

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA DEPREM GÜVENLİĞİNİN
OLASILIKSAL İRDELENMESİNE YÖNELİK BİR HESAP
ARACININ GELİŞTİRİLMESİ



YUSUF AK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

GEBZE
2022

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARDA DEPREM
GÜVENLİĞİNİN OLASILIKSAL
İRDELENMESİNE YÖNELİK BİR HESAP
ARACININ GELİŞTİRİLMESİ

YUSUF AK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ AHMET ANIL DİNDAR
II. DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ CÜNEYT TÜZÜN

GEBZE

2022

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**DEVELOPMENT OF A COMPUTATION
TOOL FOR THE PROBABILISTIC
ASSESSMENT OF EARTHQUAKE
SAFETY IN REINFORCED CONCRETE
STRUCTURES**

YUSUF AK
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
**EARTHQUAKE AND STRUCTURAL ENGINEERING
PROGRAM**

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. AHMET ANIL DİNDAR
II. THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. CÜNEYT TÜZÜN

GEBZE
2022



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23 / 06 / 2022 tarih ve 2022 / 31 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 27 / 06 / 2022 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yusuf AK'ın tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem ve Yapı Mühendisliği Programında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI)

: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR

ÜYE

(II. TEZ DANIŞMANI)

: Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt TÜZÜN

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Ülgen Mert TUĞSAL

ÜYE

: Doç. Dr. Öğr. Üyesi Ali BOZER

ÜYE

: Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Bu çalışma kapsamında İzmir İli, Bornova İlçesinde yer alan sekiz katlı bir otopark yapısının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kuralları çerçevesinde, mevcut durum performans seviyesi incelenmiştir. Yapılan değerlendirme neticesinde yapının güncel yönetmelikte belirtilen performans koşullarını sağlamadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle yapı güçlendirilerek gerekli performans seviyesine ulaşması sağlanmıştır. Performans seviyesi belirleme çalışmalarında zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu analizler için, Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi veri tabanından 11 çift deprem kaydı elde edilmiş ve ölçeklenmiştir. Yönetmeliğin öngördüğü performans seviyesi yapılan güçlendirme neticesinde sağlanmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş yapı koşulları altında yapının ekonomik ömrü boyunca maruz kalacağı farklı büyüklüklerdeki deprem etkileri altında hangi oranda hasar alabileceği kırılganlık eğrileri oluşturularak ortaya konmuştur. Kırılganlık eğrilerinin oluşturulabilmesi için yapısal modeller üzerinde artımsal dinamik analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu eğrilerinin oluşturulurken maksimum zemin ivmesi ve göreceli kat öteleme oranı kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen analiz sayıları dikkate alındığında işlem süreleri çok uzun zaman almaktadır. Bu nedenle çalışma kapsamında zaman açısından avantaj sağlayabilmek için analizlerde Perform3D programından faydalanılmıştır. Fakat analiz sürelerinde sağlanan bu avantaj sonuçların değerlendirmesi aşamasında geçerli olmamaktadır. Bu nedenle sonuçlarının değerlendirilmesindeki zorlukların ortadan kaldırılması için Python programlama dili kullanılarak bir değerlendirme aracı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Performans Esaslı Değerlendirme, Artımsal Dinamik Analiz (IDA), Kırılganlık Eğrileri, Perform3D, Python.

SUMMARY

In this study, the performance level of existing car park structure which has eight-story located in Bornova District of Izmir Province was examined according to 2018 Turkish Earthquake Code. As a result of the analyses, it was determined that the structure is not sufficient for required performance level specified in 2018 Turkish Earthquake Code. Therefore, the structure has reached the required performance level by retrofitting. In the determination of the performance level, nonlinear dynamic time-history analysis method was used. For these analyses, 11 pairs of earthquake records obtained and scaled from the Pacific Earthquake Engineering Research Center database. The performance level limited by 2018 Turkish Earthquake Code has been reached with the retrofitting. Fragility curves which is a technic to determination of damage ratio of existed structure can be experienced strong ground motion during its economic for both existing and retrofitting structure life was obtain. Incremental dynamic analysis method was applied order to obtain fragility curves. While creating these curves, the maximum ground acceleration and the relative story drift ratio were used.

Considering the number of analyses carried out within the scope of this study, the processing times take a very long time. Thus, the Perform3D finite element software was used in the analyses to provide an advantage in terms of time. However, this advantage in analysis times his not valid during the evaluation of the results. For this reason, an evaluation tool has been developed using the Python programming language to eliminate the difficulties in evaluating the results.

Key Words: Performance Based Evaluation, Incremental Dynamic Analysis (IDA), Fragility Curves, Perform3D, Python.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yine bu süreçte hiçbir mesleki tecrübesini esirgemeyen, mühendislik bakış açısını kazanmamda emeği olan sayın hocam Dr. Öğretim Üyesi Cüneyt TÜZÜN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması kapsamında bilgisini ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Fırat BEZİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca her an yanımda olan yardımlarını ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli aileme, sevgili eşime ve güzel kızıma şükranlarımı sunarım.

Yusuf AK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
TABLolar DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	3
1.2. Kapsam	4
1.3. İçerik	4
2. ÜLKEMİZDE PERFORMANS ESASLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ	6
2.1. Değerlendirme Yöntemleri	6
2.1.1. Doğrusal Değerlendirme Yöntemleri	7
2.1.1.1. Doğrusal Hesap Yöntemlerinin Kriterleri ve Uygulama Sınırları	9
2.1.2. Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri	10
2.1.2.1. Hesaplama Yöntemleri	11
2.1.2.2. Statik Doğrusal Olmayan Hesap Yaklaşımları	11
2.1.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yaklaşımları	14
2.2. Performans Düzeyleri	14
2.3. Hasar Sınırları	16
2.4. Talep – Kapasite Tanımlamaları	17
2.4.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri	19
2.4.2. Artımsal Dinamik Analiz Yöntemleri	20
2.4.3. Kırılma Eğrisi	21

2.4.3.1. Kırılgenlık Eğrilerinin Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemler	23
2.4.3.2. Kırılgenlık Fonksiyonunun Oluşturulması	24
3. TBDY 2018'E GÖRE MEVCUT BİNA SİSTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLME YÖNTEMLERİ	28
3.1. TBDY-2018'e Göre Performans Hedefinin Belirlenmesi	28
3.2. Bilgi Düzeyleri ve Binalardan Bilgi Toplanması	29
3.3. Modelleme Kriterleri	32
3.3.1. Yığılı Plastik Davranış Modeli	34
3.3.2. Yayılı Plastik Davranış Modeli	35
3.4. Malzeme Davranış Modelleri	36
3.5. Yapı Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi	39
3.6. Yapı Elemanlarında Şekil Değıştirme Limitlerinin Belirlenmesi	40
3.7. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi	43
3.8. Betonarme Binaların Güçlendirilmesi	44
3.8.1. Kolonların Sarılması	45
3.8.2. Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması	46
3.8.3. Kirişlerin Sarılması	47
3.8.4. Bölme Duvarların Güçlendirilmesi	49
3.8.5. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi	49
3.8.6. Betonarme Sistemlere Yeni Çerçevesler Eklenmesi	51
3.8.7. Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması	51
3.9. Şekil Değıştirme ve İç Kuvvet Taleplerinin Belirlenmesi	52
3.10. Yapısal Elemanların Değierlendirilmesi ve Yapı Deprem Performansının Belirlenmesi	53
3.11. Yapısal Performans Değierlendirme Aracının Geliştirilmesi	55
4. SAYISAL ÖRNEK VE DEĞERLENDİRME	64
4.1. Yapı Genel Bilgileri	64
4.1.1. Mevcut Yapı Genel Bilgileri	64
4.1.2. Güçlendirilmiş Yapı Genel Bilgileri	68
4.2. Yapısal Analiz Modelinin Oluşturulması	72
4.2.1. Yüklerin Tanımlanması	72

4.2.2. Mevcut Durum Yapısal Modelin Oluşturulması	75
4.2.2.1. Malzeme Modellerinin Tanımlanması	76
4.2.2.2. Kirişlerde Yığılı Plastik Mafsal Tanımlanması	80
4.2.2.3. Kolonlarda Yayılı Plastik Mafsal Tanımlanması	85
4.2.2.4. Yapısal Elemanların Tanımlanması	88
4.2.3. Güçlendirilmiş Durum Yapısal Modelin Oluşturulması	91
4.2.3.1. Malzeme Modellerinin Tanımlanması	92
4.2.3.2. Kirişlerinde Yığılı Plastik Mafsal Tanımlanması	94
4.2.3.3. Perdelerde Yayılı Plastik Mafsal Tanımlanması	97
4.2.3.4. Yapısal Elemanların Tanımlanması	100
4.3. Deprem Kayıt Seti	103
4.4. Geliştirilen Program Çıktıları	106
4.4.1. Kolon – Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliği	124
4.5. Analiz Sonuçları ve Performans Değerlendirmesi	128
4.6. Kırılmalık Eğrilerinin Elde Edilmesi	129
4.7. Kırılmalık Eğrilerinin Karşılaştırılması	133
5. SONUÇLAR	136
5.1. Özet	136
5.2. Sonuçlar ve Öneriler	137
5.3. Gelecek Çalışmalar	140

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

a_i	: Yatayda bir etriye kolu ya da çiroz tarafından mesnetlenen boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
A_c	: Gövde kesiti beton alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
A_{sh}	: Enine donatı alanı (dikdörtgen kesit)
A_{sw}	: Kesme donatısı toplam kesme alanı
A_{s1}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının bir tarafında, kiriş negatif momentini karşılamak için üste konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{s2}	: Kolon-kiriş düğüm noktasının A_{s1} 'e göre diğer tarafında, kirişin pozitif momentini karşılamak için alta konulan çekme donatısının toplam alanı
A_{os}	: Enine donatı alanı (dairesel kesit)
b	: Çelik sargıda yatay plakaların genişliği
b_j	: Dikkate alınan deprem doğrultusunda, birleşim bölgesine saplanan kirişin kolonla aynı genişlikte olması veya kolonun her iki yanından da taşması durumunda kolon genişliği, aksi durumda kirişin düşey orta ekseninden itibaren kolon kenarına olan mesafelerden küçük olanın iki katı
b_k	: En dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki mesafe
b_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan mesafe
b_w	: Kesit gövde genişliği
d	: Kesit faydalı yüksekliği
d_b	: Boyuna donatı çapı
D	: Spiral/sargı donatısı eksenleri arasındaki uzaklık
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_f	: Lifli polimerin elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü

$(EI)_e$	: Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi veya perdenin etkin kesit rijitliği
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı betonun basınç dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama basınç dayanımı
f_{ctd}	: Betonun tasarım eksenel çekme dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{ye}	: Donatının ortalama akma dayanımı
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
f_{ywe}	: Enine donatının ortalama akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatının tasarım akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
h_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan mesafe
IM	: Şiddet Ölçüsü
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
L_p	: Plastik mafsallık boyu
L_s	: Kesme açıklığı
M_y	: Etkin akma momenti
N_d	: Tasarım eksenel kuvveti
n_f	: Tek yüzdeki lifli polimer sargı tabaka sayısı
s	: Enine donatı aralığı
s_f	: Lifli polimer şeritinin eksenden eksene aralığı
S_a	: Spektral İvme
S_{ae}	: Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_d	: Spektral yer değiştirme
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı

S_v	: Spektral hız
t_f	: Bir tabaka lifli polimer için etkili kalınlık
t_j	: Çelik sargıda yatay plakaların kalınlığı
T_p	: Yapının doğal hakim titreşim periyodu
V_c	: Kesme dayanımına beton katkısı
V_{cr}	: Kesitin kesmede çatlama dayanımı
V_f	: Lifli polimerin kesme dayanımına katkısı
V_j	: Çelik sargı ile sağlanan ek kesme dayanımı
V_{kol}	: Düğüm noktasının üstünde ve altında hesaplanan kolon kesme kuvvetlerinin küçük olanı
V_r	: Koloni kiriş ya da perde kesitinin kesme dayanımı
V_w	: Kesme dayanımına kesme donatısının katkısı
w_f	: Lifli polimer şeritinin genişliği
ω_{we}	: Etkin sargı donatısının mekanik donatı oranı
α_{se}	: Sargı donatısını etkinlik katsayısı
β	: Standart sapma
θ	: Medyan değeri
Φ	: Standart normal kümülatif dağılım fonksiyonu
γ	: Çatlama dayanımına eksenel kuvvet etkisini yansıtan katsayı
η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cc}	: Sargılanmış beton basınç dayanımına karşı gelen birim kısalma
$\epsilon_c^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalma sınırı
$\epsilon_c^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalma sınırı
$\epsilon_c^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen sargılı beton birim kısalma sınırı
ϵ_f	: Lifli polimerin etkin birim uzama sınırı
ϵ_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Maksimum dayanıma karşı gelen donatı birim uzaması
$\epsilon_s^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı

$\epsilon_s^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
$\epsilon_s^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen donatı çeliği birim şekil değiştirme sınırı
$\Theta_p^{(SH)}$	: Sınırlı Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\Theta_p^{(KH)}$	: Kontrollü Hasar performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
$\Theta_p^{(GÖ)}$	: Göçmenin Önlenmesi performans düzeyi için izin verilen plastik dönme sınırı
Θ_y	: Akma durumu için yer değiştirmiş eksen dönmesi
Φ_y	: Akma eğriliği
Φ_u	: Göçme öncesi eğrilik
ϕ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultudaki enine donatı hacim oranı
ρ_{sh}	: Göz önüne alınan doğrultuda hacimsel enine donatı oranı
$\rho_{sh,min}$	: İki yatay doğrultuda hacimsel enine donatı oranının küçük olanı
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
DD1	: Deprem yer hareketi düzeyi-1
DD2	: Deprem yer hareketi düzeyi-2
DD3	: Deprem yer hareketi düzeyi-3
DD4	: Deprem yer hareketi düzeyi-4
FEMA	: Amerika Federal Acil Durum Yönetim Ajansı
GÖ	: Göçmenin önlenmesi
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
IDA	: Artımsal dinamik analiz
KH	: Kontrollü hasar
KK	: Kesintisiz kullanım
KTKK	: Karelerinin toplamının karekökü kuralı
LP	: Lifli polimer
PEER	: Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi
PGA	: Maksimum yer ivmesi
PGD	: Maksimum yer değiştirmesi

PGV	:	Maksimum yer hız
SH	:	Sınırlı hasar
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
2018		
TKB	:	Tam karesel birleşim kuralı
TS 498	:	Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 500	:	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Performans esaslı değerlendirme yöntemleri.	7
2.2: Toplam eşdeğer deprem yükü ve katlara dağılımı.	8
2.3: İtme şekli ve kapasite eğrisi.	12
2.4: Yapı performans düzeyleri.	15
2.5: Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.	16
2.6: Gevrek ve sünek güç tükenmesi.	19
2.7: Artımsal dinamik yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmiş örnek bir analiz sonuçları.	27
3.1: Sargılı ve Sargısız beton örnek gerilme-şekil değiştirme grafiği.	38
3.2: Donatı çeliği örnek gerilme-şekil değiştirme grafiği.	39
3.3: Dış etriye uygulamasına ait görsel.	48
3.4: Lifli polimer uygulamasına ait görsel.	49
3.5: Oluşturulan kütüphane dosyalarına ait görseller.	57
3.6: Geliştirilen ara yüze ait görseller.	57
3.7: Yapıların düğüm noktalarının okunması ile ilgili kodlama görseli.	58
3.8: Göreli kat öteleme değerlerinin okunması ve değerlendirmesine ait akış diyagramı.	59
3.9: Çerçeve elemanları kesme kuvveti değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.	60
3.10: Çerçeve elemanları şekil değiştirme değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.	61
3.11: Perde elemanları kesme kuvveti değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.	62
3.12: Perde elemanları şekil değiştirme değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.	63
4.1: Şematik boy kesite ve kat kotlarına ait görsel.	65
4.2: Tip kat planına ait görsel.	66
4.3: Mevcut yapı kolon kesitlerine ve donatı düzenine ait görsel.	67
4.4: Mevcut yapı kiriş kesitlerine ve donatı düzenine ait görsel.	67

4.5:	Güçlendirilmiş durum tip kat planına ait görsel.	69
4.6:	X-X doğrultusunda yer alan perdelerin donatı düzenine ait görsel.	70
4.7:	Y-Y doğrultusunda yer alan perdelerin donatı düzenine ait görsel.	71
4.8:	Yapısal sisteme yeni eklenecek kirişin donatı düzenine ait görsel.	72
4.9:	Kaplama (G) yüklerine ait yapısal model görseli (Birim: kN).	73
4.10:	Hareketli (Q) yüklere ait yapısal model görseli (Birim: kN).74	74
4.11:	Kar (S) yüklerine ait yapısal model görseli (Birim: kN).	74
4.12:	Parapet (P) yüklerine ait yapısal model görseli (Birim: kN).	75
4.13:	Oluşturulan üç boyutlu analiz modellerine ait görseller.	76
4.14:	Sargısız beton (13.5 MPa) malzeme modeline ait görsel.	77
4.15:	Sargısız beton (13.5 MPa) şekil değiştirme limitlerine ait görsel.	77
4.16:	Zemin kat kolonu malzeme modeline ait görsel.	78
4.17:	Zemin kat kolon kesiti şekil değiştirme limitlerine ait görsel.	78
4.18:	S420 donatı sınıfı malzeme modeline ait görsel.	79
4.19:	S420 donatısı şekil değiştirme limitlerine ait görsel.	79
4.20:	Yığılı plastik mafsal davranış modeline ait görsel.	81
4.21:	Section Designer modülünde tanımlanan kiriş kesitine ait görsel.	81
4.22:	B90/32 kirişi alt donatı düzenine ait moment eğrilik ilişkisi görseli.	82
4.23:	B90/32 kirişi üst donatı düzenine ait moment eğrilik ilişkisi görseli.	83
4.24:	B90/32 kirişine ait yığılı plastik mafsal modelinin tanımlanması.	83
4.25:	B90/32 kirişine ait plastik dönme limitlerinin tanımlanması.	85
4.26:	Yapı kesitlerinin alt fiberlere ayrılmasını ifade eden görsel.	86
4.27:	C50/50-FBR-6/7NK kolonuna ait fiber tanımlaması-1.	86
4.28:	C50/50-FBR-6/7NK kolonuna ait fiber tanımlaması-2.	87
4.29:	Tanımlanan kolon kesitinde takip edilmesi gereken fiberlere ait görsel.	87
4.30:	Kirişlere ait elastik kesit tanımlamasını ifade eden görsel.	89
4.31:	Kolonlara ait elastik kesit tanımlamasını ifade eden görsel.	90
4.32:	Analiz modelinde kirişlerin tanımlanmasını ifade eden görsel.	90
4.33:	Analiz modelinde kolonların tanımlanmasını ifade eden görsel.	91
4.34:	Güçlendirilmiş yapı modeline ait görseller.	92
4.35:	Sargısız beton (35 MPa) malzeme modeline ait görsel.	92
4.36:	Sargısız beton (35 MPa) şekil değiştirme limitlerine ait görsel.	93
4.37:	Analiz modelinde kolonların tanımlanmasını ifade eden görsel.	93

4.38:	Analiz modelinde kolonların tanımlanmasını ifade eden görsel.	94
4.39:	Section Designer modülünde tanımlanan yeni kiriş kesitine ait görsel.	95
4.40:	B50/60-New kirişi donatı düzenine ait moment eğrilik ilişkisi görseli.	95
4.41:	B50/60-New kirişine ait yığılı plastik mafsallı modelinin tanımlanması.	96
4.42:	B50/60-New kirişine ait plastik dönme limitlerinin tanımlanması.	96
4.43:	Perde elemanların fiber tanımlanmasını ifade eden görsel.	98
4.44:	Perde başlık bölgelerinin tanımlanmasını ifade eden görsel.	98
4.45:	Başlık bölgesinde takip edilecek fiberlerin tanımlanmasına ait görsel.	99
4.46:	Kesitteki fiber yerleşimini ifade eden görsel.	99
4.47:	Düzlem dışı özelliklerin tanımlanmasını ifade eden görsel.	100
4.48:	Başlık bölgesi kesitinin ilgili elemana atanmasını ifade eden görsel.	101
4.49:	Gövde bölgesi kesitinin ilgili elemana atanmasını ifade eden görsel.	101
4.50:	Perde başlık bölgesinin yapısal model üzerinde tanımlanmasını ifade eden görsel-1.	102
4.51:	Perdelerin gövde bölgesinin yapısal model üzerinde tanımlanmasını ifade eden görsel-2.	102
4.52:	Yapıya ait elastik tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş deprem kayıtları.	103
4.53:	Ölçeklenen deprem yer hareketi kayıtlarının her iki doğrultudaki ivme-zaman grafiklerine ait görseller.	105
4.54:	Kirişlerin kesit özelliklerinin programa tanımlanmasına ait görsel.	106
4.55:	Kolonların kesit özelliklerinin programa tanımlanmasına ait görsel.	106
4.56:	Mevcut yapıda kirişlerin gevrek hasar dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	107
4.57:	Mevcut yapıda kirişlerin plastik şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	108
4.58:	Mevcut yapıda kolonların gevrek hasar dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	109
4.59:	Mevcut yapıda kolonların şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	110
4.60:	Güçlendirilmiş yapıda kirişlerin plastik şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	112
4.61:	Güçlendirilmiş yapıda kolonların şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	113

4.62: PX1 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	114
4.63: PX2 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	115
4.64: PX3 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	115
4.65: PX4 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	116
4.66: PX5 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	116
4.67: PX6 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	117
4.68: PY1 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	117
4.69: PY2 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	118
4.70: PY3 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	118
4.71: PY4 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	119
4.72: PY5 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	119
4.73: PY6 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.	120
4.74: Güçlendirilme perdelerinin şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.	121
4.75: PX1 ve PX2 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.	121
4.76: PX3 ve PX4 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.	122
4.77: PX5 ve PX6 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.	122
4.78: PY1 ve PY2 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.	123
4.79: PY3 ve PY4 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.	123
4.80: PY5 ve PY6 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.	124
4.81: Kolon – kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği kontrol edilecek elemanlara ait görsel.	125
4.82: Kolon – kiriş birleşim bölgelerinin şematik gösterimine ait görsel.	126
4.83: Yapının mevcut durumuna ait IDA eğrisi.	130
4.84: Yapının güçlendirilmiş durumuna ait IDA eğrisi.	131
4.85: Mevcut duruma ait kırılmalık eğrisi.	132
4.86: Güçlendirilmiş duruma ait kırılmalık eğrisi.	132

4.87: Sınırlı hasar limitine ait mevcut ve güçlendirilmiş yapı kırılma eğrisi.	133
4.88: Kontrol hasar limitine ait mevcut ve güçlendirilmiş yapı kırılma eğrisi.	134
4.89: Göçme öncesi hasar limitine ait mevcut ve güçlendirilmiş yapı kırılma eğrisi.	134



TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.	9
2.2: Deprem tasarım sınıfına göre tanımlanan olan bina yükseklik sınıfları.	10
3.1: Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar için Performans Hedefleri ve Değerlendirme Yaklaşımları.	28
3.2: Mevcut Yapı Bilgi Düzeyi Katsayıları.	29
3.3: Donatı çeliği tiplerine ait karakteristik özellikler.	38
4.1: Yapıya ait zemin ve spektral ivme değerleri	68
4.2: Tanımlanan diğer malzeme modeli parametreleri (Birim: kN-m).	80
4.3: Kesitlere ait şekil değiştirme limit değerleri.	80
4.4: Pozitif moment etkisindeki kirişlere ait yığılı plastik mafsallık değerleri.	84
4.5: Negatif moment etkisindeki kirişlere ait yığılı plastik mafsallık değerleri.	85
4.6: Yapısal sistemi oluşturan tüm elemanlara ait etkin kesit rijitlik değerleri.	88
4.7: Tanımlanan diğer malzeme modeli parametreleri (Birim: kN-m).	94
4.8: Kesitlere ait şekil değiştirme limit değerleri.	94
4.9: B50/60-New kirişine ait yığılı plastik mafsallık değerleri.	97
4.10: Yer hareketi kayıtlarına ait bilgiler.	104
4.11: Yer hareketi kayıtlarının büyüklük ve zemin özelliklerine ait bilgiler.	104
4.12: Mevcut yapıda kiriş kesme kuvveti kontrolüne ait kat bazlı özet tablo.	107
4.13: Mevcut yapı kirişlerinin şekil değiştirme kontrolüne ait kat tablo.	108
4.14: Mevcut yapıda kolon kesme kuvveti kontrolüne ait kat bazlı özet tablo.	109
4.15: Mevcut yapı kolonlarının şekil değiştirme kontrolüne ait kat bazlı özet tablo.	110
4.16: Güçlendirilmiş yapı kirişlerinin kesme kuvveti kontrolüne ait tablo.	111
4.17: Güçlendirilmiş yapıda kirişlerinin şekil değiştirme kontrolüne ait tablo.	111
4.18: Güçlendirilmiş yapıda kolon kesme kuvveti kontrolüne ait özet tablo.	112
4.19: Güçlendirilmiş yapı kolonlarının şekil değiştirme kontrolüne ait tablo.	113
4.20: Güçlendirilmiş yapıda perde kesme kuvveti kontrolüne ait özet tablo.	114
4.21: Güçlendirilmiş perdelerinin şekil değiştirme kontrolüne ait tablo.	120
4.22: Axis 2 yönü kolon – kiriş düğüm noktası elemanları ve donatı alanları.	127

4.23:	Axis 3 yönü kolon – kiriş düğüm noktası elemanları ve donatı alanları.	127
4.24:	Birleşim bölgesinde yer alan kolonların ilgili yönlerine ait kesme kuvveti değerleri.	127
4.25:	Axis 2 doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgesine ait kesme güvenliği kontrolü.	128
4.26:	Axis 3 doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgesine ait kesme güvenliği kontrolü.	128
4.27:	Betonarme çerçeveli yapıların FEMA-356'ya göre görece kat öteleme oranı hasar sınır değerleri.	130
4.28:	Perdeli yapıların FEMA-356'ya göre görece kat öteleme oranı hasar sınır değerleri.	131
4.29:	Mevcut ve güçlendirilmiş yapının kırılma eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan medyan ve standart sapma değerleri.	133
A1.1	Yapıdan alınan karot numunelerinin test sonuçları.	144

1. GİRİŞ

Türkiye bulunduğu coğrafi konum itibari ile sismik hareketlerin yüksek olduğu bir bölgededir. Ülkemizdeki yapılaşma yoğunlukla Anadolu levhasının, Avrasya, Afrika ve Arap levhaları ile sıkıştırılması sonucu oluşan üç adet aktif ve büyük fay hattı etrafında yoğunlaşmaktadır. Ülkemizde yaşanan depremler neticesinde 1996 yılında fayların sismik aktivitesi dikkate alınarak Türkiye Deprem Haritası yayınlanmıştır. Yayınlanan haritaya göre Kuzey Anadolu Fay Hattı, Doğu Anadolu Fay Hattı ve Batı Anadolu Fay Hattının bulunduğu bölgeler 1. derece deprem bölgesi olarak kabul edilmektedir. Teknolojinin ve mühendislik biliminin zamanla gelişmesinin yanı sıra açığa çıkan yeni bilgilerin ışığı doğrultusunda Türkiye Deprem Haritası, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından 18 Mart 2018 tarihinde yenilenmiştir. Yayınlanan yeni harita 1 Ocak 2019 tarihinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) ile beraber yürürlüğe girmiştir. Yeni yayınlanan haritada deprem bölgesi kavramı kaldırılarak yerine ülke sınırları içerisinde kalan her noktaya ait en büyük yer ivmesi değeri paylaşılmaktadır [1].

Ülkemizin içinde bulunduğu coğrafya koşulları nedeniyle ve tarihte yaşanan tecrübeler neticesinde insanlar üzerinde olumsuz zararlar bırakacak doğal afetlerin başında deprem gelmektedir. Depremin meydana getirebileceği yıkıcı etkileri, sebep olabileceği can ve mal kayıplarını önleyebilmek için zaman içerisinde bilimin ve teknolojinin gelişmesine paralel olarak depreme karşı dayanıklı yapı sistemleri gelişmiştir. Bu yöntemlerin neler olduğu, hesaplama aşamasında takip edilmesi gereken metodoloji ve değerlendirme kriterleri tasarım yönetmeliklerinde detaylı olarak açıklanmıştır. Yapıların tasarımında doğrusal ve doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. 1 Ocak 2019 tarihinde ülkemizde yürürlüğe giren yönetmelikle beraber yapıların sismik etkiler altındaki tasarım ve değerlendirme kriterleri arasına dayanıma göre tasarım felsefesine ilave olarak yapıların şekil değiştirmeye göre tasarım felsefesi de eklenmiştir. Şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımında yeni yapılacak ya da mevcut yapıların yönetmelikte tanımlanan düzeylerdeki deprem etkileri altında ortaya koyacağı davranışı ve performans seviyesi irdelenmektedir. Yer hareketi etkisi altında belirlenen performans seviyesine göre yapıda oluşabilecek hasar dağılımları ve yaşanabilecek can ve mal kayıpları öngörülebilmektedir.

Yapıların deprem etkisi altındaki davranışını tahmin edebilmek ve yapısal performansı ortaya koyabilmek için elemanların doğrusal olmayan davranışlarını göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Yapısal analizlerde kesitlerin plastik şekil değiştirme kapasitelerinin hesaplanması ve deprem etkileri altında ilgili kesitte meydana gelen taleplerle karşılaştırılması gereklidir.

Statik itme yöntemleri yapıların doğrusal olmayan davranışını ortaya koyabilmek için kullanılan analiz metotlarından biridir. Bu yöntemde eleman kesitlerine ait plastik şekil değiştirme kapasitesi yapısal modele tanımlanarak yapının elastik ötesi bölgedeki davranışı elde edilmektedir. Yapının modal kapasite diyagramı, bulunduğu konuma ait depremsellik parametreleri ve itme yönüne ait periyot değerine bağlı olarak yapının talep deplasman değeri bulunur. Yapı elde edilen talep deplasman değerine kadar ardışık artımlarla itilerek yapının tepe noktasının belirlenen talep deplasman değerine ulaşması sağlanır. Uygulanan her deplasman değerine karşılık yapıda oluşan taban kesme kuvvetinin grafiği çizilerek yapının kapasite grafiği elde edilmektedir [2]. Tepe deplasman değeri talep deplasman değerine ulaştığında eleman kesitlerinde meydana gelen şekil değiştirmeler ilgili kesite ait kapasite değerleri ile kıyaslanarak yapının performans seviyesi belirlenmektedir.

Yapıların doğrusal olmayan davranışı ortaya koyabilmek için ve sonuçlarının güvenilirliği göz önüne alındığında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi en çok tercih edilen diğer bir doğrusal olmayan analiz yöntemidir. Bu yöntemde göre elemanlara ait şekil değiştirme kapasiteleri tanımlandıktan sonra yapısal model zemin özelliklerine, yapı koordinatlarına ve yönetmelikte belirlenen deprem düzeyine bağlı olarak ölçeklenmiş ya da benzeştirilmiş yer hareketi kayıtları altında analiz edilmektedir. Elde edilen şekil değiştirme talepleri ilgili kesite ait kapasite değerleri ile mukayese edilerek yapıdaki hasar dağılımı ve buna bağlı olarak yapının performans düzeyi belirlenmektedir.

Yapıların maruz kalabileceği deprem şiddetinin büyüklüğü, yapının bulunduğu bölgede önceki tarihlerde meydana gelen depremler göz önüne alınarak yaklaşık olarak öngörülmektedir. Fakat yapının maruz kalacağı deprem şiddetinin büyüklüğü öngörülen depremden daha büyük ya da daha küçük bir şiddette meydana gelebilir. Bu nedenle yapıların farklı şiddetlerde maruz kalacağı depremler neticesinde sergileyeceği performans seviyeleri veya yönetmeliklerce tanımlanan performans

seviyesinin aşıma olasılığı istatistiksel çalışmalar ve analizler sonucunda elde edilen kırılma eğrileri kullanılarak belirlenmektedir. Kırılma eğrileri yapının hangi deprem şiddeti etkisi altında ilgili performans seviyesini ne olasılıkla aştığını ifade eden grafiklerdir. Bu eğriler sayesinde yapıların bulunduğu deprem bölgesinde öngörülme büyükteki bir deprem meydana geldiğinde yapının ortaya koyacağı performans istatistiksel olarak belirlenmektedir.

1.1. Amaç

Yönetmeliğe şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme yaklaşımının dahil olmasıyla birlikte, yapıların sismik yer hareketi etkisi altındaki davranışının ve performans seviyesinin daha iyi şekilde açıklanması sağlanmıştır. Fakat farklı deprem seviyelerinde yapıların performans seviyelerinin ne oranda aşılabileceğinin istatistiksel yöntemlerle ortaya konması neticesinde yapıların davranışı daha gerçekçi olarak açıklanmaktadır. Bu tez kapsamında İzmir İli, Bornova ilçesinde yer alan, uydu fotoğraflarından 2000 yılından önce yapıldığı belirlenen 8 katlı bir otopark yapısını TBDY-2018'e göre güçlendirerek gerekli performans koşullarına ulaşması sağlanmıştır. Mevcut durum altındaki ve güçlendirilmiş durum altındaki yapıya artımsal dinamik analizler (IDA) gerçekleştirilerek, yapının farklı deprem şiddeti yoğunluğundaki hasar durumları ortaya konmuştur. Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen veriler kullanılarak yapıya ait kırılma eğrileri oluşturulmuş ve yapının farklı deprem şiddeti yoğunluğunda hangi performans seviyesini ne olasılıkla aştığının ortaya konması amaçlanmıştır. Bu tez kapsamında hedeflenen diğer bir amaç ise uzun sürelerde tamamlanan zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analizlerin Perform3D programının avantajlarından faydalanıp kısa sürede tamamlanmasını sağlayarak, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasındaki işlem yükünü ve hata yapma olasılığını azaltmak için Python programlama dilini kullanarak bir yazılım geliştirilmesini sağlamaktır.

1.2. Kapsam

Bu tez çalışması kapsamında 2000 yılı öncesi yapıldığı belirlenen mevcut bir yapının saha çalışmaları kapsamında elde edilen bilgiler doğrultusunda TBDY-2018'e göre performans esaslı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde söz konusu yapının yönetmelikte belirtilen performans hedefini sağlamadığı belirlenmiş ve bu nedenle yönetmeliğin ön gördüğü performans seviyesini sağlaması için güçlendirme önerisi hazırlanmıştır. Yapısal analiz modeli üzerine önerilen güçlendirme elamanları eklenmiş ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler tekrarlanmıştır. Gerçekleştirilen analizler neticesinde değerlendirme konusu otopark yapısı yönetmelikte önerilen performans hedefine ulaştığı belirlenmiştir. Yapılan performans değerlendirme çalışmaları neticesinde seçilen deprem kayıtlarına göre söz konusu yapının yönetmelikteki ilgili performans seviyelerini sağladığı belirlenmiştir. Fakat seçilen kayıtlardan farklı şiddete sahip deprem etkileri altında yapının performansını açıklayabilmek için yapılara ait kırılganlık eğrisi fonksiyonları oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında mevcut ve güçlendirilmiş yapının kırılganlık eğrileri, seçilen yer hareketi kayıtlarının 0.1 g'den 2.0 g mertebesine kadar 0.1 g artımlarla farklı yoğunluk seviyelerinde ölçeklenmesiyle ve yapının en büyük göreceli kat öteleme oranının hasar seviyesi olarak dikkate alınmasıyla oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen analizlerde düşey yöndeki deprem etkileri dikkate alınmamıştır.

1.3. İçerik

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Tezin 1. bölümünde tezin konusu ve yapılan çalışmanın kapsamı açıklanmıştır. Tezin 2. bölümü kapsamında performans esaslı değerlendirme kavramı, kullanılan hesap yöntemleri, artımsal dinamik analiz yöntemleri ve kırılganlık eğrisi kavramı ayrıntılı olarak açıklanmıştır. 3. bölüm kapsamında TBDY – 2018'de geçen mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi çalışmalarında uygulanması gereken kurallar ayrıntılı bir şekilde aktarılmıştır. 4. bölümde ise otopark yapısına ait sayısal örnek açıklanmıştır. Yapının mevcut durum ve güçlendirilmiş durum koşulları altında gerçekleştirilen zaman tanım alanındaki doğrusal olmayan analiz sonuçları geliştirilen program sayesinde

yönetmelik kapsamında değerlendirilmiş ve görsellerle sunulmuştur. Farklı deprem şiddet yoğunluğu seviyesinde gerçekleştirilen yapısal analizler neticesinde elde edilen veriler kullanılarak yapıya ait kırılganlık eğrilerinin oluşturulması ve mukayesesi bu bölüm kapsamında ayrıntılı olarak ifade edilmiştir. Bölüm 5 kapsamında ise çalışmanın sonuçlarına, çıkarımlara ve önerilere yer verilmiştir.



2. ÜLKEMİZDE PERFORMANS ESASLI DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ

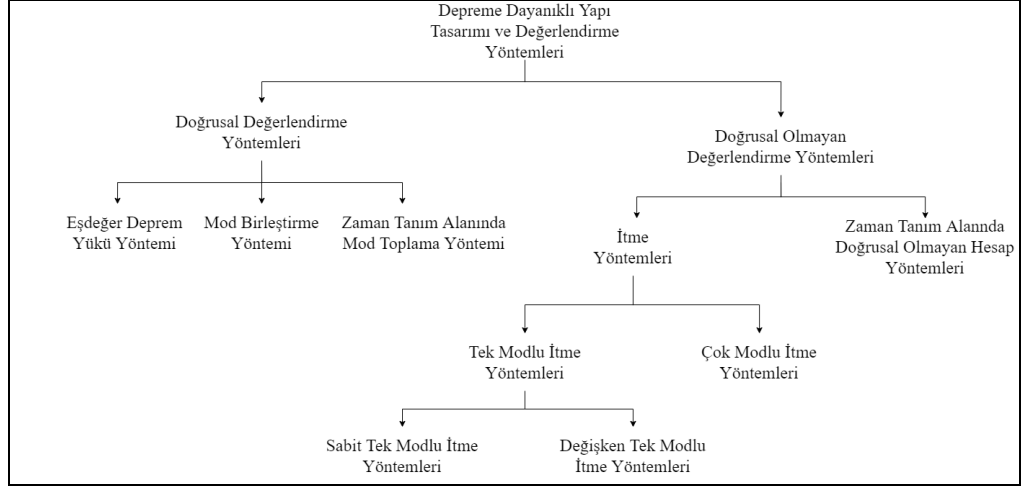
İnsanlık tarihi boyunca yerküre üzerinde oluşan tektonik hareketler nedeniyle yapılar üzerinde meydana gelen sismik yatay kuvvetlerin yapıya etkisi ve bu etkiler altında nasıl bir tasarım aşaması izleneceği merak konusu olmuştur. Bu etkileri irdeleme ve çözüm üretme aşamalarının odak noktasında inşaat mühendisliği, özellikle de yapı ve deprem mühendisliği yer almaktadır. Son yıllarda yazılım ve bilgisayar teknolojilerinde meydana gelen gelişmeler söz konusu mühendislik disiplinlerinde tasarım ve analiz basamağında farklı enstrümanların etkili şekilde kullanılmasına yol açmıştır.

1990'lı yılların başlarından itibaren bu gelişmeler ışığında deprem ve yapı mühendisleri, yapıların sismik performanslarını sadece tahmin edilebilen Dayanıma Göre (Kuvvet Esaslı) Tasarım felsefinden uzaklaştırarak, yapıların sismik performanslarının sayısal olarak belirlenmesini sağlayan Performansa Göre Tasarım (Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım) felsefesi üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmıştır [3].

2.1. Değerlendirme Yöntemleri

Ülkemizin içinde bulunduğu jeolojik konum nedeni ile tarih boyunca bulunduğumuz coğrafyada yüksek hasarlar oluşturan sismik aktiviteler yaşanmıştır. Zaman içerisinde meydana gelen bu depremler nedeniyle bu coğrafyada yer alan medeniyetler birçok kez can ve mal kaybı yaşamıştır. Meydana gelen bu tektonik hareketler neticesinde depreme dayanıklı yapı tasarımının özellikle bulunduğumuz coğrafya gibi sismik hareketlerin yüksek olduğu bölgeler için ne kadar elzem bir konu olduğu ortaya çıkmıştır. Bahsi geçen gereklilikler neticesinde zaman içerisinde depreme dayanıklı yapıların tasarlanmasını ve değerlendirilmesini amaçlayan yönetmelikler geliştirilmiştir.

Sismik etkiler altında yapı performansının değerlendirmesine ait yöntemler doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılır. Her yöntemde kendi içerisinde alt başlıklara ayrılmaktadır. Söz konusu değerlendirme yöntemlerini ifade eden şematik görsel Şekil 2.1'de gösterilmiştir.

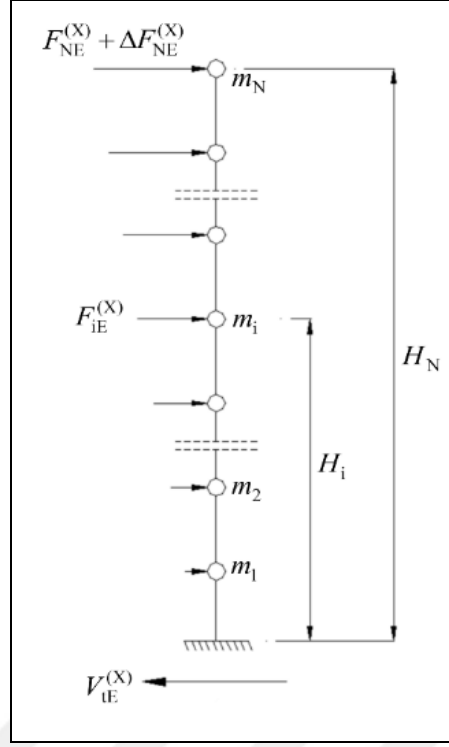


Şekil 2.1 : Performans esaslı değerlendirme yöntemleri.

2.1.1. Doğrusal Değerlendirme Yöntemleri

Bu değerlendirme yönteminde statik yükler altında yapının doğrusal davranacağı kabul edilir. Doğrusal analiz süresi boyunca sismik yükler altında kesitlerin hasar almadığı ve analiz süresi boyunca rijitliğinin değişmediği kabul edilir [4]. Doğrusal değerlendirme yöntemleri eşdeğer deprem yükü yöntemi, mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında mod toplama yöntemi olarak üç alt bölüme ayrılır.

Eşdeğer deprem yükü, değerlendirme konusu bir yapının bulunduğu bölgedeki zemin ve sismik aktivite özelliklerinden yola çıkarak zaman içerisinde maruz kalabileceği deprem kuvvetlerinin belirlenip, yapı üzerine yatay statik yükler olarak uygulanmasıdır. Yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) ve 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak oluşturulan elastik tasarım spektrumunda, yapının hakim periyot değerine karşılık gelen ivme değeri ve yapının kütlelerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır. Yapı tabanında meydana gelecek bu toplam eşdeğer deprem yükü (Taban Kesme Kuvveti) yapı yüksekliği boyunca kat kütleleri ve yükseklikleri ile orantılı olacak şekilde katlara uygulanarak oluşan taleplere karşılık gerekli kapasitelerin belirlendiği bir değerlendirme yöntemidir. Söz konusu yöntem Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Toplam eşdeğer deprem yükü ve katlara dağılımı.

Mod birleştirme yönteminde ise, değerlendirme konusu yapının bulunduğu bölgeye ait deprem tasarım spektrumunda yapının öz değer vektör çözümü sonucu elde edilen her bir modun katkısının en büyük değeri ayrı ayrı hesaplanır. Hesaplanan bu mod katkıları aynı zaman dilimleri içerisinde meydana gelmediği için istatistiksel yöntemler kullanılarak bu katkılar birleştirilir [5]. Eş zamanlı olmayan bu mod katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için Karelerinin Toplamının Karekökü Kuralı (KTKK) veya Tam Karesel Birleşim Kuralı (TKB) metotları kullanılır. Yapılan bu istatistiksel hesaplamalar neticesinde tasarıma esas iç kuvvetler (Taban Kesme Kuvveti) ve yer değiştirme değerleri elde edilir.

Zaman tanım alanında mod toplama yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek hesaplamalarda ise, depremin aynı anda birbirine dik iki doğrultuda uygulanmaktadır. Yapının her bir titreşim moduna ait modal davranış parametreleri zaman tanım alanında modal hesap yöntemleri kullanılarak elde edilir. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan eşzamanlı modal davranış büyüklükleri daha sonra zaman tanım alanında başka bir işleme tabi tutulmadan toplanarak davranış büyüklüklerinin zamana göre değişimi ve yapısal tasarımda kullanılmak üzere en büyük değerler hesaplanır [5].

2.1.1.1. Doğrusal Hesap Yöntemlerinin Kriterleri ve Uygulama Sınırları

Doğrusal değerlendirme yöntemlerinin hangi özelliklere sahip yapılar üzerinde uygulanabileceği 2018 yılında yayımlanan TBDY’de ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Bu yönetmeliğe göre eşdeğer deprem yükü yöntemi S_{DS} değeri 0.5’ten büyük olan, yumuşak kat (B2 tipi) düzensizliği bulunmayan ve her bir katındaki burulma düzensizliği katsayısı (η_{bi}) 2’den küçük olan yapılarda bina yükseklik sınıfı 4 veya daha yüksek olan yapılarda ($BYS \geq 4$), burulma düzensizliği ya da yumuşak kat düzensizliği koşullarının sağlanamaması durumunda BYS değeri 5 veya daha yüksek ($BYS \geq 5$) olan yapılarda kullanılabileceği ifade edilmiştir. Eğer değerlendirme konusu yapının bulunduğu bölgede S_{DS} değeri 0.5’ten küçük ve yumuşak kat veya burulma düzensizliği koşullarını sağlıyorsa BYS değeri 5 veya daha yüksek ($BYS \geq 5$) olan yapılarda, burulma düzensizliğini ya da yumuşak kat düzensizliğini sağlamıyorsa BYS değeri 6 veya daha yüksek ($BYS \geq 6$) olan yapılarda eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılabileceği ifade edilmiştir. Yukarıda bahsi geçen değerlendirme kriterlerinin özetlendiği tablo Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Bina yükseklik sınıflarına ait özet bilgiler Tablo 2.2’de ifade edilmiştir.

Tablo 2.1 : Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar.

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

Tablo 2.2 : Deprem tasarım sınıfına göre tanımlanan olan bina yükseklik sınıfları.

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfı ve Deprem Tasarım Sınıfına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

TBDY 2018'e göre mod birleştirme yönteminin uygulanabileceği binalar hakkında herhangi bir sınırlama getirilmemiştir. Fakat bu yöntemle hesaba katılması gereken yeterli ve gerekli titreşim mod sayısı her iki doğrultuda da mod için hesaplanan taban kesme kuvveti modal etkin kütlelerinin toplamının yapı toplam kütlelerinin %95'inden daha az olmaması gerektiği belirtilmiştir. Söz konusu hesap yönteminde etkisi %3 altında olan modların katkısının ihmal edilmesi gerektiği ifade edilmiştir [5].

2.1.2. Doğrusal Olmayan Değerlendirme Yöntemleri

Bu değerlendirme yöntemlerinde ise yapının elastik bölge içerisinde yapı rijitliği sabit kalırken, yapı üzerinde oluşan yatay kuvvetlerin talepleri neticesinde söz konusu elastik bölgenin dışına çıkıldığında rijitlikte azalmalar görülebilmektedir. Söz konusu hesap yöntemleri kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen sünek davranışı ifade eden plastik şekil değiştirmeler (plastik dönmeler) ile sünek olmayan davranışı ifade eden kritik iç kuvvetler, belirlenen performans düzeyi için izin verilen limit değerler ile mukayese edilerek şekil değiştirmeye göre değerlendirme gerçekleştirilir [5]-[7].

2.1.2.1. Hesaplama Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesaplama yöntemlerinde statik doğrusal olmayan hesap yaklaşımlarının ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yaklaşımlarının kullanılmasına izin verilir. Fakat statik doğrusal olmayan hesap yaklaşımları belli koşulları sağlayan binalar üzerinde uygulanırken, zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemleri herhangi bir sınır belirlemeksizin tüm yapılar üzerinde uygulanabilir.

Her iki hesap yönteminde başlangıç adımı olarak, düşey yükler altında doğrusal olmayan statik artımsal analizler gerçekleştirilir. Bu analizler neticesinde elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler, gerçekleştirilecek dinamik analizlerde başlangıç değerleri olarak hesaplamalara katılır. Yeni yapılan binalarda düşey yükler neticesinde meydana gelebilecek doğrusal olmayan şekil değiştirmelere izin verilmez [5].

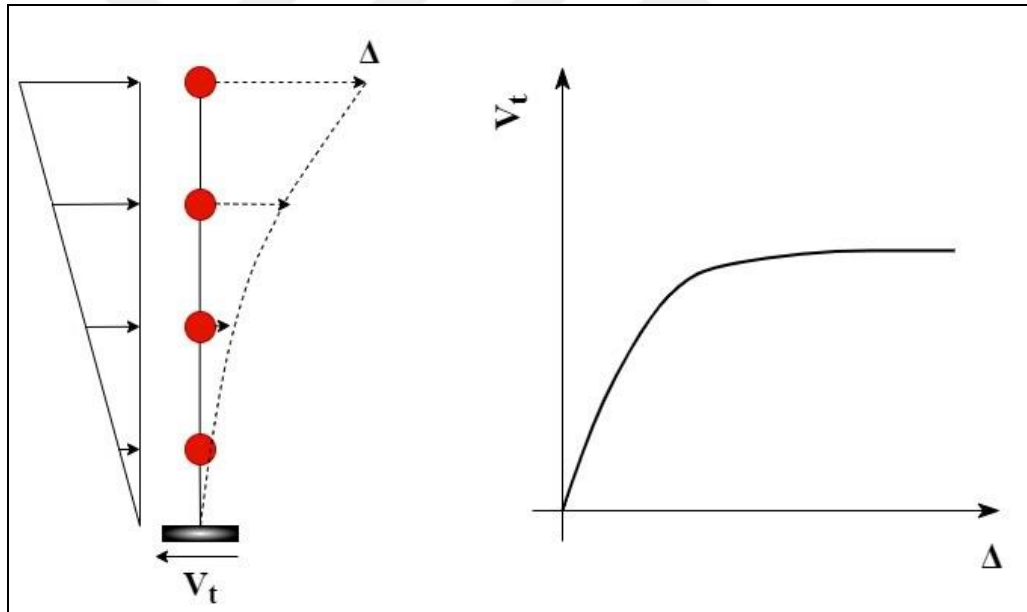
2.1.2.2. Statik Doğrusal Olmayan Hesap Yaklaşımları

Statik doğrusal olmayan hesap yaklaşımları tek ve çok modlu itme yöntemleri olarak iki ana başlık altında toplanmaktadır. Söz konusu hesaplama yaklaşımlarının temel kabulü yatay dinamik kuvvetler neticesinde yapısal elemanlar üzerinde oluşan taleplerin kapasite değerlerine eriştikçe, söz konusu elemanların yapısal sistemden çıkartarak karşılamaları gereken etkileri sistemdeki diğer elemanlara aktarması prensibine dayanmaktadır. Tek modlu itme yöntemleri S_{DS} değeri 0.50 g'den küçük ise 42 m'ye kadar olan yapılarda, eğer S_{DS} değeri 0.50 g'ye eşit ya da büyükse 28 m'ye kadar olan yapılarda aşağıda belirtilen koşulları sağlaması durumunda uygulanabileceği belirtilmektedir.

- Değerlendirme konusu yapının herhangi bir katında ek dış merkezlik dikkate alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gerekmektedir.
- İlgili deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış dikkate alınarak hesaplanan hakim titreşim moduna ait kütle katılım (rijit perde ile çevrelenen bodrum kütleleri hariç) oranı en az %70 olması zorunludur [5].

Çok modlu itme yöntemleri ise S_{DS} değeri 0.33 g'den küçük ise 105 m'ye kadar olan yapılarda, eğer S_{DS} değeri 0.33 g ile 0.5 g arasında ise 91 m'ye kadar olan yapılarda, eğer S_{DS} değeri 0.50 g'ye eşit ya da büyükse 70 m'ye kadar olan tüm yapılarda başka herhangi bir koşul aramaksızın uygulanabilir [5].

Sabit tek modlu itme yönteminde başlangıç koşulu olarak belirlenen düşey yükler altındaki analiz tamamlandıktan sonra yapının karakteristik özelliklerine bağlı olarak belirlenen ilgili deprem yönüne ait hakim titreşim modunun formu ile orantılı olacak şekilde uygulanır. Uygulanan bu deprem yükleri yapının tepe deplasman değerinin deprem yer değiştirme talebine ulaşıncaya kadar monotonik adımlarla artırılarak devam eder (Şekil 2.3). Sistem üzerinde söz konusu deprem yüklerinin artırılması esnasında oluşan deplasman, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları kümülatif olarak hesaplanarak, son adımda depremin talep ettiği değerlendirmeye esas iç kuvvet, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerlerine karşılık gelmektedir.



Şekil 2.3 : İtme şekli ve kapasite eğrisi.

Değişken tek modlu itme yönteminde ise sabit tek modlu itme analizinden farklı olarak göz önüne alınan deprem doğrultusundaki kuvvet artımlarının her adımında elemanlarda oluşan plastik şekil değiştirme talepleri ve oluşan mafsallar değerlendirilip serbest titreşim hesapları yenilenir. Oluşan her bir mafsal neticesinde

yeniden belirlenen ve bir öncekine göre değişen mod şekli ile orantılı olarak deprem kuvveti artışları sistem üzerine tatbik edilir.

Yukarıda açıklanan itme yöntemlerinin uygulanabildiği yapıların genel özellikleri dikkate alınacak olursa, bu yöntemler düzenli ve az katlı yapılara uygulanabileceği anlaşılmaktadır. Ancak son yıllarda düzensiz ve çok katlı yapıların deprem performansının çok daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi amacı ile yüksek mod etkilerini de dikkate alacak birçok çok modlu itme yöntemi üzerinde araştırmacılar çalışmalarını yoğunlaştırmıştır [8]. Uyarlamalı mod birleştirme yöntemi, artımsal spektrum analizi yöntemi, modal artımsal itme analizi yöntemi, üst sınır artımsal itme analizi yöntemi bu alanda yapılan çalışmalara sadece birkaç örnek olarak gösterilebilir.

Çok modlu itme analizi doğrusal tepki spektrumu analizinin doğrusal olmayan analizine devşirilmiş bir modifikasyonu olarak kabul edilebilir. Çok modlu itme analizi yöntemleri genel hesaplama yaklaşımları açısından uyarlanan ve uyarlanmayan çok modlu itme analizleri olarak iki ana başlık altında gruplanabilir. Uyarlanan yöntemlerde, modal kuvvet vektörü daha gerçekçi sonuçlara ulaşabilmek için her itme adımında yeniden hesaplanarak yapı üzerine uygulanır [9]. Bu nedenle itme analizi esnasında yapısal sistemde oluşan plastik şekil değiştirmelerin analizlerde dikkate alınabilmesi için her yük artırımında serbest titreşim analizlerinin tekrarlanması gerekmektedir [10]. Çok modlu itme analizi yöntemlerinin tümünde yapıya ait tüm modlara ait değerler birbirlerinde bağımsız olarak hesaplanmaktadır. Birbirinden bağımsız olarak elde edilen bu değerler TKB kuralı ve KTKK yaklaşımı gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak birleştirilmesi sonucunda nihai sonuçlar elde edilir. Fakat TBK ve KTKK gibi doğrusal elastik yapıların modal spektrum analizi için geliştirilmiş bu yöntemlerin doğrusal olmayan modal analiz yöntemlerinde kullanılması önemli hatalara sebebiyet vermektedir. Özellikle bu yöntemlerle elde edilen iç kuvvetlerin kapasite sınırlarını aştığı gözlemlenmektedir. Bu nedenle her itme adımıda iç kuvvetler kontrol edilerek gerekli düzeltmelerin yapılması gerekmektedir [9].

2.1.2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yaklaşımları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, güçlü yer hareketi etkisinde dinamik denge denklemlerini ifade eden denklem takımının zamanın her adımı için artımsal şekilde doğrudan integrasyonu olarak ifade edilebilir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yaklaşımı deprem yüklerinin yapıya doğrudan uygulanarak analizlerin gerçekleştiriliyor olması nedeniyle, doğrusal olmayan yapı davranışının gerçeğe en yakın şekilde elde edildiği analizler olarak bilinmektedir [11]. Bu analiz yöntemi içerisinde yapının doğrusal olmayan davranışı sebebiyle zaman içerisinde global rijitlik matrisindeki değişimler yapısal analiz modeline yansıtılmaktadır. Güçlü yer hareketinin her bir adımında sistemde meydana gelen yer değiştirmeler, plastik şekil değiştirmeler ve iç kuvvetler ile bu kuvvetleri oluşturan deprem isteminin en büyük değerleri belirlenir. Bu analiz yöntemi içerisinde kullanılacak güçlü yer hareketine ait kayıtlar yapının bulunduğu bölgeye ait elastik tasarım spektrumuyla uyumlu olacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yönteminde kullanılacak ivme kayıtları deprem büyüklüğü, faya olan uzaklık, yapının bulunduğu bölgenin fay mekanizması, yapının bulunduğu yerel zemin sınıfı gibi parametreler bağlı olarak belirlenmektedir.

2.2. Performans Düzeyleri

Yapıların bulunduğu zemin özellikleri ve bölgenin depremsellik özelliklerine bağlı olarak yapılar farklı düzeylerde sismik etkilere maruz kalmaktadır. Yapıların belirli deprem düzeyi etkisinde öngörülen performans hedeflerini sağlaması beklenir. Belirlenen bu performans düzeyi yapının önemine ve kullanımına bağlı olarak değişir. Yüksek şiddetteki bir deprem etkisi altında yapının sınırlı düzeyde bir performans göstermesi için yapısal sistemin yüksek yatay yük kapasitesine sahip olması gerekmektedir [6]. Buradan da anlaşılacağı üzere yapının sağlaması beklenen performans düzeyi yapıyı oluşturan elemanların kesit hasar limitleri ile doğrudan ilgilidir. Yapısal elemanların kesit hasar durumundan elemanın hasar durumu elde edilir. Yapıyı oluşturan her kattaki elemanların hasar durumları TBDY 2018’de veya

ilgili yönetmeliklerdeki belirlenen sınırlar altında incelenerek katlara ait hasar durumu, buradan da yapısal sistemin performans düzeyi belirlenmektedir [4].

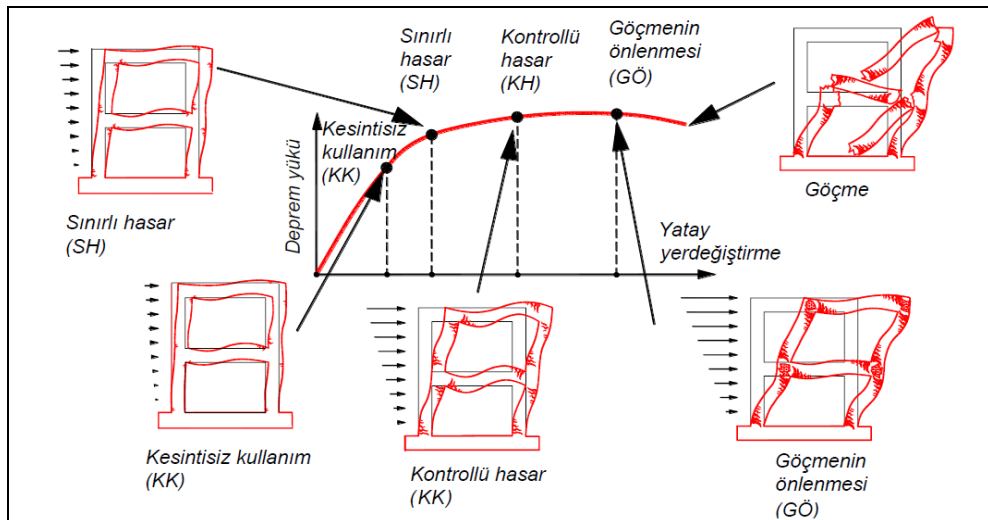
Yapıların deprem etkisi altında taşıyıcı sistemleri için performans düzeyleri aşağıda açıklanmıştır. Bina performans düzeylerini ifade eden grafik Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, yapısal taşıyıcı sistem elemanlarında herhangi bir hasarın oluşmadığı veya oluşan hasarların ihmal edilebilir düzeyde olduğu performans düzeyine karşılık gelmektedir.

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, yatay deprem kuvvetleri etkisinde yapısal taşıyıcı sistem üzerinde meydana gelen hasarların sınırlı seviyede olduğu ve doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı performans seviyesini ifade etmektedir.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, yatay deprem kuvvetleri etkisinde yapısal sistem davranışının can güvenliğini sağlayacak şekilde ileri derecedeki hasarların oluşmadığı ve meydana gelen yapısal hasarların onarılması mümkün olan performans seviyesini ifade eder.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi ise yatay deprem kuvvetleri etkisinde yapısal sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarların meydana geldiği göçme öncesi duruma karşılık gelmektedir. Deprem etkisine maruz kalan yapı taşıyıcı elemanlarında meydana gelecek kısmen ya da tamamen göçme durumu önlenmiştir [5].

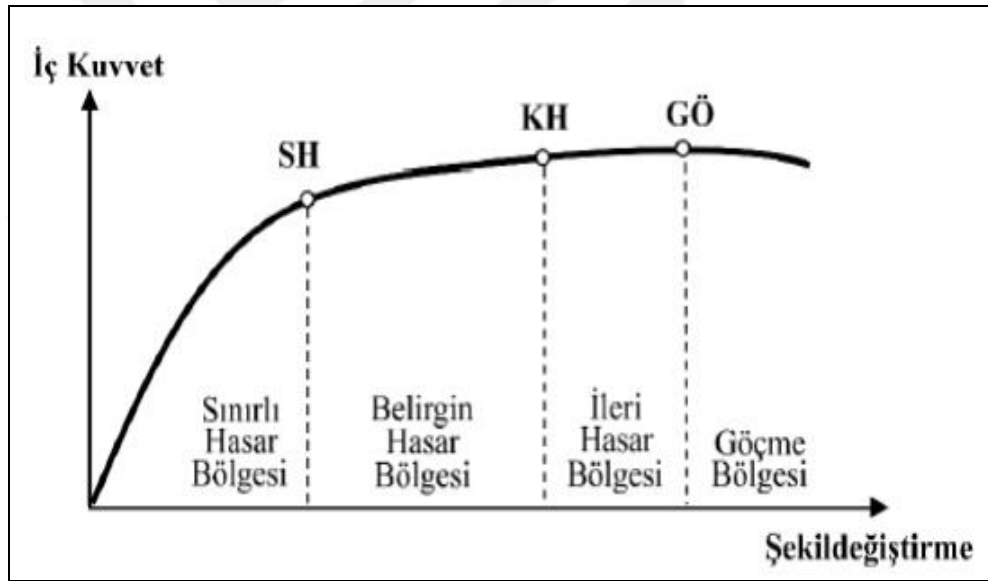


Şekil 2.4 : Yapı performans düzeyleri.

2.3. Hasar Sınırları

Sünek davranış gösteren yapısal elemanlar için kesit düzeyinde üç hasar tipi ve hasar limiti tanımlanmıştır. Kesitin sınırlı miktarda doğrusal olmayan davranış gösterdiği limite SH, dayanımın güvenli olarak sağlandığı elastik ötesi davranışın ortaya koyulabildiği limite KH sınırı denilmektedir. GÖ hasar durumu ise kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı tanımlamaktadır. Bu sınıflandırma tipleri gevrek olarak hasar gören elemanlarda geçerli değildir [5].

Yatay deprem etkisi altında yapısal elemanların uç kesitlerinde deprem taleplerinden dolayı meydana gelen şekil değiştirme taleplerinin en büyük değeri yukarıda tanımlanan hasar sınırları ile kıyaslanarak değerlendirme konusu elemanın hangi hasar bölgesinde bulunduğuna karar verilir. Kesit hasar bölgelerini ifade edildiği görsel Şekil 2.5’ de gösterilmiştir [12].



Şekil 2.5 : Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri.

Yukarıdaki görselden de anlaşıldığı üzere SH limitine ulaşmayan elemanlar *Sınırlı Hasar Bölgesinde*, SH ile KH limit değerleri arasında şekil değiştirme göstermiş elemanlar *Kontrollü Hasar Bölgesinde*, KH ile GÖ limit değerleri arasında elastik ötesi davranış gösteren elemanlar *İleri Hasar Bölgesinde* ve GÖ limitini geçen elastik ötesi davranışına sahip elemanlar ise *Göçme Bölgesindeki* elemanlar olarak nitelendirilir.

2.4. Talep – Kapasite Tanımlamaları

Yapı tasarımında en önemli konulardan birisi yapıda oluşacak iç kuvvetler yani talepler ve bu kuvvetler altında tasarlanan elemanların kapasiteleri olmuştur. Yapıda tasarıma esas yükler sadece düşey yüklerden ibaret olsaydı servis yükleri altında yapılacak tasarım ve gerekli kapasite değerlerinin kesin bir şekilde belirlenmesi oldukça basit olacaktı.

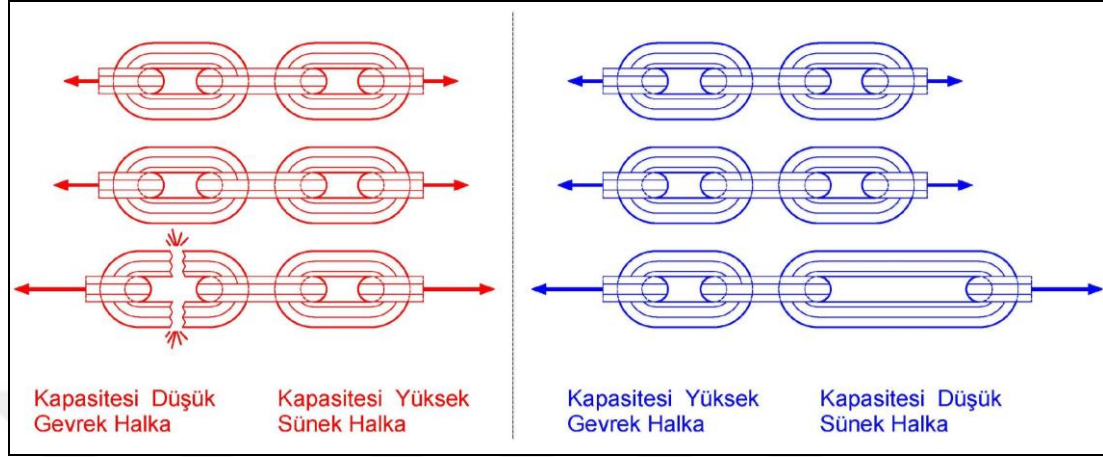
Zaman içerisinde mühendislik biliminde yaşanan gelişmeler ve tarih boyunca yaşanan doğa olaylarından edinilen tecrübeler neticesinde yapı tasarımında sadece düşey yükler altında yapılacak analizlerin yeterli olmadığı görülmüştür. Özellikle yapının bulunduğu bölgenin sismik aktiviteleri yapı tasarımında önemli rol oynamaktadır. Ülkemizin bulunduğu coğrafya itibari ile tasarım konusu olan yapının faylara olan uzaklığı, bulunduğu bölgenin depremselliği, zemin sınıfı, yapının yükseklik sınıfı, kullanım amacı ve periyodu gibi çeşitli faktörler yapı üzerinde oluşacak yatay deprem kuvveti büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılan bazı parametrelerdir. Yapı üzerinde oluşacak yatay deprem kuvveti belirlendikten sonra söz konusu bu kuvvet yapısal elemanlar üzerine dağıtılarak taşıyıcı sistem elemanlarda oluşacak talepler belirlenir.

Kapasite tasarımı açısından yapı tasarımını ya da mevcut yapı değerlendirmesini ele alacak olursak; düşey ve yatay deprem kuvvetlerinin belirlenmesinde belirsizliklerin yanı sıra, tersinir ve tekrarlı yükler altında malzeme dayanımındaki değişimler de göz önüne alınması gereken önemli belirsizliklerden biridir. Bu nedenle yapı tasarımında güvenlik katsayıları öngörülmüştür. Yapının bulunduğu konum itibari ile yapıya etkiyecek yatay deprem kuvvetinin belirlenmesi ve bunun sayısal bir değere dönüştürülmesi pek çok kabulün yapılması ile gerçekleşir. Yapılan kabuller sonucunda ve yönetmeliklerin yönlendirmesi neticesinde öngörülen bu yatay deprem kuvvetinden daha düşük değerlerde deprem kuvvetlerinin yapıya etkimesi olası ise; öngörülen yatay deprem kuvvetlerinden daha büyük deprem kuvvetlerinin yapıya etkimesi düşük bir ihtimalde olsa mümkündür. Yönetmeliklerde deprem etkisinin meydana gelme ihtimali ve yapının önemi dikkate alınarak yapıya etkiyecek deprem etkisi öngörülür. Bu deprem etkisinin yapısal elemanlar üzerinde SH düzeyinde hasarlar oluşturması ve yapısal elemanların bu etkileri elastik ötesi kapasitelerini kullanarak karşılanması hedeflenir. Fakat yapısal

sistemin daha yüksek yatay deprem kuvvetlerine maruz kalması durumunda ileri oranda hasarlar oluşsa bile bu etkilerin karşılanması, yapısal sistemdeki güç tükenmesinin sünek olarak meydana gelmesi ve taşıyıcı sistemin toptan göçmemesi hedeflenmektedir. Yapısal tasarımda eleman kapasitelerinin olabildiğince birbirine yakın oluşturulması neticesinde yapısal elemanlar arasında bir yardımlaşma ve bu yardımlaşma sonucu güç tükenmesi mekanizmasının birbirini takip eden adımlarla gerçekleşmesi sağlanabilir. İzlenen bu metodoloji sayesinde yapıda oluşacak hasarların bir kesitte ya da bir bölgede yoğunlaşması engellenerek, yapıda yayılı olarak meydana gelmesi, lokal büyük hasarlar yerine daha küçük ve yapının farklı bölgelerine dağılmış hasarlar ile deprem etkilerinin karşılanması amaçlanmaktadır. Yapısal tasarımda kapasite ilkesinin kabulüne göre kesitlerde, sünek güç tükenmesi (örneğin eğilme momenti güç tükenmesi) ile sünek olmayan güç tükenmesinin (örneğin aderans çözülmesi, kesme kuvveti ve zımbalama güç tükenmesi) beraber bulunduğu durumlarda sünek olmayan etkiye ait kapasite artırılarak, yapısal sistemde beklenenin üzerinde yatay deprem talepleri oluştuğunda, güç tükenme mekanizmasının sünek olarak ortaya çıkması hedeflenmektedir.

Güç tükenme mekanizmasını Şekil 2.6'da gösterilen bir zincir sisteminin alt birimleri olan halkalara kuvvet uygulanarak açıklanmaya çalışılmıştır. Burada halkalardan birinin sınırlı elastik şekil değiştirme yaptıktan sonra, plastik şekil değiştirme yapmadan gevrek davranış göstererek kopacağı kabul edilmiştir. Diğer halkanın ise sınırlı elastik şekil değiştirme yaptıktan sonra, önemli oranda plastik şekil değiştirme yapıp sünek davranış sergileyerek güç tükenmesine ulaşacağı kabul edilmiştir. Birinci durumda sünek halkanın kapasitesi gevrek olan halkanın kapasitesinden daha yüksek olup sistemde meydana gelecek olan güç tükenme mekanizmasını gevrek eleman kontrol etmektedir. Zincir mekanizmasında meydana gelecek güç tükenmesi gevrek olarak oluşmaktadır. İkinci durumda ise gevrek halkanın kapasitesi sünek halkaya göre daha yüksek olup sistemde meydana gelecek olan güç tükenme mekanizmasını sünek halka kontrol etmektedir. Zincir mekanizmasında meydana gelecek güç tükenmesi sünek halkanın yüksek oranda plastik şekil değiştirmelere uğraması neticesinde oluşmaktadır. Kapasite tasarımı ilkeleri yönetmeliklerde öngörülen etkilerin karşılanmasından sonra, yapı üzerinde meydana gelecek ve öngörülemeyen yüksek yatay deprem etkilerin oluşması durumunda güç tükenme mekanizması devreye girmesi hedeflenmektedir. Güç

tükenmesi mekanizması devreye girdiğinde yapısal elemanların gösterdiği sünek davranış sonucunda büyük şekil değiştirmeler ve yer değiştirmelere olanak sağlayarak deprem kuvvetlerinin karşılanması amaçlanmaktadır [4].



Şekil 2.6 : Gevrek ve sünek güç tükenmesi.

2.4.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Yapıların deprem etkisi altında kesit tasarımı dikkate alınacak ve yatay kuvvet taleplerini oluşturacak deprem yer hareketine ilişkin veriler TBDY-2018 Bölüm 2.2’de tanımlanmıştır. Bu bölümde yer alan deprem yer hareketi düzeyleri aşağıda ifade edilmiştir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD1): Spektral ivme büyüklüklerinin 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve buna karşılık gelen tekerrür aralığının 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da nitelendirilmektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD2): Spektral ivme büyüklüklerinin 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşılık gelen tekerrür aralığının 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da nitelendirilmektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD3): Spektral ivme büyüklüklerinin 50 yılda aşılma olasılığı %50 ve buna karşılık gelen tekerrür aralığının 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD4): Spektral ivme büyüklüklerinin 50 yılda aşılma olasılığı %50 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşılık gelen tekerrür aralığının 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da nitelendirilmektedir.

2.4.2. Artımsal Dinamik Analiz Yöntemleri

Bilgisayar teknolojisindeki ve özellikle işlemci kapasitesindeki gelişmeler deprem mühendisliği alanındaki çözüm metodolojilerinin daha gerçekçi ancak bir o kadar da daha karmaşık çözüm yöntemlerine doğru yönelmesine neden olmuştur. IDA, sismik yatay yükler altında yapıların performansını daha kapsamlı ve daha gerçekçi bir şekilde ortaya koymak için son yıllarda birkaç farklı şekilde ortaya çıkan parametrik bir analiz yöntemidir. IDA'nın deprem mühendisliği analizlerinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu ancak bu çözüm yönteminin sadece performans esaslı deprem mühendisliği problemlerinin çözümünde kullanılmadığı Vamvatsikos (2002) tarafından belirtilmiştir [13].

IDA, seçilen bir bölgede belirlenen bir yapının performans sınır değerlerini tespit eden ve bu yapının sismik etkiler altındaki davranışı istatistiksel olarak ortaya koyan bir yöntemdir. IDA prosedüründe her biri birden farklı ve birden fazla yoğunluk seviyesinde, başka bir deyişle ardışık artımsal adımlar altında ölçeklendirilmiş olan yer hareketi kayıtlarının yapısal model üzerine zaman tanım alanından doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri ile tatbikine dayanır. Çok ölçekli yer hareketi kayıtları altında yapılan bu analizler neticesinde inceleme konusu olan yapının sismik talepleri ve limit durum kapasitesi istatistiksel olarak ortaya konur. Yapılan bu artımsal ölçeklendirme yöntemi ile yapının doğrusal davranışından, göçmesine kadar olan tüm davranışı incelenmiş olur. 1970 lerin sonlarına doğru ilk defa gündeme gelen bu analiz konsepti zaman içerisinde yaşanan gelişmeler neticesinde Amerika Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) tarafından da benimsenmiştir [14].

IDA prosedürü şu anda yapıların performans limitlerinin ve göçme durumuna kadarki yapısal davranışının irdelenmesinde kullanılan en yaygın yöntem olarak bilinmektedir. IDA prosedürünün temel amaçları aşağıda özetlenmiştir;

- Yer hareketi kayıtlarının ardışık artımsal ölçeklenmesi sayesinde farklı yoğunluk seviyelerdeki yer hareketi taleplerinin daha net olarak anlaşılması,
- Nadir gözlemlenen yüksek şiddetli yer hareketlerinin yapı üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması,
- Yer hareketinin büyüklüğü arttıkça yapısal davranışta ortaya çıkan değişikliklerin daha iyi ortaya konulması,
- Yapının sismik etkiler altındaki yapısal kapasitesini daha iyi tahmin edilebilmesi ve,
- Son adımda ise yukarıda bahsi geçen tüm değerlendirme ya da araştırma kriterlerinin bir yer hareketi kaydı altındaki analizinden diğerine geçerken söz konusu bu parametrelerin ne kadar kararlı ya da değişken olduğunu anlayabilmek için çok kayıtlı artımsal dinamik analiz grafiklerinin oluşturulması olarak özetlenebilir [13].

2.4.3. Kırılgnlık Eğrisi

Kırılgnlık analizleri yapıların sismik etkiler altındaki davranışı istatistiksel olarak inceleyen bir yöntemdir. Kırılgnlık eğrileri, belirli bir hasar düzeyine ulaşılması veya aşılması olasılığını bir yer hareketi parametresi ile ilişkilendiren ve deprem riskini grafiksel olarak gösterilmesini sağlayan fonksiyonlar olarak tanımlanabilir [15]. Herhangi bir yapının maruz kalacağı sismik yatay etkiler altında yapısal sistemin sergileyeceği performans seviyesi ve yapının tasarım aşamasında öngörülen performans seviyesini aşma olasılığı, yapı sağlığı, oluşacak can ve mal kaybı gibi senaryolarını ortaya çıkartılabilmesi için önemli bir değerlendirme yöntemidir.

Kırılgnlık eğrileri yapısal bir sistemin maruz kaldığı ya da kalması olası olan sismik yatay etkilerin şiddetine bağlı olarak önceden belirlenen performans limitlerini aşp aşmadığını istatistiksel olarak ortaya çıkaran eğrilerdir. Bu nedenle hangi yer hareketi düzeyinde yapısal performansının hangi hasar limit düzeyini ne oranda aştığını ya da aşılabığının ortaya konması yaşanacak can kayıplarının ve akabinde ortaya çıkacak ekonomik kayıpların en asgari seviye indirgenmesinde önemli rol oynamaktadır.

Kırılgnalık eğrilerinin ve fonksiyonlarının hesaplanmasında kullanılan yöntemler, şiddet ölçütleri, limit-hasar durumları ve hasar ölçüleri gibi kavramlar aşağıda özet olarak sunulmuştur.

Şiddet Ölçüleri: Şiddet Ölçüsü (IM) belirli bir limit durum olasılığının aşılması karşısında çizilen referans yer hareketi parametresi olarak tanımlanabilir [16]. Şiddet ölçüsünün değerlendirilmesinde birçok farklı değerlendirme kriteri geliştirilmiştir. Şiddet ölçüsü sismik yatay etkilerin yapısal sistem üzerinde hasara sebep olabilecekleri hasar ölçüsünde belirlenmektedir. Şiddet ölçülerini iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar deneysel şiddet ölçüleri ve araçsal şiddet ölçüleri olarak isimlendirilmektedir.

- Deneysel Şiddet Ölçekleri:

Bu sınıfta Mercalli-Cancani-Sieberg Şiddet Ölçeği, Değiştirilmiş Mercalli Şiddet Ölçeği, Avrupa Makro Sismik Ölçek gibi ölçeklendirme sınıfları bulunmaktadır. Bu tip ölçeklendirme sınıflarının kırılgnalık eğrileri ile yapılacak mühendislik değerlendirme yöntemlerinde kullanımı oldukça sınırlıdır.

- Araçsal Şiddet Ölçekleri:

Bu yöntem ise meydana gelen sismik yer hareketinin büyüklüğünün veya ivme kayıtlarının ölçüm araçları vasıtası ile kayda alınıp kullanılmasına dayanmaktadır. Araçsal şiddet ölçeklendirme yöntemi yapısal hasarların analizinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntemde kullanılan en önemli ölçeklendirme parametreleri Spektral İvme (S_a), Spektral Yer değiştirme (S_d), Spektral Hız (S_v), Maksimum Yer İvmesi (PGA), Maksimum Yer Değiştirmesi (PGD) ve Maksimum Yer Hızı (PGV) olarak yapılan analizlerde öne çıkmaktadır.

Limit Durumlar: Binaların sismik yükler altında yapılan risk analizlerinde performans düzeyleri limit durum diye ifade edilen, yönetmeliklerce belirlenen hasar sınırlarını aşmasına ya da bu sınırlar arasındaki bölgelerde kalması durumuna göre belirlenir. Hasar sınırlarının sayısı referans alınan yönetmeliğe göre ya da kullanılan limit durum ölçeğine göre değişmektedir.

Hasar Ölçüleri: Binaların sismik yükler altında yapılan kırılgnalık eğrisi analizlerinde kullanılan yönetmeliklere göre farklı hasar ölçüleri kullanılabilir. Sismik analizlerde hangi hasar ölçüsünün kullanılacağı yapısal sistemde kesit

bazında bir değerlendirme mi yapılacağına ya da yapısal sistemin tamamıyla ilgili bir değerlendirme mi yapılacağına göre değişiklik göstermektedir.

Yapısal elemanlarda kesit bazında yapılan değerlendirmelerde; eleman uç bölgelerindeki dönme talepleri, elemanlarda oluşan maksimum kesme kuvveti talepleri gibi parametreler hasar ölçütü olarak kullanılabilir.

Yapısal sistemin bir bütün olarak ele alındığı değerlendirmelerde; kalıcı deformasyonlar, maksimum görelî kat ötelemeleri, yumuşama indeksi gibi parametreler hasar ölçütü olarak tercih edilebilir [16].

2.4.3.1. Kırılgnalık Eğrilerinin Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemler

Kırılgnalık eğrilerinin oluşturulmasına ait yöntemler dört ana başlık altında toplanabilir. Bu yöntemler aşağıda özetlenmiştir [17].

- Gözleme Dayalı Kırılgnalık Eğrileri

Gözleme Dayalı Kırılgnalık Eğrileri, tarihsel süreç içerisinde meydana gelen depremleri ve bu depremlerin hasar istatistiklerini referans alarak oluşturulmaktadır. Bu yöntem ile sınırlı bir alanda meydana gelen deprem etkileri incelendiği ve yerel durumlara ait özel koşullar ele alındığı için bu istatistiksel verilerden tüme varmak ve genel bir yargıya erişmek mümkün olmamaktadır. Tarihsel süreç içerisinde yaşanan birçok sismik yer hareketine ilişkin kayıtların bulunması mümkün olmadığı için de bu yöntemin kullanılmasını oldukça sınırlandırmaktadır.

- Yargıya Dayalı Kırılgnalık Eğrileri

Yargıya Dayalı Kırılgnalık Eğrileri, yapının maruz kaldığı sismik yatay etkiler ya da yapısal hasarlar hakkında yeterli bilgiye sahip olunmadığı durumlarda konu hakkında uzman kişilerden elde edilen bilgiler ışığında oluşturulan kırılgnalık eğrileridir.

- Analitik Yöntemlerle Elde Edilen Kırılgnalık Eğrileri

Analitik Kırılgnalık Eğrileri, değişen ölçekteki yer hareketi kayıtları altında yapısal modellerin analizinden elde edilen istatistikî kırılgnalık eğrileridir. Bilgisayar

teknolojisinde yaşanan gelişmeler sayesinde yapısal sistemler analiz programlarında üç boyutlu olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar programları aracılığıyla yapısal modeller doğrusal ya da doğrusal olmayan dinamik yöntemler kullanılarak gerçeğe daha yakın koşullar altında analiz edilir. Bilgisayar ve yazılım teknolojilerindeki bu gelişmeler sayesinde uzun sürede gerçekleşen ve bir o kadarda karmaşık olan yapısal analizlerinden analitik kırılma eğrilerinin elde edilmesi daha kolay bir hale gelmiştir. Analitik kırılma eğrileri hem analiz yöntemleri itibari ile hem de göz önüne alınan bilgiler neticesinde gerçeğe daha yakın istatistiksel bilgiler vermektedir.

- Birleştirilmiş Kırılma Eğrileri

Birleştirilmiş Kırılma Eğrileri, gözleme dayalı yöntemdeki verilerin eksikliğinden, yargıya dayalı yöntemdeki verilerin öznelliğinden ve analitik yöntemle elde edilen kırılma eğrilerindeki modelleme eksikliklerini telafi etmek amacıyla farklı kaynaklardan gelen bu bilgileri sentezleyerek bir kırılma eğrisi oluşturmayı hedeflemektedir. Bu yöntem ile yapılar hakkında daha güvenilir sonuçlara sahip kırılma eğrileri elde edilebilir. Diğer üç yöntem uzun süredir kullanılıyor olmasına rağmen, Porter ve ark. (2007), bunları kategorize etmiş ve her bir yöntem ile kırılma eğrilerinin nasıl oluşturulabileceğine dair standart prosedürler ortaya koymuşlardır [18].

2.4.3.2. Kırılma Fonksiyonunun Oluşturulması

Analitik yöntemler kullanılarak yapıların kırılma eğrilerinin ortaya çıkartılması için gerçekleştirilen çalışmalar, yapıların sismik etkiler altındaki performansının belirlenmesinde önemli bir mihenk taşıdır. Bu çalışma kapsamında da analitik yöntemler kullanılarak kırılma eğrilerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Kırılma eğrileri yer hareketlerine ait kayıtların farklı yoğunluk noktalarında ölçeklenmesi ve bu kayıtların yapısal model üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik yöntemler kullanılarak analizlerin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Kırılma eğrileri yer hareketi şiddetinin bir fonksiyonu olarak, değerlendirme konusu yapının çökme olasılığını ya da belirlenen hasar limitlerine göre bulunduğu performans seviyesini şematik olarak ifade eden grafiklerdir. Bu çalışma kapsamında kırılma eğrilerinin oluşturulması ile ilgili prosedürlerde Jack

W. Baker'ın "Dinamik Yapısal Analiz Kullanılarak Etkin Analitik Kırılgnlık Fonksiyonunu Oluşturma" isimli makalesindeki yöntemler ve işlem adımları takip edilmiştir [19].

Baker'ın yaptığı bu çalışmada kırılgnlık eğrilerini oluşturulmasında kullanılan fonksiyonlara ait parametrelerinin tanımlanmasında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemleri kullanılarak yapısal modellerin çözümü sonucu elde edilen veriler, istatistiksel yöntemler vasıtasıyla dönüştürölerek kullanılmıştır.

Baker'ın yaptığı çalışmaya göre bir kırılgnlık fonksiyonunun tanımlanması için çoğunlukla bir normal kümülatif dağılım fonksiyonu kullanılmaktadır [19]. Yer hareketinin yoğunluk ölçüsüne bağlı olarak değerlendirme konusu yapının yönetmeliklerce belirlenen hasar limitlerine ulaşma veya aşma olasılığı Denklem 2.1 ile belirlenmektedir.

$$P(C|IM = x) = \Phi \left(\frac{\ln(x/\theta)}{\beta} \right) \quad (2.1)$$

Bu denklemde $P(C|IM = x)$, şiddet ölçüsü ($IM=x$) x 'e eşit olan bir yer hareketinin yapının göçmesine sebep olma olasılığıdır, Φ standart normal kümülatif dağılım fonksiyonudur, θ kırılgnlık fonksiyonunun medyan değerini ifade eder (%50 çökme olasılığı olan IM seviyesi) ve β $\ln IM$ 'in standart sapmasını göstermektedir. Denklem 2.1, değerlendirme konusu olan yapının göçmesine neden olacak yer hareketinin IM değerinin lognormal olarak dağılımını göstermektedir. Denklem 2.1 içerisinde parametre olarak gösterilen θ ve β değişkenleri yapısal analiz sonucunda elde edilen değerlerdir. Bu değerlere ait tahminler θ' ve β' olarak ifade edilecektir [19].

Yukarıda bahsedildiği üzere yapısal analiz verilerini elde etmek için kullanılan analiz yöntemlerinin yanı sıra, elde edilen verilerle tutarlı bir kırılgnlık fonksiyonu oluşturabilmek için θ' ve β' olarak ifade edilecek tahminlerin belirlenmesinde üç temel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler;

- Artımsal Dinamik Analiz,
- Kesikli Artımsal Dinamik Analiz,
- Çoklu Çizgi Analizi,

olarak gruplandırılmaktadır. Bu çalışma kapsamında IDA yönteminin kullanılması nedeniyle bu yöntem aşağıda ayrıntılı olarak irdelenmiştir.

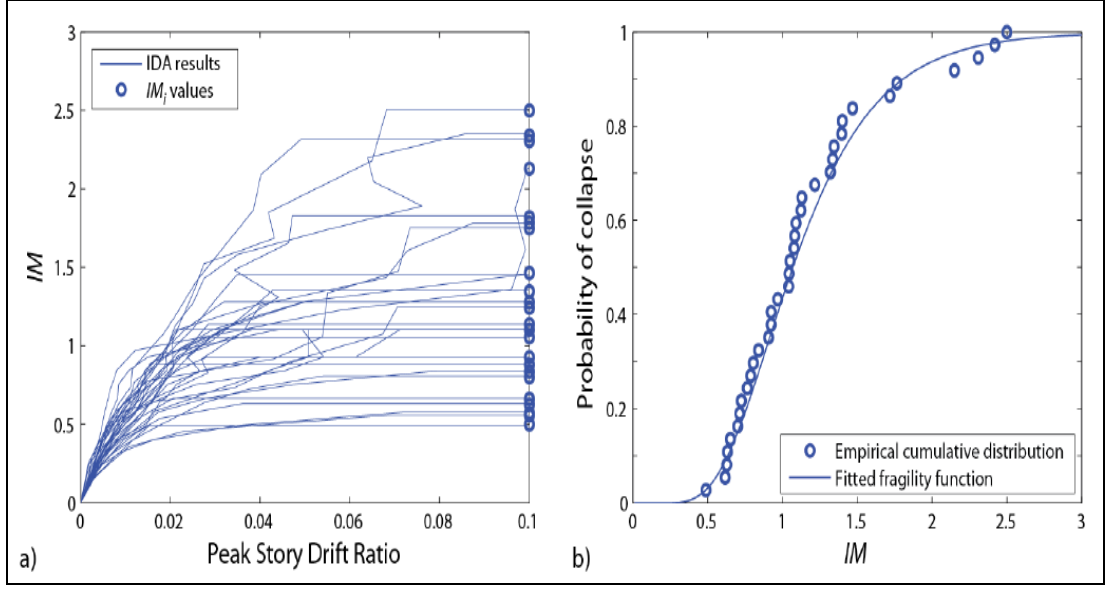
- Artımsal Dinamik Analiz

IDA yönteminin izlediği protokol bu tezin 2.5.2 numaralı başlığı altında açıklanmıştır. Bu bölümde de bahsedildiği üzere yapısal sistemin göçmesine sebep olacak şekilde yer hareketi kayıtlarının farklı yoğunluk noktasında ölçeklendirilmesi prensibi esas alınmaktadır [13]. Bu ölçeklendirme neticesinde her yer hareketi göçmenin başlangıcı ile ilgili bir dizi IM değeri oluşturulmaktadır (Şekil 2.7.a). Daha sonraki adımda belirlenen bu IM seviyesinde x çökme oluşması olasılığı x seviyesinden daha düşük bir seviyede oluşan göçme meydana getiren IM'nin sayısına bölümü olarak hesaplanmaktadır. Bu olasılıkları ifade eden görsel Şekil 2.7.b'de gösterilmiş olup, bu olasılıksal dağılım *ampirik kümülatif dağılım fonksiyonu* olarak isimlendirilmektedir. Kırılgenlik fonksiyonunun oluşturulmasında kullanılan tahmine dayalı, θ' ve β' olarak simgelenen parametreler göçmenin başlangıcıyla ilişkilendirilmiş IM değerlerinin logaritmaları ve bunların standart sapmaları hesaplanarak tahmin edilebilir [20].

$$\ln \theta' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n IM_i \quad (2.2)$$

$$\beta' = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln(IM_i/\theta'))^2} \quad (2.3)$$

Bu denklemlerde n ölçeklenmiş ve yapısal analizde kullanılan yer hareketi sayısını ve IM, sismik yer hareketleri sonucunda oluşan göçmenin başlangıç ile ilişkili şiddet ölçüsü (IM) değerini simgelemektedir. Denklem 2.2 $\ln IM_i$ değerlerinin normal dağılımın ortalamasını, Denklem 2.3 ise $\ln IM_i$ değerlerinin standart sapmasını ifade etmektedir [19].



Şekil 2.7 : Artımsal dinamik yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmiş örnek bir analiz sonuçları.

3. TBDY 2018'E GÖRE MEVCUT BİNA SİSTEMLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE GÜÇLENDİRİLME YÖNTEMLERİ

Bu tez kapsamında mevcut bir binanın şekil değiştirmeye dayalı değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi TBDY 2018'e göre yapılmıştır. Mevcut yapının performans değerlendirmesinde ve güçlendirme aşamasında dikkate alınan ilgili yönetmelik kuralları bu bölüm kapsamında açıklanmıştır.

3.1. TBDY-2018'e Göre Performans Hedefinin Belirlenmesi

TBDY 2018'de Tablo 3.4(c)'de tanımlanan mevcut binaların performans hedefleri Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Buna göre yüksek binalar dışındaki ($BYS \geq 2$) mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalarda normal performans hedefi olarak *Kontrollü Hasar Performans Düzeyini* sağlaması gerekmektedir. Bina önem katsayısı 1 olan ve S_{DS} değeri 0.5'e eşit ya da büyük olan yapılarda ileri performans hedefi olarak DD-1 yer hareketi düzeyinde *Kontrollü Hasar Performans Düzeyini* sağlaması ve DD-3 yer hareketi düzeyinde *Sınırlı Hasar Performans Düzeyini* sağlaması gerekmektedir.

Tablo 3.1 : Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar için Performans Hedefleri ve Değerlendirme Yaklaşımları.

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Prf. Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı	İleri Prf. Hedefi	Değerlendirme / Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

3.2. Bilgi Düzeyleri ve Binalardan Bilgi Toplanması

- Bilgi Düzeyleri:

Mevcut binalarda yapılan saha çalışmaları esnasında yapıdan toplanan bilgilerin kapsamına göre yapının bilgi düzeyi ve bilgi düzeyi katsayıları tanımlanacaktır. Mevcut durum altında yapılara ait bilgi düzeyleri *sınırlı* ve *kapsamlı* olarak gruplandırılmaktadır. Elde edilen bilgi düzeyleri ve bilgi düzeyi katsayıları taşıyıcı elemanların kapasite hesaplarında kullanılacaktır. Kapsamlı bilgi düzeyinde sınırlı bilgi düzeyine göre yapıda daha fazla ölçüm yapılmaktadır. Sınırlı bilgi düzeyi ise sadece bina kullanım sınıfı (BKS) 3 olan yapılarda uygulanabilir. Bilgi düzeylerine ait katsayılar Tablo 3.2’de gösterilmiştir [5].

Tablo 3.2 : Mevcut Yapı Bilgi Düzeyi Katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

Mevcut binaların kat planlarının çıkartılması için röleve çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Eğer yapının betonarme projeleri mevcut ise saha çalışmalarında yapılan ölçümler ile projenin uygunluğu kontrol edilir. Proje ve yerinde yapılan ölçümler arasında büyük farklılıklar bulunuyor ise proje ihmal edilerek sahada yapının rölevesi oluşturulur. Röleve çalışmaları esnasında kat planları, betonarme elemanların yerleri, boyutları, yapıda bulunan kısa kolon benzeri tüm olumsuz durumlar ve komşu yapıyla olan ilişkisi (derz var/yok) ayrıntılı olarak irdelenmelidir. Yapının temel sistemi ile ilgili bilgi sahibi olabilmek için yapı içerisinde ya da dışarısında açılacak yeterli sayıdaki inceleme çukurları ile gözlemler yapılmalıdır [5].

Mevcut yapılarda elemanlardaki donatı belirleme çalışmaları bilgi düzeylerine göre farklılık göstermektedir. *Sınırlı Bilgi Düzeyi Kapsamında* yapılan çalışmalarda yapının yapıldığı tarihte yürürlükte olan yönetmeliğin minimum donatı oranını yapısal elemanlar içerisinde bulunduğu kabul edilir. Bu değerleri doğrulamak amacıyla her katta en az 1 adet olmak üzere tüm perdelerin ve kolonların %5’inde

sıyırma işlemi gerçekleştirilir. Sıyırma işlemi yapılmayan elemanların %20'si donatı tespit cihazı ile taranarak donatıları belirlenir. Kirişlerde ise her katta en az 1 adet olmak üzere sıyırma işlemi gerçekleştirilir ve düşey yükler altında yapılan analizlerden elde edilen donatı miktarlarının kiriş içerisinde bulunduğu kabul edilir. Yapılan bu donatı belirleme çalışmalarından sonra perde ve kolonlarda donatı miktarının minimum donatı miktarına oranı ile donatı gerçekleştirme katsayısı belirlenecektir. Bu oran 1'den büyük olamaz. Bu katsayı diğer tüm kolon ve perdelerine uygulanarak elemanların olası donatı oranları belirlenebilir. Sahada gerçekleştirilen tahribatlı muayene işlemleri elemanların orta kısımlarında gerçekleştirilmelidir. Gözlemler tamamladıktan sonra açılan yüzeyler tamir harcı ile kapatılmalıdır [5].

Kapsamlı Bilgi Düzeyi seviyesinde yapılan çalışmalarda yapının projelerinin mevcut olması durumunda yukarıda anlatılan sınırlı bilgi düzeyi için geçerli tüm işlemler yapılacaktır. Ayrıca sıyırma yapılmayan kolon ve perdelerin %20'sinde ve çerçeve kirişlerinin %10'unda donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile tespit edilecektir. Yapının betonarme projeler ile uygulama arasında uyumsuzluk varsa ya da yapının projeleri mevcut değilse her katta en az ikişer adet olmak üzere kolonların ve perdelerin %10'unun beton örtüsü sıyrılarak donatı tespiti gerçekleştirilecektir. Sıyrılan yüzeyler daha sonra tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca sıyırma işlemi yapılmayan kolon ve perdelerin %30'unda ve kirişlerin %15'inde donatı tespit cihazı ile elemanların boy ve yatay donatı düzenleri belirlenecektir [5].

Mevcut yapının malzeme özelliklerinin belirlenmesinde *sınırlı bilgi düzeyine* göre kolonlardan veya perdelerden her katta 3 adet, *kapsamlı bilgi düzeyine* göre kolonlardan veya perdelerden zemin katta 3 adet diğer katlarda 2 adet ve toplamda binada 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m²'de bir adet beton örneği alınarak deneyler yapılacaktır. Numunelerin alınması sırasında uyulması gereken şartlar TS EN 12504-1'de belirtilmiştir. Anma çapı ve uzunluğu birbirine eşit ve 100 mm olan numunelerin deneylerinden elde edilen sonuçlar herhangi bir katsayı değerine tabi tutulmaksızın yapının *mevcut beton dayanımının* hesaplanmasında kullanılabilirler. Farklı uzunluk/çap oranına sahip olan numuneler uygun dönüştürme katsayıları uygulandıktan sonra yapının *mevcut beton dayanımının* hesaplanmasında kullanılabilirler. Sınırlı bilgi düzeyine göre yapılan numune işlemlerinde eğer 3 adet

numune alınmışsa, bu numunelerin en küçük beton basınç dayanım değeri yapının *mevcut beton dayanım* değeri olarak dikkate alınacaktır. Diğer durumlarda altında yapıdan alınan numunelerin en küçük basınç dayanıma sahip olanı, kendisi dışında kalan numunelerin basınç dayanımlarının ortalamasının %75'inden küçük ise bu değer sapan değer olarak kabul edilir ve hesaplamalara dahil edilmez. Hangi numuneler ile hesaplamalar yapılacağı belirlendikten sonra numunelerin beton basınç değerlerinin ortalamasının 0.85 ile ortalama eksi bir standart sapma değeri arasında büyük olan değer yapının *mevcut beton basınç dayanım* değeri olarak kullanılacaktır [5].

Mevcut yapılarda donatı sınıfı belirleme çalışmaları bilgi düzeylerine göre farklılık göstermektedir. *Sınırlı Bilgi Düzeyi Kapsamında* yapılan çalışmalarda sıyırma işlemleri sonucunda yapılan görsel incelemelerde donatı sınıfı gözlemle belirlenecektir. Tespit edilen donatı sınıfının karakteristik akma gerilmesi yapı çeliğinin *mevcut çelik akma dayanımı* olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. *Kapsamlı Bilgi Düzeyi seviyesinde* yapılan çalışmalarda sıyırma işlemi sonucu belirlenen her donatı sınıfı için birer adet numune alınacak ve deney yapılacaktır. Yapılan deneyler neticesinde çeliğin belirlenen akma gerilmesi, kopma dayanımı ve şekil değiştirme özelliklerinin projesiyle olan uyumluluğu kontrol edilecektir. Eğer söz konusu değerler projesinde belirtilen değerler ile uyumlu ise projede kullanılan çeliğin karakteristik akma gerilmesi *mevcut çelik akma gerilmesi* olarak kullanılacaktır. Eğer bu değerler yapının projesi ile uyumlu değil ise en az üç adet daha örnek alınarak, bunlar arasında en elverişsiz olanı yapının *mevcut çelik akma gerilmesi* olarak hesaplamalarda kullanılacaktır. Yapılan incelemeler esnasında donatılarında korozyon gözlemlenen elamanlar kat planlarında işaretlenecek ve bu durum kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır. Yapılan kapasite hesaplamalarında malzeme güvenlik faktörleri aksi belirtilmedikçe dikkate alınmayacaktır. Belirlenen mevcut çelik akma gerilmesi ve mevcut beton basınç dayanım değerleri kapasite hesaplamalarında doğrudan kullanılacaktır [5].

3.3. Modelleme Kriterleri

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ve değerlendirmelerinde yapı modelinin oluşturulmasına ilişkin TBDY 2018 Bölüm 5 ve Bölüm 15'te geçen kurallar aşağıda özetlenmektedir.

- Yapı modeli daima 3 boyutlu olarak modelleneyecektir [5].
- Yapıya etkiyecek deprem yükleri binanın her iki yönünde de dikkate alınacaktır [5].
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan değerlendirme yönteminde doğrusal davranışa ilişkin enerji tüketimi haricinde, yapısal sistem içerisinde yer alan yapısal veya yapısal olmayan elemanların doğrusal davranışlarında meydana gelen dinamik enerji kayıpları, yapısal hareket denkleminde viskoz sönüm matrisi ile ifade edilecektir. Yapı hareket denkleminde yer alan bu viskoz sönüm matrisi, Rayleigh Orantılı Sönüm Matrisi veya Modal Sönüm Matrisi olarak oluşturulması gereklidir [5].
- Yapısal analiz hesaplarında şekil değiştirmiş elemanlarda eksenel yüklerden oluşan ikinci mertebe etkileri hesaplamalarda dikkate alınacaktır [5].
- Mevcut ya da güçlendirilmiş yapılardan şekil değiştirme esaslı değerlendirmelerinde mevcut yapılardan bilgi toplanmasına ilişkin koşullar başlığı altında anlatılan hesaplama yöntemlerine göre belirlenmiş beton ve donatı çeliğinin mevcut dayanımları dikkate alınacaktır [5].
- Kiriş ve kolonlar, sonlu elemanlar olarak modelleneyecektir. Çubuk elemanların uç bölgelerinde tanımlanacak plastik şekil değiştirme bölgeleri yığılı plastik davranış modeline göre ya da yayılı plastik davranış modeline göre tanımlanabilir. Pratik mühendislik çalışmalarında çubuk elemanların uç bölgelerindeki plastik mafsallık bölgelerinde genellikle yığılı plastik modelinin kullanımı yaygın olarak görülmektedir. Eleman uçlarındaki plastik mafsallık bölgeleri arasında kalan eleman kesitleri doğrusal eleman olarak modelleneyecektir. Doğrusal olarak modellenen bu bölgedeki elemanların etkin kesit rijitlikleri yapı elemanlarının etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi başlığı altında geçen kriterlere göre belirlenecektir [5].

- Kolon ve kirişlerin birleştiği düğüm noktalarında altı serbestlik derecesinin hepsi analizlerde dikkate alınacaktır. Analiz modelinde kat döşemelerinin rijit diyafram olarak kabul edilmesi durumunda ilgili davranışı ifade eden serbestlik dereceleri kaldırılacaktır [5].
- Düşey yükler nedeniyle kiriş açıklıklarında plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınıp eleman temiz açıklığının orta bölgesinde plastik mafsalları tanımlanabilir [5].
- Deprem hesaplarının doğrusal olmayan itme yöntemleri ile yapılması durumunda geometrik formu I, T, L, U veya C şeklinde olan ve plandaki en büyük perde kolu uzunluğunun toplam perde yüksekliğinin %50'sini aşmayan perde elemanları çubuk eleman olarak modellenmektedir. Çubuk eleman olarak modellenen boşluksuz veya bağ kirişli (boşluklu) perde elemanlarının her bir kolunda doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsal) Modeli kullanılabilmektedir. Plastik mafsalları konumu kesit alt ucunda yer alacaktır. Plastik mafsallar arasında kalan bölgelerde çubuk eleman olarak temsil edilen perdeler doğrusal eleman olarak tanımlanması gereklidir. Doğrusal eleman olarak tanımlanan kesitin etkin kesit rijitliği yapı elemanlarının etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi başlığı altında geçen kriterlere göre belirlenecektir [5].
- Deprem hesabının zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemlerle gerçekleştirilmesi durumunda yapısal modelde yukarıda bahsedildiği gibi plastik mafsalları modeli kullanılmayacaktır. Bu yöntemde yapılan hesaplamalarda perde elemanlarındaki şekil değiştirme etkileri kesit hücresi (lif) modeli tanımlanarak belirlenmesi zorunludur. Fakat bağ kirişli (boşluklu) perdelerde bağ kirişlerinin doğrusal olmayan modelleri çubuk eleman olarak modellenmesine olanak sağlanmaktadır [5].
- Bodrum perdeleri ve kat döşemeleri özel bir neden olmadıkça doğrusal olarak modellenenebilir. Bu elemanlar da kullanılması gereken etkin kesit rijitlikleri TBDY-2018 Tablo 4.2'de yer almaktadır [5].
- Kat kütleleri kattaki zati yükler ile ilgili katta yer alan hareketli yüklerin kütle katılım katsayıları ($G+nQ$) ile çarpılarak toplanması ile hesaplanmaktadır. Endüstri yapılarında sabit ekipman ağırlıklarında $n=1$ alınacaktır, fakat vinç

kaldırma yükleri kat kütlesi hesabına dahil edilmeyecektir. Çatı katlarında kat kütlesinin hesabında kat kütlesinin %30 hesaplamalara dahil edilecektir. Katta bulunan yapısal olmayan elemanların kütleleri kat kütlesinin %10'undan fazla ise kat kütlesinin hesaplanmasında dikkate alınacaktır. Aksi takdirde yapısal olmayan elemanların kütleleri yapı kat kütlesinin hesaplanmasında dikkate alınmayacaktır [5].

- Yapının herhangi bir katında burulma düzensizliği bulunması durumunda ve burulma düzensizliği katsayısının 1.5'ten büyük olması durumunda ek dış merkezlik yapısal hesaplamalarda dikkate alınacaktır [5].
- Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin tamamında geçerli olduğu gibi başlangıç adımı yapısal sistemde deprem dışı yükler etkisinde doğrusal olmayan artımsal statik analiz gerçekleştirilir. Bu analizden elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler, deprem analizlerinde başlangıç değeri olarak göz önüne alınacaktır [5].
- Deprem kayıtlarının zaman artımları, yapının dinamik davranışını temsil eden tüm titreşim modları yeterince temsil edilecek şekilde seçilecektir [5].

3.3.1. Yığılı Plastik Davranış Modeli

- Çerçeve sonlu elemanı olarak modellenen kolonlar, kirişler ve uygun geometrik koşulları sağlayıp çubuk eleman olarak modellenmesine olanak sağlanan perdelerin doğrusal olmayan analiz modellerinde davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsal) Modeli kullanılabilir [5].
- Yığılı Plastik Davranış Modeline göre yapısal analiz modellerinde tanımlanan elemanların iç kuvvetleri plastik kapasitelerine eriştiği ve mafsal mekanizmasının meydana gelmesinin beklendiği sonlu bölgelerde şekil değiştirmelerin düzgün yayılı şekilde meydana geldiği kabul edilmektedir. Plastik mafsal boyu olarak isimlendirilen plastik şekil değiştirme bölgesinin (L_p) uzunluğu, ilgili kesitin yatay deprem etkilerine göre çalıştığı doğrultusundaki kesit boyutunun yarısı olarak kabul edilmektedir ($L_p = 0.5 \times h$) [5].

- Eksenel yükler altında plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği kabul edilen elemanlarda plastik mafsallık boyu ilgili elemanın serbest açıklığına eşit alınacaktır [5].
- Yığılı Plastik Davranışına göre modellenecek yapı elemanlarının kesit analizlerinde etkin akma momentlerinin hesaplanması için yapılan işlemlerde malzeme dayanımları binalardan bilgi toplanması başlığı altında anlatılan kriterler dikkate alınarak mevcut malzeme dayanımı ile belirlenecektir [5].
- Etkin akma momenti hesaplamalarında betonun basınç birim şekil değiştirme değeri 0.0035, donatı çeliğinin birim şekil değiştirme değeri ise 0.01 olarak kabul edilebilir [5].
- Yığılı plastik davranışına göre modellenen elemanlarda betonarme ve çelik kesitlerin her iki doğrultu için iç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi ihmal edilebilir [5].

3.3.2. Yayılı Plastik Davranış Modeli

- Doğrusal olmayan analiz modellerinde yapısal sistemi oluşturan kolonların, kirişlerin ve perdelerin davranış modeli olarak Yayılı Plastik Davranış Modeli de kullanılabilir [5].
- Yayılı plastik davranış modeli kesit üzerinde sonlu bölgeler üzerinde tanımlanarak ya da tüm kesit yüksekliği boyunca tanımlanarak analizler gerçekleştirilebilir [5].
- Yapısal elemanları oluşturan betonun veya yapısal çeliğin yeteri kadar küçük alt birimlere, çelik donatının ise tekil olarak modellendiği ve her bir alt birimdeki doğrusal olmayan eksenel gerilme-birim şekil değiştirme bağıntılarının çevrimsel olarak hesaba katıldığı kesit hücresi (lif) modeli, pratik mühendislik çalışmalarında özellikle perde elemanların doğrusal olmayan modellenmesinde yaygın olarak tercih edilen yöntemdir [5].
- Yapısal analizlerde taşıyıcı sistem elemanı olan betonarme perdelerin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında doğrusal olmayan davranışları kesit hücresi (lif) yaklaşımı kullanılarak modellenecektir. Kesit hücresi (lif) yaklaşımında

elemanların kayma gerilmeleri TBDY – 2018 Tablo 4.2’de bahsedildiği gibi 0.5 alınarak hesaplamalar gerçekleştirilebilir [5].

- Yayılı Plastik Davranışına göre modellenecek yapı elemanlarının malzeme dayanımları binalardan bilgi toplanması başlığı altında anlatılan kriterler dikkate alınarak belirlenecektir [5].
- Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde beton ve çelik liflerinin çevrimsel davranışını ifade eden modellerin, genel kabul görmüş modeller olması beklenmektedir [5].

3.4. Malzeme Davranış Modelleri

Doğrusal olmayan yöntemlerle yapılan analizlerde kesitlerde tanımlanan beton ve donatı çeliğine ait davranış modelleri aşağıda açıklanmıştır.

Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri:

Şekil değiştirmeye göre değerlendirme yöntemlerinde kullanılmak üzere, kesitlerde tanımlanan beton malzemesinin başka bir malzeme modeli tercih edilmediği müddetçe, sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme bağıntıları aşağıda tanımlanmıştır.

Sargılı betonda f_c ile ifade edilen betonun basınç gerilme değeri ve ϵ_c birim şekil değiştirme değeri Denklem 3.1’deki bağıntı ile hesaplanmaktadır [5].

$$f_c = \frac{f_{cc} \times r}{r - 1 + x^r} \quad (3.1)$$

Bu denklemde yer alan sargılı beton basınç dayanımı f_{cc} ile f_{co} ile simgelenen sargısız beton basınç dayanımı arasındaki ilişki Denklem 3.2’de yer alan bağıntı ile hesaplanmaktadır [5].

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (3.2)$$

Bu denklemde f_e ile ifade edilen *etkili sargılama basıncı* dikdörtgen kesitlerde birbirine dik her iki yönde de Denklem 3.3'te belirlenen değerlerin ortalaması alınarak hesaplamalarda kullanılmalıdır.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.3)$$

Etkili sargılama basıncının hesaplandığı bu bağıntılarda f_{yw} kesitte bulunan enine donatının akma dayanımını ρ_x ve ρ_y ise her iki doğrultu için kesitte bulunan yatay donatının hacimsel oranını ifade etmektedir. Bu denklemlerde k_e ifadesi ile kesitin sargılama etkinlik katsayısı simgelenmektedir. Sargılama etkinlik katsayısı Denklem 3.4 ile hesaplanmalıdır [5].

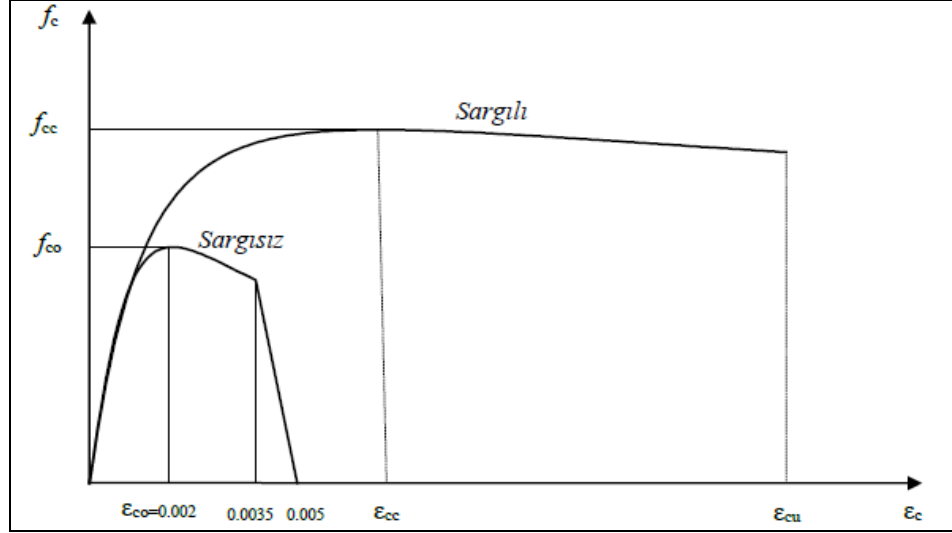
$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (3.4)$$

Bu denklemde a_i kesit çevresindeki boy donatıların eksenleri arasındaki mesafeyi, b_o ve h_o kesit çekirdeğini sargılayan yatay donatıların eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s etriye aralıklarını, A_s ise boyuna donatıların toplam alanını ifade etmektedir. Sargılı betonun basınç gerilmesinin hesaplandığı bağıntıda geçen x ve r değişkenlerine ait bağıntılar Denklem 3.5'te yer almaktadır [5].

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \approx 0.002$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \approx 5000 \sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.5)$$

Yukarıda ifade edilen bağıntılar ile hesaplanacak gerilme-şekil değiştirme grafiği örneği Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Sargılı ve Sargısız beton örnek gerilme-şekil değiştirme grafiği.

Donatı Çeliği Modeli:

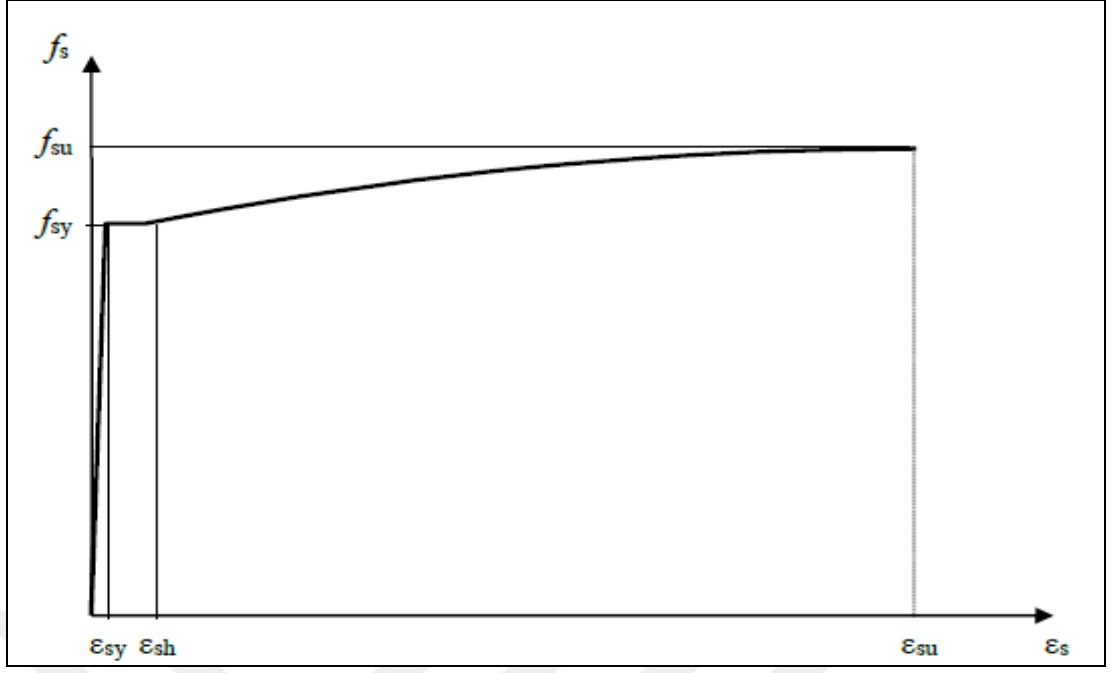
Şekil değiştirmeye göre değerlendirmelerde yöntemlerinde kullanılmak üzere, kesitlerde tanımlanan donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları Denklem 3.6'da tanımlanmıştır [5].

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Donatı çeliğinin elastisite modülü $E_s = 200000$ MPa'dır. Donatı çeliğine ait diğer karakteristik özellikler Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Donatı çeliğine ait örnek gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 3.2'de verilmiştir [5].

Tablo 3.3 : Donatı çeliği tiplerine ait karakteristik özellikler.

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



Şekil 3.2 : Donatı çeliği örnek gerilme-şekil değiştirme grafiği.

3.5. Yapı Elemanlarının Etkin Kesit Rijitliklerinin Belirlenmesi

Şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme kapsamında yapısal elemanların etkin kesit rijitliklerinin hesaplanması ile ilgili denklemler TBDY 2018-Bölüm 5’te tanımlanmıştır.

Buna göre analizlerde yığılı plastik davranışı göre modellenen kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitlikleri Denklem 3.7’ye göre belirlenecektir [5].

$$(EI)_e = \frac{M_y}{\theta_y} * \frac{L_s}{3} \quad (3.7)$$

Bu denklemde M_y çubuk elemanların uçlarındaki plastik mafsalların etkin akma momentlerinin ortalamasını, θ_y ise bu bölgelerdeki akma dönmelerinin ortalamasını simgelemektedir. L_s ise kesme açıklığını (kesitteki moment/kesme kuvveti oranını) ifade etmektedir. Bu değer kolon ve kirişlerde yaklaşık olarak açıklığın yarısı olarak, perdeler de ise her katta perde tabanından perde üst kotuna

kadar olan mesafenin yarısı olarak alınabilir. Plastik mafsallardaki akma dönme değerleri ise Denklem 3.8'e göre hesaplanacaktır [5].

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015 \eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8 \sqrt{f_{ce}}} \quad (3.8)$$

Burada ϕ_y uçlarındaki plastik bölgedeki etkin akma eğriliğini ifade etmektedir. η değeri kiriş ve kolonlarda 1 perdelerde ise 0.5 alınmalıdır. Kesit yüksekliği h ile ifade edilmektedir. Birleşim bölgelerindeki donatıların ortalama çapı d_b ile ifade edilmiştir. f_{ce} betonun ortalama basınç dayanımını ve f_{ye} ise donatının ortalama akma gerilmesini simgelenmektedir [5].

3.6. Yapı Elemanlarında Şekil Değiştirme Limitlerinin Belirlenmesi

Yapı elemanlarının performans değerlendirmesinde kullanılacak olan şekil değiştirme limitlerinin hesabı kesitte oluşacağı kabul edilen plastik mafsallardaki teorisyne göre değışiklik göstermektedir.

Yığılı Plastik Mafsal Davranışına göre modellenen elemanlarda *göçme öncesi performans düzeyi* için plastik dönme değeri limitleri elemana etkiyen eksenel yükün yanı sıra kesiti oluşturan beton ve donatı çeliğinin malzeme modelleri dikkate alınarak yapılan moment eğrilik analizi sonuçlarıyla birlikte Denklem 3.9'a göre yapılacaktır [5].

$$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[(\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right] \quad (3.9)$$

Bu denklemde Φ_u kesitte kullanılan beton ve çeliğe ait birim şekil değıştirmeleri ile beton ve çeliğin malzeme davranış modelleri dikkate alınarak ve kesite etkiyen eksenel yük hesaplamalarda göz önüne alınarak yapılan moment eğrilik analizinden elde edilen *göçme öncesi toplam eğriliği* simgelemektedir. L_s kesme açıklığını, L_p plastik mafsall boyunu, Φ_y akma eğriliğini, d_b ise boyuna donatı çapını simgelemektedir [5].

Yığılı Plastik Mafsal Davranışına göre modellenen elemanlarda *kontrollü hasar performans düzeyi* için plastik dönme değeri limitleri Denklem 3.10'a göre belirlenecektir [5].

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)} \quad (3.10)$$

Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan analizlerde *sınırlı hasar performans düzeyi* için yapısal elemanlarda plastik mafsal (Denklem 3.11) oluşumuna izin verilmemektedir [5].

$$\theta_p^{(SH)} = 0 \quad (3.11)$$

Yayılı Plastik Mafsal Davranışına göre modellenen elemanlarda *göçme öncesi performans düzeyi* için hesaplanan beton liflerinin toplam birim şekil değiştirme limitleri $\varepsilon_c^{(GÖ)}$ kesit tipine bağlı olarak aşağıdaki Denklem 3.12.a ve 3.12.b'ye göre hesaplanmaktadır [5].

Dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 00035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.12.a)$$

Dairesel kesitlerde:

$$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 00035 + 0.07 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.018 \quad (3.12.b)$$

Bu denklemlerdeki ilk değer sargısız betonun yani kabuk betonu olarak tabir edilen dış kısmın birim kısalmasını ifade etmektedir. ω_{we} ise kesitte bulunan sargı donatısının mekanik oranını ifade etmektedir [5].

$$\omega_{we} = \alpha_{se} \rho_{sh,min} \frac{f_{ywe}}{f_{ce}} \quad (3.13)$$

Mekanik donatı oranının hesaplandığı Denklem 3.13'te α_{se} sargı donatısının etkinlik katsayısını ifade etmektedir. $\rho_{sh,min}$ dikdörtgen kesitte bulunan yatay donatıyı her iki doğrultudaki hacimsel oranının küçük olanını, f_{ywe} ise enine donatının ortalama akma dayanımını simgelemektedir [5].

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6 b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2 h_o}\right) \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{A_{sh}}{b_k s} \quad (3.14)$$

Sargı donatısının etkinlik katsayısının hesaplandığı Denklem 3.14'te A_{sh} ve ρ_{sh} ilgili doğrultudaki yatay donatı alanını ve hacimsel oranını ifade etmektedir. En dıştaki yatay donatıların eksenleri arasında kalan mesafe ise b_k ile gösterilmektedir. Yatay donatı aralıkları s ile, sargı donatısı eksenlerinden ölçülen sargılı beton boyutları ise b_o ve h_o ile simgelenmektedir. a_i ise bir etriye kolu veya çiroz tarafından mesnetlenmiş olan boy donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir [5].

$$\alpha_{se} = \left(1 - \frac{s}{2 D}\right)^n \quad ; \quad \rho_{sh} = \frac{2 A_{os}}{D s} \quad (3.15)$$

Dairesel sargı donatısının etkinlik katsayısının hesaplandığı Denklem 3.15'te A_{os} sprial ya da sargı donatısının alanını, s yatay donatı ya da spiral donatı aralığını ifade etmektedir. D ise spiral ya da sargı donatısı olarak isimlendirilen yatay donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir. Eğer inceleme konusu elemanda dairesel sargı donatısı kullanılıyorsa $n=2$, spiral donatı kullanılıyorsa $n=1$ alınacaktır [5].

Yayılı Plastik Mafsal Davranışına göre modellenen elemanlarda *göçme öncesi performans düzeyi* için hesaplanan donatı çeliğinin toplam birim şekil değiştirme limitleri $\epsilon_s^{(GÖ)}$ Denklem 3.16 'ya göre hesaplanmaktadır. Bu denklemde ϵ_{su} çelik dayanımına göre değişkenlik gösteren birim uzamayı simgelemektedir [5].

$$\varepsilon_s^{(G\ddot{O})} = 0.4 \varepsilon_{su} \quad (3.16)$$

Yayıllı Plastik Mafsal Davranışına göre modellenen elemanlarda *kontrollü hasar performans düzeyi* için beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirme limitleri Denklem 3.17'ye göre belirlenecektir [5].

$$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(G\ddot{O})} \quad ; \quad \varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(G\ddot{O})} \quad (3.17)$$

Sınırlı hasar performans düzeyi için yapılacak performans hesaplamalarında beton ve donatı çeliğinin izin verilen şekil değiştirme limitleri Denklem 3.18'e göre belirlenecektir [5].

$$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025 \quad ; \quad \varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075 \quad (3.18)$$

3.7. Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi

Performans esaslı değerlendirmede kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi ile ilgili prosedür TBDY-2018 Bölüm 2 kapsamında ayrıntılı olarak açıklanan bilgiler aşağıda özet olarak sunulmaktadır.

Performans esaslı değerlendirmede kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, analiz konusu yapının bulunduğu bölgedeki yerel zemin koşulları, deprem kaynak mekanizmaları, yapının faya olan uzaklığı ve yapının tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi göz önüne alınarak gerçekleştirilir. Deprem kaydı seçiminde yapının bulunduğu bölgede daha önce yaşanmış depremler mevcut ise seçim aşamasında bu kayıtlara öncelik verilmelidir. Seçim esnasında yeterli sayıda ve nitelikte deprem kaydı seçimi gerçekleştirilemezse zaman tanım alanında benzeştirilmiş yer hareketi kayıtlarının kullanılmasına izin verilmektedir [5].

Performans esaslı değerlendirmede kullanılacak deprem seti sayısı en az on bir olacak şekilde belirlenmiştir. Aynı deprem kaydından en fazla üç deprem kaydı takımı oluşturulabilir [5].

Deprem kayıtlarının seçimi işleminden sonra yapılacak ölçekleme işlemi için *basit ölçeklendirme yöntemi* veya *spektral uyuşum yöntemi* kullanılabilir.

- **Basit Ölçeklendirme Yöntemi:**

Tek boyutlu veya iki boyutlu gerçekleştirilen analizlerde seçilen deprem kayıtlarına ait spektrumların ortalamasının yapının doğal hakim titreşim periyotunun (T_p) 0.2 ve 1.5 katı değerleri aralığındaki genlikleri, yapının bulunduğu bölgedeki yatay elastik tasarım spektrumunda aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması koşulu ile deprem yer hareketi kayıtları ölçeklendirilecektir [5].

Üç boyutlu yapısal analizler için seçilen her deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumlar KTKK yöntemi kullanılarak bu deprem kaydı takımının bileşke yatay spektrumu hesaplanacaktır. Yapısal analiz için seçilen tüm deprem kaydı takımlarının yatay bileşke spektrumlarının ortalamasının 0.2 T_p ve 1.5 T_p aralığındaki genlikleri, yapının bulunduğu bölgedeki yatay elastik tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranı 1.3'ten küçük olmayacak şekilde deprem yer hareketlerinin yatay bileşenlerinin genlikleri ölçeklenecektir. Her iki yatay deprem kaydının ölçeklenmesi esnasında aynı katsayı kullanılacaktır [5].

- **Spektral Uyuşum Sağlanacak Şekilde Ölçeklendirme Yöntemi:**

Yapısal analizlerde kullanılacak deprem yer hareketi takımları, yapının yatay elastik tasarım spektruma *spektral uyuşum* sağlanacak şekilde ölçeklenmesi ile elde edilebilir. Ölçeklenen yer hareketlerinin spektrumlarının ortalamaları, tüm periyot değerleri için yapının yatay elastik spektrumunun ordinat değerlerinden daha küçük olmaması gerekmektedir [5].

3.8. Betonarme Binaların Güçlendirilmesi

TBDY-2018'de 5. bölüm kapsamında şekil değiştirme göre değerlendirme yaklaşımı ve 15. bölüm kapsamında mevcut betonarme binaların güçlendirilme çalışmalarında uygulanması gereken temel güçlendirme yaklaşımları ve hesaplama yöntemleri bu başlık kapsamında açıklanmıştır.

3.8.1. Kolonların Sarılması

Kolonların sünekliğinin artırılmasına yönelik, basınç yük kapasitesinin artırılması, kesme kapasitesinin artırılması ve bindirme bölgelerindeki yetersizlikler aşağıda açıklanan yöntemlerle giderilebilir. Açıklanacak bu yöntemlerle kolonların eğilme kapasitesinde artış sağlanamaz [5].

- Betonarme Sargı:

Betonarme sargı kolonlara, kolon yüzeyleri sıyrılarak ya da yüzeyleri pürüzlendirilerek uygulanması gerekmektedir. Beton örtüsünün kalınlığı yatay ve düşey donatıların yerleştirilmesine elverişli, beton dökülmesine ve minimum beton örtüsünün sağlanması için gerekli kalınlıkta olması gerekmektedir. Bu nedenle önerilen beton kalınlığı 100 mm'dir. Beton sargısı kat döşemesinin üst kotunda başlayıp üst kat döşemenin alt kotunda sonlanır. Kolonun basınç dayanımını artırmak amacı ile yapılan betonarme sargı çalışmalarında yatay donatıların tasarımında *Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonlar* için geçerli tüm kurallara uyulması gereklidir. Betonarme manto ile sarılan kesitin kesme ve basınç kapasitesi hesabında, mantolandıktan sonra oluşan brüt kesitin tamamı ve manto betonunun tasarım beton basınç dayanımı hesaplamalarda kullanılacaktır. Fakat elde edilen kapasite değerleri 0.9 ile çarpılarak azaltılacaktır [5].

- Çelik Sargı:

Kolonlarda çelik sargı uygulaması dikdörtgen şekle sahip elemanların köşelerine köşebent yerleştirilmesi ve bu köşebentlerin belirli aralıklarla düzenlenen yatay plakalarla kaynaklanarak birleştirilmesi ile oluşturulur. Betonarme yüzey ile çelik elemanlar arasında boşluk bulunmaması gereklidir. Köşebentleri birbirine bağlayan yatay plakalar dört yüzey üzerinde sürekli olacak şekilde imal edilmelidir. Uygulanan çelik sargı ile kolonun eğilme ve eksenel yük kapasitesini artırmak için köşebentlerin sürekli olarak imal edilmesi gerekmektedir. Köşebentler kolon alt ve üst uç bölgelerinde başlık plakaları düzenlenerek döşemelere basınç yüklerinin aktarıldığı hesaplarla gösterilmelidir. Gerekli görülmesi durumunda betonarme kolon kesiti üzerindeki eksenel yük miktarı köşebentler üzerine ön yükleme yapılarak

azaltılabilir. Çelik sargı ile betonarme elmanın kesme kapasitesindeki artış (V_j) denklem 3.19 ile hesaplanmaktadır.

$$V_j = \frac{t_j * b * d}{s} * f_{yw} \quad (3.19)$$

Bu denklemde t_j yatay plaka kalınlığını, b plaka genişliğini, s yatay plaka aralığını, d ilgili yöndeki kesitin faydalı yüksekliğini ve f_{yw} ise sargı çeliğinin akma dayanımını simgelenmektedir. Betonarme kesitteki bindirme bölgesi yetersizliğinde söz konusu yetersizliğin giderilmesi için sargı boyu bindirme bölgesi boyundan %50 daha fazla olacak şekilde imalat gerçekleştirilmelidir. Sargı bölgesi hizasında karşılıklı olarak çelik yatay plakalar 16 mm çapında en az iki sıra bulonlu ankraj ile betonarme kesite ankre edilmesi gerekmektedir [5].

- Lifli Polimer (LP) Sargı:

Lifli polimer sargı, LP tabaksının lifleri kolondaki yatay donatılar ile paralel olacak şekilde sarılması ve yapıştırılması ile gerçekleştirilir. LP sargı ile betonarme kolonların basınç ve kesme kapasitesindeki, süneklik kapasitesindeki ve boy donatılarının bindirme bölgelerindeki yetersizlikler gerekli kapasite değerlerini sağlayacak şekilde artırılabilir. LP ile uygulanan sargılama yöntemi tam sargı şeklinde gerçekleştirilmeli ve sargı sonunda en az 200 mm bindirme yapılmalıdır. Dikdörtgen kesitli kolonlarda LP sargılama işlemi kolonların köşelerinin en 30 mm yarıçapında yuvarlatılması ile uygulanmalıdır [5].

3.8.2. Kolonların Eğilme Kapasitesinin Arttırılması

Kolonların eğilme kapasitelerini artırmak için bu elemanların kesitlerinin mantolama yöntemiyle büyütülmesi yoluna başvurulabilir. Yapılan bu güçlendirme işlemi aynı zamanda kesitin kesme ve basınç dayanımlarının artırılmasını da sağlamaktadır. Büyütülen kolon kesiti ile yeni eklenen düşey donatıların katlar arasındaki sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Döşeme bölgelerine gelen donatılarda kat döşemelerinde açılan delikler vasıtasıyla donatı sürekliliği sağlanabilir. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde kırışlar delinerek veya kırışlara ankraj

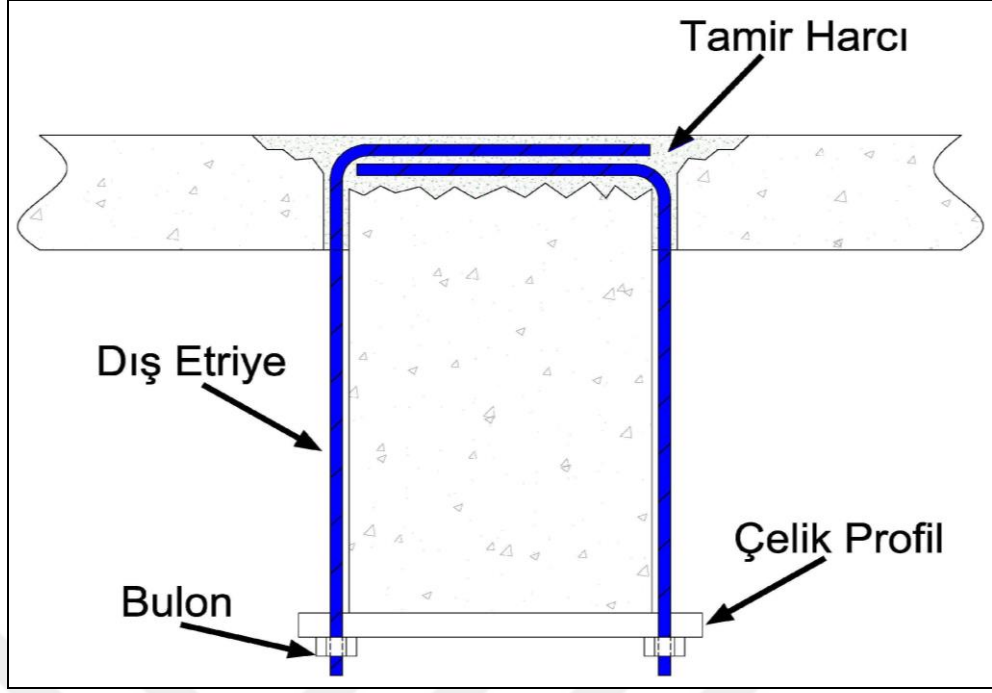
yapılarak gerekli olan boy donatı ve yatay donatı yerleşimi sağlanmalıdır. Kolonun büyütülen kesitindeki yatay donatılar *Süneklik Düzeyi Yüksek Kolonların* tasarımdaki yatay donatı tasarım prensiplerine uyularak belirlenecektir. Beton kesitinin büyütülmesindeki gerekli kesit kalınlığı en az boy donatı ve yatay donatıyı örtecek kalınlıkta olması gerekmektedir. Yeni dökülen beton ile mevcut beton yüzeyleri arasındaki aderansı sağlamak için mevcut beton yüzeyindeki sıva örtüsü kaldırılmalı ve beton yüzeyinin pürüzlendirilmesi gerekmektedir. Güçlendirilmiş betonarme kolon kesitinin eğilme, kesme kapasitesi, eksenel yük kapasitesi ve eğilme rijitliğinin hesabında yeni oluşturulan betonarme bürüt kesit ve eklenen kesit betonun tasarım özellikleri dikkate alınacaktır, ancak elde edilen kapasite değerleri ve rijitlik değeri 0.9 ile çarpılarak azaltılacaktır [5].

3.8.3. Kirişlerin Sarılması

Gerekli hasar limit değerlerini sağlamayan kirişleri kesme kapasitesini artırılması için veya bazı koşullar altında da elemanın süneklik kapasitelerinin artırılması amacıyla sarılma işlemi uygulanmaktadır.

- Dış Etriye Ekleme:

Kesme dayanımının yetersiz olduğu tespit edilen kirişlerde kapasite artışını sağlamak amacı ile dış etriye uygulaması ile kirişlerin kesme kapasitesi artırılabilir. Bu uygulama kirişlerin mesnet bölgesinde gerekli kapasite değerine ulaşmak için belirlenen aralık ve çaptaki donatılar ile uygulanacaktır. Kirişin her iki yan yüzeyine yerleştirilen donatılar alt ucunda bir plakaya bulonlanacaktır. Kirişin üst bölgesinde ise açılan deliklerden döşeme üst bölgesine geçirilen donatılar kiriş üst yüzeyinde açılan boşluklara bükülerek, bu bölgeler beton ile kapatılacaktır. Açıkta kalan donatıları veya bulonları dış etkilerden korumak için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Bahsedilen güçlendirme yöntemi farklı detaylar uygulanarak gerçekleştirilebilir. Elemanda oluşan kesme dayanımdaki artış betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarına (TS 500) göre hesaplanacaktır. İlgili güçlendirme yöntemine ait görseller Şekil 3.3’de gösterilmiştir [5].



Şekil 3.3 : Dış etriye uygulamasına ait görsel.

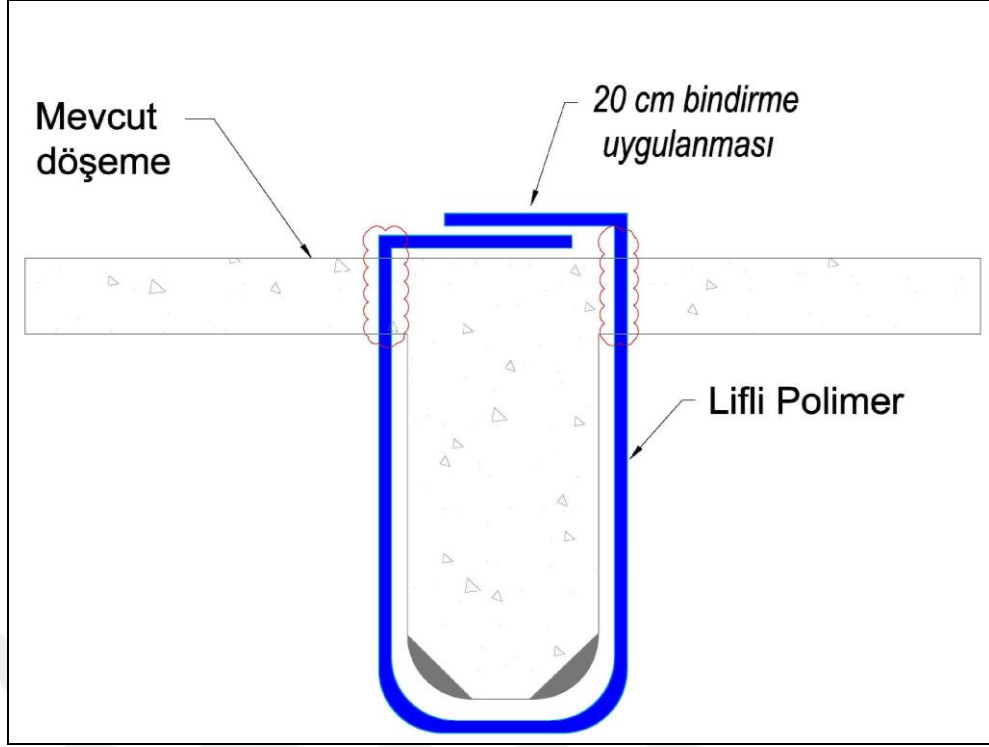
- Lifli Polimer (LP) ile Sargı:

Lifli polimer kullanılarak kiriş sünekliğinin ya da kesme kapasitesinin artırılmasında tam sargı uygulanması gerekmektedir. Lifli polimer ile gerçekleştirilen kesme dayanımdaki artış Denklem 3.20 ile belirlenecektir.

$$V_f = \frac{2 * n_f * t_f * w_f * E_f * \epsilon_f * d}{s_f} \quad (3.20)$$

Bu denklemde n_f tek yüzdeki LP tabaka sayısını, t_f LP tabakasının kalınlığı, w_f LP şeridinin genişliğini, E_f LP elastisite modülünü, ϵ_f LP şeridinin birim uzama limitini, d elemanın faydalı yüksekliğini, s_f ise LP şeritlerinin eksenden eksene olan uzaklığını simgelemektedir. Sargılama eğer sürekli yapılsa $w_f = s_f$ alınacaktır.

Şeritler halinde lifli polimer sargısı uygulanması halinde sargı aralıkları lifli polimer şeridinin genişliği ile kiriş faydalı yüksekliğinin dörtte birinin toplamını geçmemelidir. Lifli polimer şeritleri 200 mm bindirme yapılarak uygulanmalıdır. Lifli polimer sargısı kiriş yüzeyine uygulanmadan önce kiriş köşeleri 30 mm yarıçapında yuvarlatılmalıdır [5]. Kirişlerde örnek lifli polimer uygulaması Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Lifli polimer uygulamasına ait görsel.,

3.8.4. Bölme Duvarların Güçlendirilmesi

Mevcut yapılarda temel üzerinden üst katlara doğru devam eden betonarme çerçevelerin içerisine bulunan bölme duvarların kesme kuvveti dayanımlarının ve rijitliğinin artırılması LP uygulaması veya çelik hasır donatılar içeren özel sıvalar ile gerçekleştirilebilir. Eğer mevcut bir binanın güçlendirilmesi bölme duvarların güçlendirilmesi ile sağlanıyor ise bu yöntem bodrum hariç en fazla üç kata sahip olan yapılarda uygulanabilir [5].

3.8.5. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerin Yerinde Dökme Betonarme Perdeler ile Güçlendirilmesi

Yatay sismik etkiler altında yanal rijitliği yetersiz bulunan yapısal sistemler yerinde dökme betonarme perde elemanlar kullanılarak güçlendirilebilir. Yeni uygulanacak betonarme perdeler mevcut çerçeve düzlemi içerisine veya çerçeve düzlemine bitişik olarak tatbik edilebilir [5].

- Çerçeve Düzlemi İçinde Betonarme Perde Eklenmesi:

Yapısal sisteme eklenecek olan perdeler çerçeve düzlemi içerisinde yer alacaktır. Sisteme eklenen perdeler temel üst kotundan başlayıp perde üst kotuna kadar sürekli olacak şekilde inşa edilecektir. Bu amaçla perde yüksekliği boyunca perde başlık bölgesindeki boy donatılarının ve perde gövde bölgesinde bulunan boy donatılarının perde yüksekliği boyunca sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Çerçeve sistemine eklenen perdelerin çerçeveye ankrajlar ile bağlanarak sistemin beraber davranış göstermesi sağlanmalıdır. Ankraj çubuklarının tasarımında mevcut elemanlar ile yeni inşa edilecek perde elemanın yüzeyleri arasında deprem etkileri ile oluşacak kayma gerilmelerini karşılayacak kapasiteye sahip olması gerekmektedir. Ankraj çubuklarının tasarımında TS 500’de geçen sürtünme kesmesi esaslarında dikkate alınması gerekmektedir. Ankraj çubuklarının en küçük çapı 16 mm, en küçük gömme derinliği ankraj çapının on katı olarak ve ankraj çubukları arasındaki yatay mesafe en fazla 400 mm olarak uygulanabilir. Sisteme ilave edilen perdelerin uç bölgelerinde mevcut kolonların bulunması halinde bu kolonlardan perde başlık bölgesi olarak yararlanılabilir. Başlık bölgelerinde bulunan mevcut kolonların kapasitelerinin yetersiz bulunması halinde betonarme manto yapılarak ilgili kapasite değerleri sağlanabilir. Eğer sisteme eklenen güçlendirme perdelerinin uç bölgelerinde mevcut kolon bulunmaması halinde *Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerin* başlık bölgesinin tasarımı ile ilgili maddeler dikkate alınarak perde uç bölgesi oluşturulacaktır. Perde uç bölgesinin oluşturulması ile ilgili anlatılan her iki durumda da dikey donatıların katlar arasındaki sürekliliği sağlanacaktır. Sisteme ilave edilen güçlendirme perdesinin temeli perde tabanında oluşacak iç kuvvetlerin temel zemine güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Tasarlanan yeni temel sisteminde meydana gelebilecek dış merkezlik etkileri, komşu kolonları yeni inşa edilen temel sistemi içerisine dahil ederek ve bu kolonların eksenel kuvvetlerinden faydalanarak söz konusu dış merkezlik etkileri azaltılabilir. Yeni inşa edilecek olan perde temelin mevcut temel sistemiyle birlikte çalışabilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir [5].

- Çerçeve Düzlemi Bitişik Betonarme Perde Eklenmesi:

Mevcut yapısal sisteme eklenecek olan betonarme perdeler dış çerçeve ekseninin dışında, mevcut çerçeve bitişik olarak imal edilerek gerçekleştirilir.

Eklenen betonarme perde eleman temelden perde üst kotuna kadar sürekli olarak devam etmesi gerekmektedir. Sisteme güçlendirme amacıyla yeni eklenen betonarme perde elemanlar mevcut çerçeve sistemine ankraj çubukları ile bağlanacaktır. Söz konusu ankraj çubukları mevcut çerçeve sistemi ile sisteme eklenen güçlendirme perdeleri arasındaki yüzeyde deprem kuvvetlerinde oluşan kayma gerilmelerini ve kesme kuvvetlerini karşılayacak dayanıma sahip olmaları gerekmektedir. Söz konusu ankrajların tasarımı ile ilgili hesaplamalarda *Çerçeve Düzlemi İçinde Betonarme Perde Eklenmesi* başlığı altında bahsedilen esaslar geçerlidir.

Sisteme eklenen perdenin uç bölgesinde mevcut kolon bulunmaması halinde bu bölgeye *Süneklik Düzeyi Yüksek Perdelerin* başlık bölgesinin tasarımı ile ilgili kurullara uyularak başlık bölgesi oluşturulacaktır. Sisteme eklenen betonarme perde elemanın uç bölgesinde mevcut kolon bulunması durumunda ise bu kolon başlık bölgesi olarak hesaplamalarda dikkate alınabilir. Eğer söz konusu kolon gerekli kapasite şartlarını sağlamıyorsa manto yapılarak gerekli kapasite değerleri ve başlık bölgesi şartları sağlanabilir. Yeni inşa edilecek olan güçlendirme perdesinin temeli perde tabanında oluşacak iç kuvvetlerin temel zemine güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Temel sisteminin tasarımında uyulması gereken genel kurallar *Çerçeve Düzlemi İçinde Betonarme Perde Eklenmesi* başlığı altında açıklanmıştır [5].

3.8.6. Betonarme Sistemlere Yeni Çerçeveler Eklenmesi

Yapısal sisteme eklenecek olan betonarme çerçevenin temelleri mevcut binanın temel sistemiyle birlikte düzenlenecektir. Sisteme eklenen yeni çerçevelerin yapısal sistemle birlikte çalışabilmesi için yapıya eklenen çerçeveler mevcut binanın döşeme sistemine gerekli yük dağılımını sağlayacak şekilde bağlanmalıdır [5].

3.8.7. Betonarme Sistemin Kütlesinin Azaltılması

Yapısal sistemlere etkiyecek deprem yükünü belirleyen en önemli faktörlerden biri yapının kütlesidir. Bu nedenle mevcut yapıların öngörülen yer hareketleri etkisi altında gerekli talepleri sağlayamaması durumunda yapısal sistemden kütle azaltma yöntemiyle talepler azaltılabilir. Kütle azaltma amacıyla yapının çatı sistemi daha

hafif bir sistem ile değiştirilebilir. Çatı katında bulunan su deposu ve tesisat sistemleri zemin katlara indirilerek, ağır konsol elemanlar veya parapetler daha hafif elemanlarla değiştirilerek kütle azaltma yoluna gidilebilir [5].

3.9. Şekil Değiştirme ve İç Kuvvet Taleplerinin Belirlenmesi

TBDY 2018 Bölüm 15 kapsamında değerlendirme konusu mevcut ve güçlendirilmiş binalar, yapının bulunduğu konuma ve zemin özelliklerine göre seçilip ölçeklenen en az 22 adet deprem kaydı altında analiz edilecektir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlardan sünek davranışa sahip olan elemanlarda değerlendirmeye esas şekil değiştirme talepleri ile sünek davranışa sahip olmayan elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri her bir deprem kaydı için belirlenecektir. Deprem kayıtlarının her bir zaman adımı için belirlenen bu taleplerden mutlak değerce en büyüklerinin ortalaması alınarak talep değerleri belirlenecektir [5].

Yapılan analizler sonucunda ortalaması alınarak belirlenen talep değerlerinin ve eleman kapasitelerine TBDY 2018 Bölüm 15 kapsamında ifade edilen ilave azaltma işlemleri aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır [5].

- Analizi gerçekleştirilen ve değerlendirmeye esas olan yapılardaki eleman kapasite değerleri yapıdan toplanan numune sayısına (karot, sıyırma, tarama vs.) göre belirlenen ilgili bilgi düzeyi katsayısı ile çarpılarak kapasite değerleri belirlenecektir.
- Şekil değiştirme hesabı yapılan kesitlerin kapasite değerleri ilgili kesitteki boy donatıların nervürsüz (düz) donatı ile teşkil edilmesi durumunda donatı çeliği birim şekil değiştirme talepleri ve ilgili kesitin plastik dönme talepleri 1.5 ile çarpılarak artırılacaktır.
- Şekil değiştirme hesabı yapılan kesitlerin kapasite değerlerinin belirlenmesi aşamasında eğer ilgili kesitte etriye kancalarını 90° teşkil edilmiş ise eleman yüksekliği boyunca belirlenen etriyelerin %30 kapasite hesaplamalarda dikkate alınacaktır.
- Yapılan analizler neticesinde kesitlerde belirlenen kesme kuvveti taleplerinin ilgili kesitin genişliği, faydalı yüksekliği ve mevcut betonun çekme

dayanımının çarpımlarına oranı 0.65'ten küçük ise ($V_e / (b_w d f_{ctm}) < 0.65$) TS 500'de önerilen Denklem 3.21'deki formülasyonlarla hesaplanan kesit kesme kapasitesi değerleri geçerlidir [21]. Eğer belirlenen bu oran 1.30'dan büyük ise belirlenen şekil değiştirme üst sınırları 0.5 ile çarpılarak azaltılacaktır. Ara değerler için doğrusal enterpolasyon uygulanarak bu katsayı hesaplanacak ve şekil değiştirme kapasite değerleri belirlenecektir.

$$\begin{aligned}
 V_{cr} &= 0.65 f_{ctd} b_w d \left(1 + \gamma \frac{N_d}{A_c} \right) \\
 V_c &= 0.8 V_{cr} \\
 V_w &= \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} d \\
 V_r &= V_c + V_w
 \end{aligned} \tag{3.21}$$

3.10. Yapısal Elemanların Değerlendirilmesi ve Yapı Deprem Performansının Belirlenmesi

TBDY 2018 Bölüm 15 kapsamında yapısal sistemi oluşturan elemanların *şekil değiştirme ve iç kuvvet taleplerinin belirlenmesi* başlığı altında anlatılan yöntemler dikkate alınarak talep değerleri bir dizi işlem yoluyla belirlenir. Hesaplama taleplerin değerlendirmesi için ise *yapı elemanlarının şekil değiştirme limitlerinin belirlenmesi* başlığı altında açıklanan denklemler kullanılarak kesiti oluşturan malzeme özellikleri ve donatı dizilimine göre kapasite değerleri belirlenir. Belirlenen talep değerlerinin ilgili kesitin kapasite değerlerine göre mukayesesi neticesinde elemana ait hasar durumu belirlenmiş olur. Hasar durumlarını belirlenmesi işlemlerinde ilgili yapı elemanın her uç bölgesindeki hasar durumları arasındaki en elverişsiz durum o elemanın hasar durumunu ifade etmektedir.

Mevcut veya güçlendirilecek yapıların bulunduğu bölgeye ve kullanım amacına göre belirlenen deprem yer hareketi düzeyleri ve belirlenen bu deprem düzeyleri için ön görülen performans hedefi TBDY 2018 Tablo 3.4.c'de verilmiştir.

Bunu göre yapı sistemini oluşturan yapısal elemanlardaki hasarların yapı genelindeki dağılımına bakılarak yapının deprem performansı belirlenmektedir.

Aşağıda TBDY 2018’de geçen dört performans seviyesinin sağlaması gereken oranlar ve kurallar açıklanmıştır.

- Sınırlı Hasar Performans Düzeyi:

İnceleme konusu mevcut yapıların herhangi bir katındaki kirişlerin en fazla %20’si *Belirgin Hasar Bölgesi*’ne geçebilir. Yapısal sistemi oluşturan diğer tüm elemanların *Sınırlı Hasar Bölgesi*’nde kalması ve gevrek olarak hasar alan elemanların güçlendirilmesi koşulu ile yapısal sistemin *Sınırlı Hasar Performans Düzeyi* ’nde olduğu kabul edilir [5].

- Kontrollü Hasar Performans Düzeyi:

Yapısal sistem elemanların her iki doğrultuda deprem yer hareketi kayıtları altında yapılan analizler neticesinde gevrek hasar gören elemanların güçlendirilmesi kaydı ile aşağıda bahsedilen sınır değerlerini sağlayan yapıların *Kontrollü Hasar Performans Düzeyi* ’nde olduğu kabul edilir [5].

- Değerlendirme konusu olan mevcut yapının herhangi bir katındaki ikincil kirişler (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) hariç olmak üzere, kattaki kirişlerin en fazla %35 ’inin ve düşey taşıyıcı elemanların (kolon, perde ve güçlendirilmiş duvar) aşağıda belirtilen orana karşılık gelen eleman sayısının İleri Hasar Bölgesi’ne geçmesine izin verilebilir [5].
- Düşey taşıyıcı elemanlar arasında İleri Hasar Bölgesine geçen elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20’den az olmalıdır. İncelenen yapının en üst katında İleri Hasar Bölgesine geçen düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvvetleri toplamının ilgili kat kesme kuvvetine oranı en fazla %40 olabilir [5].
- Yapısal sistemi oluşturan diğer tüm elemanların Sınırlı Hasar Bölgesini veya Belirgin Hasar Bölgesini aşmaması gerekmektedir. Eğer bir kattaki düşey taşıyıcı elemanların her iki uç bölgesi birden Belirgin Hasar Sınırını aşıyor ise söz konusu elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerin toplamı, ilgili kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30’u geçmemesi gerekmektedir [5].

- Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi:

Yapılan talep-kapasite tahkikleri neticesinde gevrek hasar alan elemanların *Göçme Bölgesinde* olduğu göz önünde tutularak, aşağıdaki koşulları sağlayan yapıların *Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyin* 'nde olduğu kabul edilir [5].

- Betonarme bir yapının herhangi bir katındaki ikincil kirişler (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) hariç olmak üzere, kattaki kirişlerin en fazla %20 'sinin Göçme Bölgesi 'ne geçmesine izin verilebilir [5].
- Yapısal sistemi oluşturan diğer tüm elemanların Sınırlı Hasar Bölgesinde, Belirgin Hasar Bölgesinde veya İleri Hasar Bölgesinde olması gerekmektedir. Ancak bir kattaki düşey taşıyıcı elemanların her iki uç bölgesi birden Belirgin Hasar Sınırını aşıyor ise söz konusu elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerin toplamı, ilgili kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u geçmemesi gerekmektedir [5].
- Göçme Önlenmesi Performans Düzeyine sahip bir yapının kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır [5].

- Göçme Durumu:

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyini sağlayamayan yapılar *Göçme Öncesi* durumundadır. Bu performans seviyesine sahip yapıların kullanılması can güvenliği açısından oldukça sakıncalıdır [5].

3.11. Yapısal Performans Değerlendirme Aracının Geliştirilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen ve bu tezin üçüncü bölümü kapsamında anlatılan değerlendirme kuralları dikkate alındığında, analizlerin tamamlanma süresi yapıyı oluşturan eleman sayısına ve kullanılan analiz programının özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterse de oldukça uzun zaman almaktadır. Aynı zamanda analiz sonuçlarının değerlendirilmesi de oldukça karmaşık ve zaman alıcı bir iş yükü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında yürütülen zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler *Perform3D* yazılımının diğer analiz

programlarına göre zaman açısından avantajlı olması nedeniyle tercih edilmiştir. Analizlerde Perform3D programının analiz süresi açısından avantajlarından faydalanılırken, sonuçlarının değerlendirilmesindeki zorluk ve hata yapılmasına olanak sağlayan iş yükünün ortadan kaldırılması için bir değerlendirilme aracı geliştirilmiştir.

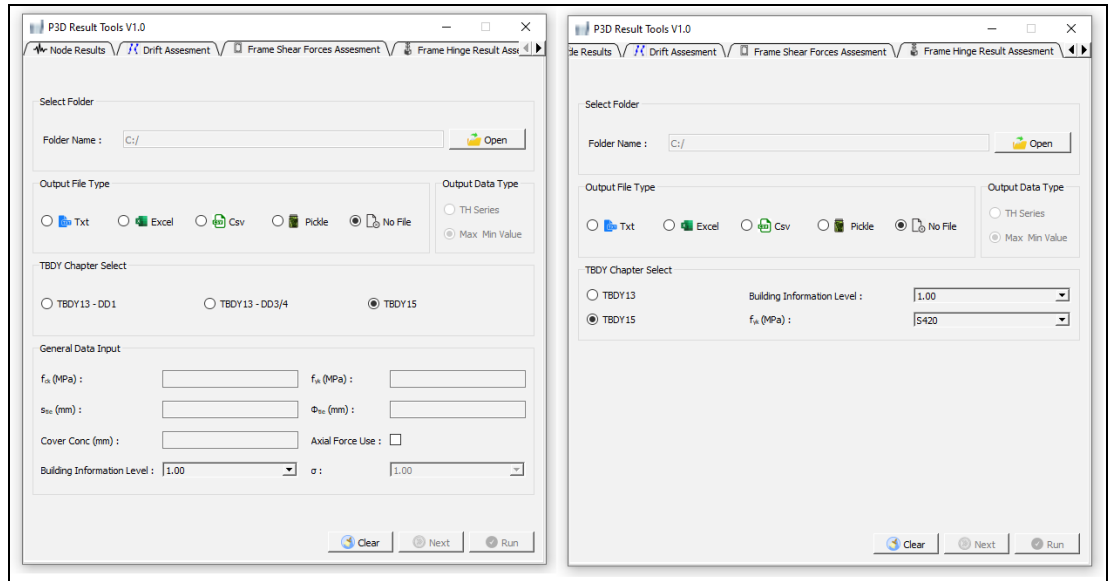
Perform3D programında analiz sonuçları iki yöntem ile elde edilmektedir. Burada ilk yöntem olarak program ara yüzünü kullanarak analiz sonuçlarının metin belgesi formatında elde edilmesidir. Söz konusu programı kullanan birçok kullanıcı bu yöntemi kullanarak yapısal analiz değerlendirmelerini gerçekleştirmektedir. İkinci yöntem ise analiz modelin bulunduğu klasör içerisinde yer alan ve program tarafından oluşturulan binary formatındaki dosyaların okunması ve değerlendirilmesidir. Söz konusu dosya formatı bilgisayar dilinde sıralı bir şekilde bir ve sıfırlardan oluşan uzun bir sayı dizisinden oluşmaktadır. Bu sayı dizisinin kullanıcı tarafından anlaşılır ifadelerle dönüştürülebilmesi için gerekli okuma teknikleri ve adımları yazılımın geliştiricisi olan firma tarafından yayınlanmıştır [22].

Söz konusu dosya formatının okunup dönüştürülebilmesi için bu noktada programlama dillerinin kullanılması elzem bir şart olmaktadır. Bu nedenle zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde *Python programlama dili* kullanılmıştır. Python programlama dili kullanılarak TBDY 2018 Bölüm 13 ve 15'te geçen değerlendirme yöntemlerindeki işlem akışlarına ait algoritmalar kurulmuş ve Perform3D yazılımının çıktı dosyaları olan binary dosyalarından analiz sonuçların okunmasını ve değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yazılımda nesne tabanlı programlama yöntemi kullanılarak oluşturan birçok kütüphane dosyası arasında yapay ağlar kurulmuştur. Kurulan bu ağlar sayesinde değerlendirme koşullarına bağlı olarak hangi ilgili yöntem kullanılacaksa, bu yönteme ait kütüphane aktifleşir ve değerlendirme sürecinin daha kısa sürede tamamlanması sağlanmıştır. Oluşturulan kütüphane dosyalarına ait örnek görsel Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

Ad	Değiştirme tarihi	Tür
__pycache__	24.03.2022 21:49	Dosya klasörü
images	18.04.2022 00:41	Dosya klasörü
ADV.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
CRF.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DER.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DIT.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DIT2.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DJR.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DLGD.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DMFP.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DNGD.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DRPLT.py	12.03.2022 13:44	PY Dosyası
DRW.py	24.03.2022 21:49	PY Dosyası
DVG.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
DVR.py	12.03.2022 13:44	PY Dosyası
ECHO.py	18.03.2022 23:19	PY Dosyası
EGN.py	19.03.2022 12:12	PY Dosyası
ELV.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
EQP.py	12.03.2022 13:45	PY Dosyası
FHA.py	12.03.2022 16:25	PY Dosyası
JCR.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
SFC.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
YAK_V10.py	18.04.2022 00:35	PY Dosyası
ZBC.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
ZBE.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası
ZFR.py	12.03.2022 13:46	PY Dosyası
ZGR.py	12.03.2022 13:29	PY Dosyası

Şekil 3.5 : Oluşturulan kütüphane dosyalarına ait görseller.

Geliştirilen yazılımda kullanıcılar açısından konforlu bir kullanım sağlanabilmesi için ve veri girişindeki zorlukların aşılabilmesi için *PyQt5 modülü* kullanılarak görsel bir ara yüz geliştirilmiştir. Geliştirilen ara yüze ait görseller Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Geliştirilen ara yüze ait görseller.

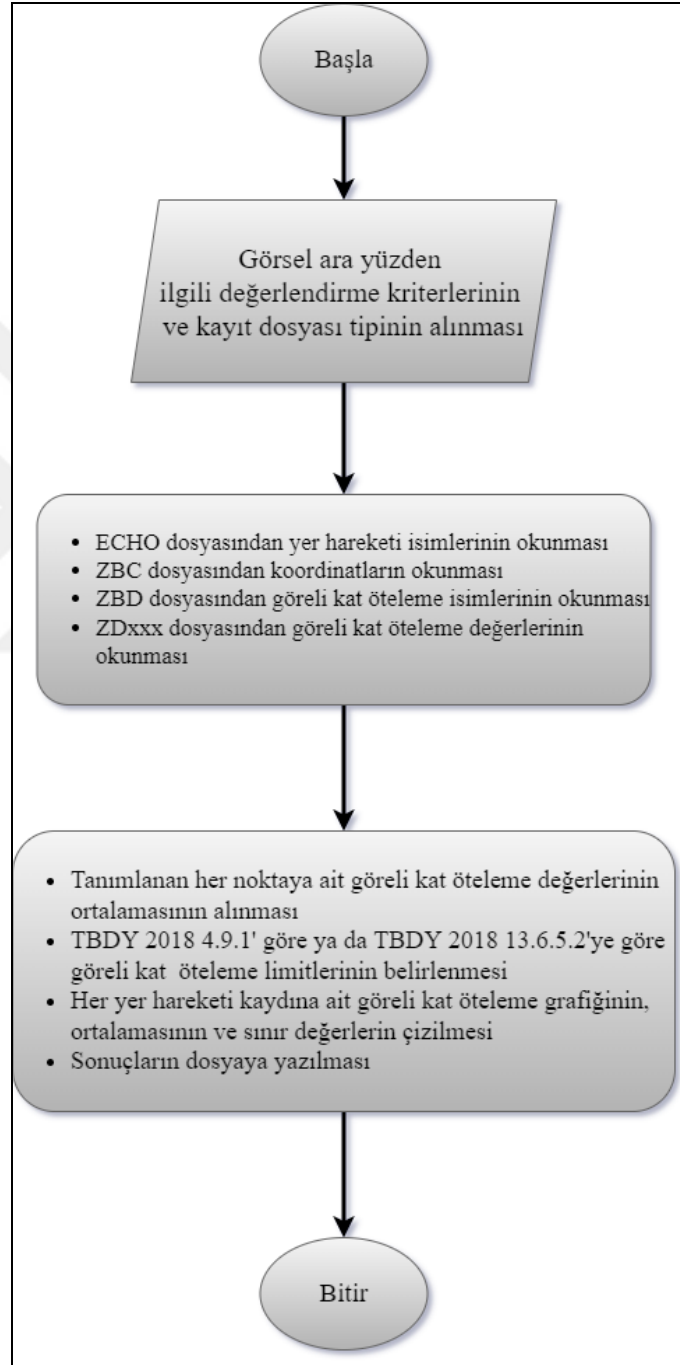
Geliştirilen yazılımın kapsamı ve yapısal analiz değerlendirmesindeki kriterler göz önüne alındığında yazılıma ait kodların uzunluğu binlerce satırı bulmaktadır. Bu nedenle bu kısımda kodların tamamının gösterebilmek mümkün olmaması nedeniyle, aşağıda yapıyı oluşturan düğüm noktalarının ZBC isimli binary dosyasından okunmasına yönelik oluşturulan kodlamaya ait görsel Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Geliştirilen yazılımdaki değerlendirme yöntemlerine ait diğer kodların algoritmaları akış diyagramı olarak gösterilmiştir.

```
def ZBC_fon(fs_main_root):  
    #Control record read of function  
    def first_line_read(fs_main_root):  
        with open(str(fs_main_root)+'\\ZBC','rb') as file:  
            record_data_line=file.read(24)  
            node_counter_data=struct.unpack('i',record_data_line[0:4])  
            node_counter=node_counter_data[0]  
        return node_counter  
    #All record data read of function  
    def main_data_read(fs_main_root,item):  
        with open(str(fs_main_root)+'\\ZBC','rb') as file:  
            main_data_line=file.seek(item*24)  
            main_data_line=file.read(24)  
            node_h1_data=struct.unpack('d',main_data_line[0:8])  
            node_h2_data=struct.unpack('d',main_data_line[8:16])  
            node_v_data=struct.unpack('d',main_data_line[16:24])  
            node_H1=np.around(node_h1_data[0],2)  
            node_H2=np.around(node_h2_data[0],2)  
            node_V =np.around(node_v_data[0],2)  
        return node_H1,node_H2,node_V  
    #Node Number read and record Lenght  
    node_counter=first_line_read(fs_main_root)  
    for item in range(node_counter+1):  
        if(item==0):  
            pass  
        else:  
            node_H1,node_H2,node_V=main_data_read(fs_main_root,item)  
            node_coordinates_dict[item]=[node_H1,node_H2,node_V]  
    return node_coordinates_dict
```

Şekil 3.7 : Yapıların düğüm noktalarının okunması ile ilgili kodlama görseli.

Görelî Kat Öteleme Değerlerinin Değerlendirmesi:

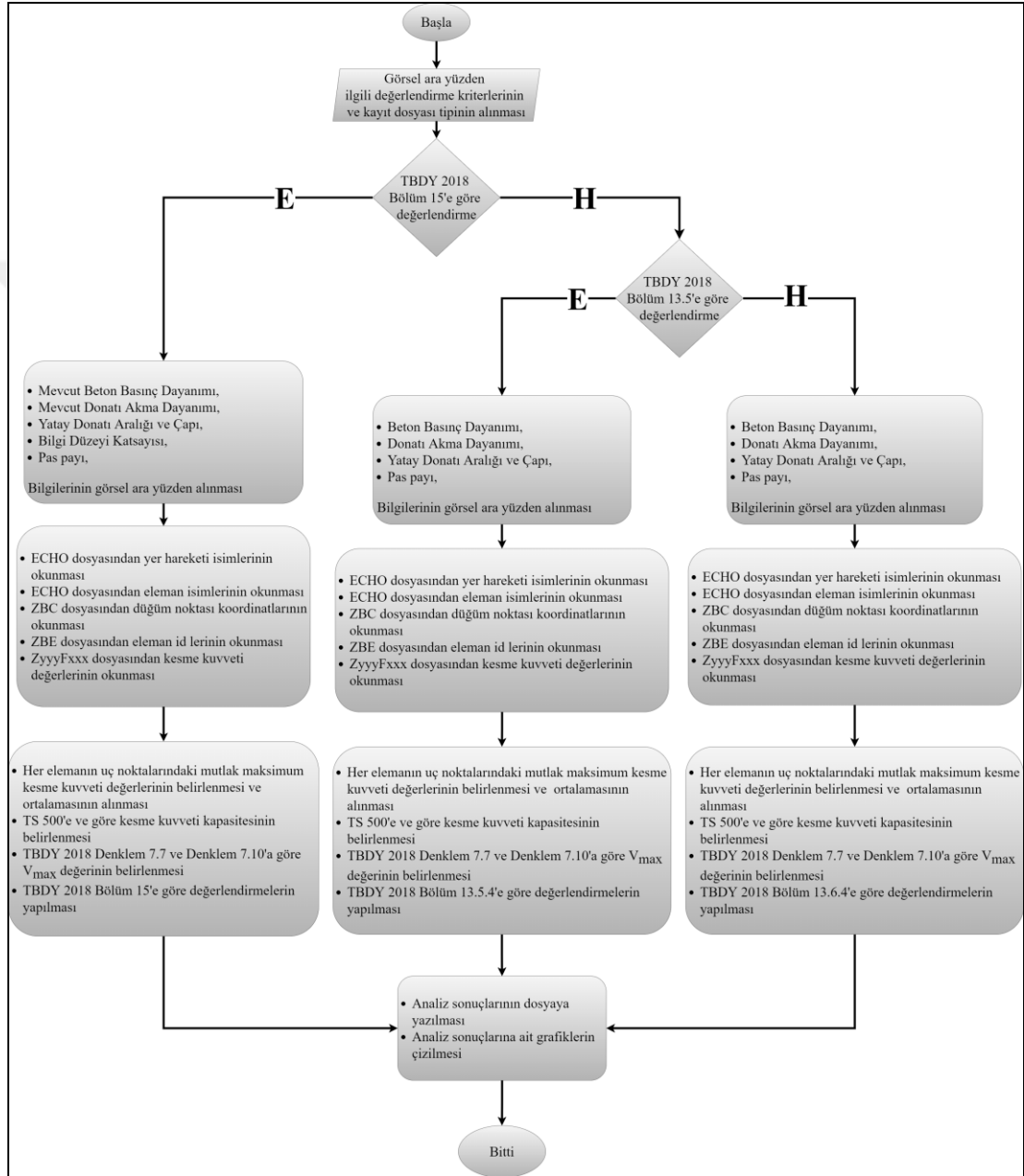
Geliştirilen yazılımın TBDY 2018'e göre görelî kat öteleme değeri lerinin sonuç dosyalarından okuma ve değerlendirme aşamalarını ifade eden akış diyagramı Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Görelî kat öteleme değeri lerinin okunması ve değerlendirilmesine ait akış diyagramı.

Çerçeve Elemanlarının Kesme Kuvveti Değerlerinin Değerlendirmesi:

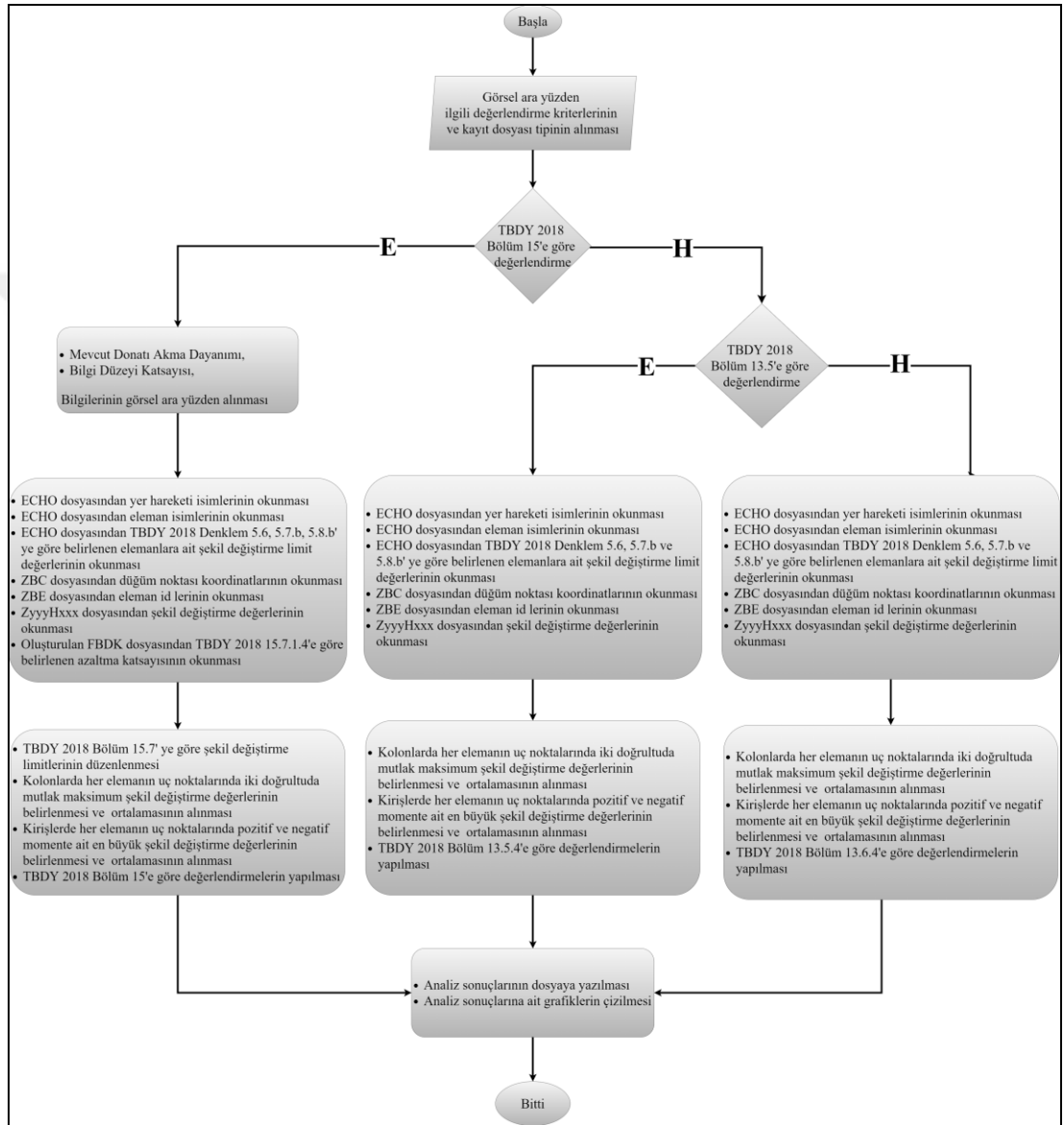
Geliştirilen yazılımın TBDY 2018'e göre çerçeve elemanların kesme kuvveti değerlerinin sonuç dosyalarından okuma ve değerlendirme aşamalarını ifade eden akış diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Çerçeve elemanları kesme kuvveti değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.

Çerçeve Elemanlarının Şekil Değiştirme Değerlerinin Değerlendirmesi:

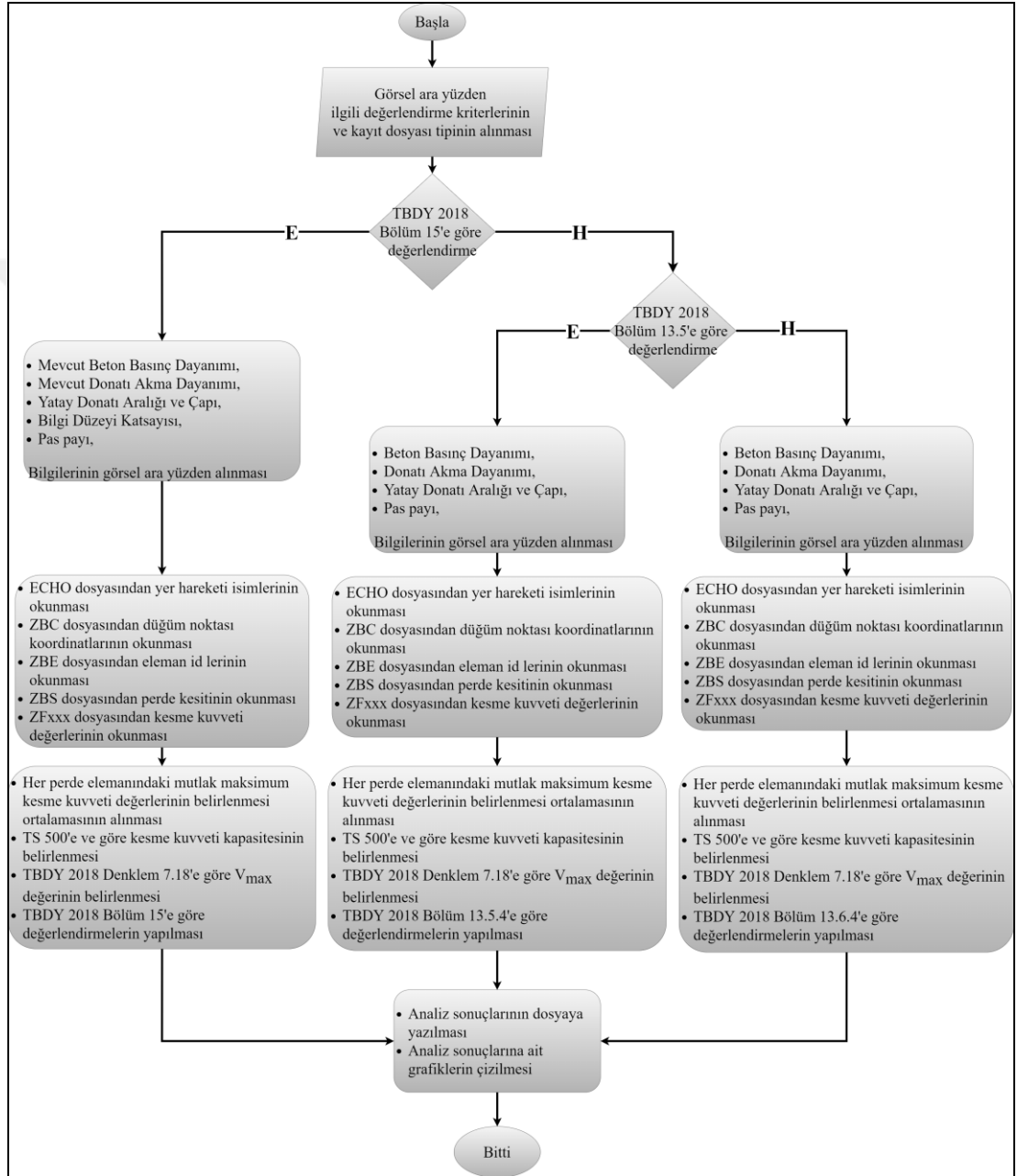
Geliştirilen yazılımın TBDY 2018'e göre çerçeve elemanların şekil değiştirme değerlerinin sonuç dosyalarından okuma ve değerlendirme aşamalarını ifade eden akış diyagramı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Çerçeve elemanları şekil değiştirme değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.

Perde Elemanlarının Kesme Kuvveti Değerlerinin Değerlendirmesi:

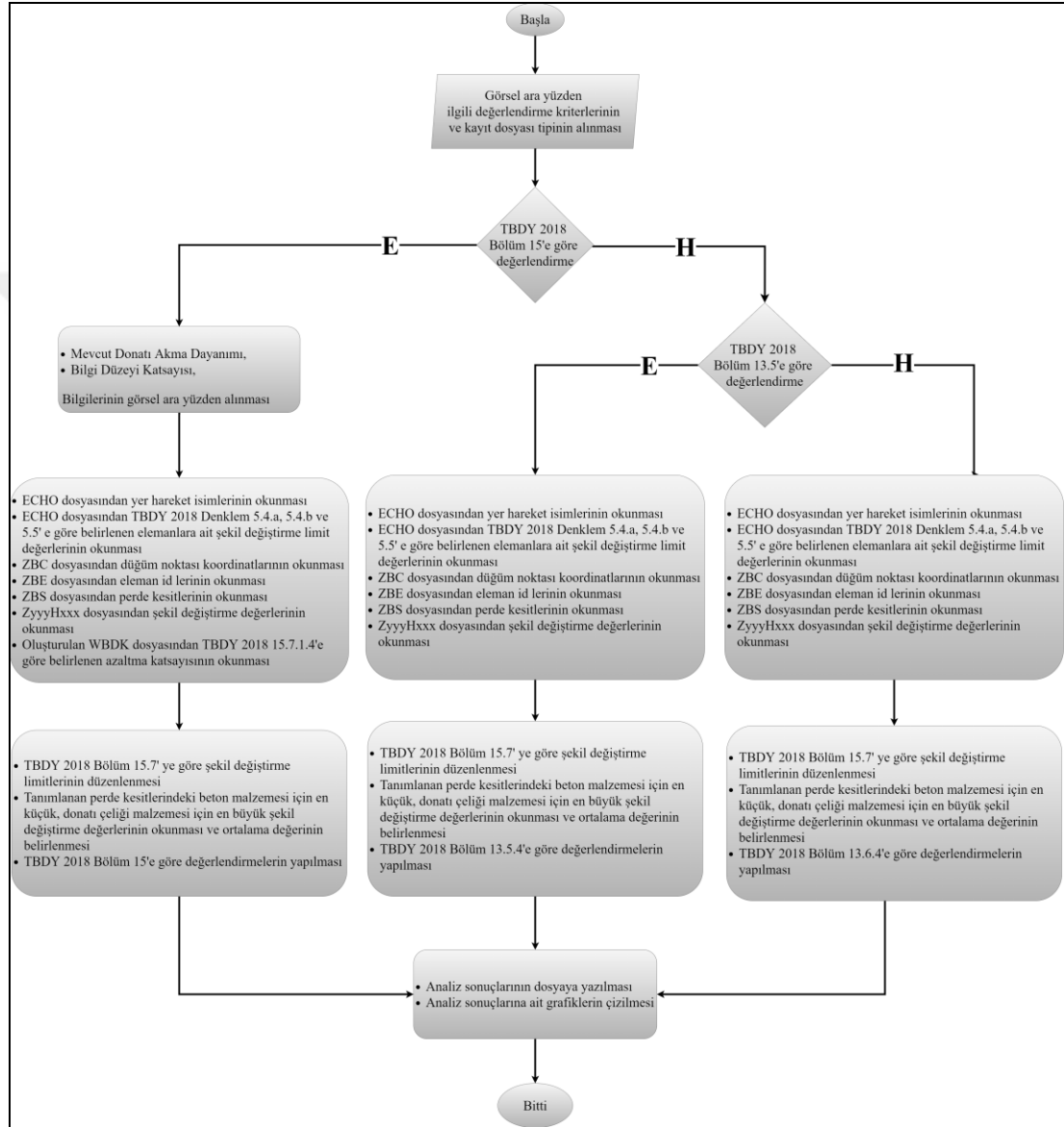
Geliştirilen yazılımın TBDY 2018'e göre perde elemanların kesme kuvveti değerlerinin sonuç dosyalarından okuma ve değerlendirme aşamalarını ifade eden akış diyagramı Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Perde elemanları kesme kuvveti değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.

Perde Elemanlar Şekil Değiştirme Değerlerinin Değerlendirmesi:

Geliştirilen yazılımın TBDY 2018'e göre perde elemanların şekil değiştirme değerlerinin sonuç dosyalarından okuma ve değerlendirme aşamalarını ifade eden akış diyagramı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : Perde elemanları şekil değiştirme değerlerinin okunması ve değerlendirilmesini ifade eden akış diyagramı.

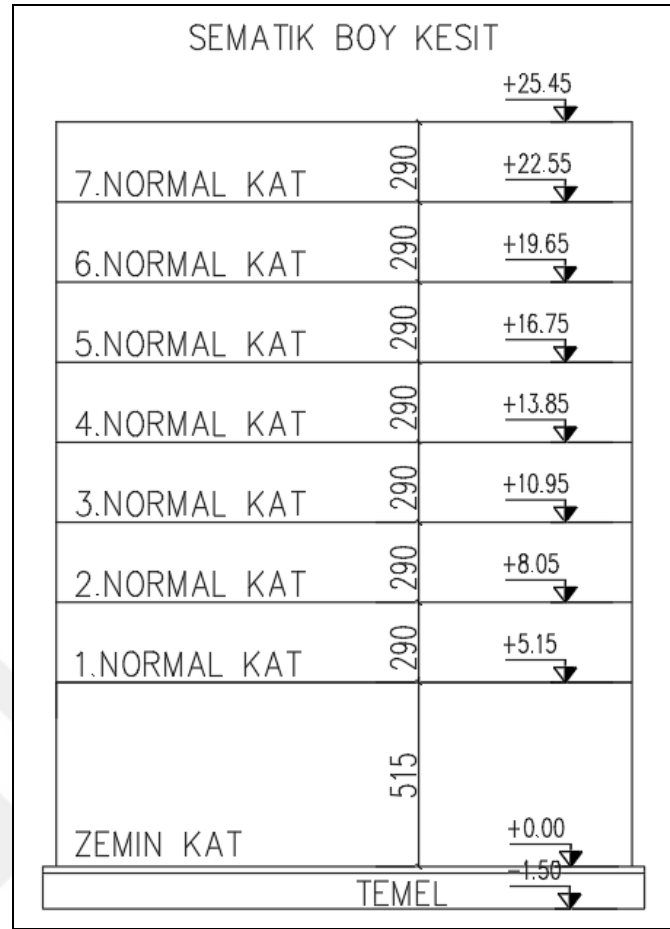
4. SAYISAL ÖRNEK VE DEĞERLENDİRME

Bu bölüm altında değerlendirme konusu olan otopark yapısının mevcut durum atındaki performans seviyesi zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılarak TBDY-2018 bölüm 15 kapsamında irdelenmiştir. Tamamlanan analizin ardından söz konusu yapıya, yine aynı yönetmelik bölümünün önerdiği kurallar çerçevesinde betonarme perde elemanlar ve kirişler eklenerek güçlendirilmiş yapının ulaştığı performans seviyesi açıklanmıştır.

4.1. Yapı Genel Bilgileri

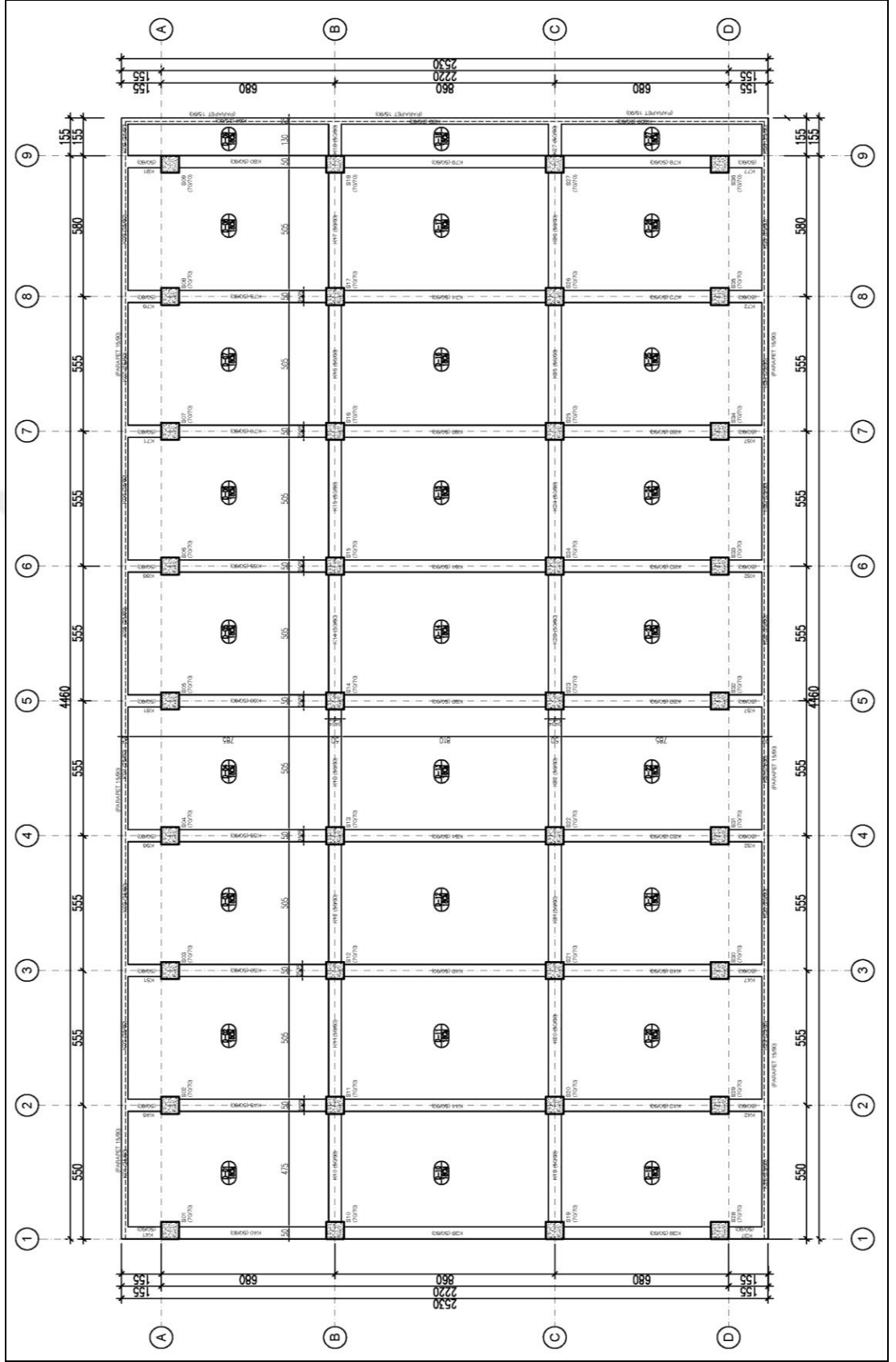
4.1.1. Mevcut Yapı Genel Bilgileri

Performans değerlendirmesi gerçekleştirilecek olan otopark binası zemin ve yedi normal kattan oluşmaktadır. Söz konusu otopark yapısı uzun doğrultuda (X-X doğrultusu) 44.66 m, kısa doğrultuda (Y-Y doğrultusu) 25.30 m uzunluğa sahiptir. Saha incelemesi sırasında söz konusu yapının zemin kat döşemesinin 32 cm kalınlığında tek yönlü dişli plak sisteminden oluştuğu, üst kottaki katların ise 18 cm kalınlığında kirişli plak sisteminden meydana geldiği tespit edilmiştir. İnceleme konusu yapının zemin kat yüksekliği 5.15 m'den oluşmaktadır. Normal katların yüksekliği ise 2.90 m olarak belirlenmiştir. Saha çalışmaları kapsamında TBDY-2018 Bölüm 15'te kapsamlı bilgi düzeyine göre yapılması gereken tüm sıyırma ve donatı tarama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle performans hesabı gerçekleştirilirken performans belirleme işlemlerinde kapsamlı bilgi düzeyi katsayısı dikkate alınarak değerlendirmeler tamamlanmıştır. Yapının kat yüksekliklerine ve kat kotlarına ait şematik kesit görseli Şekil 4.1'de verilmiştir.



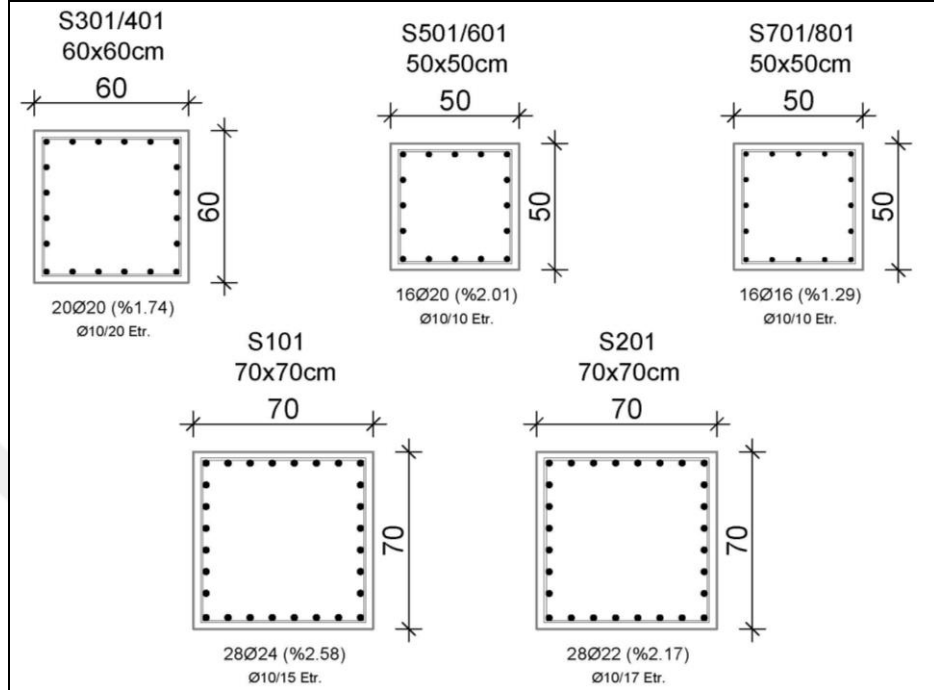
Şekil 4.1 : Şematik boy kesite ve kat kotlarına ait görsel.

İnceleme konusu otopark yapısının ilk iki katındaki kolonların 70×70 cm boyutlarından oluştuğu, ikinci ve üçüncü normal katta 60x60 cm boyutlu kolonların kullanıldığı diğer katlarda ise 50×50 cm boyutlu kolonlardan yapının inşa edildiği tespit edilmiştir. İnceleme konusu yapının her katından üçer adet olmak üzere toplamda 24 adet karot numunesi alınmıştır. TBDY-2018 bölüm 15'e göre mevcut malzeme dayanımının belirlenmesine yönelik yapılan hesaplamalar neticesinde söz konusu yapının mevcut beton basınç dayanımı 13.5 MPa olarak belirlenmiştir. Değerlendirmede kullanılan karot numunelerine test sonuçlarına ait tablo Ek-A'da yer almaktadır. Saha çalışmaları sırasında yapısal sistem elemanlarda kullanılan donatısı sınıfının S420 olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde elemanlarda kullanılan etriye kancalarının 90° olarak imal edildiği belirlenmiştir. Yerinde yapılan incelemelerde yapı temel sisteminin iki yönde sürekli temellerden oluştuğu belirlenmiştir. Saha çalışmaları neticesinde oluşturulan tip kat planı Şekil 4.2'de sunulmuştur.

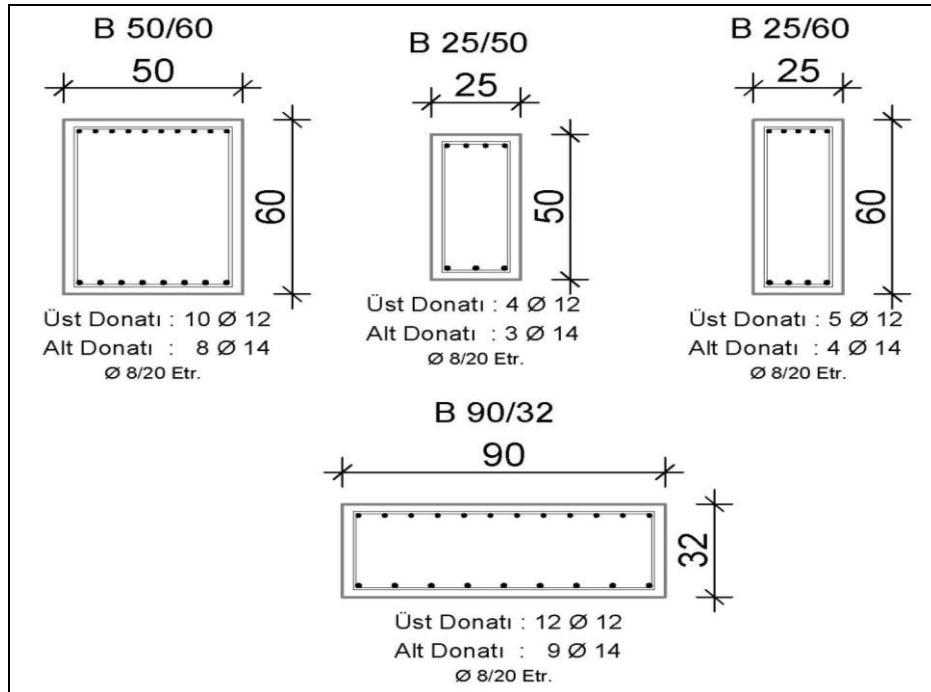


Şekil 4.2 : Tip kat planına ait görsel.

Mevcut binada gerçekleştirilen saha çalışmaları neticesinde yapısal sistemini oluşturan taşıyıcı elemanlara ait kesit tipleri ve donatı düzenleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Mevcut yapı kolon kesitlerine ve donatı düzenine ait görsel.



Şekil 4.4 : Mevcut yapı kiriş kesitlerine ve donatı düzenine ait görsel.

Değerlendirme konusu otopark yapısının bulunduğu lokasyonda yapılan zemin çalışmaları neticesinde yapının yerel zemin sınıfı ZF olarak belirlenmiştir. Yapılan geoteknik analizler ve yakın saha çalışmaları sonucunda yapının bulunduğu zemin parametrelerine ve koordinatlarına bağlı olarak yapıya etkiyecek ivme değerleri Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

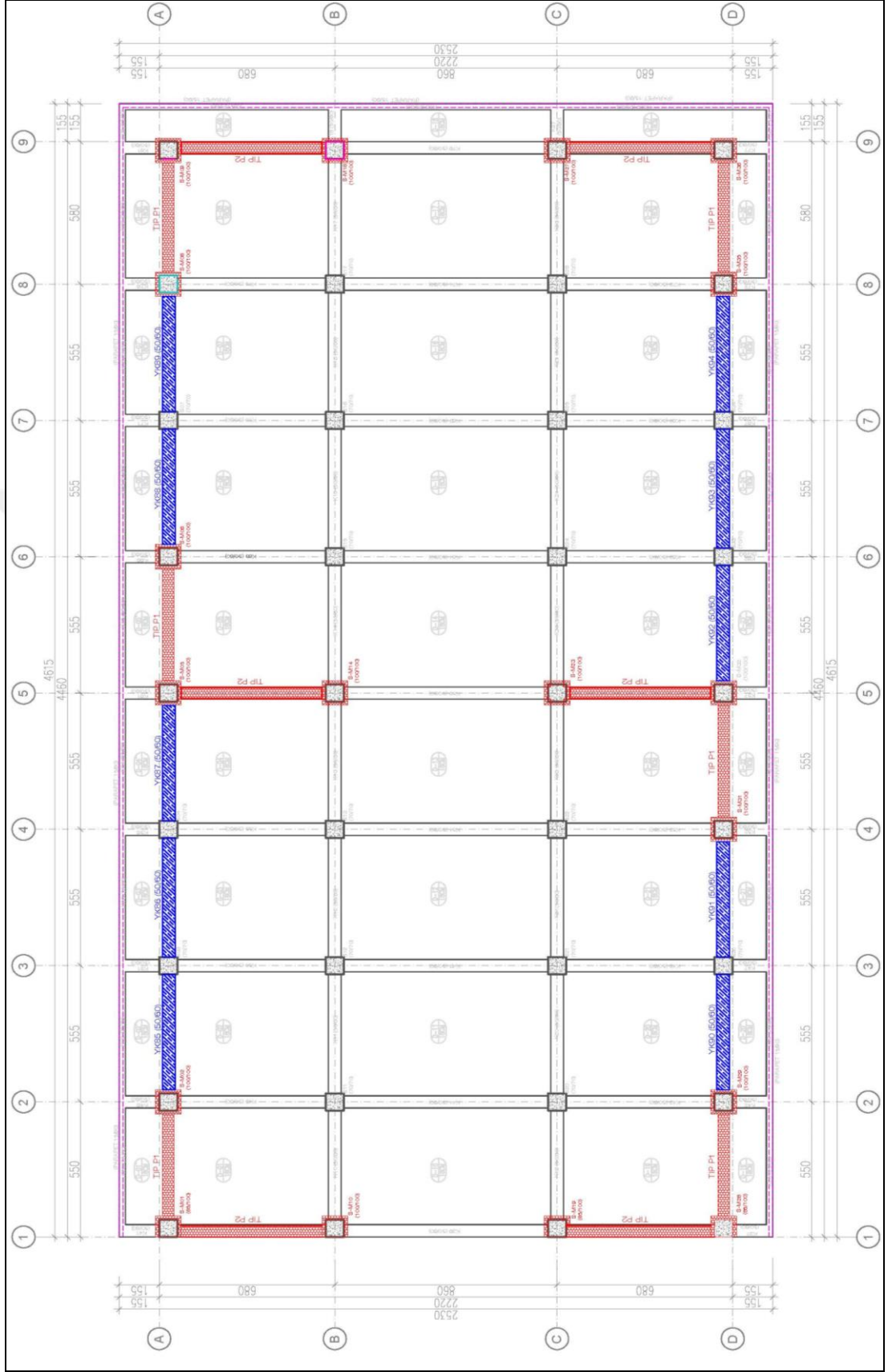
Tablo 4.1 : Yapıya ait zemin ve spektral ivme değerleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD2
Yerel Zemin Sınıfı	ZF
S_s	1.118
S_1	0.275
S_{DS}	1.124
S_{D1}	0.920
T_A	0.164
T_B	0.818
T_L	6.0

4.1.2. Güçlendirilmiş Yapı Genel Bilgileri

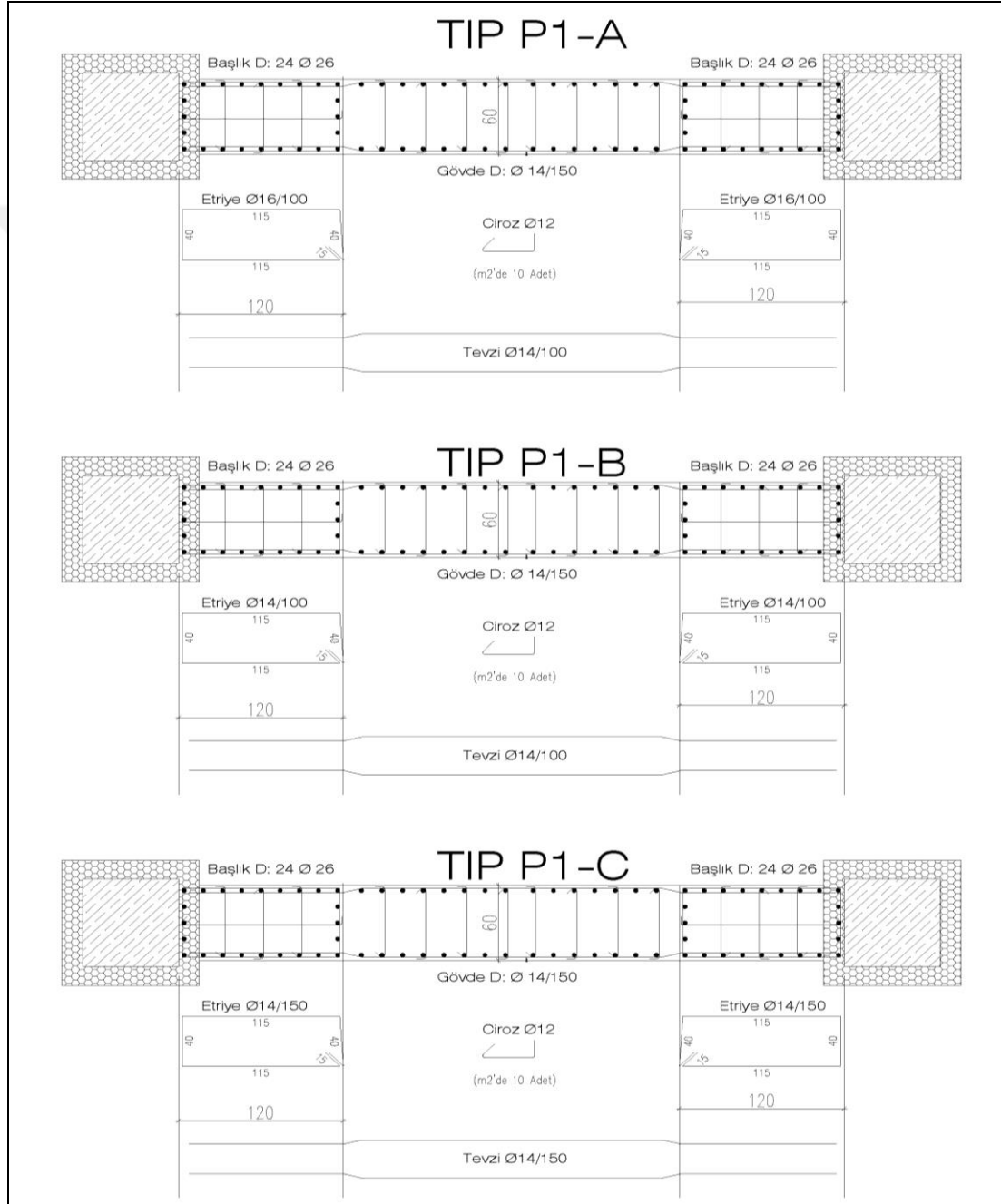
Değerlendirme konusu otopark yapısının deprem etkileri altındaki davranışı iyileştirmek amacıyla yapıya güçlendirme perdesi ve betonarme kirişlerin eklenmesi uygun görülmüştür. Bu nedenle binanın X-X doğrultusunda (uzun yönde) “A-D” aksları üzerine üçer adet ve Y-Y doğrultusunda (kısa yönde) “1-5-9” aksları üzerine ikişer adet güçlendirme perdesi eklenmiştir. Aynı zamanda yapının uzun doğrultusundaki çerçeve davranışının daha iyi bir seviyeye getirilmesi amacıyla yine “A” ve “D” aksları üzerine 50x60 cm ebatlarında betonarme kiriş elemanlar eklenmiştir. Güçlendirilmiş duruma ait tip kalıp planı Şekil 4.5’te sunulmuştur.

Yapısal sisteme eklenen güçlendirilme elemanlarında 35 MPa karakteristik basınç dayanıma sahip beton ve S420 sınıfında donatı kullanılması tercih edilmiştir. Sisteme eklenen güçlendirme perdeleri yapının uzun doğrultusunda 60 cm kalınlığa sahipken, yapının kısa doğrultusunda yer alan güçlendirme perdeleri 45 cm kalınlığa sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.



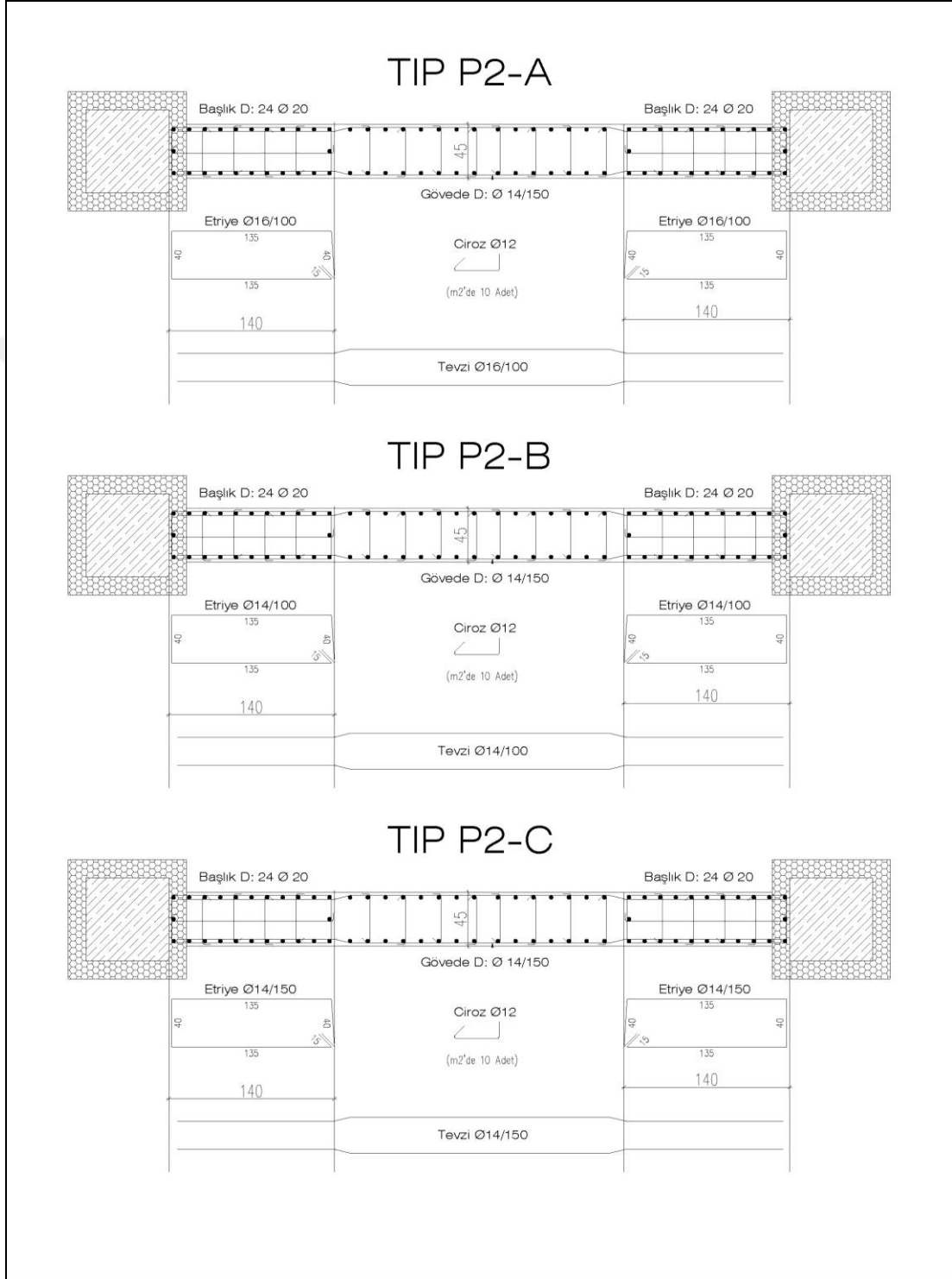
Şekil 4.5 : Güçlendirilmiş durum tip kat planına ait görsel.

Sisteme ilave edilen güçlendirme elemanlarının boyutlandırmasında ve donatı düzeninin belirlenmesinde TBDY-2018 bölüm 15’te önerildiği gibi yönetmeliğin 7 bölümünde yer alan yeni yapılacak elemanların tasarımına ait koşullar dikkate alınmıştır. Binanın uzun doğrultusunda eklenen perdelerin başlık bölgesi uzunluğu 120 cm olarak belirlenmiş ve bu yöndeki elemanlara ait tip donatı detayı Şekil 4.6’da gösterilmiştir.



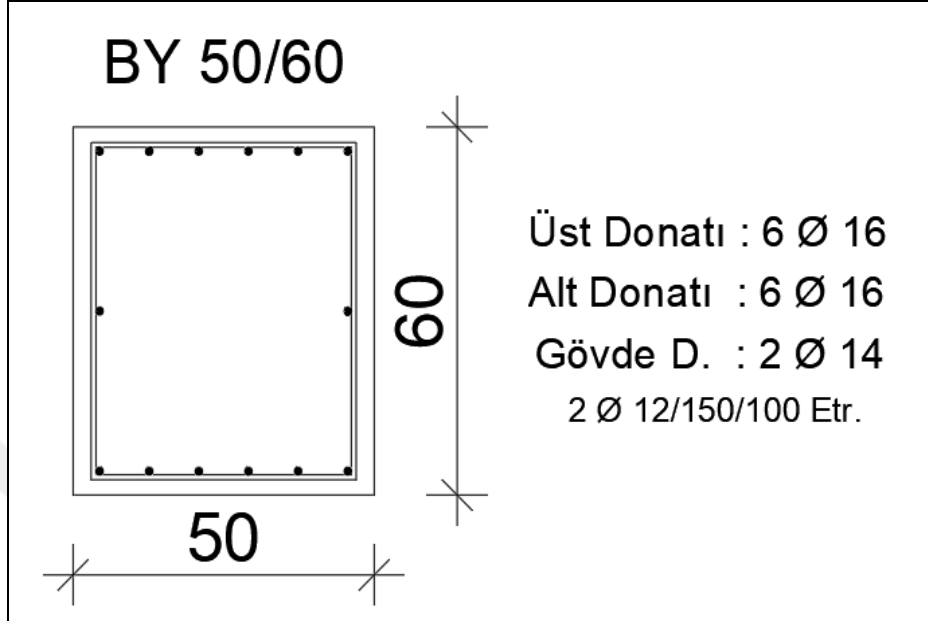
Şekil 4.6 : X-X doğrultusunda yer alan perdelerin donatı düzenine ait görsel.

Otopark yapısının kısa doğrultusunda sisteme ilave edilecek olan perdelerin başlık bölgesi uzunluğu 140 cm olarak tasarlanmıştır ve bu doğrultudaki elemanlara ait tip donatı detayı Şekil 4.7’de ifade edilmiştir.



Şekil 4.7 : Y-Y doğrultusunda yer alan perdelerin donatı düzenine ait görsel.

Binanın uzun doğrultusunda A ve D aksları üzerinde sisteme ilave edilecek olan kirişlerde 16 mm çapında boy donatılar kullanılmıştır. İlgili kesite ait donatı planına ait görsel Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8 : Yapısal sisteme yeni eklenecek kirişin donatı düzenine ait görsel.

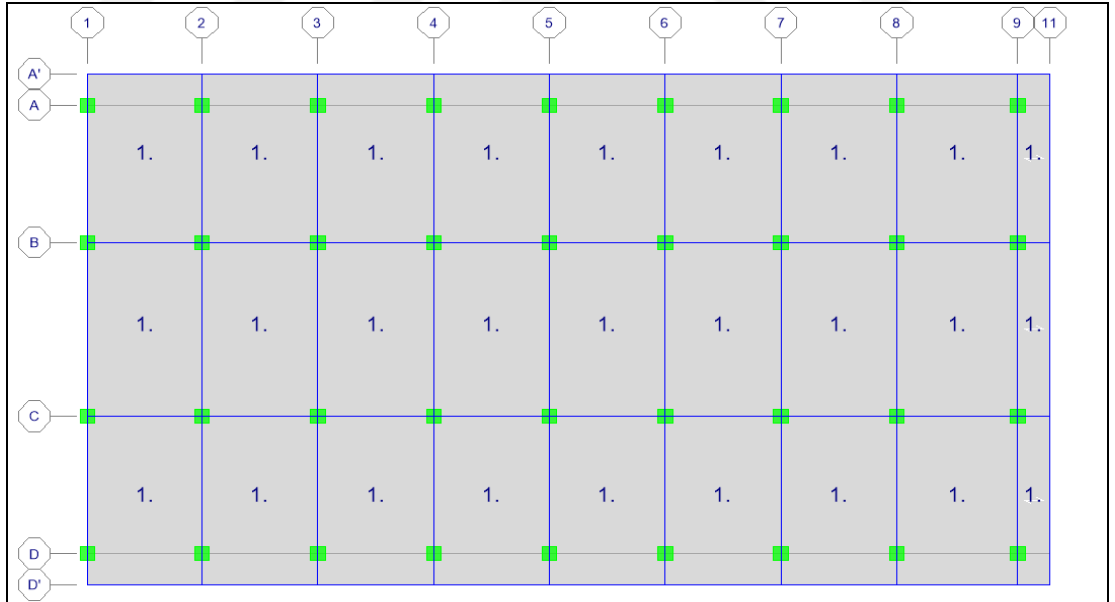
4.2. Yapısal Analiz Modelinin Oluşturulması

Değerlendirme konusu olan otopark yapısı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesi için ilk aşamada söz konusu yapısal sistem ETABS V9.4.7 ve SAP2000 programları kullanılarak modellenmiştir. Modelleme aşaması tamamlandıktan sonra yapısal model Perform3D programına aktarılarak yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. Gerekli yapı geometrisinin oluşturulması, yük tanımlamaları ve kesit tiplerinin oluşturulması ETABS programında tamamlanmıştır. Yapı kesitlerine ait moment-eğrilik bağıntıları SAP2000 programının *Section Designer* modülü kullanılarak belirlenmiştir. Yapıya ait malzeme modellerinin tanımlanması, kesit ve mafsallık özelliklerinin tanımlanması Perform3D programında gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Yüklerin Tanımlanması

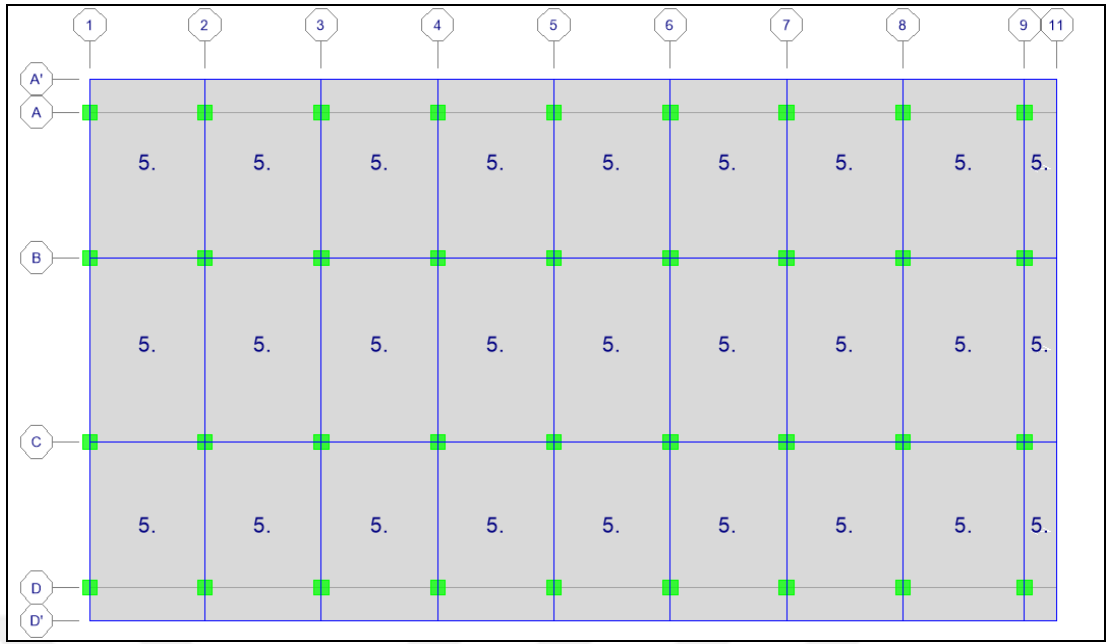
Saha alışmaları sırasında yapılan incelemeler neticesinde otopark yapısında her kat döşemesi üzerinde kaplama betonu bulunduğu ve evre kirişleri üzerinde 15cm kalınlığında betonarme parapetlerin inşa edildiği tespit edilmiştir. Söz konusu yapısal sistem modeline zati yükler tanımlanırken parapet boyutları ve kaplama betonunun kalınlığı dikkate alınarak yük değerleri hesaplanmıştır. Hareketli ve kar yüklerinin tanımlanmasında ise ilgili standart olan TS-498’de geçen yük değerleri dikkate alınmıştır [23]. Zati yüklerin, yapısal modele aktarılması ile ilgili görseller şekil 4.9’da sunulmuştur.

- Dead: Yapısal elemanların öz ağırlıkları (Program tarafından hesaplanmaktadır.)
- G: Kaplama Yükleri
- Q: Hareketli Yükler
- S: Kar Yükleri
- P: Parapet Yükleri

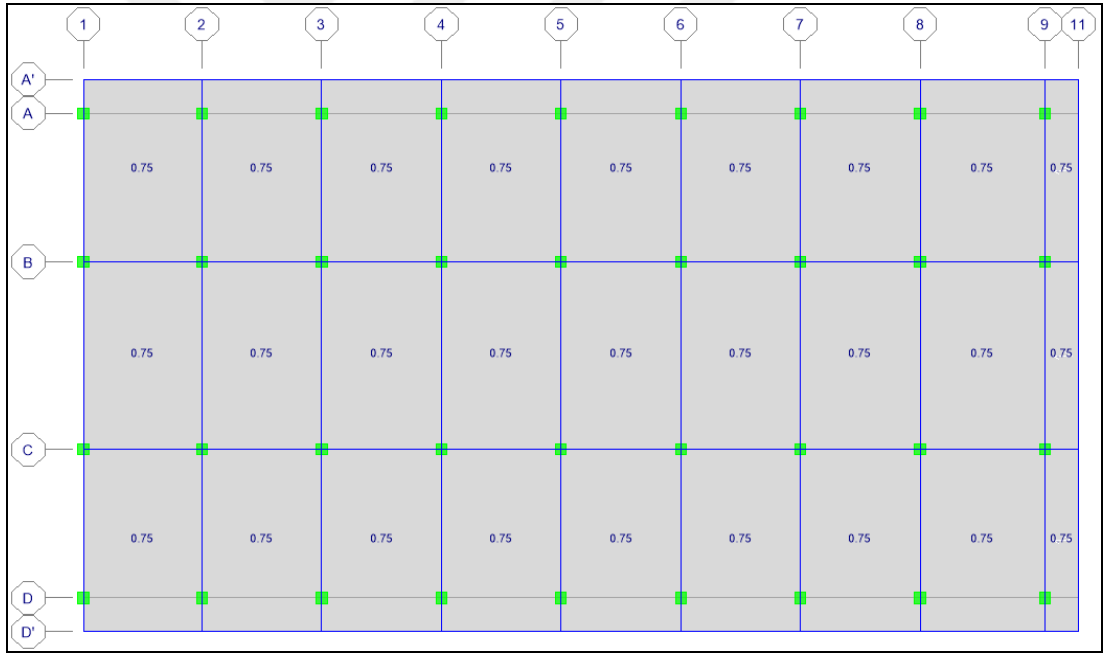


şekil 4.9 : Kaplama (G) yüklerine ait yapısal model görseli (Birim: kN).

Hareketli yüklerin ve kar yüklerinin yapısal modele aktarılması ile ilgili görseller şekil 4.10 ve şekil 4.11’de sunulmuştur.

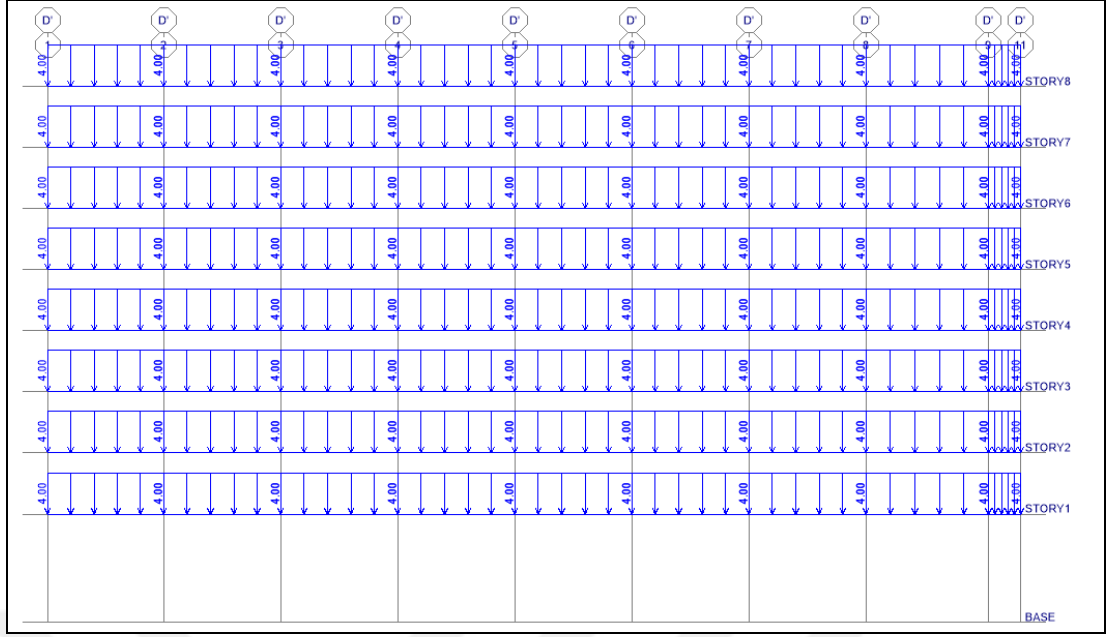


Şekil 4.10 : Hareketli (Q) yüklere ait yapısal model görseli (Birim: kN).



Şekil 4.11 : Kar (S) yüklerine ait yapısal model görseli (Birim: kN).

Dış çevre kirişleri üzerinde yer alan parapetlerin çizgisel yüke dönüştürülerek yapısal modele aktarılması ile ilgili görseller Şekil 4.12'de sunulmuştur.



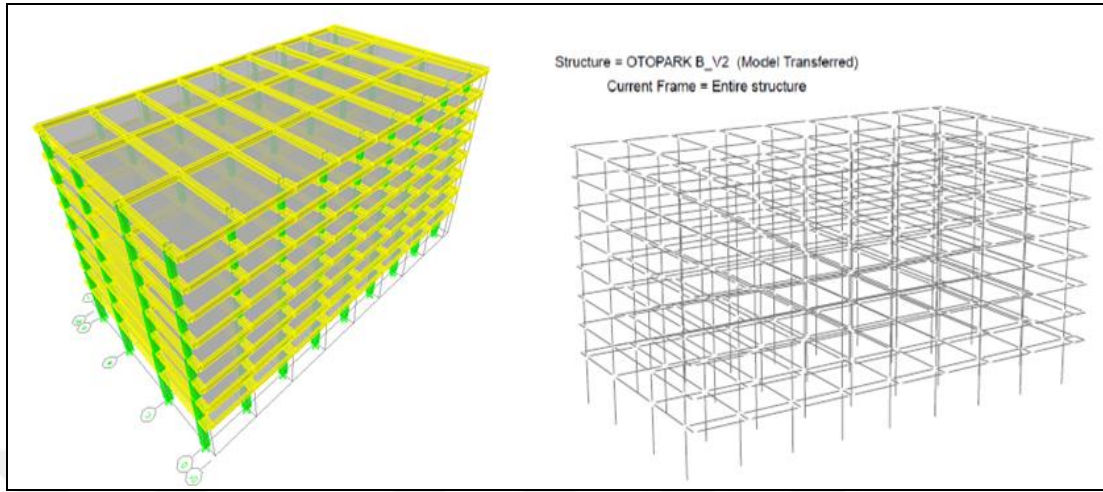
Şekil 4.12 : Parapet (P) yüklerine ait yapısal model görseli (Birim: kN).

Değerlendirme konusu otopark yapısında hareketli yüklerin deprem etkisi altında kütle katılım katsayısı TBDY-2018 Tablo 4.3'te belirtildiği üzere $n=0.3$ olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda çatı kütlelerinin hesaplanmasında TBDY-2018 4.5.9 'da belirtildiği gibi kar yüklerinin %30'u hesaplamalarda dikkate alınmıştır [5].

4.2.2. Mevcut Durum Yapısal Modelin Oluşturulması

Saha çalışmalarında elde edilen kat planlarındaki açıklıklar, eleman boyutları ve kesitlerin donatı düzeni yapısal model oluşturulurken birebir uygulanmıştır. Otopark yapısının analiz modeli ETABS v9.4.7 programında üç boyutlu olarak oluşturulmuş daha sonra Perform3D programına aktarılmıştır. Modellere ait görsel Şekil 4.13'te verilmiştir. Bu tezin 4.1 başlığı altında bahsedilen yükler, analiz modelinde elemanlar üzerine tanımlanmıştır. Döşemeler üzerindeki zati, hareketli ve kar yükleri alansal yayılı yük olarak, parapet yükleri ise dış çerçeve kirişleri üzerine çizgisel yük olarak uygulanmıştır. Kolon ve kirişler çubuk model olarak, kat döşemeler ise membran plak olarak modellenmiştir. Perform3D programına aktarılan modelde kat döşemeleri kaldırılmış ve yüklerin kirişlere aktarılması sağlanmıştır. Kat hizalarında rijit diyafram kabulü yapılmıştır. Mevcut temel sistemin elastik davranış

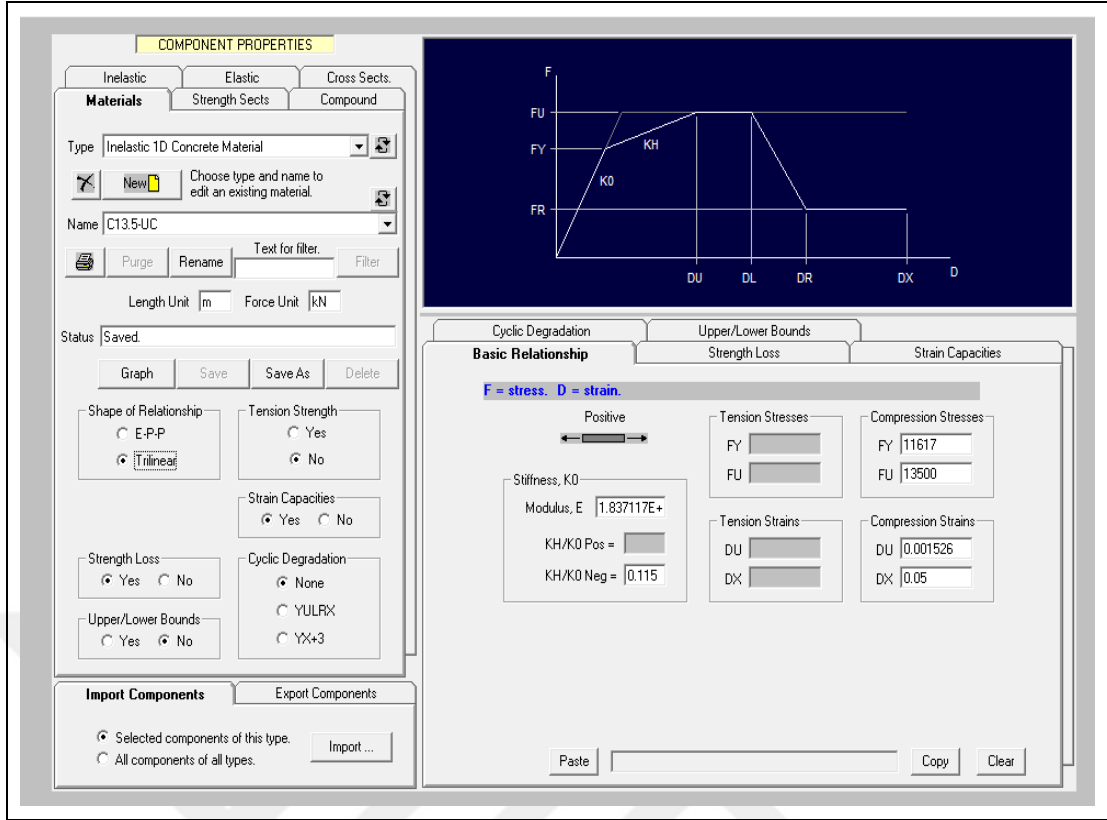
sergileyeceği kabulü neticesinde zemin kat kolonlarının alt uçlarına ankastre mesnet tanımlanmıştır.



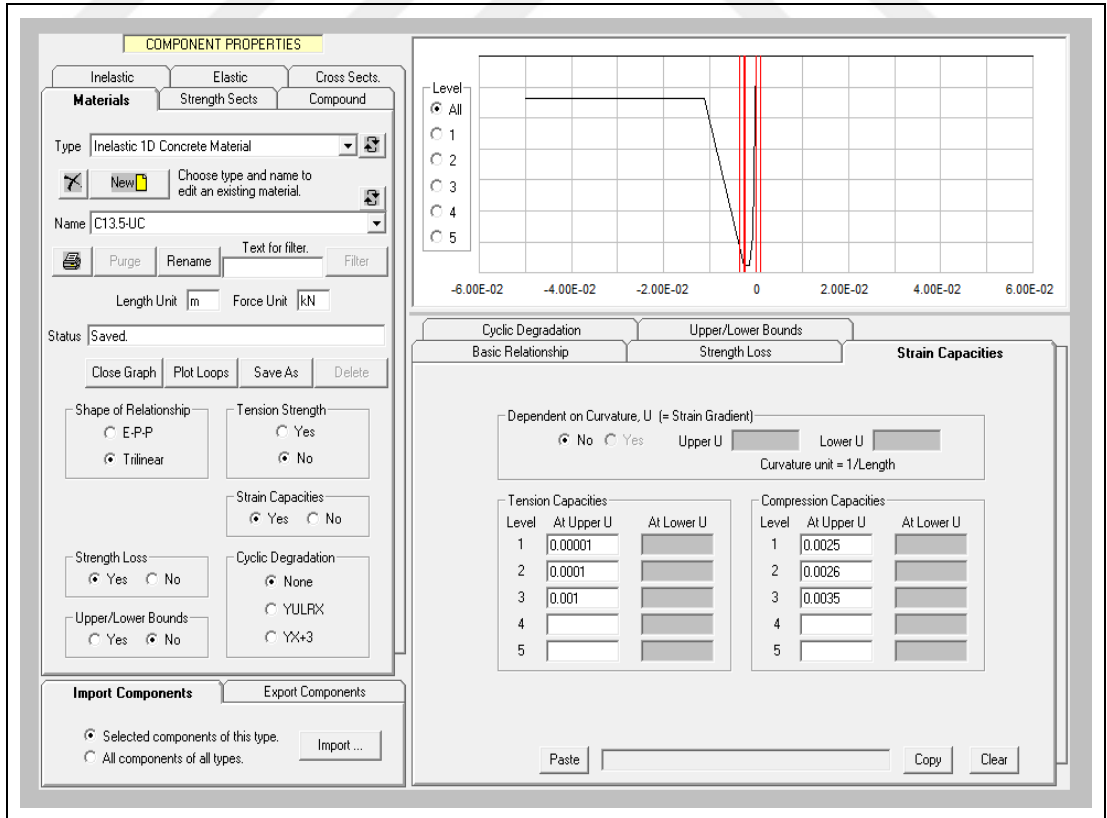
Şekil 4.13 : Oluşturulan üç boyutlu analiz modellerine ait görseller.

4.2.2.1. Malzeme Modellerinin Tanımlanması

Değerlendirme konusu otopark yapısında gerçekleştirilen saha çalışmaları neticesinde yapının *mevcut beton basınç dayanımı* 13.5 MPa olarak, yapısal elemanlarda kullanılan *donatı çeliğinin sınıfı* S420 olarak belirlenmiştir. Belirlenen malzeme özelliklerinden yola çıkılarak tüm kesitlere ait malzeme modelleri, TBDY 2018 Ek 5.A'da ve bu tezin üçüncü bölümü içerisinde anlatılan matematiksel modeller kullanılarak oluşturulmuştur. Yapılan saha çalışmaları sonucunda belirlenen donatı düzeni ve kanca açılara göre kolonlardaki etriye sargısının beton basınç dayanıma katkısı, malzeme modeli tanımlamalarında dikkate alınmıştır. Ayrıca kesitlerin donatı düzenine bağlı olarak elemanların şekil değiştirme sınır değerleri TBDY 2018 bölüm 5.8'de ve bu tezin üçüncü bölümünde anlatılan hesaplama yöntemleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Beton malzeme modelleri Perform3D programında “Component Properties – Materials – Inelastic 1D Concrete Material” sekmeleri takip edilerek, donatı malzeme modeli ise “Component Properties – Materials – Inelastic Steel Material” sekmeleri takip edilerek tanımlanmıştır. Sargısız betona ait malzeme modeli Şekil 4.14'te ve şekil değiştirme limitleri Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

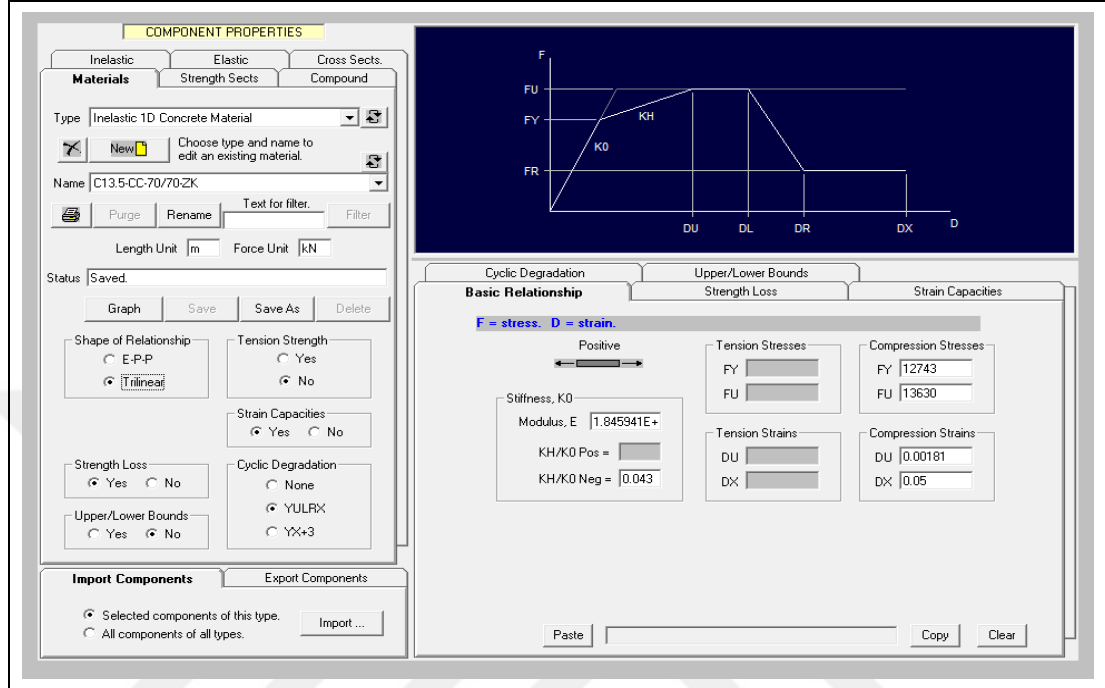


Şekil 4.14 : Sargısız beton (13.5 MPa) malzeme modeline ait görsel.

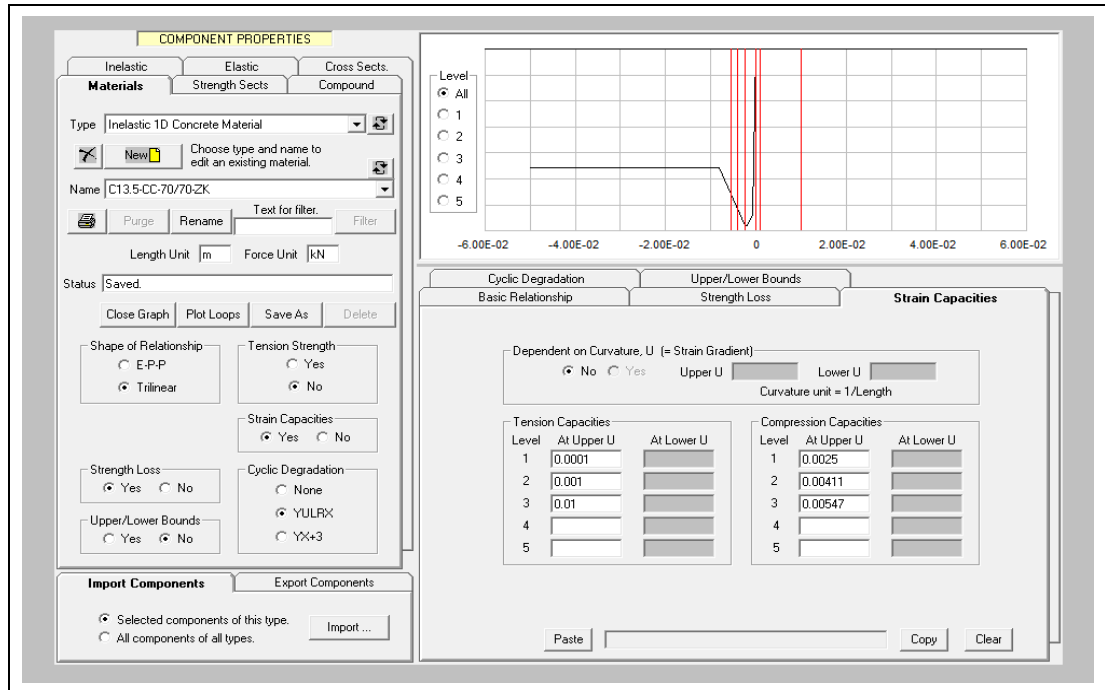


Şekil 4.15 : Sargısız beton (13.5 MPa) şekil değiştirme limitlerine ait görsel.

Zemin kat kolonlarının donatı düzenine bağlı olarak oluşan sargılı beton malzeme modeli Şekil 4.16’da ve söz konusu kesite ait şekil değiştirme sınır değerleri Şekil 4.17’de ifade edilmektedir.

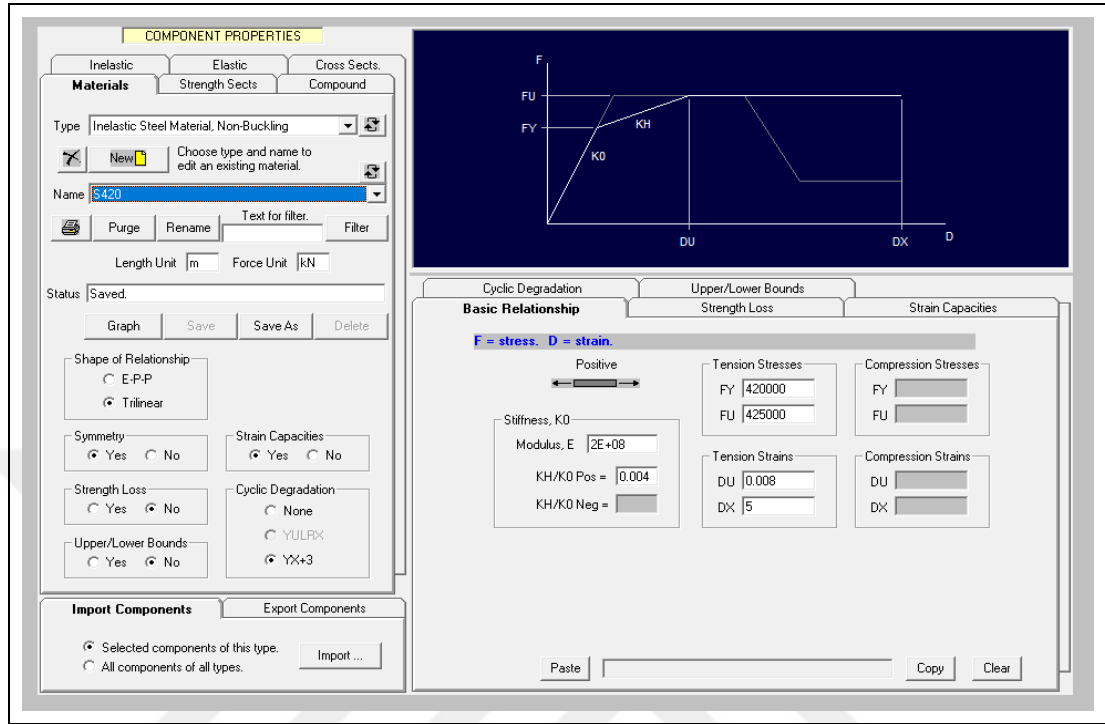


Şekil 4.16 : Zemin kat kolonu malzeme modeline ait görsel.

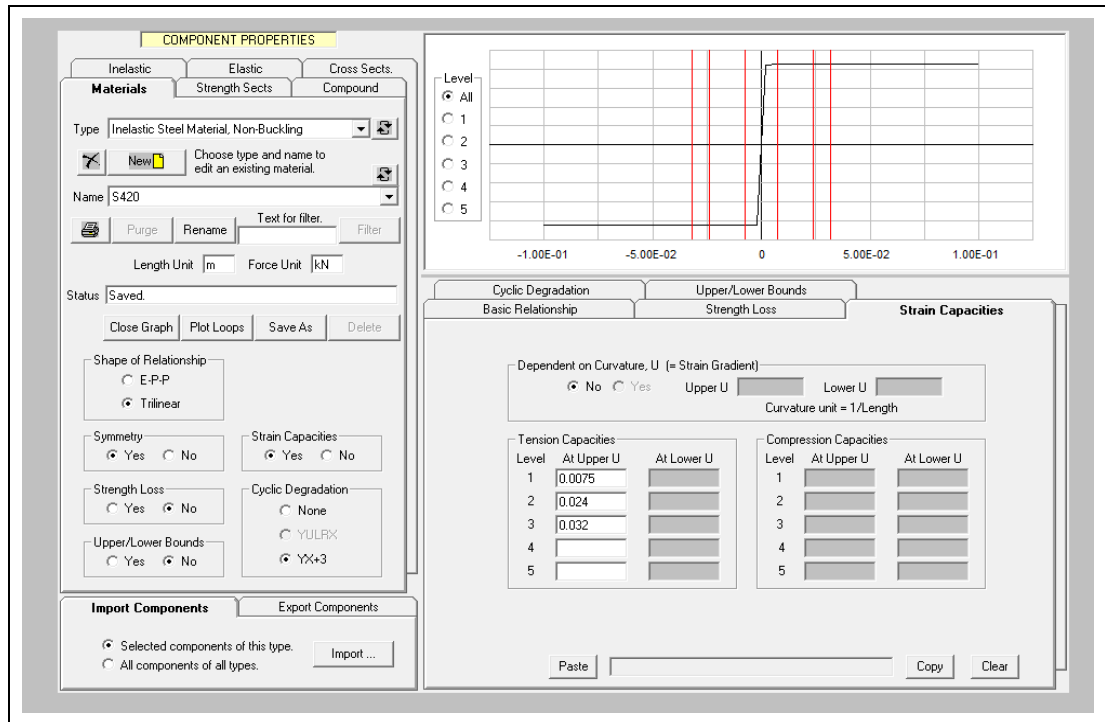


Şekil 4.17 : Zemin kat kolon kesiti şekil değiştirme limitlerine ait görsel.

Kesitlerde kullanılan donatı çeliğine ait malzeme modeli Şekil 4.18’de ve donatıya ait şekil değiştirme limit değerleri Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.18 :S420 donatı sınıfı malzeme modeline ait görsel.



Şekil 4.19 : S420 donatısı şekil değiştirme limitlerine ait görsel.

Yapısal modelde tanımlanan diğer malzeme modelleri Tablo 4.2’de ve şekil değiştirme sınır değerleri ise Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

Tablo 4.2 : Tanımlanan diğer malzeme modeli parametreleri (Birim: kN-m).

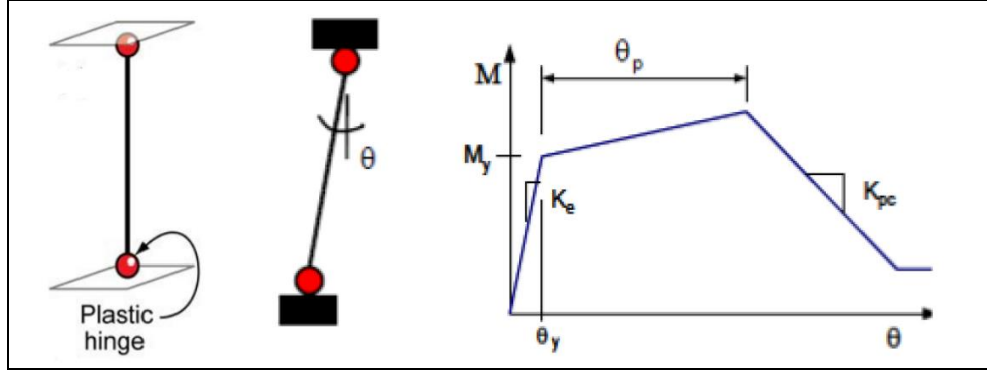
<i>Malzeme Adı</i>	<i>Elastisite M</i>	<i>F_y</i>	<i>F_u</i>	<i>D_u</i>	<i>D_L</i>	<i>D_x</i>
C13.5-CC-70/70-1NK	1.8426E+07	12000	13580	0.001770	0.00238	0.05
C13.5-CC60/60-2/3NK	1.8405E+07	12370	13550	0.001710	0.00230	0.05
C13.5-CC50/50-4/5NK	1.8608E+07	12810	13850	0.002048	0.00297	0.05
C13.5-CC50/50-6/7NK	1.8581E+07	12920	13810	0.001930	0.00267	0.05

Tablo 4.3 : Kesitlere ait şekil değiştirme limit değerleri.

<i>Malzeme Adı</i>	<i>$\epsilon_c^{(SH)}$</i>	<i>$\epsilon_c^{(KH)}$</i>	<i>$\epsilon_c^{(GO)}$</i>
C13.5-CC-70/70-1NK	0.0025	0.00391	0.00522
C13.5-CC60/60-2/3NK	0.0025	0.00356	0.00475
C13.5-CC50/50-4/5NK	0.0025	0.00485	0.00646
C13.5-CC50/50-6/7NK	0.0025	0.00485	0.00647

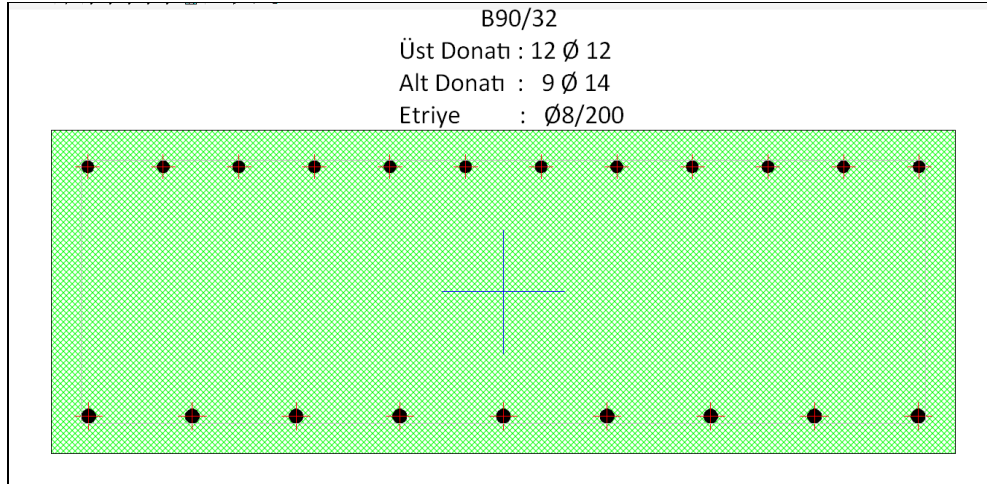
4.2.2.2.Kirişlerde Yığılı Plastik Mafsal Tanımlanması

Kirişlerdeki doğrusal olmayan davranışı ifade edebilmek için analiz modelinde elemanlarının uç bölgelerine yığılı plastik mafsallar tanımlanmıştır. Pratik mühendislik uygulamalarında yığılı plastik mafsal modeli, kiriş elemanlar için en çok tercih edilen mafsal tipidir. Yığılı plastik mafsal teorisinde toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak ifade edilen süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölge içerisine yayıldığı kabul edilir. Bu bölgelerin dışında kalan eleman uzunluğu boyunca ise sistemin doğrusal-elastik davranış sergilediği kabul edilmektedir [24]. Bu nedenle analiz modeli oluşturulurken kirişlerde plastik mafsal bölgesi TBDY-2018’in de önerdiği gibi uç bölgelerinden ilgili kesitin çalışan yüksekliğinin yarısı kadar uzaklıktaki bir noktada tanımlanmıştır. Elemanın geri kalan kısımlarında elastik davranış sergileyeceği kabul edilmiştir. Şekil 4.20’de tipik bir yığılı plastik mafsal modelinin moment dönme ile arasındaki doğrusal olmayan ilişkiye ait grafik gösterilmektedir.



Şekil 4.20 : Yığılı plastik mafsal davranış modeline ait görsel.

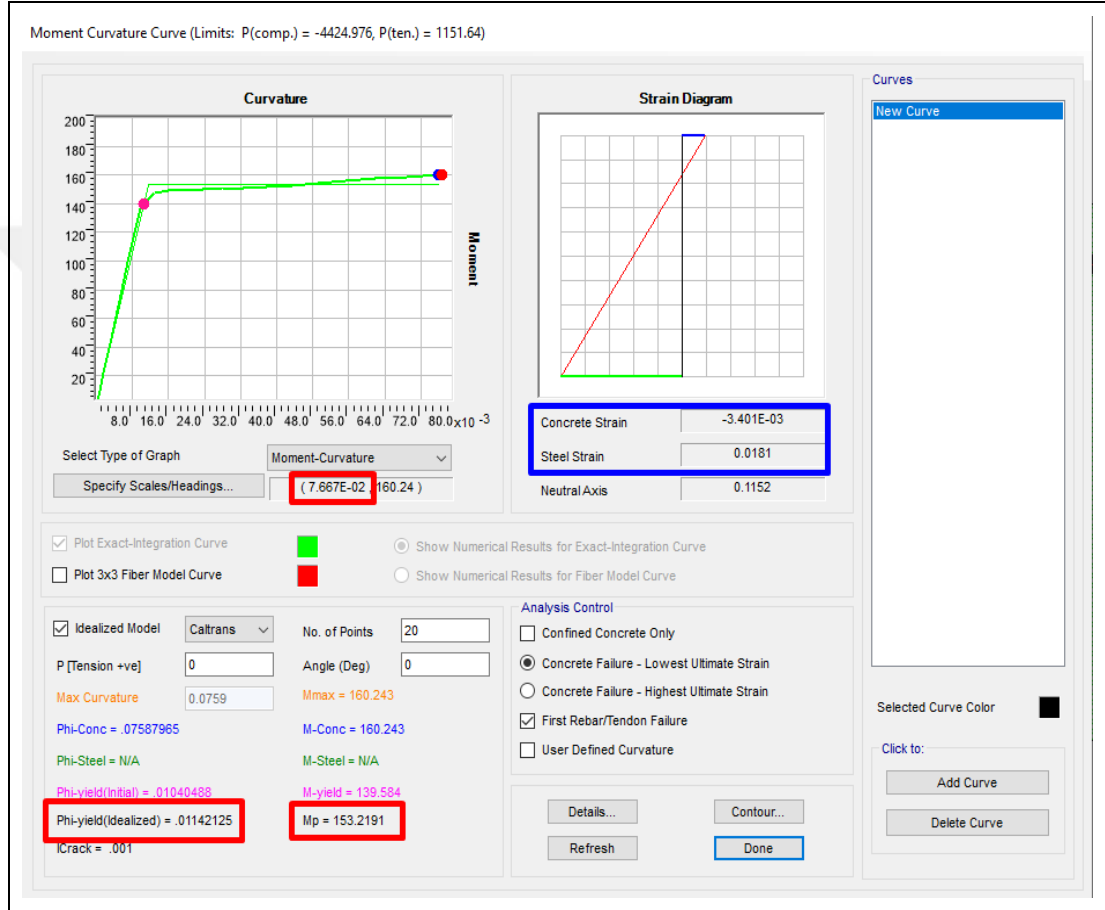
Yapısal sistemi oluşturan kirişlerin doğrusal olmayan davranış özellikleri Perform3D programında “Component Properties – Inelastic – Moment Hinge, Rotation Type” sekmeleri takip edilerek tanımlanmıştır. Bu menü altında girilen veriler, kirişin alt ve üst donatı düzenine bağlı olarak kesitin akma moment kapasitesi, akma ve kopma dönme değerleri SAP2000 programında “Section Designer” modülü kullanılarak elde edilmiştir. Kesitin SAP2000 programında tanımlanması esnasında beton ve donatı sınıfına ait malzeme modelleri TBDY 2018’e uygun olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan kiriş kesiti ve donatı düzeni Şekil 4.21’de sunulmuştur.



Şekil 4.21 : Section Designer modülünde tanımlanan kiriş kesitine ait görsel.

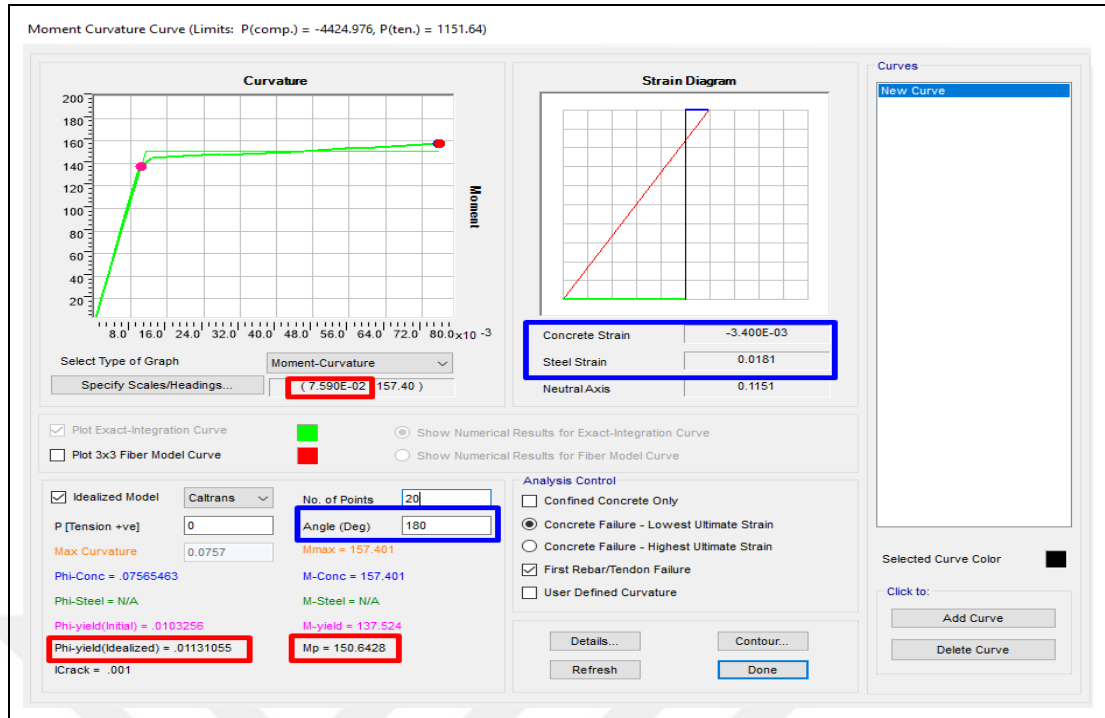
Şekil 4.22’de görüldüğü üzere, kesitte pozitif moment etkisinde oluşan akma momentini (plastik moment kapasitesi) 153.2191 kN.m olarak belirlenmiştir. İdealize edilmiş moment eğrilik grafiğinde, akma momentine ulaştığı andaki akma eğriliği ise

0.01142125 rad/m olarak tespit edilmiştir. Kopma eğriliğine ait değerin okunmasında, hangi malzemenin birim şekil değiştirme limitine önce ulaştığının belirlenmesi gerekmektedir. Şekil değiştirme limitine ilk ulaşan malzeme belirlendikten sonra o malzemeye ait malzeme birim şekil değiştirme limit değeri kesitin kopma eğrilik değeri okunmaktadır. Burada yapılan değerlendirme neticesine kesitin kopma eğriliği 0.07667 rad/m olarak belirlenmiştir.



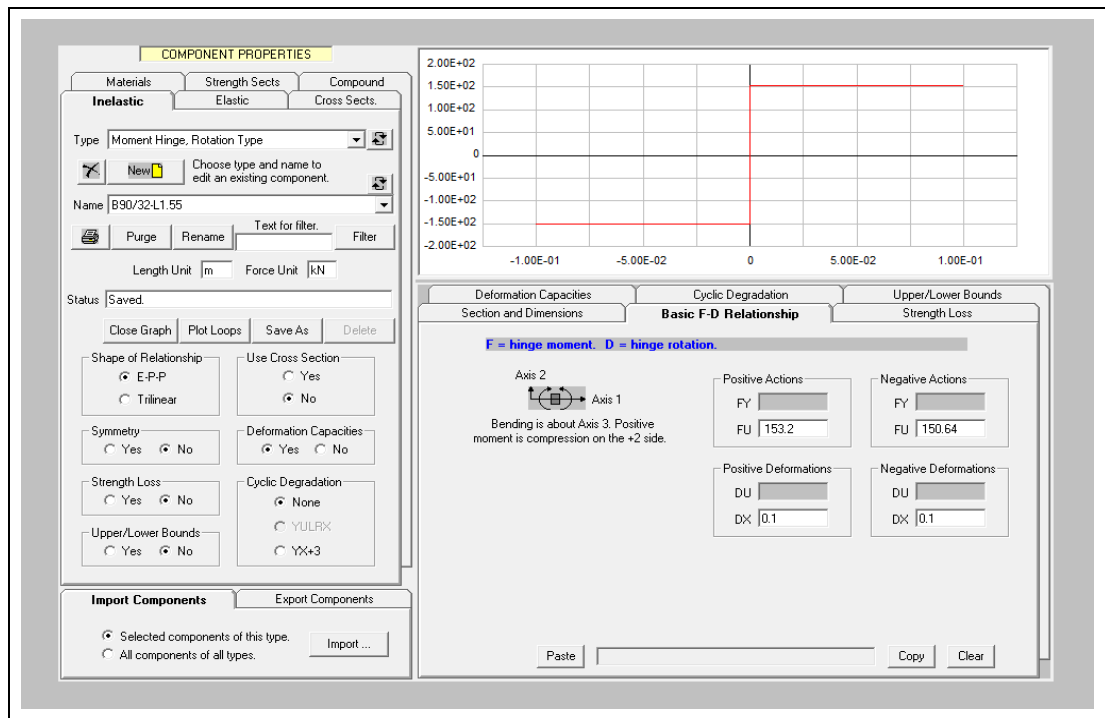
Şekil 4.22 : B90/32 kirişi alt donatı düzenine ait moment eğrilik ilişkisi görseli.

Şekil 4.23'te görüldüğü üzere, kesitte negatif moment etkisinde oluşan akma momentini 150.6428 kN.m olarak belirlenmiştir. İdealize edilmiş moment eğrilik grafiğinde akma momentine ulaştığı andaki akma eğriliği ise 0.01131055 rad/m olarak, kopma eğriliği ise 0.07590 rad/m olarak tespit edilmiştir.



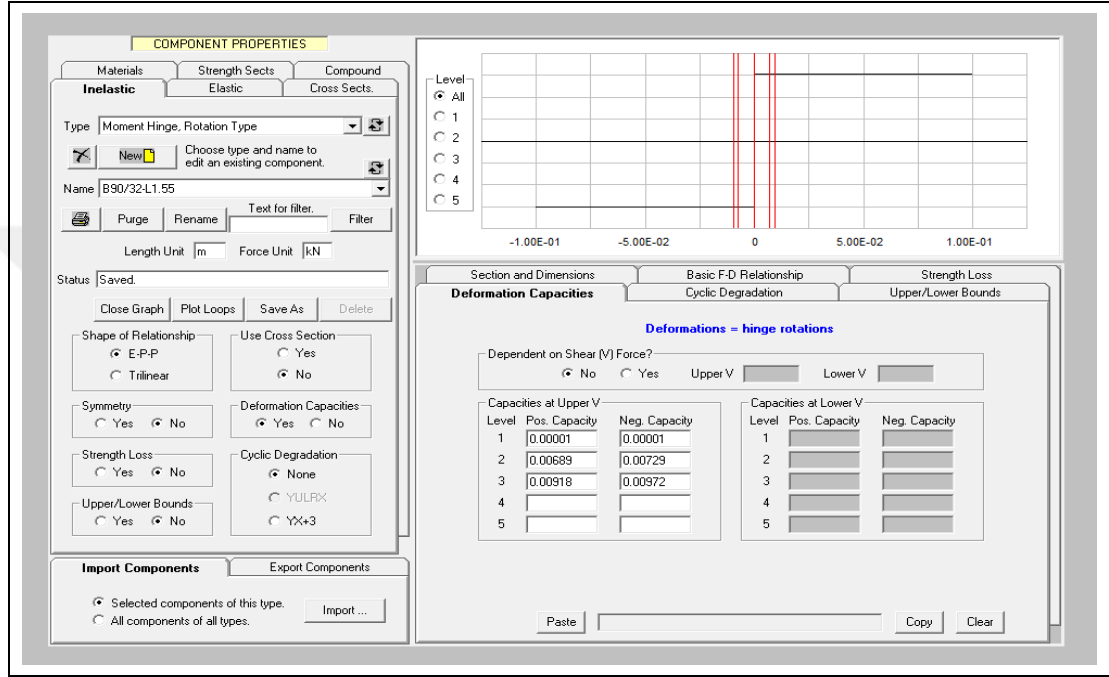
Şekil 4.23 : B90/32 kirişi üst donatı düzenine ait moment eğrilik ilişkisi görseli.

Şekil 4.24'te görüldüğü üzere kesite ait M3 mafsalı elde edilen akma moment değerleri kullanılarak Perform3D programına tanımlanmıştır.



Şekil 4.24 : B90/32 kirişine ait yığılı plastik mafsallı modelinin tanımlanması.

Elemanların kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi için TBDY 2018 Denklem 5.6'da ve bu tezin üçüncü bölümünde anlatıldığı üzere eleman kesme açıklığı, plastik mafsalsal boyu, donatı çapı, akma ve kopma eğrilikleri dikkate alınarak plastik dönme sınırları hesaplanmıştır. Şekil 4.25'te ifade edildiği gibi hem pozitif hem de negatif moment etkisinde kesitin plastik dönme sınırları Perform3D programına tanımlanmıştır.



Şekil 4.25 : B90/32 kirişine ait plastik dönme limitlerinin tanımlanması.

Yapısal sistemi oluşturan farklı kesme açıklığına sahip bütün elemanların pozitif moment etkisindeki (alt donatı düzenine göre) akma momenti, akma eğriliği, kopma eğriliği ve plastik dönme sınırları Tablo 4.4'te sunulmuştur.

Tablo 4.4 : Pozitif moment etkisindeki kirişlere ait yığılı plastik mafsalsal değerleri.

Kesit Adı	d	b_w	F_u	L_p	θ_{alt}	$\Phi_{y,alt}$	$\Phi_{u,alt}$	L_s	$\theta_{p,alt}^{(SH)}$	$\theta_{p,alt}^{(KH)}$	$\theta_{p,alt}^{(G\delta)}$
B90/32-L 5.55	320	900	153.20	0.16	12	0.0114	0.07538	5.55	0.0000	0.00708	0.00944
B90/32-L 5.80	320	900	153.20	0.16	12	0.0114	0.07538	5.80	0.0000	0.00708	0.00944
B90/32-L 6.80	320	900	153.20	0.16	12	0.0114	0.07538	6.80	0.0000	0.00709	0.00946
B90/32-L 8.60	320	900	153.20	0.16	12	0.0114	0.07538	8.60	0.0000	0.00710	0.00947
B50/60-L 1.55	600	500	310.13	0.30	12	0.0059	0.05500	1.55	0.0000	0.00813	0.01085
B50/60-L 5.55	600	500	310.13	0.30	12	0.0059	0.05500	5.55	0.0000	0.00865	0.01153
B50/60-L 5.80	600	500	310.13	0.30	12	0.0059	0.05500	5.80	0.0000	0.00866	0.01154
B50/60-L 6.80	600	500	310.13	0.30	12	0.0059	0.05500	6.80	0.0000	0.00868	0.01158
B50/60-L 8.60	600	500	310.13	0.30	12	0.0059	0.05500	8.60	0.0000	0.00872	0.01162

Yapısal sistemi oluşturan farklı kesme açıklığına sahip bütün elemanların negatif moment etkisindeki (üst donatı düzenine göre) akma momenti, akma eğriliği, kopma eğriliği ve plastik dönme sınırları Tablo 4.5’te ifade edilmiştir.

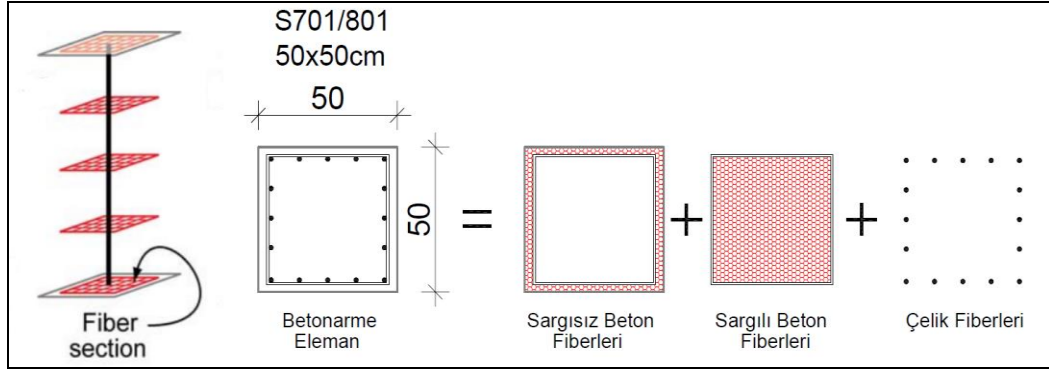
Tablo 4.5 : Negatif moment etkisindeki kirişlere ait yığılı plastik mafsalsal değerleri.

<i>Kesit Adı</i>	<i>d</i>	<i>b_w</i>	<i>F_u</i>	<i>L_p</i>	<i>Ö_{üst}</i>	<i>Φ_{y,üst}</i>	<i>Φ_{u,üst}</i>	<i>L_s</i>	<i>Θ_{p,üst}^(SH)</i>	<i>Θ_{p,üst}^(KH)</i>	<i>Θ_{p,üst}^(GÖ)</i>
B90/32-L 5.55	320	900	150.64	0.16	14	0.01131	0.0759	5.55	0.0000	0.00748	0.00998
B90/32-L 5.80	320	900	150.64	0.16	14	0.01131	0.0759	5.80	0.0000	0.00749	0.00998
B90/32-L 6.80	320	900	150.64	0.16	14	0.01131	0.0759	6.80	0.0000	0.00750	0.01000
B90/32-L 8.60	320	900	150.64	0.16	14	0.01131	0.0759	8.60	0.0000	0.00751	0.01001
B50/60-L 1.55	600	500	289.56	0.30	14	0.00611	0.0590	1.55	0.0000	0.00903	0.01204
B50/60-L 5.55	600	500	289.56	0.30	14	0.00611	0.0590	5.55	0.0000	0.00958	0.01278
B50/60-L 5.80	600	500	289.56	0.30	14	0.00611	0.0590	5.80	0.0000	0.00959	0.01279
B50/60-L 6.80	600	500	289.56	0.30	14	0.00611	0.0590	6.80	0.0000	0.00962	0.01283
B50/60-L 8.60	600	500	289.56	0.30	14	0.00611	0.0590	8.60	0.0000	0.00966	0.01288

Yapısal sistem elemanlarını tanımlarken dış çevre kirişlerine ve konsol kirişlere deprem etkisi altında ilave bir yük akışı oluşması beklenmemektedir. Bunun yanı sıra yapısal modeli daha yalın oluşturabilmek amacıyla 25×50 cm ve 25×60 cm boyutlu kirişlerde plastik mafsalsal tanımlanmasına gerek görülmemiştir.

4.2.2.3. Kolonlarda Yayılı Plastik Mafsalsal Tanımlanması

Betonarme elemanların doğrusal olmayan davranışı hem betonarme hem de çelik yapılarda kullanılabilen yayılı plastik mafsalsal modeliyle daha doğru bir şekilde belirlenmektedir [25]. Fiber eleman modelinde yapısal sistemi oluşturan eleman kesitleri çekirdek betonu, kabuk betonu ve donatı olmak üzere üç tipte boyuna fiber parçacıklarına bölünerek modellenmektedir. Yapı kesitlerinin alt fiber kesitlerine ayrılmış görseli Şekil 4.26’da ifade edilmiştir. Kabuk betonunda fiberlere ait gerilme-şekil değiştirme davranışını ifade edebilmek için sargısız betona ait malzeme davranış modeli kullanılmaktadır. Çekirdek betonunun gerilme-şekil değiştirme davranışı ise kesite ait donatı düzenine bağlı olarak oluşturulan sargılı beton malzeme modeline göre tanımlanmaktadır. Kesitte bulunan donatı fiberlerinin gerilme-şekil değiştirme davranışı ise tipik donatı çeliğinin malzeme modeli kullanılarak tanımlanmaktadır.



Şekil 4.26 : Yapı kesitlerinin alt fiberlere ayrılmasını ifade eden görsel.

Yapısal sistemi oluşturan kolonların doğrusal olmayan davranış özellikleri Perform3D programında “Component Properties – Cross Section – Column, Inelastic Fiber Section” sekmeleri takip edilerek tanımlanmıştır. Burada örnek olarak değerlendirme konusu olan otopark yapısını son iki katındaki 50x50 cm boyutlu kolona ait fiber hücrelerinin tanımlanması Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Kesitin alt birimlere bölünmesi ile oluşan her fibere ait koordinat değerleri, fiber alanı ve malzeme modeli sırasıyla tanımlanarak yapısal eleman kesiti oluşturulmuştur.

The screenshot shows the 'COMPONENT PROPERTIES' dialog box for a column section. The 'Cross Sects.' tab is active, showing the 'Type' as 'Column, Inelastic Fiber Section'. The 'Name' is 'C50/50-FBR-6/7NK'. The 'Status' is 'Saved'. The 'Section Properties' section shows the 'Area' as 0.247 and the 'Inertia about Axis 3' as 0.004639. The 'Fiber Areas and Coordinates' section shows the 'FIXED SIZE' option. The 'Structural Fibers' section shows the 'Material Type' as 'Inelastic Steel Material, Non-Buckling' and the 'Material Name' as 'S420'. The 'Structural Fiber List' table is shown below.

No.	Type	Material Name	Area	Axis 2 Coord	Axis 3 Coord
1	Steel	S420	0.0002	0.212	0.212
2	Steel	S420	0.0002	-0.212	0.212
3	Steel	S420	0.0002	-0.212	-0.212
4	Steel	S420	0.0002	0.212	-0.212
5	Steel	S420	0.0002	0.106	-0.212
6	Steel	S420	0.0002	0	-0.212
7	Steel	S420	0.0002	-0.106	-0.212
8	Steel	S420	0.0002	-0.212	0.106
9	Steel	S420	0.0002	-0.212	0
10	Steel	S420	0.0002	-0.212	-0.106
11	Steel	S420	0.0002	-0.106	-0.212
12	Steel	S420	0.0002	0	-0.212
13	Steel	S420	0.0002	0.106	-0.212
14	Steel	S420	0.0002	0.212	-0.106
15	Steel	S420	0.0002	0.212	0
16	Steel	S420	0.0002	0.212	0.106
17	Concrete	C13.5-CC50/50-6/7NK	0.0195	-0.1535	0.1535
18	Concrete	C13.5-UC	0.0077	-0.1992	0.1992
19	Concrete	C13.5-CC50/50-6/7NK	0.0234	0	0.1537
20	Concrete	C13.5-UC	0.0042	0	0.2375

Şekil 4.27 : C50/50-FBR-6/7NK kolonuna ait fiber tanımlaması-1.

4.2.2.4. Yapısal Elemanların Tanımlanması

Yapısal analiz modelinde ilgili programa malzeme ve plastik mafsallık özellikleri tanımlandıktan sonra yapılması gereken modelleme işlemi elastik eleman kesitlerinin tanımlanmasıdır. Bu işlemi tamamlayabilmek için öncelikle elemanları tiplerine ve temiz açıklıklarına göre gruplayıp etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi gereklidir. Gruplanan elemanlara ait etkin kesit rijitlikleri TBDY-2018 Denklem 5.2'ye ve bu tezin üçüncü bölümünde bahsedilen formülasyonlara göre belirlenmiştir. Bu değerler hesaplanırken ilgili kesite ait akma moment değeri ve akma dönme değeri SAP2000 programının “Section Designer” modülü kullanılarak gerçekleştirilen kesit analizleri neticesinde belirlenmiştir. Yapısal sistemi oluşturan tüm eleman tiplerine ait etkin kesit rijitlik değerleri Tablo 4.6’da sunulmuştur.

Tablo 4.6 : Yapısal sistemi oluşturan tüm elemanlara ait etkin kesit rijitlik değerleri.

Kesit Adı	b_w mm	d mm	Φ_y m^{-1}	L_s m	η -	h m	d_b mm	f_c Mpa	f_{ce} Mpa	M_y kNm	θ_y -	$(EI)_e$ -	$(EI)_c$ -	k -
B25/50 L1.55	250	500	0.0070	1.55	1	0.50	12	420	13.5	88.4	0.0070	6504	47842	0.14
B25/50 L5.55	250	500	0.0070	5.55	1	0.50	12	420	13.5	88.4	0.0158	10356	47842	0.22
B25/50 L5.80	250	500	0.0070	5.80	1	0.50	12	420	13.5	88.4	0.0164	10444	47842	0.22
B25/50 L6.80	250	500	0.0070	6.80	1	0.50	12	420	13.5	88.4	0.0187	10739	47842	0.22
B25/50 L8.60	250	500	0.0070	8.60	1	0.50	12	420	13.5	88.4	0.0228	11112	47842	0.23
B25/60 L1.55	250	600	0.0060	1.55	1	0.60	12	420	13.5	145.1	0.0065	11590	82670	0.14
B25/60 L5.55	250	600	0.0060	5.55	1	0.60	12	420	13.5	145.1	0.0138	19481	82670	0.24
B25/60 L5.80	250	600	0.0060	5.80	1	0.60	12	420	13.5	145.1	0.0143	19665	82670	0.24
B25/60 L8.35	250	600	0.0060	8.35	1	0.60	12	420	13.5	145.1	0.0193	20975	82670	0.25
B25/60 L8.60	250	600	0.0060	8.60	1	0.60	12	420	13.5	145.1	0.0197	21065	82670	0.25
B90/32 L1.55	900	320	0.0114	1.55	1	0.32	12	420	13.5	153.2	0.0098	8058	45149	0.18
B90/32 L5.55	900	320	0.0114	5.55	1	0.32	12	420	13.5	153.2	0.0247	11468	45149	0.25
B90/32 L5.80	900	320	0.0114	5.80	1	0.32	12	420	13.5	153.2	0.0257	11543	45149	0.26
B90/32 L6.80	900	320	0.0114	6.80	1	0.32	12	420	13.5	153.2	0.0295	11792	45149	0.26
B90/32 L8.60	900	320	0.0114	8.60	1	0.32	12	420	13.5	153.2	0.0363	12106	45149	0.27
B50/60 L1.55	500	600	0.0074	1.55	1	0.60	12	420	13.5	310.1	0.0074	21565	165341	0.13
B50/60-L5.55	500	600	0.0074	5.55	1	0.60	12	420	13.5	310.1	0.0166	34552	165341	0.21
B50/60-L5.80	500	600	0.0074	5.80	1	0.60	12	420	13.5	310.1	0.0172	34845	165341	0.21
B50/60-L6.80	500	600	0.0074	6.80	1	0.60	12	420	13.5	310.1	0.0196	35822	165341	0.22
B50/60-L8.60	500	600	0.0074	8.60	1	0.60	12	420	13.5	310.1	0.0240	37054	165341	0.22
B50/60-New	500	600	0.0059	5.55	1	0.60	16	420	35	327.8	0.0134	45134	266233	0.17

Yapısal sistemi oluşturan elamanlara ait etkin kesit rijitlikleri belirlendikten sonra tüm kiriş tiplerine ait elastik kesitler Perform3D programında “Component Properties – Cross Sections – Beam, Reinforced Concrete Section” sekmeleri, kolonlarda ise “Component Properties – Cross Sections – Column, Reinforced Concrete Section” sekmeleri altından gerçekleştirilir. Bu menüler içerisinde kesit geometrilerine ve malzeme özelliklerine ait bilgiler tanımlanarak elastik kesitler tanımlanır. Girilen bilgiler neticesinde program kesit özelliklerine ait parametreleri otomatik olarak hesaplamaktadır. İlgili kesitlere ait kesit rijitlikleri ise kirişlerde “Bending Inertia about Axis 3” parametresinin, kolonlarda ise “Bending Inertia about Axis 2-3” parametrelerinin etkin kesit rijitlik değeri ile azaltılmasıyla tamamlanır. Bu analiz modelinde kolonların doğrusal olmayan davranışı fiber plastik mafsalsal modeli ile ifade edildiği için etkin kesit rijitliklerinin hesaplanmasına ve elastik kesitlere tanımlanmasına gerek yoktur. Kirişlere ait elastik kesit tanımlanması Şekil 4.30’da, kolonlara ait elastik kesit tanımlanması ise Şekil 4.31’de gösterilmiştir.

COMPONENT PROPERTIES

Materials | Strength Sects | Compound
Inelastic | Elastic | **Cross Sects.**

Type: Beam, Reinforced Concrete Section

New | Choose type and name to edit an existing section.

Name: B90X32-KONSOL Ls1.55

Purge | Rename | Text for filter. | Filter

Length Unit: m | Force Unit: kN

Status: Saved.

Check | Save | Save As | Delete

Symmetry: ☒ Yes ☐ No

Import Components | Export Components

☒ Selected components of this type. ☐ All components of all types. Import ...

Dimensions and Stiffness | Inelastic Strength | Elastic Strength

Shape and Dimensions

Section Shape: Rectangle

B: 0.9 | D: 0.32

Axis 2
Axis 3

To calculate the section properties for the above dimensions, press this button. If you wish, you can edit the properties after they have been calculated. Calculate

Section Stiffness

Axial Area: 0.288 | Torsional Inertia: 7.631323E-0

Shear Area along Axis 2: 0.24 | Bending Inertia about Axis 2: 0.01944

Shear Area along Axis 3: 0.24 | **Bending Inertia about Axis 3: 0.000051**

Shear area = 0 means no shear deformation.

Material Stiffness

Young's Modulus: 1.8371E+07 | Poisson's Ratio: 0.2 | Shear Modulus: 7654600

Şekil 4.30 : Kirişlere ait elastik kesit tanımlanmasını ifade eden görsel.

COMPONENT PROPERTIES

Materials Inelastic Elastic **Cross Sects.**

Type: Column, Reinforced Concrete Section

New Choose type and name to edit an existing section.

Name: C50X50 (16Q16-6/7NK)

Purge Rename Text for filter. Filter

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved

Check Save Save As Delete

Symmetry: Yes No

Import Components Export Components

Selected components of this type. Import ...

All components of all types.

Stiffness, Dimensions Inelastic Strength Elastic Strength

Shape and Dimensions

Section Shape: Rectangle

B: 0.5 D: 0.5

Axis 2 Axis 3

To calculate the section properties for the above dimensions, press this button. If you wish, you can edit the properties after they have been calculated. Calculate

Section Properties

Axial Area: 0.25 Torsional Inertia: 0.0094937

Shear Area along Axis 2: 0.20833 Bending Inertia about Axis 2: 0.0052083

Shear Area along Axis 3: 0.20833 Bending Inertia about Axis 3: 0.0052083

Shear area = 0 means no shear deformation.

Material Stiffness

Young's Modulus: 1.8371E+07 Poisson's Ratio: 0.2 Shear Modulus: 7654600

Şekil 4.31 : Kolonlara ait elastik kesit tanımlamasını ifade eden görsel.

Programa tanımlanan elastik kesitlerin, eleman uçlarından plastik mafsal uzunluğu kadar uzaktaki konumlarda kesite ait plastik mafsallarla birleştirilip ilgili yapı elemanına atanmasına ait görseller Şekil 4.32’de ve Şekil 4.33’de sunulmuştur.

COMPONENT PROPERTIES

Inelastic Elastic Cross Sects. **Compound**

Materials Strength Sects.

Type: Frame Member Compound Component

New Choose type and name to edit an existing component.

Name: B90X32-KONSOL Ls1.55

Purge Rename Text for filter. Filter

Length Unit: m Force Unit: kN

Status: Saved

Check Save Save As Delete

Import Components Export Components

Selected components of this type. Import ...

All components of all types.

Basic Components Strength Sections Self Weight

COMPONENT TO BE ADDED OR CHANGED

Component Type: Moment Hinge, Rotation Type

Component Name: B90/32-L1.55

Text for filter: Filter

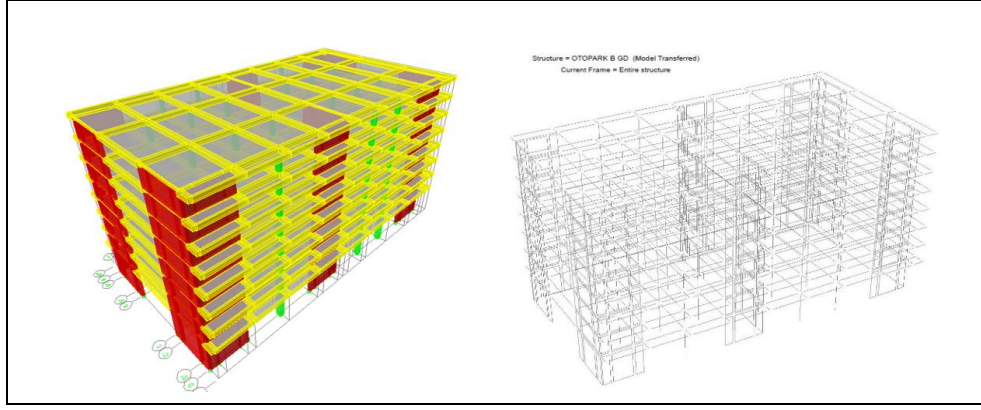
Length Type: This component always has zero length Length Value: 0

Add Insert Replace Delete

COMPONENT LIST (MAX. 12) Click to highlight. Double click to select. Show Properties

No	Component Type	Component Name	Length	Propn
1	Beam, Reinforced Concrete Section	B90X32-KONSOL Ls1.55	0.1	0.1
2	Moment Hinge, Rotation Type	B90/32-L1.55	0	0.1
3	Beam, Reinforced Concrete Section	B90X32-KONSOL Ls1.55	0.8	0.8
4	Moment Hinge, Rotation Type	B90/32-L1.55	0	0.1
5	Beam, Reinforced Concrete Section	B90X32-KONSOL Ls1.55	0.1	0.1

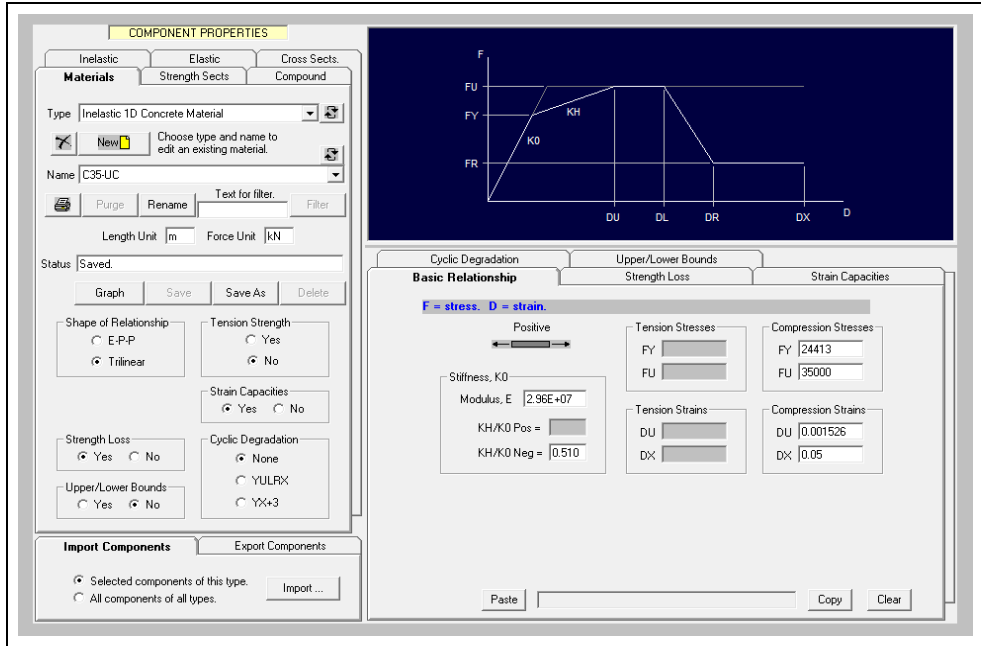
Şekil 4.32 : Analiz modelinde kirişlerin tanımlanmasını ifade eden görsel.



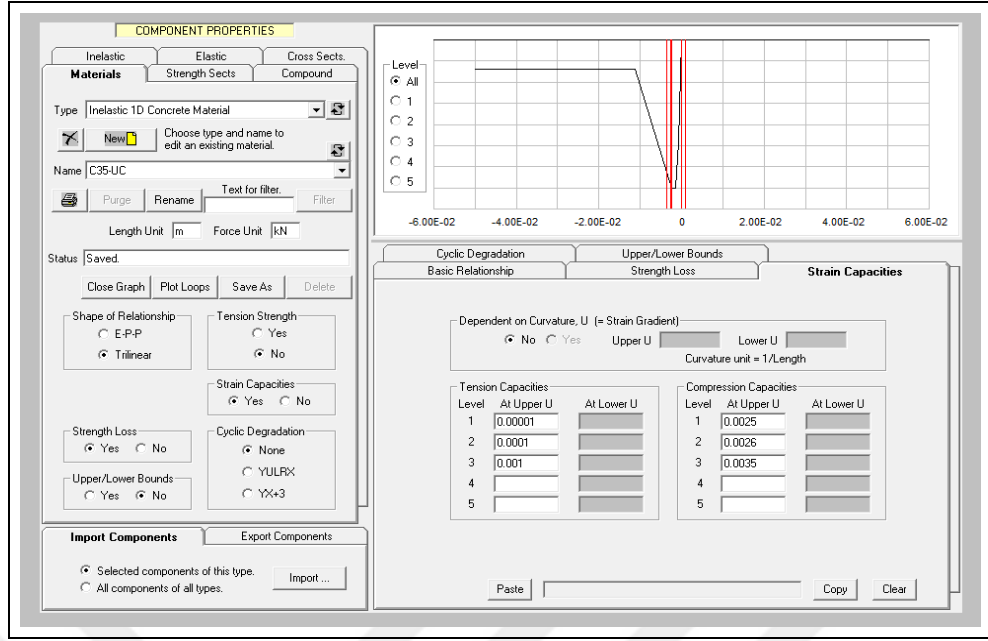
Şekil 4.34 : Güçlendirilmiş yapı modeline ait görseller.

4.2.3.1. Malzeme Modellerinin Tanımlanması

Mevcut yapısal sisteme güçlendirme amacıyla eklenen elemanlarda 35 MPa basınç dayanımına sahip beton kullanılması uygun görülmüştür. Öngörülen beton malzeme sınıfı özellikleri TBDY 2018 Ek 5.A'da ve bu tezin üçüncü bölümü içerisinde anlatılan matematiksel modeller kullanılarak Perform3D programına tanımlanmıştır. Sisteme eklenen betonarme perdelerin gövde bölgesinde sargısız beton özellikleri dikkate alınmıştır. Sargısız betona ait malzeme modeli Şekil 4.35'te ve şekil değiştirme limitleri Şekil 4.36'da gösterilmiştir.

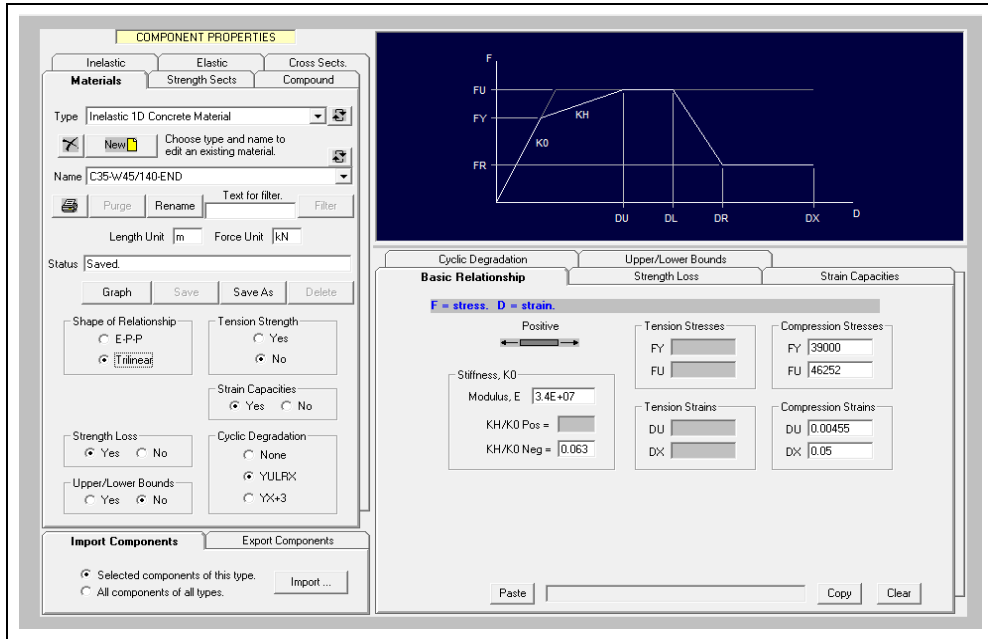


Şekil 4.35 : Sargısız beton (35 MPa) malzeme modeline ait görsel.

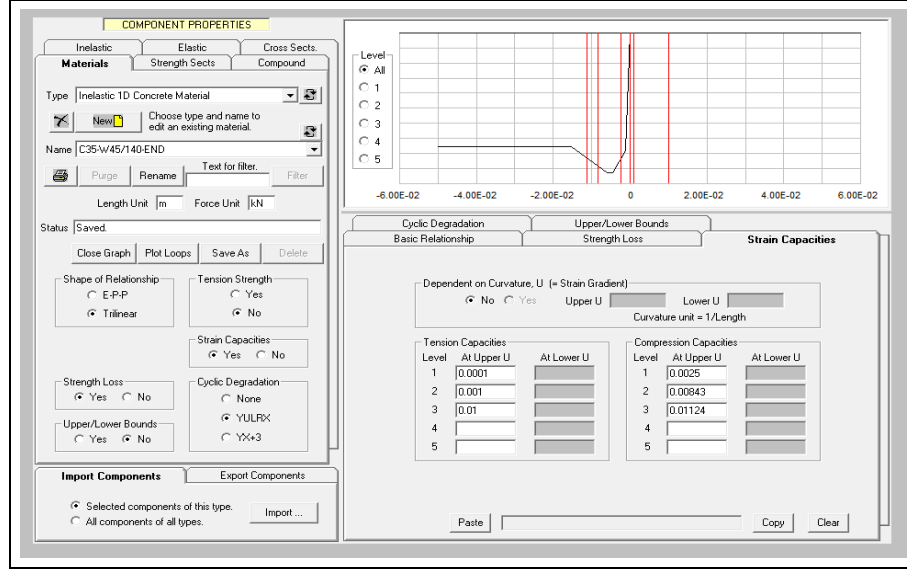


Şekil 4.36 : Sargısız beton (35 MPa) şekil değiştirme limitlerine ait görsel.

Perde başlık bölgelerinde ise boyutlara, donatı düzenine ve sargı özelliklerine bağlı olarak basınç dayanımında meydana gelen artış dikkate alınarak oluşturulan malzeme modelleri kullanılmıştır. Donatı düzenine bağlı olarak oluşturulan sargılı beton malzeme özellikleri Şekil 4.37’de ve söz konusu perde başlık bölgesine ait şekil değiştirme sınır değerleri Şekil 4.38’de ifade edilmektedir.



Şekil 4.37 : Analiz modelinde kolonların tanımlanmasını ifade eden görsel.



Şekil 4.38 : Analiz modelinde kolonların tanımlanmasını ifade eden görsel.

Yapısal sisteme eklenen perdelerin başlık bölgesi boyutlarına ve donatı düzenine bağlı olarak tanımlanan diğer malzeme modelleri Tablo 4.7’de ve şekil değiştirme sınır değerleri ise Tablo 4.8’de sunulmuştur.

Tablo 4.7 : Tanımlanan diğer malzeme modeli parametreleri (Birim: kN-m).

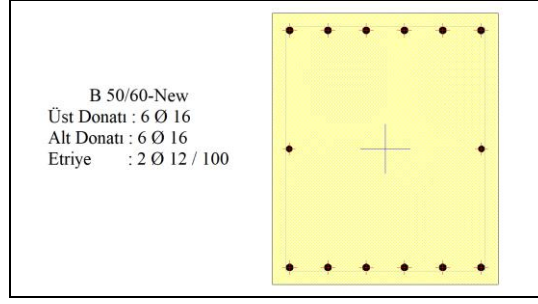
Malzeme Adı	Elastisite M.	F_y	F_u	D_u	D_L	D_x
C35-W45/140-END	3.40E+07	39000	46252	0.004550	0.006052	0.05
C35-W60/120-END	3.36E+07	37780	45082	0.004372	0.006077	0.05

Tablo 4.8 : Kesitlere ait şekil değiştirme limit değerleri.

Malzeme Adı	$\epsilon_c^{(SH)}$	$\epsilon_c^{(KH)}$	$\epsilon_c^{(GO)}$
C35-W45/140-END	0.0025	0.00843	0.01124
C35-W60/120-END	0.0025	0.00859	0.01146

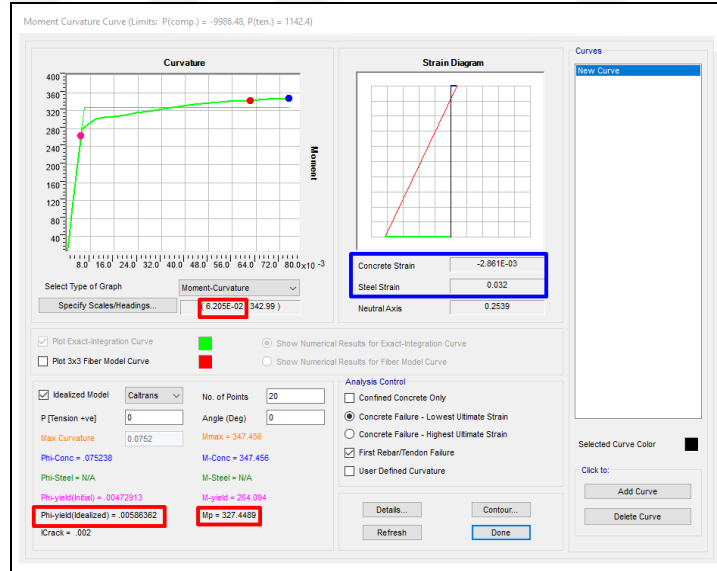
4.2.3.2. Kirişlerinde Yığılı Plastik Mafsal Tanımlanması

Güçlendirme amacıyla yapısal sisteme eklenen yeni kirişlerdeki doğrusal olmayan davranışı ifade edebilmek için analiz modelinde elemanlarının uç bölgelerine mevcut kirişlerde olduğu gibi yığılı plastik mafsal tanımlanmıştır. SAP2000 programının “Section Designer” modülünde tanımlanan yeni kiriş kesitine ve donatı düzenine ait görsel Şekil 4.39’da sunulmuştur.



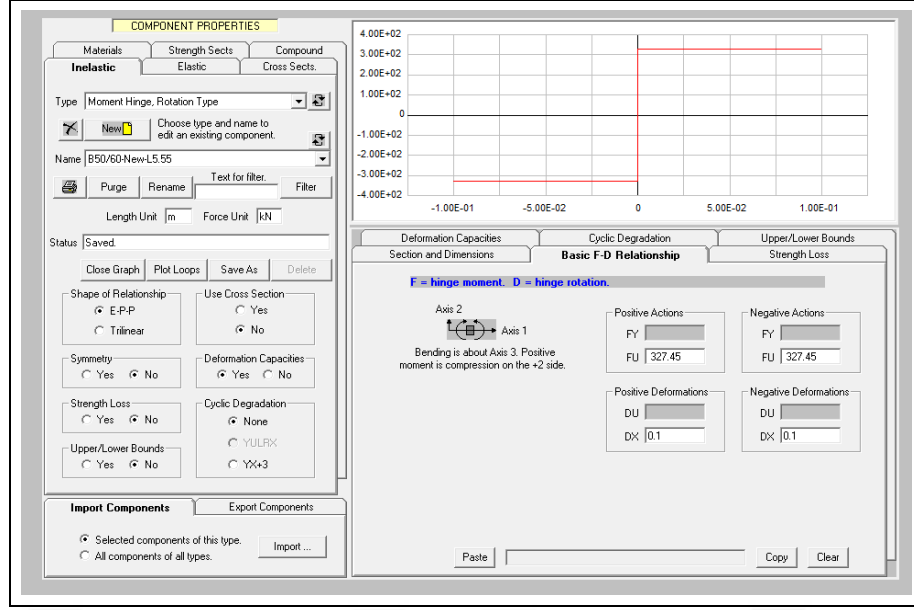
Şekil 4.39 : Section Designer modülünde tanımlanan yeni kiriş kesitine ait görsel.

Şekil 4.40'ta ifade edildiği üzere, belirlenen donatı düzenine göre kesitte pozitif ve negatif moment etkisinde oluşan akma moment (plastik moment kapasitesi) 327.4489 kN.m olarak belirlenmiştir. İdealize edilmiş moment eğrilik grafiğinde, akma momentine ulaştığı andaki akma eğriliği ise 0.00586362 rad/m olarak tespit edilmiştir. İlgili kesitte beton lifleri ezilme birim şekil değiştirme limitine ulaşmadan kesitteki donatılar kopma birim şekil değiştirme limitine ulaştığı için bu limit değeri altındaki kesit dönme değerinin hesaplamalarda dikkate alınması gerekmektedir. Bu nedenle kesitin kopma eğriliği 0.06205 rad/m olarak belirlenmiştir.



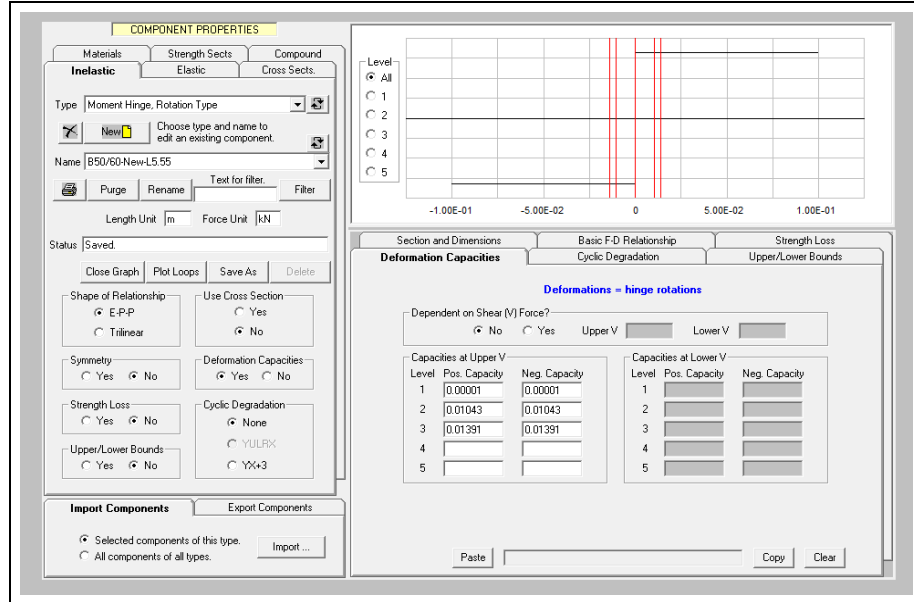
Şekil 4.40 : B50/60-New kiriş donatı düzenine ait moment eğrilik ilişkisi görseli.

Güçlendirme kirişine ait kesit analizleri neticesinde M3 plastik mafsallının Perform3D programına tanımlanmasını ifade eden görsel Şekil 4.41'de sunulmuştur.



Şekil 4.41 : B50/60-New kirişine ait yığılı plastik mafsals modelinin tanımlanması.

Güçlendirme kirişine ait kesit hasar bölgelerinin belirlenmesi için TBDY-2018 Denklem 5.6'da ve bu tezin üçüncü bölümünde anlatıldığı üzere eleman geometrik özellikleri ve kesit analizi sonuçları dikkate alınarak plastik dönme sınırları hesaplanmıştır. Belirlenen plastik dönme sınırlarının Perform3D programına tanımlanmasını ifade eden görsel Şekil 4.42'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.42 : B50/60-New kirişine ait plastik dönme limitlerinin tanımlanması.

Yapısal sisteme güçlendirme çalışmaları kapsamında eklenen B50/60-New kirişinin pozitif ve negatif moment etkisindeki akma momenti, akma eğriliği, kopma eğriliği ve plastik dönme sınırları Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

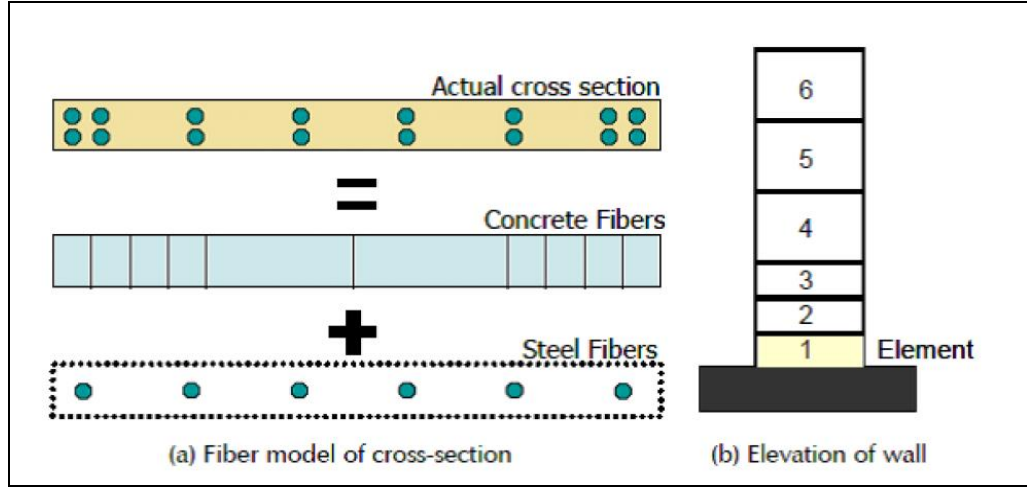
Tablo 4.9 : B50/60-New kirişine ait yığılı plastik mafsalsal değerleri.

<i>Kesit Adı</i>	<i>d</i>	<i>b_w</i>	<i>F_u</i>	<i>L_p</i>	<i>Ø</i>	<i>Φ_y</i>	<i>Φ_u</i>	<i>L_s</i>	<i>Θ_p^(SH)</i>	<i>Θ_p^(KH)</i>	<i>Θ_p^(GÖ)</i>
B50/60-L 5.55-New	600	500	327.45	0.3	16	0.0059	0.06205	5.55	0.0000	0.01043	0.01391

4.2.3.3. Perdelerde Yayılı Plastik Mafsalsal Tanımlanması

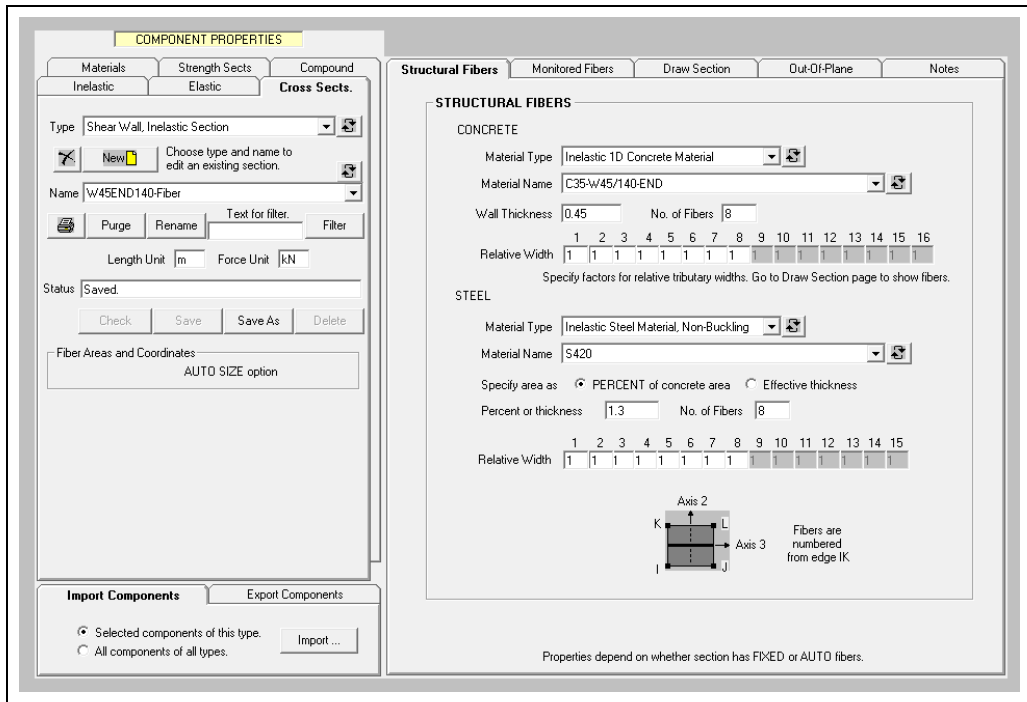
Perde elemanlar plandaki geometrilerine bağlı olarak gövde ve başlık olmak üzere alt bölümlere ayrılarak modellenmektedir. Perde gövdesinde doğrusal olmayan bir davranış beklenmemesi nedeniyle bu bölgede eleman kesiti elastik olarak tanımlanabilir. Perde başlık bölgelerinde ise deprem etkisi bağlı olarak doğrusal olmayan davranışların meydana gelmesi beklenmektedir.

Güçlendirme çalışmaları kapsamında yapısal sisteme eklenen betonarme perdelerin doğrusal olmayan davranışı başlık bölgelerinde yayılı plastik mafsalsal modeliyle belirlenmektedir. Perde başlık bölgelerinde fiber yayılı plastik mafsalsal modeli Perform3D programının özelliği olarak iki farklı yöntemle tanımlanabilmektedir. İlk tanımlama yöntemi olarak bu tezin 4.2.2.3 başlığı altında anlatıldığı gibi kesitin tamamı alt hücrelere bölünerek kesite ait malzeme tipine, koordinatlarına ve alanına bağlı olarak tanımlanabilir. İkinci yöntem olarak ise bu uzun tanımlama işlemi daha basite indirgenerek kesiti kısa yönde bölen, görece daha büyük olan liflerin merkezinde davranış özellikleri toplanarak hesaplamalar yapılabilir. Yapılan tanımlama işlemini şematik olarak ifade eden görsel Şekil 4.43’te sunulmuştur.



Şekil 4.43 : Perde elemanların fiber tanımlanmasını ifade eden görsel.

Yapısal sisteme eklenen perdelerin doğrusal olmayan davranış özellikleri Perform3D programında “Component Properties – Cross Section – Shear Wall, Inelastic Section” sekmeleri takip edilerek tanımlanmıştır. Başlık bölgesinde tanımlanacak olan kesit “*Structural Fibers*” sekmesi altında 8 adet fibere bölünmüş ve ilgili malzeme modelleri açılır menülerden kesite atanmıştır. Yapılan tanımlama işlemine ait görsel Şekil 4.44’te sunulmuştur.



Şekil 4.44 : Perde başlık bölgelerinin tanımlanmasını ifade eden görsel.

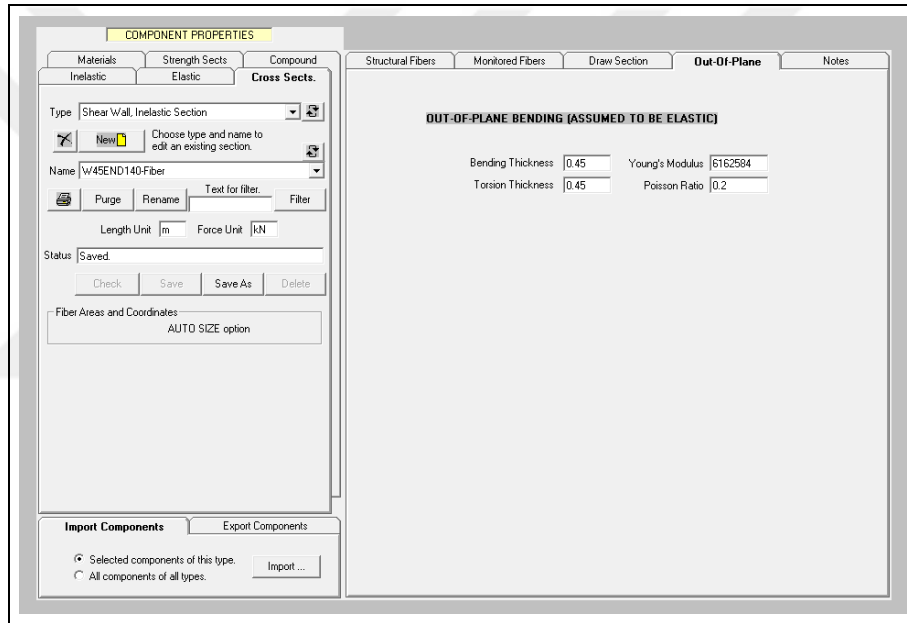
Başlık bölgelerinde tanımlanan malzeme özelliklerine bağlı olarak kesit içerisinde deprem etkileri altında takip edilmesi istenen fiber özellikleri “*Monitored Fibers*” sekmesi altında gerçekleştirilmektedir. İlgili tanımlamaya ait görsel Şekil 4.45’de sunulmuştur.

Şekil 4.45 : Başlık bölgesinde takip edilecek fiberlerin tanımlanmasına ait görsel.

Kesitin alt fiberlere bölünmesini ve donatı malzemesinin fiber kesit merkezinde topraklandığını ifade eden görsel Şekil 4.46’da sunulmuştur.

Şekil 4.46 : Kesitteki fiber yerleşimini ifade eden görsel.

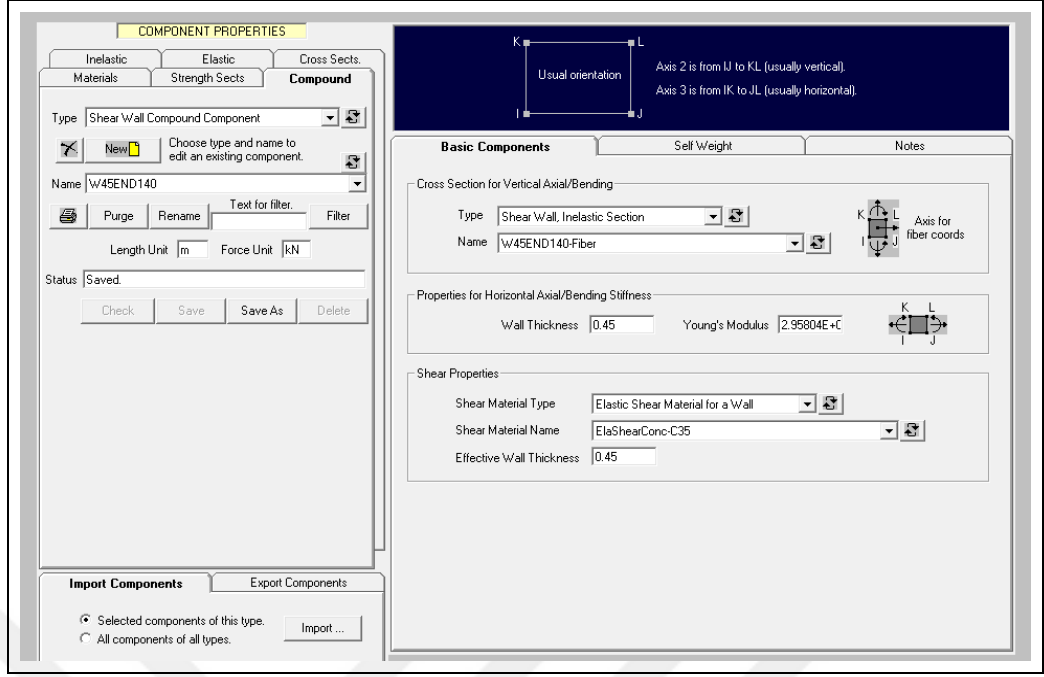
Oluşturulan betonarme perde başlığının düzlem dışı etkiler altında davranışının tanımlanmasına ait parametreler “Out of-plane” sekmesi altında yer almaktadır. Burada TBDY 2018 – 5.3.2.2 ‘de belirtildiği üzere betonarme perdelerin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında doğrusal olmayan davranışının yığılı plastik mafsal modeli ile tanımlanması durumunda, perdelerdeki kayma şekil değiştirmelerinin hesabında dikkate alınacak kayma modülünün azaltılması gerekmektedir. Bu nedenle perde elemanların düzlem dışı özellikleri ile ilgili parametrelerin tanımlanması aşamasında kayma modelü değeri TBDY 2018 – Tablo 4.2’deki katsayılar dikkate alınarak tanımlanmıştır. İlgili tanımlama menüsüne ait görsel Şekil 4.47’de sunulmuştur.



Şekil 4.47 : Düzlem dışı özelliklerin tanımlanmasını ifade eden görsel.

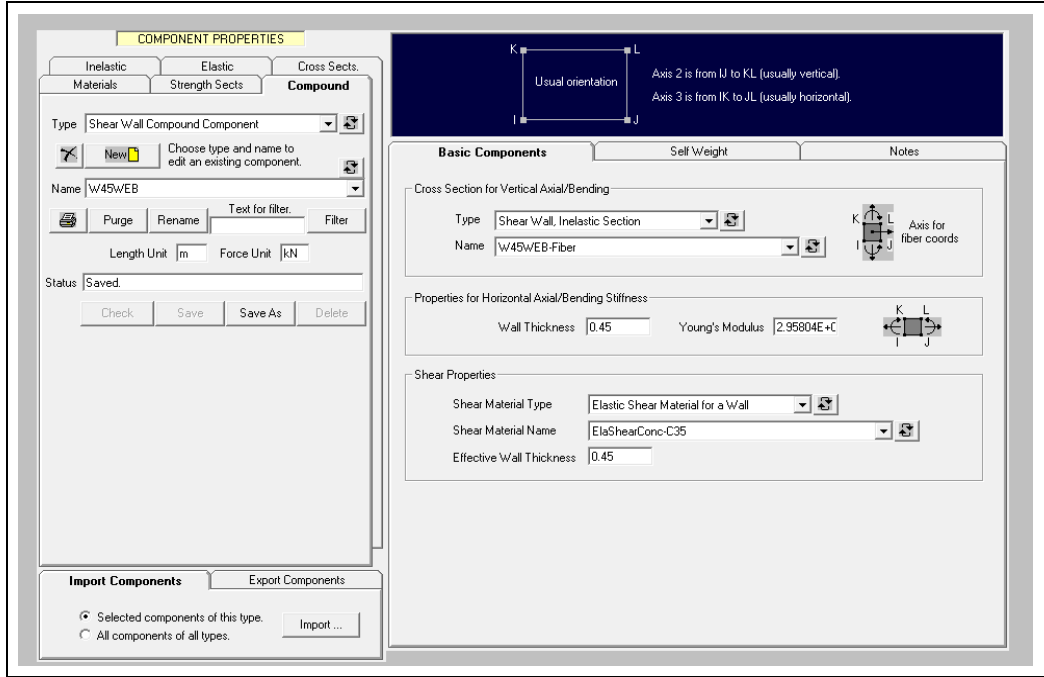
4.2.3.4. Yapısal Elemanların Tanımlanması

Perdelerin doğrusal olmayan davranış özellikleri ilgili sekmeler altında kesitlere tanımlandıktan sonra bu kesitlerin birleştirilerek ilgili yapı elemanına atanması gerekmektedir. Doğrusal olmayan davranış özellikleri ile elastik kesme özellikleri Perform3D programında “Component Properties – Compound – Shear Wall Compound Component” sekmeleri takip edilerek tanımlanmaktadır. Perde başlık bölgesinin tanımlanmasına ve ilgili elemana ait görsel Şekil 4.48’de sunulmuştur.



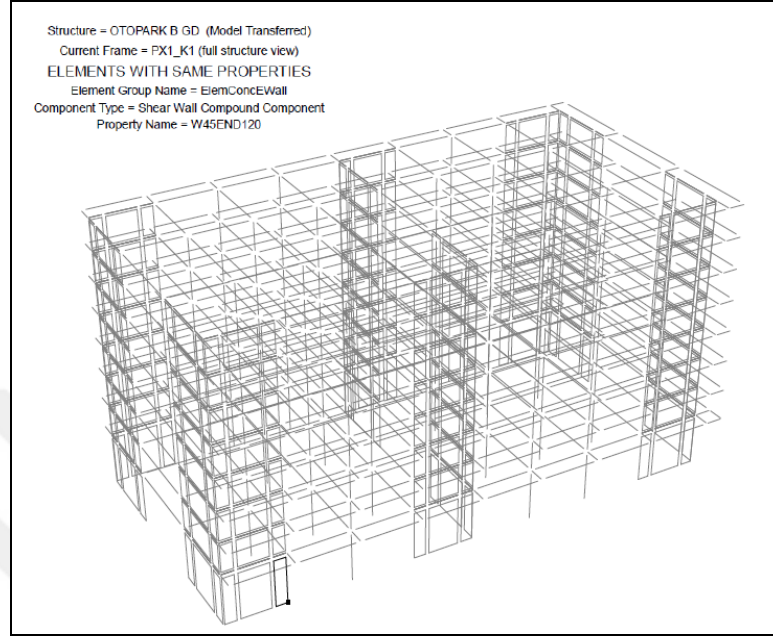
Şekil 4.48 : Başlık bölgesi kesitinin ilgili elemana atanmasını ifade eden görsel.

Perde gövde bölgesine elastik kesme ve doğrusal olmayan şekil değiştirme özelliklerinin tanımlanıp, ilgili elemana atanmasına ait görsel Şekil 4.49'da sunulmuştur.

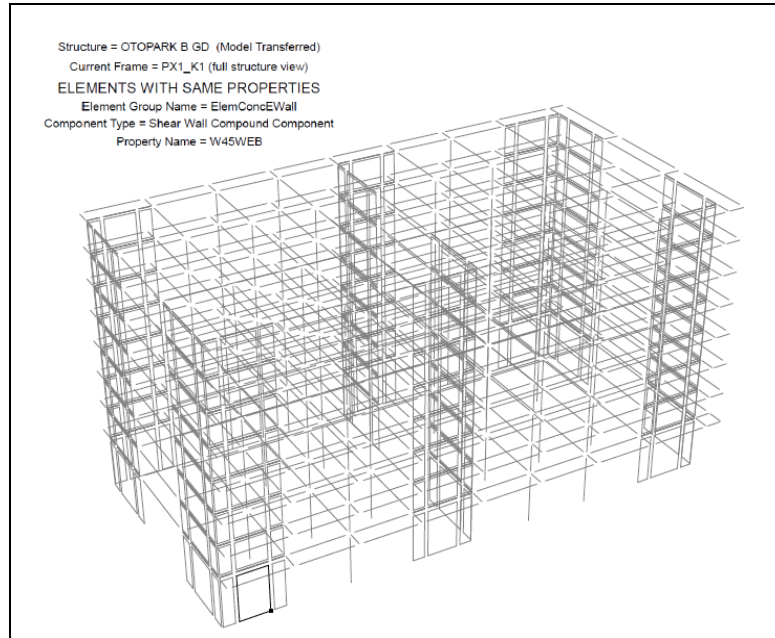


Şekil 4.49 : Gövde bölgesi kesitinin ilgili elemana atanmasını ifade eden görsel.

Oluşturulan perde başlık ve gövde bölgelerinin üç boyutlu yapısal model üzerinde ilgili geometrik lokasyonlara atanmasını ve birleştirilmesini ifade eden görsel Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de sunulmuştur.



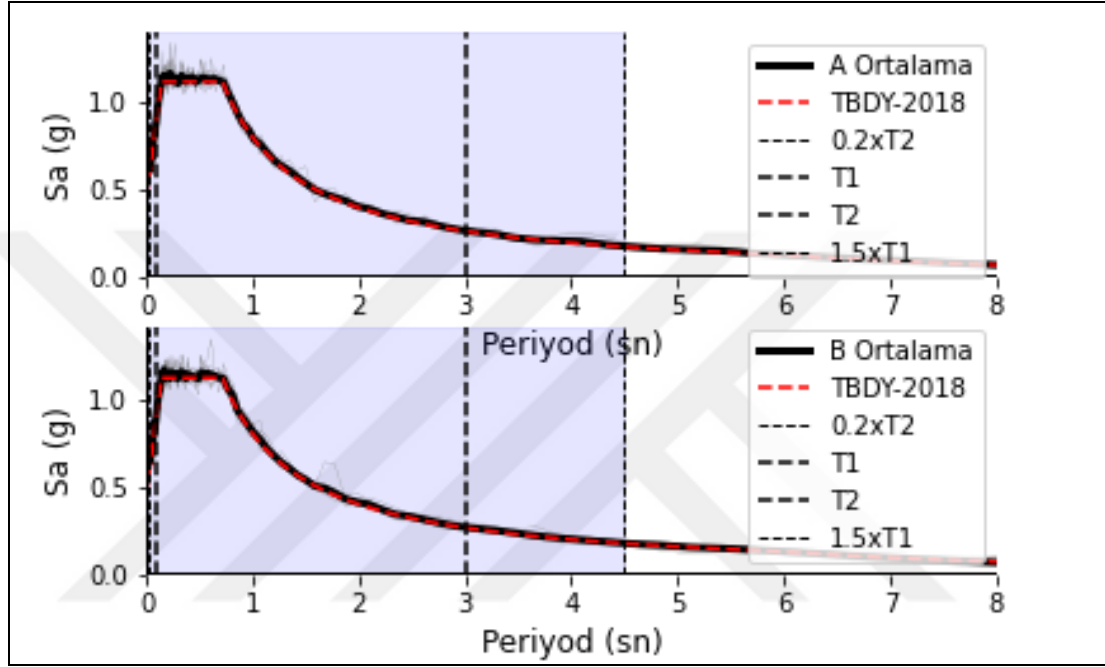
Şekil 4.50 : Perde başlık bölgesinin yapısal model üzerinde tanımlanmasını ifade eden görsel-1.



Şekil 4.51 : Perdelerin gövde bölgesinin yapısal model üzerinde tanımlanmasını ifade eden görsel-2.

4.3. Deprem Kayıt Seti

Değerlendirme konusu otopark yapısının bulunduğu koordinatlara ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen elastik tasarım spektrumu ve her iki yöne ait ölçeklenmiş deprem kayıtlarının ortalamasını ifade eden spektral değerler Şekil 4.52’de sunulmuştur.



Şekil 4.52 : Yapıya ait elastik tasarım spektrumu ve ölçeklenmiş deprem kayıtları.

Otopark binasının mevcut durum ve güçlendirilmiş durum altındaki zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmek amacıyla PEER merkezinin veri tabanından, TBDY-2018 'in önerdiği gibi on bir adet yer hareketi kayıt seti seçilmiştir. Seçim aşamasına yapının bulunduğu bölgedeki yerel zemin sınıfı, yapının faya olan uzaklığı, kaynak mekanizmaları ve yer hareketi düzeyiyle uyumlu deprem büyüklükleri göz önünde bulundurularak seçimler gerçekleştirilmiştir. Seçilen yer hareketi kayıtları TBDY 20018 – 2.5.2.1.b maddesinde anlatıldığı üzere basit ölçekleme yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur. Seçilen yer hareketi kayıtlarının isimleri, gerçekleşme yılı ve kayıt istasyonlarına ait bilgiler Tablo 4.10’da sunulmuştur.

Tablo 4.10 : Yer hareketi kayıtlarına ait bilgiler.

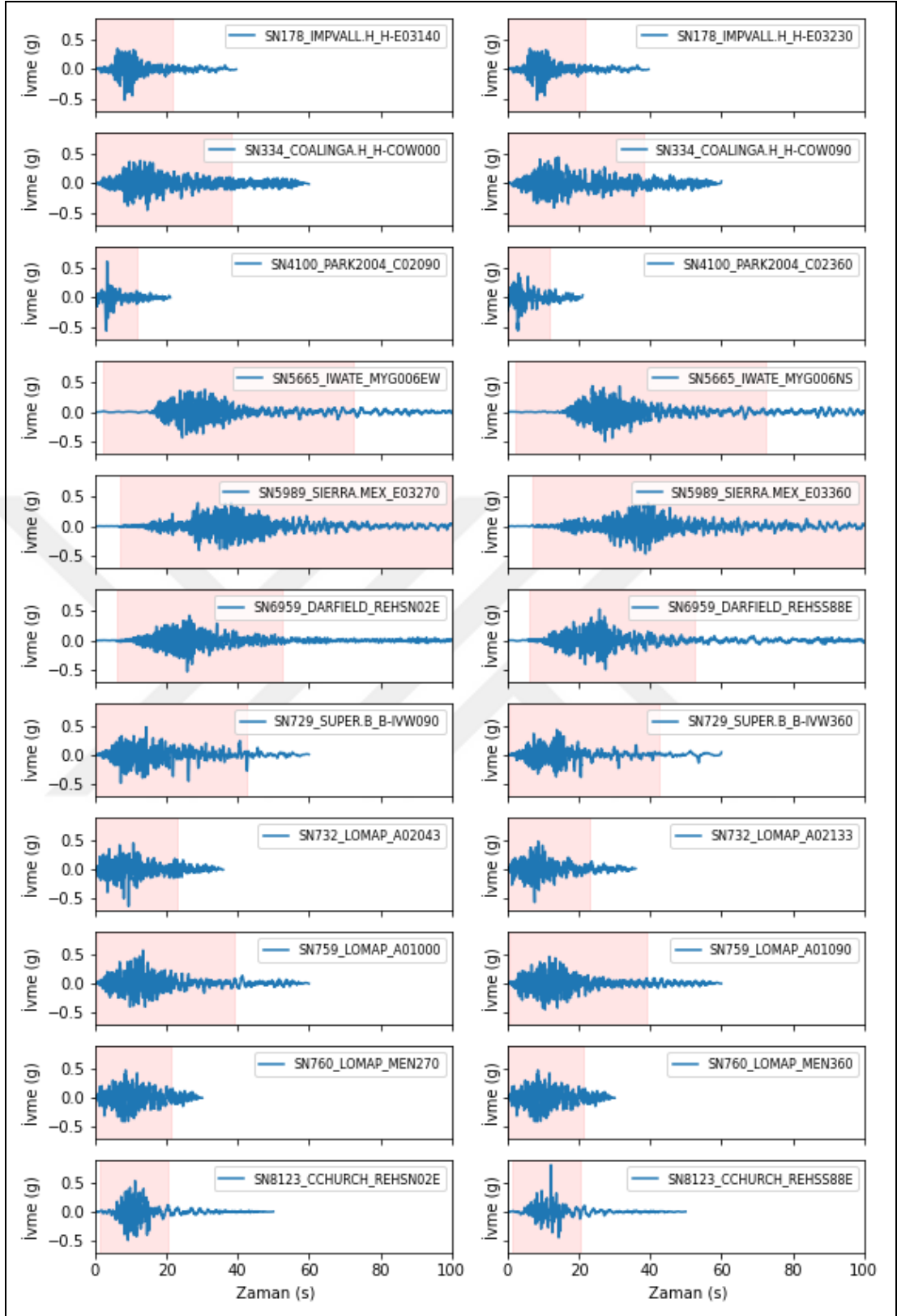
No	Kayıt No	Yıl	Kayıt İstasyonu	H1 Doğrultusu Dosya İsmi	H2 Doğrultusu Dosya İsmi
1	RSN178	1979	El Centro Array #3	IMPVALL.H_H-E03140.AT2	IMPVALL.H_H-E03230.AT2
2	RSN334	1983	Parkfield - Fault Zone 1	COALINGA.H_H-COW000.AT2	COALINGA.H_H-COW090.AT2
3	RSN729	1987	Imperial Valley	SUPER.B_B-IVW090.AT2	SUPER.B_B-IVW360.AT2
4	RSN732	1989	APEEL 2 - Redwood C.	LOMAP_A02043.AT2	LOMAP_A02133.AT2
5	RSN759	1989	Foster City - APEEL 1	LOMAP_A01000.AT2	LOMAP_A01090.AT2
6	RSN760	1989	Foster City - Menhaden	LOMAP_MEN270.AT2	LOMAP_MEN360.AT2
7	RSN4100	2004	Parkfield - Cholame 2WA	PARK2004_C02090.AT2	PARK2004_C02360.AT2
8	RSN5665	2008	MYG006	IWATE_MYG006NS.AT2	IWATE_MYG006EW.AT2
9	RSN5989	2010	El Centro Array #3	SIERRA.MEX_E03360.AT2	SIERRA.MEX_E03270.AT2
10	RSN6959	2010	Christchurch Resthaven	DARFIELD_REHSN02E.AT2	DARFIELD_REHSS88E.AT2
11	RSN8123	2011	Christchurch Resthaven	CCHURCH_REHSN02E.AT2	CCHURCH_REHSS88E.AT2

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde kullanılmak amacıyla seçilen yer hareketi kayıtlarına ait büyüklük ve fay mekanizması gibi parametreler Tablo 4.11’de sunulmuştur.

Tablo 4.11 : Yer hareketi kayıtlarının büyüklük ve zemin özelliklerine ait bilgiler.

No	Kayıt No	Kayıt İstasyonu	Büyüklük	Fay Mekanizması	V _{s30} (m/s)	NEHRP Sınıfı
1	RSN178	El Centro Array #3	6.53	Strike Slip	162.94	ZE
2	RSN334	Parkfield - Fault Zone 1	6.36	Reverse	178.27	ZE
3	RSN729	Imperial Valley	6.54	Strike Slip	179	ZE
4	RSN732	APEEL2 - Redwood C.	6.93	Reverse Oblique	133.11	ZE
5	RSN759	Foster City - APEEL 1	6.93	Reverse Oblique	116.35	ZE
6	RSN760	Foster City - Menhaden	6.93	Reverse Oblique	126.4	ZE
7	RSN4100	Parkfield - Cholame 2WA	6.00	Strike Slip	173.02	ZE
8	RSN5665	MYG006	6.90	Reverse	146.72	ZE
9	RSN5989	El Centro Array #3	7.20	Strike Slip	162.94	ZE
10	RSN6959	Christchurch Resthaven	7.00	Strike Slip	141	ZE
11	RSN8123	Christchurch Resthaven	6.20	Reverse Oblique	141	ZE

Yapısal analizlerde kullanılmak amacıyla her iki doğrultuda ölçeklenen yer hareketi kayıtlarına ait ivme zaman grafikleri Şekil 4.53’te sunulmuştur.



Şekil 4.53 : Ölçeklenen deprem yer hareketi kayıtlarının her iki doğrultudaki ivme-zaman grafiklerine ait görseller.

4.4. Geliştirilen Program Çıktıları

Perform3D programında yapısal modelleme işlemi tamamlandıktan sonra mevcut durum ve güçlendirilmiş durum modelleri zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için tez kapsamında geliştirilen yazılımdan faydalanıldı. Şekil 4.54 ve Şekil 4.55'te geliştirilen performans değerlendirme programında elemanlara ait bilgi girişini ifade eden görseller sunulmuştur.

Element Name	B (mm)	D (mm)	cc (mm)	fck (MPa)	yc	fywk (MPa)	ys	n	Ø	s (mm)	Vfx (kN)	Vfy (kN)
1 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
2 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
3 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
4 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
5 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
6 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
7 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
8 B25X60-KONSOL Ls 5.80	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
9 B25X60-KONSOL Ls 1.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
10 B25X60-KONSOL Ls 8.35	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
11 B25X60-KONSOL Ls 8.6	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
12 B25X60-KONSOL Ls 8.35	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
13 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
14 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
15 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
16 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
17 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
18 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
19 B25X60-KONSOL Ls 5.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
20 B25X60-KONSOL Ls 5.80	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
21 B25X60-KONSOL Ls 1.55	250	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
22 B50X60-KONSOL Ls 1.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
23 B50X60-Ls 6.80	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
24 B50X60-Ls 9.60	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
25 B50X60-Ls 6.80	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
26 B50X60-KONSOL Ls 1.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
27 B50X60-Ls 5.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
28 B50X60-Ls 5.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
29 B50X60-Ls 5.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
30 B50X60-Ls 5.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0
31 B50X60-Ls 5.55	500	600	30	13.5	1.0	420	1.0	2	8	200	0	0

Şekil 4.54 : Kirişlerin kesit özelliklerinin programa tanımlamasına ait görsel.

Element Name	B (mm)	D (mm)	cc (mm)	fck (MPa)	yc	fywk (MPa)	ys	nb	nd	Ø	s (mm)	Vfx (kN)	Vfy (kN)
246 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
247 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
248 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
249 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
250 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
251 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
252 C70X70 (28Q24-ZK)	700	700	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	150	0	0
253 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
254 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
255 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
256 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
257 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
258 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
259 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
260 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
261 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
262 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
263 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
264 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
265 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
266 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
267 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
268 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
269 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
270 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
271 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
272 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
273 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
274 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
275 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0
276 C50X50 (16Q16-6/7NK)	500	500	30	13.5	1.0	420	1.0	2	2	10	100	0	0

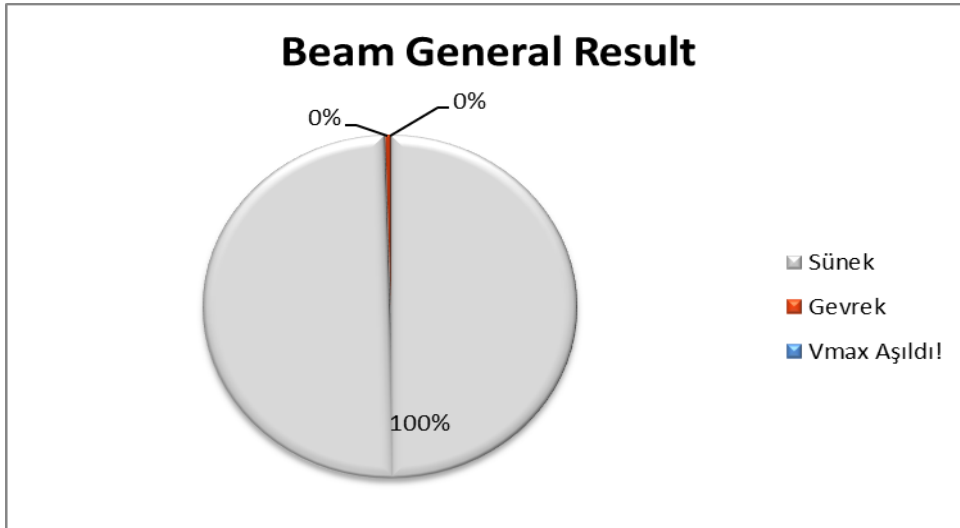
Şekil 4.55 : Kolonların kesit özelliklerinin programa tanımlamasına ait görsel.

Mevcut durum altında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler neticesinde kirişlerde meydana gelen kesme kuvveti talebinin ilgili kesit kapasiteleri ile karşılaştırılmasına ait bilgiler Tablo 4.12 'de sunulmuştur. Buradan da anlaşılacağı gibi kirişlerde gevrek davranış gösteren elemanların bulunduğu ve ilgili yönetmelik şartlarını sağlamadığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.12 : Mevcut yapıda kiriş kesme kuvveti kontrolüne ait kat bazlı özet tablo.

GEVREK KİRİŞLERE AİT ÖZET BİLGİ					
Kat İndisi	Sünek Kiriş Sayısı	Gevrek Kiriş Sayısı	Vmax Kiriş Sayısı	Toplam Kiriş Sayısı	Hasar Oranı
Story 8	84	0	0	84	0.0%
Story 7	84	0	0	84	0.0%
Story 6	84	0	0	84	0.0%
Story 5	84	0	0	84	0.0%
Story 4	84	0	0	84	0.0%
Story 3	84	0	0	84	0.0%
Story 2	84	0	0	84	0.0%
Story 1	101	3	0	104	2.9%

Gevrek davranış gösteren kirişleri yapıdaki tüm kirişlere oranı ifade eden grafik Şekil 4.56'da gösterilmiştir.



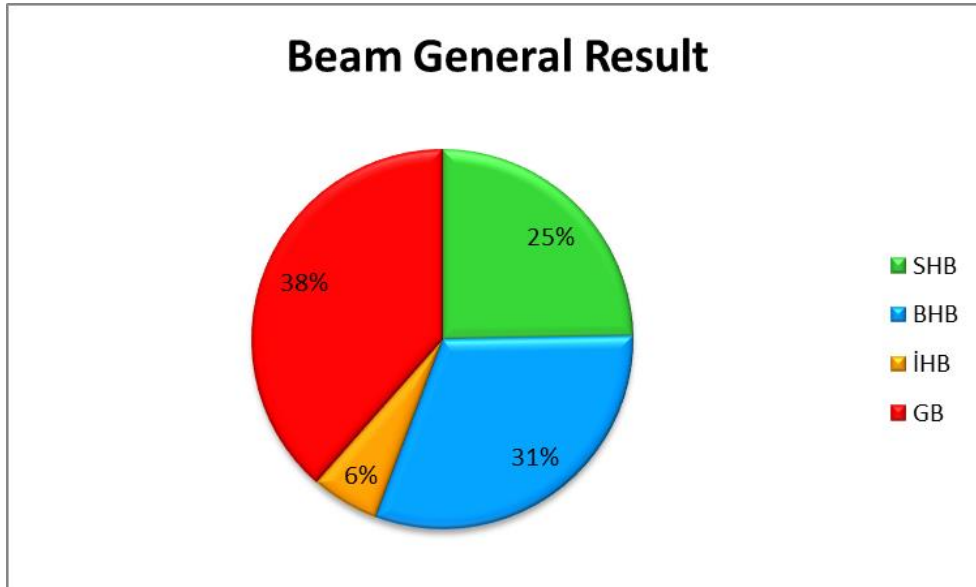
Şekil 4.56 : Mevcut yapıda kirişlerin gevrek hasar dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Mevcut yapıda gerçekleştirilen analizler neticesinde kirişlerde elde edilen şekil değiştirme talepleri ve ilgili kesitlerin kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Hasar gören elemanlara ait özet bilgi Tablo 4.13'te sunulmuştur.

Tablo 4.13 : Mevcut yapı kirişlerinin şekil değiştirme kontrolüne ait kat tablo.

HASAR GÖREN KİRİŞLERE AİT ÖZET BİLGİ						
Kat İndisi	SHB Kiriş Sayısı	BHB Kiriş Sayısı	İHB Kiriş Sayısı	GB Kiriş Sayısı	Toplam Kiriş Sayısı	Hasar Oranı (İHB & GB)
Story 8	20	43	0	0	63	0.0%
Story 7	20	43	0	0	63	0.0%
Story 6	19	9	26	9	63	55.6%
Story 5	18	8	3	34	63	58.7%
Story 4	18	2	0	43	63	68.3%
Story 3	18	2	0	43	63	68.3%
Story 2	16	4	0	43	63	68.3%
Story 1	0	51	1	29	81	37.0%

Mevcut yapıya ait kirişlerin şekil değiştirme açısından hasar dağılımını oransal olarak ifade eden grafik Şekil 4.57'de sunulmuştur.



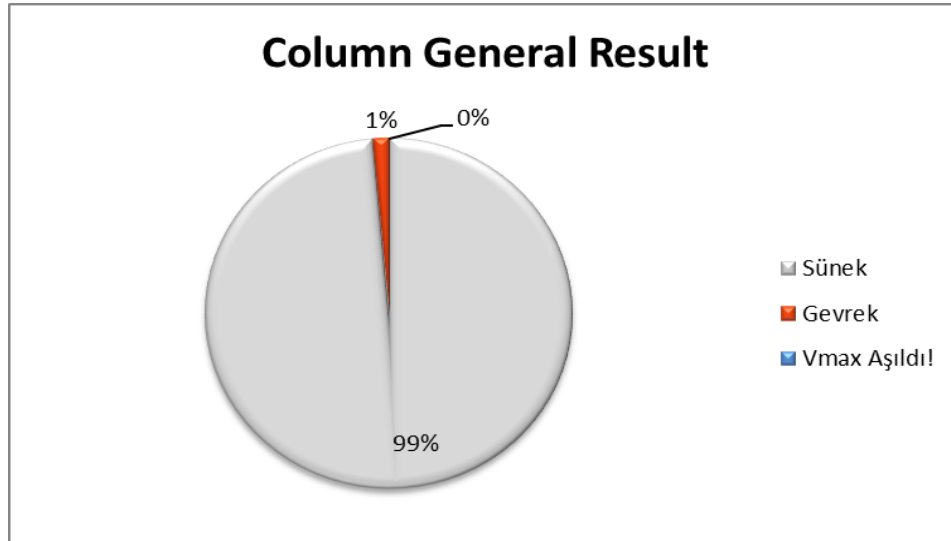
Şekil 4.57 : Mevcut yapıda kirişlerin plastik şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Mevcut durum altında gerçekleştirilen deprem analizleri neticesinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti talebinin ilgili kesit kapasiteleri ile karşılaştırılmasına ait bilgiler Tablo 4.14'te sunulmuştur. Buradan da anlaşılabileceği gibi kolonlarda gevrek davranış gösteren elemanların bulunduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.14 : Mevcut yapıda kolon kesme kuvveti kontrolüne ait kat bazlı özet tablo.

GEVREK KOLONLARA AİT ÖZET BİLGİ						
	X Doğrultusu			Y Doğrultusu		
Kat İndisi	Hasarlı Kolon Sayısı	Toplam Kolon Sayısı	Hasar Oranı	Hasarlı Kolon Sayısı	Toplam Kolon Sayısı	Hasar Oranı
Story 8	0	36	0.0%	0	36	0.0%
Story 7	0	36	0.0%	0	36	0.0%
Story 6	0	36	0.0%	0	36	0.0%
Story 5	0	36	0.0%	0	36	0.0%
Story 4	0	36	0.0%	2	36	5.6%
Story 3	0	36	0.0%	0	36	0.0%
Story 2	0	36	0.0%	2	36	5.6%
Story 1	0	36	0.0%	0	36	0.0%

Gevrek hasar alan kolonların yapıdaki dağılımını oransal olarak ifade eden grafik Şekil 4.58'de gösterilmiştir.



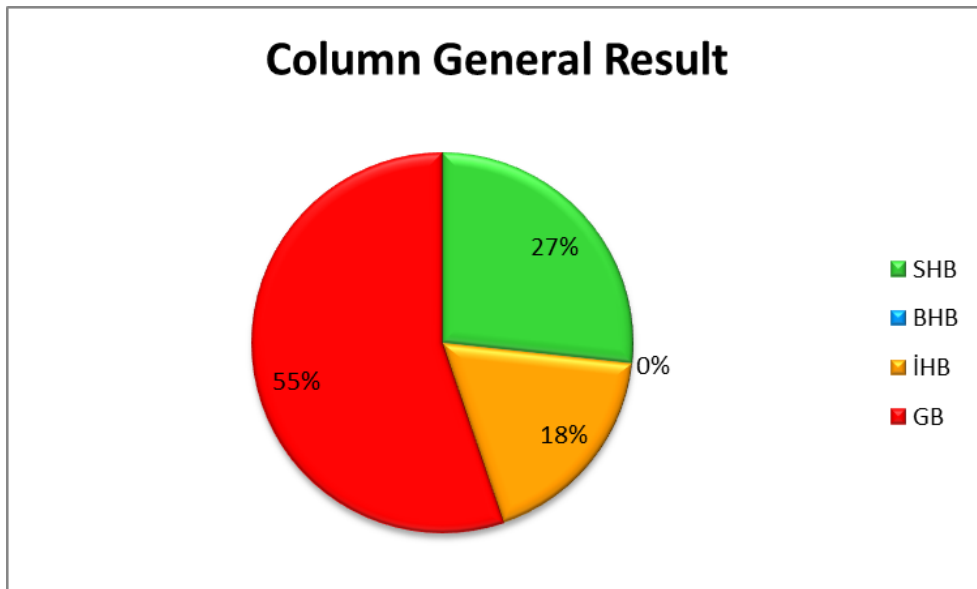
Şekil 4.58 : Mevcut yapıda kolonların gevrek hasar dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Mevcut yapıda gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen şekil değiştirme talepleri, ilgili kolon kesitlerinin şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Hasar gören elemanlara ait özet bilgi Tablo 4.15'te sunulmuştur.

Tablo 4.15 : Mevcut yapı kolonlarının şekil değiştirme kontrolüne ait kat bazlı özet tablo.

HASAR GÖREN KOLONLARA AİT ÖZET BİLGİ						
Kat İndisi	SHB Kolon Sayısı	BHB Kolon Sayısı	İHB Kolon Sayısı	GB Kolon Sayısı	Toplam Kolon Sayısı	Hasar Oranı (İHB & GB)
Story 8	18	0	18	0	36	50.0%
Story 7	0	0	10	26	36	100.0%
Story 6	4	0	16	16	36	88.9%
Story 5	0	0	2	34	36	100.0%
Story 4	19	0	5	12	36	47.2%
Story 3	0	0	1	35	36	100.0%
Story 2	36	0	0	0	36	0.0%
Story 1	0	0	0	36	36	100.0%

Mevcut yapıya ait kolonların şekil değiştirme açısından hasar dağılımını oransal olarak ifade eden grafik Şekil 4.59'da gösterilmiştir.



Şekil 4.59 : Mevcut yapıda kolonların şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Güçlendirilmiş durum altında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler neticesinde kirişlerde meydana gelen kesme kuvveti talebinin ilgili kesit kapasiteleri ile karşılaştırılmasına ait bilgiler Tablo 4.16’da sunulmuştur.

Tablo 4.16 : Güçlendirilmiş yapı kirişlerinin kesme kuvveti kontrolüne ait tablo.

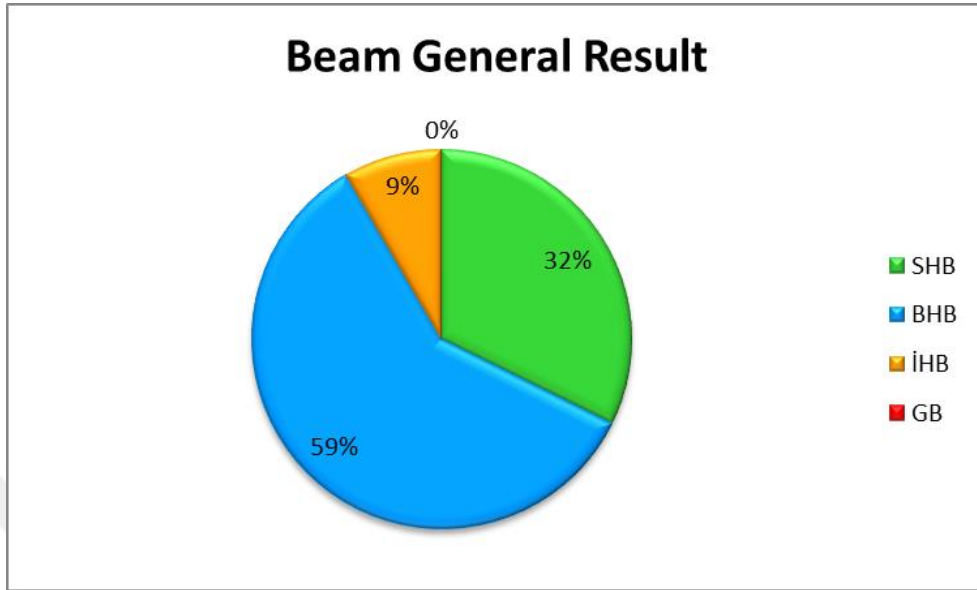
GEVREK KİRİŞLERE AİT ÖZET BİLGİ						
Kat İndisi	Sünek Kiriş Sayısı	Gevrek Kiriş Sayısı	Vmax Kiriş Sayısı	Toplam Kiriş Sayısı	Hasar Oranı	
Story 8	88	0	0	88		0.0%
Story 7	88	0	0	88		0.0%
Story 6	88	0	0	88		0.0%
Story 5	88	0	0	88		0.0%
Story 4	88	0	0	88		0.0%
Story 3	88	0	0	88		0.0%
Story 2	88	0	0	88		0.0%
Story 1	92	0	0	92		0.0%

Güçlendirilmiş yapıda gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen şekil değiştirme talepleri ilgili kesitlerin kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Hasar gören elemanlara ait özet bilgi Tablo 4.17’de sunulmuştur.

Tablo 4.17 : Güçlendirilmiş yapıda kirişlerinin şekil değiştirme kontrolüne ait tablo.

HASAR GÖREN KİRİŞLERE AİT ÖZET BİLGİ						
Kat İndisi	SHB Kiriş Sayısı	BHB Kiriş Sayısı	İHB Kiriş Sayısı	GB Kiriş Sayısı	Toplam Kiriş Sayısı	Hasar Oranı (İHB & GB)
Story 8	30	33	4	0	67	 6.0%
Story 7	22	37	8	0	67	 11.9%
Story 6	22	37	8	0	67	 11.9%
Story 5	20	39	8	0	67	 11.9%
Story 4	20	40	7	0	67	 10.4%
Story 3	20	42	5	0	67	 7.5%
Story 2	20	44	3	0	67	 4.5%
Story 1	20	47	2	0	69	 2.9%

Güçlendirilmiş yapıya ait kirişlerin şekil değiştirme açısından hasar dağılımını oransal olarak ifade eden grafik Şekil 4.60'ta gösterilmiştir.



Şekil 4.60 : Güçlendirilmiş yapıda kirişlerin plastik şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Güçlendirilmiş durum altında gerçekleştirilen deprem analizleri neticesinde kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti talebinin ilgili kesit kapasiteleri ile karşılaştırılmasına ait bilgiler Tablo 4.18'de sunulmuştur.

Tablo 4.18 : Güçlendirilmiş yapıda kolon kesme kuvveti kontrolüne ait özet tablo.

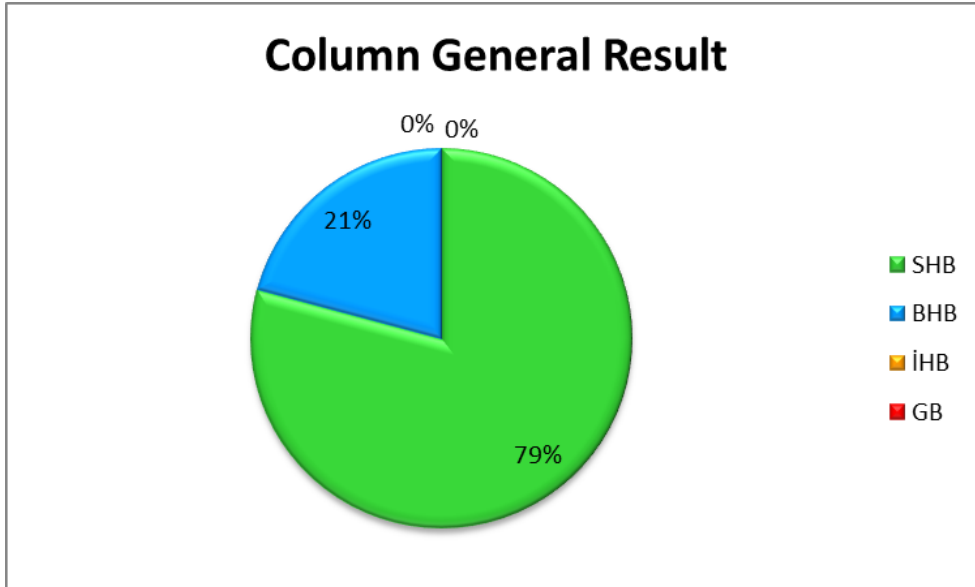
GEVREK KOLONLARA AİT ÖZET BİLGİ								
Kat İndisi	X Doğrultusu				Y Doğrultusu			
	Hasarlı Kolon Sayısı	Toplam Kolon Sayısı	Hasar Oranı		Hasarlı Kolon Sayısı	Toplam Kolon Sayısı	Hasar Oranı	
Story 8	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 7	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 6	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 5	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 4	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 3	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 2	0	18	0.0%		0	18	0.0%	
Story 1	0	18	0.0%		0	18	0.0%	

Güçlendirilmiş yapıda gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen şekil değiştirme talepleri, ilgili kolon kesitlerinin şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Hasar gören elemanlara ait özet bilgi Tablo 4.19’da sunulmuştur.

Tablo 4.19 : Güçlendirilmiş yapı kolonlarının şekil değiştirme kontrolüne ait tablo.

HASAR GÖREN KOLONLARA AİT ÖZET BİLGİ							
Kat İndisi	SHB Kolon Sayısı	BHB Kolon Sayısı	İHB Kolon Sayısı	GB Kolon Sayısı	Toplam Kolon Sayısı	Hasar Oranı (İHB & GB)	
Story 8	0	18	0	0	18		0.0%
Story 7	13	5	0	0	18		0.0%
Story 6	13	5	0	0	18		0.0%
Story 5	16	2	0	0	18		0.0%
Story 4	18	0	0	0	18		0.0%
Story 3	18	0	0	0	18		0.0%
Story 2	18	0	0	0	18		0.0%
Story 1	18	0	0	0	18		0.0%

Güçlendirilmiş yapıya ait kolonların şekil değiştirme açısından hasar dağılımını oransal olarak ifade eden grafik Şekil 4.61’de gösterilmiştir.



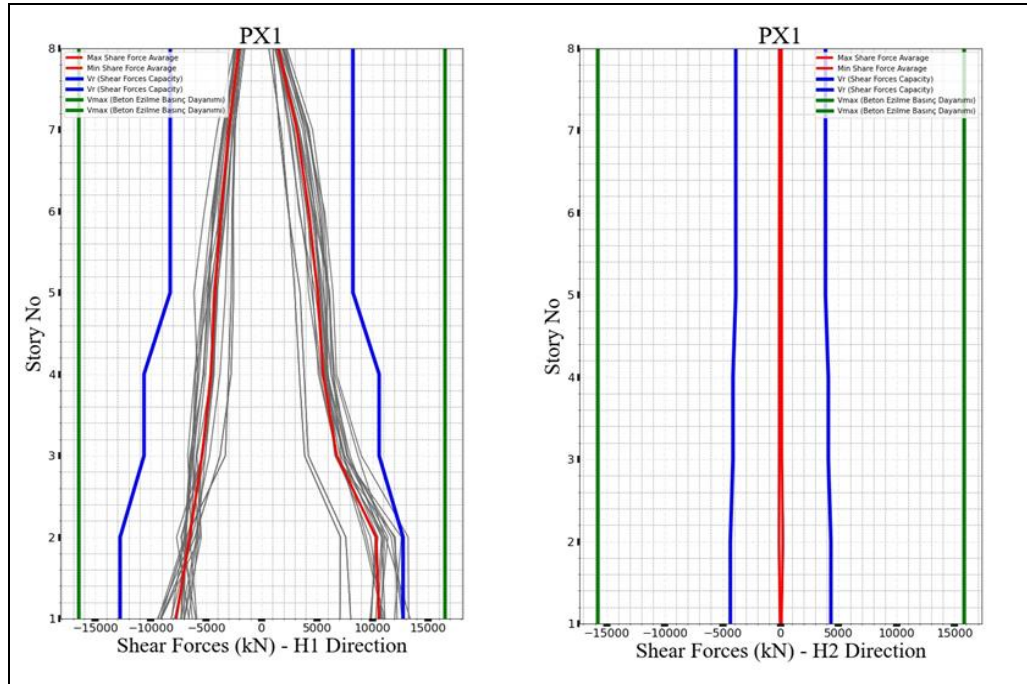
Şekil 4.61 : Güçlendirilmiş yapıda kolonların şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Güçlendirilmiş durum altında gerçekleştirilen deprem analizleri neticesinde perdelerde meydana gelen kesme kuvveti talebinin ilgili kesit kapasiteleri ile karşılaştırılmasına ait bilgiler Tablo 4.20’de sunulmuştur.

Tablo 4.20 : Güçlendirilmiş yapıda perde kesme kuvveti kontrolüne ait özet tablo.

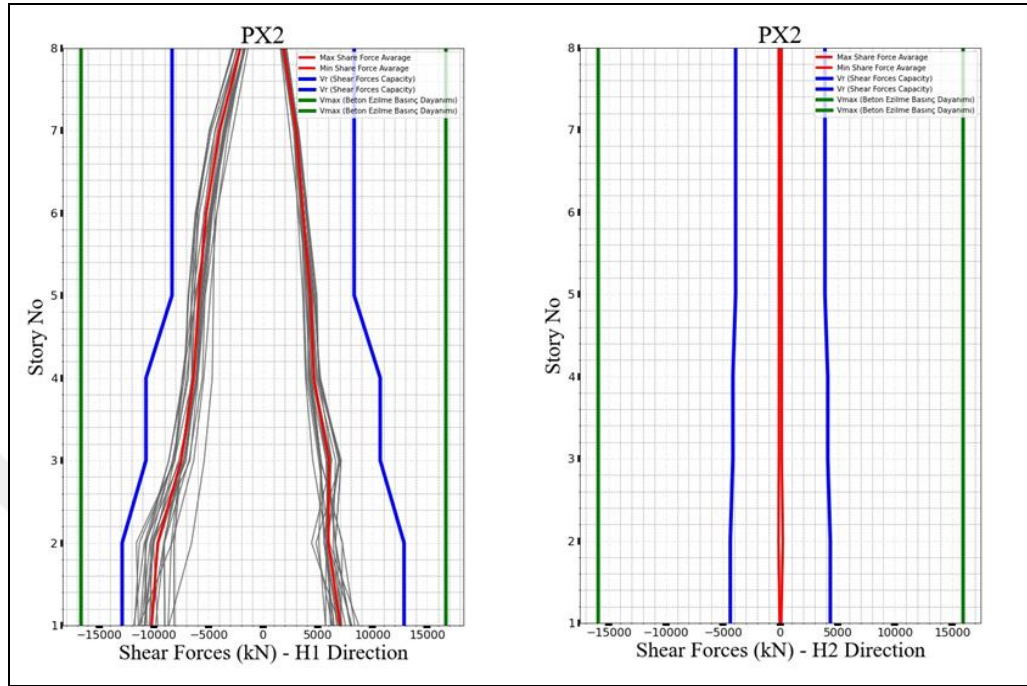
GEVREK PERDELERE AİT ÖZET BİLGİ							
Kat İndisi	H1 Doğrultusu			H2 Doğrultusu			
	Hasarlı Perde Sayısı	Toplam Perde Sayısı	Hasar Oranı	Hasarlı Perde Sayısı	Toplam Perde Sayısı	Hasar Oranı	
Story 8	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 7	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 6	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 5	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 4	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 3	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 2	0	12	0.0%	0	12	0.0%	
Story 1	0	12	0.0%	0	12	0.0%	

Güçlendirilme amacıyla eklenen betonarme perde kesitlerinin kesme kuvveti kapasitesi ve kesme kuvveti değerleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. PX1 perdesine ait kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.62’de sunulmuştur.

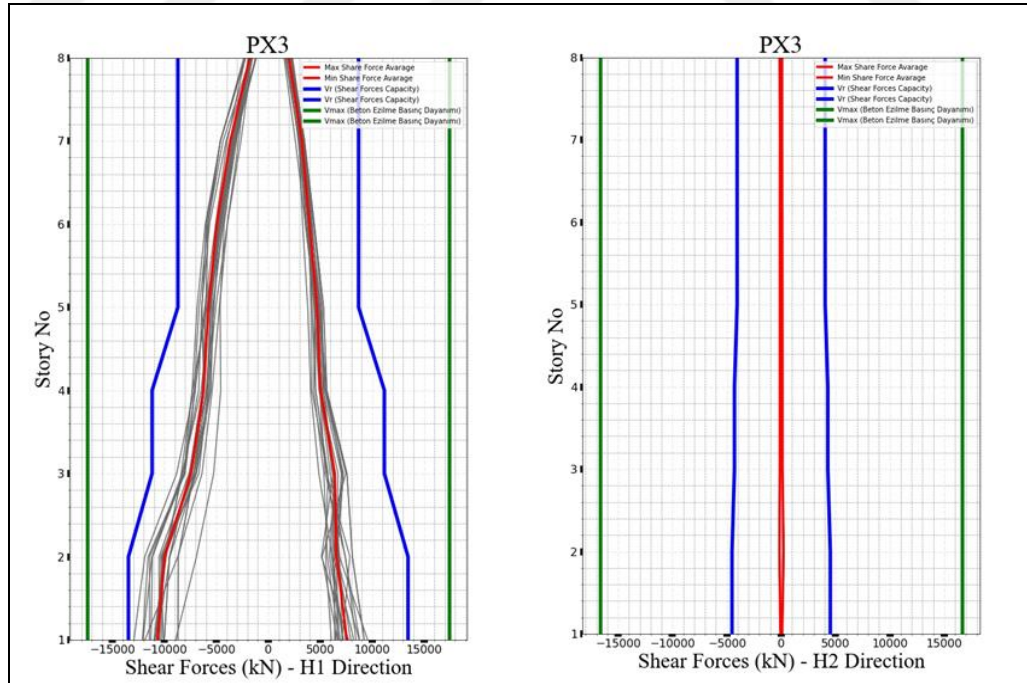


Şekil 4.62 : PX1 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

PX2 ve PX3 perdesine ait her iki doğrultudaki kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'te sunulmuştur.

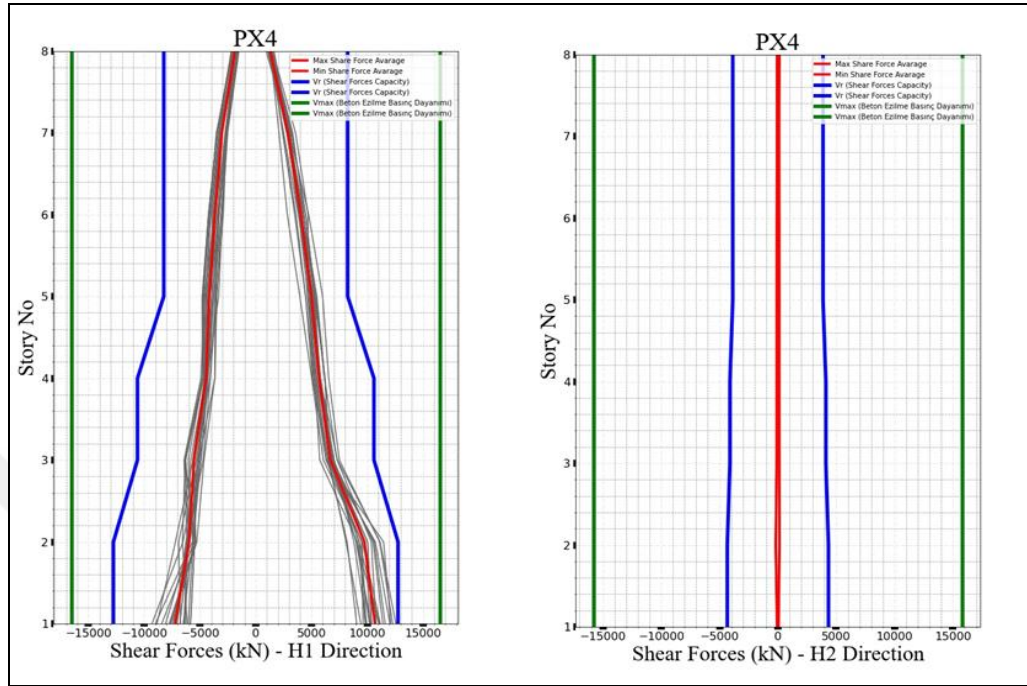


Şekil 4.63 : PX2 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

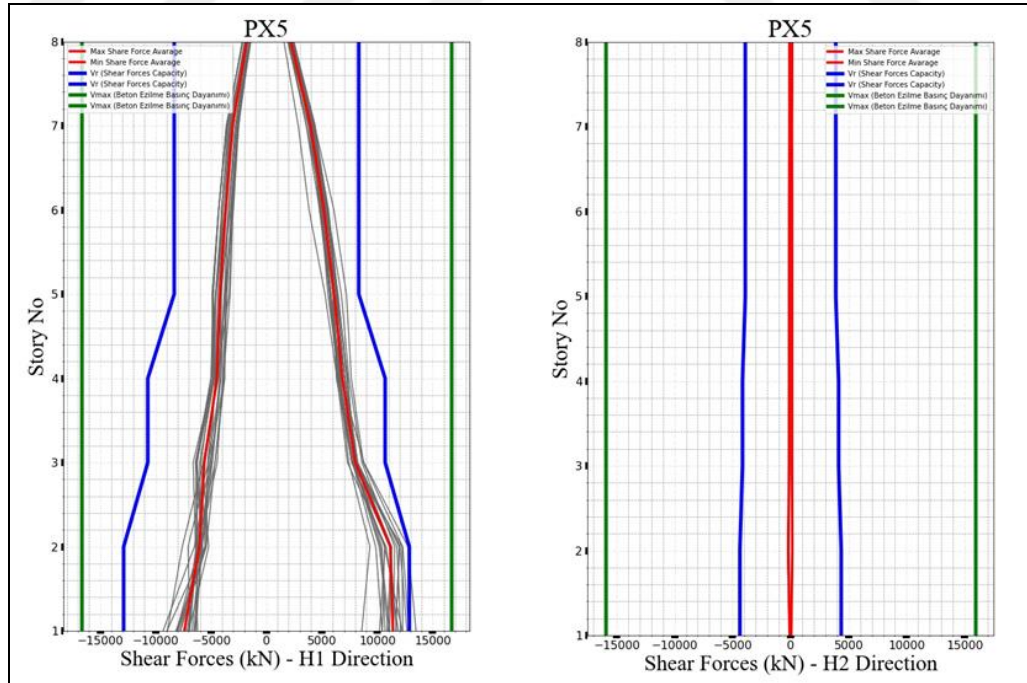


Şekil 4.64 : PX3 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

PX4 ve PX5 perdesine ait her iki doğrultudaki kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.65 ve Şekil 4.66’da sunulmuştur.

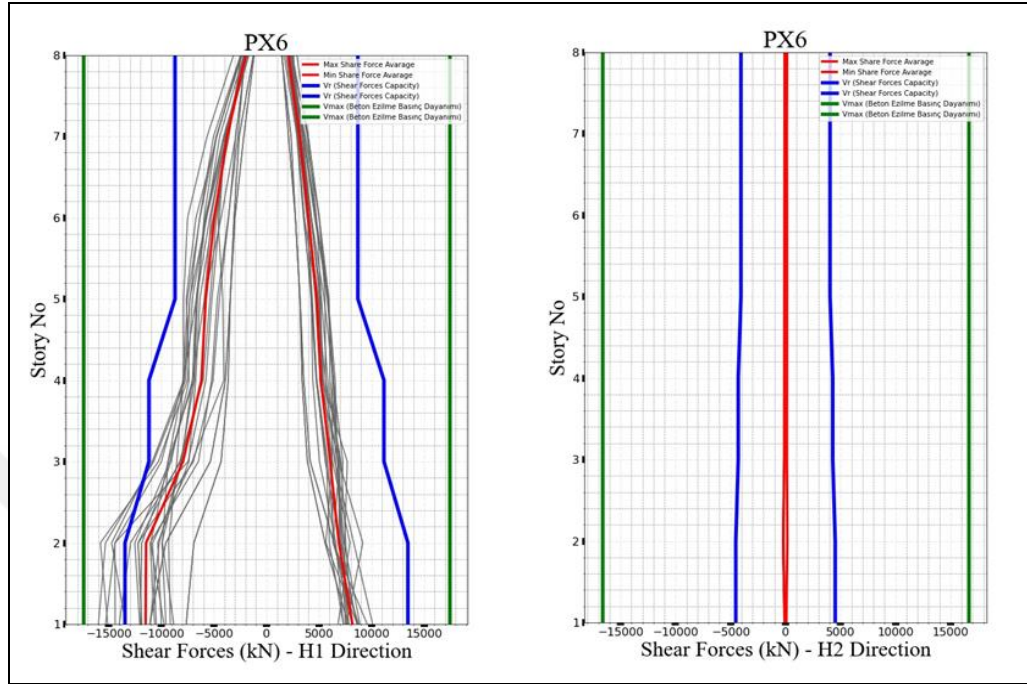


Şekil 4.65 : PX4 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

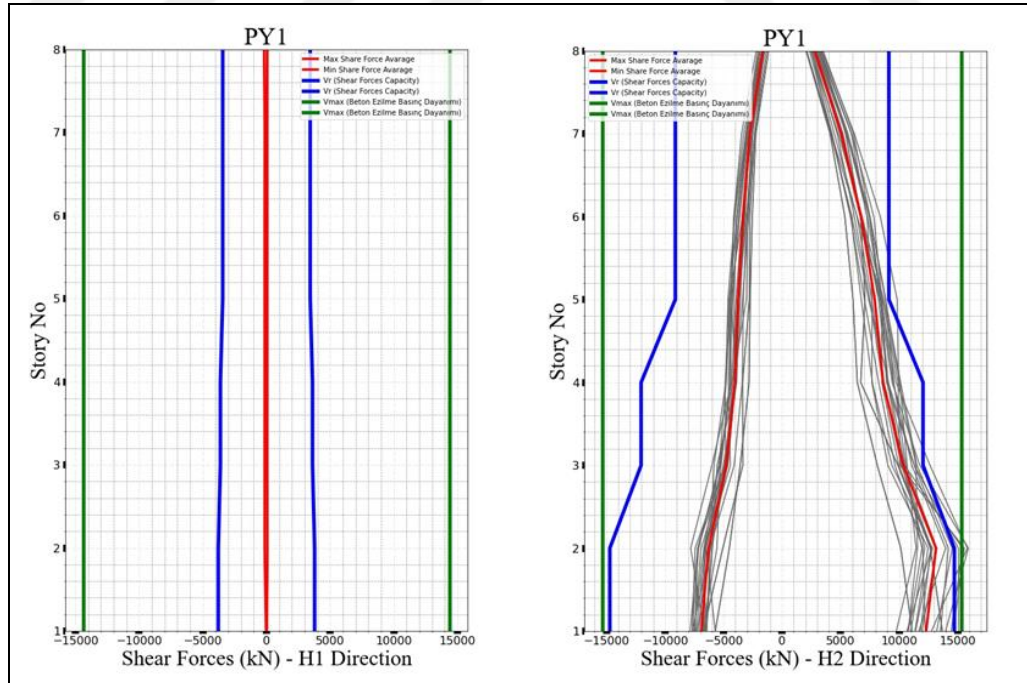


Şekil 4.66 : PX5 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

PX6 ve PY1 perdesine ait her iki doğrultudaki kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.67 ve Şekil 4.68’de sunulmuştur.

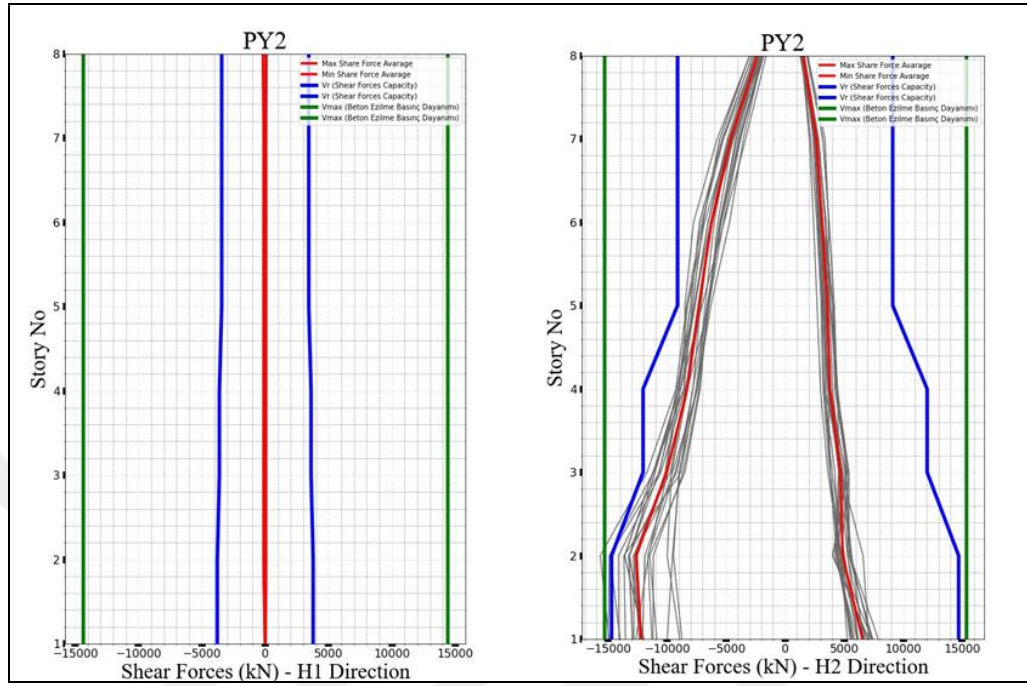


Şekil 4.67 : PX6 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

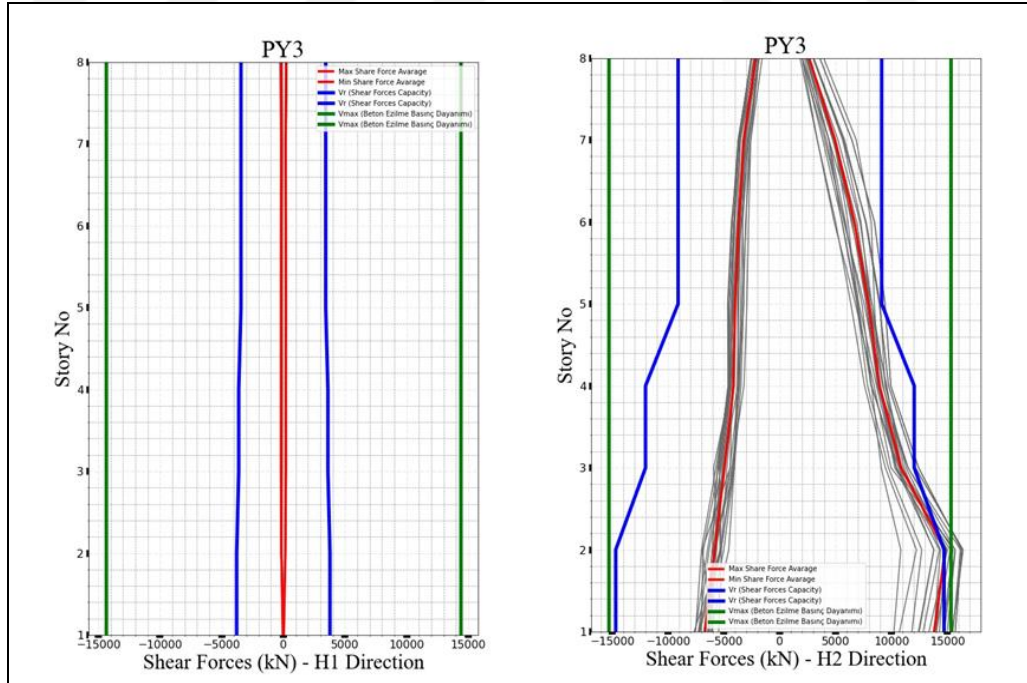


Şekil 4.68 : PY1 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

PY2 ve PY3 perdesine ait her iki doğrultudaki kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.69 ve Şekil 4.70’te sunulmuştur.

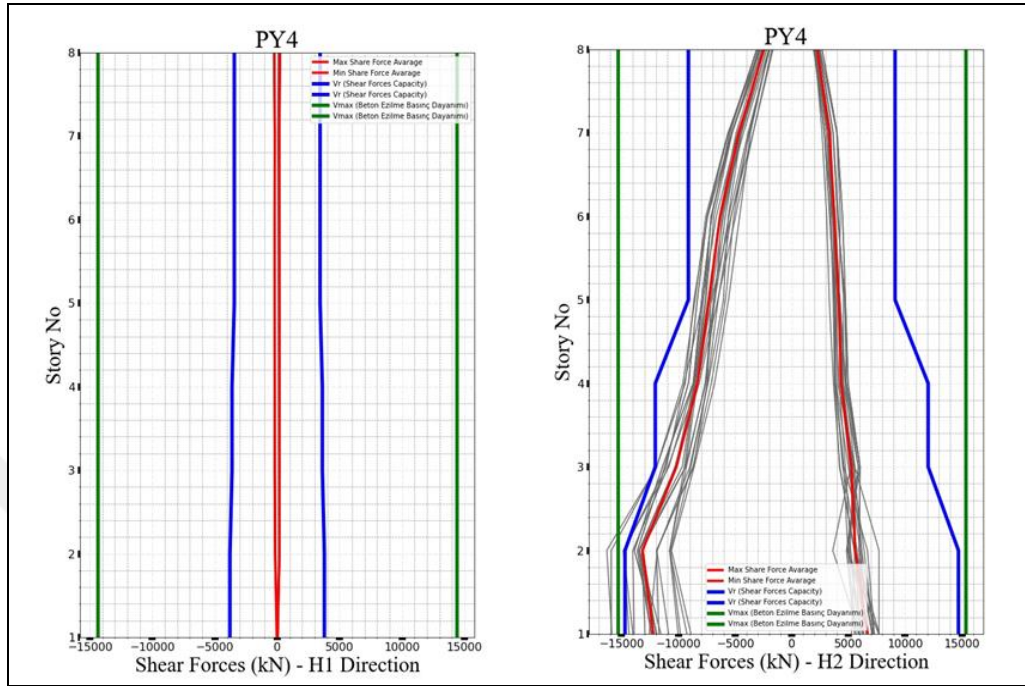


Şekil 4.69 : PY2 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

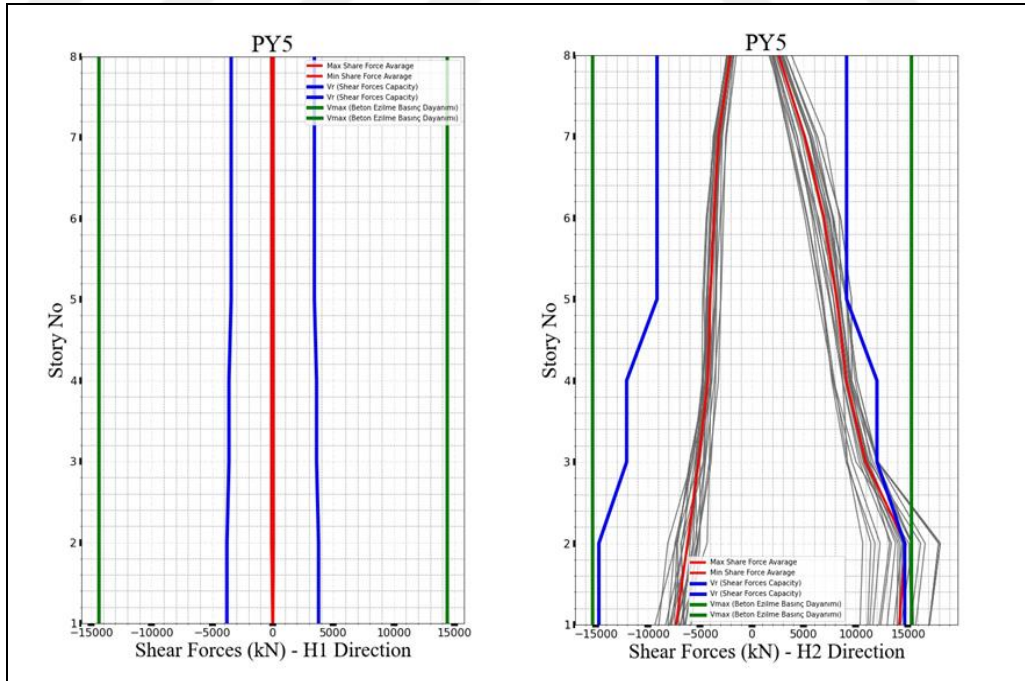


Şekil 4.70 : PY3 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

PY4 ve PY5 perdesine ait her iki doğrultudaki kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.71 ve Şekil 4.72’de sunulmuştur.

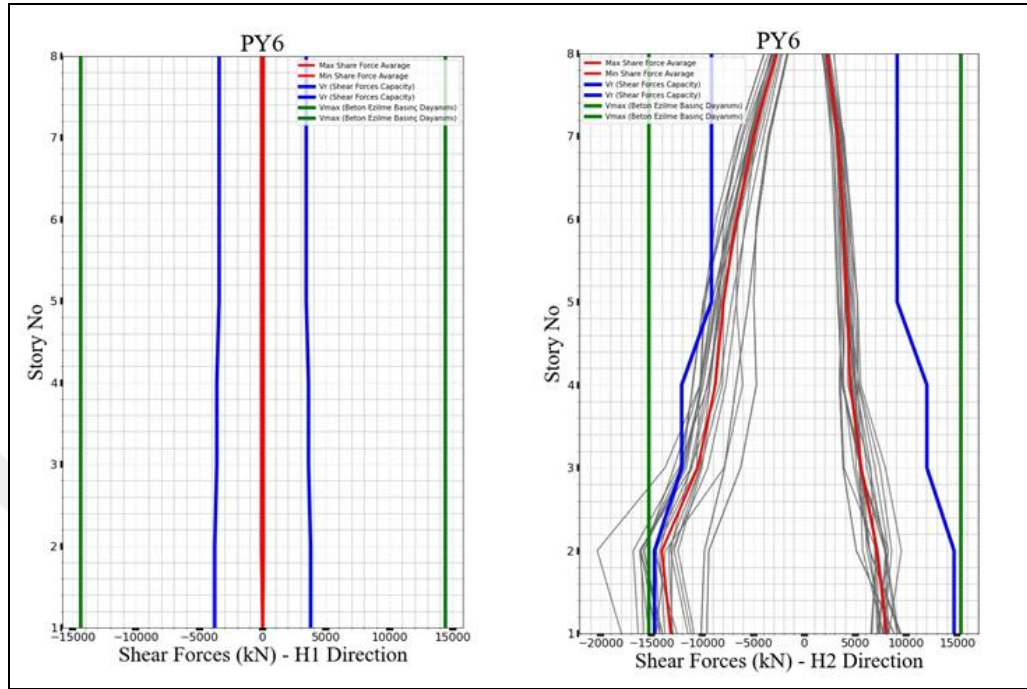


Şekil 4.71 : PY4 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.



Şekil 4.72 : PY5 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

PY6 perdesine ait her iki doğrultudaki kesme kuvveti kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.73'te sunulmuştur.



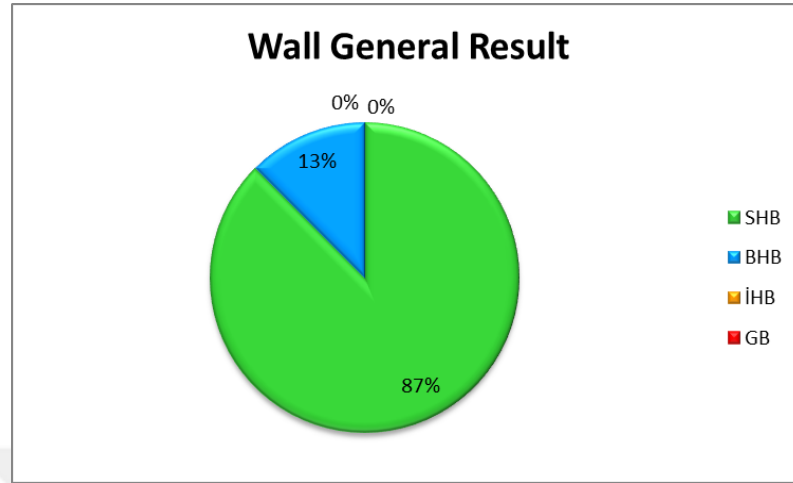
Şekil 4.73 : PY6 perdesinin kesme kuvveti kontrolüne ait görsel.

Güçlendirilmiş yapıda gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen şekil değiştirme talepleri, ilgili perde kesitlerinin şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Hasar gören elemanlara ait özet bilgi Tablo 4.21’de sunulmuştur.

Tablo 4.21 : Güçlendirilmiş perdelerinin şekil değiştirme kontrolüne ait tablo.

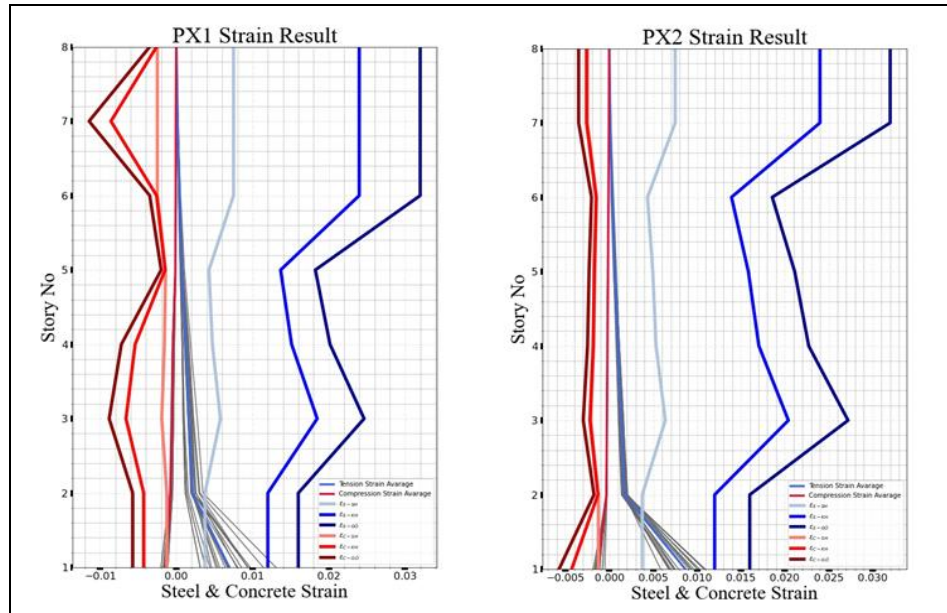
HASAR GÖREN PERDELERE AİT ÖZET BİLGİ								
Kat İndisi	SHB Perde Sayısı	BHB Perde Sayısı	İHB Perde Sayısı	GB Perde Sayısı	Toplam Perde Sayısı	Hasar Oranı (İHB & GB)		
8	12	0	0	0	12			0.0%
7	12	0	0	0	12			0.0%
6	12	0	0	0	12			0.0%
5	12	0	0	0	12			0.0%
4	12	0	0	0	12			0.0%
3	12	0	0	0	12			0.0%
2	12	0	0	0	12			0.0%
1	0	12	0	0	12			0.0%

Güçlendirilmiş yapıya ait perdelerin şekil değiştirme açısından hasar dağılımını oransal olarak ifade eden grafik Şekil 4.74'te gösterilmiştir.



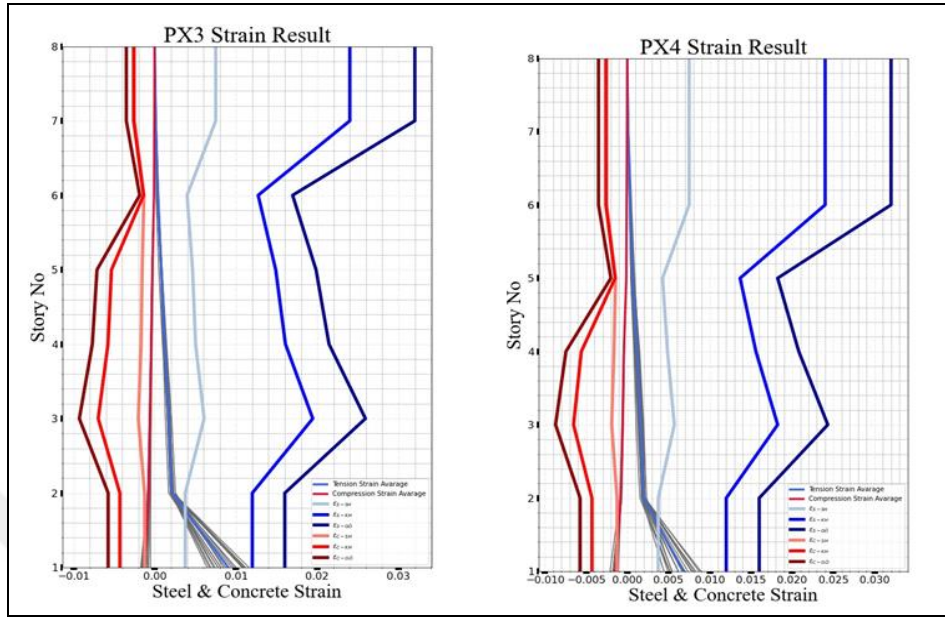
Şekil 4.74 : Güçlendirilme perdelerinin şekil değiştirme dağılımını oransal olarak ifade eden görsel.

Yapısal sisteme eklenen betonarme perde kesitlerinin şekil değiştirme talep ve kapasite kontrolü ifade eden görseller aşağıdaki sunulmuştur. PX1 ve PX2 perdesine ait şekil değiştirme kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.75'te ifade edilmiştir.



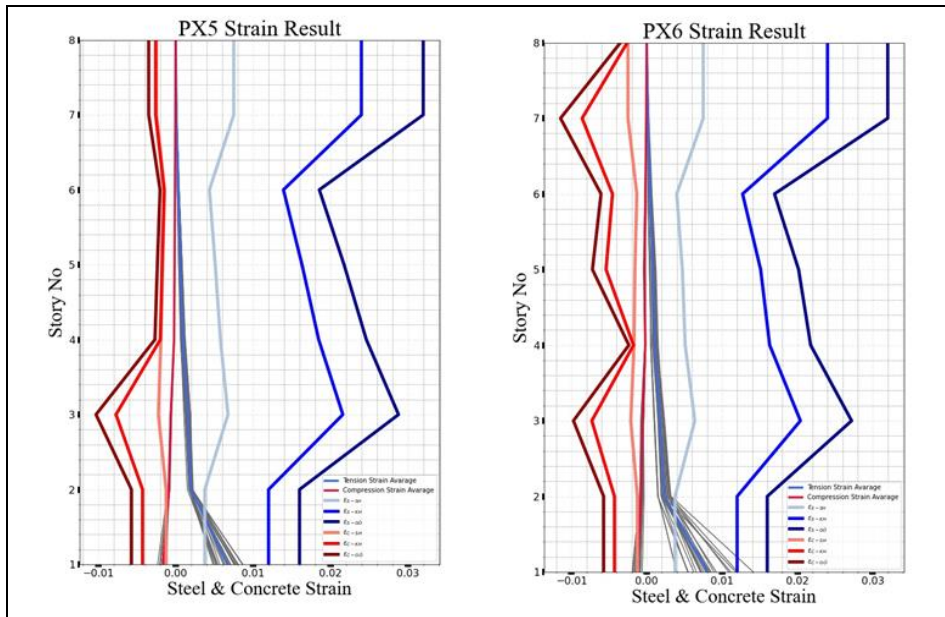
Şekil 4.75 : PX1 ve PX2 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.

PX3 ve PX4 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.76’da sunulmuştur.



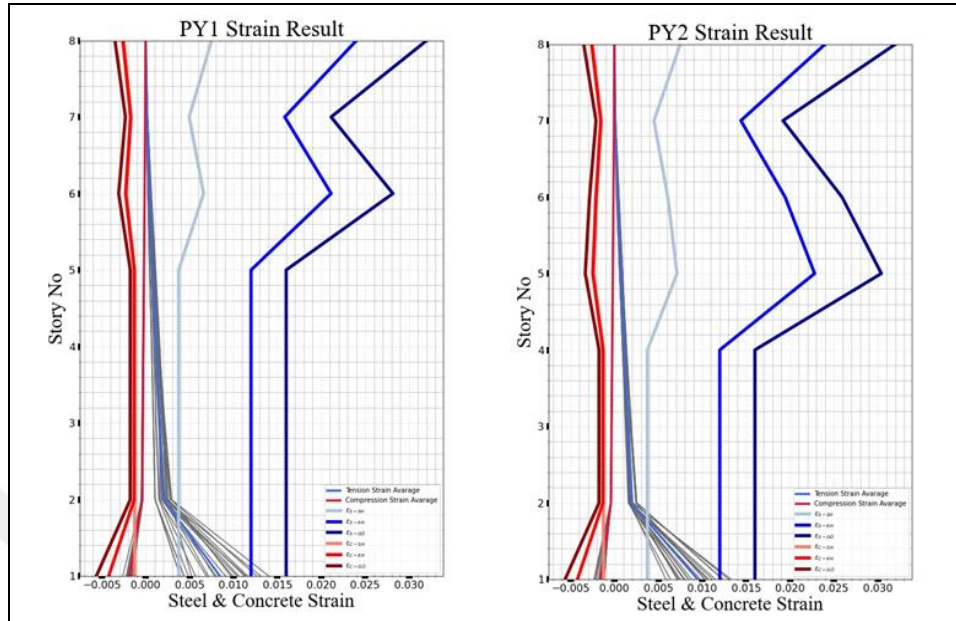
Şekil 4.76 : PX3 ve PX4 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.

PX5 ve PX6 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.77’de sunulmuştur.



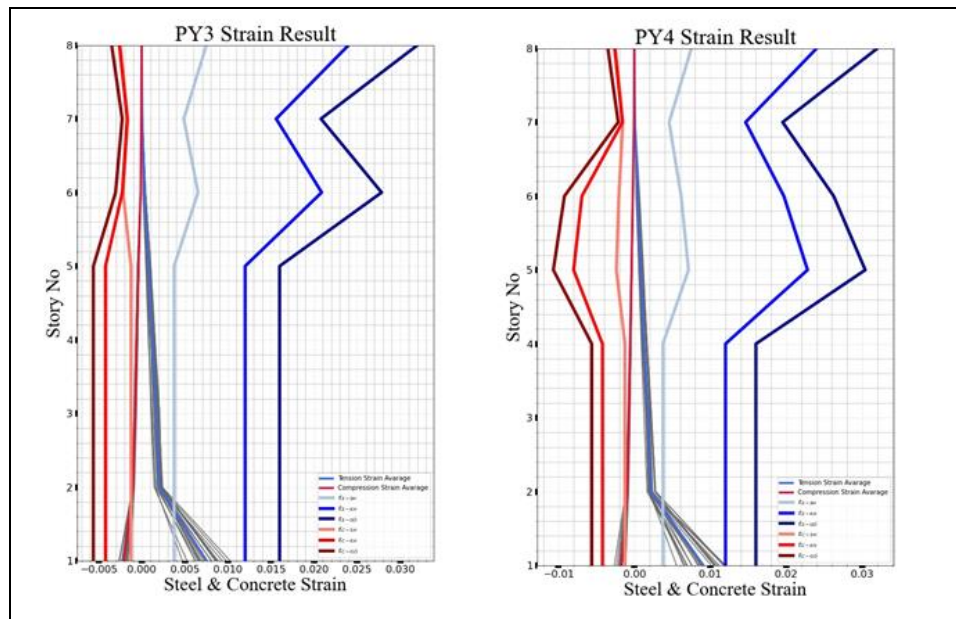
Şekil 4.77 : PX5 ve PX6 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.

PY1 ve PY2 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.78’de sunulmuştur.



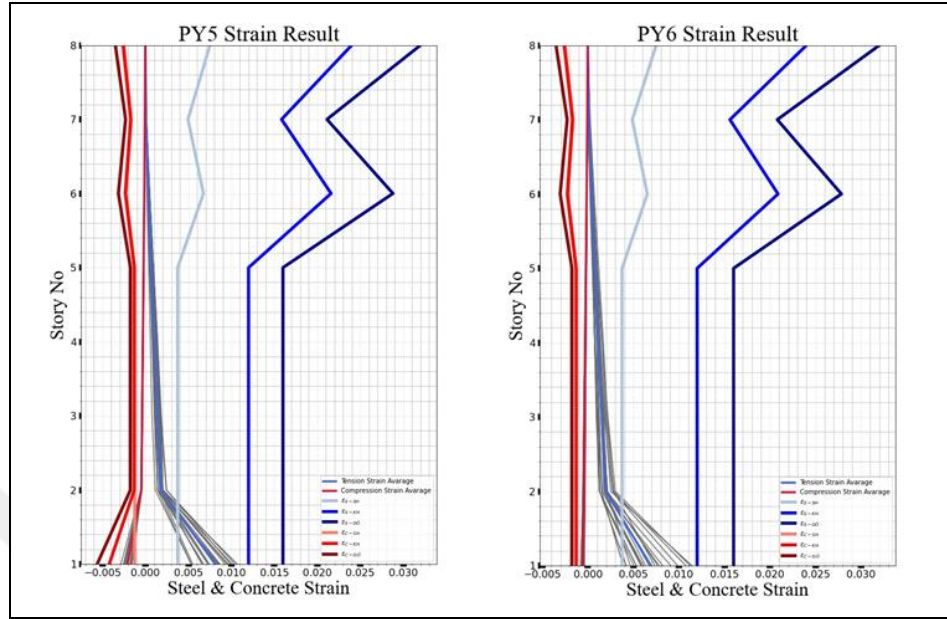
Şekil 4.78 : PY1 ve PY2 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.

PY3 ve PY4 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.79’da sunulmuştur.



Şekil 4.79 : PY3 ve PY4 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.

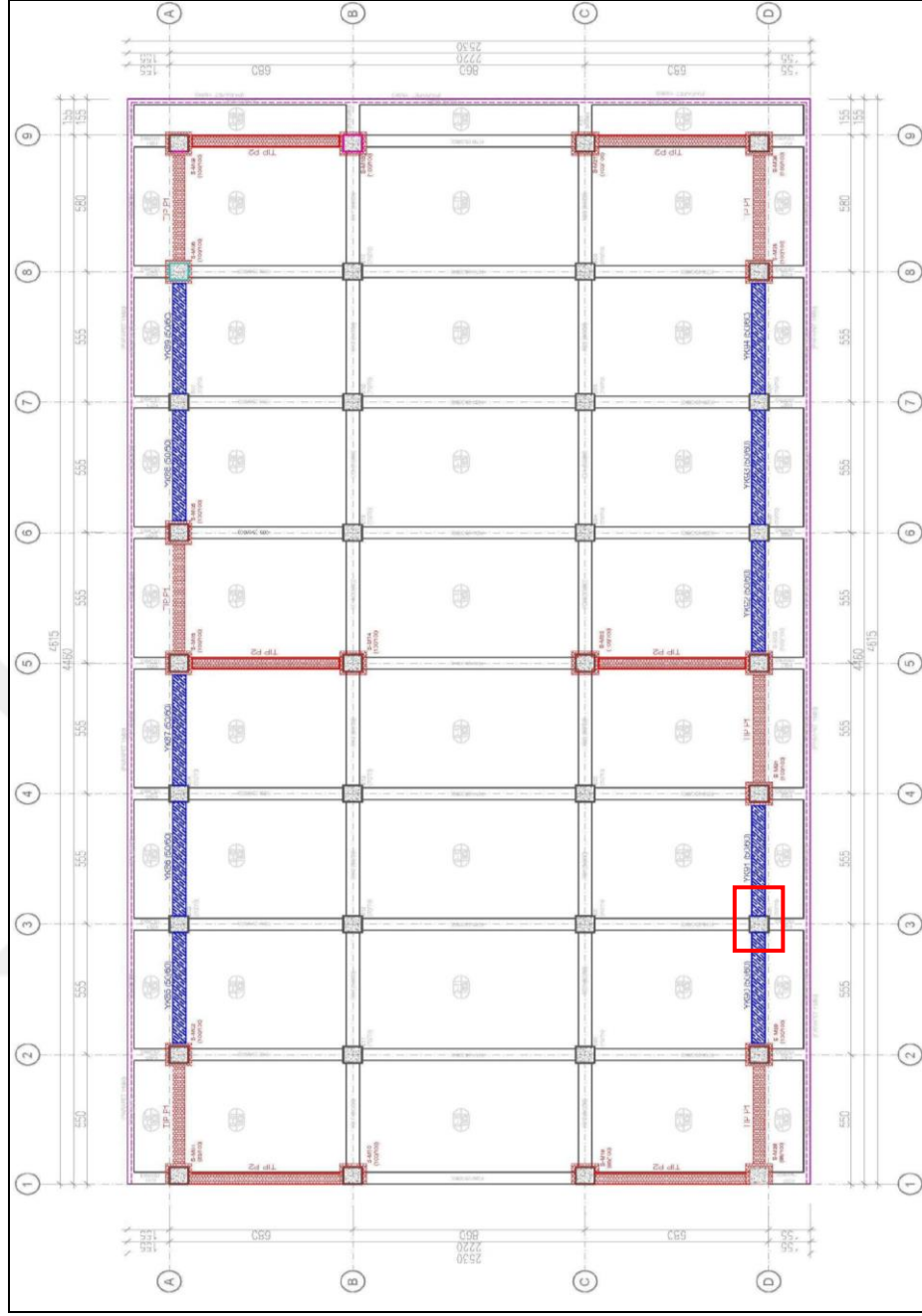
PY5 ve PY6 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolünü ifade eden görsel Şekil 4.80’de sunulmuştur.



Şekil 4.80 : PY5 ve PY6 perdesine ait şekil değiştirme kapasite kontrolüne ait görsel.

4.4.1. Kolon – Kiriş Birleşim Bölgelerinin Kesme Güvenliği

Bu tez kapsamında değerlendirme konusu olan otopark yapısının güçlendirilmiş durumu altında kolon ve kiriş birleşim bölgelerinin TBDY – 2018 Bölüm 7.5’te yer alan koşullar çerçevesinde kesme güvenliği kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Güçlendirilmiş durum altında oluşan yeni yapısal sisteme ait tip kalıp planı Şekil 4.81’de verilmiştir. Bu kalıp planına göre perde başlık bölgeleri dışında kalan işaretlenmiş kolon kiriş birleşim bölgesinin düşey doğrultudaki elemanlarının kesme güvenliği açısından kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme aşamasında kullanılacak olan iç kuvvetler tez kapsamında geliştirilen yazılımın çıktı dosyalarından alınmıştır.



Şekil 4.81 : Kolon – kiriş birleşim bölgesi kesme güvenliği kontrol edilecek elemanlara ait görsel.

Kesme güvenliği açısından kontrol edilecek bölgedeki kolon – kiriş birleşimlerinin TBDY – 2018 Bölüm 7.5.1’de belirtildiği gibi kolonun dört tarafından kirişlerin birleşmesi durumunda ve kolona bağlanan kiriş genişliklerinin bağlandığı kolonun $3/4$ ’ ünden daha az olmaması durumunda kuşatılmış birleşim olarak sınıflandırılacaktır. Bahsi geçen kurallardan herhangi birinin sağlanamaması durumunda söz konusu birleşim bölgesi kuşatılmamış olarak sınıflandırılacaktır.

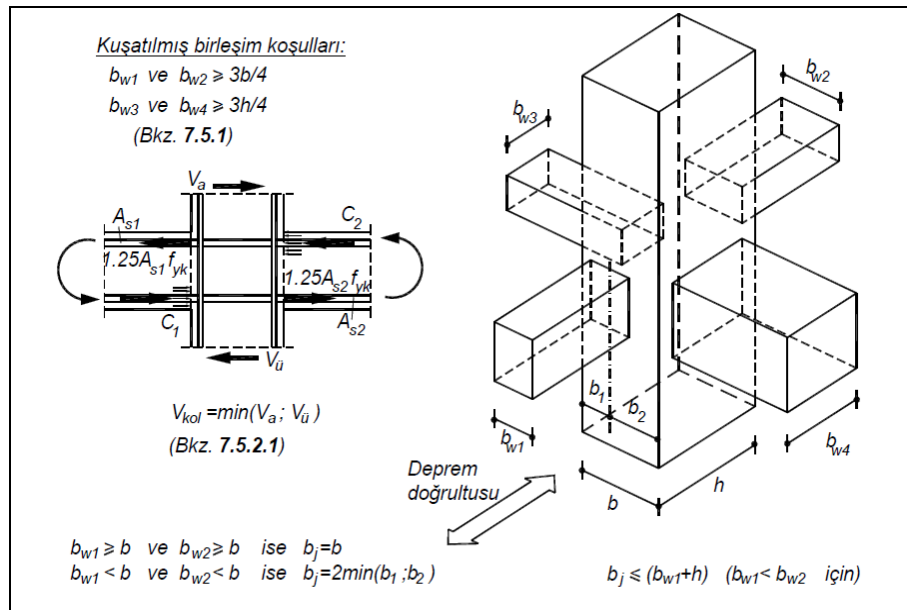
Gerçekleştirilen bu sınıflandırma neticesinde ilgili birleşim noktasındaki kesme kuvveti değerinin mukayese edilmesi gereken kapasite değerinin hesaplanmasında kullanılacak formülasyonlar Denklem 4.1’de verilmiştir [5].

$$\begin{aligned} \text{Kuşatılmamış Birleşim} : V_e &\leq 1.0 b_j h \sqrt{f_{ck}} \\ \text{Kuşatılmış Birleşim} : V_e &\leq 1.7 b_j h \sqrt{f_{ck}} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Değerlendirmesi yapılacak olan her düğüm noktasının ilgili deprem doğrultusunda kolon – kiriş birleşim bölgelerindeki kesme kuvvet taleplerinin hesaplanmasında kullanılacak olan formülasyon Denklem 4.2’de verilmiştir [5].

$$V_e = 1.25 f_{yk} (A_{s1} + A_{s2}) - V_{kol} \quad (4.2)$$

İlgili deprem doğrultusunda kolona sadece bir yönden kiriş bağlandığı ve diğer tarafta devam etmediği durumlarda $A_{s2} = 0$ alınacaktır [5]. TBDY-2018 ‘de yer alan ve kolon kiriş birleşim bölgesini şematik olarak ifade eden görsel Şekil 4.82’de sunulmuştur.



Şekil 4.82 : Kolon – kiriş birleşim bölgelerinin şematik gösterimine ait görsel.

Her katta değerlendirme konusu olan düğüm noktalarına bağlanan alt ve üst kat kolonlarının ilgili yöndeki kesme kuvvetlerinin en küçüğü hesaplamalarda kullanılacaktır. Kolon – kiriş kesme güvenliği kontrolü gerçekleştirilecek olan düğüm noktalarına bağlanan kiriş elemanı tipleri, birleşim tipleri ve söz konusu kirişlerde bulunan donatı alanları Tablo 4.22 ve Tablo 4.23 ‘te verilmiştir.

Tablo 4.22 : Axis 2 yönü kolon – kiriş düğüm noktası elemanları ve donatı alanları.

Kolon Tipi	Bağlanan Kiriş Tipi	A _{S1} (mm ²)	A _{S2} (mm ²)	A _{S1} + A _{S2} (mm ²)	Birleşim Tipi
C70X70 (ZK)	B90X32	1356	1386	2742	Kuşatılmış
C70X70 (1NK)	B50/60-NEW	1206	1206	2412	Kuşatılmamış
C60X60 (2/3NK)	B50/60-NEW	1206	1206	2412	Kuşatılmış
C50X50 (4/5/6/7NK)	B50/60-NEW	1206	1206	2412	Kuşatılmış

Tablo 4.23 : Axis 3 yönü kolon – kiriş düğüm noktası elemanları ve donatı alanları.

Kolon Tipi	Bağlanan Kiriş Tipi	A _{S1} (mm ²)	A _{S2} (mm ²)	A _{S1} + A _{S2} (mm ²)	Birleşim Tipi
C70X70 (ZK)	B90X32	1356	1386	2742	Kuşatılmış
C70X70 (1NK)	B50X60	1130	1232	2362	Kuşatılmamış
C60X60 (2/3NK)	B50X60	1130	1232	2362	Kuşatılmış
C50X50 (4/5/6/7NK)	B50X60	1130	1232	2362	Kuşatılmış

Değerlendirilecek olan birleşim bölgesine bağlanan kolonların ilgili yönlerdeki alt ve üst uçlarına ait kesme kuvvetleri ve seçilen en küçük kesme kuvveti değeri Tablo 4.24’te yer almaktadır.

Tablo 4.24 : Birleşim bölgesinde yer alan kolonların ilgili yönlerine ait kesme kuvveti değerleri.

Kolon Tipi	Axis 2			Axis 3		
	V _{üst} (kN)	V _{alt} (kN)	V _{min} (kN)	V _{üst} (kN)	V _{alt} (kN)	V _{min} (kN)
C70X70 (ZK)	398.4	48.8	48.8	135.9	48.4	48.4
C70X70 (1NK)	341.6	398.4	341.6	70.5	135.9	70.5
C60X60 (2/3NK)	326.9	410	326.9	67.3	91.2	67.3
C50X50 (4/5/6/7NK)	0	229.6	0	0	59.7	0

Otopark yapısının ilgili düğüm noktalarında gerçekleştirilen kolon-kiriş birleşim noktası kesme güvenliğine ait hesaplamalar ve sonuçlar Tablo 4.25 ve Tablo

4.26 'da sunulmuştur. Gerçekleştirilen hesaplamalarda söz konusu elemanlar mevcut yapısal sisteme ait olması nedeniyle saha çalışmaları kapsamında belirlenen malzeme özellikleri dikkate alınmıştır. Buna göre kesme taleplerinin belirlenmesinde boyuna donatının akma gerilmesi 420 MPa olarak, kesme kapasitelerinin belirlenmesinde ise beton basınç dayanımı olarak 13.5 MPa kullanılmıştır.

Tablo 4.25 : Axis 2 doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgesine ait kesme güvenliği kontrolü.

Kolon Tipi	$A_{S1} + A_{S2}$ (mm ²)	V_{kol} (kN)	V_e (kN)	Kat sayı	b_j (mm)	h (mm)	V_c (kN)	Kontrol
C70X70 (ZK)	2742	48.8	1390.8	1.7	700	700	3060.6	✓
C70X70 (1NK)	2742	341.6	1098.0	1.0	350	700	900.2	X
C60X60 (2/3NK)	2412	326.9	939.4	1.7	300	600	1124.3	✓
C50X50 (4/5/6/7NK)	2412	0	1266.3	1.7	500	500	1561.5	✓

Tablo 4.26 : Axis 3 doğrultusunda kolon-kiriş birleşim bölgesine ait kesme güvenliği kontrolü.

Kolon Tipi	$A_{S1} + A_{S2}$ (mm ²)	V_{kol} (kN)	V_e (kN)	Kat sayı	b_j (mm)	h (mm)	V_c (kN)	Kontrol
C70X70 (ZK)	2742	48.8	1391.2	1.7	700	700	3060.6	✓
C70X70 (1NK)	2742	341.6	1169.6	1.0	350	700	900.2	X
C60X60 (2/3NK)	2412	326.9	1172.8	1.7	300	600	1124.3	X
C50X50 (4/5/6/7NK)	2412	0	1240.1	1.7	500	500	1561.5	✓

Gerçekleştirilen hesaplamalar neticesinde güçlendirilmiş yapısal sistemde kolon-kiriş birleşim bölgelerinde yetersizliklerin bulunduğu tespit edilmiştir.

4.5. Analiz Sonuçları ve Performans Değerlendirmesi

Mevcut durum koşulları altında otopark yapısında gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler sonucunda yapıda *Gevrek Hasar* alan elemanların bulunduğu tespit edilmiştir. Yapısal sistemi oluşturan kesitlerde yapılan şekil değiştirme esaslı kontroller neticesinde kirişlerde ve kolonlarda *Göçme Bölgesine* geçen elemanların bulunduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analizler ve kapasite kontrolleri sonucunda otopark yapısının *Kontrollü Hasar* performans seviyesini sağlamadığı tespit edilmiştir.

Mevcut durum altındaki analizler sonucunda otopark yapısı güçlendirmek için yapıya betonarme perdeler ve kirişler eklenmiştir. Güçlendirilmiş yapısal analiz modeli üzerinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler tekrarlanmıştır. Analizler neticesinde betonarme perde, kolon ve kirişlerde kesme kuvveti açısından herhangi bir yetersizliğin bulunmadığı, yapısal sistemi oluşturan tüm elemanların *Sünek* davranış sergilediği belirlenmiştir. Perdelerde ve kolonlarda gerçekleştirilen şekil değiştirme esaslı kontroller sonucunda söz konusu yapısal elemanlarda *İleri Hasar Bölgesine* geçen herhangi bir elemanın bulunmadığı tespit edilmiştir. Kirişlerde ise yapılan şekil değiştirme esaslı kapasite kontrollerinde, tüm katlar arasında *İleri Hasar Bölgesine* geçen eleman sayısının ilgili kattaki tüm kiriş sayısına oranının en fazla %11.90 olduğu belirlenmiştir. TBDY-2018 madde 15.8.4.a'da geçen koşula göre betonarme bir binanın deprem etkileri altında yapılan hesaplamalar neticesinde herhangi bir katındaki kirişlerin en fazla %35 'inin ileri hasar bölgesine geçmesine izin verilmektedir. Yapılan güçlendirme neticesinde kirişlerde meydana gelen hasar oranının bu koşulu sağladığı belirlenmiştir. Buna göre otopark yapısında gerçekleştirilen güçlendirme çalışması sonucunda yapının TBDY-2018'e göre *Kontrollü Hasar* performans seviyesini sağladığı tespit edilmiştir.

4.6. Kırılganlık Eğrilerinin Elde Edilmesi

Değerlendirme konusu olan otopark yapısının mevcut durum ve güçlendirilmiş durum altında TBDY 2018 – Bölüm 15'e göre performans değerlendirmesi önceki bölüm kapsamında tamamlanmıştır. Bu başlık altında ise yapının değişken sismik yatay etkiler altındaki davranışının daha iyi anlaşılabilmesi ve yapının performans seviyesinin istatiksel olarak ortaya konabilmesi amacıyla yapısal model üzerinde IDA yöntemi uygulanmıştır. Bu nedenle yapının yerel zemin koşullarına ve koordinatlarına bağlı olarak seçilen on bir çift yer hareketi kayıtları farklı yoğunluk seviyelerinde lineer olarak ölçeklenmiştir. IDA analizlerinde yoğunluk ölçeği olarak PGA, hasar ölçeği olarak da göreceli kat öteleme oranının kullanılması uygun görülmüştür. IDA analizlerinde kullanılacak deprem kayıtlarının PGA değerleri 0.1g'den başlayıp 2.0 g değerine kadar 0.1 g'lik artımlarla ölçeklenmiştir. Yapılan

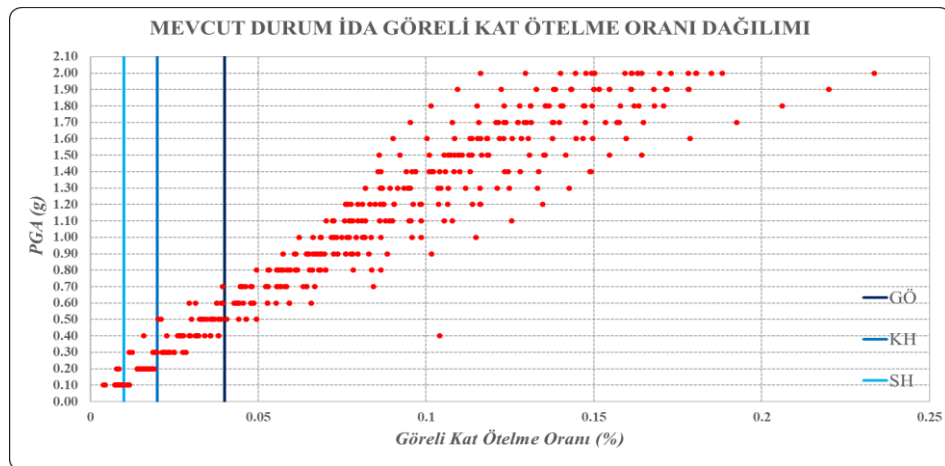
ölçekleme işlemi sonucunda mevcut durum ve güçlendirilmiş durum modelleri için 440 adet (20×11×2) deprem farklı kaydı oluşturulmuştur.

Yapılan artımsal dinamik analizler sonucunda yapıda meydana gelen hasar durumunu sınıflandırabilmek için FEMA-356’da yer alan, betonarme binaların görelî kat öteleme oranına ait hasar sınırı değerlerinin kullanılması tercih edilmiştir [26]. Betonarme çerçevelerden meydana gelen yapı tiplerine ait hasar sınır değerleri Tablo 4.27’de sunulmuştur. Mevcut durumdaki yapıya ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde söz konusu hasar limiti değerleri dikkate alınmıştır.

Tablo 4.27 : Betonarme çerçeveli yapıların FEMA-356’ya göre görelî kat öteleme oranı hasar sınır değerleri.

Görelî Kat Öteleme Oranı (%)		
Sınırlı Hasar	Kontrollü Hasar	Göçme Öncesi
1	2	4

Mevcut durum altında yapısal model üzerinde gerçekleştirilen 440 adet artımsal dinamik analiz sonuçları geliştirilen yazılım aracılığıyla hızlı bir şekilde elde edilmiştir. Program vasıtasıyla elde edilen görelî kat ötelenme oranı sonuçları FEMA-356’da geçen hasar sınırlarına göre değerlendirilerek, yapıda meydana gelen hasar dağılımı Şekil 4.83’teki IDA eğrisinde grafiksel olarak sunulmuştur. Oluşturulan IDA grafiğinde düşey eksen maksimum zemin ivmesindeki değişimi, yatay eksen ise ivme değerindeki değişim nedeniyle yapıda meydana gelen en büyük mutlak görelî kat öteleme oranlarını ifade etmektedir.



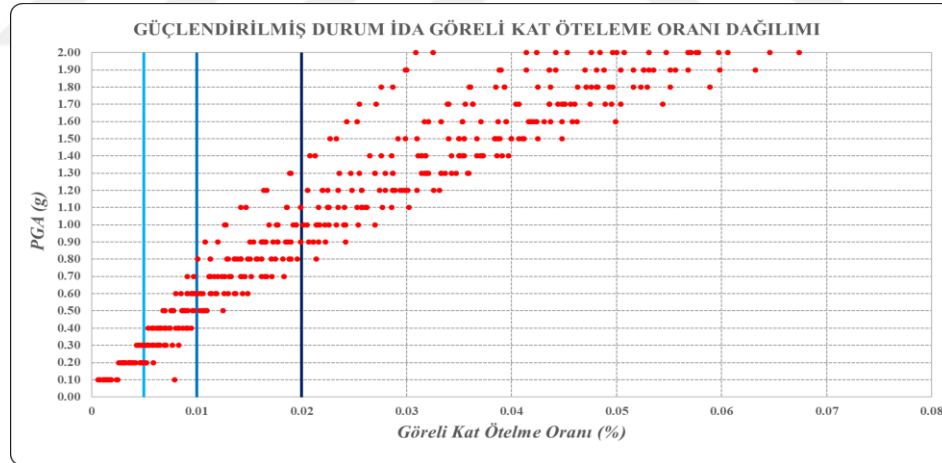
Şekil 4.83 : Yapının mevcut durumuna ait IDA eğrisi.

Güçlendirme çalışmaları kapsamında yapısal sisteme betonarme perde elemanlar eklenmiştir. Bu nedenle güçlendirilmiş duruma ait artımsal dinamik analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde hasar sınırı olarak perdeli yapılara ait limit değerlerinin kullanılması gerekmektedir. FEMA-356’da perdeli sisteme sahip olan betonarme yapıların performans düzeylerine ait hasar sınır değerleri Tablo 4.28’de verilmiştir.

Tablo 4.28 : Perdeli yapıların FEMA-356’ya göre görelî kat öteleme oranı hasar sınır değerleri.

Görelî Kat Öteleme Oranı (%)		
Sınırlı Hasar	Kontrollü Hasar	Göçme Öncesi
0.5	1	2

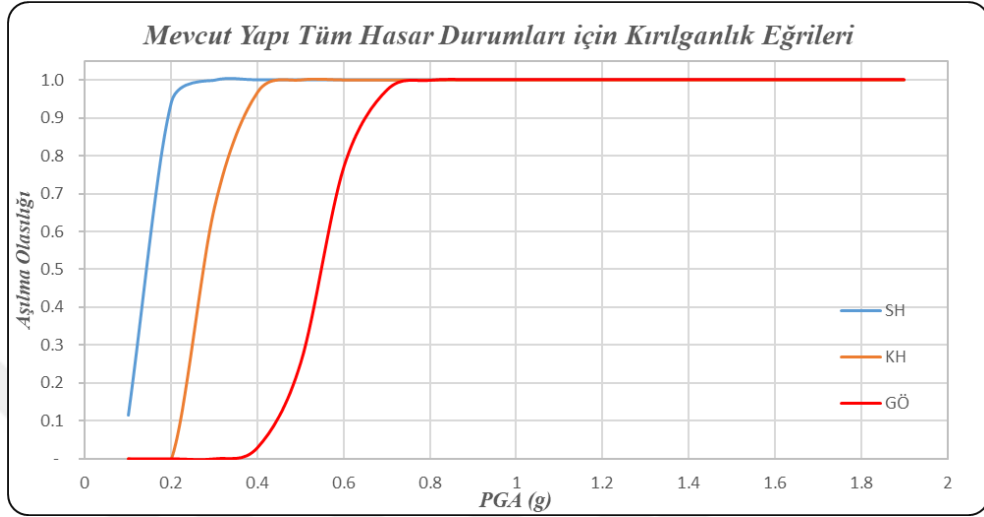
Güçlendirilmiş durum altında yapısal model üzerinde gerçekleştirilen 440 adet IDA analizine ait görelî kat öteleme oranı sonuçları ve FEMA-356’da geçen hasar sınırlarına göre yapıda meydana gelen hasar dağılımı Şekil 4.84’teki görselde sunulmuştur.



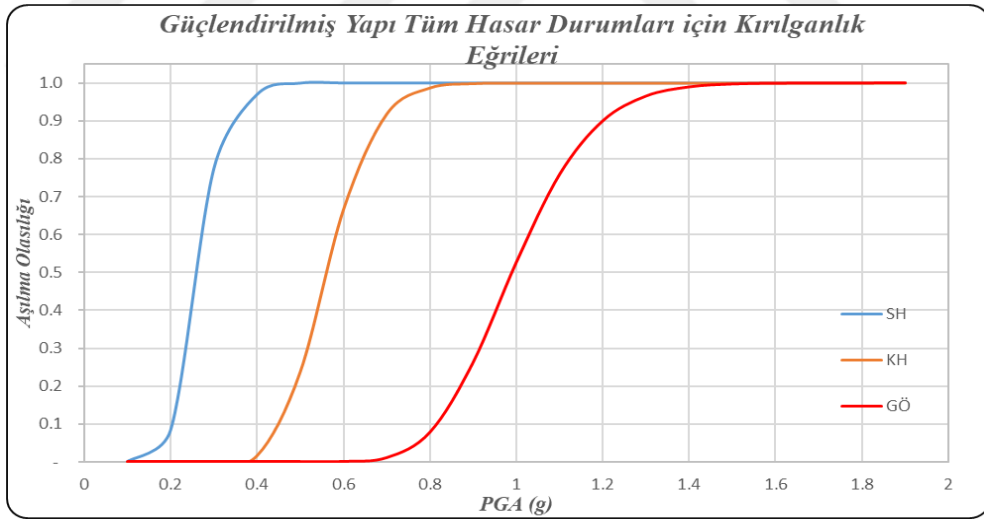
Şekil 4.84 : Yapının güçlendirilmiş durumuna ait IDA eğrisi.

Mevcut ve güçlendirilmiş durumda yapılara ait IDA eğrilerinden yola çıkılarak yapının kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Kırılma eğrilerine ait fonksiyonlar oluşturulurken değerlendirme konusu yapı için PGA parametresi ile yapının hasar sınırlarını aşma olasılığı ilişkilendirilmiştir. Şekil 4.83 ve Şekil 4.84’te yer alan IDA eğrileri lognormal fonksiyonundan yararlanılarak, FEMA-356’da yer alan hasar sınır

değerlerine göre hangi yer ivmesi değeri altında hangi hasar sınırların ne oranda aşılabacağını ifade eden kırılmalık eğrilerine dönüştürülmüştür. Mevcut ve güçlendirilmiş duruma ait tüm hasar sınırlarını içeren kırılmalık eğrileri Şekil 4.85 ve Şekil 4.86’da sunulmuştur.



Şekil 4.85 : Mevcut duruma ait kırılmalık eğrisi.



Şekil 4.86 : Güçlendirilmiş duruma ait kırılmalık eğrisi.

Mevcut ve güçlendirilmiş duruma ait yapısal modelin tüm performans seviyelerine ait kırılmalık eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan medyan (θ) değerleri ve standart sapma (β) değerleri Tablo 4.29’da sunulmuştur.

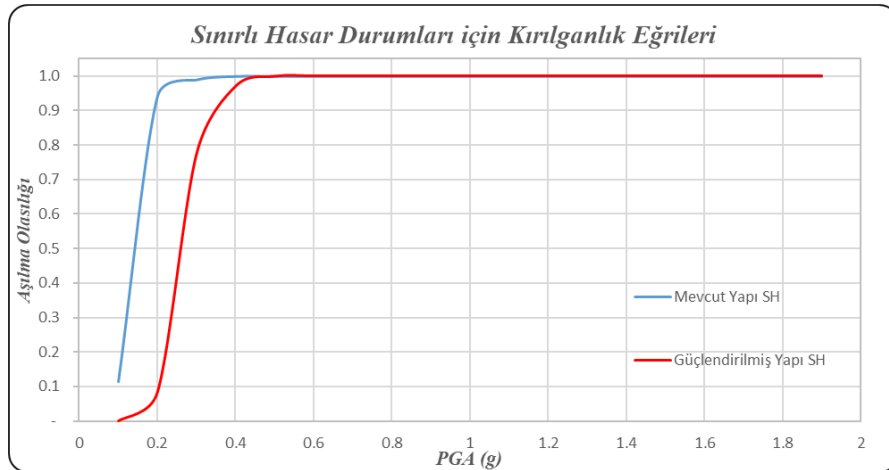
Tablo 4.29 : Mevcut ve güçlendirilmiş yapının kırılmalık eğrilerinin oluşturulmasında kullanılan medyan ve standart sapma değerleri.

	Mevcut Durum		Güçlendirilmiş Durum	
	θ'	β'	θ'	β'
SH	0.14	0.25	0.26	0.19
KH	0.29	0.08	0.56	0.16
GÖ	0.55	0.13	0.99	0.15

4.7. Kırılmalık Eğrilerinin Karşılaştırılması

Yapının mevcut ve güçlendirilmiş durum modelleri üzerinde yapılan toplam 880 adet artımsal dinamik analizi sonucunda elde edilen kırılmalık eğrileri bu başlık altında karşılaştırılmıştır. FEMA-356’da yer alan hasar sınırı değerlerine göre *Sınırlı Hasar*, *Kontrollü Hasar* ve *Göçmenin Önlenmesi* performans düzeyine göre mevcut ve güçlendirilmiş durum altındaki yapılar istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

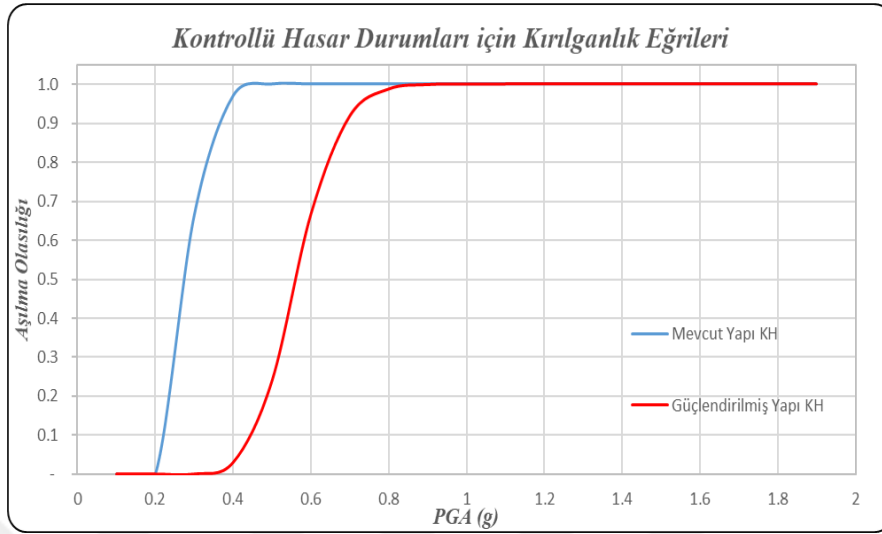
Mevcut ve güçlendirilmiş yapıya ait sınırlı hasar performans düzeyi için oluşturulan kırılmalık eğrisi incelendiğinde medyan aşım olasılığı (%50 aşım olasılığı) mevcut yapıda 0.14g, güçlendirilmiş yapıda ise 0.28g mertebesinde aşılmaktadır. Sınırlı hasar performans düzeyine ait kırılmalık eğrisi Şekil 4.87’de sunulmuştur.



Şekil 4.87 : Sınırlı hasar limitine ait mevcut ve güçlendirilmiş yapı kırılmalık eğrisi.

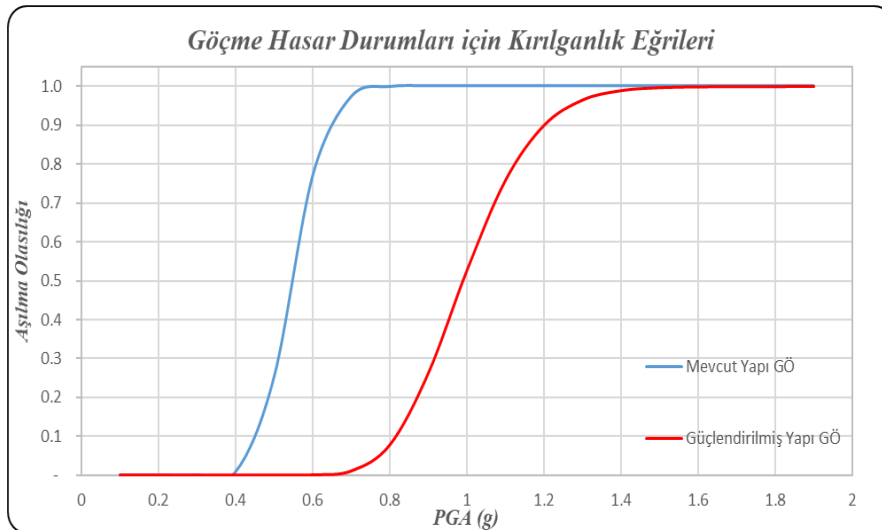
Değerlendirme konusu yapının güçlendirme öncesi ve sonrası durum altındaki kontrollü hasar performans düzeyi için oluşturulan kırılmalık eğrisi incelendiğinde medyan aşım olasılığı (%50 aşım olasılığı) mevcut yapıda 0.27g, güçlendirilmiş

yapıda ise 0.56g mertebesinde aşılmaktadır. Kontrollü hasar performans düzeyine ait kırılabilirlik eğrisi Şekil 4.88’de sunulmuştur.



Şekil 4.88 :Kontrol hasar limitine ait mevcut ve güçlendirilmiş yapı kırılabilirlik eğrisi.

Otopark yapısının göçme öncesi hasar performans düzeyi için oluşturulan kırılabilirlik eğrisi incelendiğinde mevcut ve güçlendirilmiş yapının medyan aşım olasılığı (%50 aşım olasılığı) mevcut yapıda 0.54g mertebesindeyken güçlendirilmiş yapıda ise 1.00g mertebesinde aşıldığı anlaşılmaktadır. Göçme öncesi performans düzeyine ait kırılabilirlik eğrisi Şekil 4.89’da sunulmuştur.



Şekil 4.89 : Göçme öncesi hasar limitine ait mevcut ve güçlendirilmiş yapı kırılabilirlik eğrisi.

Değerlendirme konusu olan otopark yapısı üzerinde yapılan kırılgenlik eğrisi analizleri neticesinde mevcut yapı üzerinde herhangi bir olasılıkta meydana gelen hasarın, güçlendirilmiş yapı üzerinde aynı aşılma olasılığı değesinde meydana gelebilmesi için yapının daha yüksek yer hareketi ivmesine maruz kalması gerekmektedir. Diğer bir deyişle mevcut ve güçlendirilmiş yapı aynı büyüklüğe sahip deprem etkisine maruz bırakıldığında mevcut durumda meydana gelmesi beklenen hasarların oluşma olasılığı güçlendirilmiş yapıyla kıyaslandığında görece daha büyük olasılıktadır.



5. SONUÇLAR

5.1. Özet

Bu tez çalışması kapsamında İzmir ili, Bornova ilçesinde yer alan 8 katlı bir otopark yapısı mevcut durum koşulları altında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler uygulanarak söz konusu yapının performans esaslı değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Değerlendirme konusu yapının mevcut durum koşulları altındaki yetersizlikleri ortaya konulduktan sonra yapıya güçlendirme amacıyla her iki doğrultuda betonarme perdeler eklenmiş ve yapının performans seviyesinin TB DY-2018 'in önerdiği düzeye ulaşması sağlanmıştır.

Yapılan performans esaslı değerlendirmenin devamında mevcut ve güçlendirilmiş yapı modelleri üzerinde uygulanan deprem kayıtları 0.1g'den başlayıp 2.0g değerine kadar 0.1g'lik artımlarla ölçeklenmiştir. Yapısal modeller üzerinde ölçeklenen bu deprem kayıt setleri kullanılarak IDA analizleri gerçekleştirilmiş ve yapısal sistem hakkında istatistiksel analizlerde kullanılacak veriler elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen veriler kullanılarak yapıya ait kırılma eğrileri oluşturulmuştur. Kırılma eğrilerinin oluşturulması aşamalarında şiddet ölçeği olarak PGA ve hasar ölçeği olarak da maksimum göreceli kat öteleme oranı kullanılmıştır. Mevcut ve güçlendirmiş durum altında gerçekleştirilen performans esaslı değerlendirme sonuçları ve IDA sonuçları tez kapsamında geliştirilen yazılım kullanılarak elde edilmiştir. Tercih edilen analiz programının ve geliştirilen yazılımın avantajları sayısal verilere dayanarak aşağıda açıklanmıştır.

Bu tez kapsamında değerlendirilen otopark binasının pratik mühendislik çalışmalarında on bir çift deprem kaydı altında gerçekleştirilen mevcut ve güçlendirilmiş duruma ait analizleri Etabs v18.1.0 programında yaklaşık 2 haftada tamamlanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen veri büyüklüğü ise yaklaşık olarak 2 terabayt boyutundadır. Bu tez çalışması kapsamında söz konusu yapının analizlerinde zaman açısından avantaj sağlayabilmek için Perform3D programı tercih edilmiştir. Perform3D programında, Etabs v18.1.0'da gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler her bir yapı için 20 kez tekrarlanarak IDA analizleri 48 saat gibi oldukça kısa bir süre içerisinde tamamlanmıştır. Perform3D

programının diğ er bir avantajı ise analiz sonuç dosyalarının saklanma formatından dolayı kapladığı hafıza alanı 647 gigabayt olup, donanımsal olarak kullanıcılara önemli ölçüde avantaj sağlamaktadır. Bu  alışma kapsamında geliştirilen yazılım sayesinde ise tüm IDA analizlerine ait göreli kat öteleme oranlarının TBDY 2018'e göre değerlendirilmesi ve istenilen dosya formatında hazırlanması yaklaşık 2 saatte tamamlanmıştır. Söz konusu yapının mevcut ve güçlendirilmiş durumuna ait TBDY 2018 bölüm 15 kapsamında gerçekleştirilen performans esaslı değerlendirmesi ise 36 saatte tamamlanmıştır.

5.2. Sonuçlar ve  neriler

Mevcut durum koşulları altında gerçekleştirilen analiz sonuçları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Mevcut durum koşulları altında kolonlarda ve kirişlerde kesme güvenliği açısından yetersizliklerin bulunduğu ve gevrek davranış sergileyen elemanların bulunduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan analizler sonucunda mevcut durum koşulları altında tüm yapısal sistemdeki kirişlerin %6'sının ileri hasar bölgesine geçtiği, %38 'inin ise göçme bölgesine geçtiği tespit edilmiştir.
- Kolonlarda yapılan şekil değiştirme esaslı değerlendirme sonucunda tüm yapısal sistemi oluşturan kolonların %18 'inin ileri hasar bölgesine geçtiği ve %55 'inin ise göçme bölgesine geçtiği tespit edilmiştir.

Mevcut durum altında yapılan değerlendirmeler neticesinde söz konusu yapının TBDY-2018 'de belirtilen performans düzeyini sağlamadığı belirlenmiştir. Değerlendirme konusu yapıya güçlendirme çalışmaları kapsamında eklenen perdelerden sonra yapısal sistem tekrar analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur.

- Gerçekleştirilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler neticesinde yapısal sistemi oluşturun perde, kolon ve kirişlerde kesme kuvvetleri açısından

herhangi bir yetersizliğin bulunmadığı ve tüm elemanların sünek davranış sergilediği belirlenmiştir.

- Perdelerde gerçekleştirilen şekil değiştirme esaslı değerlendirmeler neticesinde tüm perde elemanların içerisinde ileri hasar bölgesine geçen ya da aşan herhangi bir elemanın bulunmağı belirlenmiştir.
- Kolonlar üzerinde yapılan şekil değiştirme esaslı analizler neticesinde yapısal sistemi oluşturan tüm elemanların sınırlı hasar bölgesinde kaldığı tespit edilmiştir.
- Kirişler üzerinde yapılan şekil değiştirme esaslı değerlendirmeler neticesinde yapısal sistemi oluşturan tüm kirişlerin sadece %9 'unun ileri hasar bölgesine geçtiği belirlenmiştir. TBDY 2018 madde 15.8.4.a'da geçen kurallara göre herhangi bir katta en fazla %35 olmasına izin verilmektedir. Buna göre yapısal sistemdeki kirişler değerlendirildiğinde, tüm katlar arasında en fazla ileri hasar bölgesine geçen kiriş oranının %11.9 olduğu belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde söz konusu oranın TBDY-2018 'de ifade edilen oranı aşmadığı belirlenmiştir.

Güçlendirilmiş durum altında gerçekleştirilen değerlendirmeler neticesinde yapısal sistemin TBDY-2018'de geçen kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı tespit edilmiştir. Fakat TBDY-2018'de şekil değiştirme esaslı değerlendirmede kapsamında bir değerlendirme kriteri olmamasına rağmen güçlendirilmiş yapısal sistemde kolon-kiriş birleşim noktalarının kesme güvenliği kontrol edildiğinde yetersizliklerin bulunduğu gözlemlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim noktalarının kesme güvenliği yapının performans seviyesinin belirlenmesinde bir değerlendirme kriteri olmamasına rağmen deprem etkileri altında bu noktalarda meydana gelecek bir hasarın yapısal sistemde toptan bir göçme mekanizmasına sebebiyet vereceği göz önünde tutulmalıdır.

IDA analizlerinin sonuçlarının irdelenmesi performans seviyelerine ait değerlendirme kriterlerinin TBDY-2018'de bulunmaması nedeniyle FEMA-356'da geçen hasar sınırı değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Mevcut durum ve güçlendirilmiş durum altında gerçekleştirilen analizler neticesinde elde edilen

kırılgnlık eğrileri ve bu eğrilere ait sonuçların yorumlanması aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Mevcut ve güçlendirilmiş yapıya ait sınırlı hasar performans düzeyi için oluşturulan kırılgnlık eğrisi incelendiğinde medyan aşım olasılığının (%50 aşım olasılığı) mevcut yapıda 0.14g değerinde, güçlendirilmiş yapıda ise 0.28g değerinde aşıldığı anlaşılmaktadır.
- Mevcut ve güçlendirilmiş yapıya ait kontrollü hasar performans düzeyi için oluşturulan kırılgnlık eğrisi değerlendirildiğinde medyan aşım olasılığının (%50 aşım olasılığı) mevcut yapıda 0.27g mertebesinde, güçlendirilmiş yapıda ise 0.56g mertebesinde aşıldığı tespit edilmiştir.
- Mevcut ve güçlendirilmiş yapıya ait göçme öncesi hasar performans düzeyi için oluşturulan kırılgnlık eğrisi incelendiğinde medyan aşım olasılığının (%50 aşım olasılığı) mevcut yapıda 0.54g, güçlendirilmiş yapıda ise 1.00g mertebesinde aşıldığı belirlenmiştir.

Tamamlanan çalışmalar neticesinde mevcut durum altında ilgili yönetmelikteki performans hedefini sağlayamayan yapısal sisteme güçlendirme elemanları ekleyerek yapının performans seviyesinin yönetmelikte belirlenen seviye ulaşması sağlanmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş yapısal sistem modeli üzerinde gerçekleştirilen IDA analizler neticesinde yapısal sistemlerin TBDY-2018’de belirtilen her performans seviyesine ait kırılgnlık eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan kırılgnlık eğrilerinden faydalanarak mevcut ve güçlendirilmiş durum altında yapıların maruz kalacağı farklı yer ivmesi seviyesine sahip depremler sonucunda nasıl bir performans sergileyeceği istatistiksel olarak ortaya konmuştur.

Yapılan bu çalışmalar neticesinde ilgili performans seviyesinin sağlanmış olmasına rağmen yapısal sistemin stabilitesini ilgilendiren önemli kontrollerin sağlanamayabileceği anlaşılmıştır. Bu nedenle yapılan değerlendirme çalışmaları esnasında kolon-kiriş birleşim noktalarının kesme güvenliği gibi konuların kontrol edilmesinin faydalı olacağı göz önünde tutulmalıdır.

5.3. Gelecek Çalışmalar

Bu tez kapsamında tamamlanması mümkün olmayan ancak farklı araştırmacılar tarafından gelecekte gerçekleştirmesi ve ülkemizde yapı güçlendirmesi alanına ışık tutması temenni edilen konu önerileri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Bu tez kapsamında mevcut yapının güçlendirilmesi kapsamında geleneksel yöntem olarak da nitelendirebileceğimiz yapıya betonarme elemanlar eklenmesi veya betonarme manto ile güçlendirme yapılması yöntemi kullanılmıştır. TBDY-2018 kapsamında belirtilen kriterler kullanılarak mevcut bir yapı söz konusu geleneksel yöntemlerle ve burkulması önlenmiş çelik çaprazlar (BRB) kullanılarak güçlendirilebilir. Yapılan çalışma neticesinde yapısal davranış, performans seviyeleri, inşaat süresi ve inşaat maliyet gibi parametreler irdelenerek bir karşılaştırma çalışması yapılabilir.
- Bu çalışma kapsamında IDA analizlerinde şiddet ölçeği olarak PGA değeri, hasar ölçüsü olarak da göreceli kat öteleme oranları referans alınmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda şiddet ölçeği olarak PGV, PGD ya da elastik tasarım ivmesi (Sae) ölçeklenerek, hasar ölçeği olarak da göreceli kat öteleme oranı yerine çatı deplasmanı dikkate alınarak analizler gerçekleştirilebilir.
- Bu tez çalışması kapsamında temel sisteminin elastik davranacağı kabul edilerek IDA analizleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut ve güçlendirilmiş yapı koşullarında zeminin yapı ile olan etkileşimi yapısal modeller üzerinde yansıtılarak gerçekleştirilecek bir araştırma yapıların deprem etkisi altında sergileyeceği performansının istatistiksel olarak irdelenmesi konusunu daha ileri bir boyuta taşıyabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, (1999), <https://deprem.afad.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 15/05/2022).
- [2] Mortezaei A., Ronagh H. R., (2013), “Plastic hinge lenght of reinforced concrete columns subjected to both far-fault and near-fault ground motions having forward directivity”, The Structural Design of Tall and Special Buildings, 22 (12), 903-926.
- [3] Kutanis M., Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Performans Yaklaşımı-1, İMO Sakarya Bülteni.
- [4] Celep Z., (2017), “Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme”, 4. Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- [5] TBDY, (2018) İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara.
- [6] Celep Z., (2019), “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, 7. Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- [7] Darılmaz K., (2019), “Deprem Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş”, 1. Baskı, Birsen Basım Yayım Dağıtım Ltd.Şti.
- [8] Bozdağ Ö., (2010), “Binların Deprem Performansının Belirlenmesi İçin Yönlü Modal Birleştirme ve Enerji Esaslı Yerdeğiştirmeye Dayalı Bir Artımsal İtme Analizi Yöntemi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.
- [9] Alıcı F. S., Kaatsız K., ve Sucuoğlu H., (2015), “Bina Yapılarının Çok Modlu İtme Analizi İçin Genel Yük Vektörlerinin Pratik Uygulaması”, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim.
- [10] Gupta B., Kunnath, S. K., (2000), “Adaptive spectra- based pushover procedure for seismic evulation of structures”, Earthquake Spectra 16 (2), 367-391.
- [11] Li Y. R., (1996), “Non-Linear Time History and Pushover Analyses for Seismic Design and Evulation”, Doctoral dissertation, Texas University.
- [12] Ulutaş H., (2018), “DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (17), 351-359.
- [13] Vamvatsikos D., Cornell C. A., (2002), “Incremental Dynamic Analysis”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31 (3), 491-514.

- [14] Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2000), Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. Rep No: FEMA-350.
- [15] Tüzün C., Aydınoglu M. N., (2007), “Gerçek Binaların Doğrusal Olmayan Analizlerinden Hasargörebilirlik İlişkilerinin Elde Edilmesi”, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 399-410, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim.
- [16] Tunç Ç., (2015), “Yarı Rijit Mesnetlenmiş Perdeler ile Güçlendirilmiş Bir Okul Binasının Kırılma Eğrileri”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [17] Elnashai A., Rossetto T., (2003), “Derivation of Vulnerability Functions for European Type RC Structures Based on Observation Data”, Engineering Structures, 25, 1241-1263.
- [18] Porter K., (2015), “A Beginner’s Guide to Fragility, Vulnerability and Risk”, Encyclopedia of Earthquake Engineering, 235-260.
- [19] Baker J. W., (2015), “Efficient Analytical Fragility Function Fitting Using Dynamic Structural Analysis”, Earthquake Spectra, 31 (1), 579-599.
- [20] Ibarra L. F., and Krawinkler H., (2005), “Global Collapse of Frame Structures Under Seismic Excitations”, Report No: 152, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, USA.
- [21] TS500, (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [22] Binary Result Files For Perform3D (2018), United States of America.
- [23] TS498, (1987), Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [24] Dalyan İ., Şahin B., (2019), “Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi”, Türk Deprem Araştırma Dergisi, (1), 134-147.
- [25] Taucer F.F., Spacone E., Filippou F.C., (1991), “A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures”, Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley, UCB/EER-91/17, USA.
- [26] Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2000), Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Rep No: FEMA-356.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf AK, 2009 yılında Pendik Lisesinde eğitimini tamamladıktan sonra 2010 yılında İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2015 yılında lisan eğitimi tamamlamasının ardından sektörde farklı firmalarda yapısal tasarım mühendisi olarak görev aldı. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği programında yüksek lisan eğitimine başladı. Kariyerinin devam eden sürecinde farklı firmalarda deprem ve yapı mühendisi görevlerini icra etmiş olup kariyer hayatına devam etmektedir.



EKLER

Ek A: Karot Numunelerine Ait Test Sonuçları

Tablo A1.1 : Yapıdan alınan karot numunelerinin test sonuçları.

No.	Kat	Karot No.	Çap (mm)	Numune Yüksekliği (mm)	Kırılma Yüğü (N)	Karot Basınç Dayanımı (MPa)
1	Zemin Kat	1	74	76	65700	15.30
2	Zemin Kat	2	74	75	79200	18.40
3	Zemin Kat	3	74	76	80600	18.80
4	1.Normal Kat	1	74	77	73800	17.20
5	1.Normal Kat	2	74	75	75100	17.50
6	1.Normal Kat	3	74	74	66500	15.50
7	2.Normal Kat	1	74	75	69800	16.20
8	2.Normal Kat	2	74	74	105600	24.60
9	2.Normal Kat	3	74	75	99900	23.20
10	3.Normal Kat	1	74	74	82600	19.20
11	3.Normal Kat	2	74	76	62600	14.60
12	3.Normal Kat	3	74	75	74300	17.30
13	4.Normal Kat	1	74	76	88600	20.60
14	4.Normal Kat	2	74	76	80300	18.70
15	4.Normal Kat	3	74	75	81300	18.90
16	5.Normal Kat	1	74	75	79900	18.60
17	5.Normal Kat	2	74	77	95900	22.30
18	5.Normal Kat	3	74	76	99300	23.10
19	6.Normal Kat	1	74	76	96900	22.50
20	6.Normal Kat	2	74	75	68400	15.90
21	6.Normal Kat	3	74	75	103000	24.00
22	7.Normal Kat	1	74	74	82100	19.10
23	7.Normal Kat	2	74	74	97700	22.70
24	7.Normal Kat	3	74	74	105500	24.50