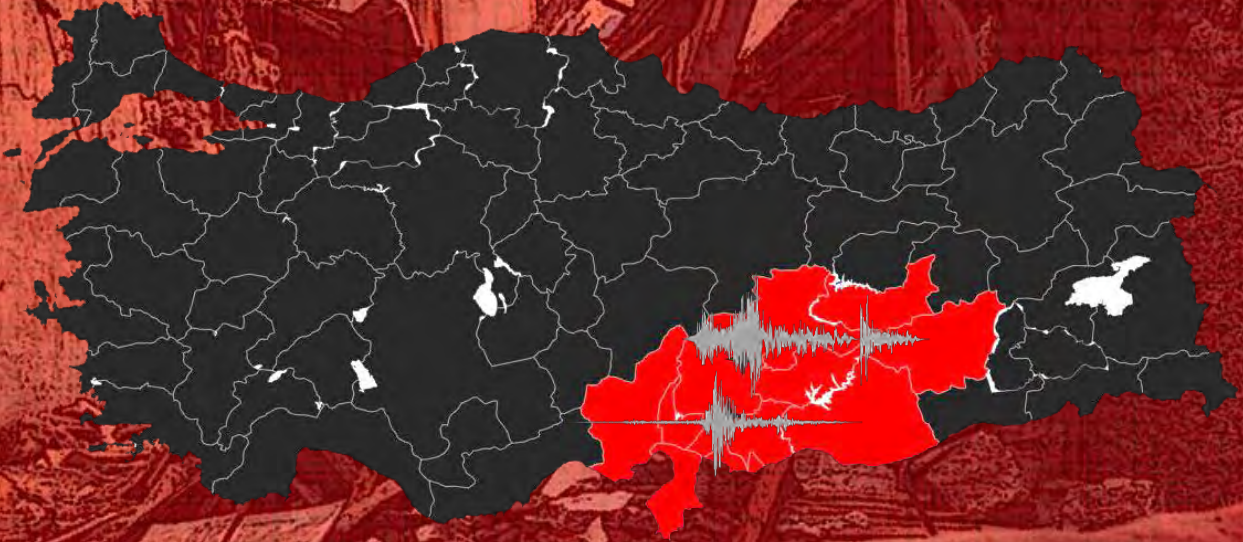




HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



06 ŞUBAT 2023 – Kahramanmaraş Pazarcık ($M_w=7,7$) ve
Kahramanmaraş Elbistan ($M_w=7,6$)
Depremleri İnceleme Raporu



Hazırlayanlar:

Doç. Dr. Alper Aldemir

Prof. Dr. Berna Unutmaz

Doç. Dr. Mustafa Kerem Koçkar

Dr. Burcu Güldür Erkal

Doç. Dr. Ufuk Şahin

Doç. Dr. M. Abdullah Sandıkkaya

Prof. Dr. Mustafa Şahmaran

Doç. Dr. Baki Öztürk

Prof. Dr. Serhat Küçükali

Dr. Elif Çiçek

Rafet Aktepe

Şaban Akduman

Abdullah İçen

Cem Demir

Öznur Kocaer

Anıl Kul

Gökhan Şahin

Hüseyin İlcan

Merve Sönmez

Sadi Cantürk

Oğuz Okçu

Baran Güryuva

Ahmet Kaan Karabulut

Yunus Emre Kaya



Önsöz

6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremler Türkiye'nin özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesinin güneyindeki birçok ilini oldukça ağır bir şekilde etkilemiş ve tüm ülkemizi olduğu gibi bizleri de derinden üzmüştür. Uzmanlar tarafından, 7,7 ve 7,6 moment büyüklüğüne sahip ardıl depremlerin, dünyada meydana gelmiş önemli depremler listesine girebilecek büyüklük ve yıkım gücüne sahip olduğu ifade edilmektedir. Yaşanan depremler Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye ve Şanlıurfa gibi birçok ili etkileyerek altyapı ve binalarda önemli hasara yol açmış ve maalesef çok sayıda can kaybına neden olmuştur.

Bu facianın hemen ardından, Hacettepe Üniversitesi olarak bölgeye destek olmak amacı ile yardım kampanyası düzenlenmiş ve depremzedelerin acil ihtiyaçlarının bir nebze giderilmesine çalışılmış, Üniversitemizden 70'in üzerinde hekimin bölgeye ulaşımı sağlanarak ve hastanelerimize transfer edilen depremzedelere verilen sağlık hizmetleri ile tedavilerine katkı sağlanmıştır. Ayrıca, İnşaat Mühendisliği ve Geomatik Mühendisliği Bölümleri gibi farklı alanlardan oluşan Hacettepe Üniversitesi öğretim üyeleri ve araştırma görevlileri, hem araştırma yapmak hem de hasar tespit süreçlerine yardımcı olmak maksadıyla hemen bölgeye intikal etmişler ve süreci yakından takip etme fırsatı bulmuşlar ve hasar tespit çalışmalarına aktif katkı sunmuşlardır. Bu Rapor, değerli akademisyenlerimizin bölgedeki gözlemlerine ve tespitlerine dayanmaktadır. Raporun gelecek yıllarda ülkemizin benzer depremler sırasında yaşayabileceği mağduriyetlerin önlenmesine katkı sağlaması temennisiyle, Raporun hazırlanmasında emeği geçen tüm akademisyenlerimize teşekkür ediyorum.

Bundan sonraki süreçte de Hacettepe Üniversitesi olarak depremden zarar gören vatandaşlarımıza faydalı olmak ve tekrar bu tür acıların yaşanmaması için bilimsel ve teknik katkımızı sürdürmeye devam edeceğimizi taahhüt ediyoruz. Depremlerden etkilenen vatandaşlarımızın, bu trajediden en kısa zamanda kurtulacağına yürekten inancıyla ve hayatlarını yeniden inşa ederken onlara her türlü desteği sağlamaya hazır olduğumuzu ifade ederek, depremde hayatını kaybeden vatandaşlarımıza Allah'tan rahmet, yakınlarına başsağlığı ve yaralı olanlara da acil şifalar diliyorum.

Prof. Dr. Mehmet Cahit Güran
Rektör



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	7
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	8
TABLolar LİSTESİ.....	12
1. GİRİŞ.....	13
2. YAPI VE ZEMİNLERE İLİŞKİN GÖZLEMLenen HASARLAR.....	20
2.1. ADANA İLİNDEKİ HASARLAR.....	30
2.1.1. Yapısal Hasarlar	30
2.2. ADIYAMAN İLİNDEKİ HASARLAR.....	38
2.2.1. Yapısal Hasarlar	38
2.2.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular.....	48
2.3. GAZİANTEP İLİNDEKİ HASARLAR	68
2.3.1. Yapısal Hasarlar	68
2.3.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular.....	81
2.4. HATAY İLİNDEKİ HASARLAR.....	90
2.4.1. Yapısal Hasarlar	90
2.4.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular.....	107
2.5. KAHRAMANMARAŞ İLİNDEKİ HASARLAR.....	118
2.5.1. Yapısal Hasarlar	118
2.5.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular.....	131
2.6. MALATYA İLİNDEKİ HASARLAR.....	141
2.6.1. Yapısal Hasarlar	141
3. HASAR TESPİTİ İÇİN DRONE UYGULAMASI	151
4. DEPREM KAYNAKLI ATIKLARIN YÖNETİMİ KAPSAMINDA UYGULANABİLİR ÇÖZÜM ÖNERİLERİ.....	154
4.1. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Sökülüp-Takılabilen Ön Dökümlü Yapısal Eleman Üretiminde Kullanılması	156
4.2. Üç Boyutlu Eklemeli İmalat Yöntemiyle İnşaat Yıkıntı Atıklarının Konut Amaçlı Kullanılması	159
4.3. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Endüstride Açığa Çıkan CO2 Gazlarının Kalıcı Olarak Yakalaması Amaçlı Kullanımı	161
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	162
KAYNAKLAR.....	168

ŞEKİLLER LİSTESİ

ŞEKİL 1. AFAD TARAFINDAN ODAK MEKANİZMA ÇÖZÜMÜ YAPILAN PAZARCİK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,6$ DEPREMLERİ VE ARTÇILARININ ŞOK AKTİVİTESİ (AFAD $M_w 7,7$ VE $7,6$ DEPREMLERİNE İLİŞKİN ÖN DEĞERLENDİRME RAPORU, 2023).....	14
ŞEKİL 2. FAY KIRIĞININ YÜZEYDEKİ İZDÜŞÜMLERİ, İSTASYONLARIN DAĞILIMLARI VE KAYDEDİLEN MAKSİMUM PİK YER HIZI (PHY) DAĞILIMLARI	15
ŞEKİL 3. DOĞU ANADOLU FAY ZONU'NUN SEGMENTASYONUNU GÖSTERİR HARİTA (DUMAN VE EMRE, 2013 VE MTA, 2023). (1) DÜZİÇİ–OSMANİYE FAY SEGMENTİ; (2) ERZİN FAY SEGMENTİ; (3) PAYAS FAY SEGMENTİ; (4) MİSİS FAY SEGMENTİ; (5) ÇOKAK FAY SEGMENTİ; (6) İSLAHİYE GEVŞEMELİ BÜKLÜMÜ; (7) DEMREK SIKIŞMALI SEKME; (8) ENGİZEK FAY ZONU; (9) MARAŞ FAY ZONU	16
ŞEKİL 4. DOĞU ANADOLU FAY SİSTEMİ'NE AIT SİSMİK SEGMENTLER VE SİSMİK BOŞLUKLAR. (DEMİRTAŞ VE ERKMEK, 2008). TURUNCU YILDIZ 24 OCAK 2020 $M_w 6,8$ SIVRICE (ELAZIĞ) DEPREMİNİ GÖSTERMEKTEDİR	19
ŞEKİL 5. PAZARCİK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ AZAMI YER İVMESİ (PGA) TALEPLERİNİN DAĞILIMI	22
ŞEKİL 6. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,6$ AZAMI YER İVMESİ (PGA) TALEPLERİNİN DAĞILIMI	24
ŞEKİL 7. TÜİK 2021 RAPORUNA GÖRE DEPREMDEN EN ÇOK ETKİLENEN İLLERDEKİ (A) İKAMET EDİLEN BİNANIN İNŞA YILINA GÖRE HANE HALKI ORANI VE (B) İKAMET EDİLEN BİNANIN İNŞA YILINA GÖRE HANE HALKI SAYISI	27
ŞEKİL 8. TÜİK 2021 RAPORUNA GÖRE DEPREMDEN EN ÇOK ETKİLENEN İLLERDEKİ (A) İKAMET EDİLEN BİNANIN KAT SAYISINA GÖRE HANE HALKI ORANI VE (B) İKAMET EDİLEN BİNANIN KAT SAYISINA GÖRE HANE HALKI SAYISI	29
ŞEKİL 9. PAZARCİK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ DEPREMİNDE ADANA İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON: 0118).....	32
ŞEKİL 10. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,6$ DEPREMİNDE ADANA İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON: 0118).....	33
ŞEKİL 11. DEPREM SONRASI ÇUKUROVA İLÇESİNİN BİR BÖLÜMÜNÜN HAVADAN GÖRÜNTÜSÜ (HGM KÜRE)	34
ŞEKİL 12. ADANA'DA GÖZLEMLENEN DIŞ CEPHE ÇATLAKLARI VE BÖLME DUVAR AYRILMALARI	35
ŞEKİL 13. ADANA'DA GÖZLEMLENEN ZEMİN KATTAKİ KOLONDA MAFSALLAŞMA	36
ŞEKİL 14. ADANA'DA TÜMÜYLE YIKILAN BİNALARIN ENKAZ GÖRÜNTÜLERİ.....	37
ŞEKİL 15. PAZARCİK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ DEPREMİNDE ADIYAMAN İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	40
ŞEKİL 16. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,6$ DEPREMİNDE ADIYAMAN İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	41
ŞEKİL 17. DEPREM SONRASI ADIYAMAN İLİNDEKİ HASAR DAĞILIMININ HAVADAN GÖRÜNTÜLERİ (HGM KÜRE)	42
ŞEKİL 18. AYNI ZEMİN KOŞULLARINDA HASAR GÖREN VE GÖRMİYEN YAPILARA ÖRNEKLER	44
ŞEKİL 19. ZEMİN KATI TİCARETHANE OLAN, YUMUŞAK KAT KAYNAKLI YIKIMLARA ÖRNEKLER	45
ŞEKİL 20. TAŞIYICI SİSTEM HASARLARINA ÖRNEKLER	46
ŞEKİL 21. YIĞMA YAPILARDA GÖZLENEN ÇATI HASARI	47
ŞEKİL 22. SIVILAŞMA SEBEBİ İLE TEMEL ZEMİNLERİNDE OTURMALAR GÖRÜLEN BİNALAR (ADIYAMAN - GÖLBAŞI)	48
ŞEKİL 23. SIVILAŞMA SEBEBİ İLE BİNALARDA OLUŞAN YANAL DEFORMASYONLAR VE OTURMALAR 1 (ADIYAMAN - GÖLBAŞI).....	49

ŞEKİL 24. SIVILAŞMA SEBEBİ İLE BİNALARDA OLUŞAN YANAL DEFORMASYONLAR VE OTURMALAR 2 (ADİYAMAN - GÖLBAŞI).....	50
ŞEKİL 25. SIVILAŞMA SEBEBİ İLE BİNALARDA OLUŞAN YANAL DEFORMASYONLAR VE OTURMALAR 3 (ADİYAMAN - GÖLBAŞI).....	51
ŞEKİL 26. SIVILAŞMA SEBEBİ İLE BİNALARDA GÖRÜNEN DEVRİLME VE TEMEL ÇEVRESİ ZEMİNLERDE KABARMALAR (ADİYAMAN - GÖLBAŞI).....	53
ŞEKİL 27. ÇEŞİTLİ BİNA OTURMA ÖRNEKLERİ (ADİYAMAN – GÖLBAŞI).....	54
ŞEKİL 28. BİNALARDA OTURMA KAYNAKLI BİRBİRİNDEN AYRILMA ÖRNEĞİ.....	55
ŞEKİL 29. ADİYAMAN İLİ GÖLBAŞI İLÇESİNDE GÖZLEMLENEN BİNA OTURMA VE YANAL DEFORMASYON ÖRNEKLERİ.....	57
ŞEKİL 30. ADİYAMAN İLİ GÖLBAŞI İLÇESİNDE BİNA OTURMA VE EĞİLME ÖRNEĞİ.....	58
ŞEKİL 31. ADİYAMAN İLİ GÖLBAŞI İLÇESİNDE GÖZLEMLENEN KUM KAYNAMALARI.....	59
ŞEKİL 32. SIVILAŞMA SEBEBİ İLE BİNALARDA GÖRÜNEN YANAL DEFORMASYON, OTURMA VE EĞİLMELER.....	60
ŞEKİL 33. ADİYAMAN İLİ GÖLBAŞI İLÇESİ – KAYA DÜŞMESİ.....	61
ŞEKİL 34. ADİYAMAN İLİ GÖLBAŞI İLÇESİ – TREN RAYLARI VE ÇEVRESİ.....	62
ŞEKİL 35. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, HASARSIZ TAŞ DUVAR (37,92570°N 37,90257°E).....	63
ŞEKİL 36. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, ANKRAJLI İSTİNAT YAPISI (37,90435°N 37,81127°E).....	63
ŞEKİL 37. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, ERKENEK TÜNELLERİ GİRİŞİ.....	64
ŞEKİL 38. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, ERKENEK TÜNELLERİ, MALATYA – ADİYAMAN YÖNÜ.....	64
ŞEKİL 39. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, SIVILAŞMA SEBEPLİ HASARLAR (37,86523°N 37,77102°E).....	65
ŞEKİL 40. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, İSTİNAT YAPILARINDAKİ HASARLAR (37,86346°N 37,76782°E).....	66
ŞEKİL 41. MALATYA – ADİYAMAN YOLU, YOL ÜZERİNDE VE İSTİNAT YAPISINDA HASARLAR (37,82373°N 37,67904°E).....	67
ŞEKİL 42. DEPREM SONRASI NURDAĞI İLÇESİNİN BİR BÖLÜMÜNÜN HAVADAN GÖRÜNTÜSÜ (HGM KÜRE).....	69
ŞEKİL 43. DEPREM SONRASI ISLAHIYE İLÇESİNİN BİR BÖLÜMÜNÜN HAVADAN GÖRÜNTÜSÜ (HGM KÜRE).....	70
ŞEKİL 44. PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7.7$ DEPREMİNDE GAZİANTEP İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON: 2718).....	72
ŞEKİL 45. NURDAĞI (GAZİANTEP) $M_w=6,6$ DEPREMİNDE GAZİANTEP İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON: 2718).....	73
ŞEKİL 46. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w=7,6$ DEPREMİNDE GAZİANTEP İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON: 2718).....	74
ŞEKİL 47. DEPREM SONUCU YIKILAN BETONARME BİNALAR.....	76
ŞEKİL 48. DEPREM SONUCU YIKILAN BRIKET YIĞMA BİNALAR.....	77
ŞEKİL 49. YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ VE AĞIR ÇIKMALAR SONUCUNDA OLUŞAN HASARLAR.....	78
ŞEKİL 50. YÜZEY FAY KIRIĞI SONUCU BİNALARDA OLUŞAN HASARLAR.....	79
ŞEKİL 51. KISA KOLON ETKİSİ SONUCUNDA OLUŞAN HASARLAR.....	80
ŞEKİL 52. DEPREM SONRASI ŞEV KAYMALARI.....	81
ŞEKİL 53. YÜZEY FAYLANMASI NEDENİYLE EVLERDE OLUŞAN BÜYÜK HASARLAR.....	82
ŞEKİL 54. NURDAĞ İLÇESİNDE YOL GÜZERGAHINDA YÜZEY FAYLANMASI NEDENİYLE BÜYÜK DEFORMASYONLAR VE OTURMALAR.....	83
ŞEKİL 55. NURDAĞI BÖLGESİNDE YAMAÇ MOLOZU AKMASI VE KAYA DÜŞMESİNE BAĞLI KÜTLE YENİLMELERİ VAKALARI.....	84
ŞEKİL 56. NURDAĞI ÇEVRESİNDE YOL GÜZERGAHINDA KAYA DÜŞMESİ PROBLEMLERİ.....	85
ŞEKİL 57. FEVZİPAŞA MAHALLESİNDE YOL VE DERE KANALI BOYUNCA KAYA DÜŞMELERİ.....	86

ŞEKİL 58. ISLAHIYE’NİN FEVZİPAŞA MAHALLESİNDE DERE KANALI BOYUNCA YANAL YAYILMALARA BAĞLI HASARLAR	87
ŞEKİL 59. FEVZİPAŞA TREN GARI YÜZEY FAYLANMASI VE BUNA BAĞLI HASARLAR	88
ŞEKİL 60. İSTASYONUN DOĞUSUNDAKİ YARMA BOYUNCA BÜYÜK TANSİYON ÇATLAKLARI VE HEYELAN OLUŞUMLARI	89
ŞEKİL 61. ISLAHIYE’NİN ARPALI MAHALLESİNDE DERE KANALI BOYUNCA YANAL YAYILMALARA BAĞLI HASARLAR	89
ŞEKİL 62. DEPREM SONRASI HATAY İLİNDEKİ HASAR DAĞILIMININ HAVADAN GÖRÜNTÜLERİ (HGM KÜRE)	92
ŞEKİL 63. PAZARCİK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ DEPREMİNDE HATAY İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	93
ŞEKİL 64. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,6$ DEPREMİNDE HATAY İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	94
ŞEKİL 65. HATAY İLİNDE YIKILAN TAŞ YIĞMA BİNALAR	97
ŞEKİL 66. HATAY İLİNDE YIKILAN BETONARME BİNALAR	99
ŞEKİL 67. YUMUŞAK KAT DÜZENSİZLİĞİ VE AĞIR ÇIKMALAR SONUCUNDA OLUŞAN HASARLAR.....	101
ŞEKİL 68. DÜZ DONATI KULLANIMININ YARATTIĞI ADERANS PROBLEMLERİ	103
ŞEKİL 69. GÖZLEMLENEN MERDİVEN HASARLARI	104
ŞEKİL 70. GÖZLEMLENEN PERDE DUVAR KESME VE KOLON HASARLARI.....	105
ŞEKİL 71. HATAY’DA ASİ NEHRİ BOYUNCA ALÜVİYAL ZEMİNDE OTURMALAR VE DAYANMA YAPILARINDA YANAL YAYILMALARA BAĞLI HASARLAR.....	107
ŞEKİL 72. HATAY’DA ASİ NEHRİ BOYUNCA ALÜVİYAL ZEMİNDE OTURMALAR VE YANAL YAYILMALAR	108
ŞEKİL 73. HATAY’DA ASİ NEHRİ BOYUNCA DAYANMA YAPILARINDA HASARLAR.....	108
ŞEKİL 74. HATAY ÇEVRESİNDE ASİ IRMAĞI BOYUNCA BÜYÜK YANAL YAYILMALAR.....	109
ŞEKİL 75. HATAY ÇEVRESİNDE ASİ IRMAĞI BOYUNCA BÜYÜK YANAL YAYILMALAR VE OTURMALAR	109
ŞEKİL 76. İSKENDERUN HATAY, SİSMİK SİVİLİŞMAYA BAĞLI KUM KAYNAMALARI VE YÜZEYE ÇIKAN KUM BİRİKİNTİLERİ	110
ŞEKİL 77. İSKENDERUN HATAY, SİSMİK SİVİLİŞMAYA OLARAK YÜZEYE ÇIKAN KUM BİRİKİNTİLERİ	111
ŞEKİL 78. İSKENDERUN HATAY, SİVİLİŞMAYA BAĞLI OTURMA	112
ŞEKİL 79. İSKENDERUN HATAY, SİVİLİŞMAYA BAĞLI OTURMA VE YÜZEYDE MEYDANA GETİRDİĞİ DEFORMASYONLAR	113
ŞEKİL 80. İSKENDERUN HATAY, SİSMİK SİVİLİŞMAYA BAĞLI KUM KAYNAMALARI.....	114
ŞEKİL 81. İSKENDERUN HATAY, BALIKÇI BARINAĞI BÖLGESİNDE SİVİLİŞMA KAYNAKLI HASARLAR	115
ŞEKİL 82. LİMANDAKİ BETON RIHTIM BLOKLARINDA MEYDANA GELEN GENİŞ ÇATLAKLAR, AYRILMALAR VE OTURMALAR	116
ŞEKİL 83. LİMANDA MEYDANA GELEN GENİŞ ÇATLAKLAR, AYRILMALAR VE DERİN OTURMALAR.....	117
ŞEKİL 84. DEPREM SONRASI KAHRAMANMARAŞ İLİNDEKİ HASAR DAĞILIMININ HAVADAN GÖRÜNTÜLERİ (HGM KÜRE).....	120
ŞEKİL 85. PAZARCİK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ DEPREMİNDE KAHRAMANMARAŞ İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON 4620)	121
ŞEKİL 86. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ DEPREMİNDE KAHRAMANMARAŞ İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI (İSTASYON: 4612)	122
ŞEKİL 87. KAHRAMANMARAŞ KIRSAL ALAN YIKIM GÖRÜNTÜLERİ	124
ŞEKİL 88. KAHRAMANMARAŞ’TA GÖZLEMLENEN ZAYIF KAT YIKILMASINA BAĞLI ÇÖKME ÖRNEKLERİ.....	125

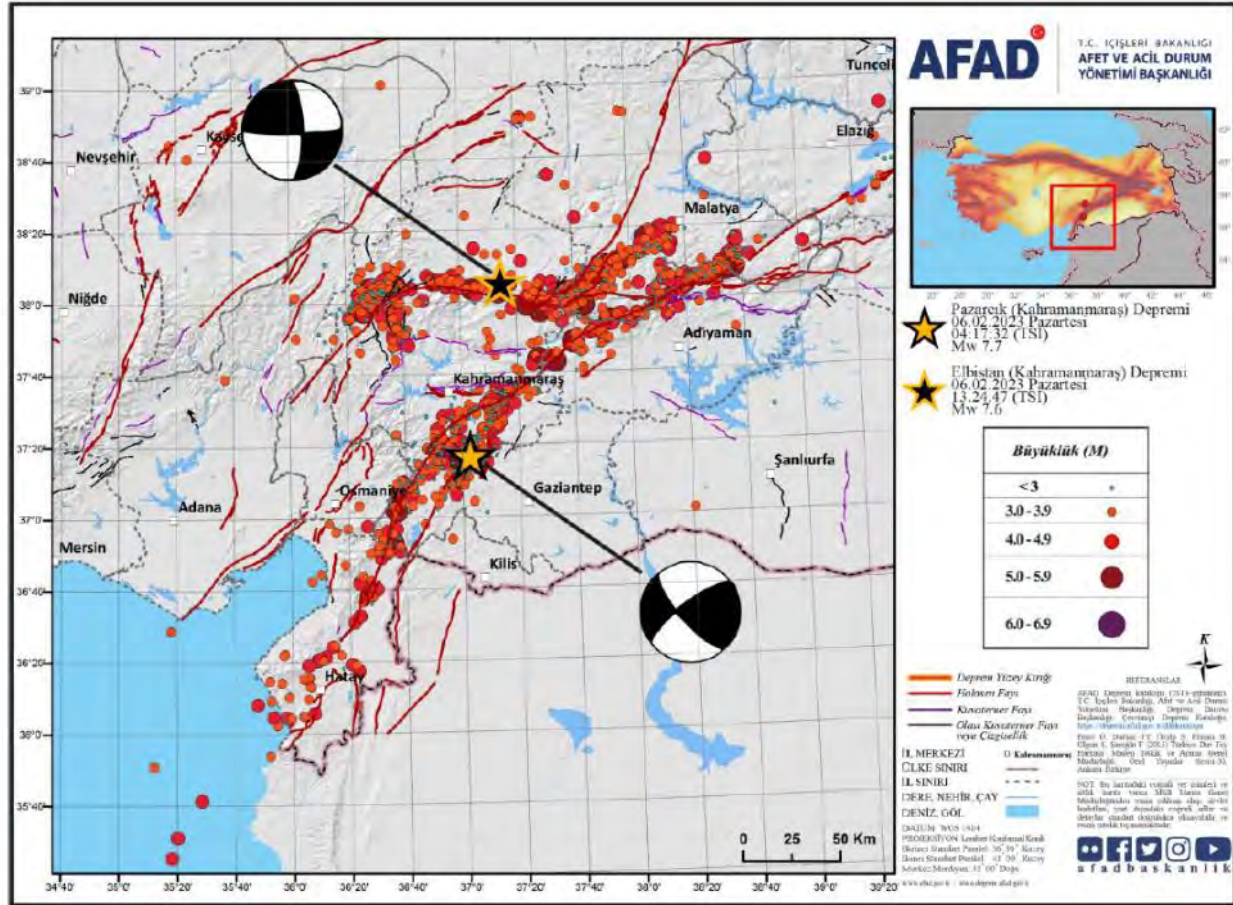
ŞEKİL 89. DIŞ CEPHE ÇATLAKLARI, ÖRME DUVAR AYRILMALARI, KISA KOLON ETKİSİ VE BÖLGESEL YIKIM ÖRNEKLERİ.....	126
ŞEKİL 90. HASAR GÖREN CAMİ VE YIKILAN MINARE ÖRNEĞİ.....	127
ŞEKİL 91. SANAYİ YAPILARINDA GÖRÜLEN HASARLARA ÖRNEK	127
ŞEKİL 92. MAFSALLAŞAN KOLON ÖRNEKLERİ	129
ŞEKİL 93. PAZARCIK İLÇESİ SIVA KALINLIĞINA ÖRNEK	130
ŞEKİL 94. GÖKSUN/MARAŞ	131
ŞEKİL 95. GÖKSUN/MARAŞ YOL HASARI	132
ŞEKİL 96. TÜRKOĞLU BÖLGESİNDE BARAJ YOLU GEÇKİSİNDE YANAL YAYILMALAR	133
ŞEKİL 97. TÜRKOĞLU BÖLGESİNDE DEMİRYOLU GEÇİSİNDE NEHİR BOYUNCA YANAL YAYILMALAR.....	134
ŞEKİL 98. TÜRKOĞLU BÖLGESİNDE ZEMİN SIVILAŞMASI KAYNAKLI KUM KAYNAMALARI.....	134
ŞEKİL 99. TÜRKOĞLU MERKEZİNDE DERE KANALI BOYUNCA YANAL YAYILMALARA BAĞLI OLARAK DAYANMA YAPILARINDA HASARLAR	135
ŞEKİL 100. İLÇENİN GÜNEY SANAYİ BÖLGESİNDE YANAL YAYILMALARA BAĞLI OLARAK YOL KAPLAMASINDA DALGA ŞEKLİNDE DEFORMASYONLAR	136
ŞEKİL 101. SEKEROVA MAHALLESİNDE GİDEN YOLDA KAYA DÜŞMESİ VE HEYELANLAR.....	137
ŞEKİL 102. PAZARCIK BÖLGESİNDE DERE YATAĞI BOYUNCA YANAL YAYILMALAR	138
ŞEKİL 103. ZEMİNLERDE BAĞLANTI YOLU KAPLAMALARINDA MEYDANA GELEN HASARLAR.....	138
ŞEKİL 104. PAZARCIK BÖLGESİNDE YANAL YAYILMALAR (ADANA-ŞANLIURFA OTOYOLU NARLI GİRİŞİ).....	139
ŞEKİL 105. ÇÖÇELLİ MAHALLESİ MEVKİİNDE YOL GÜZERGAHINDAKİ ŞEVLERDE KAYA DÜŞMESİ	140
ŞEKİL 106. DEPREM SONRASI AKÇADAĞ İLÇESİNİN BİR BÖLÜMÜNÜN HAVADAN GÖRÜNTÜSÜ (HGM KÜRE)....	141
ŞEKİL 107. PAZARCIK (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,7$ DEPREMİNDE MALATYA İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	143
ŞEKİL 108. ELBİSTAN (KAHRAMANMARAŞ) $M_w = 7,6$ DEPREMİNDE MALATYA İLİNDE MEYDANA GELEN İVME TALEPLERİNİN İVME TASARIM SPEKTRUMLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI	144
ŞEKİL 109. MALATYA İLİNDE YIKILAN YIĞMA BİNALAR	146
ŞEKİL 110. MALATYA İLİNDE YIKILAN BETONARME BİNALAR.....	147
ŞEKİL 111. GÖZLEMLENEN KOLON PLASTİK MAFSALLAŞMA HASARLARI	149
ŞEKİL 112. PERDE HASARLARI VE KISA KOLON HASARI.....	150
ŞEKİL 113. DRONE UÇUŞU YAPILAN BÖLGENİN HARİTASI VE GÖRÜNTÜ ALINAN NOKTALAR	151
ŞEKİL 114. OLUŞTURULAN 3 BOYUTLU NOKTA BULUTU VE DRONE GÖRÜNTÜ TOPLAMA NOKTALARI	152
ŞEKİL 115. BÖLGEYE AIT 3 BOYUTLU DOKU KAPLAMALI NOKTA BULUTU	152
ŞEKİL 116. 3 BOYUTLU DOKU KAPLAMALI NOKTA BULUTUNUN YAKINLAŞTIRILMIŞ GÖRÜNTÜSÜ	153
ŞEKİL 117. OLUŞTURULAN 3 BOYUTLU DOKU KAPLAMALI NOKTA BULUTUNDA YIKILAN BİR BİNANIN ÜÇ BOYUTLU ENKAZ TEMSİLİ	153
ŞEKİL 118. İYA-ESASLI MALZEMELER KULLANILARAK ÜRETİLMİŞ BETONLAR İLE SÖKÜLÜP-TAKILABİLEN YAPI UYGULAMASI.....	157
ŞEKİL 119. ÜÇ BOYUTLU EKLEMELİ İMALAT İLE İNŞA EDİLEN LABORATUVAR ÖLÇEĞİNDEKİ YAPI ÖRNEĞİ	160
ŞEKİL 120. PROTOTİP REAKTÖR	161

TABLolar LİSTESİ

TABLO 1. DOĞU ANADOLU FAY ZONU İÇERİSİNDE YER ALAN SEGMENTLERE AIT YAPISAL BİLGİLER	17
TABLO 2. İNCELENEN ŞEHİRLERDEKİ BİNA HASAR DAĞILIMLARI	21
TABLO 3. İLLERE VE İKAMET EDİLEN BİNANIN İNŞA YILINA GÖRE HANE HALKI SAYISI VE ORANI	26
TABLO 4. İL VE İKAMET EDİLEN BİNANIN KAT SAYISINA GÖRE HANE HALKI ORANI.....	28
TABLO 5. HASARA BAĞLI EĞİLME VE KAYMA RİJİTLİK AZALTIM KATSAYILARI.....	166
TABLO 6. HASARA BAĞLI DAYANIM AZALTIM KATSAYILARI	166

1. GİRİŞ

06 Şubat 2022 tarihinde saat 04:17'de Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde merkez üssü Kahramanmaraş Pazarcık olan büyük bir deprem meydana gelmiştir. Depremin moment magnitüd (M_w) cinsinden büyüklüğü Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından olarak açıklanmıştır (Enlem: 37.288 N, Boylam: 37.043 E). İlk verilere göre depremin derinliği yaklaşık 8,6 km olarak belirlenmiştir. Deprem, Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Osmaniye, Kilis, Adana ve Hatay il merkezlerinde ve ilçelerinde şiddetli bir şekilde hissedilmiştir. Depremin en yakın yerleşim birimi olan Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesine bağlı Akdemir köyüne uzaklığı 2,72 km'dir (06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) M_w 7,7 Elbistan (Kahramanmaraş) (AFAD M_w 7,7 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, 2023). İlk depremden yaklaşık olarak altı saat sonra saat 13:24'de Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde merkez üssü Kahramanmaraş Elbistan olan bağımsız büyük bir deprem daha meydana gelmiştir. Depremin moment magnitüd (M_w) cinsinden büyüklüğü Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından 7,6 olarak açıklanmıştır (Enlem: 38.089 N, Boylam: 37.239 E). İlk verilere göre depremin derinliği yaklaşık 7,6 km olarak belirlenmiştir. Depremin en yakın yerleşim birimi olan Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesine bağlı Gümüşdöven köyüne uzaklığı 1,70 km'dir [06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) M_w 7,7 Elbistan (Kahramanmaraş) M_w 7,6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, 2023]. AFAD Deprem dairesi verilerine göre 6 Şubat – 19 Mart 2023 tarihleri arasında deprem büyüklüğü olarak 3 tanesi 6'dan, 44 adet 5'ten, 510 adet 4'ten büyük olmak üzere binlerce artçı sarsıntı kaydedilmiştir. AFAD tarafından yayımlanan odak mekanizması çözümleri ve artçı şokların dağılımları Şekil 1'de verilmiştir. 20 Mart 2023 tarihi itibarıyla yetkililerinden alınan bilgilere göre şu ana kadar yaklaşık 255.000 binanın hasar almış veya yıkılmış olduğu teyidine ulaşılmış, 50 binin üzerinde vatandaşımızın vefat ettiği ve 107.000'den fazla yaralı vatandaşımızın olduğu belirtilmiştir.

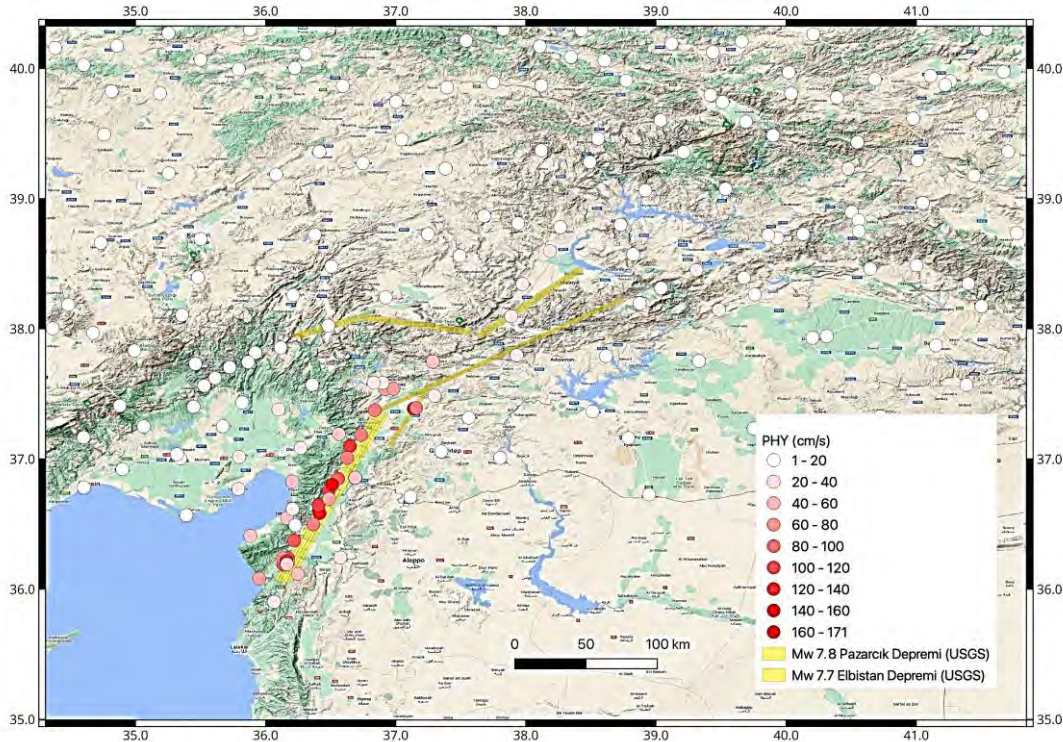


Şekil 1. AFAD tarafından odak mekanizma çözümü yapılan Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ Depremleri ve artçıların şok aktivitesi (AFAD $M_w 7,7$ ve $7,6$ Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, 2023)

AFAD tarafından işletilmekte olan Türkiye Kuvvetli Yer Hareketi Veritabanı (TADAS, tadas.afad.gov.tr) Türkiye ve çevresinde meydana gelen depremlerden elde edilen ivme zaman serilerini kullanıcılarına sunmaktadır. Türkiye genelinde aktif olan yaklaşık 857 istasyon ile TADAS, Pazarcık Mw 7,7 ve Elbistan Mw 7,6 depremlerinden sonra sırasıyla 290 ve 267 istasyonda kaydedilen deprem kayıtlarını paylaşmıştır. Ancak, mühendislik bakış açısından bu kayıtların kullanılması için bir kalite kontrolünden geçmesi gerekmektedir. Kale vd. (2023) çalışmasında bu deprem kayıtlarının ön değerlendirilmesi yapılmış ve kullanıma uygun olan kayıtların gürültüden arındırılma işlemleri tamamlanmıştır. Bu işlemler sonrasında her iki depremde kayıt alan toplam istasyon sayısı 278'tir. Deprem kayıtlarının her bir bileşeni için (iki yatay ve bir dikey bileşen olmak üzere) ivme spektrumları elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ayrıca istasyonların

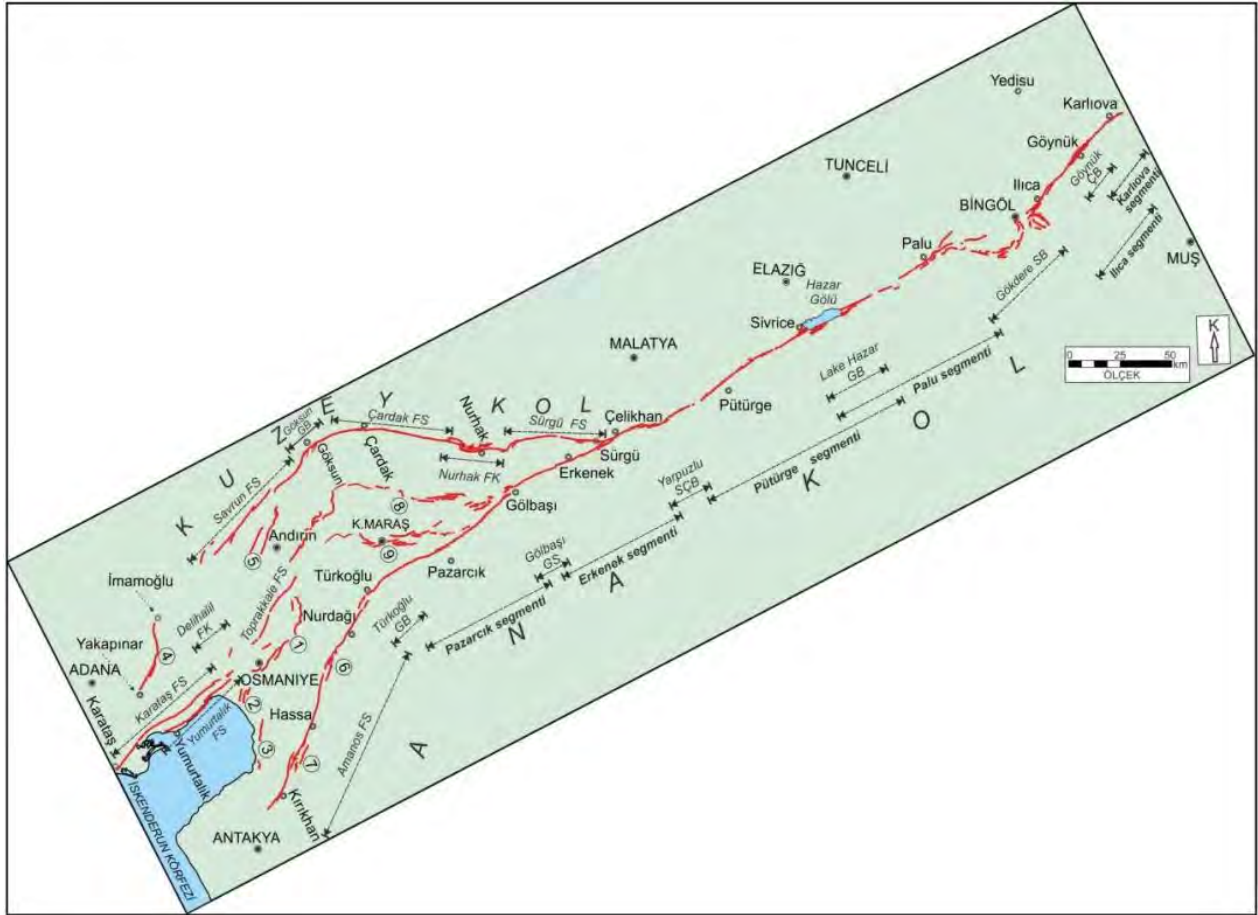
kırılan faya en yakın uzaklık olarak tanımlanan R_{rup} değerleri de hesaplanmıştır. Şekil 2’de her iki depremin kırılan faylarına ait izdüşümler (USGS, 2023; <https://earthquake.usgs.gov>; son erişim tarihi: 25.02.2023) ve bu depremlerin analizinde kullanılacak olan istasyonlar birlikte gösterilmiştir. Bu haritada ayrıca istasyonlardan elde edilen maksimum pik yer hızı (PYH) dağılımları renk ölçeği ile verilmiştir. Bu parametre genellikle depremlerde meydana gelen hasar dağılımları ile paralel sonuçlar verdiği için tercih edilmiştir.

Her iki depremde gözlenen maksimum PYH dağılımları incelendiğinde özellikle Hatay, Gaziantep ve merkez üstü olan Kahramanmaraş illerinde çok yüksek PYH değerlerine ulaşılmıştır. Gözlemlenen bu yüksek değerler nedeniyle bu şehirlerde ciddi bir hasar beklenmesi muhtemeldir. Bu kestirim sahada (bu raporun ilerleyen bölümlerinde de özetlenen hasarlar) yapılan gözlemler ile uyumludur. Doğu Anadolu Fay Hattı’nda meydana gelen bu yıkıcı depremler mühendislik sismolojisi açısından önemli yer hareketi verileri üretmişlerdir. Çok sayıda ve geniş bir bölgede elde edilen deprem kayıtları sayesinde bölgesel olarak mesafe yayılımları, yakın fay etkileri, bölgede bulunan birçok havza nedeniyle basen etkileri başta olmak üzere zemin etkileri belirlenebilecektir.



Şekil 2. Fay kırığının yüzeydeki izdüşümleri, istasyonların dağılımları ve kaydedilen maksimum pik yer hızı (PYH) dağılımları

DAFZ, birbirinden sıkışmalı veya açılmalı aralı aşma/sıçramalarla ayrılan yedi ana segmentten oluşur. Bunlar KD'dan GB'ya doğru sırasıyla Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos fay segmentleridir (Duman ve Emre, 2013) (MTA, 2023) (Şekil 3). Bu segmentlere ilişkin yapısal bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Meydana gelen M_w 7,7 Pazarcık depreminde bu segmentlerden KD-GB uzanımlı DAF zonu içinde yer alan 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi (M_w 6,8) sırasında kırılan Pütürge Segmenti'nden itibaren doğuya doğru Erkenek, Pazarcık ve Amanos fay segmentlerinin kırılarak kaynaklık ettiği düşünülmektedir. M_w 7,6 Kahramanmaraş Elbistan depremi ise yine DAF zonunun kuzey kolu içinde yer alan yer yer KD-GB ve D-B uzanımlı Sürgü fay segmentinin batı kesiminde yer alan Çardak fayı üzerinde meydana gelmiştir.



Şekil 3. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun segmentasyonunu gösterir harita (Duman ve Emre, 2013 ve MTA, 2023). (1) Düziçi–Osmaniye fay segmenti; (2) Erzin fay segmenti; (3) Payas fay segmenti; (4) Misis fay segmenti; (5) Çokak fay segmenti; (6) İslahiye gevşemeli bükümü; (7) Demrek sıkışmalı sekmesi; (8) Engizek fay zonu; (9) Maraş fay zonu

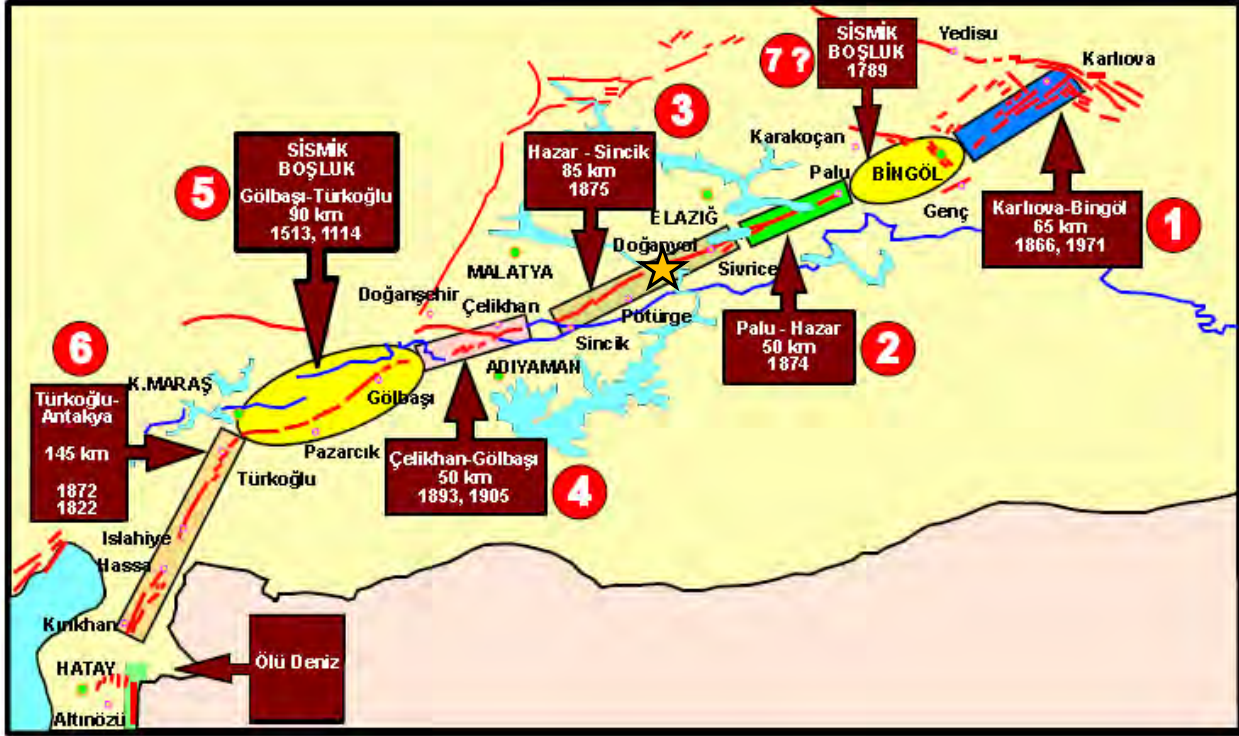
Tablo 1. Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yer alan segmentlere ait yapısal bilgiler (Emre vd., 2013)

(Emre vd., 2013).						
		Uzunluk (km)	Aktivite	Kayma türü	Genel trend	Fay düzleminin eğim yönü ve derecesi
Fault	Doğu Anadolu Fay Zonu	580	H	LLS		
Segment	Karlıova segmenti	31	H	LLS	N50E	Vertical
	Ilıca segmenti	40	ESF	LLS	N40E	Vertical
	Palu segmenti	77	H	LLS	N62E	Vertical
	Pötürge segmenti	96	H	LLS	N60E	Vertical
	Erkenek segmenti	62	H	LLS	N75E	Vertical
	Pazarcık segmenti	82	H	LLS	N60E	Vertical
	Amanos segmenti	112	H	LLS	N35E	Vertical

Kuzey Anadolu Fay Zonundan (KAFZ) ile birlikte Türkiye'nin en etkin diğer ana diri fay kuşağı olan sol yanal doğrultu atımlı DAFZ, Karlıova-Antakya arasında yaklaşık 580 km'lik bir uzunluğa sahip olup, bölgenin jeodinamik evrimi ve depremselliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Allen, 1969; Arpat ve Şaroğlu, 1972; Arpat ve Şaroğlu, 1975; Mc Kenzie, 1972, Mc Kenzie, 1976; Seymen ve Aydın, 1972; Şaroğlu ve diğ., 1987, Şaroğlu ve diğ., 1992a, Şaroğlu ve diğ., 1992b; Ambrassey, 1989; Taymaz ve diğ., 1991; Herece ve Akay, 1992; Nalbant ve diğ., 2002). DAFZ, Karlıova'nın doğusunda, Kargapazarı yöresinde, KAFZ ile kesiştiği yerden başlar ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde Göynük Vadisi boyunca güneybatıya doğru devam eder. Burada 17 km'lik atımlı olan fay (Şaroğlu ve diğ., 1987; Herece ve Akay, 1992), Bingöl yöresinde biraz belirsizleşmekte, ancak Palu-Pötürge arasında tekrar belirginleşip güneybatıya doğru devam etmektedir. Hazar Gölü kuzeyinde son bulan segman, güneye sıçrama yaparak batıya devam etmektedir. Hazar Gölü genç tortulları üzerinde yapılan araştırmalarda, buranın beş adet büyük deprem geçirdiği ortaya konmuştur (Hempton, 1983). Pötürge kuzeyinde Şiro Çayı boyunca batıya devam eden segman, Karakaya baraj gövdesinin 14 km kuzeyinden geçerek, Fırat Nehri üzerinde 13 km'lik sol yönlü bir atım oluşturmaktadır (Şaroğlu ve diğ., 1987). Güneybatıya doğru devam eden DAFZ, Çelikhan'ın güneyinden ve Adıyaman Gölbaşı ilçe merkezinden geçerek, Gölbaşı batısında 4750 m'lik bir atım oluşturmaktadır (İmamoğlu, 1993, 1996) ve Kahramanmaraş'ın güneyinde bulunan Türkoğlu'nda çatallanmaktadır. Bir kolu doğrultu atımın yanı sıra, eğim atım karakteri de kazanarak, güneye dönerek Amanos Fayı'nı oluştururken; bir kolu da Türkoğlu'nda doğrultu değiştirmeden güneybatıya doğru devam eder ve Bahçe kuzeyinden, Osmaniye'den ve Ceyhan'ın güneyinden geçerek, Karataş'ta Akdeniz'e girer (İmamoğlu ve Çetin, 2007).

M_w 7,6 Kahramanmaraş Elbistan depremine kaynaklık eden Çardak fayı ise DAFZ'nun kuzey kolu üzerinde yer alan ve sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Göksun'un güneyinde KD-GB doğrultulu, Çardak yakınlarında ise D-B doğrultusunda devamlılık göstermekte ve Nurhak ilçesine kadar uzanmaktadır. Nurhak'tan itibaren birkaç kola ayrılan fayın güney kolu, bu bölgenin doğusundan itibaren yine D-B doğrultulu Sürgü Fayı ile birleşmektedir. Nurhak kuzeyinde ise KD-GB doğrultulu Malatya Fayı ve Doğanşehir Fayı ile birleşmektedir (Emre vd., 2013) (Şekil 4)

DAFZ'nun tarihsel ve aletsel dönemdeki deprem etkinliği göz önüne alındığında, aletsel dönemde son yüzyılda 6'dan büyük ve tarihsel dönemde XI şiddetinde (~ 7'den büyük) çok fazla yıkıcı depreme sebep olmuştur. Bu fay üzerinde meydana gelen en önemli depremleri, 1513 Pazarcık depremi, 1822 Kahramanmaraş depremi, 1866 Karlıova depremi, 1872 Antakya depremi, 1874 Gezin depremi, 1875 Sivrice depremi, 1893 Çelikhane depremi, 1905 Pötürge depremi, 1971 Bingöl depremi, 1977 Palu depremi, Haziran-Temmuz 1986 Sürgü depremleri (Şaroğlu ve diğ.,1987) ve 1998 Ceyhan depremi (İmamoğlu ve Çetin, 2007), 2003 Bingöl Depremi ve 2010 Kovancılar depremi olarak belirtebiliriz. DAFZ üzerindeki yıllık kayma hızı ortalama 5-8 mm/yıl olarak hesaplanmıştır (Herece, 2003 ve Westaway, 2004), ancak McClusky ve diğ. (2000) bunun yaklaşık 9 ± 1 mm/yıl (Gürsoy ve diğ., 2003) ve Reilinger vd. (2006) 10 ± 1 mm/yıl olduğunu söylemişlerdir. DAFZ'nun tarihsel ve aletsel dönemdeki deprem etkinliği ile sismik boşluk olan bölgeleri gösteren görsel Şekil 2'de verilmiştir (Demirtaş ve Erkmen, 2008). Bölgede son yaşanan 24 Ocak 2020 M_w 6,8 büyüklüğündeki Sivrice Depremi bölgedeki sismik etkinliğin önemini tekrar hatırlatmış, depremden sonra yapılan bilimsel çalışmalar ve değerlendirmeler de bölgenin sismik aktivitesine ve tehlike potansiyeline tekrar dikkat çekmiştir (Tatar vd., 2020; Akgün ve İnceöz, 2021; Doğru ve diğerleri, 2021; Kelam ve diğerleri, 2022). Yaklaşık 3 yıl sonra yaşanan 7,7 ve 7,6 büyüklüğündeki Kahramanmaraş depremleri, tehlikenin büyüklüğünün acı bir habercisi olmuştur.



Şekil 4. Doğu Anadolu Fay Sistemi'ne ait sismik segmentler ve sismik boşluklar. (Demirtaş ve Erkmen, 2008). Turuncu yıldız 24 Ocak 2020 M_w 6,8 Sivrice (Elazığ) Depremini göstermektedir

Hacettepe Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri ve Araştırma Görevlileri olarak, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremlerin hemen ardından etkilenen bölgelerde saha çalışmaları düzenlemiştir. Ekiplerimiz 1. ve 2. depremlerden etkilenen bölgelerde yapılar üzerinde çalışmalarda bulunmuş ve bu bölgelerdeki zeminlerde incelemeler yapmışlardır. Bu çalışmalar neticesinde sahada gözlemlenen değerlendirmeler bu rapor kapsamında sunulmuştur.

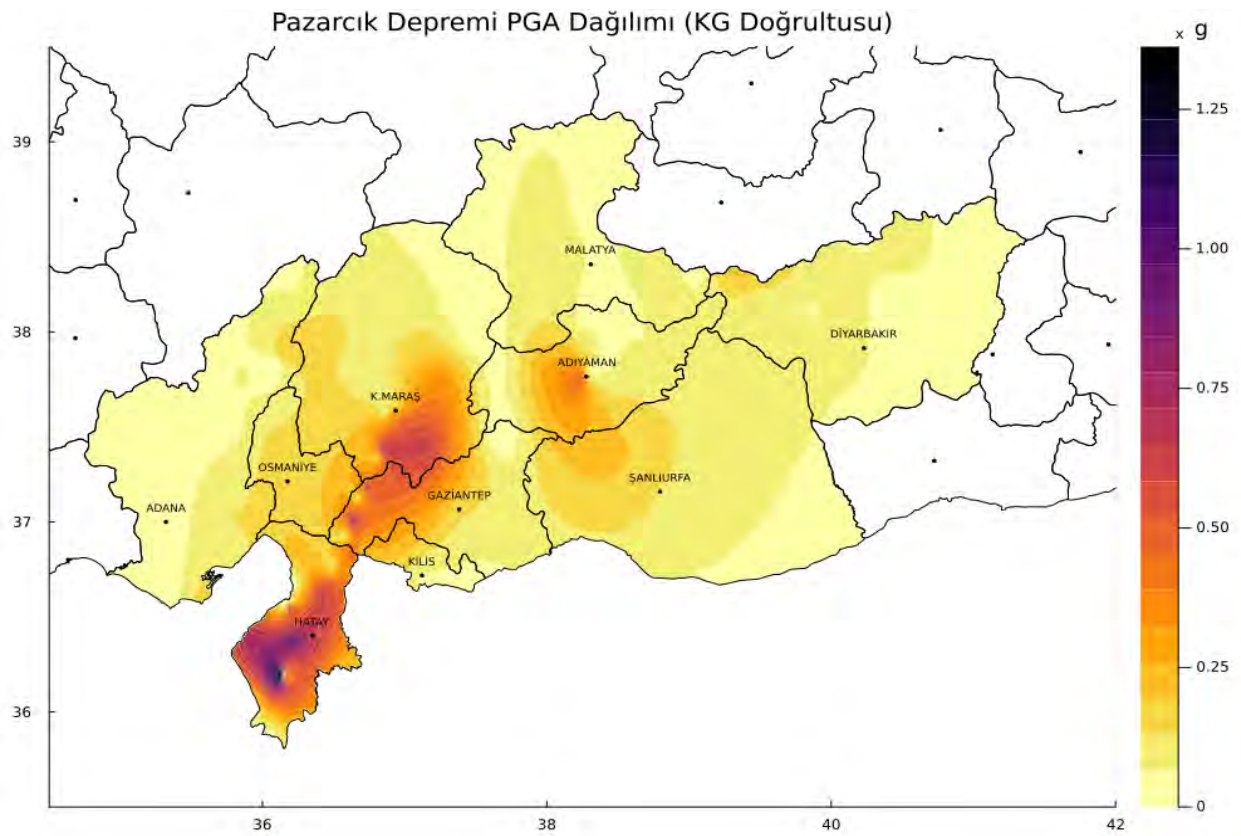
2. YAPI VE ZEMİNLERE İLİŞKİN GÖZLEMLENEN HASARLAR

Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen ardıl depremler sonrasında Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Osmaniye, Kilis, Adana ve Hatay ilinde gözlemlenen deprem sonrası yapısal hasar durumları incelenmiş ve incelenen yapılarda gözlenen yapısal ve yapısal olmayan olumsuzluklar raporun bu kısmında özetlenmiştir. Meydana gelen depremler sonrasında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından tespit edilen hasar dağılımı Tablo 2’de özetlenmektedir. Tablo 2’den anlaşılabacağı üzere depremlerden en fazla hasar alan illerden Adıyaman, Hatay, Kahramanmaraş ve Malatya’da hasar tespiti yapılan binaların yaklaşık olarak %3.5’luk kısmı yıkılmıştır. Ayrıca, yine bahsi geçen illerde orta hasar ve ağır hasar almış binaların hasar tespiti yapılan binalara oranı yaklaşık olarak %20 civarındadır. Tablo 2’de özetlendiği üzere yaşanan büyük şiddetli depremler neticesinde 16.03.2023 tarihi itibarıyla 255.000 adet bina yıkılmış veya ağır hasar aldığı için yıkılmak durumundadır.

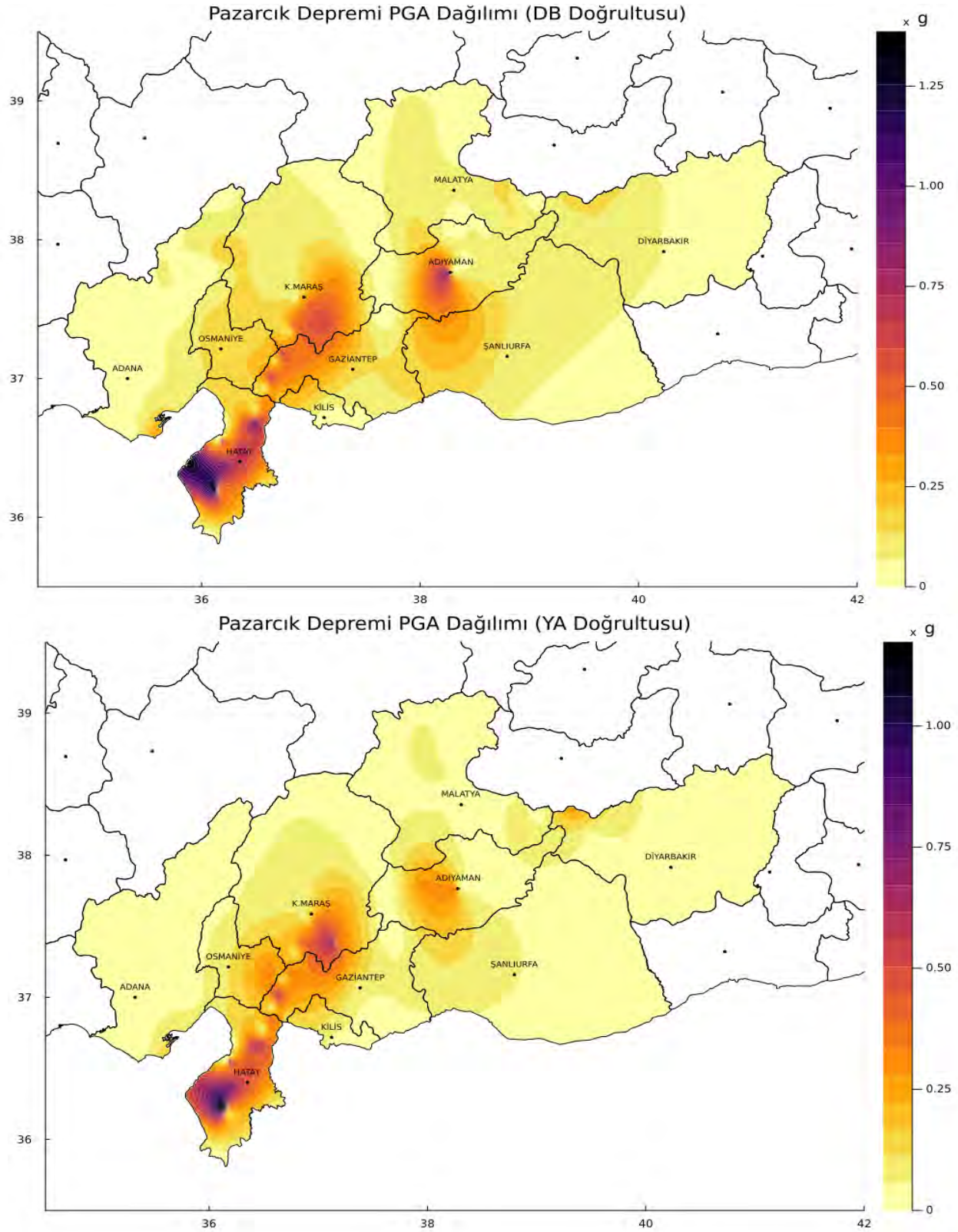
Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ($M_w=7,7$) ve Elbistan ($M_w=7,6$) ilçelerinde meydana gelen ardıl depremler sonrasında oluşan azami yer ivmesi taleplerinin dağılımının harita üzerinde gösterilimi ise Şekil 5 ve Şekil 6’te özetlenmektedir. Şekil 5 ve Şekil 6’tan anlaşılabacağı üzere depremler neticesinde yatay yöndeki azami yer ivmesi (PGA) değerleri yaklaşık 1,38g (Hatay - Antakya İstasyon : 3129) ve 0,65g (Kahramanmaraş – Göksun İstasyon : 4612) değerlerine ulaşırken düşey yöndeki azami yer ivmesi (PGA) değerleri yaklaşık 1,17g (Hatay - Antakya İstasyon : 3125) ve 0,50g (Kahramanmaraş – Göksun İstasyon : 4612) değerlerine yakındır. Ölçülen bu ivme değerleri hasarın neden bu ölçüde yıkıcı olduğunu bir nebze göstermektedir. Ayrıca, raporun ilerleyen bölümlerinde özetleneceği üzere, kaydedilen azami ivme değerlerinin bazı illerde yoğunlaşan hasarla oldukça yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 2. İncelenen şehirlerdeki bina hasar dağılımları (16.03.2023 itibariyle)

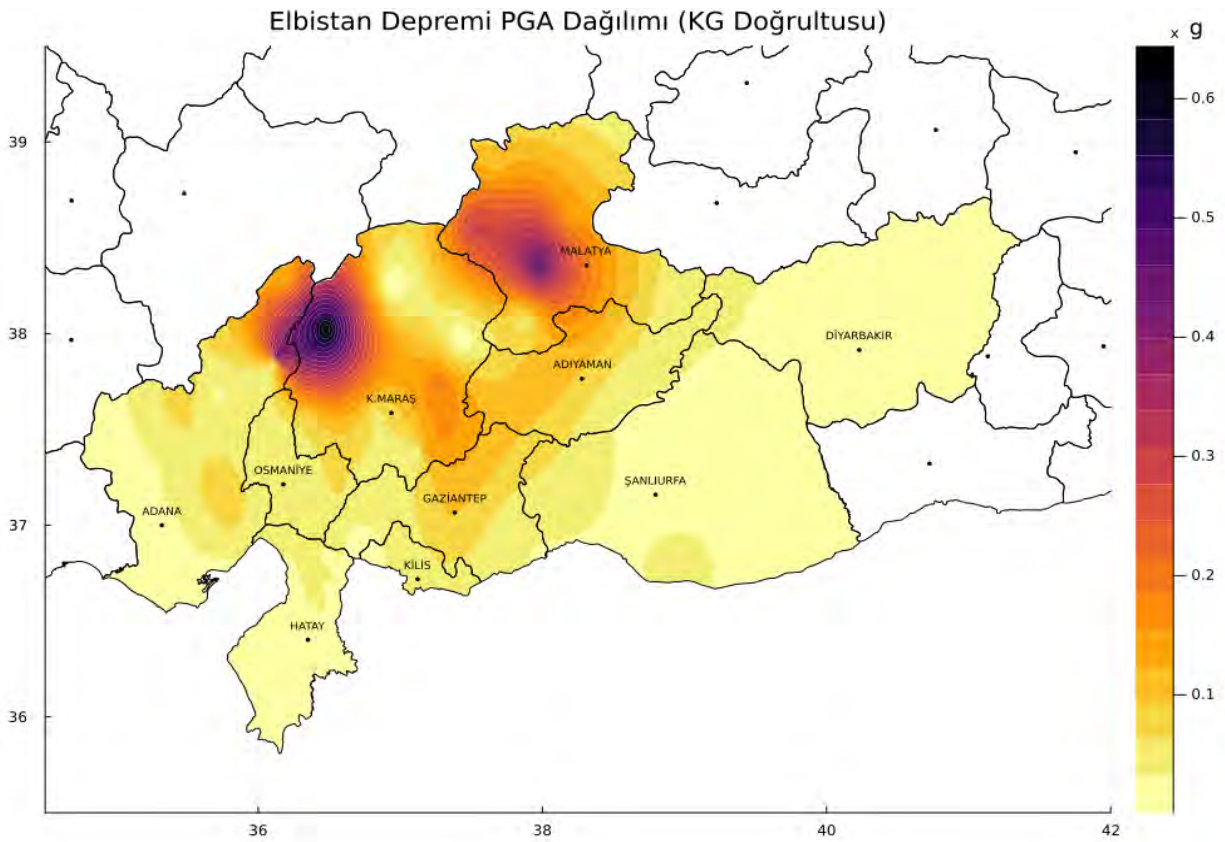
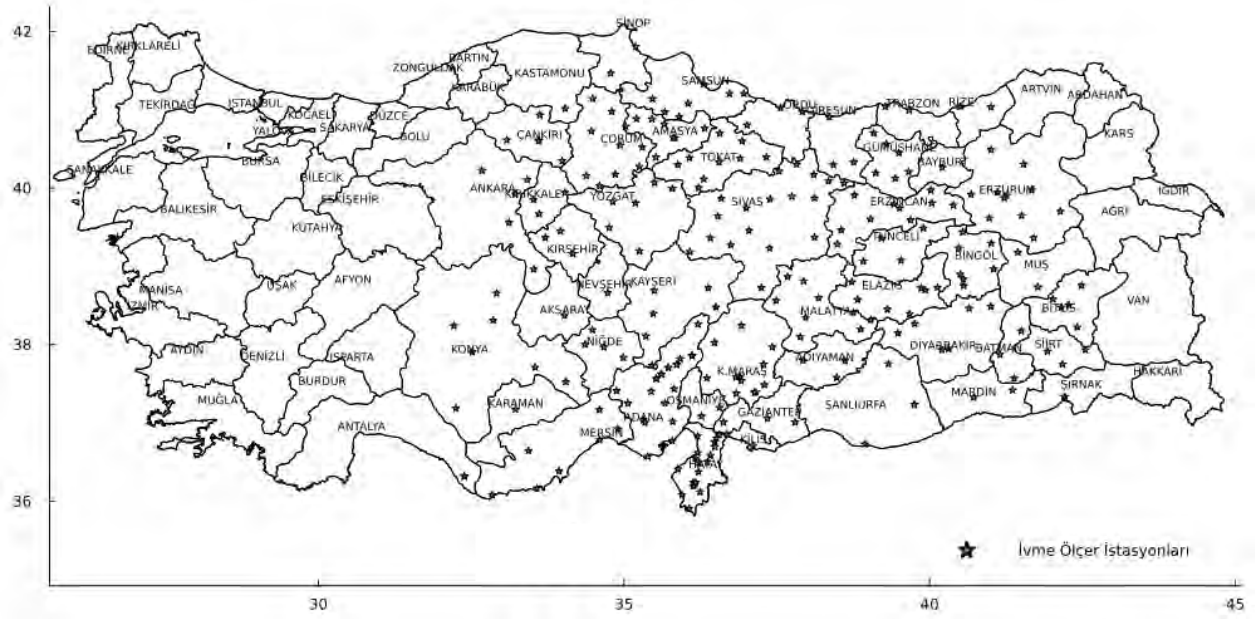
İL	Hasar Durumu				
	Yıkılmış / Acil Yıkım	Ağır	Orta	Hafif	Hasarsız
Adana	128 (%0.15)	615 (%0.74)	1538 (%1.85)	10222 (%12.32)	70483 (%84.93)
Adıyaman	8142 (%7.45)	21526 (%19.71)	6793 (%6.22)	33925 (%31.06)	38848 (%35.56)
Diyarbakır	87 (%0.06)	3517 (%2.36)	2963 (%1.99)	35632 (%23.91)	106853 (%71.69)
Elazığ	95 (%0.38)	6323 (%25.45)	485 (%1.95)	7324 (%29.48)	10618 (%42.74)
Gaziantep	5652 (%2.14)	13621 (%5.15)	7266 (%2.75)	60899 (%23.04)	176859 (%66.92)
Hatay	20172 (%5.94)	60301 (%17.77)	10170 (%3)	90284 (%26.6)	158459 (%46.69)
Kahramanmaraş	11800 (%5.35)	37385 (%16.96)	6601 (%2.99)	67094 (%30.43)	97577 (%44.26)
Kilis	609 (%1.82)	1803 (%5.38)	642 (%1.92)	10441 (%31.18)	19991 (%59.7)
Malatya	4720 (%9.75)	27719 (%57.24)	114 (%0.24)	3974 (%8.21)	11896 (%24.57)
Osmaniye	1123 (%0.94)	8377 (%6.98)	1313 (%1.09)	29493 (%24.58)	79697 (%66.41)
Şanlıurfa	1172 (%0.65)	3801 (%2.1)	2305 (%1.28)	70544 (%39.05)	102811 (%56.92)



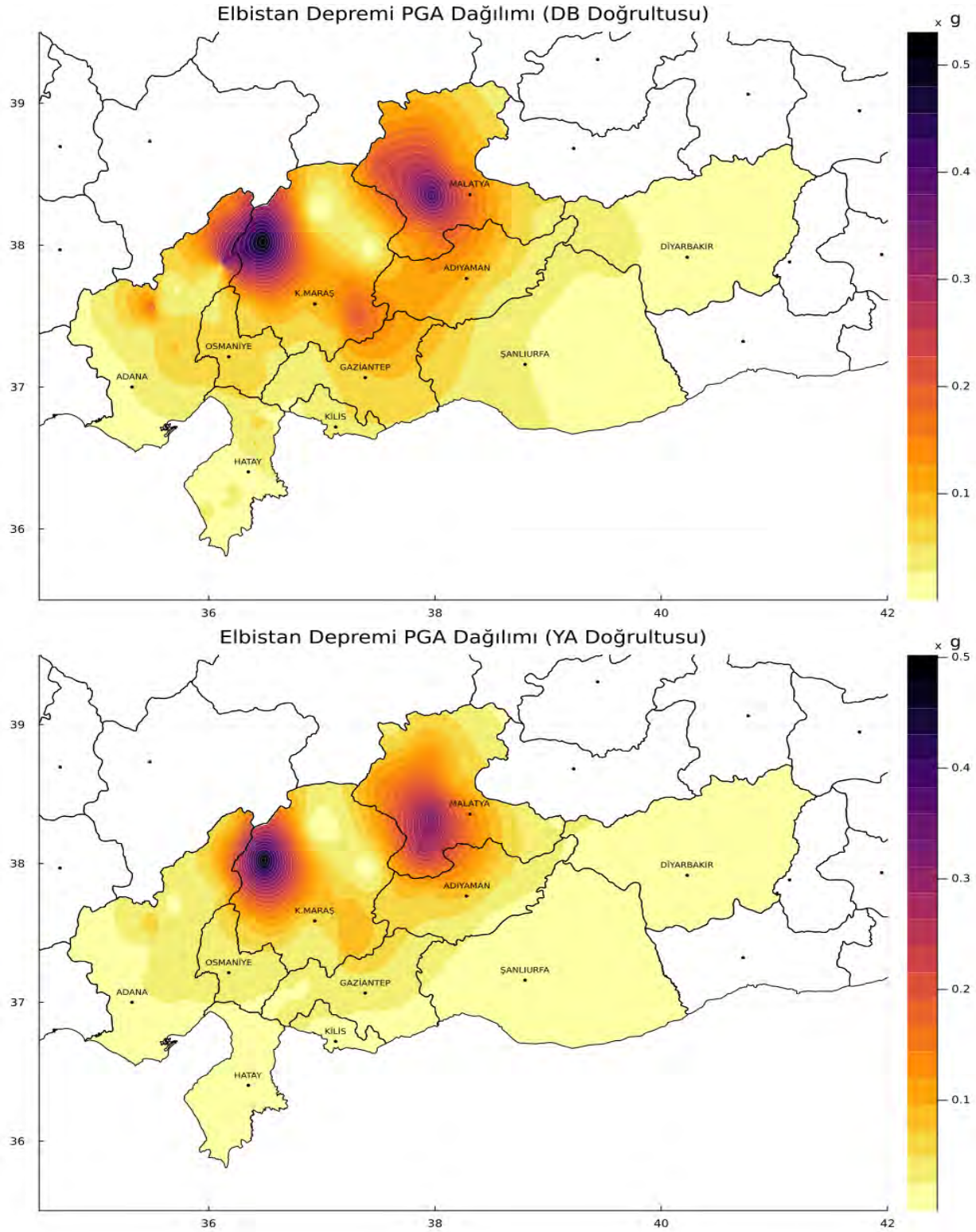
Şekil 5. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ azami yer ivmesi (PGA) taleplerinin dağılımı



Şekil 5. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ azami yer ivmesi (PGA) taleplerinin dağılımı (devam)



Şekil 6. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ azami yer ivmesi (PGA) taleplerinin dağılımı

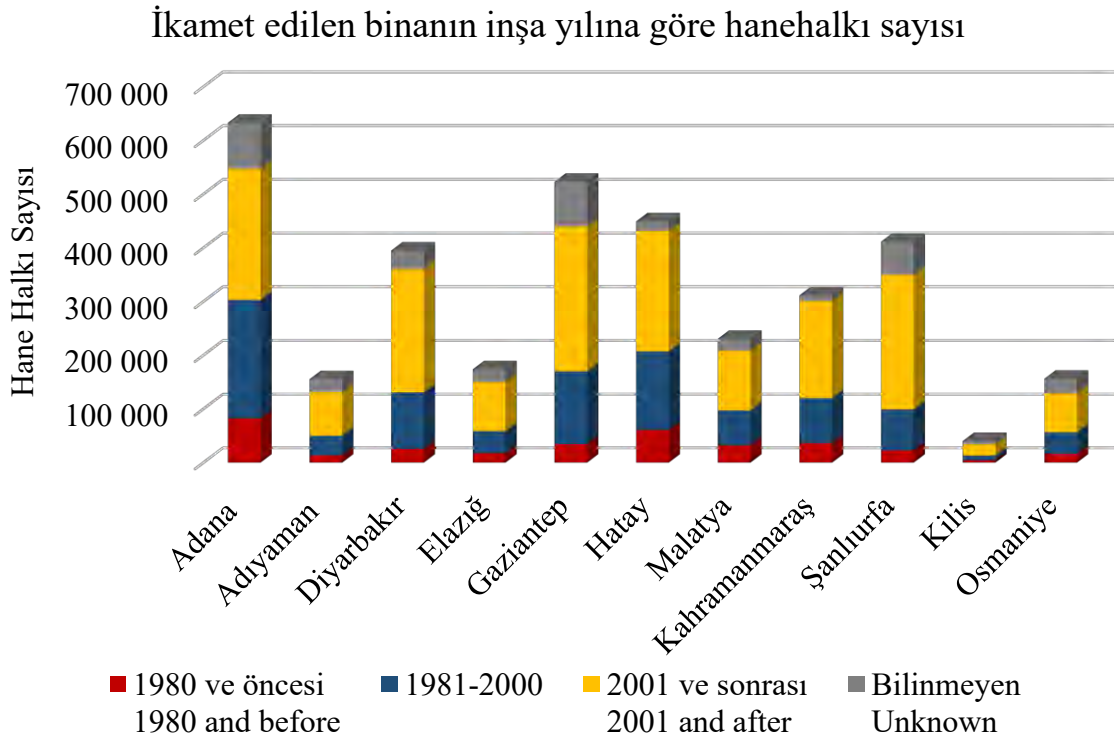
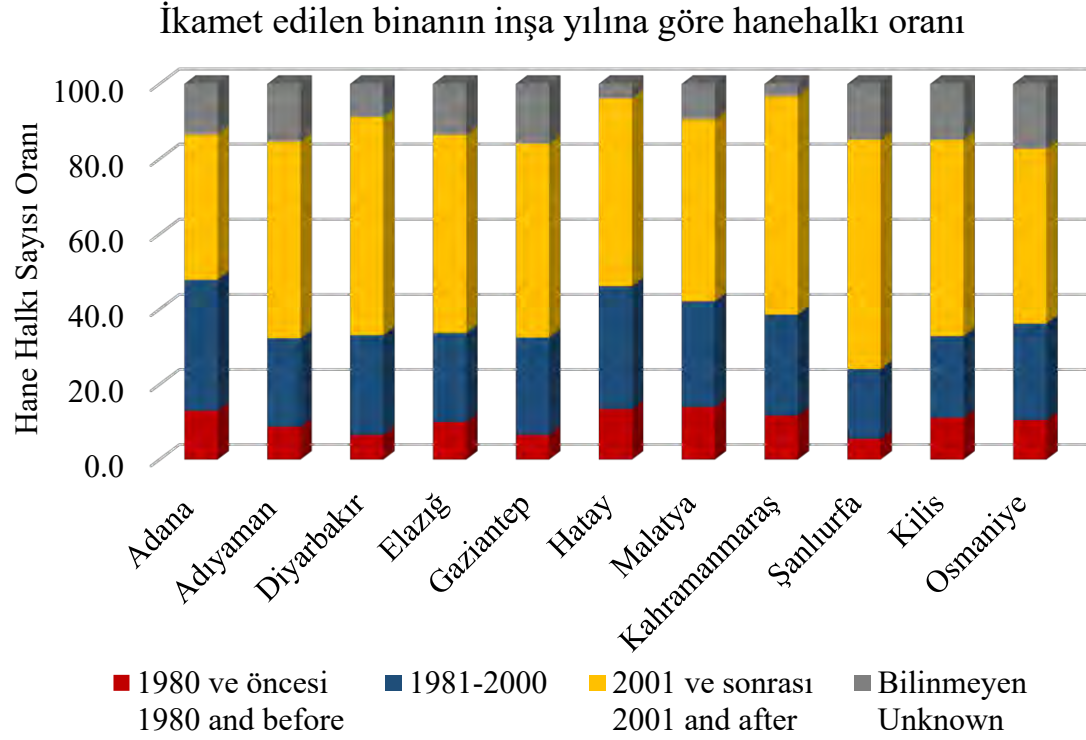


Şekil 6. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ azami yer ivmesi (PGA) taleplerinin dağılımı (Devam)

TÜİK tarafından 2021 yılında paylaşılan bina istatistiklerinde depremde etkilenen illerde bulunan toplam nüfus 13.309.886'dır. Ayrıca, depremde etkilenen Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Elazığ, Osmaniye, Kilis, Adana ve Hatay illerinde bulunan mevcut yapı stoklarının yaklaşık olarak %50'si yapı denetim kanunun ve 1997 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğin (DBYBHY 1997)'nin pratikte kullanılmaya düşünüldüğü 2001 yılından sonra inşa edilmiştir (Tablo 3 ve Şekil 63).

Tablo 3. İllere ve ikamet edilen binanın inşa yılına göre hane halkı sayısı ve oranı (TÜİK 2021)

İl	Bina inşa yılı (%)				Bilinmeyen
	Toplam	1980 ve öncesi	1981-2000	2001 ve sonrası	
Adana	100.0	13.0	34.8	38.7	13.5
Adıyaman	100.0	8.7	23.6	52.3	15.4
Diyarbakır	100.0	6.5	26.6	58.1	8.8
Elazığ	100.0	10.0	23.6	52.8	13.6
Gaziantep	100.0	6.6	25.9	51.6	15.9
Hatay	100.0	13.5	32.6	50.0	3.9
Malatya	100.0	14.0	28.1	48.4	9.5
Kahramanmaraş	100.0	11.7	26.9	58.1	3.3
Şanlıurfa	100.0	5.5	18.5	61.0	14.9
Kilis	100.0	11.2	21.7	52.3	14.9
Osmaniye	100.0	10.5	25.7	46.5	17.3

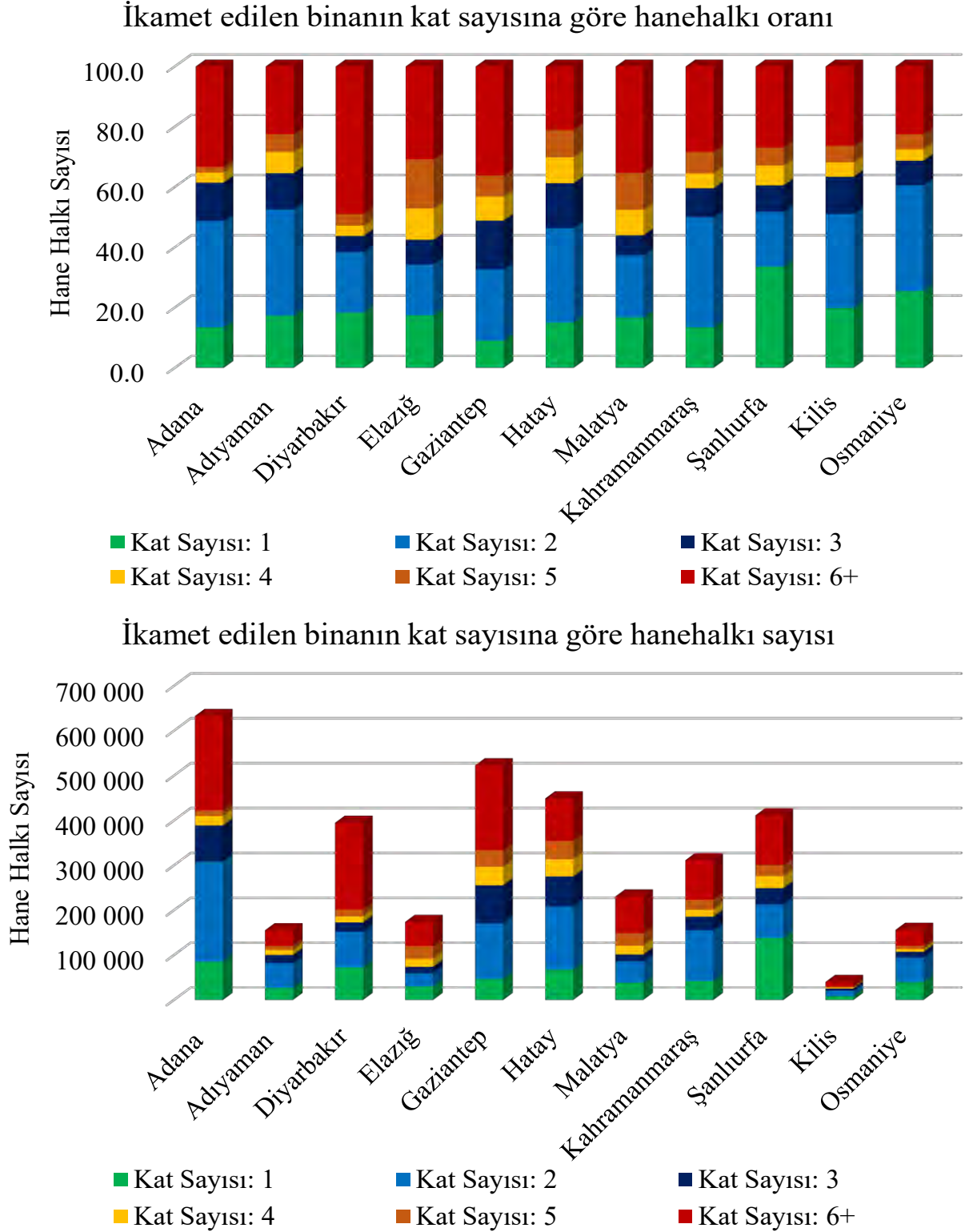


Şekil 7. TÜİK 2021 raporuna göre depremde en çok etkilenen illerdeki (a) ikamet edilen binanın inşa yılına göre hane halkı oranı ve (b) İkamet edilen binanın inşa yılına göre hane halkı sayısı

TÜİK tarafından 2021 yılında paylaşılan bina istatistiklerinde depremde en çok etkilenen Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman, Osmaniye, Kilis, Adana ve Hatay illerinde bulunan mevcut yapı stoklarının yaklaşık olarak %70'i 1-3 katlı binalarda yaşarken Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya ve Elazığ illerinde bu oran yaklaşık olarak %30'dur (Tablo 4 ve Şekil 8). Ayrıca, Diyarbakır ili haricinde tüm illerde 6 kat altı binada yaşayanların oranı yaklaşık olarak %70'dir. Betonarme çerçeve sistemler için 1-3 kat arası bina hasarsız periyodu yaklaşık olarak 0,05 – 0,32sn aralığında kalırken betonarme perdeli sistemler için 1-3 kat arası bina hasarsız periyodu yaklaşık olarak 0,03 – 0,21sn arasındadır. Ek olarak, 5 kata kadar betonarme çerçeve sistemler için bina hasarsız periyodu yaklaşık olarak 0,28 – 0,55sn arasında iken betonarme perdeli sistemler için bu değerler yaklaşık olarak 0,15 – 0,45sn arasındadır (Cinar et al. 2022).

Tablo 4. İl ve ikamet edilen binanın kat sayısına göre hane halkı oranı (TÜİK 2021)

	Bina kat sayısı (%)					
	Kat Sayısı: 1	Kat Sayısı: 2	Kat Sayısı: 3	Kat Sayısı: 4	Kat Sayısı: 5	Kat Sayısı: 6+
Adana	13.5	35.2	12.7	3.4	1.9	33.3
Adıyaman	17.3	35.3	12.0	7.0	5.9	22.5
Diyarbakır	18.3	20.0	5.4	3.4	3.9	49.0
Elazığ	17.4	16.8	8.2	10.4	16.3	30.8
Gaziantep	9.0	23.7	16.2	8.0	7.0	36.2
Hatay	15.1	31.3	14.9	8.6	9.1	21.0
Malatya	16.7	20.6	6.6	8.5	12.2	35.3
Kahramanmaraş	13.5	36.5	9.6	4.9	7.2	28.3
Şanlıurfa	33.6	18.2	8.8	6.6	6.0	26.9
Kilis	19.8	31.2	12.4	4.8	5.6	26.3
Osmaniye	25.4	35.2	8.2	3.8	5.0	22.5



2.1. Adana İlindeki Hasarlar

2.1.1. Yapısal Hasarlar

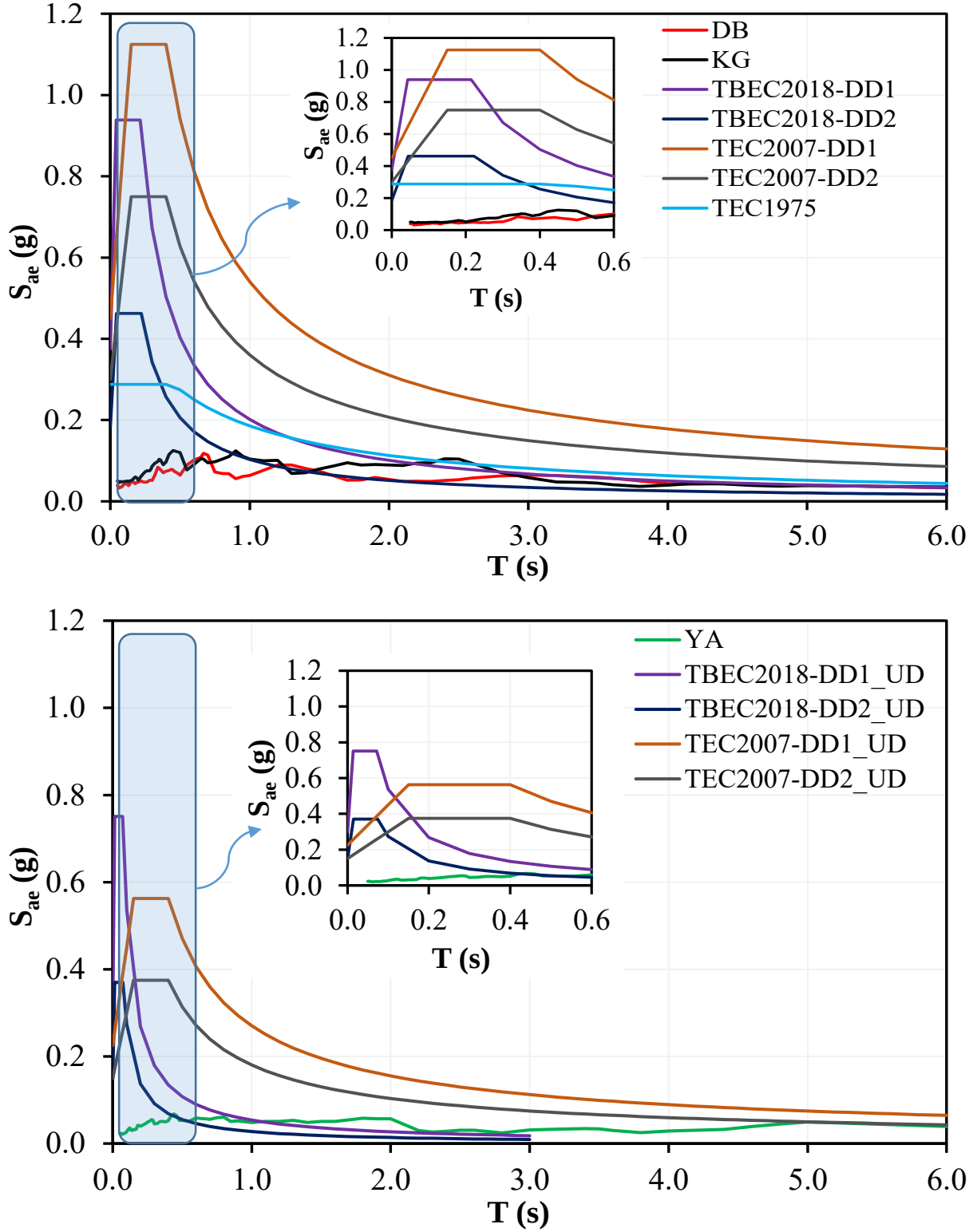
Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ($M_w=7,7$) ve Elbistan ($M_w=7,6$) ilçelerinde meydana gelen ardıl depremler sonrasında Adana ilinde oluşan ivme değerleri bölgede yer alan 0118 numaralı istasyon ($V_{s30} = 946\text{m/sn}$, ZB yerel zemin sınıfı) için Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilmiştir. Yer ivmesi değerlerinin spektrum verileri sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'de verilmektedir. Meydana gelen depremler sonrasında Adana ilinde yaklaşık 15 adet yapı tamamen göçmüştür (Şekil 11).

Şekil 9'de görüldüğü üzere, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen deprem esnasında, Adana ilinde meydana gelen yatay ivme talepleri, 1,5sn'lik periyotlardan büyük periyoda sahip sistemler için, 2018 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin üzerinde seyretmektedir. Bu durumda Pazarcık ilçesinde meydana gelen bu depremde 2018 sonrasında inşa edilen 10 kat üzerindeki konut tipi yapıların, elastik tasarım ivme değerlerinin üzerinde ivme taleplerine maruz kaldığı görülmektedir. Düşey ivme talepleri incelendiğinde ise, 2018 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin 0,5sn sonrasında ve 2475 yıl tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin ise 1sn sonrasında aşıldığı gözlemlenmiştir. 2008 deprem yönetmeliği dikkate alınan 475 ve 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin aşılmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda 2018 öncesinde ve yönetmeliklere uygun olarak inşa edilen yapılara elastik tasarım ivmelerinin altında ivme talepleri etki etmiştir.

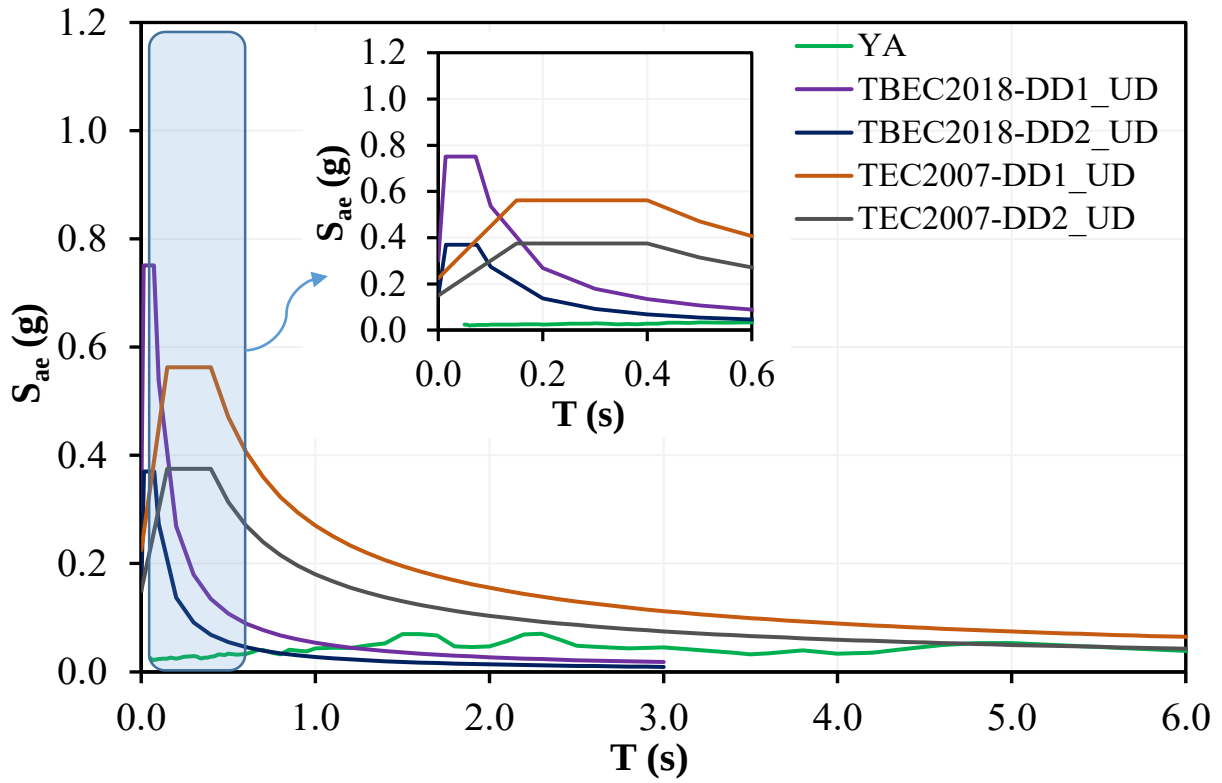
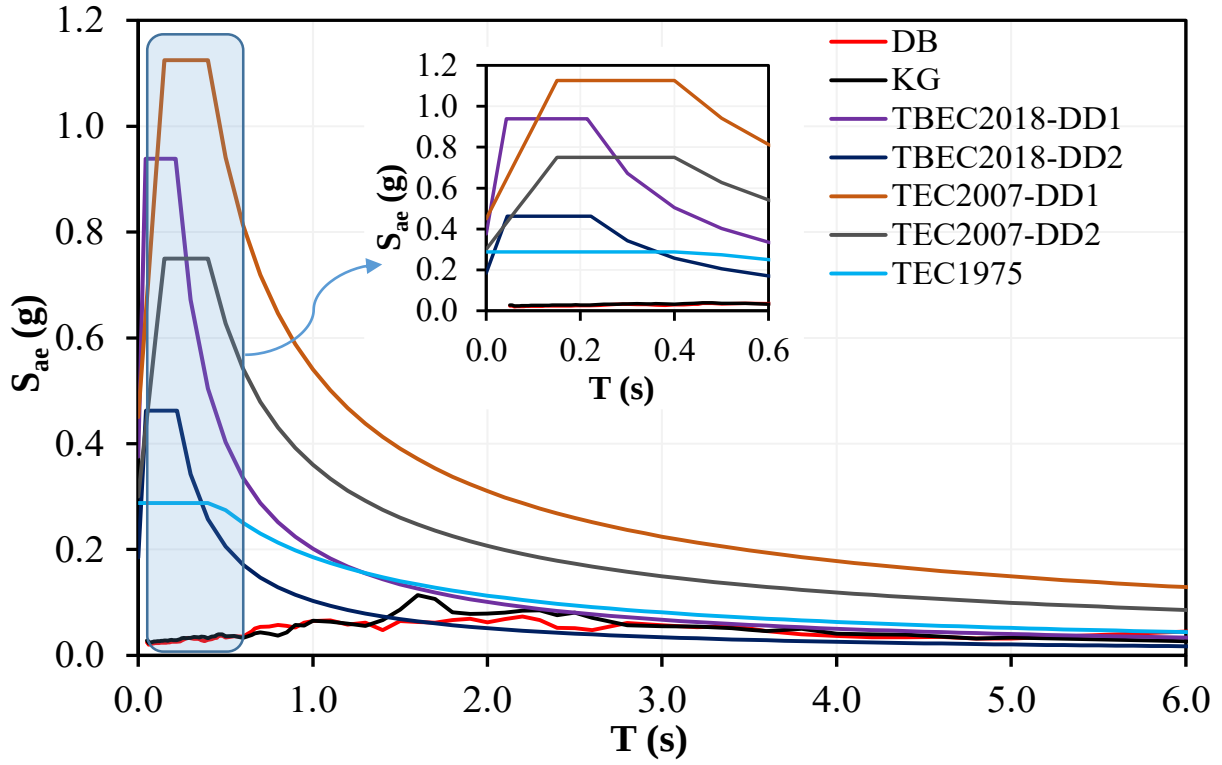
Şekil 10'de Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen deprem esnasında, Adana ilinde meydana yatay gelen ivme talepleri ve farklı şartnamelere göre oluşturulan elastik tasarım ivme dağılımları verilmiştir. Bu depremde, 1,5sn'lik periyotlardan büyük periyoda sahip sistemler için, 2018 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin yatay ivme talepleri tarafından aşılmış olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber düşey yönde 2018 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 ve 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin de 1,5sn sonrasında aşıldığı tespit edilmiştir.

Adana ili özelinde bakıldığında hem yatay hem de düşey yönlerde ivme talepleri yalnızca 2018 yönetmeliği dikkate alınarak hesaplanan elastik tasarım ivmelerini genelde yüksek periyot değerlerinde aşmıştır. İldeki yapı stoğunun büyük bir çoğunluğunun 2018 öncesi

inşa edildiği göz önünde bulundurulduğunda şehirde fazla hasar gözlenmemesi Şekil 9 ve Şekil 10 tabanlı yapılan çıkarımlarla paraleldir.



Şekil 9. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ Depreminde Adana ilinde meydana gelen İvme Taleplerinin İvme Tasarım Spektrumlarıyla Karşılaştırılması (İstasyon: 0118)



Şekil 10. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ Depreminde Adana ilinde meydana gelen İvme Taleplerinin İvme Tasarım Spektrumlarıyla Karşılaştırılması (İstasyon: 0118)



Şekil 11. Deprem sonrası Çukurova ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü (HGM Küre)

Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen ardıl depremler sonrasında, Adana’da meydana gelen hasarların büyük bir çoğunluğu kritik çerçeve elemanlarından ziyade kaplamalar ve bölme duvarlarda görülmüştür. Dış cephe çatlakları ve bölme duvar ayrılmalarını gösteren örnekler Şekil 12’de sunulmaktadır.



Şekil 12. Adana’da gözlemlenen dış cephe çatlakları ve bölme duvar ayrılımları

Bununla beraber dükkanların bulunduğu alt katlarda zayıf kat problemine bağlı olarak kolon bağlantı noktalarında mafşallaşma örnekleri de tespit edilmiştir. Kolon bağlantı mafşallaşma örneği Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13. Adana’da gözlemlenen zemin kattaki kolonda mafsallaşma

Depremden etkilenen diğer illere nazaran, sayıları daha az olmasına rağmen Adana’da da tamamen göçen binalar bulunmaktadır (Şekil 14). Açıklanan veriler ışığında Adana’da toplamda 34 bina yıkılmış veya acil yıkım kararı alınmıştır. Toplam yıkık, acil yıkılacak ağır hasarlı bina sayısı ise 51 olarak verilmiştir. Diğer illerle kıyaslandığında daha az sayıda binanın yıkılmış olması Şekil 9 ve Şekil 10 ile ilgili yapılan çıkarımları doğrular niteliktedir.



Şekil 14. Adana’da tümüyle yıkılan binaların enkaz görüntüleri

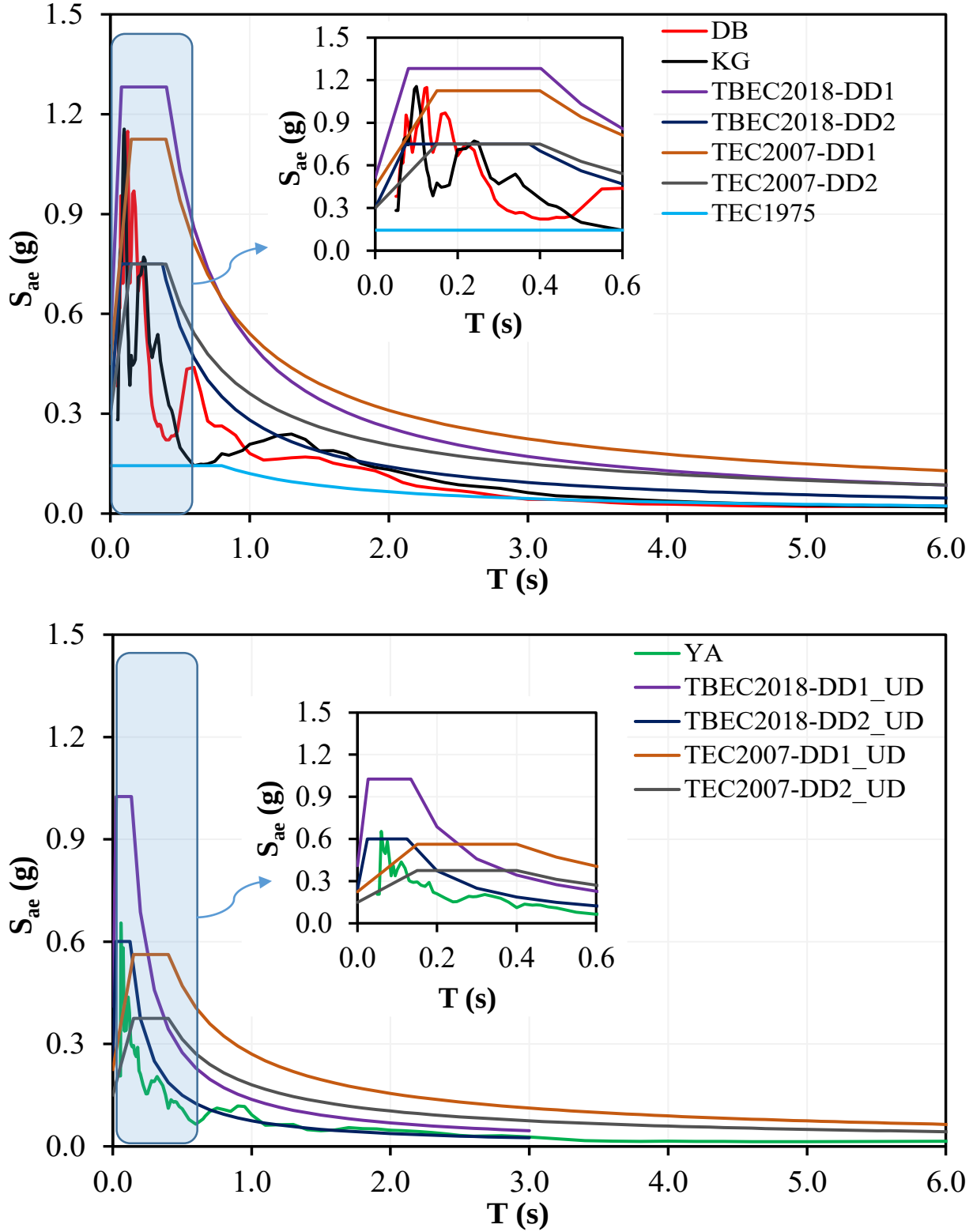
2.2. Adıyaman İlindeki Hasarlar

2.2.1. Yapısal Hasarlar

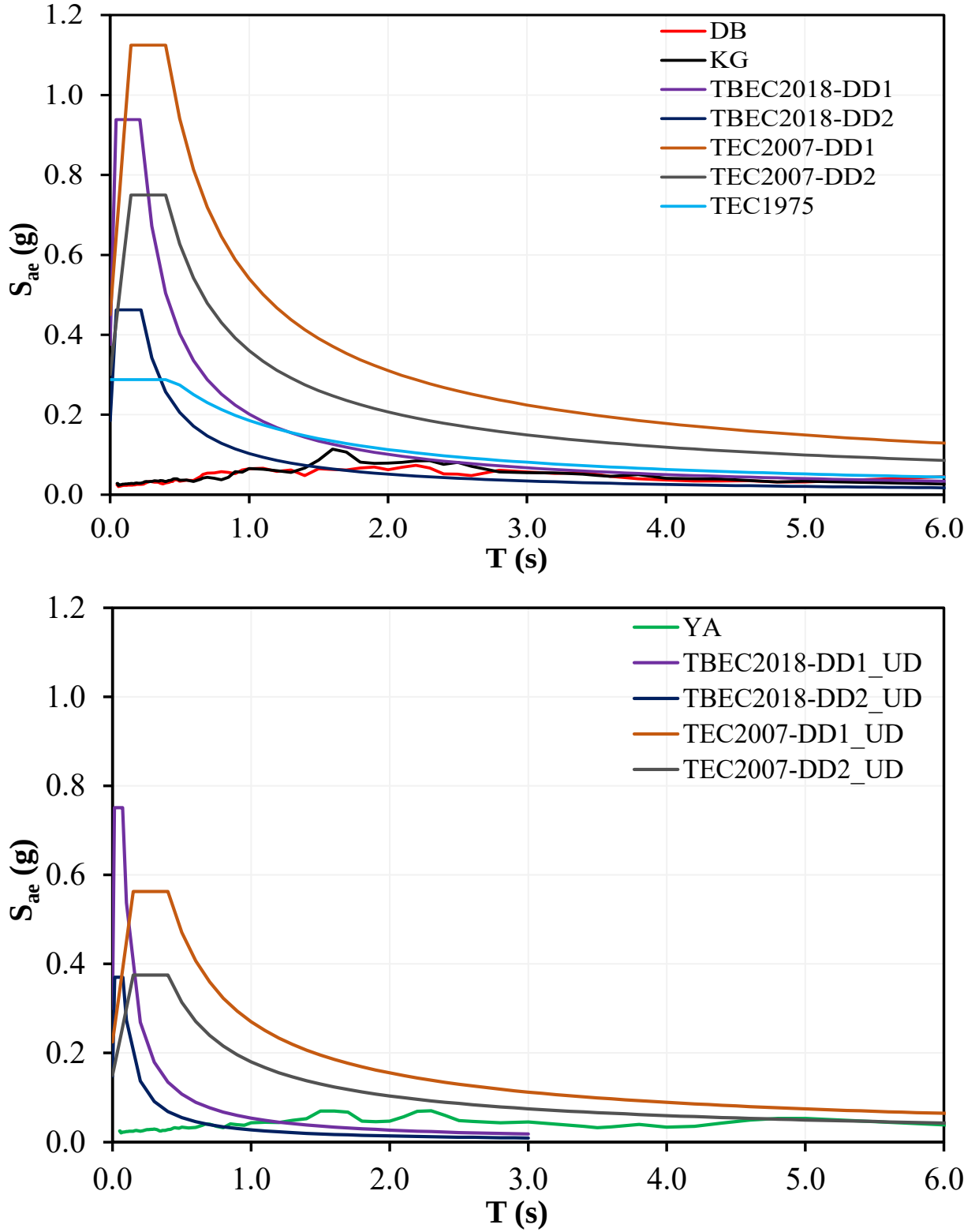
Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen ardıl depremler sonrasında Adıyaman ilinde oluşan ivme değerleri Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilmiştir (İstasyon : 0201, $V_{s30} = 391\text{m/sn}$, ZC yerel zemin sınıfı). Yer ivmesi değerlerinin spektrum verileri sırasıyla Şekil 15 ve Şekil 16'de verilmektedir. Şekil 15'den açıkça anlaşılabileceği üzere, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen deprem esnasında, Adıyaman ilinde meydana gelen ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerini K-G yönünde incelediğimizde 0,07-0,115 s periyotları arasında aşmaktadır. Periyot 0,1 s olduğunda etki eden deprem yükü 1,15g'dir. Bu oran 2007 ve 2018 elastik deprem tasarım değerinin yaklaşık 1,55 katıdır. D-B yönünde bakıldığında zaman, 0,07-0,2s periyotları arasında deprem yükü, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliğindeki tasarım değerlerini en yüksek deprem değeri yine 1,15g olacak şekilde aşmıştır. Buradan anlaşılabileceği üzere bir veya iki katlı binalarda hâkim olan periyotların aşılma periyot değerlerine denk gelmesi nedeni ile bazı bir veya iki katlı binalar Pazarcık merkezli depremde, tasarımın yaklaşık 1,5 katı deprem yüküne maruz kalmıştır. Ayrıca, düşey yönde gelen deprem kuvvetlerine bakıldığında zaman, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliğine göre 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerine sahip binalara gelen deprem yükleri, tasarım değerlerini 2018 yönetmeliğine göre neredeyse hiç aşmamış olmasına rağmen, 2007 yönetmeliğindeki değerleri çok kısa periyotlarda aşmış ama rijitlik kaybeden binalardaki etkisi sonradan normal değerlerin altına inmiştir. Pazarcık merkezli bu depremde 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip 2007 ve 2018 yönetmeliğine göre tasarım spektrumunun bazı kısa periyotlar hariç neredeyse hiç aşmadığını ve aşılma miktarın güvenlik katsayısı ile bertaraf edilebileceği düşünüldüğünde standartlarına uygun yapılan okul, hastane vb. yapıların depremde sonra hemen kullanılabilir olması gerekmektedir. Aksi olduğu durumda sebeplerini yapılmış ihmal olarak değerlendirmek gerekir. Özellikle meydana gelen ilk deprem sonrasında Adıyaman ili ve ilçelerinde de binlerce yapı tamamen göçmüştür (Şekil 17).

Şekil 15 ve Şekil 16'da özetlendiği üzere, Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen deprem esnasında, Adıyaman ilinde meydana gelen ivme talepleri 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan elastik tasarım ivme değerlerinin oldukça altında kalmaktadır. Bu nedenle, Adıyaman ilinde meydana gelen hasarın büyük bir ölçüde ilk deprem neticesinde oluştuğu ön görülmektedir.

TÜİK verilerine göre Adıyaman'daki inşa edilen binaların %32,3'ü 2001 yılından önce yapılmıştır. Nervürlü demirin 2000'li yıllarda kullanılmaya başlandığı ve beton kalitesinin yine bu yıllarda iyileştirildiğini göz önüne alacak olursak. Yine Adıyaman'da depremde yıkılan binaların büyük bir çoğunluğu eski yapı (1999 öncesi) olduğu göz önüne alındığında ve bu yapıların 1975 deprem şartnamesine göre tasarlandığı düşünüldüğünde kalitesiz beton ve nervürsüz demir ile beraber zamanla betonun çürümesi, yorulması, demirin korozyona uğrayarak beton ile bağının zayıflaması, etriyelerin sıklaştırma bölgesinde seyrek kullanılması ve beton ile kanca yöntemi ile yeteri kadar bağ kuramamasından dolayı, üstelik bu depremde 1975 deprem yönetmeliğindeki tasarım deprem yüklerinin aşılmasından dolayı bu binaların toptan göçmesi olayı gerçekleşmiştir.



Şekil 15. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ depreminde Adıyaman ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması



Şekil 16. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ depreminde Adıyaman ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması



Deprem sonrası Adıyaman/Merkez ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü

Şekil 17. Deprem sonrası Adıyaman ilindeki hasar dağılımının havadan görüntüleri (HGM Küre)

Pazarcık merkezli depremde ve ardından Elbistan merkezli depremlerde Adıyaman ilinde çok sayıda bina yıkılmış veya ağır hasar almıştır. İlçe bazında baktığımız zaman oransal olarak en fazla etkilenen ilçeler Sincik, Tut, Gölbaşı, Çelikhan ve Merkez ilçeleridir. Adıyaman’da yıkılan binaların büyük çoğunluğu 1999 öncesi yapılmış olup eski yapılardır. Üstelik bu yapıların tasarımında kullanılan 1975 deprem yönetmeliğindeki deprem tasarım değerlerinin de aşıldığını, kalitesiz ve denetimsiz eski yapıları da göz önünde bulunduracak olursak sonuç yorumlanabilmektedir. Hasarın en fazla Sincik, Gölbaşı, Çelikhan almasındaki temel sebebin, bu ilçelerin Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunmaları olarak yorumlanabilir. Özellikle Sincik’te fazla hasar olmasının sebebi 2020 Adıyaman Sincik ve Elazığ’da meydana gelen depremlerde binaların hasar olması olarak yorumlanabilir. Gölbaşı’nda hasarın büyük olmasının sebebi ise, yapısal eksiklikler ile birlikte deprem esnasında ilçe genelinde zeminlerinin sıvılaşmış olmasıdır. Sıvılaşmanın su seviyesi yüksek olan alüvyon zeminlerde olduğunu göz önüne alarak, hasarın zeminin zayıf olmasından ve depremin merkezine ve DAFZ’una yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Adıyaman merkezde hasarın fazla olmasının sebebi öncelikle yapılaşmanın nispeten daha eski olması ve 3, 4 kattan fazla yapıların inşa edilmesi ve bazı mahallelerde zeminin zayıf olması olarak yorumlanabilir. Bu çıkarımlar ışığında sahadaki yapısal hasarlar daha detaylı bir şekilde bu kısımda incelenecektir.

Yapıların basen etkisine maruz kalması da zemin kaynaklı önemli bir etkidir. Altı sert üstü yumuşak topraktan oluşan bazı zeminlerde deprem sönümlenemediği, kırılma ve yansımalarla sebep olup deprem süresini ve etkisini artırarak zemin taşıma kapasitesini düşürdüğü düşünüldüğünde, basen etkisinin özellikle bu deprem sonrası dataalar incelenerek detaylı araştırılması gereken bir konu olduğu ve yönetmelikte önemli yer tutmasını gerekliliği ortaya çıkmıştır. Deprem sonrası saha gözlemlerinde aynı veya çok benzer zemine konumlandırılmış yan yana olan iki binanın birinin ağır hasar alıp diğerinin az hasar ile depremi sönümlemesi, bazı binaların deprem yönetmeliğine uygun veya aşırı tasarım (overdesign) diğer ağır hasar alan binanın da aldığı deprem kuvvetine göre ya deprem yönetmeliğine uygun veya yapısal kusurlu bina yapıldığını göstermektedir (Şekil 18).



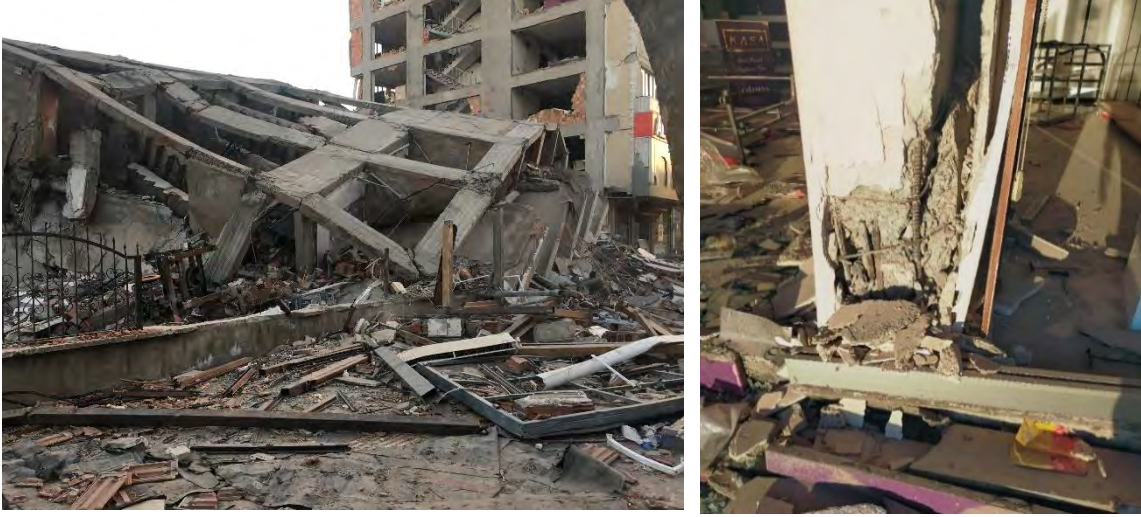
Şekil 18. Aynı zemin koşullarında hasar gören ve görmeyen yapılara örnekler

Ülkemizde genellikle konutlarda, özellikle merkez ve işlek yollar üzerindeki konutlarda, altına dükkan ve mağaza gibi ticarethaneler yapmak adına, ilk zemin katın yüksekliği nisbeten diğer katlara göre uzun yapıldığından ve buralarda reklam ve pazarlama adına dolgu duvar kullanılmadan cam, PVC, vb. rijitliği nispeten çok az olan malzemeler kullanılmasından kaynaklı merkezlerdeki cadde üzerindeki bir çok binanın yumuşak veya zayıf kat sebebi ile yıkılmasına anlam verilebilmektedir (Şekil 19). Yine, bu ve benzeri depremlerde az da olsa ticarethanelerin içerisinde daha geniş bir alan oluşturmak adına bazı kolonların kesildiği tespitlere geçmiştir. Bunların çok caydırıcı cezalar ile önüne geçilmesi kanun ile güvence altına alınması tavsiyelerimiz arasındadır.



Şekil 19. Zemin katı ticarethane olan, yumuşak kat kaynaklı yıkımlara örnekler

Normal betonarme binalarda yapı elemanları kolon, kiriş, perde ve döşeme elemanlarından oluşmaktadır. Bina tasarımında genel mantık binanın sünek olması, belli oranda rijit olması ve faktörlü olacak şekilde dayanıma sahip olmasıdır. Sünek olması ve yeteri kadar dayanımı olması enerjiyi absorbe etmesi bakımından önemlidir. Belli oranda rijit olması kesme çatlaklarından ve ikincil momentten gelen yükleri almamak adına önemlidir. En fazla enerji sönümlenmesinin meydana geldiği kolon ile kiriş birleşim noktalarındaki kolonların, üstündeki bütün yükleri taşıması ve binanın stabilizesini sağlayan yapı elemanı olması bakımından sağlam kalması, üzerinde yer alan kirişlerin ise mafsallaşması gerekir. Bu olaya kısaca “zayıf kiriş-güçlü kolon” tasarımı ismi verilmektedir. Burada kolon, kiriş ve döşeme betonlarının beraber döküldüğünü düşünecek olursak, kiriş güçlü olduğu eksende döşemeyi de güçlendirmektedir. Üstelik bazı büyük döşeme açıklıklarını geçmek için döşeme ve kiriş derinlikleri artırılmaktadır. Bu şekilde güçlü kiriş-zayıf kolon sorunu ortaya çıkmaktadır. Kahramanmaraş merkezli bu depremlerde, bu durumun yıkıcı bir sorun olduğu gözlenmektedir (Şekil 20).



Şekil 20. Taşıyıcı sistem hasarlarına örnekler

Yıkılan ve hasar alan binalar incelendiğinde kullanılan donatıların eski yapı olmasından dolayı düz donatı olduğu, sıklaştırma bölgesinde kullanılan donatıların çok seyrek ve 135° yerine 90° büküldüğü, yine boyuna donatılarda sarmalama yetersizliği, korozyon etkisi ile kabuk atması ve boyuna kullanılan donatı çapının onluk veya on ikilik olmasından dolayı burkulmalar olduğu gözlemlenmiştir. Üstelik kolon altlarında bindirmenin az olması ve filiz demirleri ile üst betonun arasındaki adezyonun (kabuk atmasından dolayı) tam olarak sağlanamaması sebebi ile dışa gelen kolonlarda sıyrılmalar oluşmuştur.

Kırsal yapı hasarları birçok sebebe dayandırılabilir. Bunlarda genel olarak sorun, yükü aktaran elemanların arasında yeteri kadar adezyonun olmaması, malzeme kalitesinin yeterli olmaması ve zeminin göreceli oturmasına yapı elemanlarının mukavemet gösterememesi gösterilebilir (Şekil 21). Briket kullanılan taşıyıcı duvarların bir kısmında çatı ile briket arasında hatıl kullanılmamasından dolayı, çatı yükünün noktasal olarak briket aktarılması dikine çatlamaya sebep olmuştur. Ayrıca, briketler ile duvar örülürken çaprazlama yönteminin bazı duvarlarda uygulanmaması, yine dikine zayıf kesit oluşup çatlamasına sebep olmuştur. Briketlerin arasında kullanılan malzeme de kesme ve eğilme yüklerini aktarmada önem arz etmektedir.

Bazı yığma yapılarda, çatının ağır olması da yapısal duvarlara zarar vermiştir. Özellikle kerpiç olan evlerde çatı yükü depremde önemli hasarlara sebep olmaktadır. Üstelik taşıyıcı duvarlarda çimento yerine çamur kullanılması, duvarda korozyona sebep

olmakta ve duvar elemanlarının arasının açılarak yapıların depremde hasar almasına sebep olmaktadır.

Önceki depremlerde de saptandığı üzere donatılı olan yığma yapılar donatısız olanlara göre daha az hasara maruz kalmışlardır. Buradan yola çıkarak yığma yapılarda belli oranlarda ve şekillerde donatı kullanımı zorunlu hale getirilmesi önerilmektedir.



Şekil 21. Yığma yapılarda gözlenen çatı hasarı

2.2.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde yüksek su seviyesi ve alüvyon zeminlerin varlığı, özellikle sıvılaşma kaynaklı hasarların dikkat çekecek şekilde çok olmasına yol açmıştır. Şehir merkezindeki düzlükte yer alan yapıların neredeyse tamamının yapısal hasar göstermeseler bile oldukça yüksek miktarda oturmalar maruz kaldığı görülmektedir. Benzer şartlarda yapıldığı düşünülen, ancak dağın yamaçlarına doğru yapılan yapılarda ise oturma vb. hasara rastlanmamıştır.

Gölbaşı/Adıyaman'da yer alan yüksek katlı yapı temellerinde ve yapılarda, yapısal bir hasar olmamasına rağmen, temel zeminlerinde meydana gelen sıvılaşma sebebi ile yapıların rijit bir şekilde zemin içerisine gömüldüğü görülmüştür. Şekil 22'de bu şekilde oturma yapan iki farklı bina örneği görülmektedir. Bu binaların daha yakından görüntüleri Şekil 15 ve 16'da sunulmaktadır. Bu şekillerden de görüleceği üzere, temel çevresindeki zeminler yanıl deformasyonlar ile birlikte gözle görülebilecek şekilde oturmalar maruz kalmışlardır.



Şekil 22. Sıvılaşma sebebi ile temel zeminlerinde oturmalar görülen binalar (Adıyaman - Gölbaşı)



Şekil 23. Sıvılaşma sebebi ile binalarda oluşan yanıl deformasyonlar ve oturmalar 1
(Adıyaman - Gölbaşı)



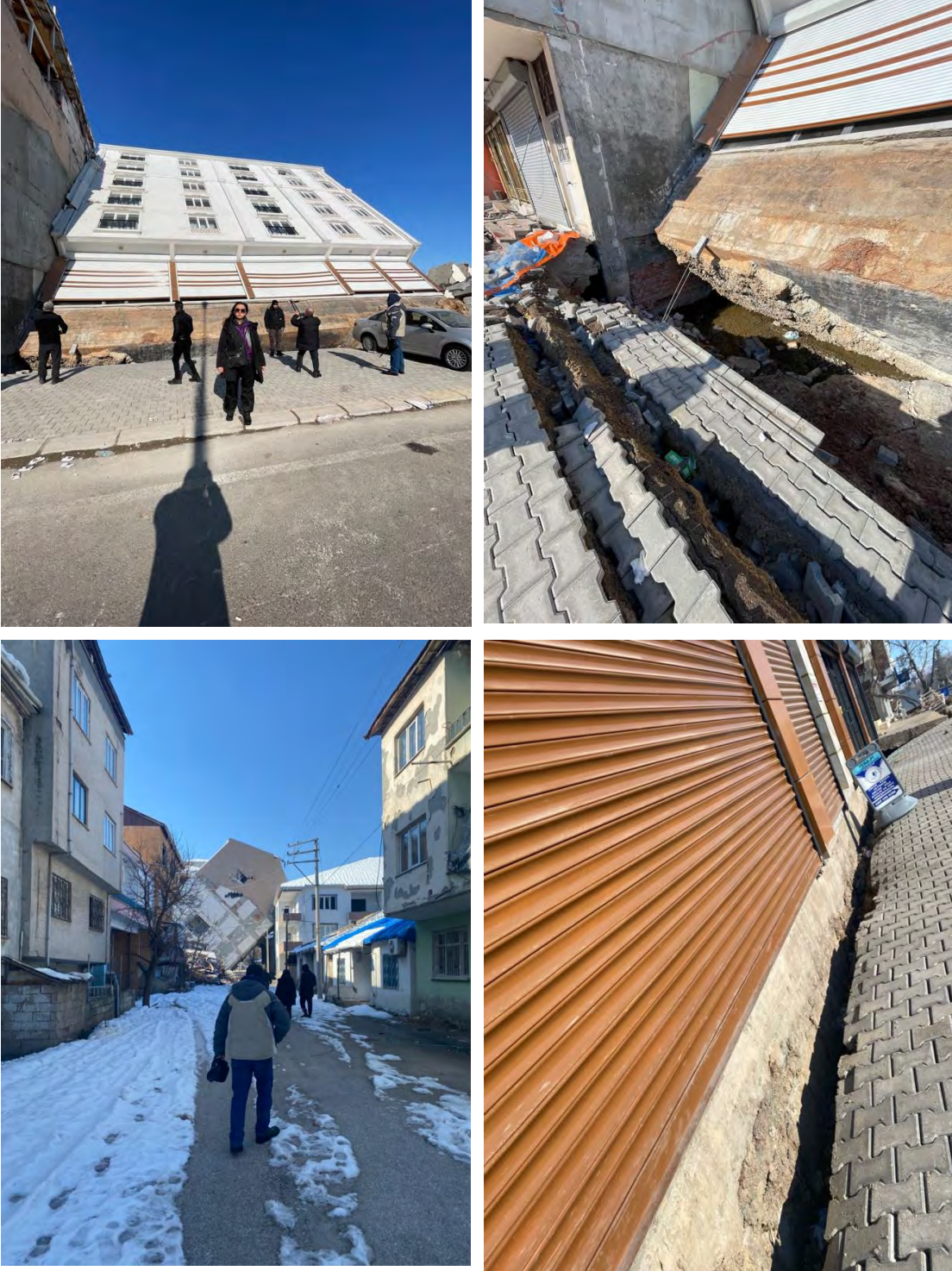
Şekil 24. Sıvılaşma sebebi ile binalarda oluşan yanal deformasyonlar ve oturmalar 2
(Adıyaman - Gölbaşı)

Yukarıdaki fotoğraflara benzer şekilde, Şekil 25’de sunulan yine yüksek katlı bir binada yaklaşık bir kat yüksekliğinde oturmalar görülmektedir. Binada yapısal anlamda herhangi bir hasar görülmemiştir ve binanın düzgün bir şekilde oturma yaptığı gözlenmektedir.



Şekil 25. Sıvılaşma sebebi ile binalarda oluşan yanıl deformasyonlar ve oturmalar 3
(Adıyaman - Gölbaşı)

Yapısal elemanlarında herhangi bir kırılma olmadan tamamen temeli üzerinde arkaya doğru yatan bina Şekil 26’ de görülmektedir. Bu şekilden de anlaşılacağı üzere, bu binanın temeli yaklaşık 80 cm kalınlığında bir radye temeldir. Bina arkasında bulunan daha alçak katlı bir binanın üzerine devrilerek tamamen yıkılmaktan kurtulmuştur. Bu şekilde sağ altta bulunan fotoğraf, aynı cadde üzerinde bu binaya komşu (bitişik nizam) binaların temel bölgelerini göstermektedir. Bu fotoğraftan da anlaşılacağı üzere, bu bölgedeki zeminler sıvılaşmış, bina temellerinin oturmasına ve aynı zamanda temel çevresindeki zeminlerin de şişerek kabarmasına yol açmıştır. Kaldırım ile birleşik olan temellerdeki ayrılımlar fotoğrafta net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 26. Sıvılaşma sebebi ile binalarda görünen devrilme ve temel çevresi zeminlerde kabarmalar (Adıyaman - Gölbaşı)

Gölbaşı merkezinde farklı yüksek katlı binalarda görülen oturmalara ait fotoğraflar aşağıdaki şekilde sunulmaktadır.



Şekil 27. Çeşitli bina oturma örnekleri (Adıyaman – Gölbaşı)

Şekil 28’de görülen yeşil renkteki bina oturma sebebi ile eğildiği için, normalde bitişik olduğu binadan ayrılmıştır. Bu binadaki oturma miktarı alttaki fotoğrafta net bir şekilde anlaşılmaktadır. Bu fotoğraftan da görüleceği üzere merdivenle çıkılan giriş kapısı şu anda neredeyse bir kat aşağıya inmiş durumdadır.



Şekil 28. Binalarda oturma kaynaklı birbirinden ayrılma örneği

Şekil 29’de yer alan yanal ötelenmeler geniş bir alanı kapsamaktadır. Bu yanal ötelenmelerde çatlak genişlikleri 20 cm’lere kadar yükselirken, oturma miktarları 40 cm mertebelerindedir. Bu alanın önünde yer alan binanın da temelini oturduğu hem arka hem de ön taraflarında da yüksek miktarda oturmaların olduğu gözlenmiştir.



Şekil 29. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde gözlemlenen bina oturma ve yanıl deformasyon örnekleri

Yine aynı şekilde merkezde yer alan 6 katlı bir binanın da temelini bir tarafa doğru daha fazla oturduğu, ve binanın eğildiği görülmektedir (Şekil 30).



Şekil 30. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde bina oturma ve eğilme örneği

Bu binaların etrafında ya da bahçelerinde önemli miktarda kum kaynamaları görülmüştür. Örnek kum kaynamaları Şekil 31’de sunulmaktadır.



Şekil 31. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde gözlemlenen kum kaynamaları

Yüksek katlı binalarda görünen oturmalarla benzer şekilde az katlı yapılarda da oturmalar, yanal deformasyonlar ve kum kaynamaları gözlenmiştir (Şekil 31).



Şekil 32. Sıvılaşma sebebi ile binalarda görünen yanal deformasyon, oturma ve eğilmeler

Bu bölgede alınan sıvılaşmış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlara göre bölgedeki zeminlerin kötü derecelenmiş, düşük silt oranına sahip kohezyonsuz kum olduğu belirlenmiştir.

Adıyaman ili Gölbaşı ilçesinde, eskiden mağara olduğu öğrenilen bir bölgede Şekil 33’de görülen büyük bir kaya kütleşi düşerek yolu kapatmıştır.



Şekil 33. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi – Kaya düşmesi

Gölbaşı ilçesinde görülen demir yolu raylarında görülen eğilme ve yol kenarı şevlerinde muhtemelen sıvılaşma kaynaklı olduğu düşünülen deformasyonlar Şekil 34’de gösterilmektedir.



Şekil 34. Adıyaman ili Gölbaşı ilçesi – Tren rayları ve çevresi

Malatya – Adıyaman yolu güzergahında, özellikle Adıyaman/Gölbaşı ilçesine yaklaştıkça yollarda meydana gelen çatlaklar ve yol kenarlarındaki istinat yapılarındaki hasarların daha fazla olduğu gözlenmeye başlamıştır. Bu hasarların genel sebebinin, zeminlerde meydana gelen sıvılaşma olduğu göze çarpmaktadır.



Şekil 35. Malatya – Adıyaman yolu, hasarsız taş duvar ($37,92570^{\circ}\text{N}$ $37,90257^{\circ}\text{E}$)



Şekil 36. Malatya – Adıyaman yolu, ankrajlı istinat yapısı ($37,90435^{\circ}\text{N}$ $37,81127^{\circ}\text{E}$)

Malatya – Adıyaman yol güzergahında, Erkenek tünelleri giriş portalında Şekil 37’de de görüldüğü üzere herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Ancak 10 Şubat 2023 tarihi itibari ile

tünelde ulaşımın tek yönlü sağlanmaktaydı ve Adıyaman-Malatya yönünün trafiğe kapalı idi. Trafiğe açık olan Malatya – Adıyaman yönünde ise tünel içerisinde, kaplama panellerinin ve büyük taş bloklarının düşmüş olduğu (Şekil 38) görülmüştür.



Şekil 37. Malatya – Adıyaman yolu, Erkenek tünelleri girişi



Şekil 38. Malatya – Adıyaman yolu, Erkenek tünelleri, Malatya – Adıyaman yönü

Aynı yol güzergahında, Erkenek tünelleri çıkışından hemen sonra, koordinat noktaları Şekil 39’da verilen bölgede, zeminde sıvılaşma kaynaklı deformasyonlar (yanal ötelenme ve oturmalar) gözlenmiştir. Bu alanda çatlakların genişliklerinin 15-20 cm mertebelerine, derinliklerinin 30 cm’ye kadar ulaştığı görülmüştür.



Şekil 39. Malatya – Adıyaman yolu, sıvılaşma sebepli hasarlar (37,86523°N
37,77102°E)

Yine bu bölgede, taş duvarlarda da büyük deformasyonlar görülmektedir (Şekil 40 ve Şekil 41).



Şekil 40. Malatya – Adıyaman yolu, istinat yapılarındaki hasarlar (37,86346°N 37,76782°E)



Şekil 41. Malatya – Adıyaman yolu, yol üzerinde ve istinat yapısında hasarlar
(37,82373°N 37,67904°E)

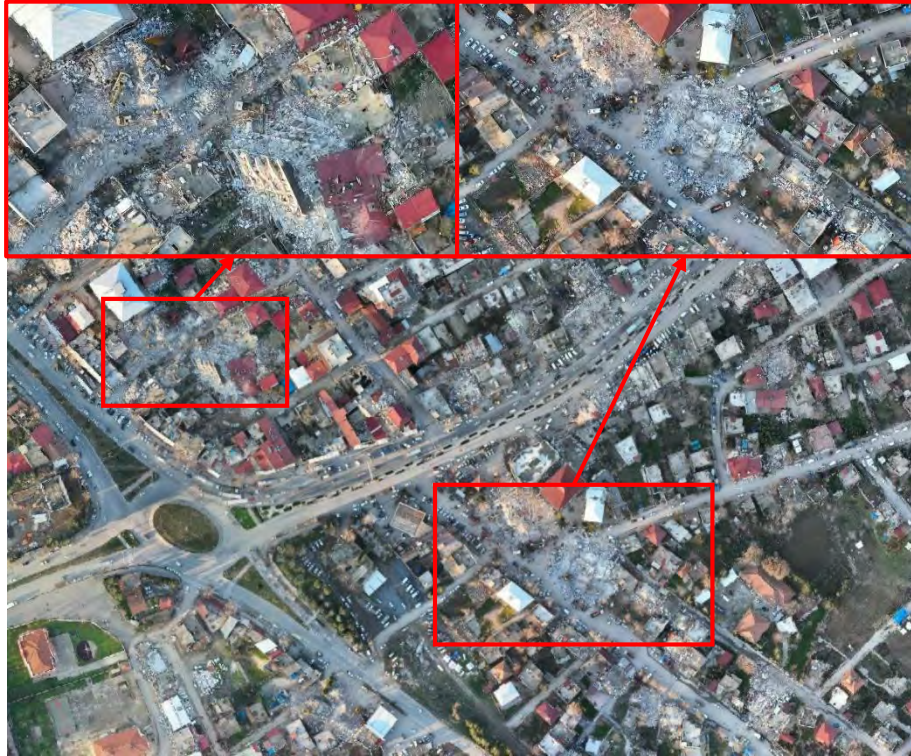
2.3. Gaziantep İlindeki Hasarlar

2.3.1. Yapısal Hasarlar

Gaziantep ili 2021 TÜİK verilerine göre Türkiye'nin yüzölçümü bakımından 51. ili olup nüfusa göre en büyük 9. ilidir. TÜİK tarafından 2021 yılında yapılan araştırma sonuçlarına göre Gaziantep ilindeki binaların %32,5'i 2000 yılı ve öncesi binalar, %51,6'sını ise 2001 yılı ve sonrası binalar oluşturmaktadır. Kat sayısına göre ise toplam bina sayısının %9'u tek katlı, %23,7'si iki katlı, %16,2'si üç katlı, %51,2'si ise 4 ve daha fazla katlı binalardan oluşmaktadır. Gaziantep ili TC İmar ve İskân Bakanlığınca 1972'de yürürlüğe konan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre II-IV deprem bölgeleri içerisinde bulunurken TC Bayındırlık ve İskân Bakanlığınca 1996 yılında yenilerek yayınlanan Deprem Bölgeleri Haritasına göre I-IV deprem bölgeleri içerisinde bulunmaktadır. Deprem Bölgeleri Haritası son olarak 2018 yılında güncellenmiş, 1 Ocak 2019 tarihinde "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" olarak yürürlüğe konulmuştur. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip depremlerin Gaziantep ili için oluşturabileceği en büyük yer ivmesi değeri 0,1g ile 0,6g arasında değişmektedir.

Gaziantep ili 06 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Pazarcık ve Elbistan merkezli depremlerden etkilendiği gibi, Pazarcık merkezli depremden 11 dk sonra Gaziantep ili Nurdağı ilçesinde gerçekleşen $M_w=6,6$ büyüklüğündeki artçı depremden de etkilenmiştir. Meydana gelen depremler diğer yakın illerde olduğu gibi Gaziantep ili ve ilçelerinde de yüzlerce yapının yıkılmasına veya hasar almasına neden olmuş, can ve mal kayıplarının yaşanmasına yol açmıştır. Gaziantep ilinde deprem etkisinin en fazla gözlemlendiği noktaların başında daha önceki yönetmeliklere göre birinci derece deprem bölgesi içerisinde yer alan Nurdağı (Şekil 42) ve İslahiye (Şekil 43) ilçeleri gelmektedir. Bu etkinin gözlemlenmesinde en önemli faktörlerden biri olarak meydana gelen depremlerin odaklarının ilçe merkezlerine uzaklığının olduğu düşünülebilir. Pazarcık merkezli $M_w=7,7$ deprem Gaziantep'in sınırının kuzeyinde kalmakla beraber Nurdağı ve İslahiye ilçe merkezlerine sırasıyla 29 km (245°) ve 46 km (231°) uzaklıkta bulunmaktadır. Nurdağı merkezli $M_w=6,6$ büyüklüğündeki artçı deprem Nurdağı ve İslahiye ilçe merkezlerine sırasıyla 20 km (229°) ve 40 km (219°) uzaklıktadır. Elbistan merkezli $M_w=7,6$ büyüklüğündeki deprem diğerlerine oranla Gaziantep iline daha uzak kalmakla beraber Nurdağı ve İslahiye ilçe merkezlerine sırasıyla 110 km (203°) ve 130 km (204°) uzaklıktadır.

Gaziantep ilindeki depremin yıkıcılığını artıran en önemli faktörlerden bir diğeri ise zemin etkisidir. Gaziantep İl Afet Azaltma Planı'nda (IRAP Gaziantep, 2021) 200 metreyi geçen çakıl, kum ve killerden oluşan alüvyonların Nurdağı ilçesinin kuzeydoğusundan başlayıp Nurdağı, İslahiye ve Hatay sınırlarına kadar ulaştığından bahsedilmektedir. Aynı zamanda bu alanlarda yer altı suyu seviyesinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Yapılaşmanın yoğun olduğu bu ilçelerde zeminin zayıf olması ve yer altı suyu seviyesinin yüksek olması depremin şiddetini artırmıştır (IRAP Gaziantep, 2021).



Şekil 42. Deprem sonrası Nurdağı ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü (HGM Küre)

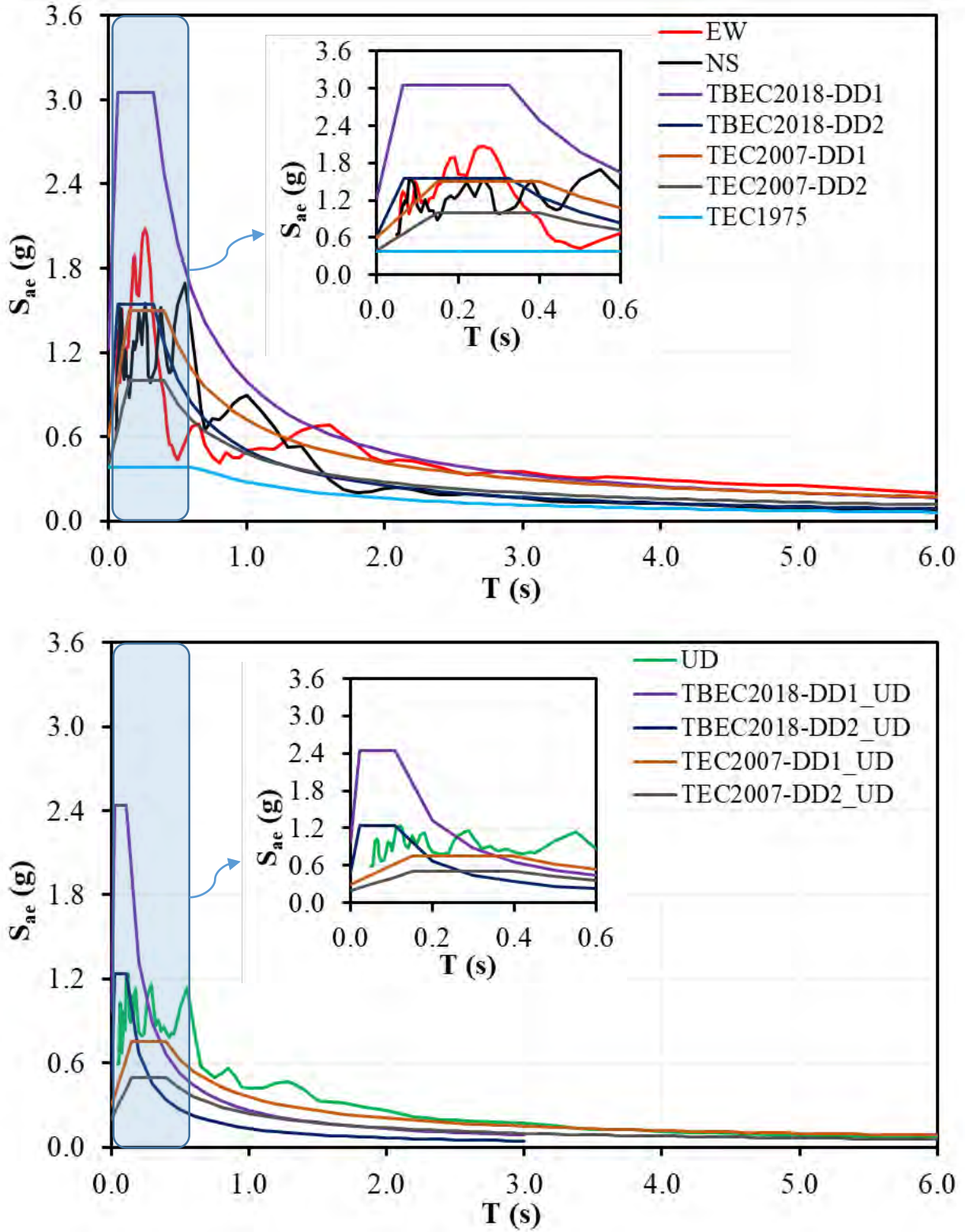


Şekil 43. Deprem sonrası Islahiye ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü (HGM Küre)

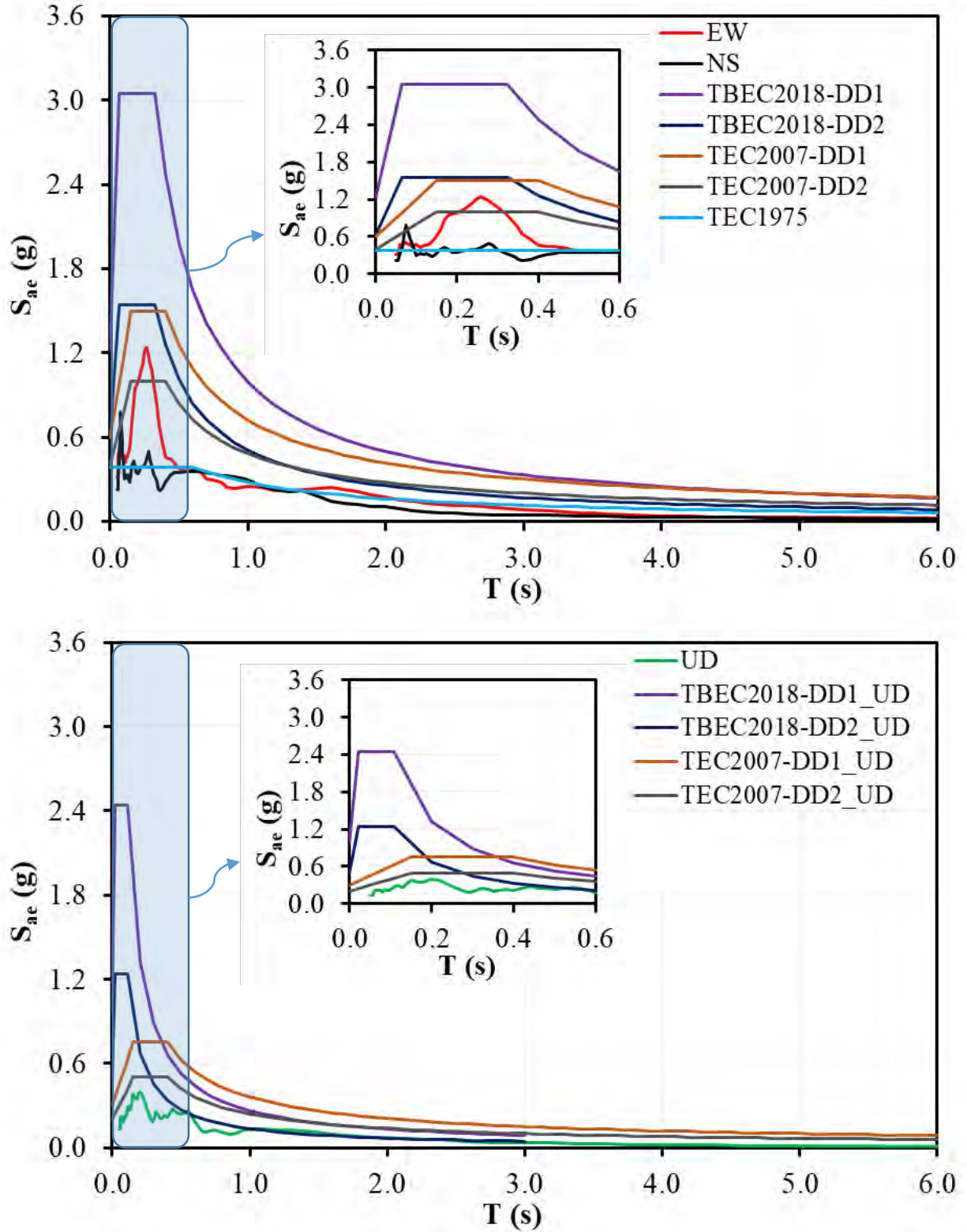
Pazarcık ($M_w=7,7$), Nurdağı ($M_w=6,6$) ve Elbistan ($M_w=7,6$) merkezli depremler sonrasında Gaziantep ilinde oluşan ivme değerleri Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilmiştir (İstasyon: 2718). Pazarlık, Nurdağı ve Elbistan merkezli depremlerin ivme değerlerini kaydeden 2718 kodlu istasyon Pazarlık merkezli ve Elbistan merkezli depremlerin odak noktasına uzaklığı sırasıyla yaklaşık 48 km ve 132 km uzaklıktadır. Pazarlık merkezli depremin ardından gerçekleşen $M_w=6,6$ büyüklüğündeki artçı depremin odak noktasına uzaklığı ise 42 km'dir. Bu istasyonda Pazarlık merkezli depremde kaydedilen maksimum yer ivmesi yatay yönde 702 cm/s^2 iken düşey yönde 585 cm/s^2 'dir. Nurdağı merkezli $M_w=6,6$ büyüklüğündeki artçı depremde kaydedilen maksimum yer ivmesi yatay yönde 309 cm/s^2 iken düşey yönde 130 cm/s^2 'dir. Elbistan merkezli $M_w=7,6$ büyüklüğündeki depremde dolayı oluşan maksimum yer ivmeleri diğer iki depremde dolayı oluşan maksimum yer ivmelerine oranla daha küçük olmakla beraber, yatay yönde 51 cm/s^2 düşey yönde ise 22 cm/s^2 'dir.

Yer ivmesi değerlerinin spektrum verileri Şekil 44, Şekil 45 ve Şekil 46'de verilmektedir. Şekil 44'den açıkça anlaşılacağı üzere, Kahramanmaraş ilinin Pazarlık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen deprem esnasında, Gaziantep ilinde meydana gelen yatay yöndeki ivme değerleri 1975 ve 2007 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma

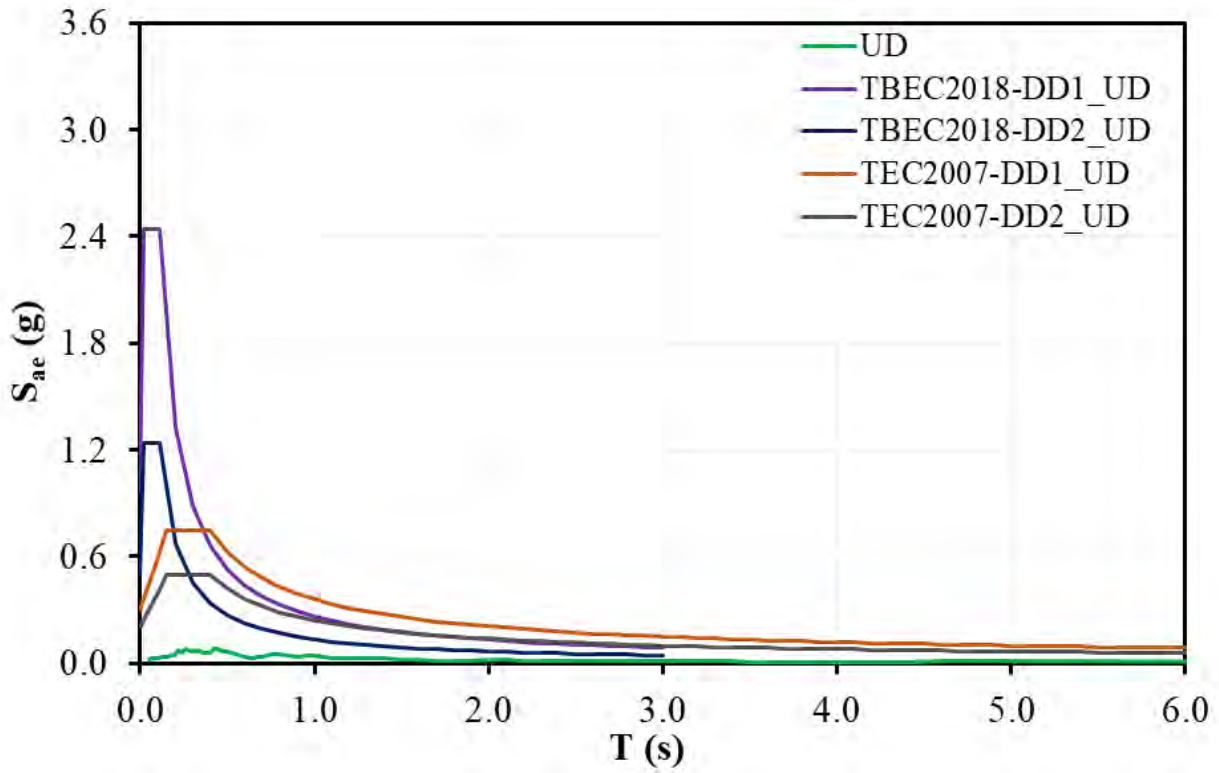
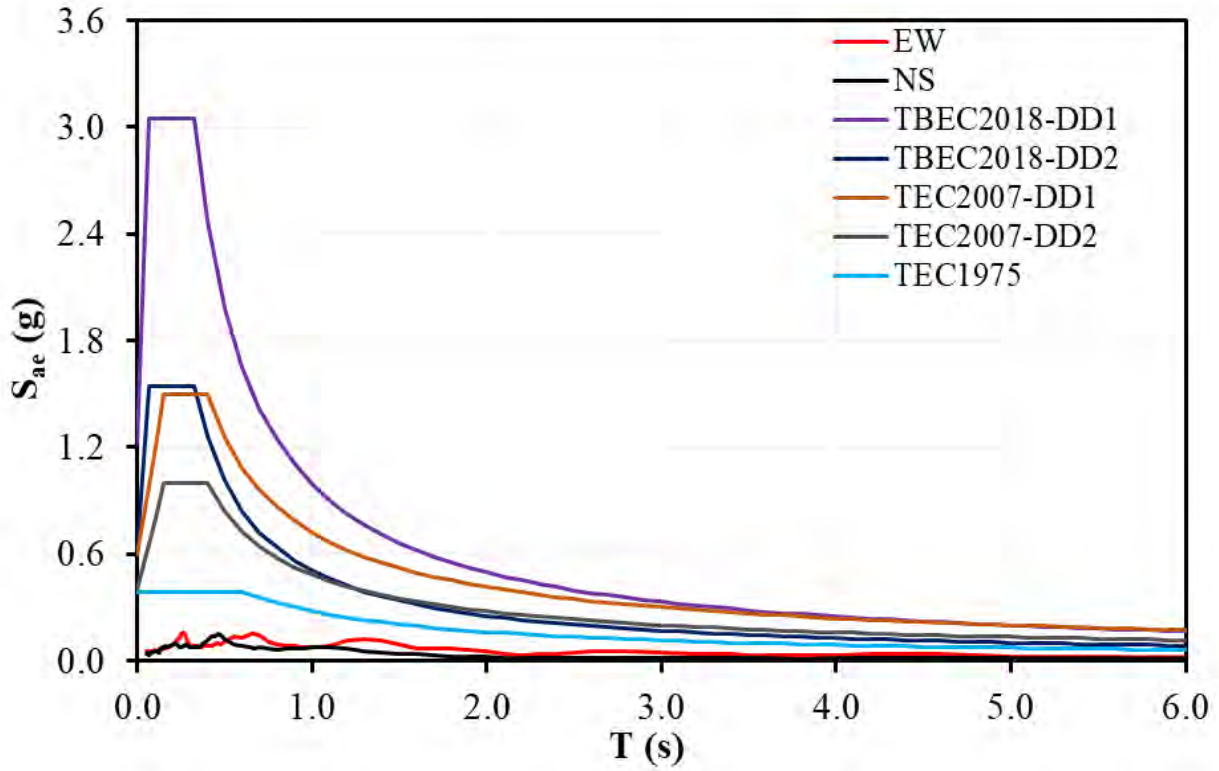
periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerini neredeyse her periyot değeri için aşmaktadır. Diğer taraftan 2018 yönetmeliğine göre hazırlanan elastik tasarım ivme değerleri, 1975 ve 2007 deprem yönetmeliklerine göre daha iyi tahminlerde bulunmasına rağmen depremde meydana gelen ivme değerlerinin bir kısmının altında kalmaktadır. Ayrıca, düşey yöndeki ivme talepleri 2007 deprem yönetmeliğine göre hazırlanan 475 ve 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip tasarım ivme değerlerinin neredeyse her periyot değeri için üzerinde kalmaktadır. 2018 deprem yönetmeliğine göre hazırlanan düşey yöndeki elastik tasarım ivme değerleri $0,3s_n$ 'den yüksek periyot değerlerinde ivme taleplerini karşılayamamaktadır (yaklaşık 2 kat). Gaziantep ili Nurdağı ilçesinde ($M_w=6,6$) meydana gelen deprem esnasında Gaziantep ilinde meydana gelen ivme değerleri ile deprem yönetmeliklerine göre hazırlanan tasarım ivme değerleri Şekil 45'de verilmiştir. Yatay yöndeki ivme talepleri 1975 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekerrür periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerini neredeyse her periyot değeri için aşmaktadır. Diğer taraftan 2007 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerini sadece $0,20s_n-0,31s_n$ aralığında aşmaktadır. 2018 deprem yönetmeliğine göre hazırlanan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerleri, depremde oluşan ivme değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Ayrıca, Nurdağı merkezli depremin düşey yönde oluşturduğu deprem ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre hazırlanan elastik tasarım ivme değerlerinin altında kalmaktadır. Son olarak, Şekil 46'de gösterildiği üzere Elbistan ilçesinde ($M_w= 7,6$) meydana gelen deprem esnasında, Gaziantep ilinde meydana gelen yatay ve düşey yönlerdeki ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine göre hazırlanan elastik tasarım ivme değerlerini aşmamaktadır. Sonuç olarak, gerçekleşen bu depremler nedeniyle, 2019 yılı öncesi yapılan deprem sonrası hemen kullanımda kalması için tasarlanan bazı okul, hastane, vb. binaların dahi tasarım ivme değerlerinin üzerinde ivme değerlerine maruz kaldığı söylenebilir.



Şekil 44. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7.7$ depreminde Gaziantep ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması (İstasyon: 2718)



Şekil 45. Nurdağı (Gaziantep) $M_w=6,6$ depreminde Gaziantep ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması (İstasyon: 2718)



Şekil 46. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w=7,6$ depreminde Gaziantep ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması (İstasyon: 2718)

Gaziantep ilinde yıkılan binaların büyük bir kısmı 2 kat ve üzeri betonarme binalardan oluşmaktadır (Şekil 47). Aynı zamanda yıkılan yığma yapılar ile de karşılaşmıştır (Şekil 48). Yıkılan binalarında enkazlarında yapılan incelemeler sonucunda yıkılan binaların düşük kalitede beton dayanımına sahip oldukları, düz donatıların sıyrıldıkları, kolonlarındaki düz donatının oranının yetersizliği ve yetersiz sıklıkta ve çapta kullanılan etriyeler sonucu kolonlarında burkulmaların gözlemlendiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 47. Deprem sonucu yıkılan betonarme binalar



Şekil 48. Deprem sonucu yıkılan briket yığma binalar

Gaziantep ilinde hasar alan betonarme binaların dıştan ilk incelenmesi esnasında göze çapan ilk problemin yumuşak kat düzensizliği olduğu söylenebilir (Şekil 49). Yumuşak kat düzensizliğine giriş katta karşılaşıldığı gibi aynı zamanda da binaların üst katlarında da karşılaşılmıştır. Giriş ve üst katlarda karşılaşılan yumuşak kat düzensizliğinin temel nedenlerinin il nüfusunun hızla artması sebebiyle kaçak yapılaşmanın artması ve yapıların düzgün mühendislik hizmeti almamış olması düşünülebilir. Aynı zamanda fay hattı bölgesi içerisinde kalan binalarda yüzey fay kırığı sonucu ağır yapısal hasarlar oluşmuştur (Şekil 50). Son olarak Şekil 51’de kısa kolon düzensizliği sonucunda binada oluşan hasar gösterilmiştir.



Şekil 49. Yumuşak kat düzensizliği ve ağır çıkmalar sonucunda oluşan hasarlar



Şekil 50. Yüzey fay kırığı sonucu binalarda oluşan hasarlar



Şekil 51. Kısa kolon etkisi sonucunda oluşan hasarlar

2.3.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular

Gaziantep şehir merkezinde yıkımların az olduğu görülmektedir. Şehir merkezine yakın köylerde ise birkaç tane yıkılmış tek katlı bina gözlemlenmiştir. Depremlerin neden olduğu mağara göçmeleri, şev kaymaları ve kaya düşmeleri hem şehir merkezinde hem de yakın çevresinde mevcuttur (Şekil 52). Sıvılaşma potansiyeli olan alanlarda sıvılaşma gözlenmemiştir. Gaziantep Kalesi'nin surları, meydana gelen iki depremle ağır hasar görmüş, ancak ciddi bir tahribata rastlanmamıştır.



Şekil 52. Deprem sonrası şev kaymaları

Gaziantep’in çevresindeki Nurdağı ve İslahiye ilçelerindeki zeminler üzerinde geoteknik ve kütle hareketlerine ilişkin olarak yapılan incelemeler neticesinde sahada gözlemlenen değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Nurdağı ilçesi, özellikle fayın birincil etkisi olan yüzey yırtılmalarından doğrudan etkilenmiştir. İlçenin batısında yüzey faylanması nedeniyle evlerde büyük hasarlar (Şekil 53), yol güzergahlarından büyük deformasyonlar ve oturmalar meydana gelmiştir (Şekil 54).

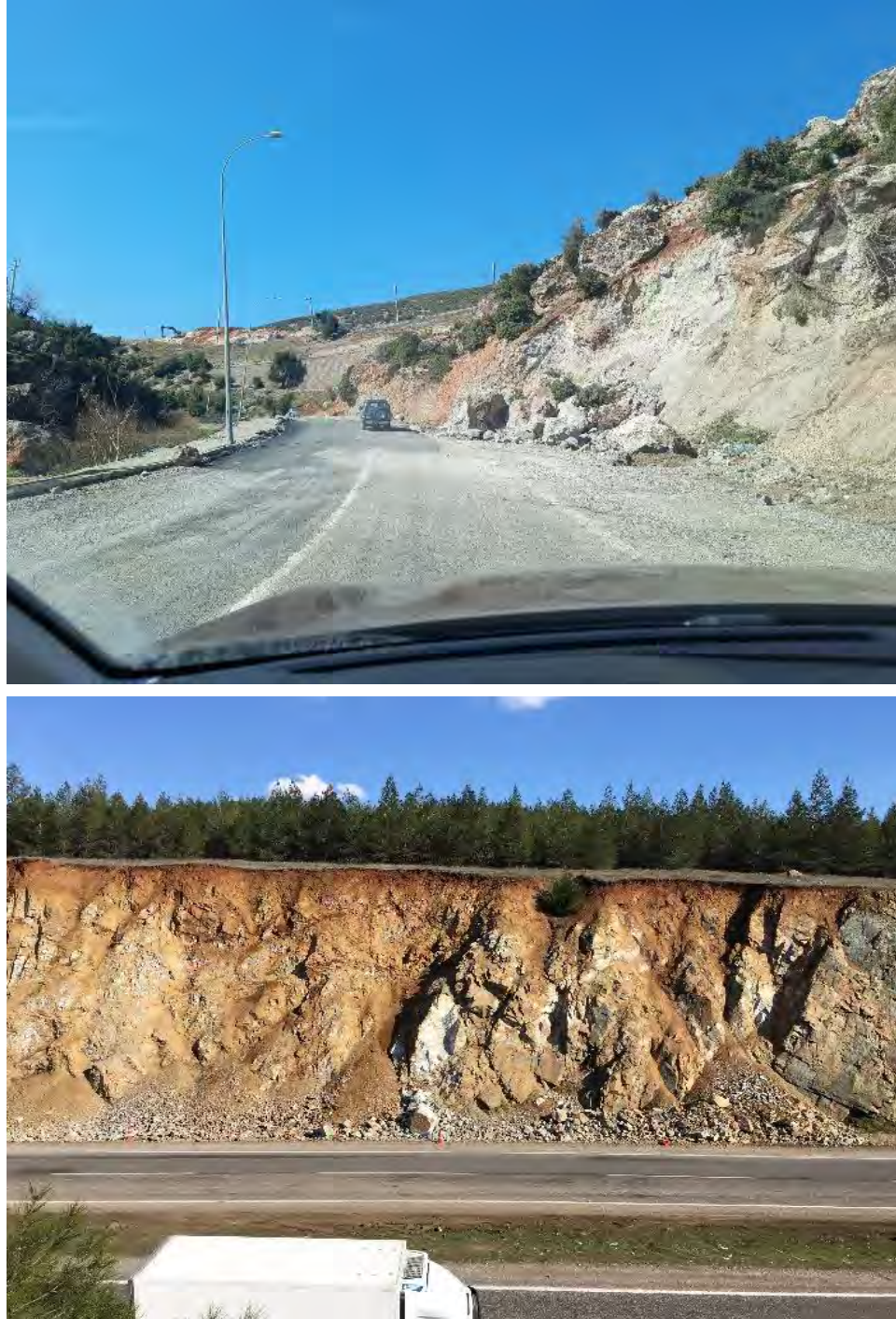


Şekil 53. Yüzey faylanması nedeniyle evlerde oluşan büyük hasarlar



Şekil 54. Nurdağ ilçesinde yol güzergahında yüzey faylanması nedeniyle büyük deformasyonlar ve oturmalar

Gaziantep'in Nurdağı ilçesi, Belpınar mahallesi mevkiinde Kahramanmaraş- Gaziantep (D825) anayolu geçkisinde ve köy yollarındaki şevlerde yamaç molozu akması ve kaya düşmesine bağlı kütle yenilmelerine rastlanmıştır (Şekil 56).



Şekil 55. Nurdağı bölgesinde yamaç molozu akması ve kaya düşmesine bağlı kütle yenilmeleri vakaları

Nurdağı'nın doğusundaki Gaziantep Osmaniye yolu (D400) üzerindeki şevlerde kaya düşmesine bağlı kütle yenilmelerine rastlanmıştır (Şekil 56).



Şekil 56. Nurdağı çevresinde yol güzergahında kaya düşmesi problemleri

Nurdağı ilçesi, özellikle fayın birincil etkisi olan yüzey yırtılmalarının ve ikincil etkilerinden doğrudan etkilenmiştir (Şekil 56).

Gaziantep'in İslahiye ilçesi, Fevzipaşa mahallesindeki demiryoluna paralel şevlerde kaya düşmesine bağlı kütle yenilmelerine rastlanmıştır (Şekil 57). Ayrıca yine aynı güzergah üzerindeki su kanalı boyunca istinat yapısı yanal yayılmaya bağlı olarak yaklaşık 150 m boyunca kanala doğru yıkılmıştır (Şekil 58).



Şekil 57. Fevzipaşa mahallesinde yol ve dere kanalı boyunca kaya düşmeleri



Şekil 58. Islahiye'nin Fevzipaşa mahallesinde dere kanalı boyunca yanal yayılmalara bağlı hasarlar

Fevzipaşa mahallesindeki tren garında yüzey faylanması etkisiyle demiryolunda deformasyonlar meydana gelmiş ve tren yolu ve istasyon bölgesi hasar almıştır. İstasyonun doğusundaki yarma boyunca büyük tansiyon çatlakları ve heyelan şeklinde kütle yenilmelerine rastlanmıştır (Şekil 59). Bu şev boyunca belli bir bölümde yer alan istinat yapısı da heyelana bağlı olarak hasar görmüştür (Şekil 60).



Şekil 59. Fevzipaşa tren garı yüzey faylanması ve buna bağlı hasarlar



Şekil 60. İstasyonun doğusundaki yarma boyunca büyük tansiyon çatlakları ve heyelan oluşumları



Şekil 61. Islahiye'nin Arpalı mahallesinde dere kanalı boyunca yanal yayılmalara bağlı hasarlar

2.4. Hatay İlindeki Hasarlar

2.4.1. Yapısal Hasarlar

Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen ardıl depremler sonrasında Hatay ilinde oluşan ivme değerleri Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilmiştir (İstasyon : 3129, $V_{s30} = 447\text{m/sn}$, ZC yerel zemin sınıfı). Yer ivmesi değerlerinin spektrum verileri sırasıyla Şekil 63 ve Şekil 64’da verilmektedir. Şekil 63’den açıkça anlaşılabacağı üzere, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen deprem esnasında, Hatay ilinde meydana gelen ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerini neredeyse her periyot değeri için aşmaktadır. Örneğin, talep ivme değerleri rijitlikleri yüksek bir – iki katlı yığma binalarda yaklaşık $3,0g$ değerlerine kadar ulaşmaktadır. Özellikle meydana gelen ilk deprem sonrasında Hatay ili ve ilçelerinde de binlerce yapı tamamen göçmüştür (Şekil 62).

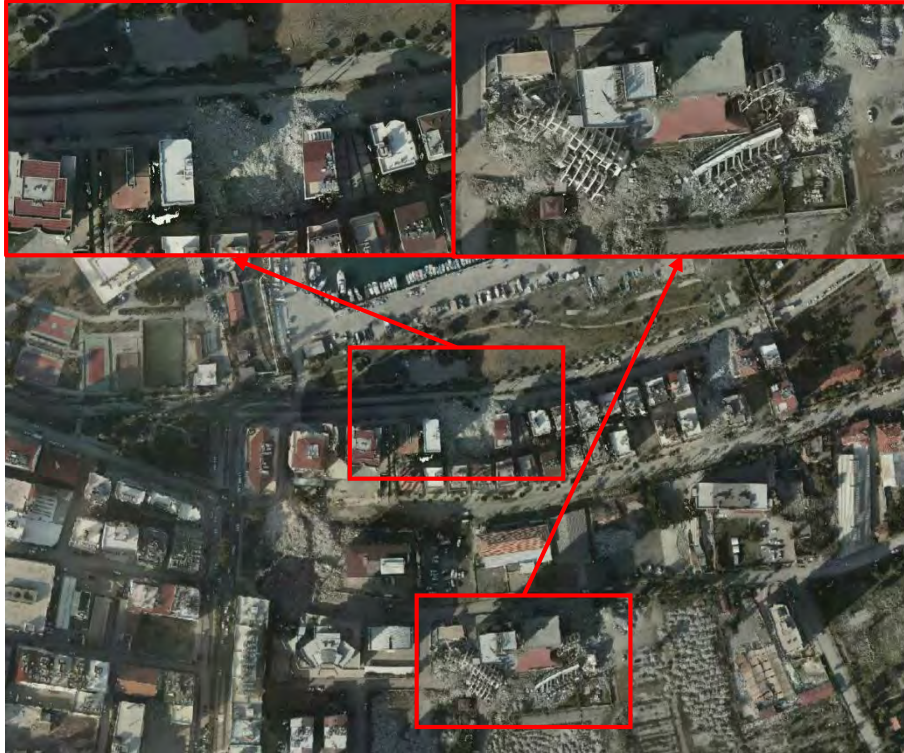
Ek olarak 1-5 kat arasındaki betonarme sistemler ise yaklaşık $2,5g$ ’lik yatay ivmelere maruz kalmıştır. Bu kadar büyük yatay ivmelere maruz kalan sistemlerin hasar aldıkça rijitlikleri azaldığından periyotları uzayacağı aşıkardır. Fakat, periyot uzaması sonucu 5 kata kadar betonarme çerçeve sistemlerin hakim periyot değerlerinin yaklaşık olarak $0,75\text{sn}$ ’lere kadar çıktığı öngörülürse (Çınar vd. 2022) maruz kalınan yatay ivme değerleri yaklaşık $1g$ (D-B) ve $1,75g$ (K-G) değerlerine düşmektedir. Belirtilen değerler farklı yıllarda tasarımda kullanılan (1975, 1997 ve 2018) şartnamelerde öngörülen tasarım ivme değerlerinin oldukça üzerinde kalmaktadır (yaklaşık 2,5 kat). Ayrıca, bu depremde düşey ivme değerleri de yaklaşık $3g$ değerlerine ulaşmaktadır. Bu da yıkımın artmasına neden olmuştur. Çünkü, 1974 – 1998 yılları arasında yürürlükte olan şartnamede düşey yönde ivme göz önünde bulundurulmazken 1998 yılından sonra kullanılan tasarım düşey ivmeleri ise azami $2g$ değerine ulaşmaktadır. Fakat, depremde meydana gelen talepler $3g$ değerine kadar çıkmaktadır. Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ivme talepleri detaylı olarak incelendiğinde 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip tasarım spektrumun da üzerinde kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, deprem sonrası hemen kullanımda kalması için tasarlanan okul, hastane, vb. binaların da tasarım ivme değerlerinin oldukça üzerinde ivme taleplerine maruz kaldıkları söylenmelidir.

Şekil 64’de özetlendiği üzere, Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen deprem esnasında, Hatay ilinde meydana gelen ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018

deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan elastik tasarım ivme değerlerini oldukça altında kalmaktadır. Bu nedenle, Hatay ilinde meydana gelen hasarın büyük bir ölçüde ilk deprem neticesinde oluştuğu ön görülmektedir.

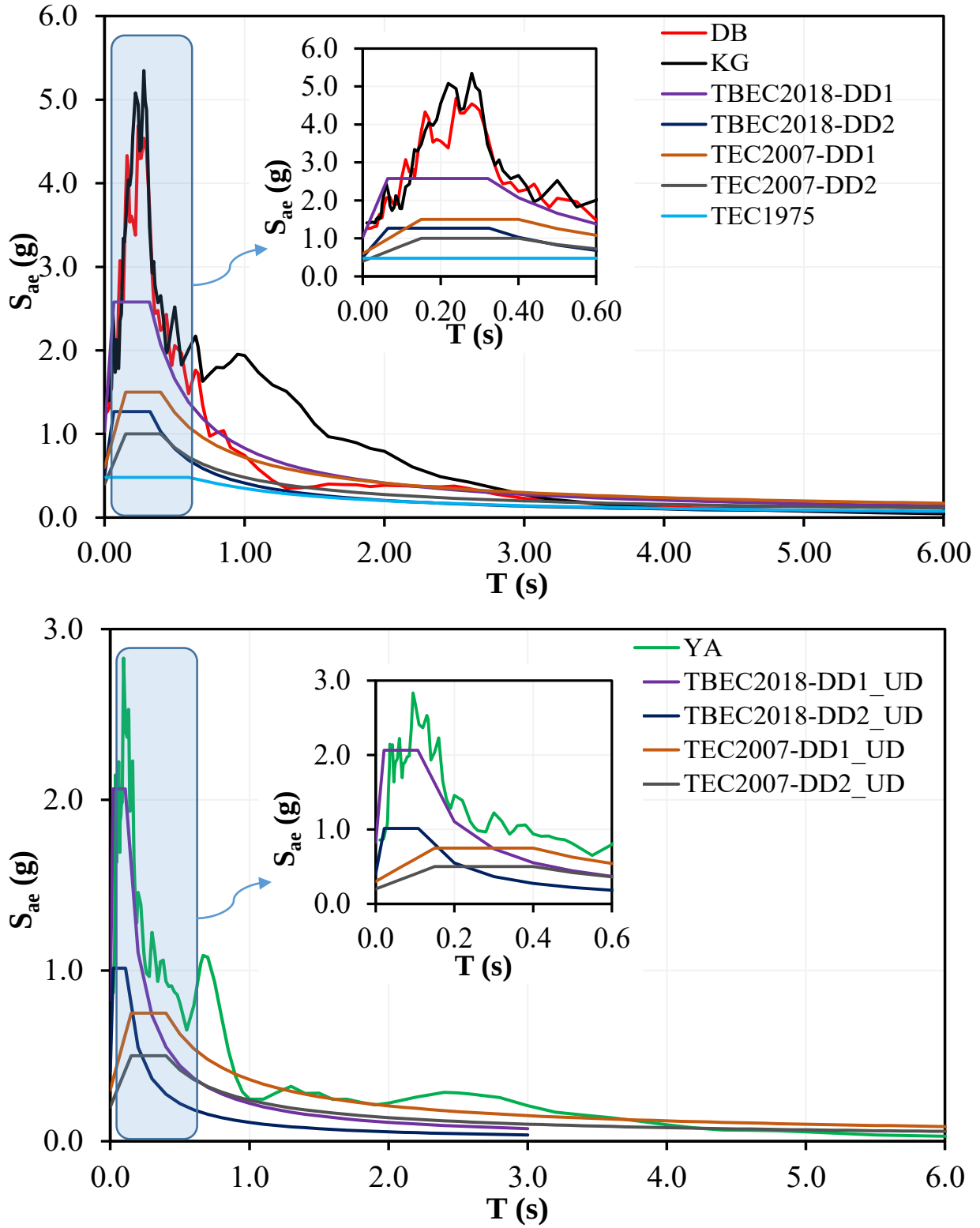


Deprem sonrası Defne ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü

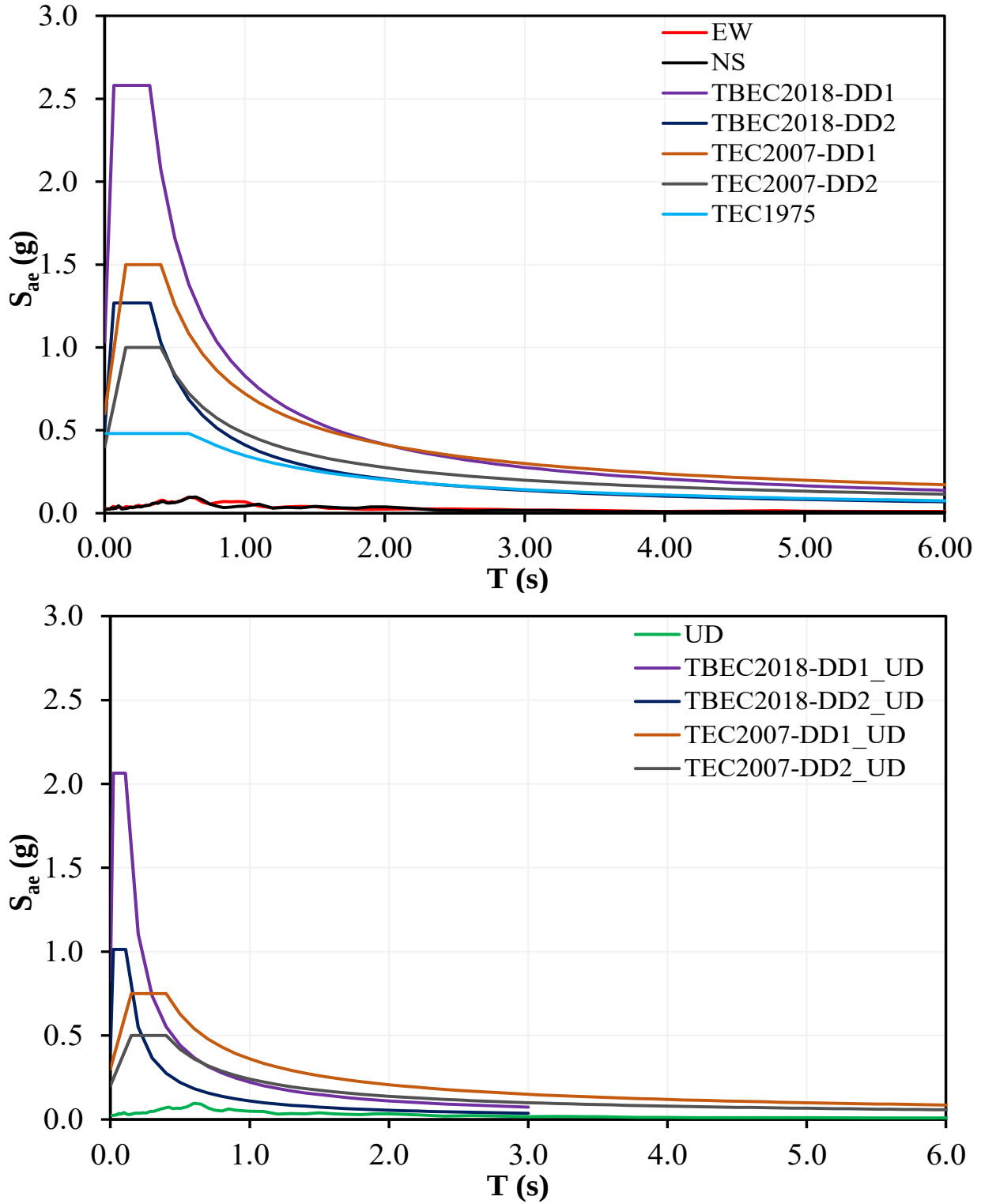


Deprem sonrası İskenderun ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü

Şekil 62. Deprem sonrası Hatay ilindeki hasar dağılımının havadan görüntüleri (HGM Küre)



Şekil 63. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ depreminde Hatay ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması



Şekil 64. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ depreminde Hatay ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması

TÜİK verilerine göre Hatay ilinde 2021 yılı itibariyle 449.151 hane sayısı bulunmaktadır. Binaların inşa yıllarına göre dağılımı Tablo 3’de özetlenmektedir. Tablo 3’den anlaşılaçağı üzere Hatay ilindeki binaların yaklaşık olarak %50’si 2001 yılından önce inşa edilmiştir. Bu nedenle Hatay ili yapı stokunun tasarımında, 1975 yılında yürürlüğe giren deprem şartnamesinin baskın olduğı söylenebilmektedir.

Hatay ilinde yıkılan binaların büyük bir kısmı taş yığma binalardan oluşmaktadır. Bunun temel sebebi, eski bir yapı stoğunu temsil eden taş yığma binaların büyük bir çoğunluğunda harç olarak çamur kullanılması ve deprem esnasında meydana gelen aşırı büyük talep ivmelerinin olduğı düşünülmektedir. Şekil 65’de bu tarz bir bina gösterilmektedir.

Hatay ilinde büyük bir yıkım meydana gelmiş ve oldukça fazla sayıda betonarme bina da yıkılmıştır. Yıkılan binaların göçme mekanizmasının belirlenmesi oldukça zordur. Bunun temel sebebi yıkılan binaların taşıyıcı sistem geometrilerinin ve dağılımlarının belirlenmesinin neredeyse imkânsız olmasıdır. Bu binalar hakkında bilgiye ulaşmak için bina sahiplerinin veya binada oturanların bilgisine başvurulmuştur. Enkazda yapılan incelemeler sonucunda bu binaların şehir merkezinde çoğunlukla dört katlı oldukları, el ile ufalanabilecek kadar düşük kalitede beton dayanımına sahip oldukları, düz donatıların sıyrıldıkları ve yetersiz sıklıkta ve çapta kullanılan etriyeler arasında burkuldukları gözlenmiştir. Şekil 66’de bu tarz bir bina gösterilmektedir. Ayrıca yıkılan binaların çevresinde benzer yapısal özelliklerdeki binaların kimi zaman yapısal hasarsız olarak depremi atlatabildikleri görülmüştür. Bunun temel sebepleri arasında görece olarak az hasar almış binalarda, yapısal kusurların azlığı, işçilik ve yapım kalitesinin daha iyi olması, tasarım gerekliliklerinin daha fazlasının yapısal sisteme eklenmiş olması (overdesign) ve Şekil 63’de belirtilmeye çalışıldığı üzere lokasyonlar arası oldukça farklılık gösteren yer ivmesi talepleri sıralanabilmektedir. Fakat, bu depremde yıkılma sebeplerinden bir tanesinin de deprem taleplerinin tahmin edilen ivme değerlerini oldukça fazla miktarda aşıldığı için meydana gelmiş olma olasılığının da göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle, güncel deprem tasarım ivmelerinin güncellenmesi gerekliliğı aşikârdır.

Hatay ilinde hasar alan betonarme binaların dıştan ilk incelenmesi esnasında göze çapan problemlerin yumuşak kat düzensizliğı ve ağır çıkmaların olduğı söylenebilmektedir. Özellikle ilçe merkezindeki giriş katları işyeri olarak kullanılan birçok binada, bu durum daha sık gözlenmektedir. Bu tip binaların giriş katlarında kat yüksekliklerinin fazla olması ve dış cephelerde dolgu duvar bulunmaması yumuşak kat olarak adlandırılan

düzensizliğinin oluşmasına yol açmıştır. Ayrıca, ağır çıkmanın bulunduğu kat ve üzerindeki katlarda ağır bölme duvar hasarları da gözlemlenmiştir. Ağır çıkmalar bazı binalarda lokal göçmelerin oluşmasına da sebep olmuştur (Şekil 67).



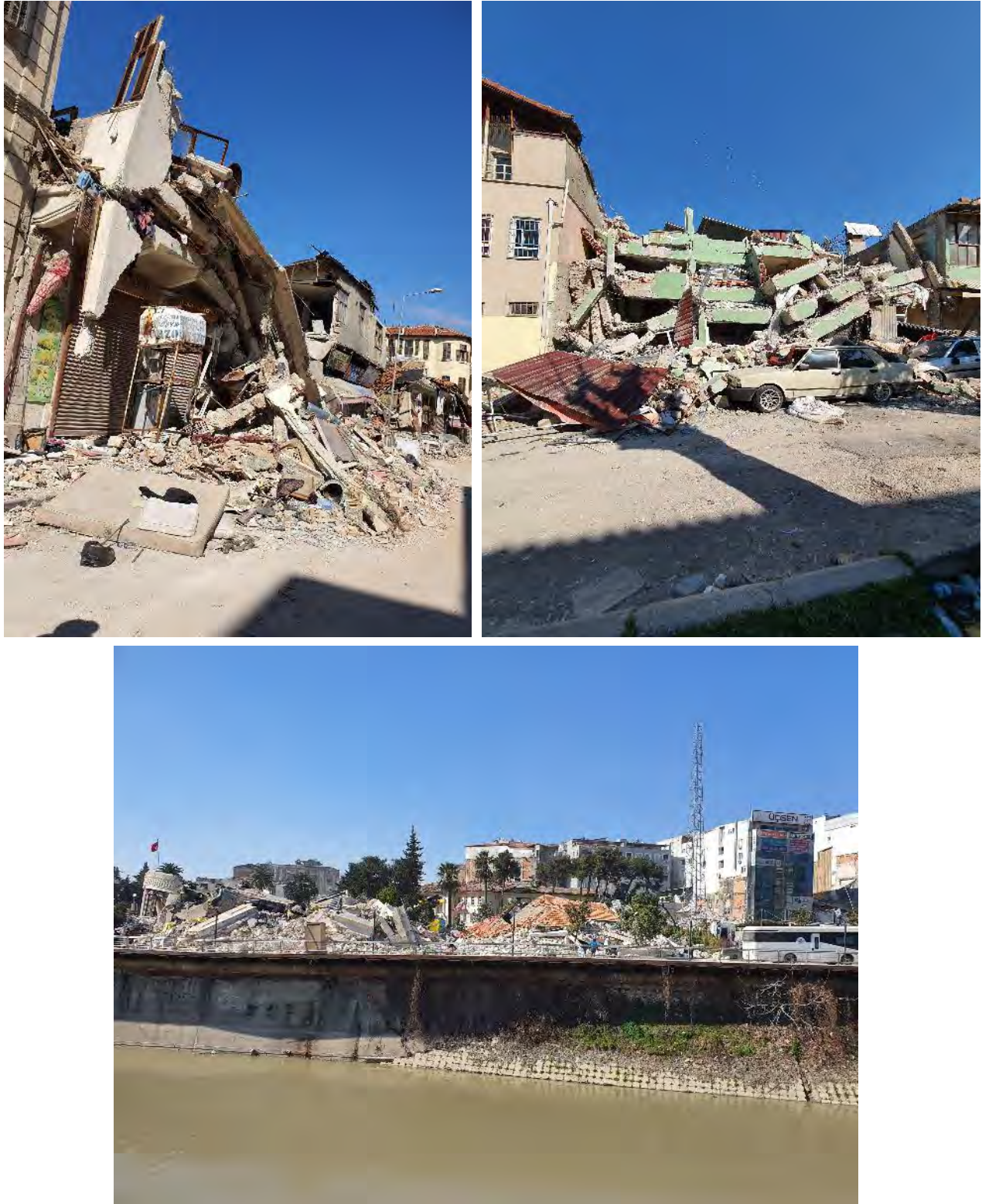
Şekil 65. Hatay ilinde yıkılan taş yığma binalar



Şekil 65. Hatay ilinde yıkılan taş yığma binalar (devam)



Şekil 66. Hatay ilinde yıkılan betonarme binalar



Şekil 66. Hatay ilinde yıkılan betonarme binalar (devam)



Şekil 67. Yumuşak kat düzensizliği ve ağır çıkmalar sonucunda oluşan hasarlar



Şekil 67. Yumuşak kat düzensizliği ve ağır çıkmalar sonucunda oluşan hasarlar (devam)

Türkiye genelinde eski yapılarda sıkça görülen düz donatı ve düşük dayanımlı beton kullanımının Hatay ilinin özellikle Antakya ilçesinde gözlenen hasarlı binalarda öne çıkan kusurlardan olduğu görülmüştür. Bu durumun betonarmeyi oluşturan iki temel malzeme arasında yaratacağı aderans problemi sıklıkla gözlenmiştir (Şekil 68). Bahsedilen aderans probleminin bu durumda daha da önem kazanması kaçınılmazdır.



Şekil 68. Düz donatı kullanımının yarattığı aderans problemleri

Hatay ilinde incelenen betonarme binaların çoğunluğunda merdiven hasarlarının da oldukça yaygın olduğu tespit edilmiştir. Merdiven hasarlarının genellikle binadaki tüm merdivenlerde mafsallaşma olarak göze çarptığı tespit edilmiştir (Şekil 69). Bu hasarlar, yapısal sisteminde ağır hasar olmayan binalara girişleri ve maliklerin eşya taşımak için girişlerini engellemiştir.

Hatay ili İskenderun ilçesinde zemin sıvılaşmasından kaynaklı ağır perde ve kolon hasarları gözlenmiştir (Şekil 70). Bu göçme modunun gevrek olduğu göz önünde bulundurulduğunda binaların ani göçme ihtimallerinin bulunduğu fakat binalarda yeterli veya daha fazla miktarda donatı kullanılması, kaliteli beton kullanılması (Schmidt çekici sonuçları 30 – 35 MPa) ve oldukça fazla miktarda perde duvar olmasından kaynaklı toptan göçme gözlemlenmediği düşünülmektedir. Sadece tevzi donatılarında 90°

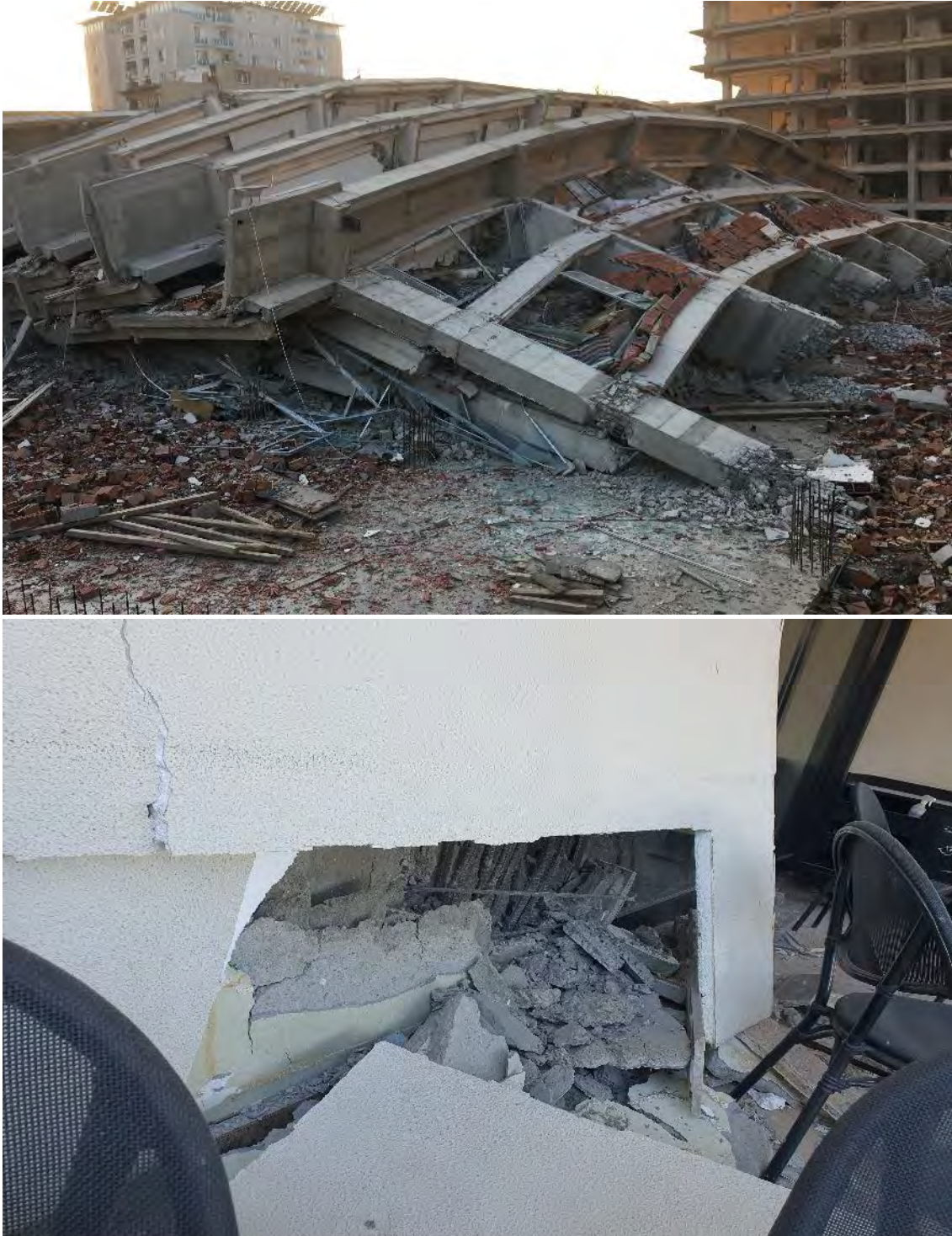
bükülmüş kollar olmasından kaynaklı tevzi donatılarının kabuk betonu ezilmesi veya kopması sonrası işlevlerini kaybettikleri tespit edilmiştir.



Şekil 69. Gözlemlenen merdiven hasarları



Şekil 70. Gözlemlenen perde duvar kesme ve kolon hasarları



Şekil 70. Gözlemlenen perde duvar kesme ve kolon hasarları (devam)

2.4.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular

Hatay ilinin merkezinde olan Antakya karışık bir jeolojik ve tektonik yapıya sahiptir ve sismik olarak çok aktif bir alanda yer almaktadır. Tarihsel süreçte de bölge büyük ve yıkıcı depremler geçirmiştir. Asi nehrinin doğusunda Habibineccar dağının yamacında kurulmuş olan şehir ve daha sonra avüvyal vadi tabanları ve ovalık alan ile Asi nehrinin yaratmış olduğu farklı seviyelerdeki teras dolguları üzerine doğru gelişim göstermiştir. Özellikle alüvyal zeminler Asi ırmağının getirdiği alüvyal dolgular killi, kumlu, siltli ve çakıllı seviyelerden oluşan Kuvaterner yaşlı zayıf zeminlerdir. Yeraltı suyu seviyesi de yüzeye çok yakındır. Özellikle Antakya merkez ve ilçelerinde Asi nehri boyunca yıkımlar büyük olmuş, alüvyal zeminlere bağlı oturmalar ve yanal yayılmalar yapısal hasarı arttırmıştır (Şekil 71 - Şekil 73).



Şekil 71. Hatay'da Asi nehri boyunca alüvyal zeminde oturmalar ve dayanma yapılarında yanal yayılmalara bağlı hasarlar



Şekil 72. Hatay’da Asi nehri boyunca alüvyal zeminde oturmalar ve yanal yayılmalar



Şekil 73. Hatay’da Asi nehri boyunca dayanma yapılarında hasarlar

Hatay merkeze yakın ilçe ve köylerinde, ovada ve Asi ırmağı boyunca yer alan yerleşimlerinde de zemine bağlı oturmalar ve yanal yayılmalar gözlenmiştir (Şekil 74 ve Şekil 75).



Şekil 74. Hatay çevresinde Asi ırmağı boyunca büyük yanal yayılmalar



Şekil 75. Hatay çevresinde Asi ırmağı boyunca büyük yanal yayılmalar ve oturmalar

Hatay ili İskenderun ilçesi sınırları içerisinde yer alan Çay mahallesinde özellikle sismik sıvılaşmaya bağlı kum kaynamaları yoğun olarak görülmüş ve yüzeyde 20-30 cm'ye varan kum birikintileri meydana getirmiştir. Alanda sıvılaşma sebepli bina oturmaları sıklıkla görülmüştür (Şekil 76). Bu bölgede yer alan binalar Gölbaşı/Adıyaman'a göre daha yüksek katlı olmakla beraber, sıvılaşma kaynaklı oturma görülen binalarda herhangi bir yapısal hasar izlenmemiştir (Şekil 77). Yine aynı bölgede sıvılaşmanın etkisiyle ve buna bağlı oturmalar sebebiyle kaldırımdaki taşların da hasar görerek kırıldığı görülmüştür (Şekil 78).



Şekil 76. İskenderun Hatay, sismik sıvılaşmaya bağlı kum kaynamaları ve yüzeye çıkan kum birikintileri



Şekil 77. İskenderun Hatay, sismik sıvılaşmaya olarak yüzeye çıkan kum birikintileri



Şekil 78. İskenderun Hatay, sivilaşmaya bağlı oturma



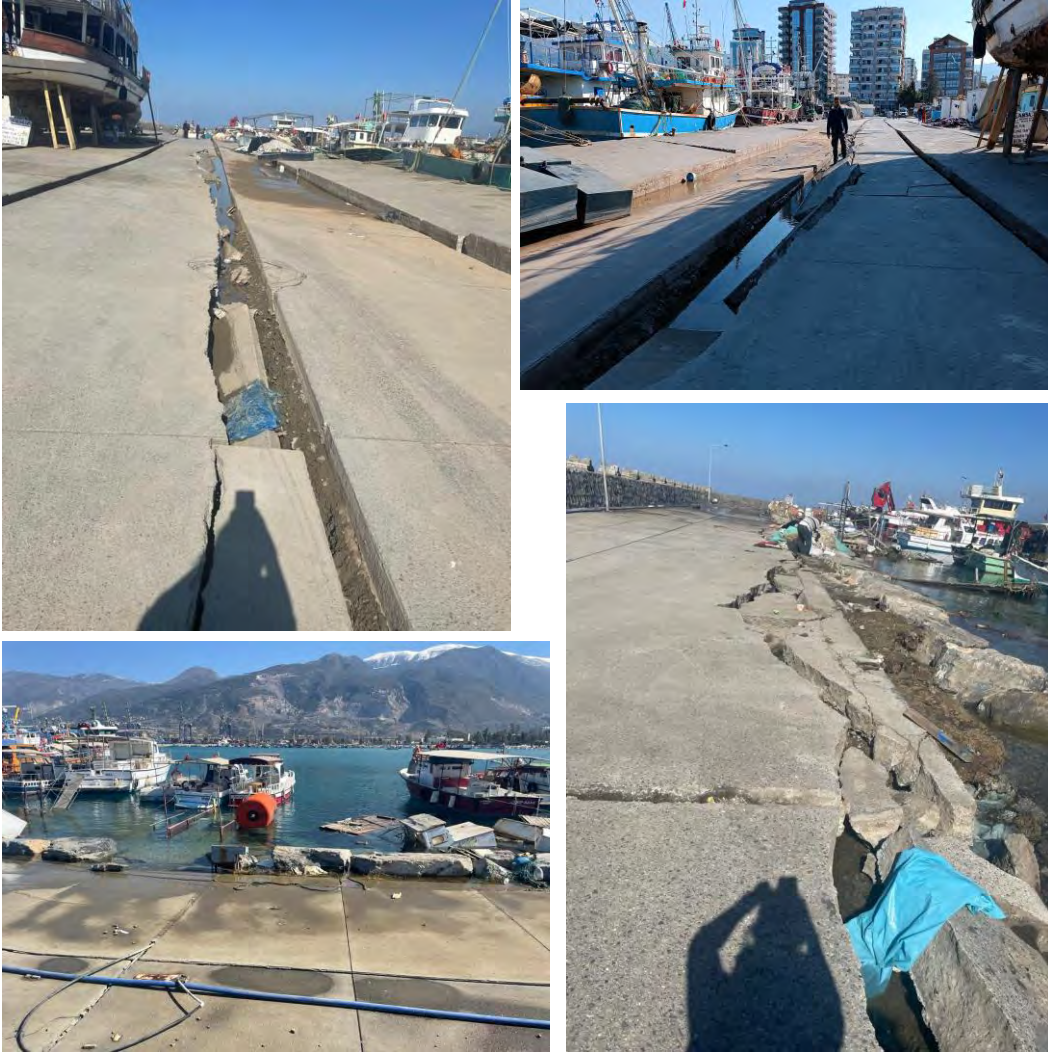
Şekil 79. İskenderun Hatay, sivilaşmaya bağlı oturma ve yüzeyde meydana getirdiği deformasyonlar

Hatay ili, İskenderun ilçesi, Çay mahallesi deniz kenarında yer alan yeşil alanda kum kaynamaları Şekil 80’da görüleceği üzere yüzeyde kendisini göstermektedir. Bu bölgede sivilaşma gösteren zeminden alınan örselenmiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda, genel olarak kohezyonsuz kötü derecelenmiş kum (SP) içerikli olduğu belirlenmiştir.



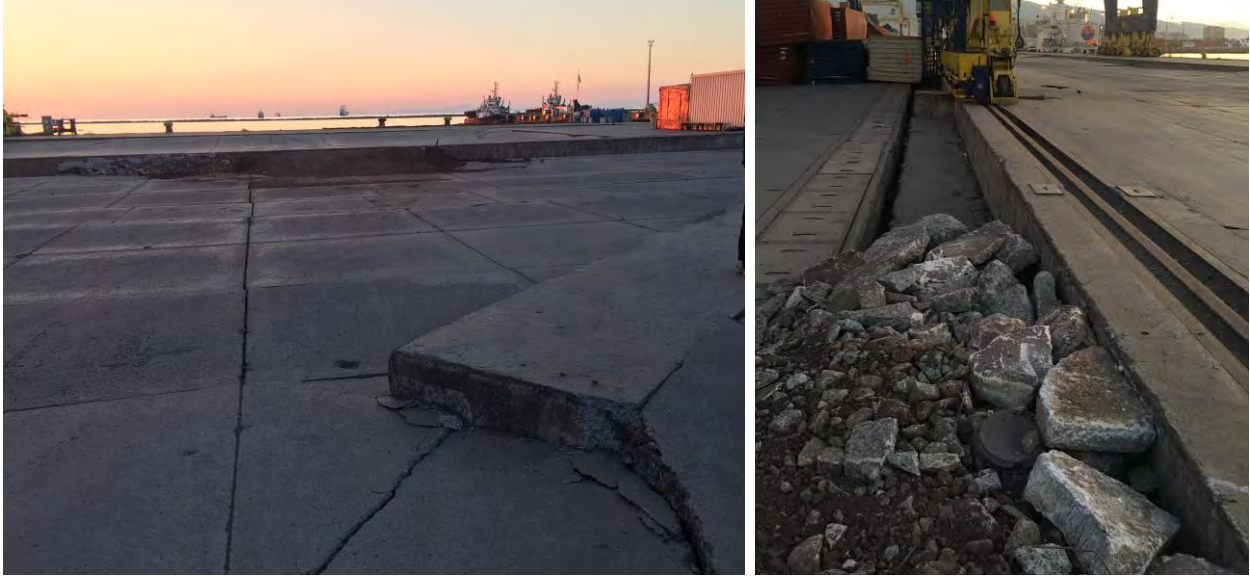
Şekil 80. İskenderun Hatay, sismik sıvılaşmaya bağlı kum kaynamaları

Bu yapılara ek olarak, Hatay Dört Yol'dan sahil şeridi boyunca İskenderun'a kadar özellikle deniz kenarındaki kıyı ve liman yapılarında sivilaşmanın bir sonucu olarak oluşan yanal yayılmalara ve oturmalara rastlanmıştır. İskenderun'da deniz kenarında balıkçı barınağı depremde ağır hasar almış, bölgedeki su yapıların beton kaplamalarında geniş çatlaklar, ayrılmalar ve oturmalar görülmüştür. Şekil 81'de bu bölgede yapılan gözlemler fotoğraflanmıştır. Bu noktalardaki ayrılmalar yatayda yaklaşık 50 cm civarlarında, düşeyde ise 20-25 cm'nin üzerinde olduğu söylenebilir.



Şekil 81. İskenderun Hatay, balıkçı barınağı bölgesinde sivilaşma kaynaklı hasarlar

İskenderun'da bulunan ticaret limanı depremden sonra sivilaşma ve buna bağlı olarak meydana gelen yanal yayılma ve oturmalar sonucu ağır hasar almış, beton rıhtım bloklarında geniş çatlaklar, ayrılmalar ve oturmalar görülmüştür (Şekil 82). Limanda meydana gelen deformasyonlar nedeniyle vinçlerin raylarından çıkarak hasar aldığı görülmüştür. Rıhtım duvarının sivilaşmaya bağlı yanal yayılmalar sonucu oturduğu ve yer değiştirmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Düşeyde yaklaşık 1 m'ye varan oturmalar ölçülmüştür. Liman geçici olarak hizmet dışı kalmıştır (Şekil 83).



Şekil 82. Limandaki beton rıhtım bloklarında meydana gelen geniş çatlaklar, ayrılmalar ve oturmalar



Şekil 83. Limanda meydana gelen geniş çatlaklar, ayrılmalar ve derin oturmalar

2.5. Kahramanmaraş İlindeki Hasarlar

2.5.1. Yapısal Hasarlar

Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen ardıl depremler sonrasında Kahramanmaraş ilinde oluşan ivme değerleri bölgede yer alan 4612 ($V_{s30} = 246\text{m/sn}$, ZD yerel zemin sınıfı) ve 4620 ($V_{s30} = 484\text{m/sn}$, ZC yerel zemin sınıfı) numaralı istasyonlar için Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilmiştir. Yer ivmesi değerlerinin spektrum verileri sırasıyla Şekil 85 ve Şekil 86’da verilmektedir. Meydana gelen her iki deprem sonrasında da Kahramanmaraş ili ve ilçelerinde de binlerce yapı tamamen göçmüştür (Şekil 84).

Şekil 85’de görüldüğü üzere, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen deprem esnasında, Kahramanmaraş ilinde meydana gelen ivme talepleri 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin yer yer üzerinde seyretmektedir (0,2sn öncesi ve 2,2sn sonrası). 1975 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan elastik tasarım ivme değerleri de 0,7sn’ye kadar aşılmıştır. Kahramanmaraş ilindeki yapı stoğunun yaklaşık %40’ı 2000 yılı öncesi inşa edilmiştir. TÜİK verilerine göre binaların inşa yıllarına göre dağılımı Tablo 3’de özetlenmektedir. Bu durumda, 2000 yılı öncesi inşa edilen 1 ile 5 katlı yapıların Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen depreme bağlı olarak oluşan yatay ivmelerden ciddi bir şekilde etkilenmiştir. Bununla beraber 2000 yılı sonrası inşa edilen yapıların ise yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmeleri durumunda tasarlandıkları performans düzeyine uygun olarak davrandıkları düşünülmektedir. 2007 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin 2018 deprem yönetmeliği ile kıyaslandığında yüksek yatay ivme değerleri için daha güvenli tarafta kaldığı da ayrıca gözlemlenmiştir. Düşey ivme değerleri göz önünde bulundurulduğunda ise, 2018 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin 0,2sn sonrasında ve 2475 yıl tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin ise 1,4sn sonrasında aşıldığı gözlemlenmiştir. 2007 deprem yönetmeliğindeki 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin 0,2sn sonrasında aşılmadığından mevcut yapı stoğunun büyük bir çoğunluğunun (%40) düşey ivmelerden daha az etkilendiği düşünülmektedir.

Şekil 86’de görüldüğü üzere, Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen depremden daha fazla etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu deprem sonrasında, Kahramanmaraş ilinde meydana gelen yatay ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018 deprem

yönetmeliklerinde dikkate alınan hem 475 yıllık hem de 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin üzerinde seyretmektedir. Yalnızca 2018 deprem yönetmeliğinde dikkate alınan 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerleri $0,6s_n$ 'ye kadar meydana gelen yatay ivme taleplerinin üzerinde kalmıştır. 5 kat ve üzeri yapılar için hesaplanan yatay ivme talepleri yönetmeliklerde dikkate alınan elastik tasarım ivme değerlerinin 4 katına çıkmaktadır. Dolayısıyla ilin yapı stoğunun yaklaşık %36'sını oluşturan 5 kat ve üzeri yapıların ciddi bir şekilde etkilenmiş olması beklenmektedir. Bu depreme bağlı olarak oluşan düşey ivme talepleri incelendiğinde ise ivme talepleri 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 ve 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin üzerinde seyrettiği gözlemlenmiştir. Elbistan ilçesi merkezli depremin hemen kullanımda kalması için tasarlanan okul, hastane, vb. binalar da dahil olmak üzere Kahramanmaraş ilinin yapı stoğunu ciddi bir şekilde etkilemiş olması beklenmektedir.

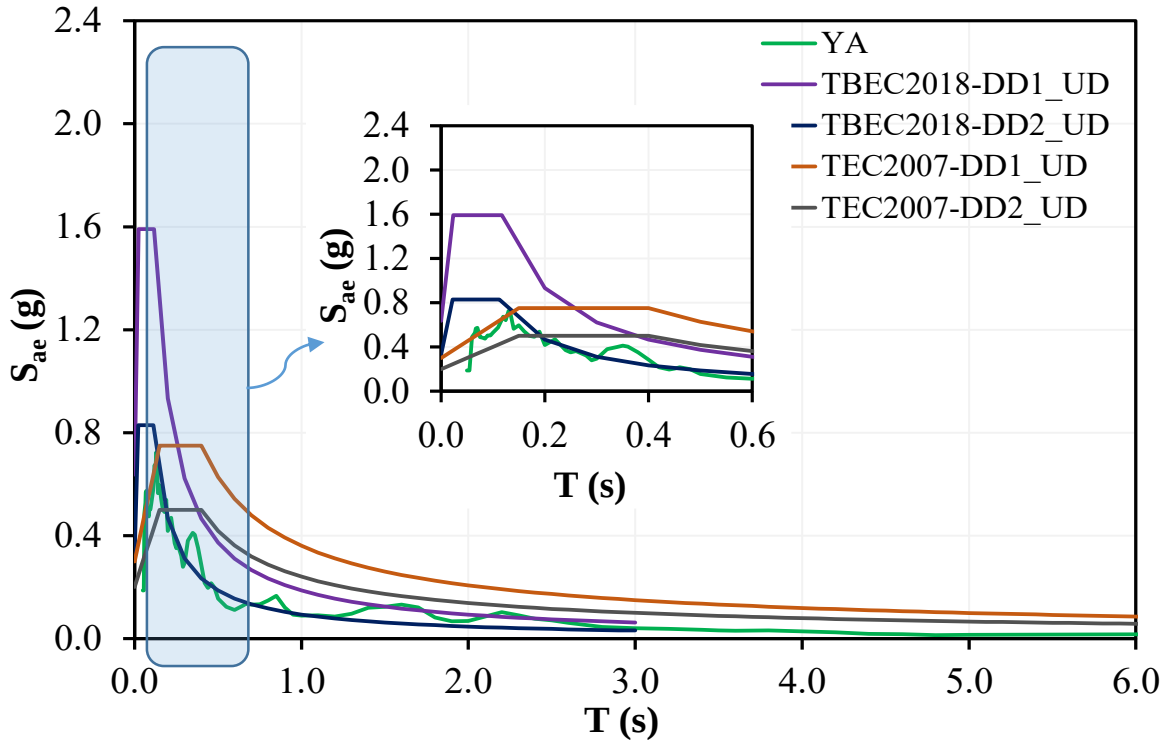
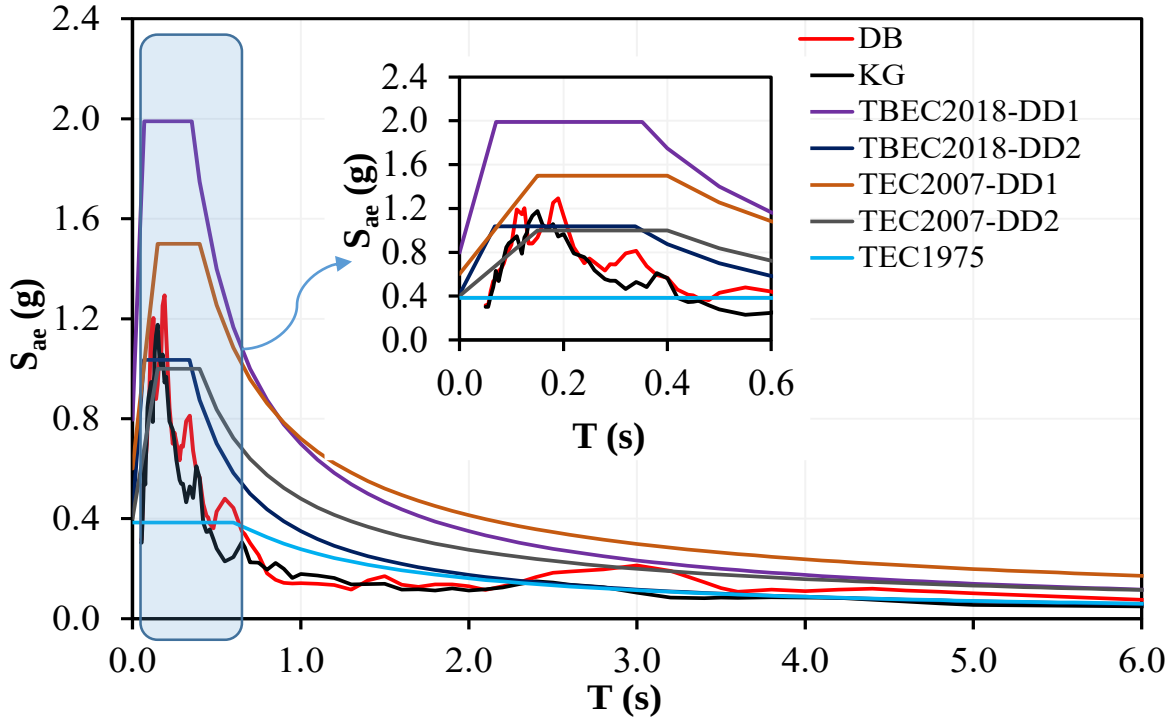


Deprem sonrası Elbistan ilçesinin bir bölümünün havadan

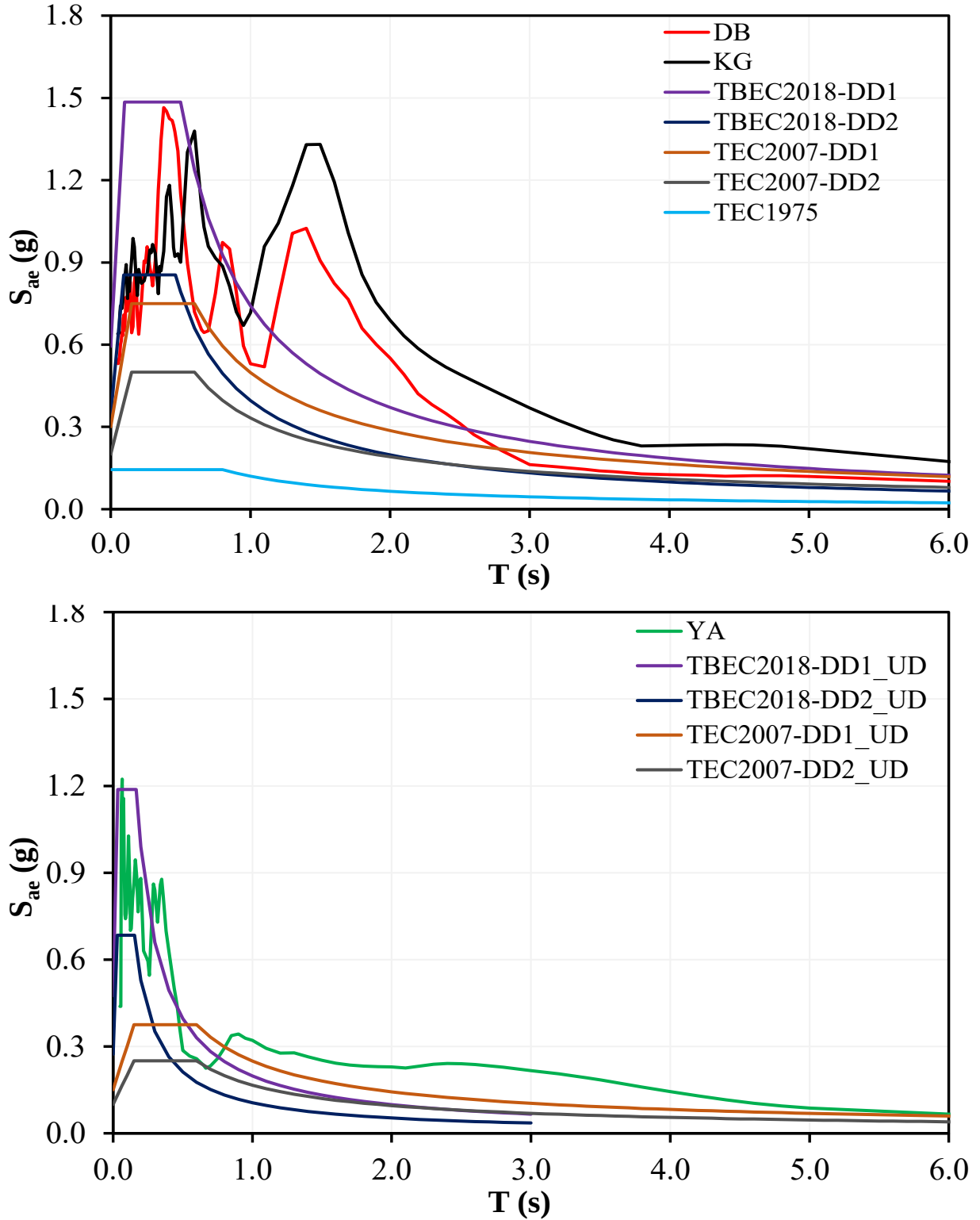


Deprem sonrası Pazarcık ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü

Şekil 84. Deprem sonrası Kahramanmaraş ilindeki hasar dağılımının havadan görüntüleri (HGM Küre)



Şekil 85. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ depreminde Kahramanmaraş ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması (İstasyon 4620)



Şekil 86. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7.7$ depreminde Kahramanmaraş ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması (İstasyon: 4612)

Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesi ve çevre kırsal kesimlerde Pazarcık ilçesi ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesi ($M_w=7,6$) merkezli depremler sonrası gerçekleştirilen saha gezisi sırasında yukarıda verilen Şekil 85 ve Şekil 86 ilgili yapılan yorumları doğrular nitelikte bulgular elde edilmiştir.

Bölgedeki birçok binanın yıkıldığı ya da ağır hasar aldığı tespit edilmiştir. Yapılarda bütüncül ve bölgesel çökmeler meydana gelmiştir. 22 Şubat 2023'te açıklanan verilere göre depremin merkez üssü olan Kahramanmaraş'ta 103 bin binadan 3 bin 752 bina ve 15 bin 940 bağımsız bölüm yıkılmıştır. Şekil 87'da kırsal kesimde görülen çökme örnekleri verilmiştir. Hatay ilinin aksine kırsal kesimde incelenen yapıların birçoğu betonarme çerçevelerden oluşmaktadır; fakat 1-2 katlı bu yapılarda perde duvar genelde bulunmamaktadır. Yukarıda da belirtildiği üzere yapı stoğunun %40'ı 2000 yılı öncesi inşa edilmiştir. Bu döneme ait yapılarda özellikle nervürsüz donatı kullanımının yarattığı sıkıntılar gözlemlenmiştir. Yıkımlarda donatının betondan sıyrılıp çıktığı sıkça görülmüştür.



Şekil 87. Kahramanmaraş kırsal alan yıkım görüntüleri

Türkiye’de sıkça binaların zemin katlarının dükkan, restoran gibi geniş pencere açıklıklarına sahip mekanlara ayrıldığı görülmektedir. Bu mekanlarda kolon, perde ve bölme duvar gibi elemanların miktarı üst katlara oranla az olmaktadır. Bu sebeple yapıda zayıf bir kat oluştuğu, bu katın üzerine gelen yatay yük talebini karşılayamadığı ve yıkıldığı görülmektedir. Zemin katın yıkılması sonucu yapılarda bütüncül veya bölgesel çökmeler gözlemlenmektedir. Şekil 88’da Kahramanmaraş’ta gözlemlenen zayıf kat yıkılmalarına bağlı çökme örnekleri verilmiştir.



Şekil 88. Kahramanmaraş'ta gözlemlenen zayıf kat yıkılmasına bağlı çökme örnekleri

Kahramanmaraş ilinde birçok yapıda dış cephe çatlakları ve örme duvar ayrılımları da gözlemlenmiştir. Hem yapıların için de hem de dışında bu tip hasarlarla sıkça karşılaşmıştır. Bununla beraber kısa kolon etkisine bağlı gevrek göçme hasarları ve yapılarda bölgesel çökmeler de ayrıca gözlemlenmiştir. Şekil 89'de dış cephe çatlakları, örme duvar ayrılımları, kısa kolon etkisi ve bölgesel yıkım örnekleri verilmiştir.



Şekil 89. Dış cephe çatlakları, örme duvar ayrılımları, kısa kolon etkisi ve bölgesel yıkım örnekleri

Depremden etkilenen bölgede Kahramanmaraş da dahil olmak üzere pek çok caminin hasar aldığı gözlemlenmiştir. Tamamen çöken örneklerin yanı sıra birçok ağır ve orta hasar durumunda olan örnekler de mevcuttur. Özellikle de narin yapılar olan minarelerin yıkıldığı tespit edilmiştir. Hem betonarme hem de taş örme olan minarelerde yıkılmalar görülmüştür. Şekil 90'de hasar gören bir cami ve yıkılan minaresinin yakın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 90. Hasar gören cami ve yıkılan minare örneği

Kahramanmaraş'ta biri faal olmak üzere toplamda üç tane organize sanayi bölgesi bulunmaktadır. Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü'nce paylaşılan bilgilerde Kahramanmaraş OSB'de üretimde bulunan toplam 49 tane firma bulunduğu belirtilmektedir. Bu bölgedeki yapılarda da ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Çatının kolon başlıklarından ayrılıp yıkıldığı durumlarla karşılaşmıştır Şekil 91).



Şekil 91. Sanayi yapılarında görülen hasarlara örnek

Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesinde yapılarda asmolen döşeme kullanımının çok yaygın olduğu gözlemlenmiş ve bölge müteahhitleri de bunu doğrulamıştır. Asmolen döşemeler 1999 Depremi'nde döşeme dolguları yuvalarından çıkıp daire içindeki

insanların üzerlerine düşmesi nedeniyle pek çok insan hayatını kaybetmesi sonrasında yasaklanmıştır. Ayrıca bu döşeme tipi katın rijit davranmasına sebep olmakta ve yanal yükler altında zayıf kolon güçlü kiriş probleminin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Asmolen döşemeye sahip ağır ve orta hasarlı binalarda kirişlerde çatlak bile görülmezken kolonların bağlantı noktalarında mafsallaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 92’de asmolen döşemeye sahip yapılarda kolon üst bağlantı noktalarında görülen mafsallaşma örnekleri verilmiştir. Bununla beraber gözlemlenen zayıf kolon-güçlü kiriş problemine rağmen bu yapılarda çökmenin nadiren meydana geldiği gözlemlenmiştir. Kat planları incelendiğinde perde duvar oranlarının çok yüksek olduğu ve kolonların da ince uzun dikdörtgen kesitlerinde tasarlandığı tespit edilmiştir. Bu tasarım detayının yapının yanal yük alma kapasitesini arttırdığı yüksek ivme taleplerine rağmen çökmeleri önlediği düşünülmektedir.

Ayrıca Kahramanmaraş’ın Pazarcık ilçesindeki yapıların bir kısmında sıvaların normalden kalın ve beton ile aynı renkte olduğu gözlemlenmiştir. İç mekanlardaki sıva kalınlıklarının 3cm civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ön inceleme sırasında sıvada meydana gelen çatlakların çerçeve elemanlarında olduğunun düşünülmesine sebep olmuştur. Ayrıca kalın sıva yapının ağırlığını da arttırmaktadır. Şekil 93’de bir iç mekan kolonundan sıyrılmış sıva örneği verilmiştir.



Şekil 92. Mafsallaşan kolon örnekleri



Şekil 93. Pazarcık ilçesi sıva kalınlığına örnek

2.5.2. Zemin Hasarları ve Geoteknik Bulgular

Kahramanmaraş şehir merkezinde geoteknik kaynaklı önemli bir hasar bildirilmemiştir. Tamamen yıkılan binalar şehrin güney kesimlerindeki zeminlerde yoğunlaşmıştır. Her ne kadar geoteknik hasar gözlemsel olarak bildirilmese de Pazarcık ($M_w=7,6$) depreminin odak mekanizmasına yakın olan bu bölgede detaylı zemin etütleriyle hasarın zemine bağlı olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir.

Merkeze bağlı yollar boyunca uzanan yol güzergâhında çok sayıda derin çatlaklar gözlenmiştir. Köylerdeki birçok bina depremin şiddetli sebebiyle hasar görmüş ya da çökmüştür. Merkeze giden yol güzergâhında ise kaya düşmeleri de gözlemlenmiştir.

6 Şubat 2023 Maraş depremlerinden özellikle 2. depremden etkilenen bu bölgede zeminlere bağlı olarak sıvılaşma görülebileceği düşünülen alanlara yapılan ziyaretlere Afşin-Elbistan'dan başlanmıştır. Bu bölgede deprem sırasında ve özellikle sonrasında kar yağışının yoğun olması ve yüzeyin karla kaplı olması sebebiyle (Şekil 94) herhangi bir yüzey hasarına rastlanmamıştır. Şehir merkezlerindeki hasarların da genellikle yapısal elemanlardaki göçmeler sonucunda olduğu düşünülmektedir ve ilgili alanda tartışılmaktadır.



Şekil 94. Göksun/Maraş

Bu bölgede deprem sonrasında hasara örnek olarak Şekil 3’de sunulan yol hasarı gözlenmiştir. Dolgu, yol bağlantısı olan kesimde oturmalar ve çatlaklar meydana gelmiştir.



Şekil 95. Göksun/Maraş yol hasarı

Kahramanmaraş’ın çevresindeki Türkoğlu ve Pazarcık ilçelerindeki zeminler üzerinde geoteknik ve kütle hareketlerine ilişkin olarak yapılan incelemeler neticesinde sahada gözlemlenen değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Kahramanmaraş ilinin 22 km güneyinde yer alan Türkoğlu ilçesi, kuzeyde Kahramanmaraş kent merkezi ile komşu olup, güneyinde Gaziantep iline bağlı Nurdağı, doğusunda ise Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ilçeleri bulunmaktadır.

Türkoğlu ilçesinin sahip olduğu morfolojik yapının jeolojik özellikler ile de tam olarak uyumlu olduğu görülmektedir. İlçenin batısındaki alanlarda çok genel olarak Paleozoyik yaşlı bir temel ve üzerine gelen Mesozoyik dönemine ait derin denizel çökeller ile

ofiyolitik kayaçların çoğunlukta olduğu karbonatlı kayaç serileri ile ilçe merkezi ve doğusundaki alanlarda bu temel üzerinde açılan yaklaşık KD-GB uzanımlı bir ova içerisinde biriken Kuvaterner yaşlı alüvyonal çökeller üzerinde yer almaktadır Gül (2000).

6 Şubat 2023 Maraş depremleri sonucunda DAFZ boyunca oluşan yüzey faylanması izleri ilçe merkezinin hemen doğusundan Türkoğlu -Nurdağı (D825) ana yolu güzergâhı üzerindeki Kuvaterner yaşlı alüvyonal birimlerde KD_GB uzanımlı olarak açık bir şekilde izlenmektedir. İlçenin önemli bir bölümü alüvyonal çökeller üzerinde yer aldığı için özellikle bu zeminler ilçedeki hasarların artmasında etkili olmuştur.

İlçenin kuzey doğusunda Aksu çayı üzerinde yer alan sulama barajı yol (Şekil 96) ve doğusundaki çayı kenarındaki demiryolu geçkisinde (Şekil 97) yanal yayılmalar ve zemin sıvılaşması kaynaklı kum kaynamaları (Şekil 98) izlenmektedir. Bu bölgede sıvılaşma gösteren zeminlerden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre bölgedeki zeminin kötü derecelenmiş (SP) kohezyonsuz kum olduğu belirlenmiştir. İlçenin içerisinden geçen su kanalının istinat yapısında yer yer hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 98).



Şekil 96. Türkoğlu bölgesinde baraj yolu geçkisinde yanal yayılmalar



Şekil 97. Türkoğlu bölgesinde demiryolu geçişinde nehir boyunca yanal yayılmalar



Şekil 98. Türkoğlu bölgesinde zemin sıvılaşması kaynaklı kum kaynamaları



Şekil 99. Türkoğlu merkezinde dere kanalı boyunca yanıl yayılmalara bağılı olarak dayanma yapılarında hasarlar



Şekil 100. İlçenin güney sanayi bölgesinde yanal yayılmalara bağlı olarak yol kaplamasında dalga şeklinde deformasyonlar

Türkoğlu ilçesine bağlı Yeşilyurt mahallesini Şekeroba mahallesine bağlayan yol geçkileri boyunca şevlerde kaya düşmesine bağlı kütle yenilmelerine ve yol boyunca yapısal hasarlara rastlanmıştır (Şekil 101).



Şekil 101. Sekerova mahallesinde giden yolda kaya düşmesi ve heyelanlar

Kahramanmaraş il merkezine yaklaşık 47 kilometre uzaklıkta bulunan Pazarcık ilçesi kuzeyinde Çağlayancerit, güneyinde Gaziantep Yavuzeli, Şehitkamil ve Nurdağı, batısında Türkoğlu ve doğusunda Adıyaman, Gölbaşı, Besni ve Araban ilçeleri bulunmaktadır.

6 Şubat 2023 $M_w=7,8$ depremin odak mekanizmasına çok yakın olan Pazarcık ilçesinde kaya zeminler üzerinde Üst Eosenden Maestrihtiyen'e kadar kaya birimleri yüzeylenir (Sümegen, 2014). İlçenin bir bölümü Kuvaterner yaşlı alüvyonal çökeller üzerinde yer almaktadır. Kaya zeminler üzerinde DAFZ'nun birincil etkileri olan yüzey faylanması açık bir şekilde görülmektedir. Faylanma sebebiyle yapısal hasarlar ilçe köylerinde etkili olmuştur. Kuvaterner yaşlı alüvyonal çökeller üzerinde ise zeminlere bağlı olarak yapısal hasarlar meydana gelmiştir.

Pazarcık ilçesi, Çöçelli mahallesi Adana- Şanlıurfa otoyolu Narlı girişi mevkiinde dere yatağı boyunca alüvyon zeminlerde yanal yayılmalar izlenmektedir (Şekil 102). Ayrıca bu zeminlerde bağlantı yolu kaplamalarında hasarlar meydana gelmiş (Şekil 103) ve üst köprü geçişi yanal yayılmaların etkisiyle kullanılamaz duruma gelmiştir (Şekil 104).



Şekil 102. Pazarcık bölgesinde dere yatağı boyunca yanıl yayılmalar



Şekil 103. Zeminlerde bağlantı yolu kaplamalarında meydana gelen hasarlar



Şekil 104. Pazarcık bölgesinde yanal yayılmalar (Adana-Şanlıurfa Otoyolu Narlı girişi)

6 Şubat 2023 $M_w=7,7$ depremin odak mekanizmasına yakın olan Çöçelli Mahallesi mevkiinde yol güzergâhındaki şevlerde kaya düşmesine bağlı kütle yenilmelerine rastlanmıştır (Şekil 105).



Şekil 105. Çöçelli mahallesi mevkiinde yol güzergahındaki şevlerde kaya düşmesi

2.6. Malatya İlindeki Hasarlar

2.6.1. Yapısal Hasarlar

Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) ve Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen ardıl depremler sonrasında Malatya ilinde oluşan ivme değerleri Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilmiştir (İstasyon : 4406, $V_{s30} = 815\text{m/sn}$, ZB yerel zemin sınıfı). Yer ivmesi değerlerinin spektrum verileri sırasıyla Şekil 107 ve Şekil 108’de verilmektedir. Şekil 107’den açıkça anlaşılabacağı üzere, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana gelen deprem esnasında, Malatya ilinde meydana gelen ivme talepleri neredeyse her periyot değeri için 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip elastik tasarım ivme değerlerinin oldukça altında kalmaktadır. Bir başka deyişle, yaşanan deprem yaklaşık olarak servis depremine (tasarıma uygun yapılan binaların hemen kullanım performans seviyesinde olması beklenen deprem senaryosu) karşılık gelmektedir. Bu nedenle, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde ($M_w=7,7$) meydana deprem sonucunda Malatya ilinde orta şiddette hasarlar olduğu düşünülmektedir. Özellikle meydana gelen ilk deprem sonrasında Malatya ili ve ilçelerinde de binlerce yapı tamamen göçmüştür (Şekil 106).

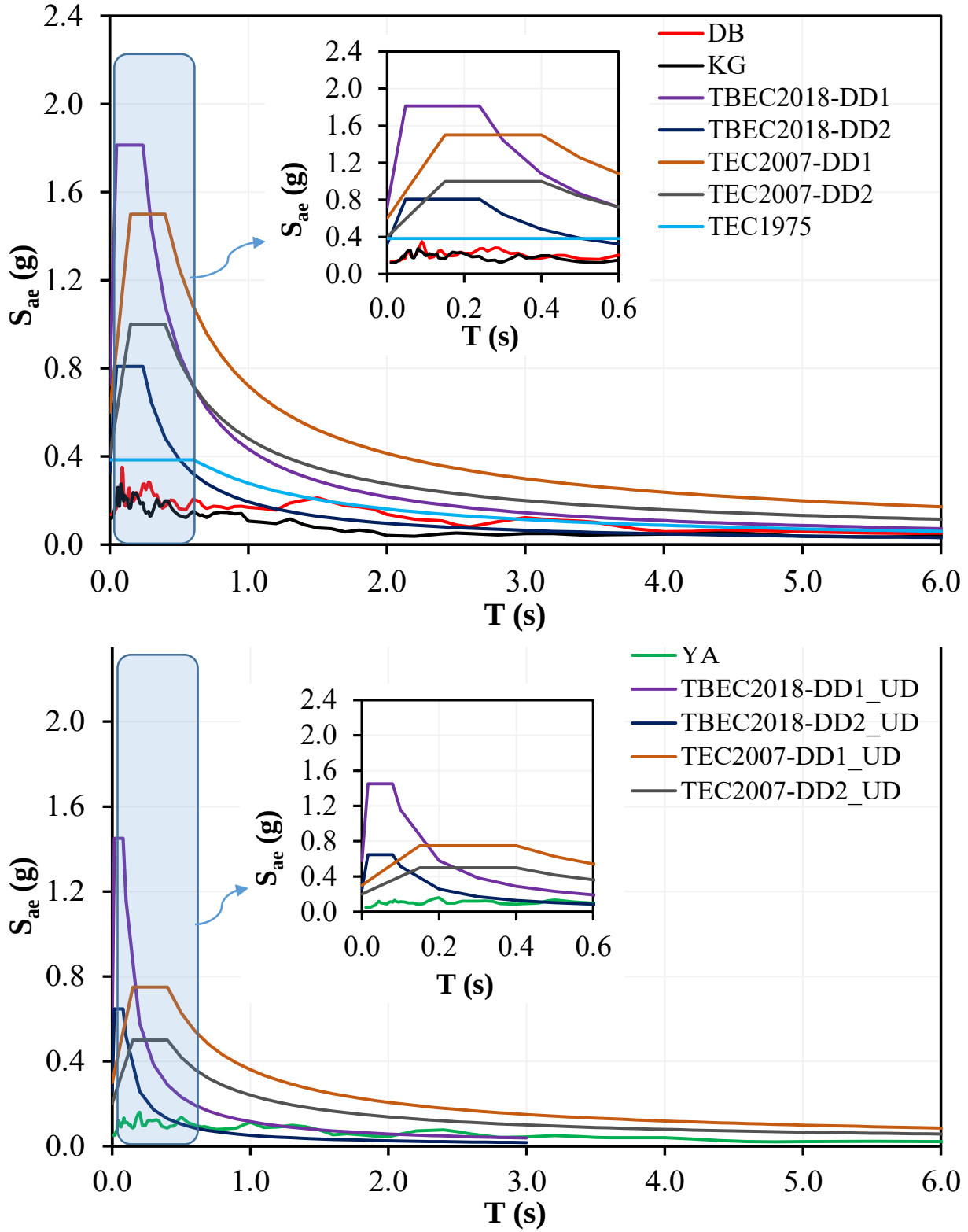


Şekil 106. Deprem sonrası Akçadağ ilçesinin bir bölümünün havadan görüntüsü (HGM Küre)

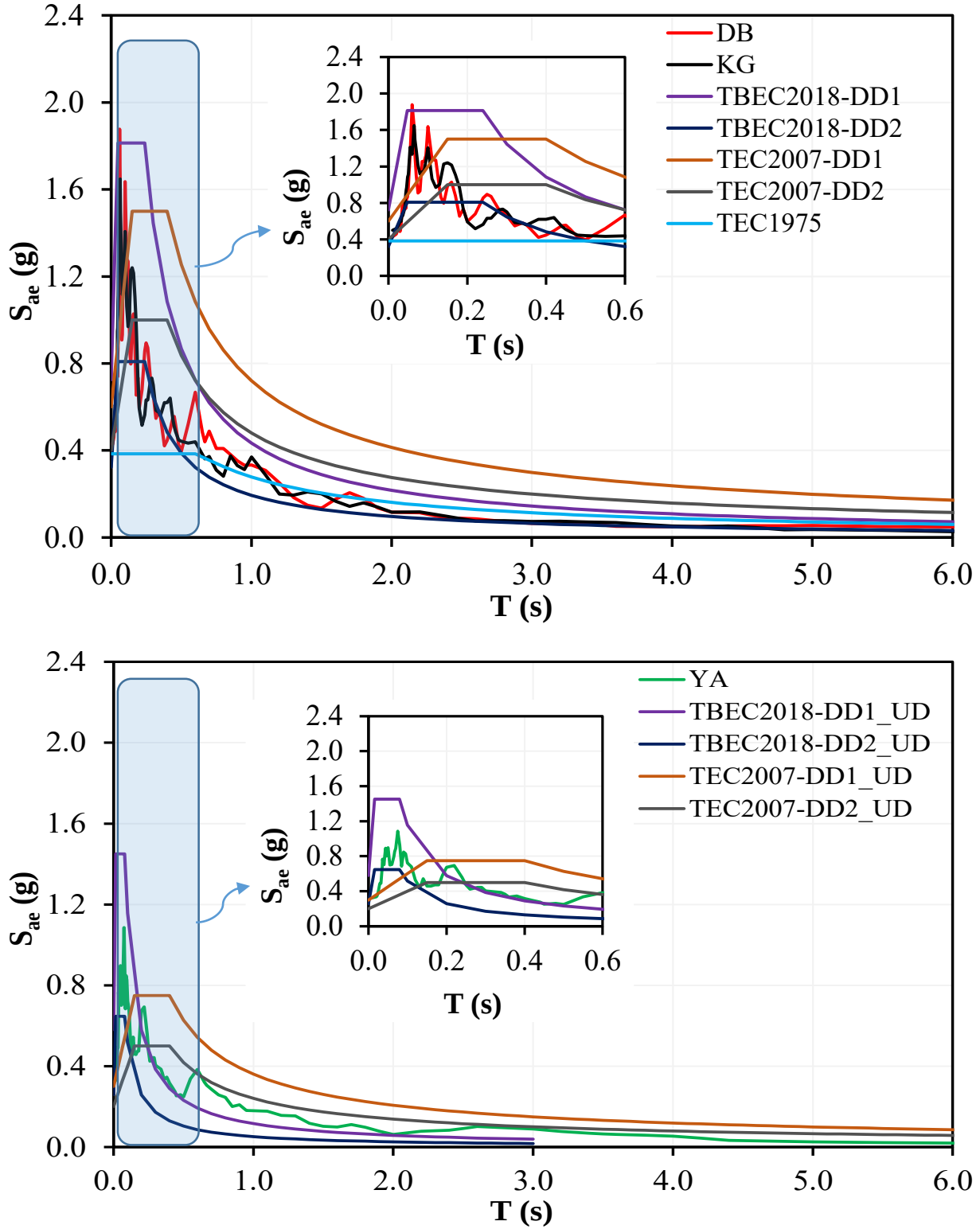
Şekil 108’da özetlendiği üzere, Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde ($M_w=7,6$) meydana gelen deprem esnasında, Malatya ilinde meydana gelen ivme talepleri kısa periyotlu yapılar için 1975, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip deprem tehlikesi için oluşturulan elastik tasarım ivme değerlerinin üzerinde kalmaktadır. Ayrıca, 1975 ve 2018 deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan deprem tasarım ivmeleri yaklaşık 2sn’lik periyoda kadar aşılmaktadır. Bu nedenle, Malatya ilinde meydana gelen hasarın büyük bir ölçüde ikinci deprem neticesinde olduğu ön görülmektedir.

Ek olarak 1-5 kat arasındaki betonarme sistemler ise yaklaşık 0,8g’lik yatay ivmelere maruz kalmıştır. Bu kadar büyük yatay ivmelere maruz kalan sistemlerin hasar aldıkça rijitlikleri azaldığından periyotları uzayacağı aşıkardır. Periyot uzaması sonucu 5 kata kadar betonarme çerçeve sistemlerin hakim periyot değerlerinin yaklaşık olarak 0,75sn’lere kadar çıktığı öngörülürse (Çınar vd. 2022) maruz kalınan yatay ivme değerleri yaklaşık 0,4g (D-B) ve 0,5g (K-G) değerlerine düşmektedir. Belirtilen değerler 2007 şartnamesinde öngörülen tasarım ivme değerleri hariç tasarım ivme değerlerinin 20% kadar üzerinde kalmaktadır. Ayrıca, bu depremde düşey ivme değerleri de yaklaşık 0,8g değerlerine ulaşmaktadır. Bu da yıkımın artmasına neden olmuştur. Çünkü, 1974 – 1998 yılları arasında yürürlükte olan şartnamede düşey yönde ivme göz önünde bulundurulmazken, 1998 yılından sonra kullanılan 475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip deprem tehlikesi için oluşturulan tasarım düşey ivmeleri ise en fazla 0,6g değerine ulaşmaktadır. Fakat, depremde meydana gelen ivme değerleri 0,8g değerine kadar çıkmaktadır. Kahramanmaraş ilinin Elbistan ilçesinde ($M_w=7,7$) ivme talepleri detaylı olarak incelendiğinde 2475 yıllık tekrarlanma periyoduna sahip tasarım spektrumunun çok limitli bir şekilde aşıldığı görülmektedir.

Bu nedenle, deprem sonrası hemen kullanımda kalması için tasarlanan okul, hastane, vb. binaların bu depremden limitli bir hasar almış olması gerektiği söylenmelidir.



Şekil 107. Pazarcık (Kahramanmaraş) $M_w = 7,7$ depreminde Malatya ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması



Şekil 108. Elbistan (Kahramanmaraş) $M_w = 7,6$ depreminde Malatya ilinde meydana gelen ivme taleplerinin ivme tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılması

TÜİK verilerine göre Malatya ilinde 2021 yılı itibariyle hane sayısı 230.499 adettir. Binaların inşa yıllarına göre dağılımı Tablo 3’de özetlenmektedir. Tablo 3’den anlaşılaçağı üzere Malatya ilindeki binaların yaklaşık olarak %52’si 2001 yılından önce inşa edilmiştir. Bu nedenle Malatya ili yapı stoğunun tasarımında, 1975 yılında yürürlüğe giren deprem şartnamesinin baskın olduğı söylenebilmektedir.

Malatya ilinde yıkılan binaların bir kısmı yığma binalardan oluşmaktadır. Bunun temel sebebi, eski bir yapı stokunu temsil eden yığma binaların büyük bir çoğunluğunda mühendislik hizmetinin alınmamış olması ve deprem esnasında kısa periyotlarda (yığma binalar gibi rijit yapıları etkileyen) meydana gelen büyük talep ivmelerinin olduğı düşünülmektedir. Şekil 109’da bu tarz binalar gösterilmektedir.

Malatya ilinde önemli bir yıkım meydana gelmiş ve oldukça fazla sayıda betonarme bina yıkılmıştır. Yıkılan binaların taşıyıcı sistemlerinin geometrilerinin ve dağılımlarının belirlenmesi neredeyse imkânsız olması sebebiyle, bu binaların göçme mekanizmasının belirlenmesi oldukça zordur. Bu binalar hakkında bilgiye ulaşmak için bina sahiplerinin veya binada oturanların bilgisine başvurulmuştur. Şekil 110’da bu tarz bir bina gösterilmektedir.

Malatya ilinde hasar alan betonarme binaların dıştan ilk incelenmesi esnasında göze çarpan problemlerin yumuşak kat düzensizliğı ve ağır çıkmaların olduğı söylenebilmektedir (Şekil 110). Bu tip binaların giriş katlarında kat yüksekliklerinin fazla olması ve dış cephelerde dolgu duvar bulunmaması yumuşak kat olarak adlandırılan düzensizliğinin oluşmasına yol açmıştır. Ayrıca, ağır çıkmanın bulunduğı kat ve üzerindeki katlarda ağır bölme duvar hasarları da gözlemlenmiştir. Ağır çıkmalar bazı binalarda lokal göçmelerin oluşmasına da sebep olmuştur (Şekil 110).

Malatya ilinde diğer illerden farklı olarak kolon ve perdelerde daha yoğun plastik mafsallaşma tespit edilmiştir (Şekil 111). Bunun temel sebebi incelenen diğer illerde deprem taleplerinin daha fazla olması kaynaklı plastik mafsallaşan binaların yıkılmış olması olduğı düşünülmektedir. Ayrıca, kirişlerde hasar gözlemlenmeksizin kolonlarda ve perdelerde görülen ağır hasarlar kuvvetli – kolon zayıf kiriş prensibinin uygulamada yerini bulmadığına işaret etmektedir. Ek olarak kabuk betonu ezilen bazı kolonlarda donatı burkulmalarının da gözlemlendiğı belirtilmelidir (Şekil 111 ve Şekil 112). Bazı binalarda bölme duvarların ve pencere açıklıklarının yanlış pozisyonlandırılmasından kaynaklı kısa kolonlar oluşmuş ve kolonlarda ağır kesme hasarları meydana gelmiştir (Şekil 112).



Şekil 109. Malatya ilinde yıkılan yığma binalar



Şekil 110. Malatya ilinde yıkılan betonarme binalar



Şekil 110. Malatya ilinde yıkılan betonarme binalar (devam)



Şekil 111. Gözlemlenen kolon plastik mafsallaşma hasarları



Şekil 112. Perde hasarları ve kısa kolon hasarı

3.HASAR TESPİTİ İÇİN DRONE UYGULAMASI

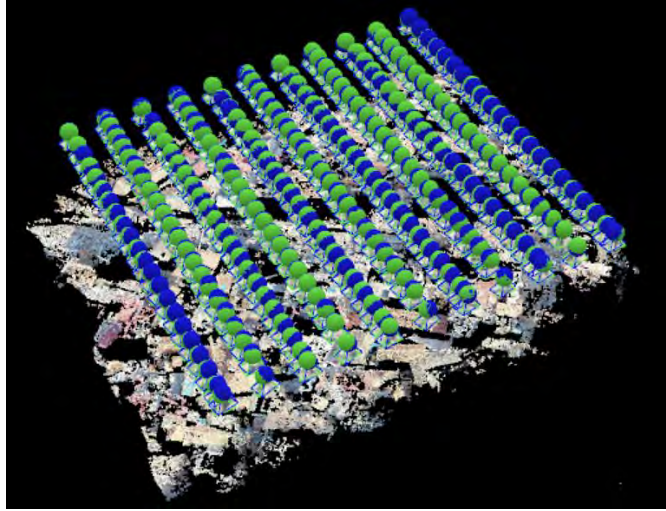
Günümüz teknoloji seviyesi depremder sonrasında hasar tespiti yapılması, hasar tespitlerinden elde edilen bilgiye göre arama kurtarma faaliyetlerinin nerelerde yoğunlaşması gerektiği, anlık erişimi olmayan yolların ve alt yapıların tespitinde kullanılabilirlerdir. Üniversitemizin Hatay ilinde yapmış olduğu bir uygulama, bundan sonraki afetlerde, afet sonrası lojistik ve arama-kurtarma operasyon planlarında kullanılabilmesi maksadı ile raporun bu kısmında özet bir şekilde paylaşılmaktadır.

Hatay'ın Antakya ilçesinde Kemalpaşa Caddesi üzerinde 15 Şubat 2023 tarihinde drone uçuşu gerçekleştirilmiştir. Izgara modeli bir uçuş yapılmıştır. Izgara modeline ait görüntü kamera pozisyonları ile Şekil 113'de bölgenin haritası üzerinde verilmiştir. DJI Mavic 2 Pro kullanılarak toplamda 157m x 152m'lik bir alan üzerinde uçulmuş, 1709m uçuş gerçekleştirilmiş ve yaklaşık %80 üst üste gelme oranına sahip 242 görüntü toplanmıştır. 40m yükseklikten uçulmuş ve kamera uçuş doğrultusuna dik olacak şekilde ayarlanmıştır. Uçuş toplamda 11 dakika sürmüştür.



Şekil 113. Drone uçuşu yapılan bölgenin haritası ve görüntü alınan noktalar

Pix4D yazılımı yardımı ile toplanan görüntüler doku işlemeli nokta bulutu haline getirilmiştir. Zaman kısıtlaması sebebiyle ikili yerine tekli ızgara uçuş modeli seçildiği için nokta bulutu çözünürlüğü düşüktür. Şekil 114, oluşturulan 3 boyutlu nokta bulutu ve drone görüntü toplama pozisyonlarını göstermektedir.



Şekil 114. Oluşturulan 3 boyutlu nokta bulutu ve drone görüntü toplama noktaları

Doku işlemeli nokta bulutları incelenen yüzey noktalarına ait x, y ve z koordinat ve RGB formatında renk bilgilerini içinde barındırmaktadır. Yüksek çözünürlüklü ve yüksek üst üste gelme oranına sahip görüntüler ikili ızgara uçuş modeli ile elde edilirse yüksek çözünürlüklü üç boyutlu gösterimler (doku kaplamalı nokta bulutları) elde etmek mümkün olmaktadır. Doku kaplamalı nokta bulutları bölge hakkında detaylı bilgi depolamak ve durum tespiti gerçekleştirmek için kullanılabilir. Şekil 115’de incelenen bölgeye ait doku kaplamalı nokta bulutu verilmiştir. Şekil 116’de ise üçüncü boyutu göstermek için yakınlştırılmış bir görüntü verilmiştir. İncelenen bölgedeki yıkılmış bir binaya ait enkazın nokta bulutu ise Şekil 117’te gösterilmiştir.



Şekil 115. Bölgeye ait 3 boyutlu doku kaplamalı nokta bulutu



Şekil 116. 3 boyutlu doku kaplamalı nokta bulutunun yakınlaştırılmış görüntüsü



Şekil 117. Oluşturulan 3 boyutlu doku kaplamalı nokta bulutunda yıkılan bir binanın üç boyutlu enkaz temsili

4. DEPREM KAYNAKLI ATIKLARIN YÖNETİMİ

KAPSAMINDA UYGULANABİLİR ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yürütülen hasar tespit çalışmaları kapsamında yaklaşık olarak 239 bin binanın yıkılmış, yıkılacak veya ağır hasarlı olduğu belirlenmiştir. Devam etmekte olan hasar tespit çalışmaları ve orta hasar kararı verilen bazı yapıların yıkım kararı ile birlikte bu sayı daha da artacaktır. Deprem sonrası açığa çıkacak atıklarının miktarının, farklı tahmin senaryolarına göre, yaklaşık olarak 100 ila 210 milyon ton seviyeleri arasında olabileceği öngörülmektedir. Deprem sonrası açığa çıkacak olan atıkların içerisinde beton, tuğla, seramik, metal, ahşap, plastik, cam, toprak, rutin ev eşyaları, elektrikli ev eşyaları, mobilya, değerli metaller, otomobiller ve parçaları, konut sahiplerine ait hatıralar ve bir takım gıda atıkları bulunmaktadır. Ayrıca miktarı nispeten az da olsa asbestli yapı malzemeleri ve evsel nitelikli tehlikeli atıklar (pil, boya, floresan lamba, yağlar vb.) da bulunabilmektedir. Yürüttüğümüz geçmiş çalışmalarda özellikle 2000’li yıllar ve sonrası inşa edilen yapılarda asbest gibi tehlikeli atıklara rastlanılmadığı gözlemlenmiştir. Bu yapıların yıkımları sonucu açığa çıkacak deprem atıklarının, yıkımları gerçekleştirilip atık depolama sahalarına depolanmaları sonrası, atık depolama sahalarında uygun teknikler kullanılarak ayrıştırılma ve tekrar %100 mertebelerinde geri dönüştürülebilme potansiyelleri bulunmaktadır. Bu kapsamda yapılacak başarılı uygulamalar ülkemizin sahip olduğu kaynaklar açısından bir gereklilik ve ihtiyaçtır.

Deprem atığı olarak adlandırılan atıkların içeriklerini dikkate aldığımızda, bilindik inşaat ve yıkıntı atıklarının ayrıştırılması yöntemlerinden farklı olarak sürecin aşama aşama ele alınması gerekmektedir. Deprem atıklarının klasik ayrıştırma yöntemleri ve kırıcılar ile ayrıştırılıp geri kazanımları mümkün değildir. Bu atıkların ayrıştırılmasında aynı anda ağır-hafif ayırıcı, havalı ayırıcı, optik ayırıcı, manyetik ayırıcı, kızılötesi ayırıcı, Eddy akımlı ayırıcı, renk kamerası gibi günümüzde yaygın olarak kullanılan birçok ayırma teknikleri ve elek ve kırma tesislerinin aynı anda kullanılarak bu ayırma işleminin tüm atık sahalarında devletimizin yetkilileri eşliğinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Farklı ayırma işlemlerinin planlı ve aynı anda uygulanması sonucunda deprem atıklarının %100’e yakın seviyelerde ayrıştırılması ve ayrıştırılan malzemelerin gerçek sahiplerine ulaştırılması ve tekrar ekonomiye kazandırılması mümkün olacaktır. Bu atıklar içerisinde kalorifik değerleri yüksek olanlarının atıktan üretilmiş yakıt tesislerinde işlenerek yakma tesislerine yakıt olarak hazırlanabilir. Özellikle deprem atıkları içerisinde klasik bina yıkıntı atıklarının ayrıştırılması neticesinde kalan bina yıkıntı atıklarının %70’i beton

moloz, sıva ve duvar malzemelerinden geri kalan miktarı ise cam, ahşap, çelik donatı, alçı ve plastikten oluşacaktır.

Hacettepe Üniversitesi'nde bu atıkların değerlendirilmesi kapsamında son yıllarda birçok kapsamlı bilimsel çalışmalar yürütülmüş olup bu çalışmaların mevcut durumda teknoloji doğrulamaları gerçekleştirilmiş ve pilot ölçekte saha uygulamaları yerine getirilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilmiş uygulamaya hazır olan çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

4.1.İnşaat Yıkıntı Atıklarının Sökülüp-Takılabilen Ön Dökümlü Yapısal Eleman Üretiminde Kullanılması

İnşaat faaliyetlerinin çevresel etkilerini önemli ölçüde azaltmak için kullanılacak yöntemlerden bir tanesi de yapıların yapısal bileşenlerinin hizmetlerinden sonra yeniden kullanılmasını sağlamaktır. Bu durum geniş çapta tartışılmış ve pek çok kişinin ilgisini çekmiş olsa da ana akım yapıların bu şekilde rekabetçi bir maliyetle inşa edilmesi mümkün olmadıkça, yapısal bileşenlerin yeniden kullanımının gerçekleşmeyeceği düşünülmektedir. Şu anda, bir binanın ömrünün sonunda, tüm çelik ve beton malzemeler hizmet vermeye devam etse de bina yıkılmakta ve büyük çelik elemanlar enerji yoğun eritme ile geri dönüştürülmektedir. Bunun yanında malzemenin geri kalanı daha çok çöpe atılmakta veya verimsiz bir şekilde geri dönüştürülmektedir. Bu tür atıkları büyük ölçüde azaltmak için, yapıların hizmetten sonra yeniden kullanılmak üzere tasarlanması ve inşa edilmesi norm haline getirilmelidir.

Betonarme yapı elemanlarının servis sonrası tekrar kullanılabilir hale getirilmesi, malzeme verimliliği stratejisinde bir öncelik olmalıdır. Yeniden kullanılabilir yapısal bileşenlerin başarısının anahtarı, yapı sisteminin kullanım ömrü sonunda kolayca sökülebilir hale getirmektir. Sökülebilir yapısal sistemler, inşaat hızı, tasarım esnekliği, maliyet azaltma ve enerji ve malzeme tasarrufu gibi birçok sürdürülebilir fayda sunmaktadır. Sökülebilir yapı elemanları, hızlı bir şekilde kurulabildiğinden/sökülebildiğinden veya genişletilebildiğinden daha az kesinti ve büyük tasarruf sağlamaktadır. Ancak, inşaat mühendisliği camiasının bu sistemi kabul etmesi için kapsamlı bir test programının yürütülmesi gerekmektedir.

Ülkemizde milyonlarca kişiyi evsiz bırakan deprem gibi doğal afetler düşünüldüğünde, acilen düşük maliyetli üretilmiş bir barınma ihtiyacı bulunmaktadır. Yeşil prefabrike bina sistemleri geliştirilerek bu taleplerin hem evsizler hem de gecekondü sakinleri için rahatlıkla karşılanabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, Hacettepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bünyesinde bu tür gereklilerin ortaya çıkardığı motivasyon ile sadece inşaat yıkıntı atıkları (İYA) kullanılarak geliştirilen yeşil beton sistemlerin sökülüp-takılabilen Lego benzeri üretim tekniklerinde kullanılmasını esas alan birçok çalışma yürütülmüştür. Yapılan çalışmalar neticesinde, İYA-esaslı malzemeler kullanılarak üretilmiş betonlar ile sökülüp-takılabilen yapısal elemanları (kolon, kiriş, döşeme vb.) geliştirilebilmiştir. Bu sayede, İYA gibi düşük kaliteli ve çevresel yükü olan bir atığın, yüksek katma değerli bir şekilde yenilikçi bir üretim tekniğinde kullanımının önü

açılmıştır. Bu kapsamda yaklaşık 300m² alana sahip tek katlı bir yapının inşa süreci kampüsümüz içerisinde tamamlanmış olup mevcut durumda bu yapı idari bina olarak kullanılmaktadır (Şekil 118). Konuyla ilgili daha detaylı bilgiye linklerden ([1](#), [2](#), [3](#), [4](#) ve [5](#)) ulaşılabilmektedir.



Şekil 118. İYA-esaslı malzemeler kullanılarak üretilmiş betonlar ile sökölüp-takılabilen yapı uygulaması



Şekil 118. İYA-esaslı malzemeler kullanılarak üretilmiş betonlar ile sökülüp-takılabilen yapı uygulaması (devam)

4.2.Üç Boyutlu Eklemeli İmalat Yöntemiyle İnşaat Yıkıntı Atıklarının Konut Amaçlı Kullanılması

Son yıllarda gelişmesinde önemli bir ivme kazanılan yeni nesil çevreci yapı malzemelerinin yanında bu malzemelerin üretilmesinde ileri teknoloji imalat teknikleri de kullanılmaktadır. Bu tekniklerden olan dijital fabrikasyon amaçlı eklemeli imalat (Eİ) katman üzerine katman eklemeye olarak tanımlanmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte, eklemeli beton yapı imalatı, mevcut beton endüstrisinin bazı zorluklarına çözüm olabilecek yaklaşımlardan bir tanesi olarak benimsenmiştir. Üç boyutlu (3B) Eİ ile yapıların inşası, geleneksel beton üretim yöntemlerine kıyasla çok daha fazla tasarım özgürlüğü tanıyan, daha ucuz, daha hızlı, daha ekonomik, işçilik hatalarını ortadan kaldıran, kalıp gerektirmeyen ve daha sürdürülebilir bir yöntemdir.

İnşaat yıkıntı atıkları kullanılarak geliştirilen yeşil betonun 3B-Eİ yoluyla kullanılmasıyla, dijital fabrikasyon ile yapı malzemeleri alanındaki teknolojik gelişmeler bir araya getirilerek, deprem sonrası açığa çıkacak yıkıntı atıklarının çevre, ekonomi ve toplum üzerindeki göz ardı edilemeyecek olumsuz etkilerini azaltmak/önlemek için küresel olarak uygulanabilir yeni nesil çözümler geliştirilmiş olacağı düşünülmektedir. Ayrıca mevcut durumda ülkemiz yerli kaynakları kullanılarak bu tür uygulamalar için büyük ölçekli beton yazıcıları geliştirilmekte olup bu kapsamdaki ilk yerli büyük ölçekli yazıcı Hacettepe Üniversitesi bünyesinde yürütülen bir proje kapsamında geliştirilip mevcut durumda başarılı bir şekilde uygulama faaliyetlerinde kullanılmaktadır (Şekil 119). Önümüzdeki kısa dönem içerisinde inşaat yıkıntı atıkları ile ilk prototip konteynır ve tek katlı yapıların eklemeli inşa sürecini ve bu yapıların deprem dayanım testleri planlanmaktadır. Konuyla ilgili daha detaylı bilgiye linkten (6) ulaşılabilir.

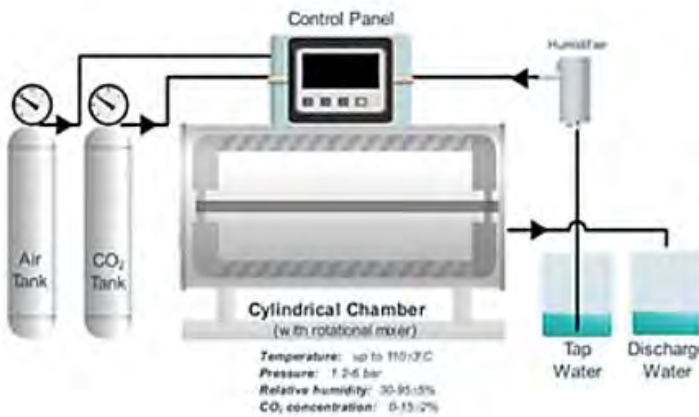


Şekil 119. Üç boyutlu eklemeli imalat ile inşa edilen laboratuvar ölçeğindeki yapı örneği

4.3.İnşaat Yıkıntı Atıklarının Endüstride Açığa Çıkan CO₂ Gazlarının Kalıcı Olarak Yakalaması Amaçlı Kullanımı

Yıkıntı atıklarından elde edilen ince tane boyutlu beton molozlarının geri dönüşümlerinde yüksek su ihtiyacı gibi bir takım teknik zorluklar bulunmaktadır. Ancak bu ince malzemelerin herhangi özel bir işleme gerek duymadan CO₂ gazlarını kalıcı olarak bünyelerinde yakalama gibi çok önemli faydaları bulunmaktadır. Böylelikle düşük kaliteli atıklar bir taraftan sanayide açığa çıkacak CO₂ emisyonlarını azaltarak diğer taraftan yüksek su ihtiyacı gibi olumsuz özelliklerini de ortadan kaldırabilmektedirler.

Hacettepe Üniversitesi bünyesinde gerçekleştirilen son çalışmalarda maliyet etkin bir şekilde doğrudan endüstri baca gazlarını kullanarak çok düşük kaliteli beton molozlarından elde edilmiş ince taneli atıkların ton başına ağırlıkça %10 mertebelerine kadar CO₂'yi kalıcı olarak yakalanabildiği gösterilmiştir. Böylelikle çimento ve demir-çelik endüstrisi gibi yüksek CO₂ emisyonuna sahip olan endüstrilerde karbon ayak izlerinin azaltılması kapsamında çok ciddi katkılar elde edilmiş olacaktır. Bu kapsamdaki ilk prototip reaktörün (Şekil 120) üretimi başarılı bir şekilde hazırlanmış olup önümüzdeki kısa dönem içerisinde bu reaktörün doğrudan yüksek CO₂ emisyonu sahip çimento ve demir-çelik fabrikalarına montajı ve pilot ölçekli reaktörün üretilmesi üzerinde durulacaktır. Bu sayede yüksek CO₂ emisyonlarına sahip endüstrilerin çevreye verdikleri olumsuz etki azalacak olup bu kapsamda olası büyük yaptırımlar engellenmiş olacaktır.



Şekil 120. Prototip reaktör

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kahramanmaraş – Pazarcık ve Kahramanmaraş – Elbistan depremleri ana sarsıntılarının ardından yapılan saha çalışmaları sonucunda zeminlerde ve yapılarda, ülkemizde tespit edilen en büyük yıkımlardan birine tanıklık edilmiştir. Bölgede özellikle Hatay, Adıyaman, Kahramanmaraş ve Gaziantep'in ilçeleri olan Nurdağı ve İslahiye'de ağır bir yıkım yaşanmıştır. Kahramanmaraş – Pazarcık depremi etkisiyle Hatay, Adıyaman, Gaziantep, Diyarbakır, Şanlıurfa ve Elazığ illeri aldıkları görece olarak büyük ivme talepleri neticesinde büyük hasarlar almıştır. Kahramanmaraş – Elbistan depreminde ise Malatya ve Kilis illerine ilk depreme göre daha büyük ivmeler etki etmiştir. Ayrıca, Kahramanmaraş, Osmaniye ve Adana illeri ise her iki depremde de benzer büyüklükte yer ivmelerine maruz kalmıştır. Depremler sonrası yapılan saha gözlemleri ve analizler neticesinde aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

1. Afetlerden sonra raporun 4. Bölümünde özetlenmeye çalışıldığı gibi uydu veya hava taşıtları (LiDAR, insansız hava aracı (İHA), vb.) uçurularak hızlı bir şekilde bölgeye ait yüksek çözünürlüklü iki ve üç boyutlu veri toplanması gerekmektedir. Uydu veya hava taşıtlarının ilk olarak hangi bölgelerde uçurulması gerektiğine; Türkiye ivme veri tabanı ve analiz sisteminden (TADAS) elde edilen azami yer ivmeleri dağılımına göre karar verilmelidir. Toplanan iki ve üç boyutlu veriler önceden geliştirilmiş nesne tanımlama ve hasar tespit modelleri (makina ve derin öğrenme tabanlı modeller) kullanılarak incelenen bölgede güncel durum tespiti gerçekleştirilmesi ve hasarın hangi bölgede yoğunlaştığı belirlemek için kullanılmalıdır.
2. Uydu ve hava araçları kullanılarak toplanan verilerden elde edilen nesne ve hasar bilgilerinin mobil cihazlardaki harita uygulamalarıyla entegre olabileceği bir yazılım üretilmesi gerekmektedir. Bu yazılımla hasarlı bölgeler, acil yardımın ulaşması gereken alanlar, kapalı yollar, vb. karar alma mekanizmasında ve lojistik destek rotalarının oluşturulmasında önemli rol oynayan doneler dijital ortama aktarılabilir. Böylece, hızlı bir reaksiyon planı oluşturulmuş olacak ve AFAD ekipleri ve gönüllülerin yol rotası edinmelerinde yaşanan aksaklıklar giderilebilecektir.
3. Afet sonrası lojistik destek ve ekipman ulaştırma konusunda gelişmiş yazılımlar üretilmelidir. Böylece, eldeki stokların hangi bölgelere intikal ettirilmesi gerektiği hakkındaki kararlar daha rasyonel bir şekilde alınabilecektir.
4. Ülkemizin aktif bir deprem bölgesinde konumlanmış olmasından ve günümüz teknolojisiyle depremin nerede ve ne zaman olacağını tahmin edemediğimizden

dolayı, ülkemiz genelinde olası deprem senaryoları için deprem simülasyonlarının önceden yapılması gerekmektedir. Böylece olası deprem anında her ekip neyi, ne zaman ve nasıl yapmakla yükümlü olduğunu daha iyi idrak edebilecektir. Saha incelemelerinden tecrübe edildiği gibi, depremde hemen sonra özellikle alt yapı hasarının hemen tespiti ve onarılması büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, özellikle demiryolları, karayolları ve havalimanlarında oluşabilecek farklı hasar senaryoları için en hızlı onarım yapılmasına yönelik çözüm önerileri geliştirilmelidir. Bu konuda TÜBİTAK önderliğinde proje çağrısına açılması önerilmektedir.

5. İki büyük depremde kaydedilen yer hareketleri sonrasında deprem şartnamelerinde önerilen tasarım ivmelerinin hemen hemen her deprem seviyesi için aşıldığı görülmektedir. Bu nedenle, en kısa zamanda sismik tehlike analizlerinin tüm Türkiye için yenilenmesi gerekmektedir.
6. Yürürlükte olan deprem şartnamesinde verilen tasarım ivme spektrumunun sabit hız bölümünün yer hareketlerinin analizinden elde edilen ivme spektrumlarıyla korelasyonu, 2007 – 2018 yılları arasında yürürlükte olan tasarım ivme spektrumunun sabit hız bölümüne göre daha düşük bir performans göstermiştir. Bu nedenle, sismik tehlike analizleri aşamasında bu konunun da dikkate alınması gerektiği düşünülmektedir.
7. Türkiye Bina Deprem Şartnamesinde verilen tasarım ivme spektrumu hesabında dahil edilmeyen yakın fay etkisi, derin zemin etkisi ve topografik etkiler yeni sismik tehlike analizleri aşamasında bu değişkenler de dikkate alınmalıdır.
8. Sahada yapılan gözlemlerde, zemin etkisinin özellikle binaların deprem sırasındaki performansları üzerinde oldukça yüksek etkisi olduğu görülmüştür. Birbine benzer yapıların yumuşak zeminler üzerinde ağır hasarlı olmalarına rağmen, kaya zeminler üzerinde çok daha az hasar aldıkları/hasarsız kaldıkları dikkat çekmektedir. Bu durum gerek yerleşim yerlerinin seçilmesi gerekse de yapı temellerinin tasarımı sırasında ayrıntılı zemin etüdü yapılması ve zemin etkilerinin (örneğin olası sıvılaşabilir tabakaların) mutlaka göz önüne alınması gerekliliğini bir kez daha açık bir şekilde göstermiştir.
9. Sahada yapılan gözlemlerde neredeyse her deprem sonrası gözlemlenen kötü donatı detaylandırılması dikkat çekmektedir. Bu konuda, yapı denetim sistemine yeni bir bakış açısı getirilmesi gerektiği aşikârdır. Yapı denetim sisteminde her bina için bir dokümantasyon tutulması ve bu dokümantasyonda bina inşaatının her aşamasında (sondaj alınması aşamasından ince işlerin bitimine kadar) bina inşaatındaki ilerleme fotoğraflarla ve videolarla belgelenmelidir. Toplanan veriler yapıya ait BIM modelini de içeren dijital ikizin oluşturulması aşamasında

kullanılmalıdır. Oluşturulan dijital ikiz binada yapılan inşaatla ait her detay ve yapı denetimin kontrol etmekle yükümlü olduğu her detay fotoğraf ve raporları da içermelidir. Bu dijital ikiz bir bulut hesabında tutulmalı ve yapının ömrü boyunca yapılacak değişiklikler veya gözlemler buraya eklenebilmelidir. Her bina için ayrıca bir bellek yapı denetim şirketinde bir bellek belediye ve bir bellek de bina müteahhitinde olmak üzere üç adet arşiv oluşturulmalıdır. Ayrıca, saha mühendisine benzer bir şekilde, yapı denetim uzmanı sadece özel durumlarda değil her an (sadece beton dökümü gibi özel durumlarda değil) bulunmalıdır.

10. Deprem bölgelerinde en fazla karşılaşılan sorunlardan bir tanesi de yapısal elemanlarda korozyonun olmasıdır. Özellikle binanın en dıştaki eğilmede çalışan kolonların dışa bakan kenarlarında korozyondan dolayı ve betonun içine çeşitli bileşenli suyun penetre olması ile beton çürümesi meydana gelmiş ve donatı da paslanmış olarak beton ile donatı arasındaki adezyon bağı kopmuştur. Böylece deprem yüklerine maruz kalan dış kolonların boyuna donatılarında etriyelerinde seyrek ve 135 derece bükülmemesinden dolayı burkulmalar meydana gelmiştir. Kolon beton kesit alanının korozyon ile kabuk atmasından dolayı küçülmesinden dolayı yıkım hızlanmıştır. Depremde gözlemlenen bu sorunlar düşünüldüğünde özellikle dışta olan kolonlardaki pas payının diğer kolonlara nispeten fazla olması ve beton geçirgenliğinin az olmasının ileriye dönük hayati önem arz etmektedir.
11. 4708 sayılı Yapı Denetim kanunu gereği, denetim firmaları şantiye şefinin sahada hazır olarak bulunmadığı durumda kesinlikle beton dökümüne izin vermemelidir. Betonun işlenişinin kolaylaştırılması amacıyla usta veya işçilerin betona su katmalarına izin vermemelidirler. İlgili kanunda bunun gibi önleyici cezai yaptırımlar getirilmelidir.
12. Yapı denetim firmaları kamu adına da denetim yaptıkları için, şantiye şartlarında müteahhit, şantiye şefi, usta veya işçilerle olabilecek anlaşmazlık vb saldırganlık durumlarına karşı, denetim görevlilerin yasal olarak korunmasını sağlayacak yasal düzenlemelerin yapılması ve ilgili cezai müeyyidelerin TCK kapsamında da yer bulması gerekmektedir.
13. Bakanlık, ilgili idare çalışanlarının yapı denetimi kapsamında düzenli olarak eğitilmeleri gerekmektedir.
14. Bina inşası aşamasında kontrol edilmeyen beton kütleme işlemleri de yapı denetim sisteminde en az 7 günlük süre ile kontrol edilmeli ve kayıt altına alınmalıdır.
15. Binanın sondaj ve temel kazıları aşamasında yürütülen her çalışma kontrol edilmeli ve kayıt altına alınmalıdır. Temel ve gömülü mahallerdeki su izolasyonu, yer altı su seviyesine göre seçilecek uygun yöntemler ile zorunlu olmalıdır.

16. Bu yapı denetim sisteminden sonra bina teslimi aşamasında binanın rastgele bir katından rastgele bir taşıyıcı elemanından donatı sıyırması yapılıp gerekli detaylandırmanın yapılıp yapılmadığı kontrol edilmelidir. Eğer şartnamelerle çelişen bir konu varsa bu konunun giderilmesi için cezai yaptırım uygulanmalı ve belirtilen sürede bu eksiklik giderilemiyorsa binanın ruhsatı iptal edilip yıkımına dair karar verilmelidir. Eksiklik bulunan binada görevli yapı denetim sorumlusu, mühendisler ve müteahhit hakkında cezai işlem uygulanmalıdır.
17. Bina tasarımında görev alan tüm mühendislerin binanın tasarımında tek sorumlu olduğu bir kanunla kayıt altına alınmalıdır. Bu sistemde bina tasarımı yapan mühendisler bir sigorta poliçesiyle her yaptıkları tasarımlarını güvence altına almalıdır.
18. Müteahhitlik müessesesi artık bir meslek olarak ilan edilmeli ve ancak belli eğitimleri tamamlamış ve/veya diplomalara sahip kişiler tarafından icra edilmelidir.
19. Binalarda yapılan tüm tadilatlar kayıt altına alınmalı ve oluşturulan dijital ikize eklenmelidir. Bu konuda bina yöneticilerine sorumluluk yüklenmelidir. Böylece, sahada gözlemlenen elektrik, su, vb. alt yapı borulama işlemlerinde taşıyıcı sisteme verilen zararlar (kolon ve kirişlerin delinerek boru geçirilmesi, boyuna donatı veya yatay donatıların kesilmesi) önlenecektir.
20. Bina tadilatları ve inşaatında görev alan usta ve işçiler acil bir şekilde eğitime alınmalı ve şu aşamada yaptıkları yanlış uygulamaların olası ne gibi sonuçları olacağı hakkında bilgilendirilmelidirler.
21. Bina tasarımında kullanılan can güvenliği yaklaşımının ülkemiz gibi çok kollu faylanmaya sahip ülkelerde rasyonel bir çözüm olmadığı özellikle Adıyaman, Malatya ve Elazığ illeri incelendiğinde anlaşılmaktadır. Malatya ve Elazığ illeri son yıllarda Van depremleri ve Elazığ depremleriyle oldukça zayıflamış bir yapı stokuna sahiptir. Yer ivmelerinin diğer aşırı hasar alan illere göre göreceli olarak düşük kalmasına rağmen Malatya ve Elazığ illerindeki hasar tespiti yapılan binaların yaklaşık olarak, sırasıyla, %65 ve %26'sı ağır hasar almış veya yıkılmıştır. Bu gözlem, ülkemizde tasarım depremi sonrası ağır hasara yakın bir hasar alma ideolojisinin ülkemiz gibi bir ilin birden çok fay sisteminden yakın zaman içinde sarsılma olasılığı yüksek yerleşimlere uygun olmadığının ispatıdır. Bu nedenle, tasarım aşamasında bazı aşırı tasarım ilkelerinin (minimum perde alanı / kat alanı oranı, minimum kolon alanı / kat alanı oranı, sismik izolatör uygulaması zorunluluğu, kat sönümleyici uygulama zorunluluğu gibi) zorunlu tutulması gerekliliği bulunmaktadır. Bu zorunluluklar uygulanırken binaların kullanım amaçları ve nitelikleri de dikkate alınmalıdır. Bu maksatla, konutlar için bina önem katsayısının arttırılması, hemen hemen her deprem sonrasında karşılaşılan aşırı

mafsallaşan merdiven detaylarının tekrar gözden geçirilmesi ve şartnamelere özel ilkeler eklenmesi, yumuşak kat ve ağır çıkmalar için şartnamelere kısıtlayıcı tedbirler ve tasarım ilkelerinin geliştirilmesi gerekmektedir.

22. Yaşanılan deprem sonrasında arama kurtarma çalışmalarında görev almış, lojistik faaliyetlere katılmış ve teknik destek sağlamış olan tüm kurum ve kuruluşlar bir araya gelip gözlemledikleri eksiklikleri tartışmalıdır. Daha sonra bu eksiklikleri gidermek amaçlı TÜBİTAK veya başka bir kamu kurumu önderliğinde öncelikli alanlarda çağrılar açılmalıdır.
23. Hasar almış binaların güçlendirilmesi aşamasında hasara oranla yapısal elemanın hem rijitlik hem de kapasite hesaplamaları hasarsız taşıyıcı elemanlardan farklılık göstermektedir. Bu konuyla ilgili Tablo 5 ve Tablo 6’te listelenen değerlerin kullanılması önerilmektedir. Bu değerler geçmiş yıllarda yapılmış olan deneysel çalışmalardan elde edilen kazanımlar ve Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğüyle ortak yürütülen bir proje kapsamında geliştirilmiştir.

Tablo 5. Hasara bağlı eğilme ve kayma rijitlik azaltım katsayıları

	Hasarsız	Hafif	Orta	Ağır
Kiriş	1	0,45	0,20	0,10
Kolon	1	0,60	0,25	0,10
Perde duvar	1	0,40	0,20	0,10
Bölme duvar	1	0,30	0,15	0,05

Tablo 6. Hasara bağlı dayanım azaltım katsayıları

	Hasarsız	Hafif	Orta	Ağır
Kiriş	0,90	0,65	0,30	0
Kolon	0,90	0,50	0,20	0
Perde duvar	0,90	0,40	0,20	0

24. Afetler sonrası açığa çıkan büyük miktardaki yıkıntı atıklarının döngüsel ekonomiye tekrardan kazandırılması elzemdir. Böylece, temiz tarım alanlarının geri kazanımı, depolama ve yıkım kaynaklı toprak, su ve hava kirliliğinin

azaltılması, atıkların bertarafı ve katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi sağlanmış olacaktır. Raporun 5. bölümünde özetlenmeye çalışıldığı üzere, yıkıntı atıklarının inşaat sektörünün daha farklı kullanım alanlarında yaygın olarak kullanılabilir. Bu atıkların tekrardan inşaat sektöründe kullanılmasıyla birlikte, çimento ve beton üretimi kaynaklı çevresel yükü yüksek olan inşaat sektörü ciddi bir adım atmış olacak ve yaşadığımız deprem sonucu artan yerleşim ve altyapı ihtiyaçlarına daha çevreci ve ekonomik çözümler üretmek adına büyük adımlar atmış olacaktır.

25. Ülkemizdeki sismik hareketlilik ve yapı stoğundaki eksiklikler göz önüne alındığında gelecek yıllarda olması beklenen güçlü yer hareketlerine karşı direncin artırılması maksatlı pilot illerde hızlı sismik tarama sistemleri kullanılmalıdır. Bu maksatla Üniversitemiz bünyesinde gerçekleştirilen TÜBİTAK destekli projelerde makine öğrenmesi ağı entegre edilerek detaylı sismik analizlerle korelasyonu artırılmış ve veri toplama aşamasında İHA kullanılarak otomotize edilebilen sistemler geliştirilmektedir. Ülkemizdeki ve dünyadaki bu ve benzeri uygulamalar kullanılarak yapı stoklarındaki eksiklikler güçlendirme uygulamalarıyla en aza indirilmeye çalışılmalıdır.

Kaynaklar

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). 2020. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) M_w 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) M_w 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu. (https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmaras%20%20Depremleri_%20On%20Degerlendirme%20Raporu.pdf)
- Akgün, E., İnceöz, M., & MANAP, H. S. (2021). Aktif tektonikte uzaktan algılama uygulamaları: Doğu Anadolu fay zonu'ndan bir örnek. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 36(2), 473-482.
- Allen, C.R., 1969, Active faulting in northern Turkey. Contr. 1577. Div. Geol. Sciences, Calif. Inst. Tech., 32 pp.
- Ambraseys, N., N., 1989, Temporary Seismic Quiescence: SE Turkey, Geophysical Journal, 96, 311-331.
- Arpat, E. ve Saroglu, F., 1972, Dogu Anadolu fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. MTA Dergisi, 78, 44-50.
- Arpat, E. ve Saroglu, F., 1975. Türkiye'de bazı önemli genç tektonik olaylar. Türkiye Jeoloji Bülteni, 18, 1, 91-101.
- Barka, A. A., Saroglu, F., Emre, O., & Kuscü, I. (1996). Active faults of Turkey. J. Earthq. Prediction Res, 5(3), 413-421.
- Cinar, O.F., Aldemir, A., Zervent, A., Yucel, O.B., Erberik, M.A., Anil, O., Sahmaran, M., Kockar, M.K. ve Askan, A. 2022. Fundamental Period Estimation of RC Buildings by considering Structural and Non-structural Damage Distributions through Machine Learning Network, Neural Computing and Applications (değerlendirmede)
- Demirtaş, R. ve Erkmen, C. 2008. Doğu Anadolu Fay Sistemi Deprem Etkinliği-Gelecek Deprem Potansiyeli. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara. 20 s.
- Duman, T., & Emre, Ö. (01 2016). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. doi:10.6084/M9.FIGSHARE.3453179
- Gül, M. A., 2000, Geology of Kahramanmaraş Region. Hacettepe University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ph.D. Dissertation, 304 s.
- Gursoy, H., Tatar, O., Piper, J.D.A., Heimann, A., Mesci, L. 2003. Neotectonic deformation in the Gulf of Iskenderun, Southern Turkey, deduced from paleomagnetic study of the Ceyhan – Osmaniye Volcanics. Tectonics 22, 1067– 1079.

- Herece, E. ve Akay, E., 1992, Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi, Bildirileri, 361-372.
- Herece, E., 2003. Doğu Anadolu Fayı, Deprem ve Kentleşme. 23-25 Eylül 2003, TMMOB Jeoloji Müh. Odası yayınları 78, Konferans serisi 3.
- İmamoğlu, M. Ş. ve Çetin, E., 2007. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Yöresinin Depremselliği, D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi 9, 93-103.
- Kale, Özkan, M. A Sandıkkaya, B. Akbaş, K. Albayrak, A. Altındal, A. Askan, M.F. Aydın, G. Can, K. Ö. Çetin, Z. Gülerce, B. Güryuva, M. İlgaç, N. S. Işık, A. İçen, O. İlhan, O. Kanun, G. Muratoğlu, O. S. Okçu, A. A. Özacar, E. Sopacı (2023). Analysis for Strong Ground Motion Characteristics from the 6 February 2023 Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes: Pazarcık M_w 7.8 and Elbistan M_w 7.7. Bulletin of Earthquake Engineering (yazım aşamasında).
- Kelam, A.A., Karimzadeh, S., Yousefibavil, K., Akgün, H., Askan, A. Erberik, M.A., Koçkar, M.K., Pekcan, O., Ciftci, H., 2022, "An evaluation of seismic hazard and potential damage in Gaziantep, Turkey using site-specific models for sources, velocity structure and building stock," Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 154, Article Number 107129.
- McClusky, S. C., Balassanian, S., Barka, A., Ergintav, S., Georgie, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidse, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadaria, M., Ouzounis, A., Paradisissis, D., Peter, Y., Pirilepin, M., Reilinger, R. E., Şanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, N. and Veis, V., 2000, Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, 105, 5695-5719.
- McKenzie, D.P. (1972) Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 30, 109-158.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, 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: Solid Earth, 111(B5).
- Saroglu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ., 1992, The East Anatolian Fault Zone of Turkey. Annales Tectonicae, Special Issue, VI, 99-125.S
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray, A., 1987, Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdları Dairesi Başkanlığı, Ankara, III+394 s.+11 harita.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşçu, İ., 1992, Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Sedimentation in an Active Strike-Slip Basin, Southeastern Turkey M. R. Hempton, L. A. Dunne, and J. F. Dewey The Journal of Geology 1983 91:4, 401-412

Seymen, İ. & Aydın, A. (1972). BİNGÖL DEPREM FAYI VE BUNUN KUZEY ANADOLU FAY ZONU İLE İLİŞKİSİ . Bulletin of the Mineral Research and Exploration , 79 (79) , 1-12 .

Taymaz, T., H. Eyidoğan, J.A. Jackson (1991) Source parameters of large earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). Geophys. J. Int., 106: 433-490.

Üzer, M., Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., & Şaroğlu, F. (2013). Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1: 1.250. 000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Westaway, R., 2003, Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, Turkish J. Earth Sci., 12, 5-46.