

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR BİNADA GELENEKSEL YÖNTEM VE TABAN YALITIM
İLE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sercan KARABACAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

MAYIS 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME BİR BİNADA GELENEKSEL YÖNTEM VE TABAN YALITIM
İLE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sercan KARABACAK
(501161044)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Konuralp GİRGIN

MAYIS 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161044 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sercan KARABACAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “BETONARME BİR BİNADA GELENEKSEL YÖNTEM VE TABAN YALITIMI İLE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Konuralp GİRGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Konuralp GİRGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ercan YÜKSEL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi. Bahadır ŞADAN
MEF Üniversitesi

Teslim Tarihi : **09 Mart 2020**
Savunma Tarihi : **14 Mayıs 2020**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında TBDY 2018 kapsamında mevcut bir yapının deprem davranışına bakılmış, klasik güçlendirme ve eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirme olmak üzere iki farklı güçlendirme yöntemi ile deprem davranışı iyileştirilmiş ve sonuçlar teknik ve ekonomik açıdan karşılaştırılmıştır.

Desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Konuralp GİRGİN'e, tezimi hazırlarken yaptığı tüm destekleri için İnş. Yük. Müh. Barış ŞAHİN'e teşekkürlerimi borç bilirim.

Lisans ve lisansüstü eğitimimde bana katkıda bulunan ve destek veren tüm hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni destekleyen, maddi manevi yardımlarını esirgemeyen ve sabrı gösteren değerli anneme ve babama en içten teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2020

Sercan Karabacak
İnşaat Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Çalışmanın Konusu ve Kapsamı	2
1.3 Literatür Çalışması	4
2. TBDY 2018'E GÖRE MEVCUT BETONARME YAPININ DEPREM DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ VE İKİ FARKLI YÖNTEM İLE GÜÇLENDİRİLMESİ	7
2.1 TBDY 2018'e Göre Mevcut Yapının Değerlendirilmesi	7
2.1.1 Doğrusal olmayan analizin modellenmesine ilişkin genel kurallar	8
2.1.2 Doğrusal olmayan analizin malzeme modelleri.....	9
2.1.3 Doğrusal olmayan analizin davranış modelleri.....	11
2.1.4 Kolon ve kiriş elemanların modellenmesi	11
2.1.5 Betonarme perde elemanların modellenmesi	12
2.1.6 Betonarme elemanların etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi	12
2.1.7 Doğrusal olmayan analiz yöntemleri	13
2.1.7.1 İtme analizi yöntemi.....	13
2.1.7.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yöntemi.....	15
2.1.8 TBDY 2018 betonarme yapılar için izin verilen şekil değiştirme sınırları.....	16
2.1.8.1 Mevcut binalarda sınırlı hasar (SH) performans düzeyi	17
2.1.8.2 Mevcut binalarda kontrollü hasar (KH) performans düzeyi	17
2.1.8.3 Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi	18
2.1.8.4 Göçme durumu performans seviyesi.....	18
2.2 Mevcut Betonarme Yapının Klasik Yöntem ile Güçlendirilmesi	19
2.2.1 Mevcut betonarme yapının klasik güçlendirme uygulama örnekleri.....	20
2.3 Eğri Yüzeli Sürtünmeli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak Güçlendirme Yapılması.....	21
2.3.1 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimlerinin Türkiye'deki gelişimi	21
2.3.2 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirmenin faydaları	22
2.3.3 Eğri yüzeyli deprem yalıtım biriminin TBDY 2018'de tanımı.....	23
2.3.4 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılan binaların tasarım yöntemi	24
2.3.5 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi ile yapılan güçlendirme örnekleri.....	27

3. TBDY 2018'E GÖRE MEVCUT YAPININ DEPREM DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ	29
3.1 İncelenecek Olan Binanın Tanıtılması	29
3.2 Mevcut Yapının Performans Hedefinin ve Analiz Yönteminin Belirlenmesi..	31
3.3 Yapının Mevcut Yükleri.....	33
3.3.1 Sabit ve hareketli düşey yükler	33
3.3.2 Deprem yükünün belirlenmesi	33
3.4 Malzeme Modelleri	38
3.5 Taşıyıcı Sitem Davranış Modelleri.....	40
3.5.1 Kolon davranış modeli	40
3.5.2 Kiriş davranış modeli	42
3.5.3 Perde davranış modeli	42
3.6 Sönüm.....	43
3.7 Hesap Modelinin Oluşturulması.....	44
3.8 DD-2 Deprem Düzeyi İçin Analiz Sonuçları	46
3.8.1 Betonarme kolon eğilme sonuçları.....	46
3.8.2 Betonarme kolon kesme sonuçları	50
3.8.3 Betonarme kolon enkesit koşullarının kontrolü	50
3.8.4 Betonarme kiriş eğilme sonuçları.....	51
3.8.5 Betonarme perde eğilme sonuçları.....	55
3.8.6 Betonarme perde kesme kontrolü.....	55
3.8.7 Deplasman sonuçları	57
3.9 Mevcut Durum Analizleri Sonucu ve Öneriler	57
4. YAPININ İKİ FARKLI YÖNTEM KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLMESİ	61
4.1 Geleneksel Güçlendirme Yöntemi İle İyileştirme.....	61
4.1.1 Şekildeğiştirme sınırlarının belirlenmesi	62
4.1.2 Geleneksel yöntemle deprem davranışı güçlendirilmiş mevcut yapının analiz modelinin oluşturulması	65
4.1.3 Geleneksel yöntemle güçlendirilmiş yapının analiz sonuçları	67
4.1.3.1 Betonarme kolon eğilme sonuçları.....	67
4.1.3.2 Betonarme kolon kesme sonuçları	67
4.1.3.3 Betonarme kiriş eğilme sonuçları.....	68
4.1.3.4 Betonarme kiriş kesme kontrolleri	72
4.1.3.5 Betonarme perde eğilme sonuçları.....	74
4.1.3.6 Betonarme perde kesme kontrolü.....	74
4.1.3.7 Deplasman sonuçları	77
4.1.4 Geleneksel yöntemle güçlendirilmiş yapının analiz sonuçlarının özeti	77
4.2 Eğri yüzeyli Sürtünmeli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak Deprem Davranışının İyileştirilmesi.....	78
4.2.1 Deprem yalıtım biriminin performans hesabı	79
4.2.2 Deprem yalıtım birimi ile güçlendirilmiş binanın modellenmesi	80
4.2.3 Deprem yalıtım birimi analiz sonuçları.....	83
4.2.4 Deprem yalıtım birimli binanın üst yapı analiz sonuçları	84
4.2.4.1 Üst yapının devrilme tahkiki	84
4.2.4.2 Üst yapı betonarme kolon eğilme sonuçları	85
4.2.4.3 Üst yapı betonarme kolon kesme sonuçları.....	85
4.2.4.4 Üst yapı betonarme kiriş eğilme sonuçları	87
4.2.4.5 Üst yapı betonarme kiriş kesme sonuçları.....	88
4.2.4.6 Üst yapı betonarme perde eğilme sonuçları	90

4.2.4.7 Üst yapı betonarme perde kesme sonuçları.....	91
4.2.4.8 Üst yapı betonarme yapı için görelî kat ötelemeleri sonuçları.....	92
4.2.5 Deprem yalıtım birimli binanın alt yapı analiz sonuçları	92
4.2.5.1 Alt yapı betonarme kolon eğilme sonuçları	93
4.2.5.2 Alt yapı betonarme kolon kesme sonuçları.....	93
4.2.6 Deprem yalıtım birimi ile güçlendirilmiş yapının analiz sonuçlarının özeti	93
4.3 Geleneksel Güçlendirme Yöntemi İle Eğri Yüzeyli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak İyileştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması	94
5. İKİ FARKLI YÖNTEM KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLEN YAPININ MALİYET ANALİZİNİN YAPILMASI.....	97
5.1 Geleneksel Güçlendirme Yöntemi İle İyileştirmenin Maliyet Analizi	97
5.2 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak İyileştirme Yöntemi Maliyet Analizi	98
5.3 Sonuçların Karşılaştırılması	98
KAYNAKLAR	101
EKLER.....	103
ÖZGEÇMİŞ.....	117



KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ATC	: Applied Technology Council
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
İHB	: İleri Hasar Performans Düzeyi
GÖ	: Göçme Öncesi
KH	: Kontrollü Hasar
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
SH	: Sınırlı Hasar Performans Düzeyi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (TBDY,2018).....	7
Çizelge 2.2 : Donatı çeliklerine ait bilgiler.....	11
Çizelge 2.3 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanları için 11. aşamada uygulanacak etkin (TBDY,2018).....	25
Çizelge 3.1 : Malzeme sınıfları.....	30
Çizelge 3.2 : Kolon tipik donatıları	30
Çizelge 3.3 : Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I)	31
Çizelge 3.4 : Deprem tasarım sınıfları (DTS).....	31
Çizelge 3.5 : Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik sınıfları.....	32
Çizelge 3.6 : Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları.....	32
Çizelge 3.7 : Sabit yük (kaplama + sıva) ve hareketli düşey yükler	33
Çizelge 3.8 : Modal kütle katılım oranları.....	44
Çizelge 3.9 : Zemin kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	47
Çizelge 3.10 : 1.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	47
Çizelge 3.11 : 2.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	47
Çizelge 3.12 : 3.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	47
Çizelge 3.13 : Kolon elemanların kesme güvenliği kontrolü	50
Çizelge 3.14 : Kolon elemanların eksenel yük sınır kontrolü	51
Çizelge 3.15 : Zemin kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2).....	52
Çizelge 3.16 : 1. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	52
Çizelge 3.17 : 2. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	52
Çizelge 3.18 : 3. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	52
Çizelge 3.20 : Perde kesme donatı kontrolü	56
Çizelge 3.21 : 12 numaralı köşe noktasındaki yer değiştirme sonuçları	57
Çizelge 3.22 : Kolon hasar dağılımları %.....	58
Çizelge 3.23 : Kiriş hasar dağılımları %.....	58
Çizelge 4.1 : Mantolanmış kolon elemanların hasar sınırları	64
Çizelge 4.2 : Yeni eklenen kiriş elemanların hasar sınırları.....	64
Çizelge 4.3 : Zemin kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2).....	67
Çizelge 4.4 : 1.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	67
Çizelge 4.5 : 2.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	67
Çizelge 4.6 : 3.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	67
Çizelge 4.7 : Zemin kat kesme kuvveti kontrolü.....	68
Çizelge 4.8 : Zemin kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2).....	69
Çizelge 4.9 : 1. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	69
Çizelge 4.10 : 2. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	69

Çizelge 4.11 : 3. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	69
Çizelge 4.12 : Zemin kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü	72
Çizelge 4.13 : 1. Normal kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü	72
Çizelge 4.14 : 2. Normal kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü	72
Çizelge 4.15 : 3. Normal kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü	73
Çizelge 4.16 : Zemin kat mevcut kirişler kesme kuvveti kontrolü	73
Çizelge 4.17 : 12 numaralı köşe noktasındaki yer değiştirme sonuçları	77
Çizelge 4.18 : Tüm yapı kiriş elemanlarındaki hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	78
Çizelge 4.19 : TBDY 2018 sınır değerler	79
Çizelge 4.20 : Deprem yalıtım birimleri yer değiştirme sonuçları	83
Çizelge 4.21 : Katlara gelen deprem kuvvetleri	84
Çizelge 4.22 : Devrilme tahkiki	85
Çizelge 4.23 : 1.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	85
Çizelge 4.24 : 2.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	85
Çizelge 4.25 : 3.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	85
Çizelge 4.26 : 1.Normal kat kolon kesme kuvveti kontrolü	86
Çizelge 4.27 : 2. Normal kat kolon kesme kuvveti kontrolü	86
Çizelge 4.28 : 3. Normal kat kolon kesme kuvveti kontrolü	87
Çizelge 4.29 : 1. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	87
Çizelge 4.30 : 2. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	87
Çizelge 4.31 : 3. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)	87
Çizelge 4.32 : 1. Normal kat kiriş elemanlarındaki kesme kuvveti oranı.....	88
Çizelge 4.33 : 2. Normal kat kiriş elemanlarındaki kesme kuvveti oranı.....	89
Çizelge 4.34 : 3. Normal kat kiriş elemanlarındaki kesme kuvveti oranı.....	90
Çizelge 4.35 : Betonarme perde kesme donatı kontrolü.....	92
Çizelge 4.36 : Göreli kat ötelemeleri sonuçları	92
Çizelge 4.37 : Kolon elemanlarındaki hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2).....	93
Çizelge 4.38 : Zemin kat kesme kuvveti kontrolü	93
Çizelge 5.1 : Geleneksel güçlendirme yöntemi maliyet analizi.....	97
Çizelge 5.2 : Deprem yalıtım birimi ile iyileştirilmesinin maliyet analizi	98

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Avrasya, Afrika ve Arap plakaları arasındaki göreceli hareketler (Okay, 2000)	2
Şekil 2.1 : Beton sargılı ve sargısız şekil değiştirme grafiği	10
Şekil 2.2 : Donatı şekil değiştirme grafiği	10
Şekil 2.3 : Tek modlu itme analizi grafiği	14
Şekil 2.4 : Tipik klasik güçlendirme örneği.....	20
Şekil 2.5 : Mantolama ile kolon güçlendirme yöntemi (Güçlendirmeprojesi, 2019)	20
Şekil 2.6 : Klasik Güçlendirme Yöntemi Uygulaması 1 (Güçlendirmeprojesi, 2019)	21
Şekil 2.7 : Klasik Güçlendirme Yöntemi Uygulaması 2 (Güçlendirmeprojesi, 2019)	21
Şekil 2.8 : Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi (TBDY, 2018).....	23
Şekil 2.9 : Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (TBDY, 2018)	23
Şekil 2.11 : Marmara Üniversitesi Başlıbüyük EAH kolon askıya alma yöntemi ve yalıtım (Şadan & Tüzün, 2019)	27
Şekil 2.10 : Atatürk havalimanı dış hatlar terminali (Şadan & Tüzün, 2019)	27
Şekil 3.1 : Örnek olarak incelenen yapının kalıp planı.....	29
Şekil 3.2 : Mevcut betonarme binanın üç boyutlu hesap modeli.....	30
Şekil 3.3 : Türkiye deprem tehlikesi haritası	34
Şekil 3.4 : DD-2 ve ZC zemin sınıfı yatay ivme spektrumu (TBDY-2018).....	35
Şekil 3.5 : Seçilen deprem yer hareketlerinin karakteristik özellikleri.....	36
Şekil 3.6 : Seçilen deprem yer hareketlerine (DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) spektral ivme bileşke spektrumları ve ortalamaları	37
Şekil 3.7 : Zaman tanım alanında (time history) deprem kaydı yüklemesi	38
Şekil 3.8 : C9 betonu doğrusal olmayan malzeme modeli	39
Şekil 3.9 : S220 donatı çeliği doğrusal olmayan malzeme modeli.....	39
Şekil 3.10 : Örnek kolon P-M-M mafsallık özelliklerinin tanımlanması	40
Şekil 3.11 : Kolon eleman “Section Designer” modeli	41
Şekil 3.12 : Kolon elemana ait kesit sonuçları	41
Şekil 3.13 : Kirişlerde mafsallık özelliklerinin tanımlanması örneği	42
Şekil 3.14 : Perdelerde mafsallık özelliklerinin tanımlanması örneği	43
Şekil 3.15 : Rayleigh sönüm modeli.....	43
Şekil 3.16 : ETABS sönüm modeli	44
Şekil 3.17 : Analiz modeli kat planı	45
Şekil 3.18 : Analiz modeli kesit görünüşü.....	45
Şekil 3.20 : Kolon etiketleri.....	47
Şekil 3.22 : 1. Normal kat kolonlarındaki hasar dağılımı.....	48
Şekil 3.23 : 2. Normal kat kolonlarındaki hasar dağılımı.....	49
Şekil 3.24 : 3. Normal kat kolonlarındaki hasar dağılımı.....	49

Şekil 3.25 : Kiriş etiketleri.....	52
Şekil 3.26 : Zemin kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	53
Şekil 3.27 : 1. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	53
Şekil 3.28 : 2. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	54
Şekil 3.30 : Perde (fiber hinge) hasar dağılımı.....	55
Şekil 3.31 : Perde kesme kuvveti grafiği.....	55
Şekil 3.32 : 12 numaralı köşe noktasındaki tüm katlar yer değiştirmesi.....	57
Şekil 4.1 : Yapının geleneksel güçlendirme taşıyıcı sistemi.....	61
Şekil 4.2 : Betonarme kolon mantosu.....	62
Şekil 4.3 : İlave güçlendirme perdeleri.....	62
Şekil 4.4 : Kolon eleman “Section Designer” modeli.....	63
Şekil 4.5 : Kolon elemana ait kesit sonuçları.....	63
Şekil 4.6 : Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş betonarme bina hesap modeli planı	66
Şekil 4.7 : Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapının üç boyutlu hesap modeli.....	66
Şekil 4.8 : Zemin kat kiriş eleman etiketleri.....	68
Şekil 4.9 : Zemin kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	69
Şekil 4.10 : 1. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	69
Şekil 4.11 : 2. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	70
Şekil 4.12 : 3. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı.....	70
Şekil 4.13 : Perde (fiber hinge) hasar dağılımı.....	73
Şekil 4.14 : Perde etiketleri.....	73
Şekil 4.15 : 1. Normal kat perde kesme kuvveti grafiği.....	74
Şekil 4.16 : 2. Normal kat perde kesme kuvveti grafiği.....	74
Şekil 4.17 : 3 Normal kat perde kesme kuvveti grafiği.....	74
Şekil 4.18 : Zemin kat yeni perde kesme kuvveti grafiği.....	75
Şekil 4.19 : 1 Normal kat yeni perde kesme kuvveti grafiği.....	75
Şekil 4.20 : 2 Normal kat yeni perde kesme kuvveti grafiği.....	75
Şekil 4.21 : Zemin kat perde kesme donatı kontrolü.....	76
Şekil 4.22 : 1. Normal kat perde kesme donatı kontrolü.....	76
Şekil 4.23 : 2. Normal kat perde kesme donatı kontrolü.....	76
Şekil 4.24 : 3. Normal kat perde kesme donatı kontrolü.....	76
Şekil 4.25 : 12 numaralı köşe noktasındaki tüm katlar yer değiştirmesi.....	77
Şekil 4.26 : Sürtünmeli deprem yalıtım biriminin özelliklerinin tanımlanması.....	81
Şekil 4.27 : Çoklu lineer plastik deprem yalıtım biriminin özelliklerinin tanımlanması.....	81
Şekil 4.29 : Deprem yalıtım birimi yerleşim planı.....	82
Şekil 4.30 : Deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirilmiş binanın 3 boyutu....	82
Şekil 4.31 : RSN6971 depremi için histeresiz eğrisi.....	83
Şekil 4.32 : Betonarme perde eğilme sonuçları.....	90
Şekil 4.33 : Betonarme perde kesme kuvveti kontrolü.....	90

BETONARME BİR BİNADA GELENEKSEL YÖNTEM VE TABAN YALITIM İLE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Asya, Avrupa ve Afrika kıtaları arasında, Avrasya levhasında bulunan ülkemiz, kıta ve levhaların hareketleri sebebiyle oluşan depremler ile zaman zaman karşı karşıya kalmaktadır. Kentleşmenin hızla arttığı ülkemizde mevcut yapı stoğunun önemli bir kısmı oluşabilecek büyük depremler için yetersiz durumdadır.

Sanayi, teknoloji, bilim, kültür ve sanat çalışmalarının önemli bir kısmı büyük kentlerde yapılan ülkemizde, şiddeti yüksek bir olası deprem sosyal ve ekonomik yaşamı sona erdirecektir. Üretimin durma noktasına geleceği için eski duruma dönüş ve toparlanma süreci epey uzun olacaktır. Bu durumlar ile karşılaşılmasını için olası deprem için önemler alınmalıdır. Özellikle üretimin gerçekleştiği yapılar, deprem sonrası faaliyetlerine kısa sürede başlaması gerekmektedir.

Şiddeti yüksek oluşan depremin hemen sonrasında krizin yönetilebilmesi ve kaosa dönüşmemesi için bazı yapılar çok kritiktir. Bunlar hastane yapıları, iletişim merkezleri, veri merkezleri, şehirler arası ulaşımında önemli terminal ve havaalanları kriz yönetimi için kritik yapılardır. Depremde bu yapıların hasar görmemesi veya hızlı onarılabilecek şekilde yapılmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, mevcut yapıların Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği kapsamında deprem güvenliklerinin nasıl değerlendirildiği incelenmiş, örnek bir yapı üzerinde mevcut durumun, geleneksel ve deprem taban yalıtımı kullanılarak güçlendirme olmak üzere iki farklı metot kullanılarak yapılan güçlendirme durumlarının deprem güvenlikleri incelenmiştir. Bu yöntemler teknik olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca bu yöntemler ile güçlendirme yapılması durumunda yaklaşık olarak güçlendirme maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu yaklaşık güçlendirme maliyeti, yapıyı yeniden yapımı yaklaşık maliyeti ile kıyaslanmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapının mevcut durumunun deprem güvenliğinin araştırılması, geleneksel ve taban yalıtımı ile güçlendirilmesi durumlarının deprem güvenliğinin incelenmesi için ETABS 2018 analiz programından yararlanılmıştır. Program haricinde yapılan değerlendirilmeler ile analiz sonuçlarındaki tutarsızlıklar önlenmiştir.

Bu tezin ilk bölümünde, tezin giriş kısmı, tezin amacı ve literatür çalışmaları bulunmaktadır.

İkinci kısımda TBDY 2018 kapsamında mevcut yapının değerlendirilme koşullarından bahsedilmiştir. Hasar sınır durumları anlatılmış, mevcut yapının değerlendirilme koşullarından bahsedilmiştir. Geleneksel yöntem ve deprem taban yalıtımı kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemi yönetmelik kapsamında anlatılmıştır. Bu yapılan güçlendirme yöntemlerine örnekler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, örnek olarak kullanılacak mevcut bir betonarme yapı tanıtılmış, ikinci bölümde anlatılan değerlendirme koşullarına uyularak, mevcut yapının deprem güvenliği belirlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Bu analiz yönteminde kullanılacak depremlerin nasıl seçildiği anlatılmıştır. Tüm taşıyıcı elemanların mevcut durumdaki deprem güvelik durumları tablolar halinde verilmiştir. Sonuçlar değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, ilk olarak geleneksel yöntem ile mevcut yapı güçlendirilmiştir. Bu yapıya kolon mantolaması ve perde ilavesi yapılmıştır. Bölüm 3'te tanımlanan depremler ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Geleneksel olarak güçlendirilmiş yapının mevcut taşıyıcı elemanları, yeni ilave elemanları hasar durumları tablolar yardımı ile gösterilmiştir. Daha sonra mevcut yapıya deprem taban yalıtımı ilavesi yapılmıştır. Bu yalıtım birimleri zemin kat kolonları kesilerek tavan döşemesinin altına konulmuştur. Deprem yalıtımı birimleri için kapasite ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yapının yalıtım birimi haricindeki mevcut taşıyıcı elemanlarının güçlendirme sonrası hasar durumu tablolar ile gösterilmiştir. İki farklı durum için sonuçlar değerlendirilmiştir.

Son bölümde 4. Bölümde kullanılan yöntemler ile güçlendirilmiş yapının yaklaşık maliyet analizi yapılmıştır. Birim fiyatlar kullanılmıştır. Yeniden yapım ve iki farklı güçlendirme yöntemi, fayda ve maliyet açısından değerlendirilmiştir.

COMPARISON OF TRADITIONAL STRENGTHENING AND BASE ISOLATION METHOD IN A REINFORCED CONCRETE BUILDING

SUMMARY

Our country, located on the Eurasian plate between the continents of Asia, Europe, and Africa, is faced with earthquakes caused by the movements of the continents and plates from time to time. In our country, the urbanization is increasing rapidly, an important part of the existing building stock is inadequate for large earthquakes that may occur.

In Turkey, a significant part of the industry, technology, science, culture, and art studies are carried out in large cities and metropolis. An earthquake with high intensity will end social and economic life in our country. Since production will come to a halt, the process of recovery and restoration will take a quite long time after the earthquake disaster. To avoid these situations, some precautions have to be taken for a possible earthquake. Especially the buildings where the production takes place should start their activities as soon as possible after the earthquake.

Some systems are very vital, so one can help to manage the crisis and prevent the crisis from turning into a chaotic situation after a high-intensity earthquake. These are medical institution structures, data centers which help to communicate between people, terminals, and airports are essential systems for crisis management. In an earthquake situation, the essential structures shouldn't damage the structural systems. It can occur some crack which easily repairs mostly. They should be immediately available.

As a topic of this thesis, it is examined that the analysis of the seismic safety of the sample present building below Turkey Buildings and Earthquake Regulation. Besides, the existing structure was strengthened using two different structural strengthening methods; Traditional method and Seismic base isolation method. It is compared the traditional method with seismic base isolation at one existing structure about effects on structural systems. Besides, in the case of building strengthening with these methods, it is calculated approximately strengthening cost and the price which has been calculated compared with the rebuilding approximately cost.

Etabs 2018 analysis program was used to investigate the earthquake safety of the current state of the building, and to investigate the earthquake safety of the building which is strengthened by the traditional method and seismic base isolation method. The unpredictable mistake consequences of computer analysis were prevented by evaluations made outside the analysis program.

In the first part of this thesis, there is the introduction part of the thesis, the purpose of the thesis, and the literature studies.

In the second part, the conditions of evaluation of the existing structure are mentioned at intervals the scope of TBDY 2018. The boundary of harm is explained

and conditions for evaluating the existing building are mentioned. The traditional method and also the strengthening method of seismic base isolation are described within the scope of the regulation. Finally, it's providing some samples of these strengthening strategies application are shown.

In the third section, an existing reinforced concrete structure used as an example is introduced, and the earthquake safety of the existing building is determined by plastic deformation which described in the second section. A nonlinear time history analysis was performed. Which earthquakes selected to be used in this analysis method is explained. The current performance safety status for all structural elements are given in tables. The results were evaluated.

In the fourth section, the existing structure was strengthened by the traditional method. Column sections are enlarged with new reinforced concrete and new shear walls were added to this structure. For performance analysis of traditional strengthened building used a nonlinear analysis method called by Time History method. For the time history analysis, it was used earthquake records which they defined Chapter 3. Damage states of existing enlarged columns, beams, shear wall, and added shear wall elements of the traditionally reinforced structure are shown with the help of tables. Furthermore, another strengthening method that is used as the friction pendulum seismic base isolation system. The isolation units have added at the bottom of the first floor. There are three main subjects for strengthening a reinforced concrete building analysis. These are upper band, lower band, and isolation units band. When it is calculated the subjects, it has generated different analysis models for each of them. Firstly, capacity and performance manual evaluations were made for earthquake isolation units. For isolation units, they have checked the displacement controls using DD-1 earthquake records with Etabs 2018. An upper band which is a structural system of up part of the isolation units is controlled by nonlinear time history analysis with DD-2 earthquake records. Each structural element such as column, beam, and shear wall compared to their plastic capacity and shear capacity with some tables. So, the upper band performance checked and saw that had a KK performance level which defines TBDY 2018. The final subject is the lower band. There were only columns under the isolation units. The lower band columns are evaluated with linear analysis theory. For the calculation, it is used base shear load which transferred to the columns. It was shown that the lower band columns are safe with the KK performance level.

In conclusion, the use of different strengthening methods of a current reinforced concrete building reached some conclusions.

- The period of the current building is decreased with the traditional method on the contrary seismic base isolation system. At the seismic isolation system, the period increased double.
- The changing of the period of the building affects the spectral acceleration of Earthquake. Traditionally strengthening building raises the acceleration 0.294 g to 0.882 g. Otherwise, the seismic base isolation system reduces it to 0.157 g. With effective damping, it reduces 0.157 g to 0.11 g.
- The displacement of the top floor was 12.5 cm at the current building performance analysis. With the effects of added shear wall and enlarged columns, the displacement at traditionally strengthening building had a half displacement of the before. Considering the base isolation system, it is shown

that isolation had a 13 cm displacement capacity at the DD-2 earthquake. The upper band take place 7 mm after the isolation movement.

In the last part, it was made that the approximate cost analysis of the structure strengthened by the methods used in the 4th section. Unit prices in Turkey regulations are used for calculating cost analysis. Rebuilding and two different strengthening methods were evaluated in terms of benefit and cost. Although the cost of the isolator and its on-site application seriously will increase the price, alternative advantages shouldn't be unheeded.



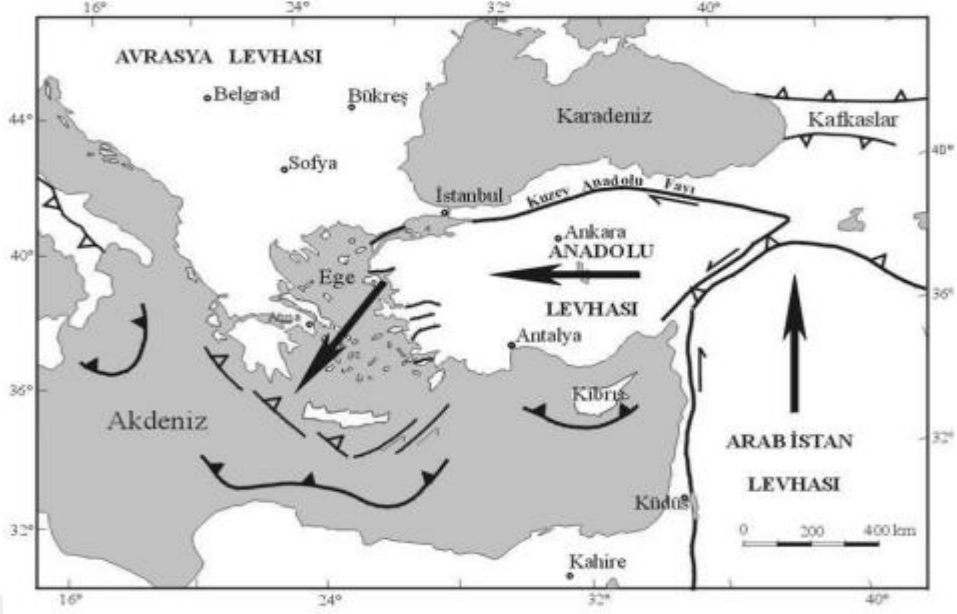
1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Ülkemiz konum olarak aktif fay hatlarının üzerinde bulunmaktadır. Ülkemizin yer aldığı bölge, Anadolu, Avrasya, Afrika ve Arap levhalarının arasında kalmaktadır (Ergünay, 2007). Bu levhaların hareketleri sonucunda depremler oluşur. Bu levha hareketleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir. Depremler üzerinde yaşanan coğrafyayı önemli ölçüde etkiler. Yapılar için oluşacak depremler için önlemler alınmalıdır. Yapılacak her bina maruz kalacağı deprem ön görülerek tasarlanmalı ve gerekli deprem güvenliği sağlanmalıdır.

Yapılar, her ülkede yürürlükte olan yönetmeliklere göre tasarlanırlar. Yapıların tasarımında ve değerlendirilmelerinde doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemleri, her ülkenin kendisi için hazırladığı yönetmeliklerin sunduğu koşullar altında değerlendirilir. Ülkemizde yapıların tasarım ve analizi için farklı yönetmelikler vardır. Bunlardan birkaçı şunlardır;

- TS 500
- TS 498
- ÇYTHYE (Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar)
- TBDY-2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018)



Şekil 1.1 : Avrasya, Afrika ve Arap plakaları arasındaki göreceli hareketler (Okay, 2000)

Deprem tehlikesi altında bulunan ülkemizde, hem yeni yapıların deprem güvenli olarak tasarlanması, hem de mevcut yapıların değerlendirilmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Mevcut binaların deprem etkisi altında nasıl performans göstereceği ile ilgili olarak ülkemizdeki en güncel yönetmelik 2018 yılında yürürlüğe girmiş olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018) dir.

1.2 Çalışmanın Konusu ve Kapsamı

Bu tezde, öncelikle Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) esas alınarak mevcut bir betonarme binanın deprem etkileri altında davranışının nasıl olacağı incelenmiş güçlendirme türlerinden bahsedilmiş, daha sonra bir örnek yapı üzerinden geleneksel güçlendirme yöntemi ve eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi konularak güçlendirme olmak üzere iki farklı yöntem ile mevcut yapı iyileştirilmesi incelenmiştir. Yapının mevcut durumu incelenirken zemin ve temel durumları değerlendirilmeye alınmamıştır. Sonuçlar hem deprem davranışı olarak hem de farklı güçlendirme çeşitlerinin oluşturacağı maliyet açısından karşılaştırılmıştır ve değerlendirilmiştir.

Mevcut yapının deprem davranışının belirlenmesinde ve güçlendirilmesi bilgisayar destekli analizinde Computers and Structures firmasına ait ETABS programı kullanılmıştır (ETABS, 2018).

Bu tez 5 bölümden oluşmaktadır, bu bölümler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1.bölümde, ülkemizin depremselliğinden bahsedilmiş ve mevcut binaların hangi yönetmelikler esas alınarak değerlendirilmesi gerektiği anlatılmıştır. Ayrıca tezin amacı ve kapsamından bahsedilmiştir.

2.bölümde TBDY 2018 kapsamında mevcut yapının değerlendirilmesi için yönetmelikte bulunan koşullardan ve tanımlamalardan bahsedilmiştir. Doğrusal olmayan analiz yönteminin genel kurallarından, malzeme ve yapı davranış modellerinden bahsedilmiştir. Taşıyıcı elemanların modelleme kurallarından ve etkin rijitliklerinin hesaplanması kapsamında bahsedilmiştir. Mevcut yapının değerlendirilmesi için kullanılacak analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir. Yapının analizi sonrası değerlendirme için gerekli olan şekil değiştirme sınırları tanımlanmıştır.

Klasik güçlendirme yönteminin ne olduğu ve TBDY 2018 de geçen kurallarından bahsedilmiştir. Ayrıca Türkiye'deki bazı klasik güçlendirme uygulamalarından örnekler verilmiştir.

TBDY 2018 bölüm 14 te tanımlanan eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım biriminden ve kullanılması için gerekli teknik özelliklerinden bahsedilmiştir. Ayrıca Türkiye'deki eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım biriminin uygulamalarından bahsedilmiştir.

3.bölümde, deprem davranışının değerlendirilmesi yapılacak ve güçlendirilecek olan bina tanıtıldı. Mevcut yükler ve deprem yükleri tanıtıldı. Analiz programın hesap yapmadan önce kabul etmesi gereken malzeme ve davranış modelleri gösterildi. Mevcut yapının deprem davranışın doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizi yöntemi kullanılarak incelendi. Tüm elemanların hasar sınırları ortaya çıkarıldı. TBDY 2018 kapsamında verilen şekil değiştirme sınırları ile analiz programından elde edilen şekil değiştirme sınırları karşılaştırıldı. Mevcut yapının deprem performansının hangi seviyede olduğu gösterildi.

4.bölümde, deprem performans seviyesi belirlenen yapının klasik güçlendirme yöntemi kullanılarak güçlendirilmesi sonucu deprem davranışına tekrar bakıldı.

Mevcut yapının değerlendirilmesinde kullanılan yükler aynı kabul edilerek zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapıldı. Güçlendirilmiş yapının tüm taşıyıcı elemanlarının şekil değiştirme sınırları tespit edilerek TBDY 2018'e göre deprem performansı belirlendi.

Diğer bir güçlendirme yöntemi olarak eğri yüzeyle deprem yalıtım birimi kullanılarak seçilmiştir. Yalıtım biriminin eş değer deprem yükü kabulü ile deprem performansı belirlenmiştir. Analiz programına tanıtılacak temel özellikler bulunmuştur. Yalıtım birimin hesap modeline aktarılmış ve mevcut yükler altında zaman alanında doğrusal olmayan analizi yapılarak yalıtım biriminin yer değiştirme sınırları ortaya çıkmıştır. Altyapı, yalıtım ara yüzü, üst yapı için ayrı ayrı analiz yapıp, güçlendirilmiş bu durum için değerlendirilmiştir. Yapılan iki farklı güçlendirme yöntemi için sonuçlar, deprem performansları açısından karşılaştırılmıştır.

5.bölümde, kullanılan iki farklı güçlendirme yöntemi için metraj ve maliyet hesabı karşılaştırılmıştır. Ekonomik olarak yöntemlerin etkinlikleri değerlendirilmiştir.

1.3 Literatür Çalışması

Bu bölüm kapsamında mevcut yapıların değerlendirilmesi, geleneksel yöntem ile güçlendirilmesi ve sismik taban yalıtımı kullanılarak deprem davranışı iyileştirilmesi konularının incelenmesi kapsamında çalışmalar hakkında bilgiler bulunmaktadır.

- (Baştuğ, 2004) Çalıştığı yüksek lisans tezinde yapılarda sismik izolatör kullanılmasını incelemiştir. Deprem kuvvetlerinde önemli miktarda azalmalar olduğunu görmüştür. Özellikle sürtünmeli sarkaç tipi izolatörde görece kat ötelemelerin sınır değerini çok altında olduğunu gözlemlemiştir. Taban izolasyon yönteminin deprem yalıtımı için geçerli bir metot olduğu sonucuna varmıştır.
- (Ayhan, 2006) Çalıştığı yüksek lisans tezinde kısa ve uzun periyotlu iki bina için klasik güçlendirme yöntemi ve sürtünmeli sarkaç tipi yöntemi ile güçlendirme uygulamıştır. 8 ayrı deprem kaydı ile bu yapıları analiz etmiştir. Analiz sonuçlarını kıyas etmiştir. Maliyet açısından bu yöntemleri karşılaştırmıştır.
- (Çakat, 2019) Yüksek lisans tez çalışması kapsamında bir hastane yapısına farklı yalıtım sistemleri kullanarak performansını incelemiştir. LRB ve FPS

olarak iki yalıtım birimi için sonuçları sayısal olarak karşılaştırmalı göstermiştir.

- (Morgan, 2007) Tez çalışması kapsamında yeni gelişen farklı sismik izolasyon sistemlerinden bahsedilmiştir. Bu sistemlerin performans değerlendirmelerine verdiği katkılar karşılaştırılmıştır.
- (Kurt, 2019) Yüksek lisans tez çalışmasında ankastre ve sürtünmeli sarkaç tipi izolatörlü mesnetli iki farklı yapıyı dinamik analiz yöntemi kullanarak karşılaştırmıştır. Kat ivmelerinin ve deprem kuvvetlerinin azaldıklarını göstermiştir.
- (Hong & Kim, 2004) Yüksek katlı yapılar için esnek sürtünmeli taban izolasyon sistemi kullanılarak performans değerlendirmesi yapmıştır. Sürtünmeli izolatörlü çok katlı bir yapının performansını elde etmek için serbestlik derecesine göre lineerleştirme tekniği sunmaktadır.
- (Adamu, 2019) Yüksek lisans tezinde üç sürtünmeli sarkaç mesnetli sismik yalıtımlı binaların davranışını incelemiştir. TBDY 2019- ASCE 7-16 sismik yalıtımlı yapılar için ön gördüğü koşulları incelemiştir. Parametrik bir çalışma yaparak sonuçları kıyaslamıştır.



2. TBDY 2018'E GÖRE MEVCUT BETONARME YAPININ DEPREM DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ VE İKİ FARKLI YÖNTEM İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

2.1 TBDY 2018'e Göre Mevcut Yapının Değerlendirilmesi

TBDY 2018 yapıların tasarımı ve değerlendirilmesi için bazı tanımlar getirmiştir. Bunlar aşağıda maddeler halinde yazılmıştır.

- Bina Kullanım Sınıfları (BKS)
- Bina Önem Katsayıları (I)
- Bina Taban ve Bina Yüksekliği (H_N)
- Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)
- Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

TBDY 2018 kapsamında yapılacak ve değerlendirilecek her yapının bu değerlere göre bir hesap yöntemi seçilmesi gerekmektedir. Bu hesap yönteminin ne olacağına yönetmeliği 3.5.1. maddesinde bulunan Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 : Mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (TBDY,2018)

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

TBDY 2018 mevcut yapıların değerlendirilmesi için *Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)* yapılmasını istemektedir. Mevcut yapıların değerlendirilmesi kapsamında TBDY 2018 bölüm 15 te doğrusal ve doğrusal

olmayan yöntemlerin kullanılması istenmektedir. Doğrusal hesap yöntemlerinin kullanımı aşağıdaki 5 madde ile sınırlandırılmıştır.

- a) Bina yükseklik sınıfının 5'den küçük olması ($BYS < 5$).
- b) Binada 3.6.2.4'de belirtilen B3 düzensizliğinin bulunması.
- c) Betonarme binalarda, binanın üst katı haricindeki herhangi bir katında, her bir deprem doğrultusu için düşey sünek elemanların (kolon, perde ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) kesme kuvveti ile ölçeklendirilmiş EKO değerlerinin ortalamasının deprem yönündeki kirişlerin ortalama EKO değerinden büyük olması.
- d) Binanın üst katı haricindeki herhangi bir katında, her bir deprem doğrultusu için sünek perde, sünek kolon ve güçlendirilmiş bölme duvarların kesme kuvveti ile ölçeklendirilmiş EKO değerlerinin ortalamasının 3'den büyük olması.
- e) Binanın üst katı haricindeki herhangi bir katında, her bir deprem doğrultusundaki sünek kirişlerin ortalama EKO değerinin 5'den büyük olması.

Doğrusal analiz için yukarıdaki maddelerde EKO değerinden bahsedilmiştir. Bu değer yapıya gelen moment etkisinin moment taşıma kapasitesine oranı ile elde edilir. Etki/kapasite oranı olarak bilinir.

Bu sınırlamalara uymayan yapılar *Şekildeğiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT)* için doğrusal olmayan analiz yapılması istenmektedir.

TBDY 2018 bölüm 5'te doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin neler olduğu ve kullanımı için gerekli ön koşulların neler olduğu anlatılmıştır. Bu analiz yöntemleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- İtme Yöntemleri
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemi

2.1.1 Doğrusal olmayan analizin modellenmesine ilişkin genel kurallar

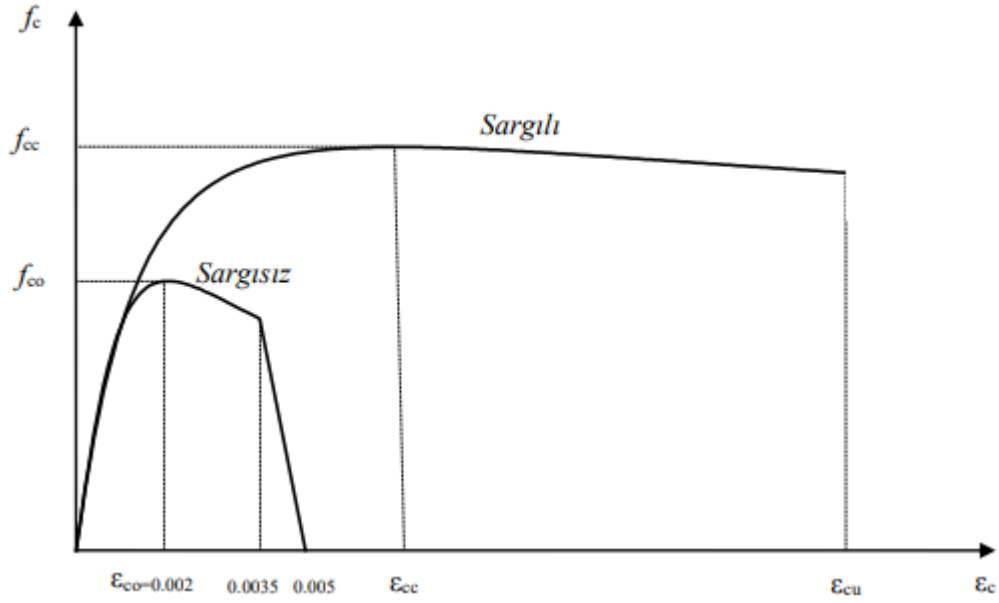
TBDY 2018 in bölüm 5.4 ünde doğrusal olmayan analiz yapmak için 6 adet kural getirilmiştir. Bu 6 kural aşağıda belirtildiği gibi sıralanmıştır;

- Bina taşıyıcı sistemleri daima üç boyutlu olarak modellenecektir.

- Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi daima göz önüne alınacaktır.
- Doğrusal sönüm oranı, aksi belirtilmedikçe, %5 alınacaktır.
- Eksenel kuvvetlerin şekil değiştirmiş taşıyıcı sistemde meydana getirdiği ikinci mertebe etkileri göz önüne alınacaktır.
- Şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarıma esas modellemelerde aşağıda (a) ve (b)'de verilen malzeme dayanımları esas alınacaktır:
 - a) Mevcut binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilmesinde beton ve donatı çeliğinin Bölüm 15'te tanımlanan mevcut dayanımları esas alınacaktır.
 - b) Yeni yapılacak binaların şekil değiştirmeye göre değerlendirilme ve tasarımında beton ve donatı çeliği ile yapı çeliğinin Çizelge 5.1'de tanımlanan beklenen (ortalama) dayanımları esas alınacaktır. Çizelgede f_{ce} ve f_{ck} betonun ortalama ve karakteristik basınç dayanımlarını, f_{ye} ve f_{yk} ise çeliğin ortalama ve karakteristik akma dayanımlarını göstermektedir.
- Bu Bölüme göre performans değerlendirmesi yapılacak süneklik düzeyi yüksek yeni betonarme taşıyıcı sistemlerde, kapasite tasarımı ilkeleri ve diğer sünek tasarım kurallarına göre yapılan ön tasarım nedeni ile, çevrim içi dayanım azalması, kesme hasarı, kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı, donatı bindirme boyu yetersizliği ve sargı donatısı yetersizliği etkileri taşıyıcı sistem ve çevrimsel davranış modellerinde dikkate alınmayabilir.

2.1.2 Doğrusal olmayan analizin malzeme modelleri

Doğrusal olmayan yapısal modellemede beton ve donatı malzemeleri için TBDY 2018 Ek-5A ve Ek-5B de tanımlanan malzeme modelleri kullanılmalıdır. Beton malzemesi için Şekil 2.1'de verilen Mander, J.B., Priestly, M.J.N., Park, R. oluşturduğu model göz önüne alınmıştır (Mander, Priestly, & Park, 1988). Donatı şekil değiştirme grafiği Şekil 2.2'de verilmiştir. TS 500 de tanımlı donatı çeliklerine ait bilgiler Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Beton sargılı ve sargısız şekil değiştirme grafiği

f_{co} = Sargısız betonun basınç dayanımı

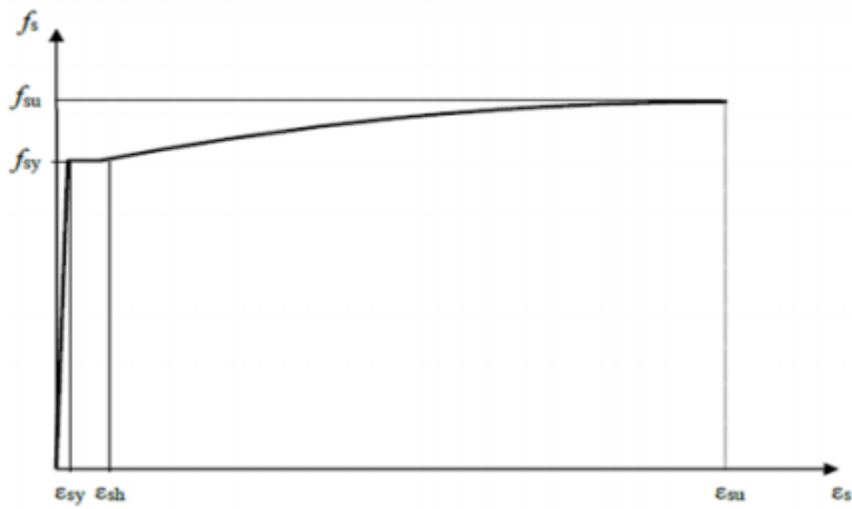
f_{cc} = Sargılı beton dayanımı

f_c = Sargılı betonda beton basınç gerilmesi

ϵ_c = Beton basınç birim şekil değiştirmesi

ϵ_{cu} = Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi

Donatı şekil değiştirme grafiği de Şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Donatı şekil değiştirme grafiği

ϵ_{sy} = Donatı çeliğinin akma birim şekil değıştirmesi

ϵ_{su} = Donatı çeliğinin kopma birim şekil değıştirmesi

f_{sy} = Donatı çeliğinin akma dayanımı

f_{su} = Donatı çeliğinin kopma dayanımı

Çizelge 2.2 : Donatı çeliklerine ait bilgiler

Kalite	f_{sy}	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su}/f_{sy}
S220	220	0.0011	0.011	0.12	1.2
S420	420	0.0021	0.008	0.08	1.15-1.35
B420C	420	0.0021	0.011	0.08	1.15-1.35
B500C	500	0.0025	0.011	0.08	1.15-1.35

2.1.3 Doğrusal olmayan analizin davranış modelleri

TBDY 2018 Bölüm 5.3 te doğrusal olmayan analiz yöntemleri olarak 2 yöntem belirlenmiştir. Bu iki yöntem aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Yığılı Plastik Davranış Modeli
- Yayılı Plastik Davranış Modelleri

Yığılı plastik davranış modeli analiz modelinde çubuk olarak modellenen kolon ve kirişlerde kullanılabilir. Ayrıca yönetmeliğin çubuk eleman olarak modellenmesine izin verdiği durumlarda perde elemanlar içinde kullanılabilir. Yığılı plastik şekil değıştirme plastik mafsalsal olarak modellenir. Plastik mafsalsal, kesitlerin plastik taşıma kapasitelerine ulaştığını belirtir. Yönetmelikte plastik mafsalsalın boyu kesitin çalıştığı uzunluğunun yarısı olarak tanımlanmıştır ($L_p = \sim 0.5h$). Yönetmelik plastik mafsalsalın boyunun idealleştirilmesine izin verilir.

Yayılı plastik davranış modeli kolon, kiriş ve perde elemanların modellenmesinde uygulanabilir. Yayılı plastik şekil değıştirme modeli kesitin tüm uzunluğu boyunca tüm doğrusal olmayan davranışları yayılı olarak göz önüne alır. Taşıyıcı elemanın kesit hücresi (lif) olarak parçalara ayrılır. Her bir lif için kesit analizi gerçekleşir.

2.1.4 Kolon ve kiriş elemanların modellenmesi

TBDY 2018 bölüm 5.4.2 de kolon ve kirişlerin çubuk sonlu elemanları olarak modellenmesi istenmektedir. Doğrusal olmayan davranış, yayılı ve yığılı plastik

davranış modellerine göre modellenebilir. Yığılı davranış modeli kullanılırsa elemanların uç noktalarına plastik mafsalları tanımlanmalıdır. Uç bölgelerde bulunan plastik mafsalları dışında kalan alanlar doğrusal çubuk olarak tanımlanacak ve etkin kesit rijitlikleri TBDY 2018 bölüm 5.4.5'e göre tanımlanacaktır.

2.1.5 Betonarme perde elemanların modellenmesi

Betonarme perdelerin çubuk eleman olarak modellenerek çözüm yapılabilir. Fakat çubuk eleman olarak tanımlanıp plastik mafsalları teorisine göre çözülebilmesi için TBDY 2018 bölüm 5.4.3.1'de aşağıdaki madde ile sınırlandırılmıştır.

- Deprem hesabının 5.6'ya göre doğrusal olmayan İtme Yöntemleri ile yapılması durumunda, 4.5.3.8'de verilen geometrik koşulu sağlayan betonarme boşluksuz perdelerde veya bağ kirişli (boşluklu) perdeyi oluşturan perde parçalarının her birinde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsalları) Modeli kullanılabilir.

Bu madde kapsamı dışında kalan ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılması gerekli durumlarda perdelerde yayılı plastik mafsalları davranışı uygulanmalıdır.

2.1.6 Betonarme elemanların etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi

Doğrusal olmayan yığılı plastik mafsalları teorisine göre modellenen betonarme elemanlar için TBDY 2018 bölüm 5.4.5'te etkin rijitlik kullanılması istenmiştir. Bu etkin rijitlikler her bir plastik mafsalları kullanılan eleman için tanımlanmalıdır. Bu etkin rijitlik için aşağıdaki formül kullanılır.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y 3} \quad (2.1)$$

M_y = Etkin akma momentleri

θ_y = Akma dönmeleri

L_s = Kesme açıklığı

θ_y = Plastik akma dönmeleridir. Formülü aşağıda verilmiştir.

$$\theta_y = \frac{\varphi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s} \right) + \frac{\varphi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (2.2)$$

φ_y = Etkin akma eğriliğini

h = Kesit yüksekliği

d_b = Kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı

f_{ce} = Betonun ortalama (beklenen) basınç dayanımı

f_{ye} = Donatının ortalama (beklenen) akma dayanımı

Kiriş ve kolonlarda $\eta = 1$, perdelerde ise $\eta = 0.5$ alınacaktır

2.1.7 Doğrusal olmayan analiz yöntemleri

TBDY 2018 bölüm 5 te doğrusal olmayan analiz yöntemleri tanımlanmıştır. Bunlar itme analizi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleridir.

2.1.7.1 İtme analizi yöntemi

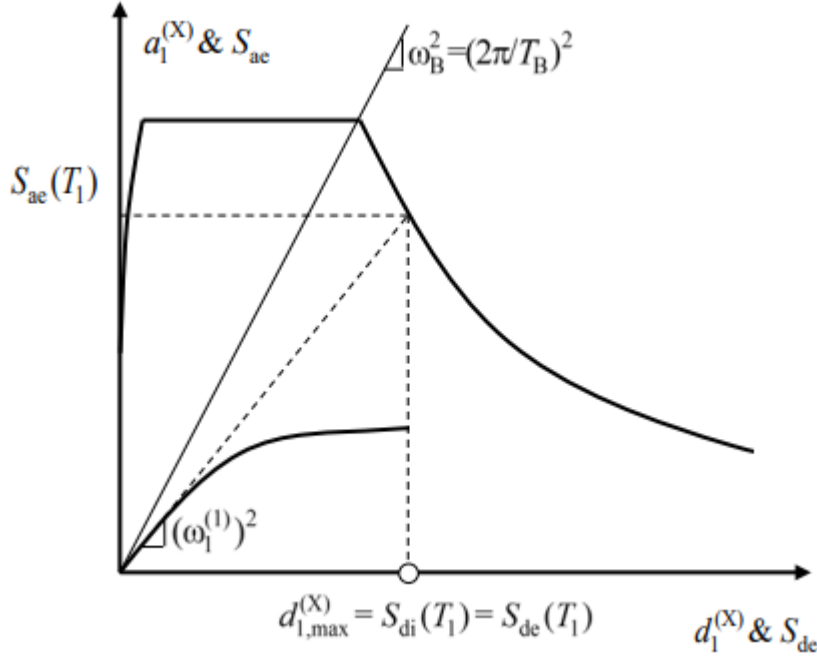
TBDY 2018 kapsamında itme analizleri tek modlu ve çok modlu itme yöntemleri olmak üzere tanımlanmıştır. İtme analizler sonucu oluşan plastik şekil değiştirmeler ile yapının performansı belirlenir.

Tek modlu itme analizinin mod birleştirme yönteminin, tek mod'un doğrultusunda itilmesi olarak uygulanması şeklinde gerçekleştirilir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için TBDY 2018 de iki koşul belirtilmiştir;

- Herhangi bir katta ek dış merkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranış esas alınarak Bölüm 3, Çizelge 3.5'e göre hesaplanan *burulma düzensizliği katsayısı*'nin $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gerekmektedir.
- Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütlesi'nin toplam bina kütlelerine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Tek modlu itme analizinde üstte yazılı olan koşulları sağlayan yapılar için, ilgili modunda adım adım yapılacak olan tepe noktası yer değiştirmesine karşılık oluşacak

olan taban kesme kuvveti ile yapının talep eğrisi oluşturulur. Kapasite eğrisi ile kesişimi sonucunda elde edilen itme uzunluğu yapının performans noktasıdır. Yapının itme noktasına kadar gerçekleştirilen itme eğrisi ile yapının taşıyıcı elemanlarında oluşan plastik mafsallar yapının performansını belirler. Bununla ilgili TBDY 2018 bölüm 5’te tanımlanan grafik Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Tek modlu itme analizi grafiği

$S_{ae}(T_1)$ = Birinci doğal titreşim periyodu T_1 ’e karşı gelen doğrusal elastik spektral ivme [g]

$S_{de}(T_1)$ = Birinci doğal titreşim periyodu T_1 ’e karşı gelen doğrusal elastik spektral yer değiştirme [m]

$S_{di}(T_1)$ = Birinci doğal titreşim periyodu T_1 ’e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme [m]

$d_1^{(X,k)}$ = (X) deprem doğrultusu için k’inci itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistem’in modal yer değiştirmesi [m]

$d_{1,max}^{(X)}$ = (X) deprem doğrultusu için modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesi [m]

T_B = Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu [s]

Tek modlu itme analizinin hesap adımları ve uygulama yöntemi TBDY 2018’de EK-5B de anlatılmıştır.

Çok modlu itme yöntemi, TBDY 2018 de uluslararası kaynaklarda bulunduğu için kullanılabileceği söylenmiştir. Çok modlu analiz yönteminin kullanılabilmesi için yönetmelikte iki madde bulunmaktadır;

- Çok Modlu İtme Yönteminin, verilen tasarım spektrumuna göre özel durumda başlangıç (elastik) rijitlikleri kullanılarak doğrusal hesap için uygulanması sonucunda elde edilen tüm iç kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin, aynı tasarım spektrumu esas alınarak 4.8.2’ye göre elde edilen büyüklüklerle birebir aynı olduğu hesap raporunda gösterilecektir.
- Kullanılan Çok Modlu İtme Yönteminde binanın farklı titreşim modları için tanımlanan bağımsız sabit modal yük vektörlerinin yapıya artımsal olarak ayrı ayrı uygulanması durumunda, elde edilen modal iç kuvvetler istatistiksel olarak birleştirilmeyecek, 4B.2.4’e göre birleştirilmiş modal eleman uç yer değiştirmeleri ve akma dönmeleri ile uyumlu olarak hesaplanacaktır.

2.1.7.2 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi tüm mevcut yapıların değerlendirilmesinde ve güçlendirilmesi aşamalarında kullanılabilir. Yapının depremsellik özelliklerine uygun seçilecek yer hareketleri ile yapının deprem hareketleri sonucu davranışı anlaşılabilir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılabilmesi için yapıya doğru depremler seçilip ölçeklendirilmeleri gerekir. TBDY 2018 de bu deprem seçimi ve ölçeklendirilmesi için aşağıdaki koşullara uyulması gereklidir;

- Bina taşıyıcı sistemlerinin zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak yapılacaktır. Binanın bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu geçmiş deprem kayıtlarının mevcut olması durumunda öncelikle bu kayıtlar kullanılacaktır. Sahaya özel deprem tehlikesine en fazla katkıda bulunan depremlere ait büyüklük ve fay uzaklığı bilgilerinin belirlenmesi için deprem tehlikesi ayrıştırma işleminden yararlanılabilir.

- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilecek deprem kayıtlarının ve üç boyutlu hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az on bir olacaktır. Aynı depremden seçilecek kayıt veya kayıt takımı sayısı üçü geçmeyecektir.
- Bir veya iki boyutlu hesap için seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, 2.3.4 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, deprem yer hareketlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.
- Üç boyutlu hesap için seçilen her bir deprem kaydı takımının iki yatay bileşenine ait spektrumların kareleri toplamının karekökü alınarak bileşke yatay spektrum elde edilecektir. Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, 2.3.4 veya 2.4.1'e göre tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3'ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri ölçeklendirilecektir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi uygulanması sonucunda 2x11 adet depremin oluşturduğu sonuçların ortalaması alınır ve TBDY 2018 in belirlediği şekil değiştirme sınırları ile karşılaştırılarak yapının deprem yükleri altında deprem performansına karar verilir.

2.1.8 TBDY 2018 betonarme yapılar için izin verilen şekil değiştirme sınırları

Taşıyıcı sistem analizleri sonucunda performans değerlendirmesi için, sünek davranışa sahip elemanlarda değerlendirmeye esas plastik şekil değiştirme talepleri (istemleri) ile sünek davranışa sahip olmayan gevrek elemanlarda değerlendirmeye esas iç kuvvet talepleri, öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olarak tanımlanan şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, öncelikli kesit düzeyinde ve sonrasında yapısal elemanlarda hasar durumları tanımlanmakta ve bu verilere dayanarak bina genelinde taşıyıcı sistemin deprem performansı belirlenmektedir.

Mevcut binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkili olup dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. TBDY-2018 Bölüm 15.5 ve 15.6'da tanımlanan hesap

yöntemlerinin uygulanması ve TBDY-2018 Bölüm 15.7'ye göre eleman performanslarına karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Binaların deprem performansının belirlenmesi için uygulanacak kurallar maddeler halinde verilmiştir.

2.1.8.1 Mevcut binalarda sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

TBDY 2018'e göre sınırlı hasar düzeyi ile ilgili tanım deprem yönetmeliğin 15.8.3. maddesinde belirtilmiştir. Bu maddeye göre;

Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü *Sınırlı Hasar Bölgesi*'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların *Sınırlı Hasar Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.

2.1.8.2 Mevcut binalarda kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

TBDY 2018'e göre kontrollü hasar düzeyi ile ilgili tanım deprem yönetmeliğin 15.8.4. maddesinde belirtilmiştir. Bu maddeye göre;

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde* olduğu kabul edilir:

- a) Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların (kolonlar, perdeler ve güçlendirilmiş bölme duvarlar) aşağıdaki **(b)** paragrafında tanımlanan kadarı *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.
- b) *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmezler).

2.1.8.3 Mevcut binalarda göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

TBDY 2018'e göre göçmenin önlenmesi hasar düzeyi ile ilgili tanım deprem yönetmeliğin 15.8.5. maddesinde maddeler halinde belirtilmiştir. Bu maddelere göre;

- a) Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir.
- b) Betonarme binaların herhangi bir katında, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir. Çelik ve prefabrike betonarme binalarda bu istisnalar geçerli değildir.
- c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(7.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmezler).
- d) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.1.8.4 Göçme durumu performans seviyesi

Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyini sağlayamıyorsa Göçme durumundadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

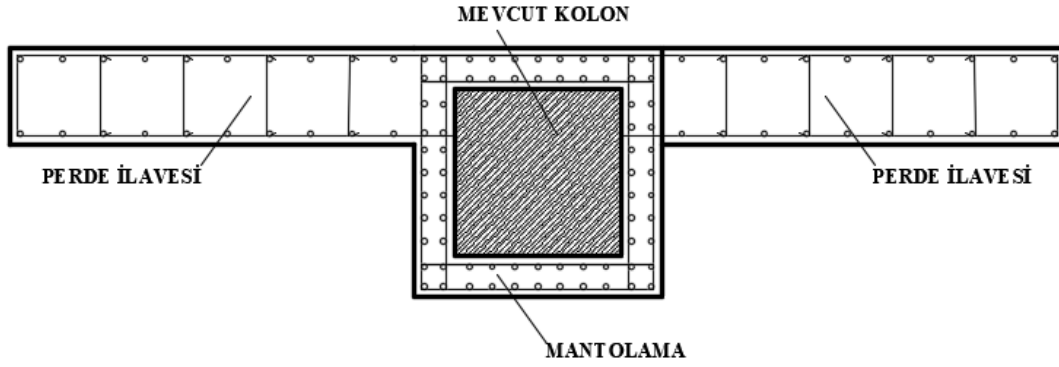
2.2 Mevcut Betonarme Yapının Klasik Yöntem ile Güçlendirilmesi

TBDY 2018 bölüm 15’te belirtilen mevcut betonarme yapıların değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan performans seviyelerine göre güçlendirme ihtiyaçları oluşabilir. Mevcut betonarme yapının güçlendirilmesi için birçok yöntem izlenebilir. Bu yöntemleri kullanmadan önce yapının nasıl iyileştirme yapılacağına karar verilmelidir. Bunun için iki farklı yol izlenebilir;

- Eleman güçlendirilmesi
- Sistem güçlendirilmesi

Eleman güçlendirilmesi, mevcut yapı değerlendirilmesi sonucu hasar tespit edilen elemanın güçlendirilmesidir. Bunu için hasarlı elemanın kendisinden çok daha yüksek mukavemet özelliklerine sahip bir malzeme kullanılarak güçlendirilecek elemanın oluşturulmasıdır. Bunlar bir tanesi betonarme kolon elemanlarda kullanılan mantolama uygulamasıdır. Şekil 2.4’te gösterildiği gibi mevcut betonarme kolon etrafı donatı ve etriyeler ile sarılıp beton dökülmesi ile oluşturulur. Hasarlı elemanın rijitliğinin artmasına sebep olur. Deprem etkileri altında plastik şekil değiştirme sınırları yükselir. Ayrıca elemanın eksenel taşıma kapasitesi de yükselir. TBDY 2018’e göre betonarme sargılama kalınlığı en az 100 mm olmalıdır. Ayrıca tüm kat boyunca kolonu sarmalıdır.

Diğer bir güçlendirme yöntemi sistemin güçlendirilmesidir. Mevcut yapıya performans değerlendirilmesi yapıldıktan sonra yapının mevcut taşıyıcı sistemine uygun olarak yeni betonarme taşıyıcılar eklenebilir. Bunlar mevcut yapının deprem kuvvetlerini karşılayabilmesi için sonradan eklenecek olan betonarme perdeler veya betonarme kolonlar kullanılabilir. Eklenen yeni taşıyıcı elemanlar mevcut yapının sistem rijitlikleri artırır. Bu yöntem uygulanırken sistem rijitliği artmasıyla beraber yapı periyodu küçülecektir. Yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin artması durumunda mevcut elemanların eleman güçlendirilmesi yöntemiyle güçlendirilmesi gerekebilir. Sistem güçlendirilmesiyle eklenen elemanların tasarımında TBDY bölüm 15, bölüm 7 ve bölüm 9 da verilen kurallara uyulması gerekmektedir.



Şekil 2.4 : Tipik klasik güçlendirme örneği

2.2.1 Mevcut betonarme yapının klasik güçlendirme uygulama örnekleri

Deprem kuşağında olana ülkemizde birçok mevcut yapıya klasik güçlendirme yöntemi uygulanarak iyileştirme uygulanmaktadır. Aşağıdaki Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de bazı klasik güçlendirme uygulamaları olan şantiyelerinden örnek fotoğraflar görülmektedir.



Şekil 2.5 : Mantolama ile kolon güçlendirme yöntemi (Güçlendirme projesi, 2019)



Şekil 2.6 : Klasik Güçlendirme Yöntemi Uygulaması 1 (Guclendirmeprojesi, 2019)



Şekil 2.7 : Klasik Güçlendirme Yöntemi Uygulaması 2 (Guclendirmeprojesi, 2019)

2.3 Eğri Yüzeli Sürtünmeli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak Güçlendirme Yapılması

2.3.1 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimlerinin Türkiye'deki gelişimi

Günümüzde yapıların deprem etkileri altında daha az hasar alması için çalışmalar yapılmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle yapılarda bu yapı deprem davranışının daha iyi sonuç alınabileceği uygulamalar kullanılmaktadır (Calvi & Calvi, 2017). Hayatın olağan akışının sürdürülebilirliği ve yaşanacak deprem, sel, kasırga gibi afetlerde

gerekli yardımın yapılabilmesi için bazı yapıların bu afetlerde hasar almayacak şekilde tasarlanması istenmektedir (Şener,2015). Türkiye’de yaşanacak deprem afeti için hastanelerin tasarlanmasında sağlık bakanlığının 2013 yılında çıkarttığı bir genelge bulunmaktadır. Bu genelgeye göre; “100 yatak ve üzeri 1.ve 2. Deprem bölgelerinde yapılacak tüm hastanelerin taşıyıcı sistemleri sismik izolatörlü olarak yapılacaktır denilmektedir ”. (Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü, 2013).

2013 yılında çıkan genelge ile 100 yatak ve üzeri kapasiteli hastanelerde zorunlu hale gelen izolatörlerin Türkiye deprem yönetmeliklerinde karşılığı olmadığından, mühendisler 2013 yılından 2018 yılında çıkan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY, 2018) kadar yabancı yönetmelikleri kullanmışlardır. Bu yönetmeliklerden bazıları şunlardır;

- AASHTO, Guide Specifications for Seismic Isolation Design – 2014
- ASCE 7-10
- EN 1998-1
- EN 1998-2
- GB50011-2001
- MLIT, The Notification and Commentary on the Structural Calculation Procedures for Building with Seismic Isolation

2.3.2 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirmenin faydaları

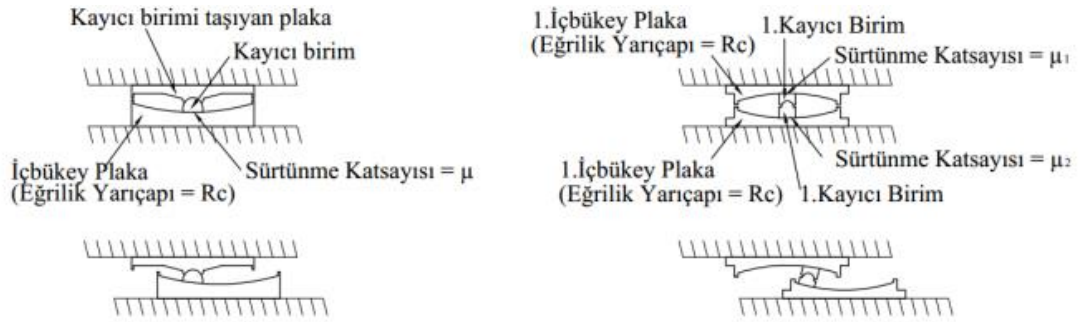
Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi ile güçlendirmek yapıya birçok fayda sağlar. Yalıtım birimleri kullanımının temel amacı yapının deprem sonrası kesintisiz kullanım veya hemen kullanım seviyesinde yapılar oluşturmaktır. Yalıtım birimi kullanmanın daha bir çok faydası bulunmaktadır bunlardan bazıları şunlardır :

- ❖ Hemen kullanım veya Kesintisiz Kullanım seviyesini elde etmek
- ❖ Üst yapı olarak kabul edilen bölgede taşıyıcı sisteme minumum müdahale
- ❖ Mimari tasarım açısından kolaylık
- ❖ Güçlendirme aşamasında yapının faaliyetine devam edebilme
- ❖ Yapının taşınma maliyeti oluşmaz

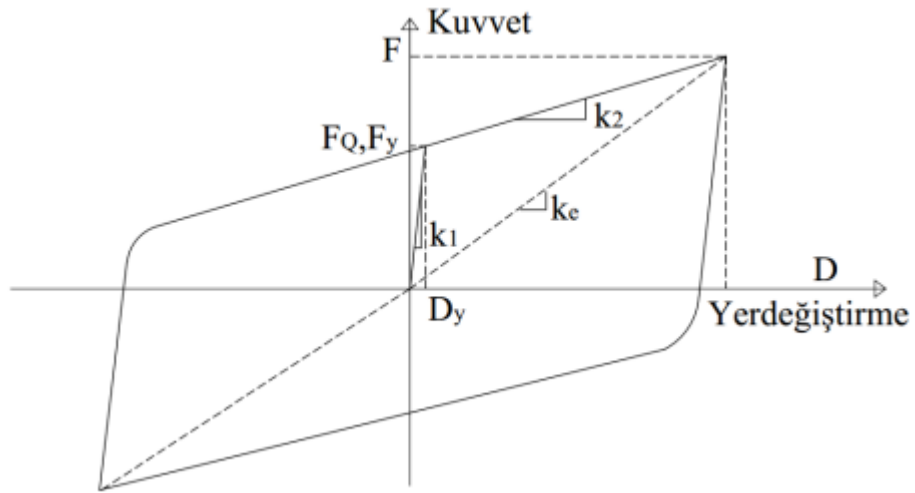
Bu maddeleri yapıların güçlendirme maliyeti hesaplanırken görünmeyen maliyetler olarak ortaya çıkar.

2.3.3 Eğri yüzeyli deprem yalıtım biriminin TBDY 2018’de tanımı

Türkiye bina deprem yönetmeliği (TBDY,2018) eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimlerinin davranışını aşağıdaki Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 ile açıklar. Buradaki F_y kuvveti yalıtım biriminin akma dayanımına eşittir. Bu kuvvet yalıtım birimine etkiyen kuvvet ile üretici firmadan alınan dinamik sürtünme basıncının çarpımına eşittir. Bu formül TBDY 14B.1 de verilmiştir.



Şekil 2.8 : Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi (TBDY, 2018)



Şekil 2.9 : Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi kuvvet-yer değiştirme eğrisi (TBDY, 2018)

$F_Q = F_y$ = Karakteristik dayanım veya etkin akma dayanımı

k_1 = Başlangıç rijitliği

k_2 = İkincil rijitlik

k_e = D yer değiştirmesine karşı gelen etkin rijitlik

F = D yer değiştirmesine karşı gelen kuvvet

D_y = Etkin akma yer değiştirmesidir

$$F_Q = \mu_e P \quad (2.3)$$

Başlangıç rijitliği yönetmelikte tanımlanan çok formülü ile 2.3'te verilmiştir. Bu rijitlik gerçekte çok büyük bir değer alır.

$$k_2 = \frac{P}{R_c} \quad (2.4)$$

Eğri yüzeyli sürtünmeli depre yalıtım biriminin etkin rijitliği olan k_e en büyük yatay kuvvetin en büyük yer değiştirmeye oranına eşittir. Eğri için tanımlanmış çevrim doğrusunun eğimini vermektedir. Formülü 2.5'te verilmiştir.

$$k_2 k_e = \frac{F}{D} = \frac{P}{R_c} + \frac{\mu_e P}{D} \quad (2.5)$$

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım biriminin yaptığı etkin sönüm yerdeğiştirme döngüsünde harcanan enerjinin $2\pi FD$ ile bölünmesi ile elde edilir. Formülü 2.6'da verilmiştir.

$$\beta_e = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{W_d}{FD} \right] = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu_e}{\mu_e D / R_c} \right] \quad (2.6)$$

μ_e = Etkin sürtünme katsayısı

P = Yalıtım birimi üzerine etkiyen düşey kuvvetin R_c = Etkin eğrilik yarıçapı

D = Maksimum yatay yerdeğiştirme

2.3.4 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılan binaların tasarım yöntemi

Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılmış yapı üç kısma ayrılır;

- Altyapı
- Yalıtım Birimi ve Arayüzü
- Üst Yapı

Eğri yüzeyli yalıtımlı binaları değerlendirirken üç ana başlığı ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir. TBDY 2018 e göre sadece yalıtım birimini doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılıp, üst yapı ve alt yapı için doğrusal analiz yöntemleri kullanılabilir. Hem alt ve hemde üst yapı için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi kullanılabilir.

Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi ile analiz yapılacak yapılarda iki farklı deprem hareket düzeyi dikkate alınacaktır;

- ❖ DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (Tasarım Deprem Yer Hareketi)
- ❖ DD-1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi (En Büyük Deprem Yer Hareketi)

Yalıtım birimleri için DD-1 depremi alt sınır değerleri için, üst yapıya etkiyen yatay kuvvet hesabı için DD-2 depremi üst sınır değerleri kullanılarak yapılacaktır. Bu değerler eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi için TBDY 2018’de Çizelge 14.3 te verilmiştir.

Deprem yalıtım birimli bina tasarımı en önemli problemlerden biriside merkezlenme koşuludur. Merkezlenme sorunu için TBDY 2018 iki koşul sunmuştur;

- ❖ İkincil rijitlik ile hesaplanan tirerşim periyodu 6 saniyeden küçük olmalıdır.
- ❖ En büyük yerdeğişmeye karşılık gelen kuvvet ile %50 yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet arasındaki fark en az 0.025W olmalıdır.

Ayrıca eğri yüzeyli yalıtım birimi kullanılan yapıda etkin kesit rijitlikleri Çizelge 2.3’teki gibi alınacaktır.

Çizelge 2.3 : Betonarme taşıyıcı sistem elemanları için 11. aşamada uygulanacak etkin (TBDY,2018)

Elemanlar	Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
		Eksenel	Kayma
Perde – Döşeme (Düzlem İçi)	Perde	0.75	1.00
	Bodrum perdesi	1.00	1.00
	Döşeme	0.50	0.80
Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)	Perde	1.00	1.00
	Bodrum perdesi	1.00	1.00
	Döşeme	0.50	1.00
Çubuk Eleman	Bağ Kirişi	0.30	1.00
	Çerçeve Kirişi	0.70	1.00
	Çerçeve Kolonu	0.90	1.00
	Perde (eşdeğer çubuk)	0.80	1.00

Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi ile yapı değerlendirmesine geçilmeden önce etkin deprem yükü yöntemi ile deprem yalıtım biriminin performans hesabı yapılmalıdır. Bu yöntem ile deprem yalıtım biriminin yerdeğiştirme kapasitesi

hesaplanır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapıldığında elde edilecek ortalama yer değiştirme etkin deprem yükü ile bulunan yer değiştirmesinin en az %80 i olmalıdır. TBDY 2018’de etkin deprem yükü için aşağıdaki formüller tanımlanmıştır.

- Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için yalıtım birimi yerdeğiştirmesi

$$D_D = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_D^2 \eta_D S_{ac}^{(DD-2)}(T_D) \quad (2.7)$$

- Tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için bina etkin periyodu

$$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_D g}} \quad (2.8)$$

- En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için yalıtım birimi yatay yerdeğiştirmesi

$$D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ac}^{(DD-1)}(T_M) \quad (2.9)$$

- En büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için bina etkin periyodu

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_M g}} \quad (2.10)$$

- Üstyapıya etkiyen kuvvet, tasarım deprem yer hareketi düzeyi DD-2 için

$$V_D = \frac{S_{ac}^{(DD-2)}(T_D) W \eta_D}{R} \quad (2.11)$$

- Üstyapıya etkiyen kuvvet, en büyük deprem yer hareketi düzeyi DD-1 için

$$V_M = \frac{S_{ac}^{(DD-2)}(T_M) W \eta_M}{R} \quad (2.12)$$

Eğri yüzeyli deprem yalıtım biriminin en büyük yerdeğiştirmesi burulma etkileri dikkate alınarak arttırılacaktır. Gerekli montaj mesafesi ile beraber deprem yalıtım birimin üzerine oturacağı kolon veya temel yeteri büyüklükte olmalıdır.

Görelî kat öteleme sınırları TBDY 2018 bölüm 14.14.15'te aşığıdaki gibi verilmiştir.

- Kesintisiz Kullanım (KK) performans seviyesi için $0.005h_i$
- Sınırlı Hasar (SH) performans seviyesi için $0.01h_i$
- Kontrollü Hasar (KH) performans seviyesi için ise $0.015h_i$

2.3.5 Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi ile yapılan güçlendirme örnekleri

Türkiyeyede eğri yüzeyli depre yalıtım birimi kullanılarak güçlendirilen yapılar mevcuttur. Bu yapılar genellikle ulaşım yapıları, viyadükler, hastane yapıları ve iletişim merkezleri gibi işletiminin durmasının çok mümkün olmayan yapılardır. Aşığıdaki resimlerde bazı örnekler görölmektedir.



Şekil 2.110 : Atatürk havalimanı dış hatlar terminali (Şadan & Tüzün, 2019)



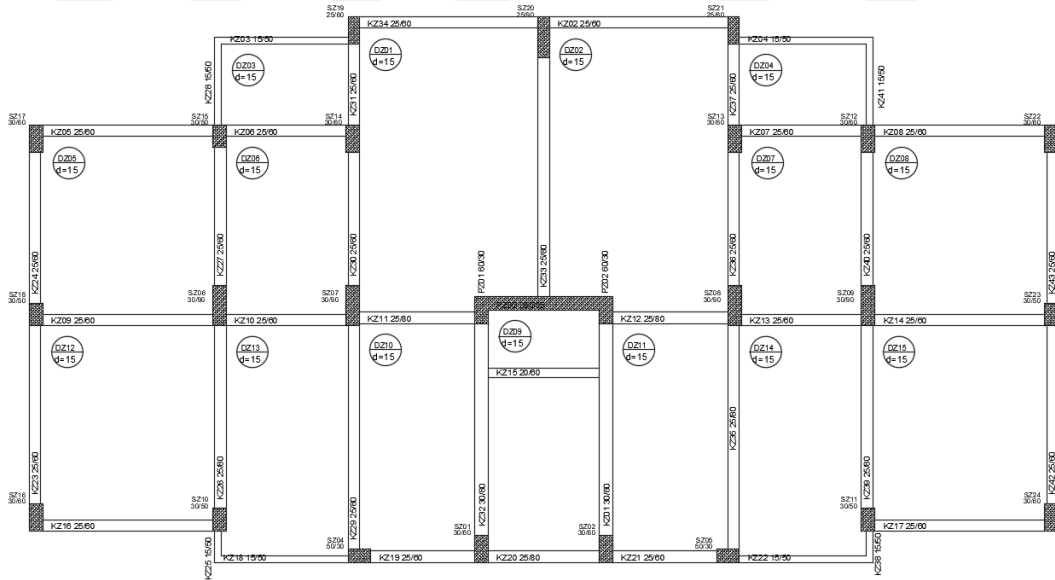
Şekil 2.10 : Marmara Üniversitesi Başbüyük EAH kolon askıya alma yöntemi ve yalıtım (Şadan & Tüzün, 2019)



3. TBDY 2018'E GÖRE MEVCUT YAPININ DEPREM DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

3.1 İncelenecek Olan Binanın Tanıtılması

İncelemeye esas olan bina yapısı, plandaki geometrisi dikdörtgen olup 1 zemin ve 3 normal kat olmak üzere toplam 4 kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri zemin katta ~3.90m, normal katlarda ise ~2.90m'dir. Binanın düşey ve yatay yükler için taşıyıcı sistemi, bina uzun doğrultusunda 30 cm kalınlıklı betonarme çekirdek perde, kolonlar ile bu kolonlara mesnetlenen kirişli döşeme sisteminden meydana gelmektedir. Kirişli döşeme plağı kalınlığı 15cm'dir. Bina taşıyıcı sistem kiriş en kesit boyutları 25cm×60cm, 25cm×80cm ve 15cm×50cm'dir. Düşey taşıyıcı elemanlarını oluşturan kolonlar, tüm katlarda 25cm×60cm, 25cm×90cm, 30cm×50cm, 30cm×60cm ve 30cm×90cm boyutlarındadır. Örnek kalıp planı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Örnek olarak incelenen yapının kalıp planı

Yapının beton ve donatısının malzeme sınıfları aşağıdaki Çizelge 3.1'de verilmiştir.

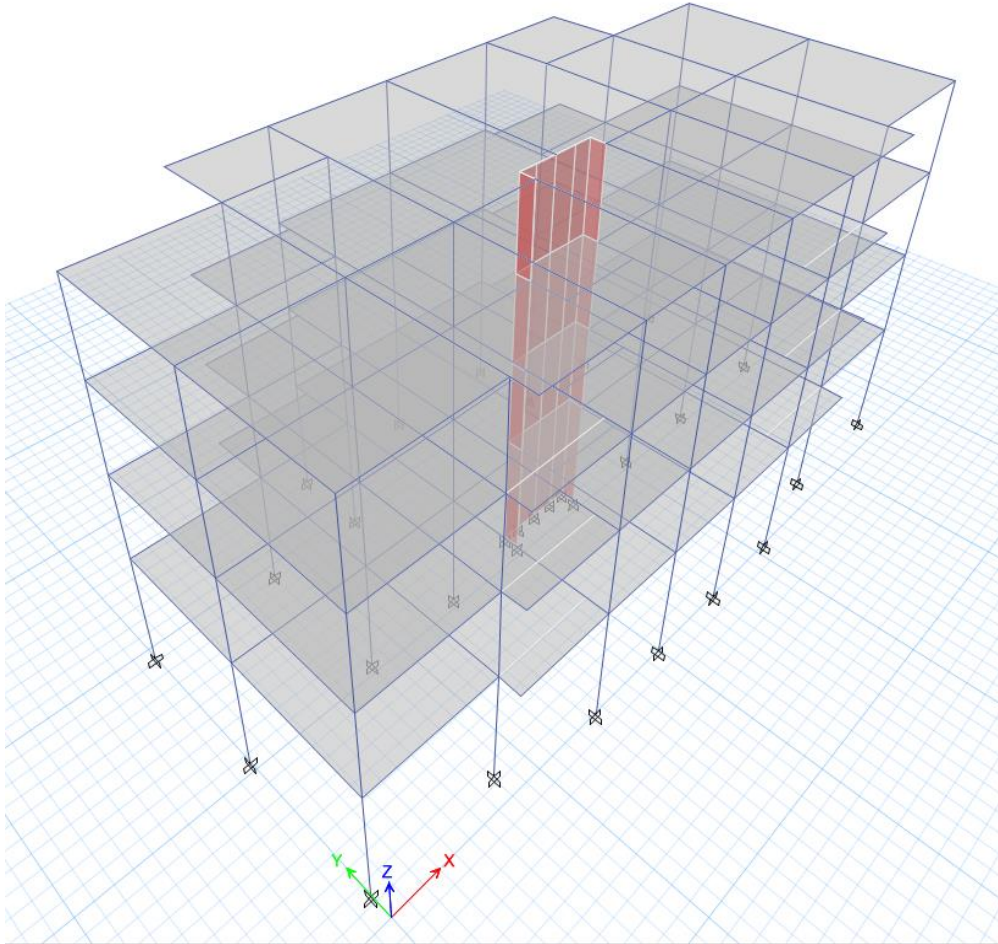
Çizelge 3.1 : Malzeme sınıfları

Malzeme	Sınıfı
Beton	C9
Donatı	S220

Yapının mevcut taşıyıcı kolonlarında donatılara aşağıdaki Çizelgede verilmiştir. Kolonlar tüm elemanlarda aynı kabul edilmiştir. Etriyelerde sargı olduğu kabul edilmiştir. Etriye kanca kıvrımları 90 derece olması nedeniyle TBDY-2018, 15.7.1.3 maddesi gereğince, donatı hacimsel oranın hesabında etriyelerin %30'u hesaba dâhil edilmiştir. Kolon tipik donatıları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu verilere gere modellenen yapının üç boyutlu görünüşü Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kolon tipik donatıları

Donatı Tipi	Adet/Çap
Düşey Donatı	8Ø14
Enine Donatı (Etriye)	Ø8/20-10



Şekil 3.2 : Mevcut betonarme binanın üç boyutlu hesap modeli

3.2 Mevcut Yapının Performans Hedefinin ve Analiz Yönteminin Belirlenmesi

TBDY 2018 yönetmeliği, yapıların tasarım ve değerlendirilmesinde kullanılacak hesap yönteminin seçimi için yönetmeliğin belirlediği Çizelgeler yardımıyla yapıların kullanım sınıflarını, yükseklik sınıflarını ve deprem tasarım sınıflarını elde etmek ve bu değerler göre istenen performans seviyesine ve analiz yöntemine karar verilmesi gerektiğini belirtmektedir. TBDY 2018 bölüm 3.1, 3.2 ve 3.3 te tanımlanan bu Çizelgeler Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5 olarak aşağıda gösterilmiştir. Yapıya uygun kısımlar işaretlenmiştir. Çizelge 3.6’da bu elde edilen değerler ile hesap yöntemi belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 : Bina kullanım sınıfları (BKS) ve bina önem katsayıları (I)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Çizelge 3.4 : Deprem tasarım sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DC})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$0.25 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Çizelge 3.5 : Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik sınıfları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına 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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Çizelge 3.6 : Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

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

Mevcut betonarme binasının, performansa dayalı mevcut deprem güvenliğinin belirlenmesi çalışması kapsamında,

Bina Kullanım Sınıfı-BKS=3, Deprem Tasarım Sınıfı-DTS=1, Bina Yükseklik Sınıfı-BYS=6 olarak değerlendirilmiş olup, söz konusu yapıdaki TBDY-2018'e göre öngörülen minimum performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme yaklaşımı,

- ✓ 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "Kontrollü Hasar (KH)" hedef performans düzeylerinde şekil değiştirme kriterlerine göre (ŞGDT) olan değerlendirmesidir.

Kontrolü hasar (KH) performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.

3.3 Yapının Mevcut Yükleri

3.3.1 Sabit ve hareketli düşey yükler

Hesaplarda esas alınan sabit yapı yüklerinin belirlenmesinde, incelenen binanın mevcut durumu (döşeme kalınlıkları, döşeme kaplaması türleri ve kalınlıkları) ve kullanım amaçları göz önünde tutulmuştur. Sabit ve hareketli yüklerin tanımlanmasında TS498 yük standardı esas alınmıştır. Betonarme yapı elemanlarının öz ağırlıkları yapısal analiz programı içerisinde eleman en kesit ve malzeme özelliklerine göre hesaplanarak doğrudan hesaplara dâhil edilmektedir. Sabit yük toplamı ve hareketli düşey yükler aşağıda Çizelge 3.7’de verilmektedir.

Çizelge 3.7 : Sabit yük (kaplama + sıva) ve hareketli düşey yükler

	Sabit Yük [kN / m ²]	Hareketli Yük (LL) [kN / m ²]
Zemin kat	1.55	2.00
Normal kat	1.55	2.00
Normal kat konsol	1.55	5.00
Çatı	2.50	2.00

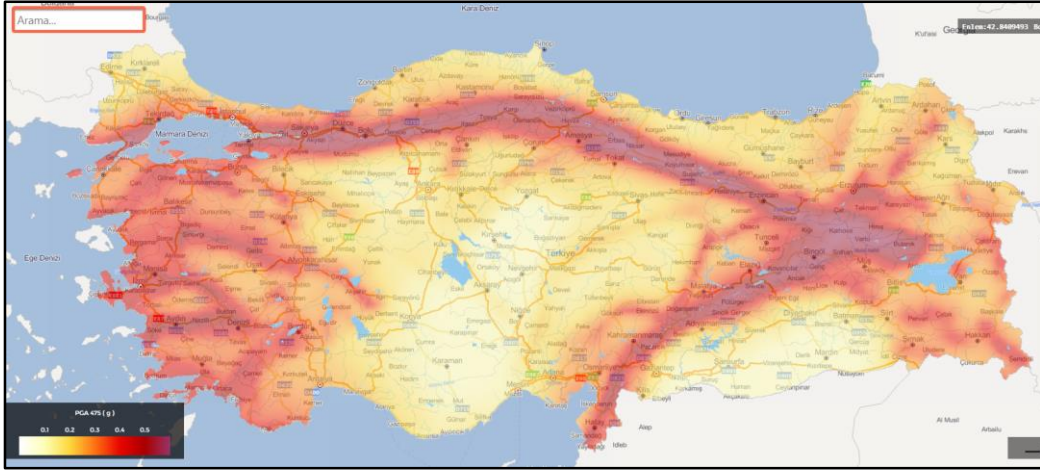
Kirişler üzerindeki duvar yükleri (PW) ise,

Dış duvar için : 11.50 kN/m’dir.

İç duvar için : 4.85 kN/m’dir.

3.3.2 Deprem yükünün belirlenmesi

Mevcut betonarme binasının mevcut deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılacak deprem yer hareketi düzeyi, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY,2018) esaslarından yararlanılmış ve Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak belirlenmiştir. Bu harita Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Türkiye deprem tehlikesi haritası

Öncelikli olarak binanın bulunduğu yerin enlem ve boylamı kabul edilerek ZC sınıfı zemin için deprem tehlike haritalarından ivme büyüklükleri elde edilmiş ve deprem tasarım spektrumu tanımlanmıştır. Söz konusu spektrumlar,

DD-2: 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu depremi temsil etmektedir. Buna göre DD-2 için tasarım spektrumunun elde edilmesinde kullanılan temel parametreler aşağıdaki gibidir.

Mevcut Binanın Enlemi ve Boylamı : 37.1339°K ve 27.8855°D

Yerel Zemin Sınıfı : ZC (TBDY-2018 Çizelge 16.1)

Deprem Tehlike Haritası İvme Büyüklükleri:

- ❖ Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı : SS = 1.004 g
- ❖ 1.0 Saniye Periyot için Harita Spektral İvme Katsayısı : S1 = 0.235 g
- ❖ En Büyük Yer İvmesi : PGA = 0.425 g

Yerel Zemin Etki Katsayıları (FS ve F1):

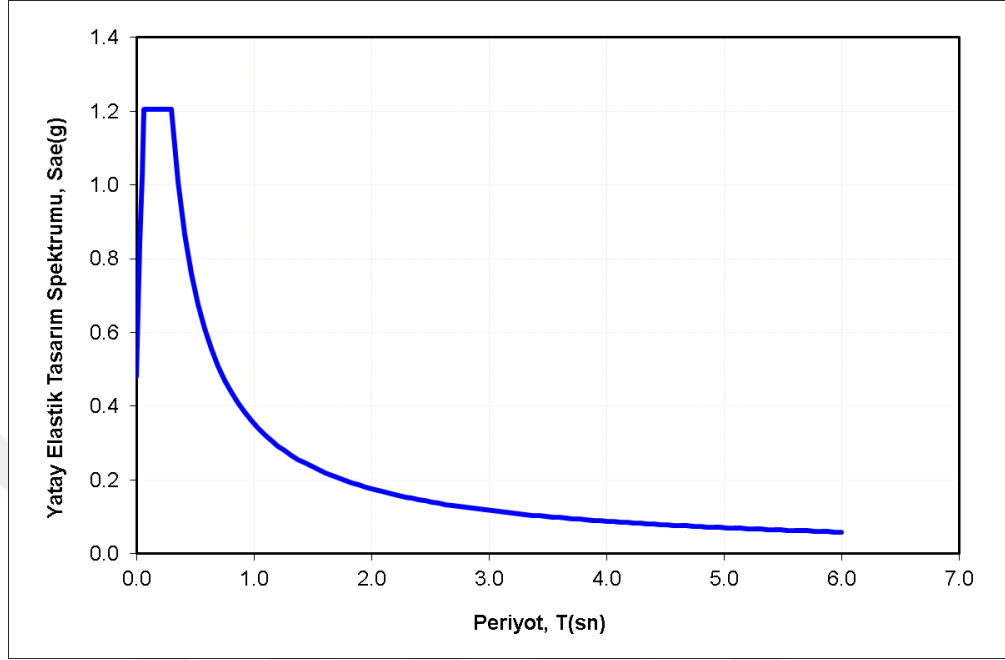
- ❖ Kısa Periyot Bölgesi için [ZC, SS] : FS = 1.20
- ❖ 1.0 Saniye Periyot Bölgesi için [ZC, S1] : F1 = 1.50

Tasarım Spektral İvme Katsayıları (SDS ve SD1) ve Köşe Periyodlar (TA ve TB):

$$SDS = SS \times FS = 1.004g \times 1.20 = 1.205 g$$

$$SD1 = S1 \times F1 = 0.235g \times 1.50 = 0.352 g$$

Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak mevcut binanın bulunduğu bölgenin depremselliği ve zemin sınıfı dikkate alınarak ve DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi için hedef spektrumu Şekil 3.4’ yer almaktadır.



Şekil 3.4 : DD-2 ve ZC zemin sınıfı yatay ivme spektrumu (TBDY-2018)

Şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemlerinden yapıya en uygun olanı zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmasıdır. Yapıların analizlerinde kullanılacak olan deprem kayıtları için Gebze Teknik Üniversitesi Teknoloji Transfer Merkezi A.Ş. bünyesinde, Prof.Dr. Yasin Fahjan, Dr. Aydın Mert tarafından hazırlanan “Deprem Tehlike Değerlendirmesi ve Zemin Bağımlı Tasarım Yer Hareketlerinin Belirlenmesi” raporu esas alınmıştır (Fahjan & Aydın, 2019).

İlgili raporda, deprem etkisinin tanımlanmasında ilk olarak ulusal ve uluslararası yönetmeliklerdeki genel yaklaşımlar incelenmiş, daha sonra proje için önerilen deprem düzeyleri açıklanmıştır. Proje sahasının bulunduğu bölgedeki mevcut deprem tehlikesinin değerlendirilmesi; bölgeyi etkileyebilecek depremlerin kaynağı olabilecek sismotektonik birimler (mevcut fay sistemleri), bölgeyi genel olarak etkileyen tarihi depremler ve bölgede oluşan son depremlerle bölgenin depremselliği incelenerek yapılmıştır. Seçilen depremler Şekil 3.5’te verilmiştir.

Proje için spektrum uyumlu deprem yer hareketlerinin seçilmesinde yukarıda belirtilen kurallar aşağıdaki gibi uygulanmıştır:

- Deprem yer hareketlerinin seçilmesinde Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) New Generation Attenuation (NGA) Veri Bankası (PEER, 2013) (4096 adet yer hareketi) kullanılmıştır.
- Deprem moment büyüklüğü, $MW = 6.6 - 6.9$ Aralığında ve Zemin V_s hızı $419 - 655$ m/s aralığında deprem yer hareketleri seçilmiştir.
- Seçilen deprem yer hareketlerinin fay hattına en yakın mesafesi $7 - 46$ km arasında değişmektedir.
- Proje sahasında seçilen deprem yer hareketlerinden elde edilen bileşke spektrumun DD1, DD-2, DD-3 deprem düzeyleri için $0.15s - 6.0s$ periyotları arasındaki genlikleri TBDY-2018'e uygun olarak ölçeklendirilmiştir (Fahjan, 2008).
- Ölçeklendirilen deprem hareketleri içerisinde Deprem Tasarım Spektrumuna en uygun olan 11 kayıt seçilmiştir. Deprem Tasarım Spektrumu ile zaman tanım alanında ölçeklendirilmiş deprem yer hareketlerinin spektrumları tam uyumlu olmadığından ölçeklendirme frekans alanında yapılmıştır.
- Tüm tasarım spektrumları ve Bileşke spektrumlar, %5 sönüm oranı için elde edilmiştir.
- Bileşke spektrum, deprem yer hareketinin iki bileşenine ait spektrumların karelerinin toplamının karekökü alınarak elde edilmiştir.

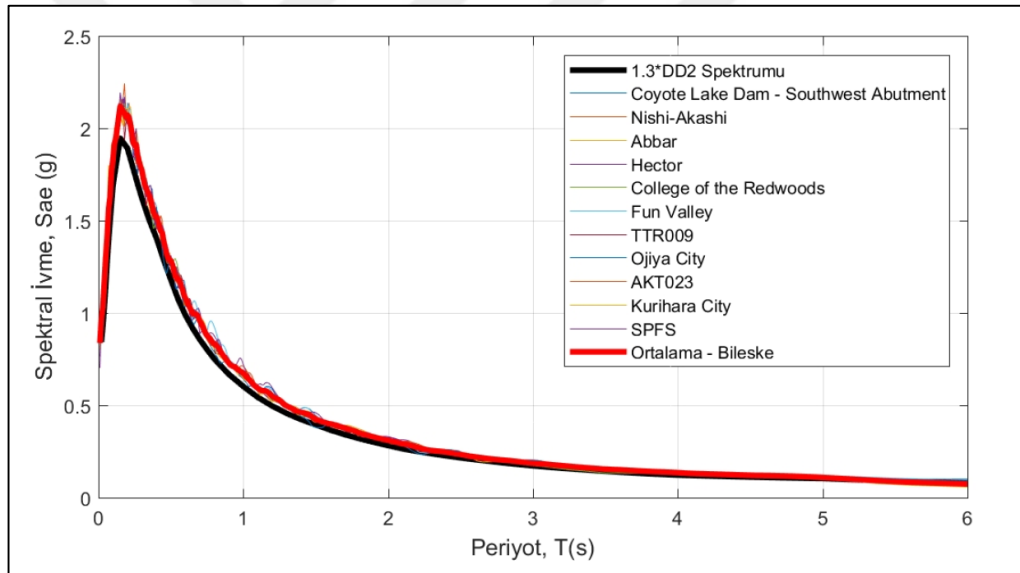
Deprem	M_w	Fay Mekaniz	İstasyon	Bileşen (H1)	Bileşen (H2)	EnKısa Uzak (km)	V_{s30}	Ölçeklendirme Katsayısı	
								DD-1	DD-2
Manjil-Iran, 1990	7.4	strike slip	Abbar	RSN1633_MANJIL_ABBAR--L	RSN1633_MANJIL_ABBAR--T	12.6	724	1.67	0.92
Cape Mendocino, 1992	7.0	Reverse	College of the Redwoods	RSN3747_CAPEME_ND_CRW270	RSN3747_CAPEME_ND_CRW360	31.5	493	3.18	1.73
Chuetsu-oki-Japan, 2007	6.8	Reverse	Ojiya City	RSN4882_CHUETSU_U_65321NS	RSN4882_CHUETSU_U_65321EW	23.4	430	3.09	1.72
Iwate-Japan, 2008	6.9	Reverse	Kurihara City	RSN5818_IWATE_48A61NS	RSN5818_IWATE_48A61EW	12.9	512	1.29	0.72
Hector Mine, 1999	7.1	strike slip	Hector	RSN1787_HECTOR_HEC000	RSN1787_HECTOR_HEC090	11.7	726	2.14	1.18
Darfield-New Zealand, 2010	7.0	strike slip	SPFS	RSN6971_DARFIELD_SPFSN17E	RSN6971_DARFIELD_SPFSN73W	29.9	390	3.18	1.74
Iwate-Japan, 2008	6.9	Reverse	AKT023	RSN5478_IWATE_AKT023NS	RSN5478_IWATE_AKT023EW	17.0	556	2.83	1.57
Loma Prieta, 1989	6.9	Reverse Oblique	Coyote Lake Dam Southwest	RSN755_LOMAP_CYC195	RSN755_LOMAP_CYC285	20.3	561	2.36	1.30
Tottori-Japan, 2000	6.6	strike slip	TTR009	RSN3966_TOTTORI_TTR009NS	RSN3966_TOTTORI_TTR009EW	8.8	420	1.97	1.11
Kobe-Japan, 1995	6.9	strike slip	Nishi-Akashi	RSN1111_KOBE_NIS000	RSN1111_KOBE_NIS090	7.1	609	1.39	0.78
Landers, 1992	7.3	strike slip	Fun Valley	RSN3753_LANDERS_S_FVR045	RSN3753_LANDERS_S_FVR135	25.0	389	2.81	1.57

Şekil 3.5 : Seçilen deprem yer hareketlerinin karakteristik özellikleri

Seçilen 11 deprem ve karakteristik özellikleri yukarıda verilmiştir. Bu değerler raporda yakın saha deprem yer hareketi özelliklerinin deprem tasarım spektrumlarına etkilerinin gösterilmesi amacıyla elde edilen DD-2 deprem seviyesi için elde edilen Geometrik Ortalama Tehlike Spektrumu ile karşılaştırılmıştır. TBDY 2018 Bölüm 2.5.2’ye göre;

“Seçilen tüm kayıtlara ait bileşke spektrumların ortalamasının $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genliklerinin, yönetmelikte deprem tanımlanan tasarım spektrumunun aynı periyot aralığındaki genliklerine oranının 1.3’ten daha küçük olmaması kuralına göre deprem yer hareketi bileşenlerinin genlikleri leklendirilecektir.”

TBDY 2018 Bölüm 2.5.2’ye uygun olarak $0.2T_p$ ve $1.5T_p$ periyotları arasındaki genlikleri 1.3’ten büyüktür. Bu durum şekil 3.6’da gösterilmiştir.



şekil 3.6 : Seçilen deprem yer hareketlerine (DD-2 deprem düzeyi için ölçeklenmiş) spektral ivme bileşke spektrumları ve ortalamaları

Yapının analiz modeline RSN755, RSN1111, RSN1633, RSN1787, RSN3747, RSN3753, RSN3966, RSN4882, RSN5478, RSN5818, RSN6971 deprem kaydı yüklemeleri olmak üzere toplam 11 adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yüklemesi yapılmıştır. (TH-Nonlinear Direct Integration History)

Ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtları ölçek katsayına, ivme kayıtları arası geçen süre ve toplam kaç adet adım olduğuna dikkat edilerek analiz programına şekil.3.7 deki gibi tanımlanır. Depremin X ve Y yn için deprem analiz kayıtları eklenmelidir.

Load Case Data

General

Load Case Name: TH_RSN755

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: MSrc1

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included)

Nonlinear Case: DL+0.3LL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	DD2_X_RSN755_8...	9.81
Acceleration	U2	DD2_Y_RSN755_8...	9.81

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: None

Number of Output Time Steps: 8735

Output Time Step Size: 0.005 sec

Damping: Mass: 1.1321; Stiff: 0.0022; Modal: No

Time Integration: Hilber-Hughes-Taylor

Nonlinear Parameters: Default

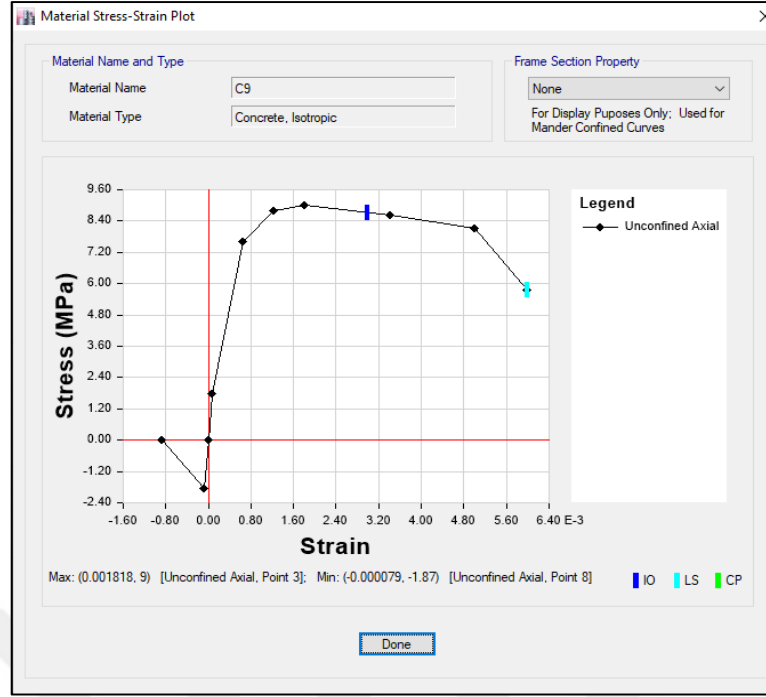
Buttons: OK, Cancel

Şekil 3.7 : Zaman tanım alanında (time history) deprem kaydı yüklemesi

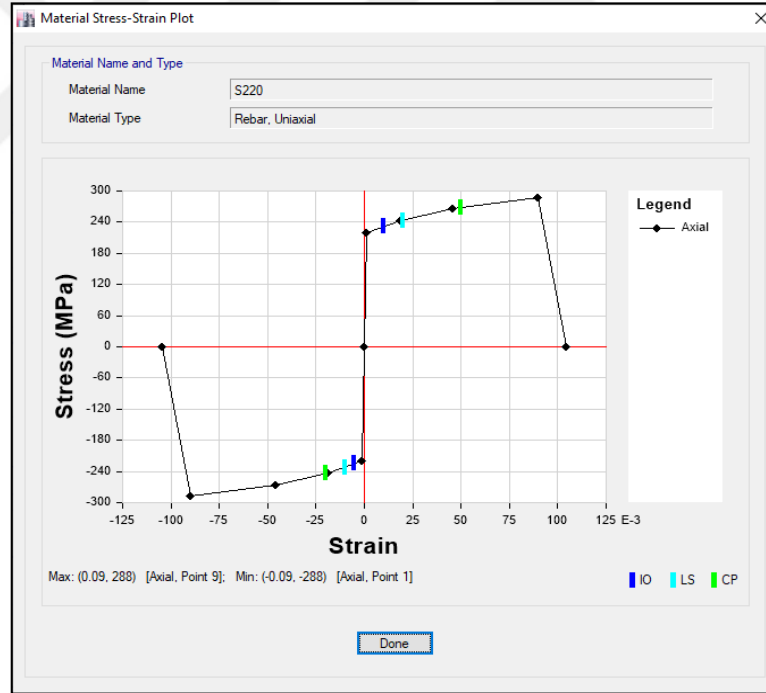
Analiz yapılırken X ve Y yönü için 2x11 olmak üzere 22 adet deprem kaydı seçilerek yapıya etkilmiştir. Bu seçilen deprem kayıtları döndürülerek tekrar etkilimelidir. Fakat bu tez kapsamında ivme kayıtlarının döndürülmesi sonuçları incelenmemiştir.

3.4 Malzeme Modelleri

Doğrusal olmayan yapısal modellemede beton malzemesi için “Mander modeli” sargılı ve sargısız betonarme modeli olarak bilinen TBDY-2018 Ek 5A’da tanımlanan sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılmıştır (Mander, Priestly, & Park, 1988). Bu yapıda kullanılan beton ve donatı için tanımlanan malzeme modelleri Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : C9 betonu doğrusal olmayan malzeme modeli

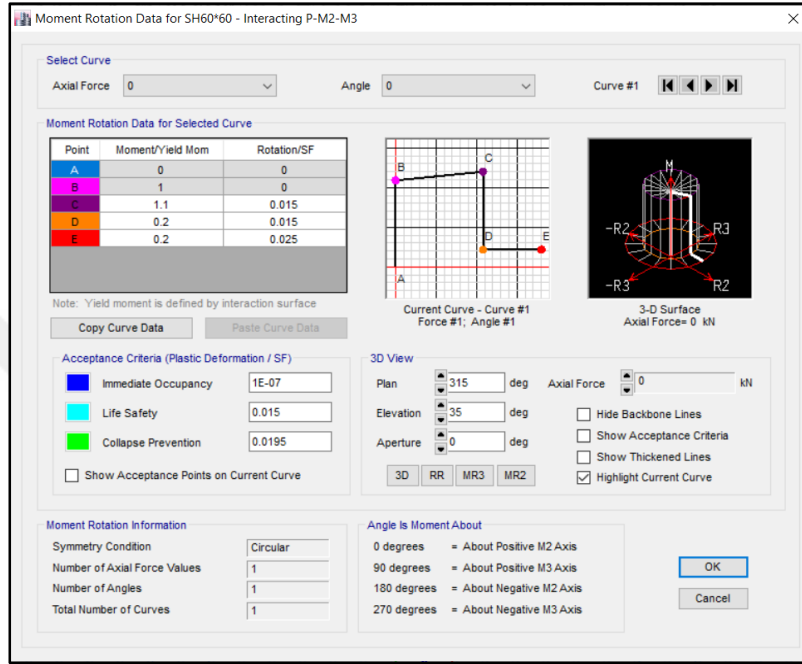


Şekil 3.9 : S220 donatı çeliği doğrusal olmayan malzeme modeli

3.5 Taşıyıcı Sitem Davranış Modelleri

3.5.1 Kolon davranış modeli

Kolon elemanları için hesaplanan hasar sınırlarına bağlı olarak P-M2-M3 mafsalları oluşturulmuştur. Kolon için tanımlanan mafsal Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

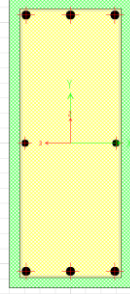


Şekil 3.10 : Örnek kolon P-M-M mafsal özelliklerinin tanımlanması

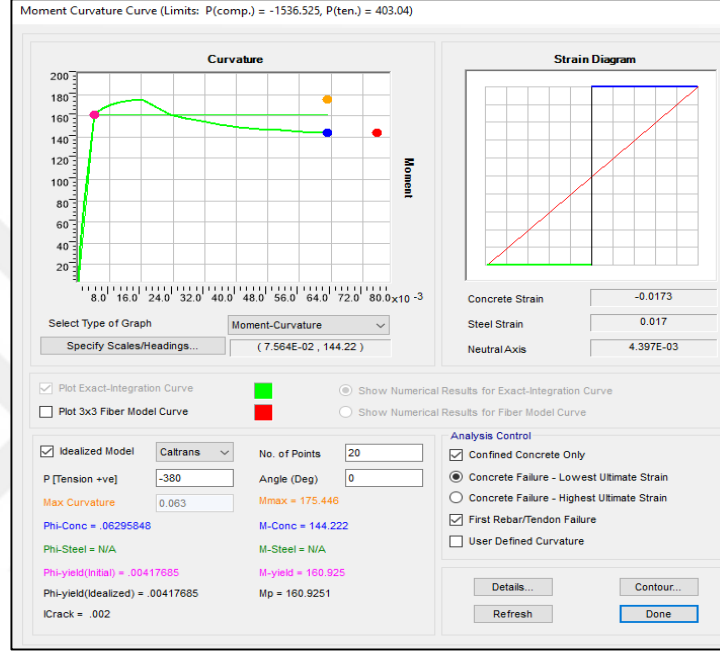
Kolonlar için etkin rijitlikler hesaplanmış ve davranış modeline uygun bir şekilde analiz modeline etkilmiştir. Bu etkin rijitlikler tüm kolonlar için tek tek hesaplanmıştır

S25/60 Kolon:

25cm×60cm kolon, 6φ18 + 2φ14 donatısı için *Yığılı Plastik Davranış Modeline* göre farklı performans düzeyleri için plastik dönme sınır değerleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Kolon eleman “Section Designer” modeli



Şekil 3.12 : Kolon elemana ait kesit sonuçları

3.90m Açıklıklı 25cm×60cm Kolon Kritik Kesitindeki Plastik Dönme Sınır Değerleri:

E	: 23750000 kN/m ²	f_{ce}	: 9 Mpa
L_s	: 3.90m	$(EI)_e$	: 18602
N_d	: 380 kN	$(EI)_e / EI$	: 0.174
η	: 1	ϵ_{su}	: 0.12
EI	: 106875 kNm ²	ϕ_u	: 0.063 1/m
ϕ_y	: 0.00417 1/m	L_p	: 0.60/2 = 0.30 m
M_y	: 160.00 kNm	$\epsilon_s^{(G\ddot{O})}$	: 0.0480
d_b	: 0.018 m	$\epsilon_s^{(KH)}$	: 0.0360
f_{ye}	: 220 Mpa	$\epsilon_s^{(SH)}$	: 0.0075
Θ_y	: 0.00559 rad		

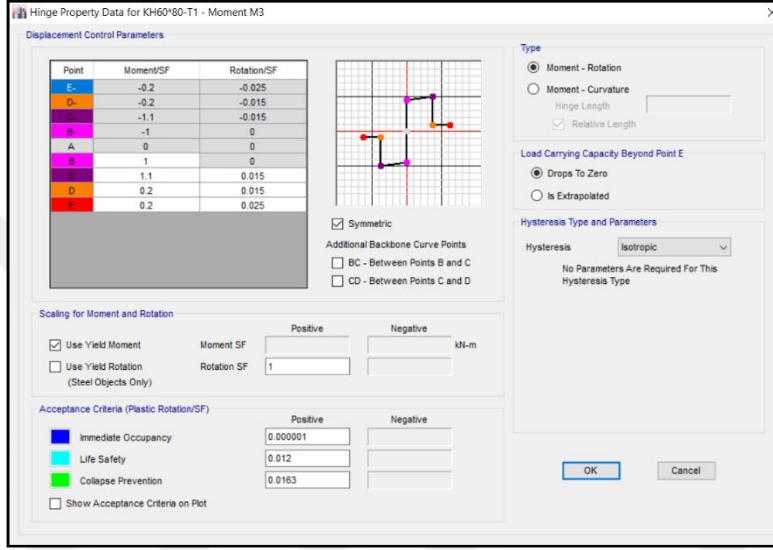
Plastik dönme sınır değerleri:

$\Theta_p^{(G\ddot{O})} : 0.0143 \text{ rad}$, $\Theta_p^{(KH)} : 0.0110 \text{ rad}$, $\Theta_p^{(SH)} : 0$ (Güçlü Eksen Etrafında)

$\Theta_p^{(G\ddot{O})} : 0.0216 \text{ rad}$, $\Theta_p^{(KH)} : 0.0160 \text{ rad}$, $\Theta_p^{(SH)} : 0$ (Zayıf Eksen Etrafında)

3.5.2 Kiriş davranış modeli

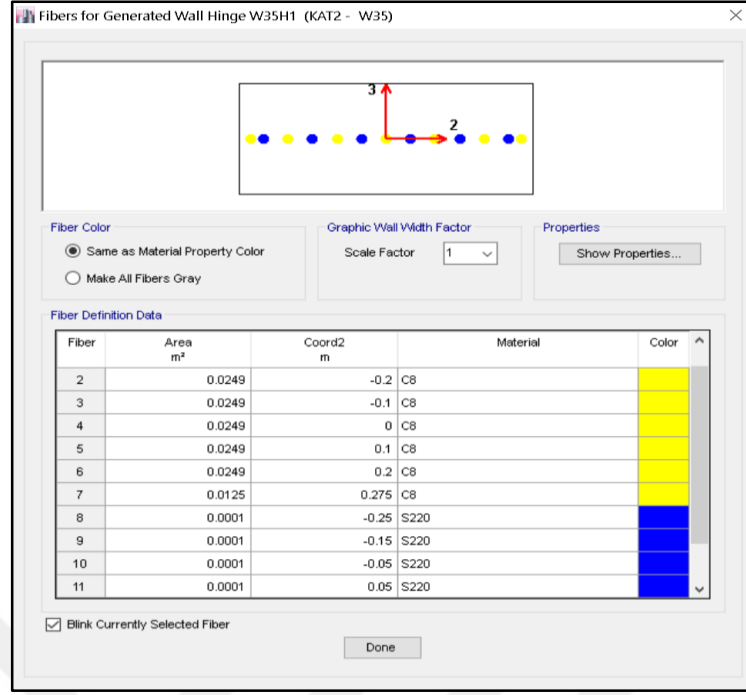
Kiriş elemanları için hesaplanan hasar sınırlarına bağlı olarak Moment-Eğrilik mafsalları oluşturulmuştur. Şekil 3.13'te tanımlanan mafsal özelliği gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Kirişlerde mafsal özelliklerinin tanımlanması örneği

3.5.3 Perde davranış modeli

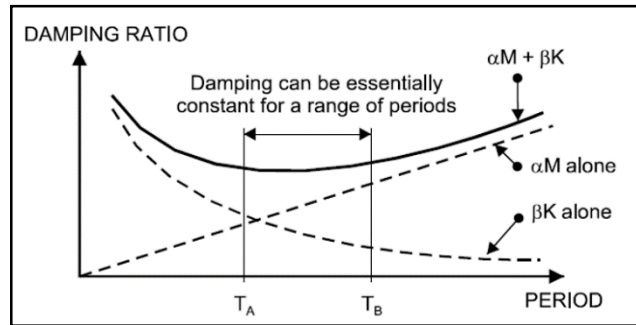
Perde elemanları için hesaplanan hasar sınırlarına bağlı olarak fiber (lif) P-M3 mafsalları oluşturulmuştur. Mafsallar özellikleri Şekil 3.14'te tanımlanmıştır.



Şekil 3.14 : Perdelerde mafsallık özelliklerinin tanımlanması örneği

3.6 Sönüm

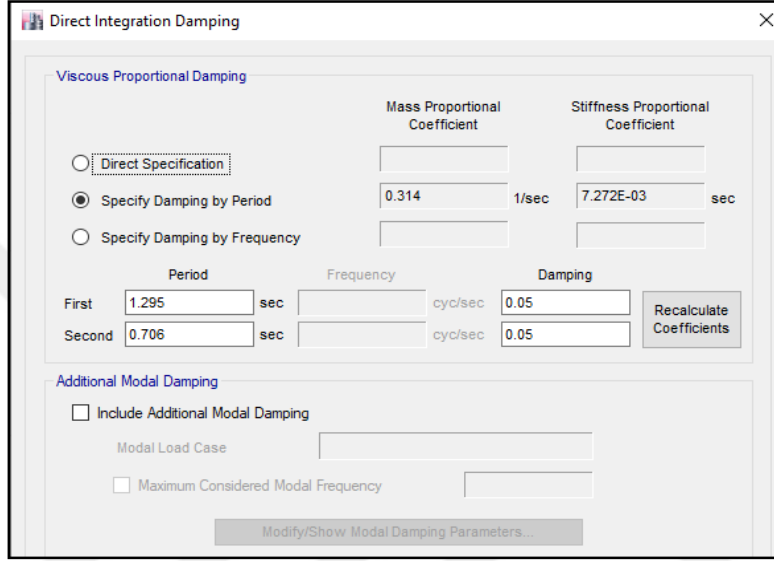
Zaman tanım alanı analizinde kullanılan "Direct Integration" çözüm yönteminde sönüm oranları yapının kütle katılımının büyük bir bölümünü oluşturan uzun periyotların belli bir sönüm değerinin altında kalmasını sağlayan kütle ve rijitlik orantılı "Rayleigh Damping" sönüm oranları kullanılmıştır. Rayleigh sönüm oranlarında verilen "C" sönüm matrisi kütle ve rijitliklerin her bir periyot değerinde katılımlarını α ve β katsayıları ile verir. Sönüm için tanımlanan model Şekil 3.15'de gösterilmiştir. Yapı modal kütle katılım oranları Çizelge 3.8'de verilmiştir. Bu modelde Şekil 3.16'daki gibi gösterilmiştir.



Şekil 3.15 : Rayleigh sönüm modeli

Çizelge 3.8 : Modal kütle katılım oranları

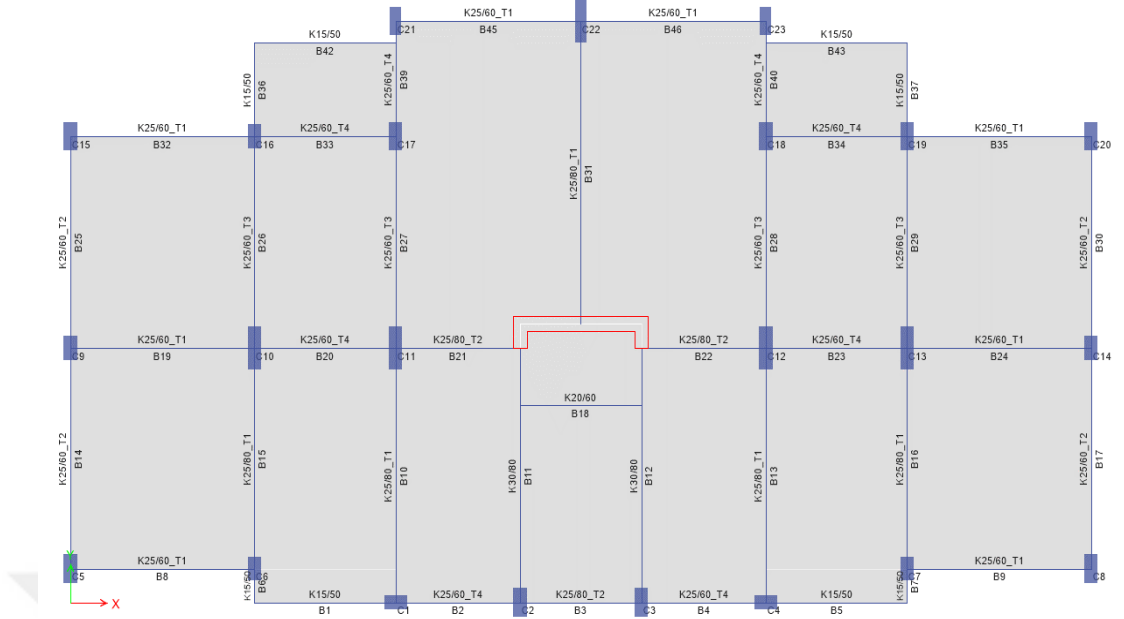
Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	1.438	0.001	0.00	0.00	0.00	0.00
Modal	2	1.295	0.000	0.84	0.00	0.00	0.84
Modal	3	0.706	0.771	0.00	0.00	0.77	0.84
Modal	4	0.414	0.000	0.00	0.00	0.77	0.84
Modal	5	0.365	0.000	0.11	0.00	0.77	0.95



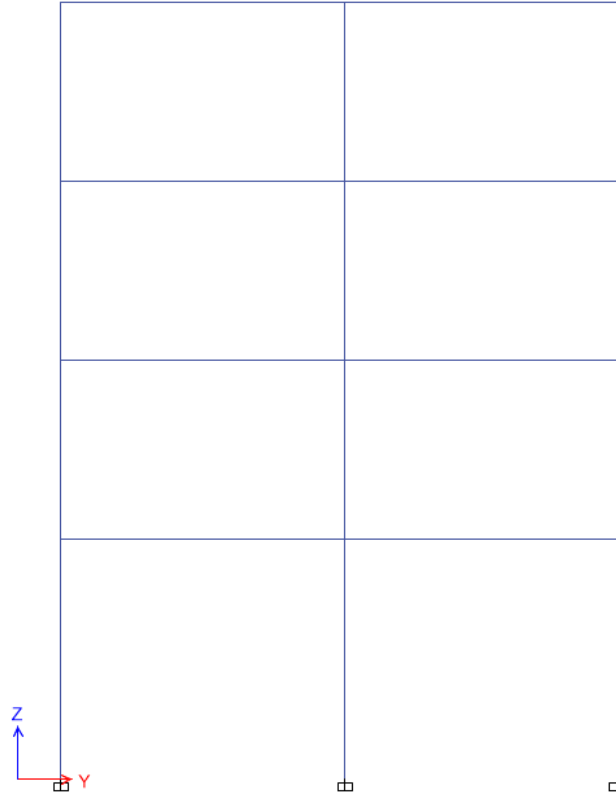
Şekil 3.166 : ETABS sönüm modeli

3.7 Hesap Modelinin Oluşturulması

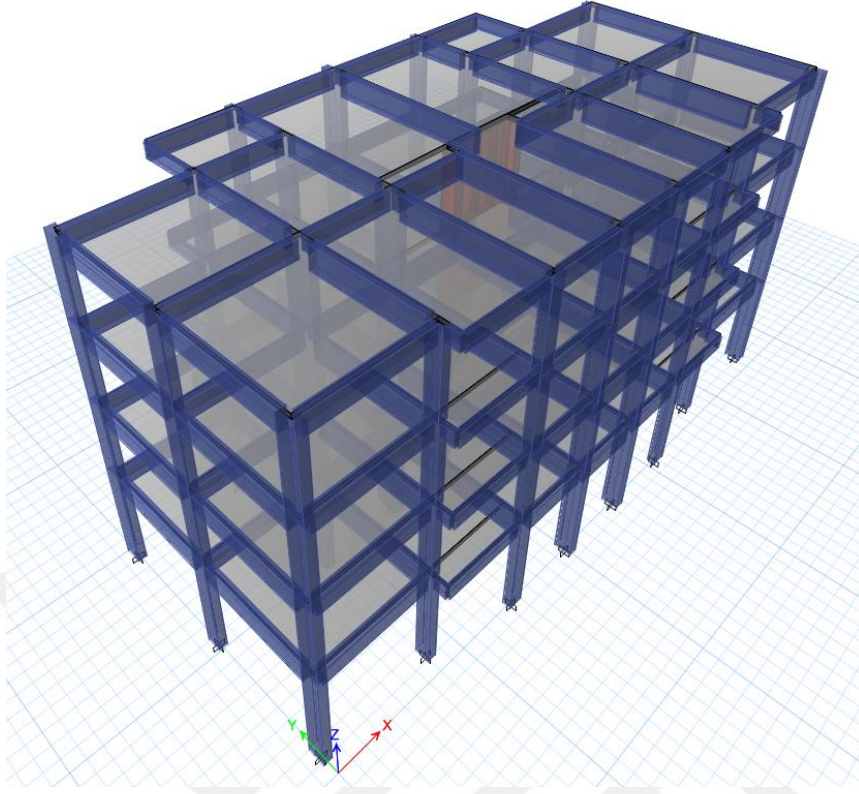
Tanımı yapılan ve özellikleri belirlenen yapının sayısal analizi için ETABS (Extended Three dimensional Analysis of Building Systems) hesap programı kullanılmıştır. Yapının ilk olarak malzeme ve kesit özellikleri programa tanıtılmış ve daha sonra yükleri girilmiş ve hasar davranış modelleri ve etkin rijitlikleri hesap programına etkilmiştir. Mevcut yapının DD-2 deprem yükleri altında davranışının belirlenmesi için yönetmelikte tanımlanan zaman tanım alanında doğrusal olamayan analiz yöntemi kullanılmıştır. 2x11 adet toplam 22 adet deprem kaydı hesap programına tanımlanmıştır. Her deprem durumu için X ve Y yönü için depremler model içinde çalıştırılacaktır. Yapı modelinin plan ve 3 boyutlu görünüşleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Oluşturulan analiz modeli plan, kesit ve üç boyutlu görünüşü sırasıyla Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



Şekil 3.177 : Analiz modeli kat planı



Şekil 3.188 : Analiz modeli kesit görünüşü

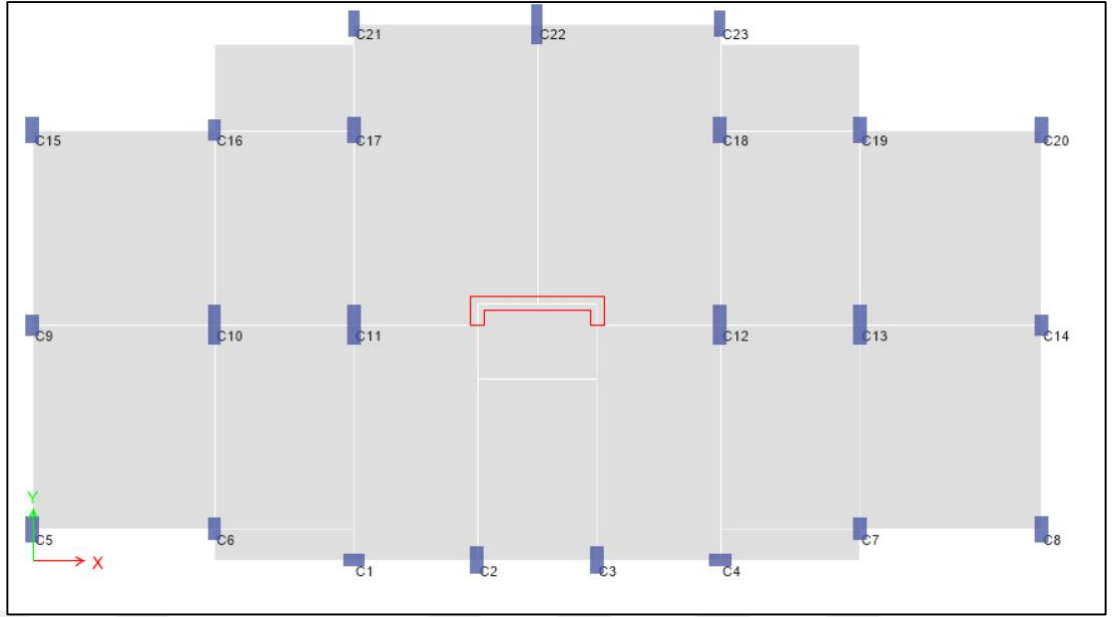


Şekil 3.19 : Analiz modeli 3 boyut görünüşü

3.8 DD-2 Deprem Düzeyi İçin Analiz Sonuçları

3.8.1 Betonarme kolon eğilme sonuçları

Analiz sonuçlarına geçmeden önce kolonlar için program tarafından tanımlanmış etiketler Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 3.9, Çizelge 3.10, Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12’de özetlenmiştir. Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24’te katlar için hasar oranları gösterilmiştir.



Şekil 3.190 : Kolon etiketleri

Çizelge 3.9 : Zemin kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	23	0	0	0
	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Çizelge 3.10 : 1.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

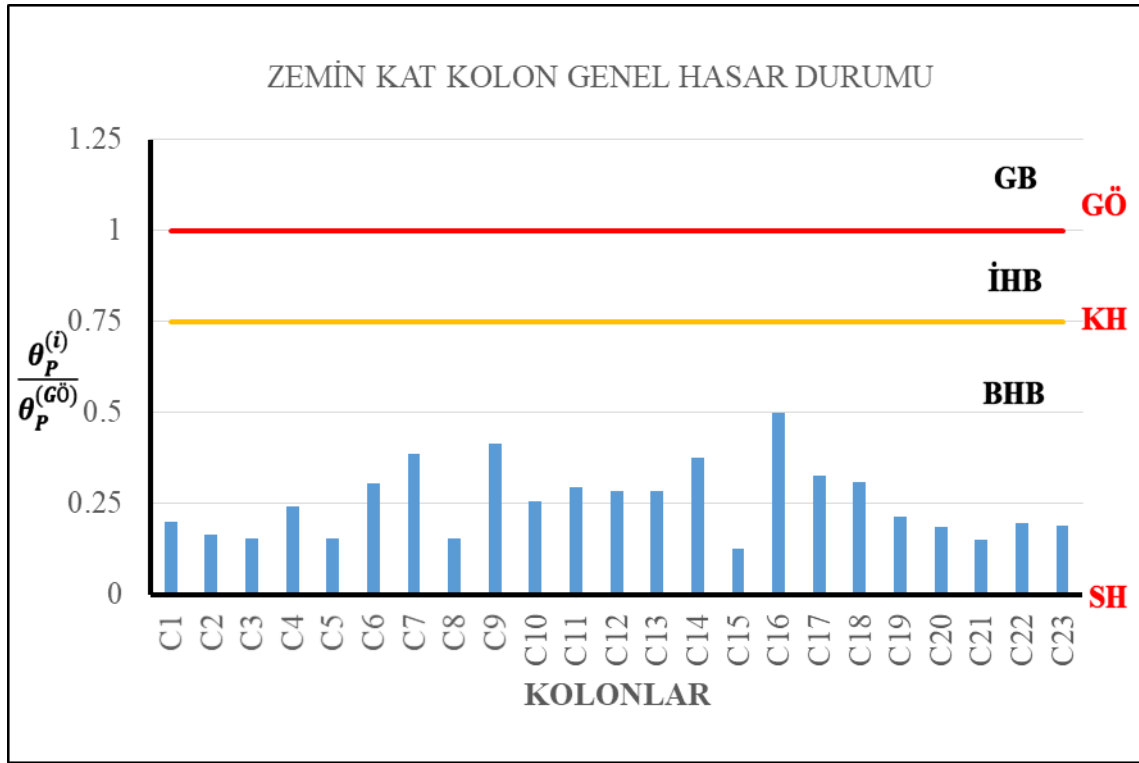
Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	23	0	0	0
	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Çizelge 3.11 : 2.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

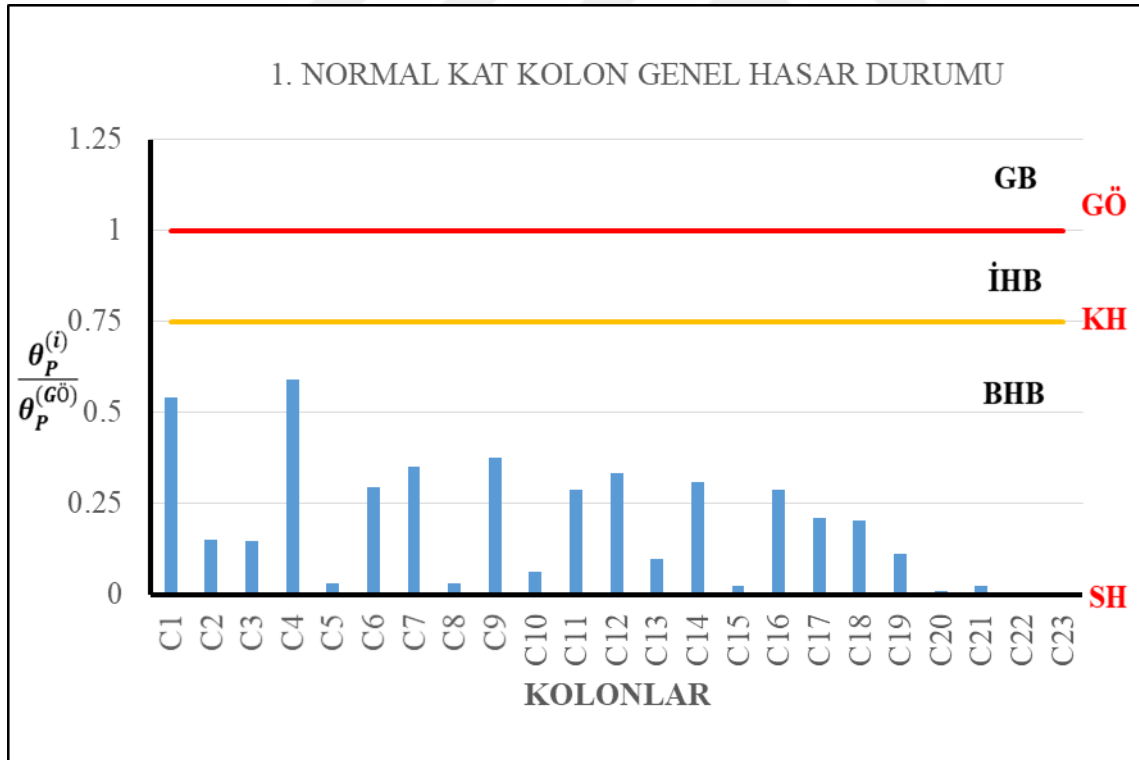
Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	16	0	0	7
	69.57%	0.00%	0.00%	30.43%

Çizelge 3.12 : 3.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

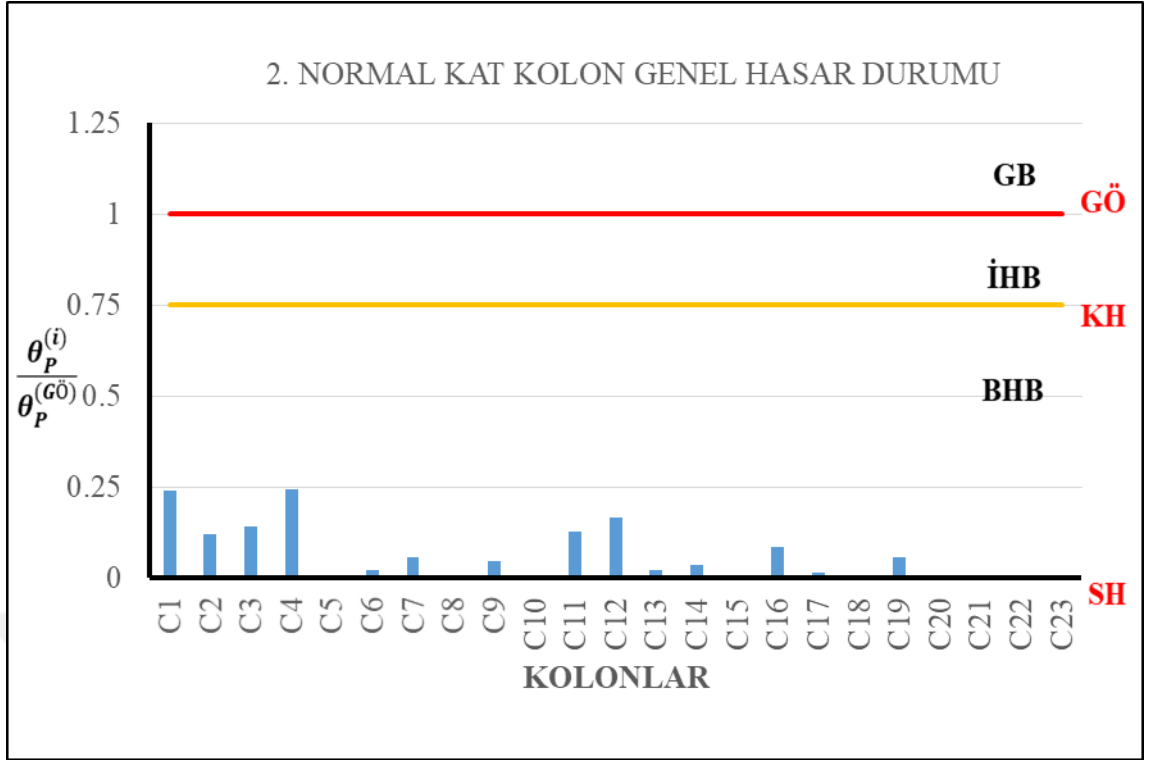
Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	22	0	0	1
	95.65%	0.00%	0.00%	4.35%



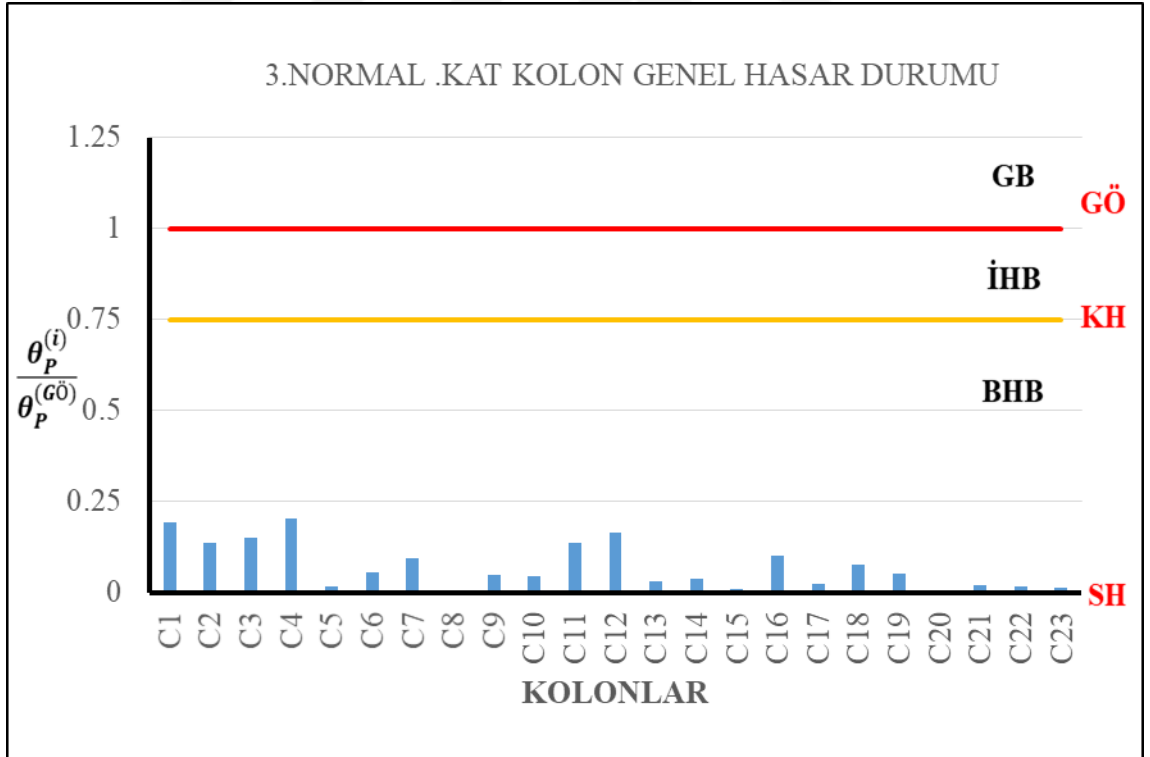
Şekil 3.21 : Zemin kat kolonlarındaki hasar dağılımı



Şekil 3.202 : 1. Normal kat kolonlarındaki hasar dağılımı



Şekil 3.213 : 2. Normal kat kolonlarındaki hasar dağılımı



Şekil 3.224 : 3. Normal kat kolonlarındaki hasar dağılımı

3.8.2 Betonarme kolon kesme sonuçları

Mevcut betonarme kolonlar her iki deprem doğrultusundaki ortalama kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır Kesme sonuçları Çizelge 3.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 : Kolon elemanların kesme güvenliği kontrolü

Kiriş	V2	V3	b	h	As	Vc	Vs2	Vs3	V2-top	V3-top	Kontrol V2/V2top	Kontrol V3/V3top
	kN	kN	m	m	cm ²	kN	kN	kN	kN	kN		
C1	32.7257	32.84993	0.5	0.3	5.0265	96.52008	55.292	331.7522	151.8121	129.6953	0.22<1	0.25<1
C2	19.8715	81.4721	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.13<1	0.45<1
C3	20.2589	81.10705	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.14<1	0.45<1
C4	32.5438	33.52263	0.5	0.3	5.0265	96.52008	55.292	33.17522	151.8121	129.6953	0.21<1	0.26<1
C5	15.99	72.52206	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.11<1	0.4<1
C6	13.1358	62.43576	0.3	0.5	5.0265	96.52008	33.1752	55.29203	129.6953	151.8121	0.1<1	0.41<1
C7	14.3062	63.9275	0.3	0.5	5.0265	96.52008	33.1752	55.29203	129.6953	151.8121	0.11<1	0.42<1
C8	14.7157	74.74615	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.1<1	0.41<1
C9	12.4788	61.73378	0.3	0.5	5.0265	96.52008	33.1752	55.29203	129.6953	151.8121	0.1<1	0.41<1
C10	18.621	160.7104	0.3	0.9	5.0265	173.7361	33.1752	99.52566	206.9114	273.2618	0.09<1	0.59<1
C11	25.9973	144.8774	0.3	0.9	5.0265	173.7361	33.1752	99.52566	206.9114	273.2618	0.13<1	0.53<1
C12	28.5506	148.4703	0.3	0.9	5.0265	173.7361	33.1752	99.52566	206.9114	273.2618	0.14<1	0.54<1
C13	20.0597	162.3209	0.3	0.9	5.0265	173.7361	33.1752	99.52566	206.9114	273.2618	0.1<1	0.59<1
C14	11.9652	62.48965	0.3	0.5	5.0265	96.52008	33.1752	55.29203	129.6953	151.8121	0.09<1	0.41<1
C15	13.3406	70.53837	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.09<1	0.39<1
C16	12.8488	56.75458	0.3	0.5	5.0265	96.52008	33.1752	55.29203	129.6953	151.8121	0.1<1	0.37<1
C17	11.7601	86.8483	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.08<1	0.48<1
C18	13.0293	86.61592	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.09<1	0.48<1
C19	15.697	76.51679	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.11<1	0.42<1
C20	12.6426	72.64875	0.3	0.6	5.0265	115.8241	33.1752	66.35044	148.9993	182.1745	0.08<1	0.4<1
C21	8.61239	66.12732	0.25	0.6	5.0265	96.52008	27.646	66.35044	124.1661	162.8705	0.07<1	0.41<1
C22	9.84752	133.7002	0.25	0.9	5.0265	144.7801	27.646	99.52566	172.4261	244.3058	0.06<1	0.55<1
C23	7.69183	66.99121	0.25	0.6	5.0265	96.52008	27.646	66.35044	124.1661	162.8705	0.06<1	0.41<1

3.8.3 Betonarme kolon enkesit koşullarının kontrolü

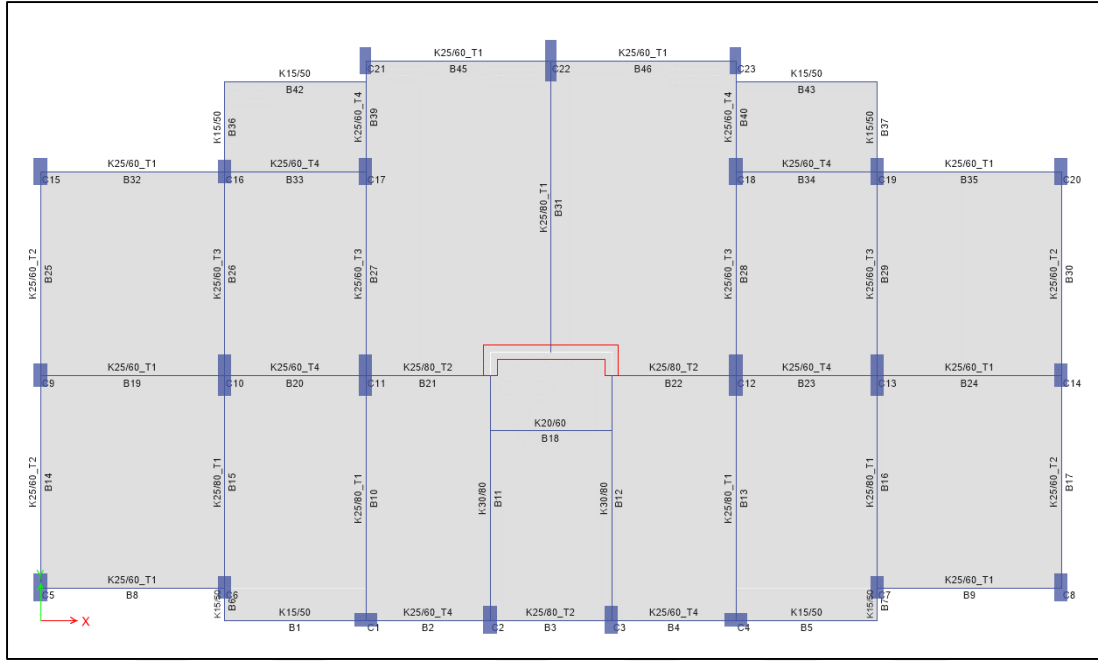
TBDY-2018 7.3.1.2'ye göre betonarme kolonun brüt en kesit alanı, N_{dm} TS 498'de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak, G ve Q düşey yükler ve E deprem etkisinin ortak etkisi $G+Q+E$ altında hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğü olmak üzere, $A_c \geq N_{dm}/(0.40f_{ck})$ koşulunu sağlayacaktır. Çizelge 3.14'de eksenel yük kontrolleri verilmiştir.

Çizelge 3.14 : Kolon elemanların aksel yük sınır kontrolü

Kolonlar	P (kN)	P _{dm} (kN)	b	h	Ac	Ac*F _{ck}	Kontrol P/Ac*F _{ck}	Kontrol P _{dm} /Ac*F _{ck}
	1.4G+1.6Q	RSN*	m	m	cm ²	kN		
C1	736.88	741.37	0.50	0.30	0.15	1350	0.55<0.6	0.55>0.4
C10	1273.07	922.12	0.30	0.90	0.27	2430	0.52<0.6	0.38<0.4
C11	1195.01	1014.45	0.30	0.90	0.27	2430	0.49<0.6	0.42>0.4
C12	1250.50	1034.10	0.30	0.90	0.27	2430	0.51<0.6	0.43>0.4
C13	1321.13	938.19	0.30	0.90	0.27	2430	0.54<0.6	0.39<0.4
C14	912.93	684.47	0.30	0.50	0.15	1350	0.68>0.6	0.51>0.4
C15	577.82	608.25	0.30	0.60	0.18	1620	0.36<0.6	0.38<0.4
C16	1159.75	981.85	0.30	0.50	0.15	1350	0.86>0.6	0.73>0.4
C17	877.74	724.69	0.30	0.60	0.18	1620	0.54<0.6	0.45>0.4
C18	875.52	757.66	0.30	0.60	0.18	1620	0.54<0.6	0.47>0.4
C19	1173.08	994.58	0.30	0.60	0.18	1620	0.72>0.6	0.61>0.4
C2	847.48	785.00	0.30	0.60	0.18	1620	0.52<0.6	0.48>0.4
C20	575.55	607.07	0.30	0.60	0.18	1620	0.36<0.6	0.37<0.4
C21	569.96	790.40	0.25	0.60	0.15	1350	0.42<0.6	0.59>0.4
C22	1232.76	986.70	0.25	0.90	0.23	2025	0.61>0.6	0.49>0.4
C23	569.06	780.17	0.25	0.60	0.15	1350	0.42<0.6	0.58>0.4
C3	848.24	769.80	0.30	0.60	0.18	1620	0.52<0.6	0.48>0.4
C4	766.97	727.53	0.50	0.30	0.15	1350	0.57<0.6	0.54>0.4
C5	655.98	663.25	0.30	0.60	0.18	1620	0.4<0.6	0.41>0.4
C6	875.91	852.10	0.30	0.50	0.15	1350	0.65>0.6	0.63>0.4
C7	912.40	876.43	0.30	0.50	0.15	1350	0.68>0.6	0.65>0.4
C8	656.10	631.59	0.30	0.60	0.18	1620	0.4<0.6	0.39<0.4
C9	912.88	699.02	0.30	0.50	0.15	1350	0.68>0.6	0.52>0.4

3.8.4 Betonarme kiriş eğilme sonuçları

Analiz sonuçlarına geçmeden önce kirişler için program tarafından tanımlanmış etiketler Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.15, Çizelge 3.16, Çizelge 3.17 ve Çizelge 3.18'de özetlenmiştir. Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29'da katlar için hasar oranları gösterilmiştir



Şekil 3.235 : Kiriş etiketleri

Çizelge 3.15 : Zemin kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	26	1	2	5
	76.47%	2.94%	5.88%	14.71%

Çizelge 3.16 : 1. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

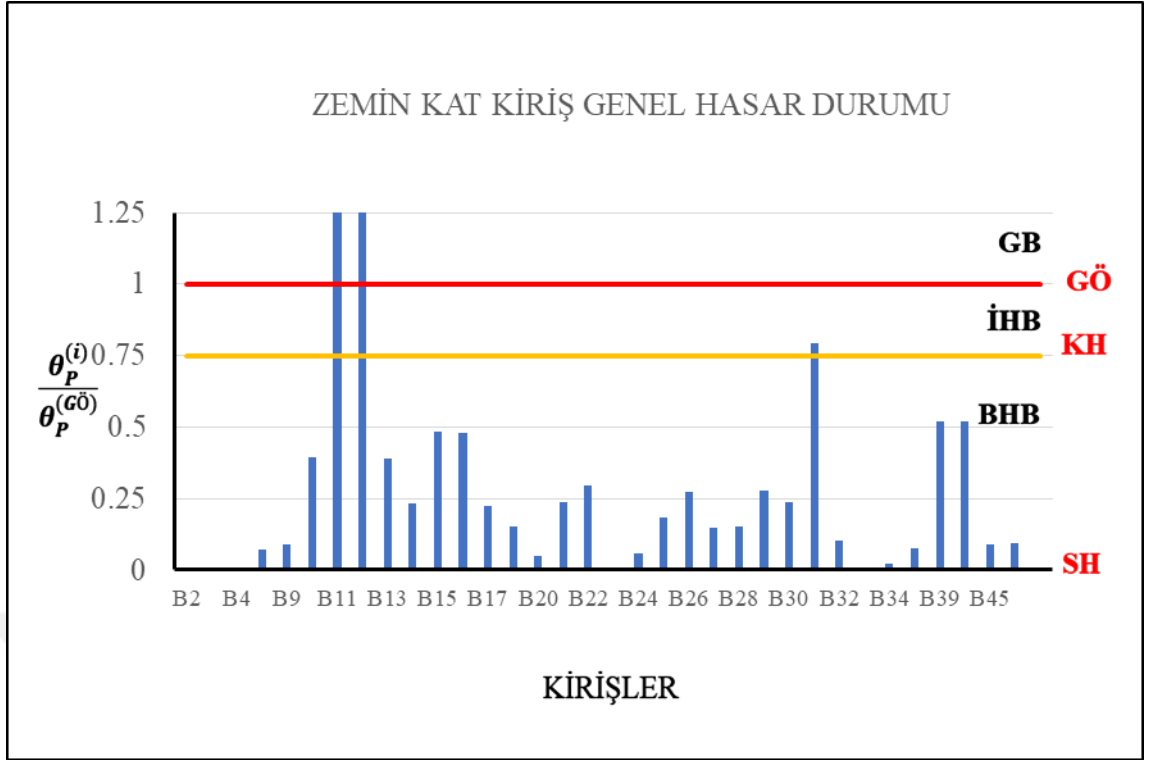
Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	31	0	2	1
	91.18%	0.00%	5.88%	2.94%

Çizelge 3.17 : 2. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

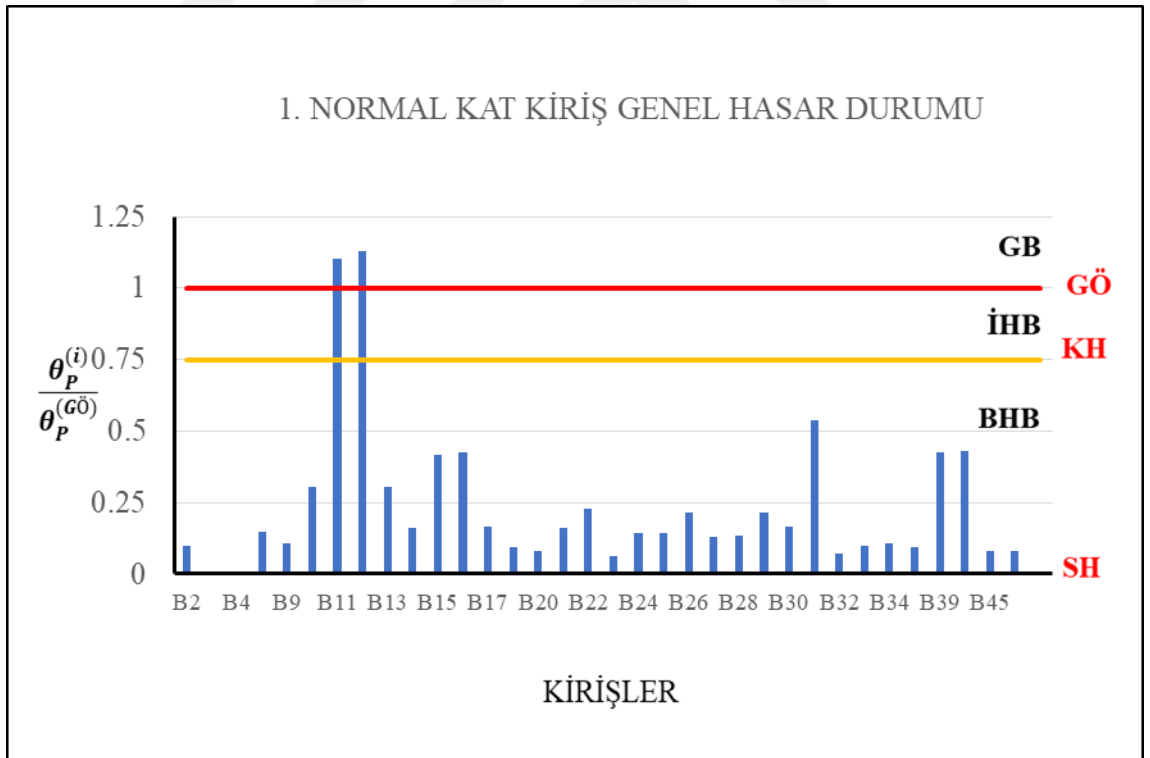
Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	30	2	0	2
	88.24%	5.88%	0.00%	5.88%

Çizelge 3.18 : 3. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

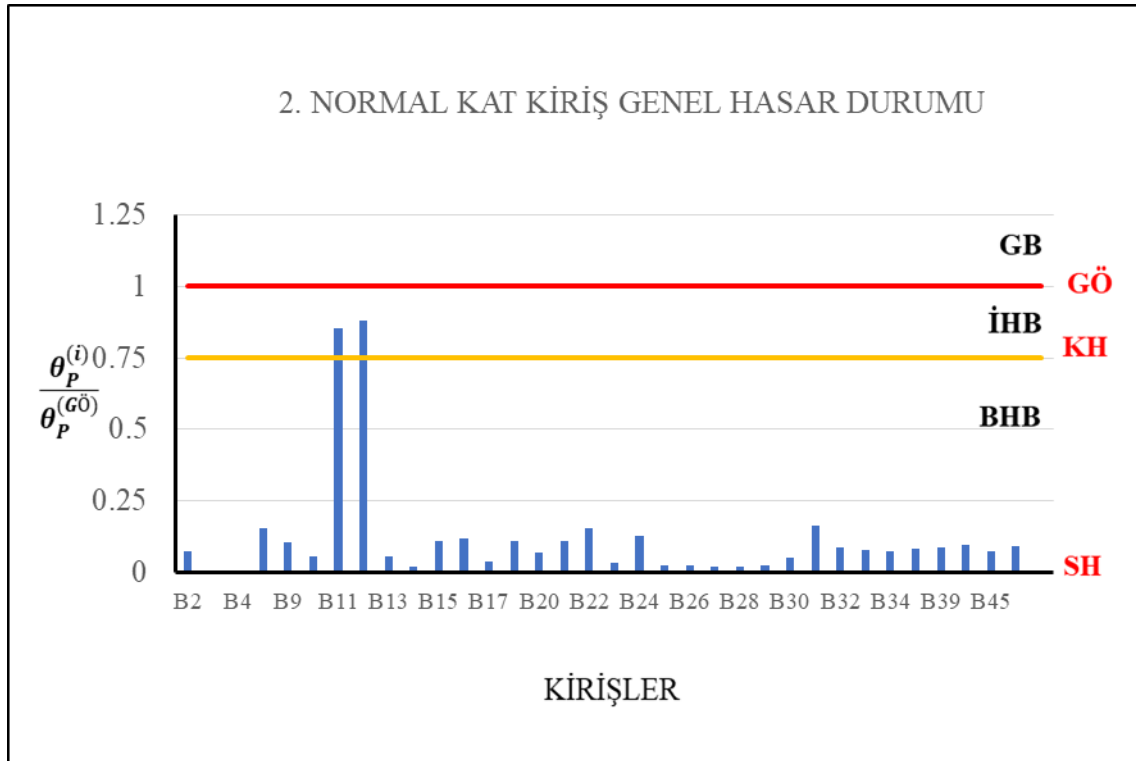
Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	22	0	0	1
	95.65%	0.00%	0.00%	4.35%



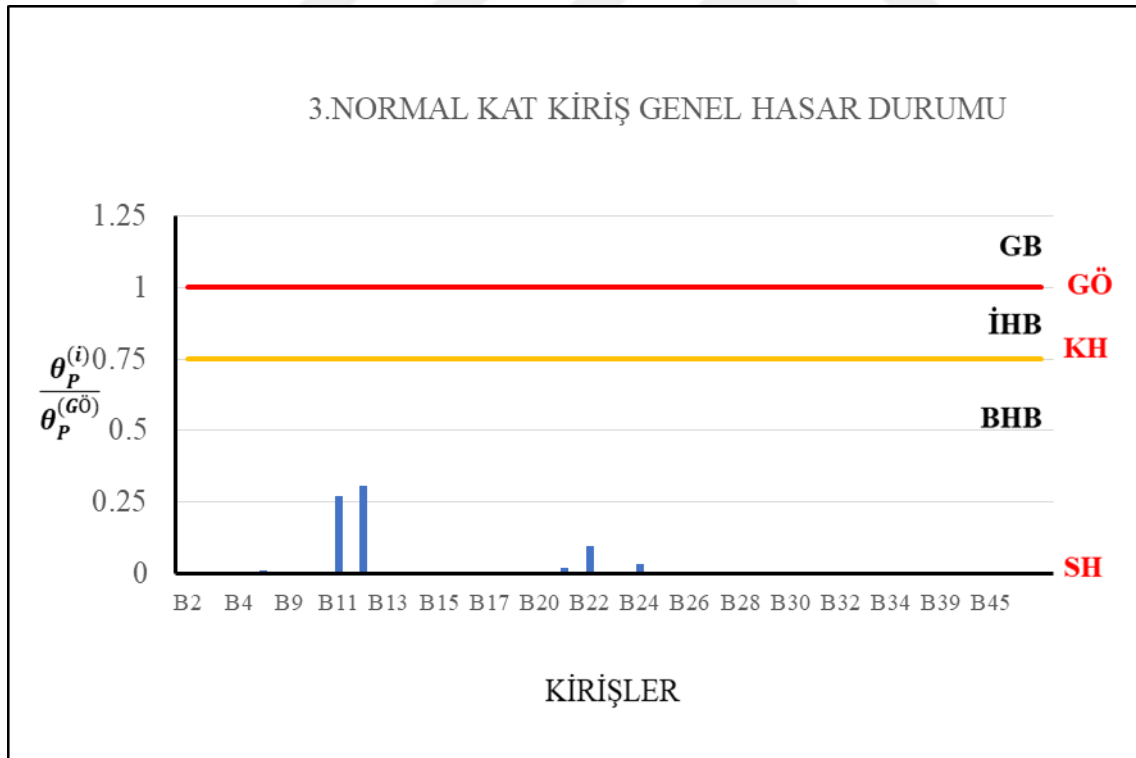
Şekil 3.246 : Zemin kat kirişlerindeki hasar dağılımı



Şekil 3.257 : 1. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı



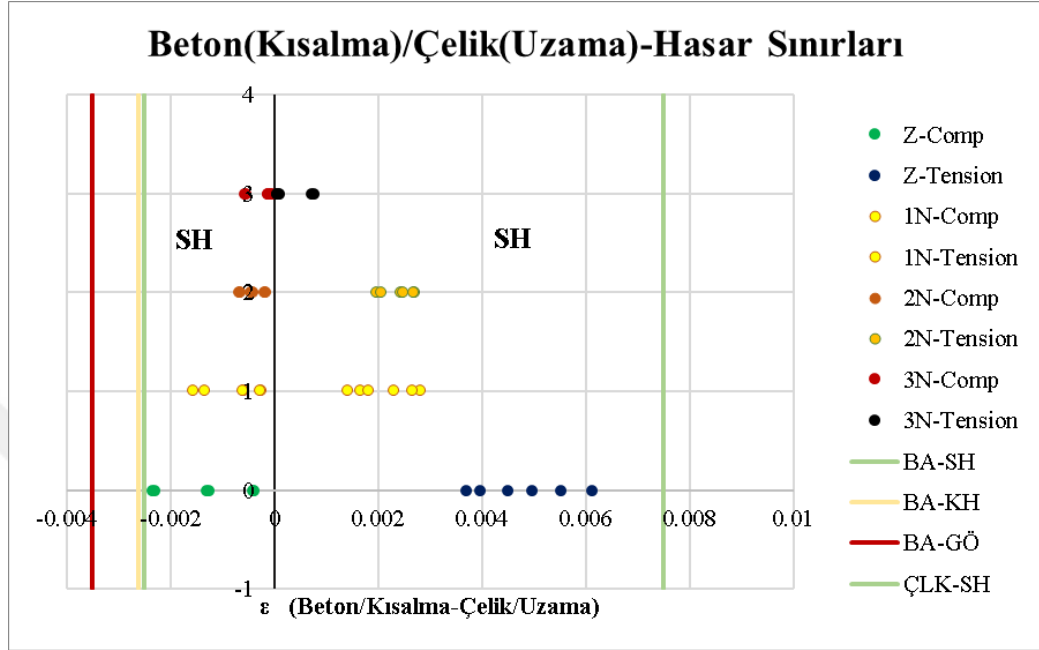
Şekil 3.268 : 2. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı



Şekil 3.29 : 3. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı

3.8.5 Betonarme perde eğilme sonuçları

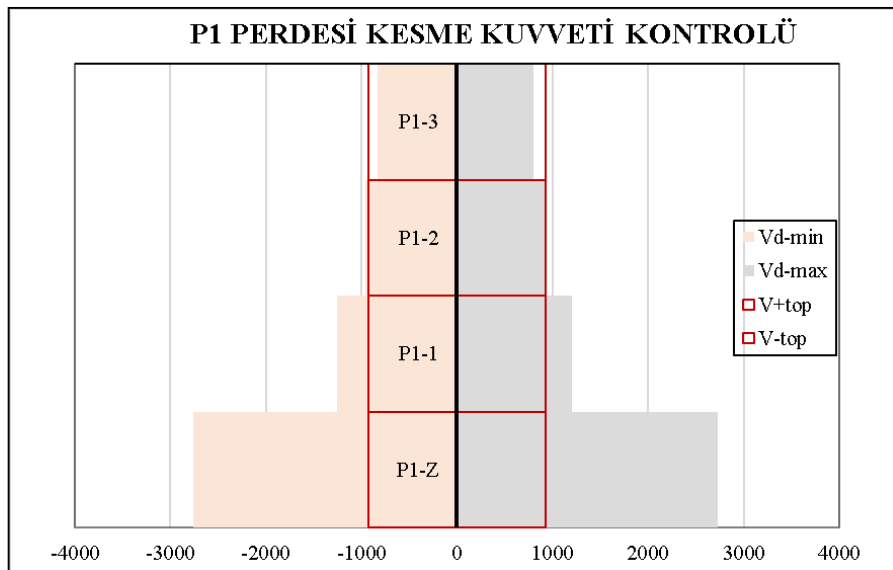
Perde eğilme sonuçları Şekil 3.30'daki grafikte özetlenmiştir. Perde eğilme etkisinde sınırlı hasar (SH) bölgesinde kalmaktadır.



Şekil 3.270 : Perde (fiber hinge) hasar dağılımı

3.8.6 Betonarme perde kesme kontrolü

Mevcut betonarme taşıyıcı perdenin gövde ($\phi 8/20$ iki kollu) donatıları üzerlerine gelen kesme kuvvetini karşılayamamaktadır. Şekil 3.31 ve Çizelge 3.20'da kesme kontrolü gösterilmiştir.



Şekil 3.281 : Perde kesme kuvveti grafiği

Çizelge 3.19 : Perde kesme donatı kontrolü

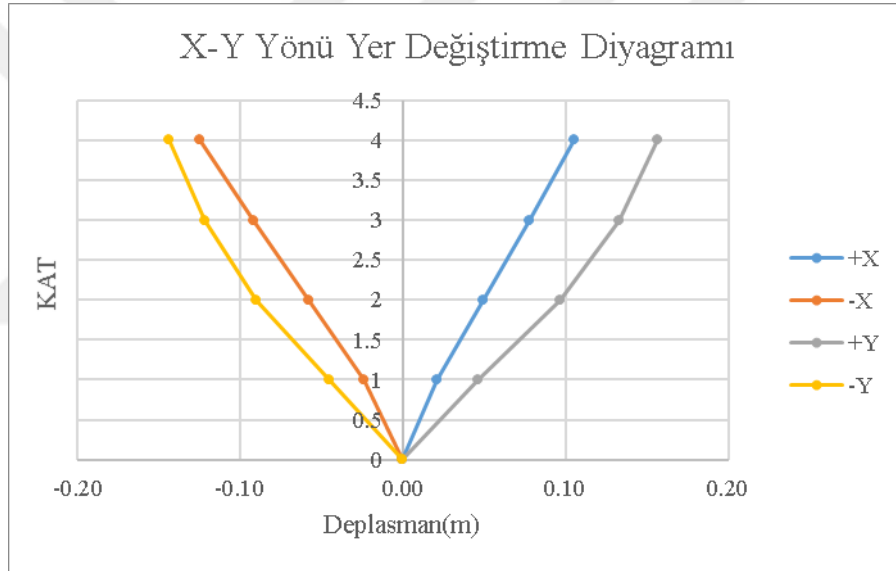
Perde	Vd-min	Vd-max	L	d	V_c $0.65 \cdot F_{ctd} \cdot b_w \cdot d$	V_s $A_s \cdot f_{yd}$	V_{top} $(V_c + V_s)$	V_e $0.85 \cdot A_{ch} \cdot \sqrt{f_{ck}}$	Kontrol	
	kN	kN	m	m	kN	kN	kN	KN	$V_d \leq V_{top}$	$V_d \leq V_e$
P3	-828	799	3.05	0.3	589	337	926	2200	OK	OK
P2	-956	934	3.05	0.3	589	337	926	2200	X	OK
P1	-1251	1206	3.05	0.3	589	337	926	2200	X	OK
PZ	-2761	2731	3.05	0.3	589	337	926	2200	X	X

3.8.7 Deplasman sonuçları

Deplasman sonuçları, mevcut taşıyıcı sistemin köşe noktasında (12 & 32), X deprem doğrultusunda 12.5cm, Y deprem doğrultusunda 15.6 cm olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.21 ve Şekil 3.32’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20 : 12 numaralı köşe noktasındaki yer değiştirme sonuçları

KAT	H(m)	+X(m)	-X(m)	$\lambda_{\max}$	+Y	-Y	$\lambda_{\max}$
4	2.90	0.105	-0.125	%1.13	0.156	-0.143	%0.80
3	2.90	0.077	-0.092	%1.17	0.133	-0.121	%1.20
2	2.90	0.049	-0.058	%1.16	0.097	-0.090	%1.70
1	3.90	0.021	-0.024	%0.62	0.046	-0.045	%1.15
0		0.000	0.000		0.000	0.000	



Şekil 3.292 : 12 numaralı köşe noktasındaki tüm katlar yer değiştirmesi

3.9 Mevcut Durum Analizleri Sonucu ve Öneriler

Örnek olarak alınan ve analizi yapılan mevcut betonarme binanın, mevcut deprem yükleri altındaki deprem performansının belirlenmesi çalışması kapsamında:

Bina Kullanım Sınıfı BKS=3, Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, Bina Yükseklik Sınıfı BYS=6 olarak değerlendirilmiş olup, söz konusu yapıdaki TBDY-2018’e göre öngörülen minimum performans hedefleri olan,

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "*Kontrolü Hasar (KH)*" için şekil değiştirme kriterlerine göre (ŞGDT) olan değerlendirme yaklaşımı uygulandığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Buna göre;

➤ **Kolon Elemanlar**

Çizelge 3.21 : Kolon hasar dağılımları %

Kat	Adet	Hasarsız	BHB	İHB	GB
Z	23	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
1NK	23	0.00%	100.00%	0.00%	0.00%
2NK	23	30.43%	69.57%	0.00%	0.00%
3NK	23	4.35%	95.65%	0.00%	0.00%

Betonarme kolonlar her iki deprem doğrultusundaki kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır. Sonuçlar Çizelge 3.22’de görülmektedir.

➤ **Kiriş Elemanlar**

Çizelge 3.22 : Kiriş hasar dağılımları %

Kat	Adet	Hasarsız	BHB	İHB	GB
Z	34	14.71%	76.47%	2.94%	5.88%
1NK	34	2.94%	91.18%	0.00%	5.88%
2NK	34	5.88%	88.24%	5.88%	0.00%
3NK	23	4.35%	95.65%	0.00%	0.00%

ZK ve 1. normal katta 2 adet (%5.88) göçme bölgesine geçen kiriş bulunmaktadır.

Mevcut betonarme kirişler her iki deprem doğrultusundaki kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır. Sonuçlar Çizelge 3.23’te gösterilmiştir.

➤ **Perde Elemanlar**

Perde elemanların Fiber (Lif) donatı uzama ve beton kısalma değerleri *Sınırlı Hasar Bölgesi*’dir. (SHB)

Perde taşıyıcı elemanlarında mevcut gövde (kesme) donatıları yapılan analizler sonucunda yetersiz kalmaktadır.

Sonuç olarak TBDY-2018’e göre mevcut deprem yükleri altında deprem davranışın belirlendiği çalışmanın taşıyıcı sistemi 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "*Kontrolü Hasar (KH)*" performans düzeyini sağlamamaktadır.

Yapının yönetmelikçe belirtilen performans düzeyini sağlamadığından güçlendirilmeye ihtiyacı vardır. Tezin araştırma konusu kapsamında yapıya iki tip güçlendirme çeşidi uygulanacaktır. Birincisi klasik güçlendirme yöntemi olarak adlandırılan mevcut elemanların kesitlerinin büyütülmesi ve ilave eleman eklenmesi ile yapılacak güçlendirmedir. Diğer yöntem ise mevcut yapıya eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi eklenerek deprem davranışının iyileştirilmesi olacaktır.

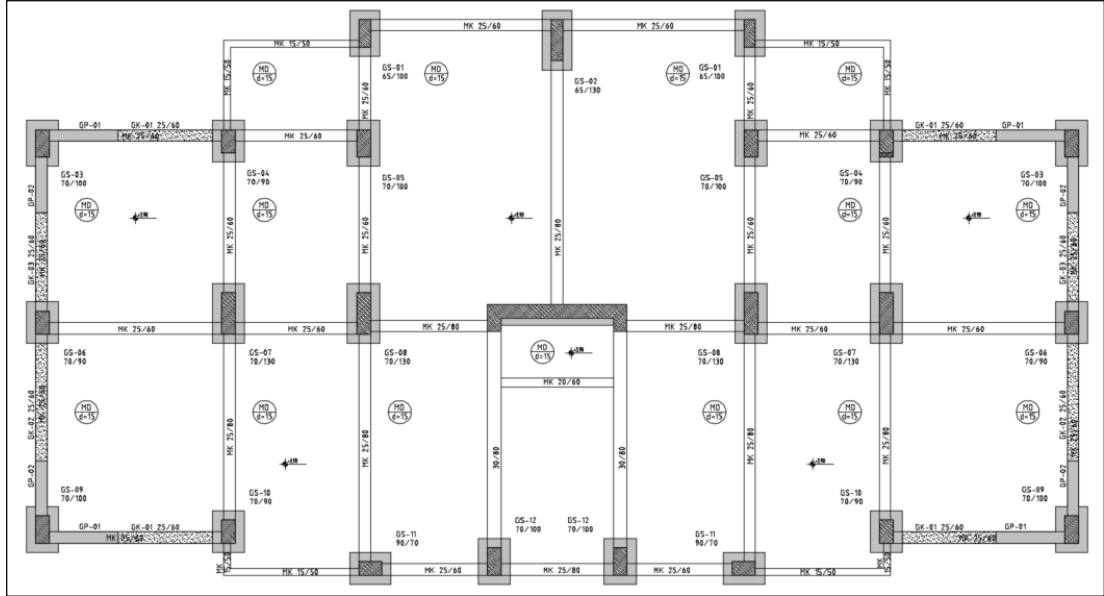




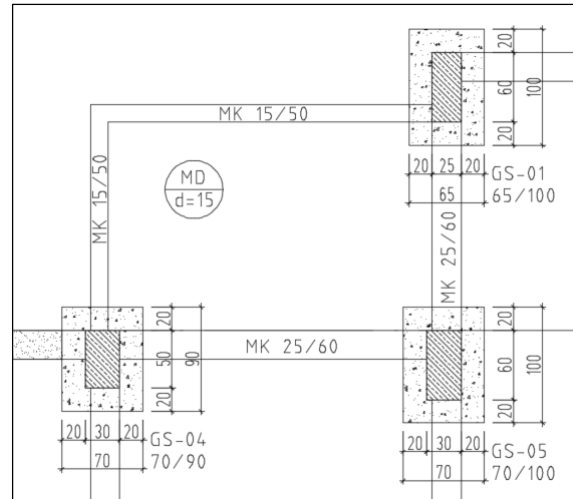
4. YAPININ İKİ FARKLI YÖNTEM KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLMESİ

4.1 Geleneksel Güçlendirme Yöntemi İle İyileştirme

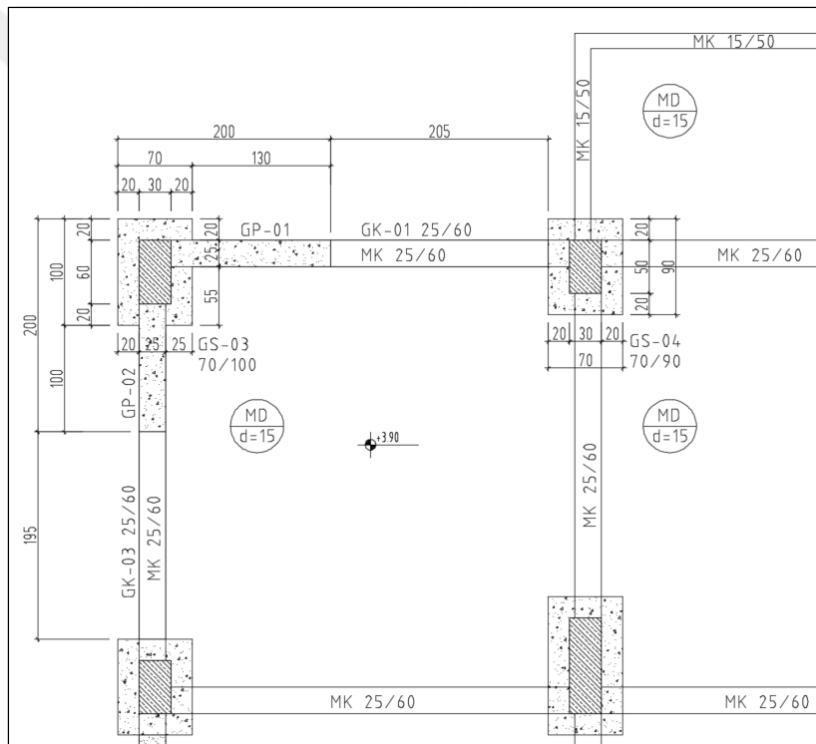
Mevcut taşıyıcı sistemi, deprem yükleri altında bazı elemanlarında yetersizlik olan ve beton kalitesi çok düşük olan yapı, Şekil 4.1’de gösterildiği gibi güçlendirilmiştir. Bütün betonarme kolon elemanlara 20cm kalınlığında dört taraflı betonarme manto yapılmıştır, Şekil 4.2 de gösterilmiştir. Şekil 4.3’te mevcut yapının dört köşesine L şeklinde 200cm uzunluğunda 25cm kalınlığında taşıyıcı perdeler ilave edilmiştir, Ayrıca ilave edilen perdelerin sürekliliğindeki kirişlerin davranışı değişeceği için ilave yeni kirişler teşkil edilmiştir.



Şekil 4.1 : Yapının geleneksel güçlendirme taşıyıcı sistemi



Şekil 4.2 : Betonarme kolon mantosu

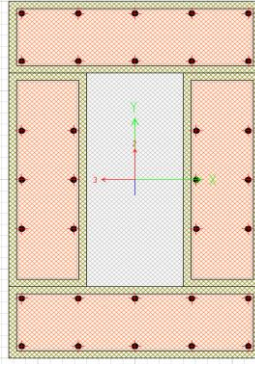


Şekil 4.3 : İlave güçlendirme perdeleri

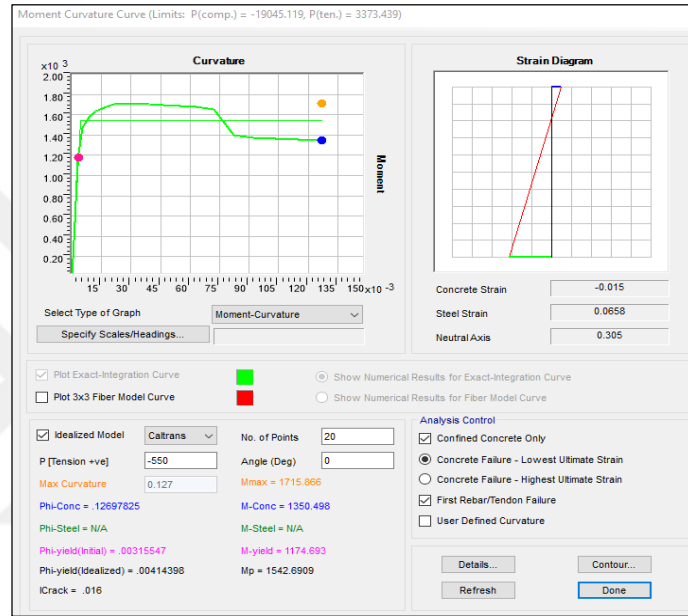
4.1.1 Şekildeğiştirme sınırlarının belirlenmesi

Mantolanan S25/60 (65/100) Kolon:

65cm×100cm kolon, $\Phi 16/15(32\Phi 16)$ donatısı için *Yığılı Plastik Davranış Modeline* göre farklı performans düzeyleri için plastik dönme sınır değerleri aşağıda gösterilmiştir. Mantolanmış kolonun gösterimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Modeli Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : Kolon eleman “Section Designer” modeli



Şekil 4.5 : Kolon elemana ait kesit sonuçları

➤ 3.90m Açıklıklı 65cm×100cm Kolon Kritik Kesitindeki Plastik Dönme Sınır Değerleri:

E	: 33227000 kN/m ²	f _{ce}	: 35 Mpa
L	: 3.90m	(EI) _e	: 128727
N _d	: 550 kN	(EI) _e / EI	: 0.072
η	: 1	ε _{su}	: 0.08
EI	: 1799796 kNm ²	φ _u	: 0.041 1/m
φ _y	: 0.00415 1/m	L _p	: 1.00/2 = 0.50 m
M _y	: 1175.00 kNm	ε _s ^(GÖ)	: 0.0320
d _b	: 0.016 m	ε _s ^(KH)	: 0.0240
f _{ye}	: 420 Mpa	ε _s ^(SH)	: 0.0075
Θ _y	: 0.00594 rad		

Plastik dönme sınır değerleri:

Θ_p^(GÖ) : 0.0128 rad, Θ_p^(KH) : 0.0100 rad, Θ_p^(SH) : 0 (Güçlü Eksen Etrafında)

Θ_p^(GÖ) : 0.0155 rad, Θ_p^(KH) : 0.0120 rad, Θ_p^(SH) : 0 (Zayıf Eksen Etrafında)

Çizelge 4.1 : Mantolanmış kolon elemanların hasar sınırları

ELEMAN	KESİT (m)		L (m)	My (kNm)	ϕ_y (1/m)	θ_y	EI	(EI)e	Rijitlik Çarpanı	Lp	ϕ_u (1/m)	θ_p (GÖ)	θ_p (KH)
KOLON	b	h											
SG25*60	0.65	1.00	3.90	1175.7	0.00415	0.00594	1799796	128727	0.072	0.5	0.04135	0.0128	0.010
				770.8	0.00650	0.00740	760414	67726	0.089	0.325	0.06800	0.0155	0.012
SG25*90	0.65	1.30	3.90	1950.0	0.00320	0.00553	3954151	229024	0.058	0.65	0.03530	0.0133	0.010
				1030.0	0.00680	0.00764	988538	87682	0.089	0.325	0.06860	0.0156	0.012
SG30*50	0.70	0.90	3.90	948.0	0.00500	0.00650	1412978	94823	0.067	0.45	0.04400	0.0125	0.009
				667.0	0.00670	0.00761	854765	56941	0.067	0.35	0.06000	0.0142	0.011
SG30*60	0.70	1.00	3.90	1232.5	0.00410	0.00590	1938242	135761	0.070	0.5	0.04140	0.0128	0.010
				860.1	0.00620	0.00722	949738	77457	0.082	0.35	0.06150	0.0147	0.011
SG30*90	0.70	1.30	3.90	1964.4	0.00320	0.00553	4258317	230715	0.054	0.65	0.03080	0.0114	0.009
				1147.5	0.00610	0.00714	1234660	104482	0.085	0.35	0.06150	0.0147	0.011
SG50*30	0.90	0.70	3.90	667.0	0.00670	0.00761	854765	56941	0.067	0.35	0.06000	0.0142	0.011
				948.0	0.00500	0.00650	1412978	94823	0.067	0.45	0.04400	0.0125	0.009
SG25*60	0.65	1.00	2.90	1146.0	0.00415	0.00565	1799796	98091	0.055	0.5	0.04090	0.0121	0.009
				755.8	0.00646	0.00655	760414	55790	0.073	0.325	0.06730	0.0149	0.011
SG25*90	0.65	1.30	2.90	1890.7	0.00317	0.00550	3954151	166167	0.042	0.65	0.03080	0.0108	0.008
				1042.6	0.00630	0.00645	988538	78150	0.079	0.325	0.06700	0.0149	0.011
SG30*50	0.70	0.90	2.90	891.0	0.00500	0.00602	1412978	71499	0.051	0.45	0.04380	0.0119	0.009
				701.0	0.00608	0.00639	854765	53038	0.062	0.35	0.05900	0.0137	0.010
SG30*60	0.70	1.00	2.90	1190.8	0.00410	0.00562	1938242	102493	0.053	0.5	0.04090	0.0121	0.009
				847.8	0.00600	0.00634	949738	64652	0.068	0.35	0.06100	0.0142	0.011
SG30*90	0.70	1.30	2.90	1921.5	0.00316	0.00549	4258317	169067	0.040	0.65	0.03040	0.0106	0.008
				1128.0	0.00600	0.00634	1234660	86019	0.070	0.35	0.06100	0.0142	0.011
SG50*30	0.90	0.70	2.90	701.0	0.00608	0.00639	854765	53038	0.062	0.35	0.05900	0.0137	0.010
				891.0	0.00500	0.00602	1412978	71499	0.051	0.45	0.04370	0.0119	0.009

Çizelge 4.1’de mantolanmış elemanların hasar sınırlar ve etkin rijitlik oranları gösterilmiştir. Yeni eklenen kirişler içinde bölüm 3’te uygulanan kesit hasar sınırlarının belirlenmesindeki aynı yöntemler uygulanmıştır. Yeni eklenen kirişler için hesaplanan şekil değiştirme sınırları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Yeni eklenen kiriş elemanların hasar sınırları

ELEMAN	KESİT (m)		L (m)	My (kNm)	ϕ_y (1/m)	θ_y	(EI)e	EI	Rijitlik Çarpanı	Lp	ϕ_u (1/m)	θ_p (GÖ)	θ_p (KH)	θ_p (SH)
KİRİŞ	b	h												
K25/60	0.25	0.6	2.10	alt	181	0.00645	0.00619	149522	10238	0.068	0.3	0.06150	0.0131	0.010
				üst	181	0.00650	0.00621	149522	10194	0.068	0.3	0.06150	0.0131	0.010
K25/60	0.25	0.6	2.50	alt	181	0.00645	0.00641	149522	11761	0.079	0.3	0.06150	0.0134	0.010
				üst	181	0.00650	0.00644	149522	11707	0.078	0.3	0.06150	0.0134	0.010

TBDY-2018 de tanımlanan ve elemanın plastik kesit oluşan her bir kesitindeki hasar sınırları Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) ile ifade edilmektedir. Her bir sınır duruma karşı gelen plastik dönme sınır değerleri $\theta_p^{(SH)}, \theta_p^{(KH)}, \theta_p^{(GÖ)}$ olarak tanımlanmaktadır. İlgili kolon veya kiriş elemanın plastik kesitin oluştuğu i nolu kritik kesitindeki plastik dönme $\theta_p^{(i)}$ için

$$\theta_p^{(SH)} = 0 < \theta_p^{(i)} \uparrow \theta_p^{(KH)} \quad \text{Kesit Belirgin Hasar Bölgesinde – (BHB)}$$

$$\theta_p^{(KH)} < \theta_p^{(i)} \uparrow \theta_p^{(GÖ)} \quad \text{Kesit İleri Hasar Bölgesinde – (İHB)}$$

$$\theta_p^{(GÖ)} < \theta_p^{(i)} \quad \text{Kesit Göçme Bölgesinde – (GB)}$$

şeklinde yapılacak karşılaştırmayla hasar bölgelerine karar verilmektedir. Aşağıda verilmiş olan hasar dağılımını gösteren grafikler göçme öncesi sınır değere $\theta_p^{(GÖ)}$ olan oran cinsinden ifade edilmiştir. Bu durumda i nolu kritik kesitteki hasar bölgesi, ilgili kesitteki plastik dönmenin göçme öncesi sınır değere olan oransal $(\frac{\theta_p^{(i)}}{\theta_p^{(GÖ)}})$ değerine bağlı olarak aşağıdaki sınır değerler ile yapılacak karşılaştırma neticesinde belirlenmiştir.

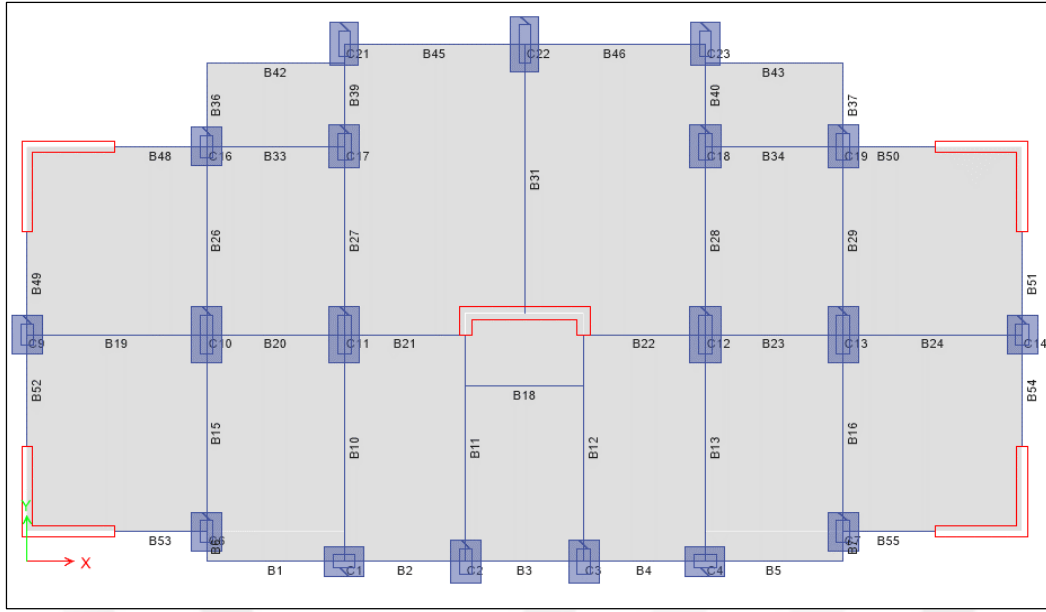
$$0 < \frac{\theta_p^{(i)}}{\theta_p^{(GÖ)}} \uparrow \frac{\theta_p^{(KH)}}{\theta_p^{(GÖ)}} = 0.75 \quad \text{Kesit Belirgin Hasar Bölgesinde – (BHB)}$$

$$0.75 < \frac{\theta_p^{(i)}}{\theta_p^{(GÖ)}} \uparrow \frac{\theta_p^{(GÖ)}}{\theta_p^{(GÖ)}} = 1.00 \quad \text{Kesit İleri Hasar Bölgesinde – (İHB)}$$

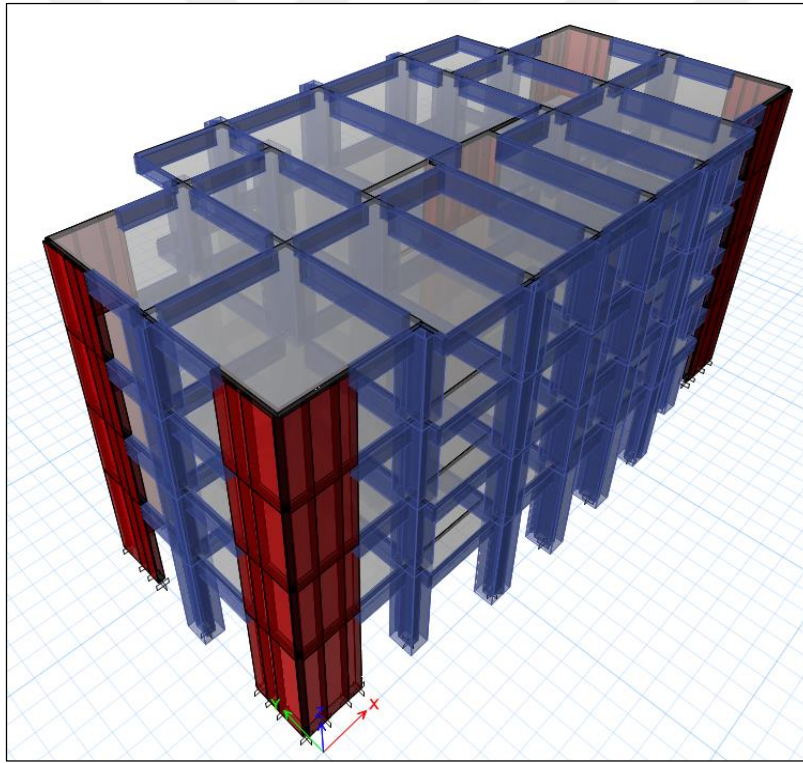
$$1.00 < \frac{\theta_p^{(i)}}{\theta_p^{(GÖ)}} \quad \text{Kesit Göçme Bölgesinde – (GB)}$$

4.1.2 Geleneksel yöntemle deprem davranışı güçlendirilmiş mevcut yapının analiz modelinin oluşturulması

Geleneksel yöntemle güçlendirilen yapının kolonları mantolama yapılmıştır. Analiz modelinde kolonların mantolanmış durumları için kesitler tanımlanmış ve girilmiştir. Yapının güçlendirilmesi için binaya köşelerden L şeklinde perdeler ilave edilmiştir. Bu perdeler yeni elmanlar oldukları için TS500 ve TBDY 2018 e uygun malzemeler ile programa girilmiştir. Yapının modellenmiş hali plan olarak Şekil.4.6’da ve üç boyutlu olarak Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş betonarme bina hesap modeli planı



Şekil 4.7 : Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapının üç boyutlu hesap modeli

Yeni eklenen elemanlar için C35 betonu ve S420 çelik malzemeleri kullanılmıştır. Mevcut elemanlar ile yeni elemanlar için zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır. Mevcut yapının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler geleneksel olarak güçlendirilmiş yapıda da kullanılmıştır.

4.1.3 Geleneksel yöntemle güçlendirilmiş yapının analiz sonuçları

4.1.3.1 Betonarme kolon eğilme sonuçları

Mantolanmış betonarme kolonlarda eğilme hasarı bulunmamaktadır. Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 4.3 : Zemin kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
19	0	0	0	19
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.4 : 1.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
19	0	0	0	19
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.5 : 2.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
19	0	0	0	19
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.6 : 3.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
19	0	0	0	19
	0.65%	0.00%	0.00%	0.00%

4.1.3.2 Betonarme kolon kesme sonuçları

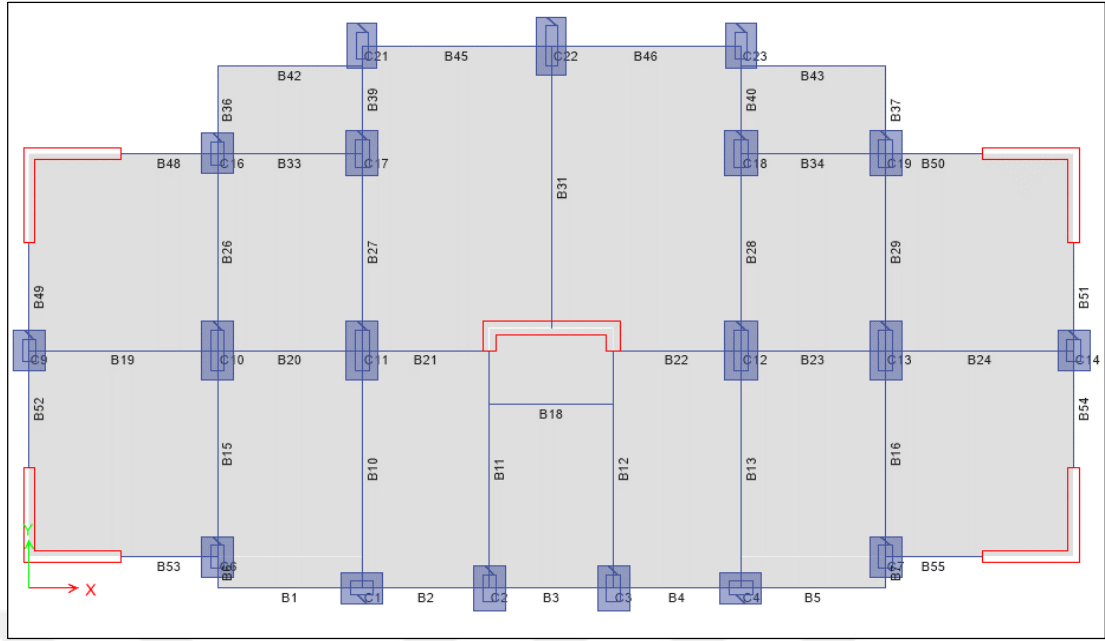
Mevcut betonarme kolonlar her iki deprem doğrultusundaki ortalama kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır. Sonuçlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : Zemin kat kesme kuvveti kontrolü

	Load	V2	V3	b	h	As	Vc	Vs2	Vs3	V2	V3	Kontrol	Kontrol
		kN	kN	m	m	cm ²	kN	kN	kN	kN	kN	V2/V2top	V3/V3top
C1	RSN*	42.16	40.99	0.90	0.70	10.47	452.23	344.21	267.72	796.43	719.94	0.05<1	0.06<1
C10	RSN*	46.32	101.27	0.70	1.30	10.47	653.21	267.72	497.19	920.93	1150.41	0.05<1	0.09<1
C11	RSN*	50.59	96.69	0.70	1.30	10.47	653.21	267.72	497.19	920.93	1150.41	0.05<1	0.08<1
C12	RSN*	55.61	95.96	0.70	1.30	10.47	653.21	267.72	497.19	920.93	1150.41	0.06<1	0.08<1
C13	RSN*	49.60	100.26	0.70	1.30	10.47	653.21	267.72	497.19	920.93	1150.41	0.05<1	0.09<1
C14	RSN*	24.91	151.88	0.70	0.90	10.47	452.23	267.72	344.21	719.94	796.43	0.03<1	0.19<1
C16	RSN*	93.82	46.29	0.70	0.90	10.47	452.23	267.72	344.21	719.94	796.43	0.13<1	0.06<1
C17	RSN*	30.04	63.81	0.70	1.00	10.47	502.47	267.72	382.45	770.19	884.93	0.04<1	0.07<1
C18	RSN*	33.13	63.46	0.70	1.00	10.47	502.47	267.72	382.45	770.19	884.93	0.04<1	0.07<1
C19	RSN*	96.12	60.70	0.70	1.00	10.47	502.47	267.72	382.45	770.19	884.93	0.12<1	0.07<1
C2	RSN*	43.24	70.03	0.70	1.00	10.47	502.47	267.72	382.45	770.19	884.93	0.06<1	0.08<1
C21	RSN*	30.89	52.11	0.65	1.00	10.47	466.58	248.60	382.45	715.18	849.04	0.04<1	0.06<1
C22	RSN*	38.18	103.42	0.65	1.30	10.47	606.56	248.60	497.19	855.15	1103.75	0.04<1	0.09<1
C23	RSN*	28.44	51.80	0.65	1.00	10.47	466.58	248.60	382.45	715.18	849.04	0.04<1	0.06<1
C3	RSN*	44.29	69.38	0.70	1.00	10.47	502.47	267.72	382.45	770.19	884.93	0.06<1	0.08<1
C4	RSN*	41.97	40.91	0.90	0.70	10.47	452.23	344.21	267.72	796.43	719.94	0.05<1	0.06<1
C6	RSN*	83.98	53.31	0.70	0.90	10.47	452.23	267.72	344.21	719.94	796.43	0.12<1	0.07<1
C7	RSN*	82.56	53.66	0.70	0.90	10.47	452.23	267.72	344.21	719.94	796.43	0.11<1	0.07<1
C9	RSN*	26.83	152.88	0.70	0.90	10.47	452.23	267.72	344.21	719.94	796.43	0.04<1	0.19<1

4.1.3.3 Betonarme kiriş eğilme sonuçları

Kiriş sonuçları verilmeden önce etiketler Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Kiriş eğilme sonuçları Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de kat kirişlerinin eğilme hasar oranları gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Zemin kat kiriş eleman etiketleri

Çizelge 4.8 : Zemin kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	24
	76.47%	0.00%	0.00%	70.59%

Çizelge 4.9 : 1. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

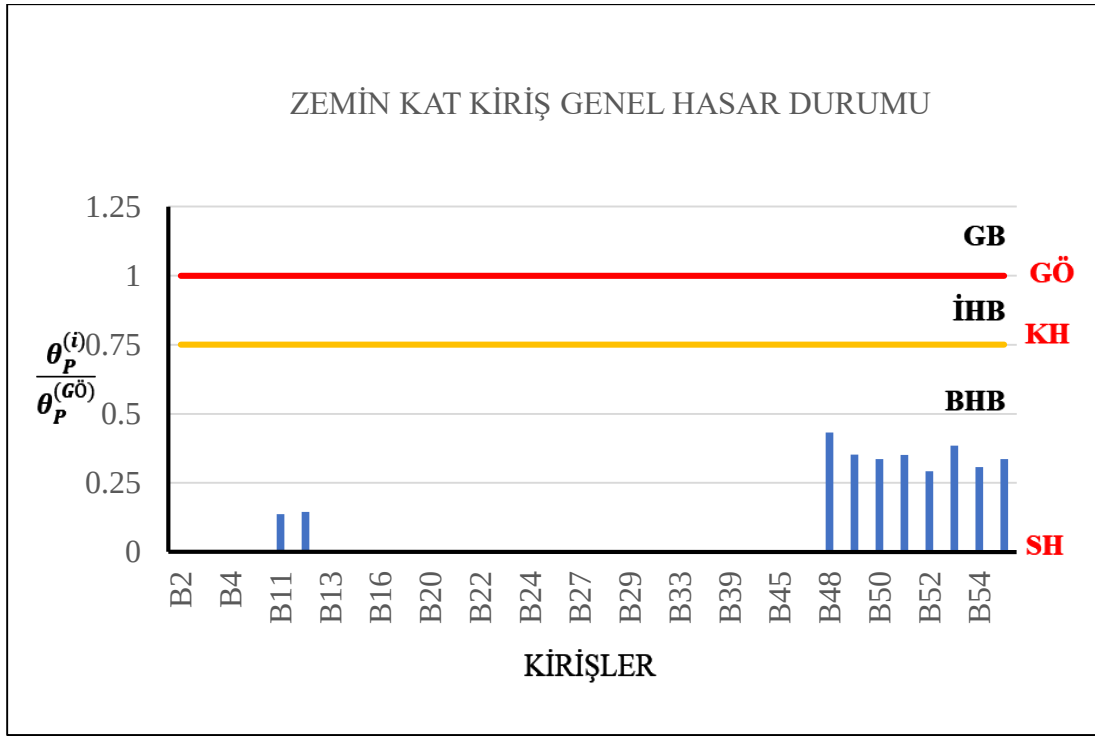
Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	24
	76.47%	0.00%	0.00%	70.59%

Çizelge 4.10 : 2. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

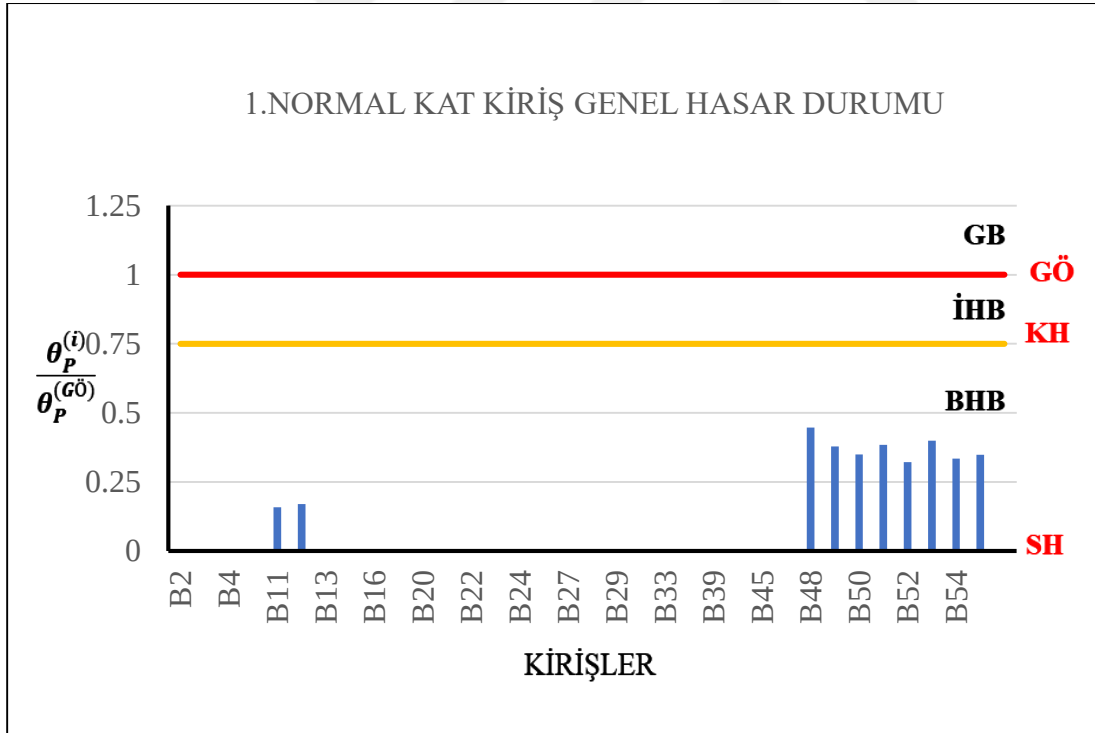
Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	24
	76.47%	0.00%	0.00%	70.59%

Çizelge 4.11 : 3. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

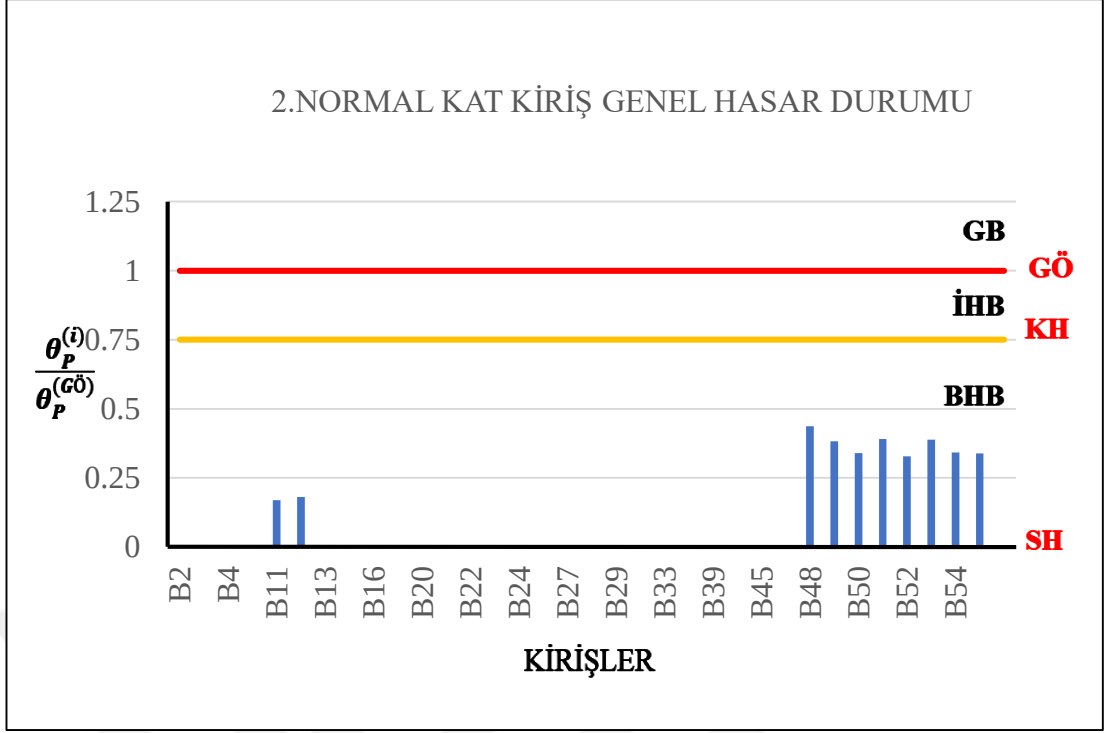
Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	24
	76.47%	0.00%	0.00%	70.59%



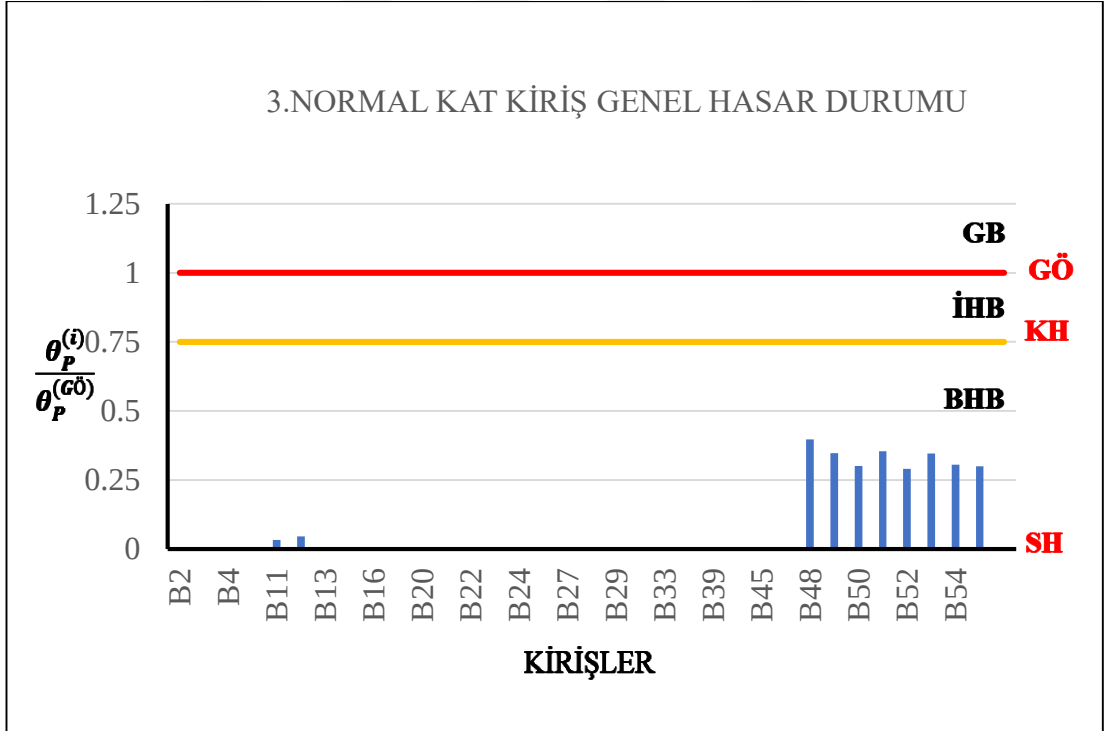
Şekil 4.9 : Zemin kat kirişlerindeki hasar dağılımı



Şekil 4.10 : 1. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı



Şekil 4.11 : 2. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı



Şekil 4.12 : 3. Normal kat kirişlerindeki hasar dağılımı

4.1.3.4 Betonarme kiriş kesme kontrolleri

Mevcut betonarme kirişler her iki deprem doğrultusundaki ortalama kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır. Yeni eklenen kirişlerin kesme kuvveti oranlarının daha fazla olmasının nedeni yeni ilave edilen perdeye bağlanan kirişler olmasıdır. Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da katlar için yeni ve mevcut kirişlerin kesme kontrolleri görülmektedir.

Çizelge 4.12 : Zemin kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	V2 kN	b m	h m	Yatay Donatı	Vc kN	Vs kN	Vtop kN	Kontrol V2/Vtop
B48	632.78	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.88<1
B49	525.60	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.73<1
B50	589.03	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.82<1
B51	487.64	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.68<1
B52	420.83	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.59<1
B53	590.48	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.82<1
B54	437.06	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.61<1

Çizelge 4.13 : 1. Normal kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	V2 kN	b m	h m	Yatay Donatı	Vc kN	Vs kN	Vtop kN	Kontrol V2/Vtop
B48	706.45	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.98<1
B49	568.09	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.79<1
B50	683.12	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.95<1
B51	533.61	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.74<1
B52	457.20	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.64<1
B53	659.88	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.92<1
B54	491.41	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.68<1

Çizelge 4.14 : 2. Normal kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	V2 kN	b m	h m	Yatay Donatı	Vc kN	Vs kN	Vtop kN	Kontrol V2/Vtop
B48	696.91	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.97<1
B49	556.44	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.78<1
B50	664.43	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.93<1
B51	525.77	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.73<1
B52	446.85	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.62<1
B53	649.23	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.9<1
B54	481.52	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.67<1

Çizelge 4.15 : 3. Normal kat yeni kirişler kesme kuvveti kontrolü

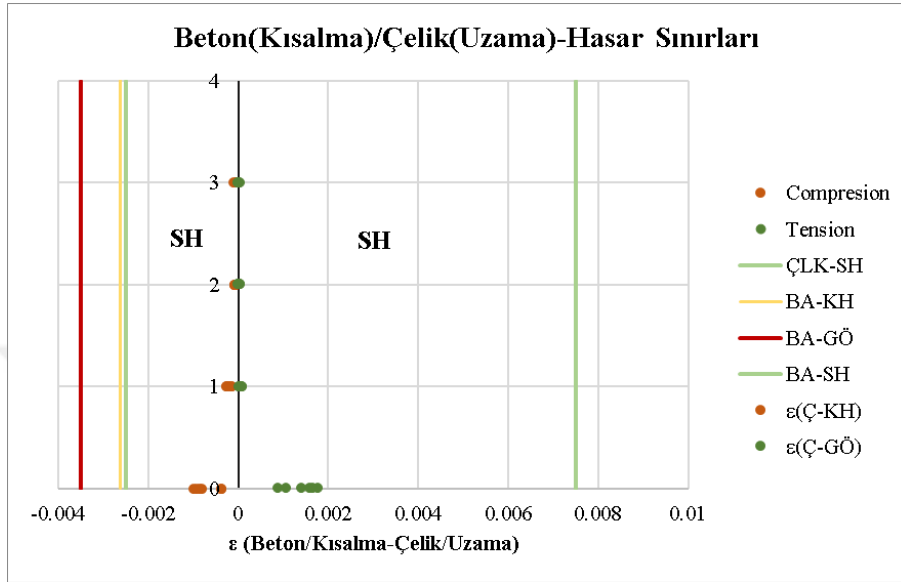
Kiriş	V2 kN	b m	h m	Yatay Donatı	Vc kN	Vs kN	Vtop kN	Kontrol V2/Vtop
B48	526.75	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.73<1
B49	451.93	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.63<1
B50	475.83	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.66<1
B51	420.17	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.59<1
B52	359.75	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.5<1
B53	485.03	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.68<1
B54	377.45	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.53<1

Çizelge 4.16 : Zemin kat mevcut kirişler kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	V2 kN	b m	h m	Yatay Donatı	Vc kN	Vs kN	Vtop kN	Kontrol V2/Vtop
B10	108.04	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.34<1
B11	112.35	0.30	0.80	φ 8 / 10	163.80	176.93	340.73	0.33<1
B12	109.56	0.30	0.80	φ 8 / 10	163.80	176.93	340.73	0.32<1
B13	108.07	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.34<1
B15	107.11	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.34<1
B16	106.96	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.34<1
B19	59.11	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.25<1
B2	54.22	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.23<1
B20	58.36	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.25<1
B21	91.03	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.29<1
B22	98.74	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.32<1
B23	57.63	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.25<1
B24	59.66	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.25<1
B26	70.25	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.3<1
B27	74.00	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.31<1
B28	73.88	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.31<1
B29	69.61	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.3<1
B3	80.46	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.26<1
B31	115.93	0.25	0.80	φ 8 / 10	136.50	176.93	313.43	0.37<1
B33	53.18	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.23<1
B34	56.17	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.24<1
B39	76.36	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.32<1
B4	55.79	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.24<1
B40	76.37	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.32<1
B45	55.85	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.24<1
B46	56.42	0.25	0.60	φ 8 / 10	102.38	132.70	235.08	0.24<1
B55	568.49	0.25	0.60	Φ 12 / 10	122.77	594.79	717.56	0.79<1

4.1.3.5 Betonarme perde eğilme sonuçları

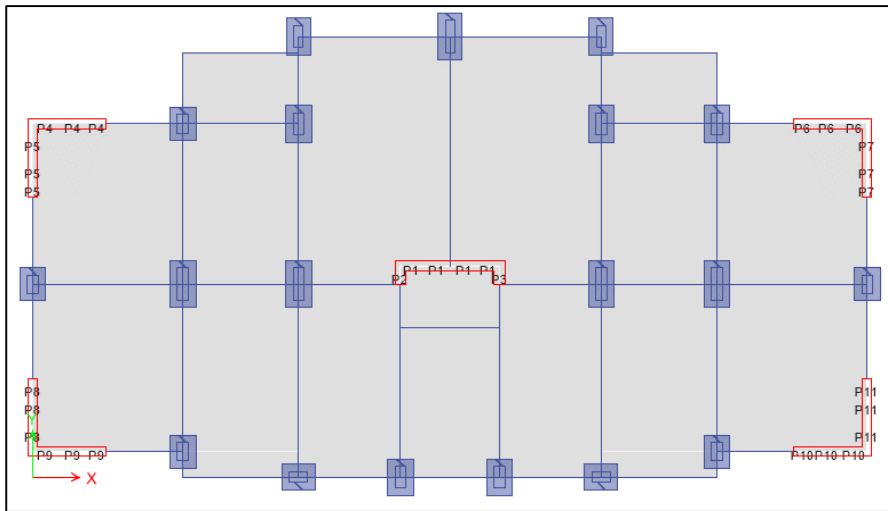
Eğilme kontrolleri tüm yeni eklenen perdeler ve mevcut perde için yapılmıştır. Yapıdaki tüm perdeler ortalama hasar değerlerine bakıldığında sınırlı hasar (SH) bölgesinde kalmaktadır. Şekil 4.13'te perde eğilme sonuçları grafik ile gösterilmiştir.



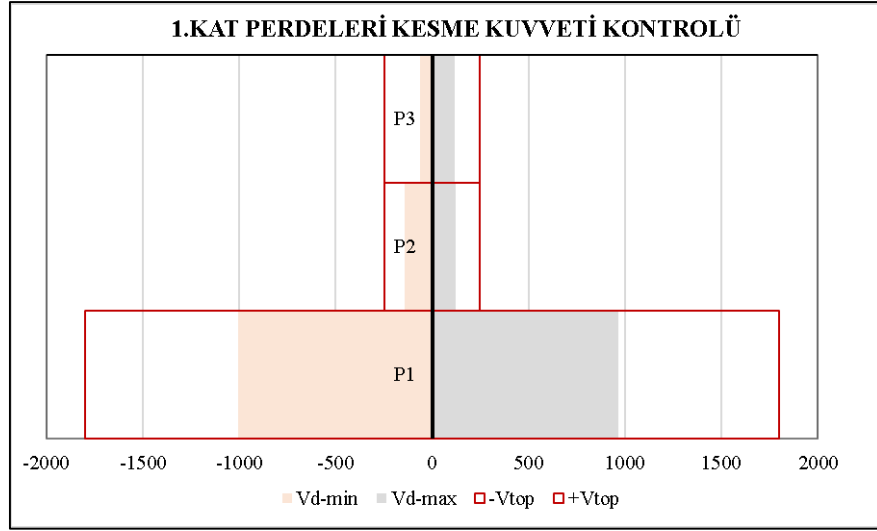
Şekil 4.13 : Perde (fiber hinge) hasar dağılımı

4.1.3.6 Betonarme perde kesme kontrolü

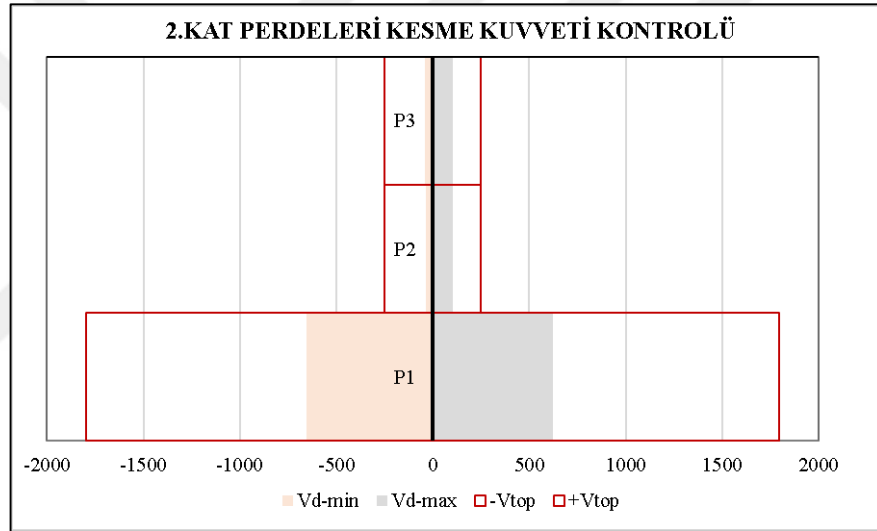
Mevcut ve tüm yeni eklenen taşıyıcı perdelerin gövde donatıları üzerlerine gelen kesme kuvvetlerini karşılamaktadır. Perde etiketleri Şekil 4.14'te mevcuttur. Şekil 4.15 ile Şekil 4.20 arasındaki tüm çizelgelarda kesme kontrolleri gösterilmiştir.



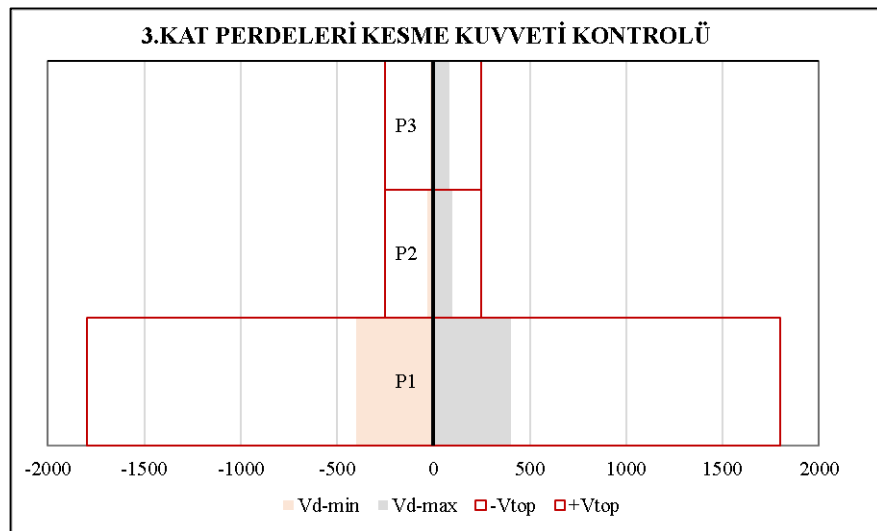
Şekil 4.14 : Perde etiketleri



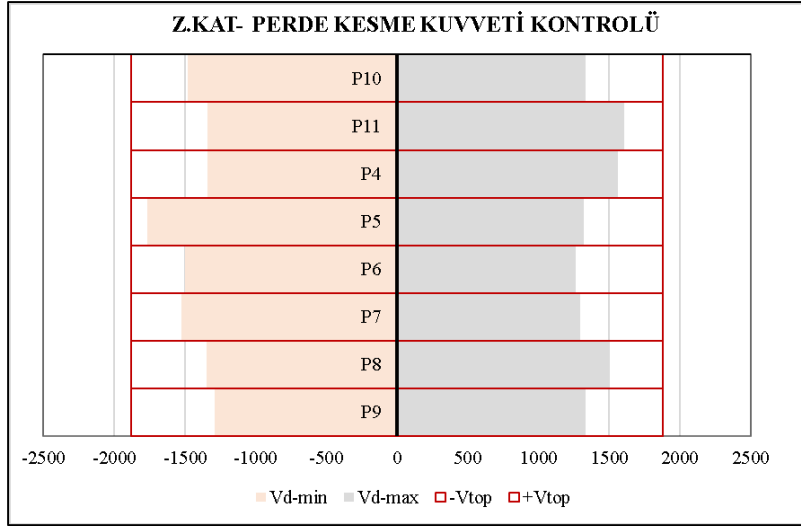
Şekil 4.15 : 1. Normal kat perde kesme kuvveti grafiği



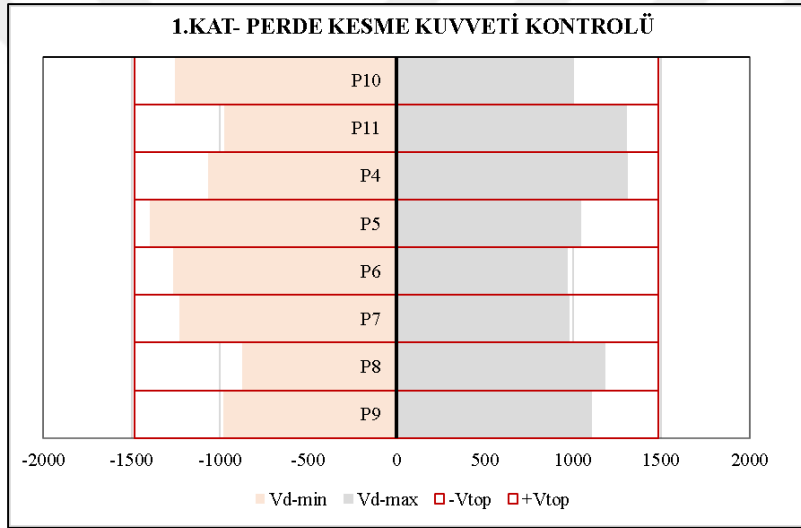
Şekil 4.16 : 2. Normal kat perde kesme kuvveti grafiği



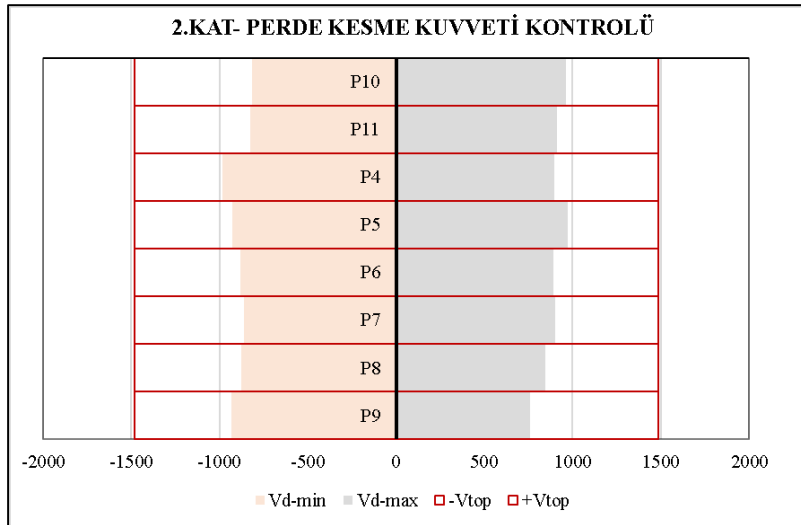
Şekil 4.17 : 3 Normal kat perde kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.18 : Zemin kat yeni perde kesme kuvveti grafiği



Şekil 4.19 : 1 Normal kat yeni perde kesme kuvveti grafiği



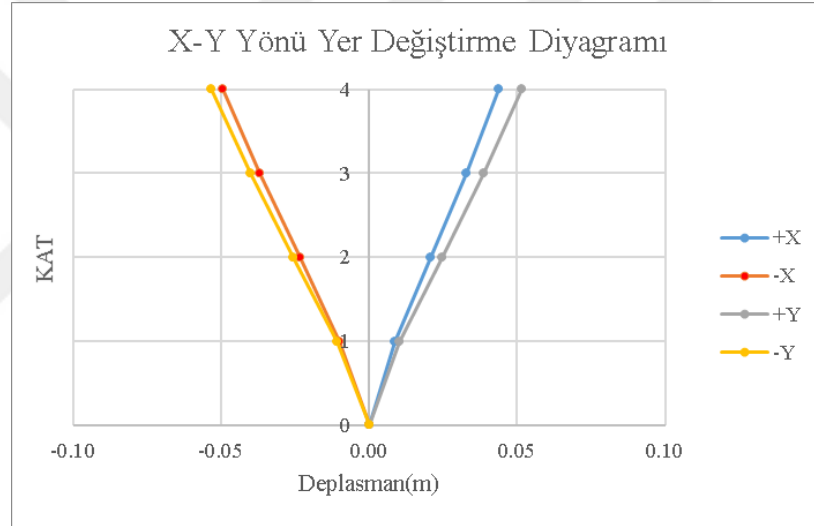
Şekil 4.20 : 2 Normal kat yeni perde kesme kuvveti grafiği

4.1.3.7 Deplasman sonuçları

Taşıyıcı sistemi köşe noktasında (12 & 32), X deprem doğrultusunda 5.1 cm, Y deprem doğrultusunda 5.3 cm olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.17 ve Şekil 4.21’de sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.17 : 12 numaralı köşe noktasındaki yer değiştirme sonuçları

KAT	H(m)	+X(m)	-X(m)	$\lambda_{\max}$	+Y	-Y	$\lambda_{\max}$
4	2.90	0.044	-0.049	%0.43	0.051	-0.053	%0.46
3	2.90	0.033	-0.037	%0.46	0.039	-0.040	%0.50
2	2.90	0.021	-0.023	%0.47	0.025	-0.026	%0.51
1	3.90	0.009	-0.010	%0.23	0.010	-0.011	%0.28
0		0.000	0.000		0.000	0.000	



Şekil 4.21 : 12 numaralı köşe noktasındaki tüm katlar yer değiştirmesi

4.1.4 Geleneksel yöntemle güçlendirilmiş yapının analiz sonuçlarının özeti

Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş betonarme binasının, performansa dayalı mevcut deprem güvenliğinin belirlenmesi çalışması kapsamında:

Bina Kullanım Sınıfı BKS=3, Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1, Bina Yükseklik Sınıfı BYS=6 olarak değerlendirilmiş olup, söz konusu yapıdaki TBDY-2018’e göre öngörülen minimum performans hedefleri olan,

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "*Kontrolü Hasar (KH)*" için şekil değiştirme kriterlerine göre (ŞGDT) olan değerlendirme yaklaşımı uygulandığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Buna göre;

➤ Kolon Elemanlar

Mantolama ile güçlendirilmiş betonarme kolonlarında hasar oluşmamaktadır.

Mantolama ile güçlendirilmiş betonarme kolonlar her iki deprem doğrultusundaki kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır.

➤ Kiriş Elemanlar

Çizelge 4.18 : Tüm yapı kiriş elemanlarındaki hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Kat	Adet	Hasarsız	BHB	İHB	GB
3N	23	70.59%	29.41%	0.00%	0.00%
2N	34	70.59%	29.41%	0.00%	0.00%
1N	34	70.59%	29.41%	0.00%	0.00%
Z	34	70.59%	29.41%	0.00%	0.00%

Tüm katlarda betonarme kirişlerin %29.41'i *Belirgin Hasar Bölgesi (BHB)*'ne geçmiştir. Çizelge 4.18'de bu sonuçlar özetlenmiştir.

➤ Betonarme Perde Elemanlar

Perde elemanların Fiber (Lif) donatı uzama ve beton kısalma değerleri *Sınırlı Hasar Bölgesi'dir. (SHB)*

Yeni eklenen ve mevcut perde taşıyıcı elemanlar, yapılan analizler sonucunda her iki deprem doğrultusundaki kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır.

Sonuç olarak TBDY-2018'e göre Geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapının taşıyıcı sistemi 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "*Kontrolü Hasar (KH)*" performans düzeyini sağlamaktadır.

4.2 Eğri yüzeyli Sürtünmeli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak Deprem Davranışının İyileştirilmesi

Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi ile mevcut yapının iyileştirmenin ve değerlendirilmesinin üç aşaması bulunmaktadır;

- Alt Yapı Birimlerinin Değerlendirilmesi
- Yalıtım Ara Yüzü Elemanlarının Değerlendirmesi
- Üst Yapı Elemanlarının Değerlendirilmesi

Bu aşamalar sırası deprem yalıtım biriminin özelliklerinin belirlenip analiz programına tanıtılmasından sonra yapılacak analiz sonuçları ile değerlendirileceklerdir.

Deprem yalıtım birimi kullanılarak yapının deprem performansının iyileştirilmesine geçmeden önce yalıtım biriminin performans hesabı el ile yapılmalıdır.

4.2.1 Deprem yalıtım biriminin performans hesabı

Sürtünmeli sarkaç izolatörün performans hesabı yapılırken eğrilik yarıçapı (R) ve Dinamik sürtünme katsayısı (μ) üretici firmanın tasarım kriterleri dokümanından alınmıştır (FIP-INDUSTRIALE, 2012). DD-1 depremi için alt sınır değerleri, DD-2 için üst sınır değerli kullanılmıştır. Aşağıda izolatörün DD-1 depremi için performans hesabını el ile çözümü verilmiştir.

$$\mu=0.005$$

$$R= 4500 \text{ mm alınmıştır.}$$

Dinamik sürtünme katsayısı DD1 depremi için eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi hesabında λ_{alt} hesaplanarak bulunmalıdır. Fakat üreticiden gelecek veriler ile λ_{alt} ve $\lambda_{üst}$ değerleri farklı değerler alabilir. Çizelge 4.19’da TBDY 2018’de bulunan sınır değerler Çizelgesu verilmiştir.

Çizelge 4.19 : TBDY 2018 sınır değerler

λ	alt	üst
λ_{ae}	1.00	1.20
λ_{deney}	0.70	1.30
λ_{spek}	0.85	1.15

$$\lambda_{üst} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,üst} - 1)]\lambda_{deney,üst}\lambda_{spek,üst}$$

$$\lambda_{alt} = [1 - 0.75(1 - \lambda_{ae,alt})]\lambda_{deney,alt}\lambda_{spek,alt}$$

Bu tezde $\lambda_{üst} = 1.6$, $\lambda_{alt} = 0.8$ değerleri kabul edilmiştir.

Eğri yüzeyli sürtünmeli yalıtım birimi performans hesabı yapılırken Dr. Cüneyt Tüzün ve Dr. Bahadır Şadan’ın İMO sunum notlarından yararlanılmıştır.(Tüzün & Şadan, 2017). Hesaba başlarken tahmini yer değiştirmeyi $\Delta_i = 545 \text{ mm}$ alınmıştır.

$$1. F = \mu W + \frac{W}{R} \Delta_i = 0.04W + \left(\frac{W}{4500} 545\right) = 0.161W \quad (4.1)$$

$$2. T_i = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} = 4.26 \text{ sn} < 6 \text{ sn} \quad \checkmark \quad (4.2)$$

$$3. K_{ef} = \frac{F}{\Delta_I} = \frac{0.161 W}{0.545} = 0.296 W \text{ (Etkin Rijitlik)} \quad (4.3)$$

$$4. T_{ef} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{ef}g}} = 3.68 \text{ sn (Etkin Periyot)} \quad (4.4)$$

$$5. \beta_e = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\mu}{\mu + \left(\frac{\Delta_I}{R} \right)} \right] = \%15.8 \text{ (Etkin Sönüm Oranı)} \quad (4.5)$$

$$6. \eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \beta_e (\%)}} = 0.693 \quad (4.6)$$

$$7. D_M = 1.3 \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) T_M^2 \eta_M S_{ae}^{(DD-1)} (T_M) = 545 \text{ mm} \quad (4.7)$$

Hesap adımları ile başlangıçta tahmin edilen izolatör yer değiştirmesi doğrulanmış oldu. Bu hesap adımlarından bulduğumuz değerleri deprem yalıtım birimine gelen yapı kütlesi ile çarparak deprem yalıtımı ile güçlendirilmiş analiz modeline tanımlıyoruz.

Deprem yalıtım biriminde oluşacak burulma etkileri TBDY 2018 de Denk 14.33 ve Denk 14.34 te verilen formüller ile birlikte göz önüne alınmıştır.

$$D_{TM} = D_M \left[1 + y \frac{12e}{b^2 + d^2} \right] \longrightarrow D_{TM} = 600 \text{ mm.}$$

Deprem yalıtım biriminin koyulacağı düşey taşıyıcı kalınlığı en az 120 cm olmalıdır. Ayrıca montaj için gerekli mesafe olarak kenarlardan 100 mm pay bırakılmalıdır. Kısacası izolatörün üstüne oturacağı düşey taşıyıcı elemanın 1 kenarı en az 130cm olmalıdır.

4.2.2 Deprem yalıtım birimi ile güçlendirilmiş binanın modellenmesi

Mevcut yapıya deprem yalıtım birimleri zemin kat döşemesinin altına yerleştirilmiştir. Altyapı elemanları en küçük boyutu 130 cm olacak şekilde altyapı taşıyıcı elemanları büyütülmüştür. Perde elemanın iki ucunda 130 cm kalınlığında olacak koloncuk ile büyütülmüştür. Her kolonun üstüne 1 adet, perdenin iki ucunda 1'er adet olmak üzere 25 adet deprem yalıtım birimi tanımlanmıştır. Deprem yalıtım birimi olarak hem sürtünmeli izolatör tipi hem de çoklu doğrusal plastik yalıtım birimi çeşitleri girilmiştir. Sonuçların benzer çıkması ile üst yapı ve alt yapı elemanlarının tasarımı için çoklu lineer plastik deprem yalıtım birimi kullanılmaya devam edilmiştir. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te iki adet deprem yalıtım biriminin modellenmesi gösterilmiştir.

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’da deprem yalıtım birimi ile modellenmiş yapı gözükmektedir.

Link Property Data

General

Link Property Name: FI Link Type: Friction Isolator

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

Total Mass and Weight

Mass: 0 kg Rotational Inertia 1: 0 ton-m²

Weight: 0 kN Rotational Inertia 2: 0 ton-m²

Rotational Inertia 3: 0 ton-m²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☒	Modify/Show for U1...	☐ R1	☐	☐	Modify/Show for R1...
☒ U2	☐	☒	Modify/Show for U2...	☐ R2	☐	☐	Modify/Show for R2...
☒ U3	☐	☒	Modify/Show for U3...	☐ R3	☐	☐	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

OK Cancel

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: FI

Direction: U2

Type: Friction Isolator

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 171 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0 m

Nonlinear Properties

Stiffness: 800000 kN/m

Friction Coefficient, Slow: 0.04

Friction Coefficient, Fast: 0.04

Rate Parameter: 1 sec/mm

Net Pendulum Radius: 4.5 m

OK Cancel

Şekil 4.22 : Sürtünmeli deprem yalıtım biriminin özelliklerinin tanımlanması

Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: FPS_MP

Direction: U2

Type: MultiLinear Plastic

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 171 kN/m

Effective Damping: 0 kN-s/m

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0 m

Multilinear Force-Displ Relation

Pt	Displ (mm)	Force (kN)
1	-545	-93.15
2	-1	-23.13
3	0	0
4	1	23.13
5	545	93.15

Add Row Delete Row

Reorder Rows

Max: (545, 93.15); Min: (-545, -93.15)

Hysteresis Type and Associated Parameters

Hysteresis Type: Kinematic

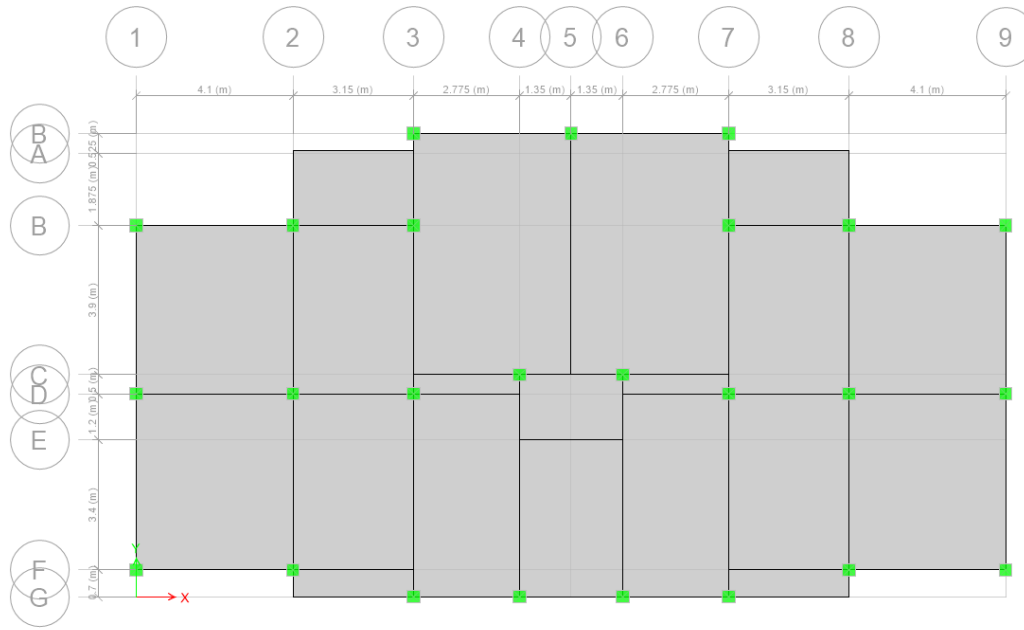
No Parameters are Required for this Hysteresis Type

Hysteresis Definition Diagram

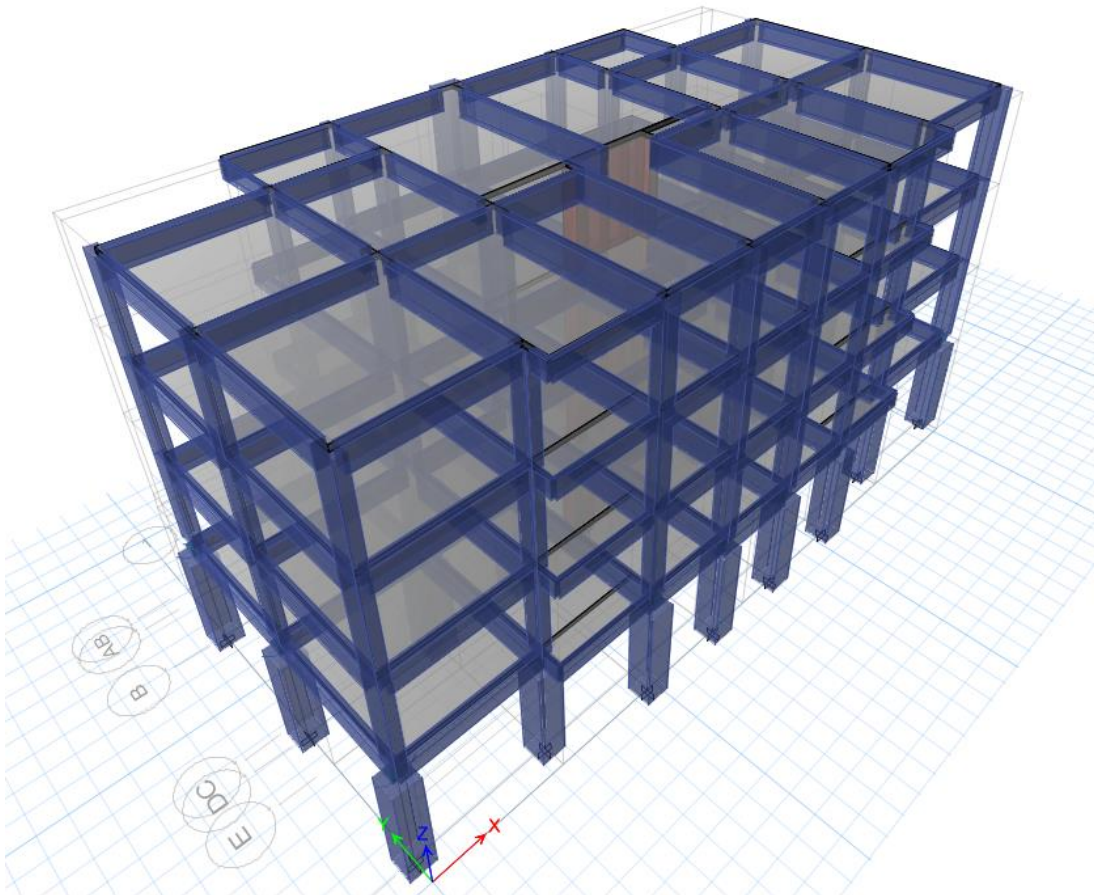
Kinematic Hysteresis Model

OK Cancel

Şekil 4.23 : Çoklu lineer plastik deprem yalıtım biriminin özelliklerinin tanımlanması



Şekil 4.24 : Deprem yalıtım birimi yerleşim planı



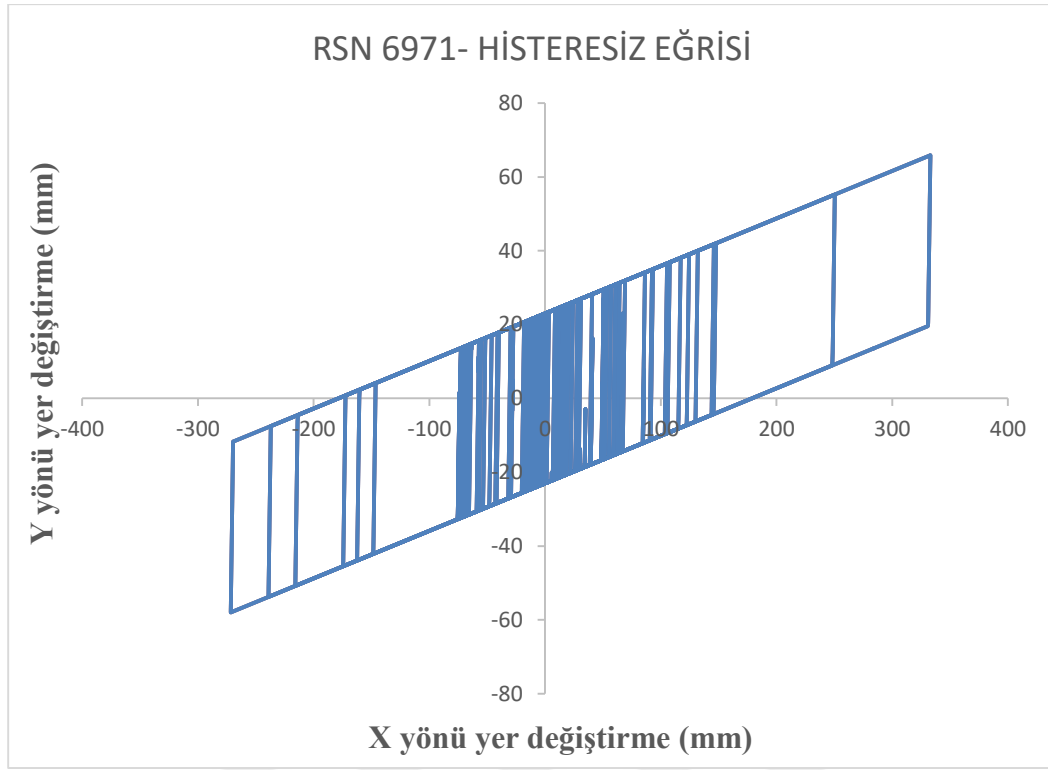
Şekil 4.25 : Deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirilmiş binanın 3 boyutu

4.2.3 Deprem yalıtım birimi analiz sonuçları

Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım birimi için yer değiştirme hesabı yapılmıştır. DD-1 yükleri altında en büyük yer değiştirmesi bulunarak performans hesabı ile karşılaştırılmıştır. Yapıya daha önceden tanımlanan 2x11 adet depreminin depremin analiz sonuçları yer değiştirme ortalaması 488 mm çıkmıştır. Etkin deprem yöntemi ile hesaplanan yer değiştirme olan 545 mm ile oranı ile bölündüğünde 0.896 çıkmaktadır. Bu sonuçlar Çizelge 4.20’de görülmektedir. TBDY 14.14.4.6’ya göre bu değer 0.8 den az olmaması gerekmektedir. Burada çıkan sonuçların oranları 0.8 den fazla olduğu için yer değiştirme sonuçlarında bir problem yaşanmamıştır. Ayrıca bir deprem durumu için Şekil 4.26’da yalıtım biriminin histerisiz eğrisi verilmiştir.

Çizelge 4.20 : Deprem yalıtım birimleri yer değiştirme sonuçları

Depremler	Friction (mm)	Multi lineer plastik (mm)
RSN755	412	385
RSN1111	625	591
RSN1633	493	476
RSN1787	502	482
RSN3747	688	645
RSN3753	352	343
RSN3966	621	590
RSN4882	590	551
RSN5478	525	505
RSN5818	372	368
RSN6971	445	436
Ortalama	511	488
RSN*/Etkin Deprem	0.938	0.896



Şekil 4.26 : RSN6971 depremi için histeresiz eğrisi

4.2.4 Deprem yalıtım birimli binanın üst yapı analiz sonuçları

Deprem yalıtım birimi ile güçlendirilmiş yapının üst yapı bölgesi için DD-2 depremi altında üst sınır değerler kullanılarak hesabı yapılmış deprem yalıtım birimi özellikleri kullanılmıştır. DD-2 spektrumu ile ölçeklendirilmiş 2x11 adet deprem kullanılarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapılmıştır.

4.2.4.1 Üst yapının devrilme tahkiki

Üst yapıda, devrilmeye karşı momentlerin katlara gelen deprem kuvvetlerinin oluşturduğu devrilme momentlerine oranı X yönünde 22, Y yönünde 12 dir. Üst yapıda herhangi bir devrilme problemi oluşmamıştır. Devrilme sonuçları Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.21 : Katlara gelen deprem kuvvetleri

Kat No	Wi (kN)	Hi (m)	Wi*Hi	Vx(kN)	Vy (kN)
3K	4818	8.70	41917	561	561
2K	4818	5.80	27944	374	374
1K	4818	2.90	13972	187	187
$\sum Wi$	14454	$\sum Wi*Hi$	83833	1121	1121

Çizelge 4.22 : Devrilme tahkiki

Md _x (kNm)	Md _y (kNm)	Mk _x (kNm)	Mk _y (kNm)	X yönü $\sum Mk_x/Md_x$	Y yönü $\sum Mk_y/Md_y$
4807	4693	54805	29149		
2137	2086	54805	29149	22	12
534	521	54805	29149		
7478	7301	164414	87447		

4.2.4.2 Üst yapı betonarme kolon eğilme sonuçları

Zemin kat kolonları alt yapı elemanlarına girmektedir. O kolonlar alt yapı elemanları için yapılan sonuçlar kısmında değerlendirilmiştir. Üst yapı kolonlarında eğilme ve kesme konusunda hasar oluşumu gözlenmemiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.23, Çizelge 4.24, Çizelge 4.25'te sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.23 : 1.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	0	0	0	23
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.24 : 2.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	0	0	0	23
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.25 : 3.Normal kat kolon hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	0	0	0	23
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

4.2.4.3 Üst yapı betonarme kolon kesme sonuçları

Üst yapı betonarme kolonlar her iki deprem doğrultusundaki ortalama kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır. Çizelge 4.26, Çizelge 4.27, Çizelge 4.28'de sonuçlar özetlenmiştir.

Çizelge 4.26 : 1.Normal kat kolon kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	Load	V2 kN	V3 kN	b m	h m	As cm ²	Vc kN	V2 _{-top} kN	V3 _{-top} kN	Kontrol V ₂ /V ₂ _{top}	Kontrol V ₃ /V ₃ _{top}
C1	RSN*	49.79	47.38	0.50	0.30	5.03	310.59	416.15	373.93	0.12	0.13
C2	RSN*	44.24	93.67	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.10	0.19
C3	RSN*	45.33	101.03	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.10	0.20
C4	RSN*	48.35	47.52	0.50	0.30	5.03	310.59	416.15	373.93	0.12	0.13
C5	RSN*	38.91	60.81	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.12
C6	RSN*	33.67	80.90	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.19
C7	RSN*	31.45	80.60	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.08	0.19
C8	RSN*	41.23	59.90	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.12
C9	RSN*	35.39	56.50	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.14
C10	RSN*	56.75	113.61	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.09	0.15
C11	RSN*	75.42	93.25	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.12	0.12
C12	RSN*	73.53	93.23	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.12	0.12
C13	RSN*	52.45	110.03	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.08	0.15
C14	RSN*	37.93	54.89	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.10	0.13
C15	RSN*	35.30	43.91	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.09
C16	RSN*	38.71	43.40	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.10	0.10
C17	RSN*	31.40	67.68	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.07	0.14
C18	RSN*	28.91	67.68	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.07	0.14
C19	RSN*	40.54	50.72	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.10
C20	RSN*	38.03	44.15	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.09
C21	RSN*	25.00	38.22	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.07	0.09
C22	RSN*	36.20	106.42	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.10	0.24
C23	RSN*	26.99	39.65	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.07	0.09

Çizelge 4.27 : 2. Normal kat kolon kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	Load	V2 kN	V3 kN	b m	h m	As cm ²	Vc kN	V2 _{-top} kN	V3 _{-top} kN	Kontrol V ₂ /V ₂ _{top}	Kontrol V ₃ /V ₃ _{top}
C1	RSN*	47.82	42.40	0.50	0.30	5.03	310.59	416.15	373.93	0.11	0.11
C2	RSN*	45.52	75.92	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.10	0.15
C3	RSN*	46.79	85.97	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.11	0.17
C4	RSN*	46.35	42.38	0.50	0.30	5.03	310.59	416.15	373.93	0.11	0.11
C5	RSN*	33.31	52.81	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.11
C6	RSN*	31.49	67.35	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.08	0.16
C7	RSN*	28.81	66.57	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.08	0.16
C8	RSN*	37.03	52.02	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.10
C9	RSN*	32.63	51.03	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.12
C10	RSN*	54.29	107.46	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.09	0.14
C11	RSN*	75.60	93.46	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.12	0.12
C12	RSN*	73.34	92.74	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.12	0.12
C13	RSN*	48.06	107.25	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.08	0.14
C14	RSN*	35.23	49.51	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.12
C15	RSN*	34.13	41.59	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.08
C16	RSN*	36.95	40.66	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.10	0.10
C17	RSN*	31.99	60.43	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.07	0.12
C18	RSN*	30.90	58.99	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.07	0.12
C19	RSN*	40.90	46.68	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.09
C20	RSN*	36.49	40.97	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.08
C21	RSN*	23.69	41.90	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.07	0.10
C22	RSN*	35.12	103.80	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.10	0.24
C23	RSN*	27.59	38.48	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.08	0.09

Çizelge 4.28 : 3. Normal kat kolon kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	Load	V2 kN	V3 kN	b m	h m	As cm ²	Vc kN	V2 _{-top} kN	V3 _{-top} kN	Kontrol V ₂ /V _{2top}	Kontrol V ₃ /V _{3top}
C1	RSN*	44.73	34.56	0.50	0.30	5.03	310.59	416.15	373.93	0.11	0.09
C2	RSN*	38.42	70.26	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.14
C3	RSN*	39.43	83.62	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.17
C4	RSN*	44.21	34.73	0.50	0.30	5.03	310.59	416.15	373.93	0.11	0.09
C5	RSN*	33.40	40.25	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.08
C6	RSN*	29.70	51.10	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.08	0.12
C7	RSN*	27.52	51.46	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.07	0.12
C8	RSN*	37.87	40.45	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.08
C9	RSN*	32.59	36.45	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.09
C10	RSN*	53.54	58.97	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.09	0.08
C11	RSN*	72.10	52.71	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.12	0.07
C12	RSN*	68.77	54.82	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.11	0.07
C13	RSN*	47.73	60.96	0.30	0.90	5.03	559.07	622.40	749.07	0.08	0.08
C14	RSN*	34.91	35.56	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.09
C15	RSN*	35.44	34.60	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.07
C16	RSN*	34.07	25.44	0.30	0.50	5.03	310.59	373.93	416.15	0.09	0.06
C17	RSN*	28.72	46.26	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.07	0.09
C18	RSN*	27.58	45.17	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.06	0.09
C19	RSN*	35.53	27.39	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.08	0.05
C20	RSN*	37.48	34.12	0.30	0.60	5.03	372.71	436.05	499.38	0.09	0.07
C21	RSN*	17.92	26.98	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.05	0.06
C22	RSN*	30.15	77.30	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.08	0.18
C23	RSN*	22.33	22.54	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	437.26	0.06	0.05

4.2.4.4 Üst yapı betonarme kiriş eğilme sonuçları

Üst yapı kirişlerinde hasar oluşmamaktadır. Analiz sonuçlarına göre çok küçük miktarda mafsallar oluşmaktadır. Fakat bu elemanın kapasitesi ile orantılandığında yüzde 1'e bile gelmemektedir. Bu yüzden hasar yok kabul edilmiştir. Kirişlerin eğilme sonuçları Çizelge 4.29, Çizelge 4.30 ve Çizelge 4.31'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.29 : 1. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	34
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.30 : 2. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	34
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

Çizelge 4.31 : 3. Normal kat kiriş hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kiriş Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
34	10	0	0	34
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

4.2.4.5 Üst yapı betonarme kiriş kesme sonuçları

Üst yapı betonarme kirişler her iki deprem doğrultusundaki ortalama kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır. Sonuçlar aşağıdaki Çizelgelarda gösterilmiştir. Çizelge 4.32, Çizelge 4.33, Çizelge 4.34'te kesme sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.32 : 1. Normal kat kiriş elemanlarındaki kesme kuvveti oranı

Kiriş	Load	V2 kN	b m	h m	As cm ²	Vc kN	V2 _{top} kN	Kontrol V ₂ /V _{2top}
B10	RSN*	91.68	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.20
B11	RSN*	262.33	0.30	0.80	5.03	496.95	560.29	0.47
B12	RSN*	257.88	0.30	0.80	5.03	496.95	560.29	0.46
B13	RSN*	91.7	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.20
B15	RSN*	74.86	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.21
B16	RSN*	122.02	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.26
B17	RSN*	124.1	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.34
B19	RSN*	75.11	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.21
B2	RSN*	73.65	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.20
B20	RSN*	120.08	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.33
B21	RSN*	78.25	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.22
B22	RSN*	132.54	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.28
B23	RSN*	133.89	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.37
B24	RSN*	70.29	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.19
B25	RSN*	80.54	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.22
B26	RSN*	69.3	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.19
B27	RSN*	73.18	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.20
B28	RSN*	78.2	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.22
B29	RSN*	75.29	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.21
B3	RSN*	75.82	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.16
B30	RSN*	95.8	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.26
B31	RSN*	68.03	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.15
B33	RSN*	115.25	0.25	0.60	6.06	310.59	374.21	0.31
B34	RSN*	63.2	0.25	0.60	7.14	310.59	385.56	0.16
B35	RSN*	70.5	0.25	0.60	8.26	310.59	397.36	0.18
B39	RSN*	66.40	0.25	0.60	9.42	310.59	409.55	0.16
B4	RSN*	72.00	0.25	0.60	10.62	310.59	422.09	0.17
B40	RSN*	73.56	0.25	0.60	11.84	310.59	434.93	0.17
B45	RSN*	61.50	0.25	0.60	13.09	310.59	448.04	0.14
B46	RSN*	65.13	0.25	0.60	14.36	310.59	461.39	0.14
B8	RSN*	76.50	0.25	0.60	15.65	310.59	474.96	0.16
B9	RSN*	69.77	0.25	0.60	16.96	310.59	488.72	0.14

Çizelge 4.33 : 2. Normal kat kiriş elemanlarındaki kesme kuvveti oranı

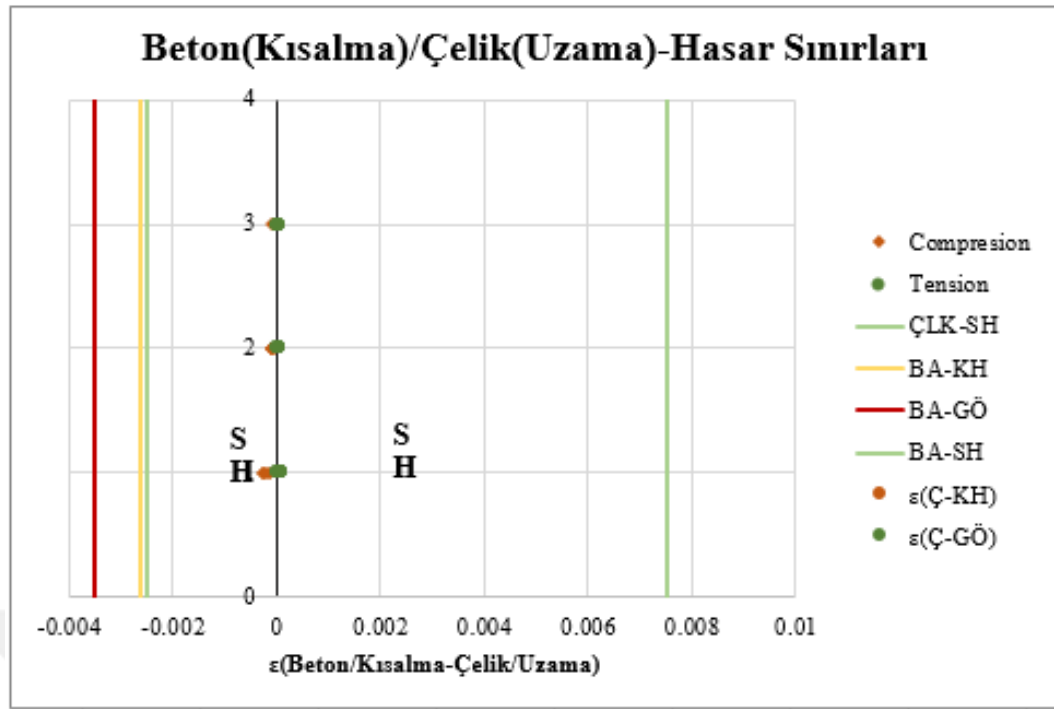
Kiriş	Load	V2 kN	b m	h m	As cm ²	Vc kN	V2 _{-top} kN	Kontrol V ₂ /V2 _{top}
B10	RSN*	75.06	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.16
B11	RSN*	190.36	0.30	0.80	5.03	496.95	560.29	0.34
B12	RSN*	207.04	0.30	0.80	5.03	496.95	560.29	0.37
B13	RSN*	74.93	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.16
B15	RSN*	64.21	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.18
B16	RSN*	90.59	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.19
B17	RSN*	92.07	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.25
B19	RSN*	65.22	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.18
B2	RSN*	67.40	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.19
B20	RSN*	97.57	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.27
B21	RSN*	69.79	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.19
B22	RSN*	122.95	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.26
B23	RSN*	132.45	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.36
B24	RSN*	61.83	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.17
B25	RSN*	73.84	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.20
B26	RSN*	63.74	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.18
B27	RSN*	69.32	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.19
B28	RSN*	68.70	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.19
B29	RSN*	78.86	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.22
B3	RSN*	61.64	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.13
B30	RSN*	122.59	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.34
B31	RSN*	71.94	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.15
B33	RSN*	75.71	0.25	0.60	6.06	310.59	374.21	0.20
B34	RSN*	75.71	0.25	0.60	7.14	310.59	385.56	0.20
B35	RSN*	68.04	0.25	0.60	8.26	310.59	397.36	0.17
B39	RSN*	69.74	0.25	0.60	9.42	310.59	409.55	0.17
B4	RSN*	75.00	0.25	0.60	10.62	310.59	422.09	0.18
B40	RSN*	74.06	0.25	0.60	11.84	310.59	434.93	0.17
B45	RSN*	63.18	0.25	0.60	13.09	310.59	448.04	0.14
B46	RSN*	65.13	0.25	0.60	14.36	310.59	461.39	0.14
B8	RSN*	74.07	0.25	0.60	15.65	310.59	474.96	0.16

Çizelge 4.34 : 3. Normal kat kiriş elemanlarındaki kesme kuvveti oranı

Kiriş	Load	V2 kN	b m	h m	As cm ²	Vc kN	V2 _{top} kN	Kontrol V ₂ /V2 _{top}
B10	RSN*	69.46	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.15
B11	RSN*	78.97	0.30	0.80	5.03	496.95	560.29	0.14
B12	RSN*	84.59	0.30	0.80	5.03	496.95	560.29	0.15
B13	RSN*	69.45	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.15
B15	RSN*	40.65	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.11
B16	RSN*	68.57	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.15
B17	RSN*	59.83	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.16
B19	RSN*	39.68	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.11
B2	RSN*	51.62	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.14
B20	RSN*	28.94	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.08
B21	RSN*	59.16	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.16
B22	RSN*	65.32	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.14
B23	RSN*	36.06	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.10
B24	RSN*	40.93	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.11
B25	RSN*	40.65	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.11
B26	RSN*	44.09	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.12
B27	RSN*	52.93	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.15
B28	RSN*	49.05	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.13
B29	RSN*	45.86	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.13
B3	RSN*	37.06	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.08
B30	RSN*	39.17	0.25	0.60	5.03	310.59	363.37	0.11
B31	RSN*	81.6	0.25	0.80	5.03	414.13	466.90	0.17
B33	RSN*	34.35	0.25	0.60	6.06	310.59	374.21	0.09
B34	RSN*	30.15	0.25	0.60	7.14	310.59	385.56	0.08
B35	RSN*	44.58	0.25	0.60	8.26	310.59	397.36	0.11
B39	RSN*	26.57	0.25	0.60	9.42	310.59	409.55	0.06
B4	RSN*	41.71	0.25	0.60	10.62	310.59	422.09	0.10
B40	RSN*	31.41	0.25	0.60	11.84	310.59	434.93	0.07
B45	RSN*	26.16	0.25	0.60	13.09	310.59	448.04	0.06
B46	RSN*	41.271	0.25	0.60	14.36	310.59	461.39	0.09
B8	RSN*	44.69	0.25	0.60	15.65	310.59	474.96	0.09
B9	RSN*	44.42	0.25	0.60	16.96	310.59	488.72	0.09

4.2.4.6 Üst yapı betonarme perde eğilme sonuçları

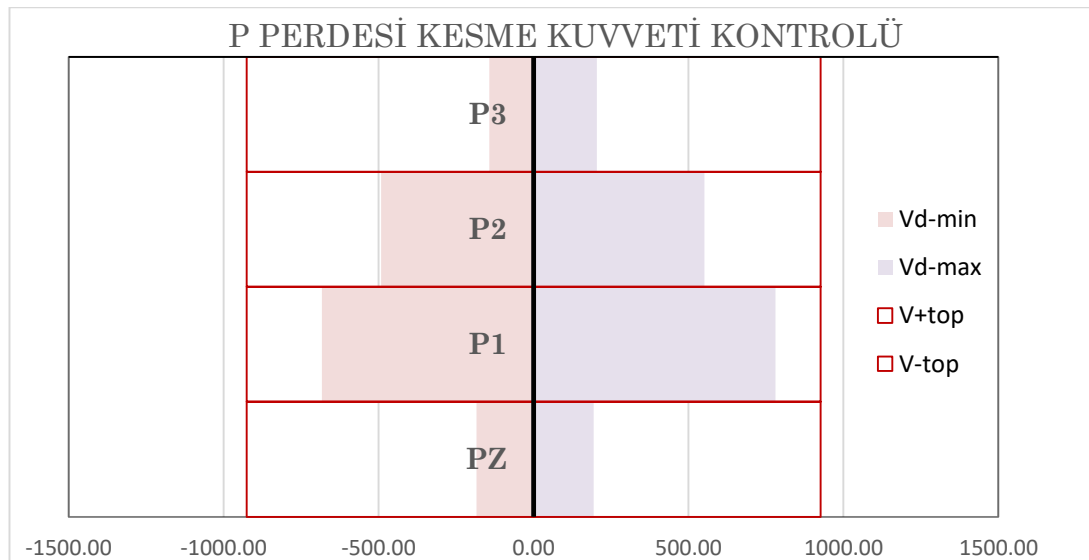
Deprem yalıtım birimi kullanılan üst yapıda perde elemanında eğilme hasarı oluşmamaktadır. Şekil 4.27’de perde eğilme sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 4.27 : Betonarme perde eğilme sonuçları

4.2.4.7 Üst yapı betonarme perde kesme sonuçları

Deprem yalıtım birimi kullanılan üst yapıda perde elemanında kesme hasarı oluşmamaktadır. Şekil 4.28 ve Çizelge 4.35'te üst yapı perde kesme sonuçları özetlenmiştir.



Şekil 4.28 : Betonarme perde kesme kuvveti kontrolü

Çizelge 4.35 : Betonarme perde kesme donatı kontrolü

Perde	Yük	Vd-min kN	Vd-max kN	L m	d m	Vc kN	Vs kN	Vtop kN	Ve KN	Kontrol Vd ≤ Vtop
P3-Z	RSN*	-184.36	193.96	3.05	0.3	588.77	337.28	926.05	2199.81	Uygun
P3-1	RSN*	-683.29	780.91	3.05	0.3	588.77	337.28	926.05	2199.81	Uygun
P3-2	RSN*	-492.34	551.68	3.05	0.3	588.77	337.28	926.05	2199.81	Uygun
P3-3	RSN*	-143.04	204.19	3.05	0.3	588.77	337.28	926.05	2199.81	Uygun

4.2.4.8 Üst yapı betonarme yapı için görelî kat ötelemeleri sonuçları

Deprem yalıtım birimi kullanılan üst yapıda görelî kat ötelemeleri sınırları TBDY 2018 14.14.5.1 de kesintisiz kullanım seviyesi (KK) için $0.005 h_i$, sınırlı hasar seviyesi (SH) için $0.01 h_i$, kontrollü hasar seviyesi (KH) için $0.015 h_i$ verilmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda elde edilen görelî kat ötelemeleri Çizelge 4.36’da gösterilmiştir ve hasar sınırları ile karşılaştırılmıştır. Buna göre tüm depremler için sonuçlar kesintisiz kullanım seviyesi için uygundur.

Çizelge 4.36 : Görelî kat ötelemeleri sonuçları

Katlar	Depremler	Yönler	Görelî Kat Ötelemeleri Ortalama	KK Seviyesi $0.005 H_i$	SH Seviyesi $0.01 H_i$	KH Seviyesi $0.015 H_i$
Kat3	TH_RSN...,Max	X	0.00121	0.005	0.01	0.015
		Y	0.00070	0.005	0.01	0.015
	TH_RSN...,Min	X	0.00122	0.005	0.01	0.015
		Y	0.00075	0.005	0.01	0.015
Kat2	TH_RSN...,Max	X	0.00138	0.005	0.01	0.015
		Y	0.00104	0.005	0.01	0.015
	TH_RSN...,Min	X	0.00140	0.005	0.01	0.015
		Y	0.00105	0.005	0.01	0.015
Kat1	TH_RSN...,Max	X	0.00143	0.005	0.01	0.015
		Y	0.00116	0.005	0.01	0.015
	TH_RSN...,Min	X	0.00145	0.005	0.01	0.015
		Y	0.00112	0.005	0.01	0.015

4.2.5 Deprem yalıtım birimli binanın alt yapı analiz sonuçları

Alt yapı elemanları olan kolonların ve bir perdenin üzerine eğri yüzeyli deprem yalıtım birimleri konulmuştur. Deprem yalıtım biriminin yer değiştirme hesabı sonucunda 60 cm çıkmıştır. 10 cm montaj payda düşünülerek alt yapının kolon boyutları 130 x130 cm ye çıkarılmıştır.

4.2.5.1 Alt yapı betonarme kolon eğilme sonuçları

Alt yapı elemanları olan kolonları lineer olarak bir kolon kontrolü yapılmıştır. 130x130 luk kesitleri eğilme kontrolünde herhangi bir hasar oluşturmamaktadır. Eğilme sonuçları Çizelge 4.37’de verilmiştir.

Çizelge 4.37 : Kolon elemanlarındaki hasar dağılımı ve oranı [%] (DD-2)

Toplam Kolon Adedi	BHB	İHB	GB	Hasarsız
23	0	0	0	23
	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%

4.2.5.2 Alt yapı betonarme kolon kesme sonuçları

Altyapıda kolonlarda herhangi bir kesme problemi yaşanmamıştır. Sonuçlar Çizelge 4.38’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.38 : Zemin kat kesme kuvveti kontrolü

Kiriş	Load	V2 kN	V3 kN	b m	h m	As2 cm ²	As3 cm ²	Vs2 kN	Vs3 kN	V2-top kN	V2-top kN	Kontrol V2/V2top	Kontrol V3/V3top
C1	RSN*	87.89	80.68	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C2	RSN*	88.24	80.56	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C3	RSN*	88.26	80.76	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C4	RSN*	87.91	80.66	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C5	RSN*	87.75	80.84	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C6	RSN*	87.95	80.82	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C7	RSN*	87.96	80.60	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C8	RSN*	87.87	80.48	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C9	RSN*	88.03	80.91	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C10	RSN*	88.33	80.91	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C11	RSN*	88.67	80.83	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C12	RSN*	88.69	80.71	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C13	RSN*	88.32	80.64	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C14	RSN*	88.10	80.51	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C15	RSN*	87.93	80.94	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C16	RSN*	88.39	80.88	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C17	RSN*	88.10	80.85	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C18	RSN*	88.12	80.65	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C19	RSN*	88.36	80.55	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C20	RSN*	87.98	80.44	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C21	RSN*	88.02	80.82	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C22	RSN*	88.31	80.77	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02
C23	RSN*	88.08	80.63	1.30	1.30	5.03	5.03	274.45	274.45	3773.81	3773.81	0.02	0.02

4.2.6 Deprem yalıtım birimi ile güçlendirilmiş yapının analiz sonuçlarının özeti

Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılarak güçlendirilmiş betonarme binasının, performansa dayalı mevcut deprem güvenliğinin belirlenmesi çalışması kapsamında:

Güçlendirilmiş yapı 3 ayrı modelde incelenmiştir. Deprem yalıtım ara yüzü için yer değiştirme hesabı hem el ile hem de DD-1 depremleri altında çözülmüştür. Bunun sonucunda burulma etkileri dâhil 60 cm yer değiştirme kapasiteli bir izolatörün temel özellikleri dikkate alınarak alt yapı ve üst yapı analiz edilmiştir. TBDY-2018'e göre öngörülen minimum performans hedefleri olan,

50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "*Kontrolü Hasar (KH)*" için şekil değiştirme kriterlerine göre (ŞGDT) olan değerlendirme yaklaşımı uygulandığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Buna göre;

➤ Kolon Elemanlar

Hem üst yapıda hem de alt yapıda bulunan kolonların eğilme ve kesme hasar oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarında çok küçük miktarda plastik dönmeler oluşmuştur. Fakat bu mafsallaşmalar, elemanlarının kapasitesinin yüzde 1'inin altında bulunduğundan ihmal edilmiştir.

➤ Kiriş Elemanlar

Kirişlerde de üst yapıda eğilme ve kesme hasarı oluşmadığı gözlemlenmiştir.

➤ Betonarme Perde Elemanlar

Perde elemanların Fiber (Lif) donatı uzama ve beton kısalma değerleri *Sınırlı Hasar Bölgesi'dir. (SHB)*

Mevcut perde taşıyıcı elemanlar, yapılan analizler sonucunda her iki deprem doğrultusundaki kesme kuvveti değerlerini güvenle aktarmaktadır.

Sonuç olarak TBDY-2018'e göre eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi ile güçlendirilmiş yapının taşıyıcı sistemi 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan deprem düzeyi (DD-2) için "*Kesintisiz Kullanım (KK)*" performans düzeyini sağlamaktadır.

4.3 Geleneksel Güçlendirme Yöntemi İle Eğri Yüzeyli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak İyileştirme Sonuçlarının Karşılaştırılması

Mevcut yapının iyileştirilmesi konusunda her iki yöntemde başarılı olmuştur. Mevcut yapı deprem etkisi altındaki davranışında iyileşme görülmüştür. Bu iyileştirme yöntemlerinde yapı iyileşmesine rağmen sonuçlarda bazı farklılıklar vardır. Bu karşılaştırmalar sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Mevcut yapının periyodu 1.205 sn. iken, geleneksel yöntemin kullanıldığı iyileştirme yönteminde 0.404 sn, eğri yüzeyli deprem yalıtım biriminin kullanıldığı modelde üst yapı için (DD-2 depreminde) 2.23 sn. yalıtım birimi için 3.69 sn. çıkmıştır. Sonuç olarak yapının periyodu geleneksel yöntem ile azalmış, yalıtım birimi kullanılan yöntemde ise artmıştır.
- Periyodun yükselmesi mevcut durumda DD-2 depremi altında 0.294 g olan ivmesi, geleneksel yöntem ile yapılan iyileştirilmiş yapıda 0.882 g ye çıkmıştır. Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılan yapıda ise 0.157 g'ye düşmüştür. Zaman tanım alanında etkin sönüm oranı ile bu ivme değeri %30 azalarak 0.11g'ye düşmüştür.
- DD-2 depremi altında mevcut yapıda 12.5 cm olan tepe yer değiştirmesi, geleneksel yöntem ile güçlendirilmiş yapıda 5.1 cm ye düşmüştür. Bu yer değiştirmeler altında görelî kat ötelemeleri, kontrolünde kontrollü hasar (KH) sınırını sağlamaktadır. Eğri yüzeyli deprem yalıtım birimi kullanılan yapıda ise tepe yer değiştirmesi, zemin kat tavanına koyulan izolatör birimleri tarafından karşılanmaktadır. Tabanda gerçekleşen yer değiştirme, burulma etkisi dâhil 60 cm'dir. İzolatörü yerleştirmesi göz önüne alınmadan kontrol edildiğinde yapının üstünde 7 mm yer değiştirme oluşmuştur. Yer değiştirme tepe noktasında da aynı yer değiştirme soncunu vermektedir. Fakat katlar arası yer değiştirme farkı bulunmadığından görelî kat ötelemeleri Kesintisiz kullanım (KK) hasar sınırını sağlamaktadır.
- Eğri yüzeyli yalıtım birimi kullanılan yapının üst yapı kısmında herhangi bir güçlendirme uygulanmamıştır. Bu durum yapının üst katında m² kaybının yaşanmayacağı anlamına gelmektedir. Yapılacak işçilik çok daha az olacaktır. Geleneksel yöntemde ise yapıda tüm katlarda yaşam alanı m² olarak azalmıştır. İnşaat sırasında yapının tamamen tahliye edilmesi ve taşınması gerekmektedir. Bu durum yapının işlevine göre ekstra maliyetler çıkarmaktadır.
- Geleneksel yöntem ile yapılan güçlendirme uygulamasında TBDY 2018 DD-2 depremi altında kontrollü hasar (KH) seviyesine izin vermektedir. Bu yapıda analiz sonuçlarında da gözüken bazı hasarlara sebep olmaktadır. Bu hasarlar deprem anında can kaybının önüne geçecek boyutlardadır. Fakat yapının deprem sonrası işlevinin tekrar kullanılabilir hale gelmesi için zaman ve para gerektirmektedir. Fakat eğri yüzeyli yalıtım birimi kullanılan yapıda ise

deprem sonrası hasar beklenmemektedir. Bu durum hem can hem de mal kaybının önüne geçmektedir.



5. İKİ FARKLI YÖNTEM KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLEN YAPININ MALİYET ANALİZİNİN YAPILMASI

5.1 Geleneksel Güçlendirme Yöntemi İle İyileştirmenin Maliyet Analizi

Mevcut betonarme binasının geleneksel yöntem ile iyileştirilmesinin maliyet analizi için, 29 Ağustos 2019 tarihinde Resmî Gazetede yayınlanan "Emlak Vergisine Esas Olmak Üzere 2020 Yılında Uygulanacak Bina Metrekare Normal İnşaat Maliyet Bedelleri" esas alınarak hesaplanmıştır. Geleneksel yöntem ile güçlendirme sonucu oluşacak mimari değişecekler nedeniyle tadilat ücreti de eklenmiştir. Ayrıca geleneksel yöntem ile yapılacak güçlendirme sırasında yapı kullanılamayacaktır. Kaba inşaat güçlendirme maliyetinin yanında bu durumdan doğacak maliyetlerde güçlendirme maliyetine eklenmiştir. Çizelge 5.1’de geleneksel yöntem ile güçlendirme için maliyet analizi verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Geleneksel güçlendirme yöntemi maliyet analizi

Sıra No	İşin Cinsi	Ölçü Birimi	Miktar	Teklif Edilen Birim Fiyat	Tutar
1	Sıva Boya vs. Kaldırılması Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton	m2	573.93	55.50 ₺	31.853.12 ₺
2	pompasıyla basılan, C 35/45 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m3	280.71	250.00 ₺	70.177.50 ₺
3	Ø 10- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	ton	64.30	3.504.00 ₺	225.300.19 ₺
4	Q20-Q24 Düz veya Nervürlü Demirle Epoksi ile Filiz Ekimi (30cm Derinlikte)	adet	5.463.00	25.28 ₺	138.104.64 ₺
5	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m2	1.440.39	45.50 ₺	65.537.75 ₺
6	Beton Kırılması ve Molozun Atılması***	m3	108.60	850.00 ₺	92.310.00 ₺
7	1 daire için taşınma ve kira bedeli (12 ay)	ad	6	40000.00 ₺	240000.00 ₺
8	Üst yapıda güçlendirme nedeniyle 1 daire için tadilat ücreti (kapı, pencere, dolap, kaplamalar)	ad	6	60000.00 ₺	360000.00 ₺

TOPLAM TUTAR (K.D.V. Hariç) **1223.283.20 ₺**
GÜÇLENDİRME (K.D.V Dahil) **1443.474.17 ₺**

Mevcut betonarme binası apartman tipi konutlar için (Yapı Yüksekliği < 30.50m) düşünülmüştür. Buna göre bu yapının yeniden yapılmasının birim maliyeti 1190.22 TL/m²'dir.

5.2 Eğri Yüzeyli Sürtünmeli Deprem Yalıtım Birimi Kullanılarak İyileştirme Yöntemi Maliyet Analizi

Mevcut betonarme binasının deprem yalıtım birimleri ile güçlendirilmesinin maliyet analizi aşağıdaki Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2 : Deprem yalıtım birimi ile iyileştirilmesinin maliyet analizi

Sıra No	İşin Cinsi	Ölçü Birimi	Miktar	Teklif Edilen Birim Fiyat	Tutar
1	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 35/45 basınç dayanım sınıfında beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m3	110	250.00 ₺	27.500 ₺
2	Ø 10- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması.	ton	25	3.504.00 ₺	87.600 ₺
3	Q20-Q24 Düz veya Nervürlü Demirle Epoksi ile Filiz Ekimi (30cm Derinlikte)	adet	1560	25.28 ₺	39.436 ₺
4	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m2	1768	45.50 ₺	80.444 ₺
6	İzolatör için Kolon kesilmesi	adet	25	30000 ₺	750000 ₺
7	İzolatör Fiyatı	adet	25	15000 ₺	375000 ₺
TOPLAM TUTAR (K.D.V. Hariç)					1.359.980 ₺
GÜÇLENDİRME					1.604.776 ₺

5.3 Sonuçların Karşılaştırılması

Maliyet analizi çizelgeleri karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuç ortaya çıkmaktadır.

- Eğri yüzeyli sürtünmeli deprem yalıtım biriminin güçlendirme maliyeti, yeniden yapım maliyetinin de geleneksel güçlendirme yönteminin maliyetlerinin de üzerine çıkmaktadır. Fakat geleneksel güçlendirme yönteminin diğer dezavantajları göz ardı edilmemelidir. Bu maliyetler içerisinde ön görülemeyen güçlendirme süresi boyunca gerçekleşecek işletme maliyetleri, zemin katın üstündeki katlarda yaşam alanının küçülmesi ve yaşam konforunun bozulması hem de yapının satış değer kaybına uğraması

gibi maliyetlerde dikkate alınmalıdır. Deprem yalıtım birimi ile güçlendirilecek mevcut yapının mekanik ve elektrik sistemlerinin yenilenme maliyeti, geleneksel yöntem ile yapılacak güçlendirme yöntemine göre daha fazla çıkabilir.

Yapılarının güçlendirme yöntemine karar verilmesi için yapılan maliyet karşılaştırmaları verilmiştir. Yapıların iyileştirilme yöntemine karar verilirken hangi yöntemin daha efektif olacağı gözüken ve gözükmeyen tüm maliyetler incelendiğinde ortaya çıkacaktır.





KAYNAKLAR

- ABYYHY. (1975), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik.**
- Adamu, I. I. (2019).** *Seismic Response Of Seismically Isolated Structures With Triple Friction Pendulum Bearings.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Kültür University, İstanbul.
- AFAD. (2018).** Deprem Tehlike Haritaları. *tdth.afad.gov.tr* adresinden alındı
- Ayhan, O. (2006).** *Binaların depreme karşı güçlendirilmesinde klasik yöntem ile sürtünmeli sarkaç sistemlerinin karşılaştırılması.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baştuğ, B. K. (2004).** *Yapı Sistemlerinde Depreme Karşı Sismik İzolatör Kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çakat, G. (2019).** *Bir hastane yapısının farklı deprem yalıtım sistemleri kullanılarak performansının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ETABS. (2018),** Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA
- Fahjan, Y., & Aydın, M. (2019).** Deprem Tehlike Değerlendirmesi ve Zemin Bağımlı Tasarım Yer Hareketlerinin Belirlenmesi. GTÜ TTM A.Ş. raporu
- FIP-INDUSTRIALE. (2012).** Curved Surface Sliders Design Criteria. İtalya.
- Hong, W., & Kim, H. (2004).** Performance of a Multi-Story Structure with a Resilient Friction Base Isolation System. *Computers & Structures*, 2271-228.
- Kurt, Z. (2019).** *Ankastre ve Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Binaların Dinamik Davranışlarının Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tez). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mander, J., Priestly, M., & Park, R. (1988).** Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Division (ASCE)*, 1804-1826.
- Morgan, T. A. (2007).** *The use of innovative base isolation systems to achive complex seismic performance objectives* (Thesis). University of California, Berkeley
- Okay, A. (2000).** Marmara Denizindeki Aktif Fay Geometrisi Nasıl Araştırılmalı? *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, 17-18.
- PEER Ground Motion Database. (2013).** <https://ngawest2.berkeley.edu/> adresinden alındı

- Sağlık Yatırımları Genel Müdürlüğü.** (2013). Deprem Yalıtımlı Olarak İnşa Edilecek Yapılara Ait Proje ve Yapım İşlerinde Uyulması Gereken Asgari Standartlar.
- SAP 2000.** (2018). Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA
- Şadan, B., & Tüzün, C.** (2019). *Deprem Güçlendirilmesinde Deprem Yalıtım Sistemlerinin Kullanılması.* (Power Point Sunum)
http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/18033_12_19.pdf
adresinden alındı
- TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.** (2018). T.C. Resmi Gazete, 30364, 18 Mart 2018.
- Tüzün, C., & Şadan, B.** (2017). Deprem Yalıtımlı Binaların Tasarımına Giriş. *İMO ders sunumları.* TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Eğitimi.
- Url-1** <<http://https://guclendirmeprojesi.com/yapi-guclendirme/bina-guclendirme/>>, erişim tarihi 12.05.2020.

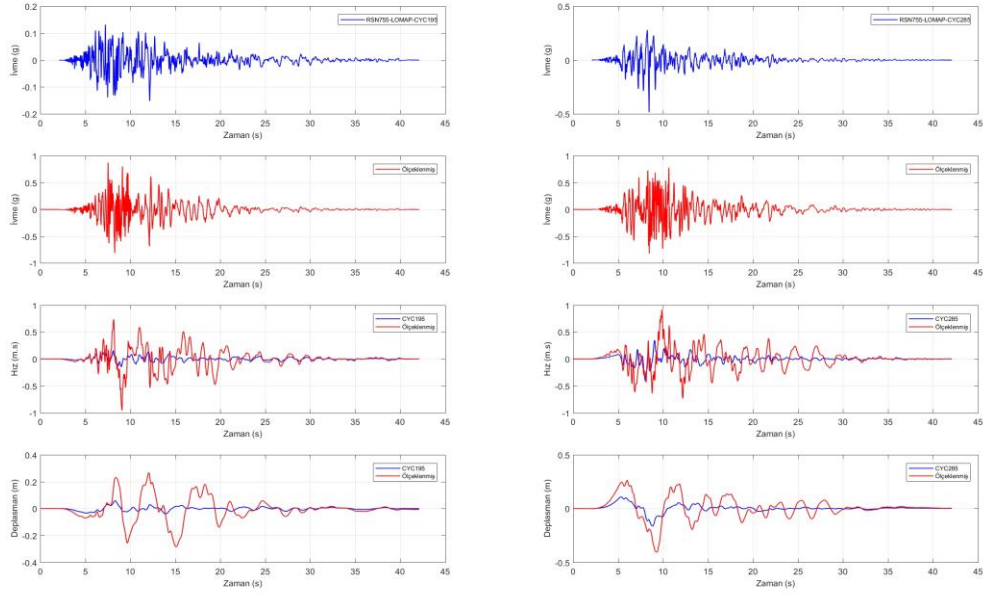
EKLER

EK A: DD-1 Deprem kayıtları

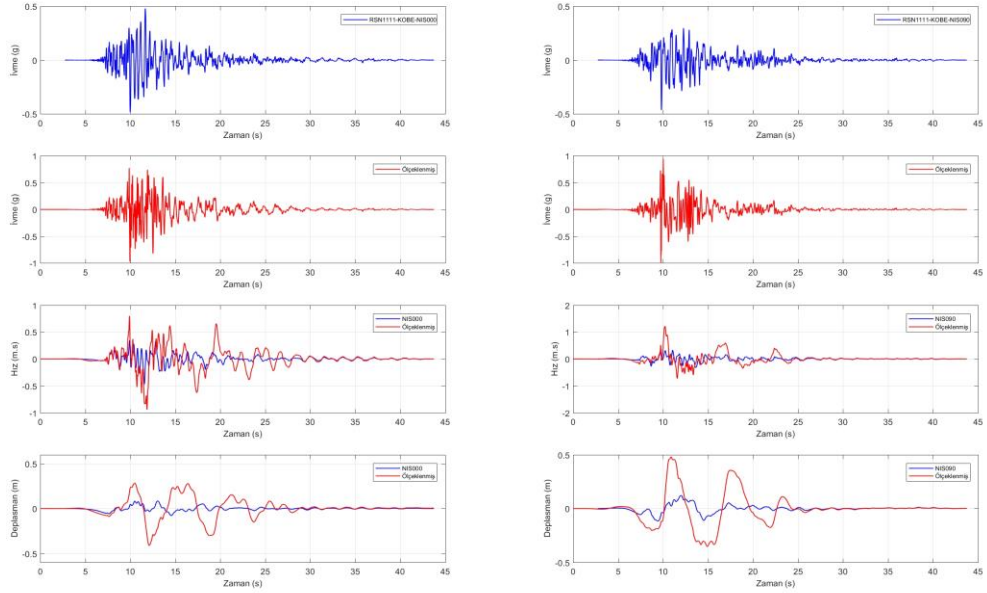
EK B: DD-2 Deprem kayıtları



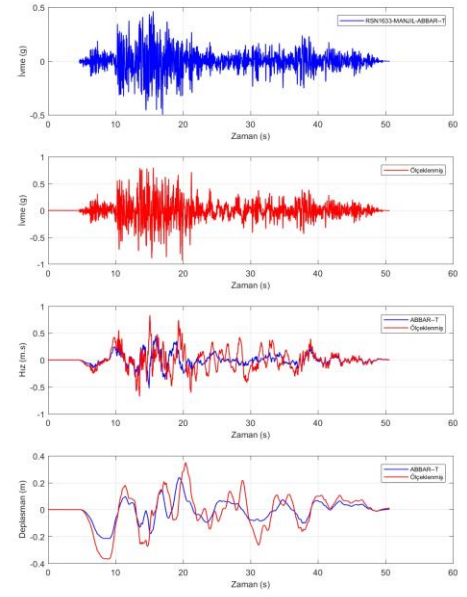
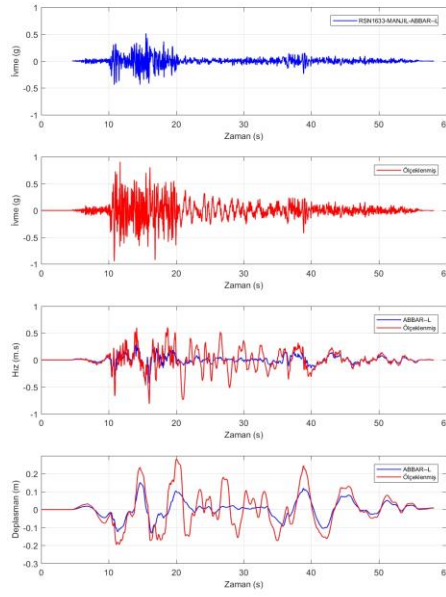
EK A: DD-1 Deprem Kayıtları



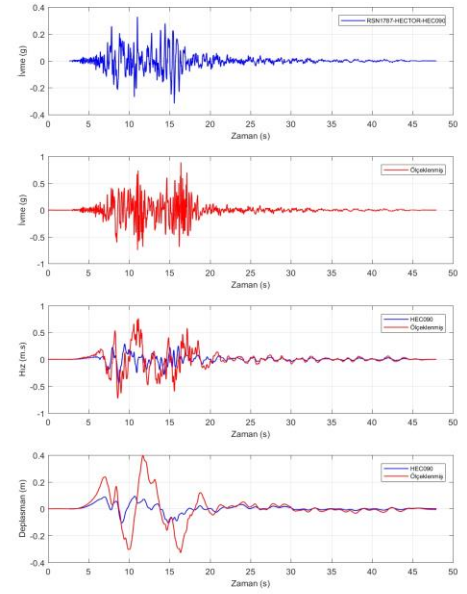
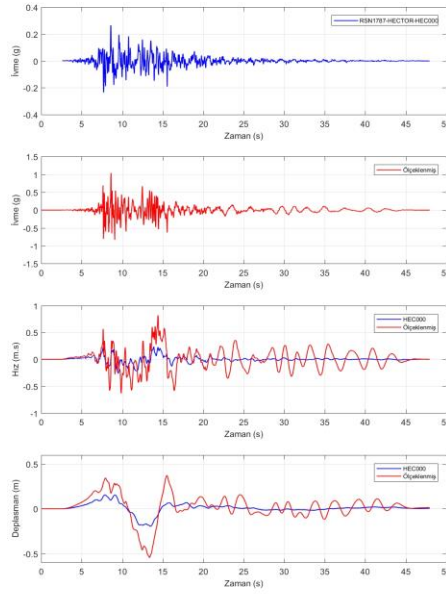
Şekil A.1 : DD-1 RSN 755 İvme kaydı



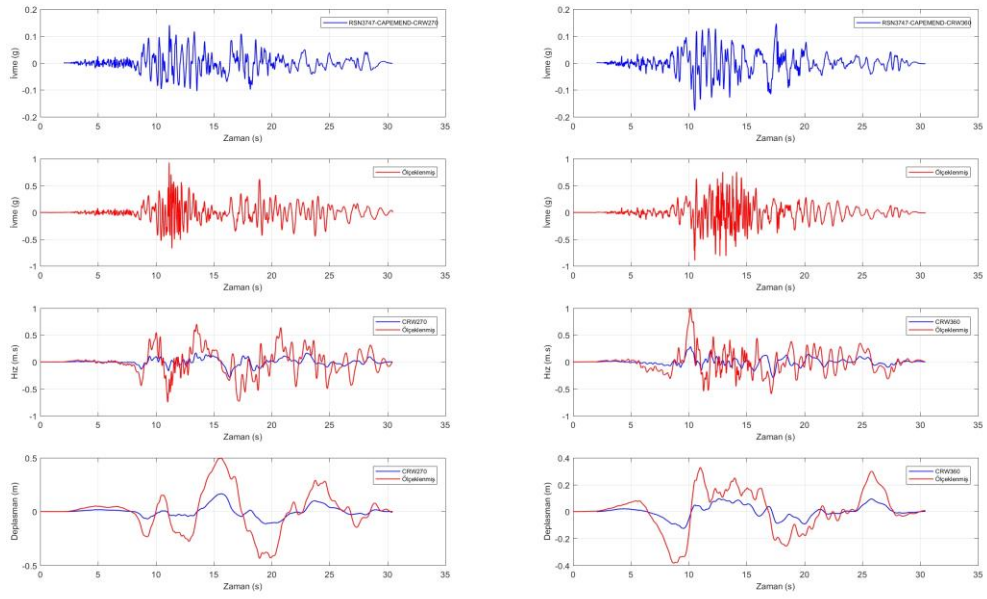
Şekil A.2 : DD-1 RSN 1111 İvme kaydı



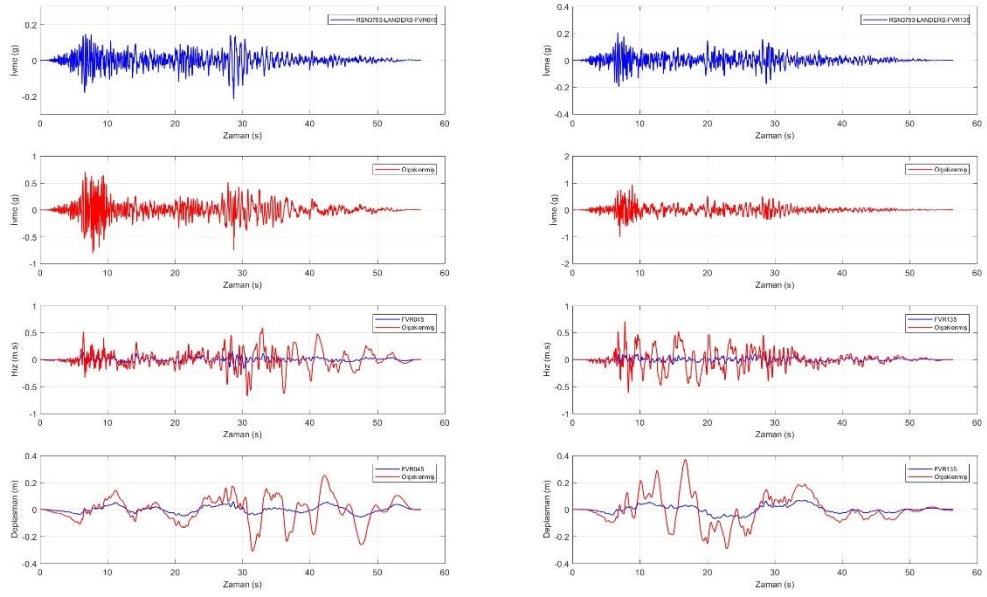
Şekil A.3 : DD-1 RSN 1633 İvme kayıdı



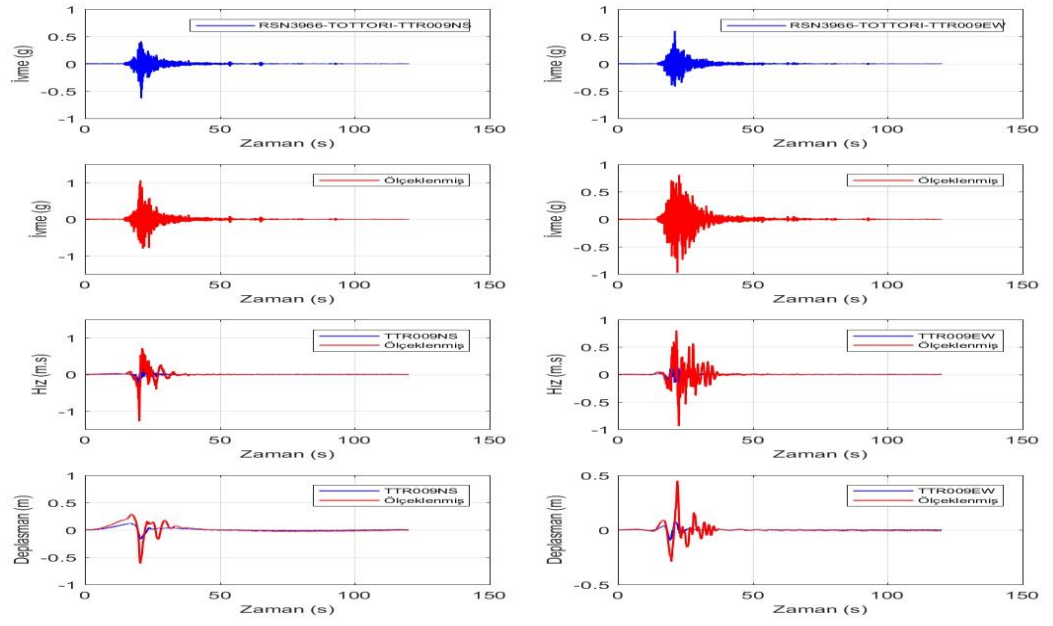
Şekil A.4 : DD-1 RSN 1787 İvme kayıdı



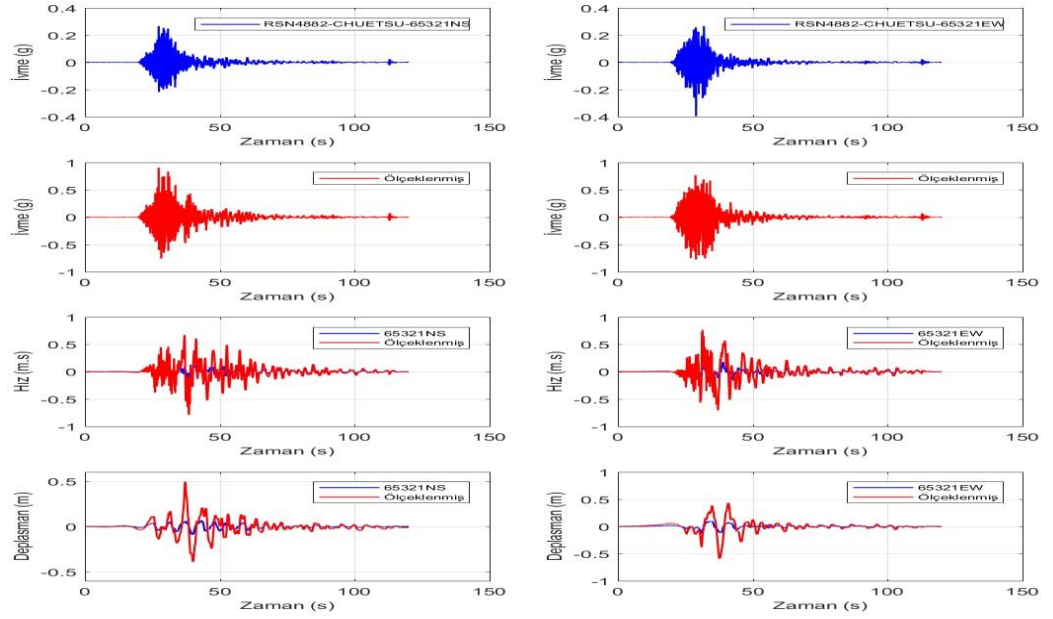
Şekil A.5 : DD-1 RSN 3747 İvme kayıdı



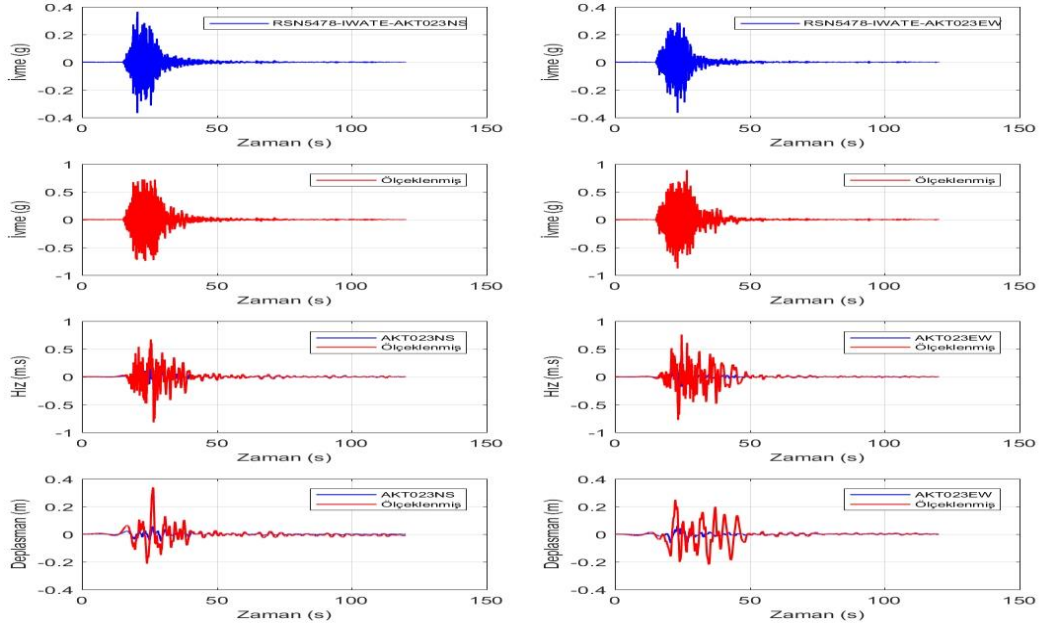
Şekil A.6 : DD-1 RSN 3753 İvme kayıdı



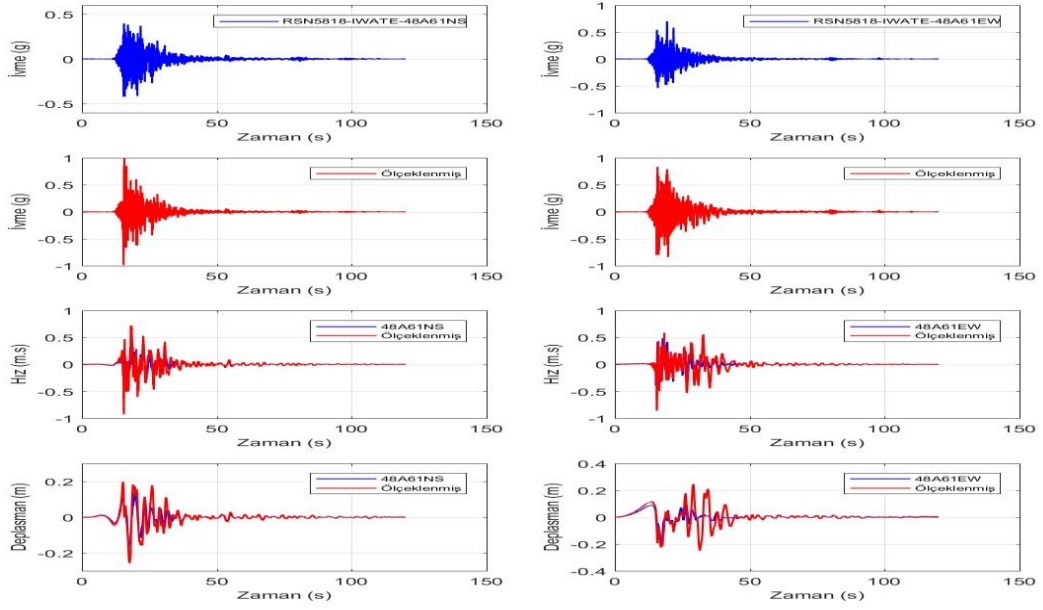
Şekil A.7 : DD-1 RSN 3966 İvme kaydı



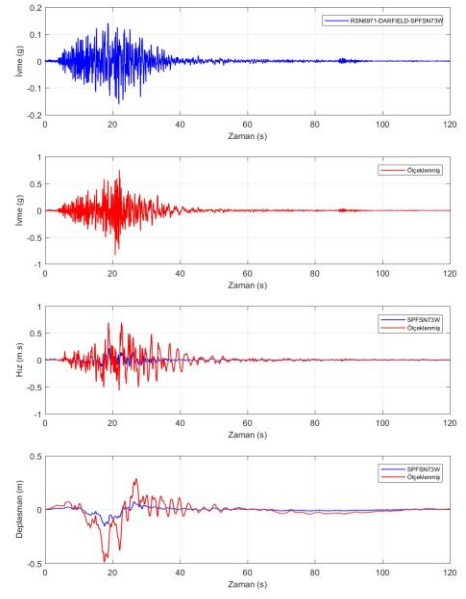
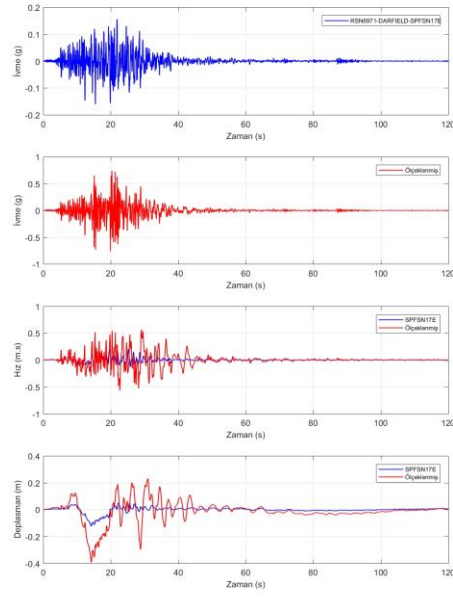
Şekil A.8 : DD-1 RSN 4882 İvme kaydı



Şekil A.9 : DD-1 RSN 5478 İvme kaydı

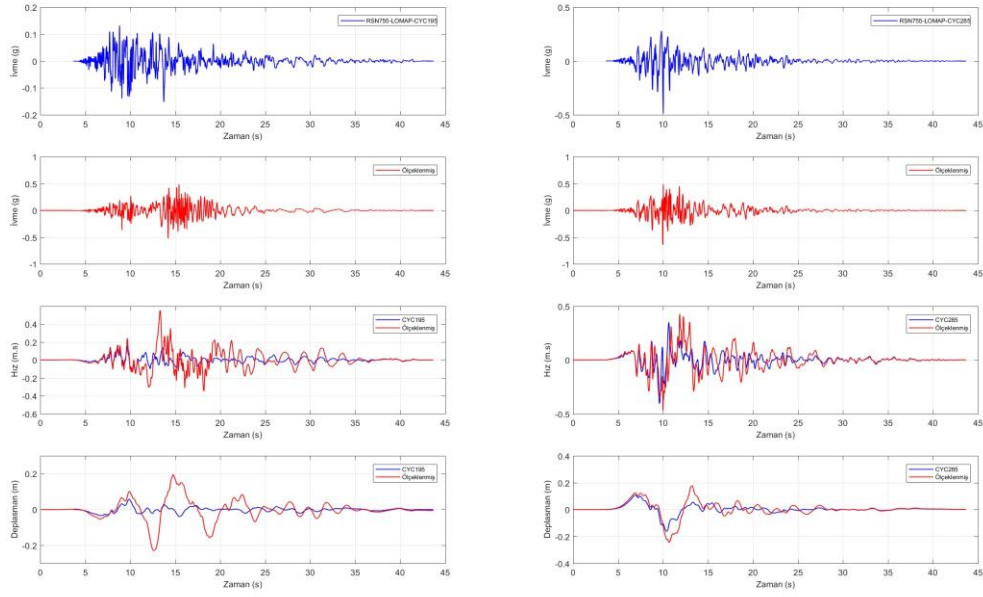


Şekil A.10 : DD-1 RSN 5818 İvme kaydı

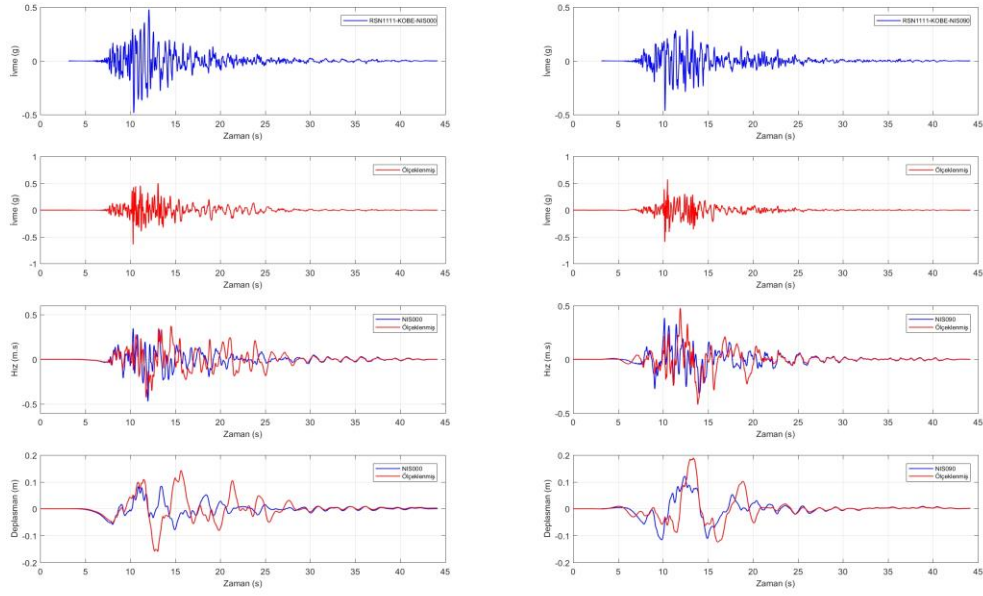


Şekil A.11 : DD-1 RSN 6971 İvme kayıdı

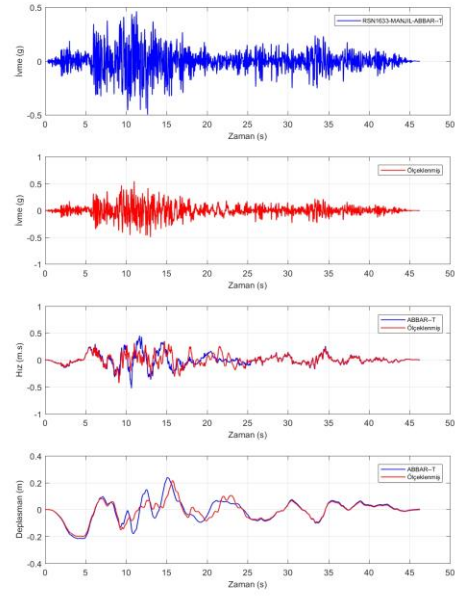
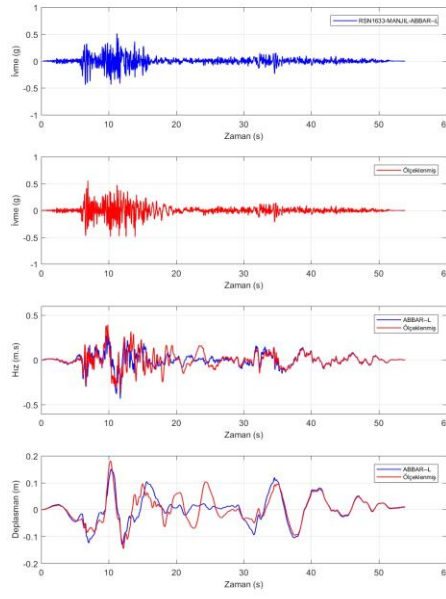
EK B: DD-2 Deprem Kayıtları



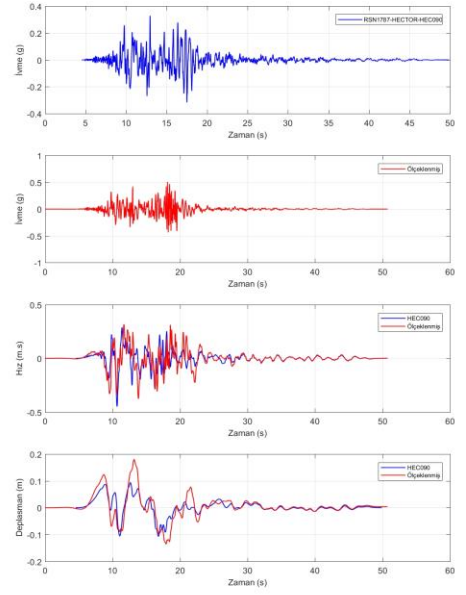
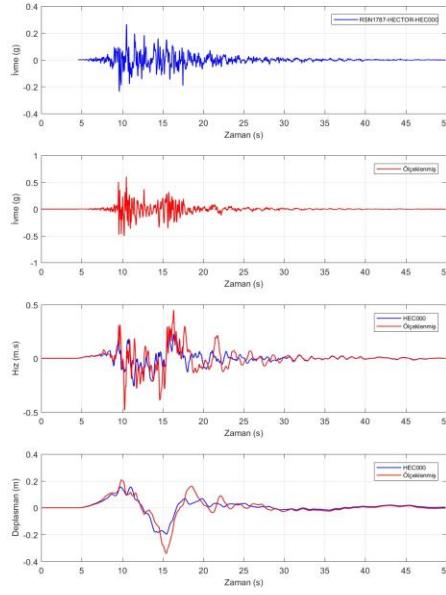
Şekil B.1 : DD-2 RSN 755 İvme kaydı



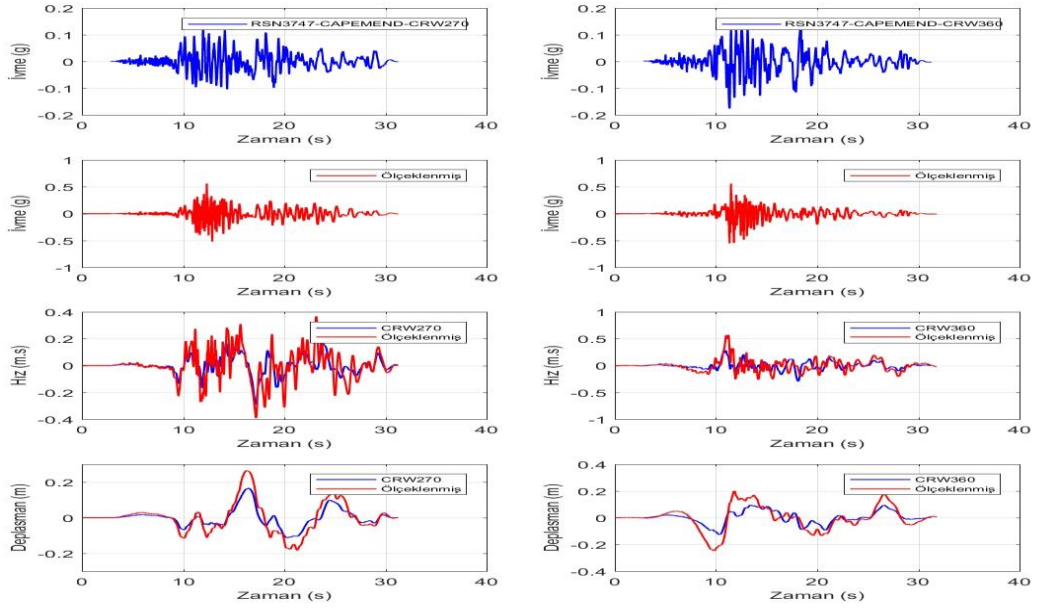
Şekil B.2 : DD-2 RSN 1111 İvme kaydı



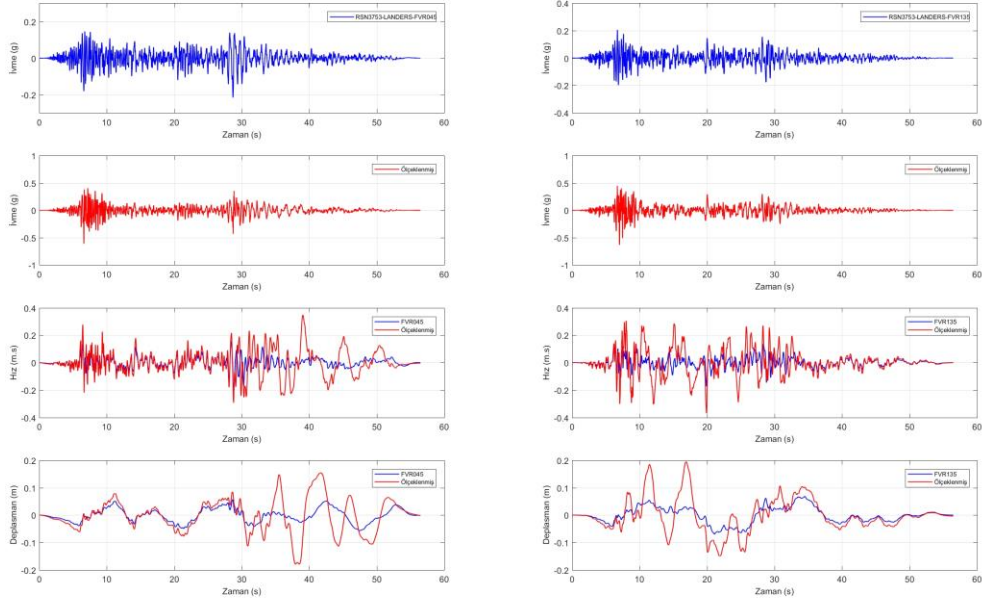
Şekil B.3 : DD-2 RSN 1633 İvme kayıdı



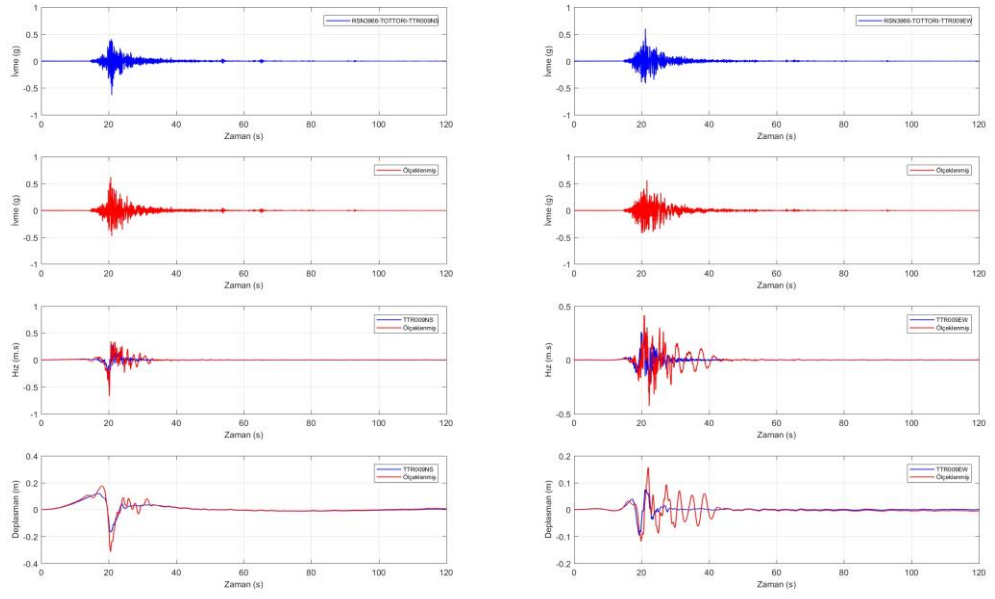
Şekil B.4 : DD-2 RSN 1787 İvme kayıdı



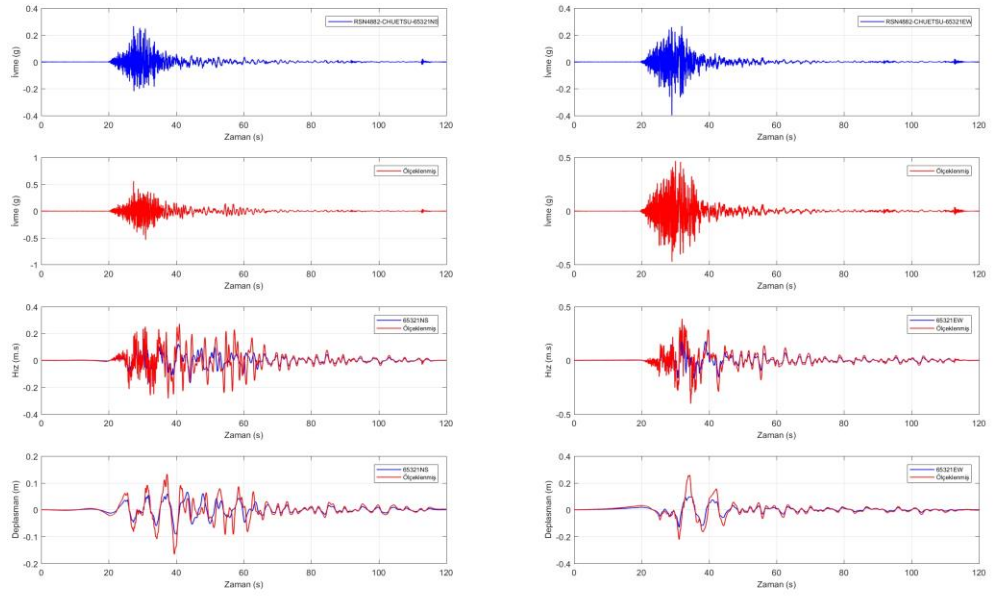
Şekil B.5 : DD-2 RSN 3747 İvme kaydı



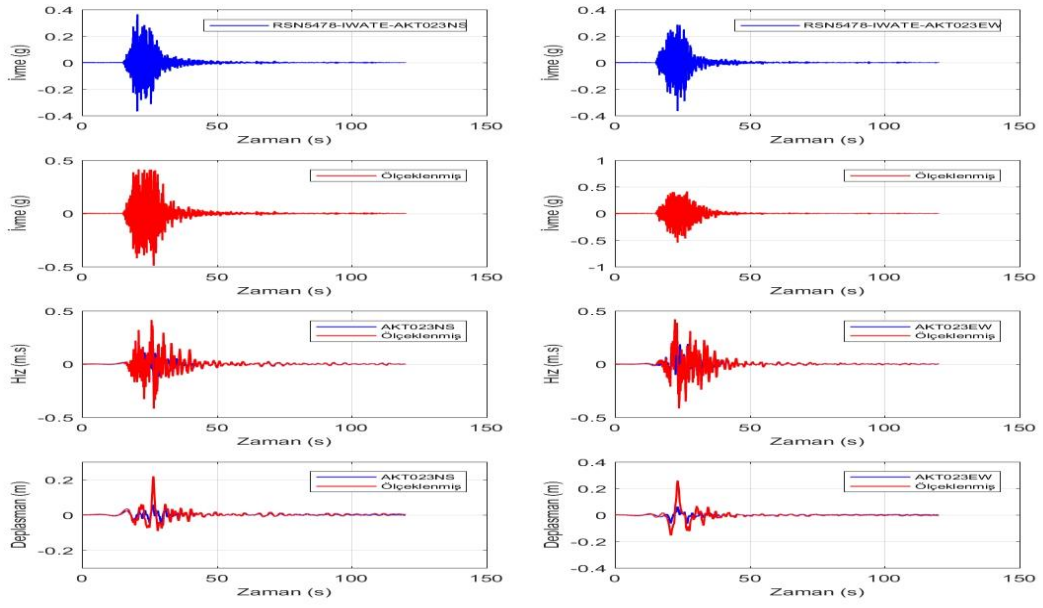
Şekil B.6 : DD-2 RSN 3753 İvme kaydı



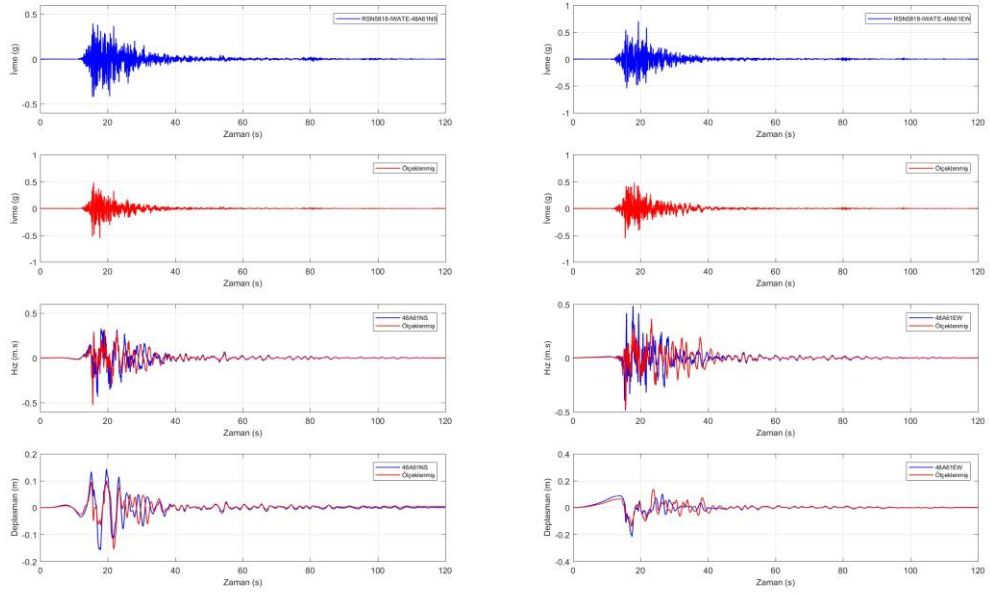
Şekil B.7 : DD-2 RSN 3966 İvme kayıdı



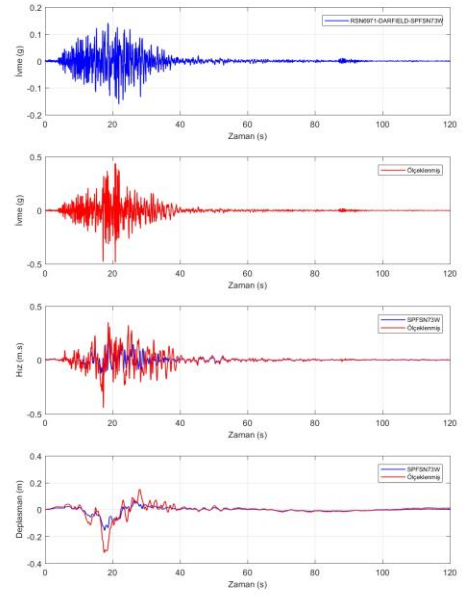
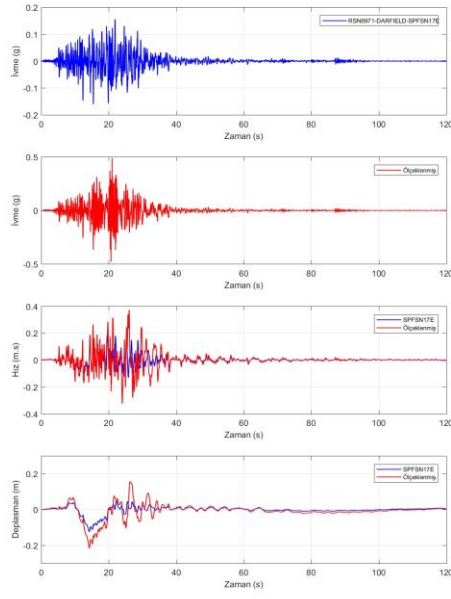
Şekil B.8 : DD-2 RSN 4882 İvme kayıdı



Şekil B.9 : DD-2 RSN 5478 İvme kaydı



Şekil B.10 : DD-2 RSN 5818 İvme kaydı



Şekil B.11 : DD-2 RSN 6971 İvme kayıdı



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Sercan Karabacak

Doğum Tarihi ve Yeri : 24.05.1993 Biga/Çanakkale

E-posta : sercankrbck@gmail.com

MESLEKİ DENEYİM:

- 2016-2019 yılları arasında Hora Yapı'da inşaat mühendisi olarak çalıştı.
- 2019 Kasım ayından itibaren halen Perform Mühendislikte yapısal tasarım mühendisi olarak çalışıyor.