

**TBDY 2018' E GÖRE FARKLI DÖŞEME TİPLERİNİN YÜKSEK
BİNA SINIFINDAKİ BİR YAPIDA DOĞRUSAL OLMAYAN
DAVRANIŞA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUNUS EMRE AKKAŞ

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
ARALIK - 2021**

**TBDY 2018' E GÖRE FARKLI DÖŞEME TİPLERİNİN YÜKSEK
BİNA SINIFINDAKİ BİR YAPIDA DOĞRUSAL OLMAYAN
DAVRANIŞA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUNUS EMRE AKKAŞ
ORCID ID: 0000-0002-4524-8224

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Danışman
PROF. DR. İLKER FATİH KARA
ORCID ID: 0000-0002-5663-1595

**MERSİN
ARALIK - 2021**

ÖZET

TBDY 2018' E GÖRE FARKLI DÖŞEME TİPLERİNİN YÜKSEK BİNA SINIFINDAKİ BİR YAPIDA DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞA OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Bu çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre yüksek bina sınıfına giren bir yapıda farklı döşeme tiplerinin doğrusal olmayan davranışa olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yüksekliği 72m olan ve Deprem Tasarım Sınıfı 1 (DTS) kategorisine giren yüksek bir betonarme yapının, yönetmelikte belirtilen Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) kriterleri altında farklı döşeme tiplerinde performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Farklı tipte oluşturulan bu döşeme çeşitlerinde, doğrusal olmayan davranışa olan etkiler irdelenmiştir. Aynı düşey taşıyıcı sistem içerisinde, betonarme yapılarda sıklıkla kullanılan kirişli plak döşemeli, mantar döşemeli, asmolen döşemeli ve döşemenin sistemle birlikte modellenmeyen (plak döşemeli) yapı sisteminden oluşan 4 farklı model dikkate alınmıştır. Düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanları doğrusal olmayan davranış özelliklerine göre tasarlanırken, döşemeler doğrusal elastik davranış gösteren elemanlar olarak dikkate alınmıştır. Döşemelerin çerçeve sistem ile birlikte modellendiği yapılarda, yarı-rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Analizlerde, yönetmelik gereği elemanların etkin kesit rijitliği göz önünde bulundurulmuştur. Her yapı sistemi için kullanılan beton ve donatıya ait malzeme seçimlerinde aynı dayanım özelliklerine yer verilmiştir. Yapının döşeme farklılığından dolayı değişkenlik gösteren öz ağırlıkları dışında uygulanan servis yükleri, yine her sistem için aynı özelliğe sahiptir. Analizlerde, süre ve dosya boyutu sorunlarından dolayı, 11x2 adet deprem ivme kaydı yerine, 7 adet farklı deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Tüm deprem seçimlerinde ve ölçeklendirme işlemlerinde deprem yönetmeliğinde belirtilen şartlara uyulmuştur. Kayıt seçimleri ve ölçeklendirme işlemlerinde Pasific Earthquake Engineering Records (PEER) web uygulamasından yararlanılmıştır. Elde edilen elastik ötesi şekil değiştirmeler birbirleri ile karşılaştırılmış ve farklı döşeme tiplerine göre performans düzeyleri belirlenmiştir. Karşılaştırmalarda 7 kayıttan elde edilen sonuçların en yüksek değerleri ve ortalamaları dikkate alınmıştır. Çalışmada, aynı deprem ivme kayıtları çerçevesinde, periyot değerleri, taban kesme kuvvetleri, göreceli kat ötelemeleri ile kiriş, kolon ve perde deformasyonlarının karşılaştırmalarına yer verilmiştir. 2. Mertebe etkilerin (P-Delta) de göz önüne alındığı Zaman Tanım Alanındaki (ZTA) doğrusal olmayan (Non-Linear) analizlerde, Sap2000 yazılımından yararlanılmıştır. Sonuç olarak, farklı döşeme tasarımlarının yapı sistemlerinde öngörülmesi güç olan doğrusal olmayan davranışlarında, ne tür farklılıklar oluşturabileceği, bu çalışmanın araştırma konusu olmuştur.

Anahtar Kelimeler: TBDY 2018, Doğrusal Olmayan Analiz, Yüksek Yapılar, Mantar Döşeme, Plak Döşeme, Dişli Döşeme

Danışman: Prof. Dr., İlker Fatih KARA, Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT FLOOR TYPES ON NONLINEAR BEHAVIOR IN A HIGH BUILDING CLASS ACCORDING TO TBDY 2018

The aim of this study is to investigate the effects of different flooring types on the non-linear behavior in a building classified as a tall building according to the Turkish Building Seismic Code (TBDY) 2018.

Performance comparisons of a high reinforced concrete structure with a height of 72 m and in the Earthquake Design Class 1 (DTS) category were carried out according to the criteria for evaluation and design according to deformation (δ_{GDT}) specified in the regulation in different types of flooring. The effects on the non-linear behavior of these floor coverings produced in different types were examined. Within the same vertical support system, 4 different models, commonly used in reinforced concrete structures, consisting of conventional slab system, ribbed hardy slab system, flat slab system and non-modeled floor conventional slab system were considered. While the vertical and horizontal structural elements are designed according to nonlinear behavior, slabs are considered to be elements with linear elastic behavior. A semi-rigid diaphragm is assumed in the structures where the floors are modeled along with the framework system. The effective cross-sectional stiffness of the elements was taken into account in the verifications in accordance with the regulation. When selecting the material for the concrete and reinforcement, the same strength properties are taken into account for every construction system. Aside from the building's own weights, which vary due to differences in slab type, the applied service loads have the same characteristics for each system. In the analysis, 7 different earthquake acceleration records were used instead of 11x2 earthquake acceleration records due to timing and file size issues. The conditions of the earthquake ordinance were observed from TBDY 2018 for all earthquake selections and scaling methods. The Pacific Earthquake Engineering Records (PEER) web application was used for record selection and scaling processes. The inelastic deformations obtained were compared with each other and the performance values were determined according to the different floor covering types. For comparisons, the maximum and mean values of the results from 7 recordings were considered. The study includes comparisons of period values, base shear forces, relative story drift, and beam, column, and wall deflections within the same seismic acceleration records. The software Sap2000 was used for nonlinear analysis in the time history domain (ZTA), where also the 2nd order (P-Delta) effects were taken into account. The subject of research in this study is therefore what differences can arise in the non-linear behavior of different floor designs, which is difficult to predict in building systems.

Keywords: TBDY2018, Nonlinear, Tall Buildings, Conventional Slab, Ripped Hardy Slab, Flat Slab.

Advisor: Prof. Dr., İlker Fatih KARA, Mersin University, Department Of Civil Engineering, Mersin.

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunun çalışılmasında bana tanıdığı fırsat ve her durumda bilgisiyle, tecrübesiyle, mühendislik etiğiyle kattığı kıymetli desteklerinden dolayı, danışman hocam Prof. Dr. İlker Fatih Kara' ya, tezimin hazırlanma sürecinde beni her konuda destekleri ile motive eden ve motive kaynağım olan aileme, meslektaşım olmasından gurur duyduğum çalışma arkadaşlarıma ve mühendisliğin gelişimine katkı sağlayan tüm değerli meslektaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmanın, geçmiş çalışmaların bize sunduğu katkılar gibi, gelecek mühendislik çalışmalarına kısmen de olsa fayda getirmesini temenni ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR VE SİMGELER	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Döşeme Tipleri ve Doğrusal Olmayan Davranışlar İle İlgili Literatür Özeti	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) 2018'e Göre Tasarım Esasları	9
3.2. TBDY 2018 ve Çeşitli Yönetmeliklerde Yüksek Yapılar ve Tasarım Yaklaşımları	12
3.3. Deprem Etkisi altındaki Yapı Sistemlerinde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranış Biçimleri	17
3.4. Yapı Sistemlerinde Deprem Analizi Yöntemleri	17
3.4.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri	17
3.4.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	17
3.4.1.2. Mod Birleştirme Yöntemi (Tepki Spektrumu Yöntemi)	18
3.4.1.3. Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi	19
3.4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	21
3.4.2.1. Statik Artırımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Tek Modlu İtme)	21
3.4.2.2. Çok Modlu Artırımsal İtme Analizi Yöntemi	21
3.4.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	22
3.5. Doğrusal Olmayan Davranışta Performans Hedefleri	24
3.5.1. Şekil Değiştirme Sınır Değerleri	25
3.6. Beton ve Donatı Çeliğinde Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi	27
3.6.1. Beton İçin Malzeme Modelleri	28
3.6.1.1. Sargısız Beton Modeli	28
3.6.1.2. Sargılı Beton Modeli	28
3.6.2. Donatı Çeliği Modeli	31
3.7. Etkin Kesit Rijtilikleri	32
3.7.1. Doğrusal Olmayan Modellemelerde Etkin Kesit Rijtilikleri	32
3.8. Plastik Mafsal Kavramı	34
3.8.1. Yığılı Plastik Mafsal Modeli	35
3.8.2. Yayılı Plastik Mafsal Modeli	37
3.9. Döşeme Analiz Modelleri	38
3.9.1. Rijit Diyafram Modeli	38
3.9.2. Yarı - Rijit Diyafram Modeli	39
3.9.3. Esnek Diyafram Modeli	40
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	42
4.1. Sayısal Çalışma	42
4.1.1. Sistemlerde Kullanılan Ortak Veriler	43
4.1.1.1. Yapı Özellikleri	44
4.1.1.2. Malzeme Özellikleri	44
4.1.1.3. Servis Yükleri	47
4.1.1.4. Depremsellik Bilgileri	47

4.1.1.5. Kesit Özellikleri	48
4.1.1.6. Mafsal Tanımlanması ve Etkin Kesit Rijitlikleri	50
4.1.1.7. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmeleri	53
4.1.1.8. Analiz Kabulleri ve Seçenekleri	56
4.1.2. Sistem 1, Kirişli Plak Döşemeli Yapı Sistemi	57
4.1.3. Sistem 2, Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi	69
4.1.4. Sistem 3, Mantar Döşemeli Yapı Sistemi	81
4.1.5. Sistem 4, Döşeme Modelsiz (Plak Döşeme) Yapı Sistemi	92
4.2. Doğrusal Analiz Karşılaştırmaları	103
4.2.1. Yapı Ağırlıkları	103
4.2.2. Yapı Periyotları	104
4.2.3. DD1 ve DD2 (Deprem Düzeylerinde) İçin Taban Kesme Kuvvetleri	105
4.3. Doğrusal Olmayan Analiz Karşılaştırmaları	106
4.3.1. Taban Kesme Kuvvetleri	106
4.3.2. Göreli Kat Öteleme Oranları	107
4.3.3. Kiriş Dönme Değerleri	109
4.3.4. Kolon – Perde, Şekil Değiştirme (Uzama – Kısılma) Değerleri	111
4.3.5. Perde Elemanlardaki Kesme Kuvvetleri	113
4.3.6. Enerji Diyagramları	114
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	116
KAYNAKLAR	118
ÖZGEÇMİŞ	120

TABLOLAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. TBDY 2018 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) [13]	9
Tablo 3.2. TBDY 2018 Kısa ve 1sn 'lık Periyot Yerel Zemin Etki Katsayıları [13]	10
Tablo 3.3. TBDY 2018 Deprem Düzeyleri ve Performans Seviyeleri. [13]	11
Tablo 3.4. TBDY 2018, Eşdeğer Deprem Yüğü Uygulama Sınırları [13]	18
Tablo 3.5. TBDY 2018, BYS1 Yapı Sistemlerinde Tasarım Aşamaları ve Performans Hedefleri	24
Tablo 3.6. TBDY 2018 Donatı Sınıfına Göre Akma - Kopma Dayanımları ve Birim Şekil Değiştirme Değerleri [13]	32
Tablo 3.7. TBDY 2018 'de Etkin Kesit Rijitlikleri [13]	32
Tablo 4.1. DD1' e Göre Ölçeklendirilmesi Yapılmış 11 Kayıt ve Ölçek Katsayıları	54
Tablo 4.2. Plak Döşemeli Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Etkisinde Oluşan Kuvvetler	59
Tablo 4.3. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri ve Performans Seviyeleri	64
Tablo 4.4. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri ve Performans Seviyeleri	64
Tablo 4.5. Plak Döşemeli Yapı Sisteminde Kiriş Elemanlarda Oluşan Ortalama Dönme Değerleri	65
Tablo 4.6. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perde elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	66
Tablo 4.7. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Değerleri ve Performans Bölgeleri	66
Tablo 4.8. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perde elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	66
Tablo 4.9. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	67
Tablo 4.10. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perde Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri	68
Tablo 4.11. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Etkisinde Oluşan Kuvvetler	71
Tablo 4.12. Asmolen Döşeme Yapı Sistemi "X" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri	76
Tablo 4.13. Asmolen Döşeme Yapı Sistemi "Y" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri	76
Tablo 4.14. Asmolen Döşemeli Yapı Sisteminde Kiriş Elemanlarda Oluşan Ortalama Dönme Değerleri	77
Tablo 4.15. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında S420 Donatısı Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	78
Tablo 4.16. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	78
Tablo 4.17. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında C35 Sargılı Beton Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	79
Tablo 4.18. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	79
Tablo 4.19. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perde Eleman Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri	80
Tablo 4.20. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Etkisinde Oluşan Kuvvetler	83

Tablo 4.21. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri	88
Tablo 4.22. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri	88
Tablo 4.23. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	89
Tablo 4.24. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	89
Tablo 4.25. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	90
Tablo 4.26. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	90
Tablo 4.27. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perde Eleman Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri	91
Tablo 4.28. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Deprem Düzeylerinde Oluşan Kuvvetler	94
Tablo 4.29. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "X" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri	99
Tablo 4.30. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "Y" Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri	99
Tablo 4.31. Döşeme Modelsiz Yapı Sisteminde Kiriş Elemanlarda Oluşan Ortalama Dönme Değerleri	100
Tablo 4.32. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Perde Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	101
Tablo 4.33. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	101
Tablo 4. 34. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Perde Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	101
Tablo 4.35. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri	102
Tablo 4.36. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Perde Eleman Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri	102

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (50 yılda aşılma olasılığı %10) [14]	13
Şekil 3.2. Amerika Birleşik Devletleri Deprem Tehlike Haritası (MCE) [16]	14
Şekil 3.3. Avrupa Deprem Tehlike Haritası (50 yılda aşılma olasılığı %10) [18]	15
Şekil 3.4. Japonya Deprem Tehlike Haritası (Sismik Bölge Katsayıları) [20]	16
Şekil 3.5. Eşdeğer Deprem Yüğü [21]	18
Şekil 3.6. Mod Birleştirme Yöntemi [22]	19
Şekil 3.7. Yer Hareketinden Dolayı Sistemde Oluşan Yer Değiştirme [23]	20
Şekil 3.8. Statik İtme Şekli ve Kapasite Eğrisi [24]	21
Şekil 3.9. Yapı Sistemlerinde 2. Mertebe Etkiler [25]	22
Şekil 3.10. Örnek bir Deprem İvme Kaydı. El Centro Depremi, Kuzey-Güney Birleşeni	23
Şekil 3.11. TBDY 2018’de Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri [13]	25
Şekil 3.12. Yapılarda Toplam Kat Ötelemesi ve Göreli Öteleme [26]	27
Şekil 3.13. Betonda Sargı Etkisi [27]	29
Şekil 3.14. TBDY 2018’de Sargılı ve Sargısız Beton Modeli [13]	29
Şekil 3.15. TBDY 2018’de Donatı Çeliği Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi [13]	31
Şekil 3.16. Moment – Eğrilik İlişkisi [28]	33
Şekil 3.17. Betonarme Yapılarda Arzu Edilen Mekanizma Oluşum Biçimi [29]	34
Şekil 3.18. Yığılı Plastik Mafsal Modeli [28]	35
Şekil 3.19. Betonarme Bir Kesite Ait Tipik Moment – Eğrilik İlişkisi [30]	36
Şekil 3.20. Eğilme Momenti – Dönme İlişkisi ve Performans Noktaları	37
Şekil 3.21. Yayılı Plastik Mafsal Modeli [31]	38
Şekil 3.22. İdeal Rijit Diyafram Modelinde Düşey Elemanlara Aktarılan Tipik Yük Dağılımı [32]	39
Şekil 3.23. Yarı – Rijit Diyafram Modeli [32]	40
Şekil 3.24. Esnek Diyafram Modelinde Tipik Yük Dağılımı [32]	40
Şekil 3.25. ASCE 7-16’ da Esnek Diyafram Kabulü [15]	41
Şekil 4.1. Tipik Kolon Aplikasyon Planı	43
Şekil 4.2. Perde ve Kolon Elemanlar İçin Kullanılan C35 Sargılı Beton Modeli	45
Şekil 4.3. Kiriş Elemanlar İçin Kullanılan C35 Sargılı Beton Modeli	45
Şekil 4.4. C35 Sargısız Beton Modeli	46
Şekil 4.5. Donatı Modeli	46
Şekil 4.6. Sismik Tehlike Haritası Detay Raporundan Alınan DD1 Depremi Elastik Tasarım Spektrumu	48
Şekil 4.7. 70x70 cm Kolon Kesiti (Section Designer)	49
Şekil 4.8. 30x360 cm Perde Kesiti (Section Designer)	50
Şekil 4.9. 40x60 cm Kiriş Kesiti (Section Designer)	50
Şekil 4.10. 40x260 cm Perde Kesit (lif) Hücresi Tanıtımı	51
Şekil 4.11. 70x70 Kolon Kesit (lif) Hücresi Tanıtımı	52
Şekil 4.12. 30x60 Kirişi Moment-Eğrilik İlişkisi	52
Şekil 4.13. Kiriş Elemanı Plastik Mafsal Tanımı	53
Şekil 4.14. Cape Mendocino Yatay Bileşen 2	54
Şekil 4.15. Chichi Taiwan Yatay Bileşen 1	55
Şekil 4.16. Darfield Newzeland Yatay Bileşen 2	55
Şekil 4.17. İran Tabas Yatay Bileşen 1	55

Şekil 4.18. Kocaeli Düzce Yatay Bileşen 2	55
Şekil 4.19. Lomapieta Yatay Bileşen 2	55
Şekil 4.20. Northridge Yatay Bileşen 1	56
Şekil 4.21. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kalıp Planı	57
Şekil 4.22. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perspektif Görünüm	58
Şekil 4.23. Plak Döşemeli Yapı Sistemi X ve Y yönü Periyot Değerleri ve Deformasyon Şekilleri	59
Şekil 4.24. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)	60
Şekil 4.25. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)	60
Şekil 4.26. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	61
Şekil 4.27. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Değerleri	61
Şekil 4.28. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	62
Şekil 4.29. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	62
Şekil 4.30. Plak Döşemeli Yapı Sisteminde "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	63
Şekil 4.31. Plak Döşemeli Yapı Sisteminde "Y" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	63
Şekil 4.32. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kiriş Performans Bölgeleri	65
Şekil 4.33. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Kalıp Planı	69
Şekil 4.34. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perspektif Görünüm	70
Şekil 4.35. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X" ve "Y" yönü Periyot Değerleri	71
Şekil 4.36. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri	72
Şekil 4.37. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri	72
Şekil 4.38. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	73
Şekil 4.39. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	73
Şekil 4.40. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	74
Şekil 4.41. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	74
Şekil 4.42. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	75
Şekil 4.43. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	75
Şekil 4.44. Asmolen Döşeme Sistemi Kiriş Performans Bölgeleri	77
Şekil 4.45. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Kalıp Planı	81
Şekil 4.46. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perspektif Görünüm	82
Şekil 4.47. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi X ve Y yönü Periyot Değerleri	83
Şekil 4.48. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri	84
Şekil 4.49. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri	84
Şekil 4.50. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	85
Şekil 4.51. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	85
Şekil 4.52. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	86
Şekil 4.53. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	86
Şekil 4.54. Mantar Döşemeli Yapı Sisteminde "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	87
Şekil 4.55. Mantar Döşemeli Yapı Sisteminde "Y" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	87
Şekil 4.56. Döşeme Modelsiz Yapı sistemine Ait Kalıp Planı	92
Şekil 4.57. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemine Ait Perspektif Görünüm	93

Şekil 4.58. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi X ve Y yönü Periyot Değerleri	94
Şekil 4.59. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri	95
Şekil 4.60. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri	95
Şekil 4.61. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	96
Şekil 4.62. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	96
Şekil 4.63. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	97
Şekil 4.64. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	97
Şekil 4.65. Döşeme Modelsiz Yapı Sisteminde "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	98
Şekil 4.66. Döşeme Modelsiz Yapı Sisteminde "Y" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri	98
Şekil 4.67. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Kiriş Performans Bölgeleri	100
Şekil 4.68. Yapı Ağırlıkları (kN)	103
Şekil 4.69. "X" Doğrultusu Yapı Periyotları (sn)	104
Şekil 4.70. "Y" Doğrultusu Yapı Periyotları (sn)	104
Şekil 4.71. "X" Doğrultusu DD1 için Taban Kesme Kuvvetleri (kN)	105
Şekil 4.72. "Y" Doğrultusu DD1 için Taban Kesme Kuvvetleri (kN)	105
Şekil 4.73. "X" Doğrultusu 14 Kayıt Ortalaması Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)	106
Şekil 4.74. "Y" Doğrultusu 14 Kayıt Ortalaması Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)	106
Şekil 4.75. "X" Doğrultusu 14 Kaydın Ortalaması Görelî Kat Öteleme Oranları	107
Şekil 4.76. "Y" Doğrultusu 14 Kaydın Ortalaması Görelî Kat Öteleme Oranları	108
Şekil 4.77. 14 Kayda Ait Maksimum Dönme Değerlerinin, Tüm Kiriş Elemanlarda Oluşturduğu Göçme Bölgesi Sayısı	109
Şekil 4.78. 14 Kayda Ait Maksimum Dönme Değerlerinin, Tüm Kiriş Elemanlarda Oluşturduğu İleri Hasar Bölge Sayısı	110
Şekil 4.79. 5 Adet Kiriş Elemanında, 14 Kaydın Ortalamasının Oluşturduğu Göçme Bölgesinde Olan Kiriş Elemanı Sayısı	110
Şekil 4.80. Perde Grubu 1 Ortalama Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri	112
Şekil 4.81. Perde Grubu 2 Ortalama Uzama Değerleri	112
Şekil 4.82. Kesme Kuvvetleri Etkisindeki Perde Elemanlarda Göçme Durumu Sayısı	113
Şekil 4.83. Çevrimsel Sönümün Toplam Enerjiye Olan Oranı	115

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
ASCE	American Society Of Civil Engineers
BSL	Building Standart Law
BYS	Bina Yükseklik Sınıfı
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD-1	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-3	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD-4	50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	Dayanım Göre Tasarım
DTS	Deprem Tasarım Sınıfı
GÖ	Göçme Öncesi
IBC	International Building Code
İYBDY	İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği
KH	Kontrollü Hasar
KK	Kesintisiz Kullanım
PEER	Pasific Earthquake Engineering Records
SH	Sınırlı Hasar
ŞGDT	Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
UBC	Uniform Building Code
ZTA	Zaman Tanım Alanı
d_b	Boyuna donatı çapı (çekmede ortalama)
$(EI)_e$	Yığılı plastik davranışına göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdenin etkin kesit rijitliği
G	Sabit yük etkisi
g	Yerçekimi ivmesi [m/s ²]
I	Bina Önem Katsayısı
L_p	Plastik mafsallık boyu [m]
L_s	Kesme açıklığı [m]
M_y	Etkin akma momenti [kNm]
PGA	En Büyük Yer İvmesi
PGV	En Büyük Yer Hızı
Q	Hareketli yük etkisi
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
V_{s30}	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalması sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen

$\varepsilon_s^{(KH)}$	sargılı beton birim kısalması sınırı
$\varepsilon_c^{(SH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
$\varepsilon_s^{(SH)}$	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen beton birim kısalması sınırı
ε_{su}	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi sınırı
ε_{sy}	Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
f_c	Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
f_{cc}	Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{co}	Sargılı beton dayanımı
f_e	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{su}	Etkili sargılama basıncı
f_{sy}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{yw}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
$f_{(ce)}$	Enine donatının akma dayanımı
$f_{(ck)}$	Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı [MPa]
$f_{(ye)}$	Betonun karakteristik basınç dayanımı [MPa]
$f_{(yk)}$	Çeliğın ortalama (beklenen) akma dayanımı [MPa]
$\beta_{tE}^{(x)}$	Çeliğın karakteristik akma dayanımı [MPa]
Φ_U	Eşdeğır taban kesme kuvveti büyütme katsayısı
Φ_y	Göçme öncesi eğrilik
k_e	Akma eğriliğı
$\theta_p^{(GÖ)}$	Sargılama Etkinlik Katsayısı
$\theta_p^{(KH)}$	Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
$\theta_p^{(SH)}$	Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
θ_y	Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı [rad]
γ_E	Akma durumu için yerdeğiştirmiş eksen dönmesi [rad]
$\rho_{x,y}$	Eşdeğır taban kesme kuvveti büyütme katsayısının belirlenmesinde kullanılan ampirik katsayı
ω_{we}	İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı
	Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı

1. GİRİŞ

Depremlerin bilinmeyen, öngörülemeyen ve karmaşık yapısı, mühendislerin üstesinden gelmesini gerektiren zorlu problemleri de beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla yapılara deprem anında etki edecek dinamik zorlamalara karşı, birtakım çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Yaşanan tecrübeler göstermiştir ki, oluşturulan taşıyıcı sistemlerin servis ömrü boyunca sadece kendi düşey ağırlıklarına göre değil, deprem ve rüzgar, hatta bazı durumlarda ani darbe etkilerine karşı da tasarlanması gerektiği sonucunu doğurmuştur. Bu gibi sebeplerden dolayı, yapılarda taşıyıcı sistem seçimi, malzeme ve hesap yöntemlerine karar verilmesi, yapıya etki edecek dış kuvvetlerin belirlenmesi gibi tasarım aşaması kriterleri oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

Gelişen teknoloji, mühendislik çalışmalarında önemli bir yol kat etme aracıdır. Bu gelişim, yapıların 2 boyutlu ve basit kabullerin düşünülerek yapıldığı hesaplamaların yerini, bilgisayar yazılımlarının da desteğiyle kompleks geometrili yapılarda çok daha hassas, güvenilir ve pratik çözümlere imkan sunmaktadır. Karmaşık geometrili yapıların insan gücü ile yapılan analitik yöntemleri, oldukça uzun süre zarfına ihtiyaç duymaktadır. Olası bu zaman kayıplarına karşı geliştirilen bilgisayar yazılımları, bu dezavantajı daha hızlı ve pratik bir biçimde ele alarak, çözümleri saatler, hatta dakikalar mertebesine indirebilmektedir. Bu teknolojik ilerlemeler, çeşitli ülke yönetmeliklerini de destekleyerek, bunların gelişiminde önemli bir paya sahip olmuştur. Böylece karmaşık yapıdaki taşıyıcı sistemlerin teorik çözüm yapısı, pratikteki yapı davranışlarına daha çok benzeşerek, yapının gerçek davranışındaki uyumun artmasına ve hataların minimize edilmesinde büyük katkı sağlar.

Yazılım modellemelerinin, önem arz eden bir diğer katkısı da, tarihte yaşanmış depremlerin yapılara olan birebir etkisini benzeşim yapabilecek özelliklere sahip olmasıdır. Bu etkiler modellenirken, sadece yapının doğrusal davranış hesapları içinde sınırlı kalınmayıp, aynı zamanda geri dönüşü olmayan hasarların da oluşacağı kabulü yapılabilmektedir. Dolayısıyla yapılara uygulanan gelişmiş analiz yöntemleri ile deprem enerjisinin kontrollü şekil değiştirmeler ile sönmülenip sönmülenemediği ve süneklilik taleplerinin karşılanıp, karşılanamadığı gibi taşıyıcı sistem için önem arz eden bulgulara ulaşma imkanı sağlar.

Teknolojik gelişimlerden fayda sağlanabilecek bir diğer husus ise döşeme sistemlerinin, çerçeve yapı elemanları ile birlikte modellenenebilmesidir. Yapı sistemlerinde mimari veya statik gereksinimlere göre birçok farklı döşeme sistemleri kullanılabilir. Geleneksel yapı çözümlerinde genelde döşemelerin deforme olmadan davranış gösterdiği düşünülen, rijit diyafram davranış kabulü hakimdir. Rijit diyafram davranışının kabul gördüğü hesaplamalarda, yatay yüklemeleri karşılayacak olan düşey elemanlara, rijitlikleri oranında kuvvet dağılımı oluşmaktadır. Bu sayede çözümlerinde döşeme sistemine ait birçok bilinmeyen sayısı

azalmakta ve sonuçlar hızlı bir şekilde elde edilebilmektedir. Bu durum, çoğu betonarme ve kompozit malzemeli döşeme sistemleri için yeterli bir yaklaşım olabilmektedir. Fakat sürekli güncellenen hesap yazılımları ve döşeme sistemleri üzerine geliştirilen çalışmalar, yapının düşey taşıyıcı eleman rijitlikleri, döşemede kullanılan malzeme kesitleri ve yapının plan üzerindeki geometrik yapısı gibi değişkenlerin, rijit davranış kabulünün her durumda doğru bir yaklaşım olmadığını göstermiştir.

Bu çalışmada döşeme modellerinin, yapının doğrusal olmayan dinamik davranışa olan etkileri incelenmiştir. Modellemelerde, yapı sektöründe sıklıkla kullanılan kirişli plak döşeme, asmolen döşeme ve mantar döşeme sistemleri kullanılmıştır. Önceki yapılan çalışmaların genelinde, aynı düşey taşıyıcı sistem elemanlarda kullanılan farklı döşeme tiplerinin doğrusal analiz yöntemleriyle karşılaştırılmalarına yer verilmiştir. Bu çalışmada hesaplar detaylandırılarak doğrusal olmayan zaman tanım analizleri kullanılmıştır. Hesaplamalar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2108) yönetmeliği kriterleri eşliğinde hazırlanarak, hem güncel deprem yönetmeliğinden, hem de yapıların tahmin edilmesi zor olan doğrusal olmayan davranış şekline yararlanılmıştır. Böylece hesaplamalarda gelişmiş yönetmelik, donanım ve yazılım destekleriyle daha detaylı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu çalışma aynı zamanda, önceki doğrusal analiz yöntemleri ile yapılan çalışmalara da destek niteliği taşımaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Döşeme Tipleri ve Doğrusal Olmayan Davranışlar İle İlgili Literatür Özeti

TBDY 2018'e göre tasarlanan yüksek yapı sistemleri başta olmak üzere, farklı döşeme tiplerinin, yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlarına olan etkileri üzerine yapılmış çalışmalar sınırlı düzeyde bulunmaktadır. Yine de konuyla ilgili literatürde ulaşılabilen ve yakınlık gösteren çalışmalar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Uzun (2014) çalışmasında, 3 Bodrum, 1 zemin ve 29 normal kat olmak üzere, toplamda 33 katlı yüksek bir betonarme yapıda, farklı döşeme tiplerinin etkisini Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007' ye göre yapılan doğrusal analiz sonuçlarını göz önünde bulundurarak irdelemiştir. Çalışmasında, kirişli plak döşeme, bir doğrultuda çalışan dişli döşeme, kirişsiz plak döşeme, bina çevresinde kirişleri bulunan, kirişsiz plak döşeme ve rijit bodrum katı bulunan kirişli plak döşeme sistemi olmak üzere toplamda 5 Farklı döşeme tipini ele almıştır. Döşemelerin kabuk (Shell) eleman olarak modellendiği çalışmada, her kat için rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Yapının, DBYBHY 2007'ye göre 1. Derece deprem bölgesinde ve Z2 zemin sınıfına sahip olduğu düşünülmüştür. Yapı ağırlıklarının, taban kesme kuvvetlerinin, mod şekillerinin, kat deplasmanlarının ve göreceli kat ötelemelerinin karşılaştırıldığı çalışmada, yapı ağırlığı en büyük olan asmolon döşeme sisteminin, en yüksek taban kesme kuvveti değerini aldığı, yine yapı ağırlığına bağlı olarak en az taban kesme kuvveti değerinin, kirişsiz plak döşemeye ait olduğu ifade edilmiştir. Periyot ve deplasman değerleri en düşük olan modelin kirişli plak döşeme, en yüksek olduğu sistemin ise kirişsiz plak döşemeye ait olduğu, bunun sebebinin diğer döşeme tiplerine nazaran daha az rijitliğe sahip olmasından kaynaklı olduğunu belirtmiştir. Betonarme yüksek bir yapıda, döşeme tipi seçiminin, yapının deprem davranışında önemli ölçüde değişime sebebiyet verdiği sonucuna ulaşılmıştır [1].

Ahmed ve Gunesekaran (2014) çalışmalarında, betonarme çerçevelerin sismik performansında döşemelerin etkisini araştırmışlardır. Kat yüksekliği 3,5 m, 5 katlı ve 4 açıklıklı çerçeve sistemden oluşan bir yapıda, örnek olarak seçilen orta akstaki bir çerçeveye ait kolon kiriş birleşim bölgesinde, analitik ve deneysel çalışmalar yapmıştır. Deneysel çalışma, birleşim bölgesine ait kesitlerin yarısı olacak şekilde ölçeklendirilmiştir. Test düzeneği iki tip birleşimi içermektedir. 1. Tip birleşim, tabliye seviyesinin hem altında hem de üstünde sürekliliği olan ve toplamda 1.70 m yüksekliğe sahip bir kolona, ilgili doğrultuda bağlanan kirişlerden oluşmaktadır. Diğer doğrultuda herhangi bir kiriş bağlantısı yapılmamıştır. 2. Tip Birleşimde ise, 1. Tip birleşime ek olarak 63 mm kalınlığında betonarme plak döşeme eklenmiştir. Deney düzeneği 2x2m' lik plan ölçülerine sahiptir. Deney sonucunda her iki sistemin de sünek davranış gösterdiği belirtilmiştir. Kiriş ve döşemelerin mekanizma durumuna geçtiği durumda kolon

hasarlarının ince çatlaklar seviyesinde olduğu belirtilmiştir. Döşemeye sahip olan 2. Tip birleşimde ise kirişlerin, sadece kirişten oluşan 1. Tip birleşime göre %30 oranlarında, daha az uzama ve kılma yaptığı gözlenmiştir. Buna sebep olan durumun, döşemelerde oluşan çekme gerilmelerinin, kiriş mukavemetindeki artışa sebep olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Deney düzeneği birleşimleri bilgisayar modellemeleri kullanılarak, doğrusal olmayan analitik hesaplamalarla birlikte incelenmiş ve sonuçların benzer olduğu gözlemlenmiştir. Modellenen sistemdeki deformasyonlar artırıldıkça, iki tip birleşimin kirişlerinde oluşan uzama ve kılma değerleri farkının daha çok belirgin hale geldiği belirtilmiştir. Ayrıca söz konusu birleşimlerin lokal olarak değerlendirilmesinden çıkılıp, tüm çerçeve sistem ile birlikte modelde oluşturulmuştur. Modellenen tüm çerçeve sistemine, El Centro ve Northridge depremleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Çerçeve sistem, döşemeli ve döşemesiz olarak dikkate alınmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Taban kesme kuvvetlerinin, döşemeli sistemde %28 daha yüksek çıktığının, aynı şekilde kat kesme kuvvetlerinin de döşemeli sistemin rijit davranışından dolayı, daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, düşey elemanlarda oluşan eğilme momentleri ve eksenel kuvvet çiftleri için de benzer sonuçlar elde etmiştir. Yazarlar, yapılarda döşeme etkisini ihmal etmenin, yapının dayanımını önemli ölçüde göz ardı etmek olduğunu ve yapının mekanizma oluşumunda öngörülen biçimdeki davranışının, gerçek davranışından uzaklaşabileceği sonucuna varmıştır [2].

Tin ve Htun (2018) çalışmalarında, 17 katlı, kirişli plak döşeme ve çevresi kirişler ile dönülmüş kirişsiz döşeme sistemi arasında doğrusal tepki spektrumu analizlerini kullanarak karşılaştırmalar yapmışlardır. Karşılaştırılmalarda orta derece ve yüksek derece deprem tehlike düzeyine sahip bölgeler seçilmiştir. Yapı periyotları, taban kesme kuvvetleri, en büyük kat ötelemeleri ve göreceli kat ötelemelerinin karşılaştırıldığı çalışmada, kirişsiz döşeme sisteminin, kirişli döşemeye göre en yüksek kat ötelemesinde, yüksek derece deprem bölgesinde %30.93, orta derece deprem bölgesinde %26.93 oranında, göreceli kat ötelemelerinde %41,29 ve %28 oranında, taban kesme kuvvetlerinde %49.62 ve %49.58 oranında, yapı periyot değerlerinde ise %30,77 ve %35 oranında yüksek çıkmıştır [3].

Al Harash (2011) yaptığı çalışmada, 20 farklı boşluklu döşeme tipini, rijit, elastik ve elastik olmayan modelleme yaklaşımı ile irdelemiştir. Farklılıkları, boşlukların kat planı üzerindeki konumları belirlemektedir. Toplam 12m yükseklik, 3 kata ve 18 m genişliğe sahip yapıda, 72m ve 54 m olmak üzere 2 farklı tipte plan uzunluğu dikkate alınmıştır. IDARC2 yazılımının kullandığı çalışmada, toplamda 129 adet farklı diyafram kabulü üzerinde durulmuştur. Doğrusal olmayan hesaplamalarda, statik itme ve 3 farklı tip deprem kaydını içeren doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri tercih edilmiştir. Özellikle taban kesme kuvveti, tepe deplasmanları ve döşemelerin düzlem içi deformasyonları üzerine durulan çalışmada, ASCE 07 ve IBC 2006 yönetmeliklerinin diyafram yaklaşımlarına da atıfta bulunulmuştur. Zaman tanım alanında

yapılan hesaplamalarda, yapıların tepe deplasmanları ve döşemelerin düzlem içi deformasyonunda, elastik ve elastik olmayan döşeme modeli sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Bu durumların, rijit diyafram kabulüne göre düşük değerlerde olduğu belirtilmiştir. Çalışmada, plan geometri oranı 3:1 ve 4:1 olan yapı sistemlerinde, ASCE 07 ve IBC 2006 yönetmeliklerinde belirtilen rijit diyafram ve elastik diyafram için öngörülen kabullerin, yapının gerçek davranışını yansıtmadığı belirtilmiştir. Diğer bir sonuçta ise, döşemelerin doğrusal olmayan deformasyonları ile birlikte perde tabanlarında oluşan donatı uzamalarının ve düşey taşıyıcı elemanlara gelen taban kesme kuvveti değerlerinde %30 oranında bir artış olduğu belirtilmiştir. Bu etkinin rijit diyafram modelinde daha belirginleştiği ayrıca belirtilmiştir. Doğrusal olmayan döşeme tiplerindeki mafsallaşmaların, sünek davranış biçiminde geliştiği ve modellerin tepe deplasmanından elde edilen en yüksek değerlerin yine doğrusal olmayan döşeme modeline ait olduğu belirtilmiştir [4].

Moon and Lee (1994) yapı sistemlerinin sismik davranışında döşeme esnekliğinin etkisi üzerinde çalışmışlardır. Plan üzerinde dar ve uzun geometrili bir yapı, kenar bölgelerinde perde elemanlar bulunan bir yapı ve zeminde genişleyen bir baza yapısının olduğu bir modele sahip yapı olmak üzere üç farklı yapı tipi durumları üzerine çalışmışlardır. Döşemelerde yarı rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Karşılaştırmalarını, yapıların doğal periyodu, mod şekilleri, tepe noktası yer değiştirmeleri, taban kesme kuvvetleri ve bunların dağılımları üzerine yapmışlardır. Yapılan değerlendirmede, en-boy oranındaki ve aks aralıklarındaki artışın, esnek diyafram etkisini artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca, plan çevresinde rijit perdeleri olan az katlı yapıların, periyot uzamalarına sebebiyet verdiği ve bununla birlikte yapının dinamik tepkisinde önemli bir değişim meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Son olarak, esnek döşeme davranış beklenen yapı sistemlerinde hesapların dikkate alınmasının, yapının hem ekonomik, hem de güvenli bir tasarım süreci oluşturduğunu belirtmişlerdir [5].

Rezaein ve diğ. (2017) Çalışmalarında 12 katlı çelik bir yapıda, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yaklaşımlarının döşemelerde oluşturduğu düzlem içi kayma gerilmelerini araştırmışlardır. Yeni Zelanda yönetmeliğine göre, sadece elastik ve sınırlı sünek olmak üzere, iki farklı tasarım yaklaşımının uygulandığı yapıda, çerçeve sistem X yönünde merkezi çaprazlar ile desteklenmiştir. 3 adet ivme kaydı sadece X yönünde uygulanmış ve sonuçlar buna göre değerlendirilmiştir. Yüksek sünek yapının doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde, elastik ötesi davranışa geçilemeyen durumda, döşeme düzlem içi kayma gerilmelerinde bir farklılık tespit edilememiştir. Fakat yönetmeliğe göre sınırlı sünek olarak tasarlanan yapıda, çaprazlarda elastik ötesi deformasyonların olduğu belirtilmiştir. Bu durumda döşeme düzlem içi gerilmelerinde değişimler gözlemlenmiş ve doğrusal analizle tasarlanmış döşeme sistemine göre de gerilme değerlerinde azalışlara dikkat çekilmiştir. Doğrusal analiz yöntemlerinde kat

yüksekliği arttıkça artan döşeme düzlem içi kuvvetleri, son iki kat haricinde, yapının elastik ötesi davranışına göre benzer düzlem içi kuvvet değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir [6].

Barbat ve diğ. (2008) İspanyada uygulama alanı ülkemizdeki gibi yaygın olan asmolen döşeme sistemlerinin sünek davranışını irdelemişlerdir. Doğrusal olmayan statik itme analizlerinin kullanıldığı çalışmada karşılaştırmalar, geleneksel kirişli plak döşeme sistemi ile yapılmıştır. Çalışmada, zemin katı 4.5 m yüksekliğinde ve kalan iki katı ise 3 m yüksekliğinde olan, 3 katlı bir betonarme çerçeve sistemi seçilmiştir. Asmolen döşeme, çift doğrultu dişli ve gerilme yığılmalarına karşı kolon başlıklarında oluşturulan rijit plak başlıkları ile tasarlanmış bir sitemdir. Analizlerde, PLCD sonlu eleman yazılımının kullanıldığı çalışmada, plan üzerinde orta kısımdan alınan 2 boyutlu bir çerçeve aksı düzleminde çalışılmıştır. Analizi yapılan sistemlerin kapasite eğrisi incelendiğinde, asmolen döşemeli sistemin plastik bölgedeki uzamalarının çok sınırlı düzeyde kaldığı, geleneksel moment aktaran çerçeve sisteminde ise bu uzamanın yeterli düzeyde olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla İspanya yönetmeliğinin (NCSE-02) sınırlı sünek yapılar için izin verdiği davranış katsayısının, asmolen döşeme sistemleri için büyük olduğu, kirişli plak döşeme sistemin de izin verilen davranış katsayısından ise daha sünek bir davranışa sahip olunduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, asmolen döşemeli sistemlerde daha yüksek kalitede malzeme veya sıkı sargılama uygulamasının, sistemde süneklilik artışına katkı sunamayacağını, arzu edilen sünekliliğin yalnızca döşeme sistemlerine derin kirişlerin eklenmesi sayesinde olabileceği, vurgusunu yapmışlardır [7].

Abera (2015) çalışmasında, dikdörtgen, U, L, ve ortasında boşluk bulunan, değişken plan geometrilerine sahip yapı tiplerinde, rijit ve esnek diyafram kabulü etkilerini araştırmıştır. 4, 5 ve 6 kattan oluşan yapı sistemlerinde, perde eleman bulunma durumları da diğer farklı tipteki sistemleri oluşturmuştur. Karşılaştırmalarında çeşitli yönetmeliklerin (UBC-97, ASCE7, EC8) esnek ve rijit diyafram kabul yaklaşımlarını dikkate almıştır. Bu hesabı, yönetmeliklerin öngördüğü hesap yaklaşımı olan diyafram deformasyonunun, kat ortalama deformasyonu oranına göre yapıp, sistemleri kategorize etmiştir. Diğer karşılaştırmalarda, yapı periyotları ve kat kesme kuvvetleri üzerinde durulmuştur. Hesaplamalarda tepki spektrumu analizini kullanan yazar, özellikle boyut geometrisindeki oran artışının ve sistemde perde duvarların bulunması durumlarında, esnek davranışın, rijit davranışa göre çok farklı sonuçlar doğurduğunu belirtmiştir. Ayrıca, U ve L tipindeki yapılar için perde içermediği takdirde, rijit ve esnek diyafram kabullerindeki karşılaştırmaların benzer düzeyde olduğu sonucuna varmıştır [8].

Nandeesh ve diğ. (2018) 30 katlı bir yapıda esnek ve rijit diyafram kabulündeki farklılıkları irdelemiştir. Yapının ayrıca dış çerçevesinde sadece bir yön boyunca perde duvarlar ekleyerek, çalışmayı çeşitlendirmişlerdir. Doğrusal analiz yöntemlerinin kullanıldığı çalışmada, rijit diyafram kabulüne göre hesaplanan çerçeve sistemdeki deformasyonların, esnek diyafram

kabulüne göre yapılan hesaplamalardan %30 daha büyük olduğu belirtilmiştir. Aynı hesaplamaların kenar bölgelere eklenen perde duvarlı çerçeve sisteme uyarlanmasında, bu fark %3.5' e gerilemiştir. Bir diğer karşılaştırma görelî kat öteme oranları üzerine yapılmıştır. Rijit diyafram kabulü yapılan çerçeve sistemli yapının görelî kat öteleme oranların esnek diyaframa göre %42 daha fazla olduğu, perde duvar eklenmiş sistemlerde ise farkın %5' te kaldığı belirtilmiştir [9].

Müderrisoğlu (2009) çalışmasında, Adana Ceyhan depreminde hasar almış 8 katlı ve bodrum ile birlikte 6 katlı yapının, DBYBHY 2007 kapsamında performans değerlendirmelerini yapmıştır. Deprem sonrası orta hasarlı olarak raporlanmış yapılar, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler ile değerlendirilmiştir. 6 katlı yapı, asmolen döşeme sistemine sahiptir. Perde ve çerçeve sisteme sahip yapıda, beton sınıfı C10 ve donatı çeliği S220'dir. 8 katlı yapı ise 12 cm kalınlığında plak döşeme sistemine sahiptir. Sadece asansör bölgesinde U tipi perdeye sahip olan yapıda, beton sınıfı olarak C11, boyuna donatılarda S420, etriyelerde ise S220 donatı çeliği kullanılmıştır. Yönetmelik gereği Ceyhan deprem kaydı dışında, 3 Farklı benzer özellikte yapay ivme kaydı da üretilmiştir. Çalışmada, asmolen döşemeli 6 katlı yapıda oluşan hasar durumunun, gerçek hasar raporunda gözlemlenen kolon ve kiriş hasarları ile oldukça benzer düzeyde olduğu belirtilmiştir. 8 katlı yapıda ise sadece kolonlardaki hasar durumunun, hasar raporundaki şekliyle benzer olduğu belirtilmiştir. Hasar durumlarındaki farklılıkların sadece kiriş elemanlarında olduğu belirtilmiştir. Analiz sırasında hasarsız durumda çıkan kiriş elemanlarının, gözlemsel raporda hasarsız veya belirgin hasar düzeyinde olduğu belirtilmiştir. Oluşan bu farklılıkların, gözlemsel incelemeler sırasında bazı katlara ulaşamamış olmasından kaynaklı olduğu belirtilmiştir [10].

Özpinar (2006) çalışmasında, sırasıyla katsayı oranı 2, 3 ve 4 olan farklı L/B oranlarına sahip, sadece çerçeve ve kenar uçlarında rijit perdeler ile düzenlenmiş farklı tasarımların döşeme sistemlerinde, rijit diyafram ve doğrusal olmayan elastik diyafram modellerin karşılaştırmalarını yapmıştır. Elastik olmayan diyafram modeli oluşturulurken, döşemelerde mafsallık oluşabilecek bölgelere bağlantı (link) elemanları tasarlamış ve bunlar üzerinde moment, normal kuvvet ve kayma mafsalları oluşturmuştur. Karşılaştırmalarda doğrusal olmayan statik itme analizleri kullanılmıştır. Perde içermeyen çerçeve yapılarında, rijit diyafram ve elastik olmayan diyafram karşılaştırmalarında, kapasite (taban kesme kuvveti - deplasman) eğrisindeki davranış şekillerinde benzerlikler olduğu belirtmiştir. En - boy oranı 3 olup, uç bölgelerde perde elemanlar bulunduran yapı sisteminde, plan üzerindeki orta aksdaki döşeme deformasyonlarının diğer çerçeve sistemlere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Bu durumda ayrıca orta akslardaki düşey çerçeve elemanların daha çok zorlanmasına sebep olduğu ifade edilmiştir. Bu tarz bir zorlamada kiriş ve kolonlarda plastikleşmeler oluşmadan, elastik olmayan döşeme elemanında kesme çatlaklarının oluşumuna sebep olduğu belirtilmiştir.

Dolayısıyla uç kenarlarında perde duvar bulunan döşemelerin, doğrusal olmayan davranışında perdelerin önemli bir etmen olduğu ve bu gibi durumlarda yapıda esnek ve rijit diyafram kabulü seçimlerinin oldukça önemli bir husus olduğu ifade edilmiştir [11].



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) 2018'e Göre Tasarım Esasları

TBDY 2018, 30364 sayılı ve 18/03/2018 tarihli resmi gazete yayını ile, 2019 yılında DBYBHY 2007 yerini alan yeni deprem yönetmeliği olmuştur [12,13]. 2007 yönetmeliğine göre 10 adet yeni bölüm daha eklenmiştir. Şüphesiz en önemli değişikliklerinden biri deprem bölge dereceleri ve etkin yer ivme katsayılarının kaldırılarak, koordinata dayalı yeni deprem tehlike haritasına (2) ve kısa, 1 sn' lik spektral ivme katsayılarına geçiş olmasıdır. Deprem bölgeleri, deprem tasarım sınıfı (DTS) olarak 4 farklı sınıfa bölünmüştür. S_{DS} ve S_{D1} değerlerine göre, deprem tasarım sınıfları Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. TBDY 2018 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS) [13]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Bir diğer önemli gelişme ise zemin sınıflarının 4 adet sınıflandırılmadan, 6 adet sınıflandırmaya geçmesidir. Her zemin sınıfı kendi katsayıları ile kısa ve 1 sn' lik periyoda göre, analizlere dahil olacak şekilde tasarım değerlerine dönüşür. Tablo 3.2' de yönetmelikte verilen zemin sınıfları ve ilgili katsayı değerleri görülmektedir. Bu sayılan iki önemli değişiklik talep spektrum eğrisini ve değerlerini doğrudan etkileyerek, yapılarda deprem etkisinden oluşacak iç kuvvetleri değiştirmektedir.

Tablo 3.2. TBDY 2018 Kısa ve 1sn 'lık Periyot Yerel Zemin Etki Katsayıları [13]**Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları**

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Tasarım spektrumları, Deprem Düzeyi 1 (DD1), Deprem düzeyi 2 (DD2), Deprem Düzeyi 3 (DD3) Deprem Düzeyi 4 (DD4) olmak üzere, 4 farklı deprem seviyesini belirtmektedir. TBDY 2018 de ise bu deprem düzeyleri şu şekilde açıklanmaktadır.

DD1 ; Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD2 ; Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD3 ; Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

DD4 ; Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi

Yönetmelik bina yükseklik ve kullanım sınıflarına göre deprem analizi yöntemlerinde farklı deprem düzeylerini kullandırabilmektedir. Aynı şekilde yapı analizlerinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri ve karşılığında minimum gereken performans seviyesini aramaktadır. (Tablo 3.3)

Tablo 3.3. TBDY 2018 Deprem Düzeyleri ve Performans Seviyeleri. [13]

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Öntüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽⁵⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

2007 yönetmeliğinde de geçen performans kavramı güncel yönetmelikte geliştirilerek, kullanımı yaygınlaştırılmıştır. Yüksek yapılarda, temel yalıtımlı yapılarda veya bina kullanım sınıfı yüksek olan önemli yapılarda performansa dayalı tasarımın kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Performansa dayalı analizler, şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) kriterleri altında gerçekleşmektedir. ŞGDT' ye göre yapılan analizlerde, doğrusal analizlere kıyasla farklı kabuller yapılabilmektedir. Etkin kesit rijitlikleri, beton ve donatı malzemelerinde beklenen ortalama dayanım, farklı deprem düzeylerinin kullanılması bunlardan önemlileridir. Ayrıca ŞGDT' ye göre yapılan analizlerde, yapılarda döşeme modellemelerinin nasıl olması gerektiği yönetmelikte şu paragraflarda belirtilmektedir;

“Özel durumlar dışında, bina çevresindeki bodrum perdelerinin ve bina döşemelerinin doğrusal olmayan modellemesi gerekli değildir. Normal durumlarda, bu elemanlar için Tablo 4.2’de verilen etkin kesit rijitlikleri ile eşdeğer doğrusal modelleme yapılacak ve 4.5.5, 4.5.6 ve 4.5.7’de verilen tüm modelleme kurallarına uyulacaktır.” [13].

Madde 4.5.6.2’ ye gidildiğinde ise döşeme modellemelerinin,

“3.6.2.2’ye göre A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu ve/veya döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmasının öngörülmediği binalarda ve betonarme kirişsiz döşemeli sistemlerde döşemeler iki boyutlu sonlu elemanlarla modellenenektir.”

şeklinde belirtilmektedir.

İlgili maddeler incelendiğinde, yönetmelik neredeyse çoğu yapı sisteminde, tasarımcının modellemeye döşemelerin dikkate alınması gerekliliği hususuna yöneltmektedir.

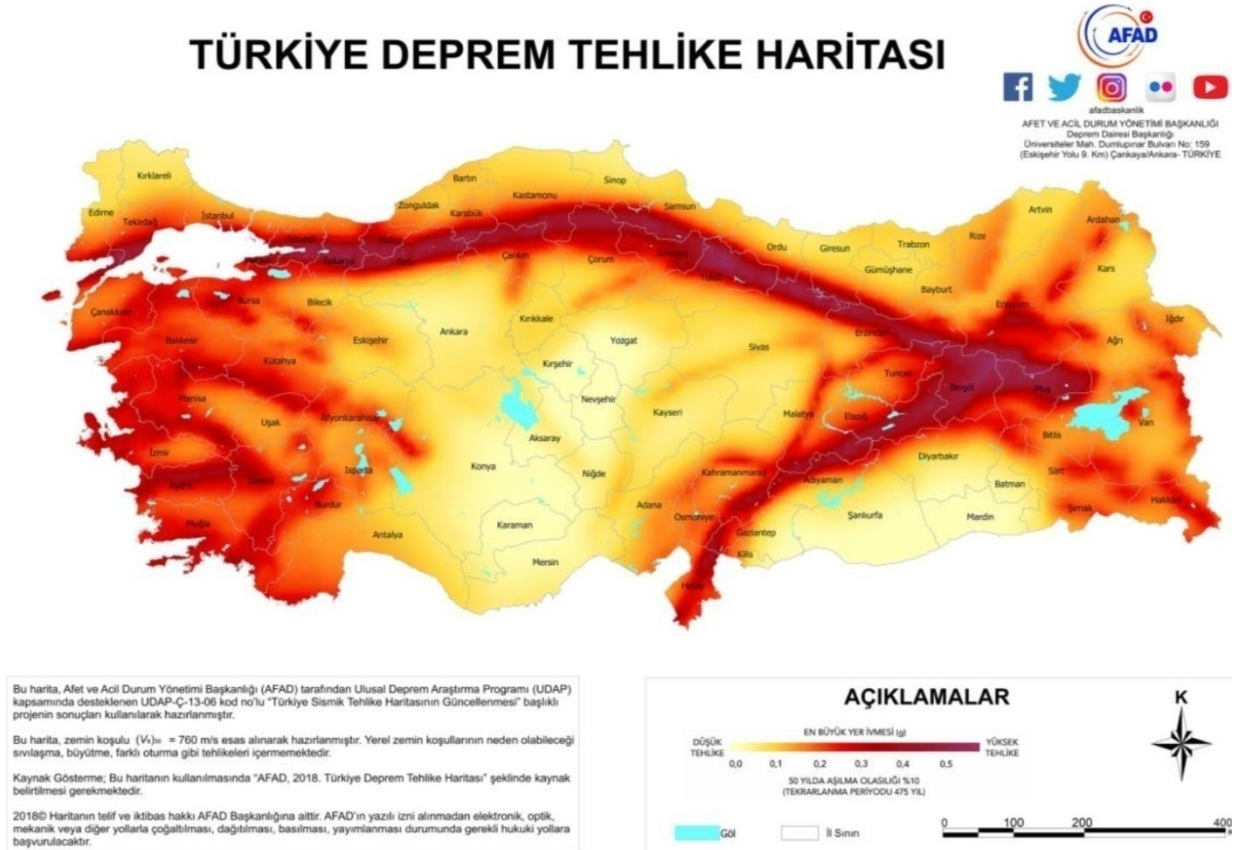
Türkiye deprem yönetmeliklerinde ilk kez yüksek yapı tanımı yapılarak, bu yapılar için özel bir bölüm açılmıştır. Bu bölüm yönetmeliğin 13. Maddesinde, **“Deprem Etkisi Altında Yüksek Bina Taşıyıcı Sistemlerin Tasarımı İçin Özel Kurallar”** adı altında geçmektedir. Bölüm, Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1 kategorisine giren yapılar için özel kurallar getirmektedir. Bu yapılar, DTS 1 ve 2’ de 70m, DTS 3’ te 90m ve DTS 4’ te 105m ve üzerinde olan yapılardır. Tüm analizlerde doğrusal hesap yöntemlerine ek olarak doğrusal olmayan hesap yöntemleri de kullanılmaktadır. Gerekli hesaplar 3 aşamadan oluşup, yönetmelik her aşamasında farklı performans hedeflerini talep etmektedir.

ŞGDT analizlerinin kullanılmanın zorunlu olduğu durumlarda, yapısal analizlerde bakanlıkça onay verilmiş tasarım ve gözetim uzmanları denetiminde gerçekleşmesi gerekmektedir.

3.2. TBDY 2018 ve Çeşitli Yönetmeliklerde Yüksek Yapılar ve Tasarım Yaklaşımları

TBDY 2018 ile birlikte, yapı yükseklikleriyle orantılı olacak şekilde, hesap yaklaşımlarında bir takım değişiklikler göze çarpmaktadır. Bunlar arasında en dikkat çeken tasarım yaklaşımlarından biri de, Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) 1 kategorisine giren yüksek yapı sistemlerinde görülmektedir. BYS kategorileri, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)’ na göre değişkenlik göstermektedir. Bu yapı tiplerinde 3 aşamalı tasarım yöntemi izlenilmektedir. Bu doğrultuda yapının ilk ve ön tasarım şeklini, dayanıma göre tasarım (DGT) yöntemi oluşturmaktadır. Doğrusal elastik hesap yöntemlerinin kullanıldığı yöntemde, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremi ifade eden, Deprem Düzeyi 2 (DD2) tasarım depremi olarak dikkate alınmaktadır. **(Şekil 3.1)** Can güvenliği performans seviyesinin de hedeflendiği tasarım yaklaşımında, geriye kalan tüm yapı sistemleri için de bu yöntemin kullanılması gerekmektedir. 2. Aşamada tekrardan DGT yöntemi kapsamında, 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan, DD4 deprem düzeyi için de gerekli hesaplar yapılmakta ve kesintisiz kullanım performans seviyesi beklenmektedir. 3. Aşamada, şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) kriterleri altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri kullanılmakta ve yapının performans düzeyi belirlenmektedir. Bu değerlendirmede, DD1 deprem seviyesi, diğer bir tanımı ile 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan ve 2475 yılda bir dönüş periyoduna denk gelen çok seyrek depremlerde göçme öncesi performans düzeyinin sağlanması amaçlanır. DGT’ ye göre yeterli olup da, ŞGDT’ ye göre yetersiz gelen elemanlar için tekrardan 1. tasarım aşamasına geçilip, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra hesaplar her iki aşamada

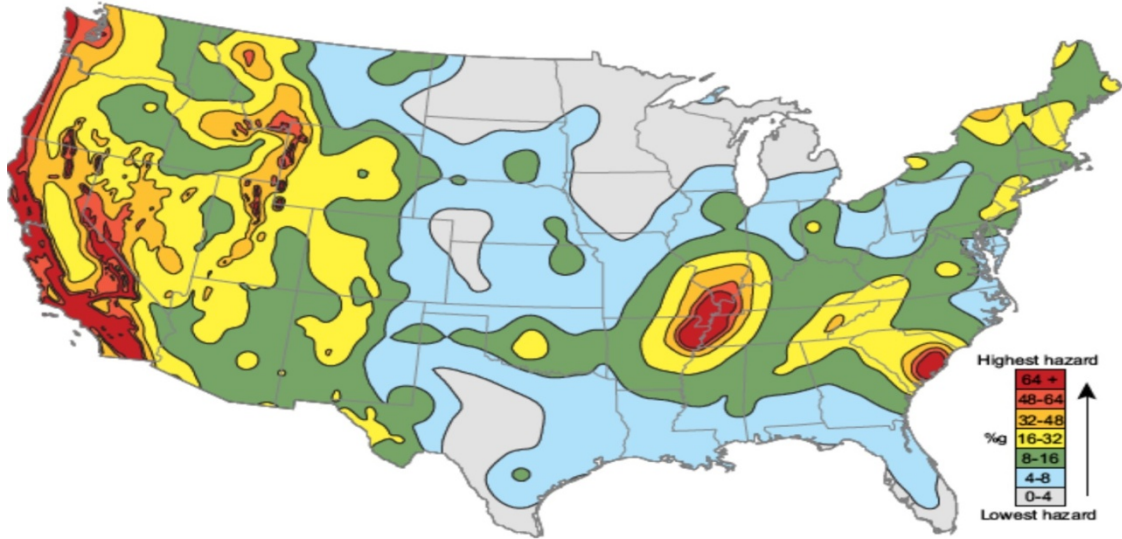
yeterli düzeye gelinceye kadar devam ettirilmektedir. ŞGDT analizleri, BYS1 olan yapı sistemlerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik yöntemler ile yapılabilir. Toplamda 11 adet ivme kaydı, uygun bir şekilde seçilerek, depremin her iki doğrultusundaki bileşke etkisi dikkate alınmaktadır. 11 kaydın ortalamasıyla yapılan ölçekleme işleminde, hedef spektrumun 0,2T ve 1,5T aralığındaki eğrinin altına düşmemesi hedeflenmektedir. Değerlendirme aşamasında ise göreceli kat ötelemeleri, iç kuvvet değerleri, plastik dönme ve birim şekil değiştirme gibi elde edilen sonuçların ortalaması kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (50 yılda aşılma olasılığı %10) [14]

American Society of Civil Engineers (ASCE 7-16) [15], Amerika'da yaygın olarak kullanılan International Building Code (IBC) 2018 tarafından, depreme dayanıklı yapı tasarımı için referans gösterilen yönetmeliktir. Bu yönetmelikte 50 m (160ft) yüksekliğinden sonra, genelde dinamik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu analizler hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizlerdir. TBDY 2018 deki gibi koordinata dayalı deprem bölge analizi yapılmakta olup, dönüş periyodu 2475 yıl olan, dikkate alınan en yüksek depreme (Maximum Considered Earthquake) göre gerekli hesaplamalar yapılmaktadır. (Şekil 3.2) ASCE yönetmeliğinde, haritadan alınan kısa ve 1sn'lik spektral tepki ivme parametre değerleri direkt olarak kullanılmayıp, tasarım spektral ivmeye dönüşümü yapılmaktadır. Bu dönüşümde 2/3 oranında bir düzenleme yapılmaktadır. ASCE yönetmeliğinde de kısa ve 1sn' lik tasarım spektrum

değerlerine göre deprem tasarım kategorilerine ayrılmaktadır. TBDY'deki Deprem Tasarım Sınıfına (DTS) benzer şekilde A'dan F'ye kadar uzanan bir gruplama sistemi yapılmıştır. Bunlar sırasıyla düşük tehlike bölgesinden daha yüksek tehlike bölgesine göre ifade edilmekte ve yapı tasarım biçimi bu kategorilere göre şekillenmektedir. Doğrusal olmayan dinamik analizlerin zorunlu olup olmaması yapının özelliğine göre eyaletler tarafından belirlenebilmektedir. Ayrıca zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizlerde konu ile ilgili uzman bir ekip tarafından danışmanlık hizmeti alınması gerekmektedir. Yönetmelikte zaman tanım alanı hesaplamalarında, en az 3 deprem ivme kaydı kullanılması gerekmektedir. Bu kayıtlar, TBDY'de olduğu gibi kayıtların yatay bileşkelerinin ortalamasının, hedef spektruma 0,2 T ve 1,5 T aralığında ölçekleme işlemlerinin yapılmasını gerektirmektedir. 3 kayıt kullanıldığı zaman, tasarımda en yüksek çıkan değerler kullanılmalıdır. Eğer 7 kayıt kullanılırsa bu kez tasarımda ortalama değerler göz önüne alınmaktadır.

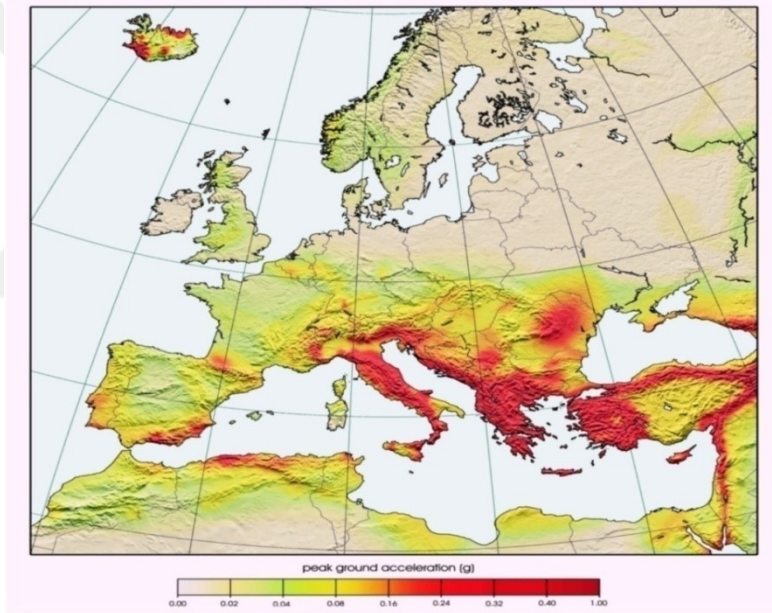


Şekil 3.2. Amerika Birleşik Devletleri Deprem Tehlike Haritası (MCE) [16]

EN 1998 - 1 / 2004 (Eurocode 8) [17], Avrupa deprem yönetmeliğinde bir yükseklik sınırı olmaması ile birlikte, eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanıp, uygulanamadığı durumlarda, doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik yöntemler kullanılabilir. Deprem bölgelerinin en büyük olası yer ivmesi ile derecelendirildiği EN 1998'de, iki tip sınır durumun karşılanması istenmektedir. (**Şekil 3.3**) Bunlardan ilki tasarım depremi olan 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve dönüş periyodu 475 yıl olan tasarım depremi için, göçmeme sınır durumudur. İkinci sınır kriteri ise 10 yılda aşılma olasılığı %10 olan ve dönüş periyodunun 95 yıla tekabül eden çok sık depremlerde, hasar olmadan ve kullanıma kesintisiz devamı ifade eden, hasar sınırlaması performans düzeyini istemektedir. Zemin sınıfına göre 2 tip spektrum eğrisinin kullanıldığı

yönetmelikte, 5,5 büyüklüğünden düşük sismik hareketlenmenin oluşabileceği tahmin edilen bölgelerde, Tip2 spektrum eğrisinin, geri kalan bölgelerde ise Tip1 eğrisinin kullanılması gerektiğini belirtmektedir.

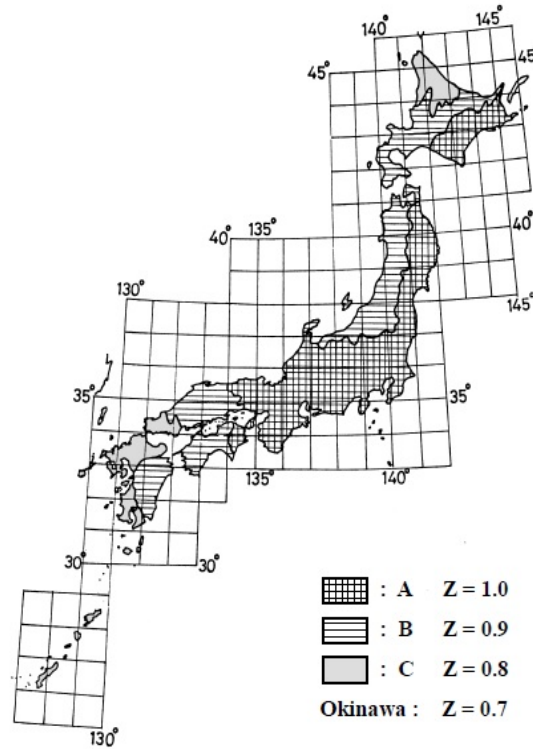
Yönetmelik, doğrusal olmayan yöntemler arasında kullanılan zaman tanım analizinde ASCE' de olduğu gibi en az 3 ivme kaydının kullanılmasının zorunlu olduğunu ifade etmektedir. Bu kayıtların ortalamaları alınıp ölçeklenirken, yapının ilgili doğrultudaki etkin periyot değerinin, %5 sönüm oranlı hedef elastik spektrumundaki 0,2T ve 2T aralığına en az %90 oranında uyuşumunun gerçekleşmesi istenmektedir. Bu aynı zamanda bir önceki yönetmelik olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY)' deki, ölçekleme şeklidir. Performans değerlendirmeleri yapılırken, 3 ivme kaydı kullanıldığında en yüksek sonuçlar, 7 İvme kaydı kullanıldığında ise elde edilen sonuçların ortalaması değerlendirmeye alınmaktadır.



Şekil 3.3. Avrupa Deprem Tehlike Haritası (50 yılda aşılma olasılığı %10) [18]

Building Standart Law of Japan (BSL) [19], Japonya yapı yönetmeliği, 1981 yılından sonra deprem hesabı yaklaşımında büyük bir değişim geçirmiş ve bugünkü yönetmeliklerin temellerini oluşturmuştur. Bugünkü hesap yaklaşımları sadece bir takım güncellemeler içermektedir. BSL' de deprem bölgeleri A, B ve C olarak gruplandırılıp, sismik bölge katsayıları ile ifade edilmektedir. Sismik aktivite bakımından ülkenin tamamının aktif deprem kuşağının etkisi altında olmasından dolayı, sismik bölge katsayıları, 1 ve 0,8 arasında değişmektedir. **(Şekil 3.4)** Yönetmelikte yapılar için iki tasarım aşaması bulunmaktadır. İlk aşamada, yapının servis ömrü boyunca 0,08 - 0,1 g ivme değerine sahip 5 büyüklüğünde sıkça gerçekleşebilecek depremlerde, herhangi bir hasara uğramadan geçirmesi beklenir. Bu hesap için, sismik bölge

katsayıları, 0,2 değerindeki standart kesme katsayısı ile çarpılarak, yapıya etkiyen deprem kuvvetleri belirlenir. Bu etkiler, emniyet gerilmesi yöntemleri kullanılarak hesaplanır ve ilk tasarım aşaması tamamlanır. 31m yüksekliğine kadar herhangi bir düzensizliğe sahip olmayan yapılarda, 1. aşama hesabı genelde yeterli olmaktadır. Düzensiz yapılar, 31m ve 60m yükseklik arasında olan yapılarda ise 2. Aşama hesabına geçilir. Bu aşamada pik yer ivmesi değerlerinin yaklaşık 0,4g olduğu ve yapının ekonomik ömrü boyunca, bir defa karşılaşılabileceği dönüş periyodu 500 yıl olan, seyrek tasarım depremi kullanılmaktadır. Bu depremde yapıda kontrollü hasar düzeyi beklenmektedir. Bunun için görelî kat ötelemesi sınırlarının sağlanmasının yanında, itme analizleri ile bulunabilen yapının en yüksek yatay yük taşıma kapasitesinden elde edilen deprem kuvvetlerinin, elastik yöntemler ile elde edilen kuvvetlerden eşit veya üzerinde olması beklenmektedir. Bu hesapta genelde doğrusal olmayan itme analizleri kullanılmaktadır. Son olarak 60m üzeri yapılar için ise danışmanlık kontrolü hizmeti altında, doğrusal olmayan zaman tanım alanı hesap yöntemlerinin kullanıldığı özel çalışmalar yapılmaktadır. Japonyada tüm yalıtımlı ve 60m üzeri yapılar için altın set denilen 3 ivme kaydının kullanılması zorunludur. Bunlar El Centro 1940, Taft 1952 ve Hachinohe 1968 depremleridir. Bu kayıtlara ek olarak, bölgeye özel uygun olan en az 3 İvme kaydı daha belirlenir ve kayıtların mutlaka tasarım spektrumu ile uyuşması gerekmektedir.



Şekil 3.4. Japonya Deprem Tehlike Haritası (Sismik Bölge Katsayıları) [20]

3.3. Deprem Etkisi altındaki Yapı Sistemlerinde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Davranış Biçimleri

Yapı sistemlerinin statik ve dinamik davranışı, kendisini oluşturan yapı malzemelerinin mekanik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu malzemeler, doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlar sergileyebilirler. Dış kuvvetler etkisinde kalan bir malzemenin, doğrusal yapıda kalabilmesi için dış etkinin kalkmasından sonra da başlangıç konumuna dönerek, herhangi kalıcı şekil değiştirmeye uğramaması gerekmektedir. Doğrusal olmayan durumda ise malzeme şekil değiştirmeden karşılayabileceği yük düzeyinin üstünde bir kuvvete maruz kalır ve bu durumda malzemedeki, geri dönüşü olmayan uzama ve kısaltmalar meydana gelir. Uzama ve kısaltmaların ilk olduğu bölgeye akma bölgesi denir. Malzemenin akması durumu kopmanın ya da ezilmenin gerçekleştiği noktada son bulur. Bahsi geçen şekil değiştirme bölgesinde, yapı malzemesi sınırlı düzeyde kuvvet alır ve pekleşmeye başlar. Gelen etkilere sadece şekil değiştirme yaparak cevap verebilir. Artık bu noktada malzeme tamamen plastikleşmiş ve geri dönüşü olmayan deformasyon şeklini oluşturmuştur. Dolayısıyla yapı sistemleri de, malzemelerin bu geri dönüşü olmayan davranış biçimlerinden doğrudan etkilenir ve bu durum yapının sistemsel davranışında önemli bir yeri kaplar. Bu gibi etkiler göz önüne alındığında, yapı sistemlerinde farklı analiz yöntemleri karşımıza çıkmaktadır.

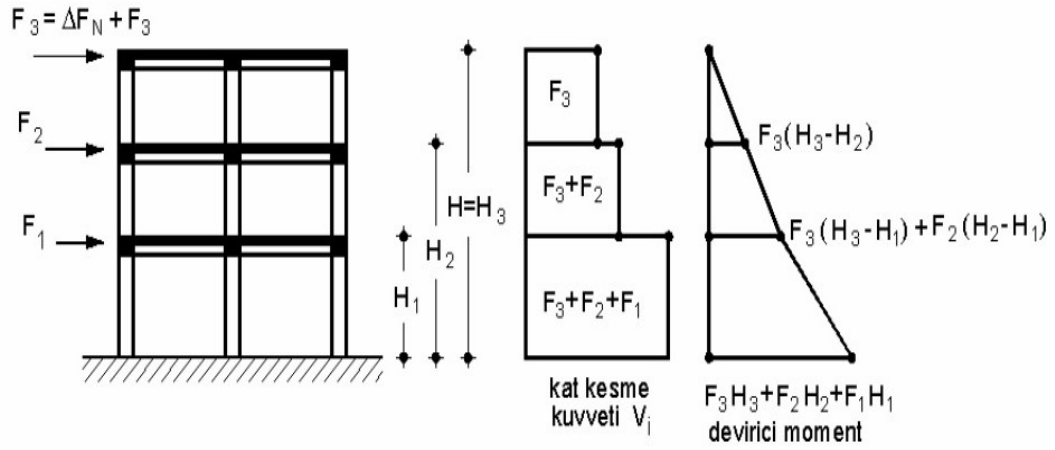
3.4. Yapı Sistemlerinde Deprem Analizi Yöntemleri

Yapı sistemlerinin deprem etkisi altındaki analiz yöntemleri, doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılır. Bu hesaplama biçimleri aynı zamanda statik ve dinamik hesap yöntemleri olarak da kendi arasında farklılık gösterirler.

3.4.1. Doğrusal Hesap Yöntemleri

3.4.1.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bu yöntem, statik bir deprem analiz yöntemi olup, planda düzenli ve çok fazla modun etkin olmadığı yapı sistemleri için uygun bir hesap yöntemidir. Yöntemin prensibi, dinamik deprem etkilerinin, eşdeğer bir statik yükleme biçimine dönüştürülmesi esasına dayanır. Yapının hesap doğrultusundaki etkili periyoduna göre hesaplanan yatay itkiler, Şekil 3.5' te görüldüğü gibi kat seviyelerinde, uygun bir kuvvet dağılımına dönüştürülürler.



Şekil 3.5. Eşdeğer Deprem Yüğü [21]

Çoğu yönetmelikte olduğu gibi, yöntemin kullanım alanı bazı sınırlamalar içerir. TBDY 2018’ de yalnızca Tablo 3.4.’ de gösterilen yapı özelliklerine göre kullanımına izin verilebilmektedir.

Tablo 3.4. TBDY 2018, Eşdeğer Deprem Yüğü Uygulama Sınırları [13]

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yüklseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$BYS \geq 4$	$BYS \geq 5$
Diğer tüm binalar	$BYS \geq 5$	$BYS \geq 6$

3.4.1.2.Mod Birleştirme Yöntemi (Tepki Spektrumu Yöntemi)

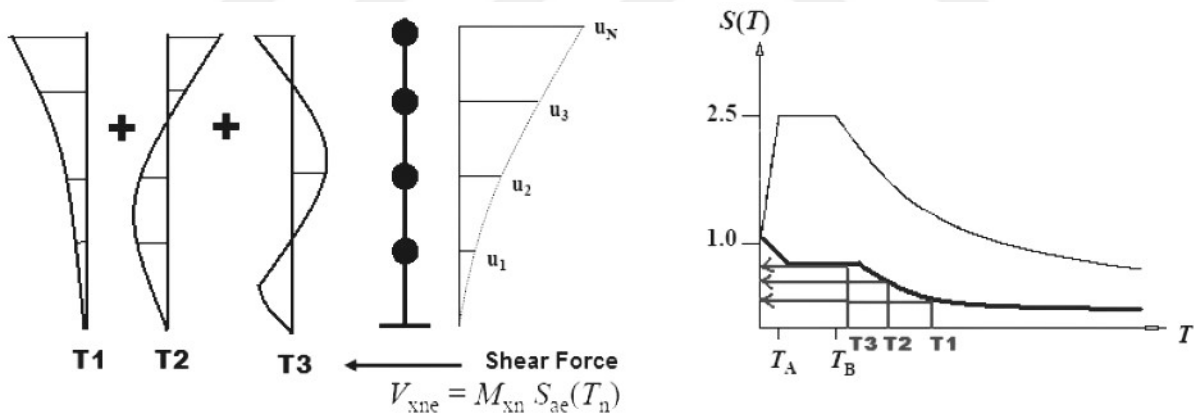
Tüm yapı sistemleri için kullanılabilen bu yöntem, yapı sistemine ait yeterli sayıda mod biçiminden oluşan maksimum katkıların, istatistiksel olarak birleştirilmesi prensibine dayanan bir dinamik hesap yöntemidir. Yapının yeterli sayıda mod biçimleri ve etkin kütle katılımları, ilgili doğrultudaki elastik azaltılmış tasarım ivme spektrumuna göre tek tek değerlendirilir. Elde edilen kuvvetler, eşzamanlı etkimemesinden dolayı uygun bir metod ile birleştirilmesinin yapılması gerekmektedir. Böylece modların birleştirilmesinde, tam karesel

birleştirme yöntemi (CQC) kullanılabileceği gibi, bazı durumlarda karelerin toplamının karekökü (SRSS) yöntemi de uygulanabilmektedir. **(Şekil 3.6)**

Yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, çok serbestlik dereceye sahip sistemlerin yeterli sayıda titreşim modunun sağlandığından emin olunmasıdır. Bu doğrultuda yapıda kütle katılım oranlarının yeterli düzeyde olduğu hesaplar ile gösterilmelidir. DBYBHY 2007’ de her iki deprem doğrultusunda kütle katılım için olması gereken oran %90 iken, bu oran, TBDY 2018’ de %95 ’e çekilmiştir. Ayrıca A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden herhangi birine sahip olan yapı sistemlerinde mod birleştirme yöntemiyle bulunan taban kesme kuvveti değeri, eşdeğer deprem yükü ile hesaplanan taban kesme kuvveti değerinin %90’ ının altında olmamalıdır. Bu tip düzensizliğe sahip olmayan yapılarda ise, %80 ’nin altına düşmemelidir. Eğer mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvveti değeri, eşdeğer deprem yükü ile hesaplanan taban kesme kuvveti değerinden küçük olursa,

$$\beta_{tE}^{(x)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(x)}}{V_t^{(x)}} \geq 1$$

denklemleri yardımıyla hesaplanan (beta) katsayısı ile, yapının mod birleştirme yöntemiyle elde edilen tüm iç kuvvetlerinin artırılmasının yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.6. Mod Birleştirme Yöntemi [22]

3.4.1.3. Zaman Tanım Alanında Mod Toplama Yöntemi

Bir diğer doğrusal dinamik analiz yöntemi de zaman tanım alanında mod toplama yöntemidir. Daha önceden gerçekleşmiş depremler veya benzeştirilmiş yer hareketlerinden yararlanılır. Yöntemde, gerçek veya benzeştirilmiş ivme kayıtları kullanıldığı için, yapıya etkimesi öngörülen deprem hareketleri daha gerçekçi bir düzeyde yansıtılabilir. Yöntem hareket denkleminde faydalanılarak, aşağıdaki şekilde sade bir anlatımla açıklanabilir.

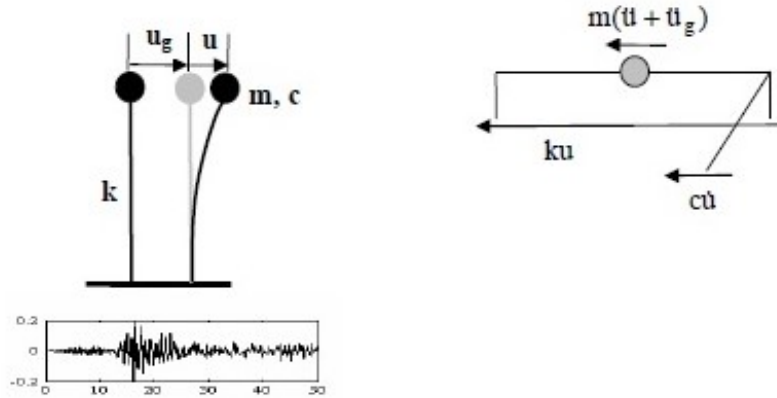
Tek serbestlik dereceli sönümlü sistemlerin, yer hareketi etkisindeki zamana bağlı zorlanmış titreşimlerinin hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{x}_g \quad (3.1)$$

Denklemin her iki tarafı kütleyle bölünüp, uygun çevrimler yerine yerleştirilirse

$$\ddot{x} + \omega\zeta\dot{x} + \omega^2x = -\ddot{x}_g \quad (3.2)$$

şekliyle yeni halini alır. Denklemin bu yeni formunda uygun entegrasyon yöntemleri kullanılarak, sabit sönüme, açısal frekansa ve yer ivmesine bağlı tek serbestlik dereceli sistemin, istenilen zaman aralığındaki yer değiştirme değerleri bulunabilir duruma gelir. Bu hesaplamalar her zaman adımında gerçekleşerek, yapıda aranan tüm yer değiştirme değerleri hesaplanır. **(Şekil 3.7)** Hesaplamaların hassaslığından uzaklaşmaması için, yönetmelik zaman aralığının belirlenmesinde $T/10'$ dan daha büyük aralıkların kullanılmasına izin vermemektedir.



Şekil 3.7. Yer Hareketinden Dolayı Sistemde Oluşan Yer Değiştirme [23]

Birden fazla serbestlik derecesine sahip yapı sistemlerinde, birden fazla mod biçiminin, aynı zaman diliminde etki edebileceği düşünülerek, her bir yer değiştirme, dolayısıyla taban kesme kuvveti ve iç kuvvetlerde oluşan etkiler toplanarak hesaplara dahil olurlar.

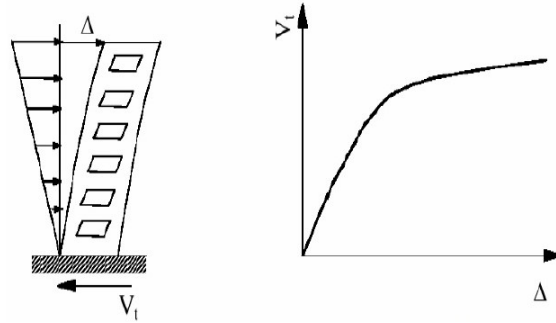
Zaman tanım alanında hesaplanan taban kesme kuvveti değerinin, mod birleştirme yönteminde olduğu gibi eşdeğer deprem yükü hesabıyla karşılaştırılmasının yapılması gerekmektedir. Eğer yönetmelik gereksinimleri karşılanamazsa, önceki bölümde de bahsedilen “ β ” katsayısı ile tüm iç kuvvet değerleri artırılır.

3.4.2. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

3.4.2.1. Statik Artırımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi (Tek Modlu İtme)

Yöntemde, eşdeğer deprem yükü yüküne benzer bir yük dağılımının, adım adım artırılması ile yapının yatay yük taşıma kapasitesinin bulunması amaçlanır. Tek bir mod' un etkin olarak hesaplandığı yöntemde, isabetli sonuçların alınabilmesi için yapıda bazı düzensizlik durumlarının ve birden fazla modun etkin özelliğe sahip olmaması gerekmektedir. Dolayısıyla yönetmelik, yöntemin uygulanabilirliği için birtakım kısıtlamalar getirmiştir. Yönetmelik, ancak yapıdaki burulma düzensizliğinin 1.4' ten küçük, hesapta dikkate alınan doğrultuda mod kütle katılım oranının %70'in üstünde ve $BYS \geq 5$ ten küçük olan yapı sistemlerinde, yöntemin kullanımına olanak sağlamaktadır.

Statik itme analizi doğrusal olmayan bir yöntem olduğu için, analiz öncesi yapının doğrusal olmayan davranış gösterecek elemanların ve yapı özelliklerinin belirtilmesi gerekmektedir. Ardından yapının itme analizinden elde edilen, taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme eğrisi (**Şekil 3.8**), uygun bir şekilde modal kapasite eğrisine dönüştürülür. Dönüşümü yapılan bu eğri, talep spektrum eğrisi ile karşılaştırılarak, yapının performans noktası elde edilir. Performans noktasına göre, yapı elemanlarında oluşan deformasyonlar tek tek incelenerek, yapının performans düzeyi belirlenmeye çalışılır.



Şekil 3.8. Statik İtme Şekli ve Kapasite Eğrisi [24]

3.4.2.2. Çok Modlu Artırımsal İtme Analizi Yöntemi

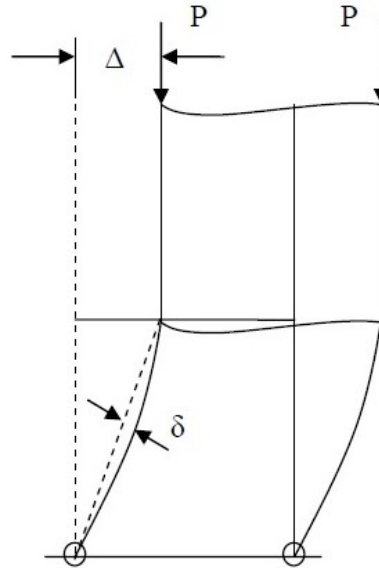
Bu yöntemde yapıda sadece tek bir mod göz önüne alınmadan, birden fazla modun etkisinin dahil edildiği bir itme analizi yöntemidir. Yöntem, tek modlu itme analizinde yapılan hesaplamaların, yapıda yeterli sayıda mod şekli için ayrı ayrı değerlendirilmesini gerektirmektedir. “Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan, ancak eşzamanlı olmayan en

büyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklükleri'nin yaklaşık değerleri elde edilir" [12].

3.4.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yapısal deprem hesaplamalarında en etkin sonuçlara ulaşılabildiği bu yöntemde, birçok işlem adımını birlikte içerdiğinden diğer yöntemlere göre daha fazla işlem yoğunluğuna ve süre zarfına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliğinden dolayı ancak belirgin özelliklere sahip yapı sistemlerinde tercih edilmektedir. Ancak daha önceden de ifade edildiği gibi, BYS1 yükseklik sınıfına giren yapılar, deprem yönetmeliğinde özel yapı kategorisi olarak değerlendirmekte ve yöntemin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Yine deprem yalıtımlı binalarda ve belirli yükseklikteki önem arz eden yapılarda da yöntemin kullanımı gerekmektedir.

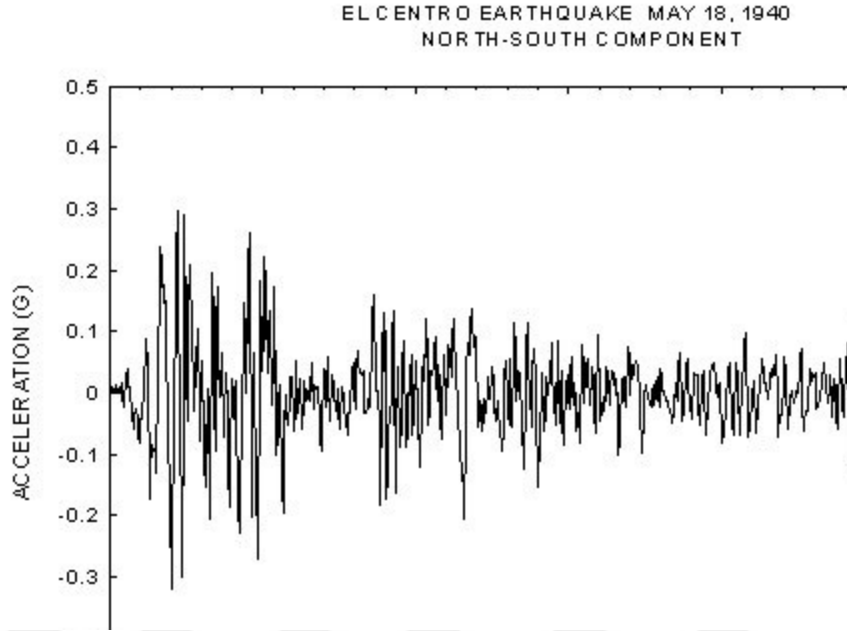
Yapılar, doğrusal olmayan davranış hareketlerinde, ani şekil ve rijitlik değişimi etkisi altındadırlar. Bununla birlikte yapıda yer değiştirmelerden dolayı, 2. mertebe etkiler de oluşmaya başlar. (**Şekil 3.9**) Yapının bütünüyle ele alınarak, bu gibi önemli yapısal etkilerin de hesaba dahil edilebilmeleri için tüm zaman tanım alanı içerisinde, adım adım hesap yapılabilen, doğrudan entegrasyon yöntemleri kullanılır. Bu sayede belirli bir zaman aralığında, söz konusu değişkenlerin de dikkate alınması sebebiyle, yapıların dinamik davranışında daha etkin ve hassas sonuçlara ulaşılabilmektedir.



Şekil 3.9. Yapı Sistemlerinde 2. Mertebe Etkiler [25]

Yönetmelik, zaman tanım alanı (ZTA) analizleri için en az 11 adet ivme kaydının kullanılmasını istemektedir. 11 adet ivme kaydının iki yatay birleşeni de yapıya uygulanır. Aynı

işlem 90 derece çevrilerek tekrardan uygulanır. Böylece toplamda yapıya etki edecek 22 adet deprem ivme kaydı elde edilmiş olur (11x2). Ayrıca ivme kaydı seçimleri yapılırken, yapıya ait tasarım deprem düzeyi, yerel zemin yapısı, fay mekanizma oluşum biçimi ve fay uzaklıkları gibi depremlerin öngörülebilir karakteristik özellikleri de dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 3.10. Örnek bir Deprem İvme Kaydı. El Centro Depremi, Kuzey-Güney Birleşeni

Yönetmelik, seçilebilecek kayıtlar arasında istenilen sayıya ulaşılamazsa, uygun biçimde benzeştirilmiş yer ivme hareketleri kullanılabileceğini belirtmektedir. Aynı deprem kaydında ise en fazla 3 adet seçilebilmesine izin verilmektedir. Bu işlem adımlarından sonra, 11 adet kaydın yatay tepki spektrumlarının bileşke hesabına geçilir. Bu işlemin birleşenleri için karelerin toplamının karekökü yönteminden faydalanılır. Bileşke spektrumların ortalamaları alınır ve tasarım spektrumunun 0,2 T ve 1,5 T arasındaki genliklerde basit ölçekleme işlemleri yapılabilir. İşlemden ortalama spektrumlarının, tasarım spektrumunun 1.3 katından düşük olmamasına dikkat edilmelidir.

BYS 1 kategorisindeki yapı sistemlerinin zaman tanım alanı analizlerinde sönüm oranı olarak %2,5 değeri dikkate alınır. Sonuçlar değerlendirilirken de 11x2 adet ivme kaydından elde edilen şekil değiştirme ve iç kuvvet ortalamaları tasarım değerlerini oluştururlar.

Bu çalışmada, farklı yapı sistemleri birlikte ele alındığı için ve döşemelerin de yapı sistem modeline dahil edilmesinden dolayı pratik bir yaklaşıma gidilmiştir. Bu doğrultuda 11 adet ivme kaydı yerine, 7 adet ivme kaydı yapıya uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilirken, elde edilen iç kuvvet değerlerinin ortalaması dikkate alınmıştır.

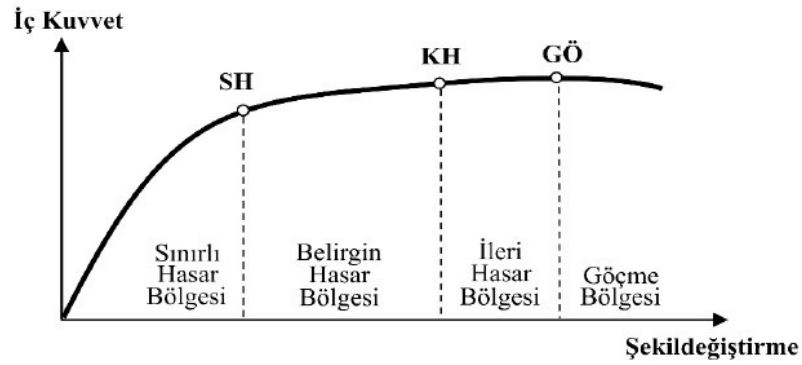
3.5. Doğrusal Olmayan Davranışta Performans Hedefleri

Öncelikle TBDY 2018, DD2 tasarım depremi altında tüm yapılarda kontrollü hasar performans seviyesinin sağlanmasını talep etmektedir. Gerekli hesaplamalar, dayanıma göre tasarım (DGT) kapsamında, doğrusal analiz yöntemleri ile yapılmaktadır. BYS1 kategorisinde olan yüksek yapılarda 3 farklı tasarım aşaması karşımıza çıkmaktadır. İlk aşamayı tüm yapı sistemlerinin tasarım parçası olan DGT kriterleri oluşturmakta ve kontrollü hasar performans seviyesi beklenmektedir. 2. ve 3. aşamalarda normal ve ileri performans hedefleri gözetilmektedir. İleri performans hedefleri Bina Kullanım Sınıfı 3 (BKS) olan yapı sistemlerinde gözetilmektedir. Normal performans seviyeleri, yapı tasarımının sonuçlanması için yeterli olan performans hedefleridir. 2. Aşamada, yapıya DD4 ve DD3 deprem yer hareketi düzeyleri uygulanır. Normal performans hedefi için DD4 deprem yer hareketi, doğrusal hesap yöntemleri kullanılmakta ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı olarak “R” = 1 seçilmektedir. Hedef kesintisiz kullanım performans seviyesidir. 2. Aşamanın ileri performans seviyesinde DD3 deprem yer hareketi kullanılmakta ve şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım (ŞGDT) kriterleri analizlere dahil olmaktadır. Analizde doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılır. Performans hedefi ise sınırlı hasar performans seviyesidir. 3. Aşamaya geçildiğinde ŞGDT kapsamındaki DD1 deprem yer hareketi uygulanır ve yapıdan göçmenin önlenmesi performans seviyesi beklenir. Bu, yapıdan beklenen normal performans hedefidir. BKS 3 olan yapı sistemlerinde ise kontrollü hasar seviyesi, ileri performans seviyesini oluşturmaktadır. Şekil 3.11’ de TBDY 2018’ e göre hasar sınırları ve bölgeleri gösterilmiştir.

BYS 1 kategorisine giren bir yapıda, kısaca Tablo 3.5’ de gösterilen tasarım aşamaları ve deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen performans hedeflerinin sağlanması beklenir.

Tablo 3.5. TBDY 2018, BYS1 Yapı Sistemlerinde Tasarım Aşamaları ve Performans Hedefleri

	Tasarım Aşaması 1	Tasarım Aşaması 2	Tasarım Aşaması 3
Normal Performans İçin Deprem Düzeyi	DD2	DD4	DD1
İleri Performans İçin Deprem Düzeyi	—	DD3	DD1
Normal Performans İçin Hesap Yaklaşımı	DGT	DGT	ŞGDT
İleri Performans İçin Hesap Yaklaşımı	—	ŞGDT	ŞGDT
Normal Performans Hedefi	Kontrollü Hasar	Kesintisiz Kullanım	Göçmenin Önlenmesi
İleri Performans Hedefi	—	Sınırlı Hasar	Kontrollü Hasar



Şekil 3.11. TBDY 2018'de Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri [13]

3.5.1. Şekil Değiştirme Sınır Değerleri

Yönetmelik, yüksek yapıların doğrusal olmayan hesaplamalarında, gevrek ve sünek davranışta bulunan elemanlar ile birlikte göreceli kat ötelemelerinde de sınırlamalar getirmiştir. Performans hedeflerini ise normal ve ileri performans hedefi olarak ayırmıştır. Tüm doğrusal olmayan hesaplamalarda sönüm oranının %2,5 olması istenmektedir.

Denklem 3.3, 3.6' da yeni yapılacak yüksek yapıların, sünek davranış göstermesi beklenen betonarme elemanlarında ilgili deprem düzeyi ve performans seviyesindeki, hasar sınır değerleri belirtilmiştir. Buna göre ;

DD3 Yer Hareketi ve İleri Performans Hedefi ;

DD3 deprem yer hareketinde şekil değiştirme sınır değerleri ;

- Beton $\varepsilon_c^{(SH)} = 0,0025$
- Donatı Çeliğinde $\varepsilon_s^{(SH)} = 0,0075$
- Dönme $\theta_p^{(SH)} = 0$

(3.3)

şeklindedir.

Yeni yapılacak BYS 1 kategorisine giren betonarme binalarda, ilgili performans hedefi için herhangi bir elemanda bu değerler aşılmamalıdır. Bu değerler ileri performans hedefinin karşılanması için gereken sınır değerlerdir.

Ayrıca, gevrek davranış gösteren elemanlar için ilgili deprem düzeyi hesaplamaları sonucunda oluşan iç kuvvet taleplerinin yeterli kapasite ile karşılanması ve bu hesaplamalarda malzemelerde ortalama beklenen dayanımların kullanılmasını istenmektedir.

Beton ve donatıda beklenen ortalama malzeme dayanımları aşağıdaki şekildedir ;

$$\begin{aligned} \text{Donatı Çeliğinde} \quad f_{(ye)} &= 1.2 f_{(yk)} \\ \text{Betonda} \quad f_{(ce)} &= 1.2 f_{(ck)} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Burada $f_{(yk)}$ ve $f_{(ck)}$ sırasıyla donatıdaki karakteristik çekme dayanımını ve betonda ise karakteristik basınç dayanımını ifade etmektedir.

DD1 Yer Hareketi ve Normal Performans Hedefi ;

DD1 deprem yer hareketinde, şekil değiştirme sınır değerleri ;

$$\begin{aligned} \bullet \text{ Beton (Dikdörtgen Kesitlerde)} \quad \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \\ \bullet \text{ Beton (Dairesel Kesitlerde)} \quad \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} &= 0,0035 + 0,07\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \\ \bullet \text{ Donatı Çeliğinde} \quad \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} &= 0,4 \varepsilon_{su} \\ \bullet \text{ Dönme de} \quad \theta_p^{(G\ddot{O})} &= \frac{2}{3} [(\phi_U - \phi_y) L_p (1 - 0,5 \frac{L_p}{L_s}) + 4,5 \phi_U d_b] \end{aligned} \quad (3.5)$$

Yeni yapılacak BYS 1 kategorisine giren betonarme binalarda, normal performans hedefi olan göçmenin önlenmesi performansı için gereken sınır değerlerdir.

Bu denklemde ;

ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi,

ω_{we} : Etkin sargı donatısının mekanik sargı donatısına oranını,

ϕ_u : Kesite etkiyen eksenel kuvvetin de dikkate alınarak elde edilen göçme öncesi toplam eğriliğini,

ϕ_y : Kesite etkiyen eksenel kuvvetin de dikkate alınarak elde edilen etkin akma eğriliğini,

L_p : Plastik mafsallık boyunu,

d_b : İlgili kesitteki ortalama donatı çapını,

İfade etmektedir.

DD1 Yer Hareketi ve İleri Performans Hedefi ;

Aynı DD1 deprem yer hareketinde ileri seviye performans hedefi olan kontrollü hasar için sınır değerler ;

- Beton $\varepsilon_c^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_c^{(GÖ)}$
- Donatı Çeliğinde $\varepsilon_s^{(KH)} = 0,75 \varepsilon_s^{(GÖ)}$
- Dönme de $\theta_p^{(KH)} = 0,75 \theta_p^{(GÖ)}$

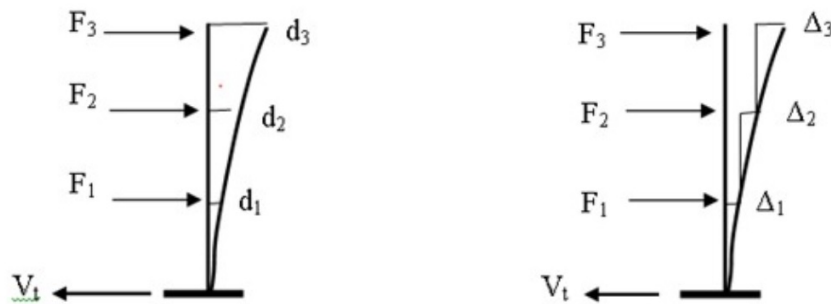
(3.6)

şeklindedir.

Herhangi bir elemanda bu değerler aşılmamalıdır.

DD3 deprem yer hareketinde olduğu gibi sünek olmayan davranışa karşı kapasite tasarımının uygulanmasını ve ayrıca 11x2 depremden elde edilen ortalama görelî kat öteleme değerlerinin 0,03'ü geçmemesi gerektiği belirtilmektedir. Aynı zamanda elde edilen en büyük kat ötelemesi oranının da 0,045 değerinin üzerinde olmamalıdır. (**Şekil 3.12**)

Sünek davranış gösteremeyen elemanların kapasite tasarımlarının ise, gelen deprem istemine karşı yeterli olduğunun gösterilmesi istenmektedir.



Şekil 3.12. Yapılarda Toplam Kat Ötelemesi ve Görelî Öteleme [26]

3.6. Beton ve Donatı Çeliğinde Gerilme – Şekil Değişirme İlişkisi

Yapı sistemlerini oluşturan elemanlarda, deprem istemine karşı yeterli düzeyde sünek davranışın gösterilip, gelen deprem enerjilerini kontrollü bir şekilde sönümleyecek kapasitede

olması beklenir. Arzu edilen bu sünek davranışa ulaşılabilmesi için, yapı elemanlarını oluşturan malzemelerin bu davranışınla uyum içerisinde olması gerekmektedir. Dolayısıyla, yapı malzemelerinin elastik ötesi davranış biçimleri, sistemin işleyişini doğrudan etkileyen bir özelliği içinde barındırır. Bu bağlamda, her bir malzeme cinsinin, gerilme – şekil değiştirme özelliklerine ihtiyaç duyulur. Malzeme gerilme şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde, " σ " birim alana düşen gerilmeyi ifade ederken, birim şekil değiştirme olan " ϵ " ise uzama veya kısalmanın, toplam boya oranını ifade etmektedir.

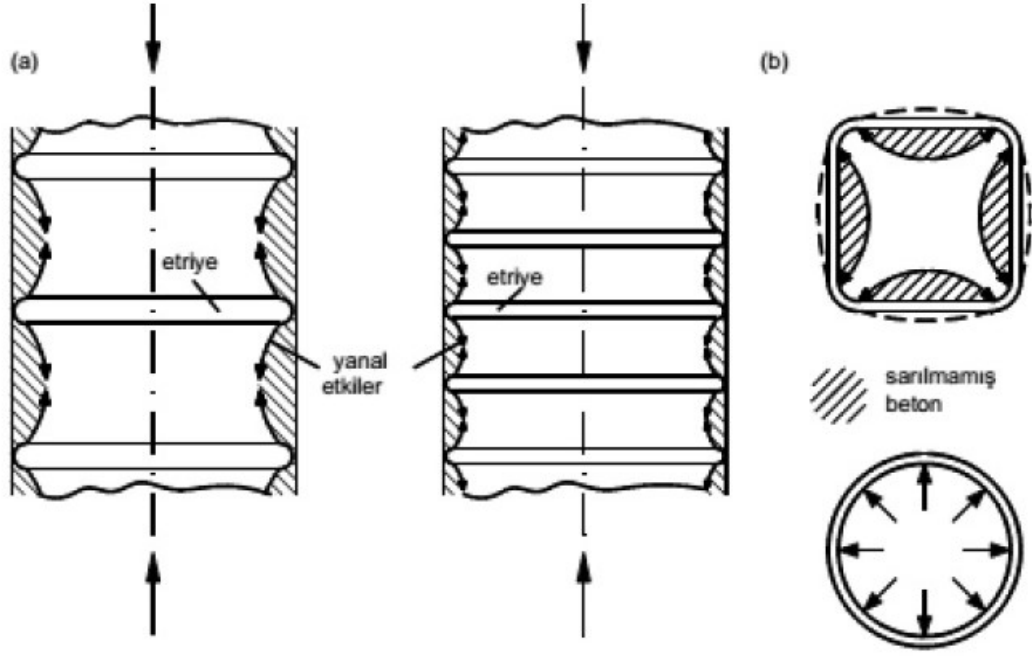
3.6.1. Beton İçin Malzeme Modelleri

3.6.1.1.Sargısız Beton Modeli

Yapısal hesaplamalarda betonun, çekme dayanımı genellikle ihmal edilir. Bu sebeple betonda, basınç gerilmesi - birim kısalma ilişkisi dikkate alınır. Beton, çoğu zaman 0,002 oranındaki birim kısalmaya ulaştığında, doğrusal özelliğini kaybeder ve 0.0035 oranındaki kısalma bölgelerinde ise daha fazla kuvvet alamayıp, dayanımını tamamen yitirir.

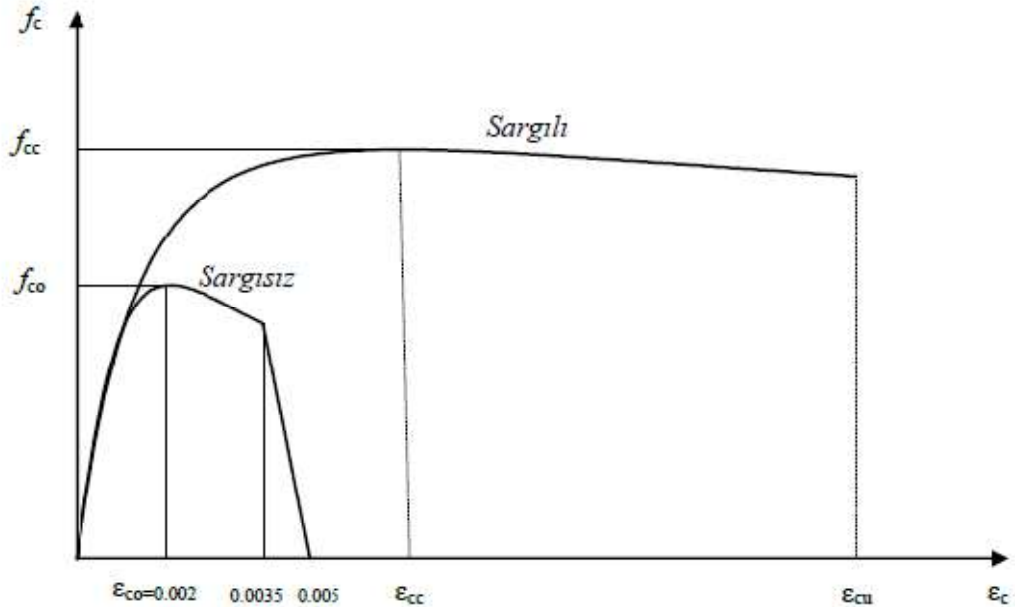
3.6.1.2.Sargılı Beton Modeli

Eksenel basınç gerilmeleri, beton yüzeylerinde gerilme artışına sebebiyet verir. Bu durum da betonun sünek davranmasına engel olur ve ani kırılmalara sebebiyet verir. Beton kabuğu çevresine çekme mukavemeti yüksek sargı elemanları yerleştirmek, yanal gerilmelere karşı adeta bir mesnet etkisi oluşturur. **(Şekil 3.13)** Böylece betonun tek başına sergilediği gevrek davranışının etkisi oldukça düşer ve karşılığında daha sünek davranış gösteren bir yapıya bürünür.



Şekil 3.13. Betonda Sargı Etkisi [27]

Sargılı beton gerilme – şekil değiştirme bağıntısı için birçok farklı model geliştirilmiştir. Hesaplamalarda herhangi bir uygun model kullanılabileceği gibi, TBDY 2018, Mander modelini önermektedir. Şekil 3.14’ te TBDY 2018’de tanımlanan, sargılı ve sargısız beton için malzeme modeli gösterilmektedir.



Şekil 3.14. TBDY 2018’de Sargılı ve Sargısız Beton Modeli [13]

Mander modeline göre sargılı beton da oluşan basınç gerilmesi aşağıdaki denklemlerdeki gibi hesaplanmaktadır.

Sargılı beton basınç gerilmesi (f_c);

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r-1 + x^r} \quad (3.7)$$

Sargılı beton basınç dayanımı f_{cc} ve sargısız beton basınç dayanımı f_{co} arasındaki bağıntı ;

$f_{cc} = \lambda_c f_{co}$ şeklindedir.

$$\text{Burada ;} \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.8)$$

Bu denklemdeki " f_e " etkili sargılama basıncını ifade eder ve,

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu denklemlerdeki

ρ_x, ρ_y ; İlgili doğrultudaki enine donatı oranını,

f_{yw} ; Enine donatının akma dayanımını,

k_e ; ise sargılama etkinlik katsayısını

ifade etmektedir ve aynı denklemlerdeki

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.10)$$

Bu denklemdeki a_i , boyuna donatı aralığını, b_o ve h_o çekirdek betonu saran enine donatı aralığını, " s " ise enine donatıların boyuna doğrultu aralığını ve " A_s ", boyuna donatı alanını ifade etmektedir.

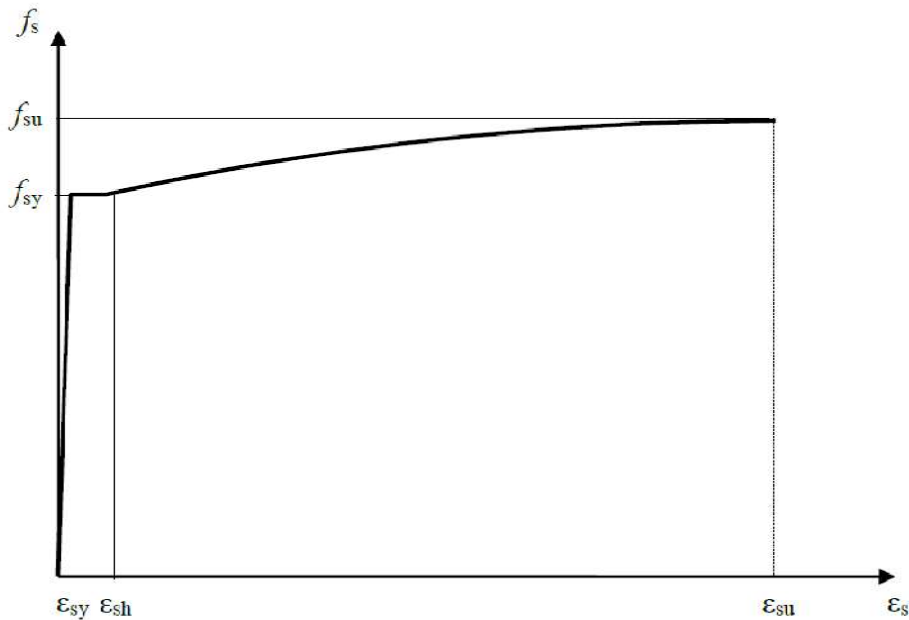
3.7 denkleminde belirtilen x ve r değişkenlerine ait bağıntıları, aşağıdaki denklemlerdeki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} x &= \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \\ r &= \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c = 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \end{aligned} \quad (3.11)$$

İlgili bağıntılardan da görüldüğü üzere, betonda sargı etkisi, sargı donatısının çapına, akma dayanımına, yerleştirme aralığına ve kullanılan donatı oranına göre değişkenlik gösterebilmektedir.

3.6.2. Donatı Çeliği Modeli

Beton ile birlikte kullanıldıklarında, betonun çekme dayanımındaki büyük bir eksikliğini tamamlayan donatı çeliği, genelde gerilme ve birim uzama bağıntısı ile değerlendirilir. Yönetmelik, doğrusal olmayan davranış için farklı donatı dayanımlarına ait Şekil 3.15 ve Tablo 3.6' da gösterilen şekil değiştirme eğrisinin ve bağıntılarının kullanılmasını önermektedir.



Şekil 3.15. TBDY 2018'de Donatı Çeliği Gerilme – Şekil Değiştirme İlişkisi [13]

Tablo 3.6. TBDY 2018 Donatı Sınıfına Göre Akma - Kopma Dayanımları ve Birim Şekil Değiştirme Değerleri [13]

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} / f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.20
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B420C	420	0.0021	0.008	0.08	1.15 – 1.35
B500C	500	0.0025	0.008	0.08	1.15 – 1.35

Tablo 3.6’ da görüldüğü üzere, standart S420 donatısında akma durumu için birim uzama 0,0021 iken, kopma noktasında bu oran 0,08 olmaktadır.

3.7. Etkin Kesit Rijitlikleri

Beton malzemesinin çekme dayanımı oldukça düşük olduğundan, kesitler en küçük zorlanmalar altında dahi kabuk betonundaki çatlamalara maruz kalırlar. Bu sebeple TBDY 2018, deprem etkisi altındaki yapı elemanlarında etkin kesit rijitliklerinin kullanılmasını talep etmekte ve doğrusal çözümlemelerde elemanın özelliğine göre, Tablo 3.7’ deki değerlerin kullanılması gerektiğini ifade edilmektedir. Doğrusal olmayan analizler de ise denklem 3.12 de verilen çözümlemelerden faydalanılmalıdır.

Tablo 3.7. TBDY 2018 ‘de Etkin Kesit Rijitlikleri [13]

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpımı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>Çubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

3.7.1. Doğrusal Olmayan Modellemelerde Etkin Kesit Rijitlikleri

Doğrusal olmayan yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş, bağ kiriş ve perdeler için etkin kesit rijitlikleri aşağıdaki denklemdeki gibi elde edilmektedir.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \quad (3.12)$$

Burada ;

M_y ; Etkin akma momentini

L_s ; Kesme açıklığı (kolon ve kirişlerde açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın tabanından perde yüksekliğine olan uzaklığın yarısı)

θ_y ; akma dönmesini ifade etmekte ve,

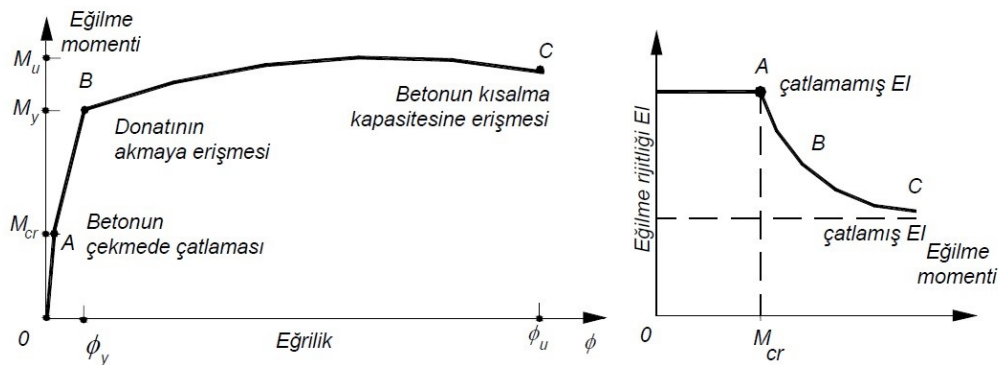
(3.13)

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.15 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}}$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

" ϕ_y ", kesitteki etkin akma eğriliğini ifade etmekte olup, kolon ve kirişlerde $\eta = 1$, perdelerde $\eta = 0.5$ alınacaktır.

Çalışmanın ilgili bölümlerinde, yapının hakim periyodunun hesabında ve deprem etkisi altındaki hesaplamalar için kiriş elemanların etkin kesit rijitliklerinde moment-eğrilik bağıntılarından faydalanılmıştır. (Şekil 3.16) Kolon ve perde elemanlar için ise fiber kesit özelliklerinden yararlanılmıştır.



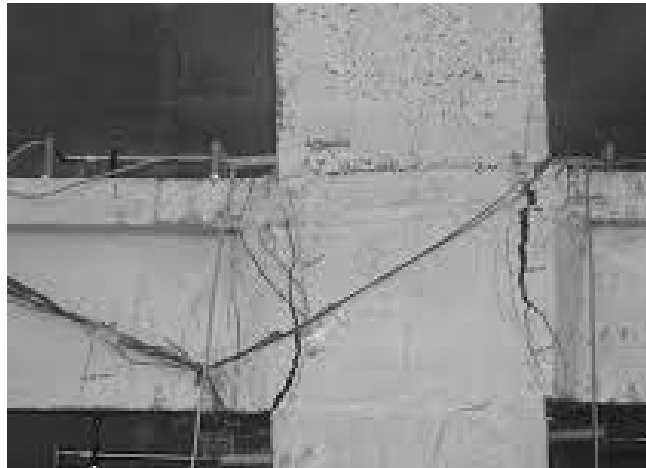
Şekil 3.16. Moment – Eğrilik ilişkisi [28]

3.8. Plastik Mafsal Kavramı

Yapılar, kullanım ömrü boyunca seyrek sayıda gerçekleşebilecek şiddetli depremlere karşı her durumda doğrusal özellikte kalamayabilirler. Yapı tasarımlarında, bu husus göz önünden bulundurularak, gelen deprem etkisinde bir azaltım yapılır ve yapıdan sünek bir davranış sergilemesi beklenir.

Doğrusal ötesi davranışa geçen yapılarda bir takım hasar mekanizmaları oluşmaya başlar. Hasar oluşumları öncelikle iç kuvvetlerin yüksek artış gösterdiği bölgelerde, diğer bir deyimle kolon kiriş birleşim bölgelerinde başlar. Yapıların sünek davranışını doğrudan etkileyen bu birleşim bölgeleri, yapı tasarımlarında dikkatlice ele alınır. Kesme kuvvetlerinden oluşabilecek gevrek davranışı kontrol altında tutabilmek için yönetmeliğe uygun özel hesaplar ve donatı detaylandırılmaları yapılmaktadır. Böylece kesme kuvvetlerinden dolayı yapı elemanlarında hasar oluşmadan, eğilme etkisinde kontrollü ve sünek hasar oluşumu amaçlanmaktadır.

Bahsi geçen etkinin sağlanabilmesi için yönetmelikte kapasite tasarım ilkesi benimsenmiştir. Kesme kuvveti hesaplamaları, elemanların moment taşıma kapasitesine göre yapılarak, yapılarda kesmeden dolayı oluşabilecek hasarın önüne geçilmesi arzu edilir. Ayrıca tasarımda, hasar oluşumunun öncelikle kiriş elemanlarında, sonrasında ise kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanlarında oluşması hedeflenir. **(Şekil 3.17)** Bu gibi özelliklerin sağlanabilmesi için güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesine bağlı kalınarak, kolonların eğilme momenti taşıma kapasitelerinin, kirişlerden daha yüksek olması amaçlanmaktadır.



Şekil 3.17. Betonarme Yapılarda Arzu Edilen Mekanizma Oluşum Biçimi [29]

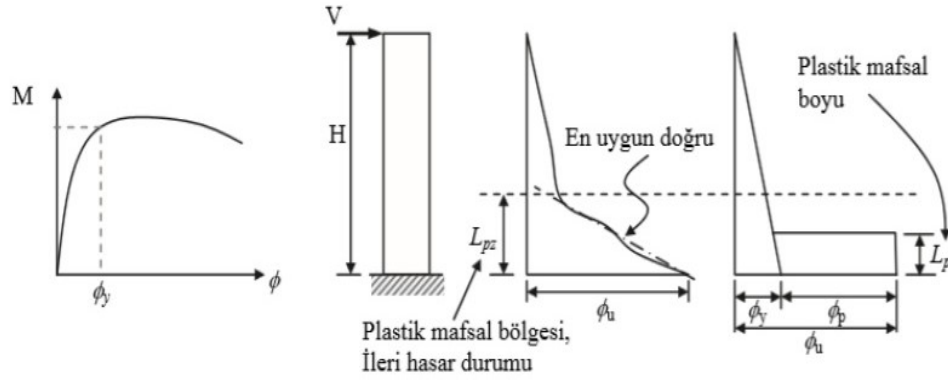
Bu gibi hasar oluşumları dikkate alındığında, yapıda potansiyel hasar bölgelerinin düğüm noktalarında oluşacağı aşıkardır. Doğrusal olmayan mafsallaşmalar bu bölgelerde başlar. Bu sebeple, yapı elemanlarının bu bölgelerinde özel bir model yaklaşımı geliştirilmekte ve bu

bölgelerde potansiyel plastik mafsall oluşumları tanımlanmaktadır. Kendi içerisinde iki tip mafsall kabulü vardır. Bunlar yığılı plastik mafsall ve yayılı plastik mafsall kabulleridir.

3.8.1. Yığılı Plastik Mafsall Modeli

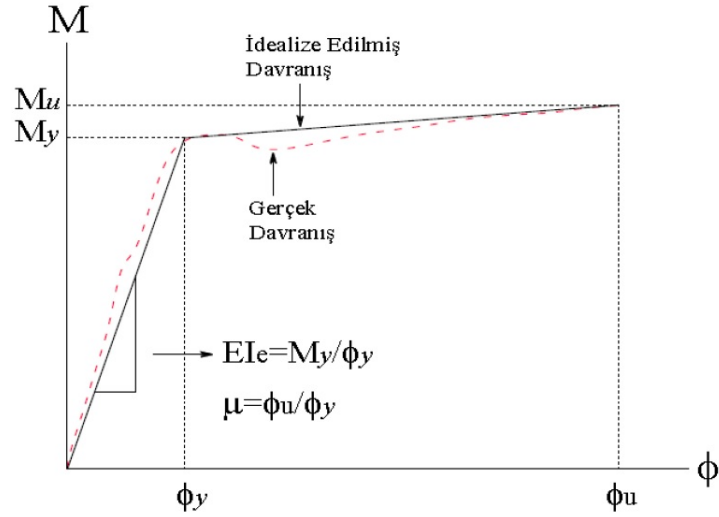
Mafsallaşmanın bir noktada yoğunlaştığı bir plastik mafsall çeşidi olarak ifade edilmektedir. Sonlu uzunluktaki bir noktada tanımlanan mafsall için sadece moment (M_3) yada eksenel kuvvetlerinde dikkate alındığı çift doğrultulu moment (P-M₂-M₃) mafsallı olarakta kullanılabilmektedir. Yığılı plastik mafsallar, elemanda potansiyel plastikleşmelerin olabileceği bölgelerde tanımlanır ve elemanın geri kalan bölgeleri ise elastik özellikte olduğu kabulü yapılır.

Potansiyel bir mafsallaşmanın oluşabileceği plastik mafsalların boyu, Şekil 3.18' de görüldüğü üzere idealize edilerek, kesit yüksekliğinin yarısı olarak dikkate alınabilmektedir.



Şekil 3.18. Yığılı Plastik Mafsall Modeli [28]

Bir elemanın mafsall özellikleri için eleman kesitine ait moment-eğrilik bağıntısından faydalanılır. Bu sayede ilgili mafsalla ait dönme kapasitesi elde edilebilir.



Şekil 3.19. Betonarme Bir Kesite Ait Tipik Moment – Eğrilik İlişkisi [30]

Şekil 3.19’ da görülen moment-eğrilik bağıntısı için plastik mafsallın maksimum dönme şekil değiştirmesi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir ;

$$\theta_p = (\phi_u - \phi_y) L_p \quad (3.14)$$

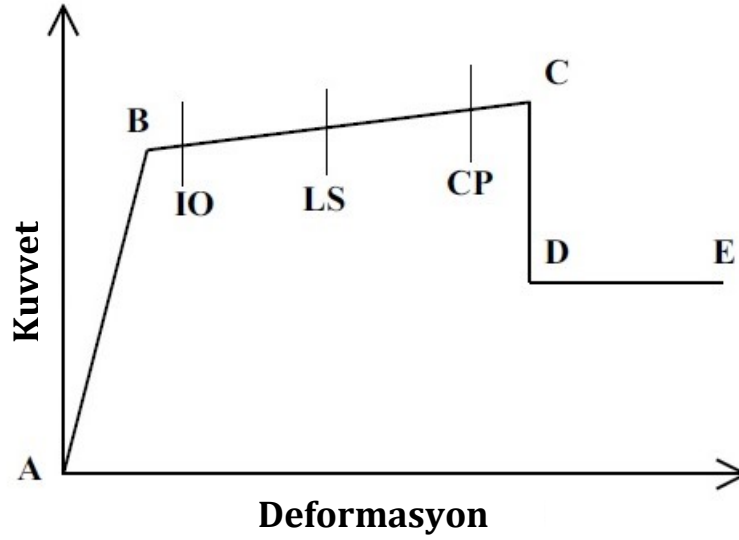
Burada ;

ϕ_u : Kesite etkiyen eksenel kuvvetin de dikkate alınarak elde edilen göçme öncesi toplam eğriliğini,

ϕ_y : Kesite etkiyen eksenel kuvvetin de dikkate alınarak elde edilen etkin akma eğriliğini,

L_p : Plastik mafsall boyunu,

ifade etmektedir.

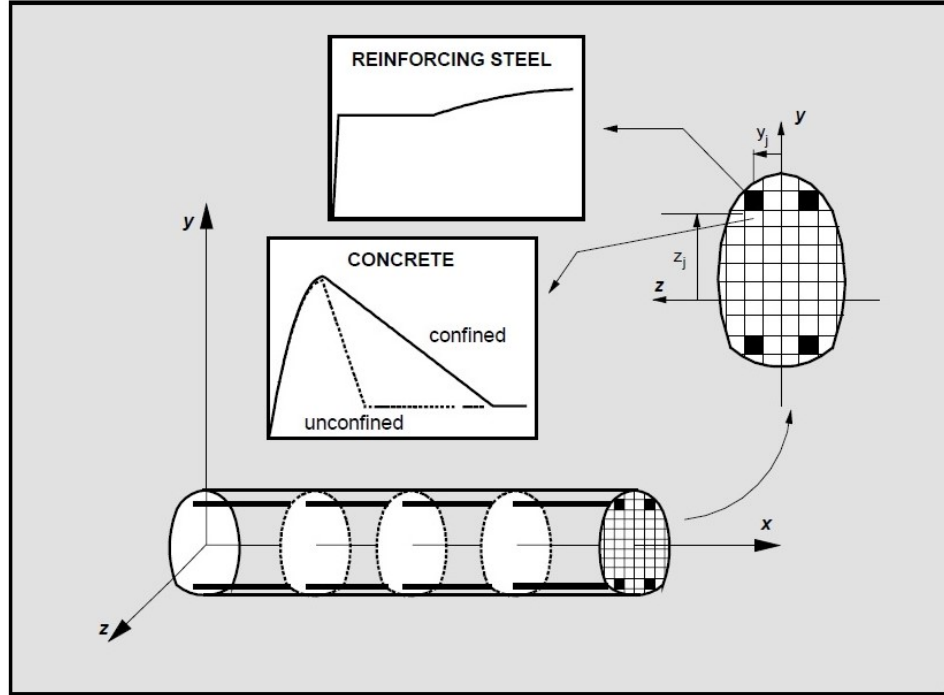


Şekil 3.20. Eğilme Momenti – Dönme ilişkisi ve Performans Noktaları

Tanımlanan mafsallar Şekil 3.20’ deki gibi B noktasında, kesitin akma noktasını, C noktasında maksimum dönme kapasitesini ifade etmekte olup, D ve E noktaları mekanizma durumundan sonraki artık yükü ifade etmektedir.

3.8.2. Yayılı Plastik Mafsallı Modeli

Yayılı plastik mafsallı modelinde, mafsallaşma tüm eleman boyunca dikkate alınır. Oldukça yüksek işlem gücü gerektiren mafsallı modelinde, eleman boyunca yeterli sayıda entegrasyon noktası sağlandığı durumda daha hassas sonuçlara ulaşılabilmektedir. Mafsallı özellikleri elemanın kesit (lif) hücrelere bölünmesi ile belirlenebilmektedir. **(Şekil 3.21)** Elemanların etkin kesit özelliklerine ve birim uzama-kısalma değerlerine doğrudan ulaşılabilmesi, yöntemin bir diğer avantajıdır. Her bir kesit hücresi, düzlemsel olarak uzama - kısalma yapar ve kesitlerin her zaman düzlem kaldığı kabulü geçerlidir. İlgili kesit hücreleri, sargılı, sargısız beton ve donatı çeliğinin doğrusal olmayan malzeme modellerinden oluşurlar.



Şekil 3.21. Yayılı Plastik Mafsal Modeli [31]

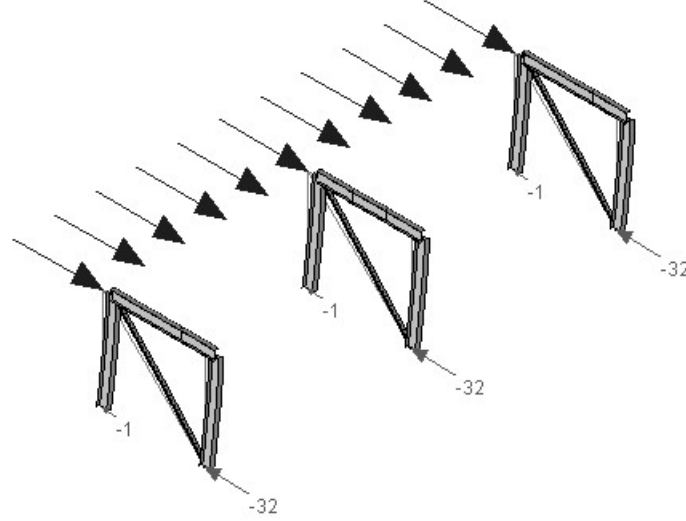
3.9. Döşeme Analiz Modelleri

Deprem etkisi altındaki yapı sistemlerinde, yatay kuvvetlere karşı gelen düşey taşıyıcı yapı elemanları, döşeme davranışlarından doğrudan etkilenirler. Yatay kuvvetlerin, düşey taşıyıcı elemanlara ne şekilde ve hangi oranlarda yük aktarımı yapacağı yine döşemeler tarafından belirleyici olur. Bu sebepten döşeme sistemlerindeki farklılıklar, dinamik etkiler altındaki yapı sistemlerinin davranışını önemli ölçüde değiştirebilir. Yapı sistemlerinde döşemelerin davranış çeşidi ile ilgili yapılan kabuller eleman düzeyinde oluşacak iç kuvvet etkilerini oldukça etkileyebilir. Bu etki yapının geometrisi, boşluk oranı ve döşeme elemanının kesit özellikleriyle daha çok artabilir. Yapılarda diyafram etkisini oluşturan döşeme sistemlerinde 3 temel tipte yaklaşım mevcuttur. Bunlar rijit diyafram, yarı rijit diyafram ve esnek diyafram model kabulleridir.

3.9.1. Rijit Diyafram Modeli

Bu döşeme modelinde, döşeme sisteminin düzlem içi davranışının tamamen rijit olduğunu ve yatay kuvvetlerin düşey taşıyıcı elemanlarının rijitliği oranında dağıldığı varsayımına dayanmaktadır. (**Şekil 3.22**) Döşemede düzlem içi şekil değiştirmelerin oluşmadığı veya ihmal edilebilecek düzeyde kaldığı kabul edilir. Modelleme, döşeme parçalarındaki birçok

bilinmeyen derecesini azalttığı için yapısal hesaplamalarda büyük kolaylık sağlar. Her sistem için uygun olmayan bu tip modelleme şeklinde, planda dörtgen ve düzensizliği bulunmayan betonarme döşemeli yapı sistemlerinde genellikle yeterli yaklaşımı sunmaktadır.

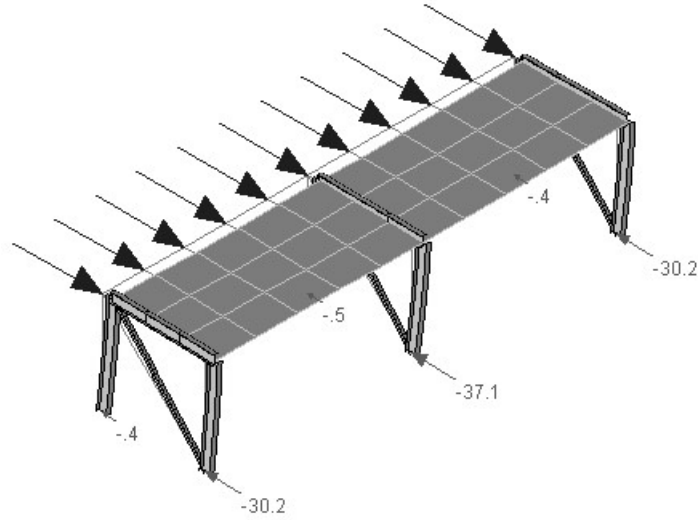


Şekil 3.22. İdeal Rijit Diyafram Modelinde Düşey Elemanlara Aktarılan Tipik Yük Dağılımı [32]

3.9.2. Yarı - Rijit Diyafram Modeli

Yarı rijit diyafram modellerinde, rijit diyafram modelinin aksine döşeme modellemesi, tüm sistem ile birlikte modellenir. Döşeme sisteminde yeterli sayıda ızgara sisteme bölünmesiyle döşemenin tüm sonlu elemanlar modeli oluşturulur. Böylece sistem içerisindeki bilinmeyen sayısında önemli derecede artış meydana gelir. Bu doğrultuda işlem adımları giderek artmaya başlar. Bu modellemenin avantajı, döşemelerin düzlem içi rijitliklerinin de dikkate alınabilmesidir. Dolayısıyla düşey taşıyıcı elemanlar yatay kuvvetleri sadece kendi rijitlikleri oranında değil, aynı zamanda döşemelerin düzlem içi rijitliğinin katkısıyla da karşılarlar. (Şekil 3.23)

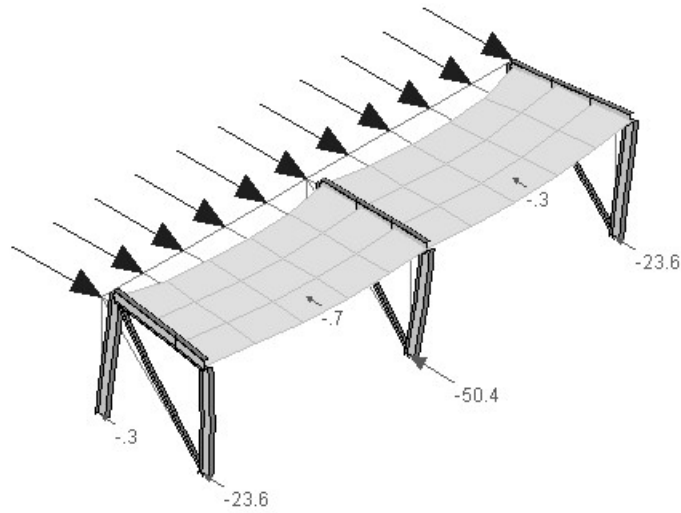
Yarı rijit diyafram modellemelerinde, döşeme ötelemeleri yatay taşıyıcı eleman ötelemeleri ile aynı, ya da bir miktar fazla olabilir. Yarı rijit diyafram kabulü yapılan sistemler, rijit diyafram kabulüne uygun olan sistemlerde genellikle benzer sonuçlar vermektedirler.



Şekil 3.23. Yarı – Rijit Diyafram Modeli [32]

3.9.3. Esnek Diyafram Modeli

Bu tip döşeme kabulünde, döşeme sistemi, yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarının rijitliğine oranla çok daha düşük seviyede kalır. Döşeme sisteminin düzlem içi deformasyonu, düşey eleman deformasyonlarından fazladır. Yatay yükleri karşılayacak olan düşey taşıyıcı elemanlardaki kuvvet dağılımları, elemana ait ilgili döşeme alanlarının kütleleri oranında gerçekleşir. (Şekil 3.24)



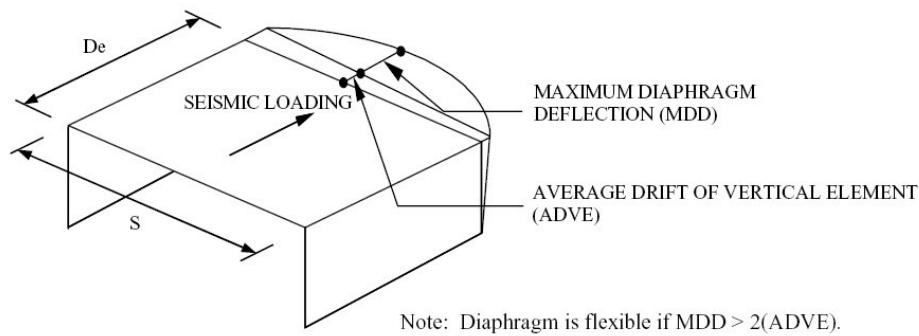
Şekil 3.24. Esnek Diyafram Modelinde Tipik Yük Dağılımı [32]

Bu tez çalışmasında, aynı düşey taşıyıcı sistem üzerinde farklı döşeme tiplerinin sonuçlarının karşılaştırmaları yapılacağı için benzer döşeme modelleme tekniklerinden ve

kabullerinden faydalanılmalıdır. Dolayısıyla döşemelerde kısmen rijit, kısmen esnek olarak çalışan yarı rijit diyafram davranış kabulü seçilerek, sonuçların benzer modelleme tekniği koşullarında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca TBDY 2018'in döşeme modellemeleri için verilen ilgili maddesinde, " 3.6.2.2'ye göre A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu ve/veya döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmasının öngörülmediği binalarda ve betonarme kirişsiz döşemeli sistemlerde döşemeler iki boyutlu sonlu elemanlarla modelleneyecektir. " [13] tanımı yapılmıştır.

ASCE 7-16' nın döşeme davranışı kabulü ise şu şekilde açıklanmaktadır;

- Rijit bir üst tabliye yapısına sahip olmayan çelik katlar veya ahşap panel döşeme olarak inşa edilen sistemlerin diyafram tipleri, esnek diyafram modeli olarak kabul edilmesi gerektiği belirtilmektedir.
- Plan üzerinde uzunluk ve derinlik oranının 3 yada daha az olan ve herhangi bir plan düzensizliği içermeyen betonarme döşeme veya beton tabliyeli çelik döşeme katlarını, rijit diyafram kabulüne uygun olduğu belirtilmektedir.
- Eğer yukarıda açıklanan iki madde için de aranılan özellikler karşılanamıyorsa, bu durumda, döşeme düzlem içi deformasyonun, düşey taşıyıcı elemanlarının ortalama yatay ötelemelerine olan oranına bakılmaktadır. Eğer bu oran iki katın üstünde ise döşemenin esnek diyafram kabulüne göre dikkate alınması gerektiği, ifade edilmektedir. **(Şekil 3.25)**



Şekil 3.25. ASCE 7-16' da Esnek Diyafram Kabulü [15]

TBDY 2018'in ve ETABS yazılımının da referans olarak gösterdiği ASCE 7-16' da belirtilen döşeme davranış biçimleri dikkate alınarak ve yapıdaki farklı döşeme tiplerinin benzer koşullar altında karşılaştırılabilmesi için tasarımlarda yarı rijit diyafram davranış modeli kabulü yapılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Sayısal Çalışma

Bu tez kapsamındaki çalışmada TBDY 2018' e göre BYS1 kategorisine giren 72 m yüksekliğindeki bir yapının, farklı döşeme sistemlerinde doğrusal olmayan davranışlarının karşılaştırması yapılmıştır. Seçilen döşeme tipleri ve kesitleri projelendirme süreçlerinde sıkça karşılaşılan özelliklere sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Kesitlerde minimum donatı oranlarına sahip olacak şekilde tasarımılandırma yapılmıştır. Her katın 4 m yüksekliğe sahip olduğu yapıda, toplamda 18 adet kat bulunmaktadır. Farklı döşeme tipindeki sistem modelleri kategorilendirilerek aşağıdaki şekilde isimlendirilmiştir;

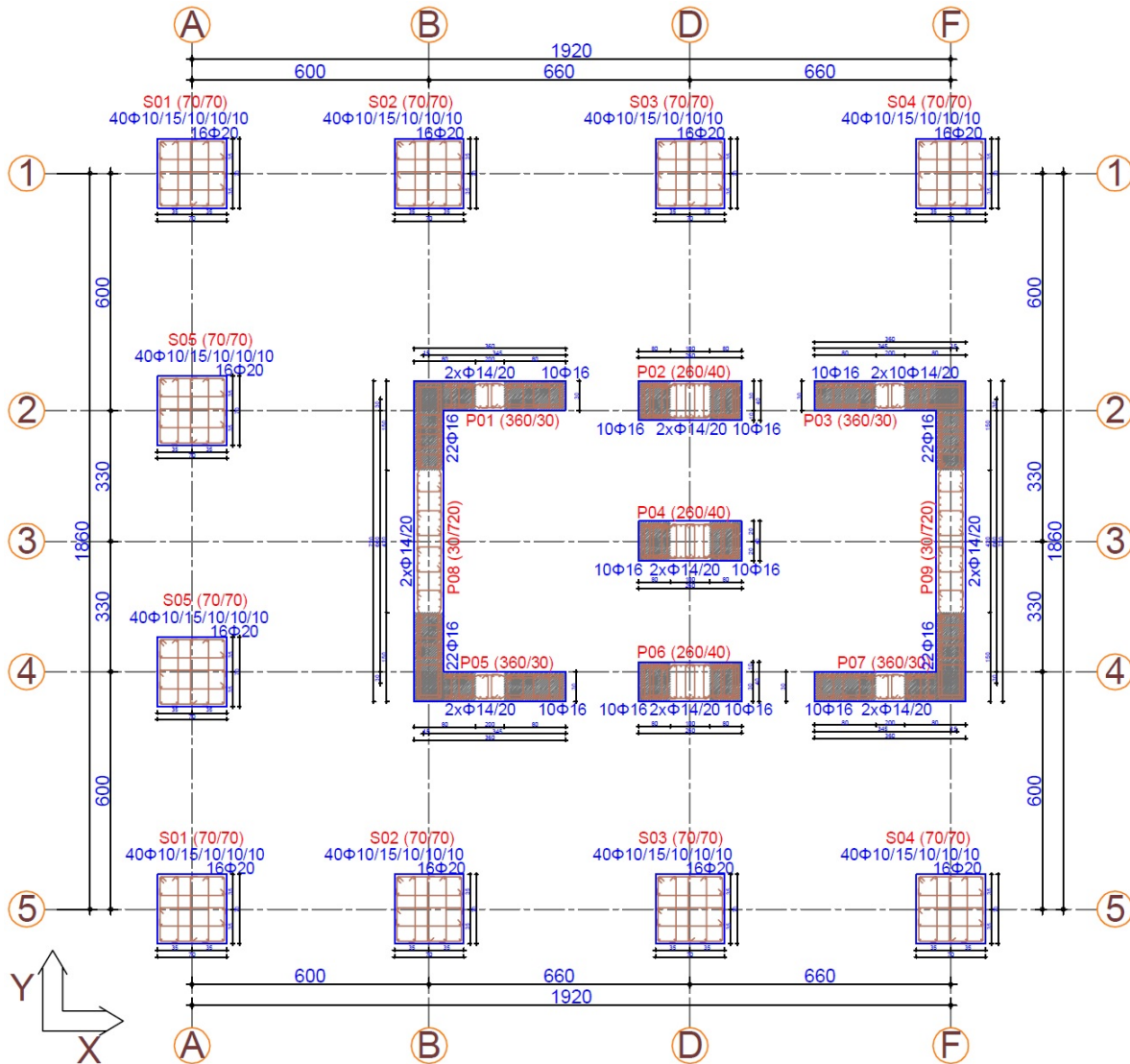
- Sistem 1, Plak döşemeli yapı sistemi.
- Sistem 2, Asmolen döşemeli yapı sistemi.
- Sistem 3, Mantar döşemeli yapı sistemi.
- Sistem 4, Döşeme modellemesiz (plak döşemeli) yapı sistemi.

Döşeme modellerinin sistem ile birlikte çözümlendiği yapılara ait döşemelerin diyafram seçiminde yarı rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Döşeme modellenmeyen "döşeme modelsiz (kirişli plak döşeme)" durum için ise tam rijit diyafram kabulü yapılmıştır.

Yapının, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölüm Binasının konumunda olduğu varsayımı yapılmıştır. Bu konumun seçimindeki sebep, özellikle yapıda dinamik zorlamaların yüksek derecede olduğu bir bölgenin hedef alınmasıdır. Zemin değerleri için de aynı amaç izlenilmiş olup, zemin sınıfı olarak ZD seçilmiştir. Bu sayede yapıda yüksek iç kuvvet değerleri elde edilmeye çalışılıp, deformasyon ve mafsallaşmalarda daha belirgin sonuçlara ulaşılabilmeye çalışılmıştır. Gerekli koordinat değerleri ve depremsellik verileri belirtilen konum üzerinden alınmıştır. Zaman tanım alanı analizinde gerekli olan deprem kaydı verileri için PEER web uygulamasından yararlanılmıştır. Yine aynı uygulama üzerinden DD1 depremi tasarım spektrumuna göre ölçeklendirme işlemleri yapılmıştır. Doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlemelerde SAP2000 V19 [33] hesap yazılımından faydalanılmıştır. Karşılaştırmalarda olabildiğince sistemlerde ortak sonuçlar doğurabilecek davranış etkileri üzerinde durulmuştur. Bunu sağlayabilmek için yapılar aynı yüklemeler altında zorlamaya tabi tutularak, benzer analiz koşullarının oluşturulabilmesi amaçlanmıştır. Bu bölümde ilk etapta oluşturulan sistemlerin ortak yönlerinden bahsedilip, sonrasında farklı sistemlerin kendi aralarındaki farklılıklarına yer verilmiştir.

4.1.1. Sistemlerde Kullanılan Ortak Veriler

Şekil 4.1’ de, kolon aplikasyon planı verilen sistem, tüm farklı döşeme tiplerinde kullanılacak olan düşey taşıyıcı eleman kesitlerini ve donatı detaylarını içermektedir. Diğer ortak özellikler ise ilgili bölümlerde açıklamalı bir şekilde belirtilmiştir.



Şekil 4.1. Tipik Kolon Aplikasyon Planı

4.1.1.1. Yapı Özellikleri

Yapıya ait özellikler kısaca aşağıda belirtilmiştir.

- *Toplam Kat Adedi* : 18
- *Kat Yüksekliği* : 4 m
- *Plan Alanı* : 19.20 m x 18.60 m

4.1.1.2. Malzeme Özellikleri

Tüm farklı yapı sistemleri için malzeme özellikleri

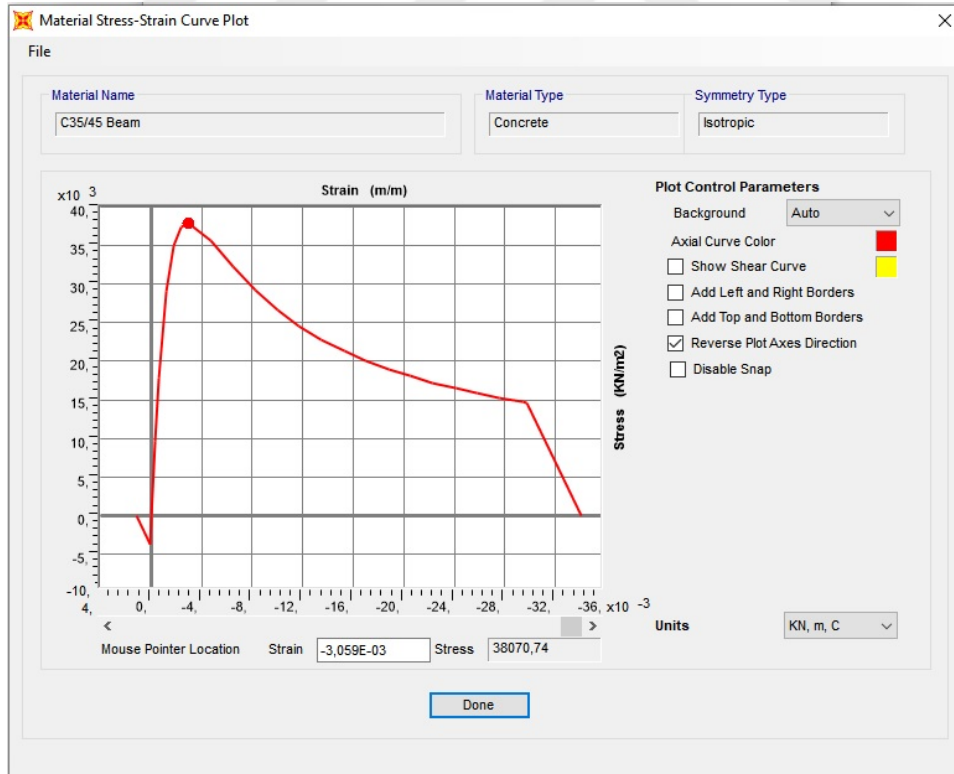
- *Beton Sınıfı* : C35
- *Enine ve Boyuna Donatı Kalitesi* : B420C

şeklinde kabul edilmiştir.

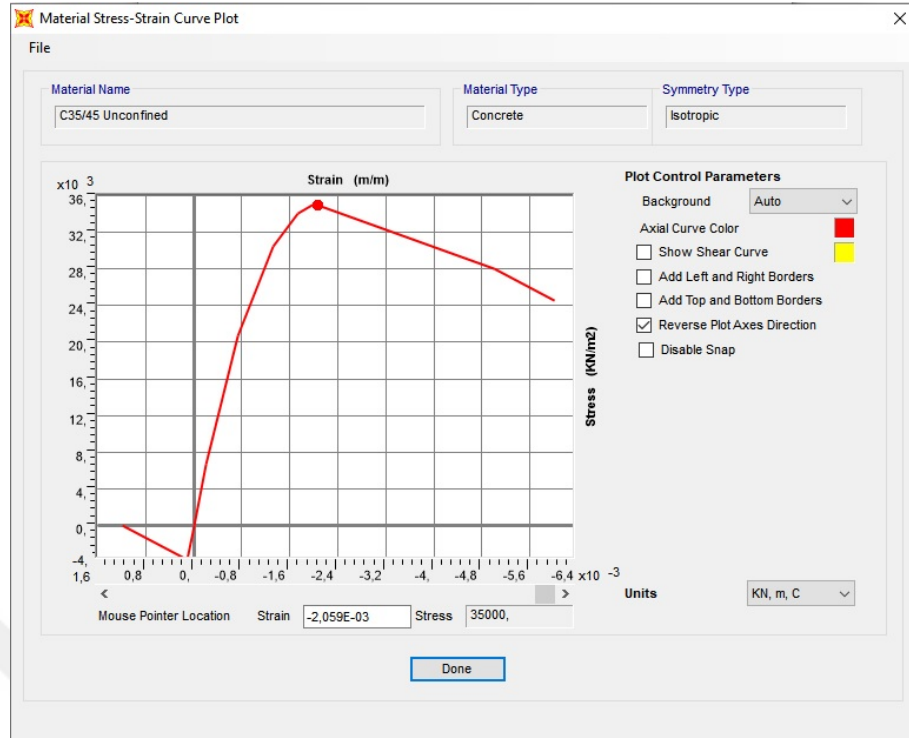
Kolon, perde ve kiriş elemanlarda enine donatı aralığı ve şekilleri farklı olduğu için, 2 farklı beton sargı modeli kullanılmıştır. Sargısız beton modeli, donatı pas payı bölgesinde kullanılacağından dolayı, ayrıca sargısız beton etkisi de hesaplarda dikkate alınmıştır. Şekil 4.2, 4.5' de programda tanıtılan sargılı, sargısız ve donatı malzeme modellerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri verilmiştir.



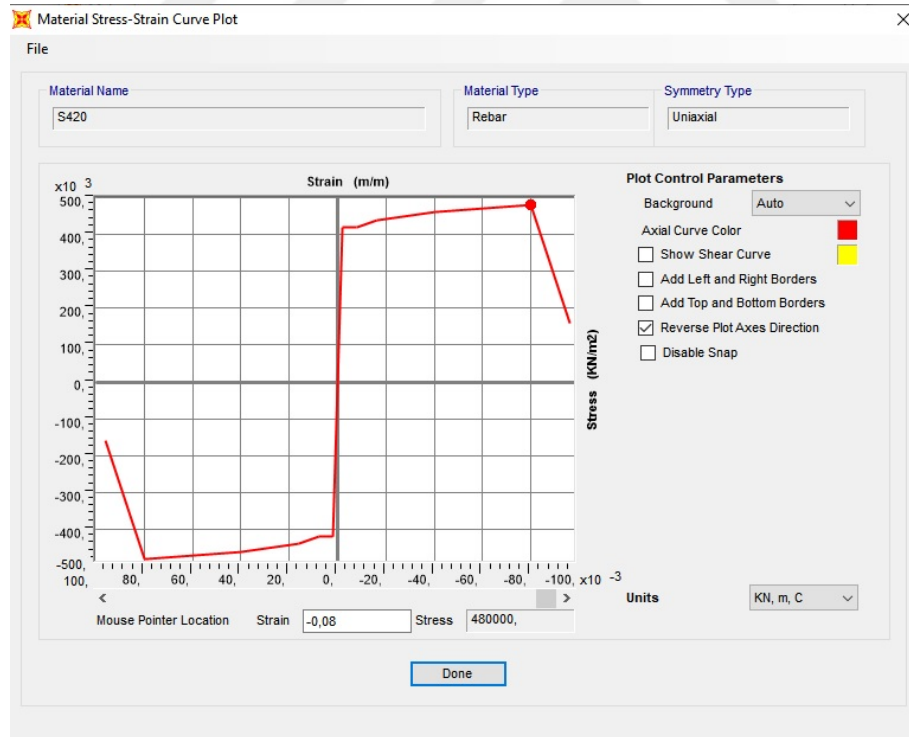
Şekil 4.2. Perde ve Kolon Elemanlar İçin Kullanılan C35 Sargılı Beton Modeli



Şekil 4.3. Kiriş Elemanlar İçin Kullanılan C35 Sargılı Beton Modeli



Şekil 4.4. C35 Sargısız Beton Modeli



Şekil 4.5. Donatı Modeli

4.1.1.3. Servis Yükleri

Yapıya etki eden düşey yükler verilirken, yapının bir işyeri ofisi kullanımına uygun nitelikte olması amaçlanmıştır. Kaplamaların tesviye betonu + seramik, duvarların ise mimari fonksiyonlara göre yarım veya tam tuğla duvar olabilme ihtimaline karşın tüm kiriş ve döşeme elemanlara aynı yükleme değerleri verilmiştir. Ofis kullanımlarında zaman içerisinde mekansal işlevlerin değişebileceği düşünülerek, hareketli yüklerde standart 2 kN/m^2 yerine artırım yapılarak, 3 kN/m^2 değeri kullanılmıştır.

- *Yapı Kendi Ağırlığı (Dead)* : Döşeme tipine göre değişken
- *Kaplama Yüğü (G)* : $1,7 \text{ kN/m}^2$
- *Duvar Yüğü (G)* : 4 kN/m
- *Hareketli Yüğü (Q)* : 3 kN/m^2

4.1.1.4. Depremsellik Bilgileri

TBDY 2018 de depremsellik verilerine ulaşabilmek için, öncelikle yapının yapılacağı bölgenin koordinat değerlerine ihtiyaç vardır. Koordinatları belirlenen yapıda yerel zemin sınıfının ZD olduğu varsayılmıştır. Sonraki adımda, AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasına geçilerek, bölgenin detaylı depremsellik raporu alınmıştır. Girilen koordinat ve zemin sınıfı değerlerine göre DD2 deprem yer hareketi düzeyindeki kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı S_{DS} 1,691' dir. Bu değer 0,75 değerinden büyük olduğu için yapı, DTS 1 kategorisine dahil olmaktadır. DTS1 kategorisindeki yapının 70 m' yi geçmesinden dolayı yönetmeliğe göre BYS1 yükseklik sınıfındadır. Ofis kullanımına uygun tasarlandığı varsayılan yapıda Bina Kullanım Sınıfı 3 (BKS) olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada doğrusal olmayan analizler için DD1 deprem düzeyi kullanıldığından, çalışma için AFAD' dan alınan detaylı depremsellik raporu verileri aşağıdaki gibi düzenlenmiştir. **(Şekil 4.6)**

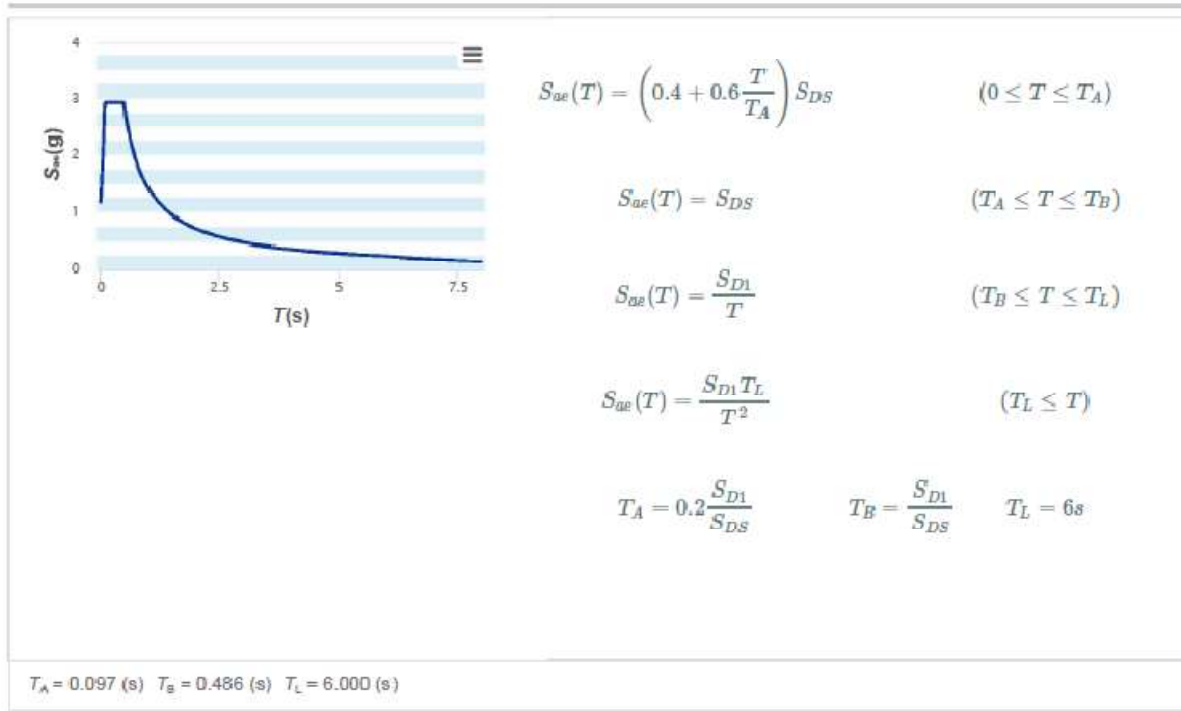
Bu tez kapsamında yüksek binaların tasarım aşamalarından ziyade, doğrusal olmayan zaman tanım alanının analizlerinde farklı döşeme sistemlerinin etkisi irdelenmiştir.

- *Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)* : BYS 1
- *Bina Kullanım Sınıfı (BKS)* : BKS 3
- *Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)* : DTS 1
- *Yapı Davranış Katsayısı (R)* : 6
- *Yapı Koordinat Bilgileri* : (Enlem) 40.7424

(Boylam) 30.3277

- Deprem Düzeyi (DD) : DD-1
- Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı (S_s) : 2.921
- 1 Sn Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı (S_1) : 0,835
- En Büyük Yer İvmesi (PGA) : 1.148 g
- En Büyük Yer Hızı (PGV) : 99.58 cm/sn
- Yerel Zemin Sınıfı : ZD
- Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS}) : 2.921
- 1 Sn Periyot İçin Tasarım Spekt. İvme Katsayısı (S_{D1}) : 1.419

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



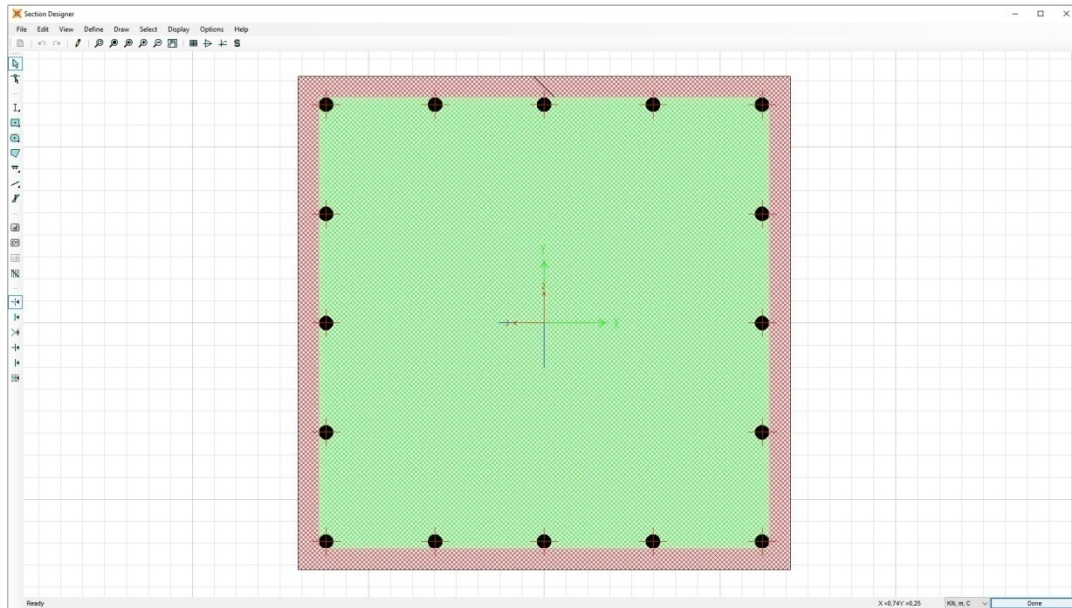
Şekil 4.6. Sismik Tehlike Haritası Detay Raporundan Alınan DD1 Depremi Elastik Tasarım Spektrumu

4.1.1.5. Kesit Özellikleri

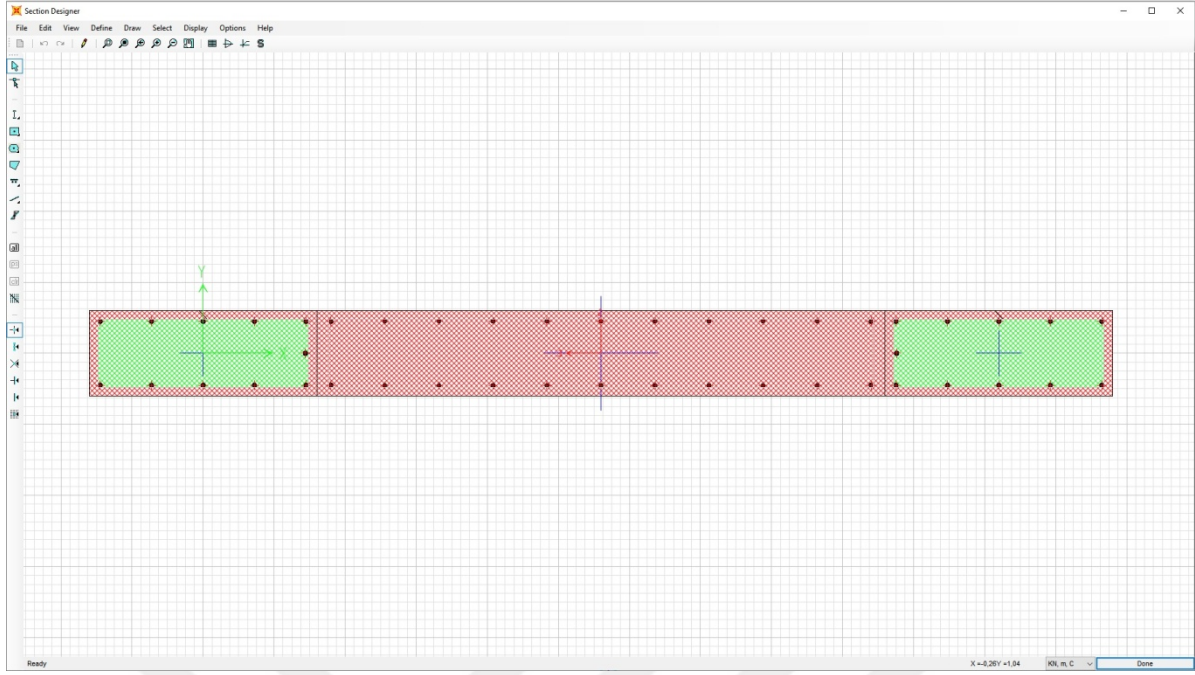
Kolon ve perde elemanlarının kesit özellikleri aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir. Tüm farklı tipte oluşturulan döşeme sistemleri için de bu elemanlar aynı kesit ve donatı özelliklerine sahiptirler. Kiriş ve döşeme kesitleri ise, kullanılacak döşeme çeşidine göre farklılıklar göstermektedir. Çalışmanın amacının doğrusal olmayan analizlerde farklı döşeme tiplerinin yapılarda oluşturduğu etkilerin karşılaştırmaları olduğu için ön tasarım aşamaları

değerlendirilmemiştir. Kesitlerde minimum donatı oranlarına bağlı kalınmıştır. Şekil 4.7' de kesit tanımlaması (Section Designer) kullanılarak oluşturulan 70x70 cm' lik kolon kesiti, Şekil 4.8 de 30x360 cm' lik perde kesiti, Şekil 4.9' da ise 40x60 cm' lik kiriş kesiti ve donatı tanımlamalarının gösterimine yer verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere kolon, kiriş ve perde kesitlerindeki boyuna donatılarının içinde kalan açık alan sargılı beton malzeme modelini, dışında kalan koyu alan ise sargısız kabuk beton modelini belirtmektedir.

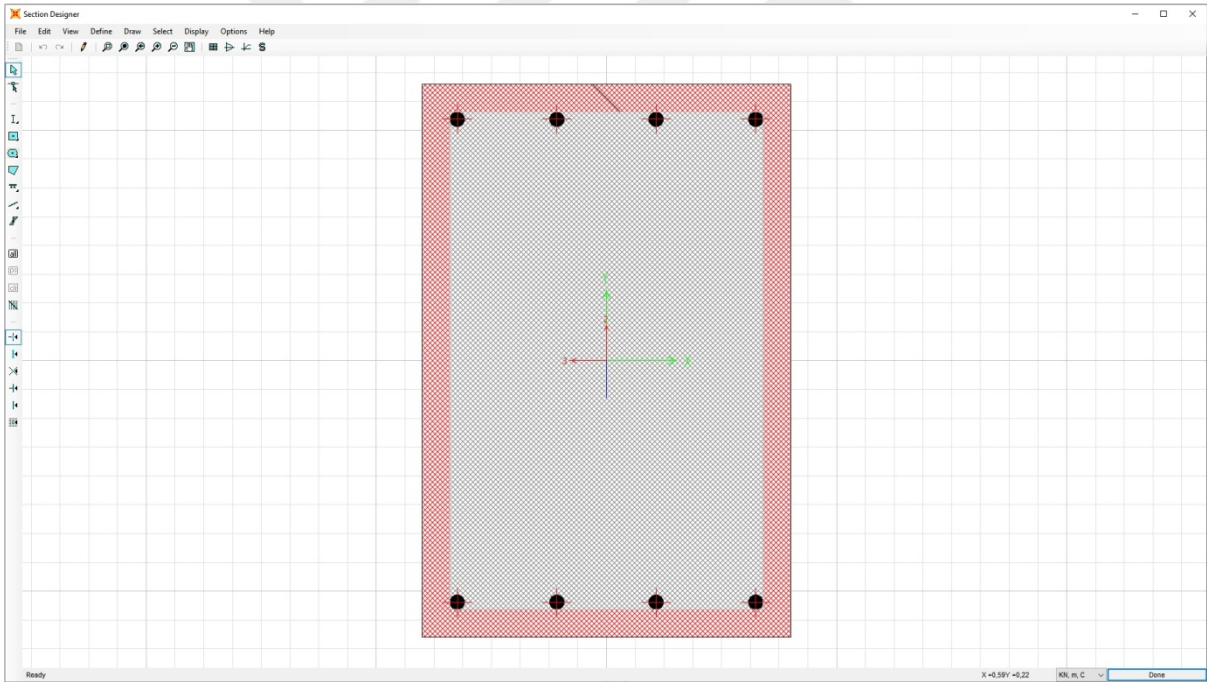
- *Tüm Kolonlar* : 70x70 (cm)
- *P08 – P09 Perdeleri* : 30x720 (cm)
- *P01 – P03 – P05 – P07 Perdeleri* : 30x360 (cm)
- *P02 – P04 – P06 Perdeleri* : 40x260 (cm)
- *Kirişler (Döşeme Çeşidine Göre Değişken)* : 30x60, 40x60, 60x32 (cm)
- *Döşemeler* : Sistem Bazında Değişken
- *Donatı Kullanımı*
 - 70x70 Kolon : 16 ϕ 20
 - 30x720 Perde : 22 ϕ 16 Başlık - ϕ 14/20 Gövde
 - 30x360 Perde : 11 ϕ 16 Başlık - ϕ 14/20 Gövde
 - 40x260 Perde : 11 ϕ 16 Başlık - ϕ 14/20 Gövde
 - 30x60 Kiriş : 3 ϕ 20 Üst - 3 ϕ 20 Alt
 - 40x60 Kiriş : 4 ϕ 16 Üst - 4 ϕ 16 Alt
 - 60x32 Kiriş : 6 ϕ 16 Üst - 6 ϕ 16 Alt



Şekil 4.7. 70x70 cm Kolon Kesiti (Section Designer)



Şekil 4.8. 30x360 cm Perde Kesiti (Section Designer)



Şekil 4.9. 40x60 cm Kiriş Kesiti (Section Designer)

4.1.1.6. Mafsal Tanımlanması ve Etkin Kesit Rijitlikleri

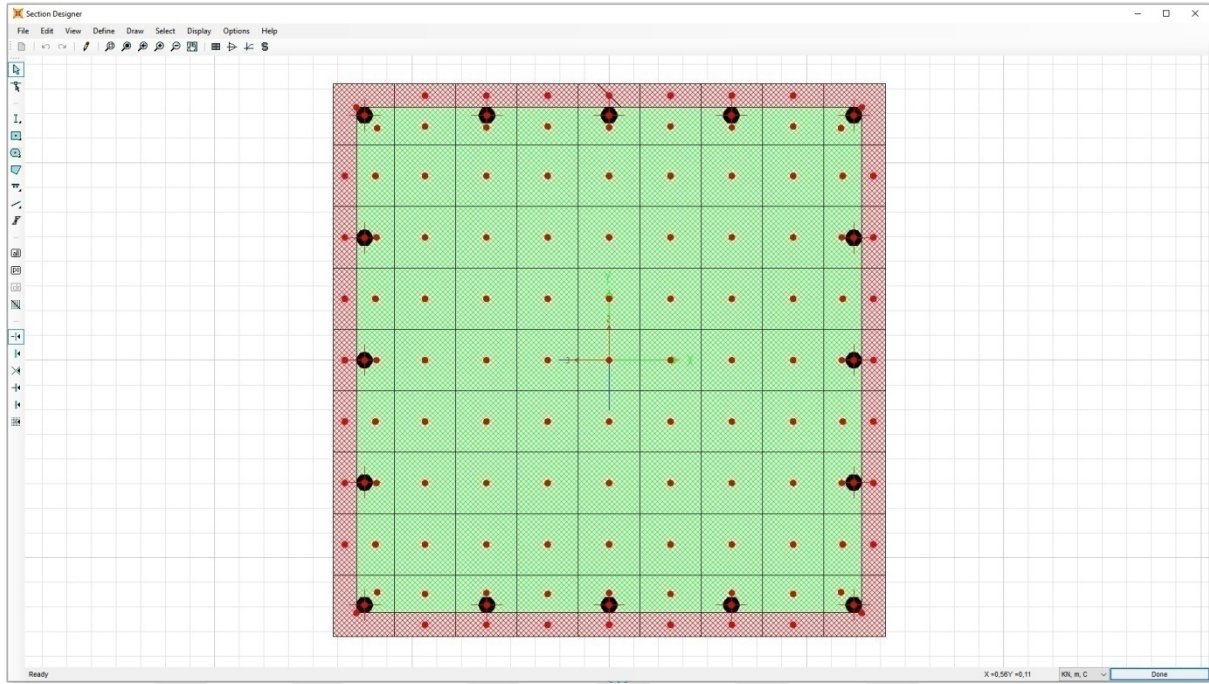
Mafsal atamalarında kolon ve perde elemanları uygun kesit (lif) hücrelerine bölünerek, eleman yükseklikleri boyunca yayılı plastik davranışa göre analizlere dahil edilmiştir. Kiriş elemanlar ise, kiriş uç noktalarında yığılı plastik mafsal kabulüne göre tasarlanmıştır.

Yığılı plastik davranışı esas alınarak tasarlanan elemanların doğrusal özellikte olan kısımlarında ilgili kesitin moment-eğrilik bağıntılarından faydalanılarak etkin kesit rijitlikleri belirlenebilmiştir.

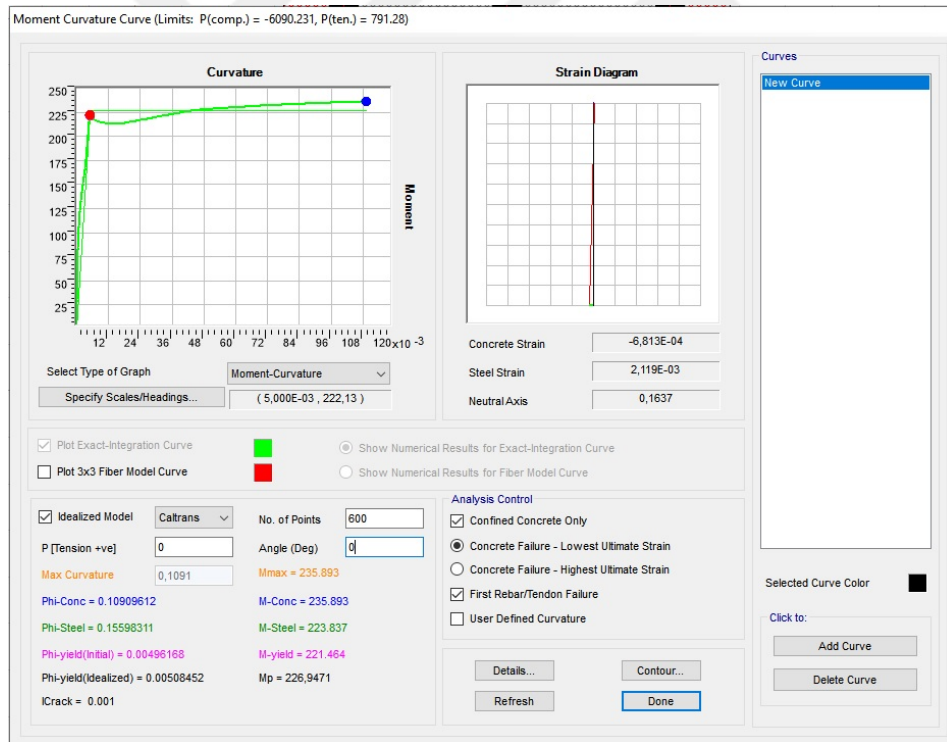
Şekil 4.10 ve 4.11 de sırasıyla 40x260 cm boyutlarındaki perde ve 70x70 cm boyutlarındaki kolon elemanlarının kesit (lif) hücrelerine bölünüş şekillerinin gösterimi yapılmıştır. Şekil 4.12 de 30x60 cm kirişin yığılı plastik mafsalları tanımlanması için gerekli olan moment eğrilik grafiği, Şekil 4.13’ te ise grafikten yararlanılarak elde edilen plastik mafsalları tanımlaması gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 40x260 cm Perde Kesit (lif) Hücreleri Tanıtımı



Şekil 4.11. 70x70 Kolon Kesit (lif) Hücresi Tanıtımı



Şekil 4.12. 30x60 Kirişi Moment-Eğrilik İlişkisi

Frame Hinge Property Data for 30*60 Hinge - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0,2	-0,065
D-	-0,2	-0,045
C-	-1,07	-0,045
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1,07	0,045
D	0,2	0,045
E	0,2	0,065

☒ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

Hysteresis Type: **Isotropic**

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Moment SF:

Rotation SF:

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy

☐ Life Safety

☐ Collapse Prevention

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Positive:

Negative:

Positive:

Negative:

OK **Cancel**

Şekil 4.13. Kiriş Elemanı Plastik Mafsall Tanımı

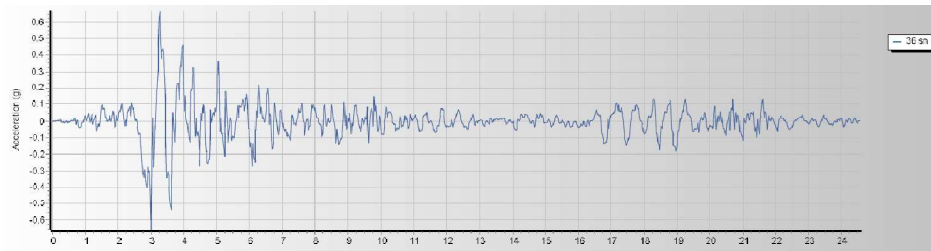
4.1.1.7. Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmeleri

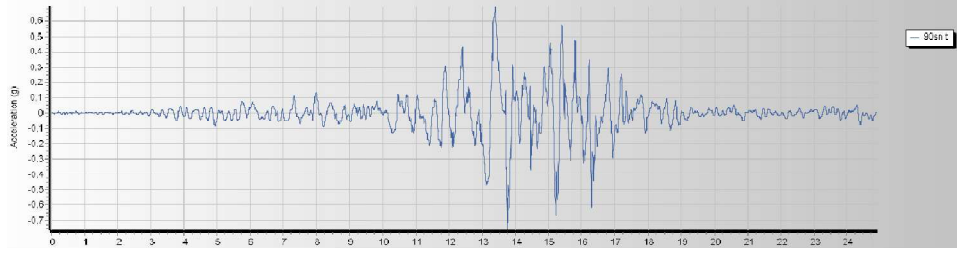
Deprem ivme kayıtları seçilirken olabildiğince farklı depremlerden ve ivme kayıtlarından yararlanılmaya çalışılmıştır. Toplamda 11 adet ivme kaydı seçilmiş ve seçimlerde PEER web uygulamasından faydalanılmıştır [34]. Uygulamada her bir deprem ivme kaydı için iki farklı birleşen dikkate alınarak, karelerin karekökü yöntemi ile birleştirilmeleri yapılmıştır. Birleşimi yapılan 11 kaydın ortalaması yine aynı web uygulaması üzerinden ölçeklendirilmiştir. **(Tablo 4.1)**. Farklı döşeme sistemli yapılara benzer deprem etkilerinin oluşturulabilmesi için, tüm sistemlere aynı deprem ölçeklemeleri uygulanmıştır. Ölçeklemesi yapılan ortalama spektrum eğrisinin, belirtilen aralıktaki DD1 talep spektrum eğrisinin 1.3 katının altında olmamasına dikkat edilmiştir.

Tablo 4.1. DD1' e Göre Ölçeklendirilmesi Yapılmış 11 Kayıt ve Ölçek Katsayıları

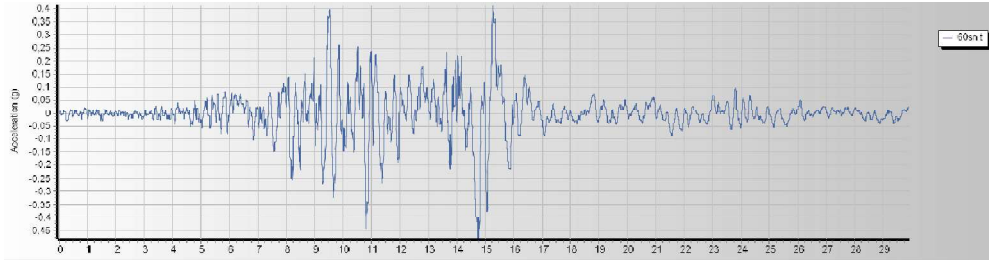
Kayıt Sıra Numarası	Deprem	Yıl	İstasyon	Büyüklik (Mw)	Vs30(m/s)	Ölçek Katsayısı
143	Tabas, Iran	1978	Tabas	7.35	766.77	1,10
779	Loma Prieta	1989	LGPC	6.93	594.83	1,13
828	Cape Mendocino	1992	Petrolia	7.01	422.17	1,59
963	Northridge-01	1994	Castaic - Old Ridge Route	6.69	450.28	1,89
1106	Kobe, Japan	1995	KJMA	6.9	312.0	1,17
1158	Kocaeli, Turkey	1999	Duzce	7.51	281.86	1,91
1197	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY028	7.62	542.61	1,27
1602	Duzce, Turkey	1999	Bolu	7.14	293.57	1,59
1605	Duzce, Turkey	1999	Duzce	7.14	281.86	1,45
5837	El Mayor-Cucapah, Mexico	2010	El Centro - Imperial & Ross	7.2	229.25	2,21
6911	Darfield, New Zealand	2010	HORC	7.0	326.01	1,42

Yapı sisteminde kiriş, kolon ve perdelerle birlikte döşemelerin analizde göz önüne bulundurulması sebebiyle oluşan uzun çözümleme süreleri nedeniyle 11 ivme kaydı yerine, 7 adet ivme kaydı seçilmiştir. Şekil 4.14 - 4.20' de seçilmiş ivme kayıtlarına ait güçlü bileşenlerinin ivme-zaman grafikleri verilmiştir.

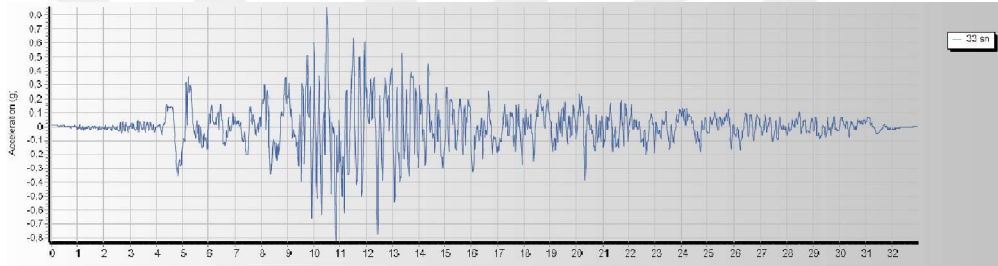
**Şekil 4.14.** Cape Mendocino Yatay Bileşen 2



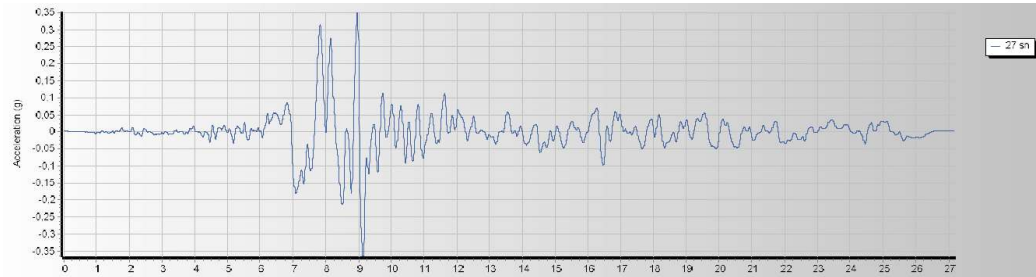
Şekil 4.15. Chichi Taiwan Yatay Bileşen 1



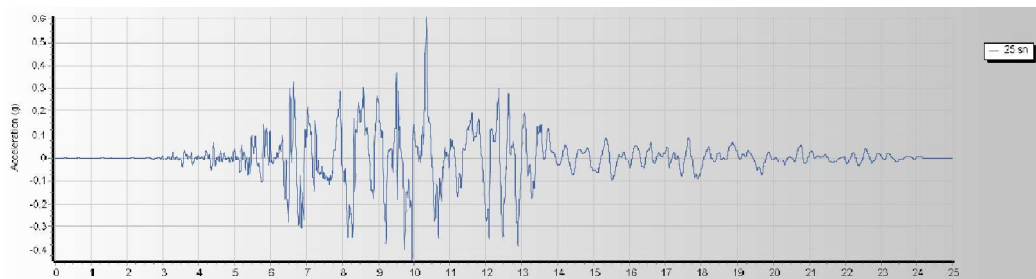
Şekil 4.16. Darfield Newzeland Yatay Bileşen 2



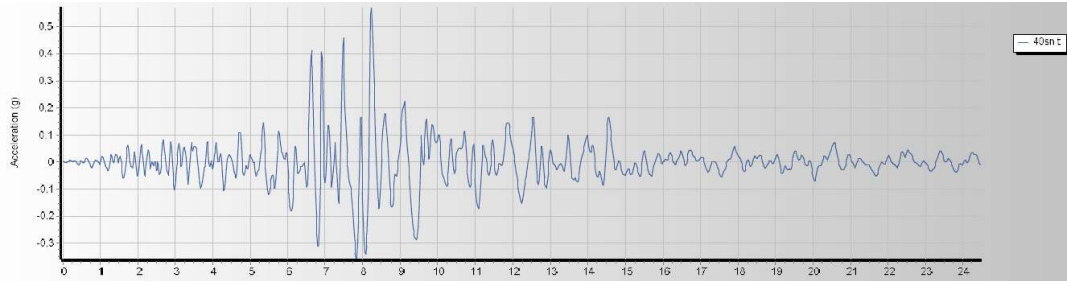
Şekil 4.17. İran Tabas Yatay Bileşen 1



Şekil 4.18. Kocaeli Düzce Yatay Bileşen 2



Şekil 4.19. Lomapieta Yatay Bileşen 2



Şekil 4.20. Northridge Yatay Bileşen 1

4.1.1.8. Analiz Kabulleri ve Seçenekleri

Yapının periyot değerlerinde her iki doğrultu için de %95 kütle katılım oranı sağlanarak, bu değere ulaşılabilmesi için de 18 adet mod sayısının yeterli olduğu görülmüştür. Mod birleştirme yöntemi kullanılarak hesaplanan tepki spektrum analiziyle, DD1 ve DD2 depremlerinin yapıya etkidiği elastik deprem kuvveti değerleri bulunmuştur.

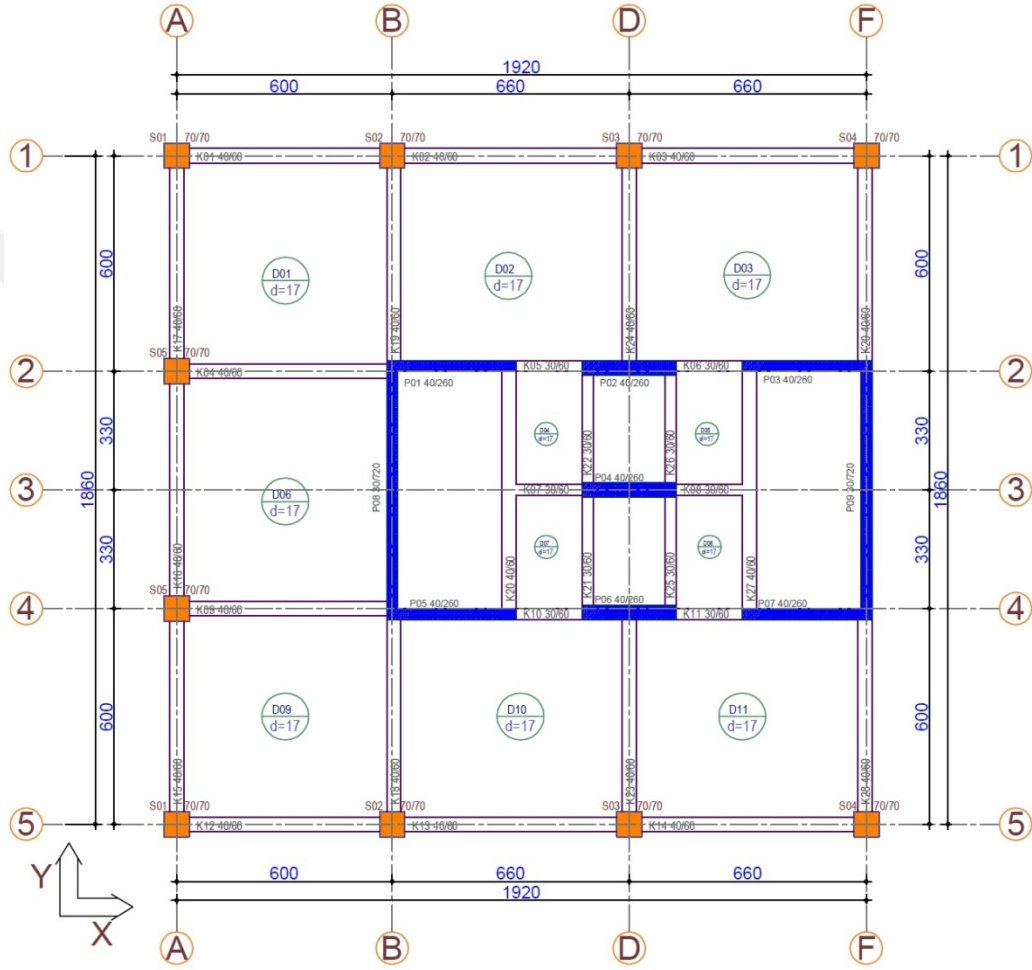
Döşemeler de yarı rijit diyafram kabulleri yapılarak, hesaplara dahil edilmiştir. Böylece döşeme rijitliklerinin düşey taşıyıcı elemanlara olan etkileri gözlenmeye çalışılmıştır. Karşılaştırmalarda döşeme modeli oluşturulmayan plak döşemeli yapı sisteminde ise geleneksel rijit diyafram kabulü yapılarak analizlere dahil edilmiştir.

Doğrusal olmayan davranış analizlerinde, gerekli hesap adımlarına geçilmeden önce doğrusal olmayan düşey yük analizinin de yapılması gerekmektedir. Bu doğrultuda analizde $G+0,3Q$ yüklemesi kullanılmaktadır. Ayrıca düşey yüklemelerin sebep olduğu şekil değiştirmelerden kaynaklı ikinci mertebe etkiler de dikkate alınarak, analizlerin başlangıç durumları oluşturulmaktadır.

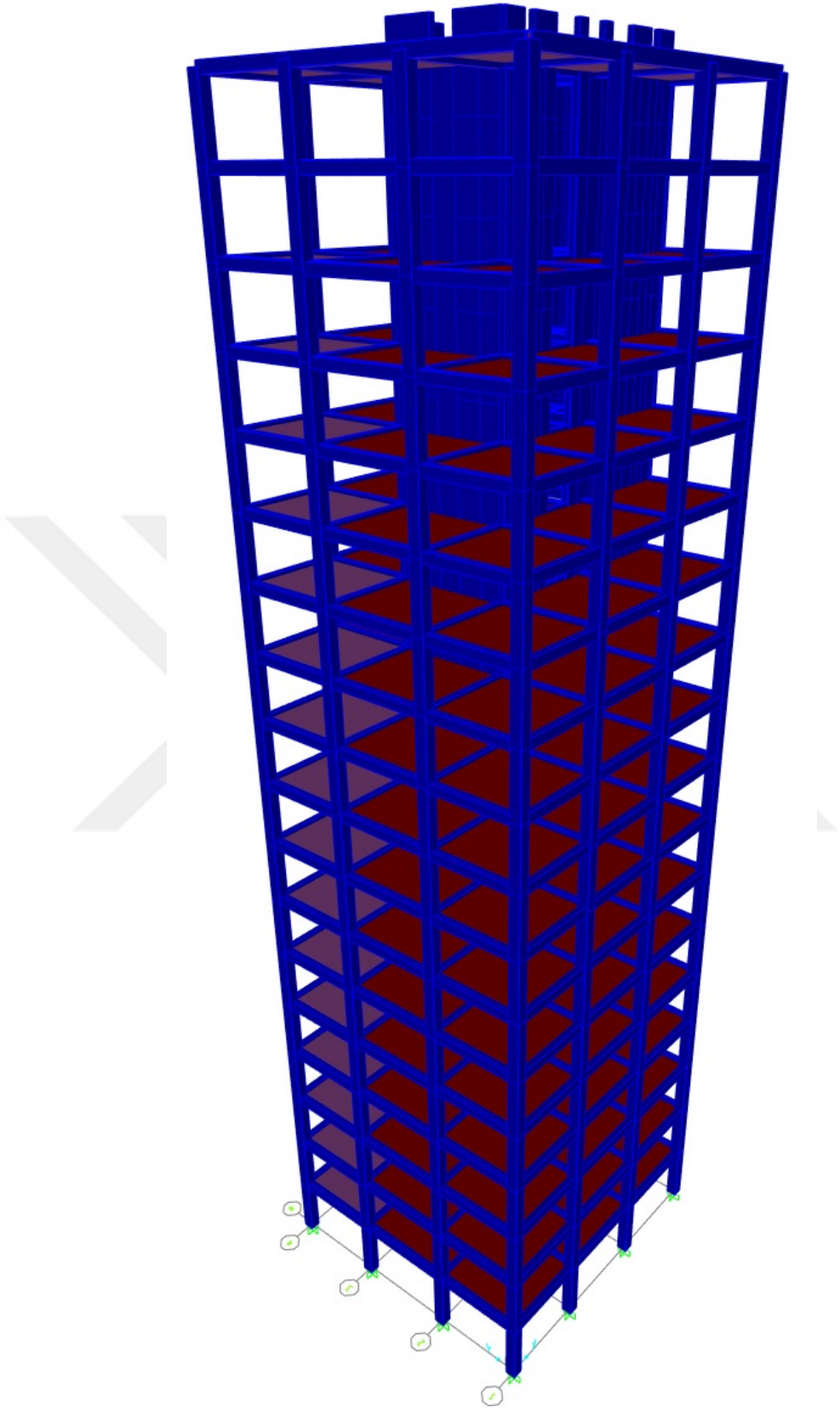
Programa 7 ivme kaydının tanıtımından sonra, deprem etkilerinin oluşturulması adımına geçilmiştir. Zaman tanım analizi hesaplarında doğrusal entegrasyon yöntemleri kullanılmıştır. Böylece ilgili her bir zaman adımında yapılarda oluşan tepkiler hesaplanabilmektedir. Yönetmelik gereği %2.5 sönüm oranı göz önünde bulundurulmuştur. Depremin her iki yatay birleşeni de aynı anda uygulanmıştır. Tablo 4.1 de ölçeklenen katsayı değerleri, ilgili deprem kaydı çarpanı olarak analizlere dahil edilmiştir. Aynı deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin yönleri 90 derece döndürülerek, deprem etkisinin 2. varyasyonu oluşturulmuştur. Böylece tek bir deprem kaydı için 2 farklı doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizi hazırlanmış olup, toplamda 7x2 adet deprem kaydı tanımlanmıştır. Tüm analizlerde eleman özelliklerine göre etkin kesit rijitlikleri kullanılmıştır.

4.1.2.Sistem 1, Kirişli Plak Döşemeli Yapı Sistemi

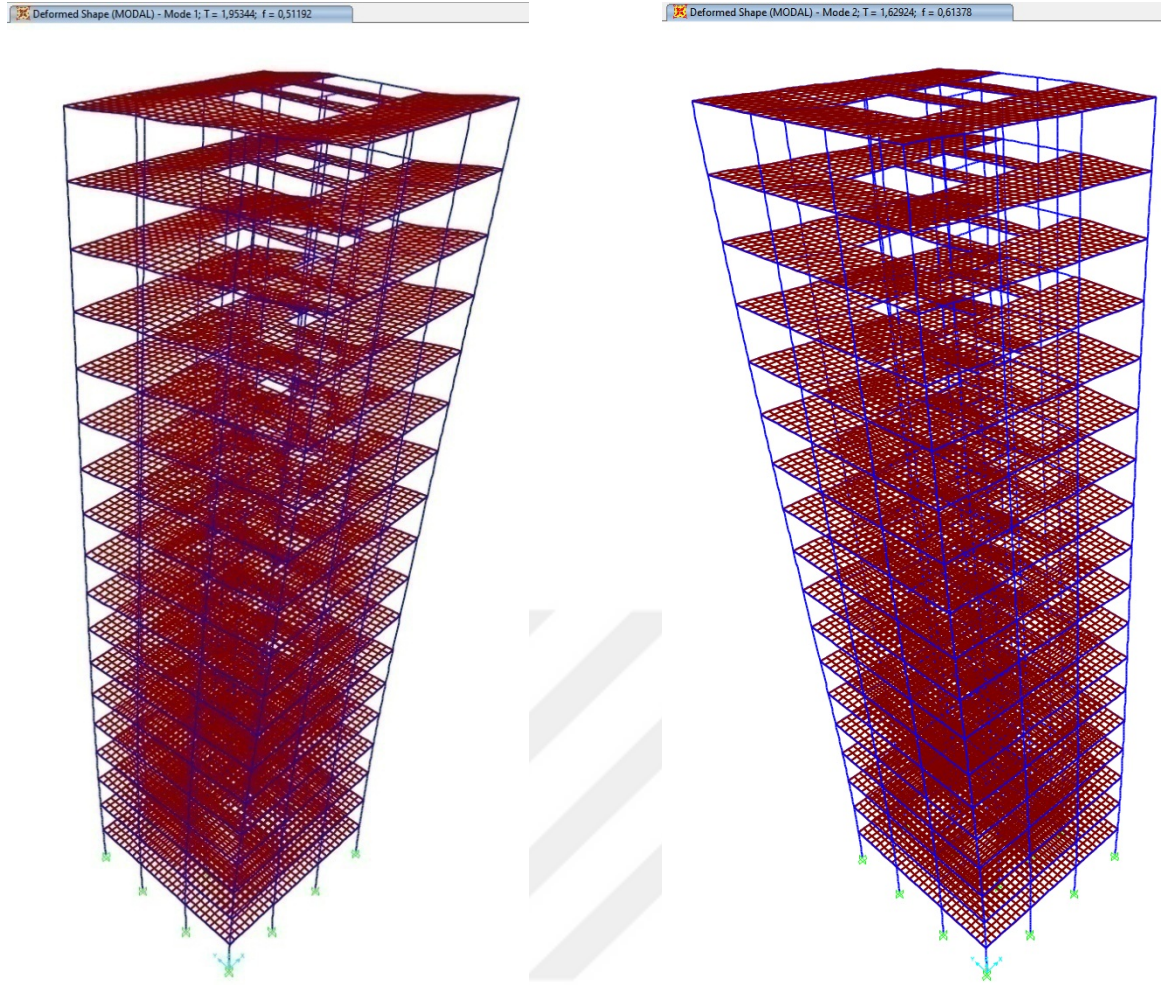
Şekil 4.21 ve 4.22 de sırasıyla kalıp planı ve perspektif görünüşü verilen kirişli plak döşemeye sahip sistemde, 40x60 cm, 30x60 cm kiriş elemanları ile 17 cm kalınlığında betonarme döşeme elemanı kullanılmıştır. 18 kat adedine sahip yapıda toplam ağırlık **101.937,5 kN'** dur.



Şekil 4.21. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kalıp Planı



Şekil 4.22. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perspektif Görünüm



Şekil 4.23. Plak Döşemeli Yapı Sistemi X ve Y yönü Periyot Değerleri ve Deformasyon Şekilleri

Etkin kesit rijitliklerinin dikkate alındığı hesaplarda, yapının 1. modu, “Y” yönünde olup, 1,95 sn’ dir. 2. Modu ise “X” yönünde olup, değeri 1,63 sn’ dir. (**Şekil 4.23**)

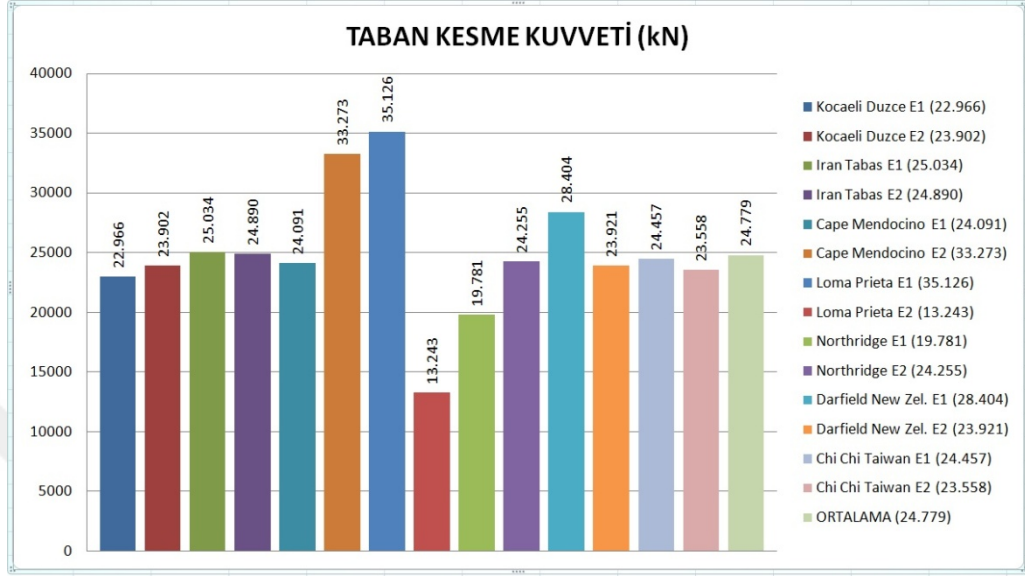
Periyot değerlerinden sonra DD1 ve DD2 depremleri altında yapıya etki eden toplam elastik taban kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.2 de yapı ağırlığı, periyot değerleri, DD1 ve DD2 deprem düzeylerinde oluşan azaltılmış taban kesme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Plak Döşemeli Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Etkisinde Oluşan Kuvvetler

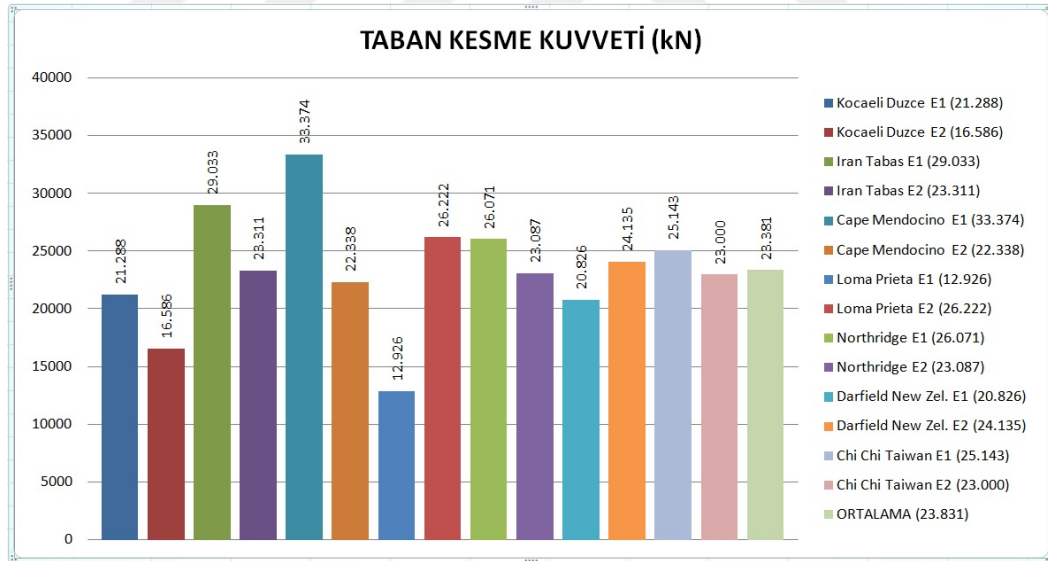
Deprem Doğrultusu	Yapı Ağırlığı (kN)	Yapı Periyodu (sn)	DD1 Depremi (kN)	DD2 Depremi (kN)
X	101937,5	1,63	12052,78	7128,37
Y	101937,5	1,95	10979,03	6447,37

DD1 “X” yönü deprem etkisi altında oluşan taban kesme kuvveti **12052,78 kN**’dur. Aynı deprem düzeyinde “Y” yönündeki oluşan kuvvet **10979,03 kN**’dur. DD2 depreminde ise, sırasıyla X ve Y yönleri için bu değerler, **7128,37** ve **6447,37 kN**’dur.

Doğrusal olmayan davranış analizleriyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinde, depremin her iki yönü için 14 ivme kaydının ve ortalamalarının oluşturduğu sonuçlar, Şekil 4.24 ve 4.25 de gösterilmiştir.



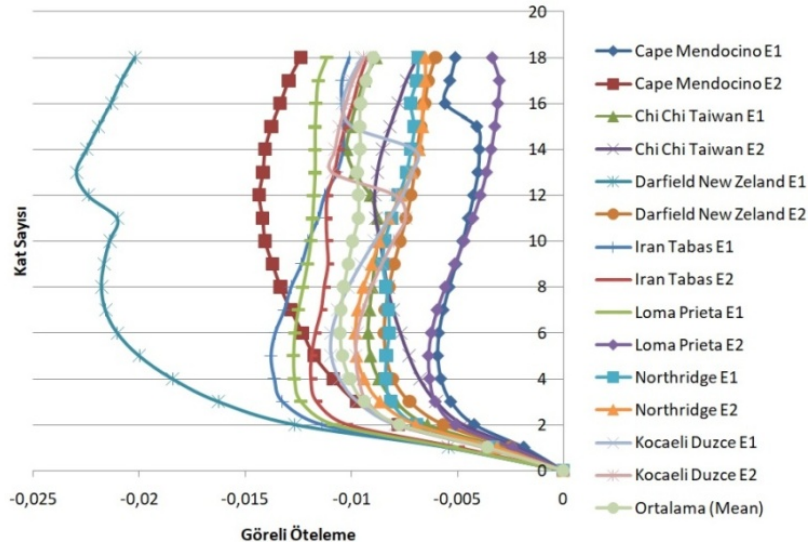
Şekil 4.24. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)



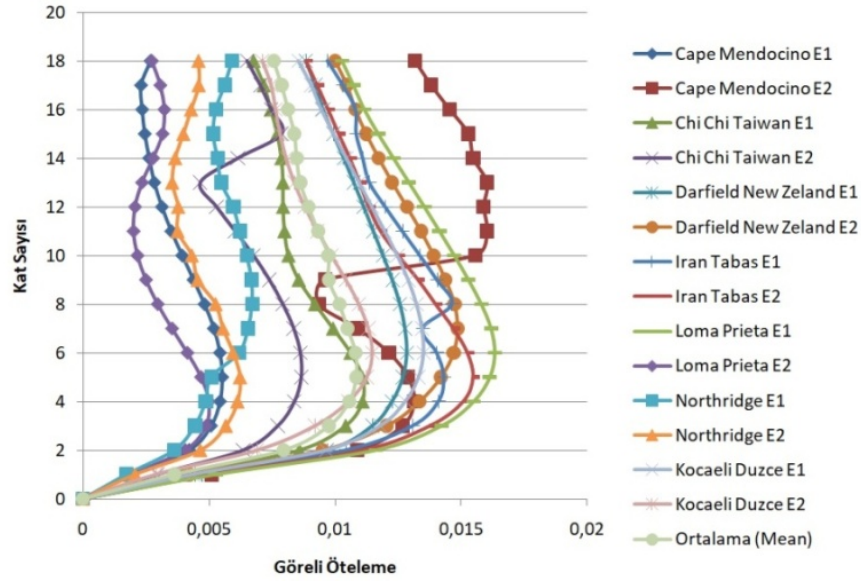
Şekil 4.25. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)

14 kaydın ortalaması dikkate alındığında, "X" yönü için ortalama taban kesme kuvveti değeri **24.779 kN**, "Y" yönü için ise **23.381 kN** bulunmuştur.

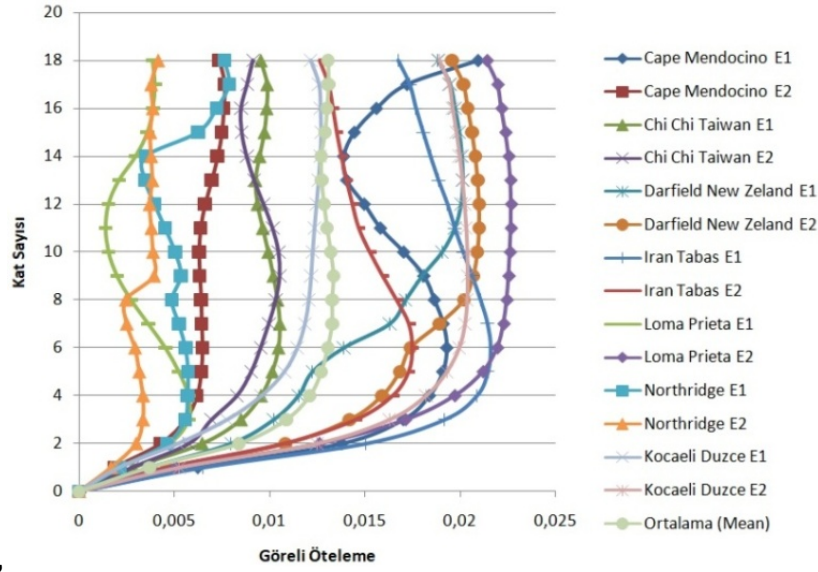
Yapının X ve Y yönünde oluşan ve 14 kaydın ortalamasını içeren göreceli kat öteleme oranı değerleri, şekil 4.26, 4.31' de verilmiştir.



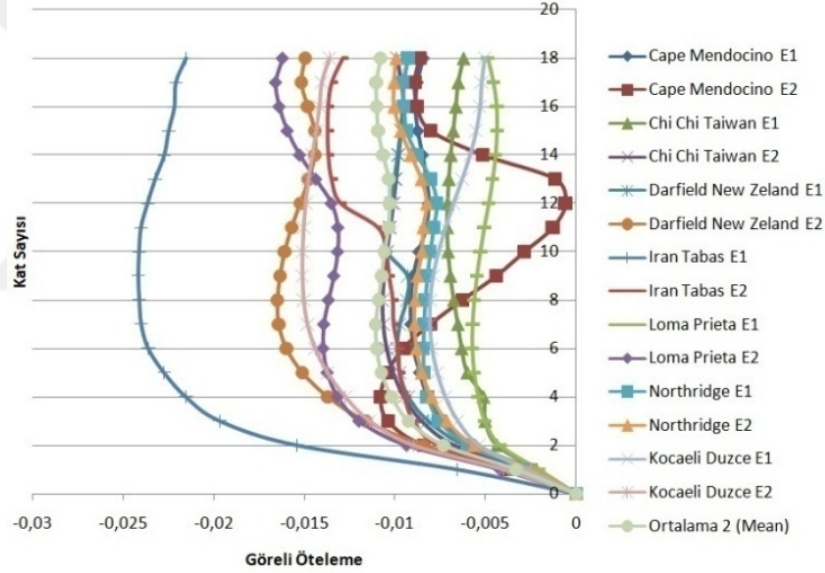
Şekil 4.26. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



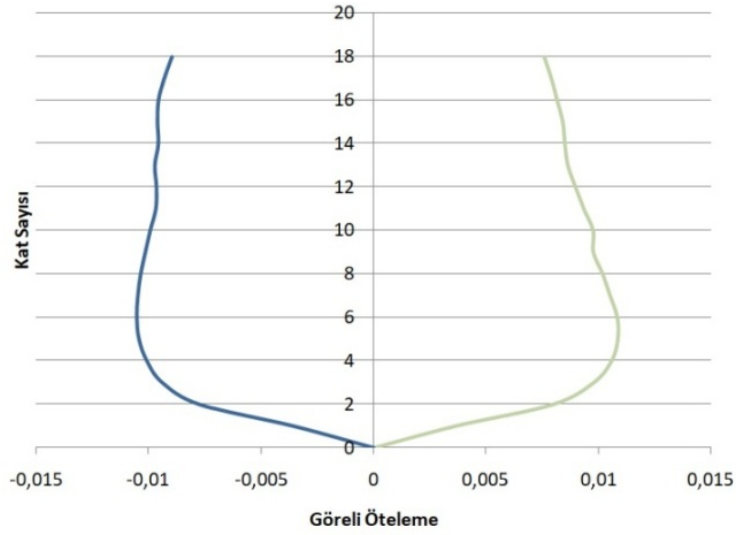
Şekil 4.27. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Değerleri



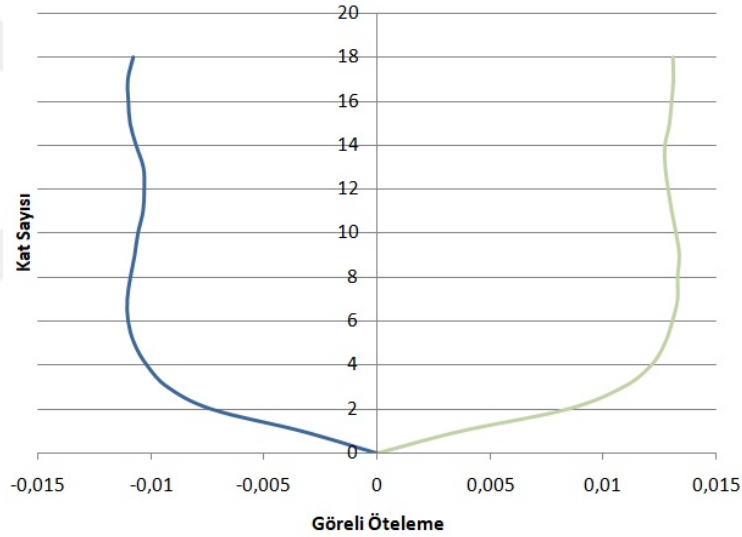
Şekil 4.28. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.29. Plak Döşemeli Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.30. Plak Döşemeli Yapı Sisteminde “X” yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.31. Plak Döşemeli Yapı Sisteminde “Y” yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri

Plak döşemeye sahip yapı sisteminde ortalama görelî kat ötelemesi maksimum değeri “X” yönü için **0,011** ve “Y” yönünde **0,013** olarak elde edilmiştir. Tablo 4.3 ve 4.4’ te tüm kayıtların kendi deprem düzeyinde oluşturabildikleri maksimum görelî öteleme değerlerine ve ilgili performans seviyelerine yer verilmiştir. Farklı döşeme tiplerine sahip yapı sistemlerinin, görelî kat öteleme performans seviyelerindeki farklılıkların rahat görülebilmesi amacıyla kontrollü ve sınırlı hasar performans durumlarında, İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (İYBDY) taslağından yararlanılmıştır. [35]

Tablo 4.3. Plak Döşemeli Yapı Sistemi “X” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri ve Performans Seviyeleri

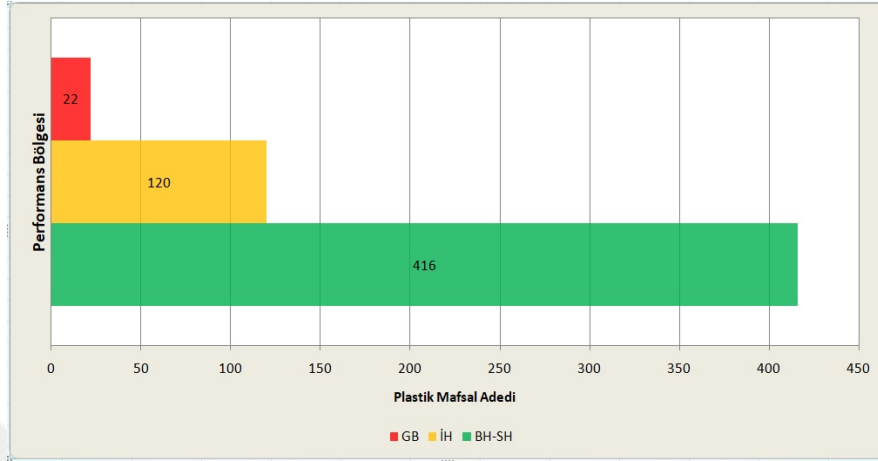
Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0059	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0160				
Chi Chi Taiwan E1	0,0111				
Chi Chi Taiwan E2	0,0089				
Darfield New Zeland E1	0,0230				
Darfield New Zeland E2	0,0149				
Iran Tabas E1	0,0146				
Iran Tabas E2	0,0155				
Loma Prieta E1	0,0163				
Loma Prieta E2	0,0063				
Northridge E1	0,0085				
Northridge E2	0,0098				
Kocaeli Duzce E1	0,0135				
Kocaeli Duzce E2	0,0115				
Ortalama	0,0108		0,03	0,02	0,01

Tablo 4.4. Plak Döşemeli Yapı Sistemi “Y” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Değerleri ve Performans Seviyeleri

Deprem Y Doğrultusu	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0193	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0108				
Chi Chi Taiwan E1	0,0105				
Chi Chi Taiwan E2	0,0107				
Darfield New Zeland E1	0,0201				
Darfield New Zeland E2	0,0210				
Iran Tabas E1	0,0241				
Iran Tabas E2	0,0175				
Loma Prieta E1	0,0057				
Loma Prieta E2	0,0227				
Northridge E1	0,0084				
Northridge E2	0,0101				
Kocaeli Duzce E1	0,0127				
Kocaeli Duzce E2	0,0204				
Ortalama	0,0133		0,03	0,02	0,01

Tablodan, “X” yönü için maksimum görelî öteleme oranının Darfield New Zeland E1 depremine ait ve değerinin **0,0230** olduğu görülmektedir. Aynı durum, “Y” doğrultusunda **0,0241** değeri ile İran Tabas E1 depremine aittir. Yapının “X” doğrultusuna etki eden toplam 14 kayıttan 5 kaydın sınırlı hasar bölgesinde, 8 kaydın belirgin hasar bölgesinde ve geri kalan 1 kaydın ileri hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Yapıdaki diğer doğrultu, “Y” yönünde ise 2 kaydın sınırlı hasar, 7 kaydın belirgin hasar ve 5 kaydın ileri hasar performans bölgelerinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.32’ de, 14 deprem yer hareketinden oluşan maksimum dönme değerlerinin, kiriş elemanlarda oluşturduğu performans durumlarına yer verilmiştir. Elde edilen kiriş dönme değerlerine göre yönetmelik sınır şartlarında kaç adet kirişin göçme bölgesinde, kaç adedinin ileri hasar, belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde olduğu bilgilerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.32. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kiriş Performans Bölgeleri

Şekil 4.32’ den görüldüğü üzere, toplam 558 adet kiriş elemanına sahip olan yapı sisteminde, 22 adet kiriş göçme bölgesinde, 120 adet ileri hasar bölgesinde ve 416 adet belirgin ve sınırlı hasar bölgesinde kalmaktadır.

Tablo 4.5’ de sistem içerisinde örnek olarak seçilen kiriş elemanlarının 14 adet deprem kaydından elde edilen ortalama dönme değerlerine yer verilmiştir. Bu değerler aynı zamanda, sınır performans koşullarıyla da karşılaştırılarak, performans seviyeleri belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Plak Döşemeli Yapı Sisteminde Kiriş Elemanlarda Oluşan Ortalama Dönme Değerleri

Kat	Kiriş Adı	Eleman Kesiti (cm)	Serbest Açıklık (m)	Ortalama Dönme Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
3	K05	30x60	1,7	0,022		0,037	0,028	0
4	K09	40x60	6	0,019		0,034	0,026	0
5	K18	40x60	6	0,022		0,034	0,026	0
6	K05	30x60	1,7	0,019		0,037	0,028	0
12	K01	40x60	6	0,008		0,034	0,026	0
17	K28	40x60	6	0,020		0,034	0,026	0

Tablo 4.5’ de görüldüğü üzere plak döşemeli yapı sistemine sahip yapıda, örnek olarak seçilen kiriş elemanlarındaki dönme değerleri, belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır.

Tüm düşey elemanların elastik olmayan davranış kabullerinde yayılı plastik mafsallı yaklaşımı kullanılmıştır. Dolayısıyla beton ve donatıdaki en yüksek birim uzama – kısalma değerlerine ulaşabilmesi için şekil değiştirmelerin en yüksek değere ulaştığı bölgeler olan zemin kat elemanları dikkate alınmıştır. Kolonlarda hasarların oldukça sınırlı düzeyde kalmasından

dolayı, kayıtlarda oluşan maksimum, perdelerde ise 14 kayıttan oluşan ortalama değerler göz önünde bulundurulmuştur. Tablo 4.6, - 4.9 da ilgili perde ve kolon elemanlar için zemin kata ait birim uzama-kısalma şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perde elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	0,0062		0,032	0,024	0,0075
P06	40x260	2,6	0,0058				
P04	40x260	2,6	0,0039				
P01	30x360	3,6	0,0073				
P05	30x360	3,6	0,0096				
P08	30x720	7,2	0,0101				
P09	30x720	7,2	0,0087				
P03	30x360	3,6	0,0084				
P07	30x360	3,6	0,0082				

Tablo 4.7. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	0,0026		0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	0,0033				
S03	70x70	4	0,0032				
S04	70x70	4	0,0032				
S05	70x70	4	0,0025				

Tablo 4.8. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perde elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	C35 Beton Birim Kısalma Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	-0,0013		0,018	0,014	0,0025
P06	40x260	2,6	-0,0009				
P04	40x260	2,6	-0,0007				
P01	30x360	3,6	-0,0020				
P05	30x360	3,6	-0,0026				
P08	30x720	7,2	-0,0029				
P09	30x720	7,2	-0,0024				
P03	30x360	3,6	-0,0022				
P07	30x360	3,6	-0,0017				

Tablo 4.9. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	-0,0018	Sınır Değerler	0,018	0,014	0,0025
S02	70x70	4	-0,0021				
S03	70x70	4	-0,0020				
S04	70x70	4	-0,0017				
S05	70x70	4	-0,0016				

Yukarıdaki veriler incelendiğinde P02, P06, P04 ve P01 perdelerinin sınırlı hasar performans düzeyinde, P05, P08, P09, P03, P07 perdelerinin ise belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Kayıtlardan elde edilen en yüksek değerlerin dikkate alındığı kolonlarda ise tüm birim uzama ve kısalma değerleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Birim uzama – kısalma şekil değiştirmelerinden görüldüğü üzere, sistemin eğilme etkisinde en çok zorlanan bölgesi, çekirdek yapıyı oluşturan “U” tipi perdelerdir.

Gevrek davranışa sebep olan kesme kuvveti değerlerinde yine 14 kaydın ortalama değerleri dikkate alınmış ve yönetmelikte belirtildiği gibi standart sapma eklenmiştir. Yönetmelik gereği eklenen standart sapma değeri, tasarım değerinin 1.2 katından daha düşük olmamalıdır. Buna göre Tablo 4.10’ da perde elemanlarda oluşan kesme kuvveti değerleri ve perde kesme dayanımına göre performans seviyelerine yer verilmiştir.

Perde kesme dayanımları hesaplanırken, diyagonal basınç gerilmelerine karşı dayanım kullanılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, betonda beklenen dayanımın kullanılması gerekliliğidir. İlgili hesap, yönetmelikte aşağıdaki şekilde belirtilmektedir ;

$$V_r = 0.85A_{ch} \sqrt{f_{ce}} \quad (\text{Boşluksuz Perdeler})$$

$$V_r = 0.65A_{ch} \sqrt{f_{ce}} \quad (\text{Boşluklu Perdeler})$$

$$f_{ce} = 1.3f_{ck}$$

Burada ;

A_{ch} ; Perdenin yatay kesit alanı

f_{ce} ; Betonda beklenen dayanım

V_r ; Kesme dayanımı ifade etmektedirler.

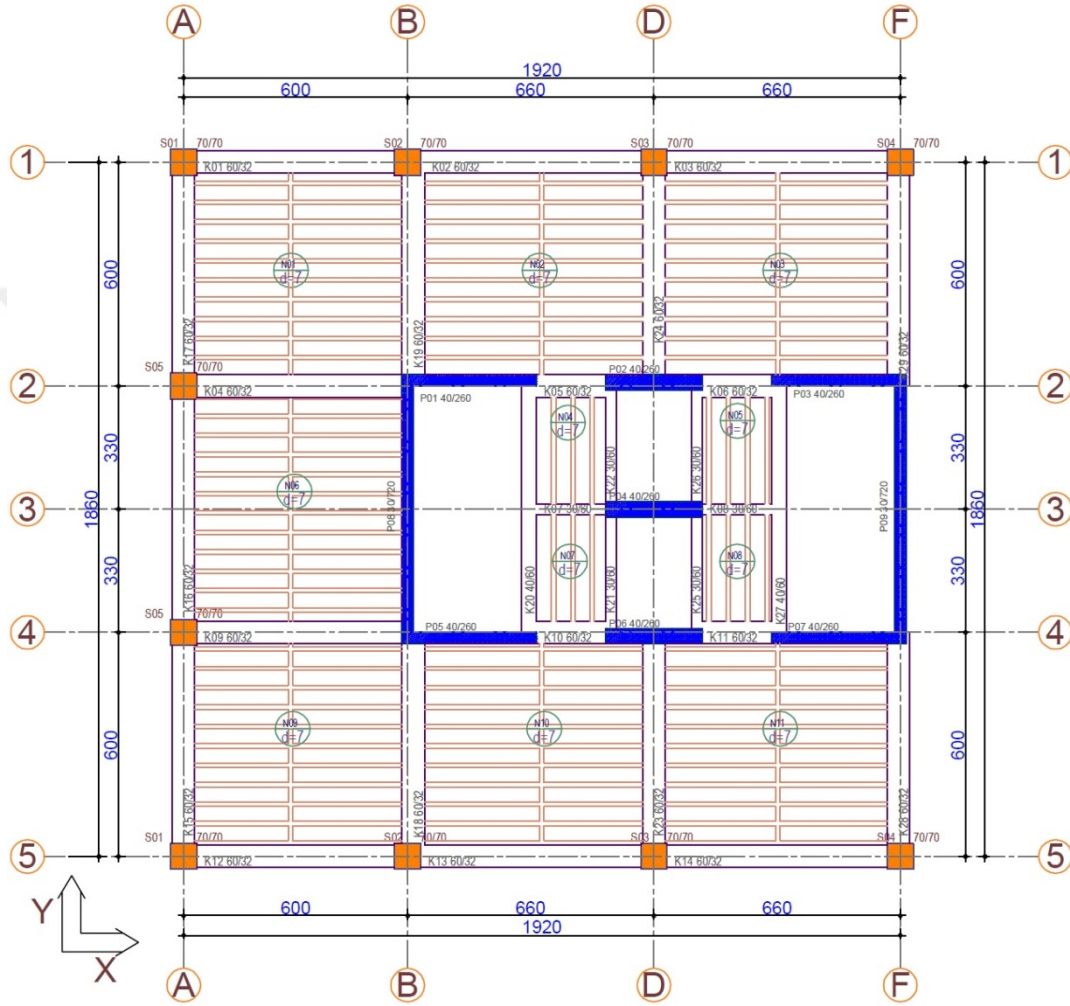
Tablo 4.10. Plak Döşemeli Yapı Sistemi Perde Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri

Perde	Perde Kalınlığı (m)	Perde Uzunluğu (m)	Kesme Kuvveti (kN) (Ortalama+Standart Sapma)	Sınır Değerler	V _r (kN)
P02	0,4	2,6	3441,60		4560
P06	0,4	2,6	3009,14		4560
P04	0,4	2,6	1548,55		4560
P01	0,3	3,6	6711,20		4739
P05	0,3	3,6	5984,62		4739
P08	0,3	7,2	15439,82		12393
P09	0,3	7,2	9268,78		12393
P03	0,3	3,6	4983,07		4739
P07	0,3	3,6	4682,59		4739

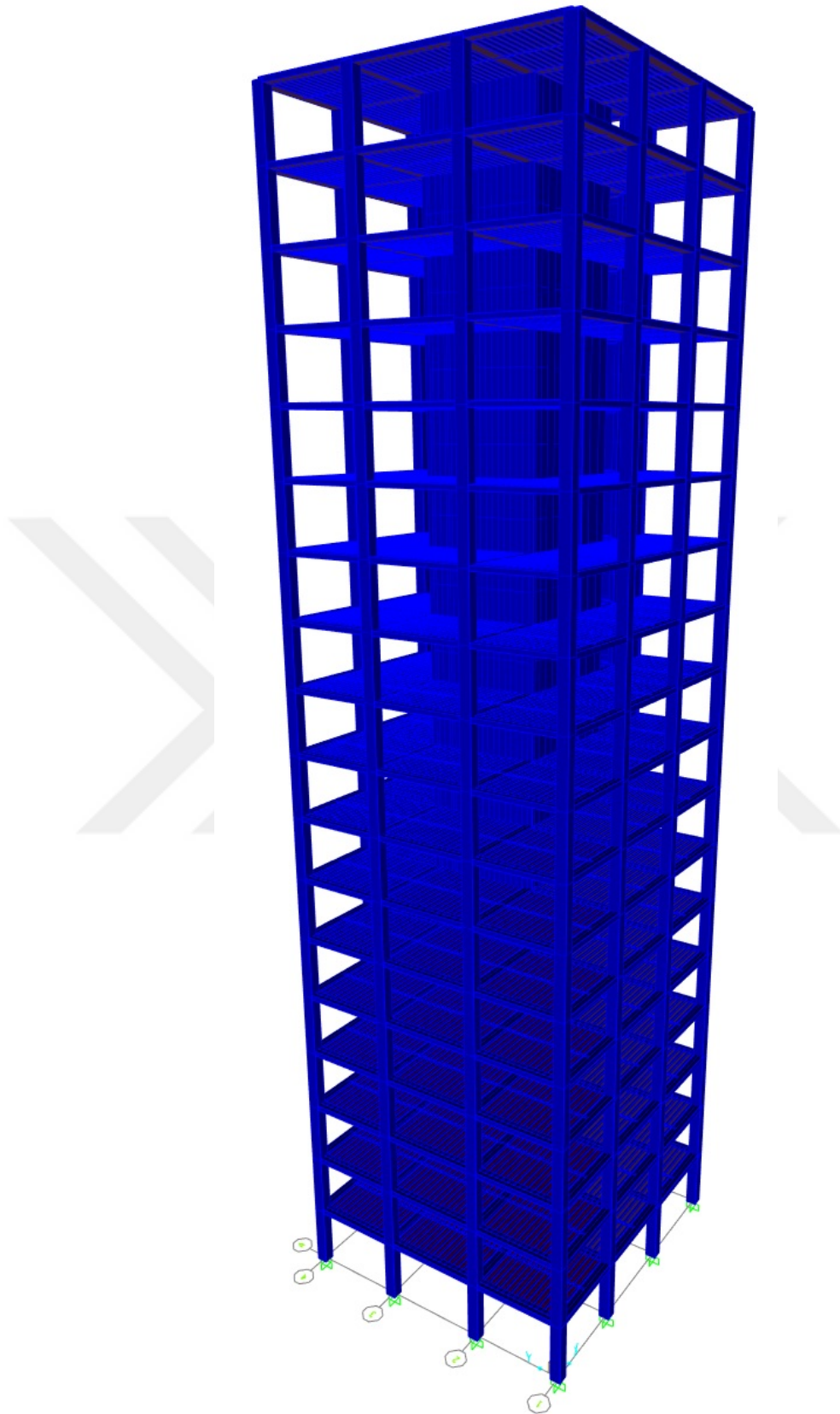
Tabloda 4 adet perdenin göçme bölgesinde kaldığı ve geri kalan 5 adet perdenin kesmede yeterli dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Kesmede göçme durumuna ulaşan perdelerin, yapıdaki çekirdek bölgeyi oluşturan “U” tipi perdeler olması dikkat çekmektedir. Şekil 4,25’ de verilen “Y” doğrultusuna ait ortalama taban kesme kuvveti değeri **23.381kN**’ dur. P08 ve P09 perdeleri ise etkin olarak “Y” yönünde çalışan perdelerdir ve toplamda **20.094 kN** kesme kuvvetini karşılamaktadır. Bu açıdan bakıldığında iki perdenin de yapının ilgili doğrultusundaki deprem etkisine büyük oranda karşılık vermeye çalıştığı yorumuna ulaşılabilir.

4.1.3. Sistem 2, Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi

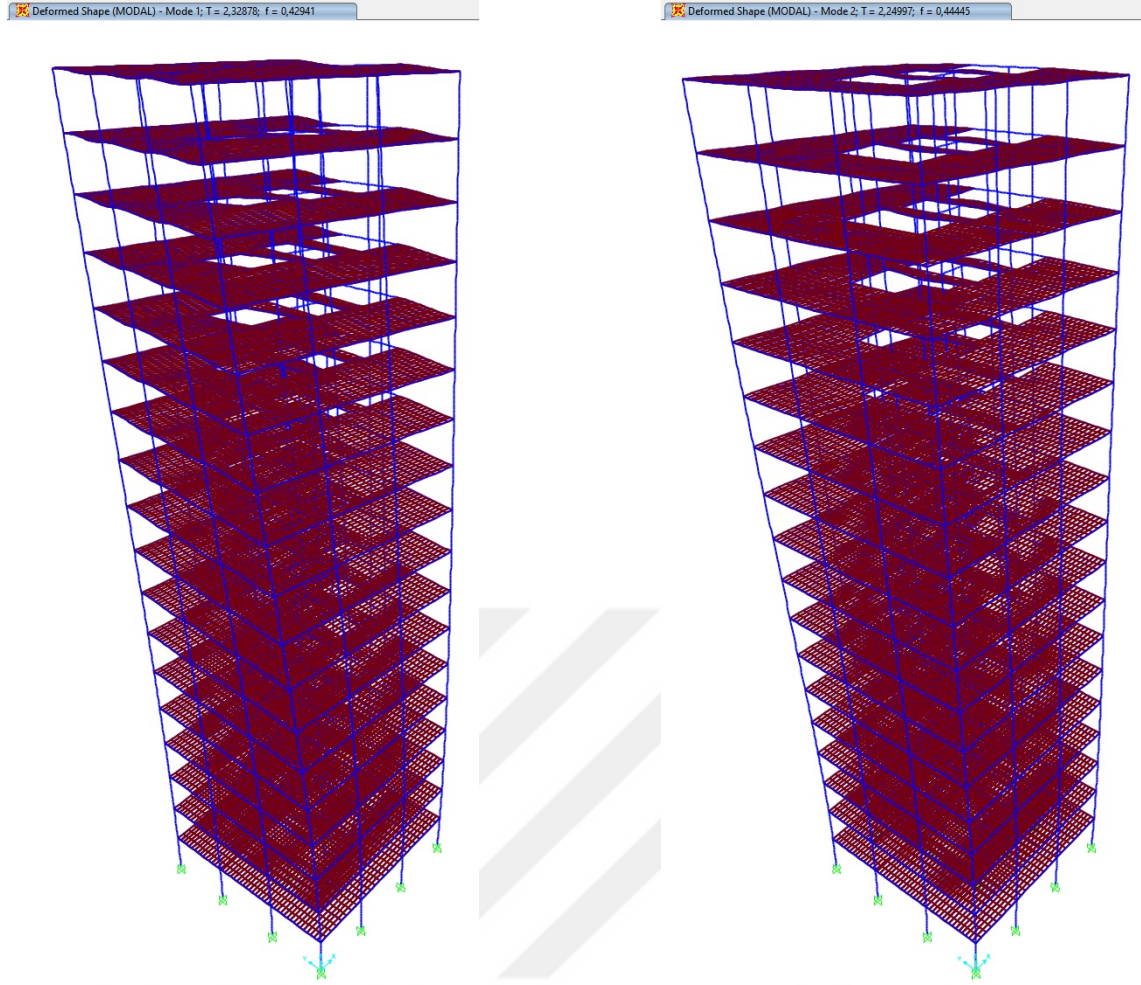
Şekil 4.33 ve 4.34 de sırasıyla kalıp planı ve perspektif görünüşü verilen asmolen döşemeli yapı sisteminde 60x32 cm' lik kesite sahip kirişler, 12x32 cm kesitindeki nervür dişleri ve 7 cm kalınlığındaki tabliye kullanılmıştır. Yapının toplam ağırlığı **105.758,4 kN'** dur.



Şekil 4.33. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Kalıp Planı



Şekil 4.34. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perspektif Görünüm



Şekil 4.35. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi “X” ve “Y” yönü Periyot Değerleri

Etkin kesit rijitliklerinin dikkate alındığı hesaplarda, yapının 1. modu, “Y” yönünde olup, 2,33sn’ dir. 2. Modu ise “X” yönünde olup, değeri 2,25sn’ dir. (**Şekil 4.35**)

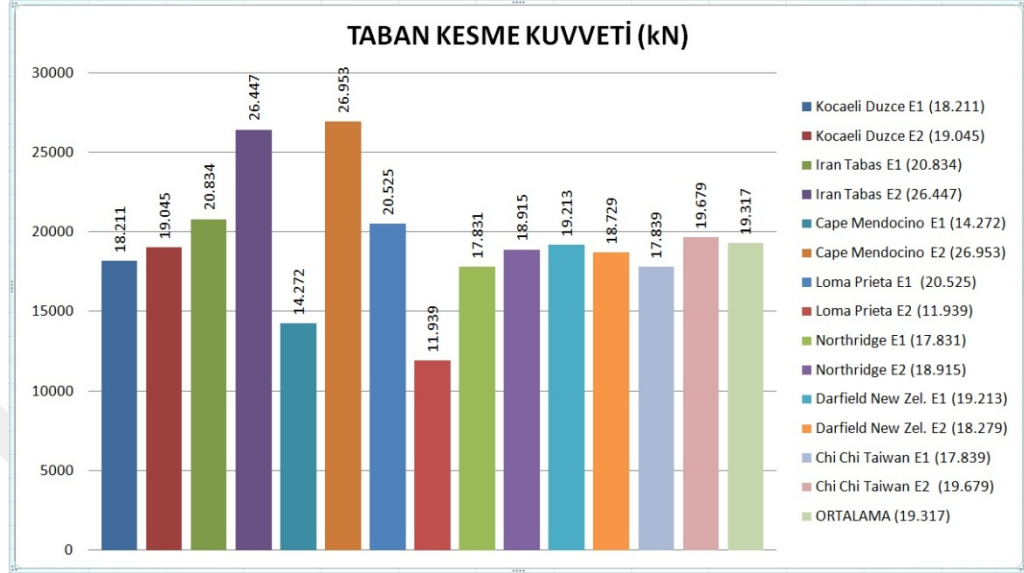
Periyot değerlerinden sonra DD1 ve DD2 depremleri altında yapıya etki eden azaltılmış taban kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.11 de yapı ağırlığı, periyot değerleri ve DD1 ve DD2 deprem düzeylerinde oluşan toplam taban kesme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.11. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Etkisinde Oluşan Kuvvetler

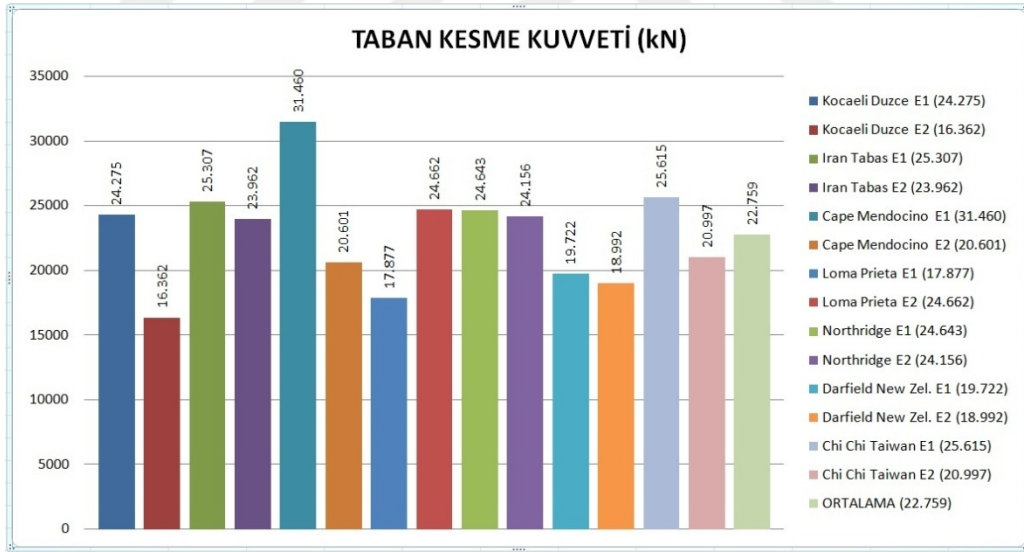
Deprem Doğrultusu	Yapı Ağırlığı (kN)	Yapı Periyodu (sn)	DD1 Depremi (kN)	DD2 Depremi (kN)
X	105758,4	2,25	9857,3	5939,4
Y	105758,4	2,33	9975,9	5907,0

DD1 “X” yönü deprem etkisi altında oluşan taban kesme kuvveti **9857,3 kN** ’dur. Aynı deprem düzeyinde “Y” yönünde oluşan kuvvet **9975,9 kN**’dur. DD2’ de ise, sırasıyla X ve Y yönleri için bu değer, **5939,4** ve **5907 kN** ’dur.

Doğrusal olmayan davranış analizleriyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinde, depremin her iki yönü için 14 ivme kaydının ve ortalamalarının oluşturduğu sonuçlar, Şekil 4.36 ve 4.37 de gösterilmiştir.



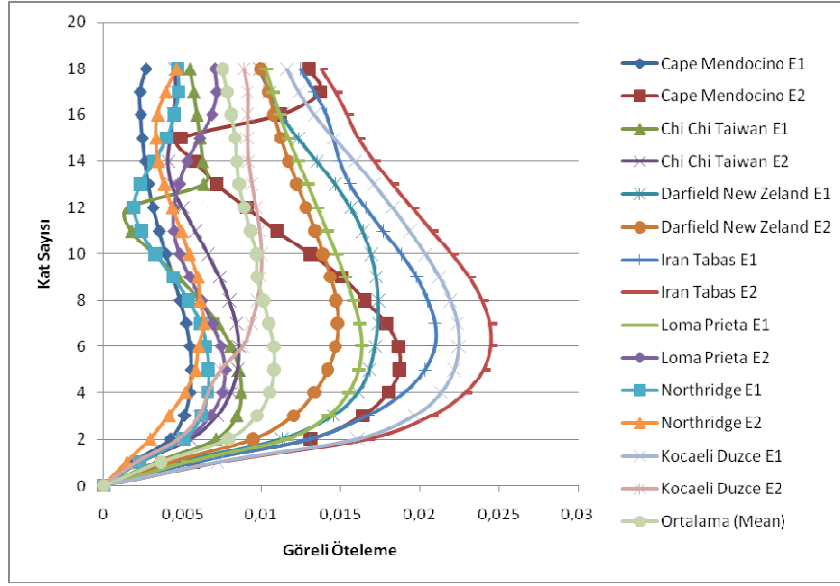
Şekil 4.36. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi “X” Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri



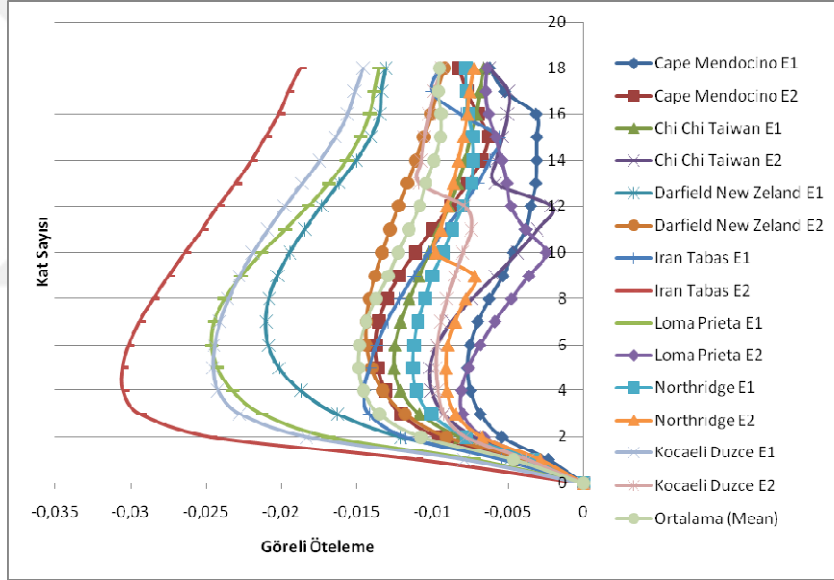
Şekil 4.37. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi “Y” Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri

14 kaydın ortalaması dikkate alındığında, “X” yönü için ortalama taban kesme kuvveti değeri **19.317 kN**, “Y” yönü için ise **22.759 kN** bulunmuştur.

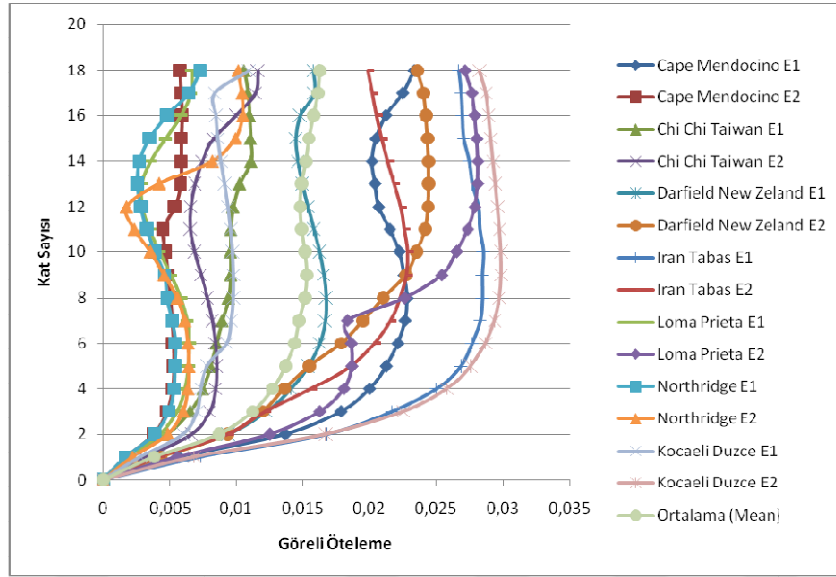
Yapının X ve Y yönünde oluşan ve 14 deprem kaydının ortalamasını içeren görel kat öteleme oranı değerleri, Şekil 4.38, 4.43’ de verilmiştir.



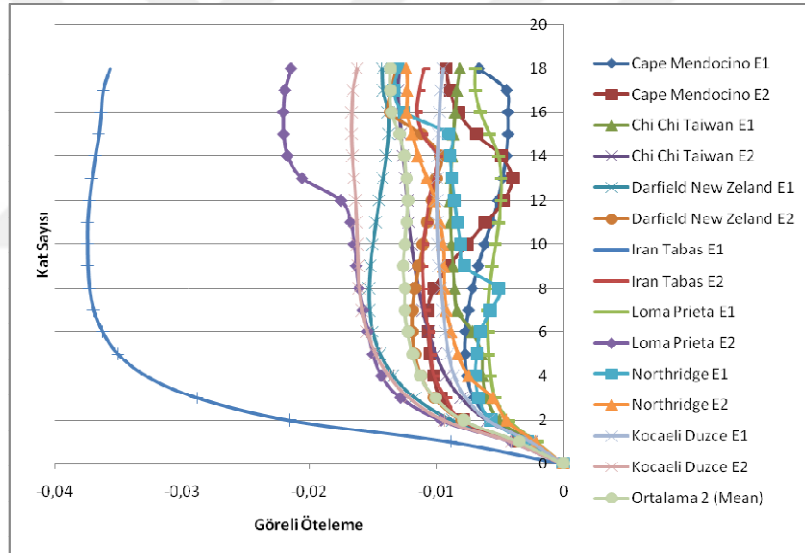
Şekil 4.38. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



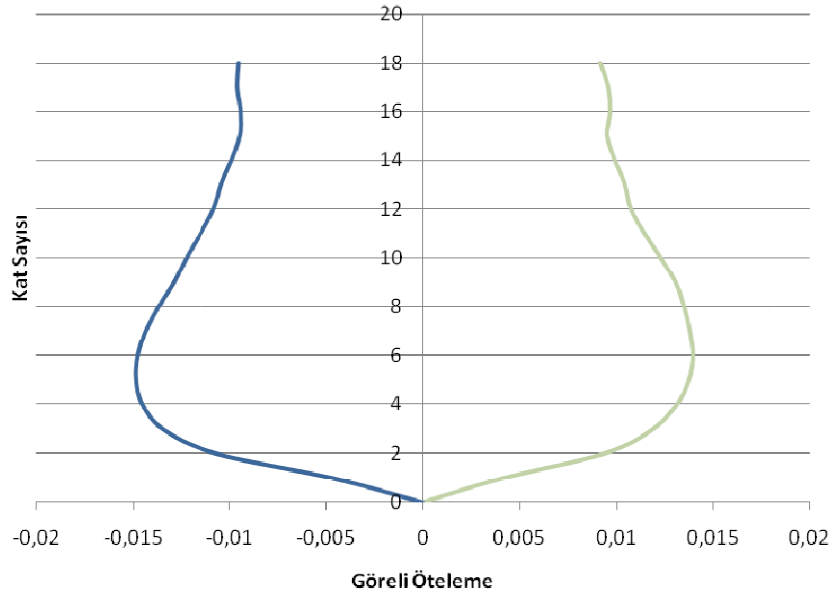
Şekil 4.39. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



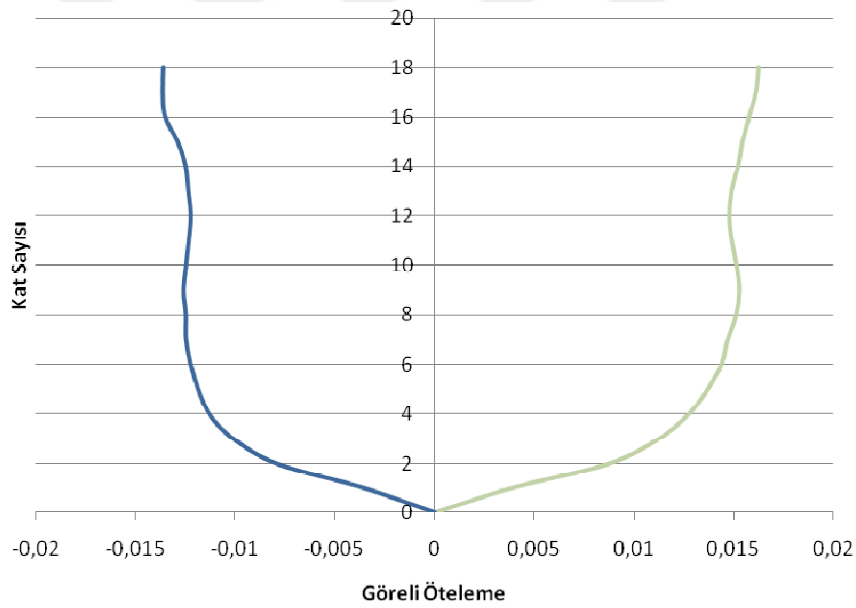
Şekil 4.40. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.41. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.42. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.43. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi "Y" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri

Asmolen döşeme sisteminde ortalama görelî kat öteleme oranı maksimum değeri "X" yönü için **0,015** ve "Y" yönü için **0,016** bulunmuştur. Tablo 4.12 ve 4.13' te ise tüm kayıtların kendi deprem düzeyinde oluşturabildikleri maksimum görelî öteleme oranları ve ilgili performans seviyelerine yer verilmiştir.

Tablo 4.12. Asmolen Döşeme Yapı Sistemi “X” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri

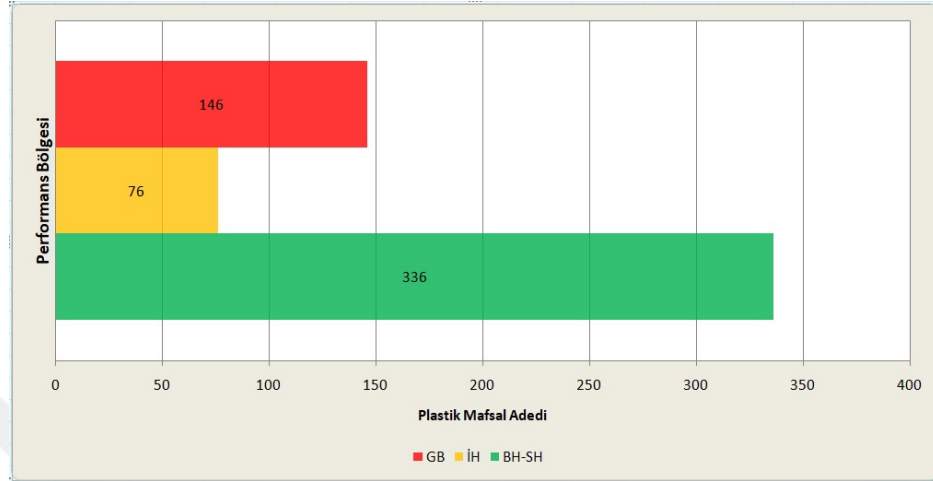
Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0077	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0187				
Chi Chi Taiwan E1	0,0125				
Chi Chi Taiwan E2	0,0102				
Darfield New Zeland E1	0,0210				
Darfield New Zeland E2	0,0203				
Iran Tabas E1	0,0210				
Iran Tabas E2	0,0306				
Loma Prieta E1	0,0246				
Loma Prieta E2	0,0081				
Northridge E1	0,0113				
Northridge E2	0,0098				
Kocaeli Duzce E1	0,0245				
Kocaeli Duzce E2	0,0100				
Ortalama	0,0149		0,03	0,02	0,01

Tablo 4.13. Asmolen Döşeme Yapı Sistemi “Y” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri

Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0228	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0107				
Chi Chi Taiwan E1	0,0111				
Chi Chi Taiwan E2	0,0130				
Darfield New Zeland E1	0,0168				
Darfield New Zeland E2	0,0244				
Iran Tabas E1	0,0375				
Iran Tabas E2	0,0228				
Loma Prieta E1	0,0070				
Loma Prieta E2	0,0281				
Northridge E1	0,0134				
Northridge E2	0,0124				
Kocaeli Duzce E1	0,0109				
Kocaeli Duzce E2	0,0299				
Ortalama	0,0163		0,03	0,02	0,01

Tablodan, “X” yönü için maksimum görelî ötelemesi oranının İran Tabas E2 depremine ait ve değerinin **0,0306** olduğu görülmektedir. Aynı durum, “Y” doğrultusunda **0,0375** değeri ile İran Tabas E1 depremine aittir. Yapının “X” doğrultusuna etki eden toplam 14 kayıttan 3 kaydın sınırlı hasar seviyesinde, 5 kaydın belirgin hasar bölgesinde ve geri kalan 6 kaydın ileri hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Yapıdaki diğer doğrultu, “Y” yönünde ise 1 kaydın sınırlı hasar, 7 kaydın belirgin hasar ve 6 kaydın ileri hasar performans bölgesinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.44’ de 14 deprem yer hareketinden oluşan maksimum dönme değerlerinin, kiriş elemanlarda oluşturduğu performans durumlarına yer verilmiştir. Elde edilen kiriş dönme değerlerine göre yönetmelik sınır şartlarında kaç adet kirişin göçme bölgesinde, kaç adedinin ileri hasar, belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde olduğu bilgilerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.44. Asmolen Döşeme Sistemi Kiriş Performans Bölgeleri

Şekil 4.44’ den toplam 558 adet kiriş elemanına sahip olan yapı sisteminde, 146 adet kiriş göçme bölgesinde, 76 adet ileri hasar ve 336 adet belirgin ve sınırlı hasar bölgesinde kalmaktadır.

Tablo 4.14’ de sistem içerisinde örnek olarak seçilen kiriş elemanlarının 14 adet deprem kaydından elde edilen ortalama dönme değerlerine yer verilmiştir. Bu değerler aynı zamanda, sınır performans koşullarıyla da karşılaştırılarak, performans seviyeleri belirlenmiştir.

Tablo 4.14. Asmolen Döşemeli Yapı Sisteminde Kiriş Elemanlarda Oluşan Ortalama Dönme Değerleri

Kat	Kiriş Adı	Eleman Kesiti (cm)	Serbest Açıklık (m)	Ortalama Dönme Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
3	K05	60x32	1,7	0,044		0,042	0,032	0
4	K09	60x32	6	0,012		0,042	0,032	0
5	K18	60x32	6	0,030		0,042	0,032	0
6	K05	60x32	1,7	0,043		0,042	0,032	0
12	K01	60x32	6	0,006		0,042	0,032	0
17	K28	60x32	6	0,025		0,042	0,032	0

Tablo 4.14 de görüldüğü üzere asmolen döşeme sistemine sahip yapıda, K05 ve K09 bağ kirişleri göçme bölgesinde kalmaktadır. Kalan kiriş elemanlarındaki tüm dönme değerleri belirgin hasar performans seviyesinde kalmaktadır.

Bu tez kapsamında analiz yapılan sistemler için daha önceki bölümlerde ifade edildiği üzere tüm düşey elemanların elastik olmayan davranış kabullerinde yayılı plastik mafsallı yaklaşımı kullanılmıştır. Dolayısıyla beton ve donatıdaki en yüksek birim uzama – kısalma değerlerine ulaşabilmesi için şekil değiştirmelerin en yüksek değere ulaştığı bölgeler olan zemin kat elemanları dikkate alınmıştır. Kolonlar değerlendirilirken kayıtlarda oluşan maksimum, perdelerde ise 14 kayıttan oluşan ortalama değerlerden faydalanılmıştır. Tablo 4.15 - 4.18 'de zemin kata ait ilgili perde ve kolon elemanlar için birim uzama-kısalma şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.15. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında S420 Donatısı Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	0,0058		0,032	0,024	0,0075
P06	40x260	2,6	0,0057				
P04	40x260	2,6	0,0048				
P01	30x360	3,6	0,0088				
P05	30x360	3,6	0,0094				
P08	30x720	7,2	0,0100				
P09	30x720	7,2	0,0082				
P03	30x360	3,6	0,0079				
P07	30x360	3,6	0,0083				

Tablo 4.16. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	0,0027		0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	0,0034				
S03	70x70	4	0,0032				
S04	70x70	4	0,0047				
S05	70x70	4	0,0040				

Tablo 4.17. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında C35 Sargılı Beton Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	C35 Beton Birim Kısalma Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	-0,0017		0,018	0,014	0,0025
P06	40x260	2,6	-0,0013				
P04	40x260	2,6	-0,0010				
P01	30x360	3,6	-0,0036				
P05	30x360	3,6	-0,0024				
P08	30x720	7,2	-0,0028				
P09	30x720	7,2	-0,0025				
P03	30x360	3,6	-0,0022				
P07	30x360	3,6	-0,0016				

Tablo 4.18. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	C35 Beton Birim Kısalma Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	-0,0024		0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	-0,0022				
S03	70x70	4	-0,0021				
S04	70x70	4	-0,0019				
S05	70x70	4	-0,0032				

Yukarıdaki veriler incelendiğinde P02, P06, P04 perdelerinin sınırlı hasar bölgesinde, P01, P05, P08, P09, P03 ve P07 perdelerinin ise belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir.

Kayıtlardan elde edilen en yüksek değerlerin dikkate alındığı kolonlarda tüm birim uzama ve kısalma değerleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Birim uzama – kısalma şekil değiştirmelerinden görüldüğü üzere, sistemin eğilme etkisinde en çok zorlanan bölgesi, çekirdek yapıyı oluşturan “U” tipi perdelerdir.

Gevrek davranışa sebep olan kesme kuvveti değerlerinde yine 14 kaydın ortalama değerleri dikkate alınmış ve yönetmelikte belirtildiği gibi standart sapma eklenmiştir. Yönetmelik gereği eklenen standart sapma değeri, tasarım değerinin 1.2 katından daha düşük olmamalıdır. Buna göre Tablo 4.19’ da perde elemanlarda oluşan kesme kuvveti değerleri ve perde kesme dayanımına göre performans seviyelerine yer verilmiştir.

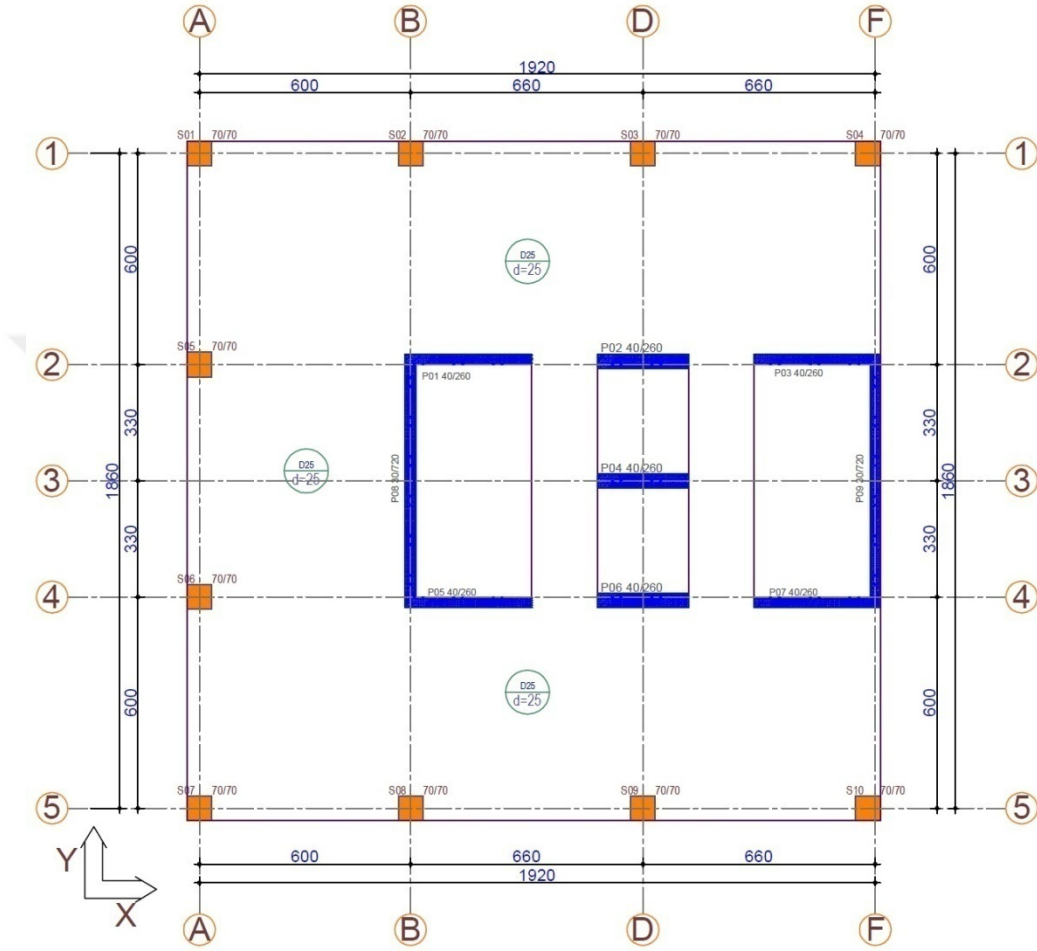
Tablo 4.19. Asmolen Döşemeli Yapı Sistemi Perde Eleman Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri

Perde	Perde Kalınlığı (m)	Perde Uzunluğu (m)	Kesme Kuvveti (kN)	Sınır Değerler	Vr (kN)
P02	0,4	2,6	2209,24		4560
P06	0,4	2,6	2094,93		4560
P04	0,4	2,6	1434,26		4560
P01	0,3	3,6	5205,88		4739
P05	0,3	3,6	4623,25		4739
P08	0,3	7,2	15811,92		12393
P09	0,3	7,2	9092,96		12393
P03	0,3	3,6	4425,16		4739
P07	0,3	3,6	4331,31		4739

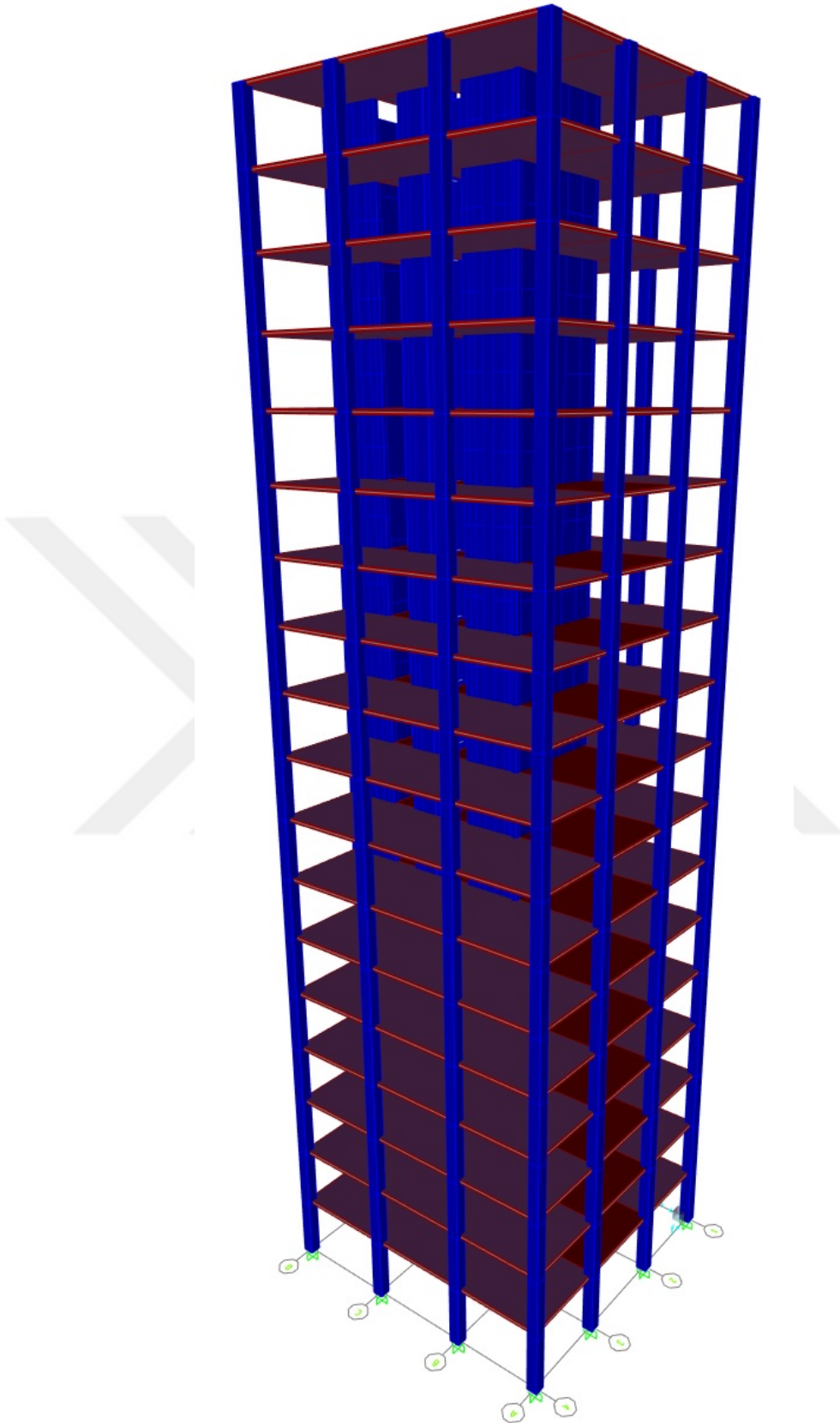
Tabloda 2 adet perdenin göçme bölgesinde kaldığı ve geri kalan 7 adet perdenin kesmede yeterli dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Kesmede göçme durumuna ulaşan perdelerin, yapıdaki çekirdek bölgeyi oluşturan “U” tipi perdeler olması dikkat çekmektedir. Şekil 4.37’ de verilen “Y” doğrultusuna ait ortalama taban kesme kuvveti değeri **22.759 kN** dur. P08 ve P09 perdeleri ise etkin olarak “Y” yönünde çalışan perdelerdir ve toplamda **20.254 kN** kesme kuvvetini karşılamaktadır. Bu açıdan bakıldığında iki perdenin de yapının ilgili doğrultusundaki deprem etkisine büyük oranda karşılık vermeye çalıştığı yorumuna ulaşılabilir.

4.1.4. Sistem 3, Mantar Döşemeli Yapı Sistemi

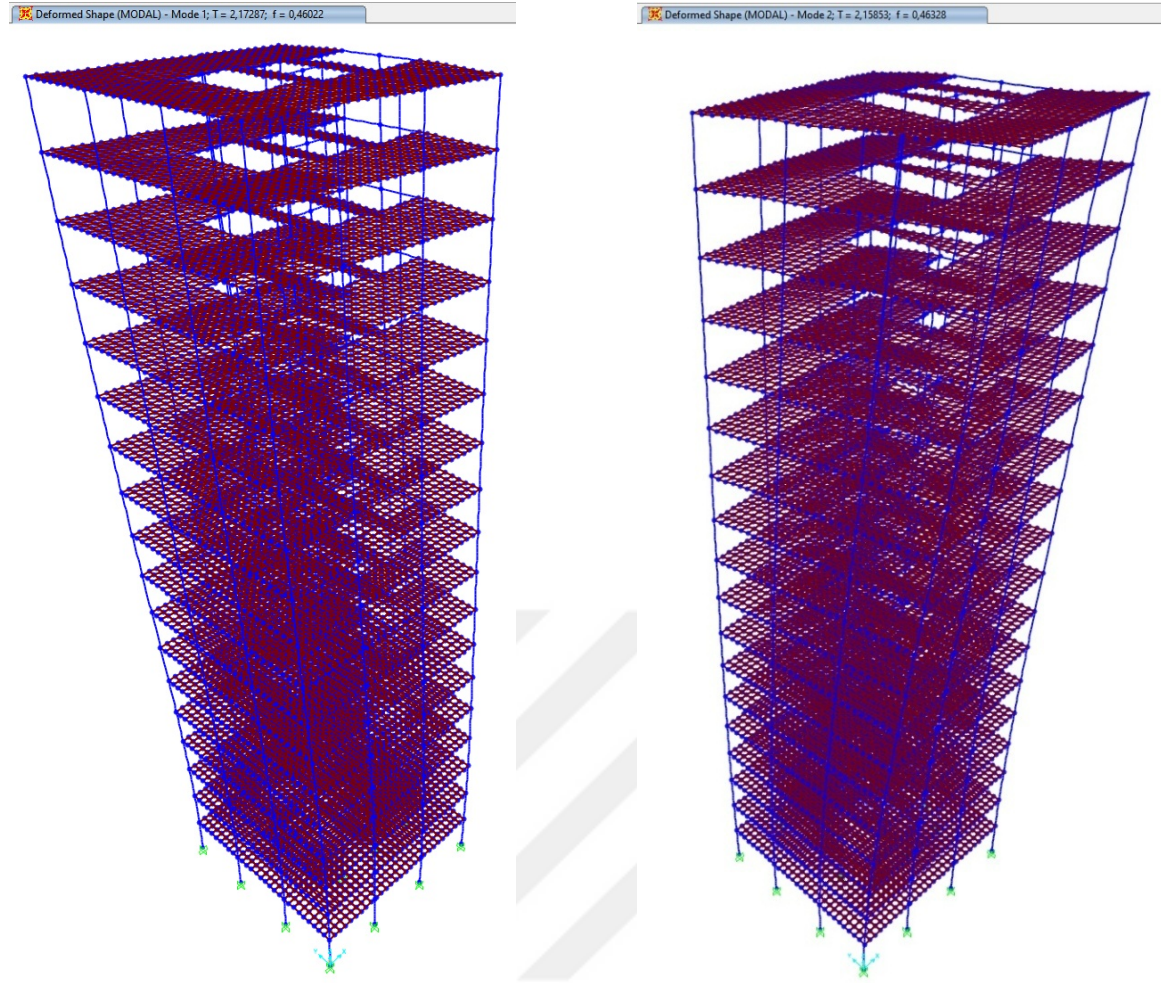
Şekil 4.45 ve 4.46’ da sırasıyla kalıp planı ve perspektif görünüşü verilen sistemde 25 cm kalınlığında betonarme döşeme kullanılmıştır. Yapının toplam ağırlığı **97.558,55 kN** dur.



Şekil 4.45. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Kalıp Planı



Şekil 4.46. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perspektif Görünüm



Şekil 4.47. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi X ve Y yönü Periyot Değerleri

Etkin kesit rijitliklerinin dikkate alındığı hesaplarda, yapının 1. modu, “X” yönünde olup, 2,17sn, 2. modu ise “Y” yönünde olup, değeri 2,16 sn’ dir. **(Şekil 4.47)**

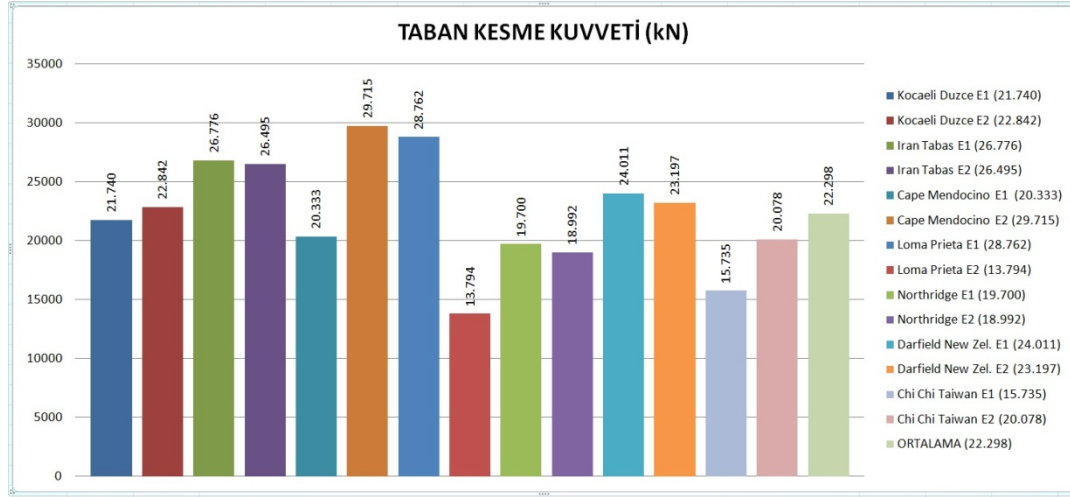
Tablo 4.20’ de yapı ağırlığı, periyot değerleri ve DD1 ve DD2 deprem düzeylerinde oluşan azaltılmış taban kesme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.20. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Etkisinde Oluşan Kuvvetler

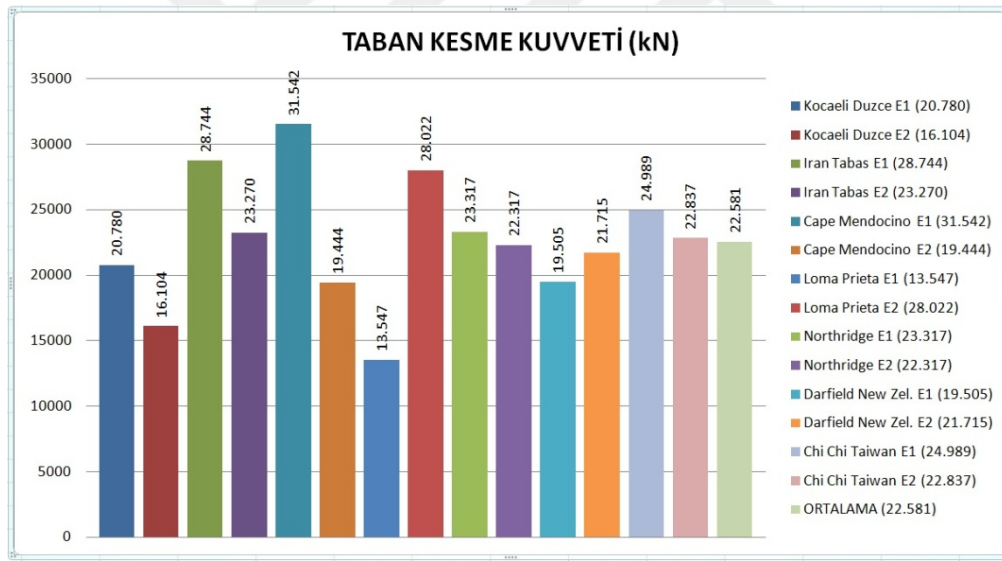
Deprem Doğrultusu	Yapı Ağırlığı (kN)	Yapı Periyodu (sn)	DD1 Depremi (kN)	DD2 Depremi (kN)
X	97.588,55	2,17	9241,7	5561,8
Y	97.588,55	2,16	9533,8	5607,6

DD1 “X” yönü altında oluşan taban kesme kuvveti **9241,7 kN** ’dur. Aynı deprem düzeyinde “Y” yönündeki oluşan kuvvet **9533,8 kN**’dur. DD2 ’de ise, sırasıyla X ve Y yönleri için bu değer, **5561,8** ve **5607,6 kN** ’dur.

Doğrusal olmayan davranış analizleriyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerine ait, depremin her iki yönü için 14 ivme kaydının ve ortalamalarının oluşturduğu sonuçlar, Şekil 4.48 ve 4.49' da gösterilmiştir.



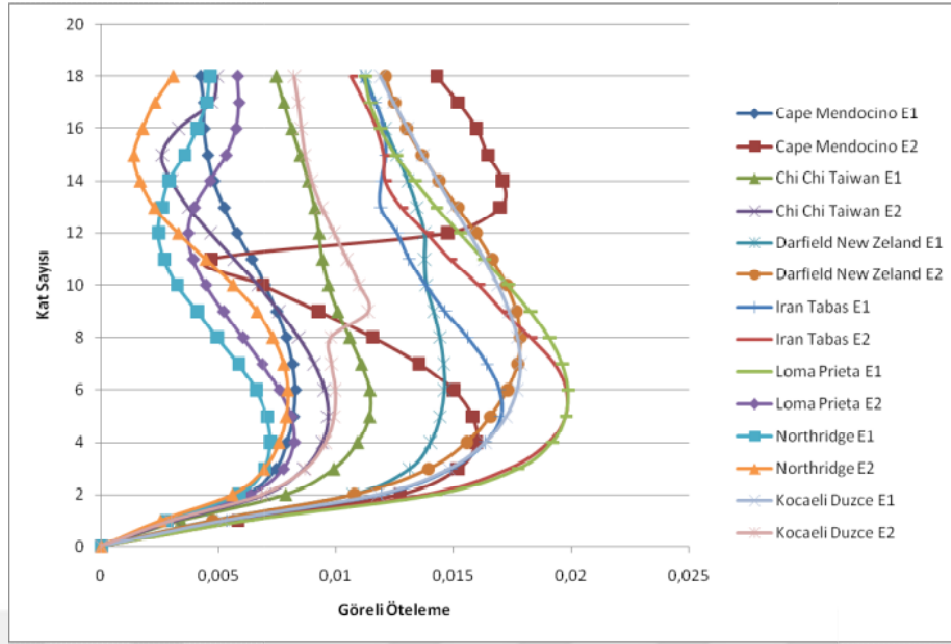
Şekil 4.48. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri



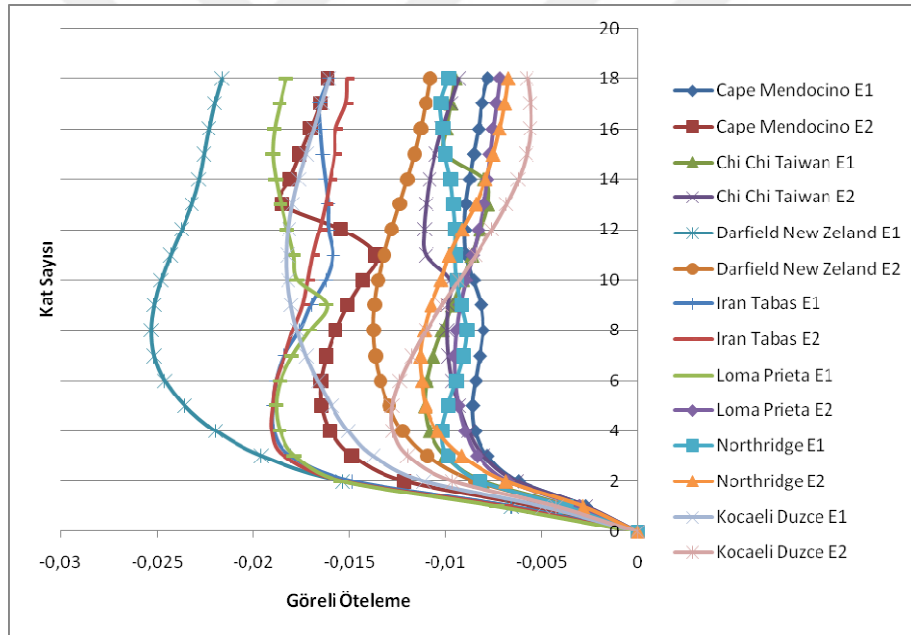
Şekil 4.49. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri

14 kaydın ortalaması dikkate alındığında, "X" yönü için ortalama taban kesme kuvveti değeri **22.298 kN**, "Y" yönü için ise **22.581 kN** bulunmuştur.

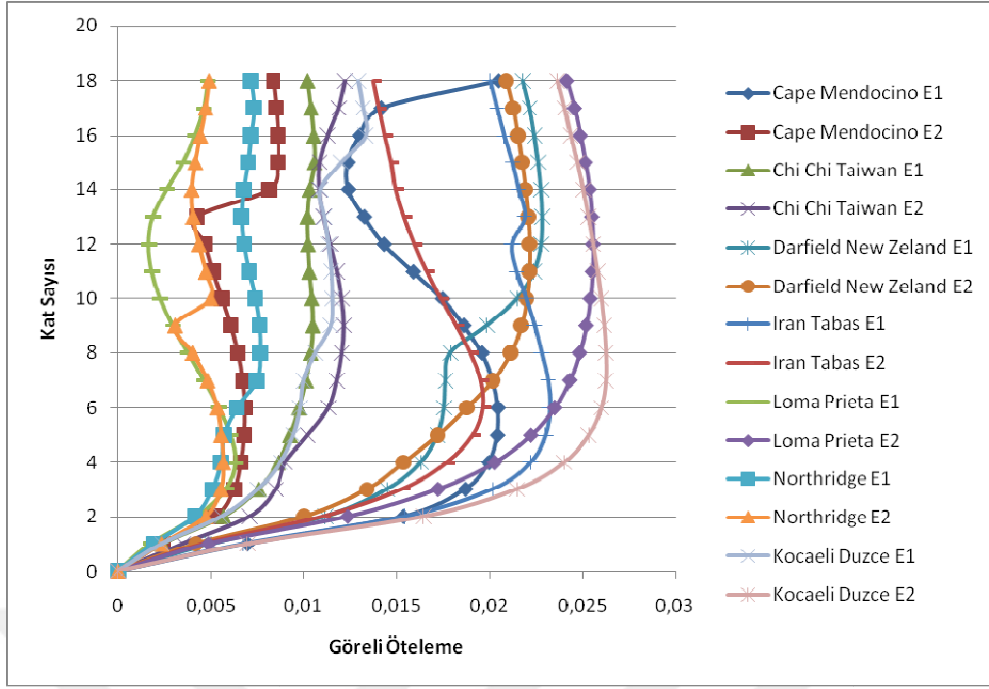
Yapının X ve Y yönünde oluşan ve 14 kaydın ortalamasını içeren görelî öteleme değerleri, şekil 4.50 - 4.55' de verilmiştir.



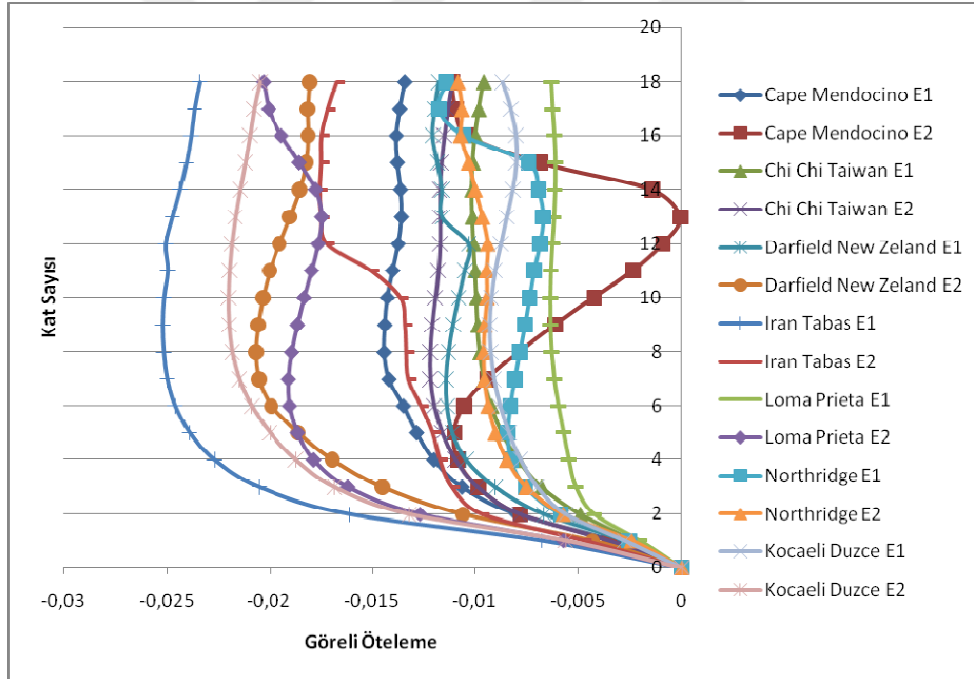
Şekil 4.50. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



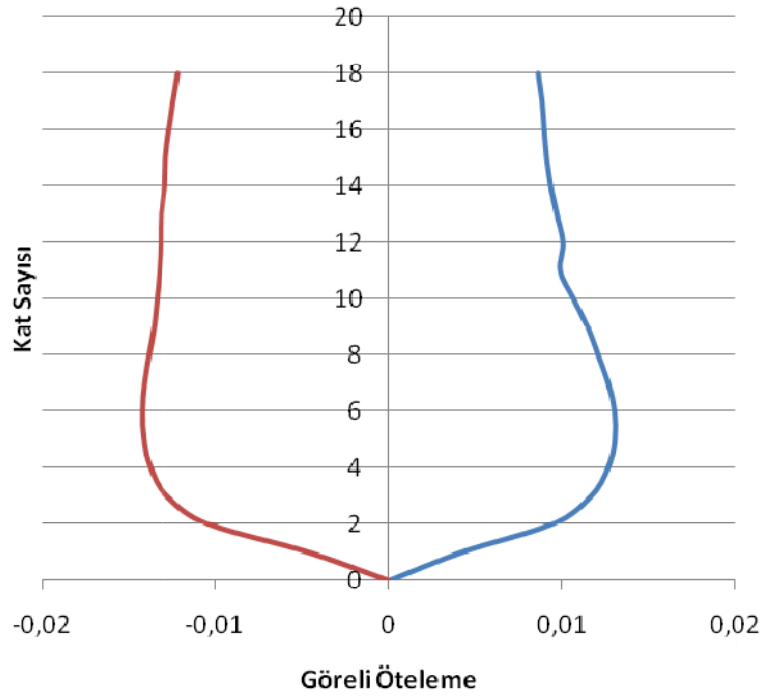
Şekil 4.51. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



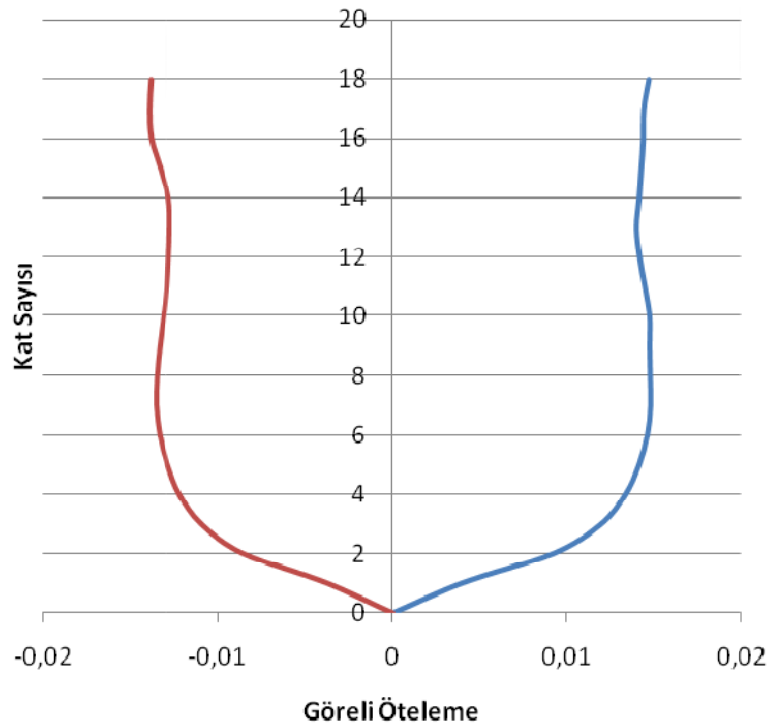
Şekil 4.52. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi “Y1” yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.53. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi “Y2” yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.54. Mantar Döşemeli Yapı Sisteminde "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.55. Mantar Döşemeli Yapı Sisteminde "Y" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri

Mantar döşeme sisteminde ortalama görelî kat ötelemeleri maksimum değeri "X" yönü için **0,014** ve "Y" yönünde **0,015** değerleri elde edilmiştir. Tablo 4.21 ve 4.22' de ise tüm

kayıtların kendi deprem düzeyinde oluşturabildikleri maksimum görelî ötelemesi oranları ve ilgili performans seviyelerine yer verilmiştir.

Tablo 4.21. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi “X” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri

Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0086	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0185				
Chi Chi Taiwan E1	0,0114				
Chi Chi Taiwan E2	0,0111				
Darfield New Zeland E1	0,0253				
Darfield New Zeland E2	0,0178				
Iran Tabas E1	0,0190				
Iran Tabas E2	0,0198				
Loma Prieta E1	0,0199				
Loma Prieta E2	0,0095				
Northridge E1	0,0102				
Northridge E2	0,0113				
Kocaeli Duzce E1	0,0183				
Kocaeli Duzce E2	0,0128				
Ortalama	0,0142		0,03	0,02	0,01

Tablo 4.22. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi “Y” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri

Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0204	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0108				
Chi Chi Taiwan E1	0,0106				
Chi Chi Taiwan E2	0,0122				
Darfield New Zeland E1	0,0228				
Darfield New Zeland E2	0,0222				
Iran Tabas E1	0,0252				
Iran Tabas E2	0,0197				
Loma Prieta E1	0,0064				
Loma Prieta E2	0,0256				
Northridge E1	0,0118				
Northridge E2	0,0108				
Kocaeli Duzce E1	0,0134				
Kocaeli Duzce E2	0,0263				
Ortalama	0,0148		0,03	0,02	0,01

Tabloda, “X” yönü için maksimum görelî ötelemesi oranının Darfield New Zeland E1 depremine ait ve değerinin **0,0253** olduğu görülmektedir. Aynı durum, “Y” doğrultusunda **0,0256** değeri ile Loma Prieta E2 depremine aittir. Maksimum görelî kat ötelemesi değerlerinden yapının “X” doğrultusuna etki eden toplam 14 kayıttan 2 kaydın sınırlı hasar

bölgesinde, 11 kaydın belirgin hasar bölgesinde ve geri kalan 1 kaydın ileri hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. Yapıdaki diğer doğrultu, “Y” yönünde ise 1 kaydın sınırlı hasar, 7 kaydın belirgin hasar ve 6 kaydın ileri hasar bölgesinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Beton ve donatıda en yüksek birim uzama – kısalma şekil değiştirme değerlerine ulaşabilmesi için şekil değiştirmelerin en yüksek olduğu zemin kat elemanları dikkate alınmıştır. Önceki yapı sistemlerinde olduğu gibi kolonlar değerlendirilirken kayıtlarda oluşan maksimum, perdelerde ise 14 kayıttan oluşan ortalama değerlerden faydalanılmıştır. Tablo 4.23 - 4.26’ da ilgili perde ve kolon elemanlar için zemin kata ait birim uzama-kısalma şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.23. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri		GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	0,0068	Sınır Değerler	0,032	0,024	0,0075
P06	40x260	2,6	0,0063				
P04	40x260	2,6	0,0047				
P01	30x360	3,6	0,0099				
P05	30x360	3,6	0,0100				
P08	30x720	7,2	0,0105				
P09	30x720	7,2	0,0105				
P03	30x360	3,6	0,0102				
P07	30x360	3,6	0,0091				

Tablo 4.24. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri		GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	0,0020	Sınır Değerler	0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	0,0021				
S03	70x70	4	0,0026				
S04	70x70	4	0,0042				
S05	70x70	4	0,0024				

Tablo 4.25. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perde Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	C35 Beton Birim Kısalma Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	-0,0013		0,018	0,014	0,0025
P06	40x260	2,6	-0,0013				
P04	40x260	2,6	-0,0008				
P01	30x360	3,6	-0,0031				
P05	30x360	3,6	-0,0030				
P08	30x720	7,2	-0,0035				
P09	30x720	7,2	-0,0027				
P03	30x360	3,6	-0,0025				
P07	30x360	3,6	-0,0018				

Tablo 4.26. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	C35 Beton Birim Kısalma Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	-0,0016		0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	-0,0019				
S03	70x70	4	-0,0019				
S04	70x70	4	-0,0014				
S05	70x70	4	-0,0017				

Tablo 4.24 – 4.26’ daki sonuçlara bağlı olarak P02, P06, P04 perdeleri sınırlı hasar bölgesinde, P01, P05, P08, P09, P03 ve P07 perdeleri ise belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Kayıtlardan elde edilen en yüksek değerlerin dikkate alındığı kolonlarda ise tüm uzama ve kısalma şekil değiştirme değerleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Birim Uzama – Kısalma şekil değiştirmelerinden görüldüğü üzere, sistemin eğilme etkisinde en çok zorlanan bölgesi, bir önceki yapı sistemlerinde olduğu gibi çekirdek yapıyı oluşturan “U” tipi perdelerdir.

Gevrek davranışa sebep olan kesme kuvveti değerlerinde yine 14 kaydın ortalama değerleri dikkate alınmış ve yönetmelikte belirtildiği gibi standart sapma eklenmiştir.

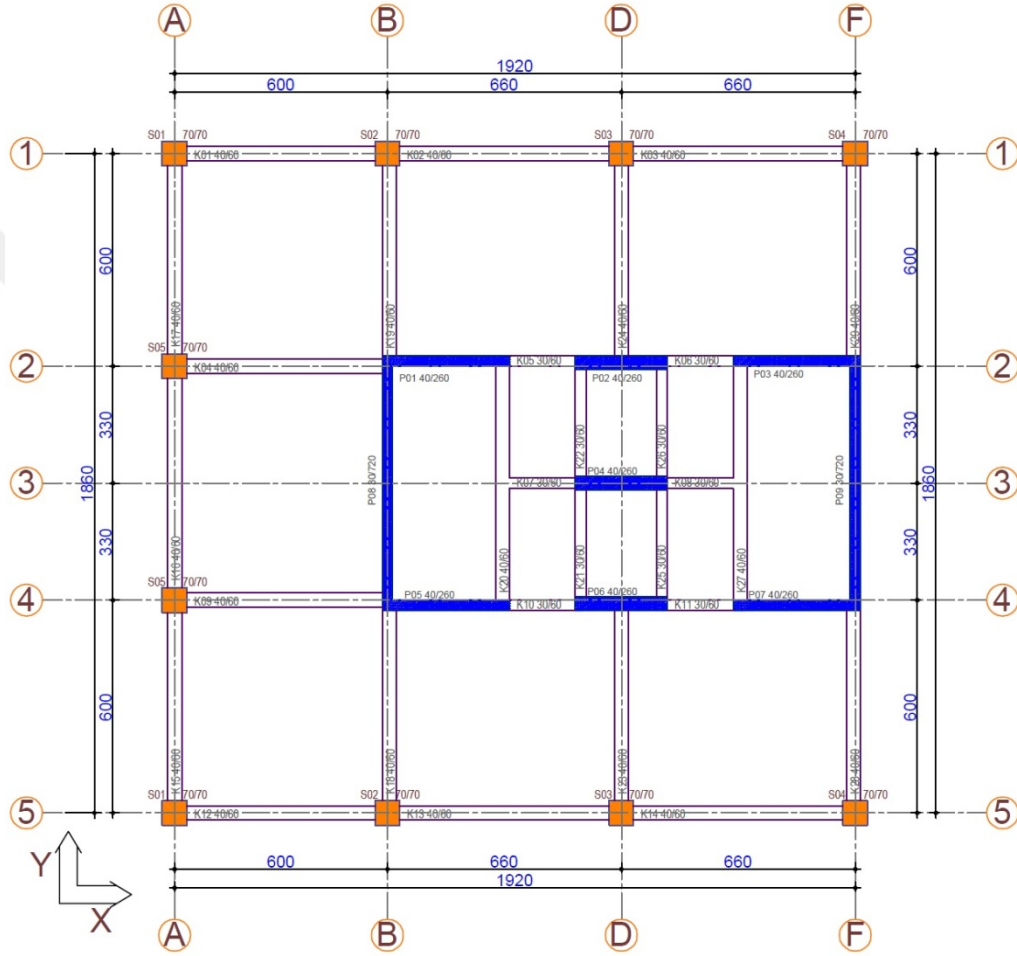
Tablo 4.27. Mantar Döşemeli Yapı Sistemi Perde Eleman Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri

Perde	Perde Kalınlığı (m)	Perde Uzunluğu (m)	Kesme Kuvveti (kN)	Sınır Değerler	Vr
P02	0,3	1,7	3253,76		4560
P06	0,3	6	2893,60		4560
P04	0,3	6	1262,33		4560
P01	0,3	1,7	6584,28		4739
P05	0,3	6	5762,76		4739
P08	0,3	6	17285,37		12393
P09	0,3	6	9255,58		12393
P03	0,3	6	5365,94		4739
P07	0,3	6	5193,57		4739

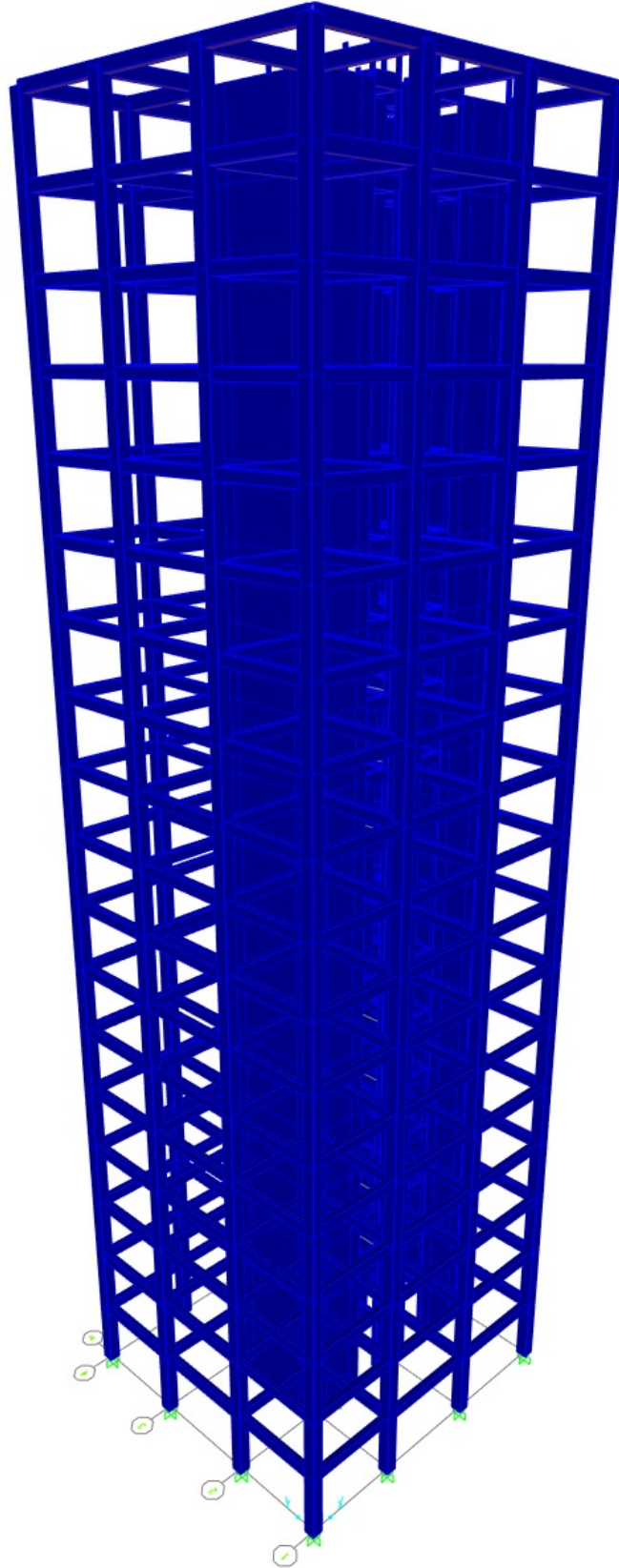
Tablodan 5 adet perdenin göçme bölgesinde olduğu ve geri kalan 4 adet perdenin kesmede yeterli dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Kesmede göçme durumuna ulaşan perdelerin, yapıdaki çekirdek bölgeyi oluşturan “U” tipi perdeler olması dikkat çekmektedir. Şekil 4,49’ da verilen “Y” doğrultusuna ait ortalama taban kesme kuvveti değeri **22.581 kN**’ dur. P08 ve P09 perdeleri ise etkin olarak “Y” yönünde çalışan perdelerdir ve toplamda **22.158 kN** kesme kuvvetini karşılamaktadır. Bu kapsamda iki perdenin de yapının ilgili doğrultusundaki deprem etkisinin tamamına karşılık vermeye çalıştığı yorumuna ulaşılabilir.

4.1.5.Sistem 4, Döşeme Modelsız (Plak Döşeme) Yapı Sistemi

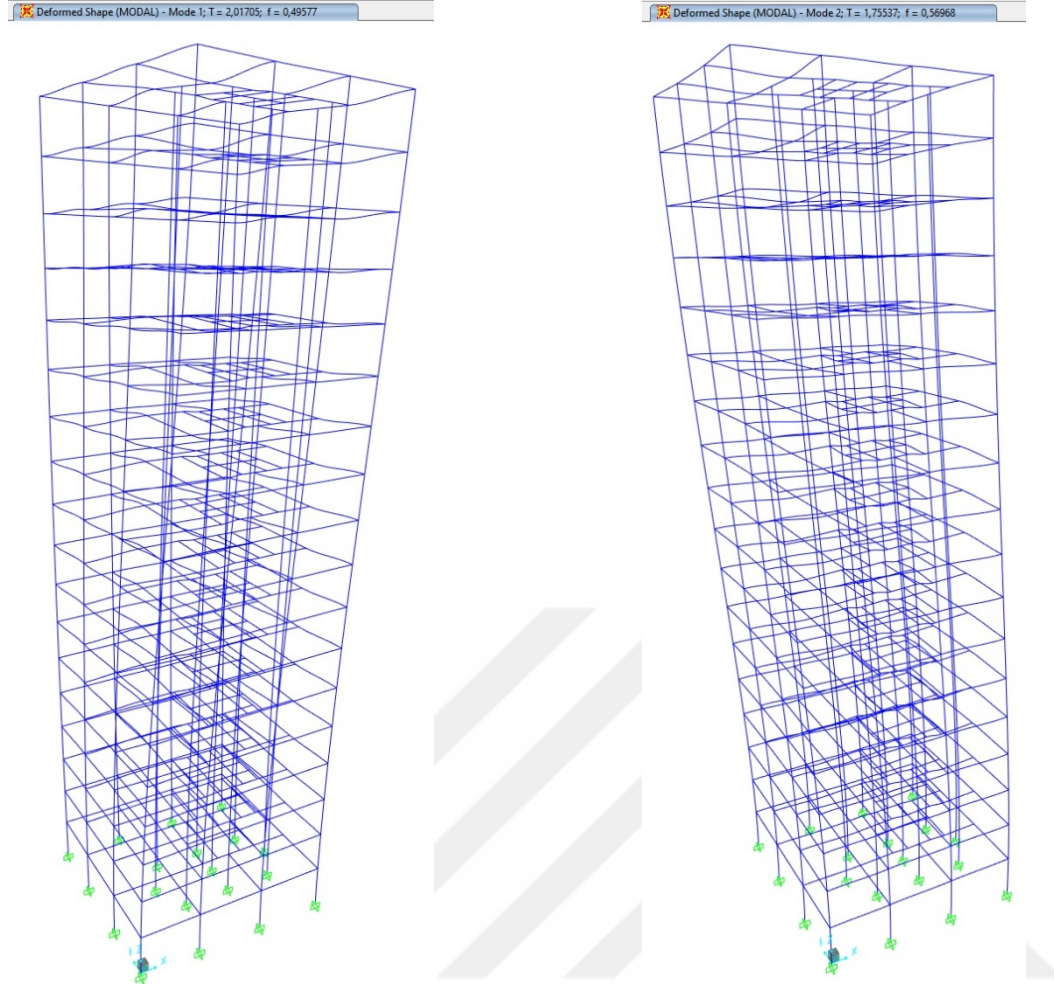
Şekil 4.56 ve 4.57’ de sırasıyla kalıp planı ve perspektif görünüşü verilen sistemde 40x60 cm ve 30x60 cm kesitlerinde kiriş elemanlar bulunmaktadır. Sistemin modellenmesinde döşeme göz önünde bulundurulmamış olup 17 cm kalınlığındaki plak döşemeye ait ölü ve hareketli yükler kirişlere aktarılmıştır. Söz konusu yapı sisteminin toplam ağırlığı **102.369,92 kN**’ dur.



Şekil 4.56. Döşeme Modelsız Yapı sistemine Ait Kalıp Planı



Şekil 4.57. Döşeme Modelsız Yapı Sistemine Ait Perspektif Görünüm



Şekil 4.58. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi X ve Y yönü Periyot Değerleri

Etkin kesit rijitliklerinin dikkate alındığı hesaplarda, yapının 1. modu, diğer sistemlerde olduğu gibi “Y” yönünde olup, 2,02 sn, 2. Modu ise “X” yönünde olup, 1,76 sn’ dir. (**Şekil 4.58**)

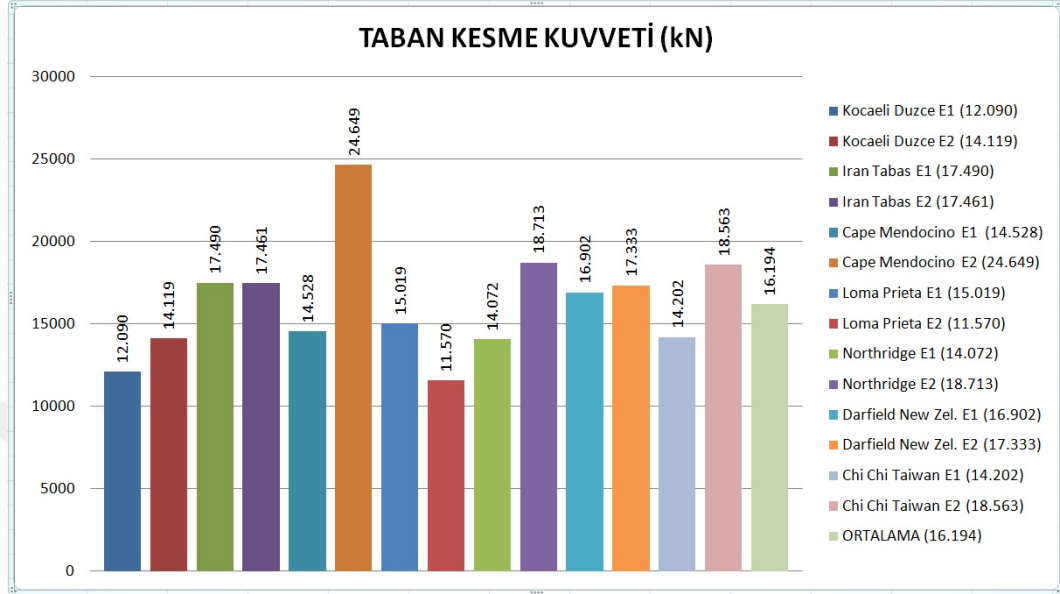
Tablo 4.28’ de yapı ağırlığı, periyot değerleri ve DD1 ve DD2 deprem düzeylerinde oluşan azaltılmış taban kesme kuvveti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.28. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi DD1 ve DD2 Deprem Düzeylerinde Oluşan Kuvvetler

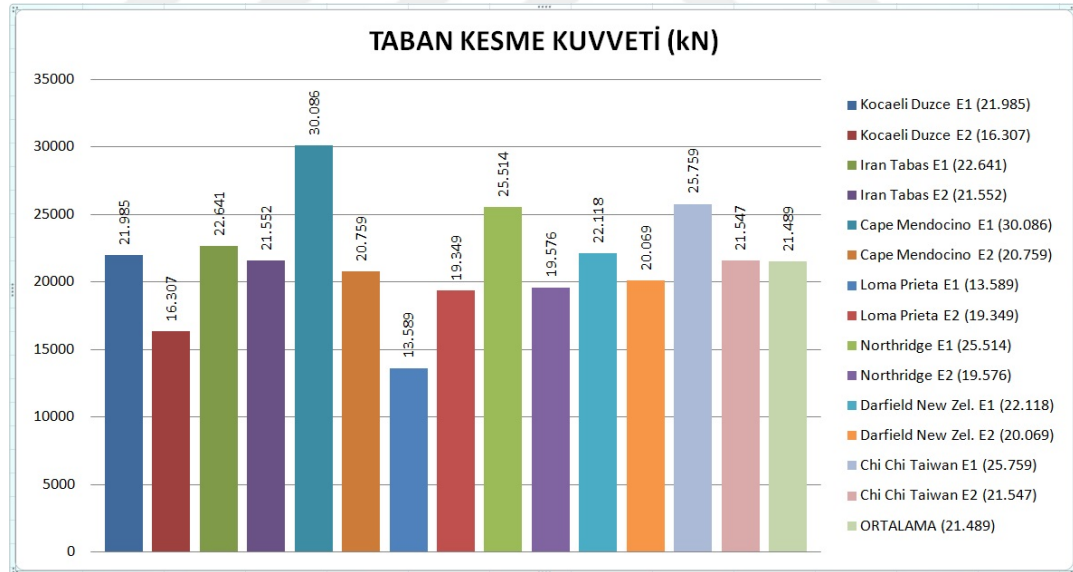
Deprem Doğrultusu	Yapı Ağırlığı (kN)	Yapı Periyodu (sn)	DD1 Depremi (kN)	DD2 Depremi (kN)
X	102.369,92	1,76	9990,2	5703,0
Y	102.369,92	2,02	10944,3	6298,4

DD1 “X” yönü deprem etkisi altında oluşan taban kesme kuvveti **9990,2 kN** ’dur. Aynı deprem düzeyinde “Y” yönündeki oluşan kuvvet **10.944,3 kN**’dur. DD2’ de ise, sırasıyla X ve Y yönleri için bu değerler, **5703** ve **6298,4 kN** ’dur.

Doğrusal olmayan davranış analizleriyle elde edilen taban kesme kuvveti değerlerine ait, depremin her iki yönü için 14 ivme kaydının ve ortalamalarının oluşturduğu sonuçlar, Şekil 4.59 ve 4.60' da gösterilmiştir.



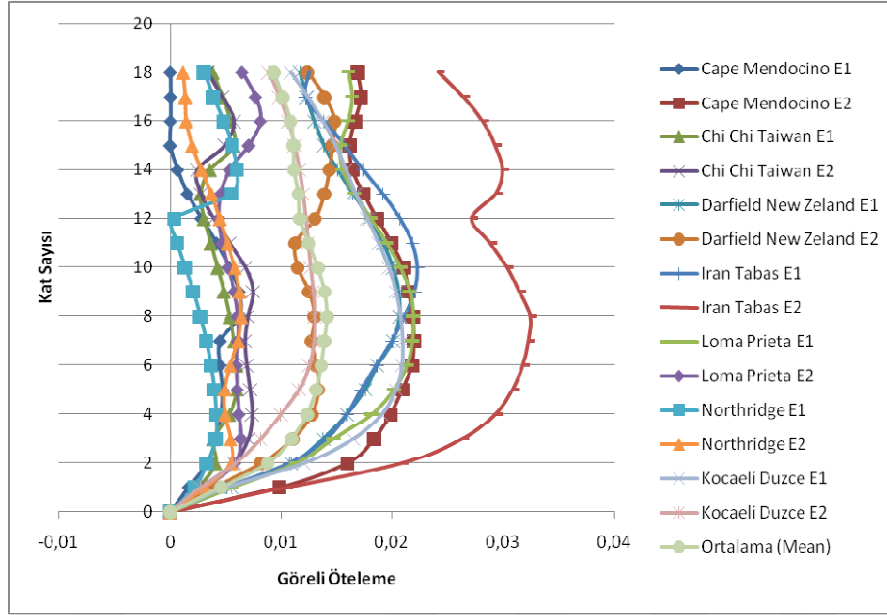
Şekil 4.59. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi "X" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri



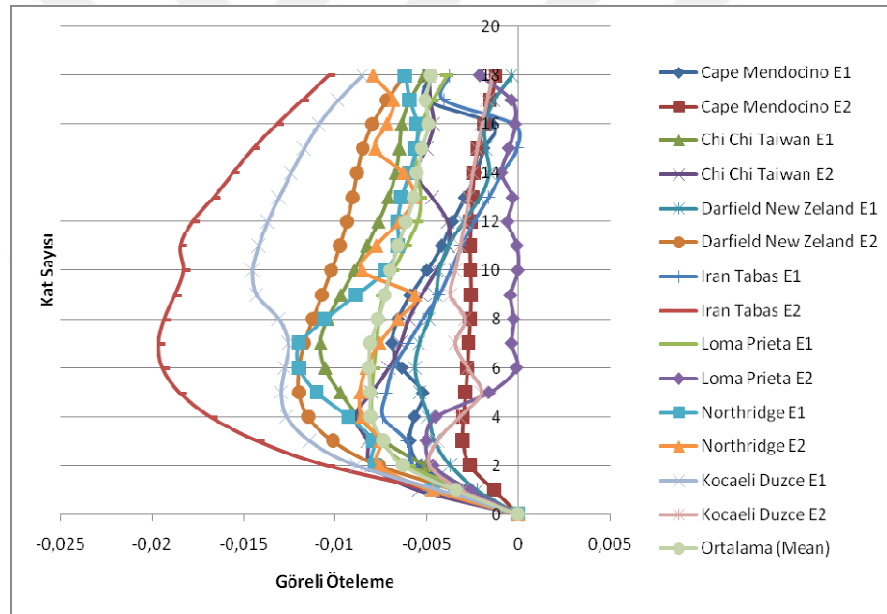
Şekil 4.60. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi "Y" Yönü Taban Kesme Kuvveti Değerleri

14 kaydın ortalaması dikkate alındığında, "X" yönü için ortalama taban kesme kuvveti değeri **16.194 kN**, "Y" yönü için ise **21.489 kN** bulunmuştur.

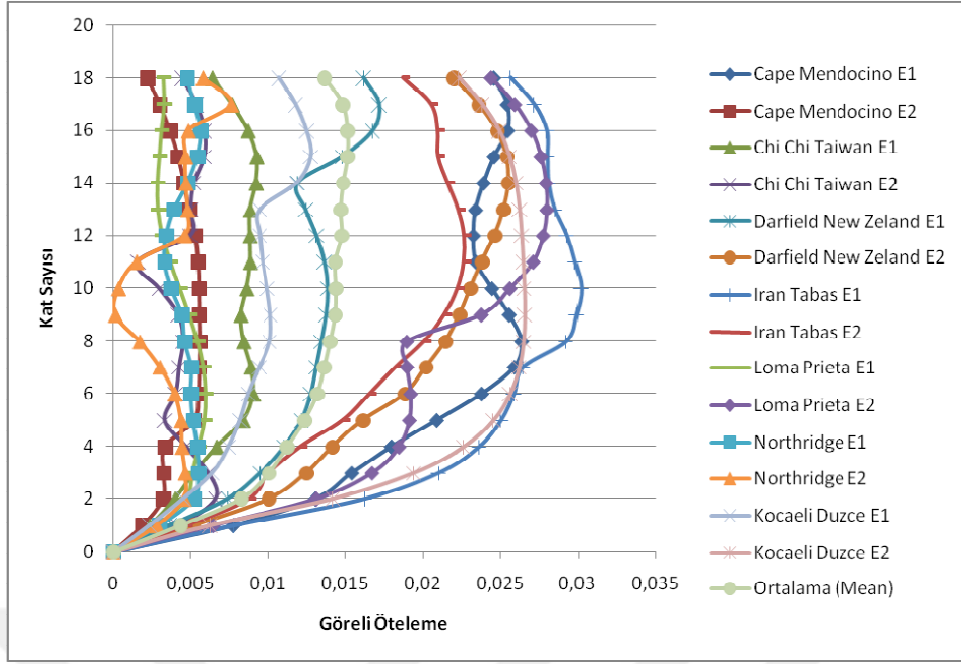
Yapının X ve Y yönünde oluşan ve 14 kaydın ortalamasını içeren görelî öteleme değerleri ise Şekil 4.61 - 4.66' da verilmiştir.



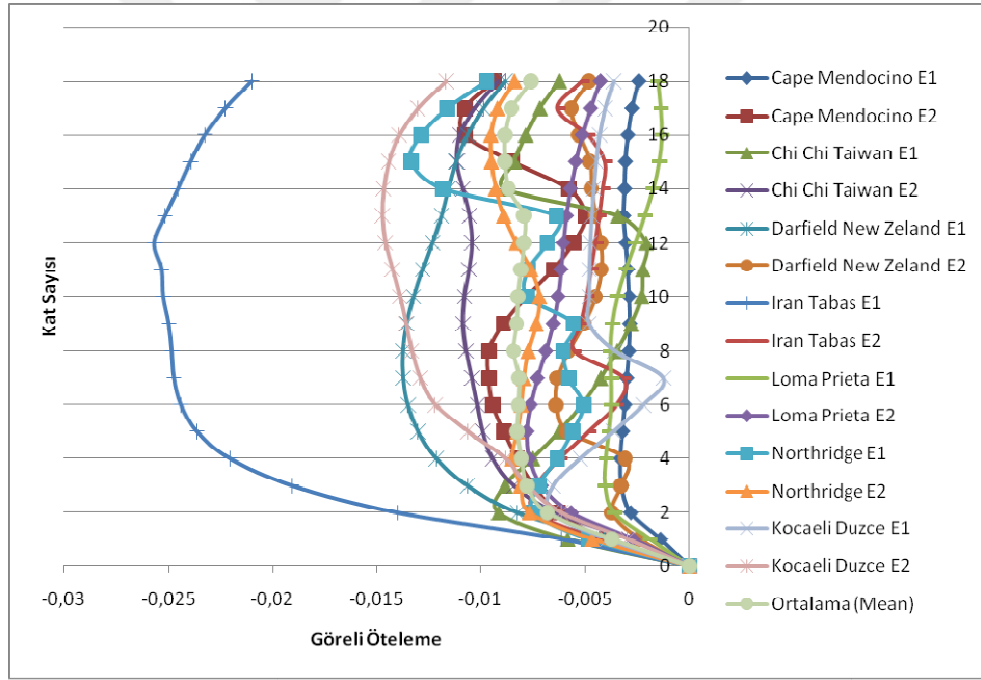
Şekil 4.61. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi "X1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



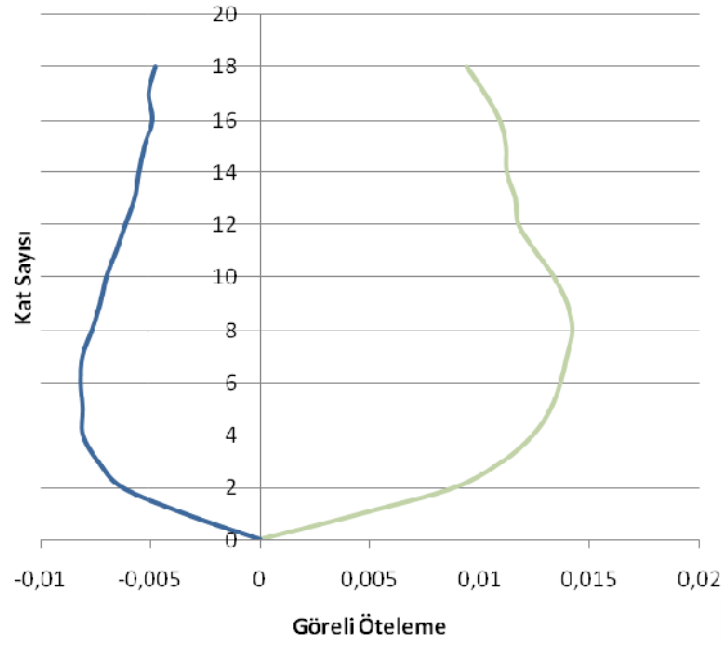
Şekil 4.62. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi "X2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



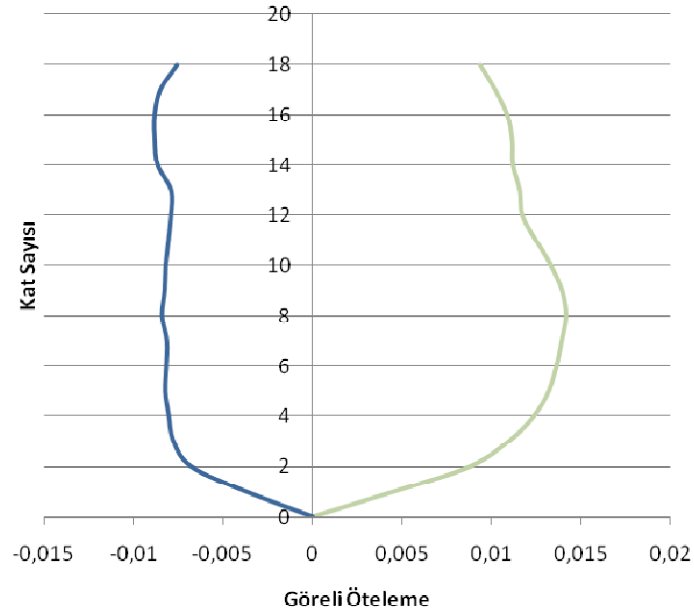
Şekil 4.63. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi "Y1" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.64. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi "Y2" yönü Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.65. Döşeme Modelsiz Yapı Sisteminde "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri



Şekil 4.66. Döşeme Modelsiz Yapı Sisteminde "X" yönü Ortalama Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri

Döşeme modelsiz yapı sisteminde ortalama görelî kat öteleme oranı maksimum değeri "X" yönü için **0,014** ve "Y" yönü için **0,015** olarak elde edilmiştir. Tablo 4.29' da ise tüm kayıtların kendi deprem düzeyinde oluşturdıkları maksimum görelî ötelemeler ve ilgili performans seviyelerine yer verilmiştir.

Tablo 4.29. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi “X” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri

Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0069	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0220				
Chi Chi Taiwan E1	0,0108				
Chi Chi Taiwan E2	0,0089				
Darfield New Zeland E1	0,0206				
Darfield New Zeland E2	0,0148				
Iran Tabas E1	0,0223				
Iran Tabas E2	0,0324				
Loma Prieta E1	0,0219				
Loma Prieta E2	0,0082				
Northridge E1	0,0119				
Northridge E2	0,0086				
Kocaeli Duzce E1	0,0209				
Kocaeli Duzce E2	0,0130				
Ortalama	0,0142		0,03	0,02	0,01

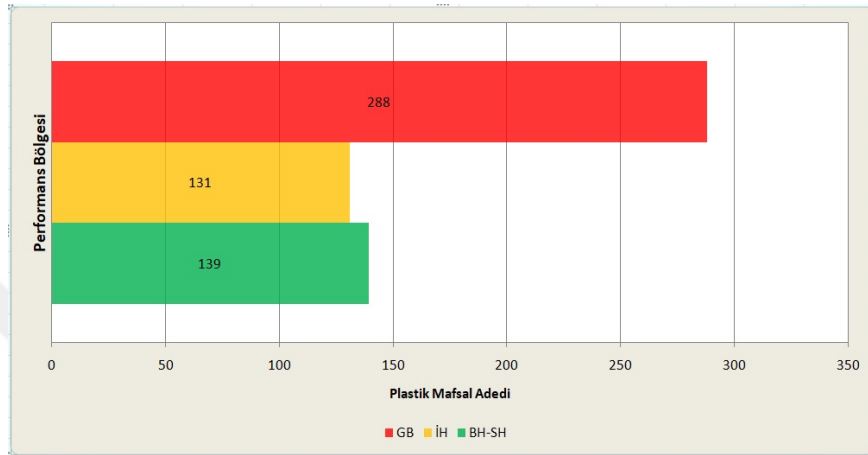
Tablo 4.30. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi “Y” Doğrultusu Maksimum Görelî Kat Öteleme Oranı Değerleri ve Performans Seviyeleri

Deprem	Maksimum Görelî Öteleme		GÖ	KH	SH
Cape Mendocino E1	0,0264	Sınır Değerler	0,045	0,02	0,01
Cape Mendocino E2	0,0108				
Chi Chi Taiwan E1	0,0092				
Chi Chi Taiwan E2	0,0111				
Darfield New Zeland E1	0,0172				
Darfield New Zeland E2	0,0255				
Iran Tabas E1	0,0302				
Iran Tabas E2	0,0227				
Loma Prieta E1	0,0060				
Loma Prieta E2	0,0280				
Northridge E1	0,0133				
Northridge E2	0,0095				
Kocaeli Duzce E1	0,0128				
Kocaeli Duzce E2	0,0266				
Ortalama	0,0152		0,03	0,02	0,01

Tablodan, “X” yönü için maksimum görelî ötelemesi oranının İran Tabas E2 depremine ait ve değerinin **0,0324** olduğu görülmektedir. Aynı durum, “Y” doğrultusunda **0,0302** değeri ile İran Tabas E1 depremine aittir. Yapının “X” doğrultusuna etki eden toplam 14 kayıttan 4 kaydın sınırlı hasar bölgesinde, 4 kaydın belirgin hasar bölgesinde ve geri kalan 6 kaydın ileri

hasar bölgesinde olduğu görülmektedir. “Y” doğrultusunda ise 3 kaydın sınırlı hasar, 5 kaydın belirgin hasar ve 6 kaydın ileri hasar bölgesinde olduğu sonucuna varılmıştır.

Şekil 4.67’ de, 14 deprem yer hareketinden oluşan maksimum dönme değerlerinin, kiriş elemanlarda oluşturduğu performans durumlarına yer verilmiştir. Elde edilen kiriş dönme değerlerine göre yönetmelik sınır şartlarında kaç adet kirişin göçme bölgesinde, kaç adedinin ileri hasar, belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde olduğu bilgilerine ulaşılmıştır.



Şekil 4.67. Döşeme Modelsız Yapı Sistemi Kiriş Performans Bölgeleri

Şekil 4.58’ den görüldüğü üzere, toplam 558 adet kiriş elemanına sahip olan yapı sisteminde, 288 adet kiriş göçme bölgesi, 131 adet ileri hasar bölgesinde ve 139 adet belirgin ve sınırlı hasar bölgesinde kalmaktadır.

Tablo 4.31’ de sistem içerisinde örnek olarak seçilen kiriş elemanlarının 14 adet deprem kaydından elde edilen ortalama dönme değerlerine yer verilmiştir. Bu değerler, sınır performans koşullarıyla karşılaştırılarak, performans seviyeleri belirlenmiştir.

Tablo 4.31. Döşeme Modelsız Yapı Sisteminde Kiriş Elemanlarda Oluşan Ortalama Dönme Değerleri

Kat	Kiriş Adı	Eleman Kesiti (cm)	Serbest Açıklık (m)	Ortalama Dönme Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
3	K05	30x60	1,7	0,034	Sınır Değerler	0,037	0,028	0
4	K09	40x60	6	0,024		0,034	0,026	0
5	K18	40x60	6	0,027		0,034	0,026	0
6	K05	30x60	1,7	0,041		0,037	0,028	0
12	K01	40x60	6	0,013		0,034	0,026	0
17	K28	40x60	6	0,026		0,034	0,026	0

Tablo 4.31’ den görüldüğü üzere döşeme modelsiz yapı sisteminde 6. Kat K05 bağ kirişi göçme bölgesinde kalmaktadır. 5. Kat K05, K18 ve K28 kirişleri ileri hasar ve K09, K01 kirişleri belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

Tablo 4.32 - 4.35’ de yapı sistemine ait perde ve kolon elemanlar için zemin kata ait birim uzama-kısalma şekil değiştirme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.32. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Perde Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri		GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	0,0027	Sınır Değerler	0,032	0,024	0,0075
P06	40x260	2,6	0,0038				
P04	40x260	2,6	0,0027				
P01	30x360	3,6	0,0057				
P05	30x360	3,6	0,0087				
P08	30x720	7,2	0,0090				
P09	30x720	7,2	0,0058				
P03	30x360	3,6	0,0061				
P07	30x360	3,6	0,0079				

Tablo 4.33. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında S420 Donatısı Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri		GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	0,0046	Sınır Değerler	0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	0,0032				
S03	70x70	4	0,0032				
S04	70x70	4	0,0032				
S05	70x70	4	0,0024				

Tablo 4. 34. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Perde Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısalma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Perde	Eleman Kesiti (cm)	Perde Uzunluğu (m)	C35 Beton Birim Kısalma Değerleri		GÖ	KH	SH
P02	40x260	2,6	-0,0015	Sınır Değerler	0,018	0,014	0,0025
P06	40x260	2,6	-0,0011				
P04	40x260	2,6	-0,0013				
P01	30x360	3,6	-0,0031				
P05	30x360	3,6	-0,0019				
P08	30x720	7,2	-0,0014				
P09	30x720	7,2	-0,0020				
P03	30x360	3,6	-0,0017				
P07	30x360	3,6	-0,0013				

Tablo 4.35. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Kolon Elemanlarında C35 Sargılı Beton Birim Kısılma Şekil Değiştirme Değerleri ve Performans Bölgeleri

Kolon	Eleman Kesiti (cm)	Kolon Yüksekliği (m)	S420 Donatı Birim Uzama Değerleri	Sınır Değerler	GÖ	KH	SH
S01	70x70	4	-0,0021		0,032	0,024	0,0075
S02	70x70	4	-0,0021				
S03	70x70	4	-0,0021				
S04	70x70	4	-0,0019				
S05	70x70	4	-0,0020				

Tablo 4.33 – 4.35 deki sonuçlara bağlı olarak P02, P06, P04, P01, P09, P03 perdelerinin sınırlı hasar bölgesinde, P05, P08, P07 perdelerinin ise belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Kayıtlardan elde edilen en yüksek değerlerin dikkate alındığı kolonlarda ise tüm birim uzama ve kısılma şekil değiştirme değerleri sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Birim uzama – kısılma şekil değiştirme değerlerinden görüldüğü üzere, sistemin eğilme etkisinde en çok zorlanan bölgesi, diğer yapı sistemleri ile benzer olarak çekirdek yapıyı oluşturan “U” tipi perdelerdir.

Gevrek davranışa sebep olan kesme kuvveti değerlerinde yine 14 adet deprem kaydının ortalama değerleri dikkate alınmış ve yönetmelikte belirtildiği gibi standart sapma eklenmiştir. Buna göre Tablo 4.36’ da perde elemanlarda oluşan kesme kuvveti değerleri ve perde kesme dayanımına göre performans seviyelerine yer verilmiştir.

Tablo 4.36. Döşeme Modelsiz Yapı Sistemi Perde Eleman Kesme Kuvvetleri ve Performans Seviyeleri

Perde	Perde Kalınlığı (m)	Perde Uzunluğu (m)	Kesme Kuvveti (kN)	Sınır Değerler	Vr (kN)
P02	0,4	2,6	1740,29		4560
P06	0,4	2,6	1568,87		4560
P04	0,4	2,6	1243,56		4560
P01	0,3	3,6	4399,32		4739
P05	0,3	3,6	4346,32		4739
P08	0,3	7,2	12001,97		12393
P09	0,3	7,2	9488,24		12393
P03	0,3	3,6	3139,99		4739
P07	0,3	3,6	3456,14		4739

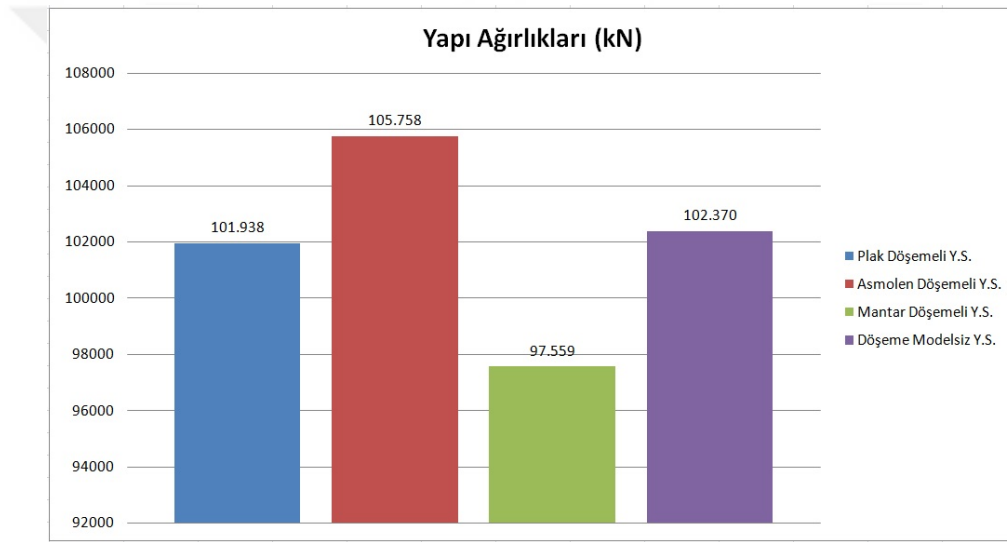
Tabloda tüm perde elemanların kesmede yeterli dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Kesme de en fazla zorlanan perdelerin, yapıdaki çekirdek bölgeyi oluşturan “U” tipi perdelerdir. olması dikkat çekmektedir. Şekil 4.54’ de verilen “Y” doğrultusuna ait ortalama taban kesme kuvveti değeri **21.489 kN** dur. P08 ve P09 perdeleri ise etkin olarak “Y” yönünde çalışan

perdelerdir ve toplamda **17.909 kN** luk kesme kuvvetini karşılamaktadır. Bu açıdan bakıldığında iki perdenin de yapının ilgili doğrultusundaki deprem etkisine büyük oranda karşılık vermeye çalıştığı yorumuna ulaşılabilir.

4.2. Doğrusal Analiz Karşılaştırmaları

4.2.1. Yapı Ağırlıkları

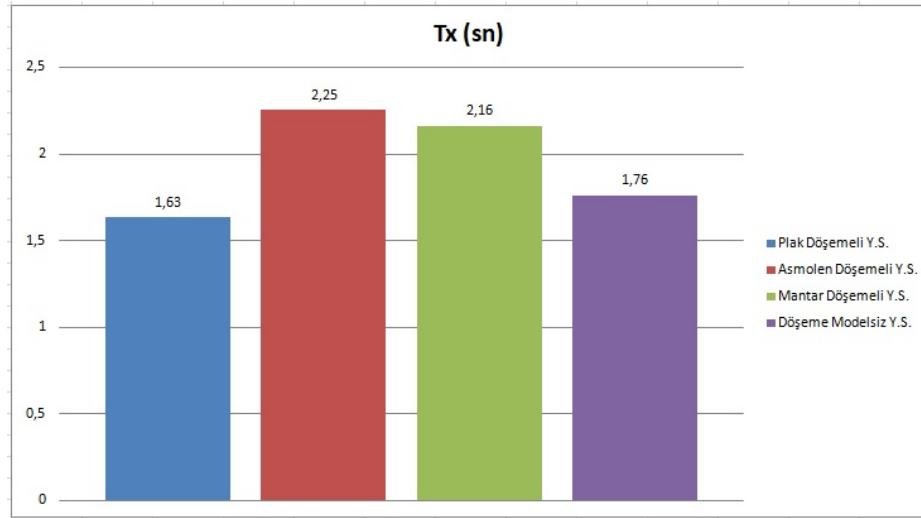
Farklı tiplerde döşeme içeren yapı sistemleri aynı düşey servis yükleri etkisindedir. Tablo 4.2, 4.11, 4.20 ve 4.28’ de kendi ağırlıkları ve servis yükleri altındaki yapıya ait toplam ağırlıklar verilmiştir. Sonuçlardan elde edilen karşılaştırmalar Şekil 5.1’ de gösterilmektedir.



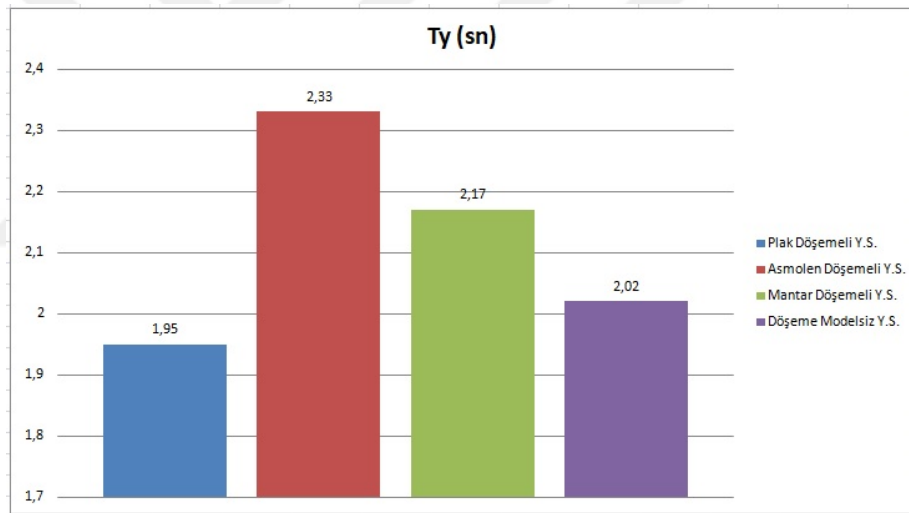
Şekil 4.68. Yapı Ağırlıkları (kN)

Şekil 5.1’ den görüldüğü üzere **105.758 kN** ile asmolen döşemeli sistem en ağır yapı sistemidir. Onu sırasıyla **101.938 kN** ile plak döşemeli yapı sistemi ve **97.559 kN** ile mantar döşemeli yapı sistemi takip etmektedir. Döşeme modelsiz yapı sisteminde, sistem ile birlikte modellenmeyen döşeme elemanlarının yük dağılımları, döşeme ölçülerine göre kiriş elemanlara aktarılmıştır. Yapı ağırlığı, döşemenin birlikte modellenip program tarafından otomatik yük dağılımlarının yapıldığı plak döşeme sistemi ile benzer olup, değeri **102.370 kN** olarak elde edilmiştir.

4.2.2. Yapı Periyotları



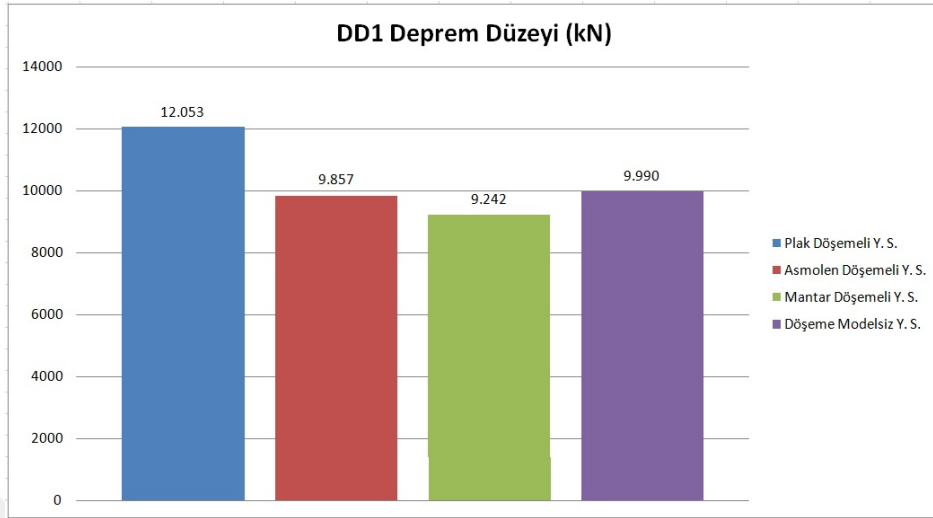
Şekil 4.69. "X" Doğrultusu Yapı Periyotları (sn)



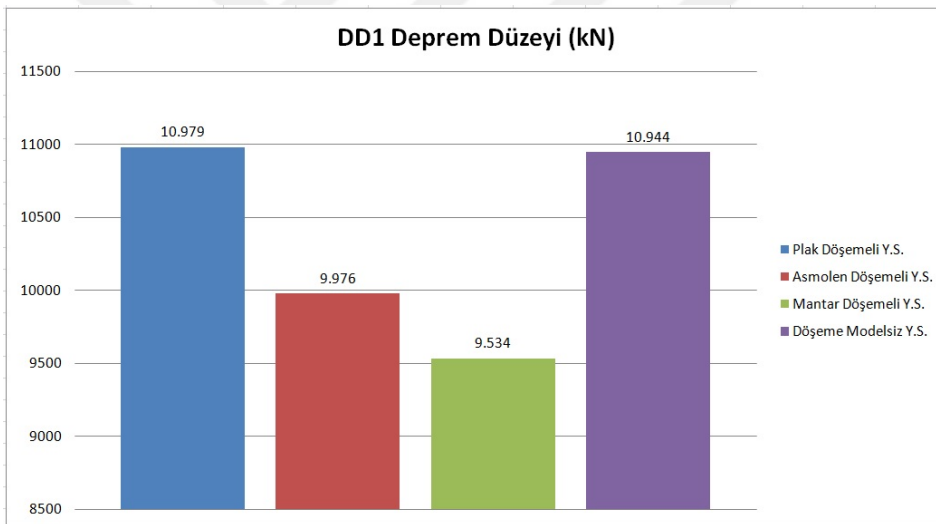
Şekil 4.70. "Y" Doğrultusu Yapı Periyotları (sn)

Yapı sistemlerinin periyot değerleri karşılaştırıldığında "X" doğrultusunda en uzun periyot değeri, **2,25** sn ile asmolen döşemeli yapı sistemine aittir. Ardından **2,16** sn ile mantar döşemeli yapı sistemi, **1,76** sn ile döşeme modelsiz yapı sistemi ve son olarak **1,63** sn periyot değeri ile plak döşemeli yapı sistemi gelmektedir. "Y" doğrultusunda, uzun periyottan, kısa periyoda doğru gidildiğinde, asmolen döşemeli yapı sistemi **2,33** sn, mantar döşemeli yapı sistemi **2,17** sn, döşeme modelsiz yapı sistemi **2,02** sn ve plak döşemeli yapı sisteminde ise **1,95** sn değerine ulaşılmıştır.

4.2.3. DD1 ve DD2 (Deprem Düzeylerinde) İçin Taban Kesme Kuvvetleri



Şekil 4.71. "X" Doğrultusu DD1 için Taban Kesme Kuvvetleri (kN)



Şekil 4.72. "Y" Doğrultusu DD1 için Taban Kesme Kuvvetleri (kN)

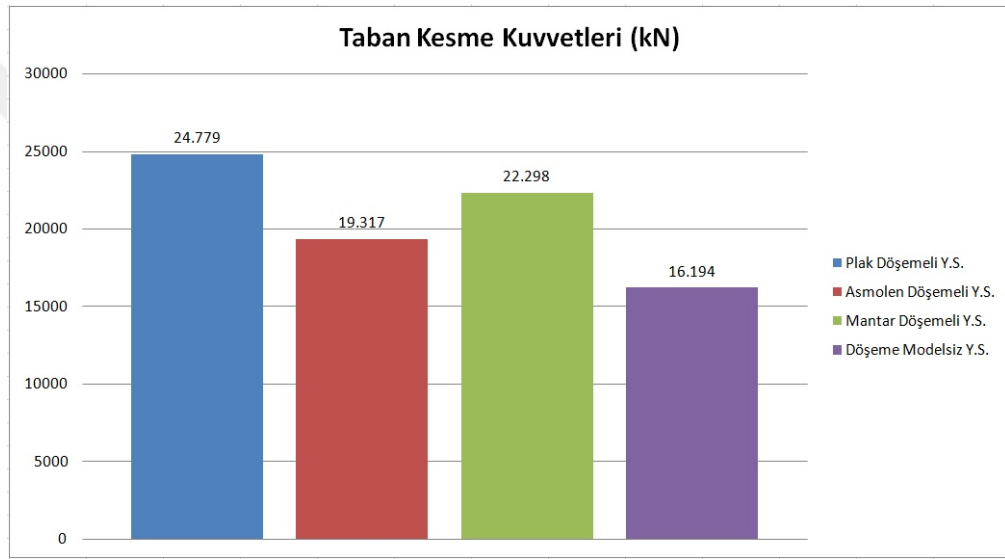
DD1'e göre yapı sistemlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri, büyükten küçüğe doğru sıralandığında; "X" doğrultusunda en yüksek değer **12053 kN** ile plak döşemeli yapı sistemine aittir. Onu **9990 kN** değeri ile döşeme modelsiz yapı sistemi, **9857 kN** ile asmolen döşemeli yapı sistemi ve **9242 kN** ile mantar döşemeli yapı sistemi takip etmektedir. "Y" doğrultusunda aynı deprem düzeyinde yapı sistemlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri, plak döşemeli yapı sisteminde **10979 kN**, döşeme modelsiz yapı sisteminde **10944 kN**, asmolen döşemeli yapı sisteminde **9976 kN** ve mantar döşemeli yapı sisteminde **9534 kN** şeklinde elde edilmektedir.

DD2 deprem düzeyinde yapı sistemlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri, büyükten küçüğe doğru sıralandığında; "X" doğrultusunda en yüksek değer **7128 kN** ile plak döşemeli

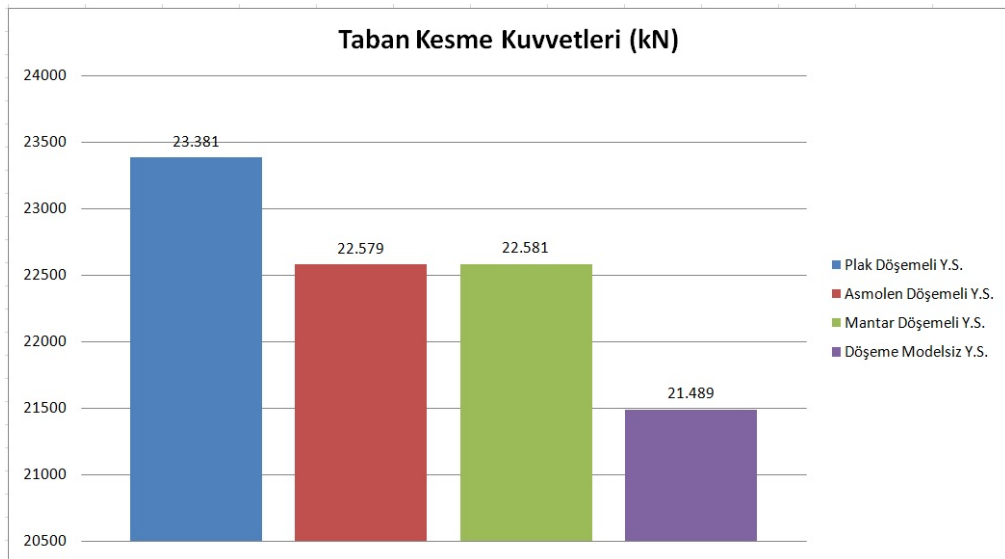
yapı sistemine aittir. Onu **5939 kN** değeri ile asmolen döşemeli yapı sistemi, **5703 kN** ile döşeme modelsiz yapı sistemi ve **5562 kN** ile mantar döşemeli yapı sistemi takip etmektedir. "Y" doğrultusunda aynı deprem düzeyinde yapı sistemlerinde oluşan taban kesme kuvvetleri, plak döşemeli yapı sisteminde **6447 kN**, döşeme modelsiz yapı sisteminde **6298 kN**, asmolen döşemeli yapı sisteminde **5907 kN** ve mantar döşemeli yapı sisteminde **5608 kN** şeklinde elde edilmektedir.

4.3. Doğrusal Olmayan Analiz Karşılaştırmaları

4.3.1. Taban Kesme Kuvvetleri



Şekil 4.73. "X" Doğrultusu 14 Kayıt Ortalaması Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)

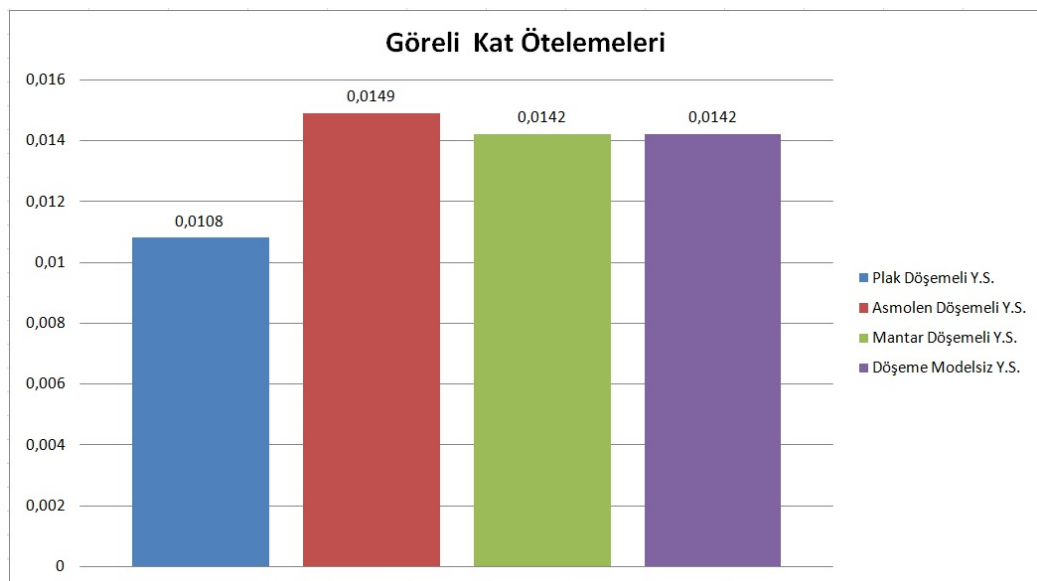


Şekil 4.74. "Y" Doğrultusu 14 Kayıt Ortalaması Taban Kesme Kuvveti Değerleri (kN)

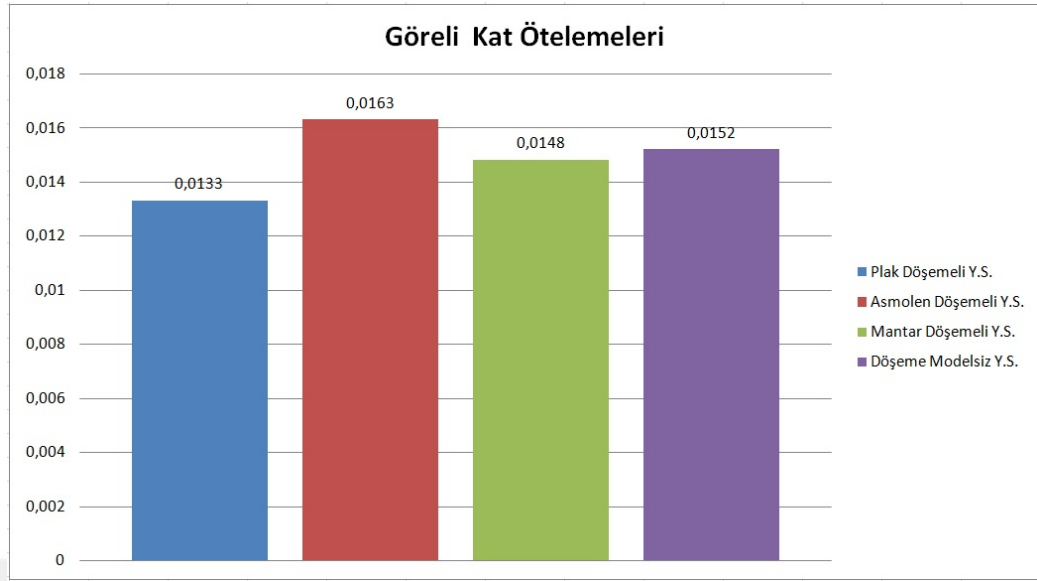
14 farklı deprem kaydının yapı sistemlerine uygulanması neticesinde elde edilen ortalama taban kesme kuvvetlerinin, farklı döşeme sistemlerine sahip yapılar için karşılaştırılmaları Şekil 5.6 ve 5.7 de verilmiştir. “X” yönünde sırasıyla plak döşemeye sahip yapı sisteminde **24.779 kN**, mantar döşemeli yapı sisteminde **22.298 kN**, asmolen döşemeli yapı sisteminde **19.317 kN** ve döşeme modelsiz yapı sisteminde **16.194 kN** ortalama taban kesme kuvvetleri oluşmaktadır. “Y” yönünde ise, plak döşemeli yapı sisteminde **23.381 kN**, asmolen döşemeli yapı sisteminde **22.759 kN**, mantar döşemeli yapı sisteminde **22.581 kN** ve döşeme modelsiz yapı sisteminde **21.489 kN** ortalama taban kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Her iki durum için de en yüksek taban kesme kuvveti değerini plak döşemeli yapı sistem, en düşük değer ise döşeme modelsiz yapı sistemi almaktadır. Sistemlerin daha rijit doğrultusu olan “X” yönünde plak döşemeli yapı sistemi, mantar döşemeli sisteme göre **%11**, asmolen döşemeli yapı sisteme göre **%22**, döşeme modelsiz yapı sisteme göre **%35** daha yüksek deprem kuvveti almaktadır. Tüm sistemlerde periyot değerinin 2 sn’ ye yakın ve üzerinde olan “Y” doğrultusunda ise plak döşemeli yapı sistemi, asmolen döşemeli yapı sisteme göre **%3**, mantar döşemeli yapı sisteme göre **%4**, döşeme modelsiz yapı sisteme göre **%9** daha yüksek deprem etkisine maruz kalmaktadır.

“Kayıtlardan oluşan ortalama taban kesme kuvveti değerlerinde, her iki doğrultuda da en yüksek değerleri plak döşemeli yapı sistemi almaktadır. En düşük taban kesme kuvveti değeri ise döşeme modelsiz yapı sistemine aittir.” Farklı döşeme sistemleri arasında döşeme modellenmeyen sistemin en düşük taban kesme kuvveti değerini alması dikkat çekmektedir.

4.3.2. Göreli Kat Öteleme Oranları



Şekil 4.75. "X" Doğrultusu 14 Kaydın Ortalaması Görelî Kat Öteleme Oranları



Şekil 4.76. "Y" Doğrultusu 14 Kaydın Ortalaması Görelî Kat Öteleme Oranları

Şekil 5.8 ve 5.9' da farklı sistemlere ait ilgili deprem doğrultusundaki ortalama görelî kat öteleme oranı değerleri verilmiştir. "X" doğrultusunda maksimum ortalama görelî kat öteleme oranı **0,0108** ile plak döşemeli yapı sisteme, **0,0142** değeri ile mantar döşemeli yapı sisteme, **0,0142** değeri ile döşeme modelsiz yapı sisteme ve **0,0149** değeri ile asmolen döşemeli yapı sisteme aittir. "Y" doğrultusundaki görelî kat öteleme oranı ise **0,0133** değeri ile plak döşemeli yapı sisteminde, **0,0148** ile mantar döşemeli yapı sisteminde, **0,0152** ile döşeme modelsiz yapı sisteminde ve **0,0163** ile asmolen döşemeli yapı sisteminde oluşmaktadır. Depremin "X" yönü görelî kat öteleme oranları, plak döşemeli yapı sistemiyle kıyaslandığında, mantar döşemeli yapı sisteminin **%32**, döşeme modelsiz yapı sisteminin **%32** ve asmolen döşemeli yapı sisteminin **%38** daha yüksek olduğu görülmektedir. Aynı durum depremin "Y" doğrultusu için değerlendirildiğinde sırasıyla, mantar döşemeli yapı sistemi **%11**, döşeme modelsiz yapı sistemi **%14** ve asmolen döşemeli yapı sisteminde **%22** daha yüksek görelî kat öteleme oranları oluşmuştur. Görelî kat öteleme oranlarının ortalamalarından elde edilen verilere göre yapının performans seviyesi tüm sistemlerde **belirgin hasar** bölgesindedir.

En yüksek görelî kat öteleme oranları ve performans seviyeleri değerlendirildiğinde, "X" doğrultusunda en büyük görelî kat öteleme oranı plak döşemeli yapı sisteminde **0,0230** değeri ile **Darfield New Zeland E1** depreminde oluşmuştur. Sistemde "X" doğrultusunda toplamda **1 adet** deprem kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır. Mantar döşemeli yapı sisteminde "X" doğrultusunda en büyük görelî kat öteleme oranı **0,0253** değeri ile **Darfield New Zeland E1** depreminde oluşmakta olup, toplamda **1 adet** kayıt ileri hasar bölgesinde kalmaktadır. Döşeme modelsiz yapı sisteminde en büyük görelî kat öteleme oranı **0,0324** değeri ile **İran Tabas E1** depreminde oluşmakta ve toplamda **6 adet** ivme kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır.

Asmolen döşemeli yapı sisteminde ise en yüksek görelî kat ötelemesi oranı **0,0306** değeri ile **İran Tabas E2** depreminden oluşmakta ve toplamda **6 adet** ivme kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır.

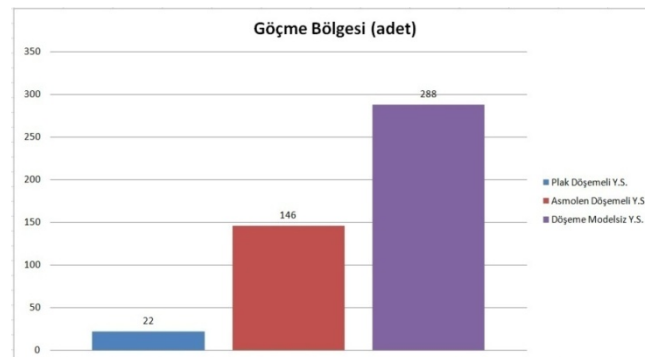
“Y” doğrultusunda en büyük görelî kat ötelemesi oranı plak döşemeli yapı sistemde **0,0241** değeri ile **İran Tabas E1** depreminde oluşmuştur. Plak döşemeli yapı sisteminde “Y” doğrultusunda toplamda **5 adet** deprem kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır. Mantar döşemeli yapı sisteminde “Y” doğrultusunda en büyük görelî kat ötelemesi oranı **0,0263** değeri ile **Kocaeli Düzce E2** depreminde oluşmakta olup, toplamda **6 adet** ivme kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır. Döşeme modelsiz yapı sisteminde en büyük görelî kat ötelemesi oranı **0,0302** değeri ile **İran Tabas E1** depreminde oluşmakta ve toplamda **6 adet** ivme kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır. Asmolen döşemeli yapı sisteminde ise en yüksek görelî kat ötelemesi **0,0375** değeri ile **İran Tabas E1** depreminden oluşmakta ve toplamda **6 adet** ivme kaydı ileri hasar bölgesinde kalmaktadır.

“En yüksek görelî kat ötelemelerinden çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde, sistemlerden elde edilen ortalama görelî kat öteleme oranlarına benzer sonuçların oluştuğu görülebilmektedir.”

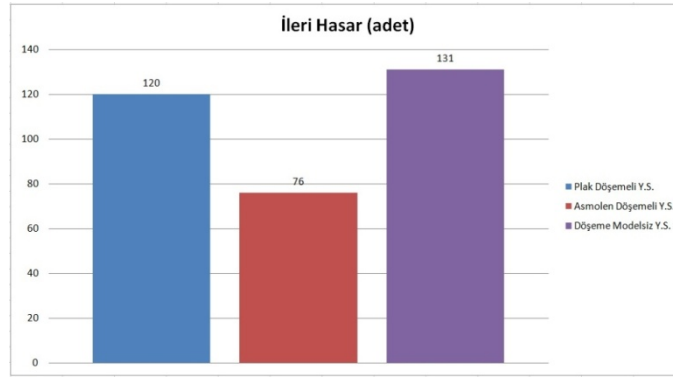
“Ortalama görelî kat ötelemelerinde en rijit davranışı plak döşemeli yapı sistemi göstermekte olup, onu sırasıyla mantar döşemeli yapı sistemi, döşeme modelsiz yapı sistemi ve asmolen döşemeli yapı sistemi takip etmektedir. Asmolen döşemeli yapı sistemi görelî kat ötelemelerinde en düşük performansı gösteren sistem olmuştur.”

4.3.3. Kiriş Dönme Değerleri

Bu bölümde farklı döşeme sistemlerine sahip yapıların kiriş elemanlarında oluşan maksimum dönme değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır.



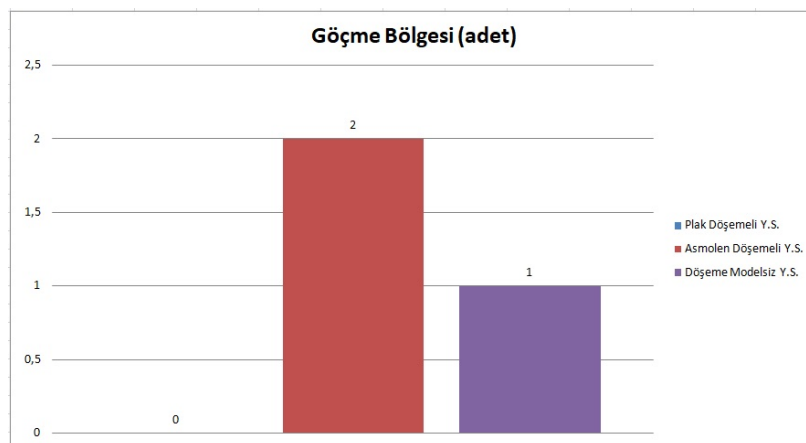
Şekil 4.77. 14 Kayda Ait Maksimum Dönme Değerlerinin, Tüm Kiriş Elemanlarda Oluşturduğu Göçme Bölgesi Sayısı



Şekil 4.78. 14 Kayda Ait Maksimum Dönme Değerlerinin, Tüm Kiriş Elemanlarda Oluşturduğu İleri Hasar Bölge Sayısı

Değerlendirmelerde herhangi bir kiriş elemanı içermeyen mantar döşemeli yapı sistemi karşılaştırmalara dahil edilmemiştir.

Kayıtlardan oluşan en yüksek dönme değerlerinin dikkate alındığı karşılaştırmalar yapılmıştır. 3 farklı yapı sisteminde toplamda **558** adet kiriş elemanı mevcuttur. Plak döşemeye sahip yapı sisteminde toplam **22** adet kiriş göçme bölgesinde, **120** adet kiriş ileri hasar bölgesinde ve kalan **416** adet kiriş belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Asmolen döşemeli yapı sisteminde ise **146** adet kiriş göçme bölgesinde, **76** adet ileri hasar bölgesinde ve kalan **336** adet kiriş belirgin hasar ve sınırlı hasar bölgesinde kalmıştır. Döşeme modelsiz yapı sisteminde toplam **288** adet kiriş göçme bölgesinde, **131** adet kiriş ileri hasar bölgesinde ve kalan **139** adet kiriş belirgin ve sınırlı hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Bu doğrultuda hasar oluşumu en düşükten en yükseğe doğru, plak döşemeli yapı sistem, asmolen döşemeli yapı sistem ve döşeme modelsiz yapı sistemleri şeklinde olmuştur.



Şekil 4.79. 5 Adet Kiriş Elemanında, 14 Kaydın Ortalamasının Oluşturduğu Göçme Bölgesinde Olan Kiriş Elemanı Sayısı

Bir diğer kiriş elemanları üzerinde yapılan karşılaştırma ise yapı sistemleri üzerinde aynı konumda bulunan ve örnek olarak seçilen 5 adet kiriş elemanı üzerinde yapılmıştır. Bu

doğrultuda da performans seviyeleri belirlenmiştir. Plak döşemeli yapı sisteminde seçilen **5 adet kiriş** elemanının tümü belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır. Asmolen döşemeli yapı sisteminde farklı katlarda bulunan **2 adet** bağ kiriş elemanında göçme durumu oluşmaktadır. Diğer **3 adet** kirişte ise belirgin hasar bölgesinde kalmaktadır. Döşeme modelsiz yapı sistemde, **1 adet** kirişte göçme bölgesi, **3 adet** kirişte ileri hasar bölgesi ve **1 adet** kirişte de belirgin hasar bölgesinde olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Plak döşemeli yapı sistemi ile döşeme modelsiz yapı sisteminin kiriş dönme değerleri karşılaştırıldığında; döşeme modelsiz yapı sistemde, plak döşemeli yapı sisteme kıyasla, 3. Kat K05 kirişinde **%55**, 4. Kat K09 kirişinde **%26**, 5. Kat K18 kirişinde **%23**, 6. Kat K05 kirişinde **%116**, 12. Kat K01 kirişinde **%63**, 17. Kat K28 kirişinde **%30** daha yüksek dönme değerlerine ulaşmıştır.

“Her üç karşılaştırma dikkate alındığında, döşeme modellemesinin çerçeve sistemle birlikte tasarlanması, kiriş elemanlara olumlu yönde bir katkı sağlayarak, hasar düzeylerinde önemli ölçüde azalışa sebep olmuştur.”

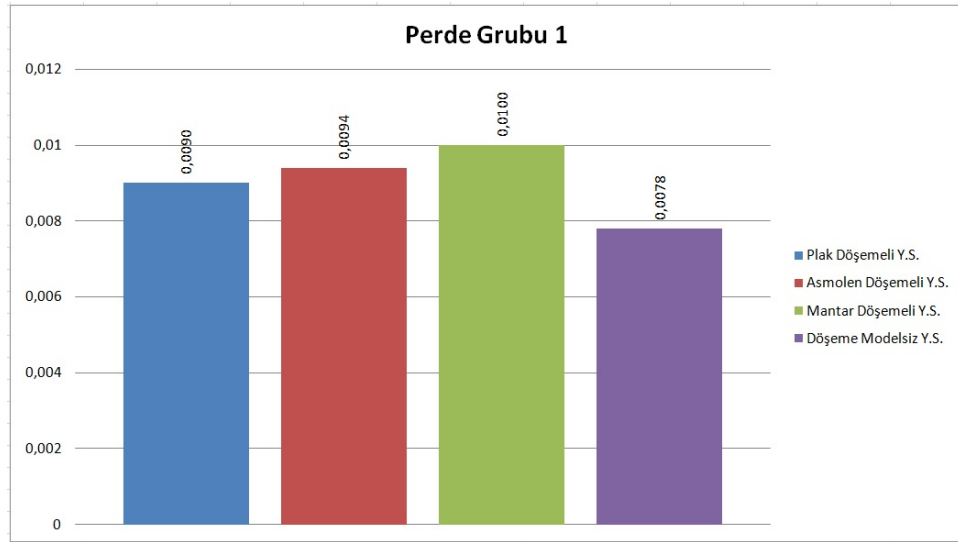
“En çok kiriş göçme durumu hasar sayısı döşeme modelsiz yapı sisteminde oluşurken, bu konuda en düşük hasar sayısı plak döşemeli yapı sistemine ait olmuştur.” Dolayısıyla plak döşemeye sahip yapı sisteminin doğrusal döşeme elemanlarıyla birlikte modellenmesi durumunda, döşemenin kiriş elemanların rijitliklerine olumlu yönde katkı sağladığı görülebilmektedir.

4.3.4. Kolon - Perde, Şekil Değiştirme (Uzama - Kısalma) Değerleri

İlgili tablolar incelendiğinde, tüm kolon elemanlardaki donatıdaki birim uzama ve beton kısalma şekil değiştirme değerleri sınırlı hasar bölgesinde kalmaktadır. Tüm sistemlerde önemli ölçüdeki deprem etkileri çekirdek perdeler tarafından karşılandığı için kolon elemanlardaki hasar düzeyleri de oldukça sınırlı kalmıştır. Dolayısıyla karşılaştırmalardan etkin bir sonuç alınamayacağı için kolonlardaki donatı birim uzama ve beton kısalma şekil değiştirme değerleri karşılaştırmalarda dikkate alınmamıştır.

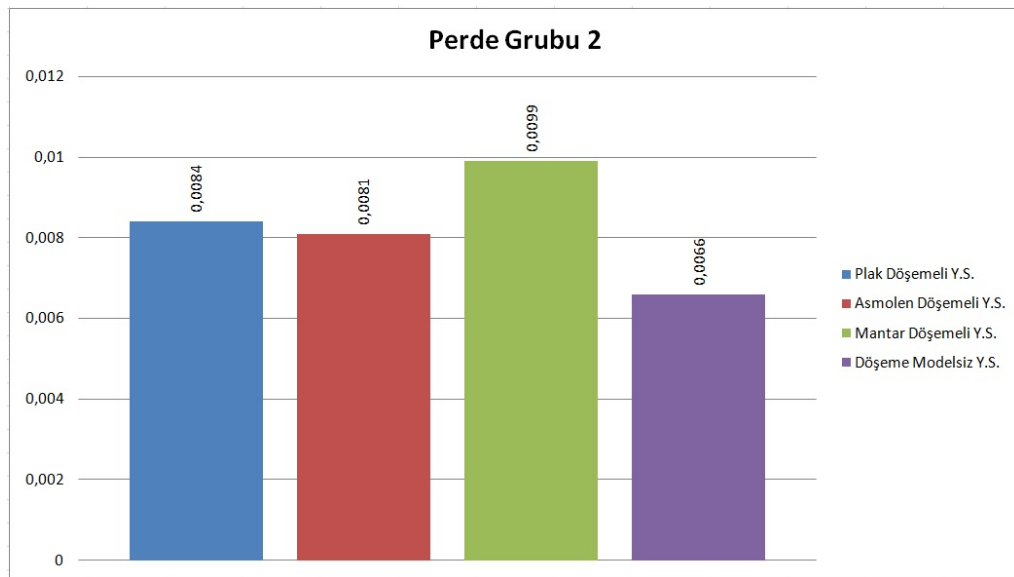
İlgili tablolar incelendiğinde, perde elemanlarda en çok belirgin hasar bölgesine ulaşılmıştır. Bu doğrultuda plak döşemeli yapı sisteminde 5 adet, asmolen döşemeli yapı sisteminde 6 adet, mantar döşemeli yapı sisteminde 6 adet ve döşeme modelsiz yapı sisteminde 3 adet perde elemanı belirgin hasar bölgesinde kalmıştır.

Belirgin hasar bölgesi seviyelerine ulaşan perdeler, çekirdekteki “U” tipi perdeler olmaktadır. P01-P05 ve P08 perdeleri Grup1 ve P09-P03 ve P07 perdeleri Grup2 olarak adlandırıldığında, bu gruplara ait ortalama donatı çeliği birim uzama şekil değiştirme değeri hesaplanmıştır. İlgili değerler ve karşılaştırmaları Şekil 5.13 ve 5.14’ te gösterilmiştir.



Şekil 4.80. Perde Grubu 1 Ortalama Birim Uzama Şekil Değiştirme Değerleri

Perde Grubu 1' de, plak döşemeye sahip yapı sistemindeki perdeler için donatılardaki ortalama uzama şekil değiştirme değerinin **0,009** olduğu görülmektedir. Aynı perde grubunda asmolen döşemeli yapı sisteme ait perdeler için bu değer **0,0094**, mantar döşemeli yapı sistemindeki perdelerde **0,01** ve döşeme modelsiz yapı sistemde **0,0078** olmaktadır. Böylece en düşük ortalama birim uzama şekil değiştirme değerine sahip perdelerin bulunduğu sistem, döşeme modelsiz yapı sistemidir. Döşeme modelsiz yapı sistemine kıyasla, plak döşemeli yapı sistem **%15**, asmolen döşemeli yapı sistem **%21** ve mantar döşemeli yapı sistem **%28** daha yüksek donatı birim uzama şekil değiştirme değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 4. 81. Perde Grubu 2 Ortalama Uzama Değerleri

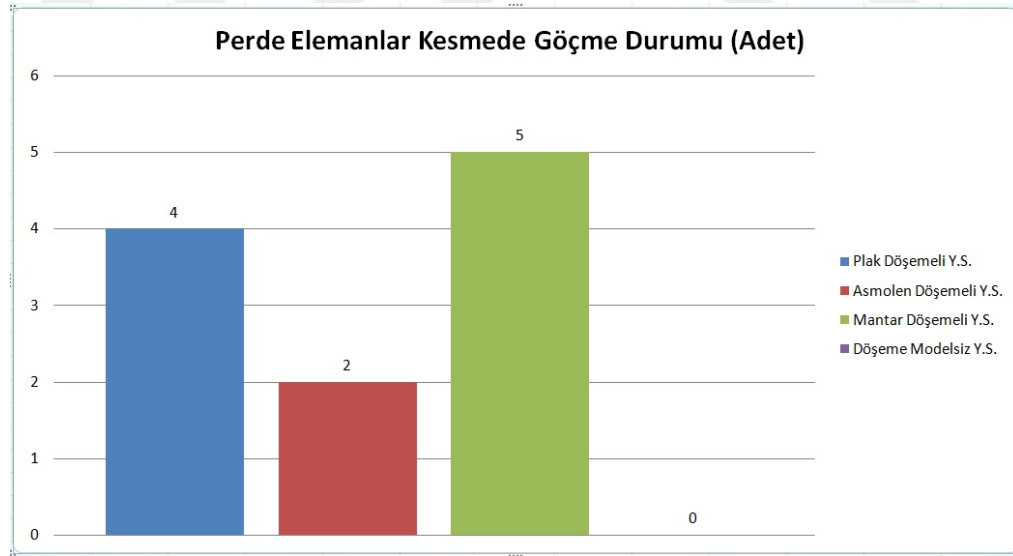
Perde Grubu 2 için ise, plak döşemeye sahip yapı sistemindeki perdeler için donatılardaki ortalama birim uzama şekil değıştirme değeri **0.0084** olduğu gör÷lmektedir. Aynı perde grubunda asmolen döşemeli yapı sisteme ait perdeler için bu değeri **0,0081**, mantar döşemeli yapı sistemindeki perdelerde **0,0099** ve döşeme modelsiz yapı sisteminde **0,0066** olmaktadır. Böylece en düşük ortalama uzama birim şekil değıştirme değeri sahip perdelerin bulunduğu sistem, döşeme modelsiz yapı sistemidir. Döşeme modelsiz yapı sistemine kıyasla, asmolen döşemeli sistem **%22**, plak döşemeli sistem **%27** ve mantar döşemeli sistem **%50** daha yüksek donatı uzama şekil değıştirme değeri ulaşmıştır.

“Elde edilen sonuçlara bağı olarak, döşeme ile birlikte modellenen sistemlerde çekirdek perdeler daha yüksek eğilme momentlerine maruz kalarak, daha yüksek deformasyon oluşmaktadır.”

“Perdelerde en düşük şekil değıştirme değeri döşeme modelsiz yapı sistemine ait olurken, en yüksek değeri mantar döşemeli yapı sisteminde ulaşılmaktadır.”

Bu sonuçlar göz önüne alındığında, sistemde döşemelerin birlikte modellenmesi, özellikle deprem kuvvetlerini büyük oranda karşılayan perde elemanlarındaki hasar düzeylerinde artışa sebep olduğu yorumuna ulaşılabilmektedir.

4.3.5. Perde Elemanlarındaki Kesme Kuvvetleri



Şekil 4.82. Kesme Kuvvetleri Etkisindeki Perde Elemanlarındaki Göçme Durumu Sayısı

Uzama kısalma değeri olduğu gibi perde kesme kuvvetlerinde de çekirdek bölgeyi oluşturan “U” tipi perdelerde deprem kaynaklı daha yüksek iç kuvvet değeri ulaşılmaktadır. Şekil 5.15 incelendiğinde kirişli plak döşeme sisteminde **4 adet** perde, asmolen döşemeli yapı sisteminde **2 adet** perde, mantar döşemeli yapı sisteminde **5 adet** perde elemanı

göçme bölgesinde kalmaktadır. Tüm göçme bölgesinde kalan perdeler, çekirdek yapıyı oluşturan “U” tipi perdelerden oluşmaktadır. Döşeme modelsiz yapı sisteminde ise perdelerin hiçbirinde gevrek düzeyde kesme kırılması oluşmamıştır.

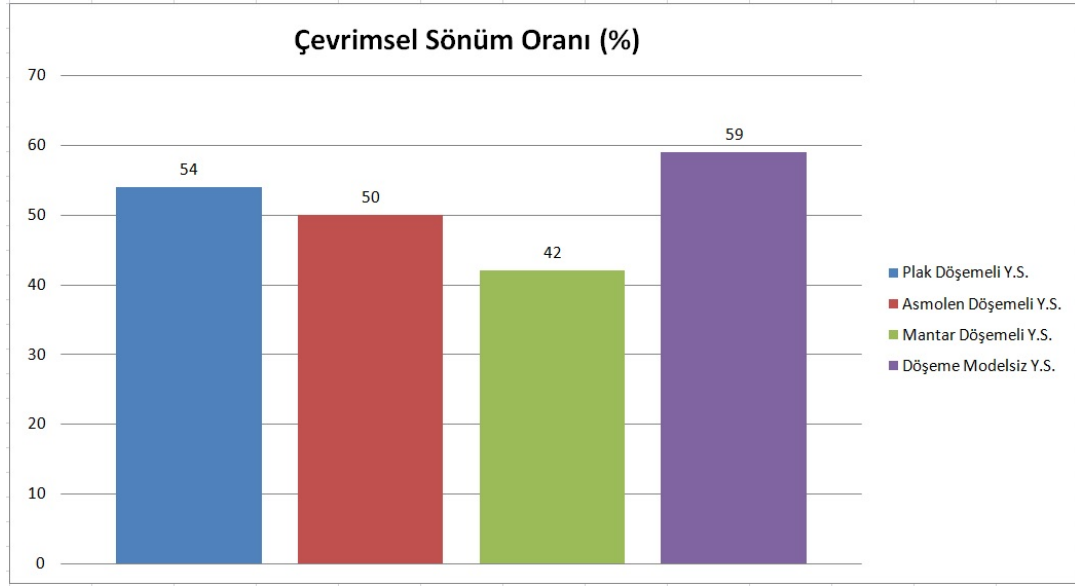
Farklı sistemler içerisinde, perdelerin en yüksek kesme kuvvetlerine maruz kaldığı sistem, mantar döşemeli yapı sistemi olmaktadır. Daha sonra plak döşemeli yapı sistemi ve onu takiben asmolen döşemeli yapı sistemi gelmektedir. Döşeme modelsiz yapı sisteminde ise perde elemanlara gelen kesme etkisi, diğer sistemlere kıyasla daha düşük seviyelerdedir.

4 farklı sistemde de en yüksek kesme kuvveti etkisine maruz kalan P08 perdesinde, en düşük değer döşeme modelsiz yapı sistemine aittir. Bu sisteme göre plak döşemeli yapı sisteme ait perde elemanına gelen kesme kuvveti etkisi **%29** daha yüksektir. Asmolen döşemeli sistemde **%32** ve mantar döşeme sistemde ise **%44** daha yüksek kesme kuvveti oluşmaktadır.

“Bu karşılaştırılmalardan, döşemelerin modellendiği sistemlerin, perdelerle iletilen kesme kuvvetlerini etkilediği ve artışlara sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca mantar döşemeli yapı sistemi sonuçlarından, döşeme eleman kalınlığından kaynaklanan rijitlilik artışına paralel, perde elemanlara gelen kesme kuvveti etkilerini daha çok artırdığı görülmüştür.”

4.3.6. Enerji Diyagramları

Deprem etkilerinin yapı sistemlerinde oluşturduğu enerji miktarları karşılaştırılırken deprem kayıtlarından çıkan ortalama sonuçlar dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda, en düşük değer **19.177 kN-m** ile plak döşemeli yapı sistemine aittir. Sonrasında **34.342 kN-m** ile döşeme modelsiz yapı sistemi gelmektedir ve plak döşemeli yapı sisteminden **%80** daha fazla deprem enerjisi yutmaktadır. **35.157 kN-m** enerji miktarı ile mantar döşemeli yapı sistemi plak döşemeli yapı sisteminden **%83** yüksek değere sahiptir. Asmolen döşemeli yapı sisteminde, toplam etkiyen enerji **37.380 kN-m** olup, plak döşemeli yapı sisteminden **% 95** daha yüksek deprem enerjisi yutmaktadır.



Şekil 4.83. Çevrimsel Sönümün Toplam Enerjiye Olan Oranı

Şekil 5.16 da yapıların doğrusal olmayan sönümü oluşturan çevrimsel sönümün toplam enerji miktarına oranı, sırasıyla plak döşemeli yapı sistemi için **%54**, asmolen döşemeli yapı sistemi için **%50**, mantar döşemeli yapı sistemi için **%42** ve döşeme modelsiz yapı sistemi için **%59** olmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

- Plak döşeme, asmolen döşeme, mantar döşeme ve döşeme modelsiz sistemlerinin kullanıldığı 4 farklı yapıda, en ağır yapı asmolen döşemeye sahip sistem olmuştur.
- 4 farklı sistemin X ve Y doğrultusundaki en uzun yapı periyod değerleri asmolen döşemeli yapı sistemine ait olmuştur.
- DD1 ve DD2 elastik deprem yer hareketlerinden oluşan taban kesme kuvvetlerinin en büyük değerleri plak döşemeli yapı sistemine aittir. Aynı şekilde 14 ivme kaydının ortalamalarından oluşan en yüksek taban kesme kuvveti değerleri de yine plak döşemeli yapı sistemine ait olmuştur.
- X ve Y doğrultusundaki 14 kaydın ortalama göreceli kat ötelemelerinin en yüksek değerleri asmolen döşemeli yapı sisteminde oluşmuştur. Göreceli kat öteleme oranlarında en performanslı sistem plak döşemeli yapı sistemi olmuştur.
- 14 kayıttan alınan en yüksek kiriş dönme değerlerinden, en çok göçme bölgesinde çıkan kiriş adedinin, döşeme modelsiz yapı sistemine ait olduğu görülmüştür. Döşemelerin sistem ile birlikte modellenmesi, kiriş hasar düzeyinde önemli ölçüde azalışa sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Çekirdek bölgedeki 2 adet U tipi perdenin ortalama birim uzama şekil değiştirme değerinde en yüksek değer mantar döşemeli yapı sisteminin olmuştur.
- 14 kaydın ortalamasından oluşan perde kesme kuvvetleri etkisinde en fazla göçme bölgesine ulaşan perde sayısının mantar döşemeli sisteme ait olduğu görülmüştür.
- Malzeme düzeyinde doğrusal olmayan deformasyonların oluşturduğu en yüksek çevrimsel sönüm oranı, döşeme modelsiz yapı sisteminde olmuştur.
- İncelenen yapı sisteminde, döşeme elemanlarının doğrusal olarak modellenmesi, kiriş deformasyonlarında önemli ölçüde azalışa sebep olarak, yatay elemanların daha rijit çalışmasını sağlamıştır. Bu durum, çekirdekteki perde elemanlara daha yüksek kesme hasarı ve eğilme deformasyonları olarak yansımıştır. Özellikle kesme kuvvetlerindeki

belirgin artış ve hasar durumlarındaki farklar, döşemelerin sistem ile birlikte modellenip, modellenmemesi durumlarından görülebilmektedir.

- Yukarıdaki veriler doğrultusunda, yapılarda öngörülmesi zor olan doğrusal olmayan davranış karşılaştırmaların, önceki yapılan doğrusal analiz karşılaştırma sonuçlarına benzer düzeyde olduğu görülmektedir.
- Çalışmada yapı ile birlikte döşemelerin de modellenmesi doğrusal olmayan analiz sonuçlarını etkileyebildiği görülmüştür. Bu sonuç, döşemenin birlikte modellendiği plak döşemeli ve döşeme modellenmeyen sistemler arasında oluşan farklardan görülebilmektedir. Özellikle giriş dönme değerlerinde ve perde elemanlara gelen kesme kuvvetleri değerlerinde önemli ölçüde farklılıklar göze çarptığı görülmüştür.
- Doğrusal olmayan zaman tanım analizlerinde, döşemelerin sistem ile birlikte modellenmesi durumlarında analiz süreleri oldukça uzun sürmektedir. 7x2 adet deprem kaydının kullanıldığı söz konusu yapı sisteminin analizlerinde, 8 çekirdekli Ryzen 3700X işlemci ve 32gb DDR4 bellek miktarına sahip donanım kullanılmıştır. Bu donanım eşliğinde analiz süresi yaklaşık 72 saat sürmüştür. 1 adet yapı sisteminin bilgisayarda kapladığı alan ise 1.2 TB olmuştur.
- Zaman tanım alanı analizleri, günümüzde her ne kadar iyi donanımlara sahip bilgisayarlar ile yapılmış olsalar da, analiz süreleri uzun sürmektedir. Döşeme modellemelerinin sistemlere dahil edilmesi de bu süre zarfını kat ve kat artırmaktadır. Analizlerin pratiklikten uzaklaşması sebebiyle bu tür modellemeler ve analizler, ancak çok özellikli yapılarda tercih sebebi olabileceği düşünülmektedir.
- Bulunan bulgular sadece bu çalışma kapsamında incelenen yapı sistemine aittir. Söz konusu sonuçların farklı taşıyıcı sistemlerde, farklı sonuçlar oluşturabileceği, unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1]. Uzun, D. (2014). *33 katlı betonarme yüksek bir binanın deprem davranışına farklı döşeme sistemlerinin etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2]. Ahmed, S. M., & Guneseakaran, U. (2014). Effect of floor slabs on the seismic performance of RC frames. *NZSEE Conference*, (s. 10). India.
- [3]. Nyome, T., & Htun, K. T. (2018). Comparative Study of Seismic Behavior of Reinforced Concrete Building with Flat Slab and Conventional Slab Floor System. *International Journal of Engineering Trends and Applications (IJETA)*. Volume 5 Issue 5, s. 13-17. Department of Civil Engineering West Yangon Technological University: Myanmar.
- [4]. Al Harash, M. (2011). *Inelastic Seismic Response Of Reinforced Concrete Buildings With Floor Diaphragm Openings*. Doktora Tezi, Washington University in St. Louis, Washington.
- [5]. Moon, S. K., & Lee, D. G. (1994). Effects of inplane floor slab flexibility on the seismic behaviour of building structures. *Engng Struct*, Volume 16 Number 2, 129-144.
- [6]. Rezaeian, H., Clifton, C. G., & Lim, J. (2017). Inertial forces from floor diaphragms in braced multi - story buildings. *NZSEE Conference*.
- [7]. Vielma, J., Barbat, A. H., & Oller, S. (2008). Seismic performance of waffled-slab floor buildings. *Structures and buildings*, Issue SB3, 169-182.
- [8]. Abera, S. (2015). *Effects of floor diaphragm flexibility in reinforced concrete structures and code provision*. Yüksek Lisans Tezi, Addis Ababa Institute of Technology School of Civil and Environmental Engineering.
- [9]. Nandesh, N. H., Shivanand, C. G., & Kiran, R. (2018). Comparative study of rigid and flexible floor diaphragm. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05(01), s. 67-71.
- [10]. Müderrisoğlu, Z. (2009). *Adana-Ceyhan depremine maruz kalan orta hasarlı binaların güçlendirilmesine yönelik performans değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [11]. Özlem, Ö. (2006). *Doğrusal olmayan taşıyıcı sistemlerde rijit diyafram kabulünün araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [12]. DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. *Bayındırlık İmar ve İskan Bakanlığı*. Ankara.
- [13]. TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *Afet ve Acil Durum Başkanlığı*. Ankara.
- [14]. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). <http://tdth.afad.gov.tr> adresinden alınmıştır
- [15]. ASCE 7-16. (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. *American Society of Civil Engineers*. USA.
- [16]. Gornberg, J., & Schweig, E. (2002). Earthquake hazard in the heart of the homeland. *Fact Sheet - U. S. Geological Survey*, (s. 4).
- [17]. European Committee for Standardization. (2004). Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. *EN 1998-1:2004 ECS*. Brussels.
- [18]. Solomos, G., Pinto, A., & Dimova, S. (2008). *A review of the seismic hazard zonation in national building codes in the context of eurocode 8*. JRC Scientific and Technical Reports.
- [19]. Ministry of Construction. (2004). Building standard Law Enforcement Order. *Building Centre of Japan*. Tokyo, Japan.
- [20]. Ishiyama, Y. *Earthquake Damage and Seismic Code for Buildings in Japan*. Hokkaido University, Hokkaido.
- [21]. Darılmaz, K. *Yapı mühendisliğinde Sap2000 kullanımı*. İnşaat Mühendisleri Odası.
- [22]. Fahjan, Y. (2008). *Deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi*. Sakarya: İnşaat Mühendisleri Odası.
- [23]. Kırçıl, S., & Hancıoğlu, B. (2005). Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel ilkeler. *Ders Notları*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [24]. Koçak, İ. (2007). *Seçilen bir kamu binasının doğrusal ötesi davranışında beton dayanımı ve etriye aralığının etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.

- [25]. Zeybek, Ö. (2014). *Çok katlı çelik yapıların geometri bakımından doğrusal olmayan davranışının artımsal ve pratik 2. mertebe analiz yöntemleri ile incelenmesi*. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [26]. Altundal, A. (2016). Depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımı. *Ders Notları* . Sakarya: Sakarya Üniversitesi.
- [27]. Aydınöğlu, N., Celep, Z., Özer, E., & Sucuoğlu, H. (2009). *Deprem Bolgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı*.
- [28]. Kazaz, İ., & Gülkan, P. (2012). Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Perdelerdeki Hasar Sınırları. *İMO Teknik Dergi* , 6113-6140.
- [29]. Narayanan, B., Sengupta, A. K., & Kumar, S. (2012). Seismic Retrofit Of Beams in Buildings For Flexure Using. *ISET Journal of Earthquake Technology* , 1-22.
- [30]. Akkaya, A. (2014). *Betonarme Kolon Davranışının Moment Eğrilik İlişkisi İle Parametrik Olarak İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [31]. Taucer, F. F., Spacone, E., & Filippou, F. C. (1991). *A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures*. Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley.
- [32]. Martini, K. (2010). Structural Design for Dynamic Loads. (*Lecture 3*) . Virginia: University Of Virginia.
- [33]. SAP2000. Integrated Software for Structural Analysis and Design Program. Berkeley, California: Computers and Structures Inc.
- [34]. PEER. (2020). *NGA Strong Motion Database*. <http://peer.berkeley.edu/nga> adresinden alınmıştır.
- [35]. İYBDY. (2008). İstanbul Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği (Taslak). *Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü* .
- [36]. Computers & Structures Inc. (2016). CSI Analysis Reference Manual For SAP2000, ETABS, SAFE and CSiBridge. Berkeley, California, USA.
- [37]. İDECAD. (2020). Mimari, yapısal analiz, tasarım, güçlendirme, görselleştirme ve çizimler için çok disiplinli yapı bilgi modellemesi yazılımı. Şişli, İstanbul.