

**PERFORMANS TABANLI PLASTİK TASARIM
YÖNTEMİNİN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE
TASARIM YÖNTEMİYLE KIYASLANMASI**

Mehmet Fatih ARAT



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PERFORMANS TABANLI PLASTİK TASARIM YÖNTEMİNİN ŞEKİL
DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM YÖNTEMİYLE KIYASLANMASI

Mehmet Fatih ARAT
(ORCID : 0000-0001-5433-1583)

Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER
(ORCID : 0000-0001-5820-0257)
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Mehmet Fatih ARAT tarafından hazırlanan “PERFORMANS TABANLI PLASTİK TASARIM YÖNTEMİNİN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM YÖNTEMİYLE KIYASLANMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER

- | | | |
|-----------------|--|------|
| Başkan : | Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER
(ORCID : 0000-0001-5820-0257)
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Dr. Öğr. Üye. Fatih ALEMDAR
(ORCID : 0000-0002-8752-0310)
Yıldız Teknik Üniversitesi,
İnşaat Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |
| Üye : | Dr. Öğr. Üye. Serkan SAĞIROĞLU
(ORCID : 0000-0001-7248-3409)
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı | İmza |

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

.././.....

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

22/07/2020

Mehmet Fatih ARAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PERFORMANS TABANLI PLASTİK TASARIM YÖNTEMİNİN ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIM YÖNTEMİYLE KIYASLANMASI

Mehmet Fatih ARAT

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER

Performans tabanlı plastik tasarım yöntemi, tasarımın başında hedef ötelenme değerini ve mekanizma durumunu tasarım kriterleri olarak kullanan çok etkili bir yöntemdir. Yönetmeliklerce belirlenen birçok tasarım yönteminde ise tasarım yapıldıktan sonra mekanizma durumu ve yapının performans durumu belirlenir. Ayrıca yönetmeliklerde kullanılan bu metodlar ön tasarımdan sonra birçok doğrusal olmayan analiz yapılmasını gerektirir. Bunlar aşırı iteratif ve zaman alıcı olabilir. Bununla birlikte yönetmeliklerce belirlenen tasarım hedefleri ile tasarlanan yapılar ileri düzey depremlere daire sonuçlar hakkında bilgi vermez.

Performans tabanlı plastik tasarım yönteminin kolay uygulanabilirliğini ve bu yöntemi yönetmeliklerde verilen şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemleri ile kıyaslayabilmek için 4 ve 9 katlı iki adet moment aktaran çelik çerçevesel yapı kullanıldı. Performans tabanlı plastik tasarım yöntemi ile ilgili tüm detaylar ve tablolar elde edildi ve bu yapılar her iki yöneme göre tasarlandı. Ardından bu yapılar doğrusal olmayan itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle değerlendirildi. Analizlerin çoğu Sap 2000 programı ile gerçekleştirildi ve Python programlama dilinden tez boyunca yararlanıldı. Doğrusal olmayan analiz metodlarından elde edilen maksimum görelî kat ötelenme değerleri, kat kesme kuvvetleri, yanal yük dağılımı ve taban kesme kuvvetleri kıyaslandı.

Anahtar Kelimeler: Performans tabanlı plastik tasarım, Plastik tasarım, Zaman tanım alanında analiz, Şekil değiştirmeye göre tasarım

ABSTRACT

MSc Thesis

COMPRASION BETWEEN PERFORMANCE-BASED PLASTIC DESIGN AND DEFORMATION BASED DESIGN

Mehmet Fatih ARAT

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER

The performance-based plastic design method is a very effective method that uses the target displacement and the mechanism state as design criteria at the beginning of the design. In many design methods determined by codes, the mechanism status and the performance status of the structure are determined after the design is made. In addition, these methods used in codes require many nonlinear analyzes after preliminary design. These can be extraordinarily iterative and time-consuming. However, the structures designed with the design targets determined in the codes do not give information about the excellent results of the earthquakes.

To compare the easy application of the performance-based plastic design method and this method with the design methods according to the deformation given in the codes, two 4 and 9-story steel frame structures were used. All details and tables related to the performance-based plastic design method were obtained, and these structures were designed according to both methods. These structures were then evaluated by nonlinear pushover analysis and time history analysis. Most of the analysis was carried out with Sap 2000 program, and Python programming language was used throughout the thesis. Shear forces, lateral load distribution, bottom shear forces, and maximum relative displacement values obtained from nonlinear analysis methods were compared.

Key words: Performance-based plastic design, Plastic design, Time history analysis, deformation based design.

TEŞEKKÜR

Yola ıktığım bu eğitim yolculuğunda her zaman yolumu aydınlatan ve vizonunu paylaşmayı hiçbir zaman eksik etmeyen, her zaman kendinden ödün vererek uzun zamanlarını öğrencilerine harcayan Sayın Doç. Dr. Hakan Tacettin TÜRKER'e teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Fatih ARAT
22/07/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Literatür Taraması.....	2
2.2. Elastik Tasarım ve Plastik Tasarım Yöntemleri.....	5
2.3. Performans Tabanlı Plastik Tasarım Yöntemi.....	6
2.3.1. Hedeflenen mekanizma durumu.....	7
2.3.2. Tasarım Yanal Kuvvet Dağılımı.....	8
2.3.3. Tasarım taban kesme kuvveti.....	10
2.3.4. Akması belirlenen elemanların tasarımı.....	17
2.3.5. Elastik bölgede kalacak elemanların tasarımı.....	19
2.4. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Yaklaşımı.....	21
2.4.1. Yapısal elemanlarda hasar sınırları ve bölgeleri.....	22
2.4.2. Doğrusal olmayan çözümlenme ile yapı performansı.....	23
2.4.3. Çelik elemanların şekil değiştirme sınırları.....	23
2.4.4. Deprem performansları.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	26
3.1. Bina Modeli.....	26
3.1.1. Genel yapı bilgileri.....	26
3.1.2. Yükler.....	30
3.1.3. Deprem parametreleri.....	33
3.2. Performans Tabanlı Plastik Tasarım Yöntemine Göre Tasarım.....	36
3.2.1. Hedeflenen mekanizmanın belirlenmesi.....	39
3.2.2. Yanal kuvvet dağılımının belirlenmesi.....	40
3.2.3. Taban kesme kuvvetinin belirlenmesi.....	41
3.2.4. Akması öngörülen elemanların tasarımı.....	42
3.2.5. Elastik bölgede kalacak elemanların tasarımı.....	45
3.3. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım.....	53
3.3.1. Malzeme bilgisi.....	53
3.3.2. Plastik mafsal modeli.....	54
3.3.3. İkinci merteye etkileri.....	56
3.3.4. Statik itme analizi ile sistem performansının belirlenmesi.....	56
3.4. Tasarımları PTPT, ŞDGT Yöntemlerine Göre Yapılmış Yapıların Performans Analizleri.....	67
3.4.1. Statik itme analizi ile değerlendirme.....	68
3.4.2. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile değerlendirme.....	71
4. BULGULAR.....	76
4.1. PTPT ve ŞDGT Yöntemlerine Göre Tasarlanmış Binaların Kesitlerinin ve Ağırlıkların Kıyaslanması.....	76
4.2. Yanal Yük Dağılımlarının İrdelenmesi.....	77
4.3. İtme Eğrisi Üzerinden Tasarım Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması.....	79

4.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması	81
4.5. Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	86
4.6. PTPT ve ŞDGT Yöntemlerine Göre Tasarlanmış Binaların Statik İtme Analiz Yöntemine Göre Performanslarının Kıyaslanması	95
4.7. Düşey Yük Taşıyıcı Elemanların Sisteme Etkisi	100
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	103
EK 1 Hesaplarda Kullanılan Excel Tabloları	104
KAYNAKLAR	105
ÖZGEÇMİŞ	110

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
β_i	Kat kesme kuvveti dağılım faktörü
V_i	i. Kattaki kat kesme kuvveti
V_n	n. Kattaki (en üst kat) kat kesme kuvveti
w_j	j. Kattaki sismik ağırlık
h_j	j. Katın temel seviyesinden yüksekliği
w_n	n. Kattaki (en üst kat) sismik ağırlık
h_n	n. Katın (en üst kat) temel seviyesinden yüksekliği
T	Hakim periyot
F_i	i. Kattaki yanal kuvvet
V	Toplam taban kesme kuvveti
E_e	Elastik enerji
E_p	Plastik enerji
E	Toplam enerji
S_v	Tasarım spektral hız
S_a	Tasarım spektral ivme
M	Toplam kütle
W	Toplam Ağırlık
γ	Enerji modifikasyon faktörü
C_{eu}	Elastik durumdaki yapıda oluşacak maksimum taban kesme kuvveti
C_s	Yapı önemine ve sünekliğine bağlı taban kesme kuvveti faktörü
I	Bina önem katsayısı
R	Deprem azaltma katsayısı
C_y	Yapıda akmaların başladığı taban kesme kuvveti değeri
Δ_y	Yapıda akmaların başladığı tepe deplasman değeri
Δ_{eu}	Elastik olduğu düşünülen yapıda oluşacak maksimum tepe deplasmanı
μ_s	Süneklik
R_μ	Sünekliğe bağlı azaltım faktörü
g	Yer çekimi ivmesi
θ_y	Global akma ötelenme oranı
θ_p	Plastik global ötelenme oranı
Δ_{max}	Maksimum deplasman değeri
V'	Yumuşak kat durumunda oluşacak kesme kuvveti
h_1	Yapının birinci kat yüksekliği
Θ_i	Yapı boyunca kirişlerde oluşacak plastik mafsallardaki dönme miktarı
R_n	n. kat girişinde oluşacak maksimum moment
M_{pc}	Yumuşak kat durumunda taban kolonlarında oluşacak moment
L_i'	Kirişlerde oluşacak plastik mafsallar arası net mesafe
L_i	Kirişlerin kolon merkezinden kolon merkezine uzaklığı

Kısaltmalar	Açıklama
PTPT	Performans tabanlı plastik tasarım
ŞDGT	Şekil değiştirmeye göre tasarım
DGT	Dayanıma göre tasarım
TBDY	Türk Bina Deprem Yönetmeliği
BÖÇÇ	Burkulması önlenmiş çaprazlı çerçeve
MÇÇ	Merkezi çaprazlı çerçeve
YHBP	Yüksek hibrit boşluklu perde
DMÇÇ	Dış Merkez Çaprazlı Çerçeve
MAÇ	Moment Aktaran Çerçeve
MAKK	Moment Aktaran Kafes Kiriş

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Moment aktaran çerçeve sistemlerde yanal kuvvet altında mekanizma durumu	8
Şekil 2.2. Farklı depremler altında kat kesme kuvvetlerinin tepe kat kesme kuvvetlerine oranları (Chao ve ark. 2007)	9
Şekil 2.3. EP-SDOF ve E-SDOF sistemlerde taban kesme kuvveti tepe deplasman grafikleri (Chao ve Goel 2008)	11
Şekil 2.4. Farklı süneklik ve periyotlardaki yapılarda süneklik azaltım faktörü değerleri	13
Şekil 2.5. Farklı süneklik ve periyot değerlerindeki yapılarda enerji modifikasyon faktörü değişimi	14
Şekil 2.6. PTPT yönteminde taban kesme kuvveti, tasarım ötelenme değeri ve periyot arasındaki ilişki (Lee ve Goel 2001)	16
Şekil 2.7. Yumuşak kat mekanizma durumu	19
Şekil 2.8. Kolon ağacı yöntemi	21
Şekil 2.9. Kesitlerde belirtilen hasar bölgeleri	22
Şekil 2.10. Yapı performans hedefleri (Darılmaz 2018)	25
Şekil 3.1. 4 katlı yapının plan görünüşü ve kat yükseklikleri.	28
Şekil 3.2. 9 katlı yapının plan görünüşü ve kat yükseklikleri.	29
Şekil 3.3. Kiriş ve kolon elemanların yük etki alanları	31
Şekil 3.4. 4 katlı yapıdaki moment aktaran çerçeveye etkiyen düşey yükler	32
Şekil 3.5. Yanal elastik tasarım spektrumu (TBDY)	35
Şekil 3.6. Hesaplanmış yanal elastik tasarım spektrumu	35
Şekil 3.7. PTPT akış diyagramı: Taban kesme kuvvetinin ve yanal yük dağılımının belirlenmesi	37
Şekil 3.8. PTPT tasarım akış diyagramı: elemanların tasarımı	38
Şekil 3.9. Tam penetrasyonlu küt kaynaklı birleşim detayı (TBDY 2018)	39
Şekil 3.10. İç ve dış kolonlarda kolon ağacı yönteminin uygulanışı	49
Şekil 3.11. 4 katlı yapıdaki kolon ağacı yöntemine göre sonuçlar.(a) dış kolon (b) iç kolon	51
Şekil 3.12. 9 katlı yapıdaki kolon ağacı yöntemine göre sonuçlar.(a) dış kolon (b) iç kolon	52
Şekil 3.13. Yapılarda kullanılan çeliğin malzeme özellikleri	53
Şekil 3.14. Moment-dönme ilişkisi şablonu (Fema 356)	54
Şekil 3.15. HE800A elemanının Sap 2000 'de moment-dönme ilişkisi.	55
Şekil 3.16. Yaslanan kolon modeli	56
Şekil 3.17. Doğrusal olmayan düşey yükleme kombinasyonu	57
Şekil 3.18. Sap 2000 programının TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükü hesabı	58
Şekil 3.19. Sap 2000'de yapının itme analizi ile ilgili parametreleri	58
Şekil 3.20. 4 katlı yapıdan elde edilen itme eğrisi	60
Şekil 3.21. 4 katlı yapının modal kapasite eğrisi	61
Şekil 3.22. 4 katlı yapının performans noktasının belirlenmesi	61
Şekil 3.23. Performans noktasındaki 4 katlı yapıda oluşan plastik mafsallar	62
Şekil 3.24. 9 katlı yapıdan elde edilen itme eğrisi	64
Şekil 3.25. 9 katlı yapının modal kapasite eğrisi	65
Şekil 3.26. 9 katlı yapının performans noktasının belirlenmesi	65
Şekil 3.27. Performans noktasındaki 9 katlı yapıda oluşan plastik mafsallar	66

Şekil 3.28. 4 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının itme eğrisi.....	68
Şekil 3.29. 4 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanan yapının modal kapasite eğrisi.....	69
Şekil 3.30. 4 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının performans noktasının belirlenmesi.....	69
Şekil 3.31. 9 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının itme eğrisi.....	70
Şekil 3.32. 9 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının modal kapasite eğrisi.....	70
Şekil 3.33. 9 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının performans noktasının belirlenmesi.....	71
Şekil 3.34. 983 Nolu deprem kaydının ölçeklendirilmiş hali.....	73
Şekil 3.35. 983 Nolu deprem kaydının ölçeklendirilmemiş hali.....	73
Şekil 3.36. 983 Nolu kaydın spektrum eğrisi.....	74
Şekil 3.37. 983 Nolu kaydın ölçeklenmiş spektrum eğrisi.....	74
Şekil 3.38. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi parametreleri.....	75
Şekil 4.1. 4 katlı yapı için belirlenen TBDY ve PTPT'e göre yanal kuvvet dağılımı.....	78
Şekil 4.2. 9 katlı yapı için belirlenen TBDY ve PTPT'e göre yanal kuvvet dağılımı.....	79
Şekil 4.3. 4 Katlı yapı için itme eğrisi ve tasarım taban kesme kuvvetleri.....	80
Şekil 4.4. 9 Katlı yapı için itme eğrisi ve tasarım taban kesme.....	80
Şekil 4.5. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görelî kat ötelenme değerleri.....	81
Şekil 4.6. PTPT yöntemi ile tasarlanmış 4 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görelî kat ötelenme değerleri.....	82
Şekil 4.7. ŞDGT yöntemi ile tasarlanmış 9 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görelî kat ötelenme değerleri.....	83
Şekil 4.8. PTPT yöntemi ile tasarlanmış 9 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görelî kat ötelenme değerleri.....	84
Şekil 4.9. 4 katlı yapının tüm tasarım yöntemlerine göre görelî kat ötelenme değerleri.....	85
Şekil 4.10. 9 katlı yapının görelî kat ötelenme değerleri ortalamaları.....	86
Şekil 4.11. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması.....	87
Şekil 4.12. PTPT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması.....	88
Şekil 4.13. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 9 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması.....	89
Şekil 4.14. PTPT yöntemine göre tasarlanan 9 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması.....	90
Şekil 4.15. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapının kat kesme kuvvetleri.....	91
Şekil 4.16. PTPT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapının kat kesme kuvvetleri.....	91
Şekil 4.17. ŞDGT yapılan 9 katlı yapının kat kesme kuvvetleri.....	92
Şekil 4.18. PTPT yöntemine göre tasarlanan 9 katlı yapının kat kesme kuvvetleri.....	93
Şekil 4.19. 4 katlı tasarımı yapılan yapıların ortalama kat kesme kuvvetleri değerleri.....	93
Şekil 4.20. 9 katlı tasarımı yapılan yapıların ortalama kat kesme kuvvetleri.....	94
Şekil 4.21. 4 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan itme eğrisi.....	95

Şekil 4.22. 4 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan görel kat ötelenme değerleri.....	96
Şekil 4.23. ŞDGT yöntemine göre tasarımı yapılan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsall durumu.....	97
Şekil 4.24. PTPT yöntemine göre tasarımı yapılan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsall durumu.....	97
Şekil 4.25. 9 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan itme eğrisi.....	98
Şekil 4.26. 9 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan görel kat ötelenme değerleri.....	98
Şekil 4.27. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsall durumu	99
Şekil 4.28. PTPT yöntemine göre tasarlanan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsall durumu	100
Şekil 4.29. Düşey yük taşıyıcı elemanlarının rijitliğinin sisteme dahil edildiği model	101
Şekil 4.30. 4 katlı ŞDGT yapılan yapıdaki düşey taşıyıcı elemanların sisteme etkisi ..	101
Şekil 4.31. 9 katlı ŞDGT yöntemi ile tasarlanan yapıda düşey taşıyıcı sistemin rijitliğe etkisi	102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Süneklik azaltım faktörü ($R_{\mu} = C_{eu}C_y$) ve onunla ilişkili yapı periyodu..	13
Çizelge 2.2. Farklı yapı sistemlerine göre mekanizma durumunun başlangıç global ötelenme oranları	15
Çizelge 2.3. Çelik kirişlerde plastik dönme sınırları.....	24
Çizelge 2.4. Çelik kolonlarda plastik dönme sınırları.....	24
Çizelge 3.1. Tez kapsamındaki yapıların geometrik özellikleri.....	27
Çizelge 3.2. ASTM A991 Grade 50 malzeme özellikleri	30
Çizelge 3.3. Yapılara etkitilen yükler.	30
Çizelge 3.4. Kirişlere etkiyen yayılı yük.....	32
Çizelge 3.5. Kolonlara etkiyen eksenel yük.....	32
Çizelge 3.6. Bina yükseklik sınıfı	34
Çizelge 3.7. Deprem parametreleri.	34
Çizelge 3.8. Plastik mafsalların kolon yüzünden uzaklıkları ve aynı kirişlerdeki plastik mafsallar arası mesafe.	40
Çizelge 3.9. Mekanizma durumundaki yapıda kiriş dönme değerleri.	40
Çizelge 3.10. 4 katlı yapının yanal yük dağılım katsayılarının detay hesapları.....	41
Çizelge 3.11. 9 katlı yapının yanal yük dağılım katsayılarının detay hesapları.....	41
Çizelge 3.12. 4 ve 9 katlı yapıların PTPT yönteminde kullanılacak parametre değerleri.	42
Çizelge 3.13. 4 katlı yapının yanal yük dağılımı ve bir açıklıktaki çerçeveye gelen toplam yanal yük	43
Çizelge 3.14. 9 katlı yapının yanal yük dağılımı ve bir açıklıktaki çerçeveye gelen toplam yanal yük.	43
Çizelge 3.15. 4 katlı yapıda kiriş mafsallarında oluşacak maksimum moment değerlerinde gerekli kesit plastik mukavemet moment değerleri	44
Çizelge 3.16. 9 katlı yapıda kiriş mafsallarında oluşacak maksimum moment değerlerinde gerekli kesit plastik mukavemet moment değerleri	44
Çizelge 3.17. 4 katlı yapıdaki belirlenmiş kat kiriş kesitleri ve plastik mukavemet momenti değerleri	45
Çizelge 3.18. 9 katlı yapıdaki belirlenmiş kat kiriş kesitleri ve plastik mukavemet momenti değerleri	45
Çizelge 3.19. Dayanım fazlalığı katsayısı ve olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı	46
Çizelge 3.20. 4 katlı yapıdaki kirişlerde oluşabilecek maksimum moment değerleri ve kesme kuvveti değerleri	47
Çizelge 3.21. 9 katlı yapıdaki kirişlerde oluşabilecek maksimum moment değerleri ve kesme kuvveti değerleri	48
Çizelge 3.22. 4 katlı yapıda mekanizma durumundaki iç ve dış kolona etkiyen yanal yükler ve kesme kuvvetleri	49
Çizelge 3.23. 9 katlı yapıda mekanizma durumundaki iç ve dış kolona etkiyen yanal yükler ve kesme kuvvetleri	50
Çizelge 3.24. 4 katlı yapıda mekanizma durumunda kolonlarda oluşacak moment ve eksenel kuvvet değerleri.....	50
Çizelge 3.25. 9 katlı yapıda mekanizma durumunda kolonlarda oluşacak moment ve eksenel kuvvet değerleri.....	51
Çizelge 3.26. Moment dönme ilişkisini belirlemek için gerekli parametreler	54

Çizelge 3.27. 4 katlı yapının kapasite eğrisi dönüşümü.....	59
Çizelge 3.28. 4 katlı yapının statik itme ve modal kapasite eğrisinin değerleri.....	59
Çizelge 3.29. 4 katlı yapının kiriş eleman hasar durumları.....	62
Çizelge 3.30. 4 katlı yapının kolon eleman hasar durumları.....	63
Çizelge 3.31. 9 katlı yapının kapasite eğrisi dönüşümü.....	63
Çizelge 3.32. 4 katlı yapının statik itme ve modal kapasite eğrisinin değerleri.....	63
Çizelge 3.33. 9 katlı yapının kiriş eleman hasar durumları.....	66
Çizelge 3.35. 4 katlı yapı için belirlenen deprem kayıtları	72
Çizelge 3.36. 9 katlı yapı için belirlenen deprem kayıtları	72
Çizelge 4.1. 4 Katlı yapı için ŞDGT ve PTPT yöntemi ile elde edilen kesitler.....	76
Çizelge 4.2. 9 Katlı yapı için ŞDGT ve PTPT yöntemi ile elde edilen kesitler.....	77
Çizelge 4.3. Yapı ağırlıkları ve karşılaştırılması.....	77
Çizelge 4.4. ŞDGT ve PTPT'e göre tasarlanmış yapıların dayanım fazlalığı katsayıları	80

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere yönetmeliklere göre tasarlanan sünek yapıların deprem altında doğrusal olmayan şekil değiştirmelere maruz kalacağı bilinir. Fakat yönetmeliklerde yanal yük taşıyıcı sistemlerin analiz ve tasarımları çoğu zaman yapının elastik olduğu varsayımı ile yapılır. Yapının doğrusal olmayan davranışı ise mühendislik varsayımlarına dayanan bazı katsayılarla tasarıma dahil edilir. Bundan dolayı elastik ötesi davranış tam manasıyla tasarıma yansıtılamaz. Bu mühendislik varsayımına dayanan katsayılar yapının önemine, süneklik kapasitesine ve yapı sistemine bağlıdır. Bununla birlikte bu tasarım yöntemlerinde yapının mekanizma durumu ve global ötelenme değeri tasarım yapıldıktan sonra elde edilebilir. Bundan dolayı mekanizma durumunda oluşabilecek kötü senaryolarda veya deplasman miktarının istenmeyen değerlere ulaştığı durumlarda tasarım tekrarlanmalıdır.

Tüm bunların aksine performans tabanlı plastik tasarım yöntemi, plastik tasarımı ve performans tabanlı tasarım metodunu beraber harmanlar. Performans tabanlı plastik tasarım metodunda yapının mekanizma durumu ve tasarım depreminde oluşmasını istediğimiz hedef ötelenme değeri tasarımın başında işin içine dahil edilir. Bu sayede tasarımı yapılan yapı hem hedeflenen mekanizma durumuna hem de hedef ötelenme değerlerine ulaşır. Bundan dolayı tasarımdan sonra yönetmeliklerdeki gibi herhangi bir ötelenme veya mekanizma durumunu kontrol etmeye gerek kalmamaktadır. Ayrıca yönetmeliklerdeki yöntemlerin kullanılması için gereken yazılımların kullanılması bazen karışık ve zaman alıcı olmaktadır. Fakat performans tabanlı plastik tasarım yönteminde neredeyse hiçbir yazılım kullanılmadan el ile basitçe hesaplar yapılabilmektedir. Bununla birlikte performans tabanlı plastik tasarım yöntemi ile tasarlanan yapılarda deprem altında oluşan hasarların ekonomik boyutu önceden belirlenen uygun mekanizma durumlarıyla birlikte düşürülebilmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Taraması

Bu bölümde konu ile ilgili yapılan araştırmaların sonuçları belirtilecektir.

Leelataviwat ve ark. (1999) bu çalışmalarında yeterli dayanım ve süneklik ile birlikte önceden belirlenen bir mekanizma durumu üzerinden enerji dengesi kavramını kullanarak, yeni bir performans tabanlı plastik tasarım prosedürü geliştirdi. İlerleyen zamanlarda bu yöntem Performans tabanlı plastik tasarım (PTPT) yöntemi olarak adlandırılmıştır.

Chao ve ark. (2007) bu makalelerinde yapıların yüksek şiddetli deprem hareketi altında elastik ötesi davranışını dikkate alan gerçeğe daha yakın bir yanal kuvvet dağılımını belirlemeyi hedef edinmişlerdir. Önerilen yanal kuvvet dağılımı uygulanarak tasarlanan çelik yapılar, doğrusal olmayan dinamik analizlerden elde edilen sonuçlar ile kıyaslandığında kat kesme kuvvetlerinin uyumlu sonuç verdiği görülmüştür. Ayrıca yöntemin yaygın olarak kullanılan birçok yapıda kullanılabileceğini ve diğer tür yapılarda da α değerinin değiştirilerek uygulanabileceğini göstermiştir.

Chao ve Goel (2008) bu çalışmada, özel moment aktaran kafes çerçeve sistemlerde PTPT yöntemini uygulamıştır. Önerilen sistem, amaçlanan mekanizma durumuna ulaşmıştır. Çalışmada önerilen yanal kuvvet dağılımının kullanılmasıyla yükseklik boyunca genellikle eşit olarak dağılmış plastik dönmeler gözlemlenmiştir.

Leelataviwat ve ark. (2008) bu makalelerinde, günümüzde halen geliştirilmeye devam eden ve PTPT metodunda başarıyla kullanılan enerji konseptine dayanan sismik değerlendirme prosedürü sunulmuştur.

Goel ve ark. (2010), bu makalede performans tabanlı plastik tasarım yöntemini 20 katlı çelik ve betonarmeden yapılmış iki farklı moment aktaran çerçeveye uygulamıştır. Bu örneklerde PTPT yönteminin, mevcut yönetmeliklerde bulunan hantal ve yinelemeli süreçleri ortadan kaldıracabileceğini göstermiştir. Ayrıca, yapıyı hedeflenen performans

seviyesine başarılı bir şekilde ulaştırmıştır. Bununla birlikte özellikle yüksek katlı yapılarda bu sonuçların daha belirgin şekilde avantaj sağladığı anlaşılmıştır. Çalışmadaki bütün sonuçlar zaman tanım alanında yapılan analizlerle kıyaslandığında çok yüksek oranda uyum sağlamıştır.

Sahoo ve Chao (2010) bu çalışmada PTPT yöntemini burkulması önlenmiş çaprazlı çerçevelerin (BÖÇÇ) elastik ötesi davranışını da dikkate alacak şekilde güncellemiştir. Bu amaçla geliştirilmiş bir yöntem sunmuştur. Bu tasarım metodolojisinin işlevselliğini kontrol edebilmek için 3-6-9 katlı BÖÇÇ'lere bu yöntemi uygulamıştır. Ayrıca bu sistemler 2 farklı tehlike sınıfından 40 farklı deprem hareketine maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan BÖÇÇ'lerin maksimum ötelenme değerleri önceden belirlediğimiz ötelenme değerleriyle sınırlanabilmiş ve deprem altında istediğimiz mekanizma durumuna ulaşmıştır. Maksimum kat ötelenme değerleri yükseklik boyunca uniform olarak dağılmıştır. Bununla birlikte, PTPT yöntemi ile tasarlanan 3-6 ve 9 katlı binaların taban kesme kuvvetleri güncel yönetmeliklerin %91, %57 ve %64'üdür. Bu durum PTPT yöntemi ile istenen sismik performansın korunurken aynı zamanda daha ekonomik bir tasarım gerçekleştirebileceğini gösterdiğini bildirmiştir.

Liao (2010), bu tezinde betonarme moment aktaran çerçevelerin PTPT yöntemine göre yapılan tasarımına bazı yenilikler getirmiştir. Taban kesme kuvvetinin belirlenmesinde kısık histerik davranış ve $P-\Delta$ etkilerini hesap yönteminin içine dahil etmiş ve bunu betonarme moment aktaran çerçevelerin tasarımında kullanmıştır. Liao ve ark. (2009) yılındaki çalışmasında FEMA P695'e ve PTPT yöntemine göre tasarımını yaptığı 4 farklı bina bu tezde tekrardan PTPT yöntemine göre tasarlanmıştır. Yeniden tasarlanan yapıların FEMA P695'e göre tasarlanan yapılar ile performans hedefleri bağlamında karşılaştırılabilmesi için itme analiz yöntemi ve zaman tanım alanında analiz yöntemi kullanılmıştır. Analizleri yapılan yapılardan PTPT yöntemine göre tasarlanan yapıların kat deplasmanlarının yükseklik boyunca daha üniform bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ayrıca referans olarak kullanılan FEMA P695'e göre tasarlanan yapılarda açık bir şekilde yumuşak kat olduğu gözlemlenmiştir. PTPT yöntemi ile tasarlanan binalar daha etkili sonuçlar vermiştir.

Bayat (2010), bu tezde merkezi çaprazlı çerçevelere (MÇÇ) PTPT yönteminin uygulanışı ile ilgili bazı yenilikler sunmuştur. Bununla birlikte, orta ve yüksek katlı MÇÇ yapılarda göçmeye karşı güvenlik önlemlerinde bazı iyileştirmeler yapılmıştır.

Liao ve Goel (2012), Bu çalışmada, Betonarme moment aktaran çerçeveler ilk defa PTPT yöntemi ile tasarlanmıştır. Farklı yüksekliklere sahip 4 yapı kullanılmıştır. Bu yapılar FEMA P695 yönetmeliğine göre ve ardından PTPT yöntemine göre tasarlanmıştır. Bu iki yöntemle tasarlanan binalar artımsal itme analiz yöntemi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak kıyaslanmıştır. Yapıların sismik davranışlarının, performans hedefleriyle uyum sağladığı belirlenmiştir. Enerji spektrum metodu ile hesaplanan deplasman talepleri elastik ötesi dinamik analizlerle elde edilenlerle mükemmel bir uyum sağlamıştır.

Banihasnemi ve ark. (2015) bu makalelerinde, moment aktaran çelik çerçevelerin PTPT yöntemi ile tasarımlarına yerçekimi kuvvetlerini ve $P-\Delta$ etkilerini dahil ederek geliştirmeler yapmıştır. Ayrıca istenmeyen bazı mekanizma durumlarını önleyebilmek için çözümler sunmuştur. Bununla birlikte, örnek olarak 5 ve 10 katlı iki yapı PTPT ve elastik yöntemle göre tasarlanmıştır. Sonuçlar artımsal itme analiz yöntemi ve zaman tanım alanında analiz yöntemleriyle kıyaslanmıştır. PTPT yöntemi ile tasarlanan yapılar, çökme mekanizması ve hedef ötelenme değerleri açısından hedeflenen değerlere başarıyla ulaştığı görülmüştür. Bununla birlikte elastik yöntemden gelen sonuçlar incelendiğinde ise kolonlarda oluşan plastik mafsallardan dolayı kat ötelenmelerinin çok yüksek değerlerde olduğu gözükmektedir. PTPT yönteminde, tasarımdan sonra herhangi bir revizyona ihtiyaç duyulmamıştır. Bunun nedeni ise başlangıç durumundan itibaren elastik ötesi davranışın sisteme dahil edilmesidir.

Chan-Anan ve ark. (2016), bu makalede, PTPT yöntemini yüksek hibrit boşluklu perde sistemlere (YHBP) uyarlamıştır. YHBP, PTPT metodu ile tasarlanmış ve zaman tanım alanında analizlere maruz bırakılmıştır. Sonuçlardan görülmüştür ki PTPT yöntemi YHBP sistemlere doğru bir şekilde uygulanmıştır. Ayrıca yüksek mod etkilerini sistemin içine dahil edebilmek için bir metot, PTPT yönteminin içine dahil edilmiştir.

Dalal ve ark. (2017), bu sempozyumda, farklı sünekliklerin çelik yapıların performansına etkisini çalışmıştır. 2,3,4,5 ve 6 süneklik değerlerine sahip yapılar PTPT metoduna göre tasarlanmıştır. Yapıların istenen mekanizma durumuna gelebilmesi ve istenen davranışı sergileyebilmesi için tüm elemanlar Hindistan yönetmeliğine göre plastik tasarım metoduyla tasarlanmıştır. Sonuç olarak, sünekliğin artmasıyla beraber deprem kuvvetlerinin azaldığını ve bununla birlikte yapısal elemanların daha küçük boyutlarda seçilebileceğini belirtmektedir.

Shoeibi ve ark. (2017) bu makalelerinde PTPT yönteminin depreme karşı güvenlik sistemlerine sahip yapılarda kullanımı için çalışmalar yapmıştır. Bu tarz sistemlere sahip yapılarda PTPT yönteminin kullanılması, iki farklı sistem olduğundan dolayı karmaşıktır. Bundan dolayı çalışmada ikili sistemlerin tasarımı için tekrar uygulanabilir, kolay ve hassas bir prosedür sunmuştur.

Shah ve Dalal (2018) bu makalede, elastik yöntem ile tasarlanan moment aktaran çerçeveler, Sap 2000 programı ile artımsal itme analizi yöntemi ve farklı deprem hareketleri altında zaman tanım alanında analiz yöntemleri kullanılarak performans değerlendirmesine tabi tutulmuştur. Bununla birlikte aynı çerçeveler PTPT yöntemi ile de tasarlanmıştır. Bu iki tasarım yöntemini kıyaslayan bu makalede, plastik tasarım yönteminin optimum kapasite kullanımı yönünden elastik tasarım yönteminden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

2.2. Elastik Tasarım ve Plastik Tasarım Yöntemleri

Taşıyıcı sistemlerin belirli tasarım yükleri altında dayanımının sağlanabilmesi için temelde iki farklı tasarım yöntemi mevcuttur. Bunlar elastik tasarım ve plastik tasarım yöntemleridir.

Elastik tasarım yöntemi, tasarım yükleri altında yapıların doğrusal elastik davrandığı varsayılarak uygulanır. Tasarım yükleri uygulanarak elastik bir analiz yapılır. Bununla birlikte yapısal elemanlarda gerekli olan iç kuvvetler belirlenir. Elemanlar belirlenerek gerekli dayanım sağlanır. Eleman kuvvetleri elastik davranışa göre belirlendiğinden,

tasarım sistem elemanları arasında elastik rijitlik dağılımı ile belirlenir. Bu yapılar nihai güçlerine ulaşana kadar elastik ötesinde rezerv kapasitelere sahip olduğu bilinmektedir. Bu rezerv kapasite, yapıların hiperstatikliğinden ve yapısal elemanların dayanım kaybı olmaksızın plastik deformasyona maruz kalabilme kabiliyetinden gelmektedir. Sünek yapılarda elastik tasarım yönteminin kullanılmasının en büyük dezavantajı bu rezerv gücün yeterli ölçüde kullanılmamasıdır. Ayrıca yapının nihai dayanımına ulaştığı durumdaki mekanizma durumu önceden bilinmemektedir. Bu mekanizma durumu şiddetli deprem altında istenmeyen sistem performansına yol açabilecek elemanlar içerebilir. Bunun aksine plastik tasarım yönteminde mekanizma durumunu önceden, daha tasarımın ilk adımında belirleriz.

2.3. Performans Tabanlı Plastik Tasarım Yöntemi

Performans tabanlı tasarım yöntemi önceden belirlenmiş hedef ötelenmeyi ve mekanizma durumunu performans sınır durumunun belirleyicileri olarak kullanır. Bu iki sınır durumu, yapısal hasarın derecesi ve dağılımı ile doğrudan ilişkilidir. Hedef ötelenme değeri hasar durumu ile ilişkiliyken, çökme mekanizması ise bu hasarın dağılımı ile ilgilidir. Belirli bir tehlike seviyesi için tasarım taban kesme kuvveti, yapıyı monoton olarak hedef ötelenmeye kadar itmek için gereken işin, aynı duruma ulaşmak için eşdeğer bir elastik-plastik tek serbestlik dereceli sistemin (EP-TSDS) gerektirdiği enerjiye eşit olarak hesaplanmasıyla bulunur. Ayrıca, elastik olmayan dinamik davranış sonuçlarıyla tutarlı olarak maksimum kat kesme kuvvetlerinin göreceli dağılımına dayanan yeni bir yanal kuvvet dağılımı kullanılmaktadır. Daha sonra amaçlanan mekanizma durumuna ve gerekli davranışa ulaşabilmek için yapının elemanları ve bağlantı noktalarını detaylandırmada plastik tasarım yöntemi kullanılır.

Bu tasarım yaklaşımında tasarımcı, hedeflenen yapısal ötelenmeyi (Kabul edilebilir süneklik ve hasara denk gelen) ve mekanizma durumunu (İstenen tepki ve deprem sonrası hasar denetimi aynı zamanda onarım kolaylığı için) seçer. Bununla birlikte tasarım kuvvetlerini ve eleman boyutlarını verilen deprem tehlikesi için belirler. Mevcut tasarım kodlarında kullanılan ve hakkında tartışmaların halen devam ettiği R, I, C_d gibi faktörlere gerek yoktur.

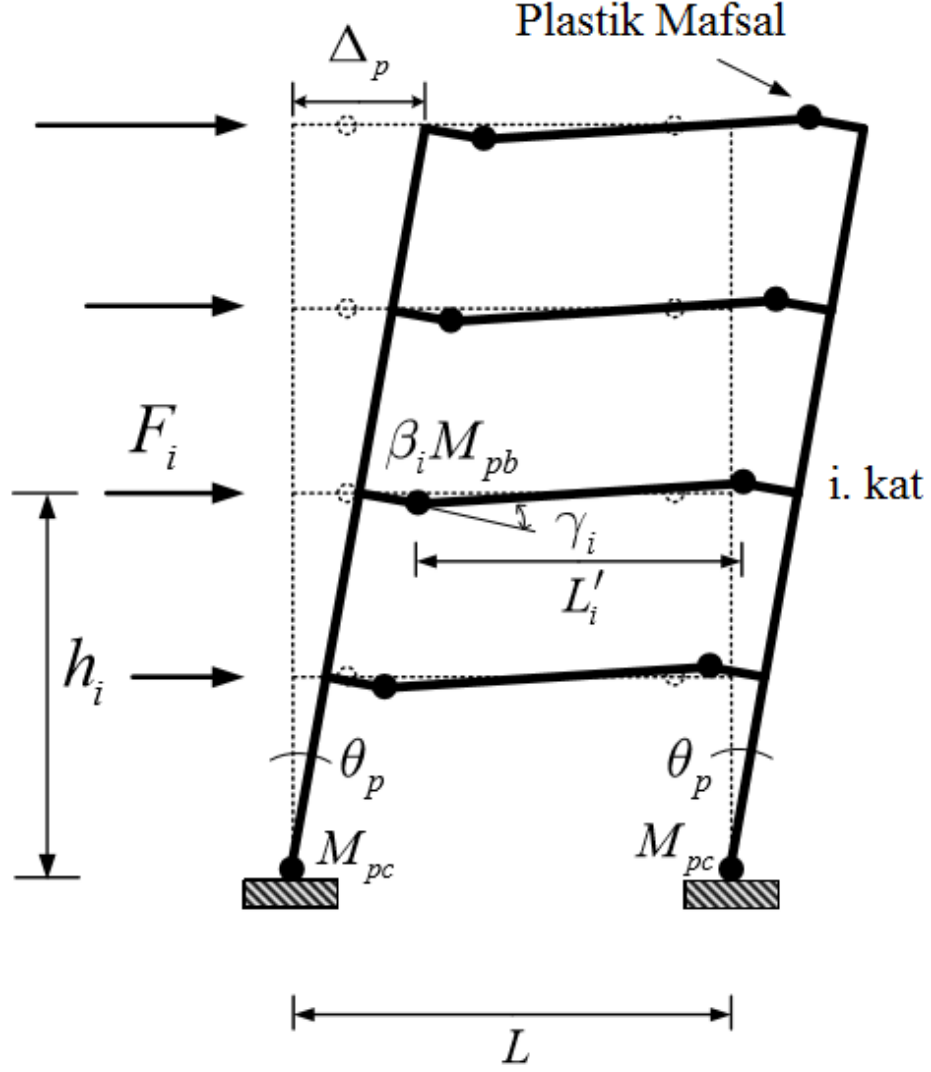
PTPT yönteminin uygulanışı günümüzde kullanılan diğer performans tabanlı tasarım yöntemlerinden biraz farklıdır. Günümüz yöntemlerinde öncelikle yapının, elastik tasarım prosedürlerine göre analizi ve tasarımı yapılır. Bu başlangıç tasarımından sonra, yapı istenen performans seviyesine ulaşana kadar doğrusal olmayan statik ve dinamik analizlere maruz bırakılır. Bu tekrarlı yöntem uzun ve çok zahmetlidir. Bununla birlikte her yineleme deneme yanılma yöntemiyle gerçekleşir. Bu yöntem mühendise, deformasyonların dağılımı ve boyutu gibi bilgiler vermez. Bu bilgiler hedeflenen performans seviyesine kolayca ulaşabilmek için gerekli bilgilerdir. Fakat PTPT yöntemi, günümüz yönetmeliklerindeki yinelemeli yöntemlerinin aksine, başlangıç tasarımından sonra herhangi bir yineleme gerektirmez. Bunun nedeni, doğrusal olmayan davranış ve gerekli performans kriterleri tasarımın başından işin içine dahil edilir.

2.3.1. Hedeflenen mekanizma durumu

PTPT yönteminin sisteme uygulanabilmesi için istediğimiz ve mantıklı olan bir mekanizma durumu seçilir.

Şekil 2.1'de moment aktaran çerçevelerin istenen mekanizma durumunu göstermektedir. Bu mekanizma durumunun genel adı sallanma mekanizmasıdır. Bu mekanizma modelindeki amaç, plastik deformasyonun kiriş uçlarında ve temel kolonunda sınırlandırılmasıdır. Ayrıca alttaki şekilde görüldüğü üzere iki plastik mafsal arası mesafe iki kolon arası mesafeden daha az olduğundan dolayı, kirişlerin plastik dönmesi binanın plastik ötelenme oranından daha fazladır. Burada kiriş dönmesi Denklem 2.1 ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{pi} = \left(\frac{L}{L'} \right) \theta_p \quad (2.1)$$



Şekil 2.1. Moment aktaran çerçeve sistemlerde yanal kuvvet altında mekanizma durumu

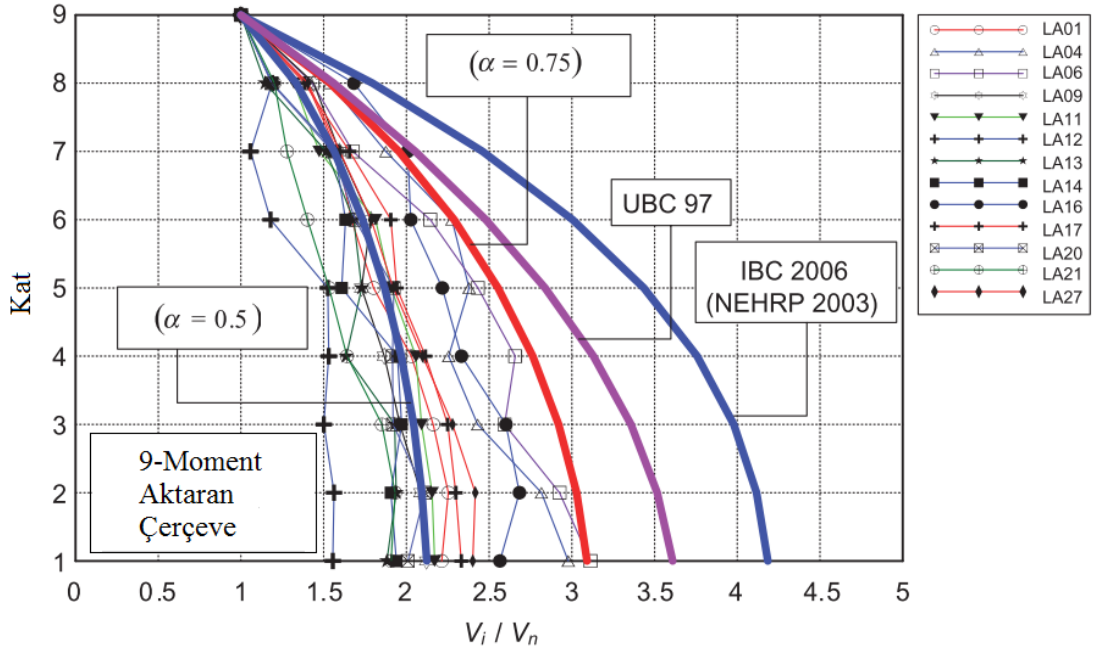
2.3.2. Tasarım Yanal Kuvvet Dağılımı

Günümüz yönetmeliklerinde yanal kuvvet dağılımları, yapıların elastik olarak davrandığı ve hakim titreşim periyoduna uygun olacağı varsayılan modellerden elde edilir. Bunun yanında, mevcut yönetmeliklere göre tasarlanan binaların, büyük depremler altında yüksek oranda plastik deformasyona maruz kalması ve bundan dolayı yönetmelik formüllerinin verdiklerinden oldukça farklı yanal kuvvet dağılımlarına yol açacağı beklenmektedir. Performans tabanlı tasarım ilkesine uygun olacak şekilde, arzu ettiğimiz ve aynı zamanda önceden tahmin edilebilir bir yapısal tepkiye ulaşmak amacıyla,

yapıların tasarım sürecinde elastik ötesi davranışın dikkate alınması gerekmektedir. Günümüz yönetmeliklerine karşın PTPT yönteminde, doğrusal olmayan zaman-tanım analizlerinden elde edilen maksimum kat kesme kuvvetlerine uygun bir yanal kuvvet dağılımı kullanılmaktadır.(Chao ve ark. 2007) .Şekil 2.2’de bahsedilen formüller Denklem 2.2 ve Denklem 2.3’de verilmiştir.

$$C_{vi}' = (\beta_i - \beta_{i+1}) \cdot \left(\frac{w_n h_n}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \right)^{\alpha T^{-0.2}} \quad i = n ; \beta_{n+1} = 0 \quad (2.2)$$

$$\beta_i = \frac{V_i}{V_n} = \left(\frac{\sum_{j=i}^n w_j h_j}{w_n h_n} \right)^{\alpha T^{-0.2}} \quad (2.3)$$



Şekil 2.2. Farklı depremler altında kat kesme kuvvetlerinin tepe kat kesme kuvvetlerine oranları (Chao ve ark. 2007)

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere birçok farklı deprem kaydı aynı yapıya etkilmiş ve kat kesme kuvvetleri ile kat seviyesi aynı grafikte gösterilmiştir. Burada UBC 97 ve IBC 2006 yönetmeliklerinin önerdiği yanal kuvvet dağılımından kaynaklı kat kesme kuvvetleri ve Chao ve ark. (2007) önerdiği yanal kuvvet dağılımından kaynaklı kat kesme

kuvvetleri görülmektedir. Bu yöntemdeki α değerinin 0.5 olarak kullanıldığı durum doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarının en düşük sınırını vermektedir. Bununla birlikte α değerinin 0.75 olduğu durum ise üst limiti vermektedir. Deneysel olarak görüldüğü üzere 0.75 değeri daha üniform bir kat kesme kuvveti dağılımı vermektedir (Chao ve Goel 2005). Yöntem bir çok farklı yapı türü için uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Bu yanal kuvvet dağılımına göre tasarlanan binalar güncel yönetmeliklere göre tasarlananlarla kıyaslandığında, bu yöntemin kat kesme kuvvetlerinin daha gerçekçi olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, yüksek mod etkileri bu yanal kuvvet dağılımına etkili bir şekilde yansımaktadır.

2.3.3. Tasarım taban kesme kuvveti

PTPT metodunun uygulanmasındaki önemli adımlardan bir tanesi belli bir deprem düzeyi için taban kesme kuvvetinin tanımlanmasıdır (Goel ve ark. 2010).

Günümüzde uygulamadaki yönetmeliklerde tasarım taban kesme kuvveti, elastik dayanım talebinin deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılarak elastik ötesi dayanım taleplerine dönüştürülmesiyle elde edilir. Elastik ötesi dayanım talebi, yapıların önem durumuna göre bina önem katsayısıyla daha da artmaktadır. Taban kesme kuvvetleri tasarım ivme spektrumundan elde edilir ve Denklem 2.4'e göre hesaplanır.

$$V = m_t \frac{S_{ae}[g]}{R_a} = S_a \left(\frac{I}{R} \right) W \quad (2.4)$$

Gerekli dayanımı sağlayacak elemanlar elastik analizle belirlendikten sonra, belirlenen görelî kat ötelenme oranı yönetmeliklerde verilen ötelenme modifikasyon faktörü C_d ile çarpılır ve yönetmeliklerde belirtilen görelî kat ötelenme sınırları içerisinde kalması istenir (Birçok Yönetmelik de %2 olarak belirlenmiştir). Farklı yapısal sistemler için belirtilen taşıyıcı sistem davranış katsayısının R , mühendis ön sezileri dahil bir çok faktöre dayandığı dikkat edilmesi gereken bir husustur (Chao ve Goel 2008).

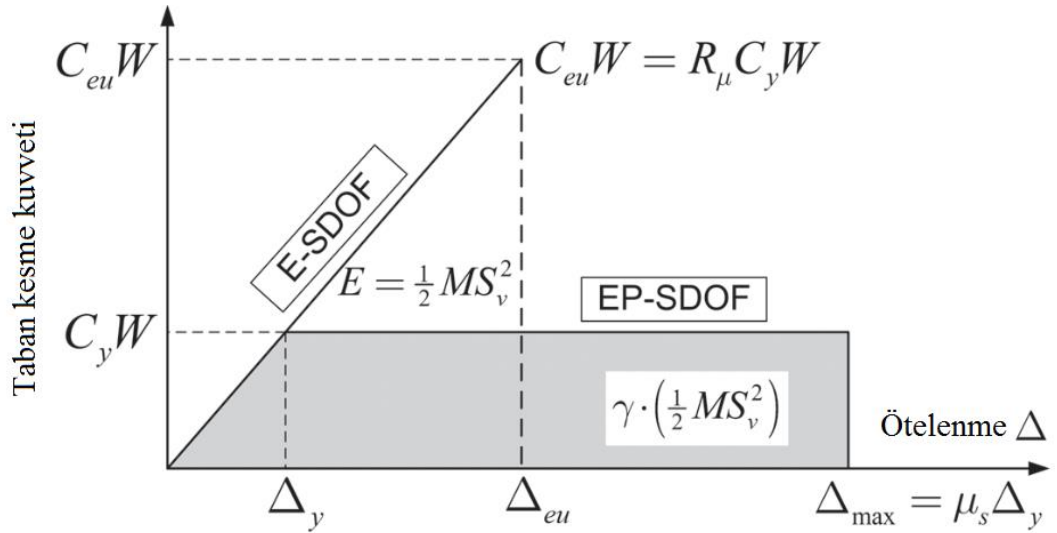
PTPT yönteminde taban kesme kuvveti ötelenmeyi de içinde bulundurarak yapının elastik olmayan durumunu temel alır. Bundan dolayı tasarımdan sonra ötelenme kontrolüne

gerek yoktur. Bu yöntemde taban kesme kuvveti, yapıyı mekanizma oluştuktan sonra hedef ötelenmeye kadar adım adım iterek bulunur. İhtiyacımız olan iş, eşdeğer ve uygun bir EP-TSDS sistem için yapının elastik davrandığı varsayılarak depremden gelecek enerjinin γ gibi bir katsayıyla çarpılmasıyla bulunur.

PTPT yönteminde gerekli iş taban kesme kuvvetini belirlemek için bir araç olarak kullanılır. Gerekli iş taban kesme kuvvetini, istenen mekanizma durumu, tasarım ötelenmesi, yapının Kuvvet-Yer değiştirme şekli ve tasarım depreminden elde edilen elastik enerji talebi arasında bağ kurarak hesaplar. Denklem 2.5'de iş enerji eşitliği görülmektedir.(Goel ve Chao 2008)

$$E_e + E_p = \gamma E = \gamma \left(\frac{1}{2} M S_v^2 \right) \quad (2.5)$$

Burada enerji modifikasyon faktörü süneklik oranı μ_s ve süneklik oranı kaynaklı azaltma faktörü R_μ ya bağlıdır. Şekil 2.3'de EP-TSDS bir sistemdeki taban kesme kuvveti ve deplasman arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 2.3. EP-SDOF ve E-SDOF sistemlerde taban kesme kuvveti tepedeplasman grafikleri (Chao ve Goel 2008)

Şekil 2.3’de İş ve enerji arasındaki geometrik ilişkiyi kullanarak, Denklem 2.6’yı çıkartabiliriz. Bu formülde $R_\mu = \frac{C_{eu}}{C_y}$ olduğundan dolayı C_{eu} yerine $C_y R_\mu$ yazabiliriz.

$$\frac{1}{2} C_y W (2\Delta_{max} - \Delta_y) = \gamma \left(\frac{1}{2} C_{eu} W \Delta_{eu} \right) \quad (2.6)$$

$$\frac{1}{2} C_y W (2\Delta_{max} - \Delta_y) = \frac{1}{2} C_y W R_\mu \Delta_{eu} \gamma \quad (2.7)$$

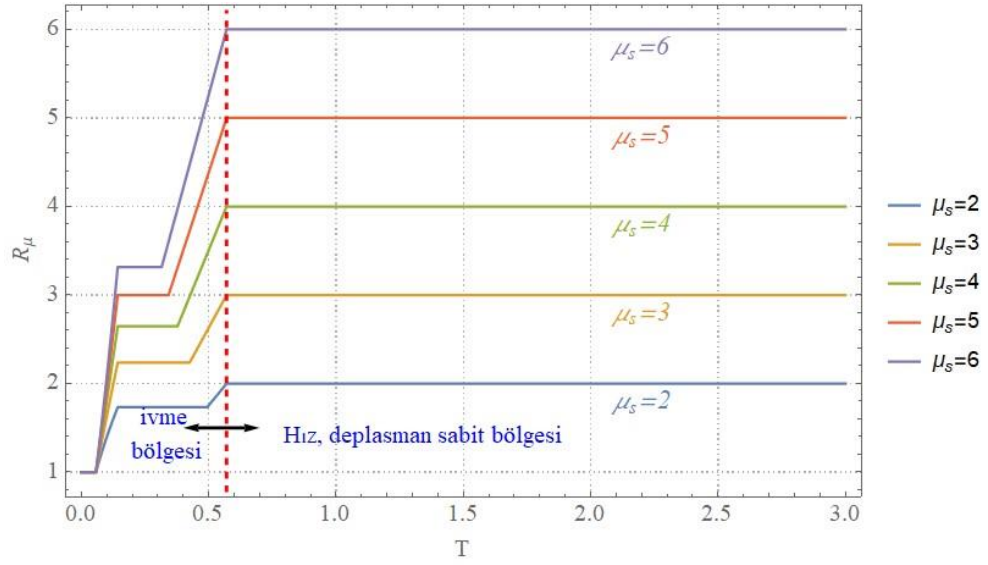
$$\frac{2\Delta_{max} - \Delta_y}{\Delta_{eu}} = \frac{\Delta_{eu}}{\Delta_y} \gamma \quad (2.8)$$

Burada $\Delta_{eu} = R_\mu \Delta_y$ ve $\Delta_{max} = \mu_s \Delta_y$ dönüşümlerini yapabiliriz.

$$\frac{2\mu_s \Delta_y - \Delta_y}{R_\mu \Delta_y} = \frac{R_\mu \Delta_y}{\Delta_y} \gamma \quad (2.9)$$

$$\gamma R_\mu = \frac{2\mu_s - 1}{R_\mu} \quad (2.10)$$

$$\gamma = \frac{2\mu_s - 1}{R_\mu^2} \quad (2.11)$$



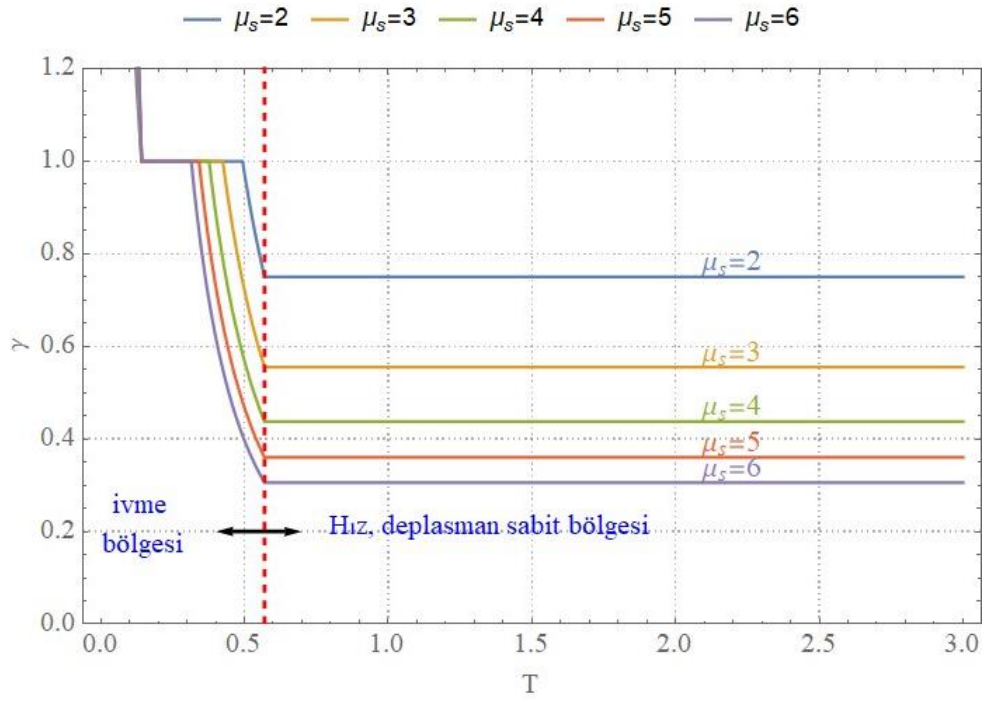
Şekil 2.4. Farklı süneklik ve periyotlardaki yapılar için süneklik azaltım faktörü değerleri Newmark ve Hall (1982) R_μ ile μ_s arasındaki ilişkiyi gösterdi. Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Süneklik azaltım faktörü ($R_\mu = C_{eu}/C_y$) ve onunla ilişkili yapı periyodu.

Periyot Aralığı	Süneklik Azaltım Faktörü
$0 \leq T < \frac{T_1}{10}$	$R_\mu = 1$
$\frac{T_1}{10} \leq T < \frac{T_1}{4}$	$R_\mu = \sqrt{2\mu_s - 1} \cdot \left(\frac{T_1}{4T}\right)^{2.513 \log\left(\frac{1}{\sqrt{2\mu_s - 1}}\right)}$
$\frac{T_1}{4} \leq T \leq T_1'$	$R_\mu = \sqrt{2\mu_s - 1}$
$T_1' \leq T \leq T_1$	$R_\mu = \frac{T\mu_s}{T_1}$
$T_1 \leq T$	$R_\mu = \mu_s$

$T_1 = 0.57 \text{ sec.}, T_1' = T_1 \cdot \left(\frac{\sqrt{2\mu_s - 1}}{\mu_s}\right)$

Denklem 2.11 ile hesaplanan enerji modifikasyon faktörünün değişiminin süneklik değerleriyle değişimi Şekil 2.5’da gösterildi. Grafikte de görüldüğü gibi süneklik oranının artmasıyla birlikte yapının enerji modifikasyon faktörü değeri düşmektedir. Ayrıca belli bir periyottan sonra faktörde herhangi bir değişim gözükmemektedir. Ayrıca süneklik oranı arttıkça belli bir miktardan sonra enerji modifikasyon faktöründeki değişimde azalmaktadır.(Goel ve Chao 2008)



Şekil 2.5. Farklı süneklik ve periyot değerlerindeki yapılarda enerji modifikasyon faktörü değişimi

Genellikle yönetmeliklerde verilen ivme spektrumlarından alınan ivme değerleri elastik enerji talebini(E) belirlemede kullanılmaktadır. Görüldüğü üzere Denklem 2.12’de spektral hız değeri, spektral ivme cinsinden yazılmıştır.

$$E_e + E_p = \gamma \left(\frac{1}{2} M S_v^2 \right) = \frac{1}{2} \gamma M \left(\frac{T}{2\pi} S_a g \right)^2 \quad (2.12)$$

Yapının elastik-plastik tek serbestlik dereceli olduğu sistemde oluşacak elastik enerji miktarı (E_e) ise yapının akmaya başladığı durumda oluşan enerji olarak alınabilir.

$$E_e = \frac{1}{2} M \left(\frac{T}{2\pi} \frac{V}{W} g \right)^2 \quad (2.13)$$

Denklem 2.12 ve Denklem 2.13 birleştirilirse ve plastik enerjiyi bulmak için düzenlenirse Denklem 2.14 elde edilir.

$$E_p = \frac{WT^2g}{8\pi^2} \left(\gamma S_a^2 - \left(\frac{V}{W} \right)^2 \right) \quad (2.14)$$

$$E_p = \sum_{i=1}^n F_i h_i \theta_p \quad (2.15)$$

Bu iş belirlenen mekanizma durumunda yapıda yanal yüklerden kaynaklı oluşacak işe eşitlenirse Denklem 2.15 elde edilir. Denklem 2.15’de gördüğümüz plastik dönme (θ_p) değeri yapıda oluşacak maksimum ötelenme miktarından (θ_u) elastik dönme değerinin (θ_y) çıkartılmasıyla bulunur. Yapılarda oluşan elastik dönme değerleri yapılan çalışmalar sonucunda, belli tip yapılarda yapı türüne bağlı sabit olduğu ortaya çıkmıştır. Çizelge 2.2’de bu değerler gözükmektedir.

Çizelge 2.2. Farklı yapı sistemlerine göre mekanizma durumunun başlangıç global ötelenme oranları (Bayat 2010)

Sistem Türü	Mekanizma Ötelenme Oranı $\theta_y(\%)$
Moment Aktaran Çerçeve (MAÇ)	1
Dış Merkez Çaprazlı Çerçeve (DMÇÇ)	0.5
Moment Aktaran Kafes Kiriş (MAKK)	0.75
Merkezi Çaprazlı Çerçeve (MÇÇ)	0.3

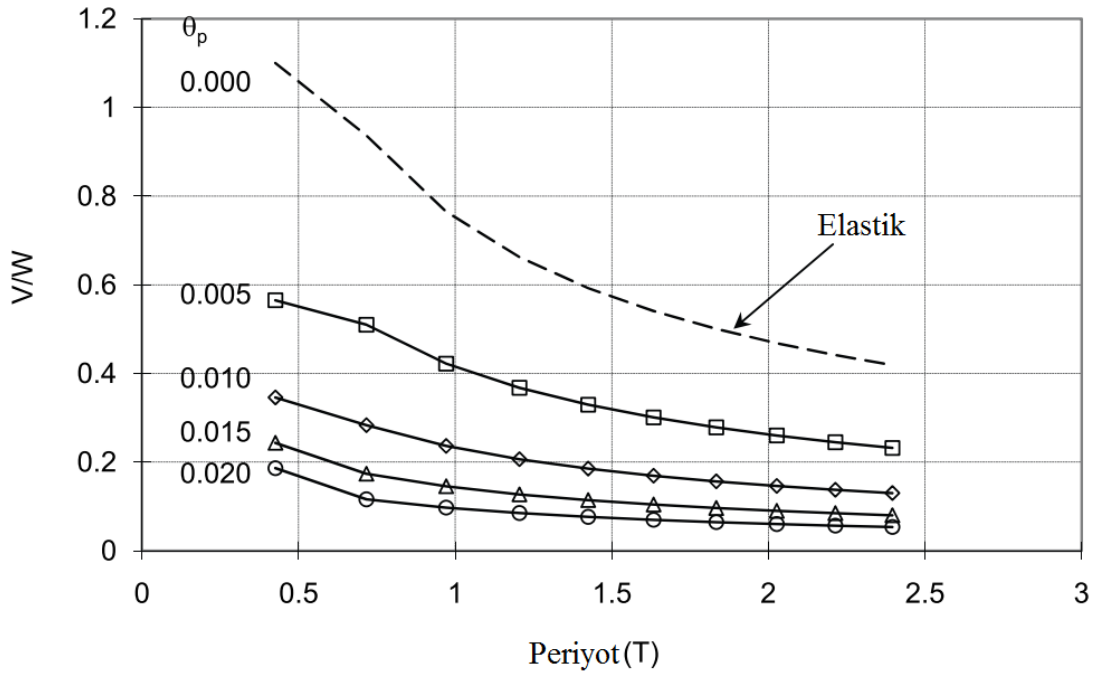
Denklem 2.5 ve 2.14 denklemlerini 2.15 formülünde yerine koyduğumuz zaman Denklem 2.16’yi elde ederiz.

$$\frac{V}{W} = \frac{-\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 4\gamma S_a^2}}{2} \quad (2.16)$$

Bu formülde α değeri yapının rijitliğine, modal özelliklerine ve tasarım plastik dönme miktarına bağlı boyutsuz bir değişkendir.

$$\alpha = \left(\sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1}) h_i \right) \cdot \left(\frac{w_n h_n}{\sum_{j=1}^n w_j h_j} \right)^{0.75T-0.2} \cdot \left(\frac{\theta_p 8\pi^2}{T^2 g} \right) \quad (2.17)$$

Denklem 2.17’de görüldüğü üzere, hedef ötelenme değeri denklemin içindedir. Bundan dolayı sonradan herhangi bir ötelenme kontrolü yapmaya gerek kalmamaktadır.



Şekil 2.6. PTPT yönteminde taban kesme kuvveti, tasarım ötelenme değeri ve periyot arasındaki ilişki (Lee ve Goel 2001)

Taban kesme kuvveti ile tasarım ötelenme hedefi arasında ilişki Şekil 2.6’de gösterilmiştir. Hedef ötelenme değerini arttıktıkça taban kesme kuvveti azaltılmaktadır.

Bununla birlikte yapının periyodu arttıkça da taban kesme kuvvetinde azalma gözlemlenmektedir.

Burada tasarım taban kesme kuvvetini belirlemek için gösterilen yöntem seçilen mekanizma durumunun oluşumunu ve ötelenme kontrolünü sağlarken aynı zamanda yapı dinamiğinin temel prensiplerine dayanmaktadır. Bu prosedür elastik ötesi davranışı doğrudan işin içine dahil eder. Bundan dolayı Davranış Azaltma Katsayısı (R), Bina önem katsayısı (I) veya Deplasman büyütme katsayısı gibi mühendislik önsezilerine dayanan ve yönetmeliklerde kullanılan değerlerin kullanımına ihtiyaç yoktur.(Bayat 2010)

Bununla birlikte dikkat edilmesi gereken diğer husus ise, Denklem 2.19 tarafından bize önerilen yöntemdeki taban kesme kuvveti, göçme mekanizması oluşması beklenen nihai kuvvet seviyesini temsil etmektedir. Buna karşın yönetmeliklerdeki taban kesme kuvveti, elastik yöntemlerle tasarımda kullanmak için gerekli dayanımı temsil eder. Bu nokta yönetmeliklerde yeterince net değildir. Örneğin AISC yönetmeliklerinde moment aktaran çerçeve gibi bazı sünek yapı sistemlerine elastik tasarımda kullanılan yük kombinasyonları ile plastik tasarıma izin verir. Bundan dolayı tasarımcı yöntemliğin belirlediği deprem tasarım kuvvetlerini plastik tasarımla kullanmayı seçerse, bilinçsiz bir hareket olabilir. (Bayat 2010)

2.3.4. Akması öngörülen elemanların tasarımı

Plastik tasarım yönteminin temel kullanım amacı istenilen mekanizmanın oluşumu sağlanırken aynı zamanda yeterli dayanımı sağlamaktır. Örnek olarak, moment aktaran çerçevelerde plastik mafsallar kirişlerin uçlarında ve temel kolonunda oluşacak şekilde sınırlandırılır. Diğer yapısal sistemlerde, elastik ötesi deformasyonlar farklı bağlantılarla sınırlandırılabilir. Daha önceki çalışmalar göstermiştir ki yapı yüksekliği boyunca yapısal dayanım, kat kesme kuvveti dağılımıyla paraleldir(Goel ve Chao 2008). Önceki çalışmalarda, yükseklik boyunca yapının dayanımının, kat kesme kuvveti faktörüyle β benzerlik göstermesinin uygun olacağı belirtilmiştir. Bu durum, mekanizmanın yükseklik boyunca daha eşit dağılmasına yardımcı olur ve bununla birlikte göçmenin belli katlarda ve bölgelerde olmasını önler.

Kirişlerin dayanımı, plastik tasarım metodundaki gibi iç iş dış işe eşitlenerek bulunur. Kirişlerin yaptığı deformasyon (θ) burada kullanılır. Burada kiriş deformasyonu, yapının mekanizma durumunun geometrik şartlarından belirlenebilecek global ötelenmenin bir türevidir. Ayrıca R_n değeri yapının en üst katındaki kiriş elemanının dayanımını temsil etmektedir. Tüm katlardaki kirişlerin dayanımını bulabilmek için ise her i . kattaki kat kesme kuvvet faktörü β ile tepe kirişteki dayanım çarpılarak diğer katların kirişlerinin dayanımları belirlenir. Ayrıca eğer istenirse düşey yüklerden gelen dış işte Denklem 2.18'e eklenebilir.(Goel ve Chao 2008)

$$\sum_{i=1}^n F_i h_i \theta = 2M_{pc} \theta + \sum_{i=1}^n \beta_i R_n \theta_i \quad (2.18)$$

Şekil 2.1'den görüldüğü üzere eğer denklem moment aktaran çerçeveler için tekrar düzenlenir ise Denklem 2.19 elde edilir. Bununla birlikte $\beta_i M_{pb}$ değeri i . kattaki gerekli plastik moment dayanımını temsil etmektedir.

$$\sum_{i=1}^n F_i h_i \theta_p = 2M_{pc} \theta_p + \sum_{i=1}^n 2(\beta_i M_{pb}) \gamma_{pi} \quad (2.19)$$

$$\beta_i M_{pb} = \beta_i \cdot \frac{\sum_{i=1}^n F_i h_i - 2M_{pc}}{2 \sum_{i=1}^n (\beta_i \frac{L}{L_i})} \quad (2.20)$$

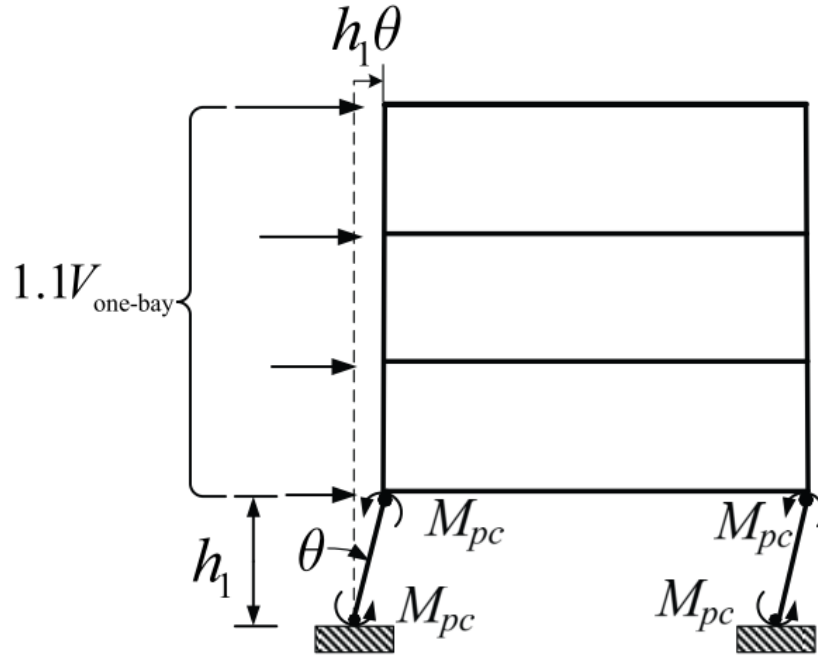
Ayrıca M_{pc} değeri 1.kat kolonunun alt kısmında oluşacak momenti temsil etmektedir. Bu moment değeri 1. katta yumuşak kat olayının oluşmayacağı bir değer olarak belirlenecektir. Bunun nedeni en kötü yıkılma senaryolarından birinin bu olmasıdır. 1. Kattaki kolonların bu şekilde tasarlanması ile yumuşak kat, zayıf kat mekanizmaları önlenmiş olmaktadır. Bu mekanizma durumunda gelen deprem kuvvetini bir güvenlik faktörü ile çarparak iş denklemlerini kullanırız (Leelataviwat ve ark. 1999). Bu güvenlik faktörü yapıda oluşabilecek dayanım fazlalıklarından kaynaklıdır. Burada gelmesi muhtemel taban kesme kuvveti değeriyle beraber 1. Kat kolon uçlarında plastik

mafsallaşma olduğunu düşünürüz. Bununla birlikte yapı içerisindeki elemanlarda oluşacak olası dayanım fazlalıkları sebebiyle oluşacak taban kesme kuvveti değeri artabilir. Burada ki bu değer (1.1) bundan kaynaklanmaktadır. Şekil 2.7’de bu mekanizma durumu gösterilmiştir.

$$1.1V'h_1\theta = 4M_{pc}\theta \quad (2.21)$$

$$M_{pc} = \frac{1.1V'h_1}{4} \quad (2.22)$$

M_{pc} değeri belirlendikten sonra M_{pb} ile en üst kattaki kirişteki gerekli moment dayanım değeri belirlenir. $\beta_i M_{pb}$ ile de ara kattaki kirişler gerekli moment dayanım değerleri hesaplanır. Daha ileri aşamalarda ise kolon tasarımları bu değerlerle yönetmeliklere göre hesaplanabilir.(Bayat 2010)



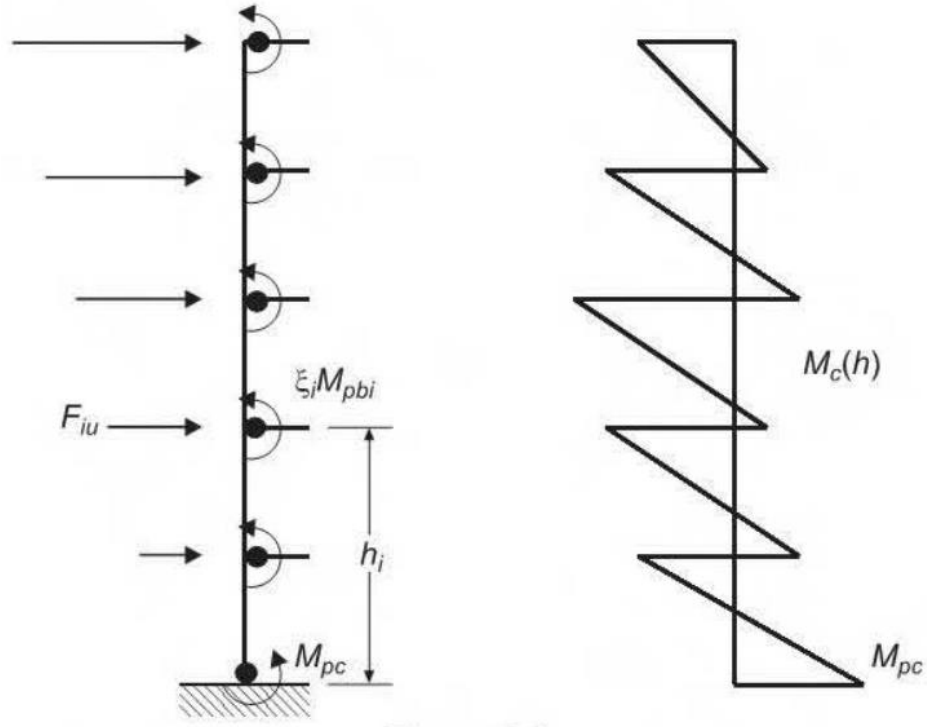
Şekil 2.7. Yumuşak kat mekanizma durumu

2.3.5. Elastik bölgede kalacak elemanların tasarımı

Moment aktaran çerçevelerde veya diğer sistemlerde mafsallaşan elemanlar plastik deformasyon yapmaya başlarlar. Bununla birlikte sistemdeki diğer elemanlar da bu

deformasyon devam ederken dayanımlarını kaybetmemelidir. Bu sayede bu mafsallaşan elemanlar sünekliklerini sistemde kullanabilirler. Örnek olarak moment aktaran çerçevelerde kolonların dayanımlarını kaybetmemeleri gerekmektedir. Burada kolonların, kirişlerin pekleşme ve dayanım fazlalığı gibi diğer faktörlerde göz önüne alınarak hesaplanan dayanımı ve güvenlik katsayılarıyla büyütülmüş yerçekimi kuvvetlerine dayanması beklenir. Bu hedefle, tasarım çökme mekanizmasının parçalarının uç sınır durumundaki dengesinin göz önünde bulundurulması gerekir. Modellenen çerçevelerde, bu parçalar kolon ağaçları olarak modellenebilir. Şekil 2.8’da dış kolon ağacının serbest cisim diyagramı gözükmektedir. Amaçlanan güçlü kolon zayıf kiriş mekanizmasının gerçekleşebilmesi için kolonların, kirişler ve kolonlardaki yerçekimi kuvvetleri dahil edilerek aynı zamanda kirişlerde oluşan plastik mafsallarda pekleşme ve dayanım fazlalıkları dikkate alınarak beklenen maksimum kuvvetler için tasarlanmalıdır. İlk kattaki kolonlarında maksimum kapasitelerine (M_{pc}) ulaştığı varsayılmaktadır. Tüm katlardaki mafsallarda oluşacak moment değeri (M_{pb}) pekleşme ve dayanım fazlalığını dikkate alan bir faktörle(ξ) çarpılır. Bu durumdaki sistemde, yanal yük dağılımının değişmediği varsayılabilir. Bunların büyüklüğü serbest cisim diyagramı kullanılarak belirlenebilir. Bundan sonra tüm katlardaki kesme kuvvet, eksenel kuvvet ve moment diyagramı ayrıca kirişlerin sonundaki momentler ve yanal kuvvetler belirlenebilir.

Sistemde kolonların tasarımdaki momentleri arttıran önemli faktörlerden birisi 2. Mertebe etkileridir. Bu etkinin tasarım süreçlerinde dikkate alınması önemli bir husus olup bazı yöntemler kullanılabilir. Bunların başında yönetmeliklerde bulunan yaklaşık yöntemdir. Bu yöntemin PTPT denenmiş ve sonuçların uygun olduğu aynı zamanda güvenli tarafta kaldığı belirlenmiştir. (Goel ve ark. 2010)



Şekil 2.8. Kolon ağacı yöntemi

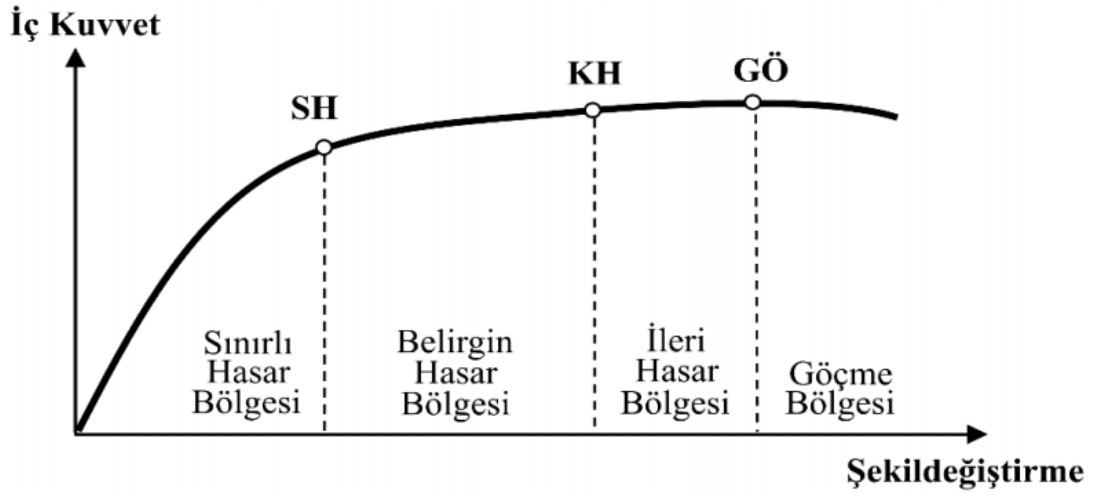
2.4. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Yaklaşımı

Şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımı (ŞDGT) deprem etkisi altındaki yapı taşıyıcı sistemlerin tasarlanmasında iki ana yaklaşımdan biridir. Öncelikle ön tasarımı yapılan taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan modelleme yöntemleri ile uyumlu iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları belirlenir. Bununla birlikte öngörülen performans hedeflerine uygun olacak şekilde seçilen yer hareketleri altında, taşıyıcı sistemin statik veya zaman tanım alanında dinamik artımsal yöntemlerle analiz edilir. Doğrusal olmayan sünek davranışa ilişkin şekil değiştirme talepleri ve gevrek davranışa ilişkin dayanım talepleri elde edilir. Öngörülen performans hedeflerine uygun belirlenen şekil değiştirme ve dayanım kapasiteleri, tespit edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet talepleri ile kıyaslanır. Yeni üretilecek yapılar için şekil değiştirmeye göre tasarım, eğer şekil değiştirme ve dayanım talepleri, bunlara karşı gelen şekil değiştirme ve dayanım kapasitelerinin altında ise tamamlanır. Tersisi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak yeniden değerlendirme yapılır. Bununla birlikte şekil değiştirmeye göre tasarım sonuçlanır. (TBDY)

2.4.1. Yapısal elemanlarda hasar sınırları ve bölgeleri

Sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçme öncesi hasar (GÖ) durumları, sünek elemanlar için kesit düzeyinde tanımlanmış hasar durumları ve bunların sınır değerleridir. Bunlardan sınırlı hasar ilgili kesitte sınırlı miktarda elastik ötesi davranışı, kontrollü hasar kesit dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranışı, göçme öncesi hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır.(TBDY)

Kritik kesitleri SH'a ulaşmamış elemanlar sınırlı hasar bölgesinde, SH ile KH arasında kalan elemanlar belirgin hasar bölgesinde, KH ile GÖ arasında bulunan elemanlar ileri hasar bölgesinde, GÖ'ü geçen elemanlar ise göçme bölgesinde bulunur (TBDY). (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Kesitlerde belirtilen hasar bölgeleri

Doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile hesaplanan iç kuvvetlerin veya şekil değiştirmelerin, kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir.(TBDY)

2.4.2. Doğrusal olmayan çözümleme ile yapı performansı

Deprem etkisi altındaki yapıların performanslarını belirleyebilmek için doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanılır. Bu yöntemlerin kullanım amacı belirtilen bir deprem için plastik şekil değiştirme ve plastik dönme talepleri ile iç kuvvet taleplerinin hesaplanmasıdır. Burada plastik şekil değiştirme ve plastik dönme sünek davranış ile ilişkili, iç kuvvet ise gevrek davranış ile ilişkilidir.

Bir sonraki adımda belirlenen şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri, belirtilen deprem için bulunan talep büyüklükleri ile karşılaştırılır. Bununla birlikte kesit ve yapı seviyesinde performans değerlendirmesi yapılır.

ŞDGT kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri ise itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemidir.

2.4.3. Çelik elemanların şekil değiştirme sınırları

Çelik elemanlarda şekil değiştirme sınırları akma dönmesi cinsinden verilecektir. TBDY Denklem 2.23 kiriş elemanlar için hesaplanan akma dönmesidir. Burada W_p plastik mukavemet momentini, F_{ye} yapı çeliğinin beklenen akma gerilmesini, l_b kiriş boyunu, I_b kiriş elemanın boyunu temsil etmektedir. TBDY Denklem 2.24 ise kolon elemanlar için hesaplanan akma dönmesidir. Burada P_{ye} çelik elemanın beklenen aksel akma kuvvetini temsil etmektedir.(TBDY)

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_b}{6EI_b} \quad (2.23)$$

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_k}{6EI_k} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \quad (2.24)$$

Çelik kirişleri için Çizelge 2.3’de, Çelik kolonlar için Çizelge 2.4’de izin verilen şekil değiştirme sınırları, farklı performans seviyeleri için plastik dönme cinsinden verilmiştir. Burada P_c değeri çelik elemanın beklenen basınç dayanımını vermektedir.

Çizelge 2.3. Çelik kirişlerde plastik dönme sınırları.

Kiriş(Eğilme)	Şekildeğiştirme Sınırları		
	SH	KH	GÖ
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$

Çizelge 2.4. Çelik kolonlarda plastik dönme sınırları

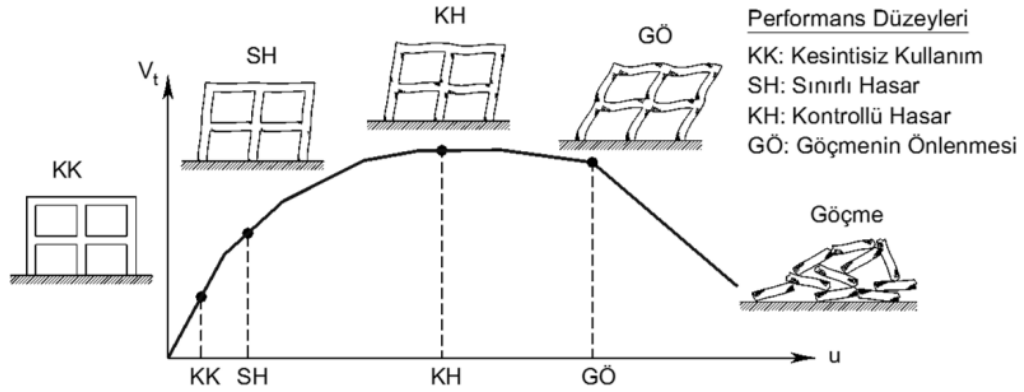
Kolon(Eğilme)	Plastik Dönme Sınırları (rad)		
	SH	KH	GÖ
$P/P_c < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
$0.20 < P/P_c \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$1.5(1-1.16 P/P_c) \theta_y$	$9(1-1.16 P/P_c) \theta_y$	$13.5(1-1.16 P/P_c) \theta_y$
Süneklik Düzeyi Sınırlı	$0.25\theta_y$	$0.7\theta_y$	$1\theta_y$

2.4.4. Deprem performansları

Deprem etkileri altındaki yapı sistemlerinde oluşması beklenen hasarların durumu, deprem performansı ile bağlantılıdır. Deprem performansları dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan çözümleme yöntemlerinin uygulanması ve elemanların performansının belirlenmesiyle beraber yapı performans düzeyi belirlenir. Performans düzeyleri kesintisiz kullanım (KK), sınırlı hasar (SH), kontrollü hasar (KH) ve göçmenin önlenmesi (GÖ) olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.10).(TBDY)

Kesintisiz kullanım performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı

gelmektedir. Sınırlı hasar performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir. Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.



Şekil 2.10. Yapı performans hedefleri (Darılmaz 2018)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, tez kapsamında değerlendirmesi yapılan binaların detayları ve kullanılan yöntemleri anlatılacaktır.

Bu tez kapsamında PTPT metodunun ŞDGT metodu ile kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu kıyaslama amacıyla iki adet yapı her iki tasarım metoduna göre tasarlanmıştır. Bununla birlikte ŞDGT metodunun uygulanması için gerekli ön tasarım TBDY'ince dayanıma göre tasarım metoduyla yapılmaktadır. Bundan dolayı literatürde dayanıma göre tasarımı(DGT) yapılmış iki adet yapı seçilmiştir(Zorlu ve ark. 2018). Seçilen bu yapılar sırasıyla 4 ve 9 katlıdır. Ayrıca yatay yük taşıyıcı sistemleri x ve y yönlerinde ayrı ayrı olmak üzere moment aktaran çelik çerçeve ve çaprazlı çelik çerçevedir. Bu tez kapsamında yalnızca moment aktaran çelik çerçeve tasarlanacaktır.

Bu DGT metodu ile tasarlanan yapılar ŞDGT için ön tasarım kabul edilip tasarım prosedürü devam ettirilmiştir.

Söz konusu bu yapılar PTPT metodu ile yeniden tasarlanmıştır. Yapılara ait geometrik değerler, malzeme özellikleri, yük değerleri literatürdeki değerlerle aynı alınmıştır.

İki yöntemin kıyaslanması için, her iki yöntem ile tasarlanan yapılar statik ve dinamik performans analizleri yapılmıştır.

3.1. Bina Modeli

Daha önceden bahsettiğimiz konularla ilgili sayısal kıyaslamaları yapabilmek için 2 farklı bina modeli seçilmiştir. Bu 2 yapı modeli aynı kaynaktan alınmıştır (Zorlu ve ark. 2018).

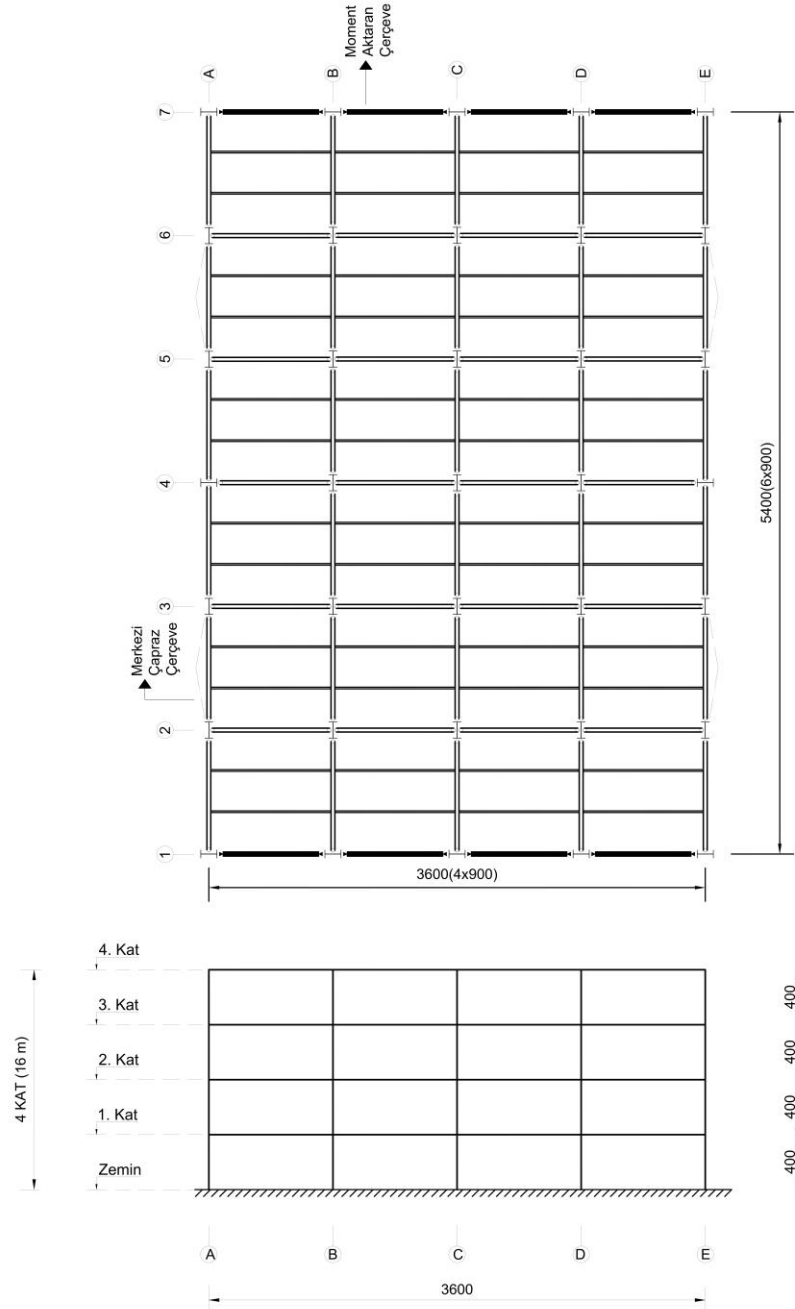
3.1.1. Genel yapı bilgileri

Bu tez kapsamında 2 farklı yapı incelenmiştir. Bu yapıların kat adetleri yükseklikleri ve kat alanları gibi geometrik özellikler Çizelge 3.1'de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Tez kapsamındaki yapıların geometrik özellikleri.

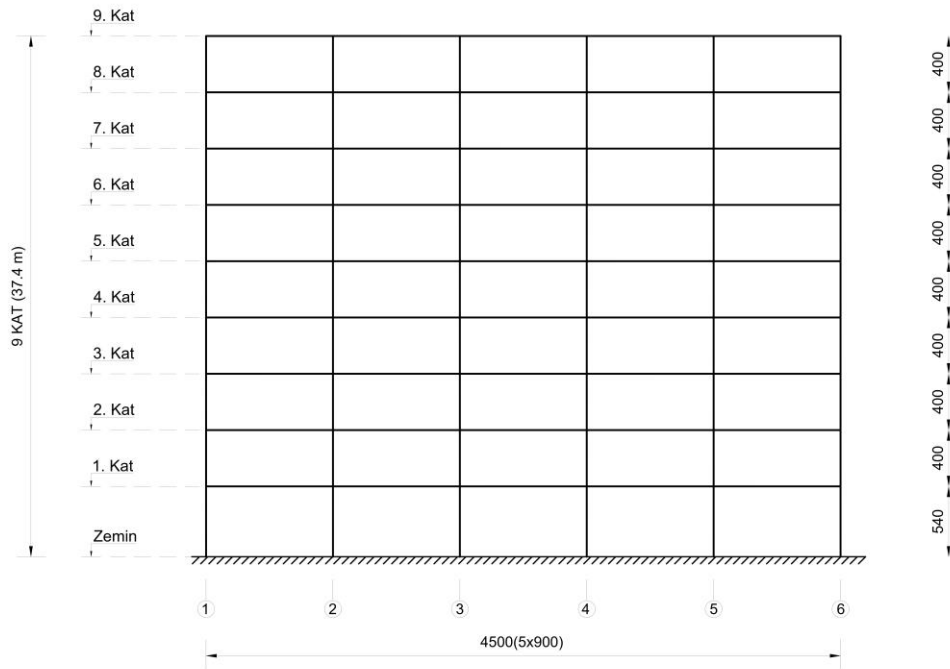
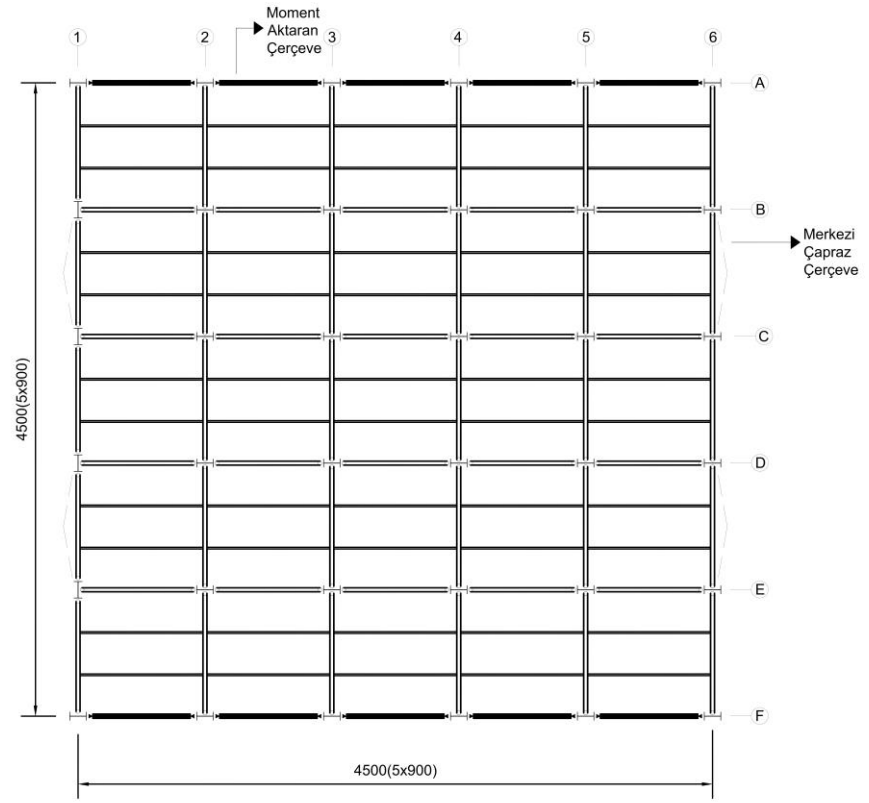
Yapı Katı	Kat Aralığı	Kat Yüksekliği (m)	Kat Alanı (m²)
4 Kat	1-4	4	1944(54x36)
9 Kat	1	5.4	2025(45x45)
	2-8	4	2025(45x45)

Ayrıca yapılarda deprem taşıyıcı sistem olarak süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeveler kullanılacaktır.



Şekil 3.1. 4 katlı yapının plan görünüşü ve kat yükseklikleri.

Şekil 3.1’de 4 katlı yapımızın kat planı ve ön görünüşü görülmektedir. Şekil 3.2’de ise 9 katlı yapımızın planları verilmiştir.



Şekil 3.2. 9 katlı yapının plan görünüşü ve kat yükseklikleri.

Tüm yapı sistemlerimizde malzeme olarak ASTM A992 Grade 50 kullanılmıştır. Bu malzeme ile ilgili bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. ASTM A991 Grade 50 malzeme özellikleri

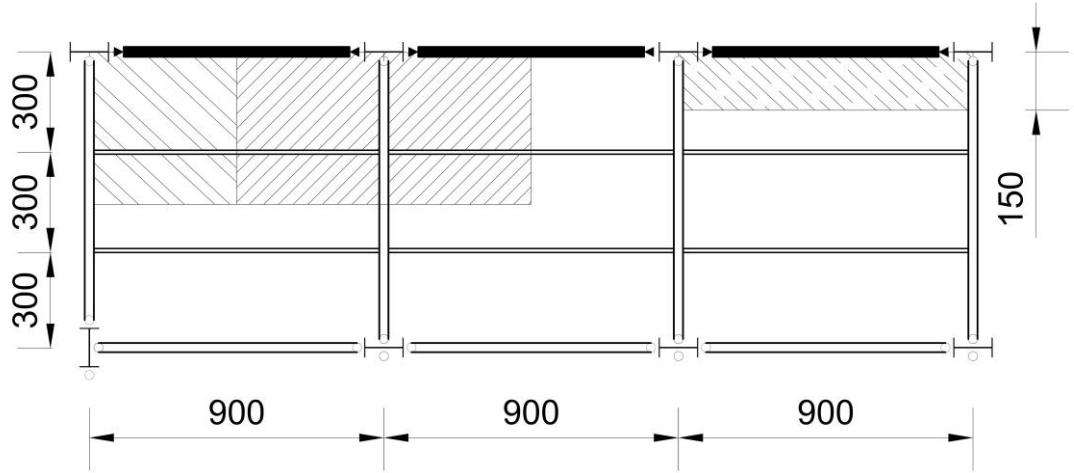
F_y (mPA)	F_u (mPA)	E (mPA)	F_{ye} (mPA)	F_{ue} (mPA)
345	450	200000	379.5	495

3.1.2. Yükler

Bu tez kapsamındaki yapılardan 4 ve 9 katlı olanların yük durumları örneklerin bulunduğu kaynaklardan hazır bir şekilde alınmıştır. Duvar yükleri ihmal edilmiştir. Çizelge 3.3’de bu yükler belirtilmiştir. Bu alan yüklerinin kirişlere ve kolonlara etkittiği yayılı ve tekil yükler Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yapılara etkitilen yükler.

Yer	Tür	Yük(kN/m ²)
Çatı	Çelik Konstrüksiyon	0.3
	Toplam(G)	4.3
	Çatı Hareketli Yüğü(Q _r)	1
Normal Kat	Çelik Konstrüksiyon	0.3
	Toplam(G)	5.3
	Hareketli Yük (Q)	3.0



Şekil 3.3. Kiriş ve kolon elemanların yük etki alanları

Kiriş açıklığının yarısındaki yük kirişlere yayılı olarak etkilmiştir(Şekil 3.3). Bununla birlikte kolonun etki alanındaki yük kolona etkilirken kirişin etki alanında kalan kısım çıkartılır.

$$q_{1.g} = 4.3 \text{ kN/m}^2 * 1.5 \text{ m} = 6.45 \text{ kN/m}$$

$$q_{1.q} = 1 \text{ kN/m}^2 * 1.5 \text{ m} = 1.5 \text{ kN/m}$$

$$q_{2.g} = 5.3 \text{ kN/m}^2 * 1.5 \text{ m} = 7.95 \text{ kN/m}$$

$$q_{2.q} = 3 \text{ kN/m}^2 * 1.5 \text{ m} = 4.5 \text{ kN/m}$$

$$P_{1.g} = 4.3 \text{ kN/m}^2 * ((4.5\text{m} * 4.5\text{m}) - (1.5\text{m} * 4.5\text{m})) = 58 \text{ kN}$$

$$P_{1.q} = 1.0 \text{ kN/m}^2 * ((4.5\text{m} * 4.5\text{m}) - (1.5\text{m} * 4.5\text{m})) = 13.5 \text{ kN}$$

$$P_{2.g} = 2 * P_{1.g} = 116 \text{ kN}$$

$$P_{2.q} = 2 * P_{1.q} = 27 \text{ kN}$$

$$P_{3.g} = 5.3 \text{ kN/m}^2 * ((4.5\text{m} * 4.5\text{m}) - (1.5\text{m} * 4.5\text{m})) = 71.55 \text{ kN}$$

$$P_{3.q} = 3.0 \text{ kN/m}^2 * ((4.5\text{m} * 4.5\text{m}) - (1.5\text{m} * 4.5\text{m})) = 40.5 \text{ kN}$$

$$P_{4.g} = 2 * P_{3.g} = 143.1 \text{ kN}$$

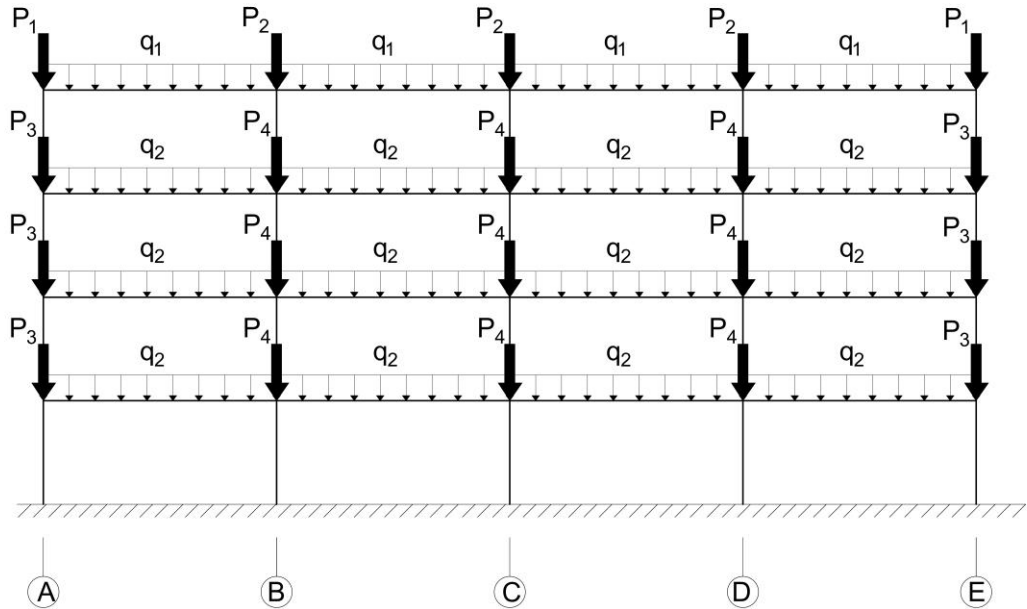
$$P_{4.q} = 2 * P_{3.q} = 81 \text{ kN}$$

Çizelge 3.4. Kirişlere etkiyen yayılı yük

Kat	G	Q
	Ölü yük(kN/m)	Hareketli yük (kN/m)
Çatı	6.45	1.5
Normal	7.95	4.5

Çizelge 3.5. Kolonlara etkiyen aksenal yük

Kat	G		Q	
	Ölü Yük (kN)		Hareketli Yük (kN)	
	İç Kolon	Dış Kolon	İç Kolon	Dış Kolon
Çatı	116.1 (P2)	58 (P1)	27 (P2)	13.5 (P1)
Normal	143.1 (P4)	71.55 (P3)	81 (P4)	40.5 (P3)



Şekil 3.4. 4 katlı yapıdaki moment aktaran çerçeveye etkiyen düşey yükler

Deprem hesaplarında dikkate alınan toplam kat ağırlıklarının hesaplanması aşağıda verilmiştir. Kat ağırlıkları hesabında $G + nQ$ kombinasyonu kullanılmıştır (TBDY).

Burada n hareketli yük kütle katılım katsayısını ifade etmektedir.

4 katlı yapı için;

$$G_{\text{çatı}} = 4.3 \text{ kN/m}^2 \times 1944 \text{ m}^2 = 8359 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{çatı}} = 1 \text{ kN/m}^2 \times 1944 \text{ m}^2 = 1944 \text{ kN}$$

$$G_{\text{normal}} = 5.3 \text{ kN/m}^2 \times 1944 \text{ m}^2 = 10303.2 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{normal}} = 3 \text{ kN/m}^2 \times 1944 \text{ m}^2 = 5832 \text{ kN}$$

$$W_{\text{çatı}} = 8359.2 + 0.3 \times 1944 = 8942 \text{ kN}$$

$$W_{\text{normal}} = 10303.2 + 0.3 \times (5832) = 12053 \text{ kN}$$

9 katlı yapı için;

$$G_{\text{çatı}} = 4.3 \text{ kN/m}^2 \times 2025 \text{ m}^2 = 8707.5 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{çatı}} = 1 \text{ kN/m}^2 \times 2025 \text{ m}^2 = 2025 \text{ kN}$$

$$G_{\text{normal}} = 5.3 \text{ kN/m}^2 \times 2025 \text{ m}^2 = 10732.5 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{normal}} = 3 \text{ kN/m}^2 \times 2025 \text{ m}^2 = 6075 \text{ kN}$$

$$W_{\text{çatı}} = 8707.5 + 0.3 \times 2025 = 9315 \text{ kN}$$

$$W_{\text{normal}} = 10732.5 + 0.3 \times 6075 = 12555 \text{ kN}$$

3.1.3. Deprem parametreleri

Tez kapsamındaki yapılar ile ilgili gerekli deprem parametreleri TBDY'e göre belirlenmiştir. Çizelge 3.6'de bina yükseklik sınıfları verilmiştir. Çizelge 3.7'de hesaplanan deprem parametreleri verilmiştir. Bu hesaplamalarda kullanılacak parametreler literatürden alınmıştır (Zorlu ve ark. 2018).

Çizelge 3.6. Bina yükseklik sınıfı

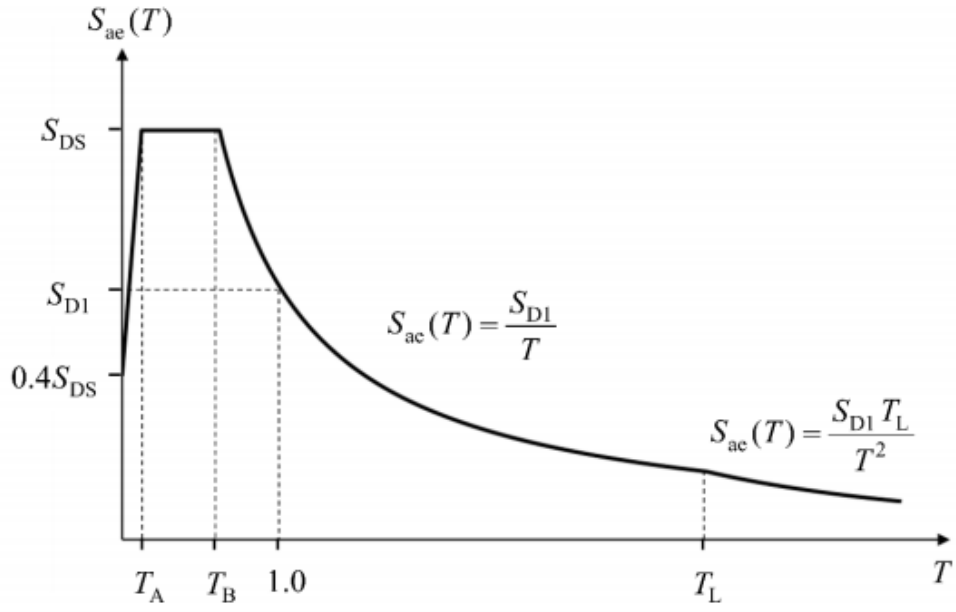
Yapı	Bina Yükseklik Sınıfı
4 katlı	6
9 katlı	4

Çizelge 3.7. Deprem parametreleri.

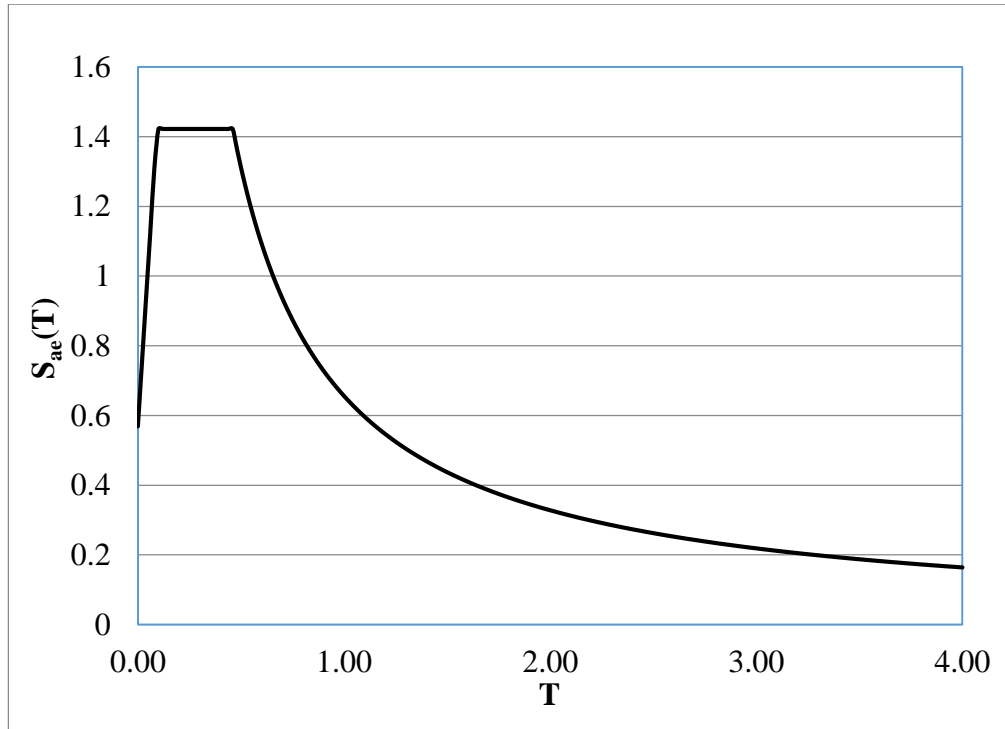
Parametre	Değer
Bina Önem Katsayısı	1
Zemin Sınıfı	ZB
S_s	1.58
S_1	0.82
F_s	0.9
F_1	0.8
S_{DS}	1.422
S_{D1}	0.656
T_A	0.093
T_B	0.46
Deprem Tasarım Sınıfı	1
Kullanılacak Deprem Düzeyi	DD-2

TBDY' e göre yanal tasarım spektrum hesabı ile ilgili detaylar şekil 3.5 de gösterilmiştir.

Tasarımlarda kullanacağımız yanal tasarım spektrumunu şekil 3.6 da verilmiştir.



Şekil 3.5. Yanal elastik tasarım spektrumu (TBDY)

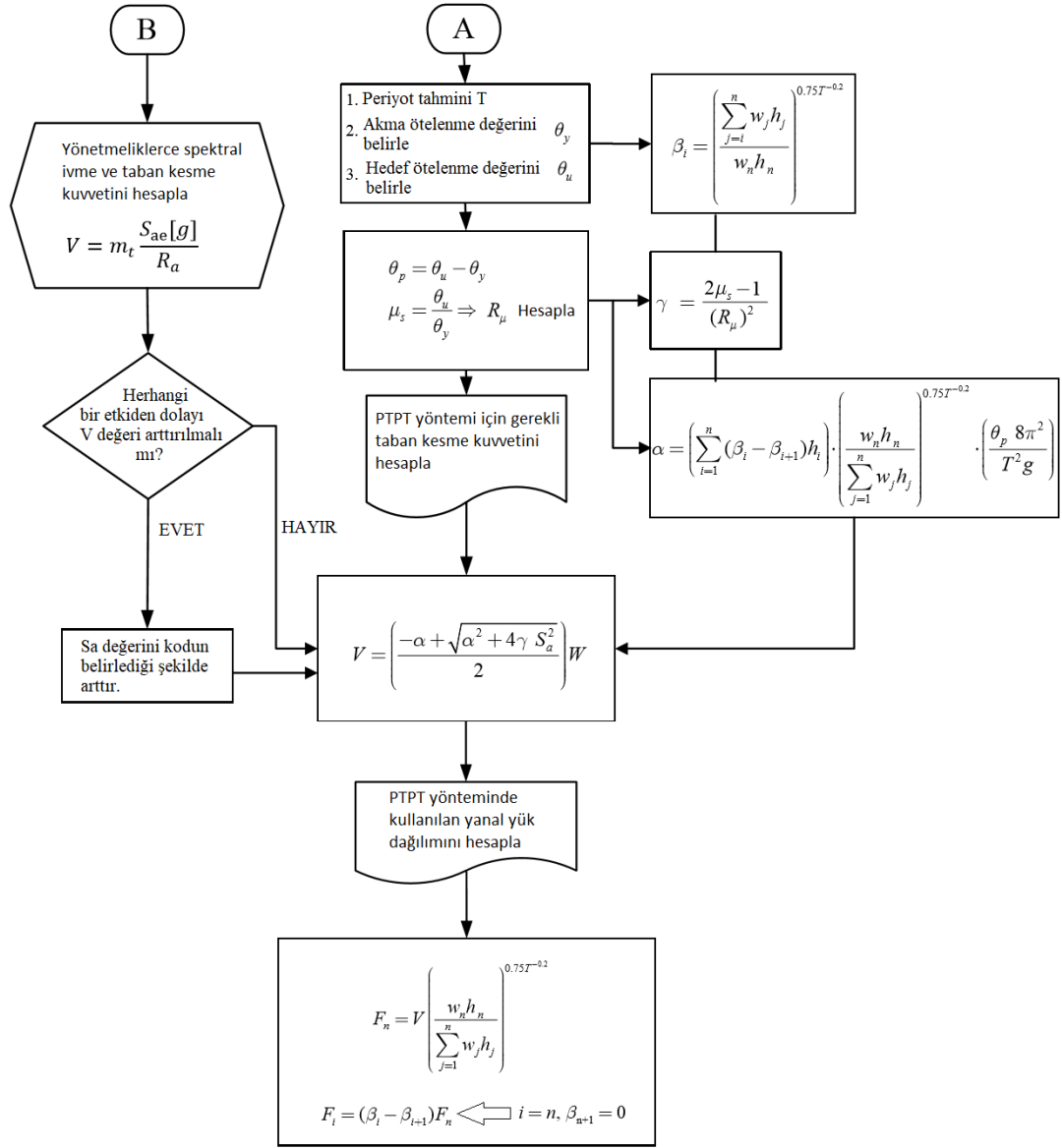


Şekil 3.6. Hesaplanmış yanal elastik tasarım spektrumu

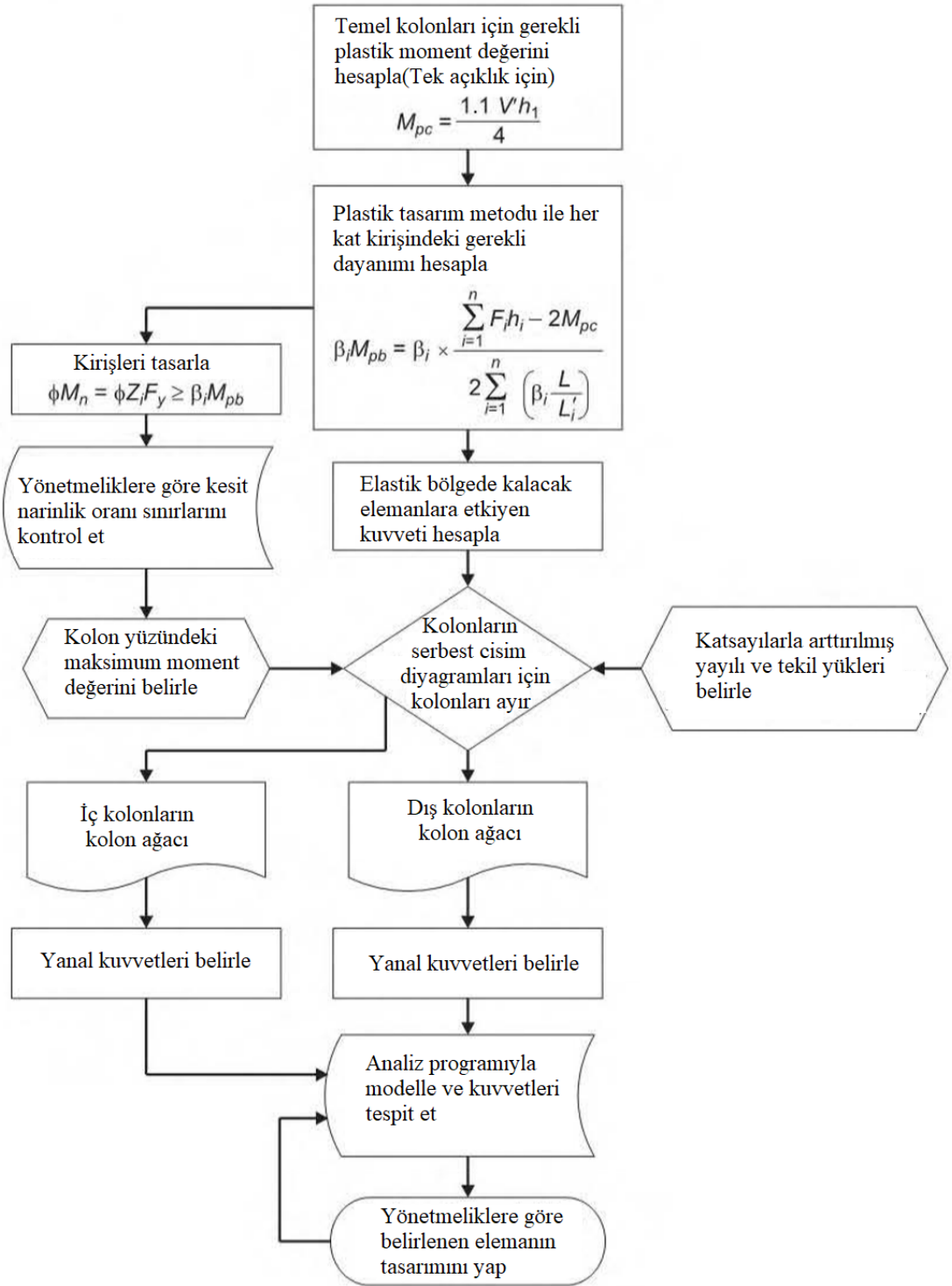
3.2. Performans Tabanlı Plastik Tasarım Yöntemine Göre Tasarım

Bu bölümdeki tüm hesaplamalar Microsoft Excel tabloları ile Ek 1’de verildiği şekilde yapılmıştır.

Bu çalışmanın başlıca amaçlarından biri PTPT metodunun çelik yapıların tasarımında ve mevcut bir çelik yapının performans değerlendirilmesinde başarısını ölçmek olduğundan yalnızca yanal yük taşıyıcı sistemin analizi ve tasarımı yapılmıştır. Yani yapının sadece düşey yük taşıyan elemanların tasarımı bu çalışma kapsamı dışındadır.



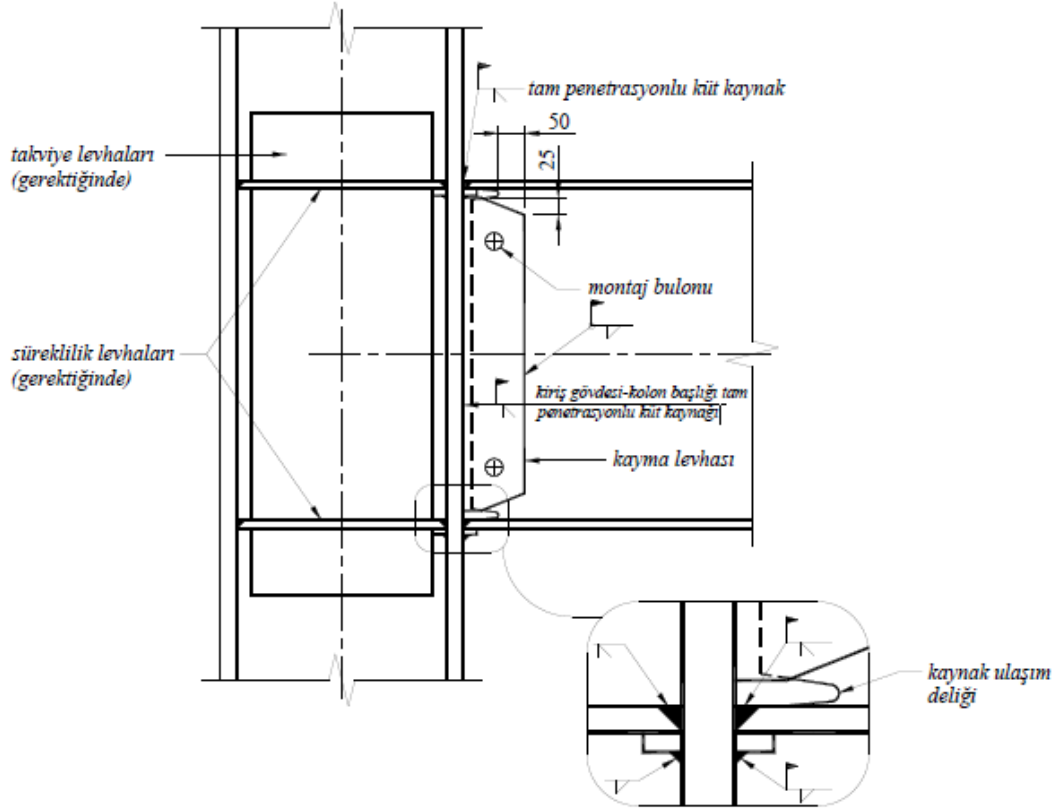
Şekil 3.7. PTPT akış diyagramı: Taban kesme kuvvetinin ve yanal yük dağılımının belirlenmesi



Şekil 3.8. PTPT tasarım akış diyagramı: elemanların tasarımı

3.2.1. Hedeflenen mekanizmanın belirlenmesi

Bu tez kapsamındaki tüm birleşimlerde tam penetrasyonlu küt kaynaklı birleşim kullanılmıştır. Birleşim türünün belirtilmesindeki neden plastik mafsal konumunun tasarım için gerekli olmasıdır. Bu birleşim türü için plastik mafsal oluşum noktası TBDY Tablo 9B.3'e göre $\ell_h = 0$ olarak kolon yüzü olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.9. Tam penetrasyonlu küt kaynaklı birleşim detayı (TBDY 2018)

Plastik mafsallar arasındaki mesafenin belirlenmesi için kiriş açıklığı ve kolon enkesit yüksekliği gerekmektedir. Kiriş uzunlukları tüm yapılarda 9 metredir. Kolon enkesit yüksekliğini belirlemek için yaklaşık bir kesit tahmin edilmiştir. Bu kesitler 4 katlı yapı için H400x635, 9 katlı yapı için H400x900 olarak seçilmiştir. Bu kesitlerin kesit yükseklikleri d_c , sırasıyla 475 mm ve 531 mm 'dir. Plastik mafsallar arası mesafe (L) denklem 3.1 ile hesaplanmış bulunan değerler Çizelge 3.8 de verilmiştir.

$$L' = L - 2 \left(\frac{d}{2} + \ell_h \right) \quad (3.1)$$

Çizelge 3.8. Plastik mafsalların kolon yüzünden uzaklıkları ve aynı kirişlerdeki plastik mafsallar arası mesafe.

Yapı	L (mm)	d (mm)	ℓ_h (mm)	L' (mm)
4 Kat	9000	475	0	8525
9 Kat	9000	531	0	8469

Çizelge 3.9. Mekanizma durumundaki yapıda kiriş dönme değerleri.

Yapı	θ_p (%)	L/L'	γ_{pi} (%)
4 Kat	1	1.056	1.056
9 Kat	1	1.063	1.063

3.2.2. Yanal kuvvet dağılımının belirlenmesi

Bu bölümde eşdeğer deprem yükü kat dağılım oranları C_{vi} hesaplanmıştır. 4 katlı ve 9 katlı binalar için yapılan eşdeğer deprem yükü kat dağılım oranlarını gösteren hesap sonuçları Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11 de verilmiştir. Çizelgelerde 6. Sütunda verilen kat kesme kuvveti faktörü β_i değeri denklem 2.6 a göre hesaplanmıştır. Bu denklemde gerekli olan bina doğal titreşim periyotları denklem 3.2'de verilen ampirik hakim doğal titreşim periyodu formülü (TBDY) ile hesaplanmıştır. Denklemde C_t çelik yapılar için 0.08 ve H_n yapı yüksekliğini temsil etmektedir. Bu periyotlar sırasıyla 4 ve 9 katlı yapılar için 0.64 ve 1.20'dir.

$$T_{pA} = C_t \cdot H_n^{0.75} \quad (3.2)$$

Çizelge 3.10. 4 katlı yapının yanal yük dağılım katsayılarının detay hesapları

Kat	h_j (m)	w_j (kN)	$w_j h_j$ (kNm)	$\sum w_j h_j$ (kNm)	β_i	$\beta_i - \beta_{i+1}$
4	4	8942	143056	143056	1,000	1,000
3	4	12053	144636	287692	1,773	0,773
2	4	12053	96424	384116	2,248	0,474
1	4	12053	48212	432328	2,477	0,229
Σ		45100	432328		7,498	2,477

Çizelge 3.11. 9 katlı yapının yanal yük dağılım katsayılarının detay hesapları.

Kat	h_j (m)	w_j (kN)	$w_j h_j$ (kNm)	$\sum w_j h_j$ (kNm)	β_i	$\beta_i - \beta_{i+1}$
9	37.4	9315	348381	348381	1,000	1,000
8	33.4	12555	419337	767718	1,771	0,771
7	29.4	12555	369117	1136835	2,352	0,581
6	25.4	12555	318897	1455732	2,812	0,460
5	21.4	12555	268677	1724409	3,179	0,366
4	17.4	12555	218457	1942866	3,465	0,286
3	13.4	12555	168237	2111103	3,680	0,214
2	9.4	12555	118017	2229120	3,827	0,148
1	5.4	12555	67797	2296917	3,911	0,084
Σ		109755	2296917		25,998	3,911

3.2.3. Taban kesme kuvvetinin belirlenmesi

Yukarıda hesaplanan bina periyot değerleri için hesaplanan yatay elastik tasarım spektral ivme değerleri (S_{ae}), enerji modifikasyon faktörü (γ) ve taban kesme kuvveti oranı (V/W) bölüm 2 de verilen denklemlere göre hesaplanıp Çizelge 3.12 de gösterilmiştir..

Çizelge 3.12. 4 ve 9 katlı yapıların PTPT yönteminde kullanılacak parametre değerleri.

Parametre	4 Kat	9 Kat
T	0.64	1.2
θ_u	%2	%2
θ_y	%1	%1
θ_p	%1	%1
μ_s	2	2
R_μ	2	2
γ	0.75	0.75
$S_{ae}(T)$	1.025	0.5467
α	2,367	1,560
V/W	0,296	0,132

3.2.4. Akması öngörülen elemanların tasarımı

Önceki bölümde bulduğumuz taban kesme kuvveti tüm yapıya gelen taban kesme kuvvetiydi. Bununla birlikte o deprem doğrultusundaki yanal yük taşıyıcı çerçevelerin her bir açıklığına denk gelen taban kesme kuvvetini bulabilmek için, o deprem doğrultusundaki taşıyıcı sistemdeki açıklık sayısı gerekmektedir. 4 katlı yapıda 8 adet, 9 katlı yapıda 10 adet açıklık bulunmaktadır.

Bulduğumuz taban kesme kuvveti bir açıklık için geçerli olacaktır. Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14'de önceki bölümlerden alınan verilerle birlikte herbir açıklığa düşen yanal kuvvet değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.13. 4 katlı yapının yanal yük dağılımı ve bir açıklıktaki çerçeveye gelen toplam yanal yük

Kat	C_{vi}'	$F_i/8$	$F_i h_i/8$
4	0,404	671,0925	10737,48
3	0,312	518,27	6219,24
2	0,192	318,935	2551,48
1	0,092	152,8225	611,29
	1	1661,12	20119,49

Çizelge 3.14. 9 katlı yapının yanal yük dağılımı ve bir açıklıktaki çerçeveye gelen toplam yanal yük.

Kat	C_{vi}'	$F_i/10$ (kN)	$F_i h_i/10$ (kN)
9	0,256	371,3	13885,2
8	0,197	285,7	9542,3
7	0,149	216,1	6353,0
6	0,118	171,1	4346,7
5	0,094	136,3	2917,3
4	0,073	105,9	1842,1
3	0,055	79,8	1068,8
2	0,038	55,1	518,0
1	0,021	30,5	164,5
Toplam	1,001	1451,7	40637,9

M_{pc} değerinin hesabındaki 1.1 katsayısı yapı yüksekliğine göre 1.1-1.5 arasında değişmektedir (Goel ve Chao 2008). 4 katlı yapı için bu değer 1.1 kullanılırken 9 katlı yapı için bu değer 1.5 kullanılmıştır. M_{pc} değerleri Denklem 2.22 kullanılarak 4 ve 9 katlı yapılar için sırasıyla, 1827 kNm ve 2937 kNm olarak bulunmuştur. Kat yanal yükü (F_i) ve M_{pc} değerleri kullanılarak en üst kat kirişindeki moment değeri M_{pb} bulunmuştur. Hesap detayları 4 katlı yapı için Çizelge 3.15 , 9 katlı yapı için Çizelge 3.16'de verilmiştir. Burada güvenlik faktörü TBDY'e göre $\phi = 0.9$ alınmıştır.

Çizelge 3.15. 4 katlı yapıda kiriş mafsallarında oluşacak maksimum moment değerlerinde gerekli kesit plastik mukavemet moment değerleri

Kat	$M_u = \beta_i M_{pb}$ (kNm)	M_u/ϕ (kNm)	Z_x (cm^3)
4	1040,1	1155,6	3349,6
3	1844,5	2049,4	5940,3
2	2337,8	2597,6	7529,3
1	2575,9	2862,1	8295,9

Çizelge 3.16. 9 katlı yapıda kiriş mafsallarında oluşacak maksimum moment değerlerinde gerekli kesit plastik mukavemet moment değerleri

Kat	$M_u = \beta_i M_{pb}$ (kNm)	M_u/ϕ (kNm)	Z_x (cm^3)
9	629,1	699,0	2026,2
8	1114,0	1237,8	3587,8
7	1479,7	1644,2	4765,7
6	1769,5	1966,1	5698,7
5	2000,0	2222,2	6441,3
4	2180,2	2422,4	7021,5
3	2315,1	2572,4	7456,1
2	2408,0	2675,6	7755,3
1	2460,8	2734,2	7925,1

Gerekli plastik mukavemet momenti değerlerinin belirlenmesiyle beraber her kat kirişi için bu değeri sağlayacak elemanlar atanmıştır. Belirlenen elemanlar ve bu elemanlar ile ilgili eğilme dayanımı değerleri 4 katlı yapı için Çizelge 3.17, 9 katlı yapı için Çizelge 3.18'da belirtilmiştir.

Çizelge 3.17. 4 katlı yapıdaki belirlenmiş kat kiriş kesitleri ve plastik mukavemet momenti değerleri

Kat	Tasarım Kesiti	Z_x (cm^3)	$\phi Z_x F_y \geq M_u$ (cm^3)	M_u
4	HE500A	3949,0	1226,2	1040,1
3	HE650A	6136,0	1905,2	1844,5
2	HE800A	8699,0	2701,0	2337,8
1	HE800A	8699,0	2701,0	2575,9

Çizelge 3.18. 9 katlı yapıdaki belirlenmiş kat kiriş kesitleri ve plastik mukavemet momenti değerleri

Kat	Tasarım Kesiti	Z_x (cm^3)	$\phi Z_x F_y \geq M_u$ (cm^3)	M_u
9	HE400A	2562,0	795,5	629,1
8	HE500A	3949,0	1226,2	1114,0
7	HE600A	5350,0	1661,2	1479,7
6	HE650A	6136,0	1905,2	1769,5
5	HE700A	7032,0	2183,4	2000,0
4	HE800A	8699,0	2701,0	2180,2
3	HE800A	8699,0	2701,0	2315,1
2	HE800A	8699,0	2701,0	2408,0
1	HE800A	8699,0	2701,0	2460,8

3.2.5. Elastik bölgede kalacak elemanların tasarımı

Önceki bölümlerde (bkz. Bölüm 2.3.5) de anlatıldığı üzere bu bölümde doğrusal davranacak elemanların tasarımı yapılmıştır. Deprem esnasında doğrusal davranacak elemanların tasarımı kapasite tasarım ilkesine göre yapılmıştır.

Çizelge 3.19. Dayanım fazlalığı katsayısı ve olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranı

Malzeme	F _y (mPa)	F _u (mPa)	R _y	C _{pr}
ASTM A992	345	450	1.1	1.15

Önceki bölümde belirlediğimiz kat kirişlerinin plastik mafsallarda oluşabilecek en büyük moment değerini M_{pr} bulabilmek için Denklem 3.3 kullanılacaktır.

$$M_{pr} = C_{pr} R_y F_y Z_x \quad (3.3)$$

Burada C_{pr} değeri birleşimdeki olası dayanım fazlalığı katsayısıdır. Genelde 1.05 ile 1.15 değerleri arasında değer almaktadır. Bununla birlikte bu değer TBDY Denklem 9B.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu formül Denklem 3.4’de belirtilmiştir. R_y değeri olası akma gerilmesinin karakteristik akma gerilmesine oranıdır.

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’deki R_y değeri Asce 41-13 Tablo 9-3’den alınmıştır.

Plastik mafsallarda oluşacak kesme kuvveti V_{sw} değerinin bulunması gerekmektedir. Deprem sağdan etki ettiği düşünüldüğünde kirişin sol ucu V_{sw} ile sağ ucu V'_{sw} arasındaki kesme kuvveti değerleri farklı olacaktır. Bu değerleri hesaplayabilmek için Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılmıştır.

$$V_{sw} = \frac{2M_{pr}}{L'} + \frac{qL'}{2} \quad (3.5)$$

$$V'_{sw} = \frac{2M_{pr}}{L'} - \frac{qL'}{2} \quad (3.6)$$

Bu denklemdeki q değeri kiriş elemandaki yayılı yükü temsil etmektedir.

V_{sw} hesaplanırken kullanılan kombinasyon ASCE 7-05 Denklem 3.7’de verilmiştir (Goel ve Chao 2008). S_{DS} değeri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Burada formül $1.484 G + 0.3 Q$ olarak belirlenmektedir.

$$(1.2 + 0.2 S_{DS})G + 0.3 Q \quad (3.7)$$

Örnek olarak Şekil 3.4.’de gösterilen 4 katlı yapı için yükler aşağıdaki gibi hesaplanacaktır. Bununla birlikte 9 katlı yapıda geometriden dolayı yükler aynıdır.

$$q_1 = 1.484 (6.45) + 0.3 (1.5) = 10.02 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 1.484 (7.95) + 0.3 (4.5) = 13.15 \text{ kN/m}$$

$$P_1 = 1.484 (58) + 0.3 (13.5) = 90.122 \text{ kN}$$

$$P_2 = 1.484 (116.1) + 0.3 (27) = 180.39 \text{ kN}$$

$$P_3 = 1.484 (71.55) + 0.3 (40.5) = 118.32 \text{ kN}$$

$$P_4 = 1.484 (143.1) + 0.3 (81) = 236,66 \text{ kN}$$

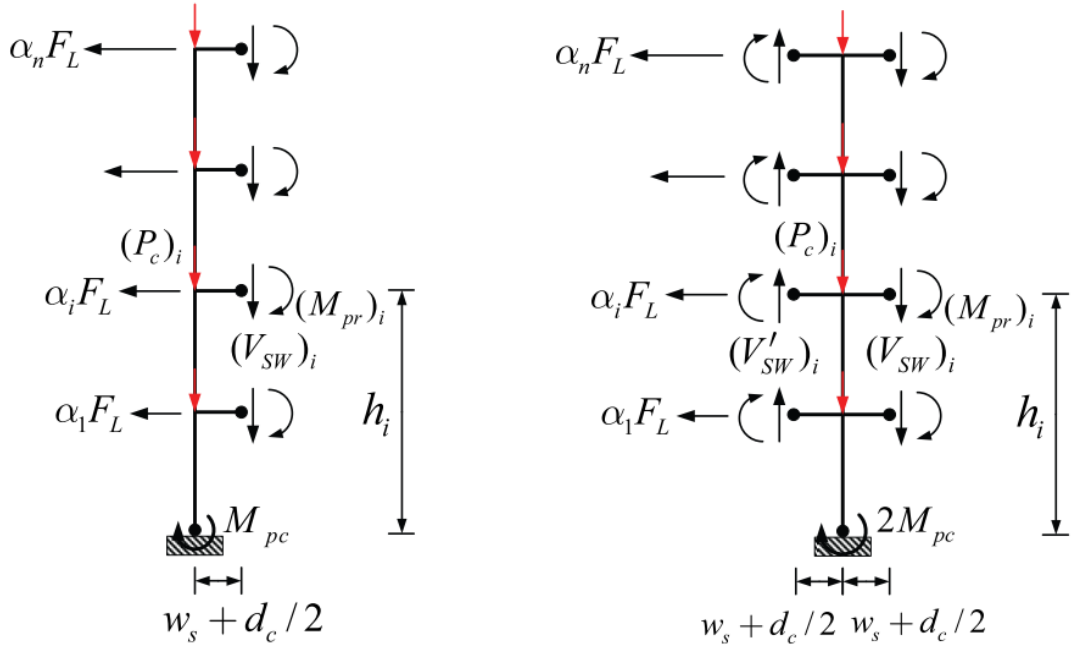
Çizelge 3.20. 4 katlı yapıdaki kirişlerde oluşabilecek maksimum moment değerleri ve kesme kuvveti değerleri

Kat	Tasarım Kesiti	C_{pr}	M_{pr} (kNm)	q (kN/m)	V_{sw} (kN)	V'_{sw} (kN)
4	HE500A	1.00	1498,65	10,02	394,30	308,88
3	HE650A	1.15	2677,90	13,15	684,30	572,20
2	HE800A	1.15	3796,46	13,15	946,72	834,61
1	HE800A	1.15	3796,46	13,15	946,72	834,61

Çizelge 3.21. 9 katlı yapıdaki kirişlerde oluşabilecek maksimum moment değerleri ve kesme kuvveti değerleri

Kat	Tasarım Kesiti	C_{pr}	M_{pr} (kNm)	q (kN/m)	V_{sw} (kN)	V'_{sw} (kN)
9	HE400A	1	972,3	10,02	272,04	187,18
8	HE500A	1,15	1723,4	13,15	462,68	351,32
7	HE600A	1,15	2334,9	13,15	607,08	495,71
6	HE650A	1,15	2677,9	13,15	688,09	576,72
5	HE700A	1,15	3068,9	13,15	780,43	669,06
4	HE800A	1,15	3796,5	13,15	952,24	840,87
3	HE800A	1,15	3796,5	13,15	952,24	840,87
2	HE800A	1,15	3796,5	13,15	952,24	840,87
1	HE800A	1,15	3796,5	13,15	952,24	840,87

Çerçeve eleman hedef ötelenme değerine vardığı zaman kirişlerde oluşacak moment ve kesme kuvvetleri Çizelge 3.20 ve Çizelge 3.21’de verildi. Bu hedef ötelenme değerine ulaşan çerçevede 1. kat kolonu da M_{pc} değerine ulaştığı varsayılmaktadır. Bu aşamada yanal kuvvet dağılımının kendisini koruduğu varsayılır ve moment dengesinden yanal kuvvet dağılımı kolayca bulunur. Şekil 3.10’da iç ve dış kolonların moment dengesi verilmiştir. Burada α_n değeri Denklem 3.8 ile hesaplanacaktır. Ayrıca Şekil 3.9’da w_s değeri kayma levhasının genişliğini, d_c değeri ise kolon kesitinin yüksekliğini temsil etmektedir.



Şekil 3.10. İç ve dış kolonlarda kolon ağacı yönteminin uygulanışı

$$\alpha_i = \frac{(\beta_i - \beta_{i+1})}{\sum_{i=1}^n (\beta_i - \beta_{i+1})} \quad (3.8)$$

Yukarıdaki işlemlerin hesaplarının tüm detayları Çizelge 3.22 ve Çizelge 3.23'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.22. 4 katlı yapıda mekanizma durumundaki iç ve dış kolona etkileyen yanal yükler ve kesme kuvvetleri

Kat	α_i	$\alpha_i h$	Dış Kolon			İç Kolon		
			$\alpha_i F$	Kesme Kuvveti	Eksenel Kuvvet	$\alpha_i F$	Kesme Kuvveti	Eksenel Kuvvet
4	0,404	6,460	476,9	476,9	90,1	950,4	950,4	180,4
3	0,312	3,747	368,8	845,7	118,3	735,1	1685,5	236,7
2	0,192	1,532	226,2	1071,9	118,3	450,8	2136,3	236,7
1	0,092	0,370	109,1	1181,1	118,3	217,5	2353,9	236,7
	1	12,11	1181,06			2353,8		

Çizelge 3.23. 9 katlı yapıda mekanizma durumundaki iç ve dış kolona etkiyen yanıl yükler ve kesme kuvvetleri

Kat	α_i	$\alpha_i h$	Dış Kolon			İç Kolon		
			$\alpha_i F$	Kesme Kuvveti	Eksenel Kuvvet	$\alpha_i F$	Kesme Kuvveti	Eksenel Kuvvet
9	0,256	9,562	280,06	280,06	90,1	557,75	557,75	180,4
8	0,197	6,581	215,84	495,9	118,3	429,86	987,61	236,7
7	0,149	4,369	162,8	658,7	118,3	324,22	1311,83	236,7
6	0,118	2,990	128,97	787,67	118,3	256,84	1568,67	236,7
5	0,094	2,005	102,63	890,3	118,3	204,4	1773,07	236,7
4	0,073	1,274	80,2	970,5	118,3	159,73	1932,8	236,7
3	0,055	0,735	60,07	1030,57	118,3	119,63	2052,43	236,7
2	0,038	0,355	41,35	1071,92	118,3	82,34	2134,77	236,7
1	0,021	0,116	23,48	1095,4	118,3	46,76	2181,53	236,7
	1,0	27,988	1095,4			2181,53		

Son durumda kolon ağacındaki tüm elemanların bilinmesiyle birlikte eleman boyunca moment ve eksenel yük değerleri bulunmuştur. Bulunan maksimum moment ve eksenel kuvvet değerleri Çizelge 3.24 ve Çizelge 3.25’de verilmiştir.

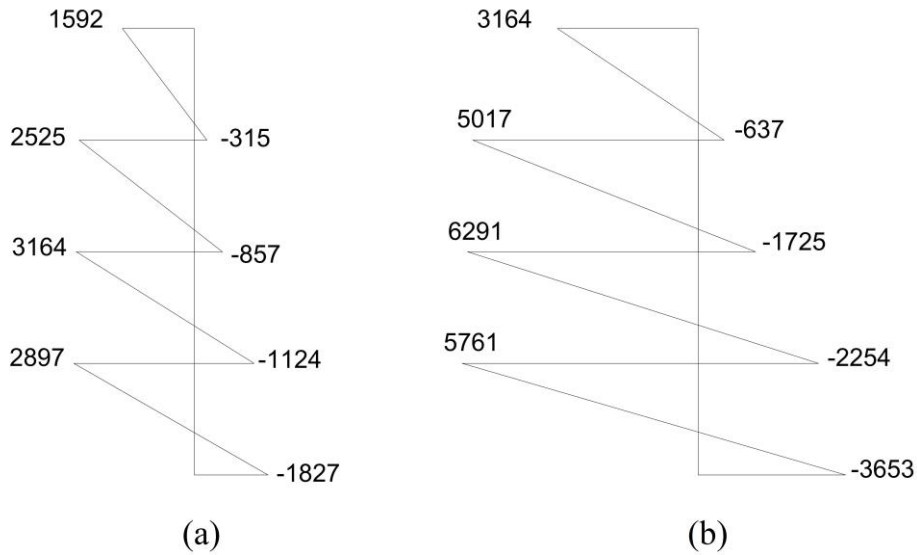
Çizelge 3.24. 4 katlı yapıda mekanizma durumunda kolonlarda oluşacak moment ve eksenel kuvvet değerleri

Kat	Dış Kolon		İç Kolon	
	Moment M_u	Eksenel Kuvvet P_u	Moment M_u	Eksenel Kuvvet P_u
4	1592,3	484,4	3164,3	265,8
3	2525,2	1287,0	5016,8	614,5
2	3163,7	2352,1	6290,8	963,3
1	2897,3	3417,1	5761,5	1312,1

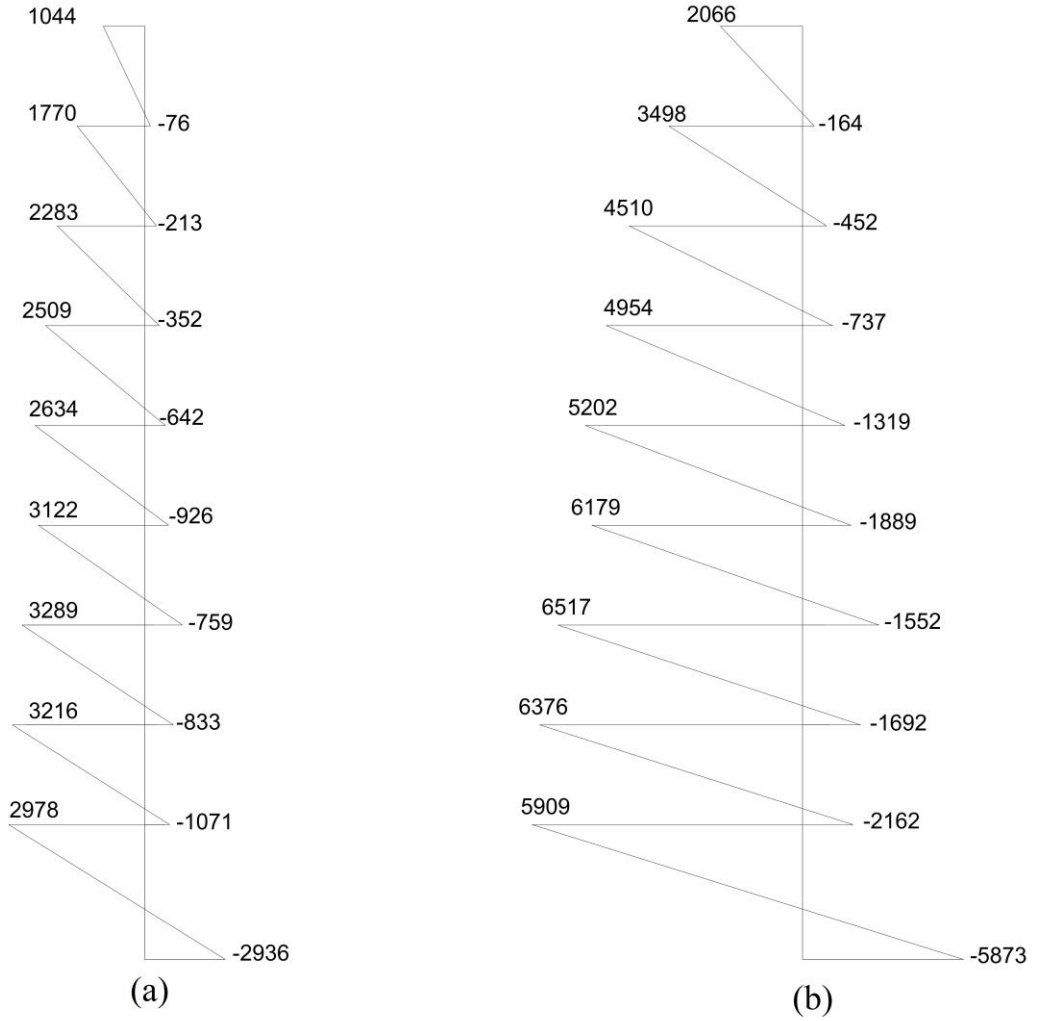
Çizelge 3.25. 9 katlı yapıda mekanizma durumunda kolonlarda oluşacak moment ve eksenel kuvvet değerleri

Kat	Dış Kolon		İç Kolon	
	Moment M_u	Eksenel Kuvvet P_u	Moment M_u	Eksenel Kuvvet P_u
9	1044,5	362,2	2066,5	265,2
8	1770,6	943,2	3498,5	613,2
7	2283,0	1668,6	4510,6	961,3
6	2508,8	2475,0	4954,9	1309,3
5	2634,3	3373,7	5202,9	1657,3
4	3122,3	4444,3	6179,6	2005,4
3	3289,6	5514,8	6517,4	2353,4
2	3216,6	6585,4	6376,7	2701,4
1	2978,2	7656,0	5906,6	3049,4

Bununla birlikte yapılan kolon ağacı yöntemiyle hesaplanan değerlerin özetleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11. 4 katlı yapıdaki kolon ağacı yöntemine göre sonuçlar.(a) dış kolon (b) iç kolon



Şekil 3.12. 9 katlı yapıdaki kolon ağacı yöntemine göre sonuçlar.(a) dış kolon (b) iç kolon

Elde edilen maksimum moment ve aksel yük değerleri kullanılarak kesit tahkiki Denklem 3.9 ve Denklem 3.10'a göre yapılmıştır. P_r gerekli aksel kuvvet dayanımını, P_c basınç kuvveti dayanımını, M_{rx} gerekli eğilme momenti değerini, M_{cx} mevcut eğilme momenti dayanımını temsil etmektedir. (TBDY)

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0 \quad (3.9)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ için } \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1.0 \quad (3.10)$$

3.3. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım

Bu bölümde Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de geometrik özellikleri verilen 4 katlı ve 9 katlı yapıların ŞDGT yöntemine göre tasarımları yapılmıştır. ŞDGT yönteminde yapıların DGT yöntemine göre ön tasarımlarının yapılması gerekmektedir. Binaların ön tasarımı için söz konusu yapıların bilgilerinin alındığı literatürde yapılan DGT’e göre tasarım esas alınmıştır.

3.3.1. Malzeme bilgisi

Tüm yapısal elemanlarda ASTM A992 Grade 50 çelik malzeme kullanıldı. Bu malzemenin detay özellikleri Şekil 3.13’de gösterildi.

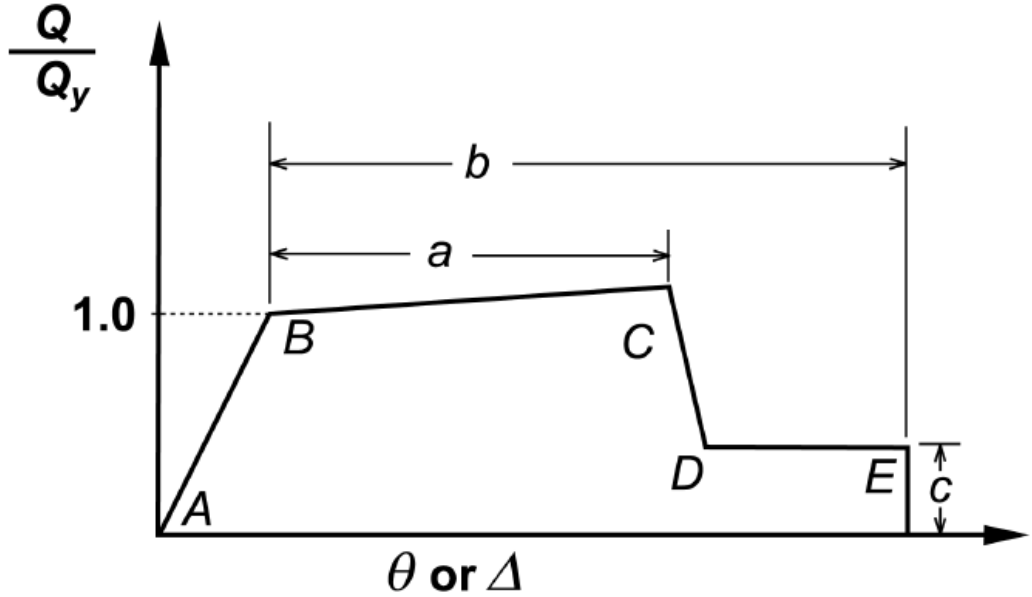
General Data	
Material Name and Display Color	A992Fy50
Material Type	Steel
Material Grade	Grade 50
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7.697E-05
Mass per Unit Volume	7.849E-09
Units	
	N, mm, C
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	199947.98
Poisson, U	0.3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	76903.07
Other Properties For Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	344.7379
Minimum Tensile Stress, Fu	448.1593
Expected Yield Stress, Fye	379.2117
Expected Tensile Stress, Fue	492.9752

Şekil 3.13. Yapılarda kullanılan çeliğin malzeme özellikleri

3.3.2. Plastik mafsal modeli

Şekil 3.12’de çelik elemanlar için genelleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi verildi. a, b, c, A, B, C, D, E değerleri Asce 41-13’den elde edilmiştir. Kolon ve kiriş elemanların moment-dönme ilişkisini hesaplamak için gerekli değerler çizelge 3.26’da verildi. Şekil 3.14’de B ve C noktaları arasındaki eğri %3 olarak belirlenmiştir(Asce 41-13).

Çizelge 3.26 ‘da P değeri hedef deplasman değerinde kesitte bulunan aksel kuvveti, P_c değeri çelik elemanda beklenen aksel basınç dayanımı değerini ifade etmektedir.

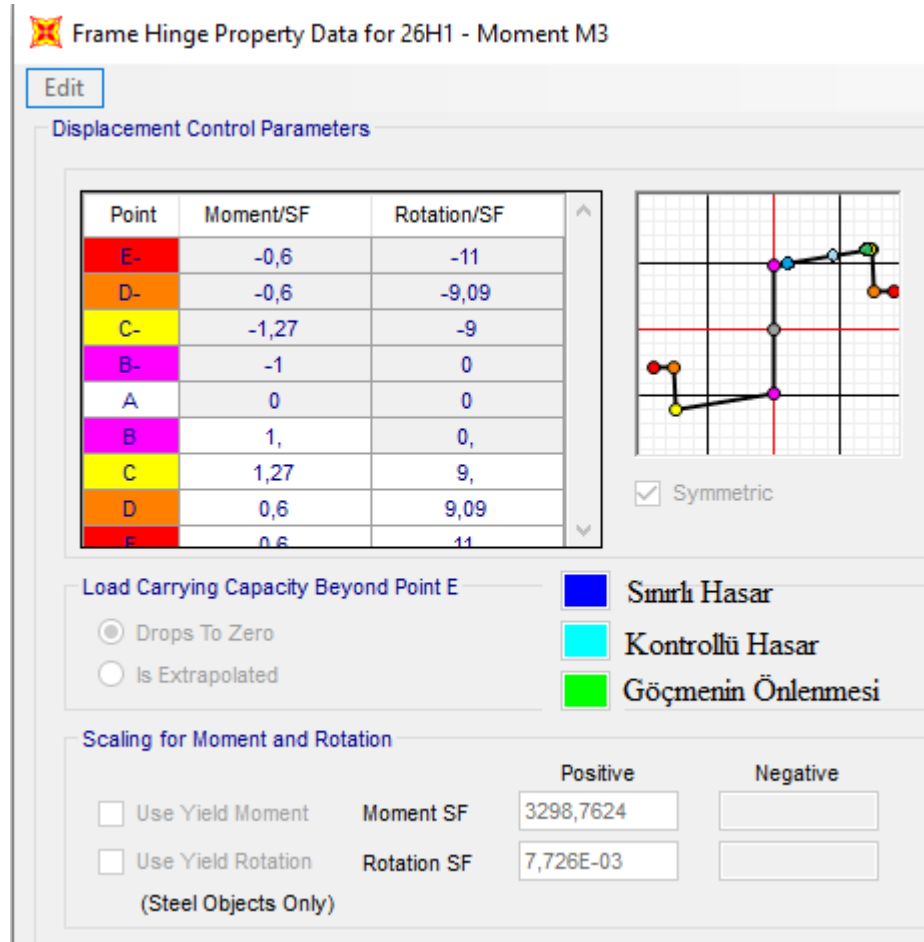


Şekil 3.14. Moment-dönme ilişkisi şablonu (Fema 356)

Çizelge 3.26. Moment dönme ilişkisini belirlemek için gerekli parametreler

Kiriş(Eğilme)	Plastik Dönme (rad)		
	a	b	c
Süneklik Düzeyi Yüksek	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0,6
Kolon(Eğilme)	Plastik Dönme (rad)		
	a	b	c

$P/P_c < 0.20$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0,6
$0.20 < P/P_c \leq 0.50$			
Süneklik Düzeyi Yüksek	$11(1 - 5/3 P/P_c)\theta_y$	$17(1 - 5/3 P/P_c)\theta_y$	0,6

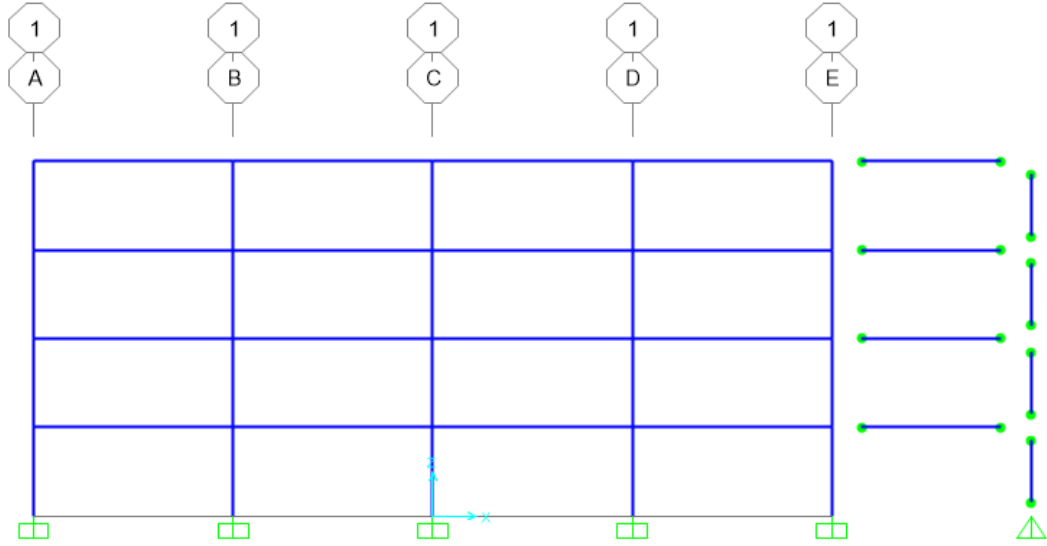


Şekil 3.15. HE800A elemanın Sap 2000 'de moment-dönme ilişkisi.

Şekil 3.15'de HE800A kesitinin Sap 2000 programı kullanılarak atanan plastik mafsallının özelliklerine yer verildi. Kiriş kesitlerinde moment-dönme ilişkisi ve bu grafik üzerinden hasar durumları Şekil 3.15'de verilmiştir.

3.3.3. İkinci merteye etkileri

Yanal yük taşıyan moment aktaran çerçevelerin dışında kalan düşey yük taşıyan yaslanan kolonlarında (leaning column) sistemde ikinci merteye etkilerine katkıları olmaktadır. Yaslanan kolonların ikinci merteye etkilerine katkılarını dikkate almak için analiz modelinde moment aktaran çerçeveye Şekil 3.16 da gösterildiği gibi kafes eleman ile bağlanmış bir yaslanan eleman tanımlanmıştır. Buradaki kolonunun herhangi bir yanal rijitliği yoktur.



Şekil 3.16. Yaslanan kolon modeli

3.3.4. Statik itme analizi ile sistem performansının belirlenmesi

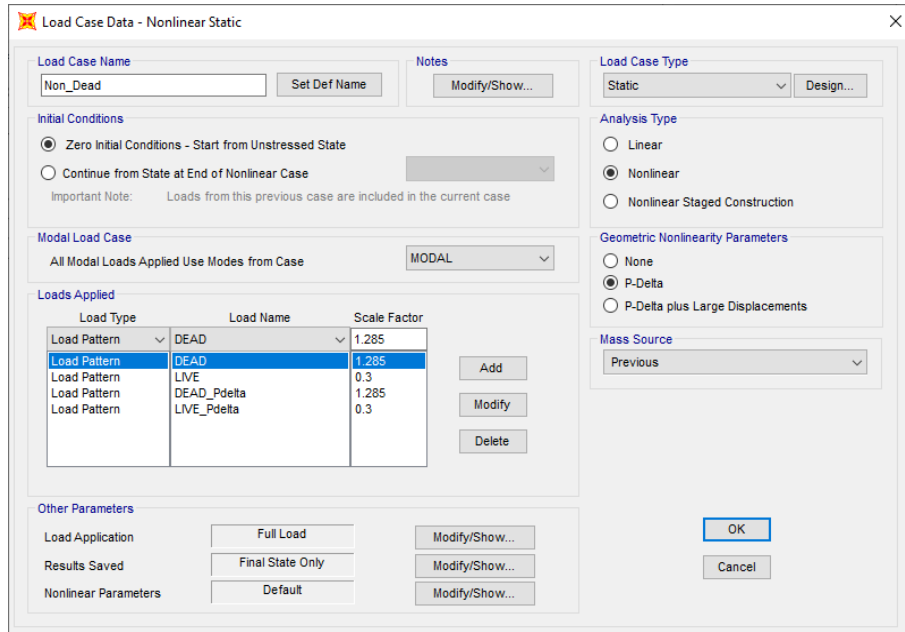
Yapılarda aynı deprem yönünde iki adet yanal yük taşıyıcı çerçeve bulunmaktadır.(Şekil 3.1) Bundan dolayı her kata etkiyecek yanal kuvvet çerçeve sayısına paylaşılacaktır. Bunun modele dahil edilebilmesi için yanal yük taşıyıcı çerçeveye etkiyen düşey yükler belirlenmiştir. Bu düşey yükler kat ağırlığından çıkarılmıştır. Bununla birlikte geriye kalan kat ağırlıkları düşey yük taşıyan yaslanan kolonlara etkilmiştir.

Statik itme analizinin başlangıç adımı olan düşey yüklemeye yük kombinasyonu olarak Denklem 3.11 kullanılmıştır. Sap 2000 programında hazırlanan doğrusal olmayan düşey yüklemeye kombinasyonu Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Düşey deprem etkisi $E_d^{(Z)}$, Denklem 3.12’ye göre hesaplandı (TBDY).

$$G + Q_e + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \quad (3.11)$$

$$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G \quad (3.12)$$

Şekil 3.17’e göre yüklemesi yapılmış yapının durumu itme analizinin başlangıç adım olarak kullanıldı. Bu düşey yüklemenin ardından uygulanacak itme analizi ile ilgili parametreler Şekil 3.19’da gösterildi. Bu ayarlarda yanal yük dağılımı TBDY 2018’e göre Sap 2000 programı tarafından otomatik olarak atanmıştır.



Şekil 3.17. Doğrusal olmayan düşey yüklemeye kombinasyonu

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

Approx. Period Ct (m), x =
 Program Calc Ct (m), x =
 User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated
 User Specified

Max Z
Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
1 Sec Spectral Accel, S1
Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs
Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss
SDS = F1 * S1

Factors

Response Modification, R
System Overstrength, D
Occupancy Importance, I

Şekil 3.18. Sap 2000 programının TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükü hesabı

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name

Initial Conditions

Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
 Continue from State at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Quake	1.
Load Pattern	Quake	1.

Other Parameters

Load Application
Results Saved
Nonlinear Parameters

Load Case Type

Analysis Type

Linear
 Nonlinear
 Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters

None
 P-Delta
 P-Delta plus Large Displacements

Mass Source

Şekil 3.19. Sap 2000'de yapının itme analizi ile ilgili parametreleri

Yapılan analizler sonucunda yapının kapasitesine ait tepe yerdeğiştirmesi-taban kesme kuvveti sonuçları elde edilmiştir. Sonuçların Şekil 3.6'da verilen yatay elastik tasarım spektrumunu ile ortak diyagramda gösterilmesi için eksen dđnüşümleri yapılmıştır. 4 katlı yapı için çizelge 3.27'de eksen dđnüşümü ile ilgili bilgiler, çizelge 3.28'de ise eksen dđnüşüm sonuçları gösterilmiştir.

W_i kat ağırlıklarını göstermektedir. Yapıların kat ağırlıkları, belirlenen deprem yönündeki taşıyıcı çerçeve sayısına bölünmüştür. Bulunan kat ağırlıkları her bir yanal yük taşıyıcı çerçeveye ait kat ağırlıkları olarak kabul edilmiştir. ϕ_{ix1} mod Şekli genliğini, m_{ix1} kat etkin kütlelerini, Γ_1 modal katkı çarpanını, L_{x_1} ise $m_i\phi_{xi1}$ değerlerinin toplamını, $d^{(i)}_1$ modal yerdeğiştirme değerini, $a^{(i)}_1$ modal sözde-ivme değerini vermektedir.

Çizelge 3.27. 4 katlı yapının kapasite eğrisi dđnüşümü

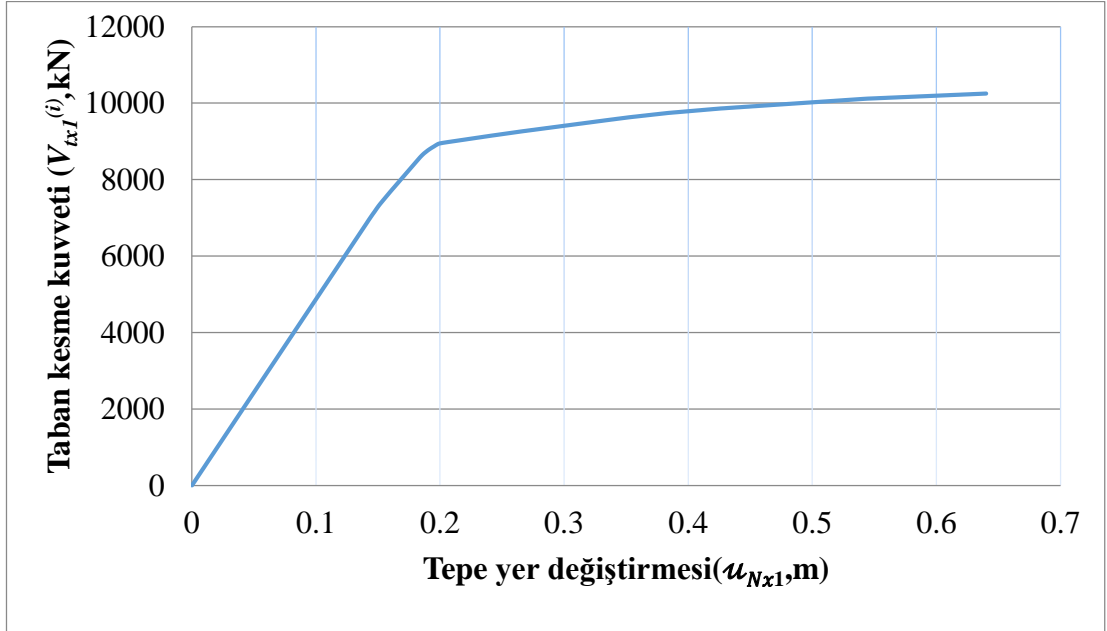
Kat	$W_i/2$	$m_i/2$	ϕ_{ix1}	$m_i\phi_{xi1}$	L_{x_1}	Γ_1	m_{ix1}
4	4470,5	455,71	0,144	65,62	206,12	9,228	1902,25
3	6026,5	614,32	0,1177	72,31			
2	6026,5	614,32	0,0774	47,55			
1	6026,5	614,32	0,0336	20,64			

Çizelge 3.28. 4 katlı yapının statik itme ve modal kapasite eğrisinin değerleri

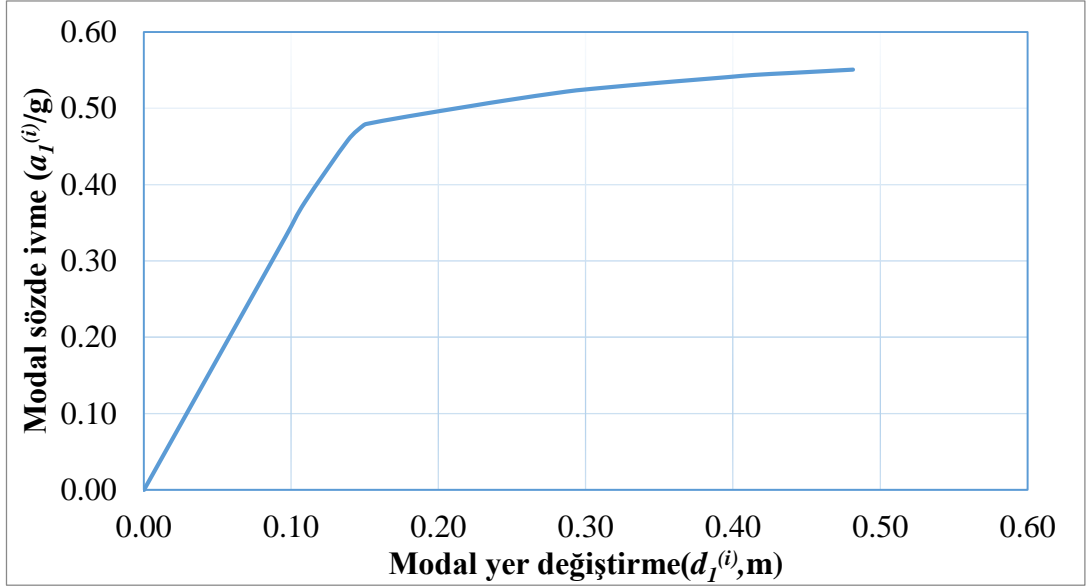
u_{Nx1}	$V^{(i)}_{tx1}$	m_{ix1}	ϕ_{xN1}	Γ_1	$d^{(i)}_1$	$a^{(i)}_1$	$a^{(i)}_1/g$
0,00	0	1902,25	0,144	9,229	0,000	0,000	0,0000
0,032	1549,393	1902,25	0,144	9,229	0,024	0,815	0,0830
0,064	3098,787	1902,25	0,144	9,229	0,048	1,629	0,1661
0,096	4648,179	1902,25	0,144	9,229	0,072	2,444	0,2491
0,128	6197,572	1902,25	0,144	9,229	0,096	3,258	0,3321
0,145555	7047,579	1902,25	0,144	9,229	0,110	3,705	0,3777
0,18406	8546,135	1902,25	0,144	9,229	0,138	4,493	0,4580
0,197575	8898,171	1902,25	0,144	9,229	0,149	4,678	0,4768
0,200892	8944,962	1902,25	0,144	9,229	0,151	4,702	0,4793

0,238236	9130,012	1902,25	0,144	9,229	0,179	4,800	0,4893
0,294657	9381,305	1902,25	0,144	9,229	0,222	4,932	0,5027
0,326662	9519,956	1902,25	0,144	9,229	0,246	5,005	0,5102
0,380842	9734,207	1902,25	0,144	9,229	0,287	5,117	0,5216
0,412849	9824,416	1902,25	0,144	9,229	0,311	5,165	0,5265
0,463033	9947,189	1902,25	0,144	9,229	0,348	5,229	0,5330

4 katlı sistemin itme eğrisi olarak tanımlanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.20’de verilmiştir. Şekil 3.21’de ise modal kapasite diyagramı gösterilmiştir.

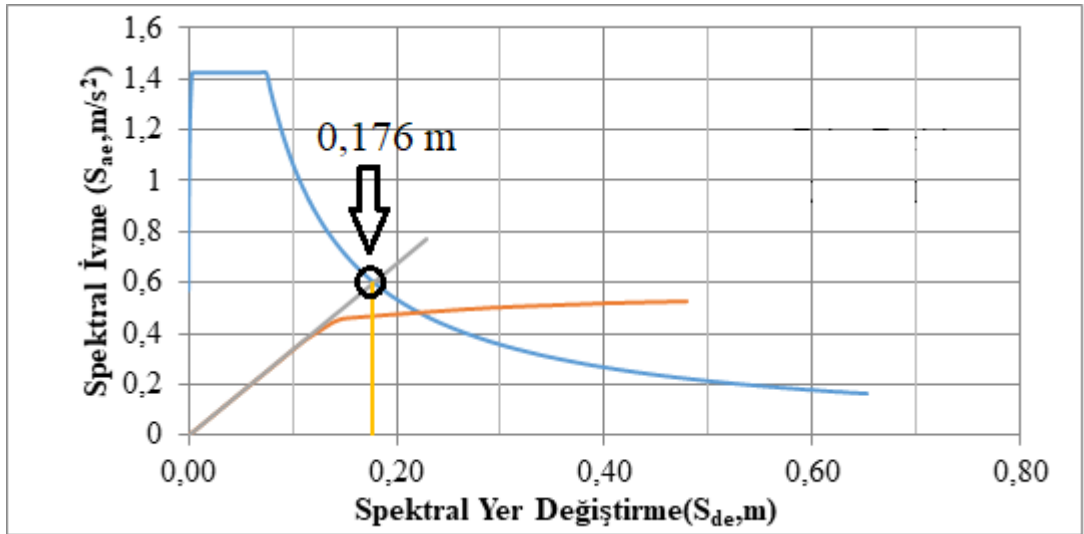


Şekil 3.20. 4 katlı yapıdan elde edilen itme eğrisi



Şekil 3.21. 4 katlı yapının modal kapasite eğrisi

Şekil 3.21’de verilen modal kapasite eğrisi ve Şekil 3.6’da gösterilen talep spektrumunun eksenlerinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmüş hali aynı grafikte verilmiştir (Şekil 3.23). Bu dönüşümlerden elde edilen grafikler sırasıyla modal kapasite eğrisi ve talep eğrisi olarak adlandırılır. Bu adımdan sonra kapasite eğrisinin başlangıç eğiminden bir teğet çizilir. Bu çizilen teğet talep eğrisi ile kesişir ve bu nokta performans noktası olarak adlandırılır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. 4 katlı yapının performans noktasının belirlenmesi

Çizelge 3.30. 4 katlı yapının kolon eleman hasar durumları

Kat	Σ Kolon	SHB	BHB	İHB	GB	HASARSIZ
4	5	%0	%0	%0	%0	%100
3	5	%0	%0	%0	%0	%100
2	5	%0	%0	%0	%0	%100
1	5	%100	%0	%0	%0	%0

Bununla birlikte TBDY 15.8.4(b) gereğince ileri hasar bölgesine geçen bir eleman bulunmamıştır. Ayrıca TBDY 15.8.4(c) gereğince herhangi bir kattaki kolonda alt ve üst uçlarında belirgin hasar bölümüne geçen bir eleman bulunmamıştır. TBDY 15.8.4 gereğince yapı kontrollü hasar performans düzeyini sağlamaktadır.

9 katlı yapı için çizelge 3.31’de eksen dönüşümü ile ilgili bilgiler, çizelge 3.32’de ise eksen dönüşüm sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.31. 9 katlı yapının kapasite eğrisi dönüşümü

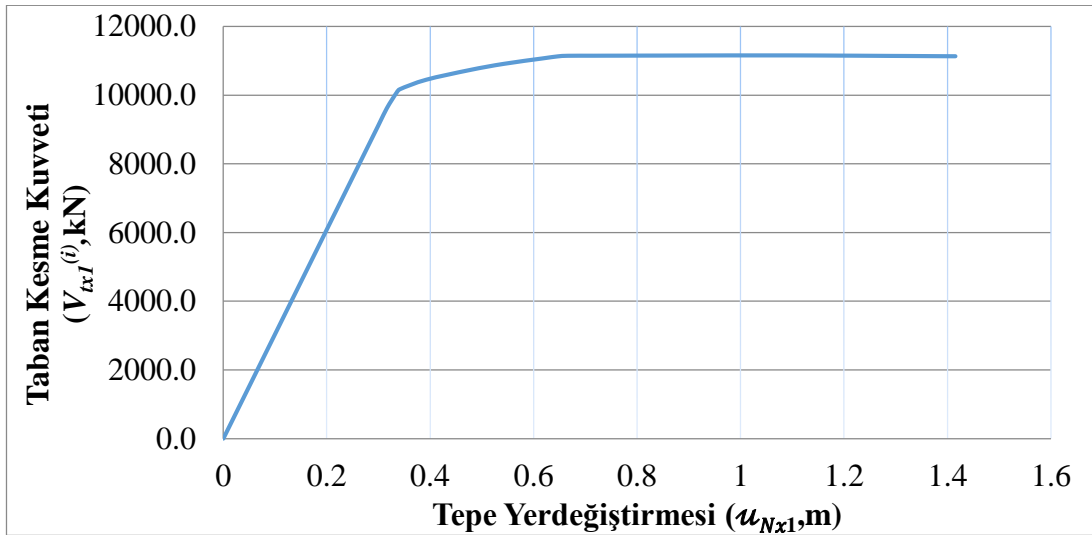
Kat	$W_i/2$	$m_i/2$	ϕ_{ix1}	$m_i\phi_{xi1}$	L_{x_1}	Γ_1	m_{ix1}
9	4657,5	474,77	0,299	142,051	967,85	4,644	4494,40
8	6277,5	639,91	0,279	178,662			
7	6277,5	639,91	0,250	159,721			
6	6277,5	639,91	0,217	138,604			
5	6277,5	639,91	0,181	115,567			
4	6277,5	639,91	0,146	93,107			
3	6277,5	639,91	0,108	68,982			
2	6277,5	639,91	0,072	46,009			
1	6277,5	639,91	0,039	25,148			

Çizelge 3.32. 9 katlı yapının statik itme ve modal kapasite eğrisinin değerleri

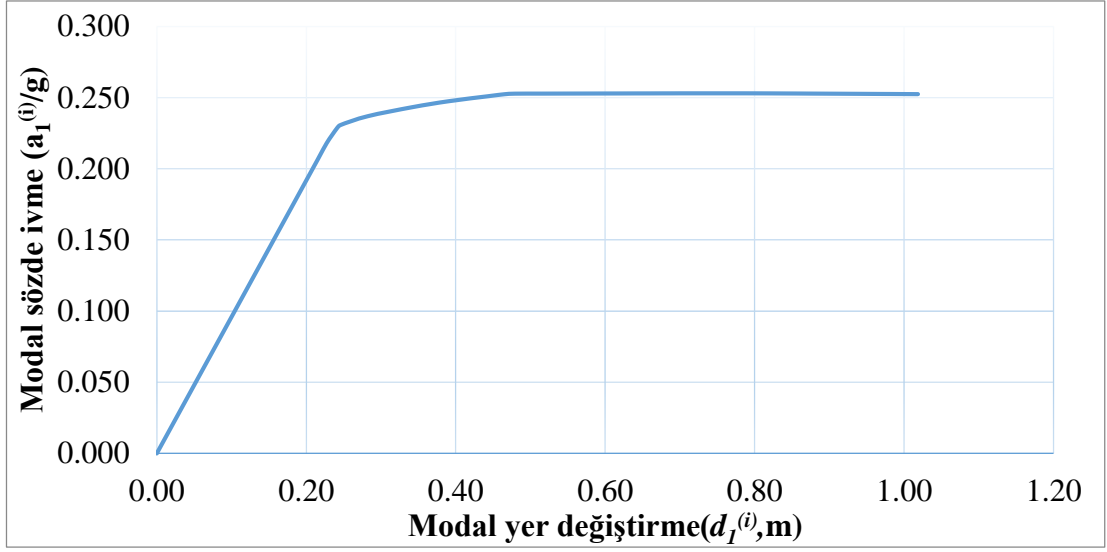
u_{Nx1}	$V^{(i)}_{tx1}$	m_{ix1}	ϕ_{xN1}	Γ_1	$d^{(i)}_1$	$a^{(i)}_1$	$a^{(i)}_1/g$
0,00E+00	0,0	4494,40	0,2992	4,644	0,000	0,000	0,000

0,049867	1516,5	4494,40	0,2992	4,644	0,036	0,337	0,034
0,099733	3033,1	4494,40	0,2992	4,644	0,072	0,675	0,069
0,1496	4549,6	4494,40	0,2992	4,644	0,108	1,012	0,103
0,199467	6066,1	4494,40	0,2992	4,644	0,144	1,350	0,138
0,249333	7582,7	4494,40	0,2992	4,644	0,179	1,687	0,172
0,2992	9099,2	4494,40	0,2992	4,644	0,215	2,025	0,206
0,316136	9614,3	4494,40	0,2992	4,644	0,228	2,139	0,218
0,335021	10069,0	4494,40	0,2992	4,644	0,241	2,240	0,228
0,341903	10171,7	4494,40	0,2992	4,644	0,246	2,263	0,231
0,392295	10443,7	4494,40	0,2992	4,644	0,282	2,324	0,237
0,475352	10723,1	4494,40	0,2992	4,644	0,342	2,386	0,243
0,542244	10906,4	4494,40	0,2992	4,644	0,390	2,427	0,247

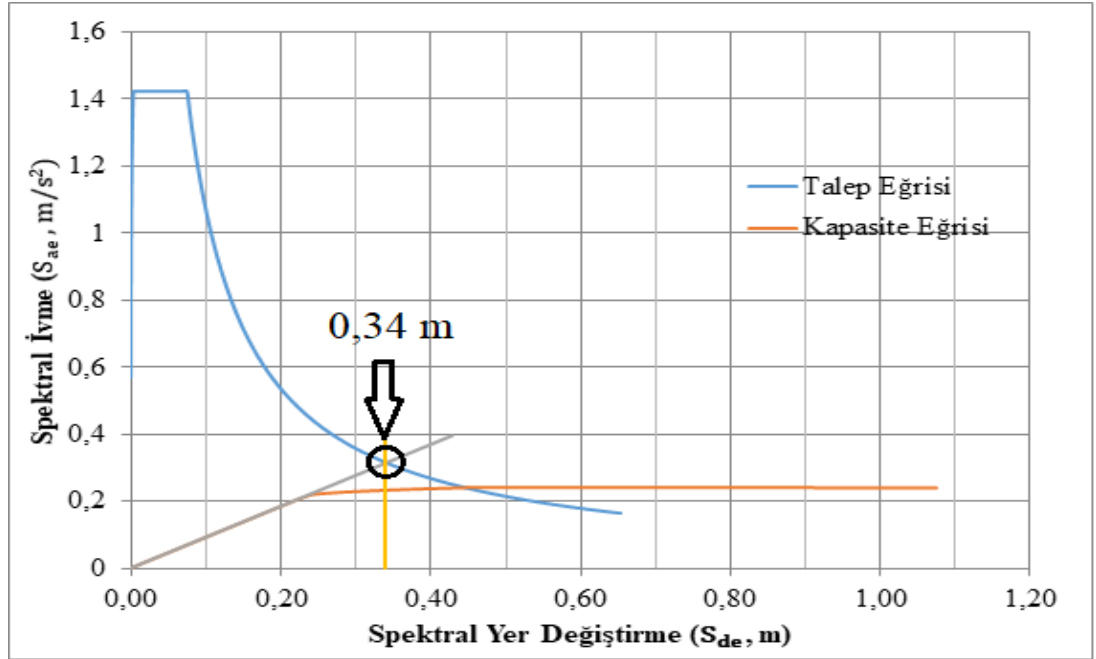
9 katlı sistemin itme eğrisi olarak tanımlanan taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.24’de verilmiştir. Şekil 3.25’de ise modal kapasite diyagramı gösterilmiştir. Şekil 3.25’de verilen modal kapasite eğrisi ve Şekil 3.6’da gösterilen talep spektrumunun eksenlerinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmüş hali aynı grafikte verilmiştir (Şekil 3.26).



Şekil 3.24. 9 katlı yapıdan elde edilen itme eğrisi



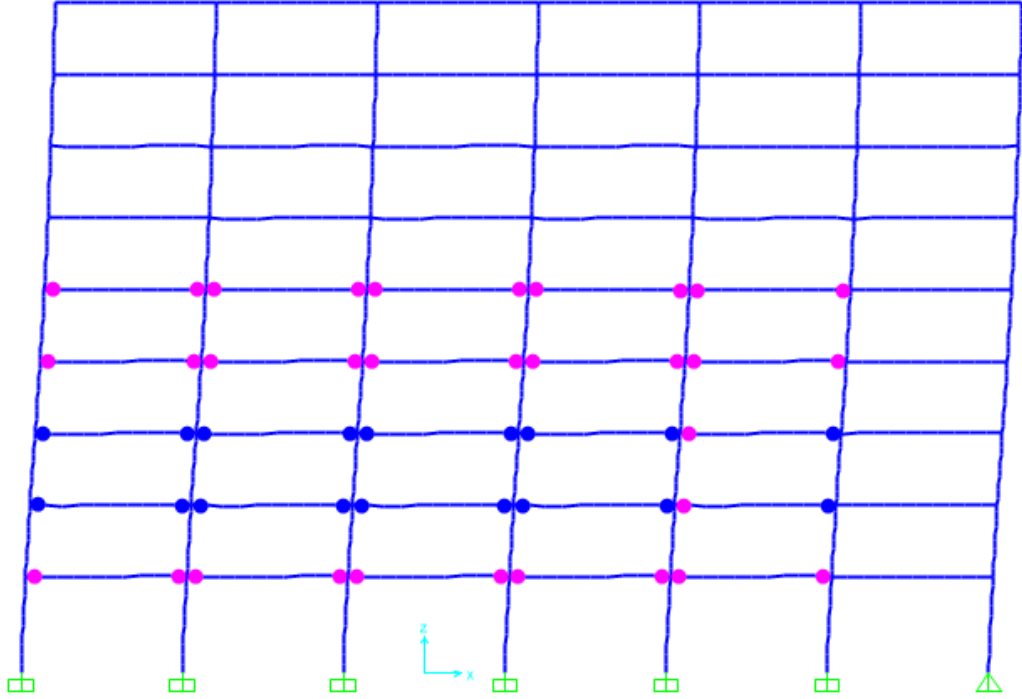
Şekil 3.25. 9 katlı yapının modal kapasite eğrisi



Şekil 3.26. 9 katlı yapının performans noktasının belirlenmesi

Elde edilen bilgilerle aşağıdaki denklem kullanılarak tepe yerdeğiştirme değeri hesaplanır. Tepe deplasmanının 0,472 m olduğu durumdaki oluşan plastik mafsalların hasar durumlarına bakılmıştır.(Şekil 3.27)

$$u_{Nx1}^{(X,k)} = d_1^{(X,k)} \phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} = 0,34 \times 0,2992 \times 4,644 = 0,472 \text{ m}$$



Şekil 3.27. Performans noktasındaki 9 katlı yapıda oluşan plastik mafsallar

Elemanların hasar durumu belirlenirken sahip oldukları plastik mafsallardan hasar durumu ileride olanın kabul edilir. Çizelge 3.33’de her kattaki kirişlerin hasar bölgeleri yüzdelik olarak verilmiştir. Çizelge 3.34’de her kattaki kolonların hasar bölgeleri yüzdelik olarak verilmiştir.

Çizelge 3.33. 9 katlı yapının kiriş eleman hasar durumları

Kat	Σ Kiriş	SHB	BHB	İHB	GB	HASARSIZ
9	5	%0	%0	%0	%0	%100
8	5	%0	%0	%0	%0	%100
7	5	%0	%0	%0	%0	%100
6	5	%0	%0	%0	%0	%100
5	5	%100	%0	%0	%0	%0

4	5	%100	%0	%0	%0	%0
3	5	%0	%100	%0	%0	%0
2	5	%0	%100	%0	%0	%0
1	5	%100	%0	%0	%0	%0

Çizelge 3.34. 9 katlı yapının kolon eleman hasar durumları

Kat	Σ Kolon	SHB	BHB	İHB	GB	HASARSIZ
9	6	%0	%0	%0	%0	%100
8	6	%0	%0	%0	%0	%100
7	6	%0	%0	%0	%0	%100
6	6	%0	%0	%0	%0	%100
5	6	%0	%0	%0	%0	%100
4	6	%0	%0	%0	%0	%100
3	6	%0	%0	%0	%0	%100
2	6	%0	%0	%0	%0	%100
1	6	%0	%0	%0	%0	%100

Bununla birlikte TBDY 15.8.4(b) gereğince ileri hasar bölgesine geçen bir eleman bulunmamıştır. Ayrıca TBDY 15.8.4(c) gereğince herhangi bir kattaki kolonda alt ve üst uçlarında belirgin hasar bölümüne geçen bir eleman bulunmamıştır. TBDY 15.8.4 gereğince yapı kontrollü hasar performans düzeyini sağlamaktadır.

3.4. Tasarımları PTPT, ŞDGT Yöntemlerine Göre Yapılmış Yapıların Performans Analizleri

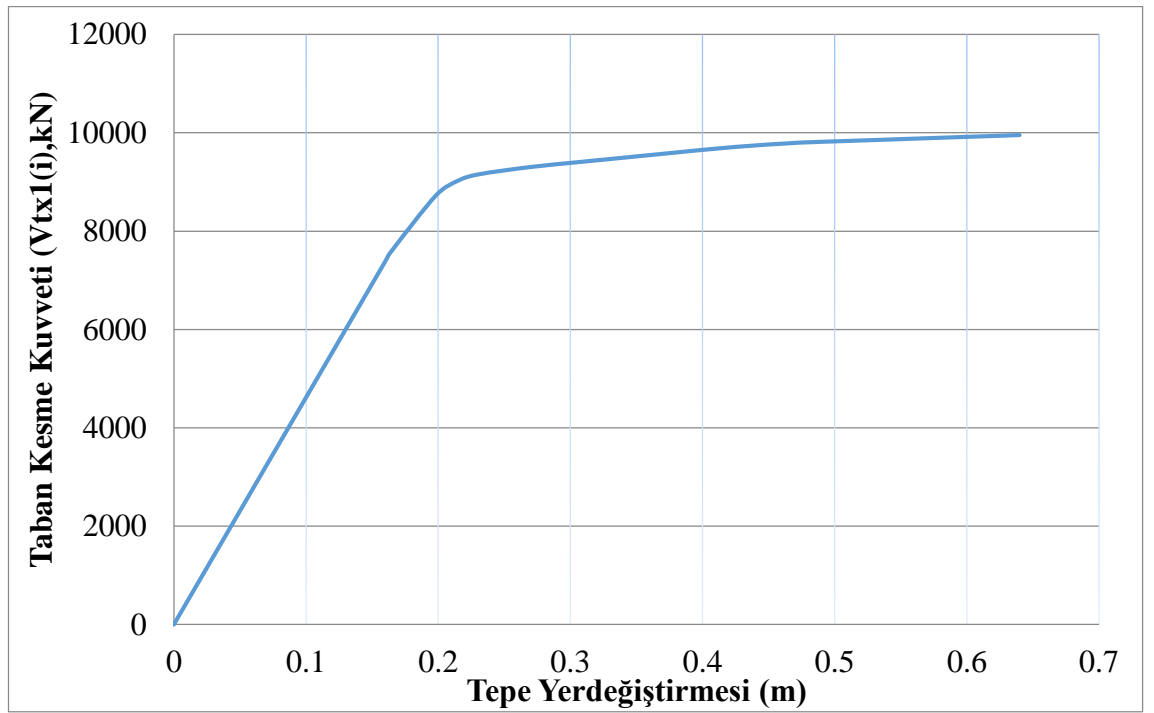
Tasarlanan yapılar performans analizi yöntemi kullanılarak kıyaslanmıştır. Statik itme analizi yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmıştır.

3.4.1. Statik itme analizi ile değerlendirme

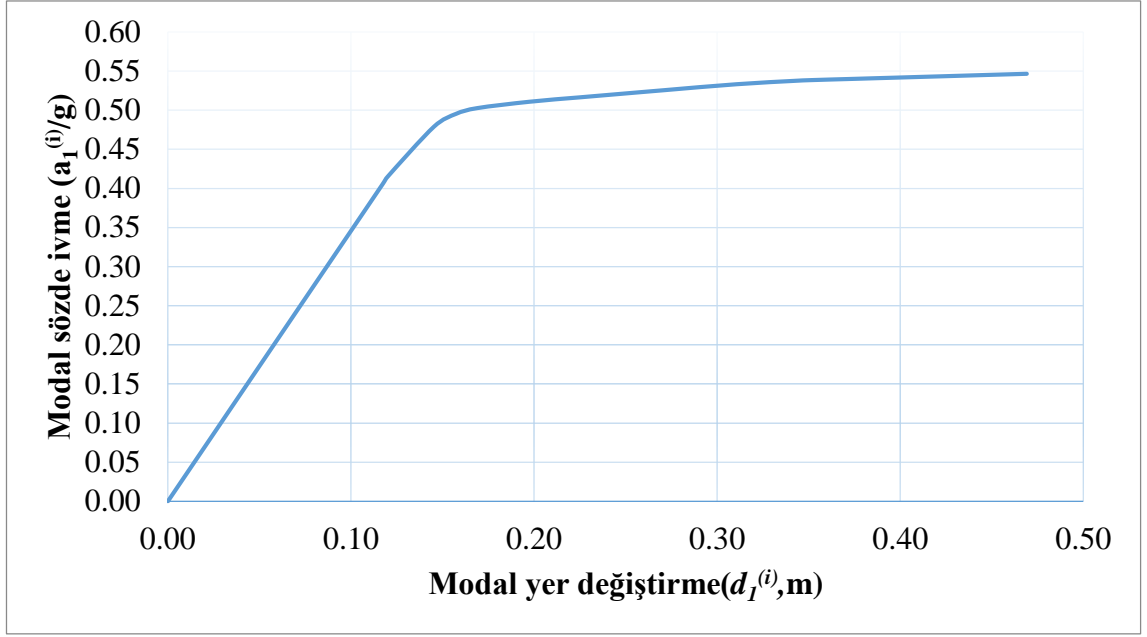
Bu bölümde daha önceki bölümlerde tasarımları PTPT, ŞDGT Yöntemlerine Göre Yapılmış Yapıların Performans Analizleri statik itme analizi ile yapılmıştır.

Tasarımı PTPT yöntemine göre yapılmış yapının statik itme analizi

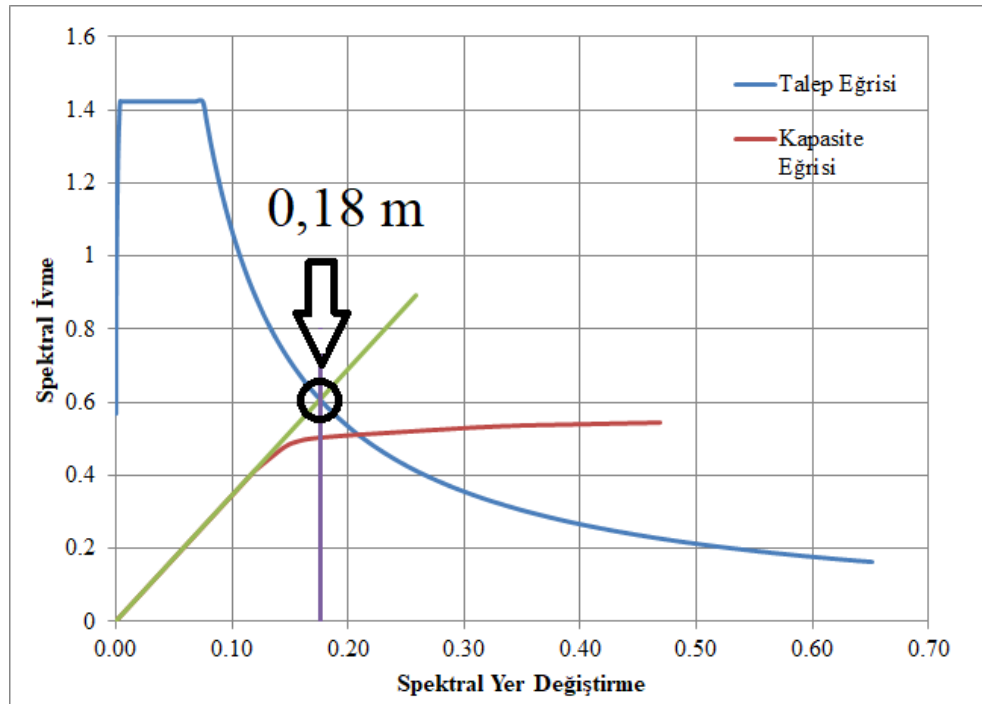
4 katlı yapının itme eğrisi şekil 3.28’de, modal kapasite eğrisi şekil 3.29’da ve performans noktasının belirlenmesi şekil 3.30’da verilmiştir.



Şekil 3.28. 4 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının itme eğrisi



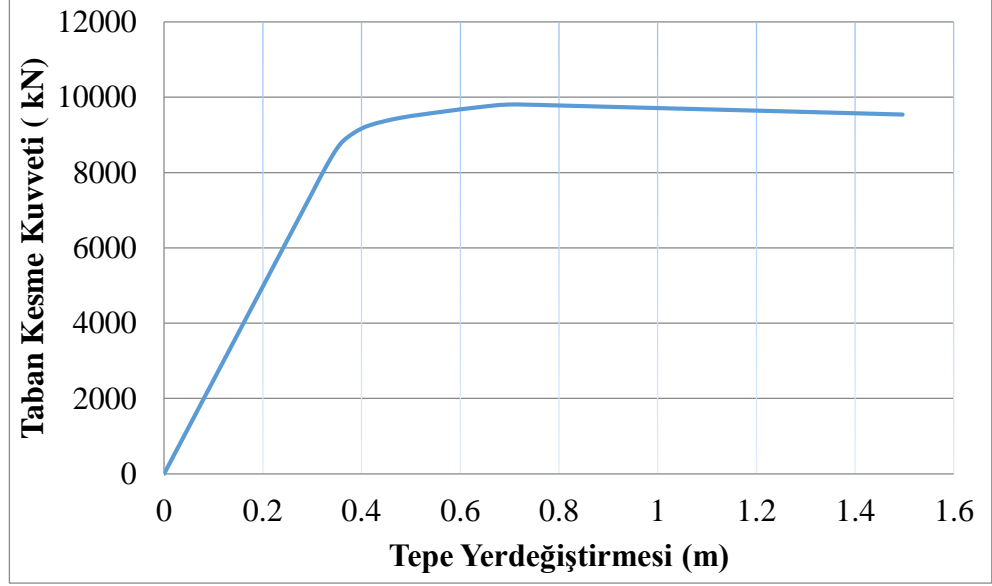
Şekil 3.29. 4 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanan yapının modal kapasite eğrisi



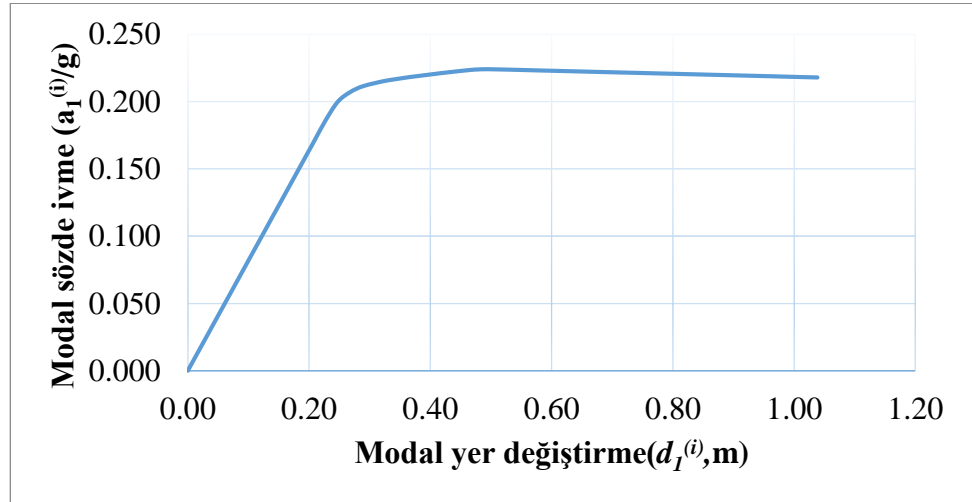
Şekil 3.30. 4 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının performans noktasının belirlenmesi

$$u_{Nx1}^{(X,k)} = d_1^{(X,k)} \phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} = 0,18 \times 0,1613 \times 8,459 = 0,246 \text{ m}$$

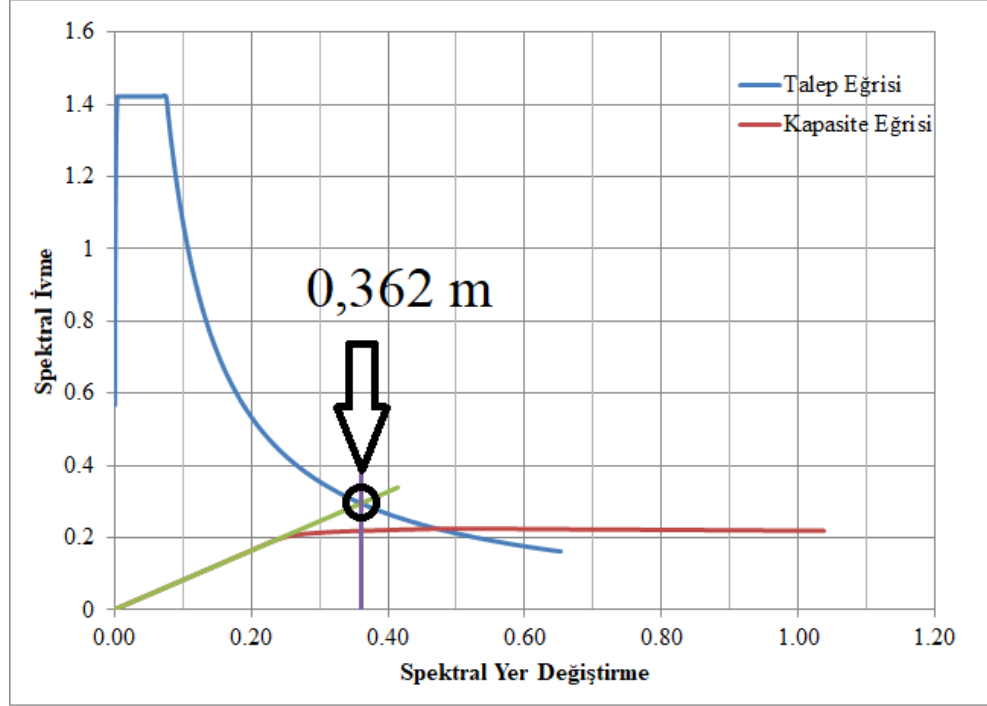
9 katlı yapının itme eğrisi şekil 3.31’de, modal kapasite eğrisi şekil 3.32’de ve performans noktasının belirlenmesi şekil 3.33’de verilmiştir.



Şekil 3.31. 9 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının itme eğrisi



Şekil 3.32. 9 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının modal kapasite eğrisi



Şekil 3.33. 9 katlı PTPT yöntemine göre tasarlanmış yapının performans noktasının belirlenmesi

$$u_{Nx1}^{(X,k)} = d_1^{(X,k)} \phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} = 0,362 \times 0,3141 \times 4,587 = 0,521 \text{ m}$$

Tasarımı ŞDGT e göre yapılmış yapının statik itme analizi

ŞDGT metodunda yapının performans analizi yapılmaktadır. Bölüm 3.3’de binaların ŞDGT’e göre tasarımları gerçekleştirilirken statik itme analizleri yapıldığından tekrar buraya konmamıştır.

3.4.2. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ile değerlendirme

Bu bölümde daha önceki bölümlerde tasarımları PTPT, ŞDGT Yöntemlerine Göre Yapılmış Yapıların Performans Analizleri zaman tanım alanında analizi ile yapılmıştır.

Zaman tanım alanında analiz yöntemini, doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemidir. Bu yöntem deprem yer hareketinin etkisi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden differansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonu’na karşı gelir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için öncelikle uygun deprem

kayıtları gerekmektedir. Bu kayıtların seçiminde deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınacaktır. Bu deprem kayıtlarının tamamı PEER veri tabanlarından alınmıştır. (TBDY)

Çizelge 3.35. 4 katlı yapı için belirlenen deprem kayıtları

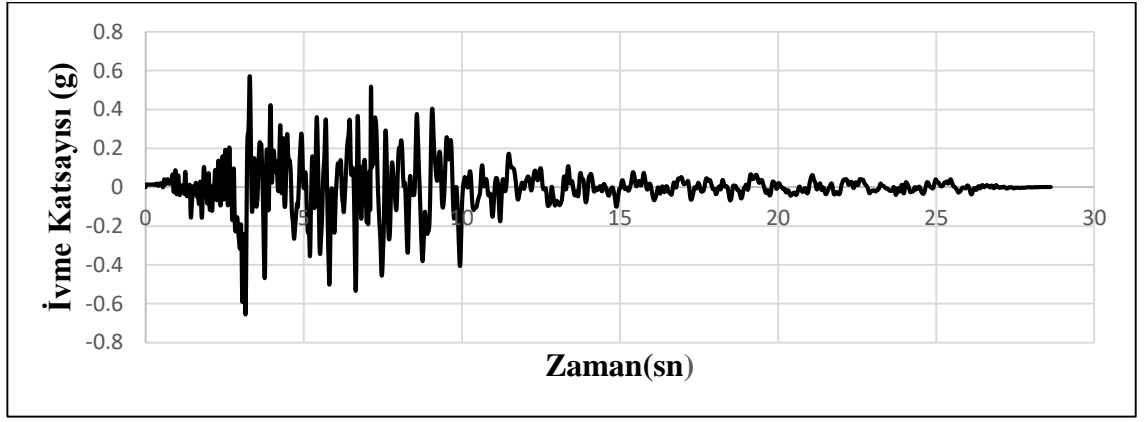
Kayıt Numarası	Deprem Adı	İstasyon	Şiddet
495	Nahanni_ Canada	Site 1	6.76
496	Nahanni_ Canada	Site 2	6.76
763	Loma Prieta	Gilroy - Gavilan Coll.	6.93
779	Loma Prieta	LGPC	6.93
825	Cape Mendocino	Cape Mendocino	7.01
983	Northridge-01	Jensen Filter Plant Generator Building	6.69
1013	Northridge-01	LA Dam	6.69
1052	Northridge-01	Pacoima Kagel Canyon	6.69
4456	Montenegro_ Yugoslavia	Petrovac - Hotel Olivia	7.1
5657	Iwate_ Japan	IWTH25	6.9
8164	Duzce_ Turkey	IRIGM 487	7.14

Çizelge 3.36. 9 katlı yapı için belirlenen deprem kayıtları.

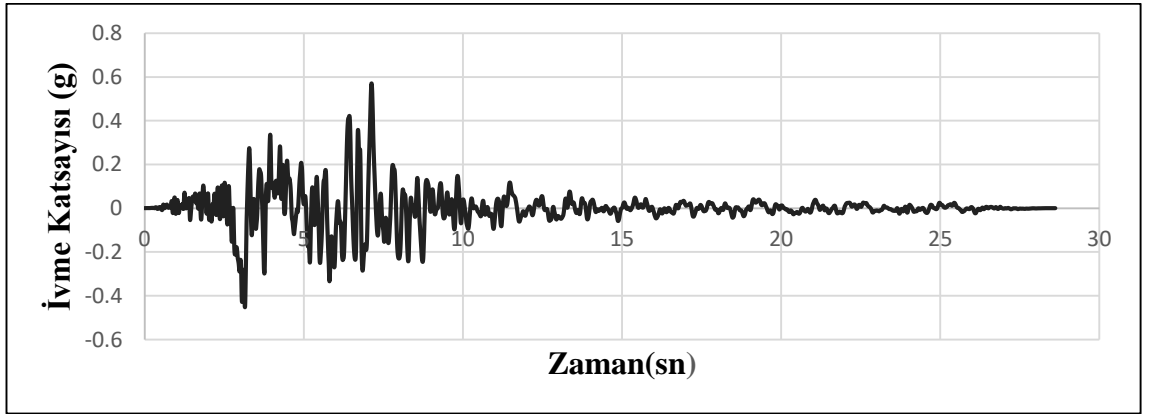
Kayıt Numarası	Deprem Adı	İstasyon	Şiddet
495	Nahanni_ Canada	Site 1	6.76
825	Cape Mendocino	Cape Mendocino	6.76
983	Northridge-01	Jensen Filter Plant Generator Building	7.01
1013	Northridge-01	LA Dam	6.69
1052	Northridge-01	Pacoima Kagel Canyon	6.69
1108	Kobe_ Japan	Kobe University	6.69
1111	Kobe_ Japan	Nishi-Akashi	6.9
1612	Duzce_ Turkey	Lamont 1059	7.14

1618	Duzce_ Turkey	Lamont 531	7.14
3548	Loma Prieta	Los Gatos - Lexington Dam	6.93
4456	Montenegro_ Yugoslavia	Petrovac - Hotel Olivia	7.1

Analizlerde kullanılan deprem kayıtları, 4 katlı yapı için Çizelge 3.35’de ve 9 katlı yapı için Çizelge 3.36’da detaylandırılmıştır. Örnek olarak 983 nolu deprem kaydının ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş halleri sırasıyla, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35’de gösterilmiştir.



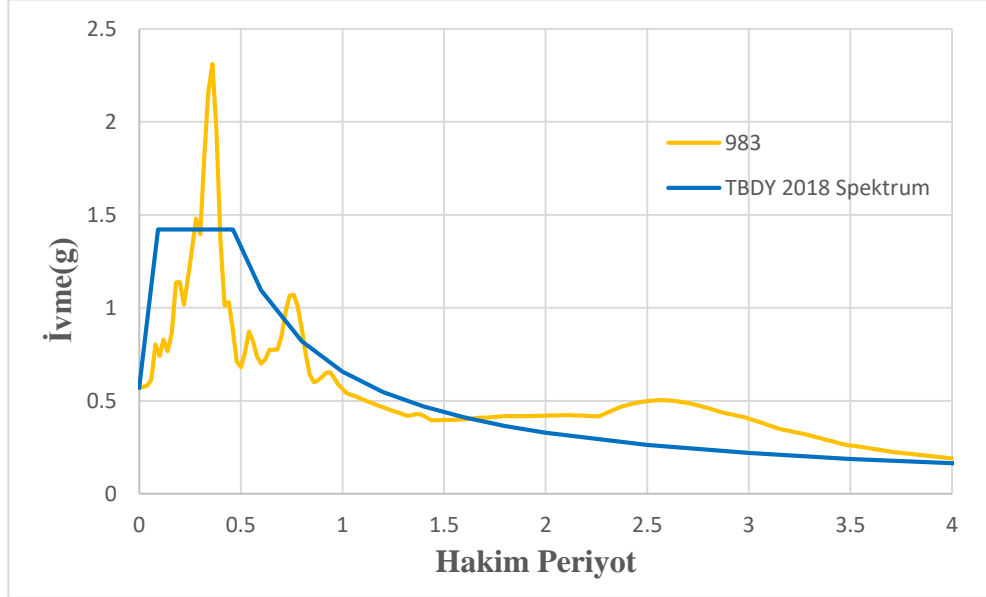
Şekil 3.34. 983 Nolu deprem kaydının ölçeklendirilmiş hali



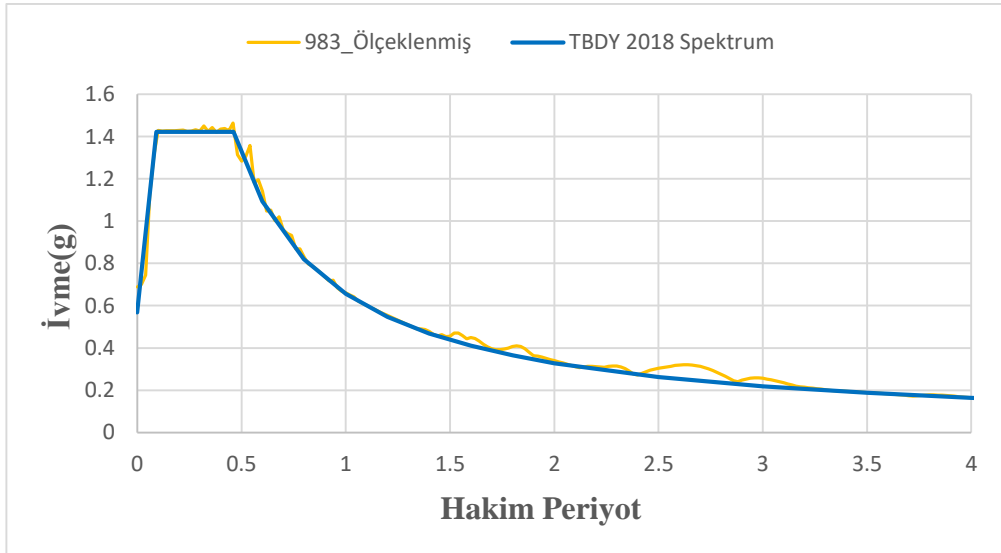
Şekil 3.35. 983 Nolu deprem kaydının ölçeklendirilmemiş hali

Ölçeklendirme işleminde kullanılan spektrum Şekil 3.6’da verilmiştir. Ayrıca deprem kayıtlarından elde ettiğimiz tepki spektrum eğrilerinin, ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş

spektrum eğrilerinin TBDY 2018'e göre belirlenen tasarım spektrum eğrisi ile karşılaştırılması sırasıyla Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.36. 983 Nolu kaydın spektrum eğrisi.



Şekil 3.37. 983 Nolu kaydın ölçeklenmiş spektrum eğrisi.

Ölçeklendirme işleminde tüm kayıtların spektrumlarının ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin TBDY yönetmeliğine göre hazırlanan spektrum

eğrisindeki aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre ölçeklendirme işlemi yapılmıştır.(TBDY)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminin başlangıç adımı olarak düşey yükleme altında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Bu adımdan sonra zaman tanım alanında analiz yöntemi için kullanılan parametreler Şekil 3.38’de verilmiştir. TBDY 5.7.3.2 gereğine uygun olarak Rayleigh sönümü kullanılmıştır.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	RSN8164	9.81
Accel	U1	RSN8164	9.81

Şekil 3.38. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi parametreleri.

4. BULGULAR

Bu bölümde, önceki bölümde PTPT ve ŞDGT yöntemlerine göre tasarımı yapılmış binaların performans analiz sonuçları karşılaştırılarak irdelenecektir. İki yöntemin irdelenmesi, iki farklı tasarım yöntemine göre tasarlanmış binaların ağırlıklarının, yanal yük dağılımlarının, tasarım taban kesme kuvvetlerinin, görelî kat ötelenmelerinin, kat kesme kuvvetlerinin, performanslarının kıyaslanmalarına dayanarak yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca düşey yük taşıyıcı elemanların sisteme etkisi de irdelenmiştir.

4.1. PTPT ve ŞDGT Yöntemlerine Göre Tasarlanmış Binaların Kesitlerinin ve Ağırlıkların Kıyaslanması

Yukarıdaki çalışmada 4 ve 9 katlı yapılar için ŞDGT ve PTPT yöntemi kullanılarak yapılan tasarımların sonucunda belirlenen elemanlar ve ağırlıkları bu bölümde verilecektir. Burada iki yöntemi kıyaslarken yapı ağırlıklarının birbirlerine yakın olması sağlanmıştır. Bununla amaçlanan, ağırlık olarak birbirine çok yakın farklı yöntemlerle tasarlanmış iki binanın performanslarının kıyaslanmasıdır.

4 ve 9 katlı yapıların ŞDGT ve PTPT yöntemi altında tasarımı ile elde edilen kiriş, çevre kolon ve merkezi kolon elemanlarının kesitleri sırasıyla Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Burada görüldüğü üzere PTPT tasarım yöntemi ile tasarlanan yapılarda kiriş elemanlar ŞDGT yöntemine göre biraz daha küçük, kolonlar ise biraz daha büyüktür.

Çizelge 4.1. 4 Katlı yapı için ŞDGT ve PTPT yöntemi ile elde edilen kesitler.

KAT	ŞDGT			PTPT		
	Dış kolon	İç kolon	Kiriş	Dış kolon	İç kolon	Kiriş
4	H400x422	H400x551	HE700A	H400x393	H400x678	HE500A
3	H400x422	H400x551	HE700A	H400x393	H400x678	HE650A
2	H400x551	H400x634	HE800A	H400x467	H400x744	HE800A
1	H400x551	H400x634	HE800A	H400x467	H400x744	HE800A

Çizelge 4.3’de kesitleri ŞDGT ve PTPT yöntemlerine göre tasarlanmış yapıların ağırlıkları verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü üzere iki yonteme göre tasarlanmış yapıların ağırlıkları hemen hemen aynıdır.

Çizelge 4.2. 9 Katlı yapı için ŞDGT ve PTPT yöntemi ile elde edilen kesitler.

KAT	ŞDGT			PTPT		
	Dış kolon	İç kolon	Kiriş	Dış kolon	İç kolon	Kiriş
9	H400x382	H400x463	HE600A	H400x393	H400x593	HE400A
8	H400x382	H400x463	HE600A	H400x393	H400x593	HE500A
7	H400x463	H400x634	HE700A	H400x393	H400x593	HE600A
6	H400x463	H400x634	HE700A	H400x551	H400x818	HE650A
5	H400x509	H400x818	HE800A	H400x551	H400x818	HE700A
4	H400x509	H400x818	HE800A	H400X634	H400x900	HE800A
3	H400x634	H400x818	HE800A	H400X634	H400x900	HE800A
2	H400x634	H400x900	HE900A	H400X744	H400x990	HE800A
1	H400x818	H400x900	HE900A	H400X744	H400x990	HE800A

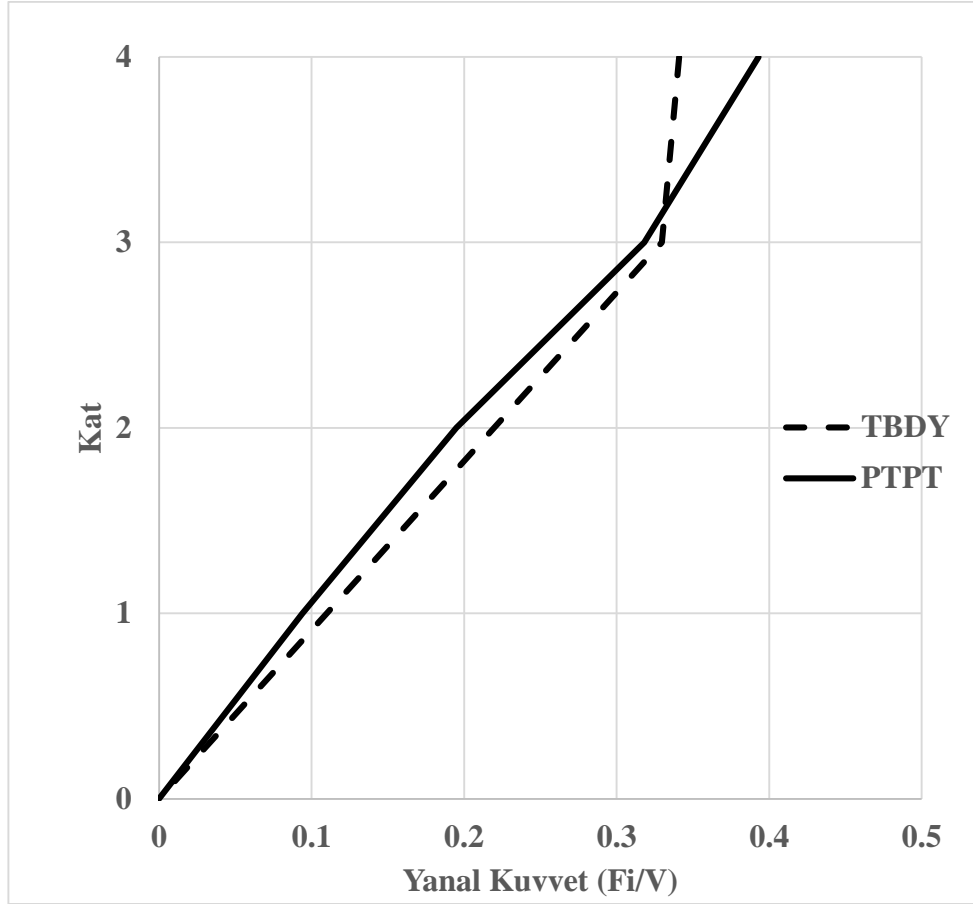
Çizelge 4.3. Yapı ağırlıkları ve karşılaştırılması.

	4 Kat			9 Kat		
	Kiriş	Kolon	Toplam	Kiriş	Kolon	Toplam
PTPT	280.4	469.7	750.1	772.0	1626.1	2398.1
ŞDGT	302.6	431.5	734.1	856.2	1466.9	2323.1
PTPT/ŞDGT	0.926	1.088	1.02	0.902	1.108	1.03

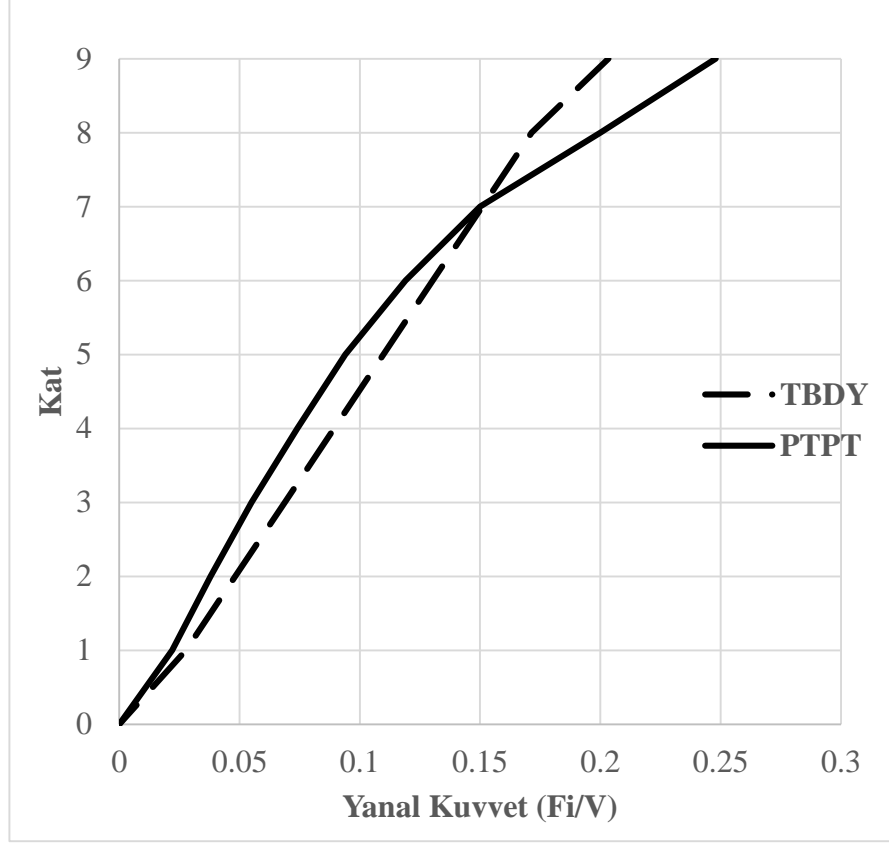
4.2. Yanal Yük Dağılımlarının İrdelenmesi

Bu bölümde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine (TBDY) göre katlara gelen yanal yük oranları ile, PTPT yöntemine göre katlara gelen yanal yük oranları kıyaslanmıştır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de bu kıyaslama sonuçları gösterilmiştir.

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere alt katlarda yanal yük oranları arasında fazla fark olmazken, üst katlarda bu fark belirginleşmektedir. Bununla birlikte Şekil 4.2’de ise alt katlarda TBDY’ye göre gelen sonuçlar daha düşük, üst katlarda ise daha yüksektir.



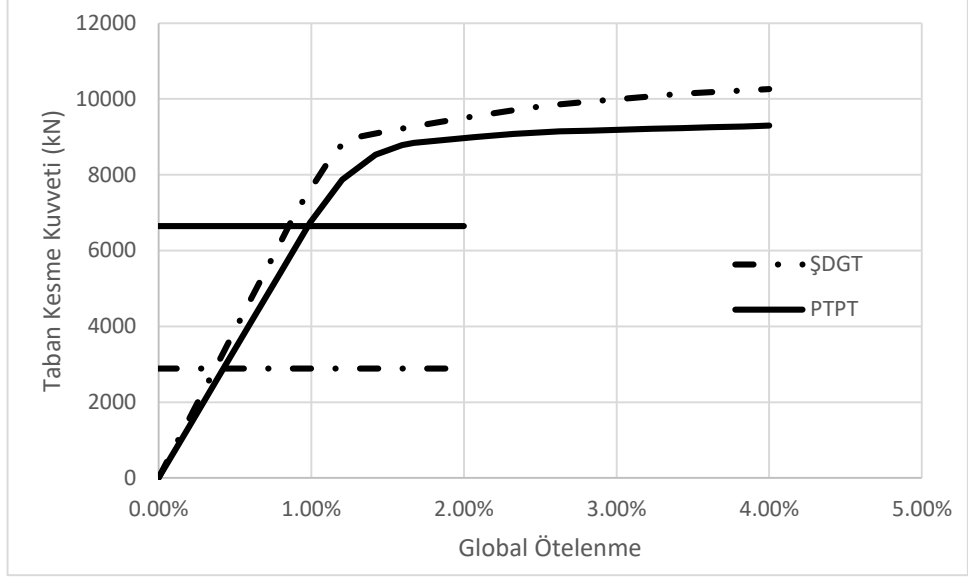
Şekil 4.1. 4 katlı yapı için belirlenen TBDY ve PTPT'e göre yanal kuvvet dağılımı



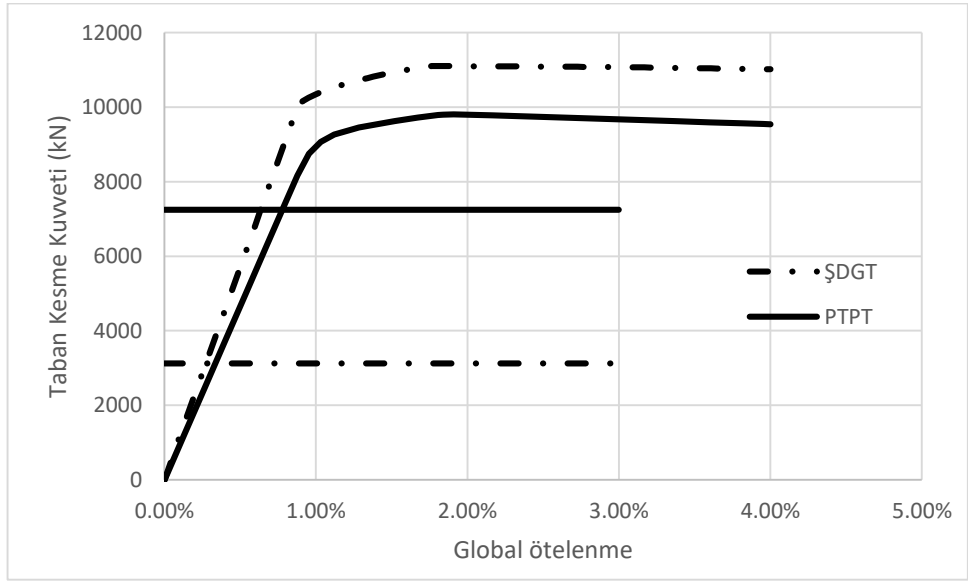
Şekil 4.2. 9 katlı yapı için belirlenen TBDY ve PTPT'e göre yanıl kuvvet dağılımı

4.3. İtme Eğrisi Üzerinden Tasarım Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde tasarlanan yapılar statik itme analizine maruz bırakılmıştır. Elde edilen statik itme eğrisi üzerinden yapıların tasarlandığı taban kesme kuvvetleri kıyaslanmıştır. Sırasıyla 4 ve 9 katlı yapılar için Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de bahsedilen kıyaslamalar verilmiştir. İtme eğrisinde elde edilen yapının yanıl yük kapasitesi ile tasarım hesaplarında kullanılan toplam eşdeğer deprem yükü oranları Çizelgede verilmiştir.



Şekil 4.3. 4 Katlı yapı için itme eğrisi ve tasarım taban kesme kuvvetleri



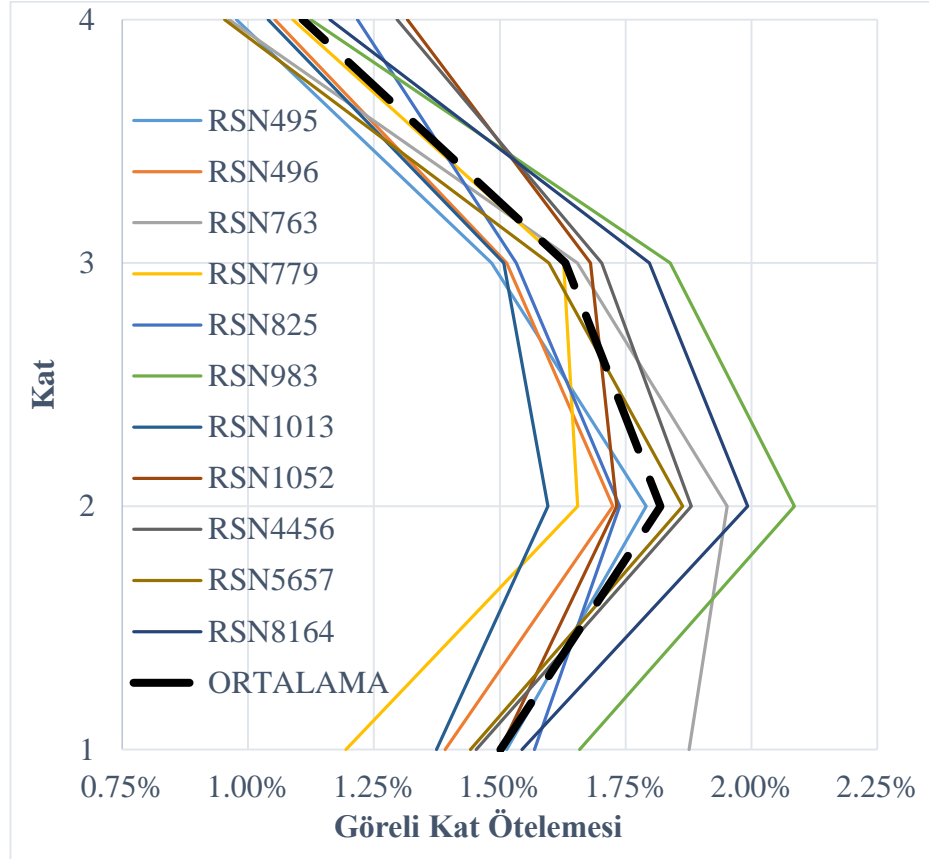
Şekil 4.4. 9 Katlı yapı için itme eğrisi ve tasarım taban kesme

Çizelge 4.4. ŞDGT ve PTPT'e göre tasarlanmış yapıların dayanım fazlalığı katsayıları

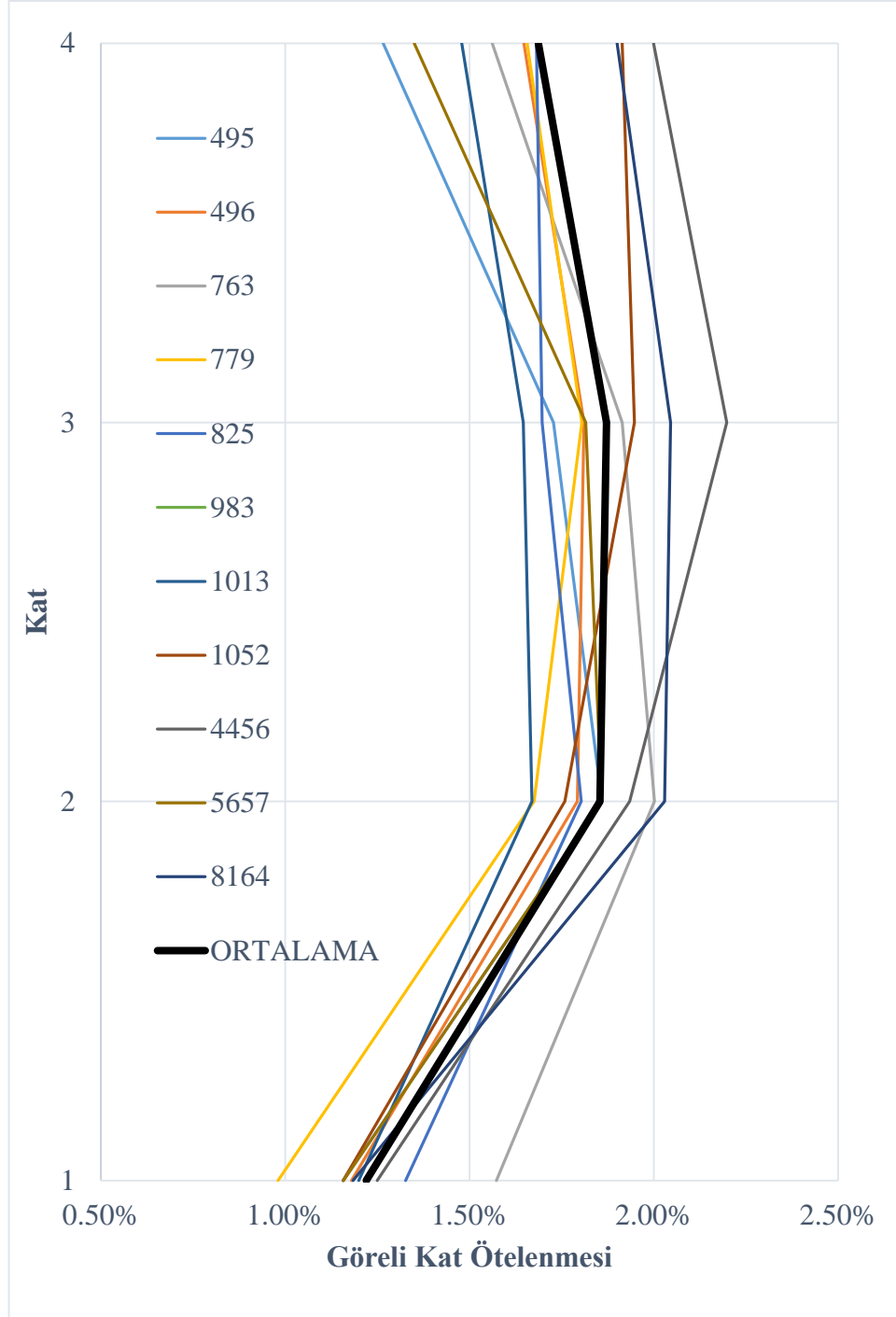
	ŞDGT	PTPT
4 kat	3.55	1.38
9 kat	3.55	1.35

4.4. Görelî Kat Ötelemelerinin Karşılaştırılması

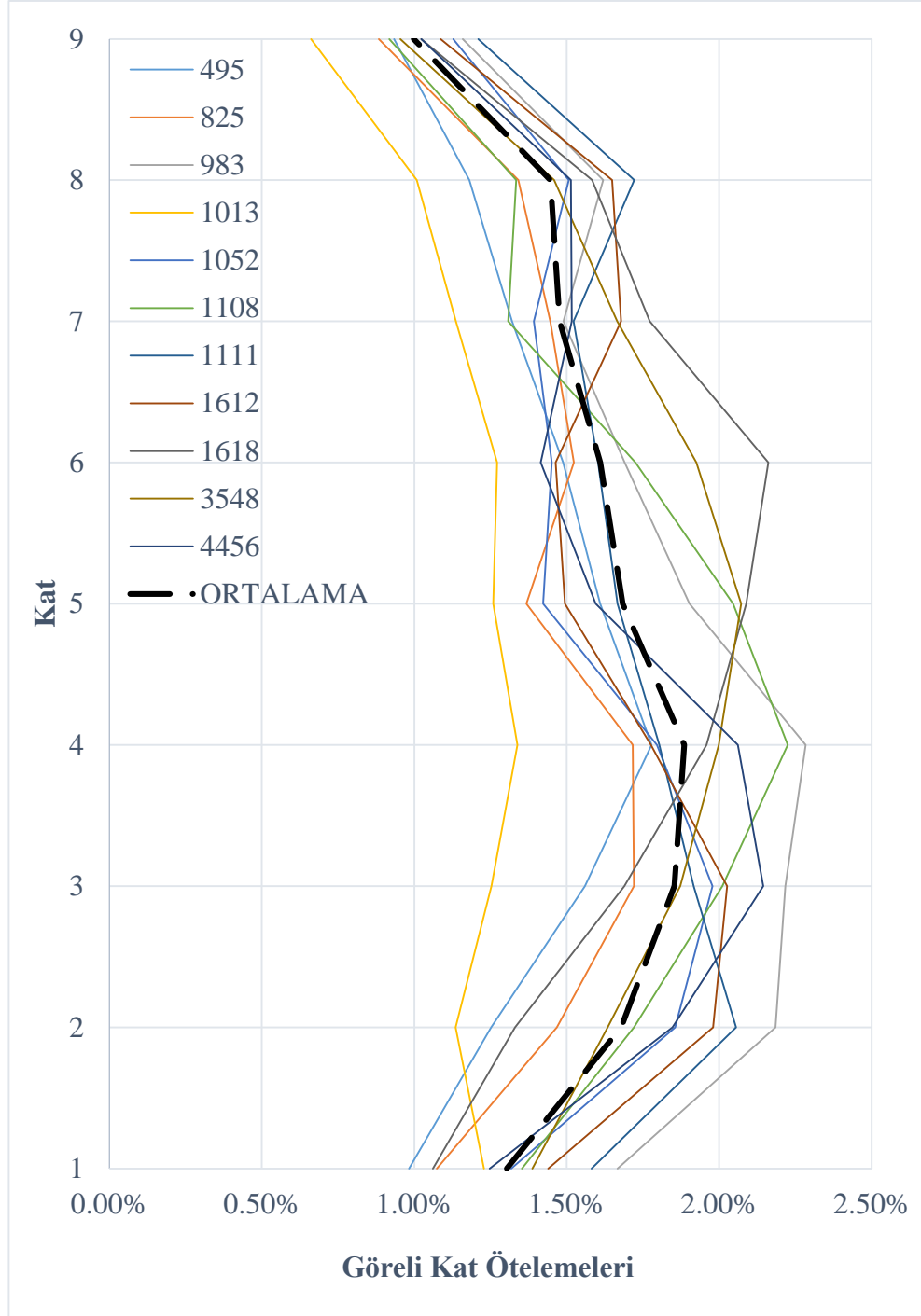
Tasarımı yapılan yapıların zaman tanım alanında analiz yöntemiyle, deprem altında oluşan maksimum görelî kat ötelenme değeri kıyaslanmıştır. Elde edilen maksimum görelî kat ötelenme değeri 4 katlı yapı için Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



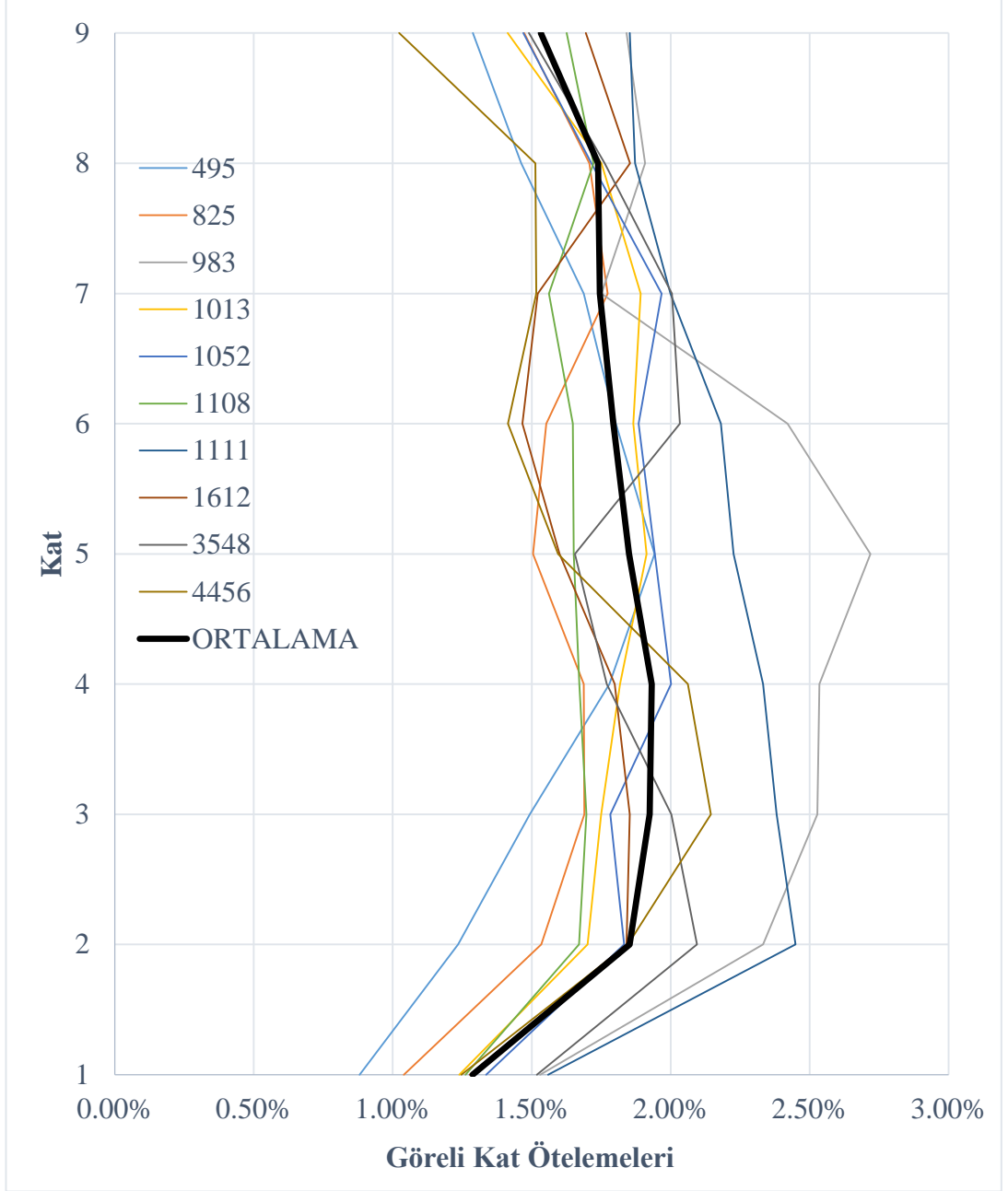
Şekil 4.5. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimum görelî kat ötelenme değeri



Şekil 4.6. PTPT yöntemi ile tasarlanmış 4 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görelü kat ötelenme değerleri



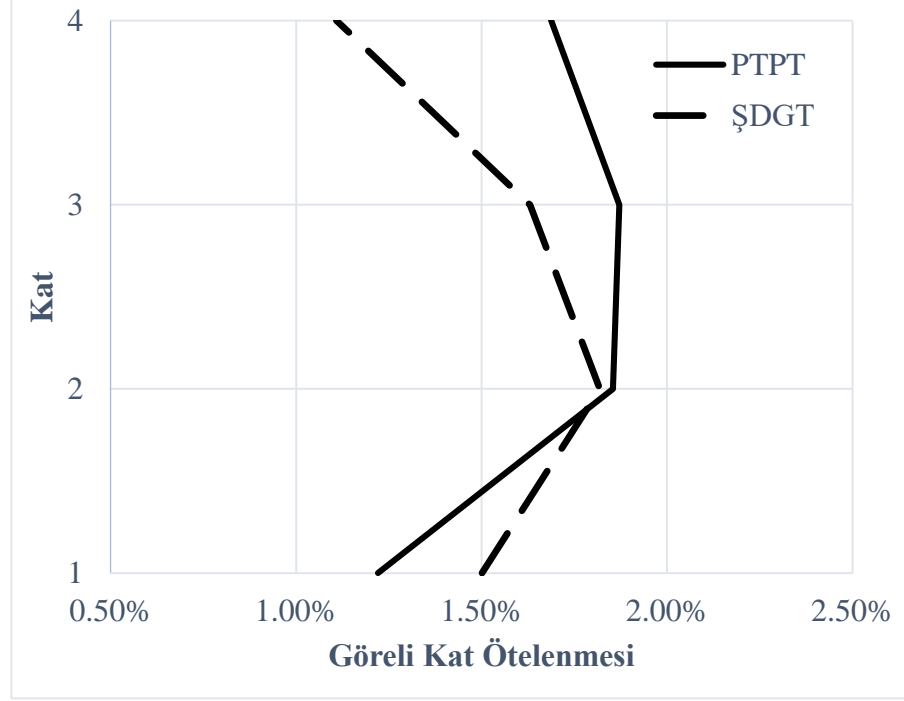
Şekil 4.7. ŞDGT yöntemi ile tasarlanmış 9 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görel kat ötelenme değerleri



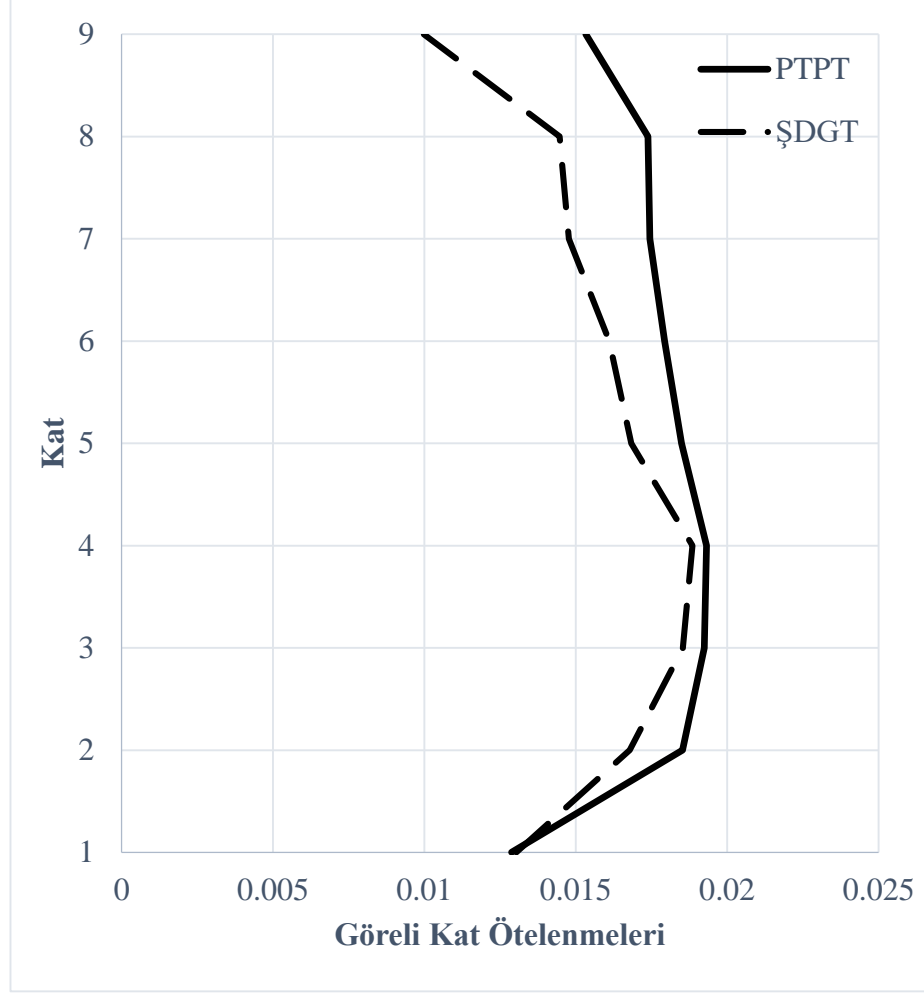
Şekil 4.8. PTPT yöntemi ile tasarlanmış 9 katlı yapı için 11 farklı deprem altında maksimumum görel kat ötelenme değerleri

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de 9 katlı yapı için elde edilmiş maksimum görel kat ötelenme değerleri verilmiştir. Şekil 4.9’da 4 katlı yapının iki tasarım türüne göre tasarlanmış hallerinden elde edilen ortalama sonuçlar aynı grafikte gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere PTPT yöntemi ile tasarlanan yapıda alt katlardaki görel kat ötelenmesi değeri ŞDGT ile tasarımı yapılandan daha düşük, üst katlarda ise daha yüksek çıkmıştır. Şekil

4.10'da ise 9 katlı yapının ŞDGT ve PTPT yöntemlerine göre tasarlanmış hallerinden elde edilen maksimum görece kat ötelenmelerinin ortalamaları kıyaslanmıştır. Burada görüldüğü üzere PTPT yöntemine göre tasarlanmış binanın görece kat ötelenmeleri nispeten daha homojendir.



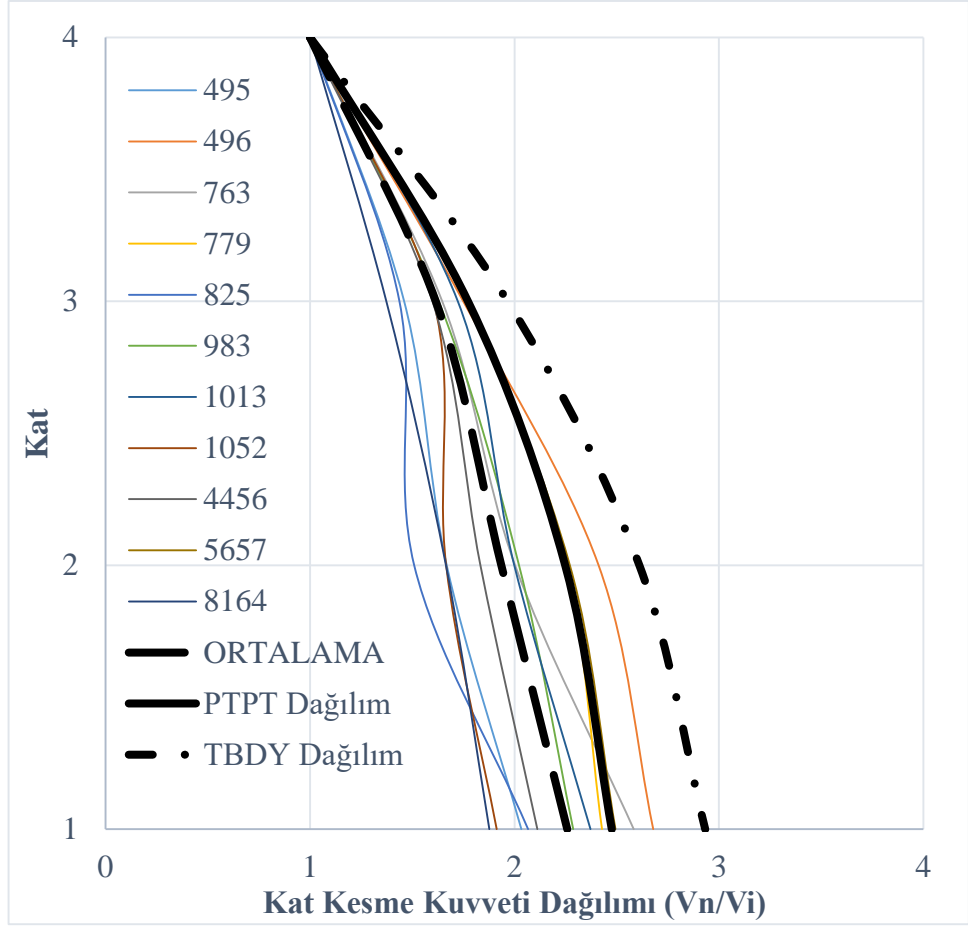
Şekil 4.9. 4 katlı yapının tüm tasarım yöntemlerine göre görece kat ötelenme değerleri



Şekil 4.10. 9 katlı yapının görel kat ötelenme değerleri ortalamaları

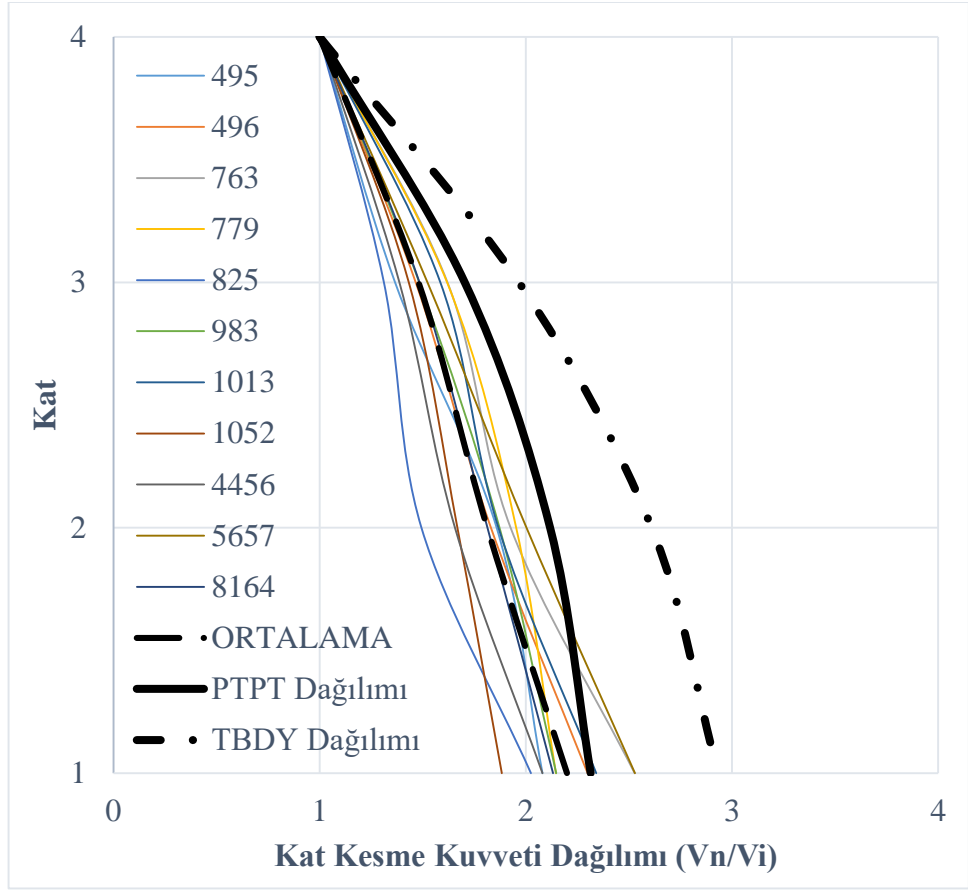
4.5. Kat Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde farklı deprem kayıtları altında analizi yapılan yapılardan elde edilen maksimum kat kesme kuvvetlerinin irdelenmesi için grafikler düzenlenmiştir. Kat kesme kuvvetlerinin dağılımını inceleyebilmek için en üst kattaki kat kesme kuvvetini her bir kattaki kat kesme kuvvetine orantılayarak bir eğri oluşturulmuştur.



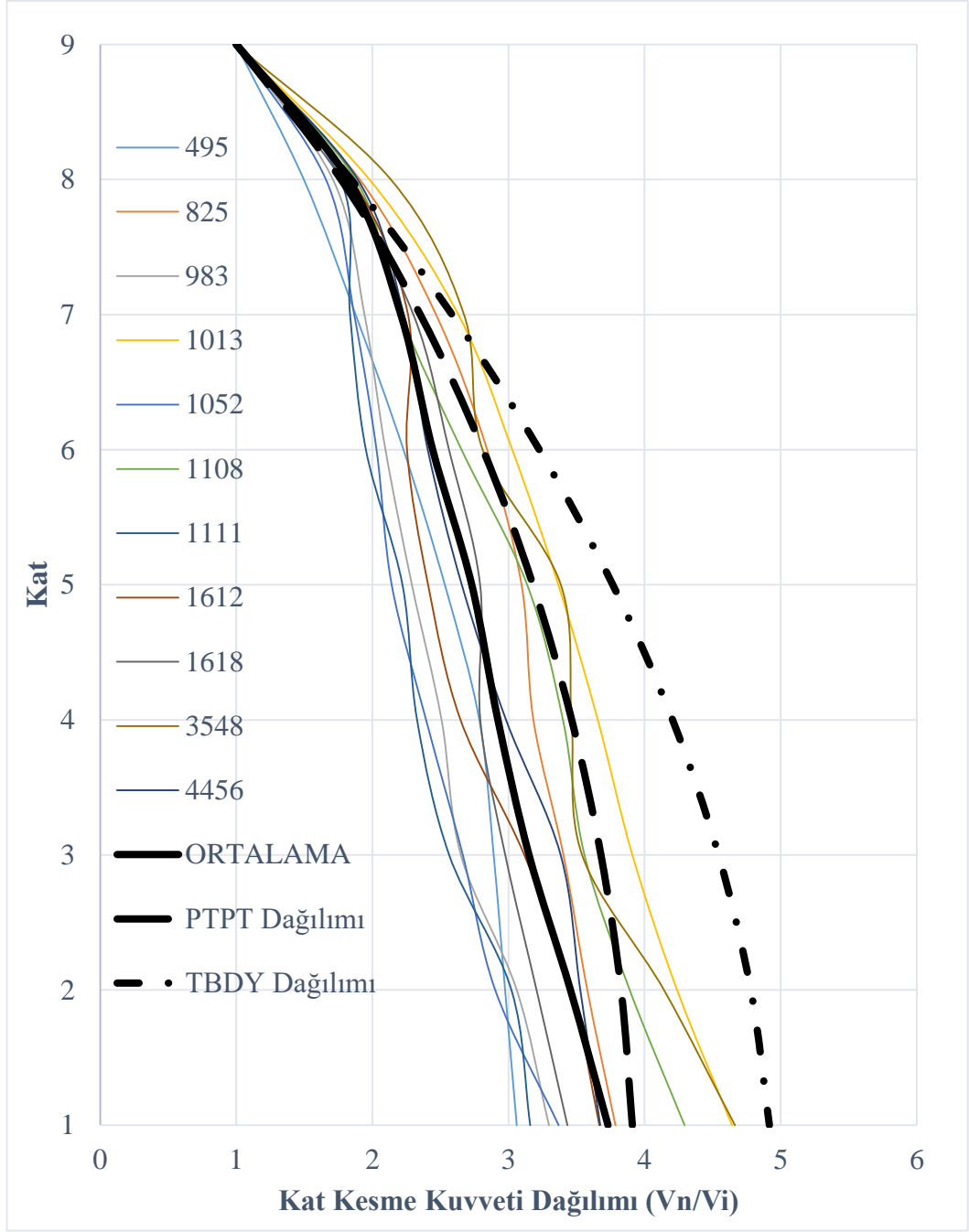
Şekil 4.11. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de sırasıyla 4 katlı yapı için ŞDGT ve PTPT yöntemlerine göre tasarım yapılmış yapılardan elde edilen normalize edilmiş kat kesme kuvveti dağılımları verilmiştir. Kat kesme kuvvetleri son kat kesme kuvveti ile normalize edilmiştir. Şekillerde deprem kuvveti altında elde edilen sonuçların ortalaması, PTPT yönteminin uygulanması sırasında kullanılan normalize edilmiş kat kesme kuvveti dağılımı ile eşdeğer deprem kuvveti ile bulunan (TBDY) normalize edilmiş kat kesme kuvvet dağılımı verilmiştir. İki şekilde de görüldüğü üzere PTPT yöntemi ile elde edilen kat kesme kuvvetleri dağılımı, eşdeğer deprem yükü yöntemi (TBDY) ile elde edilen kat kesme kuvvetlerine göre zaman tanım alanında elde edilen kat kesme kuvvetlerine daha yakındır.

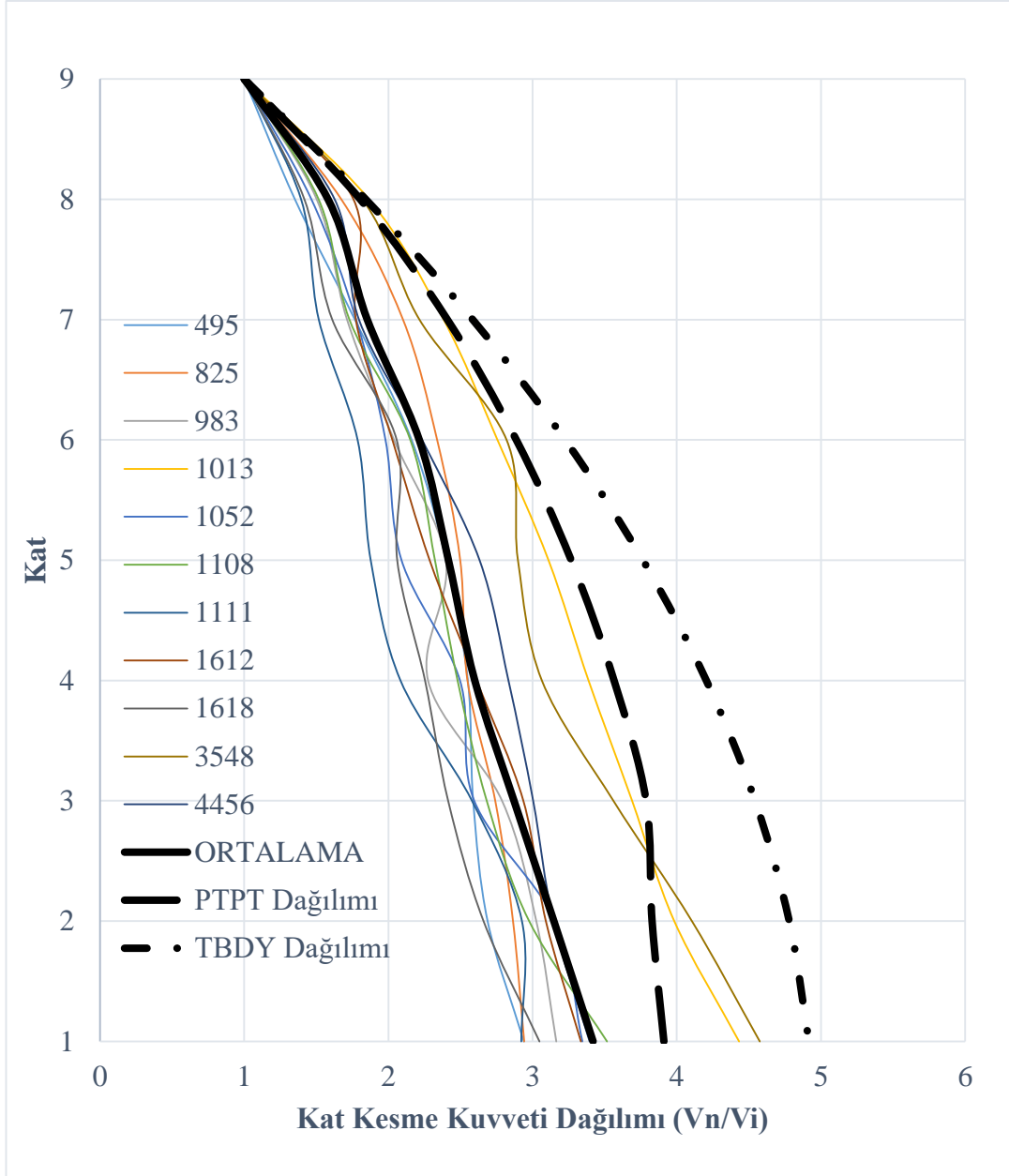


Şekil 4.12. PTPT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması

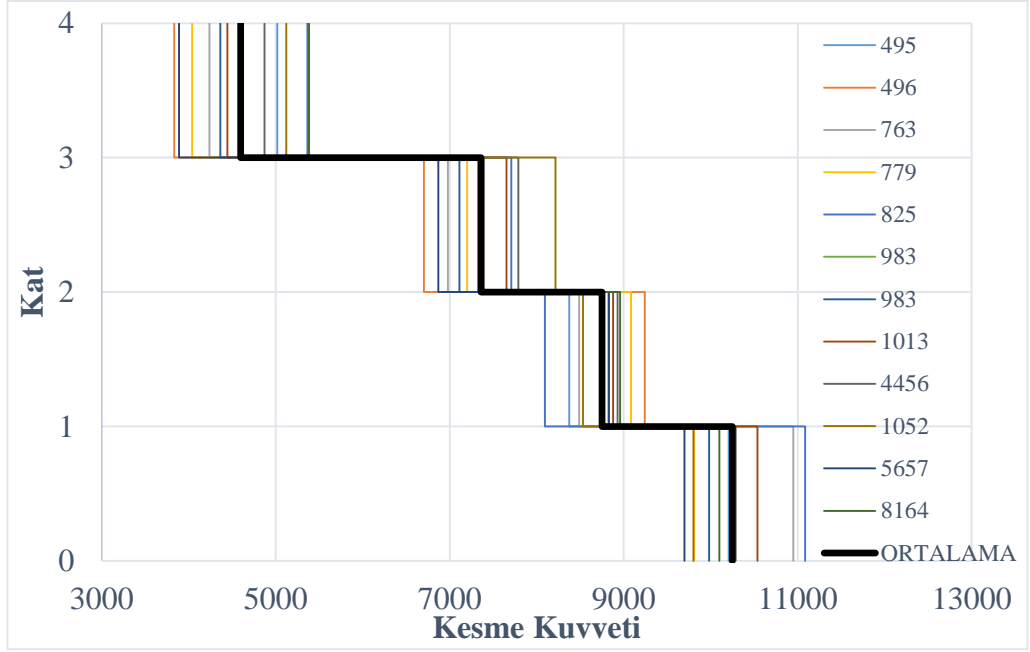
Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de sırasıyla 9 katlı yapı için ŞDGT ve PTPT yöntemlerine göre tasarım yapılmış yapılardan elde edilen kat kesme kuvveti dağılımları verilmiştir. PTPT yöntemi zaman tanım alanında analizlerden elde edilen sonuçların ortalaması ile uyum içerisindedir.



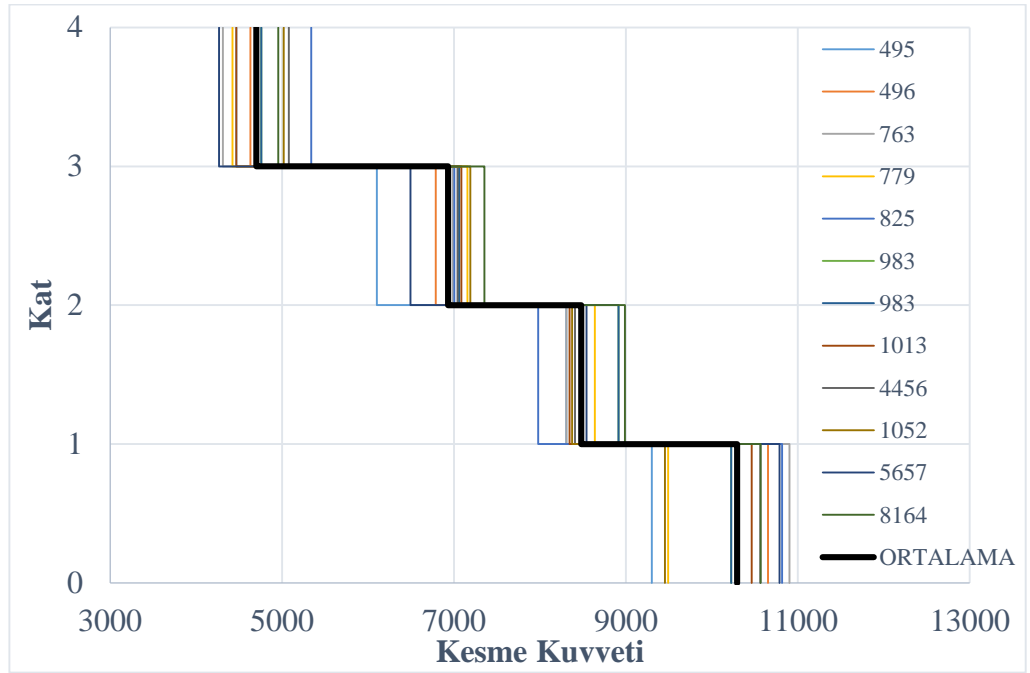
Şekil 4.13. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 9 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması



Şekil 4.14. PTPT yöntemine göre tasarlanan 9 katlı yapıda deprem kayıtları altında oluşan kat kesme kuvveti dağılımları ve bunların PTPT yöntemindeki dağılım ve TBDY'deki dağılımla kıyaslanması

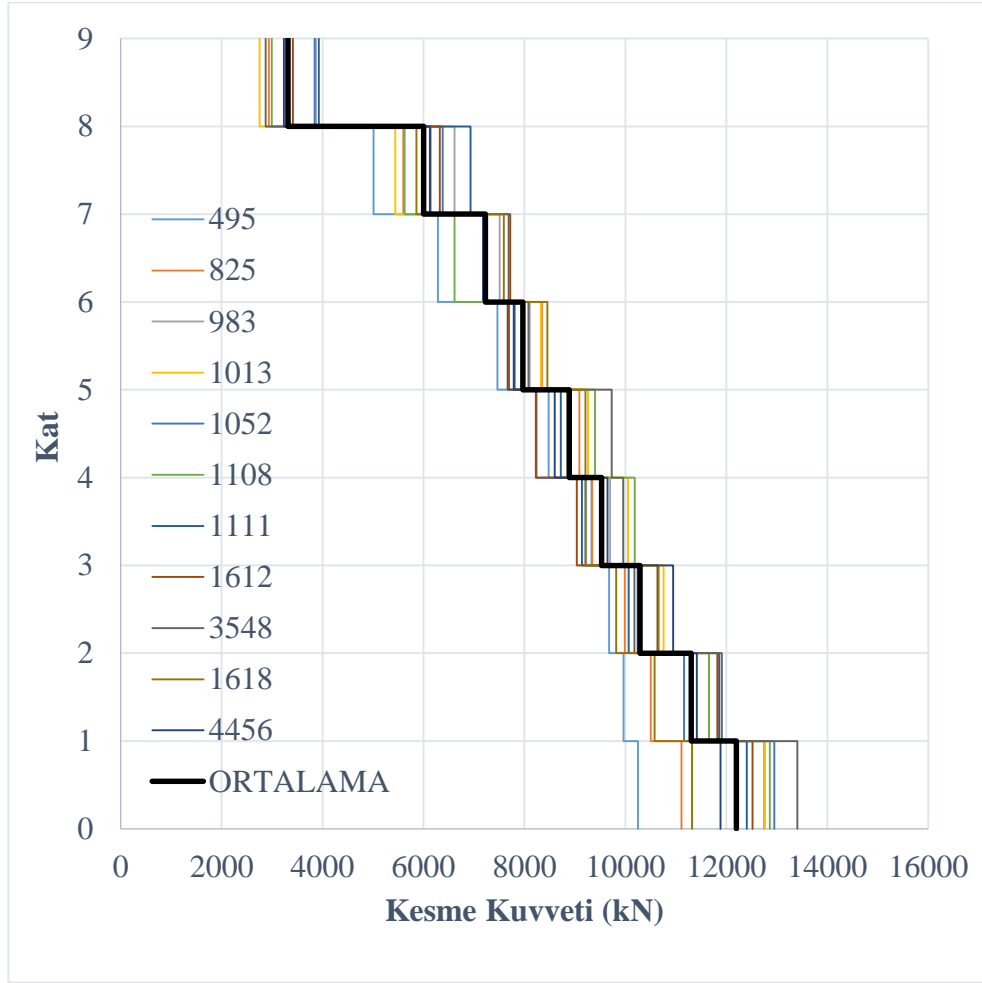


Şekil 4.15. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapının kat kesme kuvvetleri

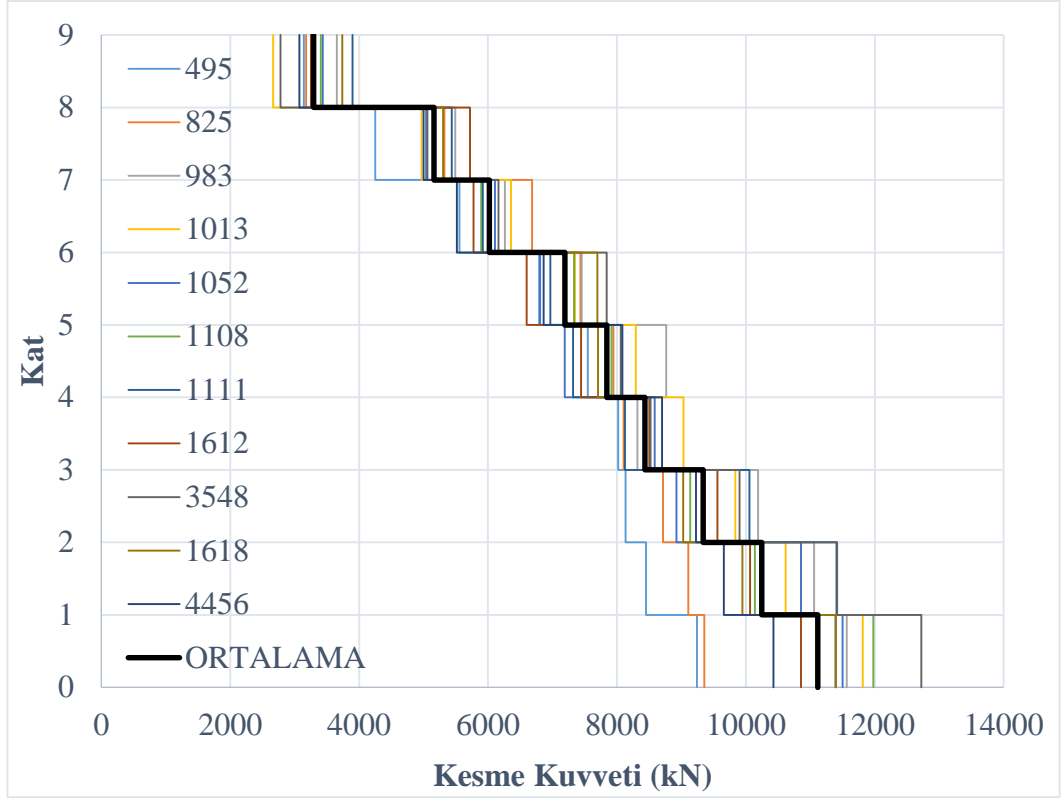


Şekil 4.16. PTPT yöntemine göre tasarlanan 4 katlı yapının kat kesme kuvvetleri

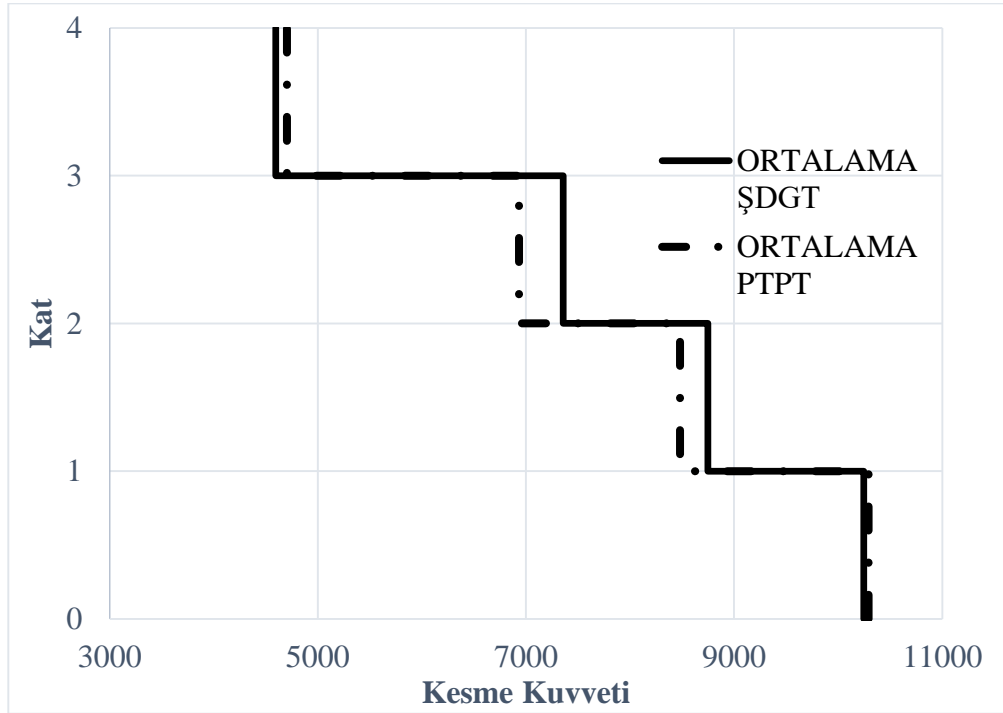
Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de 4 ve 9 katlı yapılar için her iki tasarım yöntemine göre tasarlanmış hallerinden elde edilen kat kesme kuvvetleri ve ortalamaları verilmiştir. Burada yapılarda görüldüğü üzere ŞDGT yapılan yapılarda taban kesme kuvvetleri, PTPT yöntemine göre daha yüksektir. Bunun en temel nedeni ŞDGT yapılan yapıların yanal rijitliklerinin daha fazla olmasıdır.



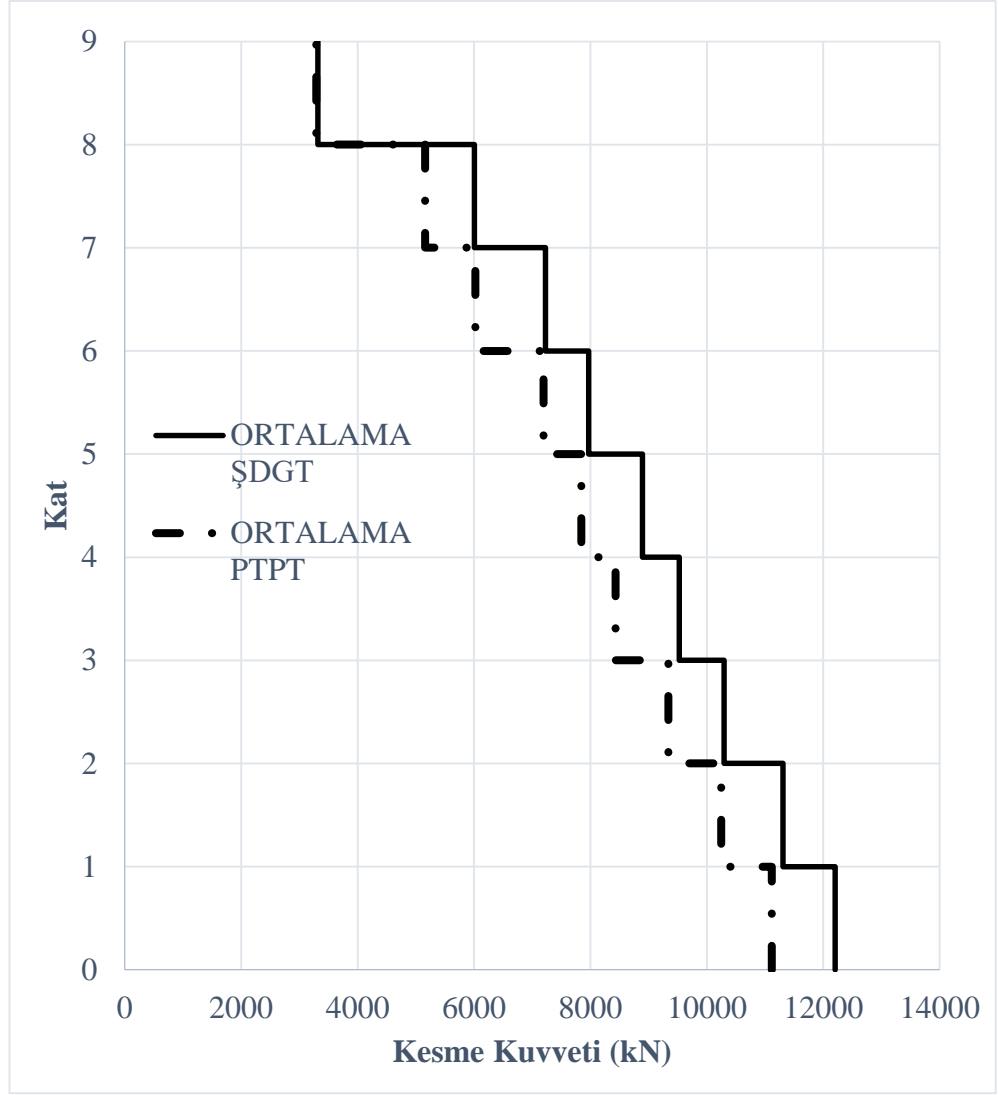
Şekil 4.17. ŞDGT yapılan 9 katlı yapının kat kesme kuvvetleri



Şekil 4.18. PTPT yöntemine göre tasarlanan 9 katlı yapının kat kesme kuvvetleri



Şekil 4.19. 4 katlı tasarımı yapılan yapıların ortalama kat kesme kuvvetleri değerleri

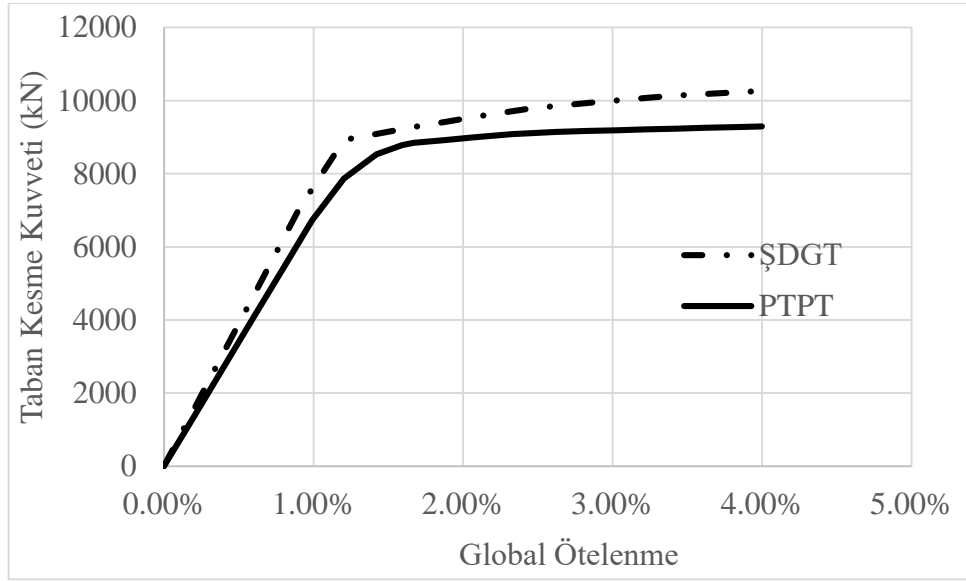


Şekil 4.20. 9 katlı tasarımı yapılan yapıların ortalama kat kesme kuvvetleri

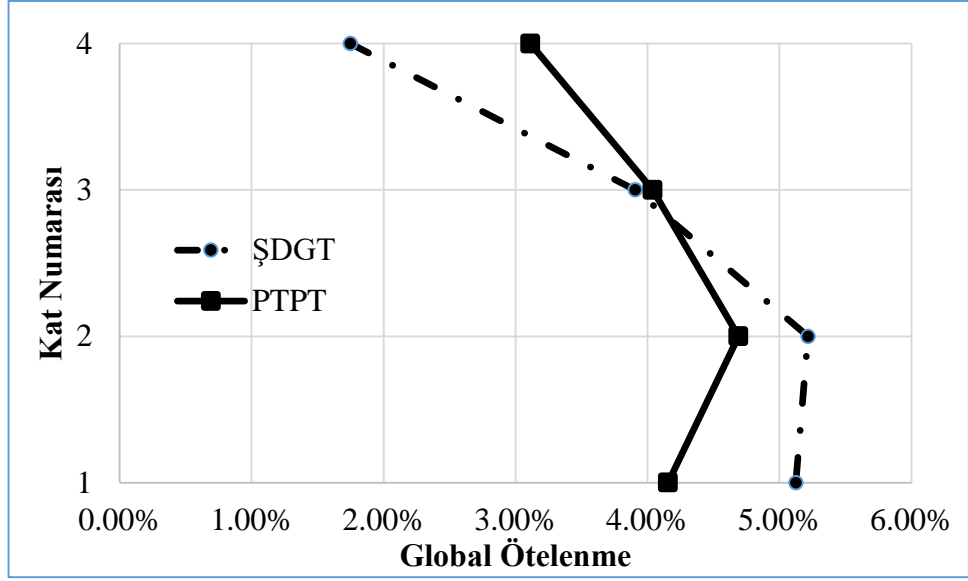
Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de yapıların ŞDGT ve PTPT yöntemleri ile tasarlanmış hallerinin kat kesme kuvvetleri kıyaslanmıştır. Şekil 4.19’de görüldüğü üzere kat kesme kuvvetlerinin ortalaması neredeyse aynı değerlerdedir. Sadece orta katlarda PTPT yöntemi ile tasarlanan yapıda kat kesme kuvvetleri ŞDGT yöntemi ile tasarlanan yapıdakinden biraz daha düşüktür. Bununla birlikte Şekil 4.20’de görüldüğü üzere PTPT yöntemi ile tasarlanan yapıdan elde edilen kat kesme kuvvetleri, ŞDGT yöntemi ile tasarlanandan %9 mertebesinde daha düşüktür.

4.6. PTPT ve ŞDGT Yöntemlerine Göre Tasarlanmış Binaların Statik İtme Analiz Yöntemine Göre Performanslarının Kıyaslanması

Bu bölümde tasarımı yapılan yapılar itme analizine maruz bırakılmıştır. Buradaki temel amaç yapıların tasarım hedeflerinin ilerisindeki bir zorlama durumunda verecekleri tepkileri incelemektir.

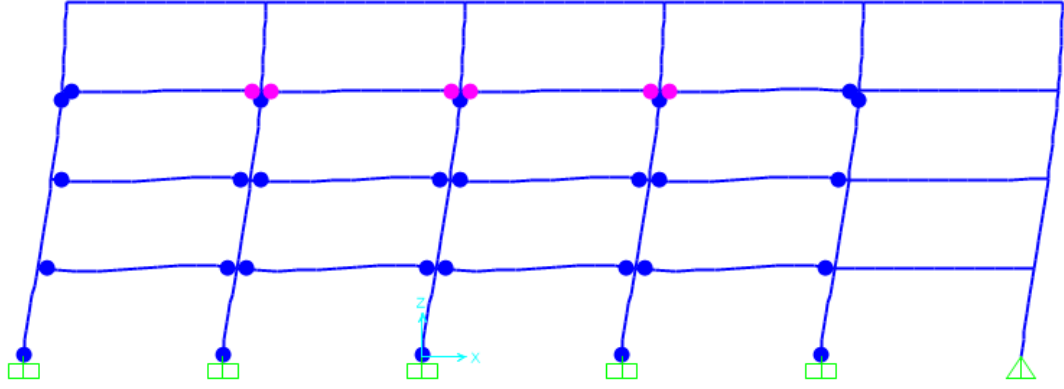


Şekil 4.21. 4 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan itme eğrisi

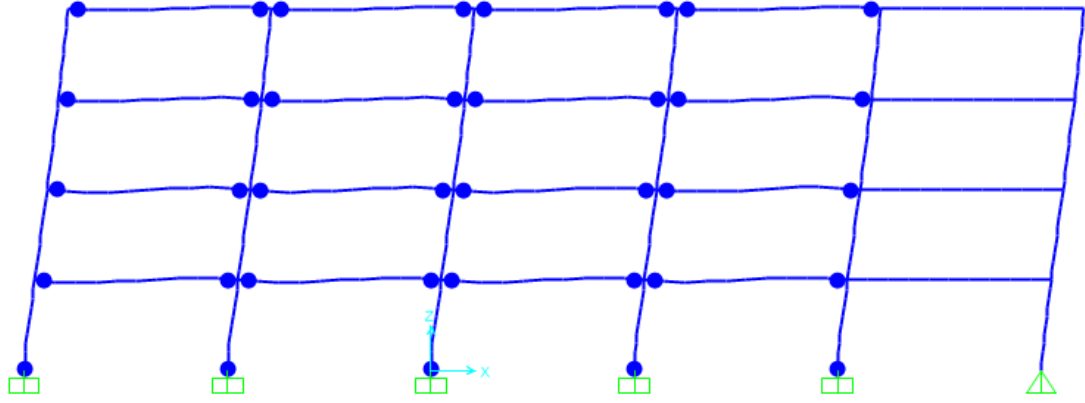


Şekil 4.22. 4 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan görel kat ötelenme değerleri

Şekil 4.21’de 4 katlı olan ve her iki yöntemle de tasarlanan yapıların, %4 global ötelenme değerine kadar itirilerek elde edilen itme eğrileri verilmiştir. Burada görüldüğü üzere itme eğrileri birbirlerine yakın çıkmıştır. Ayrıca Şekil 4.22’de %4 global ötelenme oranındaki görel kat ötelenme değerleri verilmiştir. Buradan anlaşıldığı gibi ŞDGT yöntemine göre tasarlanan yapıda alt katlardaki görel kat ötelenme değerleri PTPT yöntemininkine göre daha yüksek, üst katlarda ise daha düşüktür. PTPT yöntemi ile tasarlanan yapıdaki görel kat ötelenme değerleri üst kata kadar homojen olarak yayılmıştır. Şekil 4.23’de görüldüğü üzere ŞDGT yöntemine göre tasarlanan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsall oluşumu verilmiştir. Buradan görülebileceği oluşan mekanizma durumu tam anlamıyla bir salınım (sway) mekanizması değildir. Temel kolonlarında ve 3.kat üst kolonlarında plastik mafsallar oluşmuştur. En üst kattaki elastik ötesi şekil değiştirme kabiliyeti kullanılamamıştır. Ayrıca zayıf kiriş güçlü kolon prensibi tam olarak oluşmamıştır. Bununla birlikte Şekil 4.24’de görüldüğü üzere PTPT yöntemine göre tasarımı yapılan yapıda %4 global ötelenme oranındaki mekanizma durumu bizim önceden planladığımız mekanizma durumu (sway mekanizması) şeklinde oluşmuştur. Temel kolonları hariç hiçbir kolonda plastik mafsall oluşmamıştır. Kirişlerin çoğunun elastik ötesi şekil değiştirme kabiliyeti kullanılmıştır.



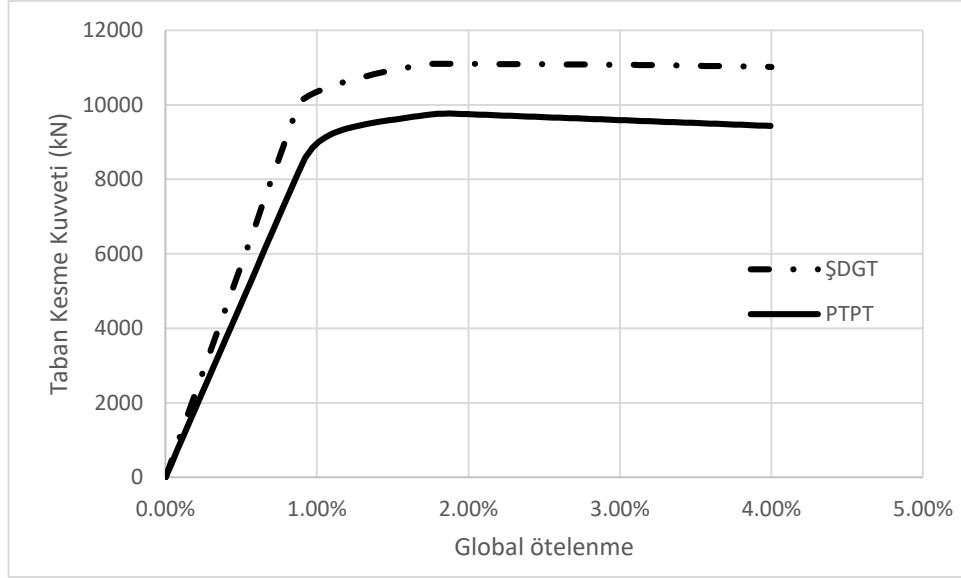
Şekil 4.23. ŞDGT yöntemine göre tasarımı yapılan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsalsal durumu



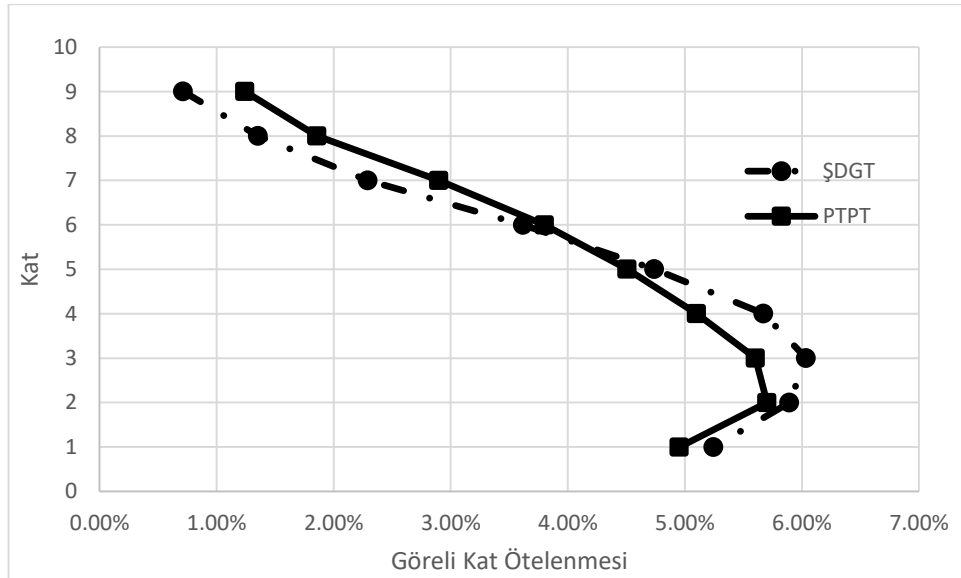
Şekil 4.24. PTPT yöntemine göre tasarımı yapılan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsalsal durumu

Şekil 4.25’de ise 9 katlı yapı için elde edilen itme eğrileri verilmiştir. 4 katlı yapı için elde edilen sonuç ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeni kat sayıları, bina toplam kütleleri farklı olmalarına rağmen, periyot değerlerinin farklı olmasından dolayı binaların benzer deprem kuvveti talebine sahip olması ve kesitlerin bu değerler göre belirlenmesidir. Şekil 4.26’da %4 global ötelenme oranındaki maksimum kat ötelenme değerleri verilmiştir. Burada görüldüğü üzere PTPT yöntemi daha iyi ve homojen sonuçlar vermiştir. ŞDGT yöntemindeki sonuçlarda alt katlardaki göreceli kat ötelenme değerleri PTPT yöntemininkinden daha yüksektir. Yük yerdeğiştirme eğrisinin doğrusal

bölgesinde ŞDGT yöntemine göre tasarlanmış yapıların biraz daha fazla yanal rijitliğe sahip olduğu görülmektedir. ŞDGT yöntemine göre tasarlanmış yapıların kapasitesinin ve rijitliğinin biraz daha fazla olmasının sebebinin tasarımda biraz daha büyük kolon kesitlerinin seçilmiş olmasıdır.

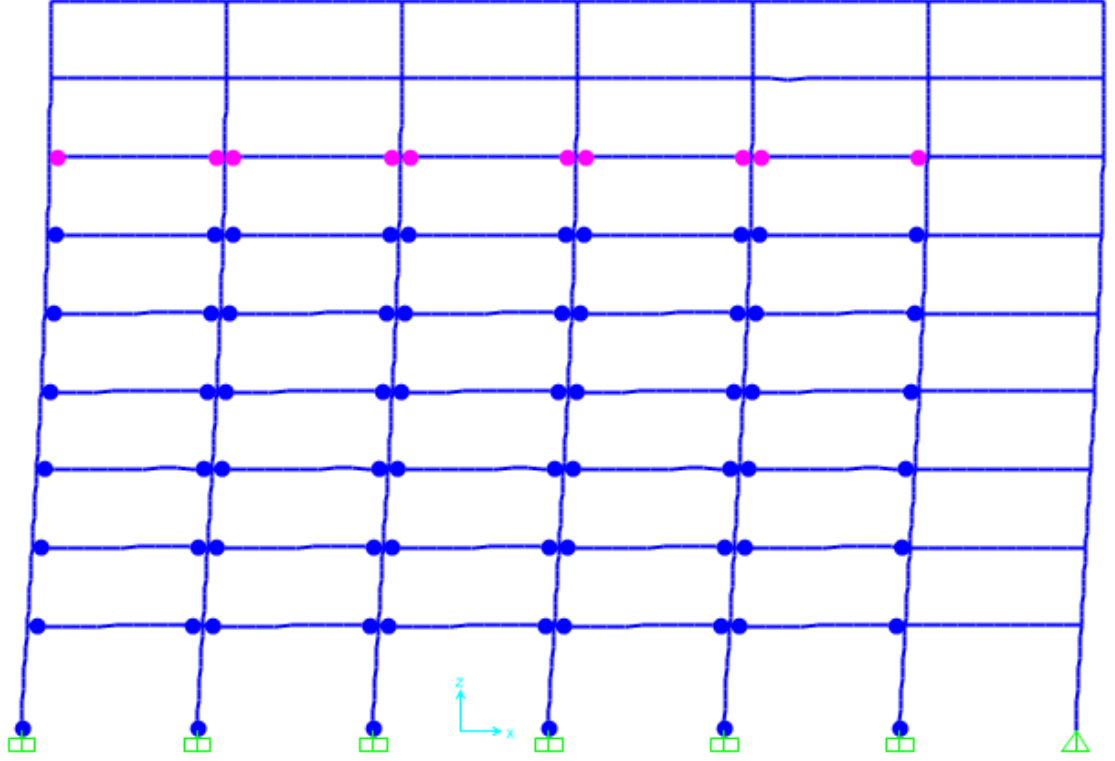


Şekil 4.25. 9 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan itme eğrisi

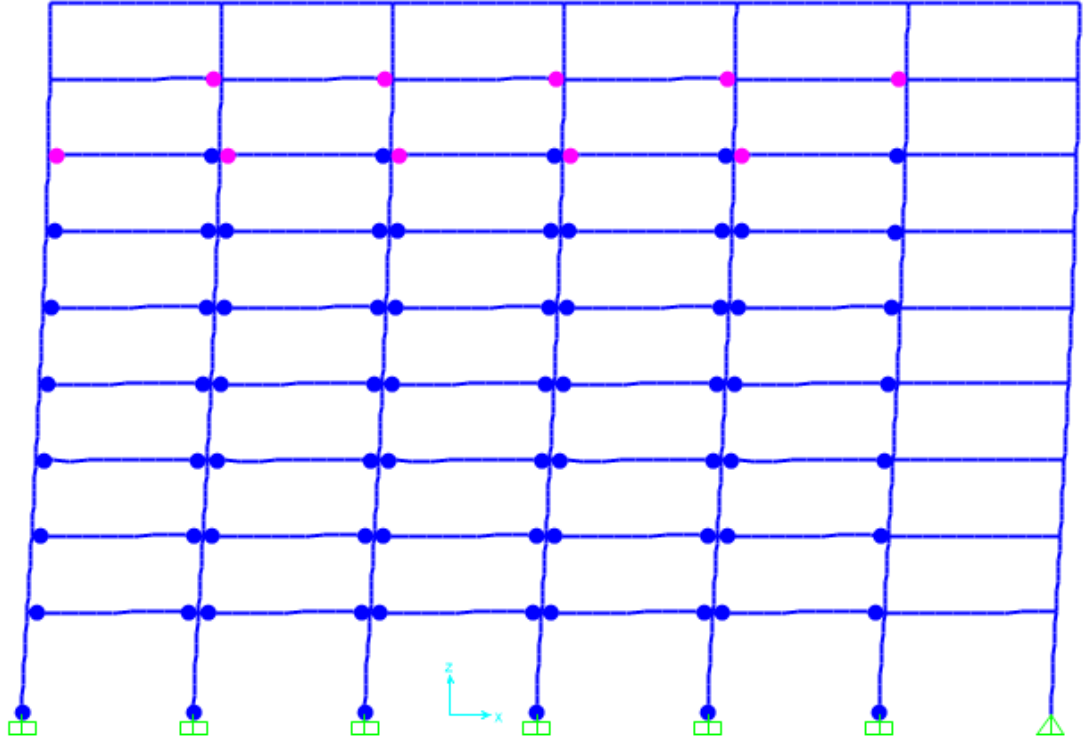


Şekil 4.26. 9 katlı yapıların %4 global ötelenme değerine kadar itilmesi sonucu oluşan görece kat ötelenme değerleri

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de sırasıyla 9 katlı yapının her iki tasarım yöntemi ile tasarlanmış hallerinin %4 global ötelenme değerine kadar ittirilmiş hallerinden elde edilen plastik mafsallar sunulmuştur. Görüldüğü üzere ŞDGT yöntemine göre tasarımı yapılan yapıda alt katlarda PTPT yöntemine göre daha yüksek plastik deformasyonlar oluşmuştur.



Şekil 4.27. ŞDGT yöntemine göre tasarlanan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsalları durumu

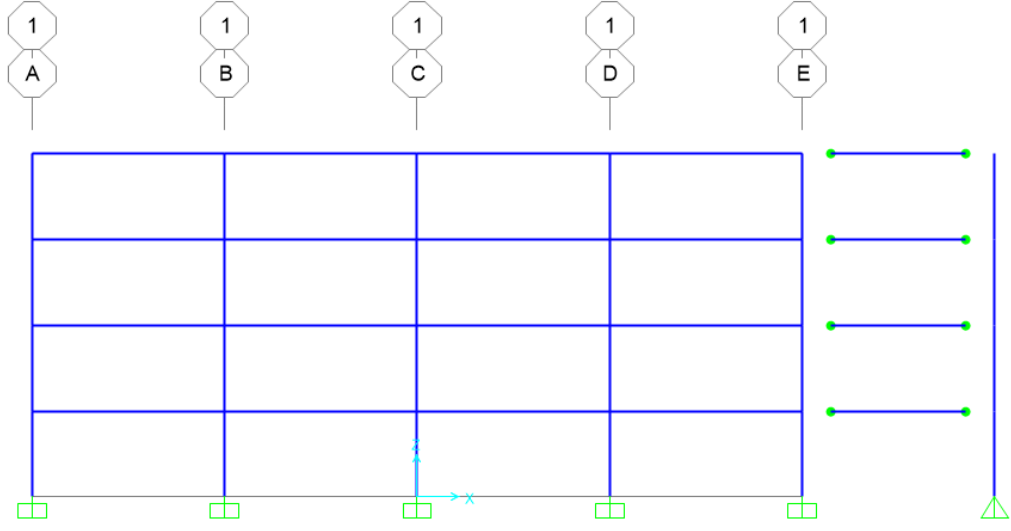


Şekil 4.28. PTPT yöntemine göre tasarlanan yapının %4 global ötelenme oranındaki plastik mafsallı durumu

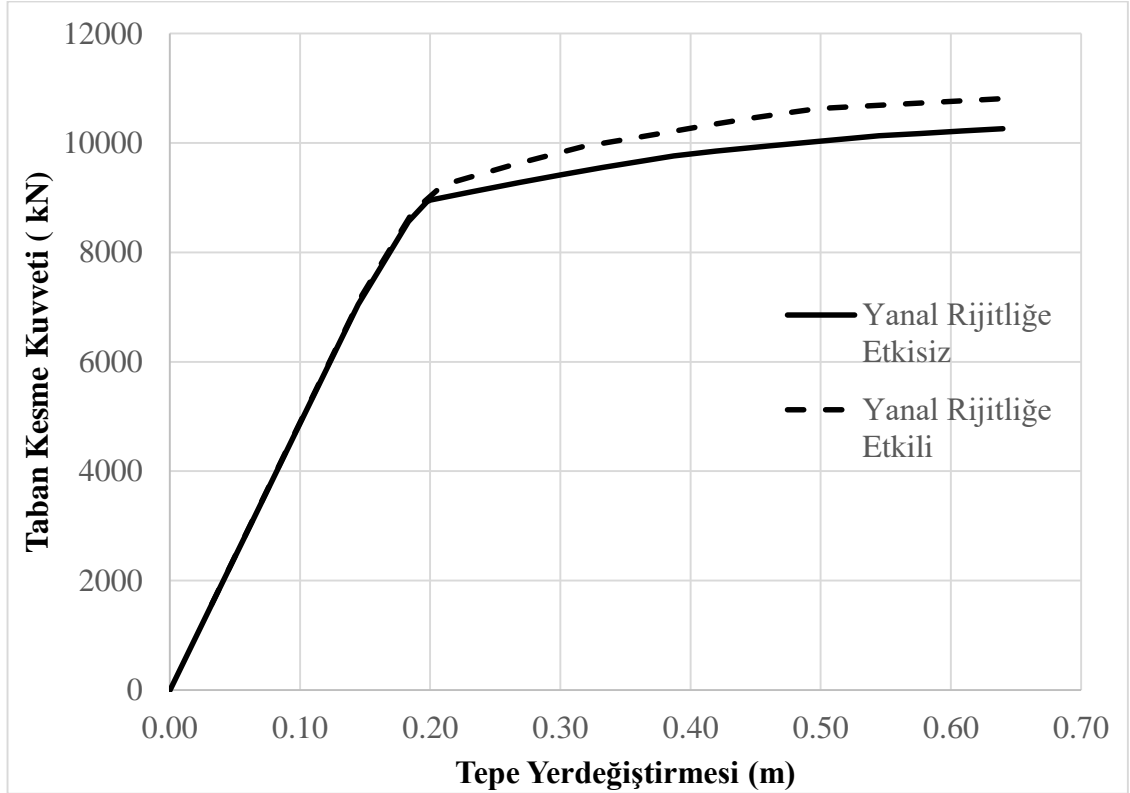
4.7. Düşey Yük Taşıyıcı Elemanların Sisteme Etkisi

Bu tez kapsamında tasarımı yapılan 4 ve 9 katlı yapılarda deprem yüklerinin yalnızca yatay yük taşıyıcı sistemler tarafından taşındığı varsayımı yapılmıştır. Fakat bununla birlikte düşey yük taşıyıcı sistemde kolonların temelden üst kata kadar olan sürekliliklerinden dolayı yanal rijitliğe katkıları vardır. Bundan dolayı da sistem performansını etkilemektedir. (Flores ve Charney 2014)

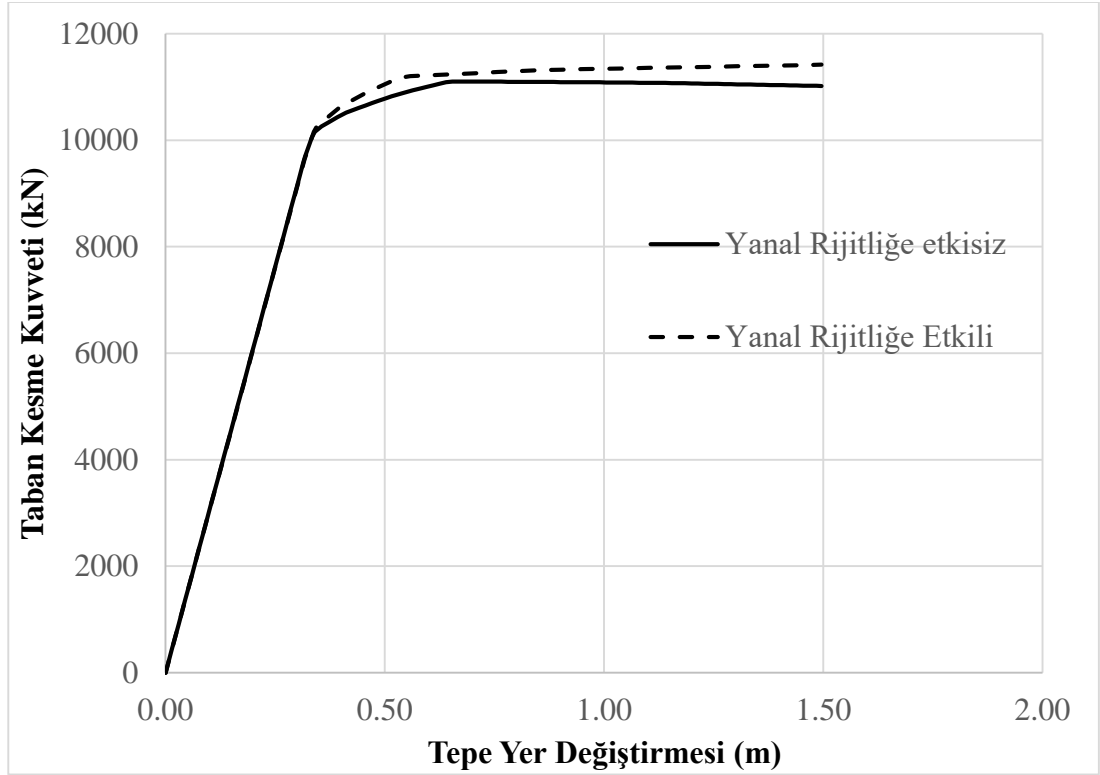
İkinci mertebe etkilerini sisteme dahil edebilmek için kullandığımız kolon modeli sisteme herhangi bir yanal rijitlik kazandırmamıştır. (Şekil 3.17) Her katta üst ve alt uçlarında mafsallı bulunmaktadır. Bununla birlikte düşey taşıyıcı elemanların performansa etkisini incelemek için bu kolonlar sürekli hale getirilmiştir.



Şekil 4.29. Düşey yük taşıyıcı elemanlarının rijitliğinin sisteme dahil edildiği model



Şekil 4.30. 4 katlı ŞDGT yapılan yapıdaki düşey taşıyıcı elemanların sisteme etkisi



şekil 4.31. 9 katlı şDGT yöntemi ile tasarlanan yapıda düşey taşıyıcı sistemin rijitliğe etkisi

şekil 4.32 ve şekil 4.33’de görüldüğü üzere düşey taşıyıcı sistemin, yatay yük performans analizinde yatay yük taşıma kapasitesini bir miktar artırmıştır. Statik itme analizinde yatay yük kapasitesi 4 katlı olan yapıda %5.4, 9 katlı yapı ise %2.7 artmıştır. Yük deplasman eğrisinin doğrusal bölgesinde bariz bir fark gözlemlenmemiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde teorik alt yapısı anlatılan ve bu teorik alt yapı ile uygulamaların yapıldığı PTPT yönteminden elde edilen sonuçlar sunulacaktır.

Daha önceki bölümlerde 4 ve 9 katlı iki yapı öncelikle ŞDGT yöntemi ile ardında PTPT yöntemi ile tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan bu yapılar karşılaştırmak amacı ile statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile performans analizlerine tabi tutulmuşlardır. Bu karşılaştırmalar altı ana bölümde incelenmiştir. Bu incelemeler sırasıyla; yanal yük dağılımlarının incelenmesi, itme eğrisi üzerinden tasarım taban kesme kuvvetlerinin kıyaslanması, görelî kat öteleme değerlerinin kıyaslanması, ileri hasar durumları ve düşey yük taşıyıcı elemanların sisteme etkisidir.

Bulgulardan görüldüğü üzere zaman tanım alanında analizleri yapılan 4 ve 9 katlı yapılar değerlendirildiği zaman PTPT yöntemi ile tasarlananların üst katlara kadar daha homojen görelî kat ötelenme değerleri verdiği görülmüştür. Her iki yöntemle tasarlanan yapılarında maksimum görelî kat ötelenme değerleri birbirine neredeyse eşit çıkmıştır. Bununla birlikte ŞDGT yöntemi ile tasarlanan yapının üst katlarda PTPT yöntemine göre daha düşük görelî kat ötelenme değerleri vermiştir. Görelî kat ötelenme değerleri ŞDGT yönteminde daha düşük olmasına rağmen PTPT yönteminin sonuçları daha homojendir. Bundan dolayı ŞDGT yöntemine göre tasarladığımız yapı tasarım üstü yani daha şiddetli bir depreme maruz kaldığında bu homojen olmayan dağılım yapıdaki hasarların belli bölgelerde toplanmasına yol açabilmektedir. Bununla birlikte PTPT yöntemi ile tasarlanan her iki yapıda da ileri seviye ötelenme değerine kadar ittirildiğinde verdiği görelî kat ötelenme değerleri homojenliğini korumuştur. Plastik mafsallaşmalar en üst katlara kadar homojen şekilde yayılmıştır. Bununla birlikte ŞDGT yöntemi ile tasarlananlarda ise alt katlarda plastik dönmeler üst katlara göre çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlarda 4 katlı ŞDGT yöntemi ile tasarlanan yapının tasarım üstü ötelenme oranında kat mekanizması ile yıkıldığı görülmektedir. Bununla birlikte PTPT yöntemi ile tasarlanan yapının sallanma mekanizması durumunu sağladığı ve temel kolonları hariç herhangi bir kolonda akma meydana gelmediği görülmektedir.

ŞDGT ve PTPT yöntemleri ile tasarlanan yapıların ağırlıklarının yakın olmasına karşın ŞDGT yapılan yapının maksimum taban kesme kuvveti daha yüksek çıkmıştır. ŞDGT yöntemi ile tasarlanan yapının daha rijit olduğu görülmektedir. Bundan dolayı PTPT yöntemi ile tasarlanan yapının deprem talepleri daha düşük çıkmıştır.

Son olarak ŞDGT yöntemi bir çok iterasyon içeren ve doğrusal olmayan analizler gerektiren bir yöntemdir. Bununla birlikte PTPT yöntemi ise basit el hesapları ile hesaplanabilecek düzeydedir. Görüldüğü gibi PTPT yönteminin bir diğer avantajı ise yöntemin uygulanabilirliğinin kolay olmasıdır. Ayrıca PTPT yönteminde tasarımın daha en başında hedef ötelenme değerini ve mekanizma durumunu parametre olarak kullandığımız için herhangi bir iterasyon gereksinimi olmamaktadır. Fakat ŞDGT yönteminde gerekli performans hedefine ulaşabilmek için tasarım defalarca kez tekrarlanması gerekebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bayat, M. R. 2010.** Performance-based plastic design of earthquake resistant steel structures: concentrically braced frames, tall moment frames, plate shear wall frames. *Doktora Tezi*, the Faculty of the Graduate School, The University of Texas, Arlington, USA.
- Bruneau, M., Uang, C.M., Sabelli, R. 1998.** Ductile Design of Steel Structures, The McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
- Chan-Anan, W., Leelaviwat, S., Goel, S. C. 2016.** Performance-based plastic design method for tall hybrid coupled walls. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25:681-699.
- Chao, S.H., Goel, S. C. 2005.** Performance-based seismic design of ebf using target drift and yield mechanism as performance criteria. American Institute of Steel Construction. Michigan.
- Chao, S. H., Goel, S. C., Lee, S. S. 2007.** A seismic design lateral force distribution based on inelastic state of structures. *Earthquake Spectra*, 23(3): 547–569.
- Chen, W. F., Sohal, I. 1995.** Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames, Springer-Verlag New York Inc., New York, USA, 509 pp.
- Dağ, R. 2014.** Betonarme binaların deprem etkileri altındaki davranışına dolgu duvarların etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Dalal, S. P., Dalal, P. D., Desai, A. K. 2017.** Effect of Increasing Ductility Factors on the Performance of a Steel Moment Resisting Frame Designed by the Performance Based Plastic Design Method attuned with Indian Code of Practice. 11. International Symposium of Plasticity and Impact Mechanics, 2016, India, New Delhi.
- Darılmaz, K. 2018.** Türkiye bina deprem yönetmeliğine kısa bakış betonarme sistemlerin modellenmesi, analizi ve boyutlandırılması. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Antalya Şubesi, [http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c047eaa5e409ee3_ek.pdf?tipi=1&tu ru=X&sube=21-\(21.05.2020\)](http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c047eaa5e409ee3_ek.pdf?tipi=1&tu ru=X&sube=21-(21.05.2020))
- Flores, F.X., Charney, F. A. 2014.** The influence of gravity column continuity on the collapse performance of special steel moment frames. Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 2014, Alaska, Anchorage.
- Goel, S. C., Chao, S.H. 2008.** Performance-based plastic design earthquake-resistant steel structures, John A. Martin & Associates, Inc., Los Angeles, USA, 248 pp .

Goel, S. C., Liao, W. C., Bayat, M. R., Chao, S. H. 2010. Performance-based plastic design (PBPD) method for earthquake-resistant structures: An overview. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 19:115–137.

Leelataviwat, S. 1998. Drift and yield mechanism based seismic design and upgrading of steel moment frames. *Doktora Tezi*, İnşaat Mühendisliği, Michigan.

Leelataviwat, S., Goel, S. C., Stojadinovic, B. 1999. Toward performance-based seismic design of structures. *Earthquake Spektra*, 15(3):435-461.

Liao, W.C. 2010. Performance-based plastic design of earthquake resistant reinforced concrete moment frames. *Doktora Tezi*, Civil Engineering, The University of Michigan, Michigan, USA.

Liao, W. C., Goel, S. C. 2012. Performance-based plastic design and energy-based evaluation of seismic resistant rc moment frame. *Journal of Marine Science and Technology*, 20(3):304-310.

Newmark, N.M., Hall, W.J. 1982. Earthquake spectra and design, Earthquake Engineering Research Institute., California, USA, 103 pp .

PEER. 2006. Pasific Earthquake Engineering Research Center, PEER Strong Motion Database. <https://ngawest2.berkeley.edu> (Erişim Tarihi: 05.04.2020) adresinden alınmıştır.

Sahoo, D.R., Chao, S.H. 2010. Performance-based plastic design method for buckling-restrained braced frames. *Engineering Structures*, 32(9):2950–2958.

SAP2000 v20.0.1 2018. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., California. <https://www.csiamerica.com/products/sap2000> (Erişim Tarihi: 20.04.2019) adresinden alınmıştır.

Shoebibi, S., Kafi, M. A., Gholhaki, M. 2017. New performance-based seismic design method for structures with structural fuse system. *Engineering Structures*, 132:745-760.

Sun, G., Wei, X., Gun, Q., Wang, Y. 2019. Performance-based plastic design of composite partially-restrained steel frame-reinforced concrete infill walls with concealed vertical slits. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18:1445-1474.

TBDY. 2018. Türk Bina Deprem Yönetmeliği. Afad ve Acil Durum Başkanlığı, Yayın No: 30364, Ankara.

Wong, M. B. 2009. Plastic Analysis and Design of Steel Structures, Elsevier Ltd. Oxford, UK, 237 pp.

Zhai, Z., Guo, W., Li, Y., Yu, Z., Cao, H., Bu, D. 2019. An improved performance-based plastic design method for seismic resilient fused high-rise buildings. *Engineering Structures*, 199:109650.

Zorlu, M., Akbaş, B., Shen, J.J., şeker, O. 2018. Contribution of gravity frames to seismic performance of steel moment resisting frames. International conference on earthquake engineering and seismology, 2018, Eskişehir.

EK 1 Hesaplarda Kullanılan Excel Tabloları

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
	FLOOR	h _j	w _j	h _j *w _j	Toplam_h _j *w _j	B _i	B _i -B _{i-1}	(B _i -B _{i-1})*h _i	C _{vi}	F _i	Shear	I	Y	0,75 Φ _U		0,02	
9		37,4	9315	348381	348381	1,000	1,000	37,4	0,256	3712,63	3712,63	V	1,2	0,5467 Φ _V		0,01	
8		33,4	12555	419337	767718	1,771	0,771	25,74138353	0,197	2856,98	6569,61	Toplam					
7		29,4	12555	369117	1136835	2,352	0,581	17,09033023	0,149	2160,87	8730,48	Φ _U	0,01		M _{0C} =	2937	
6		25,4	12555	318897	1455732	2,812	0,460	11,69654104	0,118	1711,29	10441,77	E	9,81				
5		21,4	12555	268677	1724409	3,179	0,366	7,842415575	0,094	1363,23	11805,0	Φ _V	1,564		0,25567	8,469	
4		17,4	12555	218457	1942866	3,465	0,286	4,983013455	0,073	1058,68	12863,68	V _W	0,132		F _V =	345000	
3		13,4	12555	168237	2111103	3,680	0,214	2,874106761	0,055	797,64	13661,32	R _V	1,1				
2		9,4	12555	118017	2229120	3,827	0,148	1,387778506	0,038	551,09	14212,41	Φ _U	1		φ	0,9	
1		5,4	12555	67797	2296917	3,911	0,084	0,452687329	0,021	304,55	14516,96	Φ _V	1		w+de	0,2655	
2	Basement	0	109755	2296917		25,998	3,911	109,4682564	1,001	14516,96					M _{0B} =	629,139	
3																	
4	FLOOR	F _i /10	F _i *h _i /10	B _i *M _{0B} =M _U	M _U /Φ	Z(required)	F _i *h _i	B _i *I _U									
5	9	371,3	13885,2	629,1	699,0	2026,2	13885,236	1,062699256									
6	8	285,7	9542,3	1114,0	1237,8	3587,8	95423,132	1,881721685									
7	7	216,1	6353,0	1479,7	1644,2	4765,7	63529,578	2,499472747									
8	6	171,1	4346,7	1769,5	1966,1	5698,7	43466,766	2,988839104									
9	5	136,3	2917,3	2000,0	2222,2	6441,3	29173,122	3,378284394									
0	4	105,9	1842,1	2180,2	2422,4	7021,5	18421,032	3,682620295									
1	3	79,8	1068,8	2315,1	2572,4	7456,1	10688,376	3,910553961									
2	2	55,1	518,0	2408,0	2675,6	7755,3	5180,246	4,06744664									
3	1	30,5	164,5	2460,8	2734,2	7925,1	1644,57	4,156533768									
4	Basement	1451,7	40637,9					27,62817185									

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet Fatih ARAT
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmangazi / 20.06.1994
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Atatürk Anadolu Lisesi / 2007-2011
Lisans : Ege Üniversitesi / 2011- 2017

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

İletişim (e-posta) : mehmetfatiharat@yandex.com

Yayımları :