



Investigation of the fragility of a damaged mid-rise reinforced concrete building

Zeynep Çiftçi^{ID}, Fatma İlknur Kara*^{ID}, Yasin M. Fahjan^{ID}

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

Highlights:

- Fragility curves of non-damaged structural systems
- Fragility curves of damaged structural systems
- Disaster and risk management

Keywords:

- Earthquake damage,
- Fragility curves,
- Pushover analysis,
- Non-linear time history analysis

Article Info:

Received: 21.04.2017

Accepted: 22.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416454

Acknowledgement:

Correspondence:

Author: F. İlknur KARA

e-mail:

fatmailknurkara@gmail.com

phone: +90 262 605 2791

Graphical/Tabular Abstract

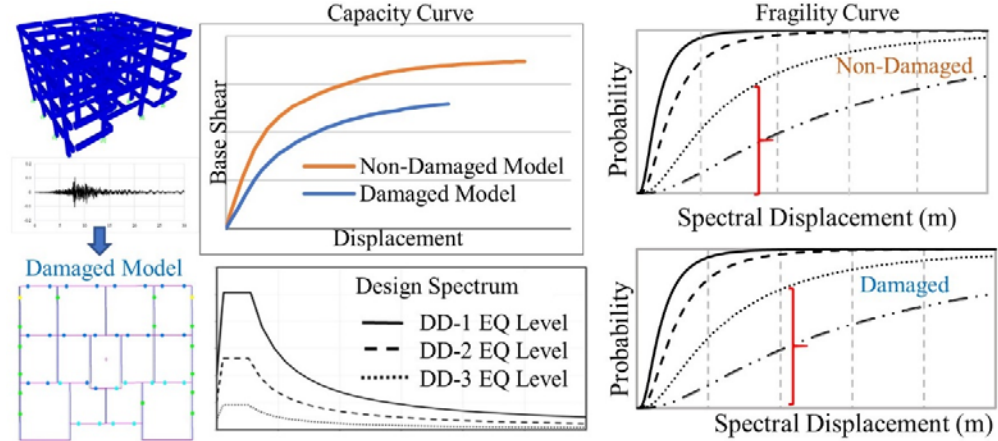


Figure A. Estimation and Comparison of Damage Probability for Non-Damaged and Damaged Structural Systems

Purpose:

The purpose of this study is to demonstrate the importance of determining correct representative fragility curves for previously damaged buildings to achieve effective disaster planning and risk management.

Theory and Methods:

In order to estimate the performance and damage levels of previously damaged structures after a next earthquake, a midrise reinforced concrete structure - which is damaged in an earthquake but still in use - is selected. Nonlinear time history analysis is performed for the 3D model of structural system exposed to previously recorded earthquake motion using SAP2000 software. Based on the resulted plastic rotation values of the structural elements, the damage level of the analyzed model is verified with real damage of the structure. After that, nonlinear static analyses of the two models are performed with Sap2000 and the story drift ratios and the spectral displacements are obtained. Using HAZUS drift ratio threshold values and lognormal standard deviation values, fragility curves are derived for two models separately. Using the new "Earthquake Hazard Map of Turkey" damaged and non-damaged structural system spectral displacements are determined for three earthquake Levels, DD-1, DD-2, DD-3. Using these spectral displacements, damage levels can be estimated from the derived fragility curves and compared for damaged and undamaged.

Results:

In terms of disaster planning and risk management, the total damage rate above the moderate damage level is of great importance to determine loss of life and shelter requirement ratios. The study concluded that If the damaged structure is re-exposed to an earthquake, the total damage expected to rate over; % 33 for the DD-3 earthquake level, 30% for the DD-2 earthquake level and 15% for the DD-1 earthquake level.

Conclusion:

The effective implementation of the strategies, identified before a possible disaster, is very important in terms of reducing the negative consequences of the disasters so it should be estimated correctly. Therefore, both of accurate assessment of existing building stock and accurate evaluation of fragility curves of the studied area key points to make a proper damage estimation and a successful disaster management.



Orta yükseklikteki hasar görmüş betonarme bir binanın hasargörebilirliğinin incelenmesi

Zeynep Çiftçi^{ID}, Fatma İlknur Kara*^{ID}, Yasin M. Fahjan^{ID}

Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Gebze, 41400, Kocaeli

Ö N E Ç I K A N L A R

- Hasar görmemiş yapıların hasargörebilirlik olasılık eğrileri
- Hasar görmüş yapıların hasargörebilirlik olasılık eğrileri
- Afet ve risk yönetimi

Makale Bilgileri

Geliş: 21.04.2017

Kabul: 22.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416454

Anahtar Kelimeler:

Deprem hasarı,
hasargörebilirlik eğrileri,
doğrusal olmayan statik itme
analizi,
doğrusal olmayan zaman
tanım alanı analizi.

ÖZET

Türkiye'nin mevcut yapı stokunun önemli bir kısmı depreme maruz kalmış ama kullanıma devam edilmekte olan orta katlı betonarme binalardan oluşmaktadır. Hasar görmüş binaların tekrar depreme maruz kaldıklarında gösterecekleri performansın belirlenmesi afet ve risk yönetimi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmada, depremde orta derecede hasar görmüş orta katlı betonarme bir binanın hasar görmeden önceki ve sonraki durumlarının hasar olasılıkları değerlendirilmiştir. Bu kapsamda her iki durum için bina üç boyutlu modellenmiş, doğrusal olmayan statik itme analizine tabi tutulmuş, görel kat ötelemeleri ile hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilmiştir. Sonuç olarak her iki durumdaki olası hasar oranları elde edilmiş ve afet yönetimi açısından değerlendirilmiştir.

Investigation of the fragility of a damaged mid-rise reinforced concrete building

H I G H L I G H T S

- Fragility curves of non-damaged structural systems
- Fragility curves of damaged structural systems
- Disaster and risk management

Article Info

Received: 21.04.2017

Accepted: 22.09.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416454

Keywords:

Earthquake damage,
fragility curves,
pushover analysis,
non-linear time history
analysis

ABSTRACT

An important part of existing building stock in Turkey is composed of middle-height reinforced concrete structures that had been exposed to earthquakes but still in use. Determination of damaged buildings' structural performance exposed again to an earthquake is very important for a successful earthquake disaster and risk management. In this study, damage probabilities of damaged and non-damaged reinforced concrete buildings are evaluated. In this context, a moderately damaged middle-height reinforced concrete structure is selected. Structural three-dimensional models for damaged and non-damaged cases are prepared and nonlinear pushover analyses are performed. Fragility curves of both cases are obtained using drift ratios. As a result, possible damage ratios are obtained and evaluated for disaster management.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Depreme maruz kalmış ya da kalması muhtemel yapılarda veya bölgelerde olası ya da oluşmuş yapısal hasarın tahmin edilebilmesi, afet sonrası yardım çalışmalarında öncelikli bölgelerin belirlenip can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi bakımından büyük önem taşımaktadır. Hasar tahmin çalışmalarının ilk aşamasını hasargörebilirlik analizleri oluşturmaktadır. Hasargörebilirlik analizleri ile yapılarda oluşacak hasarın matematiksel bir formülasyonla tahmin edilebilmesi amaçlanmaktadır. Hasargörebilirlik analizleri depremin şiddeti/büyüklüğü ile yapısal hasar arasındaki ilişkiyi olasılıksal hasar dağılımı formunda ifade etmektedir [1]. Hasar dağılımı, hasar olasılık matrisleri ya da kırılma eğrileri ile ifade edilebilmektedir.

Hasar dağılımının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar; deprem sonrası hasar inceleme çalışmalarına dayanan “gözlemsel yöntem” ve belirli bir kişi veya kişilerin bilgi ve tecrübesine dayanan “uzman (bilirkişi) görüşü” yöntemlerini kapsayan “ampirik yöntem”, belirli bir veri setinin analitik olarak simülasyonuna dayalı “analitik yöntem” veya sözü edilen yöntemlerin kombinasyonundan oluşan “hybrid yöntem” olarak sınıflandırılabilir.

Hasar tahmini üzerine yapılan çalışmalar 1970’li yıllarda ampirik yöntemler ile başlamıştır. Whitman vd. [2], 1971 San Fernando depreminde hasar görmüş yapıları kullanarak uzman görüşü yöntemi ile hasar olasılık matrislerini elde etmişlerdir. Aynı yaklaşım ile ATC [3], Kaliforniya’da bulunan 40 farklı yapısal sistemin sismik risk değerlendirmesini 60’a yakın uzman görüşü olarak belirlemişler ve ATC-13 raporunda sunmuşlardır. Basoz ve Kiremidjian [4] gerçek hasardan elde edilen hasar frekans matrislerini birleştirerek lojistik regresyon analizi ile köprüler için kırılma eğrilerini elde etmişlerdir. Rosette ve Elnashai [5] Avrupa’da 19 farklı deprem sonrasında inceledikleri 340000 betonarme çerçeve sistemden elde ettikleri hasar dağılımı ile farklı yer hareketi parametrelerine bağlı yeni kırılma eğrileri elde etmişlerdir. Ülkemizde yapılan bir çalışmada Özcebe vd. [6] orta ve alçak katlı betonarme binaların deprem ön hasargörebilirliklerinin değerlendirilmesi için bir model önermişlerdir. Önerilen modelin geçerliliği, Türkiye’de meydana gelen son depremlerle elde edilen sismik hasar verileri kullanılarak kontrol edilmiştir. Başka bir çalışmada ise Yakut vd. [7], Türkiye’de düşük ve orta katlı betonarme binaların sismik performanslarının değerlendirmesi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmalarında, 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerine maruz kalmış yaklaşık 500 adet binanın hasar oranları kullanılarak 6 hasar seviyesi belirlenmiştir. Önerilen yöntemin başka bölgelere de uygulanabilmesi için farklı zemin koşulları, deprem merkezine uzaklıkları ve deprem büyüklükleri de dikkate alınmıştır. Bir diğer çalışma ise; Şenel vd. [8] tarafından yapılmıştır. Bu çalışma, Denizli ilinde 1975 yılından sonra inşa edilmiş, 3-5 katlı betonarme yapısal sistem veri tabanını kullanarak kapasite spektrumu yöntemi ile binaların performanslarının belirlenmesi ve

hasar tahminlerinin yapılmasına dayanmaktadır. Deprem hasargörebilirlik riskinin gözleme dayalı tahmini için Akbulut ve Aytuğ [9] tarafından bir yöntem önerilmiştir. Yöntem gözlemsel çalışmalara dayanmakta ve hızlı bir şekilde hasar tahmini yapılabilmektedir. “Birinci Kademe Değerlendirme (BKD)” olarak isimlendirilmiş olan bu yöntem; yönetmelikler, standartlar ve mevcut betonarme yapı stokunu göz önüne alarak basit hesaplamalarla hasarı tahmin etmektedir. İkinci aşama bir çalışmanın gerekli olması durumunda ise BKD için elde edilen yapısal bilgiler (yapı kimlik bilgileri, taşıyıcı sistem özellikleri, yerleşim yeri özellikleri, korunma düzeyi vb.) deneysel ve analitik incelemede kullanılmak üzere hazır olacaktır. Askan ve Yüçemen [10], Türkiye’de olmuş depremlerden elde edilen hasar veri bankasını kullanarak alçak ve orta katlı betonarme binaların sismik hasarlarını tahmin etmekte kullanılan üç ana olasılıksal yöntemin karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bir diğer çalışmada ise 2011 yılında Genes vd. [11] tarafından, Antakya kent merkezinde 1997 deprem yönetmeliğinden önce inşa edilmiş, betonarme çerçeve yapısal sistemlerin statik itme analizi yöntemi ile bina performans seviyelerinin tanımlanması üzerine yapılmıştır.

Hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilmesinde analitik yöntemler kullanılması durumunda hesaba katılan “hasar” nümerik analizler ile elde edilmektedir. İlk analitik yaklaşım 1995 yılında Singhal ve Kiremitjian [12] tarafından çalışılmıştır. Çalışmada Park&Ang hasar indisi [13] kullanılarak betonarme çerçeve sistemler için Monte Carlo simülasyon tekniği [14] ile kırılma eğrileri elde edilmiştir. DBELA (Yerdeğiştirmeye dayalı deprem hasar tahmin yöntemi), daha gerçekçi hasar durumu tahmini için üç limit durumunun dikkate alındığı yeni yöntem olarak ilk defa Calvi tarafından 1999 yılında önerilmiştir. Daha sonraki yıllarda bu yöntem Calvi, Pinho, vd. [15] tarafından geliştirilmiştir. Analitik hasar görebilirlik yöntemlerinin en yaygın kullanılanı HAZUS yöntemidir [16]. Yöntem, Amerika Birleşik Devletleri’nde geliştirilmiş ve neredeyse tüm dünyaya uyarlanmıştır. Bu yöntem ile kapasite spektrumu yöntemi kullanılarak hasargörebilirlik eğrileri elde edilmektedir. Kırçıl [17] tarafından İstanbul, Zeytinburnu ilçesinde 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış orta yükseklikteki betonarme binaların artımsal dinamik analizleri suni deprem kayıtları ile yapılmış, akma ve göçme hasar seviyeleri için hasar olasılık eğrileri elde edilmiş ve performans seviyelerinin sınır değerleri tahmin edilmiştir. 2007 yılında Tüzün ve Aydınöğlü [18] tarafından Bolu kent merkezi için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada, 17 Kasım 1999 Düzce depreminde hasar görmemiş konut tipi betonarme binaların doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri gerçekleştirilmiş, Park&Ang hasar indisleri ile hasar sınırları tanımlanmış ve hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir. Erberik [19], 1999 Düzce depreminde hasar görmüş 2-6 kat sayısına sahip 28 adet binayı eşdeğer tek serbestlik dereceli sistem olarak modellemiş ve 100 farklı deprem yer hareketi kaydı kullanarak dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Hasargörebilirlik eğrilerini PGV (en büyük yer hızı) değerlerini kullanarak elde etmişlerdir. Uçar

ve Düzgün [20] yaptıkları çalışmada İzmir ilinin mevcut yapı stokunu kullanarak artımsal itme analizi yöntemi ile 3-8 katlı betonarme binaların hasargörebilirlik eğrilerini elde etmişlerdir. Hancılar ve Çaktı [21] ise yaptıkları çalışmada 2007 Türkiye Deprem Yönetmeliğine göre modelledikleri 5, 10, 15 ve 20 katlı betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle analitik hasargörebilirlik eğrilerini elde edilmişlerdir. Tekin ve Gürbüz [22] Türkiye'deki 1 ve 2 katlı 84 adet betonarme konut binasını yapım yılı 1998 öncesi ve sonrası olmak üzere iki gruba ayırıp doğrusal olmayan statik itme analizleri ile kırılma eğrilerini elde etmişlerdir. Bilgin [23] Türkiye'nin güney ve güneybatı bölgesindeki mevcut hastane stokunu temsil eden 3, 4 ve 5 katlı betonarme hastanelerin her sınıf için ayrı ayrı doğrusal olmayan dinamik analiz ile hasargörebilirlik eğrilerini elde etmiştir. Palancı, Şenel ve Kalkan [24], yaptıkları çalışmada Türkiye'deki genel prefabrik sanayii yapı stokunu temsil eden 98 adet tek katlı sanayii yapısının 300'den fazla deprem yerhareketi altında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi ile analitik hasargörebilirlik eğrilerini elde etmişlerdir.

Hibrid yöntem ise hem analitik hem de gözlemsel yöntemlerin avantajlarını kullanmaktadır. Bu yöntem ile deprem sonrasında elde edilen hasar istatistikleri ve incelenen yapısal sistemin matematiksel modelinin nümerik analizi sonuçları birleştirilmektedir.

Bu çalışma; depremde hasar görmüş betonarme yapıların, ikinci bir depreme maruz kaldıklarındaki davranışlarının ve hasar düzeylerinin tahmin edilebilmesini kapsamaktadır. Bu nedenle çalışmada depremde hasar görmüş, hakkında güçlendirme yapılması istenmiş ve kullanıma devam edilmesi kararı verilmiş, orta katlı bir bina örneği kullanılmıştır. Modelin hasar görmeden önceki ve hasar gördükten sonraki durumları için analitik hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiş ve yapısal performansları karşılaştırılmıştır.

2. ANALİTİK YÖNTEM İLE KAPASİTE SPEKTRUMUNA DAYALI HASARGÖREBİLİRLİK EĞRİLERİNİN ELDE EDİLMESİ (DEVELOPMENT OF CAPACITY SPECTRUM BASED FRAGILITY CURVES WITH ANALYTICAL METHODS)

Olası bir afet sonrasında oluşabilecek kayıpların azaltılabilmesi başarılı bir afet planlaması ve yönetimi ile mümkündür. Başarılı bir afet yönetimi, olası tüm riskleri belirleyip riskin önlenmesini, önlenemiyorsa oluşacak zararın azaltulmasını gerektirmektedir. Birleşmiş Milletler Uluslararası Afetlerin Azaltılması Stratejisi'ne [25] göre risk; tehlikelerin hasargörebilirlik ile birlikte değerlendirilmesiyle hesaplanabilir Eş (1).

$$\text{Risk} = \text{Tehlike} \times \text{Hasargörebilirlik} \quad (1)$$

Hasargörebilirlik kavramı ile göz önüne alınan bir bölge için, bölge yapı stokunda oluşabilecek hasar durumları ve can kayıplarının tahmini hakkında önceden bilgi edinilebilmektedir. Hasargörebilirlik olasılık eğrileri daha

önce tanımlandığı üzere, belirli bir yapı veya yapı stokunun deprem riskini lognormal birikimli dağılım fonksiyonu olarak ifade etmektedir [18]. Bu eğriler yapı veya yapı stokunda oluşacak hasar düzeylerinin, yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlere ulaşması veya bu sınır değerleri aşması olasılığını belirlememizi sağlar. Yapısal parametreler (taşıyıcı sistem, yükseklik, vb.), yapısal olmayan elemanlar ve binanın kullanım amacı (konut, ticari amaçlı ve resmi binalar) hasar ve can kaybını, dolayısıyla hasargörebilirlik olasılık eğrilerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, yapı stokunun karakteristik özelliklerinin belirlenebilmesi ve hasar durumlarının tanımlanabilmesi için bir sınıflandırma sisteminin oluşturulması, verilerin ve sonuçların doğru yorumlanabilmesi için, risk analizlerinde gerekli bir adımdır.

Hasargörebilirlik analizleri bir kent, bir bölge için yapılabileceği gibi tek bir yapı için de yapılabilmektedir. Bu çalışmada, HAZUS yöntemine dayalı hasargörebilirlik olasılık eğrileri tek bir yapı için çıkarılmış ve HAZUS yapı sınıflandırma sistemi esas alınmıştır. HAZUS yöntemi, yapısal sistemleri, hem karakteristik özellikleri hem de gördüğü mühendislik kalitesine göre sınıflandırmaktadır. Ayrıca her bir yapı sınıfı için kapasite eğrisi ve hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametrelerini vermektedir. HAZUS yöntemi yerdeğiştirme esaslı bir yöntemdir. Yerdeğiştirme esaslı hasargörebilirlik olasılık eğrileri Eş. 2 ile ifade edilir. Denklemde; P ; hasar parametresini, d_s ; hasar sınırını, Φ ; standart normal birikimli (kümülatif) dağılım fonksiyonunu, β_{d_s} ; spektral yerdeğiştirmenin d_s hasar sınırındaki lognormal standart sapma değerini; S_d ; spektral yerdeğiştirmeyi, \hat{S}_{d,d_s} ; spektral yerdeğiştirmenin bina hasarının d_s sınır değerine ulaştığı andaki ortalama değerini ifade etmektedir. Bu parametreler yapısal sınıf belirlendikten sonra yapıların gördüğü mühendislik kalitesine göre HAZUS-MH MR3 [26] tablolarından elde edilmektedir.

$$P [d_s | S_d] = \Phi [(1 / \beta_{d_s}) \ln (S_d / \hat{S}_{d,d_s})] \quad (2)$$

Bu çalışmada hasargörebilirlik eğrilerinin elde edilebilmesi için aşağıdaki adımlar izlenmiştir [27];

- Üç boyutlu yapısal model oluşturulmuş, X ve Y doğrultuları için ayrı ayrı doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmış, kapasite eğrileri elde edilmiştir.
- Doğrusal olmayan statik analiz sonucunda her bir doğrultudaki yapı kat seviyesi ve tepe noktası görel kat ötelemeleri-spektral yerdeğiştirme grafikleri çizilmiştir.
- Yapı sınıfı HAZUS'a göre belirlendiği için bu yapı sınıfına ait olan yapısal hasar sınır değerleri HAZUS'tan alınmıştır. Bu sınır değerler görel kat ötelemesi cinsinden hasar seviyelerini ayırmakta kullanılmaktadır (HAZUS MR3-Tablo 2.9).
- Yapı görel kat ötelemeleri-spektral yerdeğiştirme grafiklerinde bu sınır değerlere tekabül eden spektral yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu spektral yerdeğiştirme değerleri hasargörebilirlik eğrilerini çizdirmekte kullanılan yapının ortalama spektral yerdeğiştirme değerleridir (\hat{S}_{d,d_s}).

- HAZUS'tan bu yapı sınıfı için spektral yerdeğiştirmelerin hasar sınırındaki lognormal standart sapma değerini ifade eden (β_{ds}) değerleri alınmıştır. Elde edilen bu parametreler kullanılarak bu yapı sınıfına ait hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir.
- Hasar görmüş yapısal sistemin hasargörebilirlik eğrilerini elde edebilmek için ilk olarak üç boyutlu oluşturulan yapısal modelin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yapılmış ve hasar görmesi sağlanmıştır. Doğrusal olmayan zaman tanım analizi sonucunda elemanların taşıma kapasiteleri elemanlarda oluşan plastik mafsallar oranında azaltılmış ve hasar görmüş yapı modeli elde edilmiştir.
- Hasar görmüş yapı modeli elde edildikten sonra hasar görmemiş yapı modeli için yapılan işlemler tekrarlanmış ve hasar görmüş yapıların hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

3. HASARGÖREBİLİRLİK ANALİZLERİ (FRAGILITY ANALYSIS)

Bu çalışmada, daha önce bir depremde hasar görmüş betonarme yapıların, ikinci bir depreme maruz kaldıklarındaki performanslarının ve hasar düzeylerinin tahmin edilebilmesi için depremde hasar görmüş, ancak kullanılmaya devam eden orta katlı bir bina örneği kullanılmıştır. Bu çalışmada binanın depremde hasar görmeden önceki hali "1. Model", 1. Modelin gerçekte maruz kaldığı deprem yer hareketi kaydı ile doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi yapılarak hasar görmesi sağlanmış model ise "2. Model" olarak adlandırılmıştır.

3.1. Binanın Depremde Hasar Görmeden Önceki Hali "1. Model"

(Non-damaged Structural System, Model-1")

Bu çalışmada Kütahya ili, Simav ilçesi, Merkez'de bulunan, 19 Mayıs 2011 tarihinde gerçekleşen Kütahya-Simav depreminde hasar görmüş, orta katlı (4 katlı) bir bina örneği kullanılmıştır. Kullanılan 1.Model Probina Orion [28] programında oluşturulup SAP2000 [29] programına aktarılmış ve doğrusal olmayan analizler için SAP2000 programı ile yapılmıştır. Model, binanın gerçek mimari ve statik projeleri, zemin etüd raporları ve T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi

[30] için hazırlanan "Simav İlçesi ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binalarda Teknik Açısından Güçlendirilebilirlik Tespit Çalışması" raporu [31] kullanılarak oluşturulmuştur. Binanın tüm kat planları (İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi) [32] aynıdır. Bina modeli hakkındaki edinilen bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.

Analizlerde bilgi düzeyi katsayısı DBYBHY-2007 [33], Bölüm 7, Madde 7.2.16.'ya göre kapsamlı olarak ve bina önem katsayısı da DBYBHY-2007, Bölüm 2, Madde 2.4.2'ye göre; I=1 olarak alınmıştır. Şekil 1'de bina modelinin gerçek fotoğrafı, Şekil 2'de de analiz için oluşturulmuş model mevcuttur.



Şekil 1. Taşıyıcı sistem fotoğrafı (Structural System-photo)

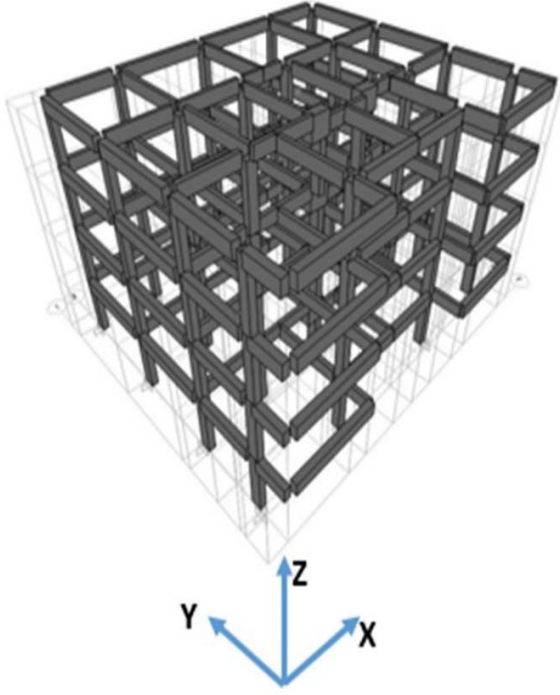
3.1.1. Depremde Hasar Görmemiş Yapı Modeli Modal Parametreler

(Non-Damaged Structural System-Modal Properties)

Üç boyutlu olarak oluşturulan 1.Modelin ilk olarak modal analizi yapılmıştır. Taşıyıcı elemanların çatlama kesit rijitlikleri, DBYBHY-2007, Madde 7.4.13.'e göre hesaplanmış ve kesitlere atanmıştır. Taşıyıcı sistem elemanlarının mafsal özellikleri FEMA-356 [34] yönetmeliğine göre belirlenmiş ve kesitlere atanmıştır. Modal analiz sonucu elde edilen sistemin hâkim periyotları, modal kütle katılım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Bina modeli hakkındaki bilgiler.(Structural System Information)

Bina Bilgileri			
İl / İlçe / Mahalle: Kütahya / Simav/ Çavdır			
Parsel Yüzölçümü	1126 M ²	Zemin Grubu	B
İmar Planındaki Tahsis Amacı	Konut	Yerel Zemin Sınıfı	Z2
Yapı Nizamı	Bitişik	Spektrum Karakteristik Periyotları	T _a = 0,15 S / T _b = 0,40 S
Yapı Yüksekliği	12,20 M	En Düşük Kottan Kazı Derinliği	1,00 M
Kat Yüksekliği (Her Katta Aynı)	2,80 M	Zemin Emniyet Gerilmesi (Q _a)	196 Kn/M ²
Deprem Bölgesi	1,Derece	Düşey Yatak Katsayısı (K _s)	39856 Kn/M ³
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A ₀)	0,40 G	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T ₀)	0,40 S
Bina Önem Katsayısı (I)	1,0	Zemin Doğal Birim Hacim Ağırlığı (Y _n)	22,92 Kn/M ³



Şekil 2. SAP2000 – modeli (Sap2000 Model).

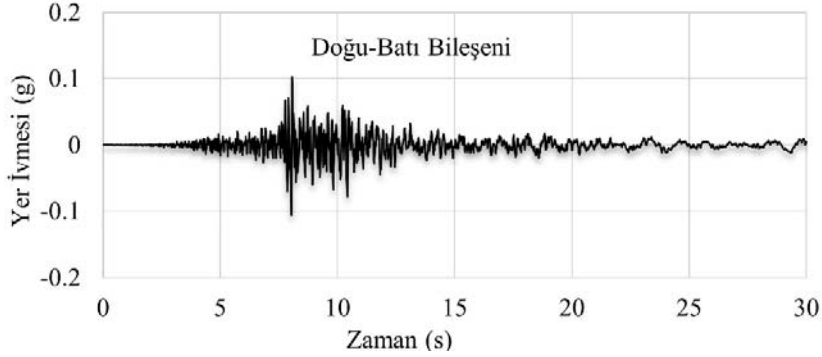
Tablo 2. Hasar Görmemiş Yapı Modal Parametreleri (Non-Damaged Structural System-Modal Properties)

Mod	Periyot	U_x	U_y	R_z
1	0,67	0,71	0,00	0,12
2	0,61	0,00	0,81	0,00
3	0,57	0,13	0,00	0,70

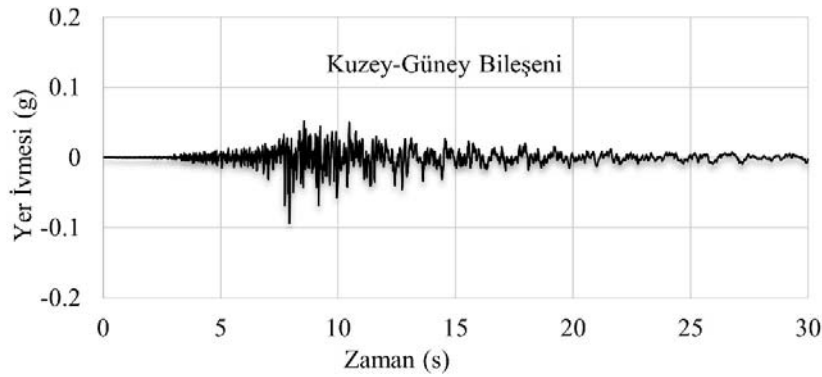
3.2. Depremden Hasar Görmüş Yapı Modeli “2. Model”
(Damaged Structural System-Model-2)

Analizler için tanımlanmış olan ikinci model, 1. Modelin, 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi’ne maruz kalmış hasarlı halini temsil etmektedir. Depremden sonra T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ve Pamukkale Üniversitesi iş birliği ile “Simav İlçesi ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binalarda Teknik Açısından Güçlendirilebilirlik Tespit Çalışması [31]” yapılmıştır. Çalışma sonucunda söz konusu bina “Orta Hasarlı” ve “Betonarme taşıyıcı elemanlarda kesme ve eğilme hasarı bulunmakla birlikte hasar onarılabilir seviyededir” şeklinde değerlendirilmiştir. Orta Hasar; taşıyıcı elemanlarda gözle görülür düzeyde hasarın olduğu ve yük taşıma kapasitesine ulaşıldığı durum olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada “2. Model”i, 1. Model’in gerçekte maruz kaldığı deprem yer hareketi altında doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinin yapılarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle ilk olarak 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav



Şekil 3. 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi doğu-batı doğrultusu yer ivmesi kaydı (19 May 2011 Kütahya-Simav EQ-East-West Component)



Şekil 4. 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav depremi kuzey-güney doğrultusu yer ivmesi kaydı (19 May 2011 Kütahya-Simav EQ-North-South Component)

Depremnin binan bulunduğu bölgedeki kaydı alınmaya çalışılmıştır. Ancak 19 Mayıs 2011 Kütahya-Simav Depremi'nin binanın bulunduğu Simav ilçesinde doğru alınmış bir deprem kaydı bulunmamaktadır. Bu nedenle doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri için depremin Kütahya ili Gediz ilçesinde bulunan T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi'ne ait 4304 İstasyondan alınan deprem kayıtları ölçeklendirilerek kullanılmıştır [35]. Şekil 3 ve Şekil 4'de deprem hareketinin bu istasyondan alınan her iki doğrultudaki ivme kayıtları verilmiştir.

Kayıtların alındığı istasyonun bulunduğu zemin, Simav ilçesi ile aynı özelliklerine sahiptir ancak bina deprem merkezine 10 km uzaklıkta iken istasyon 32 km uzaklıktadır. Aradaki mesafe farkı dikkate alındığında, 4304 numaralı istasyondan elde edilen deprem kayıtları kullanılarak binanın maruz kaldığı deprem yer hareketini elde edebilmek için yeni nesil azalım ilişkileri kullanılmıştır. Yeni nesil azalım ilişkileri ile her iki mesafe için pik yer ivme değerleri (PGA) elde edilmiştir ve iki ivme oranının "2.8" olduğu belirlenmiştir. 4304 numaralı istasyondan alınan kayıtlar bu katsayı ile ölçeklendirilmiş ve elde edilen yeni kayıtların binanın gerçekte maruz kaldığı deprem yer hareketine eşit olacağı kabul edilmiştir. Bu ölçeklendirme yönteminde deprem kırılma mekanizmasının etkisi dikkate alınmamıştır. Çalışmada doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizleri ölçeklendirilmiş kayıtlar ile yapılmıştır. Analiz sonucunda her bir yapısal elemanda oluşan plastik mafsallar belirlenmiştir. Plastik mafsal sonuçlarında elemanlarda kapasite kaybı olup olmama durumları kontrol edilmiş ve plastik mafsal dönme değerleri ile elemanlardaki hasar seviyeleri tahmin edilmiştir. Sonuçlar irdelendiğinde bazı yapısal elemanların akma durumuna ulaştığı fakat hiçbir elemanda kapasite kaybının olmadığı belirlenmiştir. Bu hasar seviyesinin bina için deprem sonrası yapılan hasar tespit çalışmasında belirtilen "Betonarme taşıyıcı elemanlarda kesme ve eğilme hasarı bulunmakla birlikte hasar onarılabilir seviyededir" hasar seviyesi ile uyumlu olduğu kabul edilmiştir.

Hasar görmüş 2. Model'i elde edebilmek için SAP2000 yazılımı ile doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi yapılmış 1. Model'in, analiz sonucunda plastik mafsal oluşan her bir noktasının, plastik deformasyon yapması oranında rijitliği azaltılmıştır. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi doğrudan entegrasyon yöntemi ile yapılmış ve rayleigh sönüm kullanılmıştır. Azaltılmış rijitlikleri tanımlayabilmek için SAP2000 yazılımının "release" özelliği kullanılmıştır. "Release" özelliği ile yapısal elemanların, moment / toplam dönme oranları kullanılarak rijitlikleri tanımlanabilmektedir. Toplam dönme akma dönmesi ve plastik dönmenin toplamı olarak tanımlanmaktadır. Plastik dönme elde edebilmek için ilk olarak plastik mafsal oluşan her bir noktanın moment-dönme grafikleri çizdirilmiştir. Daha sonra bu moment-dönme grafiklerinden, plastik mafsalda oluşan maksimum moment ve ona tekabül eden plastik dönme değerleri elde edilmiştir. Plastik mafsal oluşan her bir noktaya "release"

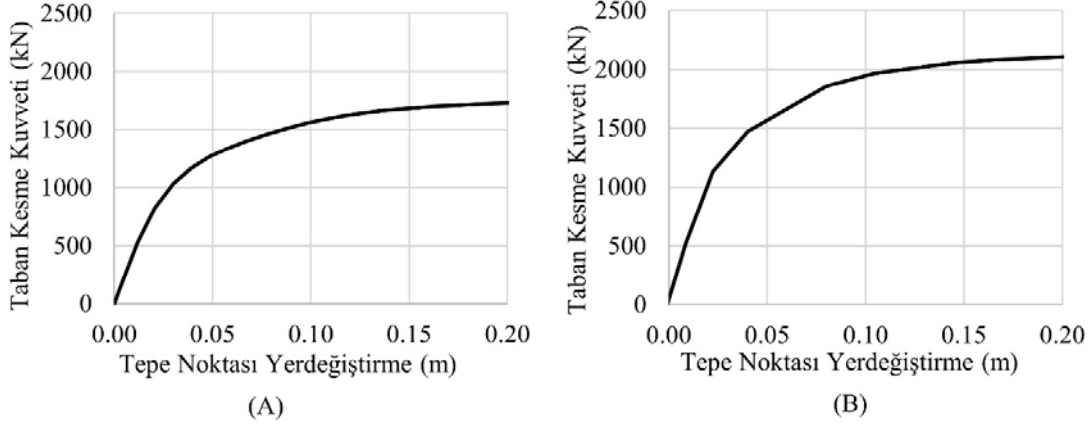
atanırsa ve moment / toplam mafsal dönme oranları kullanılarak plastik mafsal oluşan kesitlerin yeni rijitlikleri tanımlanırsa hasargörmüş yapı modelinin elde edildiği kabul edilebilir. "Release" rijitlikleri tanımlanırken iki ana durum dikkate alınmıştır. Eğer yapısal elemanda kapasite kaybı olsa idi bu elemanlar "tam release" kabul edilip "0" rijitlik verilecekti. Elemanlar akmış fakat kapasite kayıpları olmadığı için "kısmi release" kabul edilmiş ve azaltılmış rijitlikleri kullanılmıştır. Sonuçta depremde hasar görmüş "2. Model" in elde edildiği kabul edilmiştir. 1. Model ve 2. Model'in doğrusal olmayan statik itme analizi ile spektral yerdeğiştirmeleri hesaplanmış ve görel kat ötelemeleri dikkate alınarak hasargörebilirlik eğrileri elde edilmiştir.

3.4. Depremde Hasar Görmemiş ve Hasar Görmüş Yapı Modellerinin Kapasite Eğrileri ve Hasargörebilirlik Olasılık Eğrilerinin Çıkarılması

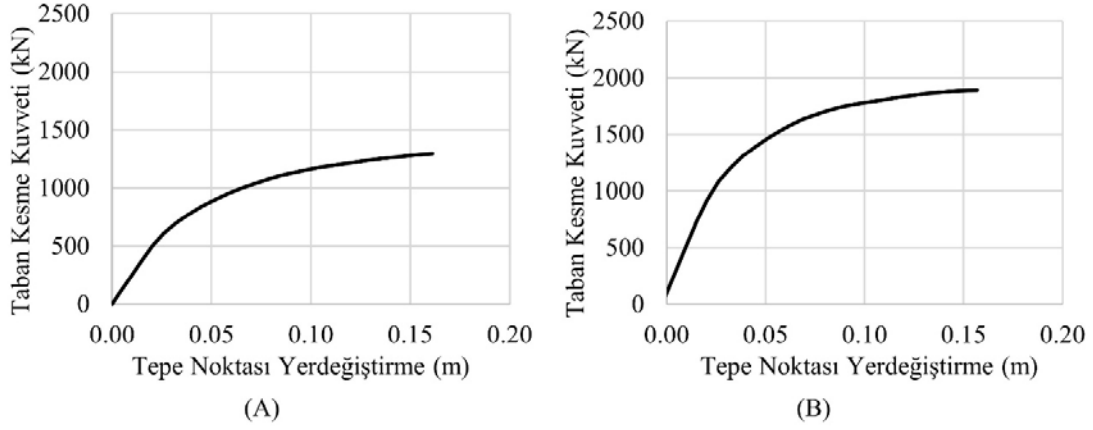
(Development of Fragility Curves and Capacity Spectrums of Damaged and Non-Damaged Structural Systems)

Depremde hasar görmemiş ve hasar görmüş yapıların davranışlarını yorumlayabilmek için ilk olarak kapasite eğrileri elde edilmiştir. Bir yapının hasargörebilirliği kapasitesine bağlı olarak belirlenebilmektedir. Kapasite kavramı, bir yapının göçmeden taşıyabileceği sınır sismik yük olarak tanımlanabilmektedir. Kapasite eğrilerini elde edebilmek için yapısal sistemlerin X ve Y doğrultularında ayrı ayrı doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılırken ilk önce kuvvet kontrollü olarak yapının zati ağırlığı altında doğrusal olmayan statik analizi yapılmıştır. Daha sonra bu analiz sonucu başlangıç koşulu kabul edilerek yapı hâkim mod şekli ile uyumlu "deplasman kontrollü" doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılmış ve kapasite eğrileri elde edilmiştir. Hasar görmemiş yapı modelinin X ve Y doğrultuları için kapasite eğrileri Şekil 5 (A) ve (B), hasar görmüş modelin kapasite eğrileri Şekil 6 (A) ve (B)'de sunulmuştur.

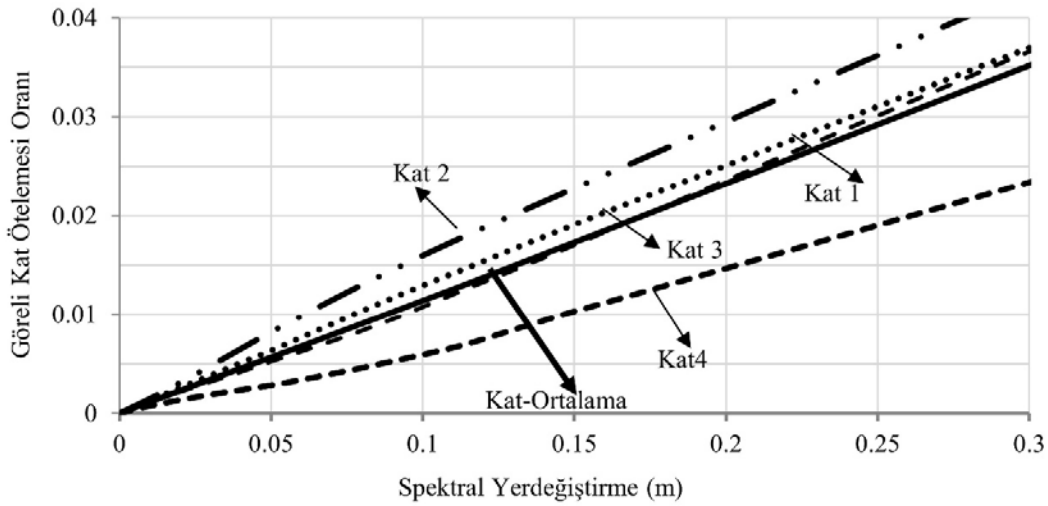
Hasargörebilirlik eğrileri yapının farklı hasar seviyelerine ulaşma ve aşma olasılıklarını veren eğrilerdir. Yapısal sistemlerin hasargörebilirlik eğrilerinin sınırları, görel kat ötelemelerinin ortalamaları alınarak "Hafif-, Orta-, Kapsamlı- ve Tam-Hasar" seviyeleri için elde edilebilmektedir [36]. Yapı hasargörebilirlik eğrilerini elde edebilmek için statik itme analizlerinin her bir adımında yapısal sistemlerin görel kat öteleme değerleri elde edilmiştir. Görel kat ötelemelerinden her bir adımdaki kat yerdeğiştirmeleri (u) elde edilmektedir. Daha sonra yapı hâkim mod şekli (ϕ) ve modal katılım oranı (Γ) kullanılarak her bir adımdaki spektral yerdeğiştirme değerleri hesaplanmaktadır. Bu değerler kullanılarak her iki modelin, her iki doğrultusu için ayrı ayrı spektral yerdeğiştirme-maksimum görel kat ötelemeleri oranlarının ilişkisini veren grafikleri çizdirilmiştir. Çizdirilen grafikler hasar görmemiş yapı modeli için Şekil 7 ve Şekil 8'de, hasar görmüş model için ise Şekil 9 ve Şekil 10'de sunulmuştur. HAZUS-MH MR3 [21], yapı sistemlerini karakteristik özellikleri ve mühendislik hizmeti alma seviyelerine göre sınıflandırmaktadır.



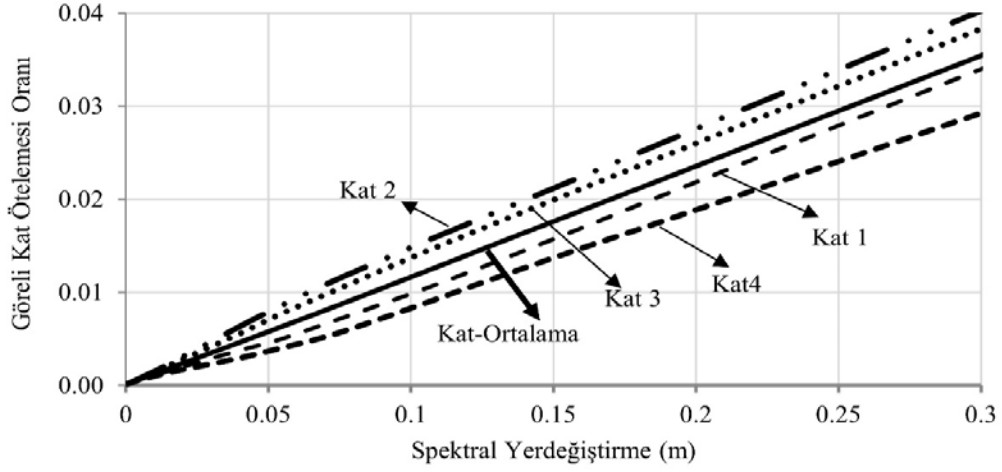
Şekil 5. Hasar görmemiş yapı kapasite eğrileri (A) X doğrultusu (B) Y doğrultusu
(Capacity Curves of Non-Damaged Structural Sytem (A)X-Component (B)Y-Component)



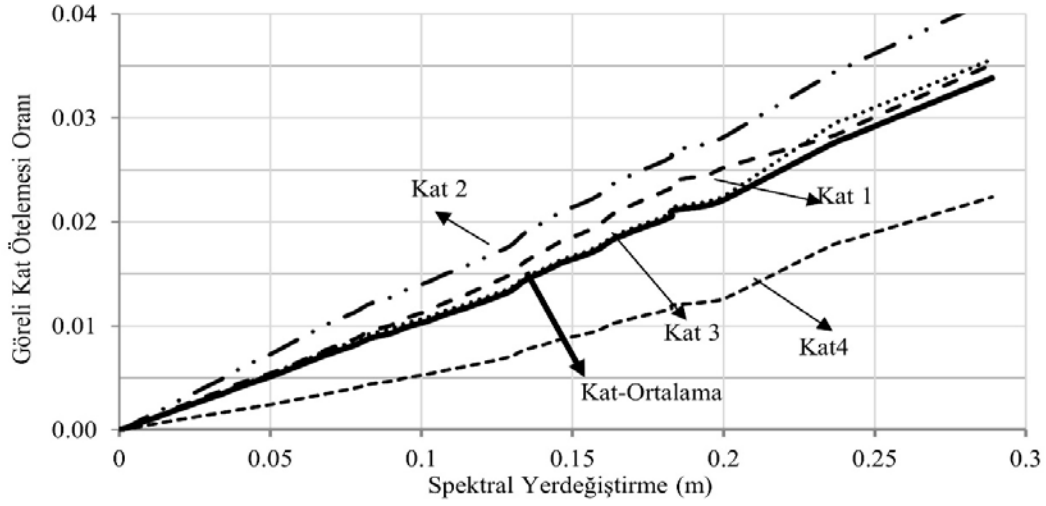
Şekil 6. Hasar görmüş yapı kapasite eğrileri (A) X doğrultusu (B) Y doğrultusu
(Capacity Curves of Damaged Structural Sytem (A)X-Component (B)Y-Component)



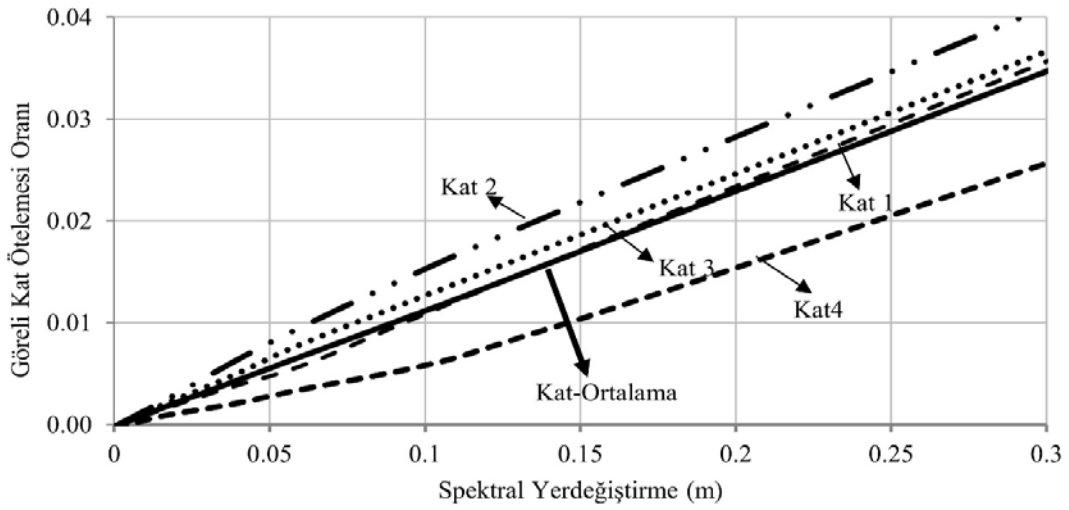
Şekil 7. Hasar görmemiş yapı X doğrultusu itme analizi sonucu göreli kat ötelemeleri oranı grafiği
(Non-Damaged Structural Sytem Drift Ratio From Pushover Analysis-X Component)



Şekil 8. Hasar görmemiş yapı Y doğrultusu itme analizi sonucu görelü kat ötelemeleri oranı grafiği (Non-Damaged Structural Sytem Drift Ratio From Pushover Analysis-Y Component)



Şekil 9. Hasar görmüş yapı X doğrultusu itme analizi sonucu görelü kat ötelemeleri oranı grafiği (Damged Structural Sytem Drift Ratio From Pushover Analysis-X Component)



Şekil 10. Hasar görmüş yapı Y doğrultusu itme analizi sonucu görelü kat ötelemeleri oranı grafiği (Damged Structural Sytem Drift Ratio From Pushover Analysis-Y Component)

Her bir yapı sınıfı için görel kat ötelemeleri sınır değerleri ve hasargörebilirlik olasılık eğrileri parametreleri sınır değerleri tanımlanmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan taşıyıcı sistem, HAZUS-MH MR3 yapı sınıflandırmasına göre orta katlı (C1M), az mühendislik hizmeti (AMH) görmüş bir yapıdır. Bu tip yapılar için HAZUS-MH MR3'te verilen görel kat sınır değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Her iki model için spektral yerdeğiştirme-maksimum görel kat ötelemeleri grafiklerinden, HAZUS-MH MR3'te verilen görel kat ötelemesi sınır değerlerine tekabül eden ve hasargörebilirlik olasılık eğrilerini çizdirmekte kullanılacak spektral yerdeğiştirmeler elde edilir. Spektral yerdeğiştirme değerleri her bir hasar seviyesi için yapı görel kat ötelemelerinin ortalamaları kullanılarak belirlenmiştir.

Her bir hasar seviyesi için elde edilen spektral yerdeğiştirme değerleri ve HAZUS-MH MR3'te verilen lognormal standart sapma değerleri (β), hasar görmemiş yapı için Tablo 4'te, hasar görmüş yapı için Tablo 5'te sunulmuştur. Bu değerler kullanılarak yapısal sistemlerin X ve Y doğrultuları için hasargörebilirlik olasılık eğrileri elde edilir (Şekil 11, Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14).

Tablo 3. C1M, AMH HAZUS görel kat ötelemeleri oranları sınır değerleri.
(HAZUS Drift ratio threshold values for low code C1M type of structures)

Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Tam Hasar
0,0033	0,0053	0,0133	0,0333

Tablo 4. Hasar görmemiş model hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.
(Fragility curve parameters of non-damaged structures)

Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Tam Hasar
S_{ds} (m)	β_s	S_{dm} (m)	β_m
X	0,029	0,048	0,74
Y	0,028	0,048	0,74
		S_{dc} (m)	β_c
		0,116	0,86
		0,112	0,86
		S_{dc} (m)	β_c
		0,282	0,98
		0,280	0,98

Tablo 5. Hasar görmüş model hasargörebilirlik olasılık eğrisi parametreleri.

(Fragility curve parameters of damaged structures)

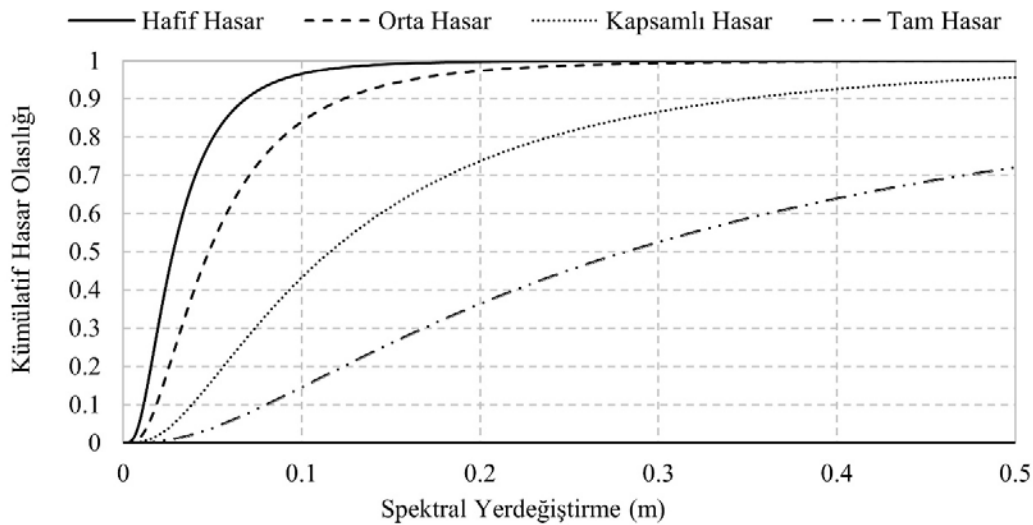
Hafif Hasar	Orta Hasar	Ağır Hasar	Tam Hasar
S_{ds} (m)	β_s	S_{dm} (m)	β_m
X	0,032	0,051	0,74
Y	0,030	0,048	0,74
		S_{dc} (m)	β_c
		0,113	0,86
		0,118	0,86
		S_{dc} (m)	β_c
		0,280	0,98
		0,284	0,98

3.5. Depremde Hasar Görmemiş ve Hasar Görmüş Yapı Modellerin Hasar Olasılıklarının Karşılaştırılması (Comparison of Damage Probability of Damaged and Non-Damaged Structural Systems)

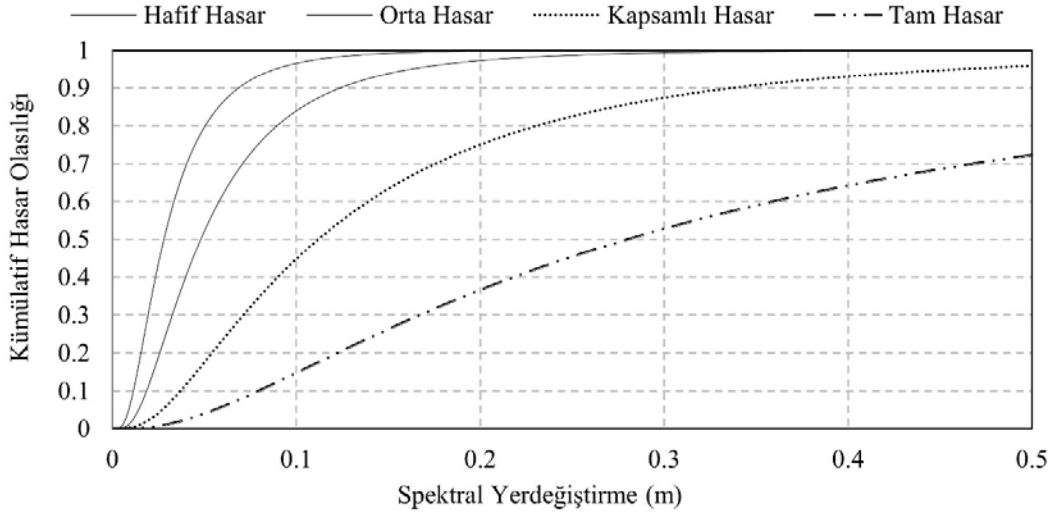
Deprem kuşağında bulunan ülkemizdeki depreme maruz kalmış mevcut binaların birçoğunun hala kullanımına devam edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan yapısal sistemin doğrusal olmayan dinamik analizinin, maruz kaldığı gerçek deprem kaydı ile yapıldığı ve analiz sonucunda elde edilen hasar seviyelerinin gerçekte oluşan hasar seviyeleri ile uyumlu olduğu kabul edilmiştir.

Yapının kullanım ömrü boyunca maruz kalabileceği olası bir depremde göstereceği performansın belirlenebilmesi için yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektrumları kullanılabilir. Bu çalışmada, Kütahya ili Simav ilçesi için DD-1, DD-2 ve DD-3 olmak üzere üç deprem düzeyine göre tasarım spektrumları oluşturulmuştur (Şekil 15). Tasarım spektrumları çalışmanın yapıldığı dönemde taslağı yayınlanmış olan "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018 (TBDY, 2018)" uyarınca oluşturulmuştur [37]. TBDY, 2018 ile sahaya özel deprem tehlikesi haritaları dikkate alınabildiği için tasarım spektrumlarının oluşturulmasında bu yöntem seçilmiştir [38].

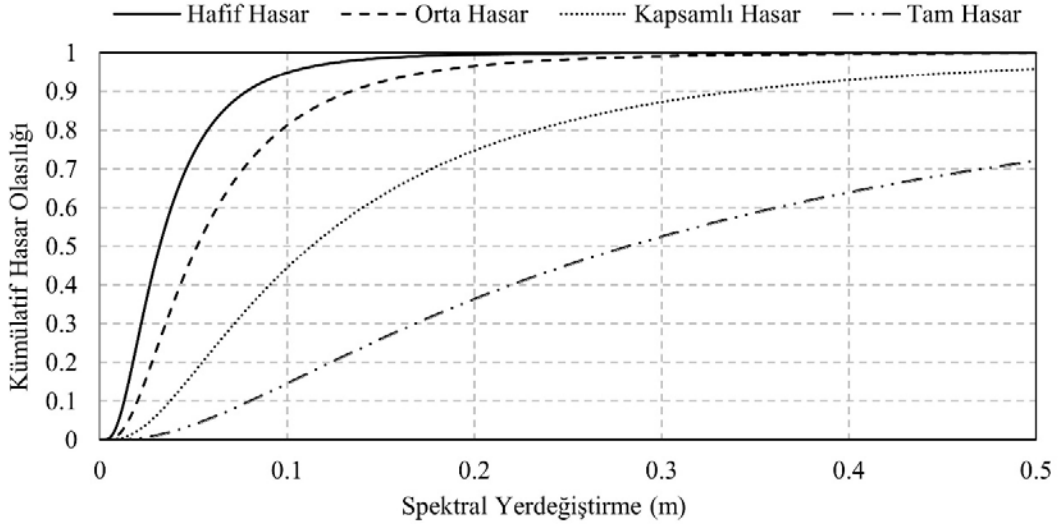
DD-1 deprem düzeyi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini, DD-2



Şekil 11. Hasar görmemiş yapı X doğrultusu ortalama birikimli hasargörebilirlik eğrisi
(Fragility Curve of Non-Damaged Structural System X Component)



Şekil 12. Hasar görmemiş yapı Y doğrultusu ortalama birikimli hasargörebilirlik eğrisi
(Fragility Curve of Non-Damaged Structural Sytem Y Component)



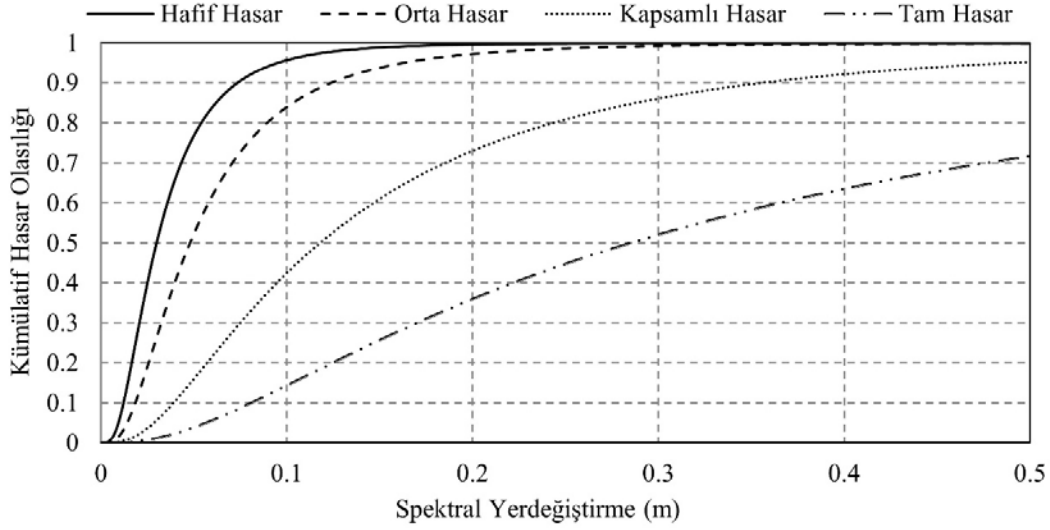
Şekil 13. Hasar görmüş yapı Xdoğrultusu ortalama birikimli hasargörebilirlik eğrisi
(Fragility Curve of -Damged Structural Sytem X Component)

deprem düzeyi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini, DD-3 deprem düzeyi ise spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini ifade etmektedir. Elde edilen bu tasarım spektrumları kullanılarak hasargörmemiş ve hasargörmüş binaların beklenen hasar seviyelerini karşılaştırabilmek için ayrı ayrı spektral yerdeğiştirme değerleri belirlenmiştir (Tablo 6). Bu spektral yerdeğiştirmeler ile bu çalışma kapsamında ele alınmış her iki model için oluşturulmuş hasargörebilirlik eğrilerinden hasar seviyeleri tahmin edilebilmektedir. Her iki doğrultudan en elverişsiz durum dikkate alındığında hasar görmemiş bir binanın DD-3 deprem seviyesi için orta hasar seviyesi üstünde %8 hasar görmesi beklenmektedir. Hasar görmüş 2. Modelde ise bu oran %12'ye çıkmaktadır. DD-2 deprem

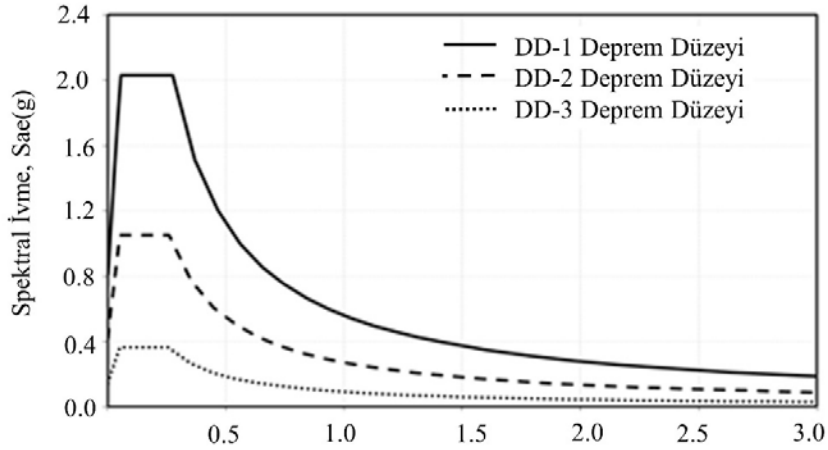
seviyesinde ise aynı şekilde orta hasar seviyesi üstünde 1. Model'in %45, 2.Model'in ise %60 hasar görmesi beklenmektedir. DD-1 deprem seviyesinde bu oranlar 1. Model için %78, 2. Model için ise %88 olarak elde edilmiştir.

Tablo 6. Hasar görmemiş ve hasar görmüş modelin üç deprem seviyesine göre spektral yerdeğiştirme değerleri
(Spectral Displacements of Damaged and Non Damaged Strucural Systems according to three EQ Levels)

	DD-3	DD-2	DD-1
Model	S_d (m)	S_d (m)	S_d (m)
1.Model_X	0,016	0,045	0,094
1.Model_Y	0,017	0,043	0,085
2.Model_X	0,021	0,064	0,128
2.Model_Y	0,018	0,048	0,1



Şekil 14. Hasar görmüş yapı Y doğrultusu ortalama birikimli hasargörebilirlik eğrisi.
(Fragility Curve of -Damaged Structural System Y Component)



Şekil 15. TBDY, 2018 Tasarım Spektrumu (TBDY, 2018 Design Spectrum)

4. AFET YÖNETİMİ AÇISINDAN BİNA HASARGÖREBİLİRLİK EĞRİLERİNİN KULLANILMASI (FRAGILITY CURVES UTILIZATION FOR DISASTER MANAGEMENT)

Depremler ne zaman, nasıl ve nerede olacağı kesin olarak bilinmeyen doğal felaketlerin başında gelmektedir. Az bir belirti ile aniden meydana gelmekte ve kontrol edilememektedir. Sel, kuraklık vb. diğer doğal felaketlerle karşılaştırıldığında daha uzun dönüş periyoduna sahip olmasına karşın meydana geldiklerinde çok daha büyük can ve ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Kayıpları azaltabilmek için hem deprem öncesinde hem de sonrasında disiplinli çalışmaların yapılması, gerekli önlemlerin alınması ve planlaması gerekmektedir. Yapısal deprem mühendisliği alanında yapılan çalışmalar ve gelişen teknoloji ile yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının

yapılması, deprem öncesi alınabilecek tedbirlerden bir tanesidir. Ancak yerleşim yerlerinin mevcut yapı stokunun olduğu ve bu yapı stokunun önemli bir kısmının daha önce depreme maruz kalmış yapılardan oluştuğu unutulmamalıdır. Diğer bir önlem ise başarılı bir afet yönetimi ve risk planlamasıdır. Afet yönetiminin başarısı ise afet öncesi risklerin değerlendirilip yapılacak çalışmaların ve uygulama evrelerinin nasıl, kimler tarafından yapılacağı saptandığı, afet sonrasında ise toplumun olumsuz yönde etkilenmesinin azaltılması ve kaynakların doğru kullanımının sağlanması ile artmaktadır [39]. Afet öncesi risklerin değerlendirilip gerek kısa gerekse uzun vadede oluşabilecek zararı en aza indirebilmek için gelecekte olması ihtimali yüksek depremler dikkate alınarak bölgenin yapı stoku için belirlenen hasargörebilirlik olasılık eğrileri kullanılmakta ve kentsel hasar ve can kaybı tahmini çalışmaları yapılabilmektedir.

5. SİMGELER (SYMBOLS)

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
D_y	: Akma anındaki maksimum yerdeğiştirme değeri
D_u	: Kopma anındaki maksimum yerdeğiştirme değeri
A_y	: Akma anındaki maksimum ivme değeri
A_u	: Kopma anındaki maksimum ivme değeri
I	: Bina önem katsayısı
K_s	: Düşey yatak katsayısı
P	: Hasar Parametresi
q_a	: Zemin emniyet gerilmesi
S_{ae}	: Elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{de}	: Elastik spektral yerdeğiştirme
$\hat{S}_{d,ds}$: Spektral deplasmanın bina hasarının d_s eşik değerine ulaştığı andaki medyan değeri
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
α ve β	: Rayleigh sönüm modelinde istenilen moda istenilen sönüm oranını belirlemede kullanılan katsayıları.
β_{ds}	: Spektral deplasmanın d_s hasar sınırındaki lognormal standart sapma değeri
d_s	: Hasar sınırı
d_s	: Hasar sınırındaki lognormal standart sapma değeri
ξ	: Sönüm oranı
χ	: Eğrilik
χ_y	: Akma eğriliği
χ_u	: Kopma eğriliği
Θ_p	: Plastik dönme
ω	: Doğal açısız titreşim frekansı
Φ	: Standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu
γ_n	: Zemin doğal birim hacim ağırlığı

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, hasar tahmini çalışmalarının en önemli kısmını oluşturan hasargörebilirlik olasılık eğrileri, depremde hasar görmemiş ve depremde hasar görmüş yapısal sistemler için performansa dayalı tasarım yaklaşımı çerçevesinde elde edilmiş ve bölge için oluşturan tasarım spektrumları kullanarak her iki modelin olası orta hasar seviyesi üstü toplam hasar oranları belirlenmiştir. Afet planlaması ve risk yönetimi açısından orta hasar seviyesi üstü toplam hasar oranı, can kayıpları ve barınak ihtiyacı oranların belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. 2. Model'in tekrar deprem hareketine maruz kalması durumunda, depremde hasar görmemiş modele göre orta hasar üstü toplam hasar oranının, DD-3 deprem düzeyi için %33, DD-2 deprem düzeyi için %30, DD-1 deprem düzeyi için ise yaklaşık olarak %15 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Oluşan bir afet sonrasında afetten önce belirlenen stratejilerin uygulanması, afetin olumsuz sonuçlarının azaltılması bakımından çok önemlidir. Afetten hemen sonra uygulanan stratejilerde olumsuzlukların yaşanmaması için bu stratejilerin doğru belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısıyla belirli bir bölge için hasar tahmini yapılırken

mevcut bina stokunun doğru değerlendirilmesi ve kullanılan hasargörebilirlik eğrilerinin de bölgenin mevcut yapı stokunu doğru temsil etmesi çok önemlidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Singhal A., Kiremidjian A.S., Method for probabilistic evaluation of seismic structural damage, Journal of Structural Engineering, 122, 1459-1467, 1996.
2. Whitman R.V., Reed J.W., Hong S., Earthquake damage probability matrices, Proceedings of the Fifth World conference on earthquake engineering, 2531-2540, 1973.
3. Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings ATC-58 50% Draft, Council, A. T., 2009.
4. Basoz N., Kiremidjian, A.S., Evaluation of bridge damage data from the Loma Prieta and Northridge, California earthquakes, 1998.
5. Rossetto T., Elnashai A., Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data, Engineering structures, 25, 1241-1263, 2003.
6. Ozcebe G., Yucemen M.S., Aydogan, V., Statistical seismic vulnerability assessment of existing reinforced concrete buildings in Turkey on a regional scale, Journal of earthquake engineering, 8, 749-773, 2004.
7. Yakut A., Ozcebe G., Yucemen M.S., Seismic vulnerability assessment using regional empirical data, Earthquake engineering & structural dynamics, 35, 1187-1202, 2006.
8. Şenel, Ş. İnel, M. Toprak, S. Manav Y., Depremde Oluşacak Bina Hasarlarının Envanter Bilgilerine Dayalı Tahmini, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Turkey, 2007.
9. Akbulut M.T., Aytuğ A., Deprem hasar görebilirlik riskinin gözleme dayalı belirlenmesine yönelik öneri değerlendirme yaklaşımı, Megaron, 3, 2008.
10. Askan A., Yucemen M.S., Probabilistic methods for the estimation of potential seismic damage: Application to reinforced concrete buildings in Turkey, Structural Safety, 32, 262-271, 2010.
11. Genes M., Bikçe M., Kaçın S., Doğanay E., Teköz K., Abrahamczyk, L., Konut Tipi Çok Katlı Betonarme Yapıların Hasar Görebilirliğinin Aletsel Ve Sayısal Dataların Birleştirilmesine Ve Statik İtme Analizine Göre Belirlenmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, Türkiye, 2011.
12. Singhal A., Kiremidjian A.S., Method for developing motion damage relationships for reinforced concrete frames, 1995.
13. Park Y.-J., Ang A.H.-S., Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, Journal of structural engineering, 111, 722-739, 1985.
14. McGreevy R., Pusztai L., Reverse Monte Carlo simulation: a new technique for the determination of disordered structures, Molecular Simulation, 1, 359-367, 1988.
15. Calvi G.M., Pinho R., Magenes G., Bommer J.J., Restrepo-Vélez L. F., Crowley H., Development of seismic vulnerability assessment methodologies over

- the past 30 years, ISET journal of Earthquake Technology, 43, 75-104, 2006.
16. Technical Manual, FEMA, H.-M. M., 2003.
 17. Kirçil M.S., Polat Z., Fragility analysis of mid-rise R/C frame buildings, Engineering Structures, 28, 1335-1345, 2006.
 18. Tüzün C., Aydınoglu M.N., Gerçek Binaların Doğrusal Olmayan Analizlerinden Hasargörebilirlik İlişkilerinin Elde Edilmesi, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2007.
 19. Erberik M.A., Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, Engineering Structures, 30, 1360-1374, 2008.
 20. Uçar T., Düzgün, M., Betonarme Binalar için Artımsal İtme Analizi Esaslı Analitik Hasar Görebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması, İMO Teknik Dergi, DOI 6421-6446, 2013.
 21. Hancılar U., Çaktı E., Fragility functions for code complying RC frames via best correlated IM-EDP pairs, Bulletin of Earthquake Engineering, 13, 3381-3400, 2015.
 22. Tekin M., Gurbuz A., Seismic Fragility Curves for 1 and 2 Stories R/C Buildings, International Journal of Engineering Technologies, IJET, 1, 88-94, 2015.
 23. Bilgin H., Generation of Fragility Curves for Typical RC Health Care Facilities: Emphasis on Hospitals in Turkey, Journal of Performance of Constructed Facilities, 0887-3828, 2015.
 24. Palanci M., Senel S.M., Kalkan A., Assessment of one story existing precast industrial buildings in Turkey based on fragility curves, Bulletin of Earthquake Engineering, 15, 271-289, 2017.
 25. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives, International Strategy for Disaster Reduction, United Nations Publications, 2004.
 26. FEMA, H.-M., MR3 Technical Manual, Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model, DOI 2003.
 27. Çiftçi Z., Fahjan Y., Kara F.İ., Orta Yükseklikteki Betonarme Bir Binaların Hasargörebilirliğinin Farklı Yöntemlerle İncelenmesi, 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 2015.
 28. Probina Orion, Ankara, 2011.
 29. SAP2000, Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, 2010
 30. T.C. Başbakanlık Afet Ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, <http://www.deprem.gov.tr/>.
 31. Barındık, A., Simav İlçesi ve Çevresinde Bulunan Orta Hasarlı Binalarda Teknik Açısından Güçlendirilebilirlik Tespit Çalışması, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı ve Pamukkale Üniversitesi 2011.
 32. İnşaat Mühendisleri Odası, B. Ş., <https://www.bursa.imo.org.tr>.
 33. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 2007.
 34. FEMA, P., Commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, DOI 2000.
 35. T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, <http://kyh.deprem.gov.tr/Nisan>, 2017.
 36. Ghodrati Amiri, G., Khoshnevis, N., Razavian Amrei, S., Probabilistic assessment of earthquake damage and loss for the city of Tehran, Iran, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 1, 10-23, 2013.
 37. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY), T.C. AFAD Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
 38. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, <https://tdth.afad.gov.tr/>, Ekim 2018.
 39. Fahjan Y., Pakdamar F., Eryılmaz Y., Kara F.İ., Afet planlamasında deprem riski belirsizliklerinin değerlendirilmesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 1, 21-39, 2015.