



Fragility analysis of wide-beam infill-joist block RC frames

Cemalettin Dönmez^{1*}, Enes Karaarslan², Murat Altuğ Erberik³

¹Department of Civil Engineering, IZTECH, Izmir 35430, Turkey

²Department of Civil, Environmental and Structural Engineering, University of Central Florida, Orlando Florida, 12800, USA

³Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 06800, Turkey

Highlights:

- Wide-beam moment frames with Turkish construction practice and inherent structural characteristics
- Experimentally calibrated spring model to simulate the nonlinear behavior of wide beam column assemblage
- Generation of fragility curves for wide-beam moment frames in Turkey

Keywords:

- Wide-beam RC frames
- Nonlinear analysis
- Fragility curves

Article Info:

Research Article
Received: 23.09.2020
Accepted: 15.09.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.798954

Acknowledgement:

This study is partially sponsored by IZTECH through 2015YITE34 BAP research fund.

Correspondence:

Author: Cemalettin Dönmez
e-mail:
cemalettindonmez@iyte.edu.tr
phone: +90 232 750 6811

Graphical/Tabular Abstract

Wide-beam infill-joist block structures constitutes a significant sub-group of reinforced concrete structures in the Mediterranean basin. The dominant characteristic of these structures is the low lateral stiffness due to the shallow-wide beams. The earthquake performance proved that existing wide-beam frames had inferior seismic behavior. The purpose of the presented study is to develop fragility curves for the wide-beam infill-joist block structures. In order to reach the stated purpose, first a nonlinear spring that could represent the behavior of wide-beam column connections is adopted, a wide-beam reinforced concrete frame representing the typical Turkish practice is modeled and nonlinear time history analyses are performed. The deformation limits for the performance levels are identified through pushover analysis. The maximum deformations are recorded for every ground motion, and a set of fragility curves are produced for different sets of ground motion parameters.

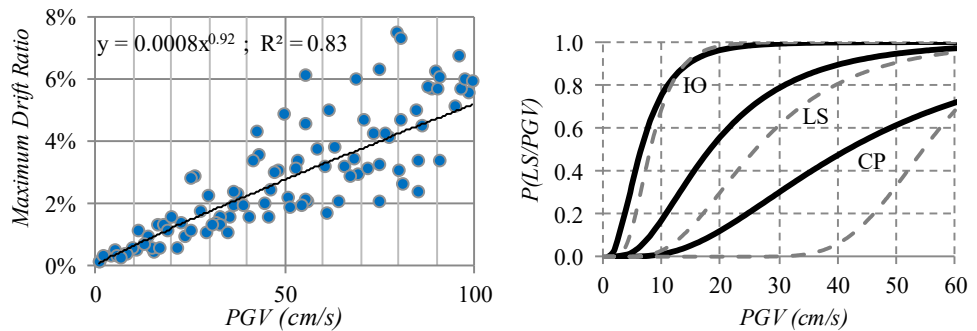


Figure A. The power law equation with respect to PGV/ Comparison of fragility curves for wide-beam (solid lines) and conventional-beam (dashed lines) RC frame models

Purpose: The purpose of the presented study is to develop fragility curves for the wide-beam infill-joist block reinforced concrete structures.

Theory and Methods:

Nonlinear time history analyses are performed for the set of selected ground motions. The performance levels are identified through pushover analysis and fragility curves are produced for ground motion parameters.

Results:

Fragility curves obtained for the wide-beam RC frames presents a different characteristic than the curves obtained for the conventional frames.

Conclusion:

Results show that wide-beam RC frame buildings are seismically more vulnerable than the conventional deep-beam RC frame buildings based on structural models with similar properties. The possible reason seems to be low lateral stiffness of wide-beam frames that causes large lateral drift demands and therefore severe damage at the wide-beam column connections.



Yatık kirişli, tek doğrultulu dolgulu dışlı döşeme betonarme çerçevelerin (asmolen çerçeveler) kırılma analizi

Cemalettin Dönmez^{1*}, Enes Karaarslan², Murat Altuğ Erberik³

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, İYTE, İzmir 35430, Türkiye

²İnşaat, Çevre ve Yapı Mühendisliği Bölümü, Orta Florida Üniversitesi, Orlando Florida, 12800, ABD

³İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 06800, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Türkiye'ye özgü inşaat tekniğine ve yapısal özelliklere sahip yatık kirişli dolgu dışlı döşemeli çerçeve sistemler
- Deneysel verilerle kalibre edilmiş ve yatık kiriş kolon birleşiminin doğrusal olmayan davranışını temsil eden yay modeli
- Ülkemizdeki yatık kirişli dolgu dışlı döşemeli çerçeve sistemlerinin kırılma eğrilerinin türetilmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 23.09.2020

Kabul: 15.09.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.798954

Anahtar Kelimeler:

Yatık kiriş; asmolen çerçeve, yanall rijitlik, kırılma eğrisi, doğrusal olmayan yay modeli

ÖZ

Bu çalışmanın amacı asmolen çerçeveler için kırılma eğrileri geliştirmektir. Bu tip yapılar, Türkiye dahil Akdeniz havzasındaki betonarme çerçevesel yapıların önemli bir alt grubunu oluşturmaktadır. Söz konusu yapılar, geniş sığ kirişleri nedeniyle nispeten düşük yanall rijitliklere sahiptirler. Depremler sonrası yapılan saha gözlemleri standart betonarme çerçeveler ile karşılaştırıldığında yatık kirişli çerçevelerin görece daha yetersiz davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Türk Deprem Yönetmeliği'nin son sürümü (TBDY 2018), yapısal duvarlar olmadan asmolen çerçevelerinin tasarımına izin vermemektedir. Bununla birlikte, Türkiye'de hali hazırda ciddi bir asmolen çerçeve stoku bulunmaktadır. Mevcut stokun değerlendirilmesi bakımından kırılma çalışmaları ihtiyacı vardır. Bu amaçla ilk olarak literatürden yatık kiriş kolon bağlantılarının doğrusal olmayan davranışını temsil edebilecek bir yay kurgusu seçilmiş ve kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, ülkemizde kullanılan tipik boyut ve detaylara sahip asmolen bir çerçeve modellenmiş ve bir deprem kayıtları seti kullanılarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizleri yapılmıştır. Çerçevenin performans seviyelerini tanımlamak amacıyla ayrıca itme analizi kullanılarak öteleme limitleri tanımlanmıştır. Çerçeve tarafından ulaşılan azami öteleme değerleri her bir yer hareketi için kaydedilmiş ve farklı yer hareketi değişken setleri için bir dizi kırılma eğrisi üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut standart moment çerçevelerine ait kırılma eğrileri ile karşılaştırılarak irdelenmiştir.

Fragility analysis of wide-beam infill-joist block RC frames

H I G H L I G H T S

- Wide-beam moment frames with Turkish construction practice and inherent structural characteristics
- Experimentally calibrated spring model to simulate the nonlinear behavior of wide beam column assemblage
- Generation of fragility curves for wide-beam moment frames in Turkey

Article Info

Research Article

Received: 23.09.2020

Accepted: 15.09.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.798954

Keywords:

Wide-beam; infill-joist, low lateral stiffness, nonlinear spring model, fragility curves

ABSTRACT

The purpose of the presented study is to develop fragility curves for the wide-beam infill-joist block structures. This system constitutes a significant sub-group of reinforced concrete structures in the Mediterranean basin. The dominant characteristic of these structures is the low lateral stiffness due to the shallow-wide beams. The earthquake performance proved that existing wide-beam frames had inferior seismic behavior. The 2018 version of the Turkish Earthquake Regulation prohibits the design of wide-beam frames without structural walls. Nonetheless, there is an existing stock of frame only wide-beam structures in Turkey, and fragility curves are needed for risk evaluation of the existing stock. In order to reach the stated purpose, first a nonlinear spring that could represent the behavior of wide-beam column connections is adopted and calibrated. Afterward, a wide-beam frame representing the typical Turkish practice is modeled and nonlinear time history analyses are performed. The deformation limits for the performance levels are identified through pushover analysis and a set of fragility curves are produced for different sets of ground motion parameters. The results are discussed with a comparison to the existing fragility curves for the conventional frames available in the literature.

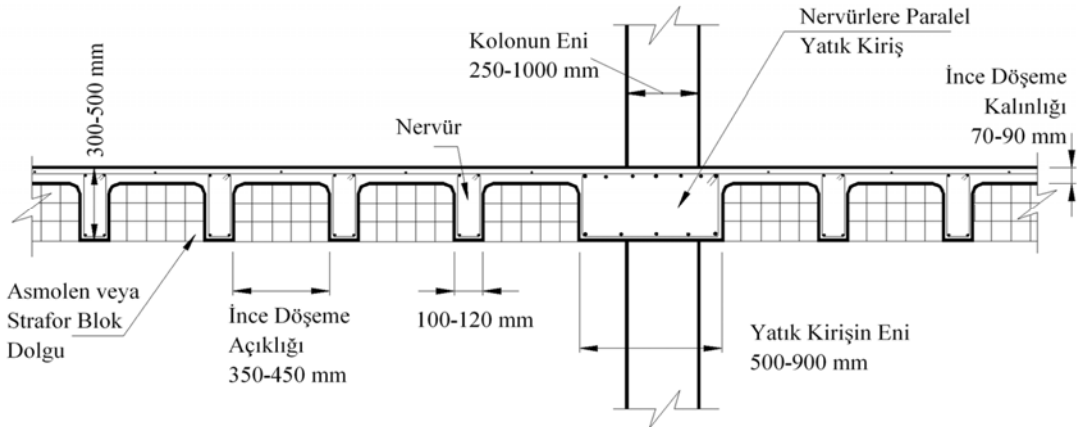
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Betonarme asmolen çerçeveler mimari kolaylıklar sağlayan yatık sığ kirişleri sebebiyle Türkiye’de mimarlar tarafından özellikle tercih edilmektedirler. Ne yazık ki söz konusu yapıların mimarlar tarafından tercih edilme sebebi aynı zamanda yapısal zaafiyetlerine kaynak olmaktadır. Dönmez [1] tarafından özetlendiği üzere asmolen çerçeveler 1967 Adapazarı depreminden başlamak üzere çok sayıda göçmenin kayıtlığı bir tarihe sahiptir.

Türkiye’deki yatık kirişli betonarme çerçevelerin tipik boyutları Şekil 1’de özetlenmiştir. Sunulan boyutlar, 1998 Türk Deprem Yönetmeliği [2] kontrolünde tercih edilen değerlerdir. Önceki sistemlerde çerçevenin daha zayıf olduğu bilinmektedir. Tipik bir asmolen çerçeve sisteminde kolonlar arasında ana kirişler uzanmakta, döşemeler ana kirişlere basan tek doğrultudaki kirişlerin (nervürlerin) arası ince plakalar (0,07-0,09 m) ile oluşturulmaktadır. Dişler genelde 0,35 ila 0,45 m aralıkla yerleştirilmektedir. Dişler arasını dolduran ince döşeme plakalarının altı, en baştan kalıp olarak kullanılan, çeşitli hafif malzemeler ile doldurulmaktadır. Söz konusu malzeme geleneksel olarak ülkemizde bu yapı tipine adını veren asmolen dolgu tuğlaları olmakla birlikte, briket ve köpük blok uygulamaları da mevcuttur. Yönetmelik asgari şartları gereği ana kiriş ve dişlerin derinliği 0,3 m civarı olmakta ve ana kiriş boyu açıklığa göre 3 ila 6 metre arasında değişmektedir. 2018 Bina Deprem Yönetmeliği [3] asmolen çerçevelerin boyutlandırılmasında bir yenilik getirmemekle birlikte bu yapıların artık kendi başına moment taşıyan çerçeve olarak tasarlanmasına izin vermeyip, her iki yönde devrilme momentlerinin %75’ini alan betonarme perdelerle sahip olması şartı gelmiştir. Yapılan deneysel ve analitik çalışmalar, asmolen çerçevelerinin doğru tasarım kararları alınmadığı takdirde yetersiz deprem dayanımına sahip olabileceğini göstermektedir. Sorunlar eleman seviyesinde başlamaktadır, yatık kirişler tipik olarak kolonlardan geniş olduğundan eğilme donatılarının bir kısmı kolon çekirdek

bölgesinin (kolon boyuna donatısı ile tanımlanan bölge) dışında kalmaktadır. Yapılan bir kısım çalışmalar [4-6] bu yerleşimle bağlantılı olarak donatının miktar ve yerine bağlı olarak kiriş donatılarında kenetlenme sorunlarını göstermektedir. Ayrıca, sığ kiriş derinlikleri sebebiyle kolon boyuna donatılarında sıyrılmalar oluşabilmektedir. Asmolen yapılar ile ilgili diğer davranış sorunları [7, 8] tarafından rapor edilmiştir. Asmolen sistemlerde dış merkezli kolon-kiriş bağlantıları diğer bir yaygın sorundur. Bu tip bağlantıların nasıl davrandığı konusunda yeterli bilgi yoktur [9]. Asmolen çerçeveler sığ kirişleri sebebiyle düşük rijitliklere sahiptir ve bu durum söz konusu yapıların için önemli başka bir sorundur. Dönmez [1] çalışmasında asmolen çerçevelerin ülkemizdeki standart betonarme moment çerçevelerinden daha yüksek titreşim periyotlarına sahip olduğunu raporlamıştır. Periyotların ortalamada %40 daha yüksek olduğu belirtilmekte ve bu değer sistem rijitliklerinin %50 daha düşük olduğuna işaret etmektedir. Uzun periyot değerleri sebebiyle bu yapıların genelde tepki spektrumunun sabit ivme bölgesi ötesinde olduğu görülmektedir. Böylelikle eşdeğer öteleme kuralı göz önüne alındığında bu tür yapıların öteleme taleplerinde periyot artışına paralel bir artış beklenebileceği ortaya çıkmaktadır.

Yapılan bazı deneysel ve analitik çalışmalar, yatık kiriş kolon sistemlerinin standart betonarme çerçevelere göre daha yüksek ötelenme kapasitelerine sahip olabileceğini göstermektedir [4, 10]. Fakat sistemin maruz kaldığı ötelenme talep artışlarının kapasitedeki artış ile karşılanıp karşılanmadığı kesin olarak cevaplanmamıştır. 2011 yılında meydana gelen Van-Erciş depremi ($M_w=7,2$), asmolen çerçevelerin talep depreminden küçük depremler altında göçtüğünü ve Dönmez [1] tarafından yapılan analizler de ötelenme kapasitesindeki artışın talepteki artışı tam olarak karşılamayabileceğini göstermiştir. Bu konuda kesin bir yargıya varabilmek amacıyla daha fazla çalışmalar yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ülkemiz yapı stokunun hatırı sayılır bir kısmını oluşturan asmolen çerçevelerin kırılma eğrilerinin geliştirilmesi



Şekil 1. Türkiye’deki asmolen çerçevelerinin tipik boyutları
(Characteristic dimensions of wide-beam infill-joist block slab RC moment frames in Turkey)

amaçlanmıştır. Yeni Türk Bina Deprem Yönetmeliği [3] asmolen çerçevelerin salt kendi başlarına taşıyıcı sistem olmalarını kabul etmese de envanterde 2018 yılı öncesinde inşa edilmiş çok sayıda asmolen çerçeve yapı mevcuttur. Söz konusu yapıların bölgesel hasar ve kayıp tahmin çalışmalarının yapılabilmesi amacıyla bu sistemlere ait kırılma eğrilerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Yapılan çalışma bu amaca hizmet etmeyi amaçlamaktadır. Bu sebeple 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine [11] uygun tasarlanmış çerçeveler üzerine çalışılmıştır. Türkiye'deki konvansiyonel betonarme çerçeveli yapıların kırılma eğrileri ile ilgili olarak önemli sayıda çalışma [12-19] olmasına rağmen asmolen çerçevelerin kırılma eğrileri ile ilgili bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Yatık kirişli yapılar Türkiye'de ve genel olarak Akdeniz havzasında betonarme çerçevelerin alt bir dalını temsil etmektedir. Eğitimli bir tahmin ile ülkemizde toplam betonarme çerçevelerin %10 ila %15'inin bu yapı tipinde olduğu söylenebilir. Bu oran özellikle Akdeniz kıyısındaki şehirlerimizde %70'lere kadar çıkabilmektedir. Bu tür yapıların kırılma eğrilerini geliştirmek amacıyla tipik boyutları, malzeme özellikleri ve donatı detaylarına sahip iki boyutlu asmolen bir çerçeve, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine [11] göre tasarlanmış ve modellenmiştir. Geliştirilen çerçeve planda düzenli akslara sahiptir. Her ne kadar Türkiye'deki mevcut yapı stoku incelendiğinde, önemli bir bölümünün çerçeve düzensizliğine sahip asmolen yapılardan oluştuğu görülse de, bu tür yapılar için daha önceden geliştirilmiş olan kırılma eğrileri bulunmadığı için bu çalışma amacıyla düzenli akslara sahip bir yapı modeli seçilmiştir. Bu bağlamda, diğer yapısal düzensizliklerden arındırılmış olarak mümkün olan en az parametre ile asmolen çerçeveli bir yapı oluşturulmuş ve yapının kendine has davranışının eşdeğer konvansiyonel çerçeve davranışıyla karşılaştırılması hedeflenmiştir. Böylelikle konuyla ilgili bundan sonraki araştırmalara referans olabilecek bir veri ortaya koymak amaçlanmıştır. Oluşturulan çerçeve modelinin sismik talep ve kapasitesini belirlemek amacıyla zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz ve statik itme analizleri yapılmıştır. Çerçeve elemanlar uçlarındaki doğrusal olmayan yaylar vasıtasıyla yığılı plastisite yaklaşımıyla modellenmiştir. Söz konusu yayların moment dönme ilişkileri yatık kiriş kolon alt birimlerinin literatürden seçilmiş deneysel verileri kullanılarak kalibre edilmiştir. Zaman tanım analizlerinden elde edilen veriler, önceden tanımlanmış performans seviyelerinin aşılma olasılıklarının seçili yer hareketi parametresinin fonksiyonu olarak hesaplanmasında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak kırılma eğrileri geliştirilmiş ve literatürde mevcut yatık kirişli, kirişsiz ve standart kirişli sistemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

2. KALİBRASYON AMACIYLA YATIK KİRİŞ KOLON ALT SİSTEMİNİN MODELLENMESİ (MODELLING THE WIDE-BEAM COLUMN ASSEMBLAGE FOR CALIBRATION PURPOSES)

Yapılması planlanan doğrusal olmayan analizler için gelişmiş bir analiz programına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla; içerdiği gelişmiş yığılı plastik yay modelleri ve

doğrusal olmayan çözüm algoritmaları sebebiyle OpenSees (Open System for Earthquake Engineering Simulation) platformu tercih edilmiştir [20]. OpenSees yapısal ve geoteknik modellemeler amacıyla Kaliforniya Berkeley Üniversitesi Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından geliştirilmiş nesne-yönelimli (object-oriented) bir analiz platformudur.

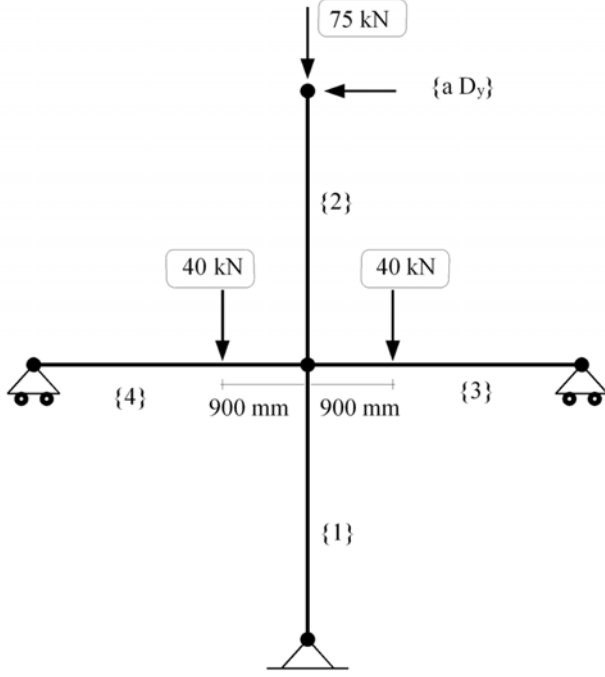
Eleman uçlarındaki yığılı plastik davranışın modellenmesinde kullanılan doğrusal olmayan yayların kurulumu için geliştirilmiş Ibarra-Medina-Krawinkler histeretik malzeme modeli (Modified Ibarra-Medina-Krawinkler hysteresis material model) seçilmiştir. Model dört farklı bozunum (deterioration) modeli işletme ve döngüsel bozunum oranını referans bir toplam histeretik enerjiye ilişkilendirme kabiliyetine sahiptir. Bozunum modelleri temel, maksimum kapasite sonrası, yük boşaltım rijitliği ve hızlandırılmış yüklemeye rijitliği adlarıyla tanımlanmıştır. Model ayrıca dört farklı kapasite bölgesine sahiptir, bunlar elastik, pekleşme, maksimum kapasite sonrası ve artık dayanım bölgeleridir. Seçilen model ile ilgili olarak daha fazla bilgiye Ibarra vd.'de [21] ulaşılabilir. Malzeme modeli OpenSees malzeme kütüphanesinde ModIMKPeakOriented (Krawinkler Deterioration Model with Peak-Oriented Hysteretic Response material) koduyla yer almaktadır.

Moment-dönme histeretik döngülerini elde etmek için seçilen modelin değişkenlerinin tanımlanması amacıyla ilk olarak [22] tarafından tanımlanan yaklaşım benimsenmiştir. Bu yaklaşımda pozitif ve negatif momentler, başlangıç rijitliği, plastik dönme kapasitesi, maksimum kapasite sonrası dönme kapasitesi ve pekleşme oranları betonarme kolon testlerine dayanan ampirik eşitlikler ile tanımlanmıştır. Kurulan model Ibarra vd. [21] tarafından geliştirilmiş olan histeretik modelindeki değişkenlerin tanımlanması amacını taşımaktadır.

Yatık kiriş kolon birleşimindeki yığılı plastisite yaklaşımı için tanımlanan doğrusal olmayan yayların geometri, malzeme ve donatı ile ilgili temel girdiler Haselton vd. [22] tarafından tanımlandığı şekliyle kullanılmakla beraber, söz konusu birleşimlerin kendilerine özgü karakterleri olması sebebiyle modelin deneysel çalışmalar kullanılarak kalibre edilme ihtiyacı doğmuştur. Bu amaçla Benavent-Climent vd. [7] tarafından raporlanmış iki adet iç ve Li ve Kulkarni [23] tarafından raporlanmış bir adet dış kiriş kolon alt sistem deneyi seçilmiştir.

Analitik çalışmada kullanılan iç kiriş kolon deneyleri tipik bir çerçeve sisteminde büküm noktalarının kolon yükseklik ve kiriş açıklıkları ortasında olduğu kabulü ile ayrıştırılmış bir yapıya tekabül etmektedir. Deneylerde modellenen orijinal prototip yapı 90'lı yıllardaki İspanyol uygulamalarına referansla tanımlanmıştır. Deney elemanları prototip yapıdan 3/5 ölçeği kullanılarak uyarlanmış ve kolonlar nominal eksenel yük kapasitelerinin %10 seviyesinde yüklenmiştir. Kirişler, yerçekimi karşılığı yükleri benzetmek üzere kolon yüzünden belirli mesafelerde noktasal yüklere

tabii tutulmuştur. Kolonlar kare kesitlere sahip olup, kirişlerin genişliği kolon boyutunun iki katıdır. Deney düzeneğindeki mesnet durumları ve sisteme uygulanan yükler Şekil 2'de sunulmuştur. Yanal yük deney numunelerine kestirilen akma ötelemelerinin katlarına karşılık gelecek şekilde itilmesiyle uygulanmıştır. Deney numuneleri arasındaki temel fark prototip yapı kesme donatısı oranlarıdır. Deneyler hakkında daha detaylı bilgiye Benavent-Climent vd.'in [7] çalışmasında ulaşılabilir.

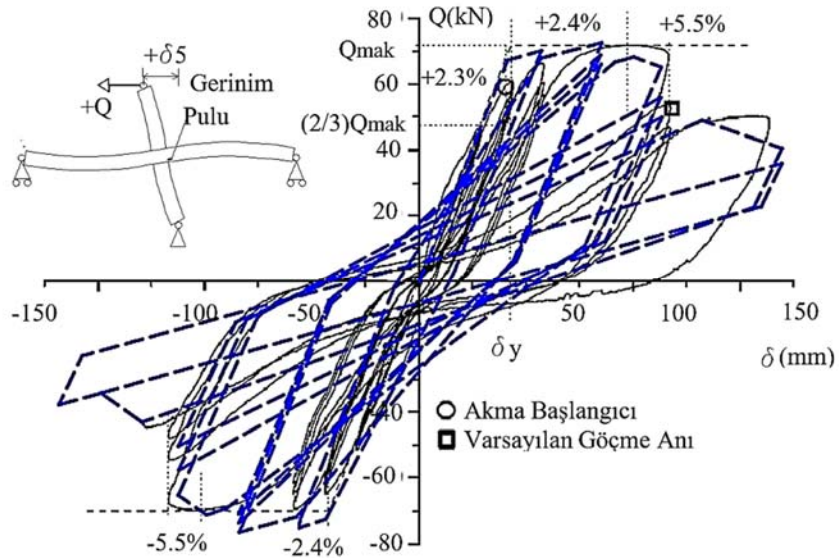


Şekil 2. IU isimli deney numunesinin yükleme ve mesnet durumlarının şematik gösterimi [6]
(Schematic loading and support scheme for Specimen IU [6])

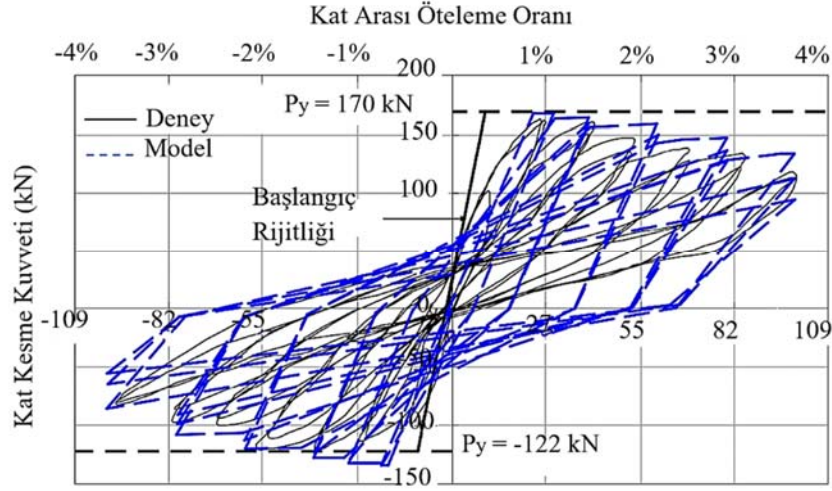
Analizlerde kullanılan diğer bir deney verisi ise Li ve Kulkarni [23] tarafından yapılan bir çalışmadan alınan bir dış kolon kiriş bağlantısıdır. Söz konusu numune kullanılan diğer testlere benzer şekilde prototip yapıdan büküm noktalarının kiriş ve kolonda, açıklık ve yükseklik ortasında olduğu varsayımı ile ayrıştırılmış bir sistemdir. Numuneler tam ölçeğinde hazırlanmış ve zamanının güncel sismik yeterliliklerini sağlayacak şekilde detaylandırılmıştır. Kolonlar ve kirişler sırasıyla 0,3x0,9-m ve 0,8x0,3-m kesitlere sahiptir. Seçilen numune kolon uzun boyutunun kiriş ana aksı yönünde yerleşmiş olması sebebiyle kiriş boyuna donatılarının büyük kısmı kolon çekirdek bölgesinin dışında kalmaktadır. Numune ve deneyler hakkında daha detaylı bilgiye Li ve Kulkarni'nin [23] çalışmasında ulaşılabilir.

Yapılan ön kalibrasyon çalışmaları Haselton vd. [22] yönteminde tanımlanan akma momenti (M_y), başlangıç rijitliği (K_e) ve plastik dönme kapasitesi (Θ_p) değişkenlerinin uyumlu hale getirilmesi gerektiğini göstermiştir. Veri üzerinde çalışılarak bu değerlerin orjinal tanımına kıyasla 0,85 M_y , 1,4 K_e ve 0,9 Θ_p oranlarında ölçeklenmesine karar verilmiştir. Bozunum ile ilgili değişkenlerin ise temel dayanım, yük boşaltım rijitliği ve hızlandırılmış yükleme rijitliği için tam bozunum, maksimum kapasite sonrasında değişken için ise orta seviyede bozunum (1,0 ile 5,0 arasında bir değer) verecek şekilde modellenmesine karar verilmiştir.

Yatık kiriş davranışına uyumlu hale getirilmiş Haselton yöntemi ile tanımlanan Geliştirilmiş Ibarra-Medina-Krawinkler malzeme modeli ile benzetilmiş Benavent-Climent'a [6] ait numunenin yük ötelenme ilişkisi Şekil 3'te sunulmuştur. Benzer şekilde Li ve Kulkarni'den [23] alınan numunenin benzetim analiz sonuçları Şekil 4'te sunulmuştur. Kalibrasyon çalışması ile ilgili daha detaylı bilgi ve diğer sonuçlar Karaaslan [24] çalışmasında mevcuttur.



Şekil 3. IU isimli numunenin deneysel ve benzetilmiş histeretik davranışı [6]
(Experimental and simulated hysteretic behavior of specimen IU [6])



Şekil 4. EWB1 isimli numunenin deneysel ve benzetilmiş histeretik davranışı [23]
(Experimental and simulated hysteretic response of Specimen EWB1 [23])

3. İKİ BOYUTLU ÇERÇEVE ÖZELLİKLERİ VE MODELLENMESİ (PROPERTIES OF THE 2-D FRAME AND THE MODELLING)

Kısım 2’de anlatıldığı üzere iç ve dış yatık kiriş kolon bağlantılarında deneysel ve analitik histeretik döngüler başarılı şekilde benzetilmiştir. Bu sayede, uyarlanmış Haselton yöntemi ile tanımlanan Geliştirilmiş Ibarra-Medina-Krawinkler malzeme modeli kullanılarak yatık kirişli betonarme çerçeve modeli kurulmuştur. Bu kısımda tasarlanan iki boyutlu betonarme çerçeve modelinin ve gerçekleştirilen kırılma analizlerinin detayları sunulacaktır.

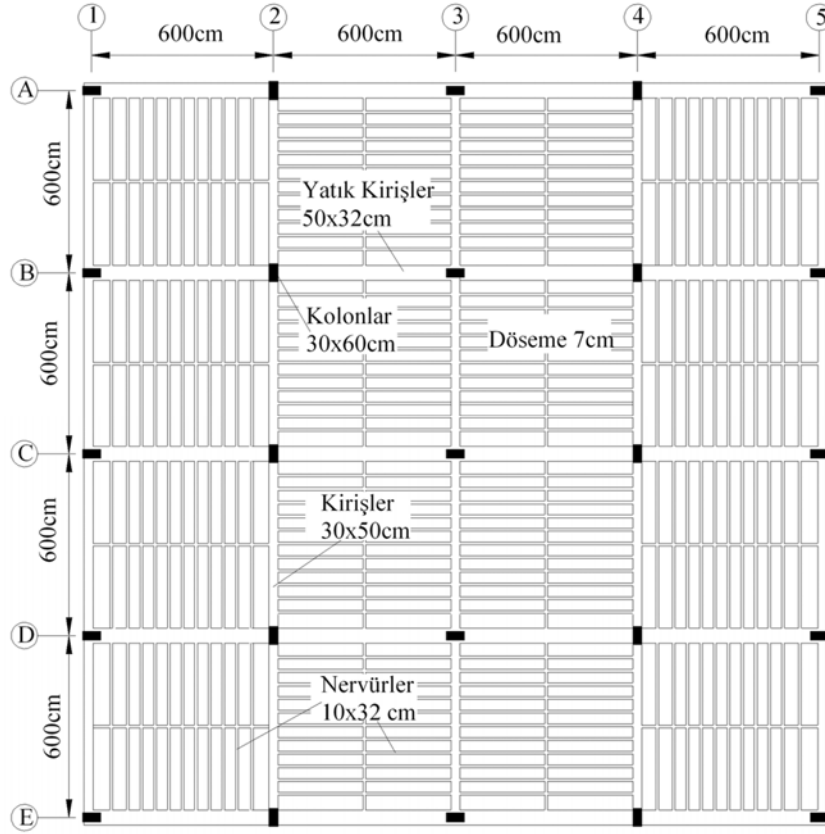
Yatık kirişli betonarme çerçevelerin kırılma eğrilerinin geliştirilmesi amacıyla tam ölçekli, 5 katlı, 4 açıklıklı bir moment çerçevesi tasarlanmıştır. Önceki kısımlarda bahsedildiği üzere çerçevenin boyutlandırması, malzeme seçimi ve donatı detaylandırması 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine ve güncel uygulamalar gözetilerek yapılmıştır. Bu amaçla boyut, dayanım ve öteleme ile ilgili olarak kolon-kiriş asgari boyutları, donatı oranları, kuvvetli-kolon zayıf-kiriş gereklilikleri, kesme ve düğüm noktası kapasite yeterlilikleri ve öteleme sınırları sağlanmıştır. Dönmez [25], Türkiye’deki tipik yatık kirişli çerçevelerin yüksekliğinin 2,7 ila 3,0 m arasında değişen 3 ila 6 kata sahip olduğunu, çerçevelerin 2 ila 4 açıklık ile tasarlandığını raporlamıştır. Zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan daha fazla ve tipik olarak 1.1 ila 1.4 katı olduğu, yatık kirişlerin eninin genelde 0,5 m olmakla beraber, 0,9 m kadar çıkabildiği, derinliğinin ise 0,30-0,32 m olduğu, tipik kolon boyutlarının ise kısa yönde 0,2-0,3 m, uzun yönde ise 0,5-0,7 m arasında değiştiği ayrıca raporlanmıştır. Söz konusu değerler dikkate alınarak tasarlanan çerçevenin plan ve yükseklik çizimleri Şekil 5 ve Şekil 6’da sunulmuştur. Çerçeve yatık kirişler düzlem içi yönde kullanılmıştır. Uygulamada tipik olarak mevcut bulunan bölme duvarların etkilerini benzetmek amacıyla giriş katı hariç üst katların dış açıklıklarında bölme duvarlar tasarlanmıştır. Yapıda

kullanılan beton ve çeliğin karakteristik dayanımları sırasıyla 30 ve 420 MPa kabul edilmiştir.

Analizler, Şekil 5’te planı gösterilen temsili yapının B-B ekseninde bulunan düzlem çerçeve üzerinde yapılmıştır. Yapıdaki kütle, prototip yapıdan iki boyutlu bir analiz modeli kurulacak şekilde adapte edilmiştir. Döşeme yükleri yük yönleri göz önüne alınarak dağıtılmış, bu sebeple iç açıklıklarda çerçeve düzlemine paralel uzanan nervürlerin yükleri çerçeveye dik kirişlere aktarılmıştır. Böylece bu açıklıklardan gelen yükler düzlem çerçeveye kolonlarda noktasal yük olarak uygulanmıştır. Düzlem çerçeveye uygulanan yükler model üzerinde Şekil 7’de sunulmuştur. Zemin kat hariç dış açıklıklardaki yayılı yüklerde bölme duvar ağırlıkları da yer almaktadır. Analizler esnasında ikinci mertebe etkiler de dikkate alınmıştır.

Çerçevenin yapısal modeli, rijitlik değerleri eleman kesit ve boyutlarına göre hesaplanan doğrusal çerçeve elemanları ile kurulmuştur. OpenSees yazılımında bu elemanlar “elasticBeamColumn” olarak adlandırılmaktadır. Sistemde doğrusal olmayan davranış, eleman uçlarında bulunan yaylar vasıtası ile yığılı plastisite yaklaşımı kullanılarak tanımlanmıştır. Yayların histeretik davranışlarının modellenmesi amacıyla önceki kısımda anlatılan yatık kiriş kolon sistemi için kalibre edilmiş Ibarra-Medina-Krawinkler malzeme modeli kullanılmıştır. Doğrusal olmayan yayların çerçeve üzerindeki yerleşimleri Şekil 7’de gösterilmiştir.

Bölme duvarların yapısal davranışa katkısı makro model yaklaşımıyla modellenmiştir. Bu amaçla OpenSees’de mevcut bulunan ve Mainstone [26] tarafından geliştirilmiş olan tek çaprazlı dikme eleman kullanılmıştır. Söz konusu makro model için malzeme özellikleri, duvar kalınlığı, duvarı çerçeveleyen çerçeve elemanlarının kesitleri ve açıklık bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada dolgu duvar kalınlığı 150 mm, duvarın elastisite modülü ise 3000 MPa olarak alınmıştır. Diğer taraftan bölme duvarları modelleyen eşdeğer dikmelerin monotonik ve döngüsel



Şekil 5. Tasarlanan tipik yatık kirişli çerçevenin planı (Plan layout of the generic wide-beam building)

davranışları yine OpenSees’de mevcut bulunan tek eksenli çevrim daralmalı model (Uniaxial Pinching Model 4) ile modellenmiştir. Dört doğrulu zarf eğrisine ve daralmalı histeretik döngüye sahip bu model Rodriguez vd. [27] tarafından geliştirilmiştir. Bölme duvar modeli ile ilgili daha detaylı bilgi Karaaslan’dan [24] elde edilebilir. Tasarlanan çerçeve analiz edilmiş, dayanım ve öteleme değerleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliğine [11] göre kontrol edilmiş ve gereklilikleri sağladığı görülmüştür.

4. YATIK KIRIŞLI ÇERÇEVE MODELİNİN KIRILGANLIK ANALİZİ

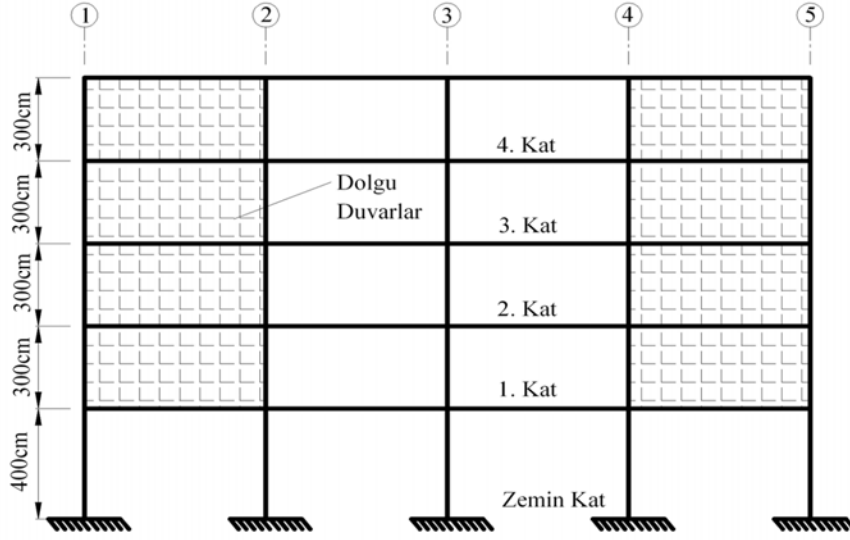
(FRAGILITY ANALYSIS OF THE WIDE-BEAM FRAME MODEL)

Kırılgenlik analizi, farklı yer hareketi şiddet seviyeleri altında önceden belirlenmiş performans sınır durumlarının, kümülatif aşılma olasılıklarını temsil eden kırılgenlik eğrilerinin elde edilmesidir. Deprem analizine ait belirsizliklerin ve değişkenliklerin olasılıksal olarak dikkate alındığı bu ileri analiz yaklaşımında deprem kapasite ve talep değişkenleri rassal değişken olarak kabul edilirler. Kırılgenlik analizi kapsamında doğrusal dinamik analiz, doğrusal olmayan statik ve dinamik analiz gibi farklı hesaplama yaklaşımları kullanılabilir. Kırılgenlik analizinde gerçekleştirilecek yapısal simülasyonların sayısı rassal değişkenlerin sayısına bağlı olarak belirlenir. Kırılgenlik analizi ile ilgili daha çok bilgiye Erberik’den [28] ulaşmak mümkündür. Kırılgenlik analizinde, belirli bir sınır durumun

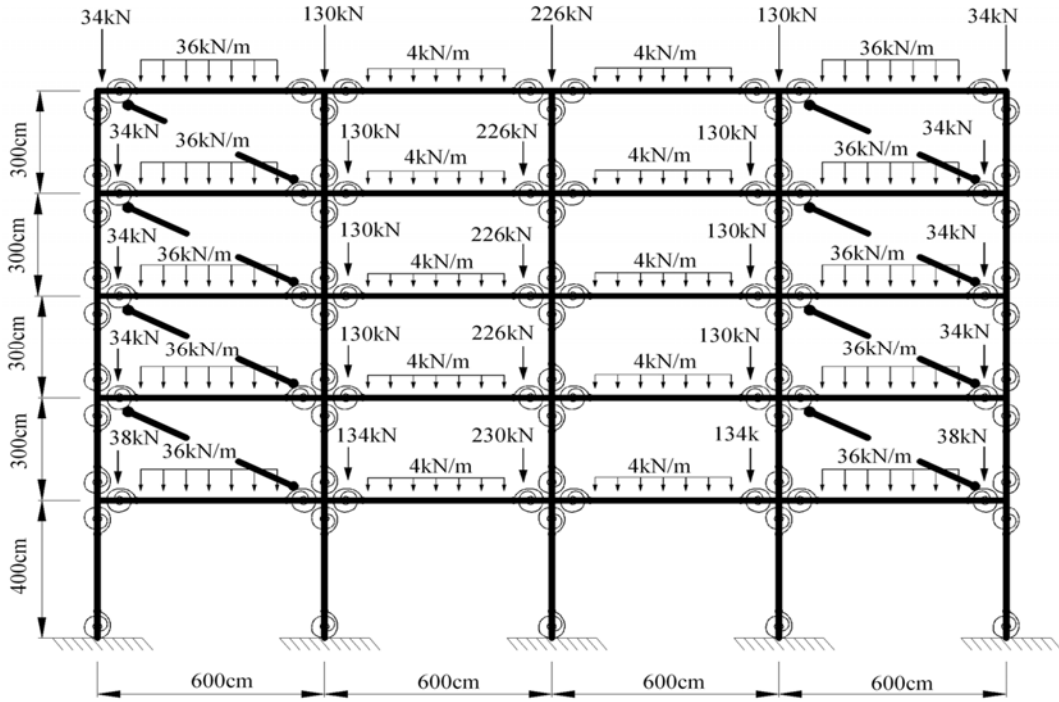
(LS) belirli bir yer hareketi şiddeti seviyesi (IM) altında aşılma olasılığını hesap etmek için Eş. 1 kullanılır.

$$P(LS / IM) = 1 - \left(\frac{\ln \delta_C - \ln \delta_{D/IM}}{\sqrt{\beta_{D/IM}^2 + \beta_C^2 + \beta_M^2}} \right) \quad (1)$$

Bu eşitlikte δ_C , seçilmiş kapasite parametresinin medyan değerini, $\delta_{D/IM}$, seçilmiş istem parametresinin belirli bir yer hareketi şiddetindeki medyan değerini temsil etmektedirler. Payda kısmında yer alan β parametreleri ise sırasıyla deprem isteminden, kapasiteden ve yapısal modellemekten kaynaklanan belirsizlikleri tanımlamaktadırlar. Bu çalışmada kırılgenlik analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, yapı kapasitesinin istatistiksel dağılım özelliklerinin (medyan değeri ve varyans) elde edilmesi için doğrusal olmayan statik bir yöntem olan statik itme analizi kullanılmıştır. Yatık kirişli çerçeve modelinin kendine özgü sınır durumlarını belirlemek için yapının plastik mafsallı oluşma mekanizması göz önüne alınmıştır. Böylece elde edilen sınır durum değerleri, çerçeve modelinin sahip olduğu öteleme kapasitesi medyan değerlerini (δ_c) tanımlamak için kullanılmışlardır. Yapılan analizlerde çerçeve modelinin geometrik ve malzeme özelliklerinden kaynaklanan belirsizlikler dikkate alınmamıştır. Bu bağlamda, Eş. 1’de yer alan β_c parametresinin sabit değeri 0.3 olarak kabul edilmiştir. Bu aşama ile ilgili daha detaylı bilgi Bölüm 4.1’de verilmiştir.



Şekil 6. Tasarlanan tipik yatık kirişli çerçevenin kesiti (Elevation view of the generic wide-beam building)



Şekil 7. Düzlemsel çerçeve modeli ve uygulanan yükler (The planar frame model and the applied loading)

Kırılgnlık analizinin ikinci aşamasında, deprem isteminin yer hareketi değişkenliği kaynaklı istatistiksel dağılım özellikleri (medyan ve varyans değerleri) zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Dinamik analizler sonucu elde edilen mukabele istatistiği, çerçeve modelinin maruz kaldığı öteleme istemi medyan değerlerinin seçilmiş yer hareketi şiddet seviyesi cinsinden ($\delta_{D/IM}$) hesaplanmasını sağlamıştır. Dinamik analizleri gerçekleştirmek için yer hareketi değişkenleri geniş değer aralığında tanımlanabilen bir deprem ivme-zaman kayıt setinden faydalanılmıştır. Deprem

isteminin sayısallaştırılması için elde edilen veri uygun üssel bir fonksiyona eşleştirilmiştir. Fonksiyon ve veri arasındaki varyans, istemden kaynaklanan belirsizliği ($\beta_{D/Sa}$) hesaplamak amacıyla kullanılmıştır (Eş. 2).

$$\beta_{D/Sa} = \sqrt{\ln(1 + s^2)} \quad (2)$$

$$s^2 = \frac{\sum (\ln d_{obs} - \ln d_{pre})}{n - 2} \quad (3)$$

Eş. 2 ve Eş. 3'teki, s^2 parametresi standart hatanın karesini, n parametresi veri sayısını, d_{obs} ve d_{pre} parametreleri ise sırasıyla analiz sonucu elde edilmiş ve eşleştirilmiş eşitlikten elde edilmiş istem değerlerini temsil etmektedirler. Bu aşama ile ilgili daha detaylı bilgi Bölüm 4.2'de verilmiştir.

Yapısal modellemekten kaynaklanan belirsizliği sayısallaştırmak pek mümkün olmadığından modelleme aşamasında kullanılmış olan varsayımlar ve basitleştirmeler, farklı kırılma çalışmaları kabul edilmiş değerlerle birlikte göz önüne alınarak bu çalışmada \square_m değerinin 0,30 olarak alınması uygun bulunmuştur.

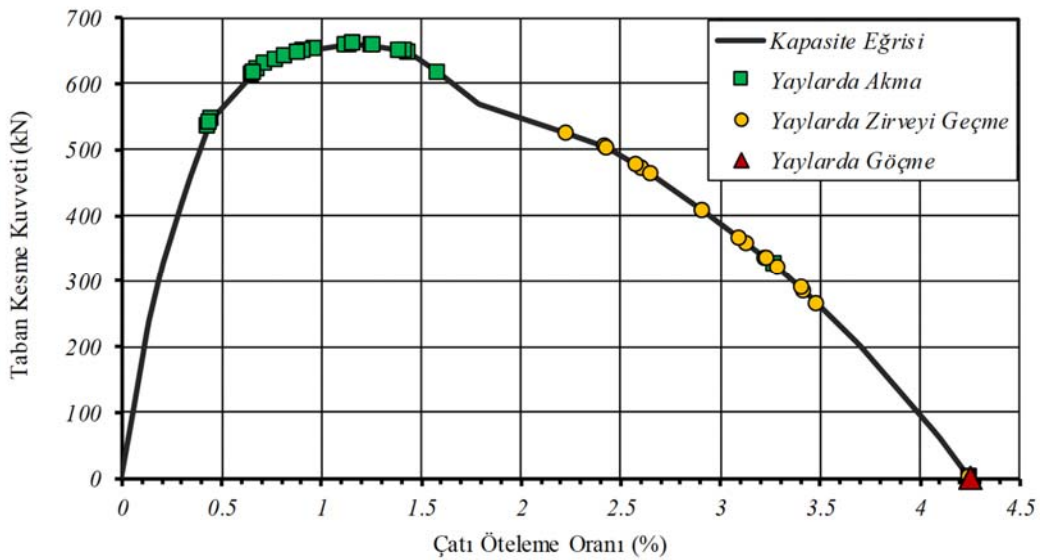
4.1. Yapı Kapasitesinin Sınır Durumlarının Sayısallaştırılması (Structural Capacity Quantification: Limit States)

Sınır durum, bir yapının artan istem altında bir performans ölçütünü karşılayamadığı sınır değerini bir mukabele değişkeni cinsinden veren seviyedir. Mukabele değişkeni yerdeğiştirme, şekildeğiştirme, kuvvet, gerilme, vb. esaslı olabilir. Ayrıca, sınır durum tanımları nitel veya nicel olabileceği gibi yapısal veya yapısal olmayan elemanlar için tarif edilmiş de olabilir. Sınır durumları, herhangi bir yapının deprem sonrası hasar durumu ile yapının onarım ve/veya güçlendirme gereksinimi ile yakından ilişkilidir. Deprem yönetmelikleri ve ilgili standartlarda yer alan sınır durum tanımları genellikle uzman görüşüne dayanır ve niteldir. Ancak analiz ve tasarım etapları, yapısal veya yapısal olmayan elemanlar için kuvvet veya öteleme seviyelerine dayalı, nicel performans limitlerine ihtiyaç duyar [29].

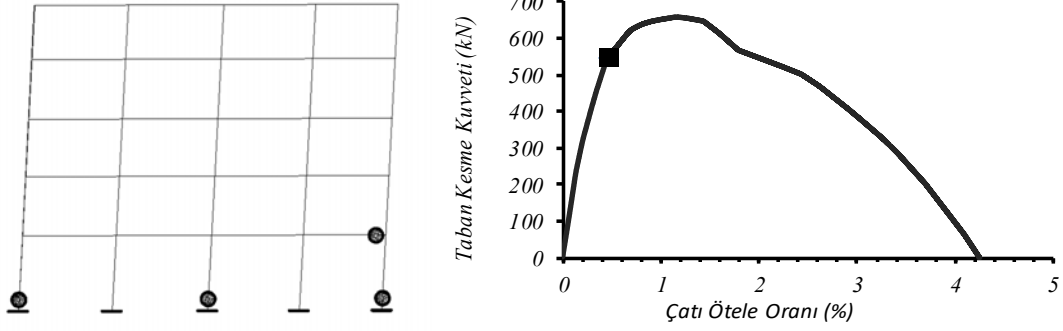
Yatık kirişli betonarme yapılara özgü düşük yatay rijitlik ve yatık kiriş birleşim bölgelerinde erken hasar oluşması gibi davranış özellikleri yüzünden standart betonarme çerçeve yapılar için tanımlanmış olan sınır durumlar geçerli değildir. Kırılma analizlerinde kapasite değişkeninin gerçekçi bir

şekilde elde edilmesi için asmlen yapılara özgü sınır durumların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda OpenSees yapısal analiz platformu kullanılarak iki boyutlu çerçeve modelinin statik itme analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz esnasında yatay eşdeğer kuvvet uygulanırken yerdeğiştirme kontrollü bir yaklaşım tercih edilmiştir. Statik itme analizi, 2007 Türk Deprem Yönetmeliğindeki eşdeğer deprem yükü yöntemi tarafından önerilen yatay yük dağılımı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Çerçeve modele ait olan ve doğrusal olmayan yayların artan yük altında değişen performans durumlarını da yansıtan statik itme eğrisi, Şekil 8'de sunulmuştur.

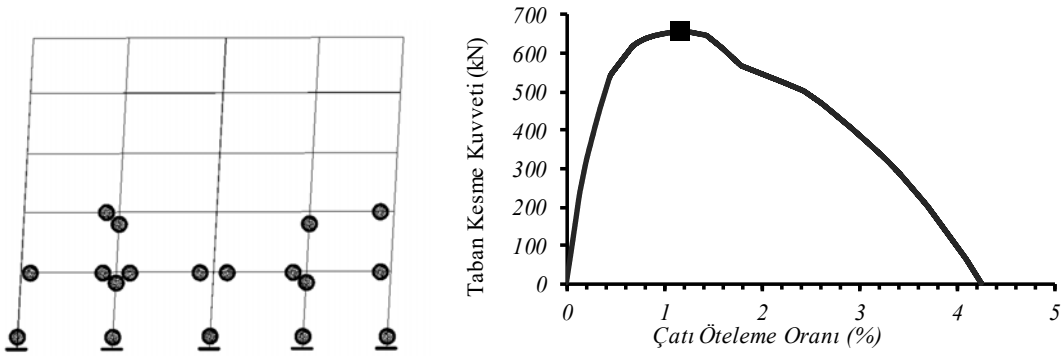
Literatürde, asmlen yapıların sınır durumlarının belirlenmesini hedefleyen çok az sayıda araştırma mevcuttur [30, 31]. Bu çalışmada araştırmacılar, standart betonarme çerçeve binalar için tanımlanmış sınır durumların asmlen binalar için kullanılmasının yanıltıcı olabileceğini belirtmişlerdir. Onlara göre bu husus özellikle ilk plastik mafsallın veya ilk yapısal tükenmenin olduğu sınır durumun belirlenmesi yönünden oldukça önemlidir. Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada, asmlen yapıya özgü sınır durumlar statik itme analizi kullanılarak elde edilmiştir. Üç farklı sınır durum tanımlanmıştır: Hemen Kullanım (HK), Can Güvenliği (CG) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ). Buna göre HK sınır durumu, malzemede akma dolayısıyla ilk plastik mafsallın olduğu an olarak tanımlanmıştır (Şekil 9). Yatık kirişli çerçeve modelinde bu sınır durum erken bir seviyede, öteleme oranı henüz %0,45 iken oluşmaktadır. İkinci olarak CG sınır durumu, yatık kirişli çerçeve modelinin maksimum yatay yük kapasitesine ulaştığı limiti simgelemektedir. Statik itme analizine göre bu limit, öteleme oranı % 1,15'e ulaştığında gerçekleşmektedir (Şekil 10). Bu sınır duruma ait plastik mafsall mekanizması, zemin kat kolon ve kirişlerinin çoğunun uç kısımlarında elastik limitlerin aşıldığını ve mafsallaşmanın bir üst kattaki yapısal elemanlarda da ortaya çıkmaya başladığını göstermektedir. Son olarak GÖ sınır



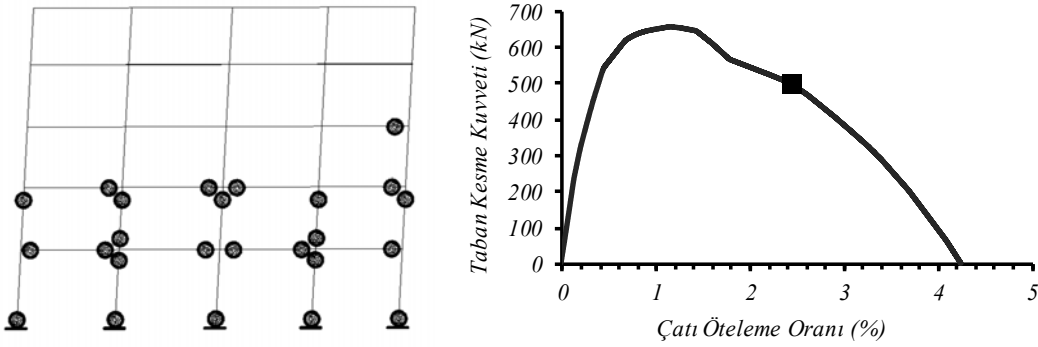
Şekil 8. Model çerçevenin kapasite eğrisi ve doğrusal olmayan yayların ulaştığı performans seviyeleri
(Capacity curve of the frame and behavior modes of the nonlinear springs)



Şekil 9. Hemen kullanım limiti hasar mekanizması (Damage mechanism at the IO limit state)



Şekil 10. Can güvenliği limiti hasar mekanizması (Damage mechanism at the LS limit state)



Şekil 11. Göçmenin önlenmesi limiti hasar mekanizması (Damage mechanism at the CP limit state)

durumu, zemin ve birinci kattaki kolon ve kirişlerin uç bölgesinde bulunan doğrusal olmayan yayların çoğunun nihai kapasitelerine ulaştığı performans limitini temsil etmekte (Şekil 11) ve söz konusu durumda kapasite eğrisindeki dayanım azalımı çok belirgin olarak ortaya çıkmaktadır (Şekil 8). Bu durum fiziksel anlamda asmolen çerçeve modelinin göçme noktasına yaklaştığını göstermektedir. Bu sınır durumda ortaya çıkan öteleme oranı ise % 2,45'tir. İtme analizi sonuçlarında can güvenliği limiti hasar mekanizması ve sonrası incelendiğinde bazı kolonlarda da mafsallaşma gözlenmektedir. Yapının planından anlaşılacağı üzere 2 ve 4'üncü akstaki kolonlar, yük uygulanan düzleme kesitlerinin zayıf yönleriyle direnmektedir. Bu durum sebebiyle 2. ve 4. akstaki kolonlar

diğer kolonlardan düşük moment kapasitelerine sahiptir, ve kolon-kiriş moment kapasite oranları diğer kolonlara göre küçüktür. Ayrıca döşeme dışlarının oturum yönleri sebebiyle dış açıklıktaki kirişlerin üzerinde ağır düşey yükler mevcuttur. Böylelikle 2. ve 4. akstaki kolonlarda diğer kolonlarda bulunmayan moment talepleri oluşmaktadır. Can güvenliği limiti hasar mekanizması ve sonrasında ortaya çıkan mafsallaşma mekanizması bu tespitler ile uyumludur.

4.2. Deprem İsteminin Sayısallaştırılması: Dinamik Analiz (Seismic Demand Quantification: Dynamic Analysis)

Yatık kirişli çerçeve modeli, OpenSees platformunda hazırlanmış ve 100 farklı yer hareketi kaydı kullanılarak

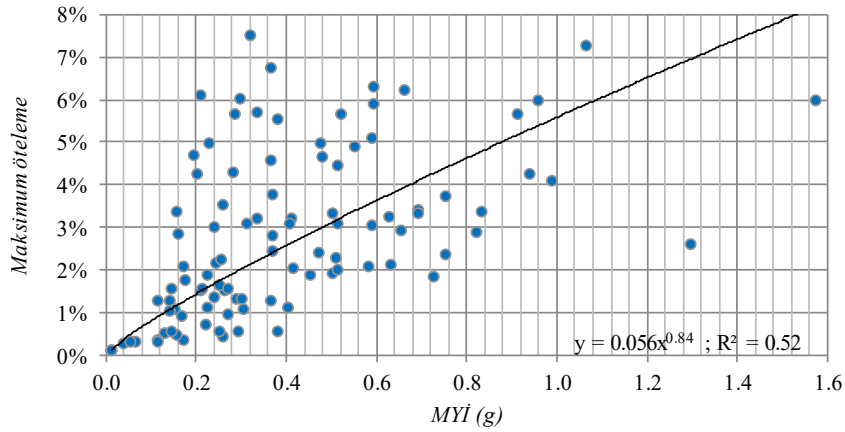
zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik hesap yöntemiyle analiz edilmiştir. Yer hareketi kayıtları, daha önce Erberik [14] tarafından derlenmiş olan geniş bir yer hareketi veritabanı içerisinde seçilmiştir. Deprem ivme kayıtları, farklı depremlere aittir ve kayıtlar arası belirsizliği çalışmaya yansıtma amacıyla sismolojik özellikleri birbirlerinden oldukça farklı olacak şekilde seçilmişlerdir. Bu çalışmada kullanılmış olan kayıtların başlıca özelliklerini gösteren detaylı liste, Karaaslan'da [24] mevcuttur.

Yatık kirişli çerçeve modeli için dinamik analizlerden elde edilen maksimum öteleme değerlerinin maksimum yer ivmesi (MYİ), maksimum yer hızı (MYH), spektral ivme (S_a), spektral hız (S_v) ve spektral yerdeğiştirme (S_d) gibi farklı şiddet ölçüleriyle ilişkisi irdelenerek istatistiksel veriye eşleştirilmiş üssel bir fonksiyon ile tanımlanmış ve R^2 değeri elde edilmiştir. Maksimum ötelemenin MYİ ve MYH cinsinden değişimleri ve eşleştirme Şekil 12 ve Şekil 13'te gösterilmiştir. Sadece bu iki ilişkinin gösterilmesinin sebebi; MYİ ile en düşük, MYH ile ise en yüksek korelasyonun elde edilmiş olmasıdır. Diğer şiddet ölçülerine ait korelasyonlar bu iki uç değer arasında kalmaktadır. MYİ için elde edilmiş ve göreceli olarak en düşük olan R^2 değeri (0,52)

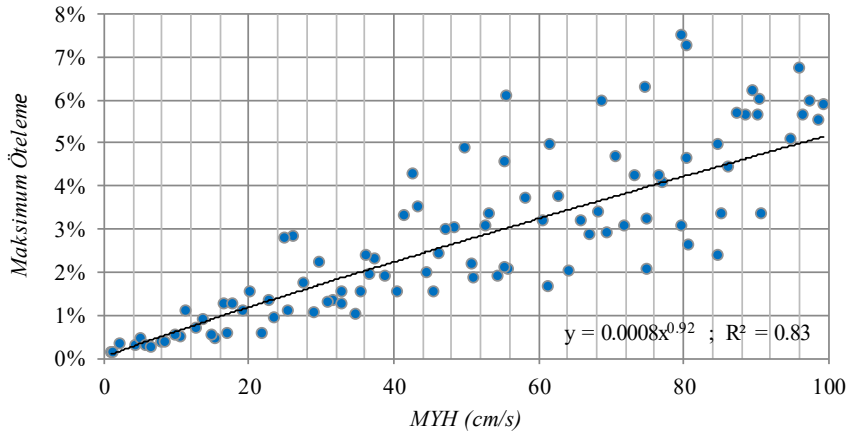
verideki varyansın fazla olduğunu göstermektedir (Şekil 12). Ancak MYH için elde edilmiş olan R^2 değeri (0,83) oldukça yüksektir ve üslü fonksiyonun parametreleri incelendiği zaman, bu fonksiyon yerine daha basit bir doğrusal fonksiyonun da aynı oranda iyi sonuçlar vereceği görülmektedir (Şekil 13). Ortaya çıkan sonuçlar, MYH parametresinin deprem istemini diğer şiddet ölçülerinden daha iyi yansıttığını kanıtlamaktadır. Sonuç olarak MYH parametresi, yatık kirişli çerçeve modelinin kırılma eğrilerinin türetilmesi esnasında kullanılacak olan şiddet ölçüsü olarak seçilmiştir.

4.3. Kırılma Eğrilerinin Türetilmesi (Development of Fragility Curves)

Yatık kirişli çerçeve modelinde farklı sınır durumları temsil eden kırılma eğrileri, Eşitlik 1'de sunulan fonksiyonla tanımlanmaktadır. Eşitlikteki median öteleme kapasiteleri statik itme analizleri sonucunda elde edilirken median öteleme istemleri Şekil 13'te verilen ve MYH cinsinden elde edilmiş olan üslü fonksiyon kullanılarak hesaplanmışlardır. Daha önceden belirtildiği üzere, kapasite ve modeldeki belirsizlikleri tanımlayan \square parametreleri sabit değer olarak



Şekil 12. MYİ için üssel fonksiyon eşlemesi (The power law equation with respect to PGA)³



Şekil 13. MYH için üssel fonksiyon tanımı (The power law equation with respect to PGV)

kabul edilirken istemdeki belirsizliği tanımlayan β parametresi Eş. 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu bağlamda, yatık kirişli çerçeve modeli için türetilmiş olan kırılma eğrileri Şekil 14'te gösterilmektedir. Şekildeki LS1, LS2 ve LS3 kısaltmaları sırasıyla HK, CG ve GÖ sınır durumlarını temsil etmektedir.

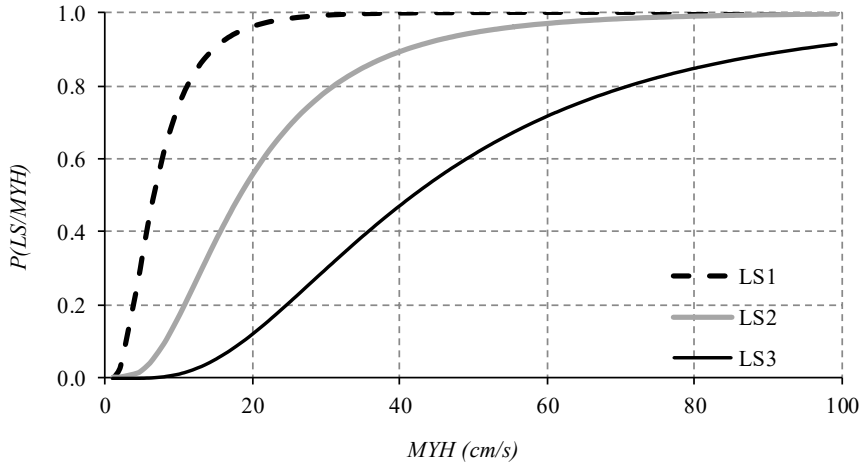
5. MEVCUT KIRILGANLIK EĞRİLERİ İLE KARŞILAŞTIRMA (COMPARISON WITH THE EXISTING FRAGILITY CURVES)

Yatık kirişli çerçeve modeli için üretilen kırılma eğrileri doğrulama amacıyla başka çalışmalarda elde edilmiş olan eğrilerle karşılaştırılmak istenmiştir. Ancak literatür incelendiği zaman, bu özel türdeki betonarme çerçeve yapıların sismik kırılma analizleriyle doğrudan ilgili geçmiş bir çalışma bulmak maalesef mümkün değildir. Konuyla ilgili olarak en yakın araştırma Lopez Almansa [31] tarafından gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, İspanya'da mevcut yapı stokunda yer alan, ülkeye özgü özellikler taşıyan, az ve orta-katlı yatık kirişli betonarme çerçeve yapıların deprem performanslarını incelemişlerdir. Ancak çalışmada kırılma eğrileri türetilmemiştir. Bunun yerine, dinamik analizler yardımıyla hesaplanan hasar seviyelerinin RISK-UE Projesindeki [32] hasar limit tanımları ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen hasar olasılık matrisleri kullanılarak deprem hasar görülebilirliği belirlenmiştir. Sunulan çalışma ile karşılaştırma yapabilmek amacıyla Lopez Almansa [32] tarafından geliştirilmiş 6 katlı, 4 açıklıklı, planda düzenli ve dolgu duvar oranı az olan yatık kirişli betonarme çerçeve modeli seçilmiştir. Söz konusu model dinamik analizler sonuçlarına göre ağır hasar bölgesinde bulunmaktadır. Çalışmadaki dinamik analizler için kullanılan yer hareketi kayıtlarına ait şiddet ölçüleri esas alınarak, bu çalışmada türetilmiş olan kırılma eğrilerinde GÖ sınır durumuna ait olasılık değerleri hesaplanmıştır. Eğer bu çalışmadaki asmolen çerçeve modelin GÖ hasar durumu olasılığını hesaplamak için şiddet ölçüsü olarak MYH kullanılırsa, Lopez Almansa [32] tarafından kullanılmış olan yer hareketi kayıtları altında ağır hasar görme olasılığı %75 ila %99 arasında değişmektedir. Sonuç olarak, bu çalışmada

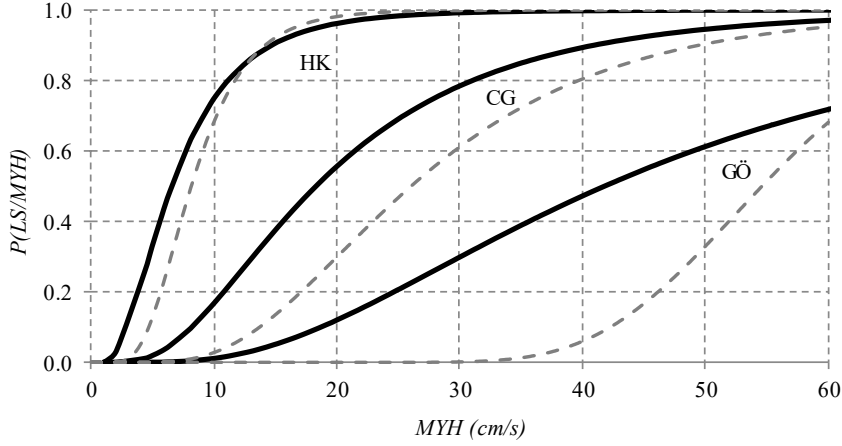
geliştirilen yatık kirişli çerçeve model ile Lopez Almansa [32] tarafından geliştirilmiş yatık kirişli modelin yüksek deprem şiddeti altındaki göreceli performans tahminlerinin birbirine oldukça yakın olduğu söylenebilir.

İkinci karşılaştırmada, iki farklı betonarme çerçeve alt sınıfı dikkate alınmıştır: standart kirişli sistem ve yatık kirişli sistem. Bu karşılaştırma için Ay ve Erberik [15] tarafından geliştirilmiş kırılma eğrileri kullanılmıştır. Bu kırılma eğrisinin seçilmiş olmasının çeşitli nedenleri vardır. İlk olarak, Ay ve Erberik [15] çalışmasında geliştirilmiş olan çerçeve modeller bu çalışmadaki asmolen modele kat sayısı, geometrik özellikler ve malzeme özellikleri olarak benzemektedirler. Ayrıca, Ay ve Erberik [15] çalışmasında geliştirilmiş olan konvansiyonel kirişli çerçeve modellerin tasarımı da Türk Deprem Yönetmeliğini ve ülkemizde kullanılan inşaat pratiğini dikkate alarak gerçekleştirilmiştir. Son olarak, her iki çalışmada yer alan yapısal modeller için tanımlanmış olan sınır durum sayıları ve tanımları aynıdır. Bu durum, iki farklı betonarme alt sınıfına ait modellerin göreceli performanslarını karşılaştırmayı oldukça kolaylaştırmaktadır.

Her iki modele ait kırılma eğrisi setleri Şekil 15'te verilmiştir. Devamlı çizgiler bu çalışmada asmolen çerçeve için elde edilen kırılma eğrilerine, kesik çizgiler ise Ay ve Erberik [15] çalışmasında standart kirişli çerçeve modeli için elde edilmiş olan kırılma eğrilerine aittir. Şekilden gözlenebileceği üzere, bu iki çalışma için geliştirilmiş olan modellerin deprem performansları HK sınır durumu için birbirine oldukça yakındır. Bir başka deyişle, düşük deprem şiddet seviyeleri altında bu iki farklı tür modelin davranışları arasında belirgin bir fark yoktur. Ancak deprem şiddet seviyeleri arttıkça, modellerin davranışları arasındaki farklar artmaktadır. Örneğin GÖ limit durumunda, 0.4 m/s seviyesindeki MYH değeri için hesaplanan olasılıklar birbirlerinden oldukça farklıdır. Bunun başlıca sebebi, bu iki farklı modelin yapı türüne has özellikleri yüzünden, bilhassa doğrusal olmayan davranışın baskın olduğu deprem şiddet seviyelerinde birbirlerinden belirgin olarak ayrılmasıdır. Ancak daha da önemlisi, yatık kirişli çerçeve modelinin



Şekil 14. Yatık kirişli betonarme çerçeve için tanımlanan kırılma eğrileri (Fragility curves for the wide-beam RC frame model)



Şekil 15. Yatık (devamlı çizgi) ve standart kirişli (kesik çizgi) betonarme çerçevelerin kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması (Comparison of fragility curves for wide-beam (solid lines) and deep-beam (dashed lines) RC frame models)

konvansiyonel kirişli çerçeve modeline göre genel olarak daha kırılmalık bir özellik sergilemesidir. Aşırı yanal öteleme ve yatık kiriş-kolon birleşim bölgelerinde yük transfer problemi gibi zayıflıklar barındıran yatık kirişli çerçeve için bu göreceli sonuç, gerçek fiziksel davranışa paralel bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışma, bir betonarme çerçeve bina alt-sınıfı olan ve ülkemiz yapı stokunun önemli bir bölümünü oluşturan asmolen çerçeve binaların kırılmalık analizleri üzerinedir. Bu tür yapılar Türkiye dışında deprem açısından aktif diğer Akdeniz ülkelerinde de tercih edilmektedirler. Detaylı bir literatür taraması sonucunda bu tür yapıların deprem talepleri altında kırılmalığı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Konvansiyonel kirişli betonarme çerçeve için geliştirilmiş olan kırılmalık eğrilerinin yatık kirişli yapılar için kullanılması bu tür yapıların kendine has özellikleri ve bilinen zayıflıkları dolayısıyla yanıltıcı olma potansiyelini barındırmaktadır. Bu sebepten dolayı mevcut çalışma, orta katlı, düzenli ve 2007 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış yatık kirişli betonarme çerçeve yapıların kırılmalık eğrilerinin türetildiği özgün bir araştırmadır ve bu özelliklere sahip yapıların risk analizi için kullanılabilir.

Yatık kirişli betonarme çerçeve modelleme aşamasındaki en önemli husus yatık kiriş-kolon bağlantısının davranışını idealize edebilmektir. Bunu gerçekleştirmek için genel olarak yapının ve yapıyı oluşturan elemanların davranışlarının çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu amaçla, yatık kiriş-kolon bağlantılarını inceleyen mevcut deneysel çalışmalar kullanılmıştır. Ancak şunu da belirtmek gerekir ki; sayısal olarak güvenilir bir bağlantı modeli geliştirmek için yeterli sayıda deneysel çalışma mevcut değildir. Daha çok deneysel veriyle daha gerçekçi modeller oluşturmak mümkün olacaktır. Kırılmalık eğrileri türetildikten sonra elde edilen sayısal verinin sahada gözlenmiş gerçek bina davranışıyla karşılaştırılması ve

doğrulamasının yapılması önemlidir. Türkiye’de son 40 yıldır meydana gelmiş olan büyük depremler sonrası yayımlanan saha raporları incelendiğinde, betonarme çerçeve yapıların içerisinde en kırılmalık yapı alt-türünün asmolen binalar olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu tür yapıların orta şiddetteki depremler esnasında bile hasar gördükleri gözlenmektedir. Ancak, doğrulama amacıyla kullanılabilir, asmolen binaların deprem sonrası bölgesel hasar dağılımı ile ilgili herhangi bir saha verisi mevcut değildir. Bu durumda, doğrulama için kullanılabilir bir diğer yaklaşım, literatürde yer alan çalışmalarda elde edilmiş kırılmalık eğrileri ile karşılaştırma yapmaktır. Ancak metinde de daha önce de bahsedildiği üzere, asmolen çerçeve yapılar ile ilgili daha önceden türetilmiş kırılmalık eğrileri maalesef bulunmamaktadır. Sadece bir çalışmada, İspanya’daki benzer türde yapıların deprem açısından hasar görülebilirliği eğri setleri oluşturulmadan değerlendirilmiştir. Bu iki çalışma arasında ancak yüzeysel bir karşılaştırma yapılabilmektedir. Bu karşılaştırmanın sonucunda, iki çalışmada da asmolen çerçeve yapıların şiddetli yer hareketleri altında ağır hasar gördüğü tespit edilmiş olup bu sonuç, söz konusu yapı türüne has davranış açısından saha gözlemlerini doğrular niteliktedir.

Çalışmanın son kısmında, yatık kirişli betonarme çerçeve yapıların benzer yapısal özelliklere sahip konvansiyonel kirişli betonarme çerçeve yapılara göre daha kırılmalık oldukları gösterilmiştir. Bu durum, her iki yapı türü de deprem yönetmeliğine uygun olarak inşa edilse dahi geçerlidir (burada bahsi geçen deprem yönetmelikleri 2018 öncesini kapsamaktadır). Bunun en büyük nedeninin, yatık kirişli yapılarda çok fazla yanal ötelemeye ve dolayısıyla hasara yol açan düşük yanal rijitlik olduğu düşünülmektedir. Bu zayıflık son deprem yönetmeliğinde [3] ele alınmış ve yeni çerçeve türü yapıların taşıyıcı sisteminin sadece yatık kirişli moment çerçeveleri kullanılarak yapılması engellenmiştir. Ancak halen mevcut yapı stokunda çok sayıda yatık kirişli betonarme çerçeve bina bulunmaktadır ve bunların önemli bir kısmı deprem tehlikesi yüksek

bölgelerde yer almaktadır. Bu sebepten dolayı, bu tür yapıların deprem açısından kırılabilirliklerinin tespit edilmesi; ileride olması muhtemel büyük depremler öncesinde bölgesel hasar/kayıp tahmini, zarar azaltma ve afet planlaması açılarından oldukça önemlidir. Son deprem yönetmeliğinde de tespit edildiği üzere bu tür yapılara has zayıflığı gidermek amacıyla yanal rijitliği artırıcı uygulamalar geliştirilmesinin, problemin çözümü için iyi bir ilk adım olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma kısmen İYTE tarafından 2015İYTE34 BAP Projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Dönmez, C., Seismic performance of wide-beam infill-joist block RC frames in Turkey, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29 (1), 04014026, 2015.
2. Türk Deprem Yönetmeliği, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
3. TBDY 2018, Türk Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar, Türkiye Cumhuriyeti Afet ve Acil Durum Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
4. Gentry, T.R., and Wight, J. K., Wide beam-column connections under earthquake-type loading, *Earthquake Spectra*, 10 (4), 675-703 1994.
5. Lafave, J. M. and Wight J.K., Reinforced concrete wider-beam construction vs. conventional construction: resistance to lateral earthquake loads, *Earthquake Spectra*, 17 (3), 479-505, 2001.
6. Benavent-Climent, A., Cahis, X. and Vico, J. M., Interior wide beam-column connections in existing RC frames subjected to lateral earthquake loading, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8 (2), 401-420, 2010.
7. Benavent-Climent, A. and Zahran R., Seismic evaluation of existing RC frames with wide beams using an energy-based approach, *Earthquakes and Structures*, 1 (1), 93-108, 2010.
8. Turker, K. and Gungor, I., Seismic performance of low and medium-rise RC buildings with wide-beam and ribbed-slab, *Earthquakes and Structures*, 15 (4), 383-393, 2018.
9. Burak, B. and Wight, J. K., Experimental investigation of eccentric reinforced concrete beam-column-slab connections under earthquake loading, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August, 2004.
10. Gomez-Martinez, F., Alonso-Dura, A., De Luca, F., Verderame, G.M., Ductility of wide-beam RC frames as lateral resisting system, *Bulletin of Earthquake Engineering* 14, 1545–1569, 2016.
11. Türk Deprem Yönetmeliği, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara, Türkiye, 2007.
12. Akkar S., Sucuoğlu H., Yakut A., Displacement-Based Fragility Functions for Low and Mid-Rise Ordinary Concrete Buildings. *Earthquake Spectra* 21 (4), 901–927, 2005.
13. Kırçıl M.S., Polat Z., Fragility Analysis of Mid-Rise RC Frame Buildings. *Engineering Structures* 28 (9), 1335–1345, 2006.
14. Erberik, M.A., Fragility-based assessment of typical mid-rise and low-rise RC buildings in Turkey, *Engineering Structures*, 30, 1360-1374, 2008.
15. Ay, B.O. and Erberik, M. A., Vulnerability of Turkish low-rise and mid-rise reinforced concrete frame structures, *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (1), 2-11, 2008.
16. Rodriguez, H., Varum, H. and Costa, A., Simplified macro-model for infill masonry panels, *Journal of Earthquake Engineering*, 14 (3), 390-416, 2010.
17. Uçar T., Düzgün, M. Betonarme Binalar için Artımsal İtme Analizi Esaslı Analitik Hasargörebilirlik Eğrilerinin Oluşturulması. *İMO Teknik Dergi* 24 (3): 6421-6446, 2013.
18. 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.
19. Mert Tugsal, U., Taskin, B., Derivation of fragility relations with regard to poorly constructed existing RC buildings, 16ECEE - 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece 2018.
20. McKenna, F., Object-oriented finite element programming frameworks for analysis, algorithms and parallel computing, Ph.D. Dissertation, University of California at Berkeley, Berkeley, CA, 1997.
21. Ibarra, L. F., Medina, R. A. and Krawinkler, H., Hysteretic models that incorporate strength and stiffness deterioration, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34 (12), 1489-1511, 2005.
22. Haselton, C., Liel, A., Lange, S. and Deierlein, G., Beam-column element model calibrated for predicting flexural response leading to global collapse of RC frame building, PEER Report 2007/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 2008.
23. Li, B. and Kulkarni, S., Seismic behavior of reinforced concrete exterior wide beam-column joints, *Journal of Structural Engineering* 136 (1), 26-36, 2010.
24. Karaaslan, E., Seismic performance assessment of wide beam infill joist block frame structures in Turkey, M.S. Dissertation, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2015.
25. Dönmez, C., Türkiye'deki asmolen yapıların deprem yeterliliği konusunda bir irdeleme, İkinci Türkiye Deprem Muhendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay-Türkiye, 2013.
26. Mainstone, R.J., On the stiffness and strengths of infilled frame, *Proceedings, Institution of Civil Engineers Supplement IV*, 57-90, 1970.
27. Rodriguez, H., Varum, H. and Costa, A., Simplified macro-model for infill masonry panels, *Journal of Earthquake Engineering*, 14 (3), 390-416, 2010.

28. Erberik, M.A., Seismic fragility analysis, Encyclopedia of Earthquake Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015.
29. Wen, Y. K., Ellingwood B.E., Veneziano, D., and Bracci, J., Uncertainty modeling in earthquake engineering, Mid-America Earthquake Center Project FD-2 Report, the University of Illinois at Urbana-Champaign, USA, 2003.
30. Dominguez, D., Lopez-Almansa, F. and Benavent-Climent, A., Seismic vulnerability analysis of wide-beam buildings in Spain, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisboa, Portugal, 2012.
31. Lopez-Almansa, F., Dominguez, D. and Benavent-Climent, A., Vulnerability analysis of RC buildings with wide beams located in moderate seismicity regions, Engineering Structures 46, 687-702, 2013.
32. Milutinovic, Z.V. and Trendafiloski, G.S., Vulnerability of current buildings, Technical Report for WP-4 of RISK-UE Project, European Commission, EVK4-CT-2000-00014, 2003.

