



**6 ŞUBAT 2023
PAZARCIK (Mw 7.7) ve ELBİSTAN (Mw 7.6)
DEPREMLERİ
ÖN DEĞERLENDİRME RAPORU**

Dr. Öğr. Üyesi Özgür YILDIZ

Dr. Öğr. Üyesi Ceren KINA

Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem CEYLAN

Dr. Öğr. Üyesi Fatma ÜLKER

Araş. Gör. Esmâ SARIŞIN

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü

14 Mart 2023

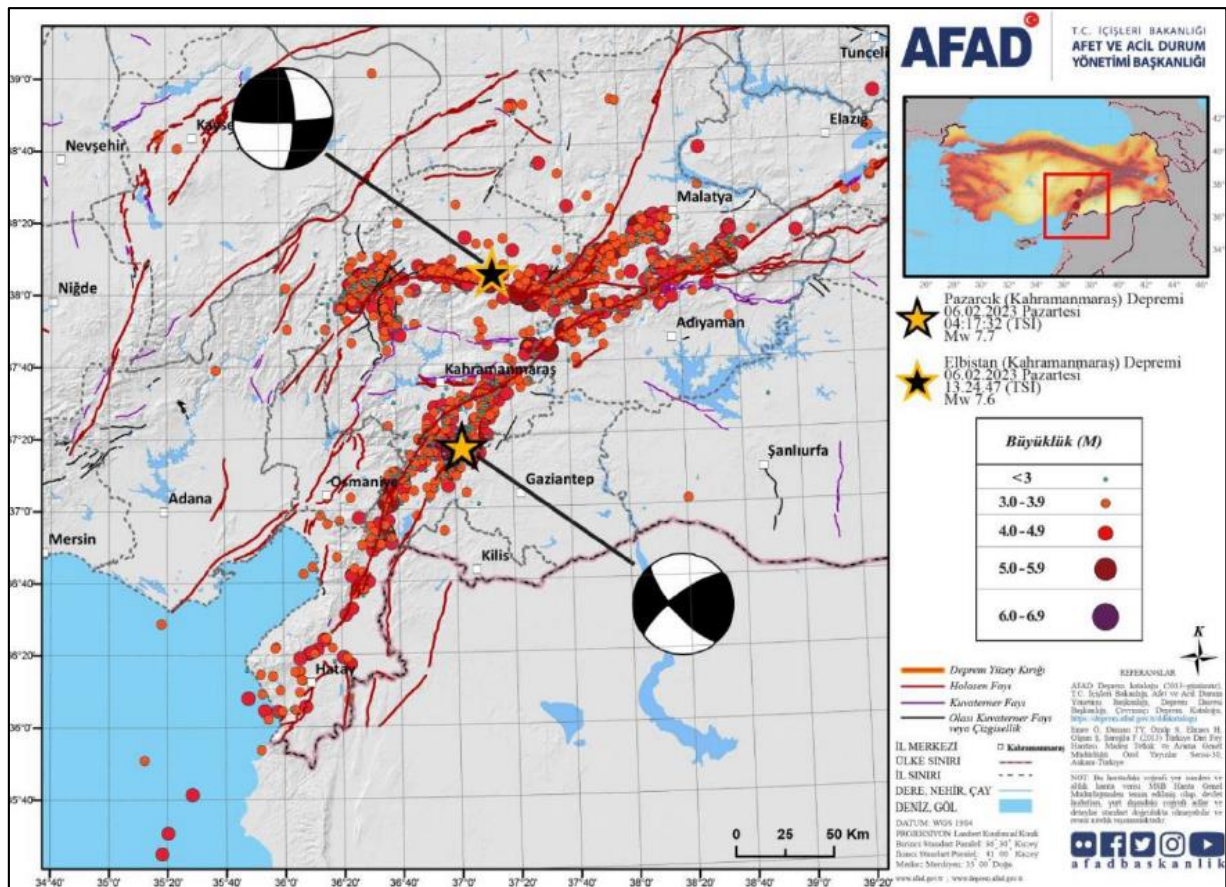
Malatya

GİRİŞ

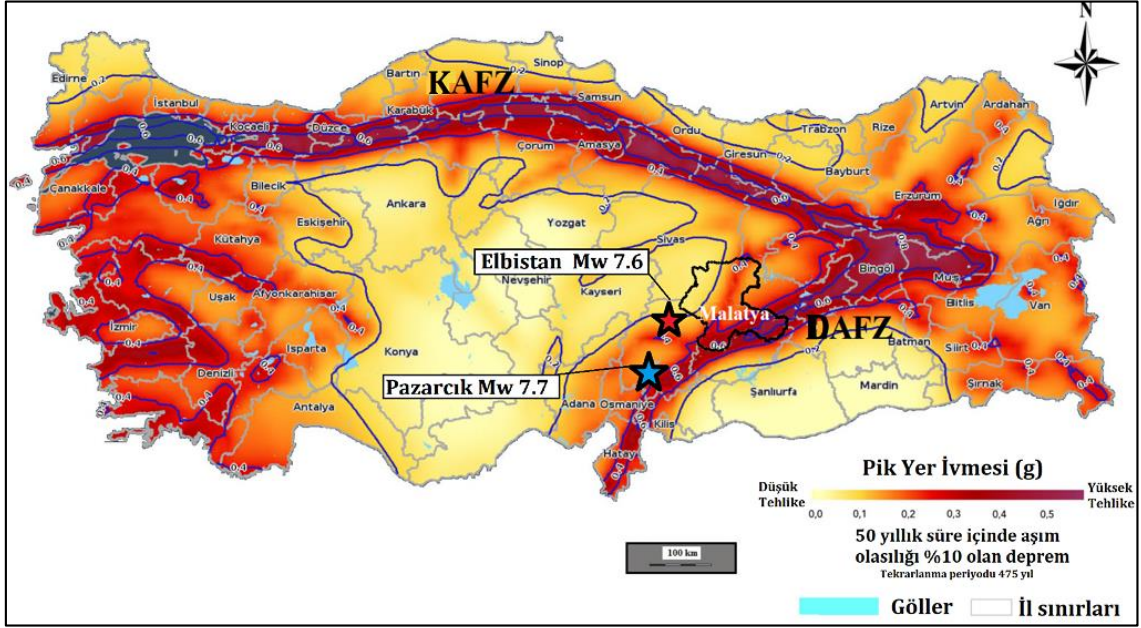
06.02.2023 tarihinde Türkiye saati ile 04:17' de (GMT +03:00) Ekinözü Pazarcık Kahramanmaraş (Enlem: 37.288, Boylam: 37.043) ve 13:24' de (GMT +03:00) Elbistan Kahramanmaraş (Enlem: 38.089, Boylam: 37.239) merkezlerinde moment büyüklükleri Mw 7.7 ve Mw 7.6 olan, yerin sırasıyla 7.7 ve 8.6 km derinliğinde iki deprem meydana gelmiştir. Deprem, başta Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye, Şanlıurfa ve Elazığ olmak üzere Türkiye sınırları içinde geniş bir coğrafya ile ülkemiz dışında Suriye' de de hissedilmiş ve önemli yapısal yıkımlara yol açmıştır. Deprem gerçekleştiği 6-9 Şubat tarihleri arasında Pazarcık ve Elbistan merkez üslerine 350 km yarıçaplı alan içerisinde büyüklüğü M 4 ve M 6.6 arasında değişen 3000' i aşkın artçı deprem meydana gelmiştir (Şekil 1). Her iki depremin etki alanında bulunan yerleşim yerleri Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde yer almaktadır. Depremlerin fay mekanizması sol yanal doğrultu atımlıdır. Ulusal ve uluslararası kuruluşlar tarafından her iki deprem birbirine yakın büyüklüklerde (Kahramanmaraş Pazarcık 7.7-7.8 ve Kahramanmaraş Elbistan 7.5-7.6) rapor edilmiştir. Türkiye deprem tehlikeleri haritası üzerinde yerleşim bölgelerinin 475 yıl tekrarlanma periyodu olan deprem aktiviteleri altında barındırdıkları tehlike seviyeleri görülmektedir (Şekil 2). Pik yer ivmesi cinsinden (PGA) Bingöl-Karlıova' dan Hatay' a kadar uzanan kol üzerinde konuşlanmış yerleşim yerleri 0.50g ve üzeri seviyeler ile yüksek tehlikeli alanlar olarak değerlendirilmektedir.

Aynı günde bu büyüklüklerde iki depremin birbirine çok yakın odak noktalarında gerçekleşmesi, etki altına aldığı geniş coğrafya ve yol açtığı yapısal hasar, can ve mal kayıpları bu depremlerin mekanizmaları ve etkilerini mühendislik ve yer bilimi açısından incelenmeye değer kılmaktadır. Bu rapor ile bölgenin sismolojik ve jeolojik yapısı ile güçlü yer hareketi kayıtları incelenerek 6 Şubat 2023 Pazarcık (Mw 7.7) ve Elbistan (Mw 7.6) depremlerinin ön değerlendirmesi yapılmakta, saha incelemeleri ile başta Malatya il merkezi ve ilçeleri olmak

üzere etki alanı içindeki yerleşim bölgelerinde sosyal işleyiş, konut, ulaştırma, su temin, su tutma ve dayanma yapılarının oluşturduğu yapısal stok üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Bu rapor kapsamında sunulan hasar tiplerini ve imalat kusurlarını örnekleyen görsellerin paylaşımındaki yegane hedef, felaketin yarattığı yapısal hasarı gözler önüne sermek ve bundan mühendislik bilimi ve toplumsal bilinç açısından azami faydayı elde etmektir.



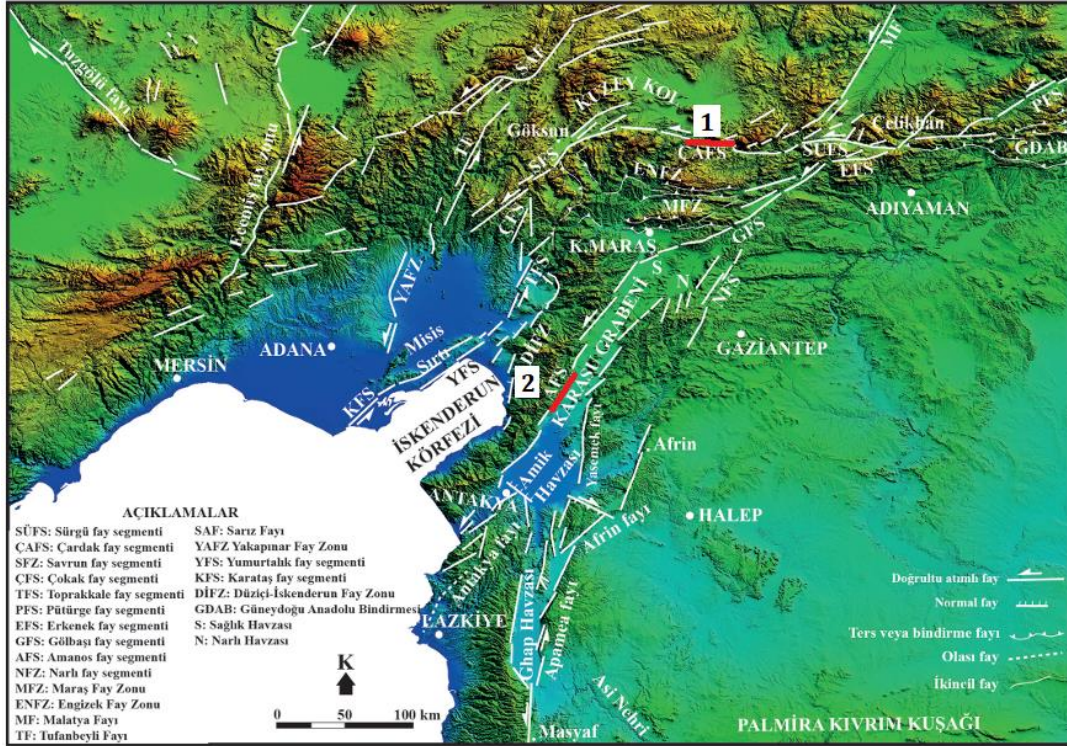
Şekil 1. 6-9 Şubat 2023 tarihleri arasında gerçekleşen deprem aktiviteleri [1]



Şekil 2. Türkiye deprem tehlikeleri haritası ve yerleşim yerlerinin tehlike seviyeleri [2]

Sismik Kaynak ve Kuvvetli Yer Hareketinin İncelenmesi

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bingöl Karlıova üçlü birleşim noktasından Hatay Ölü Deniz Fay Zonuna kadar uzanan ve ülkemiz sınırları dışına çıkan, yıllık 4-8 mm kayma hızlarına sahip segmentlerden oluşmaktadır. Pazarcık (Mw 7.7) depremi Ölü Deniz Fay Zonunun kuzeyinde bulunan Amanos segmenti üzerinde gerçekleşmiştir. Müteakiben gerçekleşen Elbistan (Mw 7.6) depremi ise Pazarcık merkez üssünün kuzeydoğusunda bulunan Çardak fayı üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 3). Her iki depremin en yakın yerleşim yerlerine olan mesafeleri 2 ile 6 km arasında değişmektedir. Sismik şiddet ve hasar etkilerine bağlı olarak Pazarcık (Mw 7.7) depreminin modifiye edilmiş Mercalli şiddet skalasına göre (MMI) XI şiddetinde, Elbistan (Mw 7.6) depreminin ise X şiddetinde olduğu hesaplanmıştır. Her iki depremin etkilediği 11 il sınırları içinde yaklaşık 14.5 milyon nüfusun yerleşik olduğu bilinmektedir. Böylesi geniş bir coğrafyada yıkım etkisine neden olan depremler sonrasında İçişleri Bakanlığınca S4 (1. ve 2. Grup Destek İller+Ulusal Kapasite+Uluslararası destek) seviyesinde yardım çağrısında bulunulmuştur.

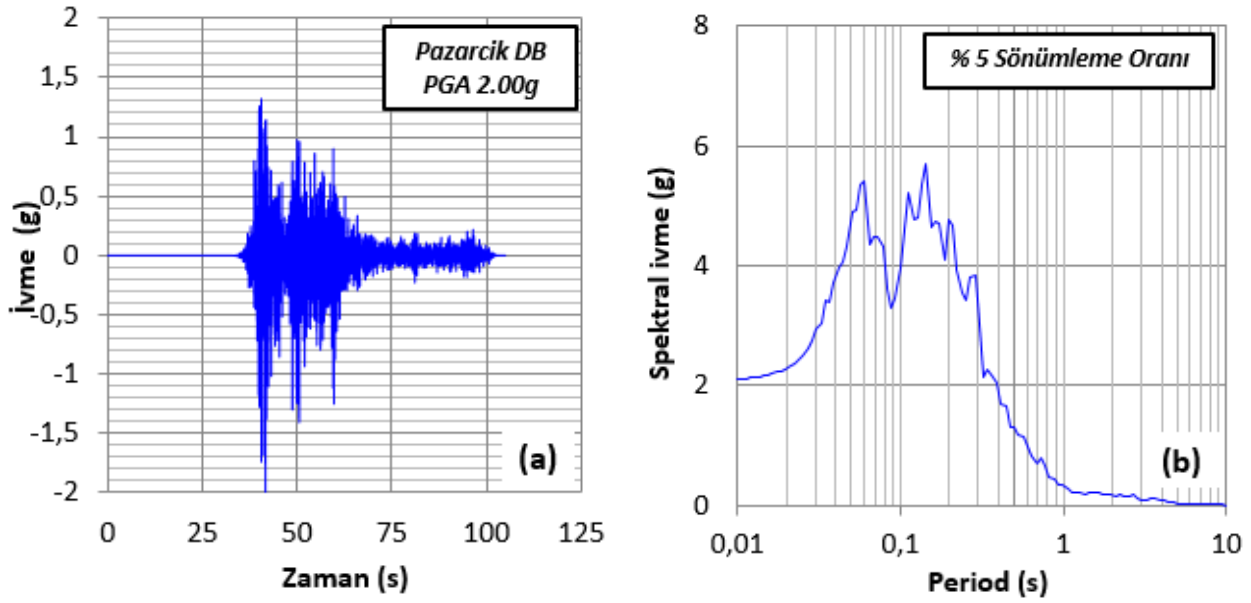


(* 1: Çardak fay segmenti; 2: Amanos fay segmenti)

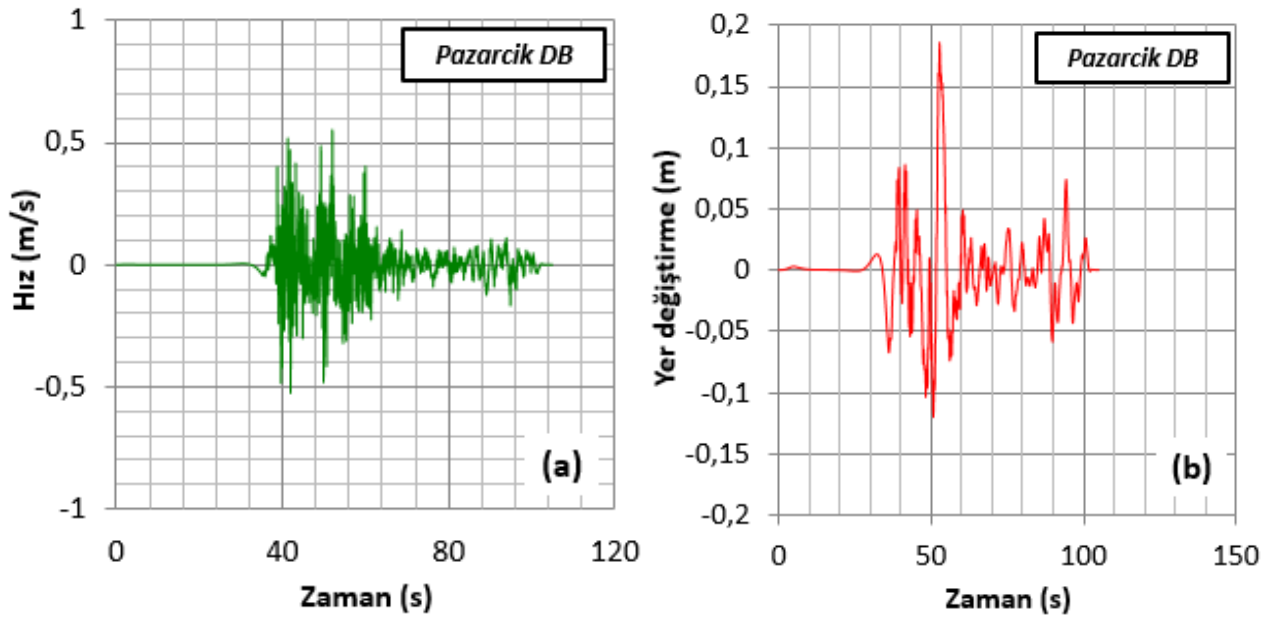
Şekil 3. Kahramanmaraş ve çevresi tektonik haritası (Palutoğlu ve Şaşmaz, 2017' den değiştirilerek) [3]

Pazarcık (Mw 7.7) depremi (TSİ 04.17- GMT +03:00)

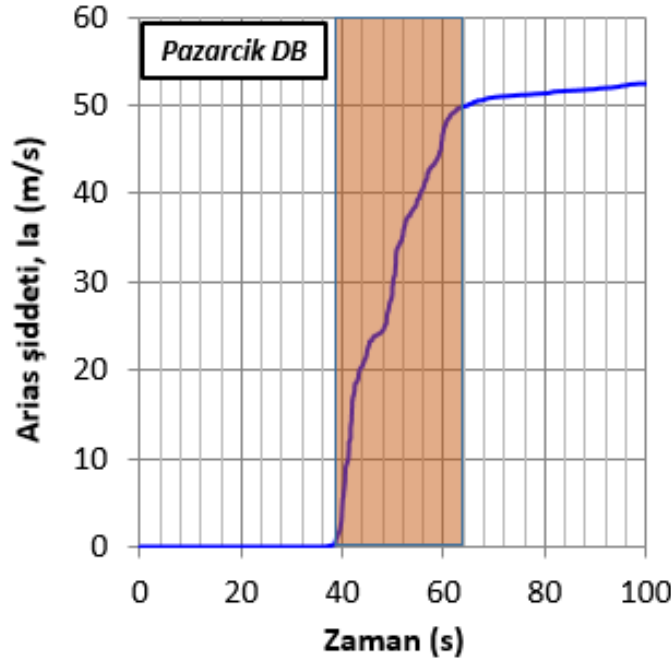
Pazarcık (Mw 7.7) depreminin ölçülen en yüksek aletsel ivme değeri DB bileşenine ait olarak 1966.74 cm/s^2 (2.00 g) ile TK4614 Kahramanmaraş istasyonunda kaydedilmiştir. Aktivite derinliği 8.6 km, istasyon lokasyonuna ait V_{s30} kayma dalgası hızı 671 m/s olarak raporlanmıştır. Depremin odak noktasına olan episentral mesafe 31.42 km olarak kaydedilmiştir. İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri Şekil 4' de yer almaktadır. % 5 sönümlleme oranına göre spektral ivmenin hakim periyodunun 0.1-0.2 s aralığında olduğu görülmüştür (Şekil 4). Pik hız değeri 0.552 m/s ve maximum yer değiştirme ise 0.186 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Depremin anlamlı süresi 39.71 ile 63.77 s arasında 24.06 s olarak hesaplanmıştır (Şekil 6).



Şekil 4. Pazarcık DB (M_w 7.7) (a) ivme-zaman, (b) spektral ivme grafiği

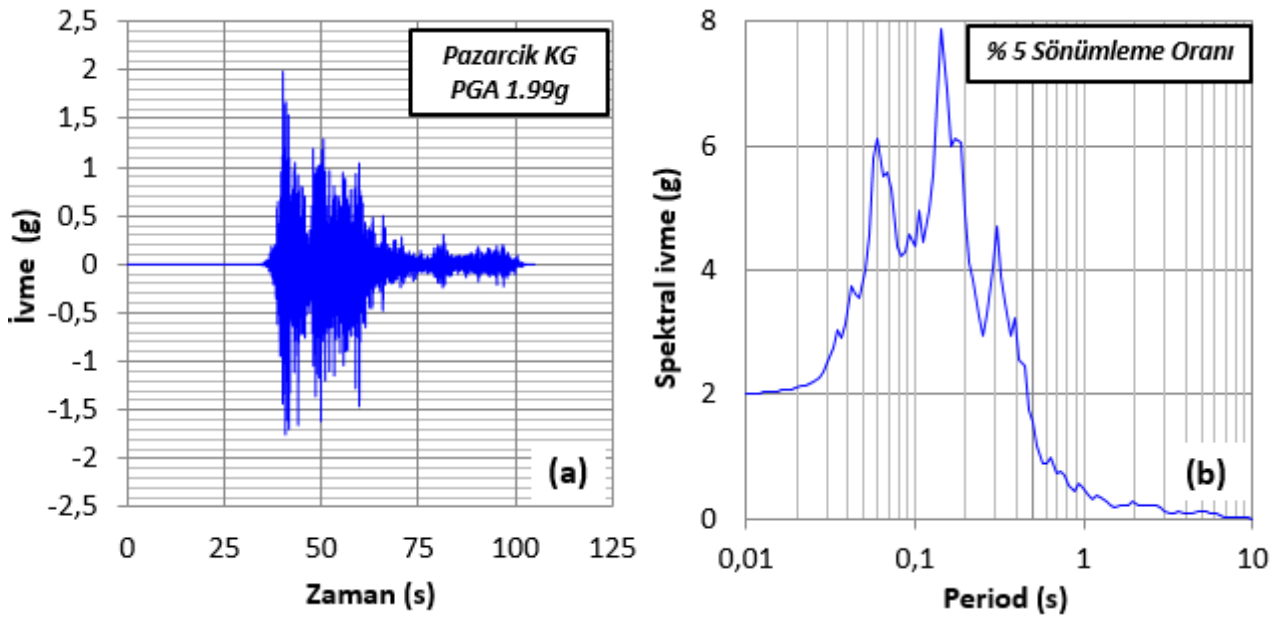


Şekil 5. Pazarcık DB (M_w 7.7) (a) hız-zaman, (b) yer değiştirme-zaman grafikleri

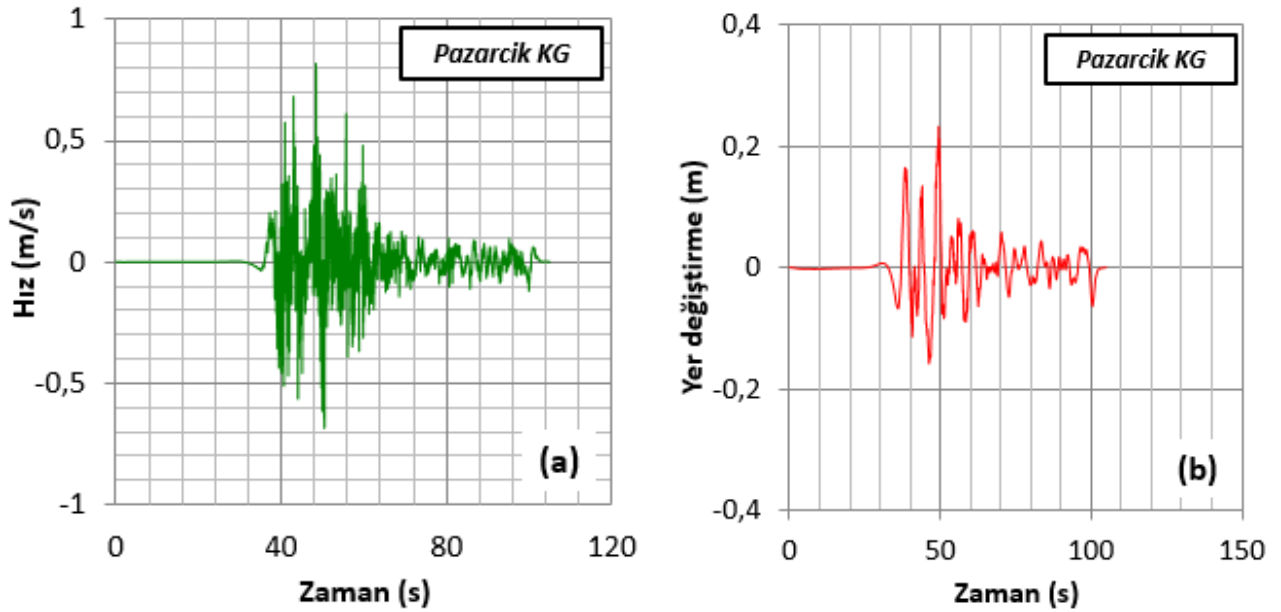


Şekil 6. Pazarcik DB (M_w 7.7) Arias şiddet eğrisi ve anlamlı süre gösterimi

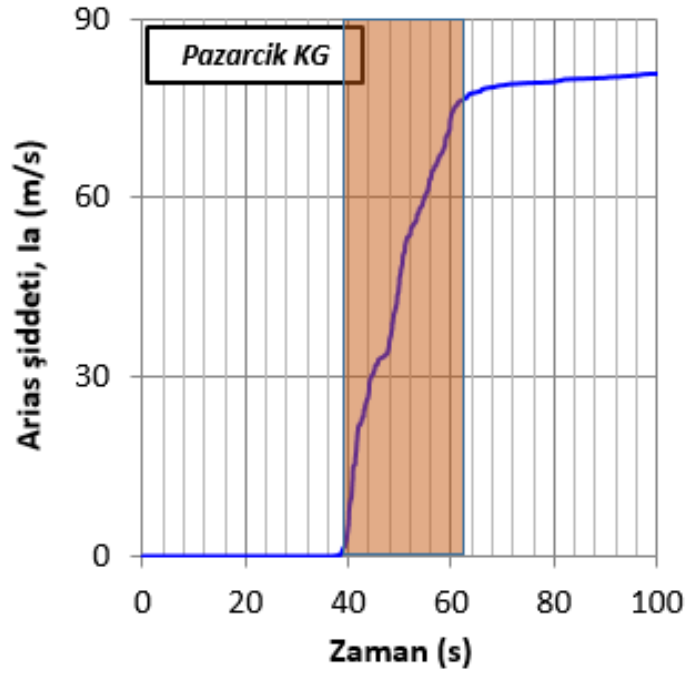
Pazarcik (M_w 7.7) depreminin ölçülen en yüksek aletsel ivme değeri Kuzey-Güney (KG) bileşenine ait ve $1948,767 \text{ cm/s}^2$ (1.99 g) olarak kaydedilmiştir. İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri Şekil 7' de yer almaktadır. % 5 sönümlleme oranına göre spektral ivmenin hakim periyodunun 0.1-0.2 s aralığında olduğu görülmektedir. Pik hız değeri 0.818 m/s ve maximum yer değiştirme 0.232 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 8). Depremin anlamlı süresi 39.81 ile 62.96 s arasında 23.15 s olarak elde edilmiştir. Arias şiddet eğrisi Şekil 9' da yer almaktadır. Depremin düşey bileşenine ait pik ivme değeri ise 1352.510 cm/s^2 olarak kaydedilmiştir. Depremlerin farklı istasyonlarına ait ivme kayıtları AFAD Afet ve Acil Durum Yönetimi Daire Başkanlığının paylaştığı veriler yardımıyla oluşturulmuştur. Her iki depreme ait farklı istasyonlar aracılığıyla kaydedilen en yüksek ivme değerini veren kayıtlar bu raporda kullanılmıştır. Depremin düşey bileşenine ait zaman tanım alanındaki grafik görseller oluşturulmamıştır.



Şekil 7. Pazarcık KG (M_w 7.7) (a) ivme-zaman, (b) spektral ivme grafiği



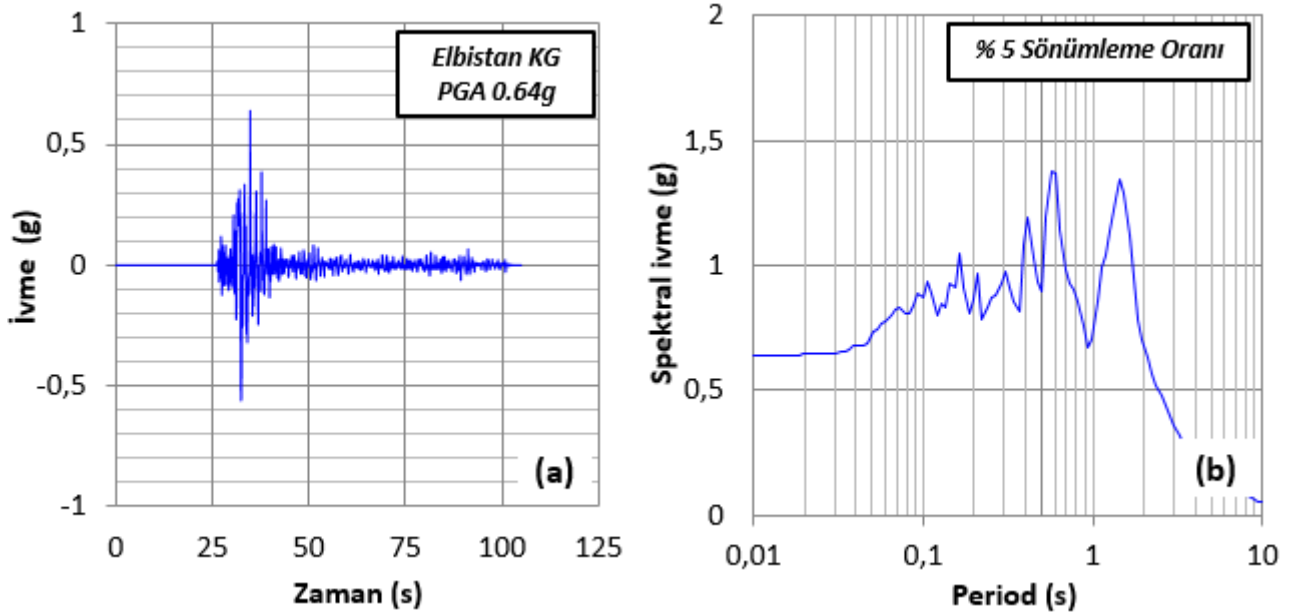
Şekil 8. Pazarcık KG (M_w 7.7) (a) hız-zaman, (b) yer değiştirme-zaman grafikleri



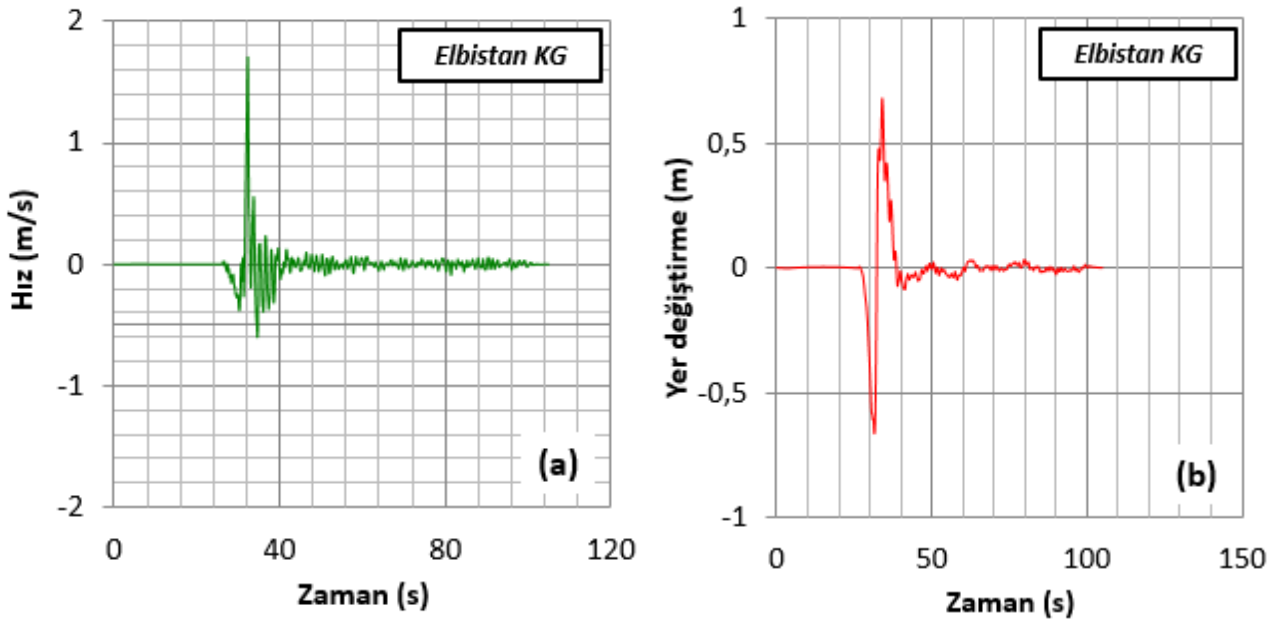
Şekil 9. Pazarcık KG (M_w 7.7) Arias şiddet eğrisi

Elbistan (M_w 7.6) depremi (TSİ 13.24 – GMT +03:00)

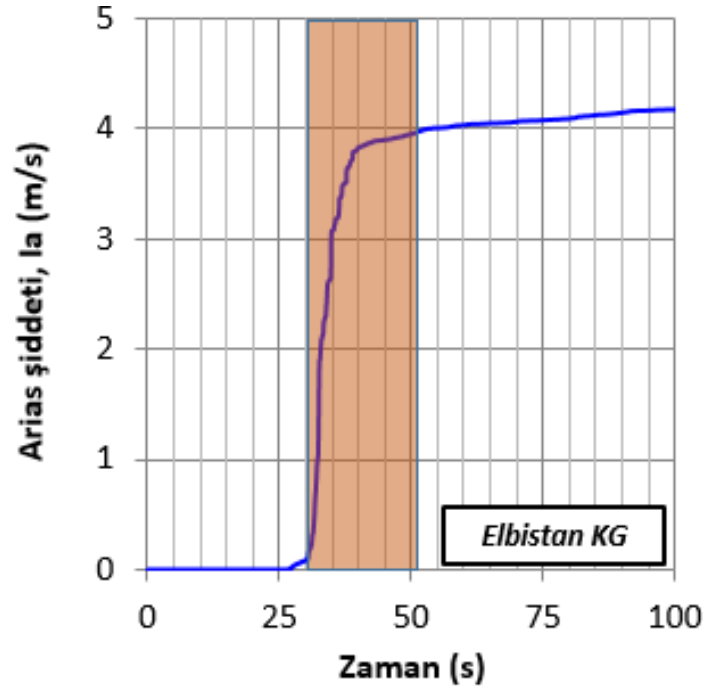
Pazarcık (M_w 7.7) depremini (TSİ 04:14 – GMT +03:00) takip eden süre içinde gerçekleşen Elbistan (M_w 7.6) depreminin kuzey-güney (KG) bileşenine ait en yüksek ivme kaydı TK4612 Göksun istasyonunda 627.184 cm/s² (0.64g) olarak ölçülmüştür. Aktivite derinliği 7 km, istasyon lokasyonuna ait Vs₃₀ kayma dalgası 246 m/s olarak raporlanmıştır. Depremin odak noktasına olan episentral mesafe 66.68 km olarak hesaplanmıştır. İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri Şekil 10' da verilmektedir. % 5 sönümleme oranına göre spektral ivme hakim periyodu 0.5 s olarak kaydedilmiştir (Şekil 9). Pik hız değeri 1.707 m/s ve maximum yer değiştirme 0.679 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 11). Depremin anlamlı süresi 30.99 ile 51.13 s arasında 20.14 s olarak hesaplanmıştır (Şekil 12).



Şekil 10. Elbistan KG (M_w 7.6) (a) ivme-zaman, (b) spektral ivme grafiği

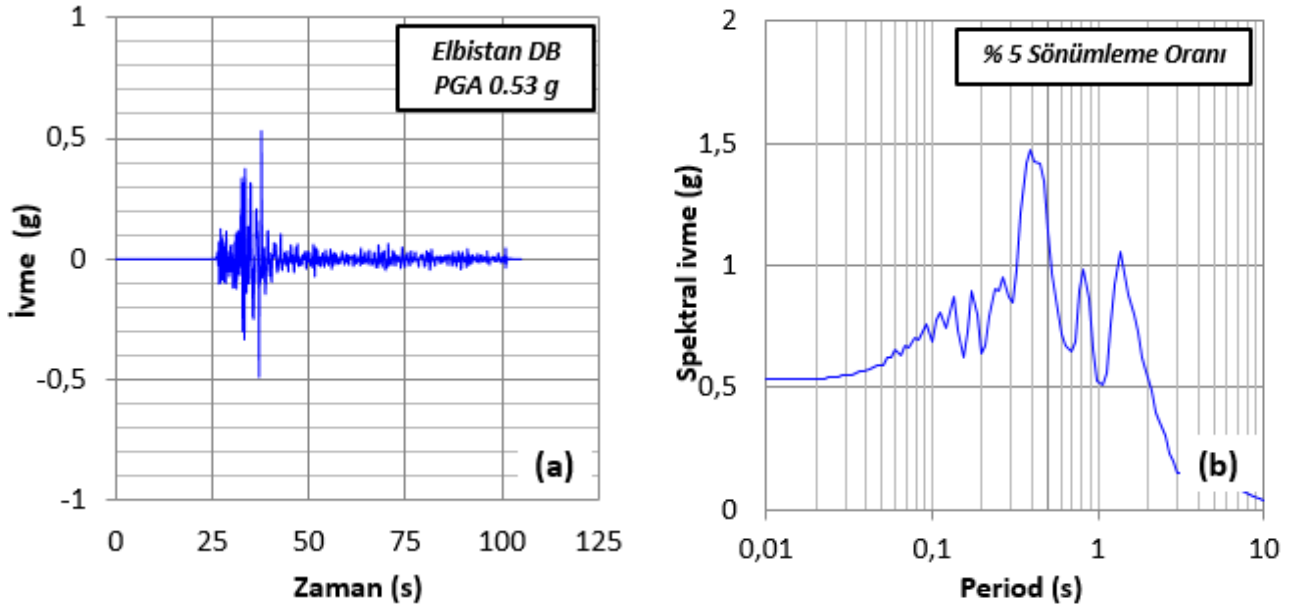


Şekil 11. Elbistan KG (M_w 7.6) (a) hız-zaman, (b) yer değiştirme-zaman grafikleri

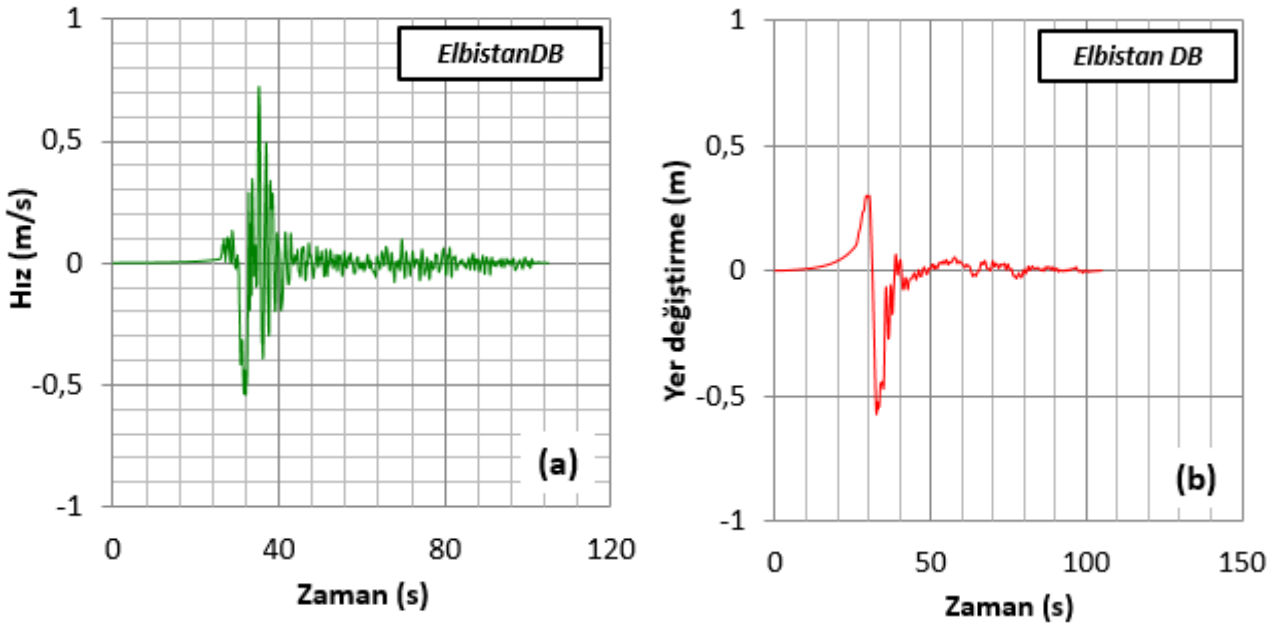


Şekil 12. Elbistan KG (M_w 7.6) Arias şiddet eğrisi

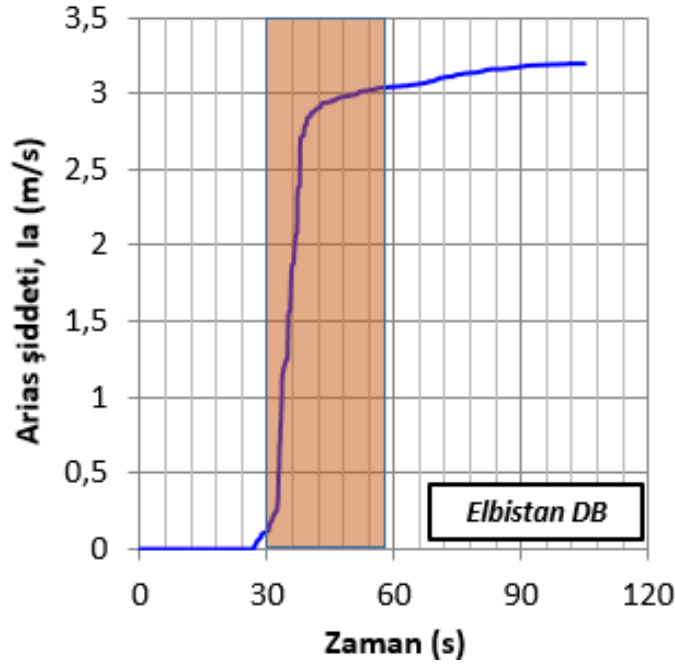
Elbistan (M_w 7.6) depreminin doğu-batı (DB) bileşenine ait en yüksek ivme kaydı 520.662 cm/s^2 ($0.531g$) olarak elde edilmiştir. İvme-zaman ve spektral ivme grafikleri Şekil 13' de yer almaktadır. % 5 sönümlleme oranına göre spektral ivmenin hakim periyodu 0.4 s olarak kaydedilmiştir (Şekil 13b). Pik hız değeri 0.725 m/s ve maximum yer değiştirme 0.574 m olarak hesaplanmıştır (Şekil 14). Depremin anlamlı süresi 30.60 ile 56.50 arasında 25.9 s olarak hesaplanmıştır (Şekil 15). Depremin düşey bileşenine ait pik ivme değeri ise 430.195 cm/s^2 olarak kaydedilmiştir. Depremin düşey bileşenine ait zaman tanım alanındaki grafik görseller oluşturulmamıştır.



Şekil 13. Elbistan DB (M_w 7.6) (a) ivme-zaman, (b) spektral ivme grafiği



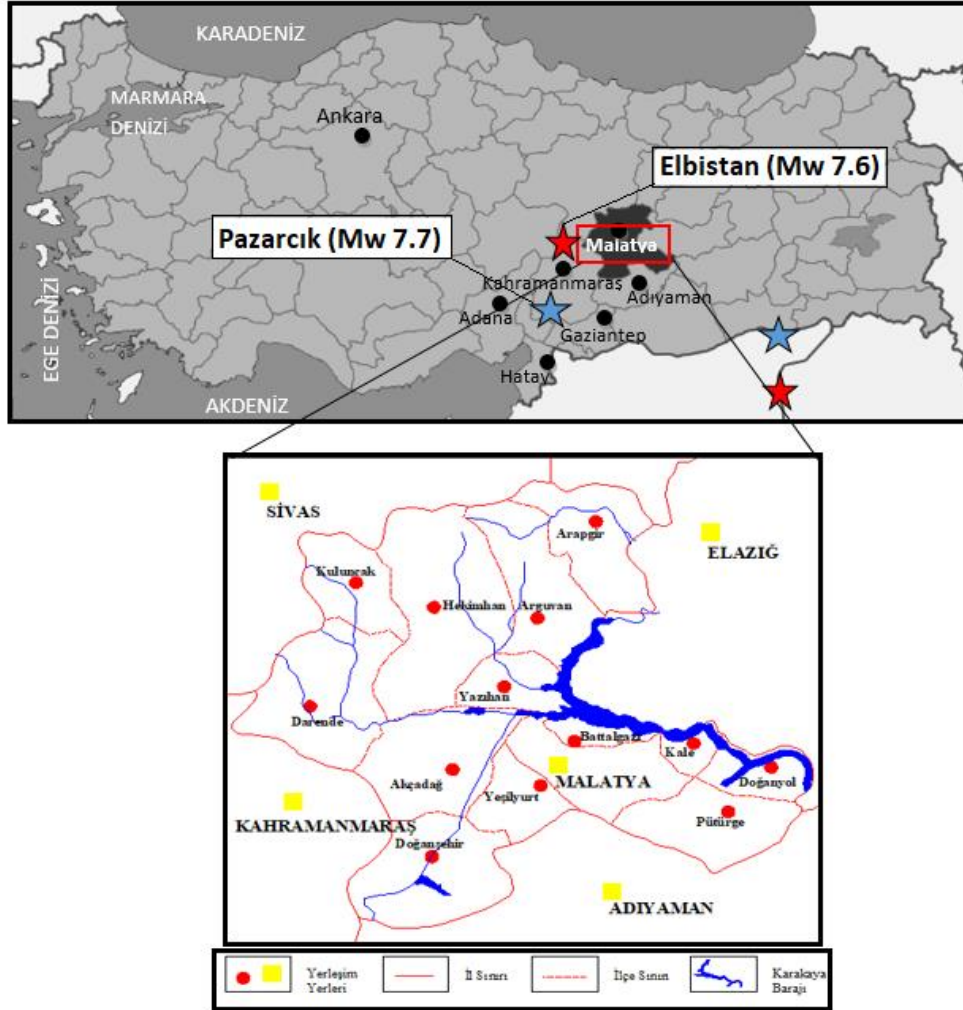
Şekil 14. Elbistan DB (M_w 7.6) (a) hız-zaman, (b) yer değiştirme-zaman grafikleri



Şekil 15. Elbistan DB (M_w 7.6) Arias şiddet eğrisi

Betonarme ve Yığma Yapıların Performansı

Pazarcık ve Elbistan depremleri odak noktasına 250 km mesafede bulunan 11 il içindeki üstyapı üzerinde önemli yapısal hasarlara ve yıkımlara yol açmıştır. Özellikle kentsel yerleşim birimlerinde demografik dağılım ve kentsel yaşama kültüründeki benzerliğin bir neticesi olarak yapılaşmanın tipik, hasar ve göçme mekanizmalarının da birbiriyle oldukça benzeşen nitelikte olduğu görülmektedir. Kırsal yapılarda görülen hasarlar kendi içinde birbiriyle uyumlu, geçmiş depremlerde ülkemizin farklı coğrafyalarında gözlenen hasar tipleriyle de büyük oranda benzeşmektedir. Malatya ilinin çevre yerleşim yerleriyle ilişkisi ve depremlerin merkez üslerine göre lokasyonu Şekil 16' da yer almaktadır. İnceleme alanı içindeki yerleşim yerlerine ait yüzölçümü ve nüfus bilgileri Tablo 1' de verilmiştir. Depremlerin etki alanı içinde bulunan 11 ilde toplam nüfus 14 milyonun üzerinde, toplam yüzölçümü ise yaklaşık 110bin km²' dir. Yerleşik nüfusun şehir merkezleri ve ilçelere göre dağılım yoğunluklarında ise farklılıklar bulunmaktadır. Bu husus, yapı stoğunun deprem kuvvetleri altındaki performansı ve doğuracağı sonuçlar ile doğrudan ilişkili olması açısından önemlidir.



Şekil 16. Malatya'nın lokasyon haritası

Tablo 1. Depremden etkilenen illere ait nüfus ve yüzölçümü bilgileri

İller	Toplam Nüfus	Yüz ölçümü (km ²)
Adana	2.274.106	13.844
Şanlıurfa	2.170.110	19.242
Gaziantep	2.154.051	6.803
Diyarbakır	1.804.880	15.168
Hatay	1.686.043	5.600
Kahramanmaraş	1.177.436	14.525
Malatya	812.580	12.259
Adıyaman	635.169	7.337
Osmaniye	559.405	3.321
Elazığ	591.497	9.313
Kilis	147.919	1.412

Malatya il merkezinde, yapım yılları oldukça eski 2-6 katlı, genelde bitişik nizam olarak inşa edilen çok sayıda betonarme yapı bulunmaktadır. Battalgazi ilçesindeki yapıların büyük çoğunluğu 2000 yılı öncesinde inşa edilmiş, yapılan incelemelerde bu yapıların ya tamamen yıkıldığı ya da ağır hasara uğradığı gözlenmiştir. Şekil 17’de, İnönü caddesinde bulunan ve ağır hasara uğramış bir betonarme yapı gösterilmektedir. Şehir merkezinde 2000 yılı öncesinde inşa edilen yapılardaki temel kusurlar, düz donatı kullanımı, sargı donatılarının yetersizliği ve hazır beton kullanımından kaçınılması nedeniyle betonun düşük dayanım özelliklerine sahip olmasıdır. Sargı donatı aralığının fazla olması nedeniyle boyuna donatılar burkulmuş, donatı-beton aderansı sağlanamamış, çekirdek beton ezilmiştir.

Şehir merkezinde bulunan yıkık veya hasara uğramış betonarme yapılarda gözlenen bir diğer kusur ise, bu yapıların bitişik nizamda farklı zamanlarda inşa edilmiş olmaları, dilatasyonsuz veya yeterli dilatasyon bırakılmaması nedeniyle birbirlerinin taşıyıcı elemanlarına zarar vermesidir. Farklı rijitlik, yapısal özellik ve kat seviyeleri nedeniyle yapıların deprem esnasında farklı periyotlarda salınım gerçekleştirmesi, çekişleme etkileri nedeniyle birbirilerinin yapısal sistemlerinde hasarlar oluşturmalarıyla sonuçlanmaktadır. Bu durum aynı özelliklerde ayırık nizam yapıların deprem esnasında münferiden sergiledikleri performansı, bitişik nizam yapılaşma koşulları altında gösterememelerine yol açmaktadır. Zemin kat seviyelerinin ticari fonksiyonlu işyerleri olarak kullanılması, kat yüksekliklerinin normal kat yüksekliklerinden fazla tasarlanması, ilave galeri katları, yapısal sistemlere kullanım esnasında verilen zararlar ve yapısal performansa katkı sunmayan demonstratif amaçlarla tasarlanmış cephe elemanları ilgili kat seviyelerinde deprem esnasında yumuşak kat etkilerinin oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle ekonomik faaliyetin merkezi olan şehir merkezlerinde bulunan bu tür yapılarda zemin kat seviyesinde yumuşak kat hasarlarına oldukça sık rastlanmıştır (Şekil 17).



Şekil 17. İnönü caddesinde bulunan eski yapı stokunda rastlanan kusurlar (Malatya)

Şekil 18’ de görülen, özellikle kat sayıları ve yer yer kat yükseklikleri farklı olan veya dilatasyon uygulamasının olmadığı bitişik nizam yapıların birbirlerinin taşıyıcı elemanlarına zarar verdiği, kolonun taşıma gücünü kaybetmesine yol açtığı görülmektedir. İlk bakışta, yıkılan yapının bitişiğindeki yapılar her ne kadar hasarsız gibi görünse de esasen bitişik yapıya ait taşıyıcı sistemlerde de önemli hasarlar oluşmuştur.



(a)

Şekil 18. Emeksiz caddesinde bitişik nizam olarak inşa edilen yapılardaki hasarlar (Malatya)



(b)

Şekil 18. Emeksiz caddesinde bitişik nizam olarak inşa edilen yapılardaki hasarlar (Malatya)
(devam)

Şehir merkezinin batısında, yeni gelişmekte olan Bostanbaşı' nın yapı stoğunu 8-15 katlı betonarme yapılar oluşturmaktadır. Yeni yerleşim yeri olması nedeniyle, henüz inşaatı devam eden konut yapıları da bu bölgede oldukça fazla sayıdadır. Depremden iki sene önce inşa edilen ve yıkılan 11 ve 13 katlı betonarme yapılar, ayakta kalan ancak hasar almış yapılar ile benzer yapısal özelliklerdedir. Yapıların neredeyse tamamının dış cephelerinde çatlaklar oluşmuş, sıva ve boya dökülmeleri gözlenmiştir. Birkaç senelik yapıların önemli bir kısmının ise, yıkılmamalarına rağmen taşıyıcı sistemlerinin hasara uğradığı görülmektedir (Şekil 19). Gözlemsel incelemeler, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde betonun yerleşmediği boşluklarda yer yer eps ve ahşap elemanlar gibi yabancı malzemelerin yer aldığı, donatı sıklaştırmalarına özen gösterilmediği, yapım ve tasarım yönetmeliklerinde tariflenen donatı detaylandırmalarının yapılmadığını göstermektedir.



Şekil 19. Yapı dış yüzeyinde gözlenen duvar çatlakları ve sıva dökülmeleri (Malatya)

Depremde betonarme yapıların maruz kaldığı yüklere mukavemet gösterebilmeleri ve taşıyıcı elemanların yük taşıma kapasitelerini muhafaza edebilmeleri için taşıyıcı elemanların çekirdek betonunda hasar oluşmaması gerekmektedir. Ancak incelenen yapılarda etriyelerin uçlarındaki kancaların yönetmeliğe uygun bağlanmaması, etriyelerin kesit içerisinde yeterli ankraj boyunun bırakılmaması, kolon ve kirişlerde etriyelerin olması gereken mesafeden daha seyrek yerleştirilmesi gibi nedenlerle taşıyıcı elemanlarda hasarlar tespit edilmiştir. Şekil 20a’ da kolon alt ucunda yetersiz etriye kullanımından dolayı boyuna donatı burkulmuş ve etriye kopmuştur. Kolon etriyesinin seyrek uygulanması, kabuk betonun dökülmesine neden olmuştur. Şekil 20b’de ise kolonda yeterli etriye donatısı uygulanmamış, etriyelerde yetersiz ankraj uygulaması nedeniyle etriyeler arasındaki mesafe açılmıştır. Hem düşey yük hem de moment etkisiyle boyuna donatılar burkulmuş, çekirdek betonda ağır hasarlar meydana gelmiştir. Şekil 20c’ de deprem etkisi altında zorlanan kolonların üst ucunda etriye kancaları 135 derece bükülmediği için etriyelerin uçları açılmış ve çekirdek beton parçalan-

mıştır. Şekil 21’ de görülen kiriş elemanında, beton döküm esnasında betona karışan eps, tahta ve büyük çaplı taş parçaları betonun kalıp içerisine yerleşmesini engellemiş, donatıların arasında buna bağlı olarak boşluklar oluşmuştur. Şekil 22’ de ise yapının düğüm noktalarında kolonun kirişten daha zayıf olması nedeniyle hasarlar oluştuğu görülmektedir. Deprem yönetmeliğine göre, yapıda depremden kaynaklı oluşan enerjinin kirişler tarafından sönmülmesi ve kolonların hasarsız kalması hedeflenmektedir. Bu nedenle, aynı düğüm noktasına bağlanan kolonların kirişlerden daha güçlü olması gerekir. Ancak, yapısal tasarımda kolonlar, kiriş elemanlardan daha güçsüz olduğu için Şekil 22’de görüldüğü gibi kirişler hasarsız kalmış ancak kolon uç bölgelerinde hasarlar oluşarak yapının stabilitesi bozulmuştur. Yapısal ve deprem yüklerinin iletim mekanizmasını aksatan, kiriş yükünün yine başka bir kiriş elemana taşındığı ‘saplama’ birleşimlere de incelenen yapılarda sıkça rastlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 20. Donatı detayındaki hatalar (Malatya)



(c)

Şekil 20. Donatı detayındaki hatalar (devam)



Şekil 21. Beton içerisinde bulunan yabancı maddeler (Malatya)



Şekil 22. Kolonların kirişlerden daha zayıf olması (Malatya)

Fahri Kayahan bölgesinde çok sayıda 8-12 katlı betonarme yapılar ile az sayıda 3-6 kat seviyesinde yapı mevcuttur. Bostanbaşı bölgesine göre daha önceden yerleşime açılmış ve daha düzenli bir şehirleşmeye sahip olan bu bölgede yapımı devam eden inşaat sayısı da azdır. Bu bölgede, 10 yıl veya daha önce inşa edilmiş birkaç betonarme yapı tamamen yıkılmış, bazı yapılar da ağır hasarlara uğramıştır. Yapıların dış cephelerinde çatlaklar oluşmuş, sıva ve boya dökülmeleri gözlenmiştir. Hasarlı yapılarda malzeme, imalat ve tasarım kusurları gözlenmiştir. Şekil 23’de Fahri Kayahan Bulvarı’nda bulunan ve kısmen yıkılmış olan betonarme bir yapı görülmektedir. Aynı yapısal malzeme ve işçilik ürünü bir yapının arka cephesine kıyasla ön cephesinde görülen bu göçme şekli, yapının kendi içinde bile tutarlı bir imalat disiplini inşa edilmediğinin bir göstergesidir.



Şekil 23. Fahri Kayahan Bulvarı’nda bulunan kısmen yıkılmış yapı (Yeşilyurt, Malatya)

Yüzakı Bulvarı'nın yapı stokunu 1-3 sene önce inşa edilmiş 8-12 katlı betonarme yapılar oluşturmaktadır. Bununla birlikte, şu anda imalatı devam eden çok sayıda betonarme konut projesi de bulvarda devam etmektedir. Yeni bir yerleşim yeri olan bu bölgede yıkılan bir yapıya rastlanmamış ancak yapıların dış cephelerinde önemli çatlaklar, sıva ve boya dökülmeleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, güçlü yer hareketi ve bölgenin zemin özelliklerinden kaynaklı olarak yapıların dış cephe duvarlarının çatladığı veya hasarlar olduğu gözlenmiştir (Şekil 24). Orta ve yüksek katlı yapı yoğunluğunun fazla olduğu bu bölgede tarımsal faaliyetin devam ettiği çok sayıda tarla ve bahçe vasıflı arazinin bulunması, sulama kanallarının yer alması bölgenin zemin özellikleri hakkında fikir vermektedir. Çevre yolunun güneyinde yer alan bu bölgede mostra veren kazı yüzeyleri, üst 5-7 m' nin zayıf zemin özelliklerine sahip killi kumlu birimlerden oluştuğunu göstermektedir. Yeraltı su seviyesi ise yüksektir.



Şekil 24. Yüzakı Bulvarı'ndaki yapıların dolgu duvarlarının yıkılması (Yeşilyurt, Malatya)

Yeşilyurt ilçesine bağlı olan ancak merkeze göre daha uzak lokasyonda konumlanmış Gündüzbey mahallesinde yapı stoku oldukça eskidir. Tarihi yapıları da bulunan bu yerleşim yerinde 1-3 katlı betonarme yapılar ile 1-2 katlı taş ve kerpiç yığma yapılar mevcuttur. Gündüzbey merkez bölgesinde tamamen veya kısmen yıkılmış ve ağır hasara uğramış çok sayıda yapı göze çarpmıştır. Yığma yapıların maruz kaldığı yanal yükler nedeniyle düşey çekme çatlaklarının oluştuğu, bölme ve dış cephe duvarlarının ayrıldığı ve düzlem dışı göçmelerin meydana geldiği gözlenmiştir. Bu tip hasarları önlemek için yığma binanın köşe bölgelerine dış strüktür ile uyumlu ahşap bağlantıların yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte, yapıların duvarlarında deprem esnasında oluşan yanal yüklerin etkisiyle çapraz kesme çatlaklarının oluştuğu da gözlenmiştir. Oluşan bu derin çatlaklar bazı yığma yapıların rijitliğini kaybetmesine neden olmuş, yapılar kısmen veya tamamen yıkılmıştır. Bölgedeki hasarlı yapı sayısının oldukça fazla olması, yapısal sebeplerin yanında bölgenin yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın ve sismik zemin büyütme kapasitesinin de yüksek olmasıyla açıklanmaktadır.



Şekil 25. Gündüzbey’ de bulunan yığma yapıların tipik hasar görüntüleri (Yeşilyurt, Malatya)

Meydana gelen depremlerin Malatya şehir merkezindeki yapı stokunda hasarlara neden olduğu ve önemli yapısal yıkımlara yol açtığı görülmüştür. Bununla birlikte, merkeze bağlı ilçelerde de yıkımlar ve hasarlar meydana gözlenmiştir. Özellikle Doğanşehir ve Akçadağ, en

çok etkilenen ilçeler olmuştur. Malatya şehir merkezine 58 km uzaklıkta bulunan Doğanşehir ilçesi ova ve dağlık bir arazide konumlanmıştır. İlçenin bina stokunu çok sayıda taş-kerpiç yığma yapı ve 2-4 katlı betonarme yapılar oluşturmaktadır. İlçe merkezindeki betonarme yapıların birçoğunda ağır yapısal hasarlar ve göçmelere rastlanmıştır. Yapılar tamamen yıkılmasa bile Şekil 26’ da görüldüğü gibi zemin kat seviyesinde yumuşak kat oluşumundan kaynaklı hasarlar meydana gelmiştir. Bu şekilde kısmen yıkılmaların gerçekleştiği, yapıların birçoğunun zemin katının ticari fonksiyona sahip olması ve üst katlarda kullanılan dolgu duvarların bu katta devam ettirilmemesinin bir sonucu olarak zemin katlarda ani rijitlik azalmaları meydana gelmiştir. Bu rijitlik azalmaları ise yumuşak kat oluşumları ile sonuçlanmıştır. Söz konusu hasar tipine bağlı göçmelere Pazarcık ilçesindeki önemli sayıda yapıda da rastlanmıştır (Şekil 27).



Şekil 26. Doğanşehir’de bulunan yapılarda yumuşak kat oluşumu (Doğanşehir, Malatya)



Şekil 27. Zemin kat ve normal kat seviyesinde yumuşak kat oluşumu (Pazarcık, Kahramanmaraş)

Malatya şehir merkezine 35 km uzaklıkta olan Akçadağ ilçesi dağlık ve ovalık bir arazide konumlanmaktadır. İlçenin batısında Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesi, doğusunda Malatya'nın merkezi, güneyinde Malatya'nın Doğanşehir ilçesi ve kuzeyinde ise Malatya'nın Hekimhan ve Darende ilçeleri bulunmaktadır. İlçe merkezinde 1-4 katlı betonarme yapılar ile çok sayıda taş-kerpiç yapılar mevcuttur. İlçede, yaşanan depremlerden etkilenmiş yıkılan ve ağır hasarlı yapılar bulunmaktadır. Şekil 28'de de gösterildiği gibi çok sayıda yapıda çapraz kesme çatlakları oluşmuş, cephe duvarlarında düzlem dışı yıkılmalar meydana gelmiştir.



Şekil 28. Akçadağ'da bulunan yapılardaki hasarlar (Malatya)

Taşıyıcı sistemi oluşturan yapısal elemanların hiçbirinde yeterli dayanım özelliğinin görülmemesi durumunda, toptan göçmeyi doğuran yassı kadayıf tipi göçme (örn. *Pancake* ke

type failure) durumu oluşmaktadır. Sürgü ilçesinde görülen yapılar bu göçme tipine örnek olarak gösterilebilir (Şekil 29). Diğer yapısal sistemlere kıyasla Malatya şehir merkezinde yer alan, tünel-kalıp sistemiyle imal edilmiş yapıların depreme karşı başarılı bir performans gösterdiği de gözlenmiştir. Bu tip yapılarda önemli bir hasara rastlanmamıştır (Şekil 30). Yapının tamamında göçmelerin oluşmadığı ancak kısmi göçmelerin gözlemlendiği yapılara örnek olarak gösterilebilecek bir fabrika yapısına Şekil 31’ de görülmektedir.



Şekil 29. Yassı kadayıf tipi göçme (Sürgü, Adıyaman)



Şekil 30. Tünel kalıp ile imal edilmiş toplu konutlar (Malatya)



Şekil 31. Kısmi göçme olmuş fabrika yapısı (Pazarcık, Kahramanmaraş)

Su tutma ve su temini yapılarında yapılan incelemelerde Hekimhan da yer alan DSI tarafından işletilen Boztepe barajında yapısal fonksiyonu aksatacak bir hasar gözlenmemiştir (Şekil 32a). Baraj yapısı, yapısal işlevini sürdürmektedir. Özellikle şehir merkezinde yer alan su temin yapıları ve kanal yapılarında da bir hasara rastlanmamıştır (Şekil 32b).



(a)

Şekil 32. Boztepe Recai Kutan Barajı ve su transfer kanalları (Yazıhan, Malatya)



(b)

Şekil 32. Boztepe Recai Kutan Barajı ve su transfer kanalları (Yazıhan, Malatya) (devam)

Tarihi Yapıların Performansı

Malatya ili merkezinde yer alan Yeni Cami, Sultan 2. Abdülhamid döneminde inşa edilmeye başlamış ve 1913’de yapımı tamamlanmıştır. Tarihsel süreç içinde birçok yıkıcı depreme maruz kalmış ve zaman zaman tadilatı yapılarak günümüze kadar gelmiş bir camiidir. En son 24 Ocak 2020 Sivrice depreminde hasar gören yapının tadilatı tamamlanmadan meydana gelen 6 Şubat Pazarcık ve Elbistan depremlerinde cami minaresinin balkon seviyesinde yıkıldığı, caminin ise kullanılamaz hale geldiği görülmüştür (Şekil 33).



Şekil 33. Tarihi Yeni Cami’inde meydana gelen hasar (Battalgazi, Malatya)

Merkez Battalgazi ilçesinde çok sayıda tarihi cami mevcuttur. Şekil 34’ de görülen Sütlü Minare (Çermik) yapısının yarım kubbe üstü bölgelerinde önemli çatlakların oluştuğu, duvar yapı taşlarının ve bağlayıcı elemanlarının döküldüğü görülmektedir. Tarihi minarelerde oluşan hasarlar ise Şekil 35’ de gösterilmiştir. Minarelerin kesit değiştirdiği ve buna bağlı olarak yapısal rijitliğinin değiştiği balkon seviyesinde yıkımların meydana geldiği, minarelerin düşey eksenden sapmaya uğradığı görülmüştür. Yine bu bölgede bulunan ve Anadolu’nun en eski şehir devletinin kurulduğu Arslantepe Höyüğü’nde kazılarda ortaya çıkan ve sergilenen tarihi eser ve kalıntılarda da hasarlar meydana gelmiştir. Bazı duvarların yıkıldığı tespit edilmiş, Höyüğün ziyaretçi girişine kapandığı görülmüştür (Şekil 36).



Şekil 34. Sütü Minare’de oluşan hasarlar (Battalgazi, Malatya)



Şekil 35. Tarihi camilerde oluşan tipik minare hasarları (Battalgazi, Malatya)



Şekil 36. Arslantepe Höyüğü’ndeki tarihi eserlerde oluşan hasarlar (Battalgazi, Malatya)

Battalgazi ilçesinde yer alan bir başka tarihi yapı ise 386 yıllık bir yapı olan tarihi Silahtar Mustafa Paşa Kervansarayı’dır. Yapılan gözlemlerde kemerlerde ve eğrisel yüzeylerde malzeme dökülmelerinin olduğu görülmüştür (Şekil 37). Bu durumun, restorasyon çalışmaları esnasında kullanılan bağlayıcı malzemeden kaynaklandığı, deprem yüküne maruz kalan yüzeylerde oluşan gerilmelere bağlı olarak çatlakların ve dökülmelerin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 37. Kervansaray’ da oluşan hasarlar (Battalgazi, Malatya)

Ulaştırma Yapıları

Kömürhan Köprüsü Elazığ-Malatya karayolu 51. kilometresinde yer almaktadır. 4.800 metre uzunluğunda çift tüp tünel, 1 adet eş kavşak ve 1 adet farklı seviyeli köprülü kavşak ile toplam 5.155 m uzunluğa sahiptir. Kömürhan Köprüsü eğik askılı gergili köprü (örn. Cable Stayed) türünde bir köprüdür. Uzunluğu 660 metre ve genişliği 23 metredir. Orta açıklığı 380 metre olan tek pilon köprüde yapılan gözlemler sonucunda depremden kaynaklı köprü askı bağlantılarında, köprü ayaklarında, asfalt kaplamada trafiği aksatacak bir hasar ya da yapısal süreksizliğe rastlanmamıştır (Şekil 38).



Şekil 38. Kömürhan Köprüsü ve bağlantı tüneli



Şekil 38. Kömürhan Köprüsü ve bağlantı tüneli (devam)

Erkenek Tüneli 1816 metre uzunluğunda çift tüpten oluşmakta olup D.850 karayolu üzerinde yer almaktadır. 2017 yılında açılan tünel Doğanşehir (Malatya) -Gölbaşı (Adıyaman) ilçeleri arasında yer almaktadır. Yapılan gözlemler neticesinde deprem sırasında tüplerden birinin trafiğe kapatıldığı, trafiğe açık tünel portalından önceki karayolu taş duvarlarında, kalınlığı 50 cm' yi geçen çatlamlar, ano birleşim derzlerinde ayrılmalar, malzeme dökülmeleri tespit edilmiştir. Tünel giriş bölgesindeki asfalt kaplamada önemli çökmeler, çatlamlar ve trafiği aksatacak deformasyonlara rastlanmıştır. Tünel giriş portallerinde ve segment bölgesinde hasarlar ve yer yer donatı bölgesine kadar malzeme kopmaları gözlenmiştir. Tünel aynasından kopan malzemeler araç seyrini tehlikeye atabilecek seviyededir (Şekil 39).



Şekil 39. Erkenek tüneli (Adıyaman)



Şekil 39. Erkenek tüneli (Adıyaman) (devam)

Hekimhan tüneli, Hekimhan- Sivas karayolu Çepiç Mevkii'nde yer almaktadır. 2016 yılında trafiğe açılan tünelin ortalama uzunluğu 626 metre olup, çift tüpten oluşmaktadır. Yapılan gözlemlerde, tünel portal ve segmentlerinde herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir (Şekil 40). Gölbaşı ilçe merkezi girişindeki raylı sistem hattında zemin oturmaları ve hat deformasyonlarına rastlanmıştır. Balast malzemelerinde yayılmalar, balast altı taban zemininde ise önemli oturmalar, ray istikametinde 1 m' yi geçen sapmalar gözlenmiştir (Şekil 41). Yine aynı bölgede yol-tretuar bağlantı bölgelerinde 2 m' yi bulan ayrılmalar ve oturmalar tespit edilmiştir (Şekil 42).



Şekil 40. Hekimhan tüneli



Şekil 41. Gölbaşı demiryolu deformasyonu (Adıyaman)



Şekil 42. Gölbaşı zemin oturması (Adıyaman)

Yeşilyurt-Gündüzbey imar yollarında yüksekliği yer yer 4 m' yi bulunan dayanma yapıları geri dolgularında malzeme akmaları ve kaya düşmeleri asfalt kaplamada önemli hasarlara neden olmuştur. Yol kaplamasında 50 cm' yi bulan yarıklar oluşmuştur (Şekil 43). Yine yol yapısını tutan istinad yapısının ötelenmesi nedeniyle yol kaplaması-tretuar birleşim bölgelerinde 60 cm kadar ayrılmalar gözlenmiştir (Şekil 44).



Şekil 43. Dayanma yapısı geri dolgusu akmaları ve asfalt kaplama deformasyonları (Malatya)



Şekil 44. Gündüzbey imar yolları tretuar açılmaları (Malatya)

Adıyaman-Malatya ve Elazığ-Malatya otoyollarında farklı seviyelerde zemin oturmaları ve asfalt kaplamalarda çatlaklar ve deformasyonlar gözlenmiştir. Gelişmeye müsait enine ve bo-

yuna çatlaklara yer yer müdahale edilmiş, kaplama altı zemin sıkıştırılarak asfalt yenilenmiştir (Şekil 45).



Şekil 45. Asfalt kaplama hasarları (Adıyaman, Malatya)

Zemin Problemleri ve Zemin Yapılarının Performansı

Adıyaman-Kahramanmaraş otoyolu güneyinde fay hareketlerine bağlı olarak oluşan, genişliği 1 m' yi uzunluğu 150 m' yi bulan yüzey izlerine rastlanmıştır. Malatya-Gölbaşı otoyolu üzerinde yol enkesiti ve kenar şevleri boyunca zemin oturmaları ve a deformasyonlar gözlenmiştir (Şekil 46). Erkenek Gölbaşı istikametinde yol güzergahında fay atımı nedeniyle 3 m' ye varan ötelenmeler gözlenmiştir. Ulaşımı sağlayan Malatya-Adıyaman otoyolunda zemin düşey ve yanal hareketleri nedeniyle kaplama hasarları ve şev akmaları oluşmuştur. (Şekil 47).



Şekil 46. Fay kırılmalarının yüzey izleri (Adıyaman-Kahramanmaraş otoyolu)

Malatya şehir merkezi ve Malatya-Adıyaman yolu üzerinde yer alan dayanma yapılarında yer yer yerel ve toptan göçmelere rastlanmıştır. Taş duvarlarda genişliği bir metreyi bulan çatlaklar, derz ayrılmaları ve zemin/kaya malzemelerinde akmalar ve kopmalar gözlenmiştir (Şekil 48).



Şekil 47. Fay atımına bağlı yol ötelenmesi (Adıyaman)



Şekil 48. Dayanma yapısı hasarları (Malatya, Malatya-Adıyaman otoyolu)

Değerlendirme ve Sonuç

Malatya şehir merkezindeki aluvyal birimler, inceleme alanındaki tutturulmamış çakıl, kum, şist ve killerden oluşmaktadır [4]. Saha çalışmaları sırasında yapılan gözlemlerde bu birimlerin istiflendiği özellikle Bostanbaşı, Fahri Kayhan, Yüzakı, Battalgazi Eski Malatya, Orduzu, Fuzuli mevkilerinde meydana gelen hasarlarda zemin büyütmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Merkez Battalgazi ilçesinde yapı stoğu göreceli olarak daha yaşlı yapılardan, kuzeyde ise kat adedi düşük betonarme yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılarda özellikle Elbistan (Mw 7.6) depremi sonrasında önemli yıkımların olduğu tespit edilmiştir. Merkez Yeşilyurt ilçelerinde gerçekleşen yapısal hasar ve yıkım dağılımı Malatya-Elazığ otoyolunun kuzey kısmında, Beylerderesi formasyonu olarak adlandırılan alüvyal birimlerin yüzeylendiği bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Bu bölgelerde kat seviyesi fazla betonarme karkas taşıyıcı sistemli büyük oranda 15 yıllık ve daha genç yapılar orta ve ağır hasarlı olarak

değerlendirilmektedir. Malatya şehir merkezinin kuzeydoğusunda Çamurlu olarak bilinen bölgede bulunan yapı stoku şehrin merkezi ve batısına göre daha az hasar almıştır. Bölgede istiflenen farklı ayrışma dereceli kayaç birimlerin bu sonuç üzerinde etkisinin olduğu düşünülmektedir. Doğanşehir, Akçadağ ve Yeşilyurt ilçelerinde önemli yapısal hasarlar ve yıkımlar gözlenirken Kale, Hekimhan ve Yazıhan ilçelerinde yapısal hasar yoğunluğu daha düşüktür.

Yapılarda önemli imalat kusurları, zemin ve normal kat seviyelerinde yumuşak kat oluşumları, binalar arasında yeterli dilatasyon derzlerinin bırakılmaması, kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki betonun yerleşme problemleri, enine donatıların yönetmeliğe uygun bağlanmaması ve yeterli ankraj boylarının bırakılmamasından kaynaklı hasarlar göze çarpmaktadır. Yapıların önemli bir kısmının yerel zemin koşullarına da bağlı olarak zemin büyütmesi etkisiyle karşı karşıya kaldığı düşünülmektedir. Ancak incelenen yapı stoku içinde herhangi bir sivilaşma ya da sivilaşmadan kaynaklı zemin oturmaları gözlenmemiştir. Zemin profili içindeki ince malzeme içeriğinin fazla olması, yüksek ivmeli deprem yüklerine ve yeraltı su seviyesine rağmen zemin sivilaşmasının oluşmamasına neden olarak görülmektedir.

Şehir merkezinde yer alan tarımsal sulama amaçlı kanallarda herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Yine şehir merkezinde bulunan istasyon yapısı ve raylı sistemlerde, otoyol tünellerinde bir hasara rastlanmamıştır. Asfalt kaplama yollarda meydana gelen çatlamlar, kabarmalar, çökmeler şehir içinde ve çevreyolunda farklı genişlik ve seviyelerde olacak şekilde gözlenmiştir. Çevre yolunda yapılan gözlemlerde altgeçitlerde yer alan paneltonlarda hasarlar gözlenmiştir. Bir kısım panellerin devrildiği, bir kısmında ise bağlantılar arasında açılmaların olduğu gözlenmiştir. Otoyol boyunca sıralanan üstgeçitlerde, bağlantı elemanlarında ve ayaklarında ise önemli bir hasar gözlenmemiştir. Malatya Erhaç Havalima-

nında yapılan gözlemlerde yine önemli bir hasara rastlanmamıştır. Bölgenin en önemli tarihsel alanı Battalgazi Bölgesi'nde yer alan Aslantepe Höyüğüne girilememiş, ancak dışarıdan fotoğraflama yapılabilmiştir. Bölgede yer alan diğer tarihi öneme sahip Ulucami, Sütlu Minare, Şahabiyye-I Kübra Medresesi gibi yapıların ciddi hasarlar aldığı gözlenmiştir. Battalgazi İlçesinin önemli tarihi yapılarından biri olan Kervansaray' da da önemli hasarlar tespit edilmiştir.

Pazarcık ilçe merkezinde orta ve yüksek kat seviyeli yapılarda önemli yıkımlar gözlenmiştir. Hasar tipolojisi diğer yerleşim birimlerinde gözlenenler ile oldukça benzerdir. Zemin ve normal kat seviyelerinde yumuşak kat oluşumları nedeniyle oluşan yıkımların oldukça yoğun olduğu görülmüştür. Sürgü ve Erkenek ilçelerinde yapı yoğunluğu daha çok az ve orta kat seviyelerindedir. Bu yapılarda yerel ve global göçme tiplerine rastlanmıştır. Gölbaşı ilçesinde gözlemlenen yıkımların, imalat ve işçilik kusurları ve yapım kalitesinin düşük olması kadar yerel zemin koşullarından da kaynaklandığı düşünülmektedir. Gölbaşı ilçe merkezi girişinde önemli zemin deformasyonları ve oturmalar gözlenmiştir. Bu yerleşim yerlerini birbirine bağlayan otoyol aksı boyunca önemli asfalt kaplama hasarları, deformasyonlar, zemin oturmaları, otoyol kenarı şev kaymaları, dayanma yapısı hasarları ve fay atımları nedeniyle yol ötelenmeleri gözlenmiştir. Erkenek tünel aynalarında malzeme kopmaları ve dökülmeler gözlenmiştir. Erkenek-Gölbaşı istikametinde yer alan dayanma yapılarında da önemli hasarlar ve toptan göçmelere rastlanmıştır.

Yapıların depreme dayanıklı olması ve depremlerin yapılarda yarattığı zararların en aza indirilmesi için gerekli tasarım ve yapım kurallarını belirleyen güncel ve geçerli deprem yönetmeliği TBDY-2018, standart tasarım yer hareket düzeyini dikkate alarak, bina kullanım sınıfı ve deprem tasarım sınıflarına bağlı olarak bina yükseklik sınırlaması getirmektedir. Özellikle hasar seviyesi yüksek çok katlı ve yeni yapılan binalarda yönetmeliğin ilgili kriterlerine uyulmadığı yapılan incelemelerde tespit edilmiştir. Sahada yapılan gözlemlerde

tasarım ve yapım kusurlarından kaynaklı binaların ağır hasar aldığı ve yıkıldığı tespit edilmiştir. Ülkemizde DBYBHY-2007 ile depreme dayanıklı yapı tasarım ilkeleri kapsamlı olarak ele alınmıştır. DBYBHY- 2007 ve TBDY-2018'e göre tasarlanan binalar Pazarcık ve Elbistan depremlerini daha az hasarla atlattır. DBYBHY-2007'den önce yapılan ve hasar seviyesi yüksek binalarda genel olarak; betonarme yapılarda taşıyıcı sistem yapı elemanlarında beton kalitesinin düşük olması, donatıların sünek tasarım esasları dikkate alınmadan düzenlenmesi, kiriş ve kolonların sarılma bölgelerinde uygun etriye ve çiroz kullanılmaması başlıca yapım kusurlarıdır. Bunun yanı sıra tasarımda göz önüne alınması gereken yapısal düzensizliklere uyulmadığı tespit edilmiştir. Yığma yapılarda ise düşük malzemeli duvar malzemesi kullanılması, duvar bağlantılarının uygun yapılmaması ve bakımsızlık başlıca yapım kusurları olarak tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu ön değerlendirme raporunun oluşturulmasında, araştırmacıların hazırlamış oldukları '06 Şubat 2023 tarihli Mw 7.7 Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Mw 7.6 Elbistan (Kahramanmaraş) depremlerinin Malatya merkez ve ilçelerindeki etkilerinin incelenmesi' isimli TUBITAK 1002-C proje verilerinden ve raporundan istifade edilmiştir.

KAYNAKÇA

[1] AFAD-DDB, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, <http://www.deprem.gov.tr/>.

[2] <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>

[3] Palutoğlu, M. ve Şaşmaz, A. (2017). 29 NOVEMBER 1795 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKE, SOUTHERN TURKEY . Bulletin of the Mineral Research and Exploration , 155 (155) , 187-202 . DOI: 10.19111/bulletinofmre.314211

[4] Yıldız, Ö. Seismic site characterization of Battalgazi in Malatya, Turkey. Arab J Geosci 15, 867 (2022). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10170-x>