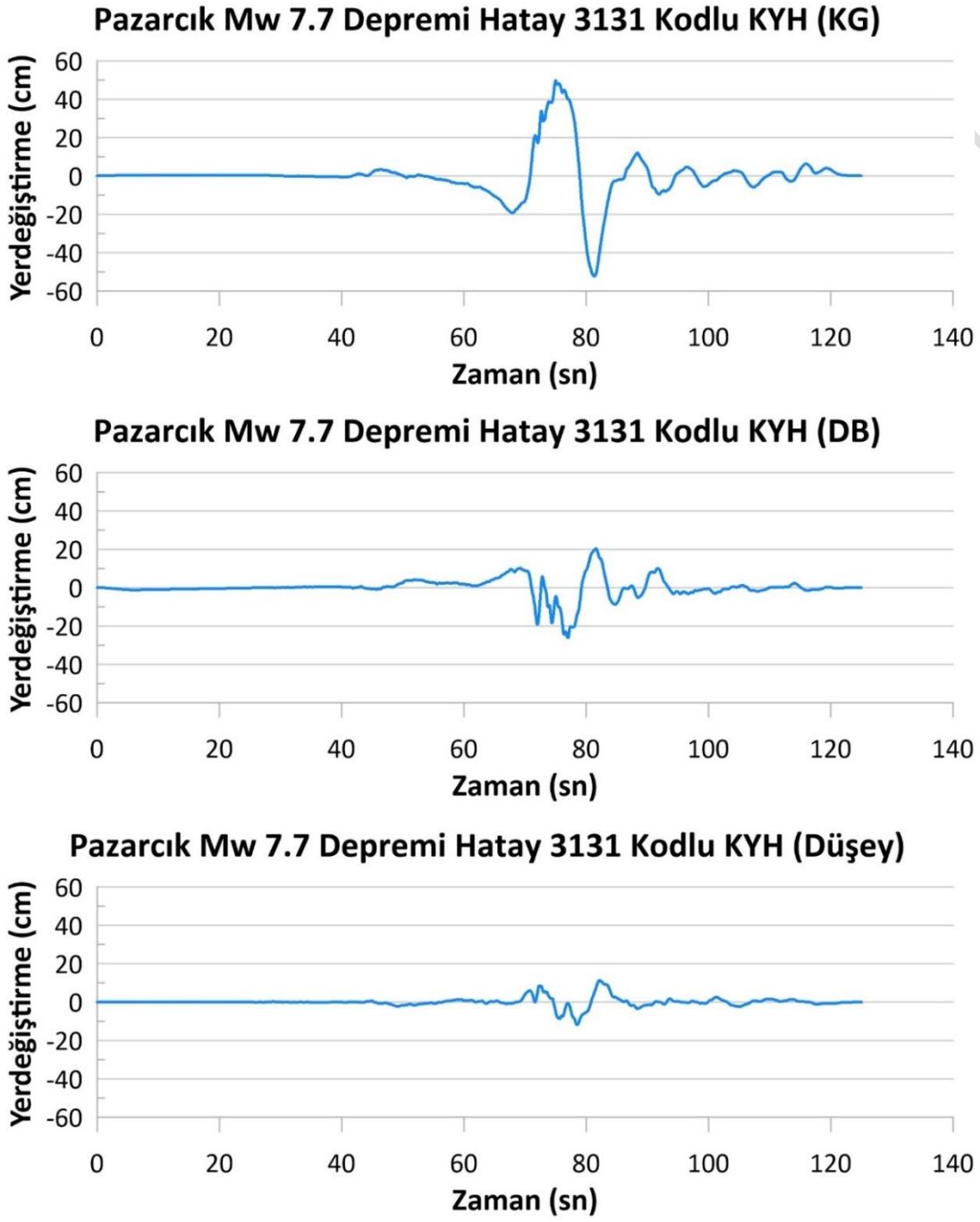
Tablo 2.2. TUSAGA-Aktif istasyonlarının yatay ve düşey bileşenlerindeki hareketlerinin yönleri

İstasyon Adı/Yeri	**Yatay Bileşendeki (North (Kuzey), East (Doğu)) Atım Yönü**	**Düşey (Up (Yükseklik)) Bileşendeki Hareketlilik Yönü**
MAR1/ Kahramanmaraş	Güneybatı	Yükselme
EKZ1 / Ekinözü, Kahramanmaraş	Kuzeybatı	Çökme
ANTE / Gaziantep	Kuzeydoğu	Yükselme
HAT2 / Hatay	Güneybatı	Yükselme
ADY1 / Adıyaman	Güneydoğu	Çökme
ONIY / Osmaniye	Güneybatı	Yükselme
KLS1 / Kilis	Kuzeydoğu	Yükselme
FEEK / Feke, Adana	Kuzeybatı	Düşey yöndeki hareket yönü net değildir.
TUF1 / Tufanbeyli, Adana	Kuzeybatı	Çökme
MLY1 / Malatya	Güneybatı	Düşey yöndeki hareket yönü net değildir.
ELAZ / Elazığ	Güneybatı	Düşey yöndeki hareket yönü net değildir.

Değerlendirmeler kapsamında deprem bölgesinde yer alan GNSS istasyon çözümlemeleri ile Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon (KYH) verilerinin karşılaştırılması da hedeflenmiştir. GNSS istasyon ve KYH istasyonları lokasyonları incelendiğinde birbirine görece en yakın istasyonlardan HAT2 GNSS istasyonu ile 3131 kodlu KYH istasyonu (yaklaşık 5km) olarak tespit edilmiştir. Bu kapsamda AFAD tarafından işletilen 3131 kodlu KYH istasyonunun Mw 7.7 pazarcık 3 Bileşen (KG-DB-Z) deprem kaydı tadas.afad.gov.tr web sitesinden indirilmiştir. Elde edilen ivme verileri ile HAT2 GNSS istasyonunun verilerinin karşılaştırılabilmesi için

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

KYH istasyon verileri üzerinde 2 kez sayısal integral uygulanarak ivme/yer değiştirme dönüşümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.13).

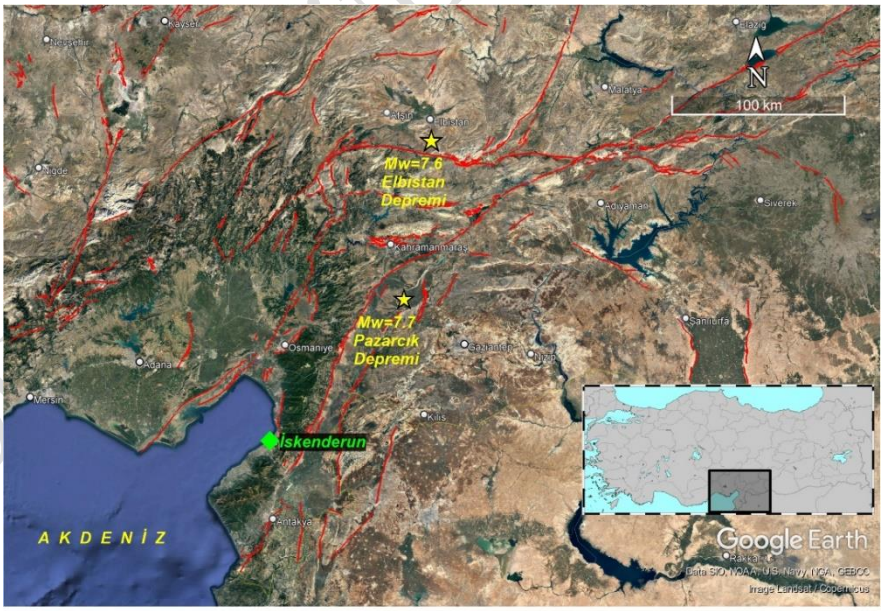


Şekil 2.13. 3131 kodlu KYH istasyonununa ait verileri üzerinde 2 kez sayısal integral uygulanarak ivme/yer değiştirme dönüşümü yapılmış grafikleri

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

2.5. Hatay-İskenderun İlçesinde Gerçekleştirilen Mikrotremor ve SPAC Çalışmaları

06.02.2023 günü, 04:17'de büyüklüğü Mw=7.7, derinliği 8.6 km, merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş)'da ve aynı gün 13:24'de büyüklüğü Mw=7.6, derinliği 7 km, merkez üssü Elbistan (Kahramanmaraş) olan iki deprem meydana gelmiştir (Şekil 2.14). Pazarcık depremi (Mw 7.7) sol yanal doğrultu atımlı Ölü Deniz Fay Zonunun kuzeyindeki Narlı Segmentinde, Elbistan depremi (Mw 7.6) ise Çardak Fayında meydana gelmiştir (AFAD, 2023). Büyük yıkımlara neden olan ve geniş bir alanda hissedilen depremler nedeniyle çok sayıda can kaybının meydana gelmiş ve birçok bina yıkılmış ya da ağır hasar almıştır. Halen artçıları devam eden bu yıkıcı depremler sonrasında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Uygulamalı Jeofizik anabilim dalı olarak 01.03.2023 tarihinde afet bölgesine sismik ölçümler yapılmak üzere hareket edilmiştir. Öncelikli olarak deprem merkezine uzak olmasına karşın hasarların oluştuğu Hatay iline bağlı İskenderun ilçesinde sismik ölçümler 02.03.2023 tarihi itibariyle alınmaya başlanmıştır (Şekil 2.15). Jeofizik ölçümlere ve saha da karşılaşılan sıvılaşma yapılarına ait görseller ise Şekil 2.16'da verilmektedir.



Şekil 2.14. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw=7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw=7.6 depremlerinin yerlerini (AFAD, 2023) ve uygulamalı jeofizik çalışmalarının yapıldığı İskenderun'u

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

(sarı dikdörtgen) gösteren Google Earth uydu görüntüsü. Kırmızı çizgiler Emre vd (2013) tarafından verilen diri fayları göstermektedir.



Şekil 2.15. Hatay-İskenderun'da gerçekleştirilen jeofizik ölçüm lokasyonlarını gösteren Google Earth uydu görüntüsü. Kırmızı çizgiler Emre vd (2013) tarafından verilen diri fayları göstermektedir.



Şekil 2.16. a) ve b) jeofizik ölçümlere ait görseller. c) İskenderun Teknik Üniversitesi kampüsü içerisinde ve d) sahil şeridinde karşılaşılan sıvılaşma yapılarına ait görseller.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Binaların oturacağı zemin özelliklerinin araştırılmasına yönelik mühendislik jeofiziği araştırmalarında Jeofizik Mühendisliği'nin sismik ölçüm yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Sismik yöntemler, sığ araştırmalarda yerin elastik özellikleri ve mekanik davranışlarına etki eden parametreler nedeniyle, mühendislikte önemli bir rol oynar. Yöntem özellikle zeminin deprem anında ki davranışları ve sismik tehlikeyle ilgili çalışmalarda büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, sismik araştırmalar, mühendislik ölçeğinde jeolojik yapının geometrisini tahmin etmenin hızlı ve uygun maliyetli bir yolunu sunmaktadır. Sismik kırılma yöntemi yeraltı tabakalarının sismik dalga hızlarının (V_P, V_S) belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Erhan, 2018). Diğer bir sismik yöntem olan çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) ise yeraltının kesme dalga hızının (V_S) bir ve iki-boyutlu olarak belirlenmesinde tercih edilmektedir. MASW çalışmalarının sonuçlarına göre belirlenen noktalarda V_S hızlarına ve ilgili yönetmeliklere bağlı olarak zemin sınıflandırması yapılabilmektedir. Diğer yandan insan aktivitesi, trafik, makineler, deniz dalgası ve meteorolojik olayların sebep olduğu doğal titreşimlerin ölçüldüğü mikrotremor yönteminde, ölçülen sismik sinyaller analiz edilerek zemine ait zemin hâkim titreşim periyodu, spektral büyütme ve kesme dalgası hız modeli gibi bilgiler elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada sismik yöntemlerden mikrotremor ve SPAC yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemlerin ölçüm lokasyonlarını gösteren GoogleEarth uydu görüntüsü Şekil 2.15'de verilmektedir. Saha çalışması öncesinde İskenderun ilçesinin yoğun yerleşim gören sahil bölgesinden başlayarak doğuya doğru olacak şekilde uygun bir ölçüm karelajı tanımlanmıştır. 1 km aralıklı ölçüm lokasyonları ile toplamda 25 noktanın ölçülmesi planlanmıştır. Belirlenen lokasyonlar saha ölçümleri esnasında karşılaşılan engeller ve ölçüme uygunluğa bağlı olarak değişimler gösterebilecektir.

Mikrotremor ve SPAC ölçümleri Şekil 2.15'de verilen lokasyonlar üzerinde gerçekleştirilmek üzere planlanmıştır. Raporun hazırlandığı tarihe değin gerçekleştirilen ölçümlerin lokasyonları ise Şekil 16'da sunulmaktadır. Mikrotremor ölçümleri Güralp Sensör CMG 6TD hız ölçer ve SPAC ölçümleri ise Geometrics Smartseis cihazı ve 3 adet 4.5 Hz düşey jeofon kullanılarak

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

"L" dizilimiyle gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmelerde ise sırasıyla mikrotremor için GEOPSY ve SPAC için Seisimager/SW yazılımları kullanılmıştır.

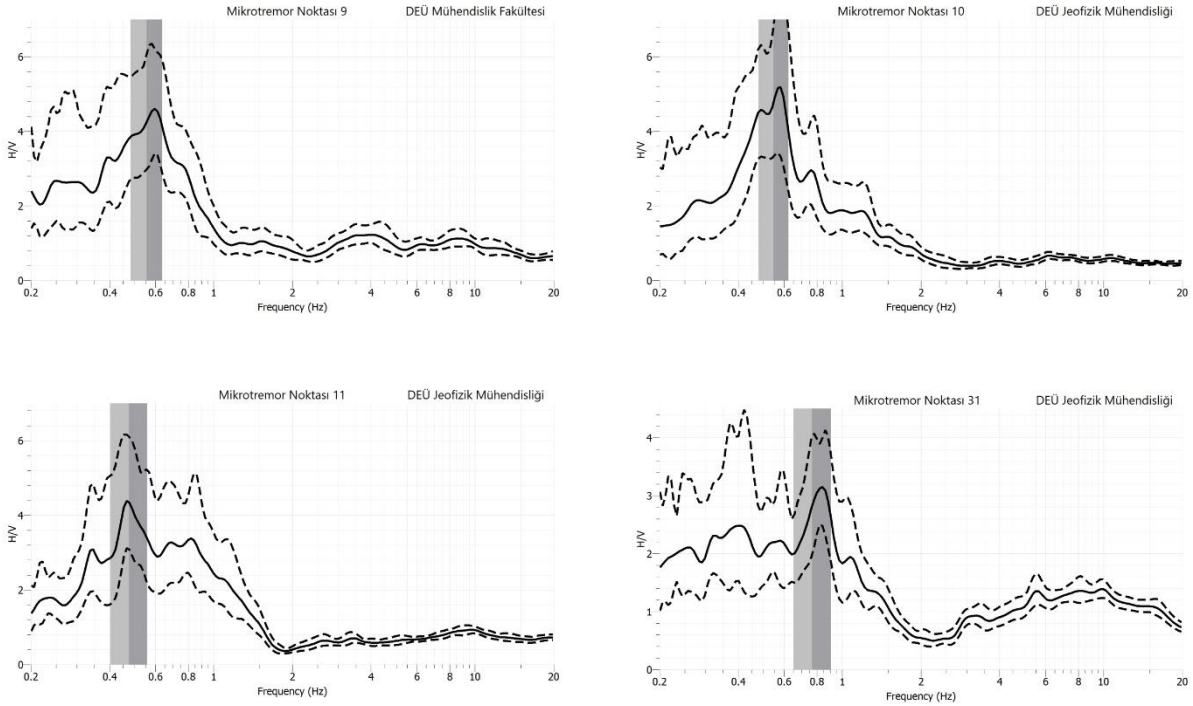


Şekil 2.17 Hatay-İskenderun'da gerçekleştirilen jeofizik ölçüm lokasyonlarını gösteren Google Earth uydu görüntüsü. Kırmızı semboller ölçümü tamamlanan (9, 10, 11 ve 31 nolu) lokasyonları göstermektedir.

Yapı-zemin ilişkisi tanımlayan başlıca değişkenlerden biri zemin hakim titreşim periyodudur. Bu değişkenin belirlenmesi amacıyla mikrotremor yöntemi İskenderun kent merkezinde 2 Mart 2023 tarihinde, 4 farklı konumda (9, 10, 11 ve 31 nolu) (Şekil 2.17) uygulanmıştır. 9 numaralı ölçüm noktası, İskenderun Teknik Üniversitesi kampüs alanı içinde, Gençlik Merkezi yanında deprem sonucu oluşan ve yüzeyde gözlenen sıvılaşma izlerinin yanında alınmıştır. Mikrotremor verilerine uygulanan HVSR yöntemi sonucuna göre zemin hakim titreşim frekansı 0,6 Hz olarak belirlenmiştir. Bu değerden elde edilen zemin hakim titreşim periyodu 1,67 sn'dir. Benzer biçimde Cumhuriyet mahallesinin orta kısmında bulunan 10 numaralı ölçüm noktasında alınan ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda zemin hakim titreşim frekansı 0,54 Hz, periyot değeri 1,85 sn olarak hesaplanmıştır. İskenderun Belediye binasının yakınında alınan 11 numaralı ölçüm noktasının değerlendirilmesi sonucunda zemin hakim titreşim frekansı 0,47 Hz ve periyodu ise 2,12 sn olarak belirlenmiştir. Bölgede yapılan yüzey gözlemleri ve alınan bilgiler doğrultusunda ölçüm planına kentin kıyı çizgisi üzerinde yer alan ve yıkımın

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

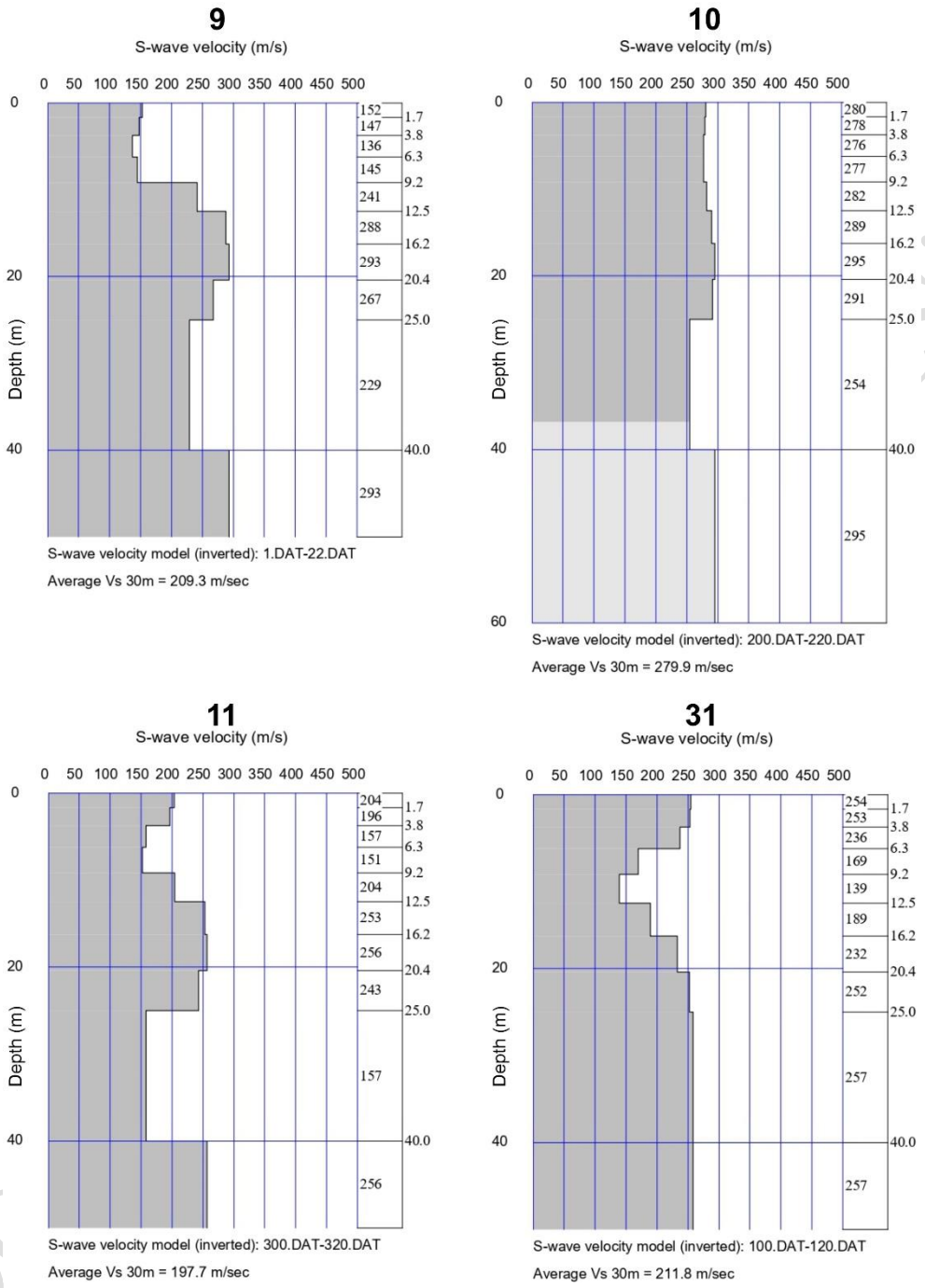
gerçekleştiği bir konumun yakınında 31 numaralı yeni bir nokta tanımlanarak ölçümler alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda zemin hakim titreşim frekansı 0,77 Hz ve periyot değeri ise 1,3 sn olarak tespit edilmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. 9, 10, 11 ve 31 nolu lokasyonlarda gerçekleştirilen mikrotremor ölçümleri sonuçlarına ait H/V spektral oran grafikleri.

Çalışma alanında aynı noktalarda yapılan SPAC ölçümleri sonucunda VS hız değerinin bir-boyutlu düşey yönlü derinlikle değişimi belirlenmiştir. Ortalama VS 30 hız değerleri 9 numaralı ölçüm noktasında 209 m/sn, 10 numaralı ölçüm noktasında 210 m/sn, 11 numaralı ölçüm noktasında 198 m/sn ve 31 numaralı ölçüm noktasında 212 m/sn olarak belirlenmiştir (Şekil 2.19).

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 2.19. 9, 10, 11 ve 31 nolu lokasyonlarda gerçekleştirilen SPAC ölçümleri sonuçlarına ait derinliğe bağlı V_S hız modelleri.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3. BİNA HASARLARI ÖN DEĞERLENDİRMESİ

06 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen iki büyük deprem Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Malatya, Diyarbakır, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Osmaniye ve Adana, Elâzığ illerimizi kapsayan çok geniş bir alanda can kayıplarına ve hasarlara yol açmıştır. Depremin hemen ardından, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği öğretim üyeleri yardım için ellerinden geleni yapmaya çalışmışlardır.

Yapı, Yapı Malzemesi, Mekanik, Geoteknik, Hidrolik ve Ulaştırma anabilim dallarına mensup öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerinden oluşan 28 kişilik bir ekip T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın yönlendirmesiyle Gaziantep ilindeki hasar tespit çalışmalarına katılmıştır. Ayrıca, Yapı ana bilim dalı öğretim üyelerinden bir grup Adana'da hasar tespit çalışmalarına katılacak inşaat mühendislerine eğitim vermişlerdir.

Ekip üyelerinin tamamı Kahramanmaraş, Adıyaman, Malatya ve Gaziantep illerinde sahada yaklaşık 9000 binada inceleme yapmış, gözlem ve tespitlerde bulunmuşlardır. Bu bölümde ekip üyelerinin sahada yaptığı gözlem ve incelemeler sonucunda elde edilen bulgular zemine bağlı oluşan hasarlar, karayolu ve demiryolu ulaşım sistemleri, toptan göçen binalar, ağır hasarlı binalar, duvar hasarlı binalar, hasarsız binalar ve yapılar alt başlıklarında değerlendirilmiştir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.1. Yetersiz Temel Performansına Bağlı Bina Hasarları

Deprem bölgesinde tarafımızca gözlenen zemin kaynaklı yapı hasarları sıvılaşan zemine oturan temel sistemlerinden kaynaklanmıştır. 06 Şubat 2023 Depremlerinde sıvılaşma İskenderun, Hatay ve Adıyaman Gölbaşı'nda yaygın olarak gerçekleşmiştir. Bunun dışında kaya düşmeleri ve şev kaymalarından kaynaklanan yapısal hasarlar da mevcuttur.

3.2. Sıvılaşmaya Bağlı Hasarlar

Sıvılaşma suya doygun gevşekten orta sıkıya kohezyonsuz zeminlerde görülen bir davranış biçimidir. Sıvılaşmanın birden çok formu olmakla birlikte en yaygın olanı deprem sırasında tabaka içinde aşırı boşluk suyu basıncının efektif gerilmeye eşitlenerek zeminin kayma mukavemetini yitirmesidir. Özellikle büyük ölçekli depremlerde yüzeye sıvılaşan tabakadan kum malzeme taşınmaktadır (Şekil 3.1).





DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.1. Adıyaman Gölbaşı'nda yüzeyde tespit edilen sıvılaşan zemin izleri

Önlem alınmadığı takdirde sıvılaşabilen zemine oturan bina ve yapılarda temel taşıma gücü kaybolmakta, pek çok durumda bina yapısal bütünlüğünü korumasına rağmen devrilmekte veya temeli aşırı oturma arz ederek zemine batmaktadır. Her iki halde bina ağır hasarlı kabul edilmekte, büyük ekonomik kayıp gerçekleşmektedir. Bunun yanı sıra sıvılaşma altyapı sistemlerini de kullanılmaz hale getirebilmektedir (Şekil 3.2)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



(a)



(b)

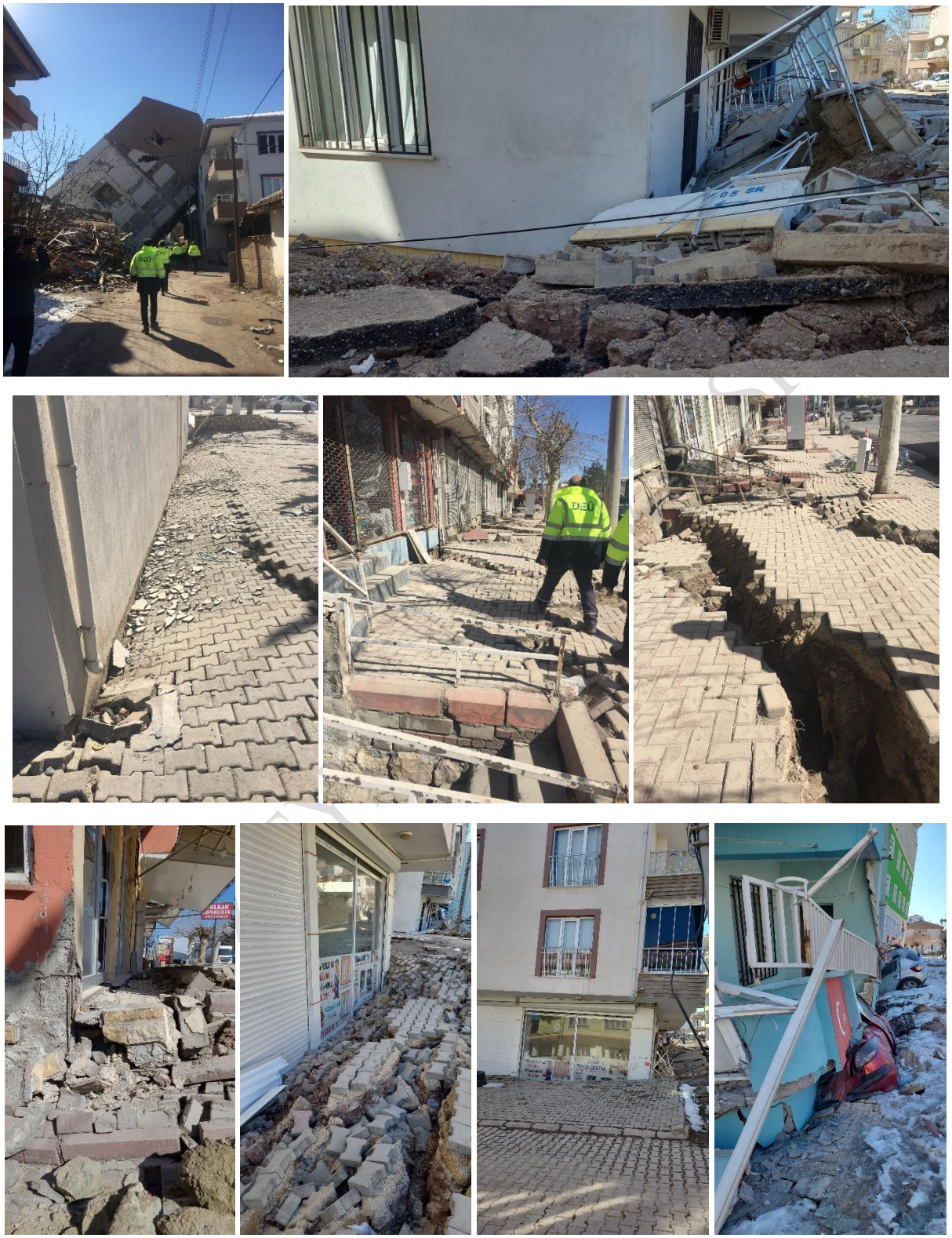


(c)

Şekil 3.2. Sıvılaşmaya bağlı alt yapı hasarları (Adıyaman, Gölbaşı): (a) Bankamatik önünde kaldırımda çökme (b) Sıvılaşan zeminde gömülme tarzında taşıma kapasitesi kaybı ve buna bağlı yolda büyük ölçekli kabarma (c) Sıvılaşan bölgeyi sınırlayan demiryolunda meydana gelen ray burkulmaları

Sıvılaşan zemine oturan binalarda taşıma gücü kaybı neticesinde meydana gelen dönme ve oturmaya bağlı hasarlar Şekil 3.3'te gösterilmiştir.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.3. Sıvılaşmaya bağlı yapı hasarları (Adıyaman, Gölbaşı)

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.3. Şevlerden Kaya Düşmesine Bağlı Oluşan Hasarlar

06 Şubat 2023 Depremlerinde tespit edilen bir diğer tehlike türü de şevlerin yüksek kısımlarından (dağ yamaçlarından) kopan kaya kütlelerinin oluşturduğu hasarlardır. Bu tür kaya düşmesi durumları canlı hayatını tehdit edebileceği gibi alt ve üst yapıya da zarar verebilmektedir. Şekil 3.4'te kaya düşmesi sonucu yürüyüş yolunda ve Şanlıurfa-Gaziantep il sınırı boyunca uzanan Birecik Baraj Gölü kıyı şeridinde oluşan hasarlar gösterilmiştir. Bu hasar sonucunda tesadüf eseri ölen ya da yaralanan olmamıştır.





Şekil 3.4. Kaya düşmesi sonucu oluşan hasar türleri (Birecik Baraj Gölü)

Deprem sonucunda baraj gölü kıyı şeridine bakan şevlerde başka kaya blokları olduğu da gözlenmiştir. Bu kaya blokları deprem etkisiyle koptuktan sonra düşerken sürtünme neticesinde şev üzerinde asılı kalmıştır (Şekil 3.5).



Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.5. Kopma sonucu şevde asılı kalan kaya blokları (Birecik Baraj Gölü)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.4 Karayolu ve Demiryolu Ulaşım Sistemlerinde Gözlemlenen Hasarlar

Pazarcık–Kahramanmaraş 7.7 ve Elbistan–Kahramanmaraş merkezli 7.6 büyüklüğündeki depremler sonrasında afet bölgesi kabul edilen 11 şehirde ulaşım sistemlerinin de hasar aldığı görülmüştür. Gözlemler sonrasında oluşan hasarların, yol kaplamaları, şevler, demiryolları ve tüneller üzerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Şekil 3.6-3.14'te afet bölgelerindeki ulaşım sistemlerinde meydana gelen hasar/hasarsızlıklar sunulmuştur.



Şekil 3.6. Gölbaşı- Adıyaman zemin sıvılaşması sonrası zemine batan yol kaplaması

Şekil 3.6'da Gölbaşı – Adıyaman'da deprem sonrası oluşan zemin sıvılaşması sebebiyle yol kaplamasının blok halde zemine batmasına ait görsel sunulmuştur. Yol kaplaması zemine batmış ancak bölünmüş yola ait orta kaldırım zarar görmemiştir. Bu durum, orta kaldırım ve yol kaplaması arasında oluşan kot farkı ile gözlemlenmiştir.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.7. Gölbaşı- Adıyaman zemin sıvılaşmasının yarattığı yol kaplamasında meydana bozulma

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Şekil 3.7'de ise Gölbaşı-Adıyaman'da depremler sonrasında meydana gelen asfalt yol kaplamasındaki bozulmalar sunulmaktadır. Görselden de görülebileceği gibi, yol deprem sonrası kullanılamaz hale gelmiştir. Bozulmaların en temel sebebi olarak yaşanan zemin sıvılaşması sonrasında binaların bodrum ve alt katlarının zemine batması gösterilebilir. Binaların batması sonucunda zeminde oluşan hacim artışları kaplama üzerinde gerilmelere sebep olmuş, gerilmeleri taşıyamayan asfalt kaplamalarda kabarmalar ve çatlaklar oluşmuştur.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.8. Gölbaşı- Adıyaman fay hattında yer alan yol kaplamasında meydana gelen bozulma

Yine aynı bölgedeki bir diğer yol kusuru ise, deprem sonrası oluşan fay kırığının yol kaplaması yüzeyine yansımasıdır. Şekil 3.8' de meydana gelen depremlerin asfalt kaplama ve parke kaplama üzerinde yarattığı yansıma kırıkları sunulmuştur.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.9. Gölbaşı – Adıyaman Demiryolu üzerinde meydana gelen hasarlar

Şekil 3.9, Gölbaşı-Adıyaman bölgesinde yer alan demiryolu ağı üzerindeki hasarları göstermektedir. Meydana gelen depremler sonrasında oluşan deprem yükleri sebebiyle

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

demiryolu üzerinde kalıcı şekil değiştirmeler gözlemlenmiştir. Depremlerin sebep olduğu yanal ve dikey atımlar demiryolu rayları üzerinde yatay ve düşey eksende deformasyonlara sebep olmuştur.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.10. Gaziantep – Adıyaman Otoyolu dolgu şevi hasarı

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Şekil 3.10’ da depremler sonrasında Gaziantep – Adıyaman Otoyolu Başpınar Mevkii’ndeki dolgu şevinde meydana gelen bozulmalar sunulmuştur. Fay kırığının yaratmış olduğu bozulma dolgu şevinden başlayıp yol platformu boyunca gözlemlenmektedir. Bu da yolun kullanım güvenliğini etkilemektedir.

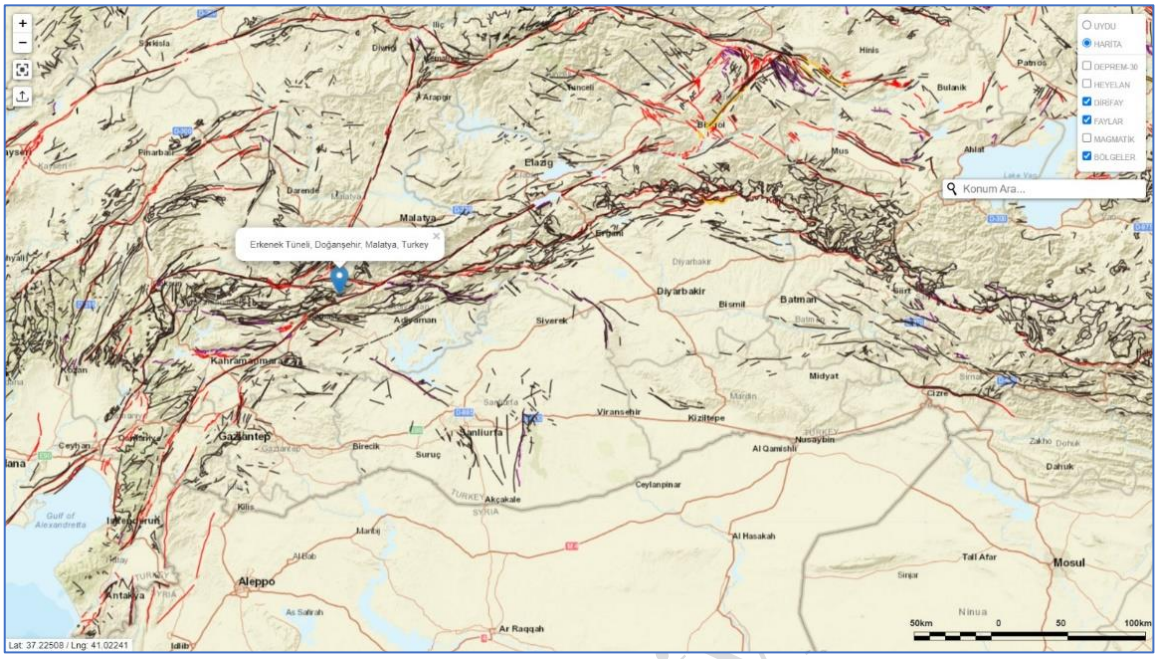


Şekil 3.11. Malatya - Erkenek Tünelleri yaklaşım yolunda faylanmaya bağlı ağır hasar

Şekil 3.11’de Malatya Erkenek Tünelleri yaklaşım yolunda fay kırığının sebep olduğu yol hasarı görülmektedir. Fay kırığının yansıması asfalt yolun tamamında ağır hasar oluşturmuş ve mevcut yolu kullanılamaz duruma getirmiştir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



3.12. Kahramanmaraş Malatya arasında konuşlu Erkenek Tünelleri'nin konumu



3.13. Erkenek Tünelleri'nin Malatya güzergahında tespit edilen nihai kaplama hasarı

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Şekil 3.12 Kahramanmaraş Malatya arasında konuşlu Erkenek Tünellerinin konumunu göstermektedir. Şekil 3.13 ise, Erkenek Tünellerinin Malatya güzergahında yer alan kısmında oluşan kaplama hasarını göstermektedir. Meydana gelen depremlerin beton kaplama üzerinde yarattığı gerilmeler kaplamanın dökülmesine ve su yalıtımında kullanılan membranların ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Diğer yandan, Şekil 3.14, Adana - Şanlıurfa Otoyolunda yer alan Turgut Özal Viyadüğünün deprem sonrası mevcut durumunu sunmaktadır. Meydana gelen depremler viyadük üzerinde hasar oluşturmamıştır. Viyadüğün mevcut haliyle kullanımına devam edilmektedir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12





Şekil 3.14. Turgut Özal Viyadüğü deprem sonrası mevcut durumu

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.5. Toptan Göçen Binalar

Üniversitemiz İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri, Deprem merkez üssüne yakın olan Gaziantep'te hasar tespit çalışmalarında görev yapmışlardır. Bu görev sırasında, Gaziantep şehir merkezi ile deprem nedenli yapısal hasarların yoğun olarak meydana geldiği Gaziantep'e bağlı Nurdağı, Islahiye ilçeleri, Adıyaman'a bağlı Gölbaşı İlçesi, Kahramanmaraş şehir merkezi ve Kahramanmaraş'a bağlı Pazarcık ilçesinde gözlemsel incelemelerde bulunmuşlardır. Bu şehirlerde deprem nedeni ile çok sayıda binanın yıkıldığı görülmüştür. Yıkım yaşanan bu binalar ile ilgili değerlendirmeler aşağıda sunulmaktadır.

Şekil 3.15.'de Kahramanmaraş şehir merkezinde yıkılmış binaların enkazındaki beton kalıntıları görülmektedir. Beton numuneleri incelendiğinde, beton tasarım ilkelerine uyulmadan elle hazırlanan bu betonların, oldukça zayıf olduğu elle ufalanabilir nitelikte olduğu, agrega tane boyut dağılımlarının uygun olmadığı (bir kısmının iri agrega içeriğinin oldukça yetersiz olduğu, bir kısmının ise yumruk büyüklüğünde taş parçaları içerdiği), su/çimento oranlarının ise oldukça yüksek olduğu gözle yapılan bir incelemede bile rahatlıkla anlaşılabilmektedir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

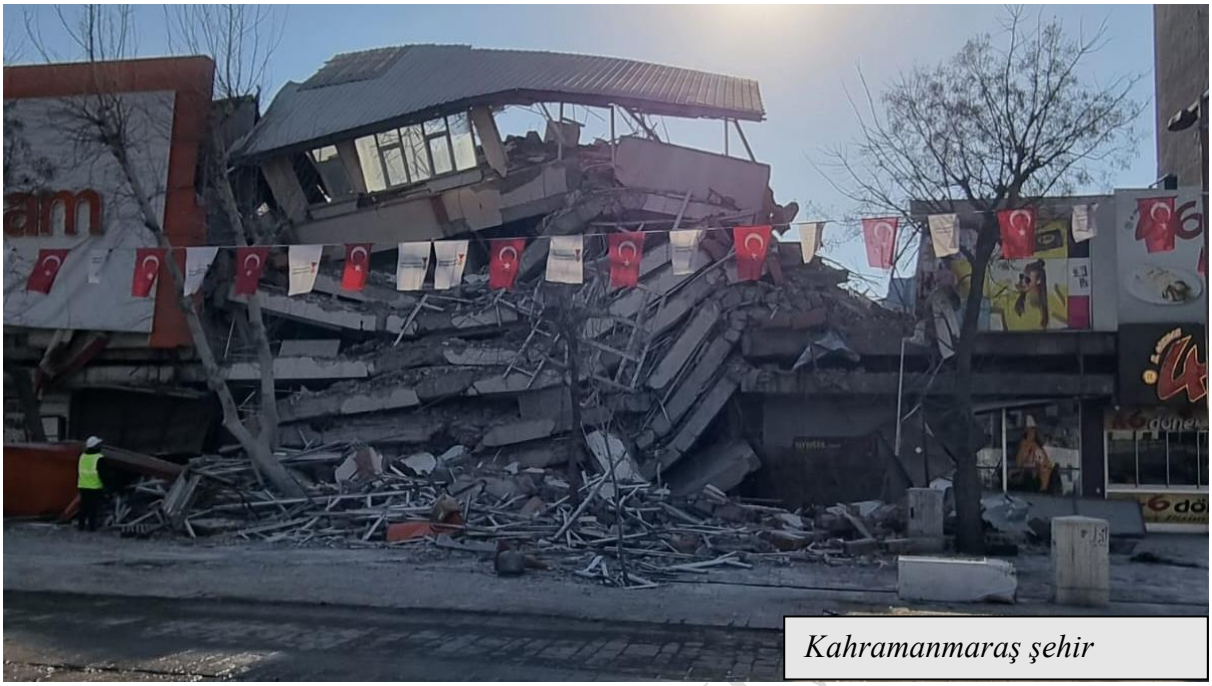


Şekil 3.15. Yıkılmış binalardan kopan beton parçaları

Şekil 3.16-3.18.'de gezilen şehir merkezlerinde tüm düşeme tabliyeleri üst üste yıkılmış bir bina enkazları görülmektedir. Bu tür bir yıkılma şeklinin, proje hatalarının yanı sıra, niteliksiz malzeme kullanımının ve imalat hatalarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12





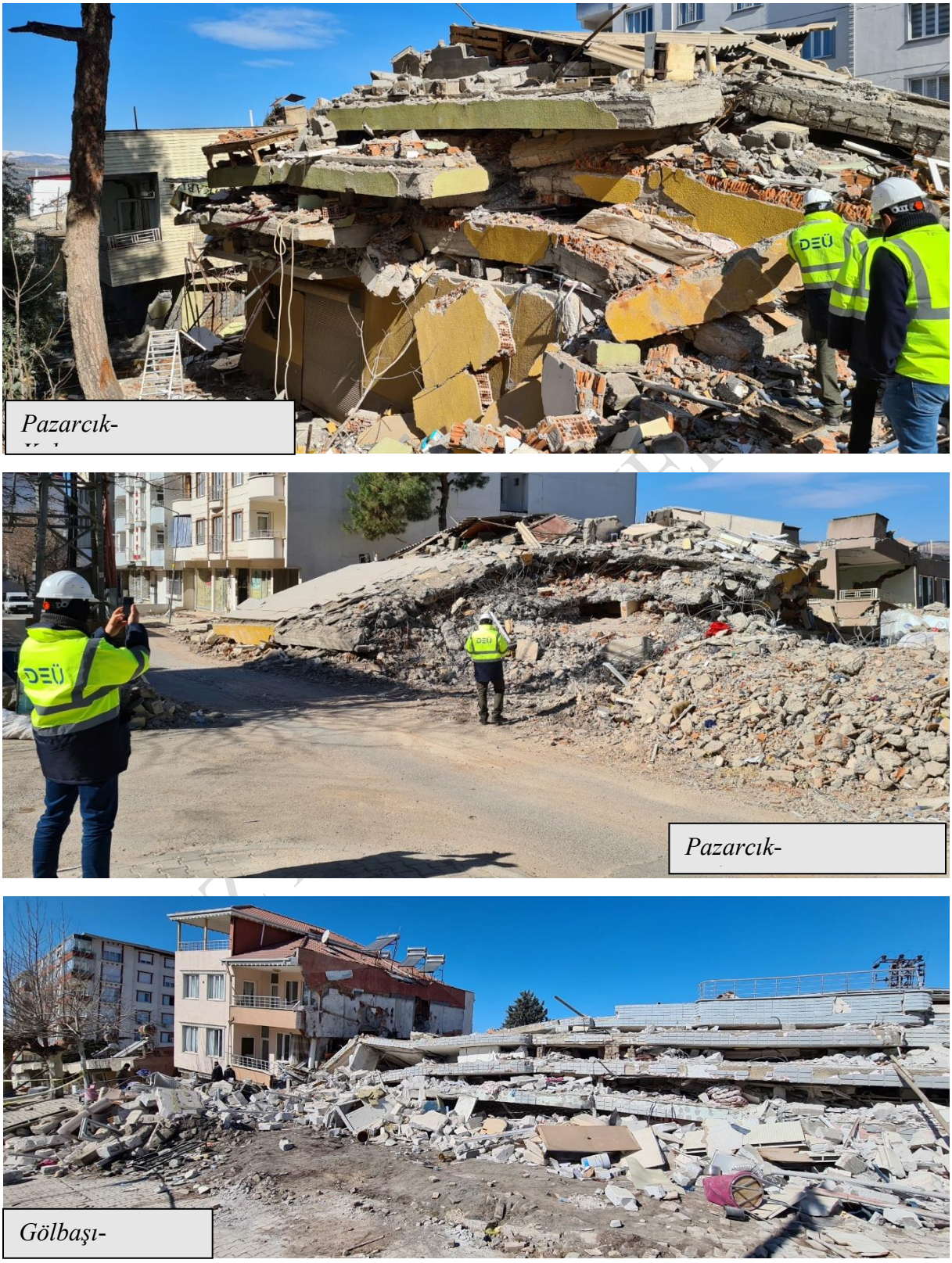
Şekil 3.16. Toptan göçme şeklinde yıkılan binalar

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12





Şekil 3.17. Toptan göçme şeklinde yıkılan binalar



Şekil 3.18. Toptan göçme şeklinde yıkılan binalar

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Toptan göçen binaların genellikle 2000 yılı öncesi yapılmış olan eski yapılar olduğu gözlenmiştir. Söz konusu binalarda malzeme kalitesinin yetersizliği yanında yönetmeliklere uygun olmayan şekilde yetersiz sayıda ve uygun olmayan aralıkta etriye kullanıldığı, etriye kancalarının 90 derece gönyeli olduğu ve işçilik kalitesinin kötü olduğu görülmüştür. Yıkılan binalarda etriye durumunu gösteren fotoğraflar Şekil 3.19'da verilmiştir.



Şekil 3.19. Toptan göçen binalarda etriye yetersizliği

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Binaların yanında, prefabrike betonarme yapılarda da hasar ve göçmeler olduğu görülmüştür. Özellikle oluşan bu hasarların çatımakaslarının göçmesi nedeni ile oluştuğu görülmektedir. Prefabrike yapılardaki hasarlara yönelik fotoğraflar Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Prefabrik elemanlarda tespit edilen hasarlar (Eski mezunumuz Alper Askay tarafından çekilmiştir, Kahramanmaraş)

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.6 Ağır Hasarlı Binalar

Deprem sebebi ile binalarda yıkım yaşanan şehirlerde çok sayıda binanın ağır hasarlı durumda olduğu gözlenmiştir. Bu binaların genel olarak 2000 yılı öncesinde yapılmış eski binalar olduğu, beton ve donatı kalitesinin kötü olduğu, etriye aralıklarının fazla olduğu, işçilik kalitesinin kötü olduğu ve çoğu ağır hasarlı binanın zemin katının dükkan olması nedeni ile yumuşak kat düzensizliği ve komşu katlar arası rijitlik düzensizliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması yapılmamış binaların birleşim bölgelerinde mafsallaşma oluşumları gözlemlenmiştir. Söz konusu yapısal hasarlar ile ilgili fotoğraflar Şekil 3.21-3.27'de verilmiştir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12





Şekil 3.21. Ağır hasar görmüş binaların kolon-kiriş birleşim bölgesinde yapılan imalat hataları (Nurdağı ve İslâhiye)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.22. Kirişi kırılan ağır hasarlı bina (Nurdağı)



Şekil 3.23. Kısmi olarak göçmüş bina (Nurdağı)

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.24. Alt katında dükkân olan kısmi göçmüş bina (Pazarcık)



Şekil 3.25. Alt katında dükkân olan kısmi göçmüş bina (Gölbaşı)



Şekil 3.26. Alt katında dükkan olan kısmi göçmüş bina (Gölbaşı)

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.27. Ara katı göçmüş okul binası (Kahramanmaraş)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.7 Duvar Hasarlı Binalar

Özellikle 2000 yılı sonrası yapılmış göreceli olarak yeni olan yapılarda hasarın genellikle duvarlarda meydana geldiği ve bu yapılarda yumuşak kat düzensizliği olmasına rağmen toptan göçmenin oluşmadığı gözlenmiştir. Şekil 3.28 - Şekil 3.33 arasındaki fotoğraflar duvar hasarı bulunan binaları göstermektedir.



Şekil 3.28. Duvar hasarı bulunan bina (Nurdağı)

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.29. Duvar hasarı bulunan bina (Nurdağı)



Şekil 3.30. Duvar hasarı bulunan bina (Nurdağı)

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.31. Duvar hasarı bulunan bina (İslâhiye)

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.32. Duvar hasarı bulunan bina (Pazarcık)

DOKUZ EYLÜL

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.33. Duvar hasarı bulunan bina (Gölbaşı)

DOKUZ EYLÜL ÜNİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

3.8 Hasar Görmeyen Binalar ve Yapılar

Bölgede yapılan incelemelerde, yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmiş, göreceli olarak yeni yapılmış, sağlam zemin üzerinde bulunan, beton ve donatı kalitesi yeterli ve imalat işçiliği uygun olarak yapılan binalarda hasar oluşmadığı gözlenmiştir. Yıkılan binalar ile aynı yerde bulunan bu binalar, tekniğine uygun olarak inşa edilen binaların yeterli güvenliğe sahip olduğunun bir kanıtı olarak değerlendirilebilir. Hasat görmemiş binalara ait örnekler Şekil 3.34-3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.34. Deprem sonrası hasarsız bina

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.35. Deprem sonrası hasarsız bina (Pazarcık)



Şekil 3.36. Deprem sonrası hasarsız bina (Pazarcık)

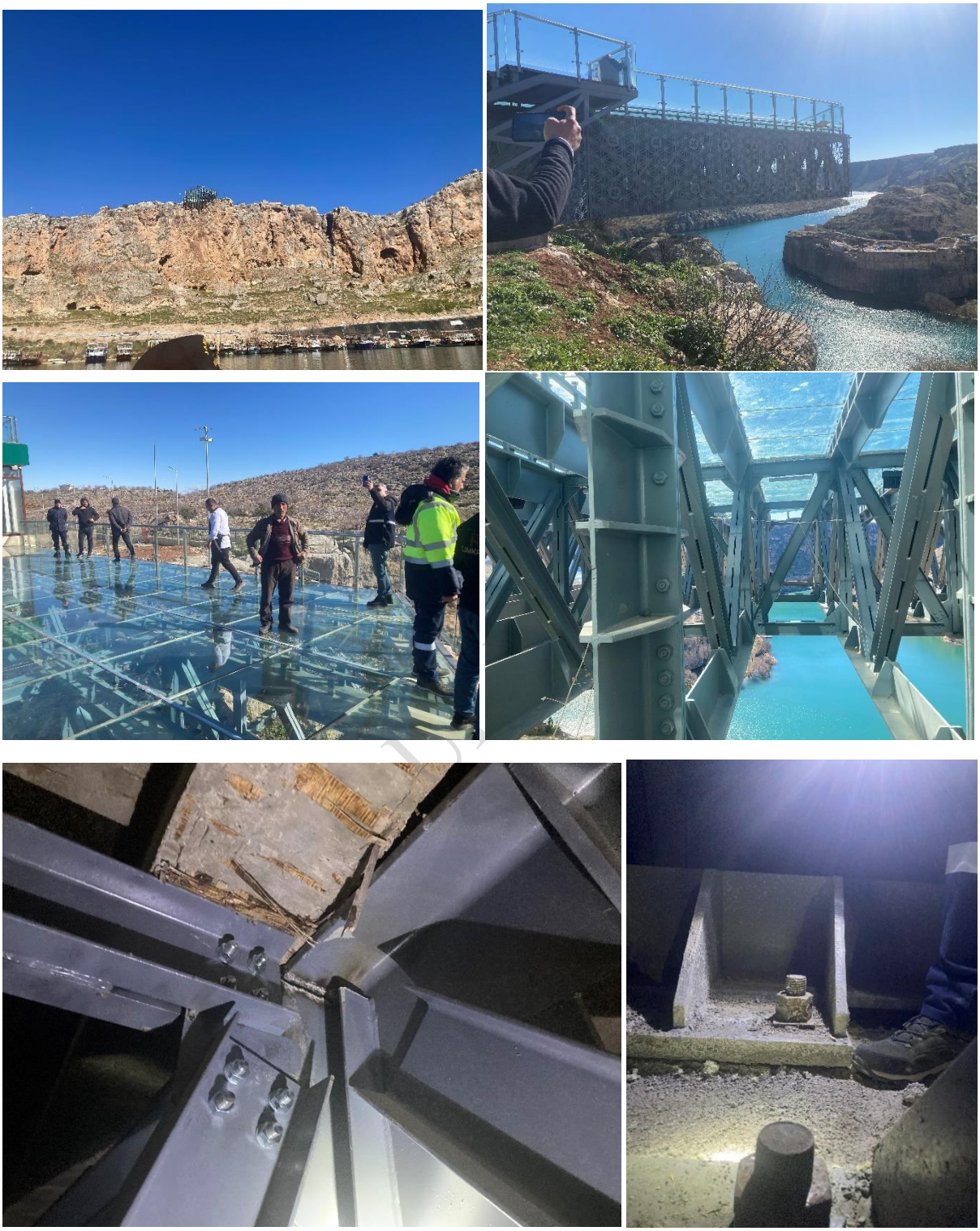


Şekil 3.37. Deprem sonrası hasarsız bina (İslâhiye)

Binaların yanında, Birecik Baraj gölü yakınındaki konsol çelik seyir terası da farklı bir yapı olması nedeni ile incelenmiştir. Söz konusu çelik yapıda sadece bazı bulonlarda gevşeme olduğu bunun dışında önemli bir hasar olmadığı gözlenmiştir (Şekil 3.38).

DOKUZ EYLÜL ÜNİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12



Şekil 3.38 Birecik Baraj Gölü kıyısında konuşlu çelik seyir terası mesnet bulonlarında ve kaynakta tespit edilen gevşeme ve yırtılması hasarları

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Son yüz yılda Dünya'nın kara kısmında meydana gelmiş en büyük depremlerden biri olan Maraş depremlerinde, ilk ana şok sırasında 3 fay (Amanos, Pazarcık ve Erkenek Fayı), ikinci ana şokta Çardak ve Doğanşehir Fayı birlikte kırılmış, 20 Şubat 2023 tarihindeki Antakya depreminde ise Antakya Fayı'nın kuzey segmenti depremin sismik kaynağını oluşturmuştur.

GNSS verilerinden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında Kahramanmaraş, Hatay, Osmaniye, Malatya, Elazığ'daki GNSS istasyonları Güneybatı'ya doğru, Ekinözü (Kahramanmaraş), Feke (Adana), Tufanbeyli (Adana)'daki istasyonlar Kuzeybatı'ya doğru, Gaziantep ve Kilis'teki istasyonlar Kuzeydoğu'ya doğru Adıyaman'daki istasyon ise Güneydoğu'ya doğru hareket etmiştir.

Ayrıca GNSS istasyonlarında depremin etkisiyle plastik deformasyon meydana gelmiştir. Bir başka deyişle, depremin etkisinin ortadan kalkmasıyla hareket eden noktalar ilk konumlarına geri dönmemiş, bölge kalıcı deformasyona uğramışlardır. 6 Şubat 2023'de meydana gelen Mw 7.7 ve Mw 7.6 depremlerinin, GNSS zaman serilerindeki değişimlerin gözlemlenmesiyle geniş bir bölgede etkili olduğu ortaya konmuştur.

Coulomb gerilimin diyagramının kırmızı renkli bölgelerine karşılık gelen kuzeybatıda Sivas ve çevresi, kuzeydoğuda Malatya ve çevresi, güneydoğuda Gaziantep'in güneyi ve Suriye, Güneybatıda Hatay ve çevresi, batıda ise Aksaray'a kadar gerilim artımının olması nedeniyle deprem riskini yüksek olduğu söylenebilir.

Şekil 12 ve Şekil 13 birlikte irdelendiğinde GNSS istasyonlarının yüksek hareketlilik nedeniyle veri alamadığı durumlardaki yer değiştirme ancak sismolojik istasyonlarda algılanabilmiştir.

Mikrotremor ve SPAC çalışmalarından elde edilen ilk jeofizik bulgular değerlendirildiğinde İskenderun kent merkezi ve kıyı kesiminin zemin hakim titreşim periyodu değerlerinin yüksek olduğu ve zayıf zemin niteliğinde olduğu belirlenmiş ve çalışma alanında elde edilen düşük VS30 hız değerlerinin de bunu desteklediği gözlenmiştir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

İnşaat Mühendisliği Bölümü saha inceleme ve gözlem ekibi üyelerinin tamamı Kahramanmaraş, Adıyaman, Malatya ve Gaziantep illerinde sahada yaklaşık 9000 binada inceleme yapmış, gözlem ve tespitlerde bulunmuşlardır. Sonuç olarak, deprem bölgesindeki şehirlerde yapılan gözlemsel inceleme sonucunda, göçen veya hasar gören betonarme binalar için aşağıdaki belirlemeler yapılmıştır:

- Hasarlı ve göçen binalar genellikle 2000 yılı öncesi yapılmıştır.
- Hasarlı ve göçen binalar genellikle deprem yükleri altında sıvılaşabilen zemin üzerinde yer almakta olup temel sistemlerinde yetersizlik bulunmaktadır.
- Hasarlı ve göçen binalarda beton ve donatı malzeme kalitesi yetersizdir.
- Hasarlı ve göçen binalarda, etriye aralıkları yönetmeliklerde izin verilen aralık şartlarını sağlamamakta olup etriye gönyeleri 90 derece olarak imal edilmiştir.
- Hasarlı ve göçen binalarda işçilik kalitesi son derece yetersizdir.
- Hasarlı ve göçen çoğu binanın zemin katında dükkân yer almakta olup yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır.
- Hasarlı ve göçen bazı binalarda çekme kat bulunması nedeni ile rijitlik düzensizliği bulunmaktadır.
- Hasarlı ve göçen bazı binalarda elektrik, sıhhi tesisat gibi bazı yapısal olmayan sistem elemanlarının kolon- kiriş gibi taşıyıcı sistem elemanlarında hasar oluşturacak şekilde imalat edildiği ve bu durumun yapıda zayıflamaya neden olduğu görülmüştür.

Bununla birlikte; duraylı zemin üzerinde yer alan, güncel deprem yönetmeliklerine uygun olarak yapılmış ve yeterli kalitede beton ve donatı kullanılarak inşa edilen yapıların bu depremi hasarsız atlattığı görülmektedir.

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

KAYNAKLAR

AFAD 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu.

Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A. 2007. "Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey", Turkish Journal of Earth Sciences, 16, 319-338.

Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, Yılmaz, O., Havazli, E. 2016. "Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field", Journal of Geodynamics, 94-95, 1-12.

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

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

Ambraseys, N.N. 1970. "Some characteristic features of the Anatolian Fault Zone", Tectonophysics, 9, 143-165.

Ambraseys, N.N. 1971. "Value of Historical Records", Nature, 232, 375-379.

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

Arpat, E., Şaroğlu, F. 1972. "Doğu Anadolu Fayı ile İlgili Bazı Gözlemler ve Düşünceler", Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 78, 44-51.

Arpat, E., Şaroğlu, F. 1975. "Türkiye'de Bazı Önemli Genç Tektonik Olaylar", Türkiye Jeoloji Bülteni, 18 (1-2), 91-101.

Aydın, A., Seymen, İ. 1972. "Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fay zonu ile ilişkisi", MTA Bülteni, 79, 1-8.

Balkaya, M. 2022. "Sürgü Ve Çardak Faylarinin (Doğu Anadolu Fay Zonu) Morfotektonik Ve Paleosismolojik Özellikleri", Doktora Tezi, Çanakkale Üniversitesi.

Barka, A. A., Kadinsky-Cade, K. 1988. "Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity", Tectonics, 7 (3), 663-684.

Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S., Şaroglu, F., Şengör, A. M. C. 1986. "Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia a young collision zone", Geological Society, London, Special Publications, 19(1), 1-36.

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

Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Kürçer, A., Kara, M., Özdemir, E., Yavuzoğlu, A., Uygun Güldoğan, Ç., 2020. "Paleoseismology of the western Sürgü-Misis fault system: East Anatolian Fault, Turkey", Mediterranean Geoscience Rewievs, 2, 411-437.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun ve Şaroğlu, F., 2013. Türkiye Diri Fay Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30. Ankara-Türkiye.

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Erhan Z, 2018. Sismik kırılma ve çok kanallı yüzey dalgaları uygulaması ve değerlendirilmesi. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Meslek İçi Eğitim ve Belgelendirme Kursları, Kurs Notları, 52 s.

Görür, N., Oktay, F. Y., Seymen, İ., Şengör, A. M. C. 1984. "Palaeotectonic evolution of Tuzgölü basin complex, Central Turkey", Geological Society London, Special Publication, 17, 81-96.

Guidoboni, E., Comastri, A., Traina, G., & Rom Istituto Nazionale di Geofisica. 1994. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to the 10th Century (Vol. 504). Rome: Istituto nazionale di geofisica.

Guidoboni, E., 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.

Gutenberg, B. ve Richter, C.F., 1956, Magnitude and energy of earthquakes. Ann. Geolis., 9, p. 1.

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., Şaroğlu, F. 1981. "The East Anatolian Transform Fault: along strike variations in geometry and behaviour", EOS Transac, 62, 393.

Herece, E. 2008. Doğu Anadolu Fay (DAF) Atlası, Special Publication Series-13: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Herece, E., Akay, E. 1992. "Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı", Türkiye 9. Petrol Kongresi, Ankara.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Veri Bankası, http://www.koeri.boun.edu.tr, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 21/02/2023.

Ketin, İ. 1966. "Anadolu'nun tektonik birlikleri", MTA Dergisi, 66, 20-34.

Ketin, İ. 1968. "Türkiye'nin genel tektonik durumu ve başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler", Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 71, 129-134.

Koç, A., Kaymakçı, N. 2013. "Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study", Journal of Geodynamics, 65, 292-307.

Lovelock, P.E.R. 1984. "A review of the tectonics of the northern Middle East region", Geol. Mag., 121/6, 577-587.

Lyberis, N., Tekin, Y., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N. 1992. "The East Anatolian Fault: an oblique collisional belt", Tectonophysics, 204, 1-15.

McKenzie, D.P. 1976. "The East Anatolian fault: A major structure in eastern Turkey", Earth and Planetary Science Letters, 29, 189-193.

Muehlberger, R.W., Gordon, M.B. 1987. "Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey", Journal of Structural Geology, 9, 899-903.

Perinçek, D., Çemen, İ. 1990. "The Structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea Fault zones in Southeastern Turkey", Tectonophysics, 172, 331-340.

Perinçek, D., Kozlu, H. 1984. "Afşin-Elbistan-Doğanşehir dolayının stratigrafisi ve bölgedeki birliklerin yapısal ilişkileri", TPAO kurum raporu, Ankara (yayınlanmamış).

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12

Seymen İ, Aydın A. 1972. "The Bingöl earthquake fault and its relation to the North Anatolian Fault Zone", Bull. Miner. Res. Explor.Inst., No. 79, pp. 1–8.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992. Türkiye Diri Fay Haritasi. Ölçek: 1:2.000.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y. 1981. "Tethyan evolution of Turkey; a plate tectonic approach", Tectonophysics, 75 (3-4), 181-241.

Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. "Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study". in Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Soc. Econ. Paleontol. Spec. Publ. Editör: Biddle, K. T., Christie-Blick, N. Oklahoma: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 227- 264.

Taymaz, T., Eyidogan, H., Jackson, J. 1991. "Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey)", *Geophysical Journal International*, 106, 537-550.

Toda, S., Stein, R. S., Sevilgen, V., & Lin, J. (2011). Coulomb 3.3 Graphic-rich deformation and stress-change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching—user guide. US Geological Survey open-file report, 1060(2011), 63.

USGS (United States Geological Survey), 2017, Amerika Jeolojik Araştırmalar Kurumu, http://earthquake.usgs.gov/, 13/02/2023.

Wells, D. L., Coppersmith, K. J. 1994. "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement". Bulletin of the seismological Society of America, 84(4), 974-1002.

Wessel, P., Smith, W.H.F., 2006, The Generic Mapping Tools (GMT) version 4.1.4 Technical Reference & Cookbook, NOAA/NESDIS.

Westaway, R., Arger, J. 2001. "Kinematics of the Malatya-Ovacık Fault Zone", Geodinamica Acta, 14 (1), 103-131.

Yılmaz, H. 2002. "Sürgü Fayı'nın neotektonik özellikleri", Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19,1, 35-46.

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

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

Cumhuriyet Bulvarı No: 144 35210 Alsancak / İZMİR - Telefon:+90(232) 412 12 12