

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON SÜREKSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME BİR BİNANIN
TASARIMI VE DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uygar Çağatay KOÇLUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON SÜREKSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME BİR BİNANIN
TASARIMI VE DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uygar Çağatay KOÇLUK

(501151051)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501151051 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Uygur Çağatay KOÇLUK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "KOLON SÜREKSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME BİR BİNANIN TASARIMI VE DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Kutlu DARILMAZ**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ülgen Mert TUĞSAL

Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2019

Savunma Tarihi : 12 Haziran 2019



Aileme,



ÖNSÖZ

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinde bilgilerini ve tecrübelerini esirgemeyerek bana sabırla yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL'a teşekkürlerimi sunarım.

İş yaşantımda ve tez çalışma süresi boyunca bana her zaman destek olan değerli meslektaşlarım İnş. Yük. Müh. Bahadır ÖZCİHAN'a ve İnş. Müh. Ferit KÜRKCÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyip daima yanımda olan, bu hayattaki en büyük şansım olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Uygar Çağatay KOÇLUK
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
1.2 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	6
2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER.....	11
2.1 Planda Düzensizlik.....	11
2.1.1 Burulma düzensizliği	11
2.1.2 Döşeme süreksizliği	13
2.1.3 Planda çıkıntı bulunması	14
2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik	15
2.2.1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat).....	15
2.2.2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat).....	15
2.2.3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği.....	16
3. B3 DÜZENSİZLİĞİ İÇEREN BETONARME BİR YAPININ TASARIMI. 19	
3.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007'ye Göre Tasarım.....	22
3.1.1 Bina bilgileri	22
3.1.2 Yapı matematik modeli	26
3.1.3 Deprem yükü hesabı.....	30
3.1.3.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	33
3.1.3.2 Mod birleştirme yöntemi.....	35
3.1.3.3 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı kontrolü.....	37
3.1.4 Göreli kat ötelemesi kontrolü.....	38
3.1.5 İkinci merteye etkilerinin sınırlandırılması	41
3.1.6 Yapısal düzensizliklerin kontrolü	42
3.1.6.1 Burulma düzensizliği	42
3.1.6.2 Döşeme süreksizliği	43
3.1.6.3 Planda çıkıntı bulunması	43
3.1.6.4 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat).....	44
3.1.6.5 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)	44
3.1.6.6 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği.....	45
3.1.7 Betonarme hesap sonuçları	45

3.1.7.1 Döşeme.....	47
3.1.7.2 Kiriş.....	48
3.1.7.3 Kolon.....	52
3.1.7.4 Perde.....	54
3.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Tasarım.....	55
3.2.1 Deprem yer hareketi.....	57
3.2.1.5 Deprem etkisi altında binaların tasarımı için genel esaslar.....	59
3.2.2 Deprem yükü hesabı.....	61
3.2.2.1 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı.....	62
3.2.2.2 Etkin kesit rijitliği çarpanı.....	63
3.2.2.3 Deprem etkilerinin tanımlanması.....	64
3.2.2.4 Hesap yöntemleri.....	67
3.2.3 Göreli kat öteleme kontrolü.....	71
3.2.4 İkinci mertebeye etkilerin sınırlandırılması.....	72
3.2.5 Yapısal düzensizliklerin kontrolü.....	73
3.2.6 Betonarme hesap sonuçları.....	75
3.3 Tasarım Sonuçlarının Kıyaslanması.....	76
4. B3 DÜZENSİZLİĞİ İÇEREN BETONARME BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	83
4.1 Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri.....	83
4.2 Deprem Seviyeleri ve Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	84
4.3 Malzemelerin Doğrusal Olmayan Davranışı.....	86
4.3.1 Mander sargılı beton modeli.....	86
4.3.2 Pekleşmeli donatı çeliği modeli.....	88
4.4 Etkin Kesit Eğilme Rijitlikleri.....	89
4.5 Plastik Mafsallar.....	89
4.5.1 Çubuk yığılı plastik mafsal modelleri.....	90
4.5.1.1 Kiriş plastik mafsalları.....	91
4.5.1.2 Kolon plastik mafsalları.....	93
4.5.2 Perde yayılı plastik mafsal modeli.....	97
4.6 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi.....	100
4.6.1 Hedef elastik ivme spektrumları.....	100
4.6.2 Seçilen deprem kayıtları ve davranış spektrumları.....	101
4.6.3 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi.....	106
4.7 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemi.....	109
4.7.1 İvme kayıtlarının fonksiyon olarak tanımlanması.....	111
4.7.2 Sayısal integrasyon.....	111
4.7.3 Rayleigh sönüm matrisi.....	113
4.8 Analiz Sonuçları.....	115
4.8.1 Eleman hasar bölgeleri.....	115
4.8.2 Göreli kat ötelemeleri.....	118
4.8.3 Taban tepki kuvvetleri ve tepe deplasmanlar.....	120
5. SONUÇLAR.....	123
KAYNAKLAR.....	125
EKLER.....	129
ÖZGEÇMİŞ.....	151

KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DBYHBY-2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
PEER	: Pacific Earthquake Engineering Research Center
PSA	: Pseudo Spectral Acceleration
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TH	: Time History
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası
MN	: Minimum Hasar Sınırı
GV	: Güvenlik Sınırı
GÇ	: Göçme Sınırı
UTC	: Coordinated Universal Time



SEMBOLLER

- a** : Kolonda veya perde uç bölgesinde etriye kollarının veya çirozların arasındaki yatay uzaklık
- A(T)** : Spektral ivme katsayısı
- A_c** : Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
- A_{ch}** : Perdenin her bir perde parçasının brüt enkesit alanı
- A_{ck}** : Sargı donatısının dışından dışına kalan çekirdek beton alanı
- a_i** : Kesit çevresindeki düşey donatıların merkezleri arasındaki uzaklık
- A_o** : Etkin yer ivmesi katsayısı
- A_s** : Boyuna donatı alanı
- A_w** : Kolon enkesiti etkin gövde alanı
- B_a** : Taşıyıcı sistem elemanının asal eksenini doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
- B_{ax}** : Taşıyıcı sistem elemanının asal eksenini doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- B_{ay}** : Taşıyıcı sistem elemanının asal eksenini doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
- B_B** : Mod birleştirme yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük
- B_D** : B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer
- B_k** : Kolon veya perde uç bölgesi çekirdek alanının enkesit boyutu
- b_o** : Çekirdek bölgeyi sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
- DD-1** : 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi
- DD-2** : 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi
- DD-3** : 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan deprem yer hareketi düzeyi
- DD-4** : 50 yılda aşılma olasılığı %68 olan deprem yer hareketi düzeyi
- D_i** : Burulma düzensizliği olan binalar için eşdeğer deprem yükü yönteminde ek dışmerkezliğin artırılması için uygulanan büyütme katsayısı
- d_i** : Binanın i'inci katında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan kolon veya perde uçlarındaki yerdeğiştirme
- E_c** : Beton elastisite modülü
- EI_e** : Kesit etkin eğilme rijitliği

- EI_o** : Kesit brüt eğilme rijitliği
- E_s** : Donatı çeliği elastisite modülü
- E_x** : Deprem kuvvetinin X doğrultusundaki bileşeni
- E_y** : Deprem kuvvetinin Y doğrultusundaki bileşeni
- E_z** : Deprem kuvvetinin Z doğrultusundaki bileşeni
- F₁** : 1.0 periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
- f_c** : Sargılı beton basınç gerilmesi
- f_{cc}** : Sargılı beton dayanımı
- f_{cm}** : Mevcut beton dayanımı
- f_{co}** : Sargısız betonun basınç dayanımı
- f_{ctm}** : Mevcut betonun çekme dayanımı
- f_e** : Etkili sargılama basıncı
- f_s** : Donatı çeliğindeki gerilme
- F_s** : Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
- f_{su}** : Donatı çeliğinin kopma dayanımı
- f_{sy}** : Donatı çeliğinin akma dayanımı
- F_x** : X doğrultusu için elde edilen tepki kuvveti
- F_z** : Z doğrultusu için elde edilen tepki kuvveti
- φ_t** : Toplam eğrilik istemi
- φ_y** : Eşdeğer akma eğriliği
- f_{yw}** : Çelik sargının akma dayanımı
- g** : Yerçekimi ivmesi
- G** : Bina zati ağırlığı ve ölü yüklerin toplamı
- h** : Kolonun gözönüne alınan deprem doğrultusundaki enkesit boyutu
- H_{cr}** : Kritik perde yüksekliği
- H_i** : Binanın i'inci katının kat yüksekliği
- H_N** : Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
- H_w** : Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
- I** : Bina önem katsayısı
- k_e** : Sargılama etkinlik katsayısı
- L_p** : Plastik mafsal boyu
- ℓ_w** : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
- M_i** : Binanın i'inci katının kütlesi
- M_n** : n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle

- M_u** : Maksimum kesit momenti
- M_s** : Depremi yüzey dalgası büyüklüğü
- M_w** : Depremi moment büyüklüğü
- M_{xn}** : Gözönüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- M_y** : Kesit akma momenti
- M_{yn}** : Gözönüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- n** : Hareketli yük katılım katsayısı
- N_D** : Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolon veya perdede oluşan aksel kuvvet
- \emptyset** : Donatı çapı
- Q** : Hareketli yük
- R** : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
- $R_a(T)$** : Deprem yükü azaltma katsayısı
- s** : Etriye aralığı
- S(T)** : Spektrum Katsayısı
- S_1** : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
- $S_{ae}(T)$** : Yatay elastik spektral ivme
- $S_{aeD}(T)$** : Düşey elastik spektral ivme
- $S_{aR}(T_r)$** : r'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme
- S_{DS}** : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
- S_{D1}** : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
- S_s** : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
- T** : Bina doğal titreşim periyodu
- T_1** : Binanın birinci doğal titreşim periyodu
- T_A, T_B** : Spektrum karakteristik periyotları
- T_{AD}** : Düşey elastik tasarım ivme spektrum köşe periyodu
- T_{BD}** : Düşey elastik tasarım ivme spektrum köşe periyodu
- T_P** : Binanın hakim doğal titreşim periyodu
- T_{PA}** : Ampirik doğal titreşim periyodu
- V_i** : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
- V_t** : Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan toplam taban kesme kuvveti
- V_{tB}** : Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan toplam taban kesme kuvveti
- W** : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı

- W_i** : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
- Y** : Mod Birleştirme Yöntemi'nde hesaba katılan yeterli doğal titreşim modu sayısı
- α_s** : Perdelerin tabanında elde edilen kesme kuvvetleri toplamının toplam kesme kuvvetine oranı
- β** : Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan değerlerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
- Γ_{x1}** : x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
- Γ_{y1}** : y deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
- Δ_i** : Binanın i'inci katındaki etkin görelî kat ötelemesi
- δ_{imax}** : Binanın i'inci katındaki maksimum etkin görelî kat ötelemesi
- Δ_{iort}** : Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
- ε_c** : Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
- ε_{cg}** : Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
- ε_{cu}** : Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
- ε_s** : Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi
- ε_{su}** : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
- ε_{sy}** : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
- η_{bi}** : i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği Katsayısı
- η_{ci}** : i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
- η_{ki}** : i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
- θ_i** : i'inci katta tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
- θ_p** : Plastik dönme istemi
- ρ** : Kiriş mesnedinde üstteki veya alttaki çekme donatısı oranı
- ρ'** : Kiriş mesnedinde üstteki veya alttaki basınç donatısı oranı
- ρ_b** : Kiriş dengeli donatı oranı
- ρ_s** : Toplam enine donatının hacımsal oranı
- ρ_x, ρ_y** : İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı
- ΣA_e** : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
- ΣA_g** : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
- ΣA_k** : Herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının toplamı
- ΣA_p** : Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
- ΣA_w** : Herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları toplamı

Φ_{xN1} : Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

Φ_{yN1} : Binanın tepesinde (N'inci katında) y deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

$(V_s)_{30}$: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye’de meydana gelen önemli depremler [2].	2
Çizelge 1.2 : Türkiye’de yayımlanan deprem yönetmelikleri.	3
Çizelge 2.1 : DBYBHY 2007 ve TBDY-2018’de verilen düzensizlik tipleri [3,4]. .	11
Çizelge 3.1: Etkin yer ivmesi katsayısı [3].	19
Çizelge 3.2: Spektral ivme katsayıları [28].	20
Çizelge 3.3: DBYBHY-2007 yerel zemin grupları [3].	20
Çizelge 3.4: DBYBHY-2007 yerel zemin sınıfları [3].	21
Çizelge 3.5: TBDY-2018’e göre zemin sınıfları [4].	21
Çizelge 3.6 : Ön boyutlandırma sonucu belirlenen eleman boyutları.	26
Çizelge 3.7: Deprem hesabında kullanılan parametreler.	30
Çizelge 3.8: Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvvetleri	34
Çizelge 3.9 : Modal analiz sonuçları ve kütle katılım oranları.	36
Çizelge 3.10: Görelî kat ötelemesi kontrolü.	39
Çizelge 3.11 : İkinci merteye gösterge değeri.	41
Çizelge 3.12 : Burulma düzensizliği kontrolü.	42
Çizelge 3.13 : Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı hesap tablosu.	44
Çizelge 3.14 : Tasarım yük birleşimleri [3,29].	47
Çizelge 3.15 : 1-6 katları 400 / 600 kirişlerinin donatı detayları.	49
Çizelge 3.16 : 7-9 ve 11-20 katları 400 / 600 kirişlerinin donatı detayları.	50
Çizelge 3.17 : Düzensiz 10. kat kirişlerinin donatı detayları.	51
Çizelge 3.18 : Her iki ucu da perdeye mesnetlenen kirişlerin donatı detayları.	52
Çizelge 3.19 : Kolon donatı detayları.	54
Çizelge 3.20 : 1-10 katları arası perde kolu donatı detayları.	54
Çizelge 3.21: 11-20 katları arası perde kolu donatı detayları.	55
Çizelge 3.22: Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı [4].	60
Çizelge 3.23: Deprem tasarım sınıfları [4].	60
Çizelge 3.24: Bina yükseklik sınıfları [4].	61
Çizelge 3.25: Performans hedefleri ve uygulanacak yaklaşımlar [4].	61
Çizelge 3.26: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı [4].	62
Çizelge 3.27: Etkin kesit rijitliği çarpanları [4].	63
Çizelge 3.28: Analiz programında kullanılan kabuk eleman rijitlikleri.	64
Çizelge 3.29: Analiz programında kullanılan çubuk eleman rijitlikleri.	64
Çizelge 3.30: Yük birleşimleri [4,29].	66
Çizelge 3.31: Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvvetleri	68
Çizelge 3.32: Modal analiz sonuçları ve kütle katılım oranları.	68
Çizelge 3.33: Görelî kat ötelemesi kontrolü.	72
Çizelge 3.34: İkinci merteye gösterge değeri hesap tablosu.	73
Çizelge 3.35: Burulma düzensizliği kontrolü.	74
Çizelge 3.36: Rijitlik düzensizliği kontrolü.	75

Çizelge 3.37: Betonarme hesap sonuçları.....	75
Çizelge 3.38: Yapısal analiz sonuçlarının kıyaslanması.....	76
Çizelge 3.39: B aksı kritik kiriş elemanların iç kuvvet karşılaştırması.	78
Çizelge 3.40: C aksı kritik kiriş elemanların iç kuvvet karşılaştırması.	79
Çizelge 3.41: B aksı kritik kolon elemanların iç kuvvet karşılaştırması.	80
Çizelge 3.42: C aksı kritik kolon kesitlerinin iç kuvvet karşılaştırması.....	81
Çizelge 4.1 : Deprem seviyeleri için hedeflenen deprem performansları [3].	85
Çizelge 4.2 : Donatı çelikleri malzeme özellikleri [3].	88
Çizelge 4.3: Kiriş moment-plastik dönme sayısal modelleme parametreleri [9].	91
Çizelge 4.4: Kolon moment-plastik dönme sayısal modelleme parametreleri [9]. ...	91
Çizelge 4.5 : Tip1 perdesi fiber mafsal verisi.	98
Çizelge 4.6 : Doğrusal elastik olmayan analiz için seçilen deprem kayıtları.	102
Çizelge 4.7 : Analizlerde kullanılan deprem kayıtları ve ölçek katsayıları.	107
Çizelge 4.8 : TH kat ötelemeleri.	119
Çizelge 4.9 : TH taban tepki kuvvetleri – tepe deplasman.	121
Çizelge A.1: Kirişlerin moment-eğrilik analiz sonuçları.....	131
Çizelge A.2: Kirişlerin hasar sınır dönmeleri.	133
Çizelge A.3: Kolonların moment-eğrilik analiz sonuçları.....	137
Çizelge A.4: Kolonların hasar sınır dönmeleri.	138
Çizelge A.5: Kolonların karşılıklı etki diyagram verileri.	139
Çizelge B.1: Tip1 perdesi fiber mafsal verisi	141
Çizelge B.2: Tip2 perdesi fiber mafsal verisi.	141
Çizelge B.3: Tip3 perdesi fiber mafsal verisi.	142

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : AFAD deprem kataloğu görüntüsü [2].....	1
Şekil 2.1 : A1 burulma düzensizliği plan görünüşü [3,4].	12
Şekil 2.2 : Döşeme süreksizliği Tip-1 [3,4].	13
Şekil 2.3 : Döşeme süreksizliği Tip-2 [3,4].	13
Şekil 2.4 : Döşeme süreksizliği Tip-3 [3,4].	14
Şekil 2.5 : Plandaki çıkıntılar [3,4].	14
Şekil 2.6 : Düşey doğrultuda düzensizlik boy kesit görünüşleri [3,4].	16
Şekil 3.1: Tasarlanan binanın TDTH üzerindeki yeri [28].	19
Şekil 3.2 : 1. kat kalıp planı- Tip1.	22
Şekil 3.3 : 10. kat kalıp planı – Tip2.	23
Şekil 3.4 : 11. kat kalıp planı – Tip3.	24
Şekil 3.5 : Düzensizliğin olduğu geçiş katı.	25
Şekil 3.6 : Matematik model 3B görünüm.	27
Şekil 3.7 : Matematik model 1-9 katları plan görünümü.	28
Şekil 3.8 : Matematik model 10. kat plan görünümü.	28
Şekil 3.9 : Matematik Model 11-20 katları plan görünümü.	29
Şekil 3.10 : Matematik model B aksı boy kesit görünümü.	29
Şekil 3.11 : Matematik model C aksı boy kesit görünümü.	30
Şekil 3.12 : Spektrum katsayısı-periyot grafiği.[3]	31
Şekil 3.13 : Spektral ivme katsayısı-periyot grafiği.[3].....	31
Şekil 3.14 : DBHBY-2007 deprem yükü azaltma katsayısı-periyot grafiği [3].	32
Şekil 3.15 : DBHBY-2007 azaltılmış spektral ivme-periyot grafiği [3].	33
Şekil 3.16 : Eşdeğer deprem yükü hesabı [3].	34
Şekil 3.17 : Deprem yükü etkisi altında oluşan kat ötelemeleri.	38
Şekil 3.18 : Deprem yüklemesi altında yapıda oluşan yer değiştirme.....	40
Şekil 3.19 : Plandaki çıkıntı uzunlukları.....	43
Şekil 3.20 : Düşey düzensizliğe neden olan kolon süreksizliği.	45
Şekil 3.21 : X ve Y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi [3].	46
Şekil 3.22 : Tipik döşeme açıklık kesiti.....	48
Şekil 3.23 : Tipik döşeme mesnet kesiti	48
Şekil 3.24: B aksı kolon tipleri.	53
Şekil 3.25: C aksı kolon tipleri.	53
Şekil 3.26: 1. kat kalıp planı - Tip1.	56
Şekil 3.27: 1. kat kalıp planı – Tip2.....	56
Şekil 3.28: 1. kat kalıp planı – Tip3.....	57
Şekil 3.29: Yatay elastik tasarım spektral ivme eğrisi [4].	58
Şekil 3.30: Düşey elastik tasarım spektral ivme eğrisi [4].	59
Şekil 3.31: Yatay elastik tasarım spektral ivme katsayısı [4].	64
Şekil 3.32: Azaltılmış yatay elastik tasarım spektral ivme katsayısı [4].	65

Şekil 3.33: Düşey elastik tasarım spektral ivme katsayısı [4].	66
Şekil 3.34: Eşdeğer deprem yükü hesabı.	67
Şekil 3.35: Perde tasarım momentleri.	77
Şekil 3.36: Perde tasarım kesme kuvvetleri.	77
Şekil 3.37: B ve C aksı kritik taşıyıcı elemanlar.	78
Şekil 4.1 : Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.	84
Şekil 4.2 : Farklı deprem seviyelerinin spektrum eğrileri [3].	85
Şekil 4.3 : Mander beton modeli gerilme - şekil değiştirme eğrisi [3].	87
Şekil 4.4 : Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme grafiği [3].	88
Şekil 4.5 : FEMA-356 ve idealleştirilmiş ETABS modeli [9].	90
Şekil 4.6 : K-Tip1 kesit modeli ve 0° moment-eğrilik grafiği.	92
Şekil 4.7 : Tip1 kirişi plastik mafsal verileri girişi.	93
Şekil 4.8 : Tip1 kolonu kesit modeli ve 0° moment-eğrilik grafiği.	94
Şekil 4.9 : Tip1 kolonu karşılıklı etkileşim yüzeyi 0° eğrisi.	94
Şekil 4.10 : Tip-1 kolonu plastik mafsal atama giriş ekranı.	95
Şekil 4.11 : Tip-1 kolonu plastik mafsal veri girişi – 1.	95
Şekil 4.12 : Tip-1 kolonu plastik mafsal veri girişi – 2	96
Şekil 4.13 : P-M2-M3 plastik mafsal veri girişi – 3.	97
Şekil 4.14 : Tip1 perdesinin idealleştirilmiş fiber modeli.	98
Şekil 4.15 : Sargısız ve sargılı beton malzemesinin tanımlanması.	99
Şekil 4.16 : Perde fiber plastik mafsalı veri girişi.	99
Şekil 4.17 : Yatay hedef elastik ivme spektrumu [3].	100
Şekil 4.18 : Düşey hedef elastik ivme spektrumu [4].	101
Şekil 4.19 : TH-7 yatay bileşene ait ivme – zaman kaydı.	103
Şekil 4.20 : TH-7 düşey bileşene ait ivme – zaman kaydı.	103
Şekil 4.21 : TH-7 yatay bileşeni davranış ivme spektrumu.	104
Şekil 4.22 : TH-7 düşey bileşeni davranış ivme spektrumu.	104
Şekil 4.23 : Deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin davranış spektrumları.	105
Şekil 4.24 : Deprem kayıtlarının düşey bileşenlerinin davranış spektrumları.	105
Şekil 4.25 : Yatay bileşen ortalama davranış spektrum eğrisi.	108
Şekil 4.26 : Düşey bileşen ortalama davranış spektrum eğrisi.	108
Şekil 4.27 : Birinci aşama düşey yüklemenin tanımlanması.	109
Şekil 4.28 : İkinci aşama deprem yüklemesinin tanımlanması.	110
Şekil 4.29 : TH-1 Yatay bileşenin programa tanıtılması	111
Şekil 4.30 : Newmark integrasyon yönteminin tanımlanması.	112
Şekil 4.31 : Kütle ve rijitlik orantılı sönüm matrisi.	113
Şekil 4.32 : Rayleigh sönüm matrisi sınır periyotlar.	114
Şekil 4.33 : Sönüm matrisinin tanımlanması.	114
Şekil 4.34: TH-6 analizi sonucu binada oluşan kalıcı deformasyon.	115
Şekil 4.35: İki ucu perdeye mesnetli bir kirişin plastik mafsal sonucu.	116
Şekil 4.36: Belirgin hasar bölgesine erişen kirişler.	117
Şekil 4.37: İleri hasar bölgesine erişen kirişler.	117
Şekil 4.38: Göçme bölgesine erişen kolonlar.	118
Şekil 4.39 : TH kat ötelemeleri.	120
Şekil C.1: TH-1 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.	143
Şekil C.2: TH-1 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.	143
Şekil C.3: TH-2 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.	144
Şekil C.4: TH-2 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.	144
Şekil C.5: TH-3 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.	145
Şekil C.6: TH-3 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.	145

Şekil C.7: TH-4 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.....	146
Şekil C.8: TH-4 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.....	146
Şekil C.9: TH-5 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.....	147
Şekil C.10: TH-5 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.....	147
Şekil C.11: TH-6 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.....	148
Şekil C.12: TH-6 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.....	148
Şekil C.13: TH-7 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.....	149
Şekil C.14: TH-7 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.....	149





KOLON SÜREKSİZLİĞİ BULUNAN BETONARME BİR YAPININ TASARIMI VE DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Deprem büyük maddi ve manevi hasarlara neden olan doğal afetlerden biridir. Ülkemiz aktif fayların olduğu bir coğrafyada olduğundan depremin olumsuz etkilerine sürekli maruz kalmaktadır. Bu etkileri en aza indirmek amacıyla bina tipi yapılarda kullanılmak üzere deprem yönetmelikleri 1940 yılından itibaren yayımlanmaktadır. Gelişen bilim ve teknolojinin etkisiyle deprem yönetmelikleri belirli aralıklarla güncellenmektedir. Meydana gelen depremin büyüklüğüne bağlı olarak binalarda kalıcı şekil değiştirmelerin sınırlandırılabilmesi için deprem yönetmeliklerine uyulması esastır. Deprem yönetmelikleri binaların planda ve düşey doğrultuda düzensiz olarak tasarlanmasını sınırlandırmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında düşeyde düzensiz olan 20 katlı betonarme bir yapının tasarımı yapıp deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Düşey düzensizliğin nedeni binanın 10. katında katıda oluşturulan kolon süreksizliğidir. Bu kattan itibaren bina yarım aks içeri çekilerek kolonlar giriş ortalarına oturtulmuştur.

Tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde, ülkemizin depremselliğinin anlaşılabilmesi için geçmişte yaşanmış, büyük can ve mal kaybına neden olmuş depremlerden bahsedilmiştir. İsteyerek ya da istemeyerek düzensiz olarak tasarlanan yapıların deprem etkisi altında malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranışları incelendiğinde beklenmeyen hasarların oluşabileceği hatta göçebileceği vurgulanmıştır. Bu sebeplerden ötürü deprem yönetmelerine bağlı kalınarak tasarım yapılmasının önemi izah edilmiştir.

İkinci bölümde, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018’de verilen düzensizlik tipleri sunulmuştur. Deprem yönetmeliğinden kaldırılan deprem bölgeleri kavramı sonucu deprem bölgesi derecesine bağlı olarak kontrol edilen bazı yapısal düzensizlikler tüm deprem seviyeleri için genelleştirilmiştir. Ayrıca depremin düşey doğrultusundaki bileşenin etkisinin hesaplara dahil edilmesiyle kolon süreksizliği olan binalarda uygulanan %50 tasarım iç kuvvet artımı kaldırılmıştır. Bunun yerine düşey deprem etkisinin kolon süreksizliği içeren yapılarda düşey tasarım spektral ivme katsayısı ile hesaplanması şart koşulmuştur.

Üçüncü bölümde, kolon süreksizliği içeren 20 katlı betonarme bir örnek binanın Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018’e uygun olarak yapılmış doğrusal elastik tasarım sonuçları verilmiştir. Etkin kesit rijitlikleri, depremin düşey doğrultudaki etkisi ve dayanım fazlalığı katsayısı gibi yönetmeliğe yeni eklenen kavramlarla birlikte taşıyıcı sistem davranış katsayılarındaki değişim sonucunda birbirinden farklı iki tasarım elde

edilmiştir. Yapısal düzensizlikler, kat yer değiştirmeleri, modal analiz ve kritik elemanların tasarım iç kuvvetleri gibi sonuçlar kıyaslanmıştır.

Dördüncü bölümde, tasarlanan örnek düzensiz betonarme binanın Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik–2007’ye göre doğrusal elastik olmayan analizi yapılmıştır. Doğrusal elastik olmayan analizler ikinci merteye etkiler dikkate alınarak zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi ile yapılmıştır. Analizlerde yatay ve düşey bileşeni içeren yedi deprem kaydı takımı kullanılmıştır. Yönetmelik şartlarına uyulacak şekilde seçilen ve ölçeklenen deprem kayıtları sayısal integrasyon yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. İntegrasyonda %5 sönüm oranı için oluşturulan kütle ve rijitlik orantılı sönüm matrisi kullanılmıştır. Kolon ve kiriş gibi çerçeve taşıyıcı elemanlarda çubuk yığılı plastik mafsal, perde taşıyıcı elemanlarda ise yığılı fiber plastik mafsal kullanılarak doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin kontrolü yapılmıştır. Her bir analizden elde edilen plastik mafsal sonuçlarının ortalamaları dikkate alınarak taşıyıcı elemanların hasar bölgeleri belirlenmiştir. Belirlenen hasar bölgeleri sonucunda da binanın performans düzeyine karar verilmiştir.

Beşinci bölümde, tasarım ve performans değerlendirmesi için yapılan çalışmaların sonuçları verilmiştir. Her iki deprem yönetmeliğine uygun olarak ayrı ayrı tasarlanan iki yapının yapısal davranışları karşılaştırılmıştır. Kaldırılan %50 iç kuvvet artımı ve eklenen etkin kesit rijitliği çarpanları nedeniyle elde edilen farklı sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik – 2007’e uygun olarak yapılan performans analizinde kirişlere mesnetli kolonların alt düğüm noktalarında yeterli dayanım ve rijitliğin sağlanamadığı görülmüş, kolon alt ucunun moment aktarımının engellenerek sadece kesme ve eksenel yük aktaracak şekilde tasarlanması önerilmiştir. Ayrıca depremin düşey doğrultudaki bileşenin büyüklüğü için analizlerden elde edilen düşey taban tepkileri incelenmiştir. Deprem etkisi tersinir olduğundan tabanda oluşan en büyük ve en küçük düşey tepki kuvvetleri kullanılarak depremin düşeydeki etkisinin mertebesi bu örnek bina için belirlenmiştir.

DESIGN AND SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF A REINFORCED CONCRETE BUILDING WITH COLUMN DISCONTINUITY

SUMMARY

Earthquake is one of the natural disasters which can result in huge material and moral loss. Our country is geographically located on concentrated active fault lines and is exposed to undesirable effects of this natural and sometimes catastrophic occurrence. Among these active lines, North Anatolian, East Anatolian and West Anatolian fault lines are far more important than others. The North and West Anatolian fault lines are rather prominent as they have previously caused loss of lots of lives and properties in the densely populated areas. The main examples of these earthquakes are Kocaeli and Düzce. Two of these earthquakes occurred in Kocaeli and Duzce, in 1999.

In order to minimize the disasterous effects of earthquakes, many seismic codes have been issued starting from 1940. These have been published under the name of disaster or seismic code. With development of science and technology, seismic codes have been updated in regular periods. Depending on earthquake's magnitude, it is compulsory to comply with seismic codes to limit permanent deformations on building structures. For this purpose, codes limit irregularities in story plan and vertical direction as these irregularities significantly affect the nonlinear behavior of the structure.

In this context of thesis work, the design and seismic performance evaluation of 20-storey reinforced concrete building with column discontinuity has been performed. The reason of column discontinuity arising is shifting amount of half axes of storey plan and placing the columns to beams in edge span. The 20-storey reinforced concrete building with vertical irregularity is designed in accordance with 2007 and 2018 Turkish Seismic Codes. Performance evaluation is made in accordance with TSC-2007.

This thesis consists of five chapters. In first chapter, some earthquake disasters that occurred in past which caused huge amount of loss, both life and property, are mentioned to make earthquake factor in our country understandable and clear. It is emphasized that unexpected damages, even collapsing can occur in irregularly designed buildings and this argument becomes obvious when nonlinear behaviour - under the earthquake effect- in terms of material and geometry is examined. Necessity of design based on the seismic code is underlined. Turkey Seismic Hazard Map and Earthquake are mentioned in this section. In the light of these maps, it is emphasized that our country will be exposed to earthquake effects in the upcoming years. In the last part of this section, the subject and purpose of the thesis are mentioned. In addition, the important results obtained from the previously published master's theses are listed.

In second chapter, irregularity types as described in TSC-2007 and TSC-2018 are presented. Instead of seismic zone terms in TSC-2007, some structural irregularities that have controlled depending on seismic zone rating, are generalised for whole levels of earthquake in TSC-2018. Also associated with placing vertical component of earthquake force on account, 50% increasing of designing internal force issue was dismantled on such type of building that includes column discontinuity. Instead of this, it has become compulsory to estimate vertical effects of earthquake with the terms of vertical designing spectral acceleration factor. There are no significant changes in the new Turkish seismic code for other structural irregularities

In the third part, the design of a building planned to be built within the borders of Dumlupınar in Kadıköy District of Istanbul Province has been designed in accordance with TSC-2007 and TSC-2018. The coordinates of this region are latitude 40.988036 and longitude 29.059820. Since the floor plans are designed symmetrically in both directions and diagonal, only one direction and analysis results are given in the design and performance evaluation. The same results are obtained in the other direction due to symmetry. Since the building is designed to be used as an office, the building importance coefficient is considered as 1 for both designs.

In accordance with TSC-2018, since the total building height is 71 m, it falls into the high building design class. However, this situation was ignored and the design according to strength principle is applied with the assumption that the building height class is 2. Accordingly, the targeted performance level in this structure is controlled damage. This level of performance corresponds to the level of controlled damage that is not very heavy and often repairable in building elements to ensure safety.

Linear elastic design results are given for a 20-storey reinforced concrete building according to TSC-2007 and TSC-2018. Two different designs are obtained by the change in the structural system behaviour factor with new notions added to the code: effective cross-section stiffness factor, effect of component in vertical direction of earthquake and overstrength factor. Reinforced concrete design results are summarized as element dimensions and longitudinal and transversal reinforcement. Differences in element dimensions and interference with the stiffness matrix led to very different results. After that, structural irregularities, interstory drift, modal analysis results and design internal forces of critical components are compared. The results for each floor are given for torsional and stiffness irregularities which are determinant in the selection of seismic load calculation method.

Shear force and bending moment in beam elements, axial force, shear force and bending moment in column elements are determined as parameters to be compared. Since biaxial bending of columns may occur, the shear force and bending moment in both directions are examined. In addition, 50% design internal force increment is made in the related cross sections and design results for both codes are compared in tables.

In the fourth chapter, nonlinear analysis of the aforementioned building is performed according to TSC-2007. Initially, concepts such as damage limits and performance levels are defined in accordance with the code. Formulations for nonlinear behavior models to be considered in confined or unconfined concrete and hardening reinforcing steel materials are given.

Nonlinear analysis is performed with nonlinear time history analysis method considering second order effects. Non linear time history analyses are also performed with ETABS software. For the control of nonlinear behavior, the frame plastic hinge

data is prepared by using SAP2000. In analysis, seven earthquake recordings including horizontal and vertical components are used. The records are selected and scaled in accordance with seismic code conditions, are formed using numerical integration methods. Spectrum curve given in TBDY-2018 is used for the scaling of the vertical component of the earthquake.

All earthquake records used in nonlinear analyses are downloaded from the PEER database. In accordance with the seismicity of our country, strike-slip and shallow earthquakes are investigated. In order to take tight gravel-sand soil type into account, the fact that the shear wave velocity has been observed in the range of 180-760 m/s.

Seismosignal program is used to obtain the response spectra of earthquake records. Newmark constant average acceleration method is used to solve the acceleration recordings for single degree of freedom system. As a result, pseudo spectral acceleration values are obtained for each earthquake records. In integration method, damping matrix in proportion with mass and rigidity are created for 5% damping ratio, is used. For the proportional damping matrix, the range $0.2T-2T$ is defined to take the softening of the structure and the effect of other small period modes into account. T is the dominant natural vibration period of the structure considered in the design phase.

In frame members such as columns, beams are controlled for nonlinear deformation by using frame lumped plastic hinges. Nonlinear deformations of shear wall which is modelled as shell elements are controlled by using fiber wall hinges. The damage zones of the elements are determined by considering the averages of the plastic deformations obtained from each analysis. As a result of the determined damage zones of the sections, the performance level of the building was decided.

In the last chapter of thesis, the results of design and performance evaluation are presented. Structural behaviours of the two structures which were designed in accordance with both seismic codes are compared. The results caused by dismantled 50 % internal forces increment and added effective cross section rigidity issues are compared. As a conclusion, for performance evaluation in compliance with TSC-2007, at the bottom joint of column it is realized that adequate strength and rigidity couldn't be supplied therefore it is submitted that in design, column transferring movement must be avoided and only shear and axial force transfer should be allowed.

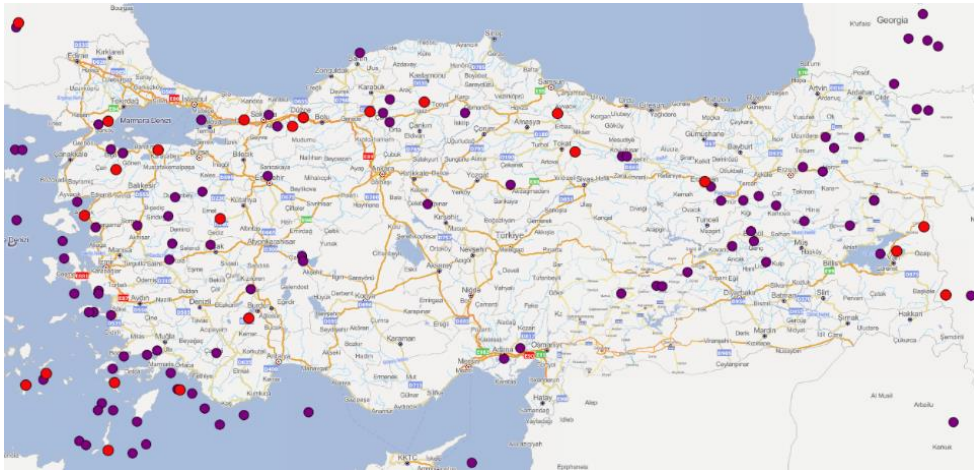
The relationship between the mean peak displacement and mean base shear forces obtained by linear and nonlinear analyses are determined by the behavior factor and overstrength factor, respectively. In addition, vertical base reactions are examined for figuring out the magnitude of the vertical component of earthquake. Due to the fact that, seismic action is reversible, level of earthquake in vertical direction is identified considering maximum and minimum vertical reaction forces which are formed at base of structure.



1. GİRİŞ

Ülkemizde görülen en önemli doğal afet türü depremdir. Deprem, yer kabuğunda meydana gelen kırılma sonucu açığa çıkan enerjinin dalga hareketleriyle yayılıp, yeryüzünü sarsmasıyla oluşur. Yıllar boyunca birbirini ardına oluşan depremler sonucu milyonlarca insanın hayatını kaybettiği ve barınaklarının yok olduğu bilinmektedir. Ülkemiz de aktif bir deprem kuşağında olup Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Batı Anadolu fay hatlarında meydana gelen kırılmalar nedeniyle yıllar boyu birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Depremden etkilenen insan sayısı sıralamasında ülkemiz dünyada sekizinci, insan kaybı sıralamasında ise üçüncüdür. Ortalama her yıl büyüklüğü 5 ile 6 arasında değişmekte olan en az bir deprem ülkemizde meydana gelmektedir [1]. Afet, AFAD tarafından doğa, teknoloji veya insan kaynaklı toplumun belli bir kısmını veya tamamını maddi ve manevi kayıplara uğratan olayların sonucu olarak tanımlanmaktadır. Buna bağlı olarak depremin kendisinin aslında bir afet olmadığı, ancak belirtilen sonuçlar oluştuğunda afet olarak değerlendirilmesi gerektiği çıkarılmalıdır.

AFAD'ın hazırladığı deprem kataloğu son 120 yıl içerisinde meydana gelen büyüklüğü en az 6.00 olan depremler coğrafyamız için filtrenilip Şekil 1.1'de verilmiştir [2].



Şekil 1.1 : AFAD deprem kataloğu görüntüsü [2].

Burada filtrelenmiş olan depremlerden bazıları Çizelge 1.1’de ters kronolojik olarak sıralanmıştır.

Çizelge 1.1 : Türkiye’de meydana gelen önemli depremler [2].

Tarih (UTC)	Yer	Tip	Büyükük
23.10.2011 10:41	Van-Merkez	M _w	7.1
03.02.2002 07:11	Sultandağı-Afyon	M _w	6.5
12.11.1999 16:57	Düzce-Bolu	M _w	7.1
17.08.1999 00:01	Gölcük-Kocaeli	M _w	7.6
13.03.1992 17:18	Erzincan	M _w	6.6
30.10.1983 04:12	Şenkaya/Erzurum-Sarıkamış/Kars	M _w	6.6
24.11.1976 12:22	Çaldıran-Van	M _w	7
06.09.1975 09:20	Lice-Diyarbakır	M _S	6.6
22.05.1971 16:43	Bingöl	M _S	6.8
28.03.1970 21:02	Kütahya	M _S	7.2
28.03.1969 01:48	Kula-Manisa	M _S	6.5
22.07.1967 16:56	Akyazı-Sakarya	M _S	6.8
19.08.1966 12:22	Varto-Muş	M _S	6.9
06.10.1964 14:31	Karacabey-Bursa	M _S	7
26.05.1957 06:33	Düzce-Bolu	M _S	7.1
16.07.1955 07:07	Aydın	M _S	6.8
18.03.1953 19:06	Çanakkale	M _S	7.2
13.08.1951 18:33	Çankırı	M _S	6.9
17.08.1949 18:44	Erzincan	M _S	6.7
01.02.1944 03:22	Gerede-Bolu	M _S	7.3
26.11.1943 22:20	Ilgaz-Çankırı	M _S	7.2
20.06.1943 15:32	Sakarya	M _S	6.6
20.12.1942 14:03	Erbaa-Tokat	M _S	7
26.12.1939 23:57	Erzincan	M _S	7.9
22.09.1939 00:36	Dikili-İzmir	M _S	6.6
19.04.1938 10:59	Kaman-Kırşehir	M _S	6.6
26.06.1926 19:46	Datça Açıkları-Ege Dizi	M _S	7.7
13.09.1924 14:34	Köprüköy-Erzurum	M _S	6.8
18.11.1919 21:54	Ayvalık-Balıkesir	M _S	7
24.01.1916 06:55	Tokat	M _S	7.1
03.10.1914 22:06	Burdur	M _S	7
09.08.1912 01:29	Şarköy-Tekirdağ	M _S	7.4
04.12.1905 07:04	Pütürge-Malatya	M _S	6.8

Geçmişte meydana gelen depremlerin sürekli benzer bölgelerde olması ve yer kabuğu hareketinin devam edeceği düşünüldüğünde benzer depremlerin tekrar tekrar yaşanacağı ortadadır. Bu sebeple de yapıların tasarımında başta kendi tasarım yönetmelikleri ile birlikte geçerli deprem yönetmeliği kullanılarak depreme dayanıklı yapısal tasarım sağlanmaya çalışılmaktadır. Gelişen bilim ve teknoloji ile bazı hesap yöntemleri ve kabullerde değişiklikler yapılarak deprem yönetmelikleri belirli periyotlarla güncellenmektedir. Çizelge 1.2’de geçmiş yıllarda hazırlanıp ülkemizde yürürlüğe giren deprem yönetmelikleri kronolojik olarak verilmiştir.

Çizelge 1.2 : Türkiye’de yayımlanan deprem yönetmelikleri.

Yıl	Yönetmelik
1940	Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi
1944	Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi
1949	Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği
1953	Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
1962	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
1968	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
1975	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
1998	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
2007	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (Yürürlük Tarihi: 01.01.2019)

Bina tipi yapıların kullanım süreleri ile şiddeti yüksek depremlerin meydana gelme periyotları göz önünde bulundurulduğunda, bu büyük deprem etkisiyle oluşacak iç kuvvetlerin tüm yapı tarafından doğrusal elastik olarak karşılanması ekonomik bir çözüm olmayıp aşırı derecede güvenli kalınan bir çözüm olmaktadır. Ayrıca böyle bir tasarım yapılsa dahi kullanılması gereken taşıyıcı boyutları nedeniyle istenen mimari ihtiyaç sağlanamayacaktır. Bu sebeplerle büyük deprem yükleri altında yapının bazı elemanlarında kalıcı deformasyon oluşmasına izin verilip enerjinin güvenle yutulması hedeflenir. Bu kalıcı deformasyonlar meydana gelirken oluşacak kalıcı hasar sınırlandırılmalı ve binanın kullanım amacına uygun olarak beklenen performans düzeyi sağlanmalıdır. Örneğin kullanım amacı konut-ofis olan yapılar için sağlanması

gereken performans hedefi düşük şiddetli depremlerde onarılabılır önemsiz hafif hasar, orta şiddetli depremlerde yapının işlevini yitirmeyeceği kadar onarılabilecek hasar, şiddetli depremlerde ise can kaybına neden olmayacak hasarlardır.

Deprem yükleri altında sınırlandırılmış kalıcı deformasyon oluşacağı kabul edilen yapılarda, tasarım deprem yükü taşıyıcı sistem özelliklerine bağlı olarak yönetmeliklerce belirlenen bir davranış katsayısı ile azaltılarak hesaba katılır. Malzeme, kesit, eleman ve tüm sistemin tasarımına bağlı olan sünek davranış, bu deprem yükü azaltma katsayısı ile göz önüne alınmaktadır. Yapının taşıyıcı elemanları da bu deprem kuvvetini içeren yük birleşimlerine göre doğrusal elastik yaklaşımla boyutlandırılır.

Mimari isteklerden dolayı veya tasarım ya da imalat hatalarından dolayı taşıyıcı sistem iyi düzenlenememiş olabilir. Taşıyıcı sistemi iyi düzenlenmeyen yapılarda yapısal düzensizlikler meydana gelip, beklenmedik eleman hasarlarına hatta sistem göçmelerine neden olabilir. Deprem yönetmeliklerinde düzensizlik durumlarından bazıları yasaklanmış olup bazılarında ise çeşitli sınırlamalar getirilmiştir. Düzensizlik kontrolleri oldukça basit hesaba dayalı sınır kontrolleri ve gerekli durumlarda ilave yük artımı ile genelleştirilmiş olup doğrusal elastik hesap dahilindedir. Yapısal düzensizliğe sahip yapıların performans değerlendirmeleri incelendiğinde tasarımların yetersiz olduğu veya oldukça güvenli kalınarak ekonomiden uzaklaşıldığı da yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Yapısal düzensizliklerin bulunduğu binaların tasarımında, kesitlerde meydana gelen plastikleşmelerin etkisiyle oluşacak rijitlik kaybı ve ikinci merteye etkiler daha fazla önemli olduğundan doğrusal elastik yöntemlere ek olarak doğrusal elastik olmayan yöntemlerden de yararlanılmalıdır.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada düşey doğrultuda yapısal düzensizlik tiplerinden B3 tipi düşey düzensizlik içeren betonarme bir örnek binanın tasarımı ve deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan davranışı incelenmiştir. Yapının tasarımı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 (DBHBHY-2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY-2018) uyarınca taşıma gücü esaslarına uygun olarak yapılarak iki farklı tasarım sonucu elde edilmiştir. B3 tipi düşey düzensizlik

kiriş ortasına mesnetlenen kolonların süreksizliğinden dolayı oluşmaktadır. DBYBHY-2007'ye göre kolon süreksizliğine neden olan kolonun mesnetlendiği kirişte ve bu kirişin hesap yapılan deprem doğrultusunda düğüm noktalarıyla birleştiği diğer elemanlarda düşey yüklerle birlikte deprem yüklerini içeren yük birleşimlerinden elde edilen iç kuvvetlere %50 artım uygulanmıştır [3]. İlgili elemanların betonarme hesapları bu arttırılmış iç kuvvetlere göre yapılmıştır. İkinci bir tasarım da TBDY-2018'e uygun olarak etkin kesit rijitliği çarpanları ve depremin düşey doğrultusundaki etkisi dikkate alınarak yapılmıştır [4]. Buna göre tüm yapı düşey depremin etkisi dahil edilerek taşıyıcı elemanlar boyutlandırılmıştır. Her iki yönetmeliğe göre belirlenen taşıyıcı eleman boyutları, yapısal sistem davranışı ve kritik elemanların iç kuvvetleri gibi sonuçlar kıyaslanmıştır. Yapısal analiz ve betonarme hesaplar için ETABS v16.2.1 programından yararlanılmıştır [5].

Tüm elemanlar boyutlandırıldıktan sonra DBYBHY-2007'ye göre zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan yöntemle performans değerlendirmesi yapılmıştır. Binanın performans değerlendirmesi yapının kullanım amacına uygun olarak 50 yılda %10 aşılma olasılığı olan deprem seviyesine göre yapılmıştır. Depremin düşey doğrultusundaki bileşenin etkisi de dikkate alınarak iki boyutlu doğrusal elastik olmayan analizlerle tasarımın yeterliliği incelenmiştir. Yapılan analizlerde 7 farklı deprem kaydı takımı kullanılmış, bu takımların sonuçlarının ortalaması dikkate alınarak kesitlerin hasar seviyeleri ve buna bağlı olarak binanın performans düzeyi belirlenmiştir [3]. Doğrusal olmayan analizler de ETABS v16.2.1 programı ile yapılmıştır. Deprem kayıtları ülkemizde meydana gelen depremlerin karakteristik özelliklerine ve bu kayıtların davranış spektrumlarının da yönetmelikçe verilen elastik ivme spektrumuna uygunluğu sağlanacak şekilde PEER'dan elde edilmiştir [6]. Deprem kayıtlarının davranış spektrumları Seismosignal programı kullanılarak %5 sönüm oranı için oluşturulup, basit ölçekleme işlemi yapılmıştır [7]. Kesitlerin doğrusal elastik olmayan davranışlarının irdelenebilmesi için karşılıklı etki diyagramları ve moment-eğrilik analizleri SAP2000 V20 programında yapılmıştır [8]. Betonarme çubuk kesitlerinin doğrusal elastik olmayan davranış özelliğinin programa tanıtılabilmesi ve elde edilen hasar sonuçlarının değerlendirilebilmesi için FEMA-356'ya uygun olacak şekilde eğrilik- plastik dönme dönüşümleri yapılmıştır [9]. Elde edilen kesit hasarları sonucunda elemanların hasar bölgeleri belirlenip, binanın

performans seviyesine karar verilmiştir. Gerekli tasarım önerileri sonuçlar bölümünde sunulmuştur.

1.2 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Khurram (2018), betonarme yapılarda kiriş ve döşeme süreksizliğinin yapının davranışına etkisini araştırmıştır. Herhangi bir süreksizlik içermeyen referans bir model ile birlikte süreksizlik içeren 9 farklı modelde performans analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; kiriş ve döşeme süreksizliğinin büyük yer değiştirmelere, burulma düzensizliğine ve periyot artışına neden olduğu, taşıyıcı elemanlar arasında iç kuvvet dağılımına olumsuz etki oluşturduğu vurgulanmıştır. Bu düzensizlikleri içeren yapıların hedeflenen deprem performansını sağlayamayacağı sonucuna varılmıştır [10].

Bashirli (2017), plandaki düzensizliklerin betonarme yapıların davranışına olan etkisini araştırmıştır. 4 farklı plan üzerinden farklı kat adedine sahip 12 farklı yapı modeli incelenmiştir. 5 kattan fazla yükseliği olan yapılarda referans modele göre daha büyük eleman boyutlarının gerektiği, kiriş süreksizliğinden kaynaklanan döşeme kalınlığının ve kolon boyutlarının büyümesinin ciddi maliyet artışına neden olduğu, deprem yüklerinin güvenle taşınması için ani değişimlerden kaçınılması ve olabildiğince simetrik taşıyıcı sistem tasarlanması gerektiği sonucuna varılmıştır [11].

Özyer (2016), B2 ve B3 tipi düşey düzensizlikleri içeren yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Bu düzensizliklerin tek başına veya birlikte bulunması durumuna göre toplamda 72 adet yapı incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; kat adedi arttıkça B2 düzensizliğinin yapının davranışında yarattığı etkinin azaldığı, kolon süreksizliğinin yapıda olumsuz bir etki yaratmadığı ve istenen kriterlerin sağlandığı, B3 düzensizliğinin B2 düzensizliğinden dolayı oluşan yumuşak kat katsayısını arttırdığı, simetrik perde duvarların yumuşak kat etkisini düşürdüğü ve yapı davranışını iyileştirdiği sonuçlarına varılmıştır [12].

Ergin (2016), düşeyde düzensizlik içeren 4 farklı binanın deprem bölgesi ve zemin sınıfı parametrelerine göre çeşitli durumlar altında davranışını incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda; yerel zemin sınıfının yapı davranışında yarattığı etkinin deprem bölgesine kıyasla daha az olduğu, devrilme momentleri ve kesme kuvvetlerindeki en

büyük değişimin Z2 ile Z3 zemin sınıfı değişiminde olduğu, B2 düzensizliğinin bu artışların en yüksek olduğu düzensizlik tipi olduğu sonuçlarına varılmıştır [13].

Akşehirlioğlu (2016), planda düzensizlik içeren yapıların doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırmalı değerlendirmesini yapmıştır. A3 düzensizliği içeren L şeklindeki 6 katlı bir betonarme yapıda artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntem ile performans analizi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; Can güvenliği performans hedefi artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde her iki doğrultu içinde sağlanırken zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminde her iki doğrultu içinde sağlanamadığı görülmüştür. Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin istenen değerlendirmenin yapılabilmesi için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır [14].

Algül (2015), planda çıkıntılar ile düzenlik içeren bir bina sistemini incelemiştir. Rijit ve esnek diyafram kabulleriyle farklı modellerde bu düzensizlik etkisi incelenmiştir. Farklı döşeme kalınlıklarına göre deprem etkisi altında yapıda oluşan iç kuvvet değerleri araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, esnek diyafram modeli ile rijit diyafram modelinin titreşim periyotları birbirine oldukça yakındır. Ancak iç kuvvet değerlerinde farklılıklar görülmektedir. Taşıyıcı elemanların iç kuvvetleri incelendiğinde, döşeme kalınlığı arttıkça her iki model arasındaki iç kuvvet farklılığı azalmaktadır. A3 düzensizliğinin büyük olduğu yapılarda esnek diyafram yaklaşımının göz önünde bulundurulması önerilmektedir [15].

Öz (2014), yumuşak kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem etkisi altındaki davranışına ve inşaat maliyeti üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda; yumuşak kat etkisinin yapının deprem etkisi altındaki performansını oldukça azalttığına ve inşaat maliyetini arttırdığına varılmıştır. Ayrıca, zayıf kat düzensizliği kontrolü için verilen bağıntıda malzeme dayanımının etkisini içerecek şekilde güncellenmesi gerektiği önerilmektedir [16].

Ateş (2013), B3 düzensizliklerinden kolon süreksizliğinin yapının deprem etkisi altındaki davranışını incelemiştir. İki ucu mesnetli bir kirişin ortasına mesnetli kolon incelenmiştir. 7 katlı 5 açıklıklı bir çerçeve yapı, herhangi bir düzensizlik bulunmayan haliyle birlikte birinci kattaki kolonun kaldırılması sonucu oluşturulan düzensiz hali artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntem ile analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; yükün üst katlardan

temel doğru akışının değiştiği, yönetmelikte verilen %50 artış şartının çerçeve davranışına olumlu katkı yaptığı, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yönteminin farklı hasar sonuçları verdiği görülmektedir [17].

Bozat (2013), kolonlarında düşey süreksizlik içeren 26 katlı betonarme bir örnek binanın tasarımını ve performans değerlendirmesini yapmıştır. Depremin düşey etkisinin dahil edildiği zaman tanım alanında doğrusal elastik hesap ile birlikte DBYBHY-2007 ye uygun olarak yapılan tasarımda kullanılan iç kuvvet değerleri kıyaslanmaktadır. Ayrıca yönetmelik gereği yapılan %50 artımın yeterliliği performans analizi ile değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; yüksek kirişin mesnetlendiği kolonların üst ucunda ve yüksek kirişe mesnetlenen kolonların alt ucunda plastik mafsal oluştuğu gözlenmiştir. Bu düzensizliği içeren yapıların tasarımında ilgili elemanların sünek tasarımlarına dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır [18].

Toker (2013), uygulanması yasak olan konsola kolon oturtulması ile oluşan düşey düzensizlik durumunu zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ve artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; düzensiz sistemde zemin kat yüksekliğinin artımının deprem performansını çok fazla düşürdüğü ve kirişlerde meydana gelen hasarı artırdığı görülmüştür. Sonuçların tutarlı olması için artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminin her adımında rijitliklerde oluşan azalmayı dikkate alacak şekilde uyarlanması gerektiği önerilmektedir [19].

Can (2012), DBYBHY-2007'ye uygun olarak tasarlanıp boyutlandırılan düşey düzensizliğe sahip 8 katlı çerçevelerden oluşan bir örnek yapı incelenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz ve eşdeğer deprem yükü yöntemi elde edilen kritik kesitlerdeki iç kuvvetler kıyaslanmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda; zaman tanım alanında doğrusal elastik analizde iç kuvvetlerin iki katına çıktığı görülmektedir. Sisteme yatay ve düşey deprem etkilerinin en büyük değerleri aynı adımda etkilmiş olduğu için gerçek dışı sonuçlar alınmaktadır [20].

Yaylalı (2012), düşey doğrultuda süreksizlik ve çerçeve süreksizliği içeren binaların deprem etkisi altındaki performansını değerlendirmiştir. 1975 Yönetmeliği koşullarına göre tasarlanmış 5 katlı düzenli bir bina ve bu yapıdan türetilmiş 3 farklı yapının performansı doğrusal elastik yöntem ile belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; bu

düzensizliklerin yapıların deprem performanslarını oldukça düşürdüğü, süreksizliği oluşturan kolonlara komşu olan kirişlerin hasarını ciddi oranda artırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca bu düzensizlikleri içeren yapılar için bazı güçlendirme önerileri verilmektedir [21].

Çelebi (2012), farklı tiplerdeki geri çekmelerle oluşturulan 10 katlı örnek yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda; yapılarda meydana gelen geri çekme düzensizliğinin yapının geometrisinden çok yapının yükseklik boyunca rijitlik dağılımıyla ilişkili olduğu görülmüştür. Geri çekme düzensizliği olan bölgelerde ani rijitlik değişimi olacağından bağıl kat yer değiştirmelerinde sıçramalar meydana geldiği vurgulanmıştır. Bu düzensizliğin oluşmasının önüne geçmek için dilatasyon önerilmiştir [22].

Gezmiş (2012), perde konumları açısından planda düzenli ve düzensiz olan 12 katlı olarak tasarlanan iki yapının taşıyıcı sisteminin deprem etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Yapılan çalışma sonucunda; perde yerleşiminde simetriden uzaklaştıkça burulma düzensizliği katsayısının arttığı görülmüştür. Yatay rijitliği arttırmak için konulan perdelerin burulma düzensizliği oluşturması durumunda çok olumsuz sonuçlar yarattığı vurgulanmıştır [23].

Demirköse (2012), A1 ve A2 planda düzensizliklerini içeren 12 farklı yapının statik itme analizi yapılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; planda düzensizlikler simetrik olmayan rijitlik dağılımı yarattığı için düzenli yapıya göre aynı taban kesme kuvveti için çok daha fazla yer değiştirme yaptığı görülmüştür. Bu düzensizliklerin kaçınılmaz olduğu durumlarda düşey taşıyıcıların olabildiğince simetrik yerleştirilmesine özen gösterilmesi gerektiği vurgulanmıştır [24].

Duman (2011), farklı kat adedi ve burulma düzensizliği olan yapılar üzerinde sayısal değerlendirmeler yapmıştır. 4 farklı sistemin deprem performansı doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerle araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; doğrusal elastik hesap yöntemler elastik olmayan yöntemlere göre daha olumsuz sonuç vermektedir. Düzensizliklerden dolayı doğrusal elastik yöntemin hata payının yüksek olduğu vurgulanmıştır. Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal elastik hesap yönteminin çıkarılıp, doğrusal olmayan yöntemlerin detaylandırılması önerilmiştir [25].

Üner (2009), düşey düzensizliğin deprem performansına etkisini incelemiştir. Taşıyıcı sistemi düzenli mevcut betonarme bir binanın taşıyıcı sistemi ve malzeme parametreleri değiştirilerek örnek bir yapı oluşturup doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleriyle performans değerlendirmesi yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; elastik hesap için kullanılan etki/kapasite oranı ile elastik olmayan hesap için kullanılan birim şekil değiştirme değerleri ayrı kontrol parametreleri olmasına rağmen sonuçların benzer geldiği görülmüştür. Malzeme kalitesinin ve düzensizliklerin deprem performansını büyük ölçüde etkilediği belirtilmiştir [26].

Bakkaloğlu (2007), 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre tasarımı yapılmış mevcut bir yapının deprem performansını incelemiştir. Burulma düzensizliğine, düşeyde eleman süreksizliği olan 7 katlı bir yapı DBYBHY-2007'ye göre incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda; statik itme analizi ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Bu sebeple statik itme analizi uygulanması hızlı ve basit olduğundan yapıların değerlendirilmesinde kullanılması önerilmektedir [27].

2. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

Bu bölümde DBYBHY-2007 ve TBDY-2018’de yer alan yapısal düzensizlikler verilmektedir. Her iki yönetmelikte de yapısal düzensizlikler planda ve düşey doğrultuda olmak üzere iki grup altında kontrol edilmektedir. Planda düzensizlikler A türü, düşey doğrultudaki düzensizlikler ise B türü olarak adlandırılmaktadır [3,4]. Tasarım öncesi ve sonrasında bu yapısal düzensizlikler sürekli gözönünde bulundurulurken, gerekli olması durumunda taşıyıcı sistem tasarımında ve deprem yükü hesabında gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. Kontrol edilmesi gereken düzensizlikler genel olarak Çizelge 2.1’de gruplandırılarak verilmiştir.

Çizelge 2.1 : DBYBHY 2007 ve TBDY-2018’de verilen düzensizlik tipleri [3,4].

Yapısal Düzensizlik Tipleri	
A- Planda düzensizlik	A1 - Burulma düzensizliği
	A2 - Döşeme süreksizliği
	A3 - Planda çukurluk bulunması
B - Düşey doğrultuda düzensizlik	B1 - Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)
	B2 - Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)
	B3 - Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

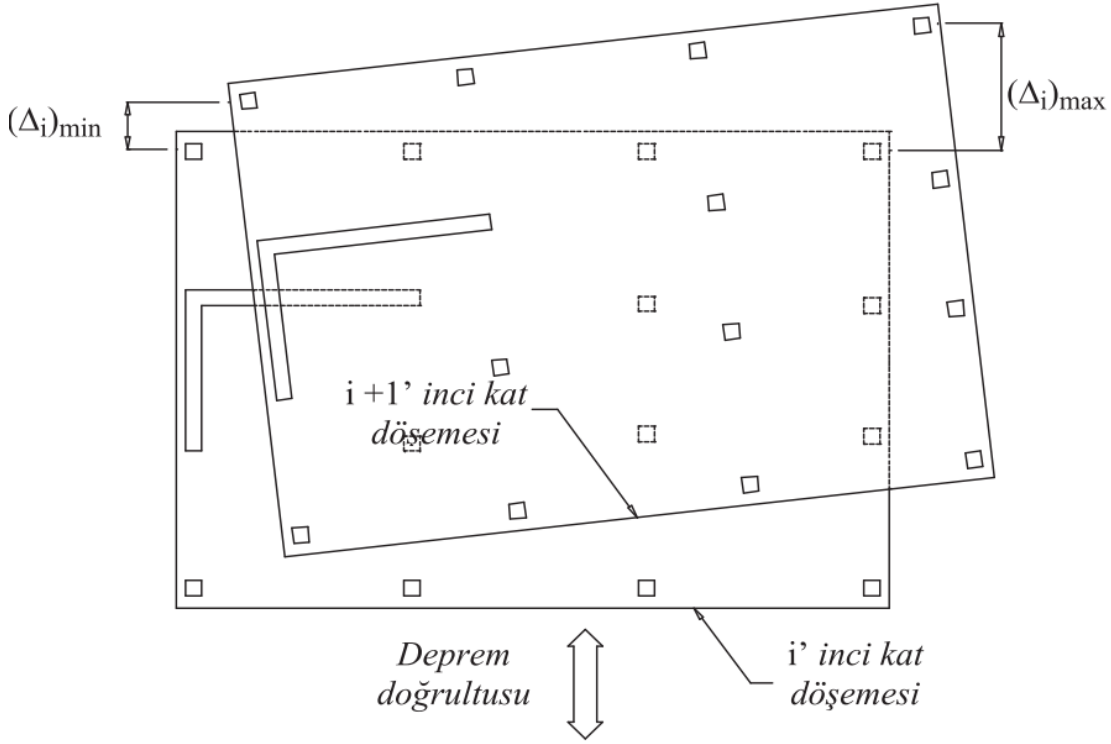
B3 tipi düşey eleman süreksizliği bölümü dışında TBDY-2018’de düzensizlik kontrollerine ilişkin bağıntılar korunmuştur. Bölüm 2.2.3’de verilen kolon süreksizliği bölümünde her iki yönetmeliğe uygun olarak yapılacak tasarım şartları açıklanmıştır.

2.1 Planda Düzensizlik

2.1.1 Burulma düzensizliği

Burulma düzensizliği katsayısı deprem yükü hesap yönteminin belirlenmesinde oldukça etkili bir parametredir. Maksimum görelî kat ötelemesinin ortalama görelî kat ötelemesine oranı 1.2’den büyük olan taşıyıcı sistemlerde seçilen deprem yükü hesap yönteminin uygunluğu gözden geçirilmektedir. Eşdeğer deprem yükü yöntemine göre tasarım yapılacaksa %5 ek dışmerkezlik mesafesi arttırılacaktır. Burulma düzensizliği

katsayısının 2.0'den büyük olması durumunda eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanılmasına izin verilmeyip mod birleştirme ya da zaman tanım alanında analiz yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Burulma düzensizliği katsayısı her bir katta birbirine dik iki deprem doğrultusu için de ayrı ayrı hesaplanmaktadır (Şekil 2.1) [3,4]. Ortalama kat ötelemesi ve burulma düzensizliği katsayısı sırasıyla denklem 2.1 ve denklem 2.2 ile hesaplanmaktadır.



Şekil 2.1 : A1 burulma düzensizliği plan görünüşü [3,4].

$$(\Delta_i)_{ort} = \frac{1}{2} [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] \quad (2.1)$$

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} \quad (2.2)$$

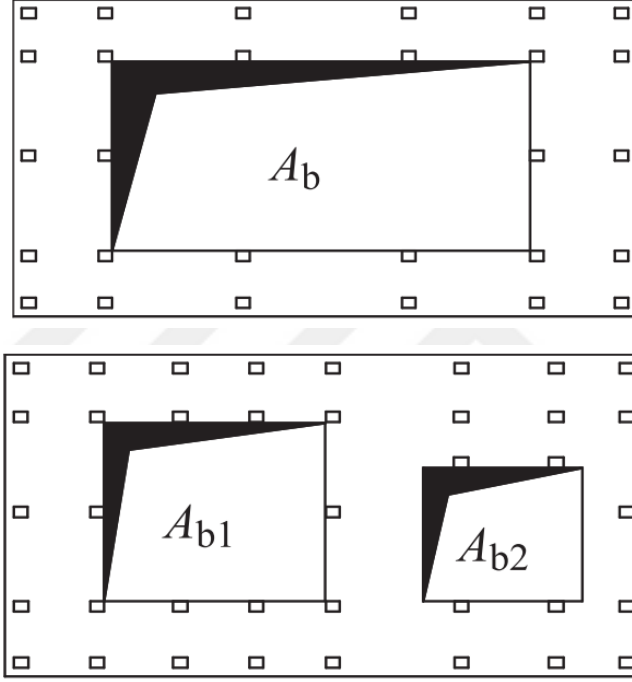
Burulma düzensizliğinin olduğu yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak tasarım yapılacak ise hesap yapılacak her iki doğrultu için de %5 dışmerkezlilik denklem 2.3'de verilen büyütme katsayısı ile çarpılarak arttırılmış ek dışmerkezlilik uygulanacaktır.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (2.3)$$

2.1.2 Döşeme süreksizliği

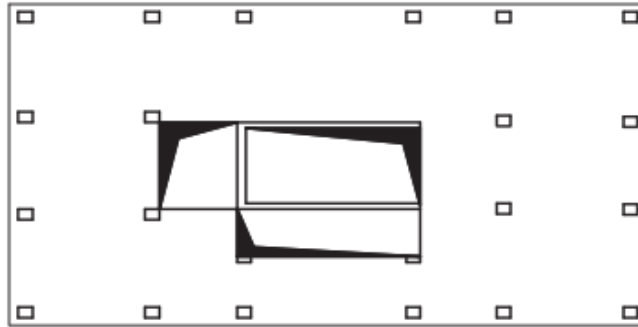
Döşemedeki süreksizlikler deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasına engel olmaktadır. Bu düzensizliğin bulunduğu binalarda deprem yüklerinin güvenle aktarıldığı hesap ile gösterilmelidir [3,4]. Döşeme süreksizliğine neden olan durumlar aşağıda sıralanmıştır.

- Döşemedeki boşluk alanlarının toplamının tüm kat alanına oranının 1/3'den büyük olması (Şekil 2.2).



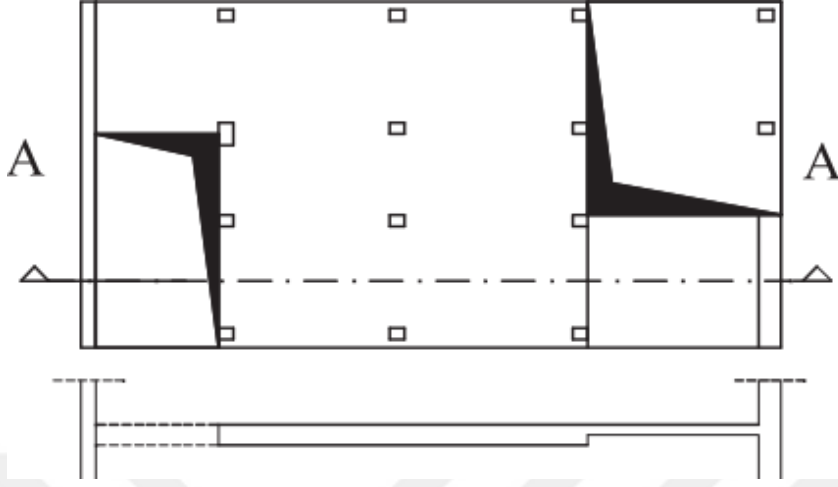
Şekil 2.2 : Döşeme süreksizliği Tip-1 [3,4].

- Döşemelerde yerel boşlukların bulunması durumunda da deprem yükünün taşıyıcı elemanlara aktarılması güçleşir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Döşeme süreksizliği Tip-2 [3,4].

- Döşemede ani dayanım ve rijilik azalması da döşeme süreksizliği düzensizliğidir (Şekil 2.4).

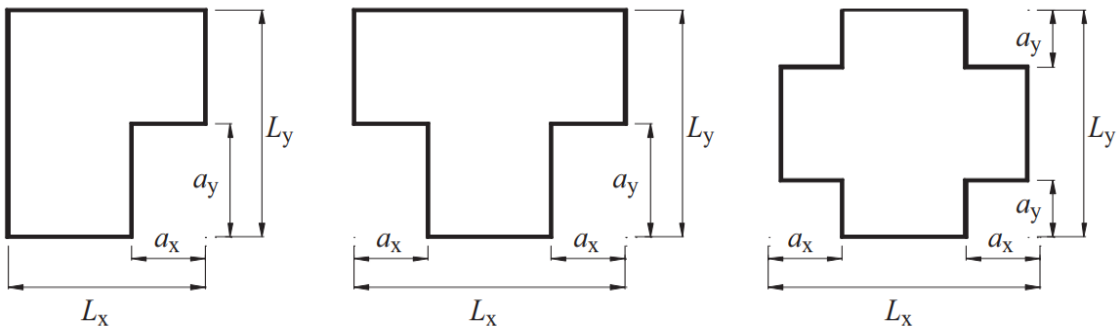


Şekil 2.4 : Döşeme süreksizliği Tip-3 [3,4].

2.1.3 Planda çıkıntı bulunması

Planda bulunan çıkıntılar deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasına engel olmaktadır. Planda çıkıntı bulunma düzensizliği kat planında her iki dik doğrultuda da çıkıntı mesafesinin toplam boya oranının 0.2'den büyük olmasıdır. Bu düzensizliğin bulunması durumunda deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarıldığı hesap ile gösterilmelidir [3,4]. Bu düzensizliğe neden olan yaygın mimariler Şekil 2.5'de verilmiştir.

Bu tip düzensizliklerin bulunduğu binaların kat döşemelerinin rijit diyafram özelliği gösteremeyeceği gözönünde bulundurulmalı, esnek diyafram model uygulaması düşünülmelidir.



Şekil 2.5 : Plandaki çıkıntılar [3,4].

2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik

2.2.1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)

Dayanım düzensizliği katsayısı her bir katta birbirine dik her iki deprem doğrultusu için etkili kesme alanının bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanmaktadır [3,4]. Betonarme perde, kolon ve dolgu duvarların etkili kesme alanları denklem 2.4'de verildiği gibi hesaba dahil edilmektedir.

$$A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (2.4)$$

Dayanım düzensizliği katsayısının 0.80'den küçük olması durumunda bu düzensizlik durumu dikkate alınacaktır (2.5).

$$\eta_{ci} = A_{ei} / A_{ei+1} < 0.8 \quad (2.5)$$

Komşu katlar arası dayanım düzensizliğinin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan katın dolgu duvarı alanlarının toplamı üst kattan fazla ise dayanım düzensizliği katsayısı hesabında dolgu duvarlar dahil edilmemektedir.

Dayanım düzensizliği katsayısı 0.6 ile 0.8 arasında hesaplanmış ise taşıyıcı sistem davranış katsayısı $1.25\eta_{ci}$ ile çarpılacaktır ve tüm binaya birbirine dik iki deprem doğrultusu için de uygulanacaktır. Aksi halde ilgili katın rijitlik ve dayanımı artırılıp, deprem hesabı yeniden yapılarak bu düzensizlik tekrar kontrol edilecektir [3,4].

2.2.2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

Rijitlik düzensizliği katsayısı her bir kattaki birbirine dik iki deprem doğrultusu için görelî kat öteleme oranının bir üst ya da bir alt kattaki görelî kat öteleme oranına bölünmesiyle elde edilir [3,4]. Deprem yükü hesap yönteminin seçilmesinde tıpkı burulma düzensizliği gibi önemli bir düzensizlik tipidir.

Rijitlik düzensizliği katsayısı %5 ek dışmerkezlîk etkisi dikkate alınarak denklem 2.6 ile olarak bulunacaktır. Rijitlik düzensizliği katsayısının 2.0'dan büyük olması durumunda bu düzensizlik durumu dikkate alınmaktadır.

$$\begin{aligned} \eta_{ki} &= (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2 \\ \eta_{ki} &= (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2 \end{aligned} \quad (2.6)$$

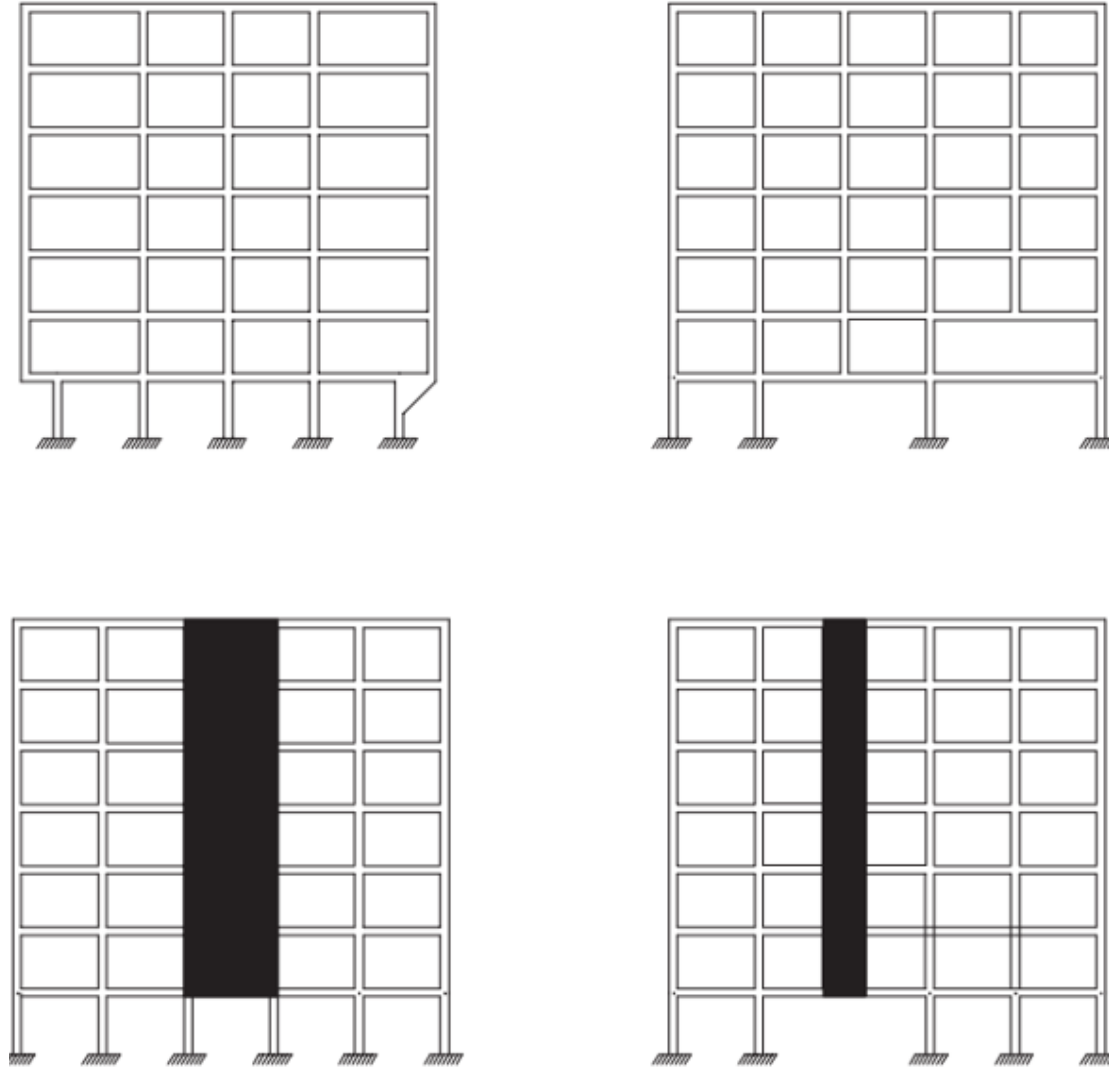
DBYBHY-2007 uyarınca 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde rijitlik düzensizliği olan 25 m'den yüksek binaların tasarımında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılamaz. 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde ise bu duruma ait bir sınır bulunmamaktadır [3].

TBDY-2018 uyarınca burulma düzensizliği olan binalar için eşdeğer deprem yükü yöntemi ile tasarıma ait yükseklik sınırı 28 m'dir [4].

2.2.3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Perde ve kolon gibi düşey taşıyıcıların kiriş açıklığına veya konsola oturtulması ya da perdelerin kolonlara oturtulması durumudur.

Düşey eleman süreksizliği olan binalara ilişkin durumlar Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 : Düşey doğrultuda düzensizlik boy kesit görüntüleri [3,4].

- Herhangi bir katta konsol kiriş veya guselere kolon oturtulmasına izin verilmez.
- Perdelerin kolonlara oturtulmasına izin verilmez.
- Perdelerin kirişlere oturtulmasına izin verilmez.
- Kolonların kirişlere oturtulmasına şartlı izin verilmektedir [3,4].

DBYBHY-2007’de kolonların iki ucundan mesnetli kirişe oturtulması durumunda, bu kiriş ve göz önüne alınacak deprem doğrultusunda bu kirişin düğüm noktalarına bağlanan kolon ve kirişlerin tüm kesitlerinde deprem etkisinin dahil olduğu yük birleşimlerinden elde edilecek iç kuvvetler %50 arttırılacaktır [3]

TBDY-2018’de depremin düşey doğrultudaki bileşeninin hesabı yönetmeliğe dahil edildiğinden kirişe oturan kolonları içeren yapılarda düşey spektral ivme değerlerinin kullanılması zorunlu kılınmıştır. Böylelikle tasarım iç kuvvetlerinin %50 artımı kaldırılmıştır [4].



3. B3 DÜZENSİZLİĞİ İÇEREN BETONARME BİR YAPININ TASARIMI

Bu bölümde İstanbul İli'nin Kadıköy İlçe'sinde yer alan Dumlupınar Mahallesi sınırlarında yapılması planlanan bir yapının tasarımı DBYBHY-2007 ve TBDY-2018 'e uygun olarak yapılmıştır. Koordinat bilgisi ve Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) üzerindeki yeri Şekil 3.1'de gösterilmiştir [28].



Şekil 3.1: Tasarlanan binanın TDTH üzerindeki yeri [28].

DBYBHY-2007'de ifade edilen deprem bölgeleri kavramına göre yapının bulunduğu bölge 1. derece deprem bölgesi olduğundan buna uygun olarak Çizelge 1.1'de etkin yer ivmesi katsayısı $A_0=0.4$ olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.1: Etkin yer ivmesi katsayısı [3].

Deprem Bölgesi	Etkin yer ivme katsayısı, A_0
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

TBDY-2018’de deprem bölgeleri kavramı kaldırılarak bunun yerine Türkiye Deprem Tehlike Haritası üzerinde ilgili deprem düzeyi için deprem parametreleri doğrudan elde edilmektedir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2: Spektral ivme katsayıları [28].

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	Kısa Periyot			1.0 s Periyot		
	S_S	F_S	S_{DS}	S_1	F_1	S_{D1}
DD-1	1.658	1.2	1.990	0.46	1.5	0.690
DD-2	0.952	1.2	1.142	0.261	1.5	0.392
DD-3	0.385	1.3	0.501	0.105	1.5	0.158
DD-4	0.258	1.3	0.335	0.069	1.5	0.104

Söz konusu binanın yapılacağı zemin türünün sıkı kum- çakıl olduğu kabul edilerek deprem yükü hesapları ilgili deprem yönetmeliklerinde bu zemine karşı gelen parametreler kullanılarak yapılmıştır. DBYBHY-2007’ye göre bu zemin türü B grubu zemin ve Z2 sınıfında tanımlanmaktadır (Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4).

Çizelge 3.3: DBYBHY-2007 yerel zemin grupları [3].

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	$(N_{60})_{30}$	Relatif Sıkılık	$(C_u)_{30}$	$(V_s)_{30}$
(A)	Volkanik metamorfik kayalar	-	-	> 1000	> 1000
	Sert çimentolu tortul kayalar	-	-	> 1000	> 1000
	Çok sıkı kum, çakıl	> 50	85–100	-	> 700
	Sert kil ve siltli kil	> 32	-	> 400	> 700
(B)	Gevşek volkanik kayalar, Ayrışmış çimentolu tortul kayalar	-	-	500–1000	700–1000
	Sıkı kum, çakıl	30–50	65–85	-	400–700
	Çok katı kil ve siltli kil	16–32	-	200–400	300–700
(C)	Çok ayrışmış metamorfik Çimentolu tortul kayalar	-	-	< 500	400–700
	Orta sıkı kum, çakıl	10–30	35–65	-	200–400
	Katı kil ve siltli kil	8–16	-	100–200	200–300
(D)	Yumuşak kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	< 200
	Gevşek kum	< 10	< 35	-	< 200
	Yumuşak kil, siltli kil	< 8	-	< 100	< 200

Çizelge 3.4: DBYBHY-2007 yerel zemin sınıfları [3].

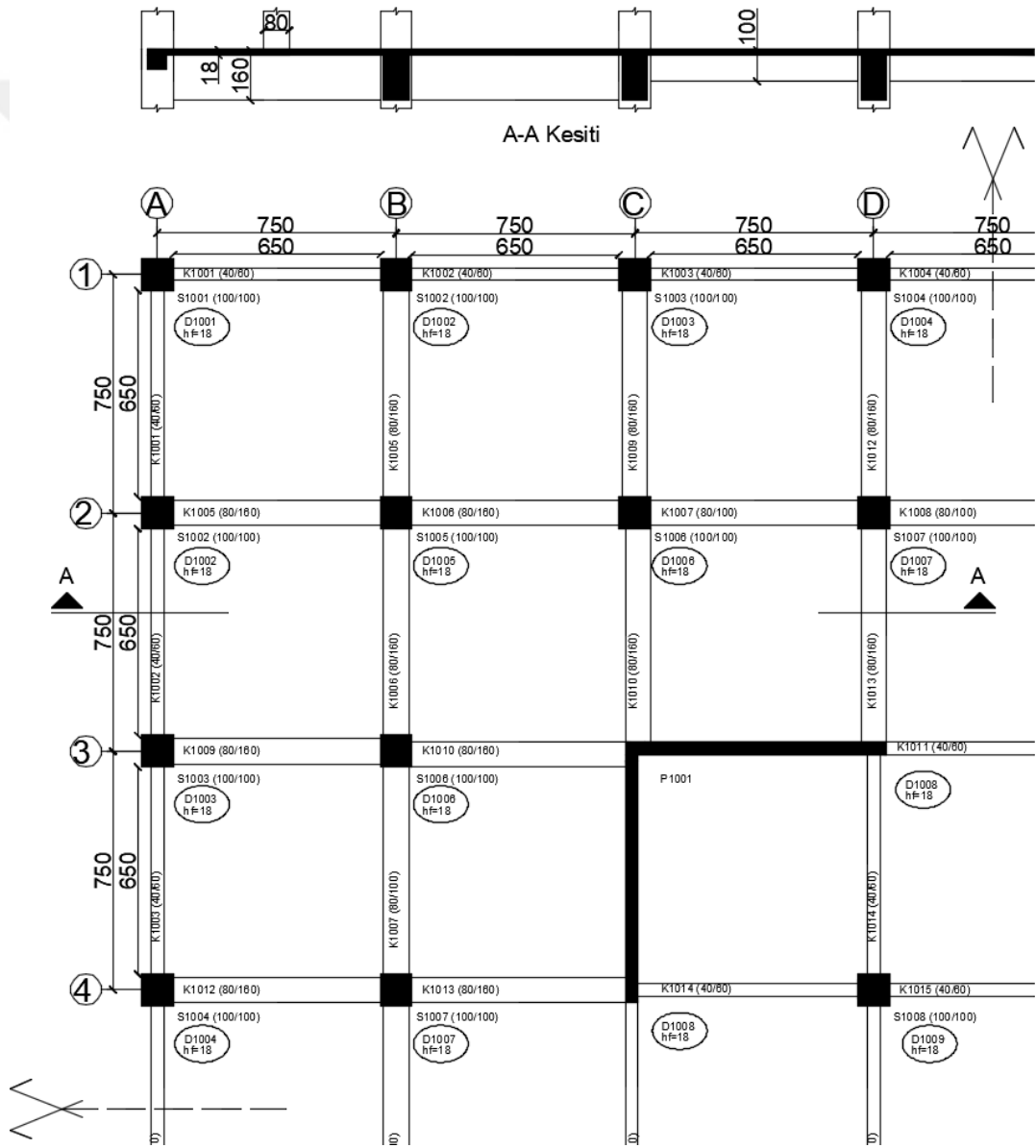
Yerel Zemin Sınıfı	En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 < 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 < 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 < 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 < 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

TBDY-2018'e göre çok sıkı kum-çakıl zemin cinsi için yapının bulunduğu zeminin doğrudan ZC yerel zemin sınıfında olduğuna Çizelge 3.5'den karar verilmiştir. Tasarım spektral ivme katsayılarının hesabında dikkate alınacak zemin etki katsayıları bu yerel zemin sınıfına belirlenmiştir.

Çizelge 3.5: TBDY-2018'e göre zemin sınıfları [4].

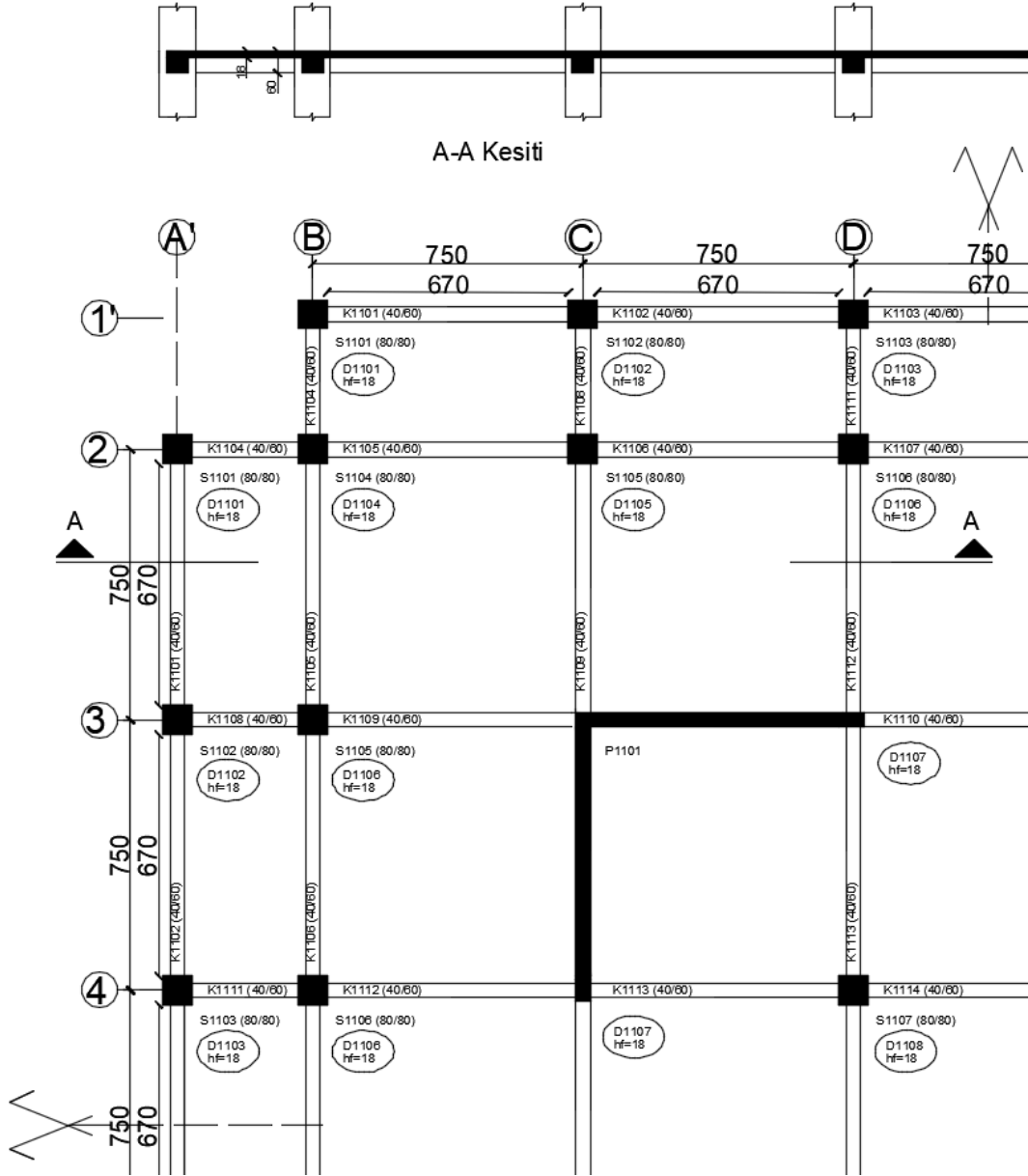
Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	$(V_s)_{30}$	$(N_{60})_{30}$	$(C_u)_{30}$
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları, ayrılmış çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevçek kum, çakıl, yumuşak-katı kil tabakaları	<180	<15	<70
ZF	Saha özel araştırma gerektiren zemin. Sıvalaşma veya göçme riski olan zeminler Turba ve organik içeriği yüksek zeminler Yüksek plastisiteli zeminler Çok kalın yumuşak veya orta katı killer			

Yapısal düzensizlikten dolayı yapının 10. katı diğer katlardan farklı bir kalıp planına sahiptir. Kullanılan Tip-2 döşeme kalıp planı Şekil 3.3'de verilmiştir. Kalıp planında görüleceği üzere büyük enkesitli kirişler kullanılmıştır. B-C-D-E-F-G-2-3-4-5-6-7 akslarının ilk açıklığında kolonların mesnetlendiği kirişlerin ve kirişlerin düğüm noktalarına deprem doğrultusunda bağlanan diğer kirişlerin %50 arttırılmış iç kuvvetlerinin güvenle karşılanabilmesi için 80/160 ve 80/100 boyutlarında enkesitlere karar verilmiştir. Süreksiz kolonda üst katlarla benzer olacak şekilde 80x80 olarak boyutlandırılmıştır.



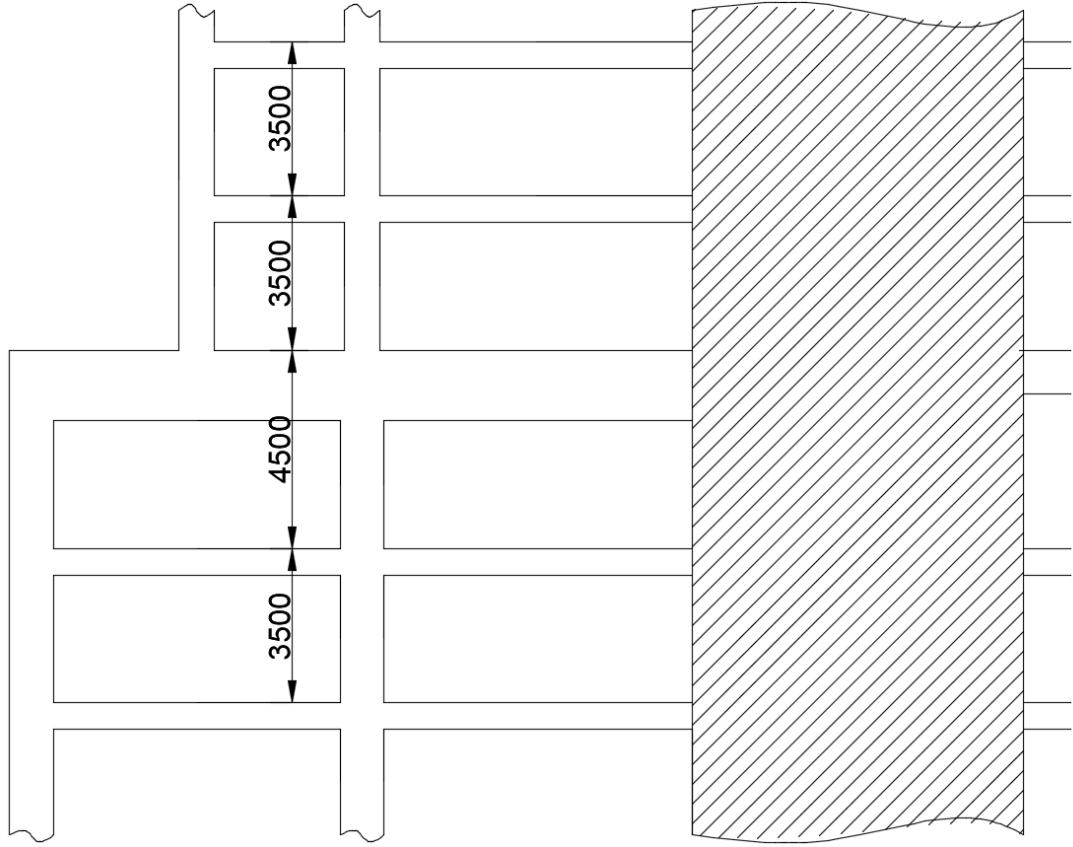
Şekil 3.3 : 10. kat kalıp planı – Tip2.

Geri çekmenin olduğu son 10 kat için kullanılan Tip-3 kalıp planı Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4 : 11. kat kalıp planı – Tip3.

Kullanım amacı konut/ofis olan binanın her bir kat yüksekliği 3.5 m'dir. Ancak 10. kattaki düzensizlik nedeniyle büyük enkesitli kirişlere ihtiyaç duyulacağından bu katın yüksekliği 4.5 m olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.5). Toplam bina yüksekliği 71 m olup, oturma alanı yaklaşık 2756 m²'dir. 10. kattan itibaren kat planı küçülüp 1969 m²'ye düşmektedir.



Şekil 3.5 : Düzensizliğin olduğu geçiş katı.

Binanın yapılacağı yer 1. derece deprem bölgesinde olup, yerel zemin sınıfı Z2'dir. Kullanım amacına uygun olarak bina önem katsayısı, $I=1$ olarak 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisine göre yapısal tasarım yapılmıştır. Yapıda kullanılacak beton ve donatı çeliği malzeme dayanım sınıfı C40/S420 olarak belirlenmiştir.

Döşemeler matematik modelde tanımlandığı için program tarafından betonarme zati ağırlığı otomatik olarak hesaba dahil edilmektedir. Betonarme birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 olarak hesaba katılmaktadır. Diğer ölü yükler ilave kaplama yükü olarak döşeme üzerine 3.5 kN/m^2 , çatıda ise 4 kN/m^2 düzgün yayılı yük olarak dikkate alınmıştır. Mekanik tesisat yükünün de bu kaplama yükü içerisinde olduğu kabul edilmiştir. Döşeme üzerinde ağırlığı önemsenecek herhangi dolgu duvar olmadığı düşünülmüş, iç ve dış dolgu duvar yükleri kirişlere çizgisel ölü yük olarak atanmıştır. İç dolgu duvarlar için 3.12 kN/m , dış dolgu duvarlar için de 5.47 kN/m yük hesaba katılmıştır. Yapıda genel olarak 2 kN/m^2 hareketli yük dikkate alınıp, döşeme üzerine düzgün yayılı yük olarak etkilmiştir. 10. katta düzensizliğin olduğu son açıklıkta 3.5 kN/m^2 hareketli yük etkilmiştir.

Taşıyıcı elemanların enkesitlerine ön boyutlandırma çalışmaları sonucunda karar verilmiştir. Bu ön boyutlandırma çalışmaları TS-500’de belirtilen taşıma gücü hesaplarına uygun olarak yapılmıştır [29]. Ayrıca tasarım ve imalat kolaylığı da göz önünde bulundurularak taşıyıcı elemanlar tipleştirilmiştir (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 : Ön boyutlandırma sonucu belirlenen eleman boyutları.

Taşıyıcı Eleman	Kat	Boyutlar (mm)
Döşeme	1 - 20	180
L tipi perde tek kol	1 - 4	7500 x 600
	4 - 8	7500 x 500
	9-20	7500 x 400
Kolon	1 - 10	1000 x 1000
	11 - 20	800 x 800
Kiriş	1 - 4	400 x 600 ve 600 x 600
	5 - 8	400 x 600 ve 500 x 600
	8- 20 (10 hariç)	400 x 600
	10	800 x 1600, 800 x 1000 ve 400 x 600

3.1.2 Yapı matematik modeli

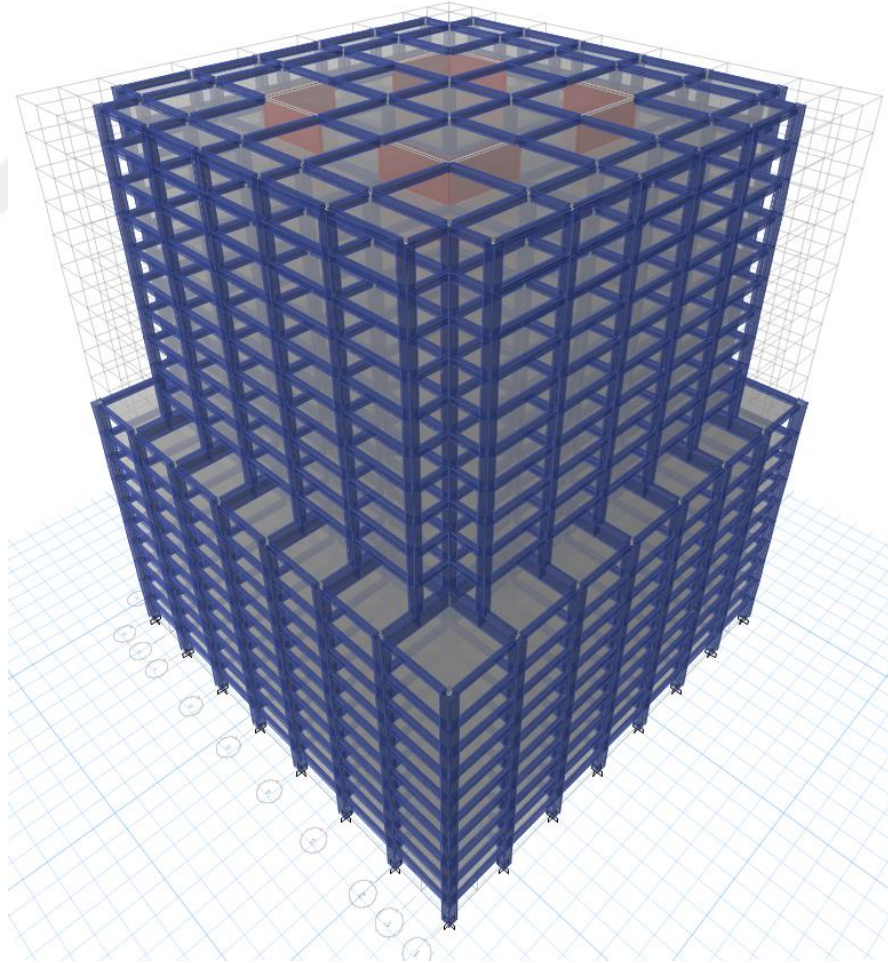
Yapının tasarımında ETABS 16.2.1 programından yararlanılmıştır. Program üzerinde döşemeler ve perdeler kabuk eleman olarak, kirişler ve kolonlar ise çubuk eleman olarak idealleştirilerek modellenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemleriyle yeterli doğrulukta hesap yapılabilmesi için kabuk elemanlar en fazla 1 m büyüklükteki sonlu eleman parçalarına bölünmüştür. Çubuk elemanlar ile kabuk elemanlar arasındaki etkileşimde bu sonlu eleman parçalarının düğüm noktaları ile sağlanmaktadır. Tüm taşıyıcı elemanlar birbirlerine altı serbestlik derecesinde de yük aktaracak şekilde modellenerek, hiçbir düğüm noktasında serbestlik açılmamıştır. Kolonların temel sistemine ankastre mesnetli olacak şekilde oturduğu kabul edilerek alt düğüm noktasının altı serbestlik derecesi de tutulu olacak şekilde mesnet tanımlanmıştır.

Birleşim bölgelerinde mesnet yüzeyinde doğru iç kuvvet değerlerinin alınması için çubuk elemanlara *end length offsets* ataması analiz programı tarafından otomatik yapılmaktadır. Böylelikle çubukların mesnet iç kuvvetlerinin dikkate alınacağı bölgeler önceden tayin edilmiş olur. Ancak kabuk eleman olarak modellenen betonarme perdeler zayıf doğrultudan bağlanan kirişler için herhangi otomatik

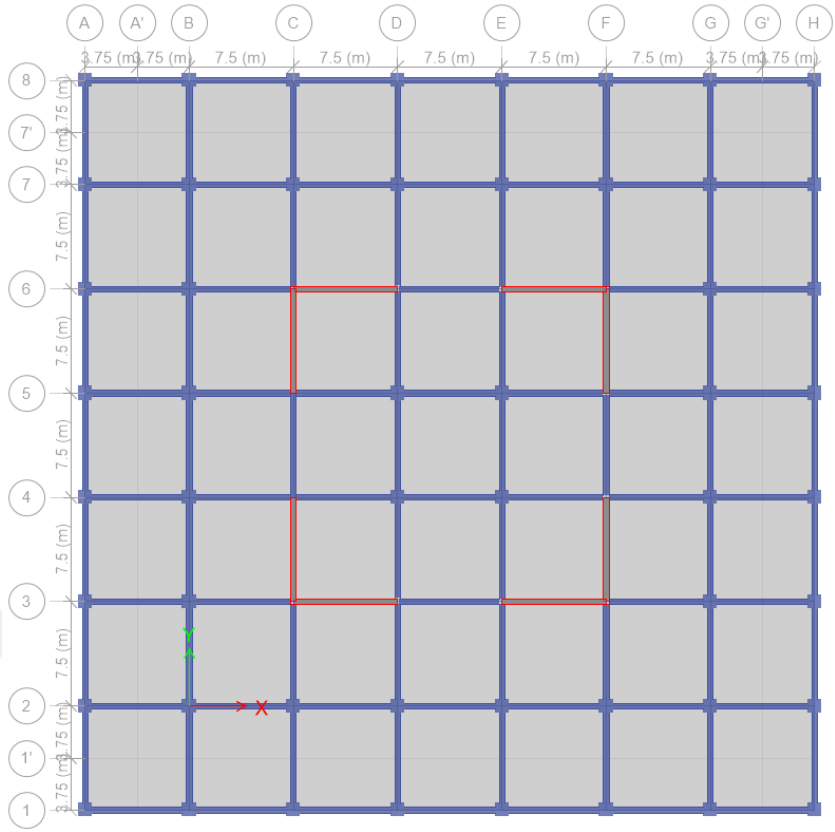
ayarlamaya yapılamamaktadır. Perdeye zayıf doğrultudan bağlanan kirişlere perdenin kalınlığı dikkate alınarak dışarıdan *end length offsets* ataması yapılmıştır.

Döşemeler kabuk eleman olarak modellendiği için eğilme rijitlikleri dikkate alınmaktadır. Döşeme kalınlığı ve taşıyıcı sistem düzeninin yeterli olduğu düşünülerek rijit diyafram ataması yapılmıştır. Tüm döşemeler iki doğrultuda çalışan kirişli döşeme olarak tasarlanmıştır.

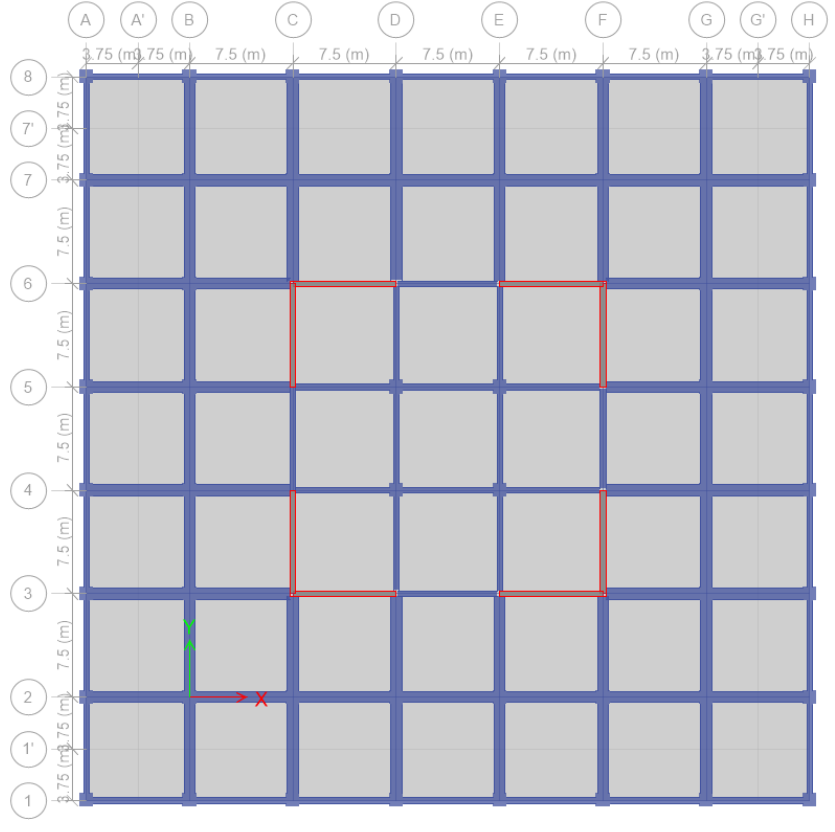
Perdeler herhangi bir fiktif eleman veya eşdeğer çubuk modeli kullanmadan, kabuk elemanlarla gerçek geometride modellenmiştir. Yapıda dört adet birbirinin simetriği L tipi iki kollu perde bulunmaktadır. Bu perde kütlelerinin her bir koluna ayrı ayrı *Pier* atanarak kabuk iç kuvvetlerinin çubuk elemanların iç kuvvetlerine benzer şekilde $P-M_2-M_3-T-V_2-V_3$ iç kuvvetleri olarak elde edilmesi sağlanmıştır. Hazırlanan matematik modelin üç boyutlu görünüşü Şekil 3.6'da, plan görünüşleri Şekil 3.7 ve Şekil 3.9 arasında, boy kesit görünüşleri de Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de verilmiştir.



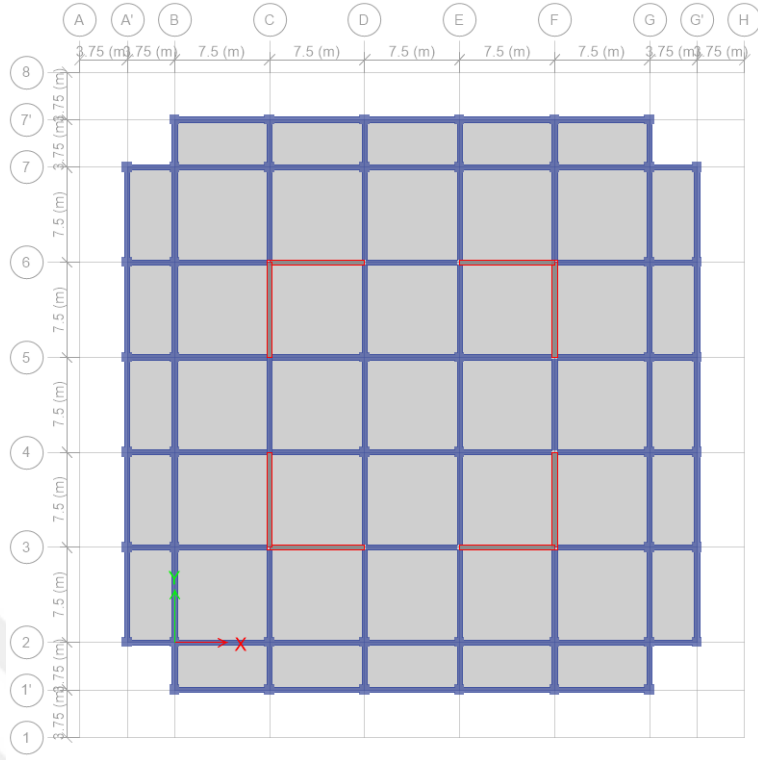
Şekil 3.6 : Matematik model 3B görünüm.



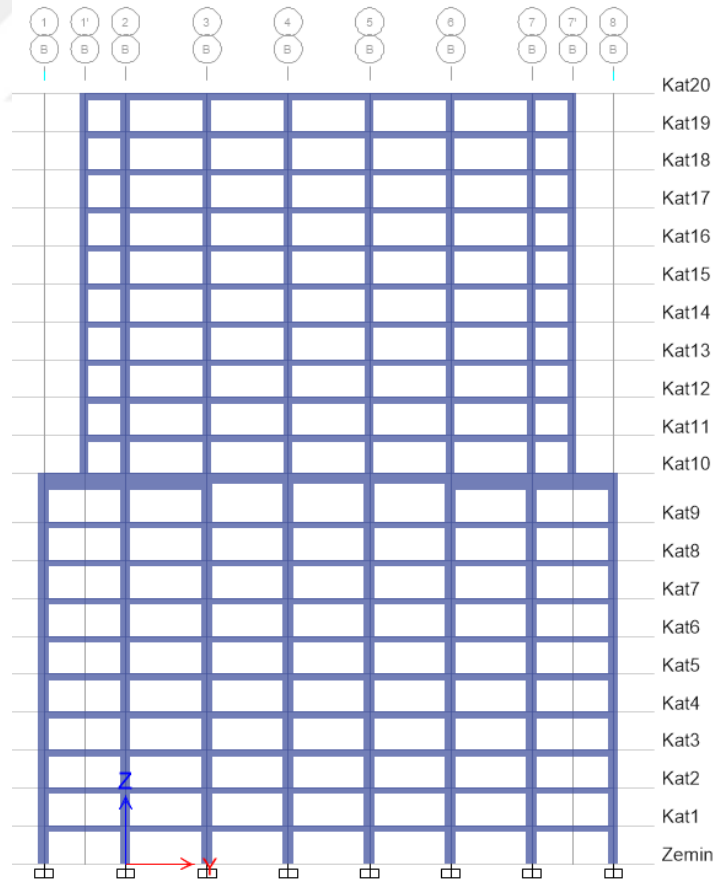
Şekil 3.7 : Matematik model 1-9 katları plan görünümü.



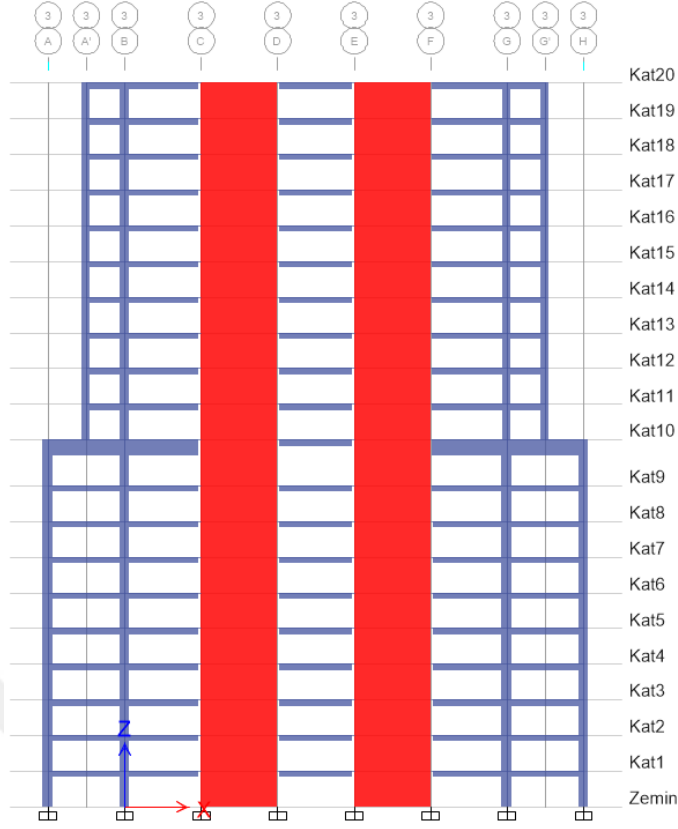
Şekil 3.8 : Matematik model 10. kat plan görünümü.



Şekil 3.9 : Matematik Model 11-20 katları plan görünümü.



Şekil 3.10 : Matematik model B aksı boy kesit görünümü.



Şekil 3.11 : Matematik model C aksı boy kesit görünümü.

3.1.3 Deprem yükü hesabı

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan spektral ivme katsayısı denklem 3.1'de tanımlanmıştır. %5 sönüm oranı için tanımlanan elastik ivme spektrumu'nun ordinatı olan elastik spektral ivme, $S_{ae}(T)$, spektral ivme katsayısı ile yerçekimi ivmesinin çarpımına karşı gelmektedir (3.2) [3].

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (3.1)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (3.2)$$

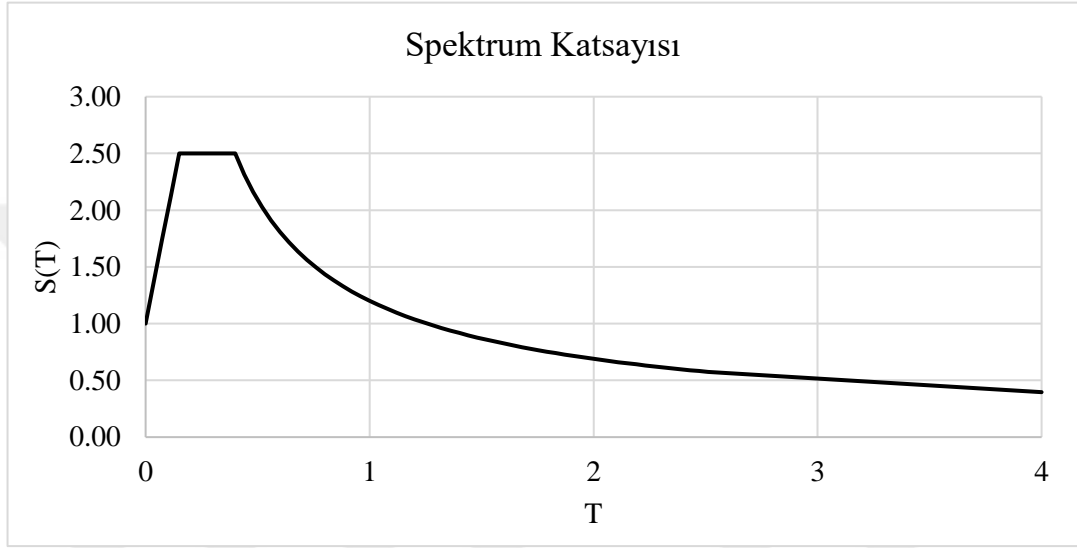
Tasarımı yapılan örnek binanın elastik spektral ivme hesabında kullanılacak parametreler Çizelge 3.7'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.7: Deprem hesabında kullanılan parametreler.

Deprem Parametreleri		
Deprem Bölgesi	1	$A_0:0.4$
Zemin Sınıfı	Z2	$T_A : 0.15 \text{ s}; T_B : 0.40 \text{ s}$
Bina Önem Katsayısı	I	1

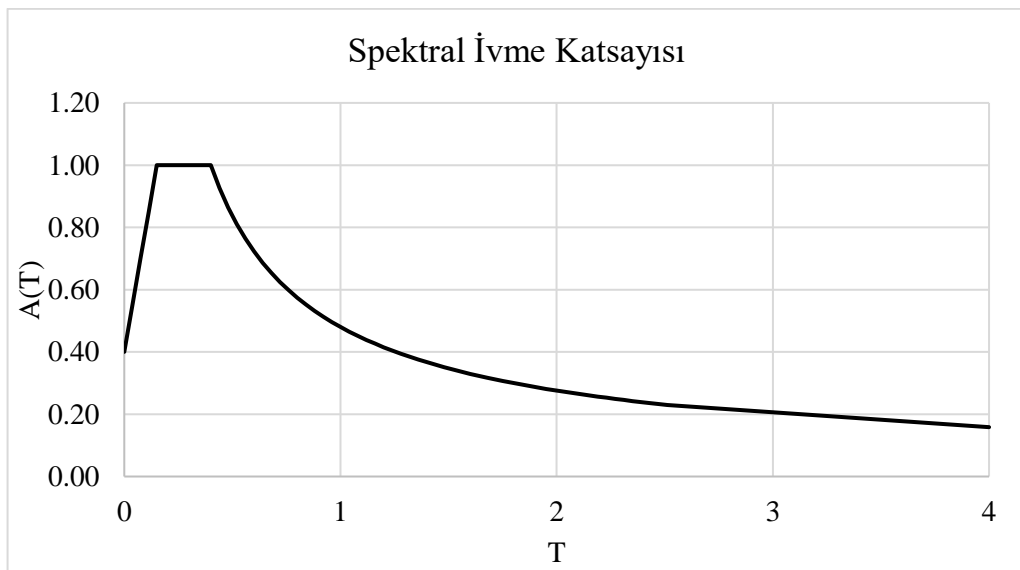
Zemin köşe ve bina doğal titreşim periyotlarına bağlı olarak spektrum katsayısı denklem 3.3’de verilen üç parçalı bir fonksiyon olarak elde edilmektedir [3]. Bu fonksiyonun grafiği de Şekil 3.12’de oluşturulmuştur.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$



Şekil 3.12 : Spektrum katsayısı-periyot grafiği.[3]

Denklem 3.1’e göre hesaplanan A(T) Şekil 3.13’de verilmiştir. Bu ivme DBHBHY-2007’ye göre 50 yılda %10 aşılma olasılığı olan deprem etkisine karşı gelmektedir.



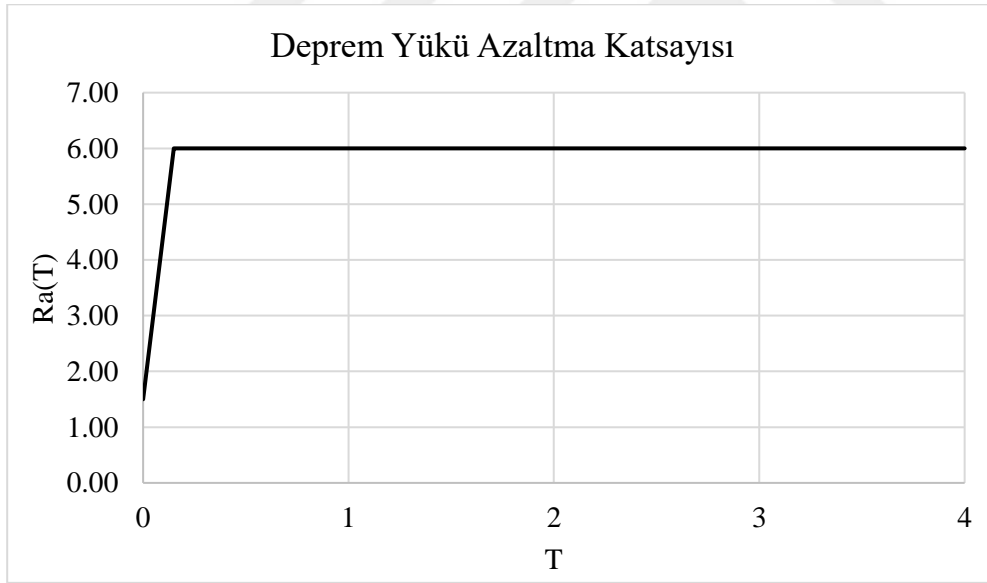
Şekil 3.13 : Spektral ivme katsayısı-periyot grafiği.[3]

Taşıyıcı sistem, süneklik düzeyi normal çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek perdelerden oluşan karma sistem olarak tasarlanmıştır. Seçilen bu taşıyıcı sisteme DBHBHY-2007’de karşı gelen taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R = 6$ ’dır. Yapı analiz edildikten sonra taban kesme kuvvetinin çerçeve ve perde tabanındaki dağılım kontrol edilip, yapılan karma sistem kabulü doğrulanmaktadır [3].

Deprem yükü azaltma katsayısı, $R_a(T)$ taşıyıcı sistem davranış katsayısı, yerel zemin köşe periyotları ve bina doğal titreşim periyoduna bağlı olarak belirlenen iki parçalı bir fonksiyondur [3]. Bu parçalı fonksiyon denklem 3.4’de verilen bağıntıya göre hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned} R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\ R_a(T) &= R & (T_A \leq T) \end{aligned} \quad (3.4)$$

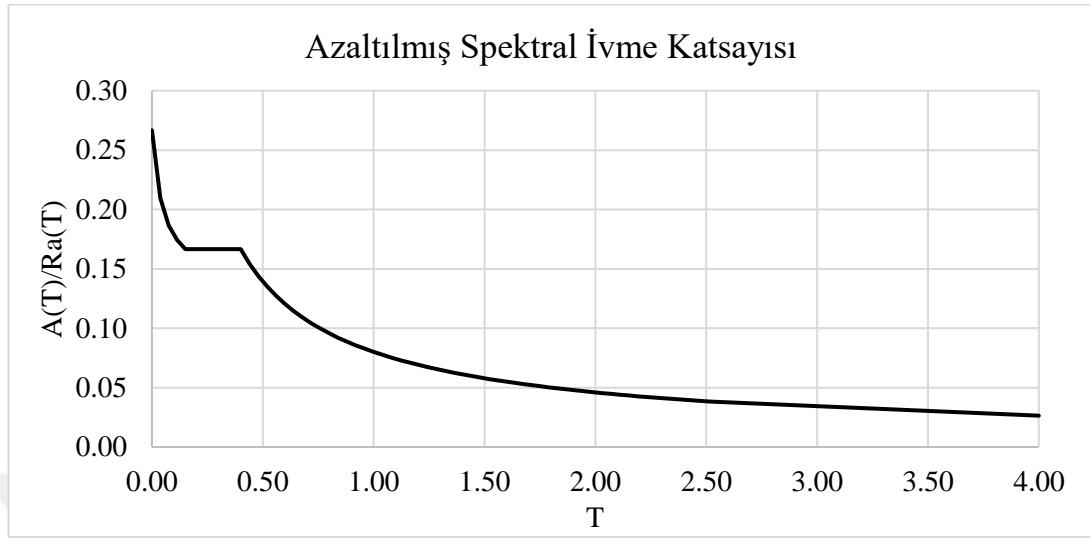
Zemin parametrelerine ve taşıyıcı sistem davranışına uygun olarak hazırlanan deprem yükü azaltma katsayısı-periyot grafiği Şekil 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.14 : DBHBHY-2007 deprem yükü azaltma katsayısı-periyot grafiği [3].

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi deprem yükü azaltma katsayısı doğrudan taşıyıcı sistem davranış katsayısına eşit olmayıp dikkate alınacak hakim periyota göre değişmektedir. Eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanıldığında bu katsayı tek bir sayısal değere karşı gelirken, modal analiz yöntemleri kullanılırsa özellikle düşük hakim periyotlu sistemlerde birçok farklı katsayıya karşı gelmektedir.

Sonuç olarak DBHBHY-2007'ye uygun olarak tasarım deprem yükü hesap yöntemlerinde kullanılması uygun olan $A(T)/R_a(T)$ -T grafiği Şekil 3.15'de verilmiştir.

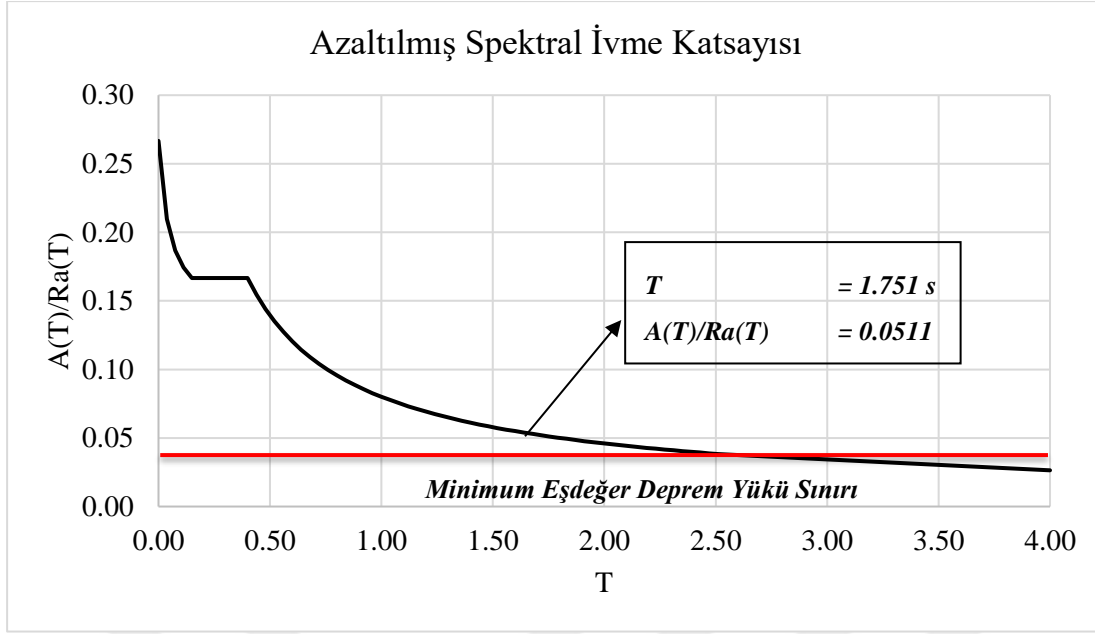


Şekil 3.15 : DBHBHY-2007 azaltılmış spektral ivme-periyot grafiği [3].

İncelenen yapı yüksek katlı olduğundan ve yapısal düzensizlik içerdiğinden deprem hesabının dinamik analiz yöntemleri kullanılarak yapılması uygundur. Uygulama'nın pratikliği nedeniyle yapının tasarımında dinamik analiz yöntemlerinden mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır. 1. hakim modun dışında kalan diğer modların da hesaba katılması ile burulma düzensizliği ve komşu katlar arası rijitlik düzensizliği de dikkate alınabildiği için bu hesap yöntemi ile yapının davranışı eşdeğer deprem yükü yöntemine göre daha doğru hesaplanmaktadır. DBYBHY-2007'e göre mod birleştirme yöntemiyle elde edilen taban kesme kuvvetinin alt sınır değeri, eşdeğer deprem yükü hesabına bağlı olarak elde edilmektedir. Bu yüzden her iki yöntemle de taban kesme kuvveti hesaplanıp mod birleştirme yöntemi için gerekli taban kesme kuvveti ölçekleme işlemi yapılmaktadır.

3.1.3.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yönteminde hesap yapılacak doğrultuya ait binanın hakim doğal titreşim periyodu dikkate alınmaktadır. Binanın hakim doğal titreşim periyodu modal analiz sonucunda ilgili doğrultudaki en büyük kütle katılımının elde edildiği mod olarak belirlenmiştir. Simetriden olayı her iki doğrultunun da hakim doğal titreşim periyodu birbirine eşit ve 1.751 s'dir. Bu hesap yöntemi için belirlenen parametreler Şekil 3.16'de ve taban kesme kuvveti hesap sonucu Çizelge 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.16 : Eşdeğer deprem yükü hesabı [3].

Grafikten görüldüğü gibi hakim moda karşı gelen azaltılmış spektral ivme ordinatı 0.0511'dir. Her bir deprem doğrultusu için hesaplanan taban kesme kuvveti, V_t denklem 3.5'de verilmiştir. Minimum eşdeğer deprem yükü şartı da Şekil 3.16'da görüldüğü gibi sağlanmaktadır.

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_o I W \quad (3.5)$$

Taban kesme kuvvetinin hesaplanmasında kullanılacak olan toplam ağırlık, W denklem 3.6'ya göre hesaplanmıştır. Bu hesapta kullanılacak hareketli yük katılım katsayısı bina kullanım amacıyla uyumlu olacak şekilde $n=0.3$ olarak dikkate alınmıştır [3].

$$W = G + nQ \quad (3.6)$$

Çizelge 3.8: Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvvetleri

Doğrultu	T_1 (s)	S_{ae}/R_a	W (kN)	V_t kN)
x	1.751	0.0511	643806	32927
y	1.751	0.0511	643806	32927

Bu çalışmada eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvveti, sadece mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvvetinin kontrolünde kullanıldığından kat kesme kuvvetlerinin hesaplanmasına gerek yoktur.

3.1.3.2 Mod birleştirme yöntemi

Yapıdaki her bir titreşim modu için elde edilen en büyük iç kuvvet ve yer değiştirmelerin matematiksel olarak birleştirilmesi ile sonuçlar elde edilir.

Her bir titreşim modu için elde edilecek ivme spektrumu denklem 3.7 ile belirlenecektir [3].

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (3.7)$$

DBYBHY-2007 uyarınca *tam karesel birleştirme kuralı* ile maksimum mod katkıları birleştirilmektedir. Bu kuralın uygulamasında %5 modal sönüm oranı tüm modlar için dikkate alınarak çapraz korelasyon katsayıları program tarafından hesaplanıp doğrudan birleştirilmiş sonuçlar elde edilmektedir [3].

DBYBHY-2007'e göre her bir mod için bulunan etkin kütlelerin toplamı hiçbir zaman toplam kütlein %90'ından daha az olmamalıdır. Yeterli titreşim modu sayısı, Y bu kütle katılım şartına göre belirlenmektedir. Denklem 3.8'de toplam etkin kütle hesabı verilmiştir [3].

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^Y M_{xn} &= \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \\ \sum_{n=1}^Y M_{yn} &= \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \end{aligned} \quad (3.8)$$

Rijit diyafram kabulünün geçerli olduğu yapılar için L_{xn} , L_{yn} ve M_n ifadelerinin hesaplanması denklem 3.9'da tanımlanmıştır [3].

$$\begin{aligned} L_{xn} &= \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin} \\ M_n &= \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2) \end{aligned} \quad (3.9)$$

Her katta üç adet modun yeterli olduğu varsayımı ile, 20 katlı yapı için 60 mod kullanılarak sonuçlar incelenmiştir. %90 kütle katılım oranı 16. mod ile birlikte sağlanmaktadır. Bu modların sonuçları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Modal analiz sonuçları ve kütle katılım oranları.

Mod	T s	f s ⁻¹	ω rad/s	Özdeğer rad ² /s ²	UX	UY	UZ	Σ UX	Σ UY	Σ UZ
1	1.75	0.57	3.59	12.87	0	0.649	0	0.00	0.65	0
2	1.75	0.57	3.59	12.87	0.649	0	0	0.65	0.65	0
3	1.60	0.62	3.92	15.34	0	0	0	0.65	0.65	0
4	0.55	1.84	11.53	132.97	0	0	0	0.65	0.65	0
5	0.54	1.87	11.74	137.83	0	0.171	0	0.65	0.82	0
6	0.54	1.87	11.74	137.84	0.171	0	0	0.82	0.82	0
7	0.25	3.96	24.89	619.38	0	0	0	0.82	0.82	0
8	0.24	4.13	25.94	672.91	0	0.07	0	0.82	0.89	0
9	0.24	4.13	25.94	672.91	0.07	0	0	0.89	0.89	0
10	0.20	5.02	31.54	994.52	0	0	0.682	0.89	0.89	0.68
11	0.19	5.15	32.32	1044.89	0	0	0	0.89	0.89	0.68
12	0.19	5.15	32.33	1045.10	0	0	0	0.89	0.89	0.68
13	0.19	5.15	32.37	1048.01	0	0	0.002	0.89	0.89	0.68
14	0.17	6.04	37.95	1440.24	0	0	0.002	0.89	0.89	0.69
15	0.16	6.08	38.20	1459.02	0	0	0	0.89	0.89	0.69
16	0.16	6.47	40.65	1652.43	0.031	0.005	0	0.92	0.90	0.69

DBYBHY-2007 uyarınca eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetinin mod birleştirme yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetine oranı β değerinden küçük ise mod birleştirme yöntemi ile elde edilen tüm büyüklükler denklem 3.10'a göre arttırılmaktadır. Tasarlanan yapı düzeyde düzensizlik içerdiğinden $\beta = 0.90$ alınmıştır [3].

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tb}} B_B \quad (3.10)$$

$$V_t \quad : 32927 \text{ kN}$$

$$V_{tB} \quad : 28493 \text{ kN}$$

$$V_t / V_{tB} \quad : 28493 / 32927 \quad = 0.865 < 0.90$$

$$B_B \quad : 0.9/0.865 \quad = 1.04$$

Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvvetinin yönetmelikteki alt sınır şartını sağlaması için ölçek faktörü %4 arttırılmıştır. Dolayısıyla mod birleştirme yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetinin ölçeklenmiş değeri 29633 kN'dur. Bu ölçekleme işlemi analiz programında deprem yükü tanımlamalarında yer çekimi ivmesinin B_B değeri ile çarpılması ile sağlanmaktadır.

3.1.3.3 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı kontrolü

DBYBHY-2007'de karma sistemler için deprem etkisi altında oluşan taban kesme kuvvetinin perdeler tarafından taşınmasına ilişkin sınır koşullar bulunmaktadır. Her bir doğrultu için perdeler tarafından taşınan kesme kuvveti toplam taban kesme kuvvetinin 2/3'ünden küçük olması durumunda taşıyıcı sistem davranış katsayısında azaltmaya gidilir. Bu azaltmanın sebebi süneklik düzeyi normal çerçevelerin taşıyıcı sistemde etkin olması ve yapının sünekliğini düşürmesidir. Bu oranın 0.4'den küçük olması durumunda ise tasarlanan taşıyıcı sistem ve seçilen taşıyıcı sistem davranış katsayısının uyumsuz olduğu anlaşılır. Karma sisteme ait taşıyıcı sistem davranış katsayısı düzeltilmesi denklem 3.11'e göre yapılmaktadır.[3]

$$\begin{aligned} R &= R_{YP} & \alpha_s &> 2/3 \\ R &= R_{NÇ} + 1.5\alpha_s (R_{YP} - R_{NÇ}) & 0.40 &< \alpha_s < 2/3 \end{aligned} \quad (3.11)$$

$$V_{tB} \quad : 29633 \text{ kN}$$

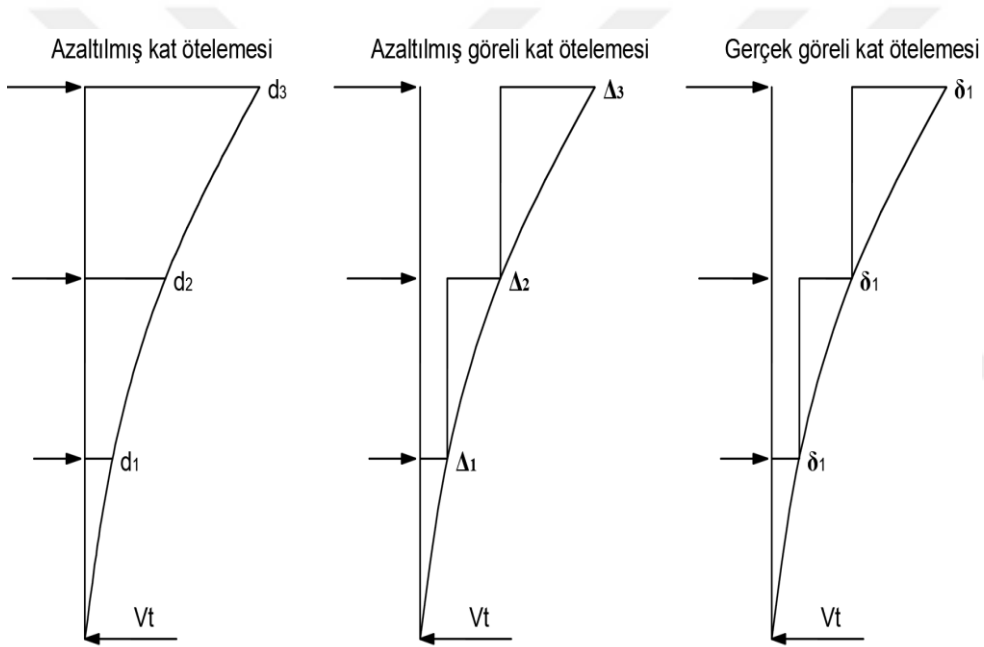
$$V_{perde} \quad : 24325 \text{ kN}$$

$$\alpha_s \quad : V_{perde} / V_t = 24325 / 29633 = 0.82 > 2/3$$

Bu sonuca göre taşıyıcı sistem davranış katsayısında herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek yoktur. Karma sistem için dikkate alınan taşıyıcı sistem davranış katsayısı değeri geçerlidir.

3.1.4 Görelî kat ötelemesi kontrolü

DBYBHY-2007 uyarınca deprem yükleri altında yapıda meydana gelen rölatif yanal ötelenme sınırlandırılmaktadır. Azaltılmış yer değıştirme değeri kullanarak gerçek görelî kat ötelemesi değeri elde edilip, gerekli sınır şartın sağlandığı gösterilmelidir (Şekil 3.17). Ardışık iki diyaframın ortalama azaltılmış yer değıştirmeleri analiz programından alınarak yönetmelik sınırı kontrol edilmektedir [3].



Şekil 3.17 : Deprem yükü etkisi altında oluşan kat ötelemeleri.

Δ_i ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesidir (3.12).

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.12)$$

Etkin görelî kat ötelemesinin hesabı azaltılmış görelî kat ötelemesinin taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile genişletilerek denklem 3.13 ile bulunmaktadır [3]. Maksimum görelî kat ötelemesinin de %2 sınır değeri sağlanması gerekmektedir (3.14). Çizelge 3.10'da her bir kat için hesaplanan görelî kat ötelemesi oranları verilmiştir.

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (3.13)$$

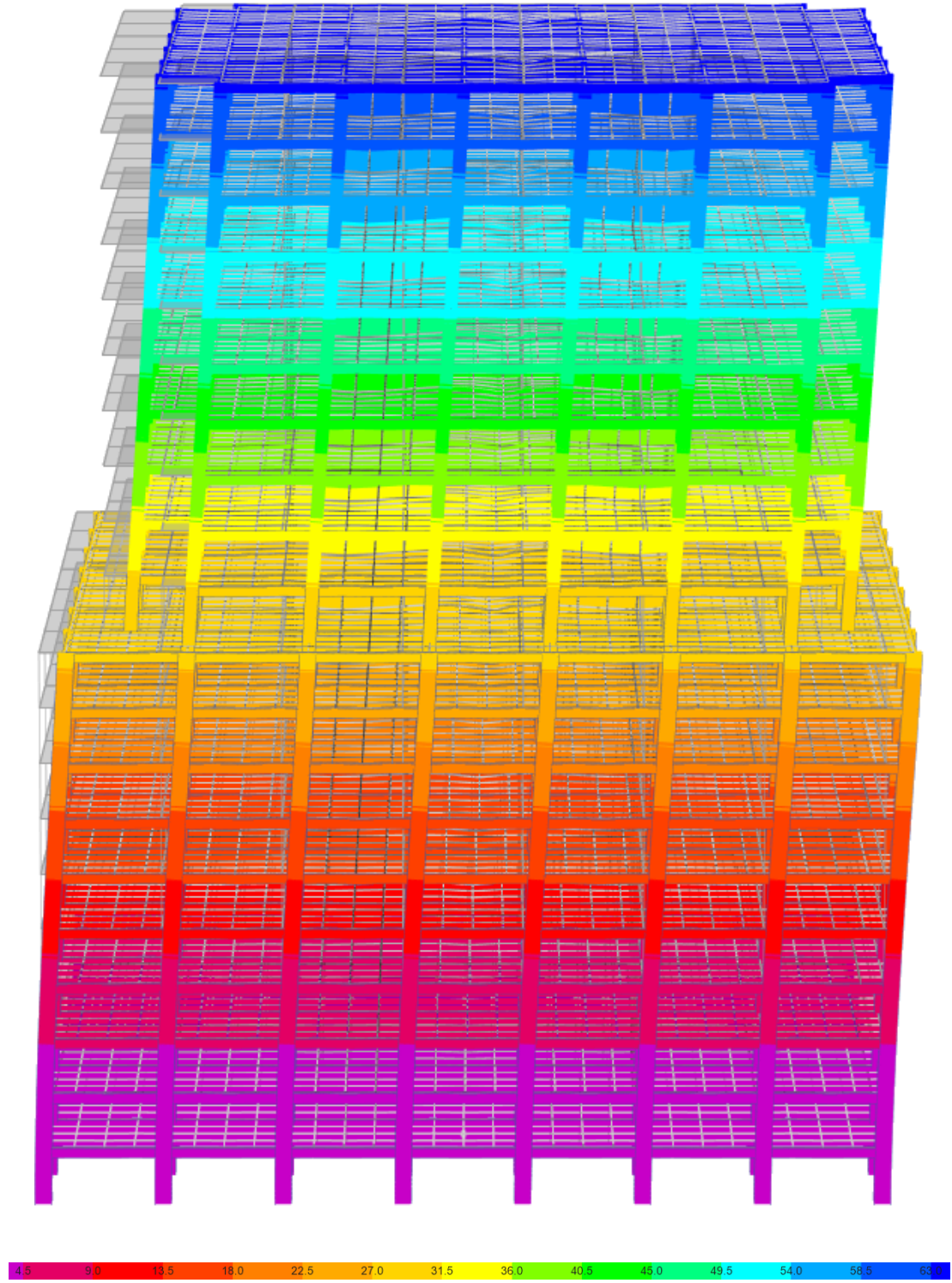
$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3.14)$$

Çizelge 3.10: Göreli kat ötelemesi kontrolü.

Kat	h m	U _x mm	Δ mm	δ =R×Δ mm	δ/h
20	3.5	65.18	3.171	19.026	0.0054
19	3.5	62.009	3.378	20.268	0.0058
18	3.5	58.631	3.494	20.964	0.0060
17	3.5	55.137	3.589	21.534	0.0062
16	3.5	51.548	3.678	22.068	0.0063
15	3.5	47.87	3.748	22.488	0.0064
14	3.5	44.122	3.791	22.746	0.0065
13	3.5	40.331	3.82	22.92	0.0065
12	3.5	36.511	3.791	22.746	0.0065
11	3.5	32.72	3.534	21.204	0.0061
10	4.5	29.186	4.244	25.464	0.0057
9	3.5	24.942	3.915	23.49	0.0067
8	3.5	21.027	3.728	22.368	0.0064
7	3.5	17.299	3.56	21.36	0.0061
6	3.5	13.739	3.351	20.106	0.0057
5	3.5	10.388	3.058	18.348	0.0052
4	3.5	7.33	2.672	16.032	0.0046
3	3.5	4.658	2.195	13.17	0.0038
2	3.5	2.463	1.591	9.546	0.0027
1	3.5	0.872	0.872	5.232	0.0015

Çizelge 3.10'dan görülebileceği üzere en büyük göreli kat ötelemesi oranı 9. katta 0.0067 olarak elde edilmektedir. Bu öteleme oranı sınır değer olan 0.02'den çok küçüktür. Dolayısıyla tüm katlarda göreli kat ötelemesinin sınırlandırıldığı kabul edilebilir.

Tasarlanan yapının bir deprem doğrultusu için azaltmış deprem etkisi altında yaptığı yer değiştirme Şekil 3.18’da verilmiştir.



Şekil 3.18 : Deprem yüklemesi altında yapıda oluşan yer değiştirme.

3.1.5 İkinci merteye etkilerinin sınırlandırılması

İkinci Merteye Gösterge Değeri, θ_i denklem 3.15 ile hesaplanmaktadır [3].

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (3.15)$$

Çizelge 3.11’te ikinci merteye etkilerin kontrolü için hazırlanan hesap tablosu verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi tüm katlarda θ_i değeri 0.12 değerinden çok küçüktür. Dolayısıyla ikinci merteye etkilerin sınırlandırıldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 3.11 : İkinci merteye gösterge değeri.

Kat	h m	Δ mm	W kN	V kN	θ_i
20	3.5	3.17	25897	4047	0.0058
19	3.5	3.38	43876	6419	0.0066
18	3.5	3.49	79016	10140	0.0078
17	3.5	3.59	105576	11977	0.0090
16	3.5	3.68	132135	13381	0.0104
15	3.5	3.75	158695	14550	0.0117
14	3.5	3.79	185254	15563	0.0129
13	3.5	3.82	211814	16456	0.0140
12	3.5	3.79	238373	17269	0.0150
11	3.5	3.53	264933	18035	0.0148
10	4.5	4.24	312415	19595	0.0150
9	3.5	3.92	348841	20859	0.0187
8	3.5	3.73	385820	22151	0.0186
7	3.5	3.56	422798	23538	0.0183
6	3.5	3.35	373038	14561	0.0245
5	3.5	3.06	496754	26324	0.0165
4	3.5	2.67	534283	27673	0.0147
3	3.5	2.20	440000	27439	0.0101
2	3.5	1.59	454680	28227	0.0073
1	3.5	0.87	646868	30487	0.0053

3.1.6 Yapısal düzensizliklerin kontrolü

3.1.6.1 Burulma düzensizliği

Her bir kat için hesaplanan maksimum ötelenme değerinin ortalama öteleme değerine oranı olarak ifade edilen burulma düzensizliği katsayısı Çizelge 3.12’de verilmiştir [3]. Bu çizelgede, hesaplanan burulma düzensizliği katsayılarının tümü 1.2’den küçük olduğundan tasarlanan yapıda burulma düzensizliğinin sınırlandırıldığı kabul edilmiştir.

Çizelge 3.12 : Burulma düzensizliği kontrolü.

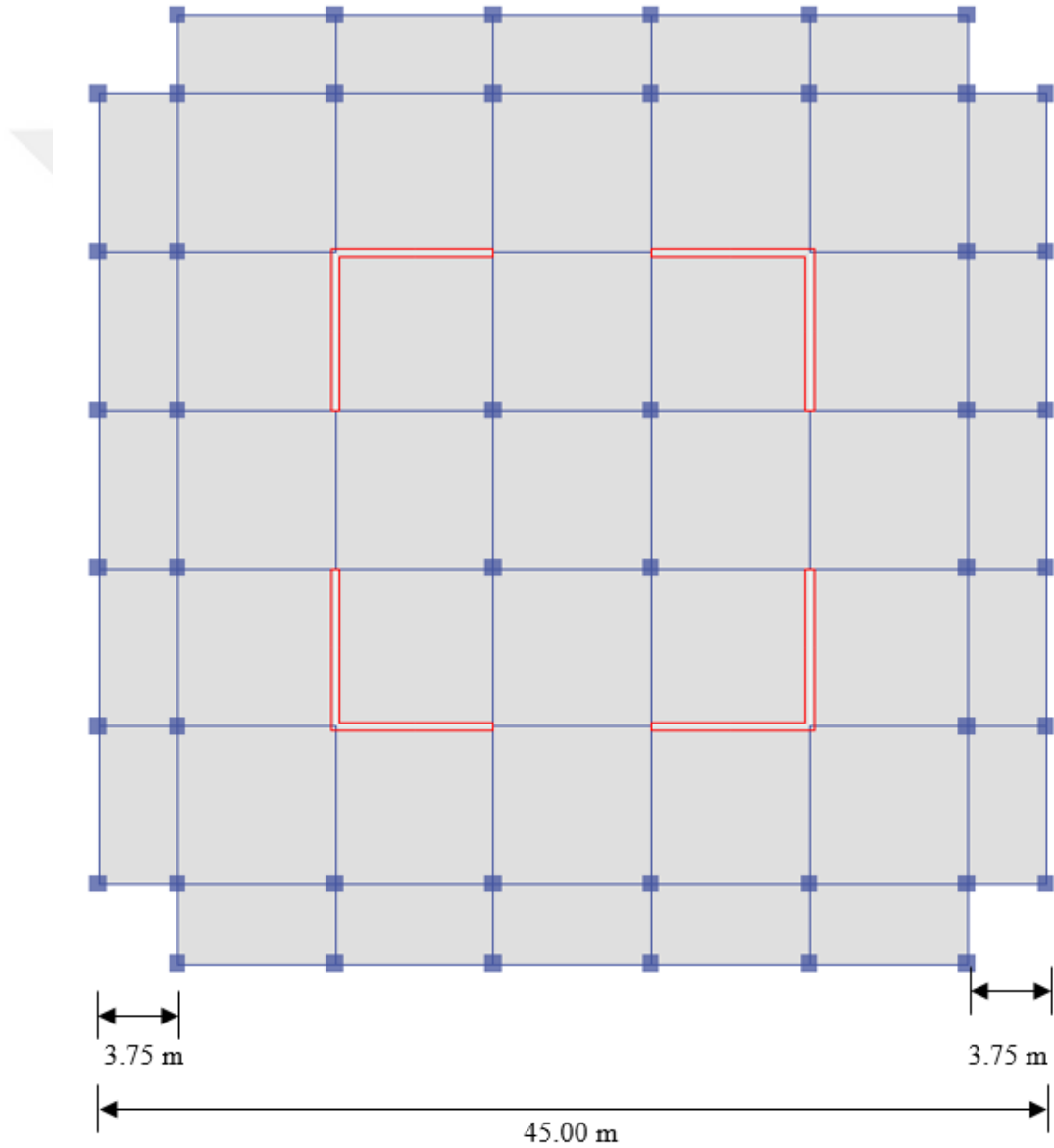
Kat	Maksimum Öteleme	Ortalama Öteleme	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Kat20	3.45	3.347	1.031
Kat19	3.657	3.644	1.003
Kat18	3.8	3.789	1.003
Kat17	3.914	3.909	1.001
Kat16	4.012	4.008	1.001
Kat15	4.079	4.075	1.001
Kat14	4.107	4.104	1.001
Kat13	4.128	4.109	1.005
Kat12	4.283	4.147	1.033
Kat11	3.745	3.633	1.031
Kat10	4.693	4.512	1.04
Kat9	4.103	3.962	1.035
Kat8	3.806	3.767	1.01
Kat7	3.612	3.603	1.003
Kat6	3.396	3.39	1.002
Kat5	3.096	3.089	1.002
Kat4	2.688	2.672	1.006
Kat3	2.235	2.212	1.01
Kat2	1.679	1.636	1.026
Kat1	0.872	0.816	1.069

3.1.6.2 Döşeme süreksizliği

Döşeme süreksizliğine neden olacak çok büyük boşluklar bulunmamaktadır. Tasarım aşamasında bu düzensizliğin oluşmamasına dikkat edilmiştir.

3.1.6.3 Planda çıkıntı bulunması

10. katta oluşturulan kolon süreksizliği ile planda geri çekme yapılmıştır. Geri çekme nedeniyle kenar uzunluğu 45 m olan planda 3.75 m çıkıntılar oluşmaktadır. Buna rağmen DBYBHY-2007’de verilen %20 çıkıntı sınırı sağlanmaktadır [3].



Şekil 3.19 : Plandaki çıkıntı uzunlukları.

$$3.75/45 = \%8.33 < \%20$$

3.1.6.4 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)

Katlar birbirinin benzeri olarak tasarlanıp, dolgu duvar yerleşimlerinde de herhangi bir değişiklik yapılmadığından zayıf kat oluşumu meydana gelmemektedir [3].

3.1.6.5 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)

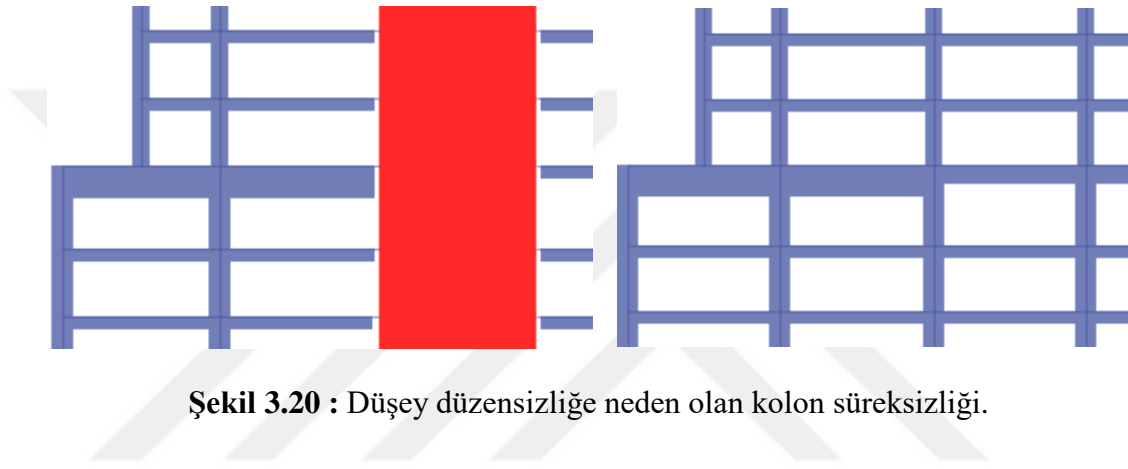
Her bir kat için hesaplanan görelî kat ötelemelerinin, bir alt kat ve bir üst katta hesaplanan görelî kat ötelemelerine oranı olarak ifade edilen rijitlik düzensizliği katsayısı Çizelge 3.13'de verilmiştir [3]. Bu Çizelgeden alınan en büyük rijitlik düzensizliği katsayısı 2. katta 1.82 olarak elde edilmektedir. Sınır değeri olan 2.00'dan küçük olduğundan yapıda komşu katlar arası rijitlik düzensizliği olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 3.13 : Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği katsayısı hesap tablosu.

Kat	h m	Δ_i mm	Δ_i/h_i	$(\Delta_i/h_i)_{ort} /$ $(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort} /$ $(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	η_{ki}
20	3.5	3.171	0.00091	-	0.94	0.94
19	3.5	3.378	0.00097	1.07	0.97	1.07
18	3.5	3.494	0.00100	1.03	0.97	1.03
17	3.5	3.589	0.00103	1.03	0.98	1.03
16	3.5	3.678	0.00105	1.02	0.98	1.02
15	3.5	3.748	0.00107	1.02	0.99	1.02
14	3.5	3.791	0.00108	1.01	0.99	1.01
13	3.5	3.82	0.00109	1.01	1.01	1.01
12	3.5	3.791	0.00108	0.99	1.07	1.07
11	3.5	3.534	0.00101	0.93	1.07	1.07
10	4.5	4.244	0.00094	0.93	0.84	0.93
9	3.5	3.915	0.00112	1.19	1.05	1.19
8	3.5	3.728	0.00107	0.95	1.05	1.05
7	3.5	3.56	0.00102	0.95	1.06	1.06
6	3.5	3.351	0.00096	0.94	1.10	1.10
5	3.5	3.058	0.00087	0.91	1.14	1.14
4	3.5	2.672	0.00076	0.87	1.22	1.22
3	3.5	2.195	0.00063	0.82	1.38	1.38
2	3.5	1.591	0.00045	0.72	1.82	1.82
1	3.5	0.872	0.00025	0.55	-	0.55

3.1.6.6 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği

Tez çalışma konusu dahilinde yapıda kolon süreksizliği oluşturulmuştur. Yapının 10. katında kiriş ortasına mesnetlenen kolon nedeniyle bu düzensizlik oluşmaktadır. Düşey düzensizliğe neden olan kolon süreksizliği Şekil 3.20’de verilmektedir. Yapının analizinde ve performans değerlendirmesinde bu düzensizlik tipi irdelenmektedir. İki ucundan mesnetli kirişe kolon oturtulması sonucu bu kiriş ve göz önüne alınacak deprem doğrultusunda bu kirişin düğüm noktalarına bağlanan kolon ve kirişlerin tüm kesitlerinde deprem etkisinin dahil olduğu yük birleşimlerinden elde edilecek iç kuvvetler %50 arttırılacaktır [3].



Şekil 3.20 : Düşey düzensizliğe neden olan kolon süreksizliği.

3.1.7 Betonarme hesap sonuçları

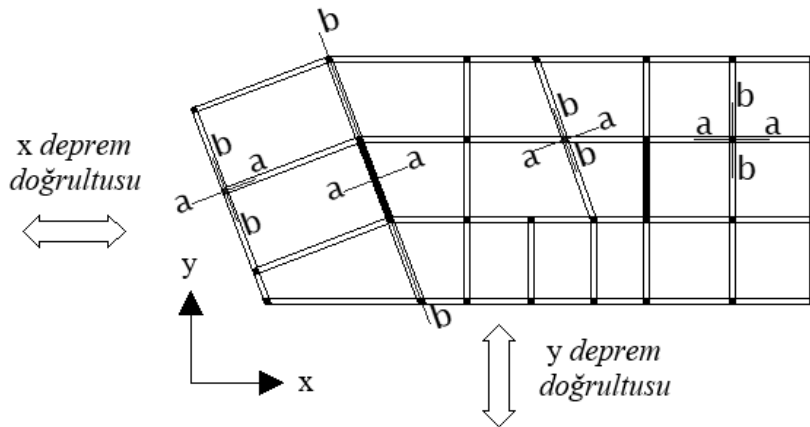
Taşıyıcı elemanların betonarme hesapları TS-500 ve DBHBHY-2007’de belirtildiği üzere taşıma gücü yöntemi esaslarına uygun olarak yapılmıştır. Taşıyıcı sistem süneklik düzeyi normal çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek perdelerden oluşan karma sistem olarak tasarlanmıştır. 10. katta oluşan düzensizliğin etkisi ile çok büyük enkesitli kirişlerin kullanılması gerekmekte ve kolonların kirişlerden daha güçlü olma şartı sağlanamamaktadır. Bu yüzden yapı DBHBHY-2007 gereğince karma sistem olarak tasarlanmıştır. Ancak çerçeve elemanların kesitleri süneklik düzeyi yüksek kesitler için hesaplanan kesme kuvvetlerine ve konstrüktif şartlara uygun olarak enine donatı düzenlemesi yapılmıştır.

Kiriş, kolon ve perde kesitlerinin betonarme hesapları ETABS 2016 programı ile yapıлып, boyuna ve enine donatıları belirlenmiştir. Kirişler her üç katta bir tipeştirilerek benzer donatılar hesaplanmıştır. Bu tipeştirmelerde aynı akstaki benzer elemanlardan donatısı elverişsiz olan seçilmiştir.

Döşemelerde düzlem dışı eğilme momenti diyagramları alınarak bu momenti karşılayacak yeterli donatıya karar verilmiştir. Kirişlerin eğilme momenti ve kesme kuvveti etkisi altında tasarımı yapılmıştır. Kolonlar aksel yük ile birlikte iki eksenli eğilme momentinin etkisi altında tasarlanmıştır. Kolonların P-M₂-M₃, karşılıklı etkileşim yüzeyleri donatı çapı ve yerleşimine uygun olarak oluşturulup, meydana gelen iç kuvvetler ile kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslama kapasite oranı adı verilen bir büyüklükle gözlenmekte olup, tüm kolonlar için 1'den küçük olacak sonuçlar elde edilmiştir. L tipindeki perdelerin iki adet perde kolundan oluştuğu kabul edilerek tasarım yapılmıştır. Bu kollar aksel yük ile birlikte tek eksenli eğilme momentinin etkisi altında donatılmıştır. *pier section designer* bölümünde her bir perde kolunun kesitleri modellenerek kapasite oranları kontrol edilmek üzere pierlar atanmıştır. Bu sayede P-M₂ karşılıklı etki diyagramı oluşturularak donatının yeterliliği kontrol edilmektedir. Betonarme kesit hesapları TS-500 de verilen yük birleşimlerine göre yapılmıştır. Yük birleşimlerinde DBYBHY-2007'de verilen birbirine dik doğrultuda hesaplanan deprem etkilerinin ortak etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Şekil 3.21'de görüldüğü gibi a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler en elverişsiz sonucu verecek şekilde elde edilecektir. Betonarme yapının tasarımı için kullanılan arttırılmış düşey yükler ve düşey yükler ile depremin ortak etkisinin yer aldığı tasarım yük birleşimleri Çizelge 3.14'de verilmiştir. %50 tasarım iç kuvvet artırımının yapılacağı taşıyıcı elemanlar Kombo-06-Kombo-09 arasında listelenen yük birleşimleri dikkate alınarak yapılmıştır.

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad \text{veya} \quad B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \quad \text{veya} \quad B_b = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by}$$



Şekil 3.21 : X ve Y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi [3].

Çizelge 3.14 : Tasarım yük birleşimleri [3,29].

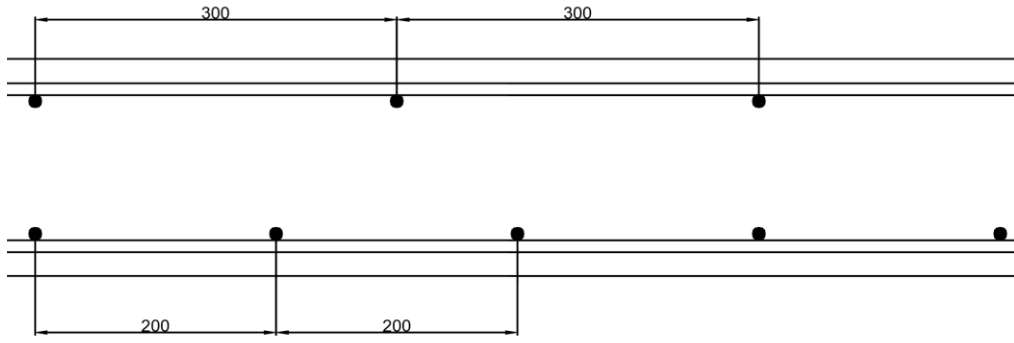
Tasarım Yük Birleşimleri	Ölü Yük G	Hareketli Yük Q	Deprem Yükü	
			Ex	Ey
Kombo-01	1.4	1.6	-	-
Kombo-02	1.0	1.0	±1.0	±0.3
Kombo-03	1.0	1.0	±0.3	±1.0
Kombo-04	0.9	-	±1.0	±0.3
Kombo-05	0.9	-	±0.3	±1.0
Kombo-06	1.5	1.5	±1.5	±0.45
Kombo-07	1.5	1.5	±0.45	±1.5
Kombo-08	1.35	-	±1.5	±0.45
Kombo-09	1.35	-	±0.45	±1.5

Tez çalışmasının konusu kolon süreksizliği bulunan 20 katlı betonarme binanın deprem yükleri altındaki davranışı olduğundan rüzgar, sıcaklık değişimi, yağmur ve buz yükleri gibi diğer etkilerin hakim olmadığı kabul edilip, tasarım yük birleşimlerine dahil edilmemiştir.

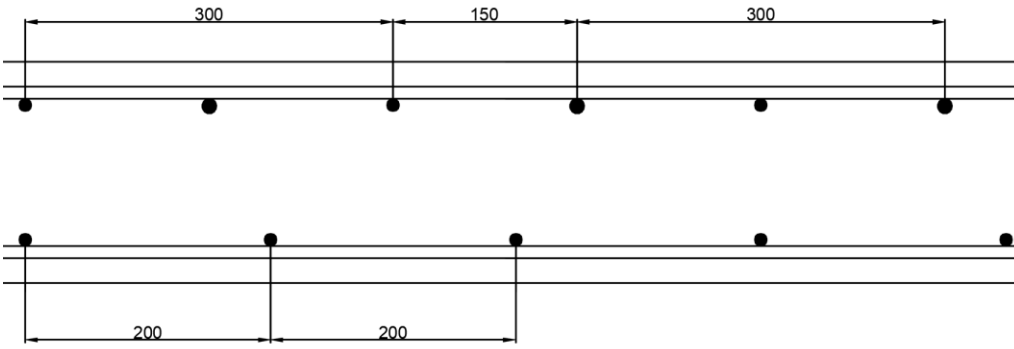
3.1.7.1 Döşeme

Döşemeler tasarım aşamasında kabuk eleman olarak modele işlenmiştir. Kabuk elemanların sonlu eleman parçalarına bölünmesi sonucu oluşacak yeni düğüm noktaları analiz için kurulan matrisleri büyütse de doğrusal analiz için bir engel oluşturmamaktadır. Kabuk elemanlarda düzlem içi ve düzlem dışı etkileri aktarabilecek şekilde her düğüm noktasında altı serbestlik tanımlı olduğundan program üzerinden doğrudan düzlem dışı eğilme momenti değerleri okunabilmektedir.

Tipik aksenal 7.5 m açıklığındaki kare döşemeler için kalınlık 180 mm olarak belirlenmiştir. Döşemelerde oluşan pozitif eğilme momentini karşılayacak alt donatı kenar açıklıklarda her iki doğrultuda da $\phi 12/200$ orta açıklıklarda ise $\phi 10/200$ olarak seçilmiştir. Döşeme üst donatısı için de her iki doğrultuda $\phi 10/300$ standart olarak kullanılmıştır. Perde ve kiriş üstlerinde oluşan büyük negatif mesnet momentleri $\phi 10/300$ 'e ilave $\phi 12/300$ ek donatı kullanılarak karşılanmıştır. Döşeme açıklık kesiti Şekil 3.22'de, mesnet kesiti de Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.22 : Tipik döşeme açıklık kesiti



Şekil 3.23 : Tipik döşeme mesnet kesiti

3.1.7.2 Kiriş

Bu bölümde tüm kirişler enkesitleri göz önünde bulundurularak ana gruplar halinde verilmiştir. Aynı grup içerisindeki kirişler ise tasarım ve imalat kolaylığı açısından tipleştirilerek donatılmıştır. Tipleştirme diğer taşıyıcı elemanlarda da uygulandığı gibi bulunduğu aks ve kata göre yapılmıştır. Her iki ucuda perdeye mesnetli kirişler perde bağ kirişi olarak tasarlanmadığından, bağ kirişi olarak adlandırılmamıştır. Belirlenen ana kiriş grupları;

- I. Tipik 400/600 enkesitli çerçeve kirişleri
- II. 10. katta yer alan kirişler
- III. Her iki ucu da perdeye mesnetli kirişler

Tipik 400/600 çerçeve kirişleri

Yapıda tipik olarak kullanılan 400/600 çerçeve kirişlerinin boyuna ve enine donatılarının her üç katta bir tipleştirilmesi hedeflenmiştir. Çizelge 3.15’de ilk altı katın ve Çizelge 3.16’da 10. kat dışındaki kalan diğer katların kiriş donatıları verilmiştir.

Çizelge 3.15 : 1-6 katları 400 / 600 kirişlerinin donatı detayları.

Kat	Kiriş	Alt Donatı	Montaj Donatısı	Sol Üst İlave Donatı	Sağ Üst İlave Donatı	Etriye
1-2-3	K101-K201-K301	4φ16	3φ14	2φ24	2φ20	φ12/10-20
	K102-K202-K302	4φ16	3φ14	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	K103-K203-K303	4φ16	3φ14	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	K104-K204-K304	4φ16	3φ14	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	K105-K205-K305	4φ20	3φ14	2φ26	2φ24	φ12/10-20
	K106-K206-K306	4φ20	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K107-K207-K307	4φ20	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K108-K208-K308	4φ20	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K109-K209-K309	4φ20	3φ20	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	K110-K210-K310	4φ20	3φ20	2φ20	2φ26	φ12/10-20
	K112-K212-K312	4φ20	3φ20	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	K113-K213-K313	4φ20	3φ20	2φ20	2φ26	φ12/10-20
	K114-K214-K314	4φ20	3φ20	2φ26	2φ20	φ12/10-20
	K115-K215-K315	4φ20	3φ20	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	4-5-6	K401-K501-K601	4φ16	3φ14	2φ26	2φ24
K402-K502-K602		4φ16	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
K403-K503-K603		4φ16	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
K404-K504-K604		4φ16	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
K405-K505-K605		4φ20	3φ20	2φ26	2φ20	φ12/10-20
K406-K506-K606		4φ20	3φ20	2φ26	2φ20	φ12/10-20
K407-K507-K607		4φ20	3φ20	2φ26	2φ20	φ12/10-20
K408-K508-K608		4φ20	3φ20	2φ26	2φ20	φ12/10-20
K409-K509-K609		4φ20	3φ20	2φ26	2φ20	φ12/10-20
K410-K510-K610		4φ20	4φ20	2φ20	4φ24	φ12/10-20
K412-K512-K612		4φ20	3φ20	2φ24	2φ20	φ12/10-20
K413-K513-K613		4φ20	3φ20	2φ20	4φ22	φ12/10-20
K414-K514-K614		4φ20	3φ20	4φ22	2φ20	φ12/10-20
K415-K515-K615		4φ20	3φ20	2φ20	2φ20	φ12/10-20

Çizelge 3.16 : 7-9 ve 11-20 katları 400 / 600 kirişlerinin donatı detayları.

Kat	Kiriş	Alt Donatı	Montaj Donatısı	Sol Üst İlave Donatı	Sağ Üst İlave Donatı	Etriye
7-8-9	K701-K801-K901	4φ16	3φ14	2φ26	2φ24	φ12/10-20
	K702-K802-K902	4φ16	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K703-K803-K903	4φ16	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K704-K804-K904	4φ16	3φ14	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K705-K805-K905	4φ20	3φ20	4φ22	2φ22	φ12/10-20
	K706-K806-K906	4φ20	3φ20	4φ22	2φ22	φ12/10-20
	K707-K807-K907	4φ20	3φ20	4φ22	2φ22	φ12/10-20
	K708-K808-K908	4φ20	3φ20	4φ22	2φ22	φ12/10-20
	K709-K809-K909	4φ20	4φ20	3φ20	2φ20	φ12/10-20
	K710-K810-K910	4φ20	4φ20	2φ20	3φ24	φ12/10-20
	K712-K812-K912	4φ20	3φ20	4φ22	2φ20	φ12/10-20
	K713-K813-K913	4φ20	3φ20	2φ20	4φ22	φ12/10-20
	K714-K814-K914	4φ20	3φ20	4φ22	2φ20	φ12/10-20
	K715-K815-K915	4φ20	3φ20	2φ20	2φ20	φ12/10-20
	11-12-13-14-15-16-17-18-19-20	K1101~K2001	4φ16	3φ14	2φ26	2φ24
K1102~K2002		4φ16	3φ14	2φ24	2φ26	φ12/10-20
K1103~K2003		4φ16	3φ14	2φ26	2φ26	φ12/10-20
K1104~K2004		4φ20	3φ20	4φ22	2φ22	φ12/10-20
K1105~K2005		4φ20	3φ20	2φ22	2φ22	φ12/10-20
K1106~K2006		4φ20	3φ20	2φ22	2φ22	φ12/10-20
K1107~K2007		4φ20	3φ20	2φ22	2φ22	φ12/10-20
K1108~K2008		4φ20	4φ20	-	2φ20	φ12/10-20
K1109~K2009		4φ20	4φ20	2φ20	3φ26	φ12/10-20
K1111~K2011		4φ20	3φ20	2φ20	2φ20	φ12/10-20
K1112~K2012		4φ20	3φ20	2φ20	4φ24	φ12/10-20
K1113~K2013		4φ20	3φ20	4φ24	3φ24	φ12/10-20
K1114~K2014		4φ20	3φ20	3φ24	4φ24	φ12/10-20

10. katta yer alan kirişler

10. katta oluşturulan kolon süreksizliğinden dolayı bu kattaki bazı kirişlerin diğer katlardaki kirişlere göre oldukça büyük enkesitli olarak tasarlanması gerekmektedir. Kolonları taşıyan 800/1600 enkesitli kirişler ve deprem doğrultusunda bu kirişlere bağlanan 800/1000 enkesitli kirişler bulunmaktadır. Bu katta yer kirişlerin donatı detayları Çizelge 3.17’de verilmiştir. Büyük enkesit ve yüksek donatı oranına sahip kirişlerin yüksek eğilme momenti kapasitelerinin tasarım kesme kuvvetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu kesme kuvvetleri büyük çapta sık etriye ve ilave çiroz kullanılması kullanılarak giderilmiştir.

Çizelge 3.17 : Düzensiz 10. kat kirişlerinin donatı detayları.

Aks	Kiriş	Kesit	Alt Donatı	Montaj Donatısı	Sol Üst İlave Donatı	Sağ Üst İlave Donatı	Etriye
A	K1001	400/600	4φ20	4φ20	3φ26	2φ24	φ12/10-20
	K1002	400/600	4φ20	4φ20	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K1003	400/600	4φ20	4φ20	2φ24	2φ24	φ12/10-20
	K1004	400/600	4φ20	4φ20	2φ24	2φ24	φ12/10-20
B	K1005	800/1600	24φ32	6φ26	5φ32	5φ32	2φ16/7.5 +φ16/7.5(çiroz)
	K1006	800/1600	12φ32	6φ26	5φ32	5φ32	2φ14/10
	K1007	800/1000	6φ32	6φ26	5φ32	5φ32	2φ14/10-20
	K1008	800/1000	6φ32	6φ26	5φ32	5φ32	2φ14/10-20
C	K1009	800/1600	27φ32	6φ26	5φ32	3φ32	2φ16/7.5 +φ16/7.5(çiroz)
	K1010	800/1600	13φ32	6φ26	3φ32	9φ32	2φ16/10
D	K1012	800/1600	27φ32	6φ26	5φ32	3φ32	2φ16/7.5 +φ16/7.5(çiroz)
	K1013	800/1600	13φ32	6φ26	3φ32	2φ26	2φ14/10
	K1014	400/600	5φ20	3φ26	2φ26	-	φ12/10-20
	K1015	400/600	5φ20	3φ26	-	-	φ12/10-20

Her iki ucu da perdeye mesnetli kirişler

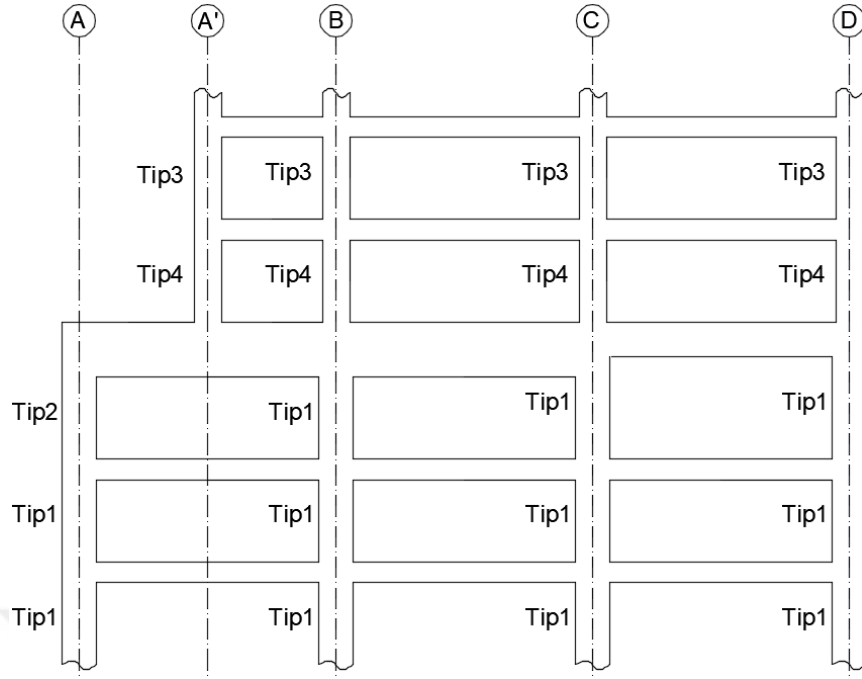
Her iki ucu da perdeye mesnetli tüm kirişler diğer kirişlerle benzer olarak 600 mm yüksekliğinde tasarlanmıştır. Ancak bu kirişlerin genişliği perde kalınlığı ile aynı olacak şekilde belirlenmiştir. Dolayısıyla yapıda üç tip kiriş enkesiti bulunmaktadır. Kesitler doğrusal elastik tasarım ilkelerine göre boyutlandırılmıştır. İlave çatlamış kesit rijitliği atanmasına ve çapraz donatı kullanılmasına gerek duyulmamıştır. İki ucu perdeye bağlanan kirişler bu yapıda her ne kadar bağ kirişi davranışı göstermese de bu kirişlerde deprem etkisi altında diğer 400/600 enkesitli kirişlere göre daha büyük iç kuvvetler oluşmaktadır.

Çizelge 3.18 : Her iki ucu da perdeye mesnetlenen kirişlerin donatı detayları.

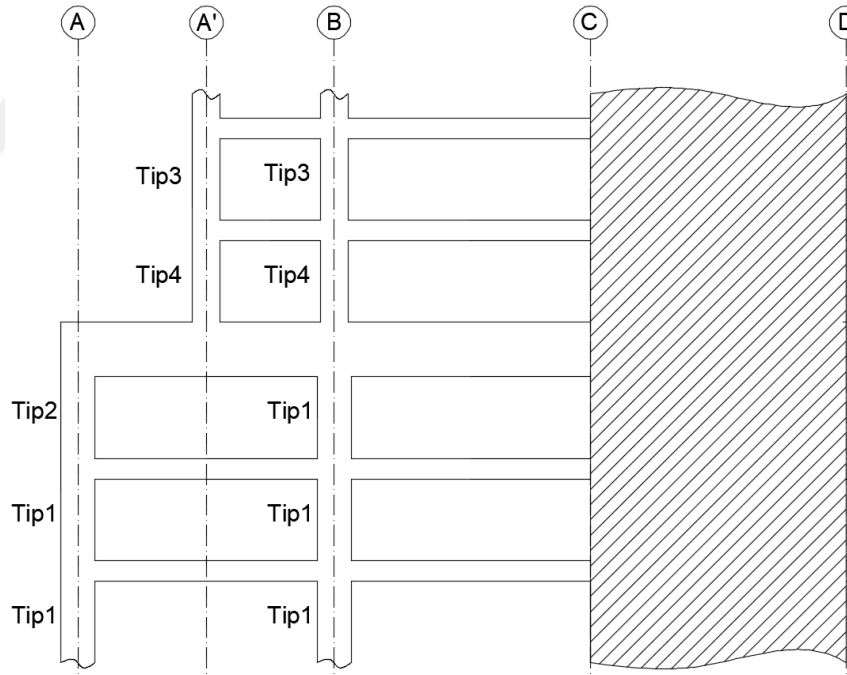
Katlar	Kesit	Alt Donatı	Montaj Donatısı	Sol Üst İlave Donatı	Sağ Üst İlave Donatı	Etriye
1-2-3-4	600/600	5φ20	4φ20	4φ26	4φ26	2φ12/10
5-6-7-8	500/600	4φ26	4φ20	4φ26	4φ26	φ12/10 +φ12/10(çiroz)
9-10-11-12- 13-14-15-16- 17-18-19-20	400/600	4φ26	4φ20	4φ26	4φ26	φ12/10

3.1.7.3 Kolon

Yapıda dört farklı betonarme kolon enkesit tipi kullanılmıştır. 10. Katta kolon süreksizliği nedeniyle oluşturulan düşeyde düzensizlik kolon boyutlarının belirlenmesinde önemli rol oynamıştır. Bu kattaki kolonlar için belirlenen kolon boyutları alt katlar için de uygulanıp gereken donatı miktarına karar verilmiştir. Deprem yönetmeliği gereği yapılan %50 tasarım iç kuvvet artışına karşı yeterli dayanım sağlamak için büyük enkesitli eleman kullanılmıştır. Gereksiz donatı maliyeti oluşturmamak için Tip2 ve Tip4 kolonlarında hesaplanan boyuna donatılar alt katlarda uygulanmamıştır. Tip geçişlerinde de donatı yerleşimi bozulmadan donatı çapı arttırılmıştır Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 boy kesit üzerinde kullanılan kolon tipleri verilmiştir.



Şekil 3.24: B aksı kolon tipleri.



Şekil 3.25: C aksı kolon tipleri.

Tüm kolon tiplerine ait donatı detayları Çizelge 3.19'da verilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek betonarme kolonlar için uygulanan minimum enine donatı şartları yerine getirilecek şekilde boyutlandırılmıştır. Boy donatıda da minimum ve maksimum donatı oranları gözetilerek yeterli donatı seçimi yapılmıştır.

Çizelge 3.19: Kolon donatı detayları.

Tip1	Boyut	Boy Donatı	Enine Donatı
1	1000 x 1000	32 ϕ 20 (ρ =%1.00)	ϕ 14/100-200 3 kapalı etriye + 2 çiroz
2	1000 x 1000	32 ϕ 28 (ρ =%1.97)	ϕ 14/100-200 3 kapalı etriye + 2 çiroz
3	800 x 800	24 ϕ 20 (ρ =%1.18)	ϕ 14/100-200 3 kapalı etriye
4	800 x 800	24 ϕ 28 (ρ =%2.31)	ϕ 14/100-200 3 kapalı etriye

3.1.7.4 Perde

İlk dört kat kritik perde yüksekliği içerisinde olduğundan katlardaki perde enkesitlerinde etriye ve yatay donatı düzeni uygulanmıştır. 7.5 m uzunluğundaki perde kolları kalınlık bakımından 3 tip enkesit kullanılmıştır. Gerekli kesme ve eğilme kapasitesi sağlanacak tasarım yapıldığında 8 farklı perde kolu tipi oluşmaktadır. Çizelge 3.20'de bu perde kolu tiplerine ait donatılar detaylı bir şekilde verilmiştir. Süneklik düzeyi yüksek betonarme perde taşıyıcı elemana ait konstrüktif şartlara uyulmuştur.

Çizelge 3.20: 1-10 katları arası perde kolu donatı detayları.

Tip	Kat	Kalınlık mm	Uç Bölge Uzunluğu mm	Uç Bölge		Gövde Donatısı	
				Boyuna Donatı	Enine Donatı	Düşey	Yatay
1	1	600	2000	44 ϕ 26	ϕ 14/100	2 ϕ 16/200	3 ϕ 20/100
	2	600	2000	44 ϕ 26	ϕ 14/100	2 ϕ 16/200	3 ϕ 20/100
2	3	600	2000	44 ϕ 26	ϕ 14/100	2 ϕ 16/200	3 ϕ 20/100
	4	600	2000	44 ϕ 26	ϕ 14/100	2 ϕ 16/200	3 ϕ 20/100
3	5	500	1500	22 ϕ 26	ϕ 12/200	2 ϕ 14/200	3 ϕ 20/100
	6	500	1500	22 ϕ 26	ϕ 12/200	2 ϕ 14/200	3 ϕ 20/100
4	7	500	1500	22 ϕ 26	ϕ 12/200	2 ϕ 14/200	3 ϕ 20/200
	8	500	1500	22 ϕ 26	ϕ 12/200	2 ϕ 14/200	3 ϕ 20/200
5	9	400	1000	14 ϕ 26	ϕ 12/200	2 ϕ 14/200	3 ϕ 20/200
	10	400	1000	14 ϕ 26	ϕ 12/200	2 ϕ 14/200	3 ϕ 20/200

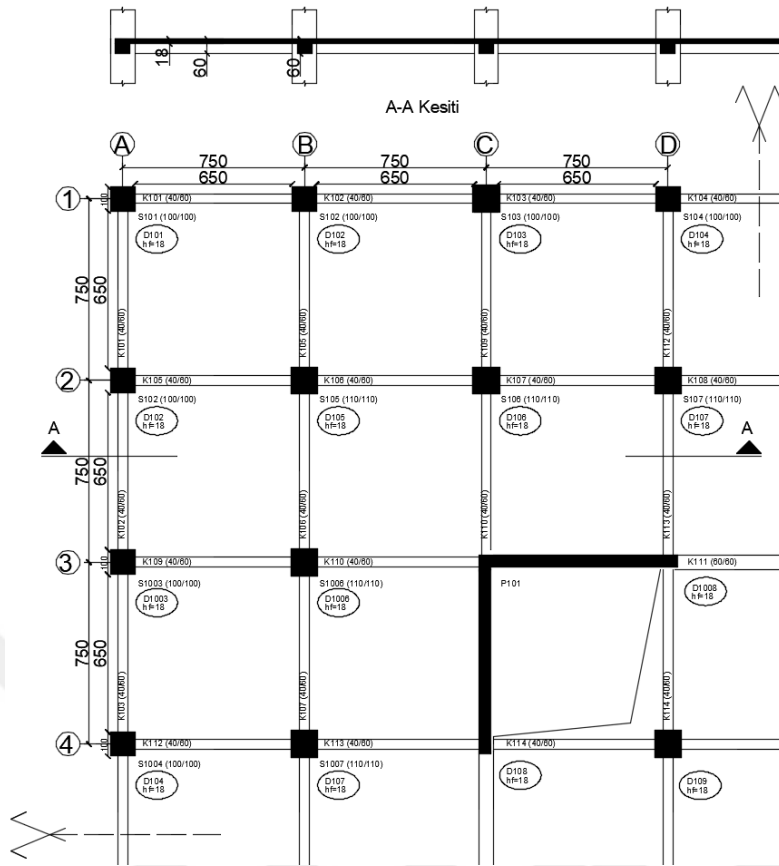
Çizelge 3.21: 11-20 katları arası perde kolu donatı detayları.

Tip	Kat	Kalınlık mm	Uç Bölge Uzunluğu mm	Uç Bölge		Gövde Donatısı	
				Boyuna Donatı	Enine Donatı	Düsey	Yatay
6	11	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ20/200
	12	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ20/200
	13	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ20/200
	14	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ20/200
7	15	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ16/200
	16	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ16/200
	17	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ16/200
8	18	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ14/200
	19	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ14/200
	20	400	1000	14φ26	φ12/200	2φ14/200	2φ14/200

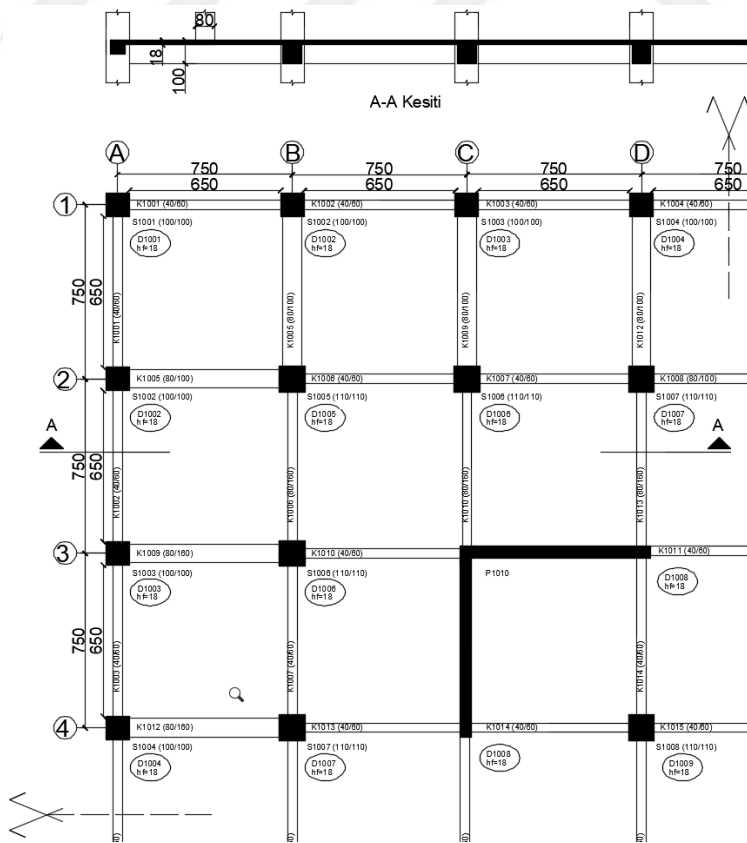
3.2 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Tasarım

Bu bölümde DBYBHY-2007'e göre tasarımı yapılmış betonarme düzensiz bir yapının, aynı bölge koşulları altında güncel deprem yönetmeliği olan TBDY-2018'e göre tasarımı tekrar yapılmıştır. Binanın kullanım amacı, kat yükseklikleri ve aks açıklıkları gibi mimari detaylarda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Normal kat döşemeleri ve çatı döşemesi kaplama yükleri, hareketli yükler ve duvar yükleri için de aynı sayısal değerler dikkate alınmıştır.

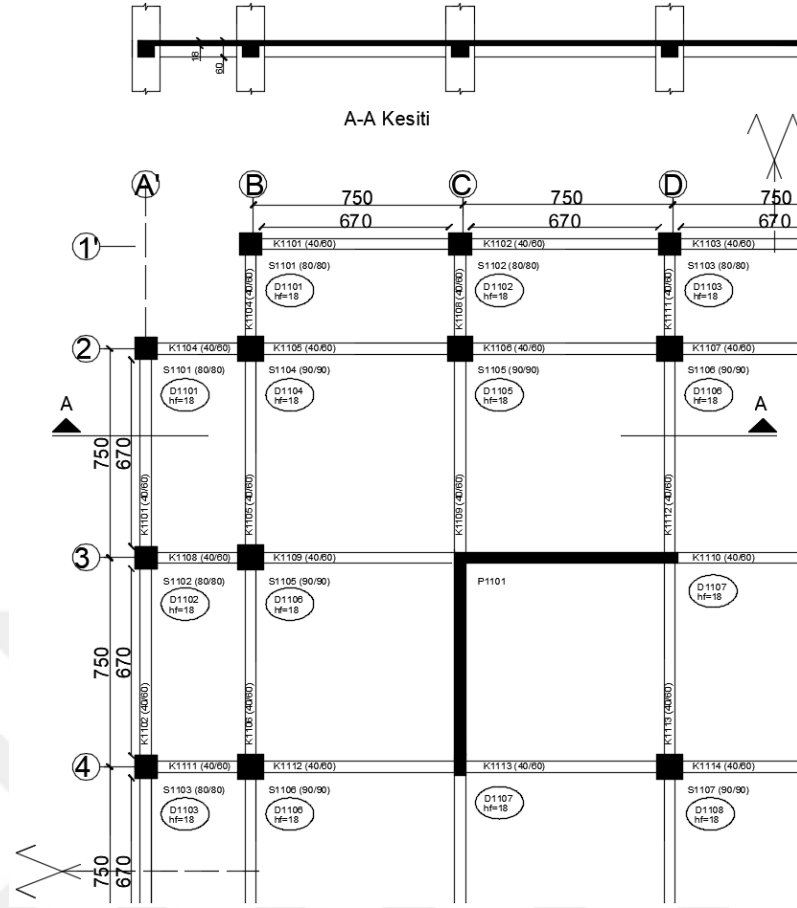
Kalıp planlarından görülebileceği üzere düzensizliğin olduğu 10. kat dışındaki diğer tipik katlarda kirişlerin boyutlarında ve döşeme kalınlıklarında değişiklik yapılmasına gerek kalmamıştır. Bazı katlarda kolonların ve perdelerin boyutlarında değişime gidilmiştir. Ayrıca düzensizliğin oluşturulduğu 10. kattaki kolonların mesnetlendiği kirişlerde ve bu kirişlere düğüm noktalarından bağlı diğer kirişlerin boyutları yeniden belirlenmiştir. Kolon enkesitleri düşey depremin etkisi ile artan eksenel yükün süneklik şartını sağlayacak şekilde taşınabilmesi için büyütülmüştür. Tipik kalıp planları Şekil 3.26- Şekil 3.28 arasında sıralanmıştır.



Şekil 3.26: 1. kat kalıp planı - Tip1.



Şekil 3.27: 1. kat kalıp planı – Tip2.



Şekil 3.28: 1. kat kalıp planı – Tip3.

3.2.1 Deprem yer hareketi

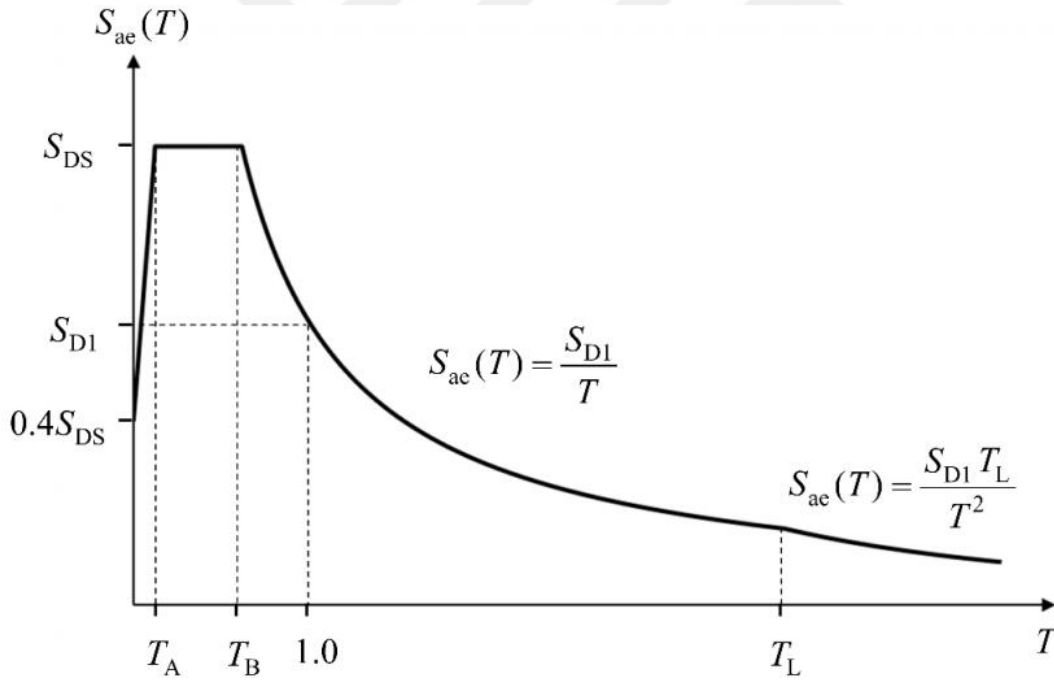
TBDY-2018’de 4 farklı deprem yer hareketi düzeyinden söz edilmektedir. Bu düzeyler DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 olarak isimlendirilmiştir. DD-1 göz önüne alınan en büyük depremi, DD-2 standart tasarım deprem yer hareketini, DD-3 sık deprem yer hareketini, DD-4 servis deprem yer hareketini ifade etmektedir [4].

Her bir deprem yer hareketi düzeyi için Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH)’den boyutsuz harita spektral ivme katsayıları elde edilmektedir. Bu boyutsuz katsayılar (V_{s30}) = 760 m/s ve %5 sönüm oranı için kısa periyot ve 1.0 saniye periyot olarak elde edilmektedir [4]. Harita spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayılarının çarpımıyla hesaplanan tasarım ivme spektral katsayıları da doğrudan TDTH’den elde edilebilmektedir. Bu tez çalışmasında tasarımı yapılacak binanın spektral ivme katsayıları, 40.988036°-29.059820° koordinatından ve ZC zemin sınıfı için elde edilmiştir. Her bir deprem yer hareketi için TDTH’den alınan sonuçlar Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu $S_{ae}(T)$ yer çekimi ivmesi cinsinden denklem 3.16’da dört parçalı fonksiyon olarak tanımlanmıştır [4]. Bu parçalı fonksiyonun sınır değerleri denklem 3.17’de verilmiştir. Doğal titreşim periyoduna bağlı olarak elde edilen yatay spektrum eğrisi Şekil 3.29’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A < T \leq T_B) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
 S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_L = 6s \tag{3.17}$$

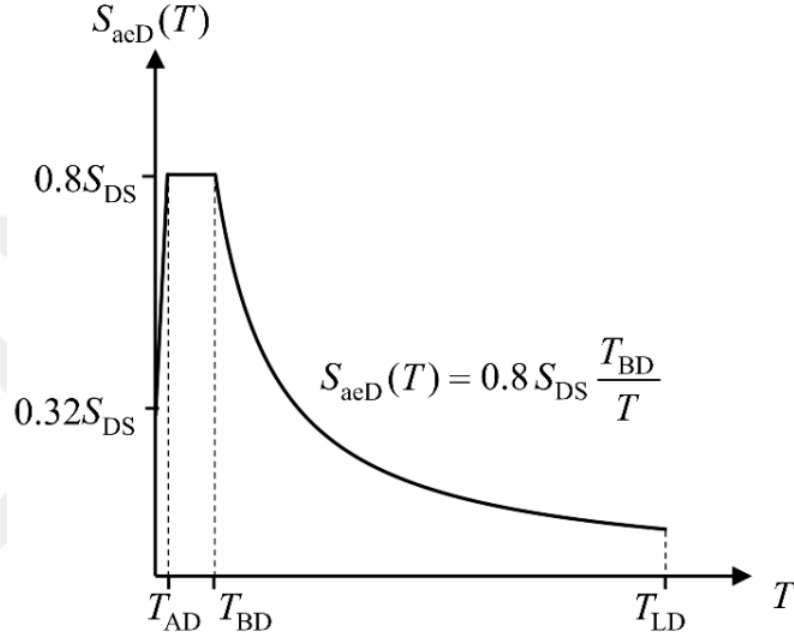


Şekil 3.29: Yatay elastik tasarım spektral ivme eğrisi [4].

Düşey elastik tasarım ivme spektrumu S_{aeD} üç parçalı fonksiyon olarak denklem 3.18’de köşe periyotları da denklem 3.19’da tanımlanmıştır [4]. Düşey doğal titreşim periyoduna bağlı olarak elde edilen düşey spektrum eğrisi Şekil 3.30’da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
S_{aeD}(T) &= \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}} \right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_{AD}) \\
S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} & (T_{AD} < T \leq T_{BD}) \\
S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} & (T_{BD} < T \leq T_{LD})
\end{aligned} \tag{3.18}$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad ; \quad T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad ; \quad T_{LD} = \frac{T_L}{2} \tag{3.19}$$



Şekil 3.30: Düşey elastik tasarım spektral ivme eğrisi [4].

3.2.1.5 Deprem etkisi altında binaların tasarımı için genel esaslar

TBDY-2018’de yeni yapılacak binaların tasarım yaklaşımı ve mevcut binaların performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme yaklaşımları çeşitli parametrelerle belirlenmektedir. Bu parametreler *Bina Kullanım Sınıfı (BKS)*, *Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)* ve *Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)* olarak ifade edilmektedir [4]. Tasarlanan 20 katlı betonarme binanın parametreleri aşama aşama belirlenerek uygulanacak tasarım yaklaşımına karar verilmiştir.

Binanın kullanım amacı konut/ofis olduğundan Çizelge 3.22’de BKS=3 ve I=1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.22: Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı [4].

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem katsayısı, (I)
BKS=1	Deprem sonrası kullanımı gereken, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu, değerli eşyaların saklandığı, tehlikeli madde içeren binalar Hastane, itfaiye, PTT, ulaşım, enerji ve haberleşme tesisleri, yönetim binaları, eğitim binaları, yatakhane, kışla, cezaevi, müze, toksik, patlayıcı ve parlayıcı maddelerin bulunduğu binalar	1.5
BKS=2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane	1.2
BKS=3	Diğer binalar Konut, işyeri, otel, bina türü edüstri yapılar	1

Çizelge 3.2'de verildiği üzere $S_{DS} = 1.14 > 0.75$ ve BKS=3 olduğundan Çizelge 3.23'de DTS=1 olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.23: Deprem tasarım sınıfları [4].

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

Tasarımı yapılan bina 71 m yüksekliğinde ve DTS = 1 olduğundan Çizelge 3.24'e göre $BYS = 1$ seçilerek yüksek bina sınıfına girdiği görülmektedir. Ancak bu çalışmada tasarımı yapılan bina yüksek bina sınır değerini sadece 1 m aştığından bu durum göz ardı edilerek, yüksek bina sınıfına dahil edilmemiştir. $BYS = 2$ kabulü ile tasarım yapılmıştır.

Çizelge 3.24: Bina yükseklik sınıfları [4].

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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Yapılan $BYS = 2$ kabulüne göre yeni yapılacak binalar sınıfı için *Dayanıma Göre Tasarım (DGT)* yaklaşımı uygulanacaktır (Çizelge 3.25). Buna bağlı olarak hedeflenen performans hedefi kontrollü hasardır.

Çizelge 3.25: Performans hedefleri ve uygulanacak yaklaşımlar [4].

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

3.2.2 Deprem yükü hesabı

Dayanıma göre tasarım yaklaşımında, öngörülen performans hedefi için taşıyıcı sistemin sünekliğine bağlı olarak hesaplanan azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal hesap yapılır. Gerekli eleman kontrollerinde dayanım fazlalığı da dikkate alınarak dayanım talepleri elde edilir.

3.2.2.1 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

Doğrusal elastik hesapta kullanılacak azaltmış deprem yükleri deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ deprem yükü azaltma katsayısı taşıyıcı sistem davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı ve bina önem katsayısına bağlı olarak elde edilmektedir. Denklem 3.20’de verilen iki parçalı fonksiyon ile elde edilmektedir [4].

$$\begin{aligned} R_a(T) &= \frac{R}{I} & T > T_B \\ R_a(T) &= D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} & T \leq T_B \end{aligned} \quad (3.20)$$

TBDY-2018’de yapıların süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistemler olarak tasarlanmasına sınırlama getirilmiştir. Buna göre; DTS = 1a, 2a, 3a, 4a ve $BYS \leq 6$ olan yapılarda süneklik düzeyi karma taşıyıcı sistem kullanılamamaktadır. Düşey düzensizlik nedeniyle tasarım iç kuvvetlerine uygulanan %50 artım yerine depremin düşey doğrultudaki bileşenin dikkate alınması kolonların mesnetlendiği kirişlerin boyutlarında küçülmeye neden olacağından kolonların kirişlerden güçlü olma şartı bu tasarımda sağlanmaktadır. Dolayısıyla yüksek sünek sistem için R ve D parametreleri Çizelge 3.26’da belirlenmiştir.

Çizelge 3.26: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı [4].

Süneklik Düzeyi Yüksek Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemleri	Taşıyıcı	Dayanım	İzin
	Sistem	Fazlalığı	Verilen
	Davranış	Katsayısı	Bina
	Katsayısı		Yükseklik
	D	R	Sınıfları
Moment aktaran betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
Deprem etkilerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	3	2.5	$BYS \geq 2$
Deprem etkilerinin tamamının boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
Deprem etkilerinin moment aktaran betonarme çerçeveler ile bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
Deprem etkilerinin moment aktaran betonarme çerçeveler ile boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m’yi geçmeyen kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

Tasarlanan bina deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar sınıfında olacağından, $R=7$ ve $D=2.5$ olarak hesaplarda dikkate alınmıştır. Taşıyıcı sistemin simetrisinden dolayı her iki doğrultu içinde aynı davranış beklenmektedir.

3.2.2.2 Etkin kesit rijitliği çarpanı

Dayanıma göre tasarım uyarınca taşıyıcı sistem elemanlarının rijitlikleri azaltılarak tasarlanmaktadır. Deprem etkilerinin yer aldığı yük birleşimlerinde Çizelge 3.27’de verilen azaltma çarpanları dikkate alınırken arttırılmış düşey yüklerden oluşan tasarım yük birleşimlerinde ise brüt eleman rijitlikleri ile tasarım yapılacaktır [4].

Çizelge 3.27: Etkin kesit rijitliği çarpanları [4].

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Kabuk Eleman (Düzlem İçi)		
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Kabuk Eleman (Düzlem Dışı)		
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk Eleman		
Bağ kirişi	0.15	1.00
Çerçeve kirişi	0.35	1.00
Çerçeve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşdeğer çubuk)	0.50	0.50

Yönetmelikte verilen eksenel, eğilme, kayma, kesme ve burulma rijitlik çarpanları analiz programında her bir taşıyıcı eleman için uygun değer atanmıştır. Böylelikle analiz programı tarafından oluşturulan rijitlik matrisine doğrudan müdahale edilerek yapısal tasarım yapılmıştır. Çubuk sonlu elemanlara Çizelge 3.28’de, kabuk sonlu elemanlara ise Çizelge 3.29’da verilen faktörler atanmıştır.

Çizelge 3.28: Analiz programında kullanılan kabuk eleman rijitlikleri.

Kabuk Eleman	f11	f22	f12	m11	m22	m12	v13	v23
Perde	0.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.25	1.00	1.00
Döşeme	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1.00	1.00

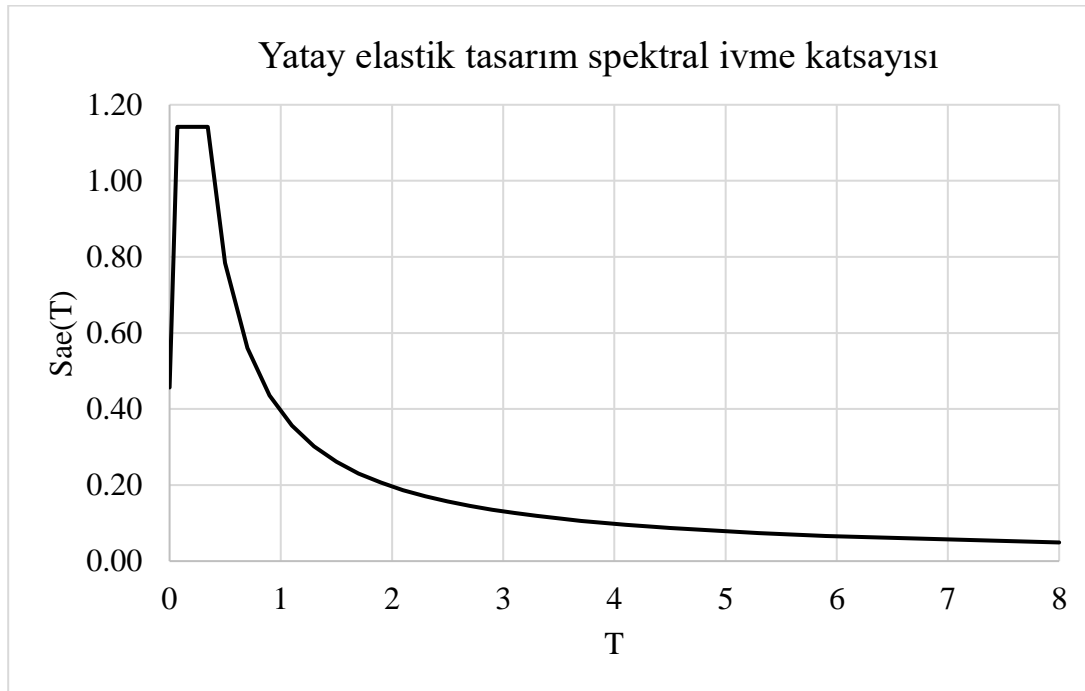
Çizelge 3.29: Analiz programında kullanılan çubuk eleman rijitlikleri.

Çubuk Elaman	A	As2	As3	T	I22	I33
Kolon	1.00	1.00	1.00	1.00	0.70	0.70
Kiriş	1.00	1.00	1.00	1.00	0.35	0.35

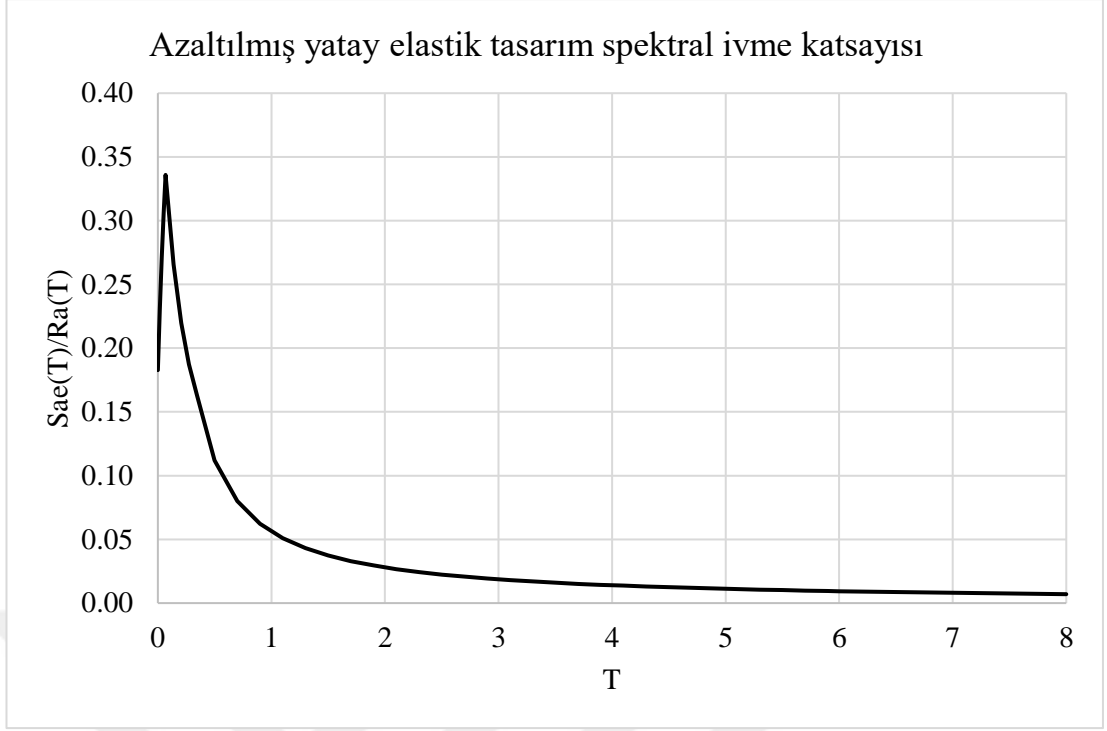
3.2.2.3 Deprem etkilerinin tanımlanması

Yatay deprem etkisi

Yatay azaltılmış tasarım ivme spektrumu DD-2 deprem yer hareketi için tanımlanmış $S_{ae}(T)$ 'nin $R_a(T)$ ile azaltılması ile elde edilir. TDTH'den alınan ivme değerleri Çizelge 3.2'de $S_{DS}=1.142$, $S_{D1}=0.392$ olarak verilmişti. Buna göre elde edilen elastik ve azaltılmış tasarım ivme spektrum grafikleri Şekil 3.31 ve Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.31: Yatay elastik tasarım spektral ivme katsayısı [4].



Şekil 3.32: Azaltılmış yatay elastik tasarım spektral ivme katsayısı [4].

Düşey deprem etkisi

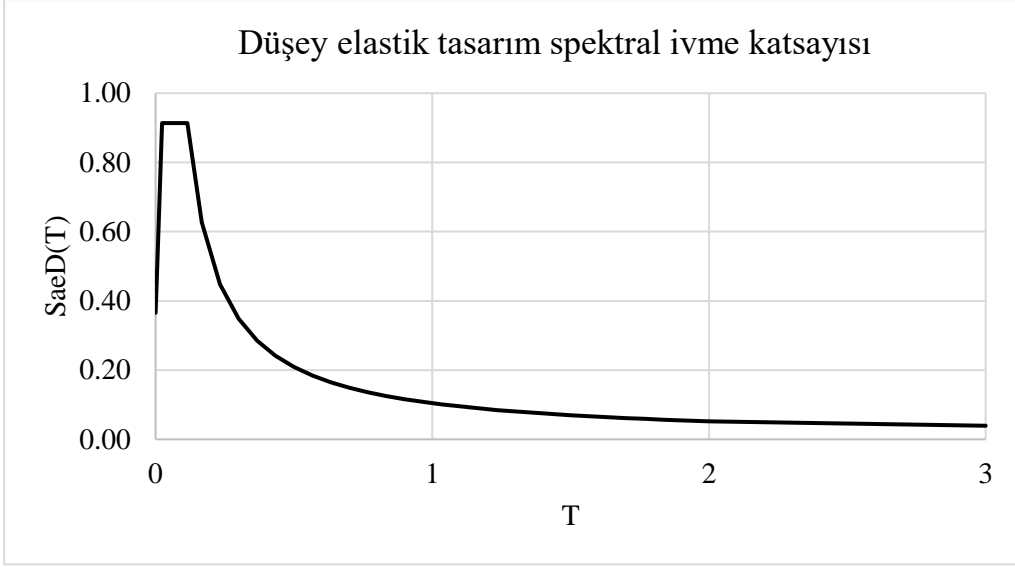
DTS=1, 1a, 2, 2a ve aşağıda tanımlanan özel durumları içeren yapıların deprem hesapları düşey elastik spektrumu dikkate alarak dinamik analiz yöntemleri ile yapılacaktır [4].

- 20 m’den fazla olan açıklığı olan kirişleri içeren binalar
- 5 m’den fazla konsolları içeren binalar
- Kirişlere oturan kolonları içeren binalar
- Kolonları düşey göre eğimli olan binalar

Tasarlanan yapı kirişlere oturan kolonları içeren binalar sınıfında olduğu için düşey deprem etkisi düşey ivme spektrumu ile dikkate alınmıştır.

Yukarı verilen durumların dışında kalan diğer binalar için depremin düşey etkisi için spektrum eğrisi kullanılmadan bina toplam ölü yüküne bağlı olarak denklem 3.21’e göre hesaplanmaktadır.

$$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G \quad (3.21)$$



Şekil 3.33: Düşey elastik tasarım spektral ivme katsayısı [4].

Deprem etkilerinin diğer etkilerle birleştirilmesi

Deprem etkisini içeren yük birleşimleri denklem 3.22’de verilmiştir [4].

$$\begin{aligned} G + Q + 0.2S + E_d^{(H)} + 0.3E_d^{(Z)} \\ 0.9G + H + E_d^{(H)} - 0.3E_d^{(Z)} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Sünek davranışa sahip olmayan elemanların kontrolü için dikkate alınacak dayanım fazlalığı katsayılarının da yer aldığı yük birleşimleri de Çizelge 3.30’a dahil edilmiştir.

Çizelge 3.30: Yük birleşimleri [4,29].

Tasarım Yük Birleşimleri	Ölü Yük	Hareketli Yük	Deprem Yüğü		
	G	Q	E _x	E _y	E _z
Kombo-01	1.4	1.6	-	-	
Kombo-02	1	1	±1	±0.3	0.3
Kombo-03	1	1	±0.3	±1	0.3
Kombo-04	0.9	-	±1	±0.3	0.3
Kombo-05	0.9	-	±0.3	±1	0.3
Kombo-06	1	1	±3	±0.9	0.3
Kombo-07	1	1	±0.9	±3	0.3
Kombo-08	0.9	-	±3	±0.9	0.3
Kombo-09	0.9	-	±0.9	±3	0.3

3.2.2.4 Hesap yöntemleri

Bölüm 3.1.3'de verildiği gibi eşdeğer deprem yükü yöntemiyle sadece mod birleştirme yönteminden elde edilen kesme kuvvetinin ölçeklenmesinde kullanılmak üzere taban kesme kuvveti hesaplanmaktadır. Minimum taban kesme kuvvetine ilaveten yönetmelik binanın hakim doğal titreşim periyodunu da sınırlandırmaktadır. Hesaplanan hakim doğal titreşim periyodunun ampirik doğal titreşim periyodunun 1.4 katını aşmadığı gösterilmelidir, aksi takdirde bu değer dikkate alınarak hesap yapılmaktadır (3.23). Tasarımı yapılan betonarme bina için $C_t = 0.07$ alınması uygundur [4].

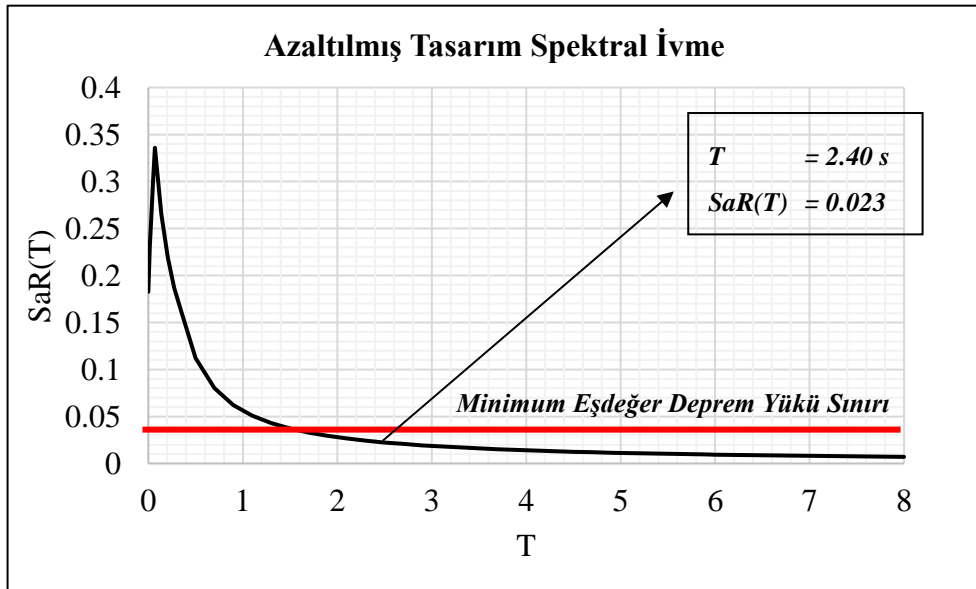
$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4} \quad (3.23)$$

$$T_{pA} = 0.07 \times 71^{0.75} = 1.712 \text{ s}$$

$$T_p = 2.869 \text{ s} > 1.4 \times T_{pA}$$

Bina hakim titreşim periyodu sınır değeri aştığından $T_p = 1.4 \times T_{pA} = 2.40 \text{ s}$ olarak dikkate alınmıştır. Buna göre taban kesme kuvveti denklem 3.24'de ifade edildiği şekilde hesaplanacaktır. Şekil 3.34'de azaltılmış tasarım spektral ivme üzerine minimum eşdeğer deprem yükü işaretlenerek katsayı kontrol edilmektedir.

$$V_t = m_t S_{aR}(1.4T_{pA}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g \quad (3.24)$$



Şekil 3.34: Eşdeğer deprem yükü hesabı.

Şekil 3.34’de hakim periyoda karşı gelen azaltılmış tasarım spektral ivme katsayısının minimum eşdeğer deprem yükü katsayısından küçük olduğu görülmektedir. Yönetmelik gereğince eşdeğer deprem yükü ile elde edilecek taban kesme kuvveti bu sınıra değere eşit olarak dikkate alınmıştır (Çizelge 3.31).

$$V_t = 0.04 \times m_t \times S_{DS} \times I \times g = 0.04 \times m_t \times 1.142 \times 1 \times g = 0.4568 \times W$$

Çizelge 3.31: Eşdeğer deprem yükü taban kesme kuvvetleri

Doğrultu	W (kN)	V _t (kN)
x	640831	29273
y	640831	29273

Mod birleştirme yöntemi

TBDY-2018’e göre her bir mod için bulunan etkin kütlelerin toplamı hiçbir zaman toplam kütlelerin %95’inden daha az olmamalıdır. Ayrıca katkısı %3 olan bütün modlar dikkate alınacaktır. Düşey mod için de %95 kütle katılım sağlanacak şekilde 39 mod için sonuçlar Çizelge 3.32’de verilmiştir.

Çizelge 3.32: Modal analiz sonuçları ve kütle katılım oranları.

Mod	T s	f s ⁻¹	ω rad/s	Özdeğer rad ² /s ²	UX	UY	UZ	ΣUX	ΣUY	ΣUZ
1	2.869	0.349	2.19	4.796	0	0.64	0	0	0.64	0
2	2.869	0.349	2.19	4.796	0.64	0	0	0.64	0.64	0
3	2.578	0.388	2.437	5.94	0	0	0	0.64	0.64	0
4	0.82	1.22	7.667	58.78	0	0	0	0.64	0.64	0
5	0.81	1.235	7.761	60.228	0	0.181	0	0.64	0.821	0
6	0.81	1.235	7.761	60.228	0.181	0	0	0.821	0.821	0
7	0.358	2.795	17.563	308.443	0	0.07	0	0.821	0.891	0
8	0.358	2.795	17.563	308.446	0.07	0	0	0.891	0.891	0
9	0.272	3.678	23.113	534.189	0	0	0	0.891	0.891	0
10	0.247	4.046	25.423	646.337	0	0	0.498	0.891	0.891	0.5
11	0.233	4.294	26.981	727.984	0	0	0.102	0.891	0.891	0.6
12	0.228	4.38	27.523	757.514	0.001	0	0	0.891	0.891	0.6

Çizelge 3.32 (devam): Modal analiz sonuçları ve kütle katılım oranları.

Mod	T s	f s ⁻¹	ω rad/s	Özdeğer rad ² /s ²	UX	UY	UZ	Σ UX	Σ UY	Σ UZ
13	0.217	4.603	28.921	836.405	0	0.035	0	0.891	0.926	0.6
14	0.217	4.61	28.968	839.138	0.035	0	0	0.926	0.926	0.6
15	0.211	4.742	29.795	887.725	0	0	0.035	0.926	0.926	0.64
16	0.202	4.957	31.146	970.059	0	0	0.016	0.926	0.926	0.65
17	0.198	5.041	31.675	1003.31	0	0	0.001	0.926	0.926	0.65
18	0.19	5.276	33.152	1099.02	0	0	0.026	0.926	0.927	0.68
19	0.186	5.375	33.77	1140.4	0	0	0.042	0.926	0.927	0.72
20	0.178	5.608	35.236	1241.57	0	0	0.016	0.927	0.927	0.74
21	0.178	5.617	35.293	1245.57	0	0	0.03	0.927	0.927	0.77
22	0.173	5.779	36.308	1318.24	0	0	0.004	0.927	0.927	0.77
23	0.166	6.009	37.753	1425.29	0	0	0.005	0.927	0.927	0.78
24	0.158	6.325	39.742	1579.38	0	0	0.007	0.927	0.927	0.78
25	0.15	6.651	41.791	1746.45	0	0.02	0	0.927	0.947	0.78
26	0.149	6.713	42.179	1779.06	0.022	0	0	0.949	0.947	0.78
27	0.138	7.261	45.619	2081.12	0	0.001	0.013	0.949	0.948	0.8
28	0.115	8.719	54.783	3001.18	0	0.006	0.014	0.949	0.954	0.81
29	0.105	9.513	59.775	3573.04	0.002	0.011	0.01	0.952	0.966	0.82
30	0.104	9.584	60.221	3626.55	0.018	0.002	0	0.969	0.968	0.82
31	0.098	10.222	64.224	4124.76	0.001	0.001	0.006	0.97	0.969	0.83
32	0.087	11.525	72.413	5243.68	0	0	0.004	0.97	0.969	0.83
33	0.075	13.385	84.098	7072.42	0	0.001	0.078	0.97	0.969	0.91
34	0.068	14.804	93.016	8651.91	0	0.002	0.015	0.971	0.971	0.92
35	0.06	16.734	105.14	11054.4	0	0.01	0.002	0.971	0.981	0.93
36	0.058	17.192	108.019	11668	0.003	0.014	0	0.974	0.995	0.93
37	0.057	17.579	110.454	12200.1	0.022	0.001	0.001	0.996	0.995	0.93
38	0.042	23.927	150.335	22600.6	0	0	0.022	0.996	0.996	0.95
39	0.036	28.16	176.934	31305.8	0	0	0.027	0.996	0.996	0.98

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetinin mod birleştirme yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetine oranı β değerinden küçük ise mod birleştirme yöntemi ile elde edilen tüm büyüklükler **Bölüm 3.1.3.2**'de verildiği gibi elde edilmiştir.

$$V_t \quad : 29273 \text{ kN}$$

$$V_{tB} \quad : 16832 \text{ kN}$$

$$V_t / V_{tB} \quad : 16832 / 29273 \quad = 0.575 < 0.90$$

$$B_{tE} \quad : 0.90 / 0.575 \quad = 1.565$$

Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan taban kesme kuvvetinin yönetmelikteki alt sınır şartını sağlaması için ölçek faktörü %56.5 arttırılmıştır. Dolayısıyla mod birleştirme yöntemi ile elde edilen taban kesme kuvvetinin güncel değeri 26342 kN'dur. Bu ölçekleme işlemi analiz programında deprem yükü tanımlamalarında yer çekimi ivmesinin B_{tE} değeri ile çarpılması ile sağlanmaktadır.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı kontrolü

TBDY-2018'de süneklik düzeyi yüksek perdeli sistemler için deprem etkisi altında oluşan taban devrilme momentlerinin perdeler tarafından taşınmasına ilişkin sınır koşullar bulunmaktadır. Deprem yüklerinin süneklik düzeyi yüksek çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek perdeler tarafından birlikte taşınan sistemler için her bir doğrultuda perdeler tarafından taşınan devrilme momentinin toplam devrilme momentine oranı denklem 3.26'a göre kontrol edilmektedir.

$$0.40M_o < \sum M_{DEV} < 0.75M_o \quad (3.26)$$

$$M_{DEV} \quad : 355456 \text{ kN}$$

$$M_o \quad : 639557 \text{ kN}$$

$$M_{DEV}/M_o \quad : 355456 / 639557 = 0.56$$

Simetriden dolayı sadece x doğrultusu için denklem 3.26'da verilen kontrol yapılmıştır. Perdelerin taşıdığı devrilme momenti tüm binanın devrilme momentinin %56 sı olduğundan taşıyıcı sistem davranışı için yapılan öngörünün doğru olduğu sonucuna varılmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısının değiştirilmesine ya da BYS'ye müdahale edilmesine gerek yoktur.

3.2.3 Görelî kat ötelemesi kontrolü

Δ_i ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesidir (3.27).

$$\Delta_i = u_i - u_{i-1} \quad (3.27)$$

Etkin görelî kat ötelemesinin hesabı azaltılmış görelî kat ötelemesinin taşıyıcı sistem davranış katsayısı ile bina önem katsayısının birbirine oranı ile çarpılması sonucu elde edilen değerler kullanılmaktadır (3.28). Maksimum görelî kat ötelemesinin denklem 3.29’da verilen sınır şartı sağlaması gerekmektedir. Görelî kat ötelemesi kontrolü minimum eşdeğer deprem yükü ve maksimum hakim periyot sınır şartları dikkate alınmadan hesaplanmaktadır [4]. Buna bağlı olarak $T=2.869$ s olarak dikkate alınarak taban kesme kuvveti hesaplanarak farklı bir modelde doğrudan görelî kat ötelemesi kontrol edilmiştir.

$$\delta_i = \frac{R}{I} \Delta_i \quad (3.28)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (3.29)$$

Tasarlanan yapının hakim doğal titreşim periyodu T_B ’ den büyük olduğundan yatay spektral ivme katsayısı 3. bölgeden elde edilmektedir. Bu durumda λ hakim periyottan bağımsız olarak doğrudan DD-3 ve DD-2 deprem yer hareketi düzeylerine ait S_{D1} değerlerinin oranı ile elde edilmektedir. **Bölüm 3.2.1**’de verilen spektrum değerleri kullanılarak $\lambda = S_{D1}^{DD-3} / S_{D1}^{DD-2} = 0.158 / 0.395 = 0.403$ olarak hesap edilmektedir. Böylelikle yer değiştirme değerleri DD-3 deprem yer hareketi düzeyine göre elde edilmiş olmaktadır.

Betonarme yapılar için $\kappa=1$ alınmaktadır. Taşıyıcı özelliği olmayan dolgu duvarların çerçeve elemanlarına arada esnek derz olmadan gevrek olarak baęlanacakđı düşünülüp buna bağlı olarak görelî kat ötelemesi oranı sınır şartı 0.008 olarak belirlenmiştir. Çizelge 3.33’de TBDY-2018’e uygun olarak her bir kat için hesaplanan görelî kat ötelemesi değerleri verilmiştir. Buna göre elverişsiz görelî kat ötelemesi oranı 12. katta 0.0048 olarak elde edilmektedir.

Çizelge 3.33: Görelî kat ötelemesi kontrolü.

Kat	h m	U _x mm	Δ mm	δ =R×Δ mm	δ/h	λ×δ/h
20	3.5	98.487	4.824	33.768	0.00965	0.00389
19	3.5	93.663	5.021	35.147	0.01004	0.00405
18	3.5	88.642	5.185	36.295	0.01037	0.00418
17	3.5	83.457	5.366	37.562	0.01073	0.00432
16	3.5	78.091	5.542	38.794	0.01108	0.00447
15	3.5	72.549	5.702	39.914	0.01140	0.00460
14	3.5	66.847	5.831	40.817	0.01166	0.00470
13	3.5	61.016	5.912	41.384	0.01182	0.00477
12	3.5	55.104	5.958	41.706	0.01192	0.00480
11	3.5	49.146	4.985	34.895	0.00997	0.00402
10	4.5	44.161	7.342	51.394	0.01142	0.00460
9	3.5	36.819	5.900	41.300	0.01180	0.00476
8	3.5	30.919	5.732	40.124	0.01146	0.00462
7	3.5	25.187	5.471	38.297	0.01094	0.00441
6	3.5	19.716	5.077	35.539	0.01015	0.00409
5	3.5	14.639	4.531	31.717	0.00906	0.00365
4	3.5	10.108	3.830	26.810	0.00766	0.00309
3	3.5	6.278	3.092	21.644	0.00618	0.00249
2	3.5	3.186	2.205	15.435	0.00441	0.00178
1	3.5	0.981	0.981	6.867	0.00196	0.00079

3.2.4 İkinci mertebeye etkilerin sınırlandırılması

İkinci mertebeye etkiler dayanım fazlalığı katsayısı, taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histerik davranışına bağlı olarak tanımlanan C_h katsayısına bağlı bir sınır değeri kullanılarak hesaplanmakta ve denklem 3.28' de verilen bağıntıya göre kontrol edilmektedir. TBDY-2018 uyarınca betonarme yapılar için $C_h=0.5$ alınmaktadır [4]. İkinci mertebeye etkilerin kontrolü de görelî kat ötelemesi kontrolü gibi minimum eşdeğer deprem yükü ve maksimum hakim periyot sınır şartları dikkate alınmadan hesaplanmaktadır. Elverişsiz ikinci mertebeye gösterge değeri 9. katta 0.0378 olarak elde edilmiş olup, sınır değeri 0.08571'den küçük olduğundan ikinci mertebeye etkilerin sınırlandırıldığı kabul edilmiştir.

$$\theta_{II,i} = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=i}^N w_k}{V_i h_i} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.28)$$

Çizelge 3.34: İkinci mertebe gösterge değeri hesap tablosu.

Kat	h m	Δ mm	W kN	V kN	θ_i
20	3.5	3.17	20254	933	0.0197
19	3.5	3.38	47996	2021	0.0229
18	3.5	3.49	74897	3028	0.0247
17	3.5	3.59	101799	3980	0.0262
16	3.5	3.68	128700	4877	0.0277
15	3.5	3.75	155601	5719	0.0291
14	3.5	3.79	182503	6507	0.0304
13	3.5	3.82	209404	7239	0.0316
12	3.5	3.79	236306	7916	0.0323
11	3.5	3.53	263207	8539	0.0311
10	4.5	4.24	301024	9370	0.0303
9	3.5	3.92	339902	10078	0.0378
8	3.5	3.73	376751	10682	0.0376
7	3.5	3.56	413599	11211	0.0375
6	3.5	3.35	450448	11665	0.0370
5	3.5	3.06	487296	12043	0.0354
4	3.5	2.67	524170	12348	0.0324
3	3.5	2.2	561569	12580	0.0281
2	3.5	1.59	598968	12735	0.0214
1	3.5	0.87	636367	12814	0.0123

3.2.5 Yapısal düzensizliklerin kontrolü

Tasarlanan yapıda döşeme süreksizliği, planda çıkıntılar bulunması, komşu katlar arası dayanım düzensizliği tipi düzensizlik durumları söz konusu değildir. Binanın 10. katı kolon süreksizliği nedeniyle düşeyde düzensiz olarak tasarlandığı için düşey deprem etkileri modal analiz ile dikkate alınmıştır. Düşeyde düzensizlik durumu içeren yapının deprem etkileri altındaki davranışı inceleneceğinden diğer düzensizlik durumlarının olabildiğince sınırlandırılması özen gösterilmiştir.

Bu bölümde burulma ve dayanım düzensizliği katsayıları her bir kat için hesaplanıp sınır değerlerin kontrolü gösterilmiştir.

Çizelge 3.35: Burulma düzensizliği kontrolü.

Kat	Maksimum Öteleme	Ortalama Öteleme	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Kat20	11.017	10.021	1.099
Kat19	11.468	10.415	1.101
Kat18	11.843	10.747	1.102
Kat17	12.256	11.113	1.103
Kat16	12.659	11.470	1.104
Kat15	13.023	11.792	1.104
Kat14	13.318	12.052	1.105
Kat13	13.504	12.212	1.106
Kat12	13.606	12.300	1.106
Kat11	12.999	11.750	1.106
Kat10	16.769	14.944	1.122
Kat9	13.476	12.007	1.122
Kat8	13.092	11.654	1.123
Kat7	12.496	11.114	1.124
Kat6	11.596	10.301	1.126
Kat5	10.347	9.178	1.127
Kat4	8.748	7.745	1.130
Kat3	7.063	6.238	1.132
Kat2	5.037	4.431	1.137
Kat1	2.240	1.965	1.140

2. katta burulma düzensizliği katsayısı elverişsiz olarak 1.137 elde edilmiştir. Tüm katlarda hesaplanan burulma düzensizliği katsayıları 1.2 sınır değerinden küçük olduğundan burulma düzensizliği bulunmadığı kabul edilmiştir. Yapıda burulma düzensizliği bulunmadığından eşdeğer deprem yükü yönteminde dikkate alınan %5 dış merkezlik değerinde herhangi bir artım yapılması gerek yoktur.

Çizelge 3.36: Rijitlik düzensizliği kontrolü.

Kat	h	Δ_i	Δ_i/h_i	$(\Delta_i/h_i)_{ort} /$	$(\Delta_i/h_i)_{ort} /$	η_{ki}
	m	mm		$(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$	
20	3.5	10.021	0.00286	-	0.962	0.962
19	3.5	10.415	0.00298	1.039	0.969	1.039
18	3.5	10.747	0.00307	1.032	0.967	1.032
17	3.5	11.113	0.00318	1.034	0.969	1.034
16	3.5	11.47	0.00328	1.032	0.973	1.032
15	3.5	11.792	0.00337	1.028	0.978	1.028
14	3.5	12.052	0.00344	1.022	0.987	1.022
13	3.5	12.212	0.00349	1.013	0.993	1.013
12	3.5	12.3	0.00351	1.007	1.047	1.047
11	3.5	11.75	0.00336	0.955	1.011	1.011
10	4.5	14.944	0.00332	0.989	0.968	0.989
9	3.5	12.007	0.00343	1.033	1.030	1.033
8	3.5	11.654	0.00333	0.971	1.049	1.049
7	3.5	11.114	0.00318	0.954	1.079	1.079
6	3.5	10.301	0.00294	0.927	1.122	1.122
5	3.5	9.178	0.00262	0.891	1.185	1.185
4	3.5	7.745	0.00221	0.844	1.242	1.242
3	3.5	6.238	0.00178	0.805	1.408	1.408
2	3.5	4.431	0.00127	0.710	2.255	2.255
1	3.5	1.965	0.00056	0.443	-	0.443

Rijitlik düzensizliği katsayısı elverişsiz olarak 2. kattan 2.255 olarak elde edilmiştir. Sınır değeri aşıldığından yapıda burulma düzensizliği bulunmaktadır. Ancak deprem yükü hesabı mod birleştirme yöntemi ile hesaplandığından rijitlik düzensizliği dikkate alınmıştır.

3.2.6 Betonarme hesap sonuçları

TBDY-2018'e göre olarak yapılan boyutlandırma sonuçları Çizelge 3.37'de verilmiştir.

Çizelge 3.37: Betonarme hesap sonuçları.

Taşıyıcı Eleman	Kat	Boyutlar (mm)
Döşeme	1-20	180
L tipi perde tek kol	1-4	7500 x 500
	5-20	7500 x 400
Kolon	1-10	1000 x 1000 ve 1100 x 1100
	11-20	800 x 800 ve 900 x 900
Kiriş	1-4	400 x 600 ve 500 x 600
	5-20 (10 hariç)	400 x 600
	10	800 x 1200 ve 400 x 600

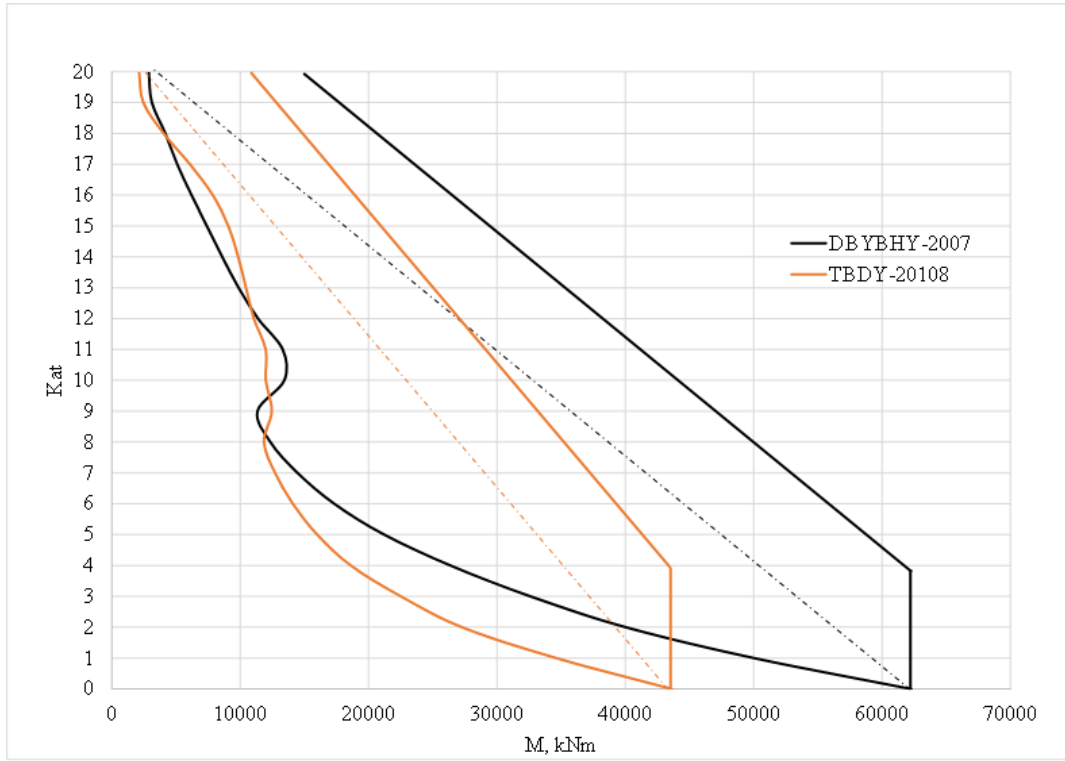
3.3 Tasarım Sonuçlarının Kıyaslanması

Kolon süreksizliği nedeniyle düşeyde düzensizlik durumunu içeren 20 katlı betonarme bir yapının tasarımı 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerine uygun olarak yapılmıştır. Tasarımı yapılan düzensiz betonarme bina için iki yönetmelik arasındaki en büyük farklılıklar etkin kesit rijitliklerinin kullanılması, depremin düşeydeki bileşenin etkisinin gözönüne alınması ve B3 düşey düzensizlik tipi için tasarım iç kuvvetlerinin hesaplanmasının farklılığıdır. Çizelge 3.38’de yapısal analizlerden elde edilen sonuçlar sistem davranışı açısından kıyaslanmıştır.

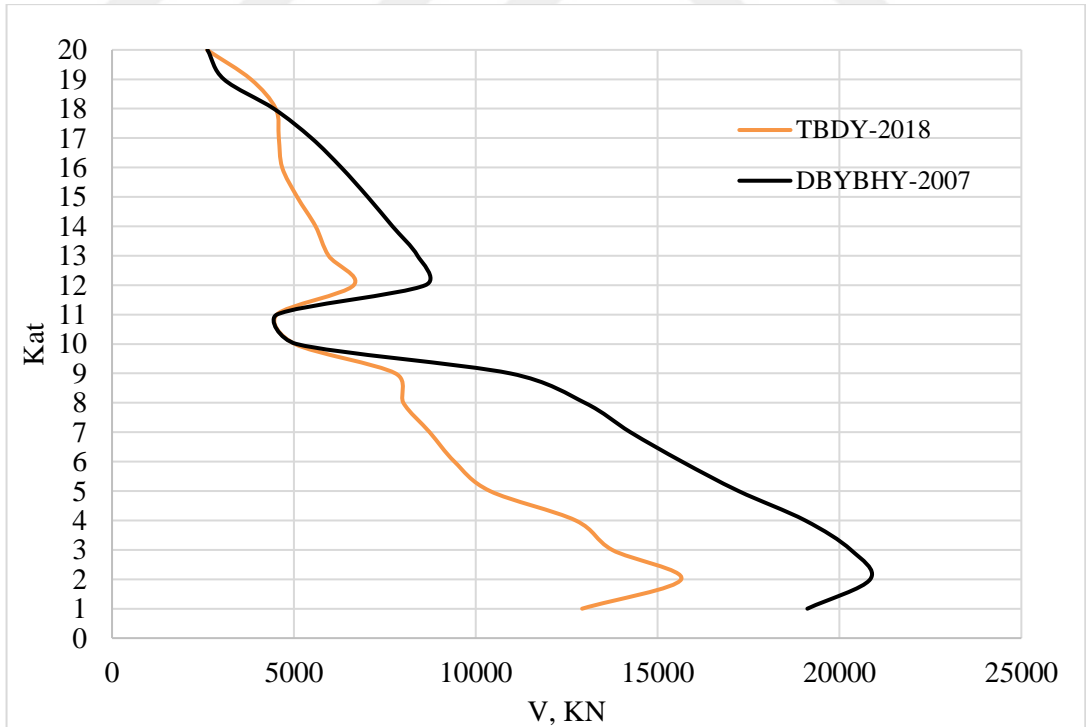
Çizelge 3.38: Yapısal analiz sonuçlarının kıyaslanması.

Parametreler	DBYBHY-2007	TBDY-2018	
Hakim doğal titreşim periyodu	Yatay (s)	1.751	2.869
	Düşey (s)	0.199	0.247
	Burulma (s)	1.604	2.578
Düzensizlik katsayıları	Burulma	1.07	1.14
	Rijitlik	1.82	2.26
Görelî kat ötelemesi		0.0067	0.0048
	sınır	0.02 (%34)	0.008 (%60)
İkinci mertbe gösterge değeri		0.0245	0.0378
	sınır	0.12 (%20)	0.086 (%44)
Taban kesme kuvveti (kN)	29633	26342	
Taban devrilme momenti (kN)	1155228	639557	
Perde taban devrilme momenti / bina devrilme momenti	0.45	0.56	
Perde taban kesme kuvveti / bina taban kesme kuvveti	0.82	0.75	

Perdelerin tek bir kolunun her iki yönetmelik için elde edilen tasarım eğilme momenti ve kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Yönetmelik uyarınca tasarım eğilme momentleri kritik perde yüksekliği boyunca sabit tutulup, üst katlarda ise başlangıç moment eğimine paralel olarak devam ettirilerek dikkate alınmıştır (Şekil 3.35). Perde tasarım kesme kuvvetleri DBYBHY-2007’e göre tasarımda $R_a=2$ dikkate alınarak elde edilen deprem yüklerinin düşey yüklerle birleştirilmesi ile, TBDY-2018’e göre tasarımda $R=7$ dikkate alınarak elde edilen deprem yüklerinin $D=2.5$ ile çarpılıp düşey yüklerle birleştirilmesi ile elde edilmiştir (Şekil 3.36).

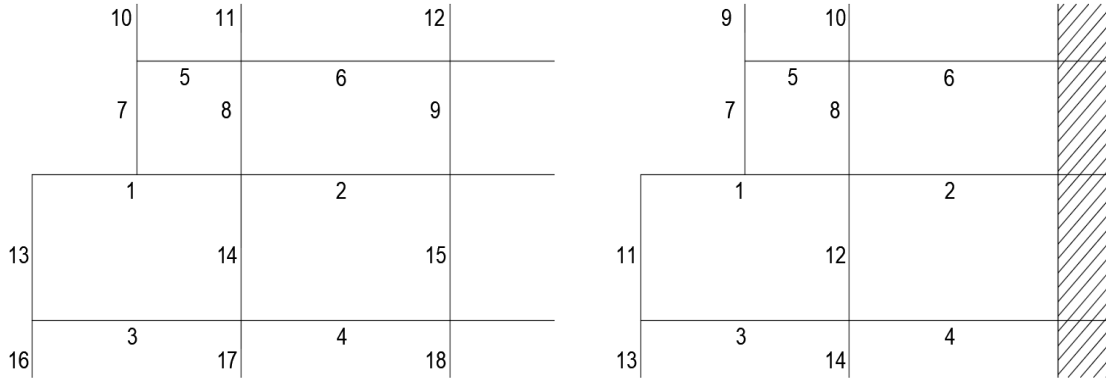


Şekil 3.35: Perde tasarım momentleri.



Şekil 3.36: Perde tasarım kesme kuvvetleri.

Kolon süreksizliği nedeniyle düşey düzensizliğin olduğu bölgede her iki yönetmelik için ayrı ayrı boyutlandırılan taşıyıcı elemanların tasarım iç kuvvetleri kıyaslanmıştır. B ve C akslarında kıyaslanan taşıyıcı çerçeve elemanlar numaralandırılarak Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.37: B ve C aksı kritik taşıyıcı elemanlar

Kiriş ve kolon taşıyıcı elemanlardan işaretli kritik elemanlarının iç kuvvetleri her iki yönetmeliğine uygun olarak arttırılmış düşey yükler ve düşey yükler ile deprem etkisinin birlikte dikkate alındığı tasarım yük birleşimlerinin sonuçları kıyaslanmıştır. Kirişler için kuvvetli eksenleri etrafında oluşan eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri, kolonlar için ise eksenel yük ile birlikte her iki eksen için elde edilen eğilme momentleri karşılaştırılmıştır. DBYBHY-2007 uyarınca tasarım iç kuvvetlerinde %50 artım yapılan elemanların kuvvetleri parantez içinde belirtilmiştir.

B ve C aksında yer alan kirişlerin kritik iç kuvvetleri sırasıyla Çizelge 3.39 ve Çizelge 3.40'da verilmiştir.

Çizelge 3.39: B aksı kritik kiriş elemanların iç kuvvet karşılaştırması.

Kiriş No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007					TBDY-2018				
		i		orta		j	i		orta		j
		M3	V	M3	M3	V	M3	V	M3	M3	V
1	1.4G + 1.6Q	-1948	-2251	6096	302	1364	-2179	-1737	4300	-689	1179
	G + Q + E	-2682	-2450	6320	4656	25	-2936	-1844	4084	2425	18
	0.9G + E	-2390	-2116	5434	3937	22	-2654	-1637	3627	-1586	285
		(-4023)	(-3675)	(9480)	(6984)	(38)					
		(-3585)	(-3174)	(8151)	(5906)	(33)					

Çizelge 3.39 (devam): B aksı kritik kiriş elemanların iç kuvvet karşılaştırması.

Kiriş No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007					TBDY-2018				
		i		orta		j	i		orta		j
		M3	V	M3	M3	V	M3	V	M3	M3	V
2	1.4G + 1.6Q	-531	-365	-	377	35	-276	-147	-	-207	132
	G + Q + E	-2087 (-3131)	-699 (-1049)	-	-1733 (-2600)	626 (939)	-308	-149	-	-278	72
	0.9G + E	-1993 (-2990)	-638 (-957)	-	-1717 (-2576)	585 (878)	-254	-116	-	-232	41
3	1.4G + 1.6Q	-434	-172	-	-151	-246	-408	-166	-	-89	102
	G + Q + E	-497	-160	-	-242	19	-349	-146	-	-242	60
	0.9G + E	-424	-130	-	-226	0	-295	-118	-	-210	35
4	1.4G + 1.6Q	-231	-124	-	-231	-124	-225	-133	-	-205	126
	G + Q + E	-354	-129	-	-343	42	-292	-143	-	-281	68
	0.9G + E	-311	-106	-	-305	22	-250	-116	-	-242	42
5	1.4G + 1.6Q	-65	-142	-	60	-16	-25	-18	-	-52	32
	G + Q + E	-354	-144	-	-197	-111	-348	-145	-	-242	60
	0.9G + E	-330	-134	-	-209	-107	-295	-118	-	-210	35
6	1.4G + 1.6Q	-220	-93	-	-202	88	-225	-107	-	-197	99
	G + Q + E	-342	-98	-	-332	29	-292	-143	-	-281	68
	0.9G + E	-302	-82	-	-298	14	-250	-116	-	-242	42

Çizelge 3.40: C aksı kritik kiriş elemanların iç kuvvet karşılaştırması.

Kiriş No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007					TBDY-2018				
		i		orta		j	i		orta		j
		M3	V	M3	M3	V	M3	V	M3	M3	V
1	1.4G + 1.6Q	-2140	-807	7885	924	1662	-2518	-2074	5307	-1076	1543
	G + Q + E	-2767 (-4151)	-2754 (-4131)	7394 (11091)	217 (326)	1005 (1508)	-3242	-2101	3164	-1983	725
	0.9G + E	-2432 (-3648)	-2328 (-3492)	6123 (9185)	34 (51)	766 (1149)	-2872	-1830	4167	-1753	511
2	1.4G + 1.6Q	-1827	491	-	1515	117	-180	-113	-	-340	55
	G + Q + E	-3714 (-5571)	-87 (-131)	-	-1769 (-2654)	-586 (-879)	-346	-145	-	-328	25
	0.9G + E	-3428 (-5142)	-161 (-242)	-	-1515 (-2273)	-561 (-842)	-297	-118	-	-284	15
3	1.4G + 1.6Q	-437	-173	-	-89	97	-421	-170	-	-90	104
	G + Q + E	-500	-161	-	-259	23	-347	-145	-	-231	62
	0.9G + E	-425	-131	-	-242	50	-292	-117	-	-200	38

Çizelge 3.40 (devam): C aksı kritik kiriş elemanların iç kuvvet karşılaştırması.

Kiriş No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007						TBDY-2018				
		i		orta		j		i		orta		
		M3	V	M3	M3	V	M3	V	M3	M3	V	
4	1.4G + 1.6Q	-88	-99	-	-411	-29	-134	-107	-	-360	58	
	G + Q + E	-309	-122	-	-529	24	-328	-142	-	-343	27	
	0.9G + E	-290	-104	-	-460	14	-284	-117	-	-297	16	
5	1.4G + 1.6Q	-79	-33	-	19	-32	23	-3	-	-123	54	
	G + Q + E	-319	-101	-	-273	-66	-210	-63	-	-249	-2	
	0.9G + E	-303	-94	-	-271	-68	-200	-62	-	-226	-13	
6	1.4G + 1.6Q	-92	-84	-	-428	64	-137	-90	-	-380	60	
	G + Q + E	-310	-102	-	-532	27	-358	-127	-	-354	26	
	0.9G + E	-290	-87	-	-460	16	-311	-105	-	-308	14	

Yönetmelikler arası tasarım esaslarının farklılığı nedeniyle kolonların mesnetlendiği kirişler (1) ve bu kirişin düğüm noktasına bağlı diğer kirişlerin (2) iç kuvvetleri için birbirinden çok farklı değerler elde edilmiştir. Kolonun mesnetlendiği 1 numaralı kirişlerde beklenildiği üzere çok büyük iç kuvvetler meydana gelmektedir ancak her iki tasarım sonucu incelendiğinde düşeyde düzensizlik nedeniyle uygulanan %50 tasarım iç kuvvet artımının aşırı güvenli tarafta kalan bir tasarım yaklaşımı olduğu sonucuna varılmıştır. 2 numaralı kirişler DBYBHY-2007'ye göre tasarlanırken %50 tasarım iç kuvvet artımı yapıldığından çok daha büyük enkesitle boyutlandırılmıştır. Bu kirişlerde %50 artım yapılmasa dahi yüksek eğilme rijitliğinden dolayı TBDY-2018'e göre çok daha büyük iç kuvvetler oluşmaktadır.

Diğer tipik kat kirişlerinin her iki yönetmeliğe göre yapılan tasarım sonuçları incelendiğinde genel olarak daha uyumlu sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

B ve C aksında yer alan kolonların kritik iç kuvvetleri sırasıyla Çizelge 3.41 ve Çizelge 3.42'de verilmiştir.

Çizelge 3.41: B aksı kritik kolon elemanların iç kuvvet karşılaştırması.

Kolon No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007				TBDY-2018			
		P	M2	M3	V	P	M2	M3	V
		kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
7	1.4G + 1.6Q	4418	1084	25	394	3692	935	13	331
	G + Q + E	4373	1753	125	644	3334	1806	58	650
	0.9G + E	3742	1576	119	579	2891	1682	57	607

Çizelge 3.41 (devam): B aksı kritik kolon elemanların iç kuvvet karşılaştırması.

Kolon No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007				TBDY-2018			
		P kN	M2 kN	M3 kN	V kN	P kN	M2 kN	M3 kN	V kN
8	1.4G + 1.6Q	6825	429	7	139	7945	622	9	213
	G + Q + E	5213	663	261	297	7374	68	83	18
	0.9G + E	4139 (6209)	723 (1085)	255 (383)	315 (473)	5950	33	82	49
9	1.4G + 1.6Q	4009	138	24	30	3366	222	25	82
	G + Q + E	3894	5	107	55	3014	6	100	51
	0.9G + E	3319	24	102	58	2610	39	97	50
10	1.4G + 1.6Q	6078	194	2	90	7080	181	1	75
	G + Q + E	4578	418	67	235	6604	467	104	223
	0.9G + E	3623	381	66	217	5330	413	103	198
11	1.4G + 1.6Q	3714	992	39	1050	3030	1250	8	1121
	G + Q + E	3557	1027	16	1187	2926	1438	80	1326
	0.9G + E	2988	866	22	1021	2519	1249	79	1160
12	1.4G + 1.6Q	9450	329	59	295	10699	261	2	304
	G + Q + E	7175	241	86	259	9514	46	67	55
	0.9G + E	-	10763	-362	-129	-389	7677	91	67
13	1.4G + 1.6Q	4451	352	31	36	3762	145	6	104
	G + Q + E	4147	468	118	85	3497	164	102	50
	0.9G + E	3471	406	113	76	2989	142	102	50
14	1.4G + 1.6Q	10417	97	19	122	11714	82	1	113
	G + Q + E	7864	423	106	237	10332	385	121	234
	0.9G + E	6261	407	103	218	8319	366	120	211

Çizelge 3.42: C aksı kritik kolon kesitlerinin iç kuvvet karşılaştırması.

Kolon No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007				TBDY-2018			
		P kN	M2 kN	M3 kN	V kN	P kN	M2 kN	M3 kN	V kN
7	1.4G + 1.6Q	4418	1084	25	394	3692	935	13	331
	G + Q + E	4373	1753	125	644	3334	1806	58	650
	0.9G + E	3742	1576	119	579	2891	1682	57	607
8	1.4G + 1.6Q	6825	429	7	139	7945	622	9	213
	G + Q + E	5213	663	261	297	7374	68	83	18
	0.9G + E	4139 (6209)	723 (1085)	255 (383)	315 (473)	5950	33	82	49

Çizelge 3.42 (devam): C aksı kritik kolon kesitlerinin iç kuvvet karşılaştırması.

Kolon No	Tasarım Yük Birleşimi	DBYBHY-2007				TBDY-2018			
		P kN	M2 kN	M3 kN	V kN	P kN	M2 kN	M3 kN	V kN
9	1.4G + 1.6Q	4009	138	24	30	3366	222	25	82
	G + Q + E	3894	5	107	55	3014	6	100	51
	0.9G + E	3319	24	102	58	2610	39	97	50
10	1.4G + 1.6Q	6078	194	2	90	7080	181	1	75
	G + Q + E	4578	418	67	235	6604	467	104	223
	0.9G + E	3623	381	66	217	5330	413	103	198
11	1.4G + 1.6Q	3714	992	39	1050	3030	1250	8	1121
	G + Q + E	3557	1027	16	1187	2926	1438	80	1326
		-5336	-1541	-24	-1781				
	0.9G + E	2988	866	22	1021	2519	1249	79	1160
		-4482	-1299	-33	-1532				
12	1.4G + 1.6Q	9450	329	59	295	10699	261	2	304
	G + Q + E	7175	241	86	259	9514	46	67	55
		-10763	-362	-129	-389				
	0.9G + E	5730	289	93	302	7677	91	67	2
		-8595	-434	-140	-453				
13	1.4G + 1.6Q	4451	352	31	36	3762	145	6	104
	G + Q + E	4147	468	118	85	3497	164	102	50
	0.9G + E	3471	406	113	76	2989	142	102	50
14	1.4G + 1.6Q	10417	97	19	122	11714	82	1	113
	G + Q + E	7864	423	106	237	10332	385	121	234
	0.9G + E	6261	407	103	218	8319	366	120	211

Kolonlarda da kirişlerde olduğu gibi oldukça uyumsuz sonuçlar elde edilmiştir. DBYBHY-2007’de yapılan %50 iç kuvvet artımının genel olarak aşırı güvenli tarafta kalınan bir tasarım yaklaşımı olduğu sonucuna varılmıştır.

4. B3 DÜZENSİZLİĞİ İÇEREN BETONARME BİR YAPININ DEPREM PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Tasarımı yapılan betonarme örnek binanın deprem etkisi altındaki performansının değerlendirilmesi DBYBHY-2007 Bölüm 2 ve Bölüm 7’de yer alan esaslar dikkate alınarak yapılmıştır. İncelenen yapı mevcut bir bina olmayıp tasarımı bir önceki bölümde DBYBHY-2007’e göre tasarlanan yeni bir binadır. Bu yüzden performans değerlendirilmesi yapılırken bina bilgi düzeyinin kapsamlı bilgi düzeyi ve bilgi düzeyi katsayısının da 1 olarak dikkate alınması uygundur. Dolayısıyla kesit dayanımlarında herhangi bir azaltma yapılmamıştır.

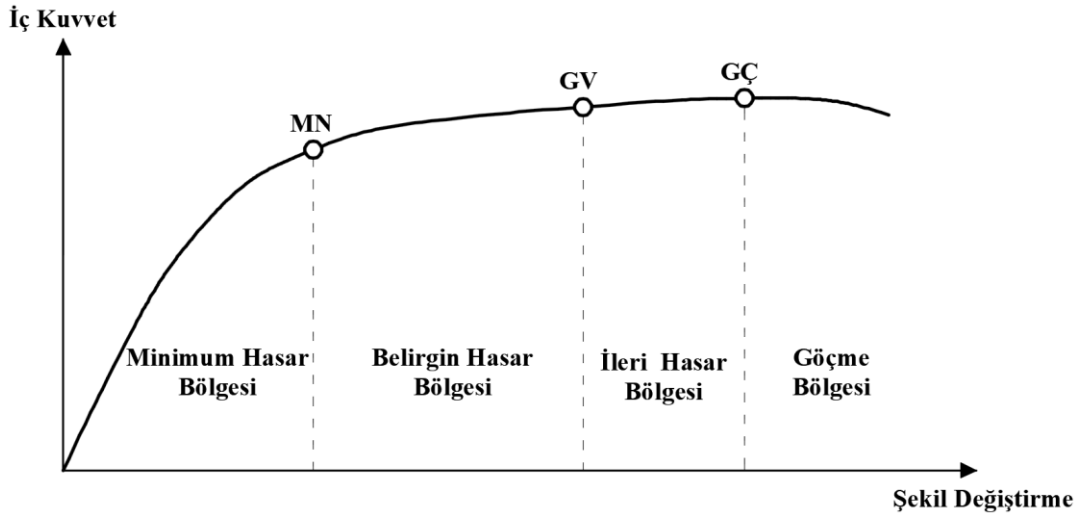
Yapının performans değerlendirilmesi ETABS, kesit analizleri de SAP2000 programında yapılmıştır. Değerlendirme zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi kullanılarak yapılacağından analizi gerçekleştirecek programın modelleme kabulleri önem kazanmaktadır. Analiz programında betonarme kesitlerin hasar sınırları FEMA-356’da verilen plastik dönme sınır değerleri ile tanımlanmaktadır. Çalışmada dikkate alınan yönetmelik DBYBHY-2007’de betonarme kesit hasar sınırları beton ve donatı çeliği malzemelerinin birim şekil değiştirme sınır değerleri ile belirlendiğinden her bir kesit için birim şekil değiştirme-plastik dönme dönüşümü yapılmıştır.

4.1 Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri

Gevrek göçme oluşmadan yeterli sünek davranış özelliği gösteren elemanlar için kesit hasarları üç sınır durumu ile verilmektedir. Bu hasar sınır durumları *Minimum Hasar Sınırı (MN)*, *Güvenlik Sınırı (GV)* ve *Göçme Sınırı (GÇ)*’dir. Hasar sınır durumlarının anlamları;

- Minimum Hasar Sınırı : Elastik davranış
- Güvenlik Sınırı : Güvenle taşınacak plastik davranış
- Göçme Sınırı : Göçme öncesi davranış sınırlandır.

Bu hasar sınırlarının arasında kalan bölgelere sırasıyla *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi*, *İleri Hasar Bölgesi* ve *Göçme Bölgesi* adı verilir. Hasar sınırları ve bölgeleri için iç kuvvet-şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.1 'de verilmiştir.



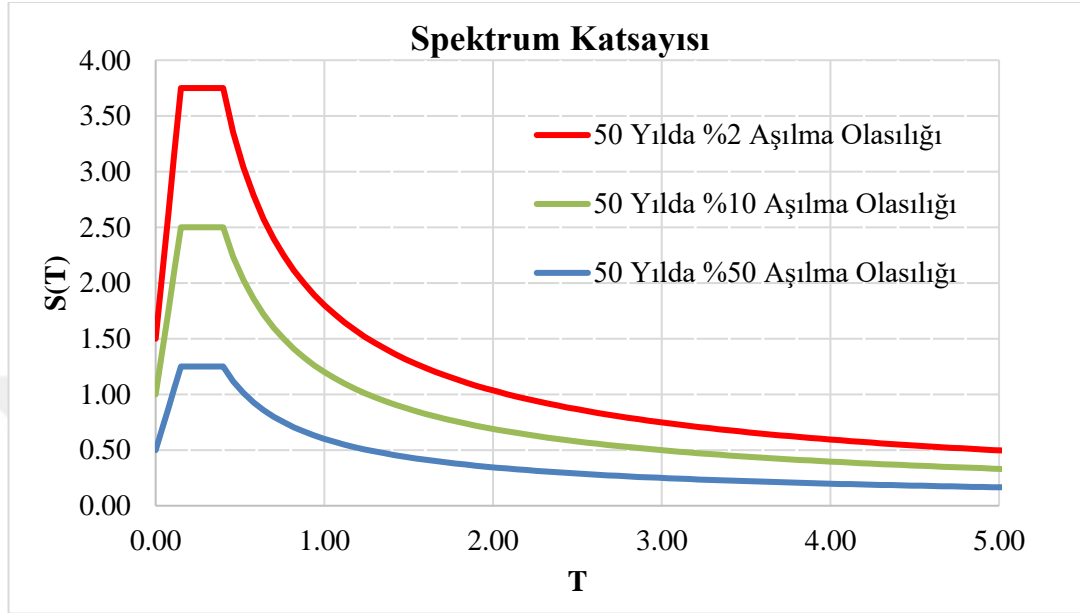
Şekil 4.1 : Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.

4.2 Deprem Seviyeleri ve Hedeflenen Performans Düzeyleri

Deprem Yönetmeliği'nde binanın kullanım amacı ve türüne bağlı olarak farklı deprem seviyeleri için sağlanması gereken performans düzeyleri belirlenmiştir. Hedeflenen performans düzeyleri; *Hemen Kullanım*, *Can Güvenliği*, *Göçme Öncesi* ve *Göçme Durumu* performans düzeyleridir. Yapıda herhangi bir gevrek eleman olmadığı ya da gevrek eleman var ise güçlendirildiği kabul edilirse bu performans düzeylerinin anlamları;

- Hemen Kullanım: Geri kalan taşıyıcı elemanların tümünün *Minimum Hasar Bölgesi*'nde kalması şartı ile, her kattaki kirişlerin %10'u *Belirgin Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.
- Can Güvenliği : Her bir katta, *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçen kolonların taşıdığı kesme kuvveti o kattaki kolonların taşıdığı kesme kuvvetinin en fazla %20 si olabilir. Kirişlerin de en fazla %30'u *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir. Kalan diğer taşıyıcıların tümü *Belirgin* veya *Minimum Hasar Bölgesi*'ndedir
- Göçme Öncesi: Kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir. Diğer tüm taşıyıcılar *Minimum*, *Belirgin* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir.
- Göçme Durumu: *Göçme Öncesi* performans düzeyinin sağlanamadığı binalardır.

Gerçekleşme olasılıklarına göre üç kategoride verilen deprem seviyelerine ait spektrum katsayısı eğrisi Şekil 4.2’de verilmektedir. Binalar için hedeflenen performans düzeylerinin ve bu düzeyler için dikkate alınan deprem seviyeleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Farklı deprem seviyelerinin spektrum eğrileri [3].

Çizelge 4.1 : Deprem seviyeleri için hedeflenen deprem performansları [3].

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Depremin Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	–	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	–	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

4.3 Malzemelerin Doğrusal Olmayan Davranışı

Doğrusal olmayan analizlerde kullanılacak mevcut malzeme dayanımları, tasarım aşamasında dikkate alınan karakteristik malzeme dayanımlarına eşit kabul edilmiştir. Performans değerlendirmesinin doğrusal elastik olmayan yöntemlerle yapılması durumunda beton ve donatı malzemeleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan davranış modelleri DBYBHY-2007 Ek-7B’de tanımlanmıştır. Burada betonun sargılı ya da sargısız olma durumu, donatı çeliğinin de pekleşme durumunun göz önüne alındığı gerilme – şekil değiştirme bağıntıları yer almaktadır.

4.3.1 Mander sargılı beton modeli

Betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı sargılı veya sargısız olma durumuna göre oluşturulmaktadır. Sargı etkisi DBYBHY-2007 Ek-7B’de verilen denklemler ile dikkate alınmaktadır. Sargılı betonun basınç dayanımı malzeme kalitesine, enine ve boyuna donatı oranına bağlıdır. Kolon enkesitleri SAP2000 v20 programında modellenip, sargılı ve sargısız beton modellerini otomatik olarak dikkate alınmaktadır. Ancak perde plastik mafsallarında dikkate alınacak malzemeler için her perde başlık bölgesinin donatı ve geometrisine göre beton davranış modeli yönetmelikte verilen formülasyonlara uygun olarak çıkarılmıştır [30].

Sargılı durumun dikkate alındığı beton basınç gerilmesi f_c , ε_c ’nin bir fonksiyonu olarak Denklem 4.1’e göre elde edilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (4.1)$$

Sargılı beton dayanımı, f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki bağıntı Deklem 4.2’de verilmiştir.

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (4.2)$$

Etkili sargılama basıncı, f_e dikdörtgen kesitler için denklem 4.3’de verilen değerlerin ortalaması olarak alınmaktadır.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (4.3)$$

Sargılama etkinlik katsayısı, k_e denklem 4.4'e göre kesit ve donatı alanına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_o}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \quad (4.4)$$

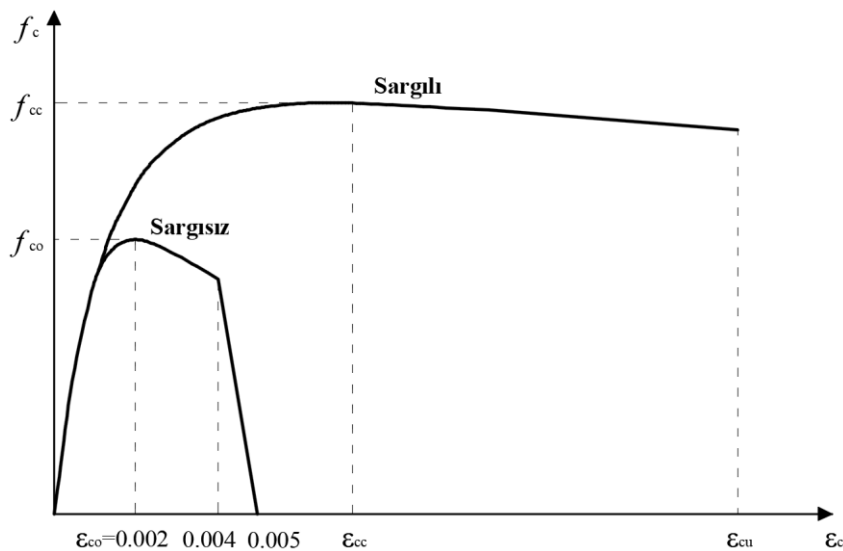
Normalize edilmiş beton birim şekil değıştirmesi, x ve r değışkeni denklem 4.5'de verilen formüllerle bulunmaktadır.

$$\begin{aligned} x &= \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}[1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{co} \cong 0.002 \\ r &= \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değıştirmesi, ε_{cu} denklem 4.6'a göre hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (4.6)$$

Sargısız betonda etkin sargılama basıncı, $f_e = 0$ 'dır. Buna bağılı olarak verilen denklemlerde $\lambda_c = 1$, $f_{cc} = f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$ olarak elde edilir. Denklem 4.1 sargısız beton için de $\varepsilon_c = 0.004$ değeri kadar geçerlidir ancak $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$ aralığında doğrusal olarak gerilme sıfırlanır (Şekil 4.3).



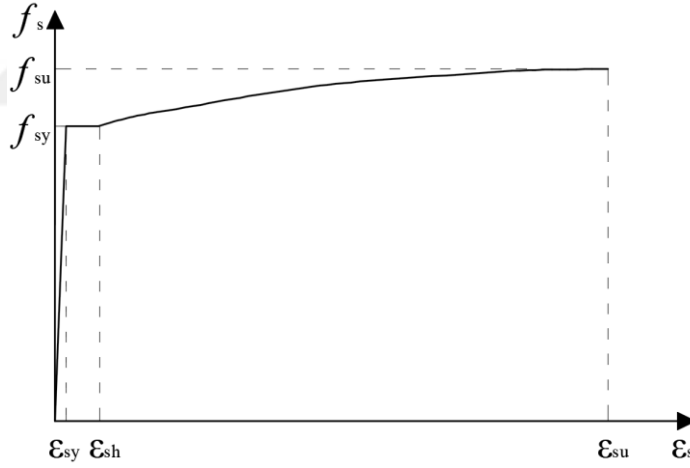
Şekil 4.3 : Mander beton modeli gerilme - şekil değıştirme eğrisi [3].

İncelenen örnek yapıdaki elemanların kesit davranışları belirlenirken sargılı ve sargısız beton malzemesi dikkate alınmıştır. Kapalı etriye dışında kalan kabuk sargısız beton, kapalı etriye içinde kalan çekirdek bölge ise sargılı beton olarak modellenmiştir. Bu sargılı beton modeli kolonlarda ve perdelerin uç bölgelerinde dikkate alınmış olup kirişlerde ve perdelerin gövdelerinde sargılı beton davranışı dikkate alınmamıştır.

4.3.2 Pekleşmeli donatı çeliği modeli

Donatı çeliğinin pekleşme durumunun dikkate alındığı doğrusal elastik olmayan yöntemlerle yapılan performans değerlendirmelerinde denklem 4.7 ve Şekil 4.4’de üç parçalı fonksiyon olarak verilen donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme bağıntıları kullanılacaktır.

$$\begin{aligned}
 f_s &= E_s \varepsilon_s & (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \\
 f_s &= f_{sy} & (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \\
 f_s &= f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} & (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su})
 \end{aligned} \tag{4.7}$$



Şekil 4.4 : Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme grafiği [3].

S220 ve S420 dayanım sınıfındaki donatı çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme değerleri Çizelge 4.2’de verilmektedir (DBYBHY,2007). İncelenen örnek yapıda kullanılan tüm donatı çelikleri S420 dayanım sınıfıdır.

Çizelge 4.2 : Donatı çelikleri malzeme özellikleri [3].

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

4.4 Etkin Kesit Eğilme Rijitlikleri

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinde başlangıç rijitliğini dikkate almak amacıyla çatlamış kesitlere ait etkin eğilme rijitlikleri dikkate alınmaktadır. DBYBHY-2007 uyarınca kolon, perde ve kirişlerin etkin eğilme rijitlikleri için aşağıdaki değerler kullanılmıştır [3].

Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

Kolon ve perdelerde, $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ ise $(EI)_e = 0.40 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ ise $(EI)_e = 0.80 (EI)_o$

Eksenel basınç kuvveti, N_D deprem hesabında dikkate alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin kullanılmasıyla oluşan iç kuvvetlerdir. Bina kullanım amacı konut/ofis olduğundan kolon ve perde etkin eğilme rijitlikleri $G+0.3Q$ yüklemesi ile elde edilen eksenel yük değerlerine göre ara değerler için enterpolasyon yapılarak hesaplanmıştır.

4.5 Plastik Mafsallar

Plastik mafsallar moment kapasitesine erişildikten sonra kesitlerin şekil değiştirmeye devam ettiği bölgelerdir. Donatıların akmasıyla başlayan plastikleşme, betonun veya donatının maksimum birim şekil değiştirmeye erişerek göçme durumu meydana gelinceye kadar devam eder. Plastik mafsal davranışından söz edilebilmesi için yeterli kesme dayanımının olması ve maksimum donatı oranının aşılmaması gerekmektedir, yani gevrek göçme durumu oluşmamalıdır. Kolon, kiriş, bağ kirişi gibi çubuk sonlu elemanlarla modellenen ya da perde gibi kabuk sonlu elemanlarla modellenen taşıyıcı sistem elemanlarının değerlendirilebilmesi için plastik mafsal kabulünden yararlanılmaktadır. Plastik mafsallar yayılı plastik mafsal ve yığılı plastik mafsal olmak üzere iki grupta idealleştirilerek modellenmektedir.

Yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile çubuk elemanlarda yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Çubuk eleman olarak tasarlanan kolon ve kirişlerde iç kuvvetlerin plastik kapasiteye ulaştığı bölgeler boyunca plastik şekil değiştirmenin düzgün yayılı olduğu kabul edilmektedir. Yığılı plastik mafsal eksenel kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti etkileri ve bunların birlikte olma durumları için modellenebilmektedir. DBYBHY-2007'ye göre plastik mafsal boyu çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısı alınmaktadır [3].

Perdelerin modellenmesinde ise yayılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Yayılı plastik davranış modelinde L şeklindeki perde enkesiti içindeki beton yeteri kadar küçük parçalarla, donatı çeliği de tekil olarak modellenmektedir. Böylelikle perdenin her bir kolunda iki boyutlu bir sonlu eleman ağı oluşturulmuştur [4].

4.5.1 Çubuk yığılı plastik mafsallı modelleri

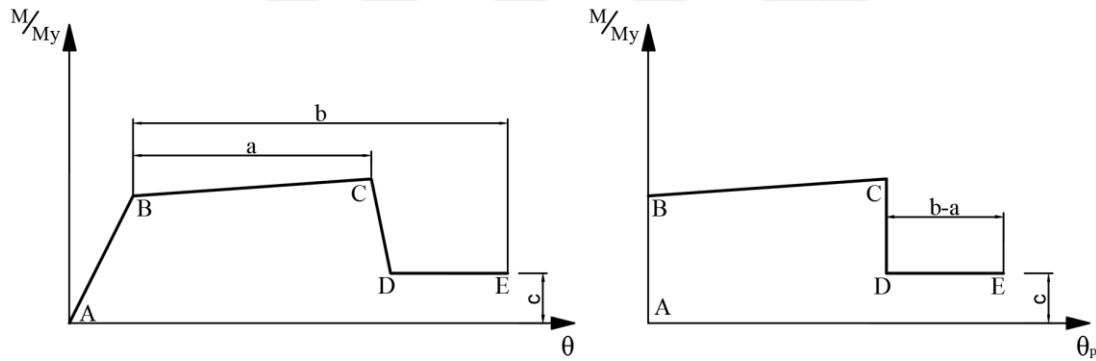
ETABS’de yığılı plastik mafsallar FEMA-356’ya uyarlanarak elastik ötesi şekil değiştirmeler ile veri girilmektedir. Şekil 4.5’de verilen genelleştirilmiş kuvvet – şekil değiştirme modeline göre;

A-B: Kesitin akma momentine kadar doğrusal davranış gösterdiği kabul edilen bölge.

B-C: Plastikleşmenin etkisiyle rijitliğin azaldığı bölge.

C-D: Yanal yük dayanımının ani olarak düştüğü bölge.

D-E: Kesit dayanımının kaybolduğu bölge.



Şekil 4.5 : FEMA-356 ve idealleştirilmiş ETABS modeli [9].

Kolon ve kiriş çubuk elemanlarının kesitlerinde moment eğrilik analizi yapılarak A, B ve C noktalarının yerleri elde edilebilmektedir. D ve E noktalarının belirlenebilmesi için FEMA-356 Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’den a, b ve c değerleri alınmaktadır. Kiriş ve kolonlar için bu tablolar sırasıyla Çizelge 4.3 ve

Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çubuk elemanlar yeterli sargı etkisi olacak şekilde tasarlanmıştır. Tablolardan (b-a) değeri kirişler için 0.005 ile 0.025 arasında, kolonlar için de 0.008 ile 0.01 arasında değerler elde edilmektedir. Modelleme kolaylığı açısından tüm çubuklar için b-a değeri 0.01 olarak dikkate alınarak D-E mesafesi programa tanımlanmıştır. D ve E noktalarının ordinatları da gene tablolardan sabit 0.2 olarak alınmıştır [9].

Çizelge 4.3: Kiriş moment-plastik dönme sayısal modelleme parametreleri [9].

$(\rho-\rho') / \rho_b$	$V / (b \times d \times f_{ck})$	Plastik dönme (radyan)			Artık Dayanım Oranı
		a	b	b-a	c
≤ 0.0	≤ 3	0.025	0.05	0.025	0.2
≤ 0.0	≥ 6	0.02	0.04	0.02	0.2
≥ 0.5	≤ 3	0.02	0.03	0.01	0.2
≥ 0.5	≥ 6	0.015	0.02	0.005	0.2

Çizelge 4.4: Kolon moment-plastik dönme sayısal modelleme parametreleri [9].

$P / (A_g \times f_{ck})$	$V / (b \times d \times f_{ck})$	Plastik dönme (radyan)			Artık Dayanım Oranı
		a	b	b-a	c
≤ 0.0	≤ 3	0.02	0.05	0.03	0.2
≤ 0.0	≥ 6	0.016	0.04	0.024	0.2
≥ 0.5	≤ 3	0.015	0.03	0.015	0.2
≥ 0.5	≥ 6	0.012	0.02	0.008	0.2

4.5.1.1 Kiriş plastik mafsalları

Yapıdaki kirişler sadece kuvvetli eksenleri etrafında eğilmeye çalışan elamanlardır. Dolayısıyla bu kirişlere M_3 olarak adlandırılan yığılı plastik mafsal tipi atanmaktadır. Tüm kirişlerin kesitleri mevcut donatıları ile birlikte SAP2000 programında modellenip, moment-eğrilik analizi yapılmıştır. 0° ve 180° eğilme açıları için elde edilen akma ve plastik durumlarına karşı gelen moment-eğrilik değerleri plastik mafsal tanımlaması için kullanılmıştır. Kapasiteye bağlı olarak hesaplanan kesme etkisi yeterli sargı donatısı ile karşılandığından kesitin matematiksel olarak hesaplanan maksimum moment kapasitene erişebileceği kabul edilmiştir. Akma ve plastik momentinin sayısal değerleri Caltran modeli kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 4.6'da K-Tip1 kirişinin moment-eğrilik analizi görülmektedir.

Moment – dönme grafiğindeki C noktası için plastik dönme değeri plastik eğrilik değeri ile mafsal boyunun çarpımı ile bulunur. Plastik eğrilik değeri de plastik momente karşı gelen eğrilik değeri ile akma momentine karşı gelen akma eğriliğinin farkı ile bulunur. C noktasının ordinatı da plastik momentinin akma momentine oranı olarak girilir. Böylelikle moment–dönme eğrisine moment değerleri akma momentinin katı olarak, dönme değerleri de gerçek değerlerinden girilmektedir (Şekil 4.7).

$$h = 0.6 \text{ m} \quad (L_p=0.5h=0.3\text{m})$$

$$M_y = 172 \text{ kNm}$$

$$M_u = 204 \text{ kNm}$$

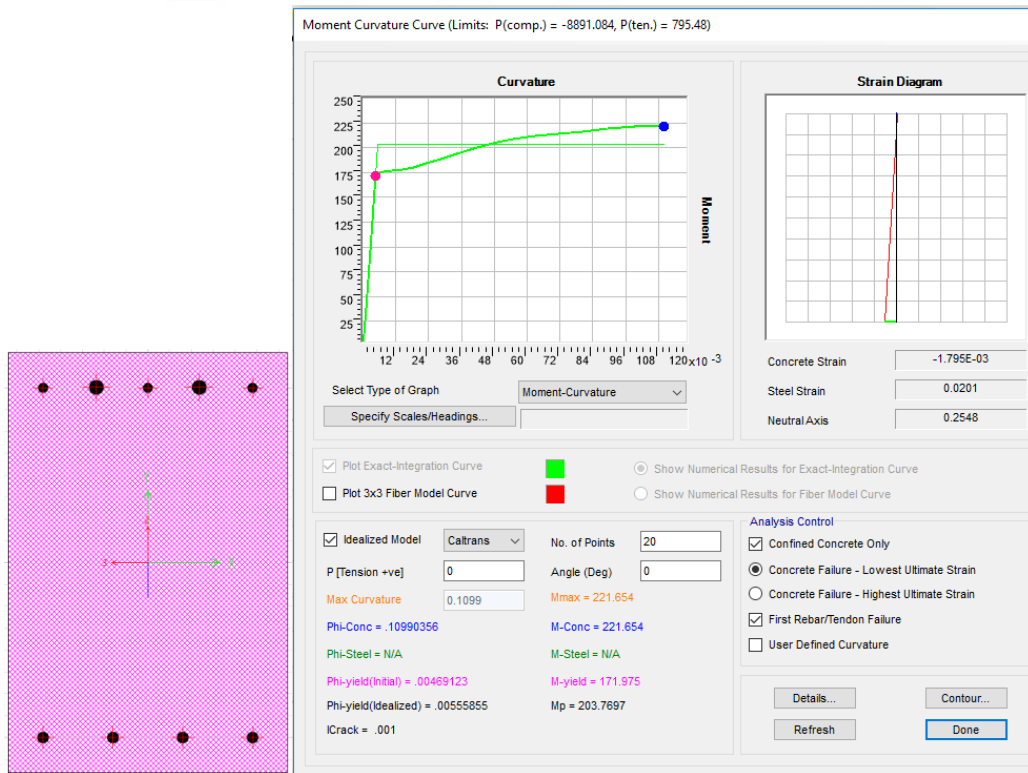
$$M_u/M_y = 204/172 = 1.19$$

$$\phi_y = 0.00469 \text{ rad/m}$$

$$\phi_u = 0.1099 \text{ rad/m}$$

$$\phi_p = \phi_u - \phi_y = 0.10521 \text{ rad/m}$$

$$\theta_p = \phi_p \times L_p = 0.0316 \text{ rad}$$



Şekil 4.6 : K-Tip1 kesit modeli ve 0° moment-eğrilik grafiği.

Hinge Property Data for KIRIS_Tip1 - Moment M3

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.0391
D-	-0.2	-0.0291
C-	-1.27	-0.0291
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.19	0.0316
D	0.2	0.0316
E	0.2	0.0416

Symmetric

Type

Moment - Rotation

Moment - Curvature

Hinge Length

Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero

Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

Use Yield Moment

Moment SF

Positive	Negative
<input type="text" value="172"/>	<input type="text" value="214"/>

kN-m

Use Yield Rotation

Rotation SF

Positive	Negative
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>

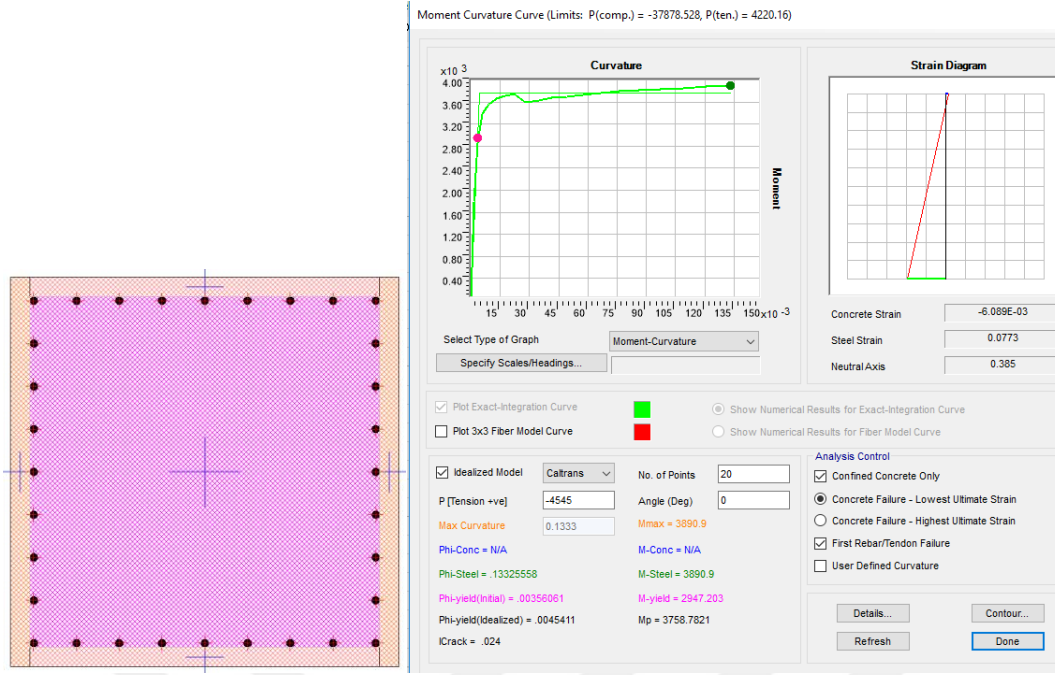
(Steel Objects Only)

Şekil 4.7 : Tip1 kirişi plastik mafsalları verileri girişi.

D-E noktaları ise **Bölüm 4.5.1**'de verildiği gibi FEMA-356'ya uygun olarak tanımlanmıştır. Negatif moment için de benzer işlemler 180° için yapılarak tüm kirişlerim her iki düğüm noktası için de basit eğilme plastik mafsalları oluşturulmuştur. Kiriş enkesitlerinde Mander sargılı beton etkisi gözönüne alınmamıştır.

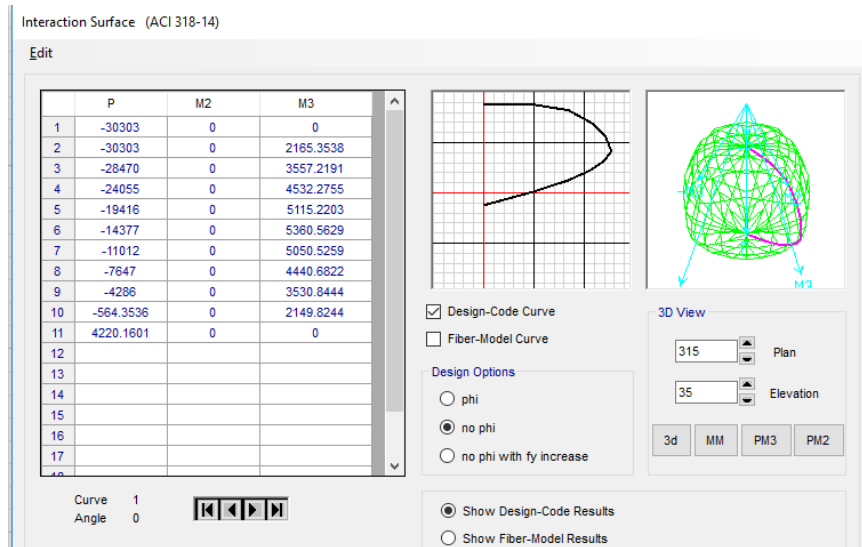
4.5.1.2 Kolon plastik mafsalları

Yapının tüm kolonları her iki doğrultuda da moment aktaran çerçeve kolonları olduğundan düşey yük etkisi ile birlikte iki eksenli eğilme momentinin etkisi de dikkate alınarak P-M₂-M₃ olarak tanımlanan karşılıklı etkileşim yığılı plastik mafsalları atanmaktadır. Bu plastik mafsalları modelinde veri girişinin yapılması için moment-eğrilik analizi ve karşılıklı etkileşim yüzeyi SAP2000 programı ile elde edilmiştir. Moment-eğrilik analizi her bir kolon tipi için kolon eksenel yük kapasitesinin %15 ve %45'ine karşı gelen eksenel yük altında 3 farklı eğilme açısı (0° - 45° - 90°) için oluşturulmuştur. Genel olarak her tipik kolon için 6 adet moment-eğrilik analizi uygulanmıştır. Tip-1 kolonun 0° eğilme eksenini için %15 eksenel yüke karşı gelen basınç kuvveti altında elde edilen moment-eğrilik grafiği Şekil 4.8'da örnek olarak verilmiştir. Kolonun dış etriye ile sarılan çekirdek bölgesinde kalan beton malzemenin Mander sargılı beton modeli program tarafından enine ve boyuna donatılar dikkate alınarak otomatik olarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.8 : Tip1 kolonu kesit modeli ve 0° moment-eğrilik grafiği.

P-M₂-M₃ karşılıklı etkileşim değerleri karşılıklı etkileşim yüzeyinin çift simetrisinden yararlanılarak 0°-45°-90° eğrileri için elde edilen sonuçların kullanılması yeterli olmaktadır. Tip1 kolonu için karşılıklı etkileşim yüzeyinin 0° eğrisine karşı gelen değerleri Şekil 4.9'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.9 : Tip1 kolonu karşılıklı etkileşim yüzeyi 0° eğrisi.

SAP2000'de tüm kolon tiplerinin moment-eğrilik ve karşılıklı etki diyagramı sonuçları elde edilip P-M₂-M₃ olarak tanımlanan yığılı plastik mafsal tipinde atama yapılmıştır. Kolon plastik mafsal atama giriş ekranı Şekil 4.10'da verilmektedir.

Moment-eğrilik verilerinin girilmesi için başlangıç ekranında istenen eksenel yük değerleri ve eğilme açıları Şekil 4.11’de verilmektedir. Tasarlanan kolonlar dikdörtgen ve her iki doğrultuda da simetrik donatı yerleşimine sahip olduğundan çift simetri durumu kullanılmıştır.

Şekil 4.10 : Tip-1 kolonu plastik mafsal atama giriş ekranı.

	Force kN
1	4545
2	13616

	Angle deg
1	0
2	45
3	90

Şekil 4.11 : Tip-1 kolonu plastik mafsal veri girişi – 1.

Moment-eğrilik analizi sonuçlarından elde edilen eğrilik değerleri de kirişlerde yapıldığı gibi plastik dönme değerlerine çevrilerek programa girişi yapılmıştır

$$h = 1 \text{ m} \quad (L_p=0.5h=0.5\text{m})$$

$$M_y = 2947 \text{ kNm}$$

$$M_u = 3759 \text{ kNm}$$

$$M_u/M_y = 3759/2947 = 1.28$$

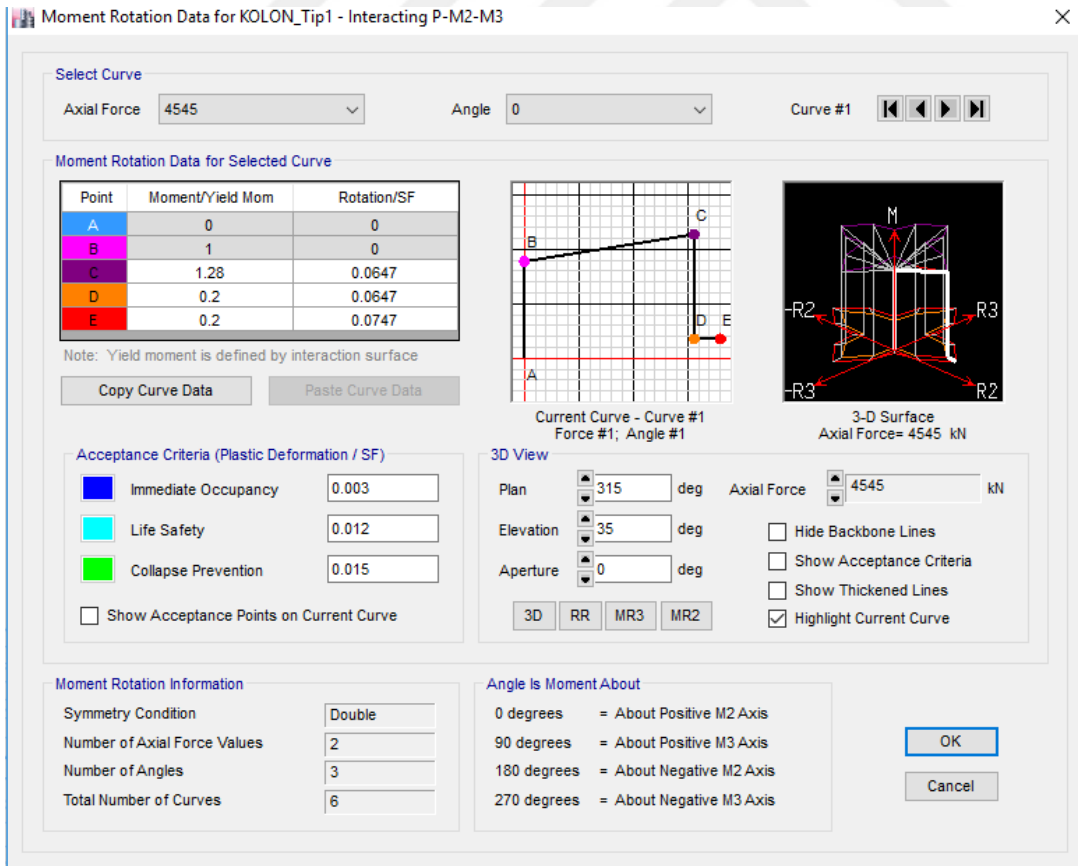
$$\phi_y = 0.00356 \text{ rad/m}$$

$$\phi_u = 0.133 \text{ rad/m}$$

$$\phi_p = \phi_u - \phi_y = 0.1294 \text{ rad/m}$$

$$\theta_p = \phi_p \times L_p = 0.06472 \text{ rad}$$

Tip-1 kolonu için %15 aksel yük kapasitesine karşı gelen basınç yükü altında 0° dönme eksenini için elde edilen moment-eğrilik analiz sonuçları programa veri olarak girilmiştir. Bu işlem Şekil 4.12'de örnek olarak verilmiştir.



Şekil 4.12 : Tip-1 kolonu plastik mafsalsal veri girişi – 2

Karşılıklı etkileşim yüzeyinin tanımlanabilmesi için 0° - 45° - 90° dönme eksenleri için daha önce elde edilen değerler girilmiştir. Tip-1 kolonunun 0° dönme eksenini için P-M₂-M₃ değerlerinin girişi örnek olarak Şekil 4.13'de örnek olarak verilmiştir.

User Interaction Surface Options

Circular Symmetry
 Doubly Symmetric about M2 and M3
 No Symmetry

Number of Curves: 3
Number of Points on Each Curve: 9

Scale Factors (Same for All Curves)

P, kN: 1
M2, kN-m: 1
M3, kN-m: 1

Include Scale Factors in Plots

First and Last Points (Same for All Curves)

Point	P	M2	M3
1	-30303	0	0
9	4220	0	0

Interaction Curve Data

Current Curve: 1

Point	P/SF	M2/SF	M3/SF
1	-30303	0	0
2	-28470	3557	0
3	-19416	5115	0
4	-14377	5361	0
5	-11012	5051	0
6	-7647	4441	0
7	-4286	3531	0
8	-564	2150	0
9	4220	0	0

Interaction Surface Requirements - Doubly Symmetric

1. A minimum of 3 P-M2-M3 curves are specified.
2. P (tension positive) increases monotonically.
3. M2 = M3 = 0 at the first and last points.
4. First curve has all M3 = 0 and all M2 >= 0.
5. Then one or more curves has all M2 > 0 and all M3 > 0.
6. Last curve has all M2 = 0 and all M3 > 0.
7. As the curve number increases, a specific point number should have an increasing M3 and a decreasing M2.
8. Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

3D Plot

Plan, deg: 315
Elevation, deg: 25
Aperture, deg: 0

Show All Lines
 Hide P Direction Lines
 Hide M2-M3 Lines

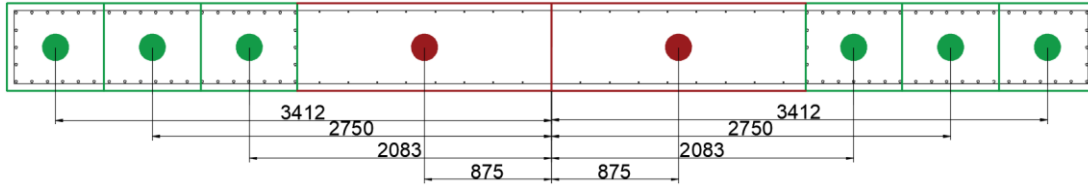
Highlight Current Curve

Şekil 4.13 : P-M2-M3 plastik mafsal veri girişi – 3.

Kolon ve kirişlerin plastik mafsal tanımlamaları ve kesit hasar sınırlarının belirlenmesinde dikkate alınacak plastik dönme sınır değerleri EK A'da yer almaktadır.

4.5.2 Perde yayılı plastik mafsal modeli

Perdelere yayılı plastik mafsal davranışına uygun olarak P-M₃ fiber plastik mafsal ataması yapılmıştır. Tasarım sonucu belirlenen perde enkesitlerinin uç ve gövde bölgeleri parçalara bölünerek fiberler oluşturulmuştur. Örneğin kritik perde yüksekliği boyunca kullanılan Tip-1 perdesinin her iki başlık bölgesi üç parçaya ve gövdesi de iki parçaya bölünerek fiberler için tanımlanacak beton ve donatı çeliği alanları koordinatları hesaplanmıştır. Tip1 perde enkesitinin parçalara bölünmüş örnek çizimi Şekil 4.14'da verilmiştir. Herbir tip kesitte bulunan malzemelerin doğrusal olmayan davranışları ETABS malzeme tanım bölümünde yönetmelikte verilen değerlere uygun olarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.14 : Tip1 perdesinin idealleştirilmiş fiber modeli.

Tüm perde tipleri için beton ve donatı çeliği malzemeleri belirlenen fiber alan ve koordinat bilgisine uygun olarak girilerek plastik mafsals tanımlaması yapılmıştır. Çizelge 4.5’de örnek olarak Tip1 perdesinin yayılı plastik mafsals verisi verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Tip1 perdesi fiber mafsals verisi.

Bölge	Dilim	Fiber No	Malzeme	Alan cm ²	Koordinat mm
Başlık 1	1	1	Sargılı Beton	4000	3412
		2	Donatı	80	3412
	2	3	Sargılı Beton	4000	2750
		4	Donatı	74	2750
	3	5	Sargılı Beton	4000	2083
		6	Donatı	80	2083
Gövde 1	4	7	Sargısız Beton	10500	875
		8	Donatı	26	875
Gövde 2	5	9	Sargısız Beton	10500	-875
		10	Donatı	26	-875
Başlık 2	6	11	Sargılı Beton	4000	-2083
		12	Donatı	80	-2083
	7	13	Sargılı Beton	4000	-2750
		14	Donatı	74	-2750
	8	15	Sargılı Beton	4000	-3412
		16	Donatı	80	-3412

Kritik perde yüksekliğince perde uç bölgelerinde sık enine donatı düzenlemesi yapıldığından, bu bölgelerdeki çekirdek beton malzemesi Mander sargılı beton modeli için verilen formülasyonlar kullanılarak gerilme – şekil değiştirme değerleri elde edilmiş ve sargısız beton modeline ilave olarak yeni bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Şekil 4.15’de sargısız ve sargılı beton malzeme tanımları Şekil 4.16’da ise programa bu malzemelerin fiber mafsals ekranında atanması gösterilmiştir.

Material Name and Type
Material Name: MANDER-Sargisiz Beton
Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters
Hysteresis Type: Concrete
Drucker-Prager Parameters
Friction Angle: 0
Dilatational Angle: 0

Acceptance Criteria Strains
Tension: IO 0.01, LS 0.02, CP 0.05
Compression: 0.0035, 0.0135, 0.018 mm/mm
 Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric
 User Defined

User Stress-Strain Curve Data
Number of Points in Stress-Strain Curve: 11

Point Number	Strain	Stress (N/mm2)	Point ID
1	-0.005	0	
2	-0.004	-26.18	
3	-0.0035	-30.21	
4	-0.003	-34.48	
5	-0.0025	-38.26	
6	-0.002	-40	
7	-0.0015	-37.48	
8	-0.001	-29.06	
9	-0.0005	-15.6	

Material Name and Type
Material Name: MANDER-PERDE TIP1
Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters
Hysteresis Type: Concrete
Drucker-Prager Parameters
Friction Angle: 0
Dilatational Angle: 0

Acceptance Criteria Strains
Tension: IO 0.01, LS 0.02, CP 0.05
Compression: 0.0035, 0.0135, 0.018 mm/mm
 Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options
 Parametric
 User Defined

User Stress-Strain Curve Data
Number of Points in Stress-Strain Curve: 13

Point Number	Strain	Stress (N/mm2)	Point ID
1	-0.02017	-44.41	
2	-0.01758	-46.36	
3	-0.01438	-48.54	
4	-0.01239	-50.95	
5	-0.00979	-53.48	
6	-0.00719	-55.58	
7	-0.0046	-55.1	
8	-0.002	-42.09	
9	-0.0015	-35.55	

Şekil 4.15 : Sargısız ve sargılı beton malzemesinin tanımlanması.

Define Fibers for Hinge PERDE_Tip1 (Fiber P-M3)

Control
 Overlay User Defined Wall on Plot
 Length: 7500 mm
 Thickness: 600 mm
 Make All Fibers Gray

Fiber Definition Data

Fiber	Area cm ²	Coord2 mm	Material /// Stress Strain Curve
1	4000	-3412	MANDER-PERDE TIP1 /// SSC1
2	80	-3412	S420 /// SSC1
3	4000	-2750	MANDER-PERDE TIP1 /// SSC1
4	74	-2750	S420 /// SSC1
5	4000	-2083	MANDER-PERDE TIP1 /// SSC1
6	80	-2083	S420 /// SSC1
7	10500	-875	MANDER-Sargisiz Beton /// SSC1
8	26	-875	S420 /// SSC1
9	26	875	S420 /// SSC1
10	10500	875	MANDER-Sargisiz Beton /// SSC1

Sort by Coord2 Add Fiber Delete Selected Fibers

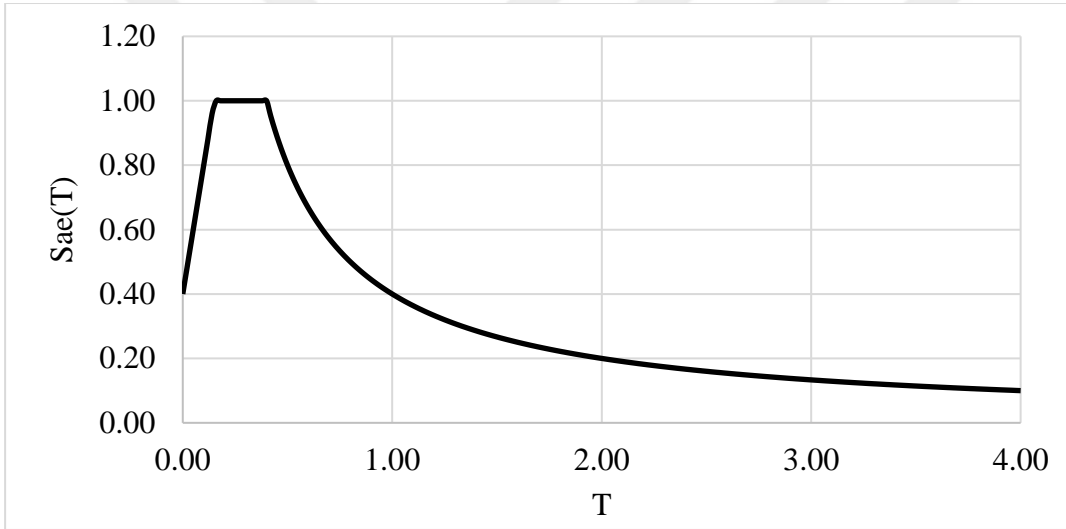
Show Properties...
OK Cancel

Şekil 4.16 : Perde fiber plastik mafsalı veri girişi.

4.6 Deprem Kayıtlarının Seçimi ve Ölçeklendirilmesi

4.6.1 Hedef elastik ivme spektrumları

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yönteminin uygulanabilmesi için yönetmelikle belirtilen hedef ivme spektrumuna uyumlu çalışılması gerekmektedir. DBYBHY-2007’de yatay hedef elastik ivme spektrumu için Bölüm 2’de verilen deprem yükünün hesabında esas alınan spektral ivme katsayısı değerleri geçerlidir [3]. Ancak DBYBHY-2007’de düşey hedef elastik ivme spektrumu ile ilgili bir çalışma yer almamaktadır. Bunun için TBDY-2018’de verilen düşey elastik tasarım spektrumu dikkate alınarak bu çalışmaya dahil edilmiştir. 50 yılda %10 aşılma olasılığına karşı gelen deprem için kullanılan Yatay hedef elastik ivme spektrumu grafiği Şekil 4.17’de verilmiştir.



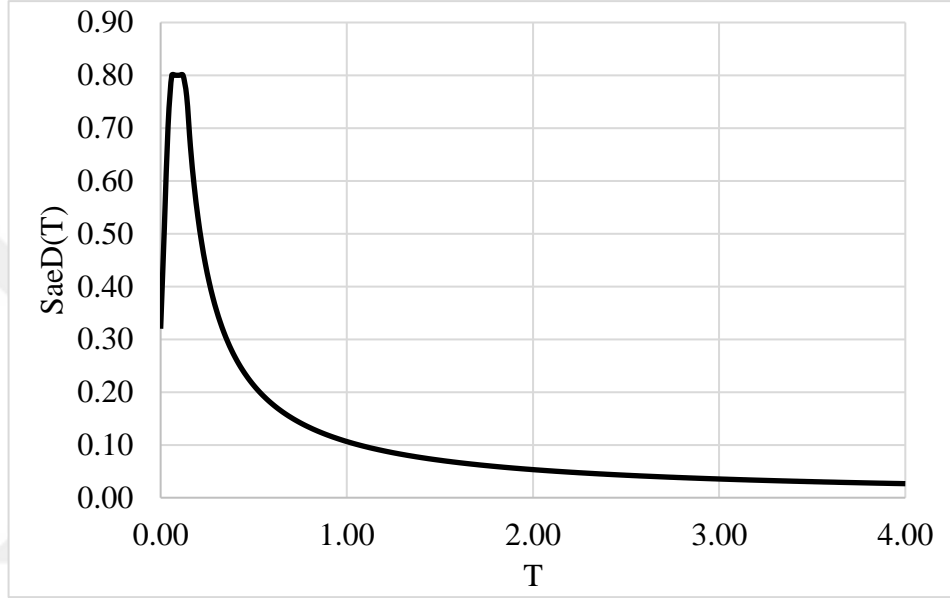
Şekil 4.17 : Yatay hedef elastik ivme spektrumu [3].

TBDY-2018’e göre düşey hedef elastik ivme spektrumu için dikkate alınacak zemin periyotları T_{AD} ve T_{BD} TBDY-2018’e göre hesaplanmıştır. Ancak bu ifadelerin hesaplanmasında kullanılan T_A ve T_B periyotlarında herhangi bir düzeltme yapılmayıp DBYBHY-2007’de verilen sayısal değerler kullanılmıştır. Düşey davranış spektrumu için dikkate alınacak T_{AD} ve T_{BD} denklem 4.8 ile hesaplanmaktadır [4].

$$\begin{aligned} T_{AD} &= \frac{T_A}{3} = 0.050 \text{ s} \\ T_{BD} &= \frac{T_B}{3} = 0.133 \text{ s} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Kısa periyot tasarım ivme spektrumu, $S_{DS} = 1$ kabulü ile düşey davranış spektrumu denklem 4.9'da verilen parçalı fonksiyon ile tanımlanmıştır [4]. Oluşturulan düşey spektrum eğrisi Şekil 4.18'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 S_{aeD}(T) &= (0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}}) S_{DS} & T \leq T_{AD} \\
 S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} & T_{AD} \leq T \leq T_{BD} \\
 S_{aeD}(T) &= 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} & T \geq T_{BD}
 \end{aligned} \tag{4.9}$$



Şekil 4.18 : Düşey hedef elastik ivme spektrumu [4].

4.6.2 Seçilen deprem kayıtları ve davranış spektrumları

DBYBHY-2007 uyarınca seçilen deprem kayıtlarının aşağıdaki şartları sağlaması gerekmektedir [3].

- 3 kayıt ile analiz yapıldığında en elverişsiz sonuç, en az 7 kayıt ile analiz yapıldığında da ortalama sonuç dikkate alınacaktır.
- Deprem kayıtları, kuvvetli yer hareketinin süresi binanın hakim titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacak şekilde seçilecektir.
- Deprem kayıtları, yer hareketinin başlangıç anına karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacak şekilde seçilmelidir.
- Deprem kayıtlarının %5 sönüm oranı için oluşturulacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, hakim periyot T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır.

Yapının zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizi için 7 adet deprem takımı kaydı kullanılmıştır. Bu deprem takımları tek bir yatay doğrultu ile düşey doğrultudan oluşmaktadır. İvme kaydı tek serbestlik dereceli hareket denkleminde çözülerek ivme-zaman, hız-zaman ve yer değiştirme-zaman değerleri elde edilir (4.10). Sistemin doğal titreşim periyodu sürekli değiştirilerek bu değerler tekrar tekrar elde edilir. Her bir doğal titreşim periyodu için elde edilen değerlerden mutlak maksimum sonuçlar alınarak davranış spektrumu – periyot eğrisi oluşturulur. Elde edilen bu davranış spektrumları yer değiştirme spektrumu, sözde hız spektrumu ve sözde ivme spektrumu olarak adlandırılmaktadır [31].

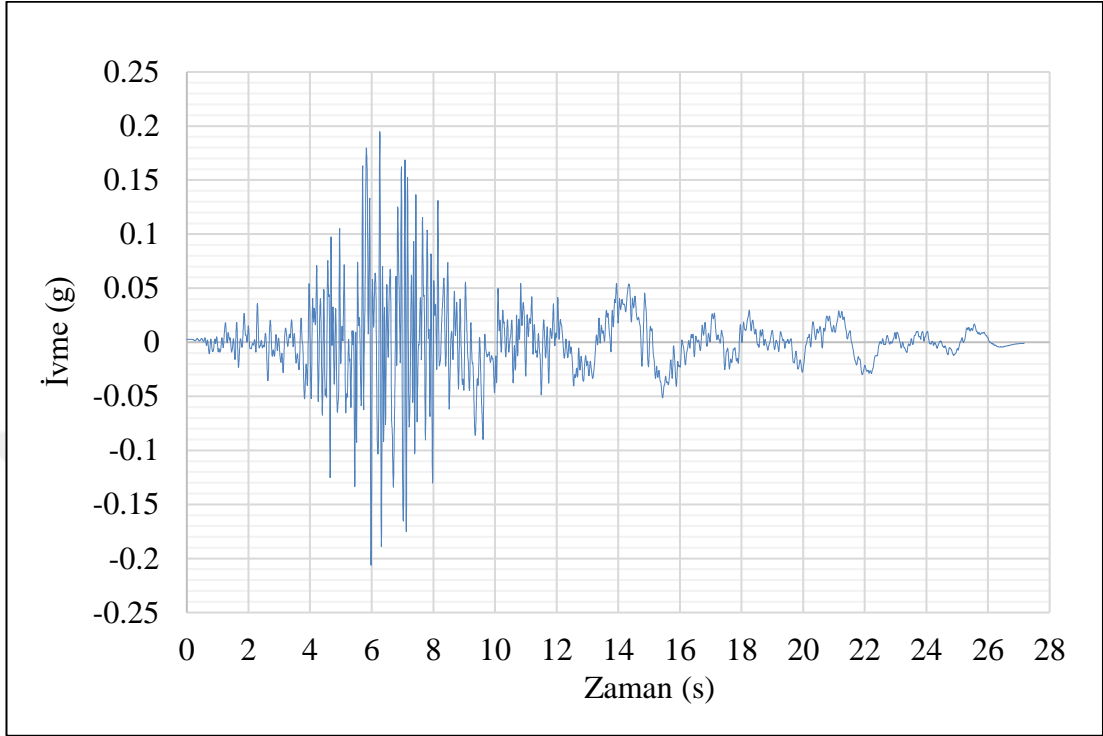
$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = -\ddot{u}_g(t) \quad (4.10)$$

Yönetmeliklerce belirlenen hedef spektrumları PEER'a girilerek %5 sönüm oranı için davranış spektrumu en iyi uyuşan kayıtlar araştırılmıştır. Ülkemizdeki depremselliğe uygun kayıtların elde edilmesi için yanal atımlı sığ depremlerin, odak derinliği 0-60 km olan depremler, üzerinde araştırma yapılmıştır [32]. Ayrıca binanın bulunduğu zemin özelliğinin de dikkate alınabilmesi için kayma dalgası hızı 200-700 m/s olarak filtrelenmiştir. Seçilen deprem kayıtlarının detayları Çizelge 4.6'da verilmektedir.

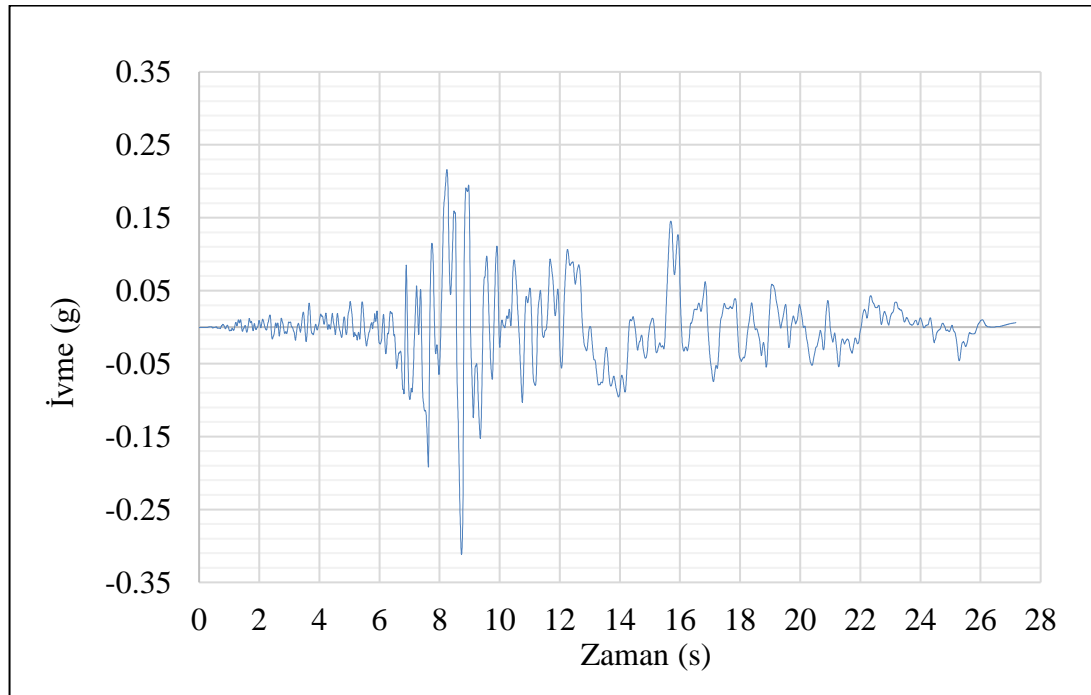
Çizelge 4.6 : Doğrusal elastik olmayan analiz için seçilen deprem kayıtları.

TH No	RSN	Deprem	İstasyon	Yıl	Büyükklük	Mekanizma	V _{s30} (m/s)	Data
1	175	Imperial Valley-06	El Centro Array 12	1979	6.53	Yanal Atım	197	E12230 E12- UP
2	175	Imperial Valley-06	El Centro Array 12	1979	6.53	Yanal Atım	197	E12140 E12- UP
3	728	Superstition Hills-02	Westmorland Fire Station	1987	6.54	Yanal Atım	194	WSM-90 WSM- UP
4	832	Landers	Amboy	1992	7.28	Yanal Atım	383	Amboy-90 Amboy- UP
5	292	Irpinia Italy-01	Sturmo (STN)	1980	6.9	Normal	382	STU000 STU- UP
6	970	Northridge-01	El Monte Fairview AV	1994	6.69	Ters	291	FA-95 FA-UP
7	1158	Kocaeli	Duzce	1999	7.51	Yanal Atım	282	Düzce-180 Düzce-UP

Analizde kullanılan Kocaeli depreminin PEER'dan Düzce istasyonu için elde edilen depremin yatay ve düşey bileşenine ait ivme-zaman kayıtları örnek olarak sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.

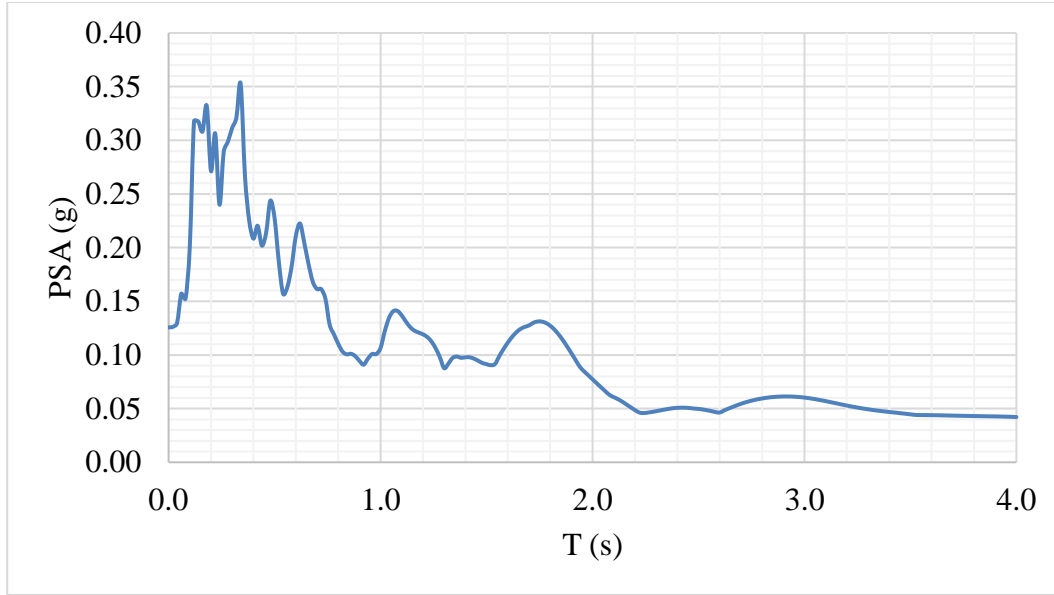


Şekil 4.19 : TH-7 yatay bileşene ait ivme – zaman kaydı.

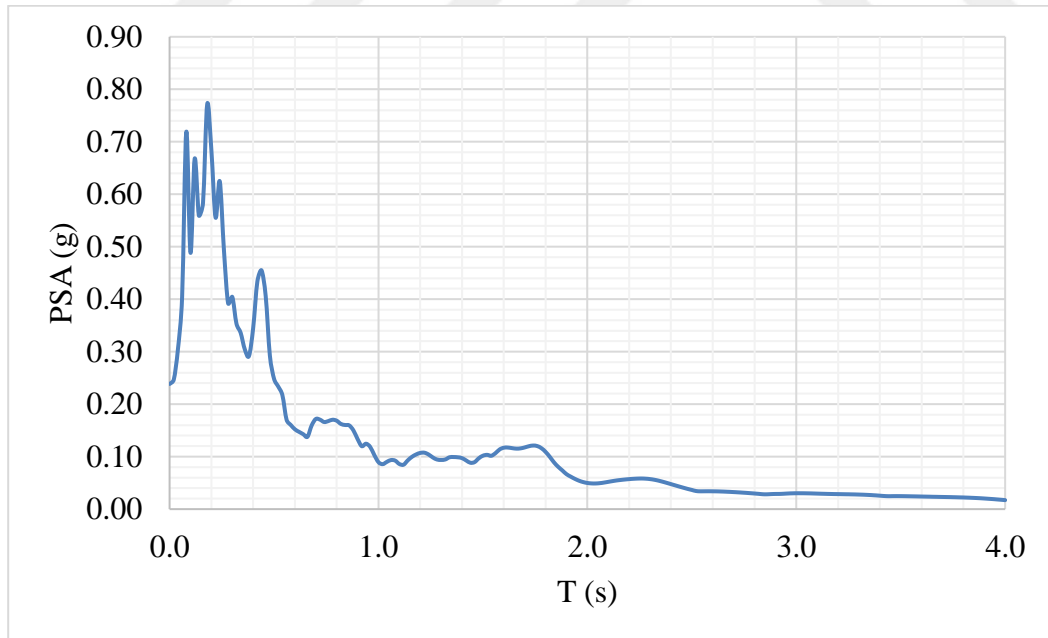


Şekil 4.20 : TH-7 düşey bileşene ait ivme – zaman kaydı.

PEER’da elde edilen deprem kayıtlarının davranış ivme spektrumları Seismosignal programı ile oluşturulup, sözde spektral ivme (PSA)– periyot grafikleri sırasıyla Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir. Seismosignal yardımı ile bu işlem Newmark ortalama ivme yöntemi kullanılarak yapılmıştır [7].

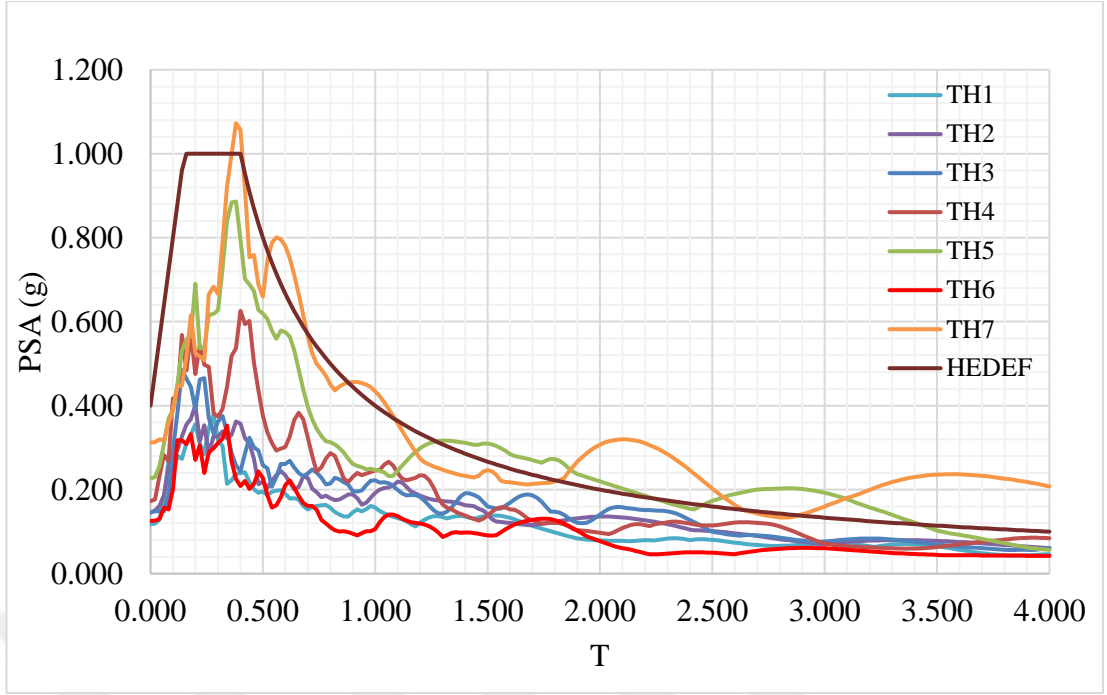


Şekil 4.21 : TH-7 yatay bileşeni davranış ivme spektrumu.

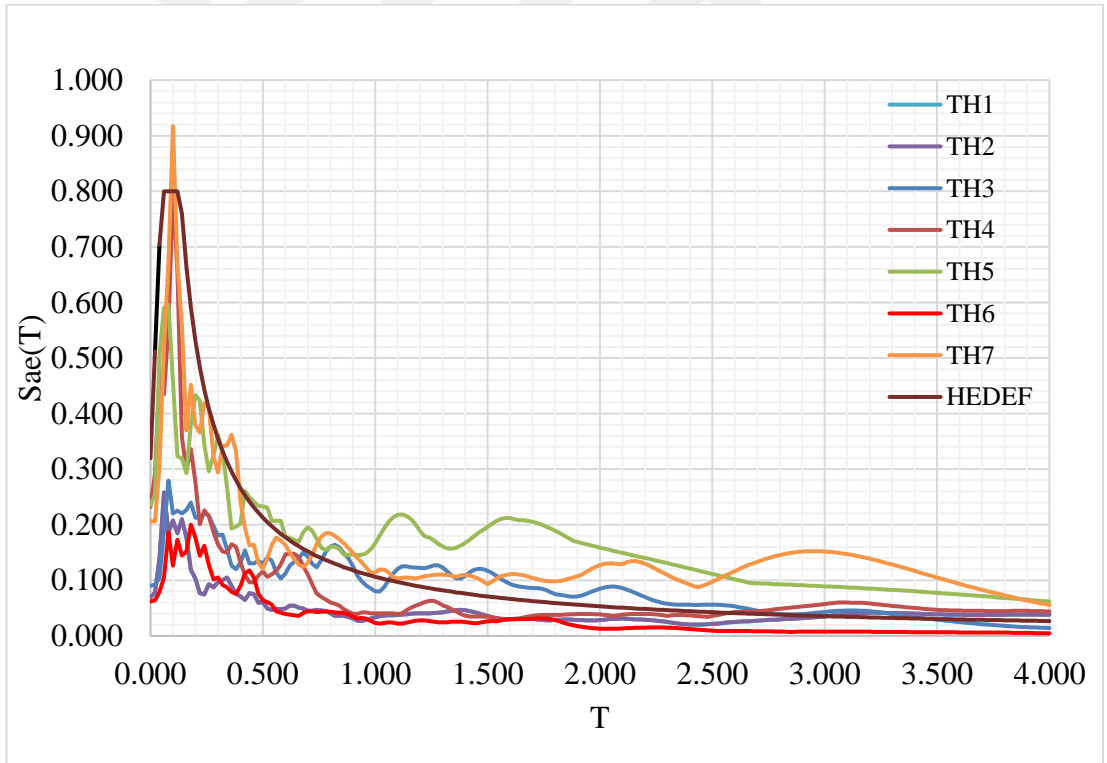


Şekil 4.22 : TH-7 düşey bileşeni davranış ivme spektrumu.

Her bir depremin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerinin davranış spektrumları oluşturularak 7 takımın sonuçları Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’da verilmiştir.



Şekil 4.23 : Deprem kayıtlarının yatay bileşenlerinin davranış spektrumları.



Şekil 4.24 : Deprem kayıtlarının düşey bileşenlerinin davranış spektrumları.

4.6.3 Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi

Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesinde zaman tanım alanında ve frekans tanım alanında ölçekleme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında kaydedilmiş gerçek deprem kayıtlarının kullanılması hedeflendiğinden frekans içeriği değiştirilmeyecek şekilde zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılmıştır. Gerçek ve hedef ivme spektrumlarının arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanan *En Küçük Kareler Tekniği* denklem 4.11’de verilmiştir. Bu teknik ile frekans içeriği değiştirilmeden sadece genlikle oynanarak ölçekleme işlemi yapılmıştır [33].

$$|Fark| = \int_{T_A}^{T_B} \left[\alpha S_a^{gerçek}(T) - S_a^{hedef}(T) \right]^2 dT \quad (4.11)$$

Burada;

S_a^{hedef} : hedef ivme davranış spektrumu,

$S_a^{gerçek}$: deprem kaydının ivme spektrumu,

α : ölçekleme katsayısı,

T : periyot

T_A : ölçeklemenin yapılacağı alt sınır periyot

T_B : ölçeklemenin yapılacağı üst sınır periyot

Farkın küçülmesi için denklem 4.11’de verilen fonksiyonun ölçekleme katsayısına göre türevinin sıfır olması gerekmektedir. Fark fonksiyonunun türevi denklem 4.12’de alınmıştır.

$$\min |Fark| \Rightarrow \frac{d|Fark|}{d\alpha} = 0 \quad (4.12)$$

Denklem 4.10’daki integraller ayrık forma dönüştürülerek T_A ’dan T_B ’ye toplam haline dönüştürülerek denklem 4.13 elde edilir.

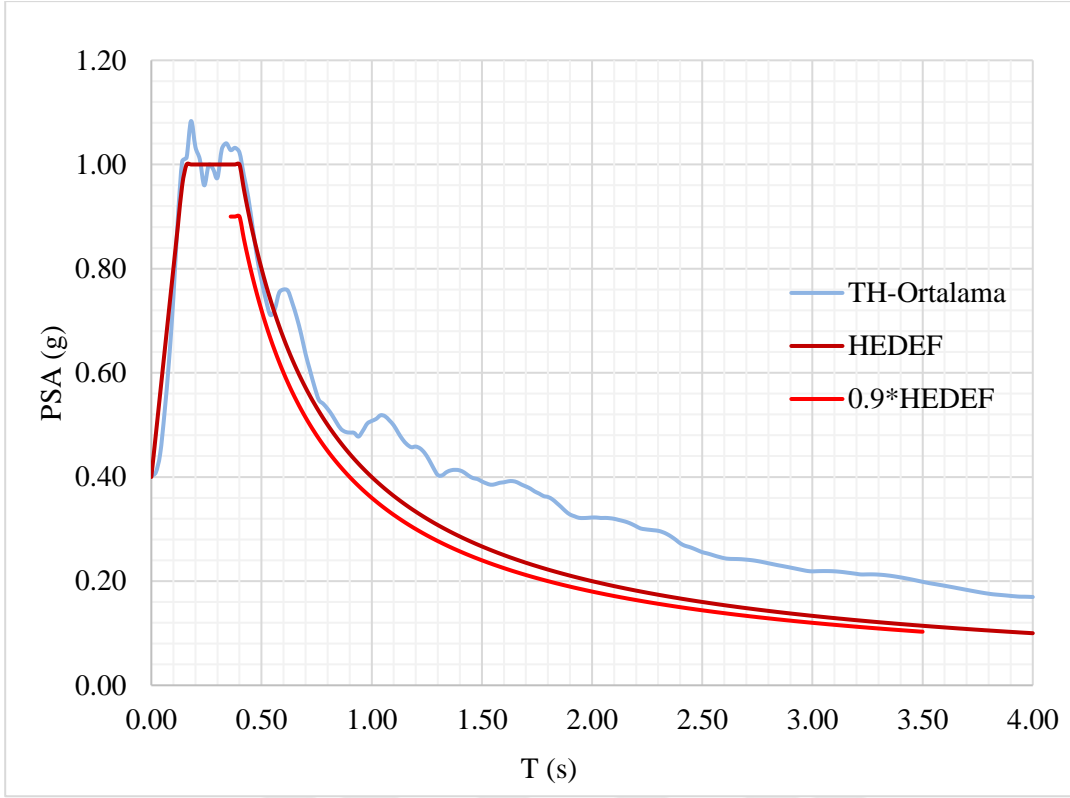
$$a = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2} \quad (4.13)$$

Performans değerlendirmesinde bina önem katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı dikkate alınmayıp elastik ivme spektrumu kullanılmaktadır. Binanın kullanım amacı ofis olduğundan 50 yılda %10 aşılma olasılığı olan deprem etkisi dikkate alınmaktadır. Buna uygun olarak Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilen davranış spektrumları elastik yatay ve düşey hedef spektrumlarına ölçeklenmiştir. Her bir deprem kaydının her iki doğrultusu için hesaplanan ölçek katsayısı Çizelge 4.7’de gösterilmiş olup, analiz programında yer çekimi ivmesinin çarpanı dahil edilmiştir.

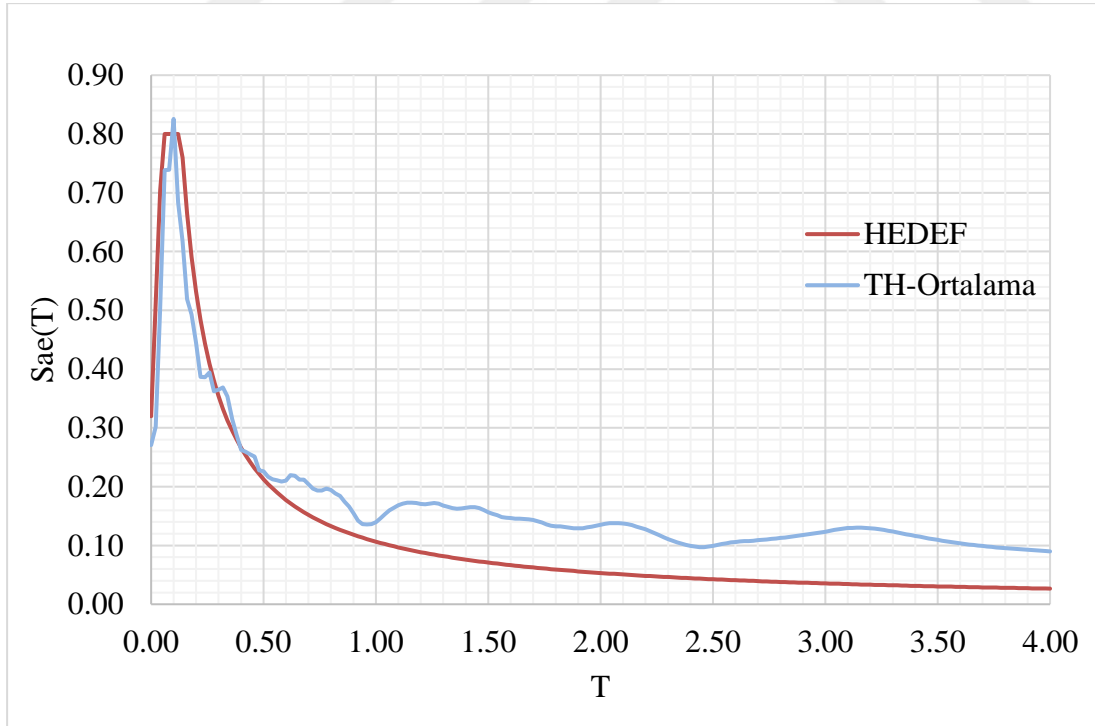
Çizelge 4.7 : Analizlerde kullanılan deprem kayıtları ve ölçek katsayıları.

TH No	RSN	Doğrultu	Ölçek Katsayısı	Süre (s)
1	175	H	3.49	39
		V	4.03	
2	175	H	2.72	39
		V	4.03	
3	728	H	1.59	60
		V	1.99	
4	832	H	2.64	50
		V	2.19	
5	292	H	1.14	39
		V	1.57	
6	970	H	3.65	40
		V	3.97	
7	1159	H	1.19	27
		V	1.20	

Analizde yedi adet deprem kaydı takımı kullanıldığı için yönetmelik uyarınca sonuçların ortalaması kullanılacaktır. Seçilen kayıtlar ve ölçekleme sonuçları kontrol edildiğinde yeterli kuvvetli yer hareketi süresi, başlangıç anı ivme değeri ve 0.2T-2T aralığındaki minimum ivme şartları sağlanmaktadır. Yönetmeliklerde düşey doğrultu ile ilgili bir şart bulunmadığından sadece ölçekleme işlemi yapıp herhangi bir kontrol yapılmamıştır. Depremin yatay ve düşey bileşenlerine ait ölçeklenmiş davranış ivme spektrumlarının ortalamaları sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.25 : Yatay bileşen ortalama davranış spektrum eğrisi.



Şekil 4.26 : Düşey bileşen ortalama davranış spektrum eğrisi.

4.7 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemi

Deprem kuvvetinin her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı uygulanması gerekmektedir. Ancak yapı her iki doğrultuda simetrik ve kare olduğu için tek doğrultuda ve tek yönde analiz yapılması yeterlidir. Değerlendirme denklem 4.14'de verilen birleşik etkiye göre yapılmıştır. DBYBHY-2007 uyarınca deprem hesabında dikkate alınacak hareketli yük katılım sayısı düşey yük birleşiminde de dikkate alınacaktır [3].

$$G + 0.3Q + E_x + 0.3E_z \quad (4.14)$$

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde süperpozisyon geçerli olamayacağından verilen yük birleşimi iki aşama olarak modellenmiştir. İlk aşamada G+0.3Q yüklemesi doğrusal olmayan analizin başlangıç durumu olarak tanımlanıp deprem öncesi durumda yapının düşey şekil değiştirme yapması sağlanmıştır (Şekil 4.27).

Load Case Data

General

Load Case Name: P_Dusey [Design...]

Load Case Type: Nonlinear Static [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous

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: []

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Dead	1
Load Pattern	Live	0.3

[Add] [Delete]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Load Application: Full Load [Modify/Show...]

Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.27 : Birinci aşama düşey yüklemenin tanımlanması.

İkinci aşama depremin yatay ve düşey bileşenin tanımlanmasıdır. Bu aşama doğrusal olmayan doğrudan integrasyon ile yapılmıştır. Başlangıç anı için tanımlanan düşey yüklemenin devamı niteliğinde olan bu yükleme için zamana bağlı bir etkinin tanımlanması, integrasyon metodunun seçimi ve sönüm özelliğinin tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.28’de bu yüklemenin ana giriş ekranı verilmiştir. Yatay ve düşey bileşenler de analiz sonrası birbirleri ile süperpoze olamayacağından her iki doğrultu aynı yükleme içinde tanımlanmıştır. Böylelikle her iki kayıt aynı anda ve aynı zaman aralıklarında adım adım integrasyon işlemine dahil olmaktadır.

Load Case Data

General

Load Case Name: TH-1 [Design...]

Load Case Type/Subtype: Time History / Nonlinear Direct Integration [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous

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: P_Dusey

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	RSN175_IMPVAL...	34188
Acceleration	U3	RSN175_IMPVAL...	11857

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Geometric Nonlinearity Option: P-Delta

Number of Output Time Steps: 781

Output Time Step Size: 0.05 sec

Proportional Damping: Mass: 0.1632; Stiff: 0.0051 [Modify/Show...]

Time Integration: Newmark [Modify/Show...]

Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

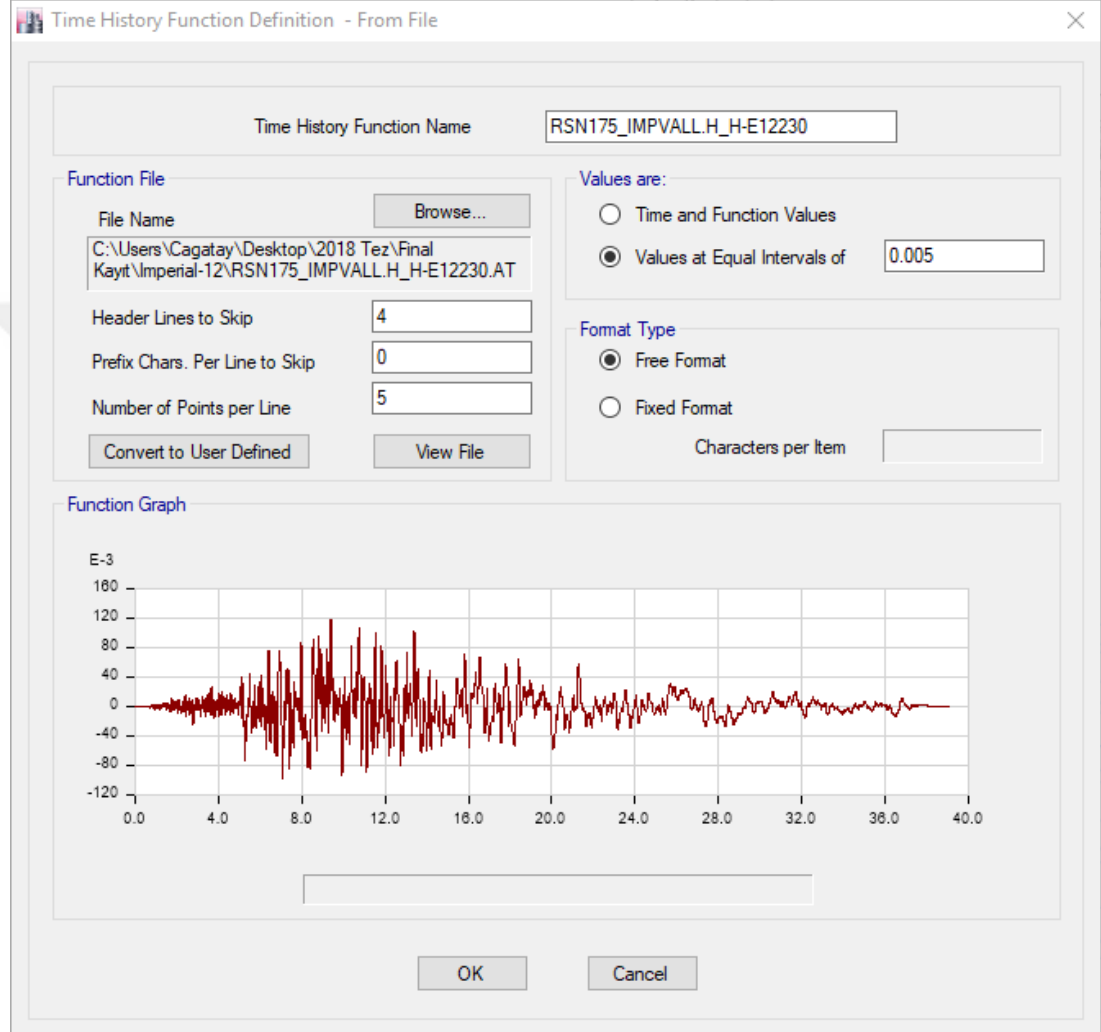
[OK] [Cancel]

Şekil 4.28 : İkinci aşama deprem yüklemesinin tanımlanması.

Birinci aşama düşey yüklemesi ve ikinci aşama deprem yüklemesinde doğrusal olmayan geometri seçeneğinde P-Delta opsiyonu seçilerek ikinci mertebe etkilerin denge denklemlerinde dikkate alınması sağlanmıştır.

4.7.1 İvme kayıtlarının fonksiyon olarak tanımlanması

PEER'dan elde edilen ivme kayıtları analiz programında fonksiyon olarak doğrudan açılabilir. İvme kayıtları elde edilen veri tabanına bağlı olarak farklı yazım şekline sahip olacağından satır - sütun format bilgileri ve ivmelerin kayıt aralığı da bu bölümde tanımlanmaktadır (Şekil 4.29).



Şekil 4.29 : TH-1 Yatay bileşenin programa tanıtılması

4.7.2 Sayısal integrasyon

Çok serbestlik dereceli sistemlerde dinamik tepkinin sayısal hesabı için dikkate alınacak temel formülasyon denklem 4.15'de verilmiştir.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad (4.15)$$

Burada;

m : kütle matrisi

c : sönüm matrisi

k : rijitlik matrisi

p : dış kuvvet

u : yer değişimi vektörü

ü : hız vektörü

ü : ivme vektörü'nü ifade etmektedir.

Dış kuvvet olarak hesaplarda kullanılacak deprem kayıtları düzensiz rastgele eğriler olduğundan analitik çözüm yapılamamaktadır. Bu nedenle sayısal integrasyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Analiz programı doğrusal olmayan doğrudan integrasyon için Newmark, Wilson, Collocation, Hilber-Hughes-Taylor ve Chung-Hulbert methodlarının kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada deprem ivmelerinin integrasyonunda koşulsuz kararlı olduğu için Newmark sabit ortalama ivme ($\gamma = 1/2$ ve $\beta = 1/4$) metodu kullanılmıştır. Sayısal integrasyon yönteminin tanımlanışı Şekil 4.30'da gösterilmiştir [31].

Time Integration Parameters

Method

Newmark

Gamma 0.5

Beta 0.25

Wilson

Theta

Collocation

Gamma

Beta

Theta

Hilber-Hughes-Taylor

Gamma

Beta

Alpha

Chung and Hulbert

Gamma

Beta

Alpha

Alpha-m

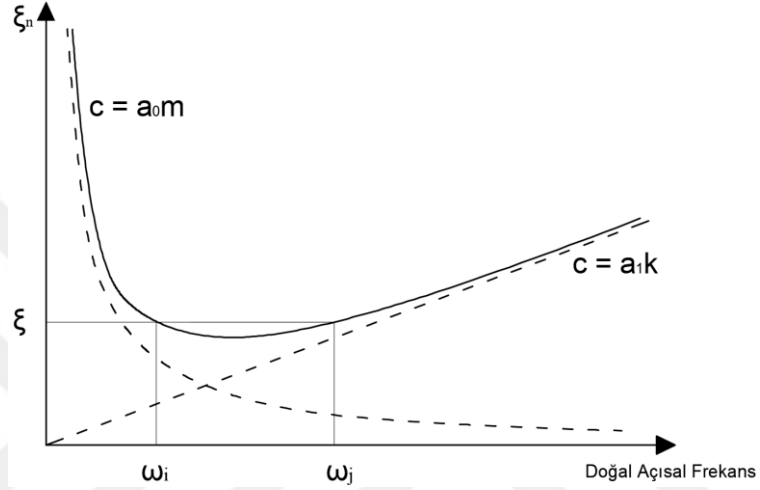
OK Cancel

Şekil 4.30 : Newmark integrasyon yönteminin tanımlanması.

4.7.3 Rayleigh sönüm matrisi

Çok serbestlik dereceli sistemlerde sönüm matrisi sabit bir katsayı ile tanımlanamadığından bir sönüm matrisi oluşturulması gerekmektedir. Analiz programında kütle ve rijitlik oranlı matris olarak *Rayleigh Sönüm Matrisi* kullanılmaktadır (Şekil 4.31). Bu sönüm matrisi kütle ve rijitlik matrislerine bağlı olarak Denklemler 4.16'da verilen formülasyon ile hesaplanmaktadır [31].

$$\mathbf{c} = a_0 \mathbf{m} + a_1 \mathbf{k} \quad (4.16)$$



Şekil 4.31 : Kütle ve rijitlik oranlı sönüm matrisi.

Kütle ve rijitlik oranlı sönüm matrisinin oluşturulabilmesi için gerekli Rayleigh sönüm katsayıları doğal açısal frekanslara (doğal titreşim periyotlarına) ve sönüm oranına bağlı olarak denklemler 4.17'de verilen bağıntılarla hesaplanmaktadır [31].

$$a_0 = \xi \times 2 \frac{\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} \quad (4.17)$$
$$a_1 = \xi \times 2 \frac{1}{\omega_i + \omega_j}$$

Burada;

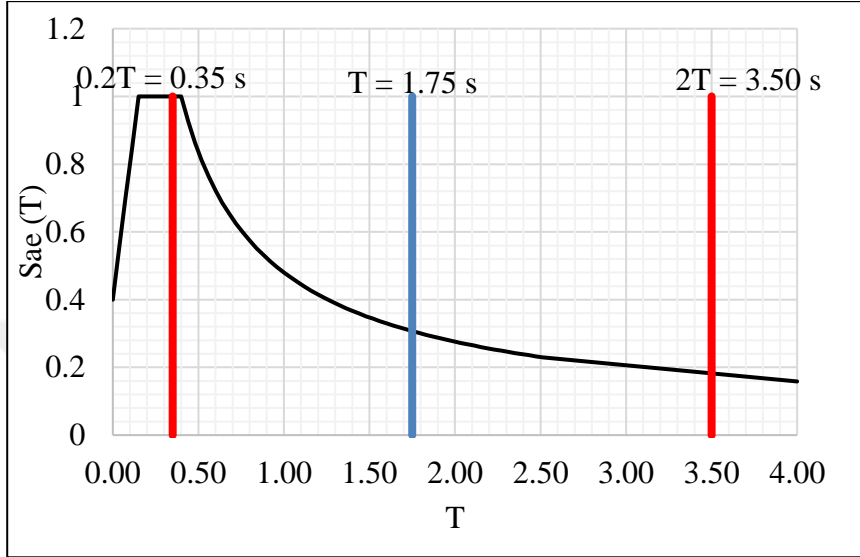
a_0 ve a_1 : Rayleigh sönüm katsayıları

ξ : sönüm oranı

ω_i ve ω_j : dikkate alınacak doğal açısal frekansları ifade etmektedir.

Analizlerde etkin kesit eğilme rijitliklerinin kullanılması ve taşıyıcı elemanlarda oluşacak kalıcı deformasyonlar ile yapıda büyük rijitlik kaybı oluşacaktır. Bu rijitlik kaybından dolayı hakim doğal titreşim periyodundaki artışı ve yapı davranışında

önemli olabilecek diğer modların da katkısını göz önüne alabilmek için $0.2T - 2T$ aralığında %5 sönüm oranı tanımlanmıştır. Şekil 4.32'de elastik ivme spektrumu üzerinde bu değerler gösterilmiştir. Analiz programına bu katsayılar önceden hesaplanıp dışardan girilebileceği gibi periyot ve sönüm oranı değerleri ile programa da hesaplatılabilmektedir.



Şekil 4.32 : Rayleigh sönüm matrisi sınır periyotlar.

Şekil 4.33 : Sönüm matrisinin tanımlanması.

$$T_i = 3.50 \text{ s}; \quad \omega_i = 2\pi/T_i = 1.795 \text{ rad/s}$$

$$T_j = 0.35 \text{ s}; \quad \omega_j = 2\pi/T_j = 17.95 \text{ rad/s}$$

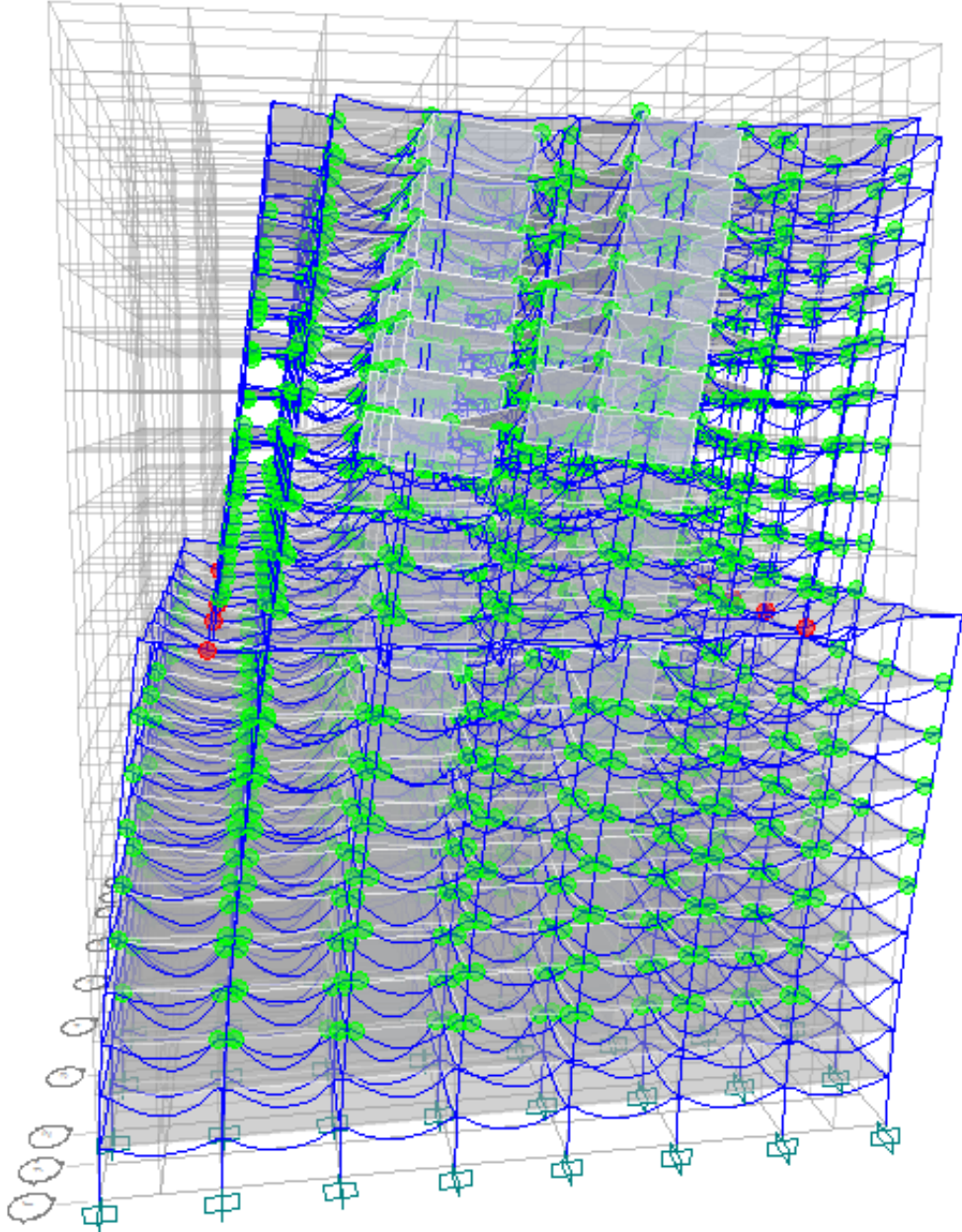
$$a_0 = \xi \times 2 \frac{\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j} = 0.05 \times 2 \frac{32.22}{19.745} = 0.1632$$

$$a_1 = \xi \times 2 \frac{1}{\omega_i + \omega_j} = 0.05 \times 2 \frac{1}{19.745} = 0.005064$$

4.8 Analiz Sonuçları

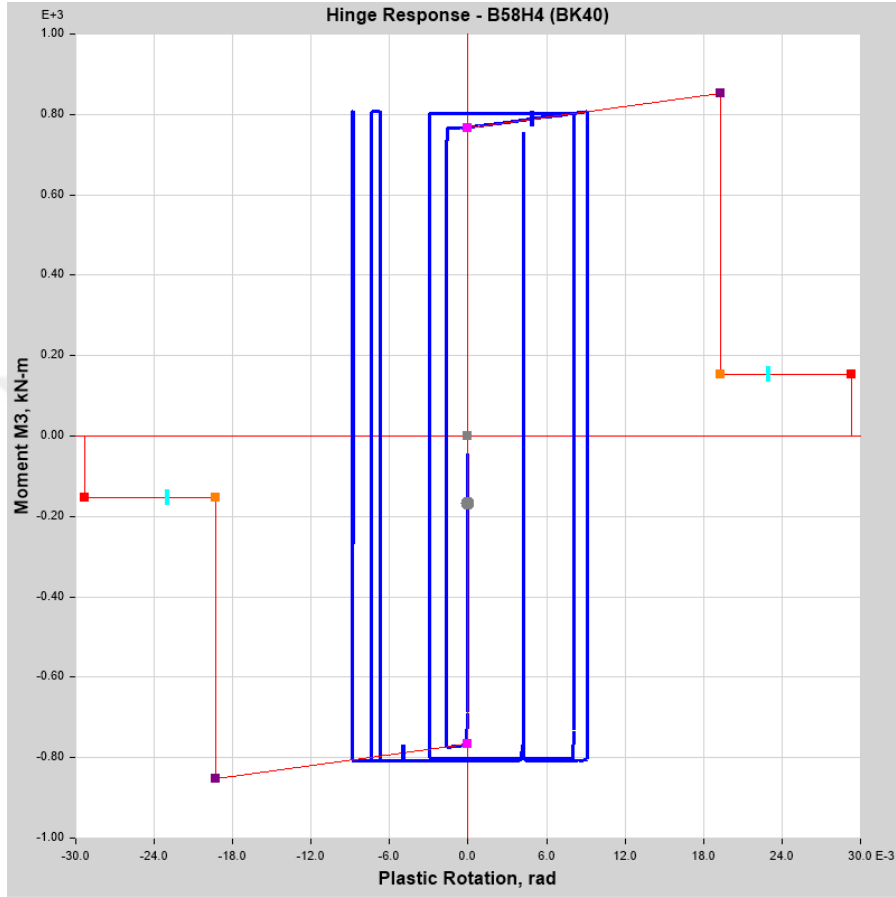
4.8.1 Eleman hasar bölgeleri

Yapılan doğrusal elastik olmayan analizlerin sonuçları incelendiğinde elemanların genel olarak minimum hasar bölgesinde kaldığı görülmüştür. Hedeflenen performans düzeyinin sağlandığına karar verilebilmesi için minimum hasar seviyesinin aşılp, belirgin hasar ve ileri hasar bölgesine geçen elemanların ortalama hasar seviyelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Doğrusal elastik olmayan analiz sonucunda yapıda oluşan kalıcı deformasyonlar TH-6 analizi için örnek olarak Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.34: TH-6 analizi sonucu binada oluşan kalıcı deformasyon.

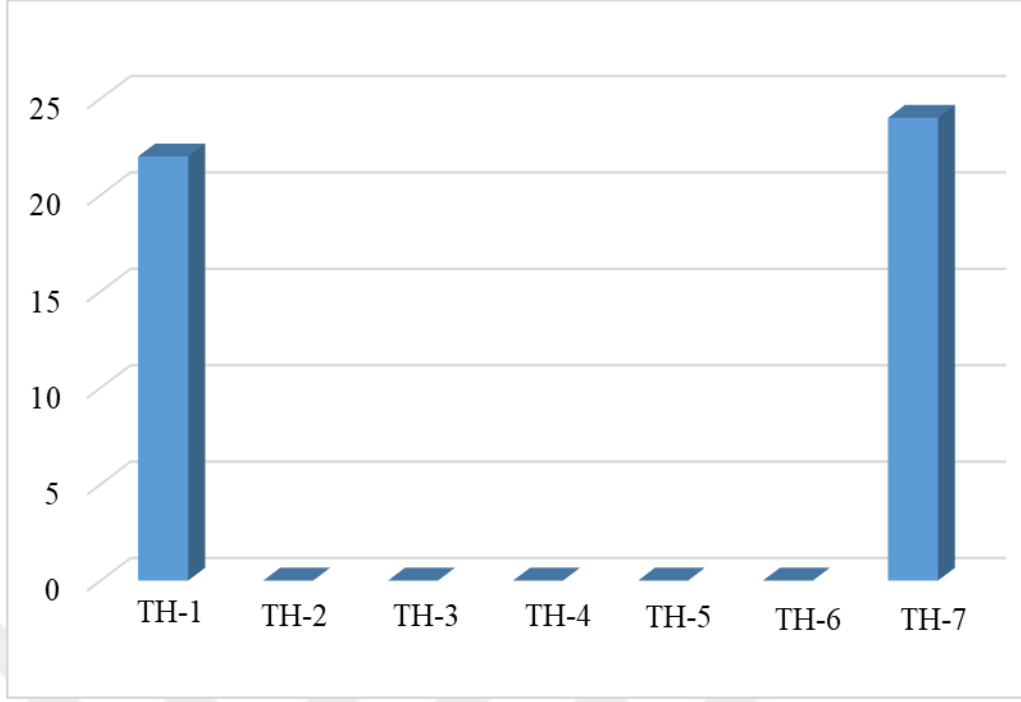
Ek-A'da verilen plastik mafsal özellikleri analiz programına tanımlandığından kesit hasar bölgeleri doğrudan elde edilmektedir. 10. katta her iki ucu perdeye mesnetli K1011 kirişinin TH-1 analizi ile elde edilen M3 plastik mafsalına ait çevrimi Şekil 4.38'da örnek olarak verilmiştir.



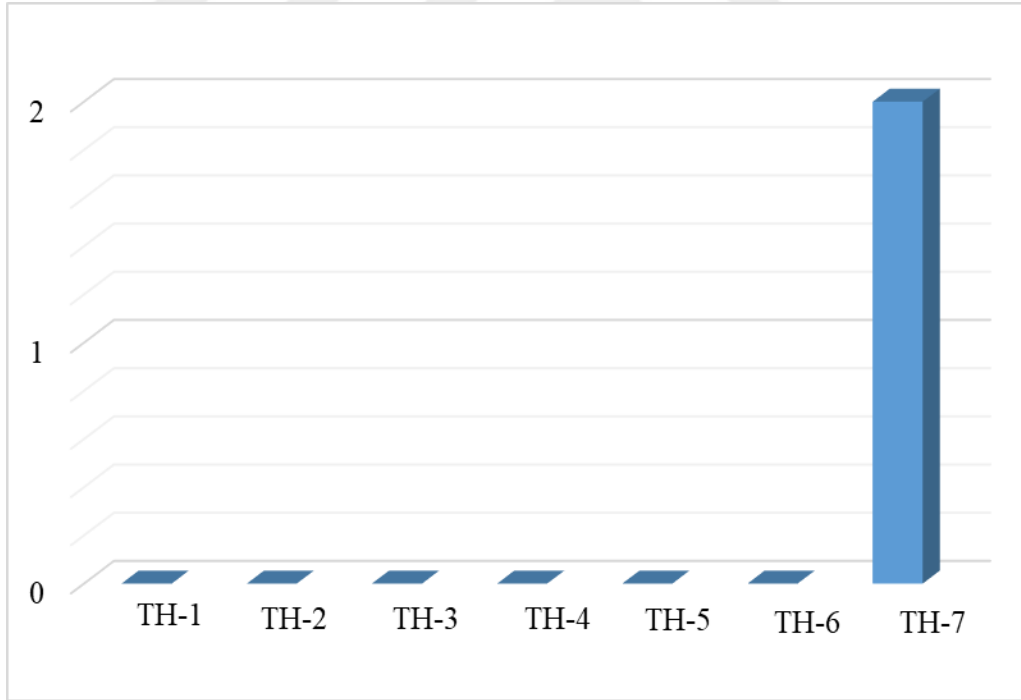
Şekil 4.35: İki ucu perdeye mesnetli bir kirişin plastik mafsal sonucu.

Perde tabanlarında donatılar akma gerilmesine ulaşmasına rağmen beton ve donatıda minimum hasarın aşılmasına neden olacak büyük birim şekil değiştirmeler oluşmamaktadır. Dolayısıyla tüm perde elemanlar minimum hasar bölgesinde kalmaktadır.

Kiriş ve kolonlar için her bir analiz sonucunda minimum hasarı aşan eleman sayıları özet olarak verilmiştir. Bu yapı için hedeflenen performans düzeyi can güvenliği olduğundan kiriş ve kolonların belirgin hasar bölgesine geçmesine izin verilip, ileri hasar bölgesi sınırlandırılmaktadır. Dolayısıyla göçme bölgesine erişen eleman olmaması gerekmektedir. Belirgin ve ileri hasar bölgesine erişen kirişler sırasıyla Şekil 4.36 ve Şekil 4.37'da verilmiştir.



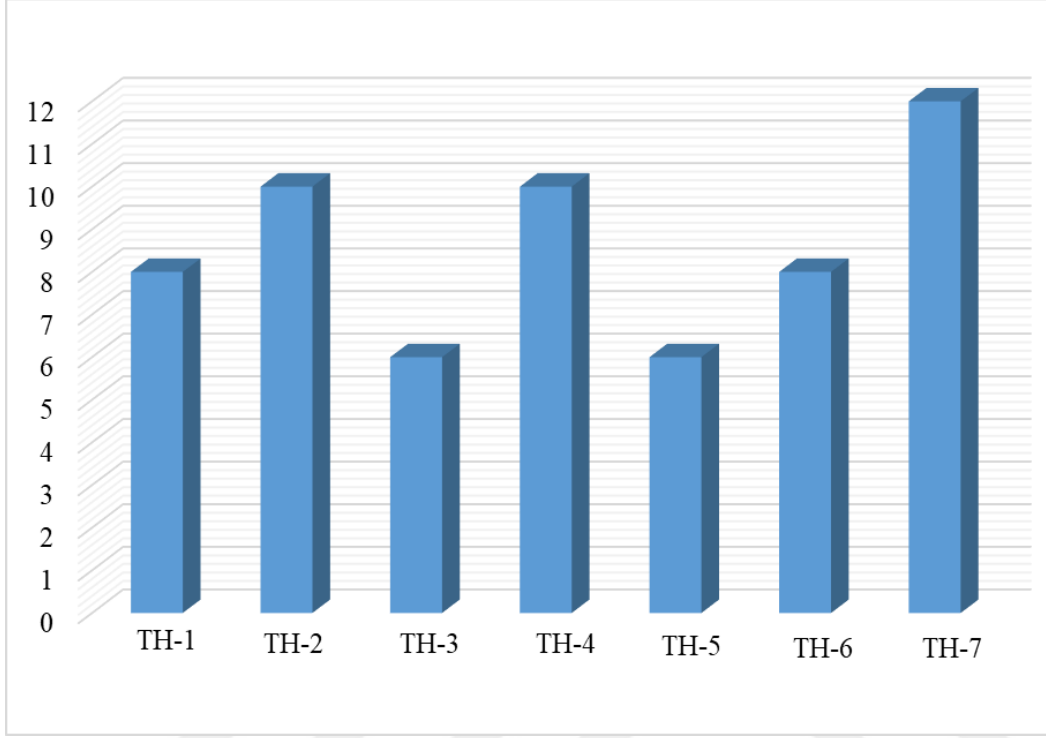
Şekil 4.36: Belirgin hasar bölgesine erişen kirişler.



Şekil 4.37: İleri hasar bölgesine erişen kirişler.

Hedeflenen performans düzeyine göre kirişlerin belirgin hasar bölgesine erişmesinde herhangi bir sakınca bulunmamaktadır. Yalnızca TH-7’de ileri hasar bölgesine erişen 2 adet kiriş bulunmaktadır. Dolayısıyla binanın kirişleri deprem etkisi altında yeterli performansı sağlamaktadır.

Analiz sonucu ileri ve belirgin hasar bölgesine erişen kolon bulunmamaktadır. 10. katta düşey düzensizliğe neden olan süreksiz kolonların alt düğüm noktaları göçme bölgesine erişmektedir. Şekil 4.38’da göçme bölgesine erişen süreksiz kolonların dağılımı verilmiştir.



Şekil 4.38: Göçme bölgesine erişen kolonlar.

Binada göçme bölgesine erişen taşıyıcı eleman bulunması nedeniyle yapı göçme durumu performans düzeyindedir. Hedeflenen can güvenliği performans düzeyi sağlanamadığı için tasarımın yeterli olmadığı sonucuna varılmıştır. Performans değerlendirmesi sonucu yeterli dayanıma sahip olmadığı görülen elemanların dayanımları artırılarak veya taşıyıcı sistem tekrar düzenlenerek hedeflenen performans düzeyinin sağlandığı gösterilmelidir. Ayrıca iki ucu mesnetli kirişlere oturan kolonların alt düğüm noktaları için alternatif tasarım geliştirilmelidir.

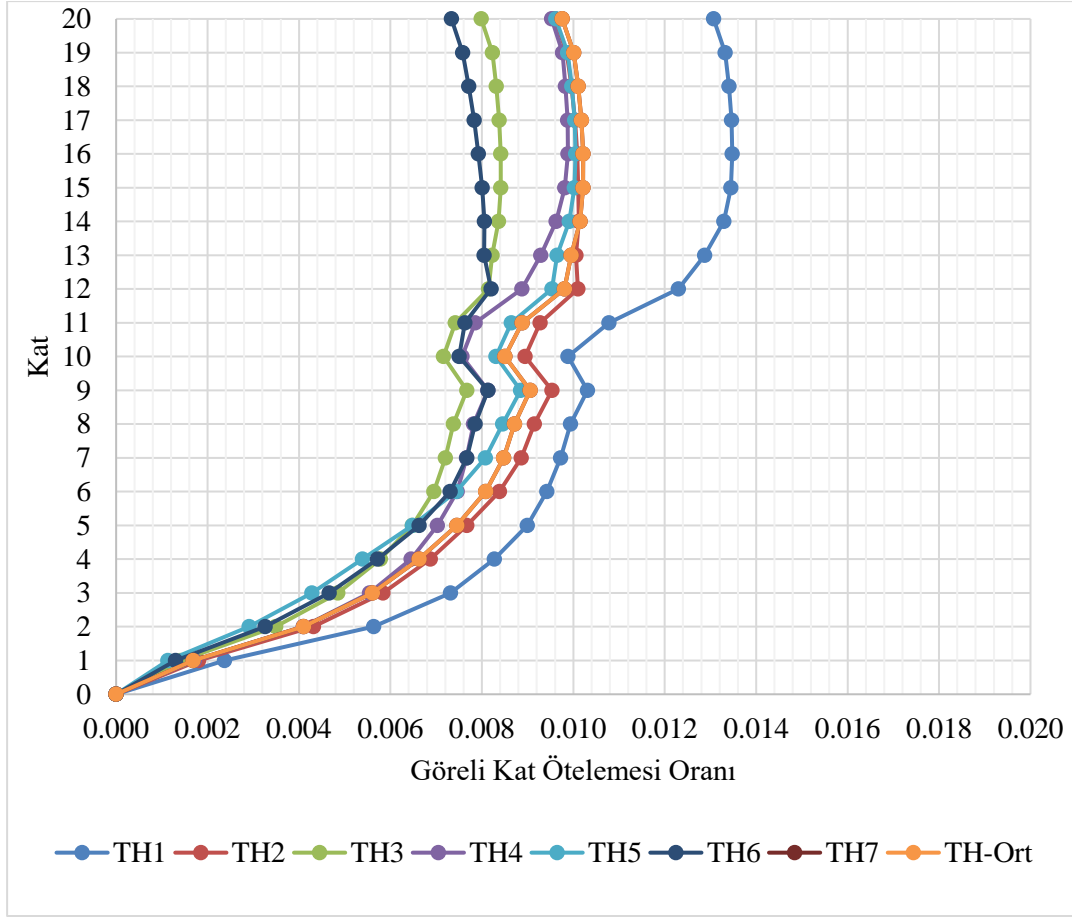
4.8.2 Görelî kat ötelemeleri

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz sonucu binanın her bir katında meydana gelen maksimum görelî kat ötelemesi oranı değerleri ve ortalamaları Çizelge 4.8’de ve Şekil 4.39’de verilmiştir.

Sonuçların ortalaması dikkate alındığında en büyük görelî kat ötelemesi oranının 16. katta oluştuğu görülmektedir.

Çizelge 4.8 : TH kat ötelemeleri.

Kat	TH1	TH2	TH3	TH4	TH5	TH6	TH7	TH-Ort
20	0.0131	0.0096	0.0080	0.0095	0.0096	0.0073	0.0112	0.0098
19	0.0133	0.0099	0.0082	0.0098	0.0099	0.0076	0.0115	0.0100
18	0.0134	0.0100	0.0083	0.0098	0.0100	0.0077	0.0116	0.0101
17	0.0135	0.0100	0.0084	0.0099	0.0100	0.0078	0.0116	0.0102
16	0.0135	0.0101	0.0084	0.0099	0.0100	0.0079	0.0117	0.0103
15	0.0134	0.0101	0.0084	0.0098	0.0100	0.0080	0.0117	0.0102
14	0.0133	0.0101	0.0084	0.0096	0.0099	0.0081	0.0117	0.0101
13	0.0129	0.0101	0.0082	0.0093	0.0096	0.0081	0.0115	0.0100
12	0.0123	0.0101	0.0081	0.0089	0.0095	0.0082	0.0115	0.0098
11	0.0108	0.0093	0.0074	0.0079	0.0086	0.0076	0.0106	0.0089
10	0.0099	0.0089	0.0072	0.0076	0.0083	0.0075	0.0102	0.0085
9	0.0103	0.0095	0.0077	0.0081	0.0088	0.0081	0.0108	0.0091
8	0.0099	0.0091	0.0074	0.0078	0.0085	0.0079	0.0104	0.0087
7	0.0097	0.0089	0.0072	0.0077	0.0081	0.0077	0.0101	0.0085
6	0.0094	0.0084	0.0070	0.0075	0.0074	0.0073	0.0096	0.0081
5	0.0090	0.0077	0.0065	0.0070	0.0065	0.0066	0.0089	0.0075
4	0.0083	0.0069	0.0058	0.0065	0.0054	0.0057	0.0079	0.0066
3	0.0073	0.0058	0.0048	0.0055	0.0043	0.0047	0.0067	0.0056
2	0.0056	0.0043	0.0035	0.0041	0.0029	0.0033	0.0050	0.0041
1	0.0024	0.0018	0.0014	0.0017	0.0011	0.0013	0.0021	0.0017



Şekil 4.39 : TH kat ötelemeleri.

4.8.3 Taban tepki kuvvetleri ve tepe deplasmanlar

Her bir analiz sonucunda elde edilen taban tepki kuvvetleri ve bina tepe deplasmanı değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Bu sonuçların ortalama değerleri ile tasarım aşamasında hesaplanan değerler birbiriyle kıyaslanmıştır.

Depremi düşey bileşenin etkisinin araştırılması için zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizlerin sonucunda elde edilen düşey taban tepkileri kullanılmıştır. Her bir analiz sonucu elde edilen pozitif değerlerin en büyüğü (TH-Max) ile negatif değerleri en küçüğü (TH-Min) ifadelerinden yararlanılarak depremin düşey bileşenin etkisi hesaplanmaya çalışılmıştır. Birinci aşama yükleme olarak verilen deprem hesabında dikkate alınacak bina ağırlığı (P_Dusey) ile TH-Max ve TH-Min ortalama değerlerinin farklarının ortalaması hesaplanmıştır. Buna göre depremin düşey bileşenin etkisi;

$$[(TH-Max-Ort - P_Dusey) + (P_Dusey - TH-Min-Ort)] / 2$$

$$[(TH-Max-Ort - TH-Min-Ort)] / 2 = (698064 - 592423) / 2 = 52821 \text{ kN'dur.}$$

Depremin düşey bileşenin etkisi bina toplam ölü yükünün %8.56'sı kadardır.

Çizelge 4.9 : TH taban tepki kuvvetleri – tepe deplasman.

Yükleme	FX	FZ	Tepe Deplasman
G	-	617071	-
P_Dusey	-	646028	-
TH-1 Max	96844	678111	384
TH-1 Min	-88121	609658	704
TH-2 Max	73346	681039	599
TH-2 Min	-85993	608159	554
TH-3 Max	67102	695039	326
TH-3 Min	-78043	596276	479
TH-4 Max	89763	697840	439
TH-4 Min	-85908	602058	525
TH-5 Max	69812	701875	551
TH-5 Min	-71561	568438	429
TH-6 Max	64180	698379	491
TH-6 Min	-65367	587129	491
TH-7 Max	73851	734169	692
TH-7 Min	-71411	575244	503
TH-Max-Ort	76414	698064	497
TH-Min-Ort	-78058	592423	526
TH-Genel-Ort	77236	645244	512
Mod Birleştirme	29633	-	65

Çizelge 4.9'da tüm analizlerden taban kesme kuvvetlerinin ve tepe deplasman değerlerinin mutlak maksimum olarak elde edilen sonuçlarının ortalaması TH-Genel-Ort ifadesi ile verilmiştir. Bu ortalama sonuçlar ile tasarım aşamasında hesaplanan değerler karşılaştırılmıştır. Buna göre taban kesme kuvvetlerinin oranı 2.61, tepe deplasman değerlerinin oranı ise 7.88 olarak hesaplanmıştır. Kesme kuvvetleri oranının dayanım fazlalığı katsayısına, tepe deplasman değerleri için bulunan oranın ise tasarım aşamasında dikkate alınan taşıyıcı sistem davranış katsayısına mertebe olarak karşı geldiği görülmektedir.



5. SONUÇLAR

Kolon süreksizliği nedeniyle düşeyde düzensizlik içeren 20 katlı betonarme bir binanın tasarımını DBYBHY-2007 ve TBDY-2018'e uygun olarak yapıp, farklı tasarım sonuçları elde edilmiştir. Her iki tasarımda düşey düzensizlik dışında diğer düzensizlik tiplerinin oluşmamasına özen gösterilmiş, benzer tasarım prensipleriyle eleman boyutlandırılması yapılmıştır. DBYBHY-2007'ye göre tasarlanan binanın deprem etkisi altındaki performansının değerlendirilmesi zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz yöntemiyle yapılmıştır. Yönetmeliğe uygun olarak tasarlanan binanın ikinci merteye etkiler de dikkate alınarak doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin hedeflenen performans düzeyini sağlayıp sağlamadığı araştırılmıştır.

TBDY-2018'e uygun olarak yapılan tasarım DBYBHY-2007'ye göre yapılan tasarım ile karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Etkin kesit rijitliği çarpanları kullanıldığı için büyük titreşim periyotları ve daha yüksek rijitlik ve burulma düzensizliği katsayıları hesaplanmıştır.
- Göreli kat öteleme oranı ve ikinci merteye gösterge değeri hesabında yönetmelikte değişiklik yapıldığından, analiz sonuçlarının doğrudan kıyaslanması anlamlı olmayacaktır. Bu yüzden her iki yönetmeliğe uygun olarak yapılan hesaplar sonucu için elde edilen değerlerin izin verilen sınır değerlerine oranı bir değerlendirme parametresi olarak kullanılmıştır. Bu parametrenin göreli kat öteleme için %34'den %60'a, ikinci merteye gösterge değeri için %20'den %44'e çıktığı gözlenmiştir.
- Taban kesme kuvveti %11 azalmıştır. Minimum deprem yükü ve hakim doğal titreşim periyodunun sınırlandırılması sebebiyle kesme kuvvetinde çok fazla azalma olmamıştır.
- Perde ve çerçeve elemanlarda birbirinden oldukça farklı tasarım iç kuvvet değerleri elde edilmiştir. Farklı eleman boyutlarının kullanılması ve rijitlik matrisine müdahale edilmesi buna neden olmaktadır.

DBYBHY-2007'ye uygun olarak tasarlanan binanın deprem etkileri altındaki doğrusal elastik olmayan analiz sonuçları incelendiğinde;

- Kritik perde yüksekliği boyunca perde kesitlerinde donatı akmalarının meydana geldiği ancak oluşan kalıcı şekil değiştirmelerin minimum hasar sınırını aşmadığı,
- Deprem yüklerinin çok büyük bir kısmının perdeler tarafından taşınıp normal kat kolonlarında kalıcı şekil değiştirmelerin oluşmadığı, ancak kirişe oturan kolonların alt uçlarında oluşan çok büyük plastik dönmeler nedeniyle göçme bölgesine eriştiği,
- Kolonun mesnetlendiği kirişin açıklık ortasında ve mesnetlerinde plastikleşme oluşmadığı,
- Bir ucu ya da her iki ucu da perdeye mesnetli kirişlerde yapıdaki diğer tipik kirişlere göre daha fazla kalıcı şekil değiştirme oluştuğu ancak güvenle taşınabilecek sınırın aşılmadığı,
- Normal kat kirişlerinde beklenen kalıcı şekil değiştirmelerin oluştuğu ancak bu şekil değiştirmelerin de minimum hasar sınırı içinde kaldığı gözlenmiştir.

Kolonların kiriş ortalarına oturtulması nedeniyle bu kolonun mesnetlendiği kirişlerde ve kirişe düğüm noktalarından bağlanan diğer taşıyıcı elemanların tasarım iç kuvvetlerinde %50 artım uygulanmıştır. İç kuvvet artımı yapılarak tasarlanan elemanların performans analizi sonuçları incelendiğinde kolonun mesnetlendiği kirişte ve bu kirişin düğüm noktalarına mesnetlenen diğer elemanlarda hasarın oldukça sınırlandırıldığı görülmektedir. Ancak bu örnek bina için yapılan analizlerin sonuçlarına göre kirişe oturtulan kolonun alt ucu yeterince rijit bir moment aktaran bağlantıya sahip olmadığı görülmüştür. Bu sebeple kolonun alt ucunun moment aktaran bağlantı yerine mafsallı birleşim olarak tasarlanması ve buna uygun donatı düzeninin oluşturulması önerilmektedir. Matematik modelde bu birleşim için ilgili düğüm noktalarına dönme serbestlikleri tanımlarak tüm yapı tekrar tasarlanmalıdır. Bu düğüm noktaları her iki doğrultuda da moment aktarmayacağından sadece eksenel yük ve kesme yüklerinin güvenle taşındığı kontrol edilmelidir.

Örnek yapı üzerinde yapılan bu tez çalışması sonucunda depremin düşeydeki bileşenin büyüklüğü bina ölü ağırlığının ortalama %9'una karşı gelmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Url-1** < <https://www.afad.gov.tr/tr/2211/AFAD-Hakkinda> >, 15.02.2018
- [2] **Url-2** < <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu> >, 15.02.2018
- [3] **DBYBHY** (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [4] **TBDY** (2018). Türkiye bina deprem yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [5] **ETABS** (Version 2016.2.1) [Computer Software]. *Extended Three Dimensional Analysis of Building System*, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.
- [6] **PEER**, Peer Ground Motion Database, Pacific Earthquake Engineering Research Center.
- [7] **Seismosignal** (Version 2018) [Computer software]. *Earthquake engineering software solution*, Seismosoft Ltd. Pavia, Italy.
- [8] **SAP2000** (Version 20.2.0) [Computer software]. *Integrated software for structural analysis and design program*, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [9] **FEMA 356**, (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.
- [10] **Khurram, M. K.** (2018). *Betonarme binalarda giriş ve döşeme süreksizliğinin yapısal davranışa etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [11] **Bashirli E.** (2017). *Betonarme yapılarda giriş süreksizliğinin yapısal davranışa etkisinin irdelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [12] **Özyer, S.** (2016). *Rijitlik ve süreksizlik düzensizliklerine sahip betonarme binalarda simetrik perdelerle yapısal davranışın iyileştirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan
- [13] **Ergin, C.** (2016). *Düşeyde düzensiz yapıların dinamik davranışına deprem bölgelerinin ve zemin sınıflarının etkisinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- [14] **Akşehirlioğlu, N.** (2015). *Planda düzensiz yapıların doğrusal olmayan yöntemlerle karşılaştırmalı değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

- [15] **Algül, Ö.** (2015). *Planda çıkıntı düzensizliğine sahip betonarme yapıların deprem davranışının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] **Öz, R.** (2014). *Zayıf kat düzensizliğinin betonarme binaların deprem davranışına ve kaba inşaat maliyetine etkilerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [17] **Ateş, A. O.** (2013). *Kolon süreksizliğinin taşıyıcı sistem deprem davranışına etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [18] **Bozat, F. U.** (2013). *Düşey süreksizlik bulunan bir binanın tasarımı ve zaman tanım alanında doğrusal elastik ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri ile incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] **Toker, H.** (2013). *Konsola mesnetli kolonun taşıyıcı sistemin deprem davranışına olan etkisi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Can, Ç.** (2012). *TDY2007'de belirtilen düşey süreksizlik durumunun zaman tanım alanında incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Yaylalı, R.** (2012). *Düşey doğrultuda süreksizlik ve çerçeve süreksizliği içeren binaların deprem performans analizleri* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Çelebi, E.** (2012). *Mevcut binalardaki geri çekme düzensizliği*, (Yüksek Lisans Tezi). Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [23] **Gezmiş, M. G.** (2012). *Planda taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensiz olan betonarme iki yapının davranışının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] **Demirköse, M.** (2012). *A1 ve A2 grubu yapısal düzensizliklerden betonarme yapıların deprem performansına etkilerinin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- [25] **Duman, K. Ş.** (2011). *Burulma düzensizliği içeren betonarme yapıların doğrusal elastik yöntem ile deprem performansının değerlendirilmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] **Üner, E.** (2009). *Düşeyde düzensiz bir binanın deprem etkisi altındaki yapısal performansının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Bakkaloğlu, E.** (2007). *Düşeyde düzensiz bir yapının depreme dayanıklılığının incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Url-3** < <https://tdth.afad.gov.tr/> >, erişim tarihi 15.02.2018.

- [29] **TS 500** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.** (1988). *Theoretical Stress-Strain Confined Concrete*, Journal of Structural Division (ASCE), Vol. 114, pp.1804–1826.
- [31] **Chopra, A.K.** (2000). *Dynamics of structures: theory and applications to earthquake engineering*, Prentice Hall, New Jersey.
- [32] **Celep, Z.** (2000). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*, Beta Yayıncılık, İstanbul.
- [33] **Fahjan, Y.M.** (2008). Türkiye deprem yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklenmesi, *İMO Teknik Dergi*, İstanbul.





EKLER

EK A: Yığılı plastik mafsal tanımlamaları için kullanılan veriler

EK B: Yayılı plastik mafsal tanımlamaları için kullanılan veriler

EK C: Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için kullanılan deprem kayıtları





EK A

Çizelge A.1: Kirişlerin moment-eğrilik analiz sonuçları.

Tip	0°								180°							
	ϕ_v	ϕ_u	M_v	M_u	ϕ_p	L_p	θ_p	M_u/M_v	ϕ_v	ϕ_u	M_v	M_u	ϕ_p	L_p	θ_p	M_u/M_v
1	0.00469	0.110	172	204	0.105	0.3	0.032	1.19	0.00482	0.102	214	271	0.097	0.3	0.029	1.27
2	0.00468	0.109	174	204	0.104	0.3	0.031	1.17	0.00495	0.091	257	333	0.086	0.3	0.026	1.30
3	0.00467	0.108	173	204	0.104	0.3	0.031	1.18	0.00504	0.087	291	367	0.082	0.3	0.025	1.26
4	0.00485	0.096	239	309	0.091	0.3	0.027	1.29	0.00499	0.098	288	369	0.093	0.3	0.028	1.28
5	0.00485	0.096	239	309	0.091	0.3	0.027	1.29	0.00491	0.093	257	333	0.088	0.3	0.026	1.30
6	0.00484	0.096	239	309	0.092	0.3	0.027	1.29	0.00501	0.088	297	379	0.083	0.3	0.025	1.28
7	0.00481	0.097	241	309	0.092	0.3	0.028	1.28	0.00527	0.077	408	472	0.072	0.3	0.021	1.16
8	0.00483	0.097	240	309	0.092	0.3	0.028	1.29	0.00509	0.085	329	408	0.080	0.3	0.024	1.24
9	0.00479	0.098	242	308	0.093	0.3	0.028	1.27	0.0054	0.068	463	567	0.062	0.3	0.019	1.22
10	0.00482	0.097	240	309	0.092	0.3	0.028	1.29	0.00522	0.080	387	448	0.075	0.3	0.022	1.16
11	0.0048	0.097	241	308	0.093	0.3	0.028	1.28	0.00535	0.071	441	538	0.066	0.3	0.020	1.22
12	0.0048	0.097	241	308	0.093	0.3	0.028	1.28	0.00531	0.073	426	515	0.068	0.3	0.020	1.21
13	0.00478	0.098	242	308	0.093	0.3	0.028	1.27	0.00547	0.066	494	600	0.060	0.3	0.018	1.21
14	0.00477	0.098	267	308	0.094	0.3	0.028	1.15	0.0056	0.062	586	649	0.057	0.3	0.017	1.11
15	0.00481	0.097	241	308	0.092	0.3	0.028	1.28	0.0053	0.074	422	505	0.068	0.3	0.021	1.20
16	0.00477	0.098	242	308	0.093	0.3	0.028	1.27	0.00556	0.063	534	628	0.057	0.3	0.017	1.18

Çizelge A.1 (devam): Kirişlerin moment-eğrilik analiz sonuçları.

Tip	0°								180°							
	ϕ_y	ϕ_u	M_y	M_u	ϕ_p	L_p	θ_p	M_u/M_y	ϕ_y	ϕ_u	M_y	M_u	ϕ_p	L_p	θ_p	M_u/M_y
BK60	0.00527	0.082	667	754	0.076	0.3	0.023	1.13	0.00527	0.082	667	754	0.076	0.3	0.023	1.13
BK50	0.00553	0.074	772	864	0.068	0.3	0.021	1.12	0.00553	0.074	772	864	0.068	0.3	0.021	1.12
BK40	0.00572	0.070	767	853	0.064	0.3	0.019	1.11	0.00572	0.070	767	853	0.064	0.3	0.019	1.11
10-A-1	0.00477	0.098	243	308	0.093	0.3	0.028	1.27	0.0056	0.055	554	640	0.049	0.3	0.015	1.16
10-A-2	0.00481	0.097	241	309	0.092	0.3	0.028	1.28	0.0053	0.074	422	505	0.068	0.3	0.021	1.20
10-B-1	0.00204	0.017	10049	11881	0.015	0.8	0.012	1.18	0.00166	0.048	3793	5334	0.046	0.8	0.037	1.41
10-B-2	0.00168	0.068	3220	4516	0.066	0	0.000	1.40	0.00176	0.036	4240	5834	0.034	0	0.000	1.38
10-B-3	0.00283	0.075	1714	2370	0.072	0.5	0.036	1.38	0.00308	0.047	2645	3228	0.044	0.5	0.022	1.22
10-C-1	0.00212	0.014	11405	13358	0.011	0.8	0.009	1.17	0.00171	0.040	4817	6132	0.038	0.8	0.030	1.27
10-C-2	0.00213	0.013	11234	12757	0.011	0.8	0.009	1.14	0.00161	0.047	2948	4268	0.046	0.8	0.036	1.45
10-C-3	0.00187	0.028	6376	7750	0.026	0.8	0.021	1.22	0.00168	0.061	3455	5110	0.060	0.8	0.048	1.48
10-C-4	0.00183	0.037	6376	8013	0.035	0.8	0.028	1.26	0.00183	0.039	6357	8073	0.037	0.8	0.029	1.27
10-D-1	0.00212	0.014	11406	13358	0.011	0.8	0.009	1.17	0.00171	0.040	4817	6132	0.038	0.8	0.030	1.27
10-D-2	0.00214	0.013	11462	13203	0.011	0.8	0.009	1.15	0.00165	0.043	3570	5081	0.041	0.8	0.033	1.42
10-D-3	0.00187	0.028	6376	7750	0.026	0.8	0.021	1.22	0.00168	0.061	3455	5110	0.060	0.8	0.048	1.48
10-D-4	0.00186	0.023	5068	7604	0.021	0.8	0.017	1.50	0.00166	0.068	2979	4172	0.066	0.8	0.053	1.40
10-D-5	0.00488	0.093	295	381	0.089	0.3	0.027	1.29	0.00568	0.054	609	713	0.049	0.3	0.015	1.17
10-D-6	0.00498	0.089	296	380	0.084	0.3	0.025	1.28	0.00498	0.089	296	380	0.084	0.3	0.025	1.28

Çizelge A.2: Kirişlerin hasar sınır dönmeleri.

p	b	h	L _p	Moment Yönü	ϕ_y	MN			GV			GÇ		
						(ε _c =0.0035; ε _s =0.01)			(ε _c =0.0135; ε _s =0.04)			(ε _c =0.018; ε _s =0.06)		
						$\phi_{sınır}$	ϕ_p	θ_p	$\phi_{sınır}$	ϕ_p	θ_p	$\phi_{sınır}$	ϕ_p	θ_p
1	0.40	0.60	0.30	+	0.0047	0.0203	0.0156	0.0047	0.0789	0.0742	0.0223	0.1192	0.1145	0.0344
				-	0.0048	0.0205	0.0157	0.0047	0.0795	0.0747	0.0224	0.1212	0.1164	0.0349
2	0.40	0.60	0.30	+	0.0047	0.0202	0.0155	0.0047	0.0792	0.0745	0.0224	0.1195	0.1148	0.0344
				-	0.0050	0.0209	0.0160	0.0048	0.0804	0.0755	0.0226	0.1234	0.1185	0.0355
3	0.40	0.60	0.30	+	0.0047	0.0202	0.0155	0.0047	0.0792	0.0745	0.0224	0.1197	0.1150	0.0345
				-	0.0050	0.0210	0.0160	0.0048	0.0808	0.0758	0.0227	0.1264	0.1214	0.0364
4	0.40	0.60	0.30	+	0.0049	0.0206	0.0158	0.0047	0.0801	0.0753	0.0226	0.1213	0.1165	0.0349
				-	0.0050	0.0209	0.0159	0.0048	0.0806	0.0756	0.0227	0.1231	0.1181	0.0354
5	0.40	0.60	0.30	+	0.0049	0.0205	0.0157	0.0047	0.0801	0.0753	0.0226	0.1215	0.1167	0.0350
				-	0.0049	0.0207	0.0158	0.0047	0.0802	0.0753	0.0226	0.1221	0.1172	0.0352
6	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0206	0.0158	0.0047	0.0799	0.0751	0.0225	0.1212	0.1164	0.0349
				-	0.0050	0.0209	0.0159	0.0048	0.0809	0.0759	0.0228	0.1231	0.1181	0.0354
7	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0205	0.0157	0.0047	0.0800	0.0752	0.0226	0.1209	0.1161	0.0348
				-	0.0053	0.0219	0.0166	0.0050	0.0824	0.0771	0.0231	0.1219	0.1166	0.0350
8	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0208	0.0160	0.0048	0.0799	0.0751	0.0225	0.1211	0.1163	0.0349
				-	0.0051	0.0211	0.0160	0.0048	0.0811	0.0760	0.0228	0.1237	0.1186	0.0356

Çizelge A.2 (devam): Kirişlerin hasar sınıır dömmeleri.

Tip	b	h	L _p	Moment Yönü	φ _y	MN			GV			GÇ		
						(ε _c =0.0035; ε _s =0.01)			(ε _c =0.0135; ε _s =0.04)			(ε _c =0.018; ε _s =0.06)		
						φ _{sınıır}	φ _p	θ _p	φ _{sınıır}	φ _p	θ _p	φ _{sınıır}	φ _p	θ _p
9	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0206	0.0158	0.0047	0.0800	0.0752	0.0226	0.1207	0.1159	0.0348
				-	0.0054	0.0218	0.0164	0.0049	0.0902	0.0848	0.0254	0.0974	0.0920	0.0276
10	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0206	0.0158	0.0047	0.0799	0.0751	0.0225	0.1211	0.1163	0.0349
				-	0.0052	0.0212	0.0160	0.0048	0.0819	0.0767	0.0230	0.1390	0.1338	0.0401
11	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0206	0.0158	0.0047	0.0799	0.0751	0.0225	0.1208	0.1160	0.0348
				-	0.0054	0.0216	0.0163	0.0049	0.0838	0.0785	0.0235	0.1013	0.0992	0.0298
12	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0206	0.0158	0.0047	0.0800	0.0752	0.0226	0.1210	0.1162	0.0349
				-	0.0053	0.0215	0.0162	0.0049	0.0833	0.0780	0.0234	0.1085	0.1032	0.0310
13	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0205	0.0157	0.0047	0.0801	0.0753	0.0226	0.1207	0.1159	0.0348
				-	0.0055	0.0219	0.0164	0.0049	0.0818	0.0763	0.0229	0.0869	0.0814	0.0244
14	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0261	0.0213	0.0064	0.0800	0.0752	0.0226	0.1208	0.1160	0.0348
				-	0.0056	0.0221	0.0165	0.0050	0.0734	0.0678	0.0203	0.0778	0.0722	0.0217
15	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0206	0.0158	0.0047	0.0799	0.0751	0.0225	0.1208	0.1160	0.0348
				-	0.0053	0.0215	0.0162	0.0049	0.0830	0.0777	0.0233	0.1110	0.1057	0.0317
16	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0205	0.0157	0.0047	0.0800	0.0752	0.0226	0.1208	0.1160	0.0348
				-	0.0056	0.0211	0.0155	0.0047	0.0783	0.0727	0.0218	0.0815	0.0781	0.0234

Çizelge A.2 (devam): Kirişlerin hasar sınıır dömmeleri.

Tip	b	h	L _p	Moment Yönü	ϕ _y	MN (ε _c =0.0035; ε _s =0.01)			GV (ε _c =0.0135; ε _s =0.04)			GÇ (ε _c =0.018; ε _s =0.06)		
						ϕ _{sınıır}	ϕ _p	θ _p	ϕ _{sınıır}	ϕ _p	θ _p	ϕ _{sınıır}	ϕ _p	θ _p
						BK60	0.60	0.60	0.30	+	0.0053	0.0212	0.0159	0.0048
				-	0.0053	0.0212	0.0159	0.0048	0.0818	0.0765	0.0230	0.1233	0.1180	0.0354
BK50	0.50	0.60	0.30	+	0.0055	0.0217	0.0162	0.0049	0.0829	0.0774	0.0232	0.1242	0.1187	0.0356
				-	0.0055	0.0217	0.0162	0.0049	0.0829	0.0774	0.0232	0.1242	0.1187	0.0356
BK40	0.40	0.60	0.30	+	0.0057	0.0220	0.0163	0.0049	0.0835	0.0778	0.0233	0.1294	0.1237	0.0371
				-	0.0057	0.0220	0.0163	0.0049	0.0835	0.0778	0.0233	0.1294	0.1237	0.0371
10-A-1	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0205	0.0157	0.0047	0.0801	0.0753	0.0226	0.1207	0.1159	0.0348
				-	0.0056	0.0221	0.0165	0.0050	0.0749	0.0693	0.0208	0.0778	0.0722	0.0217
10-A-2	0.40	0.60	0.30	+	0.0048	0.0205	0.0157	0.0047	0.0799	0.0751	0.0225	0.1209	0.1161	0.0348
				-	0.0053	0.0215	0.0162	0.0049	0.0831	0.0778	0.0233	0.1114	0.1061	0.0318
10-B-1	0.80	1.60	0.80	+	0.0020	0.0079	0.0059	0.0047	0.0215	0.0195	0.0156	0.0223	0.0203	0.0162
				-	0.0017	0.0072	0.0055	0.0044	0.0295	0.0278	0.0223	0.0414	0.0397	0.0318
10-B-2	0.80	1.60	0.80	+	0.0017	0.0072	0.0055	0.0044	0.0273	0.0256	0.0205	0.0409	0.0392	0.0314
				-	0.0018	0.0074	0.0056	0.0045	0.0280	0.0262	0.0210	0.0513	0.0495	0.0396
10-B-3	0.80	1.00	0.50	+	0.0028	0.0120	0.0092	0.0046	0.0456	0.0428	0.0214	0.0680	0.0652	0.0326
				-	0.0031	0.0124	0.0093	0.0047	0.0468	0.0437	0.0219	0.0596	0.0565	0.0283
10-C-1	0.80	1.60	0.80	+	0.0021	0.0082	0.0061	0.0049	0.0183	0.0162	0.0129	0.0201	0.0180	0.0144
				-	0.0017	0.0073	0.0056	0.0045	0.0280	0.0263	0.0210	0.0421	0.0404	0.0323

Çizelge A.2 (devam): Kirişlerin hasar sınıır dömmeleri.

Tip	b	h	L _p	Moment Yönü	φ _y	MN (ε _c =0.0035; ε _s =0.01)			GV (ε _c =0.0135; ε _s =0.04)			GÇ (ε _c =0.018; ε _s =0.06)		
						φ _{sınıır}	φ _p	θ _p	φ _{sınıır}	φ _p	θ _p	φ _{sınıır}	φ _p	θ _p
						10-C-2	0.80	1.60	0.80	+	0.0021	0.0081	0.0060	0.0048
				-	0.0016	0.0071	0.0055	0.0044	0.0277	0.0261	0.0209	0.0414	0.0398	0.0318
10-C-3	0.80	1.60	0.80	+	0.0019	0.0076	0.0057	0.0046	0.0345	0.0326	0.0261	0.0363	0.0344	0.0275
				-	0.0017	0.0072	0.0055	0.0044	0.0275	0.0258	0.0207	0.0410	0.0393	0.0315
10-C-4	0.80	1.60	0.80	+	0.0018	0.0075	0.0057	0.0045	0.0282	0.0264	0.0211	0.0429	0.0411	0.0329
				-	0.0018	0.0075	0.0057	0.0046	0.0280	0.0262	0.0210	0.0429	0.0411	0.0329
10-D-1	0.80	1.60	0.80	+	0.0021	0.0083	0.0062	0.0049	0.0184	0.0163	0.0130	0.0193	0.0172	0.0137
				-	0.0017	0.0072	0.0055	0.0044	0.0278	0.0261	0.0209	0.0417	0.0400	0.0320
10-D-2	0.80	1.60	0.80	+	0.0021	0.0083	0.0062	0.0049	0.0171	0.0150	0.0120	0.0187	0.0166	0.0132
				-	0.0017	0.0072	0.0056	0.0044	0.0279	0.0263	0.0210	0.0418	0.0402	0.0321
10-D-3	0.80	1.60	0.80	+	0.0019	0.0079	0.0060	0.0048	0.0345	0.0326	0.0261	0.0363	0.0344	0.0275
				-	0.0017	0.0072	0.0055	0.0044	0.0275	0.0258	0.0207	0.0410	0.0393	0.0315
10-D-4	0.80	1.60	0.80	+	0.0019	0.0076	0.0057	0.0046	0.0304	0.0285	0.0228	0.0320	0.0301	0.0241
				-	0.0017	0.0071	0.0054	0.0044	0.0274	0.0257	0.0206	0.0408	0.0391	0.0313
10-D-5	0.40	0.60	0.30	+	0.0049	0.0208	0.0159	0.0048	0.0805	0.0756	0.0227	0.1210	0.1161	0.0348
				-	0.0057	0.0223	0.0166	0.0050	0.0699	0.0642	0.0193	0.0738	0.0681	0.0204
10-D-6	0.40	0.60	0.30	+	0.0050	0.0209	0.0159	0.0048	0.0809	0.0759	0.0228	0.1224	0.1174	0.0352
				-	0.0050	0.0209	0.0159	0.0048	0.0809	0.0759	0.0228	0.1224	0.1174	0.0352

Çizelge A.3: Kolonların moment-eğrilik analiz sonuçları.

Tip	Parametreler	N=15%		N=45%	
		0°	90°	0°	90°
1	ϕ_y	0.00356	0.00288	0.00494	0.00383
	ϕ_u	0.133	0.055	0.059	0.037
	M_y	2947	2779	5345	4763
	M_u	3759	3742	5709	5448
	ϕ_p	0.129	0.052	0.054	0.033
	L_p	0.5	0.5	0.5	0.5
	θ_p	0.065	0.026	0.027	0.017
	M_u/M_y	1.276	1.347	1.0681	1.144
2	ϕ_y	0.00377	0.00301	0.00572	0.00396
	ϕ_u	0.101	0.048	0.052	0.052
	M_y	4171	3795	6751	5746
	M_u	5505	5316	7239	6798
	ϕ_p	0.097	0.045	0.046	0.048
	L_p	0.5	0.5	0.5	0.5
	θ_p	0.049	0.022	0.023	0.024
	M_u/M_y	1.32	1.40	1.07	1.18
3	ϕ_y	0.00459	0.00371	0.00641	0.00497
	ϕ_u	0.164	0.070	0.077	0.048
	M_y	1595	1510	2841	2521
	M_u	2011	1995	2910	2765
	ϕ_p	0.159	0.066	0.070	0.043
	L_p	0.4	0.4	0.4	0.4
	θ_p	0.064	0.026	0.028	0.017
	M_u/M_y	1.26	1.32	1.02	1.10
4	ϕ_y	0.00489	0.00390	0.00646	0.00457
	ϕ_u	0.129	0.062	0.051	0.040
	M_y	2321	2083	3649	3018
	M_u	2997	2869	3798	3553
	ϕ_p	0.124	0.058	0.045	0.035
	L_p	0.4	0.4	0.4	0.4
	θ_p	0.049	0.023	0.018	0.014
	M_u/M_y	1.29	1.38	1.04	1.18

Çizelge A.4: Kolonların hasar sınır dönmeleri.

Tip	b m	h m	Dönme Açısı	$L_p = h/2$ m	N kN	ϕ_y	MN ($\epsilon_c=0.0035$; $\epsilon_s=0.01$)			GV ($\epsilon_c=0.0135$; $\epsilon_s=0.04$)			GÇ ($\epsilon_c=0.018$; $\epsilon_s=0.06$)		
							$\phi_{sınır}$	ϕ_p	θ_p	$\phi_{sınır}$	ϕ_p	θ_p	$\phi_{sınır}$	ϕ_p	θ_p
1	1.00	1.00	0° - 90°	0.5	4545	0.0036	0.0138	0.0102	0.0051	0.0542	0.0506	0.0253	0.0806	0.0770	0.0385
					13636	0.0049	0.0187	0.0138	0.0069	0.0244	0.0195	0.0097	0.0320	0.0271	0.0135
			45	0.5	4545	0.0029	0.0116	0.0087	0.0044	0.0449	0.0420	0.0210	0.0681	0.0652	0.0326
					13636	0.0038	0.0147	0.0109	0.0054	0.0243	0.0205	0.0102	0.0330	0.0292	0.0146
2	1.00	1.00	0° - 90°	0.5	4993	0.0038	0.0146	0.0108	0.0054	0.0576	0.0538	0.0269	0.0862	0.0824	0.0412
					14979	0.0057	0.0198	0.0141	0.0070	0.0372	0.0315	0.0157	0.0499	0.0442	0.0221
			45	0.5	4993	0.0030	0.0124	0.0094	0.0047	0.0321	0.0291	0.0145	0.0431	0.0401	0.0200
					14979	0.0040	0.0154	0.0114	0.0057	0.0230	0.0190	0.0095	0.0312	0.0272	0.0136
3	0.80	0.80	0° - 90°	0.4	2960	0.0046	0.0179	0.0133	0.0053	0.0714	0.0668	0.0267	0.1020	0.0974	0.0390
					8881	0.0064	0.0249	0.0185	0.0074	0.0496	0.0432	0.0173	0.0662	0.0598	0.0239
			45	0.4	2960	0.0037	0.0151	0.0114	0.0046	0.0448	0.0411	0.0164	0.0596	0.0559	0.0224
					8881	0.0050	0.0194	0.0144	0.0058	0.0302	0.0252	0.0101	0.0339	0.0289	0.0116
4	0.80	0.80	0° - 90°	0.4	3296	0.0049	0.0192	0.0143	0.0057	0.0760	0.0711	0.0284	0.1120	0.1071	0.0428
					9888	0.0065	0.0269	0.0204	0.0082	0.0439	0.0374	0.0150	0.0585	0.0520	0.0208
			45	0.4	3296	0.0039	0.0163	0.0124	0.0050	0.0394	0.0355	0.0142	0.0527	0.0488	0.0195
					9888	0.0046	0.0205	0.0159	0.0064	0.0287	0.0241	0.0097	0.0387	0.0341	0.0137

Çizelge A.5: Kolonların karşılıklı etki diyagram verileri.

Tip	0°			45°			90°		
	P kN	M ₂ kNm	M ₃ kNm	P kN	M ₂ kNm	M ₃ kNm	P kN	M ₂ kNm	M ₃ kNm
1	30303	0	0	30303	0	0	30303	0	0
	28470	3557	0	30303	1552	1552	28470	0	3557
	24055	4532	0	27902	2569	2569	24055	0	4532
	19416	5115	0	20827	3264	3264	19416	0	5115
	14377	5361	0	12371	3283	3283	14377	0	5361
	11012	5051	0	7012	2846	2846	11012	0	5051
	7647	4441	0	2631	2117	2117	7647	0	4441
	4286	3531	0	-782	1253	1253	4286	0	3531
	564	2150	0	-3223	420	420	564	0	2150
	-4220	0	0	-4220	0	0	-4220	0	0
2	33287	0	0	33287	0	0	33287	0	0
	30723	4057	0	33287	1828	1828	30723	0	4057
	25839	5170	0	29901	2917	2917	25839	0	5170
	20511	5950	0	22128	3711	3711	20511	0	5950
	14385	6504	0	12584	3879	3879	14385	0	6504
	10539	6226	0	6300	3523	3523	10539	0	6226
	6697	5593	0	909	2740	2740	6697	0	5593
	2865	4606	0	-3455	1712	1712	2865	0	4606
	-1806	2875	0	-6854	590	590	-1806	0	2875
	-8279	0	0	-8279	0	0	-8279	0	0
3	19735	0	0	19735	0	0	19735	0	0
	18442	1862.89	0	19735	824.031	824.031	18442	0	1862.89
	15515	2373.77	0	17953	1353.85	1353.85	15515	0	2373.77
	12441	2680.99	0	13252	1707.14	1707.14	12441	0	2680.99
	9032	2817.04	0	7667	1706.73	1706.73	9032	0	2817.04
	6858	2654.64	0	4206	1481.73	1481.73	6858	0	2654.64
	4664	2335.27	0	1330	1100.78	1100.78	4664	0	2335.27
	2432	1846.1	0	-935.12	644.919	644.919	2432	0	1846.1
	-107.69	1087.97	0	-2552.2	205.43	205.43	-107.69	0	1087.97
	-3165.1	0	0	-3165.1	0	0	-3165.1	0	0
4	21973	0	0	21973	0	0	21973	0	0
	20152	2144.47	0	21973	981.249	981.249	20152	0	2144.47
	16854	2738.23	0	19433	1553.05	1553.05	16854	0	2738.23
	13258	3159.91	0	14199	1961.61	1961.61	13258	0	3159.91
	8998	3475.21	0	7771	2047.87	2047.87	8998	0	3475.21
	6472	3330.62	0	3573	1861.04	1861.04	6472	0	3330.62
	3904	2994.25	0	-47.198	1446.96	1446.96	3904	0	2994.25
	1197	2419.54	0	-3059.8	883.507	883.507	1197	0	2419.54
	-2080.7	1442.86	0	-5348.6	282.11	282.11	-2080.7	0	1442.86
	-6209.3	0	0	-6209.3	0	0	-6209.3	0	0



EK B**Çizelge B.1:** Tip1 perdesi fiber mafsal verisi

Bölge	Dilim	Fiber No	Malzeme	Alan cm ²	Koordinat mm
Başlık 1	1	1	Sargılı Beton	4000	3412
		2	Donatı	80	3412
	2	3	Sargılı Beton	4000	2750
		4	Donatı	74	2750
	3	5	Sargılı Beton	4000	2083
		6	Donatı	80	2083
Gövde 1	4	7	Sargısız Beton	10500	875
		8	Donatı	26	875
Gövde 2	5	9	Sargısız Beton	10500	-875
		10	Donatı	26	-875
Başlık 2	6	11	Sargılı Beton	4000	-2083
		12	Donatı	80	-2083
	7	13	Sargılı Beton	4000	-2750
		14	Donatı	74	-2750
	8	15	Sargılı Beton	4000	-3412
		16	Donatı	80	-3412

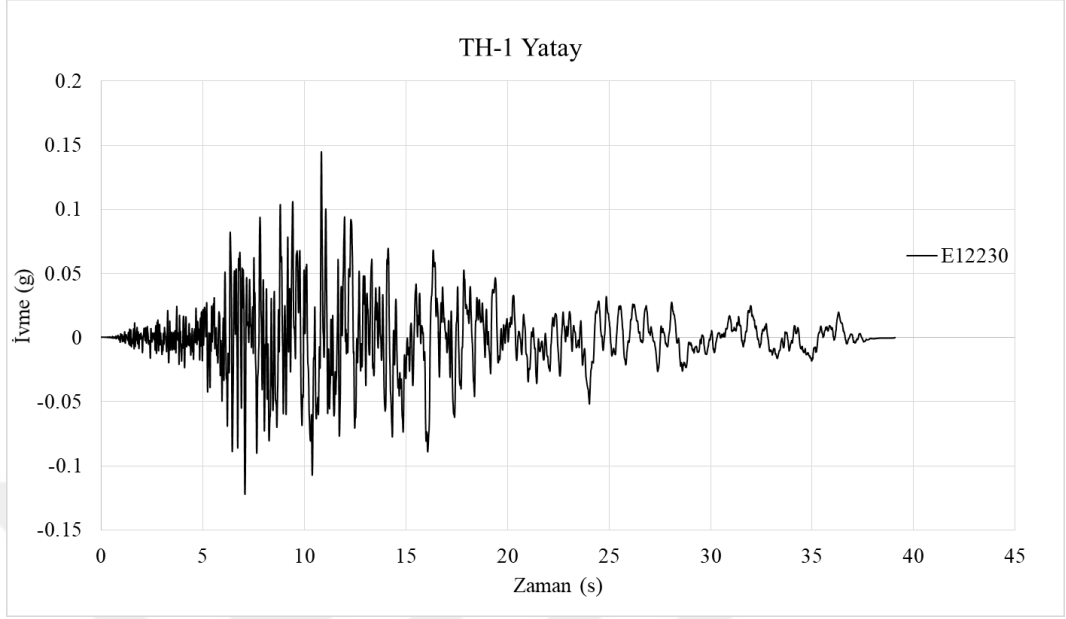
Çizelge B.2: Tip2 perdesi fiber mafsal verisi.

Bölge	Dilim	Fiber No	Malzeme	Alan cm ²	Koordinat mm
Başlık 1	1	1	Sargılı Beton	3750	3375
		2	Donatı	58	3375
	2	3	Sargılı Beton	3750	2625
		4	Donatı	58	2625
Gövde 1	3	5	Sargısız Beton	5625	1688
		6	Donatı	17	1688
	4	7	Sargısız Beton	5625	563
		8	Donatı	17	563
Gövde 2	5	9	Sargısız Beton	5625	-563
		10	Donatı	17	-563
	6	11	Sargısız Beton	5625	-1688
		12	Donatı	17	-1688
Başlık 2	7	13	Sargılı Beton	3750	-2625
		14	Donatı	58	-2625
	8	15	Sargılı Beton	3750	-3375
		16	Donatı	58	-3375

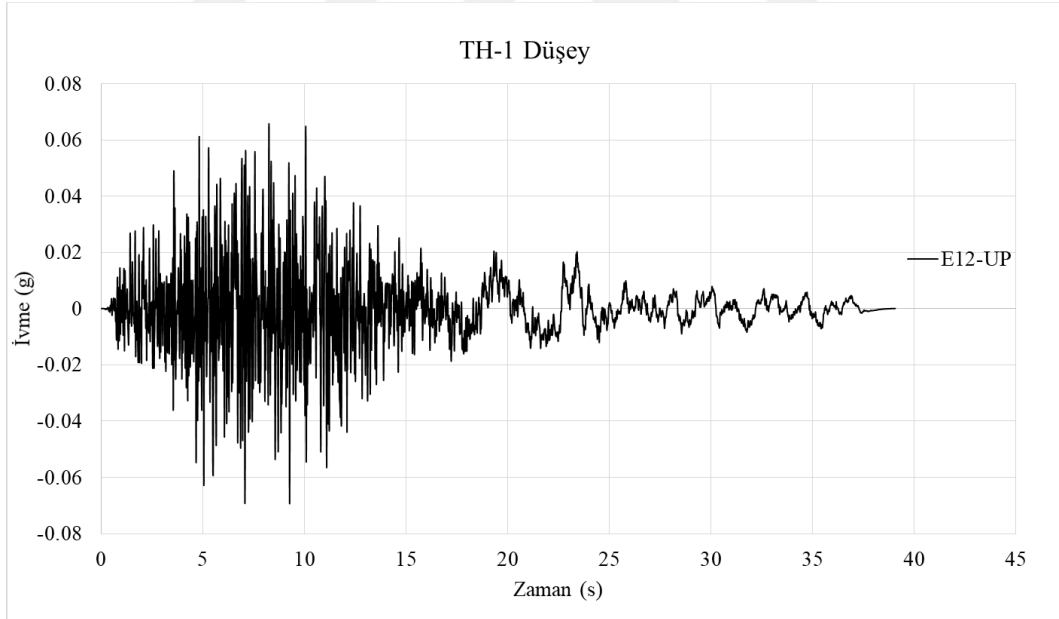
Çizelge B.3: Tip3 perdesi fiber mafsalsal verisi.

Bölge	Dilim	Fiber No	Malzeme	Alan cm ²	Koordinat mm
Başlık 1	1	1	Sargılı Beton	2000	3375
		2	Donatı	37	3375
	2	3	Sargılı Beton	2000	2625
		4	Donatı	37	2625
Gövde 1	3	5	Sargısız Beton	5500	1688
		6	Donatı	21	1688
	4	7	Sargısız Beton	5500	563
		8	Donatı	21	563
Gövde 2	5	9	Sargısız Beton	5500	-563
		10	Donatı	21	-563
	6	11	Sargısız Beton	5500	-1688
		12	Donatı	21	-1688
Başlık 2	7	13	Sargılı Beton	2000	-2625
		14	Donatı	37	-2625
	8	15	Sargılı Beton	2000	-3375
		16	Donatı	37	-3375

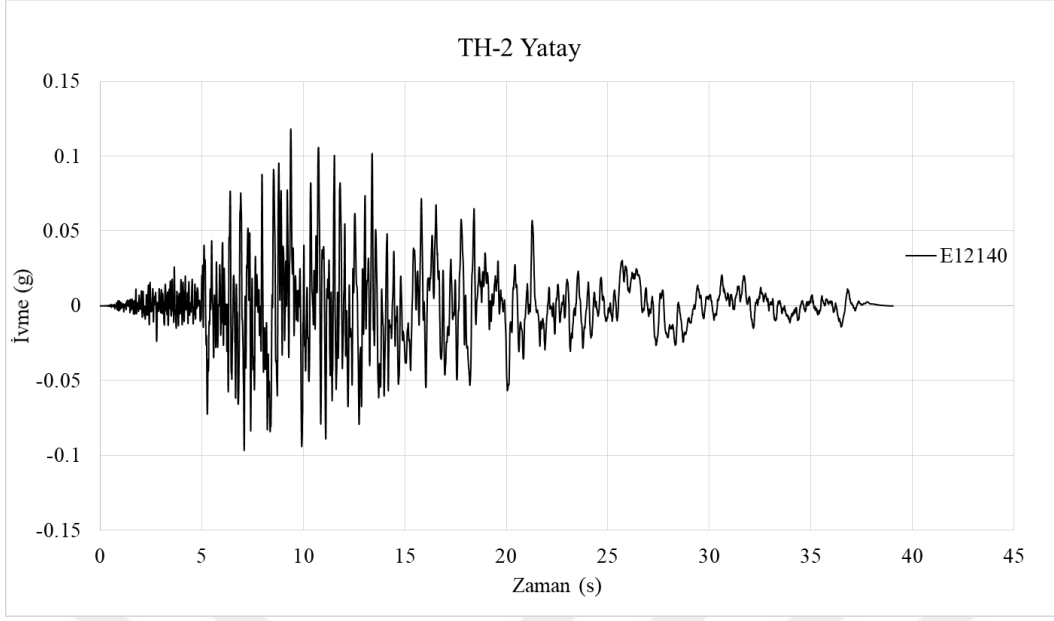
EK C



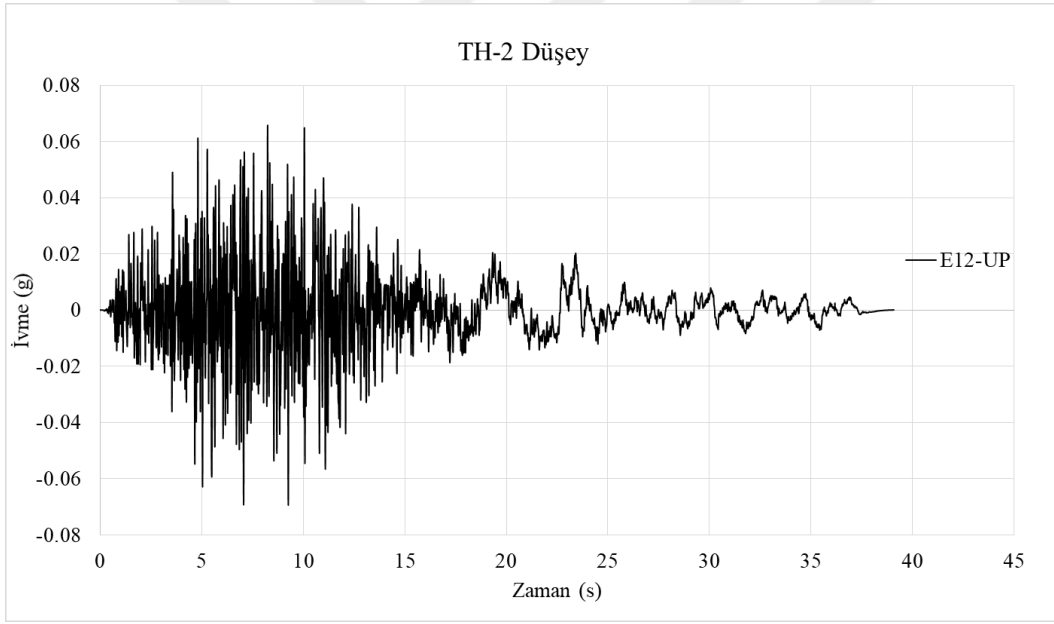
Şekil C.1: TH-1 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



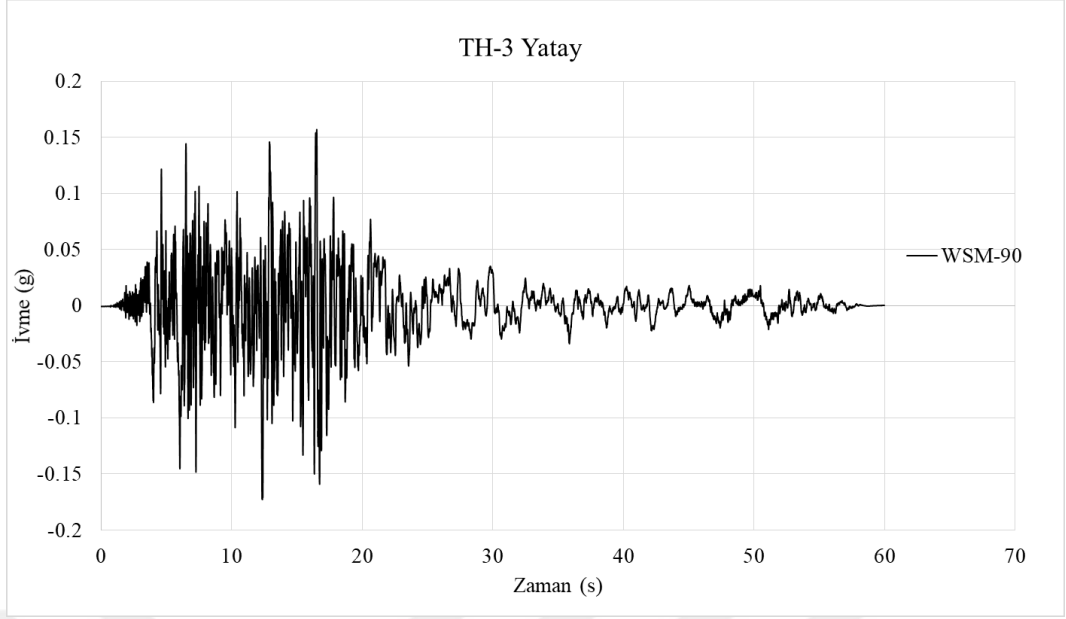
Şekil C.2: TH-1 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



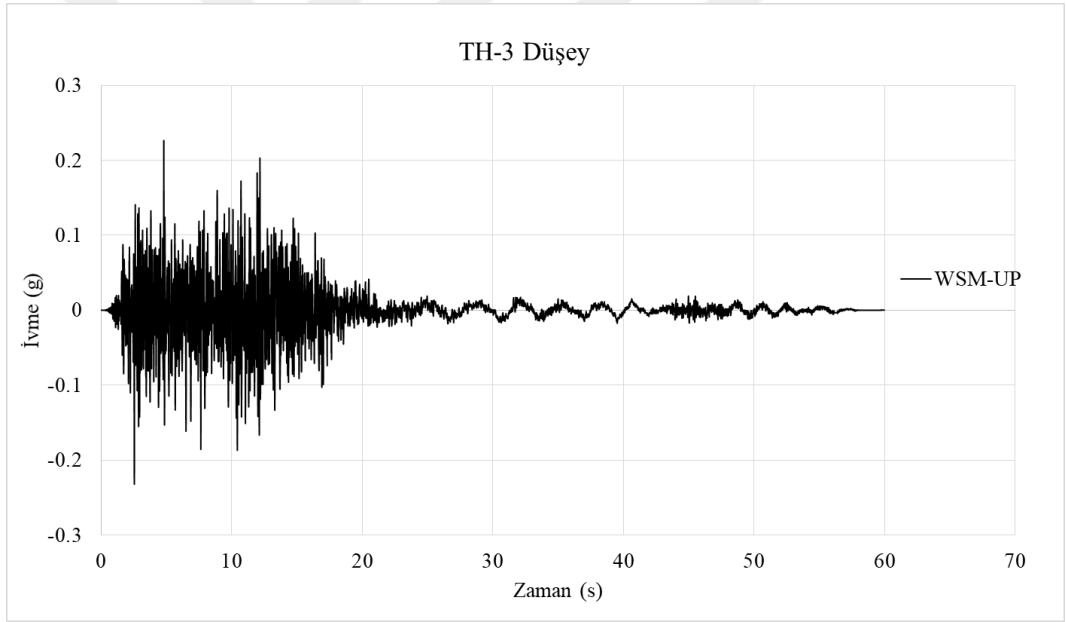
Şekil C.3: TH-2 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



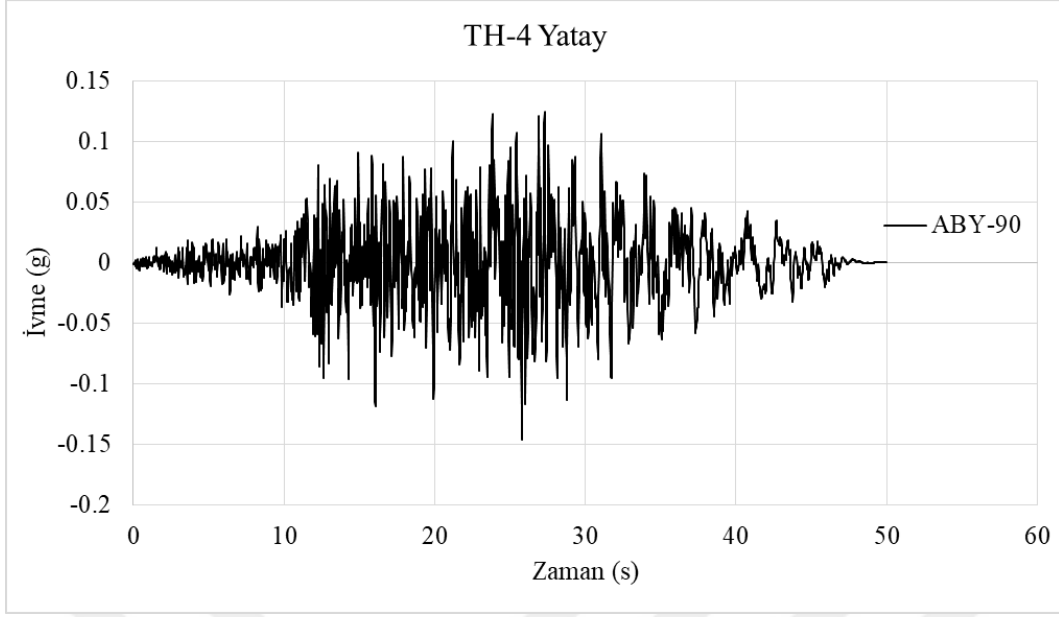
Şekil C.4: TH-2 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



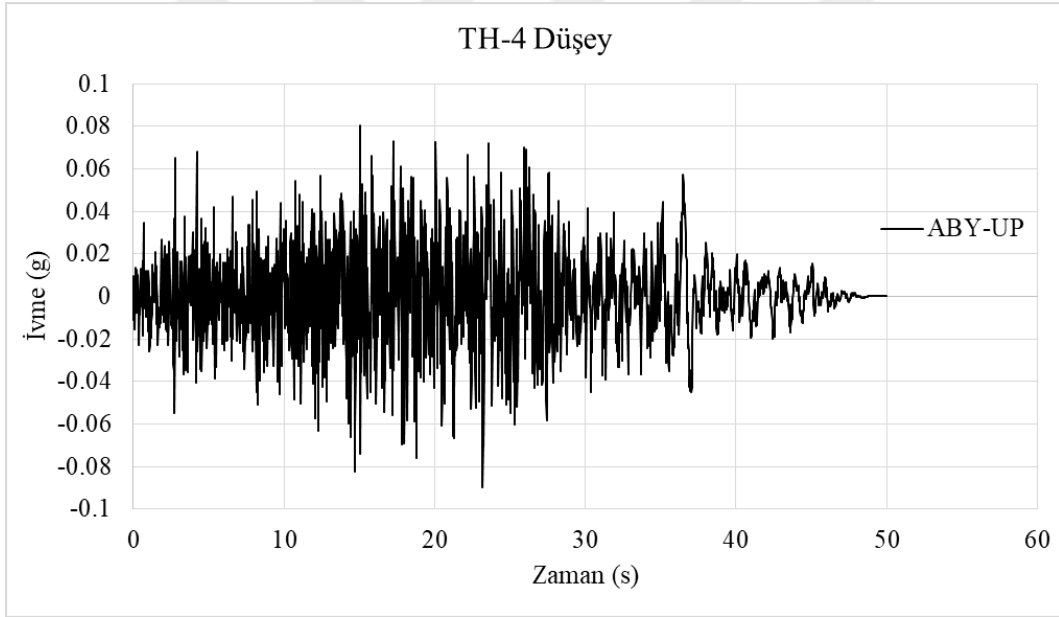
Şekil C.5: TH-3 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



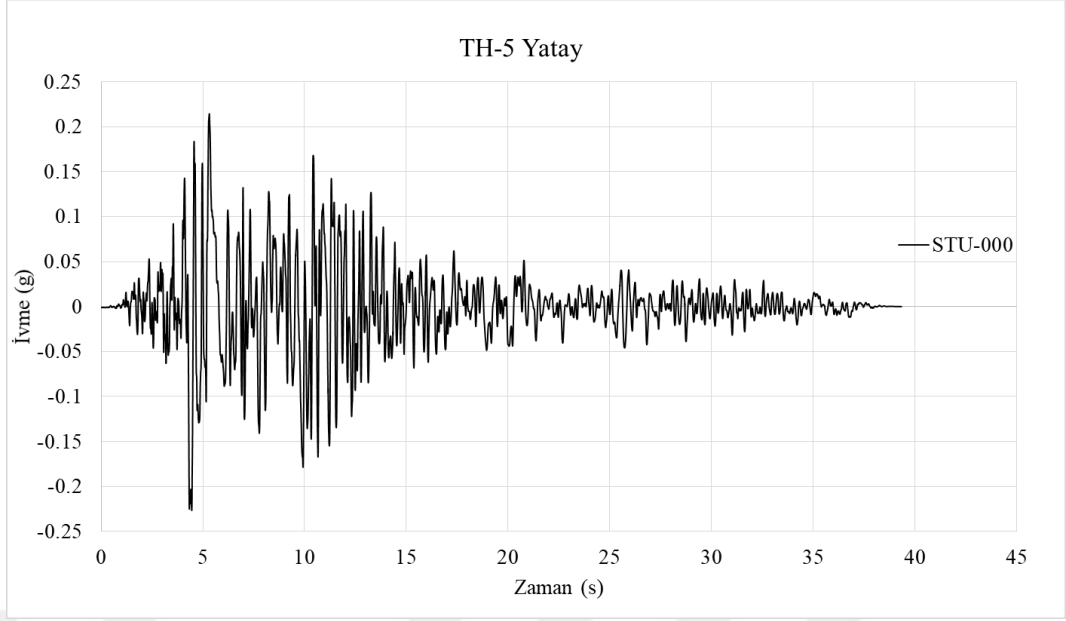
Şekil C.6: TH-3 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



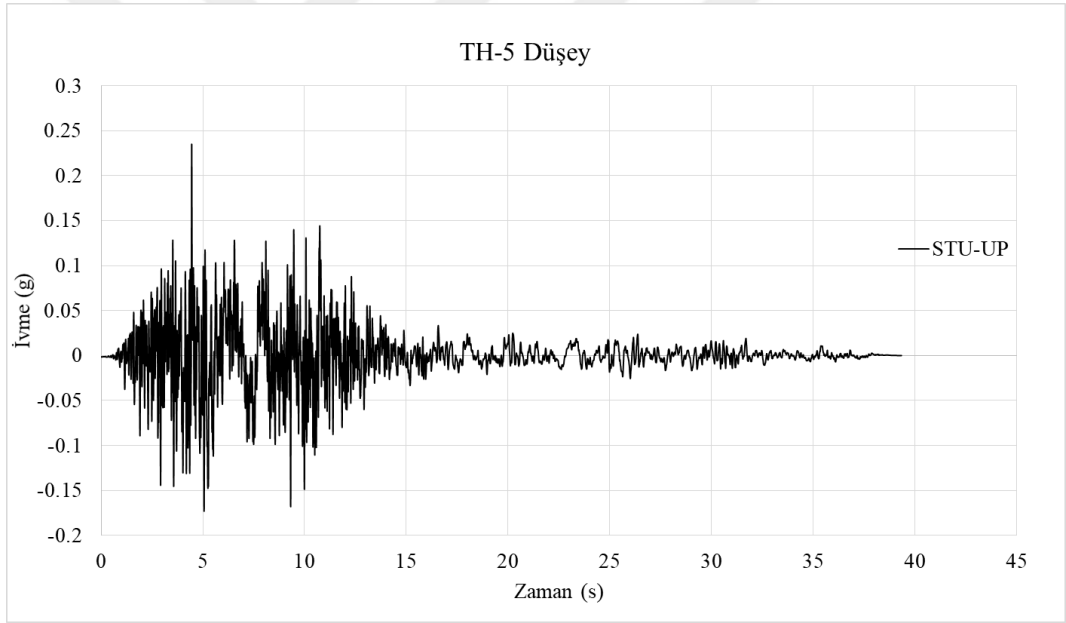
Şekil C.7: TH-4 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



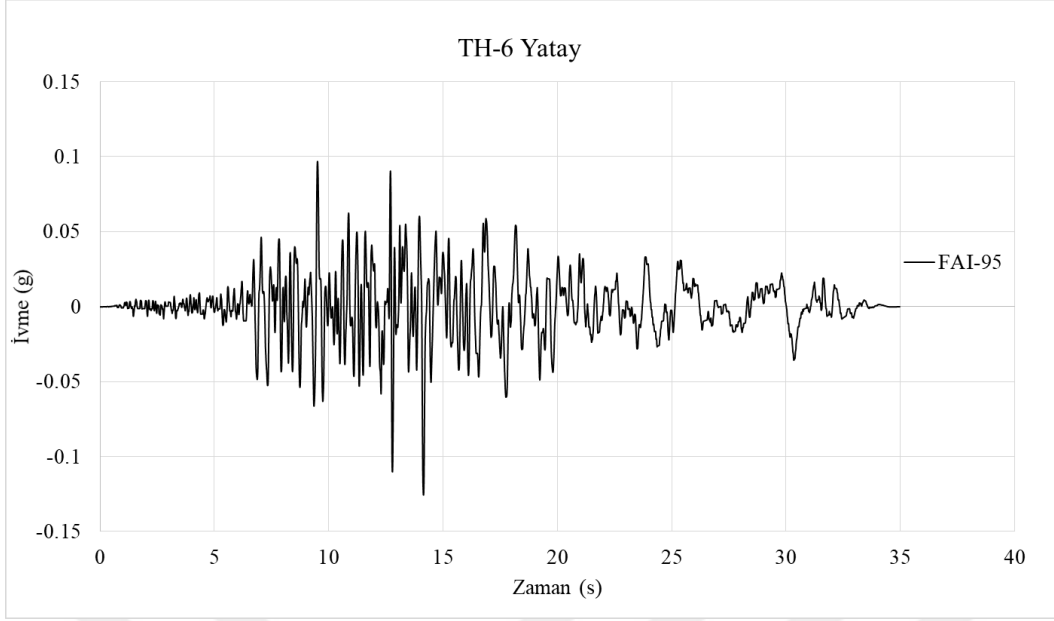
Şekil C.8: TH-4 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



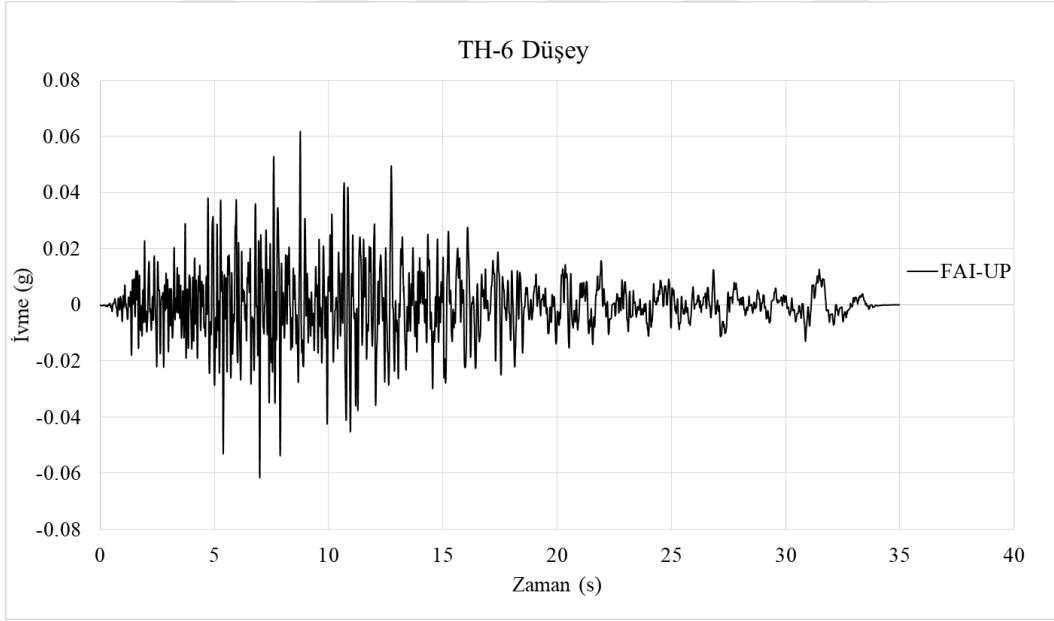
Şekil C.9: TH-5 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



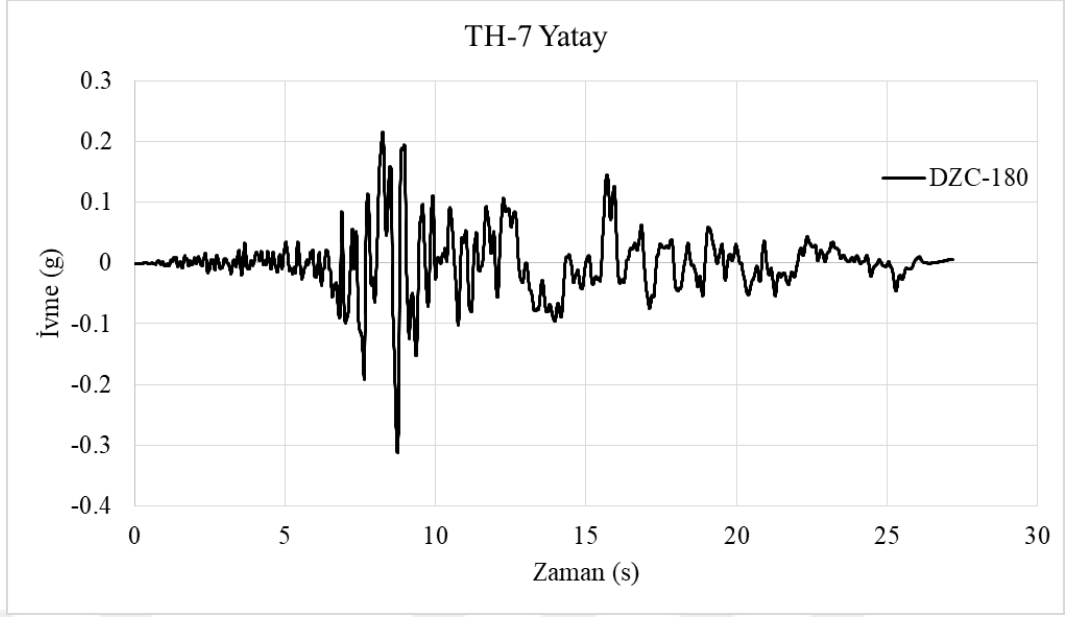
Şekil C.10: TH-5 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



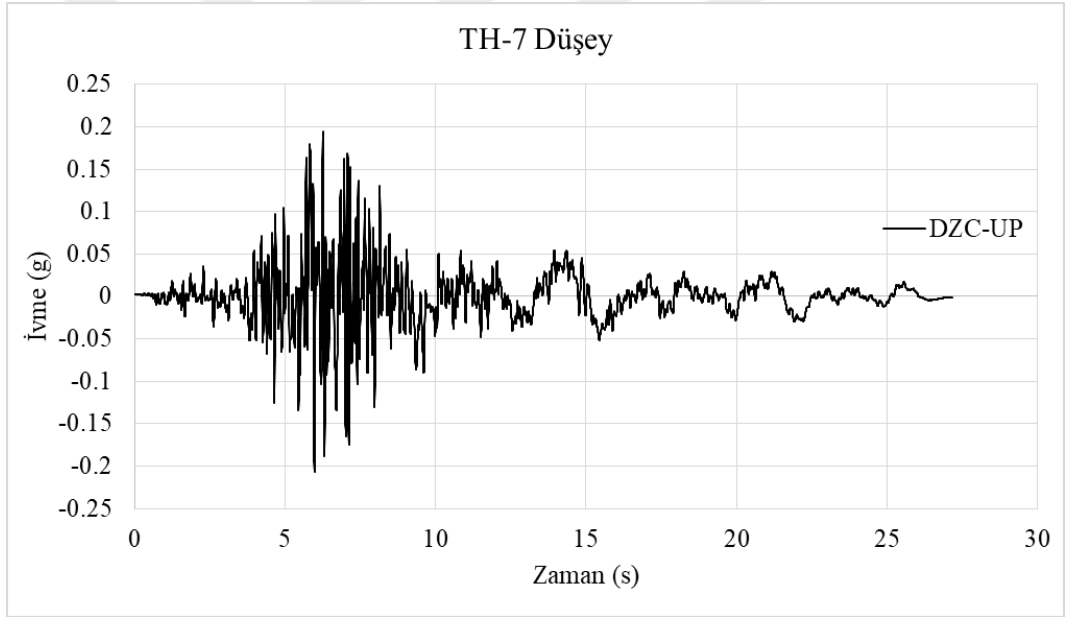
Şekil C.11: TH-6 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



Şekil C.12: TH-6 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



Şekil C.13: TH-7 yatay bileşen ivme - zaman kaydı.



Şekil C.14: TH-7 düşey bileşen ivme - zaman kaydı.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Uygur Çağatay Koçluk
Doğum Tarihi ve Yeri : 26/06/1992 - Sultandağı
E-mail : cagataykoçluk@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- (2016-2017), Yapısal Tasarım Mühendisi, Özcihan Mühendislik
- (2017-Devam), Yapısal Tasarım Mühendisi, Tekfen Mühendislik

