



Effects of Ground Motion Prediction Models on the Performance of Earthquake Damage and Loss Estimation Systems: February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquake

Fatma İlknur Kara¹ and Yasin Fahjan²

¹ Gebze Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 41400 Kocaeli, Türkiye

² Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 34485 İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1320-5879, 0000-0003-1254-4526

Keywords

Earthquake damage and loss estimation systems, Seismic hazard, Seismic risk, Disaster management, Ground motion prediction models

Highlights

- * Earthquake damage and loss estimation systems
- * Disaster management
- * Reduction of disaster-induced losses

Aim

Investigation of how GMPEs affect Earthquake Damage and Loss Estimation Systems' performance

Location

The İslahiye district of Gaziantep province, affected by the February 6, 2023 earthquakes

Methods

Scenario analyses using the February 6 Kahramanmaraş (Pazarcık) earthquake parameters were conducted and compared with actual earthquake data

Results

The selection of GMPEs critically influences hazard and risk estimation outcomes, making it important to choose region-appropriate models and update the results with real data for accurate assessments

Supporting Institutions

--

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 04.01.2023

Revised: 30.04.2024

Accepted: 15.05.2024

Printed: 30.06.2024

DOI

10.46464/tdad.1411559

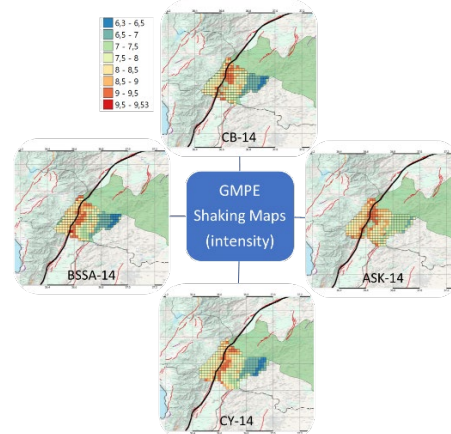


Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Fatma İlknur Kara

Email: figokce@gtu.edu.tr



February 6, Mw 7.7 Kahramanmaraş Earthquake (Pazarcık) Scenario

Figure
Impacts Of Ground Motion Prediction Equations On The Performance Of Earthquake Damage and Loss Estimation Systems

How to cite:

Kara F.I., Fahjan Y., 2024. Effects of Ground Motion Prediction Models on the Performance of Earthquake Damage and Loss Estimation Systems: February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquake, Turk Deprem Arastirma Dergisi 6(1), 123-144, <https://doi.org/10.46464/tdad.1411559>.



Yer Hareketi Tahmin Modellerinin Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri'nin Performansına Etkileri: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremi

Fatma İlknur Kara ¹ ve Yasin Fahjan ²

¹ Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 41400 Kocaeli, Türkiye

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1320-5879, 0000-0003-1254-4526

ÖZET

Bu çalışma, yer hareketi tahmin modellerinin (GMPE), Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri'nin (DÖHTS) performansına etkilerini incelemektedir. DÖHTS, afet yönetiminde kritik role sahip sistemlerdir. Çalışmada, 6 Şubat Kahramanmaraş (Pazarcık) depreminin verileri kullanılarak sismik tehlike ve risk analizleri gerçekleştirilmiş, analiz sonuçları kuvvetli yer hareketi istasyonları verileri ile güncellenmiştir. Analizlerde küresel ölçekte kabul gören dört farklı GMPE ve HAZUS sınıflandırma sistemi ve hasargörebilirlik eğrileri tercih edilmiştir. Analiz sonuçları, GMPE'lerin seçimi ve güncellenmiş veri kullanımının sonuçlar üzerindeki etkileri olmak üzere iki farklı açıdan incelenmiştir. GMPE seçimi, sismik tehlike ve risk sonuçlarını doğrudan etkilemektedir. GMPE modellerinin ortalaması alınarak yapılan karşılaştırmada, güncellenmiş veri kullanımı ile acil müdahale gerektiren ağır hasarlı ve çöken bina sayılarının sırasıyla yaklaşık %10 ve %15 daha iyi tahmin edilebildiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Deprem ön hasar tahmin sistemleri, Sismik tehlike, Sismik risk, Afet yönetimi, Yer hareketi tahmin modelleri

Öne Çıkanlar

- * Deprem ön hasar tahmin sistemleri
- * Etkin afet yönetimi
- * Afet kaynaklı kayıpların azaltılması

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 04.01.2023

Düzeltilme: 30.04.2024

Kabul: 15.05.2024

Basım: 30.06.2024

DOI

10.46464/tdad.1411559

Sorumlu yazar

Fatma İlknur Kara

Eposta:

figokce@gtu.edu.tr

Effects of Ground Motion Prediction Models on the Performance of Earthquake Damage and Loss Estimation Systems: February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquake

Fatma İlknur Kara ¹ and Yasin Fahjan ²

¹ Gebze Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 41400 Kocaeli, Türkiye

² Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 34485 İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1320-5879, 0000-0003-1254-4526

ABSTRACT

This study investigates the effects of ground motion prediction models (GMPE) on the performance of Earthquake Damage and Loss Estimation Systems (EDLES), which play a crucial role in disaster management. In the study, seismic hazard and risk analyses were performed using data of the February 6 Kahramanmaraş (Pazarcık) earthquake, and the analysis results were updated with the data of strong ground motion stations. Four different globally accepted GMPEs, HAZUS classification systems and fragility curves, were preferred in the analyses. The results of the analyses are examined from two different perspectives: the impact of GMPE selection and the effects of using updated model. It was found that the choice of GMPE significantly influences the seismic hazard and risk assessments. In the comparison made by averaging the GMPE models, the updated model was found to more accurately predict the number of severely damaged and collapsed buildings defined as requiring emergency response by approximately 10% and 15%, respectively.

Keywords

Earthquake damage and loss estimation systems, Seismic hazard, Seismic risk, Disaster management, Ground motion Prediction models

Highlights

- * Earthquake damage and loss estimation systems
- * Disaster management
- * Reduction of disaster-induced losses

Manuscript

Research Article

Received: 04.01.2023

Revised: 30.04.2024

Accepted: 15.05.2024

Printed: 30.06.2024

DOI

10.46464/tdad.1411559

Corresponding Author

Fatma İlknur Kara

Email:

figokce@gtu.edu.tr

1. GİRİŞ

Depremler, küresel ölçekte tehdit oluşturan en ciddi tehlikelerden biridir. Etkiledikleri bölgelerde üstyapılara, altyapılara ve de kritik tesislere önemli derecede zarar verebilmekte ve oldukça yıkıcı sonuçlara yol açabilmektedirler. Diğer doğal afetlerden farklı olarak aniden meydana gelirler ve kontrol edilemezler. Sel kuraklık gibi diğer doğal afetlerle karşılaştırıldığında, depremlerin 'tekrarlama periyotları' daha uzundur. Ancak meydana geldiklerinde diğer afetlere göre çok daha fazla hasar ve kayıplara (can ve ekonomik) neden olabilmektedirler.

Türkiye konum olarak dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birinde yer almaktadır. Tarihsel dönemlerden itibaren ülkemizde onlarca yıkıcı deprem meydana gelmiş, telafisi olmayan çok sayıda can kayıplarına neden olmuş, ülke ekonomisi ciddi zarar görmüştür. 1939 Erzincan Depremi sonrasında deprem afetine karşı politikalar geliştirilmeye başlanmıştır (AFAD 2024). 1999 yılı, ülkemizin deprem farkındalığı açısından oldukça kritik bir yıl olmuştur. Bu yıl içerisinde meydana gelen Sakarya, Kocaeli, Yalova, Bolu ve İstanbul illerini etkileyen 7.4 ve 7.2 büyüklüğünde iki büyük deprem; 17 Ağustos Kocaeli (Gölcük) ve 12 Kasım Düzce depremleri, ülkenin afet yönetimi ve deprem hazırlığı konularındaki ciddi eksikliklerini gözler önüne sermiş, dersler çıkarılmasına neden olmuştur. Depremlerden etkilenen bölge, ülkenin ekonomik dinamiği olan ve sanayin merkezini oluşturan geniş bir coğrafyayı etkilemiştir. Depremlerden en çok etkilenen dört ilin (Kocaeli, Sakarya, Bolu ve Yalova), ülke gayrisafi millî hasılasının yaklaşık %7'sine ve sanayi katma değerinin yaklaşık %14'üne katkıda bulunduğu belirtilmiştir (Aktürk ve Albeni 2002, Erdik 2010). Bina türü yapısal kayıplarının yaklaşık olarak 5 milyar dolar olduğu rapor edilmiştir. Bu afetlerin kritik altyapı sistemlerinde ise yaklaşık 1 milyar dolar zarara sebep olduğu tahmin edilmektedir. Endüstriyel tesisler ve küçük işletmelerin kayıpları sırasıyla yaklaşık 2 milyar ve 1 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir. Dolaylı sosyoekonomik kayıpların, doğrudan fiziksel kayıplar kadar olacağını varsayarsak, toplam kayıp rakamı yaklaşık 16 milyar dolar olarak belirlenmiştir ki bu da Türkiye'nin GSYİH'sinin yaklaşık %7'sine tekabül etmektedir. 20. yy sonunda yaşanan bu afetler, devletin "Afet Yönetimi" için kapsamlı reformlar yapmasını kaçınılmaz kılmıştır. Bu reformların başında, 2007 ve 2018 yıllarında deprem yönetmeliklerin güncellenmesi, değişmesi ve 2009 yılında Başbakanlık'a bağlı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) kurulması gelmektedir. Deprem için farkındalığın arttığı süreç olan son 25 yılda ülkemizde 6.5'dan büyük 12 adet deprem daha meydana gelmiştir (Tablo 1) (TADAS 2023).

Tablo 1: Son 25 yılda Türkiye'de meydana gelen 6.5'dan büyük depremler (TADAS 2023)

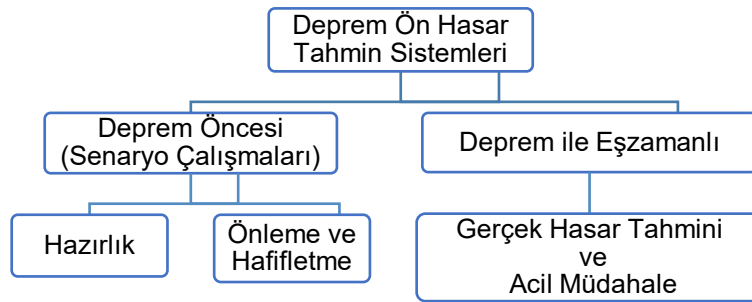
Table 1: Earthquakes above magnitude 6.5 in the last 25 years in Türkiye (TADAS 2023)

Kodu	Tarih (Gün, Ay, Yıl, Saat)	Derinlik(km)	Büyükklük (M _w)	Lokasyon
543593	06-02-2023 10:24	7.0	7.6	Elbistan (Kahramanmaraş)
543431	06-02-2023 01:28	6.2	6.6	Nurdağı (Gaziantep)
543428	06-02-2023 01:17	8.6	7.7	Pazarcık (Kahramanmaraş)
483762	30-10-2020 11:51	14.9	6.6	Ege Denizi, Seferihisar (İzmir)
457758	24-01-2020 17:55	8.1	6.8	Sivrice (Elazığ)
381491	20-07-2017 22:31	19.4	6.5	Ege Denizi, Bodrum (Mugla)
226769	24-05-2014 09:25	25.0	6.5	Ege Denizi
141933	23-10-2011 10:41	19.0	7.0	Van
236848	01-05-2003 00:27	10.0	6.6	Bingöl
241600	03-02-2002 07:11	22.1	6.5	Sultandagi (Afyon)
246572	12-11-1999 16:57	10.4	7.1	Düzce (Bolu)
247730	17-08-1999 00:01	17.0	7.6	Gölcük (İzmit)

Teknolojik ilerlemeler, artan nitelikli mühendislik hizmeti ve afetler sonrası güncellenen deprem yönetmeliklerine rağmen Türkiye'nin mevcut yapı stoğunun büyük bir kısmı ne yazık ki güncel ve modern deprem yönetmeliklerine uyum sağlamamaktadır. Geoteknik ve jeolojik açıdan

eksik değerlendirilen inşaat sahaları, mühendislik hizmetlerinden tam olarak yararlanamayan yapılar nedeniyle orta ila şiddetli depremlerde can ve mal kaybı riski ve de ekonomik kayıplar artmaya devam etmektedir. Türkiye, 6 Şubat 2023 tarihinde 9 saat arayla Pazarcık merkezli $M_w=7.7$ ve Elbistan Merkezli $M_w=7.6$ büyüklüğünde (AFAD 2023a) iki deprem afetine daha maruz kalmıştır. Söz konusu bu depremler, Anadolu, Arap ve Afrika levhaları arasındaki üçlü birleşim noktası tarafından kontrol edilen, tektonik olarak deformasyona uğrayan karmaşık fay ağının bulunduğu bir bölgede meydana gelmiştir (Wang ve diğ. 2023). Afetlerden ülkenin 11 ili ve yüzey alanının %14'ü (Avcıl ve diğ. 2023) doğrudan etkilenmiş ve depremler "yüzyılın felaketi" olarak adlandırılmıştır. Her iki deprem, kendi yüzey kırık sistemlerini ve artçı deprem dizilerini meydana getirmiştir (Tikhotsky ve diğ. 2023). Sadece ana depremler sırasında değil, sonrasında devam eden artçı depremler nedeniyle de ciddi hasarlar meydana gelmiştir (İnce 2024). Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 02 Mayıs 2023 tarihli verilerinde, yıkılmış ve acil yıkılması gereken bina sayısı 58.039, ağır hasarlı bina sayısı 205.534 olarak açıklanmıştır. Felaketlerde, resmi rakamlara göre, 50.783 kişi hayatını kaybetmiş, 115.353 kişi yaralanmıştır. T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı tarafından asrın felaketinin ülkemize maliyeti yaklaşık 2 trilyon TL (103,6 milyar dolar) olarak açıklanmıştır (T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı 2023). Bu veriler, Türkiye'nin yapı stoğunun deprem yönetmeliklerine uyumunun sadece yapısal bir sorun olmasının ötesinde, ulusal bir güvenlik ve ekonomik istikrar meselesi olduğunu da göstermektedir.

Deprem hasarının boyutunu etkin bir şekilde değerlendirmek ve bu hasarla ilişkili kayıpları tahmin etmek; etkili afet yönetimini yürütebilmek, verimli kaynak dağıtımını sağlayabilmek ve gelecekteki olayları öngörebilmek yapılanma, iyileşme ve planlama açısından hayati önem taşımaktadır. Deprem afetini önlemek mümkün olmamakla birlikte öncesinde alınacak önlemler, afet ile eşzamanlı ve sonrasında yürütülecek etkili ve başarılı bir afet yönetimi ile afet kaynaklı kayıpları hafifletmek mümkün olabilmektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde, afet yönetiminin etkinliği, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır (Bayrak 2019). Afetlerin olası sonuçlarını en düşük seviyeye indirmek için, afet öncesi ve sonrası dönemlerde kapsamlı bir yönetim stratejisi benimsemek esastır (Şahin ve diğ. 2023). Etkin bir afet yönetiminin anahtar noktalarından biri ise "Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri'dir. Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri, yapısal ve ekonomik hasarları tahmin etmek için kullanılan teknolojik ve analitik araçlardır. Deprem Ön Hasar Tahmin Sistemleri ile yürütülecek afet çalışmaları deprem öncesi ve deprem ile eşzamanlı ve/veya hemen sonrası olmak üzere iki ana kategori altında gruplandırılabilir (Şekil 1).



Şekil 1: Deprem ön hasar tahmin sistemleri
Figure 1: Earthquake damage and loss estimation systems

İlk kategori, depremden önce, olası deprem tehlikelerinin değerlendirilerek senaryo deprem çalışmalarının yürütülebilmesi, riskli alanların belirlenerek "Hazırlık" ve "Önleme ve Hafifletme" çalışmalarının planlanabilmesi ilkelere dayanmaktadır. Bu süreç özellikle yerel yönetimler için büyük önem arz etmektedir. Hazırlık faaliyetleri, acil durum yönetimi ve planlamasının temelini oluştururken, önleme ve hafifletme çalışmaları mevcut risklerin değerlendirilmesi ve bu risklere yönelik planlamaları kapsar.

İkinci kategori ise deprem anında veya hemen sonrasında gerçekleştirilen faaliyetleri içerir. Bu aşamada, depremin hemen ardından elde edilen gerçek zamanlı veriler kullanılarak hasarın hızlı bir şekilde tahmin edilmesi esastır. Bu süreç, "Hasarların Hızlı Tahmini ve Acil Müdahale" olarak adlandırılabilir ve kısaca "Hasar Tahmini" olarak özetlenebilir. Bu yaklaşım, afetin hemen ardından acil müdahale gerektiren bölgelerin belirlenmesine olanak tanır, yardım ve kurtarma ekiplerinin vakit kaybetmeden en uygun noktalara yönlendirilmesini sağlar. Afet dönemlerinde etkili planlama, afet müdahale ekiplerinin hızlı ve koordineli hareket etmesini, kaynakların doğru ve verimli bir şekilde tahsis edilmesini sağlar (Ozkaynar 2023). Bu sistemlerin etkin kullanımı, afet yönetimi süreçlerinde hayati öneme sahiptir ve afetin olumsuz etkilerini azaltmada kritik rol oynarlar.

Bu çalışma kapsamında, analizler sırasında kullanılan eğriler ve yapılan kabullerin DÖHTS'nin performansına etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda 6 Şubat Pazarlık deprem verileri ve farklı azalım ilişkileri kullanılarak senaryo deprem çalışması yapılmış, tehlike ve risk analiz sonuçları deprem sonrası elde edilen gerçek sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. DEPREM HASAR TAHMİN SİSTEMLERİ

Deprem ön hasar ve kayıp tahmin sistemleri, binalar, altyapı sistemleri ve insan hayatları üzerindeki sismik olayların etkisini değerlendirmek için tasarlanmış kompleks bilgisayar yazılımları ya da modelleridir. Deprem afeti kaynaklı kayıpları azaltabilmek için dünya genelinde birçok *Hasar Tahmin Sistemleri* geliştirilmiştir ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Hızlı kayıp tahmini ve afet risk değerlendirmesi için kullanılan bu sistemlerden bazıları aşağıda listelenmektedir.

AFAD-RED (Türkiye): Türkiye'nin Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından geliştirilen bu sistem, hızlı deprem hasar değerlendirmesi ve afet yanıt koordinasyonu için tasarlanmıştır. AFAD-RED, deprem öncesi yapılacak senaryo çalışmalar ile depremin olası etkilerini tahmin edebilme, deprem ile eş zamanlı ya da hemen sonrasında deprem verilerini gerçek zamanlı olarak işleyerek, hasar tahminleri ve acil müdahale planlaması yapabilme kapasite sahiptir. Bu sistem, afet yönetimi süreçlerinde hızlı ve etkili karar almayı mümkün kılarak planlama, acil müdahale, kurtarma, yardım ve iyileştirme çalışmalarına rehberlik etmektedir (AFAD 2023b).

CAPRA: Bu yazılım paketi, doğal afetlerin olasılıksal risk değerlendirmesi ve yönetimi için geliştirilmiştir. CAPRA, özellikle deprem, sel ve kasırga gibi doğal afetlere yönelik detaylı risk analizleri sunar ve bu analizler, afet risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılır (CAPRA 2023).

ELER (Deprem Kayıp Tahmini Rutini): Avrupa Birliği'nin Altıncı Çerçeve Programı kapsamında NERIES projesi altında geliştirilmiştir. ELER, ilk olarak yerel zemin etkilerini göz önünde bulundurarak yer sarsıntısı dağılım haritaları oluşturur. Ardından hasargörebilirlik eğrilerini kullanarak binalarda ve altyapı sistemlerinde meydana gelen hasarı belirlemektedir (B.U.KOERI 2010, Hancılar ve diğ. 2010).

USGS ShakeMap: USGS ShakeMap, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (United States Geological Survey- USGS) bünyesinde küresel ölçekte depremlerin hemen sonrasında yer yüzeyindeki sarsıntının yoğunluğunu ve etkisini haritalandırmak amacıyla tasarlanmıştır. Yazılım ayrıca PAGER ve HAZUS sistemleri için yer hareketi verilerini sağlamaktadır (USGS 2024).

PAGER: ABD Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) tarafından geliştirilen bir deprem kayıp sistemi ve web uygulamasıdır. Dünya genelinde deprem etkilerinin hızlı değerlendirmelerini sağlayan bu sistem, acil yardım planlaması için önemli veri ve analizler sunar. PAGER, deprem

sonrası hasar ve kayıp tahminleri yaparak, acil müdahale ekiplerinin etkin şekilde yönlendirilmesine katkıda bulunur (USGS 2023).

HAZUS (FEMA, ABD): Amerika Birleşik Devletleri Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) tarafından geliştirilen bu model, özellikle depremlere odaklanır ve yapısal, ekonomik ve demografik hasar tahminleri yapar. HAZUS, afet planlaması ve risk azaltma çalışmalarında kritik bir rol oynar (FEMA 2022).

MAEviz: MAEviz, Sonuç Odaklı Risk Yönetimi (CRM) çerçevesinde Mid-America Earthquake (MAE) Merkezi araştırmalarına dayanarak deprem hasar ve kayıp tahminleri ve sismik risk değerlendirmesi yapmak için geliştirilmiş bir platformdur (Navarro ve diğ. 2008).

HAZTURK: MAEviz yazılımının Türkiye için özelleştirilip geliştirilmiş versiyonudur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve TÜBİTAK desteğiyle İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde geliştirilmiştir. Bu yazılım, ABD'de geniş çapta kullanılan HAZUS programıyla, depremle ilgili analiz ve işlevsellik açısından benzer özellikler sunmakla birlikte üstün yönere de sahiptir (HAZTURK 2024).

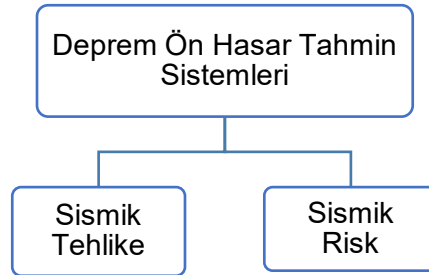
OPENQUAKE: Bu açık kaynaklı sismik risk değerlendirme yazılımı, küresel sismik risk analizi için kapsamlı araçlar sunmaktadır. OPENQUAKE, deprem tehlikesi ve risk haritaları oluşturarak, afet risk yönetimi ve azaltma stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olur (GEM 2023).

SHARE: SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) projesi, Avrupa kıtasında sismik tehlike ve risk değerlendirmesini standartlaştırmayı amaçlayan bir girişimdir. Bu proje, Avrupa'nın sismik tehlike haritalarını geliştirmek ve güncellemek için çeşitli ülkeler arasında bilgi ve veri paylaşımını teşvik etmiştir (Giardini ve diğ. 2014).

SELENA - NORSAR: SELENA (Seismic Loss Estimation using a Logic Tree Approach) sismik risk ve kayıp değerlendirmesi için kullanılan bir yazılımdır (NORSAR/ICG 2023).

REDACT - Black Sea Joint Operational Programme 2014-2020: Katılımcı ülkeler arasındaki iş birliği yoluyla sismik riski azaltmayı amaçlayan bu projede, bölgesel risk değerlendirmeleri ve afet yönetimi stratejileri geliştirilmesi hedeflenmiştir (Redact-Project 2023).

Deprem Hasar Tahmin Sistemleri, geliştirilme amaç ve kapasitelerine göre Sismik Tehlike ve Sismik Risk kavramlarının belirlenmesi için iki ana aşamadan oluşabilmektedir (Şekil 2). Bazı sistemler tehlike, bazıları risk bazıları ise her iki analizi de yürütme kapasite sahip şekilde geliştirilmiştir.

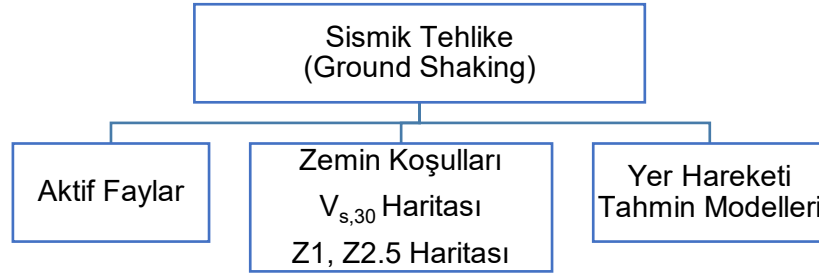


Şekil 2: Deprem ön hasar tahmin sistemlerinin ana aşamaları
Figure 2: Main stages of earthquake pre-damage estimation systems

2.1) Sismik Tehlike

Sismik tehlike analizleri, bir bölgede belirli bir zaman aralığında meydana gelebilecek sismik hareketin (yer hareketinin) büyüklüğünü ve yer hareketi parametrelerini tahmin etmek için kullanılan, belirli özelliklere sahip deprem olaylarını analiz etmeye odaklı bir yöntem olarak tanımlanabilir. Bir bölgedeki aktif faylar, geçmiş depremler ve jeolojik yapıya dayanarak hesaplamalar yapılmaktadır. Diğer bir deyişle, belirli bir sismik tehlikenin bir bölge üzerindeki etkisinin ne olacağını değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Sismik tehlike analizleri, iki temel yaklaşımla, deterministik veya olasılıksal yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Deterministik yaklaşımda, belirli bir sismik senaryo hazırlanır ve bu senaryoya göre yer hareketi parametreleri tahmin edilir. Bu analizler ile tehlike, tek veya bir dizi deprem parametrelerine bağlı olarak, belirli bir bölgeyi en çok etkileyebilecek maksimum yer hareketi olarak tahmin edebilmektedir.

Olasılıksal yaklaşımda ise, bölgedeki tüm olası sismik kaynaklar ve bunların olasılık dağılımları dikkate alınır ve belirli bir olasılık düzeyinde beklenen yer hareketi parametreleri hesaplanır. Sismik tehlike analizleri, olası depremin etkileri ve buna karşı nasıl önlem alınabileceği hakkında yol göstericidir. Sismik Tehlike analizleri üç temel bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Sismik tehlike analiz bileşenleri
Figure 3: Components of seismic hazard analysis

Bu temel bileşenlerinden ilki, çalışma alanının potansiyel sismik kaynaklarını tanımlamak ve özelliklerini belirlemektir. Bu amaçla, aktif fayların yerleri, boyutları, yönleri, eğimleri, kırılma mekanizmaları, deprem potansiyelleri, gerilme birikimleri, tekrarlama süreleri gibi parametreler göz önünde bulundurulur. Tehlike analizlerin gerçekleştirilmesinde, bölgenin zemin koşullarının da bilinmesi gereklidir ki bu aşama da kritik ikinci adımdır. Zemin koşulları, yer hareketlerinin şiddetini ve frekansını etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, bölgenin yerel zemin sınıfı ve kayma dalga hızı (V_{s30}) haritalarının ve havza derinliklerini temsil edebilmek için "Z1.0" ve "Z2.5" haritalarının hazırlanması, zeminin sismik davranışının anlaşılması ve belirlenebilmesi için gerekli adımlardır. Deprem tehlikesi analizlerinde kritik bir öneme sahip bir diğer konu ise yer hareketi parametrelerinin tahmin edilebilmesidir. Bu parametreler; depremin büyüklüğü, kaynak mekanizması, fay geometrisi, kaynak-istasyon mesafesi ve yerel zemin koşulları gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörleri dikkate alarak, belirli bir deprem senaryosu için yer hareketi parametrelerini tahmin etmekte yer hareketi tahmin modelleri (GMPE) diğer bir deyişle azalım ilişkileri kullanılır. GMPE'ler, yer hareketi parametrelerini (PGA, PGV, S_s , S_1 vs.) deprem büyüklüğü, uzaklık ve bazı durumlarda diğer değişkenlerin fonksiyonu olarak veren denklemlerdir. Bu modeller, kaydedilmiş kuvvetli hareketlerin veri tabanlarından regresyon analizleri ile elde edilir. Dolayısıyla, yer hareketi tahmin modeli ve/veya denklemlerinin seçimi, yapılacak çalışma ve analizlerin bir diğer önemli bileşenidir. GMPE seçiminde, çalışılan bölgenin sismik özellikleri, yerel zemin koşulları, veri kalitesi ve uygunluğu gibi kriterler dikkate alınmalıdır (Bayrak 2019).

Ön Hasar Tahmin Sistemleri, geliştirilme kapasitelerine göre kaydedilen gerçek deprem parametrelerini çevrimiçi ve/veya çevrimdışı işleyerek yer hareketi sarsıntı haritalarını güncelleyebilmektedir. USGS ShakeMap, AFAD-RED, REDACT gibi sistemler, gerçek zamanlı depremlerle eşzamanlı (neredeyse gerçek zamanlı) yer sarsıntı haritalarını güncelleme kapasitesine sahip yazılımlardır.

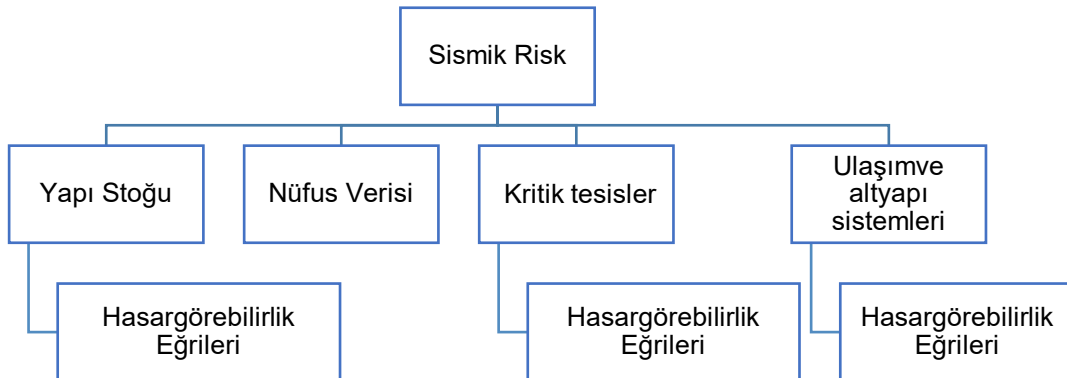
2.2) Sismik Risk

Sismik tehlikeden sonraki adım sismik riskin belirlenmesidir. Birleşmiş Milletler'in Uluslararası Felaket Azaltma Stratejisi (UNDRR 2023) risk kavramını tehlikelerin ve hasargörebilirliğin bir arada değerlendirilmesi olarak tanımlamaktadır (Fahjan ve diğ. 2015). Sismik riskin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, hasargörebilirlik ve afetin büyüklüğü ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, sismik tehlike ve hasargörebilirlik kavramlarının doğru belirlenmesi, afet yönetimi ve risk azaltma stratejileri için kritik öneme sahiptir. Özellikle, bina türleri, kritik tesisler, ulaşım ve altyapı sistemleri gibi yapısal unsurların detaylı stok bilgilerinin elde edilmesi, bu değerlendirmenin temelini oluşturur.

Hasar tahmini sürecinde, yapı stoğunu doğru bir şekilde temsil eden hasargörebilirlik eğrilerinin kullanılması esastır. Bu eğriler, deprem etkisine maruz kalan yapıların potansiyel hasar düzeylerini tahmin etmek için kullanılır. Dolayısıyla, belirli bir yapı sınıflandırması için seçilen hasargörebilirlik eğrilerinin, o sınıfı tam olarak temsil etmesi, analiz sonuçlarının doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Farklı bölgeler ve yapı türleri için farklılaşabilen bu eğriler, literatürde çeşitli çalışmalarla desteklenmiştir (OpenQuake) (GEM 2023).

Sismik risk değerlendirmesinde dikkate alınması gereken kritik veriler şunlardır (Şekil 4):

- Yapıların Taşıyıcı Sistem Bilgileri: Bölgedeki yapıların yığma, betonarme çerçeve, perde çerçeve gibi taşıyıcı sistem özellikleri
- Binaların Yapım Yılları ve Mühendislik Hizmeti Alma Seviyeleri
- Binaların Kat Sayıları ve Yükseklikleri: Yapıların fiziksel özellikleri ve potansiyel risk düzeyleri
- Yapı stoğunu temsil edebilen hasargörebilirlik eğrilerinin olması/belirlenmesi
- Güncel Nüfus Bilgisi: Afet sonrası yaralı sayısı, can kayıpları ve barınma ihtiyaçlarının tahmin edilmesi için nüfus verileri
- Kritik Tesisler ve Altyapı Sistemlerinin Lokasyonları ve Özellikleri: Hastaneler, okullar, yönetim binaları ve altyapı sistemleri gibi kritik unsurların detayları.
- Kritik tesisler ve candamarı sistemlerinin davranışını temsil eden hasargörebilirlik eğrileri



Şekil 4: Sismik risk analiz bileşenleri
Figure 4: Components of seismic risk analysis

Bu verilerin toplanması ve analizi, sismik risk değerlendirmelerinin doğruluğunu ve etkinliğini artıracak, böylece afetlere karşı daha dayanıklı ve hazırlıklı bir toplum yapısının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Deprem tehlike ve risk analizleri, şehir planlama, yapısal tasarım, afet yönetimi gibi konularda ana bileşenlerden biri olarak işlev görmektedir ve tüm yönetim birimlerinin koordine olarak stratejik kararlar almasında yol gösterebilmektedir.

4. DETERMİNİSTİK SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ UYGULAMASI

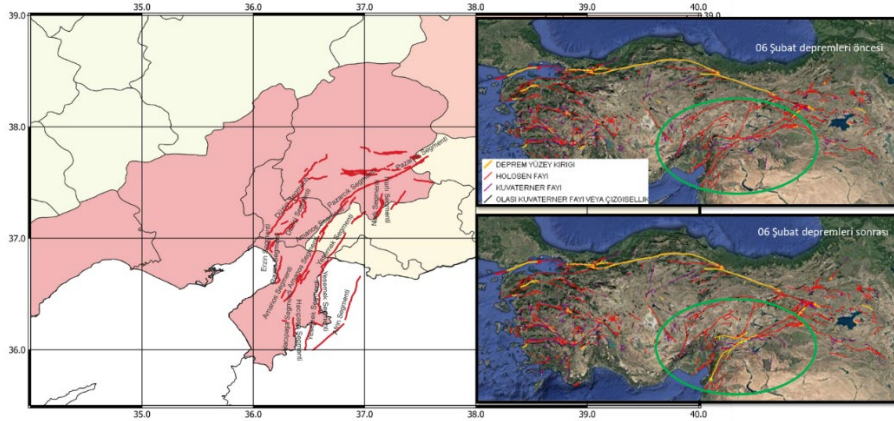
Depremlerin gerçekleşmeden önceki sonuçlarının öngörülmesi, çağdaş afet yönetiminin temel unsurlarından birini oluşturmaktadır. Kayıp tahmini analizleri, depremlerin değerlendirilmesi sürecinde ve depremlerden kaynaklanabilecek zararların tahmin edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Konunun önemi dikkate alınarak ülke genelinde ön hasar ve kayıp tahmin için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bal ve diğ. (2008) tarafından İstanbul İlinde, ilin bina envanteri için ön hasar dağılımları ve sosyal kayıpların tahmin edilmesi amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Işık ve diğ. (2019), Kırşehir İli ve çevresinin yapısal ve de ekonomik kayıplarının tahmin edilmesine odaklanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kahramanmaraş İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından 2020 yılında Kahramanmaraş İl Afet Risk Azaltma Planı (Kahramanmaraş İl Afet Risk Azaltma Planı-İRAP) hazırlanmıştır (Kahramanmaraş Valiliği 2020). Bu kapsamlı çalışma, AFAD-RED yazılımı kullanılarak, Kahramanmaraş ili için muhtemel 7.5 büyüklüğünde bir deprem senaryosu için hazırlanmış, şiddet dağılım haritası oluşturulmuş, deprem kaynaklı zarar görebilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen depremlerin ardından, hazırlanan raporun depremin şiddet ve hasar dağılımını büyük ölçüde doğru tahmin ettiği tespit edilmiştir. Bu bulgular, afet kaynaklı kayıpların önlenmesi, gerekli önlemlerin alınması ve planlama yapılabilmesi açısından deprem ön hasar tahmin sistemlerinin önemini bir kez daha kanıtlamaktadır.

Bu çalışma, 6 Şubat tarihinde meydana gelen ve Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesini merkez alan (M_w : 7.7) depremin verilerini temel alarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu deprem, Hatay, Gaziantep, Malatya, Diyarbakır, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Osmaniye, Adana ve Elâzığ illerinde ciddi hasar ve kayıplara neden olmuştur (AFAD 2023a). Analiz sürecinde, Avrupa Birliği REDACT projesi kapsamında geliştirilen REDAS Ön Hasar Tahmin Sistemi kullanılarak deterministik sismik tehlike analizi (DSTA) yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları, gerçek deprem verileriyle karşılaştırılarak, kullanılan eğriler ve yapılan kabullerin sonuçlar üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

4.1) Sismik kaynakların belirlenmesi

DSTA çalışmalarının ilk adımı sismik kaynakların belirlenmesidir. Bu aşamada, bölgenin diri fay bilgilerinin elde edilebilmesi için MTA Türkiye Diri Fay Haritası (2013) (Emre ve diğ. 2013) verilerinden yararlanılmıştır. Bu harita, Türkiye anakarasını kapsayacak şekilde hazırlanmış olup, 5.5 ve üzeri büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahip olan diri fayları içermektedir.

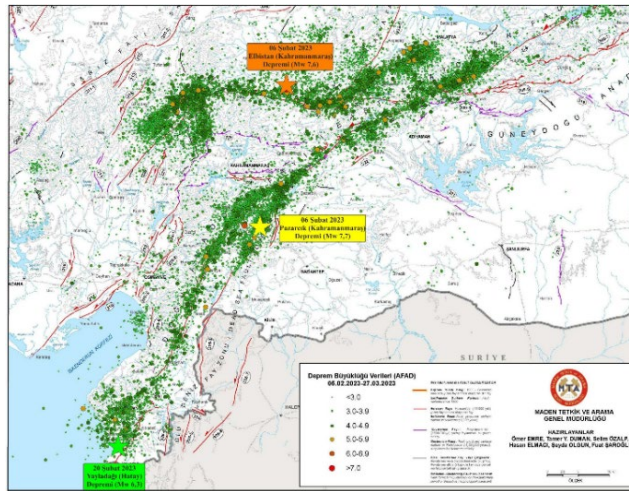
6 Şubat tarihinde meydana gelen Pazarcık ve Elbistan (Kahramanmaraş) depremleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde 108.812 km^2 lik bir alanda etkiye neden olmuştur (AFAD 2023a). Bu araştırmada 04:17'de gerçekleşen Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi'nde etkilenen bölge dikkate alınmıştır. Araştırmanın odaklandığı alan detaylı olarak incelenmiş ve bölgeyi etkileyebilecek iki ana fay zonu olduğu belirlenmiştir; Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF) ve Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDF). Belirlenen alan içindeki aktif faylar Şekil 5 ile sunulmaktadır.



Şekil 5: MTA- Türkiye diri fay haritası (Emre ve diğ. 2013)
Figure 5: MTA- Active fault map of Türkiye (Emre ve diğ. 2013)

4.2) Bölgeyi etkileyecek deprem senaryolarının belirlenmesi

Bu aşamada Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi (UDAP-Ç-13-06) (Akkar ve diğ. 2014) projesi verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında ilk olarak bölgeyi etkileyebilecek fay segmentleri belirlenmiştir. Bu fayların oluşturabileceği deprem büyüklükleri ve fayların karakteristik özellikleri ilgili rapordan elde edilmiştir. Rapora göre, DAF, Amanos segmentinin maksimum 7.5, Pazarlık segmentinin 7.3, ÖDF, Narlı segmentinin 6.7, Yesemek segmentinin 7.3 ve Afrin segmentinin 7.0 büyüklüğünde deprem üretmesi beklenmektedir. 06 Şubat 2023 Pazarlık (Kahramanmaraş) Depremi M_w 7,7 olarak açıklanmış, DAF zonu Serinyol, Amanos, Pazarlık, Erkenek, Yarpuzlu segmentleri, ÖDF zonu Narlı segmentleri beraber kırılmış ve toplam 400 km yüzey kırığı meydana gelmiştir (AFAD 2023a). Bölge için en kötü senaryo Amanos ve Pazarlık segmentlerinin beraber kırılacağı ve 7.5 büyüklüğünde deprem üretmesi olabileceken, 6 segment birlikte kırılmış ve $M_w=7.7$ büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir (Şekil 6). Senaryo çalışması için gerçek deprem verileri kullanılmıştır. 6 Şubat Pazarlık depreminin yüzey kırığı modellenmesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan 14138 numaralı raporun verileri temel alınarak gerçekleştirilmiştir (Kürçer ve diğ. 2023).



Şekil 6: 06.02.2023 Pazarlık (Kahramanmaraş), Elbistan (Kahramanmaraş) ile 20.02.2023 Yayladağı (Hatay) ana ve artçı depremlerinin Türkiye Diri Fay Haritası'ndaki yerleri (Kürçer ve diğ. 2023)
Figure 6: Locations of the main and aftershocks of the February 6, 2023 Pazarlık (Kahramanmaraş), Elbistan (Kahramanmaraş) and February 20, 2023 Yayladağı (Hatay) earthquakes on the Turkey Active Fault Map (Kürçer ve diğ. 2023)

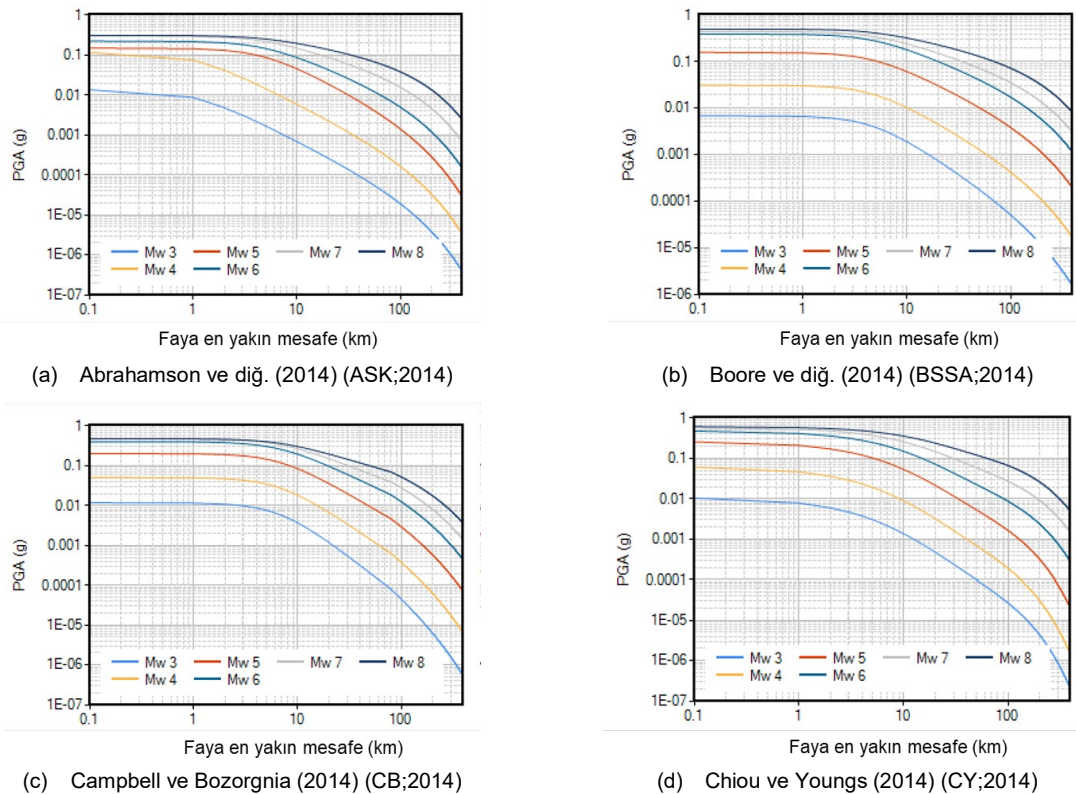
4.3. Kullanılacak yer hareketi tahmin modellerinin belirlenmesi

Yer hareketi tahmin modelleri (Ground Motion Prediction Equations, GMPE), depremlerin neden olduğu yer hareketi parametrelerinin tahmin edilmesi amacıyla kullanılan istatistiksel yaklaşımlardır. Bu modeller, depremin büyüklüğü, lokasyonu, derinliği, kaynak parametreleri gibi değişkenlerin yanı sıra sahanın kayma dalgası hızı ve faya olan mesafesini de hesaba katarak, belirlenen bölgede beklenen yer hareketinin büyüklüğünü ve spektral değerlerini tahmin etmek için tasarlanmıştır. GMPE'ler, geçmiş deprem verilerinin analizi ve bu verilerin modellemesi yoluyla geliştirilir. Son çeyrek yüzyılda meydana gelen depremler ve deprem veri tabanlarının boyutu ve kalitesindeki artışla birlikte GMPE'lerin sayısında ve çeşitliliğinde önemli bir artışa olmuştur. Bu sayede GMPE'ler daha geniş bir coğrafi yelpazede daha etkin uygulanabilir hale gelmiştir (Kale ve diğ. 2015).

GMPE ülkelerin özeli için geliştirilebileceği gibi benzer tektonik özelliklere sahip birden fazla ülkenin verileri kullanılarak küresel ölçekte de geliştirilebilmektedir. Deprem büyüklük, mesafe ve fay mekanizmaları gibi temel tahmin parametrelerindeki çeşitlilik ve zenginlik nedeniyle sismik tehlike analizlerinde küresel çapta geliştirilen azalım ilişkilerinin kullanımı tercih edilmektedir.

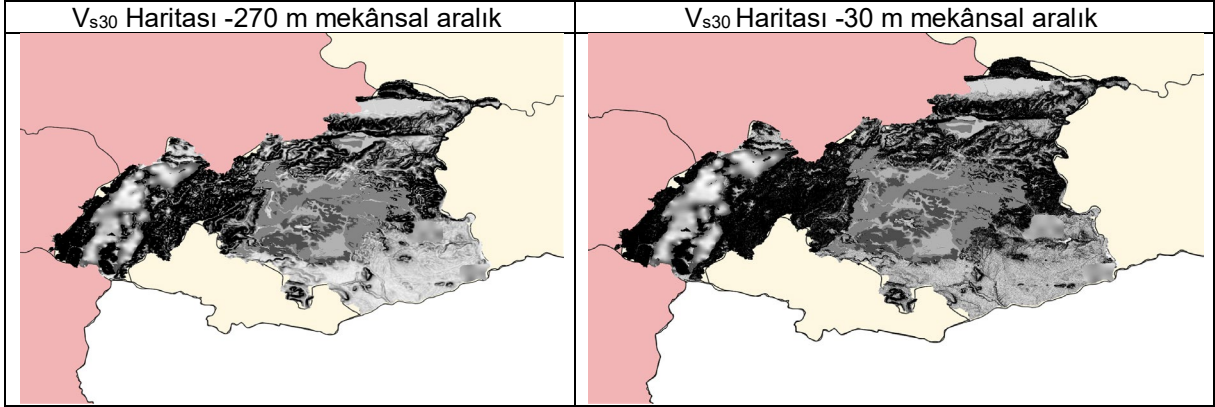
Hangi azalım ilişkisi ya da ilişkileri bölge tektoniğini tam temsil ediyor, hangisini ya da hangilerini kullanmak gerekir, birlikte kullanılmaları durumunda hangi ağırlıkta kullanılmaları gerekir konuları başlı başına kritik noktalardır ve analizlerin sonuçlarını doğrudan etkileyebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, literatürde kabul görmüş, aktif tektonik bölgelerdeki yüzeysel depremlerden kaynaklanan yer hareketi parametrelerini tahmin etmek üzere güncellenmiş ASK;2014 (Abrahamson ve diğ. 2014), BSSA;2014 (Boore ve diğ. 2014), CB;2014 (Campbell ve Bozorgnia 2014), CY;2014 (Chiou ve Youngs 2014), azalım ilişkileri kullanılmıştır (Şekil 7).



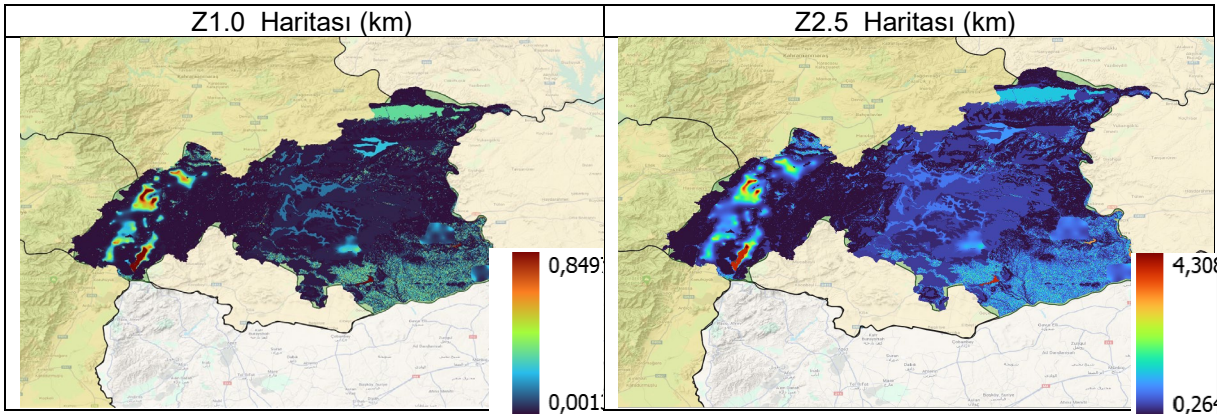
Şekil 7: Analizlerde kullanılan yer hareketi tahmin modelleri
Figure 7: Ground motion prediction models used in the analyses

Analizlerin etkin bir şekilde yürütülebilmesi ve yer hareketi parametrelerini doğru tahmin edebilmesi için proje sahasının zemin parametreleri ve kayma dalgası hız verileri kilit noktalardan biridir. Bölgenin kayma dalga hız haritasının mevcudiyet durumu (global/lokal), bölgenin jeolojik ve tektonik özelliklerini yansıtacak şekilde elde edilmiş olması ve yeterli mekânsal çözünürlüğe sahip olması gibi faktörler de analiz sonuçlarını etkileyen önemli parametrelerdendir. Gaziantep İli için 270 m ve 30 m aralıkla hazırlanmış kayma dalgası hız haritaları, aradaki farklılığı ifade edebilmek için Şekil 8'de sunulmaktadır. Bu çalışma kapsamında Tübitak MAM Deniz ve Yerbilimleri tarafından Gaziantep İli için hazırlanmış 30 m mekânsal aralık için hazırlanmış kayma dalgası hız verileri kullanılmıştır (Karaaslan ve diğ. 2023).



Şekil 8: Farklı mekânsal aralık için hazırlanmış V_{s30} haritaları
Figure 8: V_{s30} maps prepared for different spatial intervals

Analizlerde kullanılan yeni nesil azalım ilişkileri, $V_s = 1.0$ km/s ve $V_s = 2.5$ km/s değerlerine ulaşan derinliği ifade eden Z1.0 ve Z2.5 parametrelerini dikkate alabilmektedir. Bu ek parametreler, V_{s30} değeri ile tam olarak modellenemeyen havza etkilerini daha iyi karakterize etmek için gereklidir (Gregor ve diğ. 2014). ASK;2014, BSSA;2014 ve CY;2014 modelleri Z1.0, CB;2014 modeli ise Z2.5 değerini kullanmaktadır. Z2.5 değeri Tübitak MAM Deniz ve Yerbilimleri tarafından Gaziantep İli için hazırlanmış çalışmadan alınmıştır. Z1.0 haritası ise Chiu ve Youngs (2014) dikkate alınarak hazırlanmış ve çalışmada kullanılmıştır.



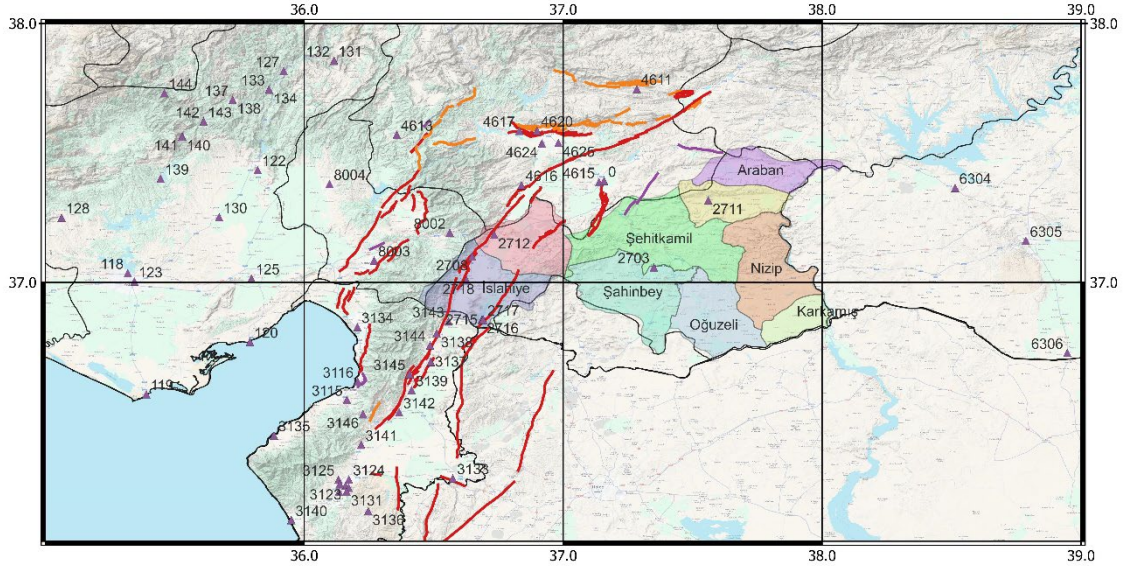
Şekil 9: Z1.0 ve Z2.5 haritaları
Figure 9: Z1.0 and Z2.5 maps

4.4) Sismik tehlikenin belirlenmesi -Analizler

Bu çalışma, kullanılan azalım ilişkilerinin deprem tehlike ve risk analizlerine etkilerini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle farklı senaryoların etkilerini göz ardı etmek için 6 Şubat Pazarcık depreminin gerçek verileri senaryo deprem olarak kullanılmıştır. Senaryo çalışmaları deterministik sismik tehlike analizi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında tehlike analizi sonucu yer hareketi parametreleri elde edilmiş, ikinci aşamasında bölgede bulunan kuvvetli yer hareketi istasyonlarının verileri dikkate alınarak sonuçlar güncellenmiştir.

4.5) Sismik tehlikenin belirlenmesi- Sonuçlar

Analizlerin odak noktası olarak, 6 Şubat Pazarcık depreminde ağır kayıp yaşamış olan Gaziantep İli, İslâhiye İlçesi seçilmiştir. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, mevcut durumda 950 istasyonla Türkiye ve yakın çevresindeki deprem aktivitelerini gözlemlemektedir (Büyüksaraç ve diğ. 2024). Gaziantep ili, İslâhiye ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve deprem sırasında kayıt yapabilen sismik istasyonlar dikkatlice belirlenmiş ve bu istasyonların verileri kullanılmıştır. Her bir istasyonun lokasyon bilgisi, kırılan fay hattına uzaklığı, oturduğu zeminin kayma dalgası hızı gibi kritik bilgiler ve gerçek deprem parametreleri AFAD TADAS (TADAS 2023) veri bankası kullanılarak elde edilmiştir. İstasyonların lokasyonları Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10: Türkiye ulusal kuvvetli yer hareketi gözlem ağı istasyon lokasyonları (TADAS 2023)
Figure 10: Locations of Türkiye national strong motion observation network (TADAS 2023)

Deterministik tehlike analizleri REDAS Ön Hasar Tahmin sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Gaziantep İli için hazırlanmış olan kayma dalgası hızı V_{s30} haritaları, Z1.0 ve Z2.5 haritaları, literatürde kabul görmüş küresel ölçekteki dört azalım ilişkisi ASK;2014, BSSA;2014, CB;2014, CY;2014 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. REDAS sistemi farklı azalım ilişkilerini farklı ağırlıklarda hesaba katabilme becerisine sahip olan bir yazılımdır. İlk aşamada dört denklem tek tek dikkate alınarak tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir.

REDAS Yazılımı kuvvetli yer hareketi istasyonlarından çevrimiçi veri alma kapasitesine sahip bir yazılımdır. Depremin hemen ardından yaklaşık ~10 dk içinde yazılım, kuvvetli yer hareketi istasyonlarından deprem verilerini alarak, ilksel deprem tehlike ve risk analizlerini güncelleyebilmekte, afetin boyutu gerçekçi bir şekilde belirlenebilmektedir. Analizlerin ikinci

aşamasında AFAD TADAS veri bankasından elde edilen deprem parametreleri kullanılarak sanki çevrimiçi veri alınmış gibi elde edilen deprem yer hareketi parametreleri güncellenmiştir. Bu şekilde depremin hemen ardından elde edilebilen ilksel deprem tehlike analiz sonuçları ve güncellenmiş deprem tehlike sonuçları karşılaştırılabilir, ön hasar tahmin sistemleri için çevrimiçi veri alabilmenin etkisi de bu aşamada araştırılmıştır. Analiz sonuçları için Gaziantep İli, İslâhiye ilçesi sınırlarında bulunan üç adet istasyonun verileri kullanılmıştır. Kuvvetli Yer hareketi İstasyonlarının kodları, lokasyonlarının kayma dalgası hızı (V_{s30}) değerleri, faya olan mesafeleri ($R_{rup}(km)$), ilksel ve güncellenmiş analizlerin sonucunda elde edilen yer hareketi parametreleri ve gerçek deprem verileri Tablo 2 ile sunulmaktadır.

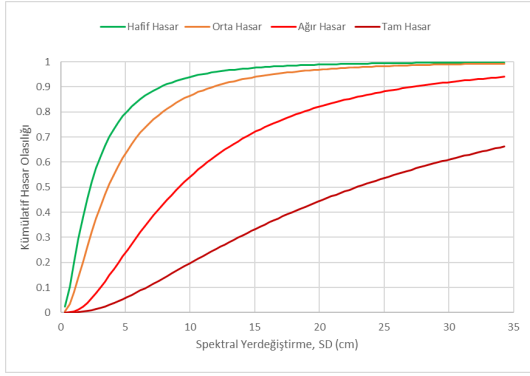
Tablo 2: Deprem tehlike analiz sonuçları
Table 2: Earthquake hazard analysis results

	İstasyon Kodu	Vs30 (m/sn)	Rrup (km)	Deprem Parametre	BSSA14		CB14		ASK14		CY14	
					İlksel Veri	Güncel Veri	İlksel Veri	Güncel Veri	İlksel Veri	Güncel Veri	İlksel Veri	Güncel Veri
Şiddet	2708	853	0.2	9.75	8.52	8.69	8.69	8.80	8.25	8.53	8.47	8.72
	2715	1100	11.5	8.13	7.22	7.44	7.68	7.83	7.02	7.36	7.17	7.27
	2718	659	0.6	9.29	8.82	9.02	8.94	9.08	8.50	8.81	8.70	8.98
PGA (gal)	2708	853	0.2	951.1	468.5	482.7	533.7	545.3	474.0	497.6	568.9	574.4
	2715	1100	11.5	398.6	232.6	240.4	339.8	346.9	233.6	245.6	258.5	260.7
	2718	659	0.6	672.9	535.2	552.1	528.0	538.5	530.8	557.1	617.2	622.1
PGV (cm/s)	2708	853	0.2	135.6	59.8	67.1	67.1	72.5	50.1	60.5	57.9	68.5
	2715	1100	11.5	46.3	25.2	29.2	34.3	37.9	22.2	27.8	21.4	26.2
	2718	659	0.6	99.7	73.3	83.7	79.4	86.8	59.1	72.9	67.7	81.6
Ss(gal)	2708	853	0.2	1478.3	917.9	934.3	771.0	798.8	885.0	895.3	1179.3	1156.3
	2715	1100	11.5	378.1	393.1	397.0	487.6	501.0	396.0	397.2	466.6	452.0
	2718	659	0.6	1357.3	1105.1	1120.1	940.0	969.7	1103.6	1111.8	1364.7	1328.6
S1(gal)	2708	853	0.2	1162.0	399.1	471.5	359.0	428.8	327.0	408.4	476.0	548.7
	2715	1100	11.5	215.6	155.1	188.2	179.0	218.6	150.4	193.2	158.4	187.2
	2718	659	0.6	655.7	516.0	620.5	467.9	567.7	415.3	528.8	601.5	704.7
S3(gal)	2708	853	0.2	350.4	136.2	148.5	134.9	149.2	111.9	131.6	124.1	148.7
	2715	1100	11.5	118.6	70.7	79.5	64.6	74.1	65.0	79.3	42.1	52.9
	2718	659	0.6	251.9	175.7	194.8	178.2	201.0	133.7	160.4	158.1	194.0

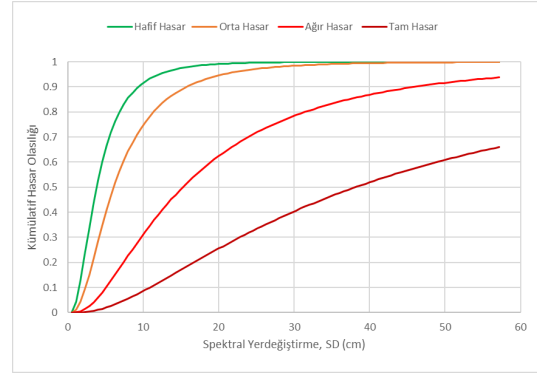
6. SİSMİK RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

Sismik riskin gerçekçi bir şekilde belirlenmesi için bölgenin yapı stoğu ve sınıflandırma verilerinin eksiksiz olması gerekmektedir. Yapı stoğunun karakteristik özelliklerinin belirlenebilmesi ve hasar durumlarının tanımlanabilmesi için bir sınıflandırma sisteminin oluşturulması, verilerin ve sonuçların doğru yorumlanabilmesi için risk analizlerinde gerekli bir adımdır. Yapısal karakteristikler (taşıyıcı sistem, yükseklik, vb.), yapısal olmayan elemanlar ve binanın kullanım amacı (konut, ticari amaçlı ve resmi binalar) hasar ve can kaybı tahminleri için önemli parametrelerdir. Türkiye'nin yapı stokunu ve yapısal özelliklerini temsil eden hasargörebilirlik eğrilerinin oluşturulmasına ve değerlendirilmesine yönelik çok sayıda değerli araştırmalar bulunmaktadır (Akkar ve diğ. 2005, Kırçıl ve Polat 2006, Tuzun ve Aydınoglu 2007, Erberik 2008, Bilgin 2013, Ucar ve Duzgun 2013, Hancılar ve diğ. 2014, Hancılar ve Çaktı 2015, Tugsal 2016, Yön 2020). Türkiye yapı stoku için elde edilen hasargörebilirlik eğrileri bölgedeki tüm yapı sınıfını temsil etmemektedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında hasargörebilirlik eğrilerinin hasar durum ve düzeyini belirlemedeki performansları değil,

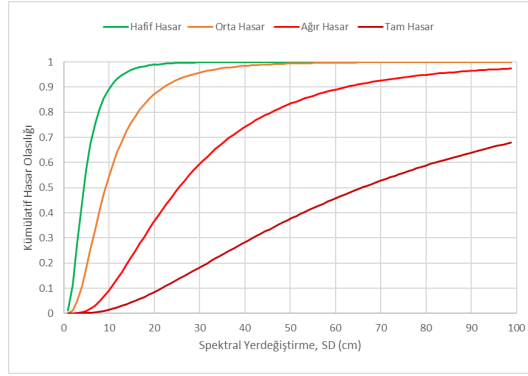
deprem tehlike analiz sonuçlarındaki belirsizliklerin sismik risk analiz sonuçlarına etkisini araştırılmıştır. Bu nedenlerden dolayı çalışmada, bölgede bulunan tüm yapıların sınıflandırılmasını kapsayan HAZUS yapı sınıflandırma kriterleri ve HAZUS tarafından yayımlanan hasargörebilirlik eğrileri dikkate alınmıştır (FEMA 2022) (Şekil 11). HAZUS yapıları mühendislik hizmeti alma seviyelerine, taşıyıcı sistem bilgilerine, malzemelerine, kat sayısı ve bina yüksekliğine göre sınıflandırmaktadır. HAZUS tarafından yayımlanan bu eğriler küresel ölçekte kabul görmüş eğrilerdir.



a) Az Mühendislik Hizmeti Almış Betonarme Çerçeve Sisteme Sahip Az Katlı Yapı



b) Az Mühendislik Hizmeti Almış Betonarme Çerçeve Sisteme Sahip Orta Katlı Yapı



c) Orta Düzeyde Mühendislik Hizmeti Almış Betonarme Perde Sisteme Sahip Yüksek Yapı

Şekil 11: Hasargörebilirlik eğrileri (FEMA 2022)

Figure 11: Fragility curves (FEMA 2022)

Sismik risk analiz çalışmaları 6 Şubat Pazarcık depreminde büyük kayıplara uğramış Gaziantep İli, İslâhiye ilçesi için hazırlanmıştır. İslâhiye ilçesi yerel yönetiminden, depremden önceki durumda ilçe genelinde yapıların çerçeve, perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip olduğu bilgisi aktarılmıştır. Bu bilgiler ışığında İslâhiye İlçesi için, ilçe genelindeki 1-3 katlı yapılar “Az Mühendislik Hizmeti Almış Betonarme Çerçeve Sisteme Sahip Az Katlı Yapı”, 4-6 katlı yapılar “Az Mühendislik Hizmeti Almış Betonarme Çerçeve Sisteme Sahip Orta Katlı Yapı” ve 7 kat ve üstü yapıların “Orta Düzeyde Mühendislik Hizmeti Almış Betonarme Perde Sisteme Sahip Yüksek Yapı” olduğu kabulü yapılmış ve hasargörebilirlik eğrilerinin seçimi bu kabullere göre yapılmıştır. Sismik risk analizleri için ilk olarak dört yer hareketi tahmin modeli ile elde edilen sismik tehlike analiz sonuçları kullanılmış ve bina hasar durum ve seviyeleri elde edilmiştir. Hasar durumları; *Hasarsız*, *Az Hasar*, *Orta Hasar*, *Ağır Hasar* ve *Göçme* olarak beş seviye için tanımlanmıştır.

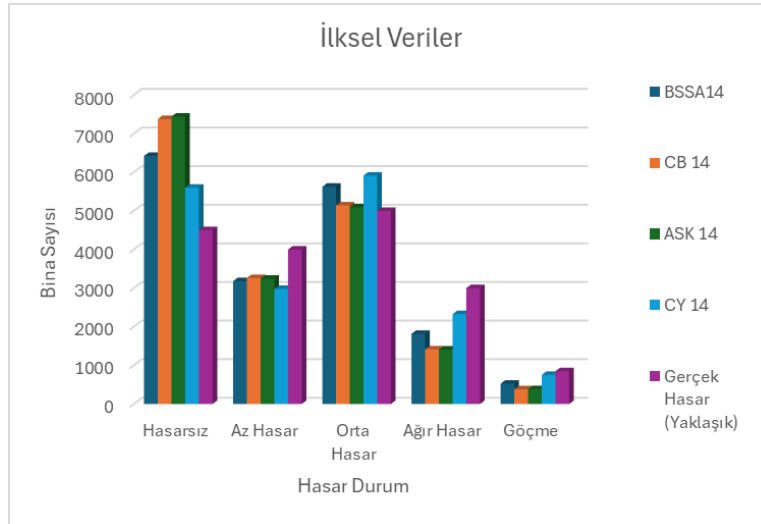
Çalışmanın ikinci aşamasında Pazarcık depreminde kuvvetli yer hareketi istasyonları tarafından kaydedilen gerçek deprem verileri dikkate alınarak ilk adımda hesaplanan yersarsıntı parametreleri ve sonuçlar güncellenmiş, sismik risk analizleri tekrarlanmıştır. HAZUS eğrilerinin kullanılması bu çalışma için bir kısıtlama olmakla birlikte yapılan çalışmanın amacı analizlerde kullanılan hasargörebilirlik eğrilerinin performanslarının değerlendirilmesi değil, tehlike analizlerinin yürütülmesi aşamasında seçilen ve hesaba katılan yer hareketi tahmin denklemlerinin, risk analiz sonuçlarına etkilerinin araştırılmasıdır.

REDAS Ön Hasar Tahmin Sistemi, kayıp düzeylerinin il, ilçe, mahalle ve/veya bir ızgaralama (grid) aralığı için belirlenmesine olanak tanımaktadır. Bu çalışma kapsamında ilçe ölçeğindeki hasar durum verileri kullanılmıştır. GMPE değeri ve hasar seviyeleri için İlkeli veri (İ.V.) sonucu elde edilen sismik risk analiz sonuçları Şekil 12, güncellenmiş veriler (G.V.) ile elde edilen analiz sonuçları Şekil 13 ile sunulmaktadır. Bu sonuçlar ayrıca Tablo 3'te karşılaştırmalı olarak da sunulmuştur.

Tablo 3: Sismik risk analiz sonucu

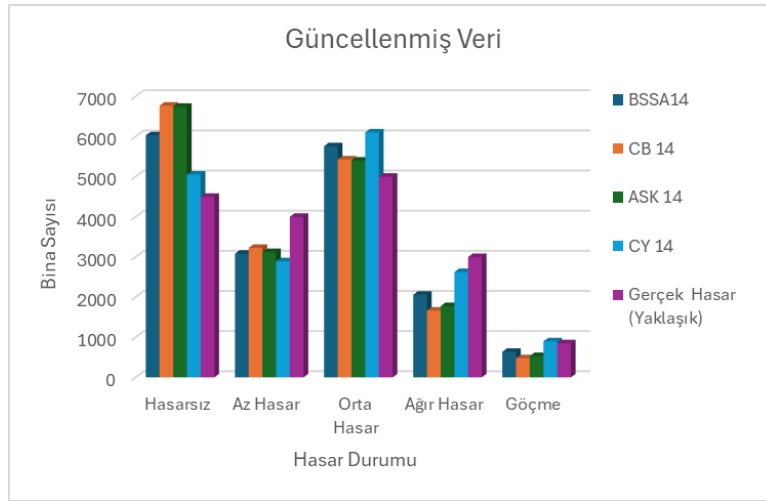
Table 3: Seismic risk analysis results

	Hasarsız		Az Hasar		Orta Hasar		Ağır Hasar		Göçme	
	İ.V. (Adet)	G.V. (Adet)	İ.V. (Adet)	G.V. (Adet)	İ.V. (Adet)	G.V. (Adet)	İ.V. (Adet)	G.V. (Adet)	İ.V. (Adet)	G.V. (Adet)
BSSA14	6424	6033	3181	3083	5625	5760	1817	2059	525	638
CB 14	7377	6770	3262	3228	5140	5431	1414	1665	379	478
ASK 14	7441	6741	3245	3123	5094	5402	1410	1775	382	531
CY 14	5599	5054	2980	2892	5914	6104	2327	2624	754	899
Ortalama GMPE	6710	6149	3167	3082	5443	5674	1742	2031	510	637
Gerçek Hasar (Yaklaşık)	4500		4000		5000		3000		850	



Şekil 12: Sismik risk analiz sonucu (İlkeli veriler)

Figure 12: Seismic risk analysis results (Preliminary Data)



Şekil 13: Sismik risk analiz sonucu (Güncellenmiş veriler)
Figure 13: Seismic risk analysis results (Updated Data)

6. SONUÇLAR

Deprem afetini engellemek mümkün olmamakla birlikte olası afetlerden önce alınacak önlemler ve afetler sırasında yürütülecek etkin bir afet yönetim süreciyle kayıpları en aza indirmek mümkün olabilmektedir. Deprem Ön Hasar Tahmin sistemleri bu noktada Hazırlık, Önlem Alma ve Etkin Afet Yönetimi'nin sağlanabilmesinde özellikle yerel yönetimler için kilit nokta durumundadır. Bu sistemler, belirli bir bölge için yürütülecek deprem senaryo çalışmaları ile olası afet bölgelerinin hasar durumlarını ve oranlarını tahmin ederek, afetten önce gerekli önlemlerin alınabilmesinin yolunu açabilirler. Olası bir afet sırasında ise afet ile eşzamanlı çevrimiçi gerçek verileri alarak ve işleyerek depremden etkilenen bölgeleri, hasar ve kayıp düzeylerini belirleyebilirler. Bu sayede yönetim birimlerinin koordine olarak etkin bir afet yönetim stratejisi uygulayabilmesi için referans olabilirler. Ön Hasar Tahmin Sisteminin etkin çalışabilmesi için kullanılan yaklaşımların, modellerin ve eğrilerin bölge jeolojisini, depremselliğini ve yapı stoğunu iyi temsil etmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında Pazarcık depreminin verileri kullanarak bir senaryo deprem modellenmiş, deterministik tehlike ve risk analizleri gerçekleştirilmiş, analiz sonuçları Gaziantep İli İslâhiye İlçesi'nde kaydedilen gerçek yer hareketi parametreleri ve ilçe hasar durumu ile karşılaştırılmıştır. Gaziantep İli kayma dalgası hız haritası, havza derinlik verilerinin bulunması sismik tehlike analizleri için büyük avantaj sağlamıştır. Analizlerde, literatürde kabul görmüş dört azalım ilişkisi kullanılmıştır. Sismik tehlike analizleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada depremin lokasyonu, büyüklüğü ve yerel zemin koşulları kullanarak ilksel analizler gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise kuvvetli yer hareketi istasyonlarından elde edilen gerçek deprem parametreleri kullanarak analiz sonuçları güncellenmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde kullanılan azalım ilişkisine göre sonuçların farklılaşabildiği açıkça belirlenmiştir. Hangi azalım ilişkisi/ilişkileri kullanılmalı, hangi oranda kullanılmalı, ortalamaları mı alınmalı kısmındaki belirsizlik, ilksel sismik tehlike analiz sonuçlarını direkt etkilemiştir. Deprem tehlike analizlerinde kullanılacak azalım ilişkilerinin bölge depremselliğini temsil edecek şekilde belirlenmesinin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Çevrimiçi veri alabilen deprem ön hasar sistemleri ile neredeyse deprem ile eşzamanlı olarak analiz sonuçları güncellenebilmekte, yapılan kabuller neticesinde ortaya çıkabilecek sapmalar azaltılabilmektedir. Bu noktada önemli bir husus deprem istasyonlarının varlığı ve olası bir depremde kayıt almaya devam edebilmesidir. Maraş depremlerinin verileri, GMPE güncellenmesi ve yeni modellerin önerilmesi açısından küresel ölçekteki deprem data veri bankasını oldukça zenginleştirmiştir.

Sismik risk analizlerinde yapı stoğunu temsil etmesi bakımından HAZUS tarafından önerilen hasargörebilirlik eğrileri kullanılmıştır. Analizlerde ilk olarak dört farklı GMPE kullanılarak gerçekleştirilen deprem tehlike analiz sonuçları kullanılmış ve bina hasar durumları elde edilmiştir. Daha sonra gerçek deprem verileri dikkate alınarak bu sonuçlar güncellenmiş risk analizleri tekrarlanmıştır. Analiz sonuçları, GMPE seçimine bağlı olarak deprem tehlike analizlerinde olduğu gibi sismik risk sonuçlarının da farklılaşabildiğini göstermektedir. GMPE ortalaması alınarak elde edilen sismik risk analiz sonuçları incelendiğinde, güncellenmiş veri kullanımı ile ağır hasarlı yapı sayısının yaklaşık %10, göçen bina sayısının ise %15 daha iyi tahmin edilebildiği belirlenmiştir. Acil müdahale gerektiren ve can kaybına sebep olma ihtimali daha yüksek olan kritik durumdaki bu yapılarda, bu oranların önemini daha da artırmaktadır.

KAYNAKLAR

Abrahamson N.A., Silva W.J., Kamai R., 2014. Summary of the ASK14 Ground Motion Relation For Active Crustal Regions, *Earthquake Spectra* 30(3), 1025-1055.

AFAD, 2024. AFAD ve Tarihçesi, Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr/afad-hakkinda>.

AFAD, 2023a. 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (M_w : 7.7- M_w : 7.6) Depremleri Raporu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü, Deprem Dairesi Başkanlığı, 02 Haziran 2023. Erişim adresi: https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf.

AFAD, 2023b. Ön Hasar ve Kayıp Tahmin Sistemi (AFAD-RED Sistemi), Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr/on-hasar-ve-kayip-tahmin-sistemi>.

Akkar S., Sucuoğlu H., Yakut A., 2005., Displacement-Based Fragility Functions for Low- and Mid-rise Ordinary Concrete Buildings, *Earthquake Spectra*, 21(4), 901-927.

Akkar S., Eroğlu Azak T., Çan T., Çeken U., Demircioğlu M.B., Duman T.Y., Ergintav S., Kadirioğlu F.T., Kalafat D., Kale Ö., Kartal R.F., Kılıç T., Özalp S., Şeşetyan K., Tekin S., Yakut A., Yılmaz M.T., Zülfikar Ö., 2014. Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi Sonuç Raporu (UDAP-Ç-13-06), Ulusal Deprem Araştırma Programı, Ankara, Türkiye.

Aktürk İ., Albeni M., 2002. Doğal Afetlerin Ekonomik Performans Üzerine Etkisi: 1999 Yılında Türkiye'de Meydana Gelen Depremler ve Etkileri (The Impact of Natural Disasters on Economic Performance: The Earthquakes in Turkey in 1999 and Their Effects), *Süleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics and Administrative Sciences*, 7(1),1-18.

Avçıl F., Işık E., İzol R., Büyüksaraç A., Arkan E., Arslan M.H., Aksoylu C., Eyisüren O., Harirchian E., 2023. Effects of the February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquake on structures in Kahramanmaraş City, *Natural Hazards*, 120(3):2953–2991.

Bal I.E., Crowley H., Pinho R., 2008. Displacement-based earthquake loss assessment for an earthquake scenario in Istanbul. *Journal of Earthquake Engineering* 12(S2), 12-22.

Bayrak E., 2019. Estimation of the Peak Ground Acceleration for Eastern Turkey, *European Journal of Science and Technology* (17), 676-681.

Bilgin H., 2013. Fragility-based assessment of public buildings in Turkey. *Engineering Structures*, 56,1283-1294.

Boore D.M., Stewart J.P., Seyhan E., Atkinson G.M., 2014. NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes, *Earthquake Spectra*, <https://doi.org/10.1193/070113EQS184M> 30(3), 1057-1085.

B.U. KOERI, 2010. Earthquake Loss Estimation Routine ELER v3.0 Technical Manual and Users Guide, Bogazici University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Department of Earthquake Engineering, Istanbul, 2010, Erişim adresi: http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/ELER/ELER_v3_Manual.pdf.

Büyüksaraç A., Işık E., Bektaş Ö., Avcil F., 2024. Achieving Intensity Distributions of 6 February 2023 Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes from Peak Ground Acceleration Records, *Sustainability*, <https://doi.org/10.3390/su16020599>, 16(2), 599.

Campbell K.W., Bozorgnia Y., 2014. NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response, *Earthquake Spectra*, <https://doi.org/10.1193/062913EQS175M> 30(3), 1087-1114.

CAPRA, 2023. Probabilistic Risk Assessment Platform (CAPRA), Erişim adresi: <https://ecapra.org/>.

Chiou B.S.J., Youngs R.R., 2014. Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response, *Earthquake Spectra*, <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M> 30(3), 1117-1153.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun ř., şaroğlu F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.

Erberik M.A., 2008. Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, *Engineering Structures*, 30(5),1360-1374.

Erdik M., 2010. Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes, Bogazici University, Dept. of Earthquake Engineering, 149–186, Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/depremmuh/eqspecials/kocaeli/kocaelireport.pdf>.

Fahjan Y., Pakdamar F., Eryılmaz Y., Kara F.İ., 2015. Afet Planlamasında Deprem Riski Belirsizliklerinin Değerlendirilmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1–2), 21-39.

Gregor N., Abrahamson N.A., Atkinson G.M., Boore D.M., Bozorgnia Y., Campbell K.W., Chiou B.S.J., Idriss I.M., Kamai R., Seyhan E., Silva W., Stewart J.P., Youngs R., 2014. Comparison of NGA-West2 GMPEs, *Earthquake Spectra*, <https://doi.org/10.1193/070113EQS186M> 30(3), 1179-1197.

Hancılar U., Çaktı E., 2015. Fragility functions for code complying RC frames via best correlated IM–EDP pairs, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(11), 3381-3400.

Hancılar U., Çaktı E., Erdik M., Franco G.E., Deodatis G., 2014. Earthquake vulnerability of school buildings: Probabilistic structural fragility analyses, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 67, 169-178.

Hancılar U., Tuzun C., Yenidogan C., Erdik M., 2010. ELER software - a new tool for urban earthquake loss assessment, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(12), 2677-2696.

FEMA, 2022. Hazus Earthquake Model Technical Manual (Hazus 5.1), July 2022. Federal Emergency Management Agency, Erişim adresi: <https://www.fema.gov/flood-maps/tools-resources/flood-map-products/hazus/user-technical-manuals>.

GEM, 2023. The OpenQuake Platform, Global Earthquake Model Foundation (GEM). Erişim adresi: <https://platform.openquake.org/>.

Giardini D., Woessner J., Danciu L., 2014. Share Project, Mapping Europe's Seismic Hazard. EOS, 95(29): 261-262. Erişim adresi: <http://www.share-eu.org/>.

HAZTURK, 2024. HAZTURK, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi HAZTURK, Erişim adresi: <https://hazturk.itu.edu.tr/>.

Işık E., Sağır Ç., Tozlu Z., Ustaoglu Ü.S., 2019. Determination of Urban Earthquake Risk for Kırşehir, Turkey. *Earth Sciences Research Journal*, 23(3), 237-247.

İnce O., 2024. Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023, *Engineering Failure Analysis*, 156, 107799.

Kahramanmaraş Valiliği, 2020. İRAP İl Risk azaltma Planı (Kahramanmaraş), T.C. Kahramanmaraş Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Erişim adresi: <https://kahramanmaras.afad.gov.tr/kurumlar/kahramanmaras.afad/e-kutuphane/IL-PLANLARI/KAHRAMANMARAS%CC%A7-IL-AFET-RISK-AZALTMA-PLANI2022.pdf>.

Kale Ö., Akkar S., Ansari A., Hamzehloo H., 2015. A Ground-Motion Predictive Model for Iran and Turkey for Horizontal PGA, PGV, and 5% Damped Response Spectrum: Investigation of Possible Regional Effects, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(2A), 963-980.

Karaaslan A., Zor E., Alaybey S., Tarancioglu A., Ergin M., Okeler A., Cankurtaranlar A., Erkan B., Sevim F., Çıkgöz C., 2023. Gaziantep ili Sismik Tehlike ve Risk Değerlendirme Projesi, 5207A01, TÜBİTAK Dış Destekli Proje Sonuç Raporu, Gebze/Kocaeli.

Kırçıl S., Polat Z., 2006. Fragility analysis of mid-rise R/C frame buildings. *Engineering Structures*, 28(9), 1335-1345.

Kürçer A., Elmacı H., Özdemir E., Güven C., Güler T., Avcu İ., Olgun Ş., Avcı H.O., Aydoğan H., Yüce A.A., Çetin F.E., Ayrancı A., Akyol Z., Soykasap Ö.A., Altuntaş G., Demirörs U., Karayazı O., Bayrak A., Özalp S., 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Depremi (Mw 7.7) Saha Gözlemleri ve Değerlendirmeler. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 14138, 187 s., Ankara

Navarro C.M., Hampton S.D., Lee J.S., Tolbert N.L., McLaren T.M., Myers J.D., Spencer Jr. B. F., Elnashai A.S., 2008. MAEviz: Exploring Earthquake Risk Reduction Strategies. In Proceedings of the 2008 Fourth IEEE International Conference on eScience (eSCIENCE '08). IEEE Computer Society, USA, 457. <https://doi.org/10.1109/eScience.2008.71>

NORSAR/ICG, 2023. The SELENA-RISe Open Risk Package, Erişim adresi: <https://selena.sourceforge.net/>.

Ozkaynar G.K., 2023. A Study on the Implementation Process of Management Functions in the Disaster Period: The Case of Sivas Cumhuriyet University in the Kahramanmaraş Earthquake, *Turk Deprem Arastirma Dergisi* 5(2), 105-127, <https://doi.org/10.46464/tdad.1282726>.

Redact-Project, 2023. Redact- Project, Rapid Earthquake Damage Assessment Consortium, Erişim adresi: <https://www.redact-project.eu/>.

Sahin G., Ugural M.N., Sagbas M., Erdogan F.A., 2023. Prioritization of Post-Disaster Needs Using the Fuzzy AHP Method: Example of Pazarcik and Elbistan Earthquakes, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(2), 314-330, <https://doi.org/10.46464/tdad.1371581>.

TADAS, 2023. Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi (TADAS), T.C. İçişleri Bakanlığı - Afet ve Durum Yönetimi Başkanlığı - Deprem Dairesi Başkanlığı, Erişim adresi: <https://tadas.afad.gov.tr/event-detail/17966>.

T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, 2023. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu, 17 Mart 2023 Ankara, Erişim adresi: <https://www.hmb.gov.tr/haberler/2023-kahramanmaraş-ve-hatay-depremleri-raporu>.

Tikhotsky S.A., Tatevosyan R.E., Rebetsky Y.L., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S., 2023. The 2023 Kahramanmaraş Earthquakes in Turkey: Seismic Movements along Conjugated Faults, *Doklady Earth Sciences*, 511(2), 703-709.

Tugsal Ü.M., 2016. Statistical Evaluation Of The Fragility Of Existing Rc Buildings In Turkey Under Seismic Loads, Phd, İstanbul: İstanbul Technical University, 211s.

Tüzün C., Aydınoğlu N., 2007. Development of fragility relationships from nonlinear analysis of real buildings. *Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering-COMPDYN* 2007, 353.

Uçar T., Düzgün M., 2013. Derivation of Analytical Fragility Curves for RC Buildings Based on Nonlinear Pushover Analysis, *Teknik Dergi*, 24(118), 402.

UNDRR, 2023. United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) Homepage, Erişim adresi: <https://www.undrr.org/>.

USGS, 2023. PAGER, Earthquake Hazard Program, USGS, Erişim adresi: <https://earthquake.usgs.gov/data/pager/>.

USGS, 2024. ShakeMap Scientific Background, Earthquake Hazard Program, USGS, Erişim Adresi: <https://earthquake.usgs.gov/data/shakemap/background.php>.

Wang Z., Zhang W., Taymaz T., He Z., Xu T., Zhang Z., 2023. Dynamic Rupture Process of the 2023 Mw 7.8 Kahramanmaraş Earthquake (SE Türkiye): Variable Rupture Speed and Implications for Seismic Hazard, *Geophysical Research Letters* 50(15), e2023GL104787.

Yön B., 2020. Seismic vulnerability assessment of RC buildings according to the 2007 and 2018 Turkish seismic codes, *Earthquakes and Structures*, 18(6), 709-718.

ARAŞTIRMA VERİSİ (*Research Data*)

AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı

- Deprem bilgisi
- Deprem odak çözümleri

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü -MTA

- Türkiye Diri Fay Haritası

T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı

- T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, 2023. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (*Conflict of Interest / Relationship*)

“Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.”

“Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.”

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): F.İ.K, Y.F.
- Literatür araştırması (*Literature research*): F.İ.K, Y.F.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): F.İ.K., Y.F.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): F.İ.K, Y.F.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): F.İ.K, Y.F.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): F.İ.K, Y.F.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): F.İ.K., Y.F.