Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:2 (2018) 441-457

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Amplified seismic loads in steel moment frames under strong ground motion

Bora Akşar[1*], Selçuk Doğru[2],Bülent Akbaş[2]
[1]Department of Civil Engineering, İstanbul Sehir University, İstanbul, 34865, Turkey
[2]Department of Civil Engineering, Gebze Technical University, Kocaeli, 41400, Turkey

Highlights:

- Amplified seismic load effect
- Nonlinear dynamic analyses
- Moment and frames

Keywords:

- Overstrength factor
- Amplified Load effect
- Nonlinear Analyses
- Moment Frames
- Dynamic Anayses

Article Info:

Received: 19.09.2016
Accepted: 27.02.2017

DOI:

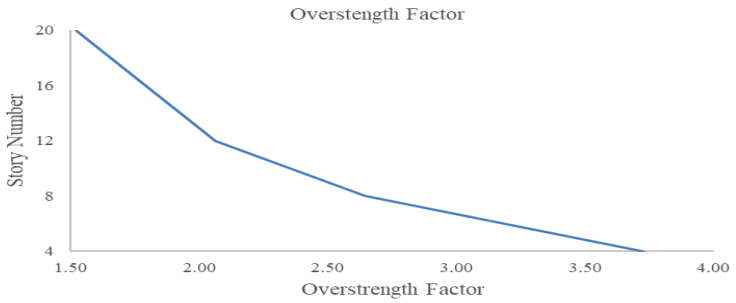
10.17341/gazimmfd.416352

Acknowledgement:

Correspondence:

Author:Bora Akşar
e-mail:
boraaksar@gmail.com
phone: 05325150909

Graphical/Tabular Abstract



Purpose: The purpose of this study is to explore the amplified seismic loads in steel special moment frames (SMFs) under strong ground motions.

Theory and Methods:

To investigate the amplified seismic load in low, medium and high-rise building, 4-, 8-, 12- and 20-story special moment frames (SMFs) are selected and designed in accordance with ASCE 7-10 (2010), AISC 360-10 (2010), AISC 341-10 (2010). Four different span lengths with SMFs are used to specify the effect of span length difference amplified seismic load. An ensemble of ground motions is selected so that the seismic response of each of the four frames would range from moderate to severe and the seismic energy demand would be evaluated based on the response of the frames. Two sets of ground motions corresponding to 10% and 2% probability of exceedance in 50-year time period which correspond to the life safety performance level (LS) and collapse prevention performance level (CP), respectively are used in nonlinear dynamic time history analyses.

Results:

Higher increase in axial compression load level occurs in non-uniform span length condition for all story level. Higher axial compression load values obtained in upper stores for 4-, 8- and 12- story frames. For 4-, 8-, 12- and 20 story frames Case A, Case C has similar axial load amplification factor values. Case D has the lowest increase in axial load level.For all frames and cases, the plastic hinge distribution is uniform and plastic hinge rotations do not exceed 4% under selected ground motions. For 8- and 12- story frames highest plastic hinge rotation occurs in upper stories.Axial load level in first story side columns increase with the story level and higher value obtained in 20-story frames with a value of %75.For all cases, system overstrength factor value degreases with the increase in story level. For 4- story frames, calculated overstrength factors under design and MCE levels ground motions exceed the value given in the both Turkish and American regulations for moment frames.For 8-, 12- and 20- story frames, calculated overstrength factors under design level ground motions do not exceed the value given in the American regulations for moment frames. However, calculated overstrength factors under design level ground motions for Case A and Case D in 8-story frames exceed the value given in Turkish regulations.In 8- story frames, calculated overstrength factors under MCE level ground motions exceed the value given in both regulations for moment frames.For 12- story frames, calculated overstrength factors under MCE level ground motions do not exceed the value given in the American regulations, but overstrength factors exceed the value given in the Turkish regulations for moment frames. For 20- story frames, calculated overstrength factors under MCE level ground motions do not exceed the value given in both Turkish and American regulations.

Conclusion:

This study show that, in some cases and storey height the overstrength factors for moment frames given in Turkish and American regulations are not compatible with the analyses result and given values needed to be re-evaluated. For more comprehensive analytical investigation frame configurations and strong ground motion number should be increased.

Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 33:2 (2018) 441-457

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University
Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Çelik moment çerçevelerde kuvvetli deprem yer hareketi altında arttırılmış deprem etkileri

Bora Akşar[1]*, Selçuk Doğru[2], Bülent Akbaş[2]

[1]İstanbul Şehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34865, Türkiye
[2]Gebze Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 41400, Türkiye

ÖNEÇIKANLAR

- Arttırılmış deprem etkileri
- Doğrusal olmayan dinamik analiz
- Moment ve çaprazlı çerçeve tasarımı

Makale Bilgileri
Geliş: 19.09.2016
Kabul: 27.02.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.416352

Anahtar Kelimeler:
Çelik moment çerçeveleri, arttırılmış sismik yükleri, sismik tasarım, büyütme katsayıları

ÖZET

Kuvvetli deprem yer hareketi altıda doğrusal olmayan davranış gösteren yapıların tasarımı mühendisler açısından önemli bir konudur. Bu amaçla, elastik sismik kuvvet isteminin azaltılması ve gerçek deplasmanın tahmini için deprem yönetmeliklerinde tanımlanan büyütme katsayıları kullanılmaktadır. Bu katsayılar deprem yönetmeliklerinde önemli rol oynamakla birlikte, formatları ve birbirlerine göre oranları yönetmelikten yönetmeliğe değişmektedir. Bu çalışmada, ilk olarak yönetmeliklerdeki arttırılmış deprem yüklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu değerlerin tutarlılığının incelenmesi ise çalışmanın ikinci hedefidir. Bu amaçla, özel çelik moment çerçevelerindeki (ÖÇMÇ) sistem büyütme katsayıları, kolonlardaki eksenel yük artışı göz önüne alınarak kuvvetli deprem yer hareketleri altında incelenmiştir. Sonuçlar en büyük ve ortalama en büyük eksenel kuvvet artış katsayıları, plastik mafsal dönmeleri ve yapısal sistem büyütme katsayıları olarak sunulmuştur.

Amplified seismic loads in steel moment frames under strong ground motion

HIGHLIGHTS

- Amplified seismic load effect
- Nonlinear dynamic analyses
- Moment and Braced frame design

Article Info
Received: 19.09.2016
Accepted: 27.02.2017

DOI:
10.17341/gazimmfd.416352

Keywords:
Steel moment frames, amplified seismic load, seismic design, overstrength factor

ABSTRACT

Design of structures with inelastic behaviour under seismic loading conditions is an important issue for engineers. For this reason, amplification factors defined in modern seismic codes are used to reduce the elastic seismic force demand and estimate the actual displacements. Although these factors play an important role in seismic codes, the format and also ratios between them have varied considerably from one code to another. In this paper, the first objective is to investigate the amplified seismic loads in design requirements. Based on this derivation, the second objective is to evaluate their accuracy. For this purpose, considering the increase in the axial load levels on columns, system overstrength factors for Special Moment Resisting Frames (SMRFs) under strong ground motions are examined. The results are presented in as maximum and average maximum axial load amplification factors, plastic hinge rotations and system overstrength factors under selected ground motions.

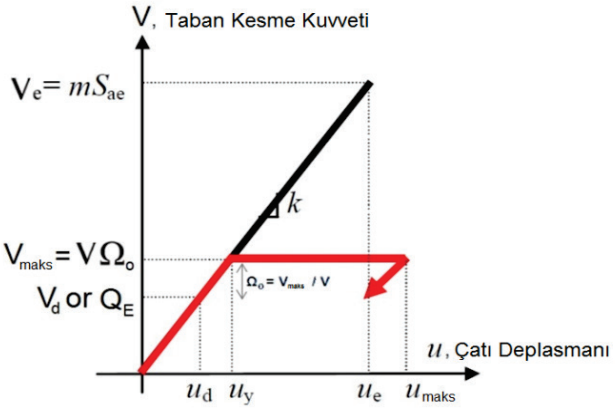
*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: boraaksar@gmail.com / Tel: +90 532 515 0909

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çelik binalardaki moment çerçeveleri, sismik yüklere karşı en etkili yatay yük taşıyıcı sistemlerden biridir. Moment çerçevelerinin en önemli avantajları arasında geniş açıklıkların geçilmesi, yüksek sünekliliğin en ekonomik kesitler kullanılarak sağlanması ve tasarımın kolaylıkla yapılabilmesi gösterilebilir. Moment çerçevelerde yatay yüklere karşı dayanım, kolon ve kirişlerin birbirlerine rijit olarak bağlı olmasından dolayı oluşan rijit çerçeve hareketi ile sağlanır. Yani moment çerçevenin yatay hareketi kolon ve kirişlerde meydana gelen eğilmeden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla tüm çerçevenin yatay rijitliği ve dayanımının temel kaynağı, çerçeve elemanlarının eğilme rijitliği ve dayanımıdır [1]. ÖÇMÇ deki süneklik ise, kiriş uçlarındaki akma ile sağlanması beklenir ancak deprem yüklemesi altında oluşan doğrusal olmayan çevrimsel harekette bağlantıların zarar görmemesi gereklidir.

17 Ocak 1994 Northridge, Amerika depremi sırasında birçok modern çelik binada birleşimlerde beklenmedik kırılmalar ve göçmeler meydana gelmiştir. Birleşimlerdeki hasarlar daha çok kolon-kiriş birleşim bölgelerinde özellikle başlık kaynaklarında, kiriş başlıklarında, kolon başlığı ve gövdesinde görülmüştür [2]. Northridge depreminden tam bir sene sonra 17 Ocak 1995 Kobe, Japonya depreminde de benzer şekilde çelik kolon-kiriş birleşimlerinde kırılmalar ve göçmeler meydana gelmiştir. Çelik çerçevelerdeki bu beklenmedik deprem davranışı neticesinde oldukça kapsamlı analitik ve teorik çalışmalar yapılmış ve çelik yapı deprem yönetmeliklerinde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Bunlardan bir tanesi de arttırılmış deprem etkilerinin, deprem yükü aktaran taşıyıcı sistem kolonlarının eksenel basınç ve çekme dayanımlarının kontrol edilmesinde kullanılmak üzere yönetmeliklere girmesidir. Arttırılmış deprem etkileri Ω_o (veya yüklemeleri), genellikle taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon, çapraz) tasarımında göz önüne alınan deprem yükünün 2-3 katı olmaktadır. Yapı, doğrusal olmayan evreye girdikten sonra yapının taşıyıcı sisteminin, özellikle de kolonların, stabilitesinin sağlanması gerekmektedir. Bu amaçla çelik yapılarda deprem yüklerini aktaran taşıyıcı sistemdeki kolonların eksenel basınç ve eksenel çekme dayanımlarının arttırılmış deprem etkilerini içeren yük kombinasyonlarının kullanılarak kontrol edilmesi gerekmektedir [3]. Bu kontrolü yaparken, eğilme momentlerinin ihmal edilmesine yönetmelik izin vermektedir. Ancak bu kabul her zaman geçerli değildir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanındaki analizler sıklıkla kolon uç momentlerinin işaret değiştirmediği durumlar olduğunu ve bu durumun da kolonda global burkulmaya yol açabileceğini göstermektedir [4]. Diğer bir deyişle, kolon uç momentleri bazı durumlarda kolon burkulmasına katkıda bulunabilmektedir. Şu rahatlıkla söylenebilir ki, AISC 341-10'daki [3] şartlara uymak kolonların akmayacağının ve eksenel kuvvet (P) - eğilme momenti (M) kombinasyonunun kolon uçlarında akmaya neden olmayacağının garantisi değildir. Kolonlarda meydana gelen akma, yüksek eğilme momentleri ve orta derecedeki eksenel kuvvet seviyesinden (moment çerçevelerdeki gibi) veya yüksek eksenel kuvvet ve uç dönmesinden dolayı oluşan eğilme momenti etkisinden (merkezi çaprazlı çerçevelerdeki gibi) kaynaklanabilir. Deprem yükü aktaran taşıyıcı sistem kolonlarının akması, istenilen bir hasar modu değildir ve can güvenliğini de tehlikeye atarak kolonlarda kırılmaya ve global burkulmaya neden olabilmektedir. Arttırılmış deprem etkileri ile ilgili yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır ve yönetmeliklerde bu konu ile ilgili hükümler genellikle mühendislik sezgileriyle konulmuştur. Arttırılmış deprem etkileri konusunda kapsamlı analitik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında dayanım şartlarının belirlenmesinde kullanılan ASCE 7-10'da [5] tanımlanan depreme dayanıklı tasarım yönteminde; taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R), yer değiştirme büyütme katsayısı (C_d) ve taşıyıcı sistem dayanım fazlalığı (veya büyütme) katsayısı (Ω_o) gibi katsayılar tanımlanmıştır. Bu tanımla, ASCE 7-10'a göre [5] yapılacak olan tasarımın dayanım çelik moment çerçeveler esaslı olduğu ve yapıların şiddetli yer hareketleri altında elastik ötesi davranış göstermelerinin beklendiği kabul edilmektedir. R, yapı sünekliğiyle ilişkili bir katsayıdır ve dayanım fazlalığı katsayısı ile süneklik katsayılarının çarpımına eşittir. Süneklik katsayısı, yapının tasarım depremi altında elastik kalması durumunda yapacağı yatay yer değiştirme ile gerçek dayanıma (V_{max}) karşılık gelen kat ötelemesinin oranına eşittir. C_d, tasarım yer hareketine karşı gelen doğrusal olmayan kat ötelemesinin tasarım yer değiştirmesine oranı olarak tanımlanmaktadır, yani C_d katsayısı, R'nin katıdır. Ω_o ise gerçek dayanımın (V_{max}) tasarım dayanımına (V) bölünmesiyle elde edilir (Şekil 1). Kavramsal olarak, kolonlar (veya çaprazlar), V'ye karşılık gelen iç kuvvetler altında boyutlandırılmakta, kat stabilite kontolleri ise V_{max} altında yapılmaktadır.



Şekil 1. Arttırılmış deprem yükünün (Ω_o) şematik tanımı
(Schematic display of amplified seismic load (Ω_o))

Çelik moment çerçevelerinde arttırılmış deprem yükleri için yapılan çalışmalar sınırlıdır. Freeman [6] iki tanesi sismik bölge 4'te (UBC'ye göre sismik bölge katsayısı Z=0,40) ve bir tanesi sismik bölge 3'te (UBC'ye göre sismik bölge katsayısı Z=0,30) olmak üzere 3 adet 3 katlı çelik moment çerçevesi üzerinde büyütme katsayılarını incelemiştir.

Çalışmanın sonucunda çerçeveler için elde edilen büyütme katsayıları sırasıyla 1,9, 3,6 ve 3,3 tür. Balendra ve Huang [7] büyütme katsayılarını ve sünekliliği belirlemek için İngiliz standardı BS5950'ye göre tasarlanmış üç katlı, altı katlı ve on katlı üç açıklıklı moment, merkezi çaprazlı ve yarı-rijit çelik çerçeveler üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada moment çerçevelerde kat sayısı artıkça büyütme katsayısının 8 den 3,5'a düştüğünü ve yarı-rijit bağlantıların kullanılması durumunda büyütme katsayısının yaklaşık %50 azaldığı belirlemişlerdir. Osteraas ve Krawinkler [8] uniform building code (UBC) göre tasarlanmış moment, çevre ve çaprazlı çelik çerçevelerin sünekliğini incelemişlerdir.

Çalışmalarında üç tip çerçeve içi büyütme katsayılarının 1,8 de 6,5'a kadar değişen değerler aldığını raporlamışlardır. Uang [9] yüksek sismik bölgede tasarlanan 4 katlı ve 12 katlı özel çelik moment çerçevelerinde büyütme katsayılarını araştırmıştır. Rahgozar ve Humar [10] çeşitli 10 katlı çaprazlı çerçeveler üzerinde çalışmış ve büyütme katsayısının 1,5 ile 3,5 arasında değiştiğini göstermiştir. Dickof ve ark. [11] tasarladıkları 3, 6 ve 9 katlı 3 açıklıklı çelik moment çerçevelerin farklı açıklıklarında çapraz-lamine ahşap (ÇLA) kesme panelleri kullanarak, sistem büyütme katsayılarının değişimini incelemişlerdir. Çalışmalarında 2 açıklığında ÇLA panel kullanılan karma sistemin büyütme katsayısının, bir açıklığında ÇLA panel kullanılan sisteminkinden %33 fazla olduğu ve 3 açıklığında ÇLA panel kullanılan sistemin büyütme katsayısının, 2 açıklığında ÇLA panel kullanılan sisteminkinden %20 fazla olduğunu belirlemişlerdir. Elkady ve Lignos [12] 2, 4, 8, 12 ve 20 katlı beş adet dış çerçeveleri özel moment çerçeve (ÖMÇ) olan çelik ofis binası tasarlayarak, yapılarda düşey yüke çalışan çerçevelerin ve betonarme kompozit döşemenin sistem büyütme katsayısı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, sadece ÖMÇ olarak modellenen çerçevelerin dinamik büyütme katsayıları 3'ün üzerinde olduğu belirlenirken, düşey yüke çalışan çerçevelerin ve betonarme kompozit döşemelerin analitik modellere eklenmesi ile elde edilen sistemlerin dinamik büyütme katsayıları ortalama 4 değerini almıştır. Ayrıca pushover analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; yüksek ve orta katlı binalarda sadece düşey yüke çalışan çerçevelerin ve betonarme kompozit döşemenin olduğu durumlarda elde edilen statik büyütme katsayıları, ASCE/SEI 7–10'da [5] verilen Ω_o = 3,0 değerini aşarken, alçak katlı yapılarda elde edilen değerler yönetmelikte verilen değerin çok altında kalmıştır. Shen vd. [13] alçak, orta ve yüksek katlı özel moment çerçevelerden oluşan çelik binaların kolonlarındaki sismik eksenel kuvvetlerin artışını ve kolonlardaki sistem büyütme katsayılarını incelemişleridir. Bu amaçla farklı aks düzenine sahip 4, 9 ve 20 katlı üç adet çerçeve tasarlanmış ve kuvvetli yer hareketleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Çalışmalarında tüm çerçeve kolonlarında ortalama büyütme katsayısı 1,5 ile 2,5 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. En büyük büyütme katsayıları tüm çerçeveler için kenar kolonlarda elde edilmiştir. Alçak ve orta katlı çerçevelerde iç kolonlarda büyütme katsayısı 1'in altında kalırken, yüksek katlı çerçevelerde 1 ile 2 arası değerler almıştır.

2. ANALİTİK ÇALIŞMA (ANALYTICAL STUDY)

2.1. Alçak, Orta ve Yüksek katlı Binaların Tasarımı ve Yer Hareketleri
(Design of Low-, Medium- and High-Rise Buildings and Ground Motions)

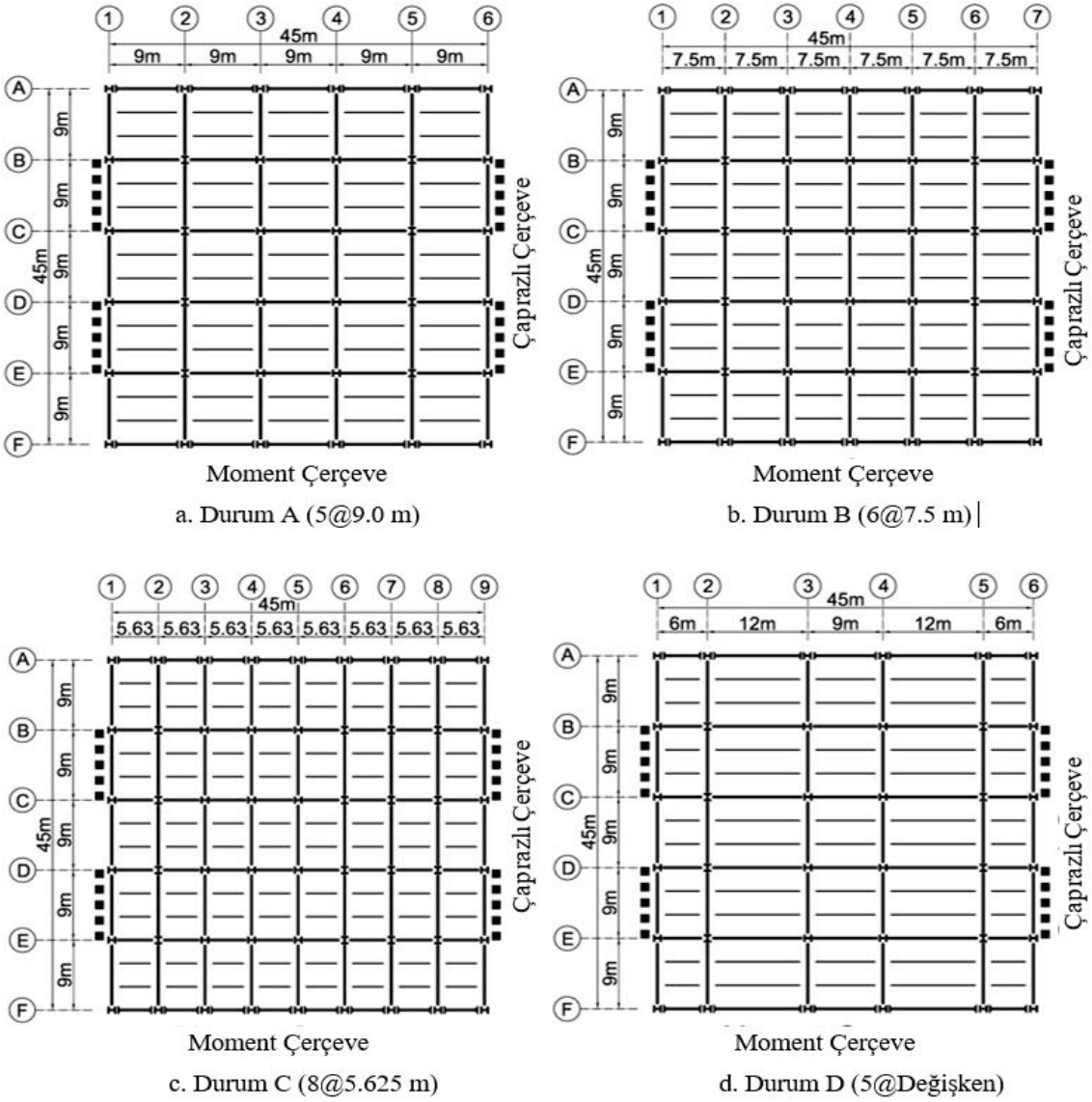
Tasarımı yapılan tüm binalar 45m x 45m plan ölçülerindedir. Çerçevelerdeki farklı aks düzenlerinin arttırılmış deprem yüklerine etkisini de incelemek adına dört özel durum oluşturulmuştur. Bu durumların detayları Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca belirlenen bu aks düzenlerine ait kat planları da Şekil 2'de verilmiştir. Bu çalışma kapsamında sadece moment çerçeveler doğrultusunda yapılan analizler sunulmuş olup, çaprazlı çerçeveler doğrultusunda herhangi bir analiz ve sonuç verilmemiştir.

Tipik kat yükseklikleri Şekil 3'te verilmiştir. 8-, 12- ve 20-katlı modellerde bodrum perdelerinin ve bodrumu çevreleyen zeminin yapının zemin seviyesindeki yatay deplasmanı engellediği kabul edilmiş ve sismik taban zemin seviyesi alınmıştır. Binaların doğrusal analizleri LRFD (load and resistance factor design) hükümlerine göre AISC 360-10 [14] standardına uygun olarak yapılmıştır. Normal katlarda eleman ağırlıklarını da içeren sabit yükler 5,0 kN/m^2, hareketli yükler 2,4kN/m^2 olarak alınmıştır. Çatı katlarında sabit ve hareketli yükler sırasıyla 4kN/m^2 ve 1,4kN/m^2 olarak sisteme etkitilmiştir. Modellerde S355 yapısal çelik kalitesinde Avrupa geniş başlıklı kesitler kullanılmıştır. Moment birleşimlerini AISC 358-10 [15] standardına göre azaltılmış kiriş kesiti (RBS) olarak tasarlanmıştır. Çalışmada kullanılan kolon ve kiriş kesitleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tüm binalarda çevre çerçeveler yatay yükleri (deprem, rüzgâr) karşılayacak şekilde, iç çerçeveler ise sadece düşey yükü karşılayacak şekilde kirişlerin kolonlara basit bağlandığı çerçeveler olarak tasarlanmıştır. Tüm binalarda kompozit döşeme kullanılmış olup, döşemelere etkiyen yükler bir doğrultuda konumlanmış olan ikincil kirişler vasıtasıyla ana kirişlere tekil yükler olarak aktarılmıştır. Şekil 2'de ikincil kirişlerin yerleşimi gösterilmiştir.

Tablo 1. Moment Çerçevelerine ait plan ölçüleri ve aks mesafeleri (Dimentions and axis distances for Moment frames)

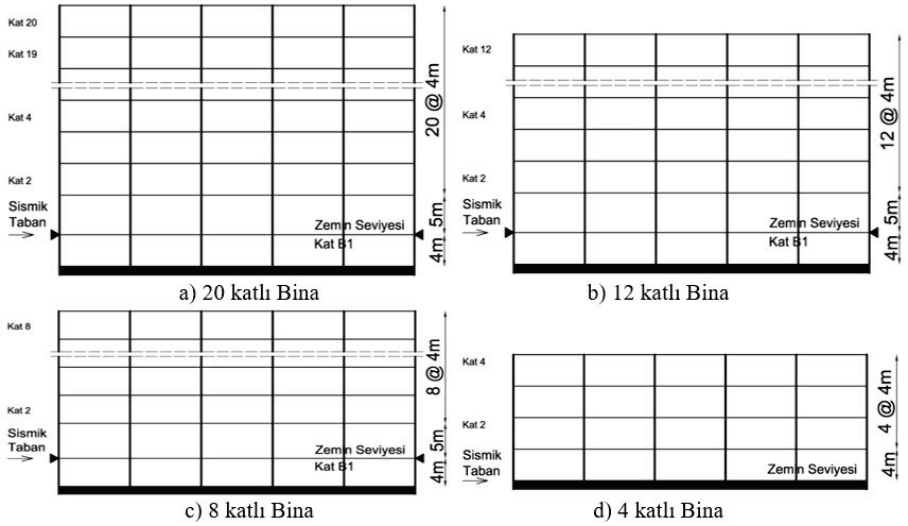
Durum	Plan Ölçüleri	Aks Mesafeleri
Durum A	45,00m x 45,00m	5@9,00m
Durum B	45,00m x 45,00m	6,00m - 12,00 m - 9,00 m- 12,00m - 6,00 m
Durum C	45,00m x 45,00m	6@7,50 m
Durum D	45,00m x 45,00m	8@5,625 m



Şekil 2. Dört farklı durum için tipik kat planları (Typical plan views for four cases)

Çerçevelerin, kısa periyot tasarım spektral ivmesi 0,50g'den ve 1 saniyedeki tasarım spektral ivmesi 0,20g'den büyük olan D sismik tasarım kategorisinde olduğu kabul edilmiş ve doğrusal olmayan analizler bu doğrultuda yapılmıştır. Ayrıca çerçevelerde eşdeğer deprem yükü yöntemine göre taban kesme kuvvetleri belirlenmiş ve davranış spektrumu analizlerinden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Davranış spektrumu analizinden elde edilen kesme kuvvetinin, eşdeğer deprem yükü yöntemine göre elde edilen kesme kuvvetinin %85'inden küçük olması durumunda spektrum analizinden elde edilen taban kesme kuvveti 0,85V/Vt ile ölçeklendirilmiştir. ASCE 7-10 [5] hükümleri uyarınca çerçevelerin analizleri sonucu bulunan doğal titreşim periyotları (T), yaklaşık yöntemle belirlenen doğal titreşim periyodu (Ta) ve üst limit kat sayısı (C_u) ile kıyaslanmıştır. Temel periyodun (T) C_uT_a yı aşması durumunda analizlerde C_uT_a kullanılmıştır. Yapısal sistemin stabilitesi arttırılmış deprem etkileri altında kontrol edilmiş ayrıca kolon kiriş birleşimlerinde, azaltılmış kiriş kesiti göz önüne alınarak kuvvetli kolon/zayıf kiriş kontrolleri de yapılmıştır. Doğal titreşim periyotları (T), yaklaşık yöntemle hesaplanan periyotları (T_a), eşdeğer deprem yöntemine göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri(V) ve davranış spektrumu ile elde edilmesi gereken kesme kuvveti(V_t) Tablo 4'te sunulmuştur.

Bina katlarının yatay düzlemde rijit diyafram hareketi yaptığı kabul edilmiştir. Çelik moment çerçevelerinin tasarımında taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R=8), taşıyıcı sistem dayanım fazlalığı (veya büyütme) katsayısı (Ω_o=3) ve yer değiştirme büyütme katsayısı (C_d=5) alınarak taban kesme kuvveti, elemanlara etkiyen kuvvetler ve kat ötelenmeleri belirlenmiştir. Binaların S_s=2,0g ve S_1=1,0g olan bir bölgede olduğu kabul edilmiştir. Tasarım spektrumu için S_{DS}=1,333g, S_{D1}= 0,666g ve uzun periyot bölgesine geçiş periyodu T_L=12,0s alınmıştır. Aşılma olasılığı 50 yılda %10 ve %2 olan iki grup yer hareketleri Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) kuvvetli yer hareketi

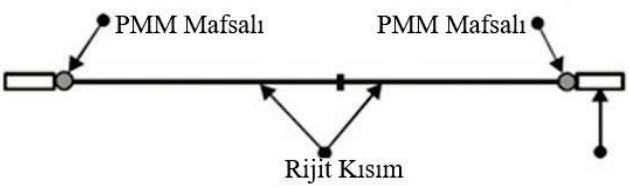


Şekil 3. Dört farklı kat yüksekliği için tipik kat kesitleri (Section view for four different elevation)

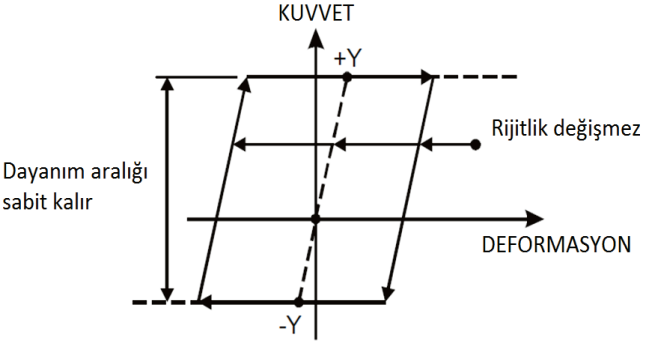
veri tabanından seçilmiştir. Çerçeveler ASCE 7-10 [5] hükümleri uyarınca %2 göreli kat ötelenmesi sınırı göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Azaltılmış kiriş kesiti (RBS) etkisi, etkin elastik kat ötelenmesi hesabında AISC 358-10 [15]'a göre göz önüne alınmıştır. Tasarlanan bütün çerçevelerin kolonlarının temele basit bağlantı ile mesnetlendiği kabul edilmiştir.

2.2. Analiz Sonuçları (Analyses Results)

4-, 8-, 12- ve 20- katlı moment çerçevelerde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılarak arttırılmış deprem etkileri incelenmiştir. Çerçeveler 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve %10 olan toplamda 14 adet olmak üzere iki grup yer hareketine maruz bırakılmıştır. Tablo 5'te bu yer hareketlerine ait detaylı bilgiler mevcuttur. Çerçeveler SAP2000 [16] programı ile modellenmiş ve doğrusal olmayan analizler PERFORM 3D [17] doğrusal olmayan analiz ve performans değerlendirme programı ile yapılmıştır. Çerçeveler, uçlarında potansiyel plastik mafsallar bulunan kolon ve kiriş elemanlarla modellenmiştir. Kolonlar modellenirken eksenel kuvvet – eğilme momenti etkileşimi göz önüne alınmıştır. Çerçevelerin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerine P- Δ etkisi de dâhil edilmiştir. Doğrusal olmayan analizler için PERFORM 3D [17]'de oluşturulan modellerde kolon elemanlar Şekil 4'te verilen kolon birleşimi modeli (column compound) ile oluşturulmuştur ve elastik-mükemmel plastik (EMP) histerezis döngü özellikleri elemanların davranışını tanımlamak için kullanılmıştır. Şekil 5'te EMP davranış için histerezis döngüsü verilmiştir.

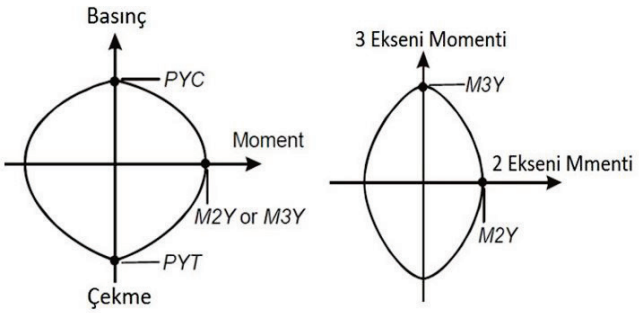


Şekil 4. PERFORM 3D kolon birleşim modeli
(Perform 3D column compound model)



Şekil 5. E-M-P Davranışı için çevrimsel hareket
(Cycling motion for E-M-P behavior)

Çelik kesit içi akma yüzeyi Şekil 6'da verilmiştir. Burada, PYC; akmadaki eksenel basınç yükü, PYT; akmadaki eksenel çekme yükü, M3Y; 3-3 Ekseni akma momenti, M2Y; 2-2 ekseni akma momentidir.



a) M0 için P-M Etkileşimi b) P=0 için M-M Etkileşimi

Şekil 6. M=0 ve P=0 için akma yüzeyi
(Yield surface for M=0 and P=0)

Kolonların P-M-M (eksenel kuvvet- moment 3 ekseni-moment 2 ekseni) akma yüzeyi aşağıdaki denklem (1) ile hesaplanır;

$$f_{PM} = \left(\frac{P}{P_{Y0}}\right)^{\alpha} + \left(\frac{M}{M_{Y0}}\right)^{\beta} \quad (1)$$

Tablo 2. 4 katlı ve 20 katlı Moment Çerçevelerine ait Kolon ve Kiriş Kesitleri
(Beam and column section for 4 and 20 story moment frames)

Kat		Kat Seviye	Kolon	Kiriş
4	A	4	HE 400B	HE 400A
		3	HE 600B	HE 400A
		2	HE 600B	HE 500B
		1	HE 650x407	HE 650M
	B	4	HE 400B	HE 400A
		3	HE 500B	HE 400A
		2	HE 650M	HE 450A
		1	HE 650M	HE 600M
	C	4	HE 360B	HE 300A
		3	HE 400B	HE 400A
		2	HE 550M	HE 400A
		1	HE 550M	HE 500M
	D	4	HE 400B	HE 400A
		3	HE 550B	HE 400A
		2	HE 650x343	HE 550B
		1	HE 650x343	HE 650M
20	A	20,19,18	HE 600M	HE 500M
		17	HE 600M	HE 600M
		16	HE 800M	HE 600M
		15,14,13	HE 800M	HE 700M
		12	HE 900x391	HE 700M
		11,10,9,8,7,6	HE 900x391	HE 800M
		5	HE 1000x584	HE 800M
		4,3,2,1,B1	HE 1000x584	HE 900M
	B	20,19,18	HE 500M	HE 400M
		17	HE 650M	HE 400M
		16,15	HE 650M	HE 550M
		14	HE 800x373	HE 550M
		13,12,11,10	HE 800x373	HE 650M
		9,8,7,6,5	HE 900x391	HE 650M
		4	HE 1000x494	HE 700M
		3,2,1,B1	HE 1000x494	HE 800M
	C	20,19,18	HE 550B	HE 400B
		17	HE 700M	HE 400B
		16,15,14,13,12	HE 700M	HE 600B
		11,10	HE 800M	HE 600B
		9,8,7,6,5	HE 800M	HE 650B
		4,3,2	HE 900M	HE 650B
		1,B1	HE 1000x438	HE 650B
	D	20,19	HE 550M	HE 500M
		18	HE 800M	HE 500M
		17,16,15	HE 800M	HE 600M
		14	HE 900x466	HE 600M
		13,12,11,10,9,8,	HE 900x466	HE 650M
		7	HE 900x466	HE 700M
		6,5,4,3,2,1,B1	HE 1000x584	HE 700M

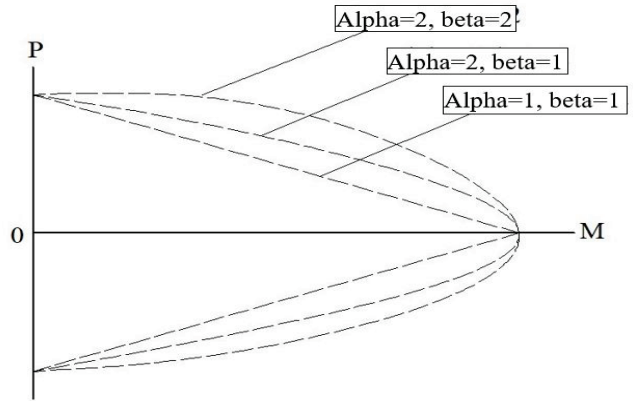
Tablo 3. 8 katlı ve 12 katlı Moment Çerçevelerine ait Kolon ve Kiriş Kesitleri
(Beam and column section for 8 and 12 story moment frames)

Kat	Durum	Kat Seviye	Kolon	Kiriş
8	A	8,7	HE 500B	HE 400B
		6,5	HE 600M	HE 500B
		4	HE 700M	HE 500B
		3,2	HE 700M	HE 600B
		1,B1	HE 700M	HE 650B
	B	8,7	HE 500B	HE 360A
		6	HE 500B	HE 500A
		5	HE 600B	HE 500A
		4,3,2	HE 650M	HE 600A
		1,B1	HE 700M	HE 650A
	C	8,7	HE 400B	HE 340A
		6,5	HE 450B	HE 400A
		4,3	HE 500B	HE 500A
		2,1,B1	HE 550M	HE 500A
	D	8,7	HE 500M	HE 450B
		6	HE 600M	HE 450B
		5,4	HE 600M	HE 550B
		3	HE 700x418	HE 550B
		2,1,B1	HE 700x418	HE 600M
12	A	12,11	HE 500B	HE 400B
		10	HE 600M	HE 500B
		9	HE 600M	HE 550M
		8	HE 700M	HE 550M
		7,6	HE 700M	HE 600M
		5,4,3,2,1,B1	HE 800x373	HE 600M
	B	12,11	HE 500B	HE 400B
		10	HE 500B	HE 500B
		9	HE 600M	HE 500B
		8,7,6,5	HE 600M	HE 600B
		4	HE 700x352	HE 600B
		3,2,1,B1	HE 700x352	HE 650M
	C	12,11	HE 400B	HE 360B
		10	HE 600B	HE 360B
		9,8,7,6,5	HE 600B	HE 550B
		4	HE 650M	HE 550B
		3,2,1,B1	HE 650M	HE 600B
	D	12,11	HE 500M	HE 400M
		10	HE 700M	HE 400M
		9,8,7,6	HE 700M	HE 600M
		5,4,3,2,1,B1	HE 800x444	HE 700M

Tablo 4. Moment Çerçeveler için Doğal titreşim periyotları ve Taban Kesme Kuvvetleri
(Natural periods and base shears for moment frames)

Kat	Durum	T (sn)	T_a (sn)	C_u	C_uT_a (sn)	T_{used} (sn)	Toplam Kütle (kN.sec^2/m)	V (kN)	V_t (kN)
4	A	1,363	0,665	1,4	0,931	0,931	2173	1906	1628
	B	1,297	0,665	1,4	0,931	0,931	2173	1906	1625
	C	1,256	0,665	1,4	0,931	0,931	2173	1906	1640
	D	1,293	0,665	1,4	0,931	0,931	2173	1906	1622
8	A	2,245	1,187	1,4	1,662	1,662	4478	2749	2343
	B	2,076	1,187	1,4	1,662	1,662	4478	2749	2442
	C	2,193	1,187	1,4	1,662	1,662	4478	2749	2438
	D	2,098	1,187	1,4	1,662	1,662	4478	2749	2468
12	A	2,616	1,628	1,4	2,279	2,279	6875	4214	3582
	B	2,589	1,628	1,4	2,279	2,279	6875	4214	3657
	C	2,459	1,628	1,4	2,279	2,279	6875	4214	3984
	D	2,562	1,628	1,4	2,279	2,279	6875	4214	3888
20	A	3,349	2,435	1,4	3,409	3,349	11420	7002	6030
	B	3,335	2,435	1,4	3,409	3,349	11420	7002	6083
	C	3,342	2,435	1,4	3,409	3,349	11420	7002	6238
	D	3,516	2,435	1,4	3,409	3,349	11420	7002	5965

Denklem 1'de; f_{PM}, akma fonksiyonu değeri = 1,0 akma için, P; eksenel kuvvet, M; eğilme momenti, P_{Y0}; M= 0 için akma kuvveti ve M_{Y0}; P = 0 için akma momentidir. α ve β üstel katsayıları kolon akma yüzeyi eğrisinin şeklini belirlemede etkilidir. Şekil 7'de α ve β üstel katsayılarının çeşitli değerleri için kolon akma yüzeyi eğrileri verilmiştir.



Şekil 7. α ve β üstel katsayılarının çeşitli değerleri için akma yüzeyi (Yeild surface for diffrent values of α ve β coefficients)

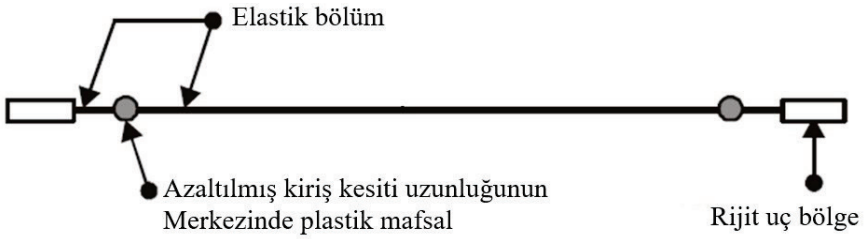
Kirişler kiriş birleşimi modeli (beam compound) ile azaltılmış kiriş kesiti dikkate alınarak oluşturulmuş olup Şekil 8'de verilmiştir. Modellemede Şekil 9'da verilen rijit plastik mafsal konsepti uygulanmıştır. Bu konseptte mafsal başlangıçta rijittir ve dönmeye akma momentinde başlamaktadır.

Tablo 5'te PEER veri tabanından seçilen depremlere ait karakteristik özellikler verilmiştir. Tabloda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler GM1'den GM7'ye, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremler GM8'den GM14'e isimlendirilmiştir. Seçilen depremlere ait davranış spektrumları Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir.

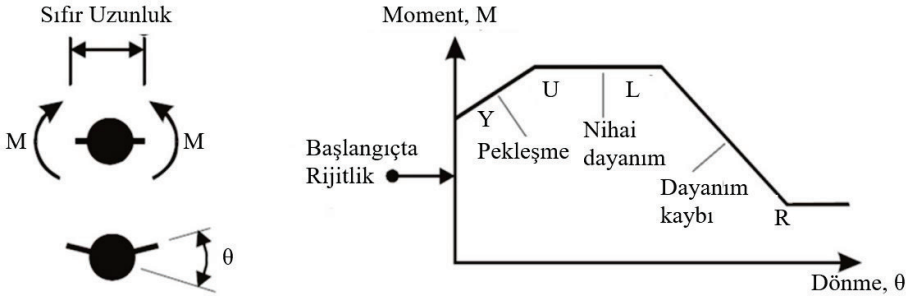
Tablo 5. PEER veri tabanından seçilen depremlere ait karakteristik özellikler
(characteristics of selected ground motions from PEER database)

İsim	NGA #	Kayıt	Ölçekleme Katsayısı	Süre (s)	PGA (cm/s^2)
GM1 (%10)	265	Victoria	1,4530	24,54	0,937
GM2 (%10)	289	Irpinia	2,095	35,22	0,264
GM3 (%10)	587	Landers	1,5605	49,38	0,375
GM4 (%10)	881	Kobe	1,8989	56,07	0,423
GM5 (%10)	1119	Park Field	0,6005	40,99	0,418
GM6 (%10)	4132	Düzce	2,0880	21,20	0,766
GM7 (%10)	8166	Victoria	1,7683	35,02	0,700
GM8 (%2)	265	Irpinia	2,1795	24,54	1,407
GM9 (%2)	289	Landers	3,143	35,22	0,397
GM10 (%2)	587	Kobe	2,3408	49,38	0,563
GM11 (%2)	881	Park Field	2,8483	56,07	0,635
GM12 (%2)	1119	Düzce	3,1325	40,99	0,628
GM13 (%2)	4132	Victoria	2,6524	21,20	1,150
GM14 (%2)	8166	Irpinia	0,9007	35,02	1,051

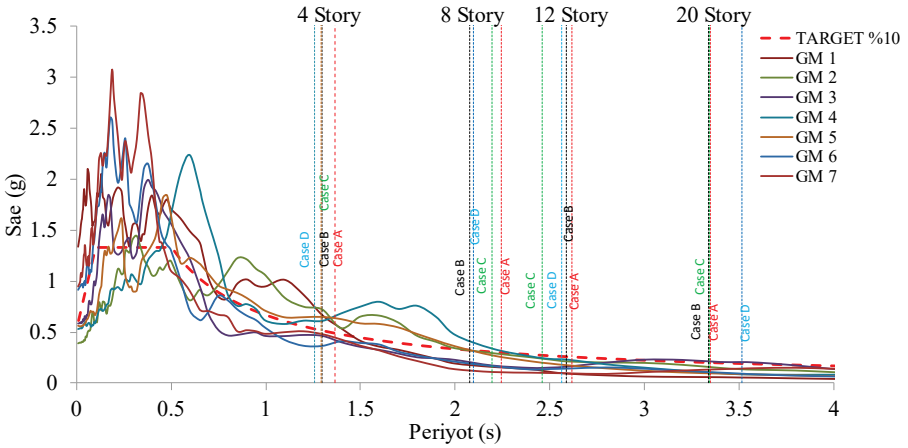
Elli yılda aşılma olasılığı %10 ve %02 olan depremler altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen kolon eksenel kuvvetlerinin, lineer analizle elde edilen kolon eksenel kuvvetlerine bölünmesi ile elde edilen en büyük eksenel basınç kuvveti büyütme katsayılarının kattaki ortalaması Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 13'te ayrıca her çerçevede oluşan en büyük eksenel basınç kuvveti büyütme katsayıları sunulmuştur. 4 katlı ve 8 katlı çerçevelerde en büyük eksenel kuvvet büyütme katsayıları sırasıyla 1,82'den 2,65'e ve 1,42'den 3,35'e değişirken, 12 katlı çerçevelerde bu değerler 1,39 ile 2,97 arasında kalmıştır.



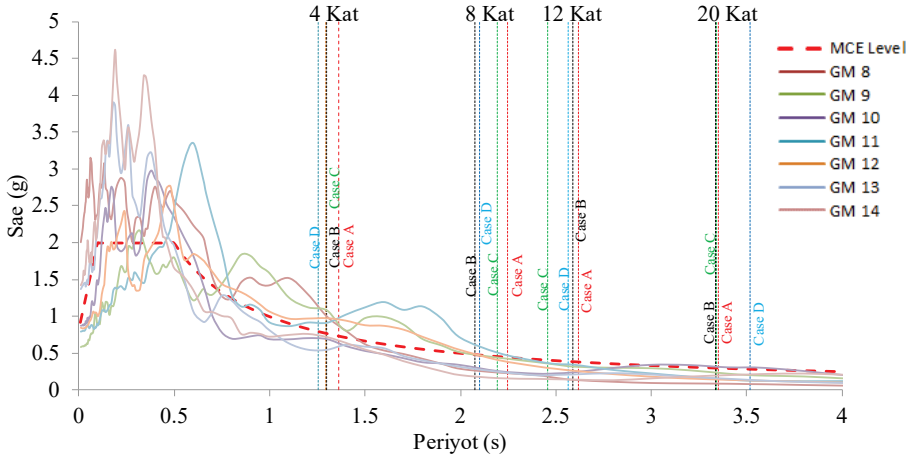
Şekil 8. Azaltılmış kiriş kesiti modeli (Reduced beam section model)



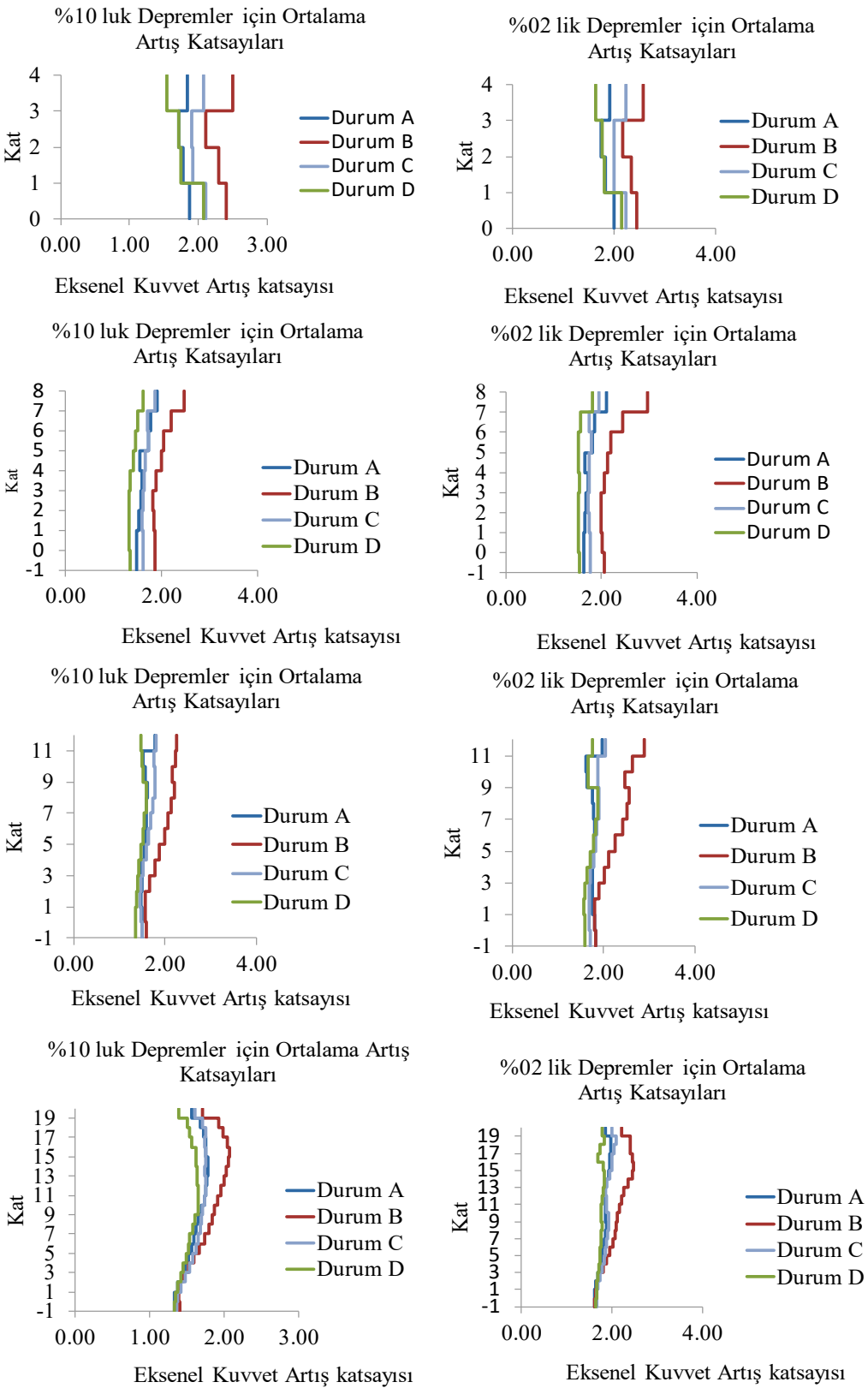
Şekil 9. Plastik mafsal (Plastic hinge)



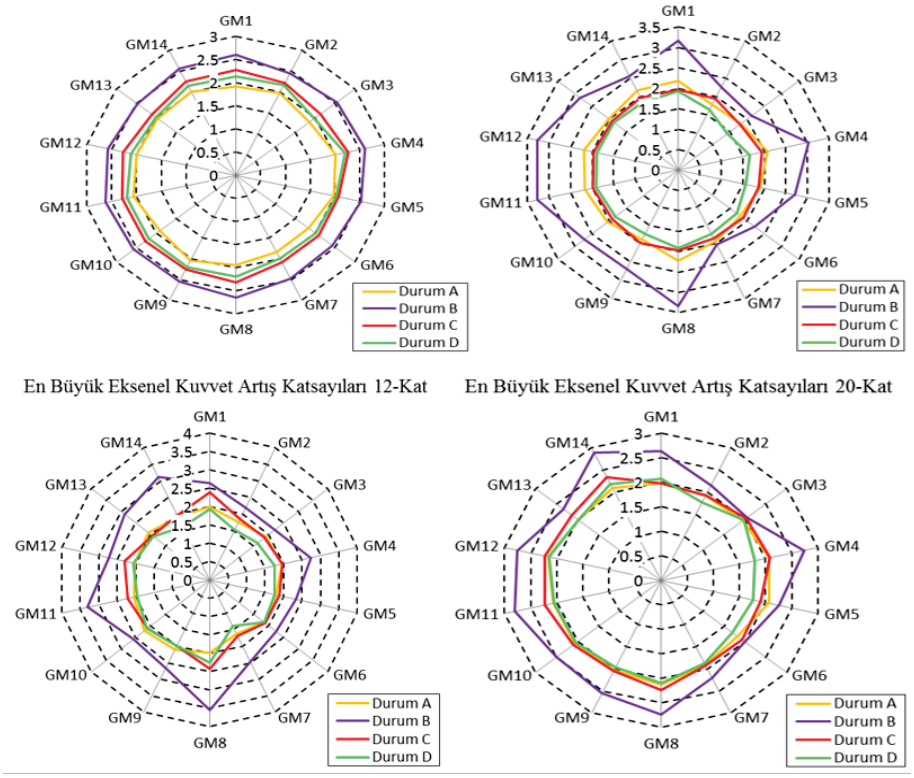
Şekil 10. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremlerin davranış spektrumları
(Response spectrum of ground motions for 10% probability of exceedance in 50 years)



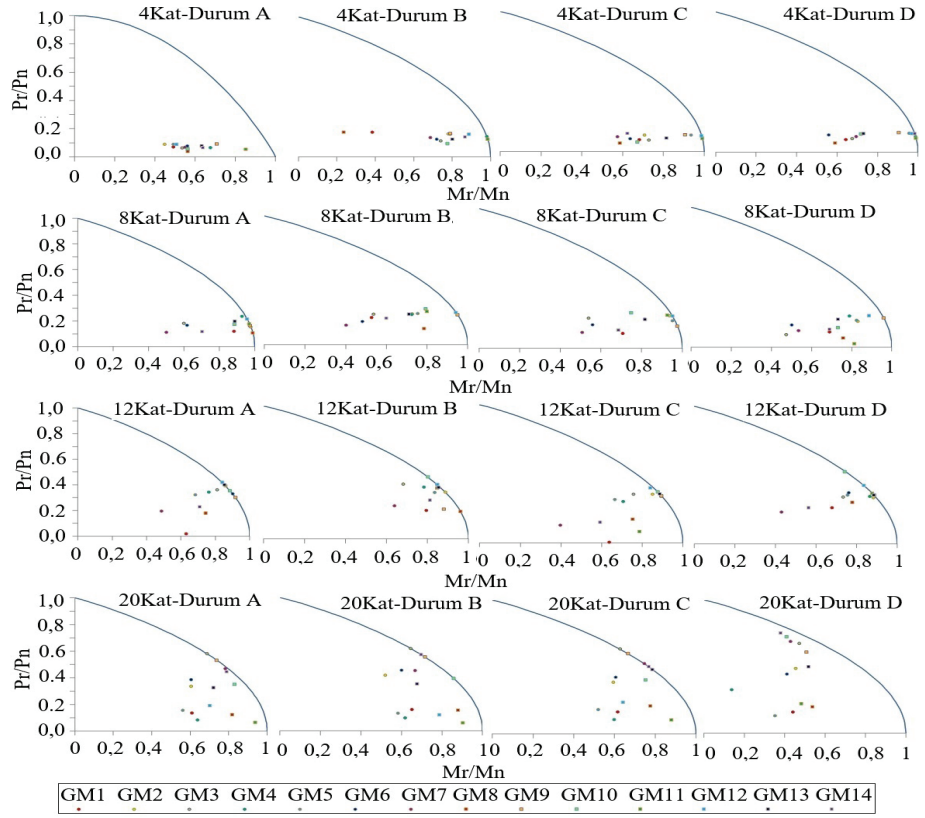
Şekil 11. 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremlerin davranış spektrumları
(Response spectrum of ground motions for 2% probability of exceedance in 50 years)



Şekil 12. 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler altında elde edilen en büyük ortalama eksenel basınç artış katsayıları (Average maximum axial load amplification factors for 10% and 2% probability of exceedance in 50 years)



Şekil 13. 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan depremler altında çerçevelerden elde edilen en büyük eksenel basınç artış katsayıları(Maximum axial load amplification factors for 10% and 2% probability of exceedance in 50 years)

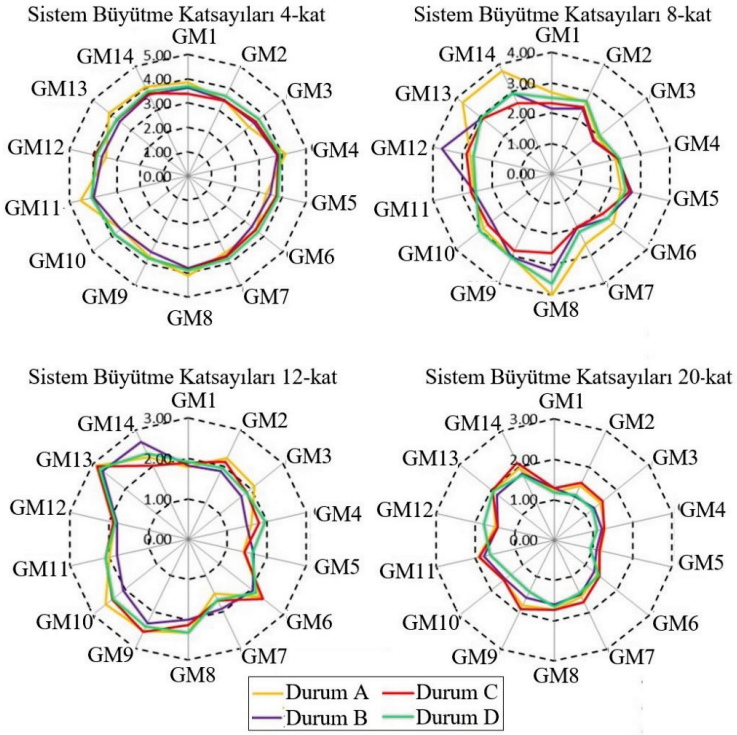


Şekil 14. Seçilen Depremler Altında Kolon Kapasite Kullanım Oranları (Capacity usage of columns under selected ground motions)

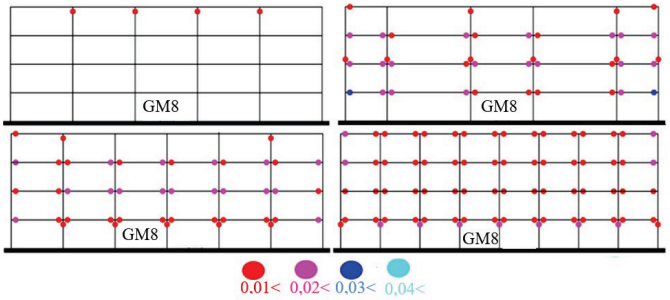
20 katlı çerçevelerde ise en büyük eksenel basınç kuvveti büyütme katsayıları 1,70 ile 2,89 arası değişmiştir. 4 katlı, 8 katlı, 12 katlı ve 20 katlı çerçeveler göz önüne alındığında dört farklı kat seviyesi için en büyük büyütme katsayıları Durum B'de elde edilirken, en düşük büyütme katsayıları Durum D'de elde edilmiştir. Eksenel basınç kuvveti katsayılarındaki artış 4 katlı, 8 katlı ve 12 katlı çerçevelerde üst katlarda olurken, 20 katlı çerçevelerde 15. ve 16. katlarda olmuştur. Deprem yüklemeleri altında en çok zorlanan elemanlar alt kat kenar kolonlardır. Lineer analizler sonucu tasarlanan bu elemanların deprem yüklemesi altındaki gerçek davranışlarının belirlenmesi yapı tasarım açısından çok önemlidir.

Tüm çerçevelerde zemin kat kenar kolonları seçilen depremler altındaki kolon kapasite kullanımları Şekil 14'te verilmiştir. Grafikte düşey eksen, kolonda oluşan en büyük eksenel basınç kuvvetinin nominal basınç kapasitesine oranını, yatay eksen ise kolonda oluşan en büyük momentin nominal moment kapasitesine oranını ifade etmektedir. 4 katlı çerçevelerde eksenel yük seviyeleri %4 ile %17 arasında değişirken, 8 katlı çerçevelerde bu değerler %2 ile %28 arasında değişmektedir. 12 katlı, ve 20 katlı çerçevelerde sırasıyla eksenel yük seviyeleri %0,08 ile %52 ve %6 ile %75 arasında değişmektedir. 4 katlı ve 8 katlı çerçeveler için en büyük eksenel kuvvet seviyesi Durum-B'de gözlemlenirken, 12 katlı ve 20 katlı çerçevelerde en büyük eksenel kuvvet seviyesi Durum-D'de elde edilmiştir. 4 katlı, 8 katlı, 12 katlı ve 20 katlı çerçeveler için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucu elde edilen taban kesme kuvvetlerinin, tasarım taban kesme kuvvetine bölünmesi ile elde edilen sistem büyütme katsayıları Ω_0, Şekil 15'te ve Tablo 6 ve Tablo 7'de verilmektedir.

4 katlı çerçevelerde sistem büyütme katsayıları 3,22 ile 4,53 arasında değişirken, 8 katlı çerçevelerde 1,75 ile 4,00 arasında değişmektedir. 12 katlı ve 20 katlı çerçevelerde ise büyütme katsayıları sırasıyla 1,40-2,91 ve 0,92-2,12 arasında değişmektedir.



Şekil 15. Seçilen Depremler Altında Sistem Büyütme Katsayıları (System overstrength factors under selected ground motions)



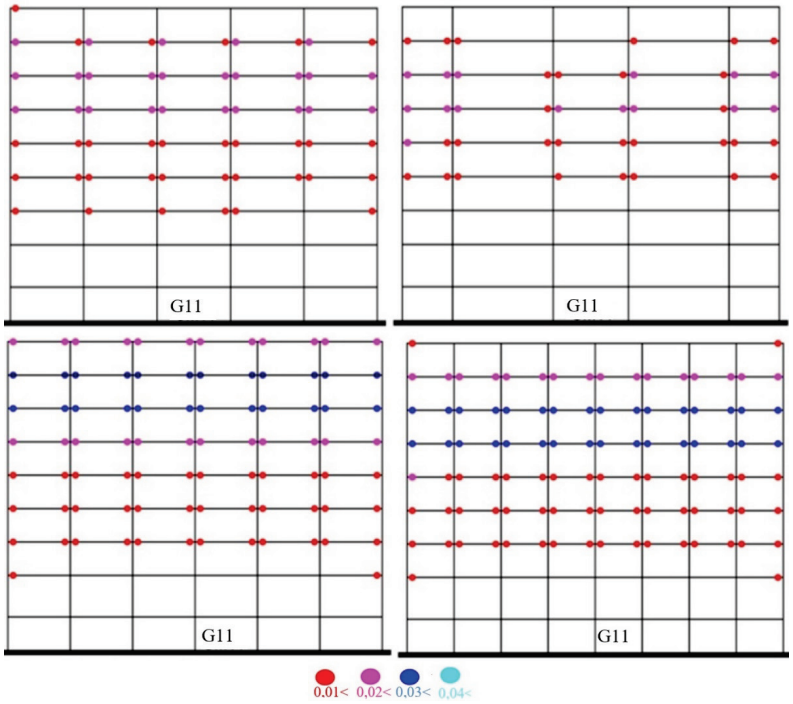
Şekil 16. 4- katlı çerçevelerde oluşan en büyük plastik mafsal dönmeleri (Plastic hinge rotation for 4-Storey frame)

Tablo 6. 4 ve 8 katlı Çerçevelerde Sistem Büyütme Katsayıları (system overstrenght for 4 and 8 storey frames)

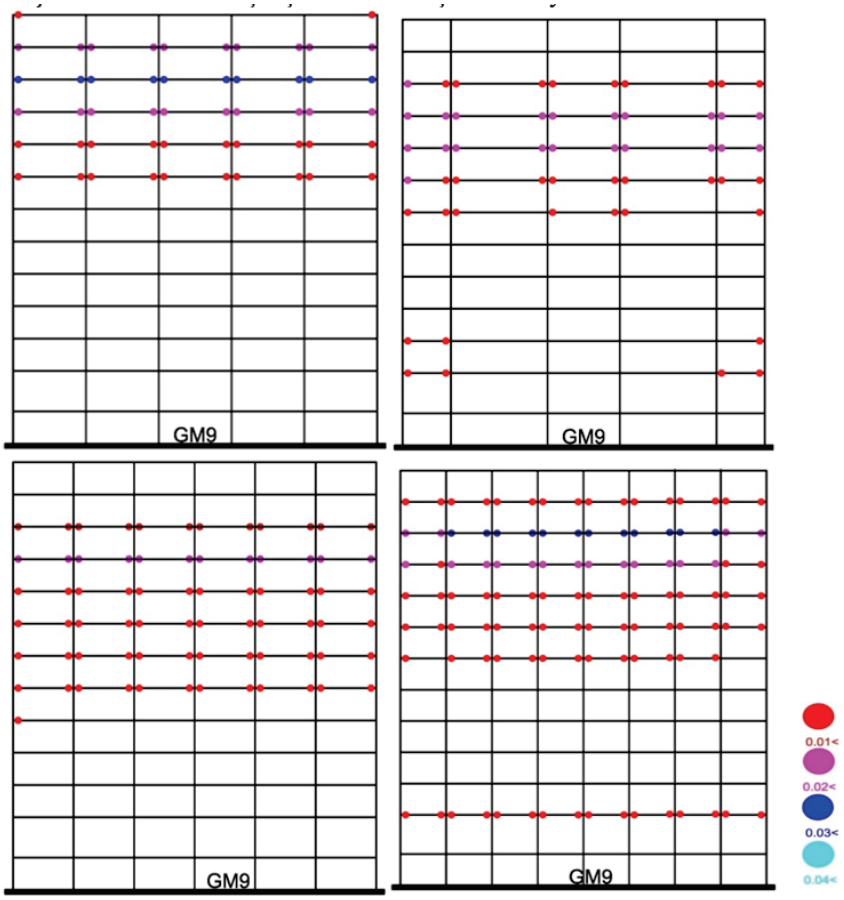
	4 Kat				8 Kat			
	Durum A	Durum B	Durum C	Durum D	Durum A	Durum B	Durum C	Durum D
GM1	3,86	3,63	3,39	3,70	2,68	2,14	2,31	2,50
GM2	3,48	3,46	3,44	3,63	2,62	2,37	2,44	2,66
GM3	3,22	3,48	3,59	3,75	1,95	1,75	1,78	2,01
GM4	4,12	3,78	3,86	3,91	2,16	2,23	2,25	2,30
GM5	3,32	3,49	3,73	3,80	2,34	2,72	2,65	2,50
GM6	3,59	3,38	3,56	3,72	2,59	2,35	2,14	2,37
GM7	3,53	3,65	3,70	3,80	2,57	1,97	1,95	2,11
AVG	3,59	3,56	3,61	3,76	2,41	2,22	2,22	2,35
MAX	4,12	3,78	3,86	3,91	2,68	2,72	2,65	2,66
MİN	3,22	3,38	3,39	3,63	1,95	1,75	1,78	2,01
GM8	4,13	3,80	3,85	3,90	4,00	3,21	2,60	3,62
GM9	3,69	3,50	3,76	3,77	3,03	3,04	2,81	3,08
GM10	3,52	3,52	3,85	3,88	2,87	2,51	2,67	3,02
GM11	4,53	3,97	4,03	4,07	2,60	2,61	2,72	2,55
GM12	3,44	3,63	3,90	3,86	2,74	3,70	2,88	2,63
GM13	4,15	3,59	3,72	3,74	3,75	2,95	2,90	2,95
GM14	4,05	3,71	3,78	3,85	3,76	2,94	2,59	2,95
AVG	3,93	3,67	3,84	3,87	3,25	2,99	2,74	2,97
MAX	4,53	3,97	4,03	4,07	4,00	3,70	2,90	3,62
MİN	3,44	3,50	3,72	3,74	2,60	2,51	2,59	2,55
TDY-2007	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
ASCE 7-10	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00

Tablo 7. 12 ve 20 katlı Çerçevelerde Sistem Büyütme Katsayıları (system overstrenght for 12and 20 storey frames)

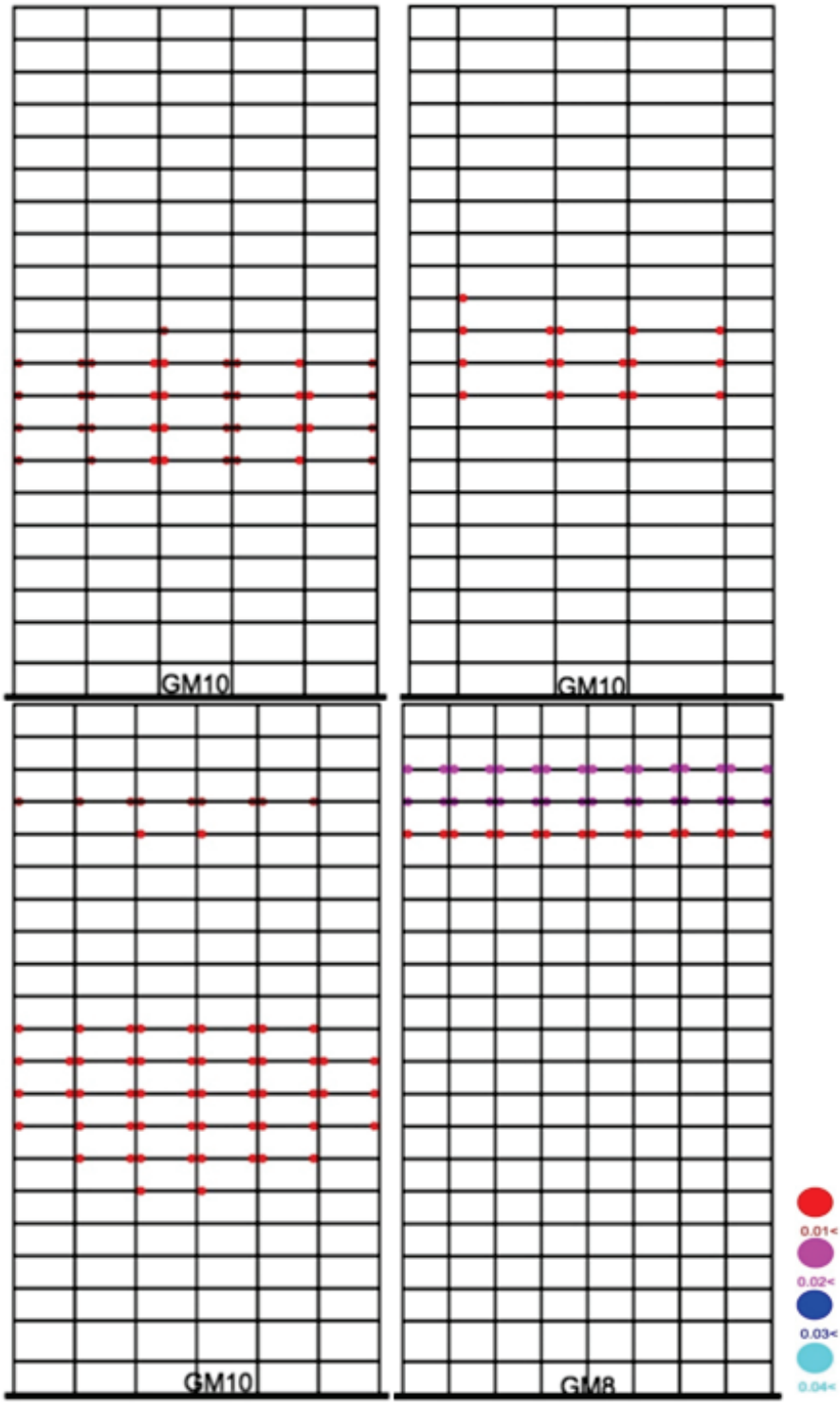
	12 Kat				20 Kat			
	Durum A	Durum B	Durum C	Durum D	Durum A	Durum B	Durum C	Durum D
GM1	1,78	1,83	1,89	1,91	1,19	1,29	1,29	1,16
GM2	2,22	1,87	2,12	1,96	1,49	1,19	1,57	1,25
GM3	2,09	1,69	1,86	1,84	1,47	1,27	1,54	1,22
GM4	1,60	1,48	1,79	1,96	1,30	1,22	1,28	1,10
GM5	1,40	1,66	1,44	1,63	1,17	1,09	1,15	0,92
GM6	2,30	2,05	2,38	2,15	1,38	1,27	1,44	1,41
GM7	1,51	1,91	1,69	1,66	1,57	1,50	1,70	1,47
AVG	1,84	1,78	1,88	1,87	1,37	1,26	1,43	1,22
MAX	2,30	2,05	2,38	2,15	1,57	1,50	1,70	1,47
MİN	1,40	1,48	1,44	1,63	1,17	1,09	1,15	0,92
GM8	2,32	2,00	2,14	2,32	1,73	1,60	1,73	1,66
GM9	2,53	2,31	2,55	2,41	1,80	1,59	1,91	1,42
GM10	2,60	2,05	2,40	2,38	1,59	1,55	1,59	1,37
GM11	2,00	1,81	2,08	2,09	1,91	1,77	1,89	1,63
GM12	1,86	1,80	1,89	1,84	1,48	1,43	1,43	1,78
GM13	2,91	2,71	2,88	2,79	1,93	1,80	1,96	1,93
GM14	2,25	2,67	2,01	2,35	1,98	1,83	2,12	1,79
AVG	2,35	2,19	2,28	2,31	1,77	1,65	1,80	1,66
MAX	2,91	2,71	2,88	2,79	1,98	1,83	2,12	1,93
MİN	1,86	1,80	1,89	1,84	1,48	1,43	1,43	1,37
TDY-2007	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
ASCE 7-10	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00



Şekil 17. 8- katlı çerçevelerde oluşan en büyük plastik mafsal dönmeleri (Plastic hinge rotation for 8-Storey frame)



Şekil 18. 12- katlı çerçevelerde oluşan en büyük plastik mafsal dönmeleri (Plastic hinge rotation for 12-Storey frame)



Şekil 19. 20 katlı çerçevelerde oluşan en büyük plastik mafsal dönmeleri (Plastic hinge rotation for 20-Storey frame)

Seçilen kuvvetli deprem yer hareketleri arasından her kat seviyesinde en büyük plastik dönmeyi meydana getiren depremler dört durum için Şekil 16'dan 19'a verilmiştir. 4 katlı çerçevelerde dört durum için de en büyük plastik dönmelerin GM8 depremi altında olduğu gözlemlenmiş ve Durum B'de dönme değeri %3'ün üzerine çıkmıştır. 8 katlı çerçevelerde Durum-C'de en büyük plastik mafsal dönmesi elde edilirken, dört durum içinde en büyük dönmeler GM11 depreminde elde edilmiştir. 12 katlı ve 20 katlı çerçevelerde en büyük plastik mafsal dönmeleri Durum D'de meydana gelirken, plastik mafsal dönmeleri 12 katlı ve 20 katlı çerçeveler için sırasıyla GM9 ve GM10 depremleri altında oluşmuşlardır. Her bir deprem altında tüm durumlar ve kat yüksekliklerinde plastik mafsal dönmeleri %4'ü aşmamıştır.

3. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

17 Ocak 1994, Northridge, ABD ve bir yıl sonra 17 Ocak 1995, Kobe, Japonya depremleri sırasında OÇMÇ'de beklenilmeyen sismik tepkiler ve yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Bu durumun sonucunda mühendisler, çelik yapı tasarımında önemli değişikliklere gitmek zorunda kalmışlardır. Yönetmeliklerdeki değişikliklerin en önemlilerinden bir tanesi arttırılmış deprem etkilerinin çelik yapı tasarımında göz önüne alınmasıdır. Bu çalışmanın amacı kuvvetli deprem yer hareketi altında alçak, orta ve yüksek katlı yapılarda sistem büyütme katsayılarını ve kolonlardaki eksenel basınç kuvveti artışlarını araştırmaktır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir. Eksenel basınç kuvvetinde oluşan en büyük artışlar eşit olmayan aks düzenine sahip çerçevelerde görülmüştür. Ayrıca, 4 katlı, 8 katlı ve 12 katlı çerçevelerde en yüksek eksenel basınç kuvveti artışı üst katlarda görülmüştür. 4 katlı, 8 katlı, 12 katlı ve 20 katlı çerçevelerde Durum A ve Durum B eksenel basınç yükü artış katsayıları açısından benzer sonuçlar verirken, Durum D en düşük sonuçları vermiştir. Tüm durumlar ve çerçevelerde plastik mafsal dağılımları homojen olmuştur, plastik mafsal dönmeleri %4 mertebesini aşmamıştır. 8 katlı ve 12 katlı çerçevelerde en yüksek plastik mafsal dönmeleri üst katlarda oluşmuştur.

Çerçeve yüksekliği arttıkça zemin kat köşe kolonunun eksenel yük seviyesi de artmıştır ve 20- katlı çerçeve için kolon eksenel yük seviyesi %75'i bulmuştur. Tüm durumlarda, çerçeve kat sayısı arttıkça sistem büyütme katsayısı (Ω_0) azalmıştır. Tasarım depremi seviyesinde çerçeveler için hesaplanan sistem büyütme katsayıları 8 katlı, 12 katlı ve 20 katlı yapılarda yönetmeliklerde moment çerçeveleri için verilen değeri aşmazken, 4 katlı yapılarda yönetmeliklerde verilen değerler aşılmıştır. 12 katlı ve 20 katlı yapılarda hesaplanan sistem büyütme katsayıları (Ω_0) şiddetli deprem seviyesi için yönetmeliklerde moment çerçeveleri için verilen değeri aşmazken, 8 katlı ve 12 katlı yapılarda bu değerler aşılmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmayı (Proje # 114R044) destekleyen Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TUBITAK) katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmada bahsi geçen görüşler sadece yazarlara aittir ve başka hiçbir organizasyon ve kişiyi temsil etmemektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Bruneau M., Ductile Design of Steel Structures, McGraw-Hill Companies, Inc. ISBN 978-0-07-162395-7, 347, (2011)
2. Astaneh-Asl A., Modjtahedi D., McMullin K., Shen J., D'Amore E., Stability of damaged steel moment frames in Los Angeles, Engineering Structures, 20 (4-6), 433-446, 1998.
3. AISC 341-10, Seismic Provisions for Steel Structural Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2010.
4. Shen J., Sabol T.A., Akbas B., Sutchiewcharn N., Seismic demand on column splices in steel moment frames, Engineering Journal, AISC, 47, 4th quarter 223-240, 2010.
5. ASCE 7, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-10, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2010.
6. Freeman S.A., On the Correlation of Code Forces to Earthquake Demands, Proc., 4th U.S.-Japan Workshop On Improvement of Build. Struct, 1992.
7. Balendra T., Huang X., Overstrength and Ductility Factors for Steel Frames Designed According to BS 5950, Journal of Structural Engineering, ASCE, 129 (8), 2003.
8. Osteraas J.D., Krawinkler, H., Strength and Ductility Considerations in Seismic Design, Rep.No. 90, Earthquake Engineering. Center, Stanford University, California, 1990.
9. Uang C.-M., Establishing R (or Rw) and Cd Factors for Building Seismic Provisions, Journal of Structural Engineering, ASCE, 117 (1), 1991.
10. Rahgozar M.A., Humar, J.L., Accounting for Overstrength in Seismic Design of Steel Structures, Canadian Journal of Civil Engineering, 25 (1–5), 1998.
11. Dickof C., Stiemer S.F., Bezabeh M.A., Tesfamariam S., CLT-steel hybrid system: Ductility and overstrength values based on static pushover analysis, ASCE Journal of Performance of Constructed Facilities, in press. doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000614, 2014.
12. Elkady R., Lignos D.G., Effect of Gravity Framing on the Overstrength and Collapse Capacity of Steel Frame Buildings with Perimeter Special Moment Frames, Earthquake Engng Struct. Dyn., 44 (8), 1289-1307, 2015.
13. Shen R.J., Akbas B., Seker O., Doran B., Wen R., Uckan E., Seismic Axial Loads in Steel Moment Resisting Frames, International Journal of Steel Structures, 15 (2), 375-387, 2015.
14. AISC 360-10, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2010.
15. AISC 358-10, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, 2010.
16. SAP2000, Structural Analysis Program, Version 14.2.2, 1995.
17. PERFORM-3D, Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Version 5.0.0, 2011.