

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



ÇELİK BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARI ÜZERİNE
SAYISAL İNCELEMELER

AYKUT SAYILIR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kaan TÜRKER (Tez Danışmanı)
Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU
Doç. Dr. Hasan ELÇİ

BALIKESİR, HAZİRAN – 2024

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Çelik Binaların Deprem Performansları Üzerine Sayısal İncelemeler**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Aykut SAYILIR

ÖZET

**ÇELİK BİNALARIN DEPREM PERFORMANSLARI ÜZERİNE SAYISAL
İNCELEMELER
YÜKSEK LİSANS TEZİ
AYKUT SAYILIR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. KAAAN TÜRKER)
BALIKESİR, HAZİRAN-2024**

Günümüz deprem yönetmeliklerinde yer alan performansa dayalı yaklaşımlar yapısal elemanların plastik şekildeğiştirmelerini esas almaktadır. Bu sayede elemanlardaki hasarlar değerlendirilebilmekte ve yapının toptan/kısmi göçmesi önlenebilmektedir. Ancak deprem sonrası keşif raporları ve yapılan çalışmalar, kalıcı yanal ötelemelerin belirli sınırları aşması durumunda binaların kullanılamaz hale gelebildiğini göstermiştir. Bu nedenle mevcut yaklaşımlardaki performans kriterlerinin kalıcı ötelemeler ile birlikte değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre tasarlanmış çelik binalar için, yönetmelikte öngörülen performans hedeflerinin kalıcı görelı öteleme oranları bakımından yeterlilikleri değerlendirilmiştir. İncelemeler iki, dört ve sekiz katlı çelik bina modelleri üzerinde yapılmıştır. Binalar, bir doğrultuda moment aktaran çerçeve (MAÇ), diğer doğrultuda merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) sistemlerden oluşmaktadır. Performans kriterleri için TBDY'den, doğrusal olmayan analiz modelleri için ASCE/SEI 41-17'den yararlanılmıştır. Binalar, tasarım ve maksimum deprem düzeyi için doğrusal olmayan statik yöntem (DOSY) ve doğrusal olmayan dinamik yöntem (DODY) ile incelenmiştir.

Tüm binalarda TBDY'de öngörülen performans hedefleri sağlanmıştır. Performans düzeyinin belirlenmesinde genel olarak binaların MÇÇ sistemlerine ait çapraz elemanlardaki plastik şekildeğiştirmeler etkili olmuştur. MAÇ sistemlerdeki plastik şekildeğiştirmeler maksimum deprem düzeyinde dahi oldukça düşük düzeyde kalmıştır. TBDY'deki performans kriterlerinin tasarım deprem düzeyi için kalıcı görelı öteleme oranları bakımından yeterli olduğu belirlenmiştir. Maksimum deprem düzeyi için ise binaların MAÇ'lerinde kalıcı görelı öteleme oranı sınırının aşılma riski bulunduğu görülmüştür.

ANAHTAR KELİMELELER: Çelik yapılar, moment aktaran çerçeve, merkezi çaprazlı çerçeve, deprem performansı, kalıcı ötelemeler.

Sayfa Sayısı: 135

ABSTRACT

**NUMERICAL INVESTIGATIONS ON SEISMIC PERFORMANCE OF STEEL
BUILDINGS
MSC THESIS
AYKUT SAYILIR
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. KAAAN TÜRKER)
BALIKESİR, JUNE- 2024**

The performance-based approaches in current seismic codes based on the plastic deformations of structural elements. Thus, member damages can be assessed and total/partial collapse of structures can be prevented. However, the post-earthquake reconnaissance reports and studies have shown that if the residual drifts in buildings exceed certain limits, buildings may become unusable. Therefore, it is crucial to evaluate the performance criteria in current approaches in conjunction with residual drifts.

In this study, the adequacy of performance targets stipulated in the 2018 Buildings Earthquake Code of Türkiye (BECT) was evaluated in terms of residual drifts for steel buildings designed according to the code. The evaluations were performed on two, four, and eight-story steel building models. The structural systems of the buildings consist of moment-resisting frames (MRF) in one direction and concentrically braced frames (CBF) in the other direction. Performance criteria described in the BECT were used for the evaluations and ASCE/SEI 41-17 modelling properties were used for nonlinear analysis. The buildings were analyzed using nonlinear static procedure (NSP) and nonlinear dynamic procedure (NDP) for design level earthquake and maximum earthquake level.

The performance targets of the BECT were satisfied for all buildings. In general, the plastic deformations in the bracing members of the CBFs of the buildings were effective in determining the global performance level. Plastic deformations in the MRFs of the buildings were obtained quite low compared to those of CBFs even at maximum earthquake level. It was concluded that the performance criteria in the BECT were adequate in respect to the residual inter-storey drift ratios at the design level earthquake. However, there is a risk of exceeding the residual inter-storey drift ratio limit for the MRFs of the buildings the at maximum earthquake level.

KEYWORDS: Steel structures, moment-resisting frame, concentrically braced frames, seismic performance, residual drift.

Page Number: 135

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Değerlendirmesi.....	12
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	13
2. PERFORMANS DEĞERLENDİRME ESASLARI VE YAPILAN VARSAYIMLAR	15
2.1 Yöntemler	15
2.1.1 Doğrusal Olmayan Statik Yöntem (DOSY)	15
2.1.2 Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem (DODY).....	21
2.2 Modelleme ve Analiz Parametreleri	24
2.3 Performans Düzeyi Tanımları ve İlgili Kriterler	32
2.4 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	35
2.5 Bina Performans Hedefleri	37
3. ÇELİK BİNA ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER	39
3.1 İncelenen Binaların Özellikleri.....	39
3.2 Binaların Tasarımı	42
3.3 Binaların Performans Değerlendirmeleri.....	53
3.3.1 Doğrusal Olmayan Statik Yöntem (DOSY) ile Performans Değerlendirmesi	56
3.3.2 Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem (DODY) ile Performans Değerlendirmesi.....	74
3.3.3 DOSY ve DODY Sonuçlarının Karşılaştırılması	89
3.4 DODY ile Kalıcı Görelî Öteleme Oranlarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi....	105
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	114
5. KAYNAKLAR	118
EKLER	123
EK A: Doğrusal Olmayan Analizlerde Kullanılan İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağlantıları, Modelleme Parametreleri ve Performans Sınırları	124
EK B: Orijinal ve DD-2 Deprem Düzeyine Göre Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarının İvme-Zaman Grafikleri	127
ÖZGEÇMİŞ	135

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Vision 2000 performans hedefleri ve kapasite eğrisi üzerinde şematik gösterimi.	3
Şekil 1.2: 2011 Tohoku depremi sonrası kalıcı yanal ötelemeye maruz kalmış çelik yapı. .9	
Şekil 1.3: 2011 Tohoku depremi ve tsunami nedeniyle kalıcı ötelemelere maruz kalan çelik binalar.	9
Şekil 2.1: DOSY’de ÇSDS’den TSDS’ye geçişin şematik gösterimi.	16
Şekil 2.2: Kapasite eğrileri a) ÇSDS için b) TSDS için.	19
Şekil 2.3: $T_1 > T_B$ bölgesi için en büyük yer değiştirme talebinin şematik gösterimi.	20
Şekil 2.4: $T_1 \leq T_B$ bölgesi için en büyük yer değiştirme talebinin şematik gösterimi.	20
Şekil 2.5: Rayleigh sönümü için, sönüm oranı ile doğal frekans arasındaki ilişki.	22
Şekil 2.6: DODY’de analiz girdileri ve çıktıların şematik gösterimi.	23
Şekil 2.7: ASCE 41-17’de eğilme etkin kiriş ve kolon için moment dönme bağıntısı ve modelleme parametreleri.	25
Şekil 2.8: ASCE 41-17’de eksenel kuvvet etkisindeki çapraz elemanlar için eksenel kuvvet-boy değişimi bağıntısı ve ilgili modelleme parametreleri.	25
Şekil 2.9: Başlık ve gövdeden kaynaklı birleştirilmiş I profil kirişe ait çevrimsel davranış.	30
Şekil 2.10: Tekrarlı eksenel kuvvet etkisindeki çapraz eleman davranışı.	30
Şekil 2.11: Farklı narinlik oranlarına sahip çaprazların çevrimsel davranışı a) $KL/r=120$ b) $KL/r=80$ c) $KL/r=40$	31
Şekil 2.12: Performans seviyelerinin iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları üzerinde gösterimi a) eğilme ve eksenel çekme elemanları b) eksenel basınç elemanları.	33
Şekil 2.13: Deprem yer hareketi düzeyleri.	36
Şekil 3.1: İncelenen binaların tipik kat planları a) 2KB b) 4KB ve 8KB.	39
Şekil 3.2: İncelenen binaların y doğrultusunda oluşturulan MÇÇ sistem kesitleri a) 2KB (A-A) ve (C-C) aksları b) 4KB (A-A) ve (D-D) aksları c) 8KB (A-A) ve (B-B) aksları.	40
Şekil 3.3: İncelenen binaların x doğrultusunda oluşturulan MAÇ sistem kesitleri a) 2KB (1-1), (2-2) ve (3-3) aksları b) 4KB (1-1) ve (4-4) aksları c) 8KB (1-1) ve (4-4) aksları.	40
Şekil 3.4: 2KB ve 4KB binalarına ait perspektif görüntüşler.	41
Şekil 3.5: 8KB binasına ait perspektif görünüş.	41
Şekil 3.6: DD-2 deprem düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu.	44
Şekil 3.7: 2KB tasarım sonuçları a) (1-1), (2-2) ve (3-3) aksları b) (A-A) ve (C-C) aksları c) (B-B) aksı.	47
Şekil 3.8: 4KB tasarım sonuçları a) (1-1) ve (4-4) aksları b) (A-A) ve (D-D) aksları c) (2-2) ve (3-3) aksları d) (B-B) ve (C-C) aksı.	47
Şekil 3.9: 8KB tasarım sonuçları a) (1-1) ve (4-4) aksları b) (A-A) ve (D-D) aksları c) (2-2) ve (3-3) aksları d) (B-B) ve (C-C) aksları.	48
Şekil 3.10: Binaların DD-2 deprem düzeyi için tasarım görelî öteleme oranları a) 2KB b) 4KB c) 8KB.	49
Şekil 3.11: 2KB hesap modelinde tanımlanan plastik davranış bölgeleri.	54
Şekil 3.12: 2KB binasına ait plastik mafsal modelleri a) kolon plastik mafsalı b) kiriş plastik mafsalı c) çapraz plastik mafsalı d) kolon etkileşim diyagramı.	55

Şekil 3.13: Dinamik analiz için kullanılan çevrimsel modeller a) kolon b) kiriş c) çapraz.	56
Şekil 3.14: Bina kapasite eğrileri a)2KB b) 4KB c) 8KB.	57
Şekil 3.15: 2KB idealleştirilmiş kapasite eğrileri a) MAÇ b) MÇÇ.	58
Şekil 3.16: 4KB idealleştirilmiş kapasite eğrileri a) MAÇ b) MÇÇ.	58
Şekil 3.17: 8KB idealleştirilmiş kapasite eğrileri a) MAÇ b) MÇÇ.	58
Şekil 3.18: Binalara ait modal yerdeğiştirme talepleri a) 2KB-MAÇ b) 2KB-MÇÇ c) 4KB-MAÇ d) 4KB-MÇÇ e) 8KB-MAÇ f) 8KB-MÇÇ.	61
Şekil 3.19: 2KB’de DOSY Sonuçları (DD-2) a) (2-2) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.	63
Şekil 3.20: 2KB’de DOSY Sonuçları (DD-1) a) (2-2) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.	63
Şekil 3.21: 4KB’de DOSY Sonuçları (DD-2) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.	64
Şekil 3.22: 4KB’de DOSY Sonuçları (DD-1) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.	64
Şekil 3.23: 8KB’de DOSY Sonuçları (DD-2) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.	65
Şekil 3.24: 8KB’de DOSY Sonuçları (DD-1) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.	65
Şekil 3.25: Bina taşıyıcı sistemlerinde plastik kesit isimlendirmeleri ve itme doğrultusu.	66
Şekil 3.26: 2KB’de DOSY talepleri ve ilgili performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) c) çaprazlar (basınç).	67
Şekil 3.27: 4KB’de DOSY talepleri ve ilgili performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) c) çaprazlar (basınç).	68
Şekil 3.28: 8KB’de DOSY talepleri ve ilgili performans sınırları a) kirişler b) kolonlar c) çaprazlar (çekme) d) çaprazlar (basınç).	69
Şekil 3.29: DOSY sonuçlarına göre eleman ölçeğinde ve genel performans düzeyleri a) 2KB b) 4Kb c) 8KB.	70
Şekil 3.30: DOSY görelî öteleme oranları a) 2KB-MAÇ b) 2KB-MÇÇ c) 4KB-MAÇ d)4KB-MÇÇ e) 8KB-MAÇ f) 8KB-MÇÇ.	71
Şekil 3.31: Kritik köşe kolonlarında iki doğrultulu deprem yüklemesinin etkisi (DD-1 için) a) 2KB binası köşe kolonunda b) 4KB ve 8KB binaları köşe kolonunda	73
Şekil 3.32: Spektral uyuşum sonucu elde edilen DD-1 ve DD-2 ivme spektrumları.	75
Şekil 3.33: Kayıt-1 x ve y bileşeni için ölçeklenmiş ivme-zaman grafiği.	75
Şekil 3.34: Kayıt-1 x bileşeni orijinal ve ölçeklenmiş ivme-zaman grafiği a) DD-2 b) DD-1.	76
Şekil 3.35: Kayıt-1 x bileşeni orijinal ve ölçeklenmiş ivme spketrumları a) DD-2 b) DD-1.	76
Şekil 3.36: 4KB binasında a) uygulanan ivme kayıtları b) MAÇ ve MÇÇ’ye ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman değişimi c) MAÇ ve MÇÇ’ye ait taban kesme kuvveti- zaman değişimi.	77

Şekil 3.37: 4KB binasında a) K1-1 mafsalı moment-plastik dönme bağıntısı b) S2-1 mafsalı moment-plastik dönme bağıntısı c) Ç1 mafsalı eksenel kuvvet-boy değişimi bağıntısı.	78
Şekil 3.38: Kayıt-5 (DD-1 düzeyi) için Göçmenin Önlenmesi sınırının aşıldığı 4KB MÇÇ sistem Ç2 mafsalına ait eksenel kuvvet-boy değişimi davranışı.	79
Şekil 3.39: 4KB’de a) bina burulma davranışı b) simetrik kolon elemanlardaki plastik şekildeğiştirme değişimi c) simetrik kiriş elemanlardaki plastik şekildeğiştirme değişimi d) simetrik çapraz elemanlarda plastik şekildeğiştirme değişimi.	80
Şekil 3.40: 2KB’de DODY ortalama talepleri ve performans sınırları a) kirişler b) kolonlar c) çaprazlar (çekme) d) çaprazlar (basınç).	81
Şekil 3.41: 4KB’de DODY ortalama talepleri ve performans sınırları a) kirişler b) kolonlar c) çaprazlar (çekme) d) çaprazlar (basınç).	82
Şekil 3.42: 8KB’de DODY ortalama talepleri ve performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) c) çaprazlar (basınç).	83
Şekil 3.43: DODY ortalama taleplere göre eleman ölçüğünde ve genel performans düzeyleri a) 2KB b) 4KB c) 8KB.	85
Şekil 3.44: 2KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ..	85
Şekil 3.45: 2KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ..	86
Şekil 3.46: 4KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ..	86
Şekil 3.47: 4KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ..	86
Şekil 3.48: 8KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ..	87
Şekil 3.49: 8KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ..	87
Şekil 3.50: 2KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	89
Şekil 3.51: 2KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	89
Şekil 3.52: 4KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	90
Şekil 3.53: 4KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	90
Şekil 3.54: 8KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	90
Şekil 3.55: 8KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	91
Şekil 3.56: 2KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.	92
Şekil 3.57: 2KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.	92
Şekil 3.58: 4KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.	93
Şekil 3.59: 4KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.	93
Şekil 3.60: 8KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.	93
Şekil 3.61: 8KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.	94
Şekil 3.62: 2KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.	95
Şekil 3.63: 2KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.	95

Şekil 3.64: 4KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.	95
Şekil 3.65: 4KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.	96
Şekil 3.66: 8KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.	96
Şekil 3.67: 8KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.	97
Şekil 3.68: 2KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğıştirmelerinin karşılaştırılması (DD-1) a) maks. kolon plastik dönmesi b) maks. kiriş plastik dönmesi c) maks. çapraz plastik uzaması d) maks. çapraz plastik kısalması.	98
Şekil 3.69: 2KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğıştirmelerinin karşılaştırılması (DD-2) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısalması.	98
Şekil 3.70: 4KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğıştirmelerinin karşılaştırılması (DD-1) a) maks. kolon plastik dönmesi b) maks. kiriş plastik dönmesi c) maks. çapraz plastik uzaması d) maks. çapraz plastik kısalması.	99
Şekil 3.71: 4KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğıştirmelerinin karşılaştırılması (DD-2) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısalması.	100
Şekil 3.72: 8KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğıştirmelerinin karşılaştırılması (DD-1) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısalması.	101
Şekil 3.73: 8KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğıştirmelerinin karşılaştırılması (DD-2) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısalması.	102
Şekil 3.74: Tepe yerdeğıştirmelerinin binalara göre eğilimi a) MAÇ b) MÇÇ.	104
Şekil 3.75: Taban kesme kuvvetlerinin binalara göre eğilimi a) MAÇ b) MÇÇ.	104
Şekil 3.76: 4KB’de oluşan maksimum kalıcı görelî ötelemeler a) MAÇ b) MÇÇ.	105
Şekil 3.77: 2KB’de DD-1 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.	105
Şekil 3.78: 2KB’de DD-2 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.	106
Şekil 3.79: 4KB’de DD-1 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.	106
Şekil 3.80: 4KB’de DD-2 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.	106
Şekil 3.81: 8KB’de DD-1 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.	107
Şekil 3.82: 8KB’de DD-2 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.	107
Şekil 3.83: DODY’den elde edilen maksimum ve kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) 2KB-MAÇ b) 2KB-MÇÇ c) 4KB-MAÇ c) 4KB-MÇÇ e) 8KB-MAÇ f) 8KB-MÇÇ.	109
Şekil 3.84: Çapraz çevrimsel davranışı için kullanılan Mode-1 ve Model-2.	110
Şekil 3.85: 2KB MÇÇ’de iki farklı çapraz modeli için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) DD-1 b) DD-2.	111
Şekil 3.86: 4KB MÇÇ’de iki farklı çapraz modeli için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) DD-1 b) DD-2.	112
Şekil 3.87: 8KB MÇÇ’de iki farklı çapraz modeli için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) DD-1 b) DD-2.	112
Şekil B.1: RSN33 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 205 (x) bileşeni b) 295 (y) bileşeni.	127
Şekil B.2: RSN71 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 021 (x) bileşeni b) 291 (y) bileşeni.	127

Şekil B.3: RSN125 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 270 (y) bileşeni.	128
Şekil B.4: RSN169 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 262 (x) bileşeni b) 352 (y) bileşeni.	128
Şekil B.5: RSN322 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 270 (x) bileşeni b) 360 (y) bileşeni.	129
Şekil B.6: RSN752 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 090 (y) bileşeni.	129
Şekil B.7: RSN811 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 090 (y) bileşeni.	130
Şekil B.8: RSN848 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) LN (x) bileşeni b) TR (y) bileşeni.	130
Şekil B.9: RSN953 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 009 (x) bileşeni b) 279 (y) bileşeni.	131
Şekil B.10: RSN1087 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 090 (x) bileşeni b) 360 (y) bileşeni.	131
Şekil B.11: RSN1158 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 180 (x) bileşeni b) 270 (y) bileşeni.	132
Şekil B.12: RSN1203 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) E (x) bileşeni b) N (y) bileşeni.	132
Şekil B.13: RSN1485 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) E (x) bileşeni b) N (y) bileşeni.	133
Şekil B.14: RSN3746 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 270 (x) bileşeni b) 360 (y) bileşeni.	133
Şekil B.15: RSN5827 kaydına ait ölçeklenmiş-orjinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 090 (y) bileşeni.	134

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Vision 2000 performans düzeyleri, karşılık gelen hasar durumu ve görelî öteleme oranı sınırları.	2
Tablo 1.2: Vision 2000 önerilen deprem tehlike düzeyleri.	3
Tablo 2.1: ASCE 41-17'ye göre eğilme etkin kiriş ve kolonlarda modelleme parametreleri.	26
Tablo 2.2: ASCE 41-17'ye göre eksenel kuvvet etkisindeki çaprazlarda modelleme parametreleri.	27
Tablo 2.3: TBDY'ye göre eğilme etkisi altındaki çelik kolon ve kirişler için performans sınırları.	34
Tablo 2.4: TBDY'ye göre eksenel kuvvet altındaki çelik çaprazlar için performans sınırları.	35
Tablo 2.5: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları. ...	38
Tablo 3.1: Tasarımda esas alınan deprem karakteristikleri.	44
Tablo 3.2: Bina modal özellikleri ve taban kesme kuvvetleri.	46
Tablo 3.3: 2KB MAÇ kolon elemanları için tasarım sonuçları.	50
Tablo 3.4: 2KB MAÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.	50
Tablo 3.5: 2KB MÇÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.	50
Tablo 3.6: 2KB MÇÇ çapraz elemanları için tasarım sonuçları.	50
Tablo 3.7: 4KB MAÇ kolon elemanları için tasarım sonuçları.	51
Tablo 3.8: 4KB MAÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.	51
Tablo 3.9: 4KB MÇÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.	51
Tablo 3.10: 4KB MÇÇ çapraz elemanları için tasarım sonuçları.	51
Tablo 3.11: 8KB MAÇ kolon elemanları için tasarım sonuçları.	52
Tablo 3.12: 8KB MAÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.	52
Tablo 3.13: 8KB MÇÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.	52
Tablo 3.14: 8KB MÇÇ çapraz elemanları için tasarım sonuçları.	52
Tablo 3.15: DOSY'den elde edilen D ve μ değerlerinin TBDY öngörülerî ile karşılaştırılması.	59
Tablo 3.16: Modal ve dönüştürülmüş koordinatlarda deplasman ve dayanım talepleri. ...	62
Tablo 3.17: Deprem kayıtlarına ait karakteristikler.	74
Tablo 3.18: DD-1 düzeyi için basınç altında GÖ performans sınırı aşılın elemana ait talepler.	79
Tablo A.1: 2KB binası kiriş elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.	124
Tablo A.2: 2KB binası kolon elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.	124
Tablo A.3: 2KB binası çapraz elemanlarına ait çekme kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.	124
Tablo A.4: 2KB binası çapraz elemanlarına ait basınç kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.	124
Tablo A.5: 4KB binası kiriş elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.	125
Tablo A.6: 4KB binası kolon elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.	125

Tablo A.7: 4KB binası çapraz elemanlarına ait çekme kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.	125
Tablo A.8: 4KB binası çapraz elemanlarına ait basınç kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.	125
Tablo A.9: 8KB binası giriş elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.	126
Tablo A.10: 8KB binası kolon elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.	126
Tablo A.11: 8KB binası çapraz elemanlarına ait çekme kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.	126
Tablo A.12: 8KB binası çapraz elemanlarına ait basınç kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.	126



SEMBOL LİSTESİ

A_s	: Etkin kesme alanı
A_c	: Çelik çapraz enkesit alanı
a_1	: Birinci moda ait TSDS modal ivmesi
a_y	: İdealleştirilmiş kapasite eğrisinde akma noktasına karşılık gelen ivme
a	: Önemli dayanım azalmasının başlamasına karşılık gelen plastik dönme/uzama/kısalma kapasitesi
b	: Dayanım sonlanmasına karşılık gelen plastik dönme/uzama/kısalma kapasitesi
b_f	: Çelik profil başlık genişliği
C_R	: Spektral yerdeğiştirme oranı
$[C]$: Yapının sönüm matrisi
c	: Artık taşıma kapasitesi
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
d_1	: Birinci moda ait TSDS modal yerdeğiştirmesi
$d_{1,max}$: Modal TSDS en büyük yerdeğiştirmesi
E	: Elastisite modülü
E_d^H	: Yatay deprem etkisi
E_d^Z	: Düşey deprem etkisi
E_d^x, E_d^y	: Asal doğrultulardaki deprem yükü
F_y	: Çelik akma dayanımı
F_u	: Çelik çekme dayanımı
F_{ye}	: Çelik beklenen akma dayanımı
G	: Sabit yük
g	: Yerçekimi ivmesi
h_i	: Bina toplam yüksekliği
h	: Çelik profil gövde yüksekliği
I_x, I_y	: Asal atalet momenti
I	: Bina önem katsayısı
$[K]$: Yapının rijitlik matrisi
K	: Burkulma boyu katsayısı
L	: Eleman boyu
$[M]$: Yapının kütle matrisi
M_y	: Akma momenti
M_{pe}	: Beklenen plastik moment taşıma kapasitesi
m_t	: Binanın deprem kütlesi
N	: Dinamik serbestlik derecesi
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
Q	: Hareketli yük
P	: Eksenel yük
P_{ye}	: Çelik eleman beklenen eksenel akma dayanımı
P_G	: Düşey yüklemeye ait eksenel kuvvet
P_c	: Çelik elemanın beklenen eksenel basınç dayanımı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_y	: Akma dayanımı azaltma katsayısı
r_y	: Zayıf ekseninde atalet yarıçapı
S	: Kar yükü

S_{DS}	: Kısa periyot spektral ivme katsayısı
$S_{di}(T)$: Doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme
$S_{de}(T)$: Elastik tasarım spektral yerdeğiştirmesi
S_{aR}	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
S_{ae}	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_{D1}	: 1 s periyoda karşılık gelen spektral ivme
S_{dmax}	: Modal yerdeğiştirme
S_{amax}	: Modal ivme
T_A, T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumunun köşe periyotları
T_L	: Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
t_f	: Çelik profil başlık kalınlığı
t_w	: Çelik profil gövde kalınlığı
u_n	: Tepe noktasına ait yerdeğiştirme
u_y	: İdealleştirilmiş kapasite eğrisinde akma dayanımına karşılık gelen tepe yerdeğiştirmesi
u_k	: TBDY’de öngörülen süneklik kapasitesi
u_{max}	: Tepe yerdeğiştirme talebi
V_{ti}	: İlgili itme adımında hesaplanan taban kesme kuvveti
V_y	: Global akma dayanımı
V_{tE}	: Tasarım taban kesme kuvveti
W_{pl}	: Plastik mukavemet momenti
α, β	: Modal frekanslar ve sönüm oranlarına bağlı olarak belirlenen katsayılar
Δ	: Boy değişimi
Δ_c	: Eksenel basınç etkisinde akma şekildeğiştirmesi
Δ_T	: Eksenel çekme etkisinde akma şekildeğiştirmesi
δ	: Göreli kat öteleme oranı
λ	: DD-3 tasarım spektral ivmesinin DD-2 tasarım spektral ivmesine oranı
κ	: Bina türü katsayısı (çelik için 0.5)
ω_m, ω_n	: Modal frekanslar
η	: Kesme deformasyonlarının etkisini ifade eden katsayı
τ_b	: Kolonlar için eksenel yüke bağlı elastisite modülü düzenleme katsayısı
ζ	: Sönüm Oranı
$\ddot{X}(t)$: Herhangi bir t anında ivme vektörü
$\dot{X}(t)$: Herhangi bir t anında hız vektörü
$X(t)$: Herhangi bir t anında yerdeğiştirme vektörü
Φ_N	: Tepe noktasına ait modal genlik
Γ_1	: 1. moda ait modal katkı çarpanı
θ_y	: Akma dönmesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, çelik binaların yönetmelikte yer alan temel performans hedeflerinin kalıcı yan al ötelemeler ile birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Lisans, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca engin bilgi ve tecrübesiyle desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, özellikle tez çalışmam sürecinde bana göstermiş olduğu ilgi, hoşgörü ve sabrından dolayı, çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Kaan TÜRKER'e teşekkürü bir borç bilir, sonsuz saygılarımı sunarım.

Bugünlere ulaşmamda büyük emekleri olan, yaşamım boyunca her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan annem Meryem SAYILIR'a ve babam Arif SAYILIR'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca desteklerini hiç esirgemeyen arkadaşlarım Doğuş KARAKAŞLI ve Gökçe ÖZDEMİR'e, çok değerli büyüklerim ve meslektaşlarım Cengiz GÜLTEKİN ve FARUK KİBAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Bahkesir, 2024

Aykut SAYILIR

1. GİRİŞ

Günümüz deprem yönetmeliklerinde gerek ekonomik gerekse kullanılabilirlik bakımından yapıların büyük bir kısmı için doğrusal olmayan davranış göstermesi öngörülmekte ve depreme dayanıklı yapı tasarımında, sünek taşıyıcı sistemlerin kullanılması teşvik edilmektedir. Yapılarda yeterli sünekliğin sağlanabilmesi için gevrek davranışı önleyecek ve herhangi bir mekanizma (göçme) durumu oluşmadan elastik ötesi büyük yer değiştirmelere olanak sağlayacak çeşitli tasarım kriterleri uygulanmaktadır. Betonarme yapılarda kesme kapasitesinin kapasite tasarım ile belirlenmesi, aderans kaybına yönelik önlemlerin alınması, kolonlarda eksenel (normal) yük düzeyinin sınırlandırılması, kirişlere göre daha güçlü kolon tasarlanması bu kriterlerin başlıcalarıdır. Çelik yapılarda ise betonarmedekine benzer şekilde kirişe göre daha güçlü kolon tasarımının yanı sıra, plastikleşmesi beklenen bölgelerde lokal ve genel burkulmaların önlenmesi, kolonlarda düşey yükler altında burkulmanın önlenmesi gibi kriterler uygulanmaktadır [1-3]. Yapılardan beklenen sünek davranışın bir sonucu olarak, deprem sonrası yapısal veya yapısal olmayan elemanlarda hasar oluşumu göze alınmaktadır. Yönetmeliklerdeki temel hedef, tasarım depremi altında can güvenliğinin sağlanması ve deprem sonrası yapı hasarının çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılabilir düzeyde kalmasıdır. Geleneksel dayanım esaslı tasarım yaklaşımlarında sünek yapı davranışı sonucu oluşacak hasarlar, yapının tasarım depremi altında göstereceği davranış ve lokal veya global göçme mekanizmaları kesin olarak bilinmemektedir. Tasarımların belirli bir deprem düzeyi kabulü ile yapılması nedeniyle farklı deprem düzeyleri altında yapı davranışı belirsiz kalmaktadır. Ayrıca farklı taşıyıcı sistem türlerine göre farklı süneklik öngörülmesi yapılması gerektiği için deprem davranışları ve oluşması beklenen hasarlar büyük farklılıklar göstermektedir.

Geçmiş depremlerden edinilen tecrübeler ve yapılan laboratuvar çalışmaları, dayanım esaslı tasarım yaklaşımı ile sünek yapı felsefesine göre tasarlanmış binaların, beklendiği gibi can güvenliğini sağlayabildiğini göstermiştir. 1994 Northridge (M6.7), 1989 Loma Prieta (M6.9) ve 1995 Kobe (M7.2) depremleri buna örnek olarak gösterilebilmektedir [4-6]. Ancak bu depremler sonrasında binalarda meydana gelen hasarların onarım, güçlendirme, yıkım veya iş kesintileri ve barınma ihtiyaçları nedeniyle çok büyük maddi kayıplara sebep olduğu görülmüştür. Bu ve benzeri can kaybının çok yüksek olmadığı, ancak maddi hasarların büyük ekonomik sorunlara yol açtığı depremler sonucunda, ABD'deki yapı mühendisliği mesleği temsilcileri ve politika yapıcılar, toplumun özellikle maddi ve iş kesintisi kayıplarını

azaltacak yeni tasarım, yapım ve güçlendirme prosedürlerine olan ihtiyaçlarını ortaya koymuşlardır. Böylece ABD’de performansa dayalı deprem mühendisliği çalışmaları başlamıştır. İlk olarak Structural Engineers Association of California (SEAOC) tarafından Vision 2000 projesi kapsamında “Performance Based Seismic Engineering of Buildings (1995)” isimli doküman yayınlanmıştır [7]. Bu dokümanda performansa dayalı deprem mühendisliğinin temel ilkeleri, hedefleri ve gelecekte yapılması gereken çalışmalar ortaya konulmuştur [7]. Vision 2000 projesi kapsamında ortaya konulan performans esaslı deprem mühendisliği yaklaşımı büyük kabul görmüş ve ardından yeni çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalardan Applied Technology Council (ATC) tarafından yayınlanan ATC 40 [8] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından yayınlanan FEMA273 [9] dokümanının Vision 2000 projesi ile birlikte performans esaslı deprem mühendisliği yaklaşımının temelini oluşturduğu kabul edilmektedir. ABD’de ortaya çıkan ve günümüz deprem yönetmeliklerinde geniş yer alan performans esaslı tasarım ve değerlendirme yaklaşımı, depreme dayanıklı yapı tasarımında köklü bir değişikliğe yol açmıştır.

Vision 2000 [7]’de deprem sonrası binada oluşması beklenen hasar düzeyleri öngörülerek performans düzeyleri tanımlanmıştır. Her bir performans düzeyinde farklı yapı türleri için yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda izin verilebilir hasar düzeyleri ve depremde oluşabilecek geçici ve kalıcı yanal görece öteleme oranı sınırları detaylı olarak tanımlanmıştır. Tablo 1.1’de performans düzeylerinin adları, genel hasar durumları ve ilgili sınırlar özet olarak gösterilmiştir.

Tablo 1.1: Vision 2000 performans düzeyleri, karşılık gelen hasar durumu ve görece öteleme oranı sınırları.

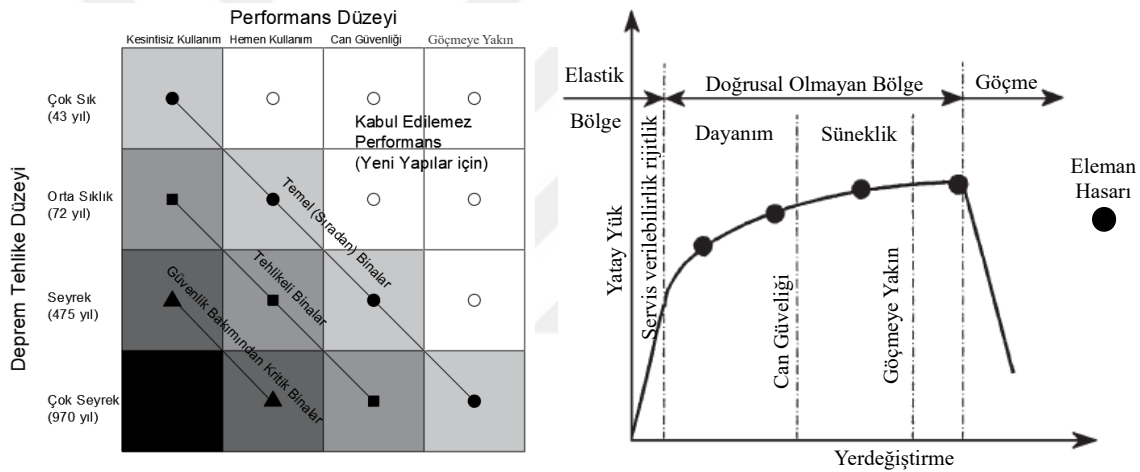
Performans Düzeyleri	Hasar Durumu	Görece Öteleme Oranı Sınırı	
		Geçici	Kalıcı
Kesintisiz Kullanım	Hasar yok	< %0.2 +/-	Önemsiz
Hemen Kullanım	Hafif hasar	< %0.5 +/-	Önemsiz
Can Güvenliği	Orta hasar	< %1.5 +/-	< %0.5 +/-
Göçmeye Yakın	Ağır hasar	< %2.5 +/-	< %2.5 +/-
Göçme	-	> %2.5 +/-	> %2.5 +/-

Farklı bina türlerinde, farklı deprem tehlike düzeylerine göre değerlendirme yapılabilmesi amacıyla deprem seviyeleri çeşitlendirilmiştir (Tablo 1.2). Bina özelliklerine ve yapı sahibinin isteklerine göre farklı performans düzeylerine ihtiyaç olabileceği düşünülerek dört farklı deprem tehlike seviyesi tanımlanmıştır.

Tablo 1.2: Vision 2000 önerilen deprem tehlike düzeyleri.

Deprem Sıklığı	Tekrarlanma Periyodu (yıl)	Aşılma Olasılığı
Çok Sık	43	30 yıl içinde %50
Orta Sıklık	72	50 yıl içinde %50
Seyrek	475	50 yıl içinde %10
Çok Seyrek	970	100 yıl içinde %10

Farklı deprem tehlike seviyeleri ile performans düzeylerinin kombinasyonu ile performans hedefleri oluşturulmuştur. Vision 2000 [7]'de güvenlik bakımından kritik öneme sahip binalar (hastane, okul, nükleer tesis vb.) ve temel (sıradan) binalar için farklı minimum performans hedefleri ortaya konulmuştur. Önerilen performans hedeflerinin matris formatında gösterimi ve bunların kapasite eğrisi üzerinde şematik gösterimi Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1: Vision 2000 performans hedefleri ve kapasite eğrisi üzerindeki şematik gösterimi.

Vision 2000 [7] ile ortaya konulan performans esaslı yaklaşımlar günümüzde oldukça yaygınlaşmış ve birçok ülkenin yönetmeliğinde geniş yer bulmaya başlamıştır. Türkiye'de ilk olarak 2007 Deprem Yönetmeliğinde yer verilen bu yaklaşımlar, sadece betonarme yapıların performanslarının değerlendirilmesi ve mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılmaya başlanmıştır. 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) [1] performans esaslı yaklaşımların kapsamı genişletilerek bazı betonarme ve çelik özel binaların tasarımında kullanımı zorunlu hale gelmiştir.

Bu konudaki en önemli gelişmeler ABD standartlarında görülmektedir. ASCE tarafından hazırlanan standartlarda birçok yapı türü için performans esaslı tasarım ve değerlendirme yöntemleri sürekli olarak geliştirilirken, yüksek yapıların performansa göre tasarımı amacıyla çeşitli kuruluşlar tarafından özel kılavuzlar yayınlanmaktadır [2, 10, 11, 12].

ABD’de mevcut tasarım standartlarında yer alan dayanım esaslı tasarım parametreleri de (deprem yükü azaltma katsayıları, dayanım fazlalığı katsayıları vb.) performans esaslı yaklaşımlar çerçevesinde değerlendirilmeye başlanmıştır [13].

ABD’de son dönemde yürütülen çeşitli projeler ile performans esaslı yaklaşımların geliştirilerek depreme dirençlilik yaklaşımına dönüştürülmeye çalışıldığı görülmektedir. [14, 15]. Bu bağlamda binalarda deprem sonrası oluşacak hasar düzeyinin belirlenmesinin yanı sıra, onarılabilirlik, güçlendirilebilirlik ve yapısal olmayan elemanlarda hasar görebilirlik gibi parametreler de eklenmekte ve depremlerin ekonomik boyutu da göz önüne alınmaya çalışılmaktadır.

Deprem sonrası saha çalışmalarından, sarsma tablası testlerinden ve analitik çalışmalardan elde edilen sonuçlar, mevcut yönetmeliklerine göre tasarlanan yapıların depremde beklendiği gibi bir performans gösterdiğini, tasarım depremi düzeyinde bir yer hareketinde kalıcı deformasyonların oluşabileceğini göstermektedir. Kalıcı deformasyonlar, yapının yatay elemanlarının dönmesine, düşey elemanlarının ise eğilmesine neden olmakta bu da yapıda kalıcı yanal ötelemelere (yerdeğiştirmelere) sebep olabilmektedir [16]. Yapılar deprem sonrası kısmi göçmeye uğramamış veya ağır hasar almamış olsa bile belirli hasar düzeylerinde büyük kalıcı yanal ötelemelere maruz kalması nedeniyle kullanılamaz hale gelmekte ve yıkılarak büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Priestley [17] elasto-plastik bir sistemin dinamik davranışını doğrusal olmayan elastik bir sistemin davranışı ile karşılaştırarak, bir depremden sonra eğilmiş bir binayı düzeltmenin zorluğu göz önüne alındığında, kalıcı yanal ötelemelerin maksimum ötelemelerden daha önemli olabileceğini belirtmiştir. Bazzurro vd. [18] ve Mackie K. vd. [19] tarafından yapılan çalışmalarda kalıcı öteleme taleplerini, hasarlı yapıların artçı sarsıntılara dayanma kapasitesinin değerlendirilmesinde en önemli davranış parametrelerinden biri olarak tanımlamışlardır. R. Garcia ve Miranda [20] yeni yapılacak ve mevcut yapıların bir deprem yer hareketinden sonra yaşayabileceği kalıcı öteleme taleplerinin yeterli bir şekilde tahmin edilmesinin, modern performansa dayalı değerlendirme prosedürlerinde birincil öneme sahip olması gerektiğini vurgulamışlardır.

Kalıcı öteleme taleplerinin öngörülebilmesi ve kalıcı ötelemelerin büyüklüğünü etkileyen parametrelerin belirlenebilmesi amacıyla tek serbestlik dereceli sistemler (TSDS) üzerinde bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Elasto-plastik ve rijitliği azalan TSDS’lerin, kalıcı öteleme

taleplerinin büyüklüğüne olan etkisine ilişkin gözlemler ilk olarak Mahin ve Bertero [21] tarafından ortaya konulmuştur. 10 farklı deprem kaydına tabi tutulan TSDS'lerin ortalama kalıcı öteleme taleplerinin, elastik olmayan ortalama tepe öteleme taleplerinin %45'i kadar yüksek olduğunu belirtmişlerdir. MacRae ve Kawashima [22] 1995 Kobe depreminde köprü ayaklarında görülen büyük kalıcı ötelemelerden hareketle, kalıcı öteleme taleplerinin öngörülmesini amaçlayan ilk sistematik çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, Japonya'da kaydedilen 11 deprem yer hareketi altında farklı süneklik talebine sahip elasto-plastik çevrimsel davranış gösteren TSDS'lerden yola çıkarak kalıcı öteleme taleplerini incelemiştir. Çalışma sonucunda akma sonrası rijitliğin kalıcı ötelemelerin büyüklüğü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, kalıcı öteleme taleplerinin büyüklüğünün, depremin büyüklüğünden, faya olan yakınlıktan veya zemin tipinden önemli ölçüde etkilenmediğini belirtmişlerdir. Pampanin vd. [23] iki farklı deprem düzeyinde ölçeklendirilmiş 20 deprem yer hareketi kullanarak, betonarme çerçeveli binanın özelliklerine sahip (hâkim mod periyodu, kütle, rijitlik vb.) dört adet eşdeğer TSDS'in kalıcı öteleme taleplerini incelemiştir. Çalışmada özellikle, kalıcı öteleme taleplerinin akma sonrası rijitliğe ve doğrusal olmayan TSDS'lerin histeristik davranış türüne bağlı olduğu vurgulanmıştır. Christopoulos vd. [24] 4, 8, 12 ve 20 katlı betonarme çerçeve binaları temsil etmesi amacıyla beş adet TSDS seçerek, çevrimsel hareketin, akma sonrası rijitliğin ve depremin büyüklüğünün kalıcı ötelemeler üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada kullanılan 20 deprem kaydı UBC 97'de tanımlanan, C veya D türü zemin sınıfı için belirlenen tasarım spektrumlarına göre ölçeklendirilmiştir. Ölçeklendirmeler, BSE-1 deprem kaydı grubu için tasarım deprem düzeyi, BSE-2 deprem kaydı grubu için ise maksimum deprem düzeyine göre yapılmıştır. Çalışmanın en önemli sonucu, çevrimsel davranıştaki rijitlik azalmalarının (yükleme ve boşaltma rijitliklerinin değişimi) kalıcı ötelemeler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğudur. Ayrıca kendi kendini merkezleyen sistem (self-centring) kullanılması durumunda kalıcı ötelemeler bakımından büyük avantaj sunacağını belirtmişlerdir.

TSDS modellerinden elde edilen kalıcı öteleme taleplerine ilişkin sonuçlar, çok serbestlik dereceli sistemlerde (ÇSDS) kalıcı deformasyon taleplerinin değerlendirilmesine odaklanmaya yönelmiştir. Gupta ve Krawinkler [25], 1994 Northridge depremi öncesinde yapılan tipik ofis binalarını temsil edecek şekilde 3, 9 ve 20 katlı çelik moment aktaran çerçeveden oluşan toplamda 9 bina modeli grubu ile davranış ve performans değerlendirmeleri yapmışlardır. Modeller, deprem tehlike düzeyleri en büyük depremi

temsil eden tekrarlanma periyodu 2475 yıl, tasarım depremini temsil eden tekrarlanma periyodu 475 yıl ve sık deprem düzeyini temsil eden tekrarlanma periyodu 72 yıl olan 3 farklı deprem tehlike düzeyi için 10 deprem kaydı çiftine tabi tutulmuştur. Deprem kayıtlarını ölçeklendirme yöntemi olarak spektral uyuşum tekniği kullanılmıştır. Araştırmacılar, özellikle Los Angeles gibi deprenselliği yüksek olan bölgelerde beklenildiği gibi, deprem tehlike düzeyinin artmasına bağlı olarak kalıcı ötelemelerin büyüklüklerinin de arttığını belirtmişlerdir. Çalışmada sonuçlar incelendiğinde aynı deprem tehlike düzeyi için kat sayısının artmasının kalıcı ötelemeler üzerinde ciddi bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Ayrıca deprem tehlike düzeyinin artması ile birlikte kalıcı öteleme taleplerinin öngörülmesi de zorlaşmaktadır. Eleman düzeyinde rijitlik azalmalarının kat öteleme taleplerinin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu talep artışı, yapının üst katlarında oluşan inelastik çevrimsel hareketler nedeniyle meydana gelmektedir. P-delta etkilerinin genel olarak rijitlik azalmalarından kaynaklanan kalıcı öteleme taleplerinin azalmasına neden olduğunu vurgulamışlardır.

Pampanin vd. [26] 6 farklı çok katlı çerçeve sisteme sahip bina modeli ile deprem performansının değerlendirilmesinde kalıcı ötelemelerin rolünü ele almışlardır. Ayrıca P-delta ve yüksek mod etkilerinin de kalıcı ötelemeler üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Binalardan üçü kolon-kiriş birleşim (panel) bölgelerinde farklı çevrimsel davranış sergileyen beş katlı yapılardır. Diğer üçü ise 3, 6 ve 8 katlı olmak üzere, deprem yönetmeliklerinden önceki binaları temsilen sadece düşey yükler altında tasarlanmış betonarme çerçeve sisteme sahip binalardır. Çalışmada 10 deprem kaydı çifti, iki farklı deprem düzeyinde (BSE-1 ve BSE-2) ölçeklendirilerek kullanılmıştır. Kalıcı ötelemelerin, özellikle farklı histeristik davranış modellerine, akma sonrası rijitliğe, elastik olmayan mekanizmalara (zayıf kiriş veya zayıf kolon) ve deprem tehlike düzeyine önemli bir hassasiyeti olduğunu vurgulamışlardır. Yüksek mod ve P-delta etkilerine bağlı artışlar incelendiğinde, maksimum kat ötelemeleri bakımından tutarlı sonuçlar elde edilirken, kalıcı ötelemeler üzerinde belirgin bir etki görülmediğini belirtmişlerdir.

Medina ve Krawinkler [27] 3, 6, 9, 15 ve 18 katlı olmak üzere düzenli, tek açıklığa sahip çelik ve betonarme yapılar üzerinde kalıcı ötelemeleri incelemişlerdir. Çalışmada modellerin ortalama kalıcı öteleme taleplerinin, deprem yer hareketi düzeyi arttıkça kat yüksekliği boyunca maksimum kat öteleme taleplerinin dağılımına benzer olduğunu belirtmişlerdir.

R. Garcia ve Miranda [20] deprem yer hareketine maruz ÇSDS kalıcı öteleme taleplerinin büyüklüğünü ve yükseklik boyunca dağılımını etkileyen parametreleri incelemiştir. Çalışmada 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 katlı olmak üzere tek açıklıklı altı farklı çelik moment aktaran çerçeve sisteme sahip bina modellerinden oluşan iki grup kullanılmıştır. Birinci grupta titreşim periyodu 0.5s ile 1.8s arasında değişen rijit çerçeve modeller bulunurken, ikinci grupta ise titreşim periyodu 0.7s ile 3.3s arasında değişen esnek çerçeve modeller bulunmaktadır. Çalışmada kullanılmak üzere toplamda 40 deprem kaydı seçilmiştir. Araştırmacılar, beklendiği gibi hem elastik hem de rijit çerçeve yapı grupları için deprem yer hareketi düzeyi arttıkça kalıcı öteleme taleplerinin de arttığını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, aynı kat sayısına ancak farklı titreşim periyoduna sahip modellerde, deprem yer hareketi düzeyi arttıkça esnek modellerde oluşan kalıcı öteleme taleplerinin, daha rijit çerçeve modellerine göre daha hızlı bir oranda arttığını vurgulamışlardır. Araştırmacılar, deprem kuvveti etkisinde olan bir yapıda oluşması beklenen mekanizma durumlarının, kalıcı öteleme taleplerinin büyüklüğü ve kat yüksekliği boyunca dağılımı üzerine önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle aynı kat sayısına ancak farklı titreşim periyoduna sahip yapılarda, mekanizma durumlarının esnek bina modelleri üzerinde rijit binalara göre daha büyük etkiye sahip olduğunu raporlamışlardır. Plastikleşmelerin giriş uçlarında olduğu ideal mekanizma durumunu sergileyen modellerde, plastikleşmelerin kolon uçlarında olduğu modellere kıyasla daha küçük kalıcı ötelemelerin gözlemlendiği ve kalıcı öteleme dağılımlarının daha homojen olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ötelemelerin büyüklüğünün ve dağılımının çevrimsel modelleme türünden önemli ölçüde etkilendiği vurgulanmıştır.

Binalarda deprem sonrası oluşan kalıcı deformasyonların binanın kullanılabilirliğine etkisi üzerine en kapsamlı çalışma McCormick vd. [16] tarafından Japonya genelinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma, Japonya'da Kyoto Üniversitesi kampüsünde bulunan 1970 yılında inşa edilmiş, beş katlı moment aktaran çerçeve sistemden oluşan çelik bir yapı üzerindeki incelemeleri ve daha önce Japonya'da yapılan araştırmaların derlenip değerlendirilmesini içermektedir. Binalarda izin verilebilir kalıcı deformasyon (yanal öteleme ve düşey yer değiştirme) sınırlarını tespit etmek amacıyla bina fonksiyonelliği, güvenlik ve ekonomiklik kriterleri dikkate alınarak detaylı incelemeler yapılmıştır. Fonksiyonellik kapsamında üç çalışma yapılmıştır. İlk olarak, algılanabilir minimum eğim açısı belirlenmiştir. Bunun için gözleri kapalı olan insanların zemin eğimini algılayabilme yeteneği araştırılmıştır. Kaga vd. [28] tarafından, 22 denek ile yapılan bir çalışma sonucunda,

insanların algılayabileceği minimum eğim açısının 0.3° (0.0052 rad.) olduğu öne sürülmüştür. İkinci çalışmada, eğim açısının fiziksel rahatsızlıklar ile olan korelasyonu araştırılmıştır. Bunun için Yasuda ve Hashimoto [29] 2000 yılında meydana gelen ve birçok konut yapısına zarar veren Batı Tottori Vilayeti Depremine ait incelemeleri araştırmışlardır. Bu depremde belirlenen maksimum kalıcı deformasyon 0.0375 rad olarak belirlenmiştir. Kalıcı deformasyonun 0.01 radyan'dan büyük olduğu konutlarda yaşayan sakinler, baş ağrısı ve günlük yaşamlarında başka sorunlar ile karşılaştıklarını bildirmiştir. Fujii vd. [30] tarafından Hyogoken-Nanbu depreminin ardından 100 kişinin katıldığı görüşmede Ashiya şehrinde deprem sonrası etkiler araştırılmıştır. Şehir sakinlerinin fark edebildikleri en küçük eğim açısının 0.005 rad ile 0.006 rad arasında olduğu tespit edilmiştir. Kalıcı eğim açısının yaklaşık 0.008 rad olduğu bina sakinleri, bu eğimin oldukça farkında olduklarını ve baş dönmesi, baş ağrısı ve mide bulantısından şikâyet ettiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca çatlaklardan, nesnelere yuvarlanmasından ve hava giriş çıkışı olabilecek kadar boşlukların oluşması ile binanın işlevselliğinin azalmasından şikâyetçi olmuşlardır. Fonksiyonellik kapsamında yapılan üçüncü çalışmada, resmi mevzuatlara göre işlevselliğini kaybetmiş (kusurlu) yapı tanımı ve kriterleri araştırılmış ve herhangi bir bileşendeki ötelenme, dönme veya eğilmenin 0.006 rad'ı geçmesi durumunun referans alındığını belirtmişlerdir [31]. Çalışmada yapım hatası toleransları bakımından da incelemeler yapılarak yatay ve dikey elemanlardaki yapım hatalarının kabul edilebilir sınırlarının mertebeleri mevcut Japonya şartnamelerine göre ortaya konmuştur. Buna ilave olarak Hyogoken-Nanbu depreminde hasar gören güçlendirilen veya onarılan binalar incelenmiş ve maliyet ile kalıcı yanal öteleme arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Iwata vd. [32] tarafından yapılan çalışmada, deprem esnasında hasar gören 12 adet çelik çerçeveli bina incelenmiş ve kalıcı yanal deformasyonun 0.005 rad değerinden daha büyük olduğu durumlarda güçlendirme veya onarım yapmanın ekonomik açıdan uygun olmadığı belirlenmiştir. Güvenlik bakımından izin verilebilir kalıcı deformasyon sınırının belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, kolon eğiminin 0.01 rad değerinden az olduğu yapıların güvenli kabul edildiği belirtilmiştir. Ancak yapısal olmayan bileşenler üzerinde yapılan çalışmalarda, bir deprem sonrası 0.005 rad değerinde kalıcı deformasyonların, büyük bir artçı deprem sonrası yapıdan çıkışı engelleyebileceği belirtilmiştir. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucunda, tüm binalar için izin verilebilir maksimum kalıcı göreceli öteleme oranı kriteri olarak %0.5'lik sınır önerilmiştir.

J. M. Ricles vd. [33] 2011 Tohoku deprem ve tsunamisi sonrası keşif çalışmalarında deprem ve tsunaminin çelik yapılar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Şekil 1.2 ile gösterilen 2 katlı endüstriyel çelik yapının doğu-batı doğrultusunda yaklaşık olarak %4'lük bir kalıcı görelî öteleme oranı olduğunu belirtmişlerdir. Yapının doğu-batı doğrultusunda kiriş uçlarında lokal burkulmalar olduğunu ve kolon-kiriş birleşim (panel) bölgesinde elastik olmayan deformasyonların olduğunu belirtmişlerdir. Yapının kuzey-güney doğrultusundaki çelik çaprazlı çerçevelerde net kesit kopmaları ve burkulmaları gözlemlendiğini ve kalıcı görelî öteleme oranının %1.25 olduğunu belirtmişlerdir. Deprem ve ardından gelen tsunami nedeniyle kıyı bölgesindeki birçok çelik binada %5'lere ulaşan kalıcı görelî öteleme oranı tespit edilmiştir (Şekil 1.3).



Şekil 1.2: 2011 Tohoku depremi sonrası kalıcı yanal ötelemeye maruz kalmış çelik yapı.



Şekil 1.3: 2011 Tohoku depremi ve tsunami nedeniyle kalıcı ötelemelere maruz kalan çelik binalar.

Anderson ve Filippou [4] tarafından yapılan bir çalışmada, 1994 Northridge depreminin ardından kullanılabilir olduğu kabul edilen 17 katlı, taşıyıcı sistemi her iki asal doğrultuda moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistemden oluşan çelik bir binanın kalıcı ötelemeleri, binanın yeniden kullanılmasının ardından asansör sisteminin çalışmaması sonucu tespit

edilmiştir. Binada yaklaşık olarak 15cm kalıcı yanal öteleme oluştuğunu belirtmişlerdir. Yapının moment aktaran birleşimlerinde kaynak kırılmalarının yaşandığı rapor edilmiştir.

Rosenblueth E. ve Meli R. [34] 1985 Michoacan Meksika depreminde Mexico City’de bulunan çok sayıda betonarme binanın, deprem sonrası oluşan kalıcı ötelemeler nedeniyle onarılmasındaki veya güçlendirilmesindeki teknik zorluklar ve çok yüksek maliyet nedeniyle yıkılmak zorunda kaldığını belirlemişlerdir.

Okada vd. [5] 1995 Hyogoken-Nanbu depreminde, bazı az katlı betonarme binalarda hafif yapısal hasar oluşmasına rağmen nispeten büyük kalıcı ötelemelerin oluştuğunu bildirmişlerdir.

Sabelli vd. [35] burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin (BÖÇÇ) bir dizi deprem yer hareketi altında kalıcı deformasyonlarını belirlemişlerdir. 3 ve 6 katlı BÖÇÇ’lerde bir dizi tasarım deprem düzeyinde maksimum kalıcı görelî öteleme oranlarının sırası ile %0.5 ve %0.7 olduğunu, maksimum deprem düzeyinde ise %2.2’ye yükseldiğini belirlemişlerdir.

Kiggins ve Uang [36] 3 ve 6 katlı, taşıyıcı sistemleri BÖÇÇ sistemden oluşan 2 bina ve bununla birlikte yedek sistem olarak MAÇ sistem kullanılan 2 bina üzerinde doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirerek, yapılarda oluşan kalıcı ötelemeleri incelemişlerdir. Dinamik analizler için kullanılan deprem kayıtlarının, Los Angeles şehir merkezindeki bir lokasyon için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım deprem düzeyini ifade ettiğini belirtmişlerdir. Taşıyıcı sistemi sadece BÖÇÇ sistemlerden oluşan 3 ve 6 katlı binaların doğrusal olmayan dinamik analizlerinden elde edilen ortalama kalıcı öteleme oranları %0.39 ve %0.29, BÖÇÇ sistem ile birlikte MAÇ sistem kullanılan 3 ve 6 katlı binalarda ise ortalama kalıcı görelî öteleme oranları %0.21 ve %0.13 olarak elde etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar çaprazlarda burkulma sonrası rijitlik azalmalarının kalıcı görelî öteleme davranışında etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Fahnestock vd. [37] taşıyıcı sistemi BÖÇÇ sistemden oluşan 4 katlı bir çelik bina üzerinde performans değerlendirmesi ile birlikte kalıcı ötelemeleri incelemişlerdir. Binanın AISC 2005, SEI/ASCE 7-05 ve ICC 2000 şartnamelerine göre tasarlandığını ve doğrusal olmayan dinamik analizlerde tasarım depremi ve en büyük depremi ifade eden iki farklı deprem düzeyi kullanıldığını belirtmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda binanın, tasarım depremi

altında *Life Safety (LS)* performans düzeyine ulaştığını ve kalıcı görelî öteleme oranının %0.5 olduğunu, en büyük deprem düzeyi altında *Near Collapse (NC)* performans düzeyine ulaştığını ve kalıcı görelî öteleme oranının ise %1.2 olduğunu bildirmişlerdir.

Fahnestock vd. [38], Fahnestock vd. [37] tarafından tasarlanan BÖÇÇ sistemden oluşan 4 katlı prototip binaya ait bir çerçevenin deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Çalışma Lehigh Üniversitesinde gerçekleştirilmiş ve test çerçevesinin hasar durumu ile kalıcı ötelemelerini incelemişlerdir. Deneylerde, sık deprem düzeyini, tasarım deprem düzeyini ve en büyük deprem düzeyini ifade etmek üzere üç farklı deprem simülasyonu kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, BÖÇÇ sistemden oluşan test çerçevesinin oldukça iyi bir performans sergileyerek, hiçbir deprem simülasyonunda dayanım ve rijitlik kaybının yaşanmadığını bildirmişlerdir. Ancak sık, tasarım ve en büyük deprem düzeyi simülasyonlarında sırası ile %0.2, %1.3 ve %2.7 oranında kalıcı görelî ötelemelerin elde edildiğini raporlamışlardır.

Pettinga vd. [39] ana taşıyıcı sistemi BÖÇÇ sistemden oluşan ve ikincil taşıyıcı sistemi MAÇ sistemden oluşan 4 katlı çelik bir binanın tasarım deprem düzeyi için kalıcı ötelemelerini incelemişlerdir. Binanın Yeni Zelanda sismik tasarım şartnamesine göre tasarlandığını ve değerlendirmelerin tasarım deprem düzeyi için yapıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca yakın fay ve uzak fay etkilerini içeren iki farklı kayıt seti kullanmışlardır. Yapılan doğrusal olmayan dinamik analizler sonucunda, sadece BÖÇÇ taşıyıcı sistemden oluşan modelde ortalama kalıcı görelî öteleme oranlarının uzak fay ve yakın fay için sırası ile %0.85 ile %0.89, BÖÇÇ sistem ile birlikte yedek MAÇ sistemin kullanıldığı modelde ise uzak fay ve yakın fay için sırası ile %0.21 ile %0.30 olarak elde edildiğini belirtmişlerdir.

Tremblay vd. [40] 2, 4, 8, 12 ve 16 katlı kendi kendini merkezleyen çapraz elemanlardan oluşan çelik bir bina üzerinde kalıcı ötelemeleri incelemişlerdir. Ayrıca taşıyıcı sistemi BÖÇÇ sistemden oluşan özdeş binaların da karşılaştırmak amacıyla incelendiğini bildirmişlerdir. Binaların ASCE 7-02 şartnamesine göre tasarlandığını ve değerlendirmelerde 50 yılda aşılma olasılığı %50 (sık deprem), %10 (tasarım depremi) ve %2 (en büyük deprem) olan üç deprem yer hareketi düzeyi kullanıldığını belirtmişlerdir. Sık deprem düzeyi için kendi kendini merkezleyen sisteme sahip binalarda kalıcı görelî öteleme oranları %0.47-%1.26 arasında, tasarım depremi için %1.28-%2.05 arasında ve en büyük deprem için %2.94-%4.4 arasında elde edildiğini bildirmişlerdir. Aynı deprem düzeyleri için

BÖÇÇ sistemlerde sırası ile %0.59-%1.63, %1.33-%2.54 ve %2.64-%4.90 arasında kalıcı görelî öteleme oranının elde edildiğini bildirmişlerdir.

Onur Şeker vd. [41] güncel kapasite tasarımı yaklaşımını incelemişler ve kalıcı ötelemeler bakımından bir değerlendirme yapmışlardır. Çalışmada, taşıyıcı sistemi MÇÇ sistemden oluşan ve 3 farklı çapraz düzenine sahip 6 katlı binaların doğrusal olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Binaların TBDY'ye göre tasarlandığını, doğrusal olmayan dinamik analizlerde seçilen deprem kayıtlarının DD-2 deprem yer hareketi düzeyine ait hedef spektruma basit ölçekleme yöntemi ile ölçeklendirildiğini bildirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda ters V çapraz düzenine sahip çaprazlı çerçevenin kalıcı ötelemeler bakımından en iyi performansı gösterdiğini belirtmişlerdir. Ters V çapraz düzeni için kalıcı görelî öteleme oranı 0.004, farklı X çapraz düzenine sahip diğer iki modelde ise 0.012 ve 0.009'luk kalıcı görelî öteleme oranlarının elde edildiğini rapor etmişlerdir.

1.1 Literatür Değerlendirmesi

Yapılan literatür incelemelerinden, eleman ölçeğinde hasar değerlendirmelerine dayanan mevcut performans esaslı yaklaşımların, deprem sonrası kullanılabilirlik, onarılabilirlik ve ekonomik kayıplar bakımından geliştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda öne çıkan en önemli konu, deprem sonrası oluşan kalıcı yanal ötelemeler olarak görülmektedir. Binalardaki lokal hasarlar onarılabilir olsa da kalıcı ötelemeler belirli sınırları aştığında binanın global olarak kullanılamaz hale gelebildiği çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur.

SEOAC Vision 2000 [10]'de can güvenliği performans düzeyi için 0.005'lik kalıcı yanal görelî öteleme oranı sınırı öngörölmüş, ancak ondan sonra yayınlanan standartlarda bu kritere yer verilmemiştir. Bunda, kalıcı yanal ötelemeleri belirlemek için kullanılacak olan analiz yöntemlerine ait altyapının (çevrimsel davranış, modelleme vb.) ve ilgili hesaplama araçlarının kısıtlılığı etkili olmuştur. Bu nedenle belirli bir dönem boyunca daha çok, basitleştirilmiş spektrum esaslı doğrusal olmayan statik yöntemlere standartlarda büyük yer verilmiştir. Bugün için doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemlerindeki altyapı gelişmiş ve gerekli analiz araçları da yaygınlaşmıştır. Buna paralel olarak standartlarda performans esaslı değerlendirmede doğrusal olmayan dinamik yöntemlerin payı artırılmıştır. Günümüzde sadece ABD'de yüksek yapılar için hazırlanan bir kılavuzda kalıcı yanal öteleme kriteri bulunmakta, diğer birçok ülke standardında bu konuda zorunlu bir kriter kullanılmamaktadır. Söz konusu kılavuzda maksimum deprem düzeyi için ortalama kalıcı

görelî öteleme oranının 0.01 ile, maksimum kalıcı görelî öteleme oranının 0.015 ile sınırlandırılması öngörölmüştür [42]. Literatürde ise çok kapsamlı çalışmalara dayanarak McCormick vd. [16] tarafından önerilen 0.005'lik görelî öteleme oranı sınırının kabul gördüğü ve çalışmalarda kullanılmaya başlandığı görölmektedir.

Birçok yapısal bileşeninde (kiriş, kolon, burkulması önlenmiş çapraz, bağ kirişî vb.) elasto-plastik tam çevrimsel davranış gerçekleşmesi nedeniyle çelik yapı sistemleri, kalıcı yanal öteleme gerçekleşmesi potansiyeli yüksek olan taşıyıcılardır. Yapılan çalışmalar, çelik yapılarda bazı taşıyıcı sistemlerin (MAÇ, BÖÇÇ) kalıcı yanal öteleme potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu göstermiştir. Özellikle MAÇ ve BÖÇÇ sistemlerde kalıcı ötelemelerin değerlendirildiği çok sayıda çalışmanın olduğu, ancak narin çaprazlı sistemler ile ilgili çalışmaların oldukça az olduğu görölmektedir. Yüksek narinlikli merkezi çaprazlı çerçeve sistemler burkulma sonrası önemli rijitlik kayıplarına uğradıkları için kalıcı ötelemeleri önleme potansiyeline sahiptirler. Ancak bu tür sistemler ile ilgili çalışmaların çok kısıtlı olduğu görölmüştür. Yapılan çalışmalarda, genellikle çeşitli yapı sistemleri için sadece kalıcı görelî ötelemelerin incelendiği, performans düzeyleri ile kalıcı görelî öteleme oranı ilişkilerinin ve uyumunun ortaya konmadığı görölmektedir. Ayrıca çalışmalarda elde edilen sonuçların kullanılan yapı özelliklerine, tasarım standartlarına ve modelleme özelliklerine bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebildiği anlaşılmaktadır. Bu konuda, belirli kriterlerin ortaya konulabilmesi için mevcut performans değerlendirme ve tasarım yaklaşımlarında eleman hasar düzeyleri ile birlikte kalıcı ötelemelerin de değerlendirildiği çalışmalara ihtiyaç olduğu düşünölmektedir. Bu konuda yapılacak çalışmalar mevcut performans esaslı yaklaşımların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmada, TBDY'ye göre tasarlanan çelik binaların, performans düzeyleri ve kalıcı görelî öteleme oranları belirlenerek, yönetmelikte yer alan temel performans hedeflerinin kalıcı görelî öteleme oranları ile birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Performans değerlendirmelerinde iki ayrı yöntem kullanılmış ve bunların sonuçları karşılaştırılmıştır.

İncelemeler iki, dört ve sekiz katlı çelik bina modelleri üzerinde yapılmıştır. Binaların taşıyıcı sistemleri, bir doğrultuda moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistemlerden, diğer doğrultuda merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) sistemlerden oluşmaktadır. Taşıyıcı sistemler süneklik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanmış ve MÇÇ sistemde diyagonal çapraz düzeni

kullanılmıştır. Binalar, tasarım deprem düzeyi ve maksimum deprem düzeyi için doğrusal olmayan statik yöntem (DOSY) ve doğrusal olmayan dinamik yöntem (DODY) ile incelenmiştir. DODY için her iki deprem düzeyine göre spektral uyum yöntemi ile ölçeklenen 15 güçlü deprem yer hareketi kaydı kullanılmıştır. Performans kriterlerinin belirlenmesinde TBDY'den, doğrusal olmayan analiz modellerinin oluşturulmasında ASCE/SEI 41-17'den yararlanılmıştır.



2. PERFORMANS DEĞERLENDİRME ESASLARI VE YAPILAN VARSAYIMLAR

Bu bölümde, bina performanslarının belirlenmesinde kullanılan yöntemler, performans düzeyleri, deprem düzeyleri, modelleme yaklaşımları ve performans kriterleri, çalışmada esas alınan standartlar çerçevesinde detaylı olarak açıklanmıştır.

2.1 Yöntemler

Çalışmada, bina performans düzeylerinin belirlenmesinde doğrusal olmayan statik yöntem (DOSY) ve doğrusal olmayan dinamik yöntem (DODY) olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır. Yöntemlerin uygulanmasında temel olarak TBDY [1] yönetmeliği esas alınmış, ancak TBDY’de bulunmayan bazı modelleme özellikleri için ASCE 41-17 [2] standardından yararlanılmıştır. DODY tüm binalar için sınırlama olmaksızın kullanılabilirken, DOSY için bazı sınırlandırmalar mevcuttur. Bunlar Bölüm 2.1.1’de belirtilmiştir.

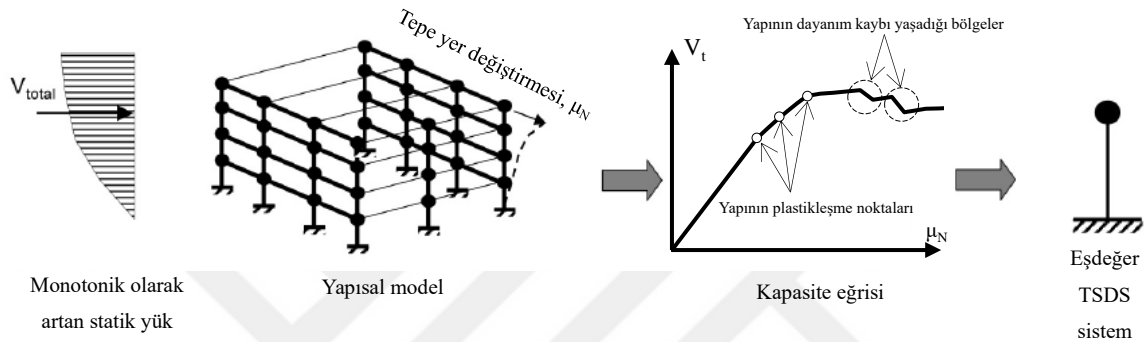
2.1.1 Doğrusal Olmayan Statik Yöntem (DOSY)

Doğrusal olmayan statik yöntem, yaklaşık kırk yıl önce, Saiidi ve Sozen [43], Fajfar ve Gaspersic [44] ve Bracci vd. [45] tarafından genel esasları ortaya konulmuş ve geliştirilmiş, ardından FEMA-273 [9], FEMA-356 [46], ASCE 41-06 [10] ve ATC-40 [8] gibi kılavuz ve standartlarda, yapıların deprem kuvvetleri etkisinde tasarım ve değerlendirilmesinde bir araç olarak önerilmiştir [47]. Bu yöntem, sabit düşey yükler ve yükseklik boyunca dağılımı sabit ancak şiddeti artan yatay yükler altında, doğrusal olmayan teoriye göre yapının yatay kuvvet-tepe yerdeğiştirme bağıntısının elde edilmesine ve eşdeğer bir tek serbestlik dereceli sistem (TSDS) davranışı ile ilişkilendirilebileceği varsayımına dayanmaktadır (Şekil 2.1) [48]. Bu varsayım, davranışın tek bir mod tarafından kontrol edildiği ve bu mod şeklinin ise analizin her adımında (deprem süresince) sabit kaldığı anlamına gelmektedir. Bu şekilde, deprem etkilerini temsil etmesi için temel titreşim moduna ait genliklerle orantılı yatay kuvvetlerin, monotonik olarak adım adım uygulandığı analizlere sabit tek modlu itme analizi denilmektedir.

İtme analizleri sonucunda elde edilen eğri yapının yatay deprem yükü taşıma kapasitesini ifade etmekte ve deprem talebinden bağımsız olarak yapının kapasitesini tanımlamaktadır. Kapasite eğrisinin elde edilmesi sayesinde yapı sistemindeki plastikleşme noktaları,

dayanım kayıpları oluşan bölgede kısmi veya toptan mekanizma (göçme) durumları belirlenebilmektedir (Şekil 2.1).

Yapıya ait her bir asal doğrultuda elde edilen kapasite eğrileri, sistemin deprem etkisi altındaki hedef yer değiştirmesinin belirlenmesinde kullanılır. Bunun için eşdeğer TSDS yaklaşımı esas alınır. Bu yaklaşımın temelinde, çok serbestlik dereceli sistemin (ÇSDS) maksimum yerdeğiştirmesinin, yüksek mod etkilerine bakılmaksızın tek bir şekil vektörü tarafından kontrol edildiği varsayımı vardır (Şekil 2.1) [48].



Şekil 2.1: DOSY'de ÇSDS'den TSDS'ye geçişin şematik gösterimi [48].

Yapının elastik davranış sınırını aşmasının (akma sonrası) ardından oluşan plastik mafsallar nedeniyle, sistemin davranışı sürekli değişim göstermektedir. Mod şekillerinde oluşan bu değişimin göz önüne alınabilmesi için değişken tek modlu itme analizi yapılabilmektedir. Bu yaklaşımda, itme analizinin her bir adımında oluşan plastik mafsallar dikkate alınarak yenilenen serbest titreşim hesabından elde edilen değişken mod şekli ile orantılı bir şekilde katlara etkileyen deprem yükleri tanımlanmaktadır [1]. Sabit ve değişken tek modlu itme analizleri, yapısal düzensizliği bulunmayan az ve orta katlı yapılar için gerçek davranışa oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Buna karşılık yapısal düzensizliği bulunan az veya çok katlı yapıların deprem yükleri altındaki davranışını temsil etmekte yetersiz kaldığı bilinmektedir [47]. Ayrıca, itme analizlerinde deprem etkisi tek yönlü olarak uygulanabildiği için çevrimsel deprem etkilerinin sebep olduğu rijitlik ve dayanım azalmaları göz önüne alınamamaktadır. İtme yöntemlerinin düzensiz ve/veya yüksek yapılara da uygulanabilmesi amacıyla yüksek mod etkilerinin de davranışa dahil edildiği çeşitli çok modlu itme yöntemleri geliştirilmiştir [47-50]. Çok modlu itme analizleri, N adet serbestlik derecesine sahip ÇSDS'nin deprem davranışının, tek doğrultulu yükleme etkisinde olan N adet modal eşdeğer TSDS davranışlarının kombinasyonu ile elde edilmesine dayanmaktadır [51].

TBDY'ye göre çok modlu DOSY, bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 2$ olan tüm binalarda kullanılabilir. Tek modlu DOSY ise aşağıda verilen özellikteki binalar için kullanılabilir.

- TBDY'ye göre, bina yükseklik sınıfı $BYS \geq 5$ olan binalar.
- Herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak belirlenen burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlayan binalar,
- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlelerinin toplam bina kütlelerine oranının en az 0.70 olduğu binalar.
- Ayrıca, en yakın faya olan uzaklığın 15 km'den az olduğu durumlarda ve ikinci mertebe etkileri nedeniyle akma sonrası önemli dayanım azalması oluşan binalarda DOSY yerine DODY kullanılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında TBDY'de tanımlanan sabit tek modlu itme analizi kullanılmıştır.

TBDY'ye göre, binanın iki asal doğrultusunda ayrı ayrı itme analizi yapılması ve Denk. (2.1)'e göre düşey yükler ve düşey deprem etkisi ile birleştirilmesi öngörülmektedir.

$$G + nQ + 0.2S + E_d^H + 0.3E_d^Z \quad (2.1)$$

Burada E_d^H Denk. (2.2) ile verilen yatay deprem etkileri (E_d^X, E_d^Y) kombinasyonunu, E_d^Z Denk. (2.3) ile belirlenen düşey deprem etkisini göstermektedir.

$$E_d^H = \mp E_d^X + 0.30E_d^Y \quad (2.2)$$

$$E_d^H = \mp 0.3E_d^X + E_d^Y \quad (2.3)$$

$$E_d^Z \approx (2/3)S_{DS}G$$

Burada S_{DS} ilgili deprem yer hareketi düzeyine bağlı olarak belirlenen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır.

TBDY'de ayrı ayrı gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizlerden elde edilecek farklı doğrultulardaki plastik şekildeğiştirmelerin nasıl birleştirileceği konusunda bir açıklama bulunmamaktadır.

Sabit tek modlu itme analizinin başlangıç adımında düşey yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılmaktadır. TBDY'ye göre Denk. (2.4)' te verilen düşey yüklemelerden elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler, itme analizinin başlangıç değeri olarak göz önüne alınmaktadır.

$$G + nQ + 0.2S \quad (2.4)$$

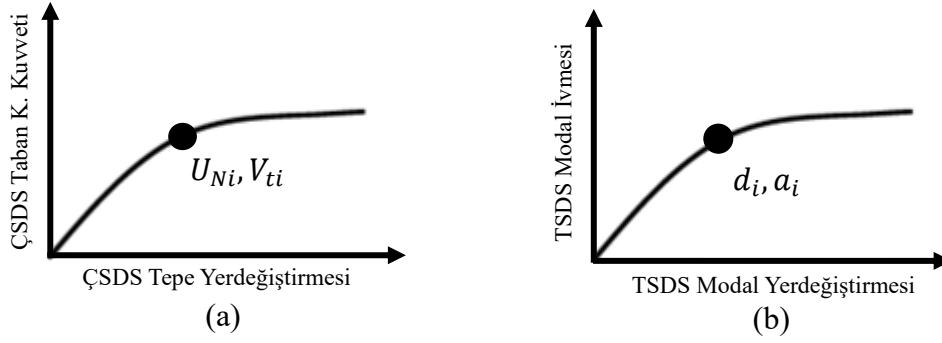
Burada G, sabit yükleri, Q, hareketli yükleri, S, kar yüklerini ve n hareketli yük azaltma katsayısını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında yer değiştirme talebinin belirlenmesinde TBDY yaklaşımı kullanılmış ve yaklaşım aşağıda özetlenmiştir.

TBDY'ye göre, yer değiştirme talebinin belirlenmesi için, deprem etkisi altındaki bir sistemin itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisinde yapılan koordinat dönüşümü ile elde edilen modal kapasite diyagramları kullanılmaktadır. Yapının kapasite eğrisine ait koordinatların, aşağıda verilen Denk. (2.5) ve Denk. (2.6)'ya göre dönüştürülerek, modal tek serbestlik dereceli sisteme ait modal ivme-modal yer değiştirme ilişkisini ifade eden modal kapasite diyagramı elde edilmektedir (Şekil 2.2).

$$a_1 = \frac{V_t i}{m_t} \quad (2.5)$$

$$d_1 = \frac{U_n}{\Phi_N \Gamma_1} \quad (2.6)$$

Burada a_1 yapının göz önüne alınan deprem doğrultusu için ilgili itme adımında birinci moda ait tek serbestlik dereceli sistemin modal ivmesi, V_t göz önüne alınan deprem doğrultusu için ilgili itme adımında hesaplanan taban kesme kuvveti, m_t , taban kesme kuvveti modal etkin kütlesi, d_1 birinci moda ait tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi, U_n yapının tepe noktasına ait yer değiştirmesi, Φ_N yapının tepe noktasına ait modal genliği ve Γ_1 birinci moda ait modal katkı çarpanını ifade etmektedir.



Şekil 2.2: Kapasite eğrileri a) ÇSDS için b) TSDS için.

Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirme, doğrusal olmayan spektral yer değiştirme olarak tanımlanmaktadır (Denk. 2.7).

$$d_{1,max} = S_{di}(T_1) \quad (2.7)$$

Burada $d_{1,max}$ modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesini, $S_{di}(T_1)$ ise taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen ve Denk. (2.8) ile tanımlanan doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeyi göstermektedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (2.8)$$

Burada C_R spektral yer değiştirme oranını, S_{de} ise elastik tasarım spektral yer değiştirmesini temsil etmektedir. C_R spektral yer değiştirme oranı yapının hâkim titreşim periyoduna ve yatay elastik tasarım spektrumunun köşe noktası olan T_B periyoduna bağlı olarak aşağıda verilen formüller yardımı ile belirlenmektedir.

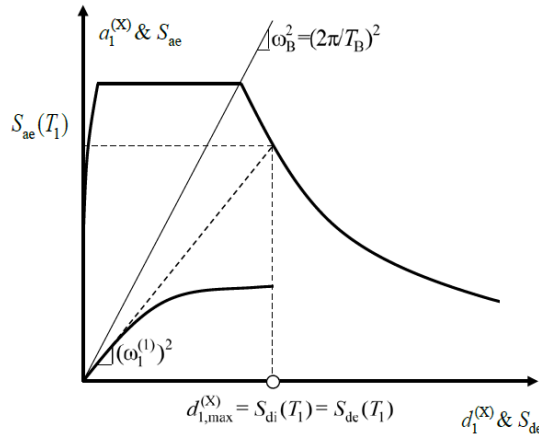
$$C_R = 1 \quad T_1 > T_B \quad (2.9)$$

$$C_R = \frac{1+(R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad T_1 \leq T_B \quad (2.10)$$

Burada R_y akma dayanımı azaltma katsayısını ifade etmektedir ve a_y idealleştirilmiş modal kapasite eğrisinde akma noktasına karşılık gelen ivme olmak üzere Denk. (2.11) ile belirlenmektedir.

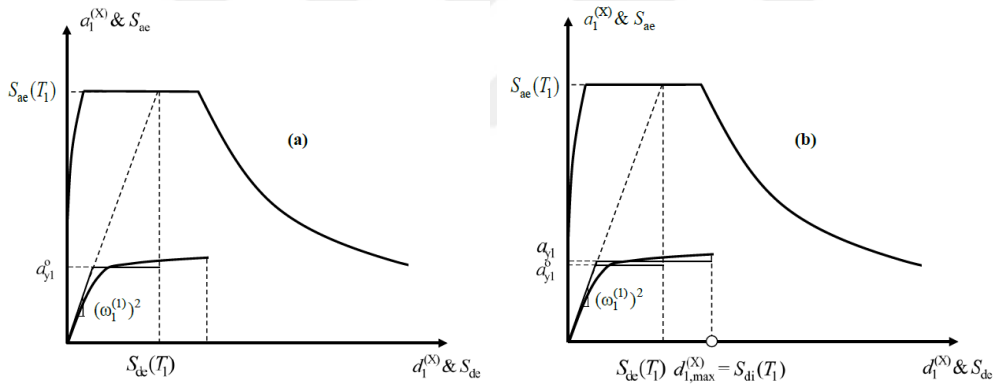
$$R_y = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (2.11)$$

Eşit yer değiştirme kuralının esas alındığı $T_1 > T_B$ bölgesinde en büyük yer değiştirme talebi d_{\max} değerinin şematik gösterimi Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: $T_1 > T_B$ bölgesi için en büyük yer değiştirme talebinin grafik gösterimi.

$T_1 \leq T_B$ bölgesinde ise eşit enerji yaklaşımına dayanarak belirlenen en büyük yer değiştirme talebi Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4: $T_1 \leq T_B$ bölgesi için en büyük yer değiştirme talebinin şematik gösterimi.

Bu durumda spektral yer değiştirme oranı C_R , ardışık yaklaşım ile hesaplanmaktadır. Bu amaçla modal kapasite diyagramı, Şekil 2.4a'da gösterildiği üzere, önce $C_R=1$ alınarak iki doğrulu elasto-plastik bir bağıntıya dönüştürülür. Bu şekilde bulunan yaklaşık akma sözde-ivmesi a_{y1}^0 kullanılarak, Denk. (2.11) ile verilen akma dayanımı azaltma katsayısı R_y ve buna bağlı olarak Denk. (2.10)'dan C_R ve Denk. (2.8)'den $S_{di}(T_1)$ hesaplanır. Elde edilen parametreler ile elasto-plastik bağıntı yeniden oluşturulur (Şekil 2.4b) ve yeni bulunan a_{y1} esas alınarak aynı işlemler tekrarlanır. Sonuçların yeterince yaklaştıkları adımda işleme son verilir [1].

Modal kapasite eğrisi koordinatlarında belirlenen en büyük yer değiştirme değeri Denk. (2.3)'ten yararlanarak tekrar ÇSDS'ye ait tepe yer değiştirmesine dönüştürülür. ÇSDS modelinde tepe yer değiştirmesine kadar itilmiş yapıda plastik şekildeğiştirme (plastik dönme, uzama, kısalma vb.) talepleri belirlenir. Bu talep değerleri, ilgili standartta verilen performans düzeylerine ait sınır değerler ile karşılaştırılarak tüm yapısal elemanların performans düzeyleri belirlenir. Yapıda en elverişsiz performans düzeyine sahip eleman, bina performans düzeyini belirler. Böylece istenilen deprem düzeyine ve zemin özelliklerine ait spektrumlar kullanılarak yapıların deprem performansları belirlenebilir.

2.1.2 Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem (DODY)

Doğrusal olmayan dinamik yöntem, yapı sisteminin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının (Denk. 2.12) belirli zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonunu esas almaktadır.

$$M(\ddot{X}(t) + \ddot{u}(t)) + C\dot{X}(t) + KX(t) = 0 \quad (2.12)$$

Burada M, C ve K sırası ile yapının kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini ifade etmektedir. $\ddot{u}(t)$ zamanın (t) fonksiyonu olarak yer ivmesini ifade eder. $\ddot{X}(t)$, $\dot{X}(t)$ ve $X(t)$ ise herhangi bir t anında yapının ivme, hız ve yer değiştirme vektörleridir ve bu denklemden bilinmeyenlerdir.

Diferansiyel denklem takımının sayısal integrasyonu için genellikle Euler-Gauss veya Newmark-Beta yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak plastikleşmeler nedeniyle rijitlik matrisinin [K] değişimini göz önüne alabilmek amacıyla adım adım integrasyon prosedürünün artımsal olarak uygulanması gerekmektedir [52]. DODY'de deprem yer hareketi ivmesi ($\ddot{u}(t)$) doğrudan göz önüne alındığı için fay mekanizmalarının yapı üzerindeki etkileri ve yüksek mod etkileri de (atalet kuvvetlerinin dağılımı) belirlenebilmektedir. DOSY'deki TSDS yaklaşımına gerek kalmadığı için yapıdaki tüm davranış büyüklüğü talepleri çok daha gerçekçi olarak belirlenebilmektedir. DODY'nin bir diğer avantajı, depremin tersinir etkilerinin sebep olduğu rijitlik ve dayanım azalmalarının göz önüne alınabilmesidir. Bu özellik, yapılarda deprem sonrası oluşan kalıcı ötelenmelerin belirlenmesine de olanak vermektedir.

Yapıya etkiyecek deprem karakteristikleri bilinemediğinden DODY’de taleplerin istatistiksel değerlendirmeye olanak verecek sayıda yer hareketi için yapılması gerekmektedir. Bu da analiz sürelerini uzatmakta ve değerlendirmelerini zorlaştırmaktadır.

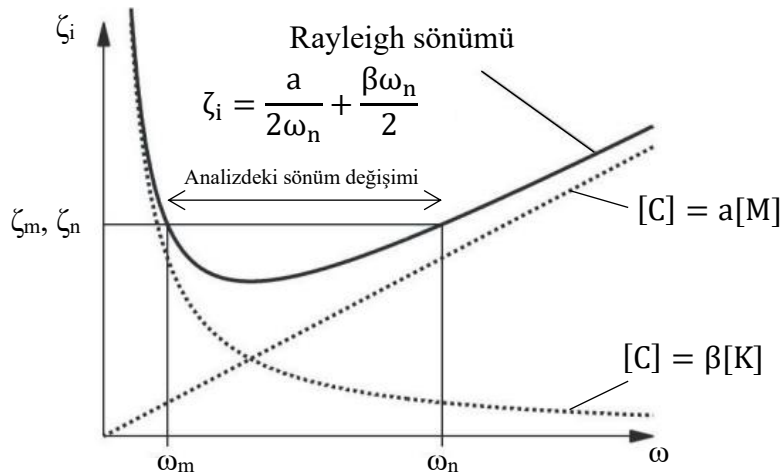
DODY’de yapıdaki viskoz sönümü ifade eden $[C]$ matrisinin belirlenmesinde modal sönüm yaklaşımı veya Rayleigh sönüm yaklaşımı kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında yapılan analizlerde Rayleigh sönüm yaklaşımı esas alınmıştır. Bu yaklaşımda sönüm matrisi Denk. (2.13)’te verildiği gibi kütle $[M]$ ve elastik rijitlik matrisi $[K]$ ile orantılı olarak elde edilmektedir.

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (2.13)$$

Burada α ve β sırasıyla m ve n nolu modların frekanslarına (ω_m , ω_n) ve sönüm oranlarına (ζ) bağlı olarak Denk. (2.14) ile belirlenen katsayılarıdır.

$$\alpha = \zeta \frac{2\omega_m\omega_n}{\omega_m+\omega_n} \quad \beta = \zeta \frac{2}{\omega_m+\omega_n} \quad (2.14)$$

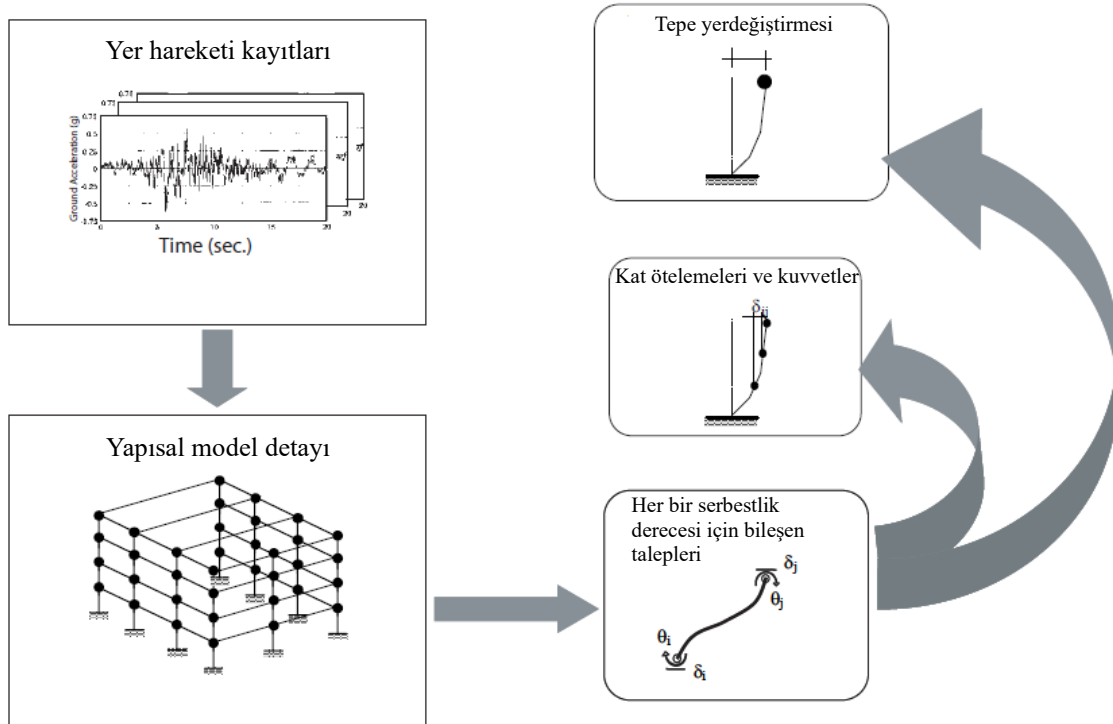
Rayleigh sönüm matrisinin belirlenmesinde tüm modlar için sabit bir sönüm oranı kullanmak mümkün olmadığından α ve β değerleri seçilirken yapının hâkim modunun ve yüksek modlarının değerleri göz önünde bulundurulmalıdır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Rayleigh sönümü için, sönüm oranı ile doğal frekans arasındaki ilişki.

Bu çalışmada her iki doğrultuda hâkim moda ait periyotlar göz önünde bulundurularak $0.2T_1 - 1.5T_1$ aralığında %3'lük sönüm oranı kullanılmıştır.

TBDY'ye göre DODY'de, hesabın başlangıç adımında, Denk. (2.4) ile verilen düşey yükler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılması ve bu hesaptan elde edilen iç kuvvet ve şekildeğiştirmelerin deprem hesabında başlangıç değeri olarak alınması öngörülmektedir. Daha sonra en az 11 deprem kaydı için çift doğrultulu doğrusal olmayan analiz yapılarak taleplerin (tepe yerdeğiştirmesi, göreceli öteleme oranları vb.) belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 2.6). Aynı işlemler deprem kaydı çifti 90° döndürülerek tekrar edilmektedir. En az 22 analiz sonucunda elde edilen davranış büyüklüklerinin aritmetik ortalaması alınarak deprem talepleri elde edilmektedir. Bu aşamadan sonra DOSY'de olduğu gibi yönetmelikte verilen ilgili performans sınır değerleri ile karşılaştırmalar yapılarak, yapının performans düzeyine karar verilmektedir. TBDY'ye göre DODY tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir, ayrıca bu yöntemin $BYS=1$ olan binalar için kullanımı zorunludur.

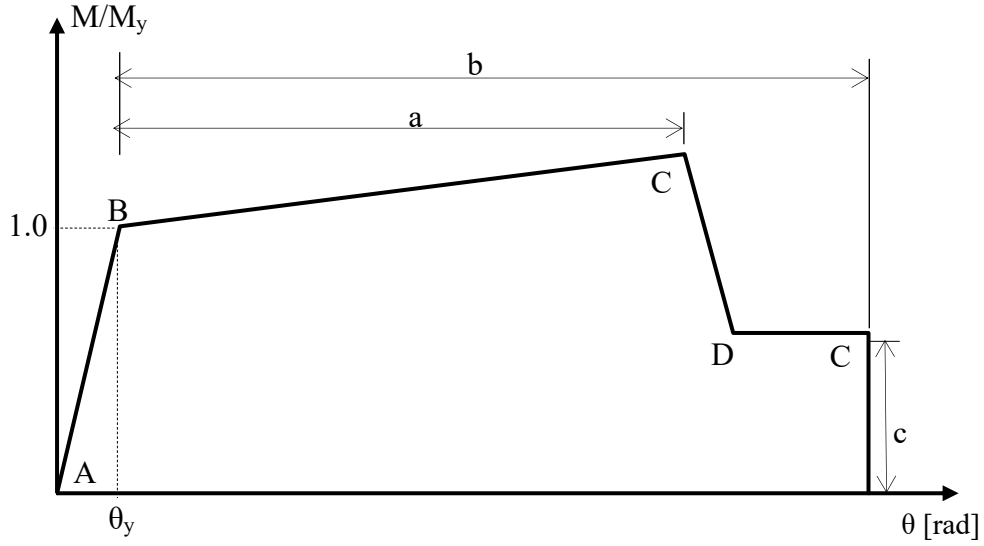


Şekil 2.6: DODY'de analiz girdileri ve çıktılarının şematik gösterim [53].

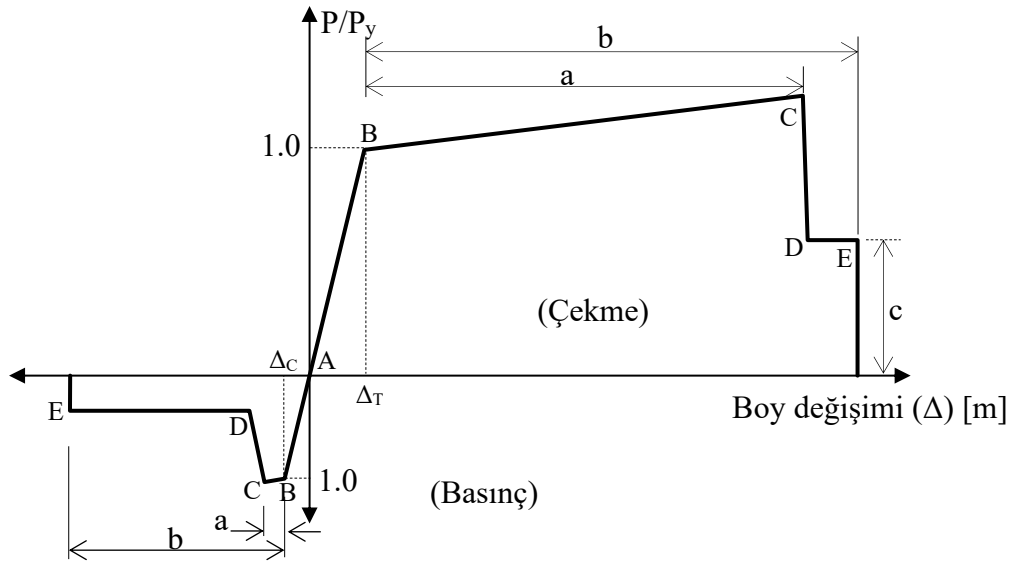
2.2 Modelleme ve Analiz Parametreleri

TBDY'e göre yapıların doğrusal olmayan analizinde elastik ötesi davranış göstermesi beklenen bölgeler yığılı plastik davranış modeli (plastik mafsal yaklaşımı) veya yayılı plastik davranış modeli ile modellenebilmektedir.

Çalışma kapsamında incelenen çelik bina elemanlarının çubuk elemanlar olması ve plastik şekildeğişikliklerinin küçük boyutta belirli bölgelerde yoğunlaştığının bilinmesi nedeniyle plastik mafsal yaklaşımı esas alınmıştır. Ayrıca moment aktaran çerçevelerde kolon- kiriş birleşimlerinin elastik kaldığı kabul edilerek, kiriş ve kolon uçlarında (mesnet yüzlerinde), merkezi çaprazlı çerçevelerin diyagonal çapraz elemanlarında orta noktalara plastik davranışı temsil edecek *iç kuvvet-şekildeğiştirme* mafsalları tanımlanmıştır. TBDY'de önerilen performans düzeyi sınırlarının uygulanacağı *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntılarının (moment- dönme, aksel (normal) basınç kuvveti-kısalma vb.) nasıl modellenmesi gerektiği konusunda herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle gerekli *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntıları ASCE 41-17 [2] esas alınarak belirlenmiştir. Çalışmada incelenen çelik bina elemanları için ASCE 41-17'deki *iç kuvvet-şekildeğiştirme* bağıntılarını tanımlayan modelleme parametreleri (a, b, c) Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de şematik olarak gösterilmiş ve ilgili bağıntılar ve kriterler Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.7: ASCE 41-17’de eğilme etkin kiriş ve kolonlar için moment dönme bağıntısı ve modelleme parametreleri.



Şekil 2.8: ASCE 41-17’de eksenel kuvvet etkisindeki çapraz elemanlar için eksenel kuvvet-boy değişimi bağıntısı ve ilgili modelleme parametreleri.

Tablo 2.1: ASCE 41-17'ye göre eğilme etkin kiriş ve kolonlarda modelleme parametreleri [2].

Modelleme Parametreleri	
Plastik Dönme Açıları (a, b)	
Artık Dayanım Oranı (c)	
Eğilme Etkisi Altında Kirişler	
$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \text{ ve } \frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	$a = 9\theta_y$ $b = 11\theta_y$ $c = 0.6$
$\frac{b_f}{2t_f} \geq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \text{ ya da } \frac{h}{t_w} \geq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$	$a = 4\theta_y$ $b = 6\theta_y$ $c = 0.2$
Eğilme Etkisi Altında Kolonlar	
1) $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.30 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ ve $\frac{P_G}{P_{ye}} < 0.2$ için $\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \left(1 - 0.71 \frac{P_G}{P_{ye}}\right)$	$a = 0.8 \left(1 - \frac{P_G}{P_{ye}}\right)^{2.2} \left(0.1 \frac{L}{r_y} + 0.8 \frac{h}{t_w}\right)^{-1} - 0.0035 \geq 0$ $b = 7.4 \left(1 - \frac{P_G}{P_{ye}}\right)^{2.3} \left(0.5 \frac{L}{r_y} + 2.9 \frac{h}{t_w}\right)^{-1} - 0.006 \geq 0$ $c = 0.9 - 0.9 \frac{P_G}{P_{ye}}$
$\frac{P_G}{P_{ye}} \geq 0.2$ için $\frac{h}{t_w} \leq 0.77 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \left(2.93 - \frac{P_G}{P_{ye}}\right)$	
2) $\frac{b_f}{2t_f} \geq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$ ya da $\frac{P_G}{P_{ye}} < 0.2$ için $\frac{h}{t_w} \geq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \left(1 - 1.83 \frac{P_G}{P_{ye}}\right)$	$a = 1.2 \left(1 - \frac{P_G}{P_{ye}}\right)^{1.2} \left(1.4 \frac{L}{r_y} + 0.1 \frac{h}{t_w} + 0.9 \frac{b}{t_f}\right)^{-1} - 0.0023 \geq 0$ $b = 2.5 \left(1 - \frac{P_G}{P_{ye}}\right)^{1.8} \left(0.1 \frac{L}{r_y} + 0.2 \frac{h}{t_w} + 2.7 \frac{b}{t_f}\right)^{-1} - 0.0097 \geq 0$ $c = 0.5 - 0.5 \frac{P_G}{P_{ye}}$
$\frac{P_G}{P_{ye}} \geq 0.2$ için $\frac{h}{t_w} \geq 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} \left(2.33 - \frac{P_G}{P_{ye}}\right)$	
3) Hem başlık hem de gövde narınlığı için 1 ve 2 nolu değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılacak ve ortaya çıkan düşük değer kullanılacak.	

b_f : başlık genişliği
 H : gövde yüksekliği
 L : eleman boyu
 P_G : düşey yüklemeye ait eksenel kuvvet

t_f : başlık kalınlığı
 t_w : gövde kalınlığı
 r_y : zayıf ekseninde atalet yarıçapı
 F_{ye} : çelik beklenen akma dayanımı

Tablo 2.2: ASCE 41-17'ye göre eksenel kuvvet etkisindeki çaprazlarda modelleme parametreleri [2].

Bileşen	Plastik Şekildeğiştirme		Artık Kapasite
	a	b	
Basınç Çaprazları (Eksantrik çaprazlar hariç)			
a. Narin $\frac{Kl}{r} \geq 4.2\sqrt{E/F_y}$			
1. W, I, L (planda), 2C (planda)	0.5 Δ_c	10 Δ_c	0.3 Δ_c
2. 2L (plan dışında), 2C (plan dışında)	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3 Δ_c
3. HSS, Boru, Kutu	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3 Δ_c
4. L profil	0.5 Δ_c	12 Δ_c	0.3 Δ_c
b. Tok $\frac{Kl}{r} \leq 2.1\sqrt{E/F_y}$			
1. W, I, L (planda), 2C (planda)	1 Δ_c	8 Δ_c	0.5 Δ_c
2. 2L (plan dışında), 2C (plan dışında)	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5 Δ_c
3. HSS, Boru, Kutu	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5 Δ_c
a ve b değerleri arasında lineer interpolasyon yapılacaktır.			
Çekme çaprazları (Eksantrik çaprazlar hariç)			
1. W	10 Δ_T	13 Δ_T	0.6
2. 2L	19 Δ_T	12 Δ_T	0.6
3. HSS	9 Δ_T	11 Δ_T	0.6
4. Boru	8 Δ_T	9 Δ_T	0.6
5. L	10 Δ_T	11 Δ_T	0.6

ASCE'de doğrusal olmayan analiz için kolon ve kirişlerde *moment-dönme* ($M-\theta$) bağıntıları, çapraz elemanlarda ise *eksenel kuvvet (çekme/basınç)-boy değişimi* ($P-\Delta$) bağıntıları önerilmektedir. Bu bağıntılarda a kolon ve kirişler için elemanda önemli dayanım azalmasının başlamasına karşılık gelen plastik dönme kapasitesini, b elemanın dayanımının sonlanmasına karşılık gelen plastik dönme kapasitesini, c elemanda dayanım azalması sonrası artık taşıma kapasitesini tanımlamaktadır.

Tablo 2.1’de elemanların performans sınırları akma dönmesi cinsinden verilmiştir. Kiriş ve kolon elemanlar için akma dönmesi sırası ile Denk. (2.15) ve Denk. (2.16) ile verilmiştir.

$$\theta_y = \frac{M_{pe}L(1+\eta)}{6EI} \quad (2.15)$$

$$\theta_y = \frac{M_{pce}L(1+\eta)}{6(\tau_b E)I} \quad (2.16)$$

Burada, M_{pe} kiriş için beklenen plastik moment taşıma kapasitesini (Denk. 2.17), M_{pce} kolon için eksenel yük düzeyine bağlı olarak belirlenen plastik moment taşıma kapasitesini (Denk. 2.18), L elemanın boyunu, E elastisite modülünü ve I atalet momentini ifade etmektedir. η kesme deformasyonlarının etkisini ifade eden katsayıyı (Denk. 2.19), τ_b kolonlar için eksenel yüke bağlı elastisite modülü düzenleme katsayısını ifade etmektedir (Denk. 2.20).

$$M_{pe} = W_{pl}F_{ye} \quad (2.17)$$

$$M_{pce} = \begin{cases} \frac{|P|}{P_{ye}} < 0.2 \text{ için} & M_{pe} \left(1 - \frac{|P|}{2P_{ye}}\right) \\ \frac{|P|}{P_{ye}} \geq 0.2 \text{ için} & M_{pe} \frac{9}{8} \left(1 - \frac{|P|}{P_{ye}}\right) \end{cases} \quad (2.18)$$

Burada W_{pl} kesite ait plastik mukavemet momentini, F_{ye} beklenen akma dayanımını, P kolon eksenel yükünü (çekme ya da basınç) ve P_{ye} kolon için beklenen eksenel akma kapasitesini ifade etmektedir.

$$\eta = \frac{12EI}{L^2GA_s} \quad (2.19)$$

$$\tau_b = \begin{cases} \frac{|P|}{P_{ye}} \leq 0.5 \text{ için} & 1.0 \\ \frac{|P|}{P_{ye}} > 0.5 \text{ için} & 4 \frac{|P|}{P_{ye}} \left(1 - \frac{|P|}{P_{ye}}\right) \end{cases} \quad (2.20)$$

Burada G çelik malzemenin kayma modülünü, A_s etkili kesme alanını ifade etmektedir.

Çapraz elemanlarda, a elemanın dayanım azalması yaşayana kadar yapabileceği plastik birim uzama/kısalma kapasitesini, b elemanın yapabileceği toplam plastik birim

uzama/kısalma kapasitesini, c elemanda dayanım azalması sonrası artık taşıma kapasitesini tanımlamaktadır.

Tablo 2.2’de çapraz elemanların performans sınırları akma şekildeğiştirilmesi cinsinden verilmiştir. Çapraz elemanlar için çekme ve basınç kuvveti altında akma şekildeğiştirilmesi sırası ile Denk. (2.21) ve Denk. (2.22) ile verilmiştir.

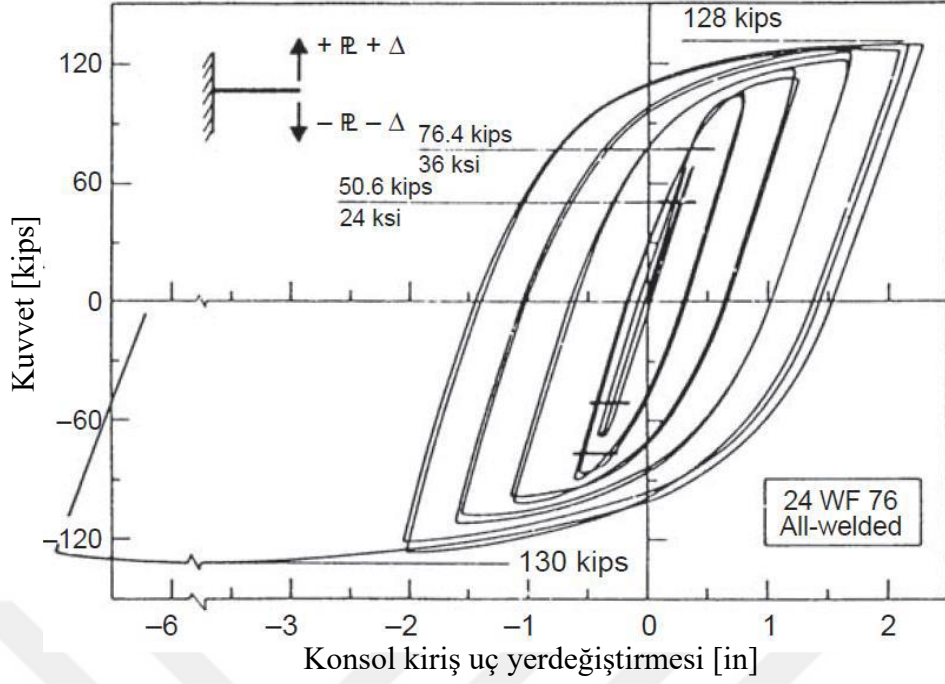
$$\Delta_T = \frac{P_y e l_c}{EA_c} \quad (2.21)$$

$$\Delta_c = \frac{P_c l_c}{EA_c} \quad (2.22)$$

Burada P_c çapraz elemanın beklenen eksenel basınç dayanımını, l_c çapraz boyunu ve A_c çapraz enkesit alanını ifade etmektedir.

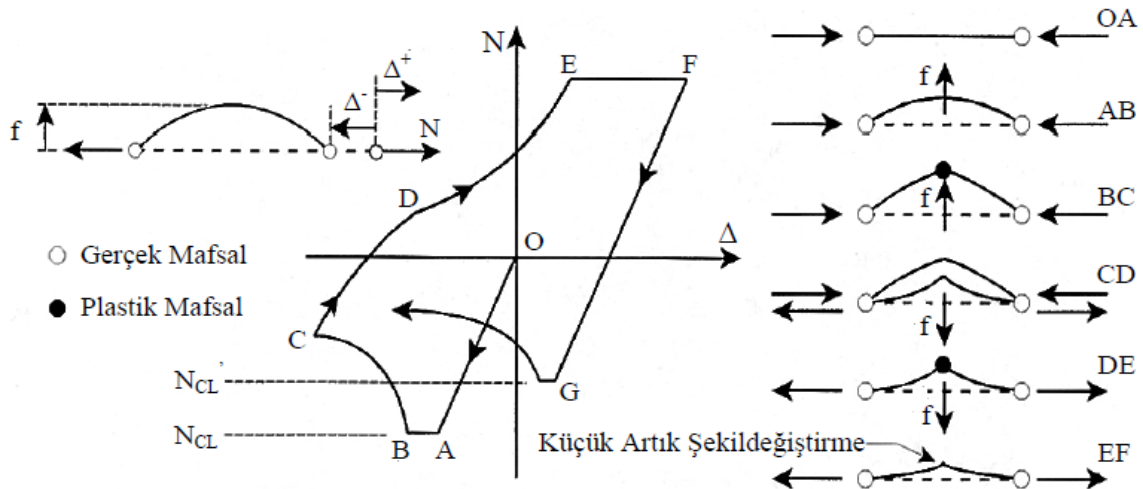
Bağıntılardaki BC doğrusunun eğiminin belirlenmesi için AB doğrusunun eğimi kullanılmaktadır. ASCE 41-17’ye göre kiriş, kolon ve çapraz elemanların bağlantılarındaki BC doğrusunun eğimi, elastik bölgeyi temsil eden AB doğrusunun eğiminin %3’ü olduğu kabulü ile belirlenmektedir. CD doğrusunun eğimi ise kullanılan analiz programında stabilite sorunu oluşturmayacak şekilde seçilebilmektedir.

ASCE 41-17’de verilen bu parametreler çevrimsel yükleme testlerinden yararlanılarak belirlenmiş olduğundan DOSY’de doğrudan kullanılabilir. Ancak DODY’de gerekli olan elemanlar için çevrimsel davranıştan kaynaklanan rijitlik değişimlerinin ayrıca göz önüne alınması gerekmektedir. Moment aktaran çerçeve sistemlerde kolon-kiriş birleşimleri yönetmeliklere uygun olarak tasarlandığından ve sismik olarak kompakt kesit şartlarını sağladığından, yükleme-boşalma-yeniden yükleme rijitlikleri birbirine eşit olan elasto-plastik çevrimsel davranış göstermektedir. Şekil 2.9’da başlıkları ve gövdesi kaynaklı olarak kolona birleştirilmiş bir kiriş için deneysel çevrimsel davranış örnek olarak gösterilmiştir [54].



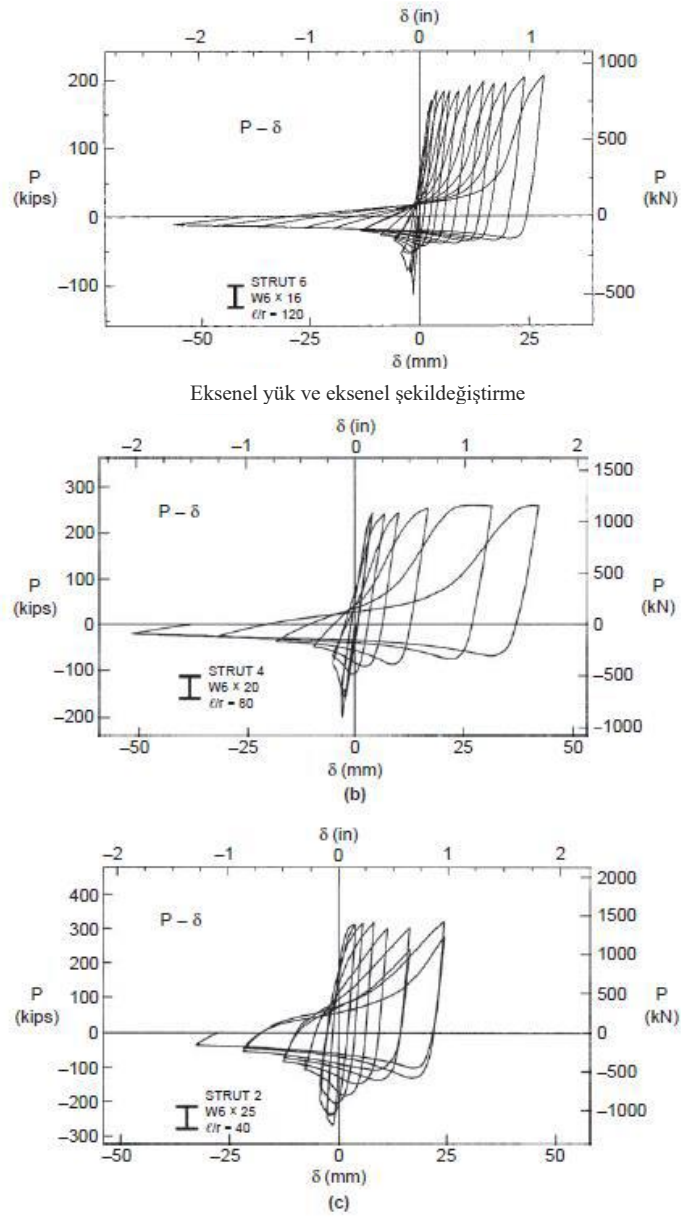
Şekil 2.9: Başlık ve gövdeden kaynaklı birleştirilmiş I profil kirişe ait çevrimsel davranış [54].

Merkezi çaprazlı çerçevelerde bulunan çapraz elemanlar deprem etkisi altında ardışık olarak çekme ve basınç etkilerine maruz kalırlar. Aksenal basınç etkisinde burkulma yüküne ulaşan çapraz eleman daha fazla yüke maruz kaldığında orta bölgesinde bir plastikleşme oluşur ve yükünü boşaltır. Bu aşamada tekrar çekme yüküne maruz kalırsa burkulan çapraz eleman geri çekilmeye başlar ve $P-\Delta$ bağıntısının çekme bölgesindeki elastik kısım (AB doğrusu) rijitliği ile dayanım kazanmaktadır. Böylece çapraz eleman belirli bir miktar plastikleşme ile yeniden çekme kuvveti taşımaya devam etmektedir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Tekrarlı aksenal kuvvet etkisindeki çapraz eleman davranışı [54].

Şekil 2.10’da görüldüğü gibi çapraz elemanın aksenal yük etkisindeki çevrimsel davranışında yükleme-boşalma-yeniden yükleme rijitlikleri çekme ve basınç bölgesinde farklı olmak üzere önemli ölçüde değişmektedir. Ayrıca bu çevrimsel davranış çapraz elemanın narinliğine (KL/r) bağlı olarak da değişim göstermektedir. Narinliği 40, 80 ve 120 olan I profillerin aksenal yük altındaki çevrimsel davranışları örnek olarak Şekil 2.11’de gösterilmiştir [54]. Görüldüğü gibi narinlik arttıkça basınç altındaki boşalma ve yeniden çekme yüklemesi rijitlikleri azalarak çevrimsel davranışla sönümlenen enerji azalmaktadır (Şekil 2.11). Bu nedenle DODY’de çapraz elemanlarda çevrimsel davranışta bu etkilerin göz önüne alınması yerdeğiştirme taleplerinin ve kalıcı görelî öteleme oranlarının belirlenmesinde önem arz etmektedir.



Şekil 2.11: Farklı narinlik oranlarına sahip çaprazların çevrimsel davranışı a) $KL/r=120$ b) $KL/r=80$ c) $KL/r=40$ [54].

Bu çalışma kapsamında, çelik kolon ve kirişlerde, kompakt kesitler kullanılması ve yanal burkulma ile ilgili önlemlerin alınması nedeniyle *pekleşmeli-elastoplastik* davranış modeli esas alınmış ve rijitlik azalması göz önüne alınmamıştır. Binalarda kullanılan çaprazlarla ilgili test verileri bulunmadığından çevrimsel davranışı, literatürdeki çapraz testlerinden yaklaşık olarak belirlenen bir model ile temsil edilmiştir.

Performans değerlendirmelerindeki analizlerde kullanılan bu modelin yanı sıra, kalıcı görelî öteleme oranı incelemelerinde kullanılmak üzere ikinci bir model (Model-2) kullanılmıştır. Bu modellemede çevrimsel davranış parametreleri, zarf eğrisi sabit kalmak üzere, çevrimsel rijitlikleri değiştirilerek farklı sönüm düzeylerine karşılık gelen davranışın göz önüne alınması amaçlanmıştır.

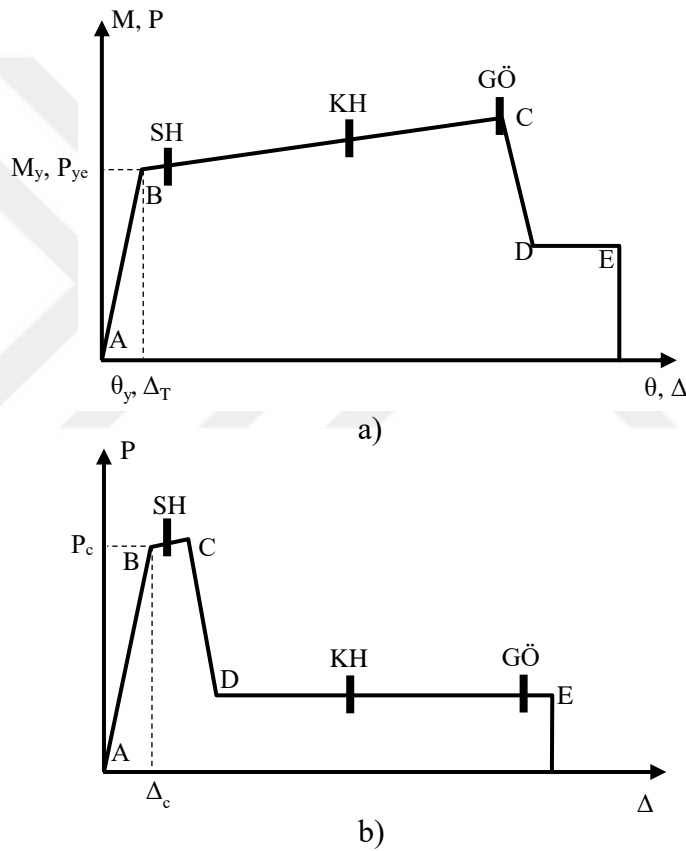
2.3 Performans Düzeyi Tanımları ve İlgili Kriterler

Bina için performans düzeyi, belirli bir deprem etkisi (düzeyi) altında binada oluşması beklenen hasar düzeyini yaklaşık olarak temsil etmeyi amaçlayan bina güvenliğini ifade etmektedir. Hasar düzeyleri ise binanın deprem sonrası işlevselliğine, can güvenliğinin ne ölçüde korunduğuna, gerekli onarımın düzeyine bağlı olarak belirlenmektedir.

TBDY’de performans düzeyleri betonarme ve çelik yapılar için genel olarak tanımlanmış ve aşağıda gösterildiği gibi dört sınıfa ayrılmıştır.

- **Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi:** Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşılık gelmektedir. Bu performans düzeyi kesit tesirlerine göre kontrol edilmekte ve sadece Bina Yükseklik Sınıfı BYS=1 olan binalarda kullanılmaktadır.
- **Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi:** Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer bir deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.
- **Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi:** Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeylerine karşı gelmektedir.
- **Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi:** Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir.

Bina performans düzeyi, binadaki tüm yapısal eleman performans düzeylerinin en elverişsiz olanı esas alınarak belirlenmektedir. Buna göre performans düzeyleri eleman (kolon, kiriş, çapraz eleman, birleşim vb.) hasar düzeylerine karşılık gelmektedir. TBDY’de çelik yapı elemanlarına ait performans düzeyi tanımları ve sınırları için ASCE 41-13 [11] versiyonundan yararlanılmıştır. Ancak ASCE 41-13’ten farklı olarak kirişlerde ve kolonlarda performans sınırları belirli ölçüde azaltılarak eğilme kapasitesinde önemli azalmaların başladığı şekildeğiştirme sınırının aşılmasına izin verilmemektedir. Çalışma kapsamında incelenen çelik bina elemanları için TBDY’de verilen performans sınırları şematik olarak Şekil 2.12’de gösterilmiş ve sayısal değerleri Tablo 2.3 ve Tablo 2.4’te verilmiştir.



Şekil 2.12: Performans seviyelerinin iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları üzerinde gösterimi a) eğilme ve aksel çekme elemanları b) aksel basınç elemanları.

Tablo 2.3: TBDY [1]'e göre eğilme etkisi altındaki çelik kolon ve kirişler için performans sınırları.

Eleman	Şekildeğiştirme Sınırları (Plastik Dönme Cinsinden)		
	Sınırlı Hasar (SH)	Kontrollü Hasar (KH)	Göçmenin Önlenmesi (GÖ)
Kiriş			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
Kolon			
$P/P_c < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
$0.20 \leq P/P_c \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek			
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$0.7\theta_y$	$1\theta_y$

Tablo 2.3'te TBDY'e göre kiriş ve kolon elemanlar için verilen performans sınırları akma dönmesi cinsinden verilmiştir. Ancak TBDY'de akma dönmesi (θ_y) ifadesinin içerisinde, ASCE 41-17'de bulunan ve kayma deformasyonlarının etkisini dikkate alan η katsayısı bulunmamaktadır.

Tablo 2.4: TBDY [1]'e göre aksenal kuvvet altındaki çelik çaprazlar için performans sınırları.

Eleman	Şekildeğiştirme Sınırları		
	Sınırlı Hasar (SH)	Kontrollü Hasar (KH)	Göçmenin Önlenmesi (GÖ)
Basınç Altında Çapraz Elemanlar (Dışmerkez Çaprazlar Hariç)			
Narin Kesitler $\frac{KL}{r} \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$			
W, I, 2L, 2C kesitler, düzlem içi burkulma	0.5 Δ_c	7 Δ_c	10 Δ_c
2L, 2C kesitler, düzlem dışı burkulma	0.5 Δ_c	6 Δ_c	9 Δ_c
HSS, boru, kutu kesitler	0.5 Δ_c	6 Δ_c	9 Δ_c
L kesit	0.5 Δ_c	9 Δ_c	12 Δ_c
Tok Kesitler $\frac{KL}{r} \leq 2.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$			
HD, I, 2L, 2C kesitler, düzlem içi burkulma	0.5 Δ_c	6 Δ_c	8 Δ_c
2L, 2C kesitler, düzlem dışı burkulma	0.5 Δ_c	5 Δ_c	7 Δ_c
HSS, boru, kutu kesitler	0.5 Δ_c	5 Δ_c	7 Δ_c
Çekme Altında Çapraz Elemanlar (Dışmerkez Çaprazlar Hariç)			
W kesit	0.5 Δ_T	10 Δ_T	13 Δ_T
2L kesit	0.5 Δ_T	9 Δ_T	12 Δ_T
HSS kesit	0.5 Δ_T	8 Δ_T	11 Δ_T
Boru kesit	0.5 Δ_T	7 Δ_T	9 Δ_T
L kesit	0.5 Δ_T	8 Δ_T	10 Δ_T

K: Burkulma boyu katsayısı
F_y: Çelik akma dayanımı

L: Eleman boyu

r: zayıf ekseninde atalet yarıçapı

2.4 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

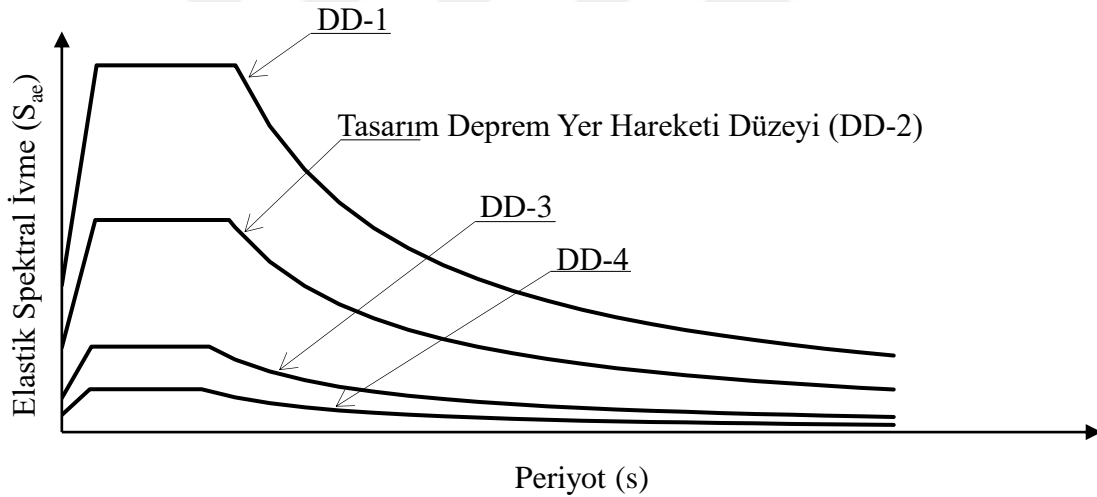
Performansa dayalı değerlendirme kapsamında farklı bina türleri için çeşitli performans hedefleri tanımlayabilmek amacıyla, 50 yıllık süreç içerisinde aşılma olasılığı ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (tekrarlanma periyodu) ile ifade edilen çeşitli deprem düzeyleri kullanılmaktadır.

TBDY'de esas alınan dört deprem yer hareketi düzeyi aşağıda tanımlanmış ve Şekil 2.10'da şematik olarak gösterilmiştir.

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1):** Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok

seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2):** Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3):** Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.
- **Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4):** Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 2.13: Deprem yer hareketi düzeyleri.

Bu çalışmada, binaların deprem performansının belirlenmesi ve kalıcı görelî öteleme oranlarının değerlendirilmesi için iki farklı deprem yer hareketi düzeyi dikkate alınmıştır. Bunlar, binaların tasarımında esas alınan DD-2 deprem düzeyi ve en büyük depremi temsil eden DD-1 deprem düzeyidir.

DOSY’de deprem taleplerinin belirlenmesinde DD-1 ve DD-2 düzeylerine ait spektrumlar doğrudan kullanılmıştır. DODY’de ise seçilen deprem kayıtlarının, DD-2 ve DD-1 deprem düzeylerine ait hedef spektruma göre ölçeklendirilmesi gerekmektedir. TBDY’de “Basit

“Ölçekleme Yöntemi” ve “Spektral Uyuşum Yöntemi” olmak üzere iki yaklaşım önerilmektedir. Bu çalışma kapsamında Spektral Uyuşum Yöntemi kullanılmıştır.

Spektral uyuşum yöntemi, ivme kayıtlarına çok küçük dalgaların eklenmesi suretiyle zaman tanım alanında uyum sağlamayı esas almaktadır. Bu yöntem ile hedef spektruma oldukça uyumlu spektrumlar elde edilebilmektedir. Bu sayede seçilen kayıtlarda zemin karakteristiklerine bağlı olmaya gerek kalmamakta ve basit ölçekleme yöntemindeki gibi yüksek güvenlik katsayılarının kullanımına gerek kalmamaktadır [55, 56]. Bu yöntemin kullanılması durumunda TBDY’ye göre, kayıtlar için elde edilen ortalama spektrumun tüm periyotlar için hedef spektrumun ordinatlarından küçük olmaması koşulu bulunmaktadır. DODY’de depremin iki dik bileşeni aynı anda etkilerek iki doğrultulu analiz yapılması öngörülmektedir. Ancak TBDY’de spektral uyuşumun hangi spektral büyüklük ile (maksimum bileşen, geometrik ortalama vb.) sağlanacağı konusunda bir açıklama bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, ASCE 7-22 [57]’deki önerilerden yararlanılmıştır. Buna göre her bir deprem kaydına ait iki dik bileşen ayrı ayrı hedef spektrum ile uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

2.5 Bina Performans Hedefleri

Bina performans hedefleri, bina özelliklerine bağlı olarak deprem tehlike düzeyi ve bina performans düzeyinin kombinasyonu olarak ifade edilmektedir.

TBDY’de performans hedefleri normal ve ileri hedefler olarak ikiye ayrılmıştır. Bu ayrım binanın kullanım amacı, depremsellik düzeyini ifade eden deprem tasarım sınıfı (DTS) ve bina yükseklik sınıfı (BYS) göz önüne alınarak belirlenmektedir. TBDY’de tanımlanan performans hedefleri Tablo 2.5’te verilmiştir.

Tablo 2.5: Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları [1].

a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında - $BYS \geq 2$)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	-	-	KH	ŞGDT
b) Yeni Yapılacak ve Mevcut Yüksek Binalar (BYS = 1)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT
c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (Yüksek Binalar Dışında - $BYS \geq 2$)				
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	-	-
DD-1	-	-	KH	ŞGDT

(1) $BYS > 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

(2) $BYS = 2, 3$ olan binalarda uygulanacaktır.

(3) Ön tasarım olarak yapılacaktır.

(4) Bina önem katsayısı $I = 1.5$ olarak uygulanacaktır.

(5) Tam ard- germeli önüretimli binaların ön tasarımı DGT yaklaşımı ile, kesin tasarımı ise ŞGDT yaklaşımı ile yapılacaktır.

Tablo 2.5'te ŞGDT ile şekildeğiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım yaklaşımı, DGT ile dayanıma göre geleneksel kuvvet esaslı tasarım yaklaşımını tanımlanmaktadır. TBDY'ye göre $BYS=1$ olan yeni yapılacak binalarda, depremselliği yüksek olan bölgelerde yapılacak önemli binalarda ve mevcut binaların değerlendirilmesinde performans esaslı yaklaşımların kullanımının zorunlu olduğu görülmektedir.

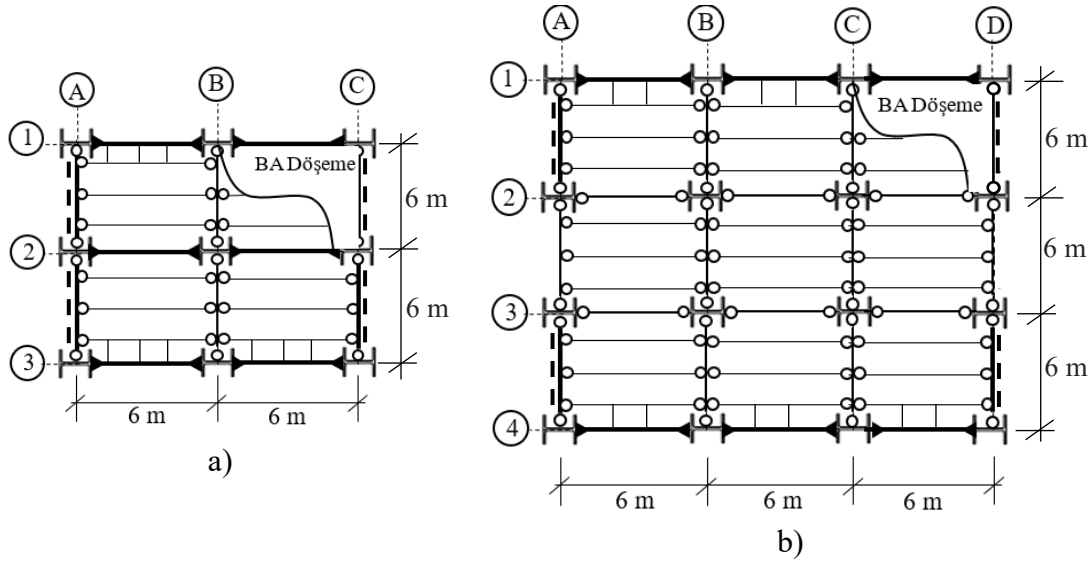
3. ÇELİK BİNA ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenen üç farklı çelik bina modeline ait tasarım özellikleri, performans değerlendirmeleri ve kalıcı görelî öteleme oranına ait incelemeler detaylı olarak açıklanmıştır.

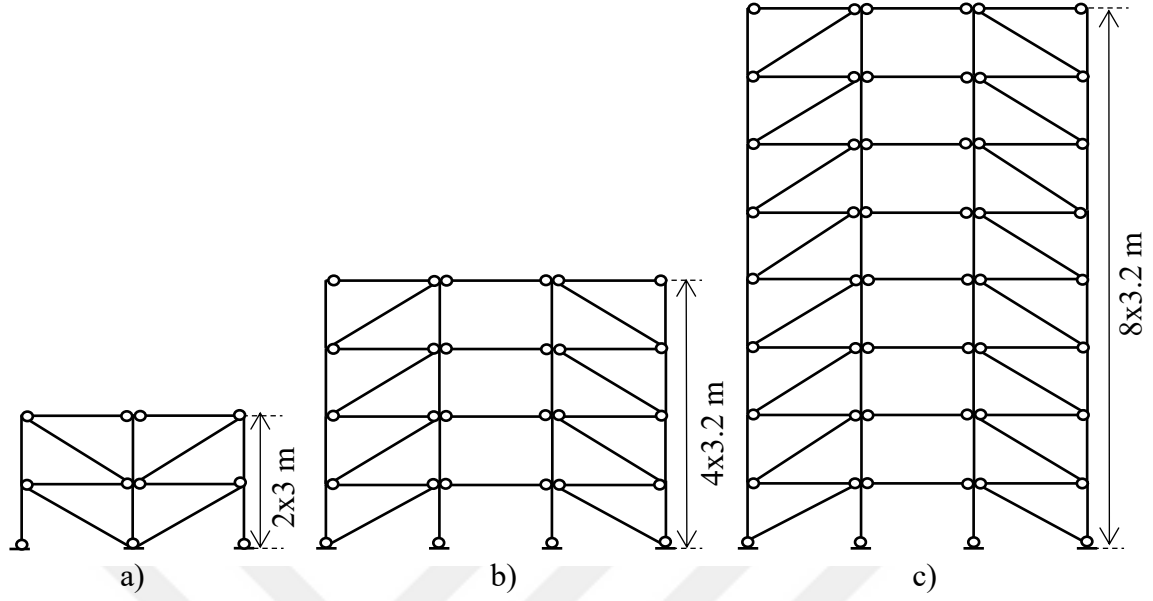
3.1 İncelenen Binaların Özellikleri

Çalışma kapsamında 2, 4 ve 8 katlı olmak üzere üç çelik bina modeli incelenmiştir. Binalar sırasıyla 2KB, 4KB ve 8KB olarak adlandırılmıştır. Binaların taşıyıcı sistemi, x doğrultusunda iki dış aksa yerleştirilen moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistem, y doğrultusunda iki dış aksa yerleştirilen merkezi çaprazlı çerçeve (MÇÇ) sistem ve iç akslarda sadece düşey yük taşıyacak şekilde mafsallı kolon-kiriş bağlantılarına sahip çerçevelerden oluşturulmuştur. 2KB binasında diğerlerinden farklı olarak orta aksta da MAÇ sistem kullanılmıştır. Binaların her bir katında ikincil kirişler kullanılarak betonarme döşeme uygulandığı kabul edilmiştir. Döşemelerdeki merdiven boşlukları ihmal edilmiştir.

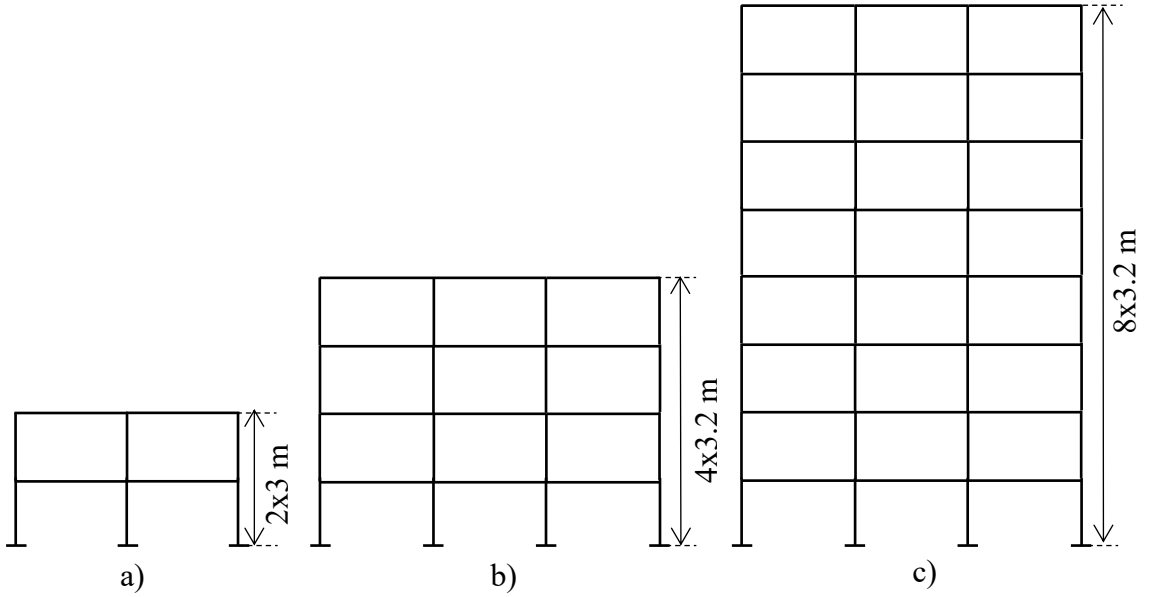
Binalara ait tipik kat planları, taşıyıcı sistemlere ait düşey kesitler ve perspektif görünümeler Şekil 3.1-3.5’de gösterilmiştir. MAÇ sistem kirişlerinde Şekil 3.1’de gösterildiği gibi yanıl burkulmayı önleme amaçlı bağlantılar kullanılmıştır.



Şekil 3.1: İncelenen binaların tipik kat planları a) 2KB b) 4KB ve 8KB.



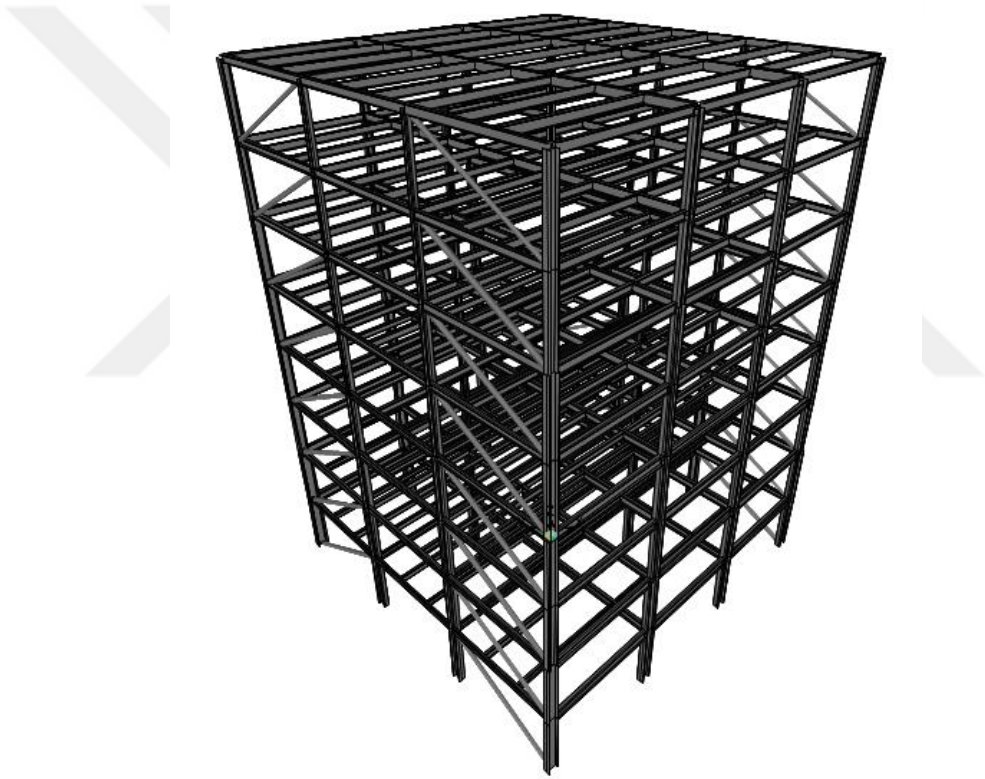
Şekil 3.2: İncelenen binaların y doğrultusunda oluşturulan MÇÇ sistem kesitleri a) 2KB (A-A) ve (C-C) aksları b) 4KB (A-A) ve (D-D) aksları c) 8KB (A-A) ve (D-D) aksları.



Şekil 3.3: İncelenen binaların x doğrultusunda oluşturulan MAÇ sistem kesitleri a) 2KB (1-1), (2-2) ve (3-3) aksları b) 4KB (1-1) ve (4-4) aksları c) 8KB (1-1) ve (4-4) aksları.



Şekil 3.4: 2KB ve 4KB binalarına ait perspektif görünüşler.



Şekil 3.5: 8KB binasına ait perspektif görünüş.

Binalarda, tüm elemanlar için S275 sınıfı çelik kullanılmıştır. Malzemenin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir [56].

- Akma dayanımı: $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$
- Çekme dayanımı: $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$
- Elastisite modülü: $E = 200000 \text{ N/mm}^2$

Binaların tasarımında esas alınan sabit ve hareketli yükler aşağıda verilmiştir. Çelik konstrüksiyon yükleri kullanılan tasarım programı tarafından hesaba katılmıştır.

- Çatı kat döşemesi

Çatı kaplaması:	0.5 kN/m ²
İzolasyon:	0.4 kN/m ²
Trapez sac + betonarme döşeme:	2.1 kN/m ²
Tesisat:	0.5 kN/m ²
<hr/>	
Toplam sabit yük	$G = 3.5 \text{ kN/m}^2$
Kar yükü	$S = 1.3 \text{ kN/m}^2$
Parapet yükü	$G_d = 2.0 \text{ kN/m}$

- Normal kat döşemesi

Kaplama:	0.5 kN/m ²
Trapez sac + betonarme döşeme:	2.1 kN/m ²
Asma tavan + tesisat:	0.5 kN/m ²
<hr/>	
Toplam sabit yük	$G = 3.1 \text{ kN/m}^2$
Hareketli yük	$Q = 2.0 \text{ kN/m}^2$
Dış duvar yükü	$G_d = 2.0 \text{ kN/m}$

3.2 Binaların Tasarımı

Elemanların boyutlandırılmasında, Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE) [58]'de verilen Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım (YDKT) yöntemi kullanılmıştır. Bina modellerindeki stabilite etkisini göz önüne almak üzere analizlerde 2. mertebe etkileri dikkate alınmıştır ve burkulma boyu yöntemine göre tasarım yapılmıştır. Bina modellerinin analizinde ve tasarımında SAP2000 yapısal analiz programından yararlanılmıştır [59].

Binaların analizinde ve tasarımında yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

- MAÇ sistemde kolon-kiriş birleşimlerinin, tam rijit olduğu kabul edilmiştir ve tasarımda rijit uç bölgeleri dikkate alınmıştır. Ancak rijit uç bölgelerindeki eğilme rijitliği, panel bölgesi deformasyonlarını göz önüne almak amacıyla azaltılarak uygulanmıştır.
- MÇÇ sistemde ise çapraz ve kiriş birleşimlerinin mafsallı olduğu kabul edilmiştir. Çaprazlar emniyetli tarafta kalmak amacıyla iki ucu mafsallı ve düğüm noktaları arasında tanımlanan etkin burkulma boyu ile tasarlanmıştır.
- Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile birlikte kompozit olarak çalışması ihmal edilmiş ve rijit diyafram etkisini tam olarak sağladığı kabul edilmiştir.

Binaların tasarımında göz önüne alınan yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir [1, 58]. Bina ağırlıkları ve yükseklikleri göz önünde bulundurularak deprem yüklerinin daha etkin olacağı öngörülmüş ve tasarımda rüzgar yüklerinin göz önüne alınmasına gerek duyulmamıştır.

- Düşey Yük Birleşimleri

1.4G

1.2G + 1.6Q

1.2G + 1.6S

1.2G + 1.6Q + 0.5S

1.2G + 1.6S + 1.0Q

- Düşey Yük + Deprem Birleşimleri

$1.2G + 0.5Q + 0.2S \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} + 0.3E_d^{(Z)}$

$1.2G + 0.5Q + 0.2S \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} + 0.3E_d^{(Z)}$

$0.9G \pm E_d^{(X)} \pm 0.3E_d^{(Y)} - E_d^{(Z)}$

$0.9G \pm 0.3E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} - E_d^{(Z)}$

Burada G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, S kar yüklerini, $E_d^{(X)}$ ve $E_d^{(Y)}$ sırasıyla binanın X ve Y doğrultularındaki deprem yüklerini ve $E_d^{(Z)}$ düşey deprem yüklerini göstermektedir. Yatay deprem kuvvetleri, \pm %5 dış merkezlik etkisi dikkate alınarak uygulanmıştır. Birbirine dik (X) ve (Y) doğrultularındaki deprem etkilerinin birleştirilmesinde 0.3 katsayısı ile çarpılan deprem kuvvetleri, binanın kütle merkezine etkilmiştir.

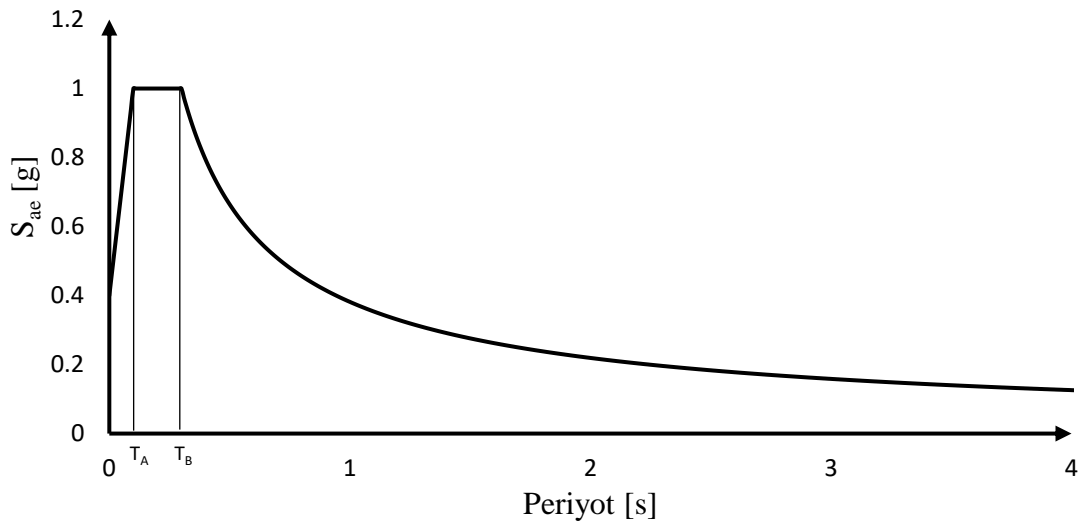
Düsey deprem yükünün düsey yük cinsinden değeri Denk. (2.3) ile belirlenerek ilgili kombinasyonlarda G yüklemesine eklenip/çıkartılarak göz önüne alınmıştır.

TBDY uyarınca ayrıca kapasite tasarımı için dayanım fazlalığı (D) kadar artırılmış deprem yükü birleşimleri de uygulanmış ve kolonların aksenal (normal) yük kapasitesi kontrolünde kullanılmıştır.

Binalara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesinde Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (EDYY) kullanılmıştır. Deprem etkilerinin belirlenmesinde kullanılan karakteristikler Tablo 3.1’de ve göz önüne alınan DD-2 düzeyine ait %5 sönümlü elastik tasarım spektrumu Şekil 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.1: Tasarımda esas alınan deprem karakteristikleri.

Deprem Karakteristikleri	Taşıyıcı Sistem	
	MAÇ	MÇÇ
Bina Kullanım Amacı	Konut	
Bina Önem Katsayısı (I)	1.0	
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	8	5
Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	3	2
Zemin Sınıfı	Z_B	
Karakteristik Periyotlar	T_A [s]	0.10
	T_B [s]	0.30
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	1.0	



Şekil 3.6: DD-2 deprem düzeyi için yatay elastik tasarım spektrumu.

Binaların her iki asal doğrultusundaki (X, Y) deprem yükleri Denk. (3.1) ile belirlenmiş ve modal özellikler ile birlikte Tablo 3.2’de verilmiştir.

$$V_t = m_t S_{aR}(T_p) \geq 0.04 m_t I S_{DSG} \quad (3.1)$$

Burada m_t , binanın deprem kütleini, S_{aR} binanın göz önüne alınan deprem doğrultusunda hâkim titreşim periyoduna göre hesaplanan azaltılmış tasarım spektral ivmesini, S_{DS} kısa periyot tasarım spektral ivmesini ve I bina önem katsayısını ifade etmektedir.

Binaların deprem kütlei, m_t Denk. (3.2) ile hesaplanan bina deprem ağırlığı w_t 'nin yerçekimi ivmesine bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$G + nQ \quad (3.2)$$

Burada n hareketli yük kütle katılım katsayısını ifade etmektedir. Çalışmada $n=0.30$ alınmıştır. S_{aR} Denk. (3.3) ile belirlenmektedir.

$$S_{aR}(T_p) = \frac{S_{ae}(T_p)}{R_a(T)} \quad (3.3)$$

Burada $S_{ae}(T_p)$ Denk. (3.4) ile hesaplanan yatay elastik tasarım spektral ivmesini ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} S_{ae}(T_p) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & 0 \leq T \leq T_A \\ S_{ae}(T_p) &= S_{DS} & T_A < T \leq T_B \\ S_{ae}(T_p) &= \frac{S_{D1}}{T} & T_B < T \leq T_L \\ S_{ae}(T_p) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & T_L \leq T \end{aligned} \quad (3.4)$$

$R_a(T)$ Denk. (3.5) ile hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısını ifade etmektedir.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= \frac{R}{I} & T > T_B \\ R_a(T) &= D + \left(\frac{R}{I} - D\right) \frac{T}{T_B} & T \leq T_B \end{aligned} \quad (3.5)$$

Tablo 3.2: Bina modal özellikleri ve taban kesme kuvvetleri.

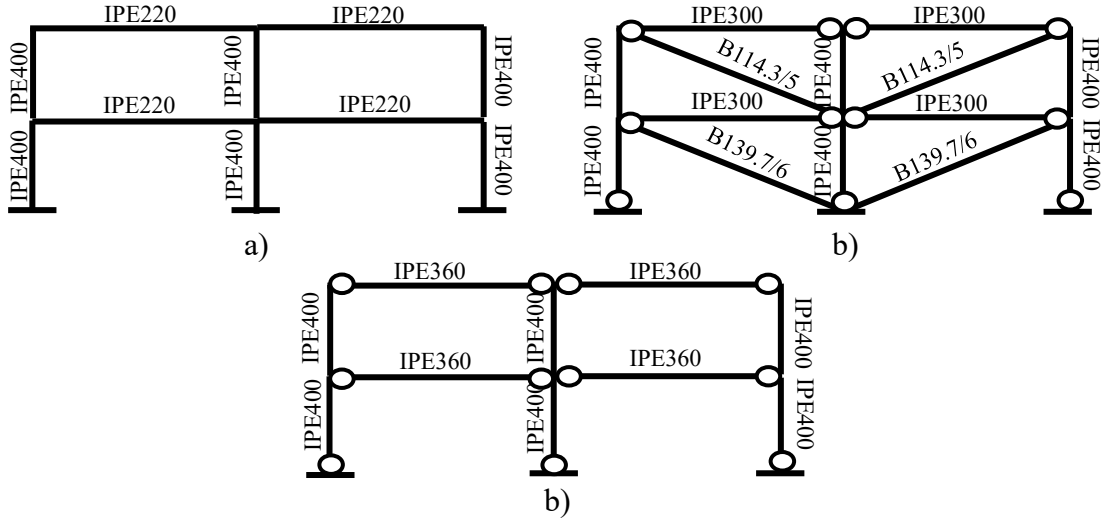
Bina Adı	2KB		4KB		8KB	
Taşıyıcı Sistem	MAÇ (X)	MÇÇ (Y)	MAÇ (X)	MÇÇ (Y)	MAÇ (X)	MÇÇ (Y)
Periyot (T_1) [s]	0.584	0.214	1.142	0.478	1.789	0.897
Periyot Üst Sınırı (TBDY) [s]	0.429		0.758		1.275	
1. Mod Kütle Katılım Oranı [%]	83.34	88.97	77.46	85.74	71.90	76.40
Elastik Spektral İvme (S_{ae}) [g]	0.90	1.00	0.51	0.80	0.30	0.43
Azaltılmış Tasarım Spektral İvme (S_{aR}) [g]	0.112	0.242	0.063	0.160	0.038	0.085
Tasarım Taban Kesme Kuvveti (V_t) [kN]	184.2	398.1	405.6	1029.1	518.4	1103.9
Bina Deprem Ağırlığı (w_t) [kN]	1644.7		6438.5		12960.7	

TBDY uyarınca katlar arası maksimum görelî öteleme oranı, dolgu duvarların ve cephe elemanlarının taşıyıcı sistem elemanları ile bağlantısına göre sınırlandırılmıştır. Bu çalışma kapsamında dolgu duvarların taşıyıcı elemanlar ile izolasyon yoluyla ayrıldığı kabul edilmiş ve Denk. (3.6) ile verilen görelî öteleme oranı kriteri kullanılmıştır. Buna bağılı olarak dolgu duvarların taşıyıcı sistem rijitliğine ve kapasitesine etkisi göz önüne alınmamıştır.

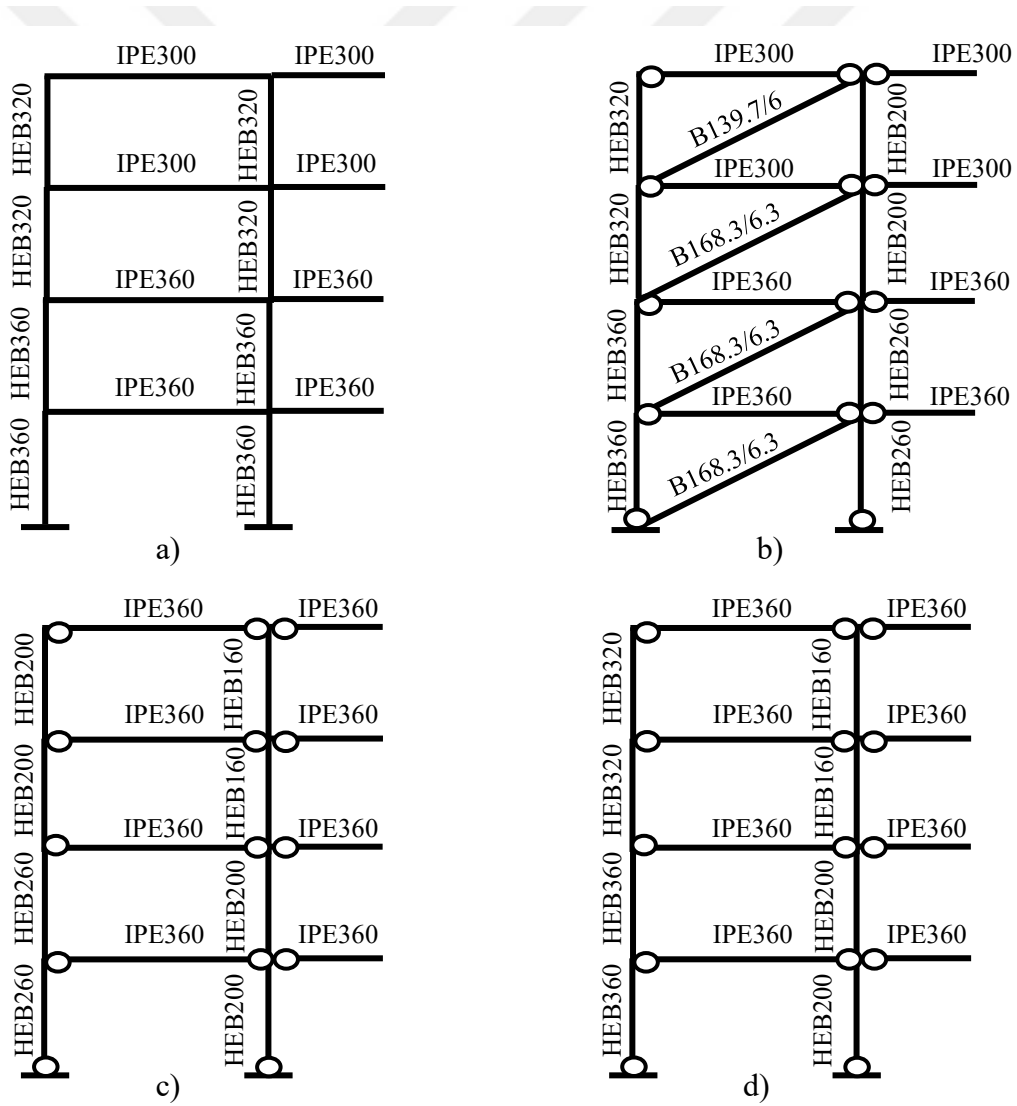
$$\lambda \frac{\delta_{i,max}}{h_i} \leq 0.016\kappa \quad (3.6)$$

Burada δ göz önüne alınan deprem doğrultusunda binanın herhangi bir katına ait en büyük etkin görelî kat ötelemesi, λ ilgili deprem doğrultusundaki hâkim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketine göre hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin elastik tasarım spektral ivmesine oranını ifade etmektedir. κ katsayısı ise çelik binalarda $\kappa=0.5$ olarak alınmıştır. λ katsayısı ortalama bir değer olarak 0.35 alınmıştır. Bu durumda, her bir deprem doğrultusu için görelî öteleme oranı sınırı $\delta_{i,max}/h_i = 0.0229$ olarak belirlenmiştir.

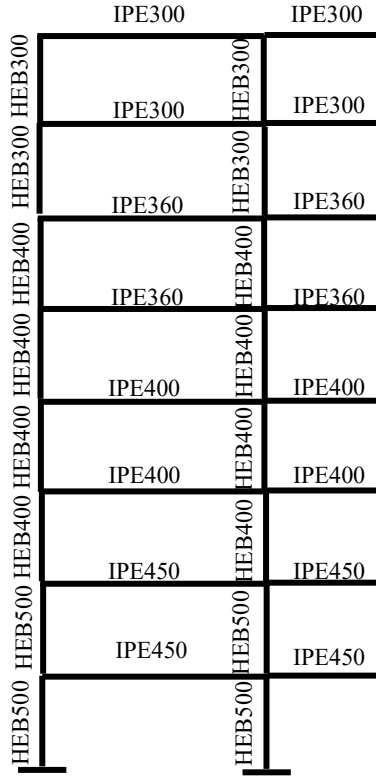
MAÇ ve MÇÇ sistemlerin tüm elemanlarının enkesitleri TBDY'ye göre yüksek süneklik koşullarını sağlayacak şekilde (kompakt) seçilmiştir. Çaprazlı çerçeve kolonlarının tasarımında artırılmış deprem yükleri ve çapraz kapasitesi mekanizma durumu ile uyumlu aksenal kuvvet kontrolleri yapılmıştır. Tasarımlar sonucunda her bir bina için elde edilen eleman boyutları Şekil 3.7-9'da verilmiştir.



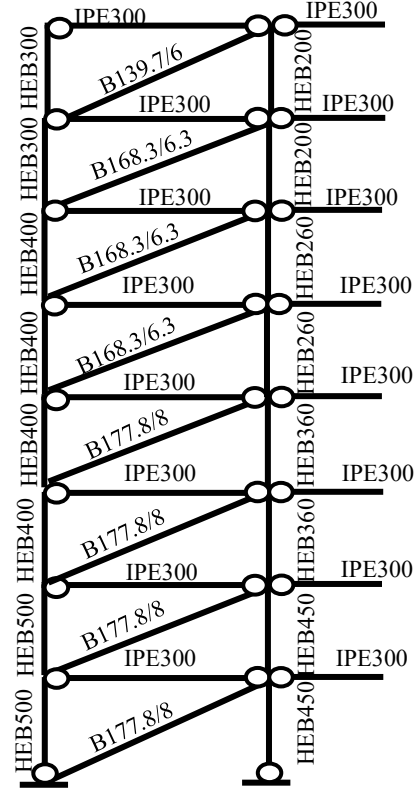
Şekil 3.7: 2KB tasarım sonuçları a) (1-1), (2-2) ve (3-3) aksları b) (A-A) ve (C-C) aksları c) (B-B) aksı.



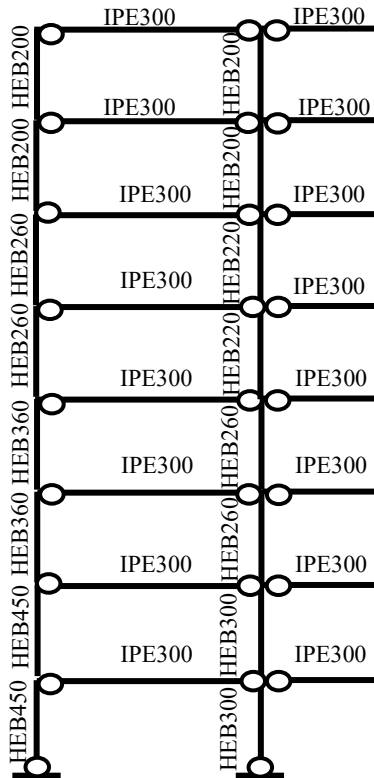
Şekil 3.8: 4KB tasarım sonuçları a) (1-1) ve (4-4) aksları b) (A-A) ve (D-D) aksları c) (2-2) ve (3-3) aksları d) (B-B) ve (C-C) aksları.



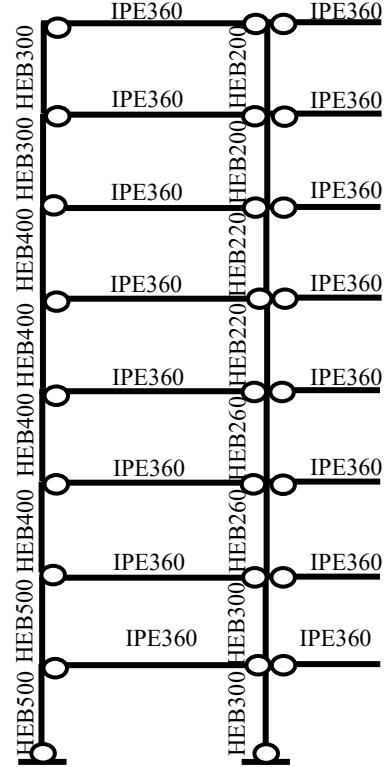
a)



b)



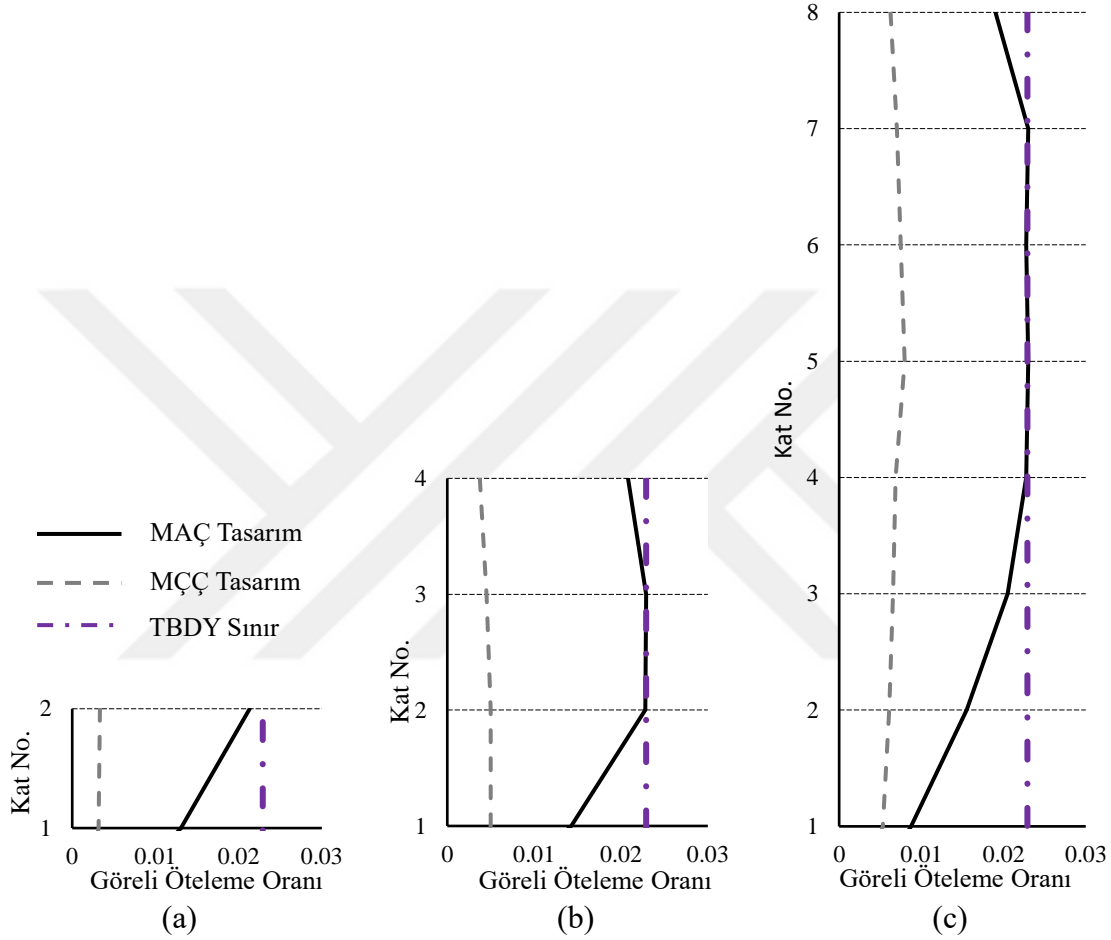
c)



d)

Şekil 3.9: 8KB tasarım sonuçları a) (1-1) ve (4-4) aksları b) (A-A) ve (D-D) aksları c) (2-2) ve (3-3) aksları d) (B-B) ve (C-C) aksları.

Binalara ait MAÇ ve MÇÇ sistemlerin, DD-2 deprem yer hareketi düzeyi (tasarım deprem düzeyi) için tasarım görelî öteleme oranları Şekil 3.10 ile verilmiştir. MAÇ’de tüm binalar için görelî öteleme oranları sınır değerde veya sınır değere oldukça yakın elde edilmiştir. MÇÇ’de ise tüm binalarda yaklaşık üniform görelî öteleme oranı dağılımları elde edilmiş ve sınırın çok altında kalmıştır.



Şekil 3.10: Binaların DD-2 deprem düzeyi için tasarım görelî öteleme oranları a) 2KB b) 4KB c)8KB.

Binaların MAÇ ve MÇÇ taşıyıcı sistem elemanlarına ait tasarım sonuçları Tablo 3.3-3.14’te özet olarak verilmiştir. Tablolarda her bir binaya ait kolon, kiriş ve çapraz elemanların en kritik sonuçları ve ilgili sınır durumlar ile birlikte sunulmuştur.

Tablo 3.3: 2KB MAÇ kolon elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1.Kat	2.Kat
Profil		IPE400	IPE400
Eleman Narinlik Oranı / Sınır (Basınç)	$KL/i \leq 200$	75.95 / 200	
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.67 / 10.25	
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	43.37 / 101.40	
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.67 / 8.09	
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	43.37 / 53.78	43.37 / 56.07
Maks. Basınç Yüğü / Tasarım Burk. Dayanımı[kN]	$P_u / \Phi P_n$	505.90 / 1494	337.87 / 1494
Maks. Göreli Öteleme Oranı / Sınır		0.0131 / 0.0229	0.213 / 0.0229
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.594	0.21

Tablo 3.4: 2KB MAÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1.Kat	2.Kat
Profil		IPE220	IPE220
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	5.98 / 10.25	
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	34.17 / 101.40	
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	5.98 / 8.09	
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	34.17 / 66.07	
Yanal Mesnetlenme Boyu/TBDY Sınırı	$L_b/0.086i_y(E/F_y)$	1500 / 1549.25	
Maks. Sehim / Sınır [m]	$(L/300)$	0.005 / 0.02	0.0055 / 0.02
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.66	0.70

Tablo 3.5: 2KB MÇÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2.Kat
Profil		IPE300
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	7.01 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	39.24 / 101.40
Maks. Sehim / Sınır [m]	$(L/300)$	0.02 / 0.02
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.866

Tablo 3.6: 2KB MÇÇ çapraz elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1.Kat	2.Kat
Profil		B139.7/6	B114.3/5
Eleman Narinlik Oranı / Sınır (Basınç)	$KL/i \leq 200$	142.76 / 200	172.05 / 200
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır	D/t	23.28 / 80	22.86 / 80
TBDY Narinlik Oranı / Sınır	D/t	23.28 / 27.64	22.86 / 27.64
Maks. Basınç Yüğü / Tasarım Burk. Dayanımı[kN]	$P_u / \Phi P_n$	131.09 / 195.22	82.32 / 89.20
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.721	0.987

Tablo 3.7: 4KB MAÇ kolon elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2.Kat	3-4.Kat
Profil		HEB360	HEB320
Eleman Narinlik Oranı/ Sınır (Basınç)	$KL/i \leq 200$	42.67 / 200	42.22 / 200
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.67 / 10.25	7.32 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	25.2 / 101.40	24.26 / 101.40
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.67 / 8.09	7.32 / 8.09
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	25.2 / 58.04	24.26 / 61.71
Maks. Basınç Yüğü/ Tasarım Burk. Dayanımı[kN]	$P_u / \Phi P_n$	544.3/ 4027.44	254.2 / 3590.45
Maks. Göreli Öteleme Oranı/ Sınır		0.0228	0.0229
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.315	0.17

Tablo 3.8: 4KB MAÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2.Kat	3-4.Kat
Profil		IPE360	IPE300
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.69 / 10.25	7.01 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	41.83 / 101.40	39.24 / 101.40
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.69 / 8.09	7.01 / 8.09
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	41.83 / 66.07	39.24 / 66.07
Yanal Mesnetlenme Boyu/TBDY Sınırı	$L_b/0.086i_y(E/F_y)$	2000 / 2370.5	2000 / 2095.3
Maks. Sehım / Sınır [m]	$(L/300)$	0.0009 / 0.02	0.0016 / 0.02
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.44	0.46

Tablo 3.9: 4KB MÇÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2-3-4.Kat
Profil		IPE300
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	7.01 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	39.24 / 101.40
Maks. Sehım / Sınır [m]	$(L/300)$	0.019 / 0.02
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.723

Tablo 3.10: 4KB MÇÇ çapraz elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2-3. Kat	2.Kat
Profil		B168.3/6.3	B139.7/6
Eleman Narinlik Oranı / Sınır (Basınç)	$KL/i \leq 200$	119.30 / 200	144.68 / 200
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır	D/t	26.71 / 80	23.28 / 80
TBDY Narinlik Oranı / Sınır	D/t	26.71 / 27.64	23.28 / 27.64
Maks. Basınç Yüğü/ Tasarım Burk. Dayanımı[kN]	$P_u / \phi_c P_n$	306.86 / 349.27	145.22 / 195.22
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.921	0.815

Tablo 3.11: 8KB MAÇ kolon elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2.Kat	3-4-5-6.Kat	7-8.Kat
Profil		HEB500	HEB400	HEB300
Eleman Narinlik Oranı / Sınır (Basınç)	$KL/i \leq 200$	44.02 / 200	43.30 / 200	42.22 / 200
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	5.36 / 10.25	6.25 / 10.25	7.89 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	30.62 / 101.40	26.07 / 101.4	23.82 / 101.40
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	5.36 / 8.09	6.25 / 8.09	7.89 / 8.09
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	30.62 / 55.86	26.07 / 56.61	23.82 / 61.25
Maks. Basınç Yüklü/ Tasarım Burk. Dayanımı[kN]	$P_u / \Phi P_n$	1285.1 / 5283.3	896.6 / 4394.3	260.9 / 3323.8
Maks. Göreli Öteleme Oranı / Sınır		0.0155	0.0228	0.0229
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.435	0.318	0.162

Tablo 3.12: 8KB MAÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2.Kat	3-4.Kat	5-6.Kat	7-8.Kat
Profil		IPE450	IPE400	IPE360	IPE300
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.51 / 10.25	6.67 / 10.25	6.69 / 10.3	7.01 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	44.77 / 101	43.37 / 101	41.83 / 101	39.24 / 101
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	6.51 / 8.09	6.67 / 8.09	6.69 / 8.09	7.01 / 8.09
TBDY Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	44.77 / 66.1	43.37 / 66.1	41.83 / 66	39.24 / 66
Yanal Mesnetlenme Boyu/TBDY Sınırı	$L_b/0.086i_y(E/F_y)$	2000 / 2577	2000 / 2471	2000 / 2371	2000 / 2095
Maks. Sehim / Sınır [m]	$(L/300)$	0.001 / 0.02	0.001 / 0.02	0.001 / 0.02	0.001 / 0.02
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.369	0.455	0.465	0.452

Tablo 3.13: 8KB MÇÇ kiriş elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2-3-4-5-6-7-8.Kat
Profil		IPE300
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Başlık)	$b_f/2t_f$	7.01 / 10.25
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır (Gövde)	h/t_w	39.24 / 101.40
Maks. Sehim / Sınır [m]	$(L/300)$	0.0183 / 0.02
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.705

Tablo 3.14: 8KB MÇÇ çapraz elemanları için tasarım sonuçları.

Kat No		1-2-3-4. Kat	5-6-7.Kat	8.Kat
Profil		B177.8/8	B168.3/6.3	B139.7/6
Eleman Narinlik Oranı / Sınır (Basınç)	$KL/i \leq 200$	113.15 / 200	118.67 / 200	144.68 / 200
Enkesit Narinlik Oranı / Sınır	D/t	22.23 / 80	26.71 / 80	23.28 / 80
TBDY Narinlik Oranı / Sınır	D/t	22.23 / 27.64	26.71 / 27.64	23.28 / 27.64
Maks. Basınç Yüklü/ Tasarım Burk. Dayanımı[kN]	$P_u / \phi_c P_n$	382.72 / 500.9	292.23 / 349.3	138.57 / 195.2
Maks. Talep/Kapasite Oranı	P_u/P_n ve M_u/M_n	0.805	0.879	0.78

Binaların tasarım sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- TBDY ile getirilen periyot üst sınırı koşulu nedeniyle tüm binaların MAÇ sistem periyodu sınırlanmış ve taban kesme kuvvetleri önemli ölçüde artmıştır.
- Tüm binaların MAÇ sistem kirişlerinde ve kolonlarında TBDY ile sınırlandırılan görelî öteleme oranı belirleyici olmuştur. Kirişlerdeki talep/kapasite oranı %37-%70 arasında, kolonlarda ise %16-%59 arasında kalmıştır.
- MÇÇ sistemlerin çapraz elemanlarında talep/kapasite oranı %72-%99 arasında elde edilmiş ve tasarımda bu oranlar belirleyici olmuştur. MÇÇ kirişlerinde kapasite oranları %70-%87 arasında elde edilmiş ve tasarımda yanal mesnetlenme boyu ve maksimum sehîm belirleyici olmuştur.
- MÇÇ sistemin (iç aks) kolonlarında talep/kapasite oranı %30-%45 arasında elde edilmiştir. Bu kolonlarda TBDY'ye göre uygulanan kapasite tasarımı sonucunda mekanizma durumu ile uyumlu eksenel kuvvetler belirleyici olmuştur.
- Düşey yük taşıyan ara aks çerçevelere ait kolonların tasarımında talep/kapasite oranı %50-%60 arasında elde edilmiş ve tasarımda narinlik oranları belirleyici olmuştur. Kirişlerin tasarımında ise düşey yükler altında maksimum sehîm ve yanal burkulma sınır durumu etkili olmuştur.

3.3 Binaların Performans Değerlendirmeleri

Bu bölümde, tasarımı yapılan binaların DOSY ve DODY ile performans değerlendirmelerine yer verilmiştir. TBDY ve ASCE 41-17'den yararlanılarak uygulanan DOSY ve DODY'nin genel esasları Bölüm 2'de açıklanmıştır.

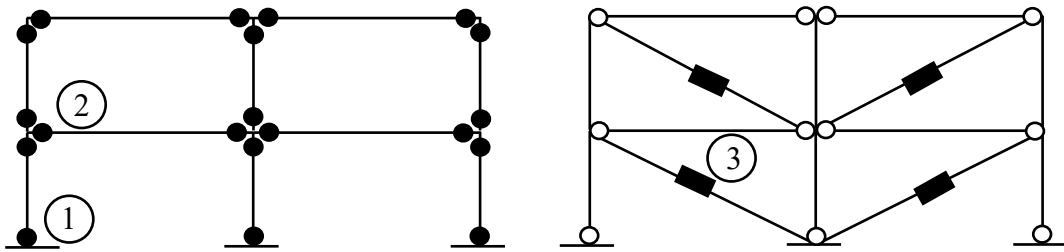
Doğrusal olmayan statik ve dinamik analizler için PERFORM 3D [60] programından yararlanılmıştır.

Doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlerde yapılan varsayımlar aşağıda verilmiştir.

- Doğrusal olmayan analizlerde plastik şekildeğîştirmelerin elemanın belirli bir bölgesinde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde davranışın elastik olduğu kabulüne dayanan yığılılî plastisite (plastik mafsal) yaklaşımı esas alınmıştır.
- MAÇ kolon-kiriş birleşim bölgelerinin ve kolon-temel birleşimlerinin tam rijit olduğu ve elastik davrandığı kabul edilmiştir.

- MÇÇ ve düşey yük taşıyan orta aks çerçevelerinde kolon-kiriş birleşimleri ideal mafsallı olarak kabul edilmiş, betonarme döşemenin ve basit birleşimlerin rijitliğe ve kapasiteye katkıları ihmal edilmiştir.
- MAÇ kolon ve kirişlerinde *rijit-plastik moment-dönme* bağıntıları ve çapraz elemanlar için ise *eksenel kuvvet-birim kısalma/uzama* bağıntıları kullanılmıştır.
- MAÇ’lerde plastik mafsallar kiriş ve kolonların mesnet yüzlerinde tanımlanmış, eleman uçlarındaki rijitlikler 10 kat artırılarak rijit uç bölgeleri tanımlanmıştır. Panel bölgesinin kayma deformasyonları ihmal edilmiştir.
- Çapraz elemanların basınç kapasitelerinin ve birim şekildeğiştirmelerinin belirlenmesinde, düğüm noktaları arasındaki boyun %90’ı etkin boy olarak alınmıştır [2].
- MAÇ kolonlarında bileşik eğilme etkisi göz önüne alınmıştır.
- MAÇ kolon ve kirişlerinde kompakt kesitler kullanılması ve yanal burkulma ile ilgili önlemlerin alınması nedeniyle *pekleşmeli-elastoplastik* davranış modeli esas alınmış ve çevrimsel davranışta rijitlik azalmaları göz önüne alınmamıştır.
- MÇÇ çapraz elemanlarda burkulma sonrası rijitlik değişimleri literatürdeki deneysel çalışmalardan yararlanılarak çevrimsel davranışta göz önüne alınmıştır.

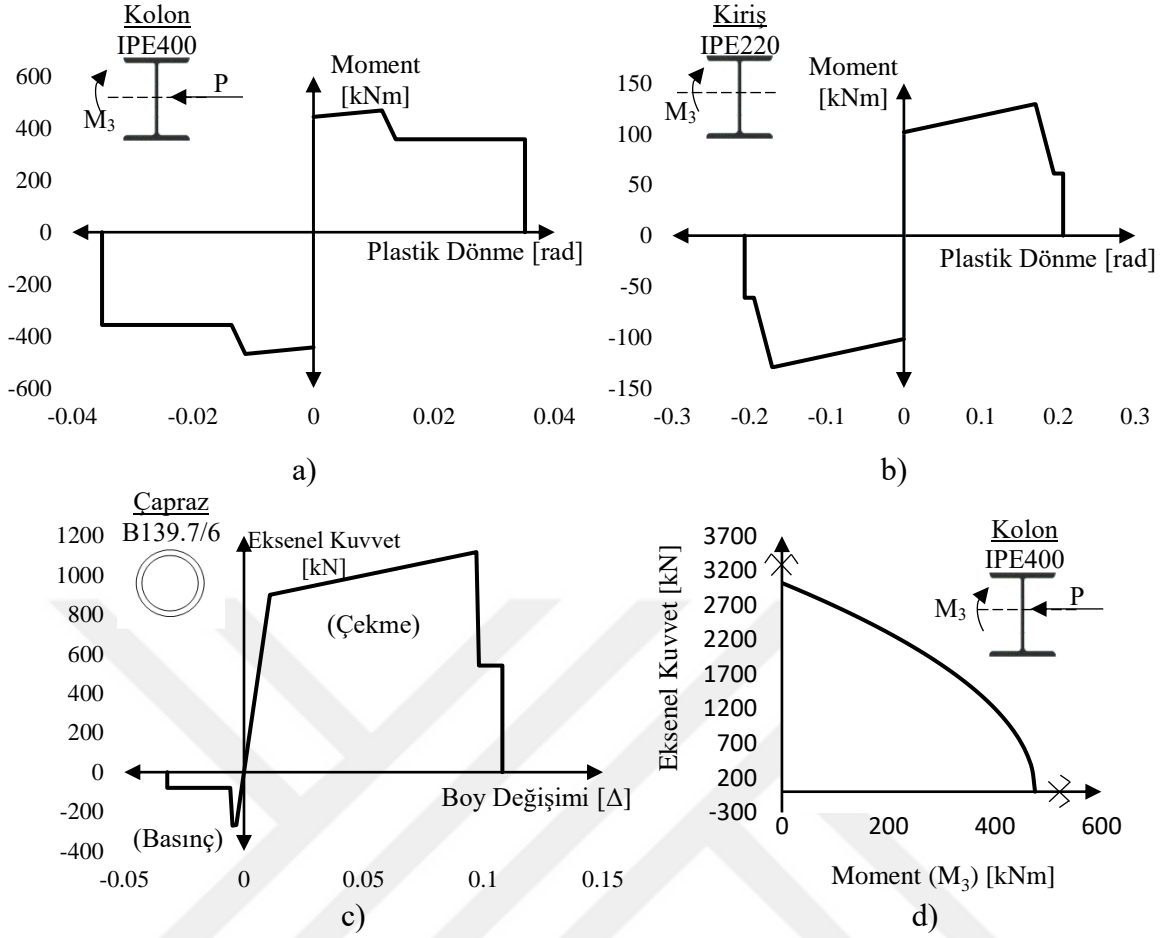
Doğrusal olmayan analiz için hazırlanan hesap modeline ait detaylar örnek olarak 2KB binasına ait MAÇ ve MÇÇ üzerinde Şekil 3.11 ile gösterilmiştir.



- Rijit-plastik moment-dönme mafsalı (kiriş ve kolonlar için)
- Elasto-plastik eksenel kuvvet-birim şekildeğiştirme mafsalı (çapraz elemanlar için)

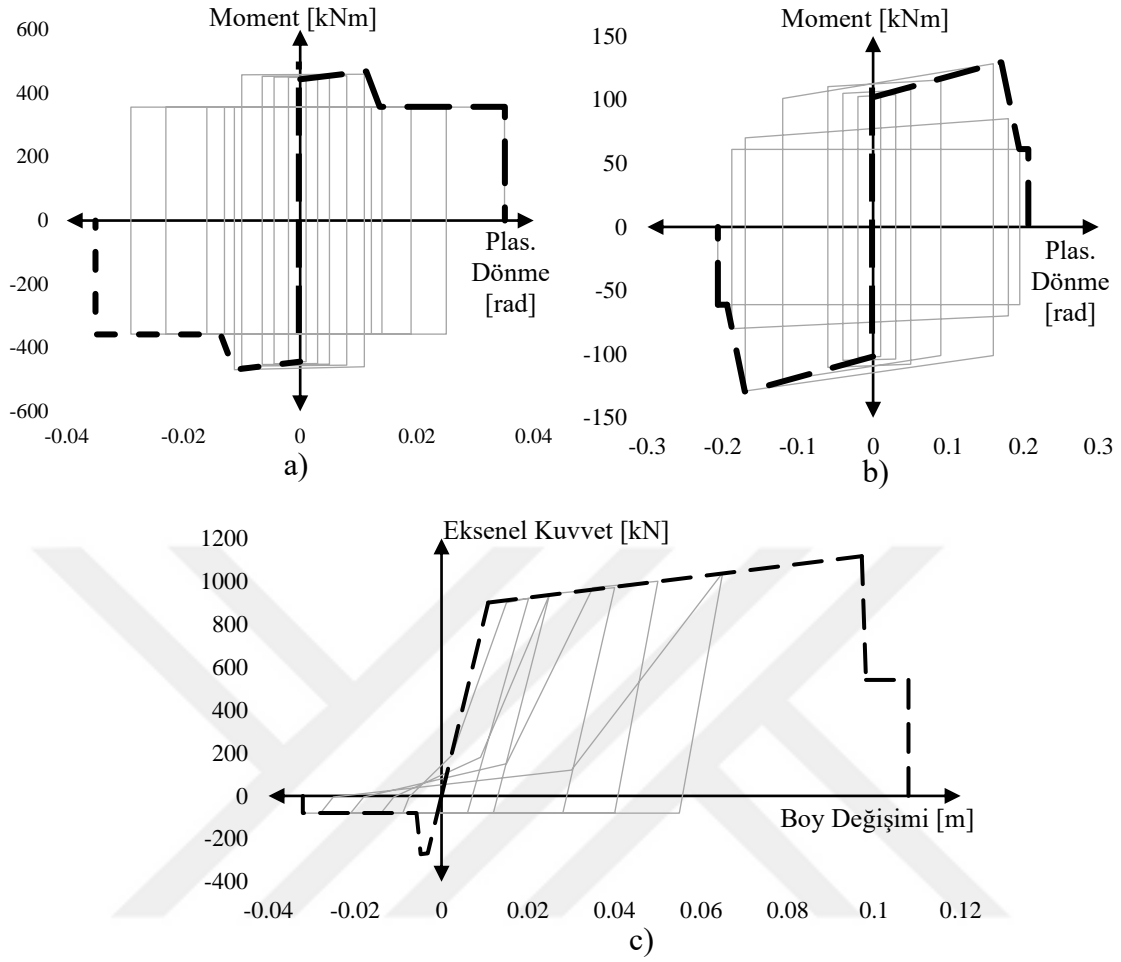
Şekil 3.11: 2KB hesap modelinde tanımlanan plastik davranış bölgeleri.

Modelde 1, 2 ve 3 ile gösterilen plastik mafsalların detayları Şekil 3.12’de verilmiştir. Kolon plastik mafsallarında plastikleşme momenti için ilgili kolonlara ait M-N etkileşim diyagramı kullanılmıştır. Çaprazlı çerçeve doğrultusunda moment oluşmadığı için kolonlar tek eksenli bileşik eğilmeye maruz kalmaktadır.



Şekil 3.12: 2KB binasına ait plastik mafsalları a) kolon plastik mafsalı b) kiriş plastik mafsalı c) çapraz plastik mafsalı d) kolon etkileşim diyagramı.

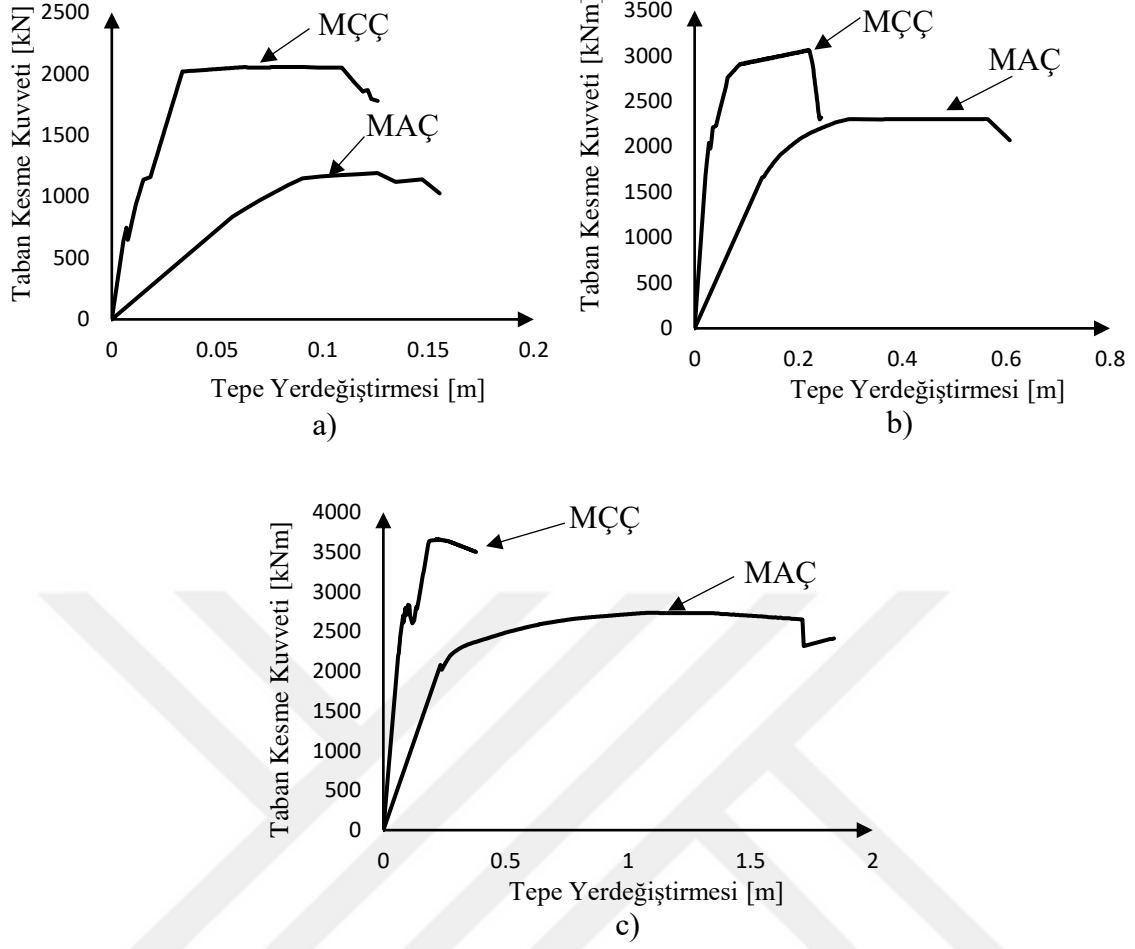
Şekil 3.12’de verilen plastik mafsalları modellerinin dinamik analizde kullanımı için çevrimsel davranış özellikleri tanımlanmıştır. Kiriş ve kolonlarda yükleme-boşaltma-yeniden yüklemede rijitlik değişimi içermeyen *pekleşmeli-elastoplastik* çevrimsel davranış kabul edilmiştir. Çapraz elemanlarda ise burkulma sonrası davranışı temsil etmek üzere önemli rijitlik değişimleri içeren çevrimsel davranış tanımlanmıştır (Şekil 3.13). Bunun için PERFORM 3D’de “doğrusal olmayan burkulma elemanı” özelliği kullanılmıştır [60]. Tüm binalardaki elemanlara ait modelleme parametreleri ve performans sınırları EK-A’da verilmiştir.



Şekil 3.13: Dinamik analiz için kullanılan çevrimsel modeller a) kolon b) kiriş c) çapraz.

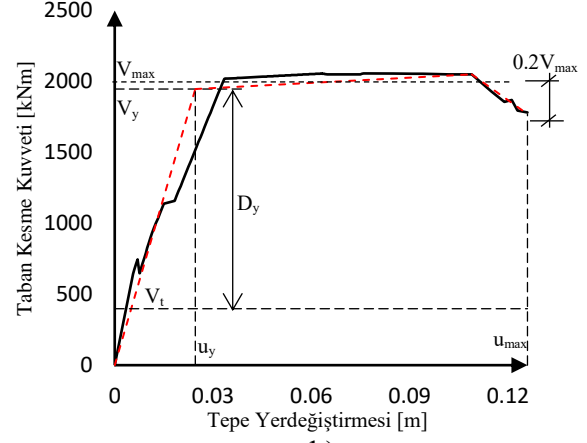
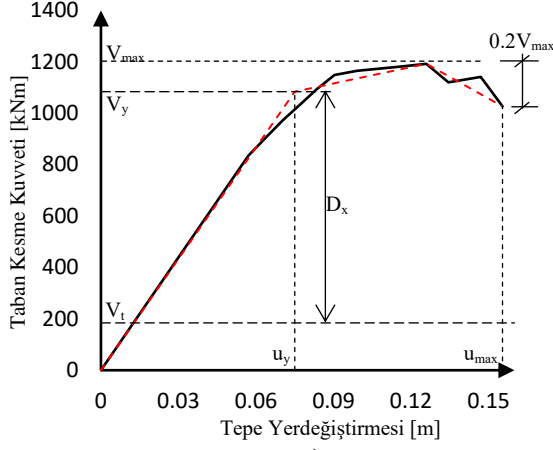
3.3.1 Doğrusal Olmayan Statik Yöntem (DOSY) ile Performans Değerlendirmesi

Bina modelleri üzerinde ilk olarak, düşey deprem etkilerini de içeren düşey yükler altında (DD-1 için: $1.3G+0.3Q+0.2S$, DD-2 için: $1.2G+0.3Q+0.2S$) doğrusal olmayan statik analiz yapılmış ve ardından, her bir doğrultu için ayrı ayrı olmak üzere sabit modlu itme analizi yapılarak kapasite eğrileri elde edilmiştir (Şekil 3.14). İtme analizleri, herhangi bir elemanda şekildeğiştirme kapasitesinin sonuna ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir.

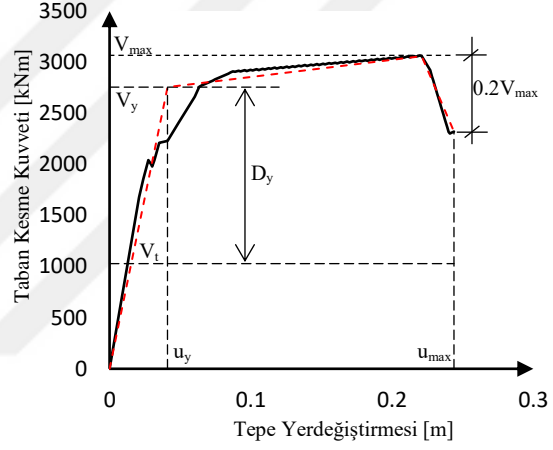
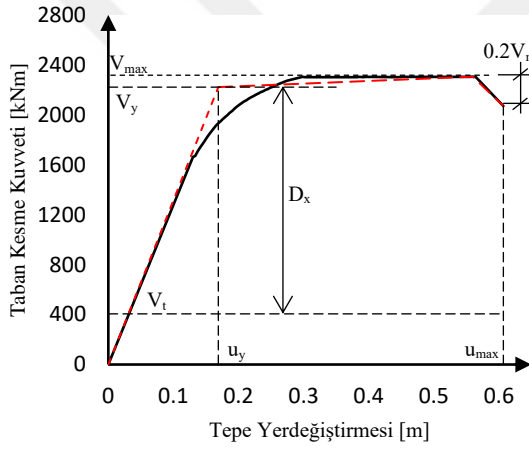


Şekil 3.14: Bina kapasite eğrileri a) 2KB b) 4KB c) 8KB.

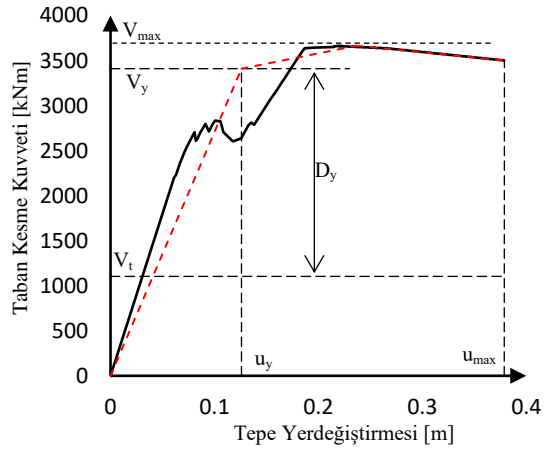
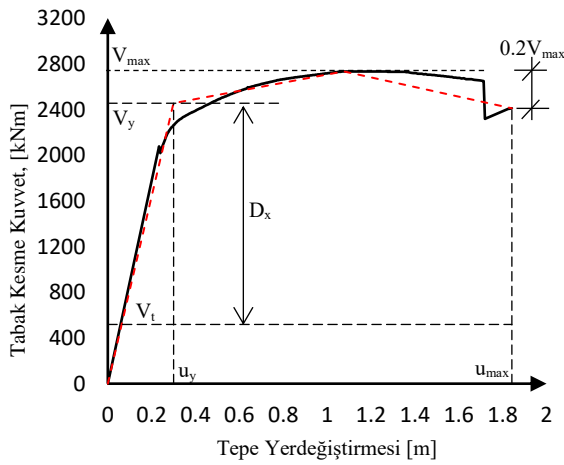
Bina kapasite eğrileri iki doğru parçası ile idealleştirilerek binaların dayanım fazlalığı katsayıları (D) ve yatay yer değiştirme süneklikleri (μ) belirlenmiştir (Şekil 3.15-3.17). İki doğrudan idealleştirmede akma dayanımının belirlenmesi için ASCE 41-17 [2]'deki yaklaşım esas alınmıştır. Maksimum yer değiştirme (u_{max}) için ise yatay yük taşıma kapasitesinde %20'lik azalmaya karşılık gelen yerdeğiştirme esas alınmıştır (Şekil 3.15-3.17).



Şekil 3.15: 2KB idealleştirilmiş kapasite eğrileri a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.16: 4KB idealleştirilmiş kapasite eğrileri a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.17: 8KB idealleştirilmiş kapasite eğrileri a) MAÇ b) MÇÇ.

Binaların her bir doğrultusu için dayanım fazlalığı katsayıları Denk. (3.7) ile, süneklikler Denk. (3.8) ile belirlenmiştir.

$$D = \frac{V_y}{V_t} \quad (3.7)$$

$$\mu = \frac{u_{\max}}{u_y} \quad (3.8)$$

Burada V_y binanın global akma dayanımını, V_t TBDY'ye göre belirlenen ve Tablo 3.2'de verilen tasarım taban kesme kuvvetini, u_y idealleştirilmiş kapasite eğrisinde akma dayanımına karşılık gelen tepe yerdeğiştirmesini ifade etmektedir.

Kullanılan taşıyıcı sistemler için TBDY'de öngörülen süneklik kapasitesi (μ_k) Denk. (3.9) ile belirlenerek kapasite eğrilerinden elde edilen değerler ile Tablo 3.15'te karşılaştırılmıştır.

$$\mu_k = \frac{R}{DI} \quad (3.9)$$

Tablo 3.15: DOSY'den elde edilen D ve μ değerlerinin TBDY öngörülmesi ile karşılaştırılması.

Bina		DOSY ile Elde Edilen		TBDY	
		D	μ	D	$\mu_k = R/DI$
2KB	MAÇ	5.88	2.07	3	2.67
	MÇÇ	4.89	5.12	2	2.5
4KB	MAÇ	5.48	3.59	3	2.67
	MÇÇ	2.68	5.95	2	2.5
8KB	MAÇ	4.74	6.14	3	2.67
	MÇÇ	3.09	3.01	2	2.5

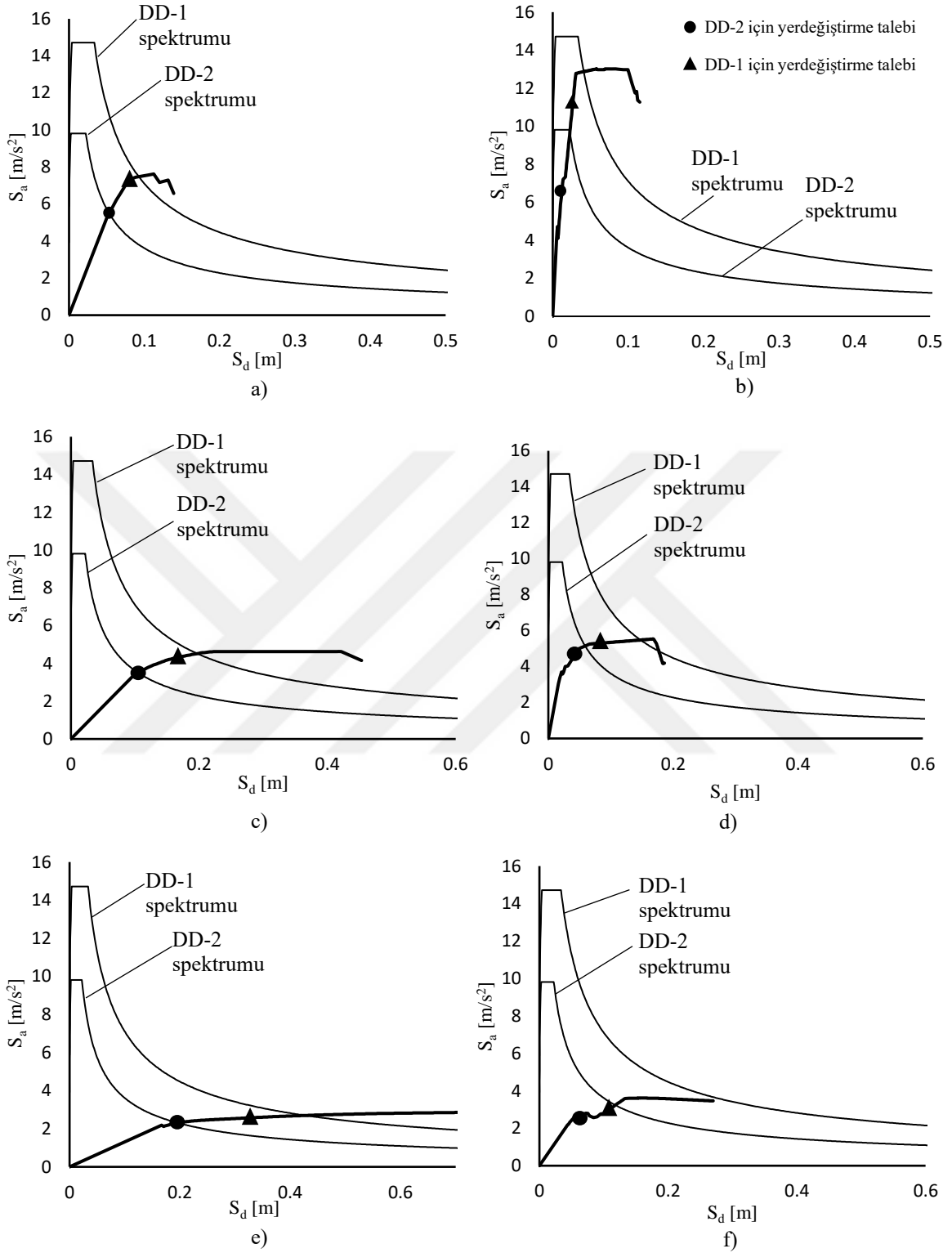
Bina kapasite eğrilerinden elde edilen dayanım fazlalığı katsayıları (D) ve süneklik kapasiteleri (μ) değerlendirildiğinde;

- MAÇ doğrultusundaki D katsayıları, kat adedi arttıkça azalmakla birlikte, tüm binalar için TBDY'de öngörülen D=3 değerinin çok üzerinde sonuçlar elde edilmiştir. Bunda TBDY'de uygulanan periyot üst sınırı uygulaması ve görelî öteleme oranlarının tasarımda belirleyici olması ve sistem elemanlarının talep/kapasite oranının %40 mertebesinde kalması etkili olmuştur.
- MÇÇ doğrultusunda da TBDY'de öngörülen D=2 değerinin üzerinde dayanım fazlalığı katsayıları elde edilmiştir. Ancak tasarımda belirleyici olan çapraz talep/kapasite oranlarının %80-%90 mertebesinde olması nedeniyle dayanım

fazlalığı katsayıları daha düşük elde edilmiştir. 2KB'nin MÇÇ doğrultusundaki D katsayısı diğer iki binaya göre çok daha yüksek elde edilmiştir. Bunda, ilgili hakim periyot nedeniyle daha düşük deprem yükü azaltma katsayısı uygulaması etkili olmuştur.

- DOSY ile elde edilen yatay yerdeğiştirme süneklikleri her iki doğrultu için de genel olarak TBDY'de öngörülen süneklik kapasitelerini sağlamıştır. Sadece 2KB'nin MAÇ sisteminde daha düşük bir süneklik elde edilmiştir. Ancak süneklik talepleri gerçek kapasiteye bağlı olarak oluşacağı için mevcut dayanım fazlalıkları nedeniyle TBDY'de öngörülenin çok daha altında talepler gerçekleşeceği görülmektedir.

Bina kapasite eğrileri Bölüm 2'de açıklandığı gibi modal kapasite eğrilerine dönüştürülerek TSDS yaklaşımı ile tepe yerdeğiştirme talepleri belirlenmiştir. Bunun için DD-2 ve DD-1 düzeyi deprem yer hareketlerine ait spektrumlar da spektral ivme-spektral yerdeğiştirme formatına dönüştürülmüştür. Modal kapasite eğrileri ve her bir deprem için elde edilen yerdeğiştirme talepleri Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18: Binalara ait modal yerdeğiştirme talepleri a) 2KB-MAÇ b) 2KB-MÇÇ c) 4KB-MAÇ d) 4KB-MÇÇ e) 8KB-MAÇ f) 8KB-MÇÇ.

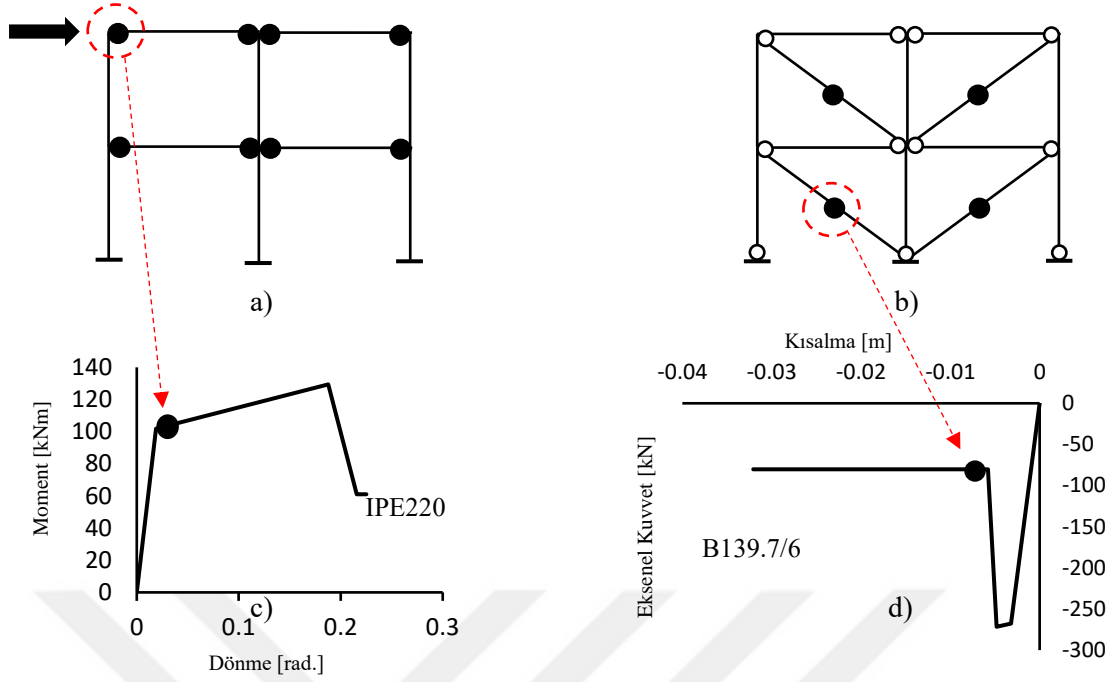
2KB binasında MÇÇ'ye ait yerdeğiştirme taleplerinin belirlenmesinde, TBDY gereğince bina periyodunun karakteristik T_B periyodundan düşük olması nedeniyle modal kapasite eğrileri iki doğru parçası ile idealleştirilerek ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmıştır.

Her bir binaya ait modal yerdeğiştirme talepleri ilgili hâkim moda ait özellikler kullanılarak tepe yerdeğiştirmesi taleplerine dönüştürülmüştür (Tablo 3.16).

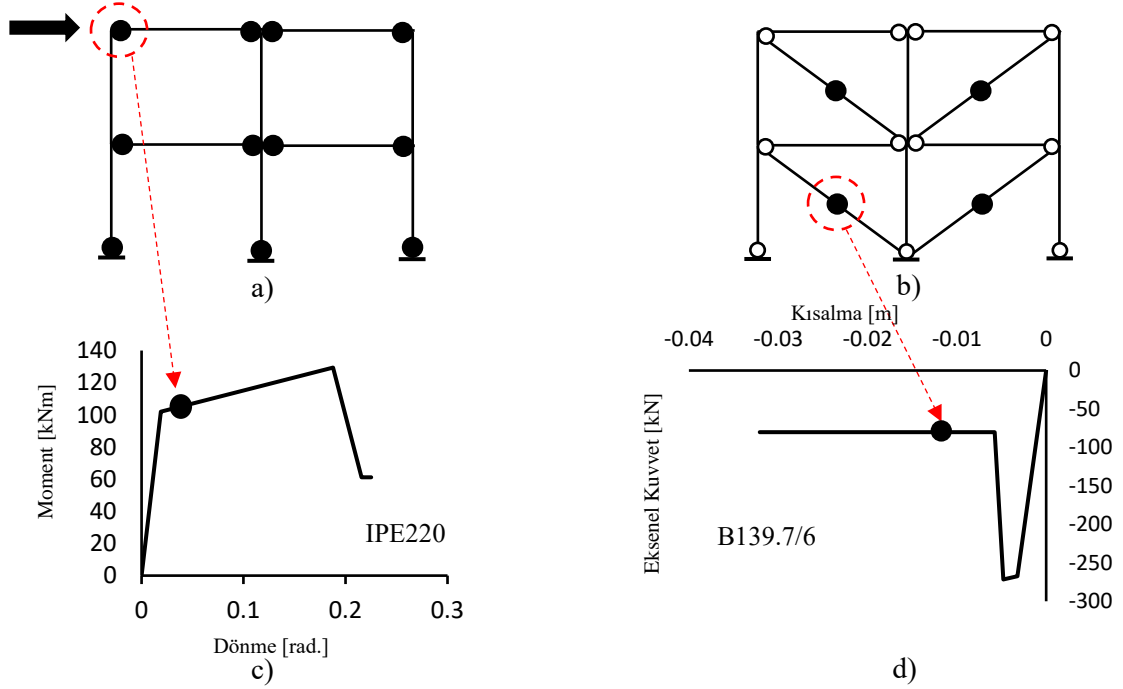
Tablo 3.16: Modal ve dönüştürülmüş koordinatlarda yerdeğiştirme ve dayanım talepleri.

Bina No.	Taşıyıcı Sistem	Modal Yerdeğiştirme (S_{dmax}) [m]		Tepe Yerdeğiştirmesi (u_{max}) [m]		Modal İvme (S_{amax}) [m/s^2]		Taban Kesme Kuvveti (V_{tmax}) [kN]	
		DD-2	DD-1	DD-2	DD-1	DD-2	DD-1	DD-2	DD-1
		2KB	MAÇ	0.049	0.074	0.055	0.083	5.80	8.60
	MÇÇ	0.014	0.022	0.016	0.024	5.55	6.80	1249.1	1665.9
4KB	MAÇ	0.111	0.017	0.149	0.223	3.37	5.05	1865.1	2223.0
	MÇÇ	0.039	0.059	0.052	0.077	6.74	10.1	2657.9	2706.0
8KB	MAÇ	0.191	0.286	0.267	0.401	2.35	3.52	2186.7	2392.7
	MÇÇ	0.084	0.126	0.117	0.176	4.07	6.11	3298.2	3311.8

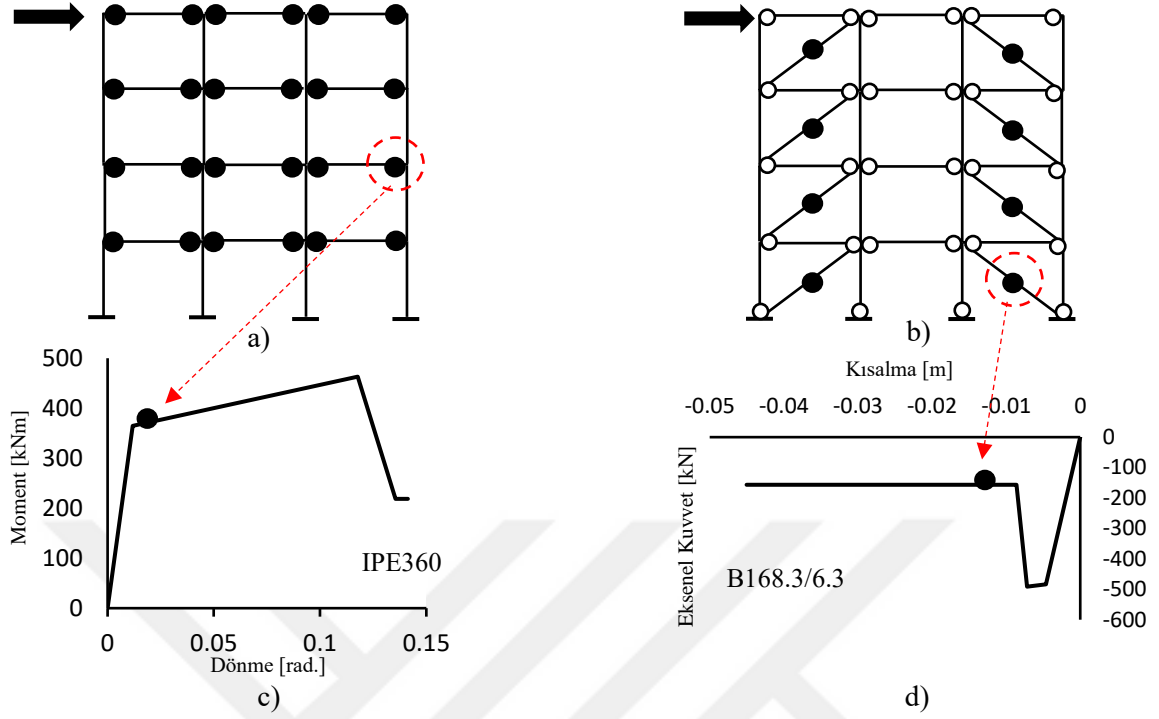
Bina modelleri için DD-1 ve DD-2 deprem düzeylerine ait tepe yerdeğiştirme taleplerine kadar itme uygulanmış ve sistemlerdeki plastikleşme dağılımları belirlenmiştir. Bina taşıyıcı sistemlerine ait birer aks üzerinde plastikleşen eleman uçları ve en elverişsiz plastik kesite ait şekildeğiştirmeler (plastik dönme/birim uzama/kısalma) DD-1 ve DD-2 düzeyi için Şekil 3.19-24'te verilmiştir. Uygulanan DOSY'de sistem ve yükleme simetrik olduğu için simetrik olan diğeri akslarda da aynı şekildeğiştirmeler oluşmuştur.



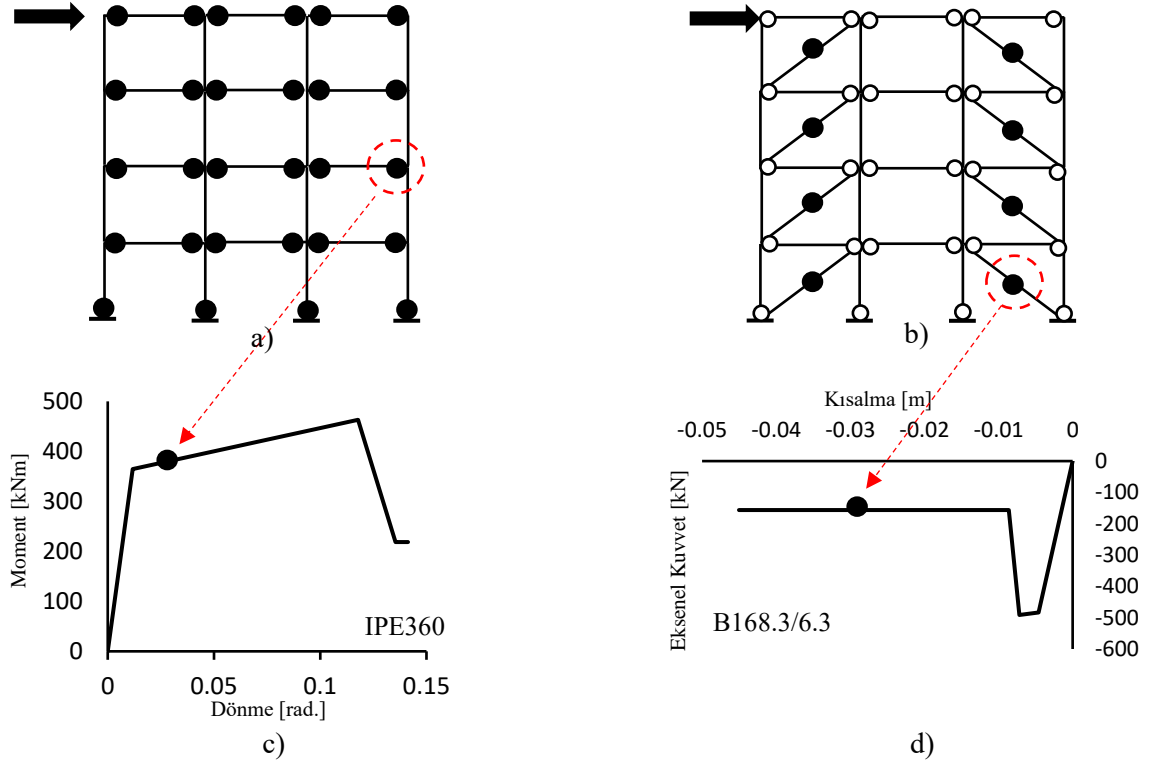
Şekil 3.19: 2KB'de DOSY sonuçları (DD-2) a) (2-2) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.



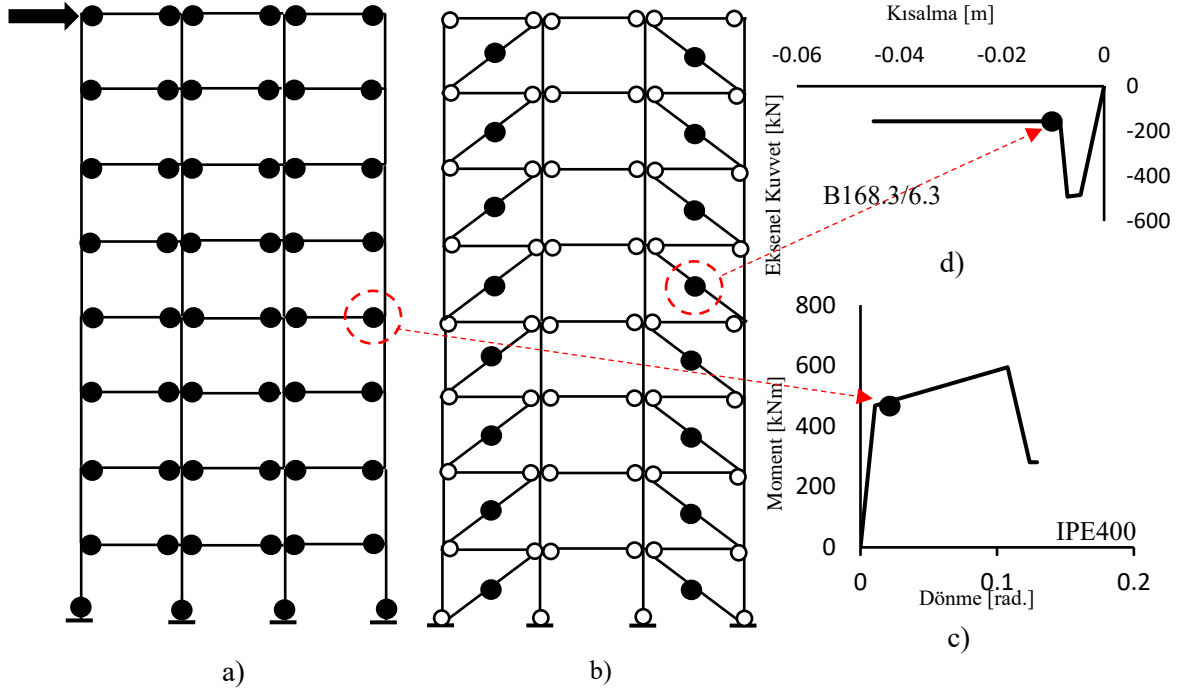
Şekil 3.20: 2KB'de DOSY sonuçları (DD-1) a) (2-2) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.



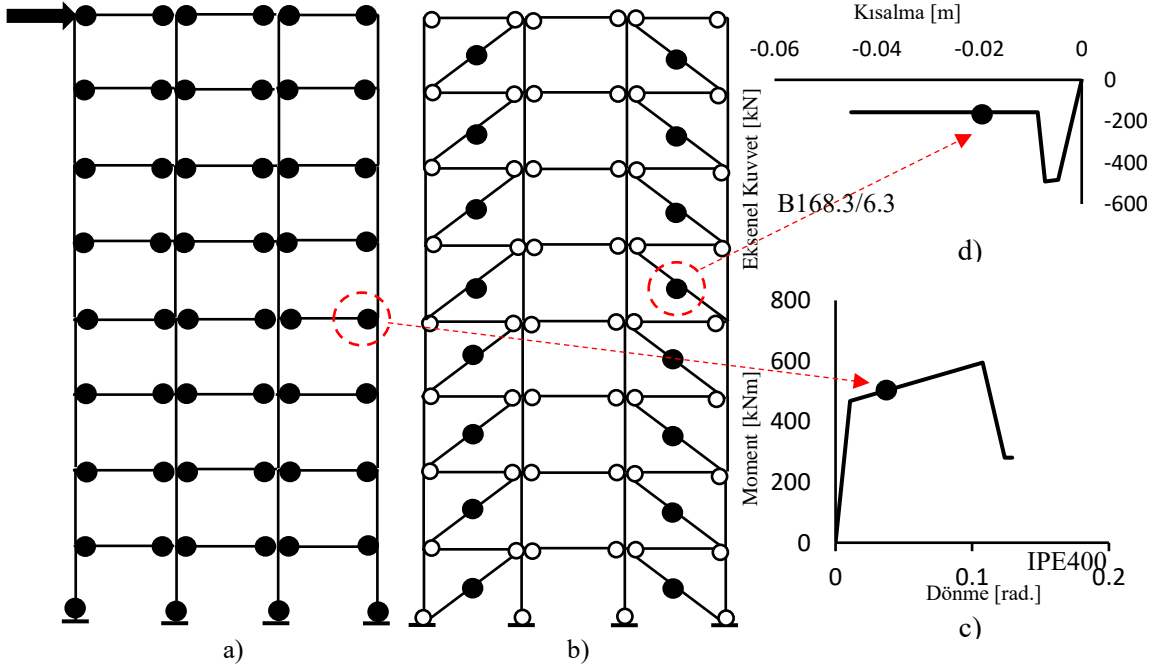
Şekil 3.21: 4KB’de DOSY sonuçları (DD-2) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.



Şekil 3.22: 4KB’de DOSY sonuçları (DD-1) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.

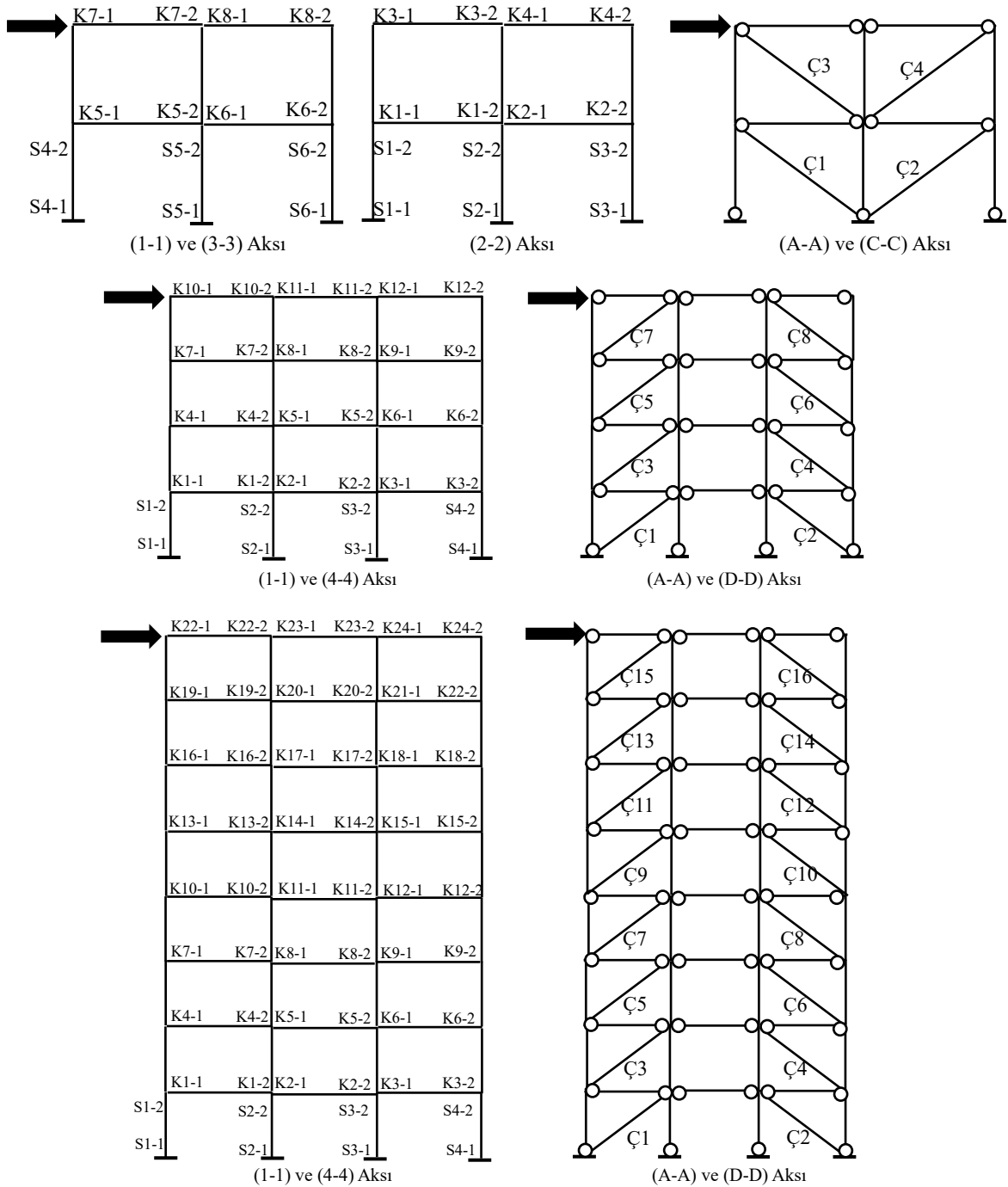


Şekil 3.23: 8KB' de DOSY sonuçları (DD-2) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.

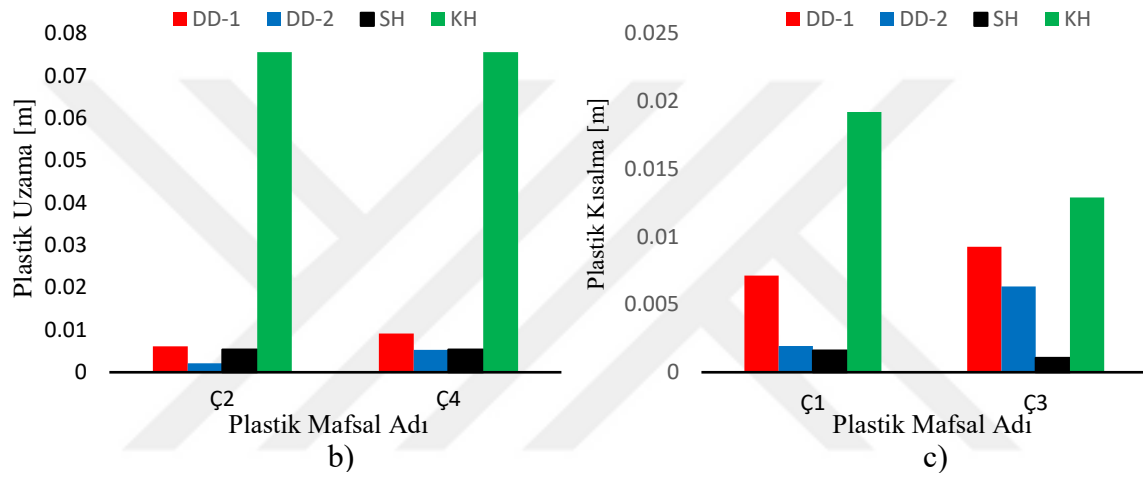
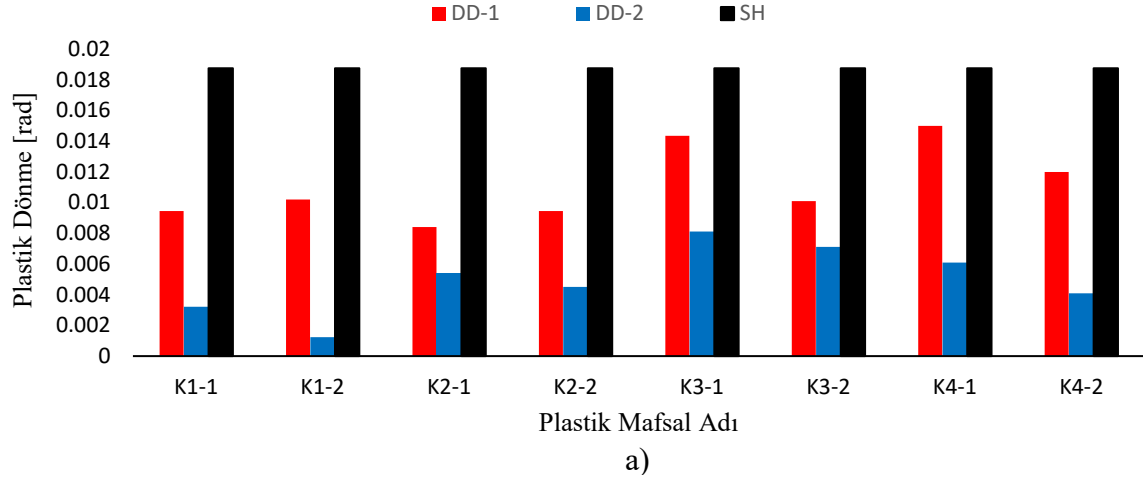


Şekil 3.24: 8KB' de DOSY sonuçları (DD-1) a) (1-1) aksı plastikleşme dağılımı b) (A-A) aksı plastikleşme dağılımı c) en elverişsiz dönme talebi d) en elverişsiz kısalma talebi.

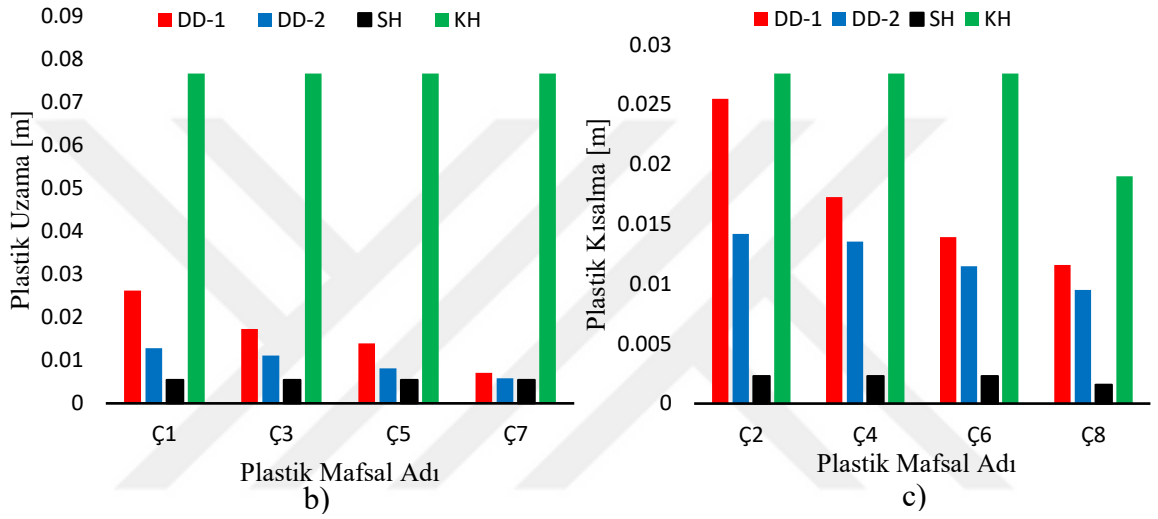
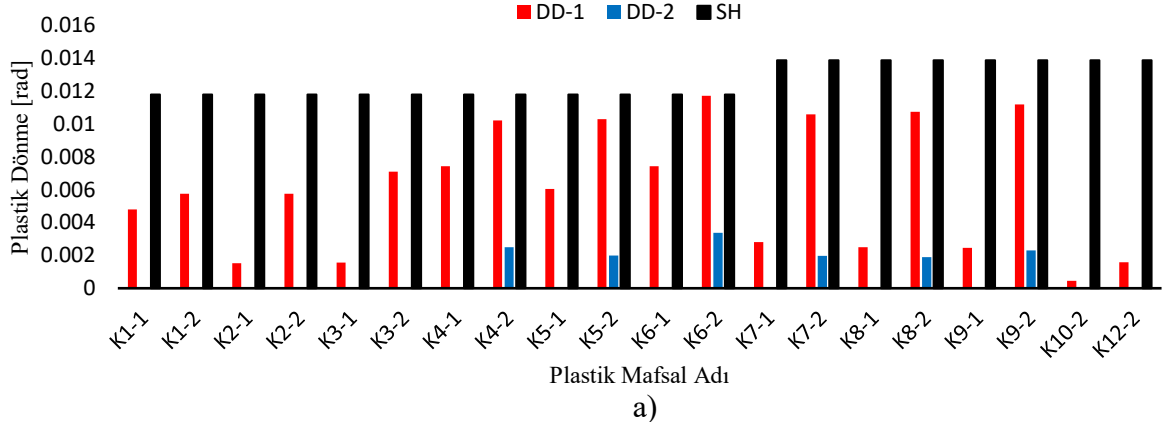
Binalarda itme analizleri sonucu DD-1 ve DD-2 düzeyi için elde edilen plastik şekildeğiştirme talepleri (plastik dönme/uzama/kısalma) TBDY’de performans düzeylerine ait sınırlar ile karşılaştırılarak her bir elemanın performans düzeyi belirlenmiş ve Şekil 3.25’te verilen plastik mafsal isimlendirmesine göre grafikler halinde gösterilmiştir. (Şekil 3.26-28). Grafiklerde sadece plastikleşme oluşan mafsallardaki talepler gösterilmiştir. 4KB ve 8KB’de sadece alt kat kolonlarının alt uçlarında plastikleşmeler başlamış ancak plastik dönme değerleri 0.0005 rad’ın altında kaldığı için gösterilmesine gerek duyulmamıştır.



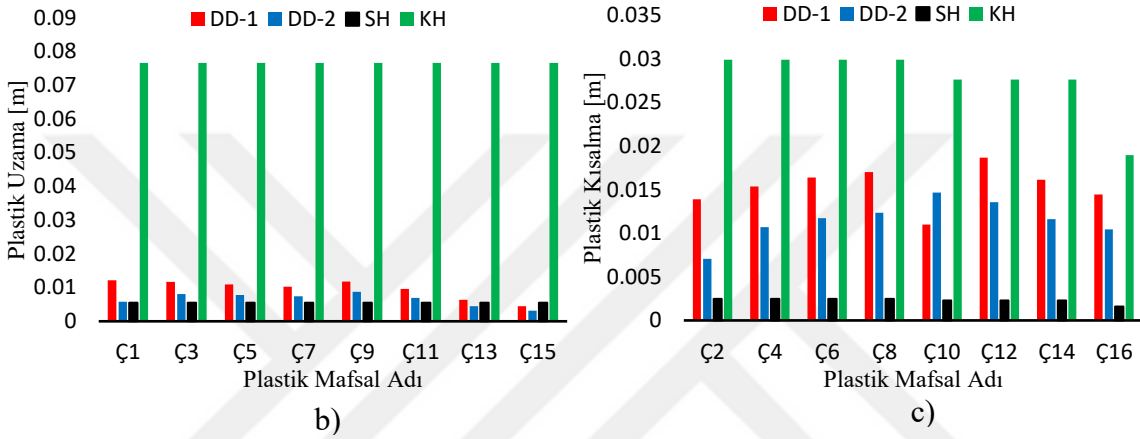
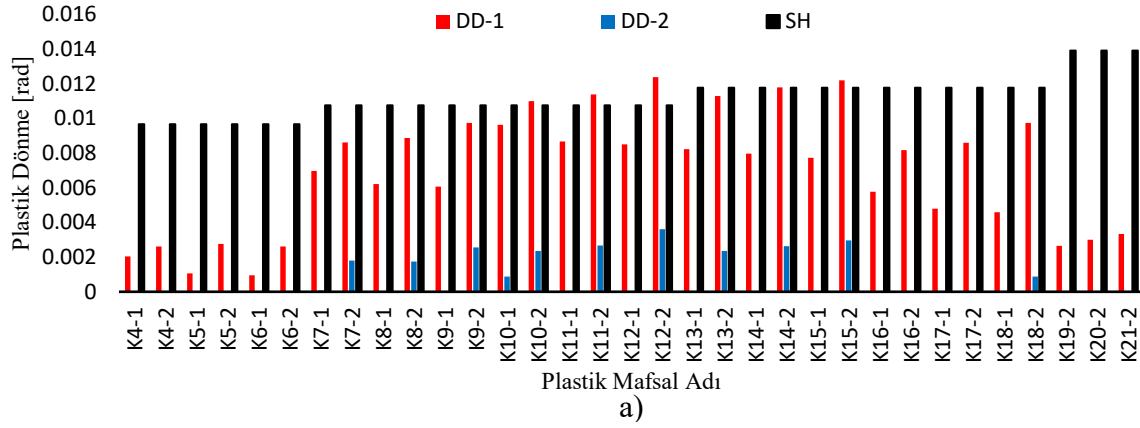
Şekil 3.25: Bina taşıyıcı sistemlerinde plastik kesit isimlendirmeleri ve itme doğrultusu.



Şekil 3.26: 2KB’de DOSY talepleri ve ilgili performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) c) çaprazlar (basınç).



Şekil 3.27: 4KB’de DOSY talepleri ve ilgili performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) c) çaprazlar (basınç).

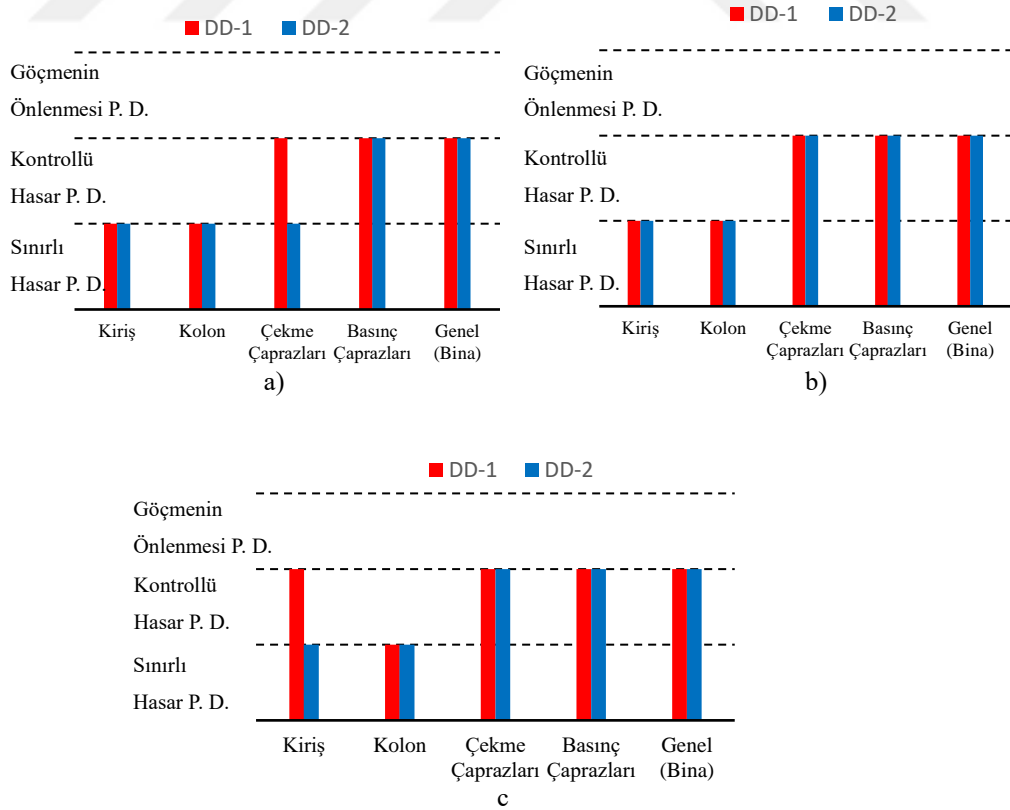


Şekil 3.28: 8KB’de DOSY talepleri ve ilgili performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) c) çaprazlar (basınç).

Her bir binada kirişler, kolonlar ve çapraz elemanlar için elde edilen en elverişsiz performans düzeyleri esas alınarak bina genel performans düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 3.29).

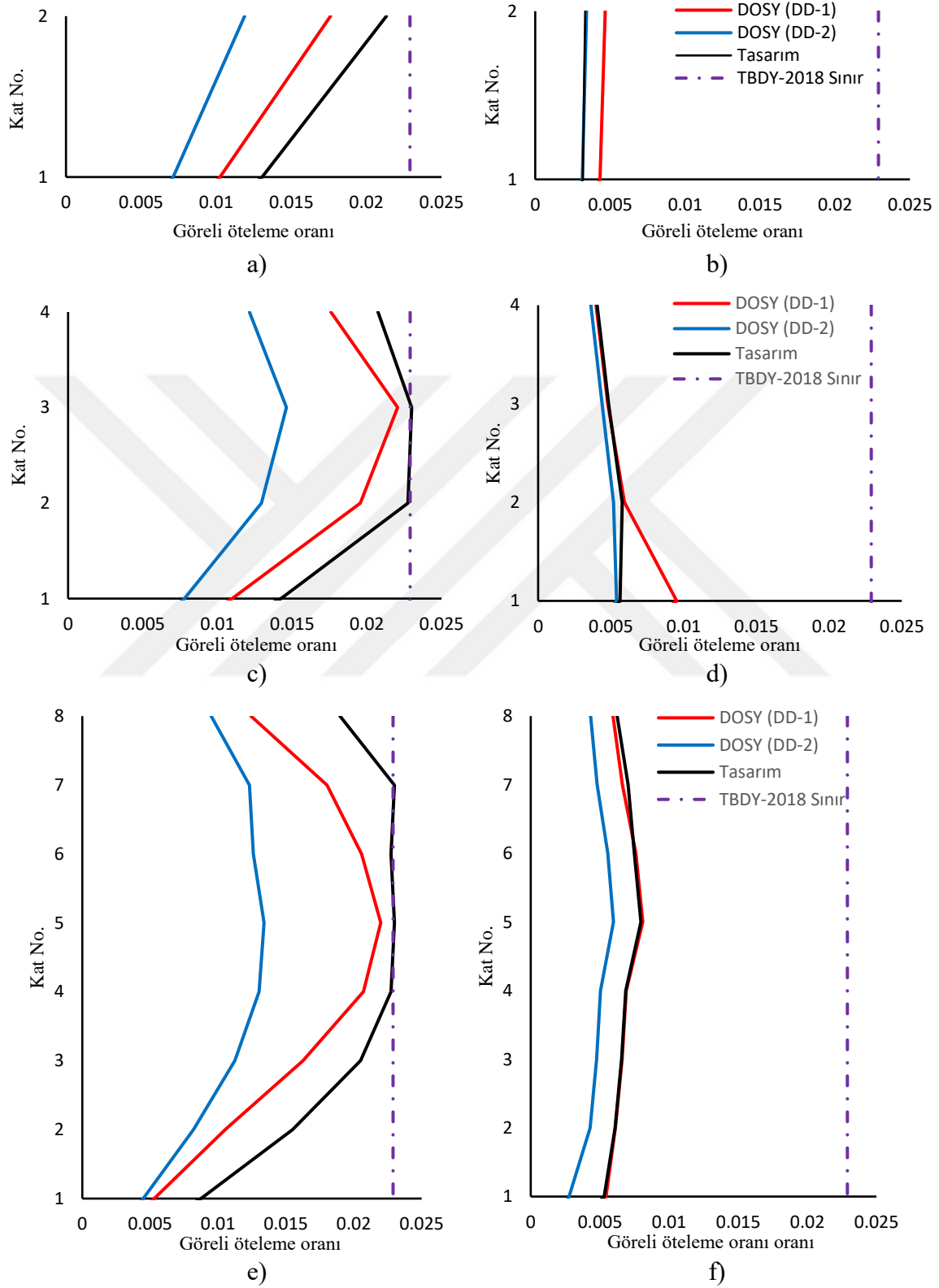
- 2KB’de DD-2 deprem düzeyi için kirişler, kolonlar ve çekme çaprazlarında *Sınırlı Hasar (SH)* performans düzeyi sağlanırken, 4 adet basınç çaprazında *Kontrollü Hasar (KH)* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre bina performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-2 düzeyi için öngörülen *KH* performans düzeyi sağlanmıştır.
- 2KB’de DD-1 deprem düzeyi için kirişler ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 4 adet çekme çaprazında ve 4 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre bina performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-1 düzeyi deprem için açık olarak bir performans hedefi belirtilmemekle birlikte, ele alınan bina özellikleri için *Göçmenin Önlenmesi (GÖ)* performans düzeyinin öngörüldüğü kabul edilebilmektedir. Buna göre 2KB’de DD-1 düzeyi için öngörülenin üzerinde bir performans elde edildiği söylenebilmektedir.

- 4KB’de DD-2 deprem düzeyi için kirişler ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 8 adet çekme ve 8 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-2 düzeyi için öngörülen *KH* performans düzeyi sağlanmıştır.
- 4KB’de DD-1 deprem düzeyi için kirişler ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 8 adet çekme ve 8 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. DD-1 düzeyi için öngörülen üzerinde bir performans elde edildiği söylenebilmektedir.
- 8KB’de DD-2 deprem düzeyi için kirişlerde ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 12 adet çekme ve 16 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-2 düzeyi için öngörülen *KH* performans düzeyi sağlanmıştır.
- 8KB’de DD-1 deprem düzeyi için kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 8 adet kirişte *KH* performans düzeyi, 16 adet çekme ve 16 basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. DD-1 düzeyi için öngörülenin üzerinde bir performans elde edildiği söylenebilmektedir.



Şekil 3.29: DOSY sonuçlarına göre eleman ölçeğinde ve genel performans düzeyleri a) 2KB b) 4KB c) 8KB.

DD-1 ve DD-2 düzeyi depremler için DOSY ile elde edilen görece öteleme oranları Şekil 3.30'da tasarım görece öteleme oranları ve TBDY sınır değeri ile karşılaştırılmıştır.

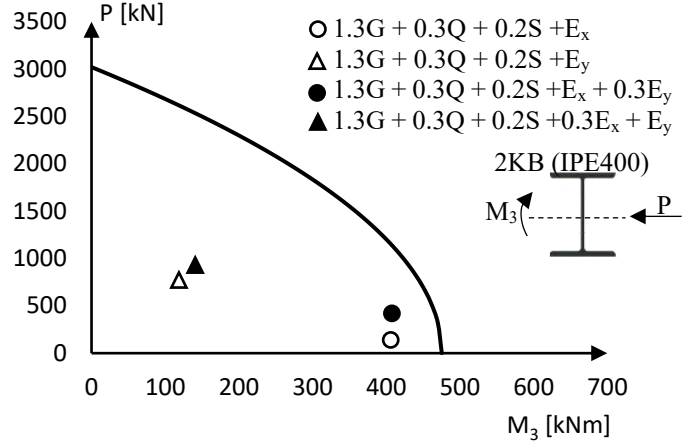
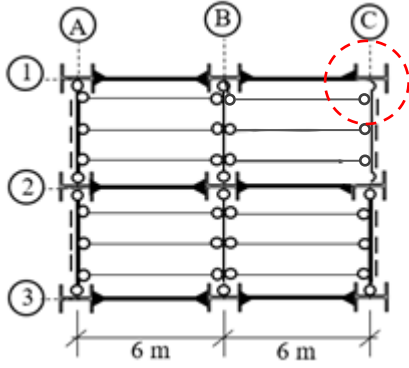


Şekil 3.30: DOSY görece öteleme oranları a) 2KB-MAÇ b) 2KB-MÇÇ c) 4KB-MAÇ d) 4KB-MÇÇ e) 8KB-MAÇ f) 8KB-MÇÇ.

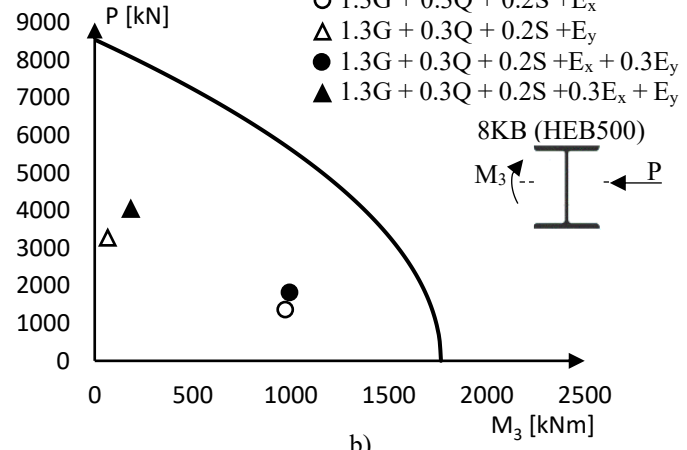
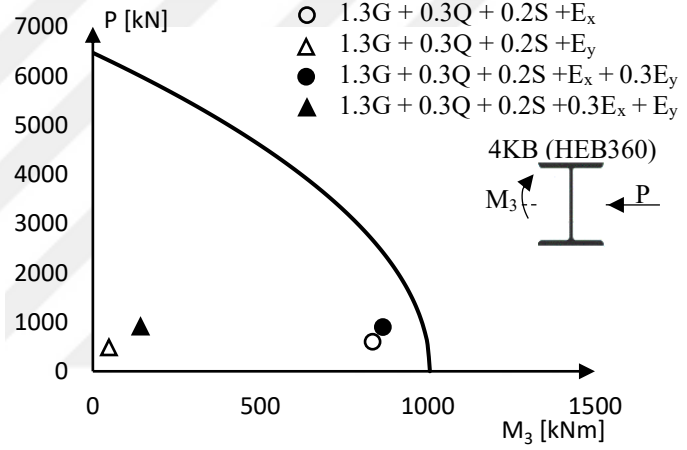
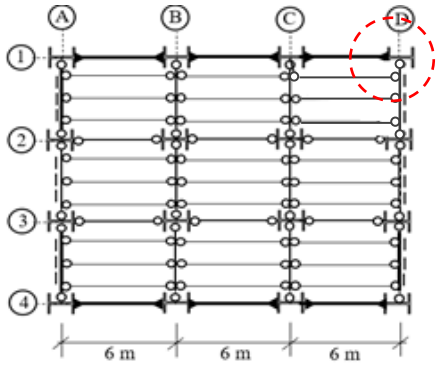
Binaların DOSY ile DD-1 ve DD-2 deprem düzeyleri için elde edilen görelî öteleme oranları değerlendirildiğinde;

- Tüm binalarda MAÇ doğrultusundaki görelî öteleme oranları hem DD-2 hem de DD-1 düzeyi için tüm katlarda tasarım değerlerinin altında kalmıştır. DOSY'den elde edilen maksimum görelî öteleme oranı $(\delta_i/h_i)_{DOSY}$ ile ilgili kattaki tasarım görelî öteleme oranları $(\delta_i/h_i)_T$ karşılaştırıldığında; DD-2 düzeyi için DOSY görelî öteleme oranları tasarıma göre 2KB'de %45, 4KB'de %35, 8KB'de %40 düşük kalmıştır. DD-1 için ise spektral olarak 1.5 kat daha büyük deprem uygulanmasına rağmen halen tasarım değerlerinden 2KB'de %20, 4KB ve 8KB'de %5 daha düşük elde edilmiştir (şekil 3.30).
- MÇÇ doğrultusunda DD-2 için 2KB ve 4KB'de DOSY ile tasarım görelî öteleme oranları daha uyumlu elde edilirken, 8KB'de DOSY maksimum görelî öteleme oranı tasarıma göre %25 düşük kalmıştır. DD-1 için 8KB'de tasarımla birebir uyumlu sonuçlar elde edilirken, 2KB'de tüm katlarda, 4KB'de ise sadece 1.katta görelî öteleme oranları önemli ölçüde aşılmıştır. 2KB'de DOSY değerleri tasarım değerlerini %25, 4KB'de ise 1. katta %40 oranında aşmıştır (şekil 3.30).

TBDY'e göre, asal doğrultularda ayrı ayrı yapılan itme analizi sonuçlarının Denk. (2.1) ile birleştirilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında incelenen binalarda iki dik doğrultudaki taşıyıcı sistemlerin (MAÇ ve MÇÇ) birbirine mafsallı olarak bağlanması nedeniyle depremin ortak etkisi ihmal edilmiştir. İhmal edilen diğer doğrultu etkisinin köşe kolon kesit tesirleri üzerindeki mertebesini ortaya koymak amacıyla, binaların kritik alt kat kolonlarında tek doğrultulu itme analizi sonuçları ve %30'luk diğer doğrultu etkisi ile birleştirilmiş sonuçlar DD-1 düzeyi için şekil 3.31'de karşılaştırılmıştır. şekil 3.31'de E_x ve E_y ilgili doğrultulardaki hedef yerdeğiştirmeye karşılık gelen kesit tesirlerini, $0.30E_x$ ve $0.30E_y$ hedef yerdeğiştirmeye karşılık gelen kesit tesirlerinin %30'unu ifade etmektedir.



a)



b)

Şekil 3.31: Kritik köşe kolonlarında iki doğrultulu deprem yüklemesinin etkisi (DD-1 için)
a) 2KB binası köşe kolonunda b) 4KB ve 8KB binaları köşe kolonunda.

Binaların kritik köşe kolonlarına ait karşılıklı etki diyagramı üzerinde verilen M ve N değerlerindeki değişim incelendiğinde, birbirine mafsallı olarak bağlanan sistemler üzerindeki ortak deprem etkisinin DD-1 düzeyinde dahi oldukça düşük olduğu görülmüştür (Şekil 3.31). Bu çalışma kapsamında ihmal edilen deprem etkisi dikkate alınsa dahi sonuçlar üzerinde önemli değişikliklere neden olmayacağı görülmektedir.

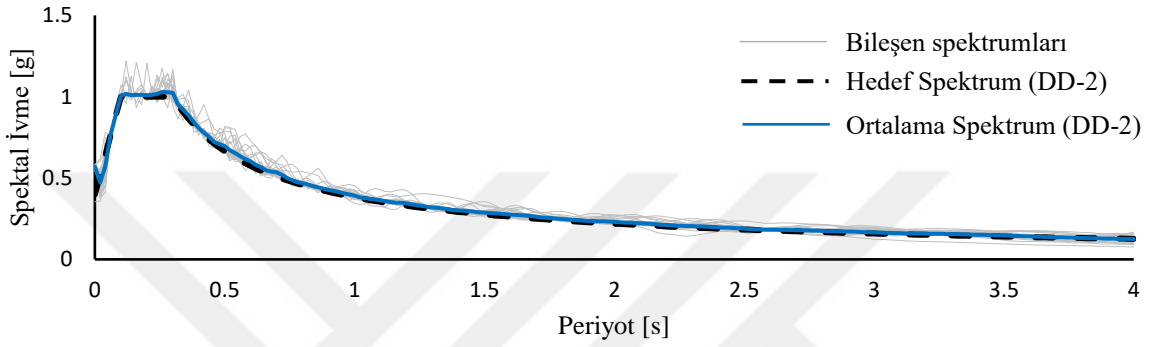
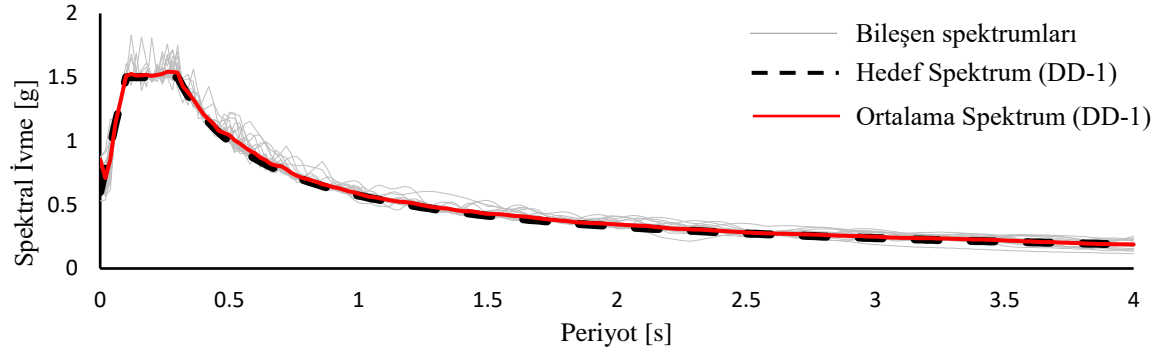
3.3.2 Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem (DODY) ile Performans Değerlendirmesi

Örnek bina modellerinin DODY ile değerlendirilmesi Bölüm 2.1.2’deki esaslar çerçevesinde yapılmıştır. Değerlendirmede kullanılmak üzere PEER [61] veri tabanından, farklı fay mekanizmaları içeren ve uzak fay özelliğinde 15 güçlü deprem yer hareketi kaydı seçilmiştir. Deprem kayıtlarına ait temel karakteristikler Tablo 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.17. Deprem kayıtlarına ait karakteristikler [61].

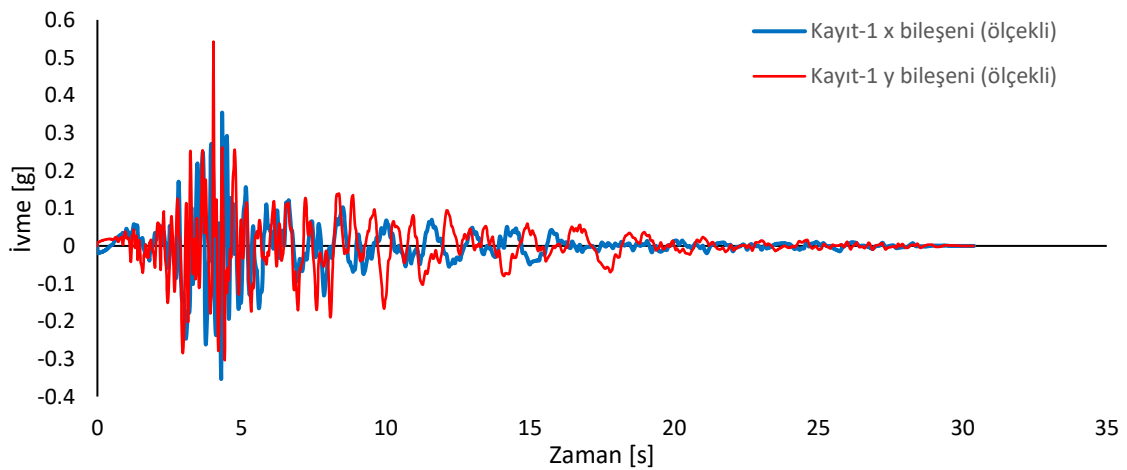
Kayıt no	Deprem adı	PEER Kodu	Büyükölç	Mekanizma tipi	Faya uzaklık	Vs30 (m/s)	Maks. yer ivmesi (g) Bileşen-x	Bileşen-y
1	Parkfield	RSN33	6.19	Yanal atımlı fay	15.96	527.92	0.35652	0.27274
2	San Fernando	RSN71	6.61	Eğim atımlı ters fay	19.30	602.10	0.38215	0.28217
3	Friuli_Italy-01	RSN125	6.50	Eğim atımlı ters fay	15.82	505.23	0.35713	0.31512
4	Imperial Valley-06	RSN169	6.53	Yanal atımlı fay	22.03	242.05	0.23570	0.34970
5	Coalinga-01	RSN322	6.36	Eğim atımlı ters fay	24.02	274.73	0.22538	0.28846
6	Loma Prieta	RSN752	6.93	Yanal ve eğim atımlı	15.23	288.62	0.51113	0.43860
7	Loma Prieta	RSN811	6.93	Yanal ve eğim atımlı	17.47	388.33	0.37318	0.65397
8	Landers	RSN848	7.28	Yanal atımlı fay	19.74	352.98	0.28368	0.41720
9	Northridge-01	RSN953	6.69	Eğim atımlı ters fay	17.15	355.81	0.44341	0.48796
10	Northridge-01	RSN1087	6.69	Eğim atımlı ters fay	15.60	257.21	1.77942	0.99024
11	Kocaeli_Turkey	RSN1158	7.51	Yanal atımlı fay	15.37	281.86	0.31191	0.36418
12	Chi-Chi_Taiwan	RSN1203	7.62	Yanal ve eğim atımlı	16.04	233.14	0.27255	0.20370
13	Chi-Chi_Taiwan	RSN1485	7.62	Yanal ve eğim atımlı	26.00	704.64	0.47308	0.50682
14	Cape Mendocino	RSN3746	7.01	Eğim atımlı ters fay	18.31	459.04	0.31808	0.47764
15	El Mayor-Cucapah_	RSN5827	7.20	Yanal atımlı fay	15.91	242.05	0.53762	0.40816

DD-2 düzeyi deprem yer hareketine ait spektrum esas alınarak 15 çift ivme kaydı spektral uyum yöntemi ile ölçeklenmiştir. Spektral uyum, spektrumun 0-4s periyot bölgesinde uygulanmış ve ölçeklemede SeismoMatch 2023 [62] programı kullanılmıştır. Elde edilen kayıtlara ait yer ivmesi değerleri ve spektral ivme değerleri 1.5 kat arttırılarak DD-1 düzeyine ait ölçekli kayıtlar ve spektrumlar elde edilmiştir. DD-1 ve DD-2 deprem düzeyine ait hedef spektrumlar ve ölçeklenmiş bileşen spektrumları Şekil 3.32’de verilmiştir.

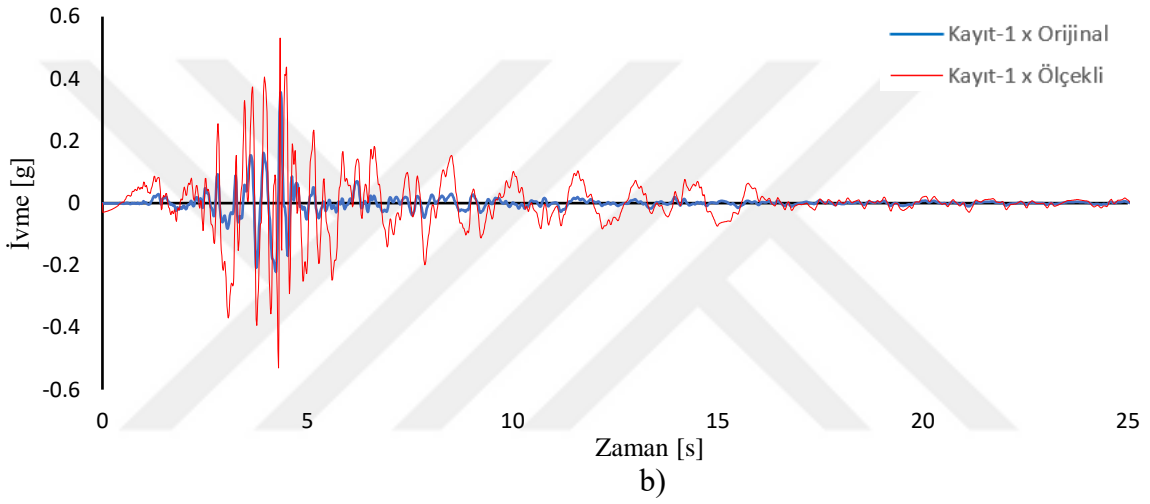
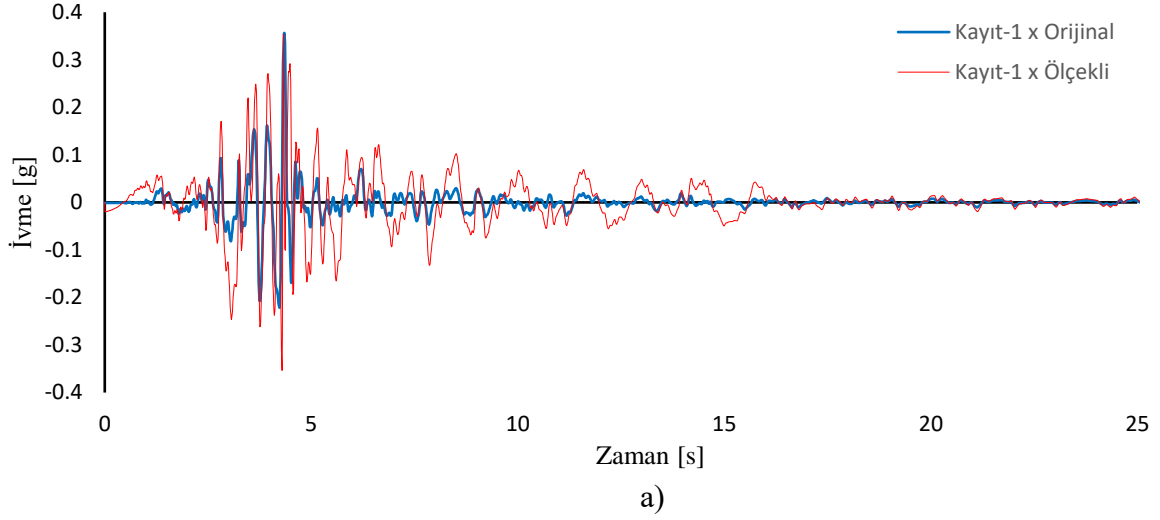


Şekil 3.32: Spektral uyuşum sonucu elde edilen DD-1 ve DD-2 ivme spektrumları.

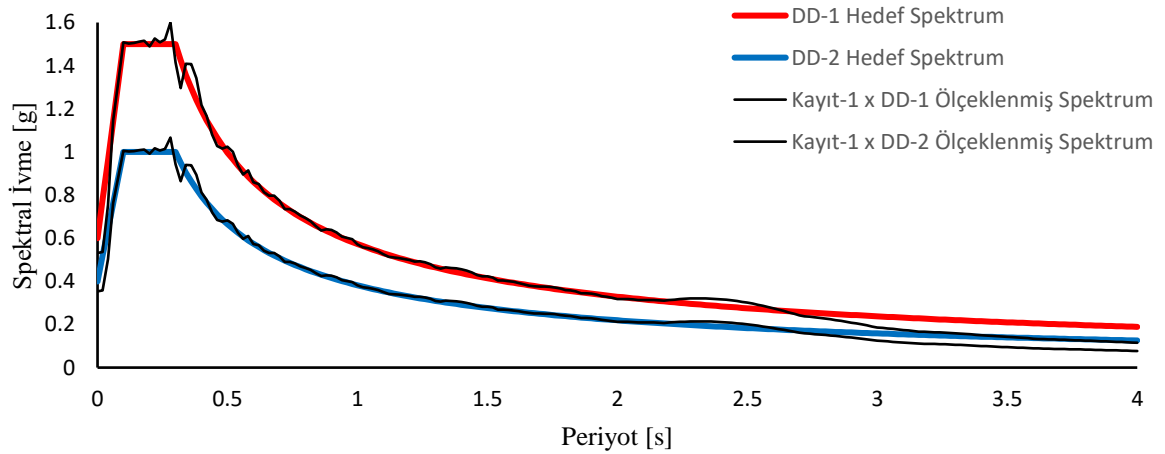
Kayıt-1'e ait ölçeklenmiş x ve y bileşenleri Şekil 3.33'te, kayıt-1 x bileşenine (N-S) ait orijinal ve ölçekli ivme kayıtları Şekil 3.34'te ve ilgili spektrumlar DD-2 ve DD-1 düzeyi hedef spektrumlar ile birlikte Şekil 3.35'te gösterilmiştir. Diğer depremlere ait kayıtların DD-2'ye göre ölçeksiz ve ölçekli ivme- zaman grafikleri EK-B'de verilmiştir.



Şekil 3.33: Kayıt-1 x ve y bileşeni için ölçeklenmiş ivme-zaman grafiği.



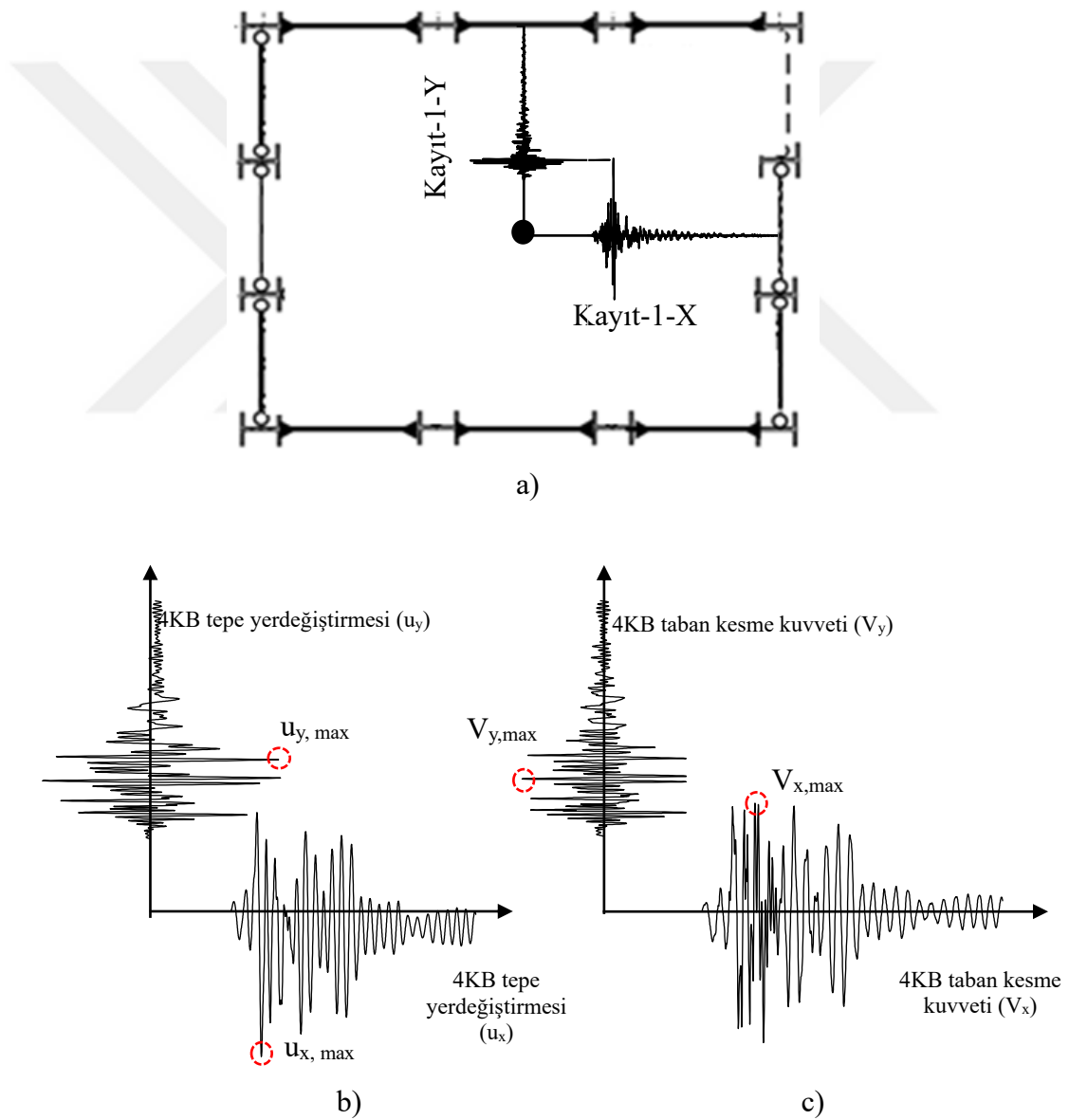
Şekil 3.34: Kayıt-1 x bileşeni orijinal ve ölçeklenmiş ivme-zaman grafiği a)DD-2 b)DD-1.



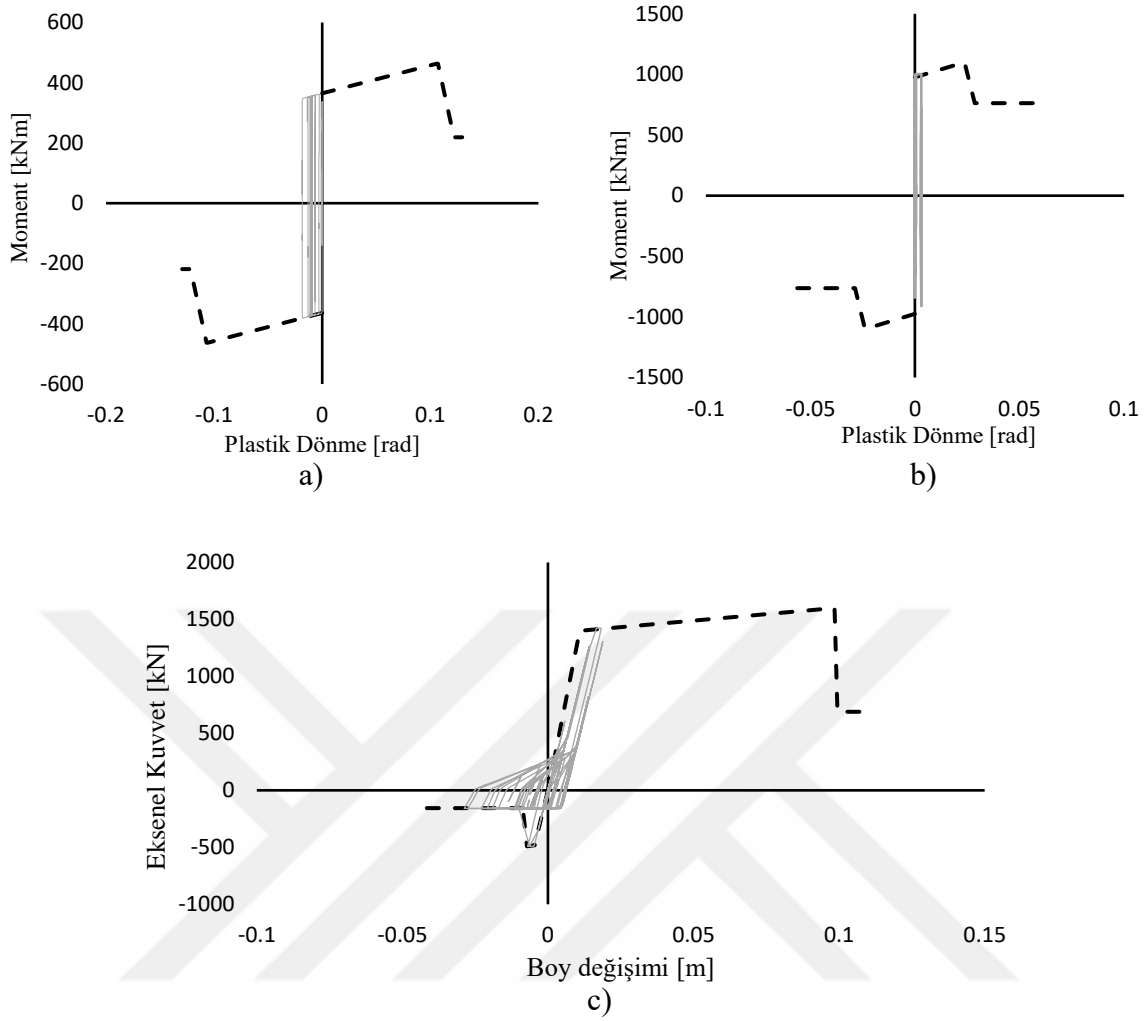
Şekil 3.35: Kayıt-1 x bileşeni orijinal ve ölçeklenmiş ivme spektrumları a)DD-2 b)DD-1.

Spektral uyuşum yöntemi ile yapılan ölçeklemeler sonucu hedef spektrumlar ile oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiş ve TBDY’de öngörülen “ortalama spektrum, hedef spektrumun ordinatlarının üzerinde olmalıdır” koşulu sağlanmıştır (Şekil 3.32).

Ölçeklenmiş 15 çift deprem ivme kaydı iki doğrultulu olarak uygulanmıştır (Şekil 3.36). Bileşen çifti 90° döndürülerek analizler tekrarlanmıştır. Buna göre her bir deprem düzeyi (DD-2, DD-1) için 30 kez doğrusal olmayan dinamik analiz uygulanmıştır. İki doğrultulu deprem davranışını göstermek amacıyla 4KB modelinde Kayıt-1 için elde edilen bazı davranış büyüklükleri örnek olarak Şekil 3.36-3.37’de gösterilmiştir.

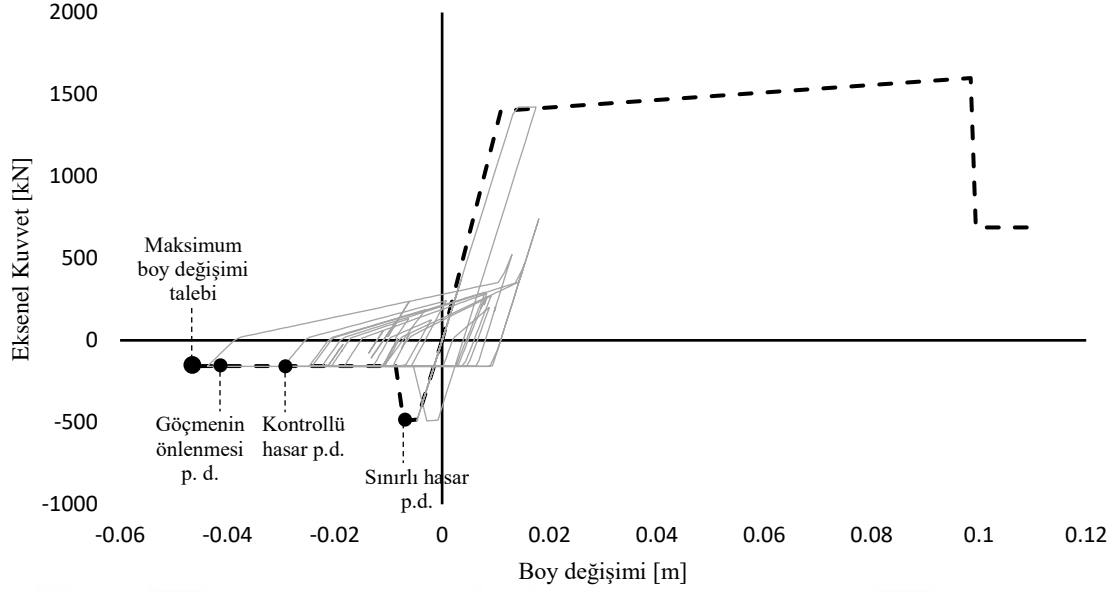


Şekil 3.36: 4KB binasında a) uygulanan ivme kayıtları b) MAÇ ve MÇÇ’ye ait tepe yerdeğiştirmesi-zaman değişimi c) MAÇ ve MÇÇ’ye ait taban kesme kuvveti-zaman değişimi.



Şekil 3.37: 4KB binasında a) K1-1 mafsalı moment- plastik dönme bağıntısı b) S2-1 mafsalı moment- plastik dönme bağıntısı c) Ç1 mafsalı aksenal kuvvet- boy değişimi bağıntısı.

Her bir davranış büyüklüğü (plastik dönme, taban kesme kuvveti vb.) için 30 analizden elde edilen mutlak maksimum değerlerin aritmetik ortalaması alınarak talepler belirlenmiştir. DD-1 düzeyi talepleri belirlenirken 4KB binasında 1 adet çapraz elemanda kayıtların 4'ünde basınç altında TBDY'de verilen *Göçmenin Önlenmesi* sınırı belirli ölçüde aşılmıştır (Şekil 3.38, Tablo 3.18). *Göçmenin Önlenmesi* sınırı aşılacak elemanda şekildeğiştirme kapasitesinin devam ettiği kabul edilerek ortalama talepler belirlenmiştir. DD-2 deprem düzeyinde ise hiçbir binanın çaprazlarında *Göçmenin Önlenmesi* sınırı aşılmamıştır.

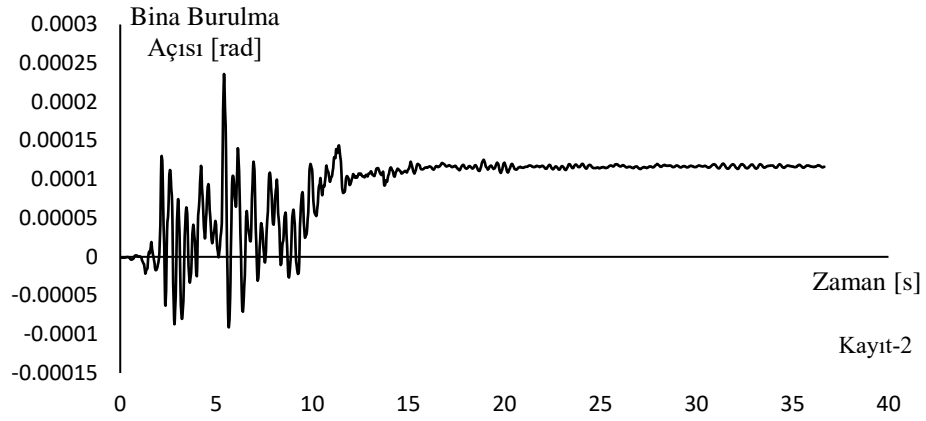


Şekil 3.38: Kayıt-5 (DD-1 düzeyi) için Göçmenin Önlenmesi sınırının aşıldığı 4KB MÇÇ sistem Ç2 mafsalına ait eksenel kuvvet-boy değişimi davranışı.

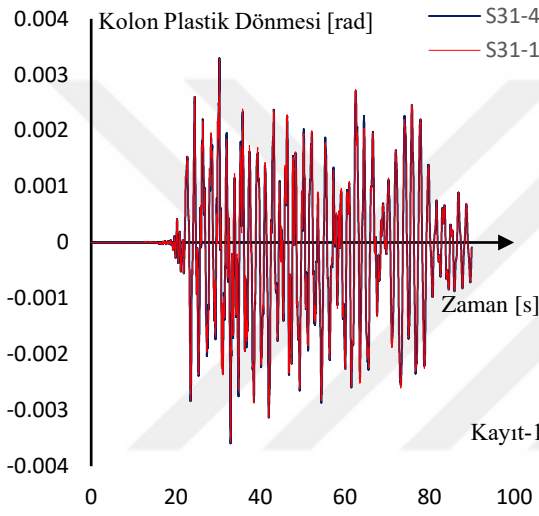
Tablo 3.18: DD-1 düzeyi için basınç altında GÖ performans sınırı aşılan elemana ait talepler.

Bina No	Mafsal Adı	Analiz No	DD-1 Düzeyi İçin Maksimum Talep [m]	GÖ Sınırı [m]
4KB	Ç2	5	0.0450	0.0414
		26	0.0491	
		27	0.0492	
		28	0.0439	

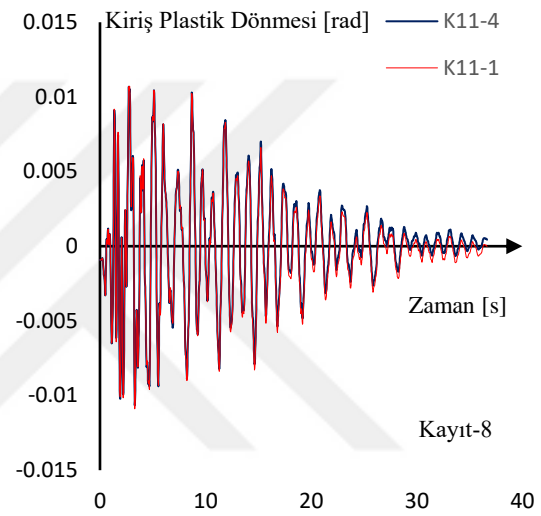
Farklı iki bileşen kullanılarak yapılan iki doğrultulu analizin, binanın burulma davranışı ve simetrik elemanlarındaki plastik şekildeğiştirme talepleri üzerindeki etkisini göstermek amacıyla maksimum plastik şekildeğiştirmeye maruz kalan elemanlarda, simetriği olan eleman ile birlikte ilgili kayda ait plastik şekildeğiştirme-zaman grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 3.39). Binada her iki yönde de burulmalar meydana geldiği ancak bunların çok düşük düzeyde olması nedeniyle eleman plastik şekildeğiştirmelerinin simetrik gerçekleştiği görülmüştür.



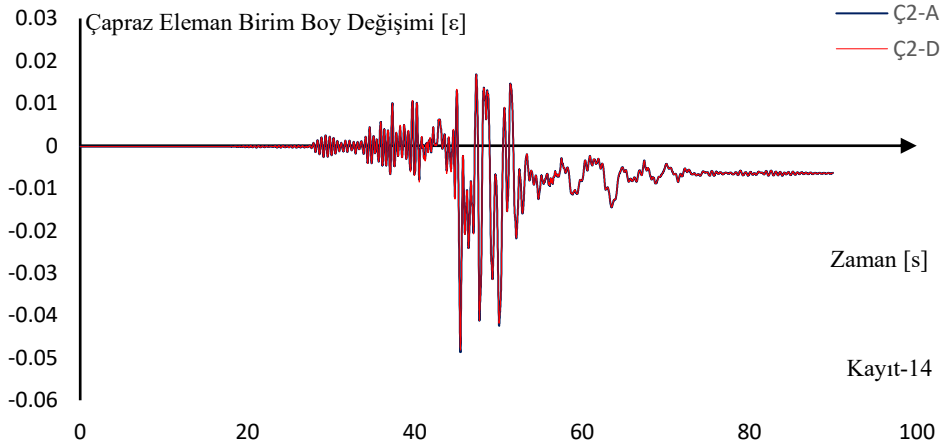
a)



b)



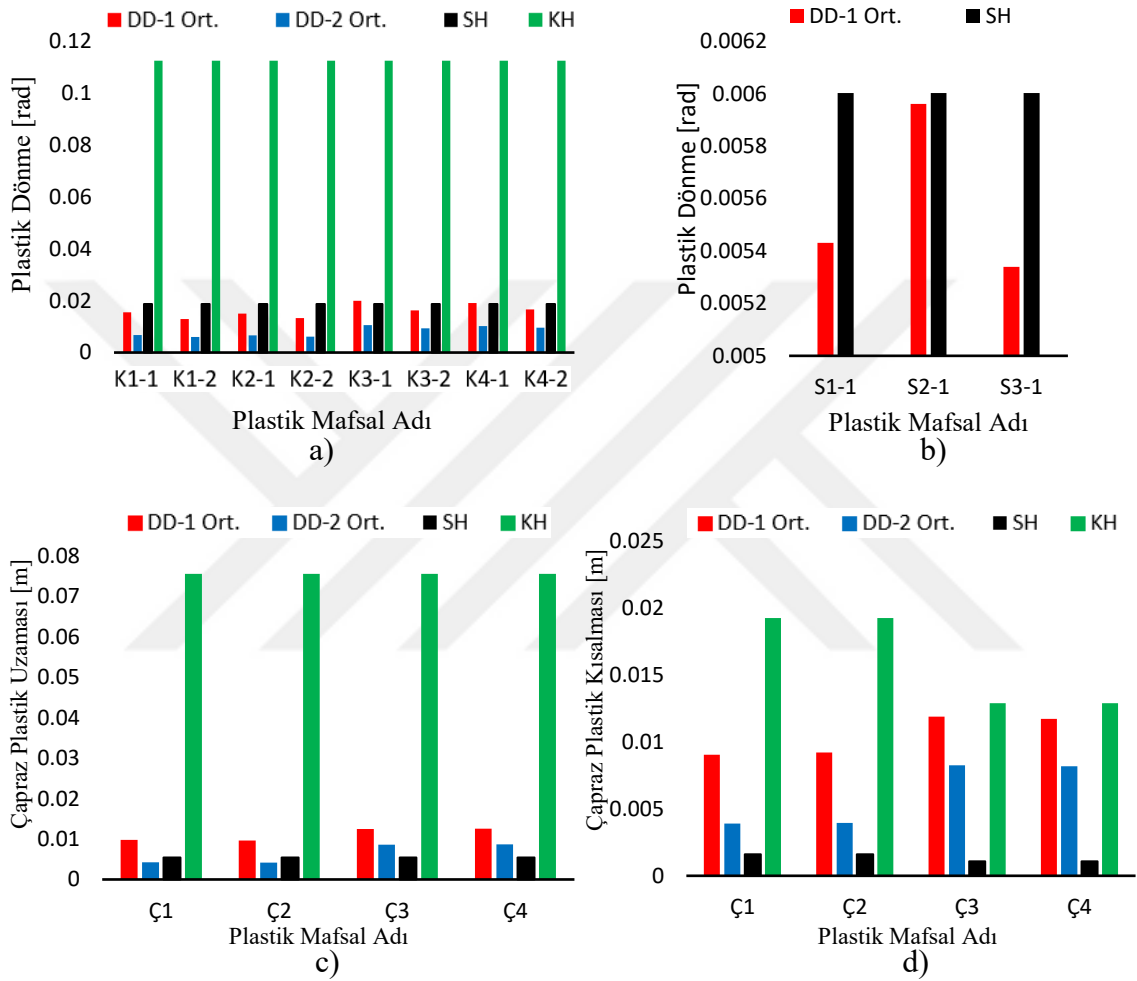
c)



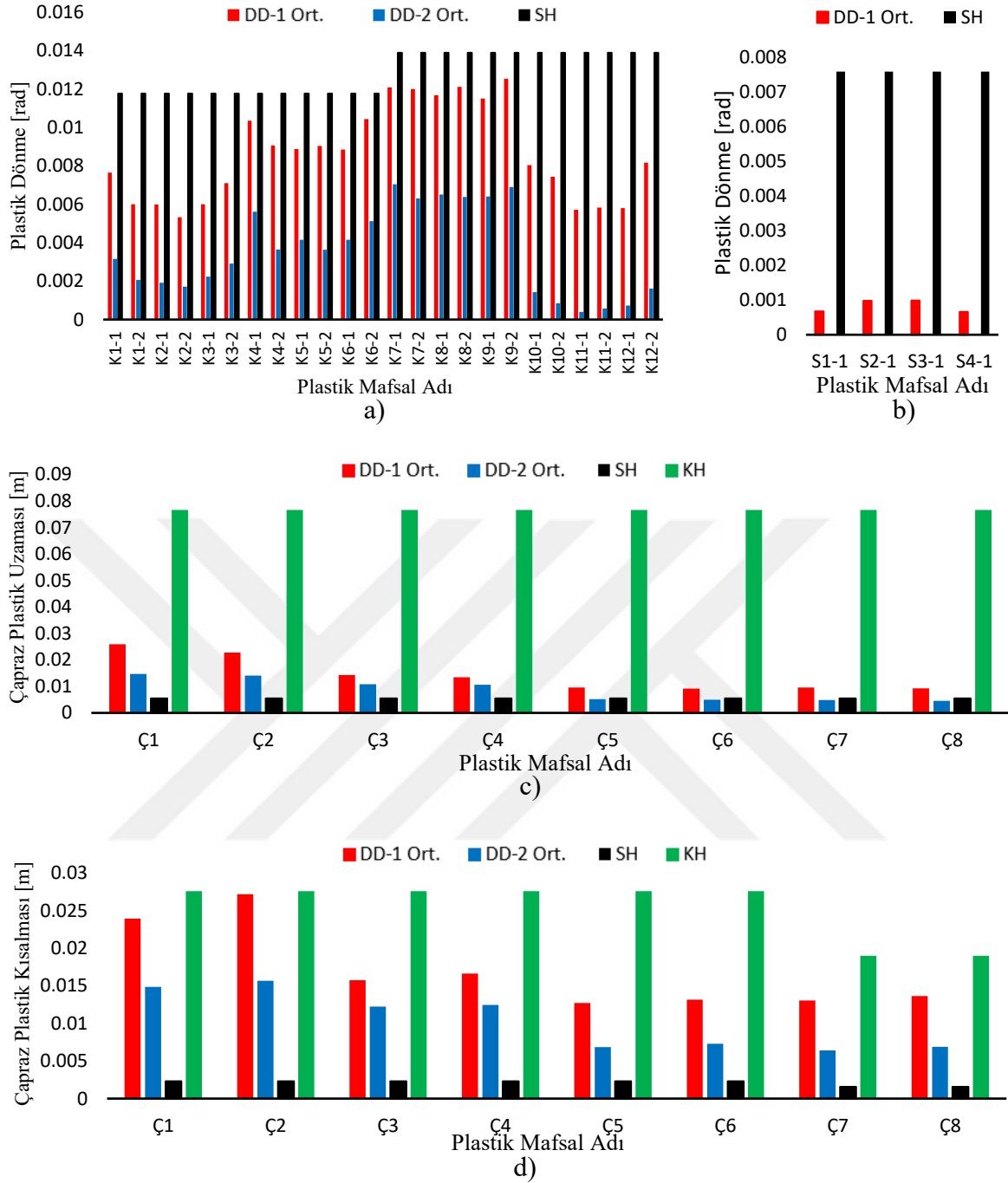
d)

Şekil 3.39: 4KB’de a) bina burulma davranışı b) simetrik kolon elemanlardaki plastik şekildeğiştirme değişimi c) simetrik kiriş elemanlardaki plastik şekildeğiştirme değişimi d) simetrik çapraz elemanlarda plastik şekildeğiştirme değişimi.

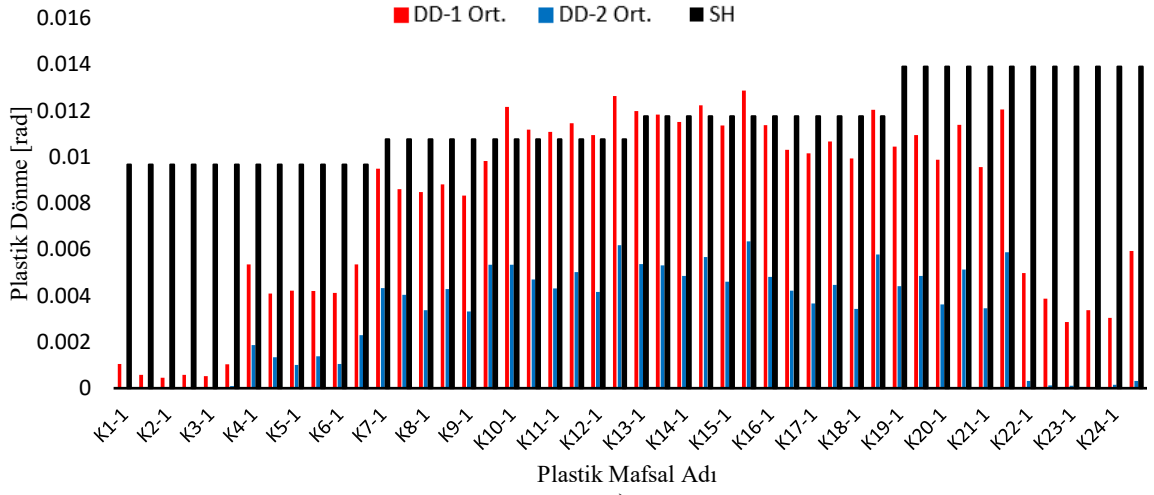
Her bir plastikleşen kesitte 30 analizden elde edilen maksimum plastik şekildeğiştirmelerin aritmetik ortalaması alınmıştır. Ortalama plastik şekildeğiştirme talepleri, TBDY performans düzeyi sınırları ile karşılaştırılarak performans düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 3.40-3.42). Kolon ve kirişlerde 0.0005 rad'lık plastik dönmeden daha küçük ortalama talepler şekillerde gösterilmemiştir.



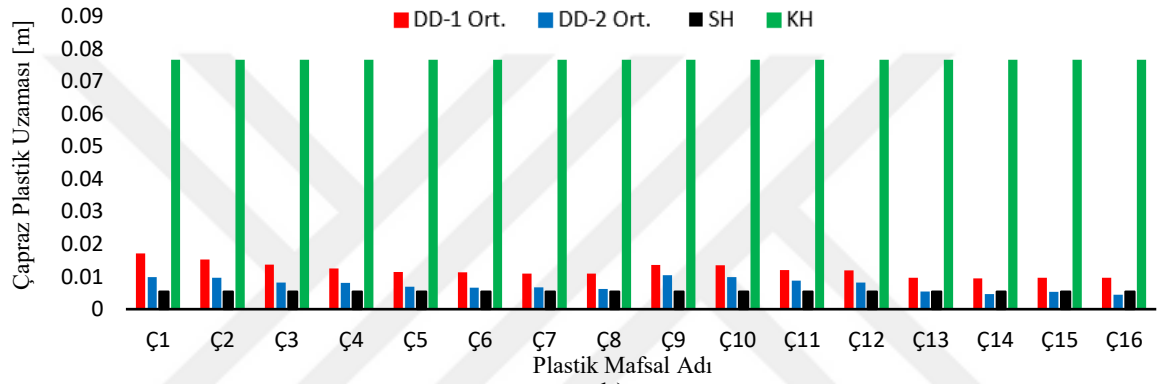
Şekil 3.40: 2KB’de DODY ortalama talepleri ve performans sınırları a) kirişler b) kolonlar c) çaprazlar (çekme) d) çaprazlar (basınç).



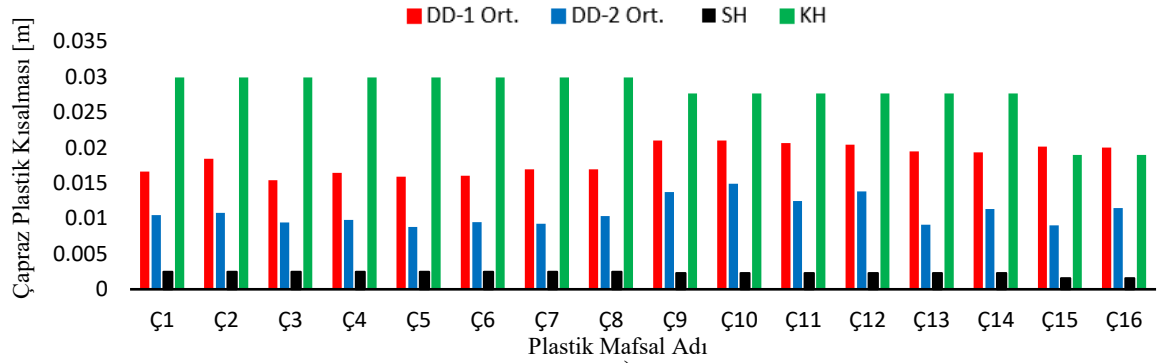
Şekil 3.41: 4KB’de DODY ortalama talepleri ve performans sınırları a) kirişler b) kolonlar c) çaprazlar (çekme) d) çaprazlar (basınç).



a)



b)

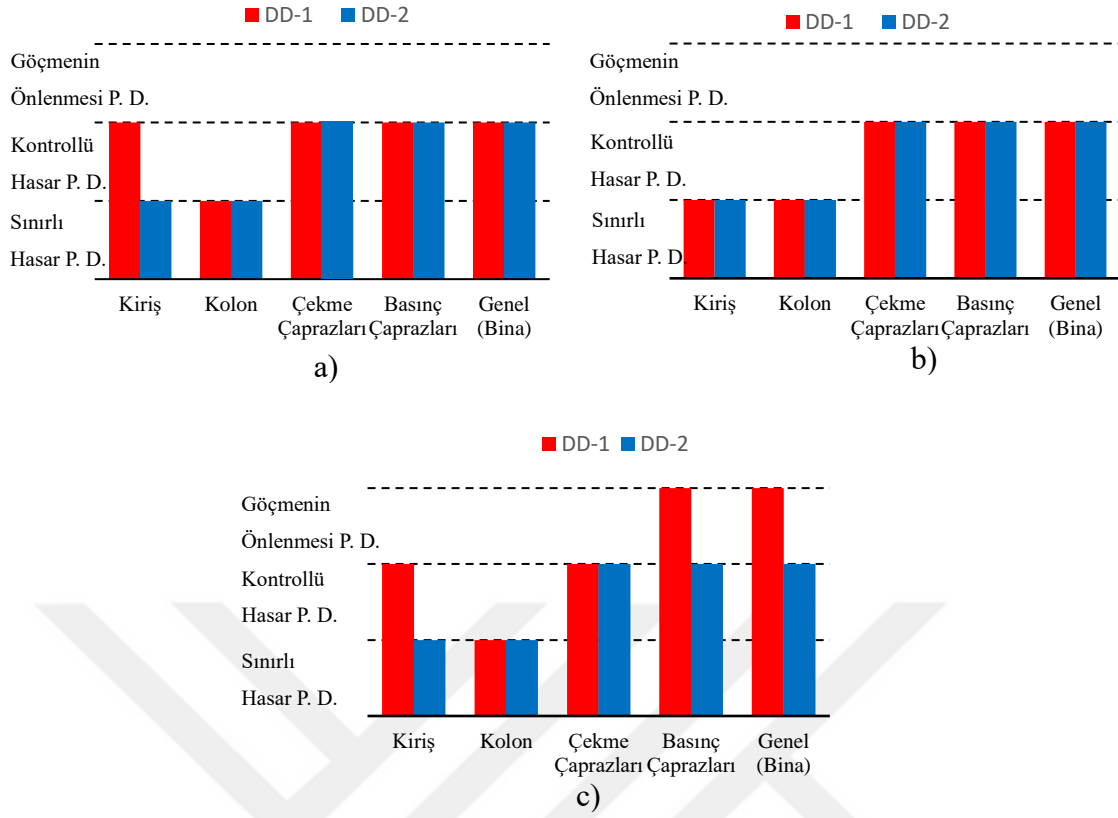


c)

Şekil 3.42: 8KB’de DODY ortalama talepleri ve performans sınırları a) kirişler b) çaprazlar (çekme) d) çaprazlar (basınç).

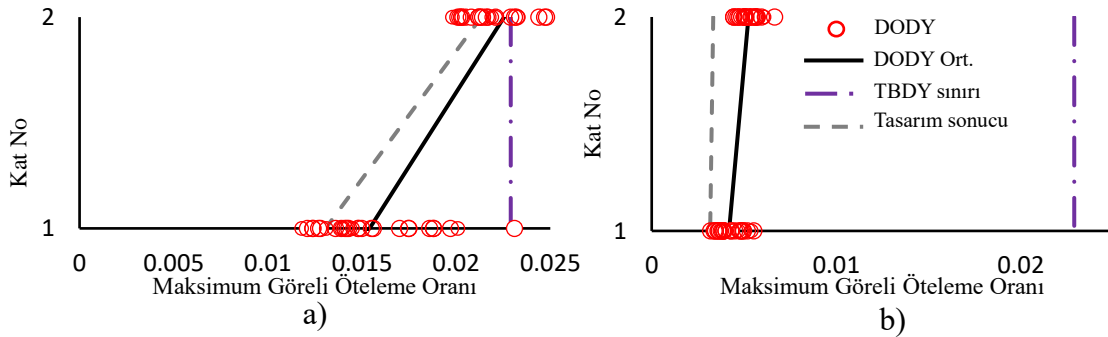
Her bir binada kirişler, kolonlar ve çapraz elemanlar için DODY ile elde edilen en elverişsiz performans düzeyleri esas alınarak bina genel performans düzeyleri belirlenmiştir (Şekil 3.43).

- 2KB’de DD-2 deprem düzeyi için kiriş ve kolonlarda *Sınırlı Hasar (SH)* performans düzeyi sağlanırken, 4 adet çekme ve 8 adet basınç çaprazında *Kontrollü Hasar (KH)* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre bina performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-2 düzeyi için öngörülen *KH* performans düzeyi sağlanmıştır.
- 2KB’de DD-1 deprem düzeyi için kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 4 adet kirişte *KH*, 8 adet çekme ve basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre bina performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. DD-1 düzeyi için öngörülenin üzerinde bir performans elde edildiği söylenebilmektedir.
- 4KB’de DD-2 deprem düzeyi için kirişler ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 8 adet çekme ve 16 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-2 düzeyi için öngörülen *KH* performans düzeyi sağlanmıştır.
- 4KB’de DD-1 deprem düzeyi için kirişler ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 16 adet çekme ve 16 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. DD-1 düzeyi için öngörülenin üzerinde bir performans elde edildiği söylenebilmektedir.
- 8KB’de DD-2 deprem düzeyi için kirişlerde ve kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 24 adet çekme ve 32 adet basınç çaprazında *KH* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *KH* olarak belirlenmiştir. TBDY’ye göre DD-2 düzeyi için öngörülen *KH* performans düzeyi sağlanmıştır.
- 8KB’de DD-1 deprem düzeyi için kolonlarda *SH* performans düzeyi sağlanırken, 20 adet kirişte *KH* performans düzeyi, 32 adet çekme ve 28 basınç çaprazında *KH*, 2 adet basınç çaprazında *GÖ* performans düzeyi elde edilmiş ve buna göre binanın performans düzeyi *GÖ* olarak belirlenmiştir. DD-1 düzeyi için öngörülen performans düzeyinin elde edildiği söylenebilmektedir.

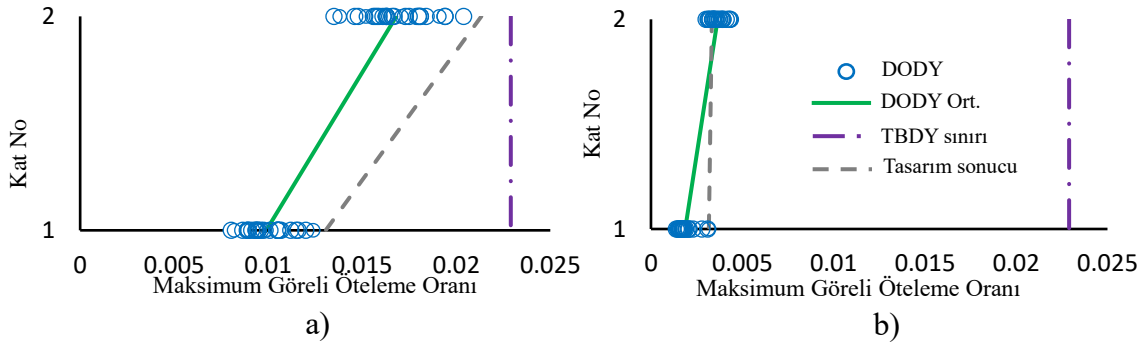


Şekil 3.43: DODY ortalama taleplere göre eleman ölçüğünde ve genel performans düzeyleri a) 2KB b) 4KB c) 8KB.

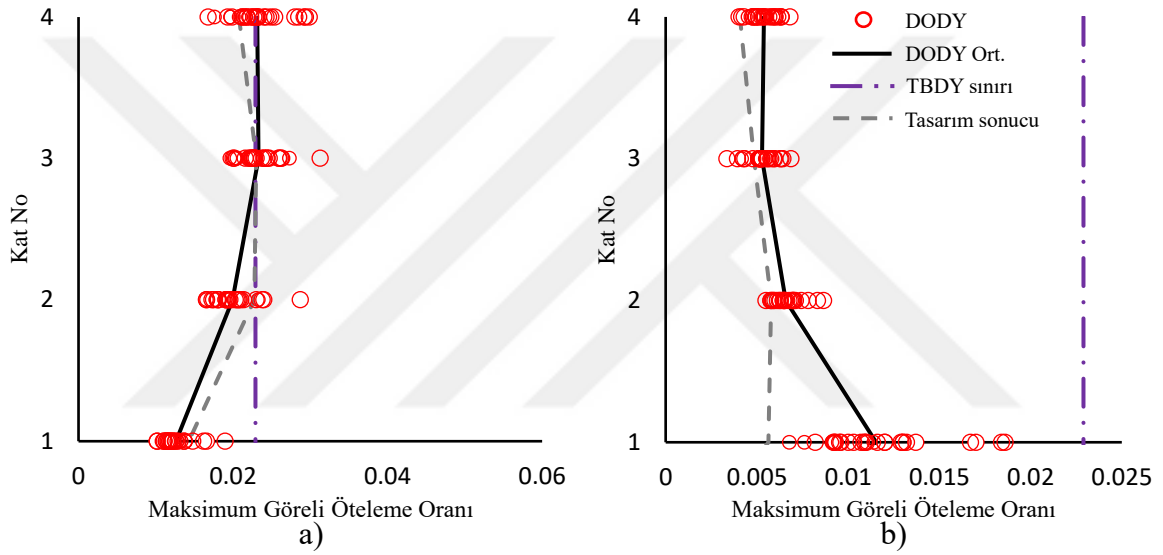
DD-2 ve DD-1 düzeyi depremler için yapılan analizlerden her iki doğrultudaki maksimum görelî öteleme oranları belirlenmiş ve bunlar tasarımda elde edilen değerler ve TBDY sınırı ile birlikte Şekil 3.44-3.49’de verilmiştir. Grafiklerde her bir deprem kaydı için elde edilen maksimum görelî öteleme oranı “DODY” ile, tüm depremlere ait sonuçların ortalaması “DODY Ort.” olarak ifade edilmiştir.



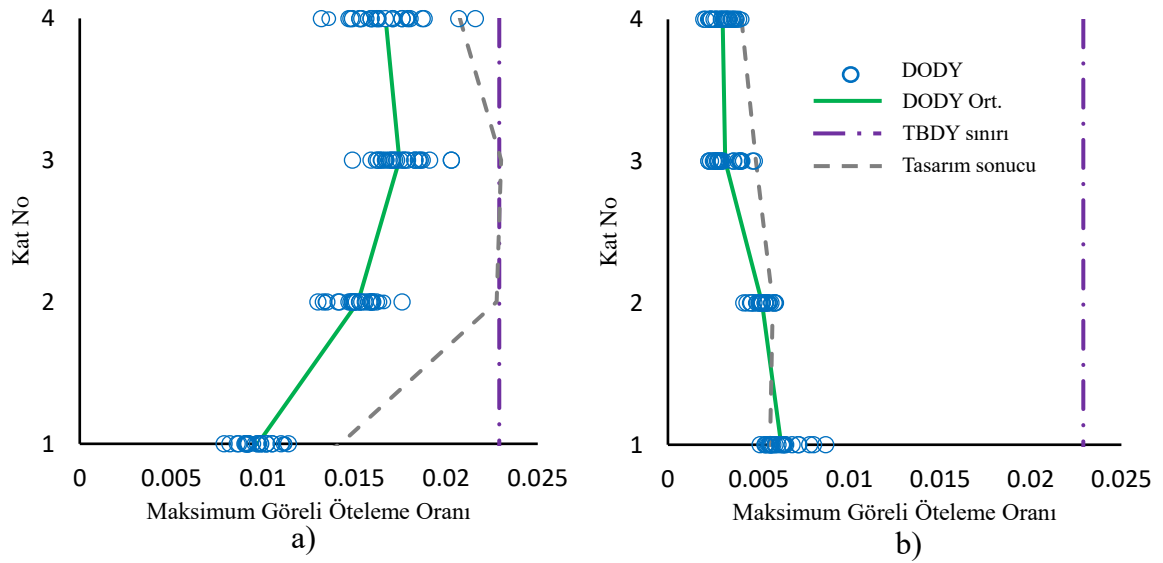
Şekil 3.44: 2KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



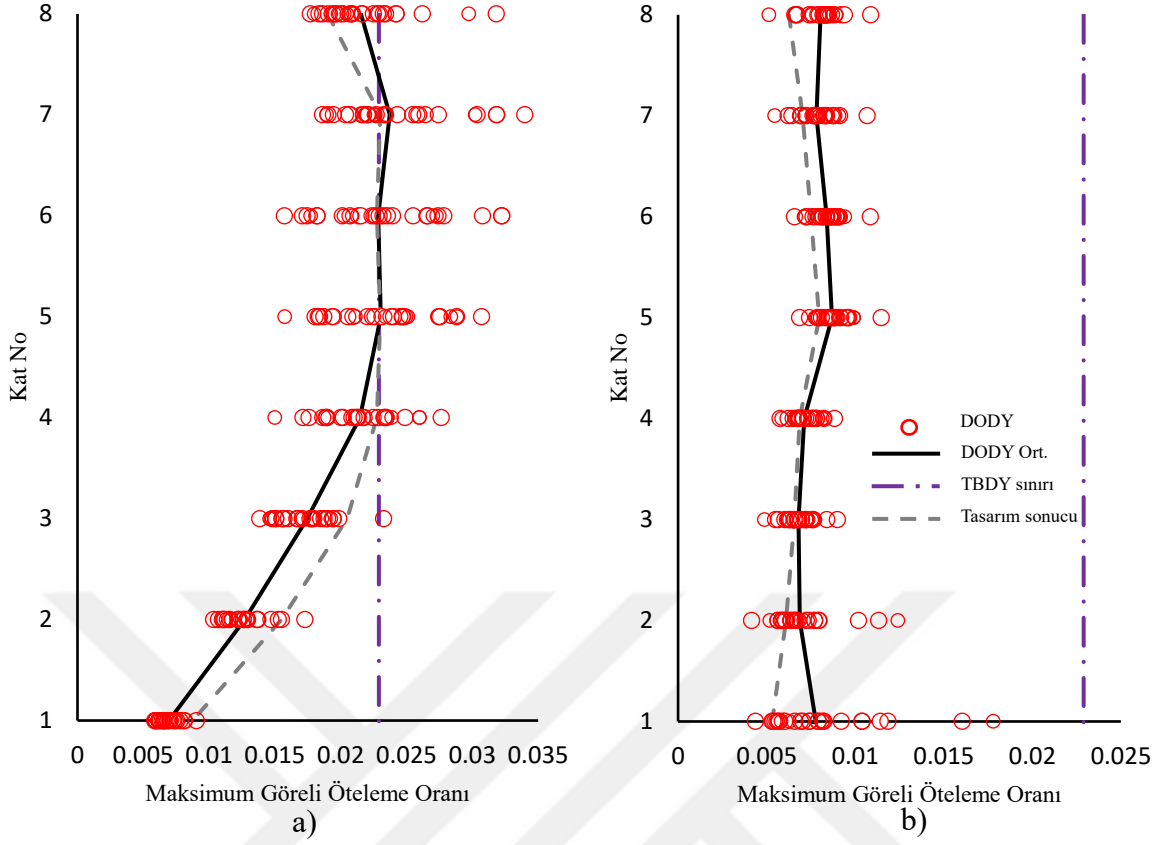
Şekil 3.45: 2KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



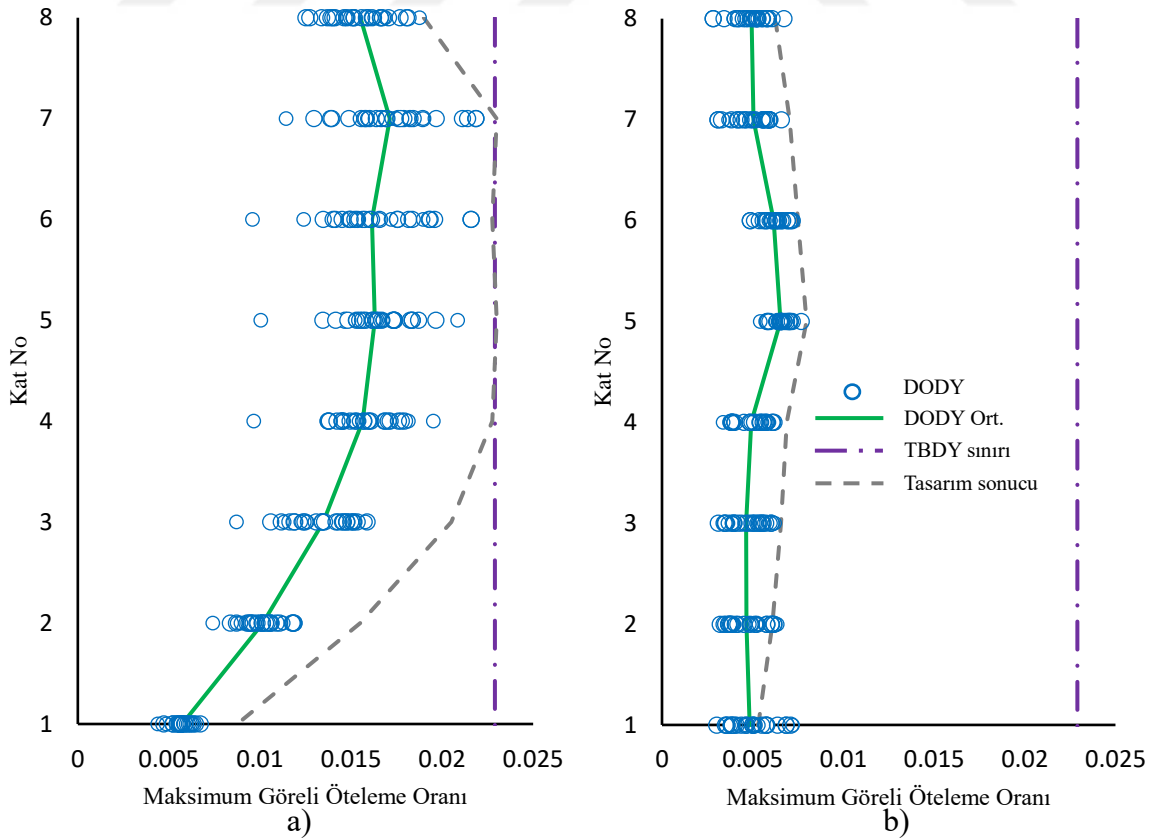
Şekil 3.46: 4KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.47: 4KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.48: 8KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



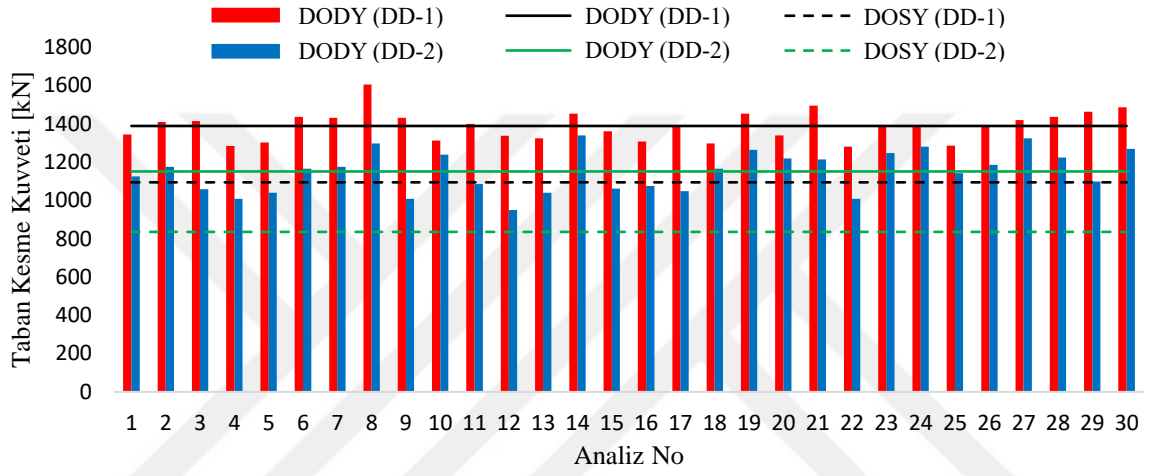
Şekil 3.49: 8KB’de DODY maks. görelî öteleme oranları (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.

DODY'den elde edilen maksimum görelî öteleme oranları değerlendirildiğinde;

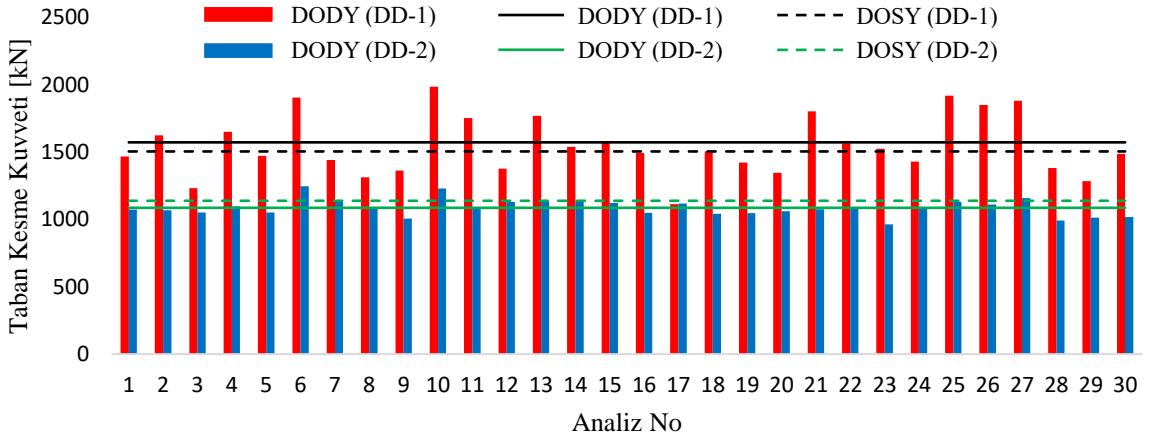
- Binaların MAÇ sistemlerinde DD-2 düzeyi için elde edilen ortalama görelî öteleme oranları tasarımda öngörülen değerlerin ve yönetmelik sınırının oldukça altında kalmıştır. Depremlerden elde edilen maks. görelî öteleme oranları bağımsız olarak değerlendirildiğinde 2KB ve 8KB'de hiçbir deprem için tasarım görelî öteleme oranı değerleri aşılmazken, 4KB'de 2 deprem için 4. kata ait maks. görelî öteleme oranları tasarım görelî öteleme oranına ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlara göre MAÇ sistemlere ait maks. görelî öteleme oranlarının, yönetmelikte öngörülen sınırlara göre oldukça güvenli olduğu görülmüş ve performans düzeyleri ile paralel sonuçlar elde edildiği anlaşılmıştır.
- Binaların MÇÇ sistemlerinde DD-2 düzeyi için elde edilen ortalama görelî öteleme oranlarının tasarım sonuçları ile genel olarak uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak 2KB'de 2. katta, 4KB'de ise 1. katta ortalama görelî öteleme oranı tasarım değerlerini bir miktar aşmış ancak bunlar da TBDY sınırının çok altında kalmıştır. Depremlerden elde edilen maks. görelî öteleme oranları değerlendirildiğinde 4KB ve 8KB binalarında 1. katta çok sayıda deprem kaydı için tasarım değerlerinin aşıldığı görülmüştür. MÇÇ'lerde yatay deprem etkileri aksenal şekildeğiştirmeler ile karşılandığı için MAÇ'lerden farklı olarak görelî öteleme oranları ile performans düzeylerine ait sonuçlar önemli ölçüde ayrılmıştır. Maksimum görelî öteleme oranları dahi TBDY sınırının çok altında kalırken, eleman/bina performans düzeyleri bakımından yönetmelik sınırına (*Kontrollü Hasar*) ulaşılmıştır.
- Binaların MAÇ sistemlerinde DD-1 düzeyi için elde edilen ortalama görelî öteleme oranlarının dahi genel olarak tasarım değerlerini aşmadığı görülmüştür. DD-1 düzeyinde 2KB ve 4KB'de ortalama görelî ötelemeler yönetmelik sınırını aşmazken, 8KB'de 7. kat için yönetmelik sınırı bir miktar aşılmıştır. Depremlerden elde edilen maks. görelî öteleme oranları değerlendirildiğinde, MAÇ'lerde hem yönetmelik sınırının hem de tasarım değerlerinin çok sayıda kayıt için aşılabildiği görülmüştür.
- Binaların tümünün MÇÇ sistemlerinde DD-1 düzeyi için elde edilen ortalama görelî öteleme oranlarının tasarım değerlerini aştığı belirlenmiştir. Özellikle 4KB ve 8KB'de 1. katlar için ortalama değerler tasarım değerlerini sırasıyla %90 ve %50 oranında, 2KB'de ise 2. katta %50 oranında aşmıştır. Ancak her bir depremden elde edilen maks. görelî ötelemeler dahi yönetmelik sınırının oldukça altında kalmıştır.

3.3.3 DOSY ve DODY Sonuçlarının Karşılaştırılması

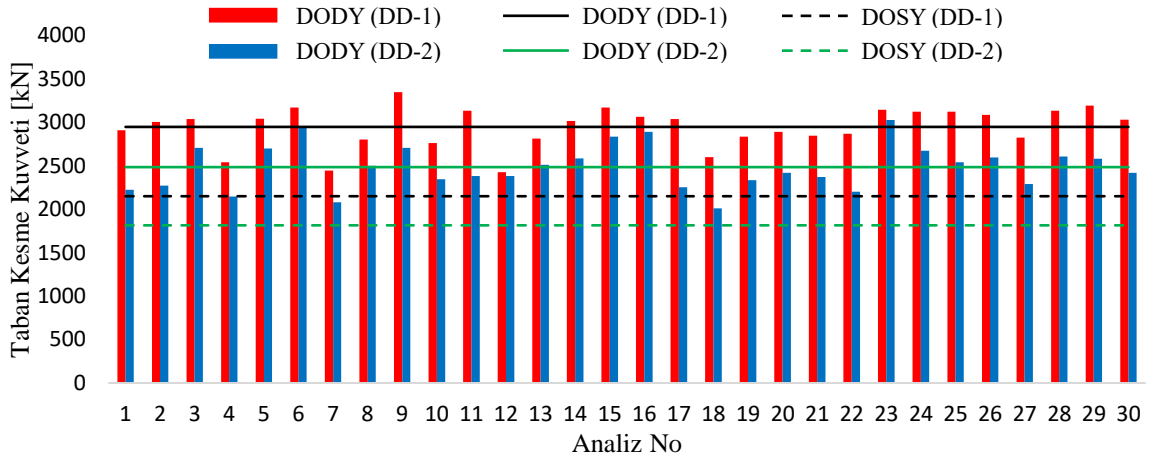
Bina örnekleri üzerinde gerçekleştirilen DOSY ve DODY çözümlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 3.50-3.75’de karşılaştırılmıştır. Taban kesme kuvveti ve tepe yerdeğiştirmesi grafiklerinde Analiz No ile 15 çift deprem kaydının 90° döndürülerek 2’şer kez uygulanan DODY çözümleri ifade edilmektedir. Plastik şekildeğiştirme grafiklerinde kiriş, kolon ve çaprazlar için her bir katta elde edilen maksimum değerler karşılaştırılmıştır. 8KB’de sadece alt kat kolonlarının alt uçlarında DD-1 ve DD-2 için plastikleşmeler başlamış ancak plastik dönme değerleri 0.005 rad’ın altında kaldığı için gösterilmesine gerek duyulmamıştır.



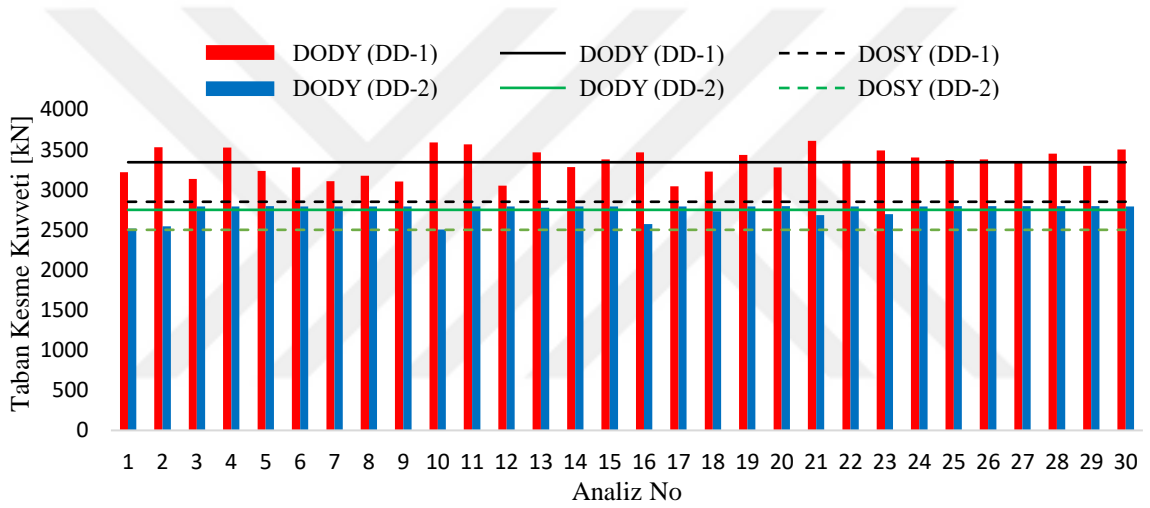
Şekil 3.50: 2KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



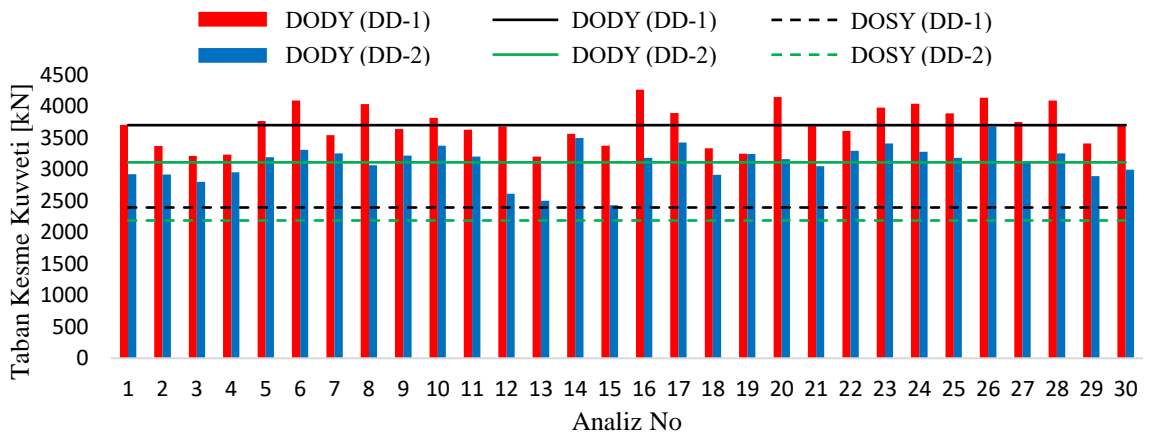
Şekil 3.51: 2KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



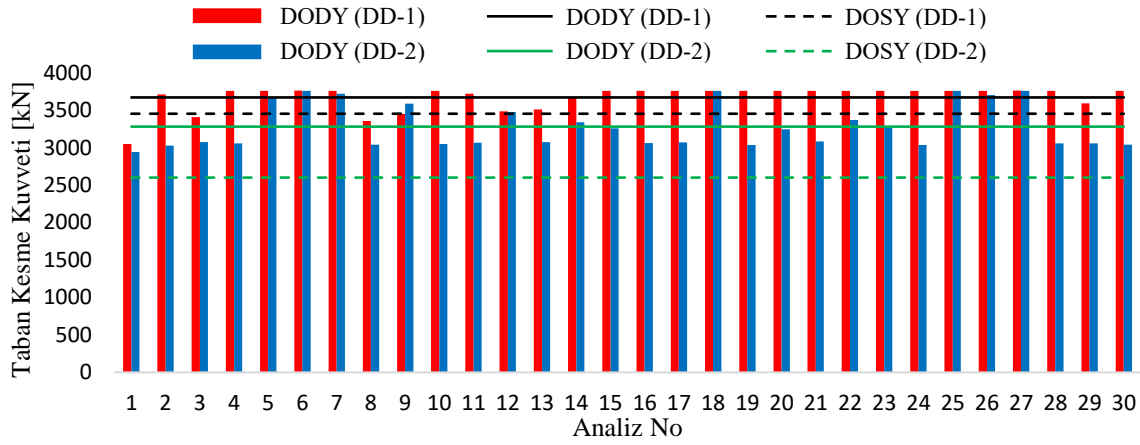
Şekil 3.52: 4KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.53: 4KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.54: 8KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

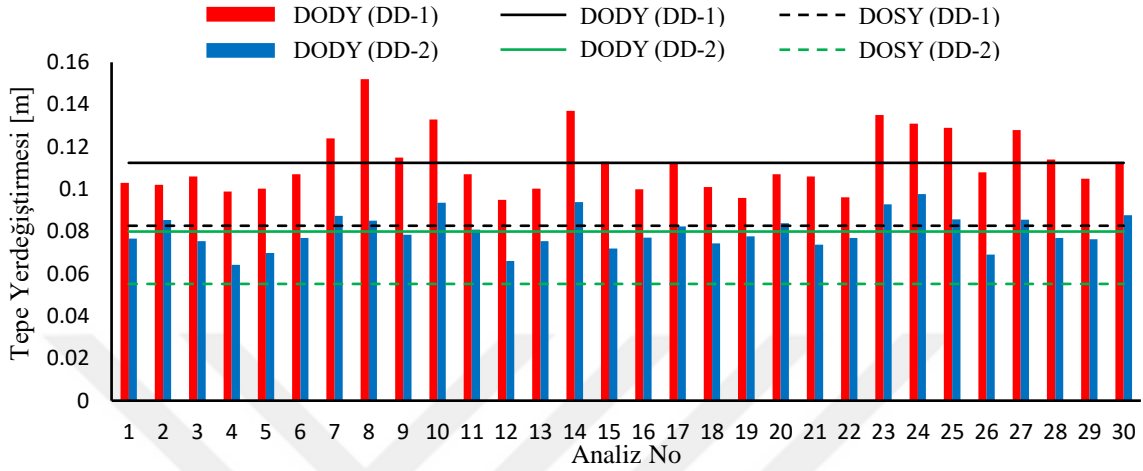


Şekil 3.55: 8KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

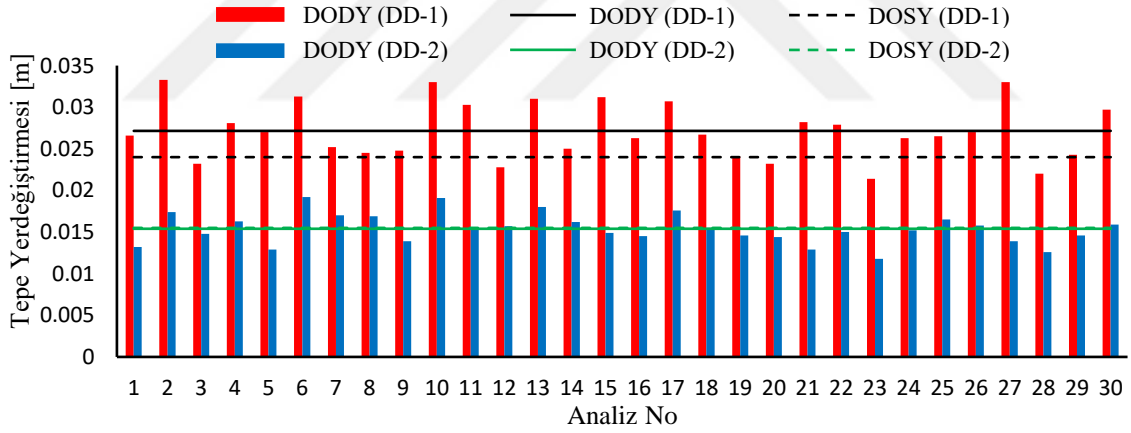
DOSY ve DODY’den elde edilen taban kesme kuvvetleri değerlendirildiğinde;

- Binaların MAÇ sistemlerinde DD-2 düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama taban kesme kuvvetinin, DOSY ile elde edilen taban kesme kuvvetinden 2KB ve 8KB’de %30, 4KB’de %25 daha fazla olduğu görülmüştür. DODY ile 30 analiz için elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri DOSY taban kesme kuvveti ile karşılaştırıldığında, analizlerin tamamında DOSY ile elde edilen taban kesme kuvveti değeri aşılmıştır.
- Binaların MÇÇ sistemlerinde DD-2 deprem düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama taban kesme kuvvetinin, DOSY ile elde edilen taban kesme kuvvetinden 2KB’de %5 daha az, 4KB ve 8KB’de ise sırası ile %10 ve %20 daha fazla olduğu görülmüştür. DODY ile 30 analiz için elde edilen maksimum taban kesme kuvvetlerinin DOSY ile elde edilen taban kesme kuvveti ile karşılaştırıldığında 2KB’de 3 analiz, 4KB ve 8KB’de ise analizlerin tamamı DOSY ile elde edilen taban kesme kuvveti değerini aşımıştır.
- Binaların MAÇ sistemlerinde DD-1 düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama taban kesme kuvvetinin, DOSY ile elde edilen taban kesme kuvvetinden 2KB’de %20, 4KB’de %30 ve 8KB’de %35 daha fazla olduğu görülmüştür. DODY ile 30 analiz için elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri DOSY ile elde edilen taban kesme kuvveti ile karşılaştırıldığında, analizlerin tamamında DOSY ile elde edilen taban kesme kuvveti değeri aşılmıştır.
- Binaların MÇÇ sistemlerinde DD-1 deprem düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama taban kesme kuvvetinin, DOSY taban kesme kuvvetinden 2KB ve 8KB’de

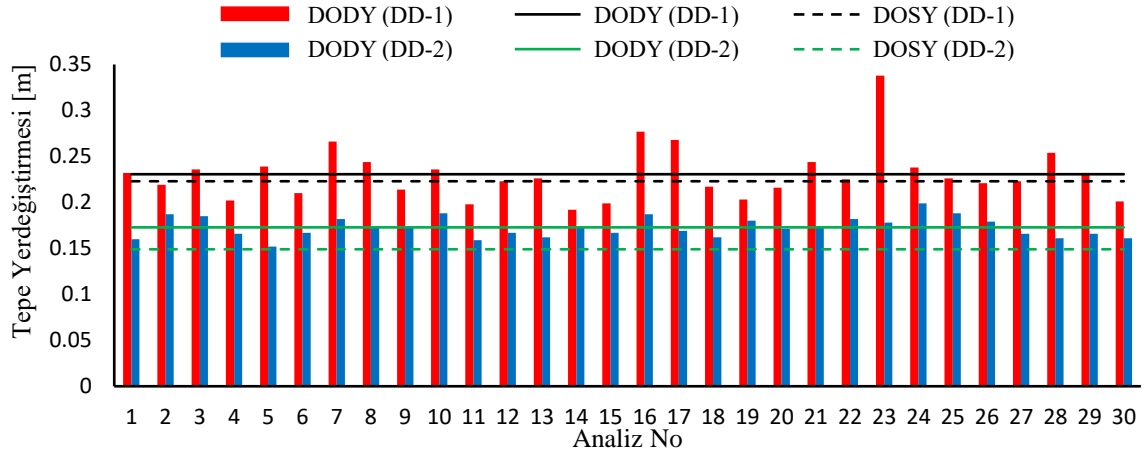
%5, 4KB’de ise %15 daha fazla olduğu görülmüştür. DODY ile 30 analiz için elde edilen maksimum taban kesme kuvvetleri DOSY taban kesme kuvveti ile karşılaştırıldığında, 2KB’de 13 analiz, 4KB’de 30 analiz ve 8KB’de 25 analiz DOSY ile elde edilen taban kesme kuvveti değerini aşmıştır.



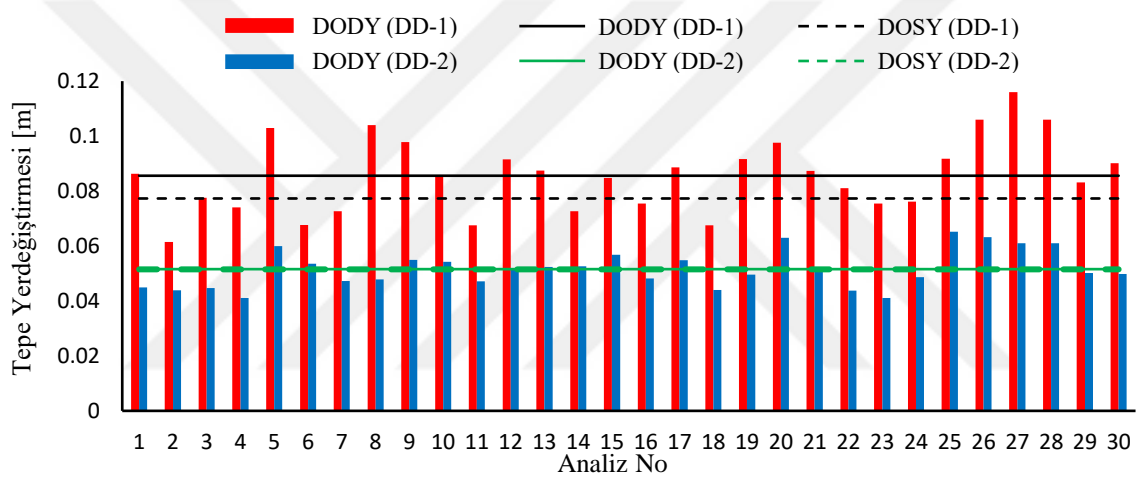
Şekil 3.56: 2KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.



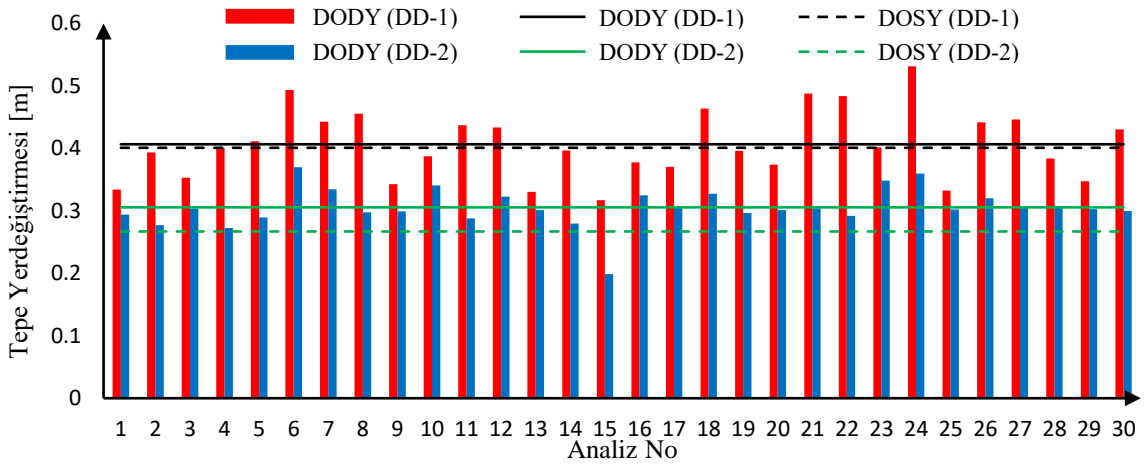
Şekil 3.57: 2KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.



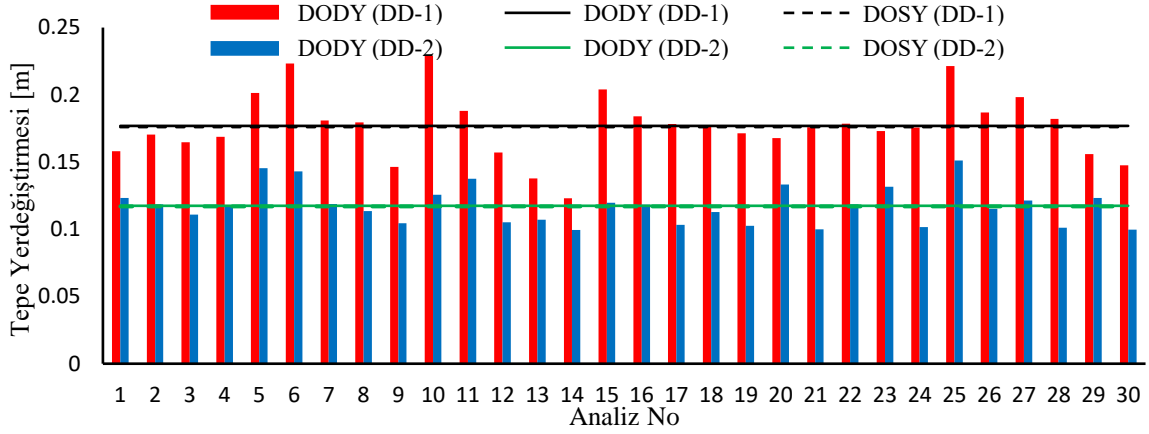
Şekil 3.58: 4KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.



Şekil 3.59: 4KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.



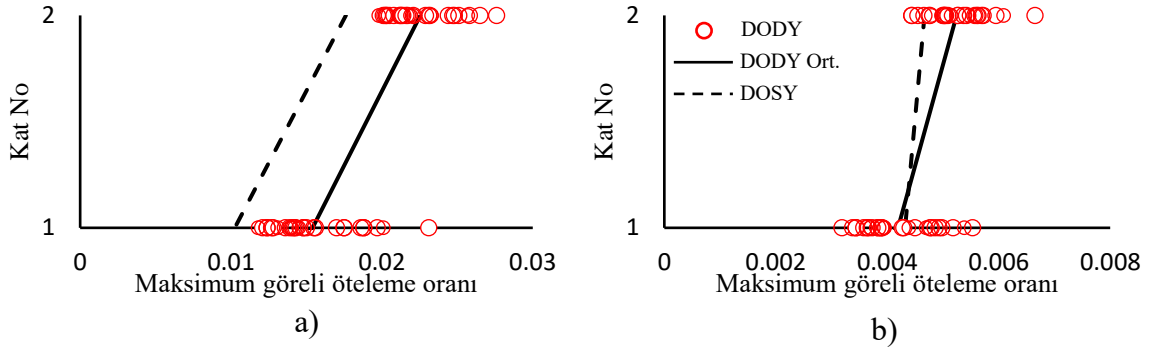
Şekil 3.60: 8KB’de MAÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.



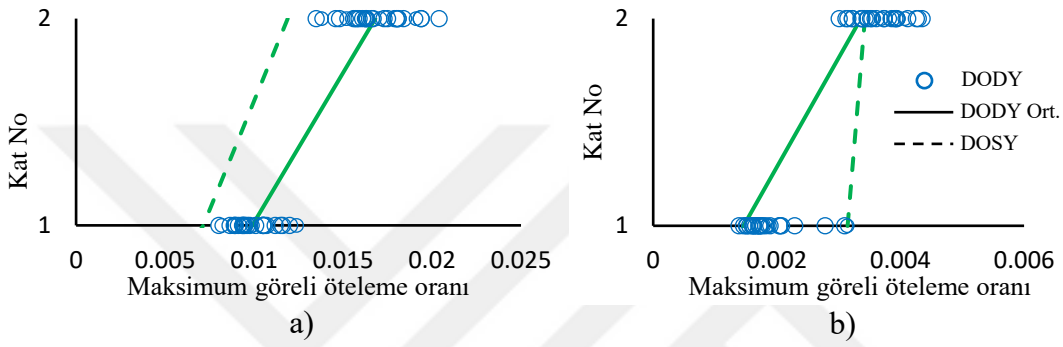
Şekil 3.61: 8KB’de MÇÇ sisteme ait DOSY ve DODY tepe yerdeğiştirmelerinin karşılaştırılması.

DOSY ve DODY’den elde edilen tepe yerdeğiştirmeleri değerlendirildiğinde;

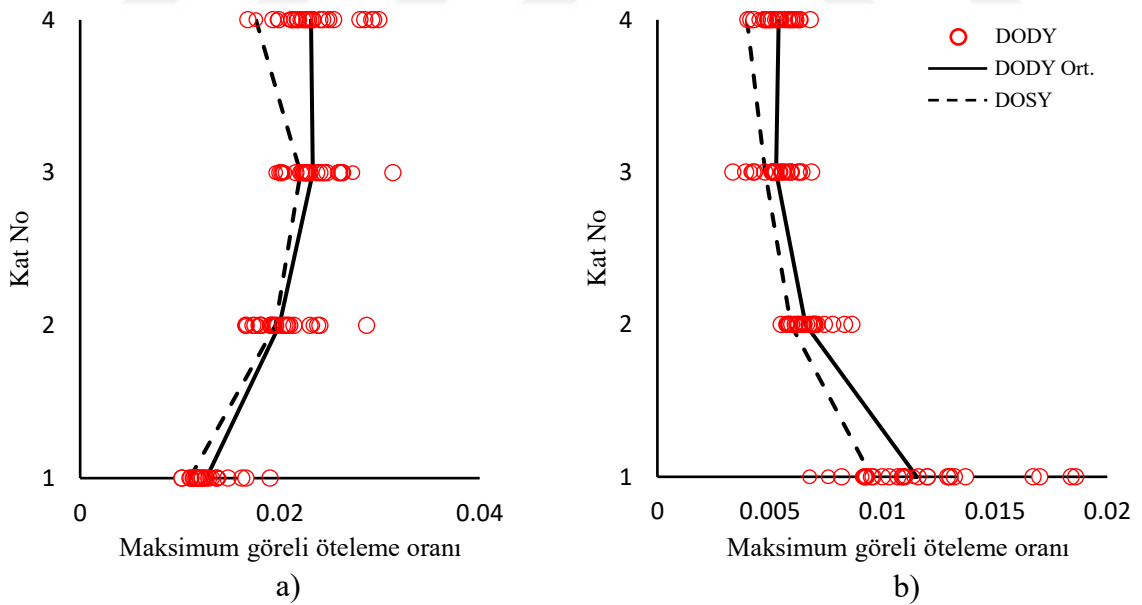
- Binaların MAÇ sistemlerinde DD-2 deprem düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama tepe yerdeğiştirmesinin, DOSY tepe yerdeğiştirmesi değerinden 2KB’de %30, 4KB’de %15, 8KB’de ise %10 daha fazla olduğu görülmüştür. DODY’den elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmeleri DOSY tepe yerdeğiştirmesi ile karşılaştırıldığında, 2KB ve 4KB’de analizlerin tamamında, 8KB’de ise 29 analizde DOSY tepe yerdeğiştirmesi değeri aşılmıştır.
- Tüm binaların MÇÇ sistemlerinde DD-2 düzeyi için DODY ile elde edilen ortalama tepe yerdeğiştirmelerinin, DOSY tepe yerdeğiştirmeleri ile tamamen aynı olduğu görülmüştür. DODY’den elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmeleri DOSY tepe yerdeğiştirmeleri ile karşılaştırıldığında, 2KB’de 12 analiz, 4KB ve 8KB’de ise 10 analizde DOSY tepe yerdeğiştirmesi değeri aşılmıştır.
- Binaların MAÇ sistemlerinde DD-1 düzeyi için; DODY ortalama tepe yerdeğiştirmesi, DOSY tepe yerdeğiştirmesi ile 4KB ve 8KB’de oldukça yakın, 2KB’de ise DOSY değerinden %25 daha fazla elde edilmiştir. DODY’den elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmeleri DOSY ile karşılaştırıldığında; 2KB’de analizlerin tamamı, 4KB’de 15’i ve 8KB’de 13’ü DOSY değerini aşmıştır.
- Binaların MÇÇ sistemlerinde DD-1 düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama tepe yerdeğiştirmesi, DOSY ile elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmesine 8KB’de oldukça yakın olduğu, ancak 2KB ve 4KB’de ise DOSY değerinden %10 daha fazla olduğu görülmüştür. DODY’den elde edilen maksimum tepe yerdeğiştirmeleri DOSY ile karşılaştırıldığında, 2KB’de 24, 4KB’de 14 ve 8KB’de ise 13 analizde DOSY tepe yerdeğiştirmesi değeri aşılmıştır.



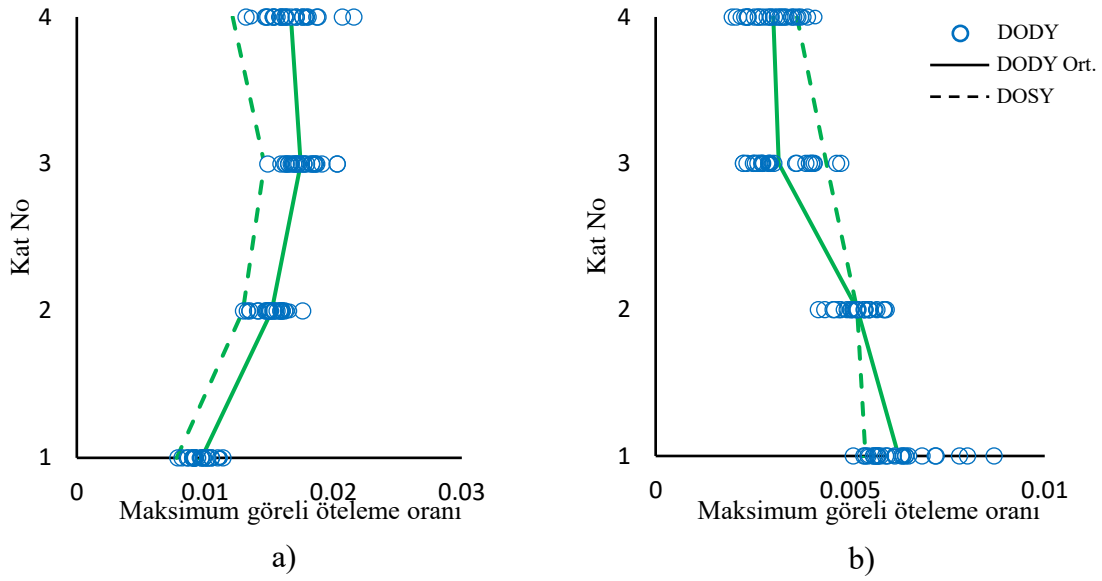
Şekil 3.62: 2KB'de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



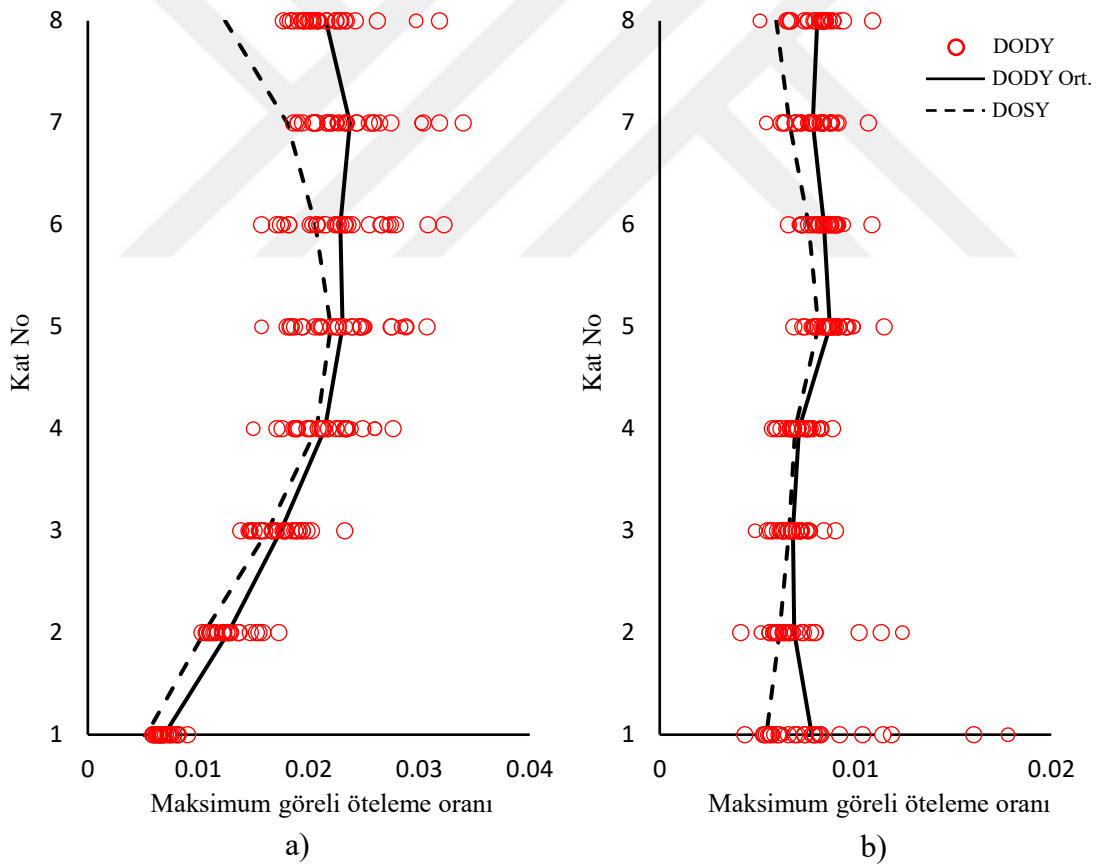
Şekil 3.63: 2KB'de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



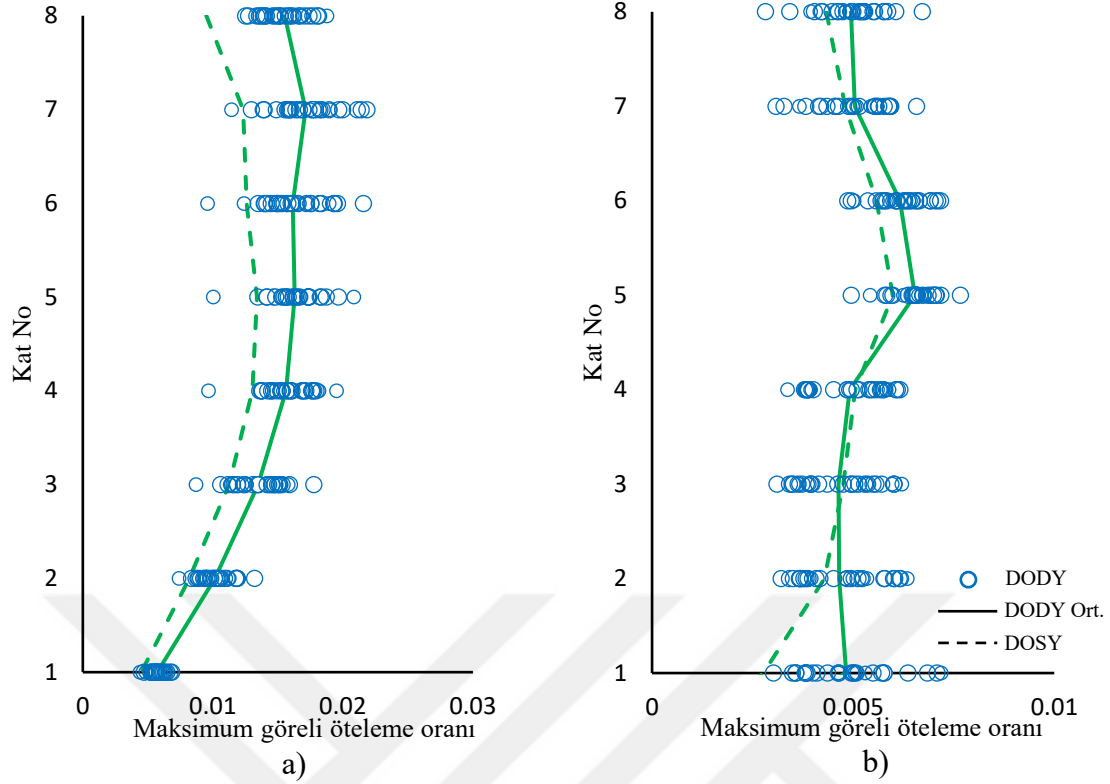
Şekil 3.64: 4KB'de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.65: 4KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



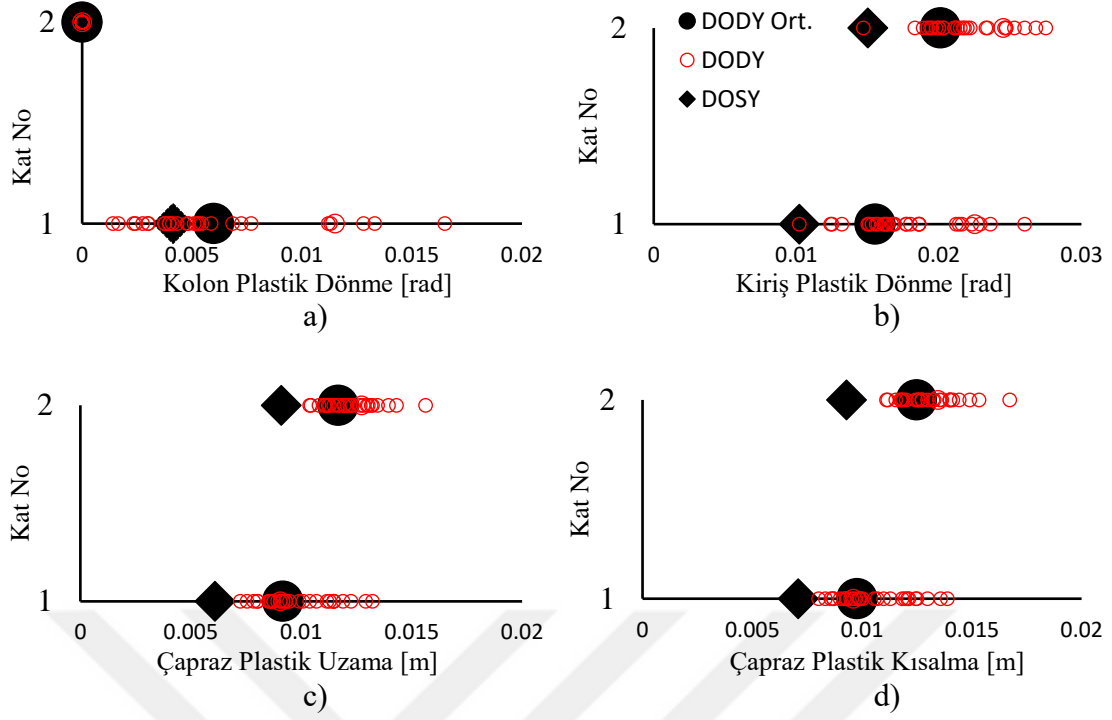
Şekil 3.66: 8KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-1 için) a) MAÇ b) MÇÇ.



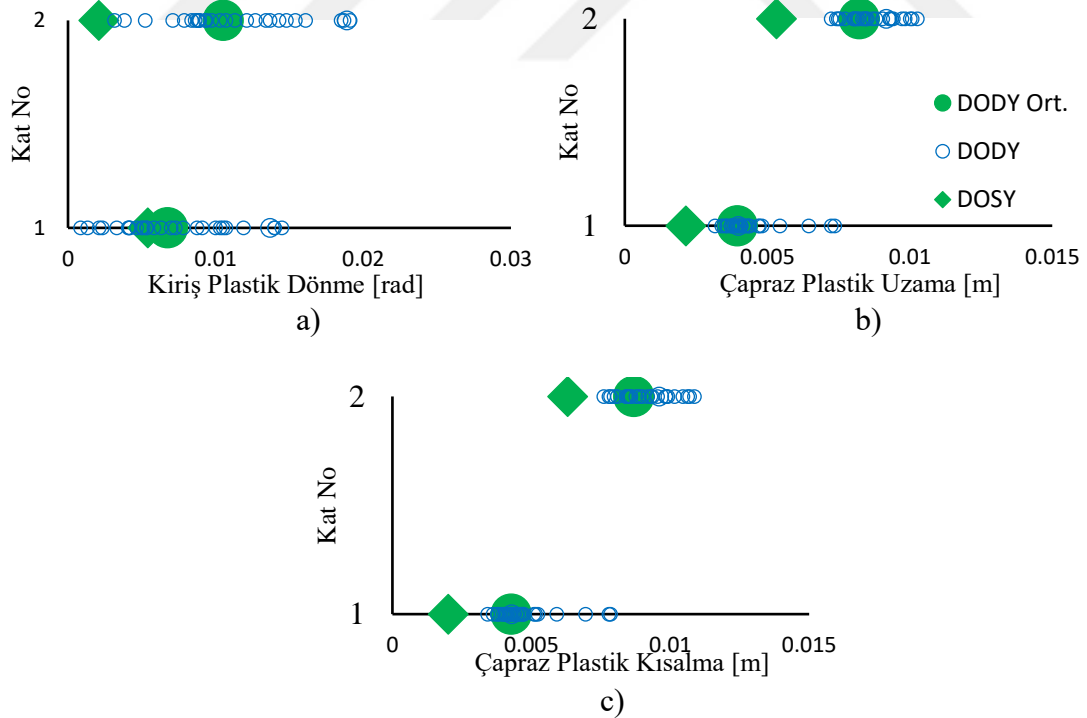
Şekil 3.67: 8KB’de DOSY ve DODY maks. görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması (DD-2 için) a) MAÇ b) MÇÇ.

DOSY ve DODY’den elde edilen maksimum görelî öteleme oranları değerlendirildiğinde;

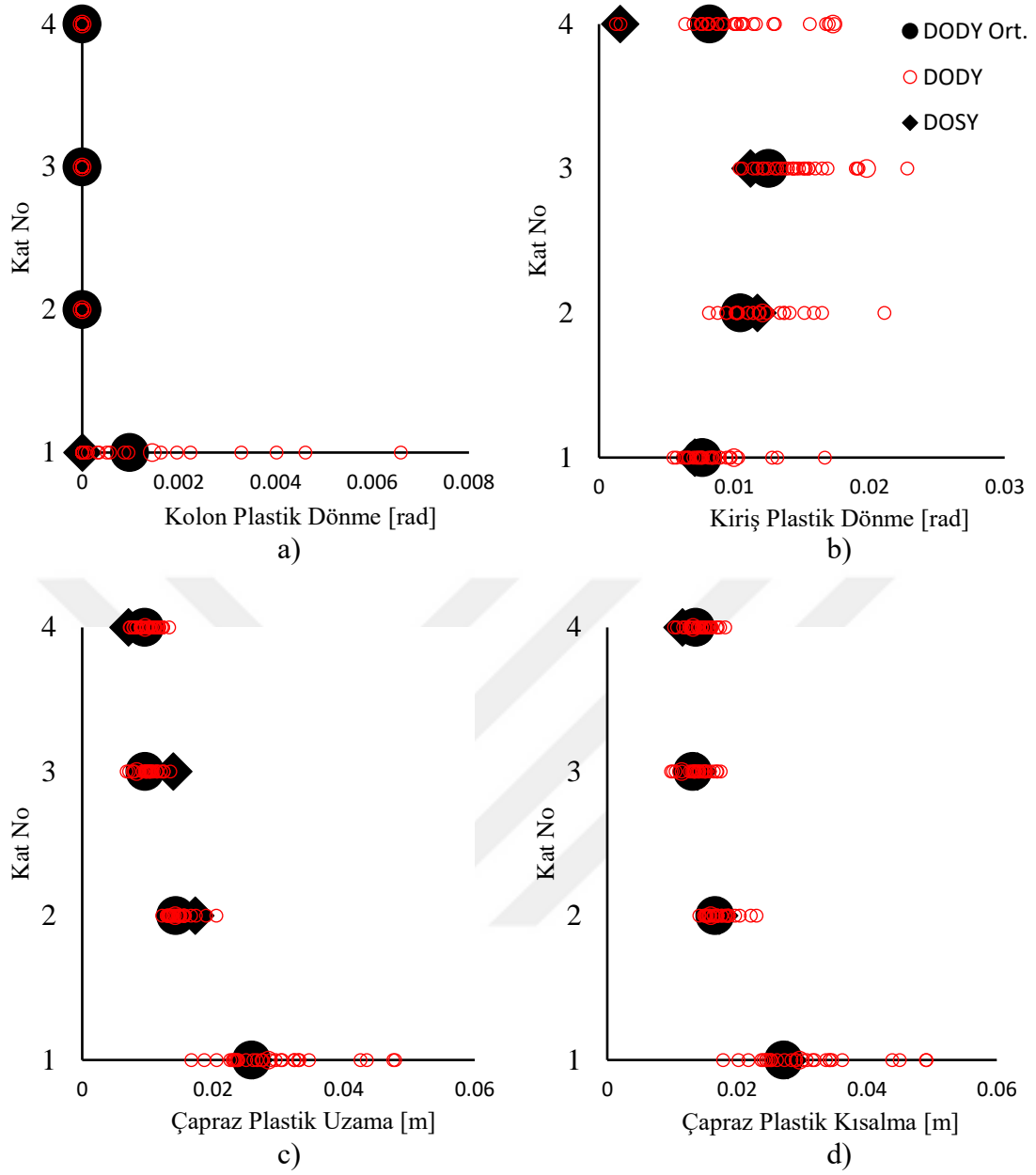
- DD-2 düzeyi için MAÇ sistemlerde; DODY ile elde edilen görelî öteleme oranı, DOSY ile elde edilen maks. görelî öteleme oranından, binaların alt katında %20-%25 oranında, üst katlarda ise %35-%40 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. DODY’de 30 analiz için elde edilen görelî öteleme oranları, DOSY görelî öteleme oranları ile karşılaştırıldığında, 2KB ve 4KB’de analizlerin tamamında, 8KB’de ise 27’sinde, DOSY değerinin aşıldığı belirlenmiştir.
- DD-2 düzeyi için MÇÇ sistemlerde; DODY görelî öteleme oranı üst katlarda DOSY değeri ile genel olarak uyumlu elde edilirken, 1. katlarda önemli farklar oluşmuştur. 2KB’de 1. kat DODY ortalama görelî öteleme oranları %45 daha düşük elde edilirken 4KB ve 8KB’de sırasıyla %15 ve %40 daha yüksek elde edilmiştir.
- MAÇ’lerde DD-1 düzeyi için elde edilen görelî öteleme oranı dağılımı DD-2 düzeyine benzer eğilim göstermiş ancak genel olarak sonuçlar arasındaki fark azalmıştır.
- DD-1 düzeyi için MÇÇ’lerde gözlenen görelî öteleme oranı dağılımındaki eğilimler DD-2 ile benzer olmakla birlikte, DODY tüm binalarda genel olarak daha büyük görelî ötelemeler vermiştir.



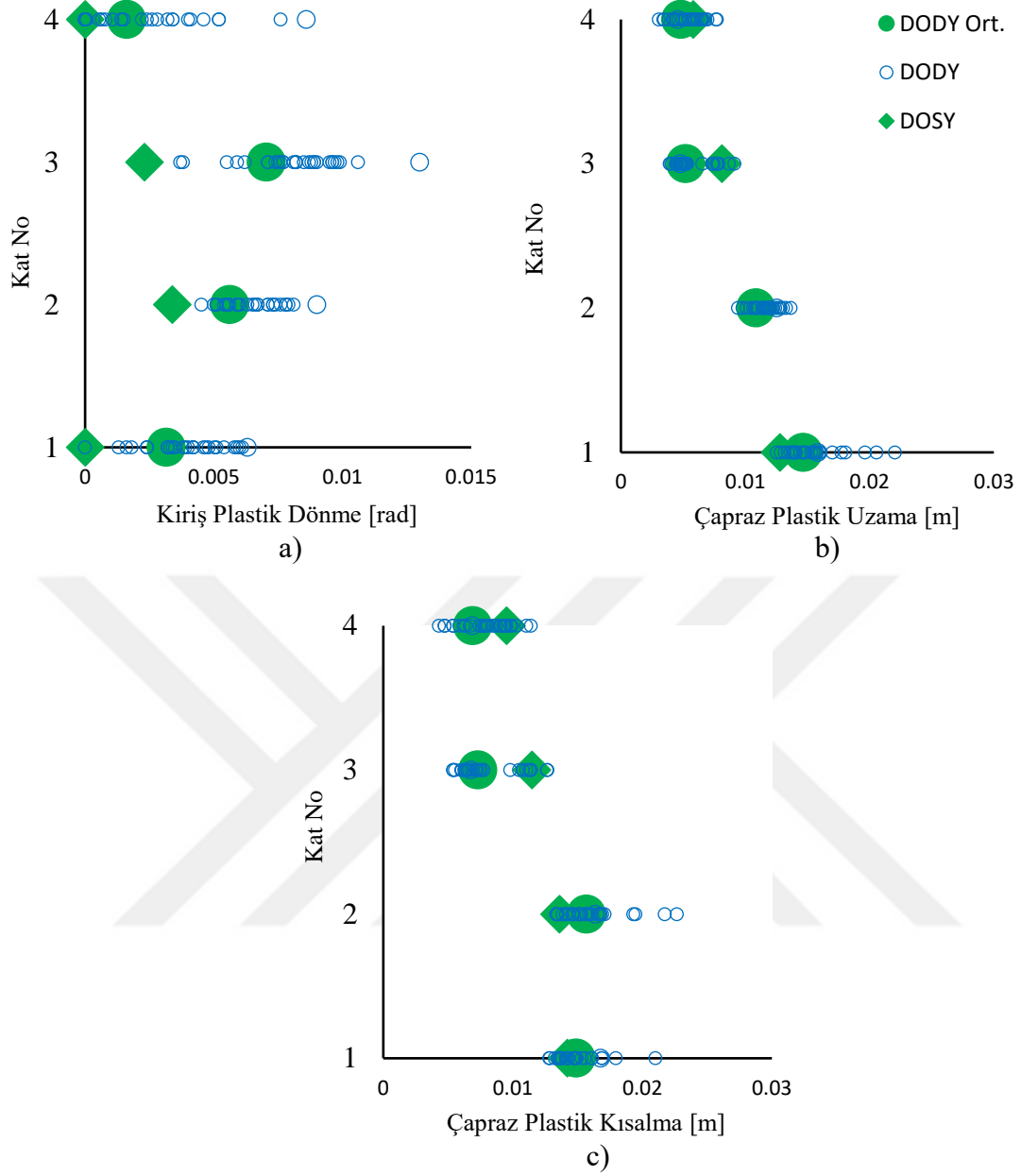
Şekil 3.68: 2KB’de DOSY ve DODY plastik şekil değiştirmelerinin karşılaştırılması (DD-1) a) maks. kolon plastik dönmesi b) maks. kiriş plastik dönmesi c) maks. çapraz plastik uzaması d) maks. çapraz plastik kısalması.



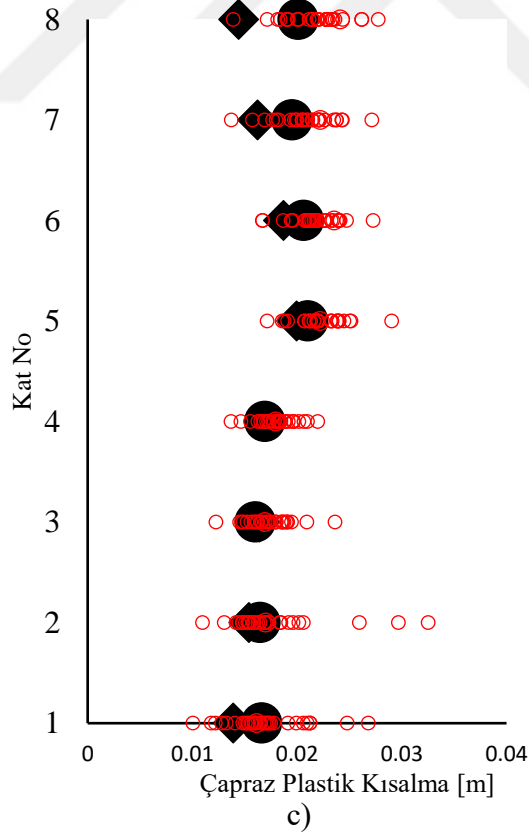
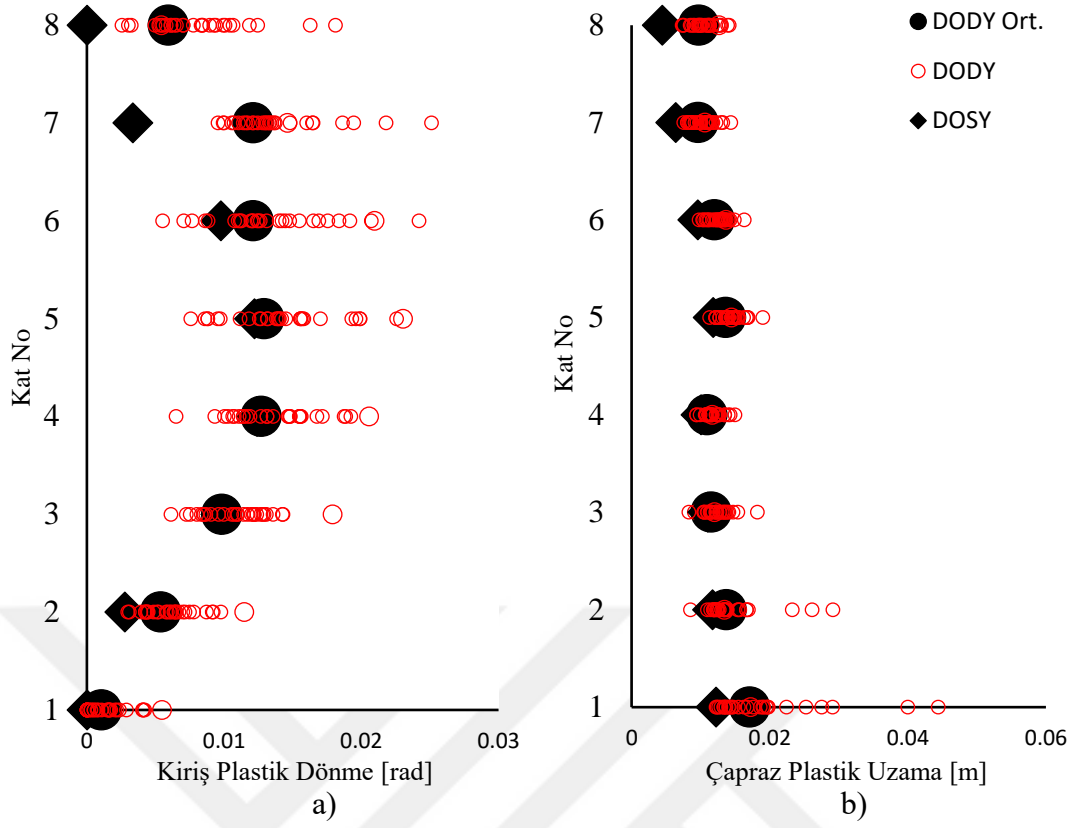
Şekil 3.69: 2KB’de DOSY ve DODY plastik şekil değiştirmelerinin karşılaştırılması (DD-2) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısalması.



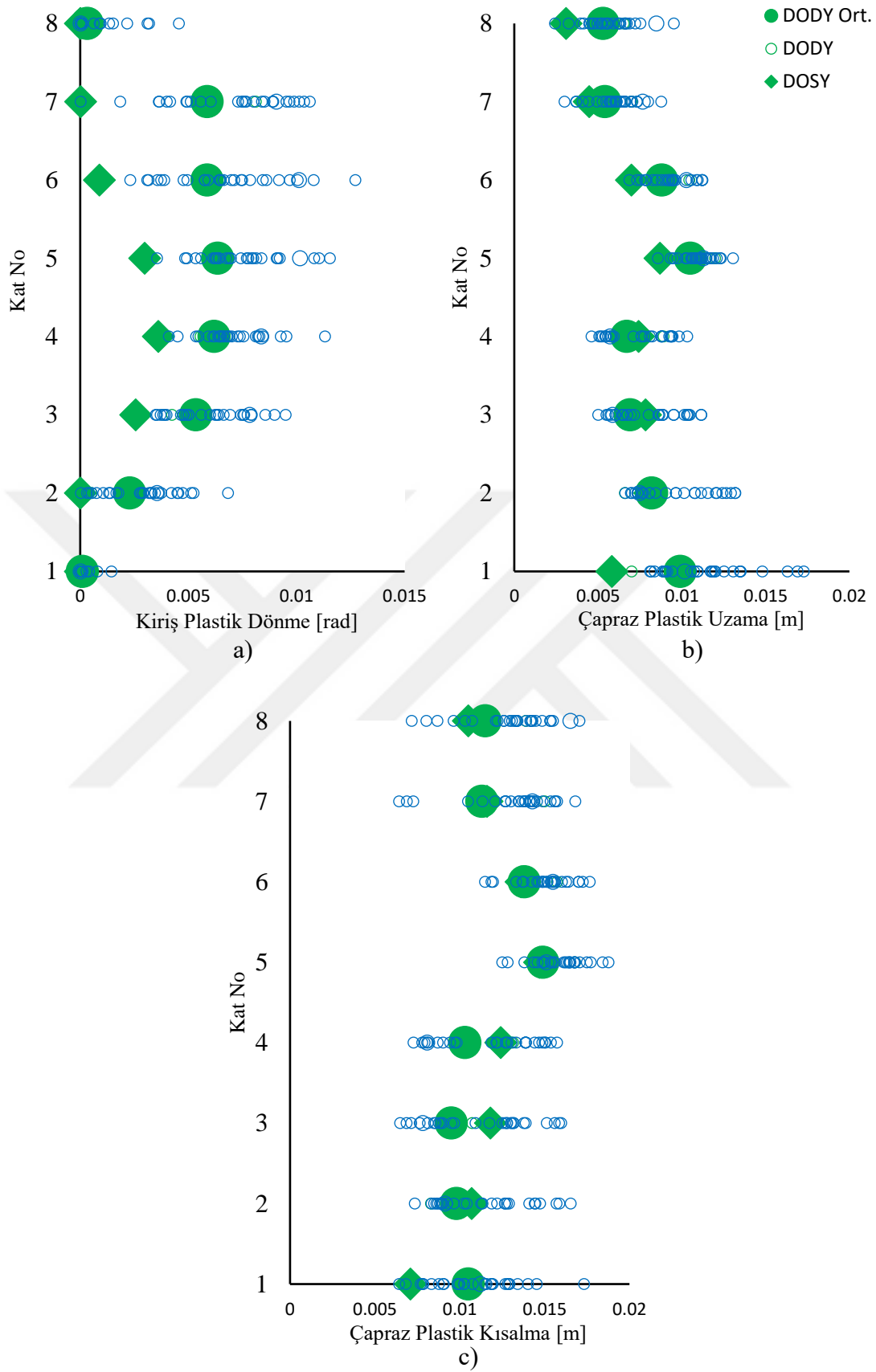
Şekil 3.70: 4KB’de DOSY ve DODY plastik şekil değiştirmelerinin karşılaştırılması (DD-1) a) maks. kolon plastik dönmesi b) maks. kiriş plastik dönmesi c) maks. çapraz plastik uzaması d) maks. çapraz plastik kısılması.



Şekil 3.71: 4KB’de DOSY ve DODY plastik şekildeğişimlerinin karşılaştırılması (DD-2 için) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısılması.



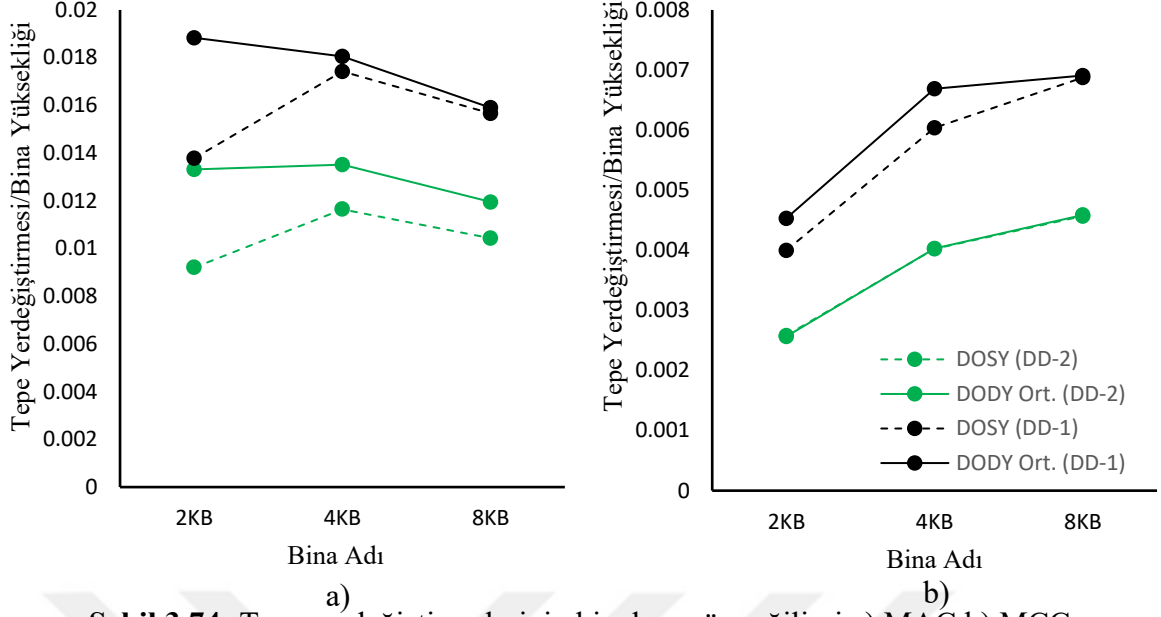
Şekil 3.72: 8KB’de DOSY ve DODY plastik şekil değiştirmelerinin karşılaştırılması (DD-1) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks çapraz plastik kısalması.



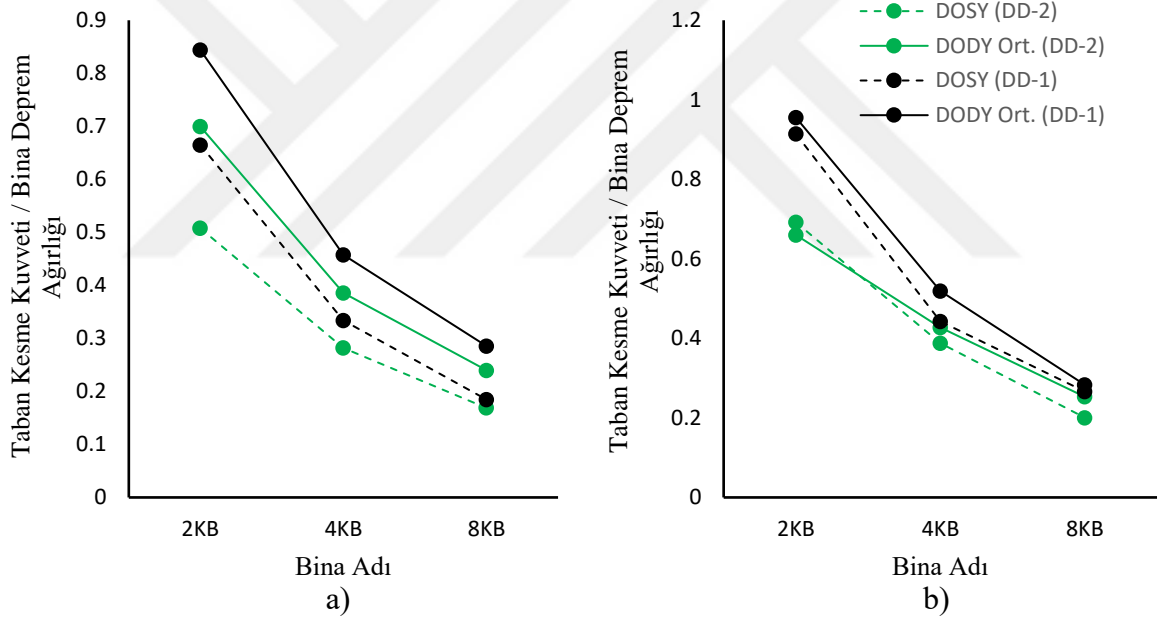
Şekil 3.73: 8KB’de DOSY ve DODY plastik şekil değiştirmelerinin karşılaştırılması (DD-2) a) maks. kiriş plastik dönmesi b) maks. çapraz plastik uzaması c) maks. çapraz plastik kısalması.

DOSY ve DODY'den elde edilen plastik şekildeğiş-tirmeler değ-erlendirildiğ-inde;

- MAÇ sistem kırışlarında DD-2 düzeyi için; DODY ile elde edilen maksimum ortalama plastik dön-meleri, DOSY plastik dön-me değ-erlerinden daha yüksek elde edilmiştir. 4KB ve 8KB'de bu fark bazı katlarda sırasıyla %65 ve %50'ye ulaş-mıştır. DODY'de 30 analizden elde edilen maksimum plastik dön-me değ-erleri ile DOSY değ-erleri ile karşı-laştırıldığında, 4KB ve 8KB binalarında analizlerin büyük çoğunluğ-unda, 2KB'de ise yaklaşık yarısında DOSY değ-eri aş-ılmış-tır.
- MÇÇ sistemde çekme kuvveti etkisindeki çaprazlarda DD-2 düzeyi için; DODY ile elde edilen ortalama plastik uzama değ-erlerinin, DOSY plastik uzama değ-erleri ile, 4KB ve 8KB'nin üst katlarında oldukça yakın olduğu, ancak 2KB'de %35'e varan oranda daha yüksek elde edildiğ-i gör-ülm-üştür. 8KB'de 1. katta ve 2KB'de her iki katta DODY'de 30 analiz için elde edilen maksimum plastik uzama değ-erleri, DOSY değ-erlerinden daha yüksek elde edilmiştir.
- MÇÇ sistemde basınç kuvveti etkisindeki çaprazlarda DD-2 düzeyi için; çekme çaprazlarındaki plastik uzamalara benzer eğ-ilim elde edilmiştir.
- DD-1 düzeyi için tüm plastik şekildeğiş-tirmelerde DD-2'ye benzer eğ-ilim gör-ülm-ekle birlikte DOSY ve DODY ortalama sonuçları DD-2 düzeyine göre daha yakın elde edilmiştir.



Şekil 3.74: Tepe yerdeğiştirmelerinin binalara göre eğilimi a) MAÇ b) MÇÇ.



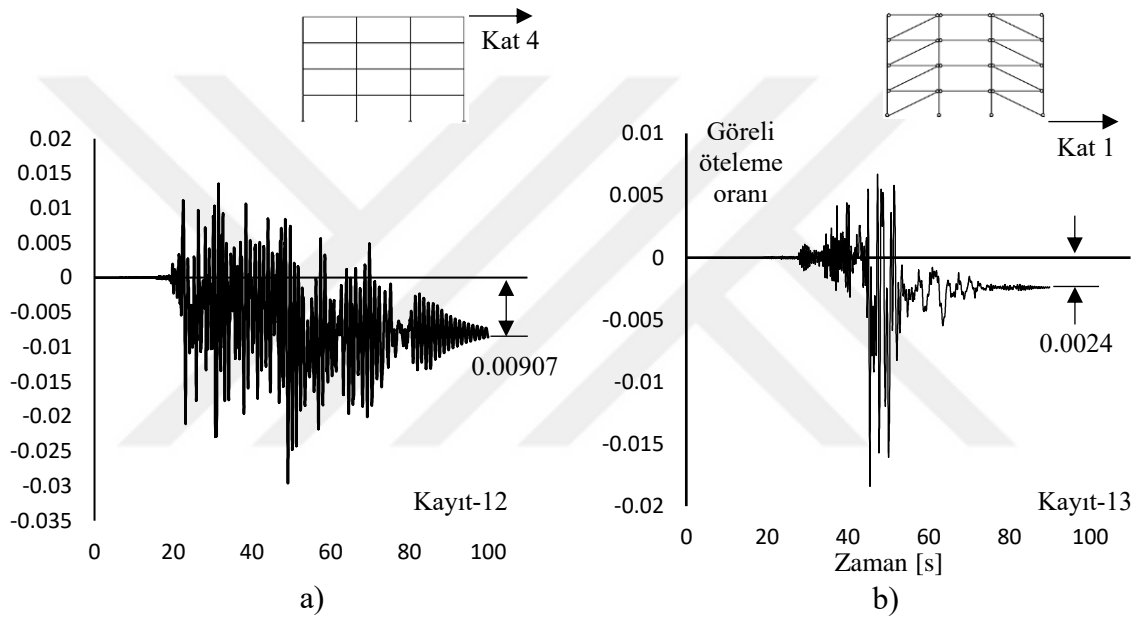
Şekil 3.75: Taban kesme kuvvetlerinin binalara göre eğilimi a) MAÇ b) MÇÇ.

DD-1 ve DD-2 deprem düzeyi için DOSY ile DODY ortalama normalleştirilmiş taban kesme ve tepe yerdeğiştirmesi değerlerinin binaya göre değişim eğilimini ifade eden Şekil 3.74 ve Şekil 3.75 incelendiğinde; iki yöntem arasındaki en büyük farkın 2KB binası MAÇ doğrultusunda olduğu 4KB ve 8KB binalarında farkın genel olarak daha düşük olduğu görölmektedir. Genel olarak tüm binaların MÇÇ doğrultusundaki iki yöntem arasındaki farklar daha düşük elde edilmiştir.

3.4 DODY ile Kalıcı Görelî Öteleme Oranlarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

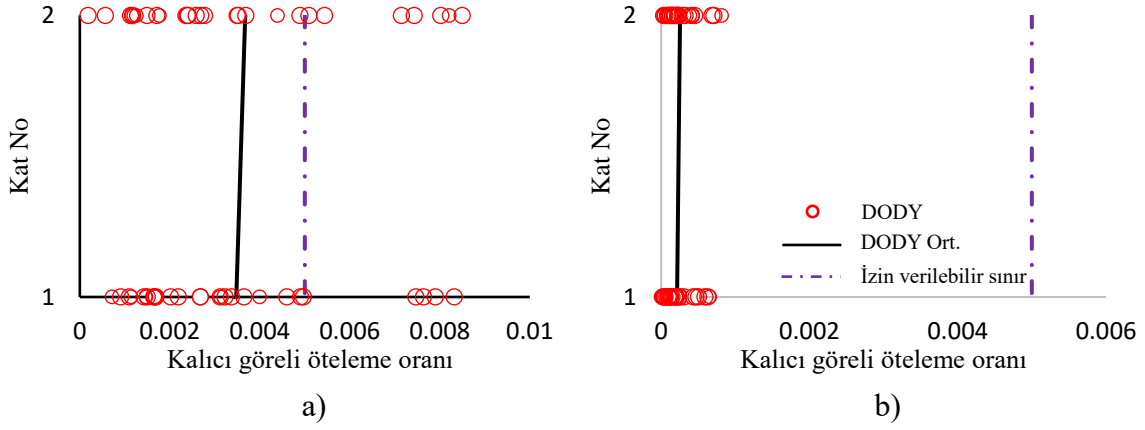
Bu bölümde, iki farklı deprem yer hareketi için performans düzeyleri belirlenen binaların kalıcı görelî öteleme oranları belirlenmiş ve deprem sonrası kullanılabilirlik bakımından değerlendirilmiştir.

Değerlendirmeler her bir binanın iki ayrı doğrultusu için deprem süresi sonunda oluşan kalıcı yanal görelî öteleme oranları üzerinden yapılmıştır. 4KB’de MAÇ için en büyük kalıcı görelî öteleme oranının oluştuğu Kayıt-12 ve MÇÇ için en büyük kalıcı öteleme oranının oluştuğu Kayıt-13’e ait sonuçlar Şekil 3.76’da örnek olarak verilmiştir.

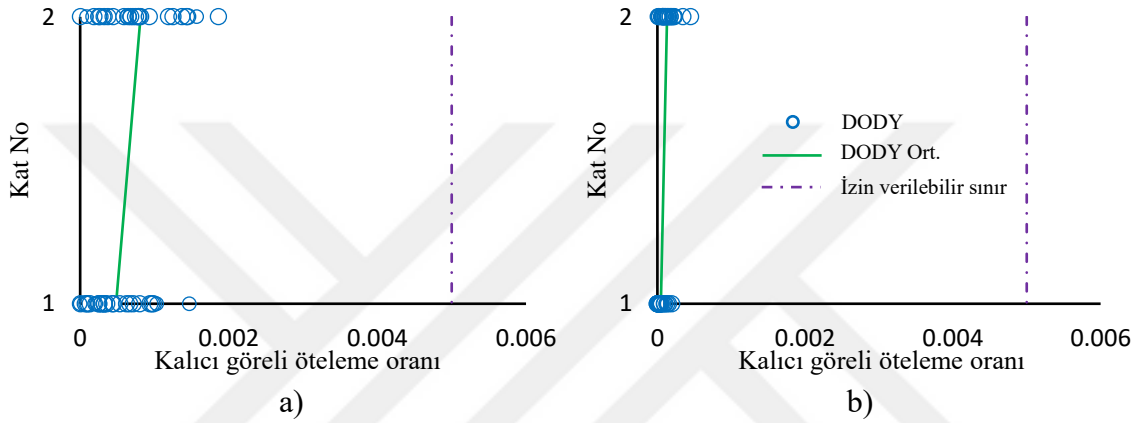


Şekil 3.76: 4KB’de oluşan maksimum kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.

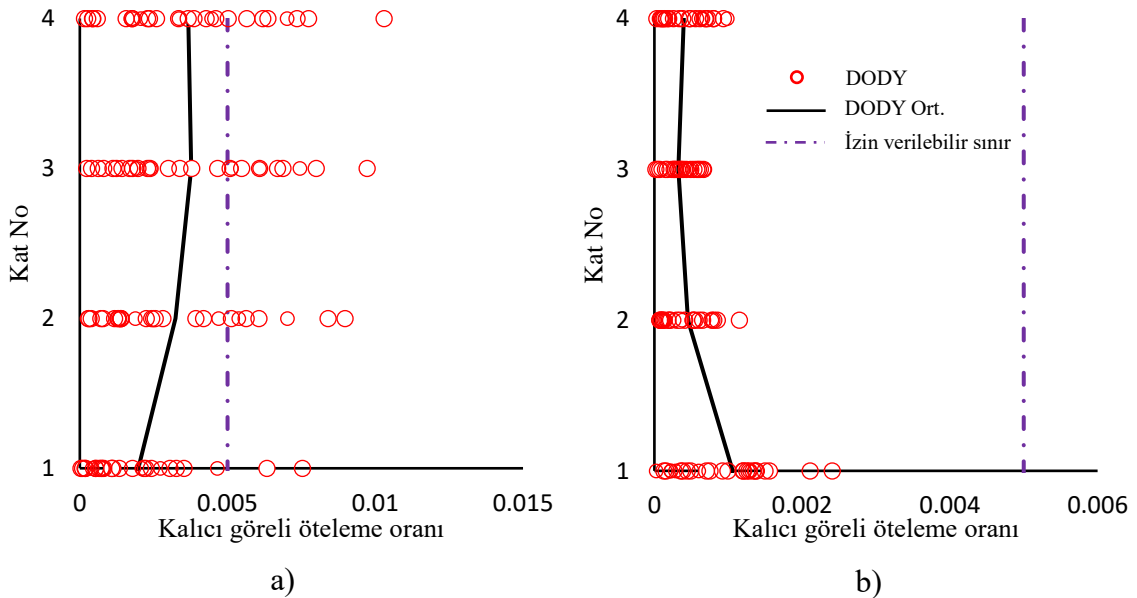
Üç bina için her iki asal doğrultuda (MAÇ ve MÇÇ) elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının katlara göre değişimleri Şekil 3.77-3.82’de verilmiştir.



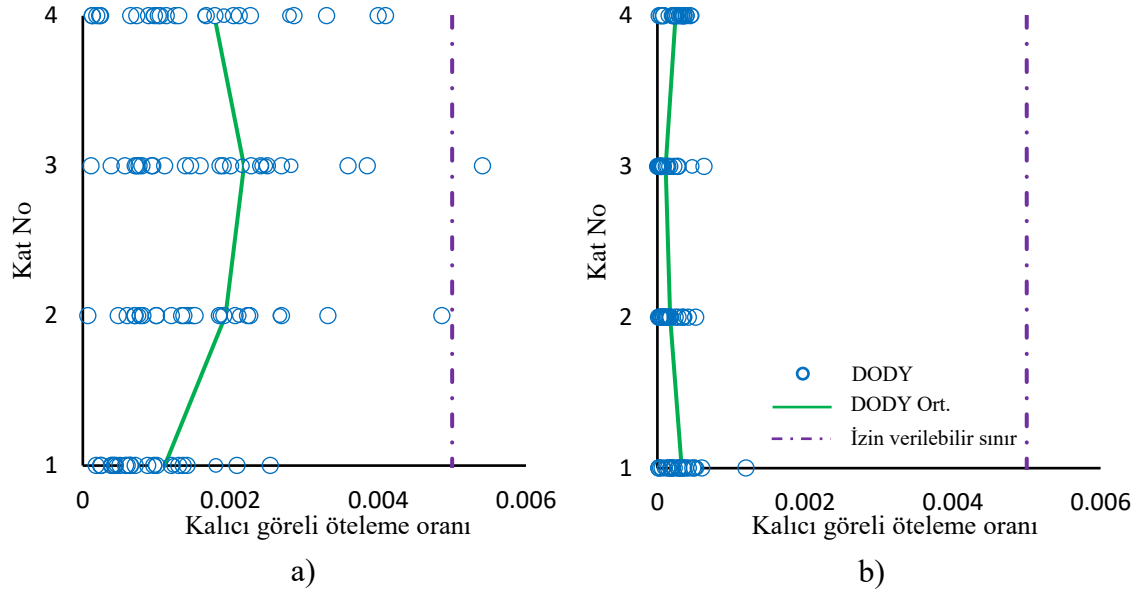
Şekil 3.77: 2KB’de DD-1 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.



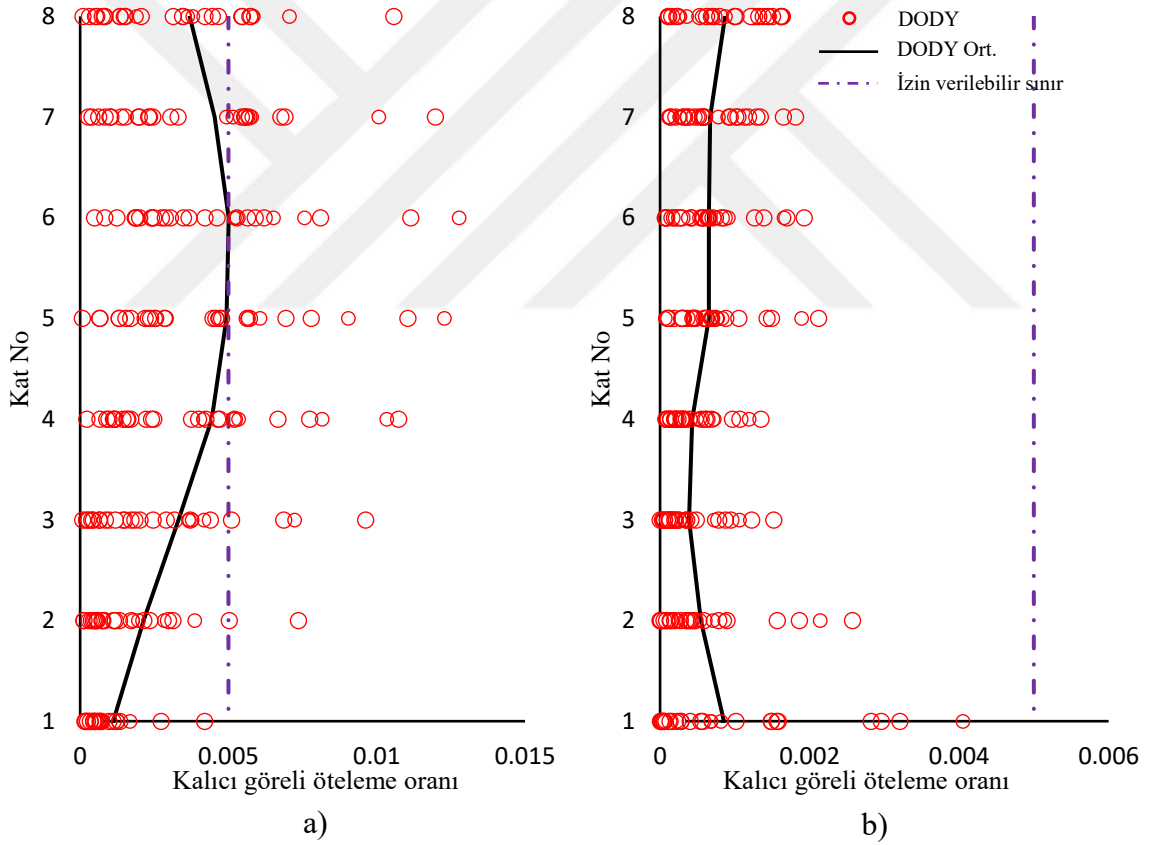
Şekil 3.78: 2KB’de DD-2 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.



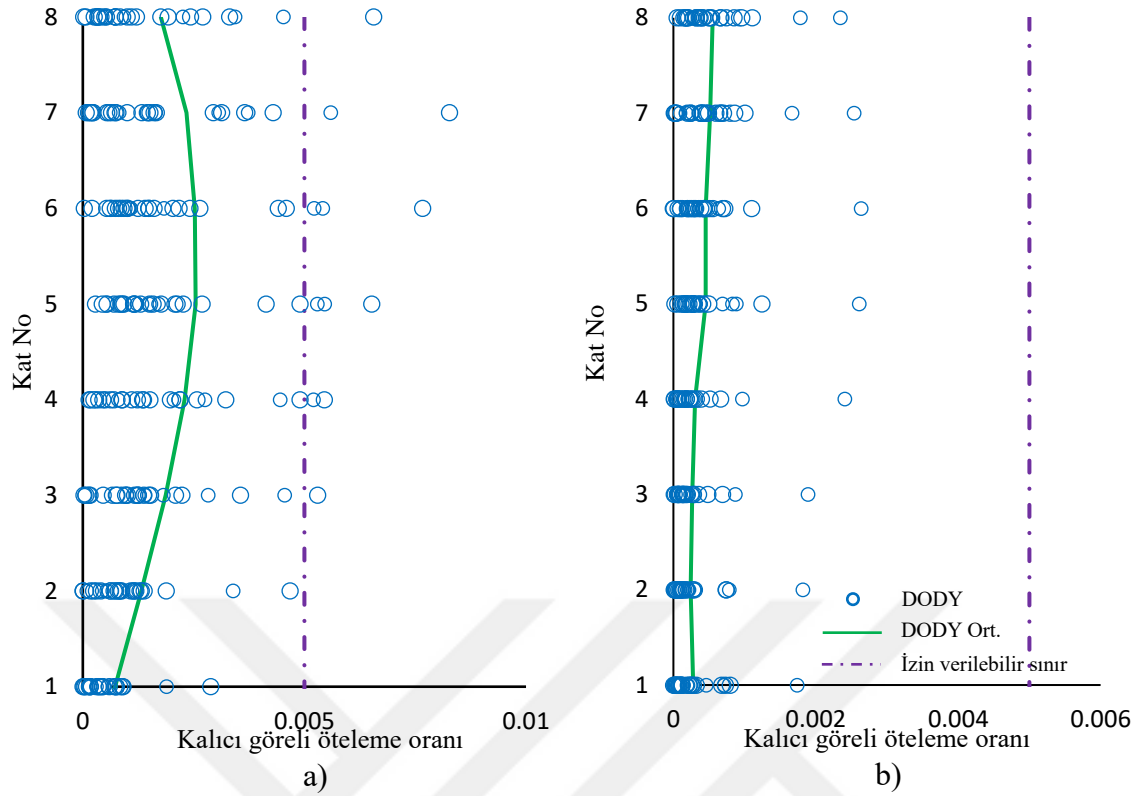
Şekil 3.79: 4KB’de DD-1 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.80: 4KB’de DD-2 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.81: 8KB’de DD-1 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.



Şekil 3.82: 8KB’de DD-2 için kalıcı görelî öteleme oranları a) MAÇ b) MÇÇ.

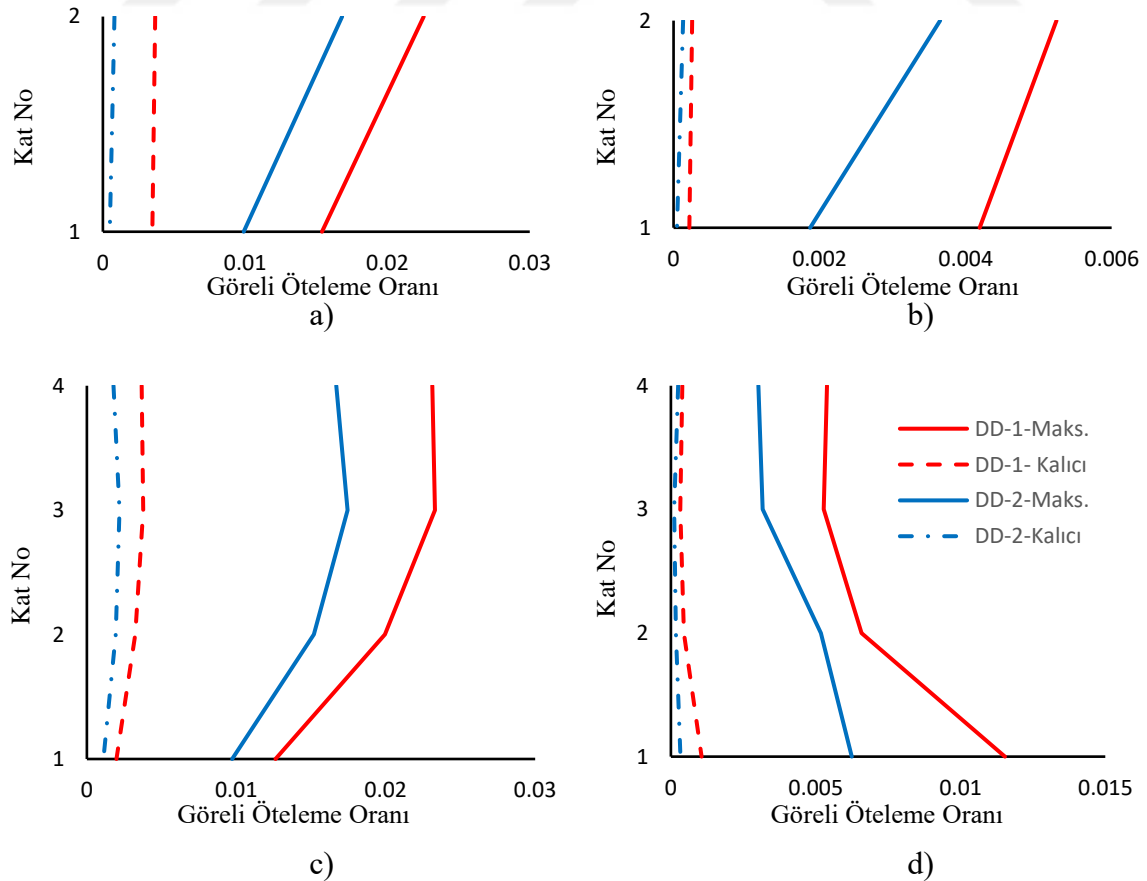
Binalarda DODY ile yapılan analizler sonucunda elde edilen kalıcı görelî öteleme oranı sonuçları, McCormick [16] tarafından çeşitli kriterlere göre binanın deprem sonrası kullanılabilirliğinde üst sınır olarak önerilen 0.005’lik oran referans alınarak değerlendirilmiştir.

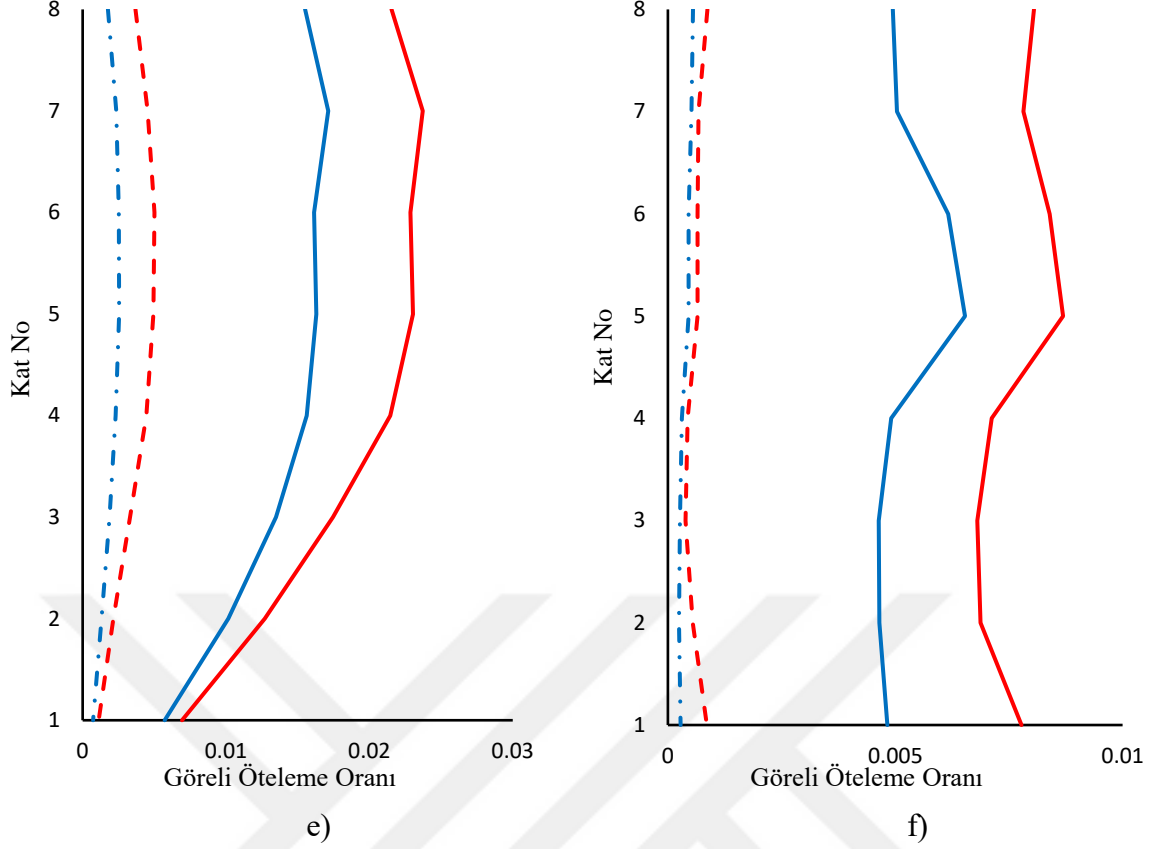
- MAÇ’de DD-2 düzeyi için; tüm binalarda DODY ile elde edilen ortalama kalıcı görelî öteleme oranları izin verilebilir sınır değerden oldukça düşük elde edilmiştir. Bina kat sayısı arttıkça kalıcı görelî öteleme oranlarının da arttığı ve sınır değere yaklaştığı görülmüştür. DODY ile yapılan 30 analizden 2KB’de hiçbir analiz sınır değeri aşmazken, 4KB’de 1, 8KB’de ise 3 analiz sınır değeri aşmıştır. 2KB, 4KB ve 8KB’de en büyük kalıcı görelî öteleme oranları sırasıyla 0.00186, 0.00541 ve 0.00827 olarak elde edilmiştir.
- MÇÇ’de DD-2 düzeyi için; tüm binalarda DODY ortalama değeri izin verilebilir sınır değerinin oldukça altında kalmıştır. Binalarda DODY ile yapılan 30 analizden hiçbirisinde sınır değerini aşmadığı görülmüştür. 2KB, 4KB ve 8KB’de en büyük kalıcı görelî öteleme oranları sırasıyla 0.00045, 0.0012 ve 0.00264 olarak elde edilmiştir.
- Binaların MAÇ’lerinde DD-1 düzeyinde; DODY ortalama değeri 2KB ve 4KB binalarında izin verilebilir sınırını aşmazken, 8KB’de ise sınır değere eşit kalıcı görelî

öteleme oranları elde edilmiştir. DODY ile yapılan 30 analizden 2KB’de 7’si, 4KB’de 10’u ve 8KB’de 13’ü 0.005’lik sınır değeri aşmıştır. 2KB, 4KB ve 8KB’de en büyük kalıcı görelî öteleme oranları sırasıyla 0.0085, 0.0103 ve 0.0128 olarak elde edilmiştir.

- DD-1 düzeyi için; tüm binaların MÇÇ’lerinde DODY ortalama değeri izin verilebilir sınır değerin büyük oranda altında kalmıştır. Binalarda DODY ile yapılan 30 analizden hiçbirisinde sınır değerin aşılmadığı görülmüştür. 2KB, 4KB ve 8KB’de en büyük kalıcı görelî öteleme oranları sırasıyla 0.00082, 0.0024 ve 0.0041 olarak elde edilmiştir.

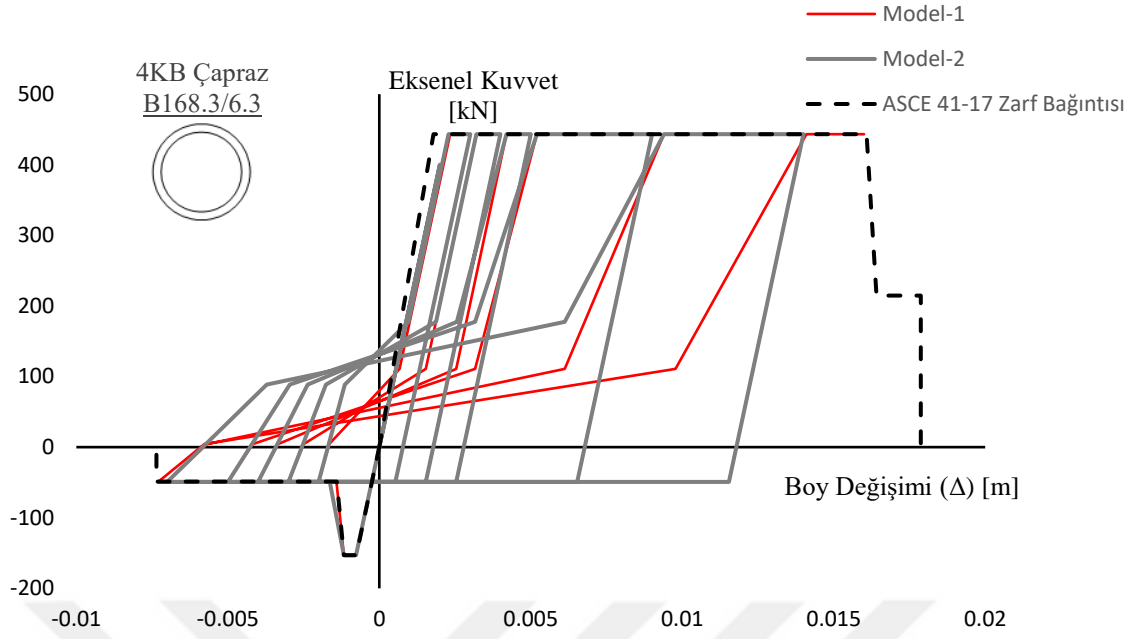
Şekil 3.83’te tüm binalar için DODY’den elde edilen maks. görelî öteleme oranları ile kalıcı görelî öteleme oranları karşılaştırılmıştır. Şekil 3.83’ten görüldüğü gibi; maksimum görelî öteleme oranları ile kalıcı görelî öteleme oranlarının katlara göre dağılımı önemli ölçüde farklılıklar göstermiştir. Deprem esnasında oluşan maksimum görelî öteleme oranları belirli oranda bazı katlarda yoğunlaşırken, kalıcı görelî öteleme oranları bina yüksekliği boyunca çok daha az değişim göstermiştir. Maksimum görelî öteleme oranlarının oluştuğu katlar da farklılık göstermiştir.





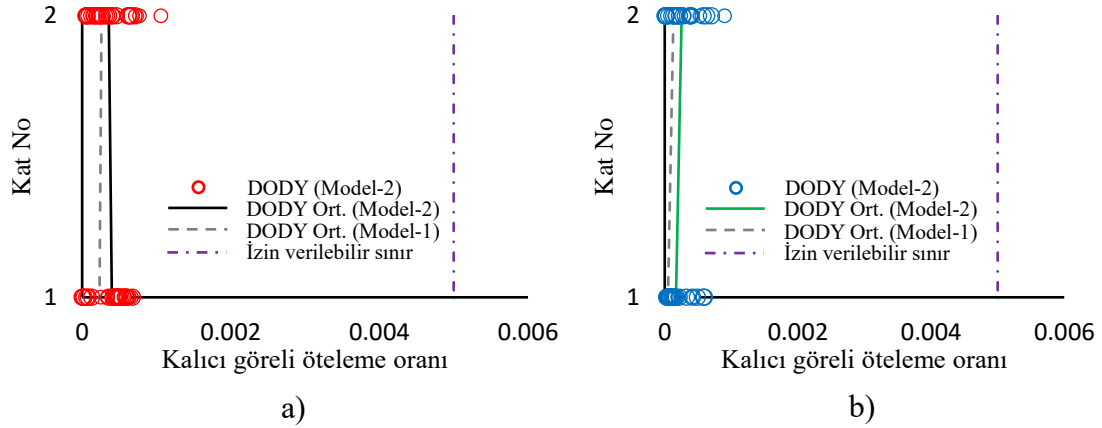
Şekil 3.83: DODY'den elde edilen maksimum ve kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a)2KB-MAÇ b)2KB-MÇÇ c)4KB-MAÇ d)4KB-MÇÇ e)8KB-MAÇ f)8KB-MÇÇ.

Bölüm 2.2'de açıklandığı gibi, merkezi çaprazlı çerçevedeki çapraz elemanların narinliği çevrimsel davranışı değiştirmekte, bu da kalıcı görelî öteleme oranları üzerinde etkili olmaktadır. Bu etkiyi gözlemek amacıyla çevrimsel davranış modeli, burkulma sonrası sönümlenen enerjiyi önemli oranda artıracak şekilde revize edilerek ikinci bir model (Model-2) oluşturulmuş ve ilk model sonuçları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Çapraz eksenel yük kapasiteleri sabit tutulduğu için sadece çevrimsel davranışın etkisi ortaya konmuştur. Performans değerlendirmelerinde kullanılan çapraz modeli (Model-1) ile 2. modele ait davranışlar, 4KB binasına ait B168.3/6.3 çapraz elemanı için örnek olarak Şekil 3.84'te birlikte verilmiştir.

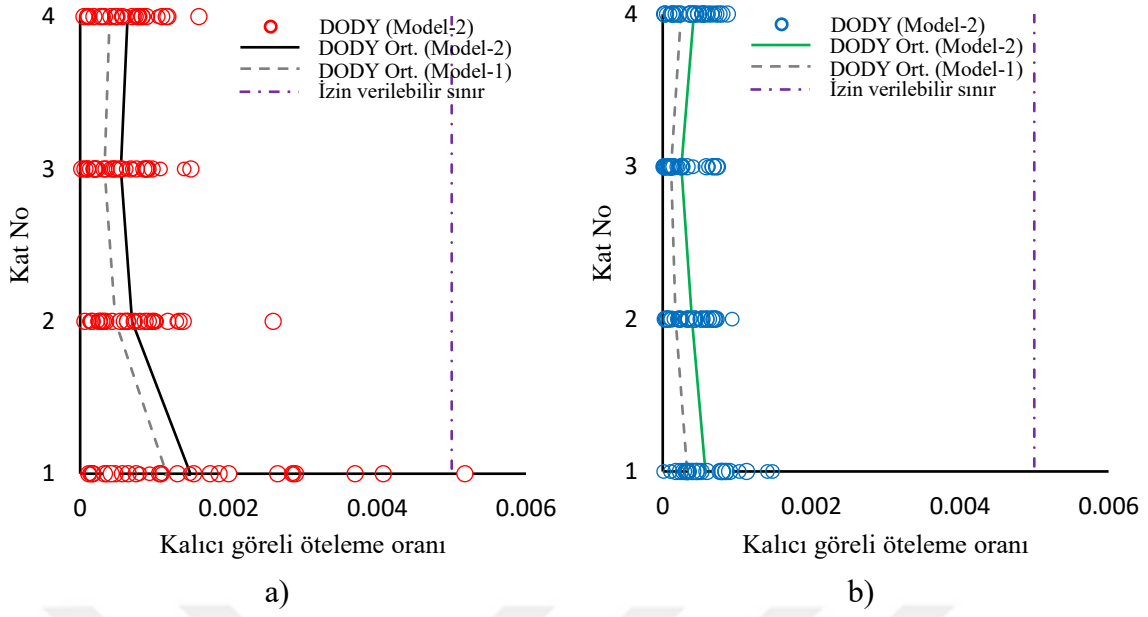


Şekil 3.84: Çapraz çevrimsel davranışı için kullanılan Model-1 ve Model-2.

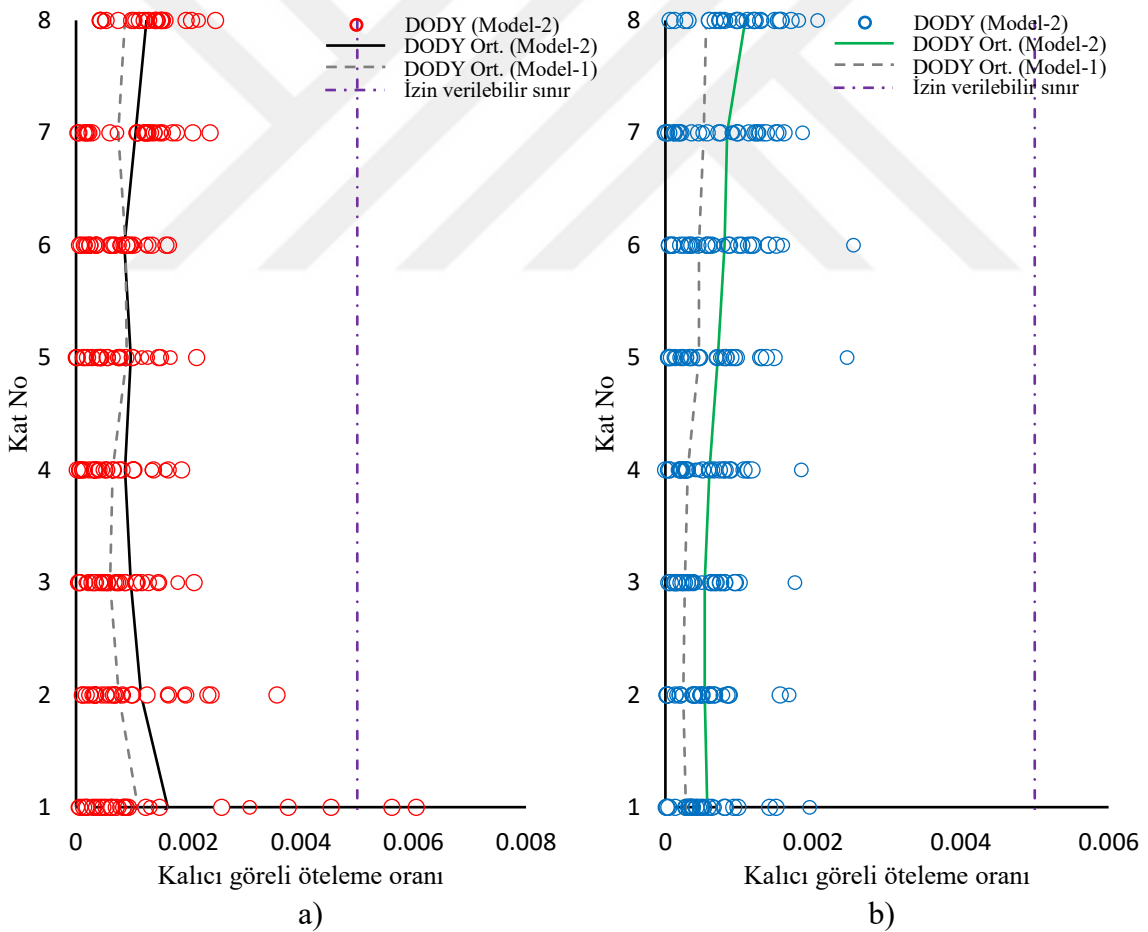
Tüm bina modellerindeki çapraz çevrimsel davranışları programda ilgili parametreler ile benzer şekilde revize edilerek dinamik analizler tekrarlanmıştır. MÇÇ sistemlerde iki metod farkının sebep olduğu değişimler Şekil 3.85-3.87’de gösterilmiştir.



Şekil 3.85: 2KB MÇÇ’de iki farklı çapraz modeli için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) DD-1 b) DD-2.



Şekil 3.86: 4KB MÇÇ’de iki farklı çapraz modeli için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) DD-1 b) DD-2.



Şekil 3.87: 8KB MÇÇ’de iki farklı çapraz modeli için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının karşılaştırılması a) DD-1 b) DD-2.

Binaların MÇÇ sistem çapraz elemanlarına ait farklı çevrimsel davranış modeli için (Model-1 ve Model-2) elde edilen kalıcı görelî öteleme oranları incelendiğinde;

- Burkulma sonrası sönümlenen enerjinin yüksek olduğu Model-2'nin kullanılması ile genel olarak tüm binalarda kalıcı görelî öteleme oranları artış göstermiştir.
- DD-2 düzeyi için; Model-2 ile elde edilen ortalama kalıcı görelî öteleme oranları, Model-1'dekilere göre en büyük değerin olduğu katta 2KB'de %50, 4KB'de %40, 8KB'de %50 oranında daha yüksek elde edilmiştir. Buna rağmen Model-2 kullanılarak elde edilen ortalama kalıcı görelî öteleme oranlarının izin verilen sınır değeri aşmadığı görülmüştür. DODY'de 30 analiz için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranları, hiçbir binada izin verilen sınırı aşmamıştır.
- DD-1 düzeyi için; Model-2 ile elde edilen kalıcı görelî öteleme oranları, Model-1'dekilere göre 2KB'de %50, 4KB'de %20, 8KB'de %30 daha yüksek elde edilmiştir. DD-1 düzeyinde dahi Model-2 için elde edilen değerlerin izin verilen sınırın çok altında kaldığı görülmüştür. Ancak DODY'de 30 analizde Model-1 ile elde edilen kalıcı görelî öteleme oranlarının hiçbirisi izin verilen sınırı aşmazken, Model-2 için 30 analizden 4KB'de 1'i, 8KB'de 2'si izin verilen sınırı aşmıştır.
- Çapraz elemanların farklı çevrimsel davranışlarını temsil eden Model-1 ve Model-2 için elde edilen sonuçlar, davranıştaki rijitlik değişimlerinin kalıcı görelî öteleme oranları üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca Model-2 için elde edilen sonuçlar, MAÇ sistemlerde elde edilen oldukça yüksek kalıcı görelî öteleme oranlarının, elemanların tam çevrimsel davranış göstererek rijitlik azalması yaşamaması nedeniyle olduğu düşüncesini destekler niteliktedir. 4KB ve 8KB'de sınırlar 1. katta aşılmış, maksimum kalıcı görelî öteleme oranları sırasıyla 0.00518 ve 0.00605 olarak elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre tasarlanan iki, dört ve sekiz katlı çelik bina modelleri üzerinde deprem performansı değerlendirmeleri ve kalıcı görelî öteleme oranı incelemeleri yapılmıştır. Çelik binaların taşıyıcı sistemleri bir doğrultuda moment aktaran çerçeve (MAÇ) sistemlerden, diğêr doğrultuda merkezi çaprazlı diyagonal çerçeve (MÇÇ) sistemlerden oluşturulmuştur. Performans kriterleri için TBDY'den, doğrusal olmayan davranışların modellenmesinde ise ASCE 41-17'den yararlanılmıştır. Doğrusal Olmayan Statik Yöntem (DOSY) ve Doğrusal Olmayan Dinamik Yöntem (DODY) olmak üzere iki yöntem kullanılmıştır. Performans değerlendirmeleri ve kalıcı görelî öteleme oranına ait incelemeler, tasarım deprem yer hareketi düzeyi (DD-2) ve maksimum deprem yer hareketi düzeyi (DD-1) için gerçekleştirilmiştir.

Binaların tasarımında esas alınan DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için yapılan performans değerlendirmelerinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- TBDY'de hedeflenen *Kontrollü Hasar (KH)* performans düzeyi tüm binalarda sağlanmıştır.
- Performans düzeyinin belirlenmesinde genel olarak binaların MÇÇ sistemlerine ait çapraz elemanlardaki plastik şekildeğıştirmeler etkili olmuştur.
- Binaların MAÇ sistemlerindeki kiriş ve kolon plastik şekildeğıştirmeleri bakımından, çok daha düşük hasar düzeyini temsil eden *Sınırlı Hasar (SH)* performans düzeyi elde edilmiştir. Buna göre MAÇ'lerde yönetmelikte öngörülenin çok üzerinde performans düzeyi elde edildiğî söylenebilmektedir.
- Genel olarak DOSY'de DODY'ye göre daha düşük plastik şekildeğıştirme talepleri elde edilmiştir. Oluşan farklar bina (genel) performans düzeyini değıştirmeyecek mertebede kalmıştır. Ancak bazı durumlarda DODY'deki ortalama değerlerin yanı sıra uygulanan 30 analiz'in tümünde elde edilen şekildeğıştirmeler DOSY'deki değerleri aşabilmiştir.
- Binaların MAÇ sistemlerinde elde edilen görelî öteleme oranları tasarım değerlerinin çok altında kalırken, MÇÇ sistemlerde tasarım değerlerine daha yakın elde edilmiştir.
- Binaların MAÇ ve MÇÇ sistemleri arasında performans düzeyleri ve görelî öteleme oranları bakımından önemli farkların oluşmasında, MAÇ elemanlarının tasarımında talep/kapasite oranlarının görelî öteleme oranı kriteri nedeniyle çok düşük kalması (0.30~0.50) ve periyot üst sınırı nedeniyle deprem yüklerinin artmasından

kaynaklanmıştır. Buna karşılık MÇÇ sistemler doğrultusunda hiçbir bina periyot üst sınırından etkilenmemiş ve tasarımda görelî öteleme oranı yerine talep/kapasite oranları (0.80~0.90) etkili olarak öngörülene uygun performans düzeyleri elde edilmiştir.

Deprem yönetmeliğinde maksimum depremi temsil eden DD-1 düzeyi yer hareketi için doğrudan bir performans hedefi belirtilmemekle birlikte, çalışmada incelenen binaların önem katsayıları ($I=1$) göz önünde bulundurulduğunda *Göçmenin Önlenmesi (GÖ)* performans düzeyinin öngörüldüğü kabul edilebilmektedir. Buna göre yapılan performans değerlendirmelerinden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- DD-1 düzeyi deprem yer hareketinde plastik şekildeğiştirmelerin artmasıyla DOSY ile DODY sonuçları arasındaki fark artmış ve 8KB'de bina performans düzeyini değiştirecek mertebeye ulaşmıştır.
- DOSY sonuçlarına göre tüm binalarda *KH* performans düzeyi, DODY'de ise 2KB ve 4KB'de *KH* performans düzeyi, 8KB'de *GÖ* performans düzeyi elde edilmiştir. Buna göre 2KB ve 4KB'de hedeflenen üzerinde, 8KB'de ise hedeflenen performansın sağlandığı söylenebilmektedir.
- DD-1 deprem düzeyinde, DD-2'den farklı olarak kiriş plastik şekildeğiştirmeleri de çaprazlar ile birlikte performans düzeyinin belirlenmesinde etkili olmuştur.
- Maksimum deprem düzeyinde elde edilen görelî öteleme oranları, MAÇ'lerde TBDY tasarım sınırlarına ancak ulaşırken, MÇÇ'lerde tasarım sınırları aşılmıştır. Bu durum tasarımda uygulanan kriterlerin MAÇ ve MÇÇ sistemlerde çok farklı doğrusal olmayan davranışa yol açtığını göstermiştir.

Binaların DOSY analizleri sonucunda kapasite eğrilerinden elde edilen dayanım fazlalığı katsayıları (D) ve süneklik kapasiteleri (μ) değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Tüm binaların MAÇ sistemlerinde elde edilen D katsayılarının TBDY'de öngörülen $D=3$ değerinin çok üzerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca binalarda kat sayısına bağlı olarak da D katsayılarının önemli ölçüde değiştiği görülmüştür.
- Binaların MÇÇ sistemlerinde de TBDY'de öngörülen $D=2$ değerinin üzerinde D katsayıları elde edilmekle birlikte yukarıda belirtilen sebeplerle (periyot üst sınır uygulaması vb.) yönetmelik öngörülerine daha yakın olduğu görülmüştür.

- Kapasite eğrileri üzerinden elde edilen yatay yer değiştirme süneklikleri her iki doğrultu için TBDY’de öngörülen süneklik kapasitelerini genel olarak sağlamıştır. Ancak D katsayılarındaki büyük farklılıklar ve sisteme/kat sayısına göre oluşan değişimler yönetmelikte öngörülenden çok farklı deprem süneklik taleplerinin gerçekleşmesine yol açmıştır.

Binaların deprem sonrası kullanılabilirliği veya onarılabilirliği için 0.005’lik kalıcı görelî öteleme oranı sınırı referans alınarak yapılan değerlendirmelerde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Tüm binalarda tasarım (DD-2) ve maksimum deprem düzeyi (DD-1) için DODY’den elde edilen ortalama kalıcı görelî öteleme oranları 0.005’lik sınırın altında kalmıştır.
- Binaların MAÇ sistemlerinde elde edilen kalıcı görelî öteleme oranları, MÇÇ sistemdekilere göre çok daha yüksek elde edilmiştir.
- Her bir deprem için elde edilen kalıcı görelî öteleme oranları göz önünde bulundurulduğunda dahi DD-2 deprem düzeyi için izin verilebilir sınır genel olarak aşılmazken, DD-1 deprem düzeyi için MAÇ sistemlerde çok sayıda deprem kaydında 0.005’lik sınırın aşılabildiği belirlenmiştir. Bu durum tasarım depremi düzeyinde her iki taşıyıcı sistem için de ilgili sınırın aşılma riski bulunmadığını, ancak maksimum deprem düzeyinde MAÇ’de böyle bir risk oluşabileceğini göstermektedir.
- MAÇ sistemlerde, çapraz elemanda burkulma sonrası oluşan plastik mafsallar nedeniyle, çevrimsel davranışta önemli rijitlik azalmaları oluşmakta, bu da kalıcı görelî öteleme oranlarının azalmasını sağlamaktadır.
- Söz konusu rijitliklerin değişiminin etkisi incelendiğinde; çevrimsel davranışta sönümlenen enerjinin artması kalıcı görelî öteleme oranlarını artırmıştır. Ancak buna rağmen MÇÇ’lerde her iki deprem düzeyinde de referans alınan sınır aşılmamıştır. Buna dayanarak çapraz narinliklerinin artırılmasının kalıcı görelî öteleme oranları bakımından avantajlı olduğu söylenebilmektedir.

Sonuç olarak eleman hasar düzeylerine dayanan performans kriterlerinin tasarım deprem düzeyi için kalıcı görelî öteleme oranları bakımından yeterli olduğu söylenebilmektedir.

Maksimum deprem düzeyi için ise ortalama kalıcı görelî öteleme oranları bakımından TBDY kriterleri yine yeterli olmakla birlikte, çok sayıda deprem için maksimum kalıcı görelî

öteleme oranlarının sınırı aşması nedeniyle binanın deprem sonrası kullanılamaz hale gelme potansiyeli bulunduğu söylenebilmektedir.

Binalarda kalıcı görelî öteleme oranı için referans alınan sınır (0.005) sağlanmakla birlikte, elde edilen performans düzeyleri ile kalıcı görelî öteleme oranı eğilimleri arasında önemli farklar gözlenmiştir. Binaların MAÇ sistemlerinde düşük hasar düzeylerine karşılık büyük kalıcı görelî öteleme oranları elde edilirken, MÇÇ sistemlerde yüksek hasar düzeylerine karşılık çok düşük kalıcı görelî öteleme oranları elde edilmiştir. Buna dayanarak, incelenen binalarda MAÇ sistemlerin dayanım fazlalıkları vb. nedeniyle aşırı güvenli tasarlanması sayesinde kalıcı görelî öteleme oranı sınırını sağlayabildiği söylenebilmektedir.

Bu bağlamda, MAÇ sistemlerde performans düzeyi-kalıcı görelî öteleme oranı ilişkilerinin farklı tasarım yöntemleri (mod birleştirme vb.) ve bina modellerini içerecek şekilde daha kapsamlı incelenmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca, MÇÇ sistemlerin kalıcı ötelemeleri önleme potansiyelinin, MAÇ sistemler ile birleştirilerek (dual sistem olarak) kullanılması da, performans düzeylerine uyum bakımından önemli avantajlar sağlayabilecektir.

Çalışmada elde edilen sonuçlar incelenen çelik bina örnekleri ve yapılan varsayımlar çerçevesinde geçerlidir. Sonuçların genelleştirilebilmesi için aşağıda belirtilen öneriler doğrultusunda yeni çalışmalar yapılması gerektiği düşünülmektedir.

- Bu çalışma kapsamındaki hesap modellerinde göz önüne alınmayan kirişlerde betonarme döşemenin etkisi, düşey yük taşıyan çerçevelerdeki basit birleşimlerin etkisi, MAÇ'lerdeki birleşim rijitliklerinin etkisi vb. etkilerin ayrıca incelenmesi uygun olacaktır.
- Plastik şekildeğişirmelerin ve kalıcı ötelemelerin deprem karakteristiklerine duyarlı olması nedeniyle bu çalışmada kullanılan spektral uyum yöntemi dışındaki diğer ölçekleme tekniklerinin ve yakın fay özelliği taşıyan deprem yer hareketlerinin de incelenmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Bu çalışmada sadece diyagonal tip merkezi çaprazlı çerçeveler incelenmiş ve kullanılan çapraz sayısı az olduğu için narinlikler orta düzeyde kalmıştır. Bu bağlamda farklı bina boyutları ve farklı çapraz türleri (V tipi, X tipi vb.) için yapılacak çalışmaların performans düzeyi-kalıcı görelî öteleme oranı ilişkisi bakımından önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.
- [2] Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-17, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2017.
- [3] Design of Structures for Earthquake Resistance Part 1, Eurocode-8, European Committee for Standardization, Brussels, 1998.
- [4] J. C. Anderson, F. C. Filippou, “Dynamic Response Analysis of the 17-story Canoga Building”, SAC Technical Report, 95-04, Jan. 15 1994.
- [5] T. Okada, T. Kabeyasawa, Y. Nakano, M. Maeda and T. Nakamura, “Improvement of Seismic Performance of Reinforced Concrete School Buildings in Japan-Part 1: Damage Survey And Performance Evaluation After The 1995 Hyogo-Ken Nambu Earthquake”, presented at the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Paper 2421, 2000.
- [6] R. Chung, “The January 17, 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake” National Institute Of Standards And Technology (NIST), Pub. 901, July 1996.
- [7] Performance Based Seismic Engineering of Buildings, Vision 2000, Structural Engineers Association, California, USA, 1995.
- [8] Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC-40, Applied Technology Council, California, 1996.
- [9] NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington D. C., 1997.
- [10] Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-06, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2006.
- [11] Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41-13, American Society of Civil Engineers Reston, VA, USA, 2013.
- [12] Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, ASCE/SEI 41- 23, American Society of Civil Engineers Reston, VA, USA, 2023.
- [13] Quantification of building seismic performance factors, FEMA P695, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA, 2009.
- [14] Seismic Performance Assessment of Buildings, FEMA P-58, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA, 2018.

- [15] Resilient Repair Guide Source Report, Post-Earthquake Assessment of Reinforced Concrete Buildings, ATC 145, Applied Technology Council, California, USA, 2021.
- [16] J. McCormick, H. Aburano, M. Ikenega and M. Nakashima, “Permissible Residual Deformation Levels For Building Structures Considering Both Safety And Human Elements”, presented at The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China, October 2008.
- [17] M. J. N. Priestley, “Myths And Fallacies in Earthquake Engineering-Conflicts Between Design and Reality, Bull NZNSEE, pp. 329, 1993.
- [18] P. Bazzurro, C. A. Cornell, C. Menun and M. Motahari, “Guidelines For Seismic Assessment Of Damaged Buildings”, presented at The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1708, Vancouver, B. C., Canada, Aug. 2004.
- [19] K. Mackie, B. Stojadinovic, “Residual Displacement And Post-Earthquake Capacity Of Highway Bridges”, presented at The 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 1550, Vancouver, B. C., Canada, Aug. 2004.
- [20] J. Ruiz-Garcia, E. Miranda, “Evaluation of residual drift demands in regular multi-storey frames for performance-based seismic assessment”, *Earthquake Engineering And Structural Dynamics*, vol. 35, pp. 1609-1629, July 26 2006.
- [21] S. A. Mahin, V. V. Bertero, “An Evaluation Of Inelastic Seismic Design Spectra, *Journal of the Structural Division*, vol. 107, pp. 1777-1795, Sep. 1981.
- [22] G. A. MacRae, K. Kawashima, “Post-Earthquake Residual Displacements of Bilinear Oscillators”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 26, pp.701–716, July 1997.
- [23] S. Pampanin, C. Christopoulos, M. J. N. Priestley, “Residual Deformations in The Performance-Based Seismic Assessment of Frame Structures”, IUSS PRESS, July 1996.
- [24] S. Pampanin, C. Chistopoulus, M.J. N. Priestley, “Performance-Based Seismic Responce of Frame Structures Including Residual Deformations. Part I: Single-Degree of Freedom Systems”, *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 7, pp. 97-118, Jun. 2002.
- [25] A. Gupta, H. Krawinkler, “Seismic Demands For Performance Evaluation of Steel Moment Resisting Frame Structures”, Blume Earthquake Engineering Center, Standford, California, *Rep. 132*, 1999.
- [26] S. Pampanin, C. Chistopoulus, M.J. N. Priestley, “Performance-Based Seismic Responce of Frame Structures Including Residual Deformations. Part II: Multi-Degree

- of Freedom Systems”, *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 7, pp. 119-147, Jun. 2002.
- [27] R. Medina, H. Krawinkler, “Seismic Demands For Nondeteriorating Frame Structures and Their Dependence on Ground Motions”, Pacific Earthquake Engineering Research Center, Stanford, California, Rep. PEER 2003/13, October 2003.
- [28] K. Kaga, “Vestibular Sensitivity and Sense of Inclination”, *Journal of Cognitive Science*, vol. 7, pp. 16-22, 2005.
- [29] S. Yasuda, T. Hashimoto, “Differential Settlement Caused by Liquefaction in Tottori-Seibu Earthquake”, *Annual Meeting of Japanese Society of Civil Engineers*, pp. 1029-1030, 2002.
- [30] M. Fujii, “Damage To an Repair of Foundations of Residential Buildings in Liquefied Areas in Hygoken-Nanbu Earthquake”, *Soil and Foundations*, vol. 46, pp. 9-12, 2002.
- [31] Residential Dispute Processing Technical Handbook, Japanese Law Publication, in Japan, Japan, 2000.
- [32] Y. Iwata, K. Sugimoto, H. Kuwamura, “Reparability Limit of Steel Structural Buildings: Study on Performance-Based Design of Steel Structural Buildings Part 2”, *Journal of Structural and Construction Engineering*, vol. 588, pp. 165-172, 2005.
- [33] J. M. Ricles, D. G. Lignos, J. Love, M. Midorikawa and T. Okazaki, “Tohoku Japan Earthquake & Tsunami Clearinghouse”, Japan, Aug. 3, 2011. [Online]. Available: <https://learningfromearthquakes.org/2011-03-11-tohoku-japan/11-resources/48-effects-of-the-2011-tohoku-japan-earthquake-on-steel-structures>
- [34] E. Rosenblueth, R. Meli, “The 1985 Mexico earthquake: causes and effects in Mexico City”, *Concrete International*, vol. 8(5), pp. 23 –34, 1986.
- [35] R. Sabelli, S. Mahin and C. Chang, “Seismic demands on steel braced frame buildings with buckling restrained braces.” *Eng. Struct.*, vol. 25(5), pp. 655–666, 2003.
- [36] S. Kiggins, C. M. Uang, “Reducing residual drift of bucklingrestrained braced frames as a dual system.” *Eng. Struct.*, vol. 28(11), pp. 1525–1532, 2006.
- [37] L. A. Fahnestock, R. Sause and J. M. Ricles, “Seismic response and performance of buckling-restrained braced frames.” *J. Struct. Eng.*, vol. 133(9), pp. 1195–1204, 2007.
- [38] L. A. Fahnestock, J. M. Ricles and R. Sause, “Experimental evaluation of a large-scale buckling-restrained braced frame.” *J. Struct. Eng.*, vol. 133(9), pp. 1205–1214, 2007.
- [39] D. Pettinga, C. Christopoulos, S. Pampanin and N. Priestley, “Effectiveness of simple approaches in mitigating residual deformations in buildings.” *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, vol. 36(12), pp. 1763–1783, 2007.

- [40] R. Tremblay, M. Lacerte and C. Christopoulos, “Seismic response of multistory buildings with self-centering energy dissipative steel braces.” *J. Struct. Eng.*, vol. 134(1), pp. 108–120, 2008.
- [41] O. Şeker, Ö. A. Şişman, B. Akbaş, “Depreme Dayanıklı Merkezi Çaprazlı Çerçeve Tasarımında Güncel Kapasite Tasarımı Yaklaşımının İrdelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 37, pp. 739-756.
- [42] Guidelines for Performance-Based Design of Tall Buildings, prepared by the Tall Buildings Initiative Guidelines Working Group for The Pacific Earthquake Engineering Research Center, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2009.
- [43] M. Saiidi, M. A. Sozen, “Simple Nonlinear Seismic Analysis of R/C Structures”, *Journal of the Structural Division*, vol. 107, pp. 937–51, 1981.
- [44] P. Fajfar, P. Gaspersic, “The N2 Method For The Seismic Damage Analysis of RC Buildings”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 25, pp. 31-46, 1996.
- [45] J. M. Bracci, S. K. Kunnath, A. M. Reinhorn, “Seismic Performance And Retrofit Evaluation of Reinforced Concrete Structures”, *Journal of Structural Engineering*, vol. 123, pp. 3-,1997.
- [46] Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., 2000.
- [47] A. K. Chopra, R. K. Goel, “A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation”, Report No. PEER 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 2001.
- [48] H. Krawinkler, G. D. P. K. Seneviratna, “Pross and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation”, *Engineering Structures*, vol. 20, pp. 452-464, Jun. 1998.
- [49] N. M. Aydinoglu, “An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 1, pp.3-36, 2003.
- [50] B. Gupta, S. K. Kunnath,2000, “Adaptive spectra based pushover procedure for seismic evaluation of structures,”, *Earthquake Engineering Research Institute*, vol. 16, pp. 367-391, 2000.
- [51] G. Manoukas, “A Multimode Pushover Procedure for Asymmetric Buildings Under Bidirectional Ground Motion”, presented at the Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul, Turkiye, Aug. 25-29, 2014.

- [52] R. W. Clough, J. Penzien, *Dynamic of Structures Third Edition*, USA: CSI, 1995, pp.234-235.
- [53] Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., 2005.
- [54] M. Bruneau, C. Uang, R. Sabelli, *Ductile Desing of Steel Structures Second Edition*, The McGraw-Hill Companies, 2011.
- [55] J. Hancock, J. J. Bommer and P. J. Stafford, “Numbers of scaled and matched accelerograms required for inelastic dynamic analyses”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 37, pp. 1585-1607, 2008.
- [56] L. Al-Atik, N. A. Abrahamson, “An improved method for nonstationary spectral matching”, *Earthquake Spectra*, vol. 26, pp. 601-617, 2010.
- [57] Minimum Design Loads for Buildigs and Other Structures, ASCE/SEI 7-2022, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA, 2022.
- [58] Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, ÇYTHYDE, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 2016.
- [59] SAP2000 Structural Analysis Program, Computers and Structures Berkeley, California, USA, 2008.
- [60] PERFORM-3D, Computer Software, Computers and Structures Berkeley, California, USA, 2023.
- [61] <https://ngawest2.berkeley.edu/> (Mayıs 2024).
- [62] A Program For Spectral Matching of Earthquake Records, SeismoMatch, Seismosoft-Earthquake Engineering Software Solutions, 2023.

EKLER

EKLER

EK A: Doğrusal Olmayan Analizlerde Kullanılan İç Kuvvet-Şekildeğiştirme Bağıntıları, Modelleme Parametreleri ve Performans Sınırları

Tablo A.1: 2KB binası kiriş elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Kiriş Profili	Mafsal Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			θ_y	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[rad]	[rad]	[rad]		[rad]	[rad]	[rad]
1	IPE220	K1-1, K1-2, K2-1, K2-2, K5-1, K5-2, K6-1, K6-2	0.019	0.169	0.206	0.6	0.019	0.113	0.169
2	IPE220	K3-1, K3-2, K4-1, K4-2, K7-1, K7-2, K8-1, K8-2	0.019	0.169	0.206	0.6	0.019	0.113	0.169

Tablo A.2: 2KB binası kolon elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Kolon Profili	Mafsal Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			θ_y	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[rad]	[rad]	[rad]		[rad]	[rad]	[rad]
1	IPE400	S1-1, S1-2, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2	0.0057	0.008	0.022	0.73	0.0057	0.034	0.052
1	IPE400	S4-1, S4-2, S5-1, S5-2, S6-1, S6-2	0.006	0.011	0.029	0.81	0.006	0.036	0.054

Tablo A.3: 2KB binası çapraz elemanlarına ait çekme kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Çapraz Profili	Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			Δ_T	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[m]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]
1	B139.7/6	Ç1-Ç2	0.011	0.086	0.097	0.6	0.005	0.076	0.097
2	B114.3/5	Ç3-Ç4	0.011	0.086	0.097	0.6	0.005	0.076	0.097

Tablo A.4: 2KB binası çapraz elemanlarına ait basınç kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Çapraz Profili	Mafsal No	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			Δ_c	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[m]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]
1	B139.7/6	Ç1-Ç2	0.0032	0.0016	0.0289	0.3	0.002	0.019	0.029
2	B114.3/5	Ç3-Ç4	0.0021	0.0011	0.0193	0.3	0.001	0.013	0.019

Tablo A.5: 4KB binası kiriş elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Kiriş Profili	Mafsalsı Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			θ_y	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[rad]	[rad]	[rad]		[rad]	[rad]	[rad]
1-2	IPE360	K1-1, K1-2, K2-1, K2-2, K3-1, K3-2, K4-1, K4-2, K5-1, K5-2, K6-1, K6-2	0.0118	0.1060	0.1295	0.6	0.012	0.071	0.106
3-4	IPE300	K7-1, K7-2, K8-1, K8-2, K9-1, K9-2, K10-1, K10-2, K11-1, K11-2, K12-1, K12-2	0.0139	0.1253	0.1531	0.6	0.014	0.084	0.125

Tablo A.6: 4KB binası kolon elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Kolon Profili	Mafsalsı Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			θ_y	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[rad]	[rad]	[rad]		[rad]	[rad]	[rad]
1	HEB360	S1-1, S1-2, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2, S4-1, S4-2	0.0076	0.024	0.059	0.829	0.0076	0.045	0.068

Tablo A.7: 4KB binası çapraz elemanlarına ait çekme kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Çapraz Profili	Mafsalsı Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			Δ_T	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[m]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]
1-2-3	B168.3/6.3	Ç1, Ç2, Ç3, Ç4, Ç5, Ç6	0.011	0.088	0.098	0.6	0.005	0.077	0.098
4	B139.7/6	Ç7, Ç8	0.011	0.088	0.098	0.6	0.005	0.077	0.098

Tablo A.8: 4KB binası çapraz elemanlarına ait basınç kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Çapraz Profili	Mafsalsı Adı	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			Δ_c	a	b	c	SH	KH	GÖ
			[m]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]
1-2-3	B168.3/6.3	Ç1, Ç2, Ç3, Ç4, Ç5, Ç6	0.0046	0.0026	0.0404	0.3	0.0023	0.0276	0.0415
4	B139.7/6	Ç7, Ç8	0.0032	0.0016	0.0285	0.3	0.0016	0.0190	0.0285

Tablo A.9: 8KB binası kiriş elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Kiriş Profili	Mafsals No	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			θ_y [rad]	a [rad]	b [rad]	c	SH [rad]	KH [rad]	GÖ [rad]
1-2	IPE450	K1-1,K1-2,K2-1,K2-2,K3-1,K3-2,K4-1,K4-2,K5-1,K5-2,K6-1,K6-2	0.0097	0.0871	0.1065	0.6	0.0097	0.058	0.087
3-4	IPE400	K7-1,K7-2,K8-1,K8-2,K9-1,K9-2,K10-1,K10-2,K11-1,K11-2,K12-1,K12-2	0.0108	0.0969	0.1185	0.6	0.0108	0.065	0.097
5-6	IPE360	K13-1,K13-2,K14-1,K14-2,K15-1,K15-2,K16-1,K16-2,K17-1,K17-2,K18-1,K18-2	0.0118	0.1060	0.1295	0.6	0.0118	0.071	0.106
7-8	IPE300	K19-1,K19-2,K20-1,K20-2,K21-1,K21-2,K22-1,K22-2,K23-1,K23-2,K24-1,K24-2	0.0139	0.1253	0.1531	0.6	0.0139	0.084	0.125

Tablo A.10: 8KB binası kolon elemanlarına ait modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Kolon Profili	Mafsals No	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			θ_y [rad]	a [rad]	b [rad]	c	SH [rad]	KH [rad]	GÖ [rad]
1	HEB500	S1-1, S1-2, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2, S4-1, S4-2	0.0061	0.0178	0.045	0.80	0.0061	0.037	0.055

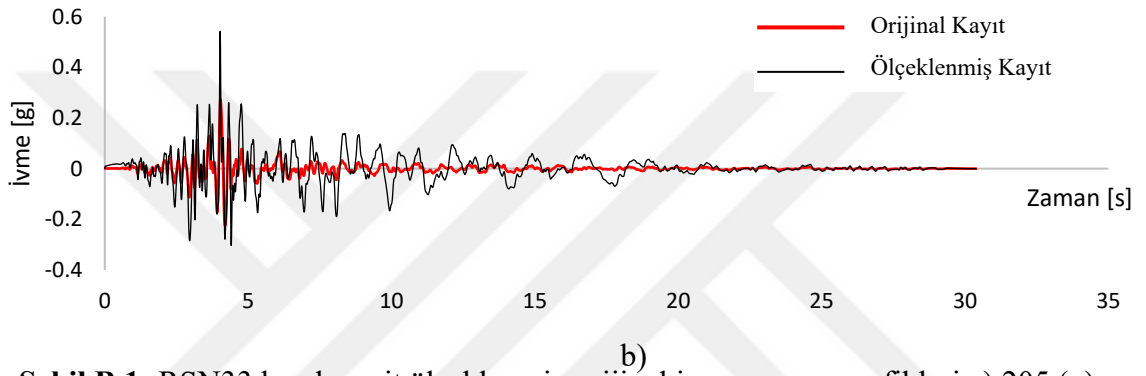
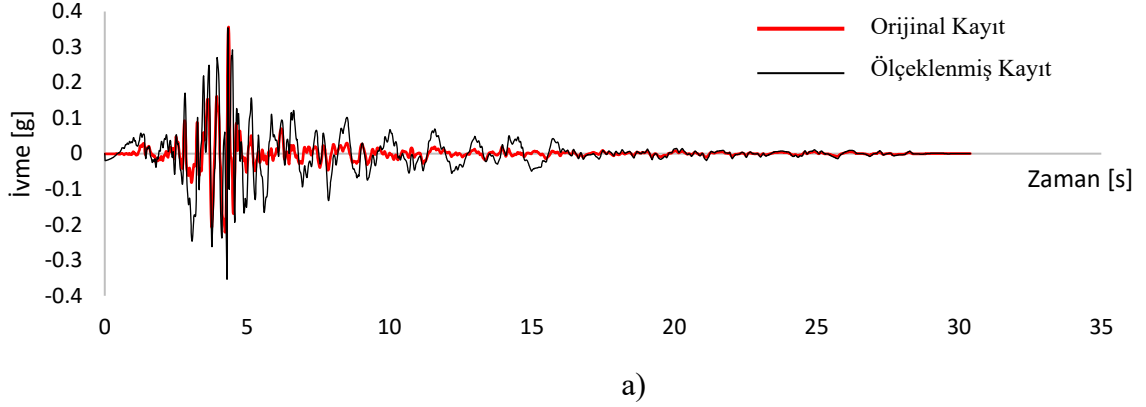
Tablo A.11: 8KB binası çapraz elemanlarına ait çekme kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Çapraz Profili	Mafsals No	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			Δ_T [m]	a [m]	b [m]	c	SH [m]	KH [m]	GÖ [m]
1-2-3-4	B177.8/8	Ç1, Ç2, Ç3, Ç4, Ç5, Ç6, Ç7, Ç8	0.011	0.088	0.098	0.6	0.005	0.077	0.098
5-6-7	B168.3/6.3	Ç9, Ç10, Ç11, Ç12, Ç13, Ç14	0.011	0.088	0.098	0.6	0.005	0.077	0.098
8	B139.7/6	Ç15, Ç16	0.011	0.088	0.098	0.6	0.005	0.077	0.098

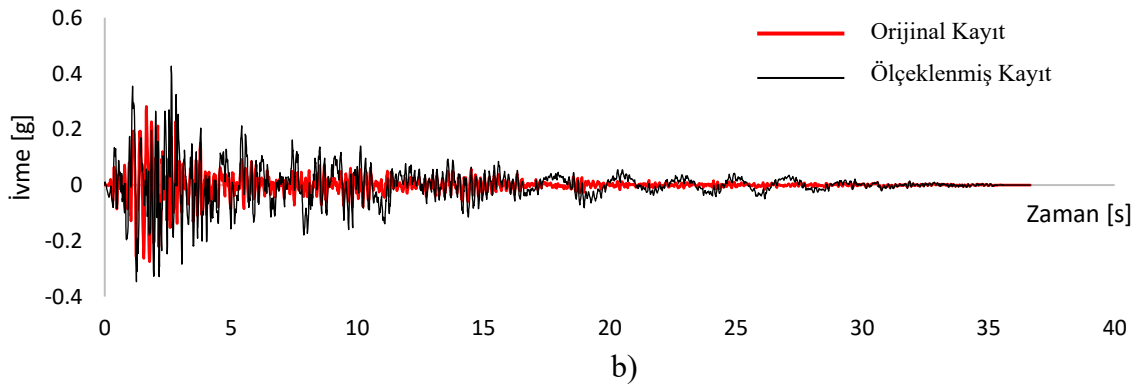
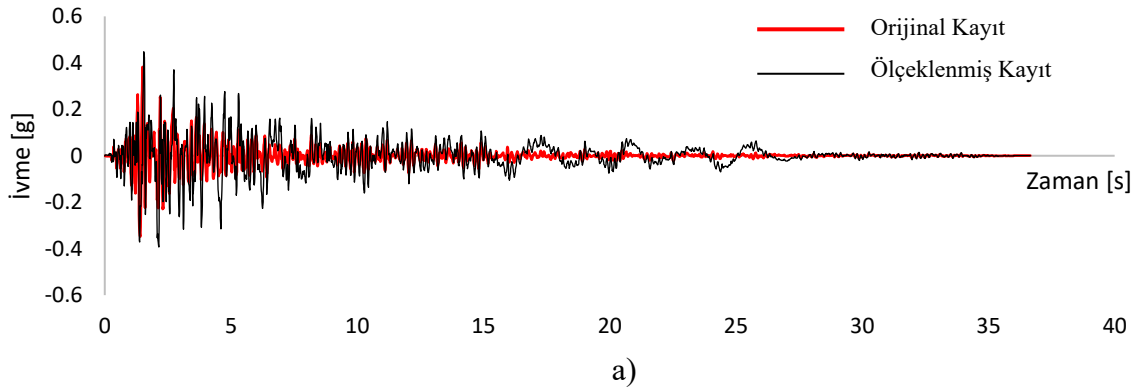
Tablo A.12: 8KB binası çapraz elemanlarına ait basınç kuvveti etkisinde modelleme parametreleri ve performans sınırları.

Kat	Çapraz Profili	Mafsals No	Modelleme Parametreleri				Performans Sınırları		
			Δ_c [m]	a [m]	b [m]	c	SH [m]	KH [m]	GÖ [m]
1-2-3-4	B177.8/8	Ç1, Ç2, Ç3, Ç4, Ç5, Ç6, Ç7, Ç8	0.0050	0.0030	0.0428	0.3	0.0025	0.0299	0.0449
5-6-7	B168.3/6.3	Ç9, Ç10, Ç11, Ç12, Ç13, Ç14	0.0046	0.0026	0.0404	0.3	0.0023	0.0276	0.0415
8	B139.7/6	Ç15, Ç16	0.0032	0.0016	0.0285	0.3	0.0016	0.0190	0.0285

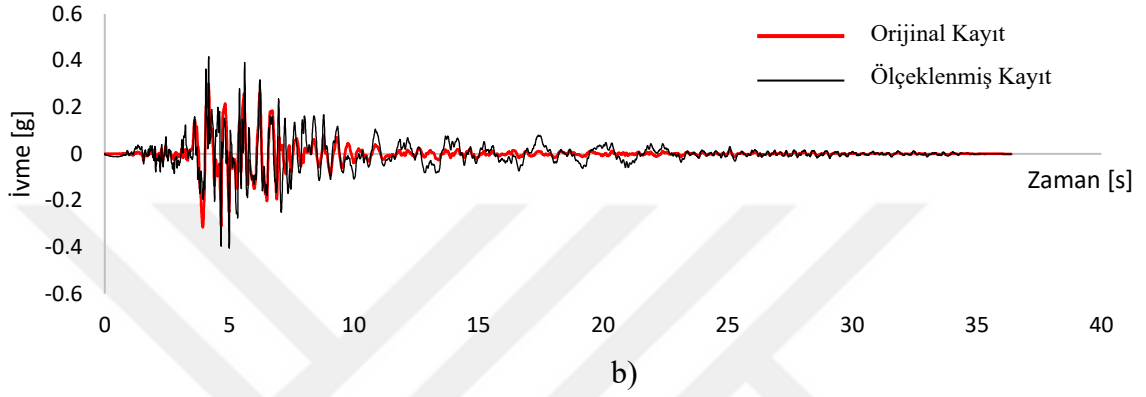
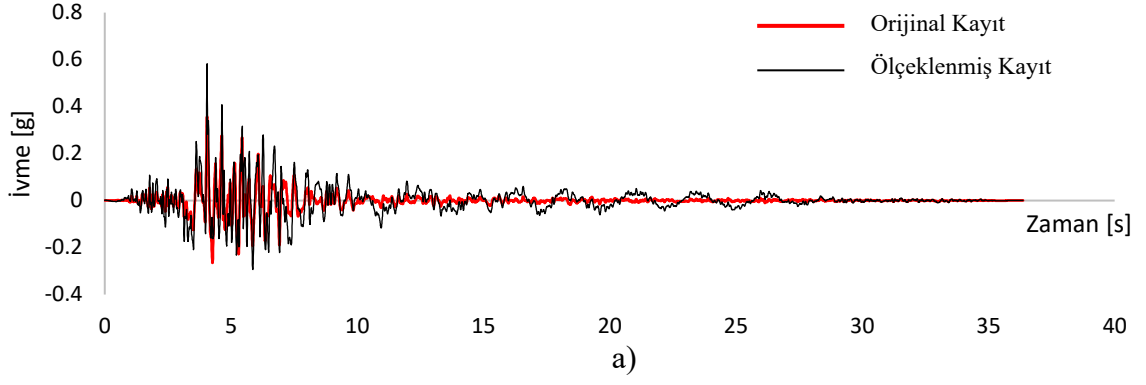
EK B: Orijinal ve DD-2 Deprem Düzeyine Göre Ölçeklenmiş Deprem Kayıtlarının İvme-Zaman Grafikleri



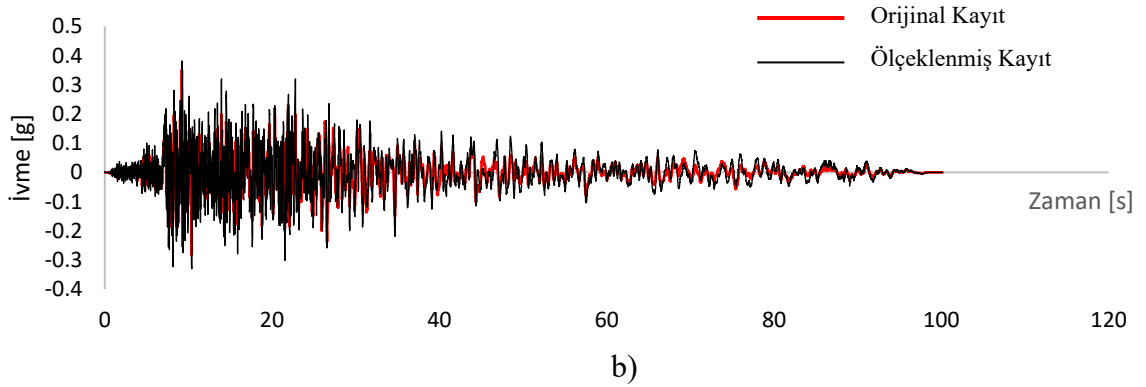
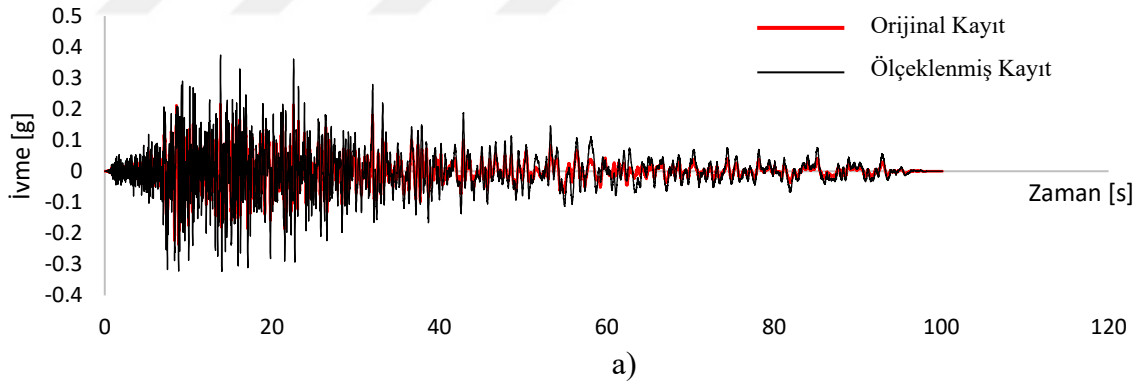
Şekil B.1: RSN33 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 205 (x) bileşeni b) 295 (y) bileşeni.



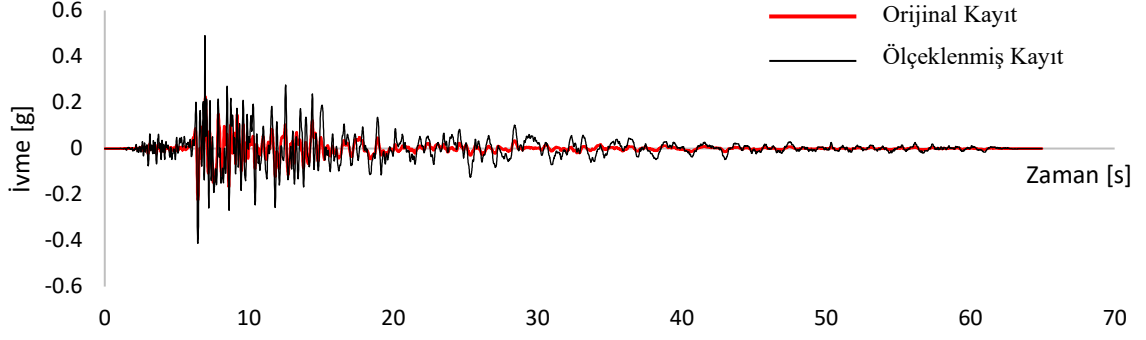
Şekil B.2: RSN71 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 021 (x) bileşeni b) 291 (y) bileşeni.



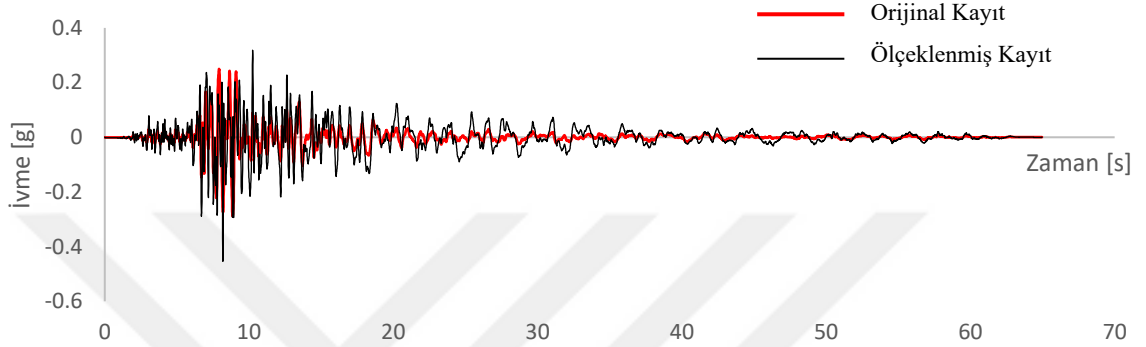
Şekil B.3: RSN125 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 270 (y) bileşeni.



Şekil B.4: RSN169 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 262 (x) bileşeni b) 352 (y) bileşeni.

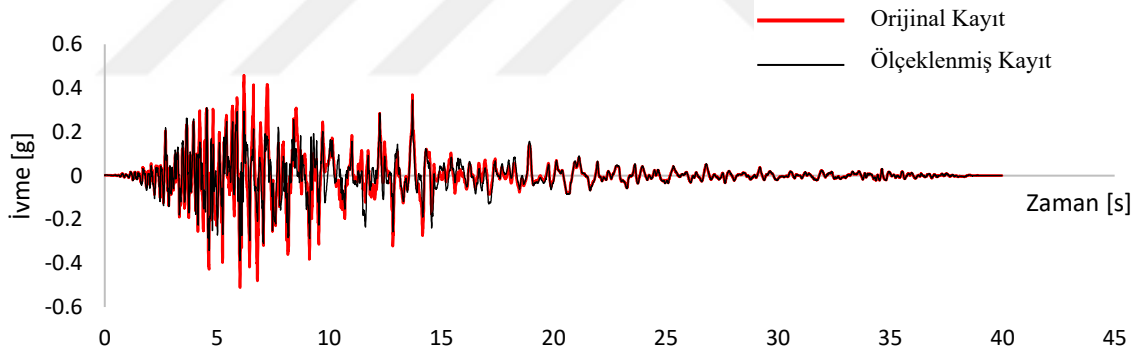


a)

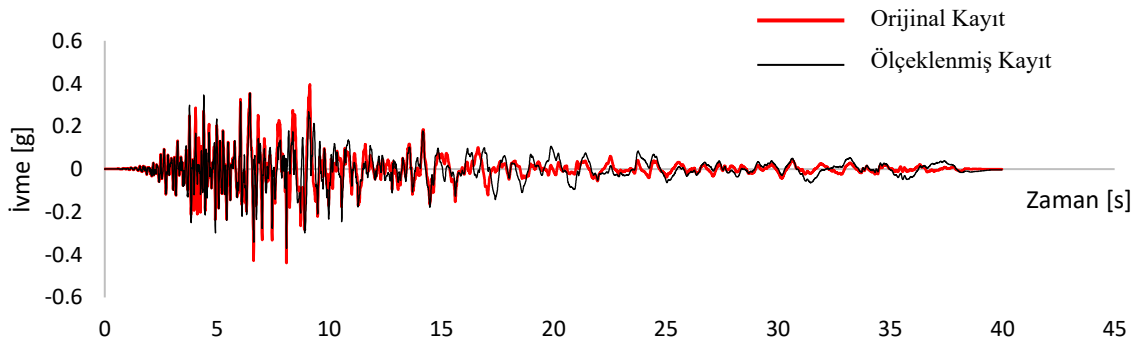


b)

Şekil B.5: RSN322 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 270 (x) bileşeni b) 360 (y) bileşeni.

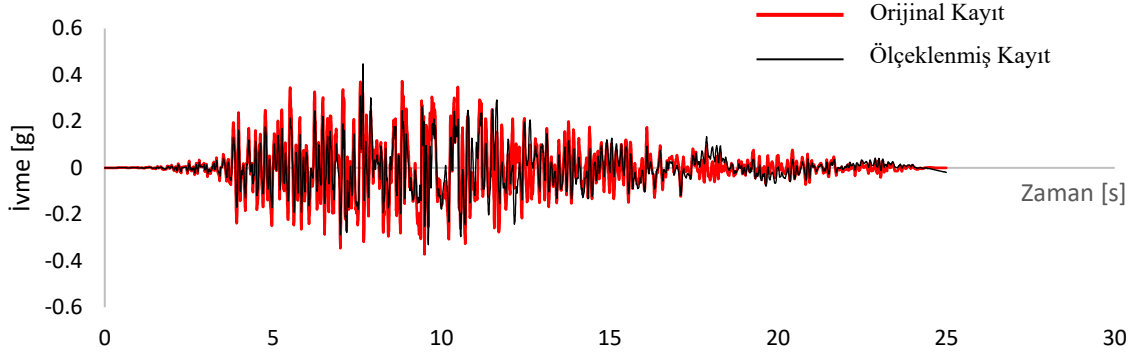


a)

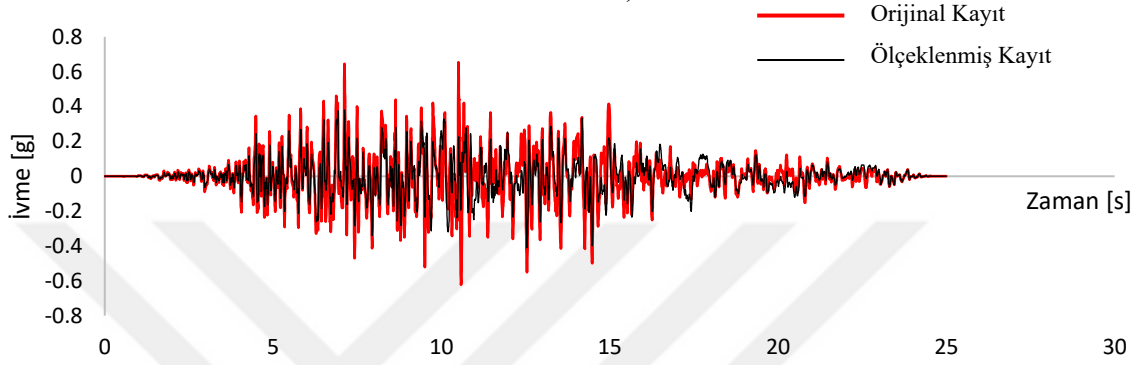


b)

Şekil B.6: RSN752 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 90 (y) bileşeni.

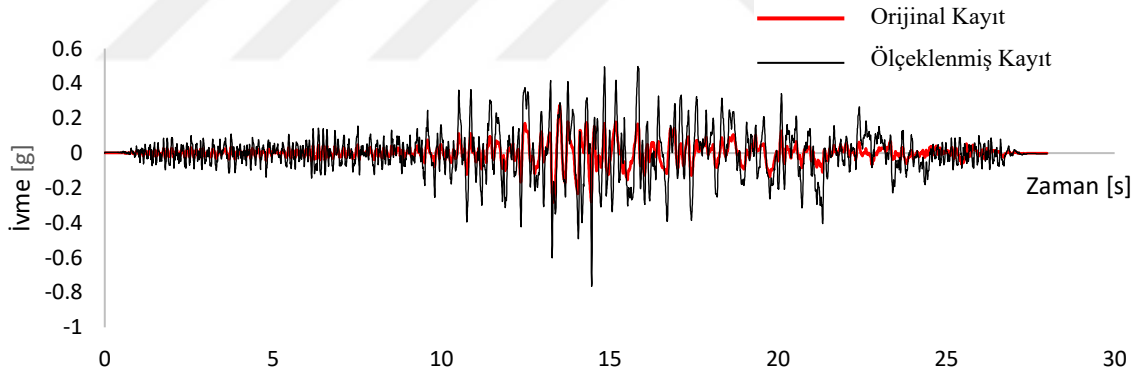


a)

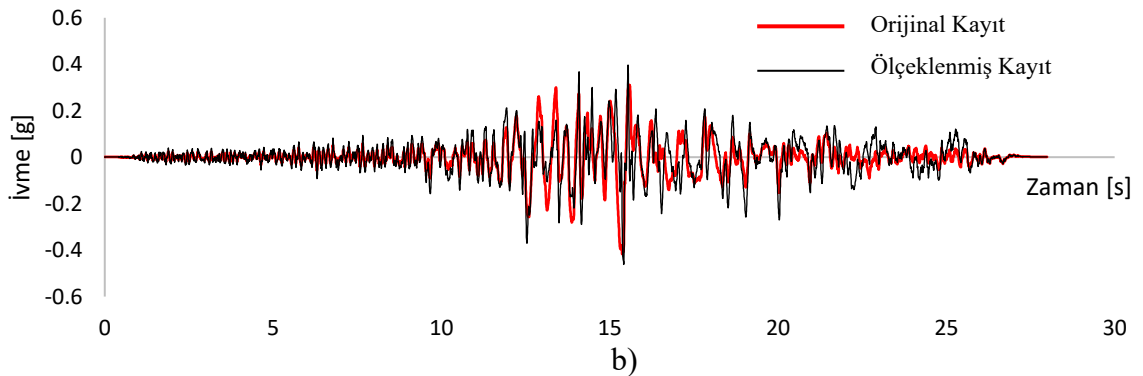


b)

Şekil B.7: RSN811 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 090 (y) bileşeni.

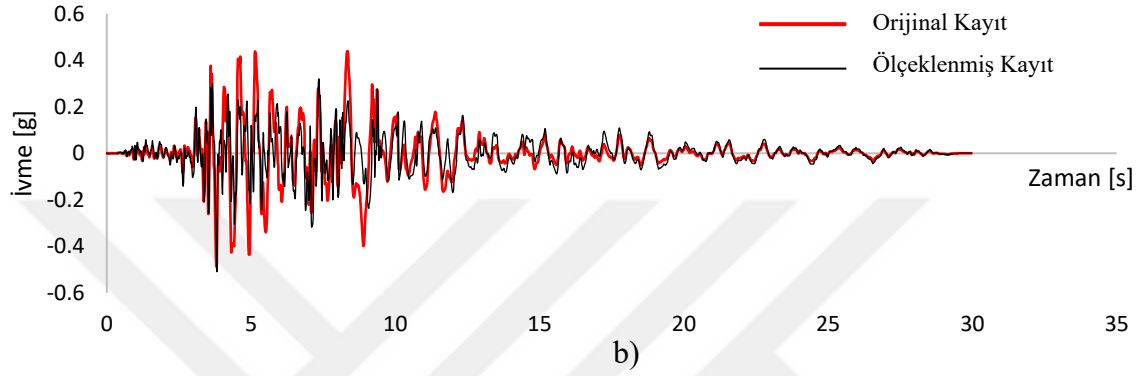
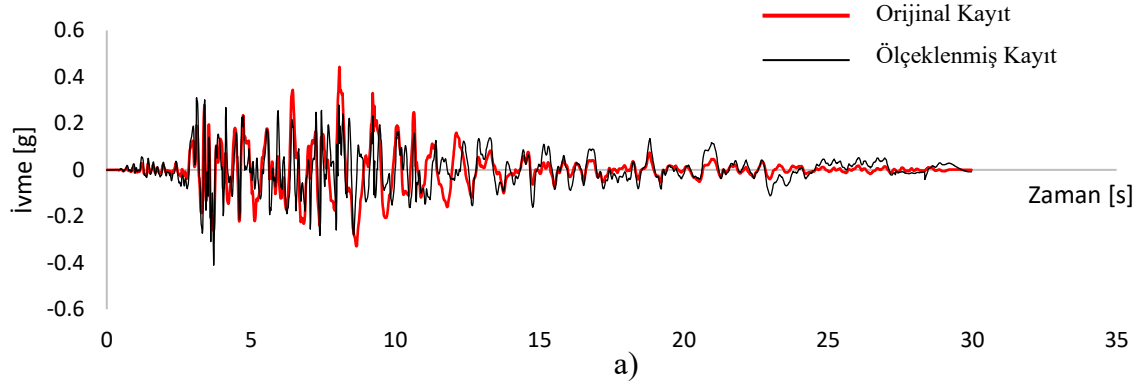


a)

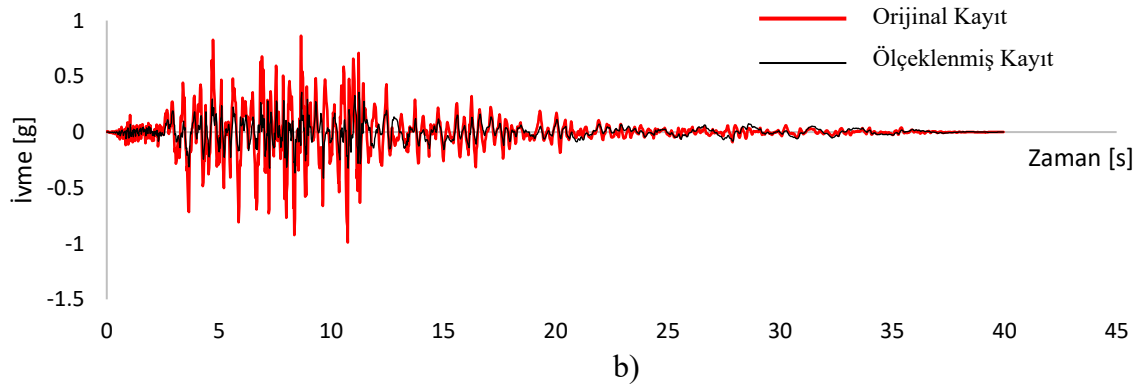
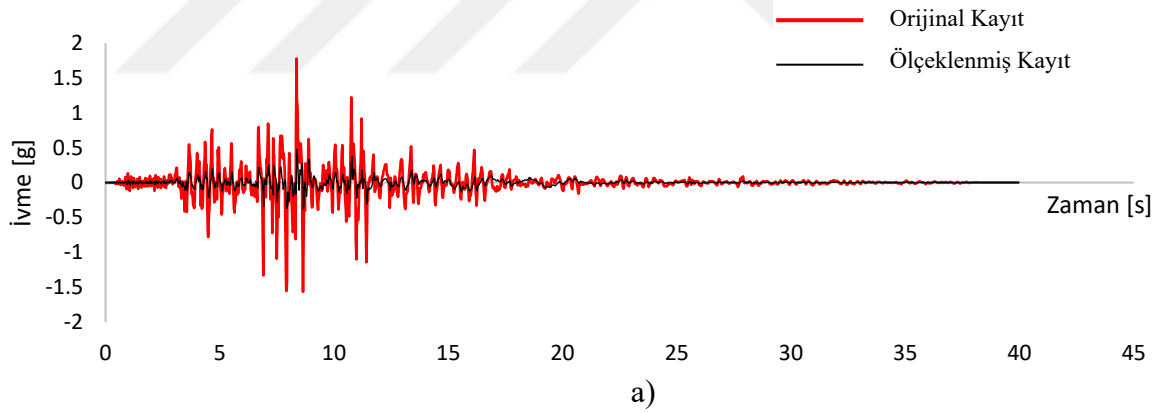


b)

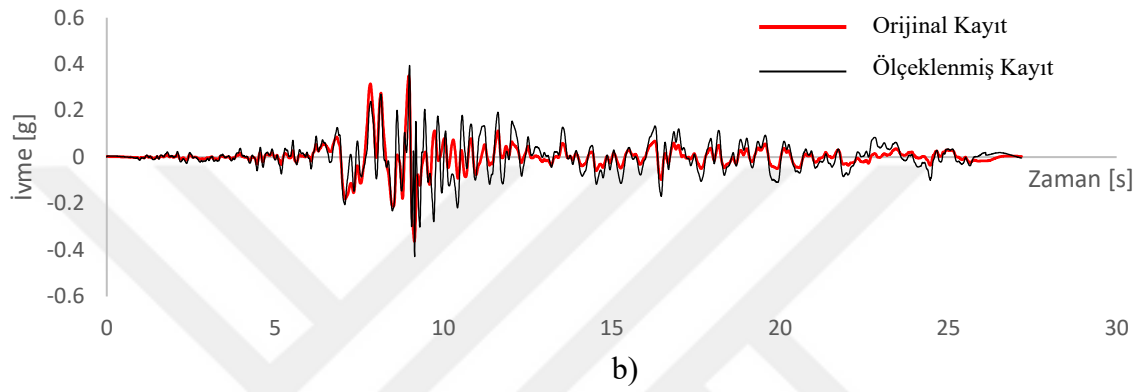
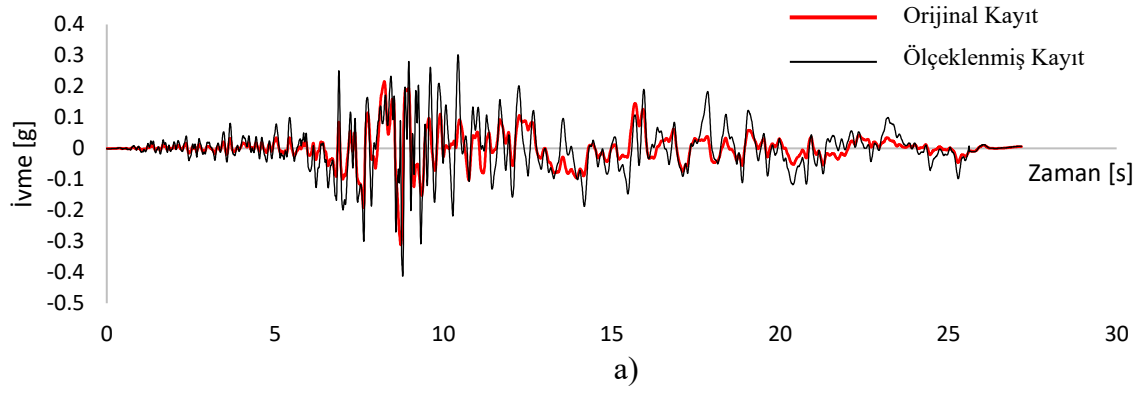
Şekil B.8: RSN848 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) LN (x) bileşeni b) TR (y) bileşeni.



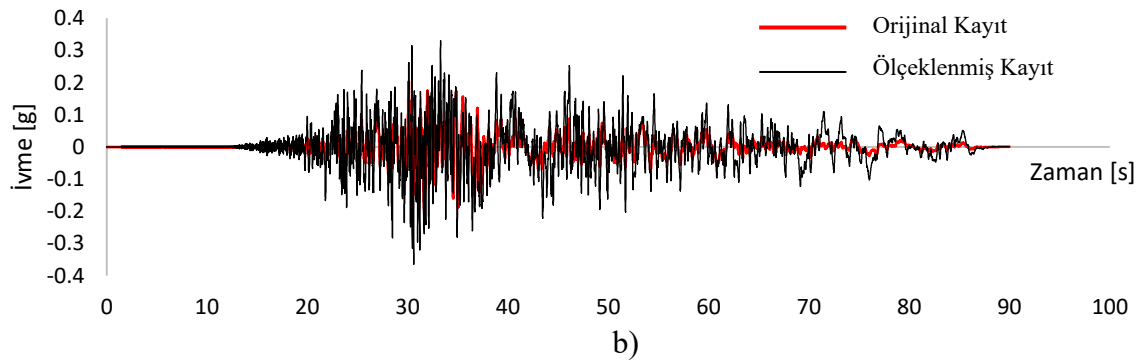
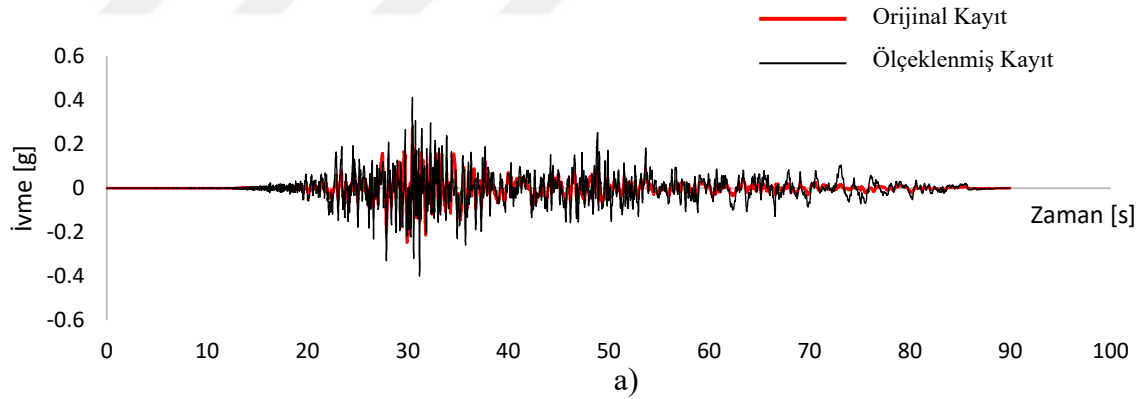
Şekil B.9: RSN953 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 009 (x) bileşeni b) 279 (y) bileşeni.



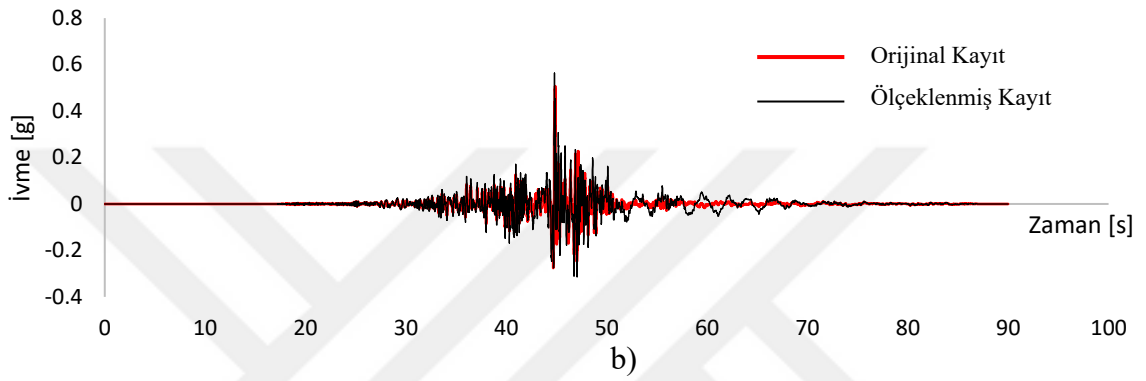
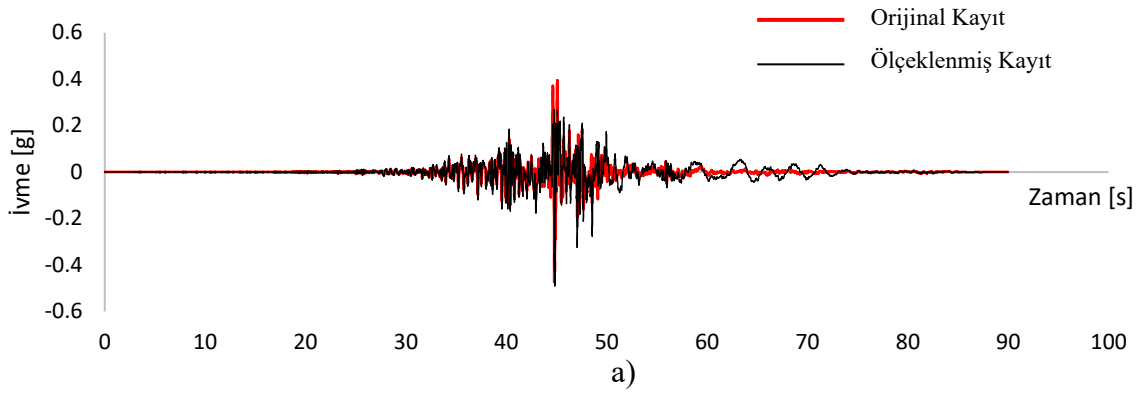
Şekil B.10: RSN1087 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 090 (x) bileşeni b) 360 (y) bileşeni.



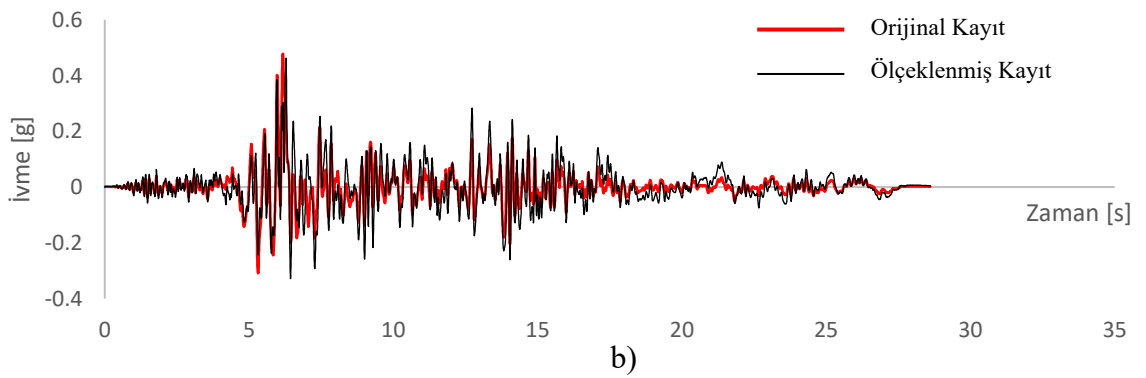
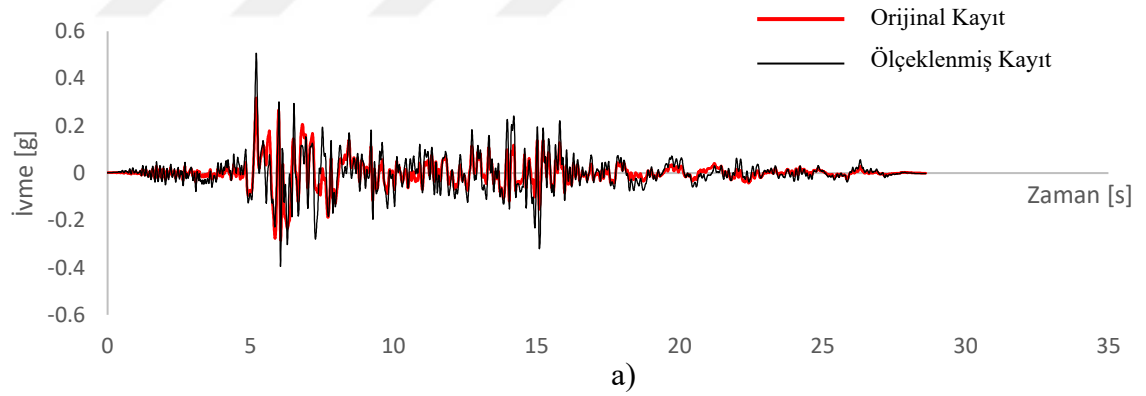
Şekil B.11: RSN1158 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 180 (x) bileşeni b) 270 (y) bileşeni.



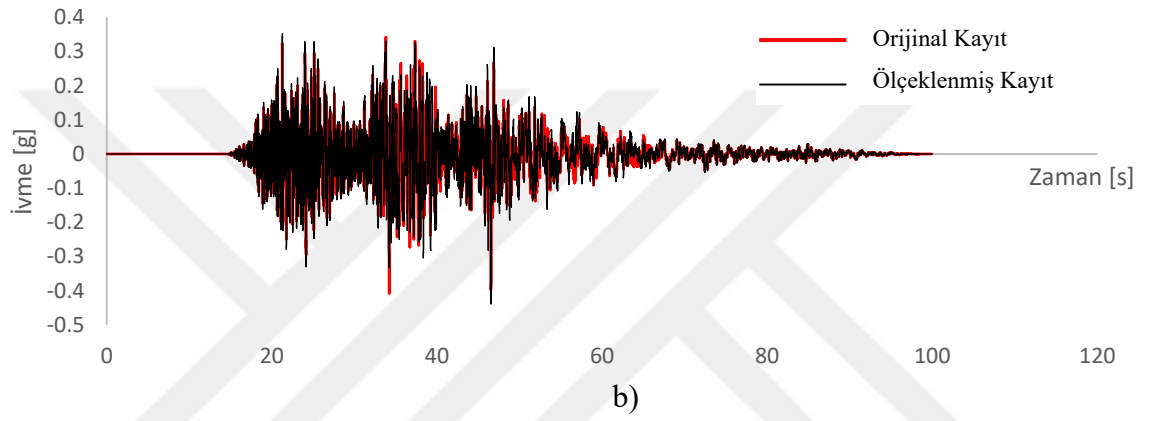
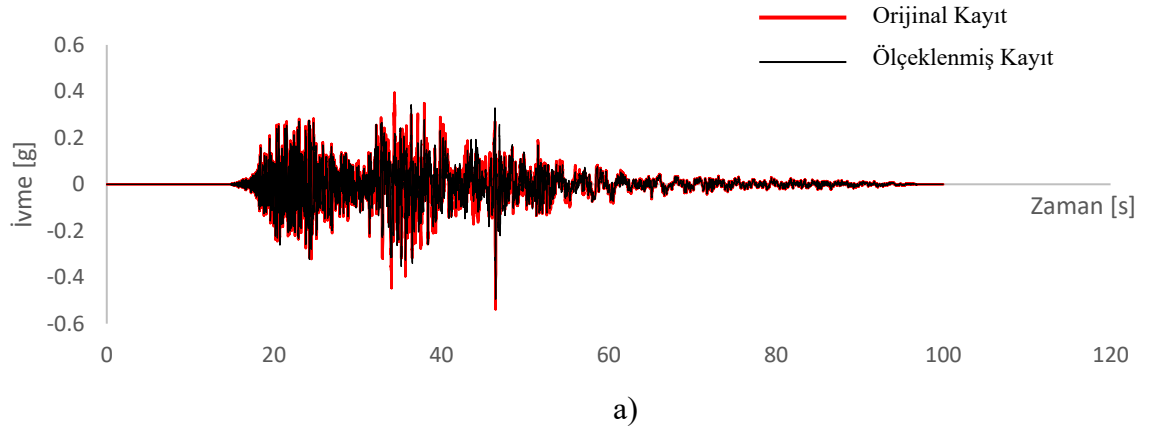
Şekil B.12: RSN1203 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) E (x) bileşeni b) N (y) bileşeni.



Şekil B.13: RSN1485 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) E (x) bileşeni b) N (y) bileşeni.



Şekil B.14: RSN3746 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 270 (x) bileşeni b) 360 (y) bileşeni.



Şekil B.15: RSN5827 kaydına ait ölçeklenmiş-orijinal ivme-zaman grafikleri a) 000 (x) bileşeni b) 090 (y) bileşeni.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans		
Lisans		
Lise		

