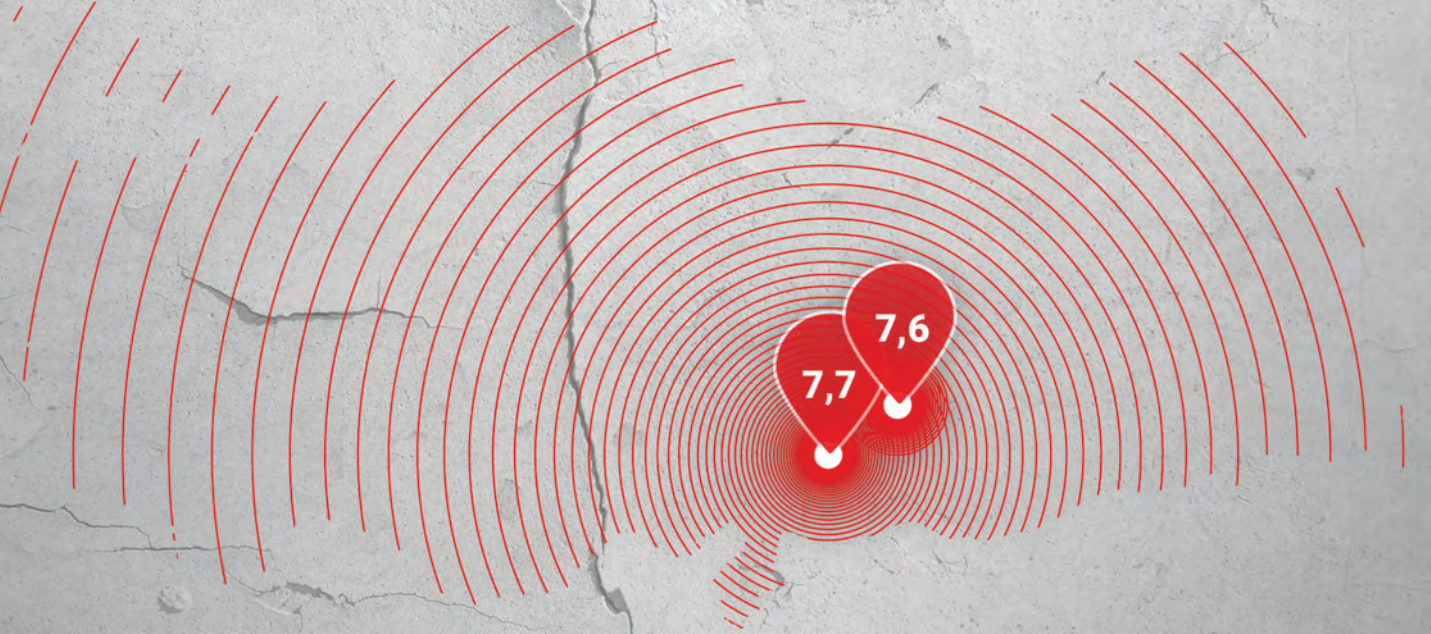


06 ŞUBAT 2023

KAHRAMANMARAŞ (PAZARCIK $M_w = 7.7$ VE ELBİSTAN $M_w = 7.6$)

DEPREMLERİ VE ARTÇILARINI, SAHA GÖZLEMLERİNİ, YAPISAL HASARLARI
VE İLERİYE YÖNELİK ÖNERİLERİ İÇEREN

DEĞERLENDİRME RAPORU



ÖNSÖZ

Yer kabuğunda bulunan fay hatları boyunca tektonik plakaların ani kırılması sonucu meydana gelen depremler, öncesinde risklerin azaltılmaması nedeniyle büyük afetlere dönüşmektedir. Kelimenin tam anlamıyla bir deprem ülkesi olan Türkiye’de her geçen gün çeşitli büyüklüklerdeki depremler yaşanmaktadır. 6 Şubat 2023 günü Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde 9 saat arayla meydana gelen iki büyük deprem Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde bulunan 11 ilimizi doğrudan etkilemiş ve çok sayıda can ve mal kaybına neden olarak tüm ülkeyi yasa boğmuştur. Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüklerinde meydana gelen bu deprem çiftinin merkez üssü Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olarak kayıtlara geçmiştir. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı’nın verilerine göre, “asrın felaketi” olarak adlandırılan bu depremlerin ülkemize maliyetinin yaklaşık 103.6 milyar dolar ile Türkiye’nin 2023 yılı milli gelir beklentisinin yüzde dokuzuna denk geldiği ve 1999 Marmara Depremi’nden yaklaşık 6 kat daha fazla maddi hasar ve kayıplara neden olduğu raporlanmıştır.

Depremlerin oluşmasını takiben Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İçişleri Bakanlığı, Adalet Bakanlığı, yerel yönetimler, TÜBİTAK, üniversitelerden ve sivil toplum kuruluşlarından deprem bölgesine intikal eden ekipler; arama kurtarma faaliyetleri, hızlı hasar tespit çalışmaları, ruhsatlı binaların durumuna ilişkin gözlemsel değerlendirme raporlarının hazırlanması, yüzey faylanması araştırmaları, geoteknik araştırmalar, ikincil afetlerin etkilerinin incelenmesi, yıkılan veya hasar gören binalarla ilgili delil toplama çalışmaları, psikolojik destek çalışmaları, güvenlik önlemleri vb. çalışmalara imza atmış ve atmaya devam etmektedirler. Yaşanan bu deprem çifti ardından ortaya çıkan en çarpıcı gerçek, özellikle yer seçimi, yapı teknolojisi ve yapı tasarımı anlamında geçmişte yaşanan depremlerin ardından acı tecrübelerle uzmanlar tarafından tespiti yapılan hataların birçoğunun günümüzde devam etmesidir. Bu depremler bir kez daha göstermiştir ki, özellikle 2000 yılı öncesi yapılan bina stoğu ülkemizde yaşanması muhtemel depremlerde riskleri oldukça artırmaktadır. Risk taşıyan eski ve yeni binalarda yerel yönetimler ve halkın el ele vererek onarım ve güçlendirme, yerinde dönüşüm veya kentsel dönüşüm seçeneklerinin acil bir biçimde hayata geçirilmesi gerektiği artık yadsınamaz bir gerçektir. Bunun yanında, yaşanacak olası depremler sonrası hemen kullanılması gereken okul binaları, hastaneler, ibadethaneler, spor tesisleri gibi kamu binalarının beklenen performans seviyesini sağlayamamaları kısa vadede alınacak hizmetlerin aksamasına neden olmaktadır. Yaşanan Kahramanmaraş depremlerinin 108.812 km²’lik bir alanda etkili olması nedeniyle bölgeye ulaştırılması gereken yardımların kara ve demir yollarında meydana gelen hasarlar nedeniyle aksadığı ve bu altyapıların bakım-onarımları tamamlanıncaya kadar bölgesel gecikmeler yaşandığı gözlemlenmiştir. Deprem sonrası çığ, heyelan, kaya düşmesi, taşkın, yangın vb. ikincil afetlerin tetiklendiği ve birçok vatandaşın bu afetlerden etkilendiği tecrübe edilmiştir. Bu nedenle, afet öncesi, afet anı ve afet sonrası yapılması gerekenler ile alınacak tedbirlerin önemi ve bu konudaki aksiyonların yediden yetmişe el birliği ile alınması gerektiği bir kez daha gözler önüne serilmiştir. Bu kapsamda risk azaltma faaliyetleri için ivedi olarak depreme dirençli şehirlerin oluşturulması konusunda yerel yönetimler ile halkın iş birliği yapmasının önemi yanında, kamu kurumları ile üniversitelerin farklı bölümlerinin birlikte çalışması gerekliliği unutulmamalıdır.

Bu rapor, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Düzce Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Cumhuriyet Üniversitesi ve Giresun Üniversitesi bünyesinde bulunan öğretim üyelerinin 9 Şubat 2023 – 19 Mart 2023 tarihleri arasında sahada yapmış oldukları zemin incelemeleri ve hasar tespit çalışmalarından elde edilen izlenimlerini/değerlendirmelerini içermekte olup böyle afetlerin bir daha yaşanmaması adına gönüllülük esasına dayalı, özveriyle yürütülen araştırmaların ve akademik çalışmaların bir ürünüdür.

PREFACE

Earthquakes are the most frequent natural occurrences in Turkey, making the whole country one of the most significant earthquake-prone countries in the world. Large earthquakes, caused by the sudden release of energy in the Earth's crust due to the relative movement of tectonic plates along fault lines, turn into major disasters if risk reduction measures are not implemented beforehand. On February 6, 2023, two major earthquakes occurred on the Eastern Anatolian Fault Line, with a 9-hour interval between them. These earthquakes strongly affected 11 cities scattered in the Eastern and Southeastern Anatolia regions and caused significant loss of life and property. The overall picture encountered in the earthquake-hit zone shocked and deeply saddened the entire country and the world. The epicenter of these earthquakes, which had moment magnitudes of 7.7 and 7.6, was recorded as the districts of Pazarcık and Elbistan in Kahramanmaraş city. According to data from the Republic of Turkey Ministry of Treasury and Finance, the cost of these earthquakes, which have been dubbed the "Disaster of the Century" for the whole country, is approximately 103.6 billion dollars, equivalent to 9 percent of Turkey's expected national income in 2023, and is roughly six times more than the damage and loss reported in the 1999 Kocaeli (Marmara) Earthquake.

Following the M7.7 and M7.6 earthquakes, teams from the Ministry of Environment, Urbanization, and Climate Change, the Ministry of Interior, the Ministry of Justice, local administrations, the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Universities, and non-governmental organizations were sent to the affected areas to conduct search and rescue activities, rapid damage assessment studies, preparation of observational assessment reports on the condition of licensed buildings, investigations for delineation of the surface faulting, geotechnical investigations, examination of the effects of secondary disasters, fishing expedition/evidence collection from destroyed or strongly damaged buildings, rapid psychological supportive facilities, security measures, and more. All the teams, as mentioned earlier, have either already completed some of these tasks or continue working on others. The most striking fact that emerged after these recent earthquakes, particularly in terms of location selection for the settlements, employed building technology, and adopted building design, is that a great majority of the mistakes and faults observed during the initial reconnaissance efforts are still being made, all of which were already identified previously by experts following previous earthquakes that caused similar losses. These earthquake doublets have once again highlighted that Turkey's building stock, especially those built before the year 2000, significantly increases the risk of loss of life and property in the event of future large earthquakes in the country. It is undeniable that local administrations and the public must take urgent action to implement repairs, strengthening measures, on-site transformations, or urban transformations to mitigate the risks posed by the old and new buildings at risk. In addition, the failure of public buildings such as schools, hospitals, places of worship, and sports centers, which should unarguably be used in the aftermath of possible earthquakes immediately, thereby not providing the expected performance level, causes disruptions in services to be received in the short term of the disasters, which is vital for the emergency responses. Since the earthquake doublet hit Kahramanmaraş and affected an area of 108,812 km², it was observed that initial aid delivery to the region was delayed due to damages to the roads and railways. There were some regional delays until the maintenance and repair of these infrastructures got completed. It has been experienced in the field that secondary disasters such as avalanches, landslides, rockfalls, floods, fires, etc., were triggered due to the earthquake excitation, and many citizens were affected by these disasters. For this reason, it is important to emphasize the importance of measures to be taken before, during, and after a disaster and that such actions should involve people of all ages. Within this framework, it should not be forgotten that different departments of governmental bodies and Universities should work together, as well as the importance of cooperation

between local administrations and the public, particularly in creating earthquake-resistant cities for risk reduction activities.

This report presents the evaluations and impressions of the faculty members from Karadeniz Technical University, Düzce University, Sakarya University, Sakarya University of Applied Sciences, Cumhuriyet University, and Giresun University. The evaluations were obtained from the field reconnaissance and rapid damage assessment studies conducted between February 9, 2023, and March 19, 2023. This report is a result of research and academic studies carried out voluntarily to prevent such disasters from occurring again.

TEŞEKKÜR

Unutulmamalıdır ki yaşanan afetler sonrası yürütülen tüm faaliyetler Ülkemizin güzide kurumlarının ve bu kurumlarda görev alan çalışanların üstün çabaları ile mümkün olmaktadır. Bu kapsamda, öncelikle bu raporu hazırlayan ve saha çalışmalarını yürüten tüm ekibin görevlendirilmesi ve sahaya ulaşımında desteklerini esirgemeyen Karadeniz Teknik Üniversitesi, Düzce Üniversitesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Cumhuriyet Üniversitesi ve Giresun Üniversitesi rektörlerine teşekkür ederiz. Çalışmaların yürütülmesinde her türlü desteği esirgemeyen T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürü Banu Aslan’a, Daire Başkanları İnş. Yük. Müh. Tuğrul Sezdirmez ve İnş. Yük. Müh. Emrah Süme’ye, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Risk Azaltma Genel Müdürü Prof. Dr. Orhan Tatar’a ve ayrıca sahada görev yapan tüm çalışan ve gönüllülere teşekkür ederiz. Kamu binalarının hasar tespitinde binaların açık tutulması için kendi yaralarını bir kenara bırakarak bizlere yardımcı olan T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, T.C. Diyanet İşleri Başkanlığı, T.C. Gençlik ve Spor Bakanlığı, Gaziantep İslahiye İlçe Emniyet Müdürlüğü, Gaziantep/İslahiye 106. Topçu Alayı, Gaziantep Nurdağı ve İslahiye Belediye Başkanlığı, Kahramanmaraş Belediyesi, Kahramanmaraş Türkoğlu Belediyesi, Kahramanmaraş Dulkadiroğlu Belediyesi çalışan ve gönüllüleri ile mahalle muhtarlarımıza teşekkür ederiz. Saha çalışmalarının yürütülmesi esnasında 3 adet proje desteği ile bu raporu hazırlayan araştırmacılara destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederiz. Son olarak, saha çalışmaları esnasında barınma ve lojistik hususlarında desteklerini esirgemeyen, başta İnş. Müh. Ali Bayram Tunay olmak üzere Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, Kahramanmaraş Büyükşehir Belediyesi ve Gaziantep İtfaiye Müdürlüğünde görev alan tüm çalışanlara teşekkür ederiz.

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**1. Hasar Tespit Ekibi**

Prof. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK
Doç. Dr. Murat GÜNAYDIN
Dr. Öğr. Üyesi Muhammet YURDAKUL
İnş. Yük. Müh. Eren DEMİRKAYA
İnş. Yük. Müh. Murat NAS

Prof. Dr. Süleyman ADANUR
Doç. Dr. Barbaros ATMACA
Arş. Gör. Dr. Fatih Yesevi OKUR
Mimar Osman GÜLEŞ
İnş. Müh. Ali BALTA

2. Hasar Tespit Ekibi

Prof. Dr. Kemal HACİEFENDİOĞLU
Arş. Gör. Dr. Bayram Ali TEMEL
Arş. Gör. Yunus Emrahan AKBULUT
Arş. Gör. Osman Tuğrul BAKİ
Arş. Gör. Alihan BALTACI
İnş. Müh. Yasin GÜRPINAR

Prof. Dr. Volkan KAHYA
Arş. Gör. Dr. Ali Fuat GENÇ
Arş. Gör. Olgühan Şevket KARAHASAN
Arş. Gör. Burak AKÇAY
İnş. Müh. Muhammed Cihat ŞAHİN
İnş. Müh. Algihan Kaşif KARAHASAN

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ

Prof. Dr. Mehmet Emin ARSLAN

Arş. Gör. Batuhan AYKANAT

SAKARYA ÜNİVERSİTESİ

Prof. Dr. Aşkın ÖZOCAK
Doç. Dr. Sedat SERT
Doç. Dr. Mehmet Fatih DÖKER
Doç. Dr. Hakan ÖZTÜRK
Doç. Dr. Aydın DEMİR
Arş. Gör. Muhammet Burhan NAVDAR
Arş. Gör. Eylem ARSLAN

Prof. Dr. Murat UTKUCU
Doç. Dr. Osman SÖNMEZ
Doç. Dr. Ertan BOL
Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU
Öğr. Gör. Dr. Tuba TATAR
Arş. Gör. İrfan Şehrullah ÖZTÜRK

SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ

Prof. Dr. Metin İPEK
Doç. Dr. İsa VURAL
Dr. Öğr. Üyesi Osman KIRTEL
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DOK

Doç. Dr. Ferhat AYDIN
Doç. Dr. Tahir AKGÜL
Dr. Öğr. Üyesi Ali SARIBIYIK
Dr. Öğr. Üyesi Kurban ÖNTÜRK

SİVAS CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ

Arş. Gör. Dr. Fezayıl SUNCA

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ

Arş. Gör. Furkan ŞEN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
PREFACE	II
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER	VI
1. GİRİŞ	1
2. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ.....	3
3. DEPREM YER HAREKETİ KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	12
4. ZEMİNDE GÖZLEMLenen HASARLAR	54
5. BETONARME BİNALARDA GÖZLEMLenen HASARLAR.....	61
6. YIĞMA BİNALARDA GÖZLEMLenen HASARLAR.....	73
7. SANAYİ YAPILARINDA GÖZLEMLenen HASARLAR.....	85
8. TÜNEL VE KÖPRÜLERDE GÖZLEMLenen HASARLAR	99
9. TARİHİ ESERLERDE GÖZLEMLenen HASARLAR.....	107
10. CAMİ VE MİNARELERDE GÖZLEMLenen HASARLAR.....	129
11. EKONOMİK ETKİ.....	147
12. SONUÇLAR.....	151
KAYNAKLAR	152

1. GİRİŞ

İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'na (AFAD) göre 06.02.2023 günü, Türkiye saati ile 04.17'de ve 13.24'te merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. Meydana gelen depremler sığ odaklı olup 7.7 büyüklüğündeki deprem yerin 8.6 km derinliğinde meydana gelirken 7.6 büyüklüğündeki deprem yerin 7 km derinliğinde meydana gelmiştir. 7.7 büyüklüğündeki depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yeri Pazarcık/Akdemir (2.72 km) ve 7.6 büyüklüğündeki depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yeri ise Elbistan/Gümüşdöven (1.70 km) olarak tespit edilmiştir. Depremlerin en yakın yerleşim birimlerine olan uzaklıkları Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir. Meydana gelen depremler sonrasında 09.02.2023 saat: 16.00'a kadar geçen zamanda 1300'e yakın ve 16.03.2023 saat: 24.00'a kadar geçen zamanda yaklaşık 3000'e yakın artçı deprem (Şekil 1) kaydedilmiştir (AFAD, 2023; İTÜ, 2023).

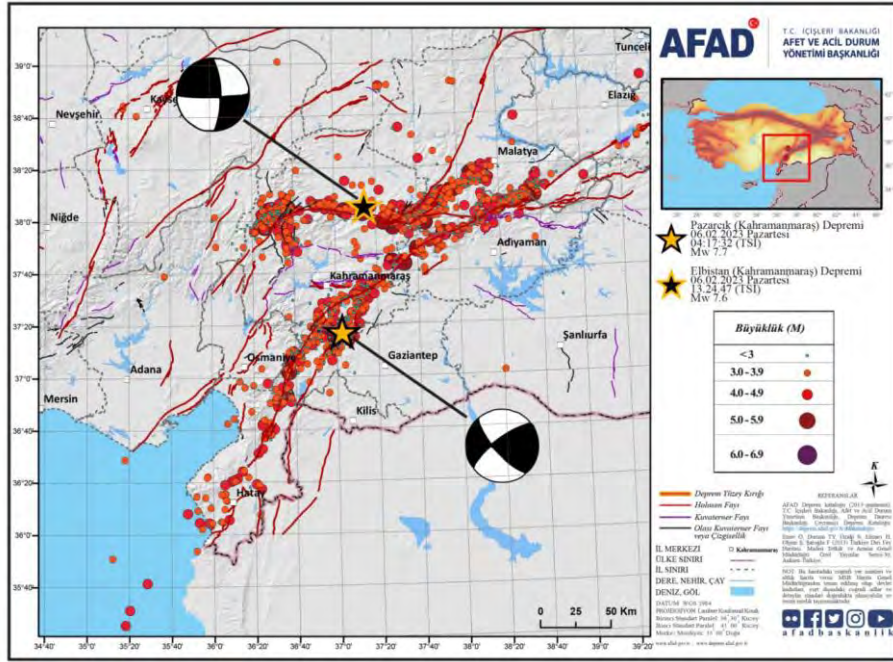
Mw 7.7 büyüklüğündeki ilk deprem (Pazarcık) sol yanal doğrultu atımlı, Ölü Deniz Fay Zonunun kuzey ucundaki Narlı Segmentinin üzerinde gerçekleşirken, Mw 7.6 büyüklüğündeki ikinci deprem ise Doğu Anadolu Fay Zonu dışında, Elbistan'ın güneyinde Nurhak-Çardak arasındaki Çardak Fayı üzerinde gerçekleşmiştir. Depremler sonucunda Adıyaman, Gölbaşı'nın güneyinde KD-GB doğrultusunda Gölbaşı segmentinin de kırıldığı tespit edilmiştir (AFAD, 2023; İTÜ, 2023).

Tablo 1. Mw 7.7 büyüklüğündeki depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yerleri

İl	İlçe	Yerleşim Yeri	Mesafe (km)
Kahramanmaraş	Pazarcık	Akdemir	2.72
Kahramanmaraş	Pazarcık	Karahüyük	2.84
Kahramanmaraş	Türkoğlu	Cennetpınarı	3.75
Kahramanmaraş	Pazarcık	Evri	4.48
Kahramanmaraş	Pazarcık	Emiroğlu	4.94

Tablo 2. Mw 7.6 büyüklüğündeki depremin merkez üssüne en yakın yerleşim yerleri

İl	İlçe	Yerleşim Yeri	Mesafe (km)
Kahramanmaraş	Elbistan	Gümüşdöven	1.70
Kahramanmaraş	Ekinözü	Akpınar	2.09
Kahramanmaraş	Elbistan	Özcanlı	4.90
Kahramanmaraş	Ekinözü	Maarif	5.47
Kahramanmaraş	Ekinözü	Ekinözü	5.72



Şekil 1. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 depremleri ve artçı şok aktivitesi (AFAD, 2023)

Meydana gelen iki büyük deprem sonrası, depremin oluşumuna neden olan faylar tanımlanmış, bölgede oluşan hasarlarla ilişkileri irdelenmiş, saha incelemeleri gerçekleştirilmiş ve bu incelemeler sonucunda yapılarda oluşan yapısal hasarların nedenleri değerlendirilmiştir. Yapılan incelemeler, tespitler, kurumsal arşiv bilgileri ve literatür çalışmaları ışığında bu rapor hazırlanmıştır.

2. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ

2.1. 6 Şubat 2023 Pazarcık (MW=7,7) ve Elbistan (MW=7,6) Depremlerinin Sismotektoniği ve Tarihsel Depremler

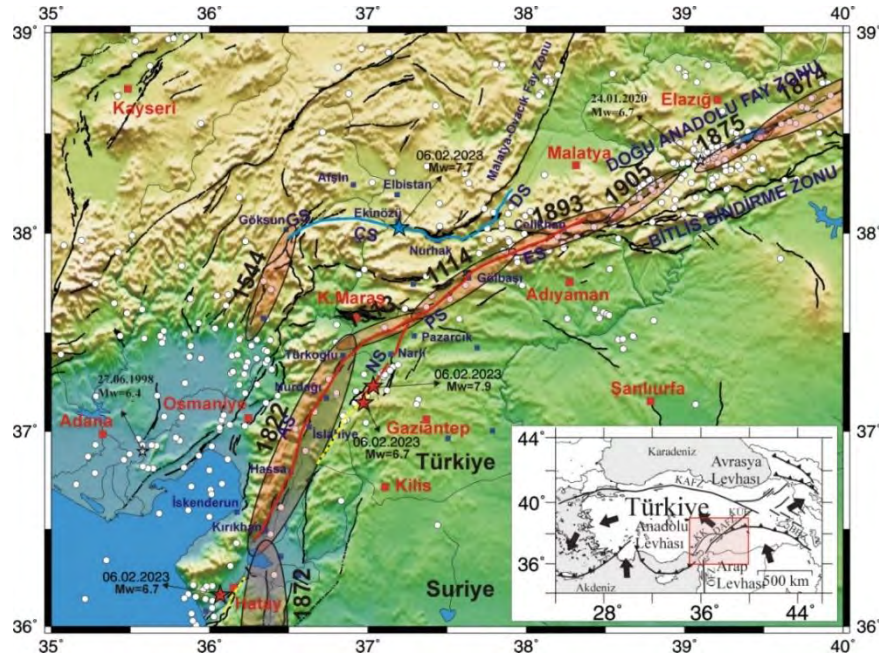
06.02.2023 Pazartesi günü, yerel saatle 04.17’de merkez üssü Kahramanmaraş- Pazarcık olan 7.7 (Mw) büyüklüğünde ve yine aynı gün yerel saatle 13.24’te merkez üssü Kahramanmaraş- Elbistan olan 7.6 (Mw) büyüklüğünde çok şiddetli iki deprem meydana gelmiştir. Türkiye’nin büyük bir bölümünde hissedilen bu depremler geniş bir coğrafyada yıkıma, can kayıplarına ve ekonomik kayıplara neden olmuştur. Sırasıyla odak derinliği 8.6 km ve 7 km olan bu depremlerin çok sığ olmaları, hissedilme ve etkileme yüzdesini arttırmıştır. Özellikle Türkiye’nin güneydoğu bölgesinde etkili olan bu depremler, 11 ilde çok büyük yıkıma neden olmuştur ve geniş bir coğrafyada hissedilmiştir (Şekil 2).

Doğu Türkiye’de, Arap Levhası, Anadolu Levhası’na doğru 18 mm/yıl’lık bir hızla KB doğrultusunda yakınsamaktadır (McClusky vd. 2000; Reilinger vd. 2006) (Şekil 3). Anadolu Levhası’nın batıya doğru hareketi, iki önemli doğrultu atımlı fay sistemi boyunca gerçekleşmektedir (Şekil 2) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Hubert-Ferrari vd 2003; Şengör vd. 2005). Bu fay zonları sırasıyla sağ-yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol-yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)’dur. GPS çalışmaları KAFZ üzerinde yaklaşık 24 mm/yıl ve DAFZ üzerinde yaklaşık 9-10 mm/yıllık bir kayma hızına işaret etmektedir (McClusky vd. 2000; Reilinger vd. 2006; Aktuğ vd. 2016).

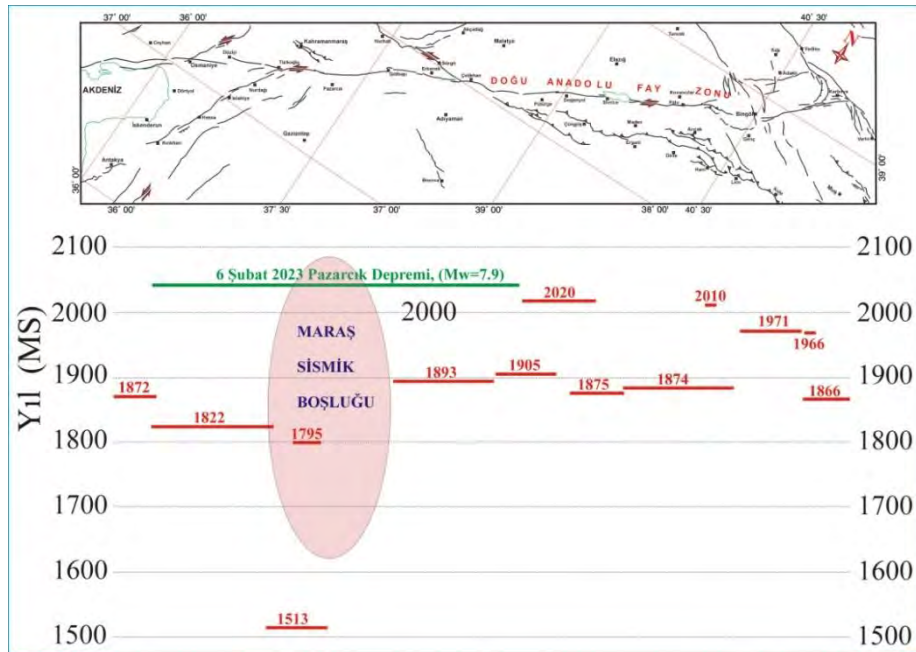
Doğu Anadolu’da bulunan KAFZ ve DAFZ, Karlıova Üçlü Eklemleri (KÜE) adı verilen yerde birleşmektedir (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Özener vd., 2010). Bu bölgedeki güncel tektonik aktivite, GPS çalışmalarının yanı sıra, bölgede meydana gelmiş önemli depremlerin odak mekanizmaları çözümleri ile de desteklenmektedir (McKenzie, 1972; Eyidoğan, 1983; Jackson ve McKenzie, 1984; Taymaz vd., 1991).



Şekil 2. Kahramanmaraş depremlerinden öncelikli etkilenen iller



Şekil 3. Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca depremsellik ve Türkiye'nin başlıca tektonik unsurlarını (içteki harita) gösteren harita. (Depremsellik, 1970'den sonra $M_w \geq 4.0$ depremler (beyaz daireler) ile yıkıcı tarihsel (kırmızı şeffaf elipsler) ve $M \geq 6.2$ aletsel dönem (kırmızı ve beyaz yıldızlar) depremleri içermektedir. Depremsellik verisi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kataloğundan alınmıştır. 2023 Pazarcık ve Elbistan depremleri kırıkları sırasıyla kırmızı ve mavi kalın çizgilerle temsil edilmiştir. Haritadaki bilgiler Barka ve Kadinsky-Cade (1988), Ambraseys (1989), McClusky vd. (2000), Emre vd. (2013), Tan vd. (2011)'den derlenmiştir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖFZ: Ölü Deniz Fay Zonu. AS: Amanos, PS: Pazarcık, ES: Erkenek, NS: Narlı, GS: Göksun, ÇS: Çardak ve DS: Doğanşehir fay segmentlerini ifade etmektedir.)



Şekil 4. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun 1513 Kahramanmaraş depreminden sonraki deprem oluşum modeli (Utkucu vd. 2023b'den alınmıştır).

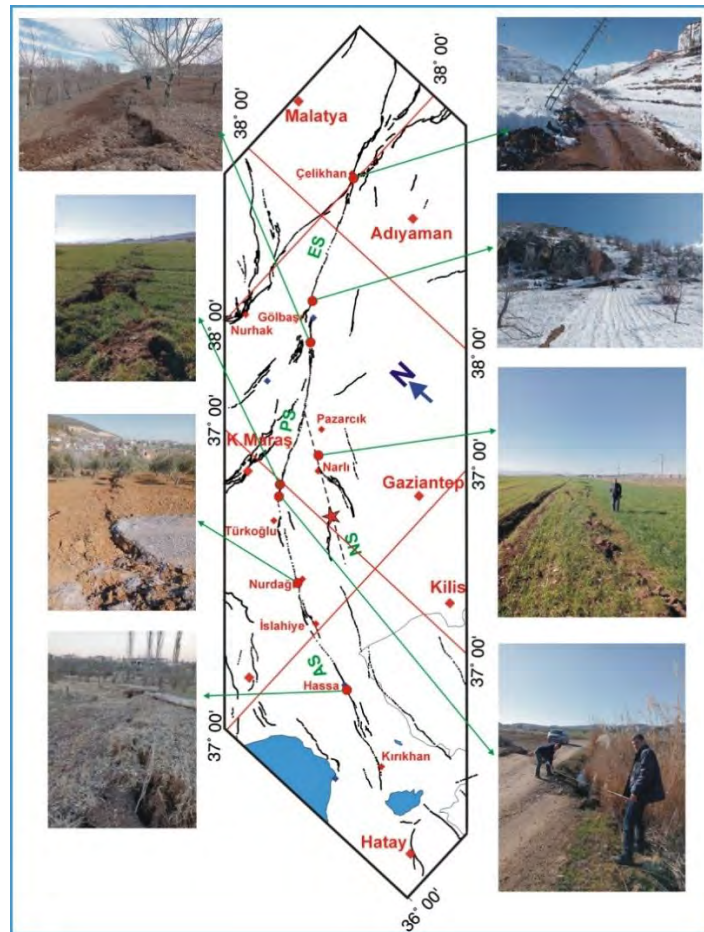
Arap levhası ile Anadolu levhası arasındaki göreceli hareketi karşılayan sol-yanal doğrultu atımlı DAFZ, yaklaşık 580 km uzunluğuyla KÜE'den İskenderun Körfezi civarına kadar uzanmakta ve bu bölgede Ölüdeniz Fay Zonu (ÖFZ) ile birleşmektedir (Şekil 2 ve Şekil 3) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Şaroğlu vd., 1992; Bulut vd. 2012; Duman ve Emre 2013). Anadolu Levhası'nın güney sınırını oluşturan DAFZ, Karlıova ile Türkoğlu arasında KD-GB doğrultusunda uzanmaktadır. Türkoğlu ile Hatay arasında ise fay zonunun uzanımı K-G doğrultusuna yaklaşmaktadır. DAFZ için saha çalışmalarından elde edilen verilerden de yaklaşık 8 mm/yıl jeolojik kayma hızı önerilmiştir (Herece 2008; Duman ve Emre, 2013). Fay zonu, Malatya güneyinde, Çelikhan batısında BBZ'nunu kesmektedir (Taymaz vd., 1991; Lyberis vd., 1992). Ayrıca Çelikhan'ın hemen batısında ana faydan ayrılan ve Adana Havzası üzerinden Akdeniz'e uzanan Kuzey Kolu adı verilen bir kolu bulunmaktadır (Şekil 2) (Westaway 2004; Duman ve Emre 2013; Seyrek vd. 2014). DAFZ için belirlenen 9-10 mm/yıl kayma hızının yaklaşık üçte birinin, bu fay çatallanmasından sonra Kuzey Kol tarafından paylaşıldığı ileri sürülmüştür (Westaway 2004; Altunel vd. 2009; Mahmoud vd. 2012; Emre vd. 2013). DAFZ'nun ayrıntılı fay haritaları ve segmentasyonu Barka ve Kadinsky-Cade (1988), Arpat ve Şaroğlu (1975), Şaroğlu vd. (1992) ve Duman ve Emre (2013)'de verilmiştir.

DAFZ, 19. yüzyıldaki deprem etkinliği göz önüne alındığında, 20. yüzyıl içinde göreceli olarak sessiz bir dönem geçirdiği ileri sürülmüştür (Ambraseys, 1989, 2009; Nalbant vd., 2002) (Şekil 2 ve Şekil 3). 20. yüzyılda bu fay zonu üzerinde meydana gelen en önemli depremler 1905 Malatya ve 1971 Bingöl depremleridir. 20. yüzyılda DAFZ boyunca sadece 1905 Malatya ve 1971 Bingöl depremleri meydana gelmiştir. 21. Yüzyıl içinde meydana gelen 2003 Bingöl, 2010 Başyurt-Elâzığ ve 2020 Sivrice-Doğanyol depremleri ve son meydana gelen 2023 Gaziantep ve Elbistan depremleri, fayın geçen yüzyıla göre çok daha faal olduğunu göstermektedir. 2023 Pazarcık depremini üreten Maraş Sismik Boşluğu'ndaki fay segmentleri, en son ve kısmen hem 1114 hem de 1513 depremleriyle kırılmıştır (Ambraseys 1989; Ambraseys 2009; Yönlü 2012). Bu durum, söz konusu fay segmentlerinin yaklaşık olarak en az 500 yıldır kırılmadığını ve bir sismik bir boşluk oluşturduğunu göstermektedir (Şekil 4).

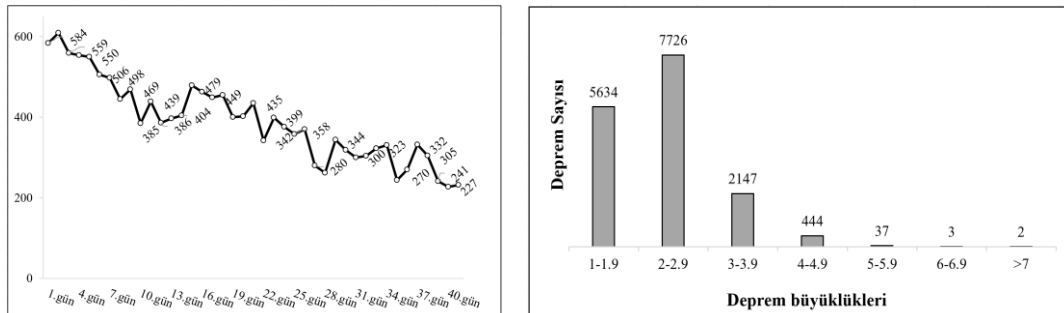
2.2. 6 Şubat 2023 Pazarcık (Mw=7.7) ve Elbistan (Mw=7.6) Depremleri

2023 Pazarcık depreminin meydana gelmesi yerbilimleri açısından bir sürpriz oluşturmamıştır. Çünkü, DAFZ'nun Maraş Sismik Boşluğu olarak adlandırılan ve en az 500 yıldır büyük deprem sessizliği ile bilinen bir bölümünü ve bu boşluğun hem güneyinde hem de kuzeyinde yer alan komşu fay segmentlerini de içeren bir fay kırılması sonucu oluşmuştur. Boşluk etrafındaki gerilme yükü artışı ve geri plan depremselliğindeki anomali değişimler daha önce vurgulanmıştır (Nalbant vd. 2002; Utkucu vd. 2023a). Boşluk boyunca beklenen depremin büyüklükleri Mw 7.4-7.7 olarak tahmin edilmiştir (Nalbant vd. 2002; Aktuğ vd. 2016; Utkucu vd. 2023a). Bununla birlikte, Mw7.7 büyüklüğündeki ikinci anaşok depremin yaklaşık 9 saat sonra (DAFZ) Kuzey Kolu boyunca meydana gelmesi yerbilimleri açısından tam bir sürpriz oluşturmıştır. Deprem eğilimli bir ülke olarak, Türkiye'de büyük depremlerin uzay ve zamanda birbirine yakın olarak gerçekleşmesi nadir değildir. Kuzey Kol'un aktif oldu yerbilimleri açısından bilinmekteydi (Duman ve Emre 2013; Koç ve Kaymakçı 2013). Bununla birlikte, KAFZ ve DAFZ'nun esas uzanımını oluşturan Güney Kol'a kıyasla çok daha nadir yıkıcı depremler ürettiğinden ve Türkiye'deki sınırlı sayıdaki çalışma başta KAFZ ve DAFZ olmak üzere çok daha sık büyük deprem üreten faylara odaklandığından Kuzey Kol

2023 Pazarcık depreminin büyüklüğü, 1999 İzmit (Mw7.6) ve Düzce (Mw7.2) depremlerinin toplamından yaklaşık iki kat daha büyük olup, fay kırılması boyunca KD-GB yönünde uzayan hasar alanına neden olmuştur. Ancak ikinci ana şok, D-B doğrultulu bir fayı kırmış olmasından dolayı hasarlı alanı D-B doğrultusunda daha da genişlemiştir. Her iki ana şokun büyüklükleri de eklendiğinde, afet yardım çalışmalarını zorlaştıran 11 ili kapsayan geniş bir hasar alanı oluşmuştur.



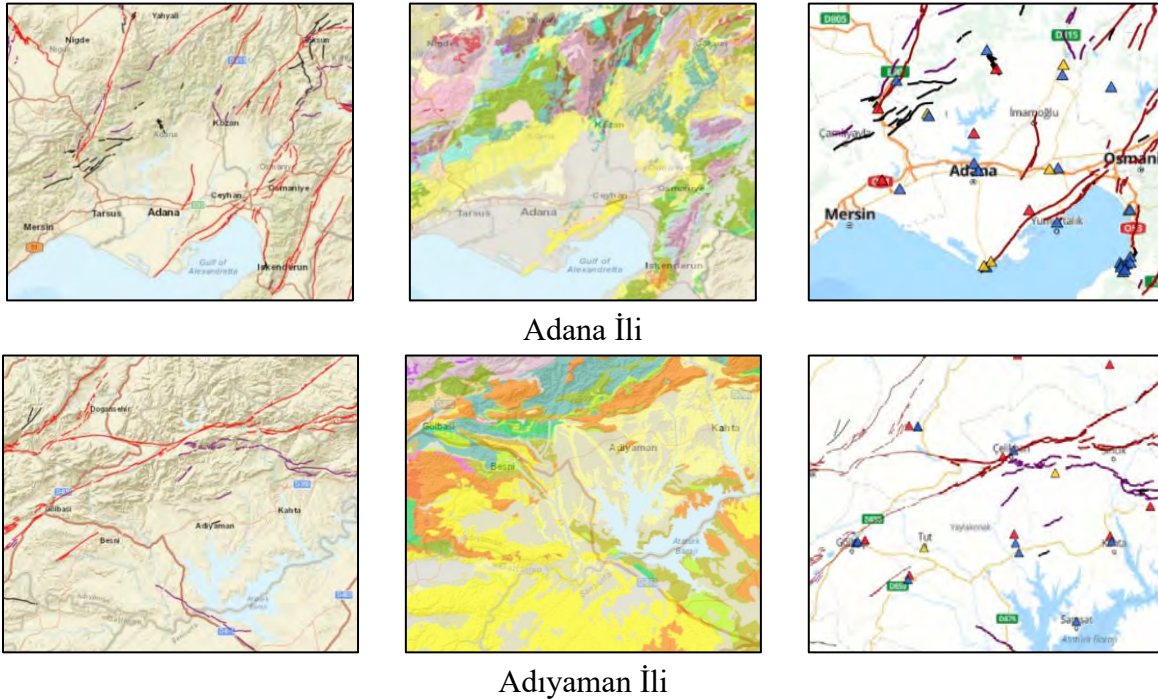
Şekil 5. 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi saha çalışmalarında gözlenen yüzey kırıklarından görünüm ve harita konumları



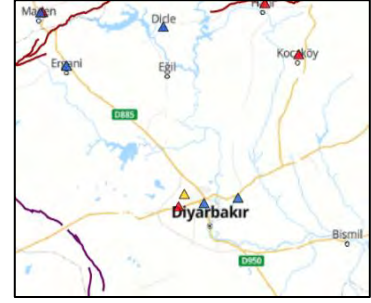
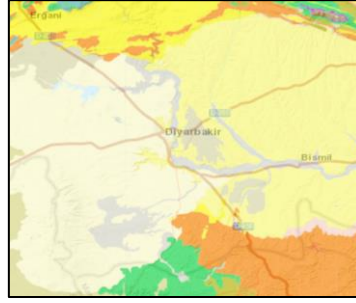
zemin, tasarım, uygulama vb. çarpanlar ile çok geniş bir alanı etkileyebilmektedir. Öncelikli olarak tarihsel ve aletsel süreçte bölgedeki sismik aktivitelerin ve etkilerinin bilinmesi günümüze ve geleceğe de ışık tutacaktır.

2.3. Bölgedeki Tarihi Depremler ve Depremsellik

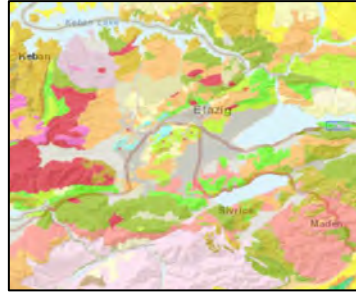
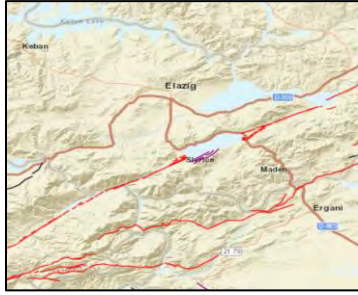
Aletsel dönem öncesinde de (tarihsel dönemde) bölgede sıklıkla yıkıcı depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. 9 Nisan 37'da Antakya merkezli deprem şehrin yıkılmasına yol açmış ve heyelan meydana gelmiştir (Ambraseys 2009). 13 Aralık 115 tarihinde Antakya (Antioch) merkezli 7.5 büyüklüğünde ve şiddeti 11 MMI olarak tahmin edilen 260,000 insanın ölümüne ve çok büyük ölçekte yıkıma neden olan bir deprem gerçekleşmiştir (Ambraseys 2009, Altinok vd. 2011). Deprem sonrası tsunami gerçekleşmiş fakat ikincil tehlikenin yıkıcılığı hakkında net bilgiler bulunmamaktadır (Akyuz vd. 2006). 342 yılında merkez üssü Antakya olan şiddeti 8 MMI olan ve 40.000 kişinin ölümüne neden olan deprem olmuştur. Yine merkez üssü Antakya olan 458 yılında şiddeti 9 MMI öngörülen 80.000 insanın ölümüne yol açan deprem gerçekleşmiştir. 29 Kasım 525 yılında Samandağı merkezli 7 büyüklüğünde ve 9 MMI şiddetinde deprem 250.000 kişinin vefatına neden olmuştur (Altinok, et al. 2011). Yine bölgede ana çok sonrası 5 büyük artçı şok kayıtlara geçmiştir (Alsinawi vd. 1985). 9 Temmuz 587'de Antakya merkezli 9 MMI şiddetinde deprem 60.000 insanın ölümüne neden olmuştur (Alsinawi vd. 1985, Akyuz vd. 2006). Maraş fay segmentinde 29 Kasım 1114'te oluşan Mw 7 büyüklüğündeki deprem geniş bir alanı etkilemiş ve depremde 40.000 insan hayatını kaybetmiştir (Ambraseys 2009, Meghraoui vd. 2006). 1822 yılında Antakya'yı içine alan bölgede 9 veya 10 MMI şiddetinde deprem meydana gelmiştir ve 60000 kişinin yaşamını yitirmesine neden olmuştur (Akyuz vd. 2006).



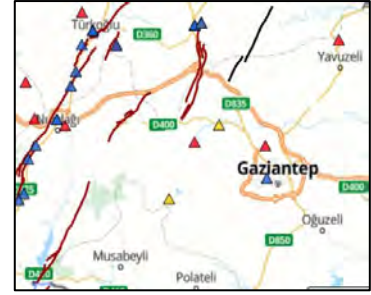
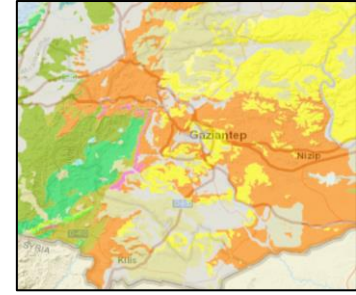
Şekil 7. Depremden etkilenen iller ve sismik-jeolojik özellikleri



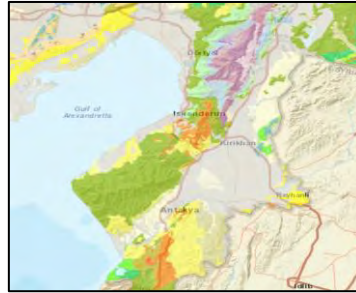
Diyarbakır İli



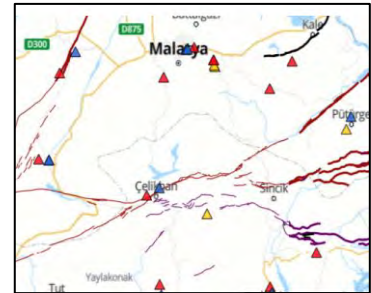
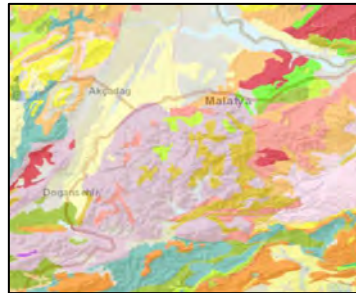
Elazığ İli



Gaziantep İli

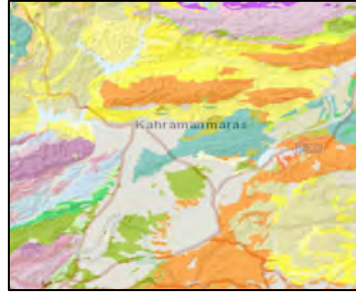
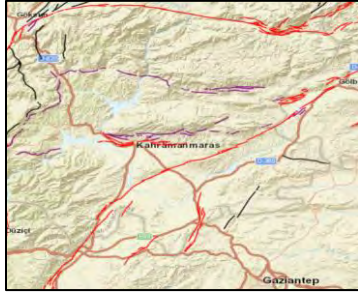


Hatay İli

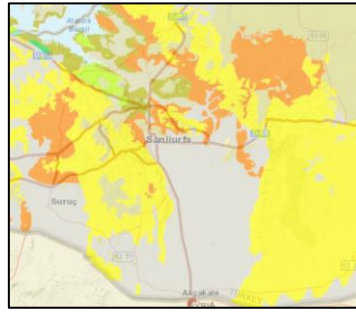


Malatya ili

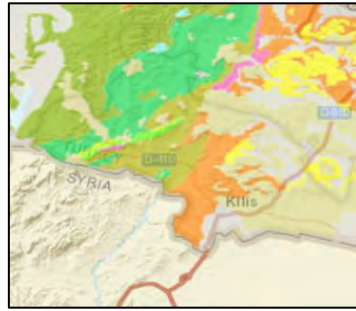
Şekil 7. Devamı



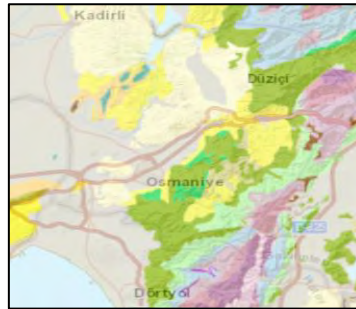
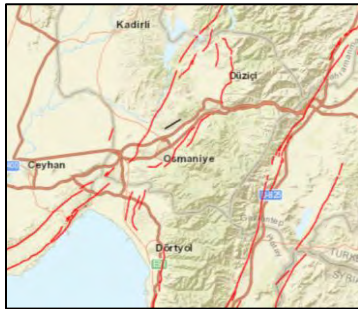
Kahramanmaraş İli



Şanlıurfa İli



Kilis ili



Osmaniye İli

a) Diri fay haritası

b) Jeolojik formasyon

c) Sismik kayıtçı ağı

Şekil 7. Devamı

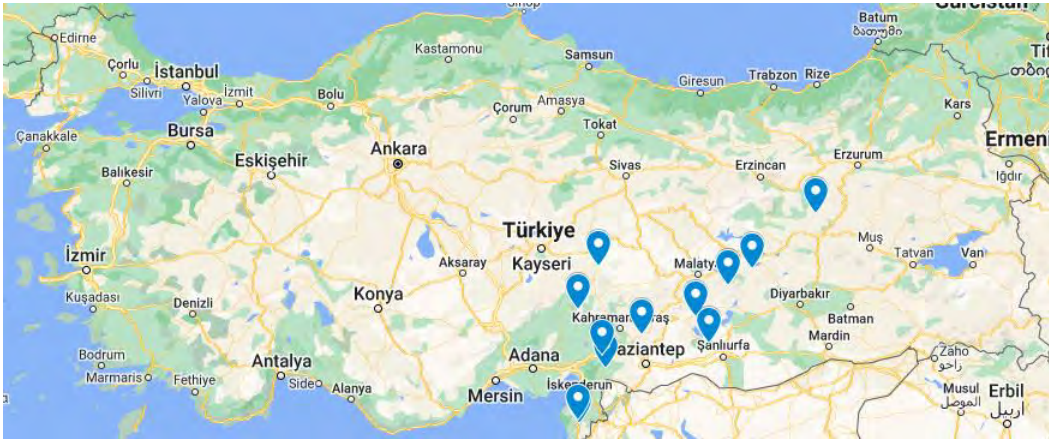
Bu tarihsel ve aletsel dönemdeki meydana gelen depremler ve sonuçları doğrultusunda bölge için çok detaylı jeolojik, jeofizik ve sismik çalışmalar yapılmış olup bölgenin diri fay haritası ve jeolojik formasyonları kamuya açık ve detaylı bir şekilde haritalandırılmıştır. Ayrıca bölgedeki sismik aktivitenin hassas bir şekilde gözlemlenebilmesi için yoğun ve kapsamlı bir sismik sensör ağı kurulmuştur (Şekil 7) (Maden Tetkik Arama n.d., Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı n.d.).

Tablo 3. 2023 Pazarcık ve Elbistan depremlerinin çeşitli sismoloji enstitüleri tarafından hesaplanan odak ve kaynak parametreleri

Tarih	Origin Time	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik	Mw (USGS)	NP1 Doğrultu (°)	NP1 Eğim (°)	NP1 Kayma Açısı (°)	NP2 Doğrultu (°)	NP2 Eğim (°)	NP2 Kayma Açısı (°)	CMT Derinlik	Kurum
6 ŞUBAT 2023, ANAŞOK-1, ($M_w7,7$)													
06.02.2023	01:17:35	37.1736	37.032	17.9	7.8-7.9	228	89	-1	318	89	-179	17.5	USGS
06.02.2023	01:17:31	37.1123	37.1195	5	7.7	222	64	-27	324	65	-152		KOERI
06.02.2023	01:17:32	37.288	37.043	8.6	7.7								AFAD
06.02.2013	01:18:10	37.56	37.47		7.8	54	70	11	320	80	160	14.9	GCMT
6 ŞUBAT 2023, EN BÜYÜK ARTÇI DEPREM, ($M_w6,7$)													
06.02.2023	01:28:15	37.189	36.893	9.8	6.7								USGS
06.02.2023	01:28:16	37.304	36.920	6.2	6.6								AFAD
06.02.2023	01:28:21	37.18	36.85	25	6.8	211	66	-13	306	78	-156	25	GCMT
6 ŞUBAT 2023, ANAŞOK-2 ($M_w7,6$)													
06.02.2023	10:24:49	38.024	37.203	10	7.5-7.7	277	78	4	186	87	168	13,5	USGS
06.03.2023	10:24:46	38.0717	37.2063	5	7.5								KOERI
06.02.2023	10:24:47	38.089	37.239	7	7.6								AFAD
06.02.2023	10:24:59	38.11	37.22	12	7.7	261	42	-8	358	84	-137		GCMT
20 ŞUBAT 2023, EN BÜYÜK ARTÇI DEPREM, ($M_w6,4$)													
20.02.2023	17:04:29	36.159	36.024	16	6.4	225	53	-27	333	69	-139	11.5	USGS
20.02.2023	17:04:31	36.040	36.004		6.3	227	45	-16	329	79	-134	12	GCMT

3. DEPREM YER HAREKETİ KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde ana ve artçı şoklara ait yer hareketleri, AFAD tarafından işletilen birçok istasyonda kaydedilmiştir. Bu yer hareketlerine ait ham ve işlenmiş veriler AFAD'a ait resmi veri tabanında erişime sunulmuştur. Bu veri tabanından 6 Mart 2023 tarihinde elde edilen verilerine göre, 6 Şubat 2023 Mw=7.7 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminde en büyük zemin ivme değeri Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesi sınırları içerisinde bulunan 4614 kodlu istasyonda kaydedilmiş ve bu değer, kaydın Doğu-Batı bileşeninde 2.005g olarak ölçülmüştür. Düşeyde ise en büyük ivme değeri yine 4614 kodlu istasyondan 1.379g olarak ölçülmüştür. 6 Şubat 2023 Mw=7.6 Kahramanmaraş-Elbistan depreminde ise en büyük ivme değerleri Kahramanmaraş ili Göksun ilçesi sınırları içerisinde bulunan 4612 kodlu istasyonda kaydedilmiş olup bu değer, kaydın Kuzey-Güney bileşeninde 0.561g olarak elde edilmiştir. Düşeyde ise en büyük ivme değeri yine aynı istasyondan 0.405g olarak ölçülmüştür. Depremlerden en çok etkilenen 11 ilin sınırları içerisinde en büyük ivme değerlerinin kaydedildiği istasyonlara ait bilgiler Tablo 4 ve Şekil 8'de sunulmuştur. Bu istasyonlardan elde edilen ivme-zaman, hız-zaman, yer değiştirme-zaman, arias yoğunlukları ve tepki spektrum grafikleri Şekil 9-54'te sunulmuştur.



(a) 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi MW = 7.7



(b) 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi MW = 7.6

Şekil 8. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde iller bazında en büyük ivmelerin elde edildiği istasyonlara ait konumlar

• **6 Şubat 2023 $M_w=7.7$ Kahramanmaraş-Pazarcık depreminde ölçülen kayıtlar incelendiğinde;**

Kahramanmaraş ili Pazarcık ilçesi sınırlarında bulunan 4614 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 24.07 sn olduğu ve ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.10-0.50 sn periyot aralığında tüm deprem düzeyleri için tasarım spektrumu değerlerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.05-0.25 sn aralığında olduğu tasarım spektrumu değerleri çok büyük oranda aşılmaktadır.

Hatay ili Defne ve Antakya ilçeleri sınırlarında bulunan sırasıyla 3129 ve 3125 kodlu istasyonlardan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin 3125 kodlu istasyonda K-G doğrultusunda 17.38 sn olduğu ve tüm kayıtlarda ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultuda kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin 3129 kodlu istasyonda spektral ivme değerlerinin 0.15-3.0 sn periyot aralığında tüm deprem düzeyleri için tasarım spektrumu değerlerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. 3125 kodlu istasyonda DD-1 deprem düzeyi sadece 0.70 sn periyodu civarında aşılmakta olup, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri tüm periyot aralıklarında aşılmaktadır. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerli olup, farklı olarak 3125 kodlu istasyonda da DD-1 için düşey elastik tasarım spektrumu değerleri tüm periyotlarda aşılmaktadır.

Adıyaman ili Merkez sınırlarında bulunan 0201 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin K-G doğrultusunda 10.55 sn olduğu ve ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.10-0.30 sn periyot aralığında DD-2 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.15 sn civarında olduğu tasarım spektrumu değerleri DD-2 deprem düzeyi için aşılmaktadır.

Elâzığ ili Sivrice ilçesi sınırlarında bulunan 2308 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 37.31 sn olduğu ve ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.30-2.00 sn periyot aralığında sadece DD-3 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.15-1.50 sn aralığında olduğu tasarım spektrumu değerleri DD-3 deprem düzeyi için aşılmaktadır.

Gaziantep ili İslahiye ilçesi sınırlarında bulunan 2718 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 20.70 sn olduğu ve ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.20-5.00 sn periyot aralığında DD-2 ve DD-3 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.20 sn sonrasındaki tasarım spektrumu değerleri DD-2 deprem düzeyi ve 0.35 sn sonrasında ise DD-1 için aşılmaktadır.

Bingöl ili Adaklı ilçesi sınırlarında bulunan 1213 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin K-G doğrultusunda 9.33 sn olduğu görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.10-0.65 sn periyot aralığında sadece DD-3 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 ve DD-2 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.20 sn olduğu tasarım spektrumu değerleri DD-3 için aşılmaktadır.

Osmaniye ili Bahçe ilçesi sınırlarında bulunan 8002 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 41.48 sn olduğu görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.70-1.50 sn periyot aralığında DD-2 için ve 0.10 sn sonrasındaki DD-3 deprem düzeyi için tüm periyotlarda elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.25 sn olduğu tasarım spektrumu değerleri DD-2 için aşılmaktadır.

Şanlıurfa ili Bozova ilçesi sınırlarında bulunan 6304 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 46.29 sn olduğu görülmektedir, düşey bileşende ise etkili süre 53.65 sn hesaplanmıştır. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.10-1.00 sn periyot aralığında DD-2 için ve DD-3 için tüm periyotlarda elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.80 sn sonrasında olduğu tasarım spektrumu değerleri DD-2 için aşılmaktadır.

Adana ili Saimbeyli ilçesi sınırlarında bulunan 0131 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin K-G doğrultusunda 42.53 sn olduğu görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.10-0.30 sn periyot

aralığında sadece DD-3 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 ve DD-2 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Tasarım spektrumu değerleri ise düşeyde hiçbir deprem düzeyi için aşılmamıştır.

Malatya ili Pütürge ilçesi sınırlarında bulunan 4404 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 21.99 sn olduğu görülmektedir. Yatay doğrultuda kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.25 sn sonrasındaki periyotlarda sadece DD-3 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 ve DD-2 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Tasarım spektrumu değerleri düşeyde ise 0.20 sn periyodu sonrasında sadece DD-3 deprem düzeyi için aşılmıştır.

Kayseri ili Sarız ilçesi sınırlarında bulunan 3802 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin D-B doğrultusunda 58.95 sn olduğu görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.25 sn sonrasındaki periyotlarda sadece DD-3 için elde edilen tasarım spektrumu değerlerini aştığı ancak DD-1 ve DD-2 için verilen değerleri aşmadığı görülmektedir. Tasarım spektrumu değerleri düşeyde ise 0.30 sn periyodu sonrasında DD-3 deprem düzeyi, 0.60 sn periyodu sonrasında DD-2 deprem düzeyi ve 0.80 sn periyodu sonrasında DD-1 deprem düzeyi için aşılmıştır.

• **6 Şubat 2023 $M_w=7.6$ Kahramanmaraş-Elbistan depreminde ölçülen kayıtlar incelendiğinde;**

Kahramanmaraş ili Göksun ilçesi sınırlarında bulunan 4612 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin K-G doğrultusunda 35.32 sn olduğu ve ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultudaki kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 1,00 sn sonrasındaki periyotlarda DD-1 için ve 0.30 sn sonrasındaki periyotlarda ise DD-2 için tasarım spektrumu değerlerinin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Benzer durum düşey spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.10 sn periyodu sonrasında DD-2 tasarım spektrumu değerleri çok büyük oranda aşılmaktadır. Aynı zamanda, 0.40-0.50 sn aralığı ve 0.70 sn sonrasındaki periyot değerleri için DD-1 deprem düzeyi için tasarım spektrumu değerlerinin aşıldığı görülmektedir.

Malatya ili Akçadağ ilçesi sınırlarında bulunan 4406 kodlu istasyondan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; depremin etkili süresinin K-G doğrultusunda 18.37 sn olduğu ve ölçülen yer ivmelerinin pek çok pulse etkisi içerdiği görülmektedir. Yatay doğrultuda kayıtlardan elde edilen spektral ivme değerleri, deprem tehlike haritasından DD-1, DD-2 ve DD-3 deprem düzeyleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektrum değerleri ile karşılaştırıldığında ise; gerçekleşen depremin spektral ivme değerlerinin 0.10-0.30 sn aralığındaki ve 0.55 sn sonrasındaki periyotlarda DD-2 deprem düzeyi için tasarım spektrumu değerlerinin aşıldığı görülmektedir. Benzer durum düşey

spektral ivme değerleri için de geçerlidir. Periyodun 0.25 sn periyodu sonrasında DD-2 deprem düzeyi için tasarım spektrumu değerleri yüksek oranlarda aşılmaktadır.

Adıyaman, Elâzığ, Gaziantep, Osmaniye, Hatay, Şanlıurfa, Kayseri, Sivas ve Kilis sınırlarında bulunan istasyonlardan ölçülen kayıtlar incelendiğinde; genel olarak yatay ve düşeyde sadece DD-3 deprem düzeyi için tasarım spektrumu değerlerinin aşıldığı görülmektedir. DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için ise bu değerler aşılmamıştır.

Özet olarak, her iki deprem incelendiğinde, 6 Şubat 2023 Mw=7.7 Kahramanmaraş-Pazarcık depreminin 6 Şubat 2023 Mw=7.6 Kahramanmaraş-Elbistan depremine göre ortaya çıkan deprem etkileri açısından daha etkili olduğu ve daha büyük enerji ürettiği görülmektedir. Bununla birlikte deprem ivme kayıtlarından da görüldüğü gibi yakın fay etkisine ve zemin türüne bağlı olarak görülen çoklu pulse etkisi özellikle Kahramanmaraş (Merkez ve Pazarcık), Hatay (Defne ve Antakya), Adıyaman (Merkez) ve Gaziantep'te (İslahiye ve Nurdağı) depremin yıkıcı etkilerinin artmasına sebep olmuştur.

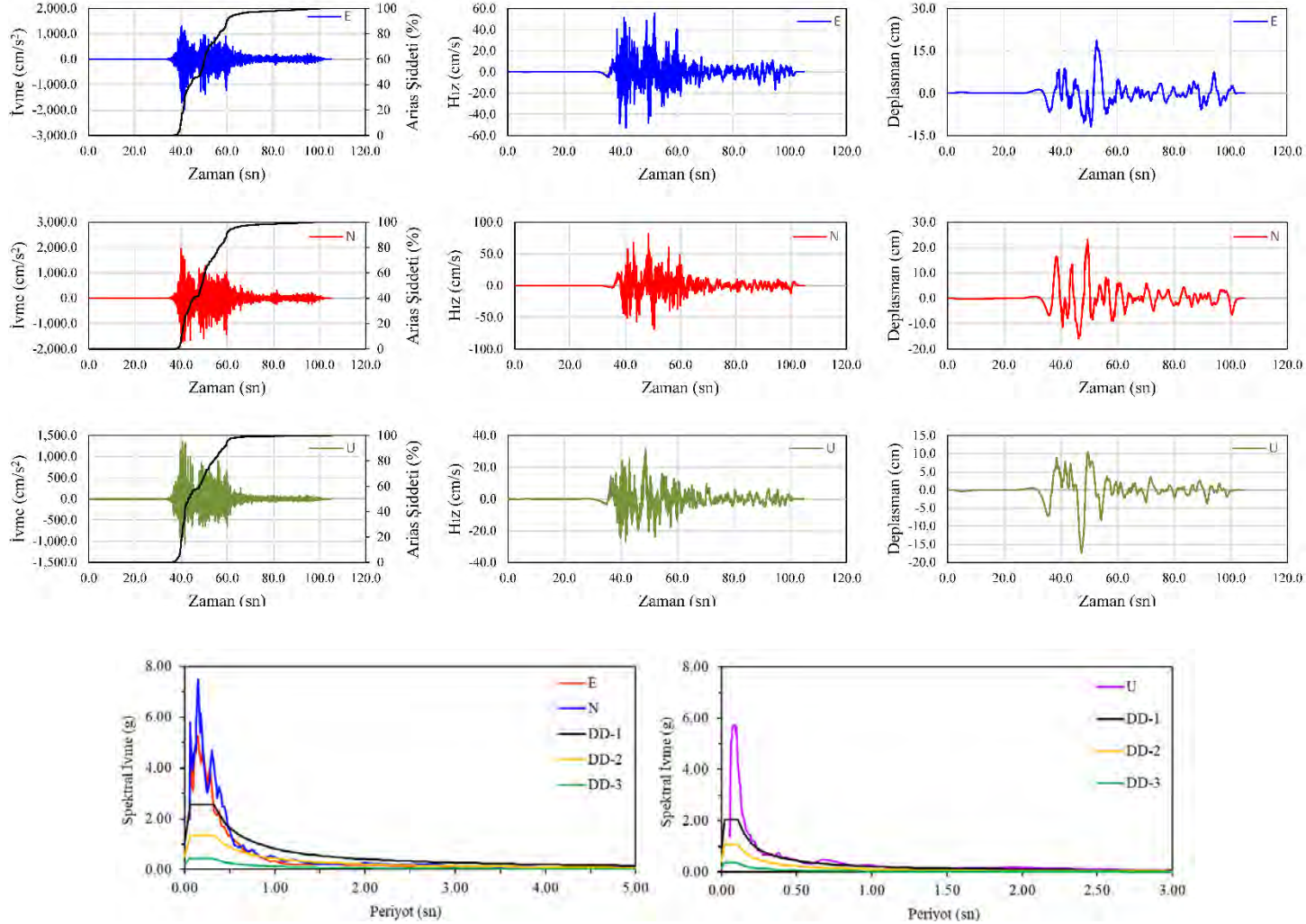
Tablo 4. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde il bazında en büyük ivmelerin elde edildiği istasyonlar

06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.7

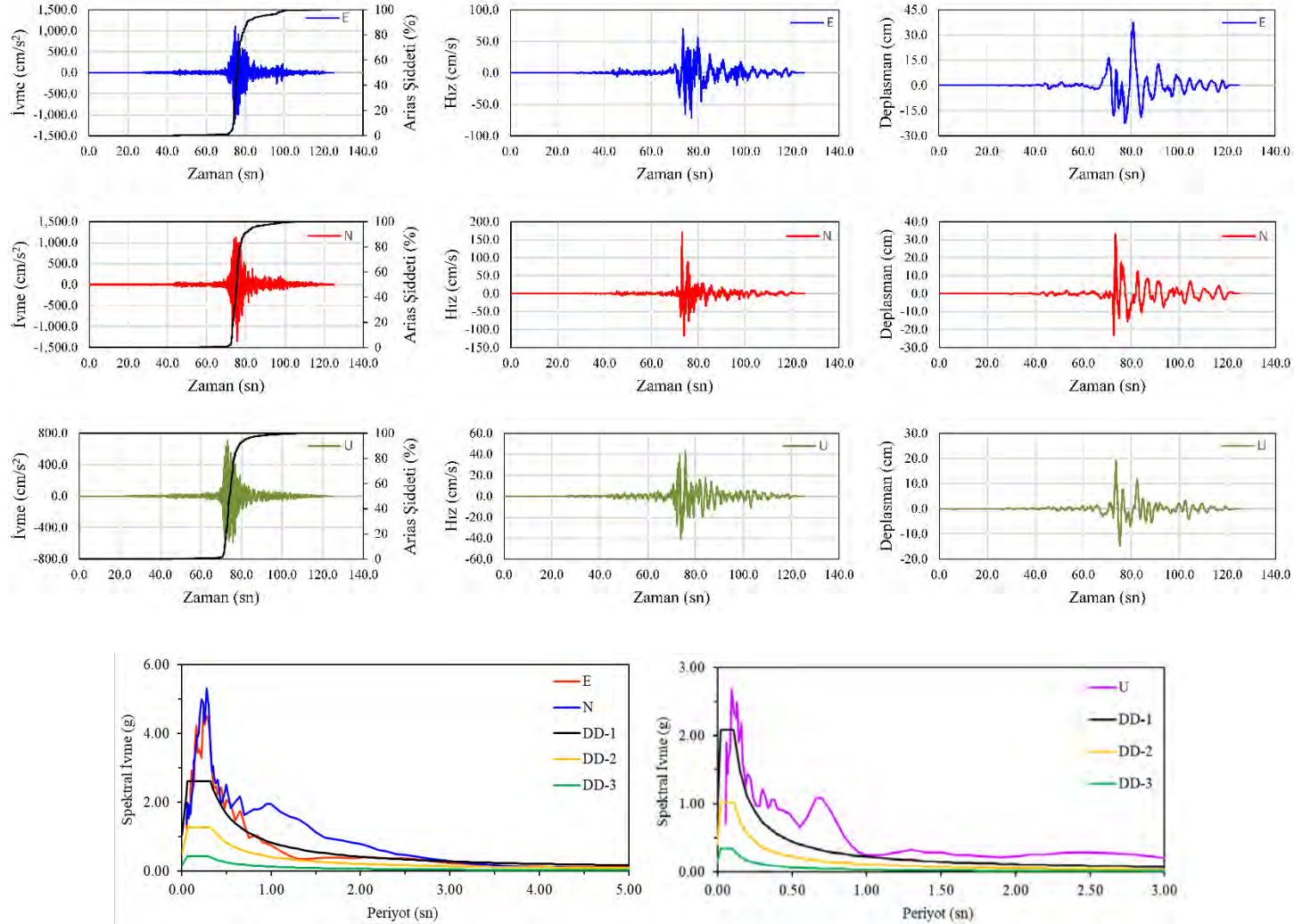
İstasyon Kodu	İl	İlçe	Enlem	Boylam	Vs30 (m/s)	Zemin Sınıfı	İvme (g)			Etkili Süre (sn)			Uzaklık R _{epi} (km)
							D-B	K-G	Düşey	D-B	K-G	Düşey	
4614	Kahramanmaraş	Pazarcık	37.4851	37.2978	671	ZC	2.005	1.987	1.379	24.07	23.16	20.81	61.30
3129	Hatay	Defne	36.1912	36.1343	447	ZC	1.374	1.290	0.724	14.93	10.72	10.22	146.39
3125	Hatay	Antakya	36.2381	36.1326	448	ZC	1.090	0.830	0.879	16.65	17.38	9.74	142.15
0201	Adıyaman	Merkez	37.7612	38.2674	391	ZC	0.383	0.281	0.206	8.81	10.55	11.92	120.12
2308	Elazığ	Sivrice	38.4506	39.3102	450	ZC	0.169	0.326	0.397	37.31	21.17	10.14	237.30
2718	Gaziantep	İslahiye	37.0078	36.6266	N/A	N/A	0.625	0.682	0.563	20.70	13.49	20.84	48.30
1213	Bingöl	Adaklı	39.2310	40.4774	N/A	N/A	0.337	0.259	0.194	4.49	9.33	7.10	369.54
8002	Osmaniye	Bahçe	37.1916	36.5620	430	ZC	0.201	0.240	0.310	41.48	36.08	33.78	43.91
6304	Şanlıurfa	Bozova	37.3651	38.5132	376	ZC	0.244	0.218	0.092	46.29	44.07	53.65	130.27
0131	Adana	Saimbeyli	37.8566	36.1153	N/A	N/A	0.158	0.146	0.048	41.93	42.53	45.19	103.35
4404	Malatya	Pütürge	38.1959	38.8739	1380	ZB	0.139	0.135	0.097	21.99	21.29	29.06	190.02
3802	Kayseri	Sarız	38.4781	36.5036	305	ZD	0.090	0.100	0.060	58.95	56.13	55.83	140.55

Tablo 4. Devamı

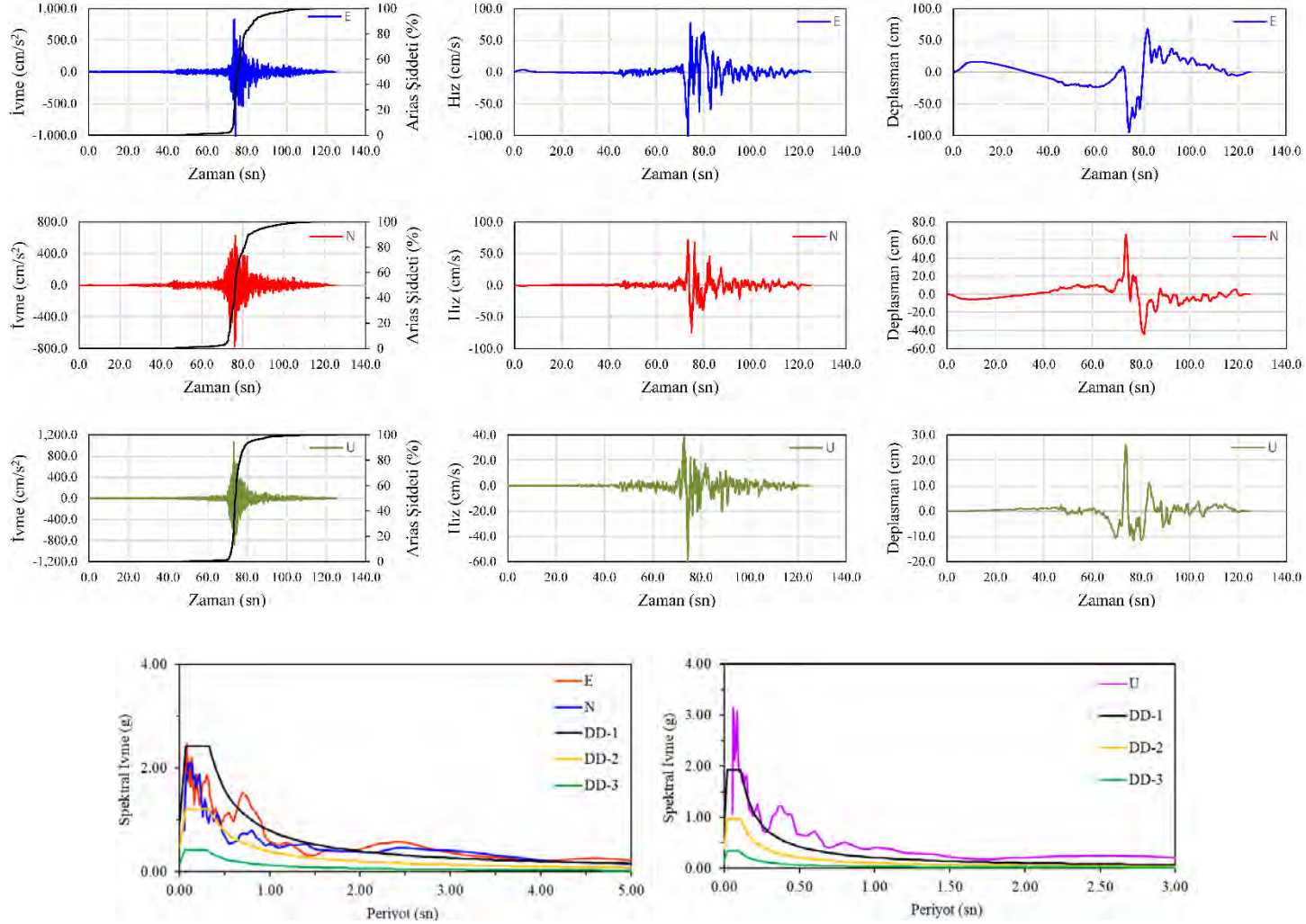
06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi Mw = 7.6													
İstasyon Kodu	İl	İlçe	Enlem	Boylam	Vs30 (m/s)	Zemin Sınıfı	İvme (g)			Etkili Süre (sn)			Uzaklık R _{epi} (km)
							D-B	K-G	Düşey	D-B	K-G	Düşey	
4612	Kahramanmaraş	Göksun	38.0240	36.4819	246	ZD	0.497	0.561	0.405	35.05	35.32	52.34	95.59
4406	Malatya	Akçadağ	37.9738	38.3439	815	ZB	0.390	0.423	0.290	17.42	18.37	16.98	143.07
0213	Adıyaman	Tut	37.7967	37.9296	N/A	N/A	0.126	0.111	0.072	29.76	30.35	31.81	96.48
2308	Elazığ	Sivrice	38.4506	39.3102	450	ZC	0.048	0.066	0.033	50.89	45.09	40.55	237.30
2703	Gaziantep	Şahinbey	37.0580	37.3500	758	ZC	0.063	0.054	0.028	39.21	43.63	59.48	37.34
8002	Osmaniye	Bahçe	37.1916	36.5620	430	ZC	0.045	0.066	0.028	36.32	32.27	47.19	43.91
3144	Hatay	Hassa	36.7569	36.4857	485	ZC	0.078	0.060	0.027	31.05	31.03	47.53	77.04
6306	Şanlıurfa	Akçakale	36.7277	38.9470	N/A	N/A	0.027	0.036	0.013	54.16	45.96	72.99	180.18
3802	Kayseri	Sarız	38.4781	36.5036	305	ZD	0.222	0.191	0.107	47.84	44.60	57.00	140.55
5807	Sivas	Gürün	38.7269	37.2475	445	ZC	0.065	0.087	0.038	33.78	32.94	39.05	85.70
7901	Kilis	Merkez	36.7088	37.1123	463	ZC	0.046	0.052	0.022	40.26	45.38	46.12	64.70



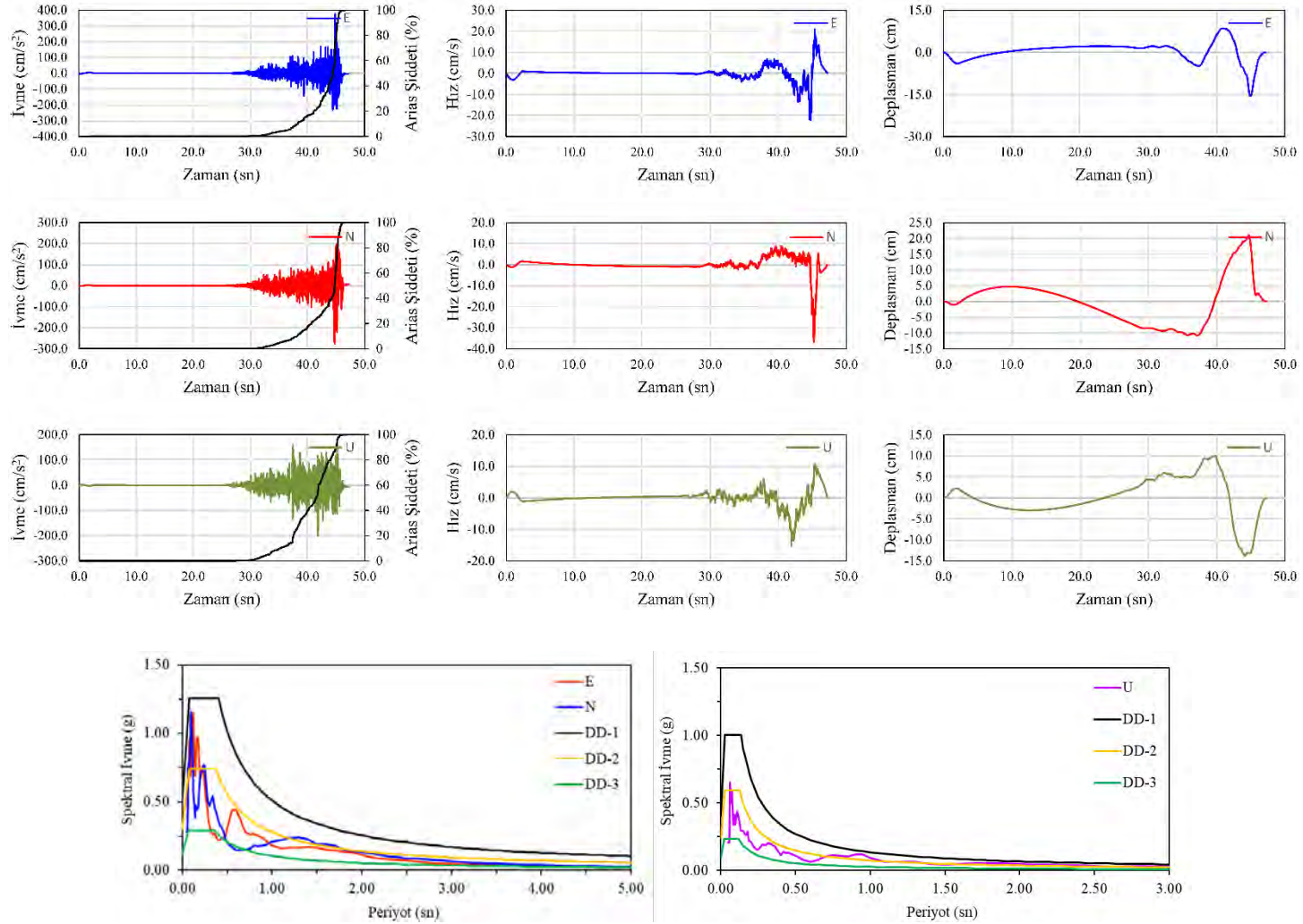
Şekil 9. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 4614 (Kahramanmaraş) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



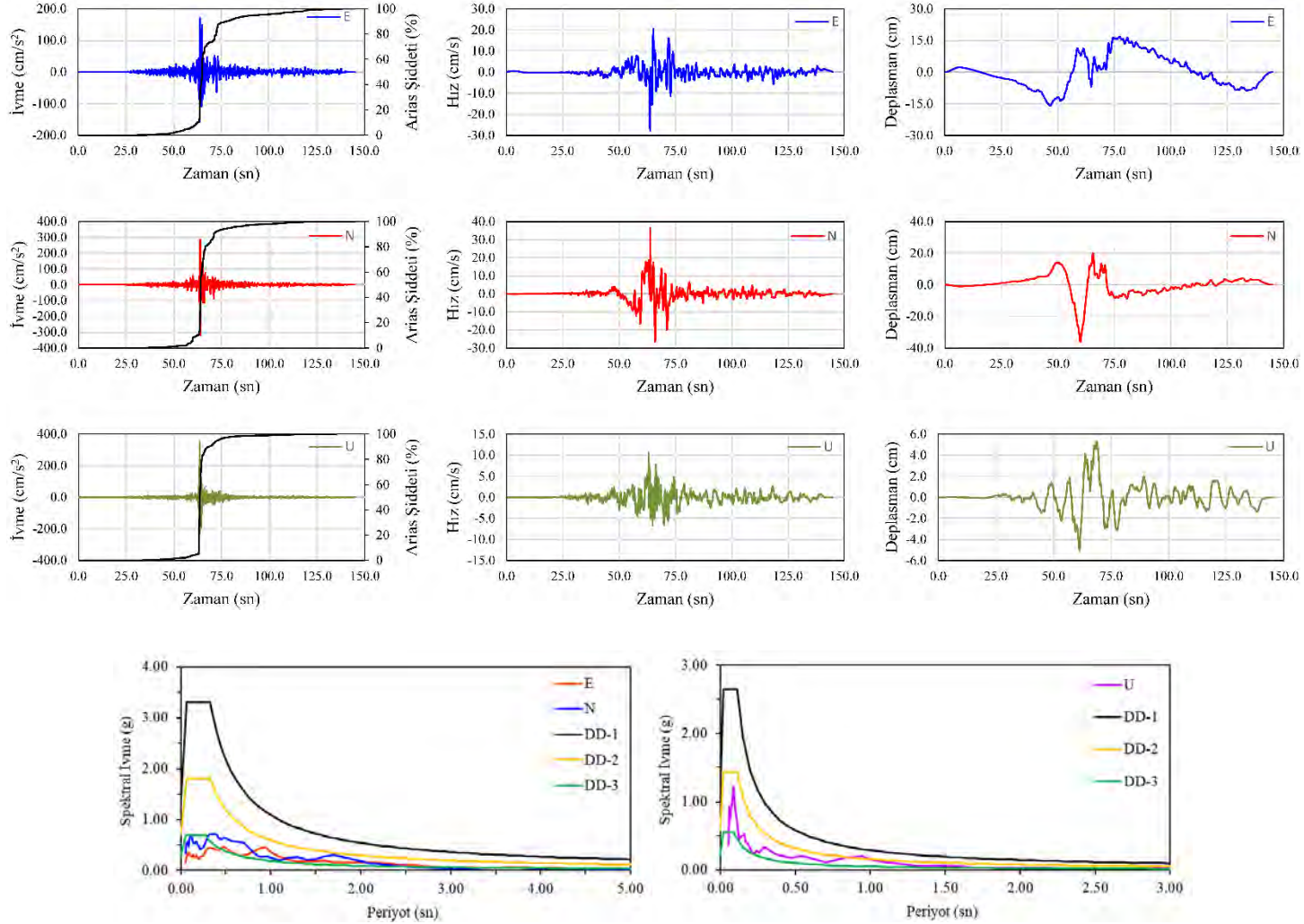
Şekil 10. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3129 (Hatay) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



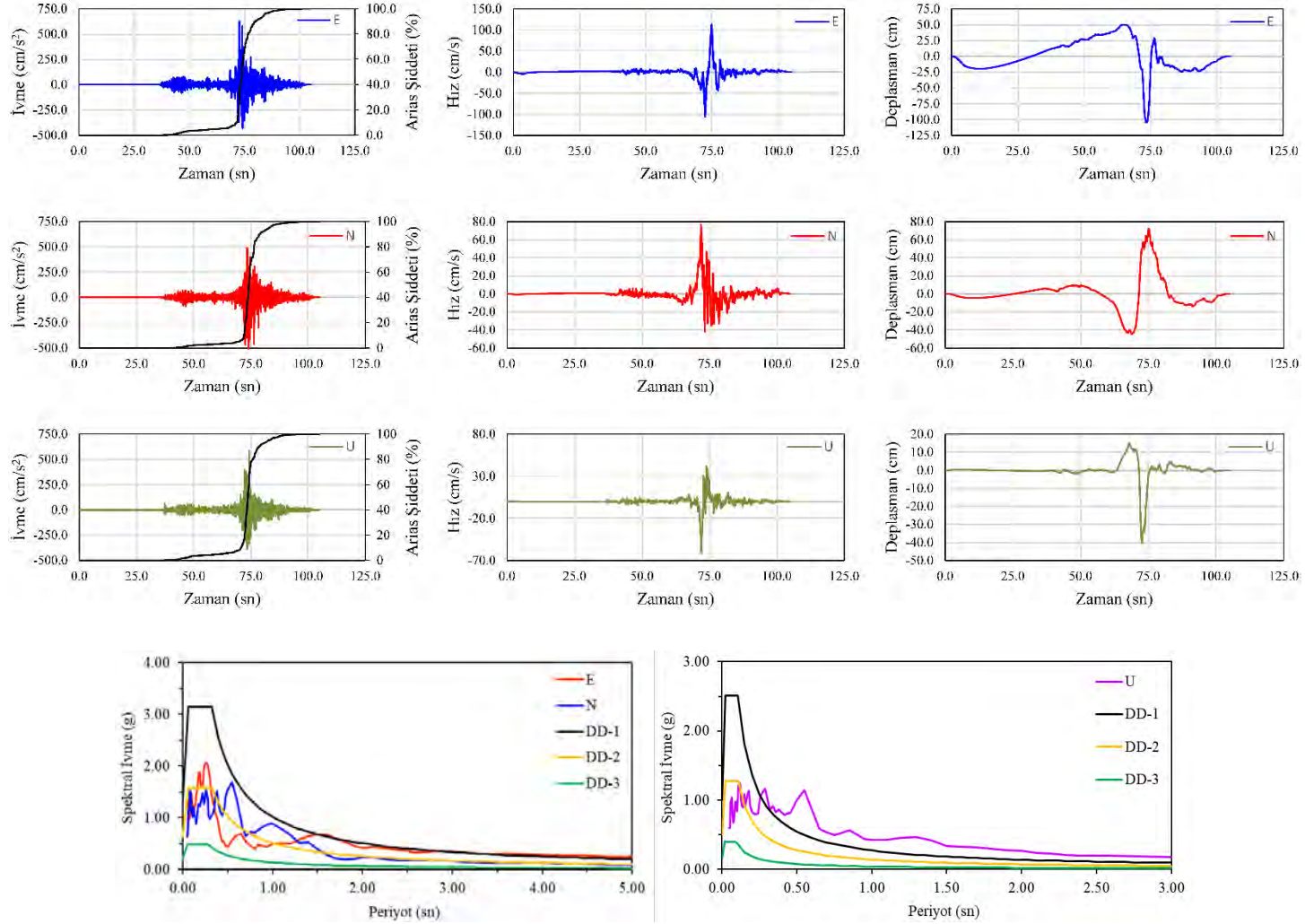
Şekil 11. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3125 (Hatay) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



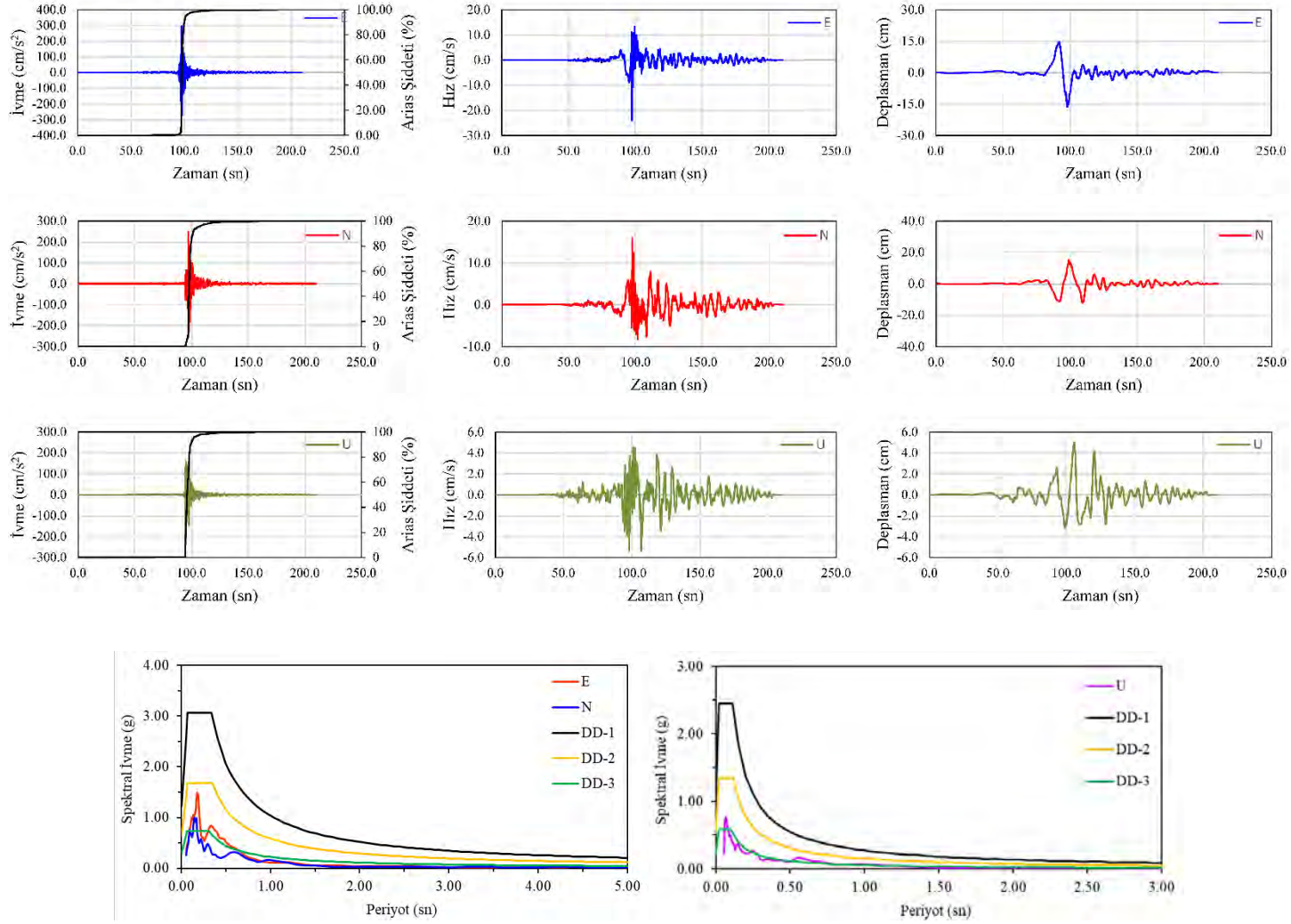
Şekil 12. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 0201 (Adıyaman) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



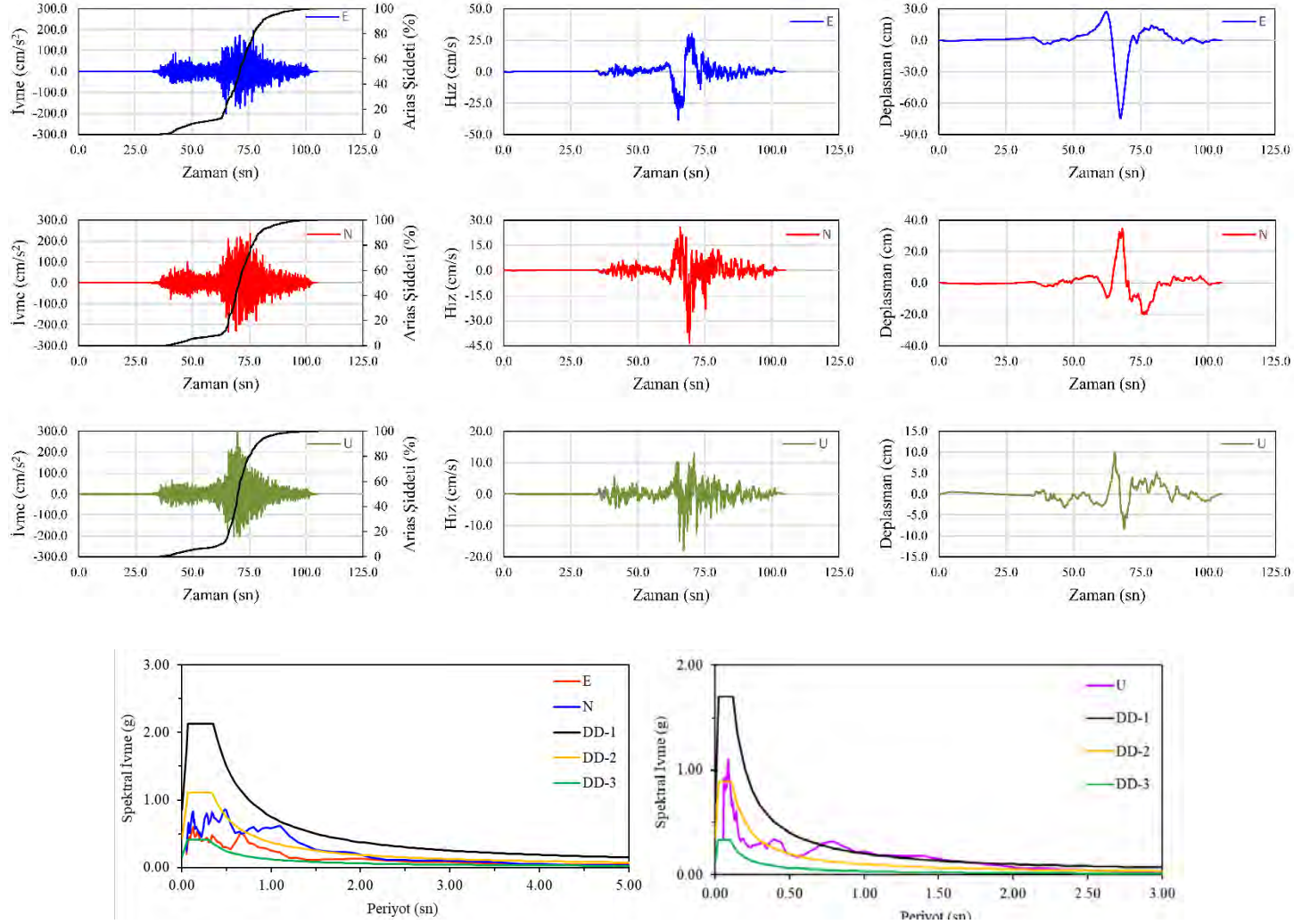
Şekil 13. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 2308 (Elazığ) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



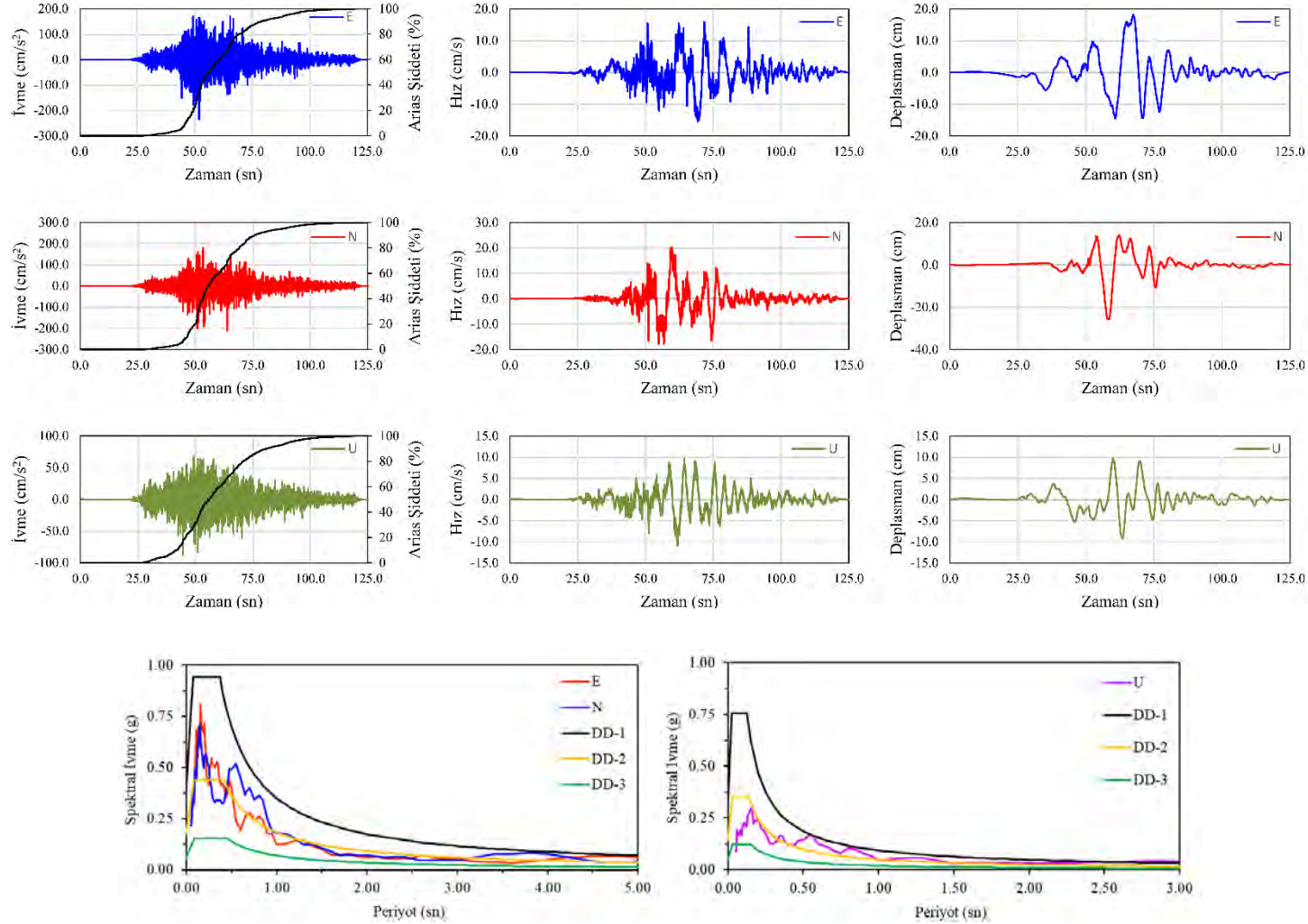
Şekil 14. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde (Mw = 7.7) 2718 (Gaziantep) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, N/A (ZC kabul edilmiştir))



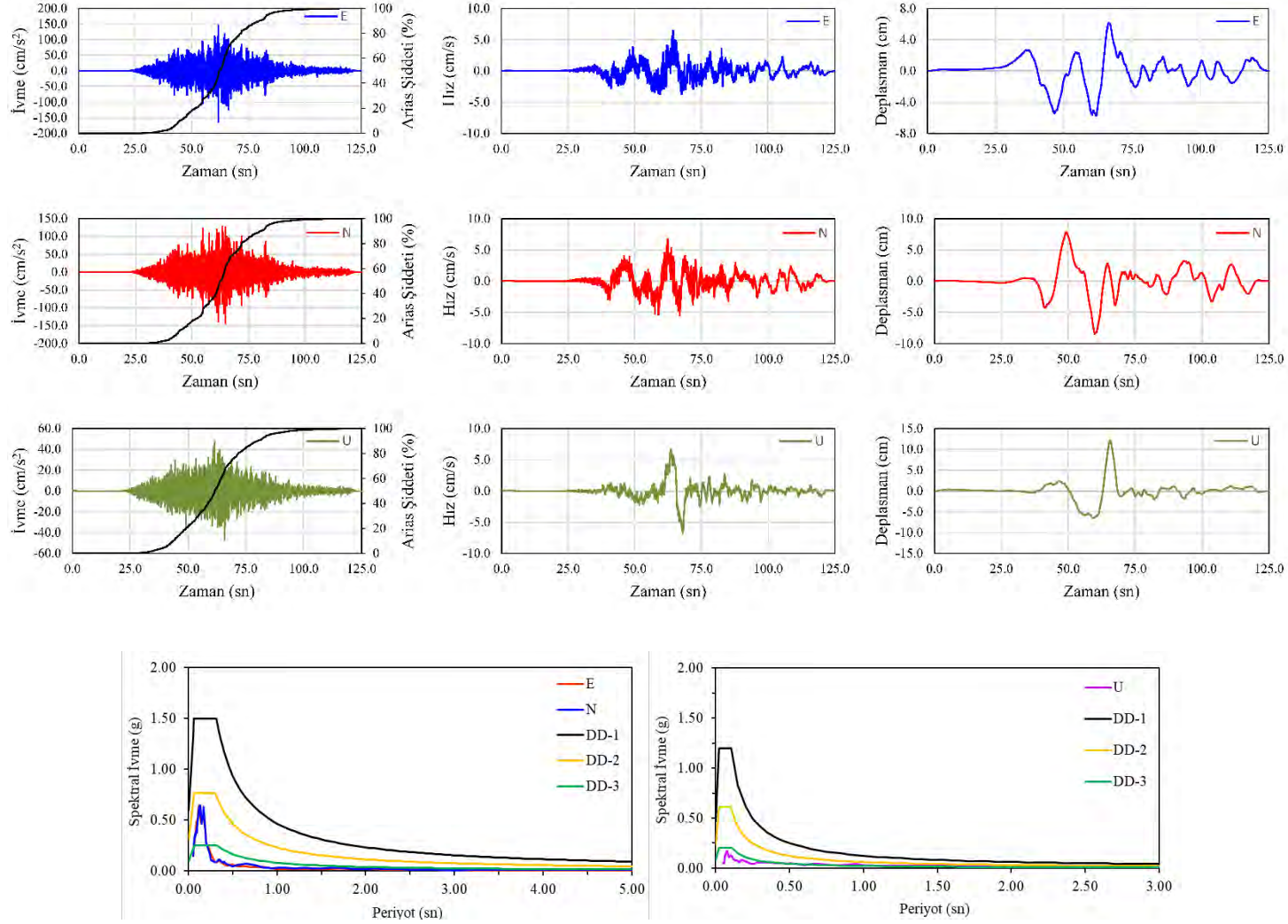
Şekil 15 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 1213 (Bingöl) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, N/A (ZC kabul edilmiştir))



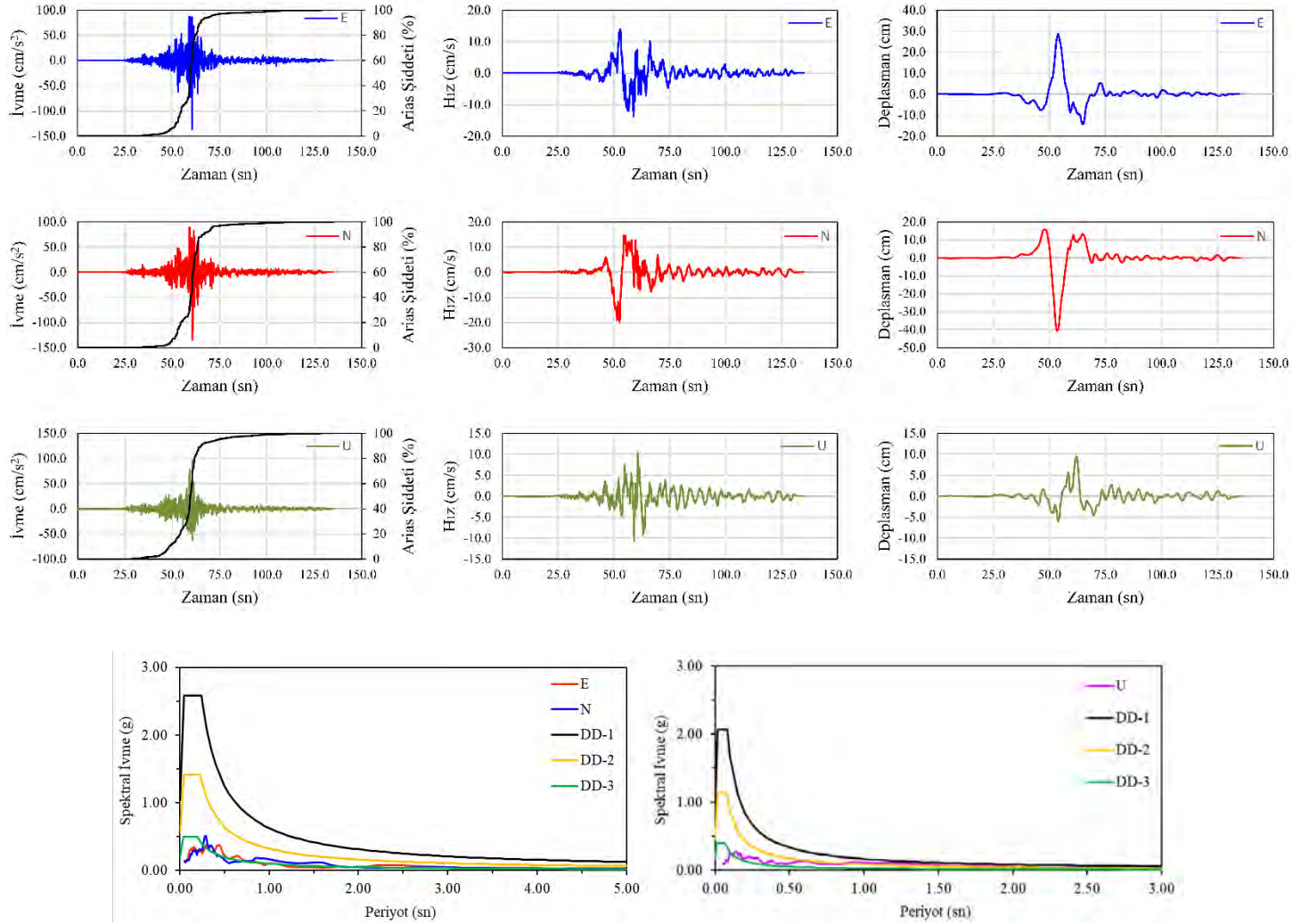
Şekil 16. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 8002 (Osmaniye) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



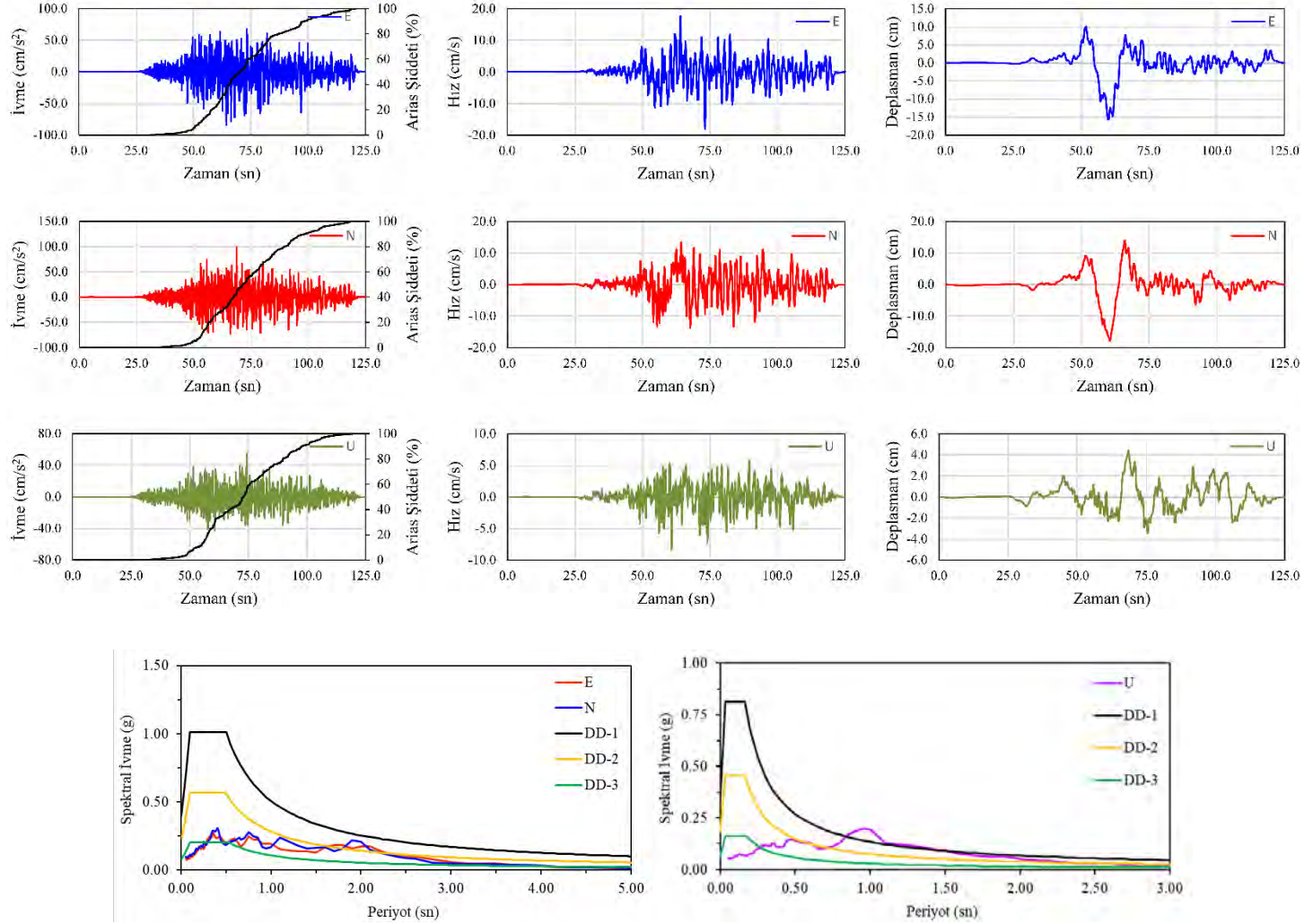
Şekil 17. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 6304 (Şanlıurfa) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



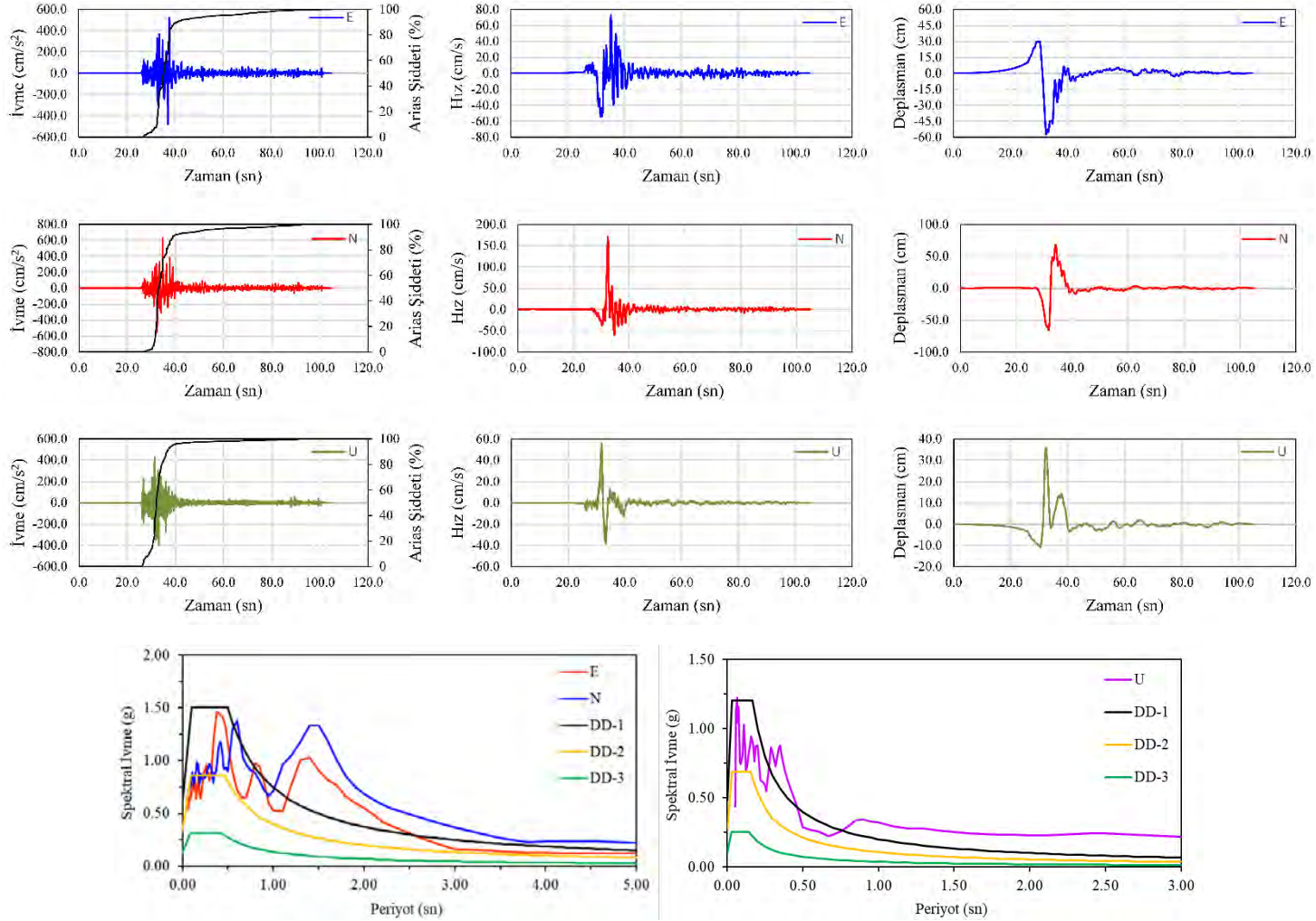
Şekil 18. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 0131 (Adana) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, N/A (ZC kabul edilmiştir))



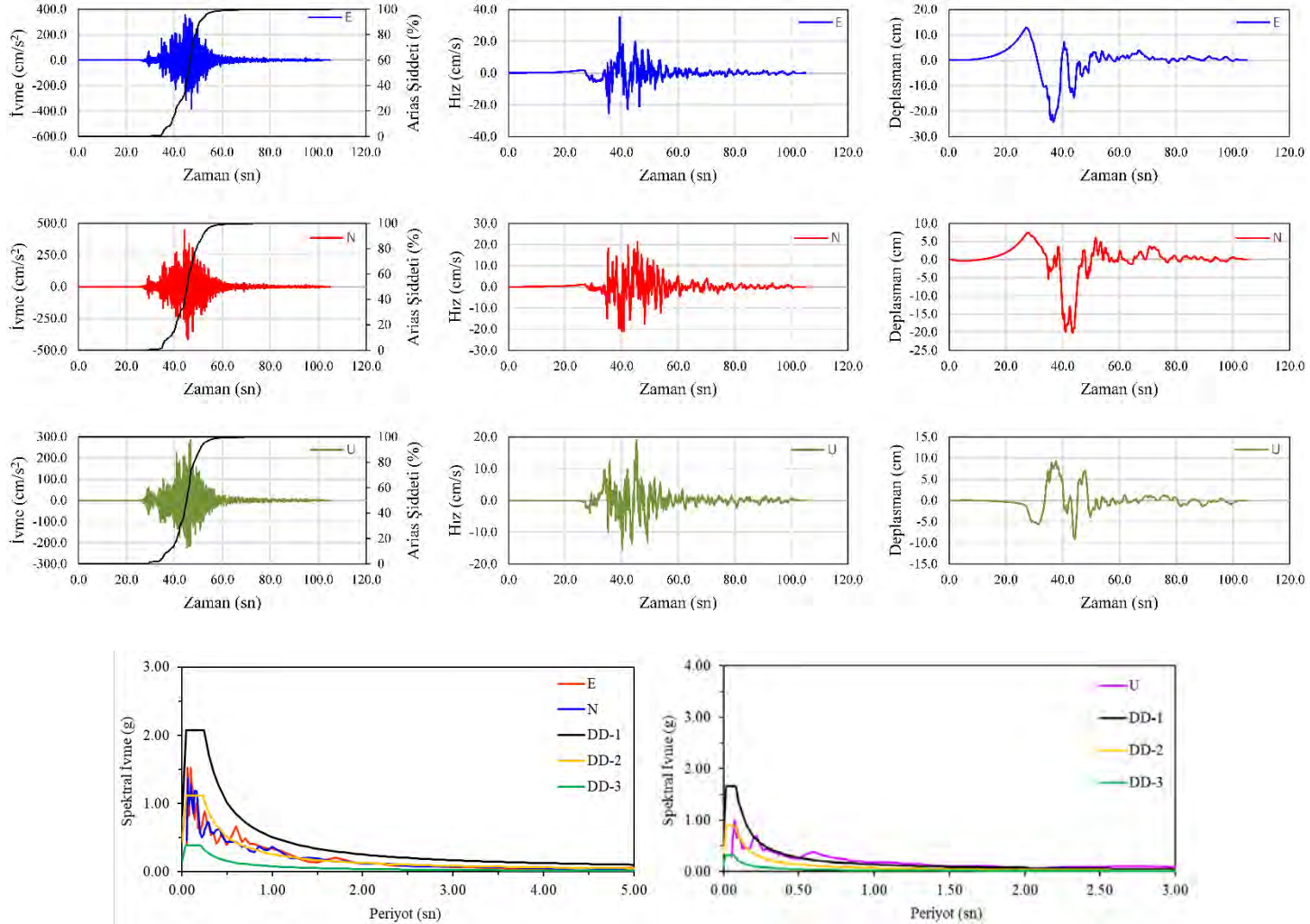
Şekil 19. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 4404 (Malatya) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZB)



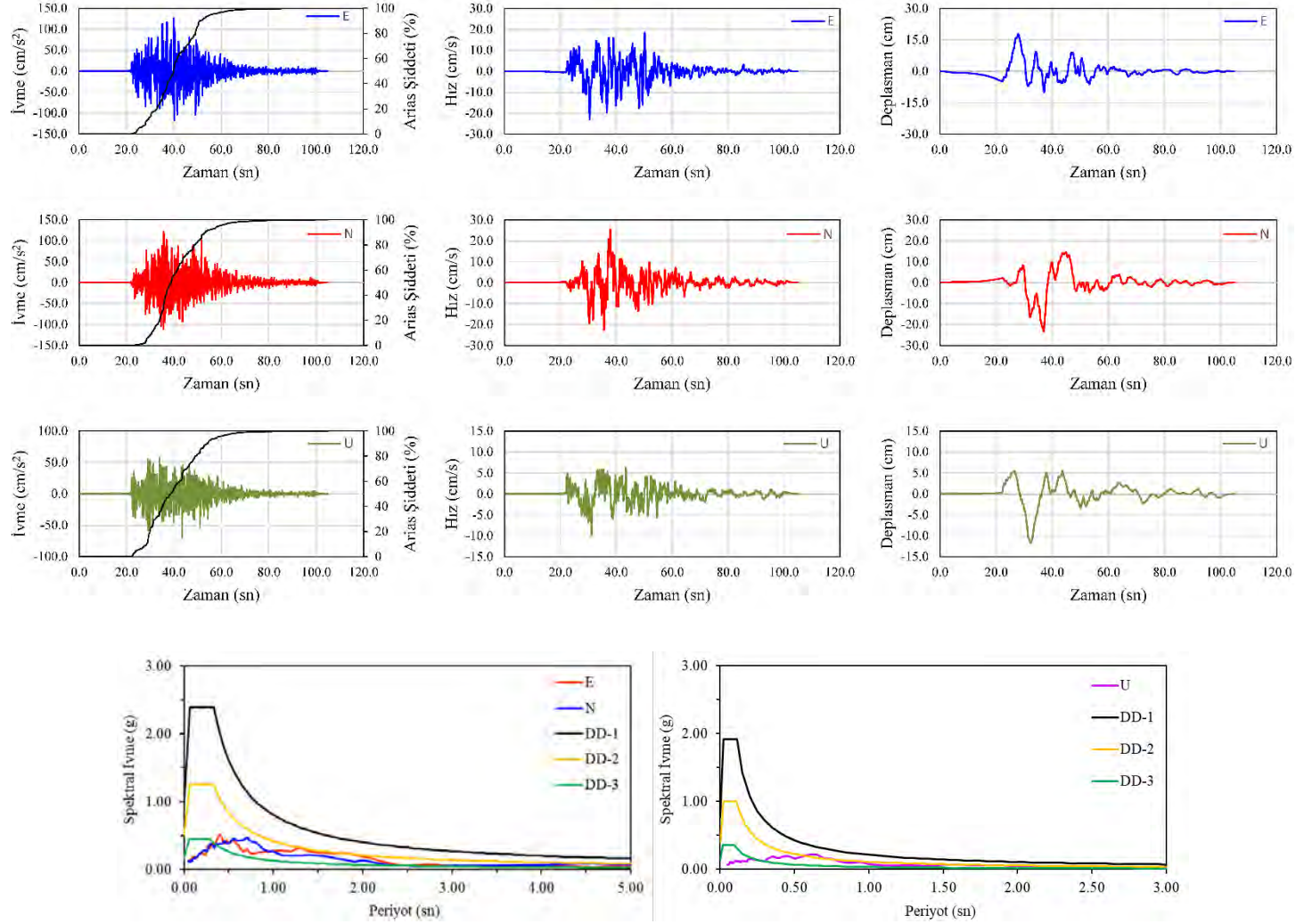
Şekil 20. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3802 (Kayseri) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZD)



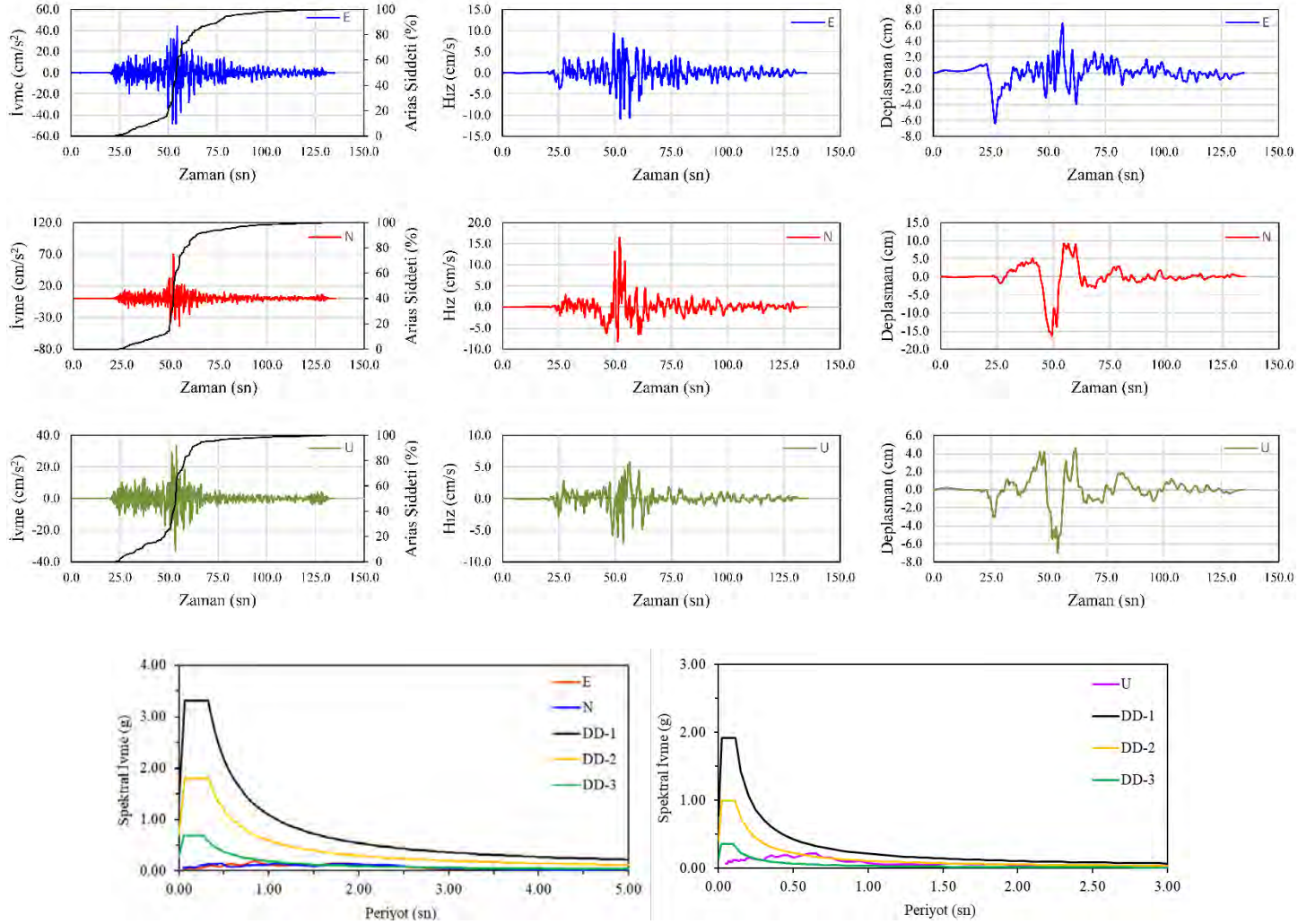
Şekil 21. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 4612 (Kahramanmaraş) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değıştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZD)



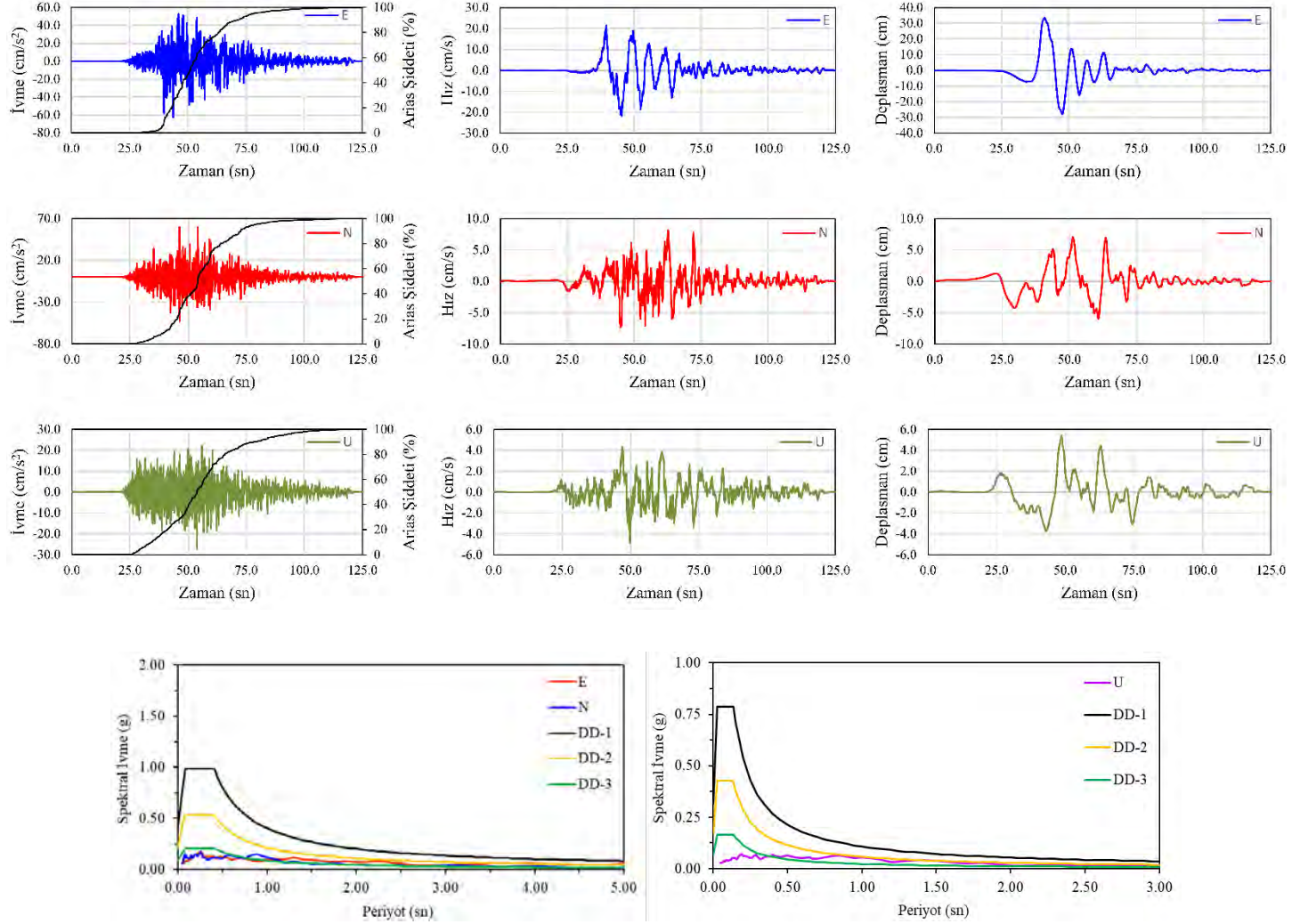
Şekil 22. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 4406 (Malatya) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZB)



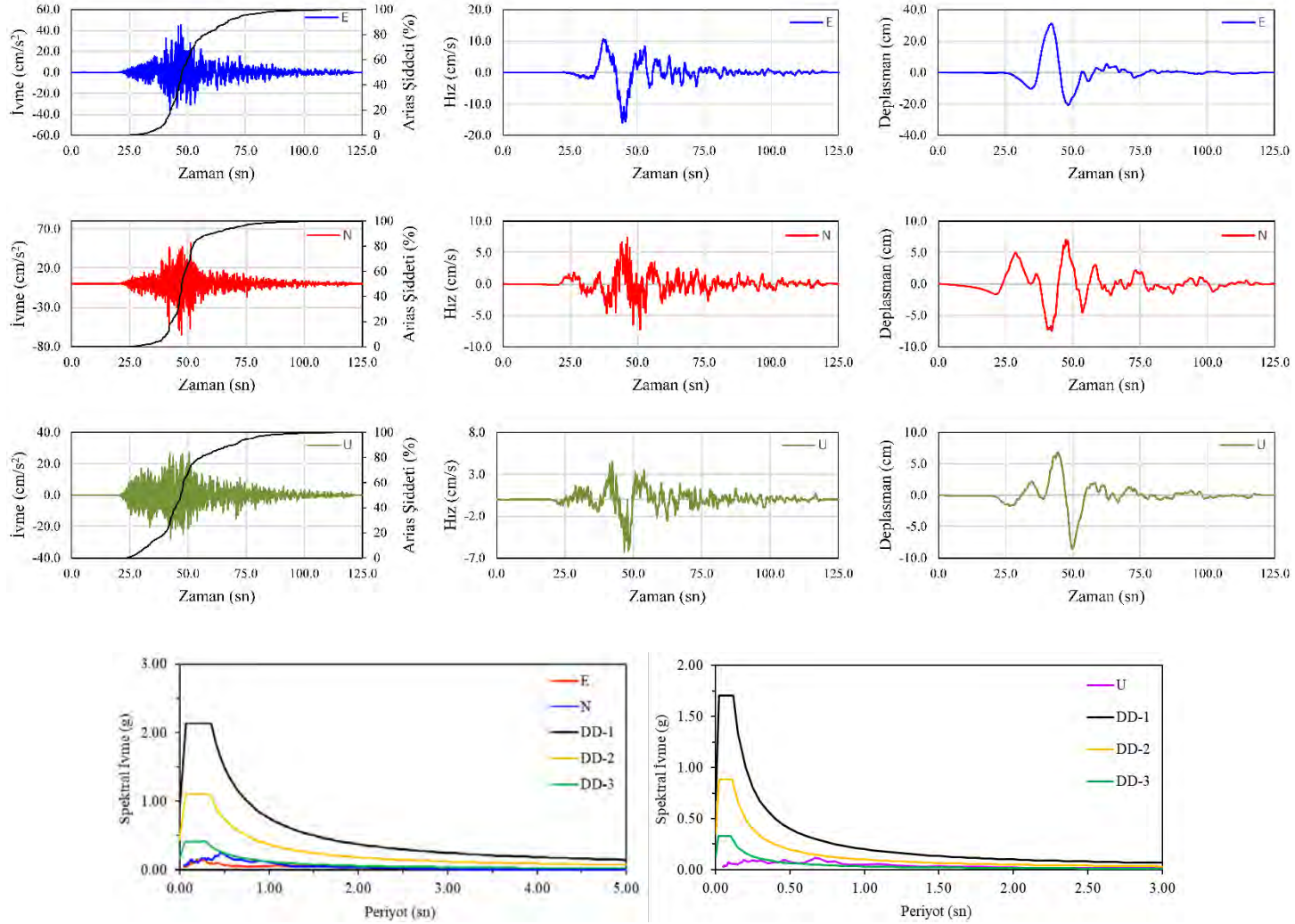
Şekil 23. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde (Mw = 7.6) 0213 (Adıyaman) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, N/A (ZC kabul edilmiştir))



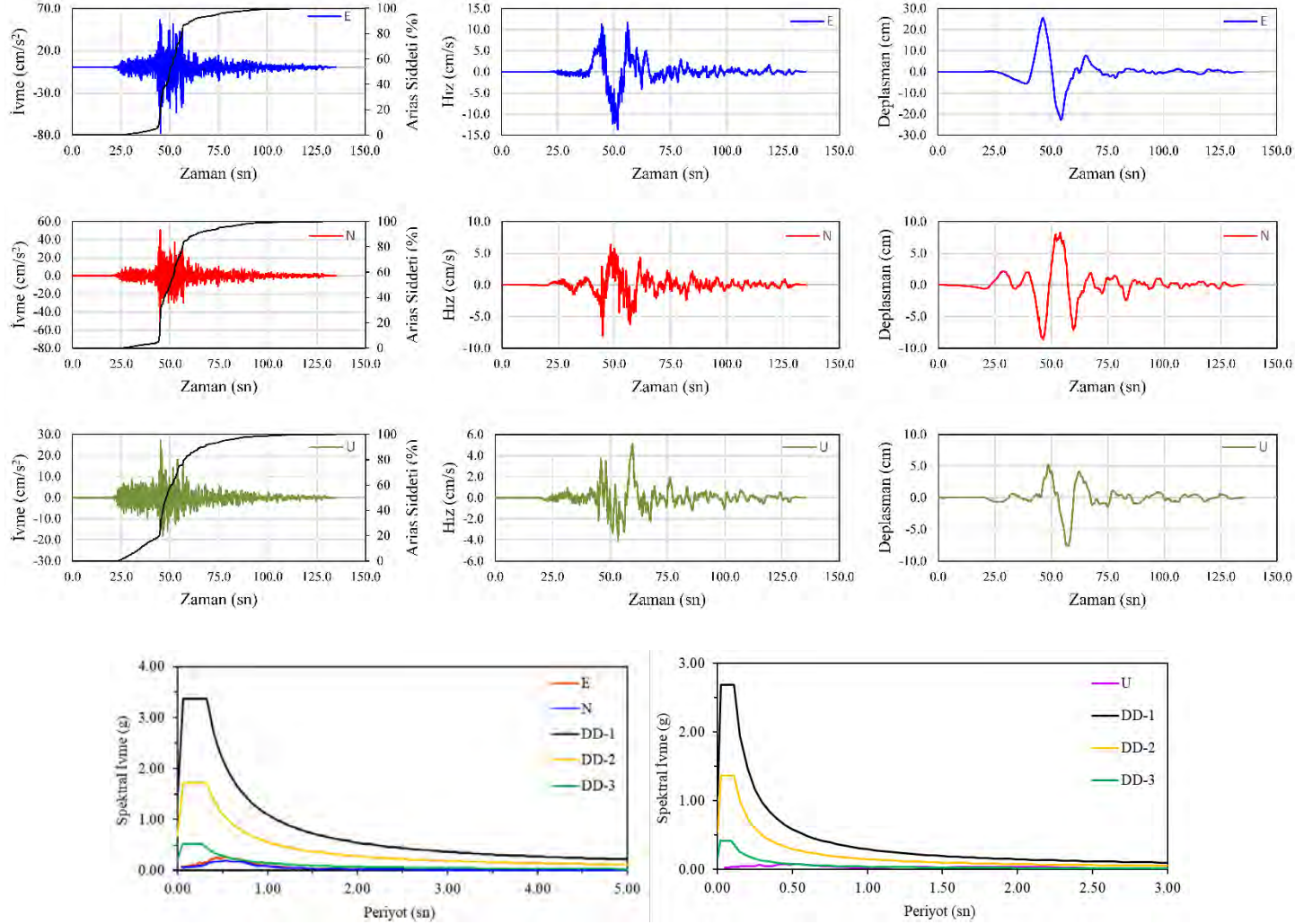
Şekil 24. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 2308 (Elazığ) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



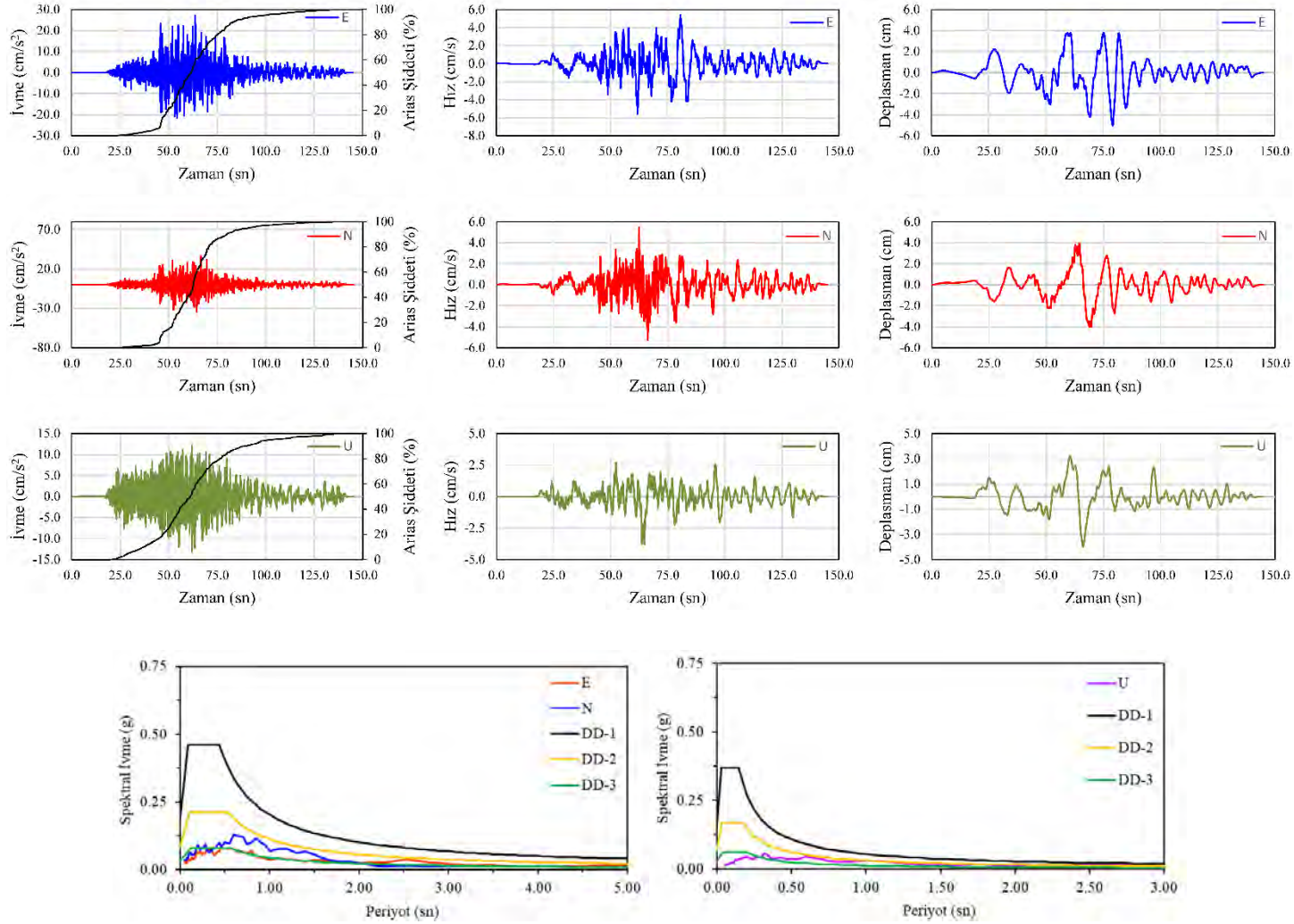
Şekil 25. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 2703 (Gaziantep) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



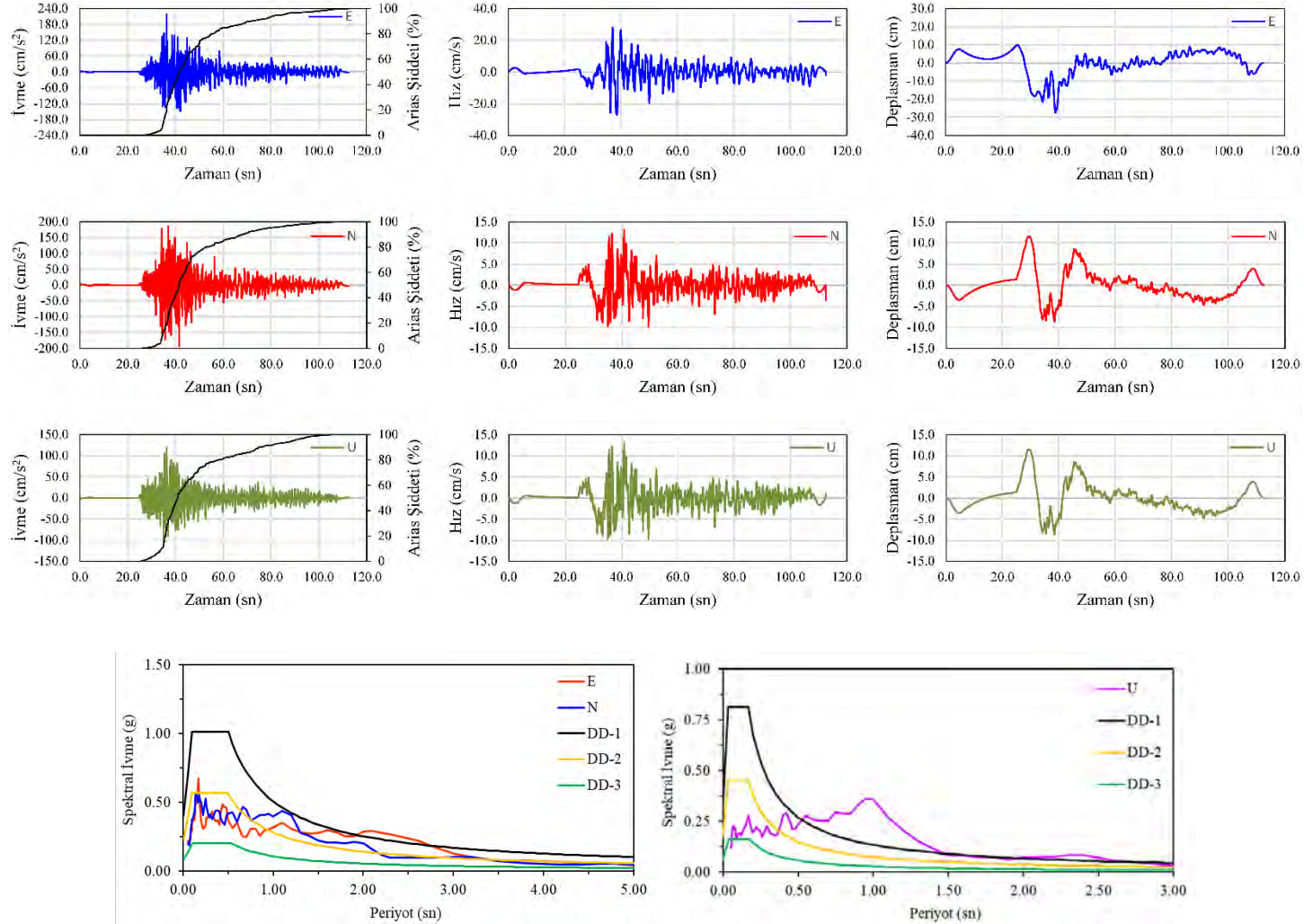
Şekil 26. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 8002 (Osmaniye) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



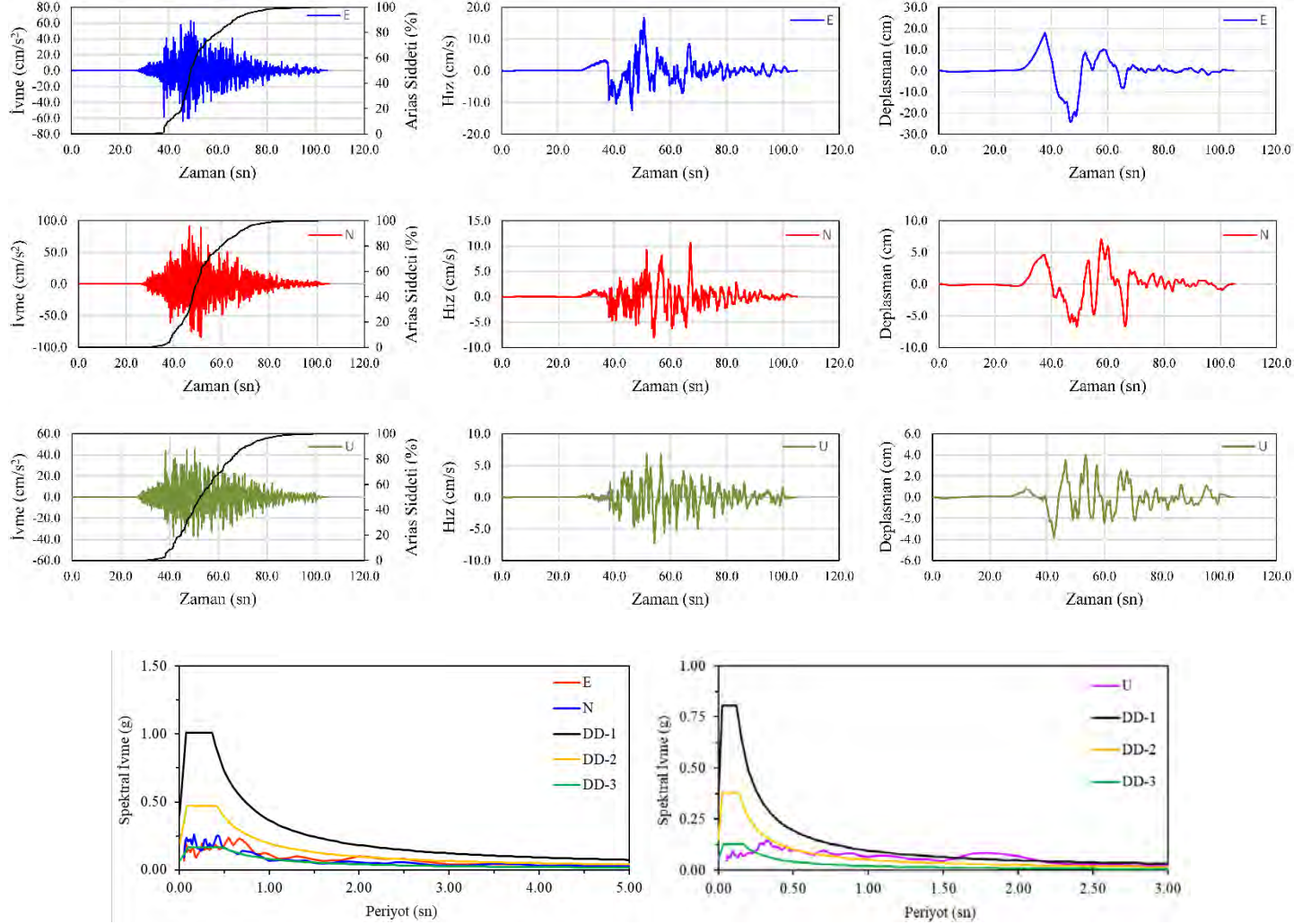
Şekil 27. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 3144 (Hatay) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



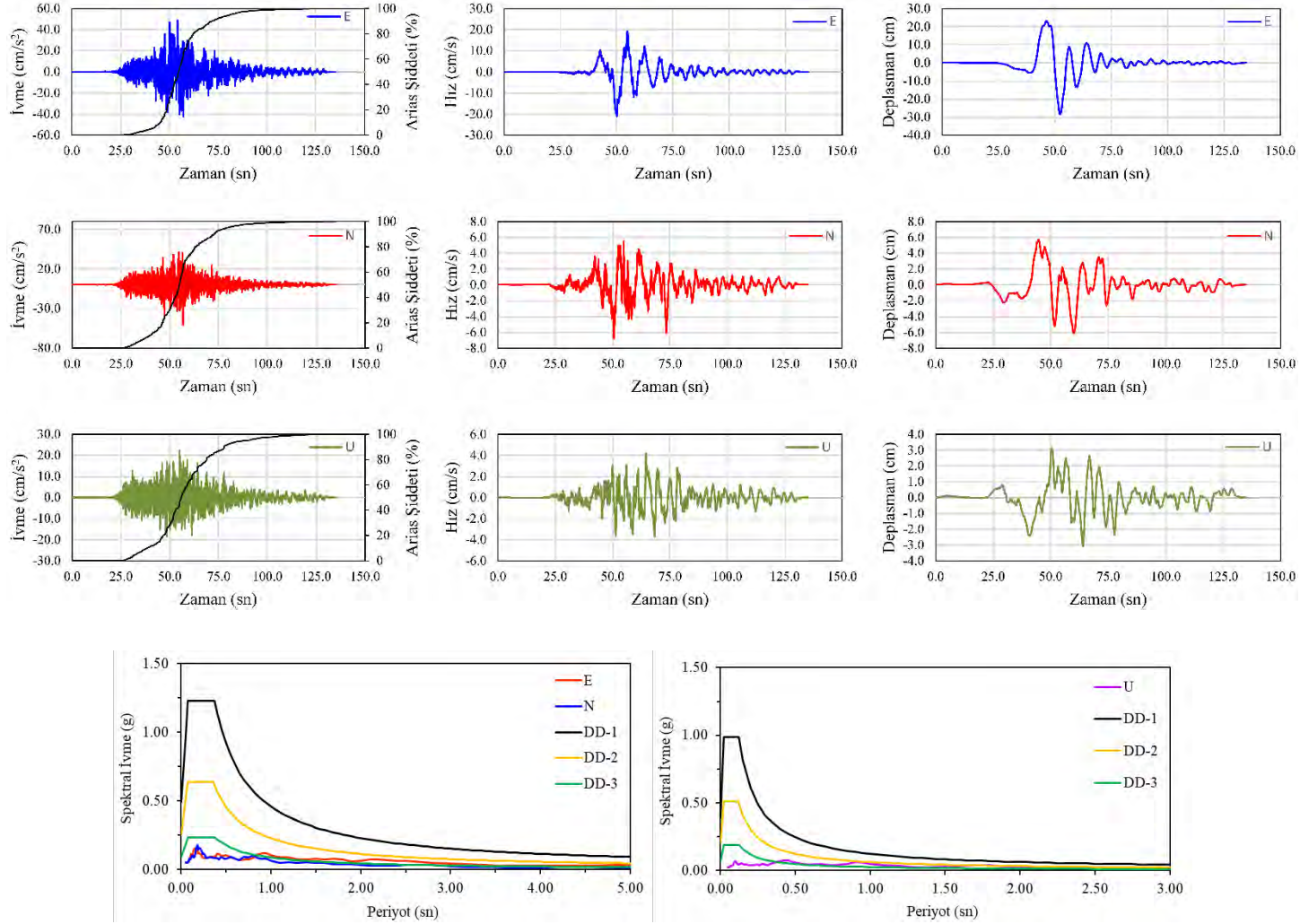
Şekil 28. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 6306 (Şanlıurfa) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, N/A (ZC kabul edilmiştir))



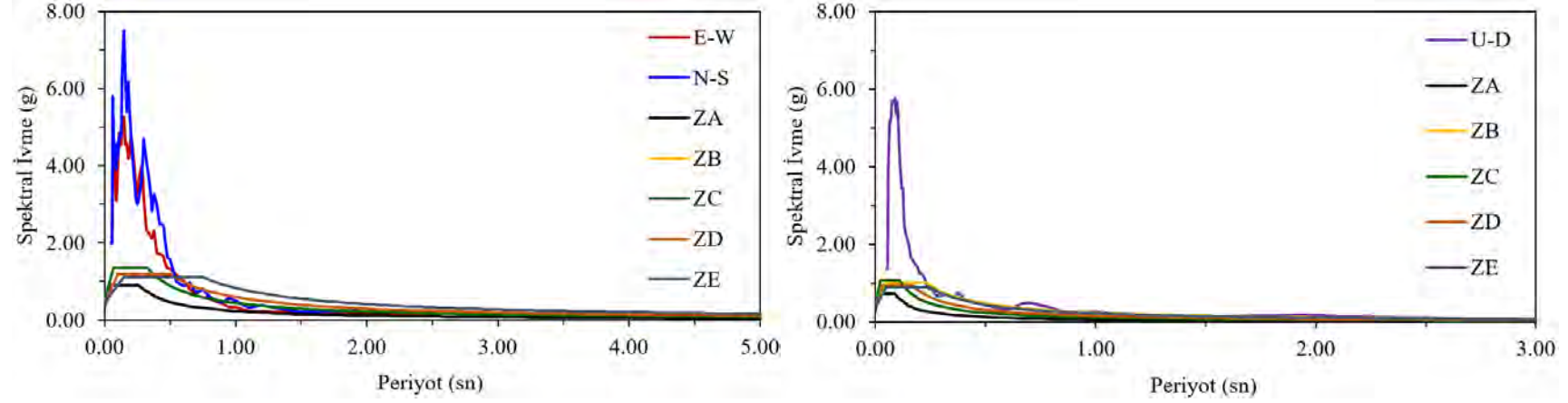
Şekil 29. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 3802 (Kayseri) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZD)



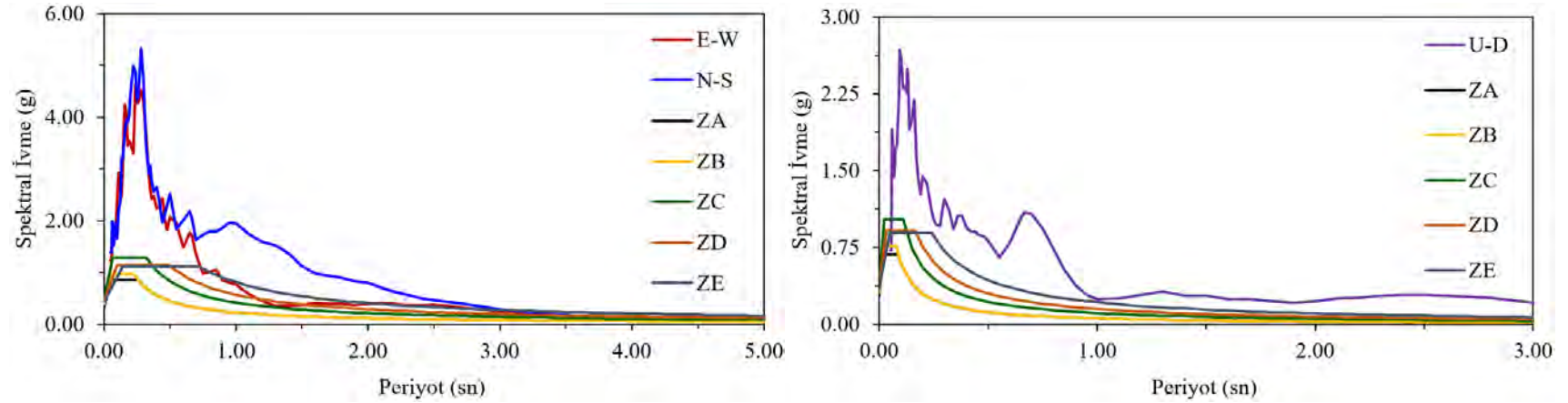
Şekil 30. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 5807 (Sivas) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



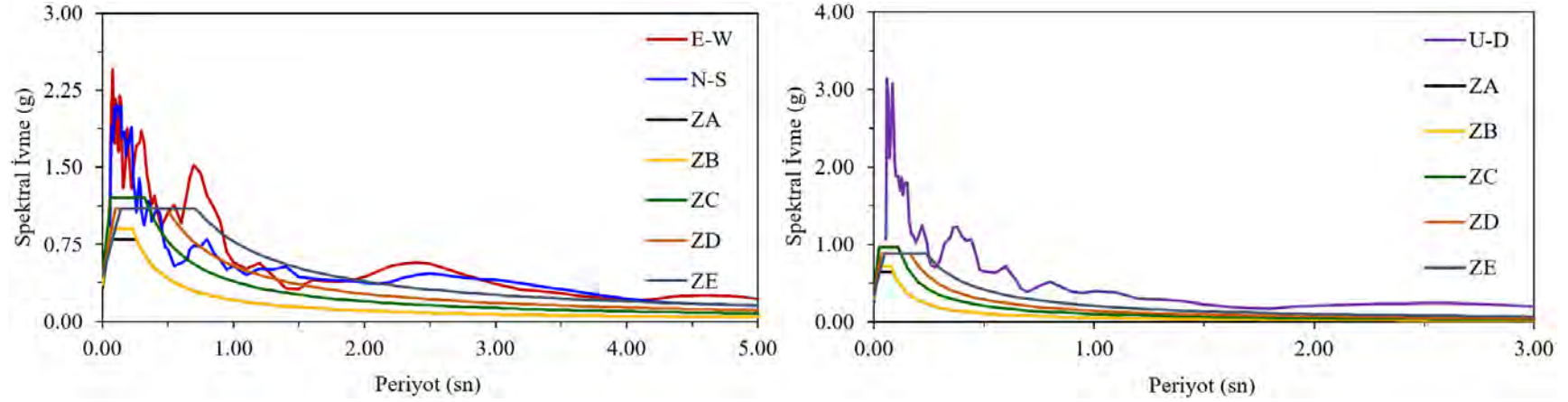
Şekil 31. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 7901 (Kilis) istasyonundan elde edilen yer hareketine ait ivme, hız, yer değiştirme grafikleri ve tepki spektrumları ($\xi = \%5$, ZC)



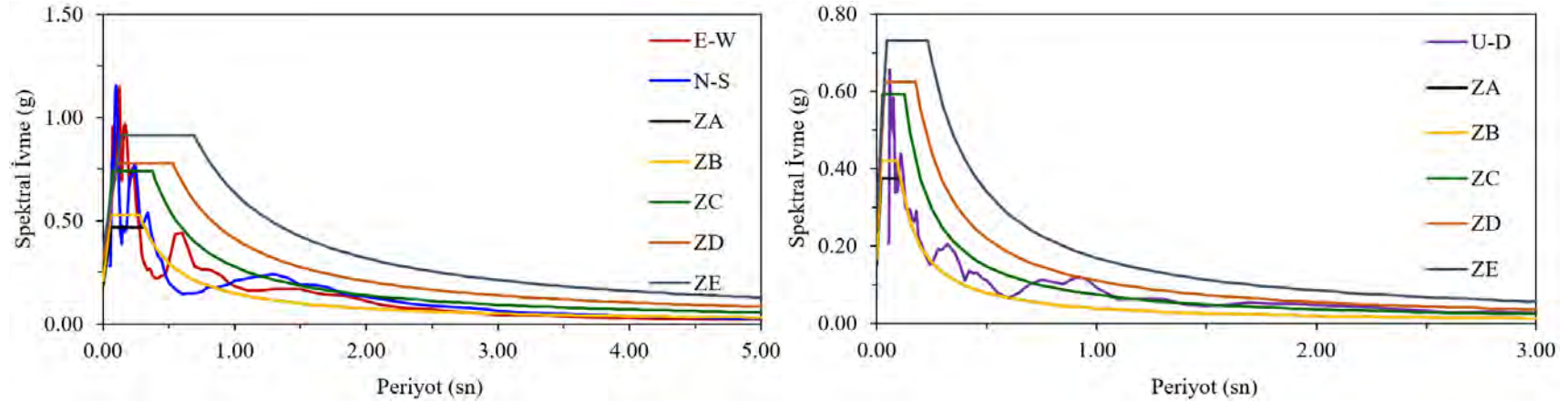
Şekil 32. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 4614 (Kahramanmaraş) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



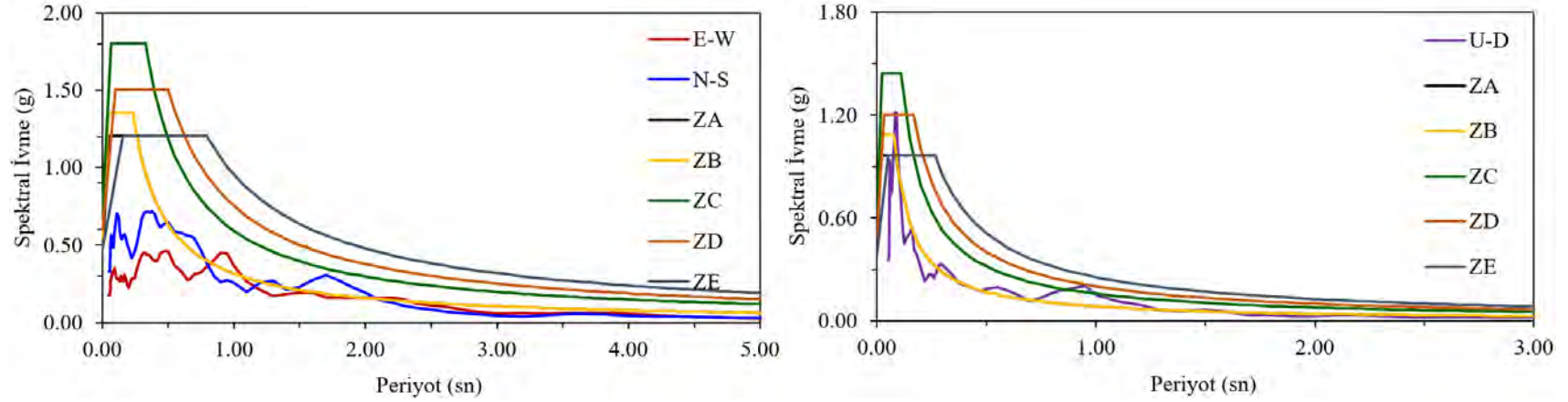
Şekil 33. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3129 (Hatay) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



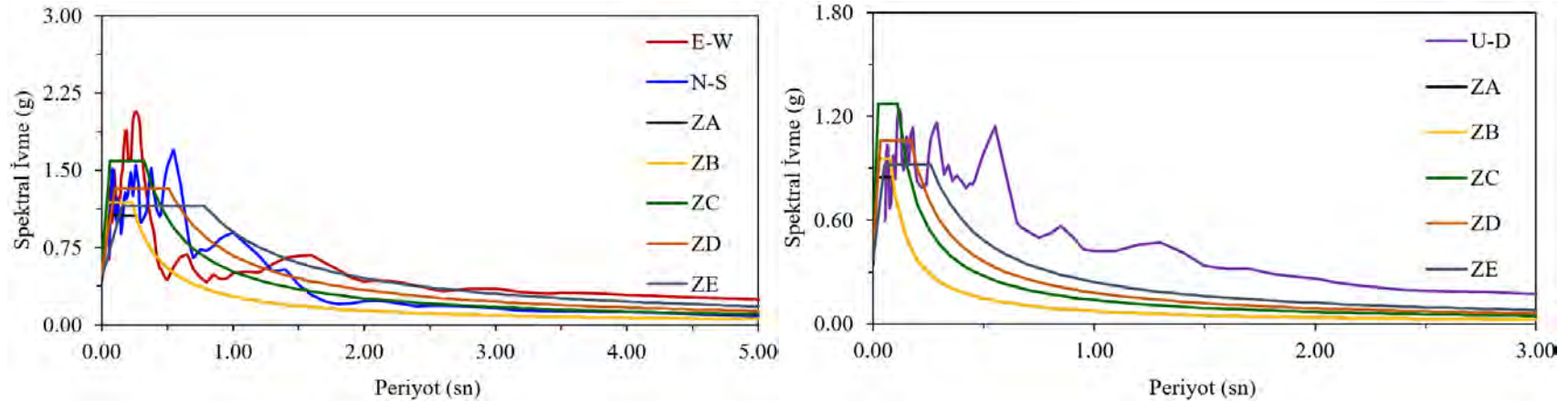
Şekil 34. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3125 (Hatay) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



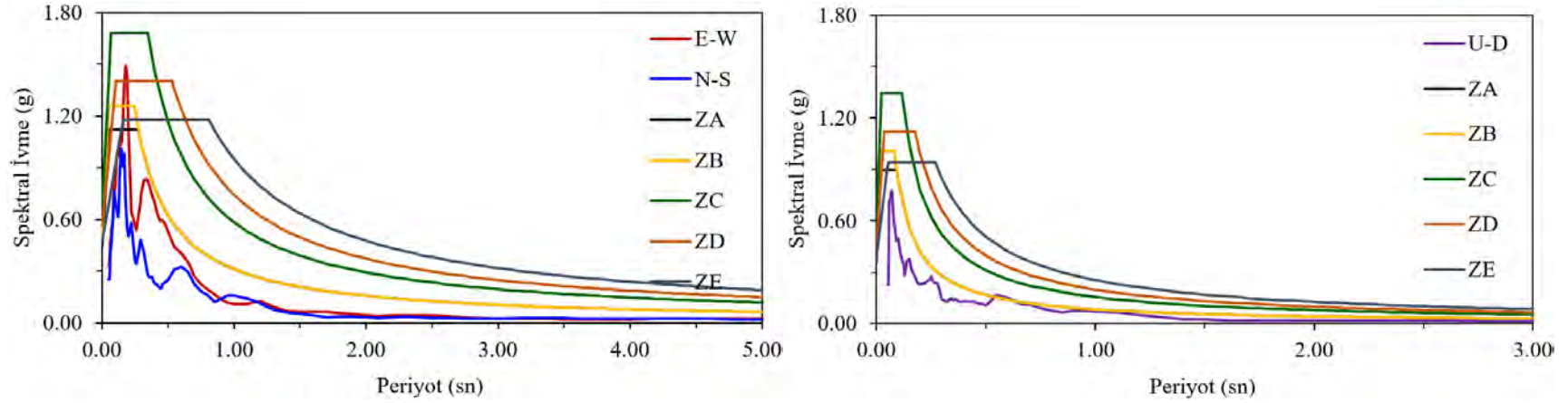
Şekil 35. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 0201 (Adıyaman) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



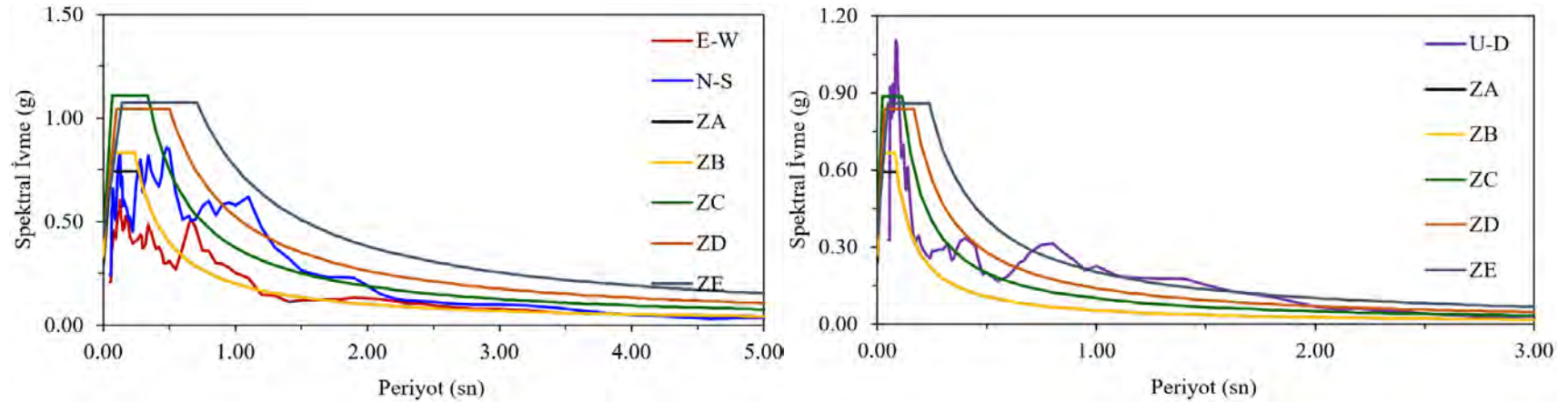
Şekil 36. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 2308 (Elazığ) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



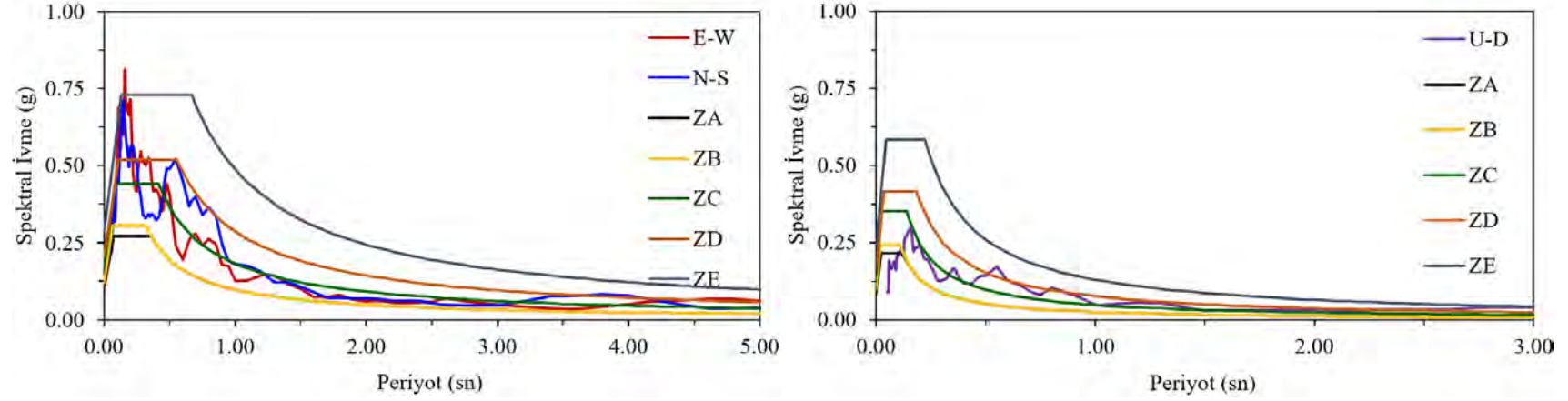
Şekil 37. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 2718 (Gaziantep) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



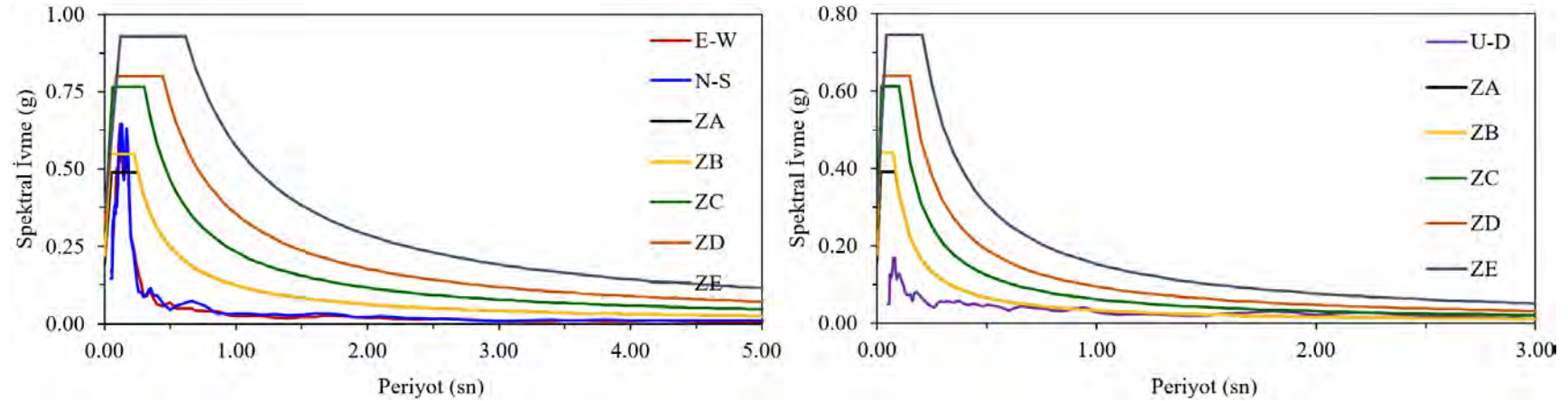
Şekil 38. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 1213 (Bingöl) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



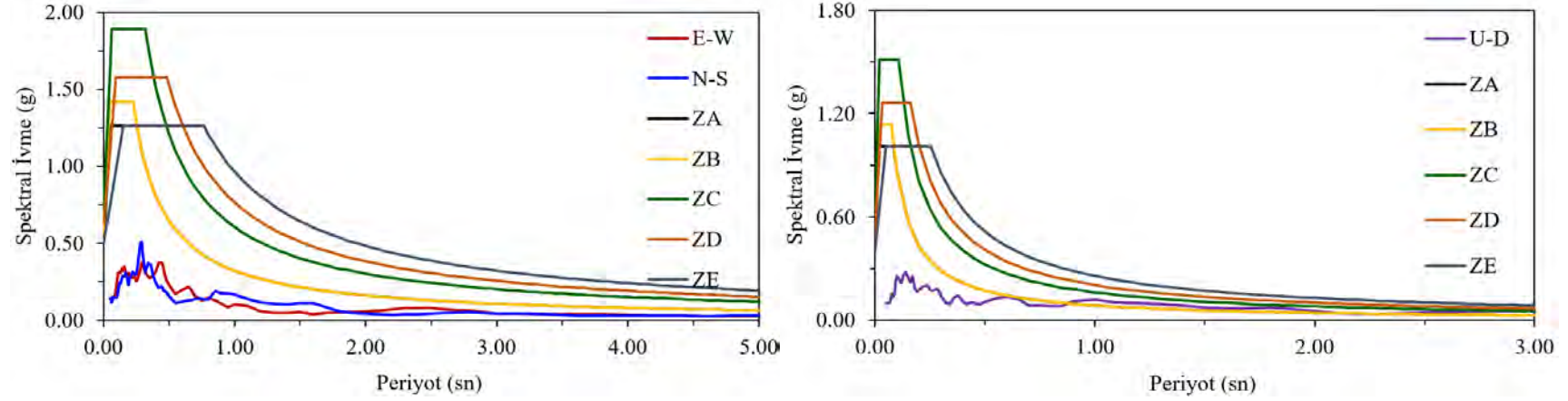
Şekil 39. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 8002 (Osmaniye) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



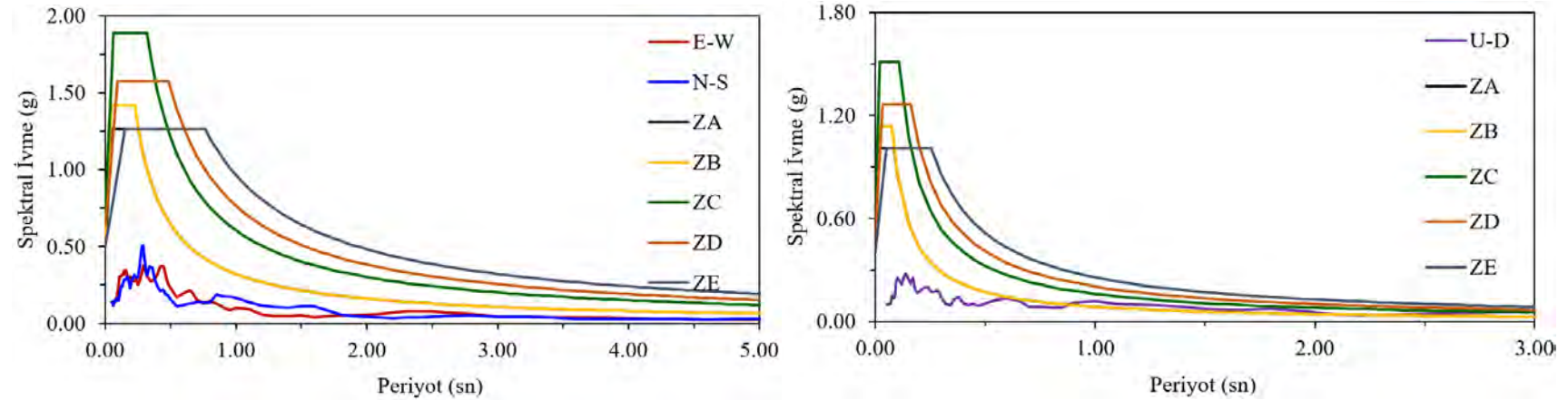
Şekil 40. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 6304 (Şanlıurfa) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



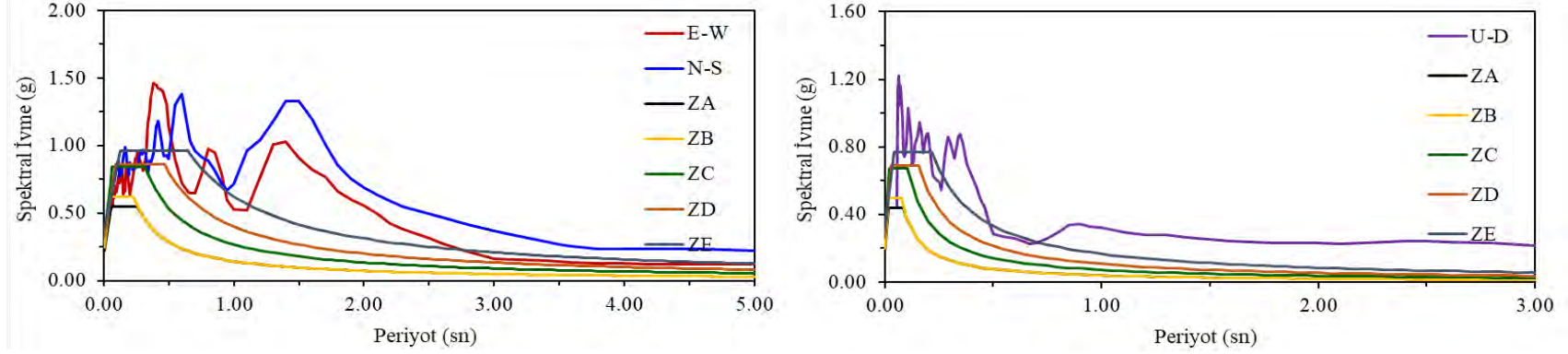
Şekil 41. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 0131 (Adana) istasyonundan elde alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



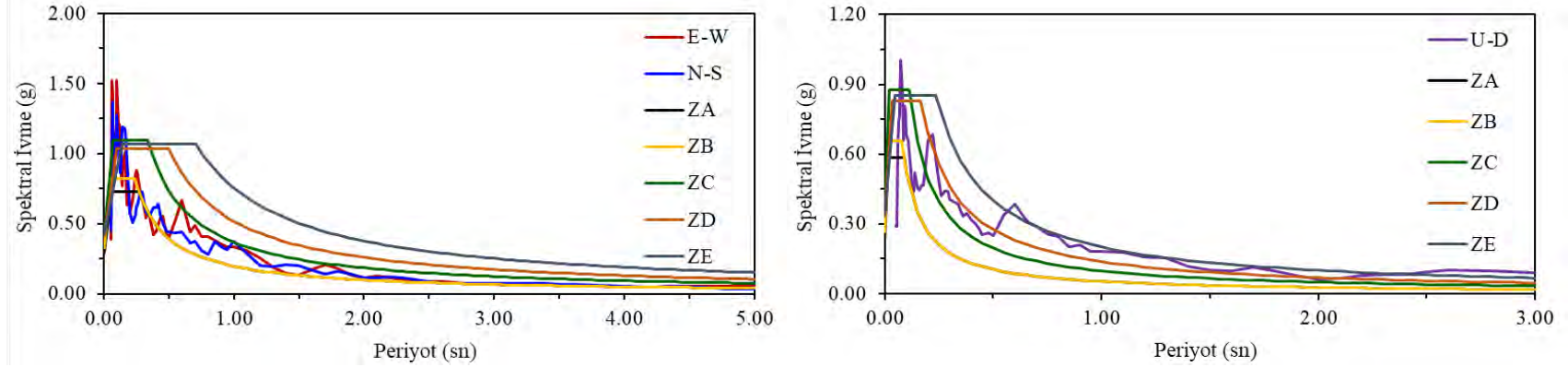
Şekil 42. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 4404 (Malatya) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



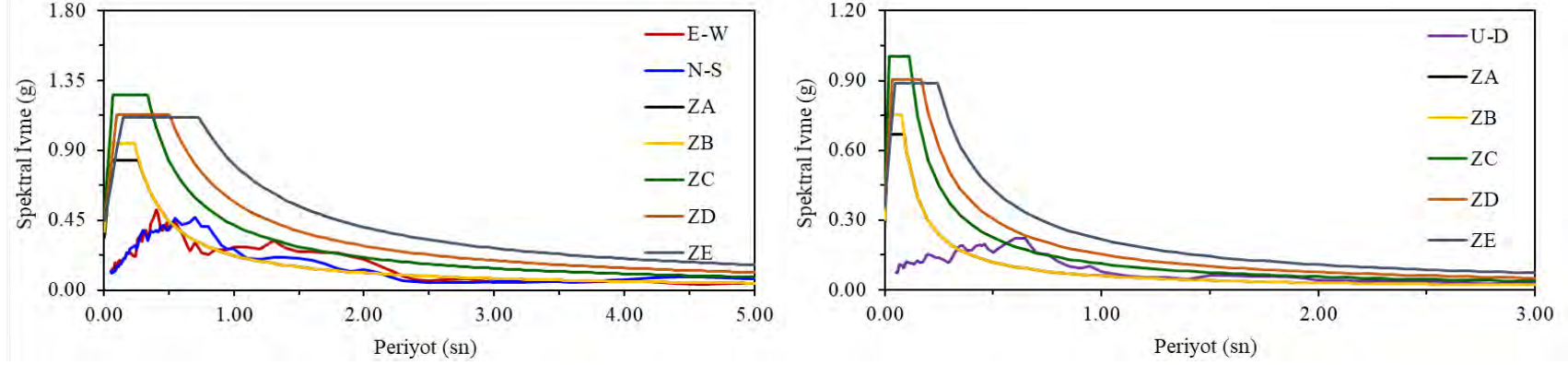
Şekil 43. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.7$) 3802 (Kayseri) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



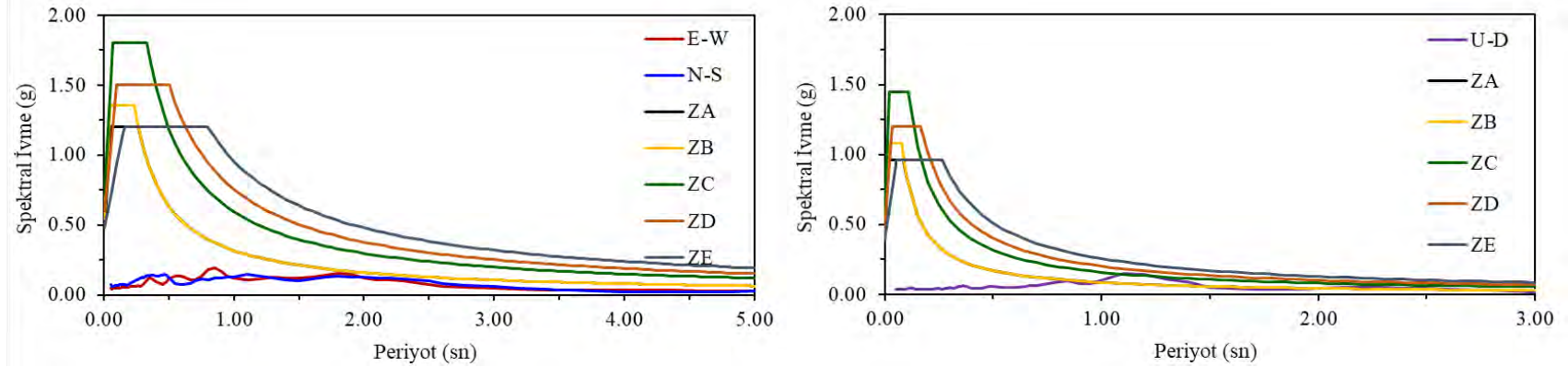
Şekil 44. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 4612 (Kahramanmaraş) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



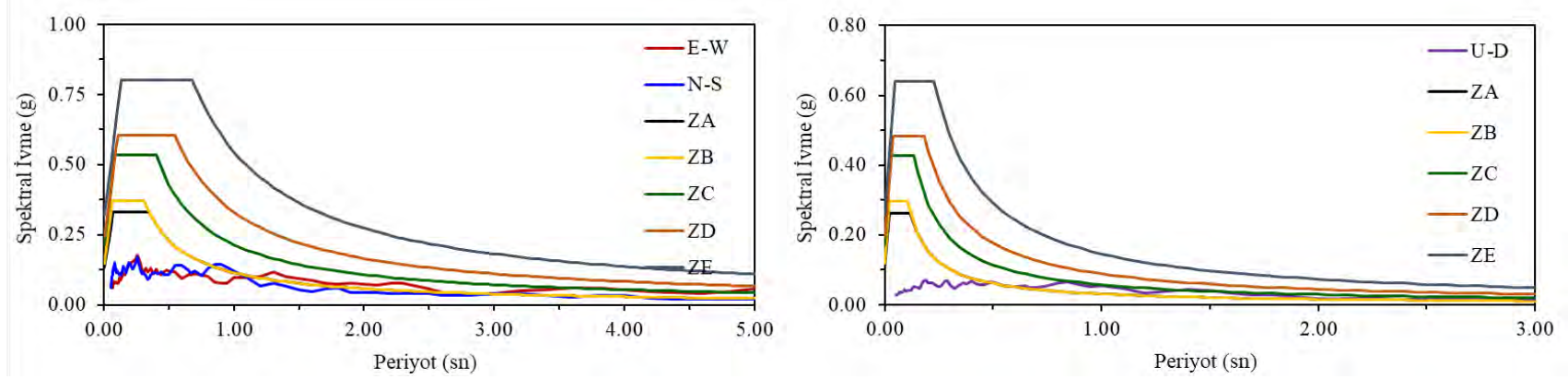
Şekil 45. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 4406 (Malatya) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



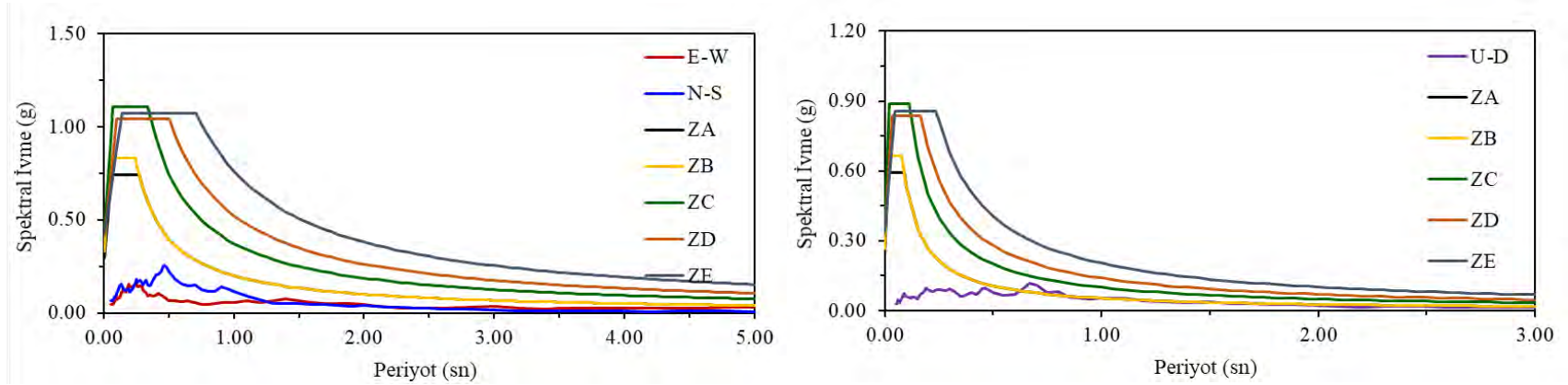
Şekil 46. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 0213 (Adıyaman) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



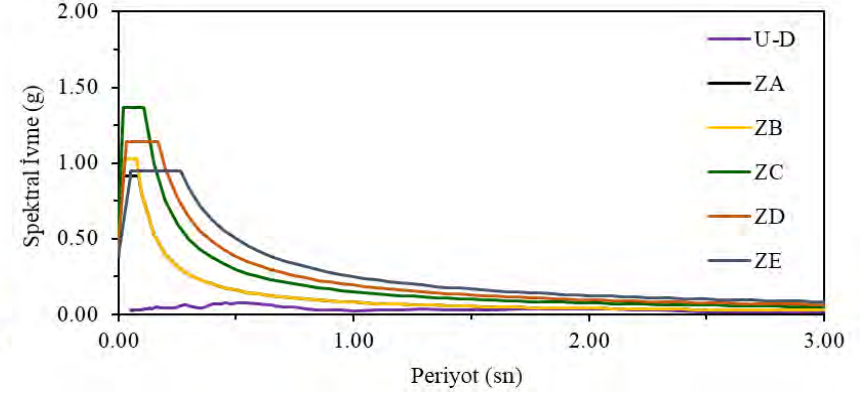
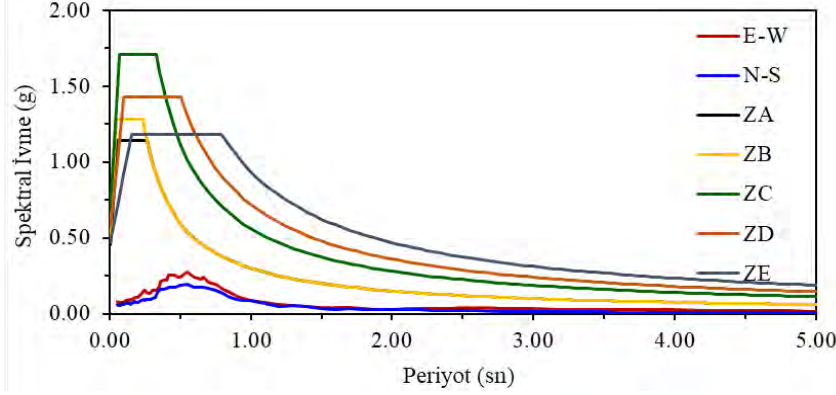
Şekil 47. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 2308 (Elazığ) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



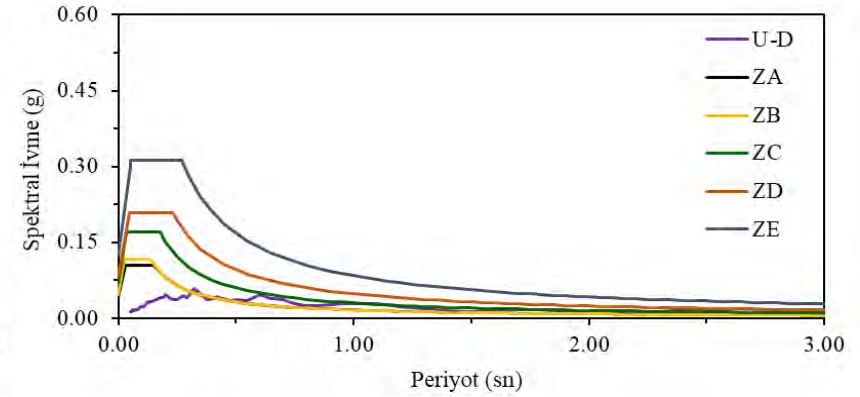
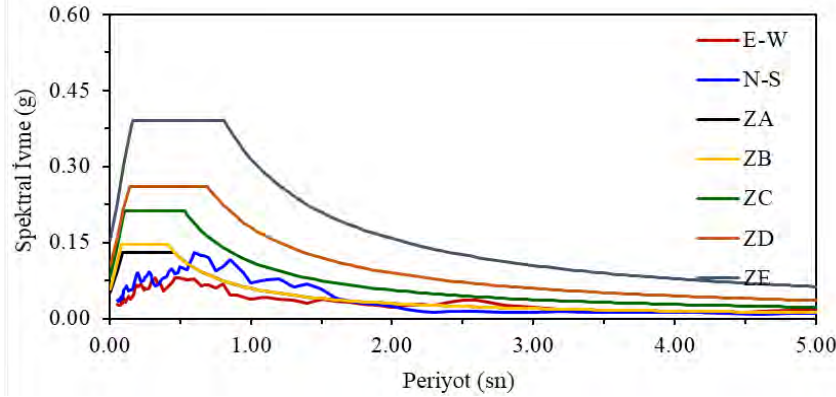
Şekil 48. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 2703 (Gaziantep) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



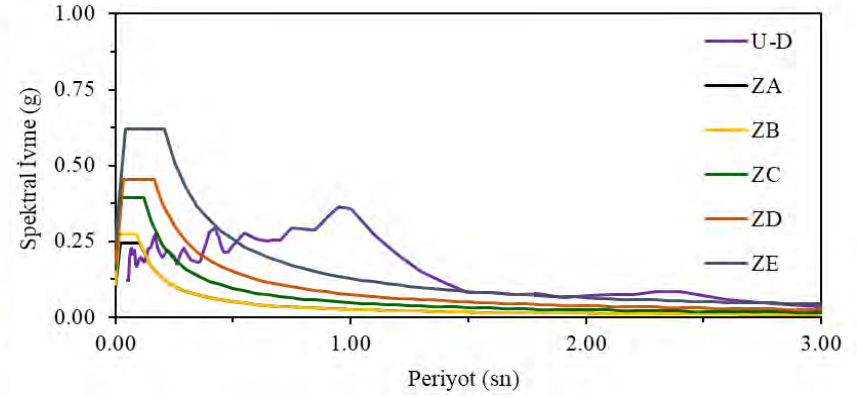
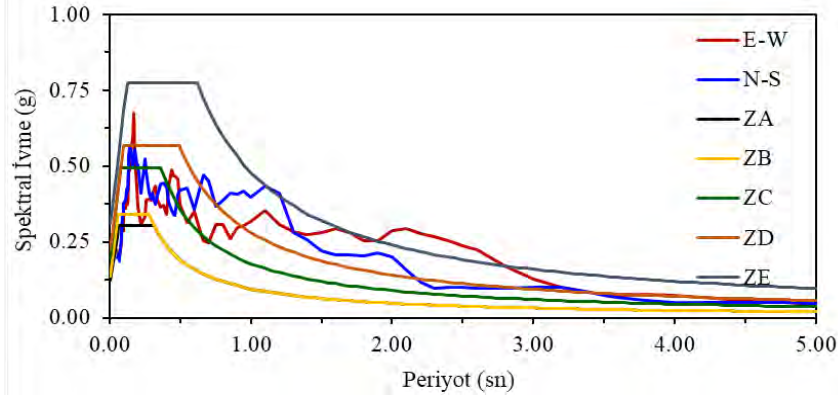
Şekil 49. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 8002 (Osmaniye) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



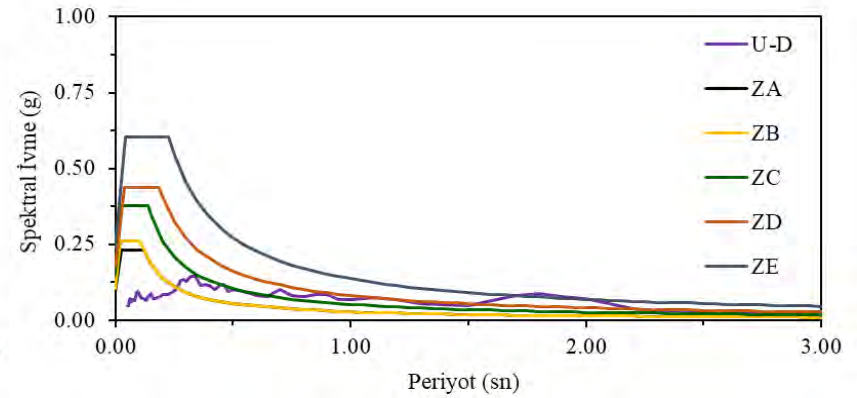
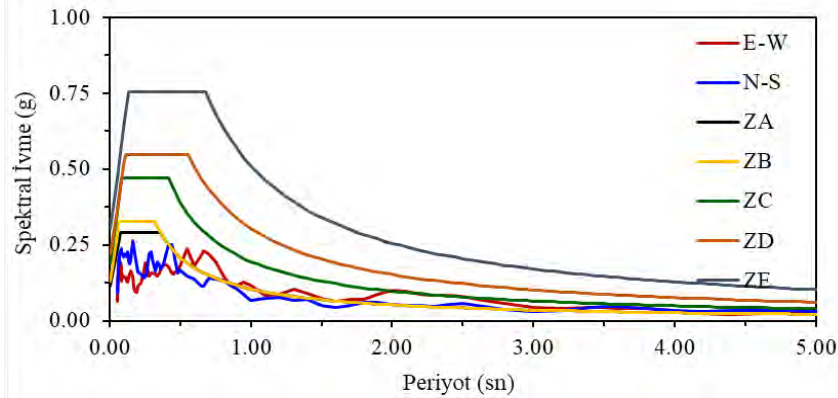
Şekil 50. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 3144 (Hatay) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



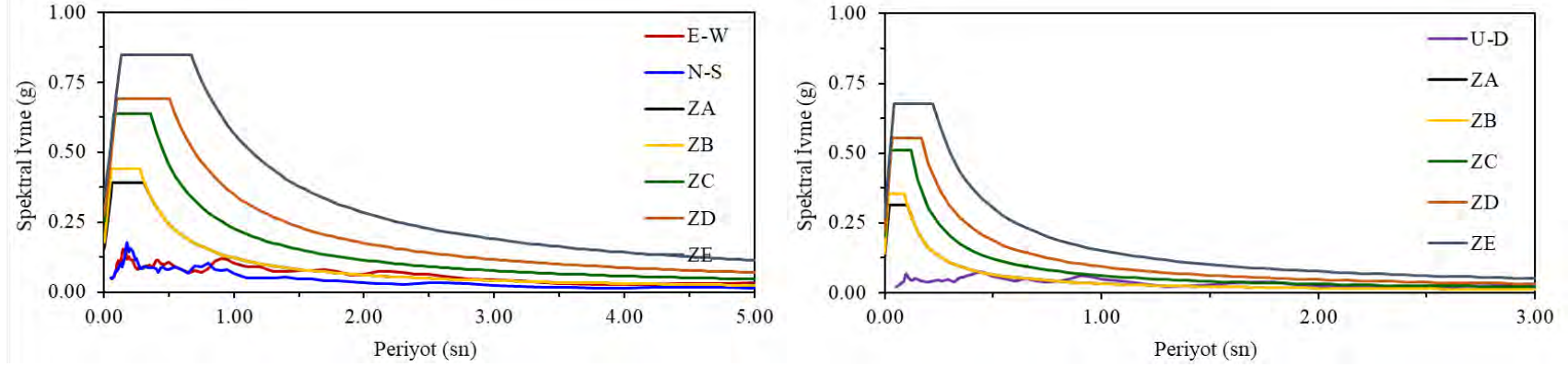
Şekil 51. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 6306 (Şanlıurfa) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



Şekil 52. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 3802 (Kayseri) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



Şekil 53. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 5807 (Sivas) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)



Şekil 54. 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depreminde ($M_w = 7.6$) 7901 (Kilis) istasyonundan alınan tepki spektrumlarının zemin sınıflarına göre elde edilen tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması ($\xi = \%5$)

4. ZEMİNDE GÖZLEMLenen HASARLAR

Geoteknik açıdan değerlendirildiğinde, zeminin yapısı, litolojisi, kalınlığı, yer altı su seviyesi, vb. etkenler yer hareketi ile değerlendirildiğinde, yapısal hasarlara doğrudan etki edebilmektedir. 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen deprem sonrası yapılan araştırma ve inceleme çalışmaları zemin özelliklerinin üst yapı tasarım ve inşaat süreçlerinde ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin merkez üssü Yalova-Gölcük olmasına rağmen yapısal anlamda en çok hasar, alüvyon zemin üzerine kurulu olan Sakarya'nın Adapazarı ilçesinde meydana gelmiştir. Yapılan araştırma ve inceleme çalışmaları sonrası zemin değerlendirmelerinde zemin sıvılaşması ve zemin büyütme etkisi olmak üzere iki konu ön plana çıkmıştır. 17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası ülkemizde meydana gelen depremlerde bu konuları ayrıca değerlendirme gerekliliği tüm paydaşlar tarafından kabul görmüştür.

Bilindiği üzere, kumlu ve siltli zeminlerde yer altı suyunun etkisiyle deprem sırasında “zemin sıvılaşması” meydana gelmekte ve buna bağlı olarak taşıma gücü kayıpları oluşabilmekte, sıvılaşma sonucunda yüksek değerlerde oturmalar ortaya çıkabilmektedir. Bu zemin davranışı binaların yapısal tasarımını doğrudan olumsuz yönde etkilerken, yapıların yan yatmasına, zemine gömülmesine ve hatta yıkılmasına sebebiyet verebilmektedir. Sıvılaşmanın yanı sıra zeminlerden kaynaklı oluşabilecek hasarlar zeminlerin histerik davranışına ve sönümleme kapasitesine bağlı olarak da değişebilmektedir. Yer hareketi sonrası anakayadan yüzeye doğru hareket eden sismik dalgalar zemin tabakalarının özelliklerine göre dalga frekansı ve genlik açısından değişime uğrayabilmektedir. Zemin tabakaları, özelliklerine göre, bazı frekanstaki dalgaları sönümleyen bazıları da büyütmektedir. Yüzeye yakın tabakalarda yapılan ölçümlerde, deprem dalgalarında meydana gelen genlik artışları zemin büyütmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu genlik artışı yapıların tasarımında veya mevcut yapıların hasar alamsında önemli rol oynamaktadır. Kahramanmaraş depremi sonrası bölgede yapılan inceleme ve gözlemlerde geoteknik açıdan zemin sıvılaşma ve zemin büyütme etkileri araştırılmıştır.

4.1. Arazi Gözlemleri

Kahramanmaraş depremleri sonrası arazi incelemelerinde yüzey kırıklarının yolları ötelediği ve bu ötelenmelerin bazı yerlerde arazi sınırlarını değiştirebilecek boyutlara eriştiği gözlemlenmiştir. AFAD kayıtlarına göre 06.02.2023 günü. Türkiye saati ile 04.17'de M_w 7.7 büyüklüğünde Pazarcık'ta meydana gelen depremde 1.4-3.0 m arasında. 13.24'te M_w 7.6 büyüklüğünde Elbistan'da meydana gelen depremde 1.8-6.0 m arasında değişen yanal yer değiştirmeler ölçülmüştür (<https://www.afad.gov.tr/>). Her iki deprem de Doğu Anadolu Fay hattının eğilimine uygun olarak sol atılımlı gerçekleşmiştir.

4.1.1. Taşıma gücü kaybı ve sıvılaşma kaynaklı hasarlar

6 Şubat 2023 depremleri sonrasında zemin sıvılaşmasından kaynaklı tipik hasarlar Adıyaman'ın Gölbaşı ve Hatay'ın İskenderun ilçesinde yaygın olarak gözlemlenmiştir. Bu ilçelerde meydana gelen zemin problemleri yerinde incelendiğinde Gölbaşı'nda yaygın kusurun aslında sıvılaşma değil, taşıma gücü kaybı olduğu belirlenmiştir. Bölge zeminleri Akıl ve vd. (2008) tarafından yapılmış çalışmada alüvyon çökellerin gözlemlendiği alanlar ve bataklık alanlar olmak üzere iki ayrı bölge olarak

tanımlanmıştır (Akıl vd., 2008). Şekil 55'te kum zeminlerin sıvılaşma sonucu yüzeye çıktığı görülmektedir. Her ne kadar yer yer sıvılaşma emarelerine rastlanılmış olsa da dışarıya çıkan kum hacminin binaların oturma boyutu ile orantısız olduğu ve hatta çoğu binanın etrafında yüzey kabarmasının gözüktüğü belirlenmiştir. Taşıma gücünü yitirmiş binaların hemen altındaki zemin yüzeyinde kayma düzlemi oluşmakta ve bunu takiben zemin yüzeyinin temel çevresinde kabarma gözlemlenmektedir. Bu durum, Tip-1 taşıma gücü kaybı (genel taşıma gücü kaybı) sorununa karşılık gelmektedir.

Gölbaşı'ndaki binalar incelendiğinde (Şekil 56-58) üniform oturan, farklı oturan, eğilen ve hatta devrilen binalar olduğu gözlemlenmektedir. Ancak bu ilçenin oluşumu bakımından göl çökeli olması bölgede yumuşak killerin de hakimiyetini simgelemektedir. Yumuşak killer, dinamik etkiler altında sıvılaşmadan ziyade yumuşama eğilimi göstermektedirler. Bir başka deyişle, zemin drenajsız kayma direncini yitirmektedir. Bu durum yapıların aşırı deformasyona uğramasına sebep olmaktadır. Sonuç olarak Gölbaşı'nda bulunan bu binaların aşırı deformasyonuna neden olan durumun hakimiyetinin sıvılaşmada değil, yumuşak killerin dinamik yükler altında taşıma gücü kaybında olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 55. Adıyaman Gölbaşı'nda sıvılaşma sonucu oluşan kum konileri



Şekil 56. Adıyaman Gölbaşı'nda zemin hasarı sonucu oluşan üniform bina oturmaları



Şekil 57. Adıyaman Gölbaşı'nda zemin hasarı sonucu oluşan farklı oturmalar



Şekil 58. Adıyaman Gölbaşı'nda zemin hasarı sonucu oluşan eğilme ve devrilmeler



Şekil 59. Hatay İskenderun'daki kum çıkışları



Şekil 60. Hatay İskenderun'da sıvılaşma nedeni ile kum çıkışları ve yapı oturmaları

Sıvılaşma kaynaklı yapı hasarlarının en yoğun gözlemlendiği yer Hatay'ın İskenderun ilçesi olmuştur. Jeoloji Mühendisleri Odası 2021 yılında yayınladığı rapor çalışmasında Hatay'ın kent merkezi olan Antakya'nın alüvyon zemin üzerinde olduğunu, yerleşimin neredeyse tamamı alüvyon üzerinde yer alan bir bölgede olduğunu ifade etmiştir (TMMOB, 2021). Ayrıca Korkmaz (2006) yaptığı çalışmada Antakya için zayıf zemin koşulları sebebi ile olası bir depremde, zemin büyütmesi, sıvılaşma, kopma, oturma ve heyelanlara bağlı zemin problemlerine dikkat çekmiştir (Korkmaz, 2006).

Çalışmaları da destekler nitelikte İskenderun sahilinde meydana geldiği söylenen taşkın aslında sıvılaşma nedeniyle yüzeye çıkan kum ve yer altı suyu olduğu tespit edilmiştir. Şekil 59 sıvılaşma olayının gerçekleştiği sahil boyunca kum çıkışlarını, Şekil 60 ise zemin tabakaları üzerinde yer alan yapılarda meydana gelen oturmaları göstermektedir. Yapı oturmalarının genellikle 30-50 cm mertebelerinde ve üniform olduğu tespit edilmiştir. İlk değerlendirmeye göre sıvılaşma kaynaklı oturmaların üniform olması ortamdaki zemin tabakalanmasının yatay olduğuna işaret etmektedir.

Bölgede yapılan gözlemler literatürdeki bilgilere göre değerlendirildiğinde, Hatay-İskenderun ve Adıyaman-Gölbaşı'nda zemin hasarları nedeniyle binaların temel sistemi özelliklerine de bağlı olarak yan yatma ile, batma ile, ya da eğik vaziyette göçtüğü görülmüştür. Elde edilen bu bulguların çıktısı değerlendirildiğinde ise yapılaşma sürecinde zemin incelemelerinin ikincil plana atıldığı anlaşılmaktadır. Oysaki herhangi bir mühendislik inşası için zemin incelemelerine ayrılan maliyet toplam maliyetin %1-2 oranında kalmaktadır. Deprem bölgelerinde inşa edilecek altyapıların güvenliğinin sağlanması için altyapı tasarım ve inşasında da zemin özelliklerinin dikkate alınması gerekliliği de bu depremler sonucunda tekrar ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ndeki tasarım ivme spektrumlarının bazı bölgelerde ölçülen değerlerin çok altında kaldığı görülmüştür. Özellikle Hatay-İskenderun ve Adıyaman-Gölbaşı gibi bölgelerde sahaya özel tepki analizleri ile yerel zemin koşullarının göz önüne alındığı özel ivme spektrumlarının gerekliliği ortaya konulmuştur.

4.1.2. Kitle Hareketleri

6 Şubat 2023 depremlerinden sonra yaşanan zemin kaynaklı hasar tiplerinden bir diğeri ise yer değiştirmeler, bir diğeri deyişle kütle hareketleridir. Şekil 61'de Gaziantep İslâhiye Kökçü Mahallesi yolundaki, Şekil 62'de ise Hatay Altınözü yolundaki kaya düşmeleri örnek olarak gösterilmiştir.

Hatay'ın Altınözü ilçesine bağlı Tepehan Mahallesi'nde ise büyükçe bir arazinin yaklaşık 50 metre Kuzey- Kuzeydoğu yönüne doğru hareket ettiği gözlemlenmiştir (Şekil 63). Oluşan 20-30 metrelik yarınc incelendiğinde, sedimanter kökenli kayaların ortamı temsil ettiği belirlenmiştir. Burada tabaka düzlemlerinin, hareketin meydana geldiği yöne doğru eğimli olduğu düşünülmektedir. Şekil 64'te ise Hatay'ın Antakya ilçesindeki kanal koruma kaplamalarında meydana gelen heyelanlar gözlemlenmektedir. Görüldüğü üzere oluşan heyelanlar sonucunda yol dolgusunda aşırı deplasmanlar oluşmuştur.



Şekil 61. Gaziantep İslâhiye Kökçü Mahallesi yolu üzerindeki kaya düşmeleri



Şekil 62. Hatay Altınözü yolu üzerindeki kaya düşmesi



Şekil 63. Hatay Altınözü Tepehan Mahallesi'nde oluşan kitle hareketi



Şekil 64. Hatay Altınözü Tepehan Mahallesi'nde oluşan kitle hareketi

5. BETONARME BİNALARDA GÖZLEMLenen HASARLAR

Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan merkezli depremler sonrasında, başta Kahramanmaraş olmak üzere Hatay, Adıyaman, Adana, Osmaniye, Kilis, Malatya, Şanlıurfa, Diyarbakır, Gaziantep ve Elâzığ il ve ilçelerinde çok sayıda betonarme yapıda farklı seviyelerde yapısal ve yapısal olmayan hasarlar meydana gelmiştir. Yapılan saha incelemeleri sonucunda, betonarme yapılarda meydana gelen hasarlar tasarımdan kaynaklanan eksiklikler ve yapım aşamasında ortaya çıkan kusurlar olmak üzere iki başlık altında değerlendirilmiştir. Yapım aşamasından kaynaklanan hasarlarda özellikle nitelikli olmayan işçilik, uygun olmayan malzeme kullanımı ve denetim mekanizmalarındaki aksaklıklar büyük ölçüde etkili olurken, tasarım aşamasından kaynaklanan hasarlarda ise sorumlu mühendis ve mimarların teknik bilgi ve deneyim eksikliklerinden kaynaklı hataları büyük rol oynamıştır. Tüm bu faktörler bir araya geldiğinde bölgede bulunan yapılardaki hasarlar kaçınılmaz olmaktadır. Tüm bu eksiklikler ve hasar detayları, yerinde yapılan saha gözlemleri ve incelemeler sonucunda değerlendirilmiş ve bu raporda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

5.1. Tasarımdan Kaynaklanan Eksiklikler

Tasarımdan kaynaklanan eksiklikler sonucu oluşan hasarlar aşağıdaki alt başlıklarda detaylı olarak değerlendirilmiştir.

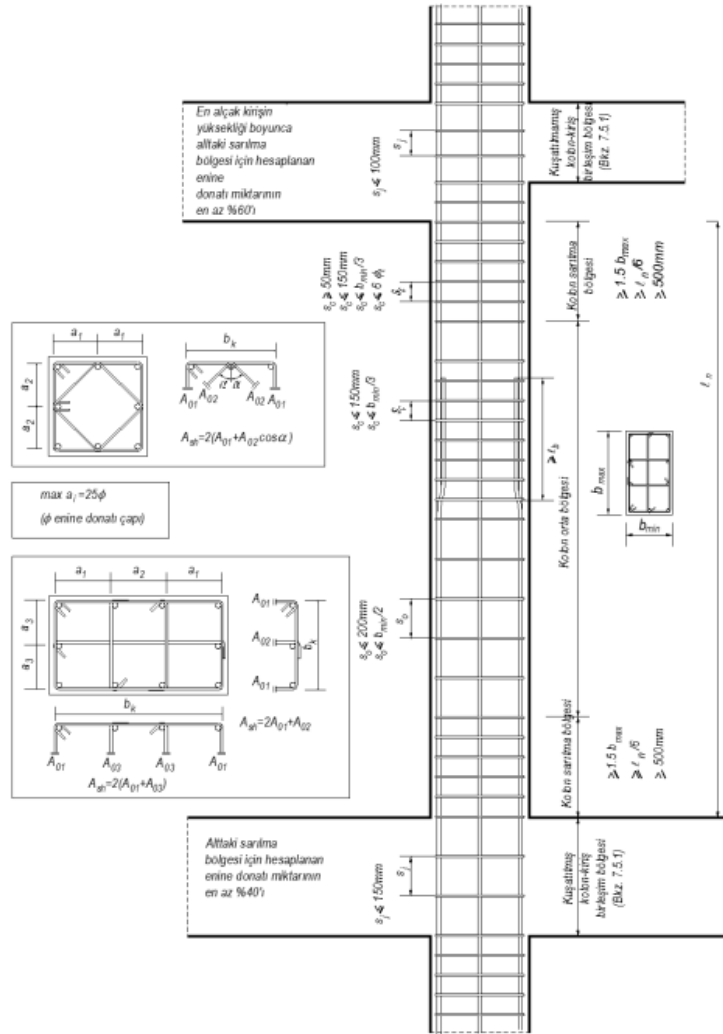
- Kısa Kolon Oluşumu

Yapıların dolgu duvarlarında aydınlatma ve havalandırma için bırakılan boşluklar veya zemin ve bodrum katlarda yapılan yarım duvarlar kısa kolon oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Burada oluşan kısa kolonlar yüksek rijitliğe ve düşük sünekliğe sahip oldukları için yatay ötelenmeler altında gerekli önlemler alınmadığı takdirde kesme kırılması ile hasar alırlar (Ertürk vd. 2022). Yapılan saha gözlemlerinde kısa kolon oluşumundan kaynaklı yapısal hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 65).

Kısa kolon oluşumunun önüne geçebilmek adına, kolon kenarında duvar boşlukları bırakılmadan duvarlar yeterli miktarda örülebilir veya bu tarz hasarların oluşmasını önlemek amacıyla duvar ve kolon arasında sıkıştırılabilir köpük vb. malzemeler kullanılabilir. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de (TBDY-2018) belirtilen kolon boyunca sarılma bölgeleri için minimum enine donatı miktarı ve uygulama koşulları dikkate alınmalıdır (Şekil 66) (TBDY-2018, 2018).



Şekil 65. Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan Depremlerinde tespit edilen kısa kolon oluşumundan kaynaklı yapısal hasarlar



Şekil 68. Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki minimum enine donatı koşulları (TBDY-2018)

• Dolgu Duvar Hasarları

Betonarme yapılarda bölme duvar olarak kullanılan dolgu duvarlarda, düşük dayanımlı malzemelerin kullanılması duvarda daha çabuk çatlamalara ve hasarlara sebep olmaktadır. Genellikle “X” şekline benzetilen diyagonal çatlaklar oluşur ve sıvalarda dökülmeler meydana gelir. Tespit edilen duvar hasarları Şekil 69’da verilmektedir.

Dolgu duvarlarda meydana gelen hasarlarda taşıyıcı sistem seçimi önemli rol oynamaktadır. Ayrıca duvarların yüksekliği ve genişliği de duvarlarda oluşacak çatlakların büyümesinde etkili olarak kısmi yıkılmalara sebep olabilir. Kapı ve pencere boşluklarının çevresinde duvarlarda kopmalar ve kısmen devrilmeler yaşanabilir. Uygun malzeme seçimi ve güçlendirme sıvaları ile dolgu duvarların deprem sırasında hasar almalarının önüne geçilebilir.



Şekil 69. Zayıf dolgu duvar hasarları

- Yetersiz Bindirme ve Kenetlenme Boyu

TBDY-2018'e göre donatı bindirme boyunun belirlenmesi "Kolon boyuna donatılarının bindirmeli ekleri, kolonun serbest yüksekliğinin orta üçte birlik bölgesinde yapılacaktır. Bindirmeli ekinin boyu l_b [TS 500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu]'den küçük olmayacaktır. Bindirmeli ek boyunca yerleştirilecek enine donatıların aralığı kolonun en küçük boyutunun 1/3'ünden ve 150 mm'den büyük olmayacaktır" şeklinde ifade edilmektedir (TBDY-2018, 2018). Donatıların bindirme boyunun yetersiz olması durumunda betonarme yapıların deprem performansı olumsuz etkilenmektedir. Bu tip sorunların önüne geçebilmek için yönetmeliklerdeki şartlara uyulması gerekmektedir. Tespit edilen yetersiz bindirme boyuna bağlı hasarlara ait detaylar Şekil 70'te verilmektedir.



Şekil 70. Tespit edilen yetersiz donatı bindirme ve kenetlenme boyları



Şekil 71. Bitişik nizam yapılarda meydana gelen hasarlar

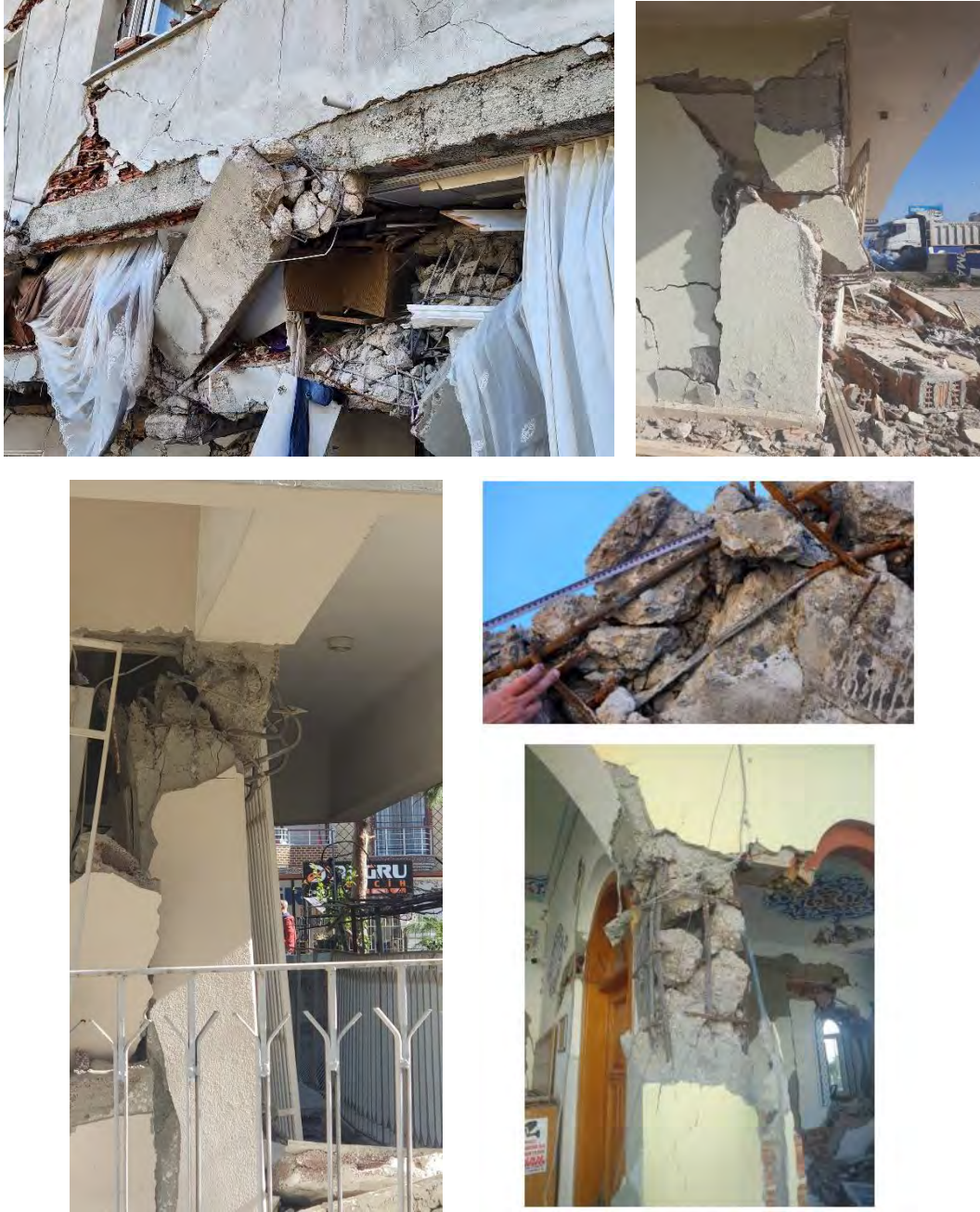
- Yetersiz Derz Boşluğuna Bağlı Çarpışma Etkisi

Ülkemizde genellikle sınırlı arazi kullanımı ve ekonomik nedenlerden dolayı bitişik nizam yapılaşmayı sıklıkla görmekteyiz. Ancak bu yapılar arasında yeterli boşluk bırakılmaması durumunda, binaların yatay hareketlerinin birbirleri üzerinde yıkıcı etkileri olabilmektedir. Deprem sırasında bu yapıların birbirinden bağımsız çalışmasını sağlamak için derz boşluklarının yönetmeliklere uygun şekilde bırakılması önemlidir. Derz boşluklarının yeterli olmadığı durumlarda, deprem etkisi ile çarpışan yapılarda yıkıcı hasarlar oluşabilmektedir. Komşu yapıların kat yüksekliklerinin farklı olması durumunda uygulanan yatay kuvvet diğer yapının kolon-kiriş birleşim noktası yerine kolon orta noktasına etki edecek ve ağır hasara sebep olacaktır. TBDY-2018’de bırakılacak derz boşlukları ile ilgili detaylar verilmektedir. Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremlerinde tespit edilen bitişik nizam yapılarıdaki hasarlar Şekil 71’de verilmektedir.

- Yetersiz Enine Donatı

Betonarme yapı elemanlarında kullanılan enine donatıların, boyuna donatıların burkulmasının önlenmesi, çekirdek betonunun sünekliğinin artırılması, sargı etkisi ile çekirdek betonun basınç dayanımını artırılması ve kesme kuvvetlerin karşılanması gibi başlıca işlevleri bulunmaktadır. TBKD-2018’de süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi sınırlı olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılacak enine donatıların yerleşimi ve minimum enine donatı çapına yönelik bilgiler yer almaktadır. Minimum enine donatı çapının seçimi ve enine donatıların yerleşimi bu bilgiler dikkate alınarak yapılmalıdır. Deprem bölgesinde yapılan saha gözlemleri sonucunda, enine donatıların seçimi ve yerleşiminde yönetmelik şartlarında verilen gerekliliklerin dikkate alınmadığı gözlemlenmiş olup, bu sebeple meydana gelen hasarlar Şekil 72’de verilmiştir.

Yönetmelik şartlarına uymayan ve yetersiz enine donatı kullanılması durumunda boyuna donatıların etrafındaki kabuk beton dökülmekte ve boyuna donatılar dış tarafa doğru burkulmaktadır.



Şekil 72. Yetersiz enine donatı kullanımının neden olduğu hasarlar

- **Asmolen Döşeme Uygulamasının Sebep Olduğu Hasarlar**

Eşit aralıklı sığ kirişlerden ve ince bir plaktan oluşan döşeme sistemi, nervür döşeme olarak adlandırılmaktadır. Nervür döşeme sistemlerinde, sığ kirişlerin aralarındaki boşlukların, taşıyıcı özelliği olmayan yapı malzemeleriyle doldurulması ile asmolen döşeme sistemi elde edilir. Kalıp ve sıva işçiliğinde azalma, mimari avantajlar vb. nedenlerle kirişli döşeme sistemlerine oranla ekonomik ve hızlı üretime olanak tanınması nedeniyle tercih edilen asmolen döşemeler için daha önceki deprem yönetmeliklerinde tasarım kısıtları bulunmazken 2018 TBDY’de “Dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dişli döşemeli betonarme çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler de, perde içermedikleri takdirde, süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılacak ve sadece

DTS=3 ve DTS=4 olan binalarda kullanılacaktır. Bu tür taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi yüksek betonarme bağ kirişli (boşluklu) ve/veya boşluksuz perdeler veya süneklik düzeyi yüksek çelik dışmerkez ve/veya merkezi çaprazlı çerçeveler ile birlikte düzenlenerek süneklik düzeyi karma sistemler olarak yapılabilir” ve bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve izin verilen bina yükseklik sınıflarında kısıtlamalar getirilmiştir. 2019 yılı öncesi ülkemizde popülerliği her geçen gün artan bu döşeme sisteminin 2019 yılında yürürlüğe giren yeni yönetmelikteki kısıtlara rağmen tercih edilebildiği anlaşılmaktadır. Bir doğrultuda diğer doğrultuya göre daha rijit olan bu dolgulu döşeme sistemleri deprem yükleri altında özellikle zayıf doğrultudaki kiriş kolon birleşim bölgesi performansı açısından problemler oluşturmaktadır (Şahin ve Alyamaç, 2017) (Şekil 73).

- Yapısal Düzensizlikler

TBDY-2018’de, binalarda düzensizlik meydana getiren durumlar planda ve düşey doğrultuda düzensizlik durumları olmak üzere iki başlık altında tanımlanmıştır. Planda düzensizlik durumları burulma düzensizliği (A1), döşeme süreksizlikleri (A2) ve planda çıkıntılar bulunması (A3) olarak sınıflandırılırken zayıf kat (B1), yumuşak kat (B2) ve taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (B3) düşeyde düzensizlik durumları olarak sınıflandırılmaktadır. Bahsedilen düzensizlikler yapıların deprem performansı üzerinde oldukça etkilidir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremleri sonrasında yapılan saha gözlemleri sonucunda bazı binalarda düzensizlik durumlarının neden olduğu hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 74 ve 75).



Şekil 73. Asmolen döşeme uygulamasının neden olduğu hasarlar



Şekil 74. Yapısal düzensizliklere örnek görseller



Şekil 75. Asmolen döşeme uygulamasının neden olduğu hasarlar

Taşıyıcı sistem oluşturulurken aksların sürekli ve simetrik olarak seçilmesinin yapısal davranış üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Sistem seçiminde saplama kirişlerden sakınılması gerekmektedir. Saplama kirişler taşıdıkları düşey yükleri kolonlara mesnetlenmediğinden saplanmış oldukları kirişe aktarmaktadırlar. Bu durum da hem yatay hem de düşey yüklerin aktarılmasında düzensizlik oluşturmakta ve deprem hasarlarına neden olmaktadır (Şekil 76).

Düşeyde B2 düzensizlikleri (yumuşak kat), birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında herhangi bir *i*. kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesiyle tanımlanan “Rijitlik Düzensizliği katsayısının” 2.0’den büyük olması durumunda oluşmaktadır. Binaların giriş katlarının yüksek yapılması ve ticari amaçlar doğrultusunda giriş katın daha fonksiyonel olması için bölme (dolgu) duvarlarının yapılmaması veya daha az yapılması sonucu oluşan bu düzensizlik, deprem sırasında alt katların daha fazla yer değiştirmesine ve taşıyıcı sistemde ağır hasarların oluşmasına sebep olmaktadır (Şekil 76).



Şekil 76. Yumuşak kat durumuna ait örnek görseller

5.2. Yapım Aşamasından Kaynaklanan Eksiklikler

Ülkemizde meydana gelen geçmiş depremlerdeki incelemeler ve saha gözlemleri, betonarme binaların yapım aşamasından kaynaklanan hataların veya eksikliklerin farklı düzeylerde hasarlar meydana getirebileceğini göstermektedir. Bu eksiklikler veya hatalar aşağıda detaylı olarak değerlendirilmiştir.

- Nervürsüz Donatı Kullanımı ve Donatı Korozyonu

Kompozit bir yapı malzemesi olan betonarmenin kendinden beklenen davranışı gösterebilmesi için kendisini oluşturan beton ve çelik donatılar arasında aderans oluşması gerekmektedir. Özellikle beton ve donatı arasındaki aderansı arttırmak amacıyla donatıların yüzeylerine belirli açılarda girintiler oluşturulmakta ve böylelikle nervürlü donatılar üretilmektedir. Ülkemizde, ABYYHY-1998’de nervürlü donatı kullanılmasının zorunlu hale getirilmesine kadar nervürsüz donatı kullanımına izin verilmiştir. Bu yönetmelikten önce izin verilen nervürsüz donatı kullanımı beton üretiminin iptidai yöntemlerle yapılması sonucunda oluşan kalitesiz betonlar ile birleşerek daha zayıf aderans oluşumuna ve betonarmenin davranışının olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. DBYBHY-2007’de etriye, çiroz ve döşeme donatıları dışında nervürsüz donatı kullanımı yasaklanmıştır. TBDY 2018’de ise deprem etkisini karşılayacak betonarme elemanlarda B420C ve B500C nervürlü donatı çeliklerinin ve bazı özel şartlara uyması halinde S420 beton çeliğinin kullanılmasına izin verilmektedir.



Şekil 77. Nervürsüz donatı ve korozyonun etkilediği duruma ait görseller



Şekil 78. Düşük beton kalitesine ait görseller

Beton ve donatı arasındaki aderansın zayıflamasına ve betonarmenin kendisinden beklenen davranışı olumsuz etkileyen bir diğer faktör ise donatının korozyona maruz kalmasıdır. Korozyon, çeşitli etkiler sebebiyle donatının niteliğini kaybetmesi olarak tanımlanabilir. Bu etki sebebiyle donatılar kesit kaybına uğrayarak hem kesit alanları hem de taşıma kapasiteleri zamanla azalmaktadır. Özellikle kötü beton kalitesine sahip, yeterli beton örtüsü bulunmayan ve kaliteli su yalıtımının yapılmadığı yapılarda geçirimsizliğin fazla olması sonucunda donatılar korozyona uğramaktadır. Korozyon sonucunda beton örtü tabakasında donatılara paralel olarak çatlaklar ve kütle betonunda kopmalar, ayrışmalar gözlemlenmektedir. Geçmiş depremlerdeki saha gözlemleri sonucunda olduğu gibi bu deprem bölgelerinde yapılan saha gözlemlerinde de nervürsüz donatı kullanımının ve donatı korozyonunun betonarme yapısal elemanlarda hasarlara sebep olduğu görülmüştür (Şekil 77).

- Düşük Beton Kalitesi

Beton kalitesinin, betonarme yapıların yapısal performanslarını etkileyen parametrelerden olması sebebiyle hem eski hem de güncel yönetmeliklerde beton kalitesi ile alakalı sınırlandırmalar getirilmiştir. ABYYHY-1975'te "Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde C18'den düşük", ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007'de "Deprem bölgelerinde yapılacak binalarda C20'den düşük" dayanımlı beton kullanılmaz hükmü yer almaktadır. TBDY-2018'de ise tüm betonarme binalarda

kullanılabilecek minimum beton sınıfı C25'e yükseltilmiştir. Beton kalitesi ile alakalı yönetmeliklerde limitler bulunmasına rağmen geçmiş depremlerde hasar gören veya yıkılan binalardan alınan örnekler incelendiğinde beton kalitesinin belirlenen limitlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Özellikle betonu oluşturan malzemelerin uygun oranlarda karıştırılmaması, beton üretiminde kullanılacak uygunlukta ve granülometride agregaların seçilmemesi, yeterli ve nitelikli vibrasyonun uygulanmaması gibi sebepler betonun belirlenen limitlerin altında kalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca bu etkiler betonu oluşturan malzemelerin birbirinden ayrılmasına ve betonun homojen yapısının kaybolmasına sebep olmaktadır. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Elbistan depremleri sonrasında yapılan saha gözlemleri sonucunda daha ziyade eski yapılarda betonlarda agrega seçiminin ve tane boyut dağılımlarının gelişigüzel hazırlanmış olması, taşıyıcı elemanların bazılarında segregasyonların meydana gelmesi ve betonların içerisinde yabancı maddeler (kâğıt, odun vb.) bulunması sebebiyle beton kalitesinin de düşük olduğu tespit edilmiştir (Şekil 78).

- İşçilik Hataları

Betonarme binaların yönetmelik ve standartlarda verilen kriterlere uygun olarak tasarlanması önemli olmakla birlikte işçilik de bir o kadar önemlidir. Yapım aşamasında tasarıma uygun olmayan hatalar ve kötü işçilik yapıların kalitesini olumsuz etkileyerek yapıların beklenen performansı sergileyememesine sebep olmaktadır. Ülkemizde geçmiş yıllarda meydana gelen depremlerdeki saha gözlemlerinde tasarıma uygun olmayan hatalar ve kötü işçilik sebebiyle ciddi hasar gören veya yıkılan betonarme bina örnekleri tespit edilmiştir. Deprem bölgesinde yapılan saha gözlemleri sonucunda da işçilik hatalarından kaynaklı hasarlar gözlemlenmiş olup, Şekil 79'da verilmiştir. İşçilik hatalarından kaynaklı hasarların önüne geçebilmek için binaların yapım aşamasında nitelikli işçilerin imalatları projeye uygun olarak özenle gerçekleştirilmesi ve imalatın her aşamasında nitelikli denetlemelerin yapılması gerekmektedir.



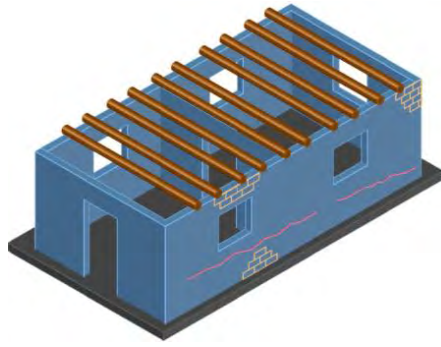
Şekil 79. İşçilik hatalarından kaynaklı hasarlara ait görseller

6. YIĞMA BİNALARDA GÖZLEMLenen HASARLAR

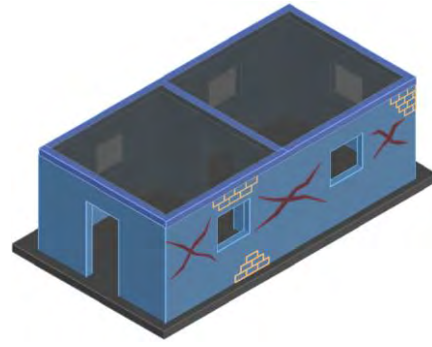
Yığma yapım tekniği dünyanın farklı bölgelerinde sıklıkla kullanılan, geçmiş yüzyıllar öncesine dayanan bir inşa yöntemidir. Birçok asırlık yığma bina inşaatçıların becerilerinin etkileyici bir kanıtı olarak bugün hala dimdik ayaktaadır. Kerpiç, taş ve ahşap en eski yapı malzemelerinden olup eski zamanlardan beri yığma binalarda inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler sağladığı bazı avantajlardan dolayı (yalıtım kabiliyeti, maliyet etkinliği, dayanım/dayanıklılık, kolay temin gibi) halen tercih edilmektedir. Bu nedenle, ülkeler yığma binaların tasarımı ve inşa kurallarını içeren standart ve yönetmelikler yayımlamıştır. Yığma binalar, Türkiye'deki yapı stokunun azımsanmayacak bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu oran şehirden kırsala doğru artmaktadır. Ülkemizde 1923 yılından günümüze yığma binalar hakkındaki hükümleri barındıran birçok standart (TS 2510/Nisan 1977, TS2514/Şubat 1977 ve TS2515 Nisan 1985 ve TS EN 771-6: 2011 ve TS EN 771-6: 2012 gibi) ve yönetmelik (1944: Zلزlele Mıntıkaları Muvakkat Yapı Talimatnamesi, 1949: Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliğı, 1968: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1975: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 2007: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar gibi) yayımlanmıştır. 2019 yılı başında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğı (TBDY-2018) Bölüm 11, “Deprem Etkisi Altında Yığma Bina Taşıyıcı Sistemlerin Tasarımı İçin Özel Kurallar” başlığı altında, yığma binaların analizi ve tasarımını konu alan hükümleri sunmaktadır. Ne yazık ki ülkemizde özellikle kırsal kesimlerde inşa edilen yığma binalarda yönetmeliklerin öngördüğü şartların sağlanmadığı yaşanan depremlerde hasar gören ve/veya yıkılan yığma binalardan tespit edilmiştir. Bu binalar mühendislik hizmeti almamış yerel ustalar tarafından mevcut imkân ve malzemelerle inşa edilmiş yapılardır. Depremler sonrası yapılan inceleme ve değerlendirmeler neticesinde (6 Şubat 2023 tarihli depremler dahil), yığma binalarda başlıca hasar ve/veya göçme nedenleri: (a) kötü işçilik/inşaat, (b) yetersiz malzeme özellikleri, (c) zayıf taşıyıcı duvarlar ve (d) uygun olmayan bağlantı detayları olarak sıralanabilir.

Yığma binalarda ağırlıklı tüm duvarlar taşıyıcıdır. Deprem kuvvetleri duvarlarda düzlem içi ve düzlem dışı etkiler oluşturur. Duvarlarda bu etkilerden kaynaklı düzlem içi (Şekil 80) ve düzlem dışı (Şekil 81) hasar ve/veya göçme mekanizmaları oluşmaktadır. Yukarıdaki hasar ve/veya göçme nedenlerinden biri veya birkaçı bu mekanizmaları meydana getirmektedir. Mekanizmaların oluşumunda rijit döşeme varlığı, düşey ve yatay yük seviyesi ayrıca etkilidir.

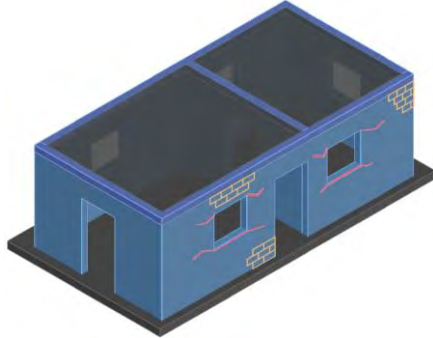
6 Şubat 2023 tarihli depremler sonrasında yığma binalarda tespit edilen hasarlar, saha gözlemleri dikkate alınarak bu bölüm altında değerlendirilmiştir. İnceleme kapsamında tespit edilen hasarlı ve göçmüş yığma binaların büyük bölümü kırsal alanlarda köy merkezinde bulunmaktadır. TBDY-2018'de yığma bina türleri; donatısız yığma bina, donatılı yığma bina, kuşatılmış yığma bina ve donatılı panel sistemli bina olarak tanımlanmıştır. Saha çalışmaları sırasında yığma binaların çoğunlukla donatısız yığma bina olarak inşa edildiğı ve yığma birim olarak kerpiç, yapay taş, tuğla, beton ve gaz beton kullanıldığı gözlemlenmiştir.



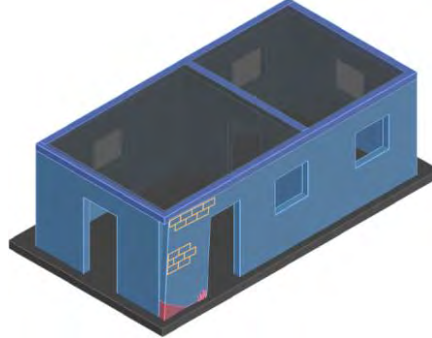
(a) kayma kaynaklı yatay çatlaklar



(b) diyagonal çekme çatlakları

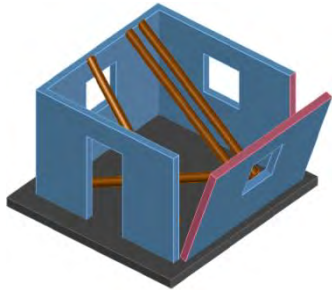


(c) eğilme kaynaklı yatay çatlaklar

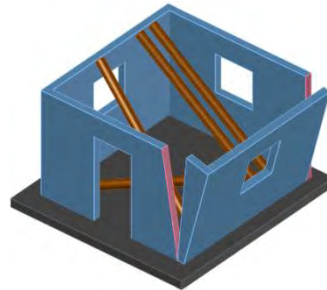


(d) eğilme kaynaklı tabanda ezilme

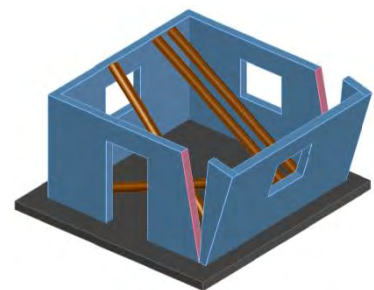
Şekil 80. Düzlem içi hasar ve veya göçme mekanizmaları (Günaydın vd. 2021, Altunışık vd. 2021)



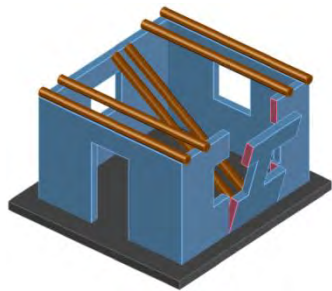
(a) düşey devrilme



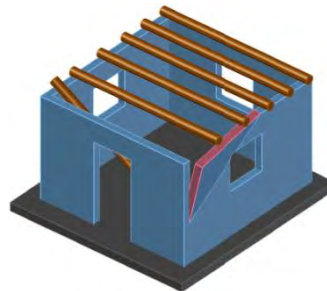
(b) bir kanatta devrilme



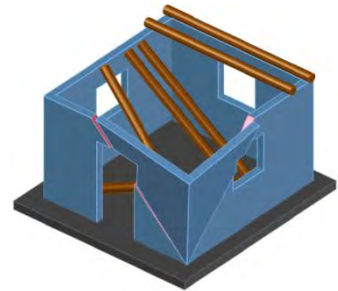
(c) iki kanatta devrilme



(d) dikey şerit devrilme

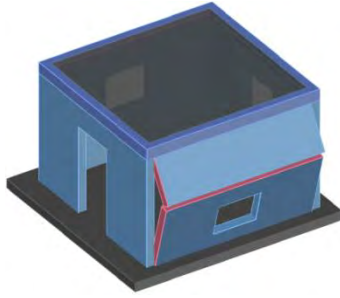


(e) kısmi devrilme

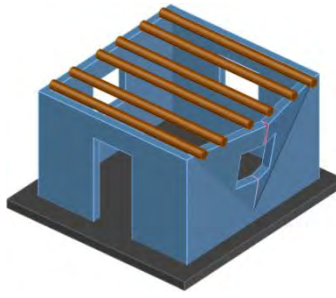


(f) köşe göçmesi

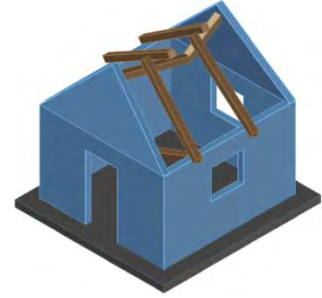
Şekil 81. Düzlem dışı hasar ve veya göçme mekanizmaları (Günaydın vd. 2021, Altunışık vd. 2021)



(g) düşey kemer



(h) yatay kemer



(i) kalkan duvar devrilmesi

Şekil 81. Devam

Yığma duvarların basınç ve çekme dayanımları harç ve yığma birimlerin malzeme özelliklerine bağlı değişir. Ayrıca doğal taş, kerpiç, tuğla, harç ve beton gibi gevrek malzemelerden oluşan yığma duvarların plastik şekil değiştirme yeteneği yok denecek kadar az, çekme dayanımı ise basınç dayanımından oldukça küçüktür. Duvarların kesme dayanımı ise harç ile yığma birimler arasındaki aderansa bağlıdır. TBDY-1968, TBDY-1975, TBDY-1998, DBYBHY-2007'e göre taşıyıcı duvarlarda bağlayıcı olarak takviyeli kireç harcı ya da çimento harcı kullanılmalıdır. TBDY-2018'e göre ise kullanılacak harcın en küçük küp basınç dayanımı değeri donatısız ve kuşatılmış yığma için $f_{m,min}=5.0$ MPa'dan, donatılı yığma için $f_{m,min}=10$ MPa'dan düşük olmamalıdır. Ayrıca, boşluklu beton briketler, dolgu duvarları için üretilmiş diğer tuğlalar, kerpiç, moloz taş, ponza taşı ve benzeri biçim verilmiş bloklar, hiçbir zaman taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılmamalı ve kargir birimlerin en küçük basınç dayanımı, yatay derzlere dik doğrultuda $f_{b,min}=5.0$ MPa değerinden yatay derzlere paralel doğrultuda $f_{bh,min}=2.0$ MPa küçük olmamalıdır. TS 2514/Şubat 1977'ye göre kerpiçlerin en küçük basınç dayanımı 0.8MPa'dan az ve ölçülen numunelerin ortalaması 1.0 MPa'dan az olmamalıdır.

Saha gözlemleri sırasında birçok yığma binada bağlayıcı malzeme olarak çamur harcı kullanıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 82). Taş duvarlarda çamur harcıyla birlikte dayanım oldukça düşüktür. Çamur harcı ıslak durumda bağlayıcı özelliği gösterse de kuruyunca bu özelliği kaybolur. Dolayısıyla duvarın kesme kuvvetini birbirine değen taşlar arasındaki sürtünme kuvveti belirlemektedir. Ayrıca çevreden toplanan pürüzsüz ve şekilsiz (keskin köşelere sahip) moloz taşların duvarda kullanımı sürtünme kuvvetini azaltmakta ve duvarın hasar görmesine veya yıkılmasına neden olabilmektedir (Şekil 83). Düşük dayanıma sahip yığma birimlerde ise ciddi hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 84). TBDY (1975, 1998 ve 2007) yönetmelikleri 1. ve 2. Derece deprem bölgelerinde kerpiç binalarda üstü düz toprak dam yapımına izin vermez. 3. ve 4. Derece deprem bölgelerinde ise toprak kalınlığı 15 cm ile kısıtlanır. Saha gözlemleri esnasında ağır toprak dam çatılarda hasar ve/veya göçmeler gözlemlenmiştir (Şekil 85).



Şekil 82. Bağlayıcı malzeme olarak çamur harcı kullanılmış bazı yığma binalar (Kahramanmaraş İli, Adıyaman İli ve Gaziantep İli, İslahiye İlçesi)



Şekil 83. Yığma duvar inşasında kullanılan pürüzsüz ve şekilsiz (keskin köşelere sahip) moloz taşlar (Kahramanmaraş İli ve Gaziantep İli, İslahiye İlçesi)



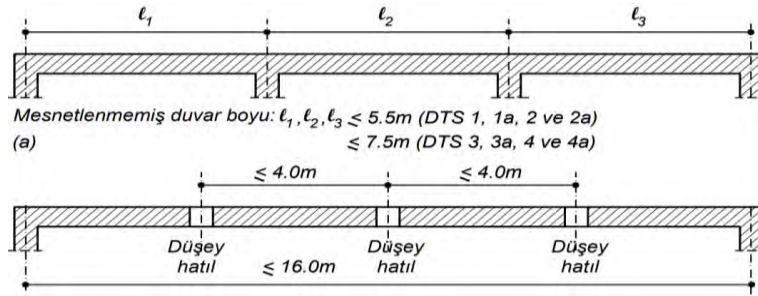
Şekil 84. Yığma duvar inşasında kullanılan düşük dayanımlı yığma birimler (Kahramanmaraş İli, Hatay İli ve Gaziantep İli, İslahiye İlçesi)



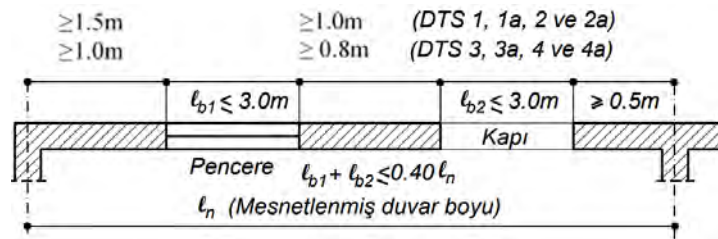
Şekil 85. Bazı yığma binalarda ağır toprak dam çatılar (Adıyaman İli)

TBDY-2018’de ve öncesi deprem yönetmeliklerde yığma binaların taşıyıcı duvarlarının maksimum desteklenmemiş uzunluğu (Şekil 86), taşıyıcı duvar boşlukları (Şekil 87), taşıyıcı duvarların en küçük kalınlıkları, lento ve düşey/yatay hatıllara ilişkin koşullar ve izin verilen en çok kat adetleri detaylıca sunulmuştur. Sahada yapılan gözlemler sonucunda yığma binaların çoğunlukla yönetmeliklerde belirtilen geometrik koşullardan bağımsız inşa edildiği tespit edilmiştir. Yığma binalarda duvar kalınlıkları genellikle yönetmelik koşullarını sağladığı (yalıtım amaçlı duvarlar genellikle 50-70 cm arasında inşa edilmiştir) görülmüştür. Yığma binalar çoğunlukla kargir birim ve

harç (büyük oranda çamur bağlayıcı) kullanılarak, yatay ve düşey hatılardan yoksun inşa edilmiştir. Böylelikle zayıf taşıyıcı duvarlar teşkil edilmiştir.



Şekil 86. Donatısız ve kuşatılmış yığma binalarda taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler (TBDY-2018)



Şekil 87. Taşıyıcı duvarlarda bırakılacak kapı ve pencere boşluklarının mesafeleri (TBDY-2018)



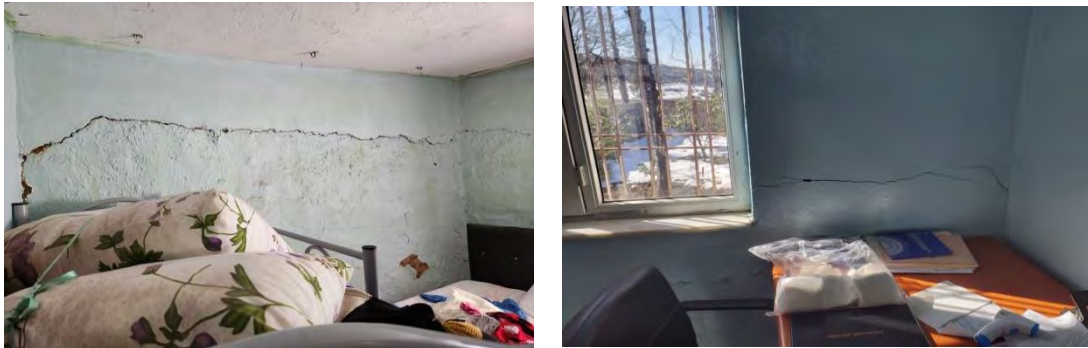
Şekil 88. Yığma duvarlarda kayma gerilmelerinden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları (Gaziantep İli, İslahiye İlçesi ve Hatay İli)

Saha incelemeleri sırasında yığma binalarda düzlem içi ve düzlem dışı kuvvetlerden kaynaklı yoğun hasar ve/veya göçme meydana geldiği gözlemlenmiştir. Düzlem içi kuvvetler altında düşey yük etkisindeki yığma duvarlarda kesme kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetler zayıf taşıyıcı duvarlarda eğik çatlaklar oluşturmuştur. Ayrıca boşluk aralarındaki dar duvarların alt ve üst uçlarında eğilme çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 88).

Düzlem içi kuvvetlerden kaynaklı eğilme çatlakları yeri duvardaki boşluk oranına ve yerine göre değişir. Çatlaklar tuğla ve harç arasındaki aderansa bağlı yığma birimlerde ya da derzlerde gelişir ve ilerler. Benzer durum saha çalışmaları sırasında gözlemlenmiştir (Şekil 89). Ayrıca düzlem içi etkiler zayıf taşıyıcı duvarlarda yatay kayma çatlakları meydana getirmiştir (Şekil 90).

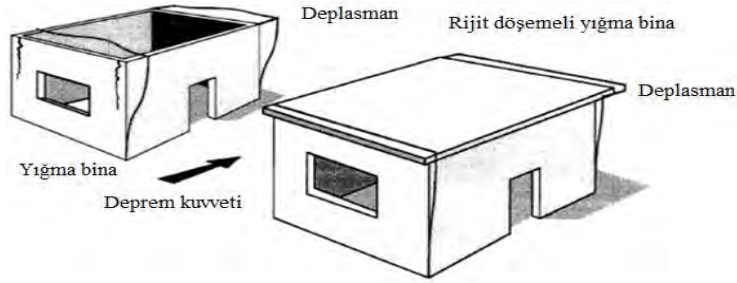


Şekil 89. Bazı yığma binalarda düzlem içi kuvvetlerden kaynaklı gelişen diyagonal çekme çatlakları (Gaziantep İli İslahiye İlçesi ve Hatay İli)



Şekil 90. Bazı yığma binalarda düzlem içi kuvvetlerden kaynaklı gelişen yatay kayma çatlakları (Gaziantep İli, İslahiye İlçesi)

Duvar ve döşeme bağlantıları sağlam yığma binalar kutu davranışı gösterir (Şekil 91). Bu sayede döşeme ve duvarlar beraber çalışarak deprem kuvvetleri tüm taşıyıcı duvarlara rijitlikleri oranında aktarılır. Kutu davranışından yoksun yığma binalarda yatay yükler duvarlara rijitlikleri oranında dağılmaz. Kutu davranışı için rijit döşeme varlığı, dik birleşen duvarların kenetlenmesi, hatılların varlığı, harç ve duvarın tabaka sayısı önem arz eder. TBDY-2018’de donatısız yığma binalar, donatılı yığma binalar ve kuşatılmış yığma binalarda rijit diyafram etkisini sağlamak (kutu davranışı) üzere, en az 100 mm kalınlığında betonarme döşeme yapılmasını zorunlu kılar. Bu döşeme en az 300 mm kesit yükseklikli ve 6φ12 boyuna, φ8/150 mm enine donatılı yatay hatıllara mesnetlenmelidir. Yatay hatılların genişliği, en az duvar kalınlığı kadar olmalı ve yatay hatılların düşeydeki aralığı 4 m’yi aşmamalıdır. Saha çalışmaları sırasında birçok yığma binanın duvarlarının üst başlarından birbirine yeteri kadar rijit bir döşeme, çatı sistemi ya da hatıl ile bağlanmadığı görülmüştür (Şekil 92).



Şekil 91. Yığma binada kutu davranışı (Coburn ve Spence, 2002)



Şekil 92. Rijit diyafram davranışından yoksun bazı yığma binalar (Gaziantep İli İslahiye İlçesi ve Kahramanmaraş İli)

Rijit diyafram davranışından yoksun yığma binalarda duvarların düzlem dışı kapasitesi duvarların birbirine bağlanma detayına bağlı değişir. Bağlantıların zayıf olması durumunda duvar köşe birleşiminde kolaylıkla hasarlar gelişir. Bu hasarlar neticesinde duvarlar birbirinden bağımsız çalışarak düzlem dışı devrilme eğiliminde olur. Şekil 93'te saha gözlemleri sırasında devrilme kaynaklı tespit edilen bazı yığma bina hasarları verilmiştir.



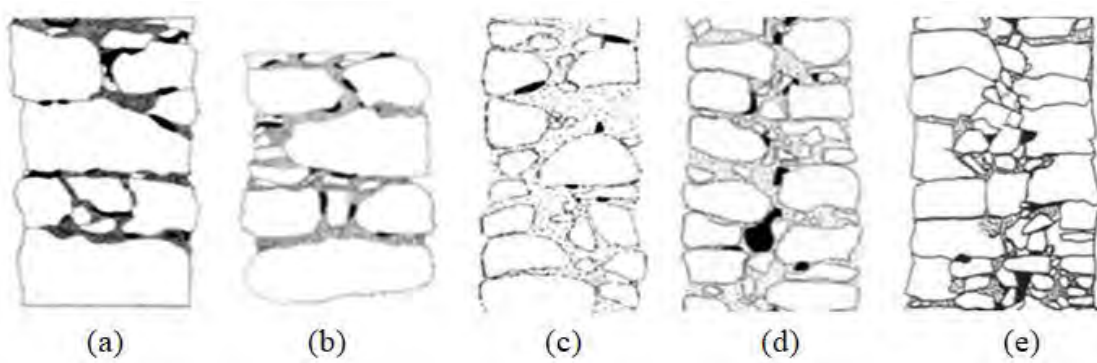
Şekil 93. Düzlem dışı kuvvetlerden kaynaklı bazı yığma bina duvarlarda meydana gelen hasarlar (Adıyaman İli, Gaziantep İli İslahiye İlçesi, Hatay İli ve Kahramanmaraş İli)

Kesişen duvarların yeterli örgü sistemiyle bağlanmaması, rijit diyafram eksikliği ve duvar narinliği ($h_{ef}/t_{ef} \leq 9$, donatısız yığma binalar için, TBDY-2018) gibi nedenlerden zayıf taşıyıcı duvarlarda

düzlem dışı kuvvetler etkisinde köşe hasarları meydana gelmiştir (Şekil 94). Yığma binalarda taşıyıcı yığma taş duvarlar, genellikle 50-70 kalınlığında ve bir veya çok katman (yaprak) olarak inşa edilirler (Şekil 95). Çok katmanlı duvarlarda kenet ve sıra taşı kullanılarak taşlar birbiri üzerine minimum 12 cm şaşırtma ile dizilir. Saha incelemesi sırasında yığma bina duvarlarının iki katmanlı kısmen kenetlenmiş (Şekil 95c) ve iki katmanlı kenetlenmemiş (Şekil 95d) duvar topolojisinde inşa edildiği ve yeterli kenetlenme boyunun teşkil edilmediği gözlemlenmiştir. Bu nedenle duvarların katmanları arasında kısmen veya toptan ayrışmayla düzlem dışı devrilmeler meydana gelmiştir (Şekil 96).



Şekil 94. Düzlem dışı kuvvetlerden kaynaklı bazı yığma binalarda meydana gelen köşe hasarları (Gaziantep İli, İslahiye İlçesi)



Şekil 95. Yığma binaların taşıyıcı duvar kesitlerine ait bazı görünüm: (a) bir katmanlı (yapraklı) duvar, (b) iki katmanlı iyi kenetlenmiş duvar, (c) iki katmanlı kısmen kenetlenmiş duvar, (d) 2 katmanlı kenetlenmemiş duvar ve (e) 3-çok katmanlı duvar (Cardani ve Binda, 2015)



Şekil 96. Duvar katmanları arasındaki bağlantı eksikliğinden kaynaklı hasarlar (Gaziantep İli, İslahiye İlçesi ve Kahramanmaraş İli)



Şekil 97. Depremde iyi performans gösteren bazı yığma binalar (Kahramanmaraş İli, Hatay İli ve Gaziantep İli)



(a)



(b)



(c)



Şekil 98. Gaziantep İli, İslahiye İlçesinde çelik hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmiş yığma bir binanın deprem performansı: (a) güçlendirme aşaması, (b) binanın deprem sonrası görünümü, (c) komşu yığma binada deprem hasarları

Saha gözlemlerinden; hatıl ve rijit döşeme varlığının yığma binaların deprem performansını artırdığı, çimento veya kireç harcıyla inşa edilen taş yığma binalarda ve hımiş yığma binalarda hasarların nispeten sınırlı kaldığı tespit edilmiştir (Şekil 97). Ayrıca duvarları çelik hasır donatı ve sıva ile güçlendirilen düşey delikli tuğladan inşa edilmiş yığma bir binanın, komşu yığma binada yoğun hasarlar meydana gelmesine rağmen depremi hasarsız atlattığı hatta kılcal düzeyde çatlakların bile oluşmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 98). Bu kapsamda güçlendirmenin olumlu katkısı yerinde tespit edilmiştir.

7. SANAYİ YAPILARINDA GÖZLEMLenen HASARLAR

Depremden en çok yapısal zararı alan illerin başında gelen Kahramanmaraş ilinde sanayinin önde gelen sektörleri tekstil, metal mutfak eşyası, gıda, kâğıt sanayi ve kuyumculuk olarak ifade edilmektedir. Türkiye'de üretilen iplik ve tekstil ham maddeleri ihracatının yüzde 30'undan fazlası ve çelik mutfak eşyalarından yüzde 60'ının Kahramanmaraş merkezli olduğu belirtilmektedir. Kahramanmaraş sanayisi 17 çeşit sektörde, 250 bin kişinin istihdam ettiği ve toplam 1.028 sanayi tesisi faaliyet göstermektedir. (URL-1).

Depremde en çok hasar alan illerin başında gelen Hatay ekonomisi ticaret, tarım, sanayi, ulaştırma ve inşaat sektörleri öne çıkmaktadır. Özellikle demir-çelik mamulleri, tarım ekipmanları, sebze-meyve ve narenciye üretimi yoğun olarak yapılmaktadır.

Gaziantep merkezi diğer deprem şehirlerine göre depremde az hasar görmesine rağmen özellikle Nurdağı ve İslahiye ilçeleri büyük hasar almıştır. Güneydoğu Anadolu'nun en gelişmiş ili olarak tanımlanmakla birlikte gelirinin %40'ı tarımdan ve %25'i sanayiden sağlanmaktadır. Nüfusun büyük bölümü tarımda çalışmakta ve önemli bir ticaret merkezi olarak ifade edilmektedir.

Malatya ekonomisinde tarım, tarımsal sanayi ve hayvancılık öne çıkmaktadır. Nüfusun büyük bölümü tarım, hayvancılık, balıkçılık ve kayısı üretimi sektöründe faaliyet göstermektedir. Hayvan yetiştiriciliği sektöründe büyük ve küçükbaş hayvanlarla birlikte kümes hayvanı yetiştiriciliği de yapılmaktadır.

Adıyaman ekonomisi temelde tarıma dayalı olmasıyla birlikte son yıllarda özellikle tekstil, gıda ve mermer sektörü yatırımları görülmektedir. Sanayi işletmelerinin büyük bir çoğunluğu il merkezinde bulunmaktadır. Adıyaman önemli yer altı kaynaklarına sahip ve Türkiye ham petrolünün yaklaşık %20'si bu bölgede üretilmektedir.

Depremde hasar alan sanayi tesislerinin çoğu Kahramanmaraş ve çevresinde yer almaktadır. Hızla büyüyen ekonomisi nedeniyle inşası devam eden çok sayıda sanayi yapıları bulunmaktadır. Deprem bölgesindeki sanayi yapıları genellikle prefabrik betonarme sistem, az sayıda çelik taşıyıcı sistem ve küçük sanayi yapıları ise klasik betonarme çerçeve sistemlerden oluşmaktadır.

Yapılan incelemelerde betonarme prefabrik fabrikaların büyük bir kısmının yapısal hasar aldığı az sayıdaki çelik konstrüksiyonlu sanayi yapılarında daha düşük oranda hasarların olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada incelenen sanayi yapı hasarları çelik konstrüksiyon sistemler, yerinde döküm sanayi yapı hasarları ve betonarme prefabrik sistemler başlığı altında değerlendirilmiştir.

7.1. Çelik Sanayi Yapılarında Hasar

Çelik yapılar tüm taşıyıcı elemanların çelikten üretildiği bir yapı sistemidir. Çelik yapılar geniş açıklıkların geçilebilmesi, hafifliği, büyük enerji yutma kapasitesi, hızlı imalatı, taşınabilirliği, demonte edilebilmesi, değişim ve takviye olanağı, hızlı imalatı, taşınabilir olması ve sökülüp yeniden kullanılabilme özelliği sayesinde ön plana çıkmaktadır. Çelik yapılar bu avantajlar sayesinde çok katlı yapılar, köprüler, çatılar, spor tesisleri, tahıl depoları, sanayi yapıları vb. alanlarda tercih

edilmektedir. Çelik yapılar uyumla hataları ve tasarım hataları ve yeterli mühendislik hizmeti almaması nedenleri ile depremlerde hasar görebilmektedir.

Bölgede yapılan incelemelerde, Kahramanmaraş merkezli depremlerden etkilenen çelik sanayi yapılarının bazılarının yıkıldığı veya hasar aldığı gözlemlenmiştir. Hasar gören veya yıkılan yapılarda yapılan incelemelerde, çelik yapıların yıkılmasının tasarım hataları, depremin büyüklüğü yanı sıra yetersiz süneklik, bağlantı noktası pekleştirme hatası, karmaşık detaylandırma, korozyon, hatalı kaynak uygulaması gibi sebeplerden kaynaklandığı görülmüştür.

Tahıl depoları (silo) bir betonarme temele sahip çelik profil ayaklar üzerine inşa edilen dairesel sistemlerdir. Yapılan incelemelerde aşırı yükleme, montaj hataları ve korozyon nedenleri ile nedeni ile çelik silolar hasar görmüştür (Şekil 99).

Gaziantep ilinde bir sanayi yapısının çelik çatısının elemanları kaynaklı birleştirme yöntemi ile birleştirildiği görülmektedir (Şekil 100). Yapılan incelemede, yapılan kaynak uygulamasının hatalı ve yetersiz olduğu görülmektedir. Ayrıca çelik elemanların korozyondan korunmamış olması depremde yapının yıkılmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Bölgede bir kısmı prefabrik çatı bölümü çelik yapı sistemi ile inşa edilen sanayi yapı hasarları da görülmüştür. Bu yapı deprem sonrası ortaya çıkan yangın nedeni ile hasar görmüştür (Şekil 101).



Şekil 99. Depremde büyük oranda yıkılan bir çelik tahıl deposu örneği (Gaziantep)



(a) Çelik çatı göçmesi



(b) Hatalı detaylandırma ve korozyon



(c) Hatalı kaynak uygulaması ve korozyon

Şekil 100. Depremde yıkılan bir çelik çatı ve birleşim detayları örneği (Gaziantep)



Şekil 101. Deprem sonrası ortaya çıkan yangın nedeni ile hasar gören yapı örneği



Şekil 102. Yıkılan bir çelik fabrikanın hasar incelemesi (Kahramanmaraş)

Kahramanmaraş merkezi karayolu üzerinde bulunan bir bölümü betonarme ve diğer bölümü çelik ile inşa edilen bir fabrikanın betonarme kısmı ağır hasar alırken çelik bölümü yıkılmıştır (Şekil 102). Yapılan detaylı incelemelerde, bulon sıyrılması, birleşim bölgesinde profil yırtılması, kaynak yırtılması, gibi hasarlar görülmüştür. Birleşim bölgesinde yapılan yanlış detaylandırma, yetersiz pekleştirme kaynak dikişi bölgesinde oluşan hasarları de ekleyince yapının tasarım ve inşasında yeteri kadar mühendislik hizmetinin almadığı kanaatine varılmıştır.

Bölgede yapılan incelemelerde, diğer sanayi yapı türlerine kıyasla çelik sanayi yapılarının depremde daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. Ancak çelik yapıların tasarım ve uygulama aşamasında yeterli mühendislik desteği almamaları, depreme dayanıklılık özelliklerine rağmen çelik yapıların da hasar görmesine neden olmuştur. Bu nedenle, çelik yapılarda çelik malzeme kalite kontrolü, tasarım ve imalatın denetlenmesi önem arz etmektedir.

7.2. Yerinde Döküm Sanayi Yapıların Hasarları

Deprem bölgesinde betonarme çerçeve sistemle inşa edilen sanayi yapılarının genellikle otomobil vb. sektörlerde hizmet veren faaliyetler için küçük hacimli üretildiği görülmektedir (Şekil 103). Dolayısıyla deprem hasarları da betonarme çerçeve konut hasarlarına benzerlik göstermektedir. Klasik betonarme çerçeve sistemlerde rastlanılan tasarım, malzeme ve işçilik yetersizliğinden kaynaklı deprem hasarları bu yapılarda görmek mümkündür. Küçük sanayi yapılarında çoğunlukla asma katlı tasarlandığı ve yüksek kolonlar ile yapı hacminin artırıldığı görülmektedir.

Betonarme çerçeve olarak yapılan sanayi yapılarında tespit edilen hasar türlerinin nedenleri şu şekilde özetlenebilir:

- Bitişik nizamda inşa edilmesinden dolayı yapıların birleşen yüzeylerinde çekiçleme hasarı (Şekil 104).
- Yapıya sonradan ilave edilen yapı elemanlarının depremde diğer yapı elemanları ile davranmadığı ve büyük hasar alması ya da göçmesi (Şekil 105).
- Kolon-kiriş birleşim bölgesinde yapısal hasarlar (Şekil 106 ve Şekil 107)
- Özellikle prefabrik yapı sistemleri ile aynı yapı sistemi içerisinde yerinde döküm betonarme yapı elemanları da inşa edildiğinde kısa kolon hasarı veya yeterli boşluk bırakılmamasından dolayı oluşan hasarlar (Şekil 108)
- Belirtilen hasarların dışında klasik betonarme yapılarda deprem hasarlarına neden olan kalitesiz beton, yapısal düzensizlikler, yetersiz bindirme boyu ve enine donatı miktarı ve kötü işçilik gibi hasarların birçoğu bu yapılarda görülmektedir.



Şekil 103. Yerinde döküm betonarme sanayi yapıları (Kahramanmaraş)



Şekil 104. Bitişik nizamda tasarlanmış betonarme sanayi yapıları (Kahramanmaraş)



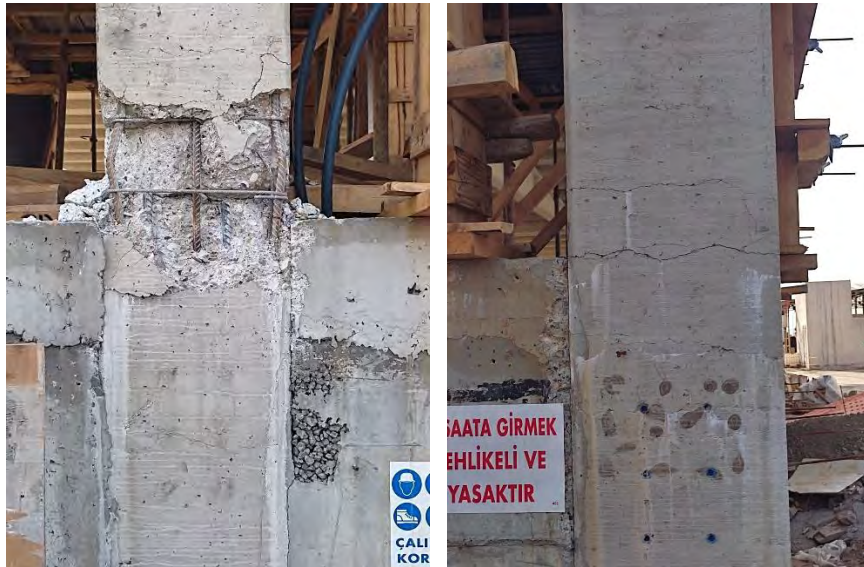
Şekil 105. Yetersiz birleşim sonucu ayrılan kiriş hasarı (Kahramanmaraş)



Şekil 106. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde kiriş hasarları (Kahramanmaraş)



Şekil 107. Betonarme sanayi yapısı hasarları (Gaziantep Nurdağı)



Şekil 108. Kısa kolon hasarları ve dilatasyon derzi yokluğu (Kahramanmaraş)

7.3. Prefabrik (Ön döküm) Sanayi Yapı Hasarları

Ülkemizde sanayi yapılarının taşıyıcı sistemleri için prefabrik, betonarme, çelik ve bu sistemlerin çeşitli kombinasyonlarından oluşan karma yapım teknikleri kullanılmaktadır (Dikmen ve Özek, 2011). Sanayi üretiminin büyük çoğunluğu deprem bölgelerinde olup ülke ekonomisi açısından

bakıldığında sanayi yapılarının önemi oldukça büyüktür. Deprem nedeniyle bu yapılarla birlikte bu yapılarda bulunan sermaye birikimi de zarar görmektedir (Atımtay, 2009).

Kahramanmaraş, Gaziantep ve bölgedeki diğer illerde sanayi yapılarının büyük çoğunluğunu tek katlı veya ara katlı, çok açıklıklı, eğik çatı kirişli, tekil temelli, ankastre mesnetli, moment aktarmayan pim bağlantılı (birleşimi mafsallı) kolon kiriş sistemine sahip prefabrik yapılar oluşturmaktadır (Kayhan, 2004). Genellikle binaların ana yöndeki açıklığı 15-20 m, diğer yöndeki açıklığı ise 8-10 m civarında olup kat yükseklikleri yaklaşık 10 m'dir.

Gaziantep'te bu tür yapıların büyük bir kısmı depremde yeterli performans göstermiş olup az sayıda yapıda hafif hasar oluşmuştur. Bu hafif hasarlar ise kirişlerde meydana gelen dönmeler sonucu guselerde oluşan beton ezilmesidir. Ancak Kahramanmaraş bölgesinde durum farklı olup meydana gelen depremlerde yanlış uygulamalar nedeniyle bu tür yapıların bazıları büyük hasarlar almışlardır. Depremler sonrasında hem sistem hem de montaj hatalarından kaynaklanan hasar türleri aşağıda sunulmuştur.

Prefabrik yapılarda çatıda kolonların yeterli rijit elemanlar ile bağlanmaması, mafsallı aşıklerle bağlanmış olması ve rijit diyaframın oluşmaması nedeniyle sistemde yük aktarımı tamamlanamamaktadır. Çatı kirişleri sanayi yapılarında uzun doğrultuya dik olarak yerleştirilmiş olup kolonlara pim bağlantılarla mesnetlenmiştir. Benzer şekilde aşık kirişleri de çok zayıf pimlerle mafsallı bir şekilde çatı kirişlerine bağlantısı yapılmıştır. Depremler sonucunda çatı kirişlerini yapı uzun doğrultusuna paralel yerleştirilen ve yeterli rijitliğe sahip olmayan kirişler ve bahsi geçen zayıf bağlantılar kolayca hasar almıştır. (Atımtay, 2009). Bu nedenle çatı ve aşık kirişlerinde göçme sonucu hasarlar oluşmuştur (Şekil 109).



Şekil 109. Yapıdan ayrılan aşık kiriş hasarları



Şekil 109. Devamı

Mafsallı bağlantılarda deprem nedeniyle oluşan yanal yer değiştirme ve dönme sonucu meydana gelen gerilmeler nedeniyle pimlerde sıyrılma ve kopmalar görülmüştür. Birleşim bölgelerinde imalat ve montaj aşamalarında gereken hassasiyetin gösterilmemesi göze çarpan en önemli problemdir. Bağlantı bölgesinde, pim deliklerinde delik içi dolgu harcının olmaması veya kalitesinin yetersiz

oluşu, aderansın yeterli olmaması, montaj güvenliğini sağlayan detayların bulunmaması (pul, somun kaynak vb.) hasarlara neden olmuştur (Şekil 110).

Devrilmeyi engelleyecek, deprem yönüne paralel çatı kirişlerinin olmaması veya yetersiz oluşu, devrilme momentine karşı koyamayan eleman ve bağlantı detayları olması nedeniyle kiriş uçlarında ve kirişlerin oturduğu kısa konsollarda (guselerde) ezilme ve kırılmalar meydana gelmiştir (Şekil 111).



Şekil 110. Yetersiz bağlantı ve ekipmanları



Şekil 111. Çatı kiriş ve konsol uç bölgesi hasarları

Kolon-temel birleşim bölgesinde, kolon alt uçlarında ve orta bölgesinde eğilme, kabuk beton atması, donatı burkulması ve donatı kopması sonucu meydana gelen hasarlar Şekil 112’de sunulmuştur. İncelenen prefabrik yapı eleman betonlarında dere agregası kullanıldığı, kırılma yüzeylerinin çimento hamuru- agregat ara yüzeyinde gerçekleştiği belirlenirken, bu tür davranışların düşük dayanımlı beton özellikleri olduğu dikkat çekicidir. Dolayısıyla, betonarme prefabrik yapı elemanları üretiminde beton kalitesini artırıcı düzenlemeler yapılmalı ve bu betonlarının dayanım değerleri takip edilmelidir.

Taşıyıcı sistem ile bağlantısı olmayan ve büyük açıklıkların geçildiği dolgu duvarlarda düzlem dışı hareket nedeniyle meydana gelen hasarlar Şekil 113’te verilmiştir.



Şekil 112. Kolon hasarları



Şekil 113. Duvar hasarları

8. TÜNEL VE KÖPRÜLERDE GÖZLEMLENEN HASARLAR

Ulaşım sisteminde oldukça önemli bir yere sahip olan karayolları için köprüler, viyadükler ve tüneller vazgeçilmez unsurlardır. Özellikle depremler sonrası yıkımın gerçekleştiği bölgelere ulaşımın sağlanması, yardım unsurlarının iletimi ve insanların tahliyesi gibi konularda köprüler ve tüneller önemli görevler üstlenirler. Depremlerde yaygın olarak karşılaşılan hasarlar, zemin-temel hasarları, altyapı hasarları ve birleşim ve mesnet hasarları olarak üç başlıkta sıralanabilir (Yüzüğüllü, 2001). 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi $M_w = 7.7$ ve 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi $M_w = 7.6$ sonrasında karayolu köprülerinde enkaz durumu veya ölümcül bir sonucun raporlanmadığı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (ODTÜ-DMAM, 2023).

Bu depremler sonrası 11 ilde gerçekleştirilen saha çalışmaları neticesinde birçok betonarme karayolu köprüsünde hasar olduğu gözlemlenmiştir. Bu köprülerde karşılaşılan genel hasar nedenleri aşağıda sıralanmıştır:

- Genleşme derzlerinde oluşan hareketlenmeler ve çekiçleme,
- Deprem takozu hasarları,
- Kenar ayak yaklaşım dolgusunda oluşan çökmeler ve kenar ayaklarda dönmeler,
- Prefabrik köprü kirişlerinde kabuk beton atması.

Saha çalışmaları neticesinde betonarme karayolu köprülerinde gözlemlenen hasarlara ilişkin görseller Şekil 114-117'de verilmiştir.



Şekil 114. Çekiçleme nedeniyle köprülerde oluşan hasarlara ait bazı örnekler



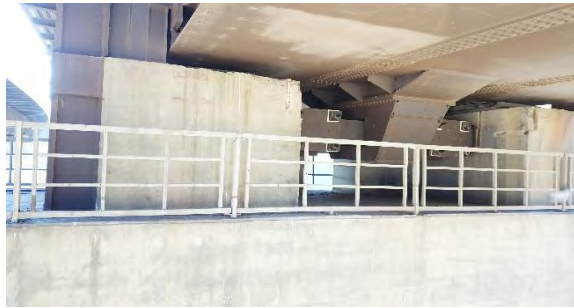
Şekil 115. Çekiçleme ve prekast kirişleri nedeniyle köprülerde oluşan hasarlara ait bazı örnekler



Şekil 116. Sıvılaşma ve kenar ayak dönmesi nedeniyle köprülerde oluşan hasarlara ait bazı örnekler



Şekil 117. Deprem takozu hasarlarına ait örnekler



Şekil 118. Gaziantep ili Nurdağı ilçesi Atatürk Viyadüğü ve diğer viyadüklerde gerçekleştirilen incelemelere ait görseller

Gaziantep ili Nurdağı ilçesinde bulunan ve yapıldığı dönemde Avrupa'nın ikinci, Türkiye'nin en büyük viyadüğü olma özelliği taşıyan Atatürk Viyadüğü dahil olmak üzere yol güzergahı üzerindeki birçok viyadükte de incelemeler gerçekleştirilmiştir. İncelemelere ait görseller Şekil 118 ile sunulmuştur.

Depremden etkilenen 11 ilde birçok yaya köprüsünde inceleme yapılmıştır. Çelik ve betonarme taşıyıcı sistem elemanları ile inşa edilen bu köprülerde deprem kaynaklı yapısal hasarlara rastlanmamıştır. İncelenen köprülere ait bazı görseller Şekil 119 ile sunulmuştur.



Şekil 119. İncelenen bazı yaya köprülerine ait görseller

Tarihi köprüler üzerine yapılan incelemelerde bölgedeki köprülerin çoğunlukla taş malzemeler ile inşa edildiği gözlemlenmiştir. 06.02.2023 04:17:34 (TSİ), Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi M_w 7.7 ve 06.02.2023 13:24:47 (TSİ), Elbistan (Kahramanmaraş) Depremi M_w 7.6 sonrasında, Kahramanmaraş ve Hatay’da illerinde bulunan iki tarihi taş kemer köprünün yapısal elemanlarında (tempan duvarlarda ve köprü tabliyesinde) hasarlar gözlenmiştir. Bu hasarlara ait bazı görseller Şekil 120 ve 121 ile sunulmuştur. Adıyaman ilinde bulunan Cendere Köprüsü, Kızılın Köprüsü ve Şeytan Köprüsü gibi bölgedeki önemli tarihi taş köprülerde ise deprem kaynaklı hasar gözlenmemiştir (Şekil 122).



Şekil 120. Kahramanmaraş ilinde bulunan tarihi Ceyhan Köprüsüne ait hasarlar

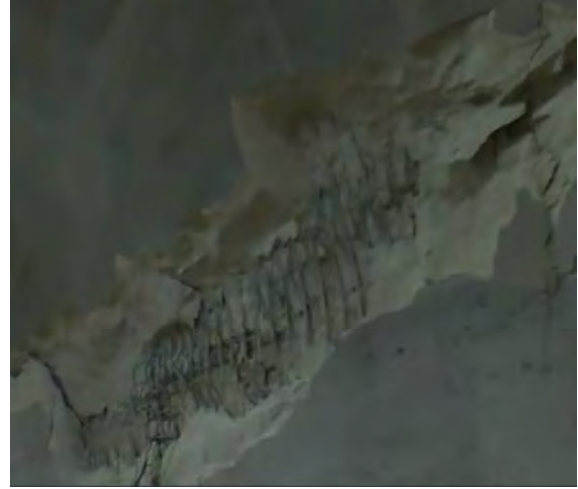


Şekil 121. Hatay ilinde bulunan tarihi bir köprüye ait hasarlar



Şekil 122. Bazı tarihi taş köprülere ait örnekler

Gerçekleştirilen saha çalışmalarında D-850 karayolu üzerindeki Erkenek Tünelinde deprem nedeniyle kabuk betonda dökülmeler görülmüştür. Ayrıca Adıyaman ilinde bir demiryolu tünelinde deprem nedeniyle çökme meydana gelmiştir. Hasarlı tünellere ait görseller Şekil 123'te sunulmuştur.



Şekil 123. Tünellerde oluşan hasarlara ait görseller (URL-2, URL-3)

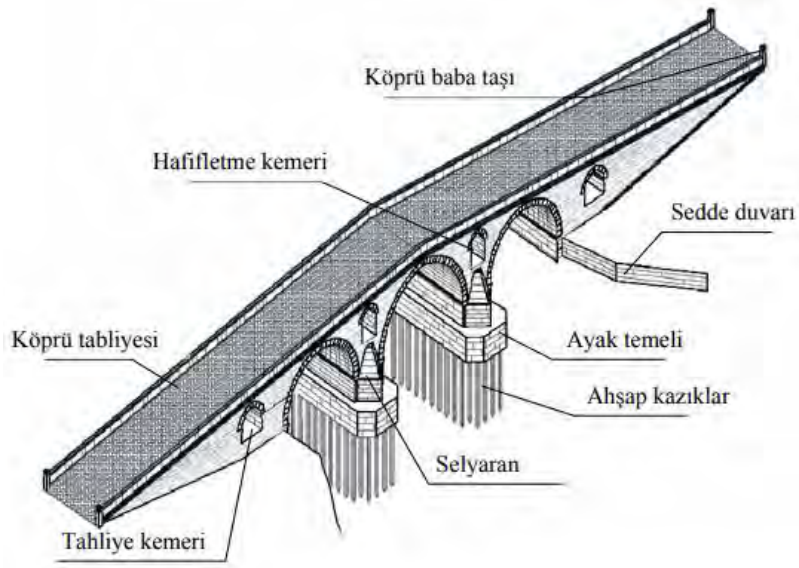
9. TARİHİ ESERLERDE GÖZLEMLENEN HASARLAR

Tarih boyunca pek çok medeniyete ev sahipliği yapmış olan Anadolu coğrafyası kültür mirası açısından büyük bir çeşitlilik göstermektedir. Bu medeniyetler kendi dönemlerinde farklı tarzda farklı yapım teknikleri ile farklı malzemeler kullanarak pek çok eser inşa etmişlerdir. Anadolu'nun aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle yurdumuzdaki tarihi yapılar depremlerden etkilenmişlerdir. Bazıları hasar görüp onarılmış, bazıları da tamamen yıkılarak yeniden yapılmış bazıları ise yıkılarak günümüze ulaşamamıştır. Tarihi kaynaklar incelendiğinde Kahramanmaraş merkezli büyük bir depremin en son 29 Kasım 1795 tarihinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu depremin 7 büyüklüğünde olduğu, şehir merkezinde bulunan cami, medrese, kale gibi yapıların yanı sıra şehirde ayakta ev kalmadığı belirtilmektedir (TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021). 06 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesinde saat 04.17'de Mw 7.7 büyüklüğünde ve yaklaşık 9 saat sonra Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesinde saat 13.24'te Mw 7.6 büyüklüğünde meydana gelen depremlerden sonra etkilenen illerde teknik heyetimizin tarihi eser niteliğindeki köprülerde, camilerde, kiliselerde, konaklarda, kalelerde ve diğer tarihi eserlerde tespit etmiş oldukları yapısal hasarlara bu bölümde yer verilmiştir.

9.1. Tarihi Yığma Köprüler

Köprüler, geçmişten günümüze kadar ulaşım ve lojistik hizmetlerinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle tarihi dönemlerde inşa edilen köprülerde kemer formunun sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Kemer formu, geometrik şeklinden dolayı basınç kuvvetlerine maruz kaldığından, özellikle geniş açıklıklı mesafelerin geçilmesinde o dönemlerde en uygun tasarım konumundaydı. (Güllü, 2018). Anadolu toprakları üzerinde inşa edilen köprülerde de bu tasarımın benzerlerine rastlanmaktadır. Ancak coğrafi farklılıklar kemer formunda, çevre taş ocakları ve teknik birikim ise örgü tekniklerinde farklılaşmalar yaratmıştır (Alaboz, 2008). Yığma köprülerde kullanılan temel yapı elemanları Şekil 124'te verilmiştir. Bölgede yapılan incelemeler sonunda bazı yığma köprülerde herhangi bir yapısal hasar tespit edilmemiş, bazılarında yapısal davranışı etkilemeyecek düzeyde hafif hasar bazılarında ise ağır hasar durumu tespit edilmiştir. Cendere Köprüsü, Adıyaman'ın Cendere çayı üzerinde Roma Döneminde 193-211 yılında yaptırılmıştır (URL-4). Kahramanmaraş depremlerinden sonra teknik ekibimiz tarafından yapılan incelemeler sonrasında köprüde herhangi bir yapısal hasara rastlanmamıştır (Şekil 125).

Adıyaman'ın Göksü Çayı üzerinde Roma döneminde Kommagene Uygarlığı tarafından yapılmış olan Kızılın (Singas) köprüsünün toplam uzunluğu 150 m., genişliği 8 m. olup biri büyük olmak üzere 3 adet kemerden oluşmaktadır (Şekil 126). 19 yy.'da nedeni tam bilinmeyen bir nedenle büyük bir hasar gören köprü 2020 yılında restore edilmiştir (URL-5). Kahramanmaraş depremleri sonrasında sahada yapılan gözlemler sonucunda köprüde herhangi yapısal bir hasara rastlanmamıştır. Adıyaman'ın Kâhta İlçesinde bulunan Şeytan (Memluk) Köprüsü'nde yapılan incelemelerde köprünün kemer taşlarında ayrılma ve kırılmalar tespit edilmiştir (Şekil 127).



Şekil 124. Yığma köprünün yapı elemanları (Alaboz, 2008)



Şekil 125. Cendere Köprüsü



Şekil 126. Kızılin (Sıngas) Köprüsü

Kahramanmaraş'ta XV. yüzyılda Dulkadir Beyliği döneminde inşa edildiği düşünülen Ceyhan (Taş) Köprü'sü 158m uzunluğunda olup 1 ana 5 kenar kemere sahiptir. Köprüde yapılan incelemeler sonunda köprü parapetinin farklı bölgelerde hasara uğradığı bazı bölgelerde de köprü tabliyesinden ayrıldığı tespit edilmiştir (Şekil 128).

Hatay ilinde depremde sonra da kullanılmaya devam edilen yığma bir köprü Şekil 129'da görülmektedir. Köprüde yapılan incelemelerde parapet duvarların yer yer yıkıldığı, tempan duvarlarının çatladığı ve bazı kilit taşlarında kırılmaların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 129). Hatay ilinde bir diğer yığma köprüde yapılan incelemede ise söz konusu köprü'nün tempan duvarlarının bazılarının tamamen göçtüğü bazılarında da belirgin çatlaklar olduğu tespit edilmiştir (Şekil 130).



Şekil 127. Şeytan (Mamluk) Köprüsü



Şekil 128. Ceyhan (Taş) Köprüsü



Şekil 129. Hatay’da incelenen yığma köprü



Şekil 130. Hatay’da incelenen diğer yığma köprü

9.2. Tarihi Cami ve Kiliseler

Anadolu toprakları birçok medeniyetlere ev sahipliği yapmış geniş bir coğrafyada yer almaktadır. Tüm bu medeniyetlerin etkisinde kalmış Anadolu, kendini bu medeniyetler doğrultusunda şekillendirmiştir.

Bu şeklin bir parçası da yığma cami ve kiliseler olmuştur. Her bir medeniyet kendi yapım tekniklerini ve malzeme özelliklerini kullanarak ibadethaneler olan cami ve kiliselerini inşa etmişlerdir. Anadolu topraklarının büyük bir kısmı aktif deprem kuşağı üzerinde olduğu için bu tarihi yapılar birçok depreme maruz kalmıştır. Bir kısmı depremlerde hasar almamış, bir kısmı az hasar alıp onarılmış ve bir kısmı da tamamen yıkılmıştır. Bölgede yapılan incelemeler sonucunda bazı yığma cami ve kiliselerde hasarlar tespit edilmiştir. Yığma cami ve kiliselerde saha çalışması sonucunda tespit edilen yapısal hasarlar başlıca; taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar, kemer ve kubbelerde oluşan hasarlar, cami minarelerinde oluşan hasarlar ve uygun olmayan bağlantı detayları olarak sıralanabilir. Kahramanmaraş depremlerinde hasar gören tarihi kilise ve camilere bu bölümde yer verilmiştir.



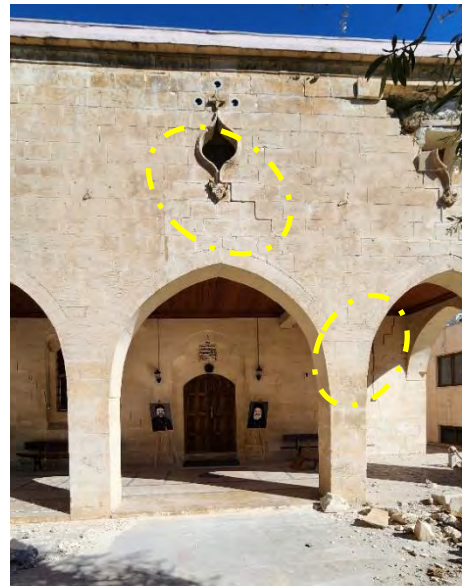
Şekil 131. Adıyaman Mor Petrus Kilisesi deprem öncesi (URL-6) ve deprem sonrası düzlem içi etkilerden kaynaklı hasar



Şekil 132. Düzlem dışı etkilerden kaynaklı taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar



Şekil 133. Sütunlarda tespit edilen hasarlar



Şekil 134. Düzlem içi etkilerden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları



Şekil 135. Ayakta meydana gelen çatlaklar



Şekil 136. Kemerlerde gergi elemanı kullanımı, kemerin oturduğu ayakta oluşan hasar

Adıyaman ilinde bulunan Mor Petrus kilisesi 1883 yılında inşa edilmiş olup 1905 ve 1953 yıllarında restore edilmiştir (URL-6). Kilisede yapılan incelemelerde taşıyıcı duvarlarda, sütunlarda ve ayaklarda hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 131-135). Gergi elemanı kullanımı sayesinde kemer formunda hasar tespit edilmemesine rağmen kemerlerin oturduğu ayaklarda hasar tespit edilmiştir (Şekil 136).

Adıyaman ilinde bulunan Ulu Cami 1506-1515 tarihleri arasında ilk olarak Dulkadiroğulları zamanında inşa edilmiştir. Üzerindeki kitabeye göre cami daha sonra bilinmeyen bir tarihte tahrip olması veya tamamen yıkılması sonucunda 1832 yılında tekrar inşa edilmiştir. 1860 yılında harap durumdaki minaresi tekrar yenilenmiştir. 1890 yılında meydana gelen depremde hasar alan cami ve minare 1895 yılında tamir edilmiştir (Arslan 2010). Adıyaman Ulu Cami'nde yapılan incelemelerde yapının 2 duvarı hariç tamamen göçtüğü gözlemlenmiştir (Şekil 137). Cami minaresinin, çekme dayanımını arttırmak amacıyla zıvana ve kenet kullanılmasına rağmen tamamen yıkılmıştır (Şekil 138).

Yapılan detaylı incelemede ayakta kalan duvarlardan birinde çekme dayanımını artırmak amacıyla güçlendirme çalışması yapıldığı tespit edilmiştir (Şekil 139).



Şekil 137. Adıyaman Ulu Cami deprem öncesi (URL-6) deprem sonrası cami ve minare göçmesi



Şekil 138. Adıyaman Ulu Cami minaresinde kullanılan kenetler



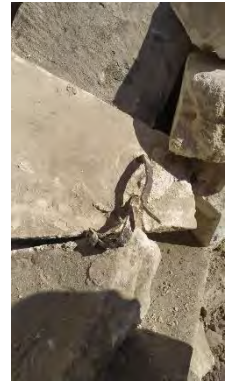
Şekil 139. Adıyaman Ulu Cami duvarında tespit edilen güçlendirme çalışması

Adıyaman ilinde bulunan Yenipınar Cami 1720 yılında Hacı Mahmut tarafından inşa edilmiştir (URL-7). Cami’de yapılan incelemelerde zıvana ve kenet kullanılmasına rağmen minarenin tamamen göçtüğü gözlemlenmiştir (Şekil 140-141). Ayrıca cami kısmında düzlem içi etkilerden kaynaklı oluşan diyagonal çekme çatlakları tespit edilmiştir (Şekil 142).

Kahramanmaraş ili Elbistan ilçesinde bulunan Ulu Cami, Anadolu Selçuklu Sultanı II. Gıyaseddin Keyhüsrev’in isteği ile 1240 yılında yaptırılmıştır. 1507 yılında savaşta tahribata uğradıktan sonra tekrar aslına uygun olarak yapılmıştır (URL-8). Cami’de yapılan incelemelerde cami minaresinin geçiş kesiti ile gövde arasından hasar alarak göçtüğü gözlemlenmiştir (Şekil 143). Caminin kubbesindeki pencere kenarlarında hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 144). Ayrıca caminin tonozlarında çekme çatlakları ve hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 145).



Şekil 140. Adıyaman Yenipınar Cami’sinin deprem öncesi (URL-7) ve deprem sonrası minare göçmesi



Şekil 141. Adıyaman Yenipınar Cami minaresi göçmesi ve kullanılan zıvana ve kenet örnekleri



Şekil 142. Düzlem içi etkilerden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları



Şekil 143. Elbistan Ulu Cami deprem öncesi (URL-8) ve deprem sonrası minare göçmesi



Şekil 144. Cami kubbesindeki pencere kenarlarında oluşan hasarlar



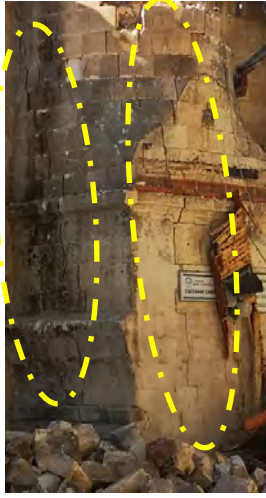
Şekil 145. Tonozlarda oluşan çatlak ve hasarlar

Adıyaman ili merkez ilçesi Eskişaray mahallesinde bulunan Eskişaray Cami 1735 yılında İbrahim Paşa tarafından yaptırılmıştır (URL-10). Cami’de yapılan incelemelerde cami minaresin gövdeden hasar alarak göçtüğü ve kaide ile geçiş kesitinde düşey yönde çatlaklar oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 146). Ayrıca göçen minare caminin çatısına hasar vermiştir (Şekil 147).

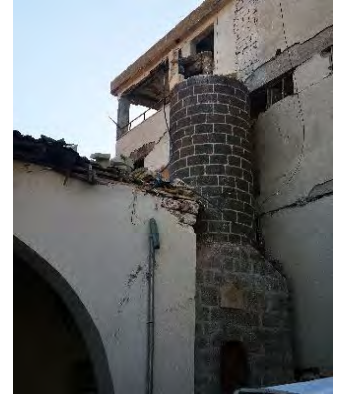
Gaziantep ili İslahiye ilçesinde bulunan Derviş Paşa Cami 1865 yılında inşa ettirilmiştir. Cami’de yapılan incelemelerde caminin minaresi gövdesinden hasar alarak yıkılmıştır (Şekil 148). Cami taşıyıcı duvarlarında düzlem içi etkilerden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 149). Cami sütunlarında ve kemerin sütuna oturduğu bölgelerde kayma gerilmelerinden kaynaklanan çatlaklar tespit edilmiştir (Şekil 150). Ayrıca cami taşıyıcı elemanlarında düzlem dışı etkilerden kaynaklı hasar ve göçmelerde gözlemlenmiştir (Şekil 151).



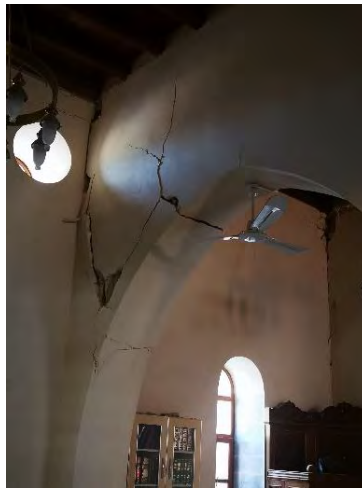
Şekil 146. Eskişaray Cami’nin deprem öncesi (URL-10) ve deprem sonrası görüntüsü



Şekil 147. Adıyaman Eskişaray Cami minare ve çatı hasarları



Şekil 148. Derviş Paşa Camii depremden önce (URL-11) ve depremden sonra minare göçmesi



Şekil 149. Düzlem içi etkilerden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları



Şekil 150. Sütunlarda oluşan çatlak ve hasarlar



Şekil 151. Düzlem dışı etkilerden kaynaklı hasar ve göçmeler

Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesi Kurtuluş mahallesinde bulunan Hatuniye Cami (Şems Hatun) Dulkadir Beyi Alaüddevle eşi Şems Hatun adına 1510 yılında inşa ettirmiştir (URL-12). Cami’de yapılan incelemelerde, caminin minaresi gövdesinde kesit değişimi olan bölgeden hasar alarak yıkılmış ve cami çatısına hasar vermiştir (Şekil 152). Cami taşıyıcı duvarlarında düzlem içi etkilerden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 153). Ayrıca yapılan incelemelerde ayaklarda hasarlar olduğu da tespit edilmiştir (Şekil 154).



Şekil 152. Hatuniye Cami deprem öncesi (URL-12) ve deprem sonrası minare ve çatı hasarı



Şekil 153. Düzlem içi etkilerden kaynaklı diyagonal çekme çatlakları oluşan hasarlar



Şekil 154. Cami ayaklarında oluşan hasarlar

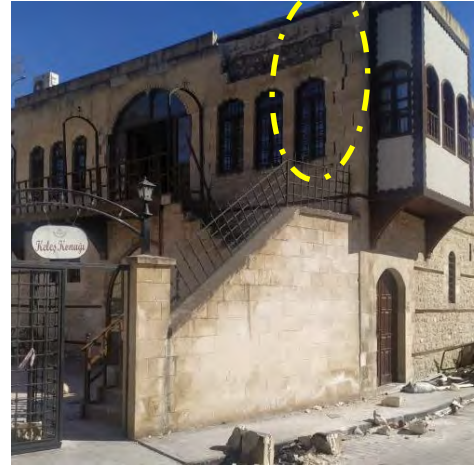
9.3. Tarihi Konaklar

Bulunduğu bölgenin mimari özelliğini taşıyan konaklar geçmişten günümüze uzanan kültürel mirasımızda önemli yeri olan yapılardır. Konaklar taş, tuğla, ahşap, kerpiç ve benzeri çeşitli malzemelerden inşa edilebilmektedir. Deprem bölgesinde yapılan incelemeler sonucunda, tarihi konaklarda çeşitli hasarlar tespit edilmiştir. Gaziantep ili, Islahiye ilçesi, Alaca mahallesinde bulunan Ahmet ağa konağı 1931 yılında taş ve ahşaptan inşa edilmiştir. Taşıyıcı eleman malzemesi doğal taş olup çatı ve çatının bir kısmını taşıyan sütunlar ahşaptan inşa edilmiştir. Konakta yapılan incelemelerde taşıyıcı duvarlarda düzlem dışı etkilerden kaynaklı göçme meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 155).

Adıyaman evlerinin bir örneği olan Keleş Konağının yapım tarihi bilinmemekle birlikte uzun bir süre metruk halde kaldıktan sonra 2005 yılında restore edilerek turizme kazandırılmıştır. Konakta yapılan incelemelerde düzlem içi etkilerden kaynaklı çatlaklar tespit edilmiştir (Şekil 156). Ayrıca düzlem dışı etkilerden kaynaklı taşıyıcı duvarlarda hasar ve göçme olduğu tespit edilmiştir (Şekil 157).



Şekil 155. Düzlem dışı etkilerden kaynaklı göçme



Şekil 156. Keleş Konağının depremden önce (URL-13) ve depremden sonra düzlem içi etkilerden kaynaklı hasar görüntüsü



Şekil 157. Düzlem dışı etkilerden kaynaklı hasar ve göçmeler

Dulkadiroğlu (Üdürgücü) konağı, Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesi Şazi Bey Mahallesi'nde 1900'lü yılların başında inşa edilmiştir. Hımış bir yapı olarak inşa edilen konakta bağdadi duvar kullanılmıştır. Konakta yapılan incelemelerde, bağdadi duvarda sıva dökülmeleri, pencere üstlerinde düzlem içi etkilerden kaynaklı kayma çatlakları ve taşıyıcı taş duvarda düzlem içi etkilerden kaynaklı diagonal çekme çatlakları tespit edilmiştir (Şekil 158). Konak, yönetmelikte verilen pencere arası mesafe koşullarını sağlamamasına rağmen hımış yapının hafifliğinden dolayı diğer konaklara kıyasla depremde daha iyi bir performans sergilemiştir.



Şekil 158. Bağdadi duvarlarda sıva dökülmeleri ve düzlem içi etkilerden kaynaklı çatlaklar

9.4. Tarihi Kaleler

Kahramanmaraş merkezli depremlerde etkilenen çevre illerde bulunan kalelerin birçoğunda büyük çaplı hasarlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Kahramanmaraş Kalesinin duvarlarında meydana gelen hasarlar Şekil 159’de görülmektedir. Gaziantep’in hâkim bir tepesinde inşa edilmiş olan Gaziantep Kalesi de meydana gelen depremlerde ağır hasar gördüğü tespit edilmiştir. Burçlarının ve duvarlarının belirli kısımlarının büyük bir bölümünün göçtüğü Şekil 160’ta görülmektedir. Adıyaman’ın Kahta ilçesinde bulunan kalede de benzer şekilde duvarlarda düzlem dışı meydana gelen hasarlar gözlenmiştir (Şekil 161).



Şekil 159. Kahramanmaraş kalesi (URL-14)



Şekil 160. Gaziantep kalesi



Şekil 161 Adıyaman Kahta kalesi

9.5. Tarihi Diğer Yapılar

Adıyaman'da Komagene Krallığı döneminde inşa edilmiş olan Karakuş Tümlüsü'nün etrafında yüksekliği yaklaşık 7 metre olan 9 adet sütun yapıldığı tarihi kaynaklardan anlaşılmaktadır (URL-15). Bu sütunlardan günümüze kadar sadece 4 tanesinin ulaşmıştır. Bu sütunlar, Karakuş sütunu, Kraliçe Isias adına dikilen sütunlar ve tokalaşma sütunlarıdır. Tümlüsün ve dört sütunun Kahramanmaraş depremlerinde önceki görünüşleri sırasıyla Şekil 162 ve Şekil 163'te verilmiştir. 2000 yıldan daha fazladır ayakta duran bu sütunlardan tokalaşma sütunu Kahramanmaraş depremleri sonucunda devrilmiştir (Şekil 164).



Şekil 162. Karakuş tümlüsünün depremden önceki durumu (URL-17)



Karakuş Sütunu



Kraliçe Isias adına dikilen sütun



Tokalaşma sütunu (URL-17)

Şekil 163. Karakuş sütunlarının deprem öncesi durumları



Şekil 164. Deprem sonrası devrilen tokalaşma sütunu



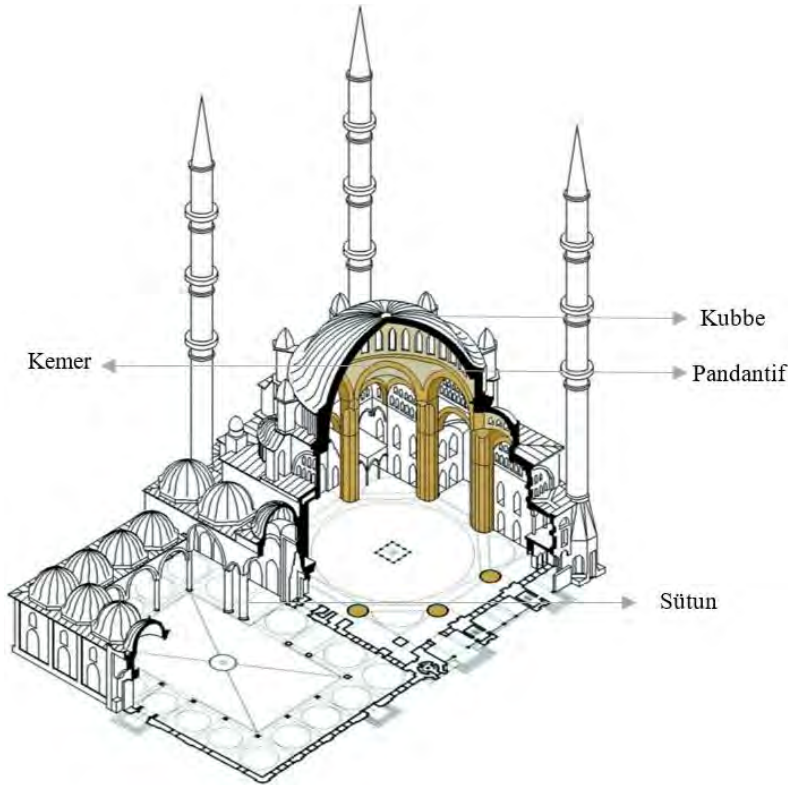
Şekil 165. Arsemia antik kentinde bulunan steller

Adıyaman Kahta ilçesi sınırları içerisinde Nemrut Dağı güzergahı üzerinde bulunan Arsemia antik kentinin M.Ö. 3. Yüzyılda inşa edildiği düşünölmektedir. Kentte bulunan Antiochos-Herakles tokalaşma steli ve diğer stel şekil 165'te görölmektedir (URL-16). Deprem sonrasında yapılan incelemede bu stellerde herhangi deprem kaynaklı bir hasar tespit edilmemiştir.

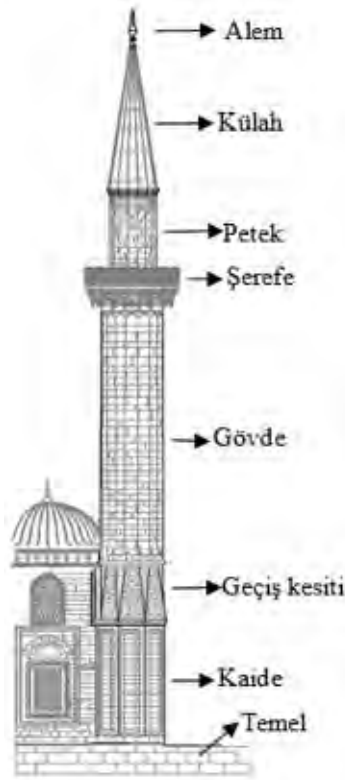
10. CAMİ VE MİNARELERDE GÖZLEMLenen HASARLAR

Bu bölümde, 06 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesinde saat 04.17'de 7.7 (M_w) büyüklüğünde ve yaklaşık 9 saat sonra Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesinde saat 13.24'te 7.6 (M_w) büyüklüğünde meydana gelen depremlerden sonra etkilenen illerde teknik heyetimizin farklı yapım tekniği (betonarme ve yığma) ile yapılmış olan cami ve minarelerde tespit etmiş oldukları yapısal hasarlara yer verilmiştir.

Tarih boyunca pek çok cami farklı malzeme, yapım tekniği ve mimari üsluplarla inşa edilmiştir. Birçok caminin taşıyıcı sistemi benzer elemanlardan oluşmaktadır. Camilerde taşıyıcı sistemin başlıca temel yapı elemanları kubbe, kemer, tonoz, ayaklar ve sütunlar olarak sıralanmaktadır (Şekil 166). Kubbe, bir kemerin yayının, tepe noktasından inen dik eksenin çevresinde dönmesi ile meydana gelen taşıyıcı elemanlardır. Kubbelerin mesnetlerinde sürekli bir taşıyıcı yüzey olması gerekmektedir. Bu nedenle de dairesel bir sisteme oturmaları gerekmektedir. Bu da ancak geçiş elemanlarının kullanılmasıyla sağlanabilmektedir. Bu geçiş elemanları pandantifler, tromplar ve Türk üçgeni olarak bilinmektedir (Uray 2018). Kemerler, iki sütun arasındaki açıklığı geçmek için yapılan eğri eksenli kirişler olarak tanımlanmaktadır. Kemerler, taş ya da tuğla kullanılarak inşa edilebilmektedir. Tonozlar, yan yana gelen kemerlerden oluşan taşıyıcı elemanlardır ve tarihi yapılardaki dikdörtgen alanları kaplamak için kullanılmaktadırlar. Sütunlar ise, tek parça veya çok parça blok taştan oluşan yüksek basınç gerilmesi taşıyabilen düşey taşıyıcı elemanlardır. (Mahberel, 2006). Tarihi süreçte doğal taş ve ahşap malzemelerden yapılan camiler günümüzde genel olarak betonarme tekniği kullanılarak inşa edilmektedir.



Şekil 166. Caminin taşıyıcı elemanlarının şematik görünümü (Bilgiç, 2019)



Şekil 167. Minare bölümleri (Pekgökgöz ve Taş, 2017)

Minareler, estetik ve simgesel anlamları ile camilerin yanında önemli bir yer tutan uzun ve narin yapılardır. Farklı malzemeler kullanılarak inşa edilmektedirler. Geçmişte doğal taş, tuğla vb. malzemelerden yığma olarak yapılan minareler günümüzde betonarmeden inşa edilmektedir. Minareler genellikle temel, kaide (kürsü), geçiş kesiti, gövde, şerefe, petek, kûlah ve alem gibi farklı bölümlerden oluşmaktadır (Şekil 167).

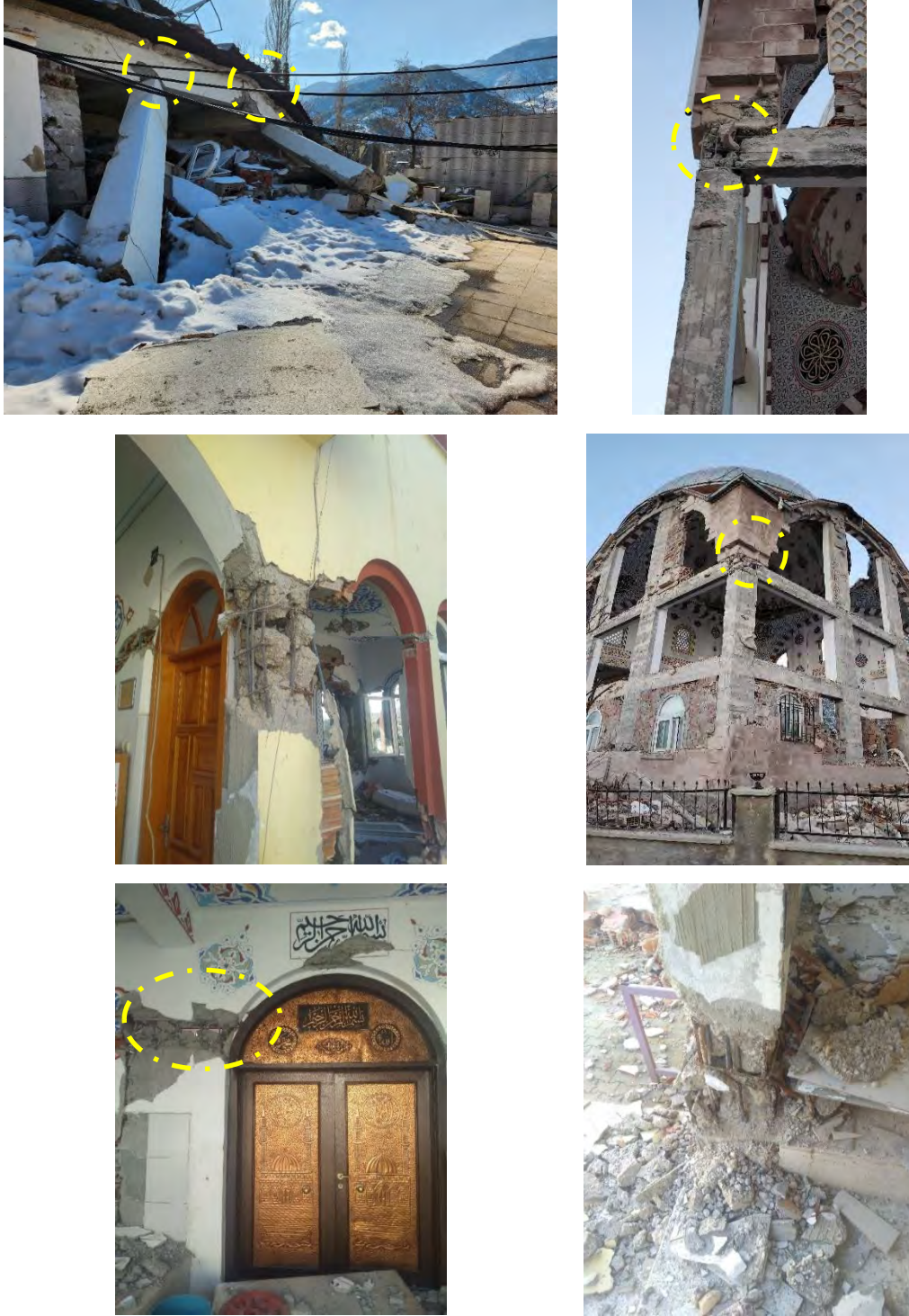
10.1. Betonarme Camilerde Gözlemlenen Hasarlar

Betonarme camilerde saha çalışması sonucunda tespit edilen yapısal hasarlar başlıca (i) kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları ve mafsallaşma durumları, (ii) kubbe hasarları, (iii) pendentif hasarları, (iv) kısa kolon hasarları, (v) döşeme hasarları, (vi) bölme duvar hasarları, (vii) yetersiz enine donatı, (viii) nervürlü donatı kullanımı, (ix) yetersiz beton kalitesi olarak sıralanabilir.

(i) Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları ve mafsallaşma durumları

Deprem etkisi altında kolon-kiriş birleşim bölgeleri büyük iç kuvvetlere maruz kalmaktadır. Birleşim bölgelerinde iç kuvvetlerden dolayı oluşan gerilmelerin, kesitlerin dayanımını aşması bu bölgelerde plastik mafsalların oluşmasına neden olmaktadır. Plastik mafsalların kolon uçlarında meydana gelmesi istenilmeyen kat mekanizmasının oluşmasına neden olmaktadır. Kat mekanizması ani gevrek kırılmalar ile sonuçlanmaktadır. Bu yüzden plastik mafsalların kiriş uçlarında oluşması istenmektedir. Plastik mafsalların kirişlerde oluşması kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibi ile sağlanmaktadır. TBDY-2018’de süneklik düzeyi yüksek kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve sistemlerde, kolon-kiriş birleşimleri kuşatılmış ve kuşatılmamış birleşim olarak tanımlanmaktadır.

Kolon-kiriş birleşimlerinde yeterli rijitliği sağlamak için sarılma bölgesinde enine donatı sıklaştırması yapılmalıdır. Uygulanacak enine donatının çapı 8 mm'den küçük olmamalı ve aralığı kuşatılmış birleşimlerde 150 mm'yi, kuşatılmamış birleşimlerde ise 100mm'yi aşmamalıdır. Deprem sonrasında sahada yapılan incelemeler sonunda tespit edilen kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları ve mafsallaşma durumları Şekil 168'de verilmiştir.



Şekil 168. Betonarme camilerde gözlemlenen mafsallaşma durumları



Şekil 169. Betonarme camilerde gözlemlenen kubbe hasarları

(ii) *Kubbe hasarları*

Kubbeler camilerin üstünü örtmek için çok eski dönemlerden günümüze kadar kullanılan taşıyıcı elemanlardır. Bazı kubbelerin alt kısımlarında caminin aydınlatılması için belirli büyüklükte ve aralıkta pencereler kullanılmaktadır. Bu boşluklar o bölgedeki kesit alanının azalmasına neden olmaktadır. Deprem sonrasında sahada yapılan incelemeler sonunda, bazı camilerin kubbesinin bu bölgelerden hasara uğradığı gözlemlenmiştir. Bu hasarların önlenmesi için kubbenin alt kısmında bırakılacak olan pencere sayısı ve büyüklüklerinin dikkatlice hesaplanması gerekmektedir. Yine yapılan gözlemlerde, bazı camilerin pencere olmayan kubbelerinde de hasar tespit edilmiştir (Şekil 169).

(iii) *Pendantif hasarları*

Pendantif, kare planlı yapının üzerine kubbenin oturmasını sağlayan bir taşıyıcı sistem elemanıdır. Kubbeyi taşıyan kemerler ile kubbenin arasında kalan köşelerdeki boşluklarını doldurarak kubbenin oturma yüzeyini artıran küresel üçgenlerdir. Deprem sonrasında yapılan saha çalışmalarında, bazı betonarme camilerin pendantiflerinde çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 170).

(iv) *Kısa kolon hasarı*

İncelenen bazı betonarme camilerin dış çerçeve bölme duvarlarında aydınlatma ve havalandırma amacıyla bırakılan pencerelerin kısa kolon oluşumuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Kısa kolonlar yüksek rijitlik ve düşük sünekliliğe sahip olduklarından deprem etkisi altında büyük kesme

kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu durumda yeterli kesme dayanımına sahip olmayan kısa kolonların kesme kırılmasıyla güç kaybederek hasar görmesine neden olmaktadır (Şekil 171).

(v) *Döşeme hasarları*

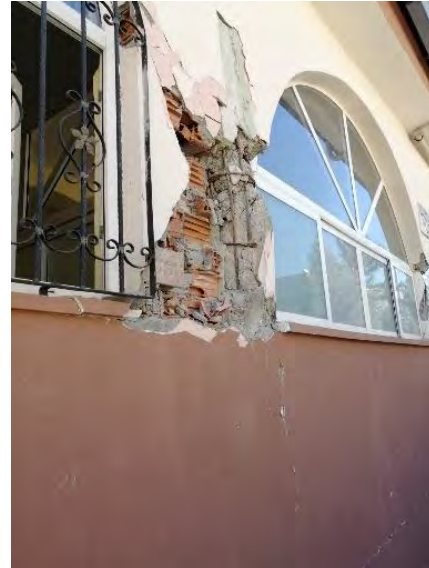
Betonarme döşemeler kendi yükleri ve üzerine gelen düşey yükleri kolon, kiriş ve perdelerle aktaran taşıyıcı yapı elemanlarıdır. Bunu yanı sıra deprem sırasında oluşan yatay yükleri de düşey elemanlara rijitlikleri oranında dağıtmaktadır. Deprem sonrasında yapılan saha çalışmalarında bazı betonarme camilerin betonarme döşemelerinin ağır hasara uğradığı tespit edilmiştir (Şekil 172).

(vi) *Bölme duvar hasarları*

Deprem sırasında yapıların hareketi neticesinde taşıyıcı özelliğe sahip olmayan bölme duvarlarda X-şeklinde ifade edilebilecek çatlaklar oluşmakta ve sıvada dökülmeler görülmektedir. Bölme duvarlarda meydana gelen hasarlarda duvarın mesnetlenme şekline de oldukça önemli olmaktadır. Yüksekliği fazla olan bölme duvarlarda, çatlak genişliğinin artmasıyla duvarın üst kısmı yıkılmakta, kapı ve pencere boşluklarının çevresinden parça kopmaları görülmektedir. (Şekil 173). TBDY-2018'e göre, temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, hasır çelik donatılı özel sıva veya lifli polimerler ile güçlendirilerek deprem etkisi altında hasar görmeleri engellenebilmektedir.



Şekil 170. Betonarme camilerde gözlemlenen pandantif hasarları



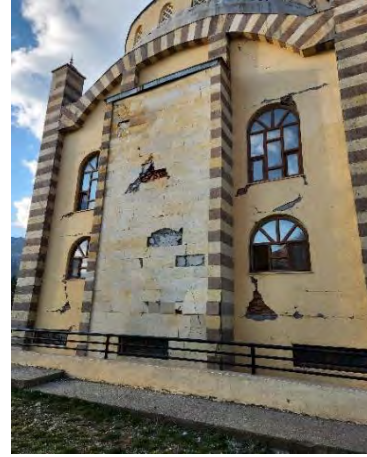
Şekil 171. Betonarme camilerde gözlemlenen kısa kolon hasarları



Şekil 172. Betonarme camilerde gözlemlenen döşeme hasarları



Şekil 172. Devamı



Şekil 173. Betonarme camilerde gözlemlenen bölme duvar hasarları

(vii) Yetersiz Enine Donatı

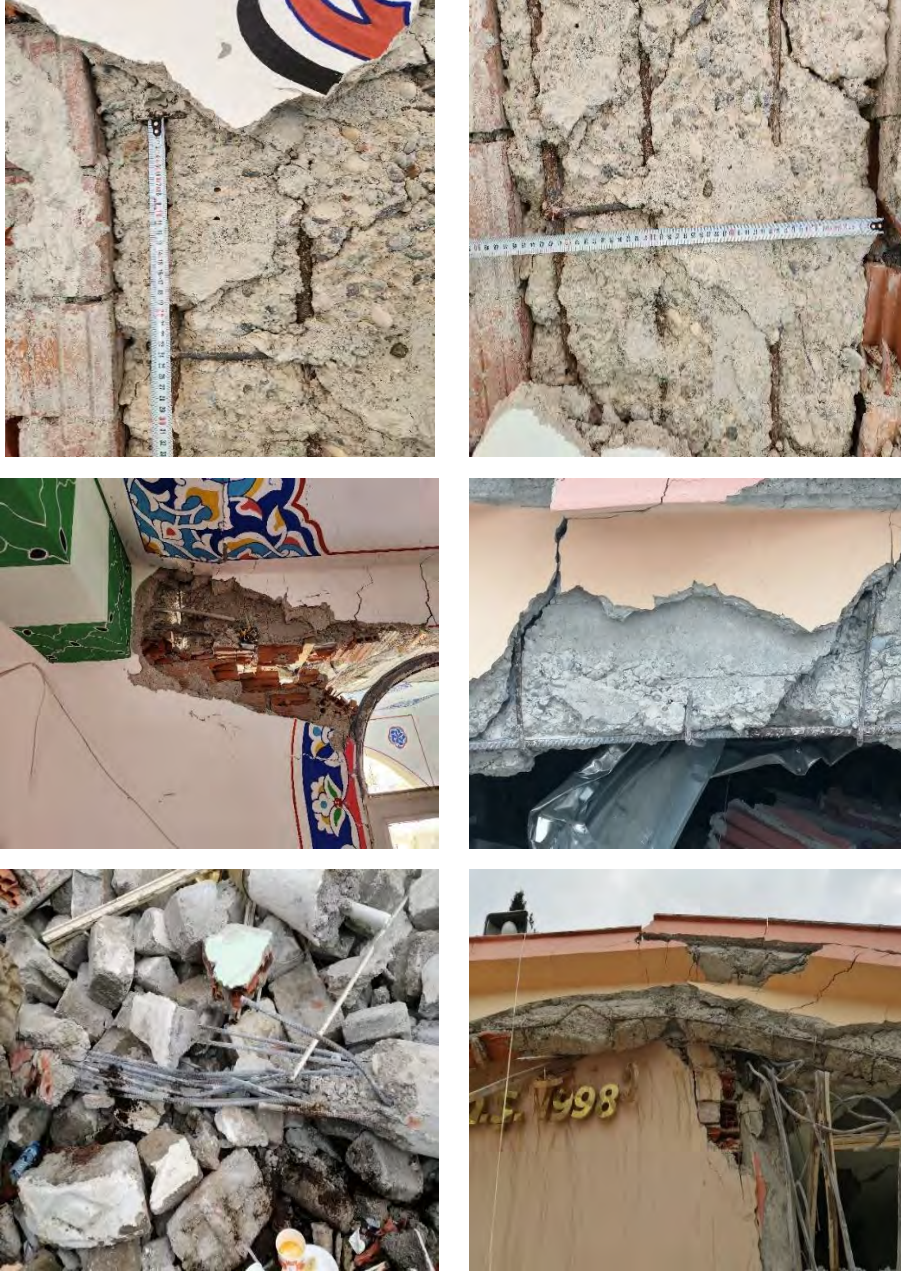
Betonarme yapı elemanlarında kullanılan enine donatıların başlıca görevleri, kesme kuvvetini karşılamak, boyuna donatıların burkulmasını önlemek ve çekirdek betonun sünekliğini artırmaktır. TBDY-2018'e göre süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi sınırlı olan tüm betonarme sistemlerin kolonlarında, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinde kullanılan enine donatılar özel deprem etriyesi, çirozlar ise özel deprem çirozu olarak düzenlenmek zorundadır. Ayrıca, kolon ve kiriş sarılma bölgelerinde $\phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatının kullanılmasına izin verilmemektedir. Fakat sahada yapılan gözlemlerde, hasar görmüş bazı betonarme camilerde yapıldığı yılda yürürlükte bulunan yönetmeliklerin gerekliliklerin yerine getirilmediği gözlemlenmiştir. (Şekil 174). Bu tip hasarların önlenmesi için yönetmeliklerde verilen tüm detaylandırmalara ve kısıtlamalara uyulması gerekmektedir.

(viii) Nervürsüz donatı kullanımı

Beton ve donatı arasındaki aderans, betonarmeyi oluşturan bu iki malzemenin birlikte çalışmasını sağlayan en önemli parametrelerden birisidir. Beton ve donatı arasındaki aderansı arttırmak için donatı üzerine belirli açılarla çıkıntılar oluşturulmakta ve nervürlü donatılar üretilmektedir. Ülkemizde, ABYYHY-1975'te nervürsüz donatının kullanımına izin verilmiş, ancak ABYYHY-1998'de nervürlü donatının kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Söz konusu depremler sonrasında yapılan saha gözlemlerinde betonarme camilerde nervürsüz donatı kullanımının neden olduğu hasarlar tespit edilmiştir (Şekil 175).

(ix) Yetersiz beton kalitesi

Betonarme camilerin yapısal performanslarında etkili parametrelerden birisi de beton kalitesidir. Bu nedenle eski ve güncel yönetmeliklerde kullanılan betonun kalitesi ile ilgili sınırlandırmalar getirilmiştir. İnşa edilen yapılarda kullanılan betonun söz konusu minimum yönetmelik koşullarını sağlaması gerekmektedir. ABYYHY-1998 ve DBYBHY-2007'e göre betonun minimum karakteristik basınç dayanımı 20MPa iken TBDY-2018 ile bu değer 25MPa'a yükseltilmiştir. Betonun istenilen kalitede olması birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir; betonu oluşturan malzemelerin uygun oranlarda birleştirilmesi, uygun agrega boyutu ve dağılımı, betonun uygun yükseklikten dökülmesi, yeterli vibrasyonun uygulanması, uygun sıcaklıkta döküm yapılmasıdır. Saha gözlemlerinde camilerde kullanılan betonlarda uygun olmayan boyutlarda agrega ve düşük kenetlenme özelliğine sahip kırılmamış dere agregası kullanıldığı tespit edilmiştir (Şekil 176).



Şekil 174. Betonarme camilerde gözlemlenen donatı detay hataları



Şekil 175. Betonarme camilerde gözlemlenen nervürsüz donatılar



Şekil 176. Betonarme camilerde gözlemlenen yetersiz beton kalitesi

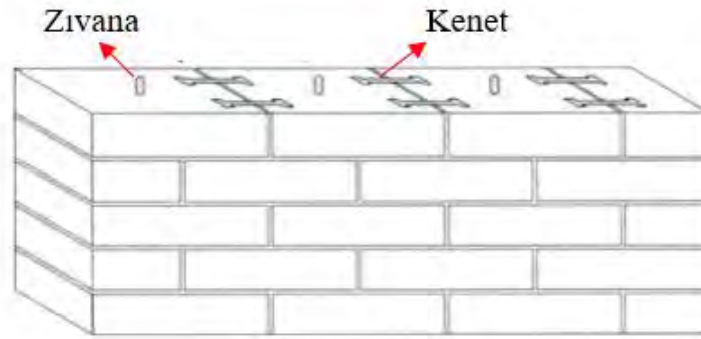
10.2. Yığma Camilerde Gözlemlenen Hasarlar

Yığma camilerde saha çalışması sonucunda tespit edilen yapısal hasarlar başlıca (i) taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar, (ii) kemer, tonoz ve kubbelerde oluşan hasarlar olarak sıralanabilir.

(i) Taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar

Yığma yapıda düşey ve deprem yükleri taşıyıcı duvarlar tarafından taşınmaktadır. Taşıyıcı duvarlarda en büyük hasar oluşturan etki deprem kuvvetleridir. Bu kuvvetler duvarda çekme ve kayma gerilmeleri oluşturarak duvarın çatlama, ayrılma ve yıkılmasına sebep olmaktadır. Yığma yapılar ağır ve rijit oldukları için üzerine gelen deprem kuvvetleri de büyüktür. Yığma yapılar üzerine yük geldiğinde betonarme gibi sünek bir davranış sergileyemedikleri için plastik şekil

değiştirme göstermeden ani olarak göçmektedirler. Duvarlarda en çok oluşan hasarlardan birisi de çatlaklardır. Yapıdaki konumu, yayılışı, yapıdaki gerilme dağılışı çatlakların neden oluştuğu ile ilgili bilgi vermektedir. Duvarda bırakılan büyük pencere ve kapı boşlukları, ekstra gerilme yığılmalarından dolayı hasar artışına sebep olmaktadır. Yığma yapılarda çekme gerilmelerinin karşılanmasına yönelik bazı tedbirler alınmaktadır. Alınacak bu tedbirler kenet ve zivana uygulamaları olarak bilinmektedir. Yığma camilerde kullanılan kenet ve zivana tipleri Şekil 177’de verilmiştir. Yapılan saha incelemeleri sonunda tespit edilen taşıyıcı duvarlarda oluşan hasarlar Şekil 178’de verilmiştir. Yapılan saha incelemelerinde Adıyaman Ulu Cami’nin taşıyıcı elemanlarının çoğunun büyük oranda göçtüğü gözlemlenmiştir. Fakat Şekil 179’da görülen ve daha önce güçlendirme çalışması yapılmış olan yığma duvarın kısmen ayakta kaldığı gözlemlenmiştir.



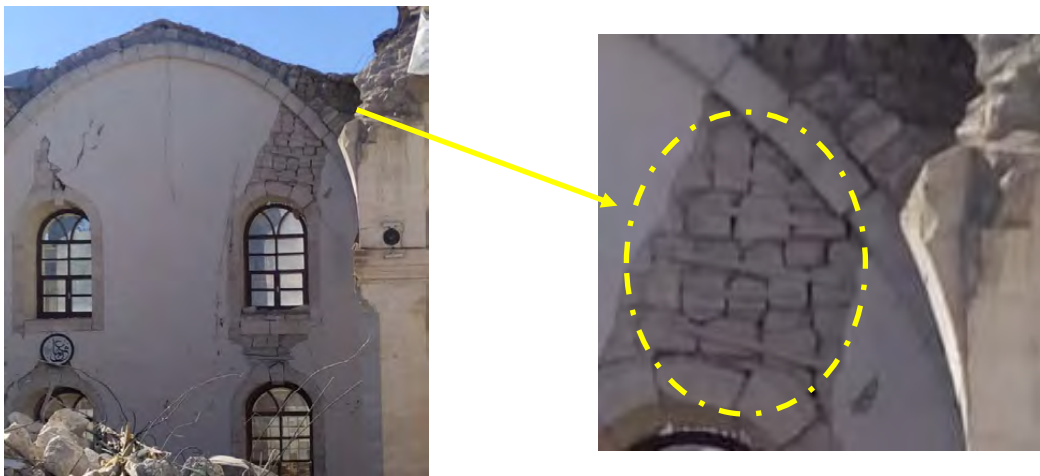
Şekil 177. Kenet ve zivana gösterimi (Karabork ve Koçak, 2014)



Şekil 178. Yığma cami taşıyıcı duvarlarında oluşan hasarlar



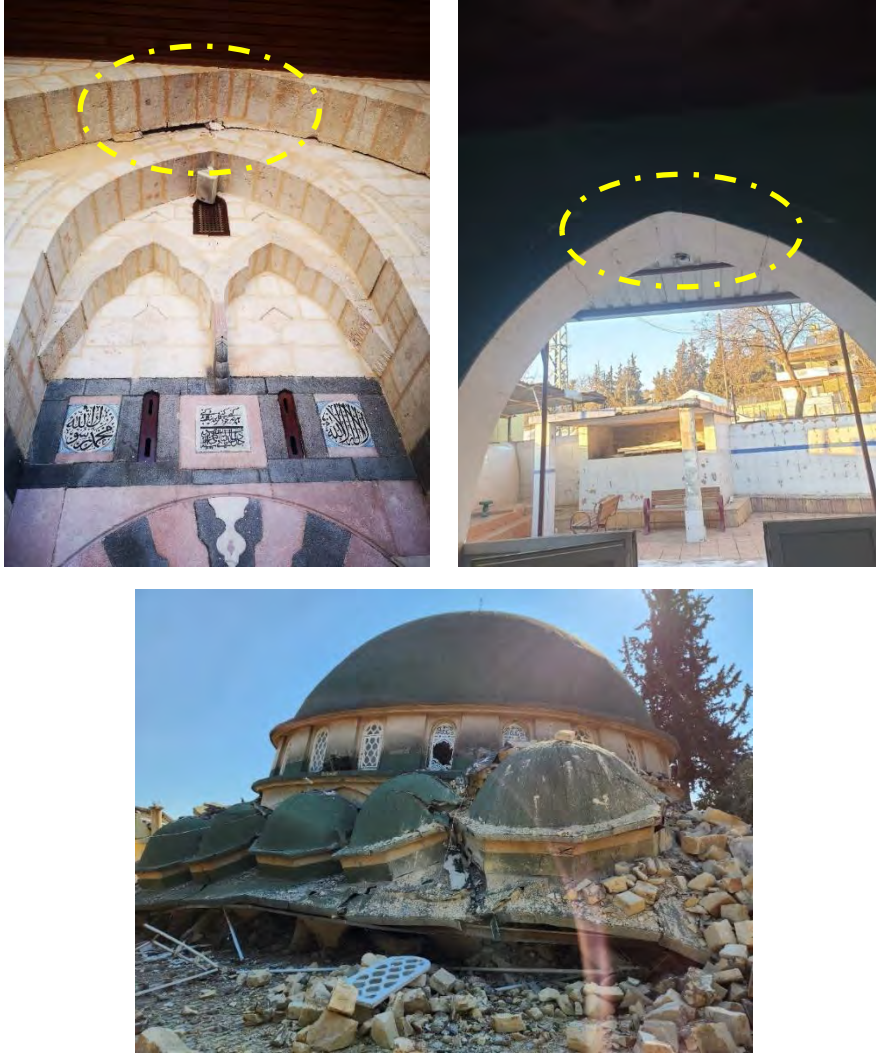
Şekil 178. Devamı



Şekil 179. Adıyaman Ulu Cami duvarında tespit edilen güçlendirme çalışması

(ii) *Kemer, tonoz ve kubbelerde oluşan hasarlar*

Yığma duvarların basınç dayanımı çekme dayanımına kıyasla çok daha büyüktür. Bundan dolayı eğilme etkisi altında olan çatı, döşeme gibi elemanlar eğrisel olarak kemer, tonoz ve kubbe şeklinde tasarlanarak çekme gerilmelerinin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Deprem esnasında taşıyıcı elemanlarda meydana gelen çekme gerilmelerinde artışlar meydana gelmektedir. Bu durum çekme gerilmelerine dik doğrultuda çatlaklar meydana gelmesine neden olmaktadır. Deprem sonrasında sahada yapılan incelemeler sonunda tespit edilen kemer, tonoz ve kubbelerde oluşan hasarlar Şekil 180’de verilmiştir.



Şekil 180. Kemer, tonoz ve kubbelerde oluşan hasarlar

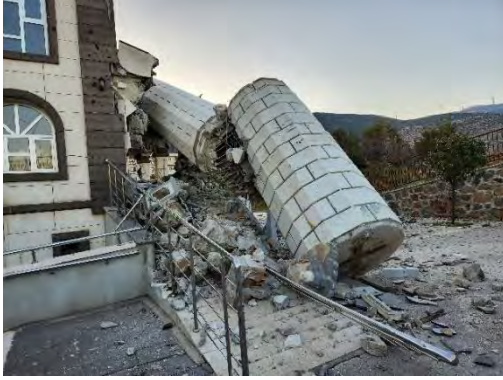
10.3. Betonarme Minarelerde Gözlemlenen Hasarlar

Ülkemizde camilerin büyük bir bölümünde minare bulunmakta olup bu yapıların hesap ve tasarımına ait ülkemizde yürürlükte olan herhangi bir yönetmelik bulunmamaktadır. Bu durum bu yapıların teknik gereksinimler ve kısıtlamalar olmaksızın inşa edilmesine, rüzgâr ve deprem gibi dinamik yükler altında hasar görmesine hatta tamamen yıkılmasına neden olmaktadır. Minarelerin yıkılması camilerin ve yakında bulunan yapıların hasar görmesine hatta can kayıplarına neden olmaktadır (Şekil 181).

Minareler genellikle temel, kaide (kürsü), geçiş kesiti, gövde, şerefe, petek, külah ve alem gibi farklı bölümlerden oluşmaktadır (Şekil 167). Bu bölümlerden geçiş kesiti ile gövde ve petek ile külah bölümleri arasında kesit değişimi olmaktadır. Deprem bölgesinde yapılan saha gözlemlerinde betonarme minarelerde tespit edilen hasarların bu kesit değişiminin olduğu bölgelerde olduğu belirlenmiştir. Şekil 182’de minarelerin geçiş kesiti ile gövde arasındaki dayanımın yeterli olmamasında kaynaklanan göçmeler görülmektedir. Bu konudaki paydaşların kullanımına sunulmalıdır.



Şekil 181. Minarelerin yıkılması sonucu yakınında bulunan yapılarda oluşan hasarlar (URL-18)



Şekil 182. Betonarme minarenin geçiş kesiti ile gövde arasındaki dayanımın yeterli olmaması durumu

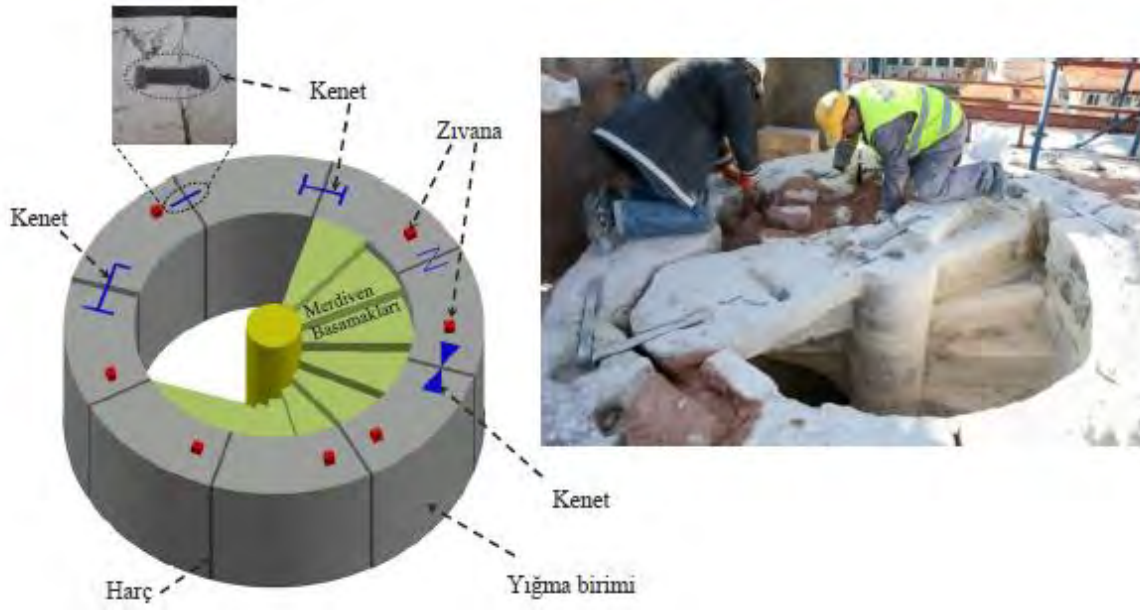


Şekil 183. Betonarme minarenin petek ile külâh arasındaki hasarlar

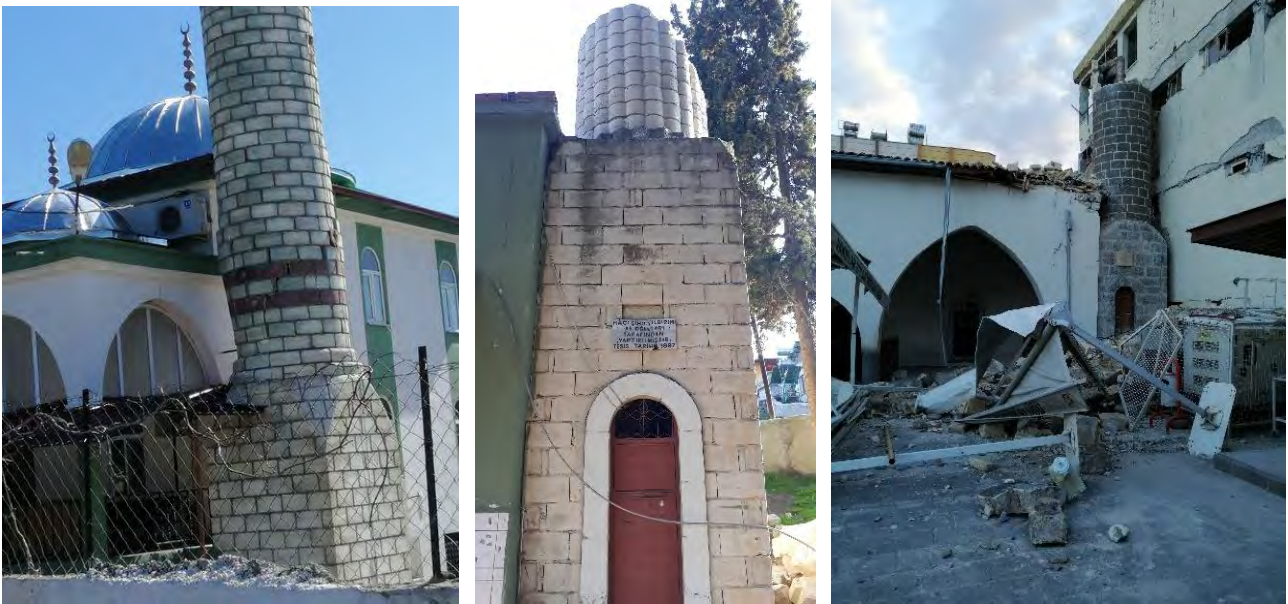
10.4. Yığma Minarelerde Gözlemlenen Hasarlar

Günümüzde yapılan minarelerin belirli bir kısmında kullanılan kesme taş, tuğla gibi birimler birbirine sadece farklı bağlayıcı özelliklere sahip harçlar ile bağlanmaktadır. Bu şekilde inşa edilen yığma minareler rüzgar ve deprem gibi yatay yüklere maruz kaldıklarında yeterli dayanımı gösteremeyip hasar gördüğü ve hatta tamamen yıkıldığı belirtilmiştir (Doğangün ve Livaoğlu, 2007; Atmaca et al., 2020; Calp, 2018; Çelik, 2019; Duman, 2020; Bilgiç, 2020). Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde yapılan yığma minarelerin önemli bir kısmında ise minarelerin yatay yüklere karşı dayanımını artırmak için zıvana ve kenet gibi elemanlar kullanıldığı görülmektedir. Bu elemanların kullanımı Şekil 184’te verilmiştir. Teknik ekibimiz tarafından sahada yapılan gözlemler sonucunda zıvana ve kenet elemanlar kullanılmadan inşa edilen bazı yığma minarelerin harç bölgesinden ayrılarak göçtüğü tespit edilmiştir (Şekil 185). Ayrıca minarelerin geçiş kesiti ile gövde, şerefe ile petek ve petekle ile külâh bölümleri arasında kesit değişiminin olduğu bu kesitlerde hasarların

meydana geldiği yapılan gözlemlerde tespit edilmiştir. Minarenin geçiş kesiti ile gövdesi arasındaki kesitin değiştiği bölgede yeterli dayanımın olmamasından kaynaklanan hasarlar Şekil 186'da verilmiştir. Minarenin içindeki merdiven şerefe kısmına kadar devam etmekte ve petek kısmında merdiven bulunmamaktadır. Petek kısmında merdiven olmayışı bu bölgenin rijitliğinin azalmasına ve yer değiştirmelerin aniden artmasına neden olmaktadır. Bu durumda petek kısmının hasar görmesine neden olmaktadır. Sahada yapılan gözlemler sonucunda bu bölgede meydana gelmiş olan hasarlar Şekil 187'de verilmiştir.



Şekil 184. Tipik bir minaredeki kilit ve zivana gösterimi ve uygulaması (Karabork, 2014, URL-19)



Şekil 185. Minare gövdesinde tespit edilen hasarlar



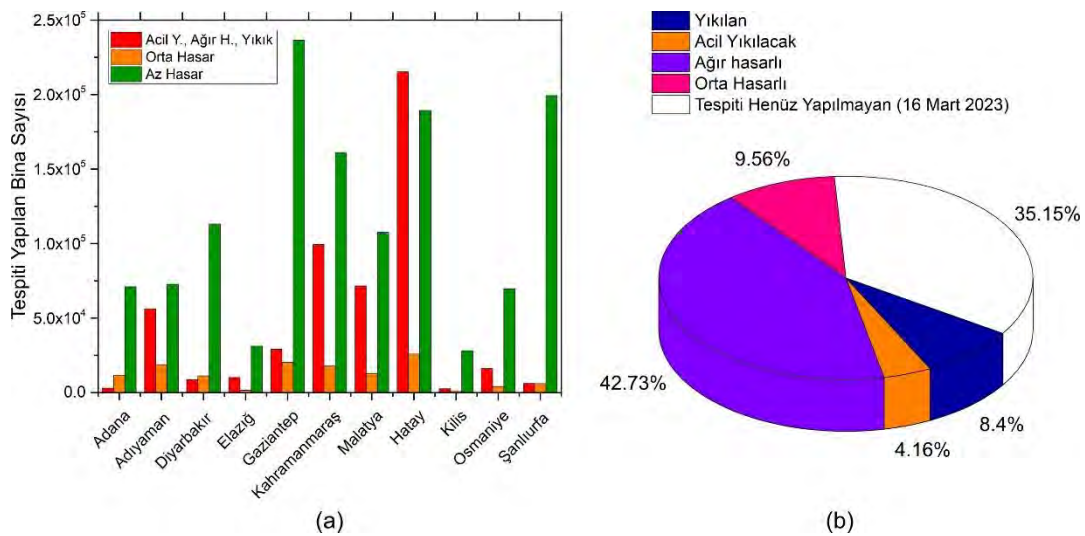
Şekil 186. Geçiş kesiti ile gövde arasında tespit edilen hasarlar



Şekil 187. Petek bölümünde tespit edilen hasarlar

11. EKONOMİK ETKİ

2018 Türkiye Deprem Tehlike Haritasında Kahramanmaraş ili 475 yıl tekrarlanma periyoduna göre (50 yıl içinde %10 aşılma olasılığına göre) maksimum ivme değeri 0.2-0.6g arasında iken sahada oluşan maksimum yatay yeryüzü ivmesi 2.2g (11.04.2023 tarihli AFAD verisi) olarak ölçülmüştür. 2018 deprem haritasında depremin olduğu bölgenin deprem tehlikesinin göreceli olarak daha yüksek olduğunu işaret etmektedir. Bölgedeki özellikle büyük yerleşim yerlerinin ve kalabalık nüfuslu ilçelerin bulunması deprem riskini arttırmaktadır. Çalışmanın bu kısmında özellikle bina hasarları ve yaşanan deprem afetinin etkilerini azaltmak ve bir ölçüde gidermek için yapılan ve yapılması planlanan harcamalar değerlendirilecek ve verilerin 17.08.1999 Kocaeli depremi ile karşılaştırması yapılarak yaşanan afetin ekonomik etkisi irdelenmeye çalışılmıştır. 17.8.1999 Kocaeli depreminde (MMI: X, Mw 7.6, Ms 7.8) can kaybı 17480 olarak yaşanmış iken toplam hasarlı bina sayısının 73342 olduğu kayıtlara geçmiştir. Bu depremin ardından tarihinde yaşanan 12.11.1999 Düzce depreminde (MMI: IX, Mw 7.2, Ms 7.5) can kaybı 763 ve toplam hasarlı bina sayısının 35519 olduğu kayıtlara geçmiştir. 06.02.2023 tarihinde olan Kahramanmaraş Pazarcık depremi (MMI: XI, Mw 7.7, Ms 7.5) ve sonrasında aynı gün içindeki Hatay depremi (MMI: X, Mw 7.6, Ms 7.5) verilerine dayanarak Kandilli rasathanesinin yayınladığı raporda ortalamalar kullanılarak yapılan hesaplarla 40,911 binanın önemli derecede veya ağır hasar alacağı, 111.120 binanın ise orta hasar üstü, ağır hasar alacağı veya toptan göçme ile karşı karşıya kalacağı değerlendirilmiştir. 06.02.2023 tarihindeki verilere dayalı olarak hazırlanan ve depremten tam bir ay sonra Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan rapordaki veriler incelendiğinde, depremten etkilenen toplam 10 ilde yapılan tespitlere göre, az hasarlı bina sayısının 431.421, orta hasarlı 40.228, ağır hasarlı 179.786, yıkık bina sayısının 35.355, acil yıkılacak bina sayısının ise 17.491 olduğu tespit edilmiştir. Şekil 188(a)'da depremten etkilenen toplam 11 ilde yapılan tespitler sonucu ortaya çıkan hasar durumu görülmektedir. Şekil 188(b)'de ise yapılan toplam tespitler içindeki hasar durumu görülmektedir.



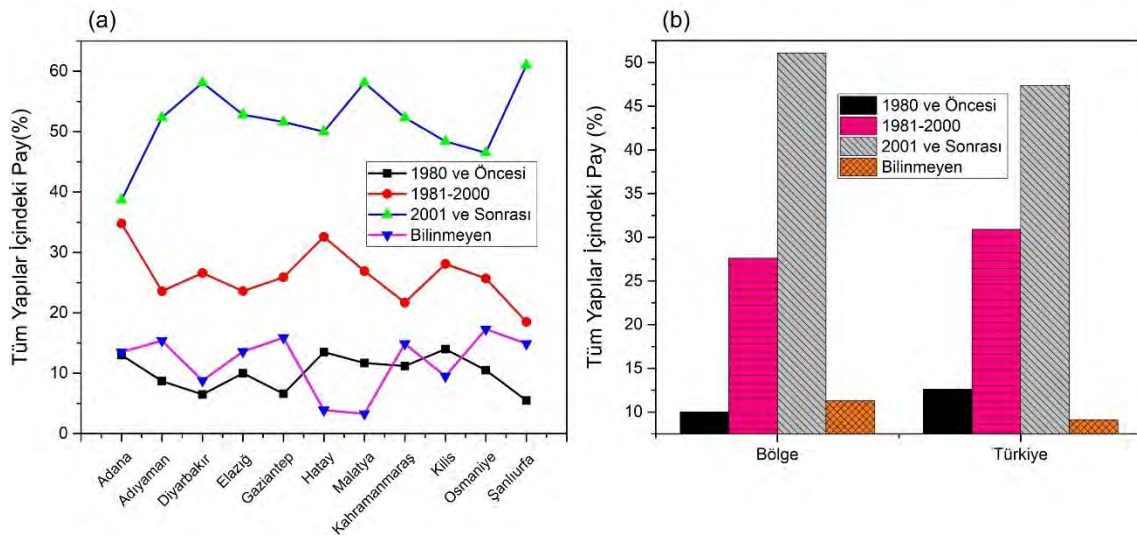
Şekil 188. Depremden etkilenen illerde hasar dağılımları ve toplam bina sayılarına karşı hasarlı bina sayıları

Buna göre Adıyaman, Kahramanmaraş, Malatya ve Hatay illerinde ağır hasar ve sonrası belirgin derecede yüksek oranlarda görülmektedir. Genel olarak ise yapılan tespitler sonucunda ağır hasar ve orta hasar durumu belirgin derecede yüksektir. Hasar tespit çalışmalarının büyük kısmı tamamlanmış olmakla birlikte bu sayılar genel olarak hasarın boyutunu gözler önüne sermektedir. Toplam hasarlı bina sayıları karşılaştırıldığında 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinin toplam hasarlı bina sayısını katlayarak geçmiştir. Ayrıca Kandilli rasathanesinin yayınladığı hasar tahmininde üzerine çıkmıştır.

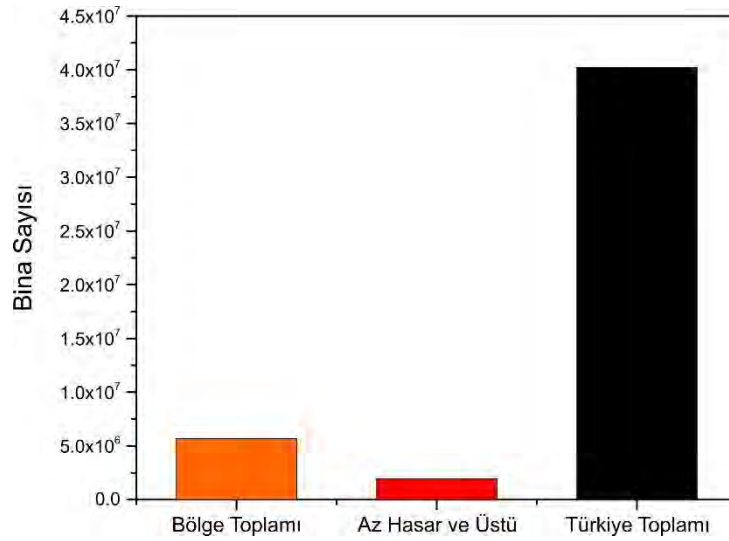
Şekil 189'da, depremden etkilenen 11 ilin yapı stokunun yapım yıllarına göre dağılımı görülmektedir. Buna göre her il için 2000 yılı sonrasında imal edilen yapı sayısı diğer yıl aralıklarında inşa edilen yapı sayılarından fazla olduğu görülmektedir. Buna rağmen hasar durumu bu illerde yine de yüksek olarak seyretmektedir. Türkiye genelindeki binaların yapım yılları ile deprem bölgesindeki 11 ilin verileri karşılaştırıldığında ise yine 2000 yılı yapımı tamamlanan yapı yüzdesi ülke genelindeki eşdeğer grubunkinden yüksektir. Ayrıca ülke genelindeki 2000 yılına kadar yapılan yapıların toplam yüzdesi ülke otamasının altındadır. Bu esasen olumlu bir veri iken, diğer bir ifade ile 2000 yılı sonrası yapılan yapıların toplam yapılar içindeki yüzdesi yüksek iken hasar durumlarının da yüksek olması düşündürücüdür.

Şekil 190'da Türkiye toplamı bina sayısı ile bölge toplamındaki yapı sayıları ile depremde az hasar ve üstü derecede hasar alan yapıların sayıları karşılaştırıldığında hasarın ne derecede yaygın olduğu görülmektedir. Bu ve açıklanan diğer yapı stoku durumu ve hasar miktarları depremin oluşturduğu yapısal hasarı arttırmaktadır.

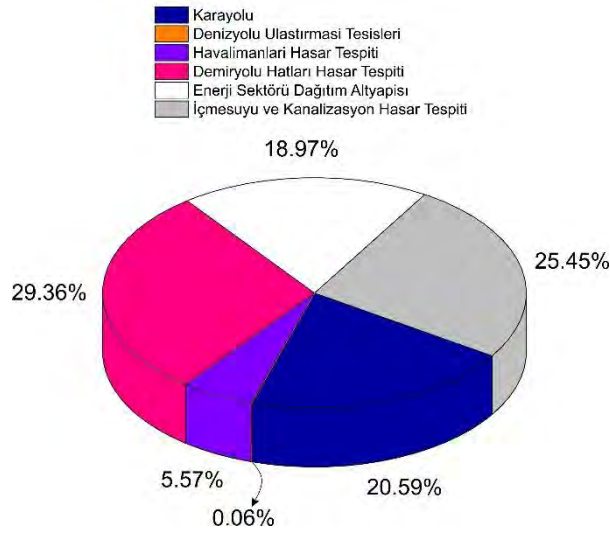
Öte yandan depremde altyapı hasarı da yaygın şekilde yaşanmıştır. Yine Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan rapor verileri işlendiğinde Şekil 191 elde dirmiştir. Buna göre, ulaşım ve altyapı hasarlarının giderilme maliyeti, havalimanları dışında eşite yakın şekilde dağıldığı görülmektedir. Bu yüksek ulaşım altyapısı hasar durumunda, bölgenin yoğun ticaretin yapıldığı ve ulaşım türlerinin her birinin yaygın ve yoğun olarak kullanıldığı tesislerinin bulunması olarak düşünülmektedir.



Şekil 189. a) Depremden etkilenen illerde yapı stokunun yapım yılı aralıkları ve dağılımları, b) 11 ilin toplamı ile Türkiye yapı stokunun yapım yılları olarak karşılaştırılması

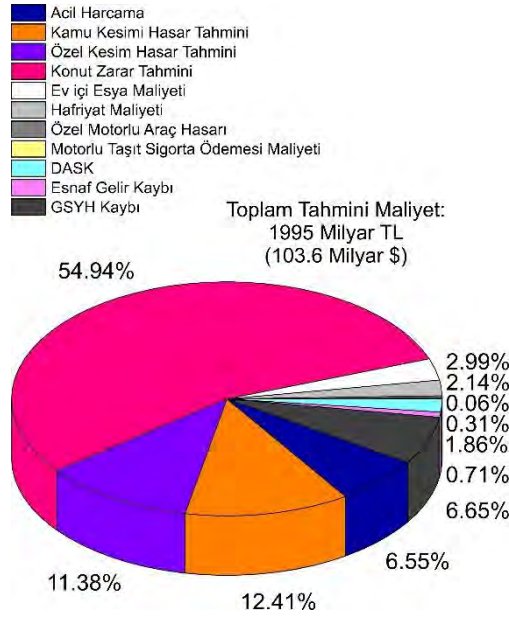


Şekil 190. Depremden etkilenen illerdeki yapı sayısı, hasarlı bina sayısı, Türkiye toplamı bina sayısı



Şekil 191. Depremden etkilenen 11 ilin toplamında yaşanan ulaşım ve altyapı hasarlarının maliyetlerinin karşılaştırılması

Aynı raporda yapılan ve yapılacak harcama kalemleri belirtilerek toplam gerekli bütçeye ve bu harcamanın milli gelire oranına ulaşılmıştır. Şekil 192’de harcama kalemleri ve genel maliyete olan katkıları görülmektedir. Buna göre konut hasarın ekonomiye maliyeti yaklaşık %55 pay ile en geniş payı almaktadır. Kamu kesiminin tahmini hasarı da ikinci yüksek kalem olduğu görüldüğünde, bu hasarların mühendislik yapılarının hasarı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Diğer bir ifade ile konut hasarlarının yanı sıra kamu kurumları binalarının ve alt yapı tesislerinin hasarları da ikinci en geniş maliyet kalemini oluşturmaktadır.



Şekil 192. Depremden etkilenen 11 ildeki harcama kalemleri ve genel maliyete oranı

Tüm bu göstergelere bakılarak 6 Şubat 2023 depremlerinin ekonomik etkilerinin Kocaeli depreminin yarattığı ekonomik etkinin üzerine çıkacağı değerlendirilmiştir. Şöyle ki, yapılan hesaplamalarla 1999 depremlerinin ülke ekonomisi üzerinde yarattığı etki maksimum 20 milyar dolar olarak öngörülmüşken, Strateji ve Bütçe Başkanlığınca yapılan mevcut veriler, ekonomik göstergeler ve bazı öngörülere dayanarak yapılan hesaplamada 103.6 milyar dolar toplam etkinin oluşacağı ve bunun 2022 yılı gayrisafi milli hasılasının %9 una tekabül edeceği belirtilmektedir.

12. SONUÇLAR

06 Şubat 2023 tarihinde yaşadığımız ve asrın felaketi olarak adlandırılan depremler sonrasında oluşan can ve mal kayıpları mevcut yapı stoğumuzun, özellikle belirli bir tarihten önce inşa edilmiş olanların, depreme karşı yetersiz kaldığını göstermiştir. Ekibimizin yerinde yaptığı saha çalışmalarındaki gözlemleri, 1992 yılından itibaren ülkemizde meydana gelen yıkıcı depremler sonrasında tespit edilen yapı hasar tipleri ve oluşum mekanizmaların neredeyse aynı olduğunu ortaya koymuştur.

Betonarme binalarda meydana gelen hasarların başlıca nedenleri olarak (i) yetersiz beton kalitesi, (ii) nervürlü (düz) donatı kullanılması, (iii) uygun olmayan zeminlerde inşaatların yapılması, (iv) taşıyıcı sistemin asmolen döşeme olarak projelendirilmesi, (v) ağır konsol çıkmalar ve (vi) binaların alt katlarındaki kat yüksekliği fazla mağazalar/dükkanlar belirlenmiştir.

Yığma binalarda oluşan hasarların başlıca nedenleri olarak (i) bağlayıcı ve yığma birimlerin yetersiz malzeme özellikleri, (ii) hatıl ve lento eksikliğinden kaynaklı zayıf taşıyıcı duvarlar ve (iii) uygun olmayan bağlantı detayları belirlenmiştir.

Betonarme ve yığma yapılarda kötü işçilik ve uygulama detaylarının eksikliği hasarların gelişimi ve ilerlemesine neden olmuştur.

Deprem sonrasında büyük bir kısmı hasar gören, geçmiş günümüze bağlayan tarihi eserlerimizde uygun şekilde restorasyon çalışmalarının gerçekleştirilmediği tespit edilmiştir. Özellikle ilgili kurullarda, hazırlanan projelerin uygunluğunun değerlendirilmesinde inşaat mühendislerinin yer almaması ve kontrol mekanizmasının yeteri kadar işletilememesi hasarın en büyük nedenleri olarak ortaya çıkmıştır.

Ülkemizin herhangi bir bölgesinde, herhangi bir zamanda, can ve mal kaybına neden olabilecek büyüklükte depremlerin meydana gelmesi muhtemel ve kaçınılmazdır. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarımı kapsamında hem yeni inşa edilecek binaların uygun projelendirilmesi hem de mevcut binalarımızın depreme hazır hale getirilmesi acilen gereklidir. Bu amaçla; mühendis kadromuzun eğitimlerine sürekli olarak devam etmesi, halkımızın bilinçlendirilmesi ve yapı sağlığı izleme sistemleri, sismik izolatörler, lifli polimer kompozit kumaşlar, 3D yazıcılar, hafif çelik, ahşap gibi “Yeni Yapım Teknolojilerinin Ülkemizde yaygın kullanılmasının desteklenmesi oldukça önemlidir.

KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, (2023). <https://deprem.afad.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 03 20, 2023.
- Aktuğ B., Özener H., Dogru A., Sabuncu A., Turgut B., Halicioğlu K., Yılmaz O., Havazlı E. (2016). Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field. *Journal of Geodynamics*, 94-95, 1-12.
- Akyuz SH, Altunel E, Karabacak V, Yalçiner C.C. (2006). Historical earthquake activity of the northern part of the Dead Sea Fault Zone, southern Turkey. *Tectonophysics*, 426(2006), 281-293.
- Alsinawi S.A., Baban S.G., Issa A.S. (1985). Historical seismicity of the Arab region. IASPEI/UNESCO Working Group on Historical Seismograms and Earthquakes. Tokyo.
- Altınok Y., Alpar B., Özer N., Aykurt H. (2011) Revision of the tsunami catalogue affecting Turkish coasts and surrounding regions. *Natural Hazards and Earth System Sciences-Scimago*, 11(2011), 273-291.
- Altunel E., Meghraoui M., Karabacak V., Akyüz S.H., Ferry M., Yalçiner Ç., Munschy M. (2009). Archaeological sites (tell and road) offset by the dead sea fault in the Amik Basin, southern Turkey. *Geophysical Journal International*, 179(3), 1313-1329.
- Ambraseys N.N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331.
- Ambraseys N.N. (2009). *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900*. Cambridge University Press.
- Barka A.A., Kadinsky-Cade K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7(3), 663-684.
- Bulut F., Bohnhoff M., Eken T., Janssen C., Kılıç T., Dresen G. (2012). The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, doi:10.1029/2011JB008966
- Duman T.Y., Emre Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry segmentation and jog characteristics. *Geological Society London Special Publications*, 372, 495-529
- Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1/1.125.000: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi 30. ISBN: 978-605- 5310-56-1.
- Hubert-Ferrari A., King G., Manighetti I., Armijo R., Meyer B., Tapponnier P. (2003). Long-term elasticity in the continental lithosphere; modelling the Aden Ridge propagation and the Anatolian extrusion process. *Geophysical Journal International*, 153(1), 111-132.
- Koç A., Kaymakçı N. (2013). Kinematics of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey): A remote sensing study. *Journal of Geodynamics*, 65, 292-307.
- Maden Tetkik Arama. (2023). <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 20.03.2023.
- Mahmoud Y., Masson F., Meghraoui M., Cakir Z., Alchalbi A., Yavasoglu H., Yönlü O., Daoud M., Ergintav S., İnan S. (2013). Kinematic study at the junction of the East Anatolian fault and the Dead Sea fault from GPS measurements. *Journal of Geodynamics*, 67, 30-39.

- McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I. Gurkan O., Hamburger, M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishng A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksöz M.N., Veis G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- Meghraoui M., Bertrand S., Karabacak V., Ferry M., Cakir Z., Altunel E. (2006). Surface ruptures along the Maras segment of the East from Tectonic and GPS data. *Geophysical Research* 8(2006), 10006.
- Nalbant S.S., McCloskey J., Steacy S., Barka A.A. (2002). Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*, 195(3), 291-298.
- Özener H., Arpat E., Ergintav S., Doğru A., Çakmak R., Turgut B., Doğan U. (2010). Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone. *Journal of Geodynamics*, 49(2010), 141–150.
- Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrence S., Ergintav S., Çakmak R., Özener 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., Dmitrova A., Filikov S.V., Gomez F., Al-Gha R., Karam G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.
- Şengör A.M.C., Tüysüz O., İmren C., Sakıncı M., Eyidoğan H., Görür N., Pichon X.L. Rangin C. (2005). The North Anatolian fault: A new look *Annu. Rev. Earth and Planetary Sciences*, 33, 37-112.
- Seyrek A., Demir T., Westaway R., Guillou H., Scaillet S., White T.S., Bridgland D.R. (2014) The kinematics of central-southern Turkey and northwest Syria revisited. *Tectonophysics* 618, 35-66.
- Taymaz T., Eyidoğan H., Jackson J. (1991). Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*, 106(3), 537-550.
- Tan O. (2021). A homogeneous earthquake catalogue for Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21, 2059–2073, 10.5194/nhess-21-2059-2021.
- Utkucu M., Kurnaz T.F., İnce Y. (2023a). The seismicity assessment and probabilistic seismic hazard analysis of the plateau containing large dams around the East Anatolian Fault Zone, Eastern Türkiye. Submitted to *Environmental Earth Sciences*.
- Utkucu M., Durmuş H., Uzunca F., Nalbant S., Sert S. (2023b). The 2023 Pazarcık (Mw=7.8) and Elbistan (Mw=7.6), Kahramanmaraş earthquakes in the Southeast Türkiye, Sakarya Üniversitesi. Sakarya University Disaster Management Application and Research Center, Sakarya, (<http://www.aym.sakarya.edu.tr/2023/02/24/the-2023-pazarcik-mw7-8-and-elbistan-mw7-6-kahramanmaras-earthquakes-in-the-southeast-turkiye/>)
- Yönlü Ö. (2012). Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Gölbaşı (Adıyaman) ile Karataş (Adana) arasındaki kesiminin geç kuvarterner aktivitesi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Westaway R. (2004). Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391(1), 203-237.
- Akıl B., Akpınar K., Üçkardeşler C., Araz H. (2008). Doğu Anadolu Fay Zonu Üzerinde Yer Alan Gölbaşı (Adıyaman) Yerleşim Alanındaki Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri ve Değerlendirilmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 51(1).

- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Fay Üzerinde Yaşayan İllerimiz: Hatay Raporu-6, Jeodergi, 08.02.2021.
- Korkmaz H. (2006). Antakya’da Zemin Özellikleri ve Deprem Etkisi Arasındaki İlişki, Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(2), 49-66.
- AFAD: İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, Ankara, 09.02.2023.
- İTÜ: İstanbul teknik Üniversitesi. 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7.8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan), 13.24 Mw 7.7 Kahramanmaraş (Elbistan, Nurhak-Çardak) depremleri ön inceleme raporu, İstanbul, Şubat 2023.
- Ertürk E., Aykanat B., Altunışık A.C., Arslan M.E. (2022). Seismic damage assessment based on site observation following the Düzce (Gölyaka) earthquake (Mw= 5.9, November 23, 2022). Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics (Online), 5(4), 197-221.
- TBDY-2018: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018). 2018, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı: Ankara.
- Altunışık A.C., Atmaca B., Kartal M.E., Günaydin M., Demir S., Uluşan A. (2021). Assessment of Structural Damage Following the October 30, 2020 Aegean Sea Earthquake and Tsunami, Journal of Earthquake and Tsunami, 15(6), 2150029.
- Cardani G., Binda L. (2015). Guidelines for the Evaluation of the Load-Bearing Masonry Quality in Built Heritage. In: Toniolo L, Boriani M, Guidi G (eds) Built Heritage: Monitoring Conservation Management. Springer, Cham, 127-140.
- Coburn A., Spence R. (2002). Earthquake Protection, Second Edition, John Willey & Sons, LTD.
- Günaydin M., Atmaca B., Demir S., Altunışık A.C., Hüsem M., Adanur S., Ateş Ş., Angin Z. (2021). Seismic Damage Assessment of Masonry Buildings in Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-Sivrice Earthquake, Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 19, 2421-2456.
- URL-1: <https://www.kahramanmarastayatirim.com/sektorler/sanayi>
- Yüzügüllü Ö. (2001). İzmir ve İstanbul Otoyol Köprü Ve Viyadükleri’nin Deprem Performasyonlarına ait Ön Değerlendirme Çalışmaları. Türkiye Mühendislik Haberleri, No:416.
- ODTÜ-DMAM, (2023). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık Mw=7.7 ve Elbistan Mw=7.6 Depremleri Ön Değerlendirme Raporu, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi.
- URL-2: <https://www.haberturk.com/adiyaman-da-demiryolu-tuneli-depremle-coktu-3569130?page=2>
- URL-3 <https://www.dha.com.tr/foto-galeri/erkenek-tunelindeki-hasar-goruntulendi-2205878/4>
- TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Kahramanmaraş Depremselliği, 2021
- Arslan M. (2010). Adıyaman Ulu Camii'nin Ahşap Kapı Kanatları. Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (5), 15-40. DOI: 10.14520/adyusbd.85.
- Alaboz A. (2008). Mimar Sinan köprülerinin güncel durum değerlendirmesi ve Kapuağası Köprüsü restorasyon projesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Türkiye.
- Güllü H. (2018). Tarihi yığma yapıları Cendere Köprüsü deprem etkisinin incelenmesi, ÖHÜ Müh. Bilim Dergisi, 7(1), 245-259.
- URL-4: https://tr.wikipedia.org/wiki/Cendere_K%C3%B6pr%C3%BCs%C3%BC

- URL-5: <https://www.indyturk.com/node/513511/t%C3%BCrki%C3%BC%87yeden-sesler/singas-k%C3%B6pr%C3%BCs%C3%BC-ve-kommagene-mimarisi>
- URL-6: <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2405>, Erişim tarihi: 25.03.2023.
- URL-7: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/adiyaman/gezilecekyer/yenipinar-cami>, Erişim tarihi: 25.03.2023.
- URL-8: <http://kahramanmarasrehberi.com/tr/icerik/elbistan-ulu-camii>, Erişim tarihi: 25.03.2023.
- URL-9: <https://www.ensonhaber.com/gundem/adiyamanda-tarihi-ulu-camii-yikildi>, Erişim tarihi: 25.03.2023
- URL-10: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/adiyaman/gezilecekyer/eskisaray-cami>, Erişim tarihi: 25.03.2023.
- URL-11: <https://www.yeniakit.com.tr/haber/gaziantep-te-bulundu-150-yillik-240052.html>, Erişim tarihi: 25.03.2023.
- URL-12: <https://kahramanmaras.bel.tr/kesfedin/hatuniye-camiisems-hatun-camii>, Erişim tarihi: 25.03.2023.
- URL-13: <https://blog.biletbayi.com/adiyamanda-gezilecek-yerler.html/>, Erişim tarihi: 25.03.2023
- URL-14: https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/depremde-tarihi-kahramanmaras-kalesi-de-hasar-gordu,3v2UPhHu8U6tlwazMiy_6Q/zVcXExQmYkeyad87cxrB1A
- URL-15: https://tr.wikipedia.org/wiki/Karaku%C5%9F_T%C3%BCm%C3%BCl%C3%BCs%C3%BC
- URL-16: <https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/adiyaman/gezilecekyer/arsamea-oren-yer-nymphaios-arsameasi>
- URL-17: https://www.arkeolojisanat.com/shop/blog/karakus-tumulusundeki-tokalsasma-sutunu-depremde-yikildi_3_1372036.html
- Uray A. (2018). Tarihi Yapıların Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizinin İznik Yeşil Camii Örneğinde İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.
- Bilgiç D.E. (2019). Mimar Sinan Camilerindeki Strüktürel ve Mekânsal Yorumların Mimarlık Tarihindeki Yeri, Yapı Dergisi.
- Pekgökgöz R.K. Taş G. (2015). Ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiş betonarme yüksek minarelerin dinamik analizi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.
- Mahberel H.A. (2006). Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Doğangün A, Livaoğlu R. (2007). Traditional turkish masonry monumental structures and their earthquake response. International Journal of Architectural Heritage, 1(3), 251-271.
- Calp C. (2018). Tarihi minarelerin dinamik özellikleri ve deprem performansları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Çelik L.F. (2019). Yivli minarenin depreme karşı dayanıklılığının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye.
- Duman C. (2020). Yüksekliğin ve şerefe sayısının yığma minarelerin dinamik davranışlarına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye.

- Bilgiç E.A. (2020). Diyarbakır Hoca Ahmed (ayni minare) Camii restorasyon önerisi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye.
- Karabork T., Kocak Y. (2014). New metal connectors developed to improve the shear strength of stone masonry walls, *Structural Engineering and Mechanics*, 50(1), 121–135.
- Atmaca B., Demir S., Günaydin M., Altunışık A.C., Hüsem M., Ateş Ş., Angin Z. (2020). Field investigation on the performance of mosques and minarets during the Elazığ-Sivrice Earthquake. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(6), 04020120.
- Karabork T., Kocak Y. (2014). New metal connectors developed to improve the shear strength of stone masonry walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 50(1), 121-135.
- URL-18: <https://onedio.com/haber/adiyaman-da-yikilan-bir-cami-minaresi-yakinindaki-binanin-en-ust-katini-ikiye-boldu-1131161>. Erişim:20.03.2023.
- URL-19: <http://www.ucuncunesil.com/2016/02/11/4101>. Erişim:20.03.2023.
- BB. (2023). Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu, 2023, SBB Deprem Sonrası Değerlendirme Raporu, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
- Şahin H. Alyamaç K.E. (2017). Asmolen döşeme sistemlerinde kolon-kiriş birleşim bölgelerinin davranışı hususunda genel bir değerlendirilme. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1), 121-132.
- Dikmen S.Ü., Özek S. (2011). Deprem bölgelerinde zemin sınıfının sanayi yapılarının maliyetine etkisi. *Teknik Dergi*, 22(108), 5543-5558
- Atımtay E. (2009). Depremde çökmeyen bina: Nedir? Nasıl projelendirilir, ODTÜ.
- Kayhan A.H. (2004). Prefabrik sanayi yapılarının deprem performansının belirlenmesi için hızlı değerlendirme yöntemi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye.



KARADENİZ
TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KARADENİZ TECHNICAL UNIVERSITY
1955



NİSAN 2023