T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE TASARLANMIŞ FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALARIN SİSMİK REZİLYANSININ BELİRLENMESİ

Muhammet ALARÇİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Prof. Dr. Barış SEVİM

Mart, 2024

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE TASARLANMIŞ FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALARIN SİSMİK REZİLYANSININ BELİRLENMESİ

Muhammet ALARÇİN tarafından hazırlanan tez çalışması 07.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Barış SEVİM
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Barış SEVİM, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Fuat ARAS, Üye
İstanbul Medeniyet Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Barış SEVİM sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Tasarlanmış Farklı Taşıyıcı Sistemlere Sahip Yerinde Dökme Betonarme Binaların Sismik Rezilyansının Belirlenmesi" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Muhammet ALARÇİN

İmza

Eşime

ve

Çocuklarıma

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda ve diğer tüm süreçlerde bana desteğini esirgemeyen, bilgi ve birikimiyle yardımcı olan, sabır ve yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Barış SEVİM hocama teşekkürlerimi sunarım.

Tanıştığım günden bugüne kadar en zor ve en güzel günlerimde daima yanımda olan ve desteğini esirgemeyen değerli eşim Emine ALARÇİN'e, oğullarım Muhammet Taha ALARÇİN'e ve Emir Asaf ALARÇİN'e, kıymetli babam Veysel ALARÇİN'e ve kıymetli annem Saniye ALARÇİN'e, her zaman yanımda olan kıymetli kardeşlerim Serdar ALARÇİN'e, Salih ALARÇİN'e ve Ömer Faruk ALARÇİN'e, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen Yeditepe Proje Mühendislik ve Danışmanlık yöneticisi Alparslan DURMUŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Muhammet ALARÇİN

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR iv
SİMGE LİSTESİ vii
KISALTMA LİSTESİ x
ŞEKİL LİSTESİ xi
TABLO LİSTESİ xiv
ÖZET xvi
ABSTRACT xviii
1 GİRİŞ 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 9
1.3 Orjinale Katkı 9
2 FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALARIN TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE TASARIMI 11
2.1 Giriş 11
2.2 Deprem Yer Hareketleri 11
2.2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri 12
2.2.2 Deprem Yer Hareketi Spektrumları 13
2.3 Bina Performans Düzeyleri 15
2.4 Dayanıma Göre Tasarım 16
2.5 Yerinde Dökme Betonarme Taşıyıcı Sistemler 17
2.5.1 Betonarme Çerçeve Sistem 18
2.5.2 Betonarme Perdeli ve Betonarme Çerçeveli Sistem 19
2.5.3 Betonarme Perdeli Sistem 20
3 SİSMİK REZİLYANS KAVRAMI 21
3.1 Giriş 21
3.2 Doğrusal Olmayan Hesap 21
3.2.1 Doğrusal Olmayan Davranış ve Plastik Mafsal Kavramı 22
3.2.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi 23
3.3 Artımsal Dinamik Analiz 23
3.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi 25
3.4.1 Deprem Kayıtlarının Yapı Elastik Tasarım İvme Spektrumuna Ölçeklenmesi 25

3.4.2 Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklenmesi 26
3.5 Hasar Olasılık Eğrisi 26
3.5.1 Lognormal Dağılım 26
3.6 Sismik Rezilyans 27
3.6.1 Kayıp Fonksiyonu 31
3.6.2 İyileşme Fonksiyonu 34
3.6.3 HAZUS Yazılımı 35
4 SAYISAL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR 40
4.1 Yapı Özellikleri 40
4.2 Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi 50
4.2.1 Malzemelerin Modellenmesi 50
4.2.2 Kesitlerin Modellenmesi 56
4.2.3 PERFORM-3D Modelin Oluşturulması 62
4.3 Bina Elastik Tasarım Spektrumlarının Oluşturulması 65
4.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi 66
4.5 Artımsal Dinamik Analizlerin Tanımlanması 71
4.5.1 Doğrusal Olmayan Analiz İçin Başlangıç Koşulu 71
4.5.2 Doğrusal Olmayan Analizin Tanımlanması 72
4.6 Analiz Bulguları 74
4.6.1 Yapı Kütleleri ve Periyotları 74
4.6.2 Artımsal Dinamik Analiz Eğrileri 78
4.6.3 Hasar Olasılık Eğrileri 80
4.6.4 Kayıp Fonksiyonu 83
4.6.5 Sismik Rezilyans 84
5 SONUÇ VE ÖNERİLER 87
KAYNAKÇA 90
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR 93

SİMGE LİSTESİ

a_i	Ölçeklenmemiş ivme kaydı
a_λ	Ölçeklenmiş ivme kaydı
C	Göçme durumu
$C_{S,j}$	Binanın deprem sonrası onarım maliyeti
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
DS	Hasar durumu
E	İleri hasar durumu
f_{REC}	İyileşme fonksiyonu
f_{ce}	Betonun beklenen basınç dayanımı
f_{ye}	Çeliğin beklenen akma dayanımı
F_S	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
g_i	i'inci kat döşemesinin sabit yüklerden oluşan toplam kütlesi
H	Heaviside basamak fonksiyonu
I	Depremin şiddetini ifade eden bir parametre
I_S	Binanın yeniden yapım maliyeti
L_p	Plastik mafsal boyu
L (I,TRE)	Kayıp fonksiyonu
L_D	Deprem sonrası oluşan doğrudan kayıplar
L_I	Deprem sonrası oluşan dolaylı kayıplar
L_E	Deprem sonrası oluşan ekonomik kayıplar
L_C	Deprem sonrası oluşan ölüme kayıplar
L_{DE}	Deprem sonrası oluşan doğrudan ekonomik kayıplar
L_{DC}	Deprem sonrası oluşan doğrudan can kayıpları
L_{IE}	Deprem sonrası oluşan dolaylı ekonomik kayıplar
L_{IC}	Deprem sonrası oluşan dolaylı can kayıpları
m_i	i'inci kat döşemesinin toplam kütlesi
m_t	Bina toplam kütlesi
M	Orta hasar durumu
n	Hareketli yük katılım katsayısı
N	Binadaki toplam yapısal ve yapısal olmayan eleman sayısı
N_{in}	Deprem sonrası toplam ölü ve yaralı sayısı

N_{tot}	Binada yaşayan toplam bina sakini sayısı
N_{ins}	Deprem sonrası işlevsizliğe bağlı ölü ve yaralı sayısı
PGD	En büyük yer yerdeğiştirmesi
PGV	En büyük yer hızı
PGA	En büyük yer ivmesi
P_j	Hasar olasılığı
q_i	i'inci kat döşemesinin hareketli yüklerden oluşan toplam kütlesi
Q(t)	İşlevsellik fonksiyonu
r_i	Yıllık değerlenme oranını
r_k	Onarım maliyetinin yenileme maliyetine oranı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_j	Yapı tepki parametresi
R_{LSj}	Sınır durum parametresi
S	Hafif hasar durumu
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	1 saniye periyot harita spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	1 saniye periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_a	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_{de}	Elastik spektral yerdeğiştirme
S_{ve}	Elastik spektral hız
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_L	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_1	Hakim titreşim moduna ait periyot değeri
T_{LC}	Kontrol süresi
T_{RE}	İyileşme, restorasyon veya toparlanma süresi
T_{OE}	Depremin meydana geldiği an
T_i	Yıl cinsinden ilk yapım ile deprem olayının meydana geldiği an arasındaki zaman
W_K	Yapıdaki yapısal veya yapısal olmayan her elemanın önem bakımından ağırlık faktörü
$(V_S)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
$(N_{60})_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
$(C_u)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı

Φy	Akma eğriliği
Φp	Plastik eğrilik
Θp	Plastik dönme
λ	Ölçek faktörü
σ	Veri setinin standart sapması
μ	Veri setinin ortalaması
α_1	Dolaylı kayıplarla ilgili bir faktör
α_{DE}	Ekonomik açıdan inşaat kayıpları ile ilgili ağırlık faktörü
α_{IE}	İş kesintisi, taşınma masrafları vb. ile ilgili ağırlık faktörü
α_{DC}	Binanın kullanım niteliğine bağlı ağırlık faktörü
α_{IC}	Binanın kullanım niteliğine bağlı ağırlık faktörü
δ_i	Yıllık amortisman oranını

KISALTMA LİSTESİ

ADA	Artımsal Dinamik Analiz
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DD-1	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1
DD-2	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2
DD-3	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3
DD-4	Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
FEMA	Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı
GÖ	Göçmenin Önlenmesi
HAZUS	Hazard United States
KH	Kontrollü Hasar
KK	Kesintisiz Kullanım
PEER	Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
SH	Sınırlı Hasar
ŞGDT	Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım
TBDY 2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Türkiye Deprem Tehlike Haritası [29] **12**

Şekil 2.2 TBDY 2018'e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumu **15**

Şekil 2.3 Yapı performans düzeyleri [30] **16**

Şekil 2.4 Betonarme taşıyıcı sistemler a) Betonarme çerçeve sistem b) Betonarme perdeli ve betonarme çerçeveli sistem c) Betonarme perdeli sistem **18**

Şekil 3.1 Çubuk elemanlarda plastik mafsal modeli a) Yapı elemanı ve moment dağılımı b) Eğrilik profili c)Dönme ve deplasmanlar **22**

Şekil 3.2 Perde elemanlarda fiber modeli **23**

Şekil 3.3 Örnek ADA eğrisi a) Hasar ölçüsü değerine göre kapasite noktası b) Şiddet ölçüsü değerine göre kapasite noktası **25**

Şekil 3.4 Tipik hasar olasılık eğrisi **27**

Şekil 3.5 İşlevsellik eğrisi **29**

Şekil 3.6 Ortalama hızlılığın işlevsellik eğrisi üzerindeki gösterimi **30**

Şekil 3.7 Sağlamlığın işlevsellik eğrisi üzerindeki gösterimi **31**

Şekil 3.8 İyileşme fonksiyonlarına ait işlevsellik eğrileri a)Lineer b)Eksponensiyel c)Trigonometrik **35**

Şekil 3.9 Hafif, orta, ileri ve göçme durumlarının hasar olasılık eğrisi üzerinde gösterimi **36**

Şekil 4.1 Yapıların 3d görüntüsü a) Tip 1 Bina b) Tip 2 Bina c) Tip 3 Bina **41**

Şekil 4.2 Statik kalıp planları a) Tip 1 Bina b) Tip 2 Bina c) Tip 3 Bina **42**

Şekil 4.3 Tip 1 bina kolon ve kiriş kesitleri **43**

Şekil 4.4 Tip 2 bina kolon ve kiriş kesitleri **44**

Şekil 4.5 Tip 2 bina perde kesitleri **44**

Şekil 4.6 Tip 3 bina kolon ve kiriş kesitleri **45**

Şekil 4.7 Tip 3 bina perde kesitleri **46**

Şekil 4.8 Tip 1 bina 80x80 cm ebatındaki kolona ait sargılı beton gerilme-birim şekildeğiştirme grafiğinin SAP2000 modeli görseli **51**

Şekil 4.9 B420C donatı gerilme birimşekildeğiştirme grafiği SAP2000 modeli görseli **51**

Şekil 4.10 Tip 1 bina 80x80 cm ebatındaki kolona ait sargılı beton gerilme-birimşekildeğiştirme grafiği **52**

Şekil 4.11 Tip 1 bina 80x80 cm kolon sargılı beton modelinin PERFORM-3D programında tanımlanması **53**

Şekil 4.12 B420C donatı gerilme birimşekildeğiştirme grafiği **54**

Şekil 4.13 Donatı çeliği modelinin PERFORM-3D programında tanımlanması **54**

Şekil 4.14 Tip 1 binadaki 80x80 cm ebatındaki kolonun fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması.....**57**
Şekil 4.15 Tip 1 binadaki 60x75 cm ebatındaki kirişin fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması.....**57**
Şekil 4.16 Tip 1 binadaki 80x80 cm ebatındaki kolonun doğrusal kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması.....**60**
Şekil 4.17 Tip 1 binadaki 60x75 cm ebatındaki kirişin doğrusal kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması.....**60**
Şekil 4.18 Tip 2 binadaki P1 perdesinin fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması.....**61**
Şekil 4.19 Tip 1 bina 80x80 cm kolon PERFORM-3D modeli compound tanımı.....**62**
Şekil 4.20 Tip 1 bina 60x75 cm kiriş PERFORM-3D modeli compound tanımı..**63**
Şekil 4.21 Tip 2 bina P1 perdesi PERFORM-3D modeli compound tanımı **63**
Şekil 4.22 PERFORM-3D modeli 3d görüntüsü a)Tip 1 bina b) Tip 2 bina c) Tip 3 Bina **64**
Şekil 4.23 4 deprem düzeyine ilişkin yatay elastik tasarım spektrum grafikleri...**65**
Şekil 4.24 Orijinal ve ölçekli elastik deprem spektrumu **67**
Şekil 4.25 RSN864 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**67**
Şekil 4.26 RSN901 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**68**
Şekil 4.27 RNS1111 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**68**
Şekil 4.28 RNS1148 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**68**
Şekil 4.29 RNS1614 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**69**
Şekil 4.30 RNS1618 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**69**
Şekil 4.31 RNS1633 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**69**
Şekil 4.32 RNS1787 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**70**
Şekil 4.33 RNS3943 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**70**
Şekil 4.34 RNS3964 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**70**
Şekil 4.35 RNS3966 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları.....**71**
Şekil 4.36 PERFORM-3D programında başlangıç yük durumu tanımlanması.....**72**
Şekil 4.37 RSN864-A depreminin ölçek faktörü 0.5 için PERFORM-3D programında tanımlanması **73**
Şekil 4.38 Tip 1 bina mod şekilleri ve periyotları **75**
Şekil 4.39 Tip 2 bina mod şekilleri ve periyotları **75**
Şekil 4.40 Tip 3 bina mod şekilleri ve periyotları **76**
Şekil 4.41 Tip 1 Bina H1 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi.....**78**
Şekil 4.42 Tip 1 Bina H2 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi.....**78**
Şekil 4.43 Tip 2 Bina H1 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi.....**79**

Şekil 4.44 Tip 2 Bina H2 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi.....**79**
Şekil 4.45 Tip 3 Bina H1 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi.....**79**
Şekil 4.46 Tip 3 Bina H2 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi.....**80**
Şekil 4.47 Tip 1 Bina hasar olasılık eğrileri a) H1 doğrultusu b) H2 doğrultusu..**80**
Şekil 4.48 Tip 2 Bina hasar olasılık eğrileri a) H1 doğrultusu b) H2 doğrultusu..**81**
Şekil 4.49 Tip 3 Bina hasar olasılık eğrileri a) H1 doğrultusu b) H2 doğrultusu..**81**
Şekil 4.50 Tip bina 1 H1 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi.....**84**
Şekil 4.51 Tip bina 1 H2 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi.....**84**
Şekil 4.52 Tip bina 2 H1 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi.....**85**
Şekil 4.53 Tip bina 2 H2 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi.....**85**
Şekil 4.54 Tip bina 3 H1 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi.....**85**
Şekil 4.55 Tip bina 3 H2 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi.....**86**

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri **12**

Tablo 2.2 Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_S **13**

Tablo 2.3 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_1 ..... **14**

Tablo 2.4 Yerel zemin sınıfları **14**

Tablo 3.1 HAZUS Yazılımı Yapı Sınıfları **37**

Tablo 3.2 HAZUS yazılımına göre hasar durumuna karşılık gelen göreli kat ötelemeleri **38**

Tablo 3.3 HAZUS yazılımına göre yapıların kullanım sınıfına göre sınıflandırılması ve maliyet oranları **38**

Tablo 3.4 HAZUS yazılımına iyileşme süreleri **39**

Tablo 4.1 Yapı Özellikleri (Tip 1 Bina) **47**

Tablo 4.2 Yapı Özellikleri (Tip 2 Bina) **48**

Tablo 4.3 Yapı Özellikleri (Tip 3 Bina) **49**

Tablo 4.4 C35/45 beton sınıfı ve B420C donatı sınıfı için beklenen (ortalama) malzeme dayanımları ve elastisite modülü **50**

Tablo 4.5 Tip 1 Bina PERFORM-3D beton modeli parametreleri **55**

Tablo 4.6 Tip 2 Bina PERFORM-3D beton modeli parametreleri **55**

Tablo 4.7 Tip 3 Bina PERFORM-3D beton modeli parametreleri **55**

Tablo 4.8 PERFORM-3D donatı çeliği modeli parametreleri **56**

Tablo 4.9 Tip 1 bina fiber modele ait kesit değerlerinin elle yapılan hesapla karşılaştırılması **58**

Tablo 4.10 Tip 2 bina fiber modele ait kesit değerlerinin elle yapılan hesapla karşılaştırılması **58**

Tablo 4.11 Tip 3 bina fiber modele ait kesit değerlerinin elle yapılan hesapla karşılaştırılması **59**

Tablo 4.12 Doğrusal kolon ve kiriş kesitleri için etkin kesit rijitlik çarpanları **59**

Tablo 4.13 4 deprem düzeyine ilişkin yatay elastik tasarım spektrum parametreleri **65**

Tablo 4.14 Seçilen Deprem Kayıtları **66**

Tablo 4.15 PERFORM-3D modelinde tanımlanan dinamik analizler **73**

Tablo 4.16 Yapı Kütleleri **74**

Tablo 4.17 Tip 1 bina periyotları ve modal kütle katılım oranları **76**

Tablo 4.18 Tip 2 bina periyotları ve modal kütle katılım oranları **77**

Tablo 4.19 Tip 3 bina periyotları ve modal kütle katılım oranları **77**

Tablo 4.20 Tip 1 deprem seviyelerine göre hasar olasılık değerleri **82**

Tablo 4.21 Tip 2 deprem seviyelerine göre hasar olasılık değerleri **82**
Tablo 4.22 Tip 3 deprem seviyelerine göre hasar olasılık değerleri **82**
Tablo 4.23 Tip 1 Bina kayıp yüzdeleri **83**
Tablo 4.24 Tip 2 Bina kayıp yüzdeleri **83**
Tablo 4.25 Tip 3 Bina kayıp yüzdeleri **83**

ÖZET

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Tasarlanmış Farklı Taşıyıcı Sistemlere Sahip Yerinde Dökme Betonarme Binaların Sismik Rezilyansının Belirlenmesi

Muhammet ALARÇİN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Barış SEVİM

Depremler büyük miktarlarda can ve mal kayıplarına sebep olabilen doğal afetlerden bir tanesidir. Gerekli önlemler alınmaması durumunda, dünyada ve ülkemizde meydana gelen depremler sonucunda, can ve mal kaybının çok büyük miktarlarda olduğu görülmüştür. Bu nedenle ülkemizde olduğu gibi deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde depreme karşı dayanıklı yapı tasarımı ve üretiminin önemi oldukça fazladır.

Ülkemizde depreme dayanıklı yapılar tasarlayabilmek ve üretebilmek için çok sayıda yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde şu anda yürürlükte olan deprem yönetmeliği 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'dir. Bu yönetmelik yerinde dökme ve ön üretimli betonarme, çelik, hafif çelik, yığma ve ahşap malzemeden yeni yapılacak bina ve bina türü yapıların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut bina ve bina türü yapıların değerlendirme ve güçlendirme tasarımlarını kapsamaktadır. Yenilenen yönetmelik ile birlikte performansa dayalı tasarım da sıkça kullanılmaya başlanmıştır.

Performansa dayalı tasarım, ön görülen deprem yer hareketi düzeyine göre yapı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlarda oluşacak hasar durumlarını baz alan performans kriterlerini ortaya koyan bir tasarım yöntemidir. Performansa dayalı tasarım yönteminde yapılar için performans hedefleri tanımlanmaktadır.

Doğru tasarlanmış ve imal edilmiş yapılar, oluşan deprem etkisinden sonra kendilerinden beklenen performans hedeflerini sağlarlar, fakat bununla birlikte oluşan hasarlara bağlı olarak kayıplar meydana gelir. Oluşan kayıplar yapının kullanım fonksiyonu, işlevselliğini düşürmektedir. Özellikle deprem sonrası kullanılması gereken hastane, belediye binaları, su ve elektrik tesisleri gibi binaların deprem öncesindeki işlevselliğine hızlı bir şekilde ulaşması istenmektedir. Sismik rezilyans yapının deprem etkisine bağlı kayıplarını ve bununla birlikte deprem etkisi öncesi fonksiyonuna ulaşması durumunu içeren genel bir tanımdır.

Genel anlamda sismik rezilyans yapıların tehlikeleri hafifletme, afetler meydana geldiğinde etkilerini en aza indirme ve iyileşme faaliyetini sosyal bozulmayı en aza indirecek ve gelecekteki depremlerin etkilerini hafifletecek şekilde gerçekleştirme yeteneği olarak tanımlanır. Bu çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre tasarlanmış farklı taşıyıcı sistemlere sahip yerinde dökme betonarme binaların sismik rezilyansı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sismik rezilyans, hasar olasılık eğrisi, yapısal kayıp, artımsal dinamik analiz, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz.

ABSTRACT

Determination of the seismic resilience of moment resisting reinforced concrete structure which is designed according to Turkish Building Seismic Code 2018

Muhammet ALARÇİN

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Barış SEVİM

Earthquakes are one of the natural disasters that can cause large amounts of loss of life and property. It has been observed that if the necessary precautions are not taken, there is a huge loss of life and property as a result of earthquakes that occur in the world and in our country. For this reason, earthquake-resistant building design and production is of great importance in regions with high earthquake risk, as in our country.

Many codes have come into force in our country to design and produce earthquake-resistant structures. The earthquake code currently in force in our country is the Turkish Building Seismic Code 2018, which came into force in 2018. This code includes the design of new buildings and building-type structures made of cast-in-place and prefabricated reinforced concrete, steel, light steel, masonry and wooden materials under the influence of earthquakes, and the evaluation and retrofitting designs of existing buildings and building-type structures. With the renewed code, performance-based design has started to be used frequently.

Performance-based design is a design method that sets forth performance criteria based on the damage that will occur in the structural and non-structural elements of the structure according to the predicted earthquake ground motion level. In the

performance-based design method, performance targets are defined for buildings in the code.

Correctly designed and manufactured structures provide the performance targets expected from them after the earthquake, but losses occur due to the damage. The resulting losses reduce the functionality of the building. In particular, buildings such as hospitals, municipal buildings, water and electricity facilities that need to be used after the earthquake are required to quickly reach their pre-earthquake functionality. Seismic resilience is a general definition that includes the losses of the structure due to the earthquake effect and the state of reaching its function before the earthquake effect.

In general terms, seismic resilience is defined as the ability of structures to mitigate hazards, minimize their effects when disasters occur, and perform recovery activities in a way that minimizes social disruption and mitigates the effects of future earthquakes. In this study, the cast-in-place reinforced concrete buildings with different structural systems designed according to Turkish Building Seismic Code 2018 seismic resilience was determined.

Keywords: Seismic resilience, fragility curve, structural loss, incremental dynamic analysis, Turkish Building Seismic Code 2018, time history analysis.

1
GİRİŞ

Deprem, öncesi, oluşma anı ve sonrasının planlanması gereken bir olaydır. Depreme dayanıklı yapılar tasarlayarak deprem öncesi için önlem almış olmaktayız. Fakat deprem sırasında ve sonrasındaki süreçle ilgili planlama yapılmadığından bu konuda belirsizlikler bulunmaktadır. Depremlerin büyük miktarda hasar verebilirliği ve yıkıcı etkisi, bu afete hazırlıklı olma ve kısa sürede toparlanma gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Sismik rezilyans deprem öncesini, deprem anını ve deprem sonrasını kapsayan genel bir tanımdır. Sismik rezilyansı artırmanın amacı, can kayıplarını, yaralanmaları ve diğer ekonomik kayıpları en aza indirmek, kısacası depremler nedeniyle yaşam kalitesindeki herhangi bir düşüşü en aza indirmektir.

Bu çalışmada yapıların sismik rezilyansının belirlenmesi için analizler yapılmış, bu analizlerin sonucuna göre değerlendirmeler yapılarak öneriler sunulmuştur.

1.1 Literatür Özeti

Cimellaro vd. [1] tarafından yapılan çalışmada yapıların ve sistemlerin sismik rezilyansının nicel değerlendirmesi için yaklaşımlar geliştirilmiştir. Sismik rezilyansın doğal afetlerden kaynaklı kayıplardan ve kayıp sonrası iyileşme sürecini içeren bir sürecin değerlendirmesi olduğu belirtilmiştir. İyileşme süreçlerinin mevcut teknik ve insan kaynaklarına, toplumun hazır olmasına ve yönetim politikalarına bağlı bir süreç olması sebebi ile karmaşık olduğu belirtilmiştir. Kayıpların, hasar olasılık fonksiyonları kullanılarak hesaplandığı anlatılmıştır. Örnek bir hastane binası ve hastane ağı için sismik rezilyans hesabı yapılmıştır. Rezilyans işlevinin depremin etkisinin belirlenmesi ve iyileşme sürecinin belirlenmesi olarak belirtmişler ve mühendis ve yöneticiler için gerekli kararların alınması için önemli bir araç olduğunu vurgulamışlardır.

Qiu vd. [2] tarafından yapılan çalışmada prefabrik yer altı istasyonlarının uygulamaya başlandığının ve bu sistemlerin kullanım ömrü boyunca güvenli hizmet vermesi ile ilgili hususun değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu amaçla geniş çatı açıklığına sahip prefabrik yer altı istasyonunun rezilyansı ile ilgili

çalışmalar yapılmıştır. Sistemin hasar olasılık fonksiyonları ve onarım fonksiyonları oluşturulmuştur. Yapılan çalışmanın prefabrik yer altı istasyonun çoklu hasar durumlarındaki sismik rezilyansının belirlenmesinde araç olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Hashemi vd. [3] sürdürülebilirliğin bir yapının yapımından, günlük çalışmasından, eskimesinden kaynaklı yaşam döngüsü boyunca sebep olduğu ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri ele aldığını, ancak doğal veya insan kaynaklı büyük afetlerden kaynaklı etkilerini göz ardı ettiğini belirtmişlerdir. Bu amaçla yapıların sismik rezilyansını sürdürülebilirlik değerlendirmesine entegre etmek için çalışmalar yapmışlardır. Örnek olarak yumuşak kat düzensizliği bulunan sınırlı sünek bir yapının üç boyutlu doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Ayrıca hasar gören kolonlarda, karbon fiber ile güçlendirme uygulaması araştırılmıştır ve afet sonrası onarımı için önerilmiştir. Geliştirilen sayısal modelleri, onarım maliyeti, onarımın aksama süresi ve onarımın çevresel etkilerini içeren sürdürülebilirlik ölçümleri için kullanmışlardır.

Prasanth vd. [4] sismik olaylardan kaynaklı olarak yapılarda akmaların başlayacağını ve çatlakların olacağı belirtmiştir. Sistemin rijitliğini etkileyen bu çatlakların kesitlerin atalet momentinin ve kesit alanlarının azalmasına yol açtığını belirtmişlerdir. Kolon rijitliğindeki azalmanın ekonomik kayıplara, yapı performansına ve sismik rezilyansa etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla zemin+10 katlı bir yapıyı ele almışlar ve kolon rijitliğini azaltarak ve azaltmadan yapılan hesaplarla kolon rijitlik değişiminin sismik rezilyansa etkisini incelemişlerdir. Sonuç olarak kolondaki rijitlik azaltmasın yapının performansında önemli bir değişim yarattığı fakat işlevselliğinde ve sünekliğinde fazla bir değişim olmadığı ifade edilmiştir.

Biondini vd. [5] tarafından yapılan çalışmada bozulan beton yapıların sismik rezilyansının değerlendirilmesine yönelik olasılıksal bir yaklaşım sunulmuştur. Sınırlı hasar durumundan göçme durumuna kadar farklı sınır durumları ile ilişkili ve zamanla değişen sismik kapasite işlevsellik göstergesi olarak kabul edilmiştir. Bozulma sürecinin sismik rezilyans üzerindeki etkisi, deprem sonrası kalan işlevsellik ve sismik olayın meydana gelme zamanının bir fonksiyonu olarak ve bozulan sistemin iyileşmesi değerlendirilerek yapının ömrü boyunca araştırılmıştır. Bu çalışma korozyon etkisine maruz kalan üç katlı bir betonarme çerçeve yapı ve

dört açıklıklı betonarme köprü üzerine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar ile yapısal bozulmanın ve sismik hasarın sistemin işlevselliğine ve dayanıklılığına etkileri gösterilmiştir.

Venkittaraman cd. [6] tarafından karayolu köprülerinin sismik rezilyansı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada sismik olaylardan kaynaklı kayıpları azaltmak için uygulanan köprü güçlendirme yöntemlerinin, yapının sismik performansını arttırması yanında sismik rezilyansını da arttırdığı belirtilmiştir. Örnek olarak Los Angeles bölgesindeki bir köprü analiz edilmiştir. Köprünün Northridge depremi sırasında ciddi bir şekilde hasar gördüğü belirtilmiş ve modelleme deprem öncesi hasarsız durumuna güçlendirme uygulanarak yapılmıştır. Köprünün hasar görebilirlik modeli yapılmış ve bu model uygun kayıp ve kurtarma modelleri ile birleştirilerek köprünün sismik rezilyansı hesaplanmıştır.

Prasanth vd. [7] çeşitli inşaat hataları, çevre koşulları vb. nedeni ile tüm binaların tek tip rijitliğe sahip olmayacağını ve betonarme eleman rijitliklerinde azalmaya yol açacağını belirtmişlerdir. Hindistan standartlarında etkin kesit rijitlikleri ile ilgili bilgilerin yer almamasından kaynaklı olarak etkin kesit rijitliğini yapı davranışı üzerindeki etkisinin dikkate alınamadığını belirtmişler ve bu amaçla zemin+10 katlı bir yapının brüt ve çatlamış kesitli analizlerini yaparak yapının sismik rezilyansını ve sismik performansını belirleyerek çatlamış kesit rijitliğinin yapı üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Prasanth vd. [8] geçmiş çalışmaların, yer hareketinin oldukça rastgele bir yapıya sahip olduğunu gösterdiğini, geçmiş literatürde, aynı deprem için farklı bölgelerdeki yer hareketi özelliklerinde ve aynı bölge için farklı depremlerin etkilerinde büyük farklılıklar olduğunun bulunduğu belirtilmiştir. Yer hareketi özelliklerindeki bu büyük farklılıkların, gelecekteki depremlerin taleplerini doğru bir şekilde tahmin etmedeki zorlukları gösterdiği; bu durumun her zaman güvenilir tasarım hükümlerine sahip olmak için makul bir olasılık veren tasarım yer hareketlerini belirleme zorluğuna sürüklediği belirtilmiştir. Bu amaçla, yer hareketlerindeki değişimlerin önemli bir tasarım parametresi olan bir binanın sismik rezilyansının üzerindeki etkisini bulmayı amaçlamışlardır. Örnek olarak zemin+10 katlı mevcut bir betonarme binanın analizleri farklı bina önem katsayıları ve farklı yapı davranış katsayıları için gerçekleştirilmiş sonuç olarak bina önem

katsayısı 1.5 ve yapı davranış katsayısı 3 olan yapının deplasmanında, talep edilen sünekliğinde ve sismik rezilyans kaybında önemli artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

Dukes vd. [9] tarafından yapılan çalışmada köprünün sismik tasarımını ve sismik rezilyansını geliştirmek için köprüye özgü hasar olasılık metodu geliştirilmiştir. Mevcut sismik tasarım süreçlerinde yapının çökmemesi esasına dayalı tasarım yapıldığı ancak farklı tehlike seviyelerine ilişkin veya tasarım değişliklerinden dolayı köprü performansları hakkında bilgilerin olmadığı belirtilmiştir. Bu amaçla köprülerdeki çeşitli hasar olasılıklarını tahmin etmeyi sağlayacak, köprüye özgü bir hasar olasılık yöntemi önerilmiştir. Sonuç olarak önerilen yöntemin tasarım sürecinin bir parçası olarak kullanılması durumunda kuralcı bir yaklaşımın performansa dayalı bir yaklaşıma dönüştürmeye yardımcı olabileceğini ve yeni köprü tasarımlarında olasılıksal performans bilgilerini sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Cimellaro vd. [10] işlevselliği sürdürme, deprem gibi etkili bir olay sonrası oluşan kayıpları telafi etme yeteneği olarak tanımlanan rezilyansı ölçmek için bir model sunmuşlardır. Kayıp tahminleri ve iyileşme modellerini birleştirerek sunulan modelin kritik tesislerin (hastane, askeri binalar vb.) yanı sıra hayati öneme sahip hizmet sistemleri (elektrik trafo binaları, ulaşım ağları, su ile ilgili sistemler vb.) için kullanılabileceği belirtilmiştir. Önerilen model bir hastane ağına uygulanmış ve sismik rezilyans çerçevesinde sağlık tesisleri gibi sistemlerin rezilyans endekslerini arttıracağını ve afet sonucu oluşan kayıpları azaltmak için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kassem vd. [11] tarafından yapılan çalışmada, sismik rezilyansın hasar gören topluluğun mümkün olan en kısa zamanda doğal durumuna döndürmeyi amaçlayan bir yaklaşım olduğu belirtilmiş ve sismik rezilyans bir yapının sismik olaylara maruz kaldıktan sonra belirli bir süre boyunca işlevselliğini koruma yeteneği olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada tekrarlanan depremlere maruz orta katlı bir betonarme çerçeve binanın işlevsellik ve sismik dayanıklılık yaklaşımı değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuç olarak, yapı hasar görebilirlik değerlendirmesi açısından incelenmiş ve yapının sıradan tasarımı nedeniyle 15 saniyelik tekrarlı depreme dayanma kapasitesine sahip olmadığı belirtilmiştir.

Samadian vd. [12] tarafından yapılan çalışmada okulların kullanım açısından dolayı önemli ve hassas yapılar olduğu belirtilmiş, İran'da 2000 yılında inşa edilmiş ve betonarme perde duvarlar ile güçlendirilmiş bir okul binasının sismik rezilyansının belirlenmesi amacıyla hasar olasılık eğrileri kullanılmıştır. Yapının sismik rezilyansı 50 yılda aşılma olasılığı %50, %20, %10 ve %2 deprem etkileri için yapılmıştır. Sonuç olarak güçlendirme yapmanın sismik rezilyansın arttırılmasında ve deprem kaynaklı kayıpların azalmasında etkili olduğu görülmüştür.

Hadigheh vd. [13] tarafından yapılan çalışmada, mevcutta kullanılan yönetmeliklerde yapıların can güvenliği kriterine göre tasarlandığı, performansa dayalı tasarımda hedef yer değiştirme gibi taleplere göre yaklaşım kullanıldığı, bu tasarım felsefesine göre can güvenliğinin sağlandığı fakat hasar sınırlandırılamadığı veya işlevselliğin tam olarak korunamadığı belirtilmiştir. Yeni bir yöntem olarak rezilyans bazlı tasarımın güçlü yer hareketi sonrasında yapıların işlevselliğini korumayı ve yaşanabilir koşullar sağlamayı amaçladığı belirtilmiştir. Örnek olarak bu çalışmada 8 katlı betonarme çerçeve ve 2 ve 4 katlı 2 adet güçlendirilmiş betonarme çerçevenin performansı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak çerçevelerin sismik performansları rezilyans bazlı tasarım kriteri açısından karşılaştırılmıştır.

Tipler [14] tarafından yapılan çalışmada yüksek binaların sismik rezilyansına ilişkin çalışmalar yapmıştır. Bu amaçla San Francisco şehir merkezinde bulunan 42 katlı çift betonarme çekirdekli bina örnek olarak alınmıştır. Çalışmada sönüm elemanları ve taban izolasyonu olma durumunda yapı davranışı ve yapısal olmayan elemanların durumları incelenmiştir. Mevcut binanın tasarım depreminde %15'i aşan kayıplara ve 2 yıllık işlevsel kesinti süresine maruz kalmasının beklendiği, bununla birlikte sönüm elemanın kullanılması ve taban izolatörü kullanılması durumunda bina maliyetinin sırası ile %14 ve %10 oranında beklenen kayıpla ve 62 hafta ve 43 hafta işlevsel kesinti süresiyle mali kayıpları ve kesinti süresini azalttığı belirtilmiştir. Sonuç olarak yüksek binaların sismik etkiler sebebiyle ölümlere neden olma ihtimali düşük olsa da binanın işlevselliğinin bozulması sebebiyle derin mali kayıplara yol açabileceği belirtilmiştir.

Mahihi vd. [15] tarafından yapılan çalışmada sismik rezilyansın temel özelliklerinden bahsedilmiş, kayıp fonksiyonun deprem gibi bir büyük olaydan hemen sonra işlevselliğin düştüğü normalleştirilmiş bir fonksiyon olduğu belirtilmiştir. Çalışmada sismik performansları deplasman bazı yöntemler ile

belirlenmiş, güçlendirilmiş 6 adet betonarme hastanenin deplasman bazlı tasarımı can kaybını önlese de hasarı sınırlandıramadığından bahsedilmiştir. Rezilyans bazlı tasarımın bu açıdan önemi vurgulanmıştır. Ayrıca çalışmada binaların performansını ve sünekliliği arttırması açısından betonarme binalarda fiber takviye ile güçlendirmenin çelik çapraz güçlendirmeden daha etkili olacağı ve güçlendirilmemiş binaya göre sismik rezilyansın daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ranjbar vd. [16] tarafından yapılan çalışmada toplumların sürekli olarak deprem gibi çeşitli doğal afetlere maruz kaldığını, zararların azaltılması için deprem öncesi ve sonrası için önlemlerin alınması gerektiği, bu amaçla sismik rezilyansın iyi bir yöntem olduğundan bahsedilmiştir. Örnek olarak tipik bir hastane binası seçilmiş, 22 adet deprem yer hareketi kullanılarak artımsal dinamik analizler yapılmış ve hasar olasılık fonksiyonları ve sismik rezilyans endeksleri belirlenmiştir. Sonuç olarak hasarlılık eğrilerinin sismik rezilyansın belirlenmesinde önemli bir araç olduğu belirtilmiştir.

Tirca vd. [17] tarafından yapılan çalışmada çaprazlı çerçeveli ofis binasının sismik rezilyansının değerlendirilmesi için metodoloji geliştirilmiştir. Hasar seviyeleri, deprem şiddetine bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Zaman tanım alanında analizler yapılarak artımsal dinamik analiz eğrileri oluşturulmuş ve hasar olasılık eğrileri elde edilmiştir. Bu çalışmada 3 ve 6 katlı merkezi çaprazlı çerçeve bina örnek olarak seçilmiştir. Sonuç olarak, incelenen tüm güçlendirilmiş yapıların sismik rezilyansının arttığının görüldüğü belirtilmiştir.

Samadian vd. [18] tarafından yapılan çalışmada Kasım 2017'deki Ezgeleh depreminden sonra incelenen İran'daki okul binalarının, onarım sonrası ve güçlendirme süreçleri de dahil olmak üzere sismik rezilyans endesklerinin hesabı yapılmıştır. Bu amaçla depremden etkilenen 3029 okuldan farklı taşıyıcı sisteme sahip 6 adet bina örnek olarak seçilmiştir. Depremden önce güçlendirilen binaların sağlam kaldığı ve yüksek rezilyans ve sağlamlık gösterdiği görülmüştür. Güçlendirilmesi planlanan ancak güçlendirilemeyen binaların ciddi yapısal hasarlara maruz kaldığı belirtilmiştir.

Moretti cd. [19] tarafından yapılan çalışmada yakın zamanda Şili, Yeni Zelanda ve Japonya'da meydana gelen büyük depremlerde hastanelerin, okulların, köprülerin, fabrikaların, hava limanlarının ve kamu hizmeti binalarının ve çok sayıda kritik

tesisin işlevselliğini kaybettiğini ve depremlerin önemli miktarda kayba yol açtığı belirtilmiştir. Bu nedenle hem güvenli hem de hasara dayanıklı tesislerin tasarlanması stratejilerine önem verildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada örnek olarak 3 katlı çelik bir bina için standart mesnetli sistem ve sismik izolatörlü sistem olmak üzere iki farklı sistemin kayıpları ve onarım süreleri karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sismik izolatörlü sistemin standart mesnetli sisteme göre rezilyansının daha yüksek olduğu ve daha düşük onarım maliyetine ve onarım süresine sahip olduğu belirtilmiştir.

Bruneau vd. [20] tarafından yapılan çalışmada toplulukların sismik rezilyansını ve bu rezilyanslılığı artırmaya odaklanan koordineli bir araştırma çabası için yararlı olabilecek niceliksel rezilyans ölçülerini tanımlamak için kavramsal bir çerçeve sunmuşlardır. Bu çerçevenin rezilyansın tamamlayıcı ölçütlerine dayandığını belirtmişlerdir: Azaltılmış hasar olasılıkları, hasarlardan kaynaklanan sonuçların azaltılması ve iyileşme için daha kısa süreler. Bu çerçevenin aynı zamanda sağlamlık, hızlılık, beceriklilik ve fazlalılığın nicel ölçütlerini içerdiğini ve bu ölçütleri toplum rezilyansının teknik, organizasyonel, sosyal ve ekonomik olmak üzere dört boyutuna entegre ettiğini belirtmişlerdir.

Castillo [21] tarafından yapılan çalışmada performansa dayalı değerlendirmeden elde edilen sonuçlara dayanarak rezilyansı ölçmek için önerilen üç farklı yaklaşımın etkinliğini araştırılmıştır. Bu üç yaklaşım dört farklı örnek bina için uygulanmıştır. Çalışmada sunulan bulguların toplum rezilyansının ölçümü için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Wang vd. [22] tarafından yapılan çalışmada kamu binaları için benimsenen perdeli çerçeveli sistemlerin sismik olarak güçlendirmesinin şehrin sismik rezilyansı açısından kritik bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Sismik izolasyonun rezilyans performansı için etkili bir güçlendirme yöntemi olduğu belirtilmiştir. Çalışmada iki adet bina için analizler yapılmıştır ve sismik izolasyonun rezilyansın arttırılması açısından etkinliği gösterilmiştir.

Gonzalez vd. [23] tarafından yapılan çalışmada sismik rezilyansın ölçümüne dair parametreler sunulmuş ve Mexio City'de bulunan iki katlı bir okul binasının sismik rezilyansı hesaplanmıştır. Sonuçların afet önleme ve müdahalede daha iyi kararlar almak için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Anwar vd. [24] tarafından yapılan çalışmada mevcut binaların büyük sismik riskler altından olabileceği, bina performansını arttırmak için yapısal güçlendirmeler gerekebileceği, binaların performansının sismik kaynaklı doğrudan hasarlardan kaynaklanan sonuçlar açısından hesaplandığını, ancak iyileştirme ile ilgili sismik güçlendirme değerlendirmesinin dikkate alınmadığı belirtilmiştir. Bu nedenle rezilyans bazlı bir güçlendirme önerisinde bulunmuşlardır. Örnek olarak iki katlı betonarme çerçeveli bir yapının sismik rezilyansı hesaplanmıştır. Sonuç olarak güçlendirme seçiminde sismik tehlikenin devam eden etkilerini değerlendirmek için sismik rezilyansın bir performans göstergesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Cantian vd. [25] tarafından yapılan çalışmada bir şehrin sismik rezilyansı için öneme sahip olan betonarme çerçeve yapıların sismik rezilyansının iyileştirilmesi kritik bir konu haline geldiği, sismik izolasyonun bu tür binalar için dayanıklılık performansın arttırılmasında etkili bir yöntem olsa da sismik rezilyans açısından değerlendirilmelerin nadiren yapıldığı belirtilmiştir. Bu amaçla Çin'in sismik açıdan tehlikesi yoğun olan bölgelerinde bulunan iki adet betonarme çerçeve binanın sismik rezilyansı değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların sismik izolasyon kullanılarak mevcut çerçeve binaların rezilyansa dayalı olarak güçlendirilmesi için referans olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Khaghanpou vd. [26] tarafından yapılan çalışmada iyileştirme sırasında işlevselliği ve rezilyansı tanımlamak için bir metodoloji sunulmuştur. Önerilen metodolojinin temel amacı, ana şok meydana geldikten sonra kısmen onarılan hasarlı binaların performası üzerindeki artçı sarsıntıların etkisini değerlendirmeye yönelik pratik bir yaklaşım sağlamaktır. Örnek olarak üç ve altı katlı betonarme binaların işlevsellik ve sismik rezilyans hesaplamaları yapılmıştır. Sonuç olarak çalışmada elde edilen bulguların rezilyanslı toplum ve binalara sahip olmak için hasarlı binaların rezilyansını tahmin etmek için kullanılabileceği belirtilmiştir.

Wang vd. [27] tarafından yapılan çalışmada tuz erozyonuna maruz ortamlardaki yapıların sismik rezilyansı incelenmiştir. Bu amaçla üç katlı betonarme bir binanın sismik rezilyans hesaplamaları yapılmış ve sonuç olarak klorür etkisine maruz kalan süre arttığında yapısal kaybın arttığı ve rezilyansta azalma olduğu görülmüştür. Donatı korozyonunun sismik rezilyansa etkisinin önemli olduğu belirtilmiştir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmadaki temel amaç, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 [28]'e göre tasarlanmış farklı taşıyıcı sistemlere sahip yerinde dökme betonarme binaların sismik rezilyansının belirlenmesidir.

Çalışma kapsamında yüksek sünekliğe sahip 6 katlı olarak modellenen, yatay yük taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden, betonarme çerçeve ve betonarme perdelerden ve sadece betonarme perdelerden oluşan 3 farklı bina modellenmiştir. Yapıların doğrusal olmayan davranışı plastik mafsal ve fiber modelleme ile sağlanmıştır. TDBY 2018 ile uyumlu olarak 11 adet kuvvetli deprem yer hareketi seçilmiş ve yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan artımsal dinamik analiz eğrileri elde edilmiştir. Yapıların I şiddetinde bir deprem etkisi gelmesi durumunda, çeşitli sınır durumlara ulaşma veya bu sınır durumları aşma olasılığını gösteren hasar olasılık eğrileri hesaplanmıştır. Yapıların deprem etkisi sonucu oluşan kayıplar ve iyileşme süreleri tahmin edilmiş ve yapıların sismik rezilyansları elde edilmiştir. Çalışma kapsamında yapıların periyotları, hasar olasılıklar, deprem kaynaklı kayıpları ve sismik rezilyansları incelenmiştir.

1.3 Orjinale Katkı

Ülkemizde yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yapılar kullanım amaçlarına ve önemlerine göre belirlenen performans hedeflerine göre tasarlanırlar. Performansa dayalı tasarım, yapıların hasarlarının sınırlandırılması felsefesine dayanmaktadır. Örneğin bir konut yapısından can güvenliğini sağlayacak şekilde performans göstermesi beklenirken, hastane gibi önemli bir yapının deprem sonrası hemen kullanılması beklenmektedir. Depremler sonucu yapıların kendinden beklenen performansı sağlaması tek başına yeterli olmamaktadır. Bununla birlikte yapının depremden önceki işlevselliğine ulaşması, afet dirençli toplum oluşturulması da önemli bir husustur. Sismik rezilyans yapının deprem etkisine bağlı kayıplarını ve bununla birlikte deprem etkisi öncesi işlevselliğine ulaşması durumunu içeren genel bir tanımdır. Toplumun sismik rezilyansı her bir bileşeninin sismik rezilyansına bağlıdır.

Bu çalışma ile yüksek sünekliğe sahip 6 katlı olarak modellenen, yatay yük taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden, betonarme çerçeve ve betonarme perdelerden ve sadece betonarme perdelerden oluşan 3 farklı binanın sismik rezilyansı hesaplanarak literatüre katkı sağlanmak istenmiştir.

2
FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERE SAHİP YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALARIN TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE TASARIMI

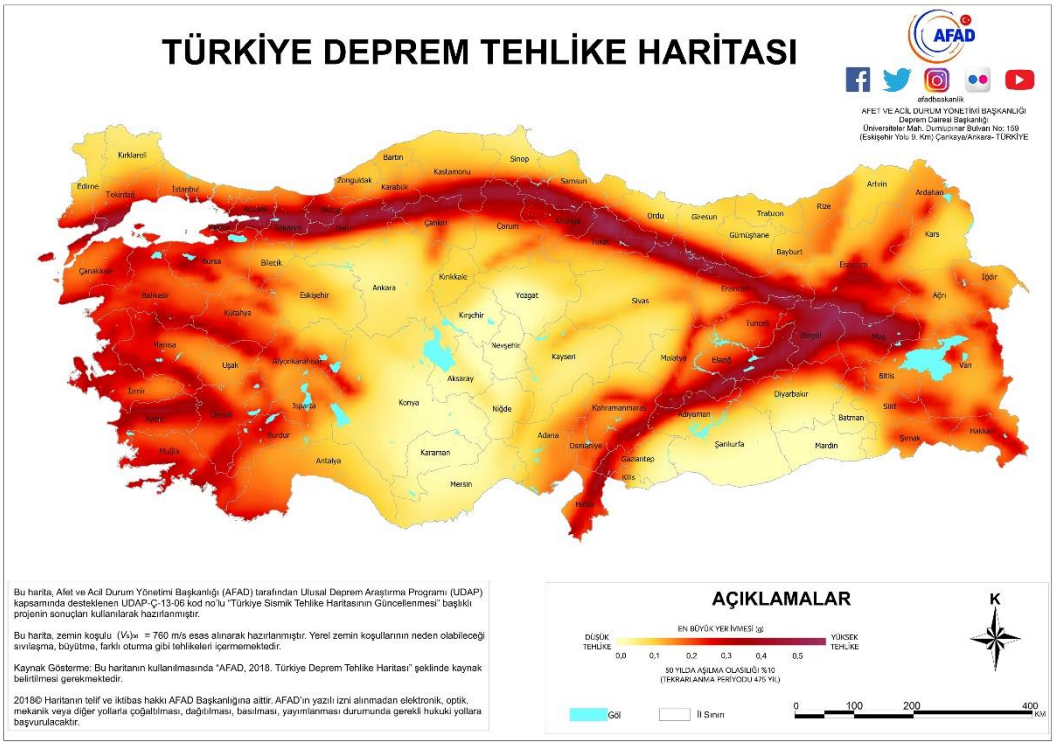
2.1 Giriş

Ülkemizde depreme dayanıklı yapılar tasarlayabilmek ve üretebilmekte için çok sayıda yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde şu anda yürürlükte olan deprem yönetmeliği 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'dir. Bu yönetmelik yerinde dökme ve ön üretimli betonarme, çelik, hafif çelik, yığma ve ahşap malzemeden yeni yapılacak bina ve bina türü yapıların deprem etkisi altında tasarımı ile mevcut bina ve bina türü yapıların değerlendirme ve güçlendirme tasarımlarını kapsamaktadır.

Bu bölümde TBDY 2018'de tanımlanan deprem yer hareketleri, bina performans düzeyleri, dayanıma göre tasarım kavramı ve yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemlerin tasarımı kısaca anlatılmıştır.

2.2 Deprem Yer Hareketleri

TBDY 2018'e göre deprem hareketleri dört deprem düzeyi ile tanımlamaktadır. Bu deprem düzeylerine ait deprem verileri Şekil 2.1'de gösterilen Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak elde edilebilir. Bu harita 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir.



Şekil 2.1 Türkiye Deprem Tehlike Haritası [29]

2.2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

TBDY 2018'de dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3) ve Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)'dür. Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 standart deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu deprem düzeylerinin 50 yılda aşılma olasılıkları ve tekrarlanma periyotları Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	50 Yılda Aşılma Olasılığı (%)	Tekrarlanma Periyodu (Yıl)
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)	2	2475
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-2)	10	475
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-3)	50	72
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-4)	68	43

2.2.2 Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Deprem yer hareketi spektrumu, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, tek serbestlik dereceli sistemlerin, o yer hareketine verdiği tepkinin (ivme, hız, yer değiştirme) en büyük değerini gösteren fonksiyonlardır.

TBDY 2018'de deprem spektrumları, yukarıda tanımlanan deprem düzeyleri esas alınarak %5 sönüm oranı için Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından alınan spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte spektrumlar sahaya özel deprem tehlikesi analizleri ile özel olarak da tanımlanabilmektedir.

Harita spektral ivme katsayılarının, yerel zemin etki katsayıları ile çarpılması ile tasarım spektral ivme katsayıları elde edilir. Bu işlem Denklem (2.1)'de gösterilmiştir. Burada S_S ve S_1 harita spektral ivme katsayılarını, F_S ve F_1 yerel zemin etki katsayılarını ifade etmektedir.

$$S_{DS} = S_S F_S$$
$$S_{D1} = S_1 F_1 \tag{2.1}$$

TBDY 2018'de tanımlanan yerel zemin etki katsayıları, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_S

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.					

Tablo 2.3 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı F_1

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	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.					

TBDY 2018'de altı adet zemin sınıfı tanımlanmaktadır ve bu zemin sınıfları zeminin cinsine, zeminin 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı değerine göre değişimi Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_S)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe / 30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 - 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 - 360	15 - 50	70 - 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya PI > 20 ve w > % 40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (cu < 25 kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI >50) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

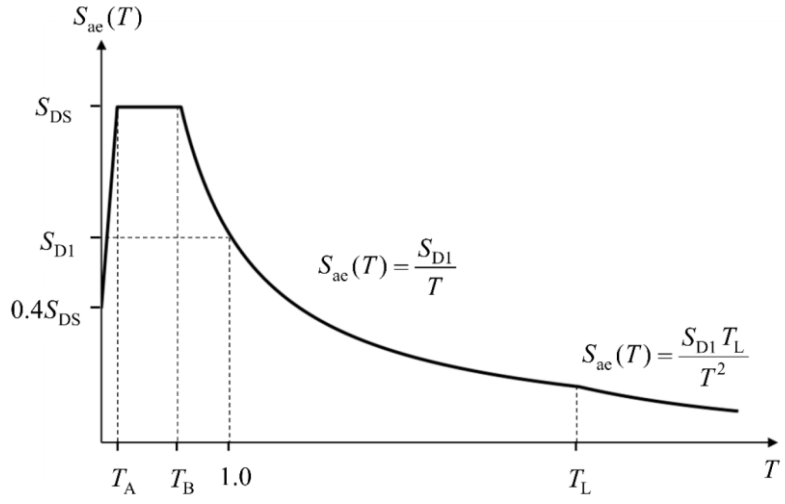
Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem (2.2) ile hesaplanmaktadır.

$$
\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6\frac{T}{T_A}\right) S_{DS} && 0 \le T \le T_A \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} && T_A \le T \le T_B \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} && T_B \le T \le T_L \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T} && T_L \le T
\end{aligned}
\tag{2.2}
$$

Burada $S_{ae}(T)$ yatay elastik tasarım spektral ivmelerini göstermektedir. Yatay tasarım köşe spektrumu köşe periyotları T_A ve T_B Denklem (2.3) ile hesaplanmaktadır. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu T_L=6 s alınmaktadır.

$$
\begin{aligned}
T_A &= 0.2\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
T_A &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}}
\end{aligned}
\tag{2.3}
$$

Yukarıda tanımlanan denklemler kullanılarak Şekil 2.2'de gösterilen yatay elastik tasarım ivme spektrumu oluşturulmaktadır.



Şekil 2.2 TBDY 2018'e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumu

2.3 Bina Performans Düzeyleri

TBDY 2018'de deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için dört adet performans düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi ve Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi'dir. Bu performans

düzeylerine ilişkin açıklamalar aşağıda ve performans düzeyine karşılık gelen hasar durumunun şematik gösterimi Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

- Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Yapı taşıyıcı elemanlarında hasarın meydana gelmediği veya meydana gelen hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı performans düzeyidir.

- Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

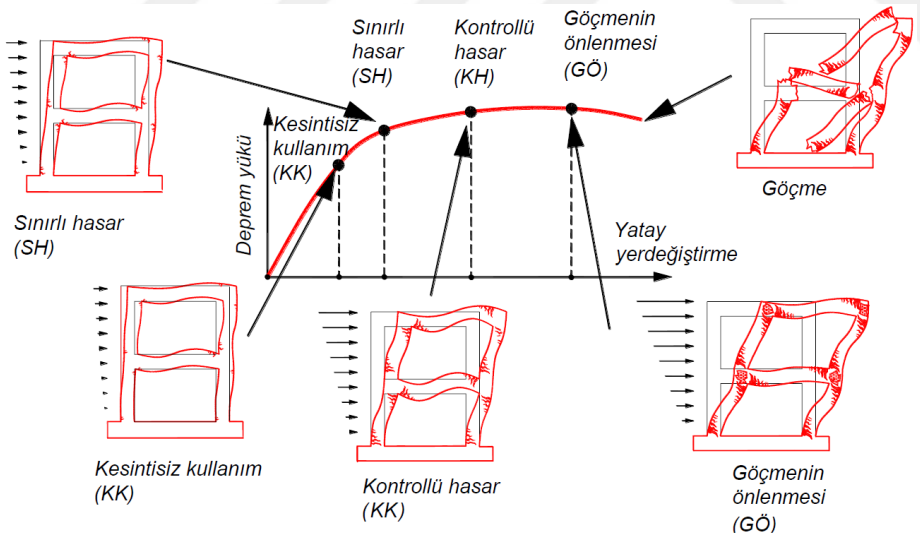
Yapı taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı performans düzeyidir.

- Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Yapı taşıyıcı sistem elemanlarında can güvenliğini sağlamak üzere, ağır olmayan ve onarılması mümkün olabilecek hasar meydana gelen performans düzeyidir.

- Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Yapı taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde hasarın meydana geldiği ve binanın kısmen veya tamamen göçmesinin önlendiği performans düzeyidir.



Şekil 2.3 Yapı performans düzeyleri [30]

2.4 Dayanıma Göre Tasarım

TBDY 2018'de yapıların kullanım sınıflarına, yapının bulunduğu bölgenin depremsellik durumuna ve yapının yüksekliğine göre farklı deprem düzeyleri için yapılara performans hedefleri verilmiştir. Bu performans hedeflerinin hesaplanmasında Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı ve Şekildeğiştirmeye

Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı olmak iki adet değerlendirme/tasarım yaklaşımı kullanılmaktadır. Bu bölümde çalışma kapsamında, yeni binanın tasarımında kullanılan DGT yaklaşımına değinilmiştir.

Deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı için iki ana yaklaşımdan biri olan Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımında:

- Öngörülen belirli bir performans hedefi için tanımlanan taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir.
- Azaltılmış deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin doğrusal deprem hesabı yapılır. Bu hesaptan bulunan eleman azaltılmış iç kuvvetleri, gerekli durumlarda dayanım fazlalığı da dikkate alınarak, diğer yüklerden oluşan iç kuvvetlerle birleştirilerek dayanım talepleri elde edilir.
- Eleman dayanım talepleri, öngörülen performans hedefi için tanımlanmış bulunan eleman iç kuvvet kapasiteleri (dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır.
- Deprem hesabından elde edilen göreli kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır.
- Dayanım taleplerinin dayanım kapasitelerinin altında olduğu ve aynı zamanda göreli kat ötelemelerinin izin verilen sınırların altında olduğu gösterilerek tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak sonuca gidilir.

TBDY 2018'e göre dayanıma göre tasarım yaklaşımı ile yapılan tasarım sonucu yapının Kontrollü Hasar (KH) performans hedefini sağladığı kabul edilmektedir.

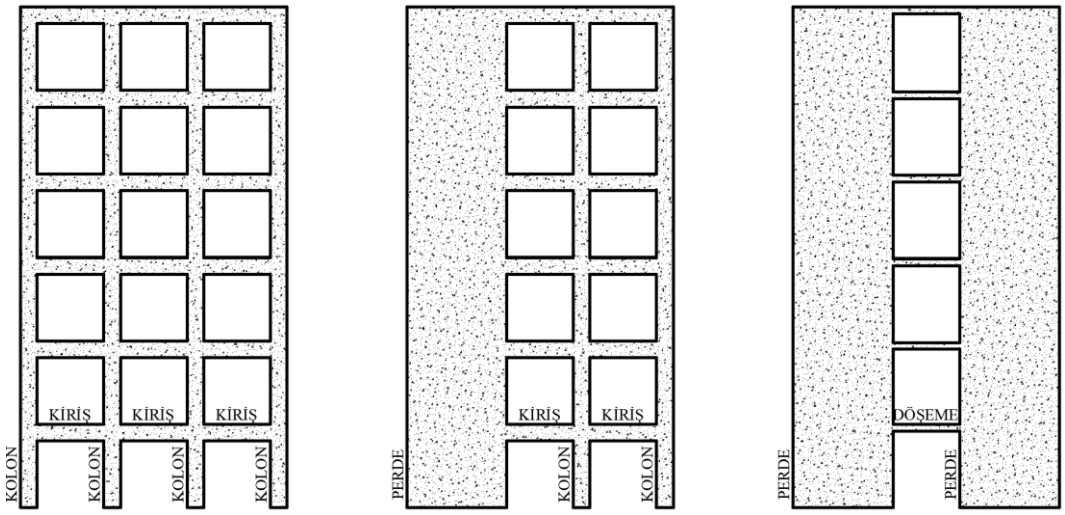
2.5 Yerinde Dökme Betonarme Taşıyıcı Sistemler

Yapılarda genellikle aşağıda sıralanan yapı taşıyıcı sistemleri kullanılmaktadır.

- Çerçeve sistemler
- Betonarme perde sistemler
- Tüp sistemler
- Eğik elemanlı çerçeve sistemler
- Kompozit sistemler
- Yukarıda tanımlanan sistemlerin birlikte kullanıldığı, örneğin betonarme perde ve çerçevelerin birlikte kullanıldığı karışık sistemler

TBDY 2018'de deprem etkilerinin sadece yerinde dökme betonarme çerçeveler tarafından karşılandığı binaların, deprem etkilerinin sadece yerinde dökme betonarme perdeler tarafından karşılandığı binaların ve deprem etkilerinin yerinde dökme betonarme çerçeveler ve yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binaların tasarımına ilişkin kurallar yer almaktadır. Bununla birlikte TBDY 2018'e göre deprem etkilerinin tamamının yerinde dökme betonarme kolonlar tarafından karşılandığı yüksekliği 12 metreyi geçmeyen tek katlı binalar da tasarlanabilmektedir. Şekil 2.4'te kesitleri gösterilen betonarme çerçeve sistem, betonarme perdeli sistem ve betonarme perdeli ve betonarme çerçeveli sistemler ilerleyen bölümlerde kısaca anlatılacaktır.

Yapılar deprem yükü gibi büyük etkiler altında elastik ve plastik enerji tüketimi yaparlar. Taşıyıcı sistem türene göre bazı sistemlerin elastik enerji tüketme kapasiteleri ve bazı sistemlerin plastik enerji tüketme kapasiteleri fazladır. Süneklik düzeyi yüksek sistemlerin plastik enerji tüketme kapasiteleri fazladır. TBDY 2018'de taşıyıcı sistemlerin öngörülen süneklik düzeyi taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) ve dayanım fazlalığı katsayıları (D) ile tanımlanmıştır.



(a) (b) (c)

Şekil 2.4 Betonarme taşıyıcı sistemler a) Betonarme çerçeve sistem b) Betonarme perdeli ve betonarme çerçeveli sistem c) Betonarme perdeli sistem

2.5.1 Betonarme Çerçeve Sistem

Uygulamada çok yaygın olarak kullanılan betonarme çerçeve sistemler betonarme kolon ve betonarme kirişler ile oluşturulan çerçevelerin birlikte kullanılması ise meydana gelmektedir. Bu sistemler yatay yüklerin etkisinde fazla miktarda yer

değiştirme yapmaktadırlar. Çerçevelerin deprem yüküne karşı koyabilmeleri, yeteri kadar süneklik, dayanım ve rijitlikleri ile sağlanabilir. Projelendirme donatı ve yerdeğiştirme hesapları dayanım yeterliliği konusunda mühendise yeterli bir fikir verirken, en önemli özelliklerinde biri olan süneklik ancak uyulması gereken etriye ve donatı düzeni ile ilgili kurallarla sağlanabilir. Bu nedenle kolon ve kirişler için ilgili bölümlerde verilen konstrüktif kurallara uyulması deprem etkisinin karşılanması bakımından önemlidir [31]. Elastik enerji tüketme kapasiteleri azdır. Yüksek miktarda plastik enerji tüketme kapasitesine sahiptirler. Ancak bunun için tasarım, projelendirme ve yapım aşamasında gerekli özenin gösterilmesi gerekmektedir. Elastik yatay yük taşıma kapasiteleri ve ilk yapım maliyetleri düşüktür.

TBDY 2018 de deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=8 ve dayanım fazlalığı katsayısı D=3 olarak tanımlanmıştır.

2.5.2 Betonarme Perdeli ve Betonarme Çerçeveli Sistem

Karışık sistemlerden betonarme perde-çerçeve sistemli yapılar bütün deprem bölgeleri için önerilir ancak projelendirilmelerinde betonarme perdelerle çerçevelerin yatay yükler altında farklı yerdeğiştirme yapabilecekleri unutulmamalıdır. İlk yapı maliyetleri çerçeve sistemlere göre daha yüksektir.

Az katlı perdeli-çerçeveli yapılarda deprem yüklerinin büyük bölümü perde duvarlar tarafından taşınmaktadır. Çok katlı perde duvarlı-çerçeveli yapılarda kat sayısı arttıkça üst katlarda perde duvarların yatay yüklerden aldıkları pay giderek azalmakta, çerçeveler daha etkili olmaktadır [32].

Perdelerin plandaki yerlerinin belirlenmesinde binanın fonksiyonu ve mimari nedenler etkili olur. Ancak, planda perde yerlerinin simetriyi sağlayacak biçimde, yapının burulma rijitliğini arttırması bakımından planda çevreye yerleştirilmesi uygundur. Taşıyıcı sistemin rijitliğini büyük ölçüde arttıran perdelerin iki doğrultuda dengeli biçimde yerleştirilmesi tercih edilmelidir [31].

TBDY 2018 de deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=7 ve dayanım fazlalığı katsayısı D=2.5 olarak tanımlanmıştır.

2.5.3 Betonarme Perdeli Sistem

Genel olarak en rijit yapı taşıyıcı sistemi betonarme perde sistemlerdir. Ancak rijitlik düzeyinin artan yükseklik ile birlikte azaldığını unutmamak gerekmektedir. Elastik enerji tüketme kapasiteleri çerçeve sistemlere göre oldukça yüksektir. Ancak plastik enerji tüketme kapasiteleri yüksek değildir. İlk yapı maliyeti çerçeve sistemlere göre daha yüksektir.

Perde duvarlarda yatay ötelenmeler yükseklikle artmaktadır. Diğer bir deyişle bu elemanların, düşey konsol kirişin elastik eğrisiyle benzer elastik eğriye sahip olduğu söylenebilir. Yükseklikle artsa da ötelenmeler çerçeve sistemli yapılara göre genellikle de küçük değerlerde kalmaktadır. Perde duvarların, çerçeveli sisteme göre zayıf tarafları ise az katlı yapılarda ilk yapım maliyetinin yüksek olması ve daha az sünekliğe sahip olmasıdır [32].

TBDY 2018 de deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler ile karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=6 ve dayanım fazlalığı katsayısı D=2.5 olarak tanımlanmıştır.

3
SİSMİK REZİLYANS KAVRAMI

3.1 Giriş

Deprem, yapılara hasar verebilecek ve hatta yıkımına yol açabilecek kadar büyük etkilere yol açabilen doğal bir afettir. Bununla birlikte depremlerin ne zaman, nerede ve hangi büyüklükte meydana geleceği tam olarak bilinememektedir. Araştırmacılar depremlerin hangi olasılıkta ve büyüklükte olabileceğini tahmin etmeye ve depremin yol açacağı hasarları azaltmaya çalışmışlardır. Bu amaçla tasarım felsefeleri ve yönetmelikler geliştirilmiştir.

Günümüzde yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre tasarım yapan mühendisler, öngörülen deprem etkileri altında yapılarını, kullanım amacına göre belirlenen performans hedeflerine göre tasarlarlar. Bu performans hedefleri, yapıda oluşacak hasarların sınırlandırılması felsefesine dayanmaktadır. Örneğin bir hastane binasında standart tasarım deprem yer hareketi etkisi sonucunda oluşan hasarların minimumda olması ve binanın deprem sonrası hemen kullanılması beklenir.

Yapılara baktığımızda kullanımları açısından oldukça karmaşık sistemlerdir. Yapının her katında ve her mahalinde farklı kullanım ve buna bağlı farklı eşyalar, farklı sayıda insanlar, farklı duvar sistemleri vb. bulunabilmektedir. Bu nedenle deprem sonrası oluşabilecek hasarı tam olarak belirleyebilmek mümkün değildir. Ancak oluşacak hasarın miktarı belli kabullerle birlikte tahmin edilebilmektedir. İlerleyen bölümlerde bu hasarların tahminine ilişkin yapılabilecek hesaplamalar kısaca anlatılmıştır.

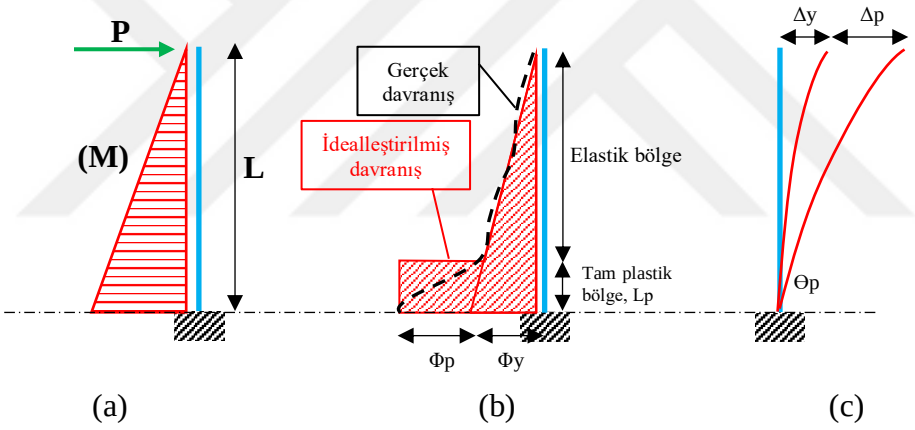
3.2 Doğrusal Olmayan Hesap

Yapılar işletme yükleri altında genellikle doğrusal davranış göstermektedir ve bu yükler altında çok küçük yer değiştirmeler yapmaktadır. Ancak deprem yükü gibi yapılarda büyük yer değiştirmelere yol açacak etkiler oluştuğunda yapıyı oluşturan elemanlarda doğrusal olmayan davranışlar oluşmaya başlamaktadır. Yapıların bu davranışını hesaplayabilmek için doğrusal olmayan hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de doğrusal olmayan

hesap yöntemi olarak itme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi tanımlanmaktadır.

3.2.1 Doğrusal Olmayan Davranış ve Plastik Mafsal Kavramı

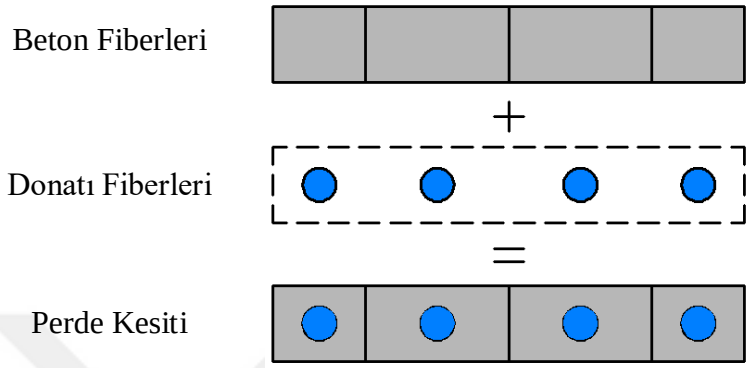
Kiriş ve kolonlar gibi kesit geometrilerinin, eleman boyuna göre küçük olan yapı elemanları çubuk eleman olarak sınıflandırılırlar. Çubuk elemanlarda, eğilme etkisi altında moment dağılımı incelendiğinde zorlanmaya en fazla maruz kalan eleman uç bölgelerinde plastik moment değerlerine ulaşan ve geçen kesitler olduğu görülür. Bu kesitlerin bulunduğu aralığın, plastik mafsal boyu olarak adlandırılan bir mesafede toplandığı düşünülür. Plastik mafsal boyu, çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısı (lp = h/2) kabul edilmiştir. İdealleştirmede kolaylık olması açısından da bu aralığın eleman uç bölgelerinde yer aldığı kabulü yapılmıştır ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Çubuk elemanlarda yığılı veya yayılı plastik davranış modelleri kullanılabilir.



Şekil 3.1 Çubuk elemanlarda plastik mafsal modeli a) Yapı elemanı ve moment dağılımı b) Eğrilik profili c)Dönme ve deplasmanlar

Kesit geometrisi, hem kendi arasında hem de eleman boyuna göre göreli olarak ufak olmayan düşey taşıyıcı elemanlar olarak adlandırılan perdeler plak eleman olarak sınıflandırılırlar. Perde elemanların modellenmesinde doğrusal olmayan davranışı en iyi şekilde ifade edebilmesi için kesiti Şekil 3.2'de gösterilen sonlu sayıda şeritlere (fiber) bölünmektedir. Malzeme açısından doğrusal olmayan davranış özelliğini taşıyan gerilme-şekil değiştirme ilişkileri, perde elemanı oluşturan donatı ve beton elemanlara tanımlanmaktadır. Kapsamlı bir hesaplamadan dolayı bilgisayar kaynağı açısından büyük talep yaratan bu durum, hesap gerçekliği açısından daha doğru bir yaklaşımdır.

Doğrusal olmayan davranış modeli, perdenin güçlü yönünde eğilme momenti ve eksenel kuvvetin etkileşimini içerecek şekilde iki boyutlu tanımlanmaktadır. Fiber eleman modellerinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler elemanın uzunluğu boyunca sürekli (yayılı) biçimde göz önüne alındığından ayrıca eleman üzerinde etkin eğilme rijitliği tanımı yapılmamaktadır.



Şekil 3.2 Perde elemanlarda fiber modeli

3.2.2 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem yer hareketinin etkisi altında taşıyıcı sistemin hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklem takımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşı gelir. Bu işlem sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zamanla değişimi göz önüne alınır.

TBDY 2018'e göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesapta en az on bir deprem yer hareketi takımı kullanılması gerekmektedir. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmekte ve daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90° döndürülerek hesap tekrarlanmaktadır.

3.3 Artımsal Dinamik Analiz

Performansa dayalı tasarımda hedef, yapı için belirlenen performansı sağladığının gösterilmesidir. Yapılar için belirlenecek performans hedefi yapının kullanım fonksiyonuna bağlıdır. Örneğin bir hastane yapısının deprem sonrası kullanılması hedeflenirken, konut türü bir yapının can güvenliğini sağlaması yeterlidir.

Yapıların deprem etkileri altında davranışını incelemek, performansını belirlemek için birçok metot mevcuttur. Bu metotlarda bir tanesi de artımsal dinamik analiz metodudur. Bu metotta bir dizi yer hareketi seçilir. Daha sonra seçilen bu deprem kayıtları yapının elastik davranıştan akma durumuna, akma durumundan dinamik kararsızlığa kadar yapının tüm tepki aralığını kapsayacak şekilde ölçeklendirilerek yapının doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılır. Elde edilen sonuçlar istatistiksel yöntemler ile birleştirilerek yapının davranışı elde edilir.

Aşağıda artımsal dinamik analize ilişkin kavramlar kısaca açıklanacaktır.

• Ölçek Faktörü

$a_1(t_i)$ (t_i=0, t_1, t_2, … t_{n-1}) ölçeklenmemiş ivme değerlerini içeren temel bir yer ivmesi kaydıdır. Bu ivme kaydının ölçeklendirilmesi pozitif bir skaler büyüklük olan ölçek faktörü (λ) ile çarpılarak yapılır, $\lambda \in [0, +\infty)$. Hafif ve şiddetli yer hareketini hesaba katmak için $\lambda<1$ ve $\lambda>1$ olacak şekilde ölçeklendirme yapılır, $a_\lambda = \lambda \cdot a_1$ [33].

• Şiddet Ölçüsü

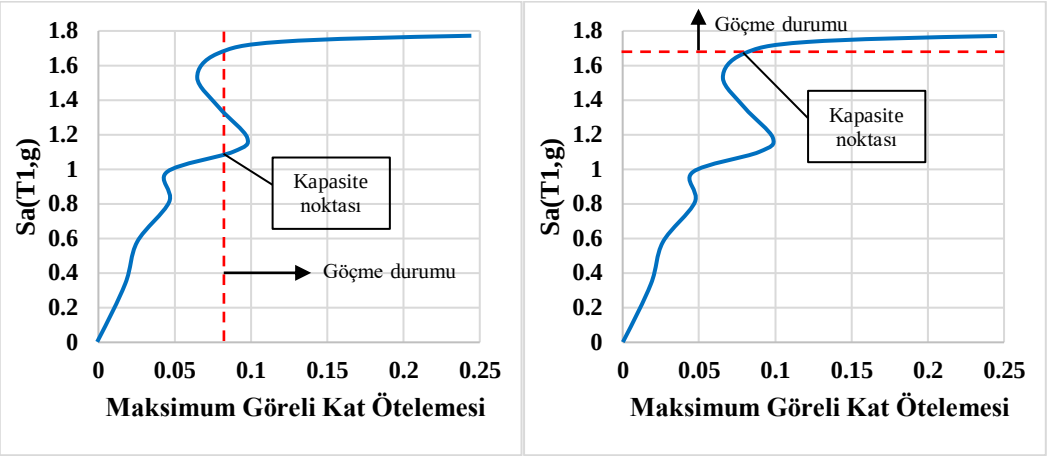
Ölçeklendirilmiş bir ivme kaydının (a_λ) şiddet ölçüsü, ölçeklenmemiş ivme kaydına bağlı olan (a_i) ve ölçek faktörü (λ) ile monoton olarak artan bir fonksiyon oluşturan, negatif olmayan, $\lambda \in [0, +\infty)$, bir skaler büyüklüktür [33].

• Hasar Ölçüsü

Hasar ölçüsü, yapısal modelin öngörülen sismik yüklemeye bağlı tepkisini gösteren, negatif olmayan bir skaler büyüklüktür [33]. Katlar arası en büyük göreli kat ötelemesi, maksimum taban kesme kuvveti gibi büyüklükler hasar ölçüsü değerlerine örnek olarak verilebilir. Elde edilen hasar ölçüsü büyükleri ile yapısal ve yapısal olmayan hasar durumları hakkında değerlendirme yapılabilir.

Artımsal dinamik analiz sonucunda artımsal dinamik analiz (ADA) eğrisi üretilir. ADA eğrisi, seçilen yer hareketi kaydına ve yapının davranışına göre değişkenlik göstermektedir. Bir yapı için farklı yer hareketi kayıtları altında farklı ADA eğrileri üretilir. ADA eğrisi yatay düz bir şekle sahip olduğunda veya belirlenen hasar ölçüsü limitine ulaştığından binanın göçtüğü veya dinamik olarak kararsız hale geldiği anlaşılır. Yapının göçme durumları Şekil 3.3'de örnek olarak gösterilmiştir. Bu şekle göre yapının 0.08 göreli kat ötelemesi değerinde veya 1.7g ivme değerinde

(eğrinin %20 eğimin altında düştüğü durumda) kapasite noktasına ulaştığı kabul edilmektedir ve yapı göçmektedir.



(a) (b)

Şekil 3.3 Örnek ADA eğrisi a) Hasar ölçüsü değerine göre kapasite noktası b) Şiddet ölçüsü değerine göre kapasite noktası

3.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

TBDY 2018'e göre bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılmaktadır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılmaktadır.

Artımsal dinamik analiz hesaplarında yukarıda detayları anlatıldığı şekilde deprem kayıtlarının, yapı elastik tasarım spektrumuna ölçeklenmesi ve deprem kayıtlarının artımsal olarak ölçeklenmesi olmak üzere iki adet ölçekleme yapılmaktadır.

3.4.1 Deprem Kayıtlarının Yapı Elastik Tasarım İvme Spektrumuna Ölçeklenmesi

Artımsal dinamik analiz hesabında kullanılmak üzere seçilen ivme kayıtları ilk olarak yapı elastik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilir. Ölçekleme yöntemi olarak TBDY 2018'e göre zaman tanım alanında hesaplarda kullanılmak üzere basit ölçeklendirme yöntemi ve spektral uyuşum sağlanacak şekilde dönüştürülmesi yöntemleri tanımlanmaktadır. Spektral uyuşum yönteminde dönüştürülen deprem

yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyotlar için tasarım spektrumu ordinatlarından daha küçük olmayacak şekilde ölçekleme yapılmaktadır.

3.4.2 Deprem Kayıtlarının Artımsal Olarak Ölçeklenmesi

Elastik tasarım ivme spektrumuna göre ölçekleme yapılarak elde edilen deprem kayıtlarının ivme spektrumları sıfırdan büyük olan bir ölçek katsayısı ile adım adım ölçeklendirilerek her bir adım için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yapılmaktadır.

3.5 Hasar Olasılık Eğrisi

Hasar olasılığı, yapıların I şiddetinde bir deprem etkisi gelmesi durumunda, çeşitli sınır durumlara ulaşma veya bu sınır durumları aşma olasılığını ifade etmektedir. Sınır durumlar göreli kat ötelemelerine, birim şekil değiştirmelere veya dönmelere göre tanımlanabilirken, deprem büyüklükleri olarak da elastik spektral yerdeğiştirme (S_{de}), elastik spektral hız (S_{ve}), elastik spektral ivme (S_{ae}), en büyük yer yerdeğiştirmesi (PGD), en büyük yer hızı (PGV) ya da en büyük yer ivmesi (PGA) kullanılabilir.

Hasar olasılık eğrisi, tanımlanan bir spektral ivme veya spektral deplasman altında yapısal ve yapısal olmayan hasar durumlarına ulaşma ve aşma ihtimalini tanımlayan lognormal bir fonksiyondur. Hasar olasılığından elde edilen veriler ile yapının yapısal ve yapısal olmayan hasarların miktarlarının ve sismik performansları tahmin edilebilir. Hasar olasılığı matemetiksel olarak Denklem (3.1) ile ifade edilebilir.

$$P\left(R_j \geq R_{LSj} \middle| I = i\right) \tag{3.1}$$

Bu denklemde R_j yapının tepkisini, R_{LSj} sınır durumu, I depremin şiddetine ile ilgili bir ölçüsünü (PGA, PGV vb.) ve i ise depremin şiddeti ile ilgili ölçüsünün büyüklüğünü ifade etmektedir.

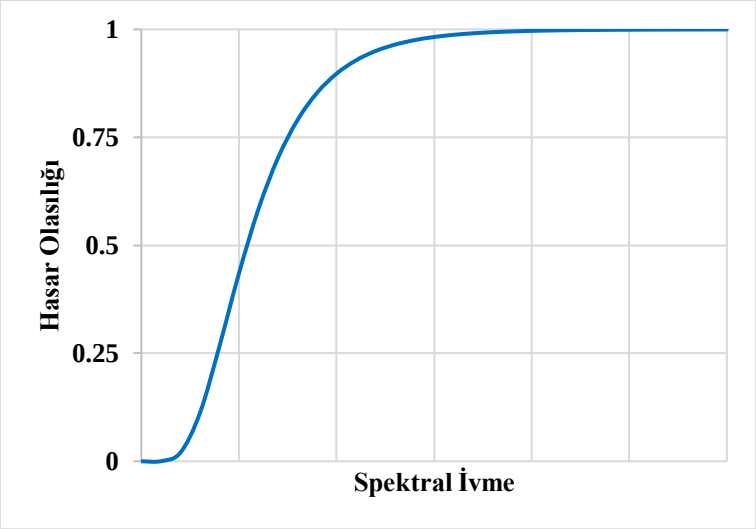
3.5.1 Lognormal Dağılım

Artımsal dinamik analizlerinden elde edilen veriler istatistiksel yöntemler kullanılarak birleştirilmekte ve elde edilen veriler ile hasar olasılık eğrileri oluşturulabilmektedir. Hasar olasılık eğrileri oluşturmak için kullanılan bu veriler

lognormal olarak dağılım göstermektedir. Lognormal dağılım eğrisinin fonksiyonu Denklem (3.2) ile oluşturulur.

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{3.2}$$

Denklemden de görüleceği üzere lognormal dağılım fonksiyonu verilerin ortalamasına ve standart sapmasına bağlıdır. Şekil 3.4'te tipik bir hasar olasılık eğrisi gösterilmiştir. Bu eğrinin apsis değeri depremin büyüklüğüne ilişkin değerleri göstermekte, ordinat değeri ise bu büyüklüğe bağlı olarak belirlenen sınır durumun aşılma olasılığı göstermektedir.



Şekil 3.4 Tipik hasar olasılık eğrisi

3.6 Sismik Rezilyans

Ülkemizde depremler büyük miktarlarda can ve mal kayıplarına sebep olabilen en önemli doğal afetlerden bir tanesidir. Gerekli önlemler alınmaması durumunda, ülkemizde meydana gelen depremler sonucunda, can ve mal kaybının çok büyük miktarlarda olduğu görülmüştür. Bu nedenle toplumun teknik, organizasyonel, sosyal ve ekonomik durumunda ani ve beklenmedik değişikliğe neden olan bu afete hazırlıklı olma ve kısa sürede toparlanma gerekliliği vurgulanmaya başlanmıştır. Risk azaltma, hasar görebilirlik, toparlanma ve dayanıklılık kavramları depremle ilgili anahtar kelimeler olup bu kavramların niceliksel değerlendirmesinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Bir deprem sonucunda toplum, yaşamını sürdürmek için acil yardıma, kaynaklara ve kısa sürede toparlanmak için çabaya ihtiyaç duymaktadır.

Rezilyans, sözlüğe göre bir şok, hareket veya rahatsızlıktan kurtulma yeteneği anlamına gelir ve terimin kökü, latincede "geri sıçramak" anlamına gelen "resilio" sözcüğünden gelir [1]. Sismik rezilyans hasar miktarını, dayanıklılığı, afet sonrası binanın afet öncesi fonksiyonuna ulaşmasını yani toparlanmasını içeren genel bir tanımdır. Afet dirençli toplum inşa etme fikri ile birlikte rezilyansı ölçmek için yöntemler geliştirilmiştir. Afet dirençli toplum doğal veya insan kaynaklı aşırı bir olaya tolere edilebilir bir kayıp seviyesi ile dayanabilen bu koruma seviyesine ulaşmakla tutarlı hafifletme eylemleri gerçekleştirebilen bir toplumdur [1].

Rezilyans sayısal olarak ifade etmek gerekirse belirli bir bina, köprü, yaşam hattı ağları veya topluluk için, genellikle mal sahipleri veya toplum tarafından karar verilen kontrol süresi (T_{LC}) olarak tanımlanan bir süre boyunca (genellikle yaşam döngüsü, sistemin ömrü vb.) bir işlevsellik veya performans düzeyini sürdürme yeteneğini gösteren bir fonksiyon olarak tanımlanabilir.

Bir yapının, bir altyapı sisteminin (su temini, elektrik, hastane binası vb.) veya bir topluluğun işlevselliğini, orjinali ile aynı, ona yakın veya daha iyi çalışabilecek veya işlev görebilecek istenen bir seviyeye getirmek için gerekli süreye iyileşme, restorasyon veya toparlanma süresi (T_{RE}) olarak tanımlanmaktadır.

Yapının iyileşme süresi (T_{RE}) kontrol süresinden (T_{LC}) daha küçüktür ve deprem sonrası sermaye, malzeme ve işgücü gibi kaynaklara bağlı olduğundan tahmin edilmesi zor bir niceliktir.

Rezilyans grafiksel olarak Q(t) olarak tanımlanan, bir sistemin işlevsellik fonksiyonunun altındaki normalleştirilmiş taralı alan olarak tanımlanır ve Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Q(t) sabit olmayan stokastik bir süreçtir ve aşağıdaki denklemde de gösterildiği gibi her bir parçası sürekli fonksiyondur. Q(t) işlevsellik fonksiyonu zamanın birimsiz (yüzde) fonksiyonu olarak ölçülür. Rezilyans Denklem (3.3) ile ifade edilir.

$$Rezilyans = \int_{T_{OE}}^{T_{OE}+T_{LC}} \frac{Q(t)}{T_{LC}} dt \tag{3.3}$$

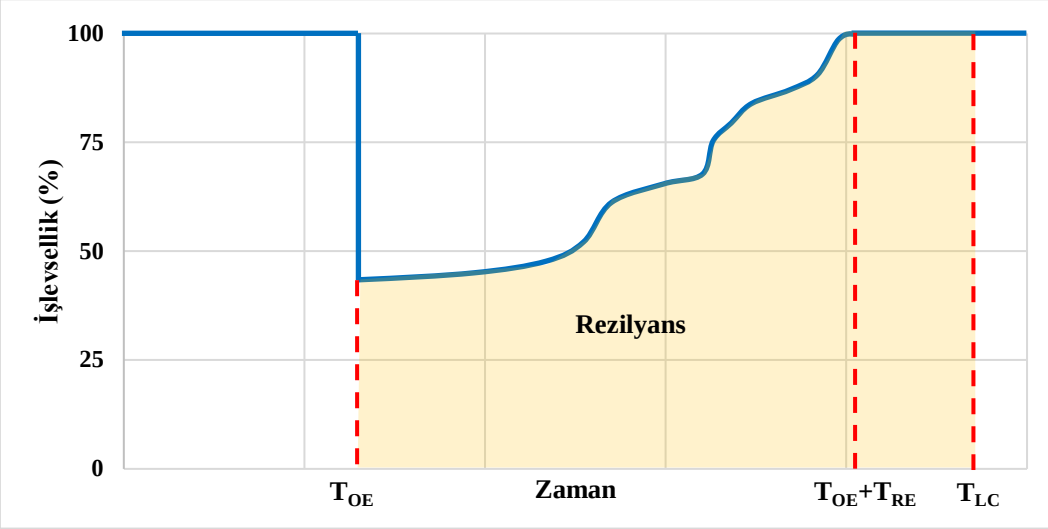
İşlevsellik fonksiyonu Denklem (3.4) ile ifade edilir.

$$Q(t) = [1 - L(I, T_{RE})][H(t - T_{OE}) - H(t - (T_{OE} + T_{RE}))] \times f_{REC}(t, T_{OE}, T_{RE}) \tag{3.4}$$

Bu denklemde $L(I, T_{RE})$ kayıp fonksiyonunu, $f_{REC}(t, T_{OE}, T_{RE})$ iyileşme fonksiyonunu ve $H(\mathrm{x})$ Heaviside basamak fonksiyonunu, T_{OE} depremin meydana geldiği anı ifade etmektedir.

Heaviside basamak fonksiyonu Denklem (3.5) ile gösterilebilir.

$$H(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \tag{3.5}$$



Şekil 3.5 İşlevsellik eğrisi

Bir sistemin rezilyansının artmasını veya azalmasını sağlayan özelliklerini tanımlamak için dört ölçüt belirlenmiştir. Bunlar hızlılık, sağlamlık, fazlalık ve becerikliliktir. Hızlılık ve sağlamlık, fazlalık ve beceriklilik ile geliştirilebilir. Yani fazlalık ve beceriklilik rezilyans için araç, hızlılık ve sağlamlık rezilyans için sonuç olarak tanımlanabilir. Fazlalığın ve becerikliliğin artması, iyileşme eğilimini ve süresini ve dolayısı ile hızlılığı ve sağlamlığı arttırmaktadır.

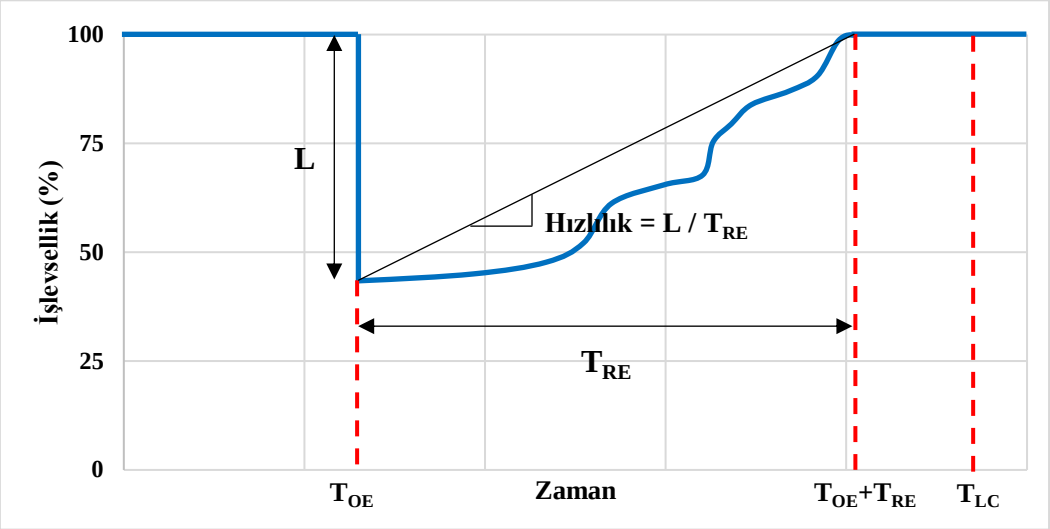
- Hızlılık

Hızlılık deprem sonrası oluşan kayıpları kontrol altına alarak, deprem önceki işlevselliğe veya deprem öncesi işlevselliğe yakın bir işlevselliğe ulaşma hızını tarif etmektedir. Matematiksel olarak iyileşme süresi boyunca işlevsellik eğrisinin eğimini temsil etmektedir. Hızlılığın matematiksel ifadesi Denklem (3.6) ile gösterilebilir.

$$Hızlılık = \frac{dQ(t)}{dt} \quad [yüzde/zaman] \qquad T_{OE} \leq t \leq T_{OE} + T_{RE} \tag{3.6}$$

L deprem sonrası kayıp veya işlevsellikteki düşüşü ifade etmek kaydı ile ortalama hızlılığı Denklem (3.7) ile ifade edebiliriz. Ortalama hızlılığın işlevsellik eğrisi üzerindeki tanımı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

$$Hızlılık = \frac{L}{T_{RE}} \quad [yüzde/zaman] \tag{3.7}$$

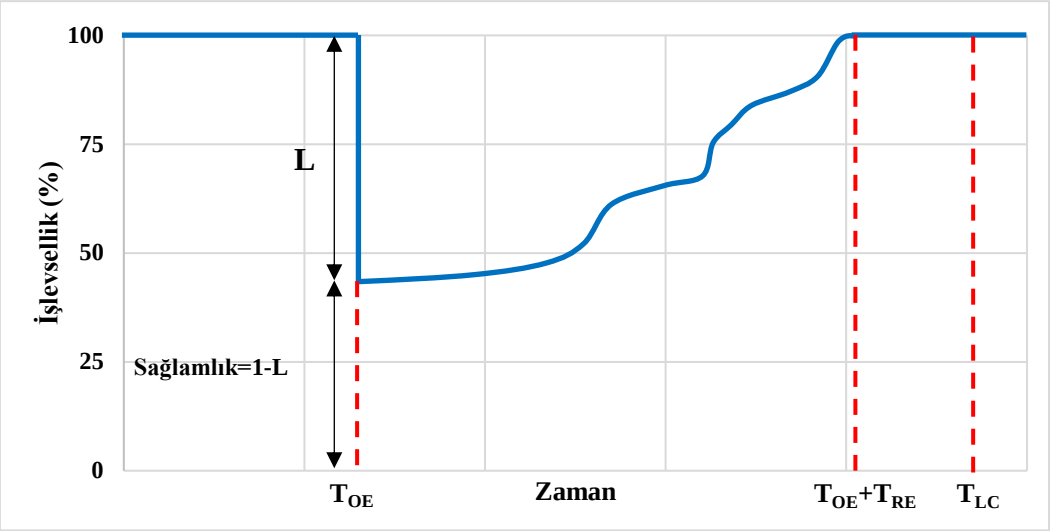


Şekil 3.6 Ortalama hızlılığın işlevsellik eğrisi üzerindeki gösterimi

- Sağlamlık

Sağlamlık yapının deprem sonrası kalan işlevselliğine verilen isimdir. Bu ölçüt mühendislik ile ilgili bir ölçüt olup, yapının, yapıya ait elemanların, işlev kaybına uğramadan dayanma kabiliyetlerini ifade etmektedir. Matematiksel olarak Denklem (3.8) ile ifade edilebilir. Sağlamlığın işlevsellik eğrisi üzerindeki tanımı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

$$Sağlamlık = 1 - L \ [yüzde] \tag{3.8}$$



Şekil 3.7 Sağlamlığın işlevsellik eğrisi üzerindeki gösterimi

- Fazlalık

Sismik rezilyans açısından herhangi bir yapıda yapısal olarak fazlalık, yapıda bir elemanın işlevselliğinin bozulması veya kaybolması durumunda, deprem etkisinden kaynaklı yatay kuvvetleri taşıyabilecek alternatif elemanlara sahip olmak olarak tanımlanabilir. Fazlalıkların çok olması durumunda yapının işlevselliğindeki düşüş az olacak ve bu şekilde yapının sismik rezilyansı daha fazla olacaktır.

- Beceriklilik

Deprem sonrası yapıda azalan işlevselliğin hangi nedenlerden dolayı bozulduğunu tespit etme, sorunları belirleme, iyileşme için kullanılacak kaynakları harekete geçirme kapasitesinin tanımıdır. Bu ölçülmesi zor bir özelliktir. Çünkü insan becerilerine ve deprem sonrası duruma bağlıdır. Bu ölçütün ölçülmesi zor ve insan kaynaklı olması ve fazlalığın ölçülebilirliğinin olması sebebi ile fazlalığın arttırılması daha çok vurgulanmaktadır.

3.6.1 Kayıp Fonksiyonu

Deprem sonrası kayıpların miktarı doğal olarak oldukça belirsiz ve karmaşık olmaktadır. Her bir depreme göre değişkenlik göstermektedir. Deprem sonrası kayıplar, kayıp fonksiyonu $L(I, T_{RE})$ ile ifade edilebilir. Kayıp fonksiyonu depremin büyüklüğüne (I) ve iyileşme süresine (T_{RE}) bağlıdır. Deprem sonrası toplam kayıp, deprem anında meydana gelen doğrudan kayıpların (L_D) ve zamana bağlı olarak meydana gelen dolaylı kayıpların, (L_I) toplamından oluşmaktadır. Her

bir kayıp da iki alt grup olarak tanımlanabilir. Bunlar ekonomik kayıplar (L_E) ve ölüme bağlı kayıplardır (L_C). Dolayısı ile deprem sonrası kayıp, doğrudan ekonomik kayıplar (L_{DE}), doğrudan can kayıpları (L_{DC}), dolaylı ekonomik kayıplar (L_{IE}) ve dolaylı can kayıpları (L_{DC}) olmak üzere dört farklı kaybın toplamı olarak Denklem (3.9) ile ifade edilebilir. Bu dört kayıp türü aşağıda açıklanmıştır.

$$\begin{aligned} L(I, T_{RE}) &= L_D(I) + \alpha_I L_I(I, T_{RE}) \\ L_D(I) &= L_{DE}^{\alpha_{DE}} \cdot (1 + \alpha_{DC} L_{DC}) \\ L_I(I, T_{RE}) &= L_{IE}^{\alpha_{IE}} \cdot (1 + \alpha_{IC} L_{IC}) \end{aligned} \tag{3.9}$$

Bu denklemde α_I yapının diğer yapılar için önemini ifade eden dolaylı kayıplarla ilgili faktörünü, α_{DE} ekonomik açıdan inşaat kayıpları ile ilgili ağırlık faktörünü, α_{IE} iş kesintisi, taşınma masrafları, kira geliri kayıpları vb. ile ilgili ağırlık faktörünü ve α_{DC} ve α_{IC} ise binanın kullanım niteliğine bağlı ağırlık faktörünü ifade etmektedir.

- **Doğrudan ekonomik kayıplar, $L_{DE}(I)$**

Doğrudan ekonomik kayıplar yapısal ve yapısal olmayan fiziksel kayıpları içermektedir. Yapının taşıyıcı sistemi, kolonları, kirişleri, perdeleri yapısal elemanlara örnek olarak; asma tavanları, asansörleri, mekanik ve elektrik tesisatları, pencereleri vb. yapısal olmayan elemanlara örnek olarak verilebilir. Yapısal ve yapısal olmayan yapı elemanı, K için doğrudan ekonomik kayıp, onarım ve yenileme maliyetinin oranı olarak Denklem (3.10) ile ifade edilmektedir.

$$L_{DE,K}(I) = \sum_{j=1}^{n} \left[\frac{C_{S,j}}{I_S} \cdot \prod_{i=1}^{T_i} \frac{(1+\delta_i)}{(1+r_i)} \right] \cdot P_j \left\{ \bigcup_{i=1}^{n} (R_i \geq r_{\lim i}) \mid I \right\} \tag{3.10}$$

Bu denklemde P_j, I olayının meydana gelmesi durumunda j sınır durumunu aşma olasılığı, bir başka ifade ile hasar olasılığı olarak tanımlanmaktadır. $C_{S,j}$, j sınır durumunu oluşan hasarın onarım maliyetini ve I_S yenileme maliyetini ifade etmektedir. T_i yıl cinsinden ilk yapım ile deprem olayının meydana geldiği an arasındaki zamanı ifade etmektedir. δ_i yıllık amortisman oranını ve r_i ise yıllık değerlenme oranını ifade etmektedir. Toplam doğrudan ekonomik kayıp oranı W_K yapıdaki yapısal veya yapısal olmayan her elemanın önem bakımından ağırlık faktörü olmak üzere Denklem (3.11) ile hesaplanmaktadır.

$$L_{DE}(I) = \frac{\left(\sum_{k=1}^{N} W_K \cdot L_{DE,K}(I)\right)}{N} \tag{3.11}$$

Bu denklemde N binadaki toplam yapısal ve yapısal olmayan eleman sayısını göstermektedir. Hastane gibi yapısal olmayan özel elemanların bulunduğu binalarda yapısal olmayan doğrudan ekonomik kayıplar, yapısal doğrudan ekonomik kayıplardan daha fazla olabilmektedir.

- **Doğrudan can kayıpları, $L_{DC}(I)$**

N_{in} toplam ölü ve yaralı sayısı, N_{tot} binada yaşayan toplam bina sakini sayısı olmak üzere doğrudan can kaybı Denklem (3.12) ile ifade edilmektedir.

$$L_{DC}(I) = \frac{N_{in}}{N_{tot}} \tag{3.12}$$

- **Dolaylı ekonomik kayıplar, $L_{IE}(I, T_{RE})$**

Dolaylı ekonomik kayıplar zamana bağlı kayıplardır. Deprem sonrası farklı şekillerde gerçekleşme ihtimali olduğundan sayısallaştırılması en zor olan kayıp türüdür. İş kesintileri, taşınma masrafları, kira gelirleri, üretimin yavaşlaması veya durması vb. kayıpla dolaylı ekonomik kayıplara örnek olarak verilebilir. Dolaylı ekonomik kayıplar doğrudan ekonomik kaybın bir sonucu olarak ortaya çıkar ve iyileşme sürecinin uzaması bu kaybın artmasına sebep olmaktadır. Örneğin bir fabrika binasının hasar görmesi doğrudan ekonomik kayıplara, fabrikanın üretimindeki yavaşlama veya durması dolaylı ekonomik kayıplara yol açmaktadır. İyileşme süresinin uzun sürmesi gibi sebeplerden dolayı dolaylı ekonomik kayıplar doğrudan kayıplardan fazla bile olabilir.

- **Dolaylı can kayıpları, $L_{IC}(I, T_{RE})$**

Bu kayba örnek olarak, deprem sonrası hastane binasının işlevselliğinin azalması ve durması sebebi ile deprem sonrası insanların yaralanması ve ölmesi sonucu oluşan kayıp verilebilir. N_{ins} işlevsizliğe bağlı ölü ve yaralı sayısı, N_{tot} binada yaşayan toplam bina sakini sayısı olmak üzere dolaylı can kaybı Denklem (3.13) ile ifade edilmektedir.

$$L_{DC}(I) = \frac{N_{ins}}{N_{tot}} \tag{3.13}$$

3.6.2 İyileşme Fonksiyonu

İyileşme fonksiyonu iyileşme süresi (T_{RE}) boyunca işlevsellik eğrisinin formunu belirleyen fonksiyondur ve sismik rezilyansın değerlendirilmesinde önemli bir husustur. Deprem sonrası yapının iyileşme sonrası deprem öncesi işlevselliğine gelmesi beklenir. Ancak deprem sonrası işlevsellik mevcutta var olan sorunların düzeltilmesi ile birlikte deprem öncesi işlevselliğin üzerine çıkabildiği gibi kalıcı kayıplar yaşayarak deprem öncesi işlevselliğin altına da düşebilir.

İyileşme süreci aynı toplumdaki farklı coğrafi bölgeler arasında farklılıklar göstermekte, farklı iyileşme oranları ve kalitesi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle hesaplanması zor bir işlemdir.

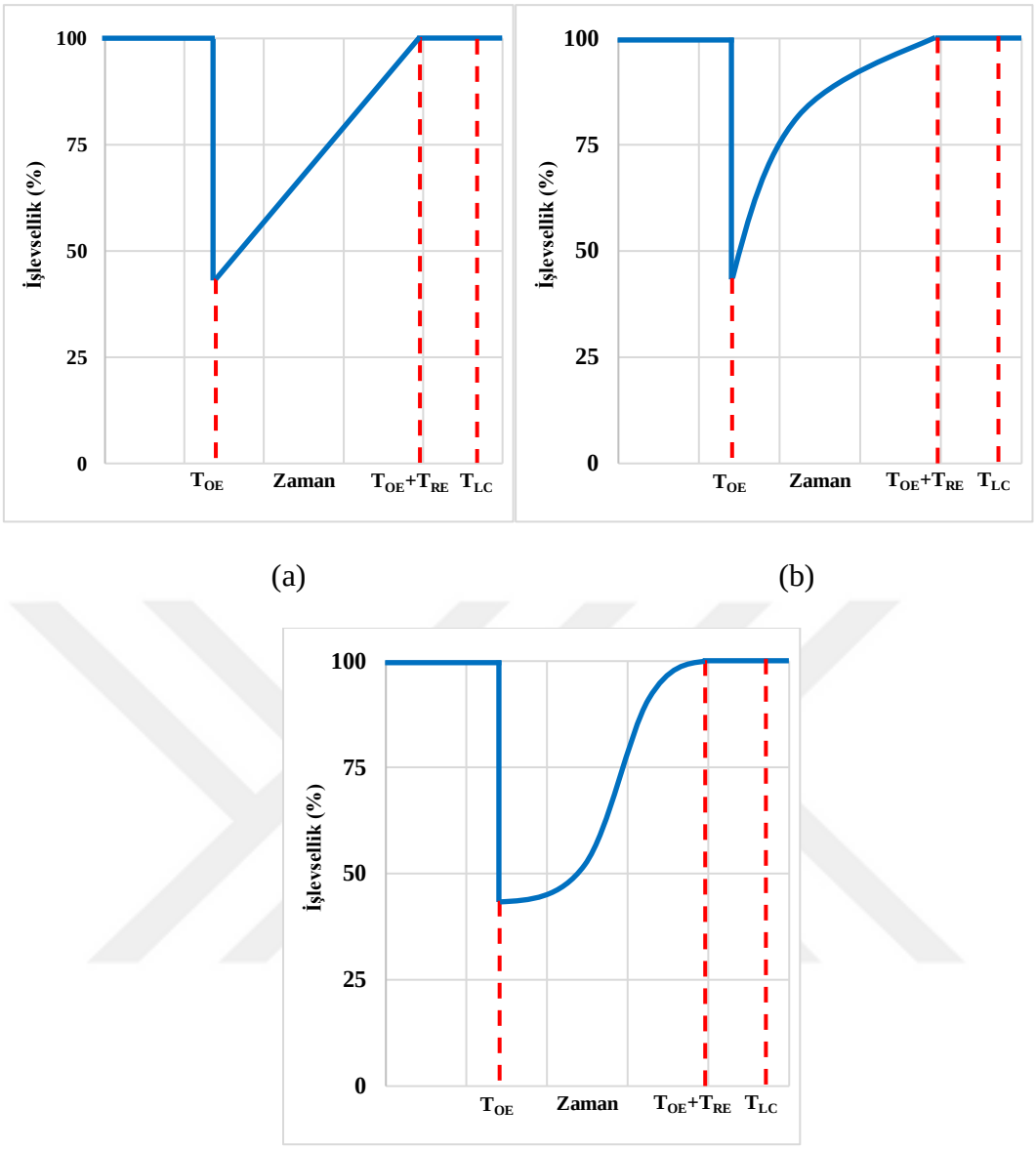
Yapının iyileşmesi için kullanılacak kaynakların hazır olmasına bağlı olarak kullanılabilecek üç olası iyileşme fonksiyonu lineer, eksponensiyel ve trigonometrik formülasyonlar için sırası ile Denklem (3.14), (3.15) ve (3.16)'da gösterilmiştir. Bu denklemde a ve b mevcut kaynakların durumuna göre belirlenen sabit değerlerdir.

$$Lineer\ fonksiyon: f_{REC}(t) = 1 - \left[a\left(\frac{t - T_{OE}}{T_{RE}}\right) + b\right] \tag{3.14}$$

$$Eksponensiyel\ fonksiyon: f_{REC}(t) = a \cdot exp\left[\frac{-b(t - T_{OE})}{T_{RE}}\right] \tag{3.15}$$

$$Trigonometrik\ fonksiyon: f_{REC}(t) = \frac{a}{2}\left(1 + COS\left[\frac{\pi b(t - T_{OE})}{T_{RE}}\right]\right) \tag{3.16}$$

Genelde mevcut kaynaklar hakkında hiçbir fikir olmadığı durumda lineer iyileşme fonksiyonu kullanılır. Eksponensiyel iyileşme fonksiyonu depremden hemen sonra hızlı bir kaynak girişi ile iyileşmenin olduğu ve sürecin sonuna yaklaştıkça iyileşme hızının azaldığı iyileşme durumunu tanımlamaktadır. Trigonometrik iyileşme fonksiyonu ise sürecin başında kaynak girişinin az olduğu, ancak süreç ilerlerken kaynak girişlerinin hızlanması ile iyileşme hızının arttığı iyileşme durumunu tanımlamaktadır. Farklı iyileşme fonksiyonlarına işlevsellik eğrisi çizimleri Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



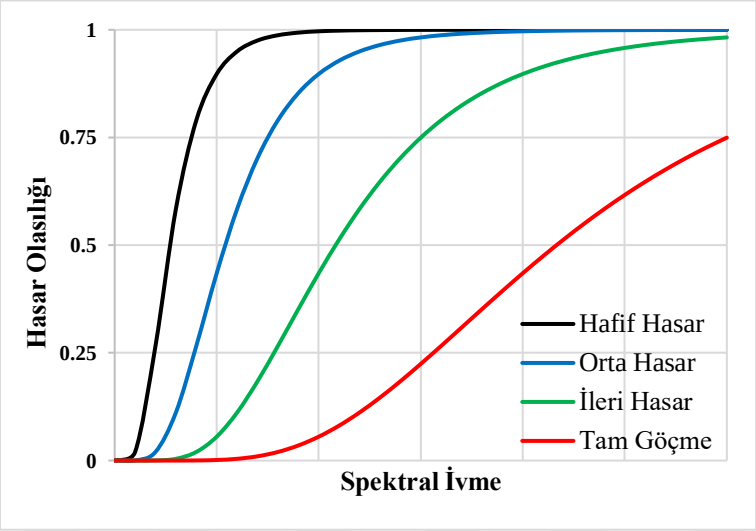
Şekil 3.8 İyileşme fonksiyonlarına ait işlevsellik eğrileri a)Lineer b)Eksponensiyel c)Trigonometrik

3.6.3 HAZUS Yazılımı

Deprem sonrası kayıp miktarlarının ve iyileşme sürelerinin belirlenmesi oldukça karmaşık ve zor bir süreçtir. Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (FEMA) deprem, tsunami, sel ve kasırgalara maruz kalan alanlardaki bina ve altyapı kayıplarını tahmin etmek amacıyla HAZUS (Hazard United States) [34] yazılımı geliştirmiştir. Bu yazılım ulusal olarak kullanılabilen bir yazılımdır. Yazılımın içeriği farklı tipte ve kullanım amacındaki birçok yapının farklı doğal afetler sonrası kayıp

tahminlerini içermektedir. Bu çalışmada sadece konut amaçlı kullanılan binaların deprem kaynaklı doğrudan kayıplarının ve iyileşme süreçlerinin belirlenmesi kısmına değinilecektir.

HAZUS yazılımına göre yapılar için dört hasar durumu belirlenmiştir. Bunlar hafif (S), orta (M), ileri (E) ve göçme (C) hasar durumlarıdır. Bu hasar durumlarının hasar olasılık eğrisi üzerinde gösterimi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Hafif, orta, ileri ve göçme durumlarının hasar olasılık eğrisi üzerinde gösterimi

HAZUS yazılımında betonarme çerçeve sistemlerde, bazı kiriş ve kolonlarda, birleşim yerlerinin yakınında veya birleşim yerlerinde eğilme veya kayma tipi kılcal çatlakların oluşumu hafif hasar olarak tanımlanmaktadır. Kirişlerde ve kolonlarda kılcal çatlakların görülmesi, sünek çerçevelerde bazı çerçeve elemanlarında büyük eğilme çatlaklarının ve bir miktar beton dökülmesinin görülmesi ve akma kapasitesine ulaşması ve sünek olmayan çerçevelerde büyük kesme çatlaklarının ve beton dökülmelerinin görülmesi durumu orta hasar olarak tanımlanmaktadır. Sünek olan çerçeve elemanlarından bazılarında büyük eğilme çatlakları, dökülmüş beton ve burkulmuş ana donatı bulunması, sünek olmayan elemanlarda kısmi çökmelerin olması durumu ileri hasar olarak tanımlanmaktadır. Yapının çökmeye yakın olması veya çökmesi durumu göçme olarak tanımlanmaktadır.

Betonarme perdeli sistemde, betonarme perdelerin çoğunun yüzeyinde çapraz kılcal çatlaklar, birkaç yerde küçük beton dökülmesi oluşması durumu hafif hasar olarak tanımlanmaktadır. Çoğu betonarme perde duvar yüzeyinde çapraz çatlakların görülmesi, bazı betonarme perde duvarlarda, daha büyük diyagonal

çatlakların ve duvar uçlarında beton dökülmelerinin görülmesi durumu, bazı donatılarda akma kapasitesine ulaşılması durumu orta hasar olarak tanımlanmaktadır. Betonarme perde duvarların çoğunun akma kapasitelerini aşması, bazı betonarme perdelerde duvar boyunca uzanan geniş çapraz çatlakların oluşması, çatlakların etrafındaki geniş çaplı dökülmelerin olması, yatay yüklere dayanacak şekilde tasarlanmamış sünek olmayan kolonların göçmesi nedeniyle kısmi göçme meydana gelmesi durumu ileri hasar olarak tanımlanmaktadır. Betonarme perde duvarların çoğunun ve bazı kritik kiriş veya kolonların yıkılması nedeniyle yapının çökmüş veya çökme tehlikesiyle karşı karşıya kalması durumu göçme olarak tanımlanmaktadır.

Yazılımda yapılar, kullanım amaçlarına, yüksekliklerine, yapımında kullanılan malzemeye göre sınıflandırılmaktadır. Betonarme binalar ve farklı yükseklikler için yapı sınıflandırması Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Yazılım her bir hasar durumunu, göreli kat ötelemesi limitinin karşılığı olarak tanımlamakta ve bu limitin aşılması durumunda o hasarın meydana geldiğini kabul etmektedir. Süneklik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanmış yapıların göreli kat ötelemesi limiti Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 HAZUS Yazılımı Yapı Sınıfları

Yapı Sınıfı	Tanımı	Yükseklik Tanımı	Kat Sayısı
C1L	Betonarme çerçeve sistem	Az katlı	1-3
C1M		Orta katlı	4-7
C1H		Yüksek katlı	8+
C2L	Betonarme perde sistem	Az katlı	1-3
C2M		Orta katlı	4-7
C2H		Yüksek katlı	8+

Yapılar kullanım amacı veya doluluk oranına göre sınıflandırması ve onarım maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranı Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Bu tablo kullanım amacı konut olarak kullanılan yapıları içermektedir.

Tablo 3.2 HAZUS yazılımına göre hasar durumuna karşılık gelen göreli kat ötelemeleri

Yapı Sınıfı	Hasar durumuna karşılık gelen göreli kat ötelesi değeri			
	Hafif	**Orta**	**İleri**	**Göçme**
C1L	0.0050	0.0100	0.0300	0.0800
C1M	0.0033	0.0067	0.0200	0.0533
C1H	0.0025	0.0050	0.0150	0.0400
C2L	0.0040	0.0100	0.0300	0.0800
C2M	0.0027	0.0067	0.0200	0.0533
C2H	0.0020	0.0050	0.0150	0.0400

Tablo 3.3 HAZUS yazılımına göre yapıların kullanım sınıfına göre sınıflandırılması ve maliyet oranları

Yapı Sınıfı	Kullanım sınıfı	Onarım maliyeti / Yenileme Maliyeti (r_K) (%)			
		Hafif	**Orta**	**İleri**	**Göçme**
RES1	Müstakil konut	2	10	44.7	100
RES2	Taşınabilir konut	2	10	37.5	100
RES3	Apartman	2	10	41.3	100
RES4	Otel	2	10	41.4	100
RES5	Yurt	2	10	41.8	100
RES6	Bakım evleri	2	10	41.8	100

Doğrudan kayıp miktarı hasar olasılık eğrileri ve onarım/yenileme maliyeti oranı kullanılarak Denklem (3.17), (3.18), (3.19), (3.20), (3.21) ile hesaplanabilir. Bu denklemlerde K hasar durumunu temsil etmektedir.

$$L_D = \sum P_E(DS = K) \times r_K \tag{3.17}$$

$$P(DS = S) = P(DS = S) - P(DS = M) \tag{3.18}$$

$$P(DS = M) = P(DS = M) - P(DS = E) \tag{3.19}$$

$$P(DS = E) = P(DS = E) - P(DS = C) \quad (3.20)$$

$$P(DS = C) = P(DS = C) \quad (3.21)$$

HAZUS yazılımına göre tahmini iyileşme süresi Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4 HAZUS yazılımına iyileşme süreleri

Yapı Sınıfı	**Kullanım sınıfı**	**İyileşme süresi (gün)**			
		Hafif	**Orta**	**İleri**	**Göçme**
RES1	Müstakil konut	2	20	90	180
RES2	Taşınabilir konut	2	10	30	60
RES3	Apartman	5	30	120	240
RES4	Otel	5	30	120	240
RES5	Yurt	5	30	120	240
RES6	Bakım evleri	5	30	120	240

4
SAYISAL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

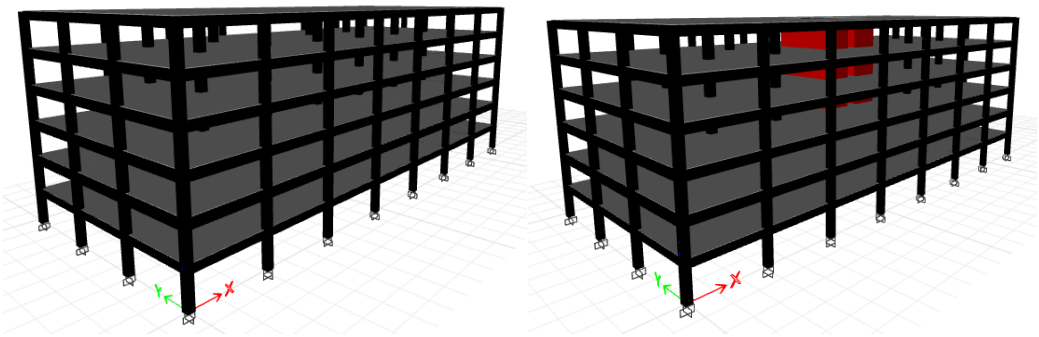
4.1 Yapı Özellikleri

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemi biri birinden farklı 3 tip, 6 katlı süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme betonarme yapılar dikkate alınmıştır. Birinci yapının taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşmaktadır ve TBDY 2018'e göre deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar sınıfına girmektedir. Bu yapı "Tip 1 Bina" olarak isimlendirilmiştir. İkinci yapı betonarme perde ve betonarme çerçevelerden oluşmaktadır ve TBDY 2018'e göre deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar sınıfına girmektedir. Bu bina "Tip 2 Bina" olarak isimlendirilmiştir. Üçüncü bina taşıyıcı sistemi betonarme perde ve betonarme kolonlardan oluşmaktadır ve TBDY 2018'e göre deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar sınıfına girmektedir. Bu bina "Tip 3 Bina" olarak isimlendirilmiştir.

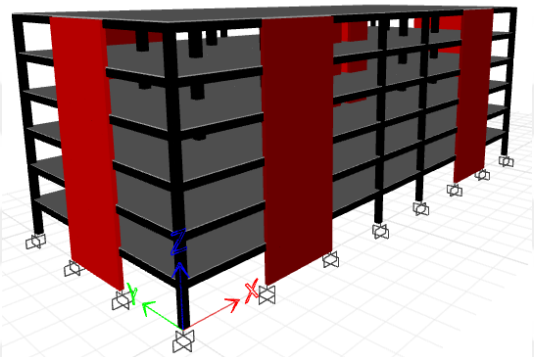
Yapılar, TBDY 2018'de belirtilen hususlar dikkate alınarak modellenmiş ve tasarlanmıştır. Yapıların plandaki boyutları uzun doğrultuda 56.40 m ve kısa doğrultuda 26.40 m'dir. Yapı aks açıklıkları her iki doğrultuda 8 m'dir. Kat yükseklikleri 3.5 m'dir. Yapıların 41.041305 derece enlem, 28.83714 derece boylam koordinatlarında inşa edileceği ve zemin sınıfının TBDY 2018 bölüm 16.4 tanımlanan ZC zemin sınıfı olduğu kabul edilmiştir. Yapıların kullanım tipi konut olup TBDY 2018'de tanımlanan olan DD-2 deprem yer hareketi (50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi) etkisine göre tasarlanmıştır. Yapılara ait statik kalıp planları Şekil 4.2'de ve yapılara ait 3 boyutlu görseller Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tüm yapılar için beton sınıfı karakteristik basınç dayanımı 35 MPa olan C35/45 beton ve donatı çeliği sınıfı olarak karakteristik çekme dayanımı 420 MPa olan B420C donatı seçilmiştir. Yapılar konut olarak tasarlandığından hareketli yük kütle

katılım katsayısı TBDY 2018 Tablo 4.3'de konutlar için tanımlanan 0.3 katsayısı seçilmiştir.

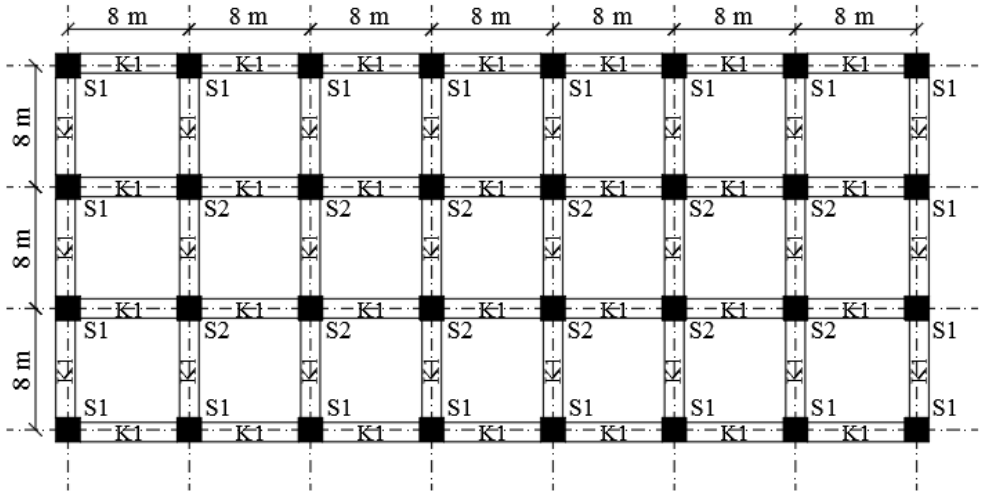


(a) (b)

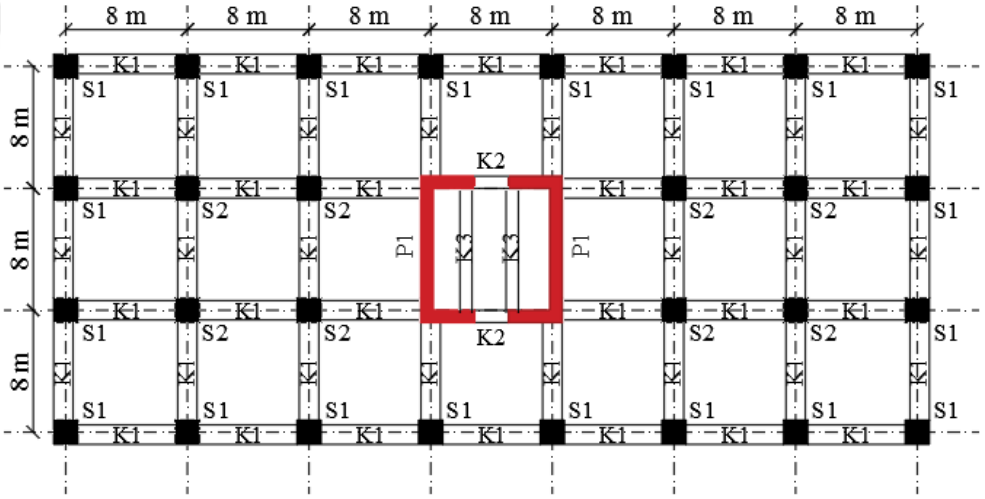


(c)

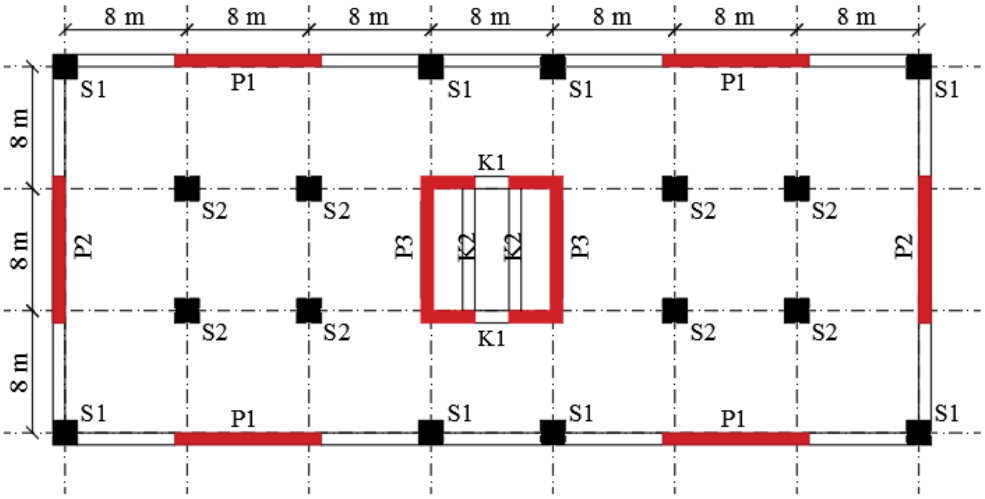
Şekil 4.1 Yapıların 3d görüntüsü a) Tip 1 Bina b) Tip 2 Bina c) Tip 3 Bina



(a)



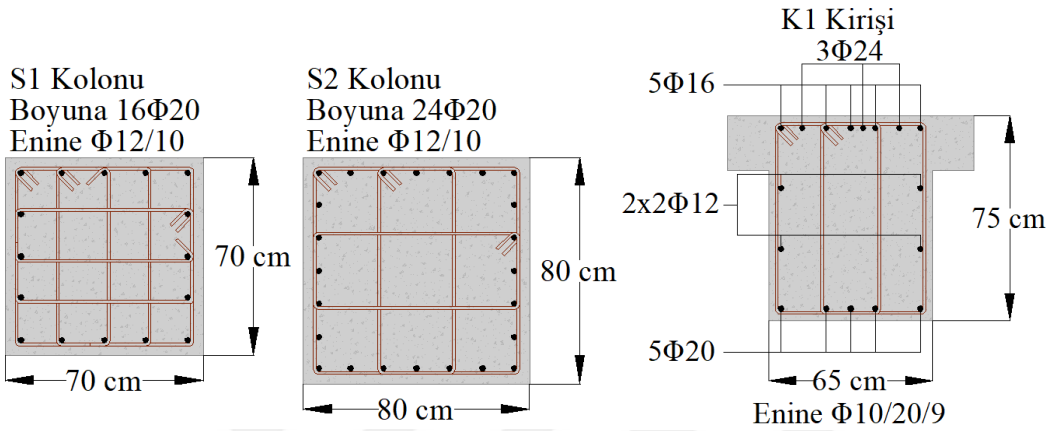
(b)



(c)

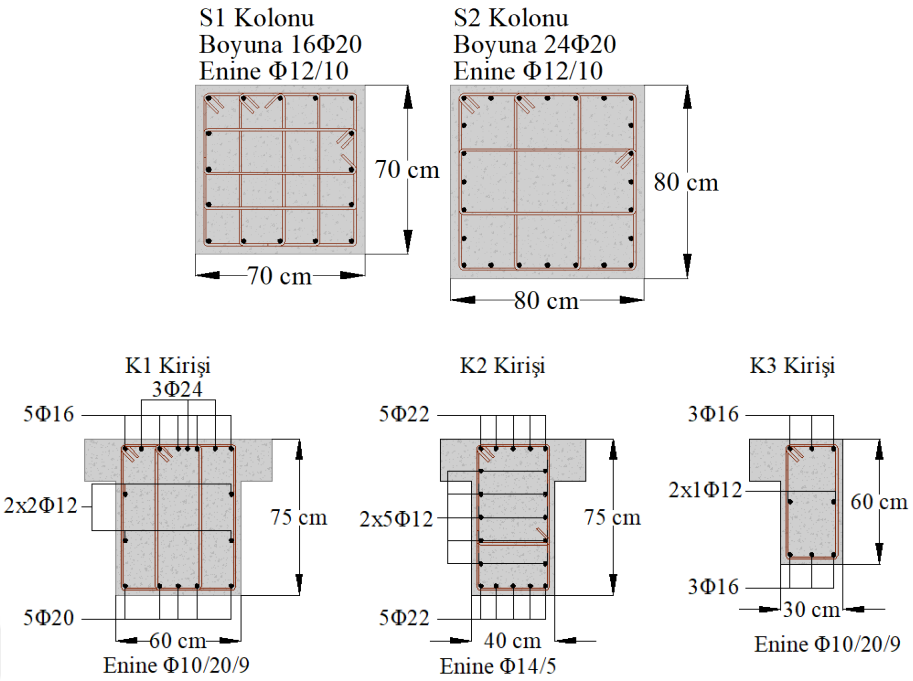
Şekil 4.2 Statik kalıp planları a) Tip 1 Bina b) Tip 2 Bina c) Tip 3 Bina

Tip 1 binada kenar ve köşe kolonların boyutları 70x70 cm ve orta kolonların boyutları 80x80 cm olarak tasarlanmıştır. Kiriş boyutları 60x75 cm olarak tasarlanmıştır. Kolon ve kiriş kesitleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Tasarımda taşıyıcı sistem davranış katsayısı TBDY 2018 Tablo 4.1'de tanımlanan, deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerle karşılandığı binalara karşılık gelen, 8 katsayısı seçilmiştir. Tip 1 binaya ait yapı özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

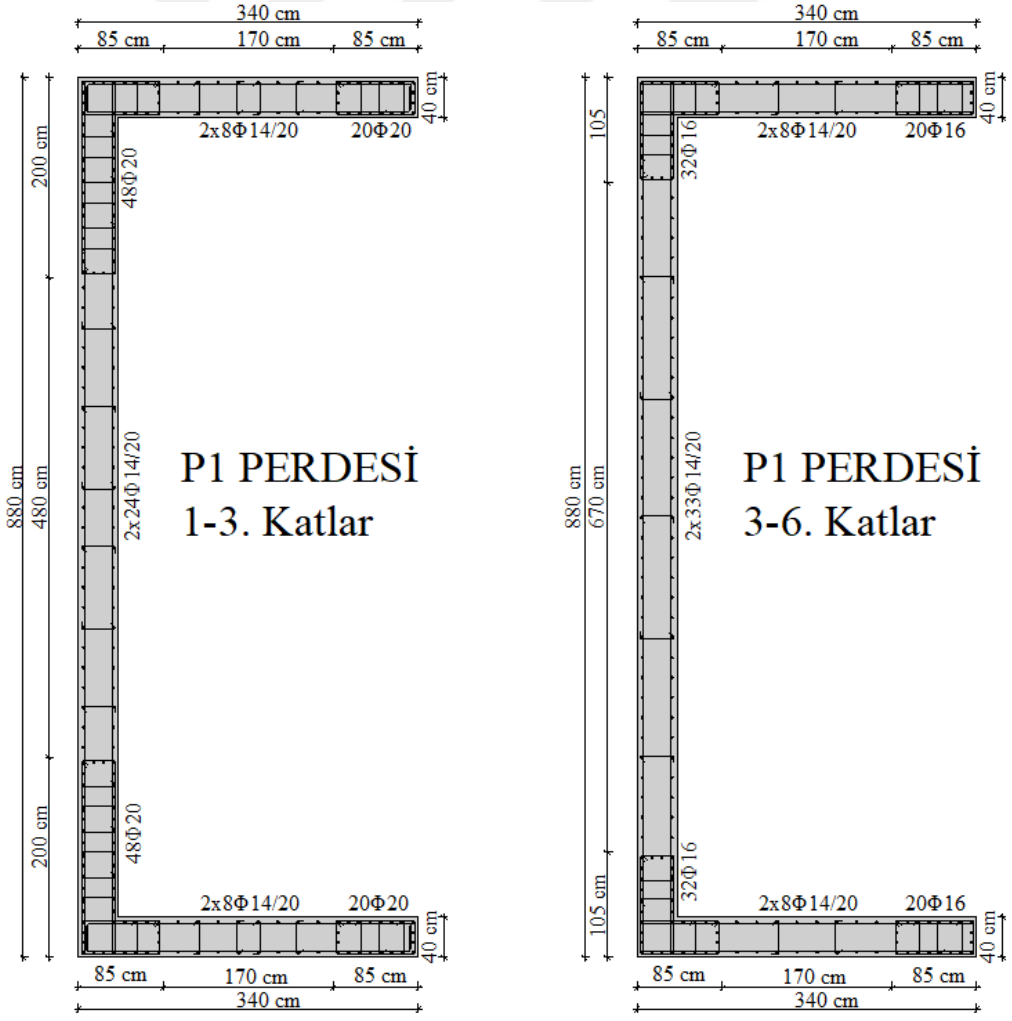


Şekil 4.3 Tip 1 bina kolon ve kiriş kesitleri

Tip 2 binada kenar ve köşe kolonların boyutları 70x70 cm ve orta kolonların boyutları 80x80 cm olarak tasarlanmıştır. Çerçeveyi oluşturan kirişlerin boyutları 60x75 cm, perde kollarını birbirine bağlayan kirişlerin boyutları 40x75 cm olarak tasarlanmıştır. Binanın planına göre merkezinde iki adet U şeklinde perde yerleşimi yapılmıştır. Perde kalınlığı 40 cm olarak tasarlanmıştır. Yapı planında toplam perde alanının kat alanına oranı 0.0086 olarak belirlenmiştir. Kolon ve kiriş kesitleri Şekil 4.4'te, perde kesitleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Tasarımda taşıyıcı sistem davranış katsayısı TBDY 2018 Tablo 4.1'de tanımlanan, deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalara karşılık gelen, 7 katsayısı seçilmiştir. Tip 2 binaya ait yapı özellikleri Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

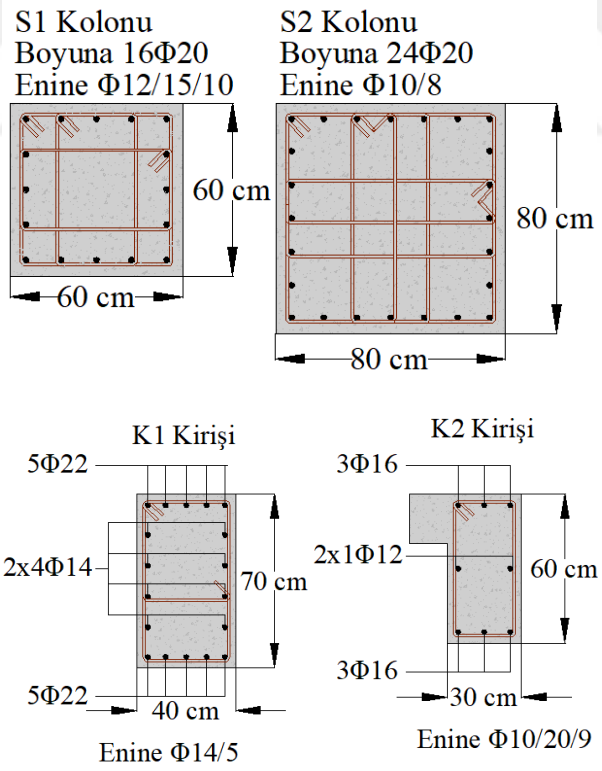


Şekil 4.4 Tip 2 bina kolon ve kiriş kesitleri

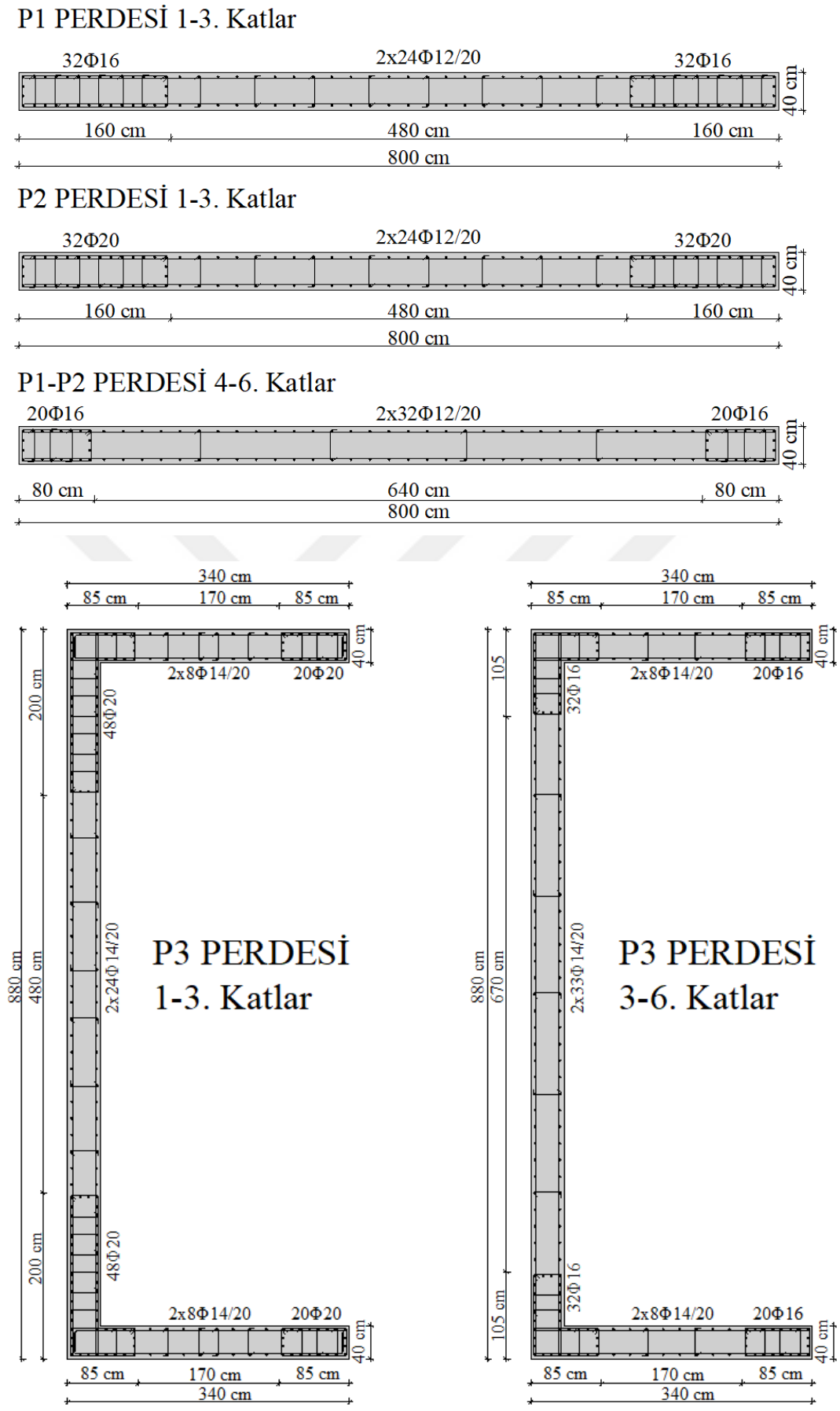


Şekil 4.5 Tip 2 bina perde kesitleri

Tip 3 binada kenar ve köşe kolonların boyutları 60x60 cm ve orta kolonların boyutları 80x80 cm olarak tasarlanmıştır. Perde kollarını birbirine bağlayan kirişlerin boyutları 40x70 cm olarak tasarlanmıştır. Kenar akslarda binayı çepeçevre dönen, binanın burulma rijitliğini arttırmak ve kenar ve köşe kolonlarda zımbalama etkini karşılamak amacıyla 40x60 cm kiriş yapılmıştır. Bu kirişlerin yükseklikleri döşeme kalınlığının 3 katından küçük olduğu için kiriş gibi donatılandırılmış fakat çerçeve kirişi olarak kabul edilmemiştir. Binanın planına göre merkezinde iki adet U şeklinde ve kenar akslarda perde yerleşimi yapılmıştır. Perde kalınlığı 40 cm olarak tasarlanmıştır. Yapı planında toplam perde alanının kat alanına oranı 0.0226 olarak belirlenmiştir. Kolon ve kiriş kesitleri Şekil 4.6'da, perde kesitleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Tasarımda taşıyıcı sistem davranış katsayısı TBDY 2018 Tablo 4.1'de tanımlanan, deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalara karşılık gelen, 6 katsayısı seçilmiştir. Tip 3 binaya ait yapı özellikleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Tip 3 bina kolon ve kiriş kesitleri



Şekil 4.7 Tip 3 bina perde kesitleri

Tablo 4.1 Yapı Özellikleri (Tip 1 Bina)

Özellikler	Parametreler	Değerler
Yapı Özellikleri	Kat yüksekliği	3.5 m
	Toplam yapı yüksekliği	21 m
	Yapı kullanım amacı	Konut
	Bina kullanım sınıfı	3
	Deprem tasarım sınıfı	1
	Bina yükseklik sınıfı	5
	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	8
Kesit Özellikleri	Kolon boyutları	80x80 cm (S2) 70x70 cm (S1)
	Kiriş boyutları	60x75 cm (K1)
	Döşeme kalınlığı	20 cm
	Kolon donatıları	24Φ20 (S2) 16Φ20 (S1)
	Kiriş donatıları	Üst 5Φ16+3Φ24 Alt 5Φ20 (K1)
Malzeme Özellikleri	Beton sınıfı	C35/45
	Beton elastisite modülü	33000 MPa
	Donatı çeliği sınıfı	B420C
	Donatı çeliği elastisite modülü	200000 MPa
Yükler	Sabit yükler	2.5 kN/m^2
	Duvar yükleri	1.5 kN/m^2
	Hareketli yükler	2 kN/m^2
	Dış cephe yükleri	8 kN/m
Spektrum Parametreleri	Zemin sınıfı (TBDY 2018 bölüm 16.4)	ZC
	Deprem yer hareketi düzeyi (TBDY 2018 bölüm 2.2)	DD-2
	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S)	0.927
	1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0.259
	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S)	1.2
	1 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_1)	1.5
	Kısa periyot tasarım ivme katsayısı (S_{DS})	1.112
	1 saniye periyot tasarım ivme katsayısı (S_{D1})	0.389
	En büyük yer ivmesi (PGA)	0.382g
	En büyük yer hızı (PGV)	23.784 cm/s

Tablo 4.2 Yapı Özellikleri (Tip 2 Bina)

Özellikler	Parametreler	Değerler
Yapı Özellikleri	Kat yüksekliği	3.5 m
	Toplam yapı yüksekliği	21 m
	Yapı kullanım amacı	Konut
	Bina kullanım sınıfı	3
	Deprem tasarım sınıfı	1
	Bina yükseklik sınıfı	5
	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	7
Kesit Özellikleri	Kolon boyutları	80x80 cm (S2) 70x70 cm (S1)
	Kiriş boyutları	60x75 cm (K1) 40x75 cm (K2) 30x60 cm (K3)
	Döşeme kalınlığı	20 cm
	Perde kalınlığı	40 cm
	Kolon donatıları	24Φ20 (S2) 16Φ20 (S1)
	Kiriş donatıları	Üst 5Φ16+3Φ24 Alt 5Φ20 (K1) Üst-Alt 5Φ22 (K2) Üst-Alt 3Φ16 (K3)
Malzeme Özellikleri	Beton sınıfı	C35/45
	Beton elastisite modülü	33000 MPa
	Donatı çeliği sınıfı	B420C
	Donatı çeliği elastisite modülü	200000 MPa
Yükler	Sabit yükler	2.5 kN/m^2
	Duvar yükleri	1.5 kN/m^2
	Hareketli yükler	2 kN/m^2
	Dış cephe yükleri	8 kN/m
Spektrum Parametreleri	Zemin sınıfı (TBDY 2018 bölüm 16.4)	ZC
	Deprem yer hareketi düzeyi (TBDY 2018 bölüm 2.2)	DD-2
	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S)	0.927
	1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0.259
	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S)	1.2
	1 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_1)	1.5
	Kısa periyot tasarım ivme katsayısı (S_{DS})	1.112
	1 saniye periyot tasarım ivme katsayısı (S_{D1})	0.389
	En büyük yer ivmesi (PGA)	0.382g
	En büyük yer hızı (PGV)	23.784 cm/s

Tablo 4.3 Yapı Özellikleri (Tip 3 Bina)

Özellikler	Parametreler	Değerler
Yapı Özellikleri	Kat yüksekliği	3.5 m
	Toplam yapı yüksekliği	21 m
	Yapı kullanım amacı	Konut
	Bina kullanım sınıfı	3
	Deprem tasarım sınıfı	1
	Bina yükseklik sınıfı	5
	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	6
Kesit Özellikleri	Kolon boyutları	80x80 cm (S2) 60x60 cm (S1)
	Kiriş boyutları	40x70 cm (K1) 30x60 cm (K2)
	Döşeme kalınlığı	27 cm
	Perde kalınlığı	40 cm
	Kolon donatıları	24Φ20 (S2) 16Φ20 (S1)
	Kiriş donatıları	Üst-Alt 5Φ22 (K1) Üst-Alt 3Φ16 (K2)
Malzeme Özellikleri	Beton sınıfı	C35/45
	Beton elastisite modülü	33000 MPa
	Donatı çeliği sınıfı	B420C
	Donatı çeliği elastisite modülü	200000 MPa
Yükler	Sabit yükler	2.5 kN/m^2
	Duvar yükleri	1.5 kN/m^2
	Hareketli yükler	2 kN/m^2
	Dış cephe yükleri	8 kN/m
Spektrum Parametreleri	Zemin sınıfı (TBDY 2018 bölüm 16.4)	ZC
	Deprem yer hareketi düzeyi (TBDY 2018 bölüm 2.2)	DD-2
	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S_S)	0.927
	1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S_1)	0.259
	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_S)	1.2
	1 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı (F_1)	1.5
	Kısa periyot tasarım ivme katsayısı (S_{DS})	1.112
	1 saniye periyot tasarım ivme katsayısı (S_{D1})	0.389
	En büyük yer ivmesi (PGA)	0.382g
	En büyük yer hızı (PGV)	23.784 cm/s

4.2 Doğrusal Olmayan Hesap İçin Taşıyıcı Sistemin Modellenmesi

TBDY 2018 yönetmeliğine göre tasarımı yapılmış ve yukarıda özellikleri verilmiş 3 tip yapının tamamı PERFORM-3D [35] analiz programında 3 boyutlu olarak modellenmiş ve zaman tanım alanında hesaplamaları yapılmıştır. Tüm yapı modellerinde kiriş ve kolonlar çubuk sonlu elemanları olarak modellenmiştir.

Tüm yapılarda doğrusal sönüm oranı %5 alınmıştır.

Yapı kütlesi Denklem (4.1)'deki formüle göre hesaplanmıştır. Bu formülde g_i i'inci kat döşemesinin sabit yüklerden oluşan toplam kütlesini, q_i i'inci kat döşemesinin hareketli yüklerden oluşan toplam kütlesini, n hareketli yük katılım katsayısını, m_i i'inci kat döşemesinin toplam kütlesini, N kat sayısını ve m_t binanın toplam kütlesini ifade etmektedir.

$$m_i = g_i + nq_i$$
$$m_t = \sum_{i=1}^{N} m_i \tag{4.1}$$

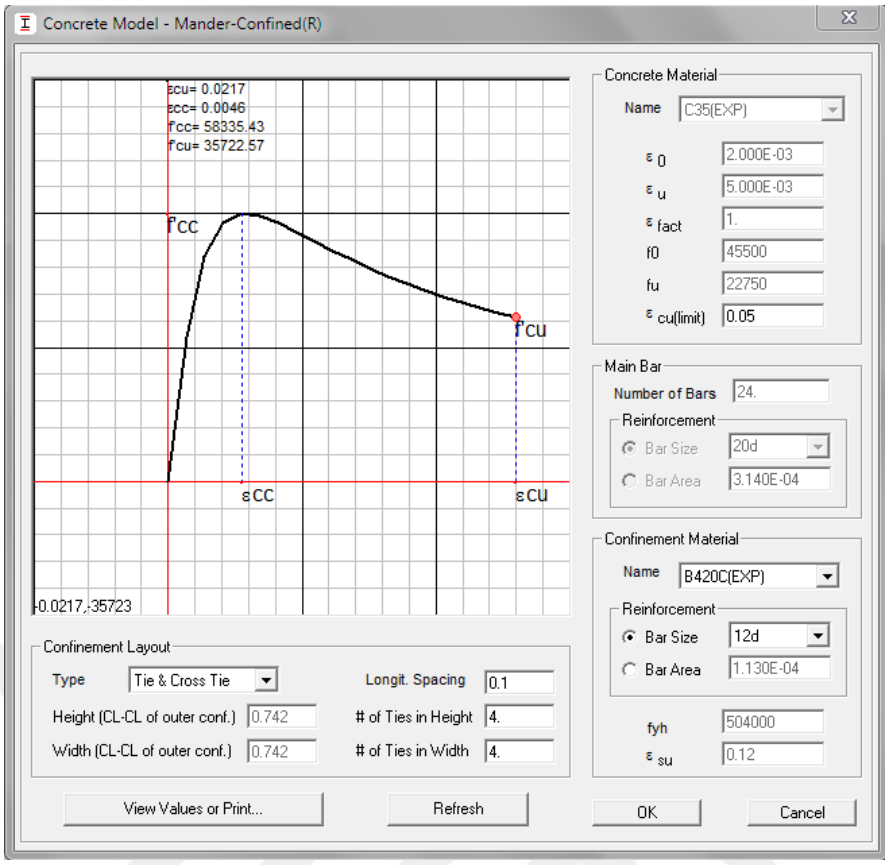
4.2.1 Malzemelerin Modellenmesi

Tüm yapıların zaman tanım alanında hesabında, karakteristik dayanım yerine (ortalama) malzeme dayanımları ve elastisite modülleri kullanılmıştır ve bu değerler Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

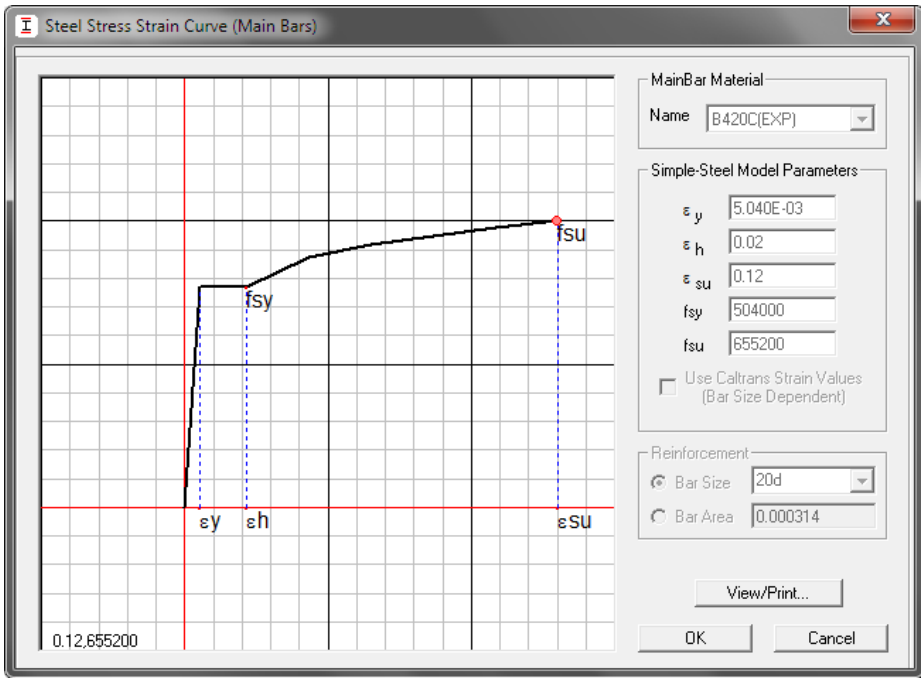
Tablo 4.4 C35/45 beton sınıfı ve B420C donatı sınıfı için beklenen (ortalama) malzeme dayanımları ve elastisite modülü

Malzeme	Parametre	Değer
C35/45	Beklenen malzeme dayanımı (f_{ce})	45.5 MPa
	Elastisite modülü	35922.45 MPa
B420C	Beklenen malzeme dayanımı (f_{ye})	504 MPa
	Elastisite modülü	200000

Yayılı plastik davranış modelinde kullanmak üzere sargılı betonun ve donatı çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme grafiklerine ait değerler, kiriş ve kolon kesitlerinin SAP2000 [36] programında "Section Designer" aracında modellenmesi ile elde edilmiştir. Örnek olarak tip 1 bina için elde edilen grafikler Şekil 4.8'de ve Şekil 4.9'de gösterilmiştir.

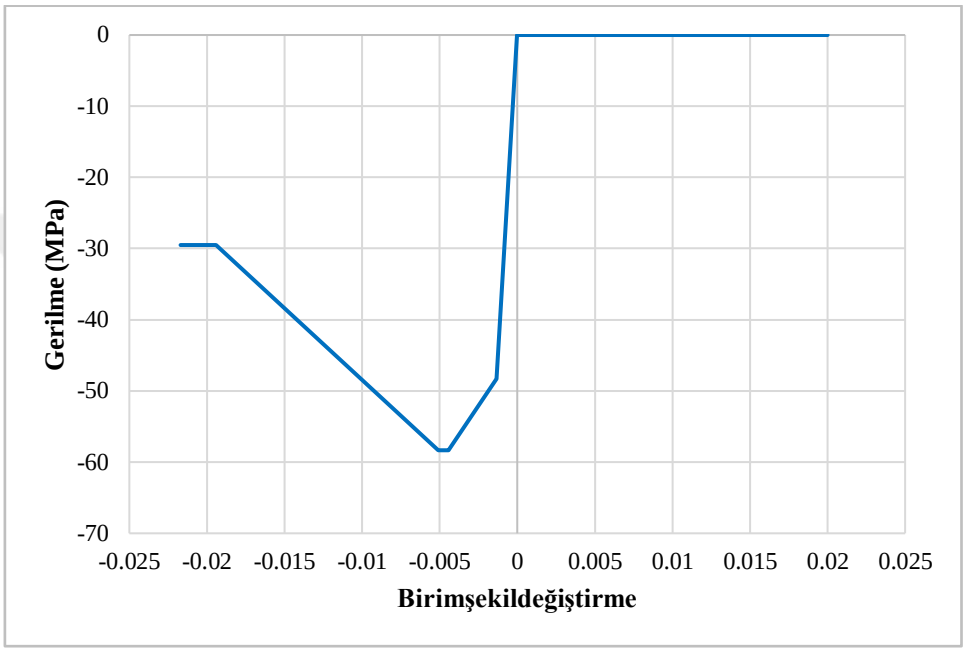


Şekil 4.8 Tip 1 bina 80x80 cm ebatındaki kolona ait sargılı beton gerilme-birim şekildeğiştirme grafiğinin SAP2000 modeli görseli

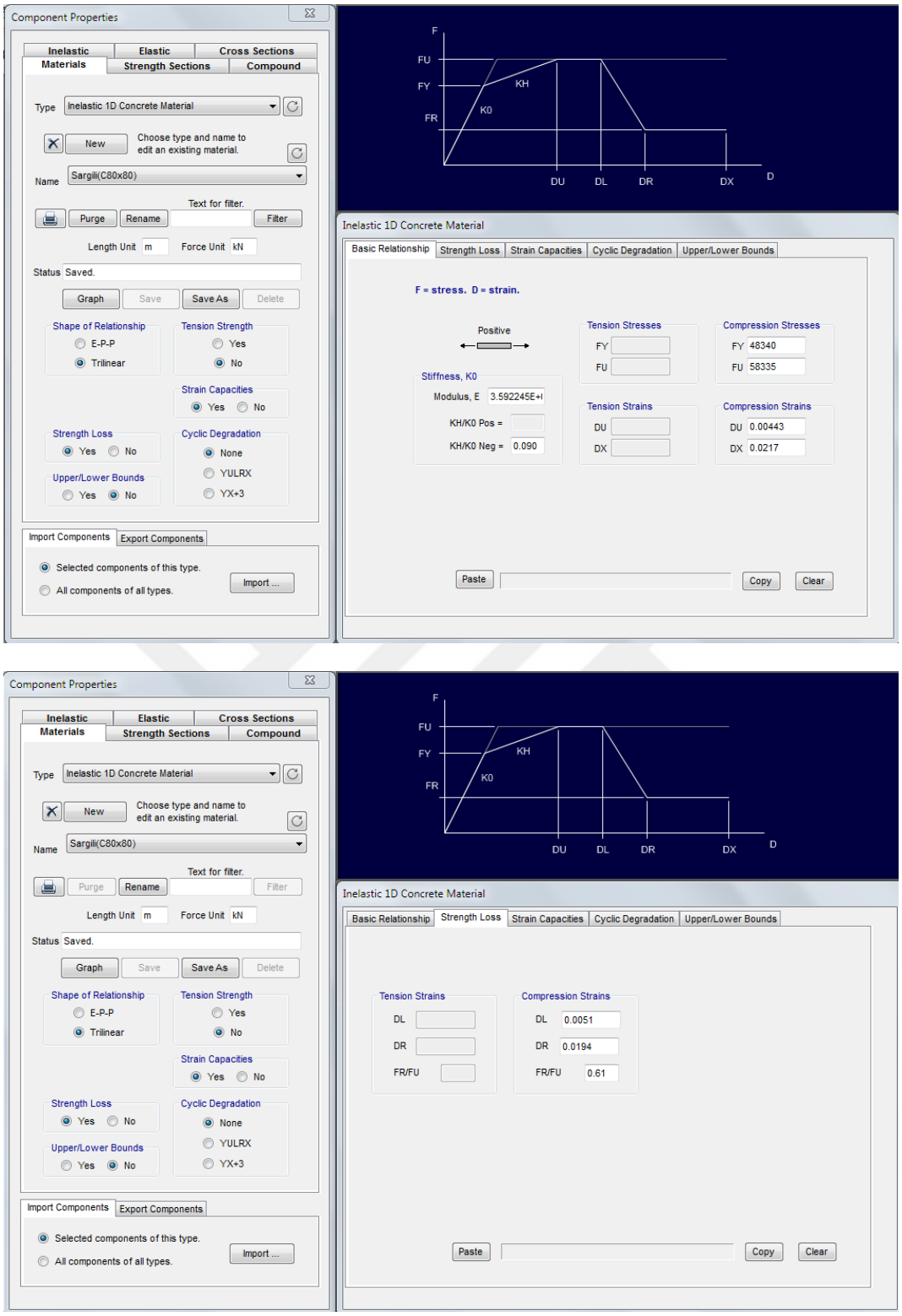


Şekil 4.9 B420C donatı gerilme birimşekildeğiştirme grafiği SAP2000 modeli görseli

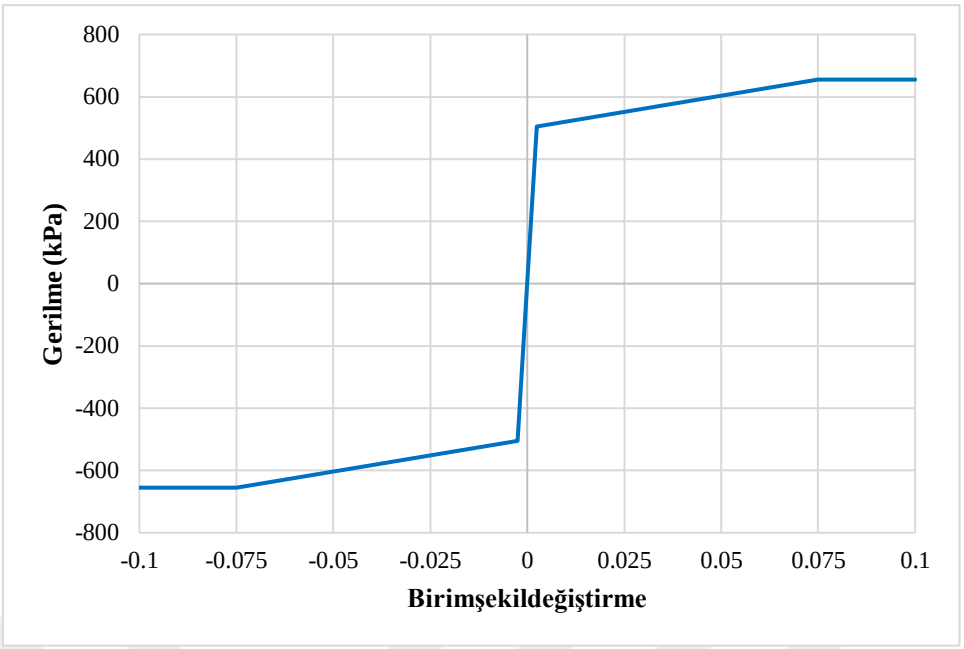
Elde edilen veriler kullanılarak PERFORM-3D programında sargılı beton ve donatı çeliği malzeme tanımlamaları yapılmıştır. Örnek olarak tip 1 binaya ait 80x80 cm ebatındaki kolonun sargılı beton modeli gerilme birim şekildeğiştirme grafiği Şekil 4.10'da ve sargılı beton modelinin PERFORM-3D programında tanımlanması Şekil 4.11'de gösterilmiştir. B420C donatı çeliği modeli gerilme birim şekildeğiştirme grafiği Şekil 4.12'de ve donatı çeliği modelinin PERFORM-3D programında tanımlanması Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



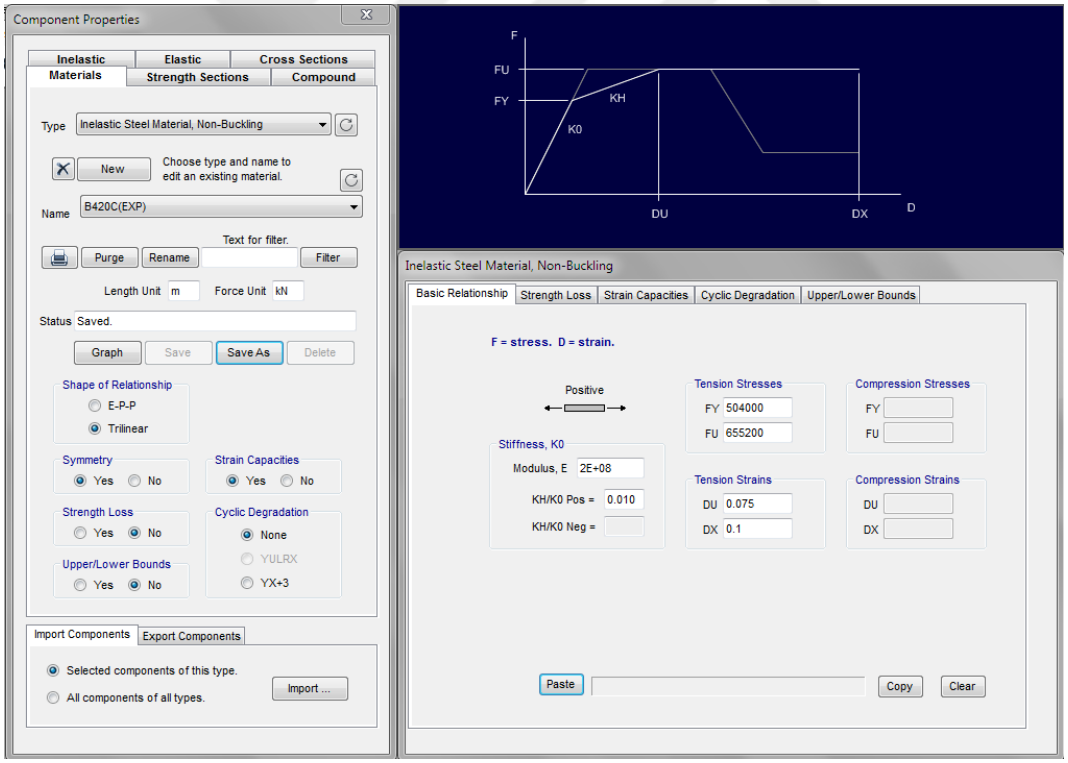
Şekil 4.10 Tip 1 bina 80x80 cm ebatındaki kolona ait sargılı beton gerilme-birimşekildeğiştirme grafiği



Şekil 4.11 Tip 1 bina 80x80 cm kolon sargılı beton modelinin PERFORM-3D programında tanımlanması



Şekil 4.12 B420C donatı gerilme birimşekildeğiştirme grafiği



Şekil 4.13 Donatı çeliği modelinin PERFORM-3D programında tanımlanması

PERFORM-3D modelinde kullanılan sargılı beton modeline ait parametreler tip 1 bina için Tablo 4.5'de, tip 2 bina için Tablo 4.6'da, tip 3 bina için Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Tip 1 Bina PERFORM-3D beton modeli parametreleri

Malzeme model ismi	Elastisite modülü (kPa)	FU (kPa)	FY (kPa)	FR/FU	DU	DX	DL	DR
Sargili (C80x80)	3.59E+07	58335	48340	0.610	0.00443	0.0217	0.00510	0.0194
Sargili (C70x70)	3.59E+07	64717	53065	0.710	0.00538	0.0254	0.00735	0.0227
Sargili (B60x75)	3.59E+07	53412	45941	0.470	0.00326	0.0192	0.00423	0.0172

Tablo 4.6 Tip 2 Bina PERFORM-3D beton modeli parametreleri

Malzeme model ismi	Elastisite modülü (kPa)	FU (kPa)	FY (kPa)	FR/FU	DU	DX	DL	DR
Sargili (Perde)	3.59E+07	68250	27300	0.400	0.00350	0.0180	0.00500	0.0170
Sargisiz	3.59E+07	45500	18200	0.400	0.00180	0.0070	0.00220	0.0060
Sargili (C80x80)	3.59E+07	58335	48340	0.610	0.00443	0.0217	0.00510	0.0194
Sargili (C70x70)	3.59E+07	64717	53065	0.710	0.00538	0.0254	0.00740	0.0227
Sargili (B40x75)	3.59E+07	56089	51610	0.330	0.00530	0.0500	0.00560	0.0421
Sargili (B30x60)	3.59E+07	48087	46000	0.036	0.00260	0.0500	0.00270	0.0447

Tablo 4.7 Tip 3 Bina PERFORM-3D beton modeli parametreleri

Malzeme model ismi	Elastisite modülü (kPa)	FU (kPa)	FY (kPa)	FR/FU	DU	DX	DL	DR
Sargili (Perde)	3.59E+07	68250	27300	0.400	0.00350	0.0180	0.00500	0.0170
Sargisiz	3.59E+07	45500	18200	0.400	0.00180	0.0070	0.00220	0.0060
Sargili (C80x80)	3.59E+07	58335	48340	0.610	0.00443	0.0217	0.00510	0.0194
Sargili (C60x60)	3.59E+07	60690	51153	0.650	0.00500	0.0236	0.00639	0.0211
Sargili (B40x70)	3.59E+07	52474	50000	0.260	0.00530	0.0500	0.00550	0.0447
Sargili (B30x60)	3.59E+07	48087	46000	0.036	0.00260	0.0500	0.00270	0.0447

Tüm yapılara ait PERFORM-3D modellerinde kullanılan donatı çeliği modeline ait parametreler Tablo 4.8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8 PERFORM-3D donatı çeliği modeli parametreleri

Malzeme model ismi	Elastisite modülü (kPa)	FU (kPa)	FY (kPa)	DU	DX
B420C(EXP)	2.00E+08	655200	504000	0.075	0.1

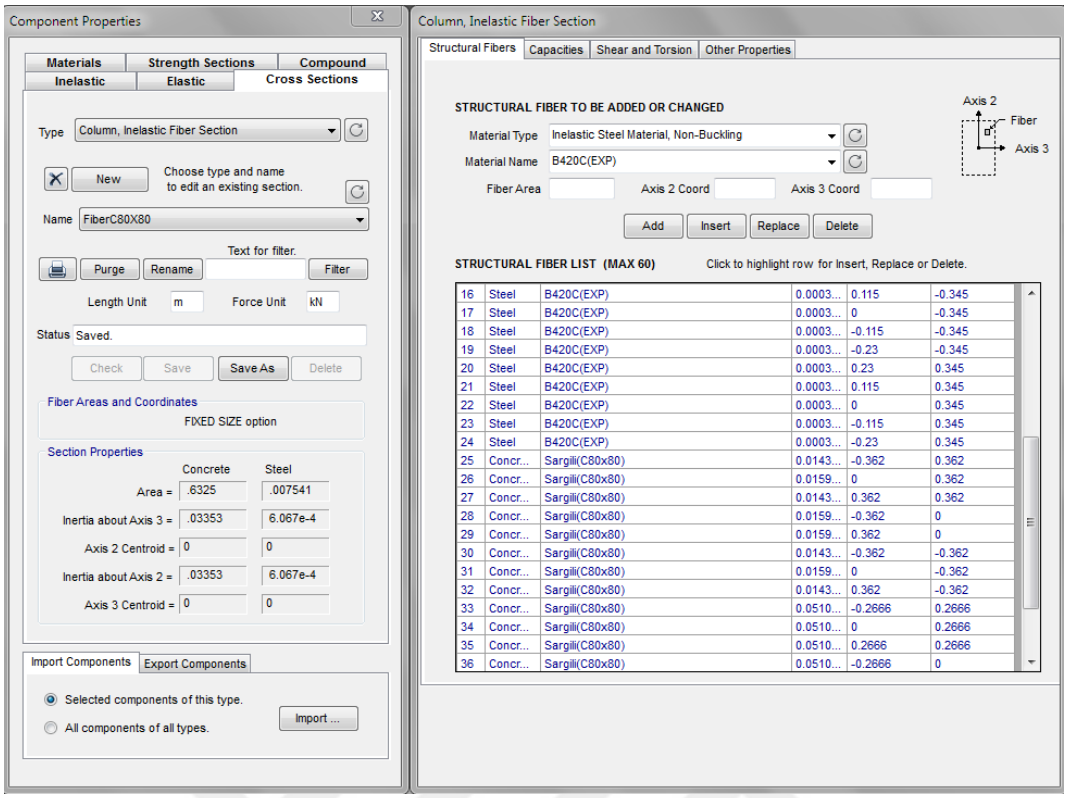
4.2.2 Kesitlerin Modellenmesi

Kolon ve kiriş uçlarında doğrusal olmayan davranış, elemanların uçlarında tanımlanan sonlu plastik şekildeğiştirme bölgelerinde yayılı plastik davranış modeli ile modellenmiştir.

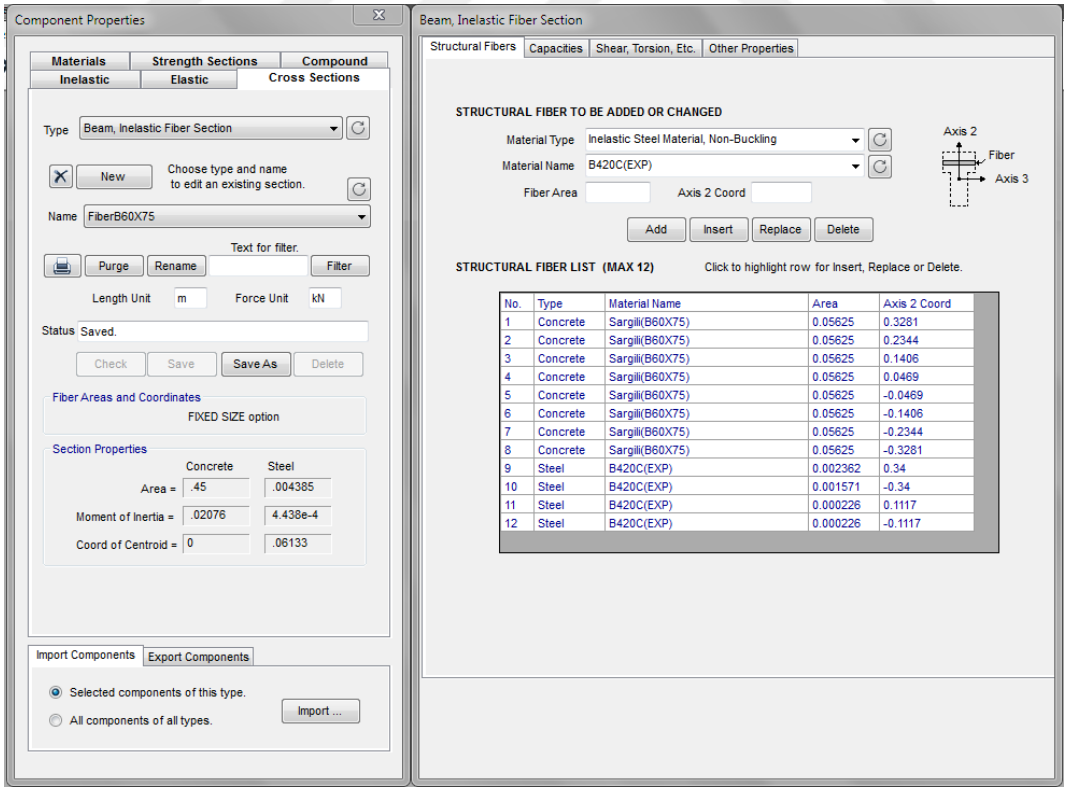
Kolon kesitlerinde kullanılan yayılı plastik model PERFORM-3D modelinde "Column, Inelastic Fiber Section" aracı kullanılarak, kiriş kesitlerinde yayılı plastik model "Beam, Inelastic Fiber Section" aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Fiber elemanlar beton ve donatı çeliklerinden oluşmaktadır. PERFORM-3D modelinde bir kiriş kesiti için maksimum 12 adet fiber ve bir kolon kesiti için maksimum 60 adet fiber tanımlanabilmektedir. Bir kesit için makul sonuçlar veren en az sayıda fiber kullanmak hesaplamanın süresini azaltmak için önemli bir husustur.

Örnek olarak Tip 1 binadaki 80x80 cm ebatındaki kolonun fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Kolon kesiti için 41 adet fiber eleman kesiti tanımlanmıştır. Her fiber eleman kesitinin alanı, malzemesi ve kolon ağırlık merkezine göre koordinatları tek tek girilmiştir. Kolon kesitinin kesme ve burulma etkisi altında elastik kaldığı kabul edilmiştir.

Örnek olarak Tip 1 binadaki 60x75 cm ebatındaki kirişin fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Kiriş kesiti için 12 adet fiber eleman kesiti tanımlanmıştır. Her fiber eleman kesitinin alanı, malzemesi ve kiriş ağırlık merkezine göre koordinatları tek tek girilmiştir. Kiriş kesitinin kesme ve burulma etkisi altında elastik kaldığı kabul edilmiştir.



Şekil 4.14 Tip 1 binadaki 80x80 cm ebatındaki kolonun fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması



Şekil 4.15 Tip 1 binadaki 60x75 cm ebatındaki kirişin fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması

Fiber elemanlardan oluşan kolon kesitin doğruluğunu teyit etmek için fiber kesit tanımından oluşan kesit özellikleri elle yapılan kesit özellikleri ile karşılaştırılmıştır ve Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de gösterilmiştir. Örnek olarak tip 1 bina 80x80 cm ebatındaki kolonun Şekil 4.14'te gösterilen resimde "Section Properties" kısmındaki beton alanının, 2 ekseni ve 3 ekseni etrafındaki atalet momentinin elle hesaplanan kesit alanı ve atalet momentlerine eşit olup olmadığı Tablo 4.9'dan kontrol edilebilir. Fiber eleman kesitinin elle yapılan hesap benzer sonuçları verdiği görülmüştür.

Tablo 4.9 Tip 1 bina fiber modele ait kesit değerlerinin elle yapılan hesapla karşılaştırılması

Kesit		Kesit Alanı (m^2)	I22 Atalet momenti (m^4)	I33 Atalet momenti (m^4)
80x80 cm kolon	**Fiber Kesit**	0.6325	0.0335	0.0335
	Elle hesap	0.6400	0.0341	0.0341
70x70 cm kolon	**Fiber Kesit**	0.4850	0.0197	0.0197
	Elle hesap	0.4900	0.0200	0.0200
60x75 cm kiriş	**Fiber Kesit**	0.4500	-	0.0208
	Elle hesap	0.4500	-	0.0211

Tablo 4.10 Tip 2 bina fiber modele ait kesit değerlerinin elle yapılan hesapla karşılaştırılması

Kesit		Kesit Alanı (m^2)	I22 Atalet momenti (m^4)	I33 Atalet momenti (m^4)
80x80 cm kolon	**Fiber Kesit**	0.6325	0.0335	0.0335
	Elle hesap	0.6400	0.0341	0.0341
70x70 cm kolon	**Fiber Kesit**	0.4850	0.0197	0.0197
	Elle hesap	0.4900	0.0200	0.0200
60x75 cm kiriş	**Fiber Kesit**	0.4500	-	0.0208
	Elle hesap	0.4500	-	0.0211
40x75 cm kiriş	**Fiber Kesit**	0.3000	-	0.0137
	Elle hesap	0.3000	-	0.0141
30x60 cm kiriş	**Fiber Kesit**	0.1800	-	0.0525
	Elle hesap	0.1800	-	0.0540

Tablo 4.11 Tip 3 bina fiber modele ait kesit değerlerinin elle yapılan hesapla karşılaştırılması

Kesit		Kesit Alanı (m^2)	I22 Atalet momenti (m^4)	I33 Atalet momenti (m^4)
80x80 cm kolon	**Fiber Kesit**	0.6325	0.0335	0.0335
	Elle hesap	0.6400	0.0341	0.0341
60x60 cm kolon	**Fiber Kesit**	0.3550	0.0106	0.0106
	Elle hesap	0.3600	0.0108	0.0108
40x70 cm kiriş	**Fiber Kesit**	0.2800	-	0.0111
	Elle hesap	0.2800	-	0.0114
30x60 cm kiriş	**Fiber Kesit**	0.1800	-	0.0525
	Elle hesap	0.1800	-	0.0540

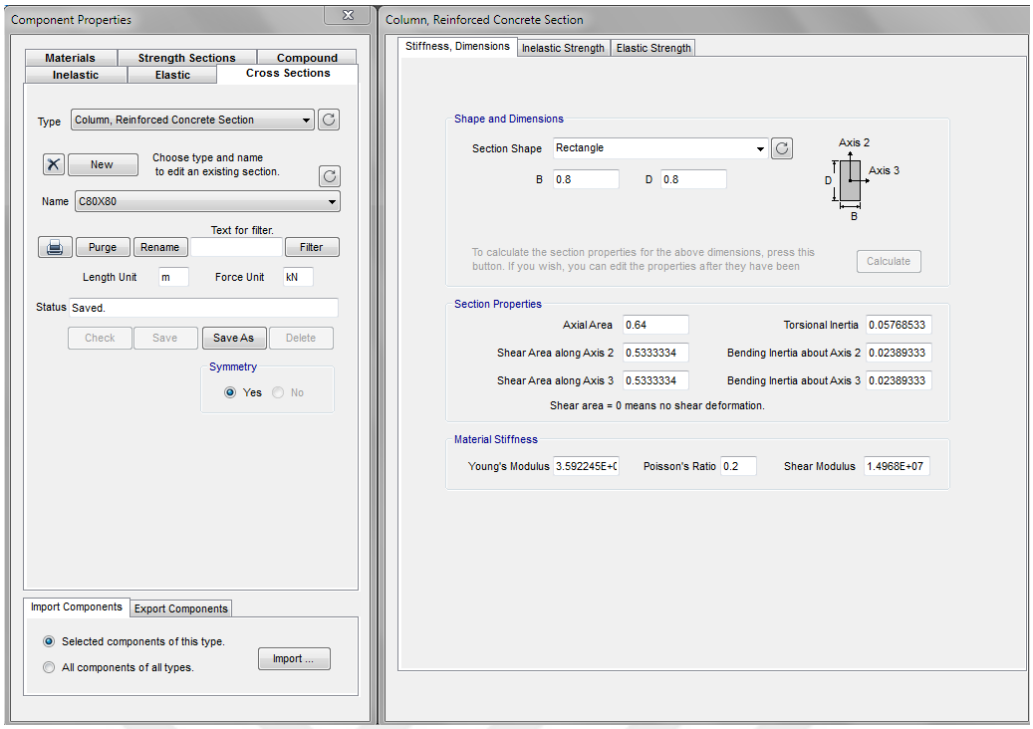
Kiriş ve kolon elemanlarının uçlarındaki plastik mafsalların arasında kalan uzunluklar boyunca kolon ve kirişler doğrusal elemanlar olarak modellenmiştir. Bu elemanların etkin kesit rijitlik çarpanları Tablo 4.12'deki gibi alınmıştır.

Tablo 4.12 Doğrusal kolon ve kiriş kesitleri için etkin kesit rijitlik çarpanları

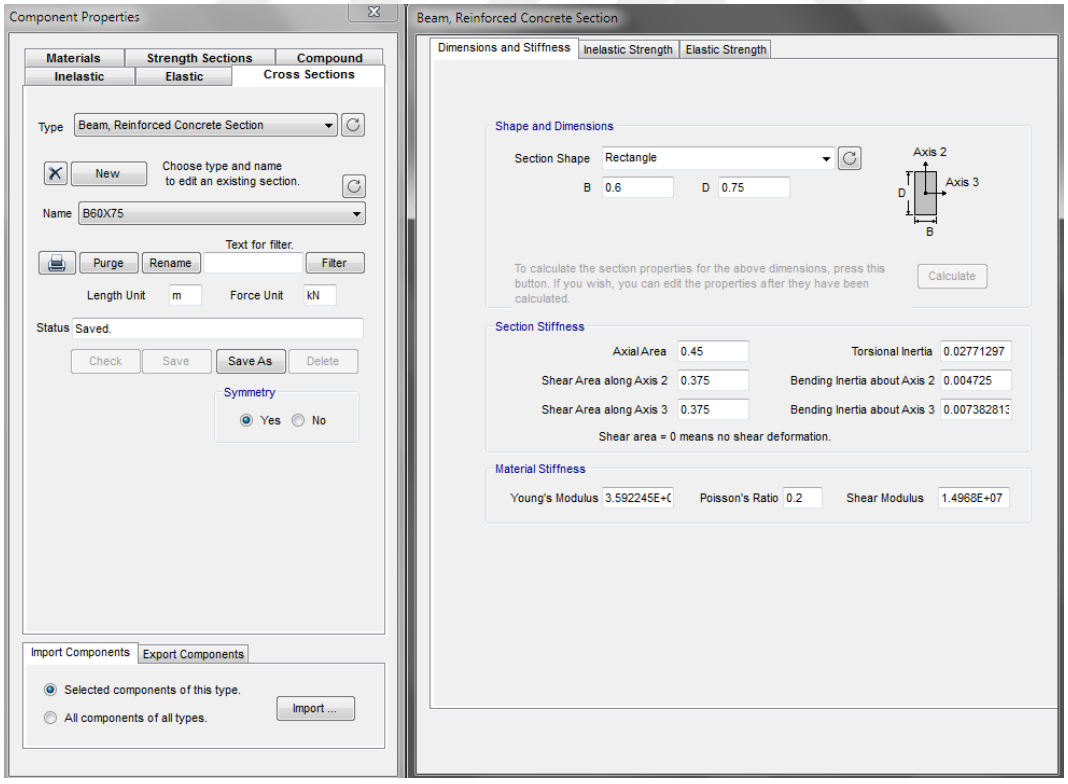
Betonarme taşıyıcı sistem elemanı	Etkin kesit rijitliği çarpanı	
	Eğilme	**Kesme**
Kiriş	0.35	1.00
Kolon	0.70	1.00

Kolon kesitlerinde kullanılan doğrusal model PERFORM-3D modelinde "Column, Reinforced Concrete Section" aracı kullanılarak, kiriş kesitlerinde "Beam, Reinforced Concrete Section" aracı kullanılarak oluşturulmuştur.

Örnek olarak tip 1 binadaki 80x80 cm ebatındaki kolonun doğrusal kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması Şekil 4.16'da ve tip 1 binadaki 60x75 cm ebatındaki kirişin doğrusal kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Etkin kesit rijitlik çarpanları 2 ve 3 ekseni etrafındaki atalet momenti değerleri ile çarpılarak girilmiştir.



Şekil 4.16 Tip 1 binadaki 80x80 cm ebatındaki kolonun doğrusal kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması

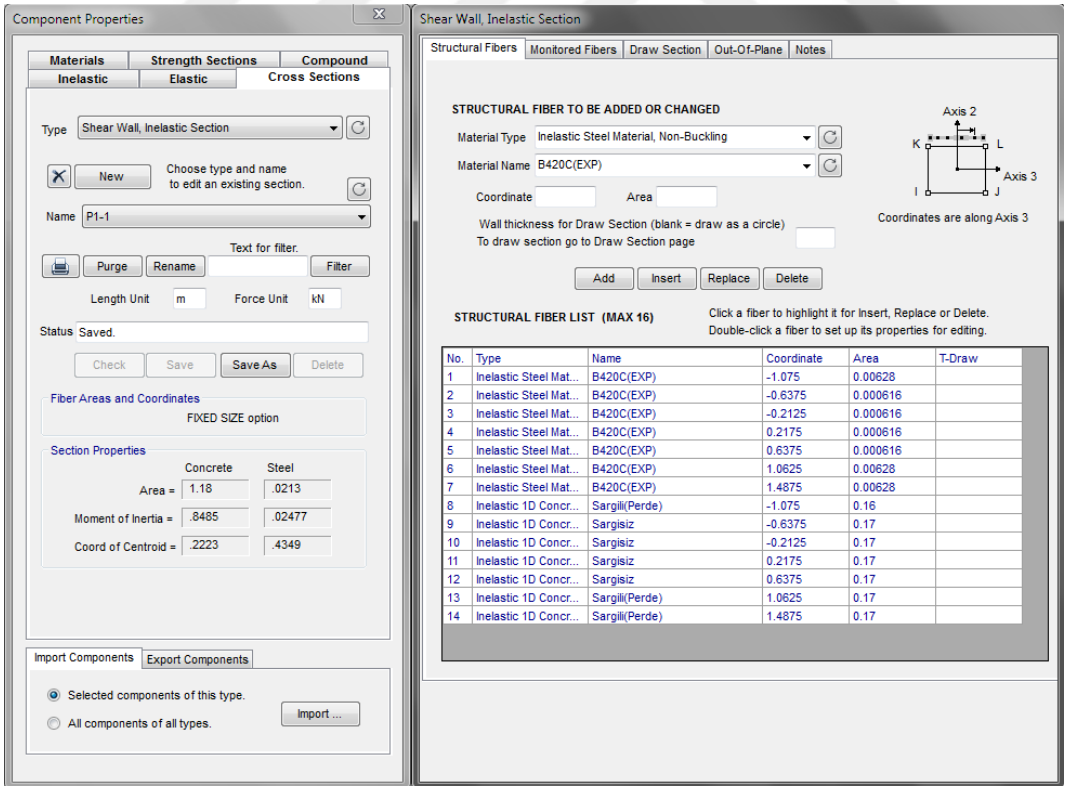


Şekil 4.17 Tip 1 binadaki 60x75 cm ebatındaki kirişin doğrusal kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması

Perdelerde doğrusal olmayan davranış, elemanın uzunluğu boyunca doğrusal olmayan şekildeğiştirmeleri sürekli biçimde gözönüne alan yayılı plastik davranış modeli ile modellenmiştir.

Perde kesitlerinde kullanılan yayılı plastik model PERFORM-3D modelinde "Shear Wall, Inelastic Section" aracı kullanılarak oluşturulmuştur. Fiber elemanlar beton ve donatı çeliklerinden oluşmaktadır. PERFORM-3D modelinde bir perde kesiti için maksimum 16 adet fiber tanımlanabilmektedir.

Örnek olarak Tip 2 binadaki P1 perdesinin bir kolunun fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Perde kesiti için 14 adet fiber eleman kesiti tanımlanmıştır. Her fiber eleman kesitinin alanı ve malzemesinin perde kolu ağırlık merkezine göre koordinatları tek tek girilmiştir. Düzlem dışı eğilme etkisi altında kesitin elastik kaldığı kabul edilmiştir. Kesitin kayma etkisi altında doğrusal olduğu kabul edilmiştir. Kayma rijitliği çarpanı TBDY 2018 Tablo 4.2'ye göre 0.5 alınmıştır.

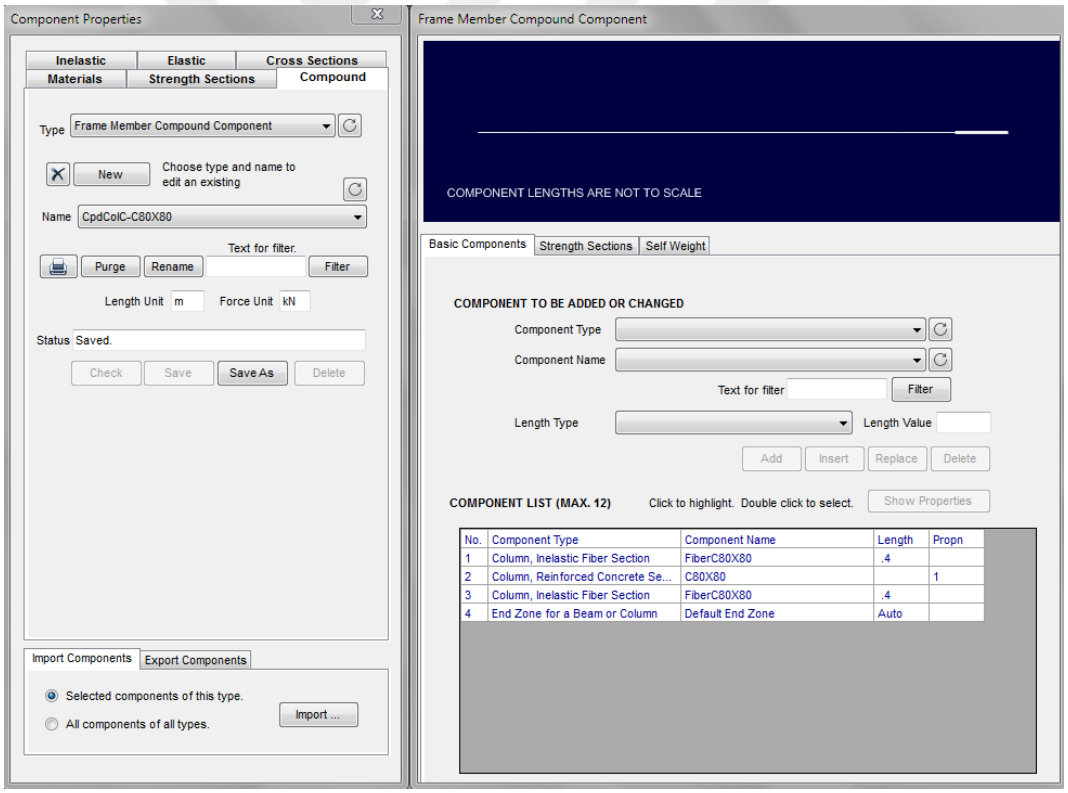


Şekil 4.18 Tip 2 binadaki P1 perdesinin fiber eleman kesitinin PERFORM-3D modelinde tanımlanması

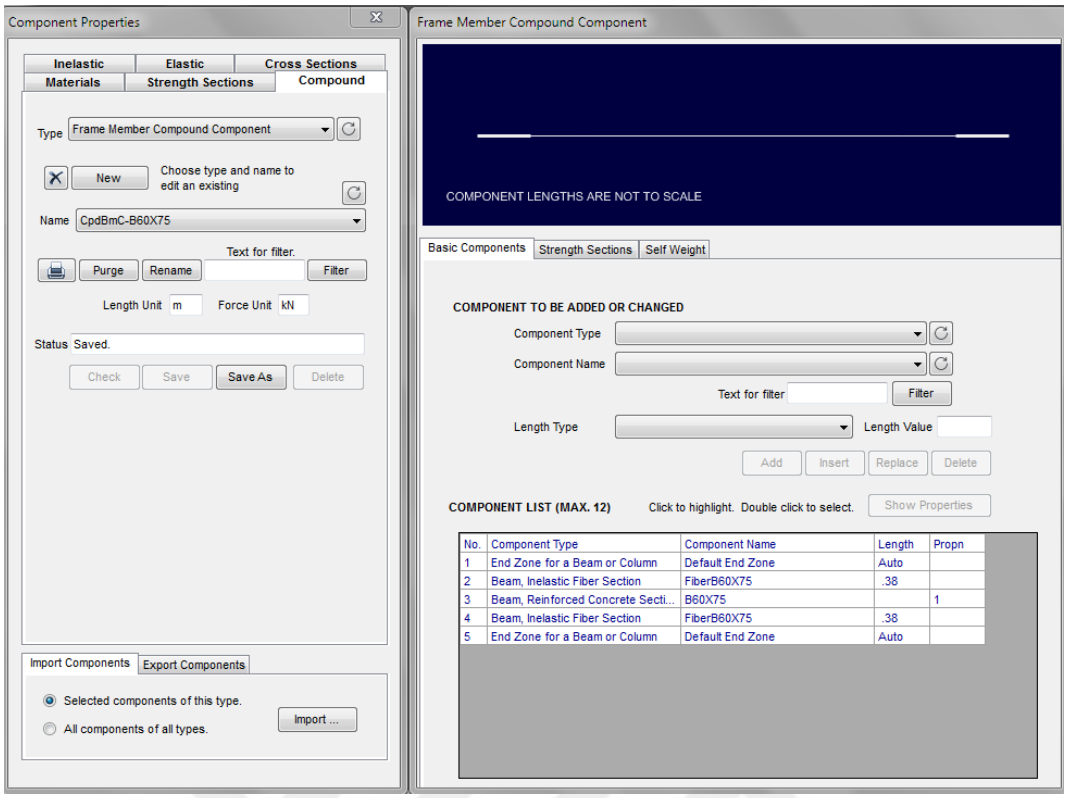
4.2.3 PERFORM-3D Modelin Oluşturulması

PERFORM-3D modelinde kesit özellikler, malzeme özellikleri, rijit uç bölgeleri vb. özellikler "Component" olarak tanımlanmakta ve bu özelliklerinin tamamının bir kolon, kiriş ve perde elemanı üzerinde belirtilmesi ise "Compound" olarak tanımlanmaktadır. Kiriş ve kolonlar "Frame Member Compound Component" aracı ile perdeler ise "Shear Wall Compound Component" aracı ile tanımlanmaktadır. Kolon ve kirişlerde plastik mafsal uzunluğu kesit yüksekliğinin yarısı olarak alınmıştır. Örnek olarak tip 1 bina 80x80 cm kolona ait compound tanımı Şekil 4.19'da ve tip 1 bina 60x75 kirişi compound tanımı Şekil 4.20'da ve tip 2 bina P1 perdesi kolonun compound tanımı Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

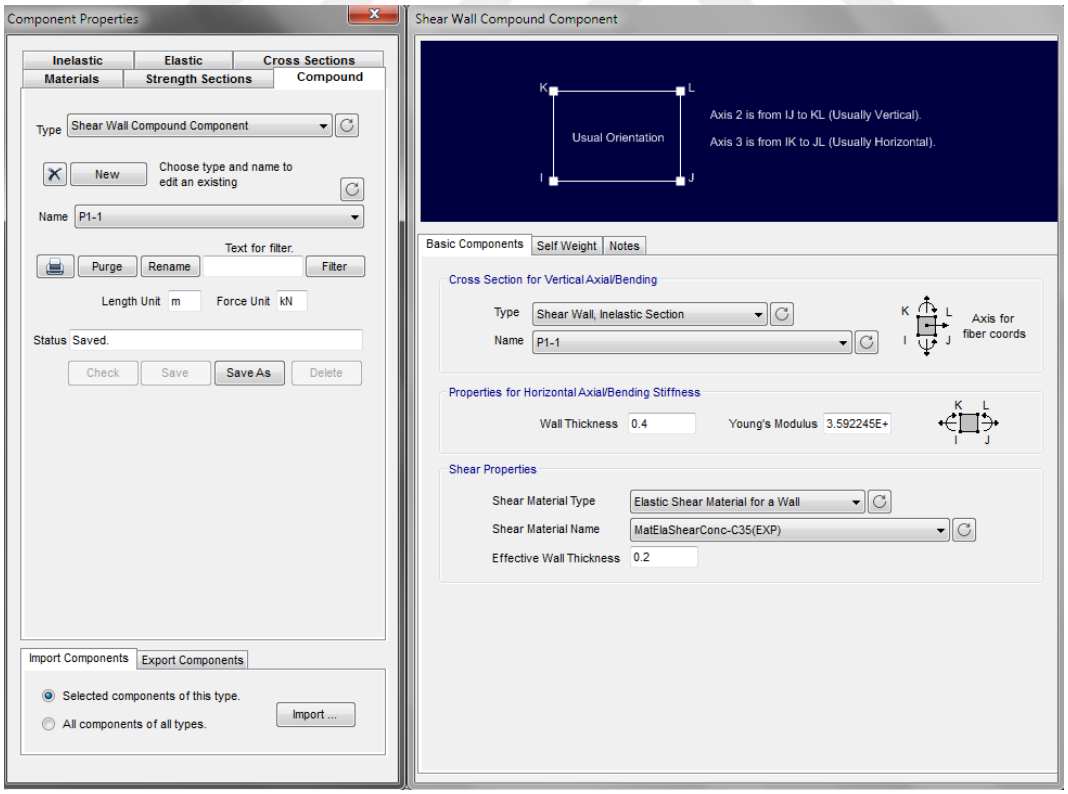
Oluşturulan compound elemanlar, 3 boyutlu model üzerinde ilgili elemana atanarak model oluşturulmuştur. Tüm binalara ait PERFORM-3D modeli 3 boyutlu görüntüsü Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



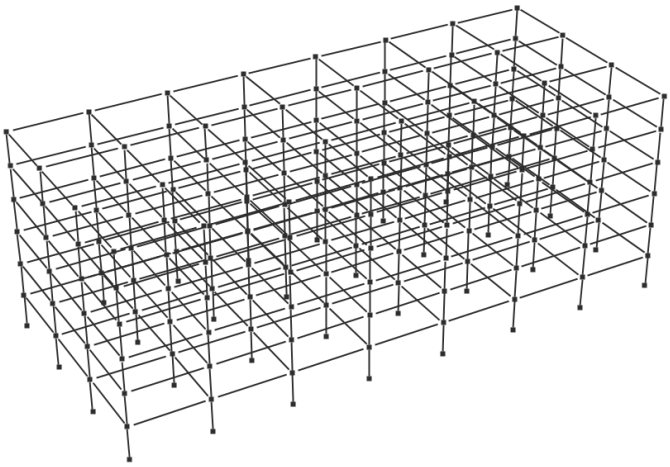
Şekil 4.19 Tip 1 bina 80x80 cm kolon PERFORM-3D modeli compound tanımı



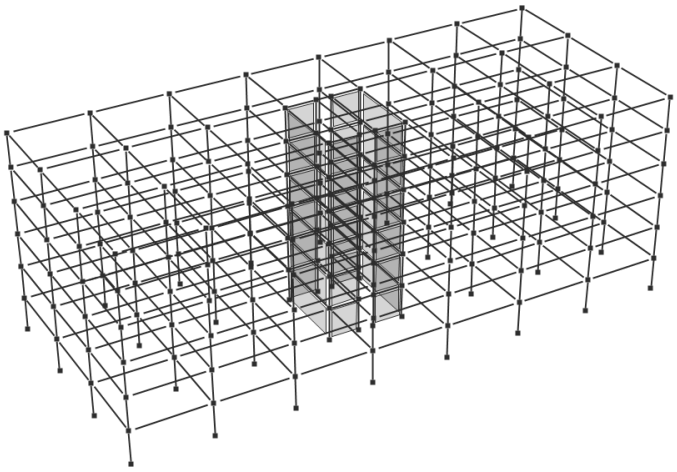
Şekil 4.20 Tip 1 bina 60x75 cm kiriş PERFORM-3D modeli compound tanımı



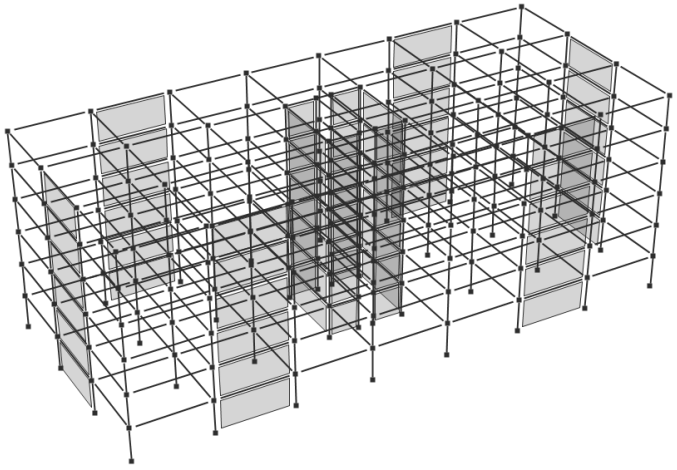
Şekil 4.21 Tip 2 bina P1 perdesi PERFORM-3D modeli compound tanımı



(a)



(b)



(c)

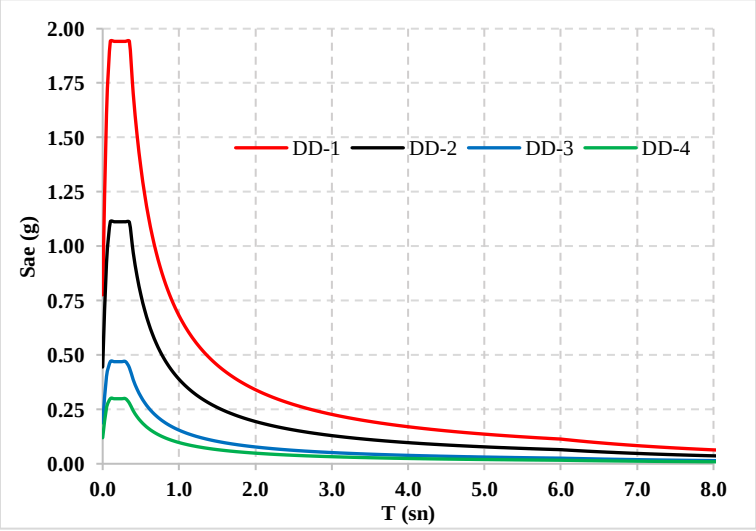
Şekil 4.22 PERFORM-3D modeli 3d görüntüsü a)Tip 1 bina b) Tip 2 bina c) Tip 3 Bina

4.3 Bina Elastik Tasarım Spektrumlarının Oluşturulması

Binaların yapılacağı yerin konumlarına göre DD-1, DD-2, DD-3, DD-4 deprem yer hareketi düzeylerine ait yatay elastik tasarım spektrumları oluşturulmuştur. 4 deprem düzeyi için kısa periyot harita spektral ivme katsayısı, S_S ve 1 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı, S_1 https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/ internet sitesinde sunulan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan elde edilmiştir. Elde edilen veriler ve ZC zemin sınıfına bağlı zemin etki katsayıları kullanılarak deprem düzeylerine ilişkin Tablo 4.13'de gösterilen spektral ivme katsayıları ve Şekil 4.23'de gösterilen yatay elastik tasarım spektrum grafikleri oluşturulmuştur.

Tablo 4.13 4 deprem düzeyine ilişkin yatay elastik tasarım spektrum parametreleri

Deprem Düzeyi	S_S	S_1	F_S	F_1	S_{DS}	S_{D1}	T_A (sn)	T_B (sn)	T_L (sn)
DD-1	1.618	0.454	1.200	1.500	1.942	0.681	0.070	0.351	6
DD-2	0.927	0.259	1.200	1.500	1.112	0.389	0.070	0.350	6
DD-3	0.361	0.103	1.300	1.500	0.469	0.155	0.066	0.330	6
DD-4	0.230	0.065	1.300	1.500	0.299	0.097	0.065	0.324	6



Şekil 4.23 4 deprem düzeyine ilişkin yatay elastik tasarım spektrum grafikleri

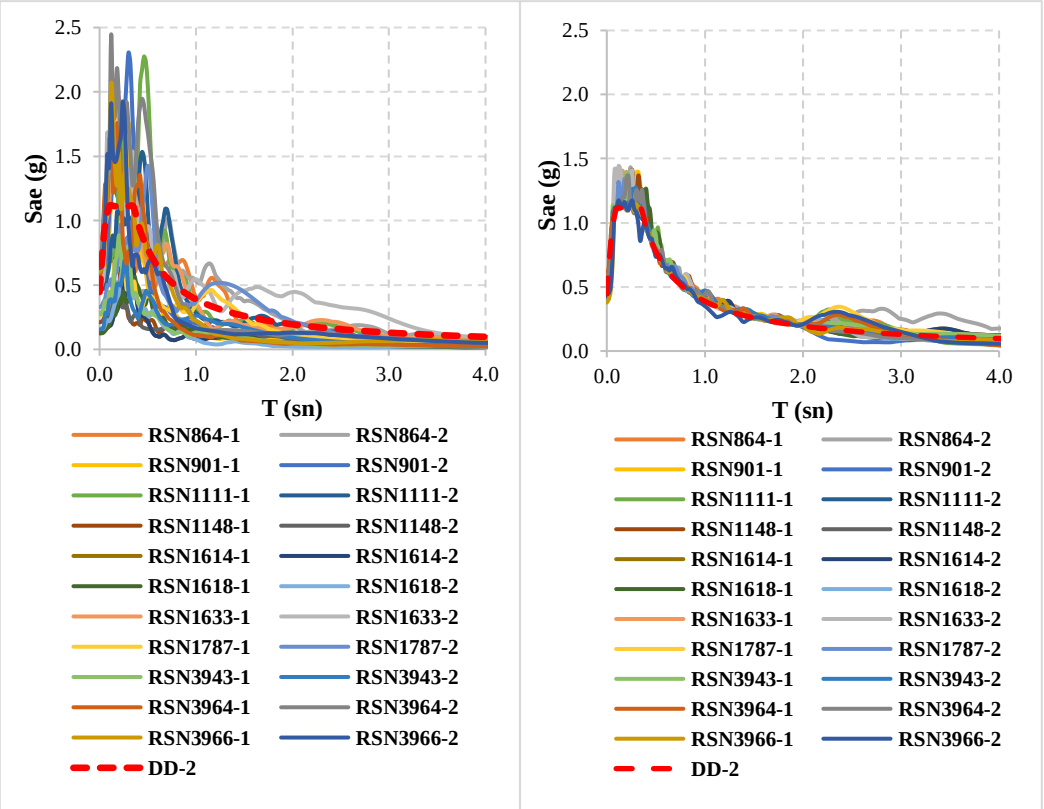
4.4 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için deprem kayıtlarının seçimi ve ölçeklendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışmada, 11 deprem yer hareketi takımı kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının PEER [37] veri tabanından elde edilmiştir. Depremin büyüklüğü 6.4 ile 8 arasında, kayma dalgası hızı 360 ile 760 m/s arasında olan 11 farklı deprem kaydı seçilmiş ve Tablo 4.14'te listelenmiştir.

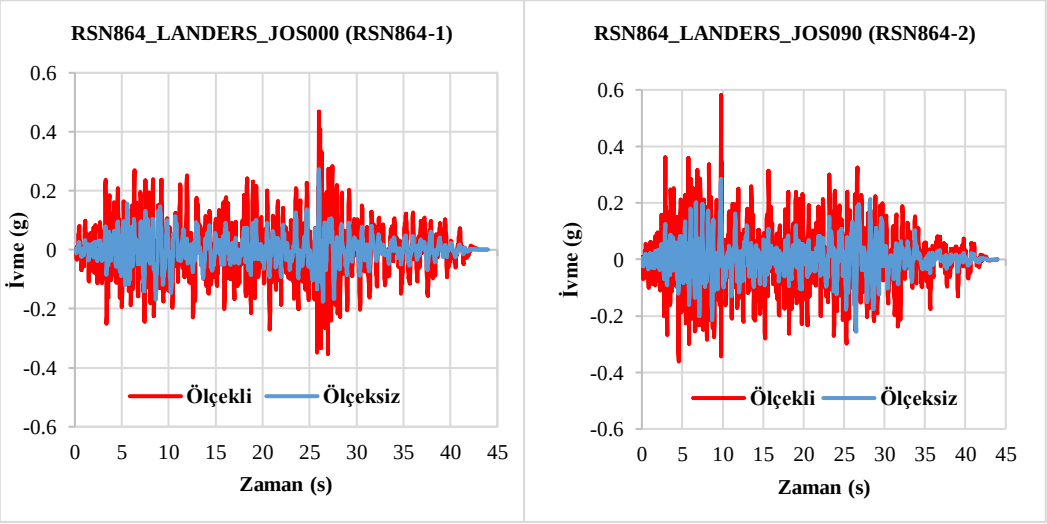
Tablo 4.14 Seçilen Deprem Kayıtları

RSN	Deprem	İstasyon	Yıl	Büyüklük (Mw)	PGA (g)	PGV (cm/s)	Vs (m/s)	Rrup (km)
864	Landers	Joshua Tree	1992	7.28	0.28	42.59	379.32	11.03
901	Big Bear-01	Big Bear Lake-Civiv Center	1992	6.46	0.55	34.51	430.36	8.3
1111	Kobe, Japan	Nishi, Akashi	1995	6.90	0.48	46.82	609	7.08
1148	Kocaeli, Turkey	Arcelik	1999	7.51	0.21	40.07	523	13.49
1614	Duzce, Turkey	Lamont 1061	1999	7.14	0.13	12.13	481	11.46
1618	Duzce, Turkey	Lamont 531	1999	7.14	0.16	13.41	638.39	8.03
1633	Manjil, Iran	Abbar	1990	7.37	0.52	50.59	723.95	12.55
1787	Hector Mine	Hector	1999	7.13	0.33	44.78	726	11.66
3943	Tottori, Japan	SMN015	2000	6.61	0.27	19.16	616.55	9.12
3964	Tottori, Japan	TTR007	2000	6.61	0.73	42.44	469.79	11.29
3966	Tottori, Japan	TTR009	2000	6.61	0.63	39.77	420.2	8.83

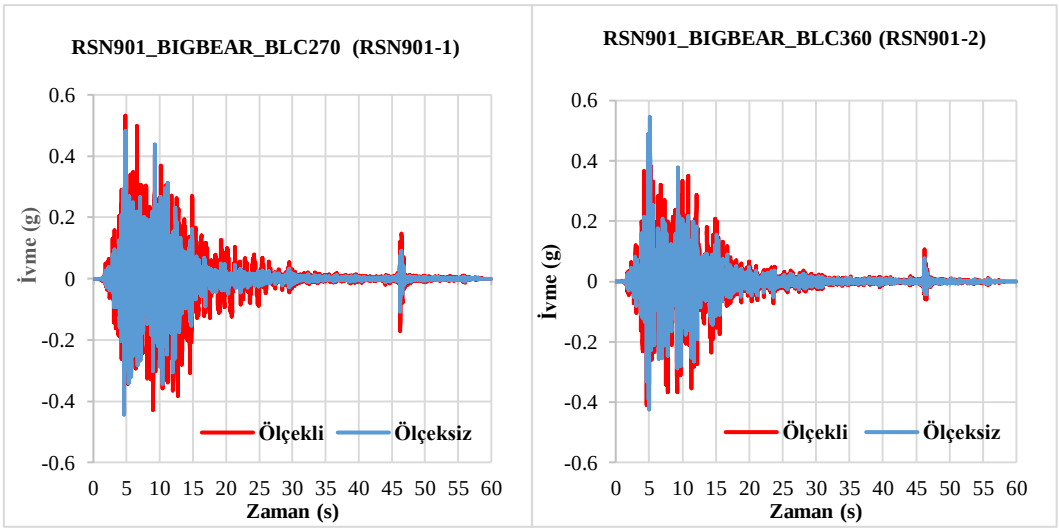
Deprem kayıtlarının ölçeklendirme işleminde SEISMOMATCH [38] programı kullanılmıştır. Deprem kayıtları DD-2 deprem yer hareketi düzeyine göre yapılmıştır. Ölçekli ve orijinal deprem kayıtlarına ait elastik deprem spektrum grafikleri Şekil 4.24'te, ivme-zaman grafikleri ise Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.



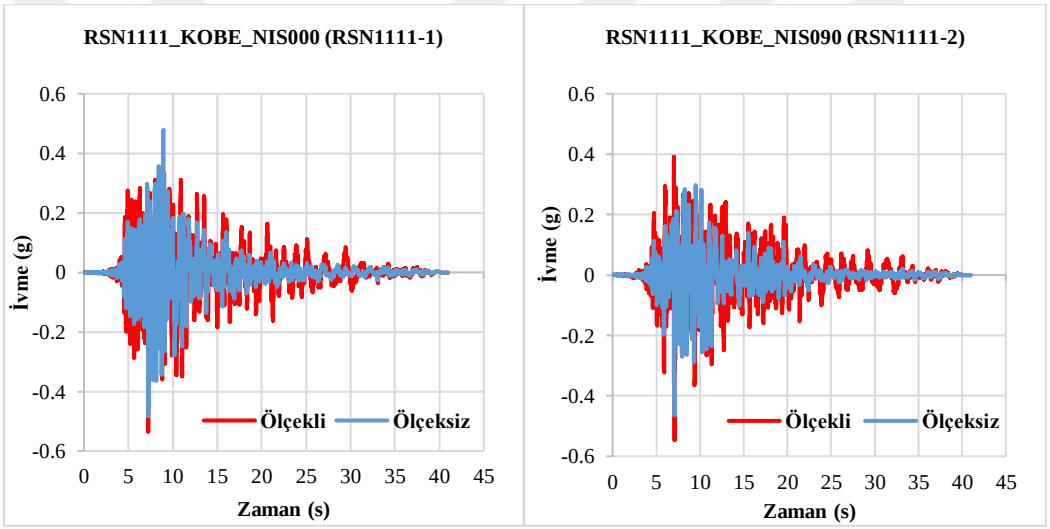
Şekil 4.24 Orijinal ve ölçekli elastik deprem spektrumu



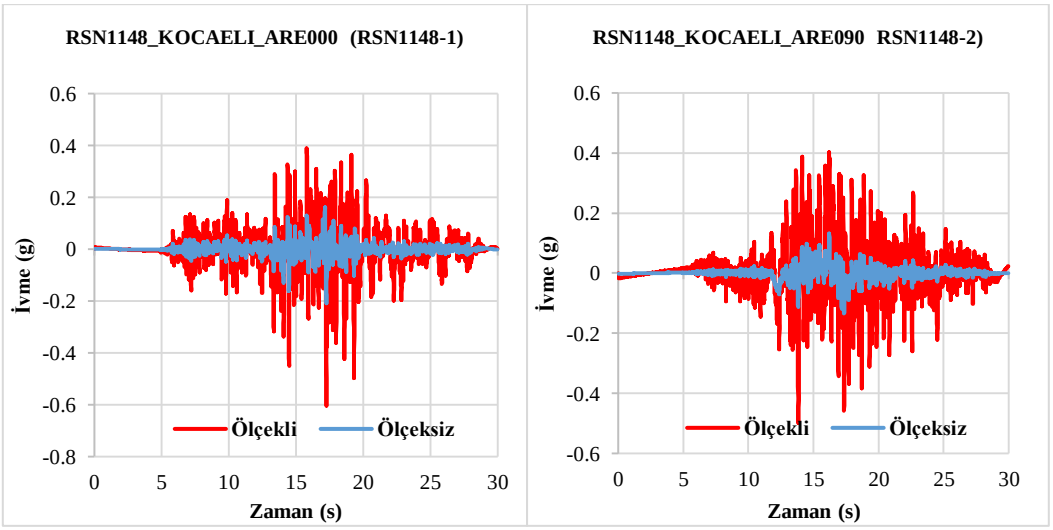
Şekil 4.25 RSN864 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



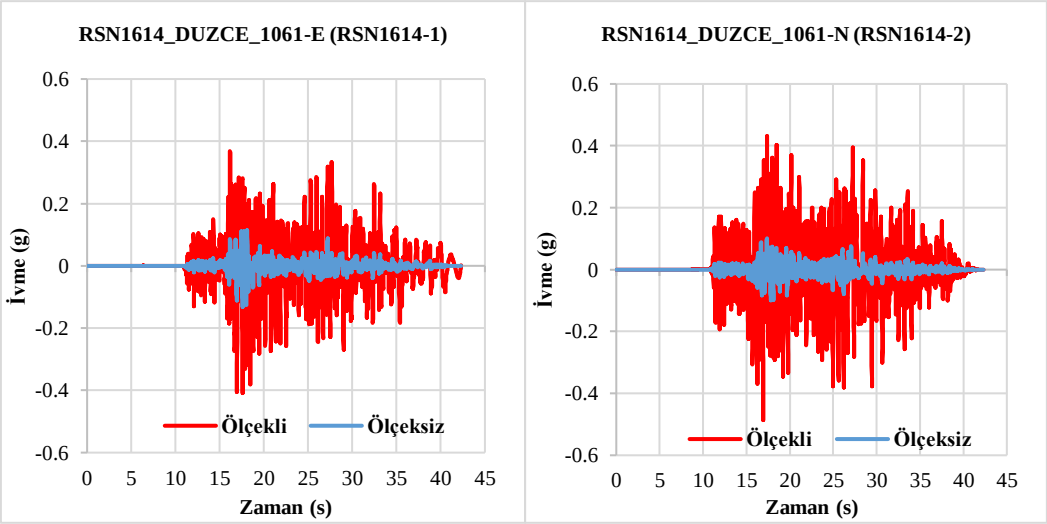
Şekil 4.26 RSN901 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



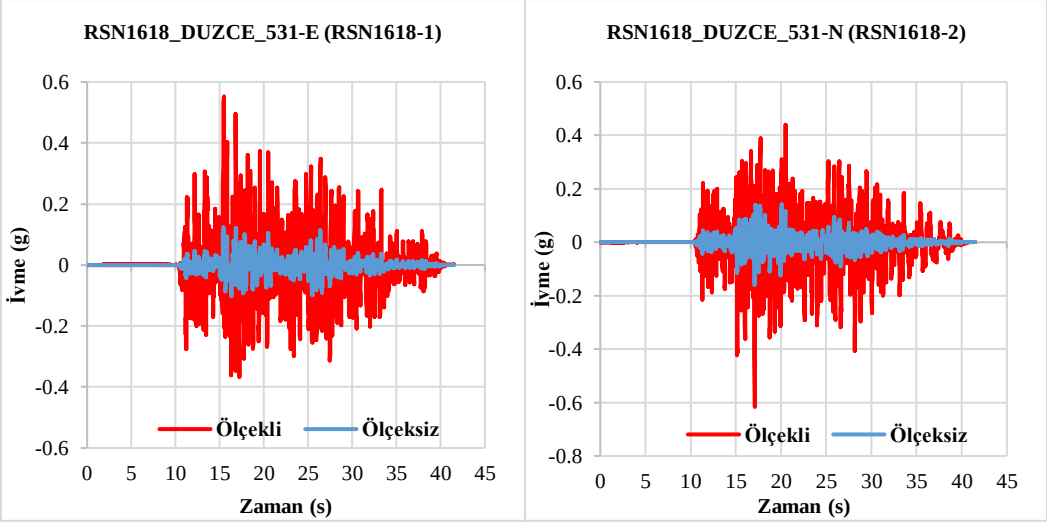
Şekil 4.27 RNS1111 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



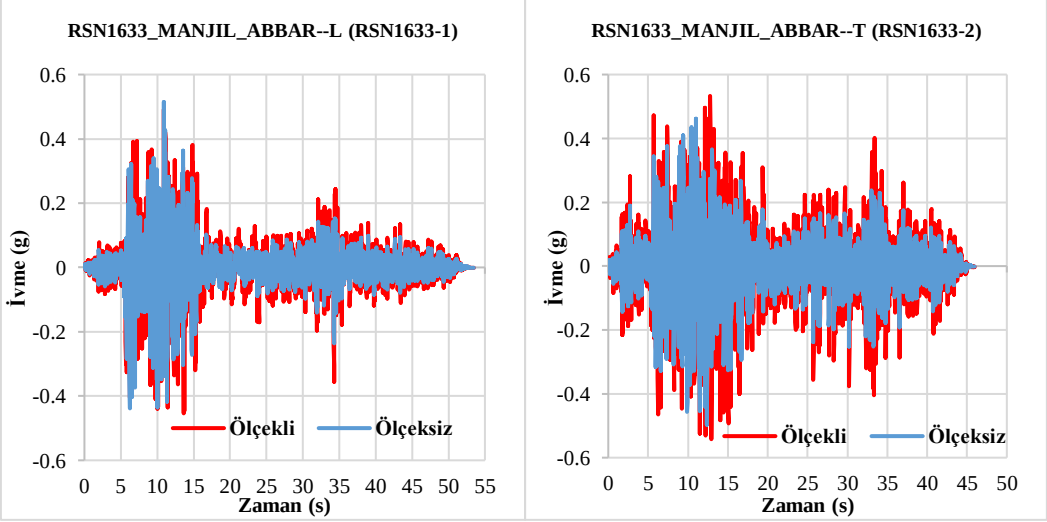
Şekil 4.28 RNS1148 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



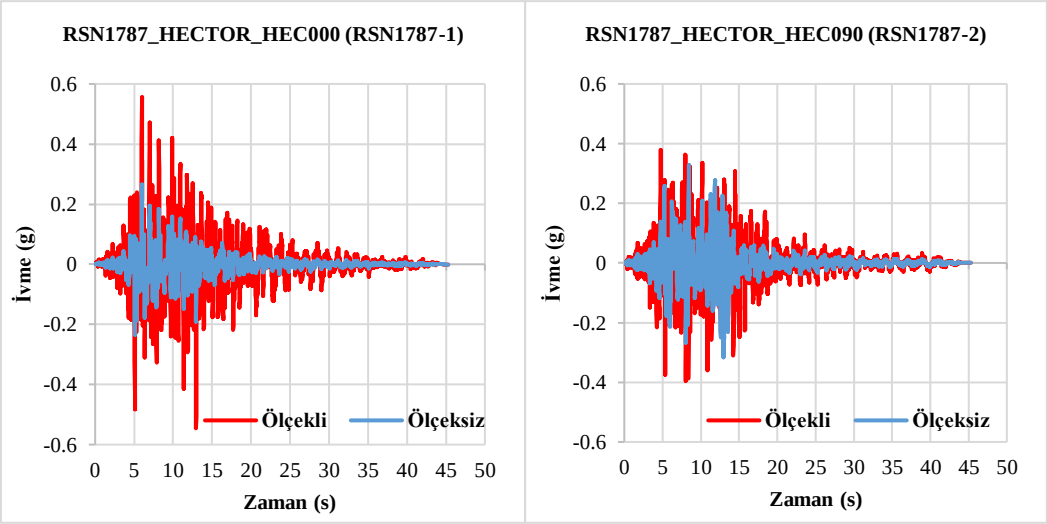
Şekil 4.29 RNS1614 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



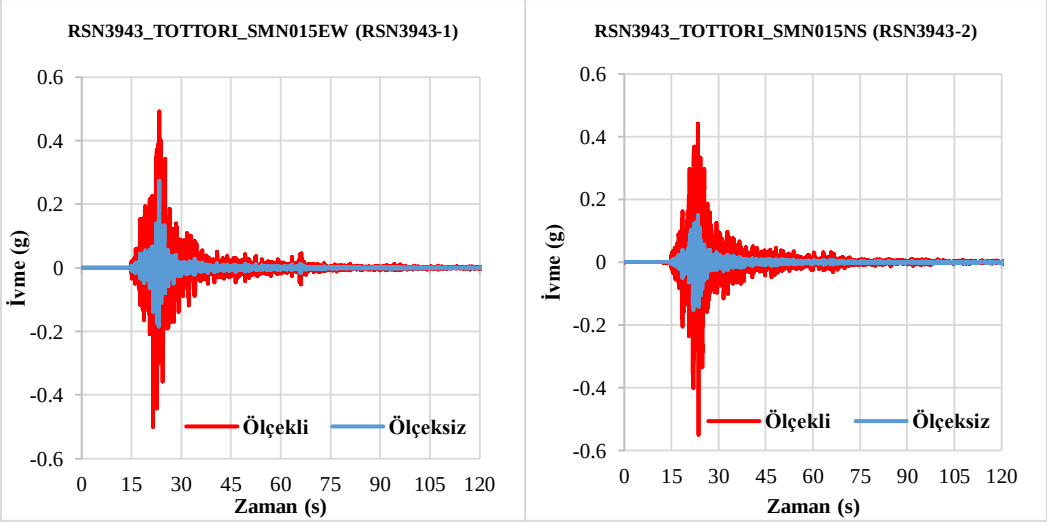
Şekil 4.30 RNS1618 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



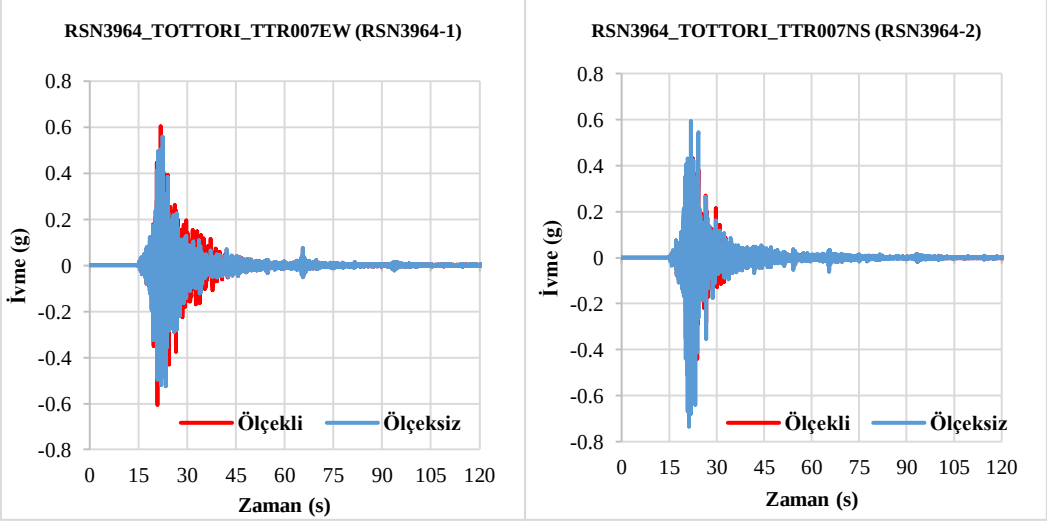
Şekil 4.31 RNS1633 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



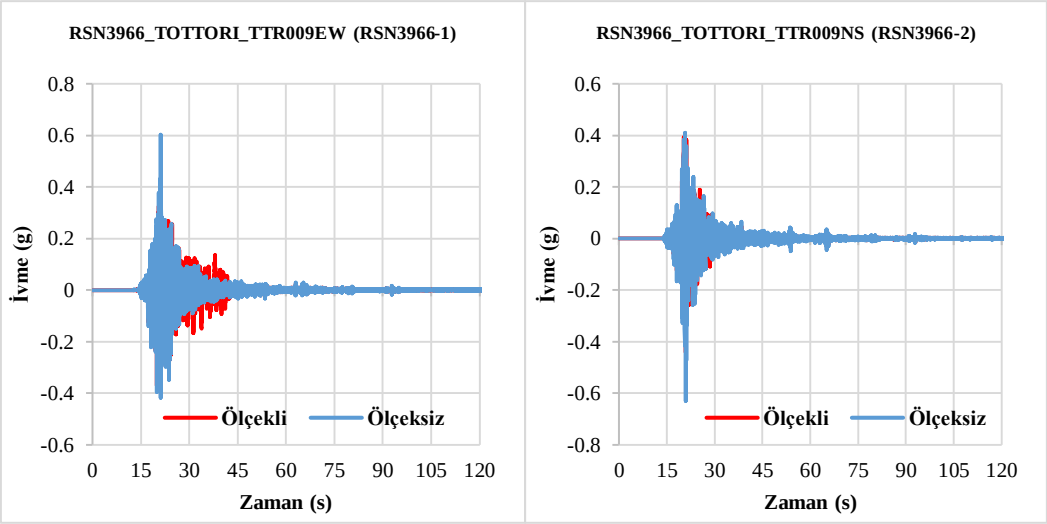
Şekil 4.32 RNS1787 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



Şekil 4.33 RNS3943 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



Şekil 4.34 RNS3964 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları



Şekil 4.35 RNS3966 depremi ölçekli ve ölçeksiz deprem ivme kayıtları

4.5 Artımsal Dinamik Analizlerin Tanımlanması

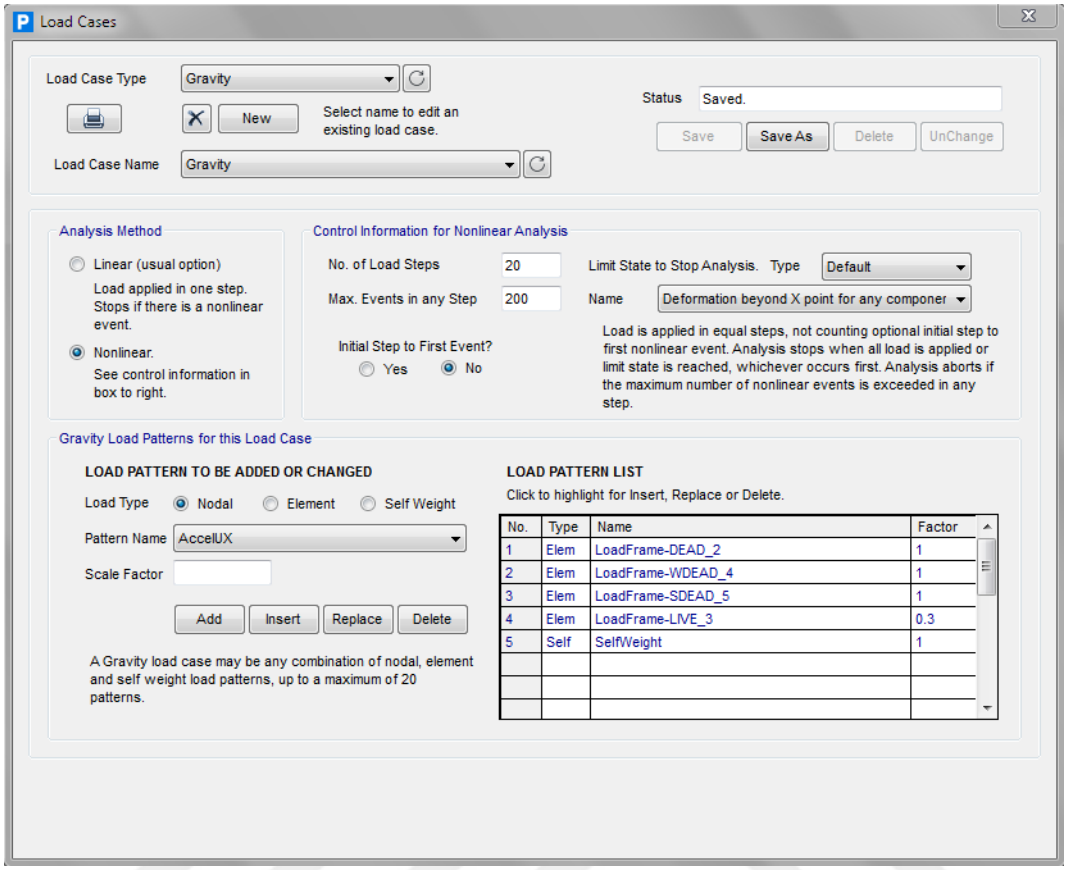
Bu bölüme kadarki adımlarda 3 binaya ait sistem modelleri oluşturulmuş, malzeme özellikleri tanımlanmış, kesitler atanmış, yükler tanımlanmış, kolon ve kirişlerde plastik mafsal özellikleri tanımlanmış, perdelerde fiber kesit özellikleri tanımlanmış, deprem kayıtları seçilmiş ve ölçeklendirilmiştir.

Yapıların deprem yer hareketi etkisindeki analizlerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılmıştır. Deprem kayıtları artımsal olarak yapıya etkitilmiştir, deprem artımları ölçeklendirilmiş deprem kayıtlarının ölçek faktörünün 0.1 değerinden 5.0 değerine 0.1 adımlarla arttırılması şeklinde yapılmıştır. Her bir analiz için 50 adet ölçeklendirme yapılmıştır. Birbirine dik yatay iki doğrultudaki ölçeklendirilmiş ivme kayıtları taşıyıcı sistemin (X) ve (Y) asal eksenleri doğrultusunda aynı anda birlikte etki ettirilmiştir. Daha sonra ivme kayıtlarının eksenleri 90 derece döndürülerek hesaplar tekrarlanmıştır. Böylelikle her bina için toplam 50 (ölçek faktörünün arttırılması) x22 (deprem analiz sayısı) =1100 adet ve 3 bina için toplam 1100x3=3300 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yapılmıştır. Tüm analizler PERFORM-3D programı ile yapılmıştır.

4.5.1 Doğrusal Olmayan Analiz İçin Başlangıç Koşulu

Doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılan deprem hesabından önce, statik düşey yüklerin taşıyıcı sisteme artımsal olarak uygulandığı doğrusal olmayan statik hesap yapılmıştır. Bu hesapta elde edilen iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler yatay deprem hesabında başlangıç değerleri olarak göz önüne alınmıştır.

PERFORM-3D modelinde bu başlangıç yük durumu Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



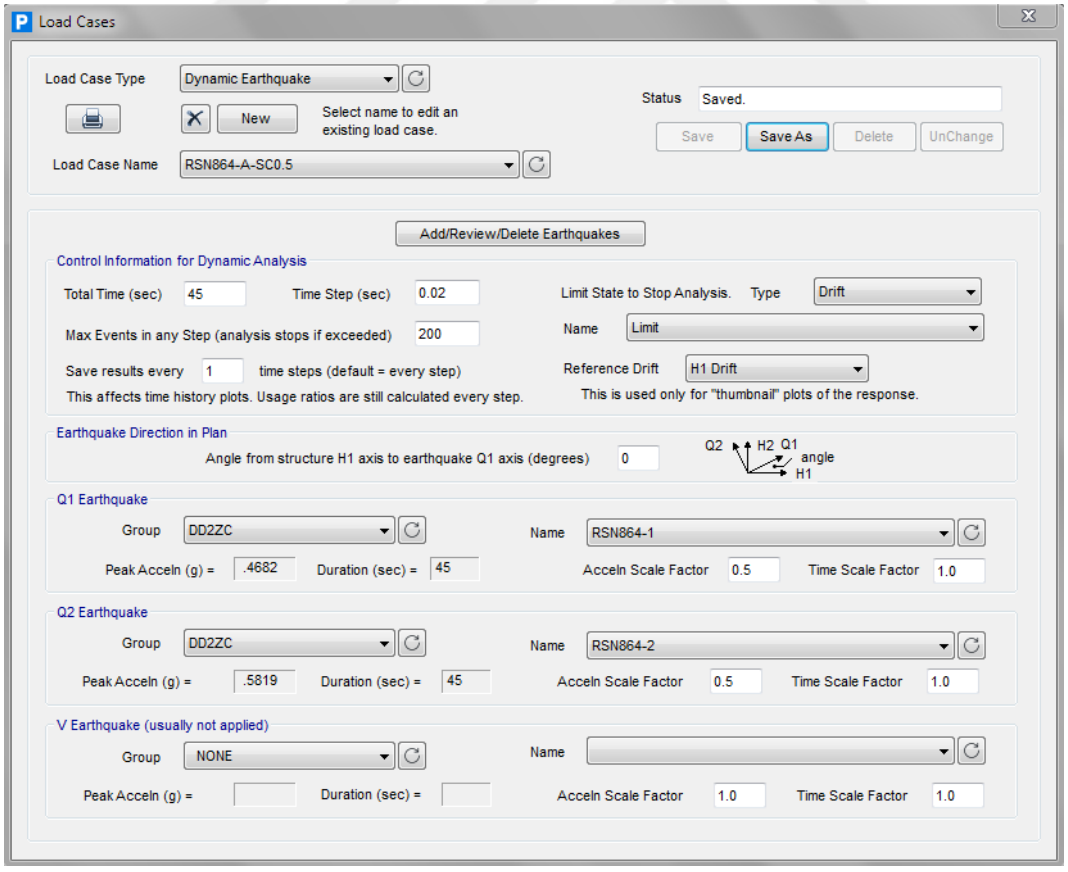
Şekil 4.36 PERFORM-3D programında başlangıç yük durumu tanımlanması

4.5.2 Doğrusal Olmayan Analizin Tanımlanması

PERFORM-3D modelinde her bina için toplam 1100 adet, 3 bina için toplam 3300 adet doğrusal olmayan deprem yükü tanımı yapılmıştır. Her bir doğrusal olmayan analizden önce Bölüm 4.5.1'de tanımlanan başlangıç koşulu tanımlanmıştır. Örnek olarak RSN864-A analizinin ölçek faktörü 0.5 için PERFORM-3D modelinde tanımlanması Şekil 4.37'de gösterilmiştir. RSN864-A analizi X deprem doğrultusunda ölçeklendirilmiş ivme kaydının RSN864-1 ve Y deprem doğrultusunda ölçeklendirilmiş ivme kaydının RNS864-2 olduğu analiz anlamına gelmektedir. Tanımlanan dinamik analizler Tablo 4.15'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15 PERFORM-3D modelinde tanımlanan dinamik analizler

Analiz Adı	X doğrultusu	Y doğrultusu
RSN864-A	RSN864-1	RSN864-2
RSN864-B	RSN864-2	RSN864-1
RSN901-A	RSN901-1	RSN901-2
RSN901-B	RSN901-2	RSN901-1
RSN1111-A	RSN1111-1	RSN1111-2
RSN1111-B	RSN1111-2	RSN1111-1
RSN1148-A	RSN1148-1	RSN1148-2
RSN1148-B	RSN1148-2	RSN1148-1
RSN1614-A	RSN1614-1	RSN1614-2
RSN1614-B	RSN1614-2	RSN1614-1
RSN1618-A	RSN1618-1	RSN1618-2
RSN1618-B	RSN1618-2	RSN1618-1
RSN1633-A	RSN1633-1	RSN1633-2
RSN1633-B	RSN1633-2	RSN1633-1
RSN1787-A	RSN1787-1	RSN1787-2
RSN1787-B	RSN1787-2	RSN1787-1
RSN3943-A	RSN3943-1	RSN3943-2
RSN3943-B	RSN3943-2	RSN3943-1
RSN3964-A	RSN3964-1	RSN3964-2
RSN3964-B	RSN3964-2	RSN3964-1
RSN3966-A	RSN3966-1	RSN3966-2
RSN3966-B	RSN3966-2	RSN3966-1



Şekil 4.37 RSN864-A depreminin ölçek faktörü 0.5 için PERFORM-3D programında tanımlanması

4.6 Analiz Bulguları

Farklı taşıyıcı sisteme sahip 3 farklı yerinde dökme betonarme yapı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan artımsal analizler yapılmıştır.

Yapıların periyotları, göreli kat ötelemeleri oranları, artımsal dinamik analiz eğrileri ve yapıların kayıp oranların karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve sonuçları bu bölümde değerlendirilmiştir.

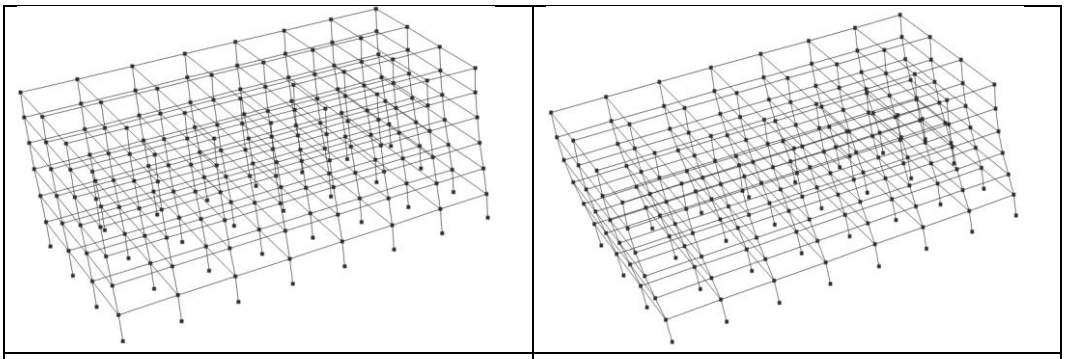
4.6.1 Yapı Kütleleri ve Periyotları

Yapıların modal analizlerinin yapılmasında ve modal parametrelerin belirlenmesinde PERFORM-3D programı kullanılmıştır. Denklem (4.1)'e göre hesaplanmış yapı kütleleri Tablo 4.16'da gösterilmiştir.

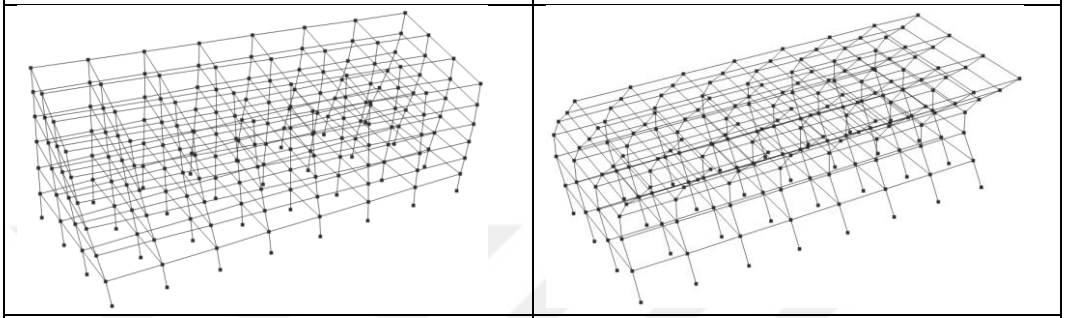
Örnek olarak tip 1 binanın 1. mod titreşim periyodu binanın Y doğrultusunda 0.973 sn, 2. mod titreşim periyodu binanın X doğrultusunda 0.919 sn ve 3. mod burulma formunda 0.895 sn olarak hesaplanmıştır ve Şekil 4.38'de gösterilmiştir. Tip 2 ve Tip 3 bina için mod şekilleri Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da gösterilmiştir. Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 binanın tüm periyotlarına ait titreşim modu periyotları ve modal kütle katılım oranların Tablo 4.17, Tablo 4.18 ve Tablo 4.19'da gösterilmiştir. Örnek olarak tip 1 binanın 1. Modu kütle katılım oranı 0.806 olarak hesaplanmıştır. Burada H1 yapının X doğrultusunu ve H2 yapının Y doğrultusunu ifade etmektedir.

Tablo 4.16 Yapı Kütleleri

Bina Tipi	Yapı Kütlesi (ton)
Tip 1 Bina	11696
Tip 2 Bina	11708
Tip 3 Bina	11436

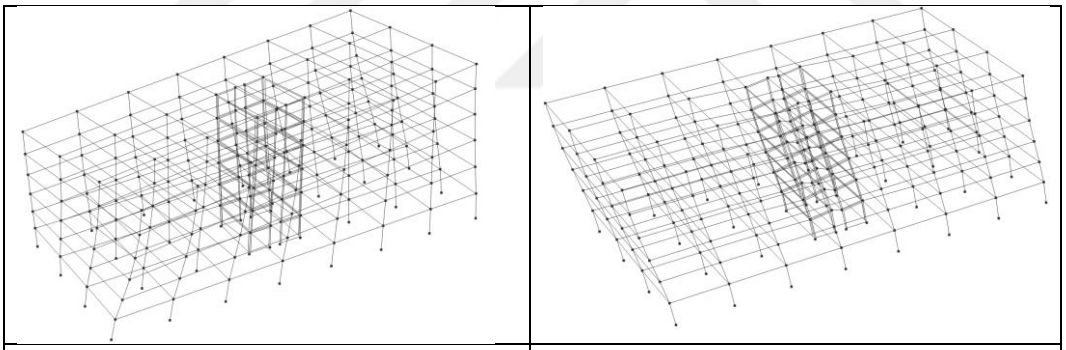


I. Mod Deformasyon Şekli (T=0.973 sn) | II. Mod Deformasyon Şekli (T=0.919 sn)

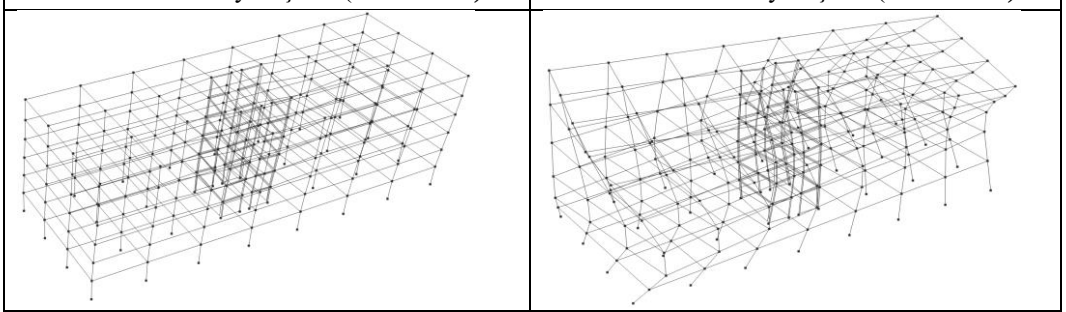


III. Mod Deformasyon Şekli (T=0.895 sn) | IV. Mod Deformasyon Şekli (T=0.299 sn)

Şekil 4.38 Tip 1 bina mod şekilleri ve periyotları

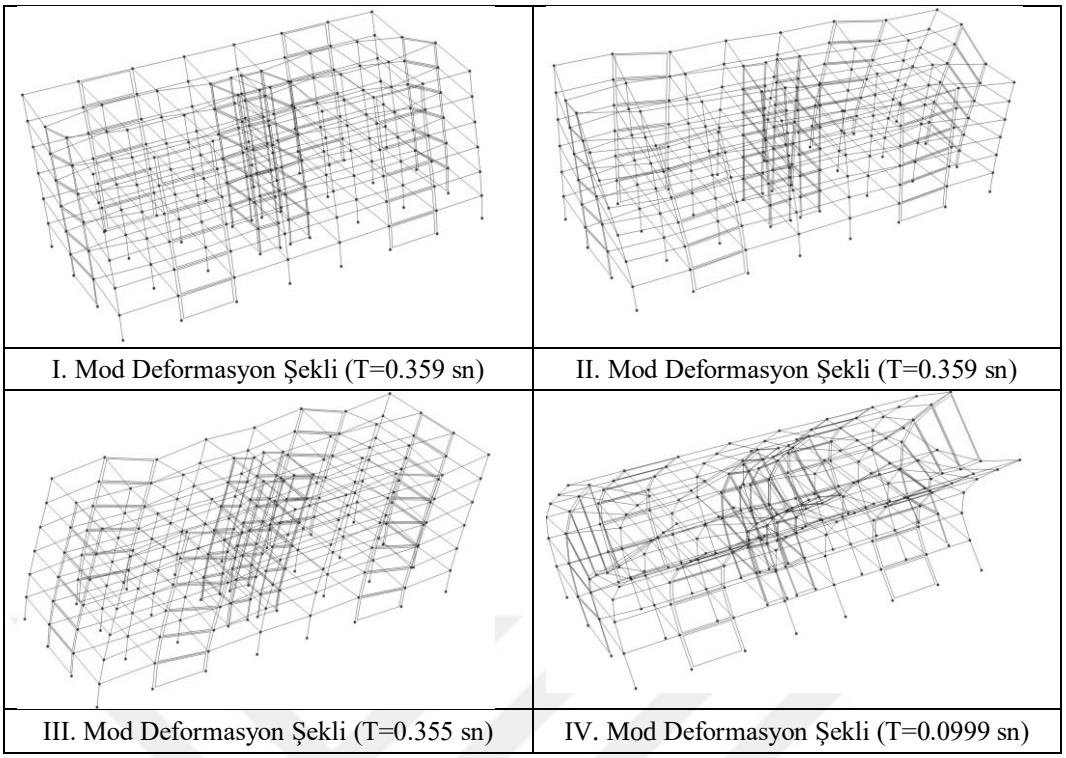


I. Mod Deformasyon Şekli (T=0.735 sn) | II. Mod Deformasyon Şekli (T=0.482 sn)



III. Mod Deformasyon Şekli (T=0.408 sn) | IV. Mod Deformasyon Şekli (T=0.232 sn)

Şekil 4.39 Tip 2 bina mod şekilleri ve periyotları



I. Mod Deformasyon Şekli (T=0.359 sn) | II. Mod Deformasyon Şekli (T=0.359 sn)

III. Mod Deformasyon Şekli (T=0.355 sn) | IV. Mod Deformasyon Şekli (T=0.0999 sn)

Şekil 4.40 Tip 3 bina mod şekilleri ve periyotları

Tablo 4.17 Tip 1 bina periyotları ve modal kütle katılım oranları

Mod	Periyot (sn)	H1 Doğrultusu Kütle Katılım Oranı	H2 Doğrultusu Kütle Katılım Oranı	H1 Doğrultusu Kütle Toplam Katılım Oranı	H2 Doğrultusu Kütle Toplam Katılım Oranı
1	0.973	0.000	0.806	0.000	0.806
2	0.919	0.811	0.000	0.811	0.806
3	0.895	0.000	0.000	0.811	0.806
4	0.299	0.000	0.107	0.811	0.914
5	0.285	0.105	0.000	0.916	0.914
6	0.278	0.000	0.000	0.916	0.914
7	0.156	0.000	0.045	0.916	0.959
8	0.151	0.044	0.000	0.960	0.959
9	0.148	0.000	0.000	0.960	0.959
10	0.096	0.000	0.024	0.960	0.983
11	0.094	0.024	0.000	0.984	0.983
12	0.092	0.000	0.000	0.984	0.983

Tablo 4.18 Tip 2 bina periyotları ve modal kütle katılım oranları

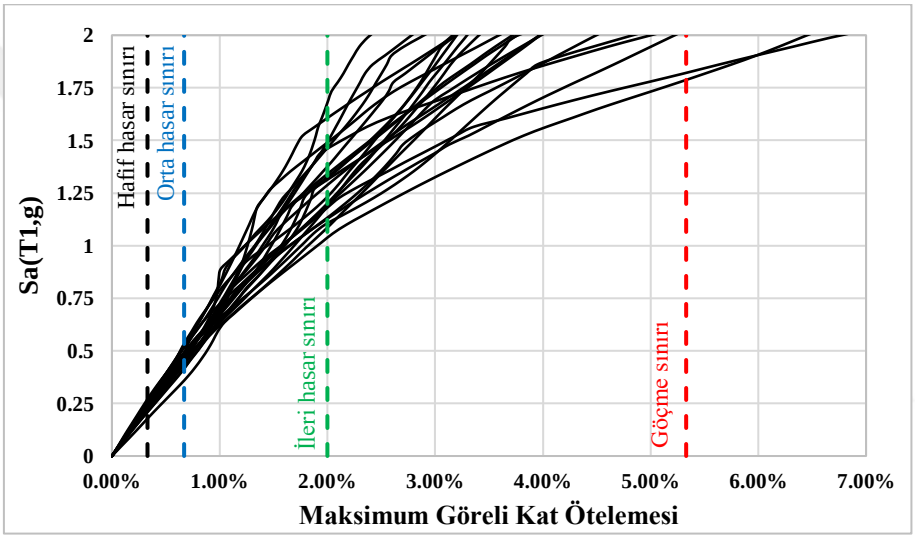
Mod	Periyot (sn)	H1 Doğrultusu Kütle Katılım Oranı	H2 Doğrultusu Kütle Katılım Oranı	H1 Doğrultusu Kütle Toplam Katılım Oranı	H2 Doğrultusu Kütle Toplam Katılım Oranı
1	0.735	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.482	0.787	0.000	0.787	0.000
3	0.408	0.000	0.782	0.787	0.782
4	0.232	0.000	0.000	0.787	0.782
5	0.145	0.139	0.000	0.926	0.782
6	0.128	0.000	0.000	0.926	0.782
7	0.124	0.000	0.157	0.926	0.939
8	0.083	0.000	0.000	0.926	0.939
9	0.077	0.045	0.000	0.971	0.939
10	0.067	0.000	0.037	0.971	0.976
11	0.060	0.000	0.000	0.971	0.976
12	0.052	0.019	0.000	0.990	0.976

Tablo 4.19 Tip 3 bina periyotları ve modal kütle katılım oranları

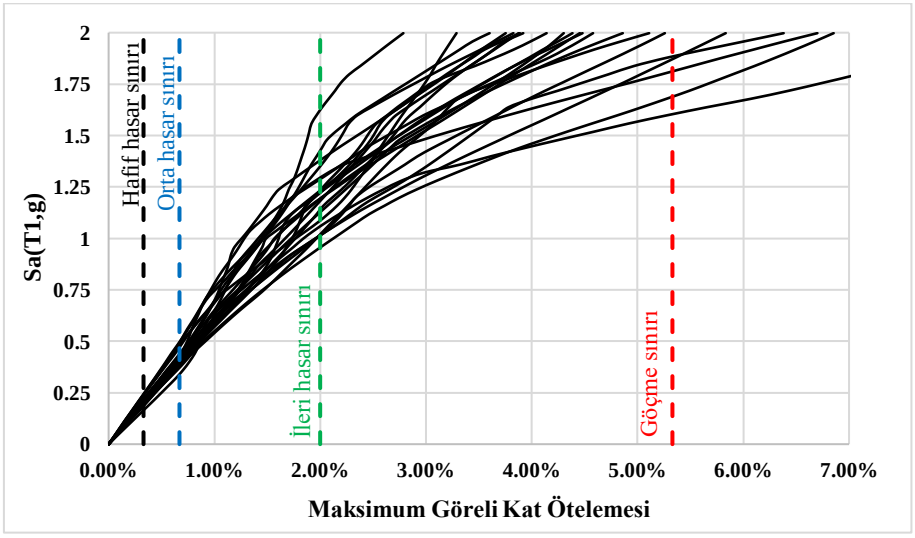
Mod	Periyot (sn)	H1 Doğrultusu Kütle Katılım Oranı	H2 Doğrultusu Kütle Katılım Oranı	H1 Doğrultusu Kütle Toplam Katılım Oranı	H2 Doğrultusu Kütle Toplam Katılım Oranı
1	0.359	0.000	0.749	0.000	0.749
2	0.359	0.000	0.000	0.000	0.749
3	0.355	0.731	0.000	0.731	0.749
4	0.100	0.000	0.187	0.731	0.935
5	0.092	0.197	0.000	0.928	0.935
6	0.089	0.000	0.000	0.928	0.935
7	0.052	0.000	0.042	0.928	0.977
8	0.046	0.048	0.000	0.976	0.977
9	0.044	0.000	0.000	0.976	0.977
10	0.037	0.000	0.015	0.976	0.993
1	0.032	0.017	0.000	0.993	0.993
12	0.031	0.000	0.000	0.993	0.993

4.6.2 Artımsal Dinamik Analiz Eğrileri

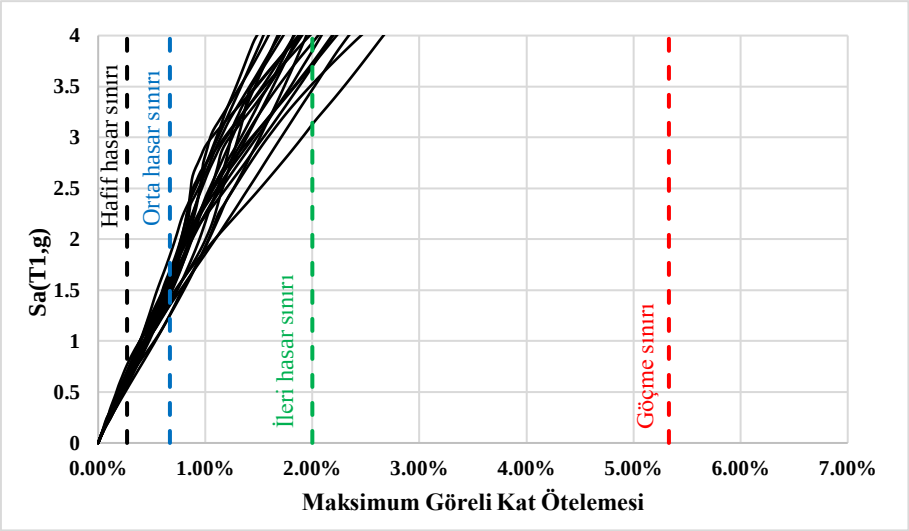
Herhangi bir deprem doğrultusunda herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden göreli kat ötelemesi her bir dinamik analizin artımsal her bir adımı için, H1 ve H2 doğrultusunda hesaplanmıştır. Hesaplanan katlar arası en büyük göreli kat ötelemesi ve bu göreli kat ötelemesi oluşturan 1. moda ait spektral ivme değerleri kullanılarak artımsal dinamik analiz eğrileri oluşturulmuştur. HAZUS yazılımına göre Tip 1 bina C1M sınıfına, Tip 2 ve Tip 3 bina C2M sınıfına girmektedir ve farklı hasar durumlarına karşılık gelen göreli kat ötelemesi sınırları Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.44, Şekil 4.45, Şekil 4.46 üzerinde gösterilmiştir.



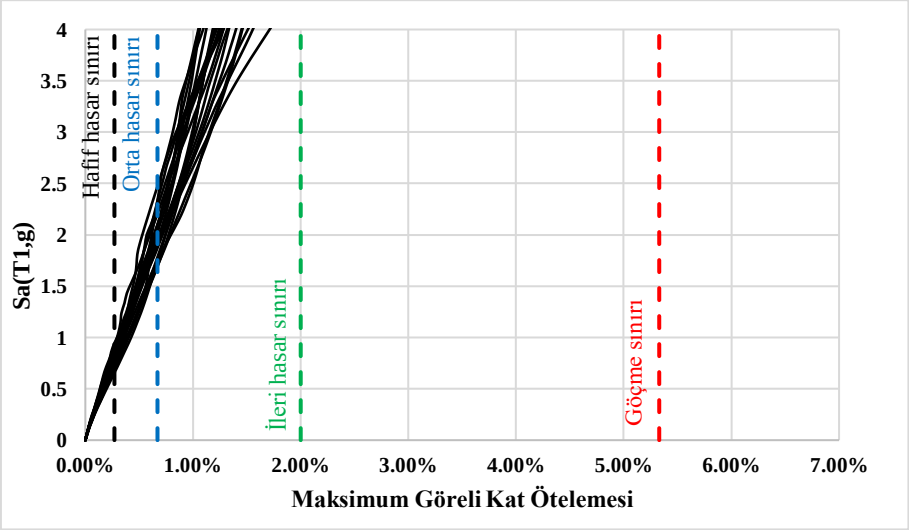
Şekil 4.41 Tip 1 Bina H1 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi



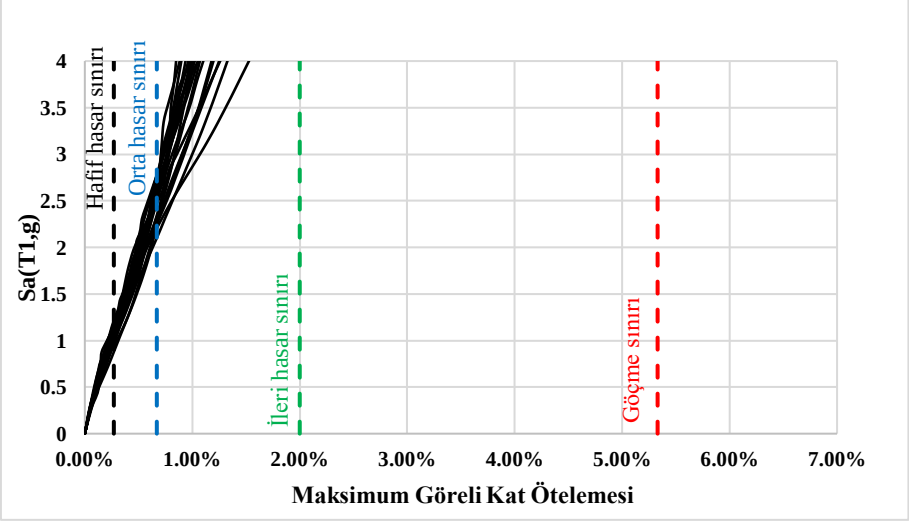
Şekil 4.42 Tip 1 Bina H2 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi



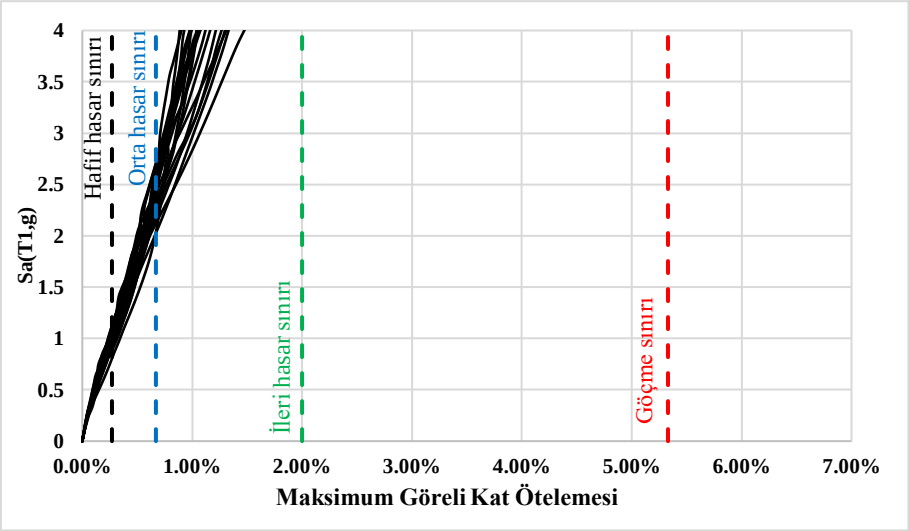
Şekil 4.43 Tip 2 Bina H1 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi



Şekil 4.44 Tip 2 Bina H2 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi



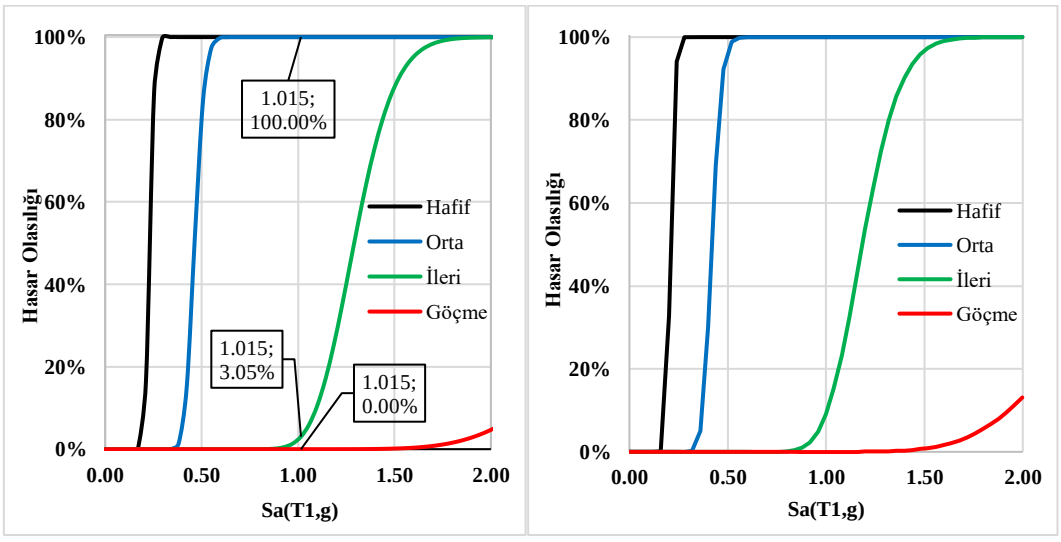
Şekil 4.45 Tip 3 Bina H1 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi



Şekil 4.46 Tip 3 Bina H2 doğrultusu artımsal dinamik analiz eğrisi

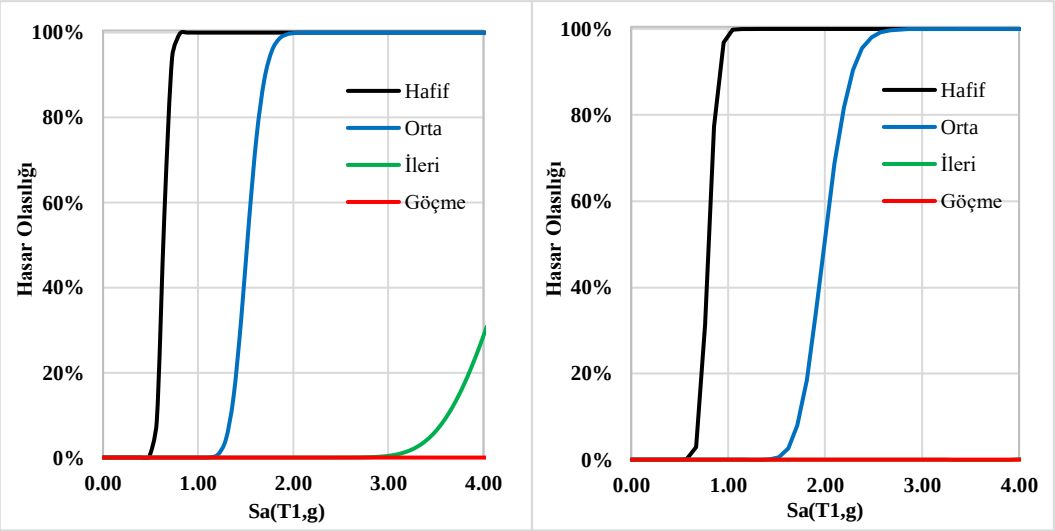
4.6.3 Hasar Olasılık Eğrileri

Artımsal dinamik analiz eğrileri ve farklı hasar durumlarına göre HAZUS yazılımından alınan göreli kat ötelemesi limitleri kullanılarak hasar olasılık eğrileri oluşturulmuştur ve Şekil 4.47, Şekil 4.48 ve Şekil 4.49'da gösterilmiştir. Örnek olarak Tip 1 bina H1 doğrultusunda 1.015g spektral ivme değerinde hafif ve orta hasar olma ihtimali %100, ileri hasar olma ihtimali %3.05 ve göçme olma ihtimali %0 olarak hesaplanmıştır.



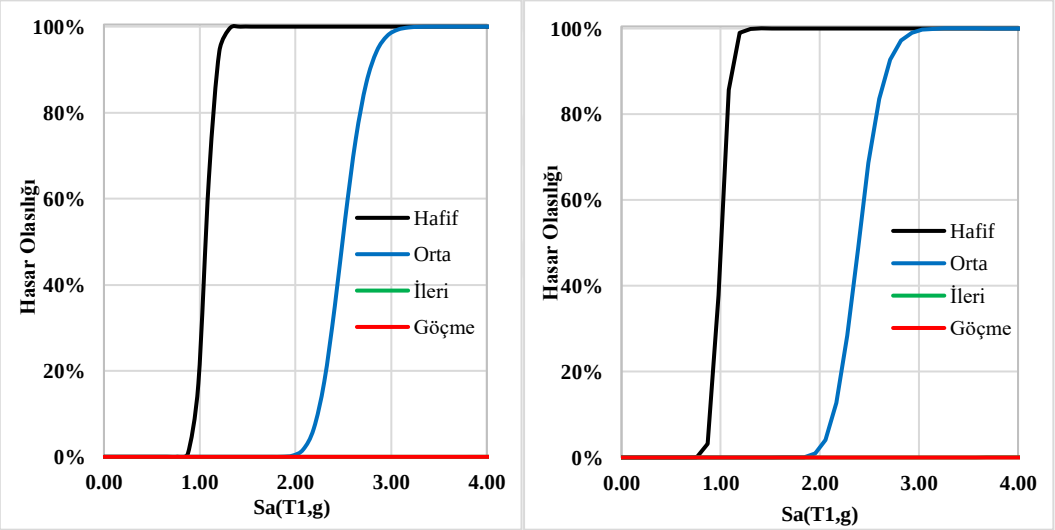
(a) (b)

Şekil 4.47 Tip 1 Bina hasar olasılık eğrileri a) H1 doğrultusu b) H2 doğrultusu



(a) (b)

Şekil 4.48 Tip 2 Bina hasar olasılık eğrileri a) H1 doğrultusu b) H2 doğrultusu



(a) (b)

Şekil 4.49 Tip 3 Bina hasar olasılık eğrileri a) H1 doğrultusu b) H2 doğrultusu

Farklı deprem seviyeleri için binalara ait hasar olasılık değerleri Tablo 4.20, Tablo 4.21 ve Tablo 4.22'de gösterilmiştir. Örnek olarak Tip 1 bina için H1 doğrultusunda DD-2 deprem düzeyi için orta hasar meydana gelme olasılığı %15.14'tür.

Tablo 4.20 Tip 1 deprem seviyelerine göre hasar olasılık değerleri

Deprem Doğrultusu	Deprem Seviyesi	S_a(T1,g)	Hafif	Orta	İleri	Göçme
H1	DD-1	0.742	%100.00	%100.00	%0.00	%0.00
	DD-2	0.423	%100.00	%15.14	%0.00	%0.00
	DD-3	0.168	%0.02	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-4	0.106	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
H2	DD-1	0.700	%100.00	%100.00	%0.00	%0.00
	DD-2	0.400	%100.00	%30.12	%0.00	%0.00
	DD-3	0.159	%0.18	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-4	0.100	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00

Tablo 4.21 Tip 2 deprem seviyelerine göre hasar olasılık değerleri

Deprem Doğrultusu	Deprem Seviyesi	S_a(T1,g)	Hafif	Orta	İleri	Göçme
H1	DD-1	1.413	%100.00	%23.46	%0.00	%0.00
	DD-2	0.807	%99.75	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-3	0.322	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-4	0.201	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
H2	DD-1	1.669	%100.00	%5.39	%0.00	%0.00
	DD-2	0.953	%96.85	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-3	0.380	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-4	0.238	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00

Tablo 4.22 Tip 3 deprem seviyelerine göre hasar olasılık değerleri

Deprem Doğrultusu	Deprem Seviyesi	S_a(T1,g)	Hafif	Orta	İleri	Göçme
H1	DD-1	1.918	%100.00	%0.14	%0.00	%0.00
	DD-2	1.096	%64.63	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-3	0.437	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-4	0.273	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
H2	DD-1	1.897	%100.00	%0.51	%0.00	%0.00
	DD-2	1.084	%85.66	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-3	0.432	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00
	DD-4	0.270	%0.00	%0.00	%0.00	%0.00

4.6.4 Kayıp Fonksiyonu

Deprem etkisinden kaynaklı kayıpların hesabında HAZUS yazılımı kullanılmıştır. Yapıların konut olarak kullanılması planlandığından HAZUS yazılımına göre kullanım açısı bakımından RES3 sınıfına girmektedir. RES3 için verilen hasar oranları (r_k) ve belirlenen hasar olasılık değerleri kullanılarak yapılarda olması tahmin edilen kayıplar belirlenmiştir. Bu çalışmada sadece doğrudan kayıplar hesaplanmıştır. Bina tipleri için kayıp yüzdeleri Tablo 4.23, Tablo 4.24 ve Tablo 4.25'de gösterilmiştir. Örnek olarak Tip 1 bina için DD-1 deprem düzeyinden H1 doğrultusu için kayıp oranı %10.00'dur.

Tablo 4.23 Tip 1 Bina kayıp yüzdeleri

Doğrudan Kayıplar (L_D)	**DD-1**	**DD-2**	**DD-3**	**DD-4**
H1 Doğrultusu	%10.00	%3.21	%0.00	%0.00
H2 Doğrultusu	%10.00	%4.41	%0.00	%0.00

Tablo 4.24 Tip 2 Bina kayıp yüzdeleri

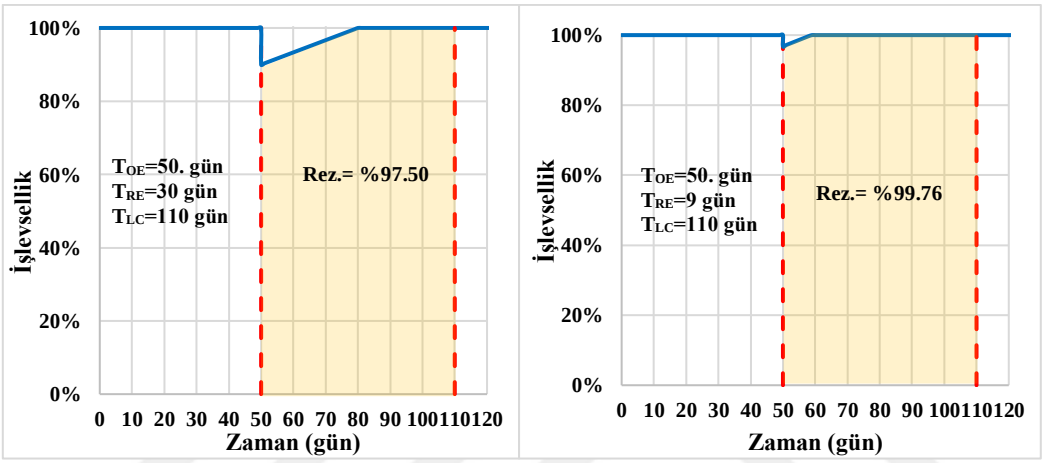
Doğrudan Kayıplar (L_D)	**DD-1**	**DD-2**	**DD-3**	**DD-4**
H1 Doğrultusu	%3.88	%2.00	%0.00	%0.00
H2 Doğrultusu	%2.43	%1.94	%0.00	%0.00

Tablo 4.25 Tip 3 Bina kayıp yüzdeleri

Doğrudan Kayıplar (L_D)	**DD-1**	**DD-2**	**DD-3**	**DD-4**
H1 Doğrultusu	%2.01	%1.29	%0.00	%0.00
H2 Doğrultusu	%2.04	%1.71	%0.00	%0.00

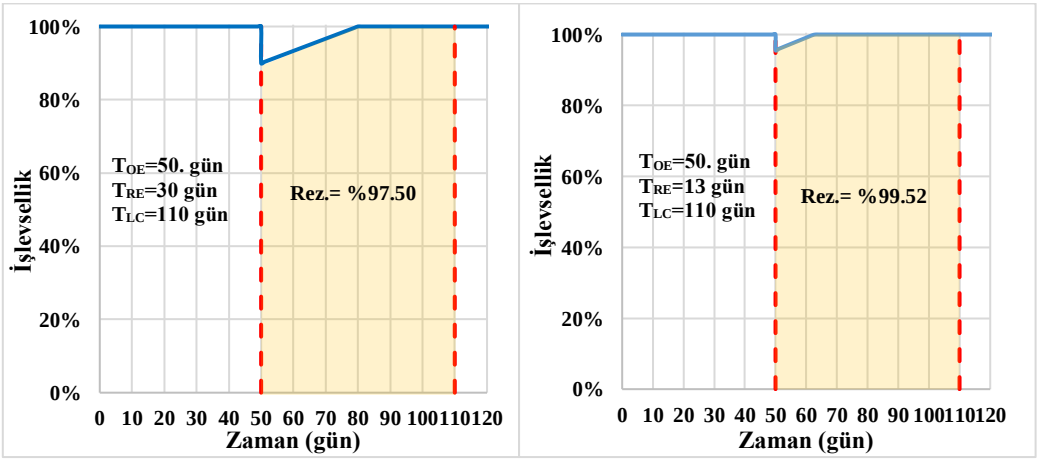
4.6.5 Sismik Rezilyans

Bu çalışmada lineer iyileşme fonksiyonu kullanılmıştır. Kontrol süresi (T_{LC}) binanın kullanım ömrüne ve depremin oluşma olasılığına göre seçilen bir süredir. Bu çalışmada farklı sistemlerin sismik rezilyansının karşılaştırması yapılacağından binaların kullanım ömrü yerine sabit bir süre olarak 110 gün kabul edilmiştir. İyileşme süresi (T_{RE}) olarak, HAZUS yazılımında RES3 binalar için verilen süreler dikkate alınmıştır. 3 tip bina için işlevsellik eğrileri ve rezilyans değerleri Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'de gösterilmiştir.



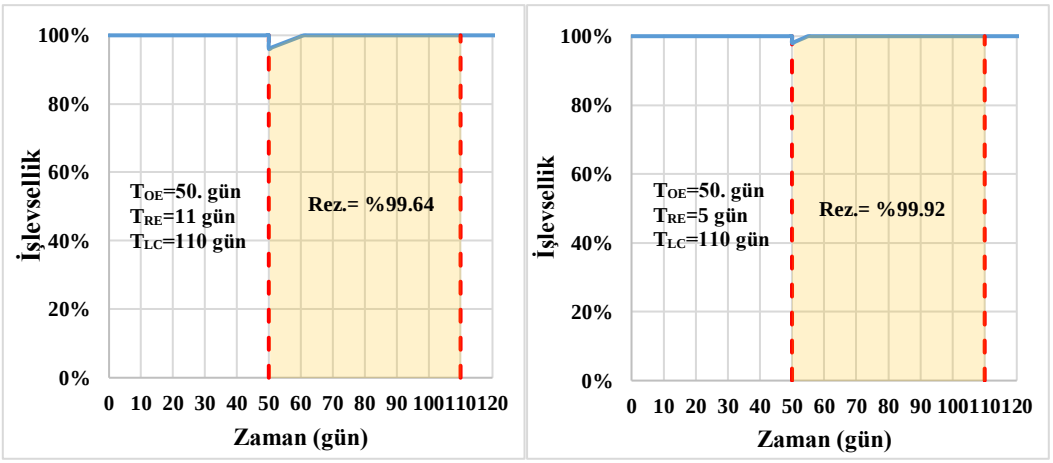
(a) (b)

Şekil 4.50 Tip bina 1 H1 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi



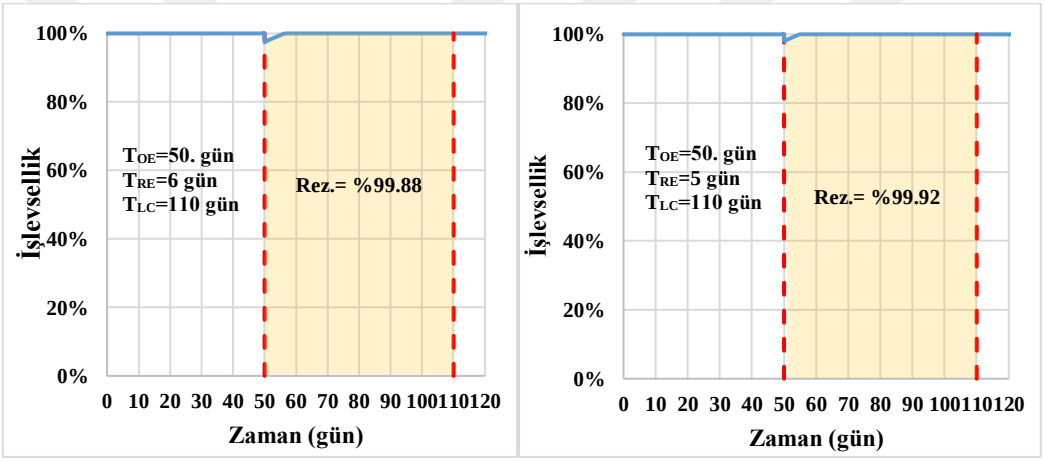
(a) (b)

Şekil 4.51 Tip bina 1 H2 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi



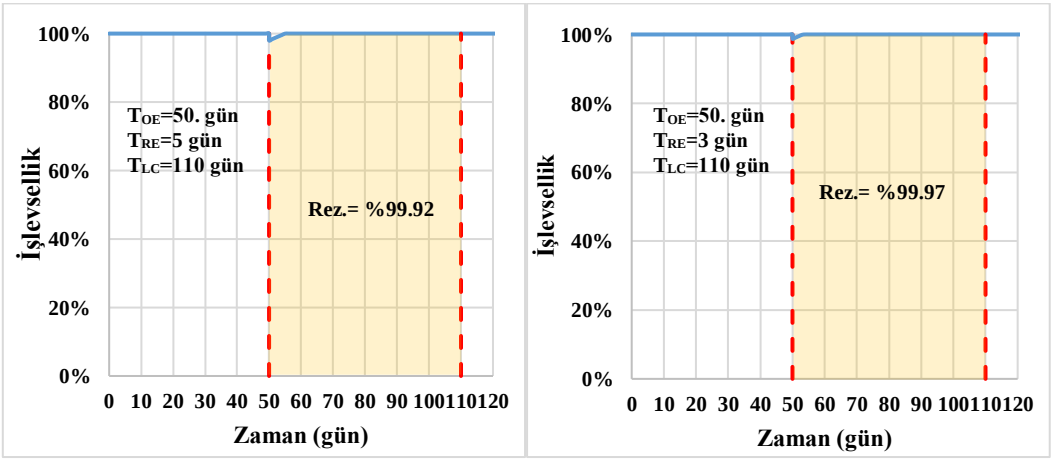
(a) (b)

Şekil 4.52 Tip bina 2 H1 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi



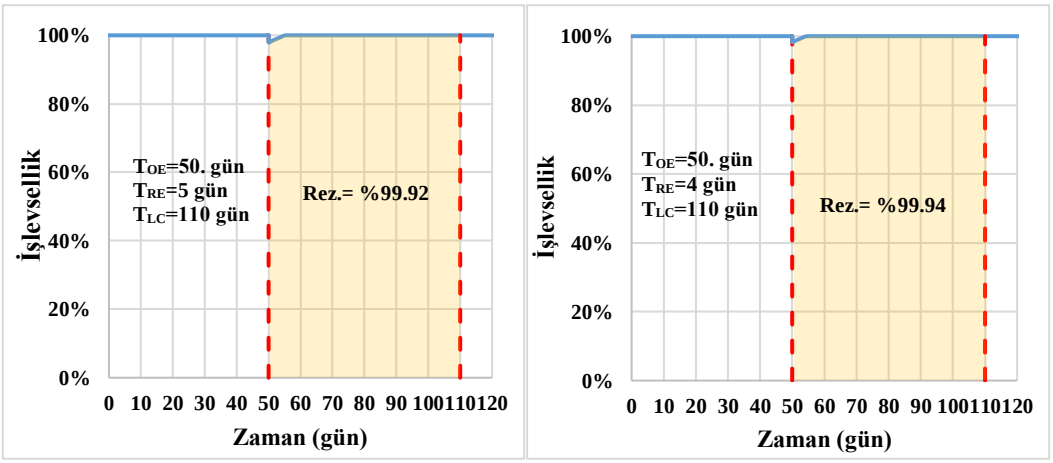
(a) (b)

Şekil 4.53 Tip bina 2 H2 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi



(a) (b)

Şekil 4.54 Tip bina 3 H1 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi



(a) (b)

Şekil 4.55 Tip bina 3 H2 doğrultusu işlevsellik grafiği a) DD-1 deprem düzeyi b) DD-2 deprem düzeyi

5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yüksek sünekliğe sahip 6 katlı ve yatay yük taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden, betonarme çerçeve ve betonarme perdelerden ve sadece betonarme perdelerden oluşan üç farklı taşıyıcı sisteme sahip yapıların sismik rezilyans hesaplamaları yapılmıştır. Bu amaçla yapıların 3 boyutlu analiz modelleri oluşturulmuş, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri artımsal olarak yapılarak artımsal dinamik analiz eğrileri elde edilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan davranış kolon ve kirişler için birleşim bölgelerinde tanımlanan plastik mafsallar ve perdelerde tanımlanan fiber elemanlar ile modele yansıtılmıştır. Elde edilen artımsal dinamik analiz eğrileri ve HAZUS yazılımından alınan hasar sınırları kullanılarak hasar olasılık eğrileri oluşturulmuştur. HAZUS yazılımından alınan kayıp oranları ve iyileşme süreleri kullanılarak yapıların işlevsellik grafikleri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında yapıların kütleleri, yapıların periyotları, hasar olasılıkları, kayıp miktarları ve rezilyansları incelenmiştir.

Bu çalışmadaki analizlerde elde edilen verilere göre,

1) Tip 3 binanın taşıyıcı sistemindeki perdelerin Tip 1 ve Tip 2 binalara göre daha fazla rijitliğe sahip olması nedeni ile periyodu daha kısa çıkmıştır. Rijitliği yüksek olan yapıların göreli kat ötelemesi değerleri de diğerlerine göre daha küçük değerler almıştır.

2) Hasar olasılık eğrileri göreli kat ötelemesi değerleri kullanılarak belirlendiğinden, rijitliği yüksek olan perdeli sistemlerin, çerçeve sistemlere göre hasar olasılıkları daha küçük çıkmıştır. Örnek olarak DD-2 deprem düzeyi ve H1 bina doğrultuları için Tip 1 binada hafif hasar oluşma ihtimali %100 iken, Tip 2 binada % 99.75 ve Tip 3 binada %64.63 çıkmıştır.

3) Kayıp oranlarını incelediğimizde perdeli sistemlerde hasar olasılıkları ile paralel olarak kayıp oranları daha düşük çıkmıştır. Örnek olarak DD-2 deprem düzeyi ve H1 bina doğrultuları için Tip 1 binada %3.21, Tip 2 binada %2.00, Tip 3 binada %1.29 çıkmıştır. DD-3 ve DD-4 deprem

düzeyleri için kayıp oranları sıfır olarak hesaplanmıştır. DD-3 ve DD-4 depremlerinin sık depremler ve etkileri küçük olan depremler olması ve yapıların yeni tasarlanmış dayanıklı yapı olmaları göz önüne alındığında bu deprem sevilerinde hasar oluşmaması beklenen bir durumdur.

4) Sistemlerin rezilyansları incelendiğinde, kayıp oranlarına paralel olarak perdeli sistemlerin rezilyanslarının daha yüksek çıktığı görülmüştür. Örnek olarak DD-2 deprem düzeyi ve H1 deprem doğrultusu için sismik rezilyans değeri Tip 1 bina için %99.76, Tip 2 bina için %99.92 ve Tip 3 bina için %99.97 çıkmıştır. DD-3 ve DD-4 depremlerinin sık depremler ve etkileri küçük olan depremler olması ve yapıların yeni tasarlanmış dayanıklı yapı olmaları göz önüne alındığında bu deprem sevilerinde sismik rezilyansların %100 çıkması beklenen bir durumdur.

5) Yapı taşıyıcı sistemlerinde betonarme perdelerin kullanılması kayıp miktarlarını düşürmekte dolayısı ile rezilyansı arttırmaktadır.

TBDY 2018'e göre performansa dayalı tasarımda yapılar farklı deprem düzeyleri için kullanım amacına göre belirlenen performans hedeflerine göre tasarlanırlar. Örneğin DD-2 deprem düzeyi için konut olarak kullanılan bir yapı kontrollü hasar performans düzeyine göre tasarlanırken, hastane olarak kullanılacak bir yapı hemen kullanım performans düzeyine göre tasarlanır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yapının performans düzeyini belirleyebiliriz ancak yapılardan beklenen sadece performans hedefini karşılaması değil bununla birlikte deprem öncesi işlevselliğine en kısa zamanda geri dönmesidir. Sismik rezilyans bu geri dönüşün sayısal karşılığını ifade etmektedir. Afet dirençli toplumlar (sismik rezilyanslı toplumlar) oluşturabilmek için sismik rezilyansı yüksek binaların yapılması önemlidir.

Bu çalışmada ele alınan yapıların yeni tasarlanmış bina olmaları, TBDY 2018'de tanımlanan yapının davranışını etkileyen düzensizliklerin bulunmaması, tasarımlarında fazla güvenli tarafta kalınması gibi sebeplerden ötürü rezilyans değerleri yüksek çıkmıştır. Sismik rezilyansın özellikle güçlendirme süreçlerinde kullanılması, bir toplum için hayati önem taşıyan merkezi bir yapıda uygulanması, ZF zemin sınıfı gibi zeminin yumuşak olduğu yerlerde uygulanması, yumuşak kat

düzensizliği gibi önem taşıyan düzensizlik durumlarında uygulanması sismik rezilyansın önemini ortaya çıkaracaktır.

KAYNAKÇA

[1] G.P. Cimellaro, A.M. Reinhorn ve M. Bruneau, "Framework for analytical quantification of disaster resilience", *Engineering Structures*, c. 32, sy. 11, ss. 3639-3649, 2010.

[2] T. Qiu, X. Chen, K. Chen, D. Su, J. Shen, L. Wang ve Z. Zheng, "Multi-hazard resilience assessment framework for prefabricated underground stations with a large-span roof structure", *Tunnelling and Underground Space Technology*, c. 130, 2022.

[3] M. J. Hashemi, A.Y. Al-Attraqchi, R. Kalfat ve R. Al-Mahaidi, "Linking seismic resilience into sustainability assessment of limited-ductility RC buildings", *Engineering Structures*, c. 188, ss. 121-136, 2019.

[4] S. Prasanth ve G. Ghosh, "Effect of reduction in column stiffness on the seismic resilience of a building", *Materials Today: Proceedings*, c. 55, ss. 354-358, 2022.

[5] F. Biondini, E. Camnasio ve A. Titi, "Seismic resilience of concrete structures under corrosion", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, c. 44, sy. 14, ss. 2445-2466, 2015.

[6] A. Venkittaraman ve S. Banerjee, "Enhancing resilience of highway bridges through seismic retrofit", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, c. 43, sy. 8, ss. 1173-1191, 2013.

[7] S. Prasanth ve G. Ghosh, "Effect of cracked section properties on the resilience based seismicperformance evaluation of a building", *Structures*, c. 34, ss. 1021-1033, 2021.

[8] S. Prasanth ve G. Ghosh, "Effect of variation in design acceleration spectrum on the seismic resilience of a building", *Asian Journal of Civil Engineering*, c.22, ss. 331-339, 2021.

[9] J. Dukes, S. Mangalathu, J. E. Padgett ve R. DesRoches, "Development of a bridge-specific fragility methodology to improve the seismic resilience of bridges", *Earthquakes and Structures*, c. 15, sy. 3, ss. 253-261, 2018.

[10] G.P. Cimellaro, A.M. Reinhorn ve M. Bruneau, "Seismic resilience of a hospital system", *Structure and Infrastructure Engineering*, c. 6, ss. 127-144, 2010.

[11] M. M. Kassem, F. M. Nazri ve A. M. El-Maissi, "Evaluation of seismic resilience of rc-building subjected to repeated earthquake using resilient index and fragility surface functions", *Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Athens, Greece, 2021, ss. 4880-4895. doi:10.7712/120121.8835.19223.

[12] D. Samadiana, M. Ghafory-Ashtianyb, H. Naderpour ve M. Eghbalic, "Seismic resilience evaluation based on vulnerability curves for existing and retrofitted typical RC school buildings", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, c. 127, 2019.

[13] S. A. Hadigheh1a, S. S. Mahini, S. Setunge ve S. A. Mahin, "A preliminary case study of resilience and performance of rehabilitated buildings subjected to earthquakes", *Earthquakes and Structures*, c. 11, sy. 6, ss. 967-982, 2016.

[14] J. Tipler, "Seismic resilience of tall buildings-benchmarking performance and quantifying improvements", Master of Science Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, California, ABD, 2014.

[15] S.S. Mahini, S.A. Hadigheh ve S. Setunge, "Seismic resilience of retrofitted reinforced concrete buildings", *International Conference on Performance-based and Life-cycle Structural Engineering Conference*, Brisbane, QLD, Australia, 2015, ss. 222-230. doi:10.14264/uql.2016.870.

[16] P. R. Ranjbar ve H. Naderpour, "Probabilistic evaluation of seismic resilience for typical vital buildings in terms of vulnerability curves", *Structures*, c. 23 ss. 314-323, 2020.

[17] L. Tirca, O. Serban, L. Lin, M. Wang ve N. Lin, "Improving the Seismic Resilience of Existing Braced-Frame Office Buildings", *Journal of Structural Engineering*, c. 142, sy. 8, 2015.

[18] M. Eghbali, D. Samadian, M. Ghafory-Ashtiany ve M. R. Dehkordi, "Recovery and reconstruction of schools after M 7.3 Ezgeleh-Sarpole-Zahab earthquake; part II: Recovery process and resiliency calculation", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, c. 139, 2020.

[19] S. Morettia, A. Trozzoa, V. Terzicb, G. P. Cimellaroa ve S. Mahin, "Utilizing base-isolation systems to increase earthquake resiliency of healthcare and school buildings", *Procedia Economics and Finance*, c. 18, ss. 969-976, 2014.

[20] M. Bruneau, S. E. Chang, R. T. Eguchi, G. C. Lee, T. D. O'rourke, A. M. Reinhorn vd., "A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities", *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, 2004. doi:10.1193/1.1623497.

[21] J. G. S. Castillo, "Seismic resilience quantification for a set of buildings", Master of Science Thesis, Department of Civil, Structural, and Environmental Engineering, University at Buffalo, New York, ABD, 2020.

[22] X. Wang, L. Xie, D. Zeng, C. Yang ve Q. Liu, "Seismic retrofitting of reinforced concrete frame-shear wall buildings using seismic isolation for resilient performance", *Structures*, c. 34, ss. 4745-4757, 2021.

[23] C. González, M. Niño ve M. A. Jaimes, "Event-based assessment of seismic resilience in Mexican school buildings", *Bulletin of Earthquake* Engineering, c. 18, ss. 6313-6336, 2020.

[24] G. A.Anwar ve Y. Dong, "Seismic resilience of retrofitted RC buildings", *Earthquake Engineering And Engineering Vibration*, c. 19, ss. 561-571, 2020.

[25] Y. Cantian, X. Linlin, L. Aiqun, Z. Demin, J. Junbo, C. Xi ve C. Min, "Resilience-based retrofitting of existing urban RC-frame buildings using seismic isolation", *Earthquake Engineering And Engineering Vibration*, c. 19, ss. 839-853, 2020.

[26] R. Khaghanpour-Shahrezaee and M. Khanmohammadi, “A new methodology for estimating seismic resilience of buildings under successive damageretrofit processes during the recovery time”, *Structure and Infrastructure Engineering*, 2022.

[27] B. Wang, Y. Ding, J. Xu ve Z. Zhao, “Seismic resilience assessment of reinforced concrete structures under salt erosion”, *Structure and Infrastructure Engineering*, 2022.

[28] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, T.C. Resmî Gazete, 2018.

[29] “Türkiye Deprem Tehlike Haritası”, [Çevrimiçi].Mevcut: https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi [Erişim: 21 Aralık 2023].

[30] *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği El Kitabı*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 2018.

[31] Z. Celep, *Betonarme Yapılar*, Beta Basım Yayınevi, 2020.

[32] A. Doğangün, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, 2020.

[33] D. Vamvatsikos and C.A. Cornell, “Incremental Dynamic Analysis”, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, c.31, sy. 3, ss. 491-514, 2002.

[34] HAZUS, MR4 Technical manual, Multihazard loss estimation methodology, Washington DC, USA, Department of homeland society, 2003.

[35] PERFORM-3D, “Performance-Based Design Of 3D Structures”, Computers and Structures Inc.", California.

[36] SAP2000, "Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc.", California.

[37] PEER-NGA Deprem Kayıtları Veri Bankası, [Çevrimiçi].Mevcut: https://ngawest2.berkeley.edu/PEER [Erişim: 21 Aralık 2023].

[38] SEISMOMATCH 2022. "Response Spectrum Matching, Seismosoft Company", Pavia.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bilgileri

1. M. Alarçin, B. Sevim, "Determination of the seismic resilience of moment resisting reinforced concrete structure which is designed according to Turkish Building Seismic Code 2018", 3rd International Civil Engineering & Architecture Conference, Trabzon, 2023.