KANDİLLİ
RASATHANESİ VE
DEPREM ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
1868

6 Şubat 2023 Mw7.7 Gaziantep
6 Şubat 2023 Mw.7.6 Kahramanmaraş
20 Şubat 2023 Mw6.4 Hatay Depremleri
Ön Değerlendirme Raporu

Düzenleyenler: Gülüm Tanırcan, Tülay Kaya Eken

13/03/2023

ÖZ

06 Şubat 2023 tarihinde yerel saat ile 04:17'de merkez üssü Sofalaca-Şehitkamil-Gaziantep (37.2318 K 37.0029 D) de aletsel büyüklüğü Mw7.7 (M_L7.4) olan çok şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremi takiben aynı gün saat 13:24'de merkez üssü Ekinözü-Kahramanmaraş (38.0717 K 37.2063 D) ve aletsel büyüklüğü Mw7.6 (M_L7.4) olan çok şiddetli bir deprem daha meydana gelmiştir. 20 Şubat 2023 Mw6.4 Hatay depremi artçı bir deprem özelliğinde olup, can kaybı yanında, hasarlı olan bazı binaların çökmesine neden olmuştur.

Depremler sığ odaklı olup Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu ve Akdeniz Bölgelerini kapsayan geniş bir alanda hissedilmiş ve yerleşim yerlerinde ağır hasara sebep olmuştur. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı yetkililerinin incelemelerine göre, bölgedeki 202 bin bina acil yıkılacak, ağır hasarlı veya yıkık durumdadır. 14 Mart 2023 tarihli AFAD açıklamasına göre depremde ölen kişi sayısı 48.448 dir.

Bu rapor kapsamında deprem bölgesinin sismotektonik yapısı özetlenmiş, 6 Şubat 2023 Mw7.7 ve Mw7.6 depremleri ile 20 Şubat 2023 Mw6.4 depremine dair sismolojik bulgular değerlendirilmiştir. BDTIM tarafından üretilen ve Türkiye'de AFAD'a ve bölgedeki üye ülkelerin ilgili kurumlarına iletilen tsunami uyarı ve bilgi mesajları raporlanmıştır.

Mw7.7 ve Mw7.6 depremleri deformasyon analizi ön değerlendirmesi yapılmıştır. Bu depremlerin kuvvetli yer hareketi kayıtları incelenerek en büyük genlikleri hesaplanmış, tepki spektrumları çizilmiş ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) elastik tasarım spektrumları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Deprem bölgesindeki sınırlı sayıda yapıda hasar tespiti gerçekleştirilerek yapısal hasar derecesi ve sebepleri tartışılmıştır.

Katkıda Bulunanlar:

Ali Pınar, Ayşe Edinçliler, Ayşegül Köseoğlu, Didem Cambaz, Doğan Aksarı, Doğan Kalafat, Gülüm Tanırcan, Haluk Özener,Kıvanç Kekovalı, M. Feyza Akkoyunlu, Mahyat Shafapour Tehrany, Onur Yılmaz, Selda Altuncu Poyraz, Tuğçe Ergun, Tülay Kaya Eken, Uğur Teoman.

Çağkan Serhun Zoroğlu, Emrecan Adanır, Fahrettin Kuran, Fatih Turhan, Filiz Özdemir, Gözde Sezgin Tunçay, Kübra Kıransan, M. Görkem Yıldız, Mehmet Kara, Murat Çalıkoğlu, Muzaffer Gül, Müberra Esen, Ömer Ülker, Pınar Hisarlı, Ramazan Livaoğlu, Remzi Polat, Seda Işık, Sercan Akbaşak, Yasin Sait Toksoy, Yavuz Güneş, Zafer Öğütçü.

ÖZ i
Katkıda Bulunanlar: ii
1. BÖLGENİN SİSMOTEKTONİĞİ 1
1.1 Tektonik 1
1.2 Depremsellik 1
2. 6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNİN SİSMOLOJİK ÖZELLİKLERİ 4
2.1 Artçı Depremler 4
2.2 6 Şubat 2023, 04:17 Depremi (Mw7.7) 6
2.3 6 Şubat 2023, 13:24 Depremi (Mw7.6) 8
2.4 20 Şubat 2023 20:04 Hatay-Samandağ Depremi (Mw6.4) 10
3. COULOMB GERİLME DEĞİŞİMLERİ 16
4. 6 ŞUBAT 2023 (MW7.7, MW7.6) VE 20 ŞUBAT 2023 (MW6.4) DEPREMLERİ TSUNAMİ UYARI MESAJLARI 18
4.1 20230206 Ml=7.4 (Mw=7.7) Gaziantep Şehitkamil Sofalaca Depremi 18
1.3 20230220 Ml=6.4 (Mw=6.3) Hatay Büyükçat Samandağ Depremi 20
1.4 EK1. 20230206 Gaziantep Şehitkamil Sofalaca Depreminde Yayınlanan Tsunami Uyarı Mesajları 22
1.5 EK2. 20230220 Hatay Depreminde Yayınlanan Tsunami Uyarı Mesajları 28
5. JEODEZİK ÖN DEĞERLENDİRME 32
5.1 Uzaktan Algılama ile Deformasyon Analizi Ön Değerlendirme 32
6. KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ 38
6.1 $M_{W=}$7.7 – 04:17 (GMT +3) Depremi 38
6.1.1. KRDAE İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon Verilerinin Değerlendirilmesi 38
6.1.2 Seçili AFAD İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketleri Verilerinin Değerlendirilmesi 39
6.2 $M_{W=}$7.6 – 13:24 (GMT +3) Depremi 47
6.2.1 KRDAE İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon Verilerinin Değerlendirilmesi 47
6.2.2 Seçili AFAD İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketi Verilerinin Değerlendirilmesi 48
6.3 Kalıcı Deplasmanlar (fling), AI ve CAV dağılımları ve Azalım İlişkileri ile Kıyaslamaları 54
Kalıcı Deplasmanlar 54
CAV ve AI değerleri / Türkiye uyumlu Tahmin Modeli ile karşılaştırılması 56
7. YAPISAL HASARLAR 58
7.1 Hasar Durumunun Tespitinde Kullanılan Yöntem 58

7.2 Mw 7.7 Depremi ve Yarattığı Etki 59
7.3 Mw 7.6 Elbistan Depremi ve Yarattığı Etki 61
7.4 İncelenen Yapı Envanteri 65
7.5 Zemin sıvılaşması, zemin göçmesi ya da zemin kaymasına bağlı hasarlar 67
7.6 Tasarımdan kaynaklanan hatalar 69
7.7 Malzeme (beton ve/veya donatı çeliği) kalitesizliğine bağlı hasarlar 72
7.8 İmalat hatalarına bağlı hasarlar 73
8. SİSMİK YALITIMLI BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 76
KAYNAKLAR 79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Doğu Anadolu Fay Zonunda meydana gelen önemli depremler. Kırmızı yıldız semboller 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Mw7.7 ve Mw7.6 depremlerin episantırlarını göstermektedir. 3
Şekil 1.2 DAF ve civarında 1900-2021 arası meydana gelen depremler (M>4.0) 3
Şekil 2.1 6 Şubat – 13 Mart 2023 tarihleri aralığında meydana gelen artçı depremlerin dağılımı 4
Şekil 2.2 06.02.2023'den 13.03.2023 tarihine kadar M=>4.0 olan depremlerin gösterimi 5
Şekil 2.3 06.02.2023'den günümüze kadar olan 3 büyük depreme ait sismik aktivitenin büyüklük dağılımı 5
Şekil 2.4 Şubat 2023 04:17 depreminde kırılan Narlı fayı ile Pazarcık fay segmentleri 6
Şekil 2.5 Narlı fayında meydana gelen depremde oluşan sismik dalgaların DAF'a doğru ilerlemesi şekli. NASA uydu verisi kırılan fay segmentlerin doğrultularını göstermektedir. 7
Şekil 2.6 04:17 depremi (Mw7.7) telesismik cisim dalgaların modellenmesi ile elde edilen sonlu fay modeli 7
Şekil 2.7 KRDAE ivme istasyonu KHMN D-B bileşeninde görülen çoklu fay kırılması 8
Şekil 2.8 06.02.2023 04:17 depremi (Mw7.7) diğer sismoloji merkezleri tarafından verilen odak mekanizması çözümleri 8
Şekil 2.9 Sürgü-Çardak fayında meydana gelen depremi (Mw7.6) için sonlu fay modeli 9
Şekil 2.10 06.02.2023 13:24 (Mw:7.6) depreminin KOERI-BDTİM tarafından bulunan odak mekanizması çözümü 10
Şekil 2.11 06.02.2023 13:24 Ekinözü-Kahramanmaraş depreminin diğer sismoloji merkezleri tarafından verilen odak mekanizması çözümleri 10
Şekil 2.12 NASA uydu verilerinden 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremlerin neden olduğu deformasyon alanı 11
Şekil 2.13 20 Şubat 2023, 20:04'te meydana gelen artçı deprem için elde edilen sonlu fay modeli 12
Şekil 2.14 6 Şubat 2023 deprem bölgesinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizması çözümleri. Veriler EMSC-CSEM web sayfasından alınmıştır. 12
Şekil 2.15 06.02.2023 Gaziantep ve Kahramanmaraş ve 20.02.2023 Hatay depremlerinin Odak Mekanizması Çözümleri 13
Şekil 2.16 Bölgede bulunan BDTİM istasyonlarına ait kabuk kalınlıkları 14
Şekil 2.17 06.02.2023'den 21.02.2023 kadar meydan gelen depremlerin 3 boyutlu gösterimi (enlem, boylam, derinlik) 15
Şekil 3.1 6 Şubat 2023, 04:17 ve 13:24 ile 20 Şubat 2023 20:04 depremin sonlu fay modelleri kullanılarak elde edilen optimum yönelimli doğrultu-atımlı faylar için elde edilen Coulomb gerilme değişimleri 16
Şekil 3.2 6 Şubat 2023, 04:17 ve 13:24 ile 20 Şubat 2023 20:04 depremin sonlu fay modelleri kullanılarak elde edilen optimum yönelimli normal faylar için elde edilen Coulomb gerilme değişimleri 17
Şekil 3.3 6 Şubat 2023, 04:17 ve 13:24 ile 20 Şubat 2023 20:04 depremin sonlu fay modelleri kullanılarak elde edilen optimum yönelimli ters faylar için elde edilen Coulomb gerilme değişimleri 17
Şekil 4.1 KRDAE Tsunami uyarı mesajlarında ek olarak gönderilen; Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası, Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası, Tsunami Varış Zamanı Haritası. ... 19

Şekil 4.2 Harita Genel Müdürlüğü (HGM) (Hatay-İskenderun, Mersin-Erdemli, KKTC-Gazimagusa) mareograflarından yapılan deniz seviyesi değişimi ölçümleri. Kırmızı çizgi, deprem oluş zamanını göstermektedir. 20
Şekil 4.3 KRDAE Tsunami uyarı mesajlarında ek olarak gönderilen; Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası, Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası, Tsunami Varış Zamanı Haritası. ... 21
Şekil 4.4 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 1/3: Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası 24
Şekil 4.5 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 2/3: Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası 24
Şekil 4.6 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 3/3: Tsunami Varış Zamanı Haritası 25
Şekil 4.7 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 1/3: Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası 29
Şekil 4.8 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 2/3: Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası 30
Şekil 4.9 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 3/3: Tsunami Varış Zamanı Haritası 30
Şekil 5.1 01-23 Şubat 2023 tarihleri arasında bölgede meydana gelen M≥ 3 depremler. 32
Şekil 5.2 Alçalan yörüngedeki uydudan elde edilen veriler ile oluşturulmuş interferogram. ... 33
Şekil 5.3 Yükselen yörüngede (a) uydu uçuş yönü (along-track, azimuth) ve (b) uydu uçuş yönüne dik yön (across-track, range) boyunca olan ofset haritaları. 34
Şekil 5.4 Alçalan yörüngede (a) uydu uçuş yönü (along-track, azimuth) ve (b) uydu uçuş yönüne dik yön (across-track, range) boyunca olan ofset haritaları. 35
Şekil 5.5 Radar görüntülerine dayalı Kahramanmaraş depremleri ilksel yüzey kırığı ve yer hareketi haritası (USGS: https://www.usgs.gov/media/images/fofez1rwyaafgf5jpg). 36
Şekil 5.6 Hatay depremine ait radar bakış yönündeki (LOS) yer değiştirme miktarları. 37
Şekil 6.1 ARPRA ve KHMN İstasyonları Tepki Spektrumunun TBDY (2018) Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması 39
Şekil 6.2 KRTS ve CMRD İstasyonları Tepki Spektrumunun TBDY (2018) Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması 39
Şekil 6.3 Kahramanmaraş ve Hatay İlleri İvme-Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri 40
Şekil 6.4 Adana, Osmaniye ve Gaziantep İlleri İvme-Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri 41
Şekil 6.5 Malatya, Diyarbakır ve Şanlıurfa İlleri İvme-Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri 42
Şekil 6.6 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Kahramanmaraş, Türkoğlu (4616) İstasyonu [36.8384-37.3755] 43
Şekil 6.7 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Gaziantep, Şahinbey (2703) İstasyonu [37.35-37.058]. 44
Şekil 6.8 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Hatay, Antakya (3141) İstasyonu [36.21973-36.3726]. 45
Şekil 6.9 PGA - REPI İlişkisi (Mw=7.7) 46
Şekil 6.10 PGA - Vs30 İlişkisi (Mw=7.7) 46
Şekil 6.11 ARPRA ve KRTS İstasyonları için Tepki Spektrumu ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması. 47
Şekil 6.12 CMRD İstasyonu için Tepki Spektrumu ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması. 48

Şekil 6.13 Adana, Osmaniye, Hatay, Kahramanmaraş, Gaziantep ve Kilis'te kaydedilen İvme Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri 49
Şekil 6.14 Malatya, Adıyaman, Elazığ, Diyarbakır ve Şanlıurfa'da kaydedilen İvme Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri 50
Şekil 6.15 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları ve Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması- Kahramanmaraş, Göksun (4612) İstasyonu [36.48187-38.02395]. 50
Şekil 6.16 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Malatya, Akçadağ (4406) İstasyonu- [37.97378-38.34388] 51
Şekil 6.17 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması- Adana, Saimbeyli (0131) İstasyonu [36.115347-37.856602]. 52
Şekil 6.18 PGA - REPI İlişkisi (Mw=7.6) 53
Şekil 6.19 PGA-Vs30 İlişkisi (Mw=7.6) 53
Şekil 6.20 06.02.2023 Depremleri ve AFAD kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonları 54
Şekil 6.21 4615(Rjb= 10.3 km) (Vs30=484 m/s) istasyonu yatay bileşen ivme,hız ve deplasman zaman serileri 55
Şekil 6.22 3138 istasyonu (Rjb= 2.0 km) (Vs30:618 m/s)yatay bileşen ivme,hız ve deplasman zaman serileri 55
Şekil 6.23 Toplam mutlak hız (CAVGeoMean) değerlerinin Türkiye-uyumlu Sandıkkaya ve Akkar, 2017 (SA17) modeli ile kıyaslaması (sol) Mw=7.7, (sağ) Mw:7.6. Hesapta Vs30=360 m/s olarak kabul edilmiştir. 56
Şekil 6.24 Ariaş Şiddeti (IaGeoMean) değerlerinin Sandıkkaya ve Akkar, 2017 (SA17) modeli ile karşılaştırması (sol) Mw=7.7, (sağ) Mw:7.6 , Hesapta Vs30=360 m/s olarak kabul edilmiştir. 56
Şekil 7.1 Kahramanmaraş Merkezinde C sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.7 Pazarcık depreminin 4620 Onikişubat İstasyonundan Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması 60
Şekil 7.2 Kahramanmaraş Merkezinde C sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.7 Pazarcık depreminin 4621 Dulkadiroğlu İstasyonlarından Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması 60
Şekil 7.3 Kahramanmaraş Merkezinde D sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.7 Pazarcık depreminin 4625 Dulkadiroğlu İstasyonlarından Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması 61
Şekil 7.4 Kahramanmaraş Göksun'da D sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.6 Elbistan depreminin 4612 Göksun İstasyonundan Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması 62
Şekil 7.5 Adana Kozan'da C sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.6 Elbistan depreminin 0141 Kozan İstasyonlarından Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması 62
Şekil 7.6 Kahramanmaraş Merkez'de İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar Durumları 63
Şekil 7.7 Elbistan'da İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları 63
Şekil 7.8 Afşin'de İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları 64
Şekil 7.9 Kozan'da İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları 64
Şekil 7.10 Adana'da İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları 65

Şekil 7.11 İncelenen 152 Yapının İnşa Tarihlerine Göre Dağılımı 66
Şekil 7.12 Ağır/Orta Hasarlı Olarak Sınıflanan 29 Yapının İnşa Tarihlerine Göre Dağılımı 67
Şekil 7.13 İstinat duvarının koparak dereye sürüklenmesi (Kahramanmaraş Merkez Ağcalı Mh) (Fotoğraf: M. Görkem Yıldız) 67
Şekil 7.14 Prefabrik kolonların zemininde dönme (Kahramanmaraş Merkez Şazibey Mh) (Fotoğraf: M. Görkem Yıldız) 68
Şekil 7.15 Bina etrafındaki dolgunun uygunsuz şekilde yapılması nedeniyle çökmesi (Kahramanmaraş Merkez Üngüt Mh) (Fotoğraf: M.Görkem Yıldız) 68
Şekil 7.16 (sol) Betonarme perdenin zayıf doğrultuda kesme kapasitesinin yenilmesi (Kahramanmaraş/Elbistan Cumhuriyet Mh) (Fotoğraf: M.Görkem Yıldız) (sağ) Betonarme perdeye bağlanan kirişlerde kesme kapasitesi yetersizliği (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraf: Özcan Yılmaz) 69
Şekil 7.17 BA Perdelerde kesme kapasitesi yetersizliği (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraf: Yalçın Koçak) 70
Şekil 7.18 BA Perdelerde başlık bölgesi ezilmesi (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraf: Yalçın Koçak) 70
Şekil 7.19 (sol) Kolonların birbirinden bağımsız hareket etmesi nedeniyle çatı makasları devrilen prefabrik betonarme bir yapı (Kahramanmaraş/Oruç Reis Mh) (Fotoğraf: M.Görkem Yıldız) (sağ) Yapıdaki diyafram kuvvetlerini karşılayacak şekilde tasarlanmamış döşemede diyagonal çatlak oluşumu (Kahramanmaraş) (Fotoğraf: Murat Çalıkoğlu) 71
Şekil 7.20 Yetersiz çelik kolon kesitinin flanşlarının burkulması (Kahramanmaraş) (Fotoğraf: Murat Çalıkoğlu) 71
Şekil 7.21 (Sol) Çekme altında gevrek şekilde kırılan perde donatıları (Hatay) (Fotoğraf: Ramazan Livaoğlu) (Sağ) Çekme altında gevrek şekilde kırılan perde başlık donatıları (Hatay) (Fotoğraf: Ramazan Livaoğlu) 72
Şekil 7.22 Çekme altında gevrek şekilde kırılan boy donatıları (Kahramanmaraş/Erkenez Mh) (Fotoğraf: Yalçın Koçak) 73
Şekil 7.23 (Sol) Altına beton girmemiş kiriş alt donatılarının basınçtan burkulması (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Sağ)Betonarme perdede başlık bölgesi etriyelerinde uygunsuz (90°) kanca açısı (Yapım yılı 2006, Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraflar: M.Görkem Yıldız) 74
Şekil 7.24 (Sol) Betonarme perdede başlık bölgesi etriyelerinde uygunsuz (90°) kanca açısı (Yapım yılı 2016, Kahramanmaraş/Afşin) (Sağ) Prefabrik betonarme kolonda 4mm çapında etriye kullanılması (Yapım yılı 1995, Kahramanmaraş/ Erkenez Mh) (Fotoğraflar: M.Görkem Yıldız) 74
Şekil 7.25 Betonarme perde ve kirişin kesilerek içinden tesisat geçirilmesi (Kahramanmaraş/ Erkenez Mh) (Fotoğraf: Murat Çalıkoğlu) 75
Şekil 8.1 İzolatör sistemi yerdeğiştirme sınırlayıcıları 77
Şekil 8.2 Kahramanmaraş Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi, izolatörler ve kilitleri 77
Şekil 8.3 İzolatör kalıntı yerdeğiştirmeleri 78

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2-1 06.02.2023 Gaziantep ve Kahramanmaraş depremleri ve Hatay depremlerinin (M=>5.0) odak mekanizması çözüm parametreleri 14
Tablo 4-1 KRDAE Gaziantep Depremi Tsunami Uyarı Mesajında kullanılan Deprem Parametreleri..... 18
Tablo 4-2 KRDAE Tsunami Mesajları Özeti 18
Tablo 4-3 KRDAE Hatay Depremi Tsunami Uyarı Mesajında kullanılan Deprem Parametreleri. 21
Tablo 4-4 KRDAE Tsunami Mesajları Özeti 21
Tablo 6-1 KRDAE İstasyonlarından Elde Edilen Veriler 38
Tablo 6-2 Kandilli Rasathanesi'ne ait İstasyonlardan Elde Edilen Veriler 47
Tablo 7-1 Hasarların çatlakların genişliğine göre sınıflanması..... 58
Tablo 7-2 İncelenen yapıların bulunduğu illere göre hasar sınıflaması 66
Tablo 7-3 Yapı kullanım amacına göre hasar sınıflaması 66
Tablo 8-1 Sismik yalıtımlı binaların Listesi 76

1. BÖLGENİN SİSMOTEKTONİĞİ

1.1 Tektonik

Doğu Anadolu Fayı (DAF), Arap levhası ile Anadolu bloğu arasındaki hareketi sağlayan, batıya doğru hareket eden Anadolu bloğunun güneydoğu sınırını oluşturan, Doğu Akdeniz bölgesinde en önemli tektonik yapılardan biridir (Dewey ve diğ., 1973; Şengör ve diğ., 1985; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; BÖLÜM 1 Barka ve Reilinger, 1997). DAF, kuzeydoğuda Karlıova'dan başlayıp güneybatıda Akdeniz'e kadar uzanan, sol-yönlü doğrultu-atımlı 550 km uzunluğunda olan bir transform fayıdır. Kuzeydoğuda, Karlıova yakınlarında sonlanan DAF burada sağ-yönlü doğrultu-atımlı karaktere sahip Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile kesişmektedir. Kuzeydoğu ucundan Tiryakioğlu'na kadar olan kısımlarda fayın ana izi konusunda genel kabul gören yaygın görüş olmasına rağmen, güneybatı kesimindeki devamlılığı konusunda hala tartışmalar devam etmektedir. Bir grup araştırmacıya göre, DAF Türkoğlu yakınlarında Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ile kesişmekte, buradan Amanos Dağlarını keserek İskenderun Körfezine uzanmaktadır (McKenzie, 1970, 1972, 1976; Dewey ve diğ., 1973; Şengör, 1980; Jackson ve McKenzie, 1984; Hempton, 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Kempler ve Garfunkel, 1991; Westaway ve Arger, 1996; Koçyiğit ve Erol, 2001, Yönlü ve diğ. 2017). Bir başka grup araştırmacıya göre, DAF güneye doğru Karasu Vadisi boyunca uzanmakta ve Amik Havzasında ÖDFZ ile buluşmaktadır (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Şengör ve diğ., 1985; Kelling ve diğ., 1987; Şaroğlu ve diğ., 1992; Över ve diğ., 2004; Duman ve Emre, 2013). Bir diğer görüşe göre, DAF Türkoğu yakınlarında sonlanmakta, güneybatıya doğru uzanmamakta ve Karasu Vadisinde ÖDFZ ile kesişmektedir (Lovelock, 1984; Muehlberger ve Gordon, 1987; Perinçek ve Çemen, 1990; Chorowicz ve diğ., 1994; Yürür ve Chorowicz, 1998).

Kuzeydoğu güneybatı yönlü DAF, fay segmentlerin ötelenmesi ile farklı doğrultulara sahip, çok belirgin geometrisi olan faylardan oluşmaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Hempton 1987; Şengör ve diğ., 1985; Muehlberger ve Gordon, 1987; Şaroğlu ve diğ., 1992; Duman ve diğ. 2013). Çelikhan'ın güneybatısında DAF'tan ayrılarak doğu-batı doğrultusunda olan sol-yönlü doğrultu-atımlı olan fay Göksun'a doğru uzanmaktadır. DAF boyunca kayma hızı 4 ile 31 mm/yıl arasında değişmektedir; jeolojik veri (Arpat ve Şaroğlu 1972; Westaway ve Arger 1996; Yönlü ve diğ. 2017), GPS verisi (McClusky ve diğ., 2000; Reilinger ve diğ. 2006), levha kinematiği analizi (Lyberis ve diğ., 1992; Yürür ve Chorowicz 1998) ve sismoloji verisine göre (Taymaz ve diğ. 1991). DAF boyunca meydana gelen toplam atım miktarı fay zonu boyunca ötelenen yapılara bağlıdır. Örneğin, bazı jeolojik noktalara göre toplam sol-yönlü atım miktarı 27 km civarındadır (Hempton 1987; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Şaroğlu ve diğ. 1992). Yönlü ve diğ. (2012)'ya göre Aksu vadisi DAF tarafından yaklaşık 16.5 ± 0.5 km. sol-yönlü ötelenmiştir.

1.2 Depremsellik

Bölgenin aletsel ve tarihsel dönem deprem etkinliği Altunel ve diğ. (2009) ve Yönlü ve diğ. (2017) tarafından derlenmiştir. Fay boyunca orta ve büyük ölçekte ($M \geq 7$) depremler meydana gelmekte ve bunların faylanma mekanizması çözümleri sol-yönlü doğrultu-atımlı faylanma mekanizması göstermektedir. Bunlara örnek olarak gösterilebilecek bazı depremler; 1905,

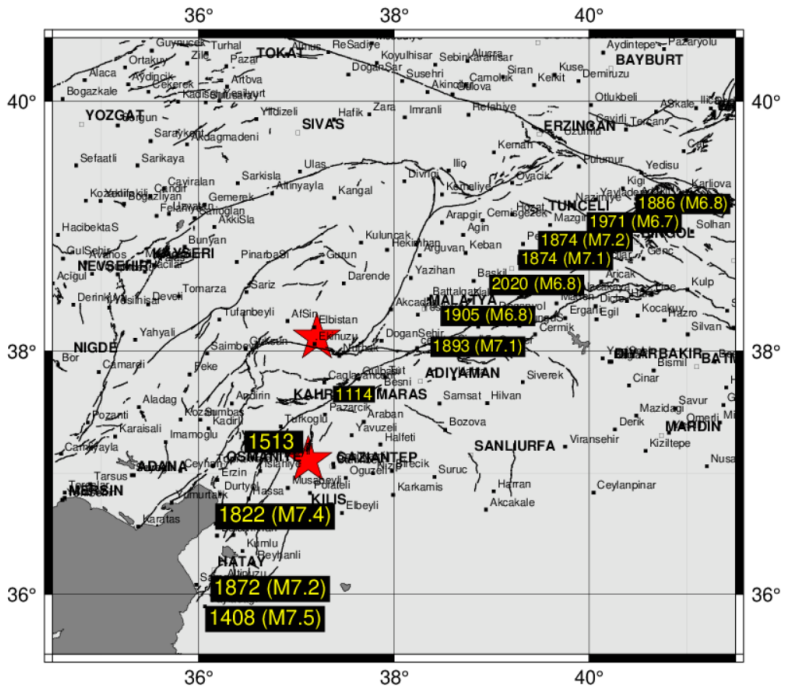
M:6.8 Malatya; 1971, Ms:6.7; Bingöl 1986, Ms:6.0 Sürgü; 2003 Ms:6.4 Bingöl; M: 6.0 2010 Karakoçan–Elazığ; M: 6.8 24 Ocak 2020 Elazığ (Tan ve diğ., 2008). DAF boyunca yüzey faylanması oluşturan bazı depremler 19. yüzyılda meydan gelmiştir (örneğin; 1866 M:6.8, 1874 M:7.2, 1874 M:7.1, 1893 M:7.1). Ambraseys (1989)'e göre fayın 2/3'ü 19. yüzyılda kırılmıştır. Tarihsel depremler olan 1114 ve 1513 depremleri fayın güneybatı kısmında meydana gelerek Doğu Anadolu ve Suriye'de büyük hasara neden olmuştur (Calvi, 1941; Soysal ve diğ., 1981; Ambraseys, 1989).

Adana havzasında da aletsel ve tarihsel dönemlerde büyük depremler meydana gelmiştir (Arvanitakis, 1903; Sieberg, 1932; Calvi, 1941; Ergin ve diğ., 2004; Soysal ve diğ., 1981; Ambraseys, 1989; Guidoboni ve Comastri, 2005). Bölgede çok sayıda orta ve büyük ölçekte depremler meydana geldiği bilinmektedir; örneğin, M.S. 526 ve M.S. 561 depremleri Anazarbus ve Castabala antik kentlerde büyük hasara neden olmuştur ve bu büyük yerleşim yerleri depremlerden sonra terk edilmiştir (Jörg, 1986). Adana havzasında 1269 yılında meydana gelen yıkıcı depremde 60,000 kişi hayatını kaybetmiştir (Arvanitakis, 1903; Calvi, 1941; Guidoboni ve Comastri, 2005). Bu depremin hangi fayda meydana geldiğini gösteren yeterli bilgi bulunmaktadır (Şekil 1.1).

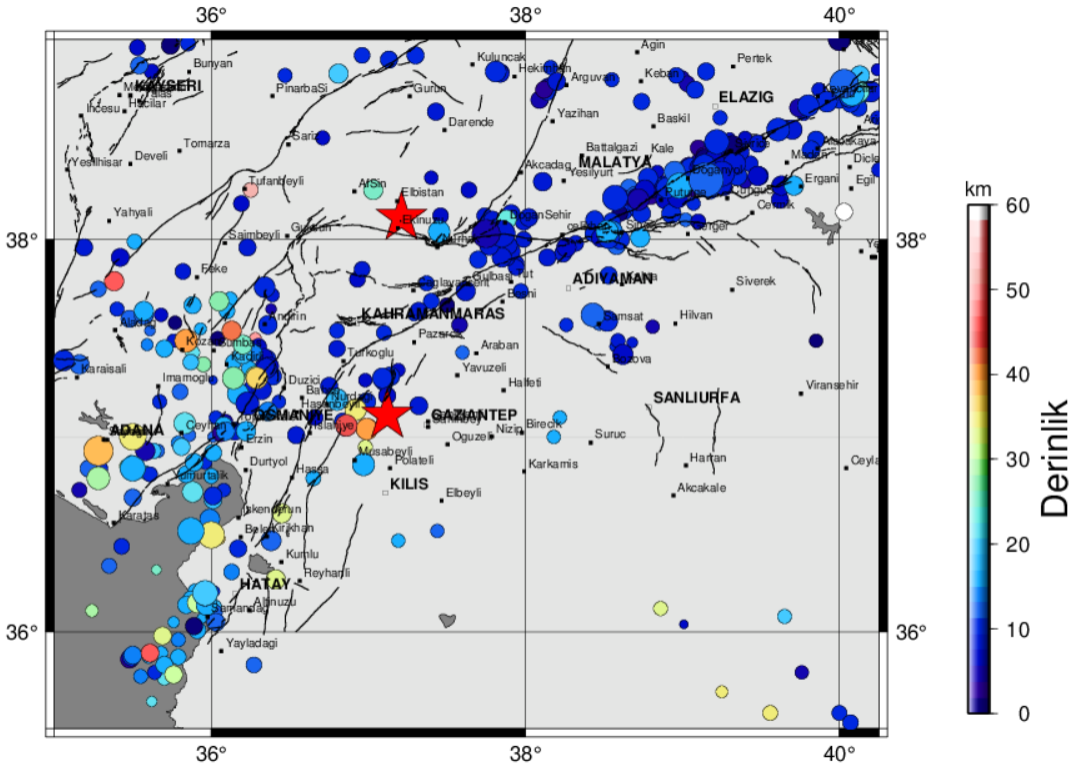
ÖDFZ'nun kuzey ucunda 1408 yılında meydana gelen depremde 20 km uzunluğunda yüzey faylanması meydana gelmiştir (Ambraseys ve Melville 1995; Sbeinati ve diğ. 2005). Karasu Vadisinde 13 Ağustos 1822 yılında büyük bir deprem (M7.4) meydana gelmiştir (Ambraseys 1989). Ayrıca, 3 Nisan 1872 tarihinde Amik havzasında meydana gelen depremde (M7.2) ağır hasar meydana gelmiştir (Şekil 1.1).

Aletsel dönemde, Adana havzasında 27 Haziran 1998 tarihinde (Mw6.3) en büyük deprem meydana gelmiştir. Bu deprem, Misis-Ceyhan fayında meydana gelmiştir (Aktar ve diğ., 2000; Ergin ve diğ., 2004). Benzer şekilde, Yumurtalık fayı yakınlarında meydana gelen 3 Ocak 1994 Kurtkulağı depremi (Mb5.0) doğrultu-atımlı faylanma mekanizmasına sahiptir (Aktar ve diğ., 1994; Ergin ve diğ., 2004).

DAF ve civarında 1900 yılından günümüze kadar meydana gelen aletsel büyüklüğü M>4.0 olan depremler Şekil 1.2'de gösterilmektedir. KRDAE ve diğer sismoloji merkezlerinin verileri ortaklaşa değerlendirilmesi ile ISC sismoloji merkezi tarafından yapılan çözümlerin lokasyonları daha duyarlı hale gelmektedir. Şekil 1.2'de bu şekilde elde edilen depremlerin dağılımı verilmektedir. Deprem dağılımlarında dikkat çeken en önemli özelliklerden biri 6 Şubat 2023 tarihinde 04:17 ve 13:24'te meydana gelen Mw7.7 ve Mw7.6 depremleriyle kırılan fay segmentleri üzerinde deprem etkinliği çok düşük veya hiç deprem olmadığı görülmektedir. Türkoğlu-Çelikhan ve Türkoğlu-Hatay arasında gösterilen MTA diri faylarında çok az sayıda M>4.0 deprem meydana geldiği görülmektedir. Özellikle, 13:24 Ekinözü Mw7.6 depremiyle kırılan Göksun-Çardak fayının doğu ve orta kesiminde hiç deprem olmadığı görülmektedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.1 Doğu Anadolu Fay Zonunda meydana gelen önemli depremler. Kırmızı yıldız semboller 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Mw7.7 ve Mw7.6 depremlerin episantırlarını göstermektedir.

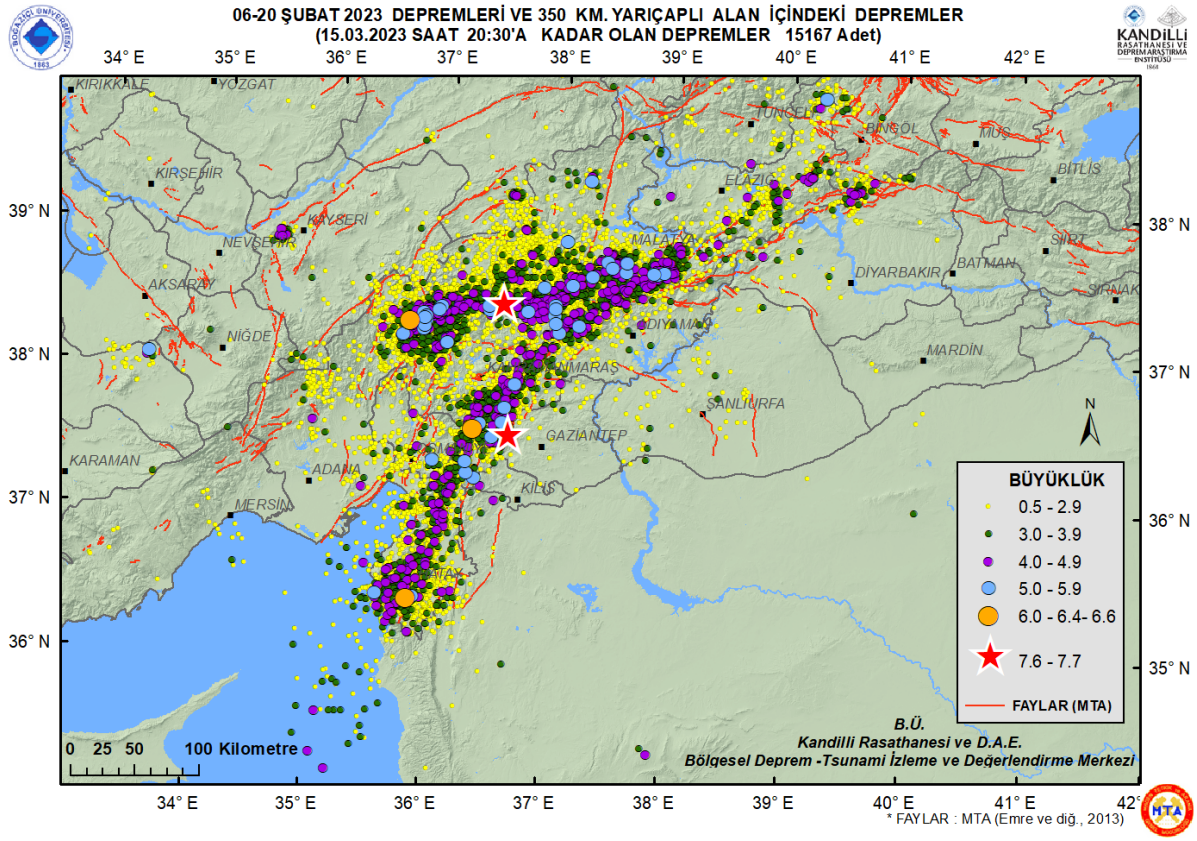


Şekil 1.2 DAF ve civarında 1900-2021 arası meydana gelen depremler (M>4.0). Kırmızı renkli yıldız semboller anaşok depremlerin başladığı yerleri göstermektedir

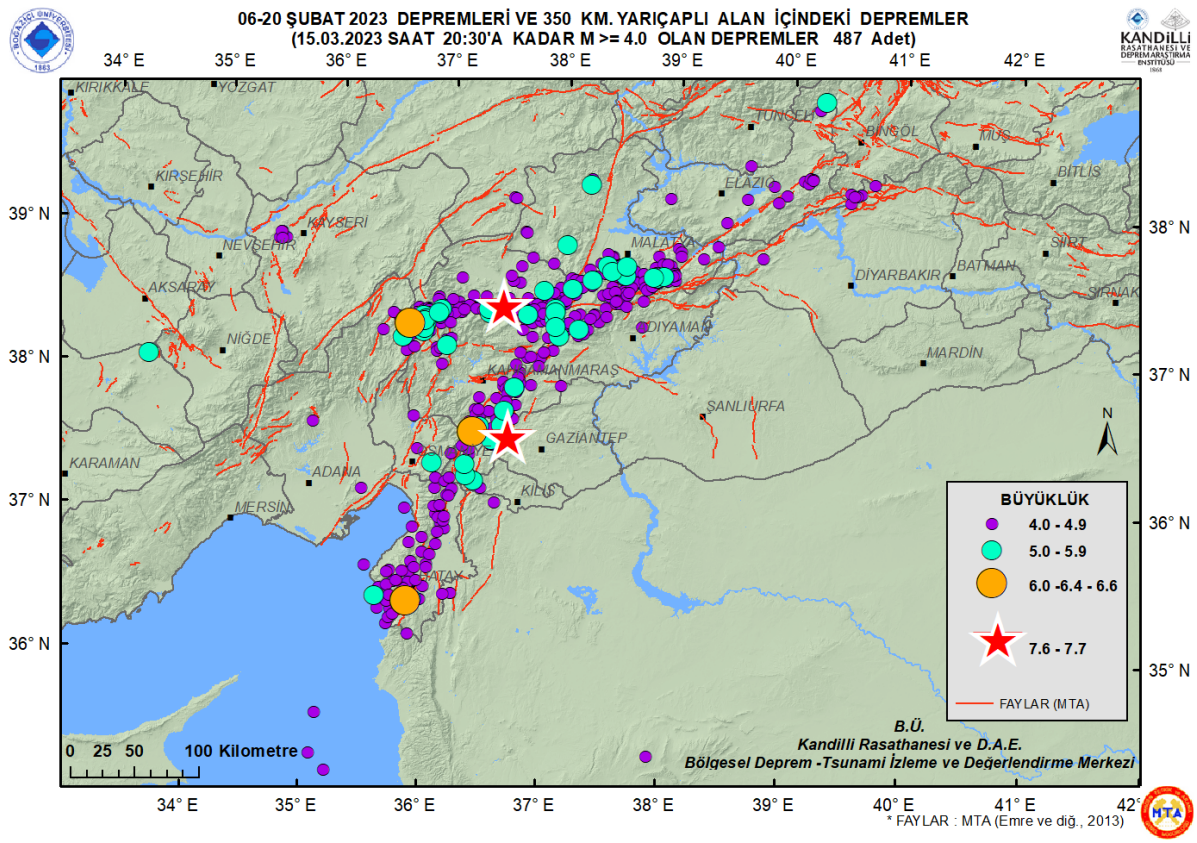
2. 6 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNİN SİSMOLOJİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Artçı Depremler

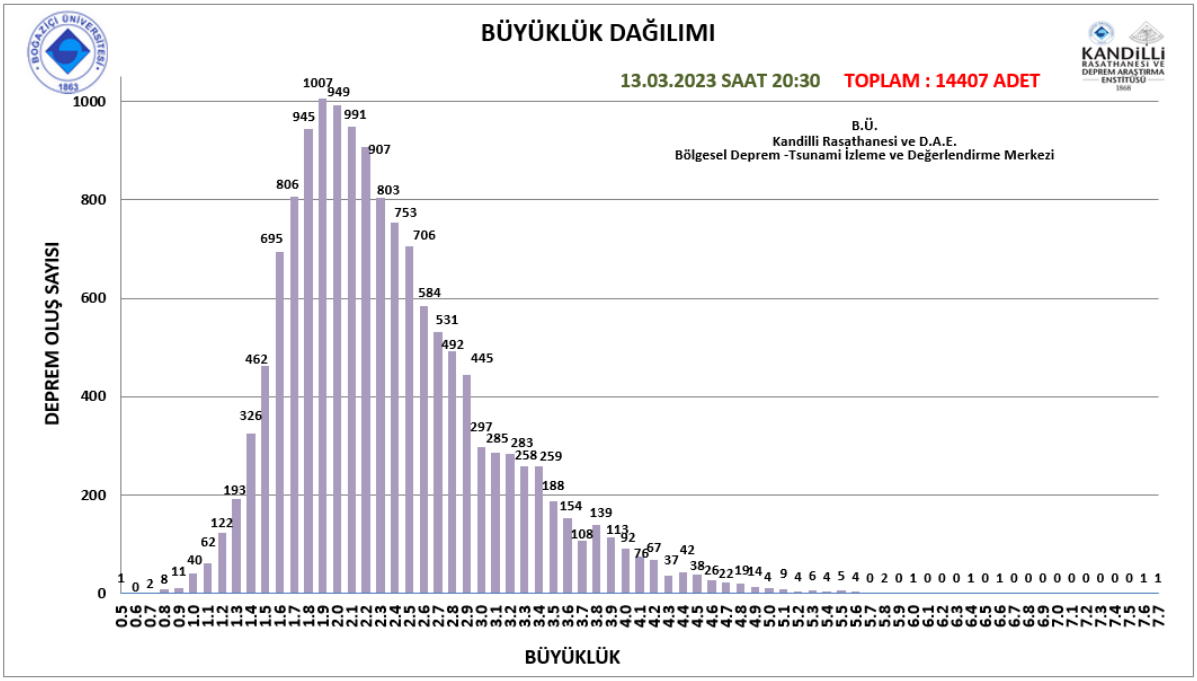
KRDAE deprem şebekesi tarafından 6 Şubat -15 Mart 2023 tarih aralığında belirlenen artçı deprem dağılımları Şekil 2.1'te verilmektedir. Bu tarih aralığında toplam 15167 adet artçı deprem çözümü yapılmıştır. Artçı depremlerin büyüklüklerine göre dağılımı Şekil 2.1 lejandında verilmektedir. Artçı depremlerin Türkoğlu-Çelikhan, Türkoğlu-Hatay ve Göksün-Ekinözü arasında farklı doğrultuda olması anaşoklarda kırılan fay segmentlerini göstermektedir. Büyüklüğü 4'den fazla olan depremler ise Şekil 2.2'den takip edilebilir. Bölge büyüklüklerine göre deprem oluş sayısı Şekil 2.3'de sunulmuştur.



Şekil 2.1 6 Şubat – 15 Mart 2023 tarihleri aralığında meydana gelen artçı depremlerin dağılımı



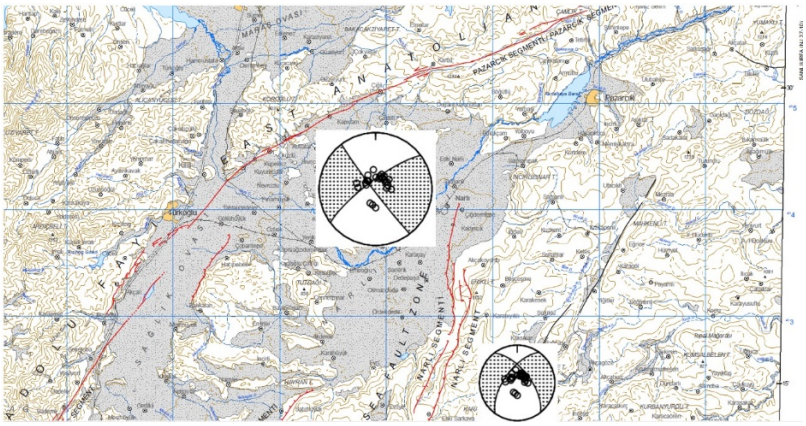
Şekil 2.2 06.02.2023'den 15.03.2023 tarihine kadar M=>4.0 olan depremlerin gösterimi



Şekil 2.3 06.02.2023'den günümüze kadar olan 3 büyük depreme ait sismik aktivitenin büyüklük dağılımı

2.2 6 Şubat 2023, 04:17 Depremi (Mw7.7)

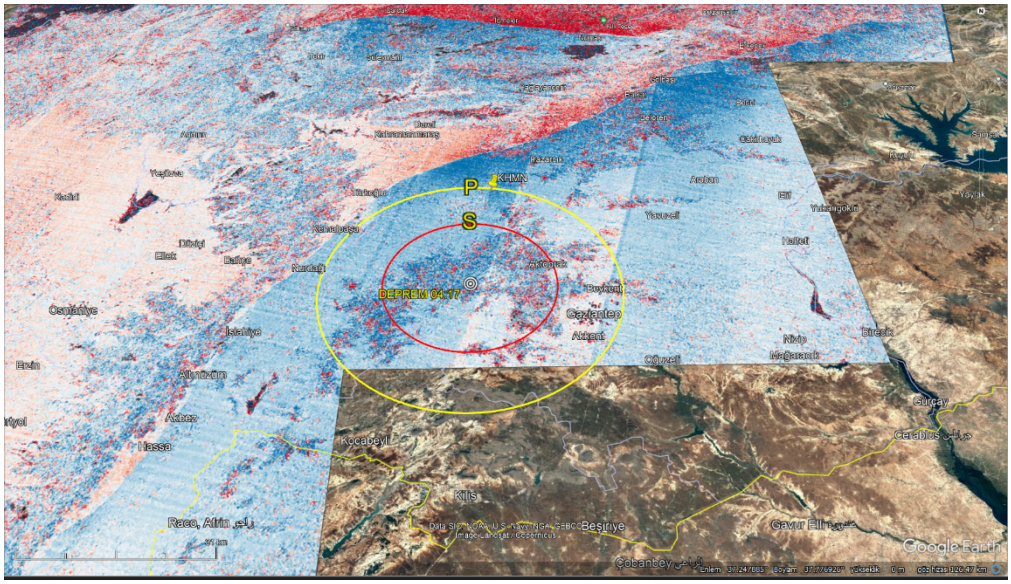
6 Şubat 2023 04:17 depremi (Mw7.7) toplamda 3 farklı fay segmentin kırılmasıyla meydana gelmiştir. Deprem, Narlı segmentinde başlamıştır. Narlı fay segmentinde meydana gelen deprem Mw 6.8 büyüklüğündedir. Bu depremin faylanma mekanizması çözümüne göre kırılan Narlı fayı normal faylanma bileşeni olan, oblik sol-yönlü doğrultu-atımlı bir faydır. DAF ana segmentin oldukça doğusunda yer almaktadır (Şekil 2.4). Narlı fayında meydana gelen Mw6.8 büyüklüğündeki depremden yaklaşık 5-6 saniye sonra DAF ana fay segmentlerinde tetiklenme sonucunda kuzeydoğu yönünde Çelikhan'a kadar ve güneybatı yönünde kırılma Hatay'a kadar uzanmıştır (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5).



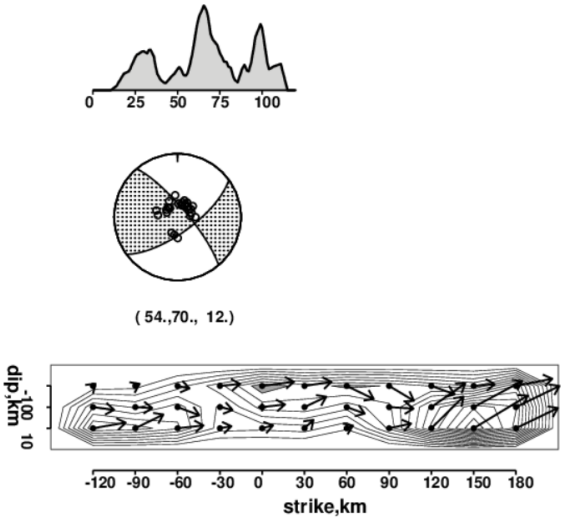
Şekil 2.4 Şubat 2023 04:17 depreminde kırılan Narlı fayı ile Pazarcık fay segmentleri

Narlı fayında olan depremin merkez üssünün DAF'ı oluşturan fay segmentlerine olan uzaklığı yaklaşık 30-35 km kadardır. DAF segmetlerinde kırılmanın Narlı fayındaki kırılmanın başlamasından 5-6 saniye sonra olması oldukça ilginç bir olaydır. Normalde, kırılmanın ilerleme hızı S-dalga hızının (3.5 km/s) yaklaşık %80'i olan 2.8 km/s civarında olması gerekirdi. Ancak, DAF'taki kırılmanın 5-6 saniye sonra meydana gelmesi kırılma hızının normalin iki katı hızla ilerlediğini göstermektedir.

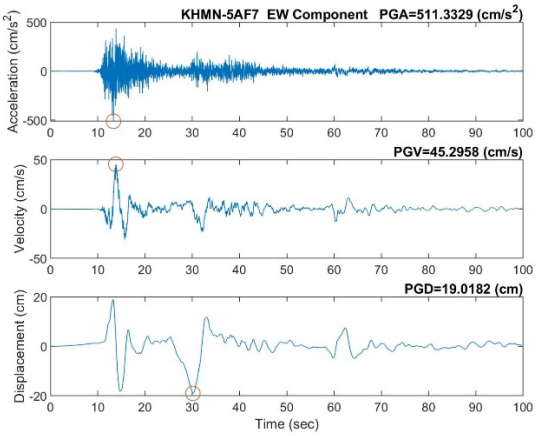
Narlı fayı dışında, Türkoğlu-Çelikhan ve Türkoğlu-Hatay segmenlerinin kırılmasıyla toplamda 3 fay segmentindeki depremlerin toplam büyüklüğü Mw7.7 olmuştur. Çoklu fay segmentlerinin kırılmasıyla oluşan 04:17 anaşoku farklı veri setlerinde görülmektedir; NASA verisi (Şekil 2.5), telesismik sonlu fay modellemesi (Şekil 2.6), KRDAE ivme istasyonu KHMN bileşenlerinde (Şekil 2.7). Farklı sismoloji merkezlerin anaşok faylanma mekanizması çözümleri Şekil 2.8'de verilmektedir.



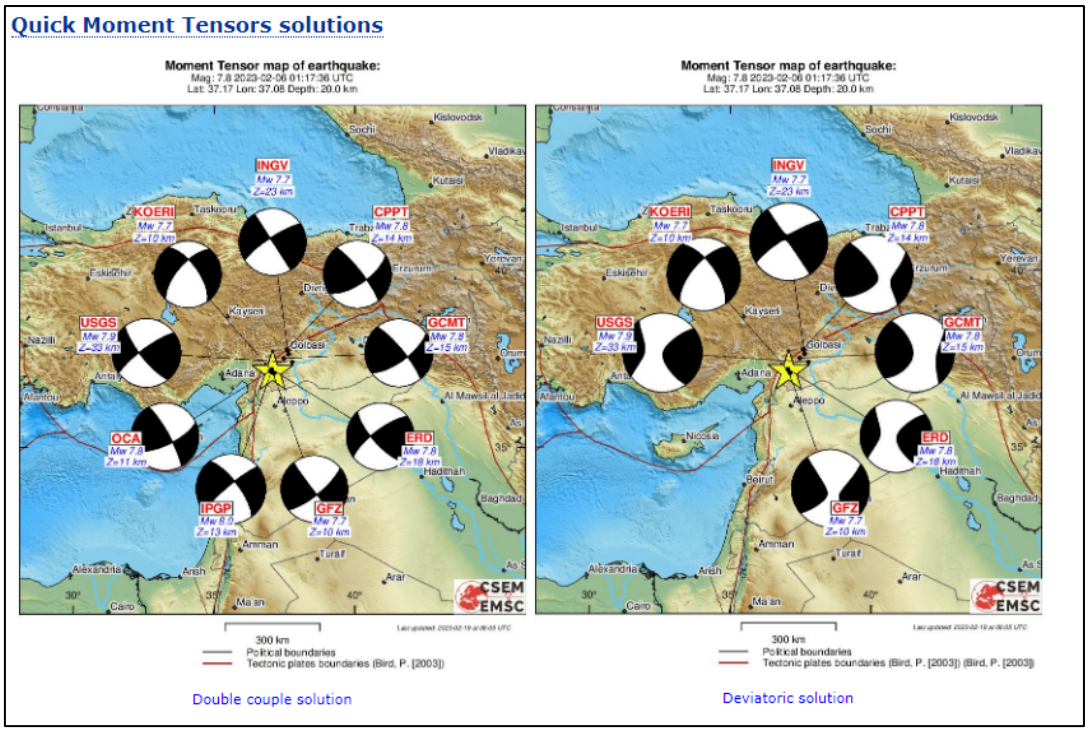
Şekil 2.5 Narlı fayında meydana gelen depremde oluşan sismik dalgaların DAF'a doğru ilerlemesi şekli. NASA uydu verisi kırılan fay segmentlerin doğrultularını göstermektedir.



Şekil 2.6 04:17 depremi (Mw7.7) telesismik cisim dalgaların modellenmesi ile elde edilen sonlu fay modeli



Şekil 2.7 KRDAE ivme istasyonu KHMN D-B bileşeninde görülen çoklu fay kırılması



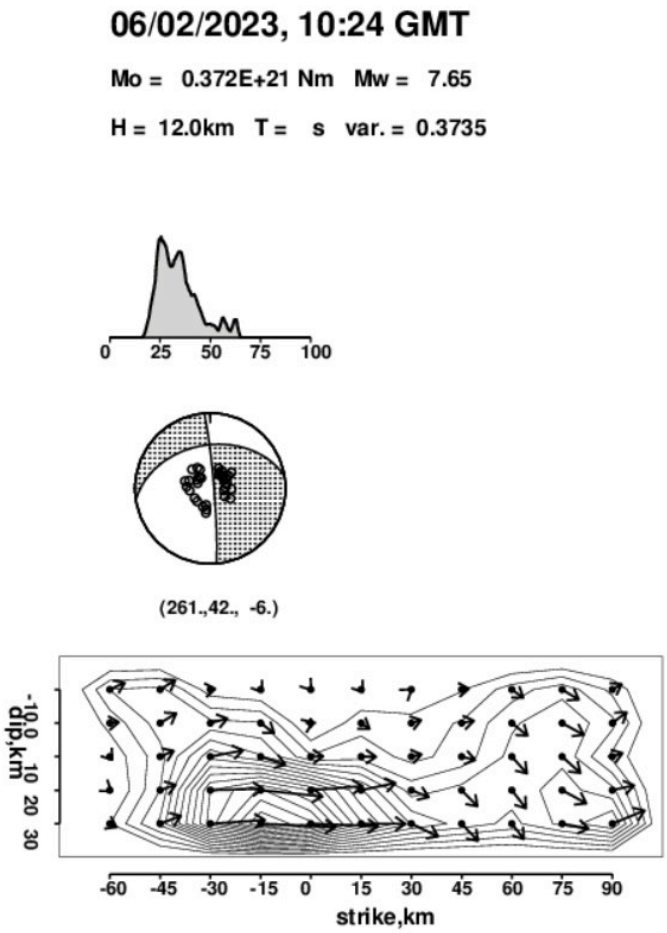
Şekil 2.8 06.02.2023 04:17 depremi (Mw7.7) diğer sismoloji merkezleri tarafından verilen odak mekanizması çözümleri

2.3 6 Şubat 2023, 13:24 Depremi (Mw7.6)

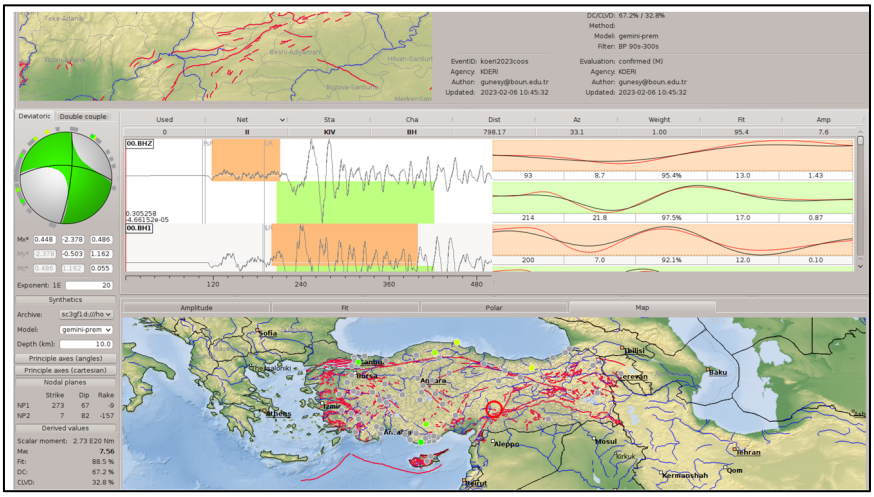
İlk depremden yaklaşık 9 saat sonra 13:24'te Ekinözünde Sürgü-Çardak fayın kırılmasıyla birlikte Mw7.6 büyüklüğünde ikinci bir deprem meydana gelmiştir. Bu depremin büyüklüğü her ne kadar ilk depremin büyüklüğüne yakın olsa da kırılan fay boyu karşılaştırıldığında ilk depremde kırılan fay segmentlerin toplam uzunluğu yaklaşık 300 km olmasına karşın ikinci depremde kırılan fay segmentlerin toplam uzunluğu 100-120 km civarındadır. İlk depremde

fay segmenlerinin toplam kırılma süresi 80 saniye civarında olmasına karşılık ikinci depremde ana segmentin kırılma süresi 30-35 saniyedir (Şekil 2.9). Sürgü-Çardak fayın doğu ve batı kesimlerinde de nispeten daha düşük sismik moment açığa çıkmıştır. Fayın genel karakteri doğrultu-atımlı olmasına rağmen GCMT moment tensör çözümünde fay düzleminin kuzeye doğru 42 derece eğimli olduğu belirlenmiştir.

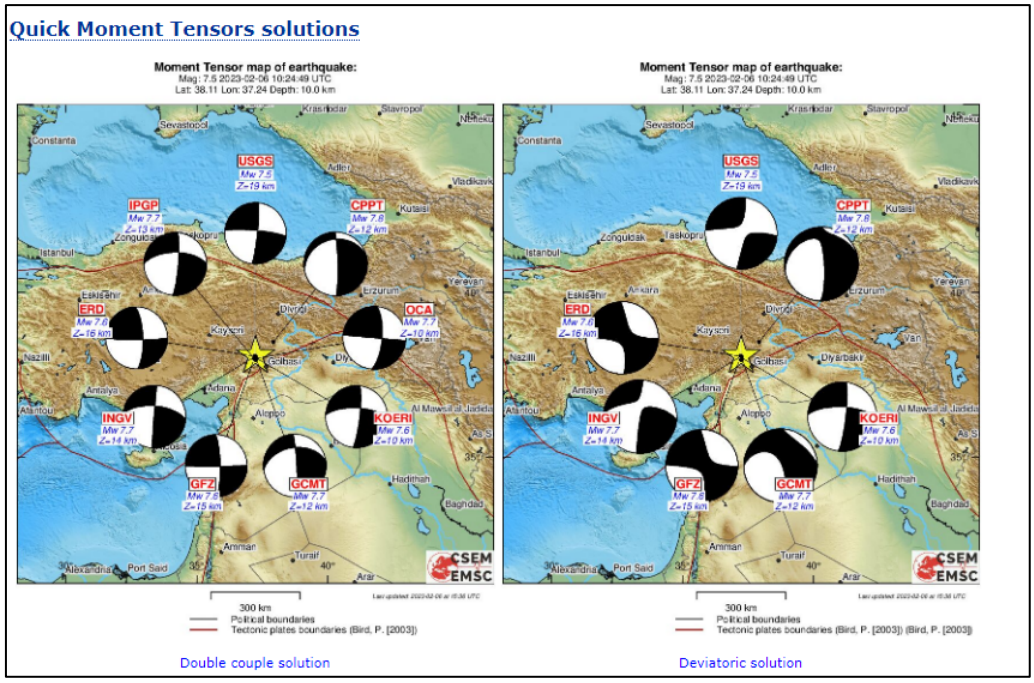
BDTIM tarafından yapılan hızlı odak mekanizması çözümü, depremin doğrultu atımlı bir faylanma ile meydana geldiğini ortaya koymaktadır (Şekil 2.10 ve Şekil 2.11)



Şekil 2.9 Sürgü-Çardak fayında meydana gelen depremi (Mw7.6) için sonlu fay modeli



Şekil 2.10 06.02.2023 13:24 (Mw:7.6) depreminin KOERI-BDTİM tarafından bulunan odak mekanizması çözümü

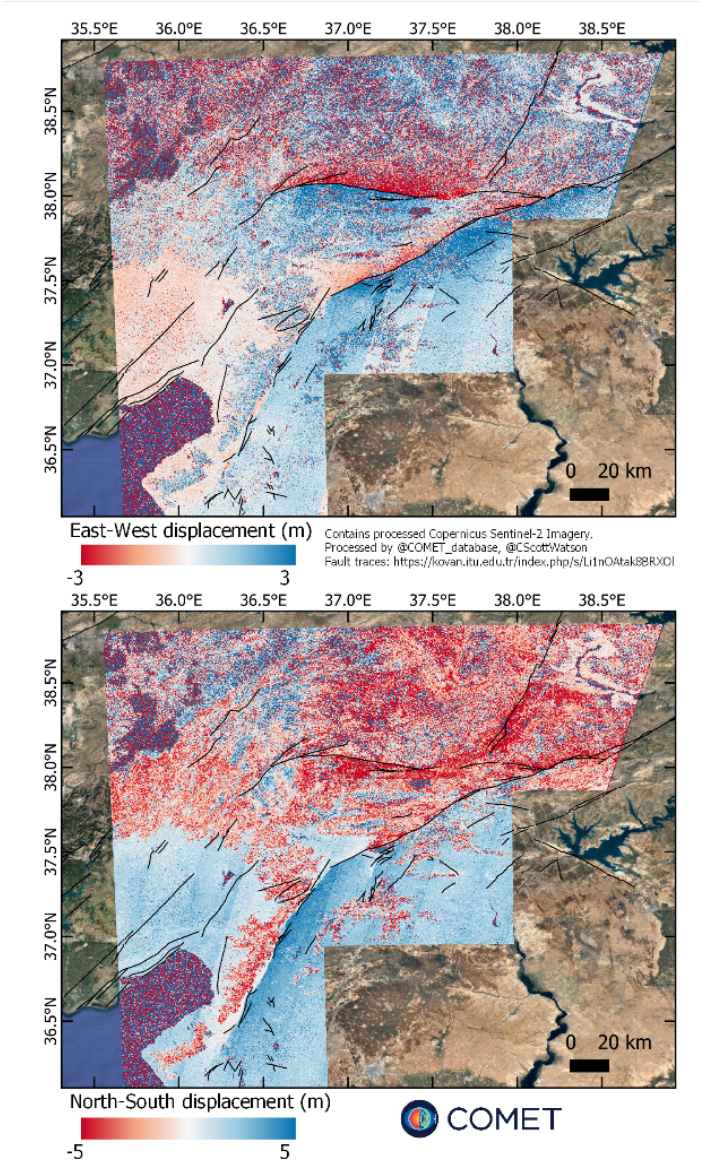


Şekil 2.11 06.02.2023 13:24 Ekinözü-Kahramanmaraş depreminin diğer sismoloji merkezleri tarafından verilen odak mekanizması çözümleri

2.4 20 Şubat 2023 20:04 Hatay-Samandağ Depremi (Mw6.4)

Bu deprem Şekil 2.2'te gösterilen artçı deprem dağılımının güney ucunda meydana gelmiştir. Deprem can kaybı yanında hasarlı olan bazı binaların çökmesine neden olmuştur. Depremin güney uçta meydana gelmesiyle artçı deprem mi yoksa bağımsız bir deprem olarak mı tetiklendi tartışmasına neden olmuştur. Depremin artçı depremlerin meydana geldiği alana yakın olması ve Mw7.7 büyüklüğündeki anaşoktan yaklaşık iki hafta sonra meydana gelmiş olması nedenlerinden dolayı bu depremi münferit bir deprem yerine artçı deprem olarak

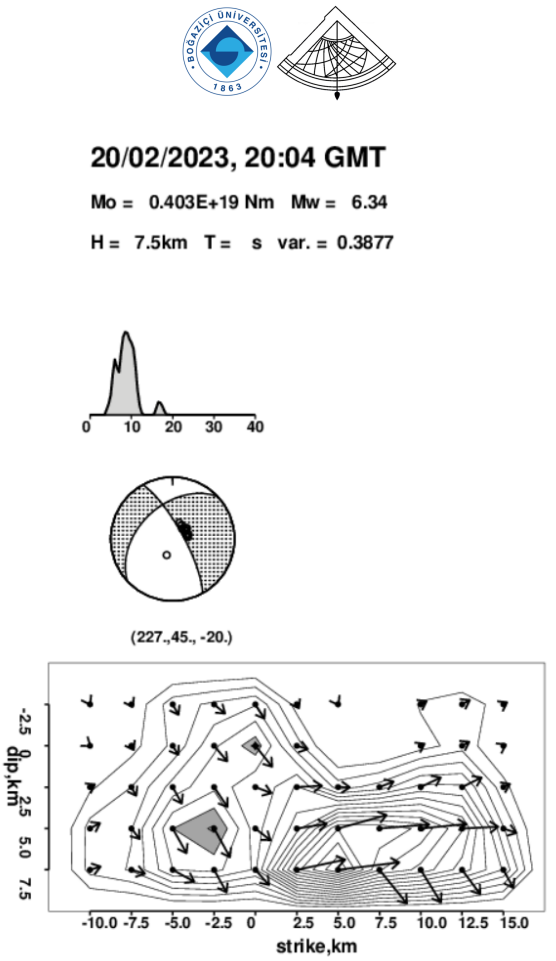
sınıflandırmak daha uygun olacağı görüşündeyiz. Nitekim, NASA uydu verilerinde belirlenen deformasyon alanın güney ucunda bu depremin meydana geldiği alanda faylanma meydana geldiğine dair işaret görülmektedir (Şekil 2.12)



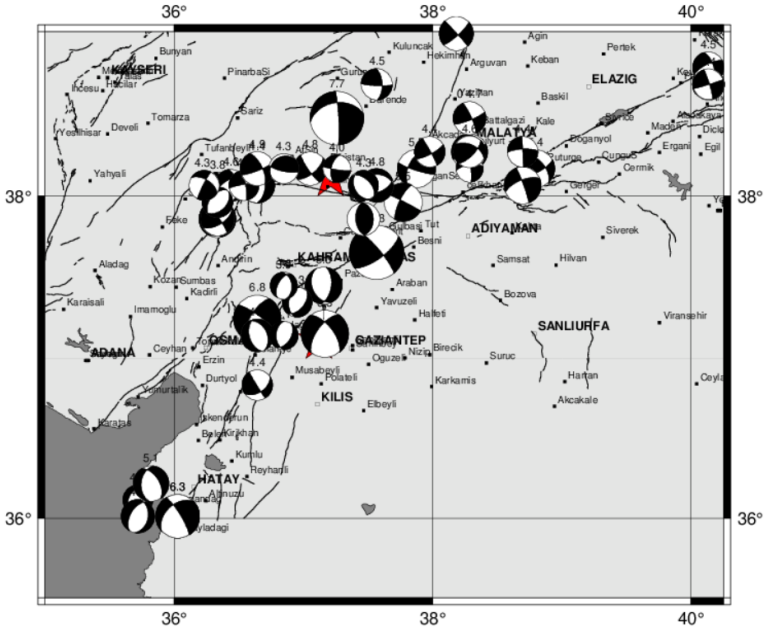
Şekil 2.12 NASA uydu verilerinden 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremlerin neden olduğu deformasyon alanı

Depremin telesismik cisim dalgalarının modellenmesiyle elde edilen kayma dağılımı Şekil 2.13' de gösterilmektedir. Bu modele göre depremde hareket eden fayın uzunluğu yaklaşık 20-25 km ve eğim boyunca fay düzleminin genişliği 10 km civarındadır (Şekil 2.13).

20 Şubat 2023, 20:04 depremi normal faylanma bileşenine sahip sol-yönlü doğrultu atımlı oblik bir fay üzerinde meydana gelmiştir. Bu bölgede meydana gelen artçı depremlerin faylanma mekanizmalarında normal faylalnma bileşen oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

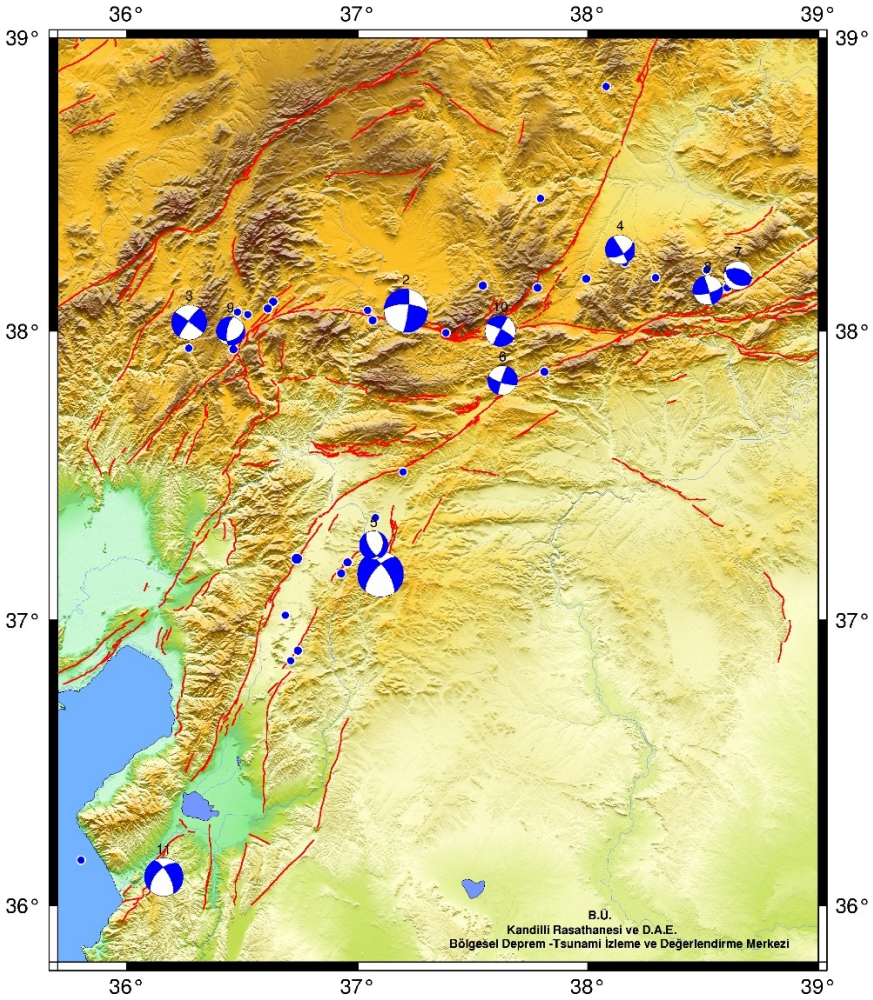


Şekil 2.13 20 Şubat 2023, 20:04'te meydana gelen artçı deprem için elde edilen sonlu fay modeli.



Şekil 2.14 6 Şubat 2023 deprem bölgesinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizması çözümleri. Veriler EMSC-CSEM web sayfasından alınmıştır.

Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'de 06.02.2023 04:17 Gaziantep ve 13:24 Kahramanmaraş ve 20.02.2023 Hatay depremlerinin (M=>5.0) moment tensör ters çözüm yöntemi kullanılarak bulunmuş odak mekanizması çözümleri (KOERI-BDTIM) ve Tablo 2-1'de fay düzlemi parametreleri verilmektedir.

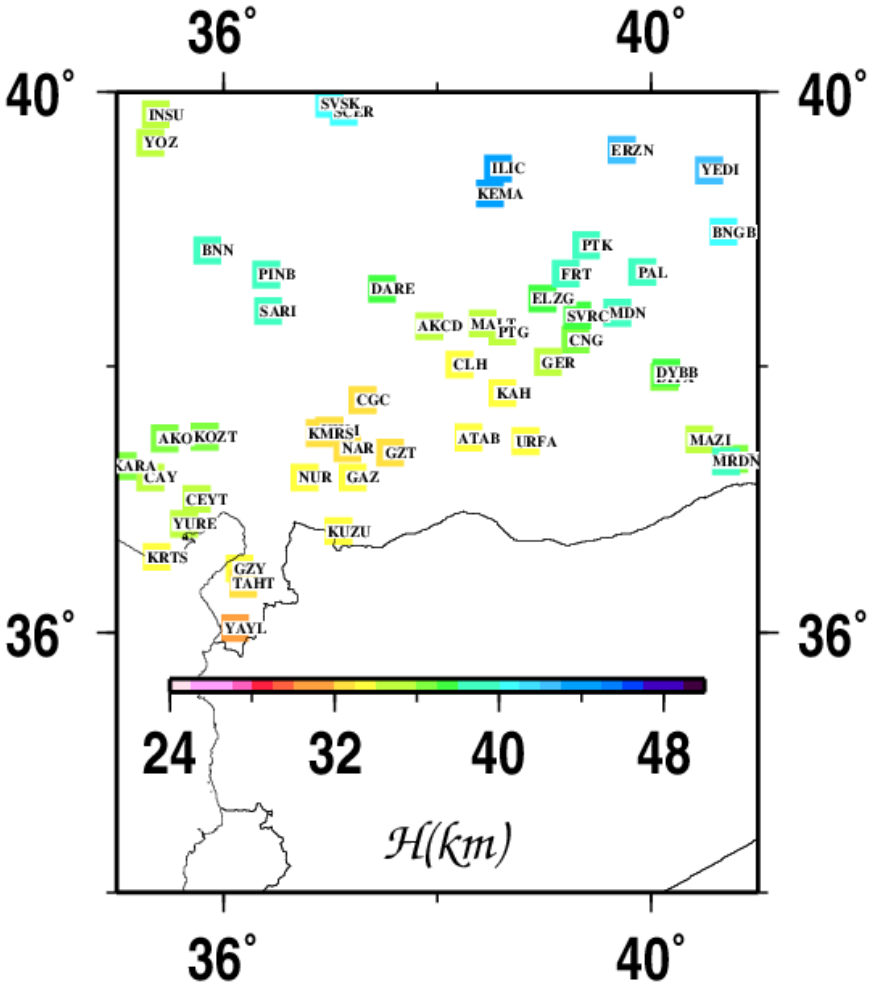


Şekil 2.15 06.02.2023 Gaziantep ve Kahramanmaraş ve 20.02.2023 Hatay depremlerinin Odak Mekanizması Çözümleri

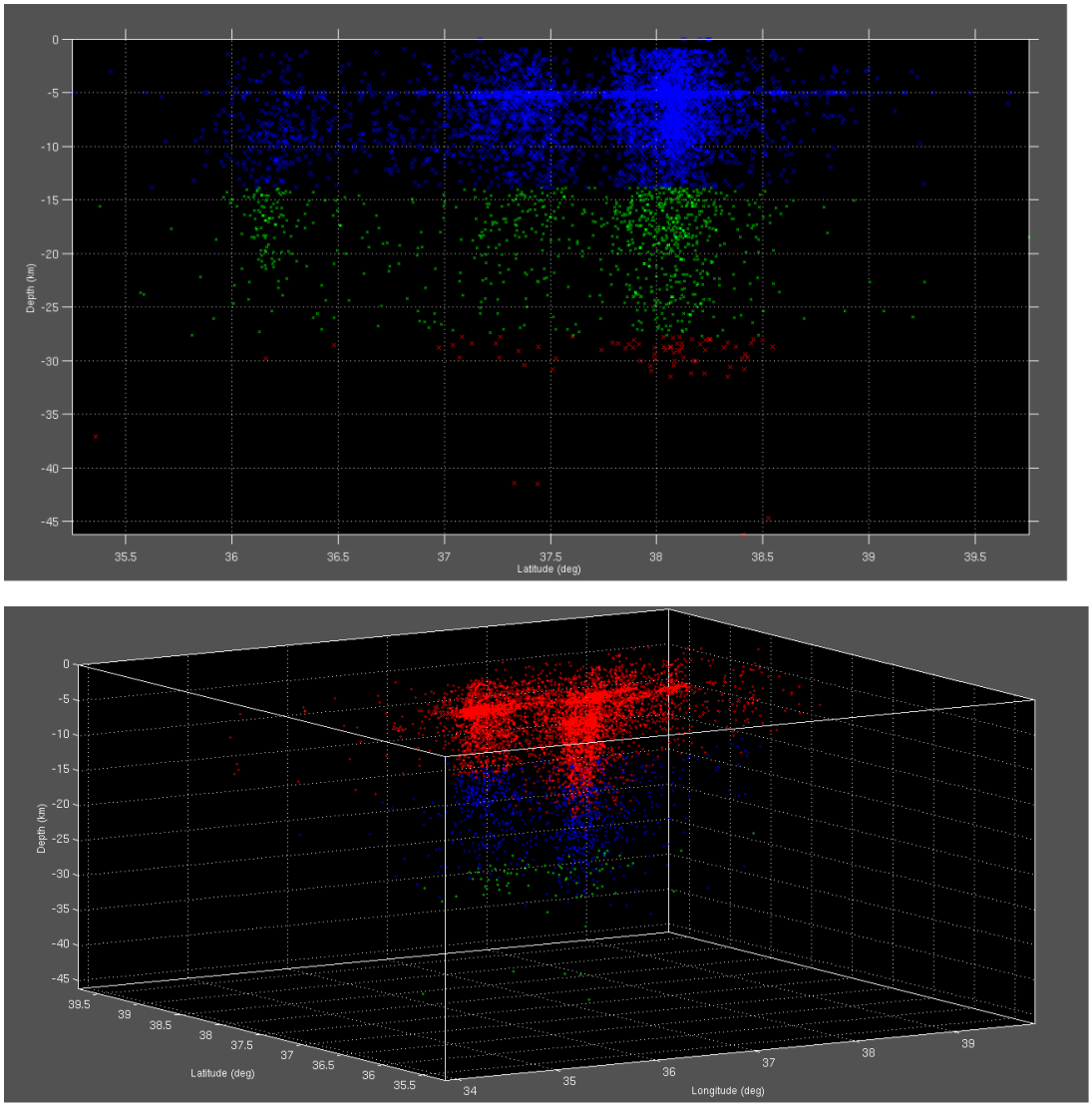
Bölgede çalışmakta olan KOERI-BDTİM deprem istasyonlarında 1995-2022 yılları arasındaki telesismik depremler kullanılarak H-K analizi yapılmış, güncel kabuk kalınlıkları ve Vp/Vs değerleri hesaplanmıştır. Türkiye geneli düşünüldüğünde bölgede nispi kalın bir kabuk gözlenmiştir. Yer yer 40 km'leri bulan kabuk kalınlığı ortalama 35 km civarındadır. İlk çözümlerde gözlemlediğimiz deprem derinlikleri kabuğun daha kırılgan olan ilk 15 km'sinde olup yer yer derinlikler 30 km'lere inmektedir (Şekil 2.17) ve hesaplanan kabuk kalınlıkları (Şekil 2.16) ile örtüşmektedir.

Tablo 2-1 06.02.2023 Gaziantep ve Kahramanmaraş depremleri ve Hatay depremlerinin (M=>5.0) odak mekanizması çözüm parametreleri

tarih	M	Lat	Lon	Depth	strike	dip	rake	top size	topN	topE	NO
06.02.2023 01:17	7.7	37.16	37.10	5.4	324	65	-152	4.2	37.16	37.10	1
06.02.2023 10:24	7.6	38.07	37.21	5	273	67	-9	4.0	38.07	37.21	2
06.02.2023 12:02	6.0	38.03	36.27	5	306	88	-174	3.2	38.03	36.27	3
06.02.2023 15:33	5.4	38.28	38.14	5	329	87	150	2.7	38.28	38.14	4
06.02.2023 20:37	5.2	37.26	37.07	3.3	150	63	-117	2.6	37.26	37.07	5
07.02.2023 03:13	5.4	37.83	37.63	2.3	107	77	174	2.7	37.83	37.63	6
07.02.2023 07:11	5.2	38.19	38.65	5	125	41	107	2.6	38.19	38.65	7
07.02.2023 10:18	5.4	38.14	38.52	8.6	344	85	163	2.7	38.14	38.52	8
07.02.2023 15:48	5.2	38.00	36.45	1.4	190	68	-119	2.6	38.00	36.45	9
08.02.2023 11:11	5.5	38.00	37.62	4.5	298	80	2	2.8	38.00	37.62	10
20.02.2023 17:04	6.3	36.10	36.16	16	330	68	-143	3.5	36.10	36.16	11



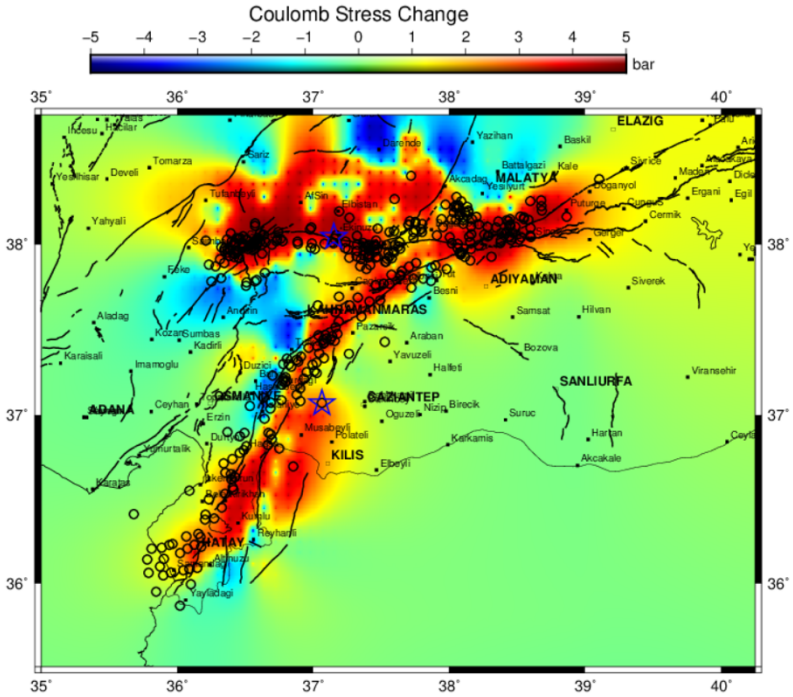
Şekil 2.16 Bölgede bulunan BDTİM istasyonlarına ait kabuk kalınlıkları



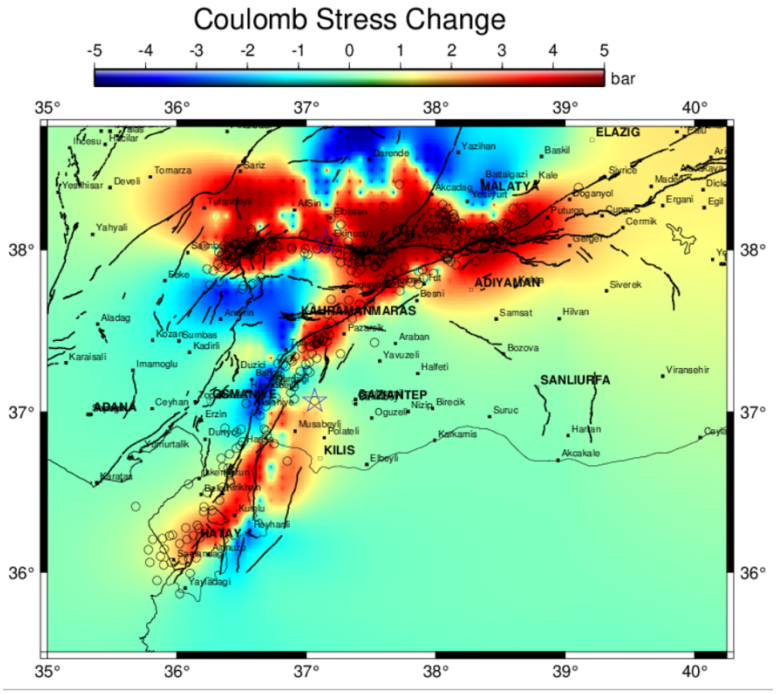
Şekil 2.17 06.02.2023'den 21.02.2023 kadar meydan gelen depremlerin 3 boyutlu gösterimi (enlem, boylam, derinlik)

3. COULOMB GERİLME DEĞİŞİMLERİ

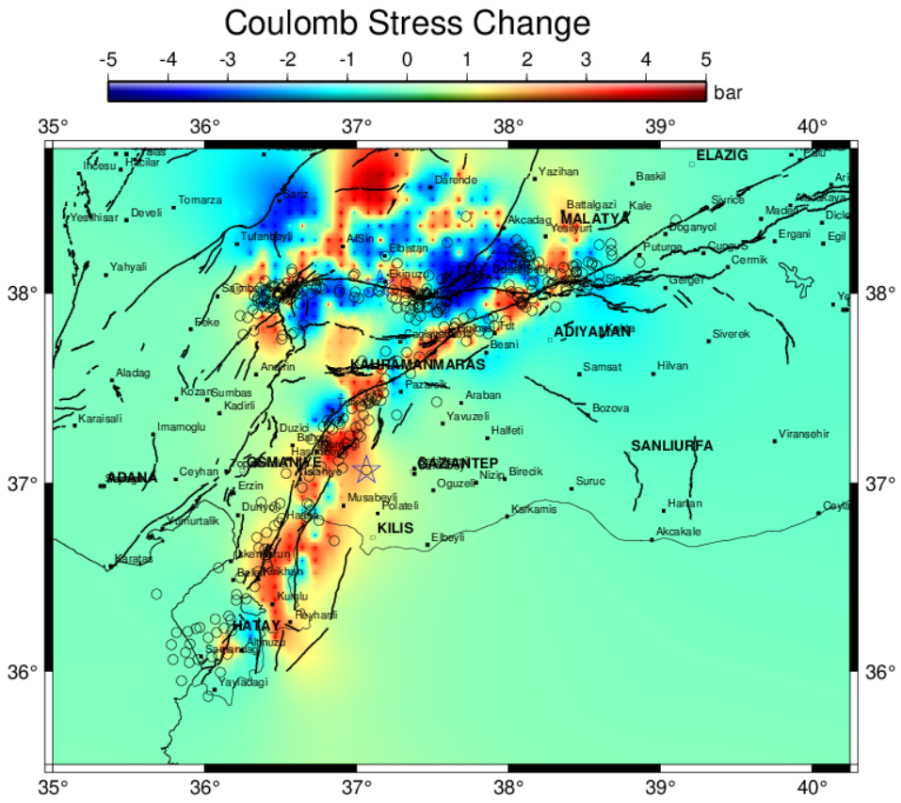
Büyük depremlerin sonlu fay modelleri kullanılarak grid noktalarında elde edilen atım miktarları doğrultu-atım ve düşey atım-bileşenlerine ayrılarak Coulomb gerilme değişimleri belirlenmiştir. Coulomb modellemesi için USGS tarafından geliştirilen erişime açık olan Coulomb programı kullanılmıştır. Giriş parametreleri olarak standart değerler kullanılmıştır. Optimum yönelimli faylar uzerinde meydana gelen gerilme değişimlerin belirlenmesi için bölgede etkin olan gerilme tensörün programa tanımlanması gerekiyor. Bölgede etkin olan doğrultu atımlı gerilme rejimin maksimum gerilme eksenin azimutu 350 derece, dalımı 10 derece alınmıştır. Minimum gerilme eksenin azimut ve dalım açıları sırasıyla 80 derece ve 10 derece olarak alınmıştır. Şekil 2.14 6 Şubat 2023 deprem bölgesinde meydana gelen depremlerin faylanma mekanizması çözümleri. Veriler EMSC-CSEM web sayfasından alınmıştır. Şekil 2.14'de gösterilen artçı depremlerin faylanma mekanizmalarında doğrultu-atımlı faylanma, normal faylanma ve ters faylanma mekanizmaları olduğu için her üç faylanma tipi için gerilme değişimleri belirlenmiştir (Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3).



Şekil 3.1 6 Şubat 2023, 04:17 ve 13:24 ile 20 Şubat 2023 20:04 depremin sonlu fay modelleri kullanılarak elde edilen optimum yönelimli doğrultu-atımlı faylar için elde edilen Coulomb gerilme değişimleri



Şekil 3.2 6 Şubat 2023, 04:17 ve 13:24 ile 20 Şubat 2023 20:04 depremin sonlu fay modelleri kullanılarak elde edilen optimum yönelimli normal faylar için elde edilen Coulomb gerilme değişimleri



Şekil 3.3 6 Şubat 2023, 04:17 ve 13:24 ile 20 Şubat 2023 20:04 depremin sonlu fay modelleri kullanılarak elde edilen optimum yönelimli ters faylar için elde edilen Coulomb gerilme değişimleri

4. 6 ŞUBAT 2023 (MW7.7, MW7.6) VE 20 ŞUBAT 2023 (MW6.4) DEPREMLERİ TSUNAMİ UYARI MESAJLARI

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM), Kuzey-Doğu Atlantik, Akdeniz ve Bağlantılı Denizler Tsunami Erken Uyarı ve Zararlarını Azaltma Sistemi Hükümetlerarası Koordinasyon Grubu (ICG/NEAMTWS) çatısı altında sorumluluk alanları Karadeniz, Ege ve Doğu Akdeniz'i kapsayacak şekilde ülkemiz ve çevresinde meydana gelen tüm depremleri ve denizlerde meydana gelebilecek su seviyesi değişimlerini gözlemleyerek ilgili ulusal kurum ve kuruluşlara Deprem Bilgi Mesajı ve Tsunami Erken Uyarısı veren 7/24 operasyonel bir merkez olarak faaliyetlerine devam etmektedir. BDTİM, söz konusu faaliyetleri kapsamında Doğu Akdeniz, Ege ve Karadeniz'de meydana gelen Mw ≥ 5.5 büyüklüğündeki depremler için tsunami uyarı ve bilgi mesajları üretmekte ve söz konusu mesajları ülkemizde AFAD'a, bölgemizde de sistemimize üye olan ülkelerin ilgili merkezlerine iletmektedir.

4.1 20230206 Ml=7.4 (Mw=7.7) Gaziantep Şehitkamil Sofalaca Depremi

06 Şubat 2023 tarihinde Sofalaca-Şehitkamil-Gaziantep merkez üssünde (37.1123 K 37.1195 D) yerel saat ile 04:17'de aletsel büyüklüğü Ml=7.4 (Mw=7.7) olan deprem sonrasında Doğu Akdeniz kıyıları için 15. dakikada tsunami uyarı mesajlarımız ülkemizde AFAD'a, bölgemizde de sistemimize üye olan ülkelerin ilgili merkezlerine iletilmiştir. Deniz seviyesi gözlemlerini içeren ikinci mesaj (05:51 TSİ) (Hatay İskenderun 0.12 m, Mersin Erdemli 0.13m) ve üçüncü mesaj (07:16 TSİ) (Gazimagusa 0.17m) iletilmiş bulunmaktadır. TSİ 12:59 itibarı ile tsunami tehlikesinin geçmiş olduğuna dair son mesaj aynı şekilde tüm alıcılarımıza iletilmiş bulunmaktadır.

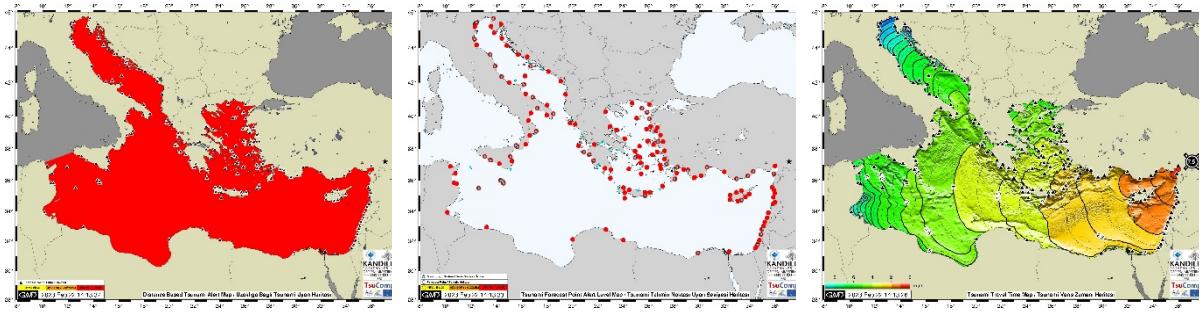
Tablo 4-1 KRDAE Gaziantep Depremi Tsunami Uyarı Mesajında kullanılan Deprem Parametreleri.

OLUS ZAMANI	Enlem	Boylam	DERINLIK	BUYUKLUK
0417TSI 06 SUB 2023	37.18 KUZEY	37.09 DOGU	13.00 KM	7.5[Mwp]

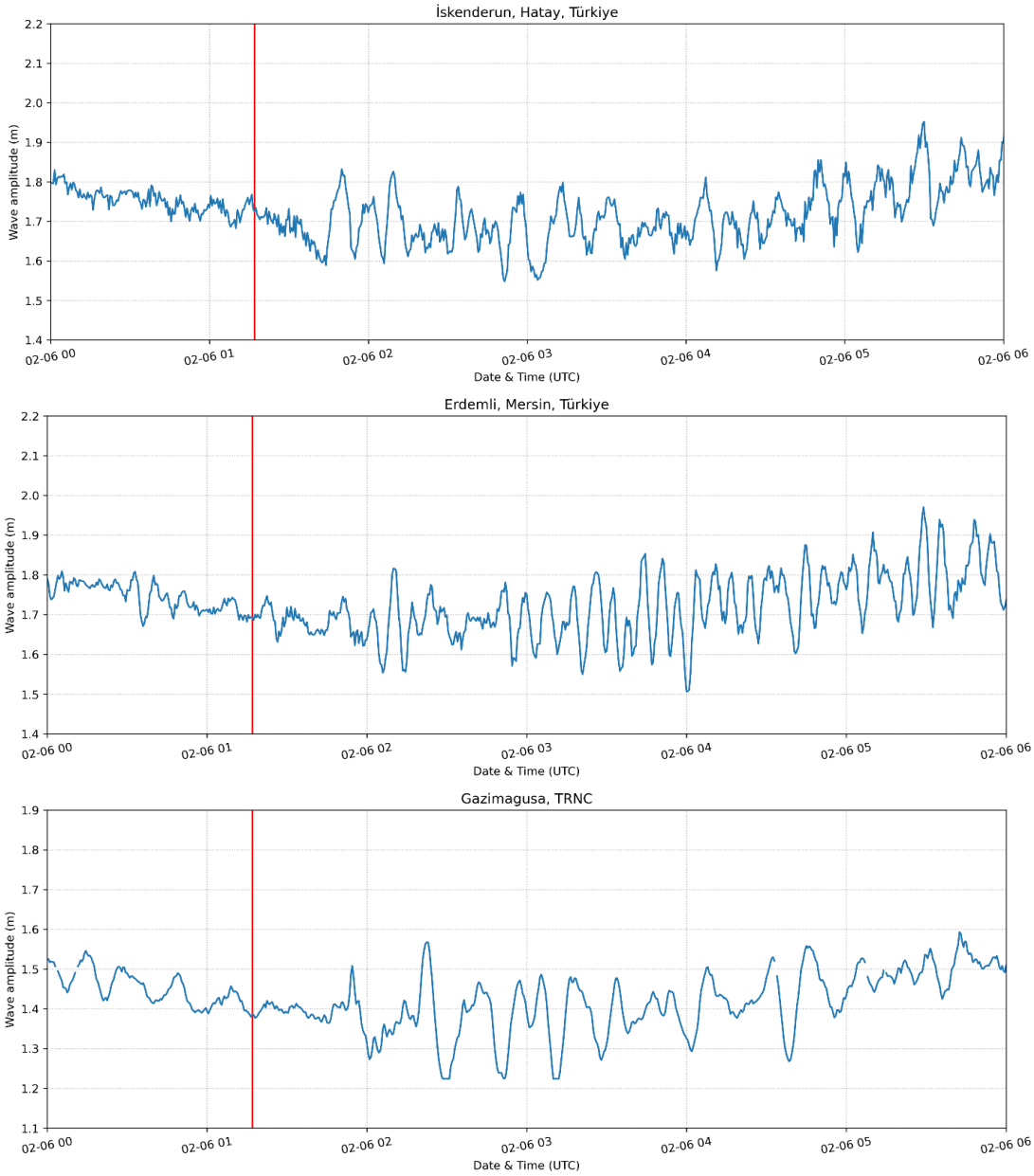
Tablo 4-2 KRDAE Tsunami Mesajları Özeti

BAŞLIK	**İÇERİK**	**ZAMAN**
TSUNAMI MESAJI NO 001	1. Deprem Parametreleri (M7.5) 2. Tsunami Tahmin Noktalarına Dalga Varış Zamanları 3. Tsunami Tahmin Noktalarındaki Uyarı Seviyeleri	T0 + 15'

TSUNAMI MESAJI NO 002	1. Deprem Parametreleri 2. İlk Doğrulanmış Dalga Varışı Deniz Seviyesi okuması, t32(ISKENDERUN, 0.12m), t53(ERDEMLI, 0.13m)	T0 + 94’
TSUNAMI MESAJI NO 003	1. Deprem Parametreleri 2. İkinci Doğrulanmış Dalga Varışı Deniz Seviyesi okuması, t65 (GAZIMAGUSA, 0.17m)	T0 + 179’
TSUNAMI MESAJI NO 004	1. Tsunami Uyarısının Sonu	T0 + 552’



Şekil 4.1 KRDAE Tsunami uyarı mesajlarında ek olarak gönderilen; Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası, Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası, Tsunami Varış Zamanı Haritası.



Şekil 4.2 Harita Genel Müdürlüğü (HGM) (Hatay-İskenderun, Mersin-Erdemli, KKTC-Gazimagusa) mareograflarından yapılan deniz seviyesi değişimi ölçümleri. Kırmızı çizgi, deprem oluş zamanını göstermektedir.

4.2 20230220 Ml=6.4 (Mw=6.3) Hatay Büyükçat Samandağ Depremi

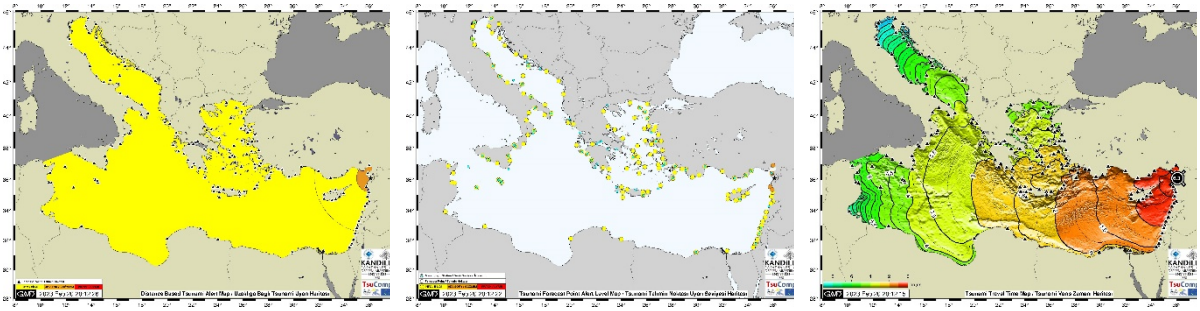
20 Şubat 2023 tarihinde Buyukcat Samandağ Hatay (36.1133 K 36.0820 D) merkez üssünde yerel saat ile 20:04'de aletsel büyüklüğü Ml=6.4 (Mw=6.3) olan depremi takiben Türkiye ve Suriye kıyıları için 8. dakikada tsunami uyarı mesajlarımız ülkemizde AFAD'a, bölgemizde de sistemimize üye olan ülkelerin ilgili merkezlerine iletilmiştir. TSI 21:47 itibarı ile tsunami uyarısının iptal edildiğine dair son mesaj yayınlanmıştır

Tablo 4-3 KRDAE Hatay Depremi Tsunami Uyarı Mesajında kullanılan Deprem Parametreleri.

OLUS ZAMANI	Enlem	Boylam	DERINLIK	BUYUKLUK
2004TSI 20 SUB 2023	36.10 KUZEY	36.09 DOGU	33.00 KM	6.3[Mwp]

Tablo 4-4 KRDAE Tsunami Mesajları Özeti

BAŞLIK	**İÇERİK**	**ZAMAN**
TSUNAMI MESAJI NO 001	1. Deprem Parametreleri (M6.3) 2. Tsunami Tahmin Noktalarına Dalga Varış Zamanları 3. Tsunami Tahmin Noktalarındaki Uyarı Seviyeleri	T0 + 8’
TSUNAMI MESAJI NO 002	1. Tsunami uyarısının iptali	T0 + 103’



Şekil 4.3 KRDAE Tsunami uyarı mesajlarında ek olarak gönderilen; Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası, Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası, Tsunami Varış Zamanı Haritası.

4.3 EK1. 20230206 Gaziantep Şehitkamil Sofalaca Depreminde Yayınlanan Tsunami Uyarı Mesajları

KRDAE TSUNAMI MESAJI #001

TSUNAMI MESAJI NO 001

BOGAZICI UNIVERSITESI

KANDILLI RASATHANESI VE DEPREM ARASTIRMA ENSTITUSU (KRDAE)

BOLGESEL DEPREM-TSUNAMI IZLEME VE DEGERLENDIRME MERKEZI (BDTIM)

MESAJ GONDERIM ZAMANI: 0432TSI 06 SUB 2023

... TSUNAMI TEHLIKESI ...

MERKEZIMIZ (KRDAE-BDTIM) TARAFINDAN YAPILAN DEGERLENDIRMEDE, ASAGIDA BILGILERI VERILEN DEPREMIN BIR TSUNAMIYE NEDEN OLABILECEGI BELIRLENMISTIR:

OLUS ZAMANI: 0417TSI 06 SUB 2023

KONUM: 37.18 KUZEY 37.09 DOGU

DERINLIK: 13.00 KM

YER: YAMACOBA-SEHITKAMIL (GAZIANTEP) [KUZEYDOGUSU 0.8 KM]

BUYUKLUK: 7.5 [MWP]

BUYUKLUK DEGERI EKLENECEK SISMIK VERILER NEDENI ILE DEGISEBILIR VE NIHAI BUYUKLUK DEGERINDEN FARKLILIK GOSTEREBILIR.

ETKILENMESI OLASI KIYI BOLGELERINDE TAHMINI TSUNAMI VARIS ZAMAN VE TEHLIKE DURUMU SEVIYELERI ASAGIDA VERILMISTIR. ONGORULEN VARIS ZAMANLARI VE KRDAE-BDTIM KARAR MATRISI UYARINCA ELDE EDILEN SEVIYELER, GERCEK TSUNAMI VARIS ZAMANLARI VE TEHLIKE DURUMU SEVIYELERI ILE FARKLILIK GOSTEREBILIR.

IL - YER	ENLEM	BOYLAM	VARIS ZAMANI	SEVIYE
ADANA - YUMURTALIK	36.9140	35.9803	0447TSI 06 SUB	UYARI
HATAY - ISKENDERUN (M)	36.4156	35.8852	0508TSI 06 SUB	UYARI
MERSIN - ERDEMLI (M)	36.5637	34.2554	0553TSI 06 SUB	UYARI
MERSIN - BOZYAZI (M)	36.0962	32.9401	0605TSI 06 SUB	UYARI
MERSIN - TASUCU (M)	36.2815	33.8362	0607TSI 06 SUB	UYARI
ANTALYA - ALANYA	36.5454	31.9832	0620TSI 06 SUB	UYARI
ANTALYA (M)	36.8304	30.6087	0639TSI 06 SUB	UYARI

ANTALYA - FINIKE 36.2945 30.1534 0643TSI 06 SUB UYARI

MUGLA - DALAMAN 36.6894 28.7791 0649TSI 06 SUB UYARI

ANTALYA - KAS 36.1965 29.6425 0701TSI 06 SUB UYARI

MUGLA - FETHIYE 36.6564 29.1104 0714TSI 06 SUB UYARI

MUGLA - BODRUM (M) 37.0322 27.4235 0732TSI 06 SUB UYARI

MUGLA - MARMARIS (M) 36.8381 28.3850 0737TSI 06 SUB UYARI

AYDIN - DIDIM 37.3491 27.2755 0805TSI 06 SUB UYARI

IZMIR - ALACATI 38.2534 26.3866 0815TSI 06 SUB UYARI

AYDIN - KUSADASI 37.8698 27.2601 0817TSI 06 SUB UYARI

IZMIR - ALIAGA 38.8340 26.9369 0907TSI 06 SUB UYARI

CANAKKALE - GOKCEADA (M) 40.2317 25.8935 0927TSI 06 SUB UYARI

IZMIR - MENTES (M) 38.4296 26.7221 0929TSI 06 SUB UYARI

CANAKKALE - BOZCAADA (IDSL-14) 39.8374 26.0759 0929TSI 06 SUB UYARI

EDIRNE - ENEZ 40.7056 26.0530 0950TSI 06 SUB UYARI

BALIKESIR - AYVALIK 39.3145 26.6879 1002TSI 06 SUB UYARI

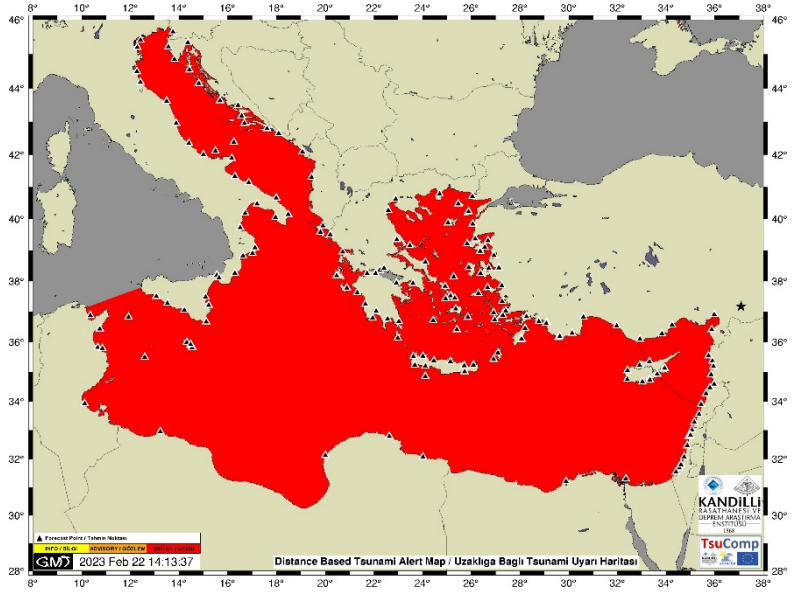
IZMIR - ALSANCAK 38.4427 27.1430 1028TSI 06 SUB UYARI

YUKARIDA SUNULAN BILGILER BIR TSUNAMININ KESINLIKLE OLUSTUGU SEKLINDE ANLASILMAMALIDIR. BU UYARI MESAJI SADECE DEPREM PARAMETRELERI (OLUS ZAMANI, BUYUKLUK, DERINLIK, ENLEM, BOYLAM) ESAS ALINARAK OLUSTURULMUSTUR.

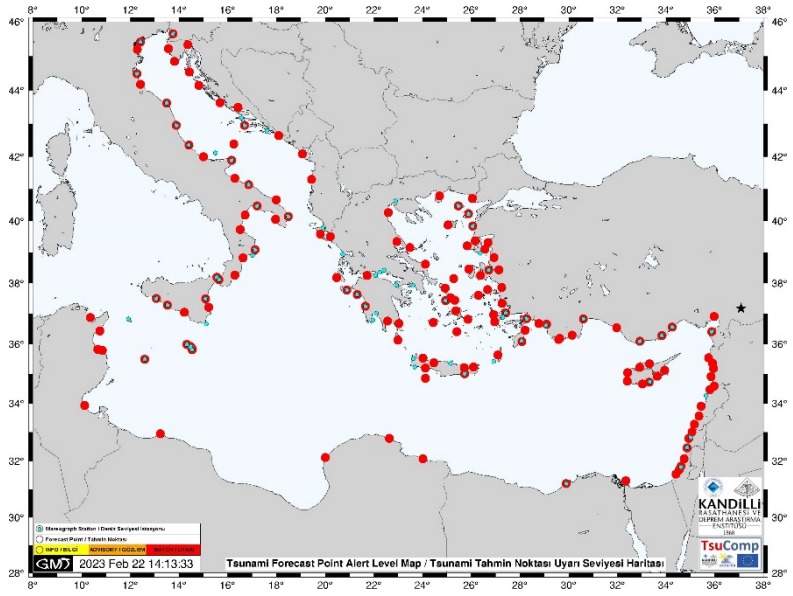
KRDAE-BDTIM KARAR MATRISI TEHLIKE SEVIYELERI, KIYI BOLGELERININ 0.5 METREDEN DAHA BUYUK GENLIKLI TSUNAMI DALGALARI ILE ETKILENMESININ OLASI OLDUGU YERLERDE UYARI, KIYI BOLGELERININ 0.2 ILE 0.5 METRE ARASINDA GENLIKLI TSUNAMI DALGALARI ILE ETKILEMESININ OLASI OLDUGU YERLERDE GOZLEM OLARAK TANIMLANMISTIR.

KRDAE-BDTIM, GOZLEM VE ANALIZLERINE DEVAM ETMEKTE OLUP, TAKIP EDECEK MESAJLARDA GUNCEL BILGILENDIRMELER YAPILACAKTIR. AFET VE ACIL DURUM YONETIMI UNSURLARININ BU TUR BIR DURUMDA TAKIP ETMELERI GEREKEN ISLEMLERI BASLATMALARI ONEMLE TAVSIYE OLUNUR.

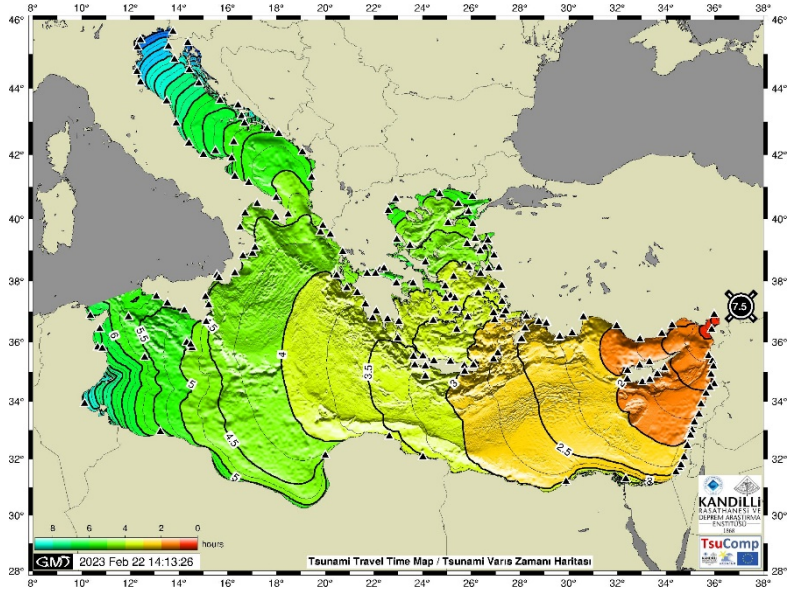
TSUNAMI MESAJI NO 001 SONU.



Şekil 4.4 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 1/3: Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası



Şekil 4.5 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 2/3: Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası



Şekil 4.6 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 3/3: Tsunami Varış Zamanı Haritası

KRDAE TSUNAMI MESAJI #002

TSUNAMI MESAJI NO 002

BOGAZICI UNIVERSITESI

KANDILLI RASATHANESI VE DEPREM ARASTIRMA ENSTITUSU (KRDAE)

BOLGESEL DEPREM-TSUNAMI IZLEME VE DEGERLENDIRME MERKEZI (BDTIM)

MESAJ GONDERIM ZAMANI: 0551TSI 06 SUB 2023

... TSUNAMI TEHLIKESI – DENIZ SEVIYESI GOZLEMLERI ...

MERKEZIMIZ (KRDAE-BDTIM) TARAFINDAN YAPILAN DEGERLENDIRMEDE, ASAGIDA BILGILERI VERILEN DEPREMIN BIR TSUNAMIYE NEDEN OLDUGU, DENIZ SEVIYESI OLCUM SISTEMLERI TARAFINDAN YAPILAN OLCUMLERDE DE DOGRULANMIS BULUNMAKTADIR:

OLUS ZAMANI: 0417TSI 06 SUB 2023

KONUM: 37.18 KUZEY 37.09 DOGU

DERINLIK: 13.00 KM

YER: YAMACOBA-SEHITKAMIL (GAZIANTEP) [KUZEYDOGUSU 0.8 km]

BUYUKLUK: 7.5 [Mwp]

DENIZ SEVIYESI OLCUM DEGERLERI:

					DALGA	
ULKE	OLCUM NOKTASI	ENLEM	BOYLAM	VARIS ZAMANI	YUKSEKLIGI(M)	PERIYOT(DK)
TURKIYE	HATAY ISKENDERUN	36.4156	35.8852	0449TSI 06 SUB	00.12	11.0

TURKIYE MERSIN ERDEMLI 36.5637 34.2554 0510TSI 06 SUB 00.13 06.0

YUKARIDA SUNULAN DEGERLER DENIZ SEVIYESI OLCUM SISTEMLERI TARAFINDAN OLCULEN GERCEK DEGERLER OLUP, DAHA ONCE GONDERILEN MESAJLARDA SUNULMUS BULUNAN TAHMINI TSUNAMI VARIS ZAMANLARI VE TEHLIKE SEVIYELERINDEN FARKLILIK GOSTEREBILIR.

KRDAE-BDTIM, GOZLEM VE ANALIZLERINE DEVAM ETMEKTE OLUP, TAKIP EDECEK MESAJLARDA GUNCEL BILGILENDIRMELER YAPILACAKTIR. AFET VE ACIL DURUM YONETIMI UNSURLARININ BU TUR BIR DURUMDA TAKIP ETMELERI GEREKEN ISLEMLERI BASLATMALARI ONEMLE TAVSIYE OLUNUR.

TSUNAMI MESAJI NO 002 SONU.

KRDAE TSUNAMI MESAJI #003

TSUNAMI MESAJI NO 003

BOGAZICI UNIVERSITESI

KANDILLI RASATHANESI VE DEPREM ARASTIRMA ENSTITUSU (KRDAE)

BOLGESEL DEPREM-TSUNAMI IZLEME VE DEGERLENDIRME MERKEZI (BDTIM)

MESAJ GONDERIM ZAMANI: 0716TSI 06 SUB 2023

... TSUNAMI TEHLIKESI – DENIZ SEVIYESI GOZLEMLERI ...

MERKEZIMIZ (KRDAE-BDTIM) TARAFINDAN YAPILAN DEGERLENDIRMEDE, ASAGIDA BILGILERI VERILEN DEPREMIN BIR TSUNAMIYE NEDEN OLDUGU, DENIZ SEVIYESI OLCUM SISTEMLERI TARAFINDAN YAPILAN OLCUMLERDE DE DOGRULANMIS BULUNMAKTADIR:

OLUS ZAMANI: 0417TSI 06 SUB 2023

KONUM: 37.18 KUZEY 37.09 DOGU

DERINLIK: 13.00 KM

YER: YAMACOBA-SEHITKAMIL (GAZIANTEP) [KUZEYDOGUSU 0.8 km]

BUYUKLUK: 7.5 [Mwp]

DENIZ SEVIYESI OLCUM DEGERLERI:

				DALGA		
ULKE	OLCUM NOKTASI	ENLEM	BOYLAM	VARIS ZAMANI	YUKSEKLIGI(M)	PERIYOT(DK)
TURKIYE	HATAY ISKENDERUN	36.4156	35.8852	0449TSI 06 SUB	00.12	11.0
TURKIYE	MERSIN ERDEMLI	36.5637	34.2554	0510TSI 06 SUB	00.13	06.0

KKTC GAZIMAGUSA 35.1232 33.9495 0522TSI 06 SUB 00.17 12.0

YUKARIDA SUNULAN DEGERLER DENIZ SEVIYESI OLCUM SISTEMLERI TARAFINDAN OLCULEN GERCEK DEGERLER OLUP, DAHA ONCE GONDERILEN MESAJLARDA SUNULMUS BULUNAN TAHMINI TSUNAMI VARIS ZAMANLARI VE TEHLIKE SEVIYELERINDEN FARKLILIK GOSTEREBILIR.

KRDAE-BDTIM, GOZLEM VE ANALIZLERINE DEVAM ETMEKTE OLUP, TAKIP EDECEK MESAJLARDA GUNCEL BILGILENDIRMELER YAPILACAKTIR. AFET VE ACIL DURUM YONETIMI UNSURLARININ BU TUR BIR DURUMDA TAKIP ETMELERI GEREKEN ISLEMLERI BASLATMALARI ONEMLE TAVSIYE OLUNUR.

TSUNAMI MESAJI NO 003 SONU.

KRDAE TSUNAMI MESAJI #004

TSUNAMI MESAJI NO 004

BOGAZICI UNIVERSITESI

KANDILLI RASATHANESI VE DEPREM ARASTIRMA ENSTITUSU (KRDAE)

BOLGESEL DEPREM-TSUNAMI IZLEME VE DEGERLENDIRME MERKEZI (BDTIM)

MESAJ GONDERIM ZAMANI: 1259TSI 06 SUB 2023

... TSUNAMI TEHLIKESI GECMISTIR ...

MERKEZIMIZ (KRDAE-BDTIM) TARAFINDAN YAPILAN DEGERLENDIRMEDE ASAGIDA BILGILERI VERILEN DEPREMIN NEDEN OLDUGU TSUNAMI TEHLIKESININ SON BULMUS OLDUGU ANLASILMISTIR.

OLUS ZAMANI: 0417TSI 06 SUB 2023

KONUM: 37.18 KUZEY 37.09 DOGU

DERINLIK: 13.00 KM

YER: YAMACOBA-SEHITKAMIL (GAZIANTEP) [KUZEYDOGUSU 0.8 KM]

BUYUKLUK: 7.5 [MWP]

BU DEGERLENDIRME, BU MESAJIN YAYIMLANMASINDAN SONRA MEYDANA GELEBILECEK HERHANGI BIR DEPREMIN KESINLIKLE TSUNAMI YARATMAYACAGI SEKLINDE ANLASILMAMALIDIR.

KRDAE-BDTIM, GOZLEM VE ANALIZLERINE DEVAM ETMEKTE OLUP, GEREK DUYULMASI HALINDE GUNCEL BILGILENDIRMELER YAPILACAKTIR. AFET VE ACIL DURUM YONETIMI UNSURLARININ BU TUR BIR DURUMDA TAKIP ETMELERI GEREKEN ISLEMLERE DEVAM ETMELERI ONEMLE TAVSIYE OLUNUR.

TSUNAMI MESAJI NO 004 SONU.

KRDAE SMS mesajları

SMS #001

TSUNAMI TEHLIKESI; KRDAE-BDTIM;0417TSI06SUB2023;YAMACOBA-SEHITKAMIL (GAZIANTEP) [KUZEYDOGUSU 0.8 km];Mw7.5 [Mwp];37.18K;37.09D;13.0KM;UYARI:ADANA ANTALYA AYDIN BALIKESIR CANAKKALE EDIRNE HATAY IZMIR MERSIN MUGLA

4.4 EK2. 20230220 Hatay Depreminde Yayınlanan Tsunami Uyarı Mesajları

KRDAE TSUNAMI MESAJI #001

TSUNAMI MESAJI NO 001

BOGAZICI UNIVERSITESI

KANDILLI RASATHANESI VE DEPREM ARASTIRMA ENSTITUSU (KRDAE)

BOLGESEL DEPREM-TSUNAMI IZLEME VE DEGERLENDIRME MERKEZI (BDTIM)

MESAJ GONDERIM ZAMANI: 2012TSI 20 SUB 2023

... TSUNAMI TEHLIKESI ...

MERKEZIMIZ (KRDAE-BDTIM) TARAFINDAN YAPILAN DEGERLENDIRMEDE, ASAGIDA BILGILERI VERILEN DEPREMIN BIR TSUNAMIYE NEDEN OLABILECEGI BELIRLENMISTIR:

OLUS ZAMANI: 2004TSI 20 SUB 2023

KONUM: 36.10 KUZEY 36.09 DOGU

DERINLIK: 33.00 KM

YER: SINANLI- (HATAY) [KUZEYDOGUSU 0.8 KM]

BUYUKLUK: 6.3 [MWP]

BUYUKLUK DEGERI EKLENECEK SISMIK VERILER NEDENI ILE DEGISEBILIR VE NIHAI BUYUKLUK DEGERINDEN FARKLILIK GOSTEREBILIR.

ETKILENMESI OLASI KIYI BOLGELERINDE TAHMINI TSUNAMI VARIS ZAMAN VE TEHLIKE DURUMU SEVIYELERI ASAGIDA VERILMISTIR. ONGORULEN VARIS ZAMANLARI VE KRDAE-BDTIM KARAR MATRISI UYARINCA ELDE EDILEN SEVIYELER, GERCEK TSUNAMI VARIS ZAMANLARI VE TEHLIKE DURUMU SEVIYELERI ILE FARKLILIK GOSTEREBILIR.

IL - YER	ENLEM	BOYLAM	VARIS ZAMANI	SEVIYE
HATAY - ARSUZ (M)	36.4156	35.8852	2042TSI 20 SUB	GOZLEM

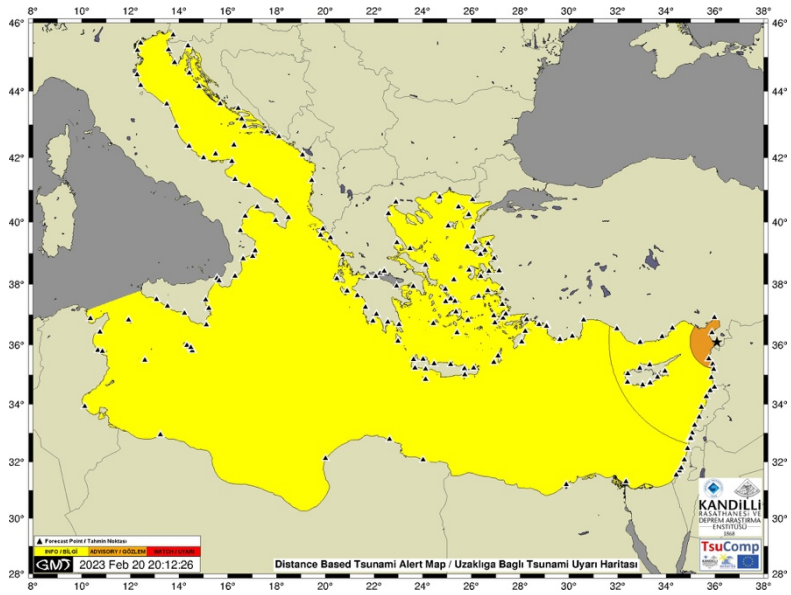
ADANA - YUMURTALIK 36.9140 35.9803 2110TSI 20 SUB GOZLEM

YUKARIDA SUNULAN BILGILER BIR TSUNAMININ KESINLIKLE OLUSTUGU SEKLINDE ANLASILMAMALIDIR. BU UYARI MESAJI SADECE DEPREM PARAMETRELERI (OLUS ZAMANI, BUYUKLUK, DERINLIK, ENLEM, BOYLAM) ESAS ALINARAK OLUSTURULMUSTUR.

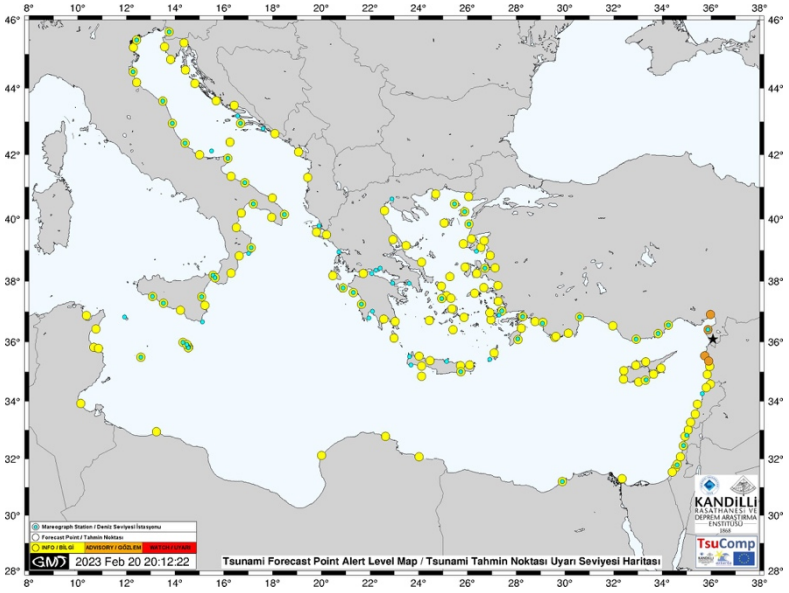
KRDAE-BDTIM KARAR MATRISI TEHLIKE SEVIYELERI, KIYI BOLGELERININ 0.5 METREDEN DAHA BUYUK GENLIKLI TSUNAMI DALGALARI ILE ETKILENMESININ OLASI OLDUGU YERLERDE UYARI, KIYI BOLGELERININ 0.2 ILE 0.5 METRE ARASINDA GENLIKLI TSUNAMI DALGALARI ILE ETKILEMESININ OLASI OLDUGU YERLERDE GOZLEM OLARAK TANIMLANMISTIR.

KRDAE-BDTIM, GOZLEM VE ANALIZLERINE DEVAM ETMEKTE OLUP, TAKIP EDECEK MESAJLARDA GUNCEL BILGILENDIRMELER YAPILACAKTIR. AFET VE ACIL DURUM YONETIMI UNSURLARININ BU TUR BIR DURUMDA TAKIP ETMELERI GEREKEN ISLEMLERI BASLATMALARI ONEMLE TAVSIYE OLUNUR.

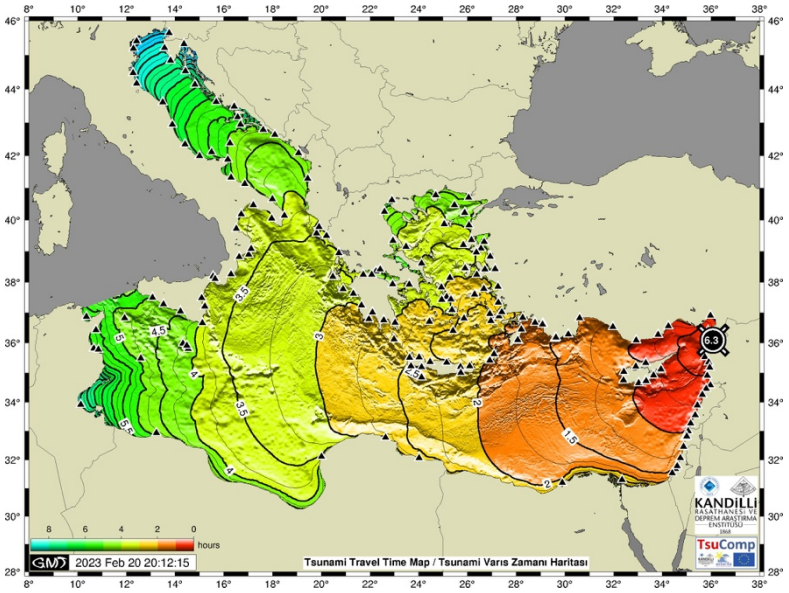
TSUNAMI MESAJI NO 001 SONU.



Şekil 4.7 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 1/3: Uzaklığa Bağlı Tsunami Uyarı Haritası



Şekil 4.8 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 2/3: Tsunami Tahmin Noktası Uyarı Seviyesi Haritası



Şekil 4.9 KRDAE Tsunami Mesajı #001 e-posta eki 3/3: Tsunami Varış Zamanı Haritası

KRDAE TSUNAMI MESAJI #002

TSUNAMI MESAJI NO 002

BOGAZICI UNIVERSITESI

KANDILLI RASATHANESI VE DEPREM ARASTIRMA ENSTITUSU (KRDAE)

BOLGESEL DEPREM-TSUNAMI IZLEME VE DEGERLENDIRME MERKEZI (BDTIM)

MESAJ GONDERIM ZAMANI: 2147TSI 20 SUB 2023

... TSUNAMI TEHLIKE UYARISI IPTAL EDILMISTIR ...

MERKEZIMIZ (KRDAE-BDTIM) TARAFINDAN YAPILAN DEGERLENDIRMEDE ASAGIDA BILGILERI VERILEN DEPREM PARAMETRELERI (OLUS ZAMANI, BUYUKLUK, DERINLIK, ENLEM, BOYLAM) ESAS ALINARAK YAYIMLANMIS OLAN TSUNAMI TEHLIKESI MESAJI IPTAL EDILMISTIR.

OLUS ZAMANI: 2004TSI 20 SUB 2023

KONUM: 36.10 KUZEY 36.09 DOGU

DERINLIK: 33.00 KM

YER: SINANLI- (HATAY) [KUZEYDOGUSU 0.8 km]

BUYUKLUK: 6.3 [Mwp]

SOZ KONUSU TSUNAMI TEHLIKESI MESAJININ ARDINDAN GOZLEM VE ANALIZLERINE DEVAM EDEN MERKEZIMIZ, YAPMIS OLDUGU GOZLEM VE DEGERLENDIRMELERDE BU DEPREMIN BIR TSUNAMIYE SEBEP OLMADIGINI BELIRLEMISTIR.

BU VE BENZERI DURUMLARDA RESMI VE YETKILI KURUMLARCA YAPILMAYAN VE BILIMSEL KAYNAGI BELIRSIZ ACIKLAMA VE BILGILENDIRMELERIN DIKKATE ALINMAMASI ONEMLE RICA OLUNUR.

TSUNAMI MESAJI NO 002 SONU.

KRDAE SMS mesajları

SMS #001

TSUNAMI TEHLIKESI; KRDAE-BDTIM;2004TSI20SUB2023;SINANLI- (HATAY) [KUZEYDOGUSU 0.8 km];Mw6.3 [Mwp];36.10K;36.09D;33.0KM;GOZLEM:ADANA HATAY

****

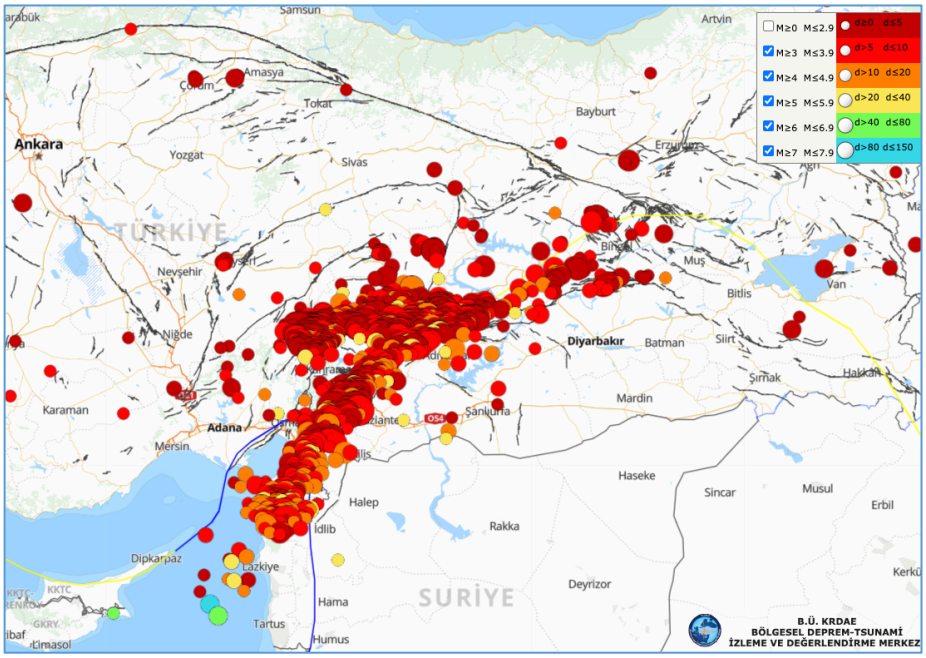
BDTIM ön raporuna aşağıdaki linkten ulaşılabilir:

[06 ŞUBAT-20 ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNE AİT ÖN DEĞERLENDİRME RAPORU - B.Ü. KRDAE Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (boun.edu.tr)]

5. JEODEZİK ÖN DEĞERLENDİRME

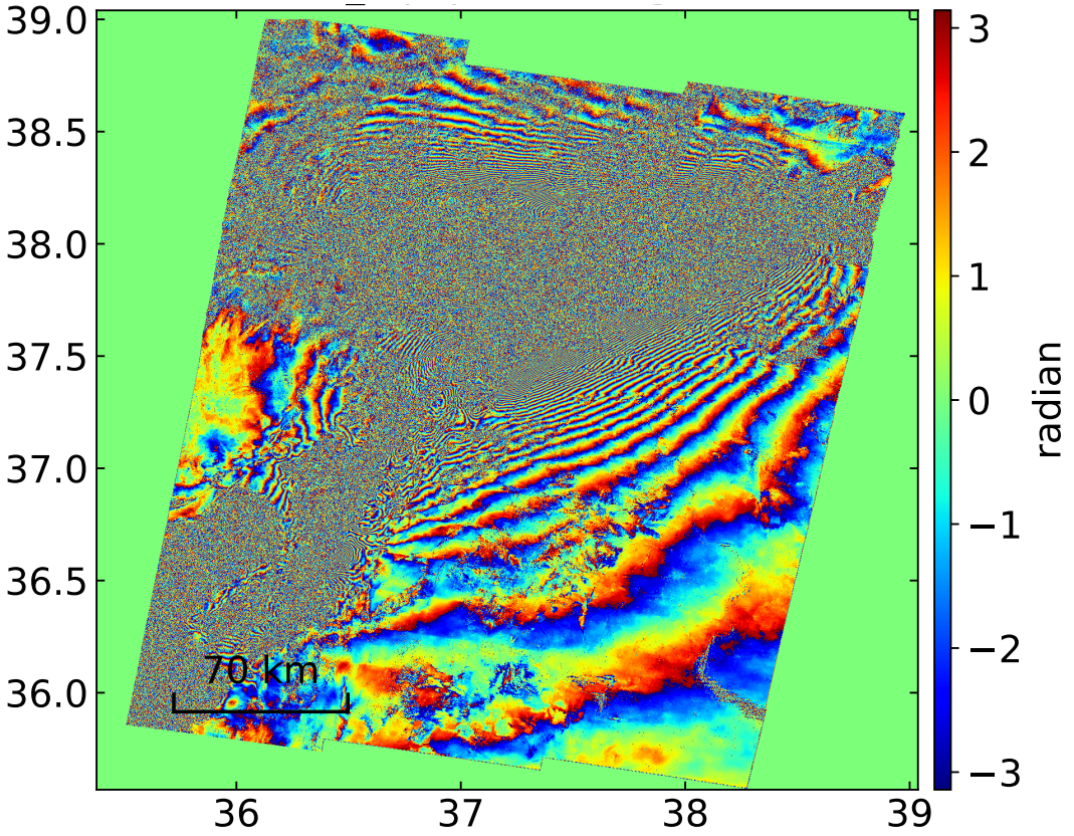
5.1 Uzaktan Algılama ile Deformasyon Analizi Ön Değerlendirme

06 Şubat 2023 tarihinde Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'te aletsel büyüklüğü Mw7.7 ve Mw7.6 olan iki deprem Türkiye'nin doğusunda, Gaziantep'te ve Kahramanmaraş'ta yaklaşık 9 saat ve 100 km ara ile meydana gelmiştir. Bu depremlerin yıkıcı etkisi bölgedeki 10 şehirde de hissedilmiştir. Gaziantep ve Kahramanmaraş çevresinde artçı depremler devam ederken 20 Şubat 2023 tarihinde saat 20:04'te Hatay'da Mw6.4 olan yıkıcı bir deprem daha meydana gelmiştir. Şubat ayı içinde bölgedeki sismik aktivite Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 01-23 Şubat 2023 tarihleri arasında bölgede meydana gelen M≥ 3 depremler.

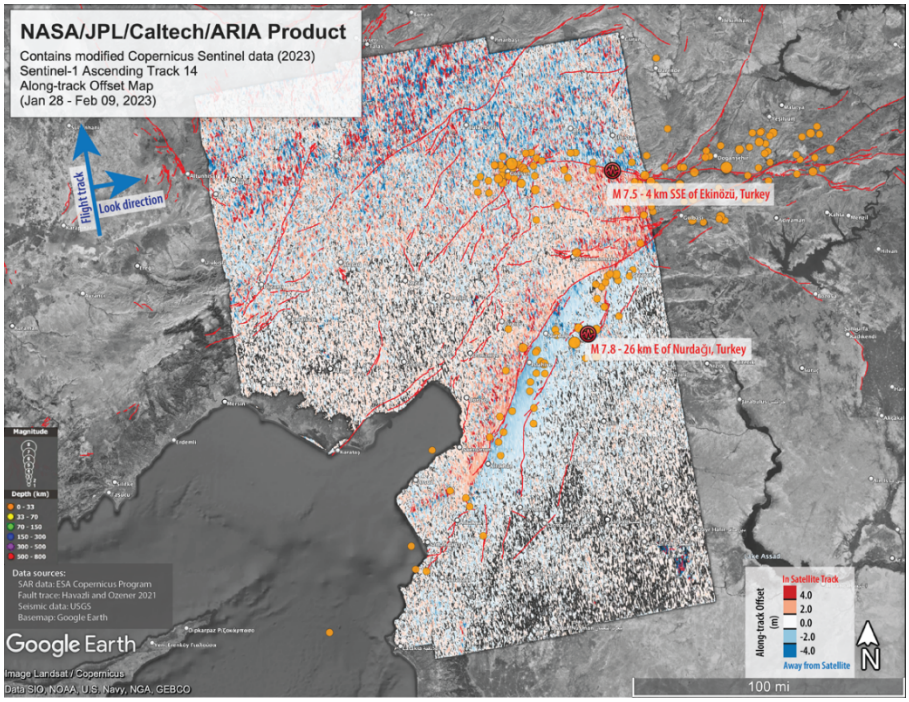
Aletsel büyüklüğü Mw>7 olan Gaziantep ve Kahramanmaraş depremlerinin yaratmış olduğu yüzey deformasyonunu anlamak üzere uzaktan algılama çalışmalarına başlanmıştır. Bu amaçla Sentinel-1 uydusundan elde edilen deprem öncesi ve deprem sonrasına ait radar görüntüleri Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntem iki farklı zamanda kaydedilen Radar görüntülerinin faz değerlerinin karşılaştırılması ile yüksek çözünürlüklü olarak yüzey deformasyonunun hesaplanmasını sağlayan bir radar görüntüleme tekniğidir. Sentinel-1'e ait ikinci uydu görüntüsü Gaziantep ve Maraş depremlerinin ve 10 Şubat tarihine kadar bölgede meydana gelen artçı sarsıntıların da etkisini içermektedir. Alçalan yörüngedeki uydu görüntülerinden ilksel çalışmalar neticesinde elde edilen interferogramın görüntüsü Şekil 5.2'de verilmektedir. Interferogramdaki eş-mesafe çizgilerinin (fringe) sıklığı ve sayısı, aletsel büyüklüğü Mw>7 olan bu iki depremin yaratmış olduğu deformasyonun büyüklüğünü ve geniş etki alanını göstermektedir.



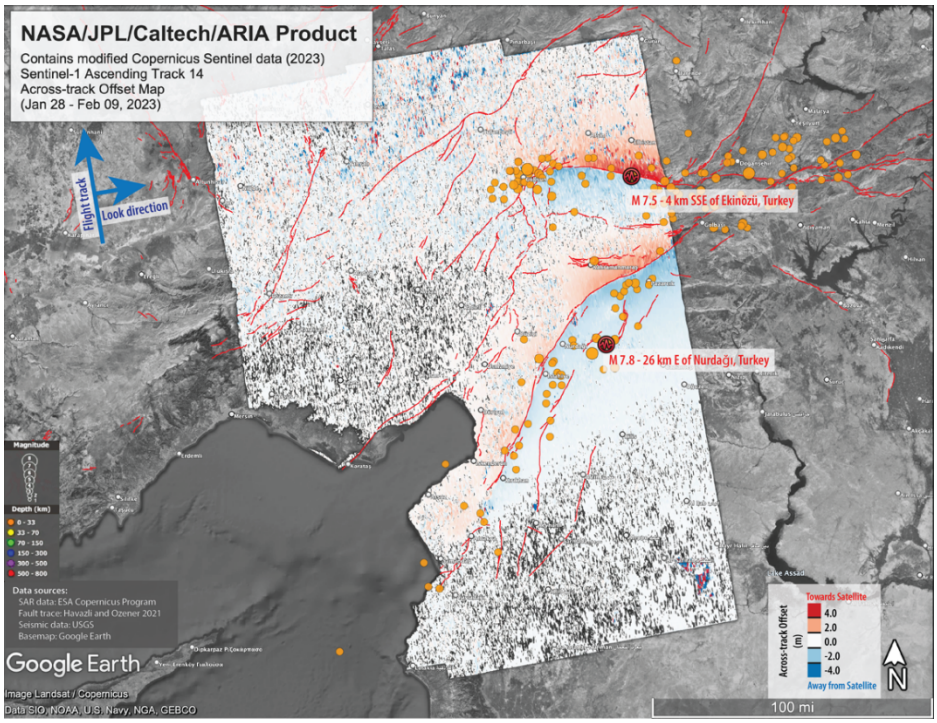
Şekil 5.2 Alçalan yörüngedeki uydudan elde edilen veriler ile oluşturulmuş interferogram.

Interferogramda hızla değişen deformasyona bağlı olarak ortaya çıkan korelasyon uyumsuzluğu nedeni ile interferogram bilgisinin yanı sıra uydu uçuş yönü boyunca ve uydunun uçuşuna dik olan yönde ofset haritalarının incelenmesi bölgedeki hareketi anlamak açısından önemlidir. Sentinel-1 uydusunun yükselen ve alçalan yörüngedeki uydu görüntülerinden elde edilen uydu uçuş yönü (along-track) ve uydunun uçuşuna dik yön (across-track) boyunca olan ofset haritaları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görülmektedir. Mavi ve kırmızı renkler bölgedeki hareketin yönünü göstermektedir. Uydunun uçuş yönünde olan haritada daha ziyade Gaziantep depreminin etkisi gözlemlenirken uydunun uçuş yönüne dik olan ofset haritasında, hem Gaziantep hem de Kahramanmaraş depremlerinin meydana getirdiği ofset açık olarak görülmektedir.

a)

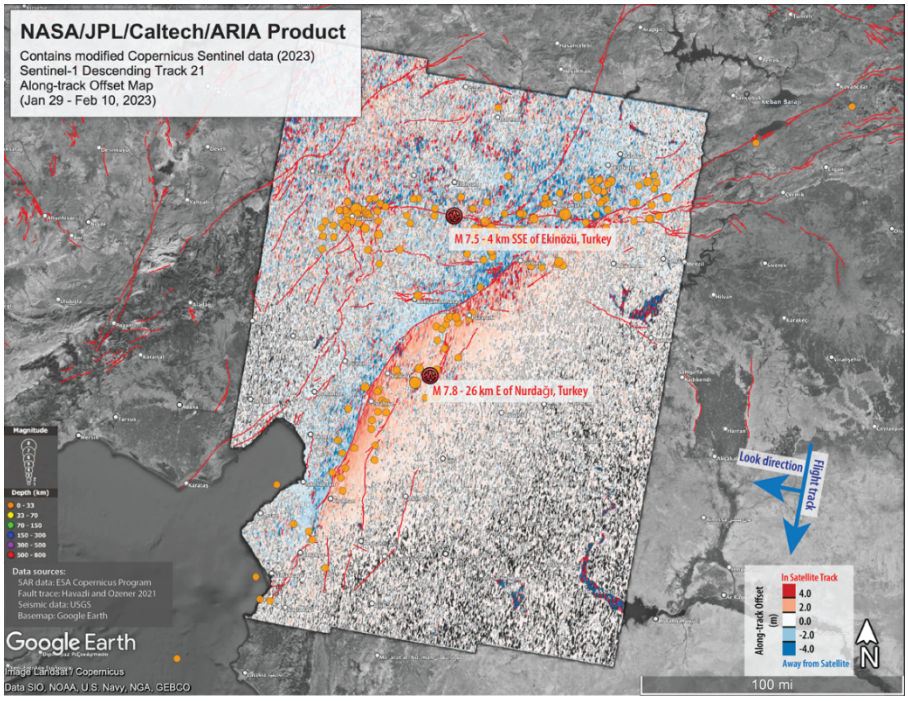


b)

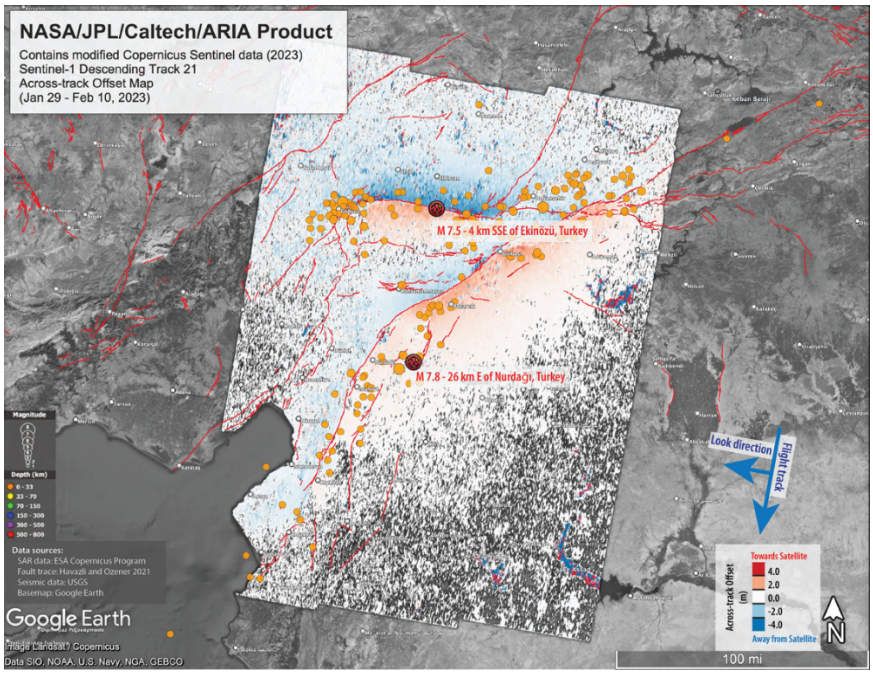


Şekil 5.3 Yükselen yörüngede (a) uydu uçuş yönü (along-track, azimuth) ve (b) uydu uçuş yönüne dik yön (across-track, range) boyunca olan ofset haritaları.

a)

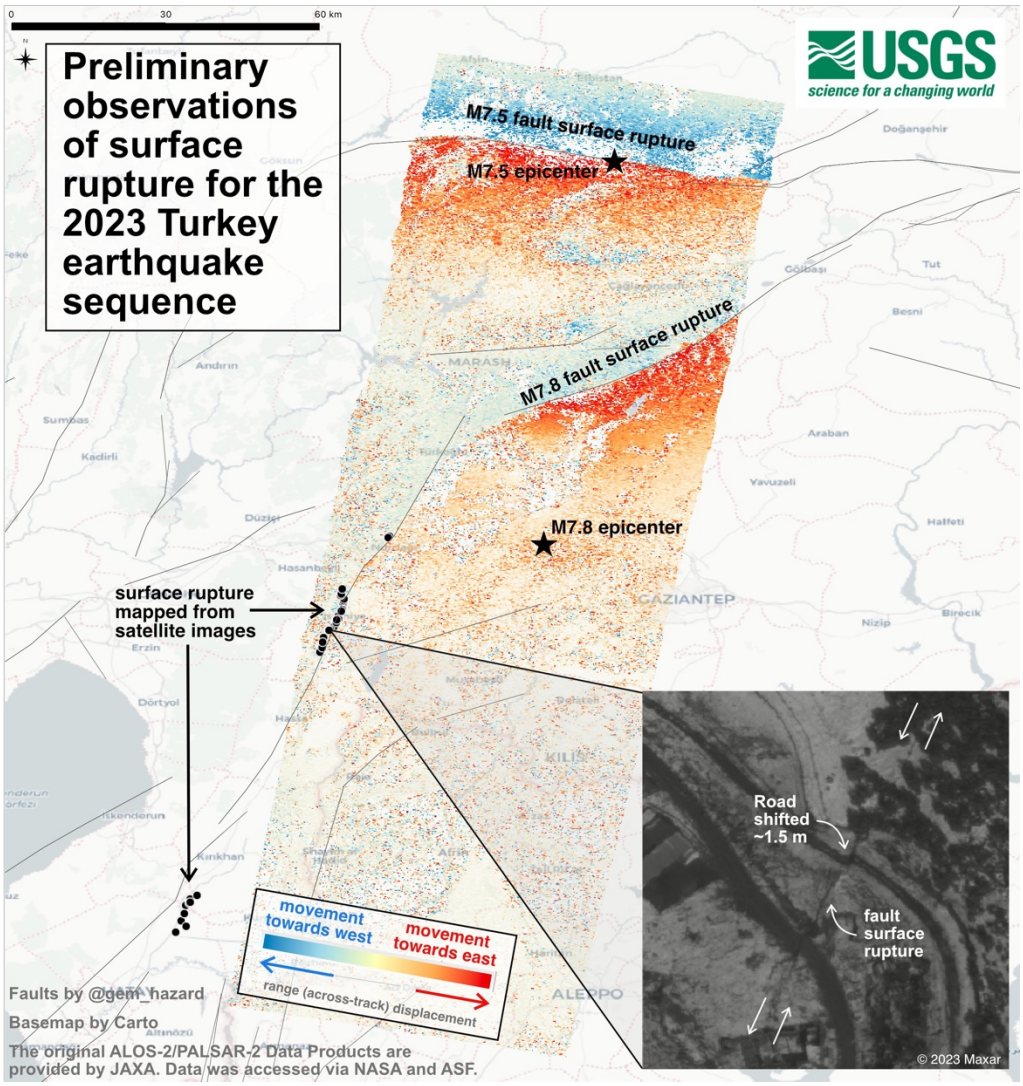


b)



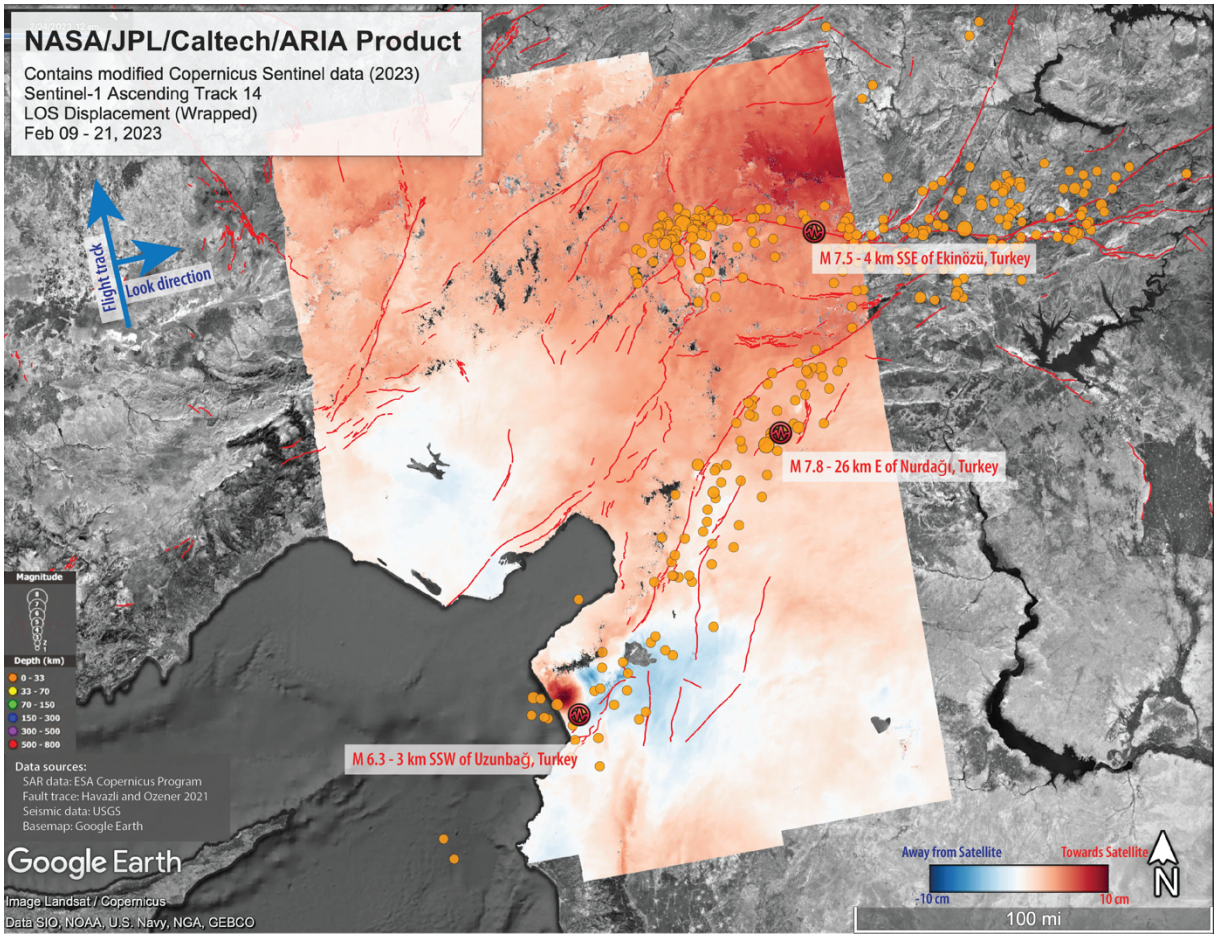
Şekil 5.4 Alçalan yörüngede (a) uydu uçuş yönü (along-track, azimuth) ve (b) uydu uçuş yönüne dik yön (across-track, range) boyunca olan ofset haritaları.

Bölgeyi daha geniş tarayan ALOS-2 uydu verisi ile USGS tarafından elde edilen ilksel yer hareketleri Şekil 5.5'te verilmektedir. Uydunun uçuş doğrultusuna dik yönde olan (menzil, range) yer hareketi mavi ile temsil edilen bölgelerin sola, kırmızı ile temsil edilen bölgelerin ise sağa hareketini göstermektedir. InSAR gözlemleri ile tespit edilen bu hareketler bölgenin sismolojik ve jeolojik araştırmalarla tespit edilen aktif faylanma tipleri ve levha tektoniği ile uyumludur. Mavi ve kırmızı bölgeler arasında Gaziantep ve Kahramanmaraş depremlerinin yüzey kırıkları da görülmektedir.



Şekil 5.5 Radar görüntülerine dayalı Kahramanmaraş depremleri ilksel yüzey kırığı ve yer hareketi haritası (USGS: https://www.usgs.gov/media/images/fofez1rwyaafgf5jpg).

Aletsel büyüklüğü Gaziantep ve Kahramanmaraş depremlerinden daha küçük olan Hatay depreminin (Mw6.4) uydu verilerinden elde edilen faz çözümü Şekil 5.6'da verilmektedir. Gaziantep ve Kahramanmaraş depremlerine oranla Hatay depremi sonrasında gözlemlenen yer değiştirme miktarları daha küçüktür.



Şekil 5.6 Hatay depremine ait radar bakış yönündeki (LOS) yer değiştirme miktarları.

****

6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları raporuna aşağıdaki linkten ulaşılabilir:

[Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi » Makale » 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları (dergipark.org.tr)]

6. KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Sofalarca-Şehitkamil-Gaziantep'te M_w=7.7 büyüklüğünde yıkıcı bir deprem gerçekleşmiştir. Bu depremden, yaklaşık 9 saat sonra, 95 km kuzeyde Ekinözü-Kahramanmaraş merkezli M_w=7.6 olan yıkıcı başka bir deprem daha gerçekleşmiştir. Her iki deprem için ivme-zaman grafikleri, Fourier genlik spektrumları ve tepki spektrumları AFAD (https://tadas.afad.gov.tr) tarafından işletilen ve Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonu verileri kullanılarak elde edilmiştir. Ön değerlendirme raporu kapsamında seçili istasyonların deprem odak uzaklığı mevcut ise Vs30 değerleri ile en büyük yer hareketi parametreleri sunulmuştur. Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması da verilmiştir. Detaylı değerlendirme ileride yapılacaktır.

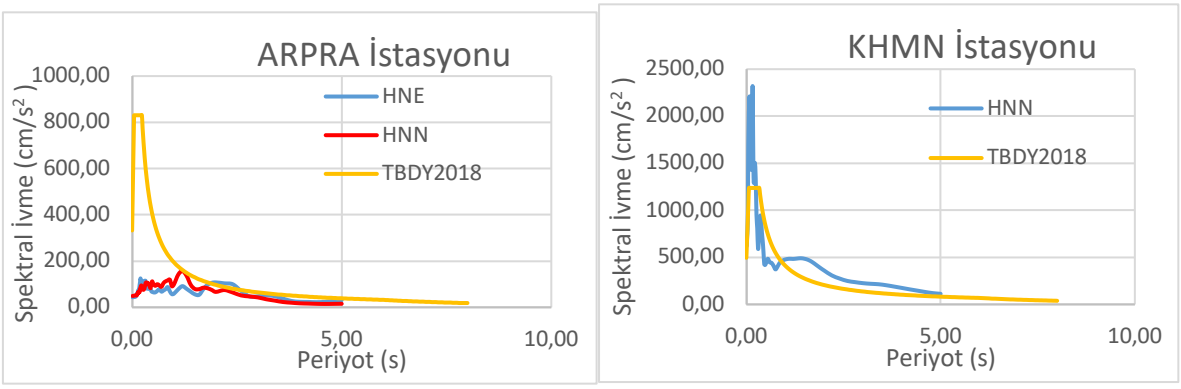
6.1 M_W=7.7 – 04:17 (GMT +3) Depremi

6.1.1. KRDAE İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon Verilerinin Değerlendirilmesi

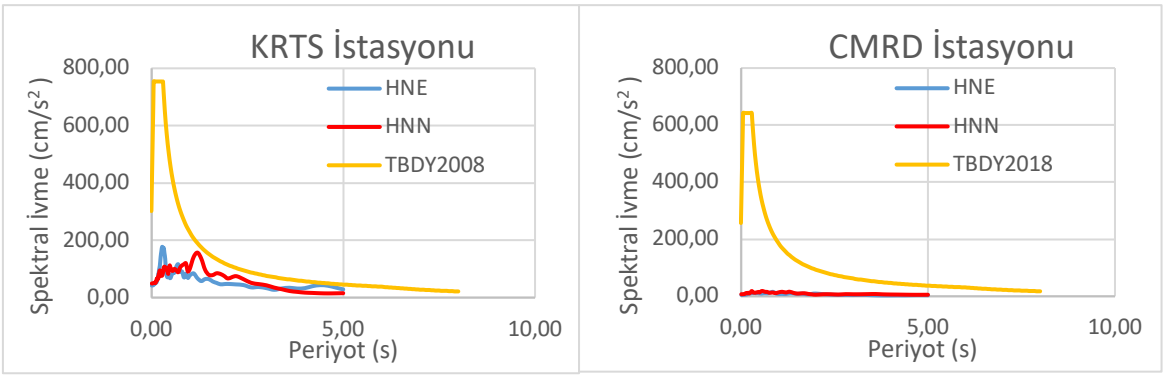
Deprem bölgesinde KRDAE tarafından işletilen dört adet istasyon (ARPRA, KHMN, KRTS, CMRD) M_w=7.7 depremini kaydetmiştir. ARPRA istasyonu Malatya'da, KHMN istasyonu Kahramanmaraş'ta, KRTS ve CMRD istasyonları Adana illerinde bulunmaktadır. Bu istasyonlardan elde edilen her üç bileşen için PGA ve PGV verileri ve merkez üssüne uzaklıkları Tablo 6-1' de verilmiştir.

Tablo 6-1 KRDAE İstasyonlarından Elde Edilen Veriler

Station Code	*Component*	*PGA (cm/s²)*	*PGV (cm/s)*	R_{EPI} *(km)*
ARPRA	HNE	43.67	12.25	240.36
	HNN	49.15	9.95	
	HNZ	19.68	7.07	
KHMN	-			25.57
	HNN	617.89	88.90	
	HNZ	485.64	45.00	
KRTS	HNE	42.00	14.88	165.55
	HNN	54.17	12.03	
	HNZ	30.17	9.87	
CMRD	HNE	4.89	2.52	192.50
	HNN	7.32	3.10	
	HNZ	5.65	2.98	



Şekil 6.1 ARPRA ve KHMN İstasyonları Tepki Spektrumunun TBDY (2018) Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması



Şekil 6.2 KRTS ve CMRD İstasyonları Tepki Spektrumunun TBDY (2018) Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması

Şekil 6.1'de ARPRA ve KHMN istasyonu için elde edilen tepki spektrumu verilmektedir. ARPRA istasyonu için tepki spektrumu yaklaşık 1.8-2.7 sn periyot değerleri arasında TBDY (2018)'de verilen sahaya özel deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2) tasarım spektrumu değerlerini aşmaktadır. KHMN istasyonundan elde edilen tepki spektrumu TBDY (2018)'de verilen (DD-2) tasarım spektrumu değerlerini oldukça aşmaktadır.

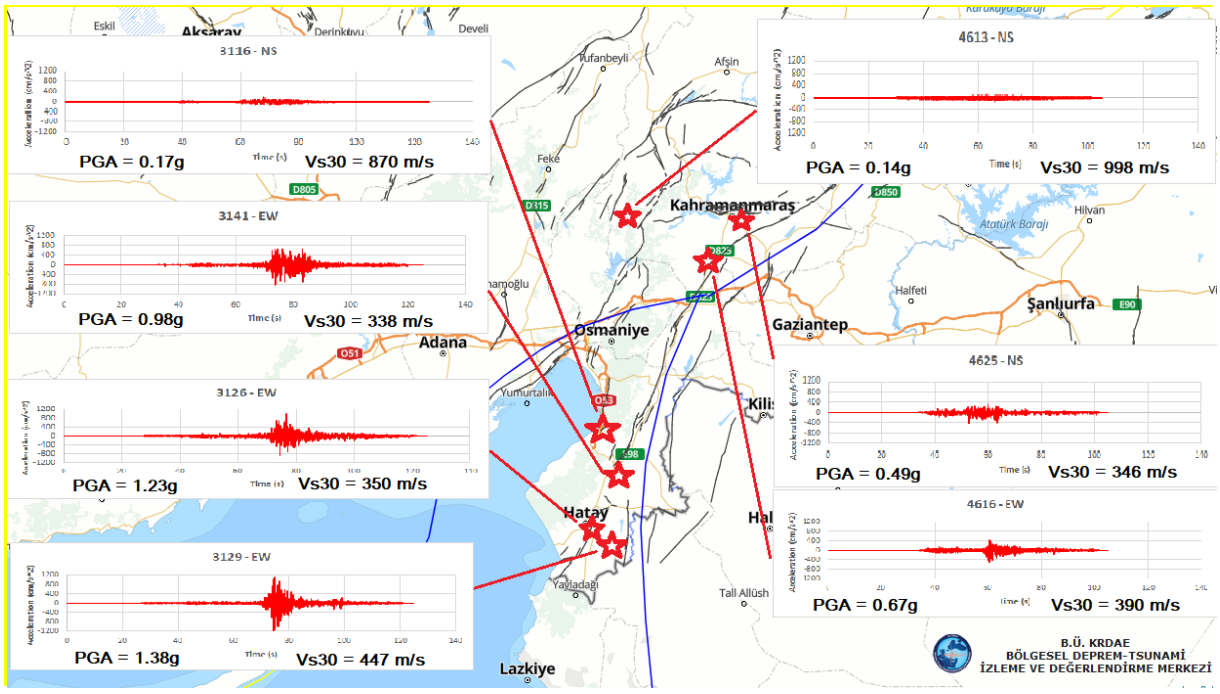
Şekil 6.2'de KRTS ve CMRD istasyonları için elde edilen tepki spektrumları verilmektedir. KRTS istasyonundan elde edilen tepki spektrumu TBDY (2018)'de verilen (DD-2) tasarım spektrumu altında kalmaktadır.

6.1.2 Seçili AFAD İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketleri Verilerinin Değerlendirilmesi

İvme-Zaman Grafikleri ve V_{s30} Değerleri (M_w=7.7)

M_w=7.7 büyüklüğündeki yıkıcı deprem, Türkiye'nin 11 ilini kuvvetli bir şekilde etkilemiş ve deprem bölgesinde önemli hasar ve can kayıplarına neden olmuştur. Bu iller Kahramanmaraş, Adana, Adıyaman, Hatay, Osmaniye, Kilis, Diyarbakır, Gaziantep, Malatya, Elazığ ve Şanlıurfa'dır. Depremden en çok etkilenen illerde bulunan istasyonlara ait ivme-zaman grafikleri harita üzerinde verilmektedir (Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5). Hatay'da yer alan 3116-3141-3126-3129 numaralı istasyonlar sırasıyla merkez üssüne 105, 125, 144 ve 146 km uzakta

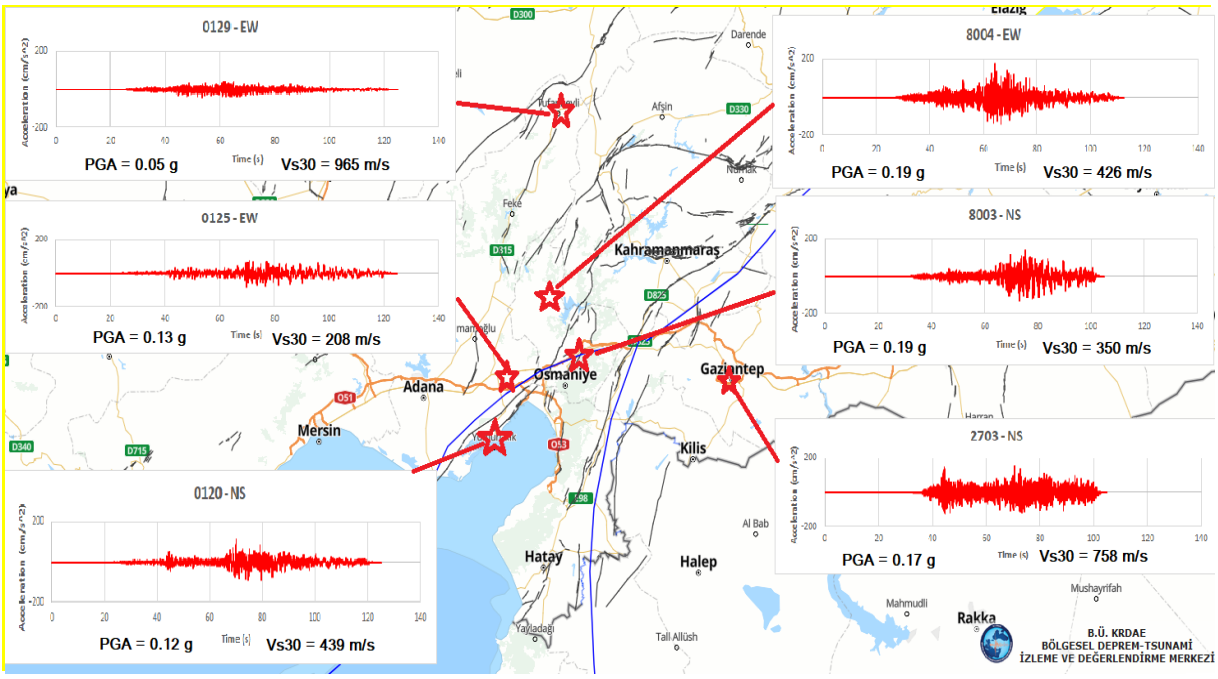
yer almaktadır. İstasyon bölgelerindeki zemin sınıfları; 3116 istasyonunda TBDY 2018'e göre ZB (Vs_{30} = 870 m/s), 3141 istasyonunda ZD (Vs_{30} = 338 m/s), 3126 istasyonunda ZD (Vs_{30} = 350 m/s) ve 3129 istasyonunda ise ZC (Vs_{30} = 447 m/s) olarak sınıflandırılmaktadır. En yüksek yer ivme değerleri sırasıyla 0.17g, 0.98g, 1.23g ve 1.38g olarak ölçülmüştür. AFAD tarafından yenilenen ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda Hatay ili PGA 475(yıl) en yüksek ivme değeri 0.3-0.6g arasında değişmektedir. 3141-3126-3129 kodlu istasyonlarda kaydedilen en yüksek ivme değerleri (0.98g, 1.23g ve 1.38g) Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda verilen en yüksek PGA değerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Kahramanmaraş'ta yer alan 4613-4625-4616 numaralı istasyonlar sırasıyla merkez üssüne 68, 28 ve 21 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgelerindeki zemin sınıfları; 4613 kodlu istasyonda TBDY 2018'e göre ZB (Vs_{30} = 998 m/s) ve 4625 kodlu istasyonda TBDY 2018'e göre ZD (Vs_{30} = 346 m/s) ve 4616 kodlu istasyonda ZC (Vs_{30} = 390 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi değerleri sırasıyla 0.14g, 0.49g ve 0.67g olarak ölçülmüştür. AFAD (2019) Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda Kahramanmaraş ili PGA 475(yıl) en yüksek ivme değeri 0.2-0.6g arasında değişmektedir. 4616 kodlu istasyonda kaydedilen en yüksek ivme değeri (PGA=0.67g) Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda verilen en yüksek PGA değerinin üzerinde olduğu görülmektedir.



Şekil 6.3 Kahramanmaraş ve Hatay İlleri İvme-Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri

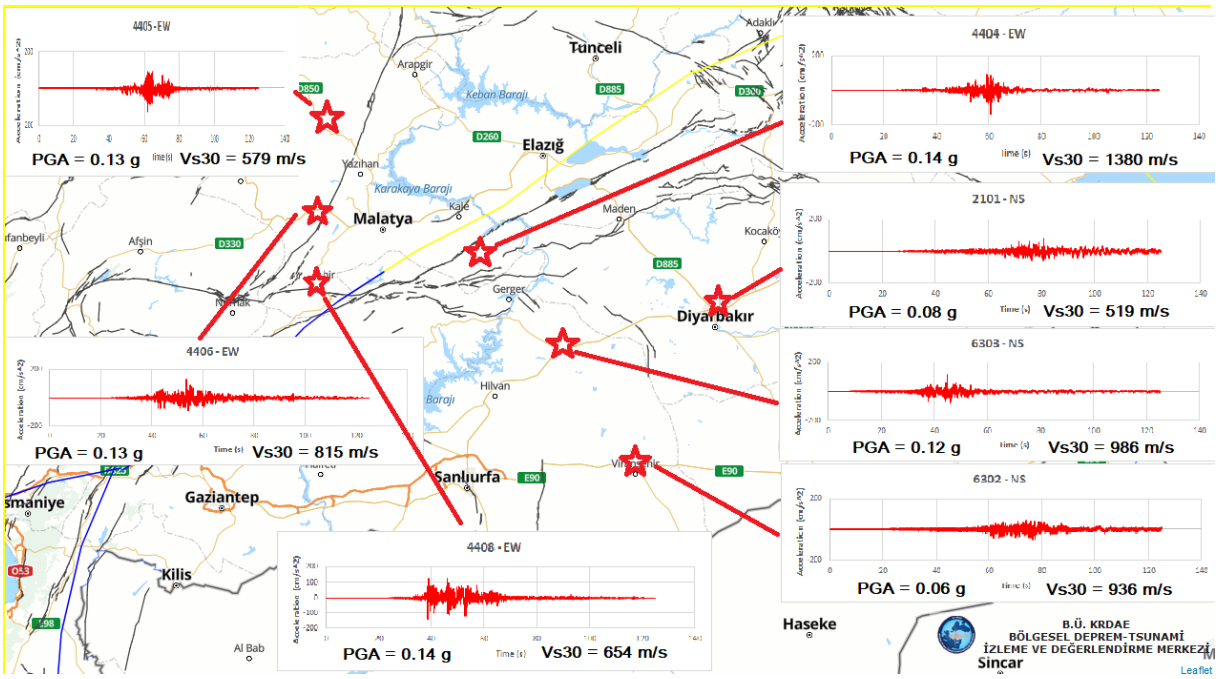
Adana ilinde yer alan 0129, 0125 ve 0120 numaralı istasyonlar sırasıyla merkez üssüne 130, 115 ve 125 km uzakta yer almaktadır (Şekil 6.4). İstasyon bölgelerindeki zemin sınıfları; 0129 kodlu istasyon için TBDY 2018'e göre ZB (V_{s30} = 965 m/s) ve 0125 kodlu istasyon için TBDY 2018'e göre ZD (Vs_{30} = 208 m/s) ve 0120 kodlu istasyon için ZC (V_{s30} = 439 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi değerleri sırasıyla 0.05g, 0.13g ve 0.12g olarak

ölçülmüştür. Osmaniye'de yer alan 8004 ve 8003 numaralı istasyonlar sırasıyla merkez üssüne 84 ve 72 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgelerindeki zemin sınıfları 8004 kodlu istasyonda TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 426 m/s) ve 8003 kodlu istasyonda TBDY 2018'e göre ZD (V_{s30} = 350 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi değerleri her iki istasyonda da 0.19g olarak ölçülmüştür. 2703 Gaziantep – Şahinbey istasyonu merkez üssüne 37 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 758 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi 0.17g olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.4 Adana, Osmaniye ve Gaziantep İlleri İvme-Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri

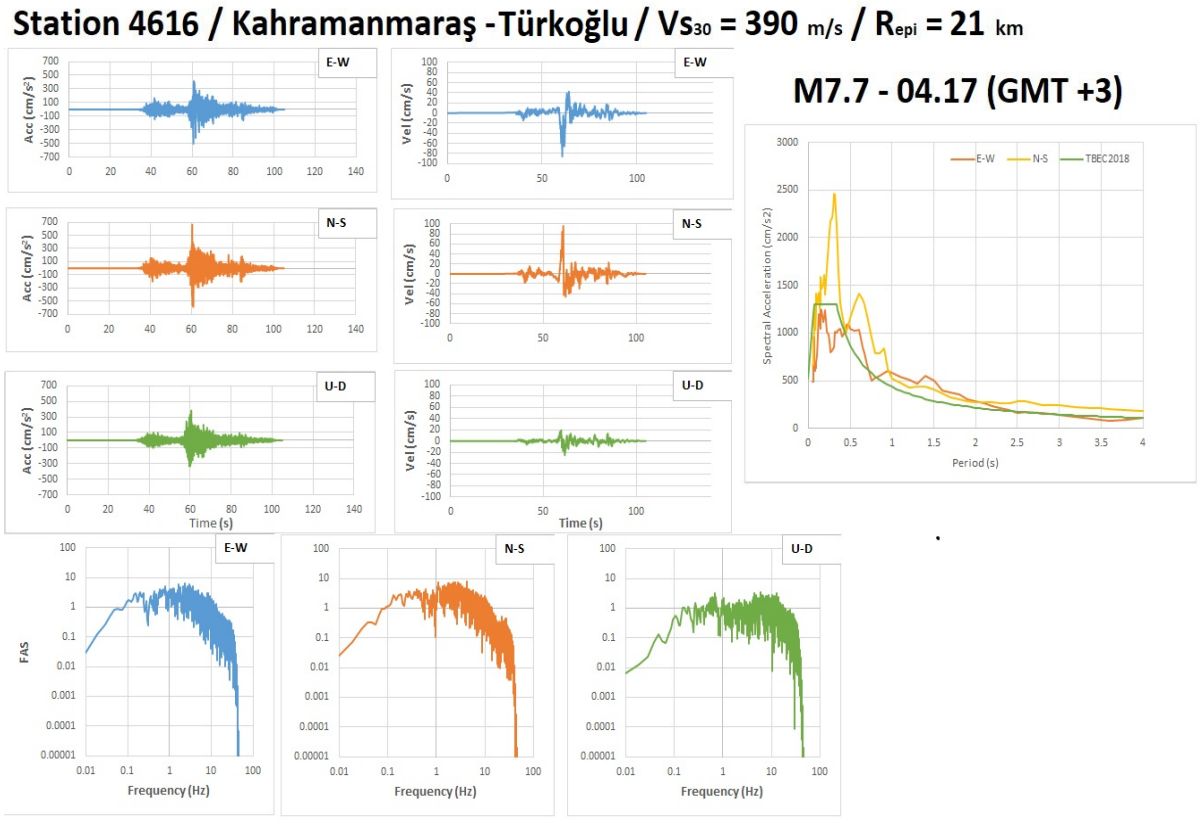
Şekil 6.5'de verilen Malatya'da yer alan 4404, 4405, 4406 ve 4408 numaralı istasyonlar sırasıyla merkez üssüne 190, 187, 143 ve 117 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgelerindeki zeminler; 4404 ve 4406 kodlu istasyonlarda TBDY 2018'e göre ZB (V_{s30}= 1380m/s;V_{s30} =815 m/s), 4405 ve 4408 kodlu istasyonlarda TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30}=579 m/s; V_{s30}=654 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi değerleri sırasıyla 0.14g, 0.13g, 0.13g ve 0.14g olarak ölçülmüştür. Şanlıurfa'da yer alan 6302 ve 6303 numaralı istasyonlar sırasıyla merkez üssüne 240 ve 208 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgelerindeki zeminler; 6302 ve 6303 kodlu istasyonlarda TBDY 2018'e göre ZB (V_{s30}=936 m/s; V_{s30}=986 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi değerleri sırasıyla 0.06g ve 0.12g olarak ölçülmüştür. 2101 Diyarbakır – Bağlar istasyonu merkez üssüne 287 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin, TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 519 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi 0.08g olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.5 Malatya, Diyarbakır ve Şanlıurfa İlleri İvme-Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri

4616 Kahramanmaraş – Türkoğlu istasyonu M_w=7.7 Deprem kaydı Değerlendirilmesi

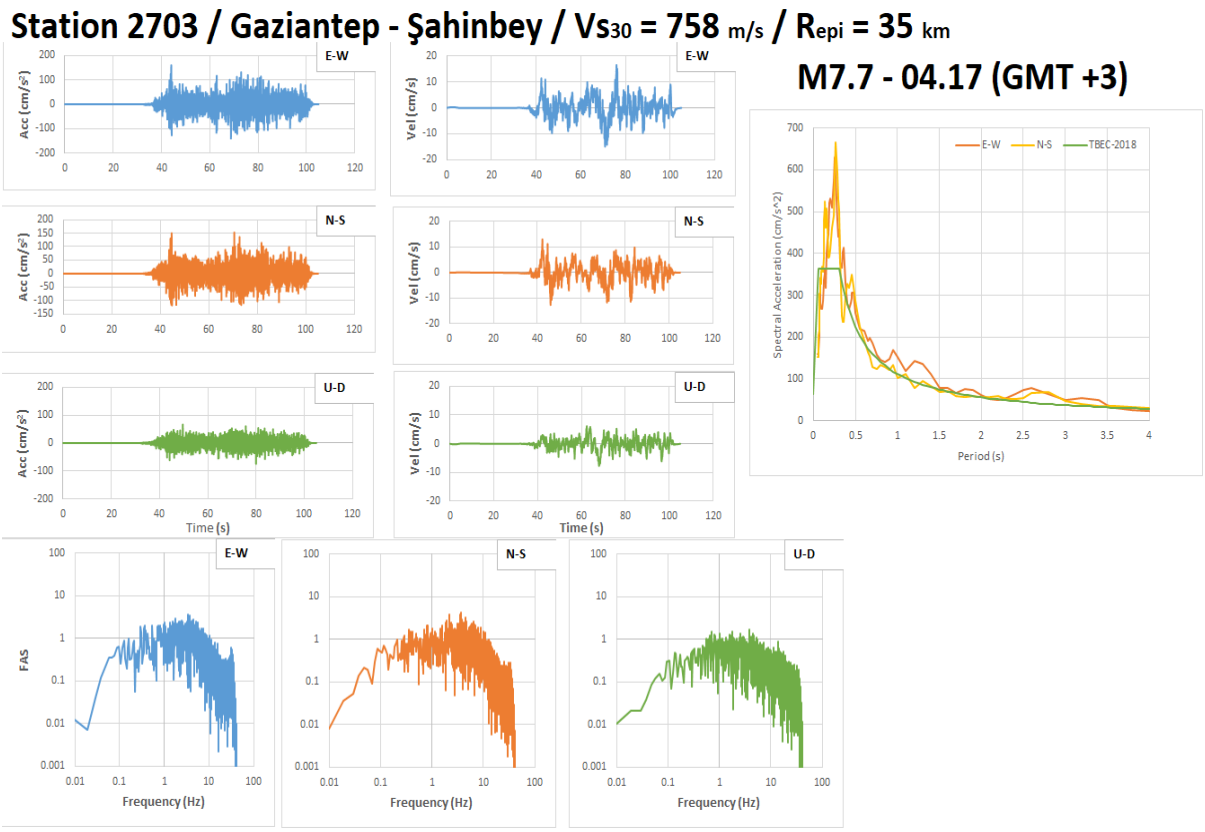
Merkez üssüne 21 km mesafede yer alan 4616 Kahramanmaraş – Türkoğlu istasyonu için üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (Vs30) 390 m/s olarak verilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'ne göre yerel zemin sınıfı ZC olarak sınıflandırılmıştır. 4616 istasyon kaydının yerel saat ile 04:17 (GMT+3)'de gerçekleşen depremin ivme-zaman, hız-zaman, Fourier genlik spektrumu ve tepki spektrum grafikleri Şekil 6.6'da verilmiştir. En yüksek yer ivme (PGA) değeri 0.67g ve en yüksek yer hızı (PGV), 96.28 cm/s olarak ölçülmüştür. Mw=7.7 Depremi sonucu elde edilen tepki spektrumlarının, TBDY 2018'de verilen sahaya özel deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2) tasarım spektrumu, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyotu 475 yıl, ile kıyaslanması Şekil 6.7'de verilmiştir. Tepki spektrumları 0.1 sn ve üzerindeki periyot değerlerinde, DD-2 tasarım spektrumunu oldukça aşmaktadır.



Şekil 6.6 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Kahramanmaraş, Türkoğlu (4616) İstasyonu [36.8384-37.3755]

2703 Gaziantep-Şahinbey istasyonu M_w=7.7 Deprem kaydı Değerlendirilmesi

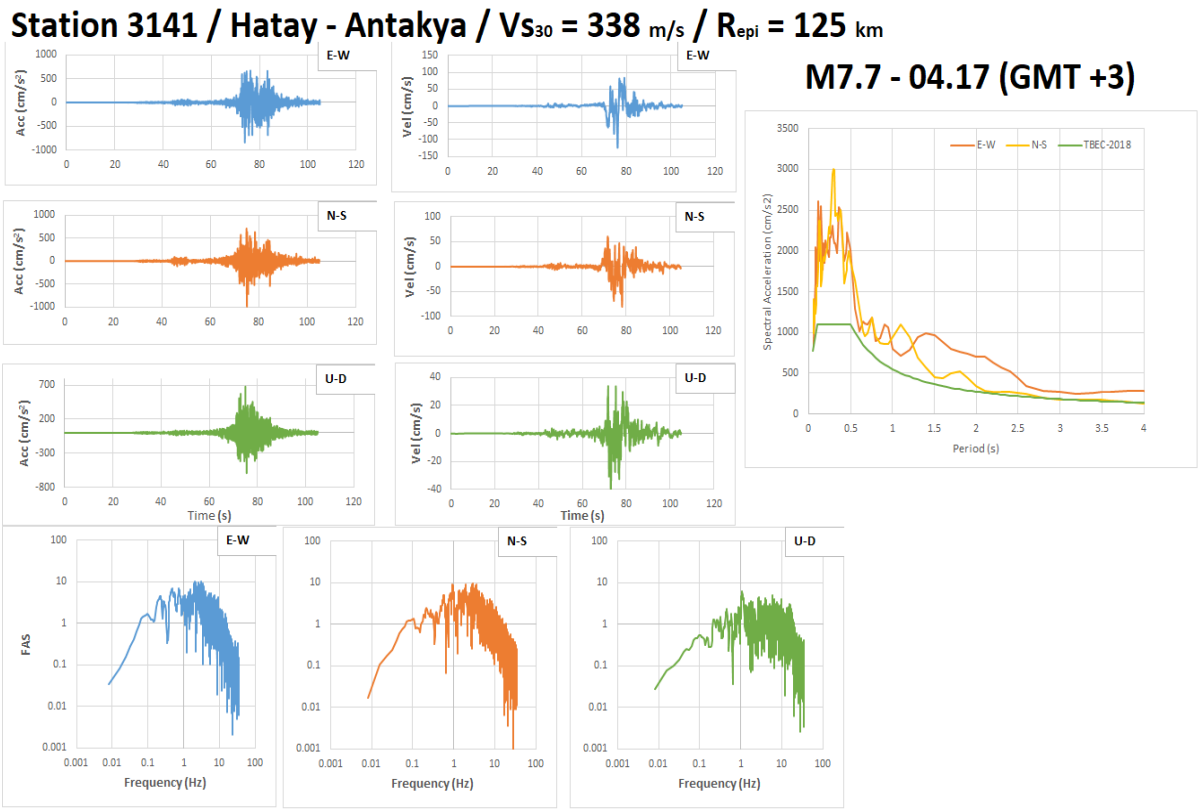
Merkez üssüne 37 km mesafede yer alan 2703 Gaziantep-Şahinbey istasyonu için üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) 758 m/s olarak verilmiştir. TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfı ZC olarak sınıflandırılmıştır. 2703 istasyon kaydının yerel saat ile 04:17 (GMT+3)'de gerçekleşen deprem sonucunda ivme-zaman, hız-zaman, Fourier genlik spektrumu ve tepki spektrum grafikleri Şekil 6.7'de verilmiştir. En yüksek yer ivme (PGA) değeri 0.17g, en yüksek yer hızı (PGV), 16.53 cm/s olarak ölçülmüştür. M_w=7.7 Depremi sonucu elde edilen tepki spektrumu, TBDY 2018'de verilen sahaya özel deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2) tasarım spektrumu ile mukayesesi Şekil 6.7'de verilmiştir. Tepki spektrumları 0.15sn üzerindeki periyot değerlerinde, DD-2 tasarım spektrumunu aşmaktadır.



Şekil 6.7 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Gaziantep, Şahinbey (2703) İstasyonu [37.35-37.058].

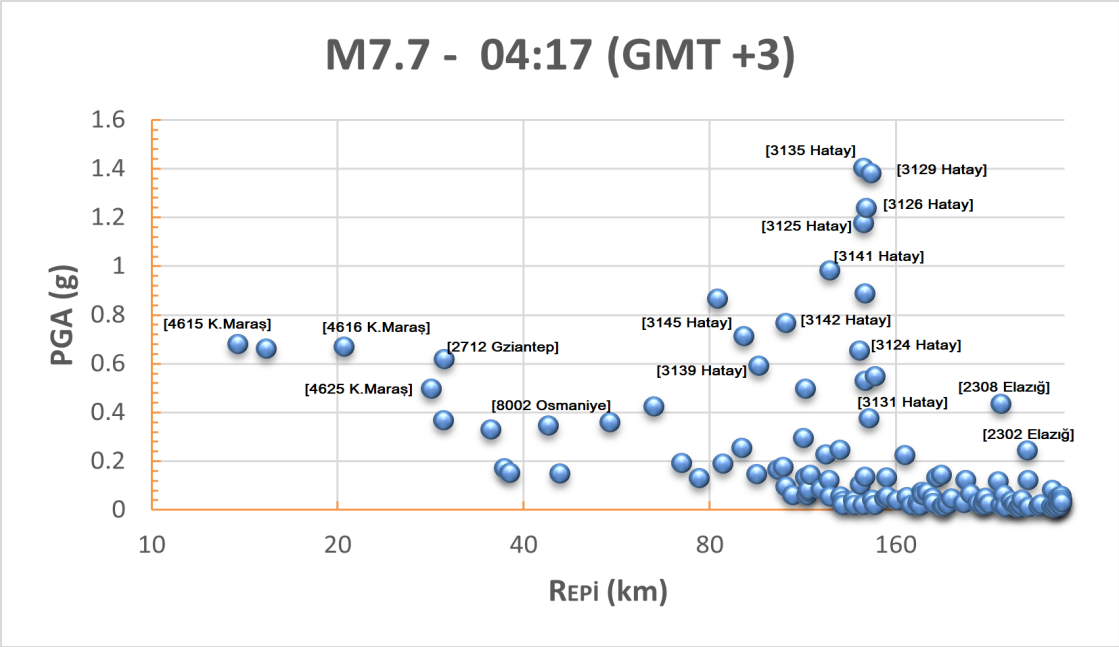
3141 Hatay-Antakya istasyonu M_w=7.7 Deprem kaydı Değerlendirilmesi

Merkez üssüne 125 km mesafede yer alan 3141 Hatay-Antakya istasyonunda üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) 338 m/s verilmiştir. TBDY 2018'e göre yerel zemin sınıfı ZD olarak sınıflandırılmıştır. 3141 istasyon kaydının yerel saat ile 04:17 (GMT+3)'de gerçekleşen deprem sonucunda ivme-zaman, hız-zaman, Fourier genlik spektrumu ve tepki spektrum grafikleri Şekil 6.8 'de verilmiştir. En yüksek yer ivme (PGA) değeri, 0.98g; en yüksek yer hızı (PGV) değeri 123.98 cm/s olarak ölçülmüştür. Tepki spektrumları ve TBDY 2018'de verilen sahaya özel deprem yer hareketi düzeyi-2 (DD-2) tasarım spektrumu tüm periyot değerlerinde, DD-2 tasarım spektrumunu aşmaktadır.



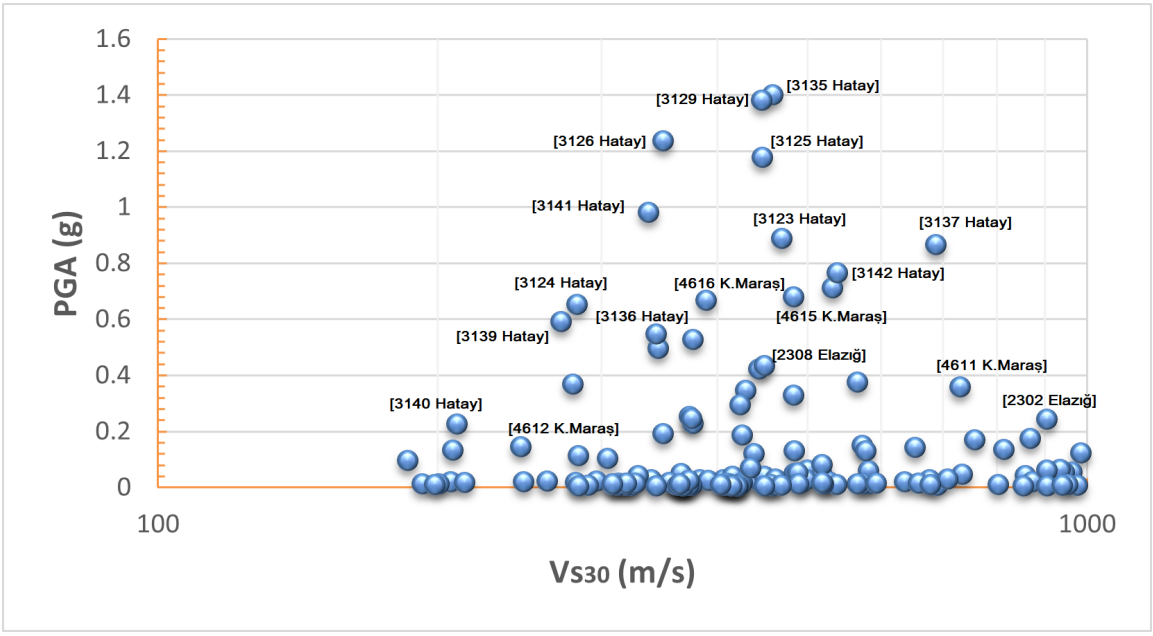
Şekil 6.8 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Hatay, Antakya (3141) İstasyonu [36.21973-36.3726].

Deprem bölgesindeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının PGA-R_{epi} dağılımı Şekil 6.9 'da verilmektedir. En yüksek yer ivmeleri (PGA) 3135, 3129, 3126, 3125 ve 3141 numaralı istasyonlar için sırasıyla 1.40g, 1.38g, 1.23g, 1.17g ve 0.98g olarak ölçülmüştür. En yüksek yer ivmelerinin gözlemlendiği Hatay ili istasyonlarında merkez üssü uzaklıklar 120 ile 150 km (R_{epi}) arasında değişmektedir.



Şekil 6.9 PGA - REPI İlişkisi (Mw=7.7)

Kuvvetli yer hareketi istasyonlarındaki en yüksek yer ivmesi (PGA) ve üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) dağılımı Şekil 6.10 PGA - Vs30 İlişkisi (Mw=7.7)'da gösterilmektedir. En yüksek yer ivmeleri (PGA) 3135 (V_{s30} = 460 m/s), 3129 (V_{s30} = 447 m/s), 3126 (V_{s30} = 350 m/s), 3125 (V_{s30} = 448 m/s), 3141 (V_{s30} = 338 m/s) ve 3137 (V_{s30} = 470 m/s) numaralı istasyonlar için sırasıyla 1.40g, 1.38g, 1.23g, 1.17g, 0.98g, 0.90g ve 0.88g olarak ölçülmüştür. En yüksek yer ivmeleri Hatay ili istasyonlarında gözlemlenmiştir.



Şekil 6.10 PGA - Vs30 İlişkisi (Mw=7.7)

6.2 $M_{W=}$7.6 – 13:24 (GMT +3) Depremi

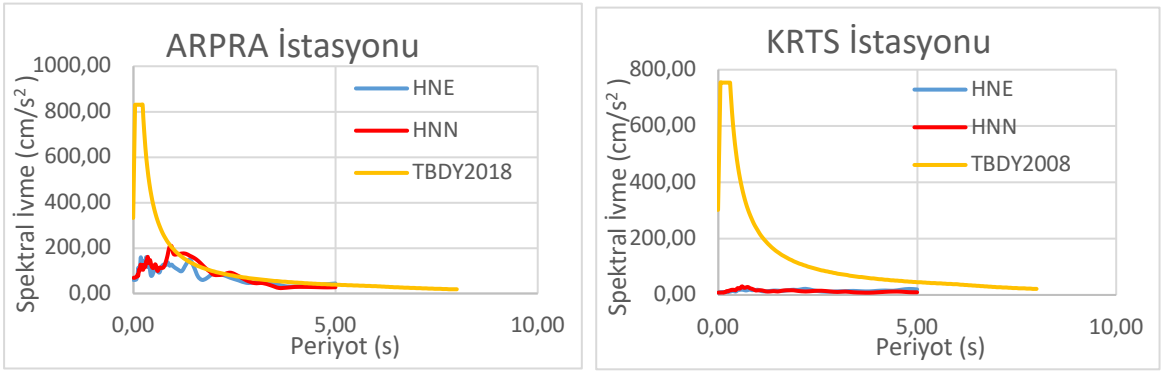
6.2.1 KRDAE İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketi İstasyon Verilerinin Değerlendirilmesi

KRDAE tarafından işletilen istasyon ağında deprem bölgesinde üç adet istasyon (ARPRA, KRTS, CMRD) M_w=7.6 depremini kaydetmiştir. ARPRA istasyonu Malatya'da, KRTS ve CMRD istasyonları Adana'da bulunmaktadır. Her üç bileşen için PGA ve PGV verileri ve merkez üssünden uzaklık Tablo 6-2'de verilmiştir.

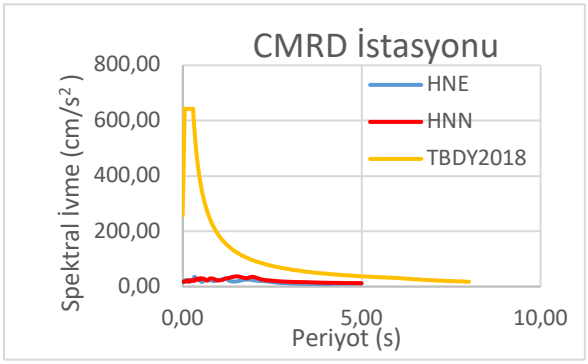
Tablo 6-2 Kandilli Rasathanesi'ne ait İstasyonlardan Elde Edilen Veriler

Station Code	*Component*	*PGA (cm/s²)*	*PGV (cm/s)*	R_{EPI} *(km)*
ARPRA	HNE	59.40	13.58	240.36
	HNN	68.78	13.19	
	HNZ	42.34	10.15	
KRTS	HNE	8.48	10.29	165.55
	HNN	8.29	5.34	
	HNZ	8.45	8.66	
CMRD	HNE	16.28	8.44	192.50
	HNN	17.08	9.48	
	HNZ	13.28	8.95	

ARPRA elde edilen tepki spektrumna bakıldığında (Şekil 6.11,) ARPRA tepki spektrumu 1.2-1.9s ve 2.2-2.6s periyot değerleri arasında TBDY (2018)'de verilen (DD2) tasarım spektrumu değerlerini aşmaktadır. KRTS ve CMRD (Şekil 6.11, Şekil 6.12) istasyonları tepki spektrumu ise TBDY (2018)'de verilen tasarım spektrumu değerlerinin oldukça altındadır.



Şekil 6.11 ARPRA ve KRTS İstasyonları için Tepki Spektrumu ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması.

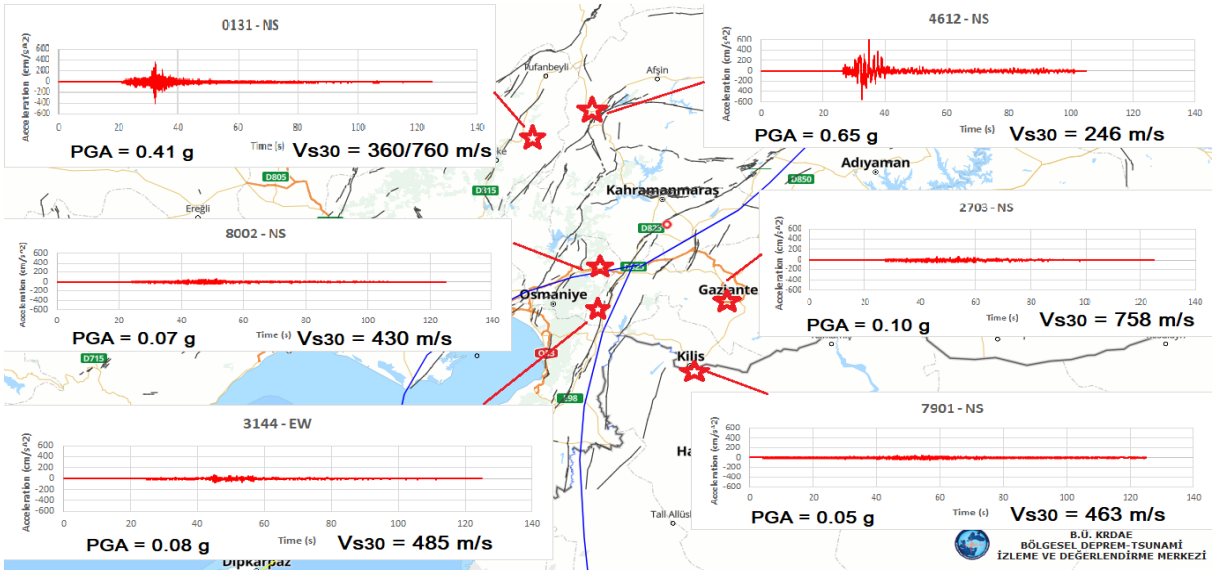


Şekil 6.12 CMRD İstasyonu için Tepki Spektrumu ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırılması.

6.2.2 Seçili AFAD İstasyonlarında Kaydedilen Kuvvetli Yer Hareketi Verilerinin Değerlendirilmesi

İvme-Zaman Grafikleri ve V_{s30} Değerleri (M_w=7.6)

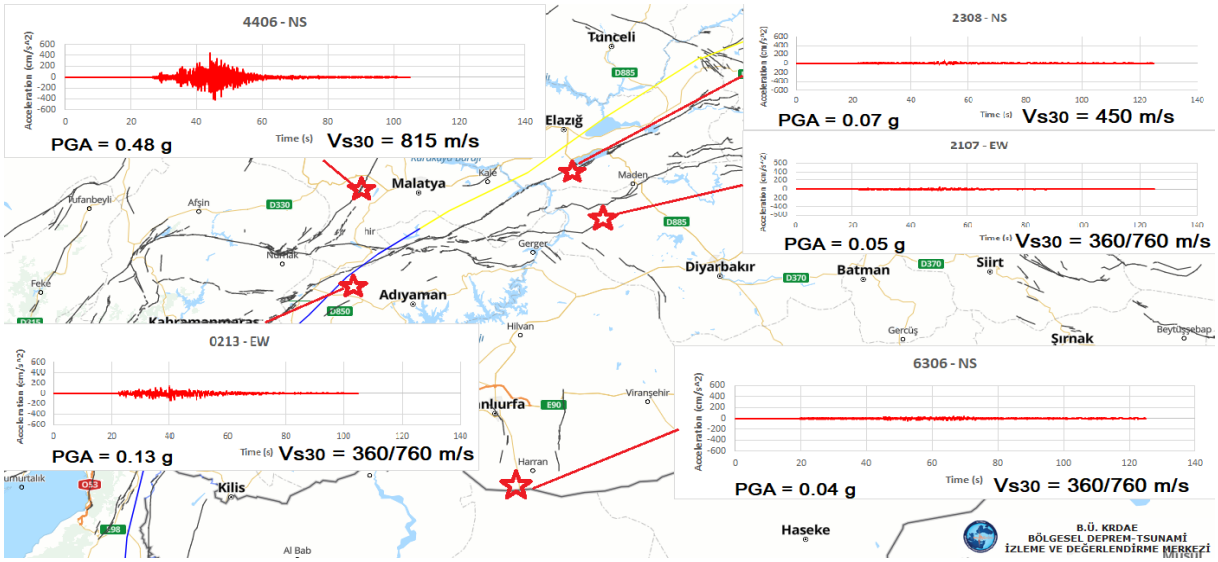
M_w=7.6 büyüklüğündeki deprem bölgedeki 11 ili etkilemiş olup, can kaybına ve ağır hasarlara neden olmuştur. Bölgedeki bazı istasyonlarda kaydedilen ivme-zaman grafikleri Şekil 6.13,-Şekil 6.17'de verilmiştir. 0131 Adana – Saimbeyli istasyonu merkez üssüne 102 km uzakta yer almaktadır. En yüksek yer ivmesi, 0.41g olarak ölçülmüştür. 4612 Kahramanmaraş – Göksun istasyonu merkez üssüne 67 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı, TBDY 2018'e göre ZD (V_{s30} = 246 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. Ölçülen en yüksek yer ivmesi, 0.65g olarak ölçülmüştür. 8002 Osmaniye – Bahçe istasyonu merkez üssüne 116 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 430 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yer ivmesi, 0.07g olarak ölçülmüştür. 2703 Gaziantep – Şahinbey istasyonu merkez üssüne 115 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı, TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 758 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi 0.10g olarak ölçülmüştür. 3144 Hatay – Hassa istasyonu merkez üssüne 162 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı, TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 485 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi 0.08g olarak ölçülmüştür. 7901 Kilis – Merkez istasyonu merkez üssüne 154 km uzakta yer almaktadır. Zemin sınıfı TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 463 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi 0.05g olarak ölçülmüştür.



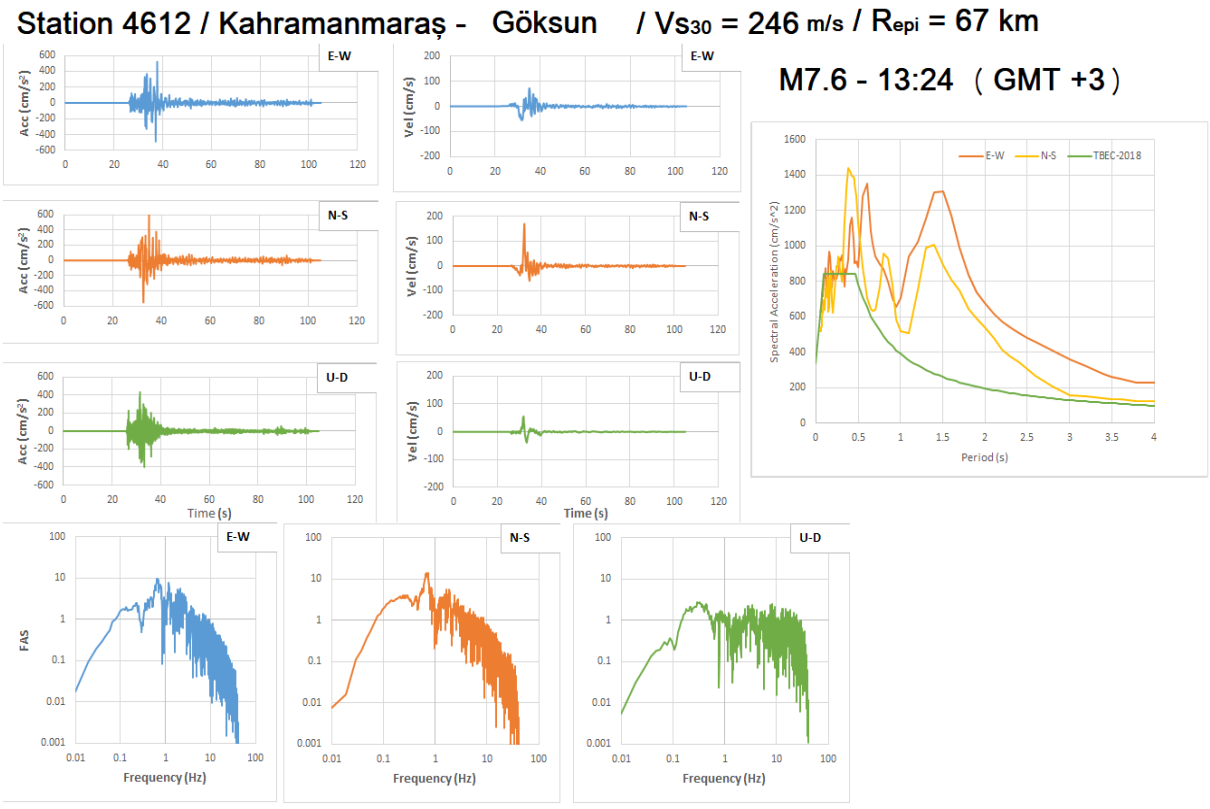
Şekil 6.13 Adana, Osmaniye, Hatay, Kahramanmaraş, Gaziantep ve Kilis'te kaydedilen İvme Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri

4406 Malatya – Akçadağ istasyonu merkez üssüne 70 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı TBDY 2018'e göre ZB (V_{s30} = 815 m/s) olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 6.14). En yüksek yer ivmesi, 0.48g olarak ölçülmüştür. 2308 Elazığ – Sivrice istasyonu merkez üssüne 185 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı, TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 450 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi, 0.07g olarak ölçülmüştür. 2107 Diyarbakır – Çermik istasyonu merkez üssüne 196 km uzakta yer almaktadır. En yüksek yer ivmesi, 0.05g olarak ölçülmüştür. 0213 Adıyaman – Tut istasyonu merkez üssüne 69 km uzakta yer almaktadır. İstasyon bölgesindeki zemin sınıfı TBDY 2018'e göre ZC (V_{s30} = 360-760 m/s) olarak sınıflandırılmıştır. En yüksek yer ivmesi 0.13g olarak ölçülmüştür. 6306 Şanlıurfa – Akçakale istasyonu merkez üssüne 214 km uzakta yer almaktadır. En yüksek yer ivmesi 0.04g olarak ölçülmüştür.

Merkez üssüne 67 km mesafede yer alan 4612 Kahramanmaraş-Göksun istasyonunda üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) 246 m/s olarak verilmiştir. 4612 istasyon kaydının yerel saat ile 13:24 (GMT+3)'te gerçekleşen deprem sonucunda ivme-zaman, hız-zaman, Fourier genlik spektrumu ve tepki spektrum grafikleri Şekil 6.15'da verilmiştir. En yüksek yer ivme (PGA) değeri 0.65g, en yüksek yer hızı (PGV) değeri ise 170.79 cm/s olarak ölçülmüştür. M_w=7.6 Depremi sonucu elde edilen tepki spektrumları yaklaşık 0.1sn periyot değerinin üzerinde DD-2 tasarım spektrumunu aşmaktadır.



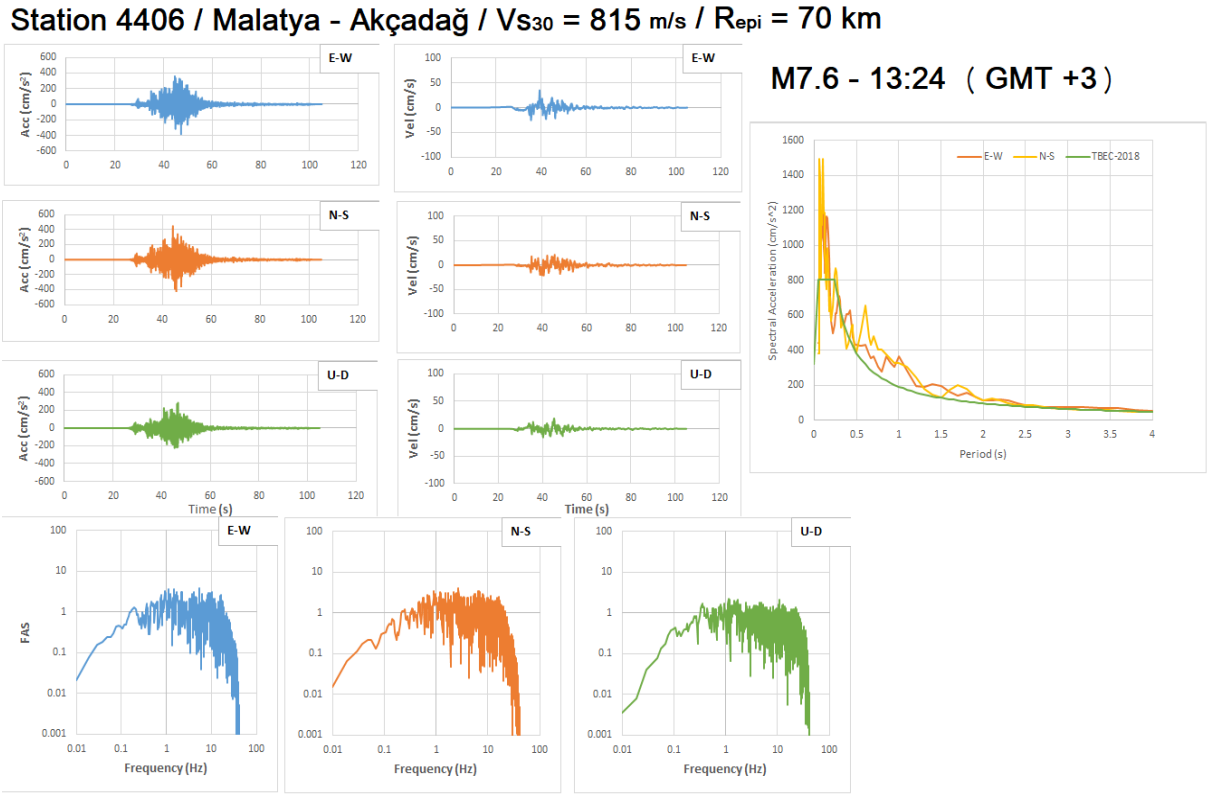
Şekil 6.14 Malatya, Adıyaman, Elazığ, Diyarbakır ve Şanlıurfa'da kaydedilen İvme Zaman Grafikleri ve Vs30 Değerleri



Şekil 6.15 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları ve Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması- Kahramanmaraş, Göksun (4612) İstasyonu [36.48187-38.02395].

4406 Malatya-Akçadağ istasyonu M_w=7.6 Deprem kaydı Değerlendirilmesi

Merkez üssüne 70 km mesafede yer alan 4406 Malatya-Akçadağ istasyonu için üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (Vs_{30}) 815 m/s olarak verilmiştir. 4406 istasyon kaydının yerel saat ile 13:24 (GMT+3)'te gerçekleşen deprem sonucunda ivme-zaman, hız-zaman, Fourier genlik spektrumu ve tepki spektrum grafikleri Şekil 6.16'da verilmiştir. En yüksek yer ivme (PGA) değeri 0.48g olarak ölçülmüştür. En yüksek yer hızı (PGV) değeri 35.01 cm/s olarak ölçülmüştür. Tepki spektrumları, yaklaşık 0.05sn ve üzerindeki periyot değerlerinde DD-2 tasarım spektrumunu aşmaktadır.

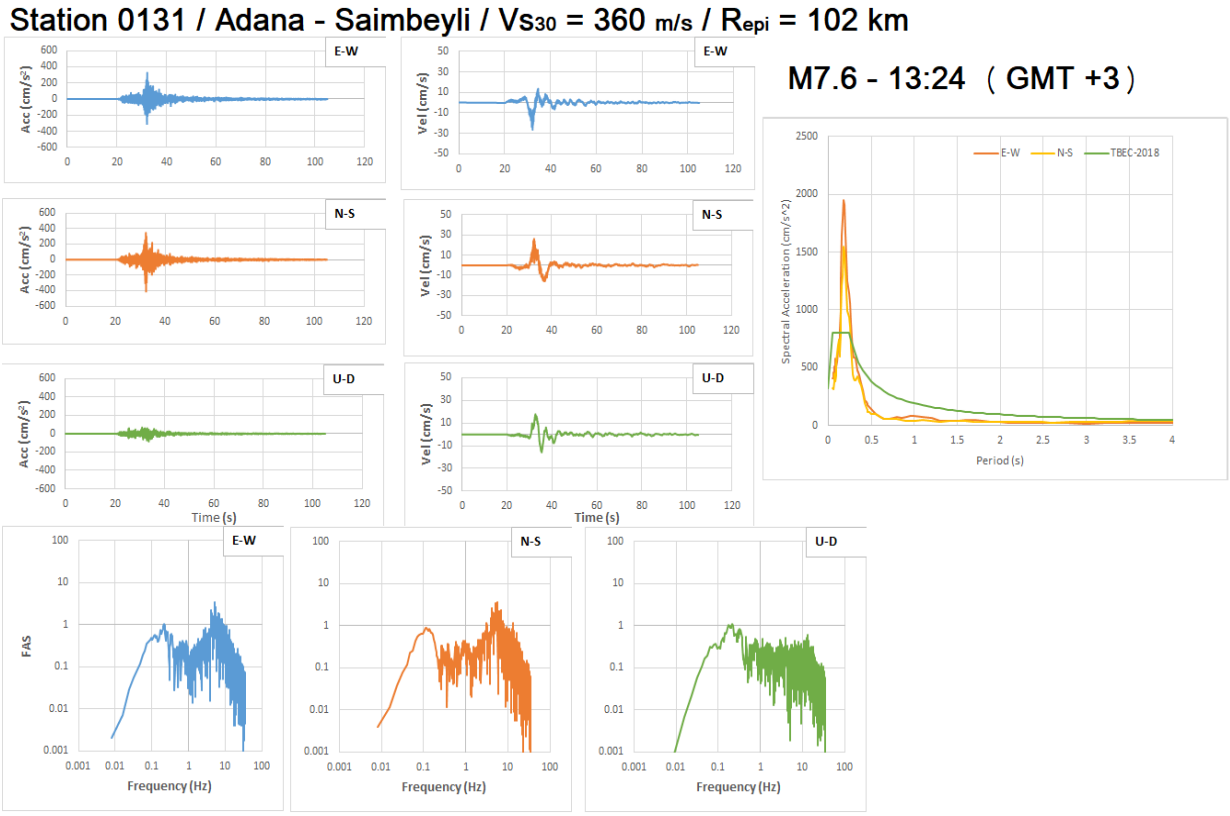


Şekil 6.16 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması - Malatya, Akçadağ (4406) İstasyonu- [37.97378-38.34388]

0131 Adana-Saimbeyli istasyonu M_w=7.6 Deprem kaydı Değerlendirilmesi

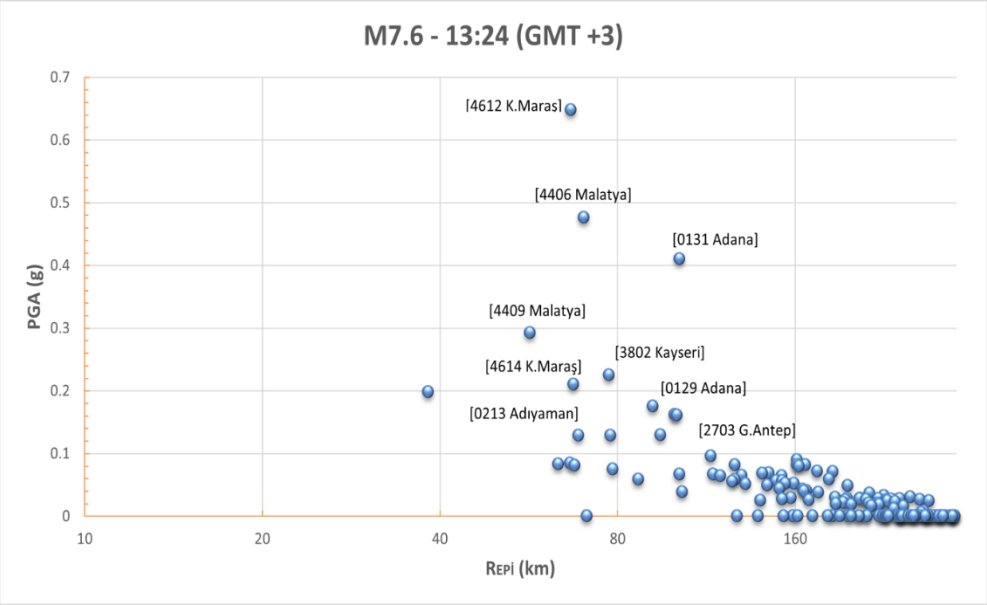
Merkez üssüne 102 km mesafede yer alan 0131 Adana-Saimbeyli istasyonu için üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı AFAD verilerinde yer almamaktadır. Civar bölge göz önüne alınarak ortalama kayma dalgası hızı 360-760 m/s olarak kabul edilmiştir. 0131 istasyon kaydının yerel saat ile 13:24 (GMT+3)'te gerçekleşen deprem sonucunda ivme-zaman, hız-zaman, Fourier genlik spektrumu ve tepki spektrum grafikleri Şekil 6.17'de verilmiştir. En

yüksek yer ivme (PGA) değeri 0.41g olarak ölçülmüştür. En yüksek yer hızı (PGV) değeri 26.50 cm/s olarak ölçülmüştür. M_w=7.6 Depremi sonucu elde edilen tepki spektrumları, yaklaşık 0.1-0.3sn periyot aralığı değerlerinde, DD-2 tasarım spektrumunu aşmaktadır.



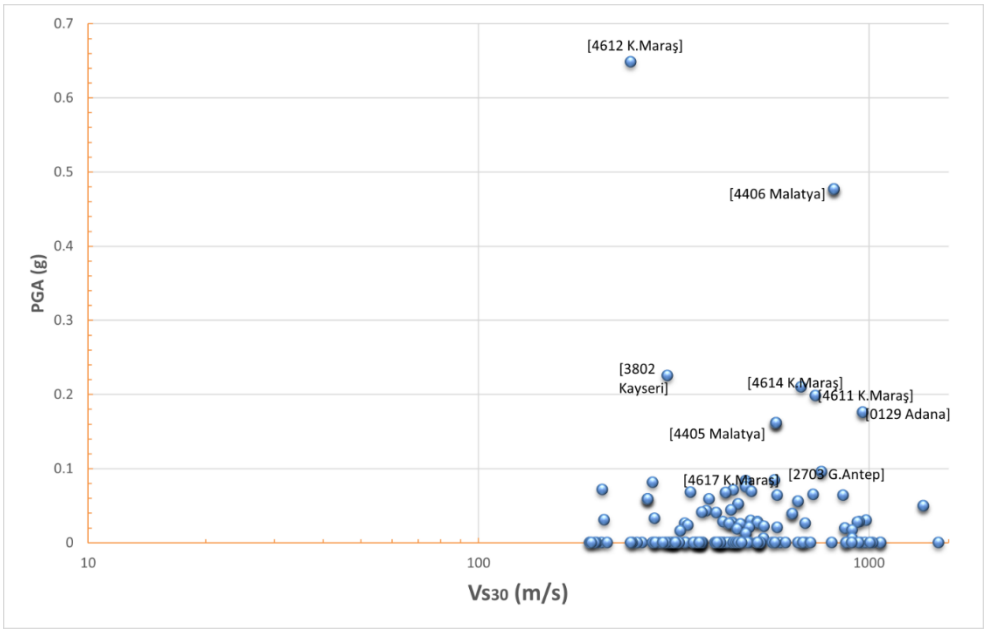
Şekil 6.17 İvme-zaman grafikleri, Fourier Genlik Spektrumları, Tepki Spektrumları (%5 sönüm oranı) ve TBDY 2018 Tasarım Spektrumuna göre Karşılaştırılması- Adana, Saimbeyli (0131) İstasyonu [36.115347-37.856602].

Şekil 6.18'da deprem bölgesindeki kuvvetli yer hareketi istasyonlarının PGA-R_{epi} dağılımı gösterilmektedir. En yüksek yer ivmeleri (PGA) 4612, 4406, 0131, 4409 ve 3802 numaralı istasyonlar için sırasıyla 0.65g, 0.48g, 0.41g, 0.29g ve 0.23g olarak ölçülmüştür. En yüksek yer ivmelerinin gözlemlendiği Kahramanmaraş, Malatya, Adana ve Kayseri illerindeki istasyonlarda merkez üssü uzaklıklar 80 ile 120 km (R_{epi}) arasında değişmektedir.



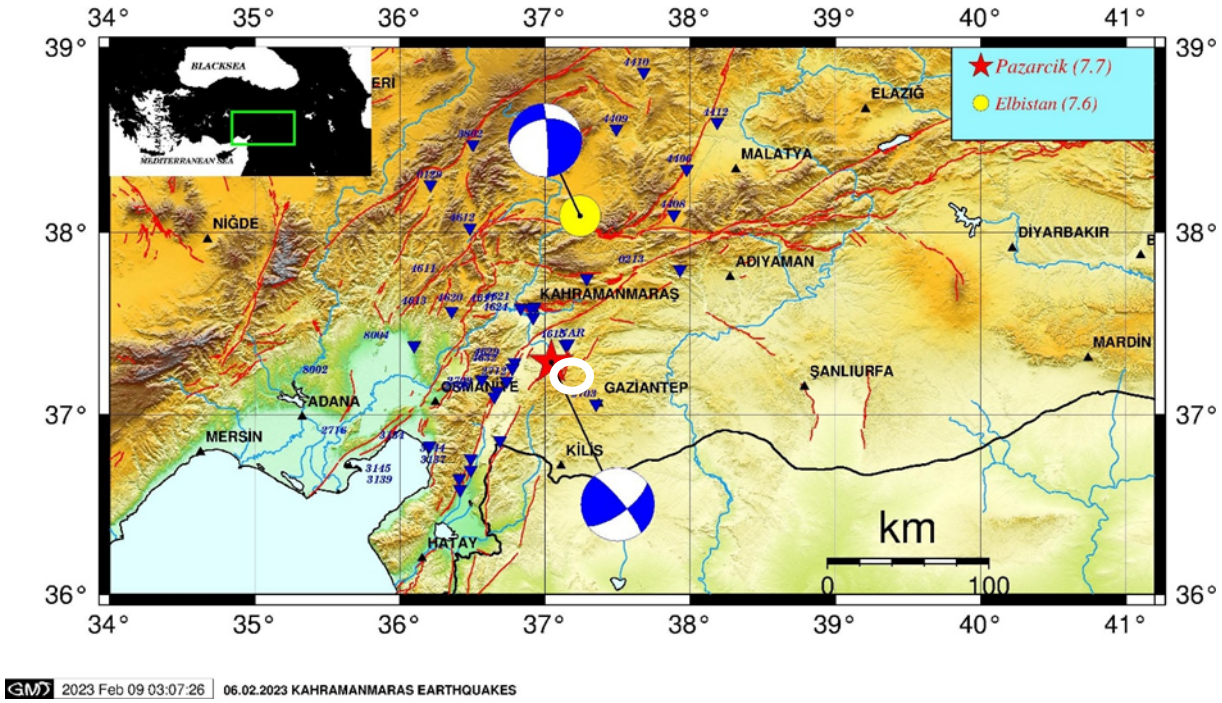
Şekil 6.18 PGA - REPI İlişkisi (Mw=7.6)

Kuvvetli yer hareketi istasyonlarındaki en yüksek yer ivmesi (PGA) ve üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) dağılımına baklıdığında (Şekil 6.19) en yüksek yer ivmeleri (PGA) 4612 (V_{s30} = 246 m/s), 4406 (V_{s30} = 815 m/s), 3802 (V_{s30} = 305 m/s) ve 4614 (Vs_{30} = 671 m/s) numaralı istasyonlar için sırasıyla 0.65g, 0.48g, 0.23g ve 0.21g olarak ölçülmüştür. En yüksek yer ivmeleri Kahramanmaraş, Malatya, Adana ve Kayseri illerindeki istasyonlarda gözlemlenmiştir.



Şekil 6.19 PGA-Vs30 İlişkisi (Mw=7.6)

6.3 Kalıcı Deplasmanlar (fling), AI ve CAV dağılımları ve Azalım İlişkileri ile Kıyaslamaları

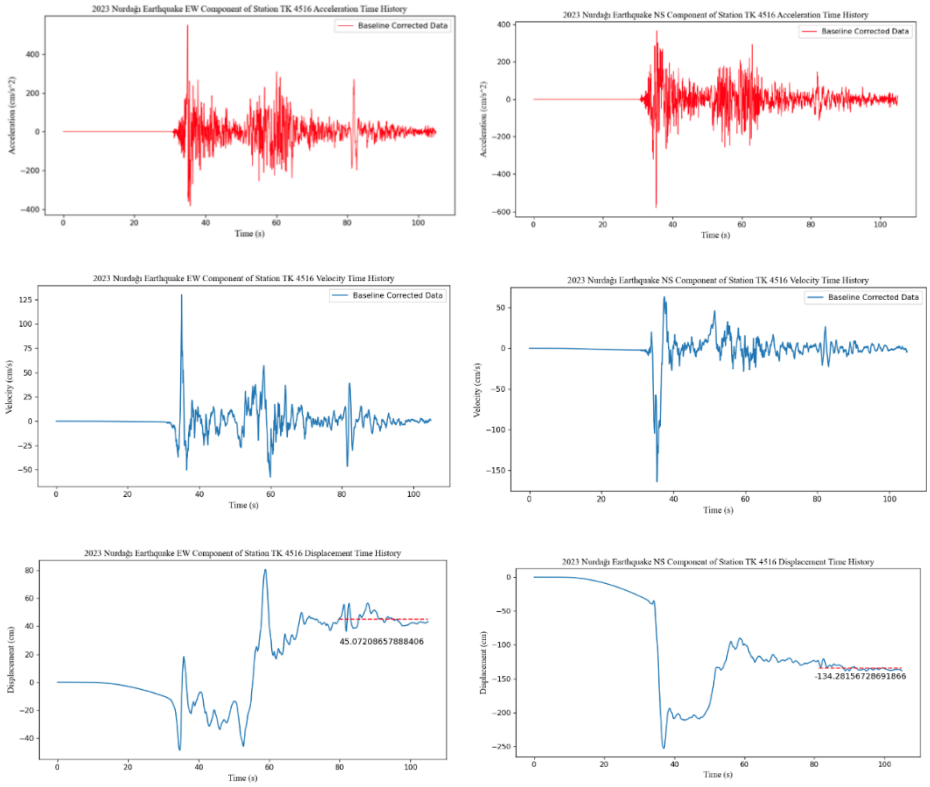


Şekil 6.20 06.02.2023 Depremleri ve AFAD kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonları

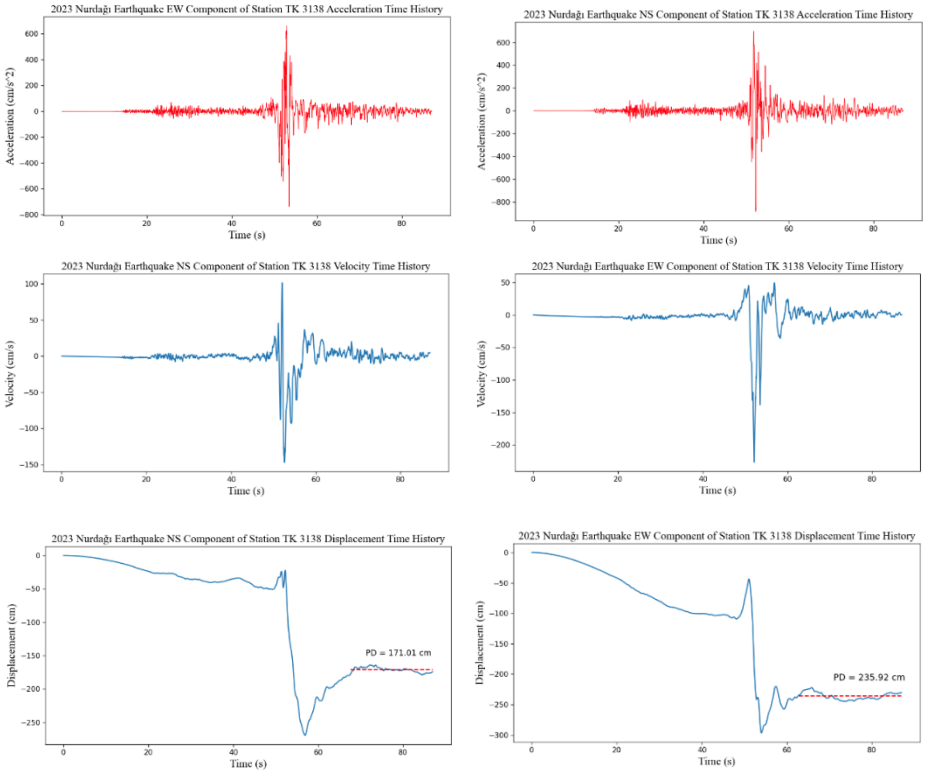
Kalıcı Deplasmanlar

Faya yakın 3 kuvvetli yer hareketi istasyonuna ait (Şekil 6.20) 4615 (Kahramanmaraş-Pazarcık; Rjb= 2.3 km), 3138 (Hatay-Hassa; Rjb= 2 km) M7.7 depremi verilerinin düşük frekanslı içeriğini koruyan gelişmiş bir temel düzeltme prosedürü aracılığıyla işlenerek kalıcı deplasmanlar hesaplanmıştır (Şekil 6.21 ve Şekil 6.22). Kalıcı yer değiştirmelerin en belirgin göstergesi olan baskın tek yönlü vuruş pulse hareketleri tüm zaman-hız grafiklerinde görülmektedir. Bununla beraber ileri yönlenme etkisi de izlenmektedir. 4615 istasyonunda yatay yönde en büyük yer hızı 160 cm/sn'ye, kırılma süresince en yüksek deplasman 250 cm'e, kırılma sonrası kalıcı deplasman 134 cm'ye kadar çıkmaktadır. 3138 istasyonunda bu değerler daha da yükselmekte, kırılma süresince en yüksek deplasman 300 cm'ye, kırılma sonrası kalıcı deplasman 234 cm'ye ulaşmaktadır.

Seçilen istasyonlarda düşey yönde kalıcı yer değiştirmeler 60 cm'ye ulaşmaktadır. Tüm istasyonlar çalışılmadığı için depremin oluşturduğu en büyük kalıcı deplasman henüz bilinmemekle beraber arazi gözlemleri kalıcı atımların çok daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. M7.7 depremi kayıtların çoklu kırılmalar içerdiğine de dikkat edilmelidir.



Şekil 6.21 4615(Rjb= 10.3 km) (Vs30=484 m/s) istasyonu yatay bileşen ivme, hız ve deplasman zaman serileri

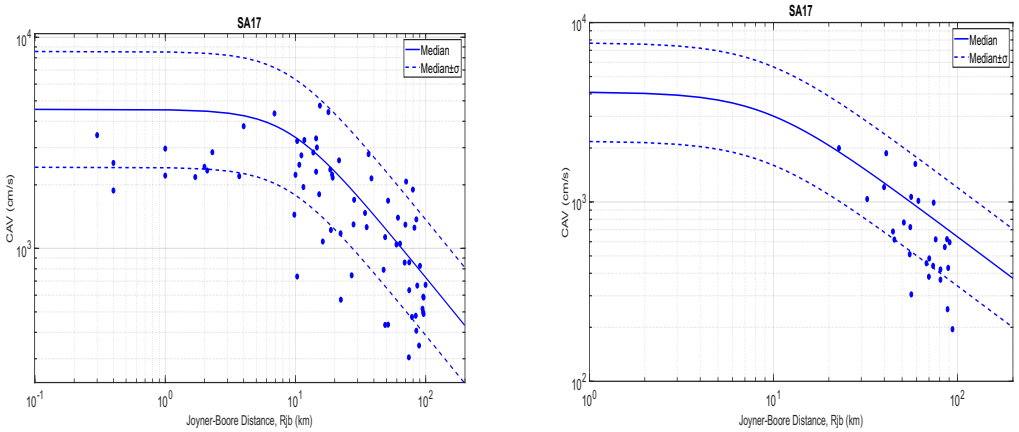


Şekil 6.22 3138 istasyonu (Rjb= 2.0 km) (Vs30:618 m/s)yatay bileşen ivme, hız ve deplasman zaman serileri

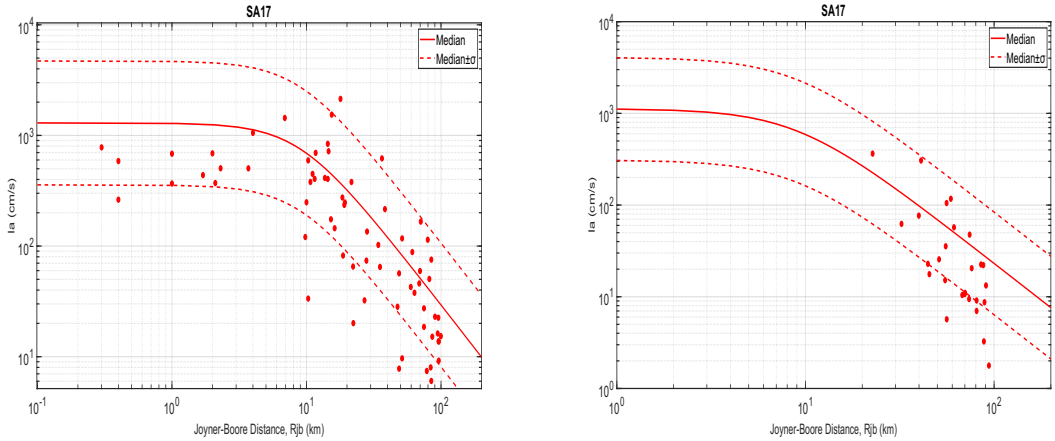
CAV ve AI değerleri / Türkiye uyumlu Tahmin Modeli ile karşılaştırılması

Mw7.7 depremi kuvvetli yer hareketi kayıtları kümülatif mutlak hız (CAV) ve Arias Şiddeti (AI) değerleri 10 km<Rjb<20 km aralığında sırasıyla 50 m/s ve 20 m/s'ye kadar çıkmaktadır. Mw7.6 depreminde ise Rjb>20 km kayıtlarında CAV 20 m/s değerlerine ulaşmaktadır.

Türkiye uyumlu CAV ampirik modeli, (Sandıkkaya ve Akkar 2017, Tetik vd 2022) Mw7.7 ve Mw.7.6 depremleri için 10 km ve daha uzak mesafelerde hesaplanan CAV'ı, oldukça başarılı tahmin etmektedir (Şekil 6.23). Rjb<10 km 'deki CAV değerleri -1 standart sapma içerisinde kalmakla beraber, uzak alan tahminleri kadar başarılı olmamıştır. Mw7.7 depremin CAV değerleri ilk 10 km mesafede ortalama 25-30 m/s bandında değerler almakta iken tahmin denklemi ortalaması 45 m/s değerlerini vermektedir. Benzeri durum Arias şiddeti (Şekil 6.24) için de gözlemlenmektedir.



Şekil 6.23 Toplam mutlak hız (CAVGeoMean) değerlerinin Türkiye-uyumlu Sandıkkaya ve Akkar, 2017 (SA17) modeli ile kıyaslaması (sol) Mw=7.7, (sağ) Mw:7.6. Hesapta Vs30=360 m/s olarak kabul edilmiştir.



Şekil 6.24 Ariaş Şiddeti (IaGeoMean) değerlerinin Sandıkkaya ve Akkar, 2017 (SA17) modeli ile karşılaştırması (sol) Mw=7.7, (sağ) Mw:7.6, Hesapta Vs30=360 m/s olarak kabul edilmiştir.

Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı raporuna aşağıdaki linkten erişilebilir:

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş - Gaziantep Türkiye M7.7 Depremi Raporları | Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı (boun.edu.tr)

7. YAPISAL HASARLAR

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan'da meydana gelen depremler sonrasında, afet bölgesindeki yapıların mevcut hasar durumlarının incelenmesine yönelik olarak Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı öğrencisi ve mezunlarından oluşan ekiple, 7 ve 23 Şubat 2023 tarihleri arasında Kahramanmaraş ilinin Onikişubat, Elbistan, ve Afşin ilçeleri, Hatay ilinin Merkez (Antakya), Dörtyol, İskenderun, Kırıkhan ve Reyhanlı ilçeleri, Adana ili Seyhan, Sarıçam, Çukurova, Yüreğir, Kozan ve Ceyhan ilçeleri, Osmaniye ve Kilis illeri merkezlerinde, değişen sayılarda binalarda tespitler yapılmıştır.

7.1 Hasar Durumunun Tespitinde Kullanılan Yöntem

Hasar tespitleri yapılırken, Prof.Dr. Alper İLKİ, Dr. Cem DEMİR, Dr. Mustafa CÖMERT, İnş.Yük.Müh. Ömer Faruk HALICI tarafından hazırlanan "Betonarme ve Yığma Binalarda Deprem Kaynaklı Hasarlar ve Hasar Tespiti" yöntemi kullanılmıştır. Toptan göçmeye maruz kalmış binalar raporun bu kısmında inceleme kapsamı dışında tutulmuştur.

Bu yöntem doğrultusunda, yapısal olmayan elemanlarda (bölme duvarlar, sıva ve boyalar, pencereler, asma tavanlar vs.) oluşmuş hasarlar ile, deprem kaynaklı olmayan hasarlar (dilatasyon derzlerindeki ayrılmalar, soğuk derz ayrılmaları, korozyona bağlı hasarlar) dikkate alınmamış, yalnızca 6 Şubat'taki depremde meydana geldiği tespit edilen yapısal hasarlar raporlanmıştır.

Bu doğrultuda, kirişlerde, kolonlarda ve betonarme perdelerde oluşmuş hasarlar incelenmiş, yapısal elemanlarda çatlakların görüldüğü yerlerde sıvalar çekiç yardımıyla kaldırılarak çatlak genişlikleri ölçülmüş ve fotoğraflanarak raporlanmıştır.

Yapılardaki hasarlar Prof.Dr.Alper İlki ve ekibinin hazırladığı yöntem kapsamında 4 gruba ayrılmıştır.

Tablo 7-1 Hasarların çatlakların genişliğine göre sınıflanması



Hasar Tipi	Çatlak Genişliği	Basınç Hasarı
O Tipi Hasar	-	-
A Tipi Hasar	w ≤0.5 mm	-
B Tipi Hasar	0.5 mm< w ≤3 mm	Kabuk Ezilmesi
C Tipi Hasar	-	Kabuk Atması
D Tipi Hasar	-	Donatı Burkulması, Çekirdek Ezilmesi

Yapısal elemanlardaki eğilme hasarlarının aşağıdaki sıralama ile geliştiği bilinmektedir:

- Betonda ilk çatlama
- Donatının akması
- Kabuk betonunda ezilme başlangıcı
- Kabuk betonunun atması
- Basınç donatılarının burkulması
- Çekirdek betonunun ezilmesi
- Kesme hasarları ise aşağıdaki sıralama ile gelişmektedir:
- Betonda ilk çatlama (diyagonal şekilde)
- Enine donatıların akması
- Basınç bölgesinde ezilme
- Diyagonal çatlağın büyümesi ve kabuk atması
- Enine donatıların açılması ya da kopması
- Boyuna donatılarda kesme deformasyonu oluşması

Hasar tespitinde kullanılan yöntemde, öncelikle yapı dışarıdan görsel olarak incelenmekte, içine girilmesi açısından risk teşkil edebilecek durumlar değerlendirilmektedir.

Dışarıdan incelemede toptan göçtüğü, ya da %1'den daha fazla kalıcı yer değiştirme yaptığı tespit edilen binalar ağır hasarlı olarak sınıflanmakta ve inceleme sonlandırılmaktadır.

Eğer yapı dışarıdan incelemede ağır hasar olarak sınıflandırılacak bir hasarı yoksa içeriden incelemeye geçilmektedir. İçeride incelemede, yalnızca yapısal hasarın en yoğun olduğu katlarda inceleme yapılır. Bu katlar genellikle zemin katlardır. İncelemede Tablo 7-1'de verilen sınıflamaya göre yapıda tespit edilen tüm hasarlar not edilir. İnceleme tamamlandıktan sonra:

Kattaki kolon, perde veya kolon-kiriş birleşim bölgelerinin **en az 1 tanesi D tipi ya da en az 2 tanesi C tipi** hasar sınıflarında ise bina **AĞIR HASARLI** olarak değerlendirilir.

İncelenen katta yapısal elemanlarda hiçbir hasar gözlenmediyse, bu durumda yapı **HASARSIZ** olarak değerlendirilir.

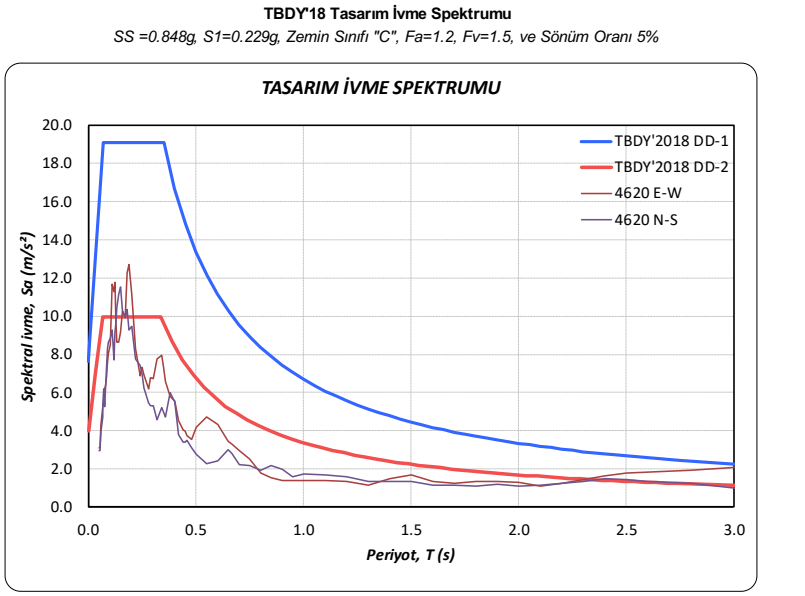
Kattaki kolon, perde veya kolon-kiriş birleşim bölgelerinin **en fazla 3 tanesi B tipi geri kalanların tamamı hasarsız ya da A tipi** hasar sınıfında ise bina **HAFİF HASARLI** olarak değerlendirilir.

Bu üç şarttan herhangi biri sağlanmıyorsa bina **ORTA HASARLI** olarak değerlendirilir.

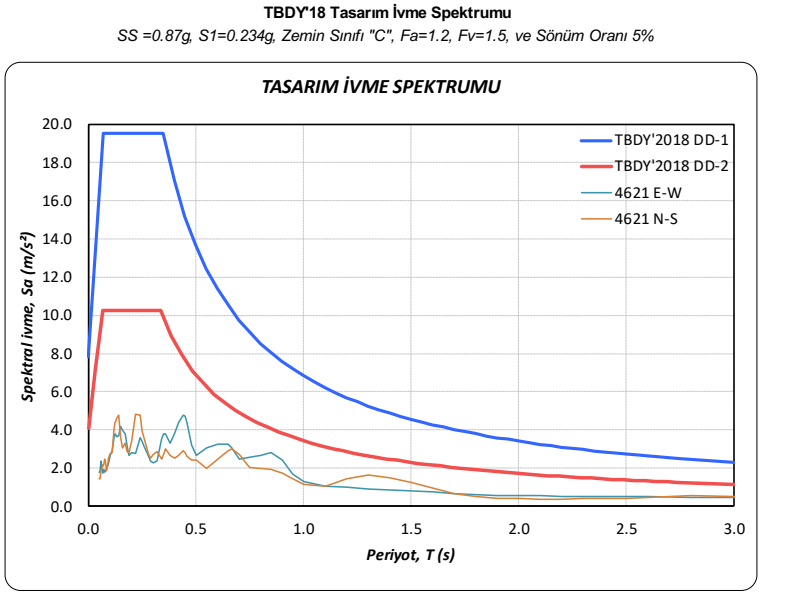
7.2 Mw 7.7 Depremi ve Yarattığı Etki

Mw 7.7 Büyüklüğündeki Pazarcık Depreminde Kahramanmaraş'ta hasarın en çok yoğunlaştığı ilçe olan Türkoğlu ilçesinde ölçülen ivme değerleri yaklaşık 0.664g'dir. İnceleme yapılan binaların yoğunlaştığı Dulkadiroğlu ve Onikişubat ilçesinde ölçülen yatay yön en yüksek yer ivmeleri ise 0.30g -0.48g arasında değişmektedir.

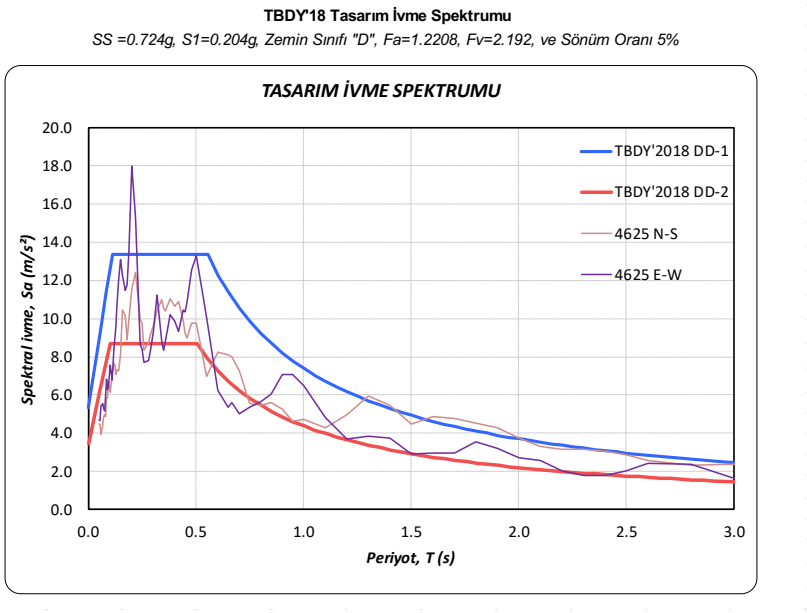
Kahramanmaraş sınırları içerisinde incelenen binalara yakın bölgedeki kayıtçılardan en yüksek yer ivmesi değerlerini ölçen 3 tanesinde ölçülen ivmelerin tepki spektrumları, TBDY(2018) tasarım spektrumu ile kıyaslanmıştır (Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3).



Şekil 7.1 Kahramanmaraş Merkezinde C sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.7 Pazarcık depreminin 4620 Onikişubat İstasyonundan Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması



Şekil 7.2 Kahramanmaraş Merkezinde C sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.7 Pazarcık depreminin 4621 Dulkadiroğlu İstasyonlarından Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması



Şekil 7.3 Kahramanmaraş Merkezinde D sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.7 Pazarcık depreminin 4625 Dulkadiroğlu İstasyonlarından Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması

Yukarıda ivme spektrumu kıyaslamalarından görüleceği üzere, Onikişubat ilçesinde ölçülen ivmeler 0-0.2sn hakim titreşim periyotu olan az katlı rijit yapılar için DD-2 tasarım spektrumunun üzerine çıksa da, bölgede genel olarak inşa edilmiş olan 8-12 katlı yapıların titreşim periyotlarının olduğu bölgelerde (0.5sn-1.5sn) tasarım spektrumunun altındadır.

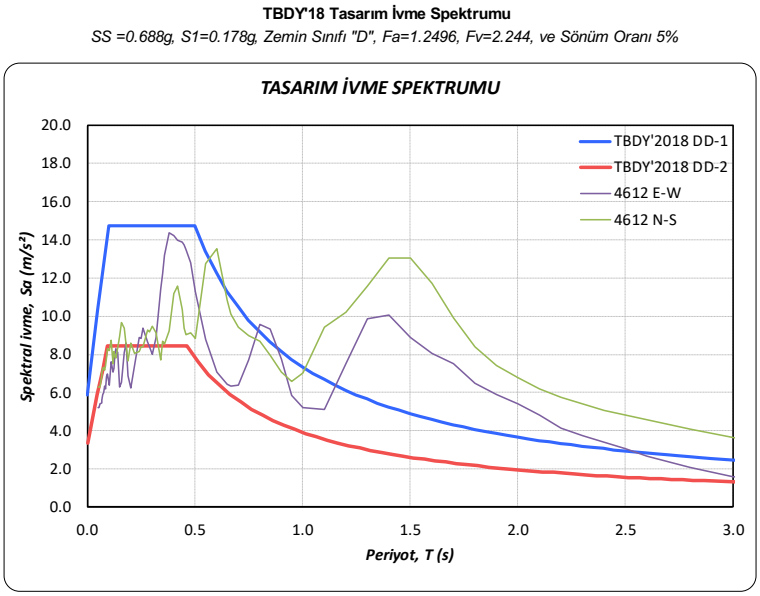
Bunun yanında, Havalimanına çok yakın olan ve sanayi bölgesinin bulunduğu alanda ise ölçülen ivmeler tasarım spektrumunun üzerindedir. Hatta uzun periyotlarda (T>1.2s) Kuzey-Güney doğrultusundaki ivmeler DD-1 deprem spektrumu ile örtüşmektedir.

Buradan, Mw 7.7 Pazarcık depreminde, Onikişubat ilçesindeki 8-10 katlı konutlara bina ömrü boyunca %10 ihtimalle etkimesi beklenen yer ivmesinin yaklaşık yarısı kadar, Havalimanı'na yakın olan sanayi bölgesindeki yapılara ise bina ömrü boyunca %10 ihtimalle etkimesi beklenen yer ivmesinin ise 1.0~1.5 katı etkimiştir. Buradan hareketle, bu bölgede bulunan, taşıyıcı sistemi genellikle prefabrik konsol kolonlardan oluşan binalarda ağır hasar ve yıkım oluşumu beklenir. Yerinde yapılan incelemelerin de bu beklentiyle örtüştüğü, sanayi tesislerinde prefabrik makasların düşmesi ya da konsol kolonların alt uçlarında eğilmeye bağlı ağır hasarların oluştuğu gözlenmiştir.

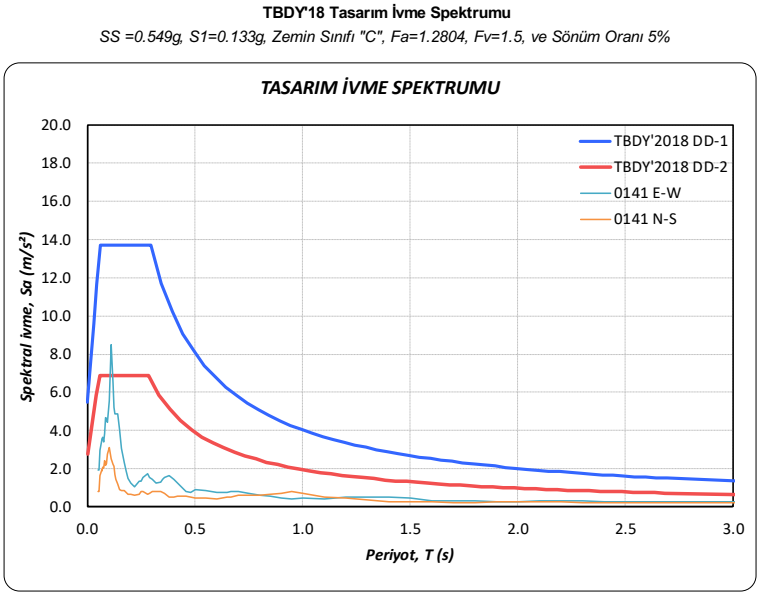
7.3 Mw 7.6 Elbistan Depremi ve Yarattığı Etki

Mw 7.6 Büyüklüğündeki Elbistan Depreminin merkez üssüne yakın kayıtçılardan alınan ivme değerlerine göre ölçülen en yüksek ivme değeri Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesinde 0.648g'dir. Yer ivmesi değerleri incelendiğinde, Elbistan merkezli Mw7.6'lık depremin Kahramanmaraş'ın bazı ilçeleri ve Adana'nın Kozan ilçelerinde ilk depreme göre daha fazla etkili olduğu görülmektedir. AFAD'ın Elbistan ilçesinde yer kayıtçısı bulunmadığı için Elbistan'da oluşan ivme değerleri bilinmemektedir.

İncelenen binalara yakın bölgedeki kayıtçılardan en yüksek yer ivmesi değerlerini ölçen 2 istasyonda tepki spektrumları, TBDY (2018) tasarım spektrumu ile kıyaslanmıştır. (Şekil 7.4, Şekil 7.5)



Şekil 7.4 Kahramanmaraş Göksun'da D sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.6 Elbistan depreminin 4612 Göksun İstasyonundan Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması

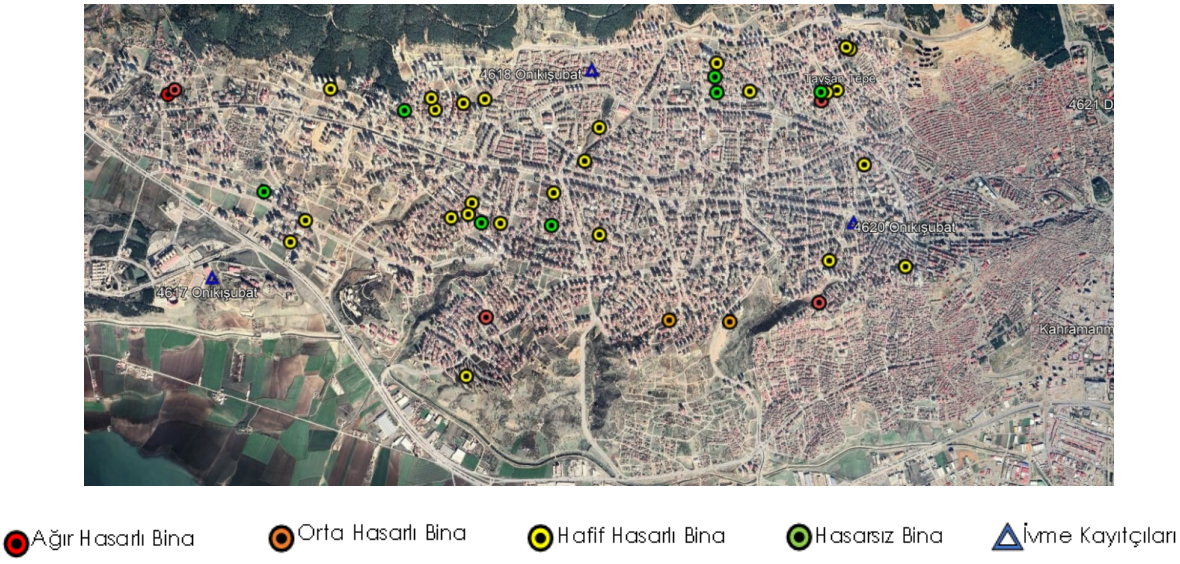


Şekil 7.5 Adana Kozan'da C sınıfı zeminde TBDY-2018 Elastik İvme Spektrumları (DD1-2475 yıl ve DD2-475 yıl, %5 sönüm) ile Mw7.6 Elbistan depreminin 0141 Kozan İstasyonlarından Alınan Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumu Kıyaslaması

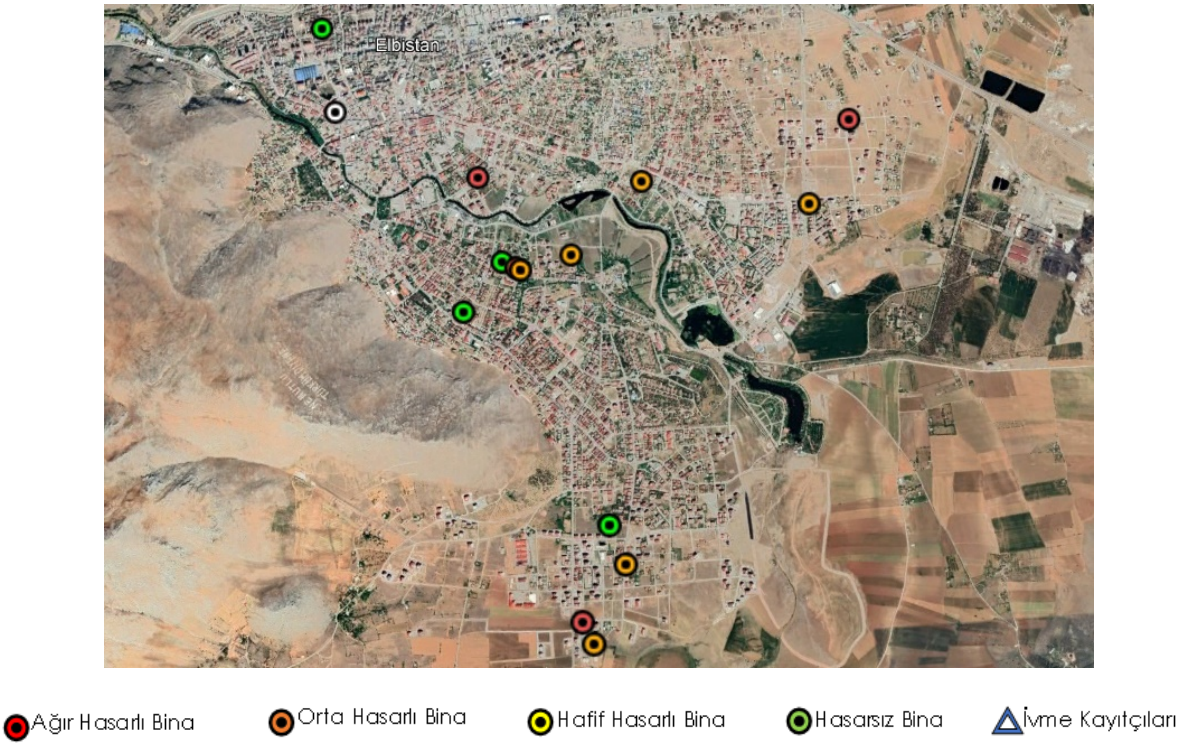
Yukarıda ivme spektrumu kıyaslamalarından görüleceği üzere, Göksun ilçesinde ölçülen tepki spektrumu neredeyse tüm periyotlar için TBDY-2018'de öngörülen DD-2 tasarım ivme spektrumunun üzerindedir. 1sn'den büyük periyotlarda DD-1 spektrumunun da üzerine

çıkmakta ve hatta DD-1 spektrumunun 2.5 katına kadar varmaktadır. Adana'nın Kozan ilçesinde ölçülen ivmelerden oluşturulan tepki spektrumu ise çok küçük periyotlarda DD-2 spektrumunun üzerine çıkmakta ancak uzun periyotlar için çok düşük değerlerde kalmaktadır.

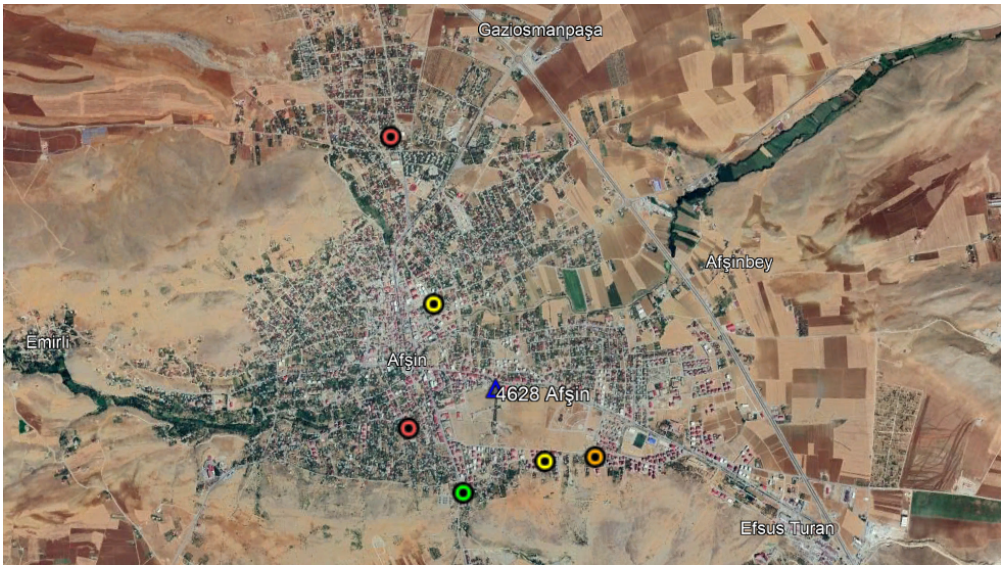
İncelenen yapıların bir kısmının uydu görüntüleri üzerinde işaretlenmiş halleri aşağıda sunulmuştur (Şekil 7.6- Şekil 7.10).



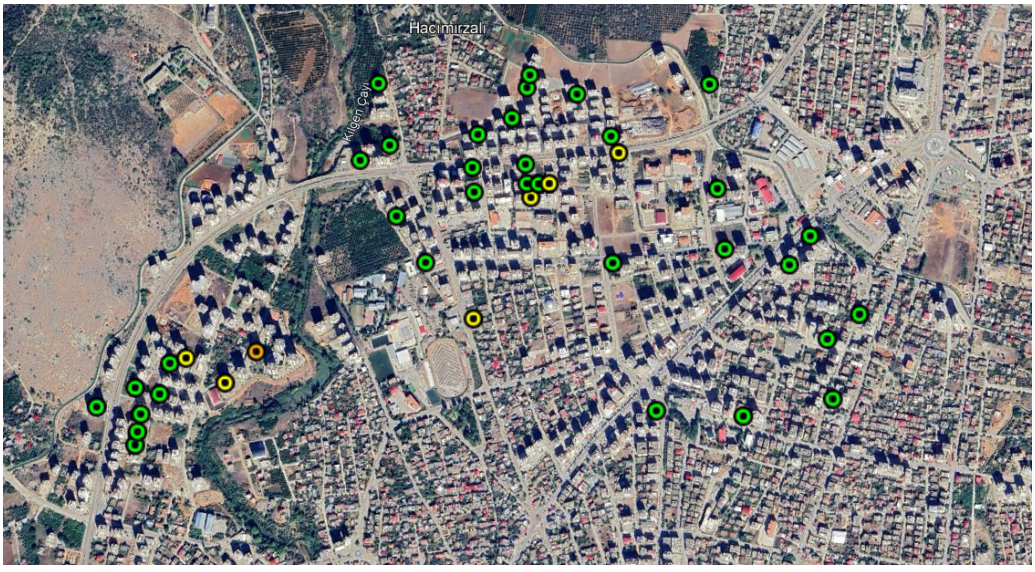
Şekil 7.6 Kahramanmaraş Merkez'de İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar Durumları



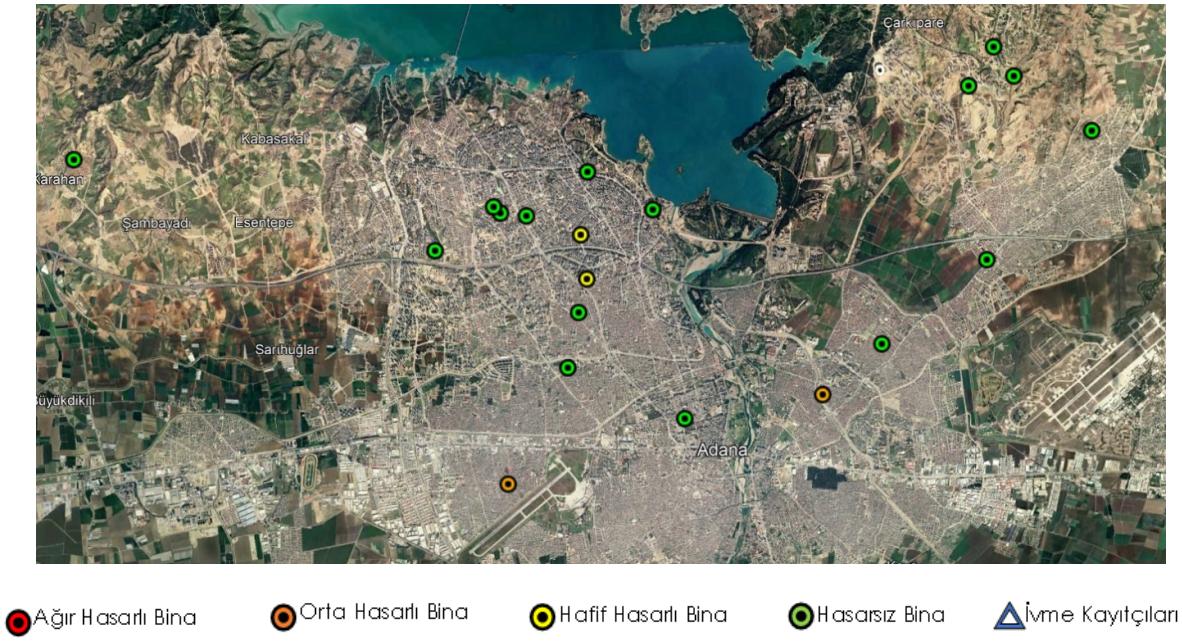
Şekil 7.7 Elbistan'da İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları



Şekil 7.8 Afşin'de İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları



Şekil 7.9 Kozan'da İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları



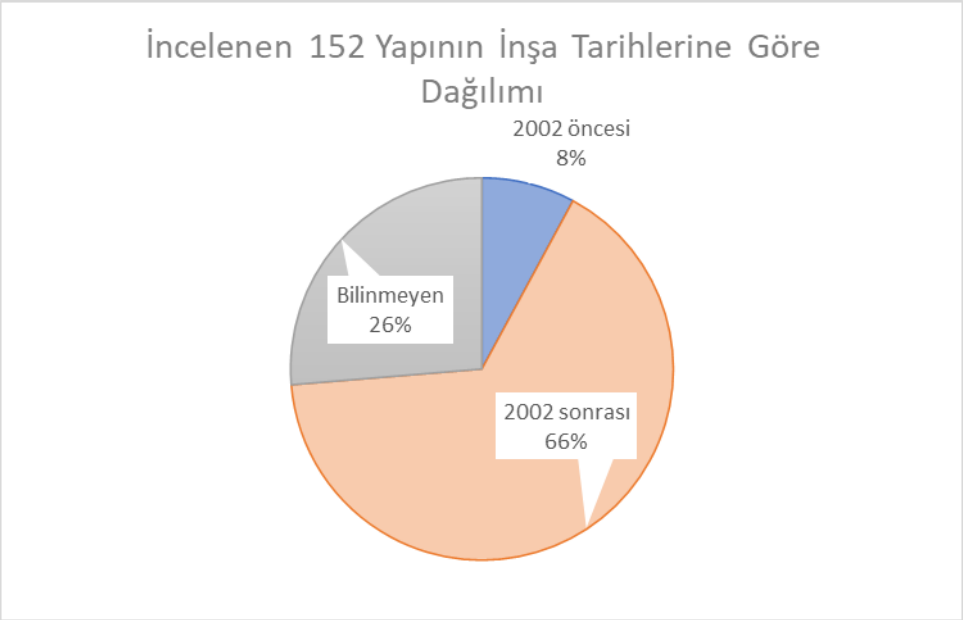
Şekil 7.10 Adana'da İncelenen Yapıların Lokasyonları ve Hasar durumları

7.4 İncelenen Yapı Envanteri

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremlerinin yer kayıtlarının ivme spektrumları incelendiğinde, özellikle Kahramanmaraş'ın ve Hatay'ın bazı ilçelerinde konutlar için TBDY-2018'de öngörülen tasarım ivmelerinin (DD-2) aşıldığı görülmektedir. Bu nedenle yönetmelikte tanımlanan "Kontrollü Hasar" performans seviyesinin yer yer aşılması ve yapıların "İleri Hasar" durumuna geçmesi beklenebilir. Bununla birlikte bu depremin etkilediği bölgenin neredeyse tamamında ölçülen ivmeler DD-1 ivme spektrumlarının altındadır. Dolayısıyla TBDY-2018'e uygun olarak tasarlanmış ve inşa edilmiş yapılarda toptan göçmenin beklenmediği söylenebilir. Bununla birlikte gerek tasarım gerekse uygulama hataları nedeniyle 2018 sonrasında inşa edilmiş bazı yapıların toptan göçtüğü ve birçok can kaybına neden olduğu kaydedilmiştir. Toptan göçmeye maruz kalmış binalar raporun bu kısmında inceleme kapsamı dışında tutulmuştur.

Çalışma kapsamında incelenen toplam 152 binanın 126'sı konut binası; 2'si alışveriş merkezi; 7'si endüstri yapısı, 17'si ise işyeri, mağaza veya süpermarket binası olarak kullanılmaktadır. İllere göre sınılama Tablo 7-2'de sunulmuştur. Bu yapıların %66'sı 2002 sonrasında inşa edilmiştir (Şekil 7.11). Kullanım amacına göre binaların hasar durumları

Tablo 7-3'de özetlenmektedir.



Şekil 7.11 İncelenen 152 Yapının İnşa Tarihlerine Göre Dağılımı

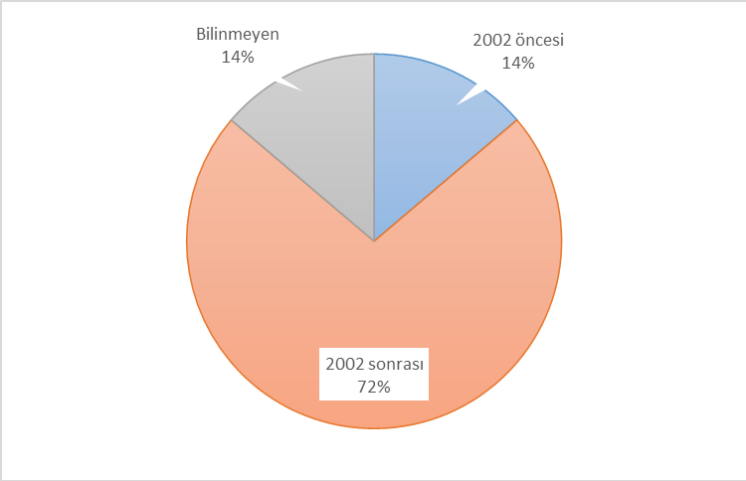
Tablo 7-2 İncelenen yapıların bulunduğu illere göre hasar sınıflaması

	Hasarsız	Hafif Hasarlı	Orta Hasarlı	Ağır Hasarlı	TOPLAM
Adana	60	11	4		75
Adıyaman		2		1	3
Hatay	3	3		1	7
Kahramanmaraş	12	27	10	12	61
Kilis	2				2
Osmaniye	1	2		1	4
TOPLAM	**78**	**45**	**14**	**15**	**152**

Tablo 7-3 Yapı kullanım amacına göre hasar sınıflaması

	Hasarsız	Hafif Hasarlı	Orta Hasarlı	Ağır Hasarlı	TOPLAM
Konut	72	35	10	9	**126**
AVM	0	2	0	0	**2**
Endüstri	0	1	4	2	**7**
Diğer	6	7	0	4	**17**

İncelenen 152 yapıdan ağır ve orta hasarlı olarak sınıflanan 29 adedinin inşa tarihlerine göre dağılımı Şekil 7.12 'de gösterilmiştir.

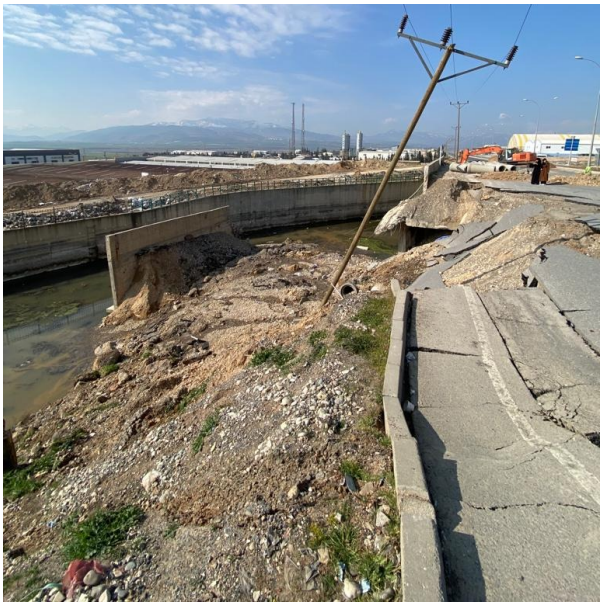


Şekil 7.12 Ağır/Orta Hasarlı Olarak Sınıflanan 29 Yapının İnşa Tarihlerine Göre Dağılımı

Çalışma sonunda (toptan göçme yaşanmış binalar hariç olmak üzere) orta ve ağır hasarlı olarak değerlendirilen yapılarda hasarın nedenleri şu şekilde özetlenebilir;

7.5 Zemin sıvılaşması, zemin göçmesi ya da zemin kaymasına bağlı hasarlar

Zemine bağlı hasarların Kahramanmaraş merkezde şehrin yüksek bölgelerinde uygunsuz dolgu yapılması, toprak kayması, şev göçmesi gibi nedenlere, havalimanına yakın sanayi bölgesinde ise zemin yenilmesine bağlı olduğu, Antakya ili merkezinde daha çok zemin sıvılaşması ve zemin yenilmesine bağlı olduğu gözlenmiştir. Zemin etütlerinin uygun şekilde yapılması, geoteknik tasarıma gerektirdiği özenin gösterilmesi ve uygulama hatalarının denetlenmesi ile önüne geçilebilecek bu hasarların yapılarda göçme ya da ağır hasarlara neden olduğu gözlenmiştir (Şekil 7.13- Şekil 7.15).



Şekil 7.13 İstinat duvarının koparak dereye sürüklenmesi (Kahramanmaraş Merkez Ağcalı Mh) (Fotoğraf: M. Görkem Yıldız)



Şekil 7.14 Prefabrik kolonların zemininde dönme (Kahramanmaraş Merkez Şazibey Mh) (Fotoğraf: M. Görkem Yıldız)



Şekil 7.15 Bina etrafındaki dolgunun uygunsuz şekilde yapılması nedeniyle çökmesi (Kahramanmaraş Merkez Üngüt Mh) (Fotoğraf: M.Görkem Yıldız)

7.6 Tasarımdan kaynaklanan hatalar

Adana ve Kahramanmaraş'ta 2018 yılı sonrasında inşa edilen yapılarda bile tasarımdan kaynaklı hasarların oluştuğu gözlenmiştir. İncelenen konut yapılarının daha çok 7 kattan daha yüksek binalar olduğu görülmüş olup, taşıyıcı sistem yerleşimi ve ebatlarından "yüksek sünek" tasarım kaidelerine göre projelendirildiği anlaşılmıştır. Bununla birlikte, perde başlık bölgelerinde uygun detayların kullanılmadığı, perdeler arası kirişlerin yetersiz kesme dayanımları ya da güçlü kolon-zayıf kiriş kuralının sağlanmaması gibi nedenlerle oluşmuş birçok hasara rastlanmıştır (Şekil 7.16, Şekil 7.17,Şekil 7.18).

Kahramanmaraş'ta birçok prefabrik betonarme sanayi tipi yapıda çatı makaslarının düştüğü görülmüştür. Kolon uç noktalarında kolonların birlikte hareket etmesini sağlayacak yatay çaprazların atılması, makasların devrilip düşmesini önlemek için birbirlerine düşey çaprazlarla bağlanması ve guselerin uzunluğunun makasların düşmesini engelleyecek mertebede uzatılması yoluyla önlenebilecek bu hasarlar yapıları ve yapıların içerisinde bulunan makinaları kullanılmaz hale getirmiştir (Şekil 7.19, Şekil 7.20).



Şekil 7.16 (sol) Betonarme perdenin zayıf doğrultuda kesme kapasitesinin yenilmesi (Kahramanmaraş/Elbistan Cumhuriyet Mh) (Fotoğraf: M.Görkem Yıldız) (sağ) Betonarme perdeye bağlanan kirişlerde kesme kapasitesi yetersizliği (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraf: Özcan Yılmaz)



Şekil 7.17 BA Perdelerde kesme kapasitesi yetersizliği (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraf: Yalçın Koçak)



Şekil 7.18 BA Perdelerde başlık bölgesi ezilmesi (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraf: Yalçın Koçak)




Şekil 7.19 (sol) Kolonların birbirinden bağımsız hareket etmesi nedeniyle çatı makasları devrilen prefabrik betonarme bir yapı (Kahramanmaraş/Oruç Reis Mh) (Fotoğraf: M.Görkem Yıldız) (sağ) Yapıdaki diyafram kuvvetlerini karşılayacak şekilde tasarlanmamış döşemede diyagonal çatlak oluşumu (Kahramanmaraş) (Fotoğraf: Murat Çalıkoğlu)



Şekil 7.20 Yetersiz çelik kolon kesitinin flanşlarının burkulması (Kahramanmaraş) (Fotoğraf: Murat Çalıkoğlu)

7.7 Malzeme (beton ve/veya donatı çeliği) kalitesizliğine bağlı hasarlar

Yapılan incelemelerde depremlerin yoğun olarak etkilediği tüm kentlerde hem beton hem de donatı çeliği malzeme kalitesinin yetersizliğine bağlı hasarlara rastlanmıştır. 2001 yılında yürürlüğe giren yapı denetim kanunu kapsamında denetim çerçevesinde örnekler alınarak dökülmüş olması gereken betonların, 2018 yılında yapılmış bazı yapılarda dahi uygun dayanımı göstermediği gözlenmiştir. Özellikle Maraş bölgesindeki orta/ağır hasarlı yeni binalarda yapılan incelemelerde, beton içerisinde agrega olarak yuvarlak çakılların çok yoğun kullanıldığı ve çimento oranının düşük olması nedeniyle agregaların betondan el ile rahatlıkla sökülebildiği tespit edilmiştir.

Bunun yanında, yapısal hasarların bazılarında nervürlü inşaat demirlerinin çok gevrek olmaları nedeniyle hiç akmaya geçmeden kırıldıkları gözlenmiştir (Şekil 7.21, Şekil 7.22). Bu durum, inşaatlarda kullanılan nervürlü donatı çeliğinin TBDY-2018'de verilen şartları sağlamadığına işaret etmektedir. Yapılarda sünek davranışın en önemli sağlayıcısı donatı çeliklerindeki gevrek kırılmalar, tasarım aşamasında yapılan bütün kabullerin boşa çıkmasına sebep olacaktır. Bu nedenle, gevrek demirlerin kullanımının önüne geçmek için TS708:2006 kapsamında denetimlerin sıkı tutulması, yurtdışından ithal edilen donatı çeliklerinde de aynı standartların aranması hayati derecede önemlidir.



Şekil 7.21 (Sol) Çekme altında gevrek şekilde kırılan perde donatıları (Hatay) (Fotoğraf: Ramazan Livaoğlu) (Sağ) Çekme altında gevrek şekilde kırılan perde başlık donatıları (Hatay) (Fotoğraf: Ramazan Livaoğlu)



Şekil 7.22 Çekme altında gevrek şekilde kırılan boy donatıları (Kahramanmaraş/Erkenez Mh) (Fotoğraf: Yalçın Koçak)

7.8 İmalat hatalarına bağlı hasarlar

Yapılan incelemelerde ağır/orta hasarlı yapılarda genel olarak imalat kalitesinin düşük olduğu gözlenmiştir. Hasar almış yapılarda sıvalar kaldırıldığında betonarme elemanlarda vibratör kullanılmaması nedeniyle oluşmuş segregasyon ya da kirişlerde betonun alt donatıların altına hiç gitmemesi gibi hatalar görülmüştür. Özellikle kolon ve perdelerin altlarında segregasyon nedeniyle açıkta kalan donatılarda korozyon oluşumlarına sıkça rastlanmıştır. Bunun yanında 2002 yılı sonrası inşa edilmiş yapılarda dahi etriye kancalarının 135° kıvırılmadığı ve 90° olarak imal edildiği, kanca boylarının kısa tutulduğu, çiroz donatılarının atılmadığı, çok ince (4mm) çapta etriye donatılarının kullanıldığı gözlenmiştir (Şekil 7.23, Şekil 7.24). Betonarme perde ve kirişin kesilerek içinden tesisat geçirilmesi ‘de sıkça görülen imalat hatalarındandır (Şekil 7.25).



Şekil 7.23 (Sol) Altına beton girmemiş kiriş alt donatılarının basınçtan burkulması (Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Sağ)Betonarme perdede başlık bölgesi etriyelerinde uygunsuz (90°) kanca açısı (Yapım yılı 2006, Kahramanmaraş/Onikişubat Yunus Emre Mh) (Fotoğraflar: M.Görkem Yıldız)



Şekil 7.24 (Sol) Betonarme perdede başlık bölgesi etriyelerinde uygunsuz (90°) kanca açısı (Yapım yılı 2016, Kahramanmaraş/Afşin) (Sağ) Prefabrik betonarme kolonda 4mm çapında etriye kullanılması (Yapım yılı 1995, Kahramanmaraş/ Erkenez Mh) (Fotoğraflar: M.Görkem Yıldız)



Şekil 7.25 Betonarme perde ve kirişin kesilerek içinden tesisat geçirilmesi (Kahramanmaraş/ Erkenez Mh) (Fotoğraf: Murat Çalıkoğlu)

Yukarıda örneklenen hasarların tamamının, inşaatın tasarımdan uygulamaya kadar her aşamada sıkı şekilde denetlenmesi ile önlenebilecek hasarlar olduğu unutulmamalıdır. Denetleme mekanizmanın doğru çalışmadığı durumda yapısal hasarların kaçınılmaz olduğu bir kez daha görülmüştür. Sürdürülebilir, deprem dirençli kentler inşa edilebilmesi için kaliteli insan kaynağına ve doğru çalışan bir denetleme mekanizmasına kati suretle ihtiyaç vardır.

8. SİSMİK YALITIMLI BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Depremden etkilenen bölgelerde 10 adet sismik yalıtımlı bina bulunmaktadır. Bu binaların ismi, konumu ve izolatör tipi aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 8-1 Sismik yalıtımlı binaların Listesi

İsim	Boylam	Enlem	Tipi
Malatya Battalgazi Devlet Hastanesi	38.334	38.347	Sürtünmeli yalıtım birimi
Malatya Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi	38.279	38.349	
Malatya Doğanşehir Hastanesi	37.894	38.068	
Adıyaman Devlet Hastanesi	38.326	37.767	
Kahramanmaraş Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi	37.006	37.502	
Elbistan Devlet Hastanesi	37.159	38.203	
Osmaniye Düziçi Devlet Hastanesi	36.455	37.257	
Osmaniye Devlet Hastanesi	36.274	37.083	
Hatay Dörtyol	35.349	37.026	
Adana Şehir Hastanesi	35.238	36.996	
Adana Güney Seyhan Hastanesi	35.238	36.996	

Bu hastanelerden 9'unda izolatör sistemleri yerleştirilmiş ve çalışır durumdadır. Genel olarak izolatörlü yapılarda hiç hasar gözlenmemiş ya da sınırlı miktarda yapısal olmayan hasar gözlemlenmiştir. Kahramanmaraş Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi'nde halen inşaat süreci devam ettiğinden yerdeğiştirmeyi engelleyici kilitler bulunmaktadır. Bu kilitler depremler sırasında yerinden fırlamıştır.

Malatya Battal Gazi Devlet Hastanesi ve Malatya Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi'nde izolatörler hesaplarda belirtilenin altında deplasman kabiliyetine sahip olduğundan hastanelerde dolgu duvarlarda çatlaklar, asma tavanlarda yerdeğiştirmeler gibi yapısal olmayan hasarlar görülmüştür.

Kahramanmaraş Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi'nde gözlemlenen maksimum deplasman 18 cm'dir. En düşük deplasman Malatya Doğanşehir Devlet Hastanesi'nde 3 cm civarında ölçülmüştür. İzolatörlerin gözlemlenen artık yer değiştirmesi, toplam yer değiştirmenin %10 - %20'si mertebesindedir.

Yapısal olmayan inşaat tekniklerinin aşağıdaki maddeler başta olmak üzere iyileştirmelere ihtiyaç duyduğu gözlemlenmiştir:

o Özellikle tavan alt yüzeyinde uygun dolgu duvar tutucu detayı

o Asma tavanlar için uygun yanal destek

o Hareketli derzler için uygun detay



Şekil 8.1 İzolatör sistemi yerdeğiştirme sınırlayıcıları







Şekil 8.2 Kahramanmaraş Kadın Doğum ve Çocuk Hastanesi, izolatörler ve kilitleri



Şekil 8.3 İzolatör kalıntı yerdeğiştirmeleri

KAYNAKLAR

AFAD (2023, Şubat 6-20). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. https://tadas.afad.gov.tr

AFAD (2023). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml

Aktar, M., Ergin, M., Özalaybey, S., Tapirdamaz, C., 2000. A lower-crustal event in the northeastern Mediterranean: the 1998 Adana Earthquake (Mw:6.2) and its aftershocks. Geophys. Res. Lett.27, 2361–2364.

Aktar, M.T., Yörük, A., Kaplan, H., 1994. Kurtkulağı events in the Cilician Basin and its aftershocks. In: XXIV General Assembly of the European Seismological Commission, Proceedings and Activity Report, Athens, vol. 1, pp.74–80.

Akyüz, S.H., Altunel, E., Karabacak, V., Yalçıner, C.C., 2006. Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey. Tectono-physics426, 281–293.

Allen, C.R., 1969. Active Faulting in Northern Turkey. Contr. 1577. Div. Geol. Sciences, Calif. Inst. Tech., p.32.

Altunel, E., Meghraoui, M., Karabacak, V., Akyüz, S., Ferry, M., Yalçıner, Ç., Munschy, M., 2009. Archaeological sites (Tell and Road) offset by the Dead Sea Fault in the Amik Basin, Southern Turkey. Geophys. J. Int.179, 1313–1329. http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04388.x.

Ambraseys, N.N., 1989. Temporary seismic, quiescence: SE Turkey. Geophys. J.96, 311–331.

Ambraseys, N.N. & Melville, C.P., 1995. Historical evidence of faulting in eastern Anatolia and northern Syria, Ann. Geophys. 38(3–4), 337–343.

Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972. The East Anatolian Fault System: thougths on its development. Bulletin Mineral Research And Exploration Institute, 78, 33–39.

Arpat, E., Şaroğlu, F., 1975. Some significant recent tectonic events in Turkey. Geological Society of Turkey Bulletin 18, 91-101[in Turkish with English abstract].

Arvanitakis, G.L., 1903. Essai d'une statistique des templements de terre en Palestineet Syrie. Bull. Inst. Egypte4 (4), 178–183.

Barka, A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics7 (3), 663–684.

Barka, A., Reilinger, R., 1997. Active tectonics of the Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. Ann. Geofis.XI (3), 587–609.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE). Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM). http://udim.koeri.boun.edu.tr

Calvi, S., 1941. Türkiye ve bazı kom¸su ülkelerin deprem katalo˘gu, Çeviren: Erdo˘gan Kumcu, 1979. ˙Istanbul.

Chorowicz, J., Luxey, P., Lyberis, N., Carvalho, J., Pairot, J.F., Yürür, T., Gündo˘gdu, N., 1994. The Mara¸s Triple junction (Southern Turkey) based on digital elevation model and satellite imagery interpretation. J. Geophys. Res.99 (B10), 20225–20242.

Dewey, J.F., Pitman, W.C. III, Ryan, W.B.F., Bonnin, J., 1973. Plate tectonics and the evolution of the Alpine System. Geol. Soc. Am. Bull.84, 3137–3180.

Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H.R. & Tavakoli, F., 2011. NW Iraneastern Turkey present-day kinematics: results from the Iranian permanent GPS network, Earth planet. Sci. Lett., 307(1–2), 27–34.

Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geol. Soc. (Lond.) Spec. Publ.372.

Ergin, M., Aktar, M., Eyido˘gan, H., 2004. Present-day seismicity and seismotectonic of the Cilician Basin: Eastern Mediterranean Region of Turkey. Bull. Seismol. Soc. Am.94, 930–939. http://dx.doi.org/10.1785/0120020153.

Guidoboni, E., Comastri, A., 2005. Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Gülerce, Z., Askan, A., Kale, Ö., Sandıkkaya, A., Işık, N. S., İlhan, O., Can, G., Ilgaç, M., Ozacar, A.A., Sopacı, E., Çetin, K. Ö., Akbaş, B., Altındal, A., Guryuva, B., Kanun, O., Albayrak, K., Muratoglu, G., Okcu, O.S., Icen, A., & Aydin, M. F. (2023). Chapter 4: Preliminary analysis of strong ground motion characteristics. Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) and Elbistan (Mw=7.6) Earthquakes.

Hempton, M.R., 1987. Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. Tectonics6, 687–705.

Jackson, J., McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine–Himalayan belt between western Turkey and Pakistan. Geophys. J. R. Astron. Soc.77, 185–264.

Jörg, W., 1986. Türkei: Die Südküste von Kaunos bis Issos. München Artemis-Verlag, Zürih. ISBN3-7608-0791-7.

Kelling, G., Gökçen, S.L., Floyd, P.A., Gökçen, N., 1987. Neogene tectonics and plate convergence in the Eastern Mediterranean: new data from southern Turkey. Ge-ology15, 425–429.

Kempler, D., Garfunkel, Z., 1991. Northeast Mediterranean triple junction from a plate kinematics point of view. Bull. Tech. Univ. Istanb.44, 425–454. Spec. Is-sue.

Kikuchi, M., and Kanamori, H., 1991. Inversion of complex body waves-III, Bull. Seism. Soc.Am., 81, 2335-2350.

Koçyiğit, A., Erol, O., 2001. A tectonic escape structure: Erciyes pull-apart basin, Kay-seri, central Anatolia, Turkey. Geodin. Acta14 (2001), 133–145.

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.

McClusky, S.C., Balassanian, S., Barka, A., Ergintav, S., Georgie, I., Gurkan, O.,Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidse, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, .,Mahmout, S., Mishin, A., Nadaria, M., Ouzounis, A., Paradisissis, D., Peter, Y., Pirilepin, M., Reilinger, R.E., Sanli, I., Seeger, H., Teableb, A., Toksöz, N., Veis, V., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterreanen Caucasus. Journal of Geophysical Research 105, 5695–5719.

McKenzie, D.P., 1970. Plate tectonics of the Mediterranean region. Nature220, 239–343.

McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of Mediterranean region. Geophys. J. R. Astron. Soc.30, 109–185.

McKenzie, D.P., 1976. The East Anatolian fault: a major structure in eastern Turkey. Earth Planet. Sci. Lett.29, 189–193.

Muehlberger, R.W., Gordon, M.B., 1987. Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey. J. Struct. Geol.9, 899–903.

Över, S., Özden, S., Yılmaz, H., 2004. Late Cenozoic stress evolution along the Karasu Valley, SE Turkey. Tectonophysics380 (2004), 43–68.

Palano, M., 2015. On the present-day crustal stress, strain-rate fields and mantle anisotropy pattern of Italy, Geophys. J. Int., 200(2), 969–985.

Palano, M., Imprescia, P., Agnon, A., and Gresta, S., (2017). An improved evaluation of the seismic/geodetic deformation-rate ratio for the Zagros Fold-and-Thrust collisional belt, Geophys. J. Int. (2018) 213, 194–209, doi: 10.1093/gji/ggx524

Perinçek, D., Çemen, ˙I., 1990. The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey. Tectonophysics172, 331–340.

Peyret, M. et al., 2009. Present-day strain distribution across the Minab-Zendan-Palami fault system from dense GPS transects, Geophys. J. Int., 179(2), 751–762.

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia conti-nental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. J. Geophys. Res., Solid Earth111 (B5), B05411. 52 p.

Sandıkkaya, M. A., & Akkar, S., 2017. Cumulative absolute velocity, Arias intensity and significant duration predictive models from a pan-European strong-motion dataset. Bulletın Of Earthquake Engineering, vol.15, no.5, 1881-1898.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, I., 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey. Ann. Tecton.6, 99–125.

Sbeinati, M.R., Darawcheh, R. & Mouty, M., 2005. The historical earthquakes of Syria; an analysis of large and moderate earthquakes from 1365 B.C. to 1900 A.D., Ann. Geophys., 48(3), 347–435.

Shen, Z.-K., Wang, M., Zeng, Y. &Wang, F., 2015. Optimal interpolation of spatially discretized geodetic data, Bull. seism. Soc. Am., 105(4), 2117–2127.

Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin neotektoni˘ginin esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu. Konf Ser., 40(2).

Şengör, A.M.C., Görür, N., ¸Saroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K.T., Christie-Blick, N. (Eds.), Strike-Slip Deformation, Basin Deformation and Sedi-mentation. In: Spec. Publ., Soc. Econ. Paleontol. Mineral., vol.37, pp.227–264.

Sieberg, A., 1932. Erdbebengeographie. In: Gutenberg, B. (Ed.), Handbuch der Geo-physik, vol. 4, pp.775–812. Berlin.

Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Deprem Katalogu, MÖ 2100-MS 1900 (Earthquake Catalogue of Turkey and Surroundings, BC 2100-AD 1900). TÜB˙ITAK Project (No. TBAG 341), 99 s.

Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The Earthquake Catalogues for Turkey. Turk. J. Earth Sci.17, 405–418.

Tavakoli, F. et al., 2008. Distribution of the right-lateral strike-slip motion from the Main Recent Fault to the Kazerun Fault System (Zagros, Iran):evidence from present-day GPS velocities, Earth planet. Sci. Lett., 275(3–4), 342–347.

Taymaz, T., Westaway, R., Reilinger, R. (Eds.) (2004) Active Faulting and Crustal De-formation in the Eastern Mediterranean Region. Tectonophysics 391, 1–374.

TBDY-2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Tetik, T., Akbaş, B., Tanırcan, G., & Gülerce, Z. (2022). Performance Evaluation of Cumulative Absolute Velocity (CAV) Prediction Models for the New Turkish Strong Motion Database 3rd European Conference On Earthquake Engıneerıng & Seısmology.

Westaway, R., Arger, J., 1996. The Gölba¸sı basin, southeastern Turkey: a complex discontinuity in a major strike-slip fault zone. J. Geol. Soc.153, 729–743.

Walpersdorf, A., et al., 2006. Difference in the GPS deformation pattern of North and Central Zagros (Iran), Geophys. J. Int., 167(3), 1077–1088.

Walpersdorf, A. et al., 2014. Present-day kinematics and fault slip rates in Eastern Iran, derived from 11 years of GPS data, J. geophys. Res., 119(2), 1359–1383

Yönlü, Ö., Altunel, E., Karabacak, V., Akyüz, H.S., 2012. Evolution of the Gölbaşı Basin and its implications for the long term fault offset on the East Anatolian Fault Zone, Turkey, Journal of Geodynamics, 65(2013), 272-281, doi:10.1016/j.jog.2012.04.013.

Yönlü, Ö., Altunel, E. and 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.

Yürür, M.T., Chorowicz, J., 1998. Recent volcanism, tectonics and plate kinematics near the junction of the African, Arabian and Anatolian plates in the Eastern Mediterranean. J. Volcanol. Geotherm. Res.85, 1–15.

Zarifi, Z., Nilfouroushan, F. & Raeesi, M., 2014. Crustal Stress Map of Iran:insight from seismic and geodetic computations, Pure appl. Geophys., 171(7), 1219–1236.

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/06-subat-2023-ml7-4-sofalaca-sehitkamil-gaziantep-depremi/

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/06-subat-2023-ml7-5-ekinozu-kahramanmaras-depremi/

https://eerc.metu.edu.tr/en/system/files/documents/CH4_Strong_Ground_Motion_Report_2023-02-20.pdf