

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YUMUŞAK KATLI BETONARME BİNALARIN SİSMİK
KIRILGANLIKLARININ İNCELENMESİ**

Şeyhmus TEKTAŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Burak YÖN

TUNCELİ – 2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YUMUŞAK KATLI BETONARME BİNALARIN SİSMİK
KIRILGANLIKLARININ İNCELENMESİ**

Şeyhmus TEKTAŞ
(220150018)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Prof. Dr. Burak YÖN

TUNCELİ – 2024

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YUMUŞAK KATLI BETONARME BİNALARIN SİSMİK
KIRILGANLIKLARININ İNCELENMESİ

Şeyhmus TEKTAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 22/05/2024 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet KARATAŞ
(Munzur Üniversitesi)

BAŞKAN

Prof. Dr. Burak YÖN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

Prof. Dr. Erkut SAYIN
(Fırat Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Altuğ KAZAR
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu” ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Şeyhmus TEKTAŞ

Danışman
Prof. Dr. Burak YÖN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca değerli bilgi ve birikimleriyle çalışmalarına yön veren ve her türlü desteği sağlayan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Burak YÖN'e ve her zaman desteğini benden esirgemeyen eşim Nurgül TEKTAŞ'a teşekkür ederim.

Şeyhmus TEKTAŞ
TUNCELİ-2024



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	VII
RESİMLER LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTIMLAR LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Önceki Çalışmalar	3
1.1.1. Sismik kırılgnalık ile ilgili yapılan çalışmalar	3
1.1.2. Artımsal dinamik analiz ile ilgili yapılan çalışmalar	5
1.1.3. Statik itme analizi ile ilgili yapılan çalışmalar	7
2. MATERYAL VE METOT	9
2.1. Materyal.....	9
2.1.1. Bina performans düzeyleri	16
2.1.2. Betonarme bina elemanları için izin verilen şekil değıştirme sınırları	18
2.1.3. Görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması	19
2.2. Metod	21
2.2.1. Toplanmış plastik mafsall	21
2.2.2. Statik itme analizi	22
2.2.3. Artımsal dinamik analiz	23
2.2.4. Sismik kırılgnalık eğrileri	23
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
3.1. Kapasite Eğrileri.....	25
3.2. En Büyük Tepkiler	26
3.3. Görelî Kat Ötelemeleri	28
3.4. Kırılgnalık Eğrileri	52
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
5. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin aktif sismik tektonik haritası	1
Şekil 2.1. Seçilen binaya ait normal kat planı	10
Şekil 2.2. Düzenli modele ait görünüş	11
Şekil 2.3. Yumuşak katlı modele ait görünüş.....	11
Şekil 2.4. Menegotto-pinto çelik modeli	11
Şekil 2.5. Mander beton modeli	12
Şekil 2.6. Elastik olmayan dolgu duvar elemanı modeli	12
Şekil 2.7. Bina performans düzeyleri	17
Şekil 2.8. Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin kiriş mesnedinde oluşumu	21
Şekil 2.9. Statik itme (Pushover) eğrisi	23
Şekil 3.1. x yönünde kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.2. y yönünde kapasite eğrilerinin karşılaştırılması.....	26
Şekil 3.3. x yönü için oluşan en büyük tepkiler.	27
Şekil 3.4. y yönü için oluşan en büyük tepkiler	27
Şekil 3.5. Düzenli binanın x yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları	29
Şekil 3.6. Düzenli binanın x yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	29
Şekil 3.7. Düzenli binanın x yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	30
Şekil 3.8. Düzenli binanın x yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları	30
Şekil 3.9. Düzenli binanın x yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	31
Şekil 3.10. Düzenli binanın x yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	31
Şekil 3.11. Düzenli binanın x yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	32
Şekil 3.12. Düzenli binanın x yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	32
Şekil 3.13. Düzenli binanın x yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	33
Şekil 3.14. Düzenli binanın x yönü için 1.0g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	33
Şekil 3.15. Düzenli binanın y yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	35
Şekil 3.16. Düzenli binanın y yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	35
Şekil 3.17. Düzenli binanın y yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	36
Şekil 3.18. Düzenli binanın y yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	36
Şekil 3.19. Düzenli binanın y yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	37
Şekil 3.20. Düzenli binanın y yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları.....	37

Şekil 3.21. Düzenli binanın y yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	38
Şekil 3.22. Düzenli binanın y yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	38
Şekil 3.23. Düzenli binanın y yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	39
Şekil 3.24. Düzenli binanın y yönü için 1.0g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	39
Şekil 3.25. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	41
Şekil 3.26. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	41
Şekil 3.27. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	42
Şekil 3.28. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	42
Şekil 3.29. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	43
Şekil 3.30. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	43
Şekil 3.31. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	44
Şekil 3.32. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	44
Şekil 3.33. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	45
Şekil 3.34. Yumuşak katlı binanın x yönü için 1.0g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	45
Şekil 3.35. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	47
Şekil 3.36. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	47
Şekil 3.37. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	48
Şekil 3.38. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	48
Şekil 3.39. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	49
Şekil 3.40. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	49
Şekil 3.41. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	50
Şekil 3.42. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	50
Şekil 3.43. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	51
Şekil 3.44. Yumuşak katlı binanın y yönü için 1.0g ivmeye sahip depremler altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları.....	51

Şekil 3.45. x yönünde düzenli yapı için oluşan kırılganlık eğrilerinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 3.46. y yönünde düzenli yapı için oluşan kırılganlık eğrilerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 3.47. x yönünde yumuşak katlı yapı için oluşan kırılganlık eğrilerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 3.48. y yönünde yumuşak katlı yapı için oluşan kırılganlık eğrilerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 3.49. x yönünde düzenli ve yumuşak katlı yapılar için oluşan kırılganlık eğrilerinin karşılaştırılması	55
Şekil 3.50. y yönünde düzenli ve yumuşak katlı yapılar için oluşan kırılganlık eğrilerinin karşılaştırılması	56



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Elemanlara ait boyutlar ve donatı düzeni	13
Tablo 2.2. Sayısal analizlerde kullanılan deprem kayıtları	16
Tablo 2.3. HAZUS'ta verilen göreceli kat ötelemeleri sınırları	20
Tablo 2.4. Modellere ait kolon ve kirişlerin hasar sınır değerleri.....	22



RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1.	6 Şubat 2023 depremlerinde Adıyaman merkezde yumuşak kat mekanizmasından dolayı göçen betonarme binalar.....	2
-------------------	--	---



SEMBOLLER LİSTESİ

ϕ	: Donatı Çapı
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırını
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırını
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırını
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırını
$\epsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırını
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirmesi sınırını
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\Delta_i^{(x)}$	: i numaralı katın X doğrultusundaki görelî ötelemesi
$u_i^{(x)}$	: i numaralı katın X doğrultusundaki ötelenmesi
$u_{i-1}^{(x)}$	: (i-1) numaralı katın X doğrultusundaki ötelenmesi
$\delta_i^{(x)}$	: i numaralı katın X doğrultusundaki etkin görelî ötelemesi
R	: Yapısal davranış kat sayısı
I	: Bina önem kat sayısı
$\delta_{i,max}^{(x)}$	: Etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri
λ	: Binanın göz önüne alınan deprem yönündeki hâkim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranı
h_i	: i numaralı katın yüksekliği
L_p	: Plastik mafsallık boyu
h	: Çalışan yöndeki kesit boyutu
ϕ	: Standart normal kümülatif dağılım fonksiyonu
θ	: Kırılma fonksiyonunun medyanı
β	: Kırılma fonksiyonunun standart sapması

KISALTMALAR LİSTESİ

DD	: Deprem Düzeyi
FEMA	: Federal Emergency Manegement Agency
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
KH	: Kontrollü Hasar
KK	: Kesintisiz kullanım
PGA	: Peak Ground Acceleration
SH	: Sınırlı Hasar
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



ÖZET

Türkiye’de son yıllarda yaşanan yıkıcı depremler depreme dayanıklı yapı tasarımının önemini ortaya koymaktadır. Bundan dolayı mevcut bir binanın gelecekte karşılaşılabileceği depremi istenen performans seviyesinde karşılayabilmesi önemli bir konudur. Türkiye’nin mevcut betonarme yapı stoku dikkate alındığında özellikle yumuşak kat düzensizliği bulunan yapıların depremlerde ağır hasar gördüğü belirlenmiştir. Bu nedenle betonarme binalardaki düzensizlikleri dikkate almak büyük önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasıyla, yumuşak kat düzensizliğine sahip betonarme binaların olası depremlerde hasar görme olasılıklarının kırılma eğrileriyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda SeismoStruct yapısal analiz programı kullanılarak kat planı mevcutta bulunan zemin katı 4.5 m ve normal katları 3 m olan 4 katlı tipik bir betonarme bina düzenli ve yumuşak katlı olarak modellenmiştir. Modellenen binaların doğrusal olmayan artımsal dinamik ve statik itme analizleri yapılmıştır. Artımsal dinamik analizler için 11 adet deprem kaydı kullanılmıştır. Doğrusal olmayan davranışı modellemek için yapısal elemanların uçlarında toplanmış plastik mafsallık kabulü yapılmıştır.

Artımsal dinamik analizler sonucunda düzenli ve yumuşak katlı binalar için en büyük tepkiler, göreceli kat ötelemeleri ve kırılma eğrileri elde edilmiştir. Statik itme analizleri sonucunda düzenli ve yumuşak katlı binaların kapasite eğrileri oluşturulmuştur.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yumuşak katlı binanın göreceli kat ötelemelerinin düzenli binaya kıyasla aşırı derecede arttığı, taban kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin azaldığı ve hasar görme olasılıklarının arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik kırılma, artımsal dinamik analiz, statik itme analizi, doğrusal olmayan analiz, yumuşak kat

ABSTRACT

Investigation of Seismic Vulnerability of Soft Storey Reinforced Concrete Buildings

The devastating earthquakes experienced in Turkey in recent years reveal the importance of earthquake-resistant building design. Therefore, it is an important issue that an existing building can withstand future earthquakes at the desired performance level. Considering Turkey's existing reinforced concrete building stock, it has been determined that especially buildings with soft story irregularities are severely damaged in earthquakes. Therefore, it is of great importance to take into account irregularities in reinforced concrete buildings.

This thesis study aims to evaluate the possibility of damage to reinforced concrete buildings with soft storey irregularities in possible earthquakes using fragility curves. In this context, using the SeismoStruct structural analysis program, a typical 4-storey reinforced concrete building with an existing floor plan of 4.5 m and normal floors of 3 m was modelled as regular and soft storey. Nonlinear incremental dynamic and static pushover analyses of the modelled buildings were performed. 11 earthquake records were used for incremental dynamic analyses. To model the nonlinear behaviour, plastic hinges gathered at the ends of the structural elements were assumed.

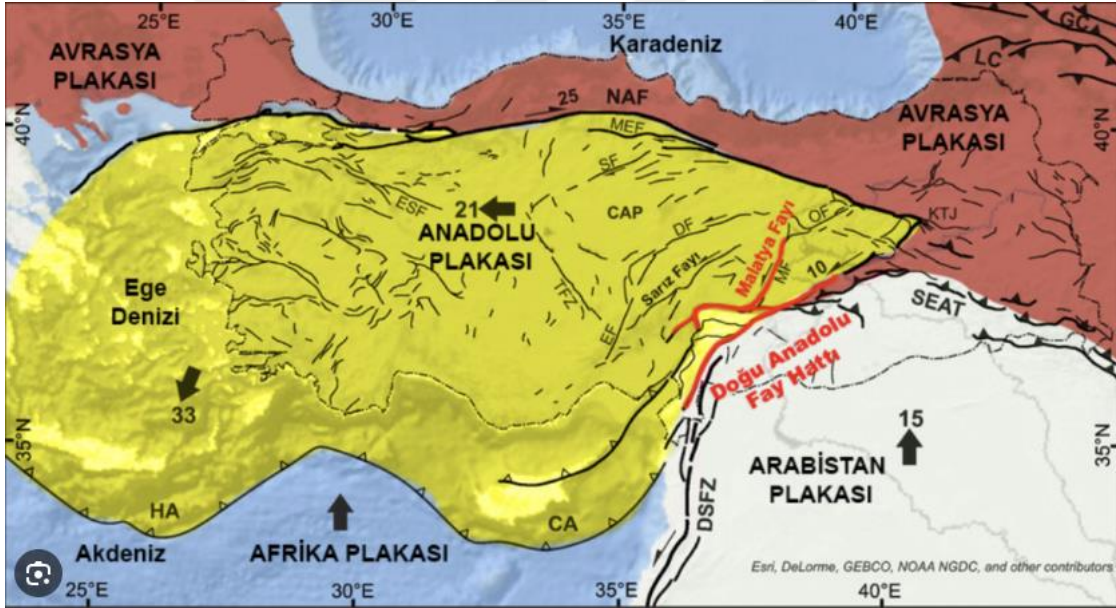
As a result of incremental dynamic analyses, the maximum responses, interstorey drifts and fragility curves were obtained for regular and soft storey buildings. As a result of static pushover analyses, capacity curves of regular and soft-storey buildings were created.

In line with the results obtained, it has been determined that the interstorey drifts of the soft storey building increase excessively compared to the regular building, their base shear force carrying capacity decreases and the possibility of damage increases.

Keywords: Seismic Vulnerability, incremental dynamic analysis, static pushover analysis, nonlinear analysis, soft story

1. GİRİŞ

Türkiye, dünyadaki en aktif sismik hatlardan olan Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı, Ege Çöküntü Bölgesi ve Bitlis Bindirme Zonu üzerinde yer almaktadır (Şekil 1.1.). Bu aktif fay hatlarının hareketleri neticesinde Türkiye’de sık sık orta büyüklükte depremler meydana gelmektedir. Bununla birlikte, 1999 yılında Kocaeli ve Düzce depremleri, 2003 yılında Bingöl depremi, 2011 yılında Van depremleri, 2020 yılında Elâzığ ve İzmir depremleri, 2023 yılında ise Kahramanmaraş depremleri gibi büyük depremler de meydana gelmiştir. Oluşan yıkıcı depremlere bakıldığında Türkiye’de yaklaşık her 5 yılda bir yıkıcı bir depremin meydana gelme olasılığı bulunmaktadır. Bu nedenle, mevcutta bulunan veya yeni yapılacak binaların karşılaşılabileceği bu depremleri istenen performans seviyesinde karşılayabilmesi önemli bir konudur.



Şekil 1.1. Türkiye’nin aktif sismik tektonik haritası (Tuzcuoğlu, 2024)

Depremlerde meydana gelebilecek can kayıplarını önlemek ve hasarları azaltmak için betonarme binalarda mümkün olduğunca düzensizliklerden kaçınılmalı ve deprem yönetmeliklerinde verilen sınırlamalara kesinlikle uyulmalıdır. Özellikle deprem yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmayan, katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) bulunan, betonarme binaların depremlerde ağır hasar görmesi hatta göçme moduna geçmesi kaçınılmaz bir durumdur.

Yumuşak kat düzensizliği; zemin katlarda ticari alan oluşturmak için bu kattaki iç ve dış duvarların kaldırılması ve kat yüksekliğinin normal katlara göre daha fazla yapılması neticesinde meydana gelmektedir. Bununla birlikte, bu katta daha geniş vitrinler oluşturmak için hiç betonarme perde duvar kullanılmamakta veya kullanılan perde duvarlar yetersiz kalmaktadır. Bu tür binalarda komşu katlar arasındaki rijitliğin bozulmasından dolayı katlar arası görelî kat ötelemeleri büyümektedir. Özellikle zemin kattaki görelî kat ötelemesinin aşırı artması binalarda göçmelere neden olmaktadır. 6 Şubat 2023 yılında meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinde de yumuşak kat düzensizliğinden dolayı göçme moduna geçen birçok binaya rastlanmıştır. Bu depremler sonucunda yumuşak katlı bazı binalarda oluşan hasarlar Resim 1.1’de verilmiştir.



Resim 1.1. 6 Şubat 2023 depremlerinde Adıyaman merkezde yumuşak kat mekanizmasından dolayı göçen betonarme binalar

Bu tez çalışmasında; yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların hasar görme olasılığına etkisi araştırılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kat planı mevcutta bulunan 4 katlı tipik bir betonarme binanın zemin katında yumuşak kat düzensizliği oluşturulmuştur. Seçilen düzenli ve yumuşak katlı binaların doğrusal olmayan artımsal dinamik ve statik itme analizleri yapılarak davranışları incelenmiştir. Bu analizler sonucunda, binaların kapasite eğrileri, en büyük tepkileri, görelî kat ötelemeleri ve sismik kırılgenlik eğrileri oluşturulmuştur.

1.1. Önceki Çalışmalar

Betonarme binaların sismik tepkilerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için araştırmacılar doğrusal olmayan analiz yöntemlerini kullanmaktadırlar. Yapılan bu analizler sonucunda yapısal elemanlarda hasar bölgeleri daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Artımsal analizler kullanılarak binaların sismik kırılma eğrileri oluşturularak hasar görme olasılıkları tespit edilebilmektedir. Bu bölümde araştırmacıların yaptıkları çalışmalar detaylı bir şekilde incelenerek sunulmuştur.

1.1.1. Sismik kırılma ile ilgili yapılan çalışmalar

Yürütülen bir çalışmada, Türkiye’de bulunan tipik betonarme çerçeve binaların 2007 ve 2018 Türkiye Deprem Yönetmeliklerine göre sismik kırılma eğrileri değerlendirilmiştir. 11 deprem kaydının farklı ivme genliklerini kullanarak artımsal dinamik analizleri yürütülmüş ve binaların yapısal elemanlarındaki çekirdek beton, kabuk beton ve donatılarında meydana gelen hasarlar tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre seçilen binaların sismik kırılma eğrileri oluşturularak seçilen yönetmelikler kıyaslanmıştır (Yön, 2020).

Önceki yönetmeliklere göre tasarlanan, çeşitli seviyelerde korozyona uğrayan ve ana-şok artçı-şok dizilerine maruz kalan mevcut betonarme binaların sismik kırılma eğrileri değerlendirilmesi yapılmıştır. Sayısal çalışma için mevcut dört katlı bir betonarme binanın sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Dinamik analizler için yirmi adet deprem kaydını kullanarak artımsal dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda deprem yönetmeliklerinin korozyon gibi etkiler için daha fazla koşullar içermesi gerektiği belirtilmiştir (Sarno ve Pugliese, 2021).

Yapılan çalışmada kırılma fonksiyonlarının binalardaki genel kayıpları tahmin etmek, yapılarındaki zayıflıkları belirlemek ve hasar riskini azaltmak için yararlı olduğu ifade edilmiştir. Sayısal çalışma için; 2015 Gorkha, Nepal depreminden etkilenen betonarme binaların sismik kırılma fonksiyonları değerlendirilmiştir. Kırılma fonksiyonları depremde etkilenen binaların yapısal elemanlarındaki ayrıntılı hasar incelemesine göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Nepal Yapı Yönetmeliği’ne göre yeni inşa edilen binalar da dahil olmak üzere, Nepal’deki betonarme binaların 0.3–0.4 g’lik en yüksek yer ivmesi altında yaklaşık %50’sinin hemen kullanılamayacak kadar hasar

görebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca kiriş-kolon birleşimlerinin bu yapıların en kırılgan yapısal bileşenleri olduğunu belirtilmiştir (Gautam ve ark., 2021).

Yapılan bir diğer çalışmada, yapı içerisindeki değişikliklerden dolayı oluşan düşey veya plandaki düzensizliklere sahip betonarme çerçeve yapıların sismik performansını araştırılmıştır. On dört prototip model, yükseklik ve planda farklı hareketli yük dağılımlarına göre 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Sınır durumlar dahilinde izin verilen kat ötelemelerine göre toplam sekiz sınır durum için analizler yürütülmüştür. Kırılma eğrilerini oluşturmak için 10 tane deprem ivme kaydı kullanılmıştır. İncelenen betonarme çerçevelerin yapısal performansı düşey ve plandaki düzensizliklerin doğrudan etkileri, elde edilen kırılma eğrileriyle gösterilmiştir (Ghanem ve ark., 2021).

Yürütülen bir çalışmada, binaların sismik güvenlik açığının değerlendirilmesinin sismik yıkımları hafifletmek için bilimsel bir yol gösterici olduğunu vurgulamışlardır. Bu sayede, karar vericilerin idari süreçlerde sismik riskin azaltılması için yapısal güçlendirmelere öncelik vermesini sağlama açısından önemli olduğu belirtilmiştir. Çalışma için Yancheng, Çin’de bulunan dört tipik yapı için (yığma yapı, tuğla-beton yapı, karkas yapı) sismik risk değerlendirilmesi yürütülmüştür. Binaların sismik güvenlik açığı indeks sistemi oluşturularak Analitik Hiyerarşi Sürecinin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda Yancheng bölgesinin sismik afet risk dağılımı tespit edilmiştir (Zhou ve ark. 2020).

Farklı bir çalışmada, 2017 Pohang depreminde hasar gören yapıları değerlendirmek için, tipik binaların sismik kırılma güçleri olasılıksal olarak değerlendirilmiş yeni sınır durumlar geliştirilmiş ve gözlemlerle doğrulanmıştır. Göreli kat ötelemeleri ve betonun şekil değiştirme değerine göre bir korelasyon oluşturulmuş ve düşey düzensizliğe sahip yapıların bölgesel hasarları tespit edilmiştir (Sohn ve ark., 2022).

Dolgu duvarlı betonarme binaların sismik kırılma güçleri analizlerinde belirsizliklerin iyileştirilmesi için bir çalışma yürütülmüştür. Oluşturulan çerçeve binalar dolgu duvarlı-dolgu duvarsız, zemin katı duvarsız ve duvarlı olarak incelemiştir. 100 adet yer ivmesi; malzemesi, geometrisi yüklemesi farklı olarak tasarlanmış yapılara uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda belirsizliklerin, dolgu duvarlı-dolgu duvarsız betonarme çerçevelerin hasar durumları için farklılıklar oluşturduğu belirtilmiştir (Choudhury ve Kaushik, 2019).

1.1.2. Artımsal dinamik analiz ile ilgili yapılan çalışmalar

Yapılan çalışmada, sınırlı Yer Hareketi Kayıtlarının (GMR) etkin bir şekilde seçilebilmesi için optimizasyona dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Bazı kayıtlar ön seçim kriterlerine göre seçilmiş ve yapının Eşdeğer Tek Serbestlik Derecesi (ESDF) analizi yapılmıştır. Bu amaçla, kullanıcının farklı Deprem Talep Parametresi (EDP) ve Yoğunluk Ölçümü (IM) formları için bir yazılım yapılmıştır. Daha sonra, artımsal dinamik analiz (IDA) sonuçlarına göre IDA eğrisi oluşturulmuş ve IM değerlerine göre kırılma eğrileri çizilmiştir (Kaveh ve ark., 2021).

Başka bir çalışmada, Ana şok-artçı şok yer hareketleri dizisi ile artımlı dinamik analizler (IDA) gerçekleştirilerek, hasarlı yapıların kırılma eğrilerinin geliştirilmesine yönelik yeni bir yöntem (artçı şok kırılma eğrisi) önerilmiştir. Yeni Zelanda'daki tipik 5 katlı betonarme moment çerçeveli bir bina için artçı şok kırılma eğrisi geliştirilmiştir. Binalar, doğrusal kapasite/itme eğrisi ile temsil edilen kuvvet-deformasyon davranışına sahip, tek serbestlik dereceli (SDOF) sönümlü doğrusal olmayan bir osilatör kullanılarak modellenmiştir. Arka arkaya dinamik analizlerden elde edilen tahmini sismik tepkilerle, çeşitli hasar durumunu ve geçiş olasılıklarını dikkate alarak artçı şoklar için bir hasar sınırlarını aşma olasılığı hesaplanmıştır (Ryu ve ark., 2011).

Yürütülen bir diğer çalışmada, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız olarak modellenen betonarme çerçevelerin artımsal dinamik analizleri (IDA) yapılmıştır. Analizler sonucunda kırılma eğrileri oluşturularak dolgu duvarlı ve duvarsız çerçevelerin karşılaştırmaları yapılmıştır. Analizler sonucunda dolgu duvarların betonarme çerçevelerin sismik kırılma eğrilerini büyük oranda azalttıkları sonucuna varılmıştır (Di Trapani ve Malavisi, 2019).

Yapılan bir nümerik çalışmada, modellenen iki tane yüksek katlı çelik yapının performans değerlendirilmesi yapılarak ve kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Sayısal çalışma için 15 tane ölçeklendirilmiş ivme kaydı kullanılarak binaların doğrusal olmayan artımsal dinamik analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda olasılıksal yöntemler kullanılarak, güçlendirilen binaların yıkılma olasılığının tahmin edilmesinin mümkün olduğu belirtilmiştir (Verkila ve Preciado, 2022).

Bir diğer çalışmada, az katlı betonarme çerçeveli binaların kırılma fonksiyonları, binaların aşamalı göçme riski değerlendirmesi için kullanılmıştır. Çalışma için Eurocode 2 ve 8'e uygun olarak tasarlanmış Avrupa binalarını temsil etmesi için iki bina sınıfı

seçilmiştir. Geliştirilen fiber tabanlı sonlu eleman (FE) modeli kullanılarak açık kaynaklı bir platformda birinci kat kolonlarının kaldırılmasının yapıların deprem davranışlarına etkisi incelenmiştir. Ani kolon kaybı senaryoları altında doğrusal olmayan tepki, direnç mekanizmaları ve hasar modellerini hem eleman bazında hem de genel bazda incelenmiştir. Bina sınıflarının geometrisi, malzeme özellikleri ve yükleri için istatistik ve olasılık dağılım fonksiyonlarına göre yapısal modellerin rastgele gerçekleştirilmeleri için Monte Carlo simülasyonunu kullanılmıştır. Çoklu hasar durumlarındaki kırılma fonksiyonlarının hem sismik tasarımın hem de yapısal olmayan elemanların davranışlarının tahmininde önemli bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir (Brunesi ve ark., 2015).

Yürütülen bir diğer çalışmada, yumuşak kat düzensizliğine sahip betonarme çerçeveden oluşan bir yapının sismik davranışı doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemiyle incelenmiştir. En büyük yer ivmeleri farklı olan deprem kayıtlarını kullanılarak yapının sismik kırılma fonksiyonları incelenmiştir. Analizler sonucunda dolgu duvarsız zemin kattaki kolonların hasar gördüğü ve üst katlardaki kolonlarda gözle görülür bir hasara rastlanmadığı görülmüştür (Choudhury ve Kaushik, 2020).

Bir diğer çalışmada, üç adet betonarme çerçeve ve beş adet yığma dolgu prefabrik beton (PC) çerçeve olmak üzere sekiz adet yarı ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı çerçeveler sismik yüklemeye tabi tutarak test edilmiştir. İnceleme sonucunda PC yapım yönteminin çıplak ve dolgu çerçevelerin elastik olmayan davranışı ve sünekliği üzerinde minimum etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ancak PC yapım yönteminin özellikle bağlantı bölgesindeki prefabrik ve yerinde dökme beton yüzeyler arasındaki arayüzlerde çatlak gelişimini etkileyebileceğini ifade etmişlerdir. Ancak yük dayanım kapasitesinin ve sünekliğin, özellikle çıplak çerçeveler için bağlantılarda çelik fiber takviyeli beton kullanımında etkisiz kaldığını tespit etmişlerdir (Wang ve ark., 2019).

Betonarme yığma dolgu duvarların, orta kolon kaldırma senaryosu altında betonarme dolgu çerçevelerin aşamalı göçme performansı üzerindeki etkisini incelemek için yüksek doğruluklu sonlu eleman sayısal modelleri kullanmıştır. Malzeme ve model parametrelerinin ayrıntılı kalibrasyonundan sonra, çıplak ve dolgu çerçevelerin sayısal modelleri ilk olarak mevcut deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Orta kolonun kaldırılmasından sonra dolgu duvarların çerçevelerin yük aktarım mekanizmaları üzerindeki etkilerini göstermek için sayısal modeller kullanılmıştır. 1/3 ölçekli çerçeveler kullanılarak önemli bir boyut etkisinin olmadığı doğrulandıktan sonra, hesaplama süresinden tasarruf etmek amacıyla parametrik çalışmalarda ölçekli çerçevelerin sayısal

modellerine artımsal dinamik yüklemeler yapılmıştır. Sayısal sonuçlara dayanarak, çok katlı çerçevelerin deprem direncini hızlı bir şekilde değerlendirmeye yönelik yeni bir yaklaşım önerilmiştir (Yu ve ark., 2019).

1.1.3. Statik itme analizi ile ilgili yapılan çalışmalar

Bu konuda yapılan bir çalışmada, farklı özelliklere sahip 12 adet betonarme binanın doğal ve yapay bir grup deprem kaydını ölçeklendirip dinamik analizlerini yapmışlardır. Dinamik analizlerden sonra statik itme analizi yaparak, dinamik itme eğrilerini ve statik itme eğrilerini karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonrasında dinamik ve statik itme eğrilerinin bir birine yakın sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir (Mwafy ve Elnashai, 2001).

Yapılan bir çalışmada 6, 9, 12 ve 15 katlı betonarme moment taşıyıcı çerçevelerin performansını değerlendirmek için yer değiştirmeye dayalı itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmadan yer değiştirmeye dayalı itme analizinin kevvete dayalı statik itme analizine göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir (Sheth ve ark., 2018).

Yürütülen diğer bir çalışmada, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY-2007) ve Eurocode 8'i kullanılarak mevcut yapıların performansları incelenmiştir. Bunun için mevcutta bulunan 8 katlı betonarme bina modellenerek statik itme analizi yöntemiyle doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda buldukları değerler ışığında hasar seviyeleri ve bina performanslarını her iki yönetmeliğe göre kıyaslamışlardır (Severcan ve Sınan, 2019).

Farklı bir çalışmada Bükreş, Romanya'da bulunan tipik yumuşak katlı betonarme binalar için sismik bir değerlendirme yapılmıştır. Sayısal çalışma için modellenen binanın kırılgenlik analizleri, statik itme analizleri ve artımlı dinamik analizleri yapılmıştır. Deprem kayıtları Vrancea orta derinlikli sismik kaynağını kullanarak Monte-Carlo simülasyon yöntemiyle oluşturulmuştur. Ayrıca çalışmalarında düşey yapı elemanlarının sismik kapasitelerine ilişkin detaylı kesit analizlerini zemin katta gerçekleştirerek betonarme kolonların sismik davranışını incelemişlerdir (Pavel ve Carale, 2019).

Dolgu duvarların analiz modeline dâhil edilmesi durumunda yapının düşey düzensizliğinin ve binanın yapısal performansının nasıl etkilendiğini incelemek için bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada, yumuşak kat düzensizliğinin yapının deprem performansına etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında yumuşak kat (B2) düzensizliğine sahip bir yapı sisteminde dolgu duvar bulunup bulunmamasına göre eşdeğer deprem yükü

yöntemi ve doğrusal olmayan artımsal itme analizi yöntemini kullanarak değerlendirme yapılmıştır (Güder, 2012).

Betonarme binaların üçgensel ve düzgün yanal yük kullanılarak yapılan statik itme analiz sonuçları artımsal dinamik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda düzgün yanal yüke göre elde edilen kapasite eğrilerinin dinamik analiz sonuçlarından elde edilen maksimum tepkilerin üzerinde sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Öncü ve Yön, 2016).

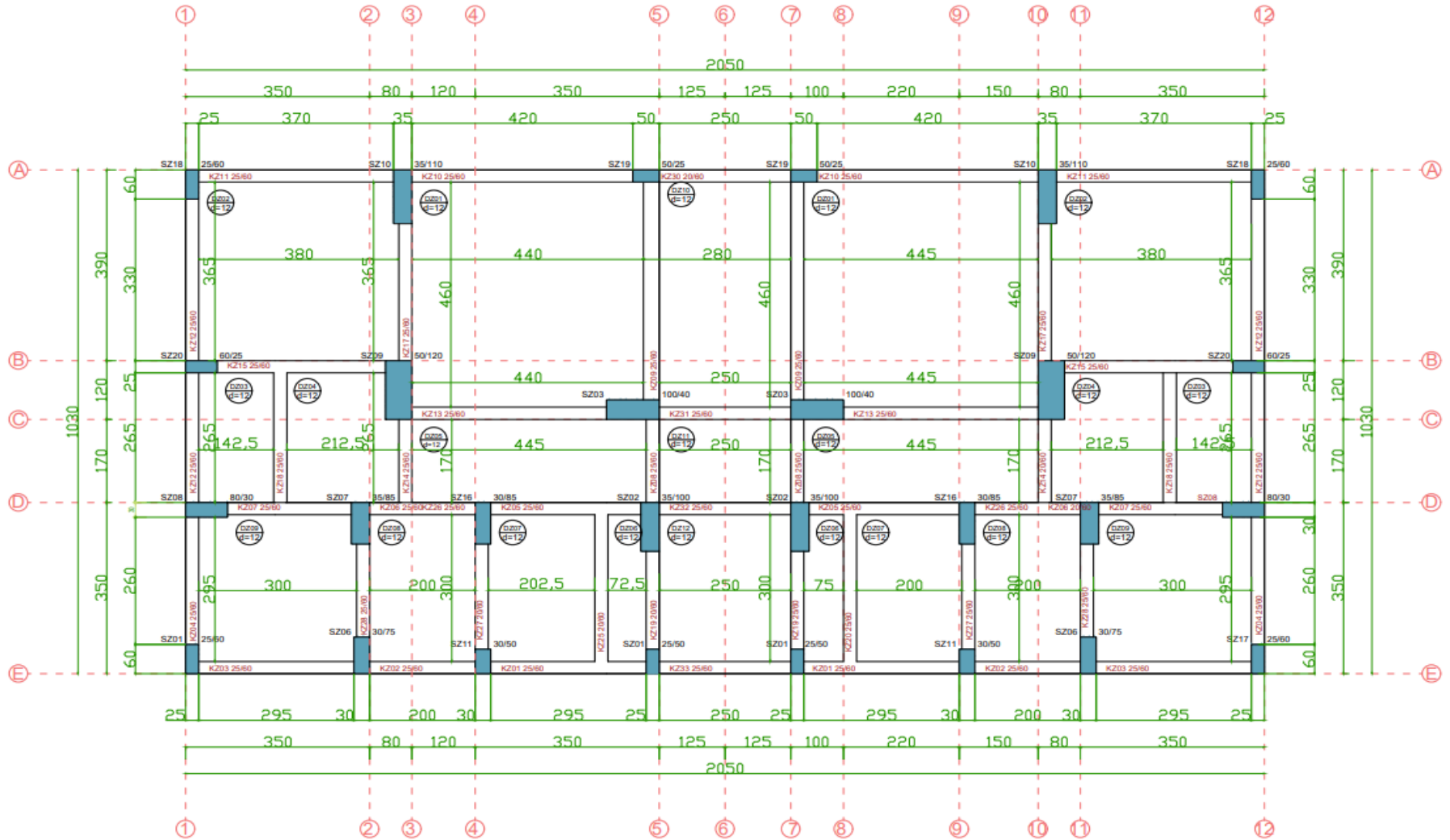


2. MATERYAL VE METOT

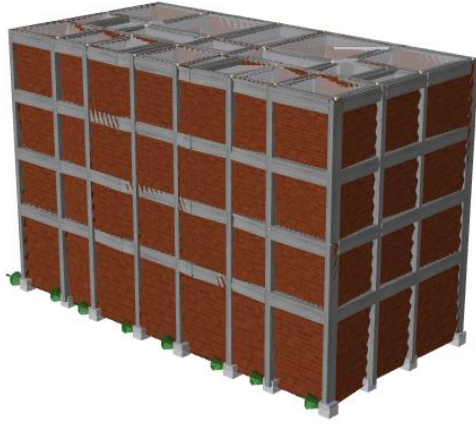
2.1. Materyal

Bu tez çalışmasında betonarme binalarda yumuşak kat varlığının deprem davranışına etkisi incelenmiştir. Sayısal çalışma için kat planı mevcut olan 4 katlı tipik bir betonarme binanın zemin katında yumuşak kat oluşturulmuştur. Düzenli ve yumuşak katlı olarak tasarlanan binaların zemin kat yüksekliği 4.5 m, normal katları ise 3 m olarak alınmıştır. Binaların toplam yükseklikleri 13.5 m, beton sınıfı C16 ve çelik sınıfı S420 olarak seçilmiştir. Binanın kolon ve kirişlerinde etriye sıklaştırılmasının olmadığı ve etriye aralığının 20 cm olduğu kabul edilmiştir.

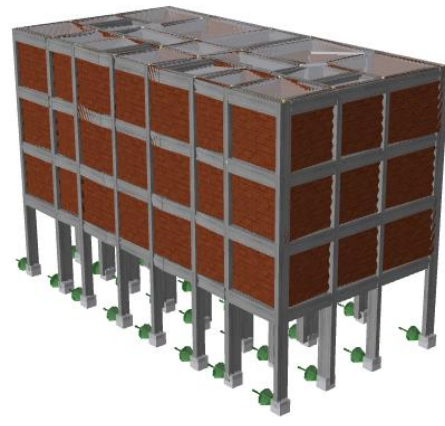
Binaların doğrusal olmayan davranışları toplanmış plastik mafsallı kabulüne göre yapılmıştır. Nümerik analizlerde doğrusal olmayan statik itme ve artımsal dinamik analizleri yöntemleri kullanılmıştır. Binaların artımsal dinamik analizleri için 11 deprem kaydı seçilmiştir. İvme genlikleri 0.1g'den-1.0g'ye 0.1 artırılarak x ve y yönleri için toplam 440 tane analiz yapılmıştır. Sayısal çalışma için kullanılan betonarme binanın kat planı ve görünüşleri sırasıyla Şekil 2.1, Şekil 2.2. ve Şekil 2.3'de sunulmuştur.



Şekil 2.1. Seçilen binaya ait normal kat planı

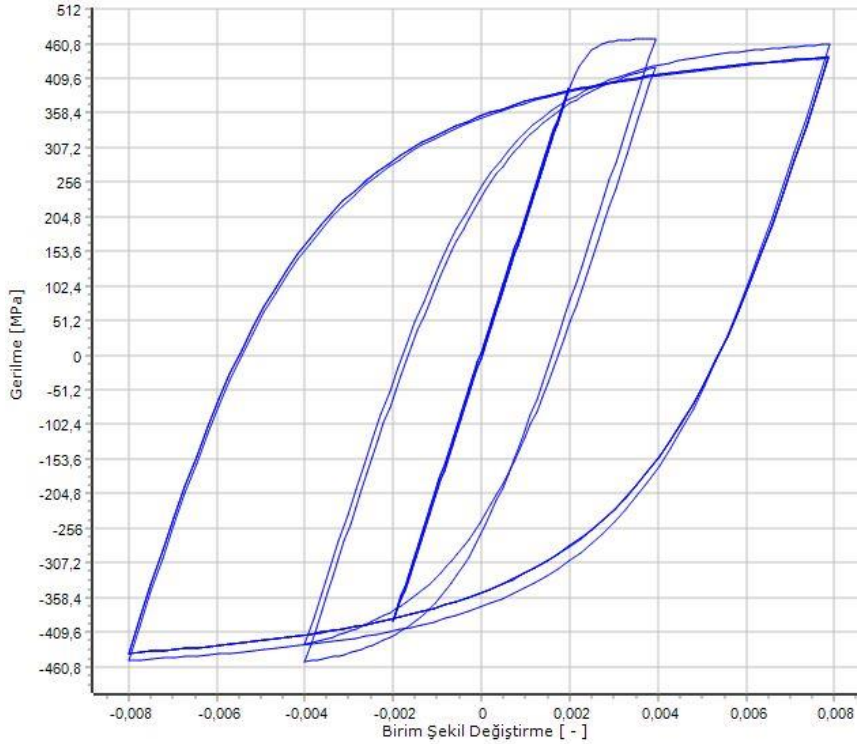


Şekil 2.2. Düzenli modele ait görünüş

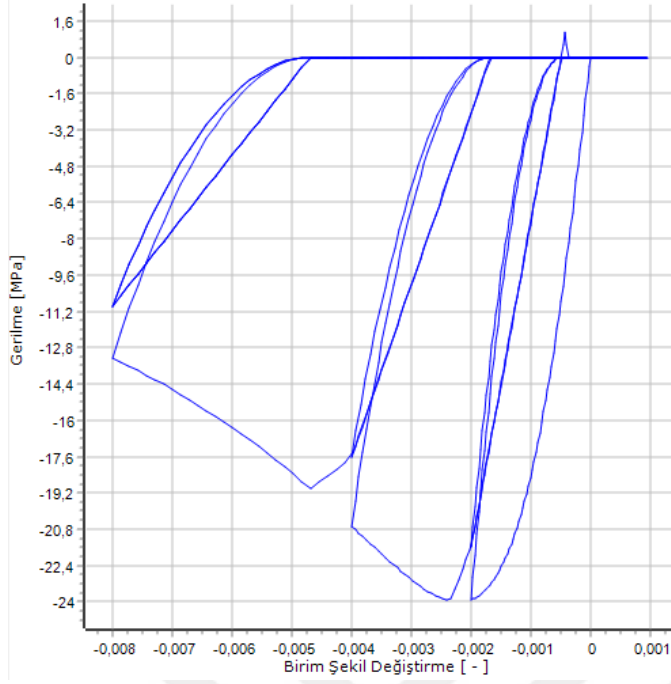


Şekil 2.3. Yumuşak katlı modele ait görünüş

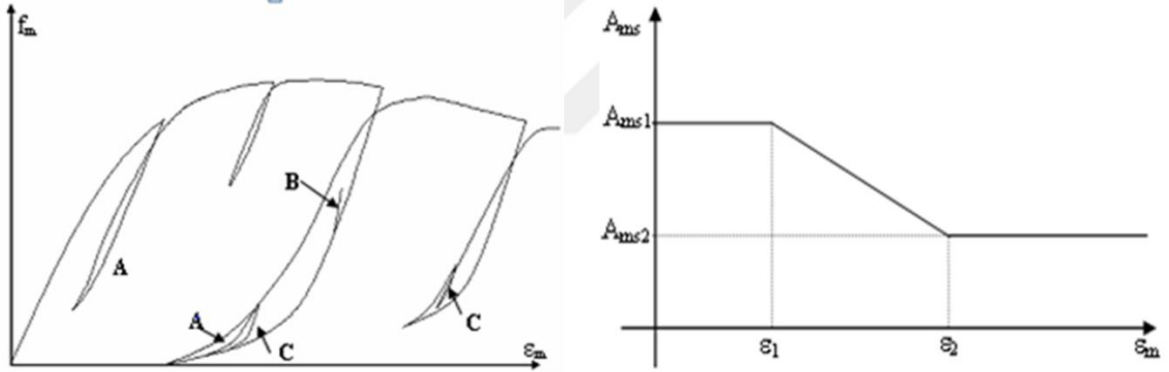
Doğrusal olmayan analizlerde; çelik için Menegotto-Pinto modeli (Menegotto, 1973), beton için Mander beton modeli (Mander, 1988) ve dolgu duvar için (FEMA 356)'da önerilen malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme modellerinin Gerilme-Şekil değiştirme diyagramları sırasıyla Şekil 2.4, Şekil 2.5. ve Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.4. Menegotto-Pinto çelik modeli (SeismoStruct, 2022)



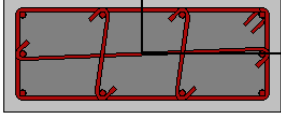
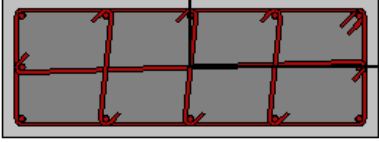
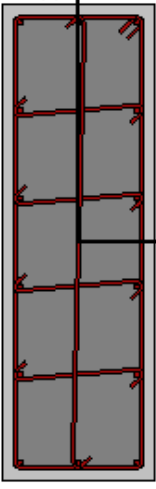
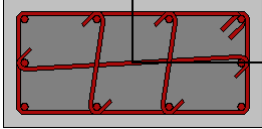
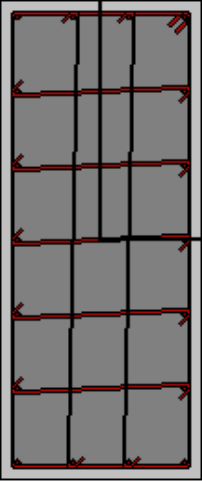
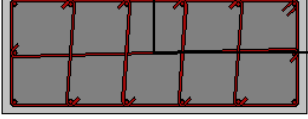
Şekil 2.5. Mander beton modeli (SeismoStruct, 2022)



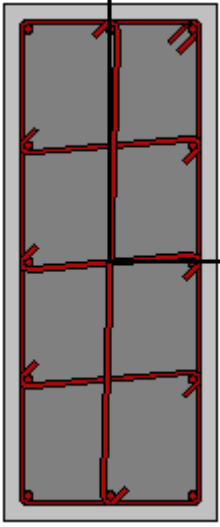
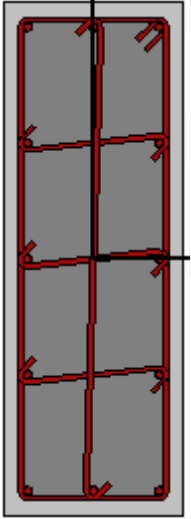
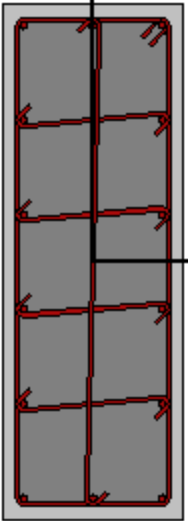
Şekil 2.6. Elastik olmayan dolgu duvar elemanı modeli (SeismoStruct, 2022)

Sayısal analizlere konu olan betonarme binanın kolon ve kirişlerinin boyutları ve donatı düzenleri Tablo 2.1’de gösterilmektedir. Bununla birlikte, dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıtları istasyonlarına ve büyüklüklerine göre Tablo 2.2’de sunulmuştur.

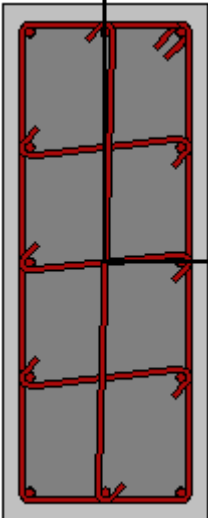
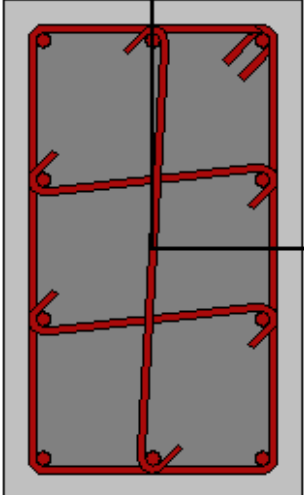
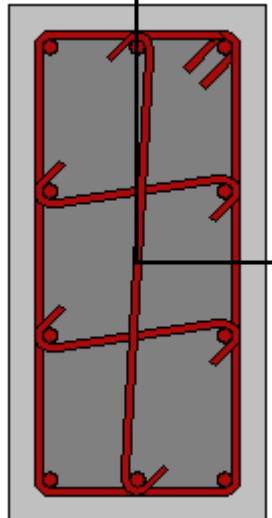
Tablo 2.1. Elemanlara ait boyutlar ve donatı düzeni

Eleman isimleri	Eleman konumu ve donatıları	Eleman boyutları (cm)	Boyuna donatılar (mm)	Enine donatılar (cm)
SZ01,SZ06, SZ21, SZ28,SZ07, SZ12		25/60	10 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ13,SZ20		80/30	12 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ02,SZ05		35/110	14 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ03,SZ04		50/25	10 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ08,SZ11		50/120	18 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ09,SZ10		100/40	14 ϕ 14	ϕ 8/20

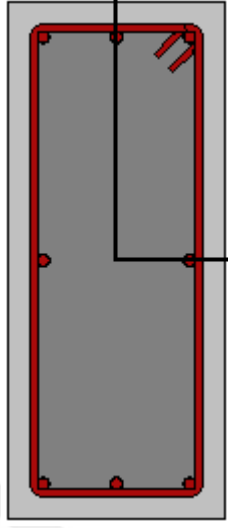
Tablo 2.1.'in devamı

SZ14,SZ19		35/85	12 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ15,SZ18		30/85	12 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ16,SZ17		35/100	14 ϕ 14	ϕ 8/20

Tablo 2.1.'in devamı

SZ22,SZ27		30/75	12 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ23,SZ26		30/50	10 ϕ 14	ϕ 8/20
SZ24,SZ25		25/50	10 ϕ 14	ϕ 8/20

Tablo 2.1.'in devamı

Tüm kirişler		25/60	8φ14	φ8/20
--------------	---	-------	------	-------

Tablo 2.2. Sayısal analizlerde kullanılan deprem kayıtları (AFAD)

Numara	Depremler	İstasyon	Yön	Tarih	Büyüklik	PGA(g)
1	Kocaeli	Düzce	E-W	Ağustos 17, 1999	7.4	0.381
2	Kocaeli	Sakarya	E-W	Ağustos 17, 1999	7.4	0.415
3	Düzce	Düzce-Merkez	E-W	Kasım 12, 1999	7.2	0.524
4	Düzce	Bolu-Merkez	E-W	Kasım 12, 1999	7.2	0.821
5	Van	Van-Muradiye	N-S	Ekim 23, 2011	6.7	0.182
6	Erzincan	Erzincan	E-W	Mart 13, 1992	6.1	0.480
7	Bingöl	Bingöl	N-S	Mayıs 1, 2003	6.1	0.556
8	Ceyhan	Adana-Ceyhan	E-W	Haziran 27, 1998	5.9	0.279
9	İzmir	Aydın-Kuşadası	N-S	Ekim 30, 2020	6.6	0,183
10	Elâzığ	Sivrice	E-W	Ocak 20, 2020	6.8	0.298
11	Kahramanmaraş	Pazarcık	E-W	Şubat 6, 2023	7.7	0.652

2.1.1. Bina performans düzeyleri

a- Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi

Bu performans düzeyinin sağlanması için, bina taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon-kiriş-betonarme perde duvar) hiç birinde yapısal hasarın meydana gelmemesi veya ihmal edilebilecek seviyede kalması sağlanmalıdır.

b- Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Binanın bu performans seviyesini sağlaması için, bina taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasarın sınırlı düzeyde kalması gerekmektedir. Başka bir deyişle yapısal

elemanlardaki çatlak boyutlarının sınırlı kalması ve çatlakların kabuk betonda olması gerekmektedir.

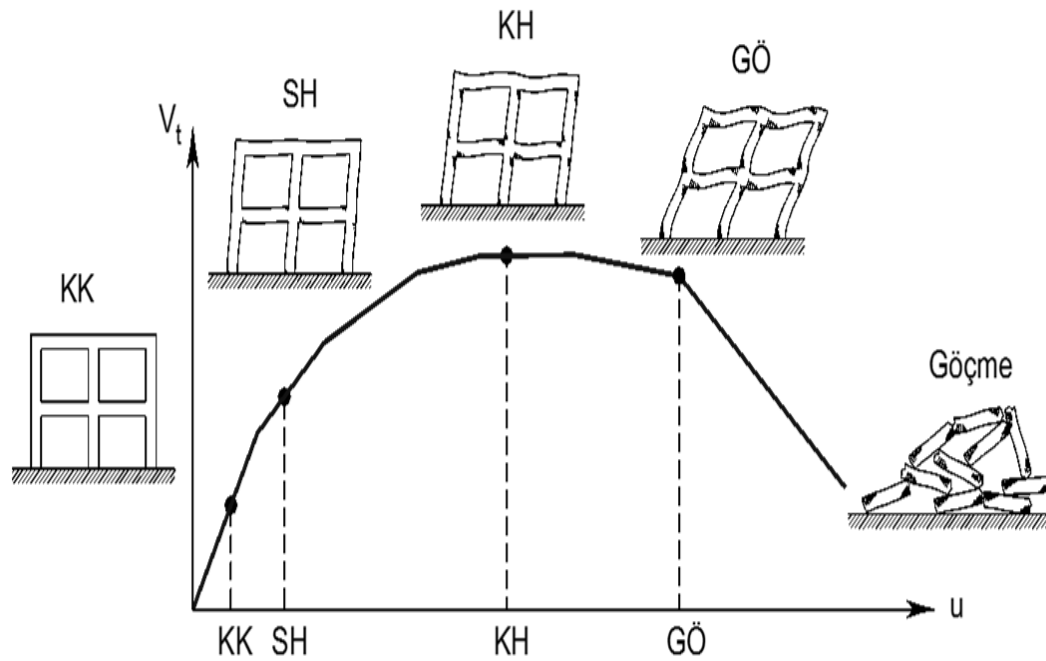
c- Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

Bu performans düzeyine ulaşmak için; binanın can güvenliğini sağlaması, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ağır olmayan ve genellikle onarılması mümkün olan hasarların meydana gelmesi sağlanmalıdır.

d- Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Bu performans seviyesi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi durumu ifade etmektedir. Bina kesinlikle kısmen veya tamamen göçme moduna geçmemelidir (TBDY, 2018).

Hasar sınır durumlarına göre çizilen bina performans düzeylerinin grafiksel gösterimi TBDY-2018'ye göre Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Bina performans düzeyleri (TBDY, 2018)

2.1.2. Betonarme bina elemanları için izin verilen şekil değıştirme sınırları

TBDY-2018’de Betonarme binalarda hasar sınırları şekil değıştirmeye bağı olarak tanımlanmaktadır. Burada beton ve çelik için şekil değıştirme sınırları aşağıda performans düzeylerine göre başlıklar halinde verilmiştir.

a- Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi için

$$\text{Beton için: } \varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad (2.1)$$

$$\text{Çelik için: } \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (2.2)$$

b- Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi için

$$\text{Beton için: } \varepsilon_c^{(KH)} = 0.75\varepsilon_c^{(GÖ)} \quad (2.3)$$

$$\text{Çelik için: } \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75\varepsilon_s^{(GÖ)} \quad (2.4)$$

c- Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi için

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde:

Beton için:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (2.5)$$

$$\text{Çelik için: } \varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4\varepsilon_{su} \quad (2.7)$$

Burada $\varepsilon_c^{(SH)}$ sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kışalması sınırını, $\varepsilon_c^{(KH)}$ kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kışalması sınırını, $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ göçmenin önlenmesi hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kışalması sınırını, $\varepsilon_s^{(SH)}$ sınırlı hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliğı birim şekil değıştirmesi sınırını, $\varepsilon_s^{(KH)}$ kontrollü hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliğı birim şekil değıştirmesi sınırını, $\varepsilon_s^{(GÖ)}$ göçmenin önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliğı birim şekil değıştirmesi sınırını,

ω_{we} etkin sargı donatısının mekanik donatı oranını ve ε_{su} maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzamasını göstermektedir (TBDY, 2018).

2.1.3. Göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

TBDY-2018’de (X) deprem doğrultusunda herhangi bir kolon ya da perde için, ardışık iki kat arasındaki deplasman farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelemesi $\Delta_i^{(x)}$ Denklem (2.8) ile ifade edilmektedir.

$$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)’de $u_i^{(x)}$ ve $u_{i-1}^{(x)}$ tipik (X) deprem yönü için yapının i’inci ve (i-1)’inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay deplasmanları ifade etmektedir.

Tipik (X) deprem yönü için, binanın i’inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelemesi, $\delta_i^{(x)}$, Denklem (2.9) ile ifade edilmektedir.

$$\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(x)} \quad (2.9)$$

Her bir deprem yönü için, yapının herhangi bir i’inci katındaki kolon veya perdelerde, Denklem (2.9) ile hesaplanan $\delta_i^{(x)}$ etkin göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(x)}$ aşağıda Denklem (2.10) ve (2.11)’de verilen koşulları sağlamalıdır.

Gevrek malzemeden yapılmış boşluklu veya boşluksuz dolgu duvarlarının ve cephe elemanlarının çerçeve elemanlarına, aralarında herhangi bir esnek derz veya bağlantı olmaksızın, tamamen bitişik olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.008\kappa \quad (2.10a)$$

Gevrek malzemeden yapılmış dolgu duvarları ile çerçeve elemanlarının aralarında esnek derzler yapılması, cephe elemanlarının dış çerçevelere esnek bağlantılarla bağlanması veya dolgu duvar elemanının çerçeveden bağımsız olması durumunda:

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(x)}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (2.10b)$$

Denklem (2.10)'da bulunan λ kat sayısı, binanın göz önüne alınan deprem yönündeki hakim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranıdır. Denklem (2.10)'da bulunan κ katsayısı ise betonarme binalarda $\kappa = 1$, çelik binalarda $\kappa = 0,5$ alınmalıdır.

Denklem (2.10)'da verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabının yeniden yapılması sağlanmalıdır (TBDY, 2018).

Bu tez çalışmasında, dinamik analizlerden elde edilen görel kat ötelemeleri Amerika Birleşik Devletleri'nde ulusal olarak standartlaştırılmış bir risk değerlendirme metodolojisi olan ve FEMA (Federal Emergency Management Agency) doğal afet risk değerlendirme programı tarafından yürütülen HAZUS programındaki farklı performans seviyeleri için belirtilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan sınır değerler çerçeveli yapılar için Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. HAZUS'ta verilen görel kat öteleme oranları (HAZUS)

Hafif hasar	Orta hasar	Ağır hasar	Göçme
0,0033	0,0067	0,02	0,053

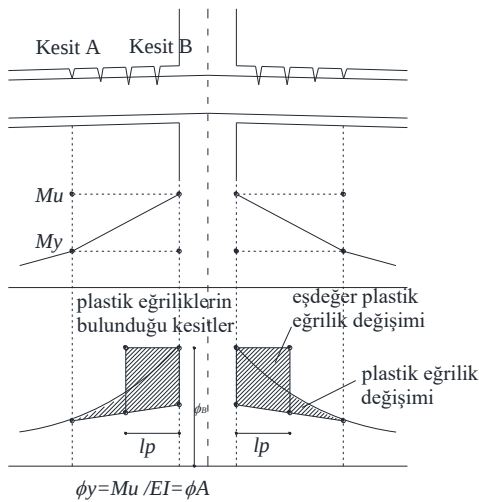
2.2. Metot

İncelenen binaların doğrusal olmayan analizleri, statik itme ve artımsal dinamik analiz yöntemleriyle yapılmıştır. Doğrusal olmayan davranışı modellemek için toplanmış plastik mafsallık kabulü yapılmıştır. Artımsal dinamik analiz sonuçlarına göre düzenli ve yumuşak katlı binaların kırılabilirlik eğrileri oluşturulmuştur.

2.2.1 Toplanmış plastik mafsallık

Bu tez çalışmasında çerçeve elemanları olarak modellenen betonarme kiriş ve kolonlarda doğrusal olmayan davranış modeli olarak toplanmış plastik mafsallık modeli kullanılmıştır.

Toplanmış plastik mafsallık modelinde kuvvetlerin etkisiyle oluşan kalıcı şekil değiştirmelerin eleman uçlarında toplandığı varsayımı yapılmaktadır (Şekil 2.8). Plastik mafsallık uzunluğu olarak isimlendirilen kalıcı şekil değiştirme bölgesinin boyu (l_p), çalışan yöndeki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınmalıdır. Sadece eksenel yük altında kalıcı şekil değiştiren elemanlarda plastik mafsallık boyu elemanın serbest boyuna eşit alınmalıdır (TBDY, 2018). Taşıyıcı sistemde artan yükler etkisiyle plastik mafsallık sayıları artmakta ve yapı yük taşıyamaz duruma ulaşmaktadır. Böylece yapı kısmen veya tamamen göçme moduna geçmektedir.



Şekil 2.8. Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin kiriş mesnedinde oluşumu (Celep, 2008)

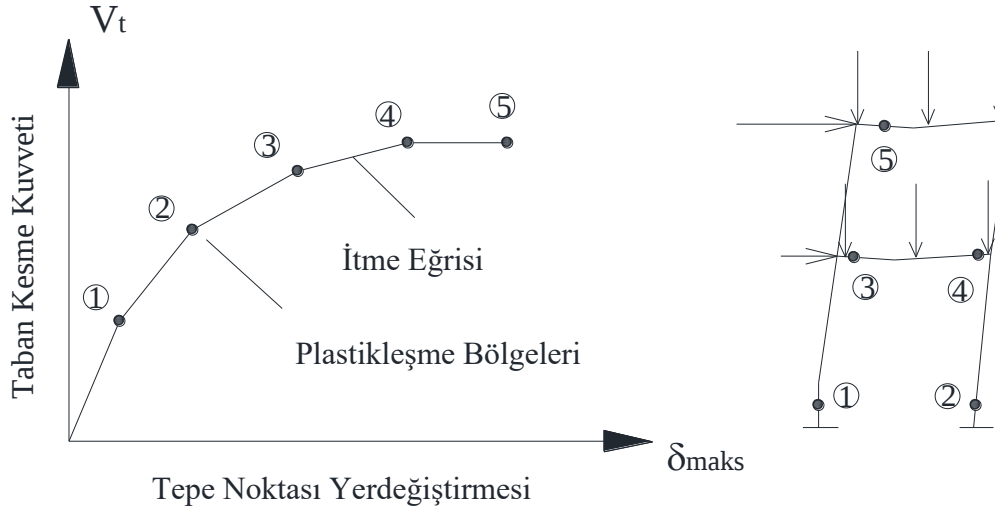
Bu tez çalışmasında, plastik şekil değiştirmelerin sınır değerleri Denklem (2.1-2.7)'ye göre hesaplanmıştır. Tüm kolon ve kirişler için hesaplanan hasar seviyelerine ait sınır değerler Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Modellere ait kolon ve kirişlerin hasar sınır değerleri

Eleman İsimleri	Eleman ebatları	BETON			ÇELİK		
		SH	KH	GÖ	SH	KH	GÖ
SZ01,SZ06,SZ21, SZ28,SZ07,SZ12	25/60	0,0025	0,00525	0,007	0,0075	0,024	0,032
SZ13,SZ20	80/30	0,0025	0,0036	0,0048	0,0075	0,024	0,032
SZ02,SZ05	35/110	0,0025	0,0045	0,006	0,0075	0,024	0,032
SZ03,SZ04	50/25	0,0025	0,00555	0,0074	0,0075	0,024	0,032
SZ08,SZ11	50/120	0,0025	0,00645	0,0086	0,0075	0,024	0,032
SZ09,SZ10	100/40	0,0025	0,00525	0,007	0,0075	0,024	0,032
SZ14,SZ19	35/85	0,0025	0,004725	0,0063	0,0075	0,024	0,032
SZ15,SZ18	30/85	0,0025	0,0033	0,0044	0,0075	0,024	0,032
SZ16,SZ17	35/100	0,0025	0,0048	0,0064	0,0075	0,024	0,032
SZ22,SZ27	30/75	0,0025	0,00525	0,007	0,0075	0,024	0,032
SZ23,SZ26	30/50	0,0025	0,006375	0,0085	0,0075	0,024	0,032
SZ24,SZ25	25/50	0,0025	0,00555	0,0074	0,0075	0,024	0,032
Tüm Kirişler	25/60	0,0025	0,00615	0,0082	0,0075	0,024	0,032

2.2.2. Statik itme analizi

Statik itme analizi çok katlı olmayan ve düzenli yapıların doğrusal olmayan davranışı tespit etmede kullanılan ve oldukça doğru sonuçlar veren pratik bir yöntemdir. Bu yöntem, yeni inşa edilen veya güçlendirilen binaların doğrusal olmayan davranışları hakkında güveniler bilgiler sunarak mühendislere yol gösterir (Şahin Yön, 2017; Jamal ve Yüksel, 2021; Karaşin ve Öncü, 2022; Taş ve ark., 2022; Sullivan ve ark., 2021; Wibowo ve ark., 2021). Statik itme analizi yönteminde, hasar oluşması muhtemel taşıyıcı eleman uçlarına plastik mafsallar (toplanmış veya yayılı) atanır. Analiz edilen bina belirlenen bir çatı deplasmanına kadar monolitik şekilde artan statik yüklerle yüklenir. Yük artımına bağlı olarak elemanlarda oluşan plastik mafsalları dağılımı izlenir. Yapı belirlenen tepe deplasmanına ulaşınca doğrusal olmayan kuvvet-yer değişirme ilişkisini gösteren statik itme eğrisi elde edilir. Tipik bir statik itme eğrisi aşağıda Şekil 2.9.'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Statik itme (Pushover) eğrisi (Yön, 2014)

2.2.3. Artımsal dinamik analiz

Yapıların doğrusal olmayan davranışlarını tahmin etmek oldukça uzun analizler gerektiren zor bir işlemdir. Bu güç durumu ortadan kaldırıp yapıların doğrusal olmayan davranışlarını gerçeğe yakın bir şekilde tespit etmek için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de artımsal dinamik analiz yöntemidir. Bu yöntemde, seçilen bir grup gerçek veya yapay yer ivmesi kaydı ölçeklendirilerek analizi yapılacak binaya uygulanır. Yapıdaki yanal stabilite bozuluncaya kadar veya talep edilen deplasman değerine ulaşıncaya kadar bu yer hareketi kayıtları belli aralıklarla (0.1g ve 0.2 vb.) artımsal olarak yapıya etki ettirilir. Yapılardaki taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar ve maksimum tepkiler belirlenir. Böylelikle yapının hangi deprem genliğinde ne ölçüde hasar görebileceği tahmin edilebilir. (Öncü ve Şahin Yön, 2016; Aydın, 2020; Onat ve Yön, 2021).

2.2.4. Sismik kırılgnlık eğrileri

Herhangi bir yapının şiddetli bir yer sarsıntısı ile karşılaşması her zaman ihtimal dahilindedir. Bu ihtimalin yapıların servis ömrü boyunca var olacağı kabul edilmektedir. Kırılgnlık eğrileri yapıların davranışlarını belirlemek ve hasar görme olasılıklarını değerlendirmede kullanılan bir yöntemdir (FEMA, 273-274; FEMA, 365). Bu olasılığı tespit ederek yapının ileride hangi deprem büyüklüğü altında ne kadar hasar göreceğini

öngörmek önemli bir konudur. Kırılgnlık eğrileri yer hareketleri sonunda yapıların belirli bir hasar durumuna ulaşması veya belirli bir hasar durumunu aşmasını olasılıksal olarak ifade eden bir eğridir. Bu eğriler sadece yaşanmış depremlerden sonra yapılarda oluşan hasarları değerlendirmek için değil, aynı zamanda yapıların sismik modellemesinde de kullanılmaktadır (Nemutlu, 2023; Dönmez ve ark., 2022).

Kırılgnlık eğrileri, bir yapının yıkılma ihtimalini veya daha önceden belirlenmiş bir hasar seviyesi durumunu evvelden belirlenmiş yer sarsıntısı yoğunluk ölçüsünün bir fonksiyonu olarak belirler. Yapısal analiz sonuçlarından elde edilen kırılgnlık eğrileri, yapısal değerlendirmelerde daha fazla kullanılır duruma gelmektedir (Baker, 2015). Bu yöntemde, herhangi bir kırılgnlık fonksiyonu tanımlamak için genel olarak bir lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu Denklem 2.11’de verilmiştir.

$$P\left(\frac{c}{IM} = \chi\right) = \varphi\left(\frac{\ln\left(\frac{\chi}{\theta}\right)}{\beta}\right) \quad (2.11)$$

Denklem 2.11’de $\frac{c}{IM} = \chi$ yer hareketinin yapının göçmesine neden olabilecek etki ölçüsü (IM) olma olasılığıdır. φ standart normal kümülatif dağılım fonksiyonudur, θ kırılgnlık fonksiyonunun medyanıdır ve β , $\ln IM$ ’nin standart sapmasıdır.

$$\ln \theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln IM_i \quad (2.12)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\ln\left(\frac{IM_i}{\theta}\right)\right)^2} \quad (2.13)$$

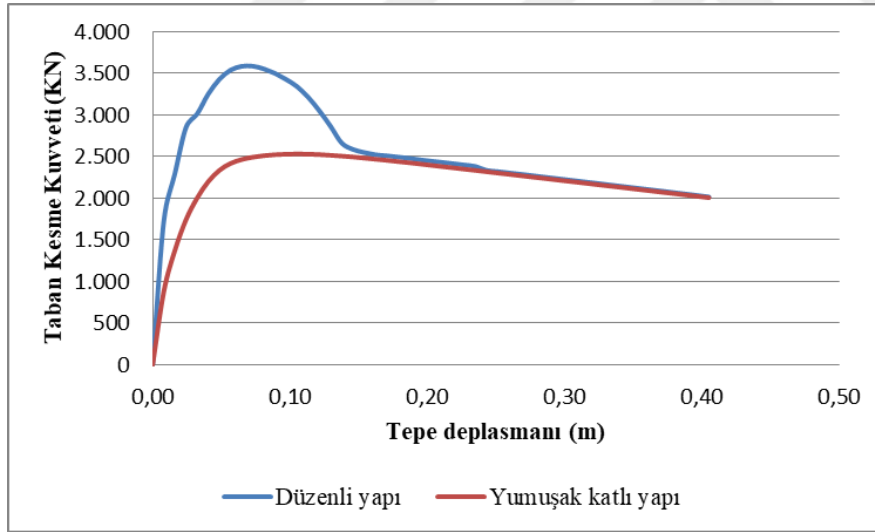
Denklem 2.12 ve 2.13’de dikkate alınan yer sarsıntısı sayısı ve " IM_i ", yer hareketi sayısı " i " için göçmenin başlangıcını gösteren IM değeridir. " $\ln \theta$ " ve " β " ise " $\ln IM$ " değerlerini temsil eden normal dağılımın, ortalama ve standart sapmasıdır. IM ’nin lognormal olarak dağılması durumunda, $\ln IM$ ’nin ortalaması IM ’nin medyanına eşit olmaktadır. Bu şekilde bir θ tahmini üretilmektedir (Ekhlaspour ve ark., 2022; Aslani ve Miranda, 2005; Ibarra ve Krawinkler, 2005).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kapasite Eğrileri

Seçilen binaların statik itme analizleri ek dışmerkezlilik dikkate alınarak DD-2 deprem düzeyi ve ZD yerel zemin sınıfına göre yapılmıştır. Düzenli ve yumuşak katlı binaların x ve y yönlerine göre kapasite eğrilerinin karşılaştırılması Şekil 3.1. ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

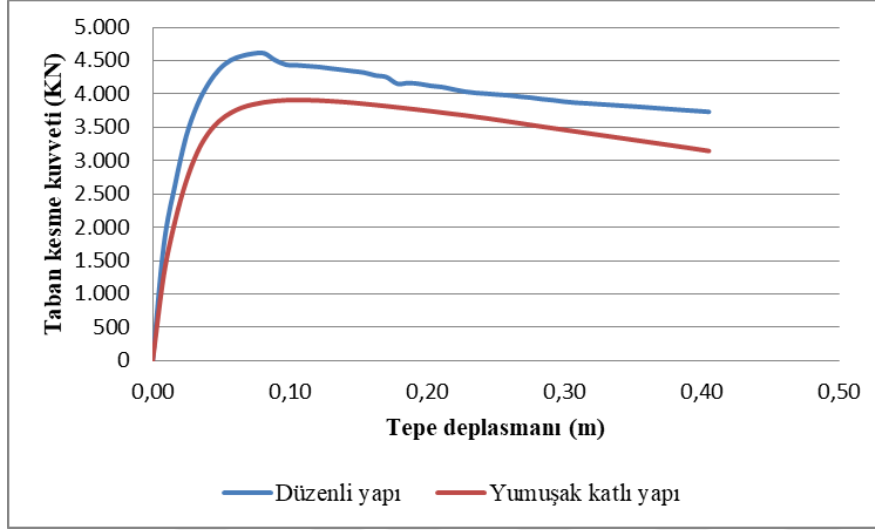
Şekil 3.1. incelendiğinde düzenli yapının kapasite eğrisinin yumuşak katlı binaya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Düzenli yapı 3.500 kN’luk bir taban kesme kuvveti taşıırken, yumuşak katlı yapı ise 2.500 kN’luk bir taban kesme kuvveti taşımaktadır. Fakat tepe deplasmanın 0.15 m’ye ulaşmasından sonra düzenli ve yumuşak katlı binanın kapasite eğrilerinin üst üste çakıştığı görülmüştür. Bunun nedeni binanın düşey taşıyıcılarının x yönünde daha az rijitliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.1. x yönünde kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 3.2’de y yönünde düzenli ve yumuşak katlı yapıların kapasite eğrileri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre düzenli binanın kapasite eğrisinin yumuşak katlı binaya göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Düzenli yapı 4.500 kN’luk bir taban kesme kuvveti taşıırken, yumuşak katlı yapı ise 4.000 kN’luk bir taban kesme kuvveti karşılamaktadır. Yapısal sistemin düşey taşıyıcı elemanları y yönünde daha rijit

olduğundan düzenli ve yumuşak katlı yapıların kapasite eğrilerinde paralellik gözlemlenmiştir.

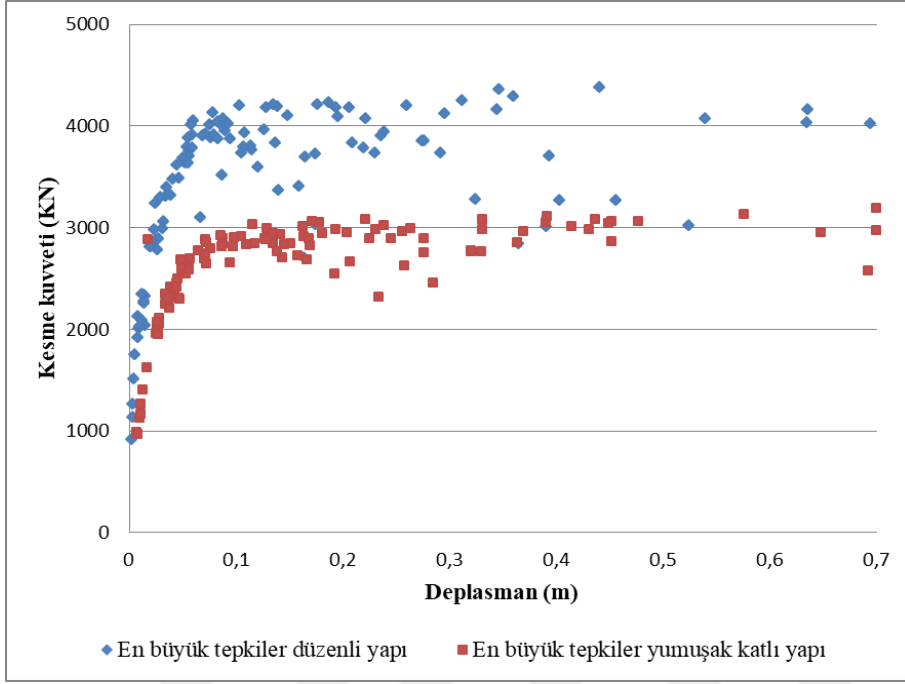


Şekil 3.2. y yönünde kapasite eğrilerinin karşılaştırılması

3.2. En Büyük Tepkiler

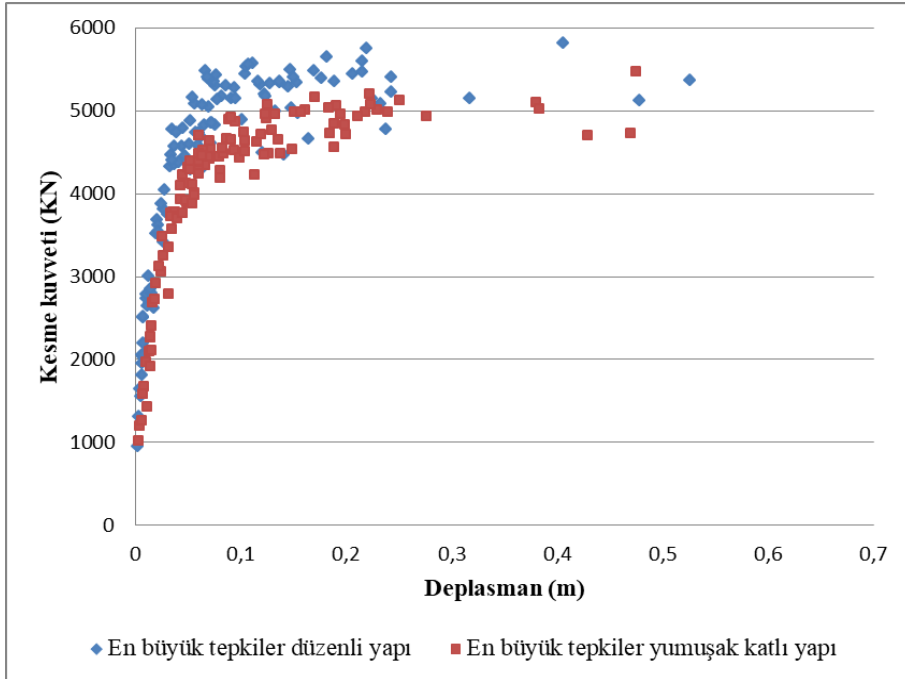
Düzenli ve yumuşak katlı yapıların artımsal dinamik analizlerinden elde edilen en büyük tepkiler x ve y yönleri için sırasıyla Şekil 3.3. ve Şekil 3.4'te verilmiştir. En büyük tepkiler elde edilirken her bir ivme genliği için maksimum deplasmanın hangi zamanda olduğu belirlenmiştir. Daha sonra seçilen bu zamanın ± 0.5 sn aralığında oluşan en büyük kesme kuvveti, tepki kuvveti olarak seçilmiştir (Antoniou ve Pinho, 2004).

Şekil 3.3. incelendiğinde yumuşak katlı yapının karşıladığı en büyük kesme kuvvetlerinin yaklaşık 3.000 kN olduğu görülürken, düzenli yapının karşıladığı kesme kuvvetlerinin 4.200 kN olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.3. x yönü için oluşan en büyük tepkiler

Şekil 3.4. incelendiğinde yumuşak katlı yapının karşıladığı en büyük kesme kuvvetlerinin yaklaşık 5.000 kN olduğu görülürken, düzenli yapının karşıladığı kesme kuvvetlerinin 5.700 kN civarlarında olduğu belirlenmiştir.



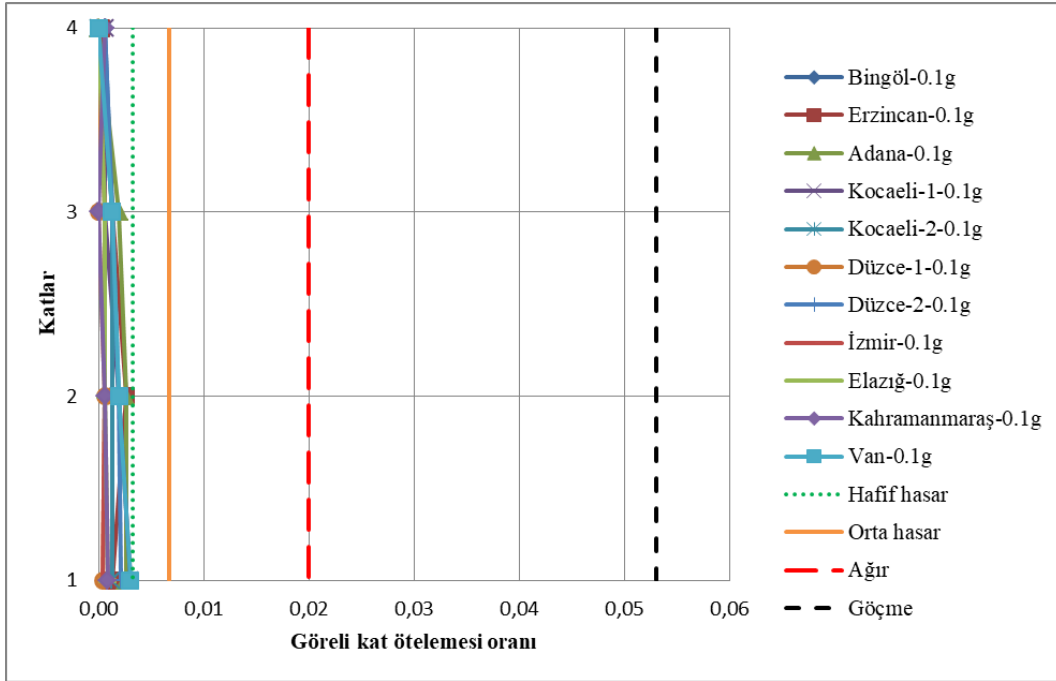
Şekil 3.4. y yönü için oluşan en büyük tepkiler grafiği

Şekil 2.1’de verilen kat planı incelendiğinde kolonların y yönünde x yönüne göre daha rijit olduğu görülmektedir. Bu durum binaların x yönünde daha fazla deplasman yapmasına rağmen daha az kesme kuvveti karşılmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, y yönünde daha rijit kalan binalarda daha az deplasman meydana gelirken x yönüne göre çok daha fazla kesme kuvveti karşılanmıştır.

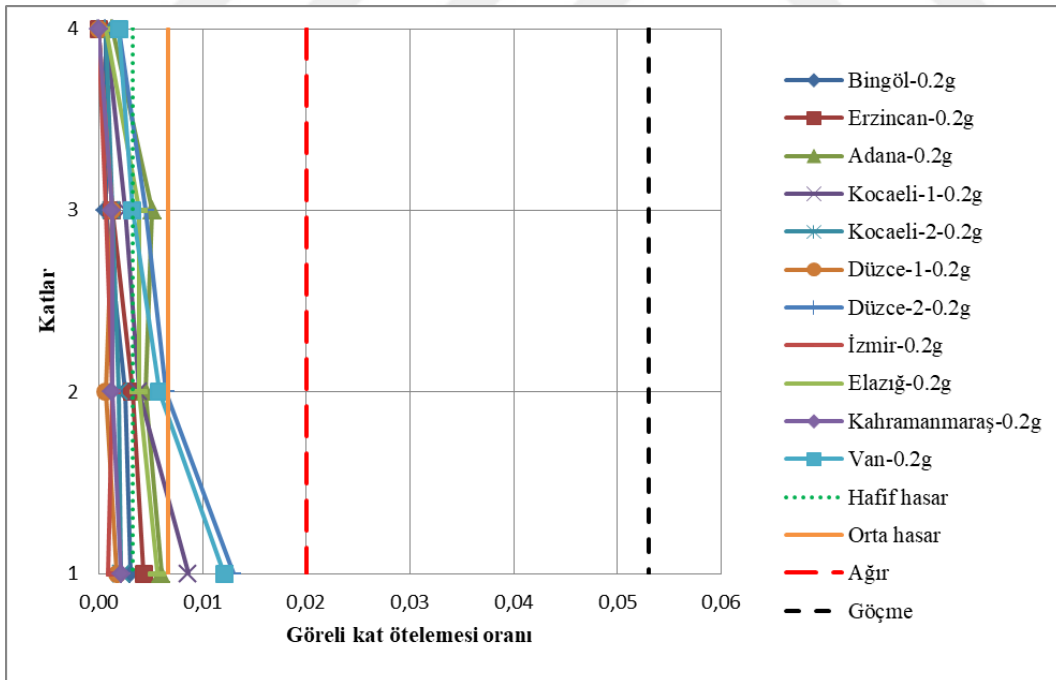
3.3. Göreli kat ötelemeleri

Düzenli yapının ivme genliklerine göre x yönü için elde edilen göreli kat ötelemesi oranları ve bu değerlerin HAZUS’ta verilen sınır değerlerle karşılaştırılması Şekil 3.5-Şekil 3.14’te verilmiştir.

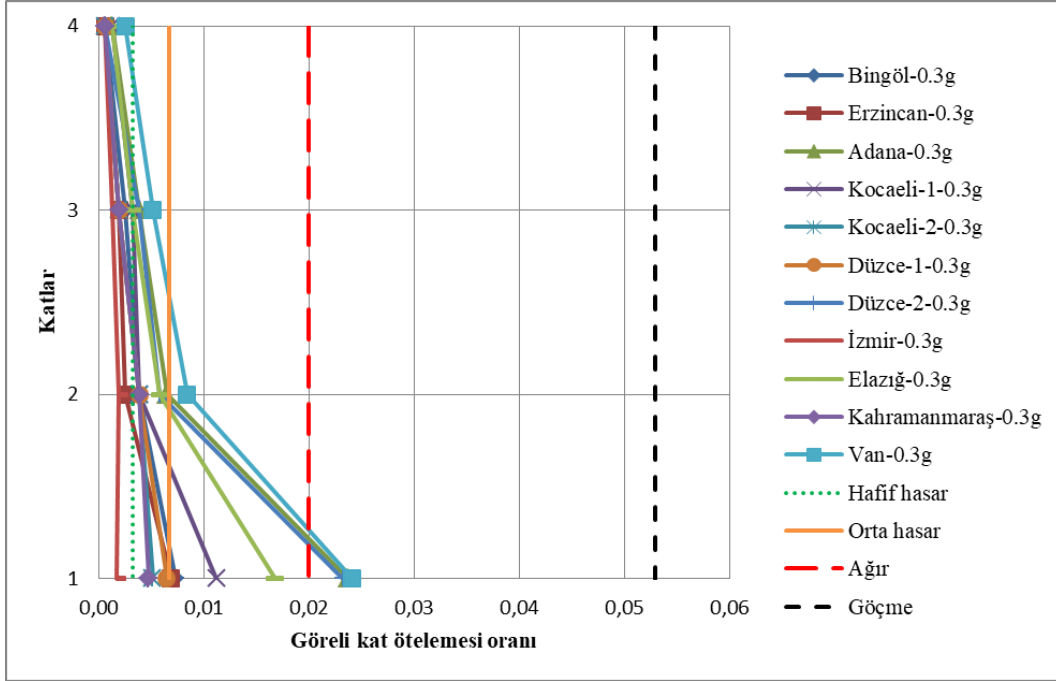
Elde edilen göreli kat ötelemesi oranları değerlendirildiğinde 0.1g’lik deprem altında tüm kayıtlar için düzenli binada hafif hasar seviyesi aşılmamıştır. 0.2g’lik deprem altında 5 adet kayıt için düzenli binadaki göreli kat ötelemesi oranlı hafif hasar seviyesinin altında kalmıştır. 3 kayıt için hafif hasar ile orta hasar seviyesi arasında oluşurken diğer 3 kayıt için ise orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.3g’lik deprem altında 1 adet kayıt için düzenli binadaki göreli kat ötelemesi oranları hafif hasar seviyesinin altında, 5 adet kayıt için hafif ile orta hasar seviyelerinin arasında ve 2 adet kayıt için ise ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.4g’lik deprem altında 6 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyeleri arasında 5 adet kayıt için ise ağır hasar ile göçme seviyeleri arasında kalmıştır. 0.5g’lik deprem altında 3 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 7 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 1 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.6g’lik deprem altında 2 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 4 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 5 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.7g’lik deprem altında 1 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 2 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 8 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.8g’lik deprem altında 1 adet için kayıt orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 2 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 8 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.9g’lik kayıt altında 2 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 9 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 1g’lik kayıt altında bu oranlar 1 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 10 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır.



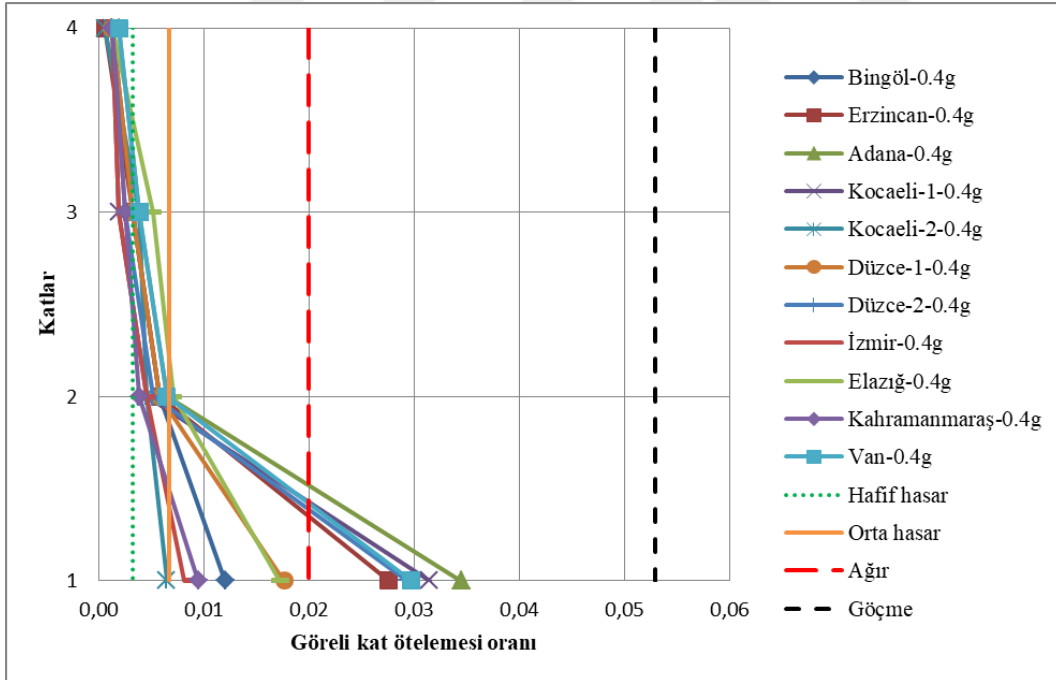
Şekil 3.5. Düzenli binanın x yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



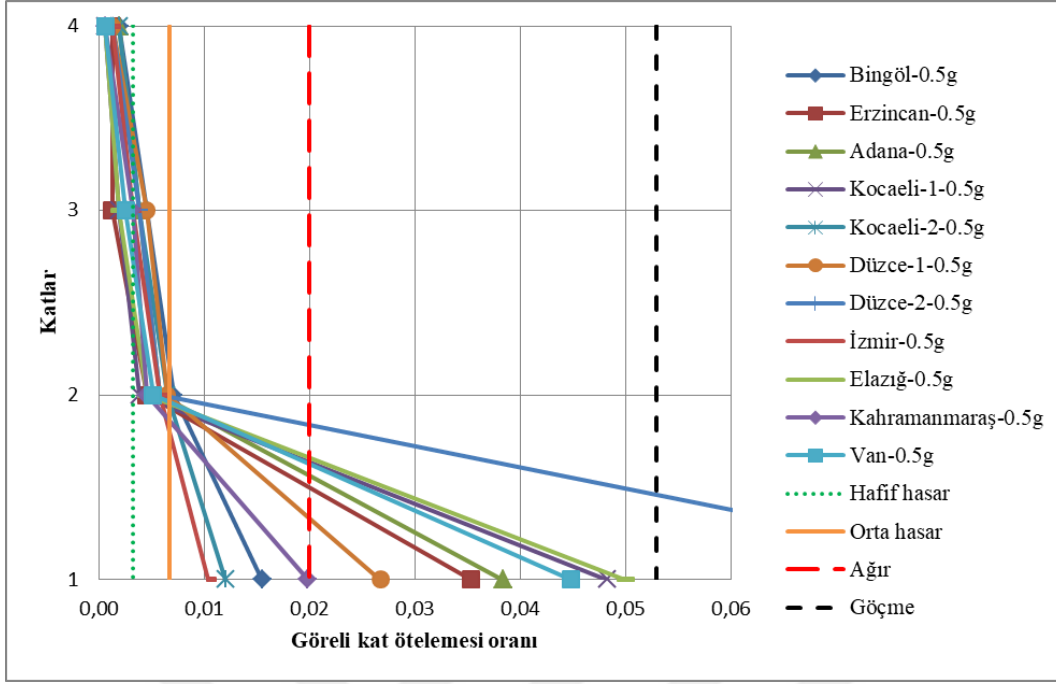
Şekil 3.6. Düzenli binanın x yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



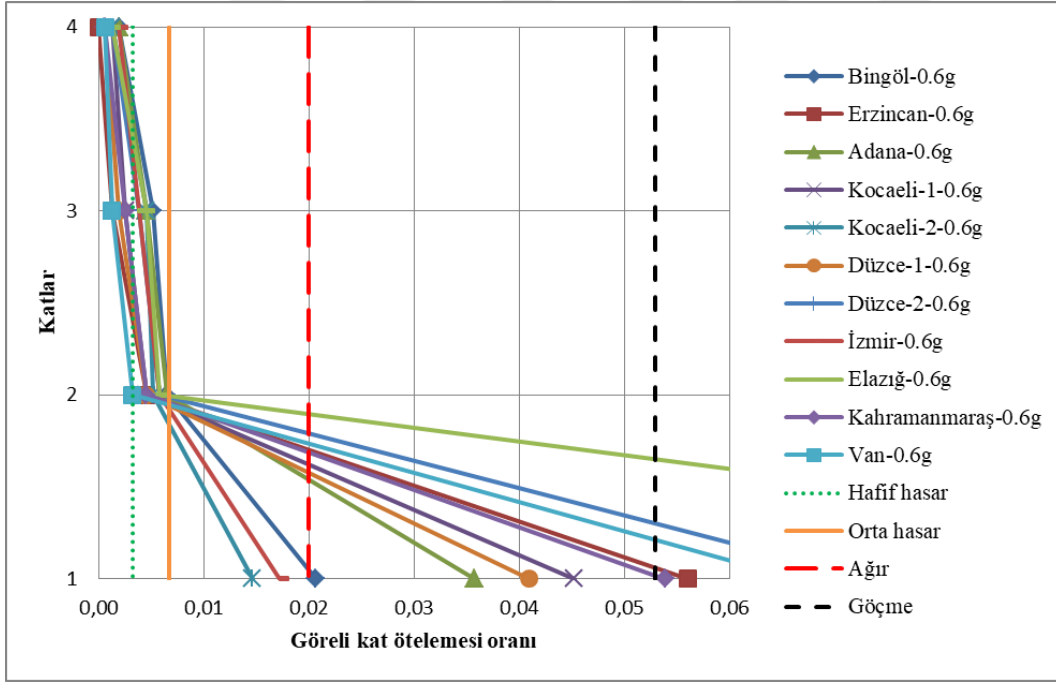
Şekil 3.7. Düzenli binanın x yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat öteleme oranları



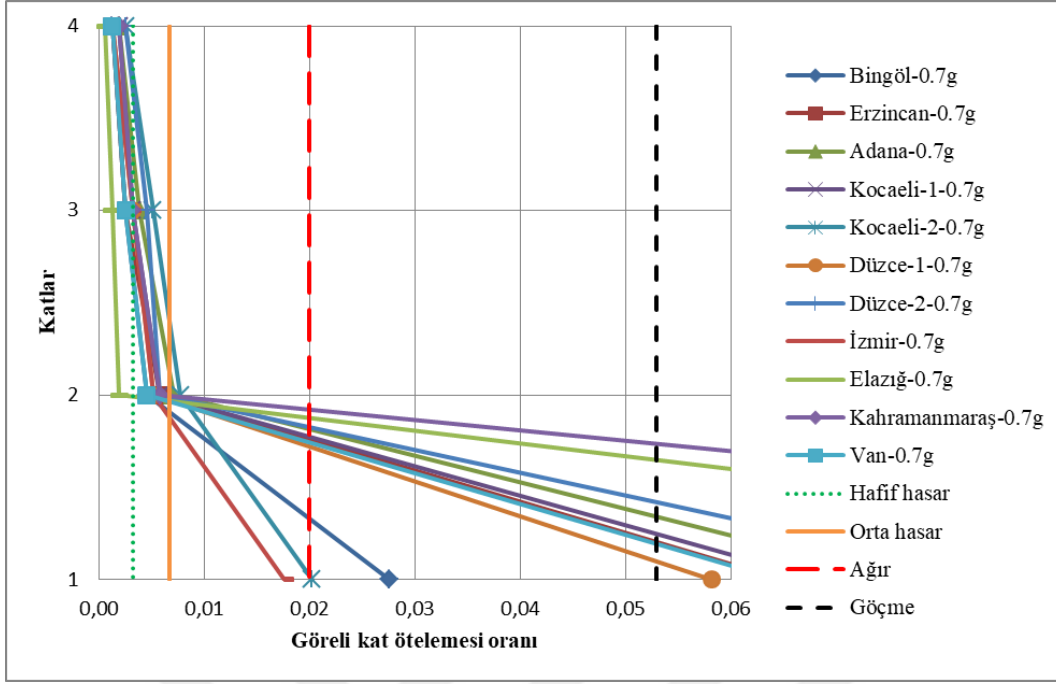
Şekil 3.8. Düzenli binanın x yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat öteleme oranları



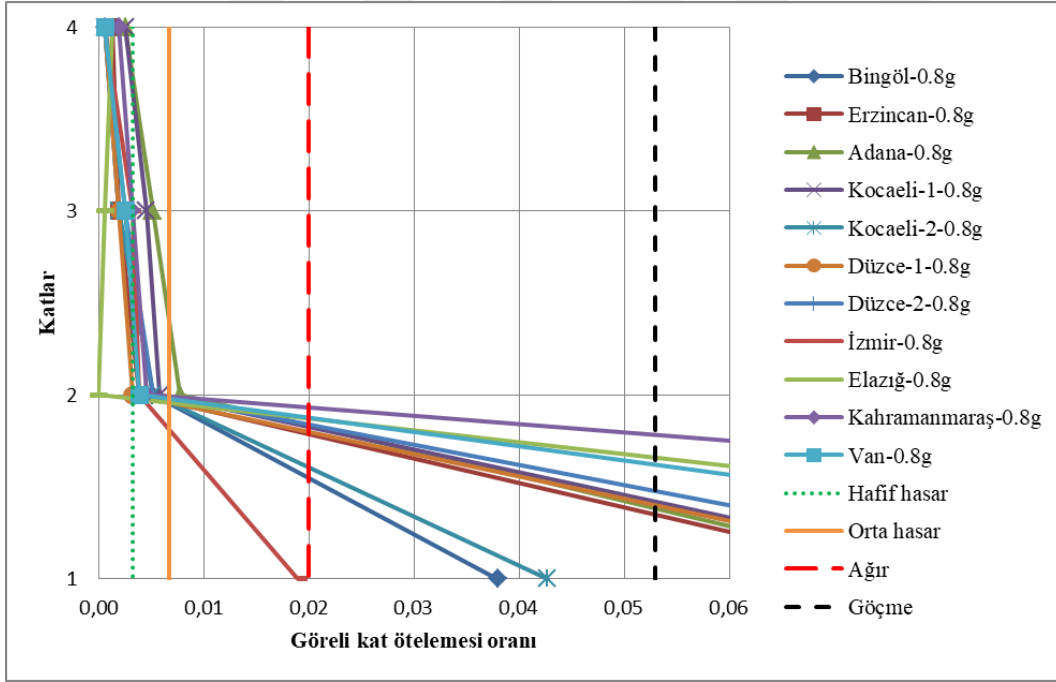
Şekil 3.9. Düzenli binanın x yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat öteleme oranları



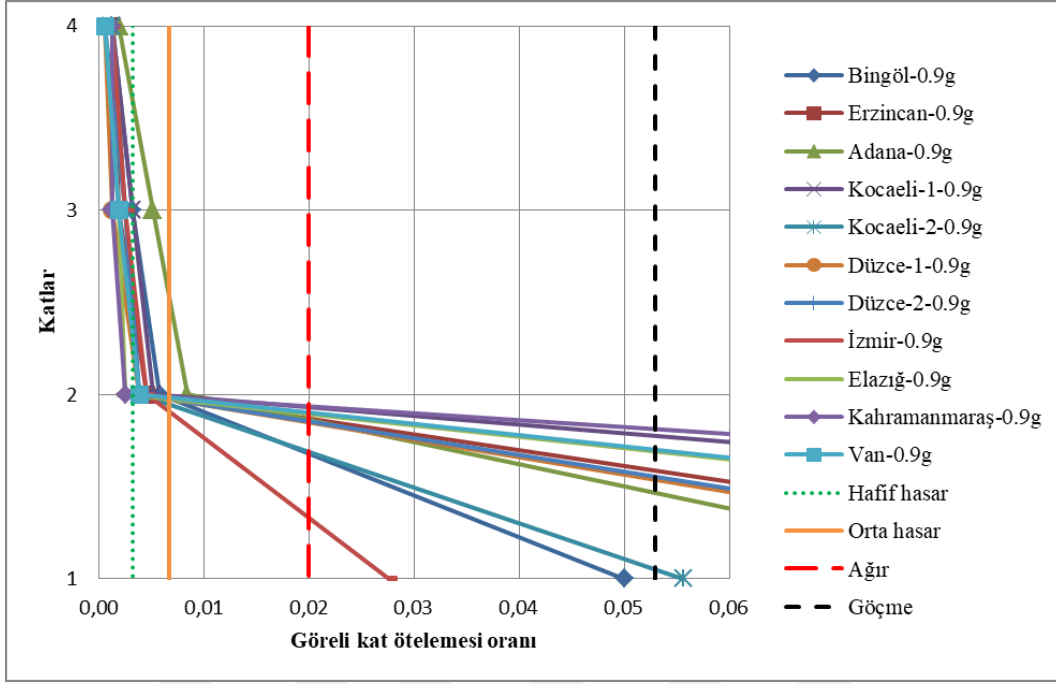
Şekil 3.10. Düzenli binanın x yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat öteleme oranları



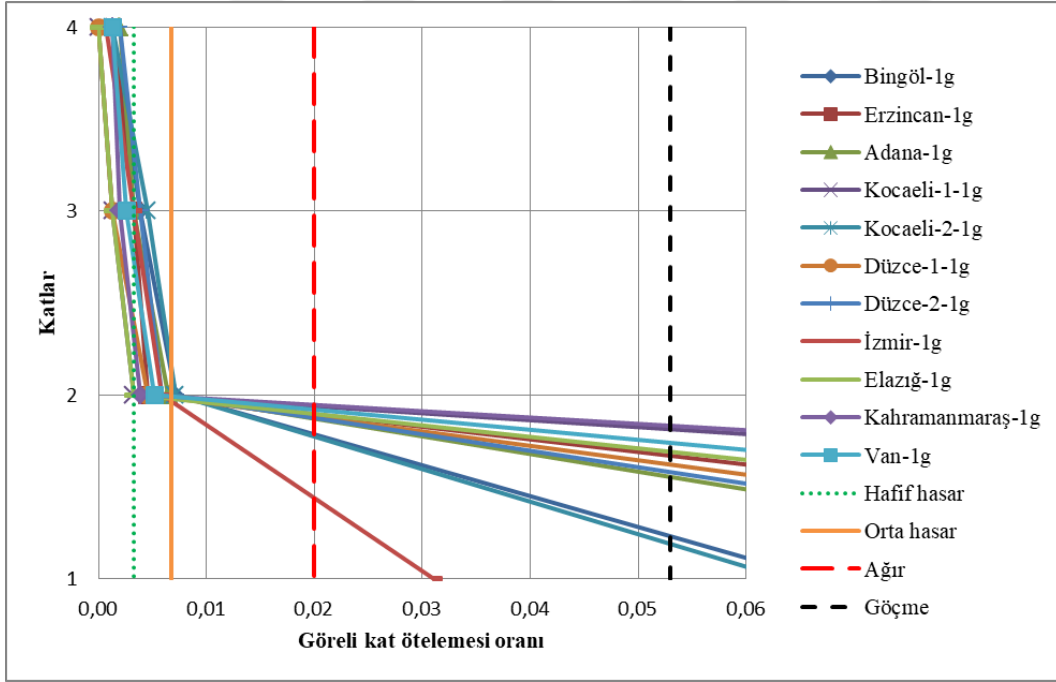
Şekil 3.11. Düzenli binanın x yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



Şekil 3.12. Düzenli binanın x yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



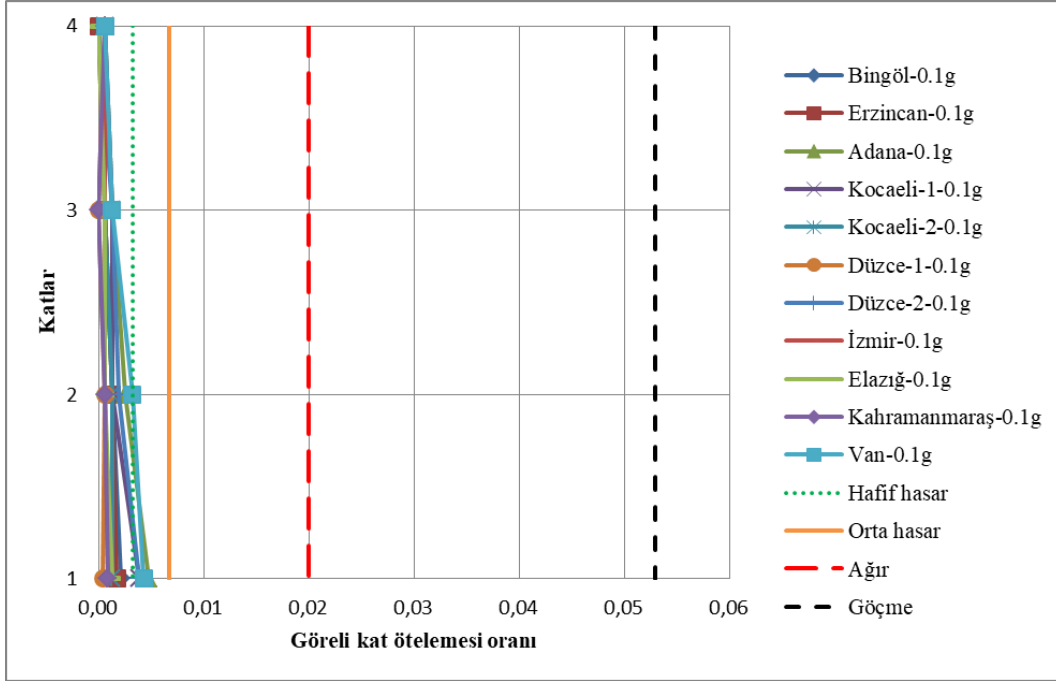
Şekil 3.13. Düzenli binanın x yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat öteleme oranları



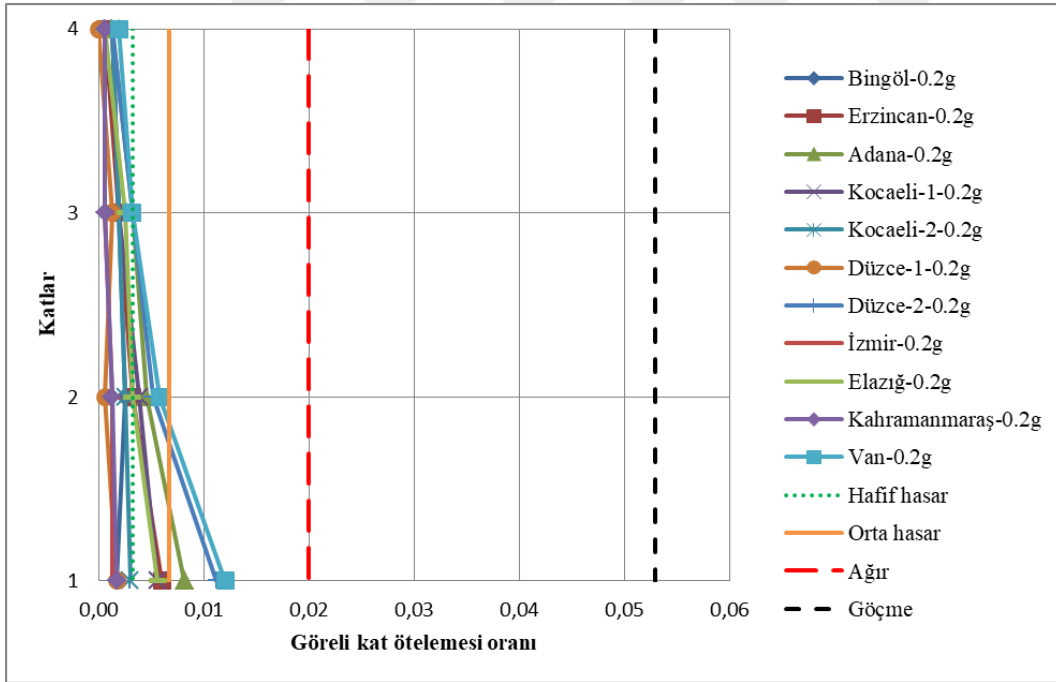
Şekil 3.14. Düzenli binanın x yönü için 1g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat öteleme oranları

Düzenli yapının y yönü için ivme genliklerine göre elde edilen görel kat öteleme oranları ve bu değerlerin HAZUS'ta verilen sınır değerlerle karşılaştırılması Şekil 3.15-

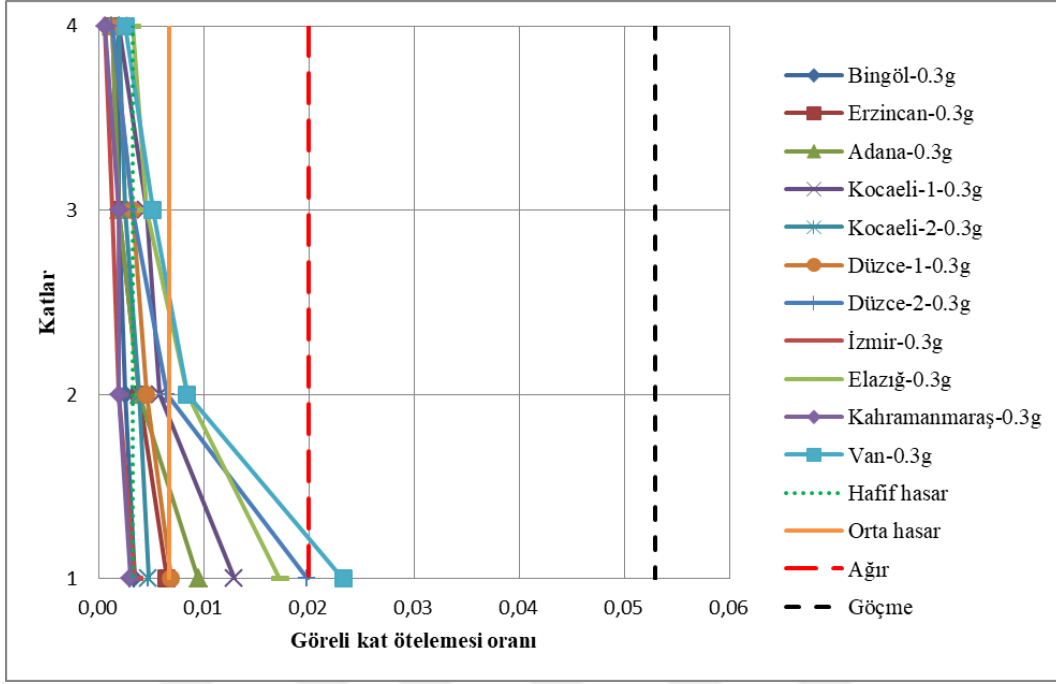
Şekil 3.24'te verilmiştir. Bu şekiller değerlendirildiğinde 0.1g'lik deprem altında 8 adet kayıt için düzenli binadaki göreceli kat ötelemesi oranları hafif hasar sınırının altında, 3 adet kayıt için ise hafif hasar ve orta hasar seviyeleri arasında kalmıştır. 0.2g'lik deprem altında bu oranlar 5 adet kayıt için hafif hasar seviyesinin altında, 3 adet kayıt için hafif hasar ile orta hasar seviyesi arasında, 3 adet kayıt için ise orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.3g'lik deprem altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları 3 adet kayıt için hafif hasar seviyesinin altında, 3 adet kayıt için hafif ile orta hasar seviyelerinin arasında, 4 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında kalırken, 1 adet kayıt için ise ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.4g'lik deprem altında 3 adet kayıt için hafif hasar ve orta hasar seviyeleri arasında 5 adet kayıt için orta ile ağır hasar seviyeleri arasında, 3 adet kayıt için ise ağır hasar ile göçme seviyesi arasında kalmıştır. 0.5g'lik deprem altında bu oranlar 6 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 5 adet kayıt için ise ağır hasar ile göçme seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.6g'lik deprem altında 3 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 7 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 1 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.7g'lik deprem altında 3 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 5 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 3 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.8g'lik deprem altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları 6 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 5 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.9g'lik kayıt altında 4 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 7 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 1g'lik kayıt altında 3 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında kalırken 8 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır.



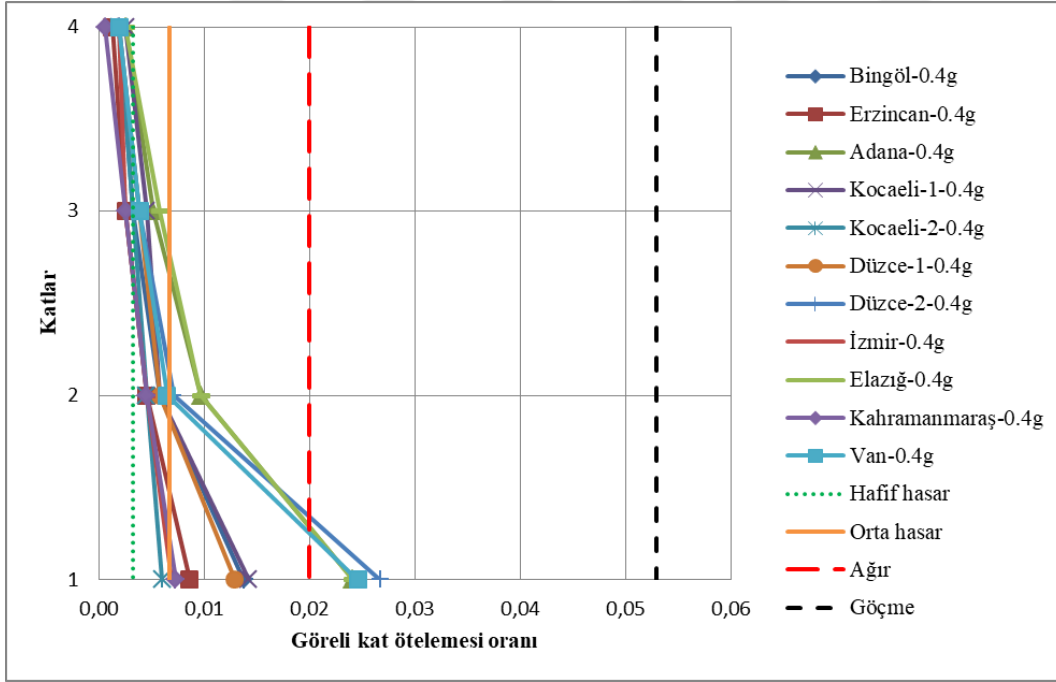
Şekil 3.15. Düzenli binanın y yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



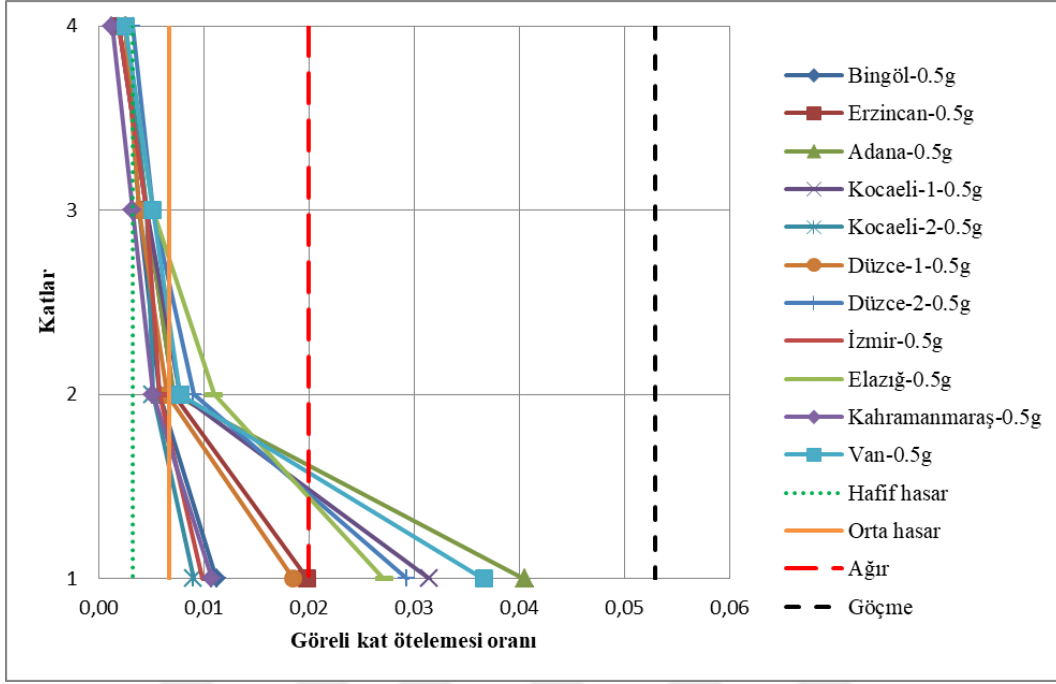
Şekil 3.16. Düzenli binanın y yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



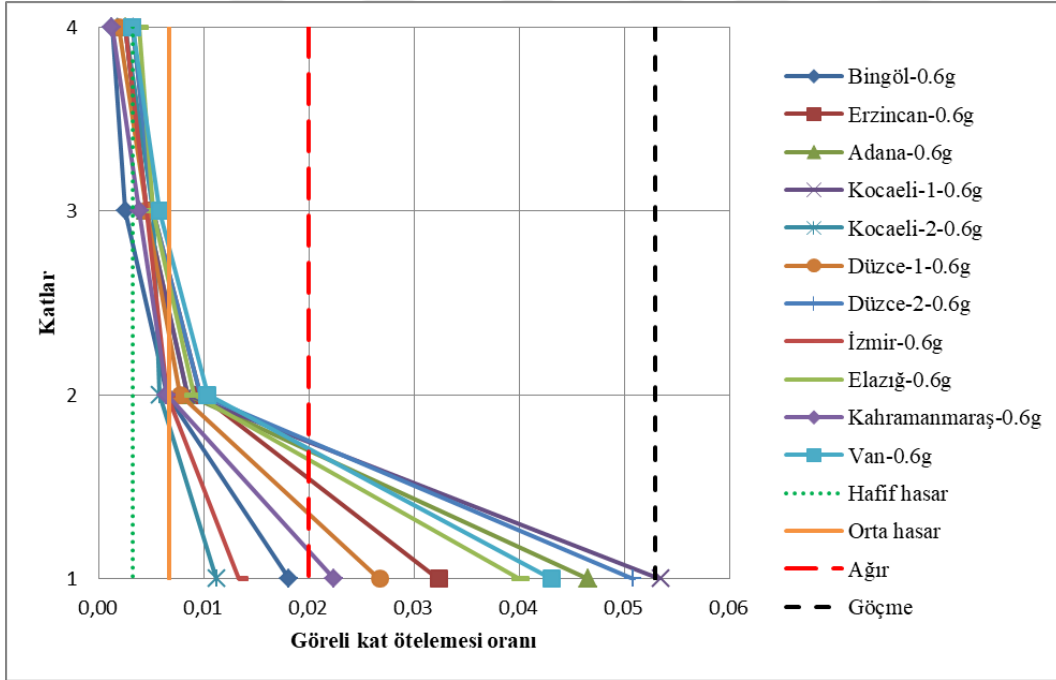
Şekil 3.17. Düzenli binanın y yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



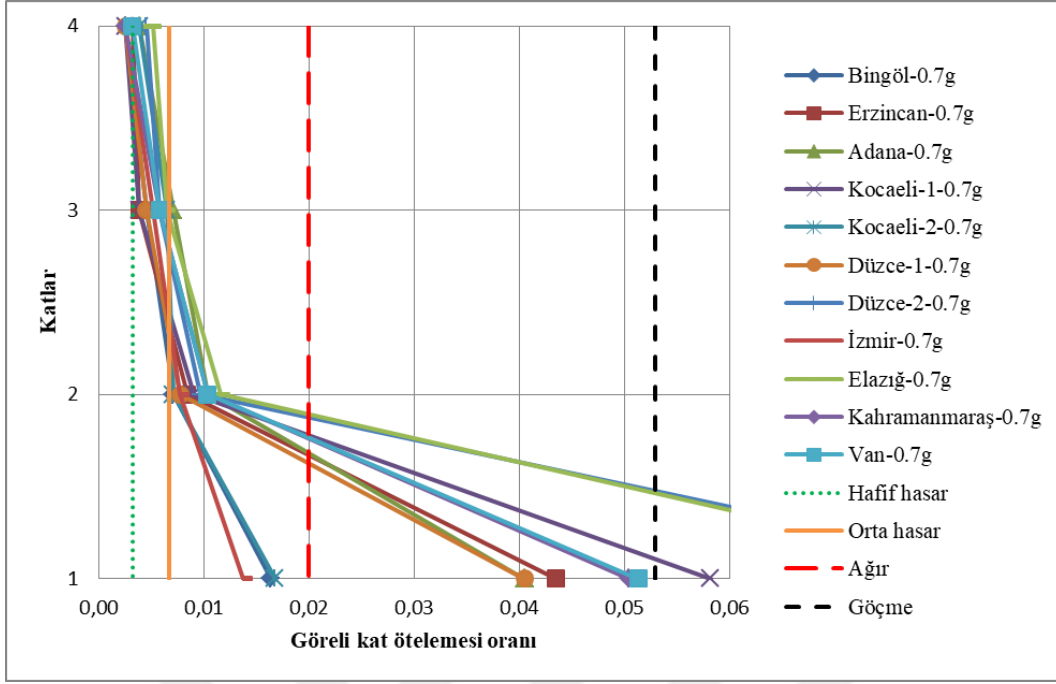
Şekil 3.18. Düzenli binanın y yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



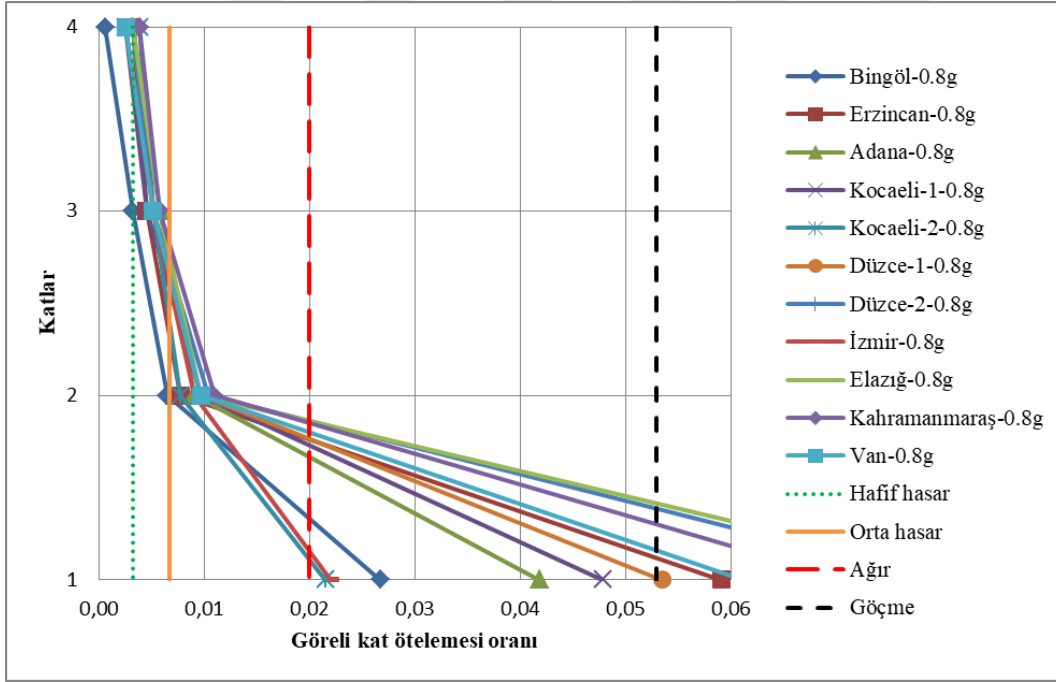
Şekil 3.19. Düzenli binanın y yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



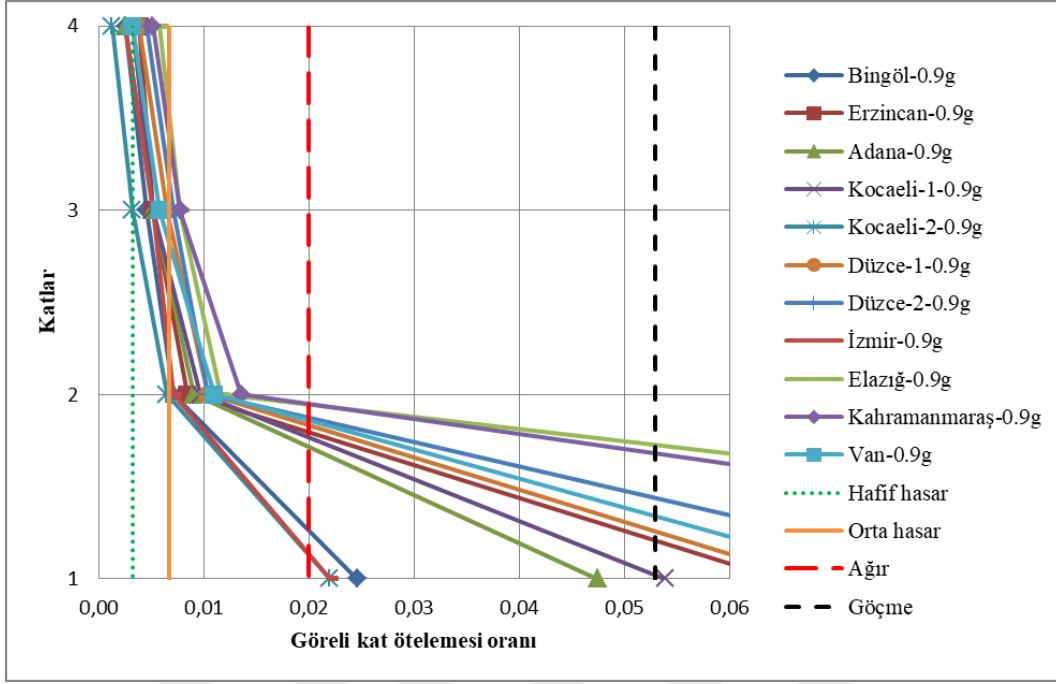
Şekil 3.20. Düzenli binanın y yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



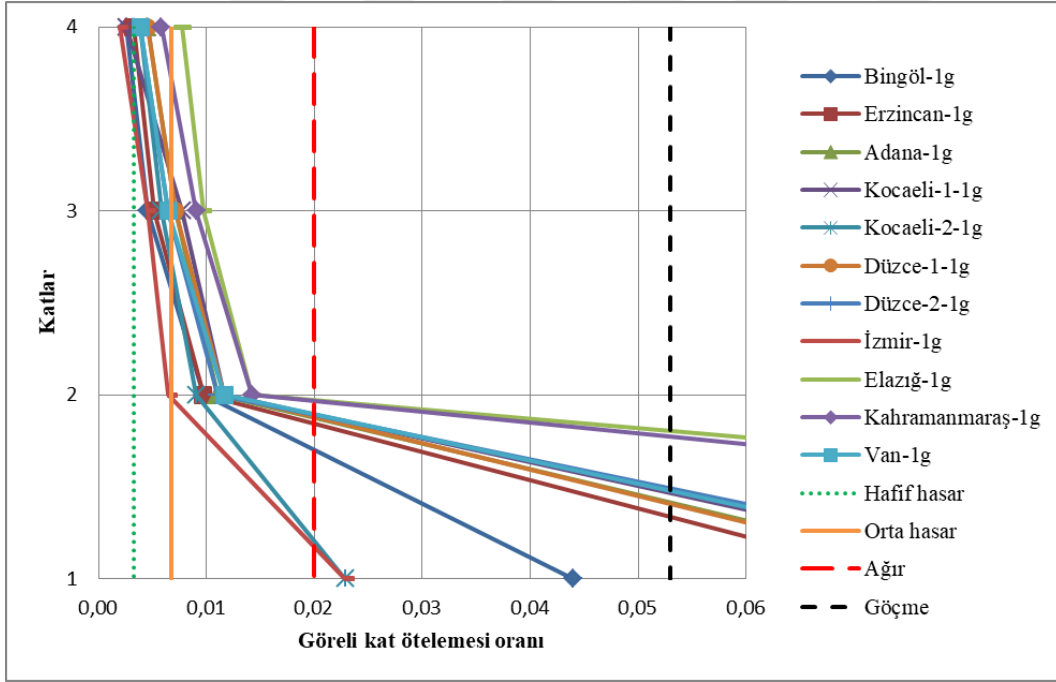
Şekil 3.21. Düzenli binanın y yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



Şekil 3.22. Düzenli binanın y yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları

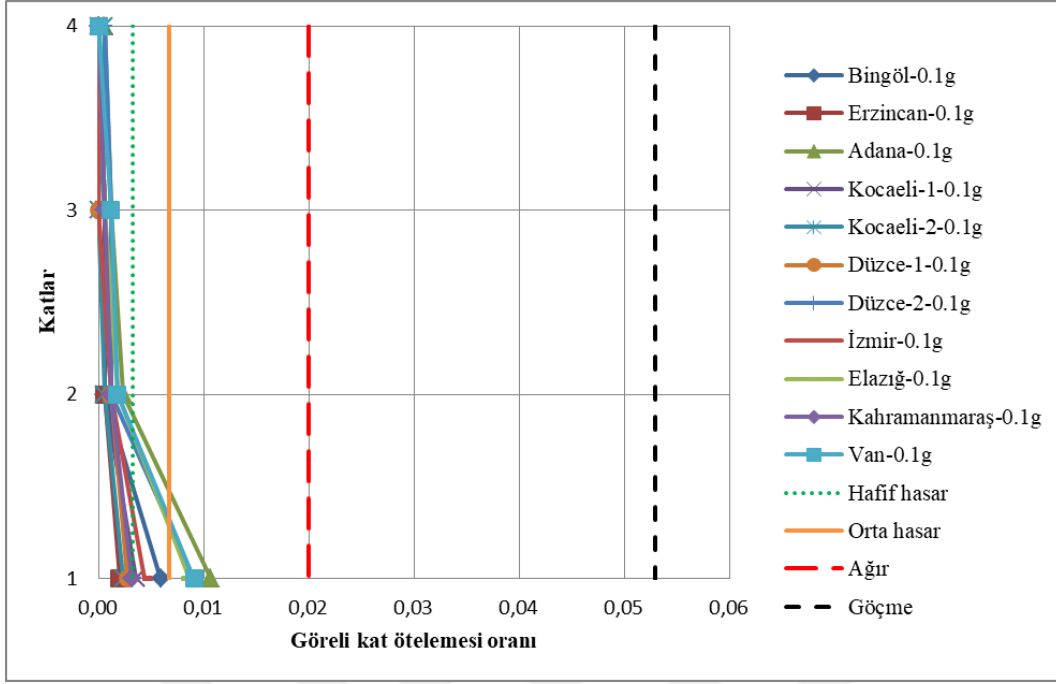


Şekil 3.23. Düzenli binanın y yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları

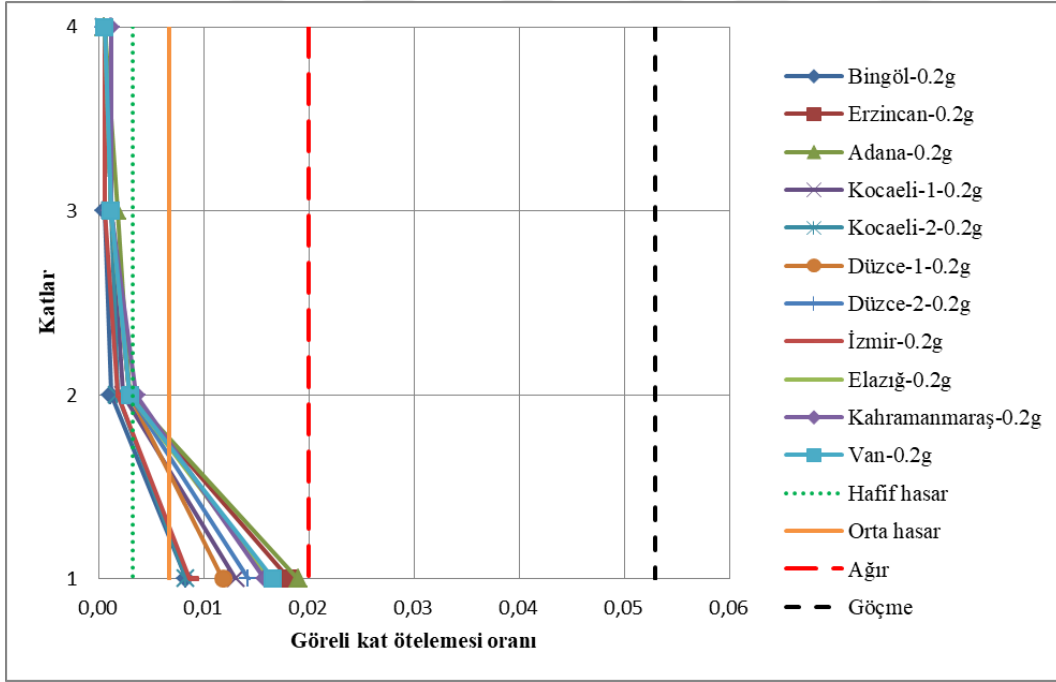


Şekil 3.24. Düzenli binanın y yönü için 1g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları

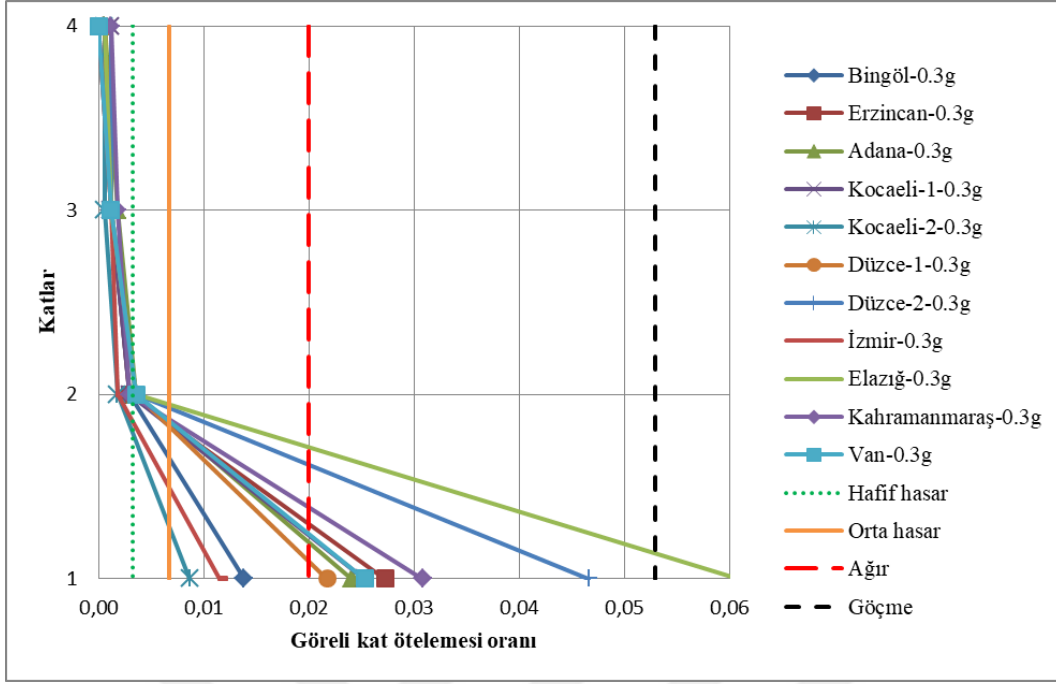
Yumuşak katlı yapının 10 farklı ivme genliğine göre x yönü için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları ve bu değerlerin HAZUS'ta verilen sınır değerlerle karşılaştırılması Şekil 3.25-Şekil 3.34'te verilmiştir. Görelî kat ötelemeleri değerlendirildiğinde 0.1g'lik deprem altında yumuşak katlı binadaki hasarlar 6 adet kayıt için hafif hasar sınırının altında, 2 adet kayıt için hafif hasar ve orta hasar seviyeleri arasında, 3 adet kayıt için ise orta hasar ve ağır hasar seviyeleri arasında kalmıştır. 0.2g'lik deprem altında meydana gelen görelî kat ötelemesi oranları 11 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.3g'lik deprem altında 3 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 7 tane kayıt için ağır hasar ve göçme seviyeleri arasında kalırken 1 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.4g'lik deprem altında 2 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 8 tane kayıt için ağır hasar ve göçme seviyeleri arasında kalırken 1 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.5g'lik deprem altında 2 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 7 tane kayıt için ağır hasar ve göçme seviyeleri arasında, 2 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.6g'lik deprem altında 1 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 3 tane kayıt için ağır hasar ve göçme seviyeleri arasında kalırken 7 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.7g'lik deprem altında oluşan görelî kat ötelemesi oranları 1 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında ve 2 tane kayıt için ağır hasar ve göçme seviyeleri arasında kalırken 8 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.8g'lik deprem altında bu oranlar 1 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 1 tane kayıt için ağır hasar ve göçme seviyeleri arasında meydana gelirken 9 adet kayıt için göçme seviyesini aşmıştır. 0.9g'lik kayıt altında 1 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 10 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 1g'lik kayıt altında hasarlar 1 adet kayıt için orta hasar ve ağır hasar seviyelerinin arasında oluşurken 10 adet kayıt ise göçme seviyesini aşmıştır.



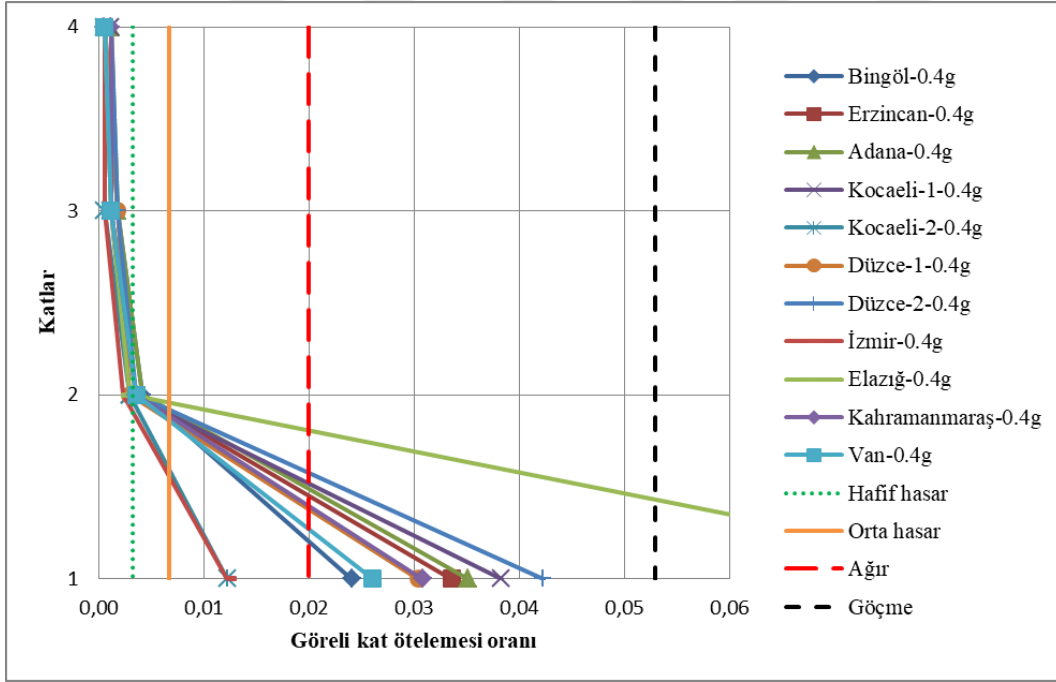
Şekil 3.25. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



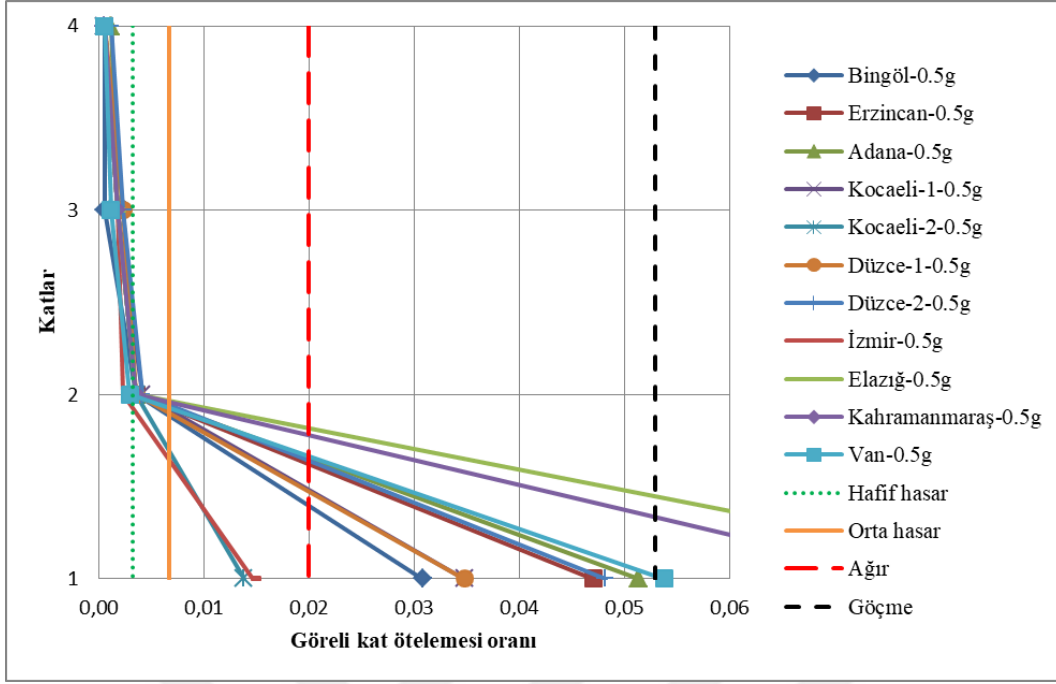
Şekil 3.26. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



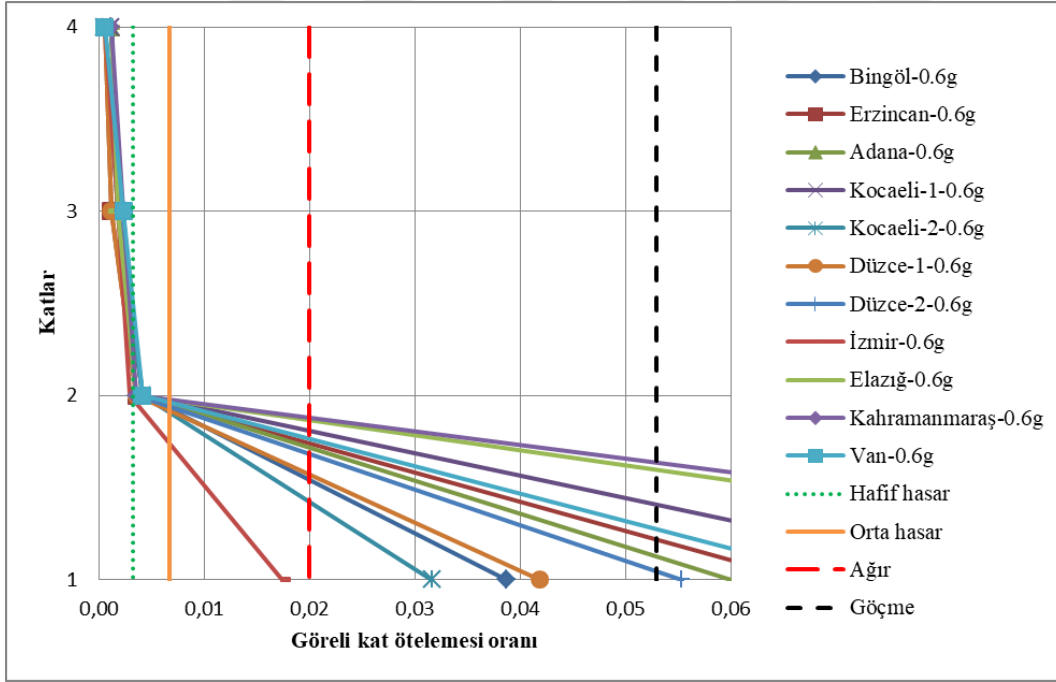
Şekil 3.27. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



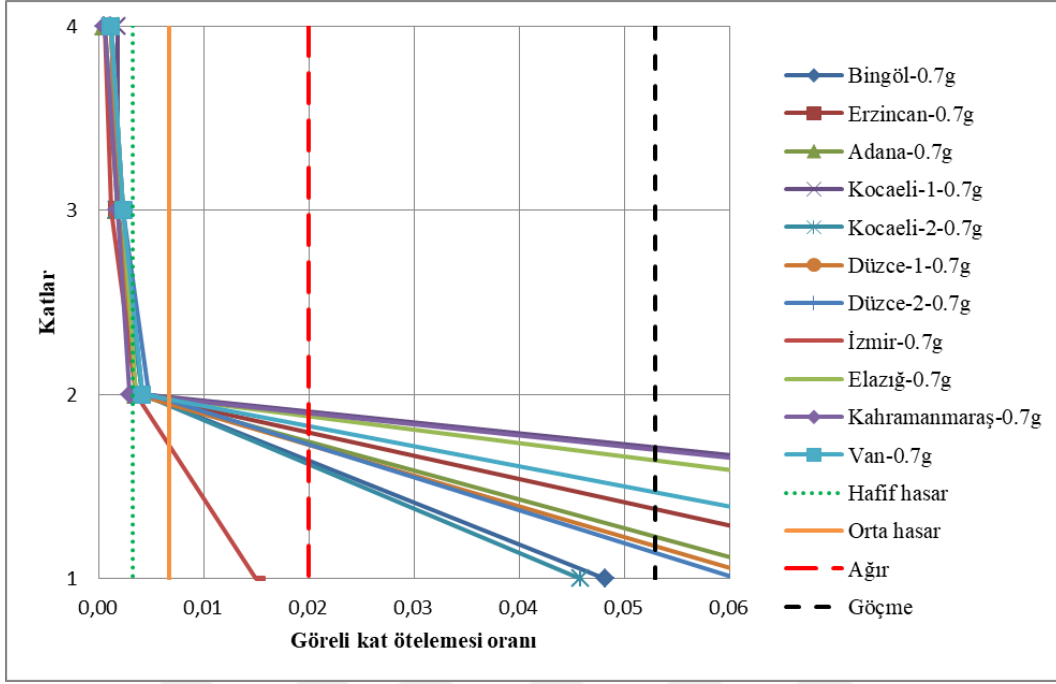
Şekil 3.28. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



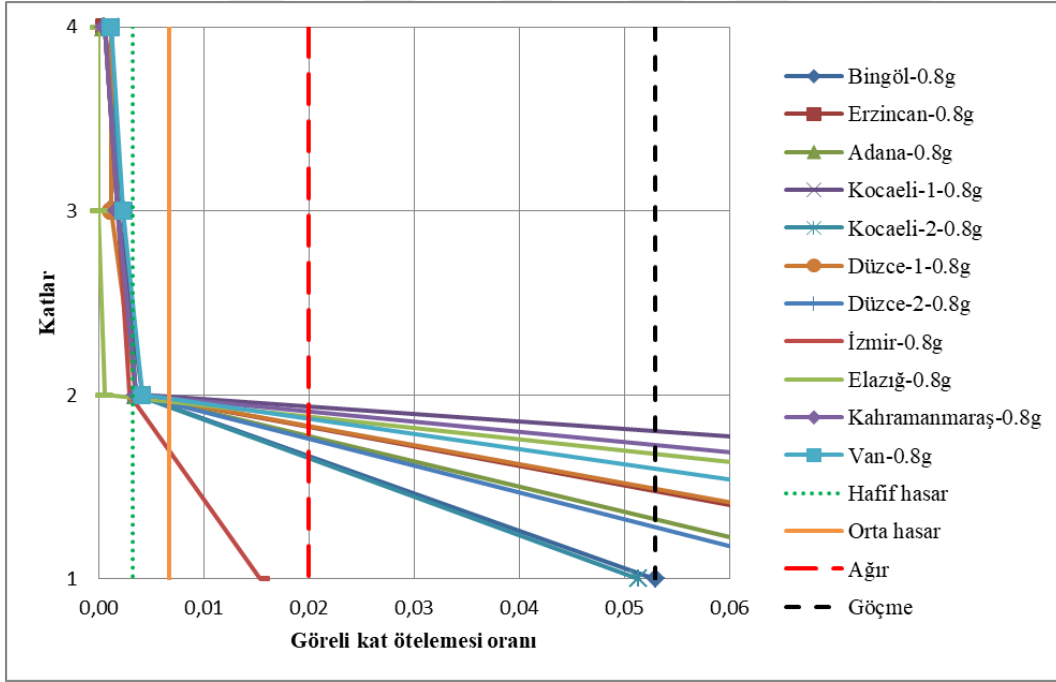
Şekil 3.29. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



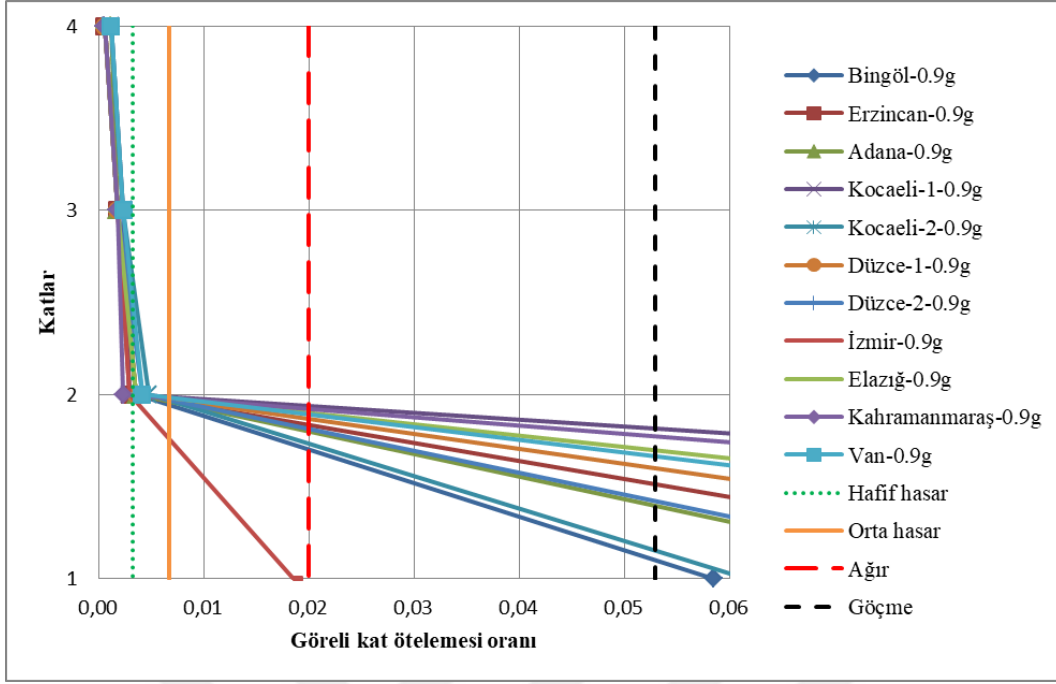
Şekil 3.30. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



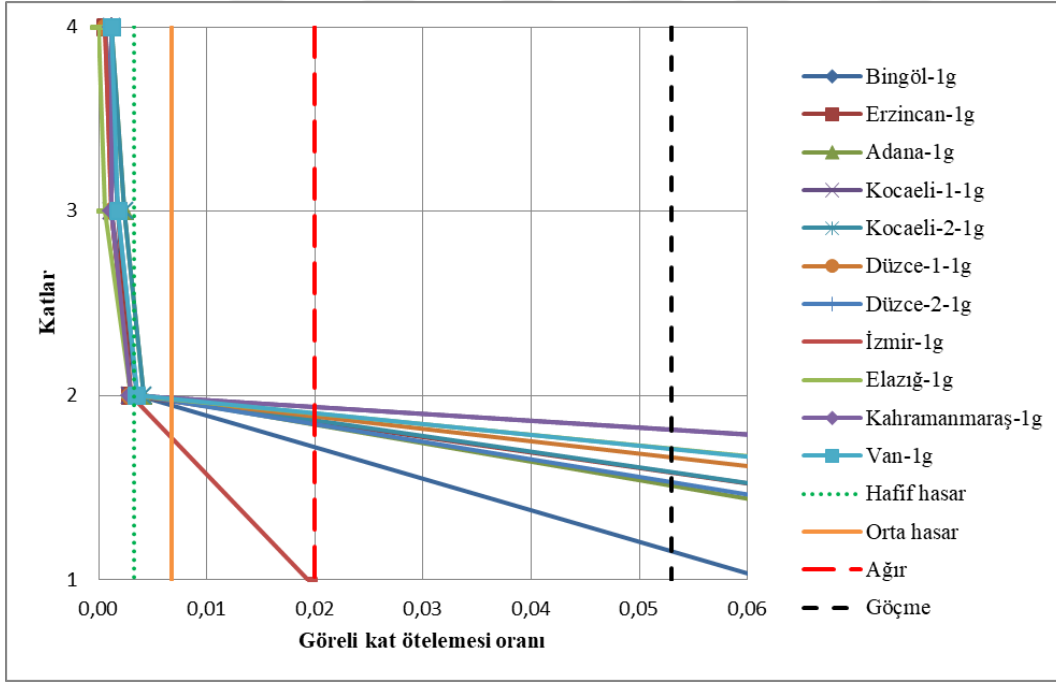
Şekil 3.31. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



Şekil 3.32. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları

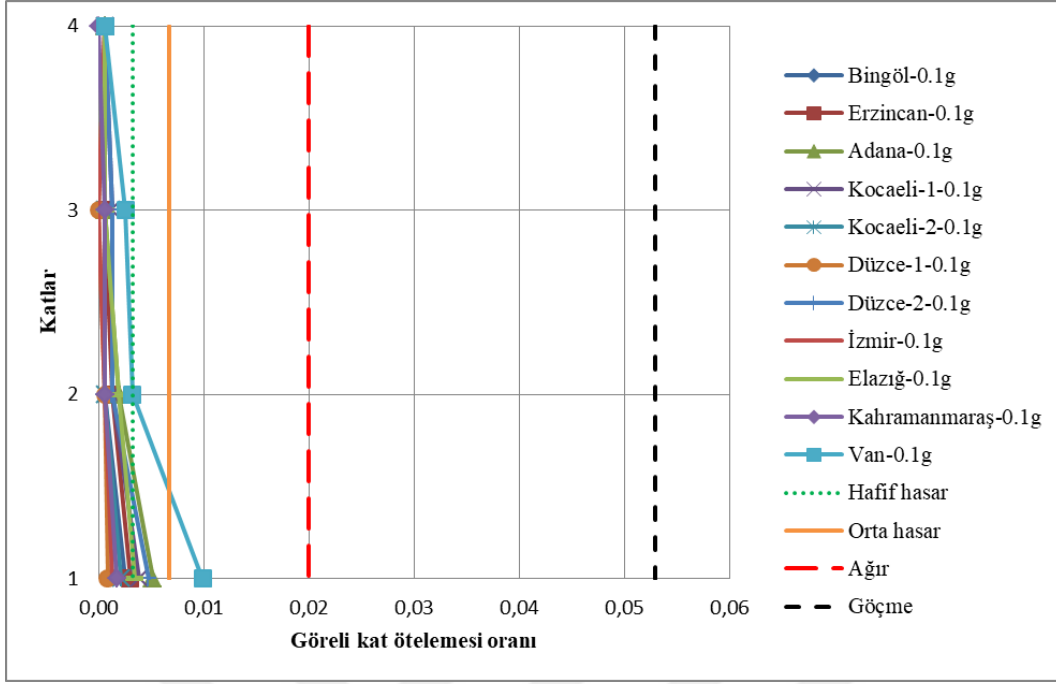


Şekil 3.33. Yumuşak katlı binanın x yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları

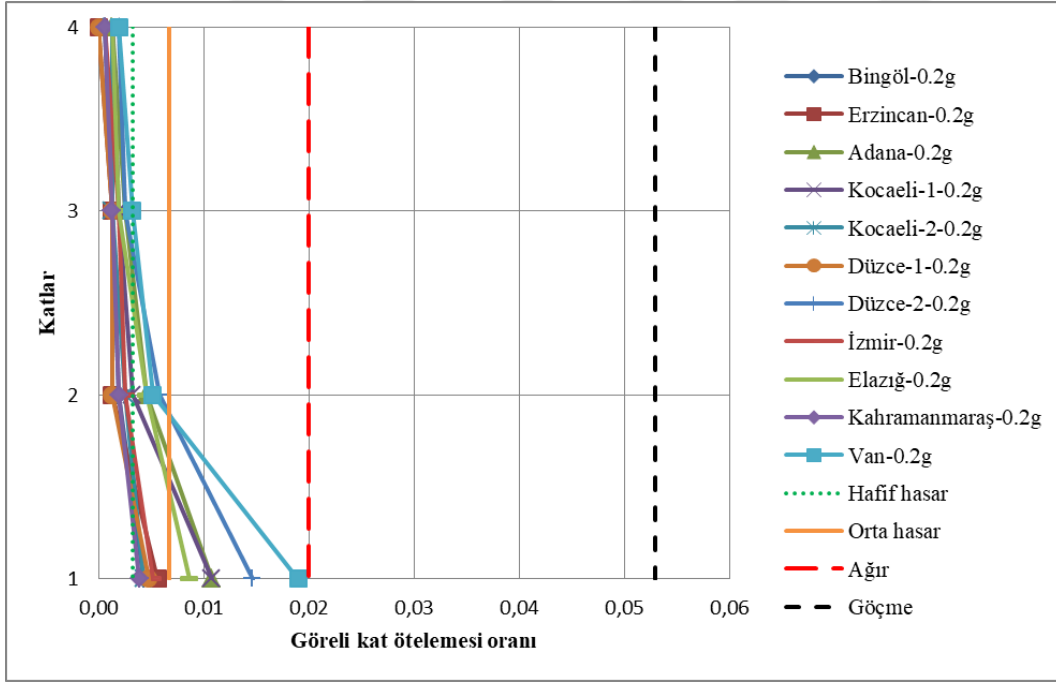


Şekil 3.34. Yumuşak katlı binanın x yönü için 1g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları

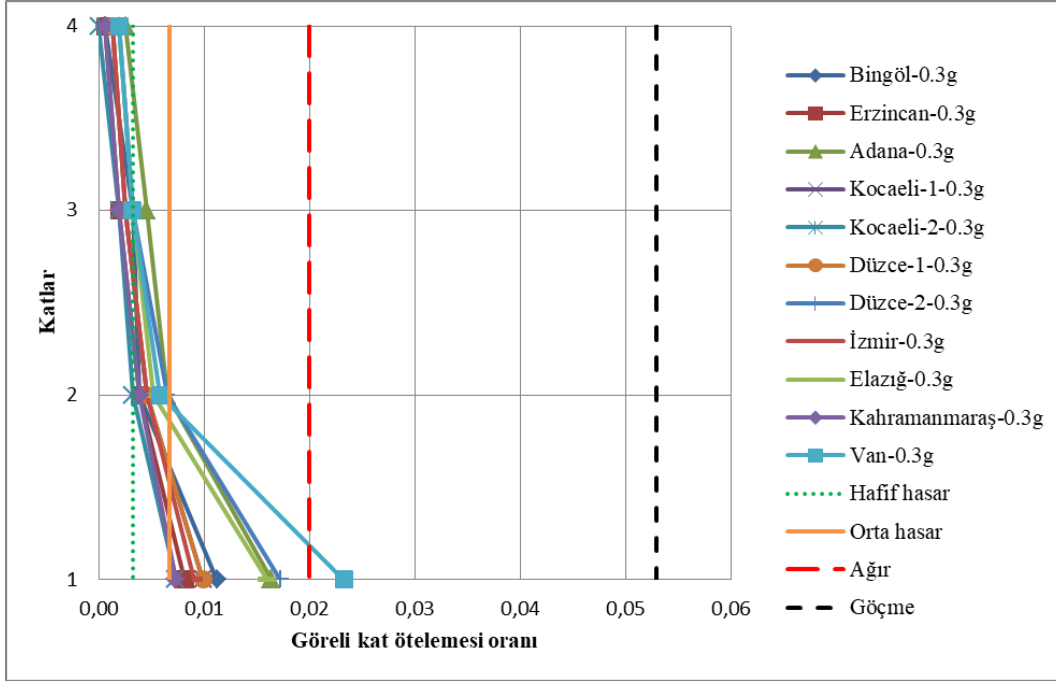
Farklı ivme genliklerine göre yumuşak katlı yapının y yönü için elde edilen görelî kat ötelemesi oranları ve bu değerlerin HAZUS'ta verilen sınır değerlerle karşılaştırılması Şekil 3.35-Şekil 3.44'te verilmiştir. Elde edilen görelî kat ötelemeleri değerlendirildiğinde 0.1g'lik deprem altında 6 adet kayıt için hafif hasar sınırının altında, 4 adet kayıt için hafif hasar ve orta hasar seviyeleri arasında, 1 tane kayıt için orta ve ağır hasar seviyeleri arasında kalmıştır. 0.2g'lik deprem altında görelî kat ötelemesi oranları 6 adet kayıt için hafif hasar ile orta hasar seviyesi arasında, 5 adet kayıt için ise orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.3g'lik deprem altında bu oranlar 10 adet kayıt için orta ve ağır hasar seviyelerinin arasında kalırken 1 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.4g'lik deprem altında 7 adet kayıt için orta ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 4 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.5g'lik deprem altında 4 adet kayıt için orta ve ağır hasar seviyelerinin arasında, 7 adet kayıt için ise ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında kalmıştır. 0.6g'lik deprem altında 3 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 6 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 2 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.7g'lik deprem altında 3 adet kayıt için orta hasar ile ağır hasar seviyelerinin arasında, 5 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 3 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.8g'lik deprem altında görelî kat ötelemesi oranları 5 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında, 6 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır. 0.9g'lik kayıt altında bu oranlar 4 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında meydana gelirken 7 adet kayıt ise göçme seviyesini aşmıştır. 1g'lik kayıt altında 2 adet kayıt için ağır hasar ve göçme seviyelerinin arasında oluşurken 9 adet kayıt için ise göçme seviyesini aşmıştır.



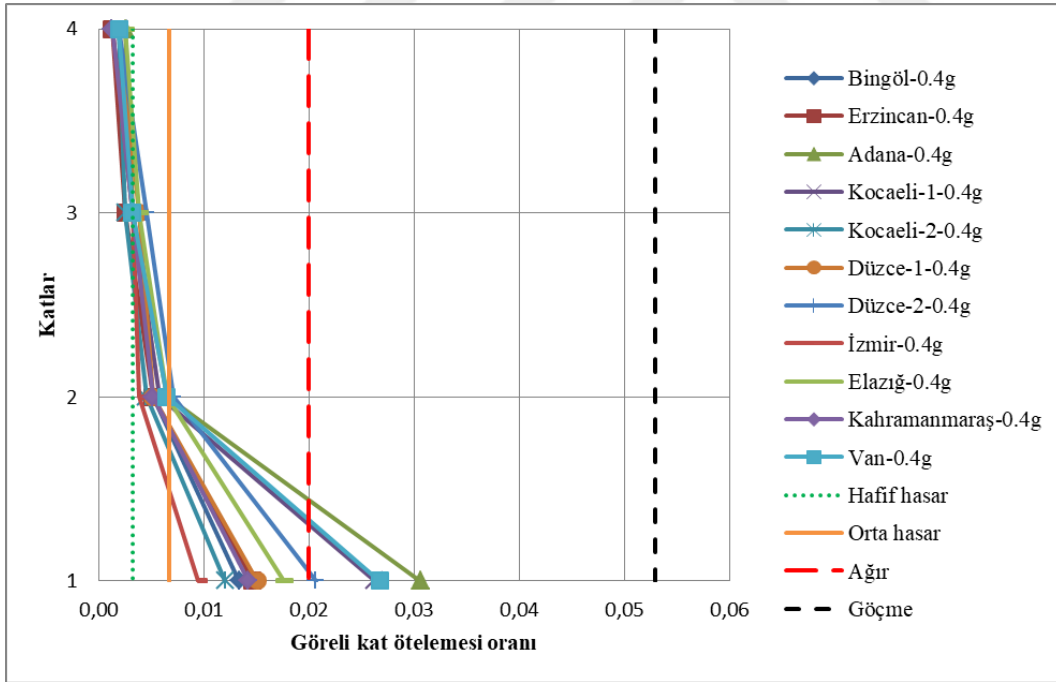
Şekil 3.35. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.1g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



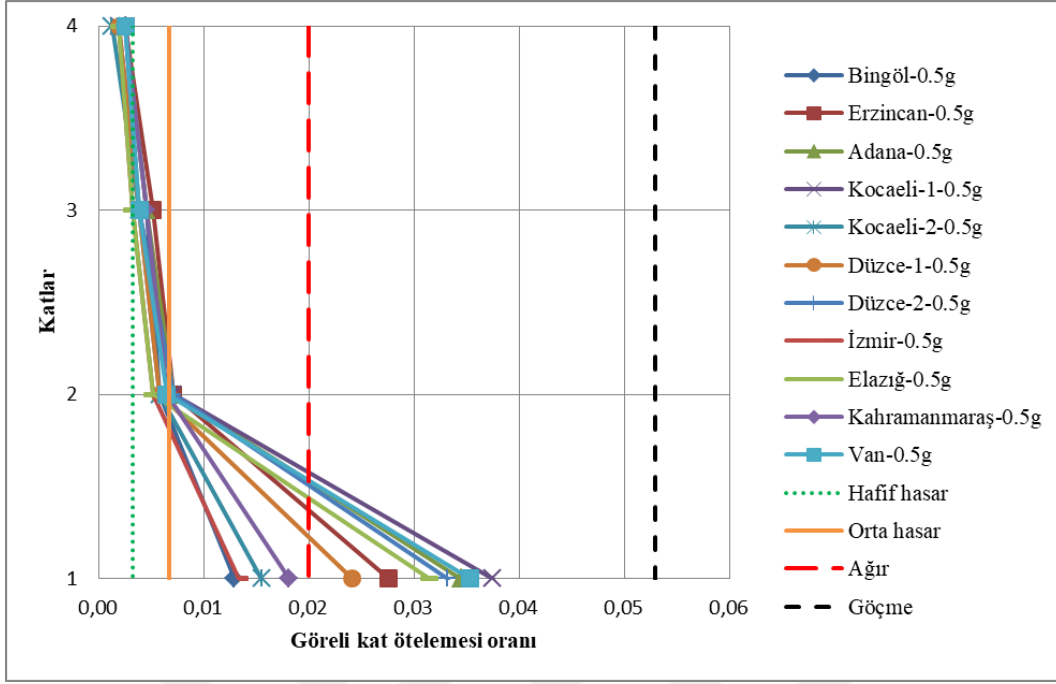
Şekil 3.36. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.2g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları



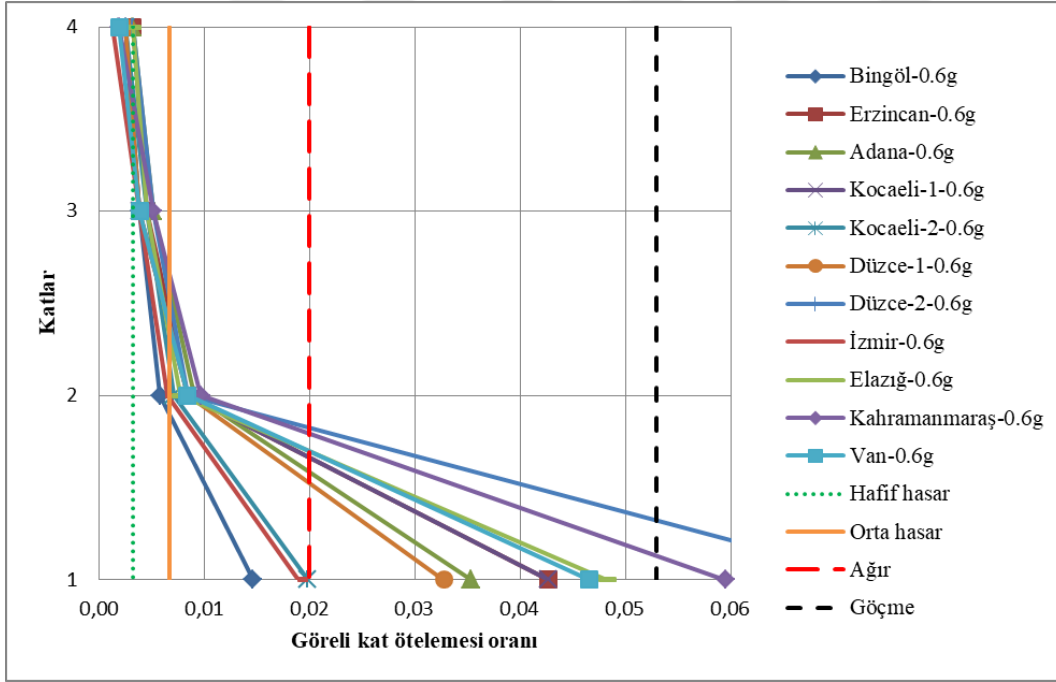
Şekil 3.37. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.3g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



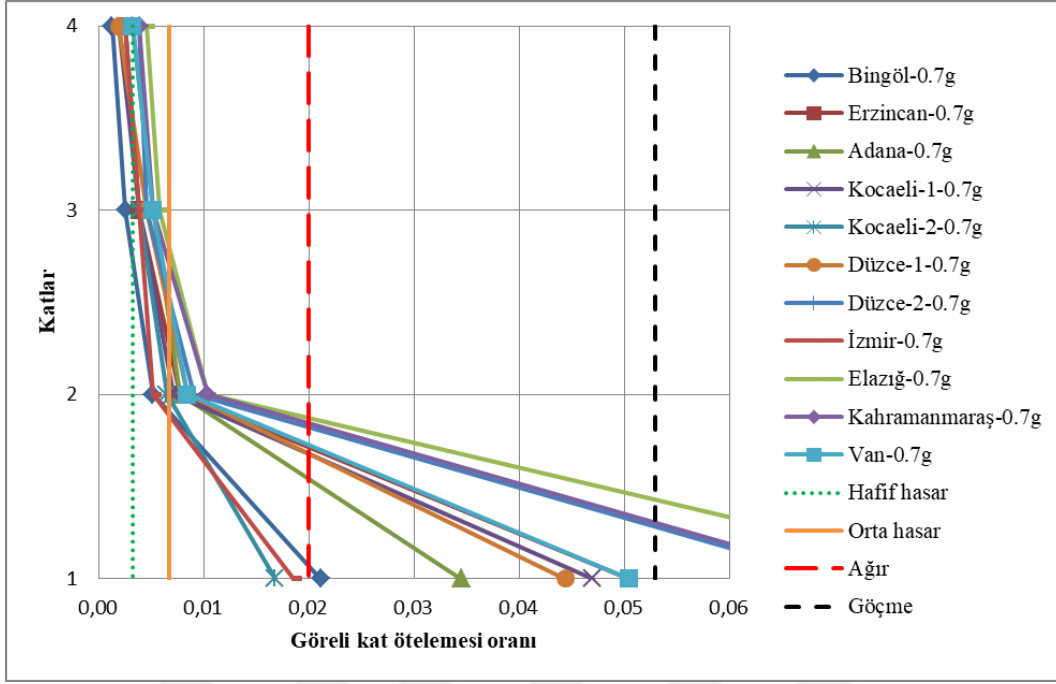
Şekil 3.38. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.4g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



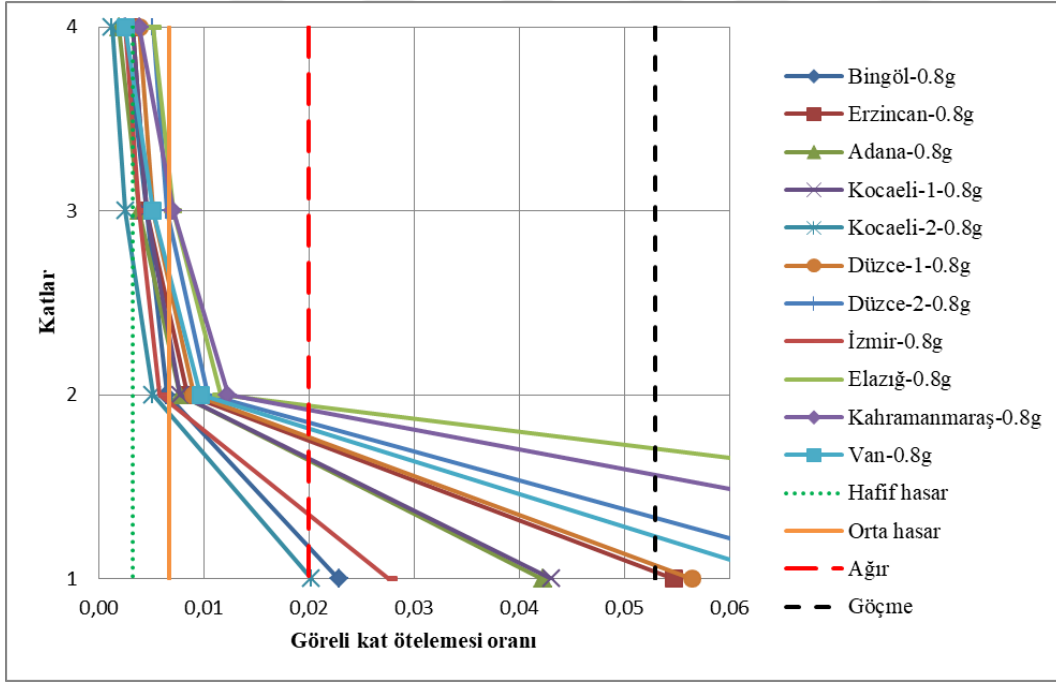
Şekil 3.39. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.5g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



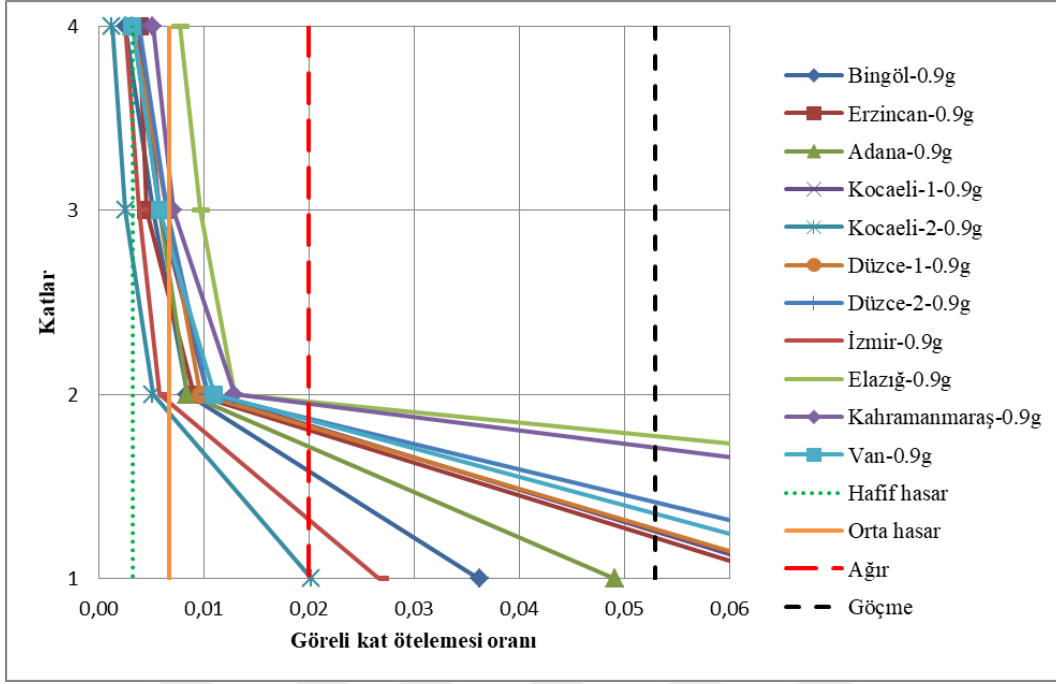
Şekil 3.40. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.6g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



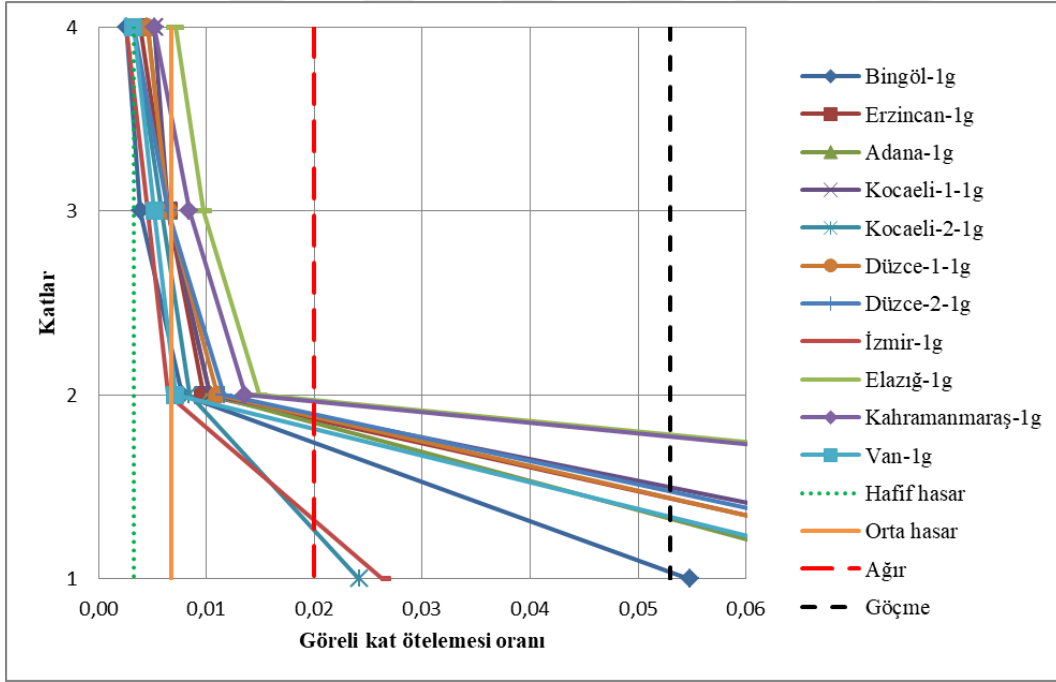
Şekil 3.41. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.7g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



Şekil 3.42. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.8g ivmeye sahip depremler altında oluşan görel kat ötelemesi oranları



Şekil 3.43. Yumuşak katlı binanın y yönü için 0.9g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları

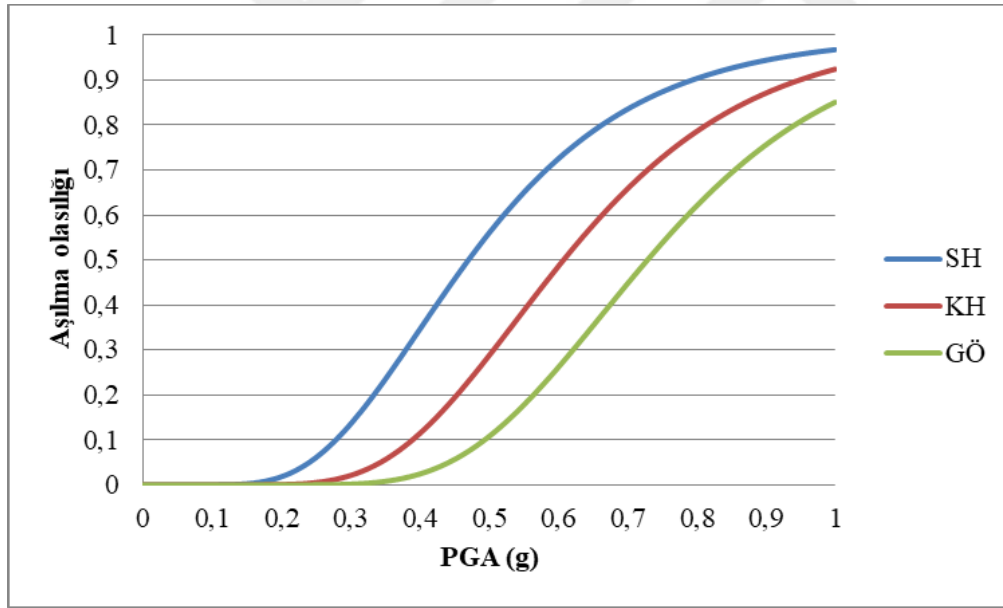


Şekil 3.44. Yumuşak katlı binanın y yönü için 1g ivmeye sahip depremler altında oluşan göreceli kat ötelemesi oranları

3.4. Kırılmalık Eğrileri

İncelenen binanın düzenli ve yumuşak katlı halleri için elde edilen kırılmalık eğrileri x ve y yönlerine göre Şekil 3.45-3.50’de verilmiştir.

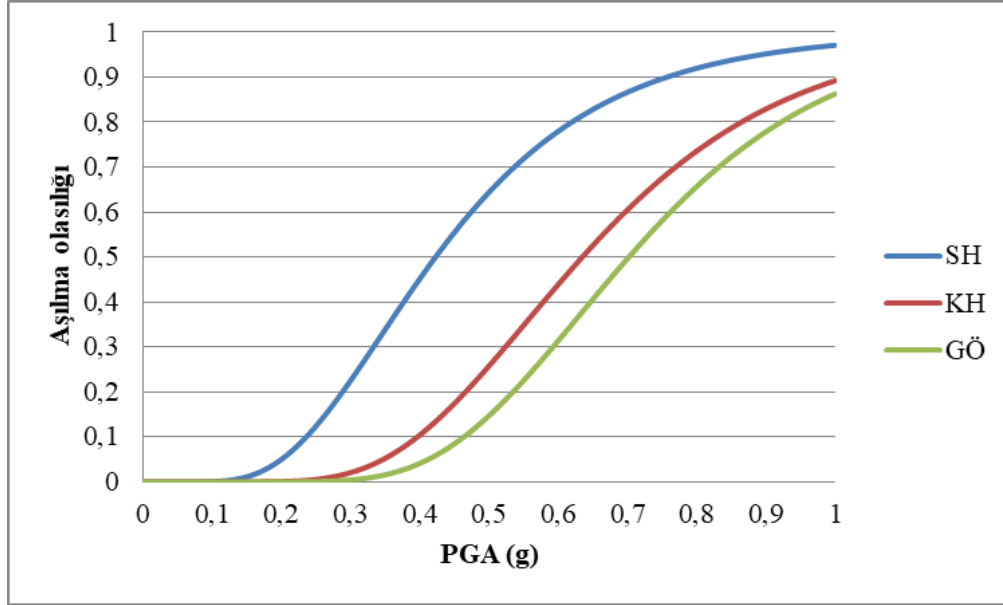
Şekil 3.45’te x yönünde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) seviyeleri için kırılmalık eğrileri oluşturulmuştur. Bu yöndeki kırılmalık eğrileri değerlendirildiğinde sınırlı hasarın 0.2g’den sonra, kontrollü hasarın 0.3g’den sonra ve göçme öncesi hasarın ise 0.4g civarında başladığı görülmüştür. 0.5g’lik ivme genliğinde düzenli yapının sınırlı hasar seviyesine ulaşma olasılığı %60 olurken, kontrollü hasara ulaşma olasılığı %30 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %10 seviyesinde kalmıştır. Bu ivme genliğinden sonra yapıda hasar oluşma riski her seviyede artış göstermiştir. 1g’lik ivmede düzenli yapının göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %85’e ulaşmıştır.



Şekil 3.45. x yönünde düzenli yapı için oluşan kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması

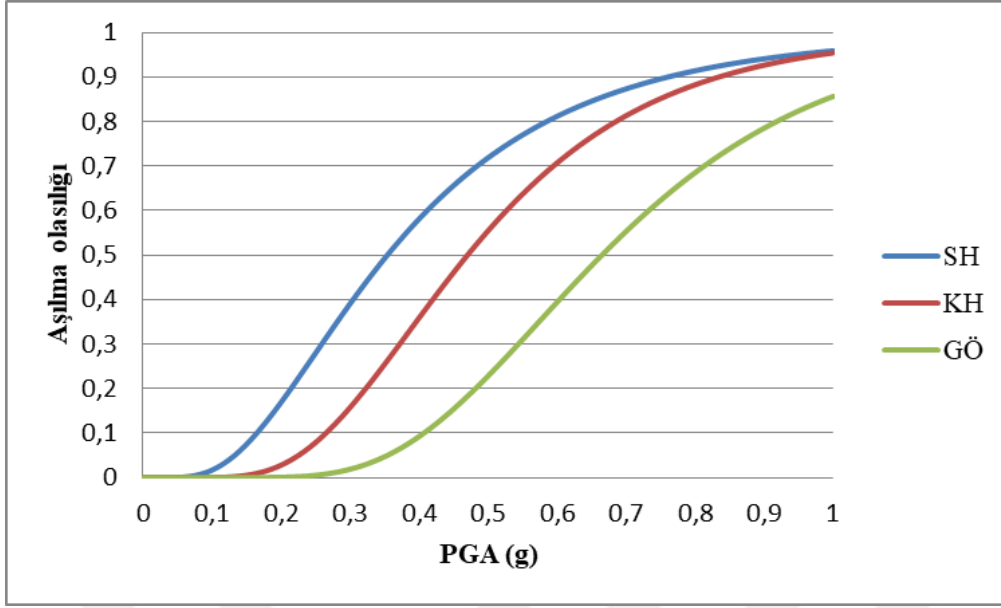
Şekil 3.46’da y yönünde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) seviyeleri için kırılmalık eğrileri oluşturulmuştur. Bu şekil incelendiğinde sınırlı hasarın 0.15g’den sonra, kontrollü hasarın 0.25g’den sonra ve göçme öncesi hasarın ise 0.3g civarında başladığı görülmüştür. 0.5g’lik ivme genliğinde düzenli yapının sınırlı hasar seviyesine ulaşma olasılığı %60 olurken, kontrollü hasara ulaşma

olasılığı %30 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %15 seviyesinde kalmıştır. Bu ivme genliğinden sonra yapıda hasar oluşma riski her seviyede artış göstermiştir. 1g'lik ivmede düzenli yapının göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %87'e ulaşmıştır.



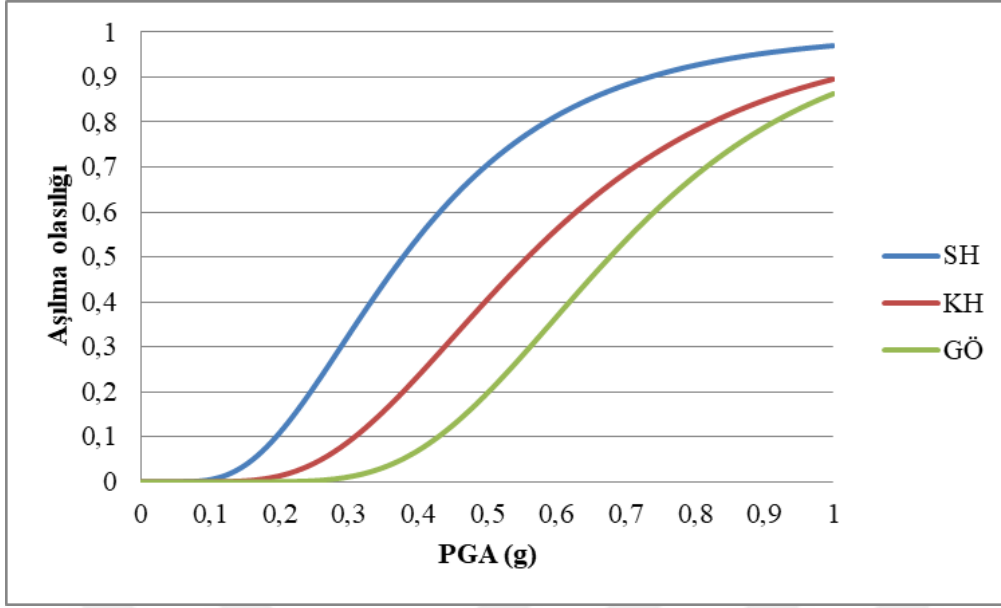
Şekil 3.46. y yönünde düzenli yapı için oluşan kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 3.47'de yumuşak katlı binanın x yönünde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) seviyeleri için kırılmalık eğrileri oluşturulmuştur. Düzensiz binanın kırılmalık eğrileri incelendiğinde sınırlı hasarın 0,08g'den sonra, kontrollü hasarın 0,15g'den sonra ve göçme öncesi hasarın ise 0,25g civarında başladığı görülmüştür. 0,5g'lik ivme genliğinde yumuşak katlı yapının sınırlı hasar seviyesine ulaşma olasılığı %70 olurken, kontrollü hasara ulaşma olasılığı %50 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %20 seviyesinde kalmıştır. Bu ivme genliğinden sonra yapıda hasar oluşma riski her seviyede artış göstermiştir. 1g'lik ivmede yapının göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %86'ya ulaşmıştır.



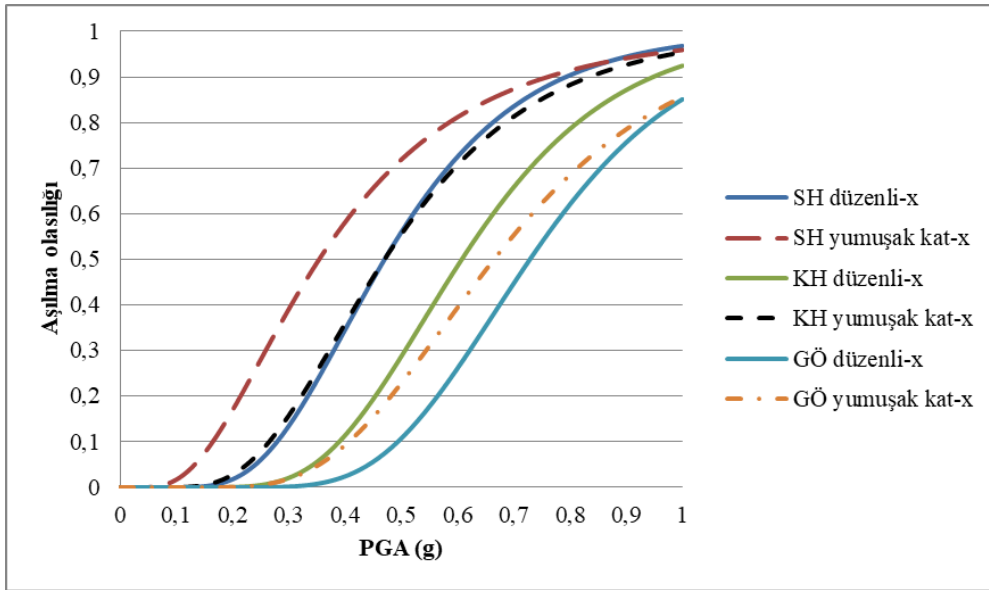
Şekil 3.47. x yönünde yumuşak katlı yapı için oluşan kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 3.48’de düzensiz binanın y yönünde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) seviyeleri için kırılmalık eğrileri çizilmiştir. Bu şekil incelendiğinde sınırlı hasarın 0.1g’den sonra, kontrollü hasarın 0.2g’den sonra ve göçme öncesi hasarın ise 0.3g civarında başladığı görülmüştür. 0.5g’lik ivme genliğinde yumuşak katlı yapının sınırlı hasar seviyesine ulaşma olasılığı %70 olurken, kontrollü hasara ulaşma olasılığı %40 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %20 seviyesinde kalmıştır. Bu ivme genliğinden sonra yapıda hasar oluşma riski her seviyede artış göstermiştir. 1g’lik ivmede yapının göçmenin önlenmesi seviyesine ulaşma olasılığı %88’e ulaşmıştır.



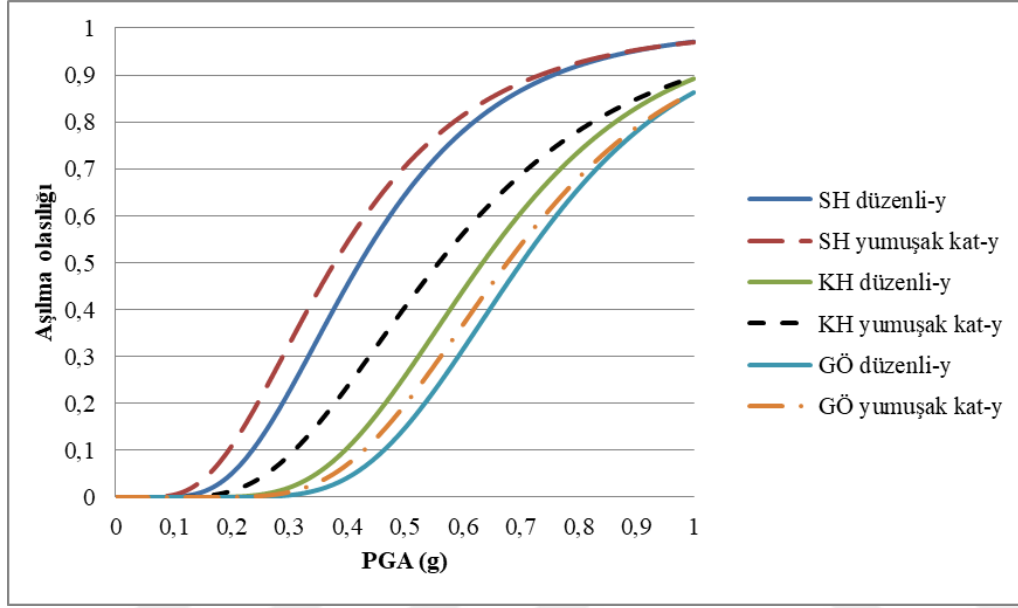
Şekil 3.48. y yönünde yumuşak katlı yapı için oluşan kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması

Artımsal dinamik analizler sonucunda elde edilen kırılmalık eğrileri x ve y yönünde düzenli ve yumuşak katlı binalar için Şekil 3.49-Şekil 3.50’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3.49’daki grafik incelendiğinde x yönünde düzenli yapıya ait Sınırlı Hasar (SH) eğrisi ile yumuşak katlı yapıya ait Kontrollü Hasar (KH) eğrisinin bir birine çok yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 3.49. x yönünde düzenli ve yumuşak katlı yapı için oluşan kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 3.50'deki grafik incelendiğinde y yönünde düzenli yapıya ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) eğrisi ile yumuşak katlı yapıya ait Göçmenin Önlenmesi (GÖ) eğrisinin 0.8g'lik deprem ivmesinden sonraki ivmeler için birbirlerine çok yaklaştığı görülmüştür. Bununla birlikte Kontrollü Hasar seviyesi için düzenli ve düzensiz binaların kırılmalık eğrileri arasındaki fark dikkat çekmektedir.



Şekil 3.50. y yönünde düzenli ve yumuşak katlı yapılar için oluşan kırılmalık eğrilerinin karşılaştırılması

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında betonarme binalardaki yumuşak kat varlığının sismik kırılgenliğine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda SeismoStruct yapısal analiz programı kullanılarak 4 katlı tipik betonarme bir binanın düzenli ve yumuşak katlı halleri modellenmiştir. Doğrusal olmayan davranışı modellemek için yapısal elemanların uçlarında toplanmış plastik mafsall kabulü yapılmıştır. Seçilen modellerin doğrusal olmayan artımsal dinamik ve statik itme analizleri yapılmıştır. Statik itme analizi sonucunda binalara ait kapasite eğrileri elde edilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Artımsal dinamik analizler sonucunda binalardaki en büyük tepkiler ve görelî kat ötelemesi oranları elde edilmiştir. Görelî kat ötelemesi oranları HAZUS'ta verilen sınır değerlere göre karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca bu analiz sonuçları kullanılarak binaların TBDY-2018'de verilen hasar sınırlarına göre kırılgenlik eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

- Kapasite eğrileri değerlendirildiğinde yumuşak katlı binanın kapasite eğrisinin hem x hem de y yönünde düzenli yapıya göre daha düşük olduğu görülmüştür.
- Dinamik analizlerden elde edilen en büyük tepkiler incelendiğinde x yönünde düzenli yapının yumuşak katlı yapıya göre %30 daha fazla kesme kuvveti karşıladığı görülürken, y yönünde ise bu oran %10 olmuştur.
- Görelî kat ötelemeleri açısından bakıldığında düzenli bina x yönünde 0.3g'lik ivme genliğinde 3 tane deprem kaydı için ağır hasar seviyesi aşılrken, aynı yönde 0.5g'lik ivme genliğinde 1 tane deprem kaydı için ise göçme sınırı aşılmıştır. Düzenli bina y yönünde 0.3g'lik ivme genliğinde 1 tane deprem kaydı için ağır hasar seviyesi aşılrken, aynı yönde 0.6g'lik ivme genliğinde 1 tane deprem kaydı için ise göçme sınırı aşılmıştır. Yumuşak katlı bina x yönünde 0.3g'lik ivme genliğinde 8 tane deprem kaydı için ağır hasar seviyesi aşılrken, aynı yönde 0.3g'lik ivme genliğinde 1 tane deprem kaydı için ise göçme sınırı aşılmıştır. Yumuşak katlı bina y yönünde 0.3g'lik ivme genliğinde 1 tane deprem kaydı için ağır hasar seviyesi aşılrken, aynı yönde 0.6g'lik ivme genliğinde 2 tane deprem kaydı için ise göçme sınırı aşılmıştır.
- X yönünde düzenli ve yumuşak katlı binaların kırılgenlik eğrileri incelendiğinde düzenli binanın sınırlı hasar kırılgenlik eğrisiyle yumuşak katlı binanın kontrollü hasar kırılgenlik eğrisinin çakıştığı görülmüştür. Yine aynı yön için yumuşak katlı

binanın düzenli binaya göre 0.5g için göçme öncesi durumuna ulaşma olasılığının %30 daha fazla olduğu görülmüştür. İvme genliği arttıkça bu oran azalmaktadır.

- Y yönünde düzenli ve yumuşak katlı binaların kırılma eğrileri değerlendirildiğinde 0.4g-0.8g arasındaki genliklerde yumuşak katlı binanın düzenli binaya göre göçme moduna ulaşma olasılığı %5 daha fazla iken, 0.8g'den sonra göçme olasılıkları aynı olmaktadır.
- Aynı yön için yumuşak katlı binanın kontrollü hasar seviyesine ulaşma olasılığı düzenli yapıya göre %15 daha fazladır. Bununla birlikte 0.9g'den sonra kontrollü hasar seviyesine ulaşma olasılığı tüm yapılar için aynı olmaktadır.
- Göçme öncesi duruma benzer şekilde 0.1g-0.8g arasındaki genliklerde yumuşak katlı binanın düzenli binaya göre sınırlı hasara ulaşma olasılığı %5 daha fazla iken 0.8g'den sonra sınırlı hasar görme olasılıkları aynı olmaktadır.

Sonuç olarak bu tez çalışması ile yumuşak katlı binaların düzenli binaya göre hasar görme ihtimallerinin fazla olduğu açıkça görülmüştür. Bu nedenle olası depremler dikkate alındığında zemin katı ticari alan olarak planlanan betonarme binaların tasarımında deprem yönetmeliklerinde verilen kurallara uyulması, tepe deplasmanından ziyade göreceli kat ötelemelerinin dikkate alınması, yanal deplasmanları kısıtlamak için uygun kolon boyutlarının seçilmesi ve yeterli oranda betonarme perde kullanılması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- AFAD**, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, <http://kyhdata.deprem.gov.tr>
- American Society of Civil Engineers (ASCE)**. *FEMA 356 prestandard and commentary*.
- Antoniou, S., Pinho, R.**, 2004. Advantages and limitations of adaptive and non-adaptive force-based pushover procedures. *Journal of earthquake engineering*, 8(04), 497-522.
- Aslani, H., Miranda, E.**, 2005. Fragility assessment of slab-column connections in existing non-ductile reinforced concrete buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 9, pp. 777–804.
- Aydın, R.**, 2020. Çevrimsel davranışta rijitlik azalmasının deprem davranışına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, İstanbul, 2020.
- Baker, J. W.**, 2015. Efficient analytical fragility function fitting using dynamic structural analysis, *Earthquake Spectra*, vol. 31(1), pp. 579-599.
- Brunesi, E., Nascimbene, R., Parisi, F., Augenti, N.**, 2015. Progressive collapse fragility of reinforced concrete framed structures through incremental dynamic analysis. *Engineering Structures*, 104, 65-79.
- Celep, Z.**, 2008. Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme, *Beta Dağıtım*, İstanbul.
- Choudhury, T., Kaushik, H. B.**, 2019. Treatment of uncertainties in seismic fragility assessment of RC frames with masonry infill walls. Department of Civil Engineering, Thapar Institute of Engineering and Technology, Patiala, Punjab, 147004, India. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 126 (2019) 105771.
- Choudhury, T., Kaushik, H. B.**, 2020. Component level fragility estimation for vertically irregular reinforced concrete frames. *Journal of Earthquake Engineering*, 2020, Vol. 24, No. 6, 947–971.
- Di Sarno, L., Pugliese, F.**, 2021. Effects of mainshock-aftershock sequences on fragility analysis of RC buildings with ageing. *Engineering Structures*, 232, 111837.
- Di Trapani, F., Malavisi, M.**, 2019. Seismic fragility assessment of infilled frames subject to mainshock/aftershock sequences using a double incremental dynamic analysis approach. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 211-235.
- Dönmez, C., Karaarslan, E., Erberik, M.A.**, 2022. Yatık kirişli, tek doğrultulu dolgu duvarlı döşeme betonarme çerçevelerin (asmolen çerçeveler) kırılma analizi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 37:1 (2022) 159-173.

- Ekhlaspoor, A., Raissi Dehkordi, M., Eghbali, M., Samadian, D.,** 2022. Pre-event assessment of seismic resilience index for typical Iranian buildings via a web-based tool. *International Journal of Civil Engineering*, vol. 20, pp. 257-272.
- FEMA 273,-274,** 1997. *Commentary on the NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, NEHRP Guidelines, Washington D.C.
- FEMA 356,** 2000. *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, NEHRP Guidelines, Washington D.C.
- FEMA,** (Federal Emergency Management Agency), “Hazard Earthquake Model Technical Manual” Erişim Tarihi: 27 Şubat 2024. <https://www.fema.gov/flood-maps/tools-resources/flood-map-products/hazus/user-technical-manuals>. *for the seismic rehabilitation of building Washington, D.C., USA* 2000.
- Gautam, D., Adhikari, R., Rupakhety, R.,** 2021. Seismic fragility of structural and non-structural elements of Nepali RC buildings. *Engineering Structures*, 232, 111879.
- Ghanem, A., Moon, D., Lee, Y.,** 2021. Seismic fragility surface of irregular reinforced concrete frame structures. *17th World Conference on Earthquake Engineering*, 17WCEE Sendai, Japan - September 27th to October 2nd, 2021.
- Güder, S., O.,** 2011. Dolgu duvarların yapısal analizlerde göz önüne alınmasının düşey düzensizlik ve deprem performansına etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 97s.
- Ibarra, L.F., Krawinkler, H.,** 2005. Global collapse of frame structures under seismic excitations. *John A. Blume Earthquake Engineering Center*, Stanford, CA, 324.
- Jamal, R., Yüksel, S.B.,** 2021. TBDY 2018 ve ASCE 41-17 Yönetmeliklerine göre çerçevesel bir yapının performans analizlerinin karşılaştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 8, No: 1, 2021 (432-444).
- Jun, Y., Yi-Ping, G., Jun, W., Hao, W.,** 2019. Effect of concrete masonry infill walls on progressive collapse performance of reinforced concrete infilled frames. *Engineering Structures*, 191, 179–193.
- Karaşin, İ.B., Öncü, M.E.,** 2022. Farklı dolgu tipleri için çerçevelerin itme analizi ile kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı 39, S. 91-96, Temmuz 2022.
- Kaveh, A., Javadi, S.M., Mahdipour Moghanni, R.,** 2021. Optimization-based record selection approach to incremental dynamic analysis and estimation of fragility curves. *Scientia Iranica*, 28(2), 700-708.
- Lei W., Zhen-Yun T., Yue L., Kai Q.,** 2019. Seismic behavior of masonry-infilled precast concrete frames considering effects of opening. *Construction and Building Materials*, 211, 756–770.

- Mander J.B, Priestley M.J.N, Park R.** Theoretical stress-strain model for confined concrete. *J Struct Eng*, 1988;114:1804–26.
- Menegotto M., Pinto P.E.,** 1973. Method of Analysis for Cyclically Loaded RC. Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-elastic Behavior of Elements under 106 Combined Normal Force and Bending. *Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads*, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, pp. 15-22. 1973.
- Mwafy, A.M., Elnashai, A.S.,** 2001. Static pushover versus dynamic collapse analysis of RC buildings. *Engineering structures*, 23(5), 407-424.
- Nemutlu, Ö.F.,** 2023. Bingöl ili şehir merkezindeki binalarda deprem performansı, yapısal riskler ve kayıpların incelenmesi. *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 23s.
- Onat, O., Yön, B.,** 2021. Incremental dynamic analysis of mid-rise rc buildings to assess effect of concrete strength and tension reinforcement ratio in beam. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, Vol. 26, No.1, 2021.
- Öncü, M.E., Şahin Yön, M.,** 2016. Betonarme binaların deprem davranışlarının artımsal dinamik analiz yöntemiyle değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, Cilt: 7, Sayı: 1, 23-32, Mayıs 2016.
- Öncü, M. E., Şahin Yön, M.,** 2016. Assessment of nonlinear static and incremental dynamic analyses for RC structures. *Computers and Concrete*, 18(6), 1195-1211.
- Pavel, F., Carale, G.,** 2019. Seismic assessment for typical soft-storey reinforced concrete structures in Bucharest, Romania. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41, 101332.
- Ryu, H., Luco, N., Uma, S.R., Liel, A.B.,** 2011. Developing fragilities for mainshock-damaged structures through incremental dynamic analysis. *In Ninth pacific conference on earthquake engineering*, Auckland, New Zealand.
- Seismosoft,** SeismoStruct 2022 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, 2022. çevirim içi erişim: <https://seismosoft.com>
- Severcan, M.H., Sınan, B.,** 2019. Mevcut betonarme yapıların deprem performansının analizi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2, 936-947.
- Sheth, R., Prajapati, J., Soni, D.,** 2018. Comparative study nonlinear static pushover analysis and displacement based adaptive pushover analysis method. *International Journal of Structural Engineering*, 9(1), 81-90.

- Sohn, J., Choi, I., Kim, J.,** 2022. Development of limit states for seismic fragility assessment of piloti-type structures verified with observed damage data. *Department of Architecture and Architectural Engineering*, Yonsei University, Seoul 03722, Republic of Korea.
- Sullivan, T. J., Saborio-Romano, D., O'Reilly, G. J., Welch, D. P., Landi, L.,** 2021. Simplified pushover analysis of moment resisting frame structures. *Journal of Earthquake Engineering*, 25(4), 621-648.
- Şahin Yön, M.** 2017. Betonarme binaların deprem davranışının artımsal dinamik analiz yöntemiyle incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Dicle Üniversitesi, Elazığ, 91s.
- Taş, Ö.F., Sayın, E., Öncü, M.E.,** 2022. Yeni betonarme binalar için etkin kesit rijitlikleri ve statik itme analizleri. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, 34(2), 505-516, 2022.
- TBDY,** 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara.
- Tuzcuoğlu, Ö.,** 2024. Maraş Depremi: Fay hatları ne söylüyor?. <https://yetkinreport.com/2023/02/07/maras-depremi-fay-hatlari-ne-soyluyor/>, 05 Mart 2024.
- Verki1a, A.M., Preciado, A.,** 2022. Nonlinear incremental dynamic analysis and fragility curves of tall steel buildings with buckling restrained braces and tuned mass dampers. *Earthquakes and Structures*, 22(2), 169-184.
- Wibowo, R.G., Rohman, R.K., Cahyono, S.D.,** 2021. Seismic evaluation of existing building structures in the city of madiun using pushover analysis. *In Journal of Physics*, Conference Series (Vol. 1845, No. 1, p. 012032). IOP Publishing.
- Yön, B.,** 2014. Yapıların statik ve dinamik yükler etkisindeki doğrusal olmaya davranışlarının incelenmesi. *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2014, 107s.
- Yön, B.,** 2020. Seismic vulnerability assessment of RC buildings according to the 2007 and 2018 Turkish seismic codes. *Earthquakes and Structures*, 18(6), 709-718.
- Zhou, J., Li, S., Nie, G., Fan, X., Deng, Y., Xia, C.,** 2020. Research on seismic vulnerability of buildings and seismic disaster risk: A case study in Yancheng, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45, 101477.

ÖZGEÇMİŞ

