

## 6 Şubat 2023 Depremleri ve Saha Gözlemlerine Dayalı Bina Hasarları Hakkında Ön Değerlendirme

Cem YENİDOĞAN<sup>1</sup>



### ÖZ

6 Şubat 2023 depremleri geniş bir coğrafyada hissedilmesi ve yaratmış olduğu yıkım ile son yüzyılın en yıkıcı depremleri arasında yerini almıştır. 6 Şubat depremlerinde oluşan karmaşık kaynak özellikleri, deprem kayıtlarının karakterizasyonu, afet bölgesi ilan edilen 11 şehir için yürütülen hasar tespiti çalışmaları mühendisler için çok önemli veriler barındırmaktadır. Hazırlanan bu çalışmanın amacı depremin ikinci gününden itibaren periyodik bir şekilde afet bölgesi ilan edilen 11 ilde saha gözlemleri özelinde 6 Şubat depremlerinin sismo-tektonik, güçlü yer hareketi kayıtlarının özellikleri, binalarda ortaya çıkan hasar dağılımı ve karakteristik özellikleri hakkında bulguları paylaşmaktır. Depremden etkilenen bölgede ağır hasarın yoğunlaştığı illerde elde edilen verilere yönelik tespitler bu çalışma kapsamında kısaca açıklanmaya çalışılmıştır. Derlenen veriler yetkili kurumlar tarafından paylaşılan raporlar, duyurular ve yürürlükte olan deprem yönetmeliği dikkate alınarak bölgede hakim olan bina tipi mevcut yapı envanterinden faydalanarak elde edilmiştir. Kırsal kesimde ve şehir merkezlerinde hasar dağılımı incelendiğinde tescilli kültür varlığı statüsündeki yığma binalar dışında hakim yapısal sistemin şehir merkezlerinde mühendislik hizmeti almış, orta yükseklikte betonarme binalar olduğu, kırsal kesimde ise mühendislik hizmeti almamış, az katlı betonarme, karma veya yığma tipi binalar olduğu belirlenmiştir. Hasar tespitinde geçmiş deneyimlerle kıyaslandığında akademisyenler tarafından verilen eğitimlere katılmış olan saha ekiplerinin göreceli olarak daha hızlı ve titiz bir çalışma ortaya koydukları görülmüştür. Geleneksel binalara ek olarak hastane binalarına yönelik çalışmalarda deprem yönetimi uygulanmış binalar ve geleneksel binaların kıyaslanması bir sistematik içerisinde gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** 6 Şubat 2023 depremleri, hasar gözlemleri, Türk Bina Deprem Yönetmeliği, hastane hasarları, afet yönetimi, 6 Şubat 2023 deprem kayıtları.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 2 Ağustos 2023 günü ulaşmıştır. 6 Mayıs 2024 günü yayımlanmak üzere kabul edilmiştir.
- 30 Kasım 2024 gününe kadar tartışmaya açıktır.

• <https://doi.org/10.18400/tjce.1335742>

1 Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye  
cem.yenidogan@yildiz.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-9842-3607>

## ABSTRACT

### February 6, 2023 Earthquakes and Preliminary Assessment of Building Damage Based on Field Surveys

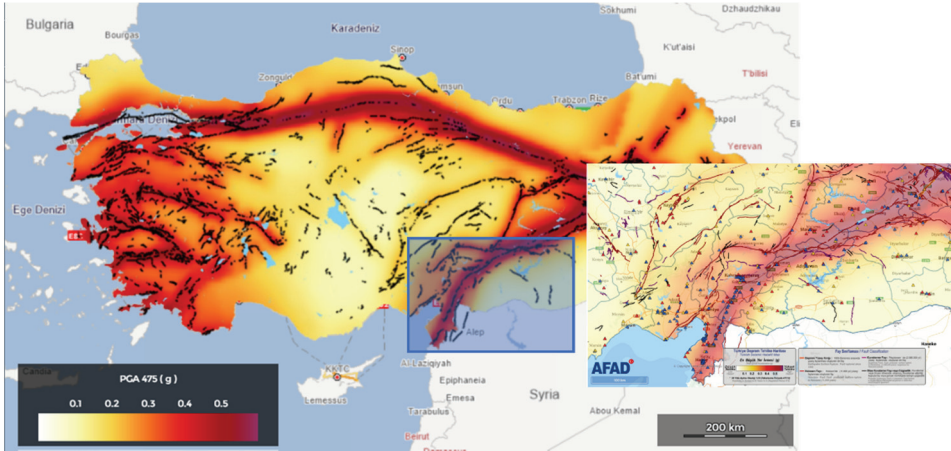
February 6 earthquakes have taken its place among the most destructive earthquakes of the last century, due to extend of the damage, complexity of the source mechanism and being felt in a wide geography. Eleven cities were declared as disaster region by the administration. The source mechanism of the 6 February earthquakes, the characterization of earthquake records, and the rapid damage assessment carried out for 11 cities in the disaster area offers important findings and valuable data for engineering society. The aim of this study is to share the preliminary findings about the seismo-tectonic, strong ground motion characteristics of the earthquake records of the 6 February 2023 earthquakes and the building damage observation. Provinces that were declared as disaster region is periodically visited since the second day of the earthquake. The strong ground motion data obtained in the heavily damaged region have been tried to be explained briefly within the scope of this study. The compiled data were obtained by making use of the existing building inventory of the building type prevailing in the region, considering the reconnaissance trips of the author, institutional reports, press releases of the authorized institutions. When the damage distribution of city centers is examined, it is determined that the dominant structural system is medium-rise reinforced concrete buildings that have received engineering service, whereas predominant structural systems were low-rise reinforced concrete, or masonry buildings that have not received engineering service in rural areas. Compared to the past experiences in damage assessment, it has been observed that the field survey teams, who participated in the training given by the academicians, performed a relatively more meticulous and rapid work. In addition to traditional residential buildings, the comparison of conventional earthquake-resistant hospital buildings and seismically isolated hospital buildings were examined in a systematic way.

**Keywords:** February 6, 2023 earthquakes, damage observations, disaster management, hospital damages, Turkish Seismic Design Code for Buildings, February 6, 2023 earthquake records.

## 1. GİRİŞ

Son yüzyılda Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde meydana gelen depremler büyük can ve ekonomik kayıplara neden olmuştur. 6 Şubat 2023 sabaha karşı Türkiye saati ile 04.17 sularında AFAD tarafından Pazarcık merkez üssü olan  $M_w=7.7$ , Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) tarafından  $M_w=7.8$  büyüklüğünde bildirilen deprem afet bölgesi ilan edilen 11 ilde yüksek can ve mal kayıplarına neden olmuş yıkıcı bir depremdir. Birinci depremin yarattığı yıkıcı etkiler geniş bir coğrafyada hissedilirken, Pazarcık depreminden sadece 11 dakika sonra  $M_w=6.6$  büyüklüğünde bir artçı ve birinci depremden yaklaşık olarak dokuz saat sonra (UTC+3 13:24) AFAD tarafından  $M_w=7.6$ , USGS tarafından  $M_w=7.5$  büyüklüğünde olduğu bildirilen ve merkez üssü Kahramanmaraş Elbistan olan ikinci bir deprem can ve mal kayıplarının artışına neden olmuştur. Ardı sıra gerçekleşen depremler, yaşanan maddi ve ekonomik kayıplar dışında depremin ilk gününden itibaren yıkımın büyüklüğüyle orantılı olarak depremden etkilenen geniş bir alanda yürütülecek olan arama-kurtarma faaliyetlerini ve afet yönetimini olumsuz etkilemiştir.

Depremi ilk günlerinde yaşanan kayıpların yüksek sayılara ulaşacağı tahmin edilmesi, sahada görev yapabilecek sınırlı sayıda AFAD personelinin yetersiz kalma riski ve depremlerin etkili olduğu bölgenin genişliği düşünülerek ortaya çıkabilecek koordinasyon aksaklıklarının en aza indirilmesi için 11 il Afet Bölgesi ilan edilerek uluslararası yardım çağrısında bulunulmuştur. Afet Bölgesi ilan edilen 11 ilin coğrafi konumu, güncellenmiş diri fay haritaları [1] ve en büyük yer ivmesi (PGA) cinsinden binalar için tasarım depremi için kullanılan DD-2 deprem yer hareketi seviyesi için geliştirilen 2018 deprem tehlike haritaları Şekil 1’de gösterilmiştir. Kahramanmaraş merkezli meydana gelen deprem çifti ve artçıları sadece Türkiye’de değil, Suriye dahil olmak üzere Irak, Ermenistan, Mısır, İsrail, Kıbrıs, Yunanistan, Ürdün, Lübnan gibi çevre ülkelerde de hissedilmiştir. Belirtilen ülkeler arasında Suriye ise Türkiye’ye komşu ülkeler arasında yüksek can kaybının yaşandığı diğer bir ülke olmuştur. 6 Şubat deprem çiftinden sonra bölgenin artan sismik aktivitesinin tetiklediği 20 Şubat 2023 tarihinde üçüncü ayrı bir deprem olarak Yayladağı depremi meydana gelmiştir. 6 Şubat-6 Mayıs 2023 tarihleri arasında ana şok olarak tabir edilen üç depremin merkez üssü, odak mekanizmaları ile bölgede meydana gelen artçıların dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1 - Afet bölgesi ilan edilen bölgenin PGA cinsinden Standart Tasarım Deprem Yer Hareketi düzeyi (DD-2 seviyesi) için kullanılan deprem tehlike haritası ve bölgede bulunan AFAD deprem istasyonlarının yerleri (<https://tdh.afad.gov.tr/>)

31 Aralık 2022 tarihli güncellenmiş resmi Adrese Dayalı Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre bölgede toplam 14.013.196 kişi yaşamaktadır. Bölgede yer alan ve afet bölgesi ilan edilen üç şehrin demografik yapısı Çizelge 1’de gösterilmiştir. Türkiye sınırları içerisinde üç deprem ile artçılarının sonucu olarak İçişleri Bakanı Ali Yerlikaya’nın 2 Şubat 2024 tarihinde yapmış olduğu basın açıklaması doğrultusunda toplam can kaybının 53.537 kişiye, yaralı sayısının 107.213 kişiye ve yıkılan bina sayısının ise 37.984 ulaştığı teyit edilmiştir. Suriye sınırları içinde ise ölü sayısının 7000 kişinin üzerinde olduğu belirtilmektedir. Belirtilen 60.000 kişinin üzerinde yaşanan can kaybı ile sonuçlanan depremler son yüzyıllık süreçte deneyimlenmiş ve derin yaralar açan Kuzey Anadolu Fay hattında meydana gelmiş 1939

Erzincan, 1999 Gölcük, 2011 Van Depremleri ile 2020 yılında Doğu Anadolu fay hattı üzerinde yaşanan Elazığ depremlerinin çok üzerinde bir yıkıma neden olmuştur. Yıkımlar afet bölgesi ilan edilen 11 ilde yaşayan toplam 14013196 kişinin hayatını olumsuz etkilemiştir. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporunda sigortacılık sektörü ve makroekonomik ölçekte ekonomik kaybın 103.6 milyar dolar olarak tahmin edildiği raporlanmıştır [2].

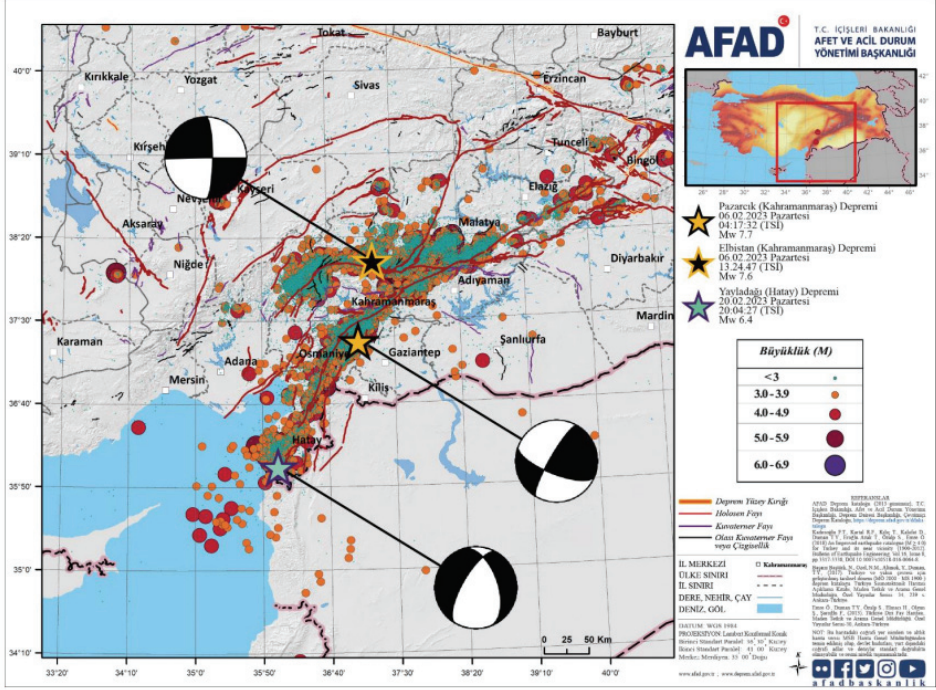
Çizelge 1 - 2022 ADNKS verilerine göre Afet Bölgesinde nüfus ve yaş dağılımı

İl	Toplam	(0-17)	(15-24)	(15-29)	(0-29)	(15-64)	65+
Adana	2.274.106	650.919	337.196	500.939	1.040.186	1.523.411	211.448
Adıyaman	635.169	213.088	104.216	151.927	329.544	404.271	53.281
Diyarbakır	1.804.880	677.944	323.328	479.726	1.051.408	1.140.208	92.99
Elazığ	591.497	152.439	93.264	136.714	262.186	401.774	64.251
Gaziantep	2.154.051	790.077	373.459	543.469	1.206.932	1.366.161	124.427
Hatay	1.686.043	537.008	265.09	382.846	828.626	1.102.478	137.785
Malatya	812.58	215.978	126.831	184.285	361.013	545.21	90.642
Kahramanmaraş	1.177.436	373.637	193.881	278.382	586.363	764.905	104.55
Şanlıurfa	2.170.110	974.864	403.597	580.835	1.414.726	1.246.531	89.688
Kilis	147.919	48.947	27.599	39.283	80.164	95.119	11.919
Osmaniye	559.405	171.036	87.769	125.901	266.411	366.904	51.991
<b>Bölge Toplamı</b>	<b>14.013.196</b>	<b>4.805.937</b>	<b>2.336.230</b>	<b>3.404.307</b>	<b>7.427.559</b>	<b>8.956.972</b>	<b>1.032.972</b>
<b>Erkek</b>	<b>7.049.219</b>	<b>2.461.656</b>	<b>1.196.670</b>	<b>1.731.596</b>	<b>3.792.656</b>	<b>4.524.779</b>	<b>463.38</b>
<b>Kadın</b>	<b>6.963.977</b>	<b>2.344.281</b>	<b>1.139.560</b>	<b>1.672.711</b>	<b>3.634.903</b>	<b>4.432.193</b>	<b>569.592</b>

Bölgede karayolu ve havayolu ulaşım ağlarının hasar görmesi ve yaşanan olumsuz hava koşulları arama-kurtarma faaliyetlerinin ve acil müdahalenin gecikmesi, 72 saatlik kritik sürecin koordinasyonu ve yönetiminde zorluklar yaratmıştır. Bölgede yer alan Hatay havalimanının hasar görmesinden dolayı bölgeye ekiplerin ulaşımı çevre illerde yer alan havalimanları ve karayolu üzerinden öncelikli olarak arama kurtama ekiplerinin ve Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından görevlendirilen idari ve akademik personelin kullanımına açılmıştır.

Bu çalışma kapsamında 6 Şubat depremleri sonrasında afet bölgesi ilan edilen illerde sismo-tektonik yapı, AFAD istasyonlarından elde edilen güçlü yer hareketi kayıtlarının, binalarda ortaya çıkan hasar dağılımı ve hasarın karakteristik özellikleri saha gözlemlerinden elde edilen bulgular yardımı ile paylaşılmaktadır. Bina hasarlarına yönelik olarak bölgede yer alan konutlar, iş yerleri, hastaneler, kültür varlığı statüsünde olan binalar ve endüstriyel yapılar saha gözlemleri özelinde incelenmiştir. Aynı gün içerisinde meydana gelen Pazarcık ve Elbistan merkez üslü iki depremin çok kısa süre aralığında olması iki depremin farklı etkilerinin bina hasarları açısından kayıt altına alınmasını engellemiştir. Bina hasarları ile

ilgili değerlendirmeler iki depremin ardından ortaya çıktığı kabulü üzerinden paylaşılmaktadır.

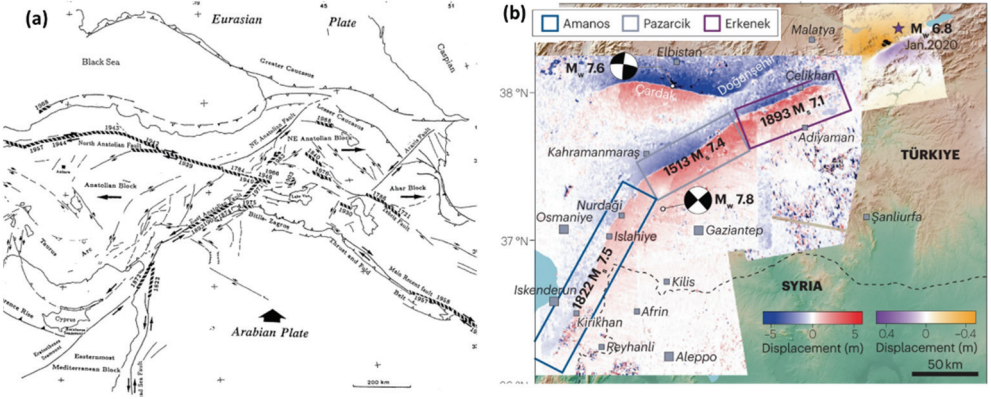


Şekil 2 - 6 Şubat Depremlerinin ve 20 Şubat Yayladağ depreminin merkez üssü ve artçıların dağılımı [1]

## 2. BÖLGENİN SİSMOTEKTONİK YAPISI

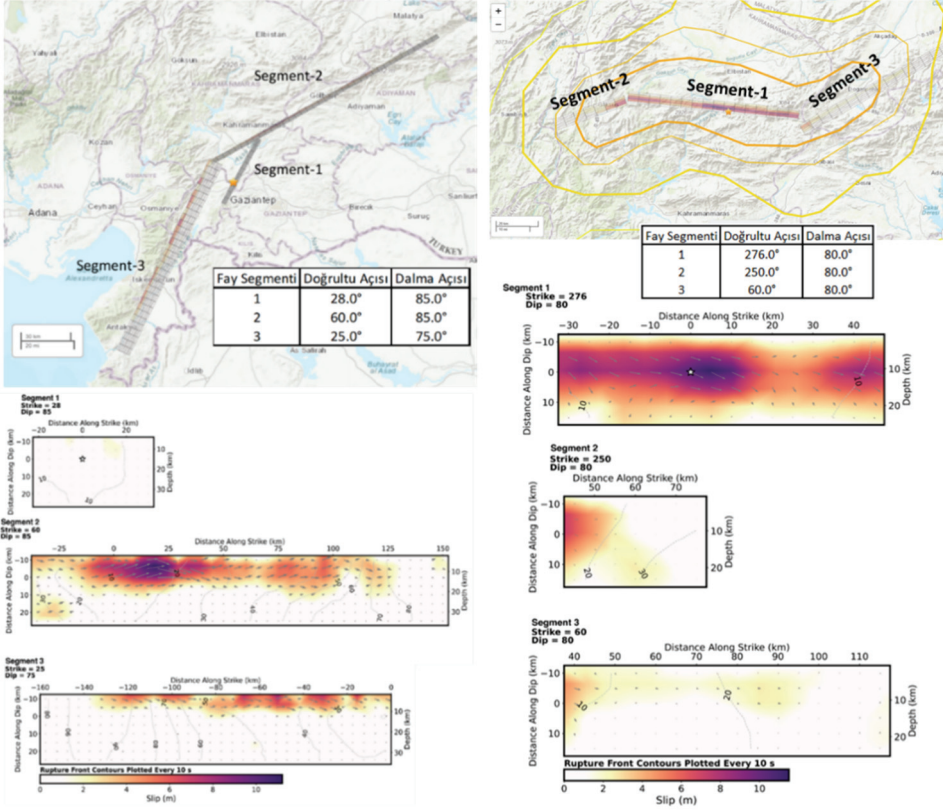
Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde meydana gelen büyük depremler batıya doğru bir hareket doğuran iki büyük aktif tektonik yapıya sahip olan sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Hattı ile sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay hattında meydana gelmektedir. Oluşan bu yapı jeolojik açıdan değerlendirildiğinde Miyosen dönemden bu yana Arabistan-Avrasya plakalarının birbirini etkileyen hareketleri ve birbirine yakınlaşmakta olan Avrasya ve Afrika plakalarının hareketi neticesinde Türkiye'nin sınırlarına yakın bölgelerde depremler meydana getirmektedir [7]. 6 Şubat 2023 tarihinde merkez üssü Pazarçık olan Mw=7.8 olan deprem büyüklük açısından 33000 can kaybının yaşandığı Erzincan depremi ile birlikte Türkiye sınırları içerisinde ölçülen en büyük ve en yıkıcı depremler arasında tarihte yerini almıştır. 6 Şubat Pazarçık depremi toplam uzunluğu yaklaşık olarak 550 üzerinde olduğu düşünülen kuzeydoğu-güneybatı yönelimli sol yanal atımlı olan Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 3 - (a) Pazarçık depreminin meydana geldiği Doğu Anadolu Fay Zonu batıya doğru yönelimli Anadolu Bloğunun güneybatı sınırlarını oluşturmaktadır (Şekil 3a).

Doğu Anadolu Fay zonunun içerisinde yer alan segmentler ve mekanizması ile ilgili birçok araştırmacı tarafından detaylı çalışmalar gerçekleştirilmiştir [5-16]. Derlenen deprem katalog çalışmalarında sismik boşluktan dolayı bölgede büyük bir deprem tehlikesi altında olduğu birçok araştırmacı tarafından bilinmekteydi. Sismik tehlike çalışmaları için derlenen tarihsel depremler, bölgenin büyük deprem üretme potansiyeline sahip olduğu görüşünü desteklemekteydi. Tarihsel depremler arasında yüzey dalgası büyüklüğü olarak  $M_s=7.4$  olan 1513 Türkoğlu,  $M_s=7.5$  olan 1822 Halep,  $M_s=7.2$  olan 1872 Amik gölü depremi ve son olarak 1893 Malatya depremleri yer almaktadır [13-15]. Fakat tahmin senaryolarında ortaya çıkabilecek çoklu yırtılmaya bağlı en kötü senaryolardan bir tanesi şehir bazlı deprem kaybı kestirim çalışmalarında dikkate alınmamıştır. AFAD-RED tarafından hazırlanmış olan Kahramanmaraş Deprem Kayıp ve tahmin senaryosunda ön görülen rakamlar ve deprem büyüklüğü meydana gelen Pazarcık depreminin altında kalan rakamları işaret ediyordu.

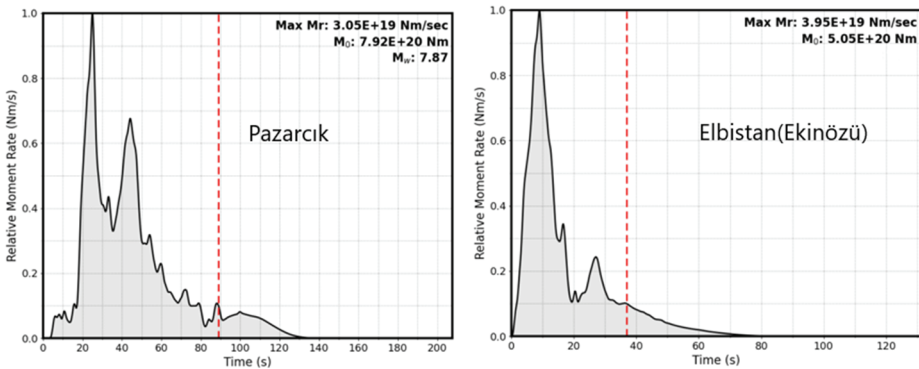


Şekil 3 - (a) Pazarcık ve Elbistan depremlerinin meydana geldiği deprem bölgesi ve tektonik levhalar [10-12] (b) tarihsel depremlerin yıllara göre dağılımı [17]

6 Şubat depremlerinde karmaşık deprem kaynak özelliklerine sahip olmasının nedenlerinden bir tanesi aynı anda çoklu fay kırıklarının oluşmasıdır. Ayrıca yırtılmanın her iki yönde farklı yayılım özellikleri göstermesi deprem kayıtlarında yakın saha özelliklerine yansımıştır. Fayın taban ve tavan bloklarında deprem yer hareketleri hız zaman tanım alanında çizdirildiğinde itkiler kolaylıkla gösterilebilmektedir. Bu durum mevcut deprem senaryolarından farklı bir büyüklükte bir deprem ve geniş bir bölgede büyük bir yıkım ortaya çıkarmıştır. 6 Şubat 2023 Pazarcık ve Elbistan depremlerinin sonlu fay modeli bölgede yer alan ivme ölçerler, GPS cihazları ve telesismik verilerden faydalanarak yapılan güncellemeler, depremin ilk haftalarında kaynak mekanizması hakkında bilgiler sağlamıştır (Şekil 4). Elde edilen sonlu fay modelinden depremin etkin süresi güçlü yer hareketi kayıtlarını destekleyecek bilgiler sunmaktadır (Şekil 5). Ayrıca elde edilen uzun süreli deprem kayıtları yazarın saha incelemelerinde elde ettiği kamera görüntülerinde de doğrulanmaktadır.

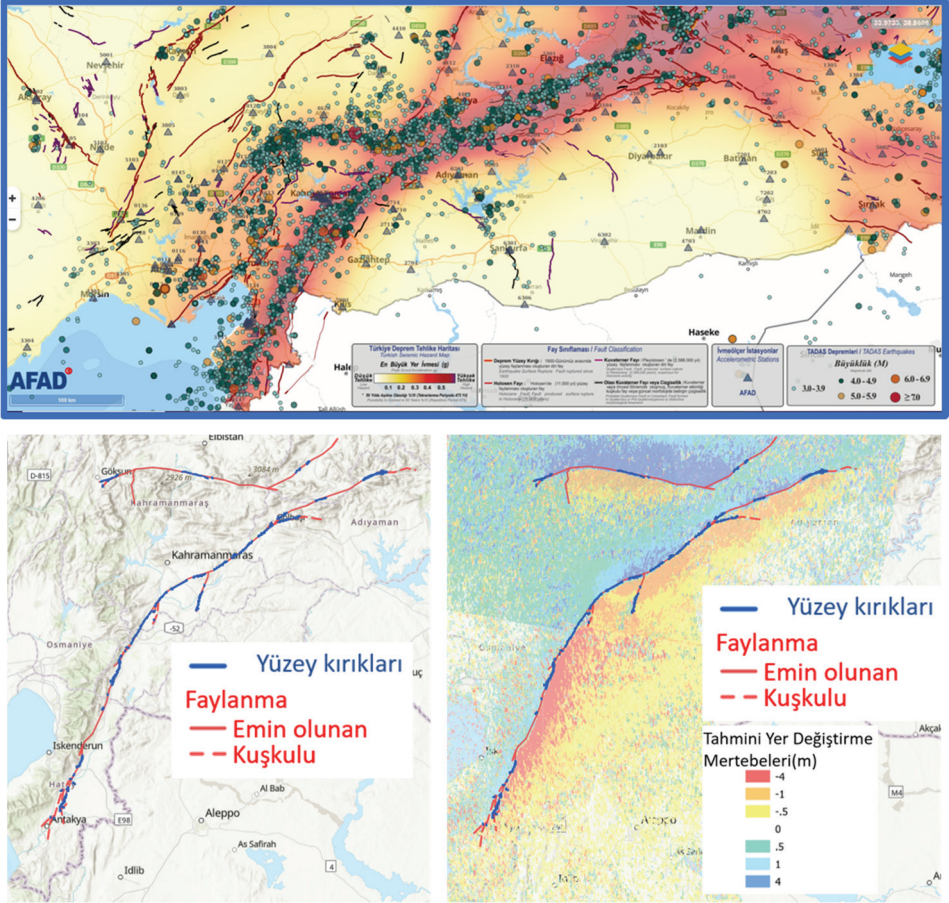


Şekil 4 - Pazarlık ( $M_w=7.8$ ) ve Elbistan merkez üslü ( $M_w=7.5$ ) sonlu fay modelleri (USGS, (<https://earthquake.usgs.gov>), son güncelleme tarihi, 2023-02-21 03:47:31 (UTC))



Şekil 5 - USGS tarafından yürütülen sonlu fay modellerinden elde edilen kaynak özellikleri (<https://earthquake.usgs.gov>), son güncelleme tarihi 2023-02-21 03:47:31 (UTC))

Gelişen teknoloji ile birlikte uydu görüntüleri ve mevcut araçlar kullanılarak aktif fay izi ve yüzey kırıklarının dağılımları Kahramanmaraş depremleri sonrasında görüntülenebildiler. AFAD tarafından fay kırıkları ve bölgede küçük ölçekli depremler ile birlikte meydana gelen tüm artçılar Şekil 6'da gösterilmiştir[18].



Şekil 6 - (a) Haritalandırılmış fay kırıkları ve oluşan depremlerin büyüklükleri (<https://tadas.afad.gov.tr/>) (b) 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında tespit edilen yüzey kırıkları ve tahmini yer değiştirme mertebeleri (<https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5229bb842bd64b688d769abbefe43b46>)

Üç ana depremin ve büyüklüğü 5.5 ve üzeri olan artçı depremlerin listesi Çizelge 2'de verilmiştir.



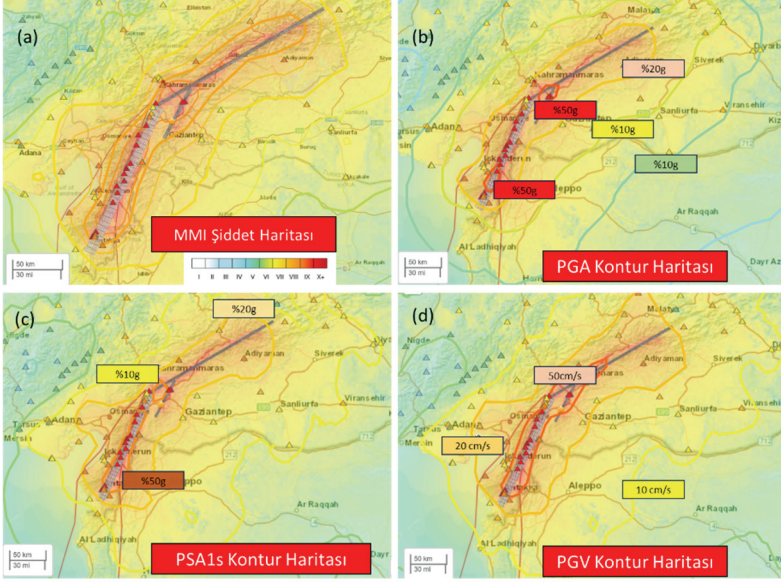
*Çizelge 2 - Afet bölgesinde üç ana deprem ve büyüklüğü 5.5 üzeri olan artçı depremlerin listesi[18]*

Tarih ve Zaman (UTC)	Epicenter (İlçe/ İl)	Büyüklik Mw/ML)	Derinlik
<b>6 Şubat 2023, 01:17:32</b>	<b>Pazarcık / Kahramanmaraş</b>	<b>7.7</b>	<b>8.6</b>
6 Şubat 2023, 01:26	Nurdağı / Gaziantep	5.6	6.98
6 Şubat 2023, 01:28	Nurdağı / Gaziantep	6.6	6.2
6 Şubat 2023, 01:36	İslahiye / Gaziantep	5.7	11.19
6 Şubat, 2023, 02:03	Doğanşehir / Malatya	5.6	10.23
<b>6 Şubat 2023, 10:24:47</b>	<b>Elbistan / Kahramanmaraş</b>	<b>7.6</b>	<b>7</b>
6 February 2023, 10:26	Yeşilyurt / Malatya	5.8	6.89
6 February 2023, 10:32	Ekinözü / Gaziantep	5.5	10.93
6 February 2023, 20:37	Pazarcık/Kahramanmaraş	5.5	5.96
<b>20 February 2023, 17:04</b>	<b>Yayladağı / Hatay</b>	<b>6.4</b>	<b>21.73</b>
20 February 2023, 17:04	Samandağ / Hatay	5.8	6.64
27 February 2023, 09:04	Yeşilyurt / Malatya	5.6	6.15

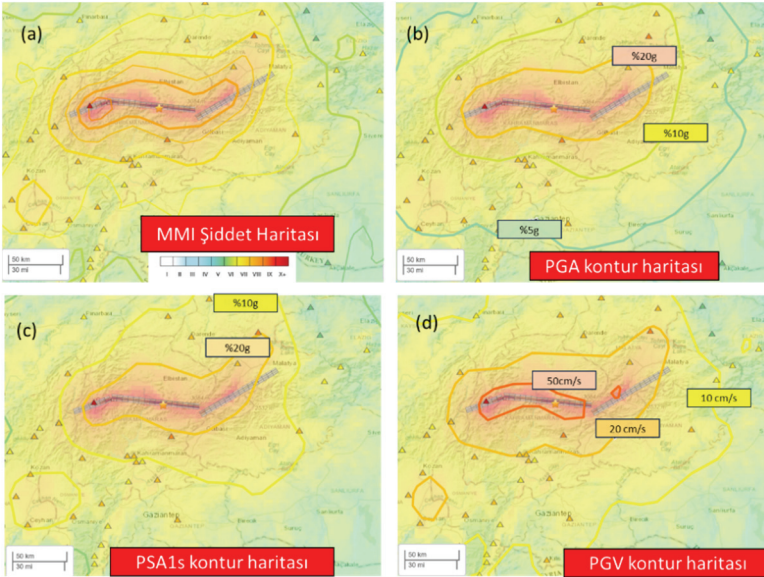
### 3. DEPREMLERDEN ELDE EDİLEN YER HAREKETİ KAYITLARI VE HASAR DAĞILIMININ TAHMİNİNDE KULLANILAN HARİTALAR

AFAD Türkiye’de meydana gelen depremlerin ölçülmesi ve kayıt altında tutulması amacı ile geniş bir kuvvetli yer hareketi ağı oluşturarak, depremlerden sonra elde edilen ham ve işlenmiş deprem kayıtlarını bilimsel çevreler ve mühendislik camiası ile paylaşmaktadır. Kahramanmaraş depremlerinden sonra elde edilen deprem kayıtlarının paylaşımı, geniş bir alanı etkileyen depremler sonrası yapısal hasarın kestirimi açısından önemli katkılar sağlamıştır. Pazarcık depreminde kayıt istasyonlarının MMI şiddet haritasında dağılımı incelendiğinde bina hasarlarının yoğunlaştığı bölgelerde uyumlu olarak haritalandırılmış oldukları görülmektedir (Şekil 7, Şekil 8). Şiddet haritasında 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi sonrasında Antakya merkezde 9.3 MMI şiddeti seviyelerine ulaşan değerler elde edilmiştir ve 6 Şubat Elbistan depremlerinde benzer şekilde Göksun civarında bu değerler MMI şiddeti cinsinden 9.2 seviyelerine ulaşmaktadır [19]. Benzer şekilde yazarın içerisinde bulunduğu araştırma ekibi tarafından geliştirilen ve Türkiye’de farklı kurumlar tarafından kullanılan ELER adlı program kullanılarak benzer sarsıntı haritaları da elde edilebilmektedir[20].

2018 yılında hazırlanan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) için yenilenen deprem tehlike haritası ve Maden Tetkik Arama tarafından güncelenen diri fay haritası dikkate alınarak deprem istasyonlarının yerleri bölgenin depremselliğinin irdelenmesinde kullanılmıştır [5]. Deprem istasyonlarının yerel zemin koşullarına elde edilen elastik tasarım spektrumları Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep illeri özelinde dikkate alınarak, deprem kayıtlarının davranış spektrumlarıyla kıyaslamalı olarak paylaşılmıştır. Fakat her iki depremden elde edilen deprem kayıtlarının sayısının oldukça fazla olmasından dolayı bu çalışma kapsamında 6 Şubat Pazarcık depreminde ağır hasarlı bina sayısının yüksek olduğu il ve ilçelerden seçilen sınırlı sayıda işlenmiş deprem



Şekil 7 - Merkez üssü Pazarcık ( $M_w=7.8$ ) olan deprem sonrasında hesaplanan (a)MMI şiddet haritası,(b) PGA kontur haritası, (c) PSA1 kontür haritaları ve (d) PGV kontur haritası (<https://earthquake.usgs.gov>)[19]

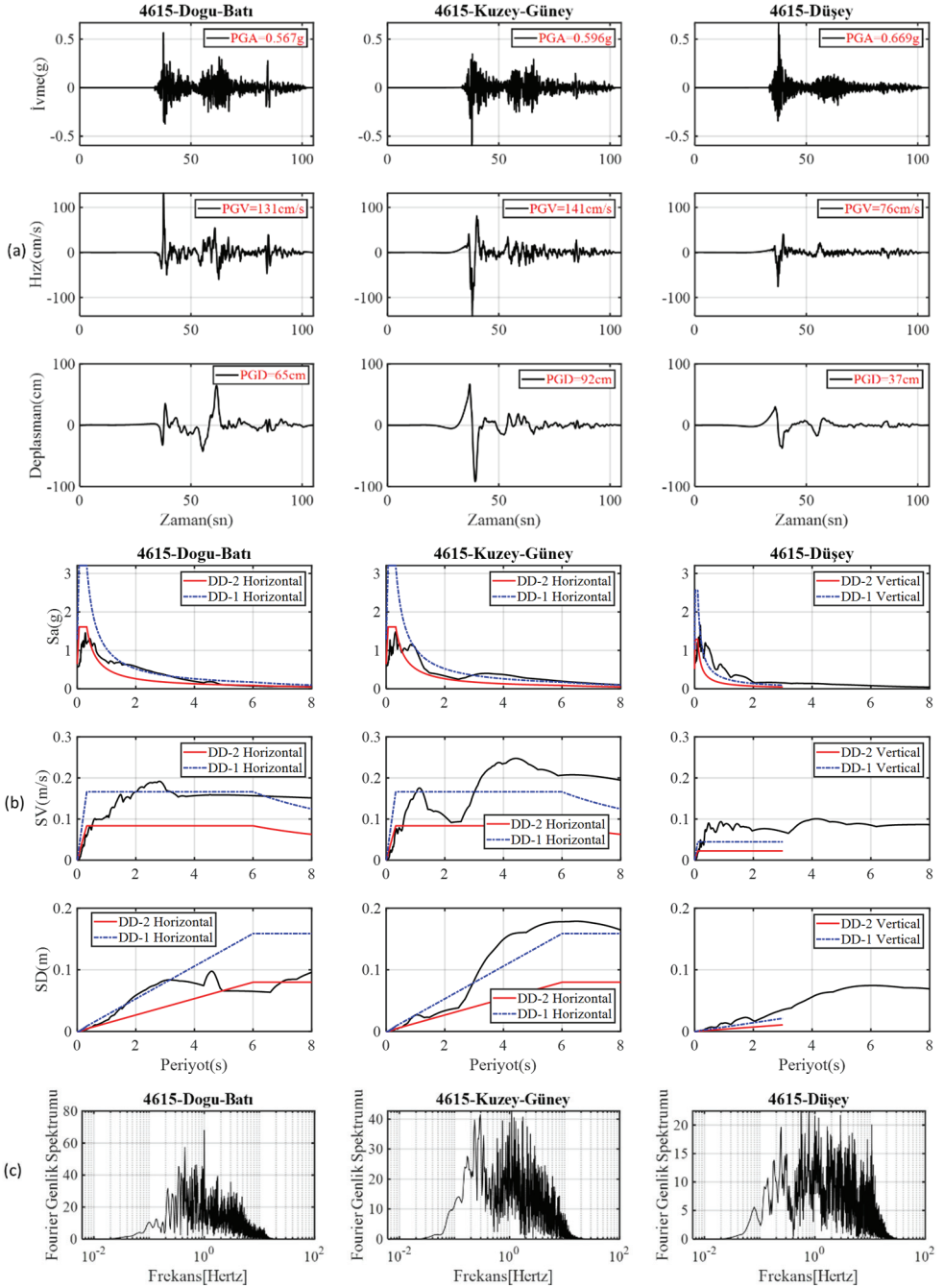


Şekil 8 - Merkez üssü Elbistan ( $M_w=7.5$ ) depreminde güçlü yer hareketi istasyonlarının konumu ve hesaplanan (a) MMI şiddet haritası (b) PGA kontur haritası (c) Psalın için kontur (d) PGV kontur haritaları (<https://earthquake.usgs.gov>)[19]

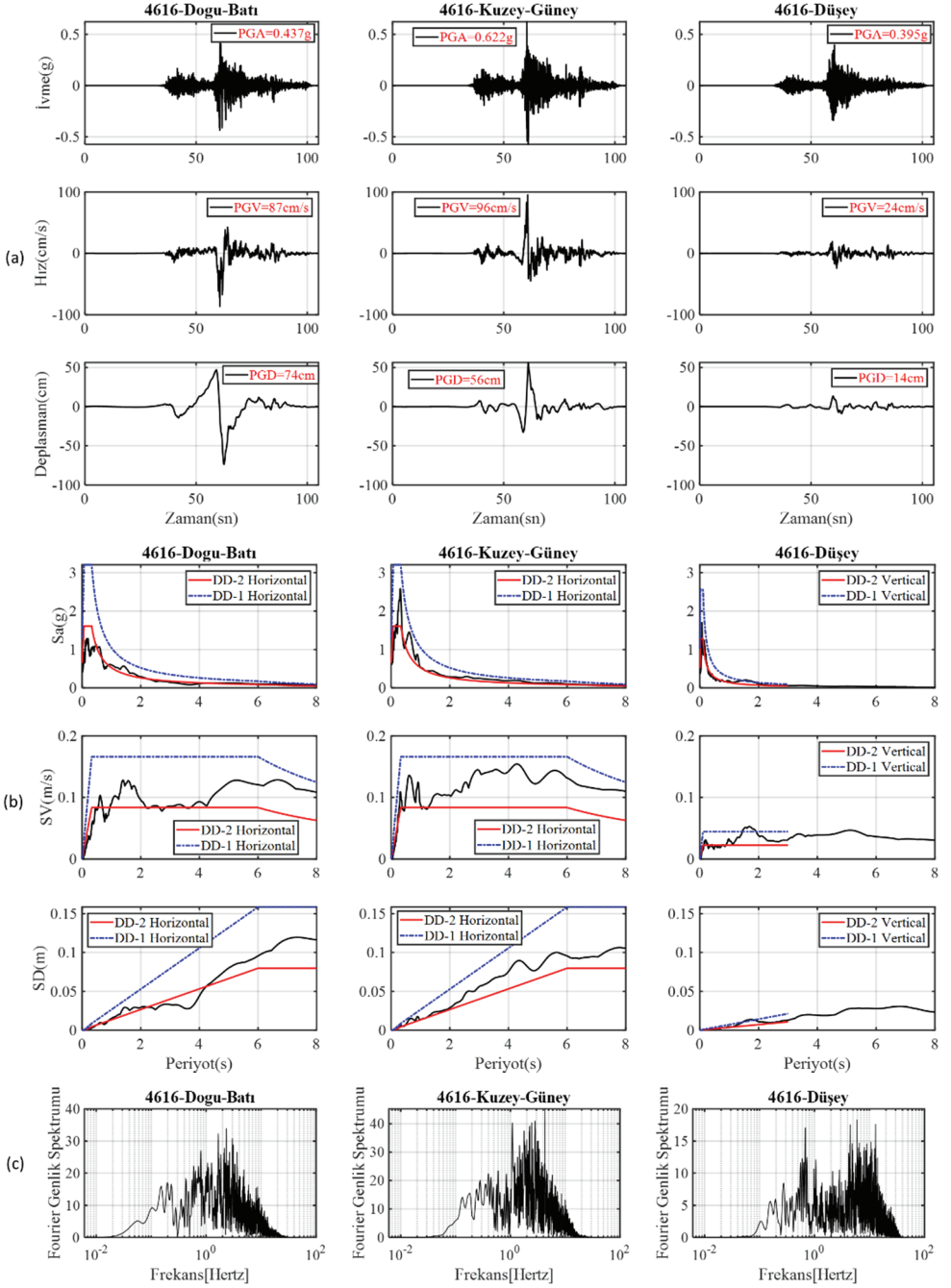
kayıtları kullanılarak güçlü yer hareketi parametreleri hesaplanmıştır. Yer hareketi kayıtlarının özellikleri zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında gösterilmiştir. Deprem bölgesinde ağır hasar alan iller arasında yer alan Kahramanmaraş ilinde Pazarcık ve Türkoğlu istasyonları, Hatay ilinde yer alan Antakya, Hassa ve Kırıkhan istasyonlarının verileri ve Gaziantep ilinde yer alan Nurdağı, İslahiye istasyonlarının deprem kayıtları yıkımın şiddetini yansıtabilmesi için bu bölümde paylaşılmıştır (Şekil 9-18). Deprem kayıtlarının üç güçlü yer hareketi parametreleri Çizelge 3'te listelenmiştir. AFAD deprem istasyonlarından elde edilen AFAD tarafından işlenmiş olarak kullanıcılara sağlanan deprem kayıtları kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının 6 Şubat Pazarcık depremi dikkate alındığında merkez üssüne olan uzaklıkları, yerel zemin koşulları, ve filtrelemede kullanılan bant aralığı ve filtre tipi Çizelge 3'te gösterilmiştir. Bütün kayıtlar için 17 farklı güçlü yer hareketi parametresi hesaplanmıştır. Hesaplanan 17 parametre arasında hasar durumunu yansıtanları seçilerek Çizelge 4'te listelenmiştir. Sunulan PGA ve PGV değerleri jeoteknik mühendisliğin ilgi alanında olan altyapı elemanlarında ortaya çıkacak hasar ve kayıp kestiriminin olasılıksal olarak hesaplanmasında kullanılmaktadır.

Güçlü yer hareketi parametrelerinden en büyük yer hızı (PGV) değeri deprem tehlike haritalarında hesaplanmasına rağmen bu parametre tasarım aşamasında Türk Deprem Yönetmeliğinde dikkate alınmamaktadır. Hasar kestiriminde yapısal özelliklere bağlı olarak en büyük yer hızı parametresinin (PGV) ilerleyen süreçlerde sünek taşıyıcı elemanların davranışında dikkate alınması, yazarın kişisel fikrine göre önemli katkılar sağlayacaktır. 6 Şubat deprem çifti incelenirken alışılmış yakın saha kaynak parametrelerinden olan yönelim (Direktivite), ve atım (Fling step) diye adlandırılacak yakın saha parametreleriyle kıyaslandığında tasarım mühendisleri tarafından süneklik taleplerine yönelik çalışmalarda bir girdi parametresi olarak kolaylıkla kullanılabilecektir. Hasar ve sünekliği dair benzer bulgular yazar tarafından gerçek ölçeklerinde test edilmiş yapısal ve yapısal olmayan sistemlerin performans değerlendirmesi için yürütülen sarsma masası testlerinde perde duvar ve yapısal olmayan eleman hasarlarında etkin rol oynamıştır [21]. 6 Şubat 2023 deprem çiftinin kayıtlarından elde edilen PGV değerleri deprem tehlike haritalarında ön görülen PGV değerleriyle kıyaslama yapma olanağı sunmaktadır. PGV değerleriyle ilgili Japon yönetmeliğinde yer alan tasarım kriterlerine atfen yapıların sünek tasarlanan elemanlarında ortaya çıkabilecek hasarlar hakkında fikir verebilmektedir. Deprem bölgesi incelendiğinde deprem yönetmeliğinde yer alan Seviye 1 ve Seviye-2 spektrumu hız değerleri ile uyumlu PGV kontur haritaları ortaya çıkmıştır.

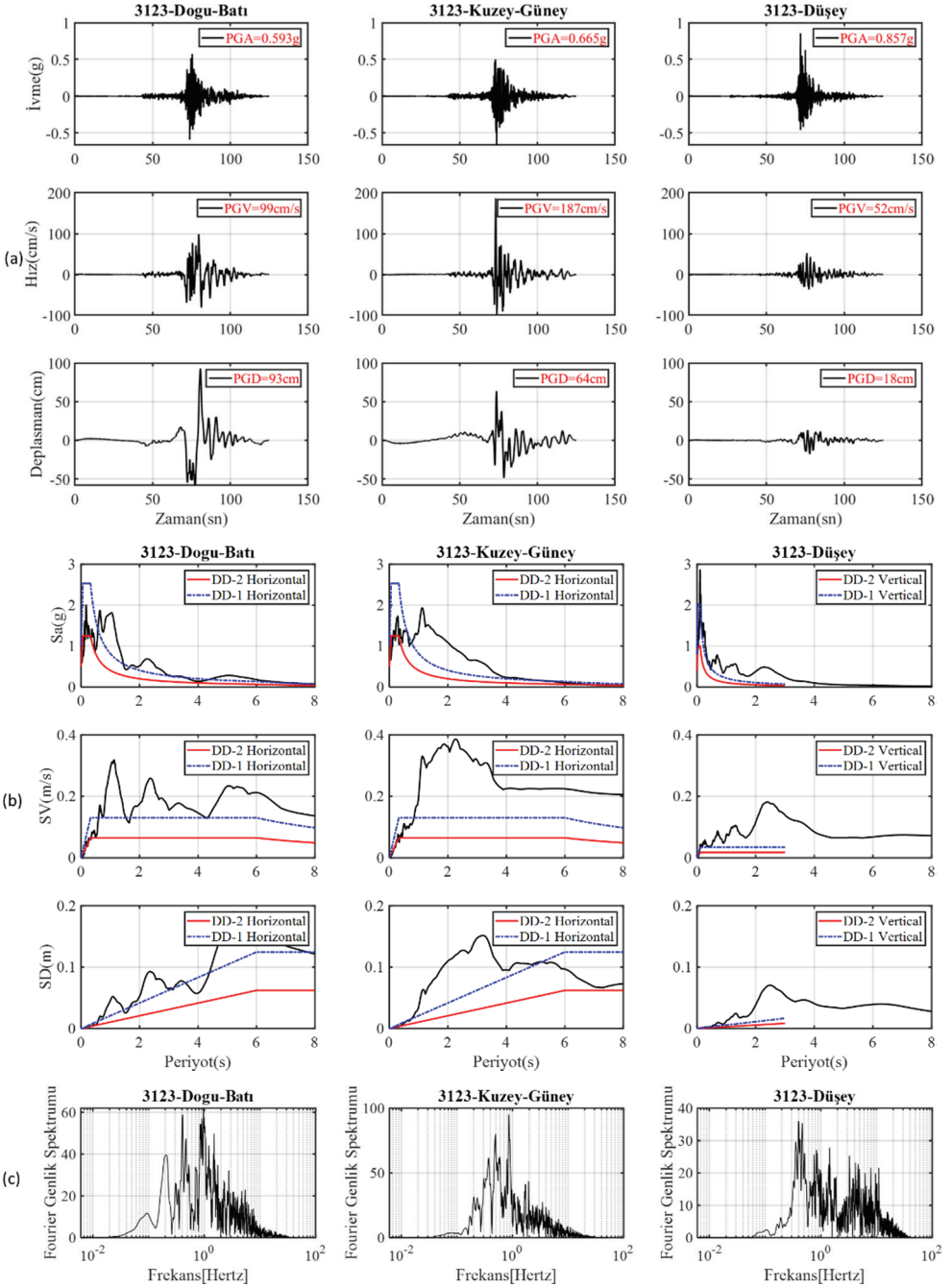
AFAD tarafından işlenmiş veriler kullanılarak spektral ivme, spektral hız ve spektral deplasman değerleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde yer alan DD-1 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyleri için elde edilen tasarım spektrumları ile kıyaslanmıştır. Deprem kayıt istasyonlarından 4615 Pazarcık, 2712 nolu Nurdağı istasyonu deprem kayıtları spektral ivmeler cinsinden incelendiğinde DD-1 deprem yer hareketi seviyesini her üç bileşen için de belirli aralıklarla aştığı gözlemlenmiştir. Ağır hasarlı binalar ve toptan göçmenin yoğun gözlemlendiği Antakya il merkezinde 3123 Antakya istasyonu incelendiğinde spektral ivme, spektral hız ve spektral deplasman değerlerinin aşıldığı gözlemlenmiştir. Benzer çıkarımlar 3143 nolu Hatay Kırıkhan istasyonu içinde geçerlidir.



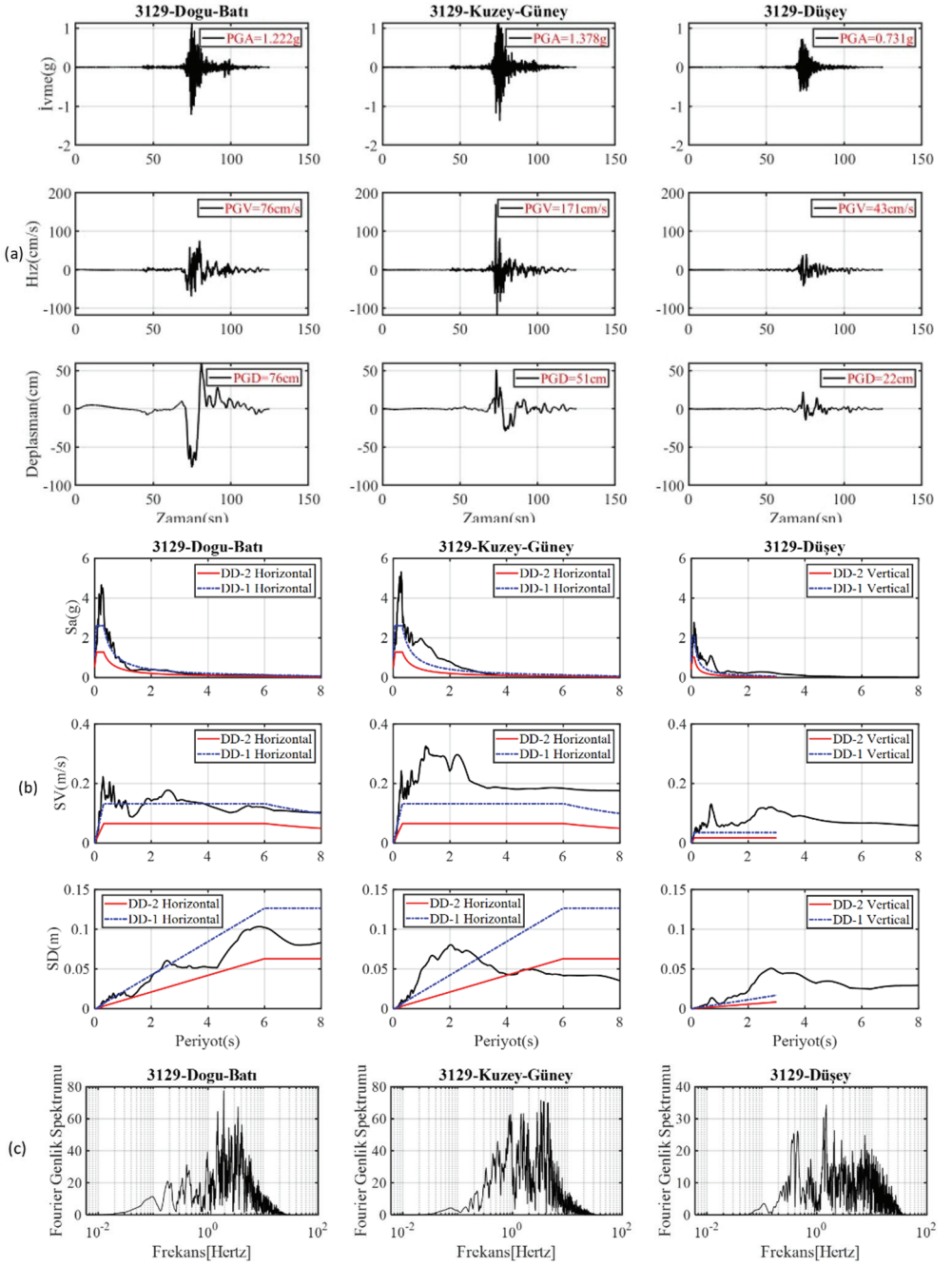
Şekil 9 - 4615 Pazarcık İstasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği



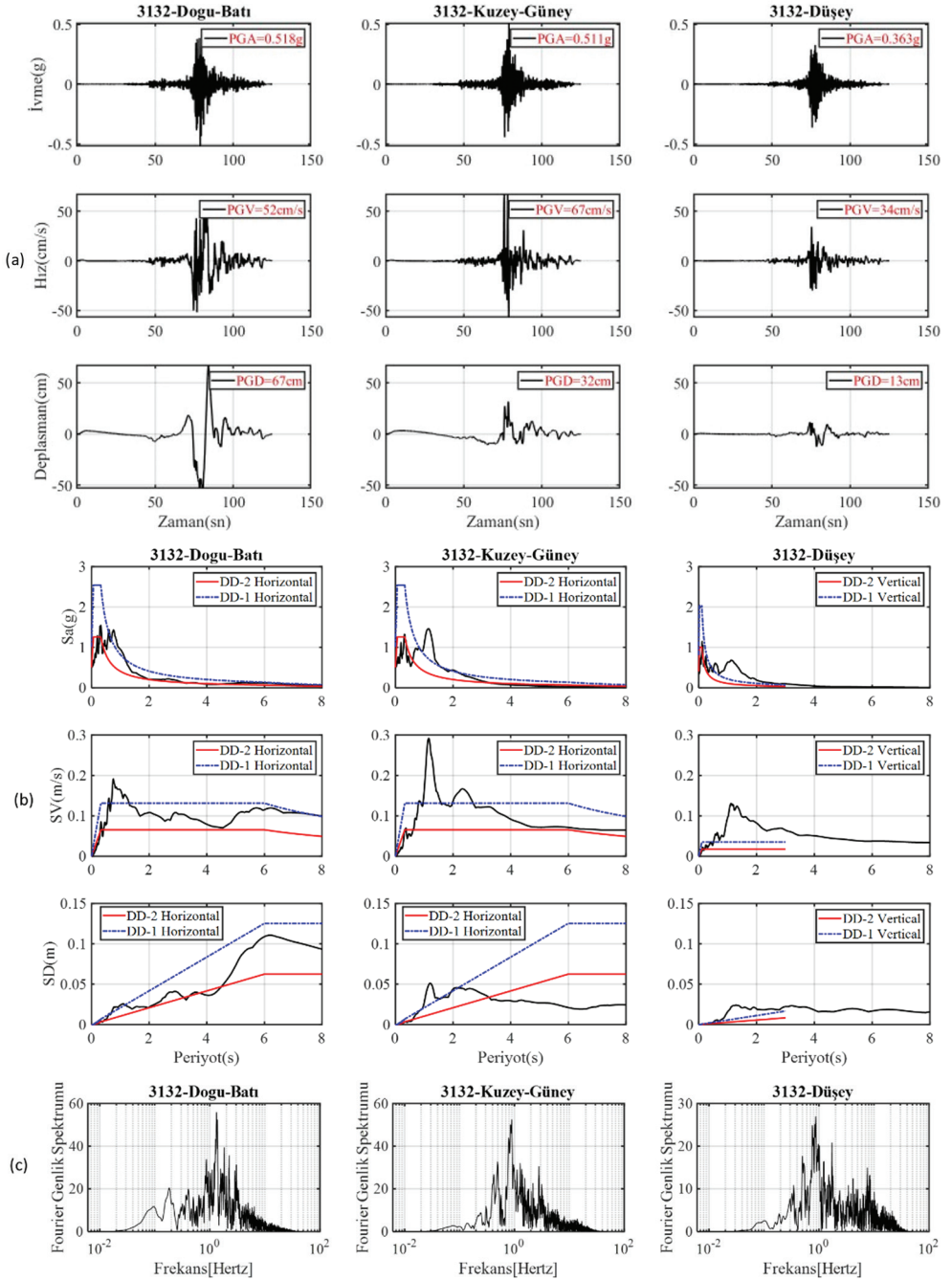
Şekil 10 - 4616 Türkoğlu istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği



Şekil 11 - 3123 Antakya istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği

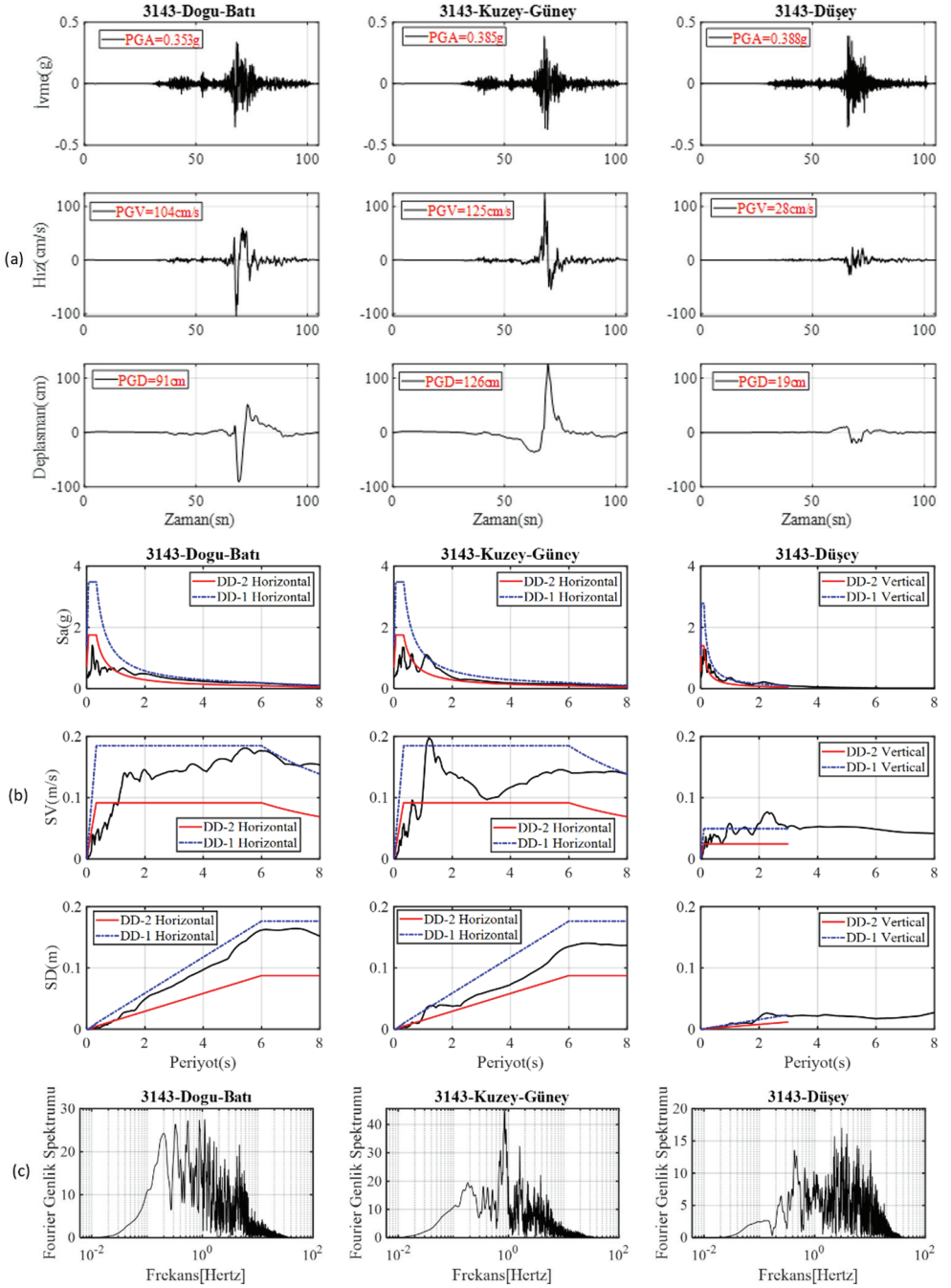


Şekil 12 - 3129 Hatay Defne istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği

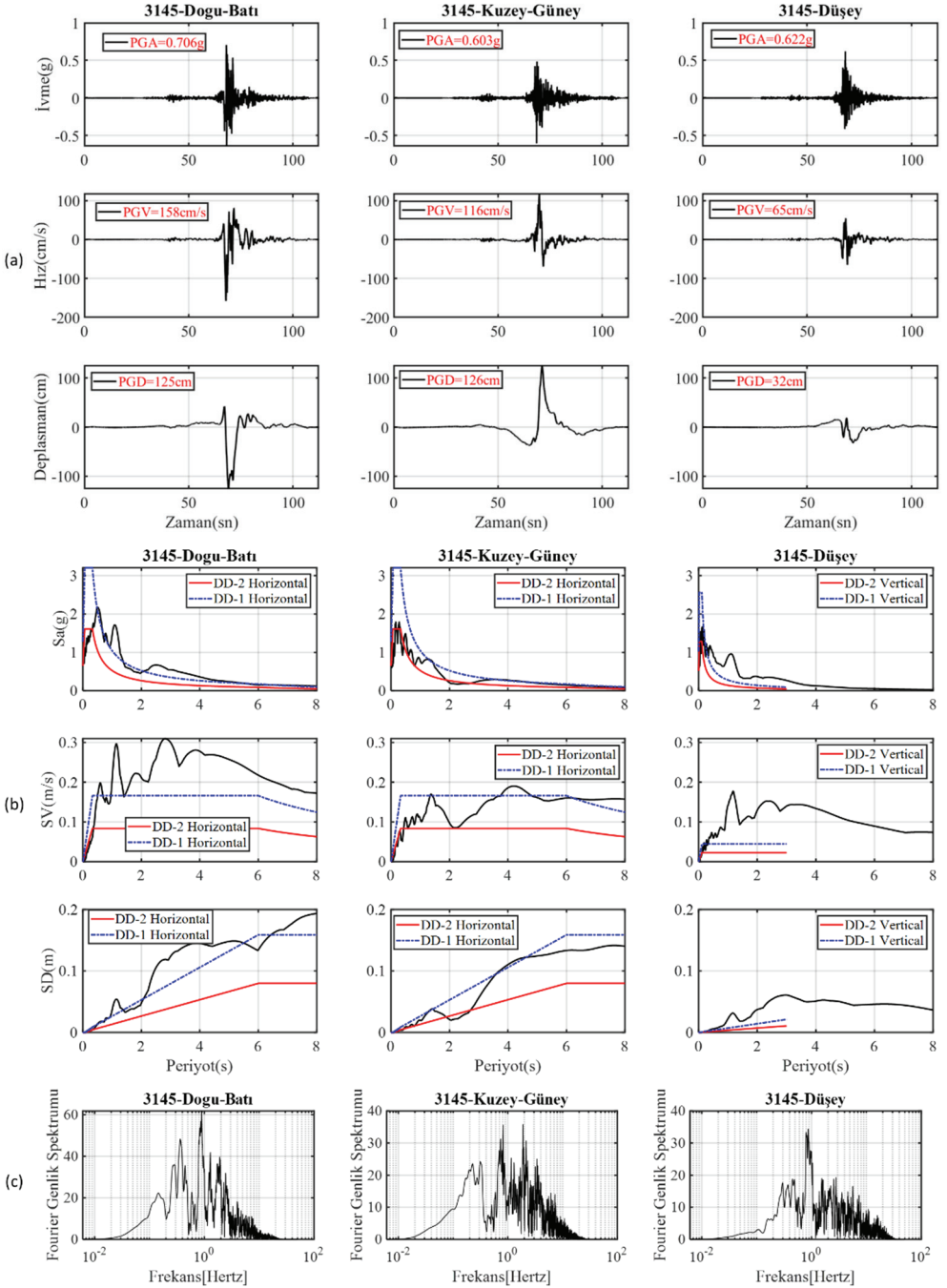


Şekil 13 - 3132 Antakya istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği

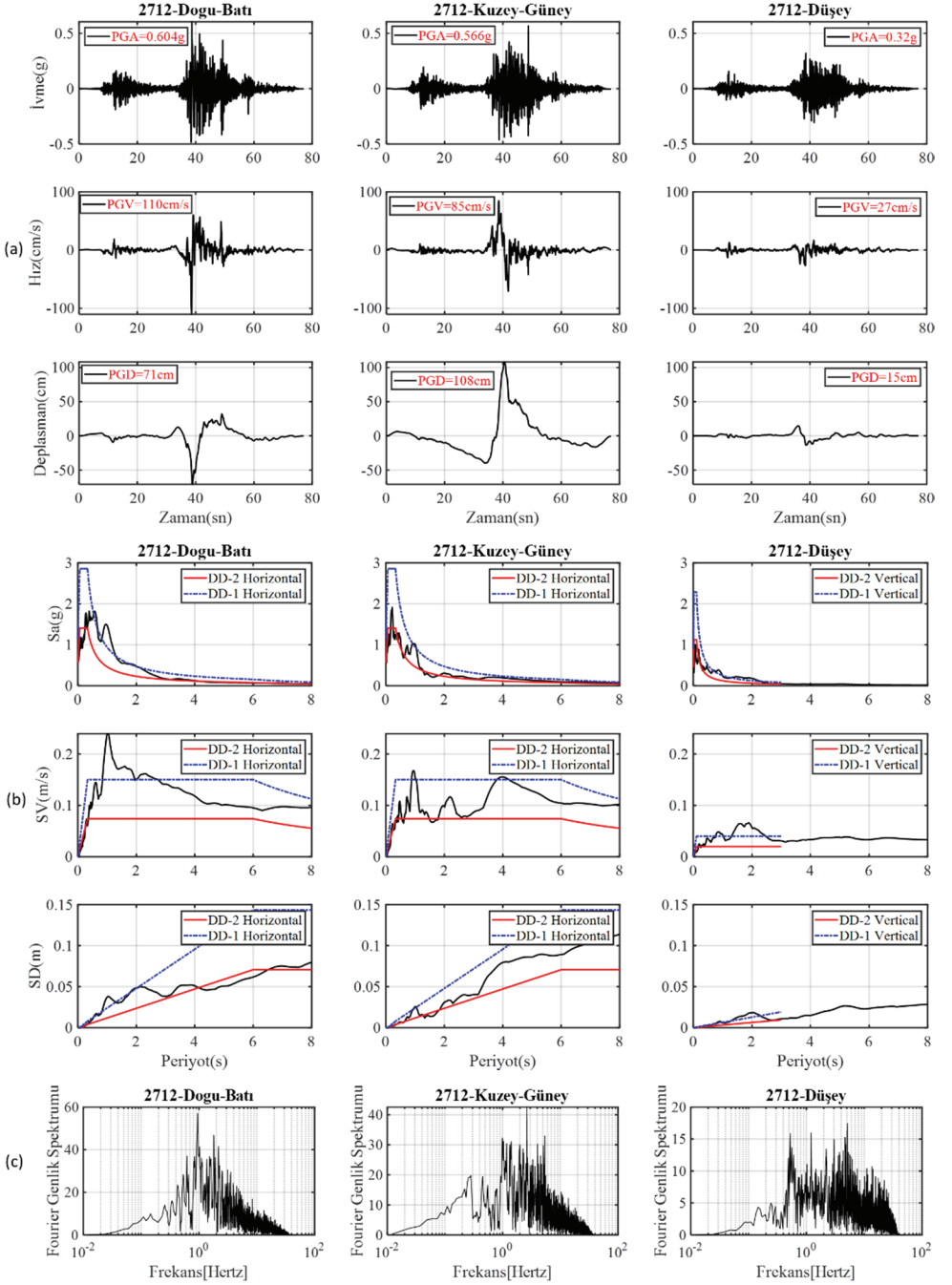




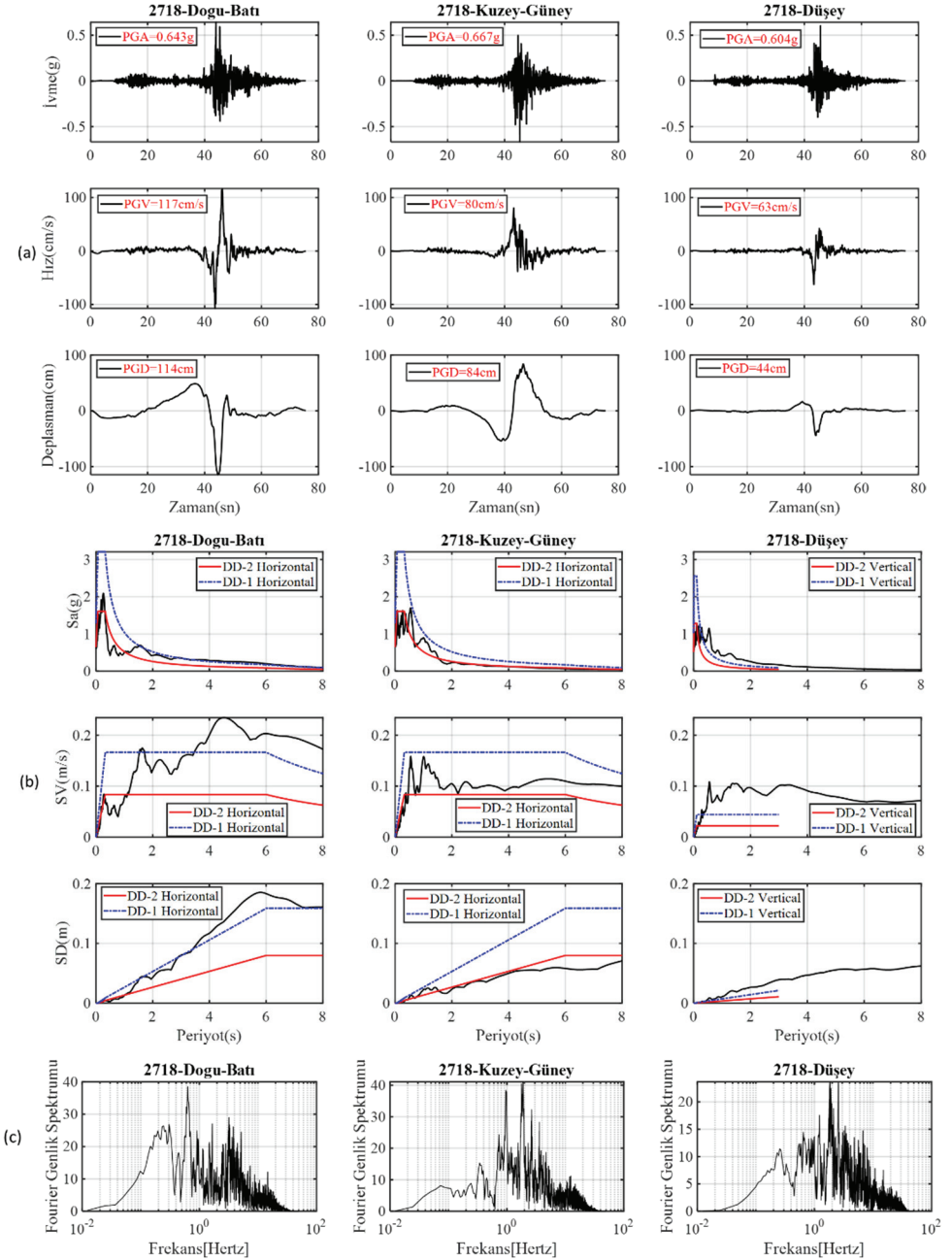
Şekil 14 - 3143 Hassa istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği



Şekil 15 - 3145 Kırıkhan istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği



Şekil 16 - Gaziantep 2712 Nurdağı istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği



Şekil 17 - Gaziantep 2718 İslahiye istasyonu (a) İvme-Hız-Deplasman zaman tarihçesi (b) Sa-Sv-Sd Davranış Spektrumu (c) Frekans içeriği

Çizelge 3 - İncelenen deprem kayıtlarının alındığı istasyonlar için elde edilen Vs30 kayma dalgası hızı, merkez üssüne olan uzaklık ve filtre tipi, mertebesi ve filtreleme bant aralıkları

AFAD Deprem İstasyonu Kodu	Enlem	Boylam	Repi Uzaklık (km)	Filtre Tipi	Mertebe	L-Cut Freq (Hz)	H-Cut Freq (Hz)	Vs30 (m/s)
4615-Doğu-Batı	37.138	37.387	13.83	Butterworth	2	0.026	15.01	484
4615-Kuzey-Güney				Butterworth	2	0.057	13.94	484
4615-Düşey				Butterworth	2	0.045	18.72	484
4616-Doğu-Batı	36.838	37.375	20.54	Butterworth	2	0.025	22.26	390
4616-Kuzey-Güney				Butterworth	2	0.057	19.21	390
4616-Düşey				Butterworth	2	0.070	34.68	390
3123-Doğu-Batı	36.160	36.214	143	Butterworth	1	0.025	40.00	470
3123-Kuzey-Güney				Butterworth	1	0.025	40.00	470
3123-Düşey				Butterworth	1	0.025	40.00	470
3129-Doğu-Batı	36.134	36.191	146.39	Butterworth	2	0.018	23.97	447
3129-Kuzey-Güney				Butterworth	2	0.033	27.79	447
3129-Düşey				Butterworth	2	0.055	34.68	447
3132-Doğu-Batı	36.172	36.207	143.12	Butterworth	1	0.025	40.00	377
3132-Kuzey-Güney				Butterworth	1	0.025	40.00	377
3132-Düşey				Butterworth	1	0.025	40.00	377
3143-Doğu-Batı	36.557	36.849	65.13	Butterworth	1	0.025	40.00	444
3143-Kuzey-Güney				Butterworth	1	0.025	40.00	444
3143-Düşey				Butterworth	1	0.025	40.00	444
3145-Doğu-Batı	36.406	36.645	91.13	Butterworth	2	0.013	20.68	533
3145-Kuzey-Güney				Butterworth	2	0.020	22.82	533
3145-Düşey				Butterworth	2	0.015	30.66	533
2712-Doğu-Batı	36.733	37.184	29.79	Butterworth	2	0.026	35.55	-
2712-Kuzey-Güney				Butterworth	2	0.014	34.68	-
2712-Düşey				Butterworth	2	0.025	35.55	-
2718-Doğu-Batı	36.627	37.008	48.3	Butterworth	2	0.021	34.68	-
2718-Kuzey-Güney				Butterworth	2	0.021	35.55	-
2718-Düşey				Butterworth	2	0.016	37.34	-

6 Şubat 2023 depremleri, çift yönlü yırtılmanın yarattığı yakın saha depremlerinin düşey ivmeler açısından etkileri deprem kayıtlarında kendisini göstermiştir. TBDY-2018 yönetmeliğinde düşey tasarım spektrumu sabit deplasman bölgesinin başladığı kısımdan itibaren değerlendirmeye alınmadığından, düşey yer hareketi ancak tasarım spektrumlarının 3sn değerine kadar çizdirilmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde AFAD 2708 ve 2718 nolu İslahiye kayıtlarında yüksek yatay ivme değerlerinin sırasıyla yaklaşık olarak %90'ı ve %83'üne karşılık gelmektedir. Yüksek düşey yer ivmelerinin olumsuz etkileri bina hasarlarının yanı sıra prekast endüstriyel yapılarda saha incelemelerinde gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen bina tipi yapılar düşünüldüğünde spectral ivme değerleri yardımı ile çizilen tasarım spektrumu ve kayıtların davranış spektrumlarının kıyaslanması ise inşaat mühendisleri için 6 Şubat depremlerinin karmaşık yapısı düşünüldüğünde kısıtlı da olsa önemli bulgular sunmaktadır. Tasarım spektrumu değerlerinin DD-2 ve DD-1 seviyelerinde aşılması yaygın kanının aksine doğru bir plan düzeni ve kapasite spektrum prensiplerine göre tasarlandığında toptan göçmenin ortaya çıkmasının yaşanan kayıplara göre daha az olması gerektiğini işaret etmektedir.

Yerin en büyük hız değeri olarak ifade edilen (PGV) ve en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri TBDY-2018 yönetmeliğinde lokasyon bazlı elde edilmesine rağmen bina tipi yapıların hiçbir tasarım aşamasında kullanılmamaktadır. Bu açıdan yazar güçlü yer hareketi parametreleri arasında yer alan bu iki parametreyi Avrupa deprem yönetmelikleri ve Japon deprem yönetmelikleriyle bir kıyaslama yapılabilmesi amacıyla Çizelge 4'te sunmuştur. Bir

algoritma eşliğinde daha önce paylaşılan PGV tabanlı sarsıntı haritalarında Japon deprem yönetmeliğinde yer alan ikinci deprem seviyesi olarak tanımlanan tasarım depremi değerine ulaştığı görülmektedir[21].

Çizelge 4 - Güçlü yer hareketi parametreleri

İstasyon	Parametre	'PGA(m/s <sup>2</sup> )'	'PGV(cm/s)'	'PGD(cm)'	'Acc. RMS(cm/sec <sup>2</sup> )'	'Arias Intensity(m/sec <sup>2</sup> )'	'Sı(cm)'	'Brack. Duration(sec)'
4615	Doğu-Batı	5.56	131.20	64.60	59.08	5.87	4653.35	32.11
	Kuzey-Güney	5.85	141.10	91.70	57.57	5.57	4475.45	32.11
	Düşey	6.56	75.80	37.40	40.12	2.71	2603.71	32.11
4616	Doğu-Batı	4.29	86.50	73.60	47.10	3.73	3311.96	20.68
	Kuzey-Güney	6.10	95.60	56.40	61.88	6.44	4988.08	20.68
	Düşey	3.88	24.20	13.60	35.38	2.10	2155.83	20.68
3123	Doğu-Batı	5.82	98.70	92.80	61.06	7.46	5333.57	40.85
	Kuzey-Güney	6.52	186.80	63.70	68.03	9.26	6272.72	40.85
	Düşey	8.41	52.40	17.80	48.05	4.62	3724.17	40.85
3129	Doğu-Batı	11.99	75.90	76.50	94.76	17.97	10312.03	29.28
	Kuzey-Güney	13.52	171.30	51.30	111.12	24.71	13095.61	29.28
	Düşey	7.17	42.60	22.40	57.18	6.54	4834.30	29.28
3132	Doğu-Batı	5.08	52.00	67.30	46.59	4.34	3554.91	22.57
	Kuzey-Güney	5.01	67.40	31.70	42.78	3.66	3128.62	22.57
	Düşey	3.56	34.40	12.50	30.25	1.83	1860.17	22.57
3143	Doğu-Batı	3.46	104.40	90.60	38.39	2.48	2437.62	25.72
	Kuzey-Güney	3.78	124.80	125.60	40.06	2.70	2597.51	25.72
	Düşey	3.81	27.70	19.30	31.12	1.63	1779.16	25.72
3145	Doğu-Batı	6.93	157.80	125.40	60.06	6.50	4936.21	40.64
	Kuzey-Güney	5.92	116.50	125.80	45.99	3.81	3307.39	40.64
	Düşey	6.10	65.20	32.00	41.16	3.05	2800.32	40.64
2712	Doğu-Batı	5.93	110.10	70.70	76.62	7.24	5887.46	33.90
	Kuzey-Güney	5.55	84.70	108.00	69.93	6.03	5133.45	33.90
	Düşey	3.14	26.70	14.60	40.44	2.02	2258.04	33.90
2713	Doğu-Batı	6.31	116.80	114.30	59.63	4.30	4000.33	26.05
	Kuzey-Güney	6.54	80.50	83.90	59.47	4.28	3984.74	26.05
	Düşey	5.93	62.80	44.30	42.57	2.19	2413.08	26.05

## 4. BİNA HASARLARINA YÖNELİK YAPILAN GÖZLEMLER

### 4.1. Betonarme Konut Tipi Binalar

Depreme dayanıklı binaların inşa edilmesine yönelik Türkiye’de yürütülen ilk çalışmalar 1939 Mw=7.8 olan Erzincan depremi sonrasında ortaya çıkmıştır. Son yüzyılda Türkiye Cumhuriyeti sınırları içerisinde meydana gelen en büyük depremler arasında yer alan 1939 Erzincan depremi yapıların belirli kurallar çerçevesinde tasarlanması gerekliliğini göstermiş ve hedeflenen amaçların sağlanması için asgari yasal sınırların belirtildiği yönetmelik Erzincan depreminden sonra 1940 yılında yayınlanmıştır. İlerleyen süreçlerde gerekli güncellemeler sonrasında Türk deprem yönetmeliği belirli aralıklar ile güncellenmiştir. Amerika’da bir milat olarak kabul edilen 1971 San Fernando depremi sonrasında gözlemlenen hasarlara yönelik betonarme yapılarda sünek davranış temelli tasarım ilkeleri için uyulması gerekli olan detaylandırma kuralları 1970’li yılların ortalarından başlayarak deprem yönetmelikleri ve ilgili standartlarda yerini almıştır [23]. Deprem yönetmeliklerinin içerikleri bilimsel araştırmalar ve gözlemler ışığında can ve mal kayıplarını azaltılırken, binlerce insanın hayatını kurtarmıştır. 1999 Kocaeli Depremi, 2011 Van Depremi, 2020 Elazığ ve İzmir Bayraklı depremlerinde yaşanan kayıplar ise karar verici mekanizmaya afet yönetimi ve zararların azaltılmasına yönelik alınması gerekli önlemler hakkında doneler

sunmuş ve daha büyük ölçekte yaşanabilecek kayıpların habercisi olmuştur. 6 Şubat 2023 depremleri sadece Türkiye’de değil dünyada etkilediği alan ve göstermiş olduğu karmaşık kaynak özelliklerinden dolayı son 35 yıl içerisinde yaşanan depremlerden farklı özellikler içermektedir.

Ana şok sonrası ortaya çıkan moment büyüklükleri yüksek değerlere sahip artçı depremler, hasar görmüş olan yapıları göçme olasılığı açısından riskli hale getirirken, toptan göçme performans seviyesine veya göçmenin önlenmesi performans seviyesine yaklaştırmıştır. Merkez üssü Kahramanmaraş Elbistan olan Mw=7.6 olan ikinci deprem can ve mal kaybının artışında etkin rol oynamıştır. Çalışmalar kapsamında ilk olarak sırasıyla hasar ve kayıpların yoğun olduğu Gaziantep’e bağlı olan Nurdağ, İslahiye ve Hatay’ın Kırıkhan ve Hassa ilçeleri saha incelemeleri yapmak için ziyaret edilmiştir. Takip edilen günlerde ise İskenderun, Antakya merkez, Gaziantep merkez, Kahramanmaraş’ın Pazarcık ve Kahramanmaraş merkezde incelemelerde bulunulmuştur. Gaziantep’in ilçelerinde yürütülen ilk gün çalışmalarında toptan göçmeye maruz kalan binalarda arama-kurtarma çalışmalarının öncelikli olarak Nurdağı ve İslahiye’de yürütüldüğü gözlemlenmiştir. Gaziantep’e bağlı Nurdağı ilçesinde yapısal sistemlerin benzer hasarlara sahip olduğu gözlenmiş ve kırsal kesimde yer alan az katlı binaların çoğunun mühendislik hizmeti almadığı, usta ve kalfalar tarafından inşa edildiği yerel halk tarafından bildirilmiştir. Bu çalışma kapsamında depremin ilk günlerinde ve sonrasında yazar tarafından çekilen fotoğraflar yardımıyla yapı hasarları irdelenecektir. Depremin ilk günlerinde yapılan saha gözlemleri Gaziantep’in Nurdağ ilçe merkezinde yer alan tekil ve mühendislik servisi almamış olan az katlı binalarda gerçekleştirilmiştir. Aynı bölgede çok katlı yapılarda yapısal ve yapısal olmayan hasarlar belirgin olarak gözlenmiştir. Kırsal kesimde yer alan deprem yönetmeliğinde aranan asgari donatı detayı koşullarını ve eleman boyutlarını yerine getirmeyen binalar toptan göçmeye maruz kalmıştır. Bina stoğunun yaşanmış olması, günümüz modern yönetmeliklerinde yer alan şartları sağlamayan kuvvetli kiriş zayıf kolon yaklaşımları ve kapasite korunumu ilkelerini dikkate almayan sistemler toptan göçmenin ortaya çıkmasına neden olmuştur.



*Şekil 18 - Kırsal kesimde az katlı yapılarda gözlemlenen toptan göçme ve ilçe merkezinde sıklıkla rastlanan ağır hasarlı binalar*

Betonarme yapılarda yer alan dış cephe kaplamaları ve dolgu duvarlar düzlem dışı davranışı nedeniyle deprem sırasında yaralanma, can ve mal kaybına sebep olmuştur. Dolgu duvar hasarları, çatılara montajlanmış su ısıtma sistemlerinin devrilmesinden dolayı cadde kenarlarına park edilmiş araçlar kullanılamaz hale gelerek ekonomik kayıpları arttırmıştır.

Kahramanmaraş Dulkadiroğlu ilçesinde dolgu duvar hasarları dar sokaklarda arama kurtarma faaliyetlerini sekteye uğratmıştır. Depremin ilk günlerinde fotoğraflanan bu durum, elektrik verilemeyen geç saatlerde arama kurtarma faaliyetlerinde ciddi problemler yaratmıştır.



Şekil 19 - Dolgu duvarların düzlem dışı davranışına bağlı yapısal olmayan hasarlar



Şekil 20 - Kahramanmaraş Dulkadiroğlu bölgesinde 2. gün sonunda mevcut durum ve arama-kurtarma faaliyetleri

Doğru bir taşıyıcı sistem düzenlemesinin önemi ve yapısal davranışına hakim yetkin mühendisler tarafından tasarlanan veya güçlendirilen binalar deprem bölgesinde ayakta kalmayı başardığı ve deprem yönetmeliğinde hedeflenen kontrollü hasar performans seviyesini sağlamıştır. Ağır hasarlı veya yıkılan binalar incelendiğinde ise mimari ve ticari kaygılarla doğru bir yapı düzenlemesinden uzak yapısal sistemler görülmüştür. Düşey taşıyıcı elemanlardan kolon ve perde duvarların kat planlarında geliş güzel yerleştirildiği, düzgün bir aks sistemine sahip olmayan sistemler ve kolonların uzun kenarlarının sadece belirli bir yöne doğrultulandırıldığı anlaşılmıştır. Bu durum planda düzensizlik sınıflandırması arasında yer alan burulma düzensizliğini yaratmış ve yapıların ileri seviyede hasar görmesine neden olmuştur. Uzun süre tekrarlı yüklere maruz kalan ve planda düzensizliklere sahip binalarda burulmanın yaratmış olduğu hasarın artışı veya büyüme etkileri çoklu deprem etkisi altında hasar durumunu arttırdığı düşünülmektedir. Bu durum Gemicic[27] tarafından da yapılan bir çalışmada düzgün bir grid sisteme sahip olmayan yapılara dair irdelemelerde de dile getirilmiştir.



Saha gözlemlerinde bu durumun en bariz halini yumuşak kat ve zayıf kat etkilerine bağlı ortaya çıkan yapısal hasarlar olarak belirlenmiştir. Deprem sırasında yassı kadayıf tarzı toptan göçme gösteren binalar detaylı olarak incelendiğinde deneyimli bir mühendislik bakış açısından ziyade taşıyıcı sistemin mimarların tercihleri doğrultusunda şekillendirilmesinin irdelenmesi gerekmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde inşaat mühendislerinin inşaat sektöründe rekabetçi ticari ortamın bir sonucu olarak iş tanımlarının ve mesleki yetkinliklerini projelere yansıtamamalarının altında yatan nedenler karar verici mekanizma tarafından yeniden değerlendirilmelidir.



Şekil 21 - Kahramanmaraş Dulkadiroğlu ilçesinde yumuşak kat hasarı ve toptan göçme sonrası vatandaşlar tarafından yürütülen arama kurtarma faaliyetleri

Kırıkhan ve Hassa'da yürütülen saha ziyaretlerinde bölgede gözlemlenen bina hasarlarının afet bölgesinde hakim olan hasar dağılımına benzer bir eğilim gösterdiği belirlenmiştir. Betonarme binalarda yumuşak kat hasarı dışında farklı tipte taşıyıcı elemanlarda ve dolgu duvarlarda ağır hasarlar gözlemlenmiştir. Sahada yürütülen çalışmalarda toptan göçme sonucu önemli kayıplar yaşanmıştır (Şekil 25a).



Şekil 22 - Hassa bölgesinde (a) toptan göçmeye maruz kalmış bina (b) yumuşak kat hasarı



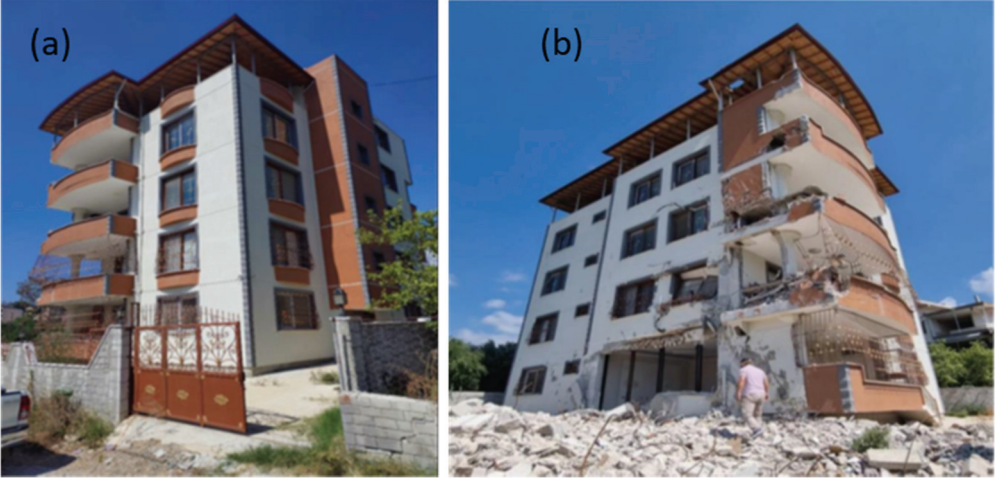
Şekil 23 - Hatay'ın Kırıkhan ilçesinde yumuşak kat hasarı ve binalarda toptan göçme

Kırıkmanda yürütülen saha ziyaretlerde afet bölgesinin genelinde gözlemlenen hasar dağılımına benzer bir dağılımın ortaya çıktığı belirlenmiştir. Betonarme binalarda yumuşak kat hasarı dışında farklı tipte taşıyıcı elemanlarda ve dolgu duvarlarda ağır hasarlar gözlemlenmiştir (Şekil 24).



Şekil 24 - Hatay Kırıkmanda yumuşak kat hasarı ve toptan göçmeye maruz kalan binalar

Hatay'ın Samandağ ilçesinde yazarında içerisinde bulunduğu saha inceleme ekibi tarafından yürütülen detaylı incelemelerde hafif hasarlı olarak sınıflandırılmış yapının yanında yıkılan yapının yaratmış olduğu giriş hasarı Şekil 25'te gösterilmiştir.



Şekil 25 - Samandağ ilçesinde hafif hasarlı binanın (a) ön cephesi ve (b) yan parselde yer alan binanın çarpması sonucu arka cephesinde yapısal elemanlarda oluşan hasarlar



Şekil 26 - (a) Asmolen döşeme hasarı (b) Yapısal düzenleme sonucu oluşan kolon hasarı

Döşemeler düzlem içi davranış açısından yeterli dayanıma sahip olurken deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlara taşınması ve dağıtılmasında önemli rol üstlenen yapısal elemanlardır. Deprem bölgesinde yaygınca kullanım alanı bulan döşeme tipleri arasında yaygın kullanılan asmolen döşemeler yer almaktadır. Asmolen döşemeler zayıf bağlantılara sahip olması yanında kat seviyelerinde yapım tekniğinden dolayı ince 5-7 cm aralığında döşeme kalınlığına sahip ve düzgün yük transferi için gerekli olan yeterli düzlem içi dayanım koşulunu sağlamakta problem yaratan sistemlerdir. Saha gözlemlerinde asmolen döşeme kaynaklı hasarlar yaygınca gözlemlenmiştir. Bölgede yer alan çekirdek perdelerin

kullanıldığı binalarda asmolen döşeme tabir edilen dişli döşemelerin kullanımından dolayı perdelerin çevrelerinde ciddi hasarlar gözlemlenmiştir. Deprem yönetmeliğinde her ne kadar tek doğrultuda çalışan asmolen döşemelerin kullanımı belirli koşullara bağlı olarak sınırlandırılmış olsada iki doğrultulu döşemelerde halen pratikte inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulduğu deprem bölgesinde de gözlemlenmiştir. Asmolen döşemelerde ayrıca dar kolonlara geniş kirişlerin oturtulmasına çalışılmasının yaratmış olduğu olumsuz durumlar gözlemlenmiştir. (Şekil 26). Gaziantep Nurdağ ve İslahiye bölgelerinde döşeme hasarının gözlemlendiği binalarda ayrıca asma katın yaratmış olduğu olumsuzluklar göze çarpmaktadır.

Doğru bir şekilde düzenlenmemiş taşıyıcı sisteme sahip binalarda perdeler ve kolonlar taşıyıcı çerçevelerde geliş güzel olarak yerleştirilmekte ve düzgün bir aks yerleşimine sahip olmayan yapısal sistemler ortaya çıkmaktadır. Ayrıca kolonların uzun kenarlarının genellikle belirli bir doğrultuya baktığı binalarda benzer hasar eğilimleri gözlemlenmiştir (Şekil 26b).

## 4.2. Hastane Hasarları

### 4.2.1. Betonarme Hastane Binaları

Depremden sonra enkaz altından çıkarılan ve depremde yaralanmalar geçiren insanların kurtarılmasında sağlık hizmetlerinin eksiksiz verilmesi ve hastanelerin işlevselliğini koruması sayesinde sağlanabilir. Bu yüzden depreme dayanıklı hastane binalarının tasarımı için bina önem katsayısı konut tipi yapıların bir buçuk katı olarak deprem yönetmeliğinde yer almaktadır.

Yürütülen saha incelemelerinde bölgede bulunan geleneksel yöntemlere göre inşa edilmiş olan Kahramanmaraş, Antakya ve İskenderun illerinde bulunan özel hastanelerin birçoğu ileri seviyede hasar veya göçme bölgesi performans seviyesine ulaşmış olduğu belirlenmiştir. Kahramanmaraş bölgesinde yer alan özel hastanelerden Megapark ve Vatan hastaneleri depremin en kritik saatlerinde almış oldukları yapısal ve yapısal olmayan hasarlardan dolayı kullanılamaz hale gelmiştir (Şekil 27). Okuyucu daha detaylı resimler ve hasar değerlendirmesi için yazarın Hastaneler hakkında yayınlamış olduğu yayınlara başvurabilir. Ağır hasar alan illerden biri olan Kahramanmaraş'ta birçok özel hastane ağır hasar alıp hizmet veremezken tarihsel süreçte şehrin eski yerleşim yerlerinden olan Oniki Şubat ilçesi Mimaroba'da inşa edilmiş olan Kahramanmaraş Necip Fazıl Şehir Hastanesi Kadın Doğum ve Çocuk Ek Hizmet Binası ve Kadın Doğum ve Çocuk Hastalıkları Hastanesi ilk müdahalelerin yapıldığı hastaneler olmuştur

Erzin bölgesinde konut tipi yapılarda afet bölgesi ilan edilen diğer illere göre hasar sınırlı seviyelerde kalmasına rağmen Erzin Devlet Hastanesinde ortaya çıkan yapısal olmayan eleman hasarları hastanenin deprem sonrasında işlevselliğini kaybetmesine neden olmuştur. Geleneksel hastane binaları arasında olan Erzin ve Mustafa Kemal Üniversitesi Araştırma Hastanesinde gözlemlenen yapısal hasar yanında yapısal olmayan hasarlar geleneksel yöntemlere göre tasarlanmış bu iki hastanede işlevselliğin kaybına neden olmuştur. Bu iki hastanede hastalar depremin ilk gününde kurulan sahra hastanesine taşınmışlardır. İşlevsellik kaybına uğramış olan Mustafa Kemal Üniversitesi Araştırma Hastanesi ve Erzin Devlet Hastanesi herhangi bir yıkımın ortaya çıkmamasından dolayı deprem yalıtımlı Hatay Dörtyol Hastanesi ile birlikte acil müdahale anlamında önemli bir yükü üstlenmiştir. Hastanelerde

gözlemlenen yapısal hasarlardan çok yapısal olmayan hasarlar ve çalışanların deprem sonrası içerisinde buldukları psikoloji nedeniyle depremin ilk haftasında hastane personeli sahra hastanelerinde hizmet vermeye devam etmiştir. Erzin Hastanesinde kurulan sahra hastanesi şu anda konteyner hastane olarak bir dönüşüm yaşamıştır (Şekil 28).



Şekil 27 - 6 Şubat Pazarcık depreminden sonra kullanılamaz hale gelen (a) Megapark ve (b) Vatan Hastaneleri



Şekil 28 - Erzin Devlet Hastanesi (Sol) ve Mustafa Kemal Üniversitesi Eğitim Araştırma Hastanesi

#### 4.2.2. Deprem Yalıtımlı Hastane Binaları

Deprem yalıtım sistemleri 1970 yılından bu yana teknolojinin geliştiricilerinden olan ülkeler arasında yer alan Japonya, Amerika, İtalya ve Yeni Zelanda'da yaygın kullanım alanı bulmuştur [28]. Ülkemizde ise son yıllarda kullanımı Sağlık Bakanlığının almış olduğu karar doğrultusunda 100 yatak veya üzeri inşa edilecek hastane binalarında deprem yalıtımının uygulanması şartı ile artış göstermiştir [29]. Deprem yalıtım sistemleri tek bir tip cihazın farklı boyut ve özelliklerde veya birkaç tip farklı yalıtım cihazının birlikte kullanılması ile uygulamada kullanılabilir. Deprem bölgesinde yer alan hastanelerde biri yerli olmak üzere üç farklı üretici tarafından 11 hastane binasında deprem yalıtım teknolojisinin uygulandığı belirlenmiştir. Deprem yalıtımlı hastanelere ziyaretler gerçekleştirilmiştir (Şekil 29). Ziyaret edilen deprem yalıtımlı hastane binarı arasında bazıları inşa aşamasında olan yapılar yer almıştır (Şekil 30). Bölgede meydana gelen depremleri deneyimlemiş bu hastanelerin deprem performansları da incelenmiştir. Tüm hastanelerde sarkaç tipi sürtünmeli deprem yalıtım cihazları kullanılmıştır. Toplamda 10 hastanede sürtünme yüzeyi sayısı iki olan cihazlar kullanılırken sadece Adana Şehir Hastanesinde dört yüzeyli sürtünme tipi sarkaç cihaz kullanılmıştır. Adana Şehir hastanesi bölgede yer alan en çok yatak kapasitesine sahip sağlık tesisidir. Adana'nın diğer afet bölgesinde yer alan Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep'e nispeten daha az etkilenmesinden dolayı ağır hasarın odaklandığı şehirlerden Adana ve Kayseri'ye hasta transferleri gerçekleştirilmiştir.

Malatya Battalgazi, Hatay Dörtüyl ve Elbistan Devlet Hastanesinde kullanılan çift yüzeyli sürtünme tipi sarkaç deprem yalıtım cihazları başarılı uygulamaları ile hasarın kozmetik seviyelerde kalmasına neden olmuştur (Şekil 31). Fakat Doğanşehir ve Malatya Kadın Doğum Hastanelerinde yeterli sismik boşluğun sağlanmamasından dolayı binalarda yapısal olmayan hasarlar ortaya çıkmıştır.



Şekil 29 - Afet Bölgesi ilan edilen illerde ziyaret edilen deprem yalıtımlı hastanelerin yerleri ve ana şok olarak tanımlanan Şubat 2023 depremlerine göre haritalandırılması



Şekil 30 - Kahramanmaraş ilinde inşası devam eden deprem yalıtımlı hastane binasının inşaa süreci( Fotoğraflar TIS firması izniyle firmanın proje kataloglarından ve uydu görüntülerinden alınmıştır)



Şekil 31 - Malatya Battal Gazi(Sol), Hatay Dörtüyl (TIS firmasının izni ile resimler proje) ve Elbistan Devlet Hastanesi (Drone resimleri Kahramanmaraş Valiliğinin izni ile websitesinden alınarak kullanılmıştır)

### 4.3. Tescilli Kültür Varlığı Statüsünde Yapılarda Ortaya Çıkan Hasarlar

Gaziantep kalesi depremin ilk gününde konumundan dolayı hasar durumu kolaylıkla gözlemsel olarak tespit edilen kültür varlıklarından bir tanesi olmuştur. Yerel halk ile yürütülen görüşmelerde hasarın ağırlıklı olarak restorasyon ve yenileme çalışmaları yapılan bölgelerde ortaya çıktığı belirlenmiştir (Şekil 32).



Şekil 32 - Gaziantep Kalesi depremlerden sonra yaşanan hasarlar

Hatay ili sınırları içerisinde geçmişten günümüze tarihe ışık tutan bir çok tescilli ve Kültür Bakanlığı tarafından tescil edilmeyi bekleyen birçok yapı depremde ağır hasar görmüştür. Kültür varlıkları ile ilgili Hatay'da hasarın yoğunlaştığı bölgelerden bir tanesi Kurtuluş

Caddesidir. Kurtuluş Caddesinde ana yol dışında arka sokaklara erişim yığma binaların toptan göçmesinden dolayı sağlanamamıştır (Şekil 33).



Şekil 33 - Antakya Kurtuluş Caddesinde tescilli kültür varlıklarında yığma yapı hasarları

#### 4.4. İbadethanelerde Gözlemlenen Hasarlar

Birçok depremde gözlemlendiği gibi narin yapısal sistemler olan cami minareleri ve taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yığma duvarlar hasarları depremlerin ve artçıların büyüklüklerinin etkisi ile Hatay Hassa, Kahramanmaraş ve Gaziantep illeri sınırlarında ibadethanelerde gözlemlenmiştir (Şekil 34).



Şekil 34 - İbadethanelerde gözlemlenen taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan yığma duvar hasarları



#### 4.5. Ulaştırma Ağlarında Ortaya Çıkan Hasarlar

Deprem bölgelerinde acil müdahalenin yapılabilmesi için şehirler arasında bağlantı yolları ve köprüler afet bölgesi için şehirlerin can damarlarını oluşturmaktadır. Depremi ilk günlerinde üst geçit olarak kullanılacak köprü tabliyesinin yolu kapatması ve karayollarında deprem sonrasında oluşan hasarlardan dolayı ulaşımda aksamalar meydana gelmiştir (Şekil 35).



Şekil 35 - Karayollarında depremin ilk günlerinde ortaya çıkan deprem hasarı

#### 4.6. Deprem Sonrası Yapılan Geoteknik Değerlendirmeler

Sıvılaşma Adıyaman Gölbaşı ve Hatay'ın İskender'un ilçesinde özellikle Atatürk Bulvarı ve Çay mahallelerinde kum kaynamaları şeklinde gözlemlenmiştir. Limanda ayrıca gözlemlenen su taşkını, boru hatlarında yaşanan önemli hasarlarda alt yapı hizmetleri ile ilgili kesintiler ve salgın hastalık riski yaratmıştır. Adıyaman Gölbaşında yerel zemin koşulları nedeni ile yaşanan yapı temellerinde rijit dönmeler nedeni ile ortaya çıkan bina hasarları göze çarpmaktadır. Bölgede yer alan Kayı Apartmanında gözlemlenen rijit dönme nedeni ile diğer bir binanın üzerine yatması ile 6 Şubat deprem çiftinin yaşandığı bölgede geoteknik açıdan önemli sembol bina hasarlarından olmuştur (Şekil 36). Bölgede yer alan binalarda dikkatli incelemeler ve ölçümler ışığında birçok binada zemin kaynaklı dönme ve oturmalara bağlı hasarların ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Yan yatan ve ağır hasarlı binaların yıkım işlemleri Adıyaman Gölbaşı bölgesinde bu çalışma yayın sürecindeyken devam etmektedir.

İskenderun Bölgesinde liman tarafında yaşanan su taşkını ve yerel zemin koşulları nedeni ile kanalizasyon sisteminde ortaya çıkan hasarla kanalizasyon atıklarının suya karışmasının olumsuz etkileri gözlemlenmiştir (Şekil 37).



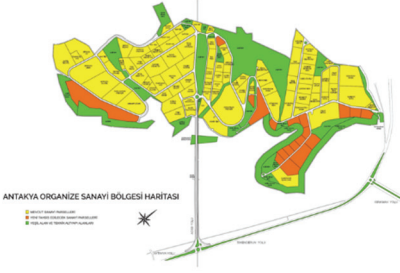
Şekil 36 - Adıyaman ilinde yerel zemin koşullarına bağlı ortaya çıkan hasar ve oturmalar(Anadolu Ajansı)



Şekil 37 - İskenderun'da konteyner bölgesindeki başlayan yangın ve İskenderun limanında oluşan su taşkını

#### 4.7. Endüstriyel Yapı Tesislerinde Gözlemlenen Hasarlar

Deprem sonrasında bölgede yer alan endüstriyel tesisler belirli bir süre ile çalışanlarının veya çalışan yakınlarının kaybından dolayı Antakya ve Kahramanmaraş Organize Sanayi bölgelerinde üretime ara vermek zorunda kalmıştır. Çelik yapı sistemlerinde Antakya (Şekil 38). Yapısal hasar dışında yapısal olmayan ekipmanın hasar gördüğü ve fabrikanın ekipman kaynaklı üretime ara verildiği tespit edilmiştir. Kuru tahıl siloları ve sıvı yağ silolarına sahip firmalarda depolama tanklarında görülen farklı tipte hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 39).



Şekil 38 - Antakya OSB içerisinde yapısal sistemi çelik olan hasarsız üretim tesisi ve depremden elemanları hasar almış olan precast endüstriyel tesis



Şekil 39 - Endüstriyel tesislerde silolar ve precast elemanlarda gözlemlenen deprem hasarları

## 5. SONUÇ

Türkiye depremselliğinin yüksek olduğu bir coğrafyada yer almasından dolayı 1939'dan bu yana yaşamış olduğu büyük depremlerde önemli kayıplar yaşayan bir ülkedir. Bir deprem ülkesi olmanın sorumluluğu ile doğru tasarım ve denetim mekanizmalarından geçmiş depreme dayanıklı yapıların bu coğrafyada inşa edilmesi bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Merkez üssü Pazarcık ve Elbistan olan ve ardı sıra meydana gelen depremlerin ortaya çıkardığı deprem senaryosu, bugüne kadar üzerinde çalışılmış tehlike çalışmalarına göre beklenen depremin üzerinde bir büyüklükte ve karmaşık kaynak özelliklerinde meydana gelerek büyük can ve mal kayıpları ile sonuçlanmıştır.

- Yapısal tasarımda mimari ve ticari kaygılarla, mühendislik öngörüsünden uzak sadece program çıktılarından ve deprem yönetmeliği şartlarını tam anlamıyla anlamadan hareket eden, mühendislik muhakemesinden uzak yapısal tasarımlara odaklanmak, depreme dayanıklı yapı tasarımı ilkelerini gözardı edilmesine ve projelerin yetkin olmayan mühendisler tarafından yapılmasına neden olmuştur.
- Gelişmiş ülkelerde uygulanan yetkin mühendislik yasasının eksikliği ve denetim mekanizmasında yaşanan sorunlar bölgede inşa edilmiş olan binaların statik ve mimari projelerinde gün yüzüne çıkmıştır.
- 6 Şubat depremlerinde beklenenin üzerinde can kayıpları ve yapı hasarlarının ortaya çıkması gerçek bir laboratuvar olarak işlevselliğe sahip deprem bölgesinde önemli dersler çıkarılmasını sağlamıştır. Ortaya çıkan hasarlar kaynak özellikleri, enerjinin yayılımı, yapısal sistem sorunları, yerel zemin koşulları gibi birçok etkinin bir araya gelmesi ile yapıların toptan göçmesine veya ileri hasar seviyelerine ulaşmasına neden olmuştur.
- 6 Şubat 2023 depremlerinde yaşanan acı kayıplar ayrıca şehir planlanması, yapısal sistem tasarımında mimarlar ve mühendislerin iletişimi, projelerin inşa sürecinde bu iki meslek grubunun etkilerini, sahada denetim süreci ve onay aşamasının da içinde bulunduğu tüm paydaşların rollerinin karar verici mekanizma tarafından yeniden değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir.
- Bu çalışma kapsamında yapısal sistem hasarları incelendiğinde yönsellik, atım, deprem kaydının içerdiği itkiler, depremin süresi, betonarme binalarda basit detaylandırma problemleri, düşük kaliteli malzeme kullanımı, denetim ve lisanslama problemleri olarak özetlenebilir.
- 6 Şubat depremleri kaynak özellikleri ile yüzlerce istasyondan alınan deprem kayıtları yardımıyla dünya literatürüne önemli katkılarda bulunurken, çoklu fay kırılması, çoklu deprem etkisi ve tek depreme göre yürütülen sünek tasarım ilkelerinin bölgesel bazda değerlendirilmesi gerçeğini ve spektral parametreler dışında hızın dinamik davranışa katkısının parametrik etkilerinin ilişkilendirilmesi açısından mühendislik camiasına önemli soruları gündeme taşımıştır.
- 6 Şubat deprem çifti ve sonrasında bölgede yaşanan sismik aktivitede deprem yalıtımlı hastaneler geleneksel binalara göre uygulama hatalarına rağmen üstün performans göstererek pasif kontrol sistemleri anlamında toplumun artan ilgisi ile daha güvenli ve depremlere dirençli bir yapıya erişilmesinde etkin rol oynayabileceğini kanıtlamıştır. Bölgede toplamda 11 deprem yalıtımlı hastane, saha incelemeleri sırasında ziyaret edilmiştir. Deprem yalıtımlı hastane binalarında yalıtım sisteminden bağımsız olarak sahada yapılan uygulama hatalarından dolayı yapısal olmayan elemanlarda hasarlar gözlemlenmiştir. Yapısal olmayan hasarlar deprem yalıtımlı hastanelerin deprem sırasında en çok ihtiyaç duyulan zamanda tam kapasite çalışmasının önünde bir engel yaratarak, işlevsellik kaybına neden olmuştur.
- Güçlü yer hareketi istasyonlarında kaydedilen Kahramanmaraş depremlerinden elde edilen yer hareketleri çift yönlü yırtılmanın yaratmış olduğu oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından elde edilen tasarım spektrumu ve 6 Şubat depremlerinde 200'ün üzerinde AFAD istasyonunda kayıt altına alınan ivme

kayıtlarıyla davranış spektrumları kıyaslandığında spektrumun sabit hız bölgelerinde pratikte kayıt seçiminde beklenen yatay ivmelerin 2/3 katının üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Yer hareketi kayıtlarının itki içeriği ve yüksek değerlere sahip düşey bileşenleri hasarın artmasında ve hasarlı binaların yıkılmasında etkin rol oynamıştır.

## **Teşekkür**

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde farklı zamanlarda saha gezilerinde fikir alışverişinde bulunulan Japon araştırmacılarından Doç. Dr. Masahiro Kurata, Doç. Dr. Takuya Nagae, Prof. Yoshiaki Hisada, kıdemli araştırmacı Dr. Hirohisa Fukui, Azusa Sekkei Şef Mühendisi Mr. Kobayashi, Güney Kore takım lideri Prof. Sang-Hoon Oh, Kore saha gözlem ekibinden Prof. Jun Hee Kim, Prof. Jaebong Kim, Prof. Jaehyoun Choi, ve kıdemli araştırmacı Dr. Jaedo Kang'a, Taiwan takımının liderliğini yürüten Prof. George Yao, Prof. Jong-Dar Yau, Dr. Chung Hsien Shih, Dr. Peng Kuang Tsung ve Dr. Lin Yu-Chun'a teşekkürü borç bilirim. Depremden sonra hızlı bir aksiyon alınmasında ve depremin kritik ilk günlerinde yardımlarını esirgemeyen Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörlüğüne şükranlarımı sunarım. Çalışmanın içeriğinin oluşturulmasında afet bölgesinde yer alan deprem yalıtımlı hastaneler ile ilgili bilgi paylaşımında bulunan yerli üreticilerden TİS firmasının genel müdürü Yüksek Mühendis Uğurcan Özçamur ve Proje Şefi Dr. Mühendis Sadun Tanışer'e ve İtalyan Deprem Yalıtım tedarikçisi FIP firmasının Türkiye temsilcisi Yüksek Mühendis Mircan Kaya'ya, saha gezilerinde bana eşlik eden, ekiplerin koordinasyonunda desteklerini esirgemeyen Dr. Öğretim Görevlisi Serhat Ulubay, Araştırma Görevlisi Yüksek Mimar Gamze Özmertyurt, İnşaat Mühendisi Şeçkin Baş ve Yüksek Mühendis Yaren Birşen'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

## **Kaynakça**

- [1] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) (2023) 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu
- [2] Strateji, TC Cumhurbaşkanlığı, and Bütçe Başkanlığı. "Kahramanmaraş ve Hatay depremleri raporu." (2023).
- [3] Atlas HGM (2023) General Directorate of Mapping <https://atlas.harita.gov.tr/>. Accessed multiple times between 7 to 20 February 2023
- [4] Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu. TUBİTAK, Proje no. TBAG 341, İstanbul, 86.
- [5] Duman, T.Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics Geological Society, London, Special Publications, 372, 495-529, 615 s.
- [6] KRDAE, 2023. Kahramanmaraş - Gaziantep Türkiye M7.7 Earthquake, 6 February 2023 (04:17 GMT+03:00) Strong Ground Motion and Building Damage Estimations Preliminary Report (v6), 42.

- [7] Arpat, E. ve Şaroğlu, F., (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü. Ankara ss:44-50
- [8] Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., Çan, T., 2016. Active Fault Database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-47.
- [9] Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications. Ankara, Serial Number, 13, 359.
- [10] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, I., 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey. Ann. Tecton.6, 99–125.
- [11] Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zone of tectonic escape: Turkey as a case study. In: 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.
- [12] Barka A, Reilinger R (1997) Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data.
- [13] Ambraseys, N.N., 1989. Temporary seismic, quiescence: SE Turkey. Geophys. J.96, 311–331.
- [14] Ambraseys, N.N. and Melville, C.P., 1995. Historical evidence of faulting in eastern Anatolia and northern Syria, Ann. Geophys. 38(3–4), 337–343.
- [15] Ambraseys, N.N., 2004. The 12th century seismic paroxysm in the Middle East: a historical perspective. Annals of Geophysics, Vol. 47, N. 2, 1-26.
- [16] Arpat, E., Şaroğlu, F., 1975. Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar. TJK Bül.18, 91–101.
- [17] Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A., (2007). Lake Hazar Basin: a Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences Vol.16, 2007, pp. 1- TÜBİTAK
- [18] Hussain, E., Kalaycıoğlu, S., Milliner, C.W.D. et al. Preconditioning the 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) earthquake disaster. Nat Rev Earth Environ 4, 287–289 (2023). <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00411-2>
- [19] AFAD Deprem Kataloğu (2013-Günümüz), T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü, Deprem Dairesi Başkanlığı, Çevrimiçi Deprem Kataloğu, <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>.
- [20] Worden, C.B., E. M. Thompson, M. Hearne, and D.J. Wald (2020). ShakeMap Manual Online: technical manual, user's guide, and software guide, U. S. Geological Survey. <http://cbworden.github.io/shakemap/>.DOI: <https://doi.org/10.5066/F7D21VPQ>
- [20] Hancılar, U., C.Tüzün, C.Yenidoğan, M.Erdik, 2010. ELER Software-A new tool for urban loss assessment, Natural Hazards and Earth System Sciences, December 2010

- [21] Yenidogan, C.; Yokoyama, R.; Nagae, T.; Tahara, K.; Tosauchi, Y.; Kajiwara, K.; Ghannoum, W. Shake table test of a full-scale four-story reinforced concrete structure and numerical representation of overall response with modified IMK model. *Bull. Earthq. Eng.* 2018, 16.
- [22] İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye bina deprem yönetmeliği, TBDY-2018, Ankara, 2018.
- [23] Bertero, V. V., Mahin, S. A., & Herrera, R. A. (1978). Aseismic design implications of near-fault San Fernando earthquake records. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 6(1), 31-42.
- [24] Park, Y. J., Ang, A. S., & Wen, Y. K. (1984). Seismic damage analysis and damage-limiting design of RC buildings. *Civil Engineering Studies SRS-516*.
- [25] Bertero, Vitelmo V. "Lessons learned from recent earthquakes and research and implications for earthquake-resistant design of building structures in the United States." *Earthquake spectra* 2, no. 4 (1986): 825-858.
- [26] Park, Young-Ji, AH-S. Ang, and Yi-Kwei Wen. "Seismic damage analysis and damage-limiting design of RC buildings." *Civil Engineering Studies SRS-516* (1984).
- [27] Gemici B (2019) Investigation of the effect of structural grid discontinuity on the earthquake behavior of midrise RC moment frames. Master of Science Thesis. Izmir Institute of Technology (IYTE), Izmir, Turkey
- [28] Yenidogan, C., & Erdik, M. (2016). A comparative evaluation of design provisions for seismically isolated buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 90, 265-286.
- [29] Yenidogan, C., 2021. Earthquake-resilient design of seismically isolated buildings: A review of technology. *Vibration*, 4(3), 602-647.
- [30] Yenidogan, C. Karma Deprem Yalıtım Sistemlerinin Deneysel Performans Değerlendirmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(69), 767-779

