



**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

YENİ YAPILACAK BETONARME BİR BİNANIN TBDY 2018'E GÖRE TASARIM KONTROLLERİ VE DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

Tolunay İBİŞ

BURDUR, 2021

**T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİ YAPILACAK BETONARME BİR BİNANIN
TBDY 2018'E GÖRE TASARIM KONTROLLERİ VE
DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

Tolunay İBİŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ULUTAŞ

BURDUR, 2021

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın TBDY 2018’e Göre Tasarım Kontrolleri ve Deprem Performansının Belirlenmesi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

16 / 03 / 2021

(İmza)

Tolunay İBİŞ

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ULUTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mart, 2021

Tolunay İBİŞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGE DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Literatür Taraması	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın Dayanıma Göre Tasarım Kontrolleri	6
3.1.1. Bina Bilgileri	7
3.1.1.1. Bina Taşıyıcı Sistem Bilgileri	10
3.1.2. Bina Deprem Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi.....	11
3.1.2.1. Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi.....	13
3.1.2.2. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi	13
3.1.2.3. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi	14
3.1.2.3. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısının Belirlenmesi	16
3.1.3. Binanın SAP2000 Programında Modellenmesi.....	17
3.1.3.1. Etkin Kesit Rijitlikleri	20
3.1.3.2. Bina Hakim Titreşim Periyodunun Bulunması	22
3.1.3.3. Deprem Yüklerinin Oluşturulması	22
3.1.3.4. Eşdeğer Deprem Yükünün Tanımlanması ve Taban Kesme Kuvvetinin Elde Edilmesi	23
3.1.3.4. Mod Birleştirme Yöntemi İçin Deprem Yükünün Tanımlanması ve Taban Kesme Kuvvetinin Elde Edilmesi	25
3.1.4. Azaltılmış Görelî Kat Ötelenmelerin Elde Edilmesi	28
3.1.5. Burulma Düzensizliği Kontrolü (A1)	29
3.1.6. Döşeme Süreksizlikleri Kontrolü (A2).....	31
3.1.7. Planda Çıkıntılar Bulunması kontrolü (A3)	31
3.1.8. Zayıf Kat Düzensizliği (B1) Kontrolü	32
3.1.9. Yumuşak Kat Düzensizliği (B2) kontrolü	36
3.1.10. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Kontrolü (B3).....	37
3.1.11. Devrilme Momenti Kontrolü	37
3.1.12. Azaltılmış Yerdeğiştirmelerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetine Göre Büyütülmesi Kontrolü	41
3.1.13. Etkin Görelî Kat Ötelenmeleri Kontrolü	42
3.1.13.1. İkinci Mertebe Etkileri	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. 8 Katlı Betonarme Binanın Performansının Belirlenmesi.....	51
4.1.1. Kesit Hasar Durumları	51
4.1.2. Kesit Hasar Sınırları	52

4.1.3. Kesit Hasar bölgeleri	53
4.1.4. Performans Düzeyleri	53
4.1.4.1. Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi	53
4.1.4.2. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi	54
4.1.4.3. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi	54
4.1.4.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi	55
4.1.4.5. Göçme Durumu	55
4.1.5. Bina Performans Hedefleri	55
4.1.6. Analiz Modelinin Oluşturulması	56
4.1.7. Kesitlerin Plastik Mafsal Özelliklerinin Oluşturulması	56
4.1.7.1. Doğrusal Olmayan Malzemenin Modellenmesi	56
4.1.7.1.1. Beton Malzemesinin Oluşturulması	57
4.1.7.1.2. Donatı Malzemesinin oluşturulması	58
4.1.7.2. Kiriş Kesitlerinin Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi	60
4.1.7.3. Kolon ve Betonarme Perde Kesitlerinin Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi	63
4.1.7.4. Plastik Mafsal Kesitlerinin Oluşturulması	69
4.1.8. Etkin Kesit Rijitliklerinin Hesaplanması	72
4.1.9. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Tanımlanması	78
4.1.10. Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi	81
4.1.11. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Yapılması	84
5. SONUÇ	88
KAYNAKLAR	90
EKLER	92
ÖZGEÇMİŞ	94

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Yapılacak kontroller için kullanılacak hesap yöntemleri.....	6
Şekil 3.2. Bina yeri Google Earth görüntüsü	7
Şekil 3.3. Tüm katların kolon aplikasyon planı	8
Şekil 3.4. Tüm katların kalıp planı	9
Şekil 3.5. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması.....	11
Şekil 3.6. DD-2 için spektral ivme katsayıları	12
Şekil 3.7. DD-3 için spektral ivme katsayıları	12
Şekil 3.8. Binanın 2 numaralı aksının kesit görüntüsü.....	15
Şekil 3.9. İncelenen binanın 3D modeli	17
Şekil 3.10. Zati ve hareketli yük aktarım şeması	18
Şekil 3.11. Döşemelerden kirişlere yük aktarımı	19
Şekil 3.12. Kirişlerin etkin kesit rijitliklerinin girilmesi	20
Şekil 3.13. Kolonların etkin kesit rijitliklerinin girilmesi	21
Şekil 3.14. Betonarme perdelerin etkin kesit rijitliklerinin girilmesi.....	21
Şekil 3.15. Eşdeğer deprem yükü yöntemi yük tipleri	23
Şekil 3.16. EXP yük tipinin oluşturulması	24
Şekil 3.17. Yatay elastik tasarım spektrumu	25
Şekil 3.18. X doğrultusu için Azaltılmış Tasarım Spektral İvme – periyod fonksiyonu	26
Şekil 3.19. SAP2000 de tanımlanan yüklerin gösterilmesi	26
Şekil 3.20. Çerçeve yapılarında görel kat öteleme	28
Şekil 3.21. EXP yük tipinin periyoda bağlı olarak tanımlanması	29
Şekil 3.22. Bodrum katın planının 3D modeli	33
Şekil 3.23. 1.2.3.4.5.6.7. katların planının 3D modeli	33
Şekil 3.24. X doğrultusu için azaltılmış iç kuvvetlerin büyütülmesi	42
Şekil 3.25. X doğrultusu için görel kat ötelenmesi kontrolü.....	45
Şekil 3.26. Y doğrultusu için görel kat ötelenmesi kontrolü.....	46
Şekil 3.27. X ve Y doğrultusu için ikinci mertebe etkileri kontrolü	50
Şekil 4.1. Bina performansının belirlenmesindeki yöntemler	51
Şekil 4.2. Kesit hasar bölgeleri.....	53

Şekil 4.3.a. Beton malzemesinin SAP2000' e girilmesi	57
Şekil 4.3.b. Sargısız betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	58
Şekil 4.4.a. Donatı malzemesinin SAP2000' e girilmesi.....	59
Şekil 4.4.b. Donatı gerilme-şekil değiştirme diyagramı	59
Şekil 4.5. B2 tip kiriş kesitinin “Section Designer” modeli	61
Şekil 4.6. B2 tip kirişin sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme grafiği	61
Şekil 4.7.a. Kolon tip kesitleri.....	64
Şekil 4.7.b. Betonarme perde tip kesitleri	64
Şekil 4.8. C1 tip kolonun Section Designer modeli	65
Şekil 4.9. C1 tip kolonun sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme grafiği	65
Şekil 4.10. C1 tip kolonun eksenel yük seviyeleri ve karşılıklı etki diyagramı	66
Şekil 4.11. C1 tip kolonun moment-eğrilik analizi veri giriş bölümü.....	67
Şekil 4.12. B2 tip kiriş için plastik mafsallık özelliklerinin atanması	69
Şekil 4.13. C1 tip kolon için plastik mafsallık kesitinin oluşturulması	70
Şekil 4.14. C1 tip kolon için akma yüzeyinin tanımlanması.....	71
Şekil 4.15. Taşıyıcı elemanlara plastik mafsallık atanması.....	72
Şekil 4.16. B2 tip kirişin etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması.....	75
Şekil 4.17. C1 tip kolonun etkin kesit rijitliği çarpanının tanımlanması.....	78
Şekil 4.18. Statik düşey deprem etkilerinin tanımlanması	79
Şekil 4.19. X doğrultusu için tek modlu itme analizinin SAP2000' de tanımlanması	80
Şekil 4.20. X ve Y yönü kapasite eğrileri.....	80
Şekil 4.21. X doğrultusu hedef deplasman isteminin belirlenmesi	83
Şekil 4.22. Y doğrultusu hedef deplasman isteminin belirlenmesi	83
Şekil 4.23. X doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar.....	84
Şekil 4.24. Y doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar.....	85
Şekil 4.25. X doğrultusu için yüzdeler olarak kiriş hasar bölgeleri	86
Şekil 4.26. Y doğrultusu için yüzdeler olarak kiriş hasar bölgeleri	86

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 1.1. Ülkemizde son 10 yılda görülen bazı büyük depremler	2
Tablo 3.1. Kiriş elemanlarının kesit boyutları	10
Tablo 3.2. Kolon elemanlarının kesit boyutları	10
Tablo 3.3. Betonarme perdelerin kesit boyutları	11
Tablo 3.4. Bina kullanım sınıfı ve önem katsayısı	13
Tablo 3.5. Deprem Tasarım Sınıfları	14
Tablo 3.6. Bina Yükseklik Sınıfları	15
Tablo 3.7. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı.....	16
Tablo 3.8. Etkin kesit rijitlikleri.....	20
Tablo 3.9. Yapı periyodu ve kütle katılım oranları.....	22
Tablo 3.10. Modal analiz sonuçları	27
Tablo 3.11. Burulma düzensizliği (A1) kontrolü sonuçları	30
Tablo 3.12. Kolon ve perdelerin etkili kesme alanı	34
Tablo 3.13. Bodrum kat duvarlarının etkili kesme alanı	34
Tablo 3.14. 1. kat duvarlarının etkili kesme alanı	35
Tablo 3.15. Elde edilen rijitlik düzensizliği katsayıları	36
Tablo 3.16. Perdelerin taban devrilme momentleri	38
Tablo 3.17. Kat hizalarına etkiyen deprem yükleri (F,kN).....	39
Tablo 3.18. Katlara etkiyen toplam düşey yük (kN).....	48
Tablo 3.19. Kat kesme kuvvetleri (kN)	48
Tablo 3.20. Azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin ortalama değeri	49
Tablo 4.1. Hasar durumlarına göre dönme kapasitesi sınırları	52
Tablo 4.2. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları	56
Tablo 4.3. Malzemelerin beklenen ortalama dayanımları	56
Tablo 4.4. Kiriş tip kesitleri ve bilgileri.....	60
Tablo 4.5. B2 tip kirişin eğrilik analizi değeri.....	62
Tablo 4.6. Kesit tiplerine göre kolonlar ve perdeler	63
Tablo 4.7. C1 tip kolonun moment eğrilik analizi sonuçları	68

Tablo 4.8. Kirişlerin etkin kesit rijitlik değerleri	74
Tablo 4.9. G+0.3Q yük birleşimi altında kolon/perdelerde oluşan aksenal kuvvetler	76
Tablo 4.10. Kolon ve perdelerin etkin kesit rijitlik çarpanları.....	77
Tablo 4.11. Modal kapasite eğrisinin elde edilmesi için gerekli veriler	81
Tablo 4.12. Hedef deplasman istemleri	82
EK 1 - Tablo 4.1. C2 Tip kolonun eğrilik analiz sonuçları ve plastik dönme sınır değerleri	92
EK 1 - Tablo 4.2. C3 Tip kolonun eğrilik analiz sonuçları ve plastik dönme sınır değerleri	93



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_i	: Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$a_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
A_s	: Boyuna donatı alanı
b	: Düşey taşıyıcı elemanlar için depremde etkili olmayan yöne ait boyut
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
$d_i^{(p)}$	: Modal yerdeğiştirme istemi
$d_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirmeler
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{co}	: Sargısız betonun basınç dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
GÖ	: Göçme öncesi performans seviyesi
h	: Düşey taşıyıcı elemanlar için depremde etkili olmayan yöne ait boyut
h_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutu
I	: Bina önem katsayısı
$\dot{I}H$	: İleri hasar
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
L_p	: Plastik mafsallık boyu

M_{pa}	: Pekleşmesiz plastik moment
M_{pb}	: Pekleşmeli plastik moment
M_{x1}	: x doğrultusunda doğrusal elastik davranış için birinci (hakim) moda ait etkin kütle
N_D	: Düşey yüklerden oluşan eksenel kuvvet
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
s	: Düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralık
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
S_a	: Birinci moda ait doğrusal olmayan spektral ivme
S_{ae1}	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elde edilen elastik spektral ivme
S_{de1}	: Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
T_A, T_B	: İvme spektrumundaki karakteristik periyotlar
T_1	: Birinci moda ait doğal titreşim periyodu
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_{x1}	: x doğrultusu (i)'inci itme adımında elde edilen birinci moda ait taban kesme kuvveti
Q	: Hareketli yük
W	: Bina ağırlığı
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi
ϵ_c	: Beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{cg}	: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi
η_{bi}	: İ'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı

θ_p	: Plastik dönme istemi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın (i)'inci katında hesaplanan görelî kat yerdeğîştîrmelerin ortalama değeri
$(\Delta_i)_{max}$	: Binanın (i)'inci katında hesaplanan görelî kat yerdeğîştîrmelerin en büyük değeri
$(\Delta_i)_{min}$	: Binanın (i)'inci katında hesaplanan görelî kat yerdeğîştîrmelerin en küçük değeri
ϕ_{n1}	: Vektörel olarak birinci moddaki kat yerdeğîştîrmesi
ϕ_p	: Plastik eğrilik istemi
ϕ_t	: Toplam eğrilik istemi
ϕ_y	: Eşdeğeri akma eğriliğî
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliğî

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Yeni Yapılacak Betonarme Bir Yapının TBDY 2018’e Göre Tasarım Kontrolleri ve Deprem Performansının Belirlenmesi

Tolunay İBİŞ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan ULUTAŞ

Mart, 2021

Bu çalışmada, tasarımı TBDY 2018’e göre yapılan ve yapımı devam eden betonarme bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın ilk aşamada Dayanıma Göre Tasarım (DGT) kapsamında düzensizlik kontrolleri ile birlikte betonarme perdelerin devrilme momenti kontrolü, etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebe etkileri incelenmiştir. Çalışmanın bu kısmında doğrusal hesap yöntemlerinden mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinden tek modlu statik itme analizi ile binanın performans düzeyi belirlenmiştir. Elde edilen performans analizinin sonucu yönetmelikte verilen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmıştır. Bina henüz yapım aşamasında olduğundan yeni yapılacak bir bina gibi değerlendirilip performans analizi bu kapsamda yapılmıştır. Kesitlerin moment eğrilik analizleri ile plastik mafsallık özelliklerinin belirlenmesi SAP 2000’in “Section Designer” arayüzünde yapılmıştır.

Çalışmanın her iki aşamasında da yapılan analizler için Sap 2000 programından faydalanılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu binada burulma ve yumuşak kat düzensizliğinin olduğu ve betonarme perdelerin TBDY 2018’in 4.3.4.5 maddesinin alt koşulunu sağlamadığı belirlenmiştir. Ayrıca binanın Kontrollü Hasar Performans Düzeyi’nde olduğu tespit edilmiştir. Binanın TBDY 2018’de verilen hedef performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: mod birleştirme yöntemi, tek modlu statik itme analizi, düzensizlik kontrolleri, dayanıma göre tasarım, şekil değiştirmeye göre tasarım

SUMMARY

M. Sc. Thesis

Determining The Design Controls And Seismic Performance Of A New Reinforced Concrete Building According To Turkish Seismic Code (TSC-2018)

Tolunay İBİŞ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department Of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Hakan ULUTAŞ

March, 2021

In this study, the Project data were obtained in order to examine investigate a reinforced concrete building whose design was made according to Turkish Seismic Code, 2018 and whose construction continues. In the first stage, within the scope of Force Based Design irregularity controls of the building, overturning moment control of reinforced concrete walls, effective relative storey drifts control and second-order effects were examined. In this part of the study, mode superposition method, which is one of the linear calculation methods, was used.

In the second phase of the study, the performance level of the building was determined by using static single-mode pushover analysis, one of the nonlinear evaluation methods. The result of the obtained performance analysis has been compared with the target performance level given in the Turkish Seismic Code-2018. Since the building is still under construction, it is evaluated as a new building and performance analysis has been made within this scope. Plastic hinge properties was determined in SAP 2000's "Section Designer" interface by using moment curvature analysis of sections.

The Sap2000 program was used for analysis carried out in both stages of the study. As a result of the construction's examination investigation, it has been determined that there is torsional irregularity and soft storey irregularity in the structure and that reinforced concrete curtains do not meet the sub-condition of 4.3.4.5 of Turkish Seismic Code-2018. In addition, it has been identified that the building is at the Controlled Damage Performance Level. It has been determined that the building achieved the target performance level given in Turkish Seismic Code-2018.

Keywords: Mode superposition method, static single-mode pushover analysis, irregularity controls, Force based design, design according to deformation

1. GİRİŞ

Ülkemizde hiç şüphesiz yıllardır depremler olmaktadır. Her yıl farklı büyüklüklerde bir çok depremle karşılaşmaktayız. Bunlardan bazıları hissedemeyeceğimiz kadar küçük şiddette iken bazıları mevcut yapılara ciddi hasarlar verebilecek ve can kayıplarına yol açacak kadar büyük şiddette olmaktadır. Bu depremler sonucunda teknolojinin de gelişmesiyle depreme dayanıklı yapı inşa etmek için yönetmelikler geliştirilmiştir. Ülkemizde 10 adet deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Bunlar; 1940 yılında Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi, 1944 yılında Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi, 1949 yılında Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği, 1953 yılında Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1962, 1968, 1975, 1998 yıllarında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) ve son olarak 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'dir. Hiç şüphesiz her yönetmelik yaşanan depremler sonucunda yapı stoğunun mevcut hasarlarının analizi ve sonuçları yönünde geliştirilerek günümüze ulaşmıştır.

Ülkemizin en büyük ve en fazla can kaybına sebep olan depremi, 1939 yılında meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki Erzincan depremidir. 30.000 den fazla insan hayatını kaybetmiştir (AFAD, 2020). Bunun ardından ilk yönetmelik olan 1940 yılında Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi yürürlüğe girmiştir. Hemen ardından 1944 yılında Bolu da meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki depremde 3.959 insan hayatını kaybetmiştir. Bir diğer önemli ve büyük deprem olan 1999 Kocaeli – Gölçük depremi 7.4 büyüklüğünde olmuş 18.373 insanın can kaybına sebep olmuştur. Kocaeli depreminden sonra en erken 2007 yılında yeni yönetmelik hayata geçmiştir. Yönetmeliklerin doğru uygulanması hayati öneme sahiptir. Depremlerde yapıların hasar görmesinin en büyük sebebi yönetmeliğe uygun yapılaşma olmamasıdır.

1999 Kocaeli depreminden sonra 2011 yılında Van depremi meydana gelmiştir. 7.2 büyüklüğünde meydana gelen deprem 604 kişinin can kaybına sebep olmuştur. Son zamanlarda özellikle 2020 yılı içerisinde birçok deprem meydana gelmiştir. Bunlardan can kayıplarına sebep olan 24 Ocak 2020' de meydana gelen Elazığ Depremi'dir. Bu deprem sonucu 41 kişi hayatını kaybetmiş ve 76 bina yıkılmıştır. Son olarak 30 Ekim 2020' de

meydana gelen İzmir depremi sonrası 116 kişi hayatını kaybetmiş, 506 bina hasar görmüştür. Ülkemizde son 10 yılda meydana gelen bazı önemli depremler Tablo 1.1’ de verilmiştir.

Tablo 1.1. Ülkemizde son 10 yılda görülen bazı büyük depremler (AFAD, 2020)

Yer	Yıl	Magnitüd (Büyüklik)
Van - Edremit	2011	7.2
Ege Denizi - Gökçeada	2014	6.9
Ege Denizi - Bodrum	2017	6.6
Denizli - Bozkurt	2019	6.0
Elazığ – Sivrice	2020	6.8
Ege Denizi - İzmir	2020	6.6

Tasarımı yapılan yapının, dayanım yetersizliği, işçilik hataları, beton dayanımının hesaplanandan çok aşağıda olması yapıyı deprem yükleri karşısında savunmasız bırakmaktadır. Araştırmalar, 1968’de çıkan yönetmelik bile prosedürüne uygun olarak uygulansaydı ülkemizde olan tüm bu depremlerde can kayıplarının ve yapı hasarlarının olmaması gerektiğini ortaya çıkarmıştır. (Alyamaç ve Erdoğan, 2005)

Bu tez çalışmasında, TBDY 2018’e göre tasarlanan, inşaat halinde olan ve yapımına devam edilen 8 katlı bodrumlu bir binanın proje verileri temin edilmiştir. Binanın Dayanım Göre Tasarım (DGT) kapsamında düzensizlik kontrolleri ile birlikte betonarme perdelerin devrilme momenti kontrolü, etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebe etkileri incelenmiştir. Söz konusu bu kontroller doğrusal hesap yöntemlerinden mod birleştirme yöntemi ile yapılmıştır. Ayrıca binanın tek modlu itme analizi ile performans analizi yapılmıştır. Elde edilen bina performans düzeyi TBDY 2018’de verilen hedef performans seviyesi ile kıyaslanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Literatür Taraması

Sezen vd. (2003), 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremindeki betonarme yapıların performansı ve Türkiye’deki inşaat uygulamaları hakkında çalışma yapmışlardır. A Çalışmalar sonucunda yapıların zarar görmesine neden olan etmenleri şu şekilde sıralamışlardır: Zayıf kolonlar, kiriş-kolon derzlerinde zayıf detaylandırma, güçlendirilmemiş dolgu duvarlar.

Uygun ve Celep (2007) yaptıkları çalışmalarda mevcut betonarme bir yapının deprem performans düzeylerini doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlerle incelemişler ve grafikler ile bu sonuçları karşılaştırmışlardır. Sonuçlar karşılaştırıldığında doğrusal hesap yönteminin, doğrusal olmayan hesap yöntemine göre daha basit olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yılmaz (2008) yaptığı çalışmada performans kavramına değinmiştir. Aynı zamanda doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerini incelemiş, mevcut bir yapının doğrusal olmayan statik analiz ile performansını değerlendirmiştir. 6 katlı betonarme bir yapının deprem performansına bakmıştır. Analiz yöntemi olarak eşdeğer deprem yükü yöntemini ile artımsal itme analizini kullanmıştır.

Sandıkçı (2014) yaptığı çalışmada betonarme bir yapının burulma ve yumuşak kat düzensizliği ilişkisini incelemiştir. Betonarme çerçeveli sistemlerde yumuşak kat düzensizliğinin o kattaki dolgu duvarlar ile doğrudan ilişkili olduğu, fakat dolgu duvarların varlığının burulma düzensizliği üzerinde önemli bir etki yapmadığını gözlemlemiştir.

Erdem (2016) yaptığı çalışmada burulma düzensizliğinin betonarme yapı davranışına olan etkilerini incelemiştir. Aynı yapı için burulma düzensizliği oluşabilecek ve burulma düzensizliği oluşmayacak şekilde sekiz farklı taşıyıcı sistem modellemiş olup bu sistemleri analiz ederek karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda yapıda kolon yerleşimlerine göre burulmalar oluşacağını, periyotların ve taban kesme kuvvetlerinin değiştiğini gözlemlemiştir.

Ertürkmen ve Çağatay (2016) yaptıkları çalışmada dolgu duvarlı yapılarda zayıf kat ve yumuşak kat düzensizliklerini incelemişlerdir. Analizini yaptığı 10 katlı bir yapının 2. katında dolgu duvar bulunmadığı durumda, bu katın bir alt ve bir üst katlar arasında deplasman değerlerinin büyük farklara yol açtığını gözlemlemişlerdir.

Dilmaç vd. (2018), yaptıkları çalışmada Türkiye'deki mevcut betonarme yapıların deprem performanslarını değerlendirmişlerdir. Bu çalışma için farklı şehirlerden örnek olarak seçtikleri 120 adet yapıyı, malzeme kriterlerini dikkate alarak performans değerlendirmelerini yapmışlardır. Yapılan çalışmada çoğu binanın yaş aralığı 15 – 20 senelik olduğu için mevcut yapıların mevcut yönetmeliğe göre güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Ulutaş (2019) yaptığı çalışmada DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerini kesit hasarları bakımından kıyaslamıştır. Bu çalışmada iki farklı malzeme tipi seçilerek betonarme kolon, kiriş ve perde kesitleri kullanılmıştır. Kıyaslanan kesit hasarları sonucunda bulmuş olduğu kesit hasar değerleri ile üst sınır değerleri karşılaştırılıp moment-eğrilik grafikleri üstünde göstermiştir. Çalışmasında DBYBHY 2007' de donatı çeliği üst sınır değerleri çelik sınıfına bağlı değil iken TBDY 2018' de donatı çeliği üst sınır değeri donatı sınıfına bağlı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Dolayısıyla TBDY 2018'in deprem güvenliği açısından DBYBHY 2007' ye göre gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Yaman vd. (2019), yaptıkları çalışmalarda betonarme binalarda perdelerin yerinin değişmesinin bina performansına olan etkisini gözlemlemiştir. Bu çalışmada sadece çerçevelerden oluşan ve perdeli – çerçeveli sistemden oluşan 8 katlı betonarme yapılar kullanılmıştır. Elde edilen yapılar analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sonuçlar ışığında perde duvarın artması ile kat kesme kuvveti de artmıştır. Perdeli - çerçeveli yapıda perdelerin yerinin değişmesi, eleman hasarlarında ve performans seviyelerinde önemli bir fark oluşturmamıştır.

Dalyan ve Şahin (2019) yaptıkları çalışmada mevcut betonarme bir yapının (DBYBHY 2007) ve (TBDY 2018)'e göre taşıyıcı sistem performansının değerlendirilmesini incelemişlerdir. Çalışma içeriğinde 5 katlı betonarme bir yapının her iki deprem yönetmeliği ile doğrusal olmayan itme analizleri ile performansı belirlenmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Kürkçü (2019) yaptığı çalışmada 20 katlı betonarme bir binanın TBDY 2018'e göre tasarımını ve deprem performansını belirlemiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemini kullanarak yapmış olduğu analizler sonucunda, yapının her hangi bir kolonunda plastikleşme meydana gelmediğini gözlemlemiştir.

Bayrak ve Bikçe (2019) yaptıkları çalışmada mevcut bir yapının dolgu duvarlarının yapısal düzensizliklere ve yapı performansına olan etkisini incelemişlerdir. Yapı

analizlerinde dolgu duvarların modele dahil edilmelerinin, yapısal davranışın daha iyi gözlemlenebilmesi açısından önemli olduğunu açıklamışlardır.

Şahin (2019) yaptığı çalışmada mevcut bir betonarme binanın TBDY 2018'e göre zaman tanım alanında analizini yaparak deprem performansını belirlemiştir. Bu analizler neticesinde her elemanda oluşan birim şekil değiştirme taleplerini bulmuş ve TBDY 2018 sınır değerleri ile karşılaştırmıştır. Elemanların hasar seviyesini belirledikten sonra yapının performans seviyesinin hedeflenen performans seviyesini sağlamadığını gözlemlemiştir.

Balta ve Çağlar (2020) yaptıkları çalışmada betonarme binaların burulma düzensizliğini dikkate alarak, doğrusal olmayan davranışını incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensiz olan iki farklı yapı modeli oluşturulmuştur. Perde duvarların düzensiz bir şekilde yerleştirildiği yapıda, deprem performansının azaldığını ve burulma düzensizliğinin arttığını gözlemlemiştir.

Çapa (2020) yaptığı çalışmada yeni tasarım olarak tasarımı yapılan farklı katlardaki üç adet binayı, mevcut bina kabul ederek deprem performanslarını inceleyip kıyaslamıştır. Doğrusal olmayan hesap yöntemi için Statik İtme Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi' ni kullanmıştır. SAP2000 programı yardımı ile yapmış olduğu analizler sonucunda plastik dönme sınır değerlerini elde etmiş, yönetmelik sınır değerleri ile karşılaştırmıştır. Bunun sonucunda çok katlı olan binaların az katlı olan binalara göre, taban kesme kuvvetinin ve bina performans noktasına karşılık gelen tepe yer değiştirme değerlerinin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Tekdemir (2020) yaptığı çalışmada farklı özelliklerde betonarme binaları doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri kullanarak TBDY 2018' e göre değerlendirmiştir. SAP2000 programı üzerinde yapmış olduğu analizler neticesinde plastik mafsallı oluşum düzenleri ve taban kesme kuvvetleri incelenmiştir. Kuvvetli kolon zayıf kiriş tasarımı için kolonlardan önce kirişlerde plastik mafsallı oluşması gerektiğini belirtmiştir. Bu sebeple kuvvetli kolon zayıf kiriş tasarımı yapılması için plastik mafsallı düzeninin etkili olduğunu göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yeni Yapılacak Betonarme Bir Binanın Dayanıma Göre Tasarım Kontrolleri

Çalışmanın bu bölümünde tasarımı TBDY 2018' e göre yapılan ve inşası devam eden bir binanın aşağıda maddeler halinde verilen kontrolleri yapılmıştır.

- ❖ Burulma Düzensizliği Kontrolü (A1)
- ❖ Döşeme Süreksizlikleri Kontrolü (A2)
- ❖ Planda Çıkıntılar Bulunması Kontrolü (A3)
- ❖ Zayıf Kat Düzensizliği Kontrolü (B1)
- ❖ Yumuşak Kat Düzensizliği Kontrolü (B2)
- ❖ Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Kontrolü (B3)
- ❖ Perdelerin Devrilme Momenti Kontrolü
- ❖ Etkin Görelî Kat Ötelenmeleri Kontrolü
- ❖ İkinci Mertebe Etkileri

Bina, doğrusal hesap yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Ancak, TBDY 2018'e göre burulma düzensizliği ve yumuşak kat düzensizliği kontrollerinin Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre bakılması gerekmektedir. Şekil 3.1'de deprem etkisinin önemli olduğu kontrollerin hangi doğrusal hesap yöntemine göre belirleneceği gösterilmiştir.



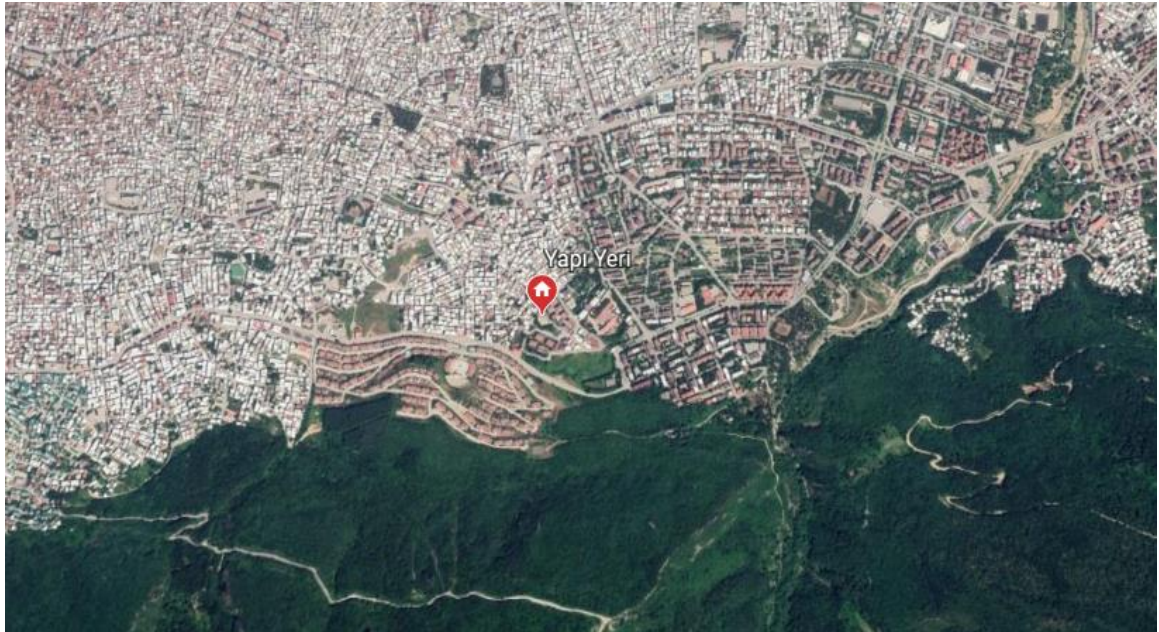
Şekil 3.1. Yapılacak kontroller için kullanılacak hesap yöntemleri

3.1.1. Bina Bilgileri

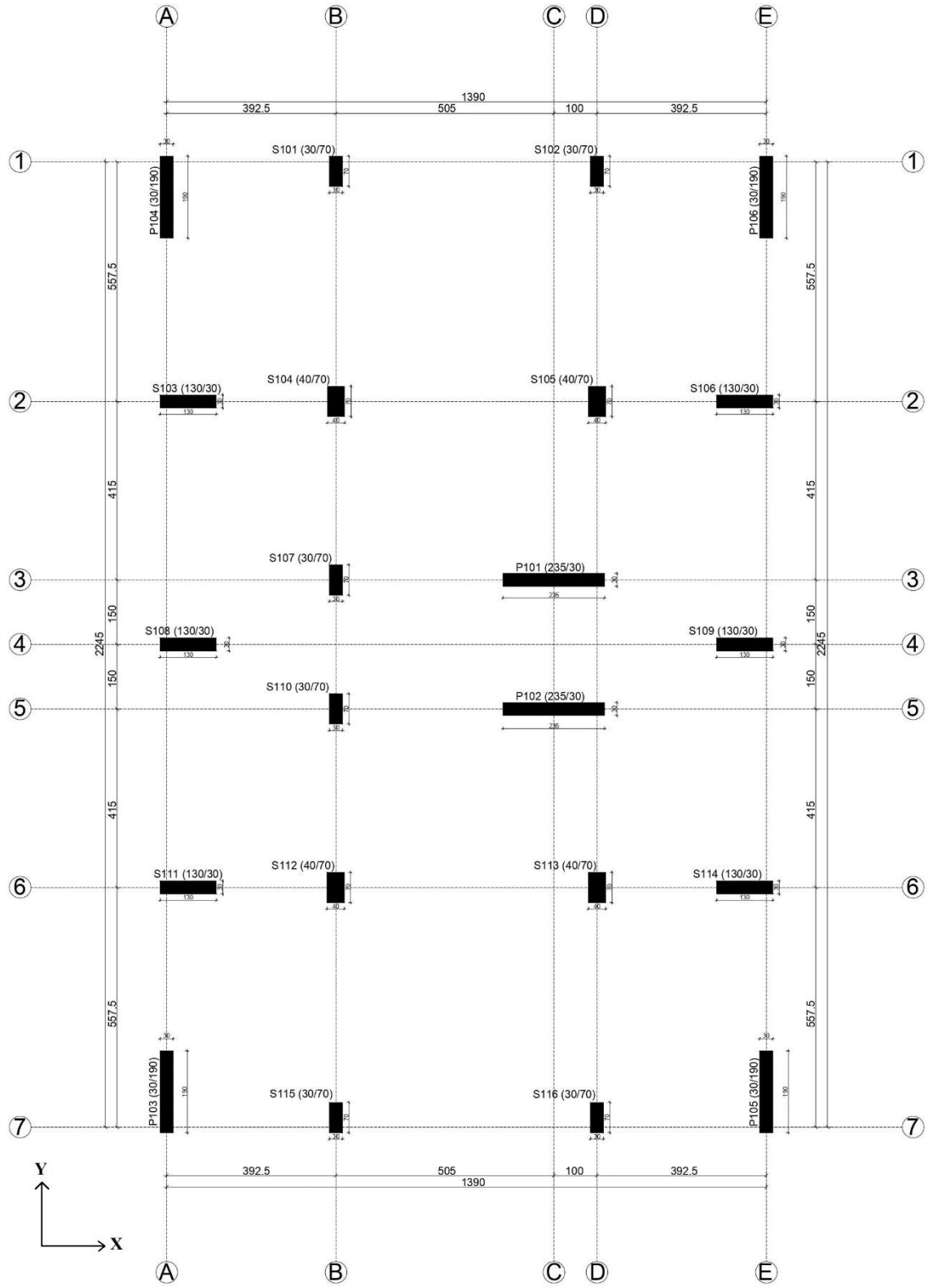
Bursa ili Yıldırım ilçesi Değirmenlikazık mahallesinde bulunan TBDY 2018' e göre tasarlanan, inşaat halinde olan ve yapımına devam edilen bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Bina, bölgenin konumu ve deprem parametreleri dikkate alındığında her iki yönde olacak şekilde perde duvarlar ile desteklenmiştir. Perdeli – çerçevesi sistemle oluşturulan yapı X eksenine göre simetriktir. Bina Taban uzunluğu 22.45x13.90 m'dir. Binanın genel özellikleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Kat sayısı: 1 Bodrum+7 Normal kat
- Kat yüksekliği (h): 2.8 m
- Yapı toplam yüksekliği: 22.4 m
- Yapı taban alanı: 312 m²
- Yapı Kullanım Amacı: Konut
- Beton sınıfı: C35
- Donatısı sınıfı: S420

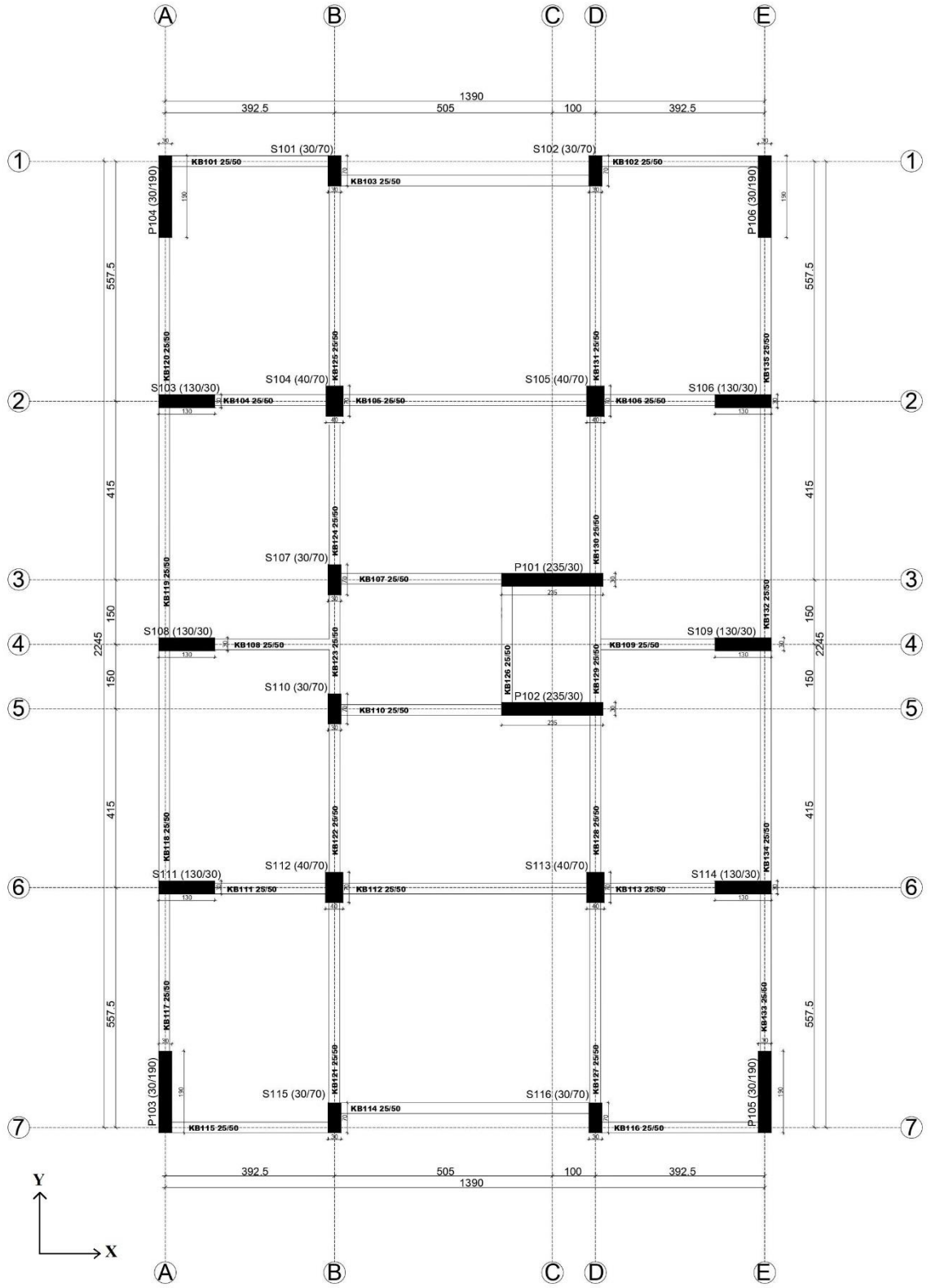
Bina yerinin Google Earth görüntüsü Şekil 3.2'de, kolon aplikasyon planı Şekil 3.3'te ve kalıp planı Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Bina yeri Google Earth görüntüsü



Şekil 3.3. Tüm katların kolon aplikasyon planı



Şekil 3.4. Tüm katların kalıp planı

3.1.1.1. Bina Taşıyıcı Sistem Bilgileri

Binanın taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve betonarme perdelerden oluşmaktadır. Kirişlerin kesit boyutları Tablo 3.1’de, kolonların kesit boyutları Tablo 3.2 ve betonarme perdelerin kesit boyutları Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.1. Kiriş elemanlarının kesit boyutları

Kiriş	b (cm)	h (cm)
Tüm Kirişler	25	50

Tablo 3.2. Kolon elemanlarının kesit boyutları

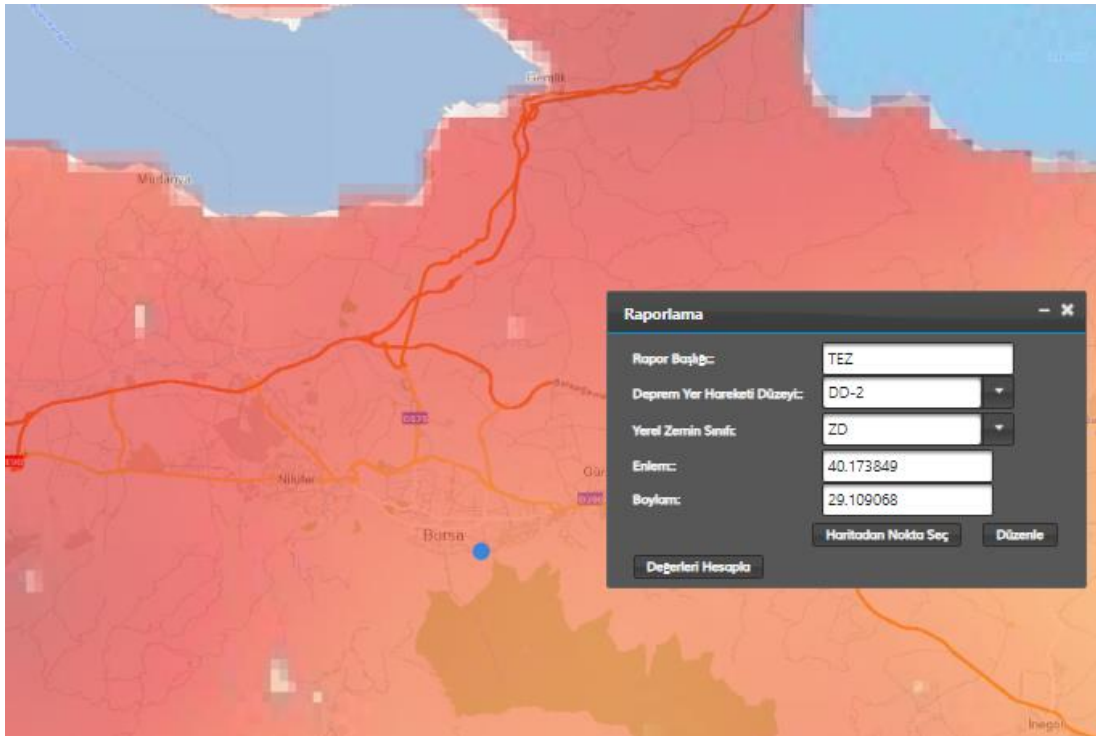
Kolon	X doğrultusundaki boyut (cm)	Y doğrultusundaki boyut (cm)
S101	30	70
S102	30	70
S103	130	30
S104	40	70
S105	40	70
S106	130	30
S107	30	70
S108	130	30
S109	130	30
S110	30	70
S111	130	30
S112	40	70
S113	40	70
S114	130	30
S115	30	70
S116	30	70

Tablo 3.3. Betonarme perdelerin kesit boyutları

Betonarme Perde	X doğrultusundaki boyut (cm)	Y doğrultusundaki boyut (cm)
P101	235	30
P102	235	30
P103	30	190
P104	30	190
P105	30	190
P106	30	190

3.1.2. Bina Deprem Tasarım Parametrelerinin Belirlenmesi

İncelenen binanın, deprem hareket düzeyi ve zemin sınıfına göre belirlenen deprem tasarım parametreleri elde edilmiştir. Bu parametreler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın sunduğu “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması” <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden alınmıştır. Şekil 3.5’ te deprem yer hareket düzeyine bağlı olarak yapının veri girdileri gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

İnteraktif Web Uygulaması'na gerekli verilerin girilmesi ile elde edilen çıktılar Şekil 3.6 ve 3.7' de verilmiştir. Çıktılar incelendiğinde, Binanın kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) 0.973, 1 sn periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (S_{D1}) ise 0.482 olarak elde edilmektedir.

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:

TEZ

Deprem Yer Hareketi Düzeyi:

DD-2

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

Yerel Zemin Sınıfı

ZD

Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları

Enlem:

40.173852°

Boylam

29.10907°

Çıktılar

$S_s = 0.834$

$S_1 = 0.224$

$S_{Ds} = 0.973$

$S_{D1} = 0.482$

$PGA = 0.347$

$PGV = 21.347$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{Ds} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.6. DD-2 için spektral ivme katsayıları

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:

TEZ

Deprem Yer Hareketi Düzeyi:

DD-3

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

Yerel Zemin Sınıfı

ZD

Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları

Enlem:

40.173852°

Boylam

29.10907°

Çıktılar

$S_S = 0.316$

$S_1 = 0.091$

$S_{DS} = 0.489$

$S_{D1} = 0.218$

$PGA = 0.136$

$PGV = 8.501$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 3.7. DD-3 için spektral ivme katsayıları

3.1.2.1. Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi

Bina Kullanım Sınıfı (BKS) ve Bina Önem Katsayısı (I), bina kullanım amacına göre Tablo 3.4 ile belirlenmektedir.

Tablo 3.4. Bina kullanım sınıfı ve önem katsayısı (TBDY, 2018)

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

İncelenen binanın kullanım amacı konut olduğundan, Bina Kullanım Sınıfı (BKS) 3, Bina Önem Katsayısı (I) = 1.0 olarak elde edilir.

3.1.2.2. Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi

Deprem etkisi altında tasarımı yapılacak olan yapıların deprem tasarım sınıfları Tablo 3.5 ile belirlenmektedir. Bina Kullanım Sınıfı ve *Tasarım Spektral İvme Katsayısına* bağlı olarak belirlenen DTS katsayıları DD-2 deprem düzeyi için tanımlanmıştır.

Tablo 3.5. Deprem Tasarım Sınıfları (TBDY, 2018)

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

İncelenen 8 katlı betonarme binanın deprem tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}), DD-2 deprem düzeyi için 0.973 olarak daha önceki bölümlerde belirlenmişti. Tablo 3.5 incelendiğinde $0.75 \leq S_{DS}$ ve BKS = 3 için Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) = 1 olarak elde edilmektedir.

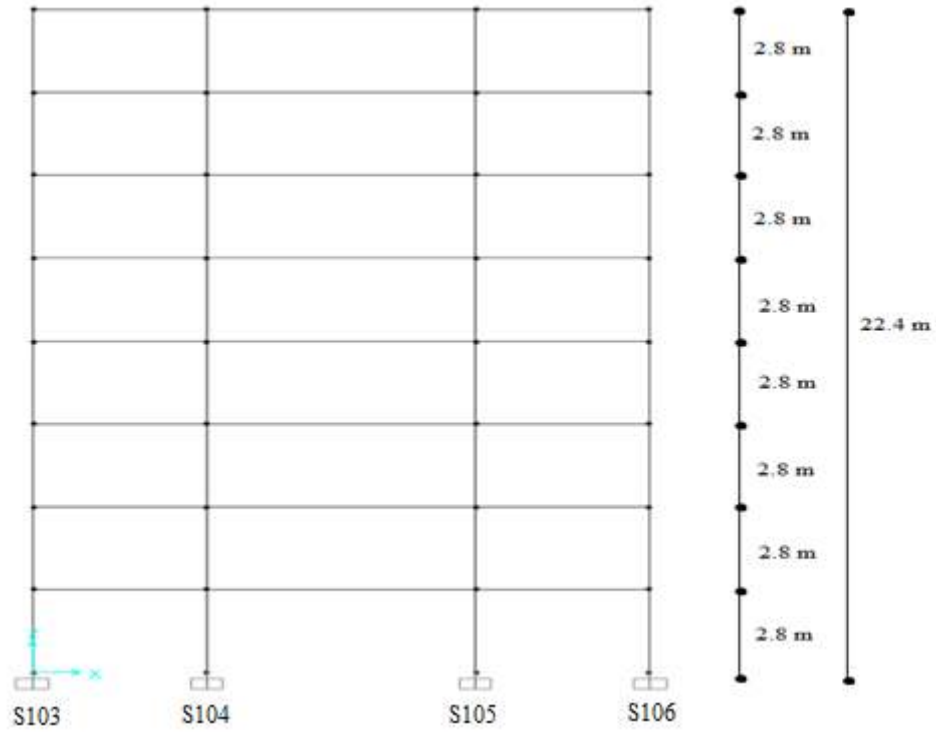
3.1.2.3. Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi

Bodrumlu binalarda bina yükseklik sınıfının belirlenmesi için öncelikle bina tabanının belirlenmesi gerekmektedir. Bina tabanının belirlenmesi için TBDY 2018 ‘de verilen aşağıdaki koşullara bakmak gereklidir.

- Binanın en az üç tarafı rijit bodrum perdeleri ile çevrilmesi
- Birbirine dik x ve y doğrultusunda hesaplanan hakim titreşim modunda, binanın tamamı için hesaplanmış olan doğal titreşim periyodu, bodrum katlar çıkarılıp hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranı 1.1’den küçük ($T_{p,tüm} \leq 1.1 T_{p,üst}$) olması

Yukarda verilen iki koşuldan bir tanesi bile sağlamazsa, temel üst kodunun bina tabanı olarak belirlenmesi gerekir. Bu tez çalışmasında bodrum kat rijit perdelerle çevrili değildir. Bu sebeple bina tabanı, temelin üst kotu olarak belirlenmiştir.

Bina tabanının belirlenmesinden sonra bina yüksekliği (H_N) belirlenebilir. Bina yüksekliği (H_N), bina tabanı ile en üst katın döşeme seviyesi arasındaki mesafe olarak belirlenmiştir. Tüm katların yükseklikleri 2.8 m olduğundan 8 katlı olan binanın toplam yüksekliği (H_N) = $8 * 2.8 = 22.4$ m olarak belirlenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Bina 2 numaralı aksının kesit görüntüsü

Bina Yüksekliği ve Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)'na göre belirlenen Bina Yükseklik Sınıfı Tablo 3.6 ile elde edilmektedir.

Tablo 3.6. Bina Yükseklik Sınıfları (TBDY, 2018)

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

İncelenen binanın Deprem Tasarım Sınıfı (DTS) = 1 ve Bina Yüksekliği (H_N) = 22.4 m olduğu için Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) = 5 olarak elde edilir.

3.1.2.3. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısının Belirlenmesi

Yerinde dökme betonarme binalar için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D), taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi dikkate alınarak Tablo 3.7 ile belirlenmektedir.

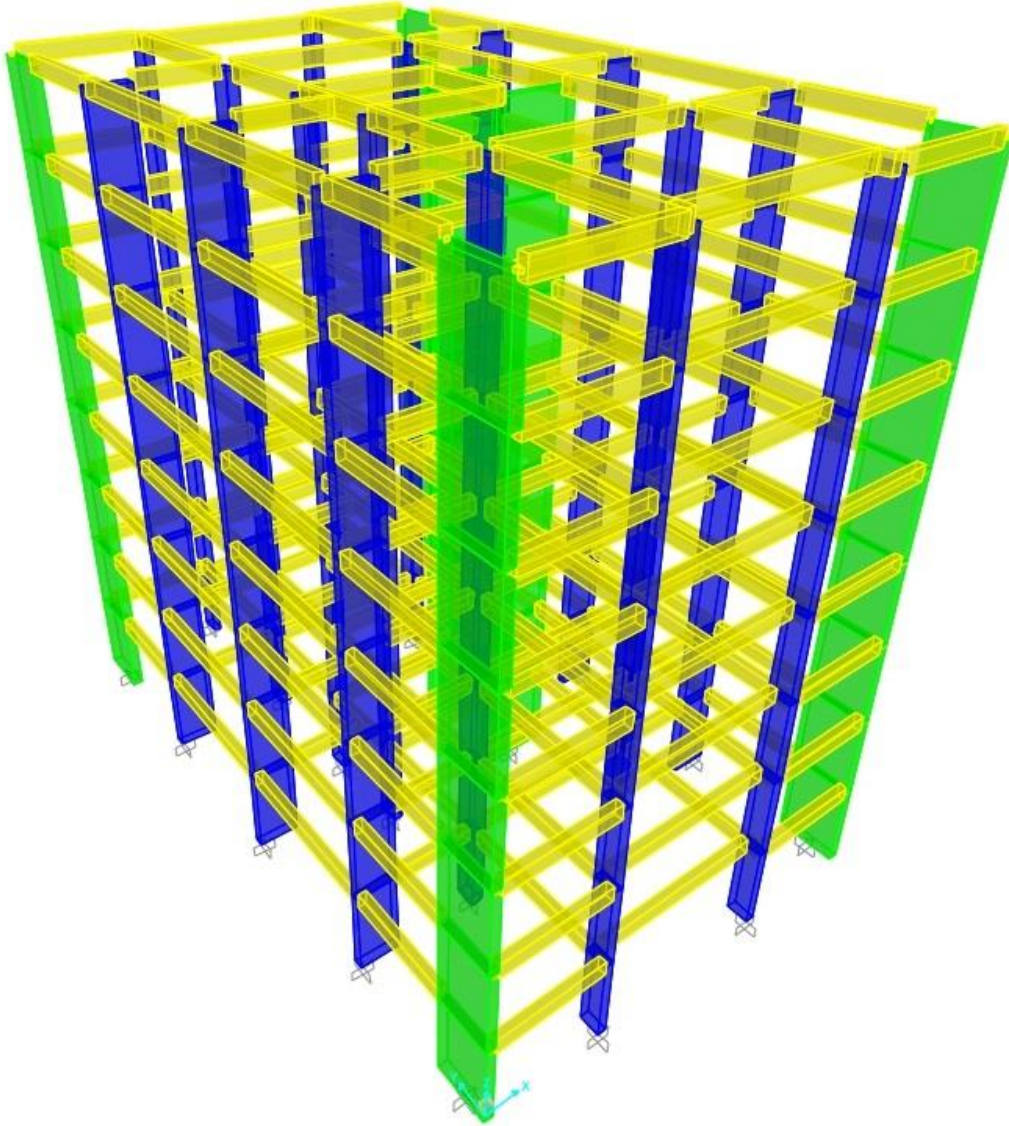
Tablo 3.7. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	$BYS \geq 2$
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	$BYS \geq 2$
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	$BYS \geq 2$
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	$BYS \geq 2$
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-

İncelenen binanın taşıyıcı sistemi, her iki doğrultuda Süneklik Düzeyi Yüksek betonarme çerçeveler ile Süneklik Düzeyi Yüksek boşluksuz betonarme perdelerden oluşmaktadır. Her iki doğrultunun Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) = 7, Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) = 2.5 olarak belirlenir. Bu taşıyıcı sisteme izin verilen bina yükseklik sınıfı (BYS) ≥ 2 'dir. İncelenen binanın BYS değeri 5 olduğundan binanın taşıyıcı sistemi, izin verilen bina yükseklik sınıfını sağlamaktadır.

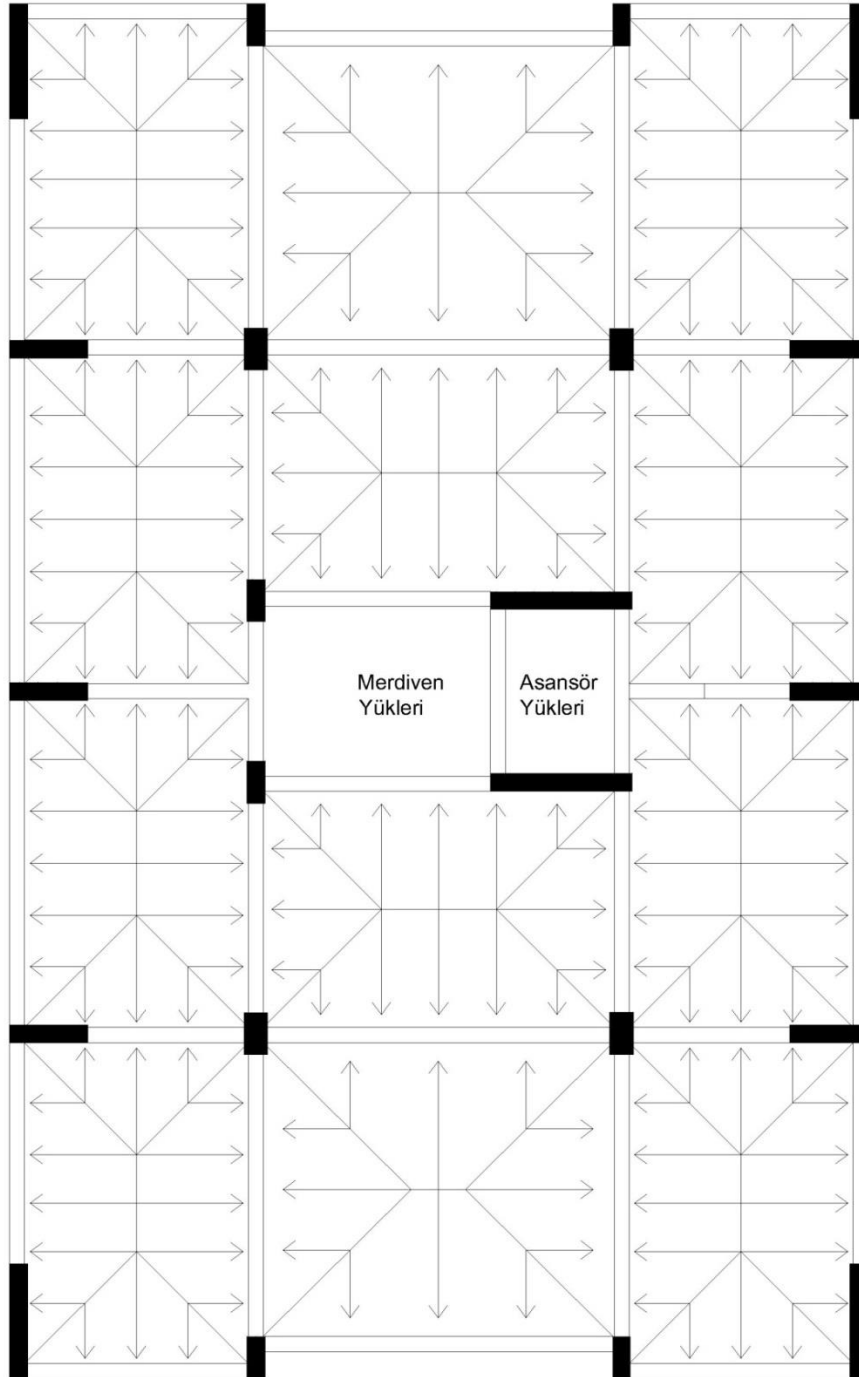
3.1.3. Binanın SAP2000 Programında Modellenmesi

İncelenen binanın 3D modeli, SAP 2000 v21. programı ile oluşturulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. İncelenen binanın 3D modeli

Düşey taşıyıcı elemanlar temele ankastre olarak mesnetlenmiştir. Döşemeler modellenmemiş olup döşemelerin yükleri kirişlere aktarılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Zati ve hareketli yük aktarım şeması

Döşemelerden kirişlere aktarılan sabit ve hareketli yükler aşağıda verilmiştir.

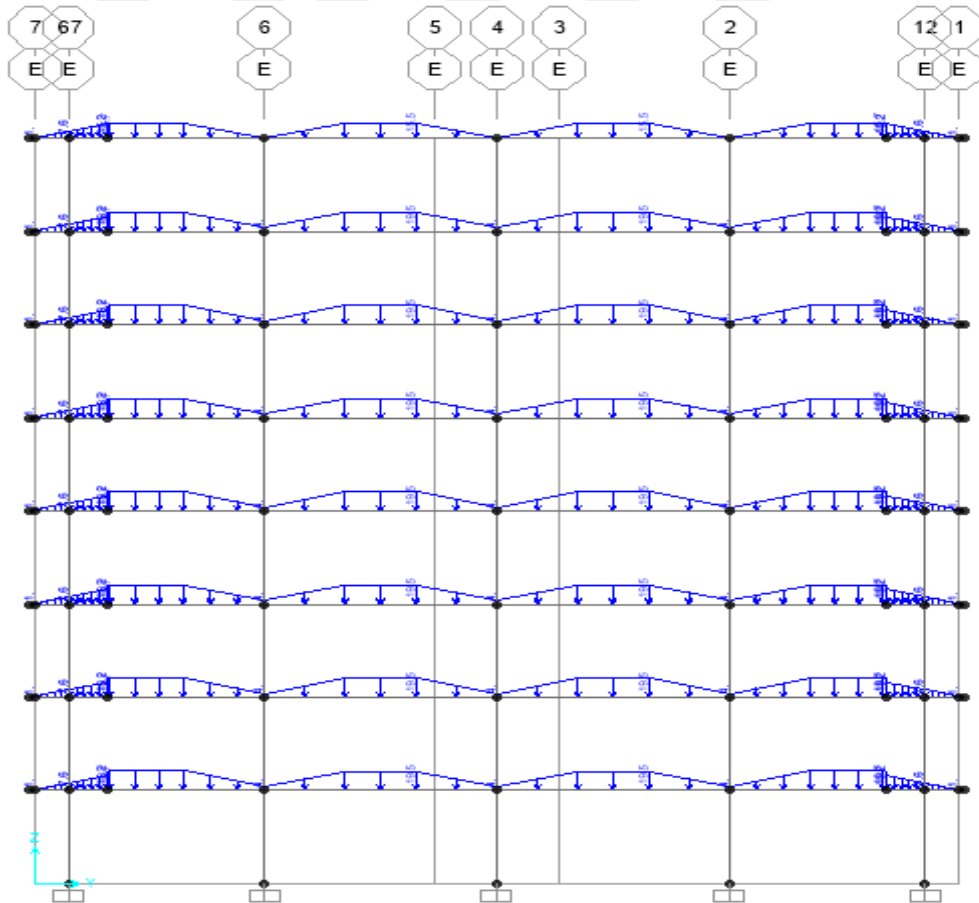
➤ Sabit Yükler (G)

- Döşeme ağırlığı $= \gamma \cdot h_f = 25 \times 0.15 = 3.75 \text{ kN/m}^2$
- Döşeme kaplama + şap ağırlığı $= 1.75 \text{ kN/m}^2$
- ❖ Döşeme sabit yükü $(G_k) = 3.75 + 1.75 = 5.5 \text{ kN/m}^2$
- ❖ Merdiven yükleri 5 kN/m^2

➤ Hareketli Yükler (Q)

TS 498'e göre konut yapılarında döşemeler için alınacak olan hareketli yük değeri 2 kN/m^2 olduğundan $(Q_k) = 2 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır.

Kirişlere döşemelerden aktarılan yüklere ilave olarak 4 kN/m duvar yükü aktarılmıştır. Son kattaki kirişlere duvar yükü aktarılmamıştır. Şekil 3.11'de E-E aksında bulunun kirişlerin üzerine döşeme ve duvarlardan aktarılan yükler gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Döşemelerden kirişlere yük aktarımı

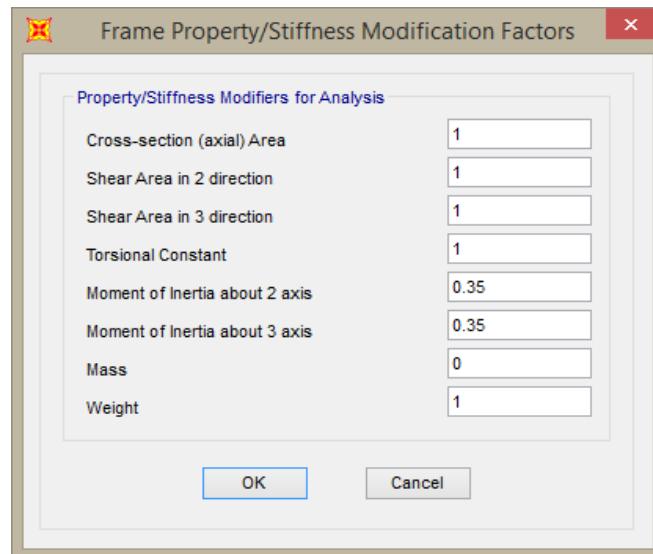
3.1.3.1. Etkin Kesit Rijitlikleri

Dayanıma Göre Tasarım kapsamında betonarme taşıyıcı sistem eleman kesitlerinin modellenmesinde Tablo 3.8’de verilen etkin kesit rijitliği çarpanları kullanılmalıdır.

Tablo 3.8. Etkin kesit rijitlikleri(TBDY, 2018)

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde – Döşeme (Düzlem içi)		
Perde	0.50	0.50
Bodrum Perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
Perde - Döşeme (Düzlem dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0.25	1.00
Bodrum Perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ Kirişi	0.15	1.00
Çerçeve Kirişi	0.35	1.00
Çerçeve Kolonu	0.70	1.00
Perde	0.50	0.50

SAP2000 programında girilen etkin kesit rijitlik çarpanları kirişler için Şekil 3.12’de, kolonlar için Şekil 3.13’te, betonarme perdeler için ise Şekil 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kirişlerin etkin kesit rijitliklerinin girilmesi

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	0
Weight	1

OK Cancel

Şekil 3.13. Kolonların etkin kesit rijitliklerinin girilmesi

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0.5
Shear Area in 3 direction	0.5
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	0
Weight	1

OK Cancel

Şekil 3.14. Betonarme perdelerin etkin kesit rijitliklerinin girilmesi

3.1.3.2. Bina Hakim Titreşim Periyodunun Bulunması

Modellenen bina, X ve Y doğrultularının hakim titreşim periyodunun belirlenmesi için modal analize tabi tutulmuştur. Modal analiz sonucu X ve Y - doğrultuları için elde edilen hakim titreşim periyotları Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9. Yapı periyodu ve kütle katılım oranları

Analiz tipi	Mod	Periyot	X Yönü Kütle Katılım Oranı	Y Yönü Kütle Katılım Oranı
Modal	1	1.189	0.730	0.000
Modal	2	1.152	0.000	0.743

Tablo 3.9 incelendiğinde X yönü doğal titreşim periyodunun($T_p^{(X)}$) 1.189 sn, Y yönü doğal titreşim periyodunun($T_p^{(Y)}$) 1.152 sn olduğu görülmektedir.

3.1.3.3. Deprem Yüklerinin Oluşturulması

Bina, doğrusal hesap yöntemlerinden “Mod Birleştirme Yöntemi” kullanılarak incelenecektir. Ancak, TBDY 2018’e göre modal yöntemlere göre elde edilen taban kesme kuvvetinin eşdeğer deprem yüküne göre elde edilen taban kesme kuvveti ile kıyaslanması gerekmektedir. Yapılan kıyas sonucu, gerekmesi durumunda iç kuvvet ve yerdeğiştirmelerin büyütme katsayısı ile artırılması gerekmektedir. Ayrıca, TBDY 2018’e göre, bina doğrusal hesap yöntemlerinde mod birleştirme yöntemi tasarlanması durumunda bile burulma düzensizliği ile yumuşak kat düzensizliği kontrollerinin eşdeğer deprem yükü yöntemine göre belirlenmesi gerekmektedir. Dolayısı ile binanın SAP2000 modelinde hem eşdeğer deprem yükü hem de mod birleştirme için deprem yükü tanımlanması yapılacaktır.

TBDY 2018’e göre deprem yer hareketinin binaya etkisinde taşıyıcı sistemin rijitlik ve kütle dağılımındaki olası belirsizlikleri gözönüne almak için ek dışmerkezlik etkisi tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, hem eşdeğer deprem yükü tanımlanmasında hem de mod birleştirme ile deprem yükü tanımlanmasında ek dış merkezlik, kat kütle merkezinin gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5’i ve -%5’i kadar kaydırılmasıyla dikkate alınmıştır.

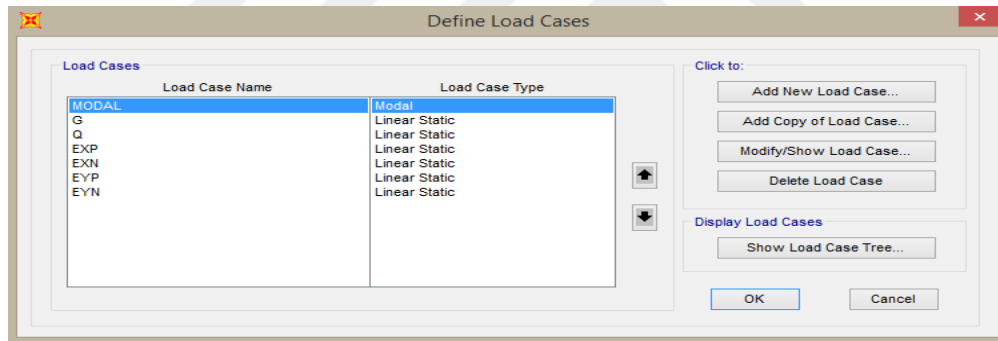
3.1.3.4. Eşdeğer Deprem Yükünün Tanımlanması ve Taban Kesme Kuvvetinin Elde Edilmesi

Eşdeğer deprem yükünün tanımlanması için SAP 2000 programında EXP, EXN, EYP, EYN olmak üzere için 4 tip deprem yükü oluşturulmuştur (Şekil 3.15).

Burada;

- EXP: Eşdeğer deprem yükünün, binanın X doğrultusunda kat kütle merkezinin +%5 kaydırılması ile elde edilen noktaya etki ettirildiğini
- EXN: Eşdeğer deprem yükünün, binanın X doğrultusunda kat kütle merkezinin - %5 kaydırılması ile elde edilen noktaya etki ettirildiğini
- EYP: Eşdeğer deprem yükünün, binanın Y doğrultusunda kat kütle merkezinin +%5 kaydırılması ile elde edilen noktaya etki ettirildiğini
- EYN: Eşdeğer deprem yükünün, binanın Y doğrultusunda kat kütle merkezinin - %5 kaydırılması ile elde edilen noktaya etki ettirildiğini

ifade etmektedir.



Şekil 3.15. Eşdeğer deprem yükü yöntemi yük tipleri

EXP için oluşturulan deprem yükünün Sap 2000’de tanımlanması Şekil 3.16’da verilmiştir. Daha önceki bölümlerde elde edilen Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D), Bina Önem Katsayısı (I), yerel zemin sınıf ve spektral ivme katsayıları bu deprem yükünün tanımlanmasında kullanılmıştır.

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☒ Global X Direction
☐ Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.05

Override Diaph. Eccen. Override...

Time Period

☐ Approx. Period Ct (m), x =
☒ Program Calc Ct (m), x = 0.07; 0.75
☐ User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated
☐ User Specified Reset Defaults

Max Z
Min Z

OK Cancel

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss 0.834
1 Sec Spectral Accel, S1 0.224
Long-Period Transition Period 6.

Site Class ZD
Site Coefficient, Fs 1.1664
Site Coefficient, F1 2.152

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss 0.9728
SDS = F1 * S1 0.482

Factors

Response Modification, R 7.
System Overstrength, D 2.5
Occupancy Importance, I 1.

Şekil 3.16. EXP yük tipinin oluşturulması

Deprem yük tiplerinin oluşturulmasından sonra yapılan analizde, X doğrultusunun taban kesme kuvveti ($V_{tE}^{(X)}$) ile Y doğrultusunun taban kesme kuvveti ($V_{tE}^{(Y)}$) 2131.236 kN olarak elde edilmiştir.

İki doğrultu için elde edilen taban kesme kuvvetinin eşit olmasının sebebi her iki doğrultunun deprem hesabında kullanılan periyodunun aynı olmasından kaynaklanmaktadır. TBDY 2018'e göre binanın deprem hesabında kullanılacak olan periyodunun en büyük değeri, Denklem 3.1 ile elde edilen T_{pA} periyodunun 1.4 katından daha fazla olmaması gerekmektedir.

$$T_{pA} = C_t * H_N^{3/4} \quad (3.1)$$

Taşıyıcı sistemi betonarme perde ve kolonlardan oluşan binalarda $C_t = 0.07$ alınmalıdır. Binanın her iki doğrultusun taşıyıcı sistemi betonarme perde ve kolonlardan oluşmaktadır. H_N daha önceki bölümlerde 22.4 m olarak elde edilmişti. Bu durumda $1.4T_{pA}$ aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

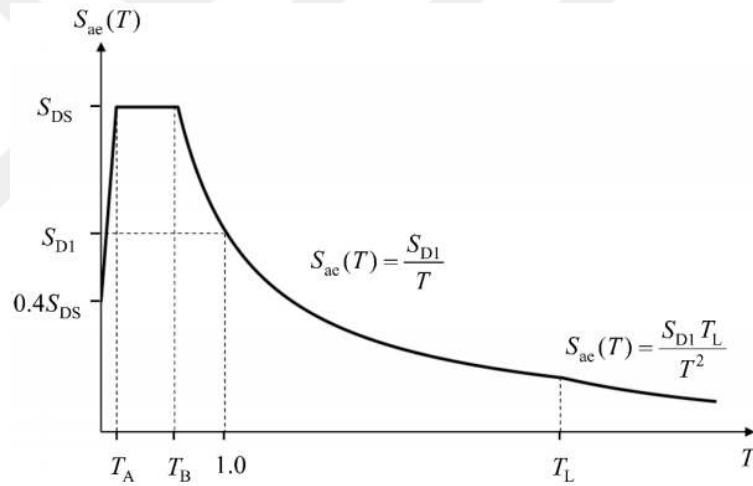
$$1.4T_{pA} = 1.4 * 0.07 * 22.4^{\frac{3}{4}} = 1.01 \text{ sn}$$

$T_p^{(X)} = 1.189 > 1.01$ olduğundan X doğrultusunun deprem hesabında kullanılan periyodu $T_p^{(X)} = 1.01$ sn alınmıştır.

$T_p^{(Y)} = 1.152 > 1.01$ olduğundan Y doğrultusunun deprem hesabında kullanılan periyodu $T_p^{(Y)} = 1.01$ sn alınmıştır.

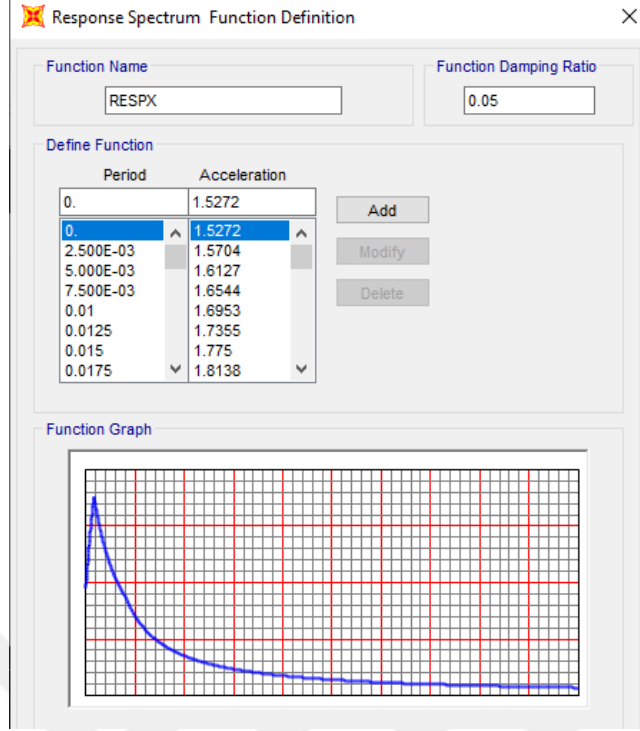
3.1.3.4. Mod Birleştirme Yöntemi İçin Deprem Yükünün Tanımlanması ve Taban Kesme Kuvvetinin Elde Edilmesi

Mod Birleştirme Yöntemine göre deprem yükleri tanımlamadan önce Azaltılmış Tasarım Spektral İvme ($S_{aR}(T)$)'nin periyoda bağlı fonksiyonun oluşturulması gerekmektedir. Bunun için Şekil 3.17'de verilen yatay elastik tasarım spektrumundan yararlanılır. Elastik tasarım spektral ivmesi ($S_{ae}(T)$) değerlerinin Deprem Yükü Azaltma Katsayısına $R_a(T)$ bölünmesi ile Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi $S_{aR}(T)$ elde edilir.



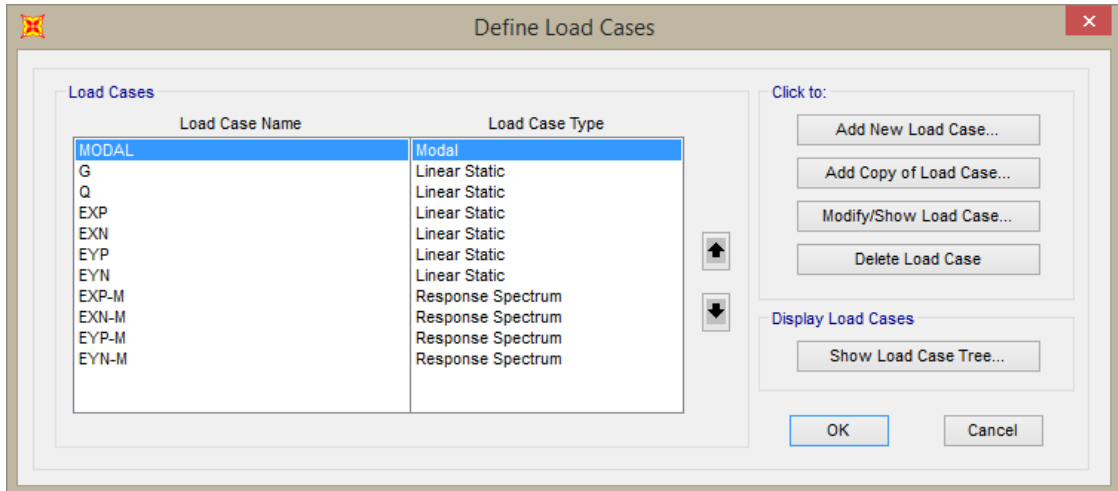
Şekil 3.17. Yatay elastik tasarım spektrumu

Azaltılmış Tasarım Spektral İvme ($S_{aR}(T)$)'nin periyoda bağlı olarak fonksiyonu binanın deprem tasarım parametreleri gözönüne alınarak her iki doğrultu için Excel'de oluşturulmuş, elde edilen bu değerler SAP 2000'e aktarılmıştır. X doğrultusu için SAP 2000'de oluşturulan Azaltılmış Tasarım Spektral İvme – periyod fonksiyonu Şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. X doğrultusu için Azaltılmış Tasarım Spektral İvme – periyod fonksiyonu

Mod birleştirme yöntemi ile deprem yükünün tanımlanması için SAP 2000 programında EXP-M, EXN-M, EYP-M, EYN-M olmak üzere 4 tip yük oluşturulmuştur (Şekil 3.19). Bu yüklerin tanımlanmasında Azaltılmış Tasarım Spektral İvme–periyod fonksiyonlarından faydalanılmıştır.



Şekil 3.19. SAP2000 de tanımlanan yüklerin gösterilmesi

Mod birleştirme hesap yöntemine göre taban kesme kuvvetinin belirlenmesi için öncelikle mod sayısının belirlenmesi gerekmektedir. TBDY 2018'e göre yeterli sayıda titreşim modu sayısının belirlenmesinde, yapı serbestlik derecesi için modal katılımcı kütle oranının kümülatif toplamı %95' ten daha az olmaması gerekir. Aynı zamanda yapı serbestlik derecesi için modal katılımcı kütle oranı %3'ü aşan tüm modlar da dahil edilmelidir. Yeterli Mod sayısının belirlenmesi için yapının önce modal analiz yapılması gerekmektedir. Yapılan modal analiz sonucu elde edilen kütle katılım oranları Tablo 3.10' da verilmiştir. Tabloya bakıldığında her iki doğrultuda 12 mod kullanılması yeterli olmaktadır. Her iki doğrultu için de 12 moddan sonra modal katılımcı kütle oranı %3' ü aşan mod olmamıştır.

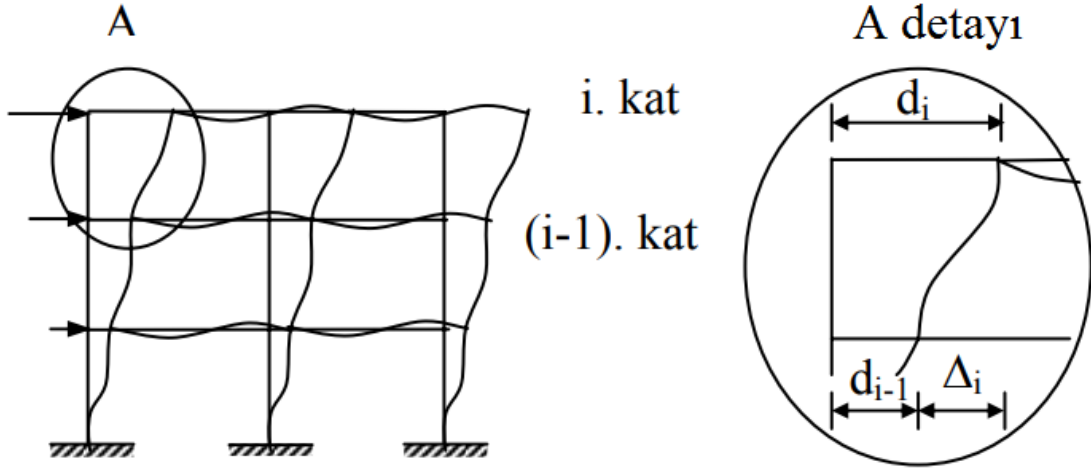
Tablo 3.10. Modal analiz sonuçları

Mod	Periyot	UX	UY	Kümülatif UX	Kümülatif UY
1	1.189	0.730	0.000	0.730	0.000
2	1.152	0.000	0.743	0.730	0.743
3	1.067	0.000	0.007	0.730	0.750
4	0.326	0.000	0.125	0.730	0.875
5	0.318	0.141	0.000	0.871	0.875
6	0.308	0.000	0.002	0.871	0.877
7	0.154	0.000	0.055	0.871	0.932
8	0.149	0.000	0.002	0.871	0.934
9	0.143	0.060	0.000	0.931	0.934
10	0.090	0.000	0.030	0.931	0.963
11	1.189	0.730	0.000	0.730	0.000
12	1.152	0.000	0.743	0.730	0.743

Mod birleştirme yöntemine göre yapılan taban kesme kuvveti hesabı sonucu $V_{tx}^{(X)} = 1864.876 \text{ kN}$, $V_{tx}^{(Y)} = 1882.322 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir.

3.1.4. Azaltılmış Görelî Kat Ötelenmelerin Elde Edilmesi

Azaltılmış görelî kat ötelenmesi (Δ_i), herhangi bir kattaki düşey taşıyıcı elemanın üst ucu ile alt ucunda oluşan ötelenmelerin birbirinden çıkarılmasıyla elde edilen ötelenme miktarı olarak tanımlanabilir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Çerçevesel yapılar için görelî kat ötelenmesi. (Tekeli vd., 2005)

İncelenen binanın burulma düzensizliği kontrolü, yumuşak kat düzensizliği kontrolü, etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebeden etkilerin kontrolü için azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bina, doğrusal hesap yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak incelenmektedir. Ancak TBDY 2018'e göre burulma düzensizliği ve yumuşak kat düzensizliği kontrollerinin Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre bakılması gerekmektedir. Dolayısıyla Burulma düzensizliği ve yumuşak kat düzensizliği için gerekli azaltılmış görelî kat ötelenmeleri eşdeğer deprem yükü için tanımlanan yüklere (EXP, EXN, EYP, EYN) göre belirlenecektir. Etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebeden etkilerin kontrolü için gerekli azaltılmış görelî kat ötelenmeleri ise mod birleştirme yöntemi için tanımlanan yüklere (EXP-M, EXN-M, EYP-M, EYN-M) göre belirlenecektir.

TBDY 2018 madde 4.9.1.1'e göre azaltılmış görelî kat ötelenmeleri hesabında binanın hakim doğal titreşim periyodunun en büyük değeri, ampirik periyot (T_{pA})'un 1.4 katından daha fazla olamaz koşuluna bakılmaması gerekmektedir. Dolayısıyla burulma düzensizliği ve yumuşak kat düzensizliği için gerekli azaltılmış görelî kat ötelenmeleri $T_p^{(X)}$ 1.189 sn ve $T_p^{(Y)}$ 1.152 sn kullanarak hesaplanmıştır. Bu işlemin SAP 2000'de tanımlanması EXP deprem tipi için Şekil 3.21'de gösterilmiştir.

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☒ Global X Direction

☐ Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.05

Override Diaph. Eccen. Override...

Time Period

☐ Approx. Period Ct (m), x =

☐ Program Calc Ct (m), x =

☒ User Defined T = 1.189

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated

☐ User Specified Reset Defaults

Max Z

Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss 0.834

1 Sec Spectral Accel, S1 0.224

Long-Period Transition Period 6.

Site Class ZD

Site Coefficient, Fs 1.1664

Site Coefficient, F1 2.152

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss 0.9728

SDS = F1 * S1 0.482

Factors

Response Modification, R 7.

System Overstrength, D 2.5

Occupancy Importance, I 1.

OK Cancel

Şekil 3.21. EXP yük tipinin periyoda bağlı olarak tanımlanması

İncelenen binada her bir düşey taşıyıcı elemanın görelî ötelenmeleri SAP 2000'in "generalized displacements" komutundan faydalanarak elde edilmiştir.

3.1.5. Burulma Düzensizliği Kontrolü (A1)

İncelenen bir binanın burulma düzensizliğinin olup olmadığına burulma düzensizliği katsayısına (η_{bi}) bakılarak karar verilir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir kattaki en büyük görelî kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelenmeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) 1.2'den büyük ise burulma düzensizliği vardır anlamına gelir. X hesap doğrultusu için burulma düzensizliği katsayısının hesaplanması Denklem 3.2'de gösterilmiştir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{\max}}{(\Delta_i^{(X)})_{\text{ort}}} \leq 1.2 \quad (3.2)$$

İncelenen binanın her bir katının EXP,EXN,EYP,EYN deprem tipilerinin her biri için her iki doğrultuda burulma düzensizliği katsayıları elde edilmiştir. Tablo 3.11’de her bir kat için 4 tip depreme göre elde edilen bu burulma düzensizliği katsayılarından en büyük olanı yazılmıştır.

Tablo 3.11. Burulma düzensizliği (A1) kontrolü sonuçları

KATLAR	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
Bodrum	0.002322	0.001920	1.21
1	0.005204	0.004353	1.195
2	0.006622	0.005590	1.185
3	0.007074	0.006016	1.176
4	0.006867	0.005883	1.167
5	0.006248	0.005395	1.158
6	0.005444	0.004744	1.148
7	0.004702	0.004140	1.136

Tablo 3.11 incelendiğinde bodrum katta Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi})’nın 1.2’den büyük olduğu görülmektedir. TBDY 2018’e göre binanın herhangi bir katında burulma düzensizliği olması durumunda yani $1.2 < \eta_{bi} \leq 2$ ise bu kata uygulanan %5 ek dış merkezlik her iki deprem doğrultusunda D_{bi} katsayısı ile çarpılarak büyütülmesi gerekmektedir. Bodrum kat için D_{bi} katsayısı Denklem 3.3 ile elde edilmiştir.

$$D_{bbodrum\ kat} = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 = \left(\frac{1.21}{1.2} \right)^2 = 1.017 \quad (3.3)$$

Bodrum kat için artırılmış ek dışmerkezlik Denklem 2.4 ile elde edilmiştir.

$$\text{Artırılmış ek dışmerkezlik} = 1.017 \times 0.05 = 0.051 \text{ (\%5.1)} \quad (3.4)$$

Bodrum kat için elde edilen artırılmış ek dış merkezlik, etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebeden etkilerin kontrolü için hesaplanacak azaltılmış görelî kat ötelenmelerinde kullanılacaktır.

3.1.6. Döşeme Süreksizlikleri Kontrolü (A2)

- Herhangi bir kattaki döşemede, merdiven ve asansör boşlukları dâhil, boşluk alanları toplamı(A_b) kat brüt alanı(A)'nın $1/3$ 'ünden fazla ise binada A2 türü düzensizliklerinden durum – I bulunuyor demektir.
- İncelenen binada; Asansör boşluğu(A_{b1})= 5 m²; merdiven boşluğu(A_{b2})= 10 m²; kat brüt alanı(A)= 312 m² dir.
$$\frac{A_{b1}+A_{b2}}{A} = 0.048 < \frac{1}{3}$$
 olduğundan A2 türü düzensizliklerinden durum – I bulunmamaktadır.
- Herhangi bir kattaki döşemede, deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumunda A2 türü düzensizliklerinden durum – II vardır.
- İncelenen binada deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklar bulunmadığından A2 türü düzensizliklerinden durum – II yoktur.
- Herhangi bir kattaki döşemede, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumunda A2 türü düzensizliklerinden durum – III vardır.
- İncelenen binada, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmalar olmadığından A2 türü düzensizliklerinden durum – III yoktur.

3.1.7. Planda Çıkıntılar Bulunması kontrolü (A3)

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur.

İncelenen binada planda çıkıntılar olmadığından A3 düzensizliği yoktur.

3.1.8. Zayıf Kat Düzensizliği (B1) Kontrolü

Komşu katlar arası dayanım düzensizliği olarak da geçen zayıf kat düzensizliği, iki deprem doğrultusundan herhangi birinde ve herhangi bir kat için toplam etkili kesme alanı o katın bir üstündeki kattaki toplam etkili kesme alanına oranı olarak ifade edilmektedir. Dayanım düzensizliği katsayısı η_{ci} nin 0.8 den küçük olduğu durumlarda zayıf kat düzensizliği vardır.

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.8 \quad (3.5)$$

Denklem 3.5' e göre hesaplanması gereken dayanım düzensizliği katsayısı için katlardaki toplam etkili kesme alanının bulunması gerekmektedir. Toplam etkili kesme alanı Denklem 3.6 ile elde edilmektedir.

$$(\sum A_e)_i = (\sum A_w)_i + (\sum A_g)_i + (0.15 \sum A_k)_i \quad (3.6)$$

$(\sum A_e)_i$: i. kattaki toplam etkili kesme alanı (m^2)

$(\sum A_w)_i$: i. kattaki kolonların toplam etkili kesme alanı (m^2)

$(\sum A_g)_i$: i. kattaki perdelerin toplam etkili kesme alanı (m^2)

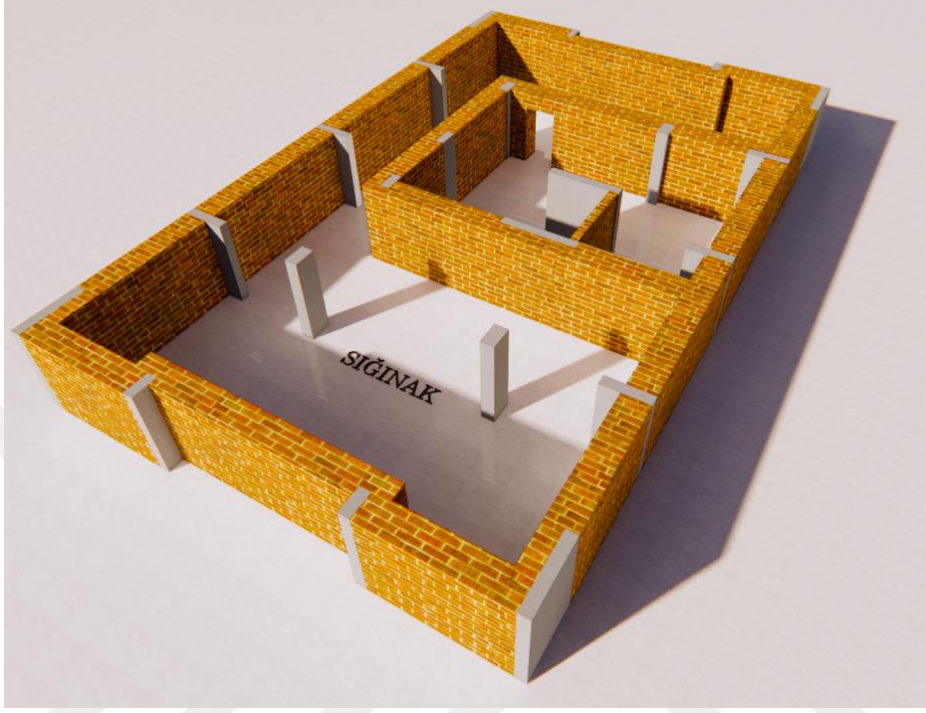
$(0.15 \sum A_k)_i$: i. kattaki dolgu duvarların %15'inin toplam etkili kesme alanı (m^2)

TBDY 2018'e göre bina da zayıf kat düzensizliği olması durumunda aşağıdaki koşulların yerine getirilmesi gerekmektedir.

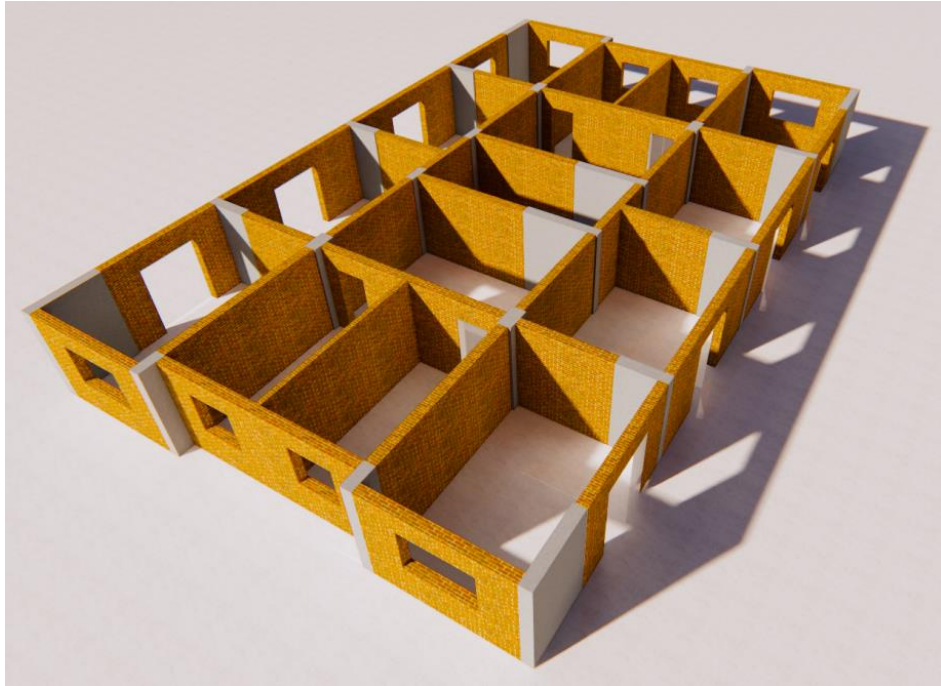
- $(\eta_{ci})_{\min} \geq 0.8$ ise; zayıf kat düzensizliği yoktur. Tasarımda değişiklik yapılmasına gerek duyulmaz.
- $(\eta_{ci})_{\min} < 0.6$ ise; zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabının tekrar yapılması gerekir.
- $0.6 < (\eta_{ci})_{\min} < 0.8$ ise; Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) her iki yön için de 1.25 ile çarpılmalıdır.

İncelenen binanın normal katlarının betonarme perde, kolon ve dolgu duvarlarının kesit alanları aynı olduğundan bu katların etkili kesme alanları aynı çıkacaktır. Dolayısıyla bu katlar arasında zayıf kat düzensizliğine bakmaya gerek yoktur. Bodrum katın

duvarlarının konumu ve boyutları normal katlara göre farklılıklar içermektedir. Bu durumda bodrum katın normal katlara göre zayıf kat olup olmadığı incelenecektir. Bodrum katın 3D modeli şekil 3.22’de, normal katların 3D modeli ise Şekil 3.23’te verilmiştir.



Şekil 3.22. Bodrum katın planının 3D modeli



Şekil 3.23. 1.2.3.4.5.6.7. katların planının 3D modeli

Kolon ve betonarme perdelerin kesit boyutları bodrum ve normal katlarda aynı olduğundan bu iki kattaki kolon ve betonarme perdelerin etkili kesme alanları tek bir tabloda gösterilmiştir. Bodrum ve normal katların her iki doğrultu için hesaplanan etkili kesme alanları Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12. Kolon ve perdelerin etkili kesme alanı

Adet	Kolon Boyutları		Kesme Alanı	Adet	Perde Boyutları		Kesme Alanı	
	X	Y			X	Y	X	Y
6	0.3	0.7	1.26	2	2.35	0.3	1.41	0
4	0.4	0.7	1.12	4	0.3	1.9	0	2.28
6	1.3	0.3	2.34	Toplam Etkili Kesme Alanı (ΣA_g) (m^2)			1.41	2.28
Toplam Etkili Kesme Alanı (ΣA_w) (m^2)			4.72					

İncelenen binanın bodrum kat çevresinde 75 cm kalınlığında bölme duvar bulunmaktadır. Bodrum kata ait bölme duvarların toplam etkili kesme alanları her iki doğrultu için Tablo 3.13’te verilmiştir.

Tablo 3.13. Bodrum kat duvarlarının etkili kesme alanı

X Yönü Duvar Bilgileri			Y Yönü Duvar Bilgileri			Kesme Alanı	
Adet	Duvar Uzunluğu	Duvar Kalınlığı	Adet	Duvar Uzunluğu	Duvar Kalınlığı	X	Y
4	2.75	0.75	2	22.45	0.75	8.25	33.675
2	7.20	0.75	1	6.05	0.75	10.80	4.5375
2	9.55	0.75	1	2.80	0.19	14.325	0.532
Toplam Etkili Kesme Alanı (ΣA_k) (m^2)						33.375	38.7445

1.katta dış duvarlarda 19 cm, iç duvarlarda ise 10 cm bölme duvarlar bulunmaktadır. Birinci kata ait bölme duvarların toplam etkili kesme alanları her iki doğrultu için Tablo 3.14’te verilmiştir.

Tablo 3.14. 1. kat duvarlarının etkili kesme alanı

X Yönü Duvar Bilgileri			Y Yönü Duvar Bilgileri			Kesme Alanı	
Adet	Duvar Uzunluğu	Duvar Kalınlığı	Adet	Duvar Uzunluğu	Duvar Kalınlığı	X	Y
2	13.50	0.19	2	18.40	0.19	3	4
2	13.65	0.10	2	18.40	0.10	2.73	2.6
Toplam Etkili Kesme Alanı ($\sum A_k$) (m^2)						8.13	11.04

Kolon, betonarme perde ve bölme duvarların etkili kesme alanları bulunduğundan sonra Denklem 3.6 ile bodrum ve birinci katın toplam etkili kesme alanı aşağıda elde edilmiştir.

- X doğrultu için toplam kat etkili kesme alanı:

$$(\sum A_e)_{\text{bodrum}} = (\sum A_w)_{\text{bodrum}} + (\sum A_g)_{\text{bodrum}} + (0.15 \sum A_k)_{\text{bodrum}} =$$

$$(\sum A_e)_{\text{bodrum}} = 4.72 + 1.41 + 0.15 \cdot 33.375 = 11.136 \, m^2$$

$$(\sum A_e)_{1.\text{kat}} = 4.72 + 1.41 + 0.15 \cdot 8.13 = 7.349 \, m^2$$

- Y doğrultu için toplam kat etkili kesme alanı:

$$(\sum A_e)_{\text{bodrum}} = (\sum A_w)_{\text{bodrum}} + (\sum A_g)_{\text{bodrum}} + (0.15 \sum A_k)_{\text{bodrum}} =$$

$$(\sum A_e)_{\text{bodrum}} = 4.72 + 2.28 + 0.15 \cdot 38.7445 = 12.812 \, m^2$$

$$(\sum A_e)_{1.\text{kat}} = 4.72 + 2.28 + 0.15 \cdot 11.04 = 8.656 \, m^2$$

Katların etkili kesme alanları belirlendikten sonra her bir doğrultu için Dayanım düzensizliği katsayısı $\eta_{(ci)}$ bodrum kat için aşağıda verildiği gibi elde edilmiştir.

$$\eta_{\text{cbodrum}}^{(X)} = \frac{11.13625}{7.3495} = 1.515 > 0.8$$

$$\eta_{\text{cbodrum}}^{(Y)} = \frac{12.811675}{8.656} = 1.48 > 0.8$$

Dayanım düzensizliği katsayıları incelendiğinde X ve Y doğrultularının ikisinde de $\eta_{ci} > 0.8$ çıkmaktadır. Dolayısı ile bodrum kat, birinci kata göre zayıf kat olmayacaktır. Bodrum katın toplam etkili kesme alanının fazla olmasının sebebi bodrum katta kullanılan duvar kalınlıklarının 75 cm olmasından kaynaklanmaktadır.

3.1.9. Yumuşak Kat Düzensizliği (B2) kontrolü

Yumuşak kat düzensizliği Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği olarak adlandırılmaktadır. İncelenen bir binada yumuşak kat düzensizliğinin olup olmadığına Rijitlik Düzensizliği Katsayısına(η_{ki}) bakılarak karar verilir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı (η_{ki}) 2.0'den fazla ise yumuşak kat düzensizliği vardır. X hesap doğrultusu için Rijitlik Düzensizliği Katsayısı (η_{ki}) hesaplanması Denklem 3.7' de gösterilmiştir.

$$\eta_{ki,(alt)} = \frac{\Delta_{i(ort)}^{(X)} / h_i}{\Delta_{i-1(ort)}^{(X)} / h_{i-1}} > 2$$
$$\eta_{ki,(üst)} = \frac{\Delta_{i(ort)}^{(X)} / h_i}{\Delta_{i+1(ort)}^{(X)} / h_{i+1}} > 2$$
(3.7)

İncelenen binanın her bir katının EXP,EXN,EYP,EYN deprem tiplerinin her biri için her iki doğrultuda Rijitlik Düzensizliği Katsayıları elde edilmiştir. Tablo 3.15'de her kat için 4 tip depreme göre bulunan Rijitlik Düzensizliği Katsayılarının en büyüğü yazılmıştır.

Tablo 3.15. Elde edilen rijitlik düzensizliği katsayıları

Kat	$\eta_{ki,(alt)}$	$\eta_{ki,(üst)}$	$\eta_{ki,(max)}$
Bodrum	-	0.46391	0.46391
1	2.26804	0.81125	2.26804
2	1.28417	0.96493	1.28417
3	1.07621	1.06258	1.07621
4	0.97798	1.14068	1.14068
5	0.91696	1.20455	1.20455
6	0.87941	1.23317	1.23317
7	0.87279	-	0.87279

Tablo 3.15 incelendiğinde 1. Katta Rijitlik Düzensizliği katsayısı $\eta_{ki,(max)} > 2$

olduğu için 1.katta yumuşak kat düzensizliği vardır. Binada yumuşak kat düzensizliğinin olması ilerleyen bölümlerde yapılacak olan azaltılmış yerdeğiştirmelerin eşdeğer taban kesme kuvvetine göre büyütülmesi kontrolü esnasında dikkate alınacaktır.

3.1.10. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği Kontrolü (B3)

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması ya da üst kattaki perdelerin alttaki kolonlara oturtulması durumudur.

İncelenen binada Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarında süreksizlik olmadığından B3 düzensizliği yoktur.

3.1.11. Devrilme Momenti Kontrolü

TBDY 2018’de, perdeli – çerçevesel binalarda betonarme perdelerin taban devrilme momenti(M_{DEV}) için Deprem tasarım sınıfı ve süneklik düzeyine bağlı olarak aşağıda verilen koşullar getirilmiştir.

1) 4.3.2.4 maddesi ile verilen koşullar:

DTS = 1, 1a, 2, 2a olan betonarme perdeli ve/veya çelik çaprazlı çerçevesel binalarda, herhangi bir doğrultuda aşağıda a ve b ile verilen iki koşuldan birinin sağlanamaması durumunda, o doğrultuda Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) yerine $(4/5)R$ göz önüne alınmalıdır. Dayanım Fazlalığı Katsayısı D’de herhangi bir değişiklik yapılmayacaktır.

- a) Tek bir perdede meydana gelen taban devrilme momenti (M_{DEV}), o deprem doğrultusu için tüm düşey taşıyıcı elamanlarında meydana gelen toplam taban devrilme momentinin (M_o), $1/3$ ’ ünden fazla olmamalıdır. Bu ifade Denklem 3.8’ de gösterilmiştir.

$$M_{DEV} \leq (1/3) M_o \quad (3.8)$$

- b) Binanın kenar akslarında bulunan perde veya perdelerin aldığı taban devrilme momentlerinin (M_{DEV}) toplamı, o deprem doğrultusu için tüm düşey taşıyıcı elamanlarında meydana gelen toplam taban devrilme momentinin (M_o), $1/6$ ’sından az olmamalıdır. Bu ifade Denklem 3.9’ da gösterilmiştir.

$$M_{DEV} \geq (1/6) M_o \quad (3.9)$$

2) 4.3.4.5 maddesi ile verilen koşul:

Süneklik düzeyi yüksek boşluklu veya boşluksuz betonarme perdeli binalarda, perdelerin veya çaprazlı çerçevelerin tabanında deprem yüklerinden dolayı meydana gelen devrilme momentlerinin toplamı ($\sum M_{DEV}$), binanın tümü için deprem yüklerinden tabanda meydana gelen toplam devrilme momentinin ($\sum M_0$) %40'ından az, %75'inden fazla olmamalıdır.

$$0.40 M_0 \leq \sum M_{DEV} \leq 0.75 M_0 \quad (3.10)$$

Denklem 3.10' un alt sınır ve üst sınır koşullarını sağlamadığı durumlarda yönetmelikte aşağıda belirtilen şartlar uygulanır.

- $\sum M_{DEV} > 0.75 M_0$ ise Tablo 5.8'de deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek perdelerle veya çaprazlı çerçevelerle karşılandığı durumlar için tanımlanan R ve D katsayıları ile izin verilen en üst BYS dikkate alınmalıdır.
- $0.40 M_0 < \sum M_{DEV}$ ise R ve D katsayılarında değişiklik yapılmamalı, ancak izin verilen en üst BYS'nin bir fazlası dikkate alınmalıdır.

İncelenen binanın DTS değeri daha önceki bölümlerde 1 olarak belirlenmişti. Binanın 4.3.2.4 ve 4.3.4.5 ile verilen koşulların kontrolünün yapılması gerekmektedir. Bunun için binanın deprem yükleri altında analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu her bir betonarme perde için elde edilen taban devrilme momenti (M_{DEV}) deprem yüklerine bağlı olarak Tablo 3.16'da, kat hizalarına etkiyen yükler ise Tablo 3.17'de verilmiştir.

Tablo 3.16. Perdelerin taban devrilme momentleri (M_{DEV})

Perde adı	Yük Tipi	
	(EXP-M, EXN-M)	(EYP-M, EYN-M)
P101	2239	-
P102	2239	-
P103	-	1489
P104	-	1489
P105	-	1588
P106	-	1588

Tablo 3.17. Kat hizalarına etkiyen deprem yükleri (F,kN)

Katlar	Doğrultu	
	X	Y
7. kat	785.813	846.606
6. kat	123.178	30.199
5. kat	138.05	191.656
4. kat	172.817	158.458
3. kat	147.445	156.009
2. kat	169.349	161.873
1. kat	211.575	198.428
Bodrum kat	116.864	139.466

X hesap doğrultusu için toplam taban devrilme momenti ($M_o^{(X)}$) Denklem 3.11' ile elde edilir.

$$M_o^{(X)} = \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} H_i \quad (3.11)$$

Tablo 3.17' den alınan veriler Denklem 3.11 kullanarak binanın X ve Y doğrultularının toplam taban devrilme momentleri(M_o) aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$M_o^{(X)} = F_8 H_8 + F_7 H_7 + F_6 H_6 + F_5 H_5 + F_4 H_4 + F_3 H_3 + F_2 H_2 + F_1 H_1$$

$$M_o^{(X)} = (785.813 \times 22.4) + (123.18 \times 19.6) + (138.05 \times 16.8) + (172.82 \times 14) + (147.45 \times 11.2) + (169.35 \times 8.4) + (211.575 \times 5.6) + (116.86 \times 2.8)$$

$$M_o^{(X)} = \mathbf{29341.119 \text{ kN.m}}$$

$$M_o^{(Y)} = F_8 H_8 + F_7 H_7 + F_6 H_6 + F_5 H_5 + F_4 H_4 + F_3 H_3 + F_2 H_2 + F_1 H_1$$

$$M_o^{(Y)} = (846.606 \times 22.4) + (30.12 \times 19.6) + (191.565 \times 16.8) + (158.46 \times 14) + (156.10 \times 11.2) + (161.87 \times 8.4) + (198.43 \times 5.6) + (139.47 \times 2.8)$$

$$M_o^{(Y)} = \mathbf{29602.859 \text{ kN.m}}$$

Kalıp planına bakıldığında P101 ve P102 perdeleri X doğrultusu, P103, P104, P105, P106 perdeleri ise Y doğrultusu perdeleridir. P101 ve P102 perdeleri X doğrultusunda binanın iç akslarındadır. P103, P104, P105, P106 perdeleri ise Y doğrultusunda binanın kenar akslarındadır.

- TBDY 2018 madde 4.3.2.4(a)'nın kontrolü

- X hesap doğrultusu için kontrol;

$$\frac{(M_{DEV})_{P101}}{M_o^{(X)}} = \frac{(M_{DEV})_{P102}}{M_o^{(X)}} = \frac{2239}{29341.119} = \frac{0.23}{3} < \frac{1}{3} \checkmark$$

- Y hesap doğrultusu için kontrol;

$$\frac{(M_{DEV})_{P103}}{M_o^{(Y)}} = \frac{(M_{DEV})_{P104}}{M_o^{(Y)}} = \frac{1489}{29602.859} = \frac{0.15}{3} < \frac{1}{3} \checkmark$$

$$\frac{(M_{DEV})_{P105}}{M_o^{(Y)}} = \frac{(M_{DEV})_{P106}}{M_o^{(Y)}} = \frac{1588}{29602.859} = \frac{0.16}{3} < \frac{1}{3} \checkmark$$

- TBDY 2018 madde 4.3.2.4(b)'nin kontrolü

- X hesap doğrultusu için kontrol;

X hesap doğrultusunda kenar akslarda perde duvar yoktur.

- Y hesap doğrultusu için kontrol;

$$\frac{(M_{DEV})_{P103} + (M_{DEV})_{P104} + (M_{DEV})_{P105} + (M_{DEV})_{P106}}{M_o^{(Y)}} = \frac{1489 + 1489 + 1588 + 1588}{29602.859} = \frac{1.25}{6} > \frac{1}{6} \checkmark$$

İncelenen binanın her iki doğrultusu da 4.3.2.4(a) ve 4.3.2.4(b) koşullarının ikisini de sağladığından her iki doğrultuda da Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)'ni değiştirmeye gerek yoktur.

- TBDY 2018 madde 4.3.4.5'in kontrolü

- X hesap doğrultusu için kontrol;

$$\frac{(M_{DEV})_{P101} + (M_{DEV})_{P102}}{M_o^{(X)}} = \frac{2239 + 2239}{29341.119} = 0.15 < 0.4 \text{ X}$$

- Y hesap doğrultusu için kontrol;

$$\frac{(M_{DEV})_{P103} + (M_{DEV})_{P104} + (M_{DEV})_{P105} + (M_{DEV})_{P106}}{M_o^{(Y)}} = \frac{1489 + 1489 + 1588 + 1588}{29602.859} = 0.2 < 0.4 \text{ X}$$

X ve Y hesap doğrultularının her ikisi de 4.3.4.5 maddesinin alt koşulunu sağlamamaktadır. Bu durumda izin verilen en üst BYS'nin bir fazlası dikkate alınmalıdır. Daha önceki bölümlerde incelenen binanın taşıyıcı sistemine bağlı olarak izin verilen bina yükseklik sınıfı (BYS) ≥ 2 olarak belirlenmişti. İzin verilen en üst BYS'nin bir fazlası

dikkate alındığında (BYS) ≥ 3 olmalıdır. İncelenen binanın BYS Değeri 5 olduğundan binanın taşıyıcı sistemi izin verilen bina yükseklik sınıfını sağlamaktadır.

3.1.12. Azaltılmış Yerdeğiştirmelerin Eşdeğer Taban Kesme Kuvvetine Göre Büyütülmesi Kontrolü

Mod birleştirme yöntemine göre yapılacak etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebeden etkilerin kontrolü için mod birleştirmeye göre elde edilen taban kesme kuvvetinin (V_{tx}) eşdeğer deprem yüküne göre elde edilen taban kesme kuvveti (V_{tE}) ile kıyaslanması gerekmektedir. Herhangi bir katta $V_{tx} < \gamma_E V_{tE}$ ise mod birleştirme yöntemine göre elde edilen iç kuvvet ve yerdeğiştirmelerin Denklem 3.12 ile verilen eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ile büyütülmesi gerekmektedir.

$$\beta_{tE}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{tE}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} \geq 1 \quad (3.12)$$

Binada, A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden hiç biri yok ise $\gamma_E = 0.8$, en az biri var ise $\gamma_E = 0.9$ alınmalıdır. İncelenen binada A1, ve B2 düzensizlikleri bulunduğu için $\gamma_E = 0.9$ alınmıştır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılan hesaplarda $V_{tE}^{(X)} = V_{tE}^{(Y)} = 2131.236 \text{ kN}$, Mod birleştirme yöntemine göre yapılan hesaplarda $V_{tx}^{(X)} = 1864.876 \text{ kN}$, $V_{tx}^{(Y)} = 1882.3 \text{ kN}$ olarak elde edilmiştir.

Mod birleştirme yöntemine göre her iki doğrultu için elde edilen taban kesme kuvvetleri eşdeğer deprem yükü ile elde edilen değerler ile aşağıda kıyaslanmıştır.

$$\frac{V_{tx}^{(X)}}{V_{tE}^{(X)}} = \frac{1864.876}{2131.236} = 0.87502 < 0.9 \text{ olduğundan } \beta_{tE}^{(X)} \text{ hesaplanmalıdır}$$

$$\frac{V_{tx}^{(Y)}}{V_{tE}^{(Y)}} = \frac{1882.3}{2131.236} = 0.8832 < 0.9 \text{ olduğundan } \beta_{tE}^{(Y)} \text{ hesaplanmalıdır.}$$

Her iki doğrultu için elde edilen yerdeğiştirmelerin taban kesme kuvveti büyütme Katsayısı ile büyütülmesi gerektiği belirlenmiştir. X ve Y doğrultularının taban kesme kuvveti büyütme katsayıları aşağıda verilmiştir.

$$\beta_{te}^{(X)} = \frac{\gamma_E V_{te}^{(X)}}{V_{tx}^{(X)}} = \frac{0.9 \times 2131.236}{1864.876} = 1.029$$

$$\beta_{te}^{(Y)} = \frac{\gamma_E V_{te}^{(Y)}}{V_{tx}^{(Y)}} = \frac{0.9 \times 2131.236}{1882.3} = 1.019$$

Bulunan bu büyütme katsayıları ile katların azaltılmış görelî ötelenme değeri artırılacaktır. Bu artırma katsayılarının SAP 2000 programına girilmesi Şekil 3.24'te verilmiştir.

Etkin görelî kat ötelenmeleri kontrolü ve ikinci mertebeden etkilerin kontrolünde bu artırılmış görelî kat ötelenme değeri kullanılacaktır.

Joint	U1	U2	U3	R1	R2	R3
45	1.029	0.	0.	0.	0.	0.
45	1.029	0.	0.	0.	0.	0.

Şekil 3.24. X doğrultusu için azaltılmış iç kuvvetlerin büyütülmesi

3.1.13. Etkin Görelî Kat Ötelenmeleri Kontrolü

Binanın i'inci katındaki düşey taşıyıcı elemanların etkin görelî kat öteleme değeri ($\delta_i^{(X)}$) X hesap doğrultusu için Denklem 3.13 ile elde edilmektedir.

$$\delta_i^{(X)} = \frac{R}{I} \Delta_i^{(X)} \quad (3.13)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki düşey taşıyıcı elemanların Denklem 3.13 ile hesaplanan etkin görelî kat ötelenmelerinin kat içindeki en büyük değeri $\delta_{i,max}^{(X)}$, dolgu duvarlar ve cephe elemanları ile çerçeve elemanlar arasında esnek derz yok ise denklem 3.14a koşulunu, esnek derz var ise denklem 3.14b koşulunu sağlaması gereklidir.

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.008 \kappa \quad (3.14a)$$

$$\lambda \frac{\delta_{i,max}^{(X)}}{h_i} \leq 0.016 \kappa \quad (3.14b)$$

Denklem 3.14'te yer alan κ katsayısı betonarme binalar için $\kappa = 1$, çelik binalar için $\kappa = 0.5$ alınmaktadır.

Denklem 3.14'te yer alan λ katsayısı, binanın gözönüne alınan deprem doğrultusundaki hakim titreşim periyoduna bağlı olarak DD-3 deprem yer hareketine göre hesaplanan Elastik Tasarım Spektral İvmesi'nin, DD-2 deprem yer hareketine göre hesaplanan Elastik Tasarım Spektral İvmesi'ne oranıdır (Denklem 3.15).

$$\lambda^X = \frac{S_{ae}(T_p^X)(DD3)}{S_{ae}(T_p^Y)(DD2)} \quad (3.15)$$

İncelenen binada dolgu duvarlar ve cephe elemanları ile çerçeve elemanlar arasında esnek derz yoktur. Denklem 3.15 ve denklem 3.14a, Denklem 3.13' te yerine yazılırsa X hesap doğrultusu için görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri ($\Delta_{i,max}^{(X)}$) için sınır değeri ($\Delta_{i,sınır}^{(X)}$) elde edilmiş olur (Denklem 3.16).

$$\Delta_{i,sınır}^{(X)} = 0.008 * \frac{I}{R} * h_i * \frac{S_{ae}(T)(DD2)}{S_{ae}(T)(DD3)} \quad (3.16)$$

$\Delta_{i,max}^{(X)} > \Delta_{i,sınır}^{(X)}$ ise taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

Denklem 3.17'de Deprem Yer Hareketi Düzeyleri'ne göre verilen *Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi* ($S_{ae}(T)$), binanın doğal titreşim periyoduna bağlı olarak Denklem 3.17 ile hesaplanmaktadır.

$$\begin{aligned}
S_{ae}(T) &= \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} & (0 \leq T \leq T_A) \\
S_{ae}(T) &= S_{DS} & (T_A \leq T \leq T_B) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1}}{T} & (T_B \leq T \leq T_L) \\
S_{ae}(T) &= \frac{S_{D1} T_L}{T^2} & (T_L \leq T)
\end{aligned} \tag{3.17}$$

Denklem 3.17’de yer alan T_A ve T_B Yatay tasarım spektrumunun köşe periyotları olup denklem 3.18 ile hesaplanmaktadır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3.18}$$

Daha önceki bölümlerde yer alan bina önem katsayısı(I) 1 olarak ve Taşıyıcı sistem davranış katsayısı(R) her iki doğrultuda 7 olarak elde edilmişti. İncelenen binanın her iki doğrultusunun $\Delta_{i,sınır}^{(X)}$ değerlerinin elde edilmesi için deprem yer hareketine göre elastik tasarım spektral ivmesi($S_{ae}(T)$) hesaplanacaktır. Daha önceki bölümlerde binanın X doğrultusunun hakim titreşim periyodu(T_p^X) 1.189 sn, Y doğrultusunun hakim titreşim periyodu(T_p^Y) 1.152 sn olarak elde edilmişti.

- DD2 için $S_{ae}(T)$ hesabı

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0.2 \frac{0.482}{0.973} = 0.1 \text{ sn}; \quad T_B = \frac{0.482}{0.973} = 0.495 \text{ s}$$

➤ X doğrultusu için;

$$T_B(0.495) \leq T_p^X(1.189) \leq T_L(6) \Rightarrow S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.482}{1.189} = 0.405g$$

➤ Y doğrultusu için;

$$T_B(0.495) \leq T_p^Y(1.152) \leq T_L(6) \Rightarrow S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.482}{1.152} = 0.418g$$

- DD3 için $S_{ae}(T)$ hesabı

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{Ds}} = 0.2 \frac{0.218}{0.489} = 0.892 \text{ sn};$$

$$T_B = \frac{0.218}{0.489} = 0.446 \text{ s}$$

➤ X doğrultusu için;

$$T_B(0.446) \leq T_p^X(1.189) \leq T_L(6) \Rightarrow S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.218}{1.189} = 0.183g$$

➤ Y doğrultusu için;

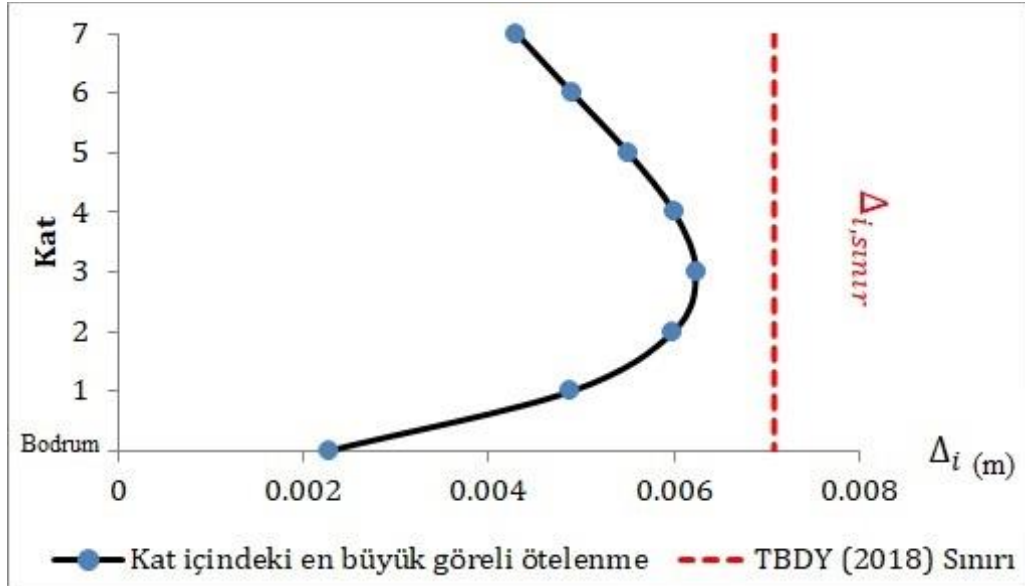
$$T_B(0.446) \leq T_p^X(1.152) \leq T_L(6) \Rightarrow S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0.218}{1.152} = 0.189g$$

X ve Y doğrultularının DD2 ve DD3 için $\Delta_{i,sınır}$ değerleri aşağıda hesaplanmıştır.

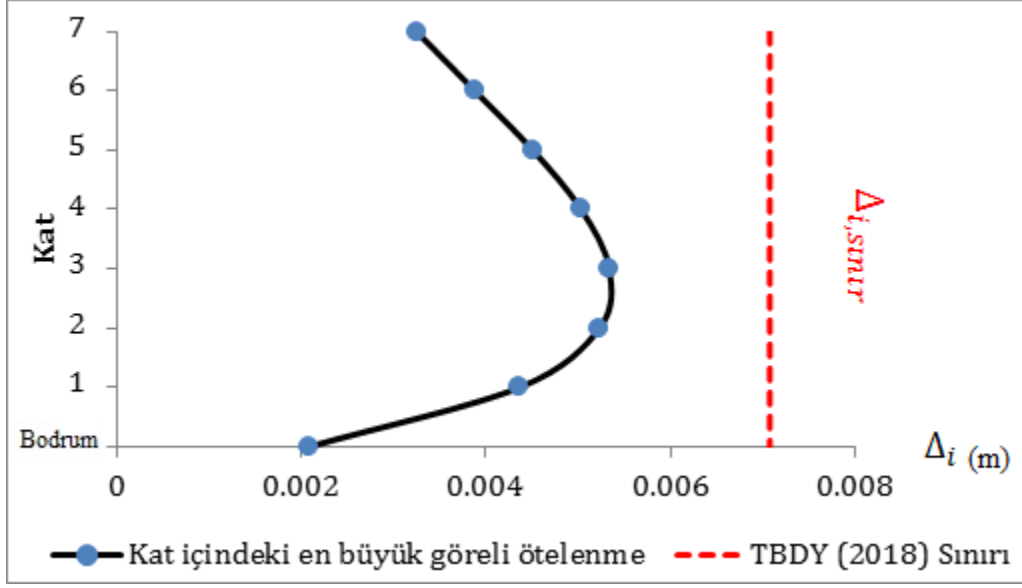
$$\Delta_{i,sınır}^{(X)} = 0.008 * \frac{I}{R} * h_i * \frac{S_{ae}(T)(DD2)}{S_{ae}(T)(DD3)} = 0.008 * \frac{1}{7} * 2.8 * \frac{0.405g}{0.183g} = 0.007082 \text{ m}$$

$$\Delta_{i,sınır}^{(Y)} = 0.008 * \frac{I}{R} * h_i * \frac{S_{ae}(T)(DD2)}{S_{ae}(T)(DD3)} = 0.008 * \frac{1}{7} * 2.8 * \frac{0.418g}{0.189g} = 0.007077 \text{ m}$$

İncelenen binanın her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki düşey taşıyıcı elemanların azaltılmış göreceli ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri ($\Delta_{i,max}$) tüm katlar için belirlenmiş olan ($\Delta_{i,sınır}$) ile kıyaslanmıştır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. X doğrultusu için göreceli kat ötelenmesi kontrolü



Şekil 3.26. Y doğrultusu için görel kat ötelenmesi kontrolü

Şekil 3.25 ve 3.26 incelendiğinde tüm katlarda her iki doğrultuda $\Delta_{i,max} < \Delta_{i,sınır}$ olduğu görülmektedir. Dolayısıyla binanın her iki doğrultusunda etkin görel kat ötelenmeleri yönetmelikte verilen sınırı aşmamaktadır.

3.1.13.1. İkinci Mertebe Etkileri

Binanın i'inci katının X hesap doğrultusunda İkinci Mertebe Gösterge Değeri($\theta_{II,i}^{(X)}$) Denklem 3.19 ile elde edilmektedir.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N W_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (3.19)$$

Denklem 3.19' da verilen $(\Delta_i^{(X)})_{ort}$; i. katta azaltılmış görel kat ötelenmelerinin ortalama değerini, $\sum_{k=i}^N W_k$; k. kata etkiyen toplam düşey yük, $V_i^{(X)}$; X doğrultusu için i. kata etkiyen kat kesme kuvvetini, h_i ; i. katın kat yüksekliğini ifade etmektedir.

Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}^{(X)}$ 'lerin maksimum değeri($\theta_{II,max}^{(X)}$), Denklem 3.20 ile elde edilen ikinci mertebe gösterge sınır değeri($\theta_{II,sınır}^{(X)}$)'nden küçük veya eşit ise, X hesap doğrultusunda ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınması gerekli değildir.

$$\theta_{II,sınır}^{(X)} = 0.12 \frac{D}{C_h R} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20' de verilen (R) Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve (D) Dayanım Fazlalığı Katsayısını ifade etmektedir. C_h ile gösterilen ifade ise taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan histeretik davranışına bağlı bir katsayıdır. Betonarme yapılarda $C_h = 0.5$, kompozit kolonlu ve çelik yapılarda ise $C_h = 1$ alınmaktadır.

Tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}^{(X)}$ 'lerin maksimum değeri ($\theta_{II,max}^{(X)}$) Denklem 3.19 ile elde edilen $\theta_{II,sınır}^{(X)}$ değerinden büyükse, aşağıdaki iki seçenektan biri uygulanmalıdır.

- 1) X hesap doğrultusunda tüm iç kuvvetleri denklem 3.21 ile hesaplanan ikinci mertebe büyütme katsayısı ($\beta_{II}^{(X)}$) ile çarparak arttırmak.

$$\beta_{II}^{(X)} \leq 0.88 + \frac{C_h R}{D} \theta_{II,max}^{(X)} \geq 1 \quad (3.21)$$

- 2) Taşıyıcı sistemin rijitlik ve/veya dayanımının uygun şekilde artırarak deprem hesabını yenilemek.

X hesap doğrultusu için yapılan ikinci mertebe etkileri kontrolü Y hesap doğrultusu için de yapılmalıdır.

İncelenen binada, tüm katlar için hesaplanacak ikinci mertebe gösterge değerlerinin olabileceği en büyük değer Denklem 3.22 ile hesaplanmıştır. X ve Y doğrultularının (R) ve (D) katsayıları aynı olduğundan ikinci mertebe gösterge sınır değerleri eşit çıkmıştır.

$$\theta_{II,sınır}^{(X)} = \theta_{II,sınır}^{(Y)} = 0.12 \frac{D}{C_h R} = 0.12 \frac{2.5}{0.5 \times 7} = 0.0857 \quad (3.22)$$

İncelenen binanın her bir katının İkinci Mertebe Gösterge Değerinin belirlenmesi için katların ağırlıklarının belirlenmesi gereklidir. SAP 2000 ile belirlenen kat ağırlıkları ile bu ağırlıkların toplanması ile elde edilen kata etkiyen toplam düşey yükler ($\sum_{k=i}^N W_k$) Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18. Katlara etkiyen toplam düşey yük (kN)

Kat	Kat ağırlıkları (W)	$\sum_{k=i}^N W_k$
Bodrum Kat	4026.190	4026.190
1.Kat	4026.190	8052.380
2.Kat	4026.190	12078.570
3.Kat	4026.190	16104.760
4.Kat	4026.190	20130.950
5.Kat	4026.190	24157.140
6.Kat	4026.190	28183.330
7.Kat	3340.118	31523.448

Mod birleştirme yöntemi ile yapılan deprem hesabı sonucu katlara etkiyen kesme kuvvetleri elde edilmiş, X ve Y hesap doğrultuları için elde edilen bu değerler Tablo 3.19’ da verilmiştir.

Tablo 3.19. Kat kesme kuvvetleri (kN)

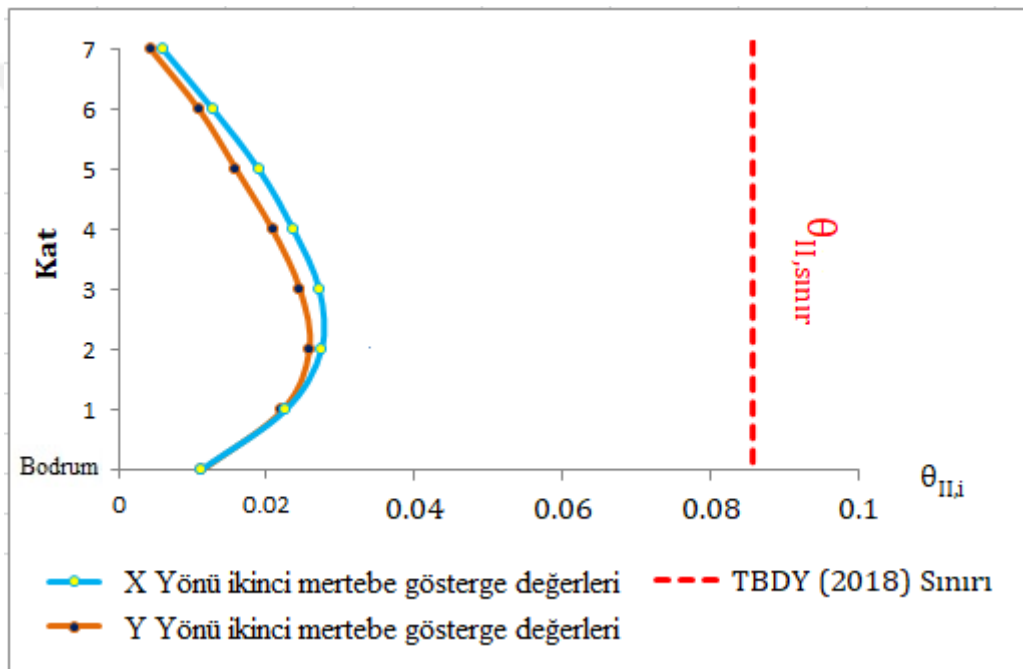
Kat	Kat kesme kuvvetleri	
	$V_i^{(X)}$	$V_i^{(Y)}$
Bodrum	1864.876	1882.322
1	1748.227	1743.229
2	1536.652	1544.801
3	1367.303	1382.928
4	1219.858	1226.919
5	1047.041	1068.461
6	908.991	876.805
7	785.813	846.606

Mod birleştirme yöntemi ile yapılan deprem hesabı sonucu her bir katın azaltılmış göreceli kat ötelenmelerinin ortalama değeri 4 deprem tipi için elde edilmiştir (Tablo 3.20).

Tablo 3.20. Azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin ortalama değeri

Kat		Azaltılmış görelî kat ötelenmelerinin ortalama değeri(m)	
	Deprem tipi	$(\Delta_i^{(X)})_{ort}$	$(\Delta_i^{(Y)})_{ort}$
Bodrum	EXP-M	0.001836	-
	EXN-M	0.001836	-
	EYP-M	-	0.0018845
	EYN-M	-	0.0018845
1	EXP-M	0.004037	-
	EXN-M	0.004037	-
	EYP-M	-	0.003957
	EYN-M	-	0.003957
2	EXP-M	0.0050585	-
	EXN-M	0.0050585	-
	EYP-M	-	0.004782
	EYN-M	-	0.004782
3	EXP-M	0.005381	-
	EXN-M	0.005381	-
	EYP-M	-	0.0049185
	EYN-M	-	0.0049185
4	EXP-M	0.005268	-
	EXN-M	0.005268	-
	EYP-M	-	0.0046625
	EYN-M	-	0.0046625
5	EXP-M	0.0049075	-
	EXN-M	0.0049075	-
	EYP-M	-	0.004194
	EYN-M	-	0.004194
6	EXP-M	0.0044275	-
	EXN-M	0.0044275	-
	EYP-M	-	0.0036225
	EYN-M	-	0.0036225
7	EXP-M	0.003924	-
	EXN-M	0.003924	-
	EYP-M	-	0.0030345
	EYN-M	-	0.0030345

Tablo 3.18, Tablo 3.19 ve Tablo 3.20 verileri Denklem 3.19’da yerine koyularak her bir katın İkinci Mertebe Gösterge Değerleri($\theta_{II,i}^{(X)}$) 4 deprem tipi için de elde edilmiştir. Her bir katta EXP-M ve EXN-M deprem tipleri için elde edilen İkinci Mertebe Gösterge Değerlerinin en büyüğünün alınması ile elde edilen değer ilgili katın X doğrultusunun İkinci Mertebe Gösterge Değeri($\theta_{II,i}^{(X)}$) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde Y doğrultusunda da her bir katın İkinci Mertebe Gösterge Değeri($\theta_{II,i}^{(Y)}$) belirlenmiştir. Her bir katın İkinci Mertebe Gösterge Değeri($\theta_{II,i}^{(X)}$) Denklem 3.22 ile elde edilen ikinci mertebe gösterge sınır değeri ile kıyaslanmıştır (Şekil 3.27).



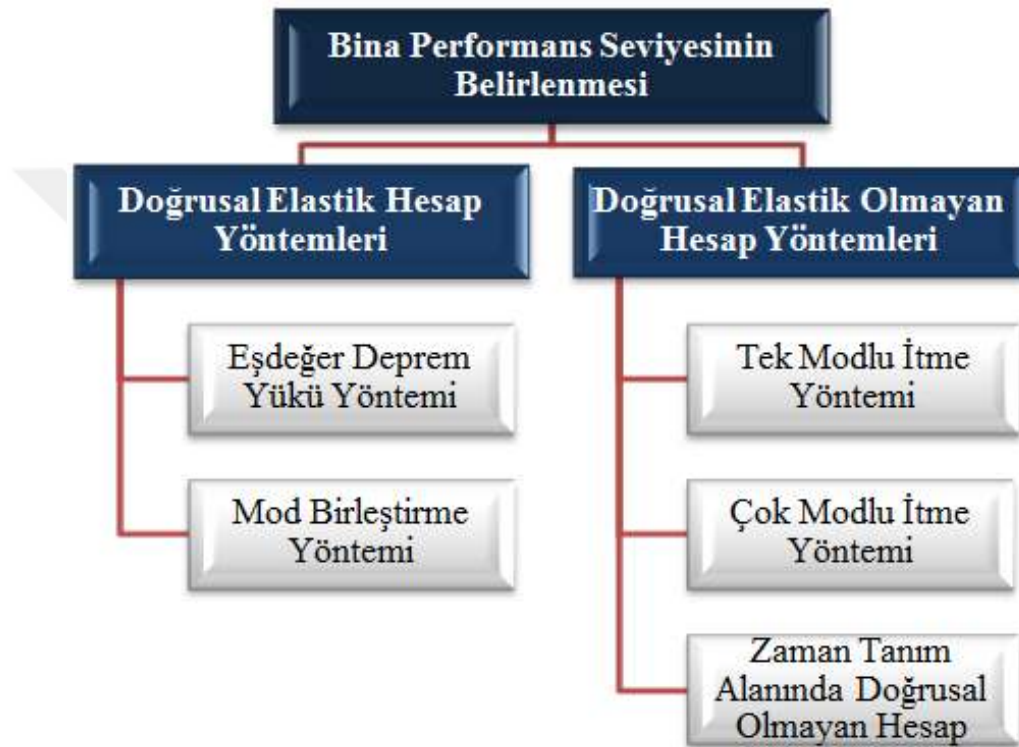
Şekil 3.27. X ve Y doğrultusu için ikinci mertebe etkileri kontrolü

Şekil 3.27 incelendiğinde X ve Y doğrultularının ikisinde de tüm katlar için hesaplanan $\theta_{II,i}^{(X)}$ ’lerin her biri, ikinci mertebe gösterge sınır değeri ($\theta_{II,sınır}^{(X)}$)’nden küçük çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla X ve Y hesap doğrultularının ikisinde de ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında göz önüne alınması gerekli değildir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. 8 Katlı Betonarme Binanın Performansının Belirlenmesi

Bu bölümde 3. Bölümde tasarım kontrolleri yapılan binanın performansı belirlenmiştir. Mevcut veya yeni yapılacak betonarme binaların performans seviyesinin belirlenmesi için TBDY 2018’de doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan olmak üzere iki yöntem önerilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Bina performansının belirlenmesindeki yöntemler

Doğrusal elastik hesap yöntemi, dayanım (kuvvet) altında çözüme ulaştırırken, doğrusal elastik olmayan hesap yönteminde şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme odaklı çözüm yapılmaktadır. Bu çalışmada incelenen binanın performansı doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden tek modlu itme yöntemi ile yapılmıştır.

4.1.1. Kesit Hasar Durumları

TBDY 2018’de sünek elemanlar için kesit düzeyinde Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) olmak üzere üç hasar durumu ve hasar sınırı tanımlanmıştır. Kesitteki sınırlı miktarda elastik ötesi davranış sınırlı hasarla, kesit

dayanımının güvenli olarak sağlanabileceği elastik ötesi davranış kontrollü hasarla, ileri düzeyde elastik ötesi davranış ise göçme öncesi hasarla ifade edilmektedir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar bu sınıflandırmaya dahil edilmez.

4.1.2. Kesit Hasar Sınırları

TBDY 2018’de yayılı ve yığılı plastik davranış modellerine bağlı olarak kesit hasar sınırları verilmiştir. Yayılı plastik davranış modelinde şekildeğiştirmeye bağlı hasar sınırları, yığılı plastik davranış modelinde ise plastik dönme kapasitesine bağlı hasar sınırları verilmiştir. Bu çalışmada çubuk eleman olarak modellenen kolon, kiriş ve betonarme perdelerde, doğrusal olmayan davranış modeli olarak Yığılı Plastik Davranış (Plastik Mafsal) Modeli kullanılmıştır. Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları için yığılı plastik davranış modeline göre verilen hasar sınırları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Hasar durumlarına göre dönme kapasitesi sınırları

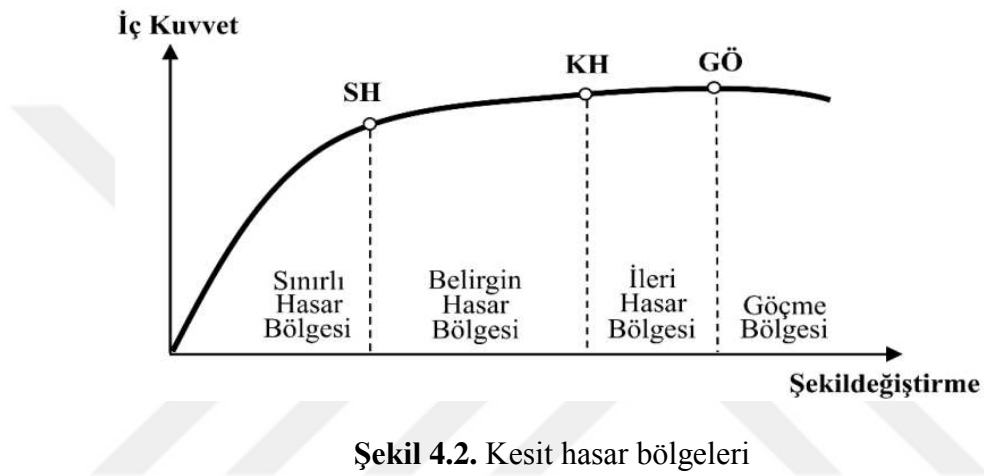
Hasar Durumu	Plastik Dönme Sınırı(θ_p)
GÖ	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$
KH	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$
SH	$\theta_p^{(SH)} = 0$

Bu denklemde ϕ_u ile verilen kesitteki göçme öncesi toplam eğriliği, ϕ_y plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğriliğini, L_s kesme açıklığını, L_p plastik mafsal boyunu, d_b ise düğüm noktasındaki donatıların ortalama çapını ifade etmektedir.

Bu çalışmada, kesme açıklığı (L_s) kolon ve kirişlerde net açıklığın yarısı, perdelerde ise her katın tabanından perde tepesine olan uzaklığın yarısı olarak alınmıştır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)’nun yarısına eşit alınmıştır.

4.1.3. Kesit Hasar bölgeleri

TBDY 2018’de Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi, İleri Hasar Bölgesi ve Göçme bölgesi olmak üzere 4 hasar bölgesi tanımlanmıştır. Elemanın hangi hasar bölgesinde kaldığına elemanın kritik kesitindeki hasara bakarak karar verilir. Eğer elemanın hasarı, sınırlı hasara ulaşamamışsa sınırlı hasar bölgesinde, sınırlı ile kontrollü hasar arasında ise belirgin hasar bölgesinde, kontrollü hasar ile göçme öncesi arasında ise ileri hasar bölgesinde, Göçme öncesi hasar sınırını aşmışsa göçme bölgesindedir (Şekil 4.2).



4.1.4. Performans Düzeyleri

TBDY 2018’de betonarme yapılar için Kesintisiz Kullanım(KK) performans düzeyi, Sınırlı Hasar (SH) performans düzeyi, Kontrollü Hasar (KH) performans düzeyi, Göçmenin Önlenmesi (GÖ) performans düzeyi olmak üzere 4 performans düzeyi verilmiştir. Bu dört performans düzeyinden herhangi birini sağlayamayan binalar Göçme Durumu’ndadır.

4.1.4.1. Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Kesintisiz Kullanım (KK) performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma ifade etmektedir.

4.1.4.2. Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının sınırlı düzeyde hasar görmesi veya doğrusal olmayan davranışın sınırlı kalmasını ifade eden performans düzeyidir. TBDY 2018'e göre binanın performans seviyesinin sınırlı hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binaın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin en fazla %20'si *Belirgin Hasar Bölgesi*' ne geçebilir.
- Düşey taşıyıcı elemanların tamamı *Sınırlı Hasar Bölgesi* içerisinde bulunmak zorundadır.
- Gevrek hasar gören elemanlar var ise, bu elemanların güçlendirilmesi gerekmektedir.

4.1.4.3. Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının can güvenliğini sağlayacak şekilde çok ağır olmayan hasar görmesi veya meydana gelen hasarın onarılabilir olması durumunu ifade eder. TBDY 2018'e göre binanın performans seviyesinin kontrollü hasar olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binaın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %35'lik kısmı *İleri Hasar Bölgesi*' ne geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dahil edilmez.
- *İleri Hasar Bölgesi*'nde bulunun düşey taşıyıcı elemanların, her kat için düşey taşıyıcı elemanlar tarafından karşılanan kesme kuvvetine toplam katkısı %20' den daha az olmalıdır. En son kat için ise *İleri Hasar Bölgesi*' ne geçen düşey taşıyıcı elemanların kesme kuvveti, yine son katta bulunan düşey taşıyıcı elemanların toplam kesme kuvvetine oranı en fazla %40 olmalıdır.
- Diğer kalan tüm taşıyıcı elemanlar *Sınırlı Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, Binaın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden *Belirgin Hasar Bölgesi*'ni aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.

4.1.4.4. Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem elemanlarının ileri düzey hasar gördüğü göçme öncesi durumu ifade etmektedir. TBDY 2018'e göre binanın performans seviyesinin göçmenin önlenmesi olması için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekmektedir.

- Binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, kirişlerin için en fazla %20 lik kısmı *Göçme Bölgesi* 'ne geçebilir. İkincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler bu yüzdelik hesabında işleme dahil edilmez.
- Diğer tüm taşıyıcı elemanlar *Sınırlı Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi* 'ndedir. Ancak, Binanın herhangi bir katında alt ve üst kesitlerinin her ikisi birden *Belirgin Hasar Bölgesi* 'ni aşan düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetinin, aynı kattaki tüm düşey taşıyıcı elemanların karşıladığı kesme kuvvetine oranı %30'un altında olması gerekir.
- Göçme öncesi performans düzeyindeki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

4.1.4.5. Göçme Durumu

Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi'ni sağlayamayan binalar Göçme Durumu'ndadır. Göçme durumundaki bir binanın kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

4.1.5. Bina Performans Hedefleri

TBDY 2018'de Yeni Yapılacak binaların sağlamları gereken performans hedefleri Deprem Tasarım Sınıflarına göre Tablo 4.2' de verilmiştir. Ayrıca bu tabloda binanın performans hedefinin belirlenmesinde Uygulanacak Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları da belirtilmiştir.

Tablo 4.2. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları

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

Binanın deprem tasarım sınıfı (DTS) 2. Bölümde DTS = 1 olarak elde edilmişti. Tablo 4.2 incelendiğinde deprem tasarım sınıfı 1 olan yeni yapılacak bir binanın hedef performans seviyesi DD-2 deprem düzeyi için Kontrollü Hasar (KH)'dir.

4.1.6. Analiz Modelinin Oluşturulması

Binanın analiz modelinin oluşturulmasında tezin 2. Bölümde burulma ve yumuşak kat düzensizliği için oluşturulan Sap 2000 dosyasından faydalanılmıştır. Bu Sap 2000 dosyasında aşağıda maddeler halinde sıralanan işlemler yapılarak performans analizi için gerekli model oluşturulmuştur.

4.1.7. Kesitlerin Plastik Mafsal Özelliklerinin Oluşturulması

Taşıyıcı sistem elemanlarında meydana gelecek hasarların tespit edilebilmesi için bu elemanların plastik mafsal özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Kesitlerin plastik mafsal özelliklerinin belirlenebilmesi için ise her bir kesitin moment eğrilik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kesitlerin moment eğrilik analizleri Sap 2000 v21 programında Section Designer arayüzünde yapılmıştır.

4.1.7.1. Doğrusal Olmayan Malzemenin Modellenmesi

TBDY 2018' in 5.4.1.5 (b) maddesine göre yeni yapılacak olan yapılarda *Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım* yaklaşımında beton ve donatının beklenen ortalama dayanımları kullanılmalıdır. Beton ve donatının beklenen ortalama dayanımları Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Malzemelerin beklenen ortalama dayanımları (TBDY 2018)

Beton	$f_{ce} = 1.3f_{ck}$
Donatı Çeliği	$f_{ye} = 1.2f_{yk}$

Burada f_{ce} ; betonun ortalama basınç dayanımını, f_{ck} ; beton karakteristik basınç dayanımını, f_{yk} ; donatı çeliği karakteristik akma dayanımını, f_{ye} ; donatı çeliğinin ortalama basınç dayanımını ifade etmektedir.

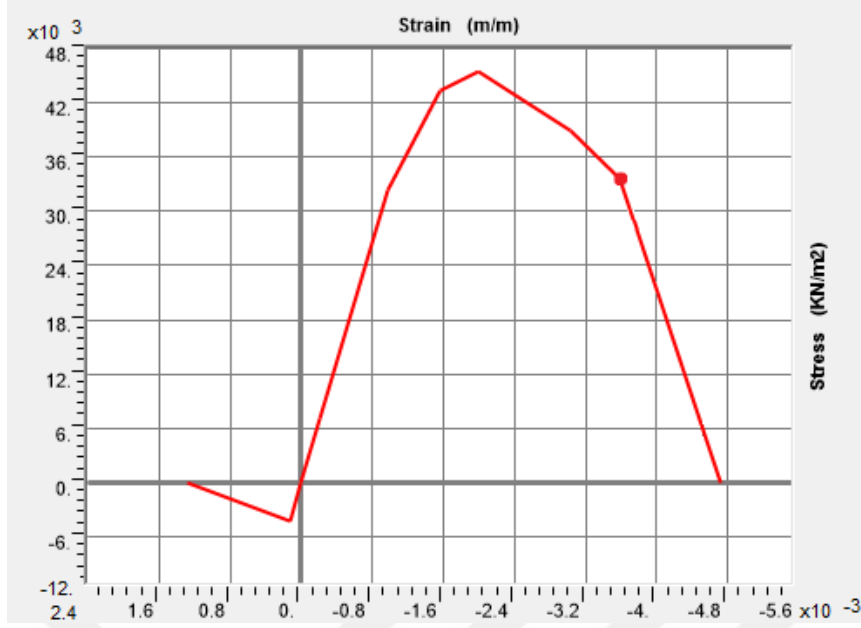
4.1.7.1.1. Beton Malzemesinin Oluşturulması

Binada C35 beton sınıfı kullanılmıştır. Sap 2000’de tanımlanan beton malzemesinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

- f_{ck} : 35 N/mm²
- $f_{ce} = 1.3 \times 35 = 45.5$ N/mm²
- Beton Elastisite Modülü, (E_c): 35922.45 N/mm²
- Beton Birim Hacim Ağırlığı, (γ): 25 kN/m²
- Poisson Oranı, (μ): 0.2

Yukarda ifade edilen özelliklerin Sap 2000 ortamında girilmesi Şekil 4.3.a , bu veri girişine bağlı olarak elde edilen sargısız betonun mander gerilme şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 4.3.b’ de verilmiştir.

Şekil 4.3.a. Beton malzemesinin SAP2000' e girilmesi



Şekil 4.3.b. Sargısız betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramı

4.1.7.1.2. Donatı Malzemesinin oluşturulması

Binada S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Sap 2000’de tanımlanan donatı çeliğinin özellikleri aşağıda verilmiştir. Donatı çeliğinin bu özelliklerinin belirlenmesinde TBDY 2018 Tablo 5A.1.’den faydalanılmıştır.

- $f_{ye} = 1.2 \times 420 = 504 \text{ N/mm}^2$
- Elastisite Modülü (E_s): 200000 N/mm^2
- Poisson Oranı, (μ): 0.3
- Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirmesi (ϵ_{sy}): 0.0021
- Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirmesi (ϵ_{sh}): 0.008
- Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi (ϵ_{su}): 0.08
- Donatı çeliğinin akma dayanımı (f_{sy}): 504 N/mm^2
- Donatı çeliğinin kopma dayanımı (f_{su}): $1.15 \times 504 = 580 \text{ N/mm}^2$

Yukarda ifade edilen özelliklerin Sap 2000 ortamında girilmesi Şekil 4.4.a , bu veri girişine bağlı olarak elde edilen gerilme şekildeğiştirme diyagramı ise Şekil 4.4.b’ de verilmiştir.

Material Property Data

Material Name
S(420)

Material Type
Rebar

Symmetry Type
Isotropic

Modulus of Elasticity
E 200000.

Weight and Mass
Weight per Unit Volume 0.
Mass per Unit Volume 0.

Units
N, mm, C

Poisson
U 0.3

Coeff of Thermal Expansion
A 1.200E-05

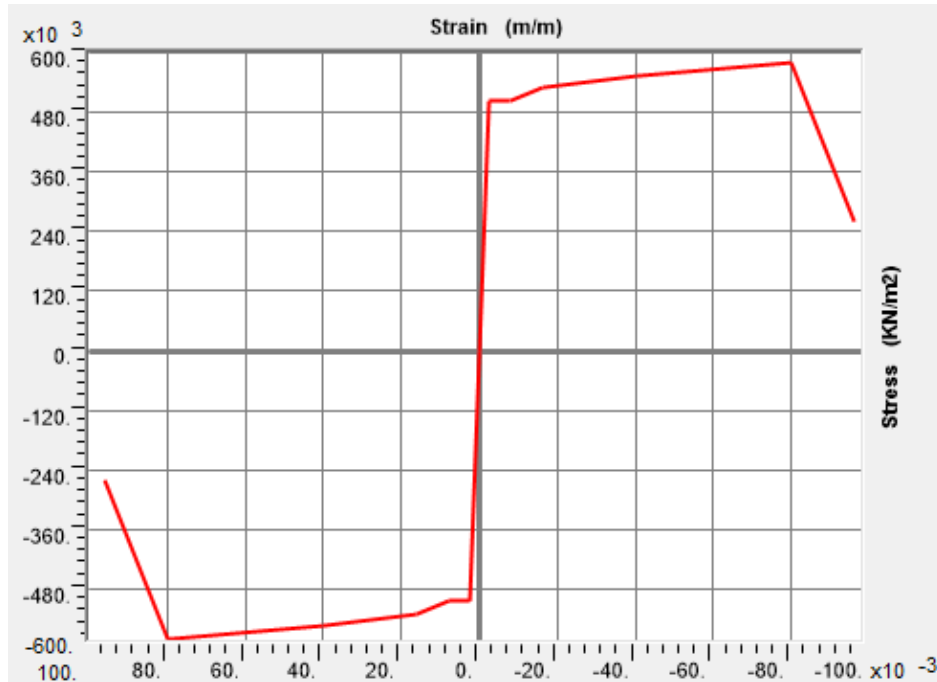
Shear Modulus
G 76923.08

Other Properties For Rebar Materials
Minimum Yield Stress, Fy 504.
Minimum Tensile Stress, Fu 580.
Expected Yield Stress, Fye 504.
Expected Tensile Stress, Fue 580.

Advanced Material Property Data
Nonlinear Material Data...
Material Damping Properties...
Time Dependent Properties...

OK Cancel

Şekil 4.4.a. Donatı malzemesinin SAP2000' e girilmesi



Şekil 4.4.b. Donatı gerilme-şekil değiştirme diyagramı

4.1.7.2. Kiriş Kesitlerinin Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi

Kesitlerin plastik mafsal özelliklerinin oluşturulabilmesi için öncelikle Section Designer’da modellenmesi gerekir. Enine ve boyuna donatısı, kesit boyutları ve açıklık mesafesi aynı olan kirişlerin plastik mafsal özellikleri de aynı olacağından bu özellikleri aynı olan kirişlere bir tip kesit ismi verilmiştir. İncelenen binada 9 farklı tip kesit olduğu belirlenmiştir. Her tip kiriş için B1’den B9’a kadar isim verilmiştir. Kiriş tip kesitlerinin özellikleri Tablo 4.4’te verilmiştir. Kiriş özellikleri katlara göre değişiklik göstermediğinden Tabloda sadece bodrum katın kirişleri yazılmıştır.

Tablo 4.4. Kiriş tip kesitleri ve bilgileri

Kesit Tipi	Kiriş Adı	b x h	Net Açıklık Boy (m)	Donatı Bilgileri		
				Alt Donatı	Üst Donatı	Enine Donatı
B1	K101-K102-K115-K116	25x50	3.60	2Ø12+2Ø14	2Ø12+2Ø14	8Ø/9
B2	K103-K105-K112-K114	25x50	5.75	2Ø14+2Ø16	5Ø14	8Ø/9
B3	K104-K106-K108-K109-K111-K113	25x50	2.60	2Ø12+2Ø16	2Ø12+3Ø16	8Ø/9
B4	K107-K110	25x50	3.70	4Ø12	2Ø12+3Ø14	8Ø/9
B5	K117-K120-K133-K135-K122-K124-K128-K130	25x50	3.65	2Ø12+2Ø16	2Ø14+2Ø16	8Ø/9
B6	K121-K125-K127-K131	25x50	4.65	4Ø16	2Ø14+3Ø16	8Ø/9
B7	K118-K119-K132-K134	25x50	5.35	1Ø14+2Ø16	3Ø14	8Ø/9
B8	K126-K129	25x50	2.70	1Ø14+2Ø16	3Ø12	8Ø/9
B9	K123	25x50	2.30	2Ø14+2Ø16	5Ø12	8Ø/9

Örnek olması açısından Section Desinger’ da modellenen B2 tip kirişin kesit modeli Şekil 4.5’ te, mander sargılı beton gerilme – şekil değiştirme grafiği ise Şekil 4.6’ da gösterilmiştir.



“Section Desinger”da yapılan moment eğrilik analizi sonucu 9 tip kesitin her birinin akma eğrilikleri (ϕ_y), göçme öncesi eğrilikleri (ϕ_u), akma momentleri (M_y) ve göçme öncesi momentleri (M_u) elde edilmiştir. Kirişler için bulunan bu değerlerde akma yüzeyi olarak 0° ve 180° için hesaplama yapılmıştır B2 tip kirişinin moment eğrilik analizi sonucu elde edilen değerleri Tablo 4.5’ te verilmiştir.

Tablo 4.5. B2 tip kirişin eğrilik analizi değerleri

Kiriş Tipi	Akma Yüzeyi	ϕ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	ϕ_u (m^{-1})	M_u (kNm)
B2	0°	0.00807	173.4675	0.1865	180.0126
	180°	0.00823	187.4965	0.1868	194.8395

Tablo 4.5’ teki değerler dikkate alınarak Sınırlı hasar, Kontrollü hasar ve Göçme öncesi hasar durumlarının her biri için plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. 0° akma yüzeyi için hesaplanan plastik dönme sınır değerleri aşağıda verilmiştir.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$$

$$B2 \text{ tip kirişinin net uzunluğu } 5.75 \Rightarrow L_s = 5.75/2 = 2.875 \text{ m}$$

$$L_p = h/2 = 0.50/2 = 0.25 \text{ m}$$

$$d_b = 0.015$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((0.1865 - 0.00807) 0.25 \left(1 - 0.5 \frac{0.25}{2.875} \right) + 4.5 \times 0.1865 \times 0.015 \right)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 0.036839$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.036839 = 0.02762925$$

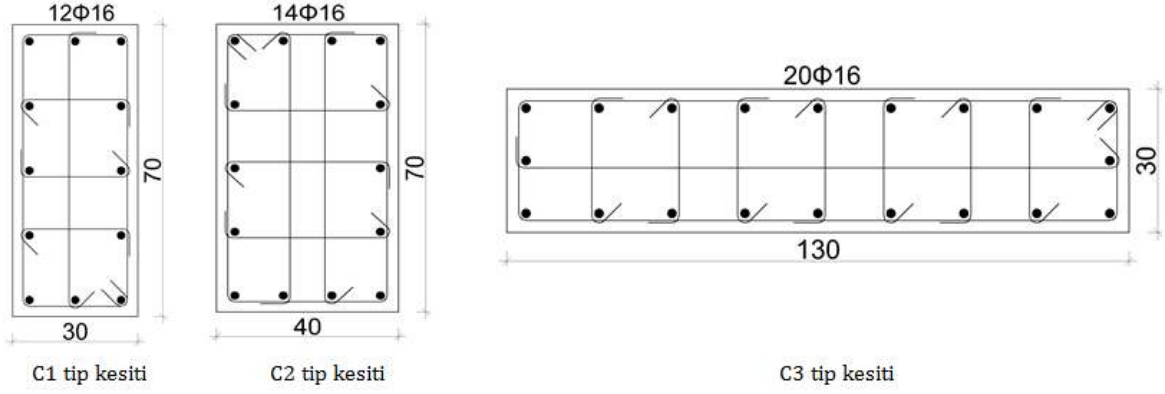
$$\theta_p^{(SH)} = 0$$

4.1.7.3. Kolon ve Betonarme Perde Kesitlerinin Plastik Mafsal Özelliklerinin Belirlenmesi

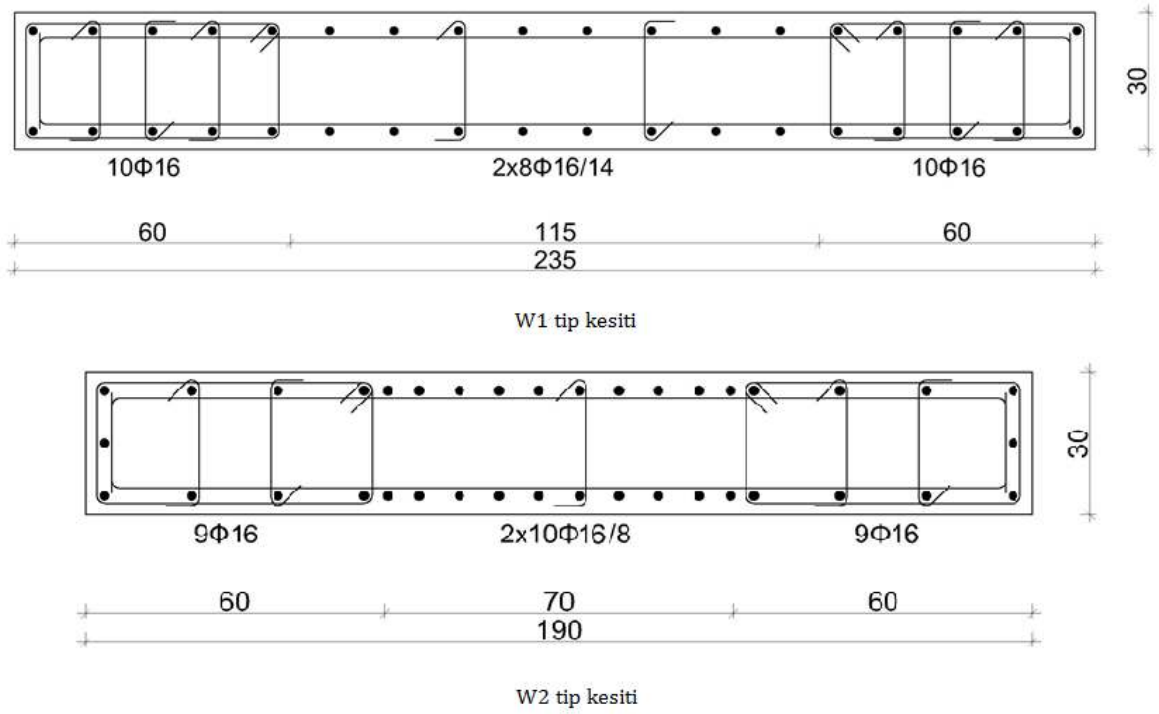
Kolon ve betonarme perdelerde de kirişlere benzer olarak enine ve boyuna donatı, kesit boyutları ve açıklık mesafesine göre tip kesit adlandırılması yapılmıştır. Kolonlar için kesit tipleri C harfi ile betonarme perdeler için W harfi ile oluşturulmuştur. İncelenen binada 3 tip kolon, 2 tip betonarme perde kesiti bulunmaktadır. Kolon ve betonarme perde tip kesitlerinin özellikleri Tablo 4.6’da kolon ve betonarme perde kesitleri ise Şekil 4.7’ de verilmiştir.

Tablo 4.6. Kesit tiplerine göre kolonlar ve perdeler

Kesit Tipi	Kolonlar	b x h	Düşey Donatı		Sıklaştırmaya Bölgesi Enine Donatı
			Başlık	Gövde	
C1	S101-S102-S107-S110-S115-S116	30x70	2*3Ø16	2*3Ø16	8Ø/8
C2	S104-S105-S112-S113	40x70	2*4Ø16	2*3Ø16	8Ø/8
C3	S103-S106-S111-S114	130x30	2*3Ø16	2*7Ø16	8Ø/8
Kesit Tipi	Perde Duvarlar	b x h	Başlık	Gövde	Sıklaştırmaya Bölgesi Enine Donatı
W1	P101-P102	235x30	2*5Ø16	2*8Ø16	8Ø/8
W2	P103-P104-P105-P106	30x190	2*4Ø16	2*10Ø16	8Ø/8

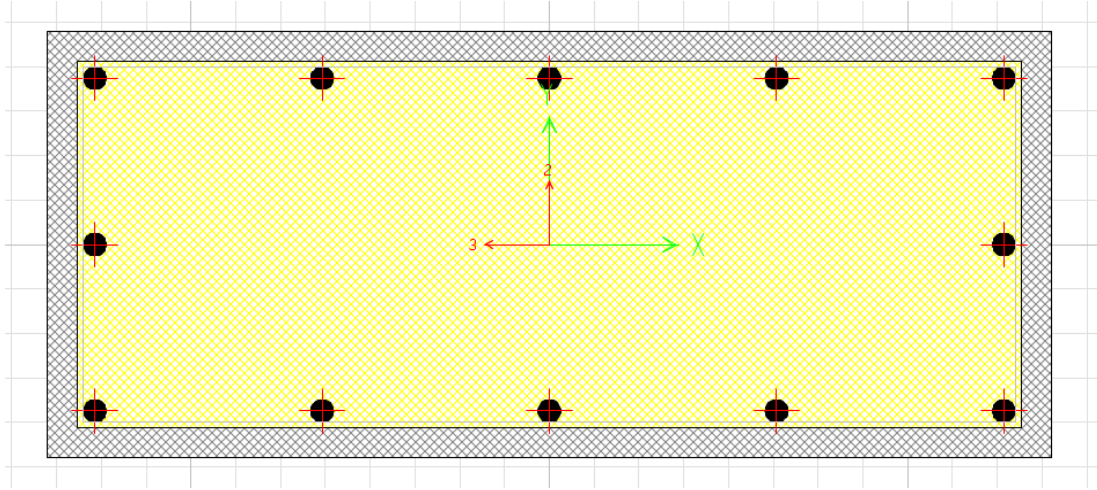


Şekil 4.7.a. Kolon tip kesitleri

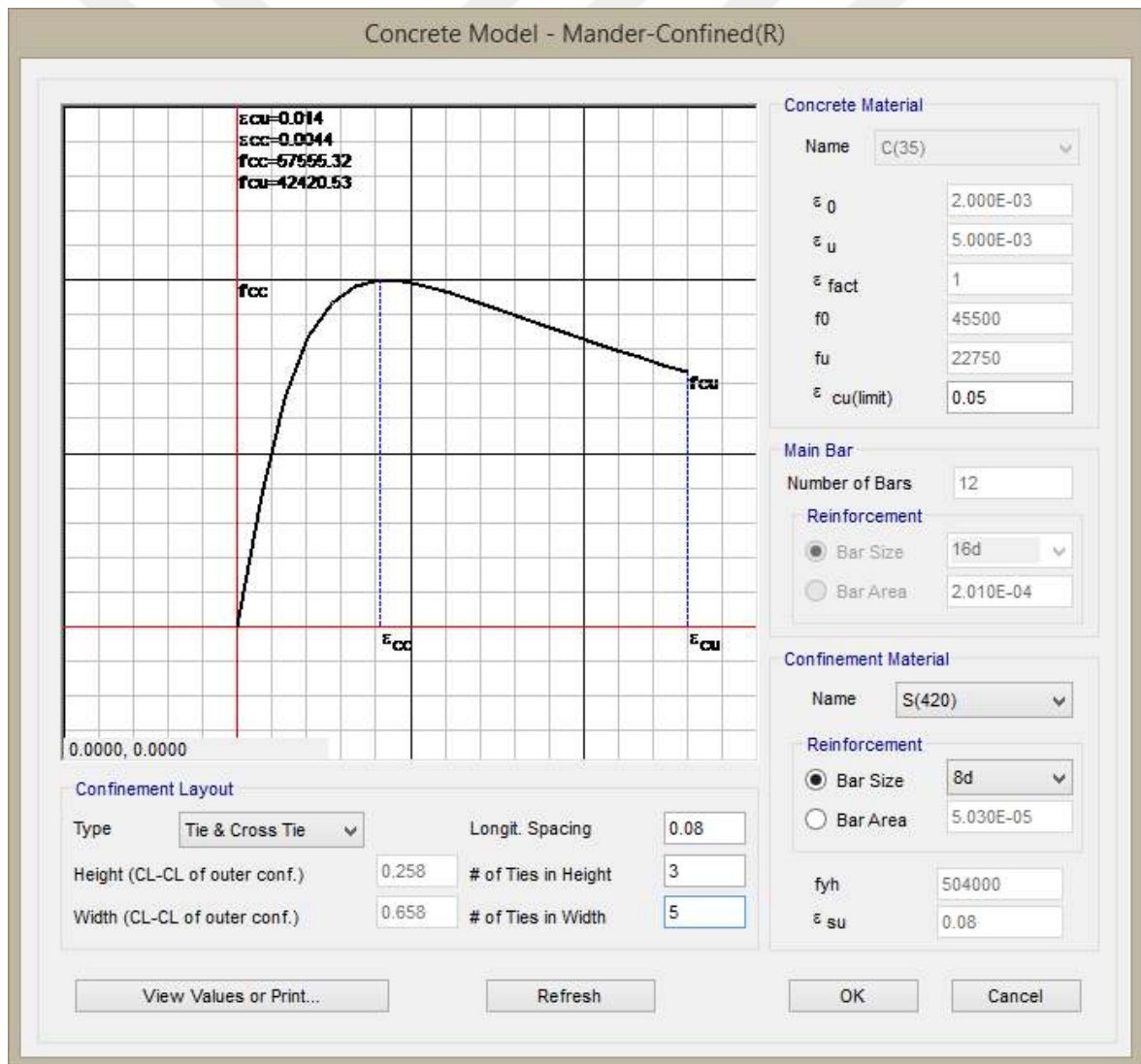


Şekil 4.7.b. Betonarme perde tip kesitleri

Kolon ve betonarme perdelerde kesitlerinin plastik mafsal özellikleri de Section Designer ile belirlenmiştir. C1 tip kesit kolonun “Section Designer” bölümünde modellenen görüntüsü Şekil 4.8’ de, kesite ait mander sargılı beton gerilme - şekildeğiştirme modeli ise Şekil 4.9’ da verilmiştir

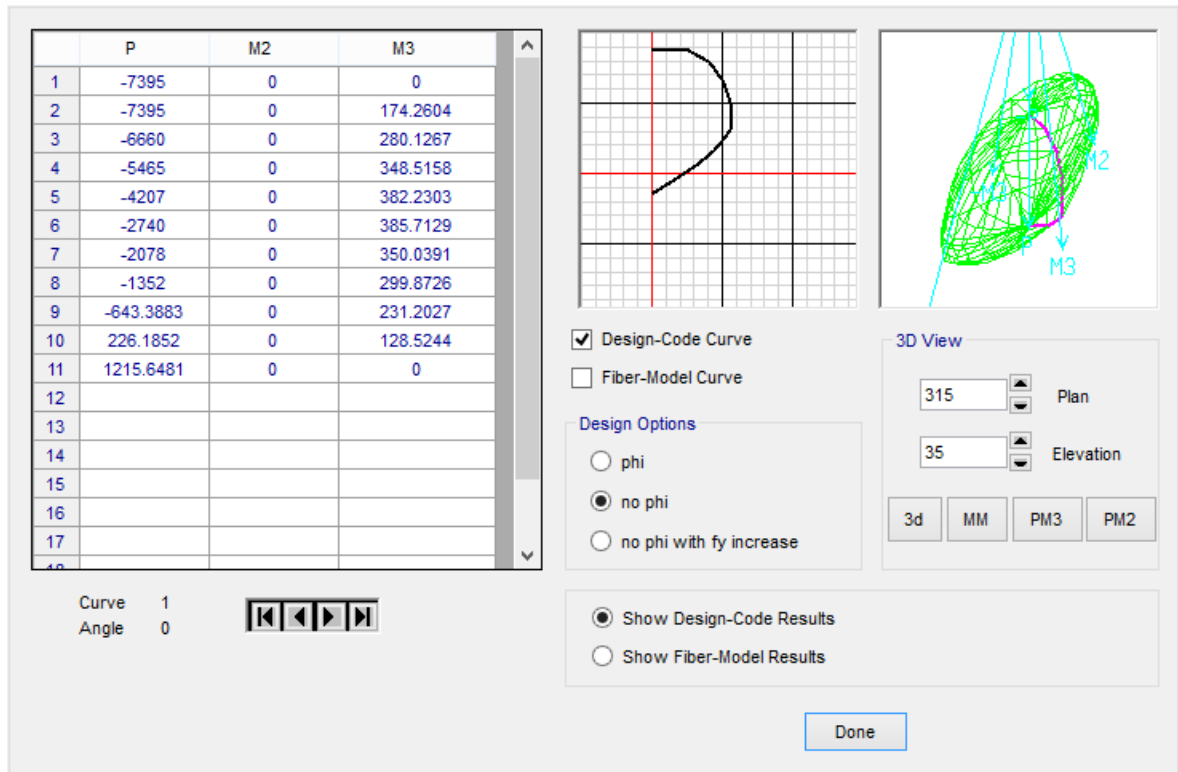


Şekil 4.8. C1 tip kolonun Section Designer modeli

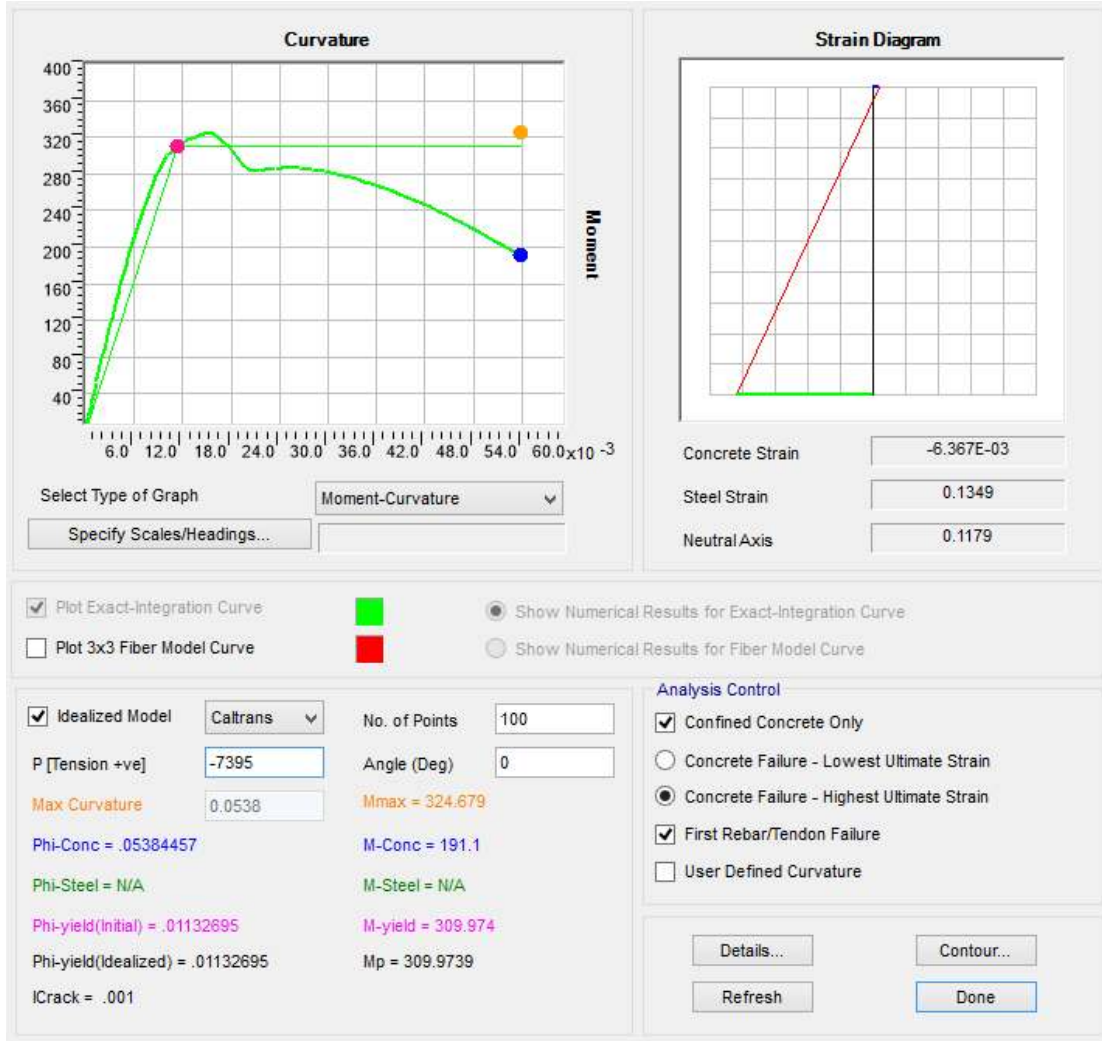


Şekil 4.9. C1 tip kolonun sargılı beton gerilme-şekildeğiştirme grafiği

Kolon ve betonarme perdelerde kirişlerden farklı olarak eksenel yük seviyesi de dikkate alınmıştır. Kesitlerin moment-eğrilik analizleri 9 adet eksenel yük altında yapılmıştır. Kesit özellikleri Section Designer'a girildikten sonra program kesitin karşılıklı etki diyagramını oluşturmaktadır. Moment eğrilik analizlerinde kullanılan eksenel yükler karşılıklı etki diyagramından alınmıştır. Moment-eğrilik analizleri 0^0 ve 90^0 olmak üzere 2 doğrultu için yapılmıştır. C1 tip kesit kolonuna ait karşılıklı etki diyagramı ve eksenel yük değerleri Şekil 4.10' da, moment-eğrilik analizi veri giriş bölümü ise Şekil 4.11' de verilmiştir.



Şekil 4.10. C1 tip kolonun eksenel yük seviyeleri ve karşılıklı etki diyagramı



Şekil 4.11. C1 tip kolonun moment-eğrilik analizi veri giriş bölümü

C1 tip kolon kesiti için yapılan moment eğrilik analizi sonucu elde edilen akma eğrilikleri (ϕ_y), göçme öncesi eğrilikler (ϕ_u), akma momentleri (M_y) ve göçme öncesi momentler (M_u) aksenal yük seviyesi ve akma yüzeyine bağlı olarak Tablo 4.7' de verilmiştir.

Tablo 4.7. C1 tip kolonun moment eğrilik analizi sonuçları

Kolon Tipi	P (kN)	Akma Yüzeyi	ϕ_y (m ⁻¹)	M_y (kNm)	ϕ_u (m ⁻¹)	M_u (kNm)	L_p
C1	-7395	0°	0.01130	309.9739	0.0538	191.0999	0.15
		90°	0.00462	742.3118	0.0218	498.7976	0.35
	-6660	0°	0.01270	354.8609	0.0588	258.9297	0.15
		90°	0.00513	844.2299	0.0237	660.5676	0.35
	-5465	0°	0.01550	402.6571	0.0696	342.0784	0.15
		90°	0.00622	947.5434	0.0283	833.8808	0.35
	-4207	0°	0.01970	426.003	0.0901	368.5381	0.15
		90°	0.00784	989.0779	0.0354	906.8484	0.35
	-2740	0°	0.01930	387.7868	0.1233	358.2386	0.15
		90°	0.00773	903.8282	0.0496	871.159	0.35
	-2078	0°	0.01740	341.1767	0.1592	332.1316	0.15
		90°	0.00741	820.0568	0.0622	801.6431	0.35
	-1352	0°	0.01640	291.697	0.2255	288.9669	0.15
		90°	0.00714	701.7643	0.0789	695.2434	0.35
	-643.388	0°	0.01570	230.6674	0.3682	233.4912	0.15
		90°	0.00703	562.7579	0.1122	569.9397	0.35
	226.1852	0°	0.01480	135.1166	0.341	138.3892	0.15
		90°	0.00728	342.0772	0.1318	359.3741	0.35

Moment eğrilik analiz sonuçlarından faydalanarak kesit hasar sınırlarına tekabül eden plastik dönme sınır değerleri hesaplanmıştır. C1 tipi kesitinin 0° akma yüzeyi için 7395 kN eksenel yük altında plastik dönme sınır değerleri aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((\phi_u - \phi_y) L_p \left(1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right)$$

$$L_s = 2.30/2 = 1.15 \text{ m}$$

$$L_p = h/2 = 0.30/2 = 0.15 \text{ m}$$

$$d_b = 0.016 \text{ m}$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = \frac{2}{3} \left((0.0538 - 0.01130) 0.15 \left(1 - 0.5 \frac{0.15}{1.15} \right) + 4.5 \times 0.0538 \times 0.016 \right)$$

$$\theta_p^{(G\ddot{O})} = 0.006555 \text{ rad}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(G\ddot{O})}$$

$$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \times 0.006555 = 0.0049162 \text{ rad}$$

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

Diğer kolon tip kesitlerin her bir eksenel yük altında elde edilen moment eğrilik analizi sonuçları ve plastik dönme sınır değerleri EK 1’ de verilmiştir.

4.1.7.4. Plastik Mafsal Kesitlerinin Oluşturulması

Her bir taşıyıcı elemanın plastik mafsal özellikleri belirlendikten sonra kiriş, kolon ve betonarme perdeler için plastik mafsal kesitleri oluşturulabilir. Sap 2000’in “Hinge Properties” arayüzü ile plastik mafsal kesitleri tanımlanabilmektedir. Kirişler için eksenel kuvvet ihmal edildiğinden bu kesitlerin modellenmesinde M3 plastik mafsalı kullanılmıştır. B2 tip kiriş kesitinin SAP2000 içerisinde plastik mafsal özelliklerinin veri girişi Şekil 4.12’ de gösterilmiştir.

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E-	-0.2	-0.067
D-	-0.2	-0.0446
C-	-1.0392	-0.0446
B-	-1.	0.
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.0377	0.0446
D	0.2	0.0446
E	0.2	0.0669

Şekil 4.12. B2 tip kiriş için plastik mafsal özelliklerinin atanması

Şekil 4.12’de geçen *Immediate Occupancy*; Sınırlı Hasar sınırını, *Life Safety*; Kontrollü Hasar sınırını, *Collapse Prevention* ise Göçmenin Önlenmesi hasar sınırını ifade etmektedir. Kiriş kesitlerinin 0^0 akma yüzeyi için elde edilen mafsalsal özellikleri veri giriş sayfasında pozitif olarak, 180^0 akma yüzeyi için elde edilen mafsalsal özellikleri negatif olarak girilmiştir. Ayrıca A noktası (0,0) orijini, B noktası kesitin akma noktasını, C noktası kesitin göçme noktasını göstermektedir.

Kolon ve betonarme perde kesitlerine eğilme momenti ile birlikte eksenel kuvvet de etki ettiği için bu kesitler için P-M2-M3 plastik mafsalsal kullanılmıştır. C1 tip kolonunun plastik mafsalsal özelliklerinin tanımlanması Şekil 4.13’ te verilmiştir.

Moment Rotation Data for S(30*70)/C1_TIP - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve: Axial Force: -1352, Angle: 90, Curve #14

Units: KN, m, C

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0.	0.
B	1.	0.
C	0.9906	0.0314
D	0.2	0.0314
E	0.2	0.047

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

Immediate Occupancy: 0.

Life Safety: 0.0228

Collapse Prevention: 0.0304

☐ Show Acceptance Points on Current Curve

3D View

Plan: 315, Elevation: 35, Aperture: 0

Axial Force: -1352

☐ Hide Backbone Lines

☐ Show Acceptance Criteria

☐ Show Thickened Lines

☒ Highlight Current Curve

Moment Rotation Information

Symmetry Condition: Double

Number of Axial Force Values: 9

Number of Angles: 2

Total Number of Curves: 18

Angle Is Moment About

0 degrees = About Positive M2 Axis

90 degrees = About Positive M3 Axis

180 degrees = About Negative M2 Axis

270 degrees = About Negative M3 Axis

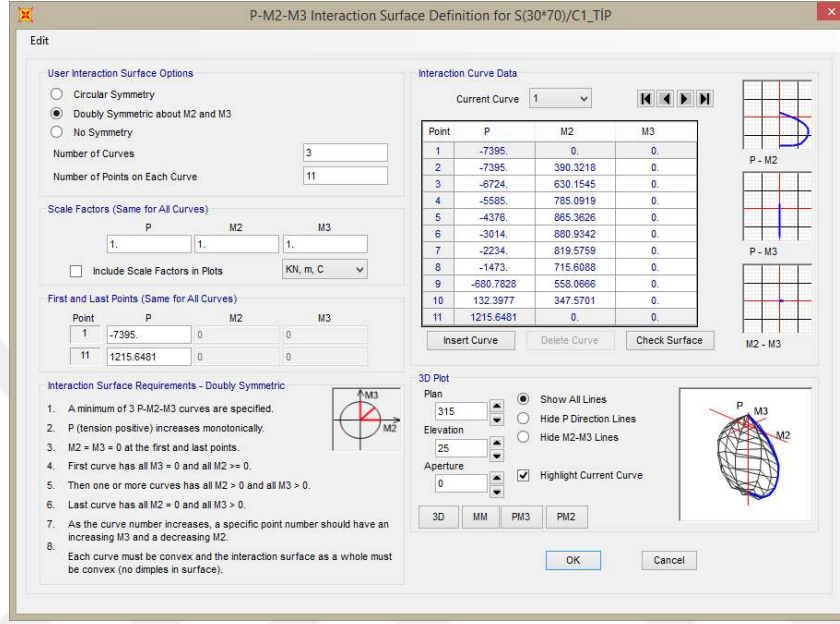
OK Cancel

Şekil 4.13. C1 tip kolon için plastik mafsalsal kesitin oluşturulması

Şekil 4.13’teki veriler eksenel yükün 1352 kN olması durumu içindir. Kolon ve betonarme perde kesitlerinin 9 adet eksenel yük için plastik mafsalsal özellikleri belirlenmiştir.

Kesitlerin plastik mafsallık özelliklerinin belirlendiği 9 eksenel yükün her biri için bu işlemler tekrarlanmıştır.

Kolon ve perde duvar kesitleri için ayrıca 0° , 45° ve 90° olmak üzere 3 adet akma yüzeyi tanımlanması da yapılmıştır. C1 tip kolon kesitinin Sap 2000’de tanımlanan akma yüzeyleri Şekil 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.14. C1 tip kolon için akma yüzeyinin tanımlanması

Plastik mafsallık kesitleri tanımlandıktan sonra bu kesitlerin binanın 3D modelinde bulunan ilgili kesitlere atamasının yapılması gerekir. Kolon ve kiriş elemanlarının her iki ucuna plastik mafsallık atanmıştır. Perdelerde ise sadece elemanın alt ucuna plastik mafsallık atanmıştır. E aksında bulunan taşıyıcı elemanlara atanan plastik mafsallar Şekil 4.15’ te gösterilmiştir.

bölgelerindeki plastik mafsalların akma dönmelerinin ortalamasını ifade etmektedir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının etkin akma momentleri(M_y) moment eğrilik analizi ile belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının akma dönmeleri(θ_y) ise Denklem 4.2 ile belirlenmektedir.

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0.0015\eta \left(1 + 1.5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (4.2)$$

Burada; ϕ_y plastik mafsallardaki etkin akma eğriliğini ifade etmektedir. η katsayısı ise kiriş ve kolonlarda 1, perdelerde 0.5 alınmaktadır.

- Kirişlerin Etkin Kesit Rijitliği

Örnek olarak B2 tip kiriş kesitinin etkin kesit rijitlik çarpanı aşağıda hesaplanmıştır. Kirişin moment eğrilik analizi sonuçları Tablo 4.5'ten alınmıştır.

0° Akma yüzeyi için;

Kirişin net boyu 5.75 m $\Rightarrow L_s = 5.75/2 = 2.875$ m

$M_y = 173.4675$ kNm

$\phi_y = 0.00807$ rad/m

$d_b = 0.0015$ m

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

$$\theta_y = \frac{0.00807 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.5}{2.875}\right) + \frac{0.00807 \times 0.0015 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.01075 \text{ rad}$$

180° Akma yüzeyi için;

$M_y = 187.4965$ kNm

$\phi_y = 0.00823$ rad/m

$d_b = 0.0015$ m

$$\theta_y = \frac{0.00823 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.5}{2.875}\right) + \frac{0.00823 \times 0.0015 \times 504}{8\sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.01093 \text{ rad}$$

$$M_{y,ort} = \frac{173.4375+187.4965}{2} = 180.482 \text{ kNm}$$

$$\theta_{y,ort} = \frac{0.01075+0.01093}{2} = 0.01084 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{180.482}{0.01084} \times \frac{2.875}{3} = 15954.78 \text{ kNm}^2$$

$$\text{Kesit Brüt Rijitliği} = (EI)_o = 86529.32 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_o} = \mathbf{0.184386}$$

Diğer tip kiriş kesitleri için elde edilen etkin kesit rijitlik arpanları Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Kirişlerin etkin kesit rijitlik değerleri

Kiriş Kesit Tipi	Etkin Kesit Rijitlik arpanları
B1	0.1183
B2	0.1844
B3	0.1283
B4	0.1252
B5	0.1417
B6	0.1921
B7	0.1303
B8	0.0848
B9	0.1226

B2 tip kiriş kesitinin elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanının Sap 2000’de girilmesi şekil 4.16’ da gösterilmiştir.

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.184
Moment of Inertia about 3 axis	0.184
Mass	0
Weight	1

OK Cancel

Şekil 4.16. B2 tip kirişin etkin kesit rijitlik çarpanının tanımlanması

- Kolon ve betonarme perdelerin etkin kesit rijitliği

Düşey taşıyıcı elemanların etkin kesit rijitliklerinin hesabı için bina ilk olarak $G+nQ$ kombinasyonu altında analize tabi tutulmuştur. Her bir kolonda bu yük birleşimi altında meydana gelen eksenel yük değeri belirlenmiştir. Taşıyıcı elemanların plastik mafsallarının etkin akma momentleri(M_y) ve plastik mafsal kesitindeki etkin akma eğrilikleri(ϕ_y) elde edilen bu eksenel yük altında yapılan Moment eğrilik analizleri ile belirlenmiştir. C3 Tip kolon kesiti içinde yer alan S103-S106-S111-S114 kolonları ile S108-S109 kolonlarının yapı içindeki konumları farklı olduğundan bu kolonlarda $G+nQ$ yük birleşimi altında elde edilecek olan eksenel yük değerleri farklı olacaktır. Eksenel yük değerleri farklı olması da etkin kesit rijitlik çarpanını da değiştirecektir. Bu yüzden etkin kesit rijitliklerinin belirlenmesi aşamasında S103-S106-S111-S114 kolonları C3_1 tip kolon olarak, S108-S109 kolonları ise C3_2 tip kolon olarak adlandırılmıştır.

$G+nQ$ yük birleşimi altında her kat için tip kesite bağlı olarak elde edilen eksenel yük değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9. G+0.3Q yük birleşimi altında kolon/perdelerde oluşan eksenel kuvvetler (kN)

Kesit Tipi	Bodrum Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat	6. Kat	7. Kat
C1	-1222.5	-1061.5	-902.12	-743.65	-586.04	-429.09	-272.52	-116.75
C2	-2040.5	-1768.5	-1502.4	-1240.1	-980.93	-724.48	-469.64	-217.45
C3_1	-1250.3	-1096.7	-939.89	-781.13	-620.65	-458.79	-296.16	-131.85
C3_2	-1443.2	-1261.1	-1078.0	-894.09	-709.50	-524.4	-338.91	-153.2
W1	-2067.5	-1812.3	-1554.4	-1293.8	-1031.1	-766.85	-501.32	-234.95
W2	-1022.1	-898.5	-771.61	-642.85	-512.43	-380.7	-248.17	-114.22

Örnek olarak C1 tipi bir kolonun bodrum kat için etkin kesit rijitlik çarpanının hesaplanması aşağıda yapılmıştır. Kolonun etkin akma momentleri (M_y) ve etkin akma eğrilikleri (ϕ_y) 1222.5 kN eksenel yük altında yapılan moment eğrilik analizleri ile belirlenmiştir

0° Akma yüzeyi için;

Kolonun net boyu 2.30 m $\Rightarrow L_s = 2.30/2 = 1.15$ m

$M_y = 281.7803$ kNm

$\phi_y = 0.01630$ rad/m

$d_b = 0.0016$ m

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

$$\theta_y = \frac{0.01630 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.3}{1.15} \right) + \frac{0.01630 \times 0.0016 \times 504}{8 \sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.010771 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{281.7803}{0.010771} \times \frac{1.15}{3} = 10028.3 \text{ kNm}^2$$

X doğrultusu Kesit Brüt Rijitliği = $(EI)_x = 52332.93 \text{ kNm}^2$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_x} = \mathbf{0.192}$$

90° Akma yüzeyi için;

$$M_y = 677.9642 \text{ kNm}$$

$$\phi_y = 0.00710 \text{ rad/m}$$

$$d_b = 0.0016 \text{ m}$$

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

$$\theta_y = \frac{0.00710 \times 2.875}{3} + 0.0015 \times 1 \left(1 + 1.5 \frac{0.3}{1.15} \right) + \frac{0.00710 \times 0.0016 \times 504}{8 \sqrt{45.5}}$$

$$\theta_y = 0.006654 \text{ rad}$$

$$(EI)_e = \frac{677.9642}{0.00710} \times \frac{1.15}{3} = 39058.18 \text{ kNm}^2$$

$$Y \text{ doğrultusu Kesit Brüt Rijitliği} = (EI)_y = 284923.7 \text{ kNm}^2$$

$$\frac{(EI)_e}{(EI)_y} = \mathbf{0.137}$$

Diğer tip kolon ve betonarme perde kesitleri için elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Kolon ve perdelerin etkin kesit rijitlik çarpanları

Kesit Tipi	Etkin Kesit Rijitlik Çarpanları								
	Yön	B. Kat	1. Kat	2. Kat	3. Kat	4. Kat	5. Kat	6. Kat	7. Kat
C1	X	0.1916	0.1833	0.1753	0.1682	0.1592	0.1492	0.1387	0.1258
	Y	0.1371	0.1313	0.1253	0.1188	0.1119	0.1046	0.0970	0.0887
C2	X	0.1842	0.1760	0.1668	0.1567	0.1459	0.1354	0.1235	0.1095
	Y	0.1443	0.1372	0.1303	0.1224	0.1138	0.1047	0.0954	0.0849
C3_1	X	0.0636	0.0614	0.0589	0.0564	0.0539	0.0511	0.0483	0.0455
	Y	0.1584	0.1532	0.1481	0.1430	0.1366	0.1300	0.1225	0.1153
C3_2	X	0.0664	0.0638	0.0611	0.0582	0.0554	0.0524	0.0491	0.0459
	Y	0.1640	0.1588	0.1524	0.1462	0.1395	0.1330	0.1245	0.1163
W1	X	0.2110	0.1984	0.1843	0.1685	0.1498	0.1257	0.0932	0.0452
	Y	0.2653	0.2567	0.2457	0.2364	0.2241	0.2059	0.1832	0.1449
W2	X	0.2590	0.2540	0.2467	0.2373	0.2274	0.2133	0.1942	0.1578
	Y	0.2123	0.2039	0.1931	0.1810	0.1663	0.1462	0.1163	0.0638

C1 tip kolon kesitinin elde edilen etkin kesit rijitlik çarpanının Sap 2000’de girilmesi Şekil 4.17’de gösterilmiştir.

Property/Stiffness Modifiers for Analysis	
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.137
Moment of Inertia about 3 axis	0.192
Mass	0
Weight	1

Şekil 4.17. C1 tip kolonun etkin kesit rijitliği çarpanının tanımlanması

4.1.9. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Tanımlanması

TBDY 2018’e göre statik itme analizinden önce statik düşey yüklerin hesaplanarak yapıya artımsal olarak uygulanması gerekmektedir. Doğrusal olmayan statik hesap olan bu yöntemle bulunan şekil değiştirme ve iç kuvvet değerleri yatay deprem hesabının başlangıç adımı olarak kullanılmalıdır. Statik itme analizinin başlangıç adımı olan statik düşey yükler Denklem 4.3 ile hesaplanmaktadır.

$$G + nQ + 0.3E_d^{(Z)} \quad (4.3)$$

Burada; G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, n hareketli yük azaltma katsayısını, $E_d^{(Z)}$ ise düşey deprem etkisini ifade etmektedir. Düşey deprem etkisi($E_d^{(Z)}$) Denklem 4.4 ile elde edilmektedir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3) S_{DS}G \quad (4.4)$$

Denklem 4.4 ile elde edilen $E_d^{(Z)}$, Denklem 4.5’te yerine koyulursa Denklem 4.6 elde edilir.

$$G(1 + 0.2 \times S_{DS}) + nQ \quad (4.5)$$

Konut türü binalar için n değeri 0.3 alınmalıdır. Binanın hedef performans seviyesinin DD-2 deprem düzeyi için Kontrolü Hasar(KH) olduğu daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Dolayısı ile DD-2 deprem yer hareket düzeyi için belirlenen S_{DS} değeri kullanılmalıdır. 3. Bölümde yapılan tasarım kontrollerinde DD-2 için $S_{DS} = 0.973$ olarak elde edilmişti. Belirlenen n ve S_{DS} değerleri Denklem 4.5' te yerlerine yazılırsa Denklem 4.6 elde edilir.

$$1.195G + 0.3Q \quad (4.6)$$

Denklem 4.6'da yer alan G ve Q yüklerinin önündeki katsayılar Sap 2000'de tanımlanan statik düşey yüklemenin (Wsdý) scale faktörleri olarak kullanılmıştır (Şekil 4.18).

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: Wsdý **Set Def Name** **Modify/Show...**

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case **Important Note**: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case **MODAL**

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G	1.195
Load Pattern	G	1.195
Load Pattern	Q	0.3

Other Parameters

Load Application: Full Load **Modify/Show...**

Results Saved: Final State Only **Modify/Show...**

Nonlinear Parameters: Default **Modify/Show...**

Şekil 4.18. Statik düşey deprem etkilerinin tanımlanması

Sabit tek modlu itme analizi, deprem doğrultusunda hakim titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde yük artımı prensibine dayanmaktadır. 3. Bölümde yapıya etkien eşdeğer deprem yükü her iki doğrultuda belirlenmişti. Bu yüklerdeki ekdışmerkezlikler kaldırılarak kat hizalarına etkiyecek yükler (EX,EY) tanımlanmıştır. EX ve EY deprem

yüklerinden faydalanarak da her iki doğrultu için tek modlu statik itme analizleri için gerekli yüklemeler tanımlanmıştır (Şekil 4.19).

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHX-grafik [Set Def Name] [Modify/Show...]

Initial Conditions:
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case [Wsdv]

Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case [MODAL]

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EX	1.
Load Pattern	EX	1.

[Add] [Modify] [Delete]

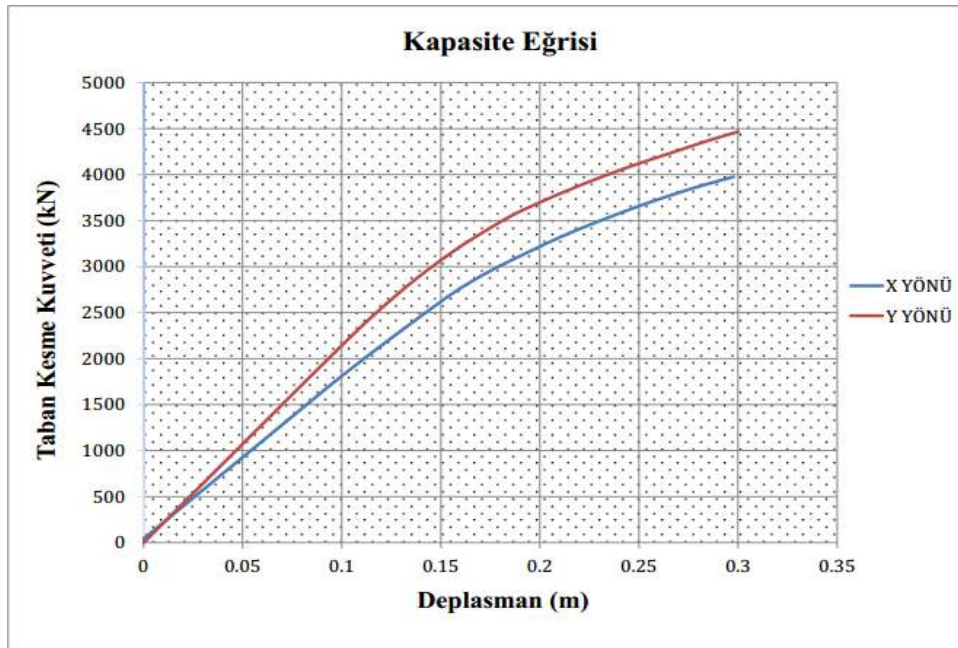
Other Parameters:
Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]
Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]
Nonlinear Parameters: [Default] [Modify/Show...]

Load Case Type: [Static] [Design...]
Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear
Geometric Nonlinearity Parameters:
☒ None
☐ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements
Mass Source: [Previous]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.19. X doğrultusu için tek modlu itme analizinin SAP2000' de tanımlanması

Her iki doğrultu için yapılan statik itme analizleri sonucu elde edilen kapasite eğrileri Şekil 4.20' de verilmiştir.



Şekil 4.20. X ve Y yönü kapasite eğrileri

4.1.10. Hedef Deplasman Seviyesinin Belirlenmesi

Binanın taşıyıcı elemanlarında meydana gelecek hasarların belirlenmesi için binanın her iki doğrultuda hedef deplasman seviyesine kadar statik itme analizine tabi tutulması gerekir. Hedef deplasman seviyesinin belirlenmesi için kapasite eğrisi ile talep spektrumu aynı grafikte kesiştirilmelidir. Kapasite eğrisi ile talep spektrumunun eksen takımları aynı olmadığından öncelikle kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının dönüştürülmesi gereklidir. Kapasite eğrisinin eksen takımının koordinatlarının değiştirilmesi ile modal kapasite eğrisi oluşturulur. Eksen takımının dönüştürülmesi ile spektral ivme (S_a) ve spektral yer değiştirme (S_d) eksenleri elde edilir. Eksen dönüştürme işlemi hakkında detaylı bilgilendirme TBDY 2018 5B.1. maddesinde bulunmaktadır. Eksen takımının dönüştürülmesi için gerekli parametreler Tablo 4.11’ de verilmiştir.

Tablo 4.11. Modal kapasite eğrisinin elde edilmesi için gerekli veriler

Yön	Kat	Kat Kütlesi kNs^2/m	Mod şekli genliği (m)	M_1 (kNs^2m)	L_{x1} (kNs^2)	$\Gamma_1^{(X)}$ (1/m)	M_{x1} (kNs^2/m)
X	Bodrum	4026.19	0.001461	1.024	49.212	48.065	2365.345
	1	4026.19	0.004827				
	2	4026.19	0.00919				
	3	4026.19	0.013903				
	4	4026.19	0.018483				
	5	4026.19	0.022573				
	6	4026.19	0.02592				
	7	3340.118	0.028387				
Y	Bodrum	4026.19	0.001556	1.021	49.444	48.438	2394.989
	1	4026.19	0.005069				
	2	4026.19	0.009513				
	3	4026.19	0.014204				
	4	4026.19	0.018667				
	5	4026.19	0.022572				
	6	4026.19	0.025702				
	7	3340.118	0.027953				

Modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği nokta elastik tasarım spektral yerdeğiştirme $S_{de}(T_1)$ olarak ifade edilmektedir. X ve Y doğrultularının her biri için elastik tasarım spektral yer değiştirmeler elde edilmiştir. Talep ve kapasite spektrumlarının ikisi de elastik tabanlı olduğundan modal kapasite eğrisinden çizilen başlangıç teğetinin talep spektrumunu kestiği noktayı her zaman doğrusal olmayan spektral yer değiştirme $S_{di}(T_1)$ olarak ifade etmek doğru olmayacaktır. Denklem 4.7 ile de anlaşılağı üzere elastik tasarım spektral yerdeğiştirmeden doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeye geçiş için C_R dönüştürme katsayısı kullanılmaktadır.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (4.7)$$

C_R dönüştürme katsayısı ile ilgili detaylı işlemler TBDY 2018 5B.3. maddesinde bulunmaktadır. X ve Y doğrultularının her ikisinde de hakim titreşim periyod $\frac{S_{DS}}{S_{D1}}$ değerinden büyük olduğu için yönetmelik gereğı C_R dönüştürme katsayısı her iki doğrultuda da 1 alınmıştır. Bu durumda her iki doğrultuda da elastik tasarım spektral yer değiştirme doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirmeye eşit çıkmıştır.

$[d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) = S_{de}(T_1)]$. Elde edilen $d_{1,max}^{(X)}$ değeri Denklem 4.8’de yerine koyularak hedef yerdeğiştirme istemi($u_{Nx1}^{(X)}$) elde edilmiştir.

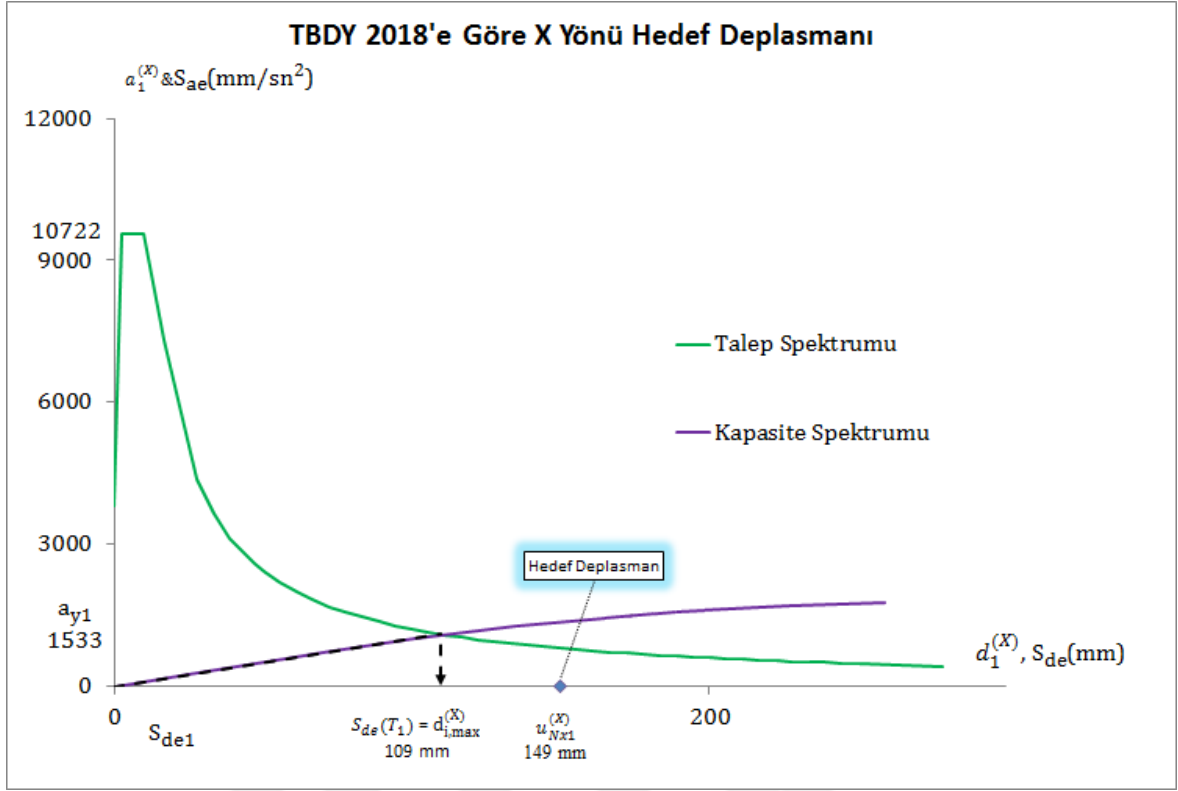
$$u_{Nx1}^{(X)} = \Phi_{Nx1} \Gamma_1^{(X)} d_{1,max}^{(X)} \quad (4.8)$$

X ve Y doğrultularının hedef deplasman istemlerinin elde edilmesi için gerekli yardımcı veriler ile bu verilerin kullanılmasıyla elde edilen hedef deplasmanlar istemleri Tablo 4.12’ de verilmiştir.

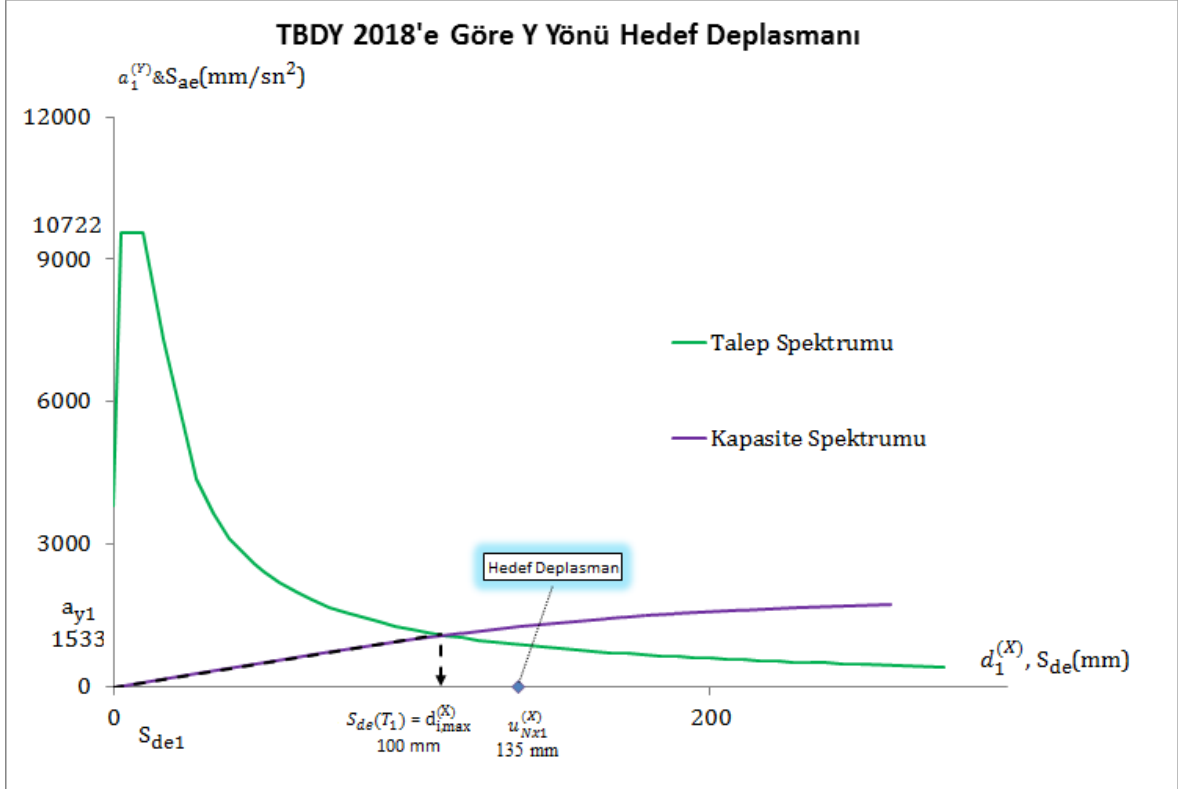
Tablo 4.12. Hedef deplasman istemleri

Doğrultu	$S_{de}(T_1)(mm)$	$d_{1,max}^{(X)}(mm)$	Φ_{Nx1}	$\Gamma_1^{(X)}$	$u_{Nx1}^{(X)}(mm)$
X	109.6	109.6	0.028387	48.065	149
Y	100.19	100.19	0.027953	48.438	135

X ve Y doğrultularının hedef deplasman istemlerinin elde edilmesinde kullanılan grafikler Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’ de verilmiştir.



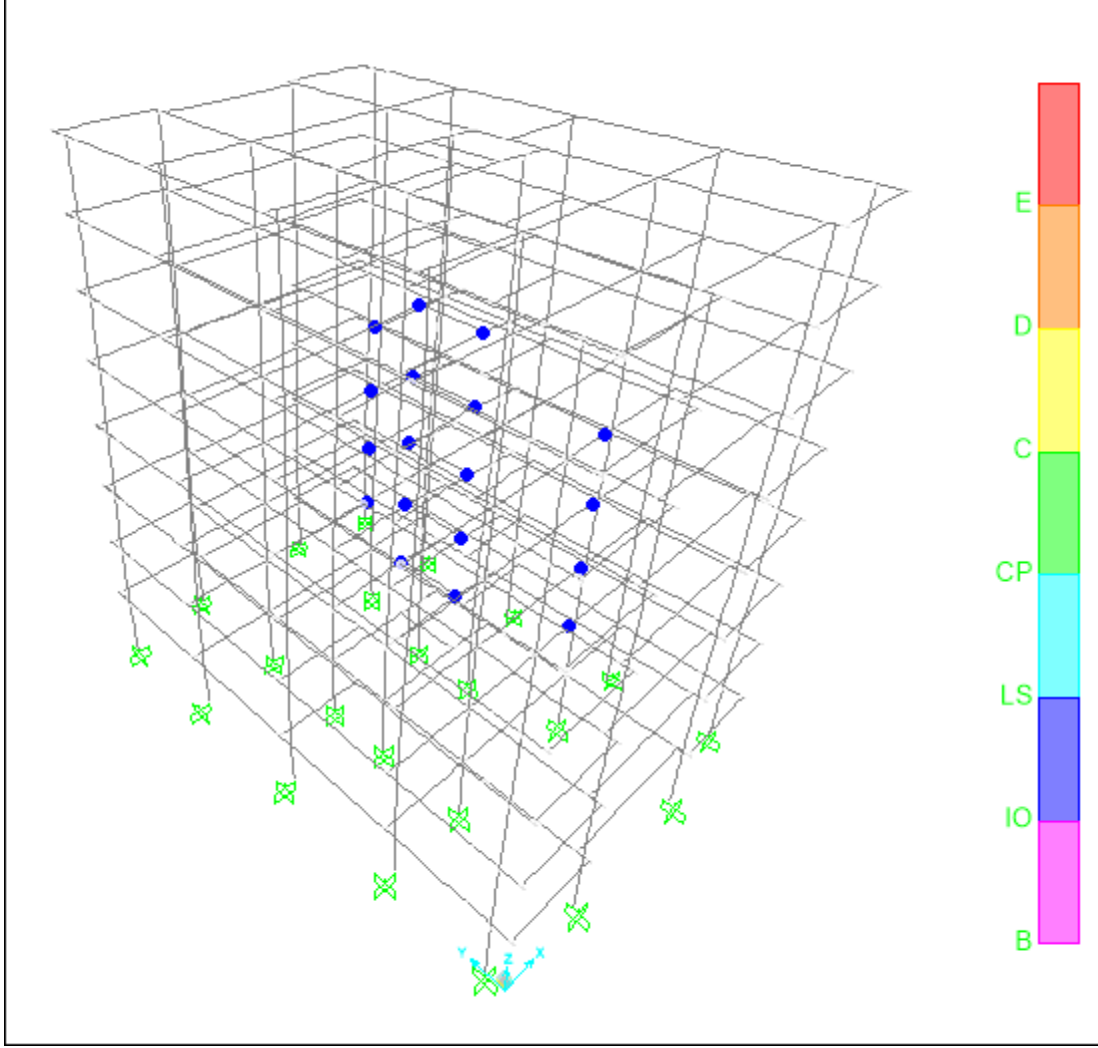
Şekil 4.21. X doğrultusu hedef deplasman isteminin belirlenmesi



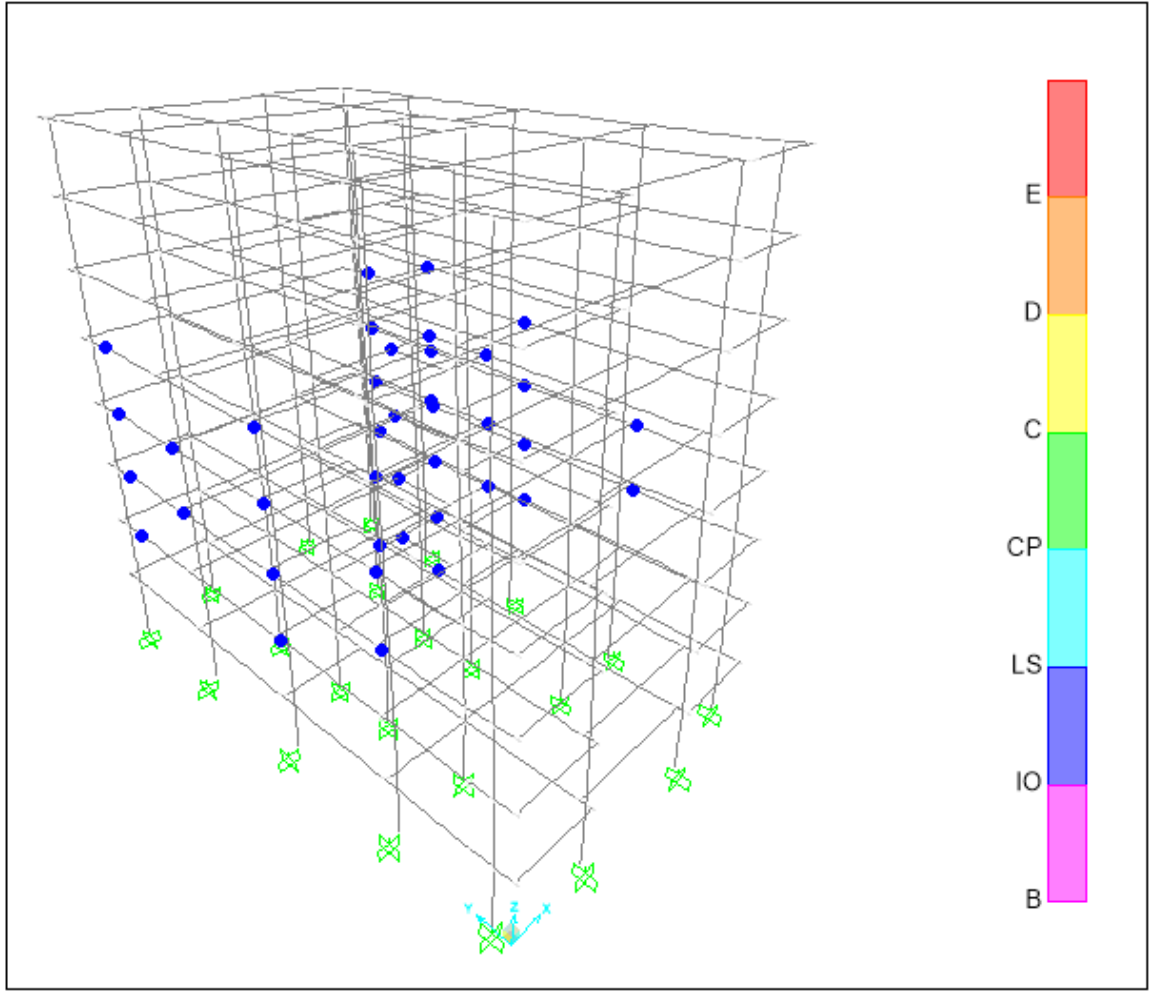
Şekil 4.22. Y doğrultusu hedef deplasman isteminin belirlenmesi

4.1.11. Tek Modlu Statik İtme Analizinin Yapılması

İncelenen binanın X ve Y doğrultularının her biri için hedef deplasman seviyesine kadar sabit tek modlu statik itme analizi yapılmıştır. Böylece her bir taşıyıcı elemanda meydana gelen hasarlar belirlenmiştir (Şekil 4.23 ve 4.24).



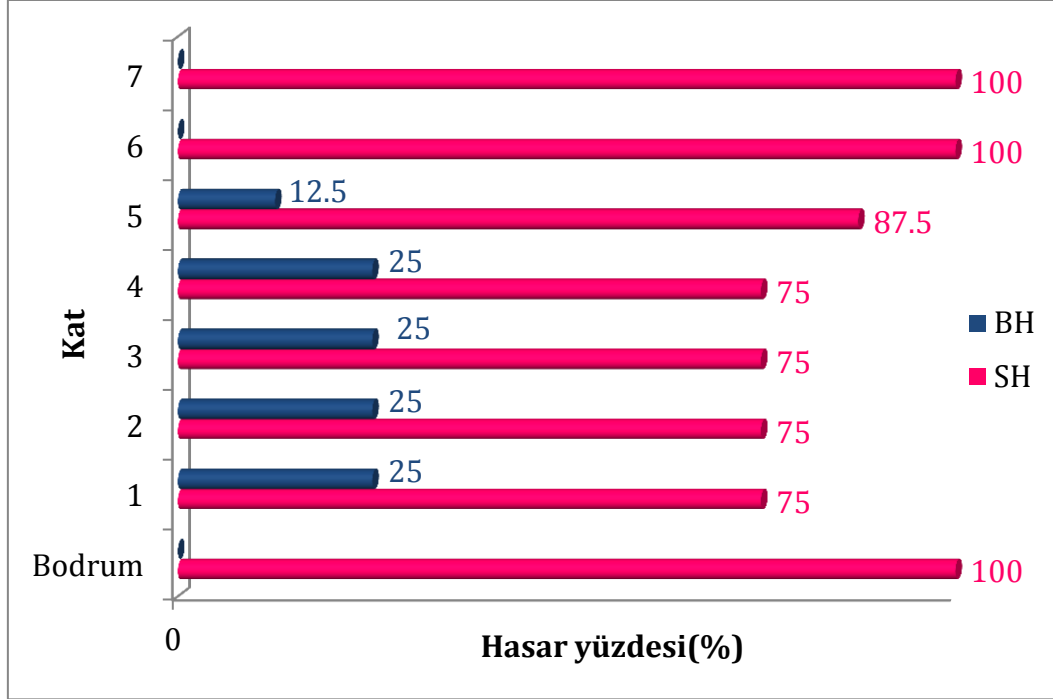
Şekil 4.23. X doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar



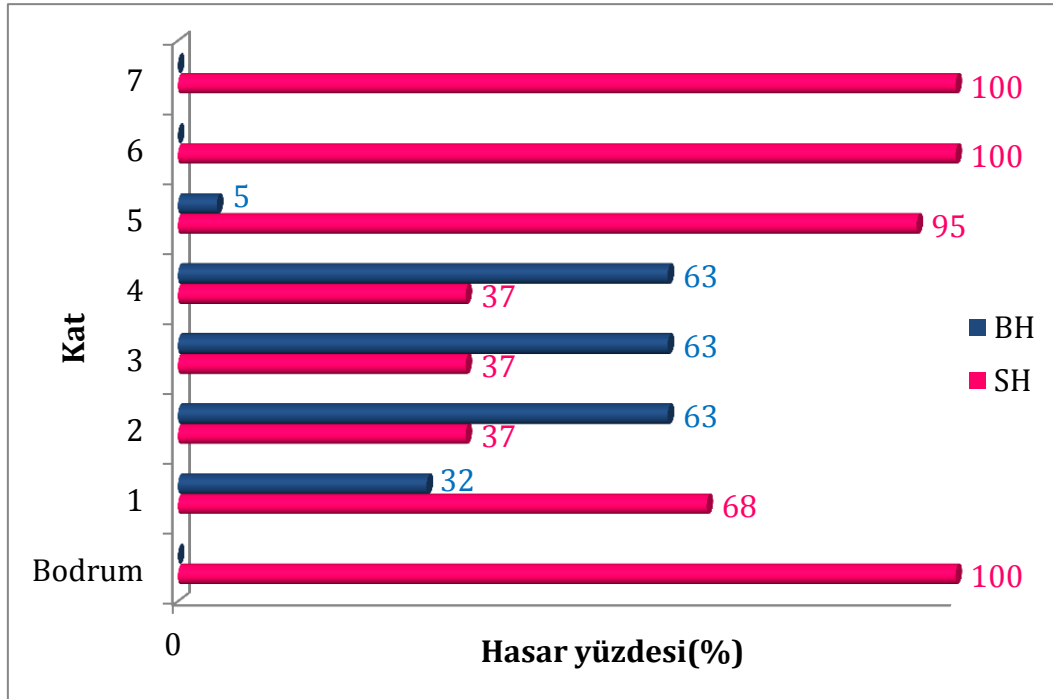
Şekil 4.24. Y doğrultusunda yapılan itme analizi sonucu taşıyıcı elemanlarda meydana gelen hasarlar

Şekil 4.23 ve 4.24 incelendiğinde tüm katlarda tüm düşey taşıyıcı elemanlarda herhangi bir hasar meydana gelmediği görülmektedir. Kirişlerdeki hasar incelendiğinde ise bazı kirişlerin belirgin hasar bölgesinde kaldığı görülmektedir. Mafsallaşma renginin mavi olması ilgili elemandaki hasarın sınırlı hasar sınırını aştığı ve belirgin hasar bölgesinde kaldığını göstermektedir. Binanın performans seviyesinin belirlenmesi için kat ve doğrultu bazında belirgin hasar bölgesine geçen kirişlerin oransal olarak belirlenmesi gerekmektedir.

Şekil 4.25 X doğrultusu için Şekil 4.26’ da ise Y doğrultusu için katlara göre kirişlerin yüzdeler olarak ne kadarının hangi hasar bölgesinde kaldığını görülmektedir.



Şekil 4.25. X doğrultusu için yüzdeler olarak kiriş hasar bölgeleri



Şekil 4.26. Y doğrultusu için yüzdeler olarak kiriş hasar bölgeleri

Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi giriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. TBDY 2018'e göre binanın herhangi bir katında, her iki deprem doğrultusu için yapılmış olan performans analizi sonucu, belirgin hasar bölgesi'ne geçen giriş sayısı ilgili doğrultudaki toplam girişlerin %20'ye eşit veya altında ise ilgili katın performans düzeyi sınırlıdır. *Bodrum,5.,6. ve 7. katlarda* her iki doğrultuda da belirgin hasar bölgesindeki girişlerin yüzdesi 20'nin altında kalmaktadır. Dolayısı ile *Bodrum,5.,6. ve 7. katlar* **Sınırlı Hasar Performans Düzeyi'** ndedir. 1.,2.,3.,4. katlar da ise her iki doğrultuda da Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçen giriş sayısı ilgili doğrultudaki toplam girişlerin %20'sinden fazladır ama İleri Hasar Bölgesi'ne geçen giriş yoktur. Dolayısıyla 1.,2.,3.,4. katlar **Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'** inedir.

Tüm katlar içindeki en elverişsiz performans düzeyi binanın performans düzeyi olarak belirlenir. Bu durumda bina **Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'** nedir. TBDY 2018'e göre binanın hedef performans seviyesi DD-2 deprem düzeyi için Kontrollü Hasar Performans Düzeyi olması gerekmektedir. Bina yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağlamaktadır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, TBDY 2018'e göre tasarlanan ve yapımına devam edilen betonarme bir binanın incelenmek üzere proje verileri elde edilmiştir. Binanın öncelikle dayanıma göre tasarım kontrolleri yapılmıştır. Daha sonra binanın tek modlu itme analizi ile performans analizi yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Binanın bodrum katında burulma düzensizliği (A1) bulunduğu belirlenmiştir. Bu yüzden bu kata uygulanan %5 ek dış merkezlilik her iki deprem doğrultusunda D_{bi} katsayısı ile çarpılarak artırılmıştır.
- Binanın döşeme süreksizlikleri (A2) ve planda çıkıntılar bulunması (A3) kontrolleri yapılmış ve binada A2 ile A3 düzensizliklerinin olmadığı belirlenmiştir.
- Binanın bodrum ve normal katlarında kullanılan dolgu duvarların genişlikleri ve adetlerinde farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılığın yapıda Zayıf Kat Düzensizliği (B1) meydana getirmediği belirlenmiştir.
- Binanın 1. katında yumuşak kat düzensizliği (B2) bulunduğu belirlenmiştir.
- Binada taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizlik olmadığından B3 düzensizliği olmadığı belirlenmiştir.
- TBDY 2018'in 4.3.2.4 ve 4.3.4.5 maddelerine göre betonarme perdelerin devrilme momenti kontrolü yapılmıştır. Yapılan kontrolde binanın her iki doğrultusunun da 4.3.2.4 maddesini sağladığı, 4.3.4.5 maddesinin alt koşulunu sağlamadığı belirlenmiştir. Bu durumda izin verilen en üst BYS'nin bir fazlası dikkate alınmıştır.
- Mod birleştirme yöntemine göre her iki doğrultu için elde edilen taban kesme kuvvetleri eşdeğer deprem yükü ile elde edilen taban kesme kuvveti ile kıyaslanmıştır. Her iki doğrultu için elde edilen yerdeğiştirmelerin eşdeğer taban kesme kuvveti büyütme katsayısı ile büyütülmesi gerektiği belirlenmiştir.
- Etkin görel kat ötelenmeleri kontrolü yapılmış, binanın her iki doğrultusunda da etkin görel kat ötelenmeleri yönetmelikte verilen sınırı aşmadığı belirlenmiştir.

- Binanın her iki doğrultuda da ikinci mertebe etkileri incelenmiştir. Her iki doğrultuda da tüm katlar için hesaplanan ikinci mertebe gösterge değerleri $(\theta_{II,i}^{(X)})$ 'nin, ikinci mertebe gösterge sınır değeri $(\theta_{II,sınır}^{(X)})$ 'nden küçük çıktığı belirlenmiştir. Dolayısıyla X ve Y hesap doğrultularının ikisinde de ikinci mertebe etkilerinin tasarıma esas iç kuvvetlerin hesabında gözönüne alınması gerekmediği belirlenmiştir.
- Yapılan tek modlu itme analizi sonucu kolon ve betonarme perdelerde herhangi bir hasar meydana gelmediği, kirişlerin ise bazılarının belirgin hasar bölgesinde kaldığı belirlenmiştir.
- Düşey taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmadığı için bina performans seviyesi kiriş hasarlarına bakılarak karar verilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucu Bodrum,5.,6. ve 7. katların Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde, 1.,2.,3.,4. Katların ise Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu belirlenmiştir.
- Tüm katlar içindeki en elverişsiz performans düzeyi, binanın performans düzeyi olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla binanın Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'nde olduğu tespit edilmiştir.
- TBDY 2018'e göre binanın DD-2 deprem düzeyi için Kontrollü Hasar Performans Düzeyi'ni sağlaması gerekmektedir. Binanın, yönetmelikte verilen hedef performans seviyesini sağladığı belirlenmiştir.
- Binada düzensizliklerin bulunmamasında ve görelî kat ötelenmeleri ile ikinci mertebe etkilerinin yönetmelikte verilen sınırları aşmamasında, binanın taşıyıcı sistem elemanlarının düzenli ve simetrik bir şekilde yerleştirilmiş olmasının önemli bir etkisi olmuştur.
- Binanın betonarme perde elemanlarının kalıp planında uygun yerlerde simetrik ve düzenli bir şekilde yerleştirilmesi düşey taşıyıcı elemanların hasar görmemesinde ve binanın hedef performans seviyesini sağlamasında etkili olduğu söylenebilir.
- TBDY 2018'in yeni bir yönetmelik olması sebebiyle gerek özel gerekse kamuda çalışan mühendisler için bazı kavramların örneklerle açıklanması ihtiyacını doğurmaktadır. Bu çalışma yeni deprem yönetmeliğinin kavranabilmesi noktasında karşılaşılabilecek problemlere ışık tutmayı amaçlamaktadır. Yönetmeliğin farklı bölümleri için de bu tür çalışmalar yapılmasının nitelikli mühendis sayısını artıracığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2020. *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi> (Erişim Tarihi: 17.11.2020).
- Alyamaç, K.E., Erdoğan, A.S., 2005. Geçmişten Günümüze Afet Yönetmelikleri ve Uygulamada Karşılaşılan Tasarım Hataları, *23-25 Mart Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 717-715.
- Balta, H., Çağlar, N., 2020. Betonarme Binaların Burulma Düzensizliği Dikkate Alınarak Doğrusal Olmayan Davranışlarının İncelenmesi, *Published in 4 International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management 24-25 October*, Bursa, 791-801.
- Bayrak, O.F., Bıkçe, M., 2019. Dolgu Duvarın Yapısal Düzensizliklere ve Performansa Etkisinin Mevcut Bir Yapı Üzerinde İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 241-254.
- Çapa, Y.U., 2020. Kat Adetleri Farklı Betonarme Binaların Deprem Performanslarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Dalyan, İ., Şahin, B., 2019. Mevcut Betonarme Bir Binanın 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerine Göre Deprem Yükleri Altındaki Taşıyıcı Sistem Performansının Değerlendirilmesi. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 134-147.
- Dılmaç, H., Ulutaş, H., Tekeli, H., Demir, F., 2018. An Evaluation on Seismic Performance of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey. *The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University*, 9(1), 224-237.
- Erdem, H., 2016. Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1), 459-468.
- Ertürkmen, D., Çağatay, İ.H., 2016. Dolgu Duvarlı Yapılarda Yumuşak Kat ve Zayıf Kat Düzensizliklerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 269-277.
- Kürkçü, F., 2019. 20 Katlı Betonarme Bir Yapının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Tasarımı ve Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Sandıkçı, T., 2014. Bina Türü Betonarme Bir Yapıda Yumuşak Kat ve Burulma Düzensizliği İlişkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Sezen, H., Whittaker, A., Elwood, K., Mosalam, K., 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. *Engineering Structures*, 25(1), 103-114.

- Şahin, Y., 2019. Mevcut Bir Betonarme Binanın 2019 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Zaman Tanım Alanında Analizinin Yapılarak Performansının Belirlenmesi ve Çelik Güçlendirme Önerileri, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- TBDY, 2018. *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf> (15.10.2020)
- Tekdemir, H., 2020. Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, Türkiye.
- Ulutaş, H., 2019. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 351-359.
- Uygun, G., Celep, Z., 2007. Betonarme Bir Binanın Deprem Güvenliğinin Deprem Yönetmeliği 2007'deki Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Karşılaştırmalı İncelenmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 269-280.
- Yaman, S., Tekeli, H., Demir, F., 2019. Betonarme Binalarda Perde Yeri Değişiminin Bina Performansına Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Ağustos 2019*, (16), 194-204.
- Yılmaz, C., 2008. Statik İtme Analiziyle Mevcut Bir Betonarme Yapının Performans Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

EKLER

EK 1. Kolon kesitlerinin moment eğrilik analizi sonuçları ve plastik dönme sınır değerleri

EK 1 - Tablo 4.1. C2 Tip kolonun eğrilik analiz sonuçları ve plastik dönme sınır değerleri

P (kN)	Akma Yüzeyi	Φ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	Φ_u (m^{-1})	M_u (kNm)	L_p	θ_{SH}	θ_{KH}	$\theta_{GÖ}$
-9711	0°	0.008	562.439	0.039	462.647	0.15	0	0.004	0.006
	90°	0.005	1033.833	0.022	846.214	0.35	0	0.003	0.004
-8805	0°	0.009	633.727	0.042	559.133	0.15	0	0.005	0.006
	90°	0.005	1171.649	0.024	1021.102	0.35	0	0.004	0.005
-7272	0°	0.011	715.571	0.051	657.953	0.15	0	0.005	0.007
	90°	0.006	1306.396	0.028	1199.687	0.35	0	0.004	0.006
-5639	0°	0.014	745.121	0.064	698.928	0.15	0	0.007	0.009
	90°	0.008	1333.389	0.035	1258.023	0.35	0	0.005	0.007
-3844	0°	0.014	676.514	0.090	650.519	0.15	0	0.010	0.014
	90°	0.008	1218.092	0.049	1185.011	0.35	0	0.008	0.011
-2921	0°	0.013	607.897	0.110	596.480	0.15	0	0.013	0.017
	90°	0.007	1096.930	0.062	1080.504	0.35	0	0.010	0.014
-1971	0°	0.012	522.685	0.149	519.276	0.15	0	0.018	0.024
	90°	0.007	938.101	0.078	935.102	0.35	0	0.013	0.018
-965.35	0°	0.012	405.246	0.243	410.074	0.15	0	0.030	0.040
	90°	0.007	730.989	0.118	743.307	0.35	0	0.021	0.028
30.1336	0°	0.011	257.940	0.244	266.280	0.15	0	0.030	0.040
	90°	0.007	470.748	0.132	493.478	0.35	0	0.023	0.031

EK 1 - Tablo 4.2. C3 Tip kolonun eğrilik analiz sonuçları ve plastik dönme sınır değerleri

P (kN)	Akma Yüzeyi	Φ_y (m^{-1})	M_y (kNm)	Φ_u (m^{-1})	M_u (kNm)	L_p	θ_{SH}	θ_{KH}	$\theta_{Gö}$
-13563	0°	0.003	2608.890	0.012	1999.603	0.15	0	0.003	0.003
	90°	0.011	581.013	0.053	414.090	0.35	0	0.005	0.006
-12438	0°	0.003	2907.017	0.013	2375.805	0.15	0	0.003	0.004
	90°	0.013	650.128	0.057	514.822	0.35	0	0.005	0.007
-10367	0°	0.003	3292.088	0.015	2931.967	0.15	0	0.003	0.004
	90°	0.015	737.743	0.067	648.513	0.35	0	0.006	0.008
-8181	0°	0.004	3403.231	0.018	3149.259	0.15	0	0.004	0.005
	90°	0.019	783.042	0.085	699.604	0.35	0	0.008	0.010
-5776	0°	0.004	3187.635	0.024	3058.949	0.15	0	0.005	0.007
	90°	0.020	753.813	0.113	684.603	0.35	0	0.011	0.014
-4287	0°	0.004	2870.846	0.030	2811.662	0.15	0	0.007	0.009
	90°	0.018	655.681	0.150	630.291	0.35	0	0.015	0.019
-2792	0°	0.004	2425.903	0.040	2412.967	0.15	0	0.010	0.013
	90°	0.016	545.650	0.220	540.097	0.35	0	0.022	0.030
-1278	0°	0.004	1856.032	0.060	1884.744	0.15	0	0.015	0.020
	90°	0.015	411.868	0.367	417.210	0.35	0	0.038	0.051
204.2368	0°	0.004	1154.703	0.070	1217.274	0.15	0	0.018	0.024
	90°	0.014	247.258	0.341	252.237	0.35	0	0.035	0.047