

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE BETONARME
YAPILARDA ÇEŞİTLİ TAŞIYICI SİSTEM TASARIMLARININ
PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elif EĞİ**

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP

Ocak 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**STATİK İTME ANALİZİ YÖNTEMİYLE BETONARME
YAPILARDA ÇEŞİTLİ TAŞIYICI SİSTEM TASARIMLARININ
PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif EGİ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 11/02/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin
KASAP**

Jüri Başkanı

**Dr. Öğr. Üyesi Necati
MERT**

Üye

**Dr. Öğr. Üyesi Yusuf
SÜMER**

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Elif EĞİ
11.02.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, herkonuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Hüseyin KASAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmem de hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan bana her zaman destek olan Annem Ayten EĞİ, Babam İhsan Egi, Abim Serkan Egi, Teyzem Gülten GÜLEN'e ve Teyzem Türkan GÜLEN'in şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	xiv
ÖZET	xviii
SUMMARY	xix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	2
1.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	3
BÖLÜM 2.	
PERFORMANS KAVRAMI	6
2.1. Performans Kavramına Giriş	6
2.2. Performans Seviyeleri	6
2.2.1. Deprem tehlike haritaları	8
2.2.2. Deprem yer hareketi düzeyleri	8
2.2.3. Yerel zemin etki katsayıları	9
2.2.4. Tasarım ivme spekturumu	11
2.2.4.1. Yatay elastik tasarım ivme spekturumu	12
2.2.4.2. Düşey elastik tasarım ivme spekturumu	13
2.2.5. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	14
2.2.6. Deprem tasarım sınıfları	14

2.2.7. Bina yükseklik sınıfları	15
2.2.8. Süneklik	16
2.2.9. Bina performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları	17

BÖLÜM 3.

DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER	20
3.1. Giriş	20
3.2. Doğrusal Olmayan Davranış	21
3.2.1. Doğrusal olmayan davranış modelleri	21
3.2.1.1. Yığılı plastik davranış modeli	21
3.2.1.2. Yayılı plastik davranış modeli	22
3.3. Doğrusal Olmayan Davranışların İdealleştirilmesi	23
3.3.1. Betonarme malzeme modelleri	23
3.3.1.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri	24
3.3.1.2. Donatı çeliği modeli	24
3.3.2. Betonarme taşıyıcı sistemlerin modellenmesi	25
3.4. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	27
3.4.1. İtme yöntemi	28
3.4.1.1. Tek modlu itme yöntemi	28
3.4.1.1.1. Sabit tek modlu itme yöntemi	29
3.4.1.1.2. Değişken tek modlu itme yöntemi	34
3.4.1.2. Çok modlu itme yöntemi	35
3.4.2. Zaman tanım alanında hesap yöntemi	36

BÖLÜM 4.

BETONARME YAPILARIN İTME ANALİZLERİNİN YAPILMASI	37
4.1. Referans Model Tasarımı ve Analiz Sonuçları	38
4.2. Model-A1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	74
4.3. Model-A2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	81
4.4. Model-B1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	93
4.5. Model-B2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	101

4.6. Model-B3 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	108
4.7. Model-B4 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	116
4.8. Model-C1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	122
4.9. Model-C2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları	130
BÖLÜM 5.	
SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRMELER	138
5.1. Yapıların Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması	138
5.2. X ve Y Yönünde Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması	141
5.1. Plastik Mafsal Hasar Seviyelerinin Karşılaştırılması	142
5.4. Değerlendirmeler	143
BÖLÜM 6.	
ÖNERİLER	146
KAYNAKLAR	148
ÖZGEÇMİŞ	150

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_s	: Boyuna donatı alanı
a	: Modal ivme
a_i	: Kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$a_1^{(x,k)}$	: (x) deprem doğrultusunda için k'ncı itme adımında birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal-sözde ivmesi
B	: Akmanın meydana geldiği nokta
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
b_o	: Göbek betonu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyu
C	: Nihai kapasite durumu
CP	: Yapı stabilite durumu
C_R	: Spektral yer değiştirme oranı
D	: Göçme öncesi durum
$DD-1$	: Deprem yer hareketi düzeyi -1
$DD-2$	: Deprem yer hareketi düzeyi -2
$DD-3$	: Deprem yer hareketi düzeyi -3
$DD-4$	: Deprem yer hareketi düzeyi -4
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
DGT	: Dayanıma göre tasarım
d	: Modal yer değiştirme
d_b	: Boyuna donatı çapı
E	: Göçmenin meydana geldiği nokta
E_c	: Betonun elastisite modülü

E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
$(EI)_e$	: Yığılı plastik davranışa göre modellenen kolon, kiriş, bağ kiriş veya perdenin etkin kesit rijitliği
FEMA-356	: Federal emergency management agency
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_1	: 1,0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
f	: Frekans
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{ce}	: Betonun ortalama basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{co}	: Sargısız beton basınç dayanımı
f_s	: Donatı çeliğinde gerilme
f_{ye}	: Çeliğin ortalama akma dayanımı
f_{yk}	: Çeliğin karakteristik akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
G	: Sabit yük
GÖ	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
H_N	: Bina toplam yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
IO	: Hemen kullanım durumu
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
KK	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
LS	: Can güvenliği durumu
L_s	: Kesme açıklığı
M_y	: Etkin akma momenti
PGA	: En büyük yer ivmesi
Q	: Hareketli yük
PGV	: En büyük yer hızı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
s	: Enine donatı aralığı

S_a	: Spektral ivme
$S_{ai}(T_1)$	: Birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yer değiştirme
$S_{di}(T_1)$	: Birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan elastik spektral ivme
$S_{ae}(T_1)$	: Birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal elastik spektral ivme
$S_{de}(T_1)$	: Birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan elastik spektral ivme
$S_{di}(T_1)$	: Birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen doğrusal olmayan elastik spektral ivme
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_{D1}	: 1,0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
S_1	: 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
$\text{\text{ŞGDT}}$	: Şekil değiştirmeye göre tasarım
T	: Doğal Titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
$TBDY$	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği – 2018
T_L	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{LD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumunda sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu
u	: Tepe yer değiştirme
V	: Taban kesme kuvveti
V_s	: Kayma dalgası hızı
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı

ε_c	: Beton basınç birim şekil değıştirmesi
ε_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değıştirmesi
ε_s	: Donatı çeliğinin pekleşme başlagıcındaki birim şekil değıştirmesi
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değıştirmesi
θ_y	: Akma durumu için yerdeğıştirmiş eksen dönmesi
ϕ_y	: Akma eğriliğı
$\Phi_{i\theta 1}^{(1)}$	: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değıştirilmeyen sabit mod şekli'nin z eksenı etrafındaki dönme genliğı
$\Phi_{ix1}^{(1)}$	: i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değışken mod şekli'nin x doğrultusundaki genliğı
$\Phi_{iy1}^{(1)}$	: i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değışken mod şekli'nin y doğrultusundaki genliğı
$\Gamma_n^{(x)}$	: (x) deprem doğrultusunda birinci titreşim modu için ilk itme adımında hesaplanan modal katkı çarpanı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bina performans düzeyleri	7
Şekil 2.2. Tasarım İvme Spektrumu	12
Şekil 2.3. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu	12
Şekil 2.4. Düşey elastik tasarım ivme spektrumu	13
Şekil 2.5. Sünek taşıyıcı sistem	16
Şekil 2.6. Sünek olmayan taşıyıcı sistem	16
Şekil 3.1. Doğrusal ve doğrusal olmayan (yığılı) eleman modellerinin karşılaştırılması	22
Şekil 3.2. Doğrusal ve doğrusal olmayan (yayılı) eleman modellerinin karşılaştırılması	23
Şekil 3.3. Sargılı ve sargısız beton modelleri	24
Şekil 3.4. Donatı çeliği modeli	25
Şekil 3.5. Tipik bir yapıya ait itme eğrisi	30
Şekil 3.6. İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramının karşılaştırılması	31
Şekil 3.7. Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi	33
Şekil 3.8. Modal yer değiştirme isteminin ardışık yaklaşım ile hesabı	34
Şekil 3.9. İtme eğrisi (a), SDF sistem eğrisi(b)	35
Şekil 4.1. Referans model kalıp planı	39
Şekil 4.2. Referans model üç boyutlu görüntüsü	40
Şekil 4.3. Beton özelliklerinin tanımlanması	41
Şekil 4.4. S420 donatı çeliği özelliklerinin tanımlanması	41
Şekil 4.5. Kolon kesit özelliklerinin tanımlanması	42
Şekil 4.6. Kiriş kesit özelliklerinin tanımlanması... ..	42
Şekil 4.7. Sargılı beton modeli	43
Şekil 4.8. Sargısız beton modeli.....	43
Şekil 4.9. S420 donatı çeliği modeli	44

Şekil 4.10. Kolon M- ϕ bağıntısının elde edilmesi.....	44
Şekil 4.11. Kiriş M- ϕ bağıntısının elde edilmesi	45
Şekil 4.12. Kolon etkin kesit rijitliği tanımlanması	45
Şekil 4.13. Kiriş etkin kesit rijitliği tanımlanması	46
Şekil 4.14. Tasarım spektrumu ve zemin değerleri veri girişi.....	46
Şekil 4.15. Yük tiplerinin belirlenmesi	47
Şekil 4.16. İtme analizi başlangıç adımı tanımlanması	47
Şekil 4.17. Yükleme yapılacak olan noktanın belirlenmesi	48
Şekil 4.18. X doğrultusu itme durumu tanımlanması	49
Şekil 4.19. X doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi...	49
Şekil 4.20. Y doğrultusu itme durumu tanımlanması	50
Şekil 4.21. Y doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi...	50
Şekil 4.22. Tanımlanan itme yüklerinin model üzerindeki gösterimi.....	51
Şekil 4.23. Rijit diyafram atanması	51
Şekil 4.24. Temel mesnetlerinin üç boyutlu model üzerinde gösterimi	52
Şekil 4.25. Döşemlerden kırıslara aktarılan yükler	53
Şekil 4.26. Yük kombinasyonlarının tanımlanması	53
Şekil 4.27. Kolon plastik mafsalları tanımlanması	54
Şekil 4.28. Kiriş plastik mafsalları tanımlanması	55
Şekil 4.29. Kolon plastik mafsalları atanması	56
Şekil 4.30. Kiriş plastik mafsalları atanması	56
Şekil 4.31. Kolon-kiriş plastik mafsalların detaylı gösterimi.....	57
Şekil 4.32. Analiz ayarları	57
Şekil 4.33. Yapının 1. mod şekli	58
Şekil 4.34. Yapının 2. mod şekli	59
Şekil 4.35. Yapının 3. mod şekli	59
Şekil 4.36. Yapının 4. mod şekli	60
Şekil 4.37. Yapının 5. mod şekli	60
Şekil 4.38. Yapının 6. mod şekli	60
Şekil 4.39. X doğrultusu 1. - 2. adımları plastik mafsalları oluşumları	61
Şekil 4.40. X doğrultusu 3. - 4. adımları plastik mafsalları oluşumları	62
Şekil 4.41. X doğrultusu 5. - 6. adımları plastik mafsalları oluşumları	62

Şekil 4.42. X doğrultusu 7. - 8. adımları plastik mafsall oluşumları	62
Şekil 4.43. X doğrultusu 9. - 10. adımları plastik mafsall oluşumları	63
Şekil 4.44. X doğrultusu 11. - 12. adımları plastik mafsall oluşumları	63
Şekil 4.45. X doğrultusu 13. adım plastik mafsall oluşumları	63
Şekil 4.46. Referans model X yönü itme eğrisi	65
Şekil 4.47. Referans model X yönü modal kapasite diyagramı	67
Şekil 4.48. Referans model X yönü modal yer değıştirme istemi	67
Şekil 4.49. Referans model X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	68
Şekil 4.50. Referans model Y yönü itme eğrisi	70
Şekil 4.51. Referans model Y yönü modal kapasite diyagramı	72
Şekil 4.52. Referans model Y yönü modal yer değıştirme istemi	72
Şekil 4.53. Referans model Y yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	73
Şekil 4.54. Model-A1 kalıp planı	75
Şekil 4.55. Model-A1 üç boyutlu görüntüsü	76
Şekil 4.56. Model-A1 X yönü itme eğrisi	77
Şekil 4.57. Model-A1 X Yönü modal kapasite diyagramı	79
Şekil 4.58. Model-A1 X yönü modal yer değıştirme istemi	80
Şekil 4.59. Model-A1 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	81
Şekil 4.60. Model-A2 kalıp planı	82
Şekil 4.61. Model-A2 üç boyutlu görüntüsü	83
Şekil 4.62. Model-A2 X yönü itme eğrisi	84
Şekil 4.63. Model-A2 X yönü modal kapasite diyagramı	86
Şekil 4.64. Model-A2 X yönü modal yer değıştirme istemi	87
Şekil 4.65. Model-A2 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	88
Şekil 4.66. Model-A2 Y Yönü itme eğrisi	89
Şekil 4.67. Model-A2 Y yönü modal kapasite diyagramı	91
Şekil 4.68. Model-A2 Y yönü yönü modal yer değıştirme istemi	92
Şekil 4.69. Model-A2 Y yönü performans noktasına kadar olan itme analiz	93
Şekil 4.70. Model-B1 kalıp planı	94
Şekil 4.71. Model-B1 üç boyutlu görüntüsü	95
Şekil 4.72. Model-B1 X yönü itme eğrisi	96
Şekil 4.73. Model-B1 X yönü modal kapasite diyagramı	98

Şekil 4.74. Model-B1 X yönü modal yer değiştirme istemi	99
Şekil 4.75. Model-B1 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	100
Şekil 4.76. Model-B2 kalıp planı	101
Şekil 4.77. Model-B2 üç boyutlu görüntüsü	102
Şekil 4.78. Model-B2 X yönü itme eğrisi	104
Şekil 4.79. Model-B2 X yönü modal kapasite diyagramı	106
Şekil 4.80. Model-B2 X yönü modal yer değiştirme istemi	106
Şekil 4.81. Model-B2 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	107
Şekil 4.82. Model-B3 kalıp planı	109
Şekil 4.83. Model-B3 üç boyutlu görüntüsü	110
Şekil 4.84. Model-B3 X yönü itme eğrisi	111
Şekil 4.85. Model-B3 X yönü modal kapasite diyagramı	113
Şekil 4.86. Model-B3 X yönü modal yer değiştirme istemi	114
Şekil 4.87. Model-B3 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	115
Şekil 4.88. Model-B4 kalıp planı	116
Şekil 4.89. Model-B4 üç boyutlu görüntüsü	117
Şekil 4.90. Model-B4 X yönü itme eğrisi	119
Şekil 4.91. Model-B4 X yönü modal kapasite diyagramı	120
Şekil 4.92. Model-B4 X yönü modal yer değiştirme istemi	121
Şekil 4.93. Model-B4 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	122
Şekil 4.94. Model-C1 kalıp planı	123
Şekil 4.95. Model-C1 üç boyutlu görüntüsü	124
Şekil 4.96. Model-C1 X yönü itme eğrisi	125
Şekil 4.97. Model-C1 X yönü modal kapasite diyagramı	127
Şekil 4.98. Model-C1 X yönü modal yer değiştirme istemi	128
Şekil 4.99. Model-C1 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	129
Şekil 4.100. Model-C2 kalıp planı	130
Şekil 4.101. Model-C2 üç boyutlu görüntüsü	131
Şekil 4.102. Model-C2 X yönü itme eğrisi	133
Şekil 4.103. Model-C2 X yönü modal kapasite diyagramı	135
Şekil 4.104. Model-C2 X yönü modal yer değiştirme istemi	136
Şekil 4.105. Model-C2 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi	137

Şekil 5.1. X yönü bilineer itme eğrilerinin karşılaştırılması	139
Şekil 5.2. Model-A2 X ve Y yönleri bilineer itme eğrilerinin karşılaştırılması	142
Şekil 5.3. Plastik mafsallarda hasar seviyelerinin karşılaştırılması.....	143



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	9
Tablo 2.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları	9
Tablo 2.3. Yerel zemin sınıfları	10
Tablo 2.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	14
Tablo 2.5. Deprem tasarım sınıfları	15
Tablo 2.6. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları.....	15
Tablo 2.7. Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar dışında - $BYS \geq 2$).....	17
Tablo 2.8. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar ($BYS=1$).....	17
Tablo 2.9. Mevcut yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında $BYS \geq 2$).....	18
Tablo 2.10. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı	18
Tablo 2.11. Deprem yalıtımlı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar – üstyapı	18
Tablo 2.12. Yeni yapılacak ve güçlendirecek deprem yalıtımlı binalar – yalıtım sistemi ve altyapı	19
Tablo 3.1. Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları	23
Tablo 3.2. Donatı çeliklerine ait bilgiler	25
Tablo 3.3. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları.	26
Tablo 4.1. Referans model kolon bilgileri	39
Tablo 4.2. Referans model giriş bilgileri	39
Tablo 4.3. Referans model yapı periyotları ve frekansları	58
Tablo 4.4. Referans model X yönü itme analizi sonuçları	64
Tablo 4.5. Referans model X yönü burulma düzensizliği kontrolü	65
Tablo 4.6. Referans model X yönü modal hesap sonuçları	65
Tablo 4.7. Referans model X yönü modal kapasite değerleri	66

Tablo 4.8. Referans model X yönü plastik mafsall hasar seviyeleri	69
Tablo 4.9. Referans model Y yönü itme analizi sonuçları	69
Tablo 4.10. Referans model Y yönü burulma düzensizliği kontrolü	70
Tablo 4.11. Referans model Y yönü modal hesap sonuçları	70
Tablo 4.12. Referans model Y yönü modal kapasite değerleri	71
Tablo 4.13. Referans model Y yönü plastik mafsall hasar seviyeleri	74
Tablo 4.14. Model-A1 kolon bilgileri	75
Tablo 4.15. Model-A1 kiriş bilgileri	75
Tablo 4.16. Model-A1 yapı periyotları ve frekansları	76
Tablo 4.17. Model-A1 X yönü itme analizi sonuçları	77
Tablo 4.18. Model-A1 yönü burulma düzensizliği kontrolü	78
Tablo 4.19. Model-A1 X yönü modal hesap sonuçları	78
Tablo 4.20. Model-A1 X yönü modal kapasite değerleri	79
Tablo 4.21. Model-A1 X yönü plastik mafsall hasar seviyeleri	81
Tablo 4.22. Model-A2 kolon bilgileri	82
Tablo 4.23. Model-A2 kiriş bilgileri	83
Tablo 4.24. Model-A2 yapı periyotları ve frekansları	83
Tablo 4.25. Model-A2 X yönü itme analizi sonuçları	84
Tablo 4.26. Model-A2 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	85
Tablo 4.27. Model-A2 X yönü modal hesap sonuçları	85
Tablo 4.28. Model-A2 X yönü modal kapasite değerleri	86
Tablo 4.29. Model-A2 X yönü plastik mafsall hasar seviyeleri	88
Tablo 4.30. Model-A2 Y yönü itme analizi sonuçları	89
Tablo 4.31. Model-A2 Y yönü burulma düzensizliği kontrolü	90
Tablo 4.32. Model-A2 Y yönü modal hesap sonuçları	90
Tablo 4.33. Model-A2 Y yönü modal kapasite değerleri	88
Tablo 4.34. Model-A2 Y yönü plastik mafsall hasar seviyeleri	93
Tablo 4.35. Model-B1 kolon bilgileri	94
Tablo 4.36. Model-B1 kiriş bilgileri	94
Tablo 4.37. Model-B1 yapı periyotları ve frekansları	95
Tablo 4.38. Model-B1 X yönü itme analizi sonuçları	96
Tablo 4.39. Model-B1 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	97

Tablo 4.40. Model-B1 X yönü modal hesap sonuçları	97
Tablo 4.41. Model-B1 X yönü modal kapasite değerleri	97
Tablo 4.42. Model-B1 X yönü plastik mafsallık hasar seviyeleri	100
Tablo 4.43. Model-B2 kolon bilgileri	102
Tablo 4.44. Model-B2 kiriş bilgileri	102
Tablo 4.45. Model-B2 yapı periyotları ve frekansları	103
Tablo 4.46. Model-B2 X yönü itme analizi sonuçları	103
Tablo 4.47. Model-B2 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	104
Tablo 4.48. Model-B2 X yönü modal hesap sonuçları	104
Tablo 4.49. Model-B2 X yönü modal kapasite değerleri	105
Tablo 4.50. Model-B2 X yönü plastik mafsallık hasar seviyeleri	108
Tablo 4.51. Model-B3 kolon bilgileri	109
Tablo 4.52. Model-B3 kiriş bilgileri	109
Tablo 4.53. Model-B3 yapı periyotları ve frekansları	110
Tablo 4.54. Model-B3 X yönü itme analizi sonuçları	111
Tablo 4.55. Model-B3 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	112
Tablo 4.56. Model-B3 X yönü modal hesap sonuçları	112
Tablo 4.57. Model-B3 X yönü modal kapasite değerleri	112
Tablo 4.58. Model-B3 X yönü plastik mafsallık hasar seviyeleri	115
Tablo 4.59. Model-B4 kolon bilgileri	117
Tablo 4.60. Model-B4 kiriş bilgileri	117
Tablo 4.61. Model-B4 yapı periyotları ve frekansları	118
Tablo 4.62. Model-B4 X yönü itme analizi sonuçları	118
Tablo 4.63. Model-B4 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	119
Tablo 4.64. Model-B4 X yönü modal hesap sonuçları	119
Tablo 4.65. Model-B4 X yönü modal kapasite değerleri	120
Tablo 4.66. Model-B4 X yönü plastik mafsallık hasar seviyeleri	122
Tablo 4.67. Model-C1 kolon bilgileri	123
Tablo 4.68. Model-C1 kiriş bilgileri	124
Tablo 4.69. Model-C1 yapı periyotları ve frekansları	124
Tablo 4.70. Model-C1 X yönü itme analizi sonuçları	125
Tablo 4.71. Model-C1 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	126

Tablo 4.72. Model-C1 X yönü modal hesap sonuçları	126
Tablo 4.73. Model-C1 X yönü modal kapasite değerleri	127
Tablo 4.74. Model-C1 X yönü plastik mafsallık hasar seviyeleri	130
Tablo 4.75. Model-C2 kolon bilgileri	131
Tablo 4.76. Model-C2 kiriş bilgileri	131
Tablo 4.77. Model-C2 yapı periyotları ve frekansları	132
Tablo 4.78. Model-C2 X yönü itme analizi sonuçları	133
Tablo 4.79. Model-C2 X yönü burulma düzensizliği kontrolü	134
Tablo 4.80. Model-C2 X yönü modal hesap sonuçları	134
Tablo 4.81. Model-C2 X yönü modal kapasite değerleri	135
Tablo 4.82. Model-C2 X yönü plastik mafsallık hasar seviyeleri	137
Tablo 5.1. Tüm modellerin X yönü itme analizi sonuçları.	139
Tablo 5.2. Model-A2 X ve Y yönü bilineer itme analizi sonuçları	142
Tablo 5.3. Tüm modellerin hedef performans noktasındaki plastik mafsallık hasar seviyeleri	143

ÖZET

Anahtar kelimeler: Statik itme analizi, mafsallaşma, betonarme yapıların deprem davranışları

Tez çalışması kapsamında farklı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip betonarme yapıların deprem etkisinde altında, plastik mafsallı teorisine bağlı kalınarak uygulanan yatay yük artırımı metoduyla itme analizleri yapıp göstermiş olduğu davranışlar araştırılmıştır.

Aktif deprem kuşağında yer alan bölgelerdeki betonarme yapılar itme analizine tabi tutularak yük-deplasman eğrilerine ulaşılmış ve deprem etkisi altındaki yapının performansı hakkında bilgiler edinilmiştir. Taşıyıcı sistemde farklı aks açıklıkları ve taşıyıcı eleman boyutlarındaki değişimlere bağlı olarak betonarme yapı modellerinin yatay yük artışında göstermiş olduğu yapı davranışları araştırılmıştır. Elde ettiğimiz veriler ışığında betonarme yapıların tasarım kısmında dikkate alınması gereken hususlar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Toplamda 9 (dokuz) farklı yapı modeli incelenmiştir. Mimari tasarımlar nedeniyle bazı aksların kesişim noktalarındaki kolonların kaldırılması durumları da dikkate alınarak her bir yapı modeli için ayrıntılı olarak statik itme analizleri yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar nezdinde depreme karşı yapıların göstermiş olduğu dayanım ve davranışlar belirlenmiştir. Sonuçlar göz önüne alınarak incelenen yapı modellerinin olumlu ve olumsuz yanları ortaya konulmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda betonarme yapıların tasarım aşamasında yapıların olabildiğince simetrik olarak tasarlanması tercih edilmelidir. Aks açıklıklarının da minimum ölçülerde tasarlanması önerilir. Yapılarda bırakılan büyük galeri boşlukları yapının davranışını olumsuz etkilemektedir. Mümkün olduğunca yapıda süreksiz tasarımlardan kaçınılmalıdır. Yapıda galeri boşluklarının zaruri olduğu durumlarda taşıyıcı eleman boyutları arttırılmaya ve aks açıklıkları azaltılmaya çalışılmalıdır.

EVALUATION OF THE PERFORMANCES OF VARIOUS CARRIER SYSTEM DESIGN IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES BY THE PUSHOVER ANALYSIS

SUMMARY

Keywords: Pushover analysis, hinging, earthquake responses of concrete structures

Within the scope of thesis, the behaviors of reinforced concrete structures with different load-bearing systems under the effect of earthquake were examined in detail by applying pushover analysis using the load-increase method adhering to the plastic hinge theory.

The reinforced concrete structures located in the active seismic zone were subjected to the pushover analysis, their load-displacement curves were obtained, and determinations were made about the performance of the structure under the earthquake. The fluctuations due to different axle spans and changes in the dimension of the bearing elements and the behaviors of the models in horizontal load increase were examined. In the light of the data we have obtained, recommendations about the points to be considered in the design part of reinforced concrete structures were declared.

In total, 9 different building models were examined. Pushover analyzes were made for each model and their detailed calculations were made. Under the supervision of the results we have achieved, the strength and behavior of the buildings against earthquakes were determined. The positive and negative sides of the models were revealed considering the results.

As a result of the study, it should be allowed to model the reinforced concrete structures as symmetrically as possible during the design phase. Axle clearances should be designed in minimum dimensions. Large gallery gaps in the structures negatively affect the behavior of the building. Discontinuity should be avoided as much as possible. In cases where gallery gaps in the structures are necessary, the bearing element dimensions should be increased, and the axle clearances should be decreased.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yer kabuğunda çeşitli zamanlarda bir takım kırılmalar meydana gelmektedir. Bu kırılmalar yeryüzüne farklı dalgalarla iletilmekte ve sarsıcı bir etki oluşturmaktadır. Bu yer hareketleri deprem olarak adlandırılmaktadır. Deprem etkisiyle yapılarda çeşitli şekillerde hasarlar meydana gelmektedir. Depremi önceden tespiti ve engellenebilirliği şu an ki teknoloji ile mümkün olmadığı için yapıların projelendirilmesinde deprem yönetmeliğindeki kurallara uyulmalıdır.

Depremlere karşı yapılarımızın tasarım kuralları zaman içerisinde meydana gelen depremlerden edinilen tecrübeler ışığında geliştirilmiştir. Bu bağlamda farklı zamanlarda yönetmeliklerde değişikliklere gidilmiştir. Her yazılan yeni yönetmelikte yapının güvenliğini tehdit eden tüm risklerin dolaylı olarak dikkate alınması hedeflenmiştir. Bunun son örneği olarak 2018 yılında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği revize edilip değiştirilmiştir. Yeni TBDY 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmiştir.

Aktif deprem kuşağı içerisinde yer alan ülkemizde yapılar tasarlanırken en önemli koşul göçme öncesi duruma gelmeden can güvenliğini sağlayacak şekilde kontrollü hasar performansına sahip olmasıdır. Yapıda şiddetli deprem sonrasında çeşitli düzeyde hasarlar meydana gelebilmektedir. Yapıda oluşan hasarlar belli bir sınırı aştığında yapı elemanlarının lineer durumundan nonlineer duruma geçtiği söylenebilir. Nonlineer duruma geçen yapı için doğrusal yöntemlerle hesaplama yapılması gerçekçi değildir. Bu durumda doğrusal olmayan hesap yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hesap yöntemlerinden biri de Statik İtme Analizi (pushover analysis) yöntemidir.

Statik İtme Analizi (pushover analysis), yönteminde sistem düşey yükler altında sabit tutularak, orantılı olarak arttırılan yatay yükler etki ettirilir. Yatay yüklerin etkisine maruz kalan yapıda yatay yer değiştirmeler meydana gelmektedir. Sürekli artan yatay yükleme ve buna bağlı olarak oluşan yatay yer değiştirmeler sonucu yapı elastik özelliği yitirip, plastik şekil değiştirme davranışına geçiş yapmaktadır. Yapıda meydana gelen bu değişim yapı elemanlarının taşıma kapasitesine ulaşıncaya kadar sürdürülür. Yapı belirli bir yer değiştirme değerine veya göçme durumuna ulaşıncaya kadar itme işlemi devam ettirilir.

İtme işleminin son adımında ulaşılan şekil değiştirme seviyesi yapının deprem sonrasında meydana gelecek hasar seviyesinin bir göstergesidir. Bu hesap yöntemiyle yapıda kesitlerin zorlanma seviyelerinin ve/veya yer değiştirmeye maruz kaldığında göstermiş olduğu davranışın net bir şekilde gözlemlenebilmesi, mevcut yapılarda güçlendirme açısından yol gösterici olmaktadır.

Statik İtme Yöntemi, aynı zamanda bir veya daha fazla depreme maruz kalmış mevcut yapıların performanslarının belirlenmesinde de kullanılmaktadır.

Günümüz teknolojisi gelişmiş hesap yöntemleri ve çeşitli yazılımlar sayesinde yapılarımızın depreme dayanıklı bir şekilde tasarlanmasını, mevcut yapıların ise ayrıntılı irdelenerek güçlendirilmesine veya yıkım kararının verilmesine yardımcı olmaktadır. Tüm bu imkanlar dahilinde ülkemizde ve tüm dünyada deprem sebebiyle oluşan can ve mal kaybının önüne geçilmesini hedeflenmektedir.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Tez çalışması kapsamında farklı düzensizlik durumlarına göre tasarlanmış olan betonarme çerçeve sistemden oluşan yapı modellerine statik itme analizi

uygulanmıştır. Analizler sonucu ulaşılan bilgilere göre yapının performansı gözlemlenerek yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi verilmesi hedeflenmiştir.

Tez altı ana bölüm altında incelenmiştir.

Birinci bölümde, tez hakkında genel bilgilendirme, uygulanacak yöntem ve literatür taraması kısımları yer almaktadır.

İkinci bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamında deprem bölgelerinde yapılacak binaların tasarımı konusunda uyulması gereken esaslar özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde, doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemi hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, tez kapsamında ele alınan binaların tanıtılması, modellenmesi ve analizleri yapıp hesap sonuçları detaylı olarak incelenmiştir.

Beşinci bölümde, analizlerin sonuçları göz önüne alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Altıncı bölümde, yapılan analizler ve karşılaştırmalar sonucu ulaşılan bilgiler doğrultusunda önerilerde bulunulmuştur.

1.2. Konu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Turgay (2000), çalışmasında taşıyıcı sistemleri sadece çerçevelerden oluşan yapılarda, kolonların ön tasarım boyutlandırılmasına ilişkin inceleme yapmıştır. Bu bağlamda yapıda aks açıklıkları, kat yükseklikleri, kat adetleri, yapı malzeme kalite ve birçok ölçüte dayalı düzensizlik durumlarını araştırmıştır [1].

Hasan (2002), yapılara statik itme analizinin uygulanabileceği bilgisayar tabanlı bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemle 3 katlı 4 açıklıklı ve 9 katlı 5 açıklıklı çerçeve sistemlerden oluşan iki farklı yapı modelini ele almıştır. Statik itme analizi sonucunda oluşan plastik kesitlerin durumuna göre yapıların performans bölgelerini tayin etmiştir [2].

Kırca (2004), 6 farklı çerçeve sistemden oluşan yapı modellerini incelemiştir. Kolon sayısının değişimine bağlı olarak katlara etkiyen deprem kuvvetlerini, katların yanal yer değiştirmelerini ve kolonlara gelen kesme kuvvetinin değişimiyle yapının göstermiş olduğu davranışları tespit etmiştir [3].

Hamutçuoğlu (2004), yapısal düzensizliklere sahip az katlı olmak üzere dört farklı yapı modelinin sabit düşey yükler ve artan yatay yükler etkisinde I. Mertebe teorisine göre doğrusal olmayan analizlerini yapmıştır. Analizler sonucu ortalama dayanım ve süneklik düzeylerine ulaşmış, bunların ışığında yapıların iyileştirilmesine yönelik önerilerde bulunmuştur [4].

Karakaya (2013), yaptığı araştırmada malzeme, kat planı ve minimum boyutlandırması aynı olan, farklı kat yüksekliklerine sahip binaları doğrusal olmayan analiz yöntemlerine göre incelemiştir. Yapılarda kat sayısı azaldıkça yatay yük taşıma kapasitelerinin ve deprem performansının arttığını gözlemlemiştir [5].

İlkhun ve Kasap (2017), çalışmasında 11 adet yapı modeli üzerinde, betonarme yapıların çerçeve süreksizliklerine karşın göstermiş olduğu yapı davranışlarını araştırmıştır. Yapı modellerinde kirişlerde ve akslar üzerinde süreksizlikler oluşturmuştur. Tüm modeller incelendiğinde yapıda en büyük yer değiştirmelerin simetrik olmayan süreksiz sistemlerde oluştuğunu görmüştür [6].

Tinas (2017), yaptığı çalışmasında TBDY 2016 taslağına göre modellediği mevcut çok katlı betonarme yapının sabit modlu statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan elastik yöntemlerle performansını belirlemiştir [7].

Varol ve Kasap (2019), çalışmasında, 7 adet farklı aks açıklıkları ve farklı düzensizliklere sahip yapıları statik itme analizi yöntemine göre incelemiştir. Kolonların planda yerleşime göre sonuçlar farklılık göstermiştir. Kolonların aks açıklıkları değişimine bağlı yerleşiminde orta kısımda sıklaştırıldığında, yapının rijitlik ve sünekliğinde önemli artışlar olduğunu vurgulamıştır. Düzensizlik görülen modellerde rijitliklerin azaldığını ve sünekliğinin arttığını ifade etmiştir [8].

Çam ve Kasap (2019), 6 farklı yapı modeli incelemiştir. Yapıları deprem etkisi altında itme analizine tabi tutup performanslarını araştırmıştır. Analizler sonunda yapılarda simetrikliğin direkt olarak yapının performansını etkilediği sonucuna ulaşmıştır. Yapının simetrikliğe elverişli olmadığı durumlarda ise perdelerin iki yönlü ve dengeli bir biçimde konumlandırılıp model geometrisinin korunması gerektiğini tavsiye etmiştir [9].

Çapa (2020), yaptığı çalışmasında TBDY 2018'e göre modellenen 3, 5, ve 7 katlı yapıların, doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre analizlerini yapmıştır. Yapıların plastikleşen kesitlerinin maksimum plastik dönme değerlerini, taban kesme kuvvetlerini, tepe yer değiştirme değerlerini, taşıyıcı sistemde oluşan hasar miktarları gibi birçok parametreyi çözümleyerek yapıların performanslarını incelemiştir. Sonuçları göz önüne alarak yapıların deprem performanslarını karşılaştırmıştır [10].

BÖLÜM 2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1. Performans Kavramına Giriş

Yapıda performans kavramı yapının deprem etkisi altında göstermiş olduğu davranışı ifade etmektedir. Performans kavramı son zamanlarda gelişme göstermekte ve tercih edilmektedir. Son gelinen nokta ile hem mevcut, hem de yeni yapıların performansını belirlemek mümkündür.

Deprem etkisi altında yapı farklı davranışlar sergilemektedir. Yapı elastik davranış sınırında kalmayıp elastik olmayan sınırlara geçebilmektedir. Yapı elastikliğini kaybedip elastik olmayan kısma geçtikten sonra doğrusal olmayan hesap yöntemleri işin içine girer.

TBDY-2018’de farklı hesap yöntemleri için performans kavramına ait çeşitli ölçütlere yer verilmiştir. Bu ölçütler analiz aşamasında dikkate alınır.

2.2. Performans Seviyeleri

Deprem sonrasında yapılarda oluşan hasar ölçütlerine göre yapının performansı belirlenir. TBDY-2018’de performans seviyeleri yapının hasar seviyesine bağlı, deprem sonrası kullanılabilirliği ile kullanılamazlığı arasında tanımlanmıştır. Yapı performans seviyeleri Şekil 2.1.’de gösterilmiştir.

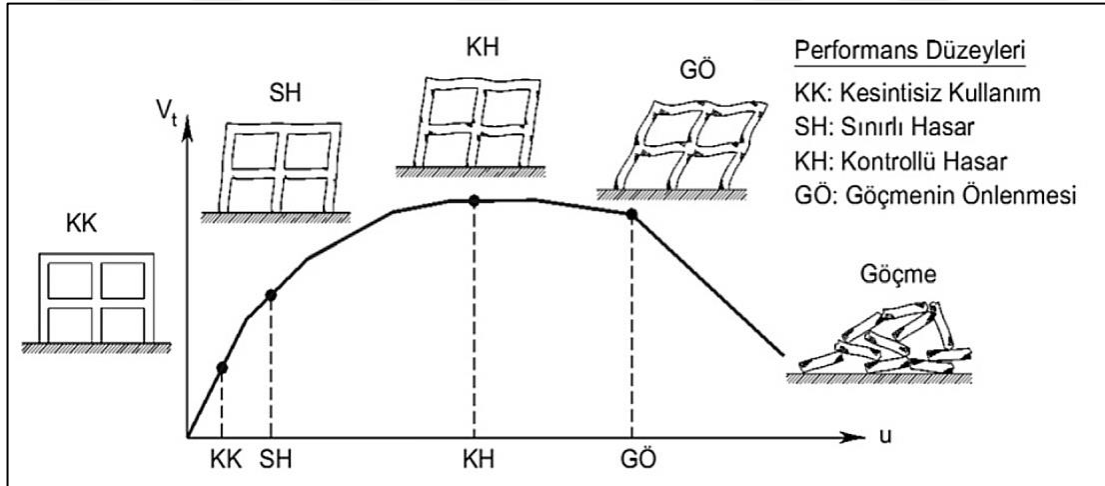
TBDY-2018’de yer verilen yapı performans seviyeleri:

Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, yapının taşıyıcı sisteminde herhangi bir yapısal hasarın oluşmadığı veya küçük ölçüde oluşan hasarların ihmal edilebilir düzeyde olduğu durumdur.

Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, yapının taşıyıcı sisteminde belirli bir seviyede hasarın oluştuğu ve doğrusal olmayan davranışın sınırlı oranda kaldığı durumdur.

Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, öncelik olarak can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sisteminde onarılabılır düzeyde hasarın olduğu durumdur.

Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi: Bu performans düzeyi, yapının taşıyıcı sisteminde çok ağır ve onarılması mümkün olmayan hasarın oluştuğu, yapının göçme öncesi durumunu ifade eder. Yapının kısmi veya tamamen göçmesini önlemenin amaçlandığı durumdur.



Şekil 2.1. Bina performans düzeyleri [11]

Yapı performans seviyelerini belirlemek için yönetmelik çerçevesinde yapıların tasarımında uygulanacak bir takım ölçütler yer almaktadır. Bu ölçütler aşağıdaki detaylı olarak anlatılmıştır.

2.2.1. Deprem tehlike haritaları

22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, AFAD'ın internet sayfasında yayınlanarak 'Deprem Tehlike Haritaları' olarak tanımlanmıştır. Yapıların analizi için bu sitedeki veriler esas alınarak hesap yapılır.

2.2.2. Deprem yer hareketi düzeyleri

TBDY-2018'de deprem etkisi altındaki yer hareketleri, yeni deprem haritalarından yola çıkılarak dört ana başlık altında detaylı olarak tanımlanmıştır. Bunlar;

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1): Spektral büyüklük olarak 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok ender görülen depremleri ifade etmektedir. Öngörülen deprem, en büyük deprem yer hareketi olarak da tanımlanmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi -2 (DD-2): Spektral büyüklük olarak 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu ender görülen depremleri ifade etmektedir. Öngörülen deprem, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da tanımlanmaktadır.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi -3 (DD-3): Spektral büyüklük olarak 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık depremleri ifade etmektedir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi -4 (DD-4): Spektral büyüklük olarak 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve bu duruma karşılık gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu sık depremleri ifade etmektedir. Öngörülen deprem, servis deprem yer hareketi olarak tanımlanmaktadır.

2.2.3. Yerel zemin etki katsayıları

Belirli bir depremin yer hareketleri taban alınarak %5 sönüm oranı için Tablo 2.1. ve Tablo 2.2.'de gösterildiği şekilde, spektral ivme katsayısı S_s , S_1 ve yerel zemin etki katsayılarına F_s , F_1 bağlı olarak standart bir hale getirilen spektrumdur. Yerel zemin sınıfları Tablo 2.3.'te gösterilmiştir. TBDY-2018'de sahaya özel yapılan çalışmalar ile analiz edilen deprem tehlikesine göre özel bir tanım yapılabilir.

Tablo 2.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları [12]

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s = 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.3. Yerel zemin sınıfları [12]

Yerel	Üst 30 metrede ortalama			
Zemin	Zemin	$(V_s)_{30}$	$(N_{60})_{30}$	$(C_u)_{30}$
Sınıfı	Cinsi	[m/s]	[darbe/30cm]	[kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya P1>20 ve w>%40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1. Deprem Etkisi Altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimento zeminler vb.) 2. Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3. Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (P1>50) killer 4. Çok kalın (>35m) yumuşak veya orta katı killer.			

2.2.4. Tasarım ivme spektrumu

TBDY 2018 ‘de tasarım spektrumları yatay elastik tasarım spektrumları ve düşey elastik tasarım spektrumları iki farklı kolda tanımlanmıştır.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik 2007‘de deprem bölgelerine bağlı olarak tanımlanan etkin yer ivmesi ile TBDY-2018’de tanımlanan deprem riski tasarım ivme spektrumu, kısa periyot ve 1,0 s periyot için Deprem Tehlikesi Haritası’nda tanımlanan harita spectral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak belirlenmektedir [13]. Tasarım ivme spektrumu örneği Şekil 2.2.’de gösterilmiştir.

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı

S_1 : 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı

F_S ve F_1 : Yerel Zemin Etki Katsayıları

S_{DS} ve S_{D1} : Tasarım Spektral İvme Katsayıları: S_{DS} ve S_{D1}

T_A ve T_B : Köşe periyotları

$$s_{ae}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_1}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.1)$$

$$s_{ae}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (2.2)$$

$$s_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L) \quad (2.3)$$

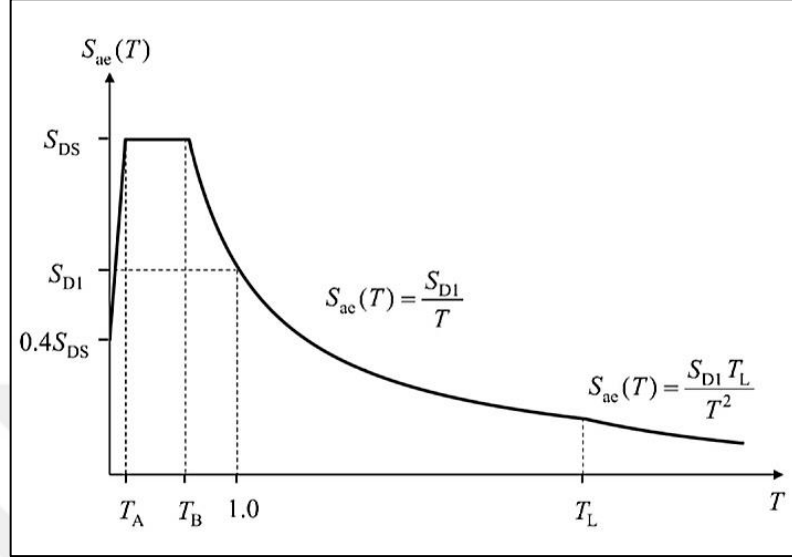
$$s_{ae}(T) = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.4)$$

$$S_{DS} = S_S F_S \quad (2.5)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 \quad (2.6)$$

$$T_A = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.7)$$

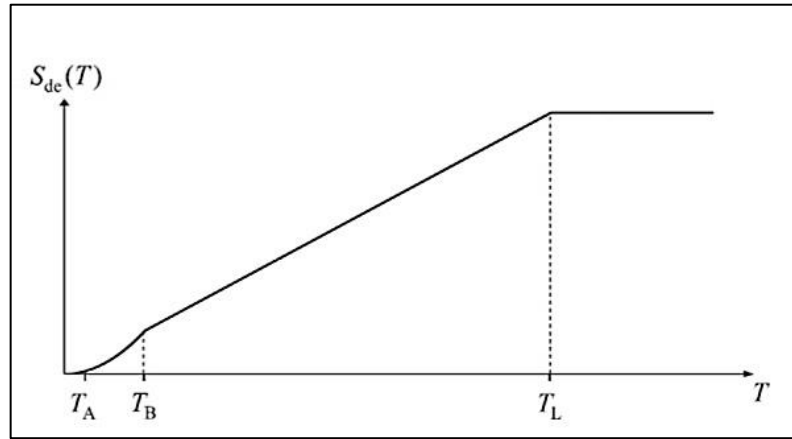
$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$



Şekil 2.2. Tasarım ivme spektrumu [12]

2.2.4.1. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu

Yatay elastik tasarım ivme spektrumu Denklem 2.9'dan yola çıkılarak, Şekil 2.3.'te belirtildiği şekilde oluşturulur.



Şekil 2.3. Yatay elastik tasarım ivme spektrumu [12]

$$S_{de}(T) = \frac{T^2}{4\pi^2} g S_{ae}(T) \quad (2.9)$$

2.2.4.2. Düşey elastik tasarım ivme spektrumu

Düşey elastik tasarım ivme spektrumu Denklem 2.10-2.15'ten yola çıkılarak, Şekil 2.4.'te belirtildiği şekilde oluşturulur.

$$s_{ae}(T) = \left(0,32 + 0,48 \frac{T}{T_{AD}}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_{AD}) \quad (2.10)$$

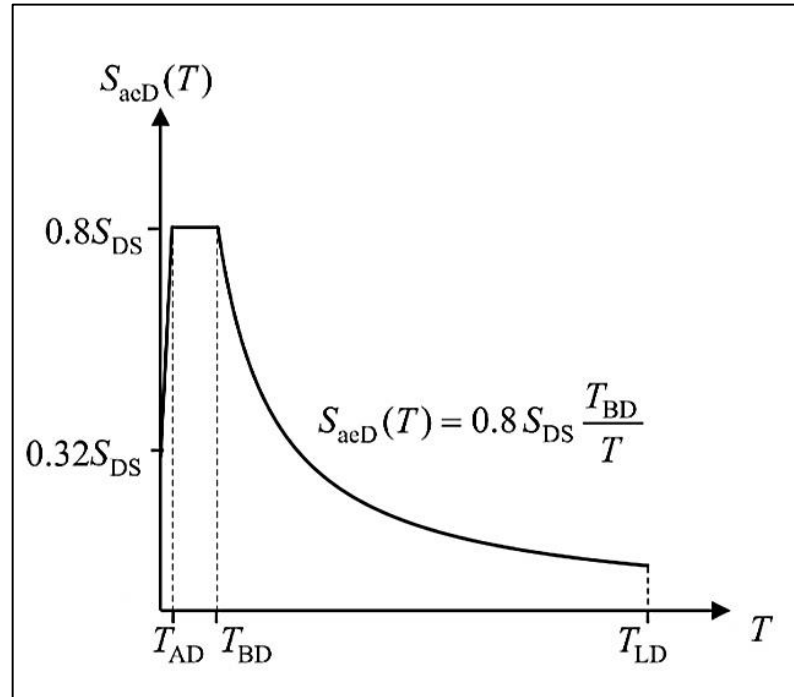
$$s_{ad}(T) = 0,8 S_{DS} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{BD}) \quad (2.11)$$

$$s_{ae}(T) = \left(0,8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T}\right) \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (2.12)$$

$$T_{AD} = \frac{T_A}{S} \quad (2.13)$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{S} \quad (2.14)$$

$$T_{LD} = \frac{T_L}{S} \quad (2.15)$$



Şekil 2.4. Düşey elastik tasarım ivme spektrumu [12]

2.2.5. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de yapının hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak üç farklı yapı kullanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu sınıflar BKS-1, BKS-2 ve BKS-3 olarak ifade edilmiştir. Bina kullanım sınıfları detaylı olarak Tablo 2.4.’te belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları [12]

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı
BKS=1	Deprem Sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar Deprem sonrası hemen kullanılması gerekli binalar (Hastahaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminaller, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) Okullar ve diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, ceza evleri vb. Müzeler 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, otelleri bina türü endüstri yapıları vb.)	1,0

2.2.6. Deprem tasarım sınıfları

Deprem Tasarım Sınıfları; Bina Kullanım Sınıfları’na ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı’na bağlı olmak üzere Tablo 2.5.’te gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Deprem tasarım sınıfları [12]

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

2.2.7. Bina yükseklik sınıfları

Deprem hesabında esas alınan bina yüksekliği H_N , bina tabanından itibaren son kat döşemesine kadar olan mesafedir. Son kat döşemesinde muhtemel bulunabilecek küçük kütleli uzantılar dikkate alınmayabilir. Bina yükseklik sınıfları, deprem tasarım sınıfına bağlı olarak TBDY-2018’de sekiz sınıfa ayrılmıştır. Bina yükseklik sınıfları Tablo 2.6.’da tanımlanmıştır.

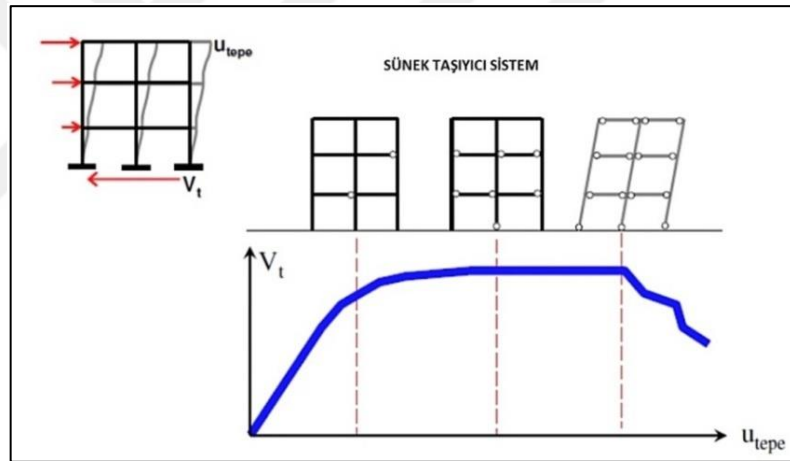
Tablo 2.6. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları [12]

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)		
k Sınıfı	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	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

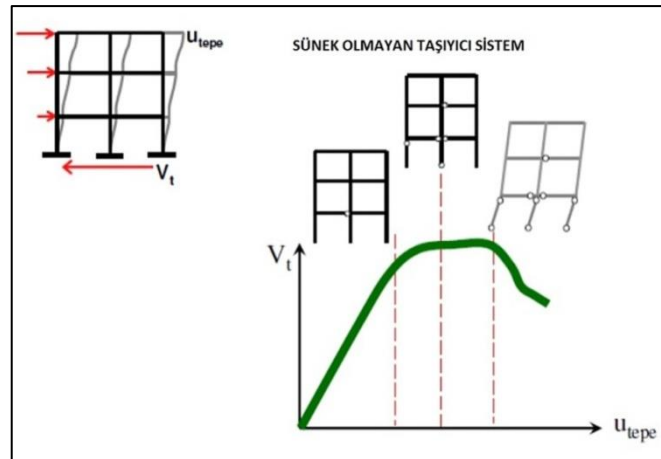
2.2.8. Süneklik

Süneklik aktif deprem kuşağında olan bölgelerde büyük bir önem arz etmektedir. Yapılar tasarlanırken dayanımında eksilme olmaksızın belirli bir miktarda plastik deformasyonlar yapmasına izin verecek şekilde yapılır. Plastik davranışına izin verilen yapılar hasar alabilir fakat göçme olmamalıdır.

Betonarme kirişlerde sünek davranış basit eğilme etkisi altında gerçekleşir. Betonarme kolon ve perdelerde ise eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında gerçekleşir. Sünek ve sünek olmayan taşıyıcı sistem davranışları Şekil 2.5. ve Şekil 2.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Sünek taşıyıcı sistem [13]



Şekil 2.6. Sünek olmayan taşıyıcı sistem [13]

2.2.9. Bina performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları

Performans hedefleri TBDY-2018’de binanın yapısına, deprem tasarım sınıflarına ve yapının durumuna bağlı olarak tanımlanmıştır. Binanın deprem etkisi altında göstermesi öngörülen davranışlarının sonucunu göstermektedir. Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları Tablo 2.7. - 2.9. arasında gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar (Yüksek binalar dışında - $BYS \geq 2$) [12]

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

Tablo 2.8. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar ($BYS=1$) [12]

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

Tablo 2.9. Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında $BYS \geq 2$) [12]

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

- (1) $BYS > 3$ olan binalarda uygulanacaktır.
 (2) $BYS = 2.3$ olan binalarda uygulanacaktır.
 (3) Ön tasarım olarak yapılacaktır.
 (4) $I=1.5$ alınarak uygulanacaktır.

Deprem tasarım sınıflarına göre deprem yalıtımlı binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları Tablo 2.10. - 2.12. arasında gösterilmiştir.

Tablo 2.10. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı [12]

Deprem Yer	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
Hareketi	Normal	Değerlendirme/Tasarım	İleri	Değerlendirme/Tasarım
Düzeyi	Performans	Yaklaşımı	Performans	Yaklaşımı
	Hedefi		Hedefi	
DD – 2	SH	DGT	KK	DGT
DD – 1	-	-	-	-

Tablo 2.11. Deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar – üstyapı [12]

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

Tablo 2.12. Yeni yapılacak ve güçlendirilecek deprem yalıtımlı binalar – yalıtım sistemi ve altyapı [12]

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

- Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.

- Altyapı için uygulanacaktır.

BÖLÜM 3. DOĞRUSAL OLMAYAN SİSTEMLER

3.1. Giriş

Yapıya kısa bir zaman diliminde yatay yönde büyük bir kuvvetin etki ettiği yer hareketleri deprem olarak adlandırılmaktadır. Yapının depreme karşı alacağı hasar seviyesi; depremin büyüklüğüne, zemin yapısına ve yapının karakteristik özelliklerini bağlı değişkenlik göstermektedir. Yapılarda performans kavramı zaman içerisinde önem kazanmaya başlamıştır. Yapının tasarım aşaması veya mevcut halinde deprem davranışlarının belirlenmesinde performans kavramı kilit rol oynamaktadır.

Mühendisler yapıları tasarlarken yapının hiç hasar görmemesini sağlayacak şekilde yapıyı büyük depremlere göre modelleyebilir. Fakat böyle bir durumda yapılan tasarım ekonomik ölçütleri sağlamamış olacaktır. Yapıda ekonomik maliyeti de göz önünde bulundurarak ‘can güvenliği’ performans düzeyini sağlamak koşuluyla yapının kontrollü bir şekilde hasar almasına izin verilir.

Yapı depremin etkisine göre hasar olarak lineer kısımdan lineer olmayan kısma geçiş yapar. Yapının bu davranışından sonra hesap yöntemlerini değiştirmektedir. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerin biri ise zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemidir. Bu yöntemin uygulanma aşamasında modelleme parametreleri, seçilmiş olan deprem kayıtlarının güvenilirliği, etkime süresi gibi çeşitli faktörlere dikkat edilerek seçilmesi önem taşımaktadır.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi farklı parametrelerden etkilenmesi, uygulama aşamasında karmaşık olması ve prosedürün fazla zaman alması sebebiyle daha basit yöntemler aranmıştır. Tüm bu araştırmaların sonucu olarak statik itme analizi yöntemi ortaya çıkmıştır.

3.2. Doğrusal Olmayan Davranış

Yapı malzemelerinin gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının doğrusal elastik bölgede kaldığı ve deplasmanların ihmal edilebilir seviyede olduğu kabul edilen yapıların doğrusal davrandığı varsayılmıştır. Fakat dış kuvvetlerin etkisiyle taşıma gücü sınırlarına yaklaşılmasının akabinde yapıda meydana gelen gerilmeler elastik olmayan kısma geçmiş ve aynı zamanda oluşan deplasmanlar ihmal edilemeyecek düzeylere geldiği gözlemlenmiştir. Bu durumda yapı doğrusal olmayan davranış eğilimi göstermiştir.

Genel olarak doğrusal şekil değiştirmeye merkezli tasarım yöntemleri kullanılmıştır. Ama bu yöntemler sadece güvenlik gerilme esaslı ve taşıma gücüne dayalı hesapları göz önüne almakta, doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri hesaba katmamıştır. Doğrusal olmayan davranışı dikkate alarak analiz yaptığımızda ise deprem yüklerinin azaldığı görülmüştür. Yapının deprem sırasında gerçekçi davranışını detaylı bir şekilde inceleme fırsatı sağlamaktadır.

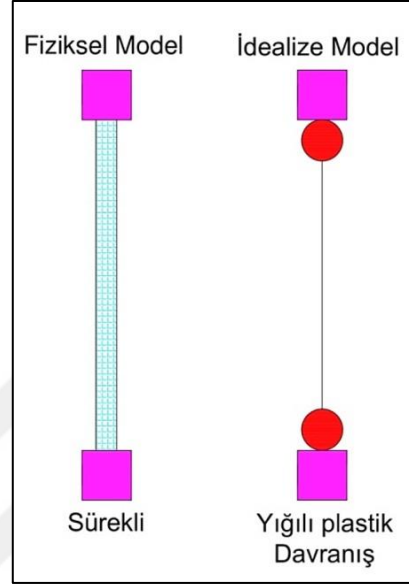
3.2.1. Doğrusal olmayan davranış modelleri

Doğrusal olmayan davranış modelleri TBDY-2018’de idealize edilme şekillerine göre iki grupta incelenmiştir.

3.2.1.1. Yığılı plastik davranış modeli

Çerçeve sonlu elemanları olarak tasarlanan yapı elemanlarında doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsalları adı verilen kesitlerde toplandığı kabul görülen bir plastik davranış modelidir. Bu modelde toplam şekil değiştirme oranının doğrusal

şekil değiştirmeye oranına göre büyük olduğu gözlemlenmektedir. Yapı elemanları sadece plastik mafsallar sınırlarında doğrusal olmayan davranış gösterdiği, diğer kısımlarda ise doğrusal davranış gösterdiği kabul edilir. Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan eleman (yığılı) modelleri Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

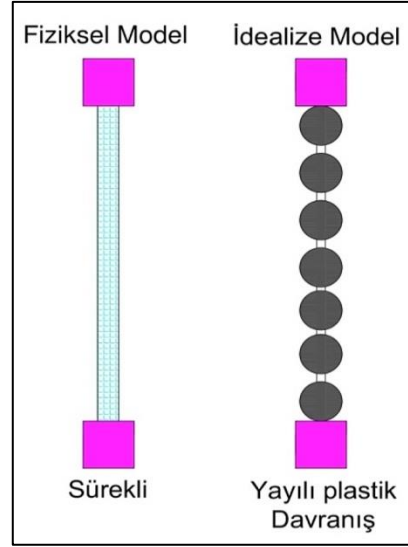


Şekil 3.1. Doğrusal ve doğrusal olmayan (yığılı) eleman modellerinin karşılaştırılması

Plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu kabul edilmektedir. Plastik mafsallarda boyu etkin doğrultudaki kesitin boyutunun yarısına eşit olarak alınmaktadır.

3.2.1.2. Yayılı plastik davranış modeli

Yığılı plastik davranışından farklı olarak doğrusal olmayan şekil değiştirmeler belirli bir kesitte toplanmayıp, yapı elemanının uzunluğu boyunca devam ettiği kabul edilmektedir. Yapının doğrusal ve doğrusal olmayan eleman (yayılı) modelleri Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Doğrusal ve doğrusal olmayan (yayıllı) eleman modellerinin karşılaştırılması

3.3. Doğrusal Olmayan Davranışların İdealleştirilmesi

Yapıların taşıyıcı sistemi daima üç boyutlu olmak üzere tasarlanacaktır. Doğrusal sönüm oranı farklı bir durumda gösterilmediği sürece %5 olarak alınacaktır. Deprem davranışları göz önüne alınırken birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkisi mutlaka dikkate alınacaktır. Taşıyıcı sistemde meydana gelen şekil değiştirmelerin ikinci mertebe etkileri göze alınacaktır.

3.3.1. Betonarme malzeme modelleri

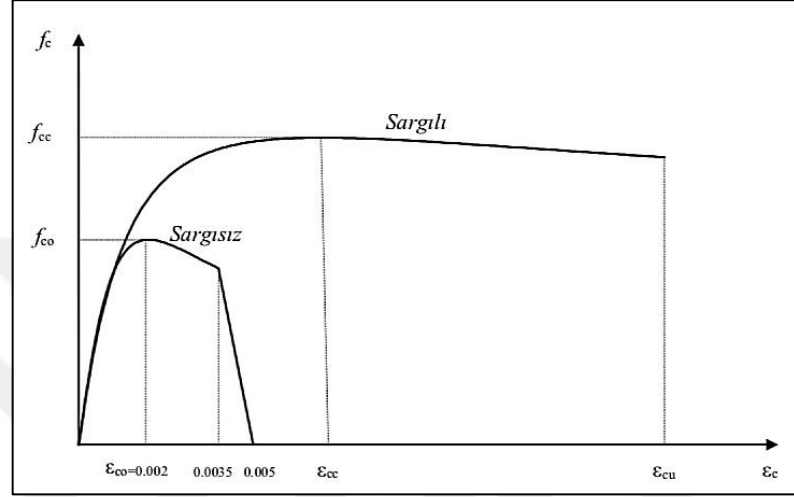
Şekil değiştirmeye göre tasarladığımız yeni yapıların beklenen malzeme dayanımları Tablo 3.1.'de belirtildiği şekilde alınacaktır.

Tablo 3.1. Beklenen (ortalama) malzeme dayanımları[12]

Beton	$f_{ce}=1,3f_{ck}$
Donatı Çeliği	$f_{ye}=1,2f_{yk}$
Yapı Çeliği (S235)	$f_{ye}=1,5f_{yk}$
Yapı Çeliği (S275)	$f_{ye}=1,3f_{yk}$
Yapı Çeliği (S355)	$f_{ye}=1,1f_{yk}$
Yapı Çeliği (S460)	$f_{ye}=1,1f_{yk}$

3.3.1.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri

TBDY-2018’de yer verilen yapıların doğrusal olmayan davranışları göz önüne alınacağı zaman sargılı ve sargısız beton modellerinin gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları Şekil 3.3.’te gösterildiği biçimde kabul edilmiştir.

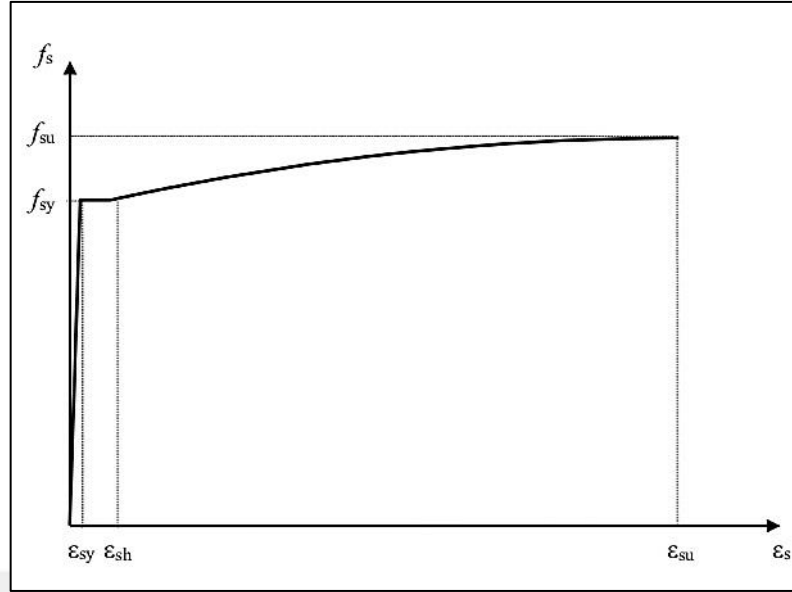


Şekil 3.3. Sargılı ve sargısız beton modelleri [12]

Sargılı beton modelinde denklem 3.1., sargısız beton modelinde $\varepsilon_c=0,0004$ 'e kadar geçerli olmaktadır. Sargısız beton modelinde sargı basıncı $f_e = 0$ alınmalıdır. $\varepsilon_c = 0.005$ değerinde $f_c = 0$ olarak alınır ve grafikte aradaki kısım doğrusal olarak kabul edilir.

3.3.1.2. Donatı çeliği modeli

TBDY-2018’de yapıların doğrusal olmayan davranışları inceleneceği durumlarda donatı için gerilme ve şekil değiştirme bağıntıları Şekil 3.4.’te gösterildiği biçimde tanımlanmıştır.



Şekil 3.4. Donatı çeliği modeli [12]

Farklı donatı özelliklerine ait bilgiler Tablo 3.2.'de ifade edilmiştir. Elastisite modülü $E_s = 200000$ Mpa olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.2. Donatı çeliklerine ait bilgiler [12]

Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0,0011	0,011	0,16	275
S420	420	0,0021	0,008	0,1	550
S420C	420	0,0021	0,008	0,08	550
S500C	500	0,0025	0,008	0,08	675

3.3.2. Betonarme taşıyıcı sistemlerin modellenmesi

Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış plastik şekil değiştirme bölgesinde tanımlanmaktadır. Yapı elemanlarına göre plastik şekil değiştirme bölgeleri farklılık göstermektedir.

Betonarme taşıyıcı elemanlardan; kiriş ve kolonlar sonlu elemanlar olarak modellenip, yığılı plastik davranış modeli veya yayılı plastik davranış modellerine göre tasarlanır. Analizde sadece yığılı plastik davranış modeli kullanılması da kabul edilir. Plastik mafsallar kolon ve kirişlerin net açıklıklarına tanımlanır. Dikkate alınması gereken bir nokta ise kiriş açıklıklarında düşey yüklerin etkisinden dolayı

plastik mafsall oluşabileceği göz önüne alınmalıdır. Kolon ve kirişlerde plastik mafsalların arasında kalan kısım doğrusal eleman olarak tasarlanır.

Betonarme taşıyıcı elemanlardan olan perdelerde ise itme yöntemlerine göre analiz yapılacağı takdirde yığılı plastik davranış modeline göre matematik modeli oluşturulur. Plastik mafsallar her katta perdelerin alt ucuna atanır. Kolon ve kirişlerde olduğu gibi perde elemanlarda da plastik mafsalların arasında kalan uzunluk doğrusal eleman olarak tasarlanır.

Karmaşık kesitli perdeleri oluşturan perde parçalarının kat seviyesindeki kiriş ve/veya döşeme sonlu elemanları ile planda birleştiği düğüm noktalarındaki bağımlı serbestlik dereceleri, üç boyutlu rijit cisim hareketi koşulunu sağlayacak biçimde kesit ağırlık merkezinde tanımlanılacak olan ana düğüm noktasındaki altı bağımsız serbestlik derecesine kinematik olarak bağlanması sağlanmalıdır [12].

Yapı elemanlarından doğrusal olarak tasarlanan perde ve döşemeler düzlem içi ve düzlem dışı davranışlarına göre etkin kesit rijitliği çarpanları Tablo 3.3.'e göre tanımlanacaktır.

Tablo 3.3. Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarının etkin kesit rijitliği çarpanları [12]

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği Çarpanı	
	Eksenel	Kayma
Perde-Döşeme (Düzlem İçi)		
Perde	0,5	0,5
Bodrum perdesi	0,8	0,5
Döşeme	0,25	0,25
Perde-Döşeme (Düzlem Dışı)	Eğilme	Kesme
Perde	0,25	1
Bodrum perdesi	0,5	1
Döşeme	0,25	1
Çubuk Eleman	Eğilme	Kesme
Bağ kirişi	0,15	1
Çerçeve kirişi	0,35	1
Çerçeve kolonu	0,7	1
Perde (eşdeğer)çubuk	0,5	0,5

Doğrusal olmayan davranış modellerinden yığılı plastik davranış modeline tasarlanan kolon, kiriş, bağ kirişi ve perdelerin etkin kesit rijitliği Denklem 3.10'a göre bulunur. η değeri kiriş ve kolonlarda $\eta=1$, perdelerde ise $\eta=0,5$ olarak alınacaktır.

$$(EI)_e = \frac{M_y L_s}{\theta_y} \quad (3.10)$$

$$\theta_y = \frac{\phi_y L_s}{3} + 0,0015\eta \left(1 + 1,5 \frac{h}{L_s}\right) + \frac{\phi_y d_b f_{ye}}{8\sqrt{f_{ce}}} \quad (3.11)$$

M_y : çubuk elemanın ucundaki plastik mafsalsal etkin akma momenti

θ_y : çubuk elemanın ucundaki plastik mafsalsal etkin akma dönmesi

L_s : kesme açıklığı

ϕ_y : plastik mafsalsal kesitindeki etkin akma eğriliği

h : kesit yüksekliği

d_b : mesnede kenetlenen donatı çeliklerinin ortalama çapı

f_{ce} : beton ortalama (beklenen) basınç dayanımı

f_{ye} : çeliğin ortalama (beklenen) basınç dayanımı

3.4. Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Doğrusal olmayan hesap yöntemleri; İtme yöntemleri ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır.

3.4.1. İtme yöntemi

İtme yöntemi yapıların deprem etkisi altında sergilediği davranışlar ve performans seviyelerini belirlenmek amacıyla kullanılan yöntemdir. Son zamanlarda diğer doğrusal olmayan yöntemlere kıyasla popülerlik kazanmaya başlamıştır. Bunun altında yatan en büyük sebep ise basite indirgenmiş olmasıdır.

İtme analizi yöntemi izlenen değişkenlere bağlı olarak iki farklı hesap yöntemi sunar. Bu hesap yöntemleri; deplasman (yer değiştirme) kontrolü ve yük (kuvvet) kontrolüne göre analizdir. Deplasman kontrollü itme analiz yönteminde yapının en üst kotunda belirlenen bir noktaya düzenli olarak bir yatay kuvvet artışı verilir. Belirlenen tepe noktası hedeflenen yer değiştirme miktarına ulaşıncaya kadar itme işlemi devam ettirilir. İtme analizi (pushover analysis) kuvvet artırımlarını bağlı olarak ortaya çıkan kuvvet-deplasman ilişkisini detaylı olarak inceleme fırsatı sağlar. Bu ilişkilere bağlı olarak yapının ve/veya elemanlarının deprem davranışları net şekilde incelenerek kontrol sağlanır. İtme analizi yöntemi mevcut yapılarda ve yeni yapının matematik modeline uygulanabilme özelliğine sahiptir.

TBDY-2018’de itme analizi (pushover analysis) iki farklı yöntemle ele alınmıştır. Bu iki yöntem; tek modlu itme analizi ve çok modlu itme analizi olarak ifade edilmiştir.

3.4.1.1. Tek modlu itme yöntemi

Tek modlu analiz yöntemi; doğrusal analiz yöntemi olan mod birleştirme yönteminin doğrusal olmayan artımsal karşılığını ifade eder.

Tek Modlu İtme Yöntemleri’nin uygulanabilmesi için ;

- Herhangi bir katta dışmerkezlilik dikkate alınmadan hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $<1,4$

- Doğrusal elastik davranış esas alınarak deprem doğrultusunda hesaplanan hakim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranı en az 0,70
- Bina Yükseklik Sınıfı ≥ 5

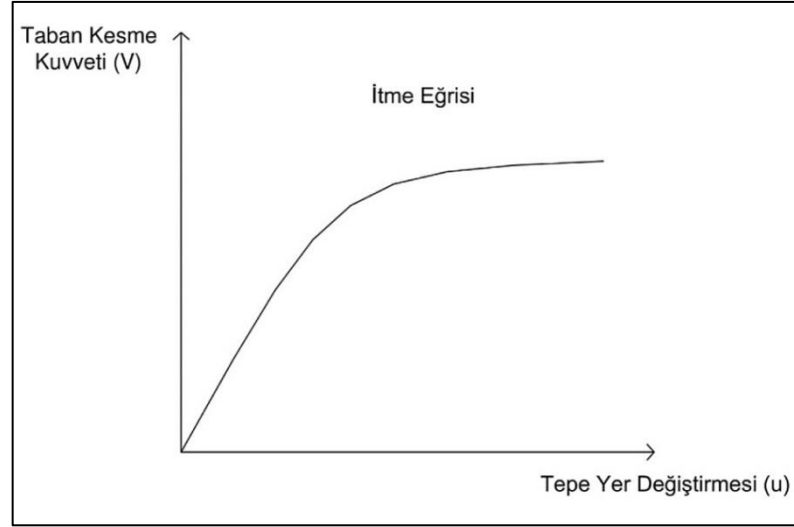
koşullarını sağlaması gerekmektedir [12].

Tek modlu itme analizi sonucunda dikkate alınan deprem yönünde hakim titreşim modu ile orantılı olacak biçimde deprem yer değiştirmesi sınırına ulaşana kadar adımlar şeklinde uygulanan deprem yükü etkisi altında, yapıda meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve kuvvet artımları değerlerine ulaşılır.

Tek modlu itme analiz yöntemi kendi içerisinde Sabit Tek Modlu İtme Yöntemi ve Değişken Modlu İtme Yöntemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

3.4.1.1.1. Sabit tek modlu itme yöntemi

Analizin ilk adımında yapı deprem dışı düşey yüklerin etkisi altındayken artımsal itme hesabı yapılır. Bu hesap sonucu elde ettiğimiz iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler sonraki adımlara öncelik etmesi sebebiyle başlangıç adımı olarak kabul edilir. Katlara etkiyen deprem yükleri, düşey yüklerin etkisi altında yapmış olduğumuz hesabın sonraki adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak belirlenir. Yapılan hesap sonucunda tepe noktası yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti grafiği (itme eğrisi) elde edilir. Tipik bir yapıya ait itme eğrisi Şekil 3.5.’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Tipik bir yapıya ait itme eğrisi

Statik itme analizi (pushover analysis) sonucunda ulaştığımız pushover eğrisine bir takım koordinat dönüşümleri yapılarak eğrinin modal yer değiştirme – modal ivme eğrisi elde edilir. Modal kapasite diyagramı, tanımlanmış olan deprem etkisi altında modal yer değiştirme talebi ve bu talebe bağlı olarak yapıda meydana gelecek iç kuvvet ve plastik yer değiştirme taleplerinin hesaplanmasına olanak sağlar. İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramı Şekil 3.6.’da gösterilmiştir.

Birinci moda ait modal katkı çarpanı aşağıdaki denklemlerin kullanılmasıyla elde edilir.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{iXn}^2 + m_i \Phi_{iYn}^2 + m_{i\theta} \Phi_{i\theta n}^2)} \quad (3.12)$$

$$m_{ix1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{ix1}^{(1)} \Gamma_n^{(X,1)} \quad (3.13)$$

$$m_{iy1}^{(X,1)} = m_i \Phi_{iy1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (3.14)$$

$$m_{i\theta 1}^{(X,1)} = m_{i\theta} \Phi_{i\theta 1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (3.15)$$

$m_{ix1}^{(X,1)}$, $m_{iy1}^{(X,1)}$, $m_{i\theta1}^{(X,1)}$: birinci adımda hesaplanan kat etkin kütlelerinin birinci mod karşılıklarıdır.

$\Gamma_n^{(X)}$: (x) deprem doğrultusunda birinci titreşim modu için ilk itme adımında hesaplanan modal katkı çarpanı' dır.

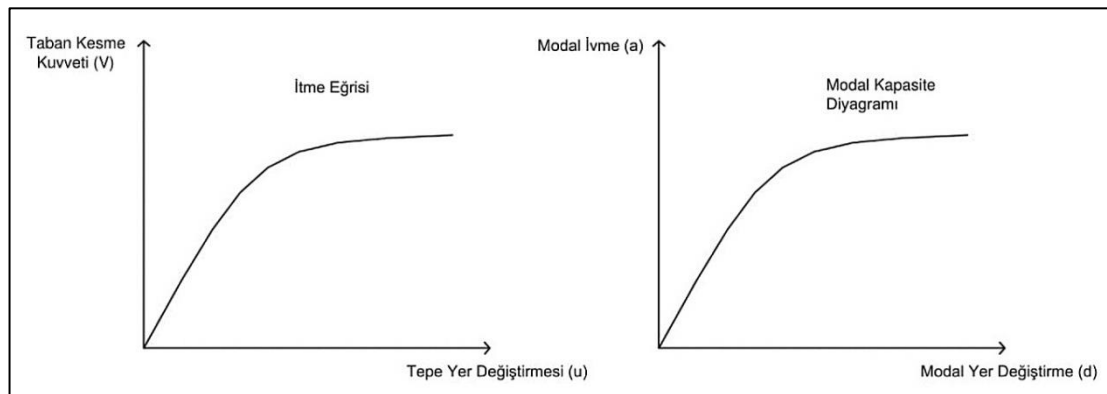
$\Phi_{i\theta1}^{(1)}$: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli'nin z eksenini etrafındaki dönme genliği (k)

$\Phi_{ix1}^{(1)}$: i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şekli'nin x doğrultusundaki genliği(k)

$\Phi_{iy1}^{(1)}$: i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şekli'nin y doğrultusundaki genliği

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,k)}} \quad (3.16)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (3.17)$$



Şekil 3.6. İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramının karşılaştırılması

Modal kapasite diyagramının elde edilmesinden ardından doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin tanımlanması aşamasına geçilir. Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük deplasman; doğrusal olmayan spektral yer değiştirmeye karşılık gelmektedir.

$$d_{1,max}^{(x)} = S_{di}(T_1) \quad (3.18)$$

$d_{1,max}^{(x)}$: Modal tek serbestlik dereceli sistemde en büyük yer değiştirmeyi ifade eder.

$S_{di}(T_1)$: Yapının hakim titreşim moduna karşılık gelen spektral yer değiştirmedir.

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.19)$$

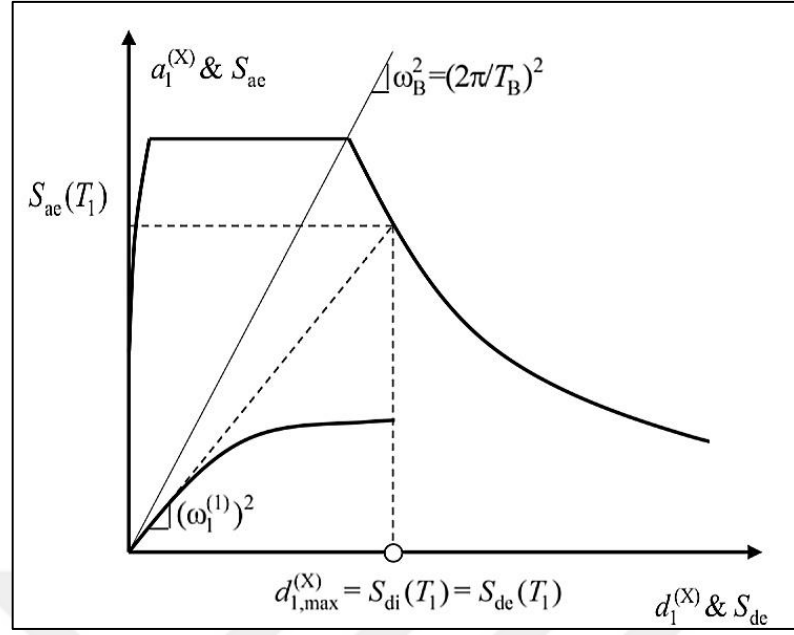
C_R : Spektral yer değiştirme oranıdır.

$S_{de}(T_1)$: Elastik tasarım spektral yer değiştirmesidir.

T_1 başlangıç periyotunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den büyük olması durumunda C_R değeri 1 olarak alınır (Denklem 3.20).

$$C_R=1 \quad T_1 > T_B \quad (3.20)$$

Bu durumda hakim titreşim moduna ait modal kapasite diyagramı ile doğrusal deprem spektrumu Şekil 3.7.'deki gibi bir arada çizilir.



Şekil 3.7. Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi [12]

T_1 başlangıç periyotunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den büyük veya eşit olması durumunda ise C_R değeri ardışık yaklaşımla hesaplanır. Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_R=1$ kabulü yapılarak, modal kapasite diyagramı iki doğrulu elasto-plastik diyagrama dönüştürülür. Dönüşüm aşamasında diyagramların altında kalan alanların eşitliği esas alınarak işlem yapılır. Bu şekilde a_{yi}^0 (yaklaşık akma sözde ivmesi) kullanılarak

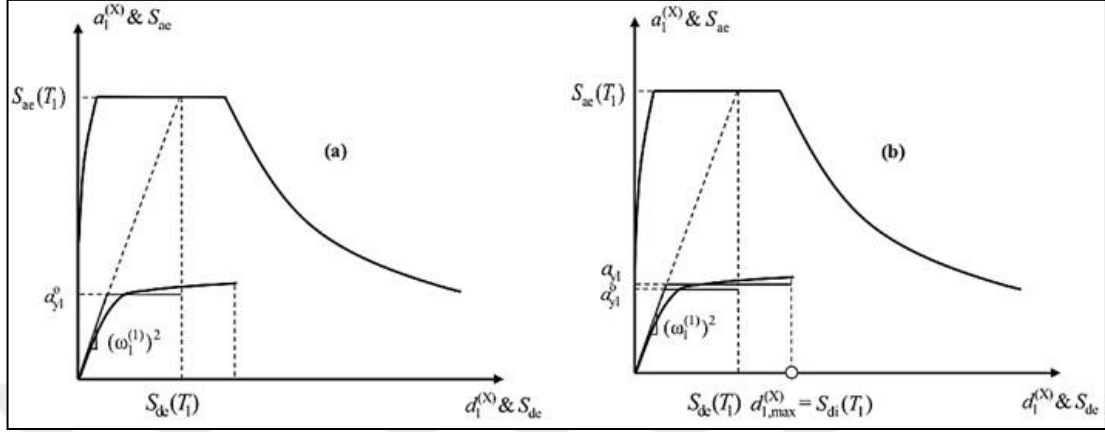
$$R_{y1} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (3.21)$$

$$C_R = \frac{(1+R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad (3.22)$$

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.23)$$

denklemleri yardımıyla R_{y1} , C_r ve $S_{di}(T_1)$ değerleri hesaplanır. Elde edilen değerler ile elasto-plastik diyagram tekrar oluşturulur. Hesaplama sonucu yeniden bulunan a_{y1} dikkate alınarak aynı işlemler tekrar edilir. Ardışık yaklaşım işlemine sonuçların

yeterince yaklaştıkları adımda son verilir. Modal yer değiştirme isteminin ardışık yaklaşım ile hesabı Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Modal yer değiştirme isteminin ardışık yaklaşım ile hesabı [12]

Özet olarak tek modlu itme yöntemi hakim mod ile orantılı olmak koşuluyla deprem deplasman sınırına ulaşıncaya kadar yapıya artımsal olarak deprem yükü etki ettirilen ve arttırılan deprem yükü altında yapıdaki zorlanmalardan dolayı oluşan plastik yer değiştirmeler, plastik dönmeler ve iç kuvvet değişimlerini birikimli olarak hesaplayabilme imkanı sunan yöntemdir. Yöntemin son adımında deprem istemine karşılık yapının göstermiş olduğu şekil değiştirmeler kullanılacak olan değerlerdir.

3.4.1.1.2. Değişken tek modlu itme yöntemi

Katlara etkiyen deprem yükleri, düşey yüklerin etkisi altında yapmış olduğumuz hesabın sonraki her adımında belirlenen ve daha önce oluşan plastik mafsallar göz önüne alınarak yenilenen serbest titreşim hesabından elde edilen değişken mod şekli ile orantılı olarak belirlenir. Yapılan hesap sonucunda tepe noktası yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti grafiğine gerek olmadan modal kapasite diyagramı direkt olarak elde edilir. Sabit tek modlu itme analizinde olduğu gibi doğrusal olmayan spektral yer değiştirme grafiği ile modal kapasite diyagramı aynı düzlemde çizilerek modal yer değiştirme istemi bulunur.

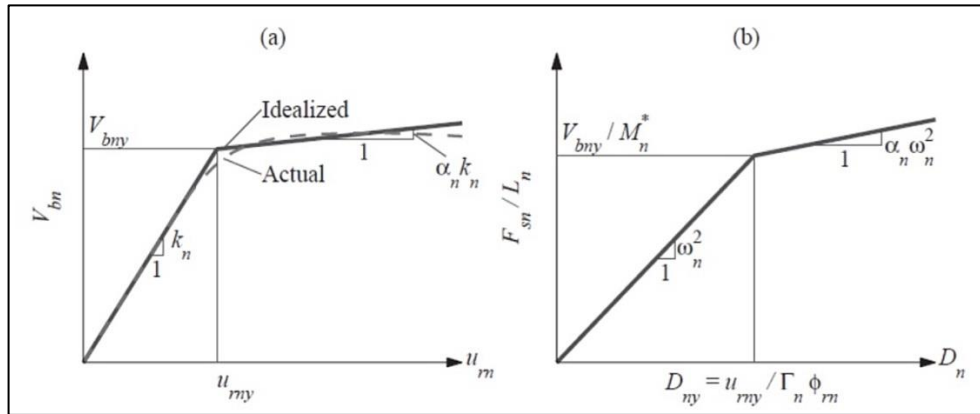
3.4.1.2. Çok modlu itme yöntemi

Çok modlu itme analizi, 2001 yılında Chopra ve Goel tarafından ortaya konulmuştur. Yapıların dinamik analizi temelinde hesapların ve kavramların sade bir şekilde sabit yük altında bir analiz modelidir [14].

Çok modlu itme analizine ilk olarak yapının doğal periyotları ve titreşim modları bulunarak başlanır.

$$S_n^* = m_n \cdot \Phi_n^i \quad (3.24)$$

Denklem 3.24'ten yola çıkarak kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme eğrisine ulaşılır. Yapıya kademeli olarak yük uygulaması yapılır. Uygulama sonunda tepe noktası deplasmanları bulunur. Yapının seçilen modunda hedeflenmiş olan deplasman miktarını aşması beklenir. İşlemler sonucu elde edilen kapasite eğrisi idealize edilerek $\left(\frac{F_{sn}}{L_n}\right) - D_n$ ilişkisi grafiğine ulaşılır. İtme eğrisi ve kapasite eğrisinin örneği Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. İtme eğrisi (a), SDF sistem eğrisi(b) [14]

Seçilen zemin hareket uyarımı, D_n altında n inci mod elastik olmayan temsili tek serbestlik dereceli sisteminin tepe deformasyonu bulunur.

$$U_{m0} = \Gamma_n \Phi_m^i D_n \quad (3.25)$$

Denklem 3.25 kullanılarak sistem tek serbestlik dereceli sistem modelinden çok serbestlik dereceli sistem modeline dönüşümü sağlanır. İtme eğrisi sonuçlarına göre çok serbestlik dereceli sisteme karşılık gelen sonuçlar belirlenir. Tüm modlar için bu işlemler tekrar edilir. Son aşamada ise ikinci derece denklem kuralından yola çıkarak zirve modal tepkileri belirlenir [15].

3.4.2. Zaman tanım alanında hesap yöntemi

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap, deprem hareketinin etkisi altındaki yapının hareket denklemlerini ifade eden diferansiyel denklemtakımının zaman artımları ile adım adım doğrudan integrasyonuna karşılık gelmektedir. Hesap sırasında, doğrusal olmayan davranış nedeni ile sistem rijitlik matrisinin zaman içerisindeki değişimi göz önüne alınır [12].

BÖLÜM 4. BETONARME YAPILARIN İTME ANALİZLERİNİN YAPILMASI

Önceki bölümlerde geniş kapsamlı olarak anlatılan statik itme analizi bu bölümde sayısal verilerle desteklenerek hayata geçirilmiştir. Çalışma kapsamında 9 adet farklı yapı modeli incelenmiş olup, modellerin analizi için SAP2000 v21.1.0 programından yararlanılmıştır. Yapıların tamamı x yönünde 24 m y yönünde 24 m uzunlukta olup kare formundadır. Yapılarda bulunan ortak özellikler aşağıda belirtildiği gibidir.

- Yapının analizinde kullanılan birimler: kN, m, C
- Kat yüksekliği (h): Zemin ve normal katlar: 3 m
- Yapı kat adeti: 4 kat
- Bina önem katsayısı (I): 1,0
- Zemin sınıfı: ZD (TBDY-2018)
- Deprem yükü azaltma katsayısı (R): 8
- Beton birim hacim ağırlığı: 25000 kN/m³
- Beton sınıfı: C25/30
- Donatı sınıfı: S420
- Döşeme türü: Plak-Rijit diyafram
- Döşeme kalınlığı: 0,12 m

Analizi yapılan yapı modellerinin zemin ve deprem bilgileri; yapıların Sakarya İli, Serdivan İlçesi, Kemalpaşa mahallesinde yapılacağı kabul edilerek AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınmıştır. (Enlem: 40,7469827°, Boylam: 30,3298965°)

Veriler;

$$S_S=1,681$$

$$S_1=0,460$$

$$S_{DS}=1,681$$

$$S_{D1}=0,846$$

$$PGA=0,684$$

$$PGV=58,764$$

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 harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA: En büyük yer ivmesi [g]

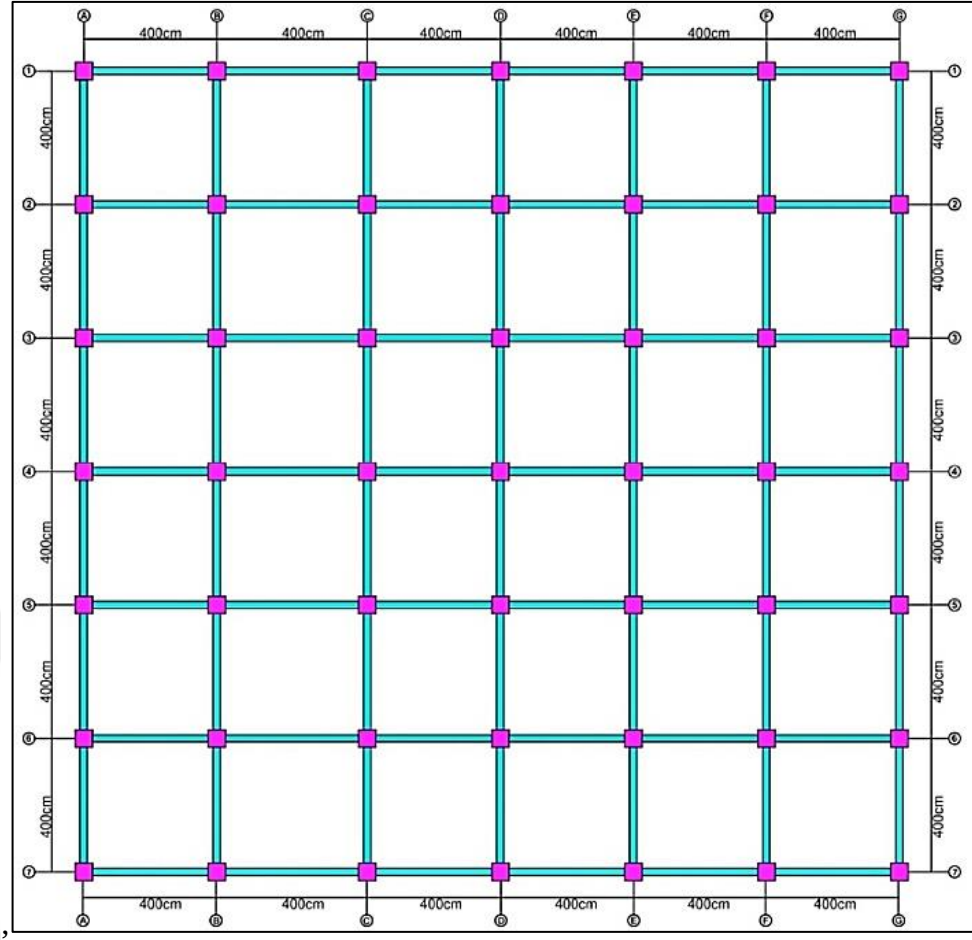
PGV: En büyük yer hızı [cm/s]

olarak sisteme aktarılmıştır.

Tez çalışması kapsamında farklı aks açıklıkları, farklı kolon boyutları ve farklı düzensizliklere sahip yapı modelleri statik itme analizine (pushover analysis) tabi tutularak göstermiş olduğu deprem davranışları detaylı olarak incelenmiştir.

4.1. Referans Model Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Tez çalışmasında referans olarak baz alınan ilk yapı modeli, x ve y yönünde aks açıklıkları 4 metre olup plan boyunca sabit tutulmuştur. Düşeydeki akslar A, B, C, D, E, F, G yatay akslar ise 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 olarak isimlendirilmiştir. Referans model 0.60m x 0.60m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Referans modele ait kalıp planı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Referans model kalıp planı

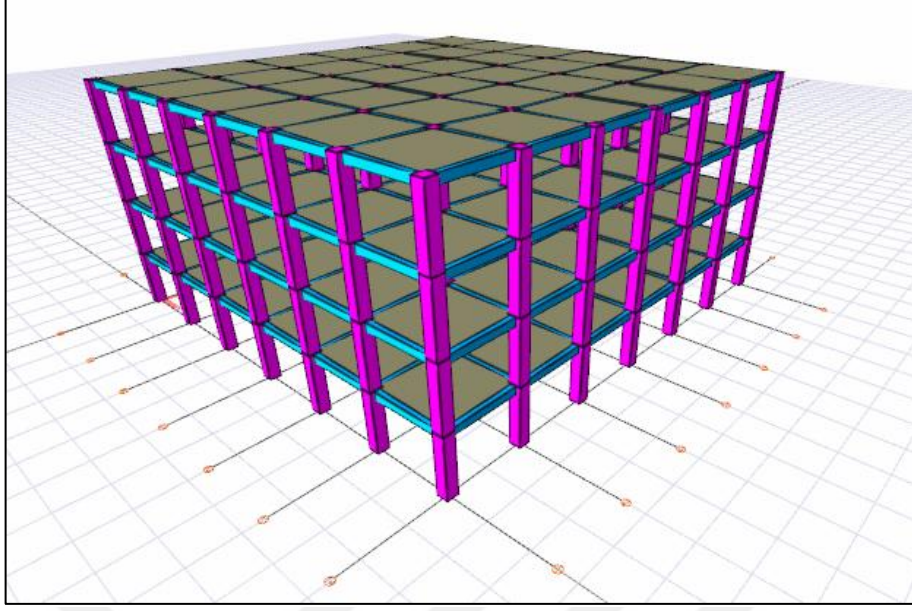
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.1.'de kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.2.'de kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Referans model kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
600	600	16 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.2. Referans model kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	Alt	üst	
250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10



Şekil 4.2. Referans model üç boyutlu görüntüsü

Yapı modeli oluşturulduktan sonra yapı malzemelerinin parametreleri sisteme tanımlanır. SAP2000 programında Türk standartları yer almadığı için ‘Define > Materials > Add New Materials > User’ sekmesinden yeni bir malzeme olarak tanımlanarak veri girişi yapılır. Yapı malzemeleri özellikleri Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.’te gösterilmiştir.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C25/30 [Green Box]

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 25, []

Mass per Unit Volume: 2,5493 []

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 30000000, []

Poisson, U: 0,2 []

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0, []

Shear Modulus, G: 12500000, []

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c : 25000, []

Expected Concrete Compressive Strength: 32500, []

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: []

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK] [Cancel]

Şekil 4.3. Beton özelliklerinin tanımlanması

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S420 [Cyan Box]

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 78, []

Mass per Unit Volume: 7,9538 []

Units

KN, m, C

Uniaxial Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 2,000E+08 []

Poisson, U: 0, []

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,200E-05 []

Shear Modulus, G: []

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, F_y : 420000, []

Minimum Tensile Stress, F_u : 504000, []

Expected Yield Stress, F_{ye} : 420000, []

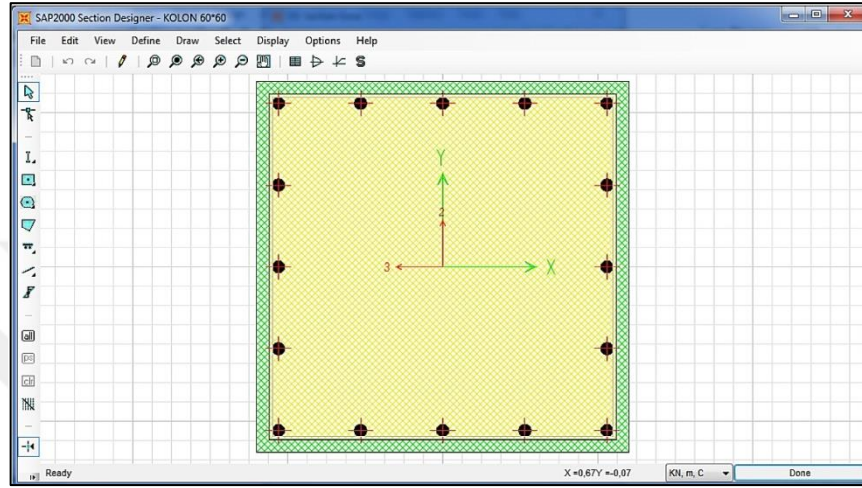
Expected Tensile Stress, F_{ue} : 504000, []

☐ Switch To Advanced Property Display

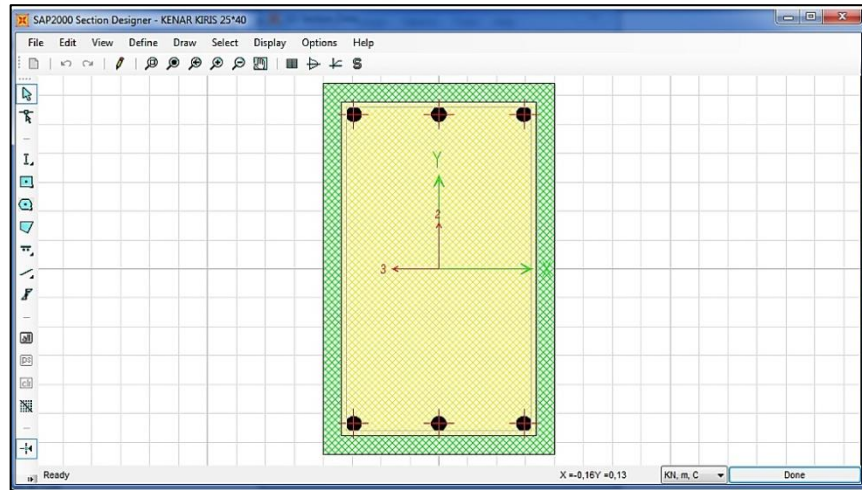
[OK] [Cancel]

Şekil 4.4. S420 donatı çeliği özelliklerinin tanımlanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre doğrusal olmayan davranış modellerinden, yığılı plastik davranış modeline göre tasarladığımız yapı elemanlarının özellikleri 'Section Designer' sekmesinden ayrıntılı olarak sisteme aktarılmıştır. Kolon ve kiriş elemanlarının kesit özelliklerinin tanımlanması Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



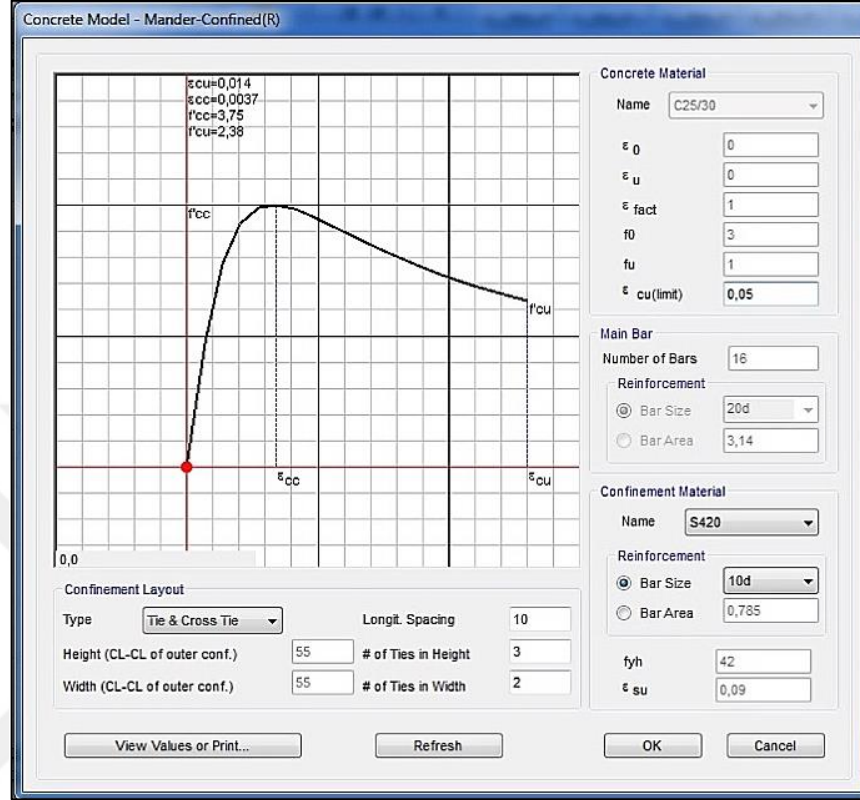
Şekil 4.5. Kolon kesit özelliklerinin tanımlanması



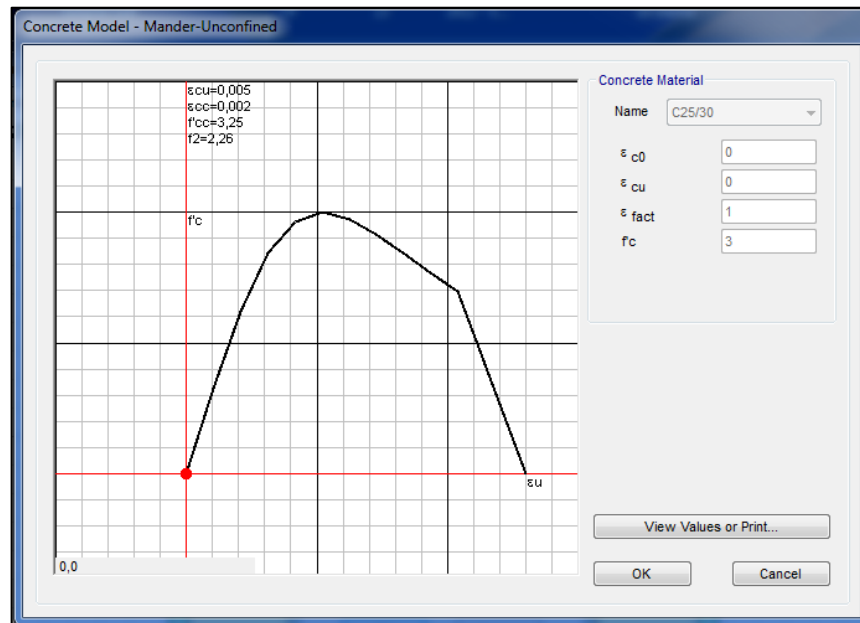
Şekil 4.6. Kiriş kesit özelliklerinin tanımlanması

Yapı elemanlarında sargı etkisinin tanımlanması için Mander beton modeli kullanılmıştır. Mander beton modeline göre kesite ait sargı etkisi 'Section Designer > Concrete Model > Mander Confined' sekmesinden sonra o kesite ait enine ve

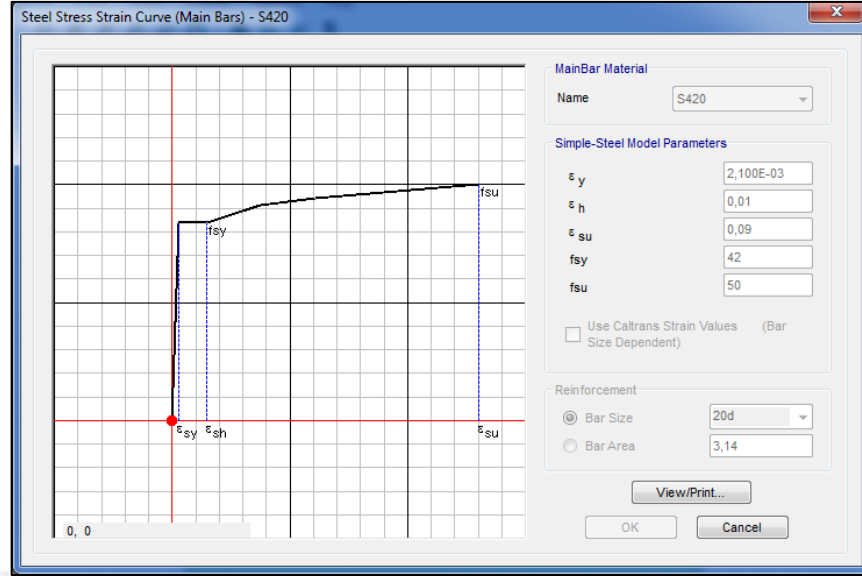
boyuna donatı özelliklerinin programa işlenmesiyle tanımlanmış olur. Kesite ait tanımlanan malzeme modelleri Şekil 4.7.- 4.9. arasında gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Sargılı beton modeli

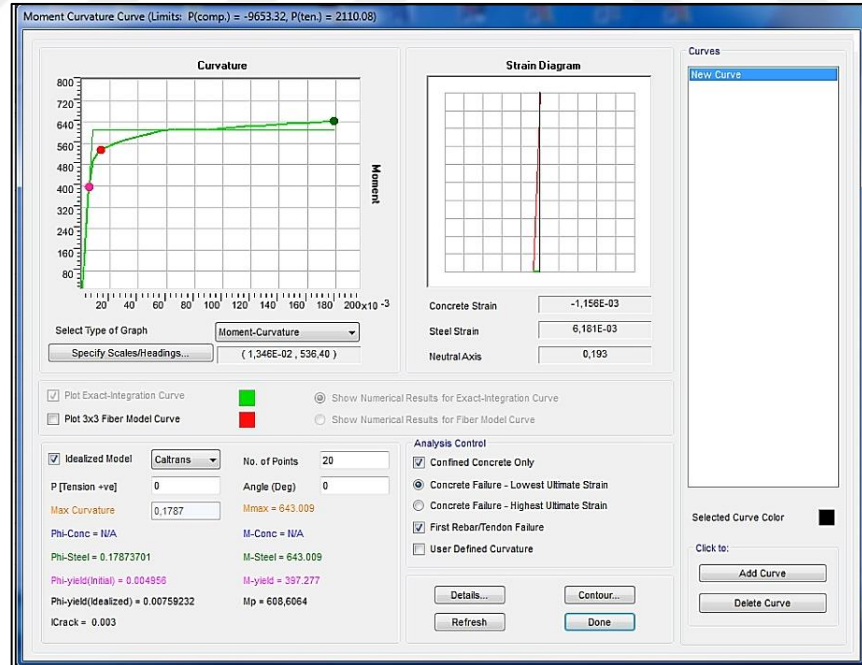


Şekil 4.8. Sargısız beton modeli

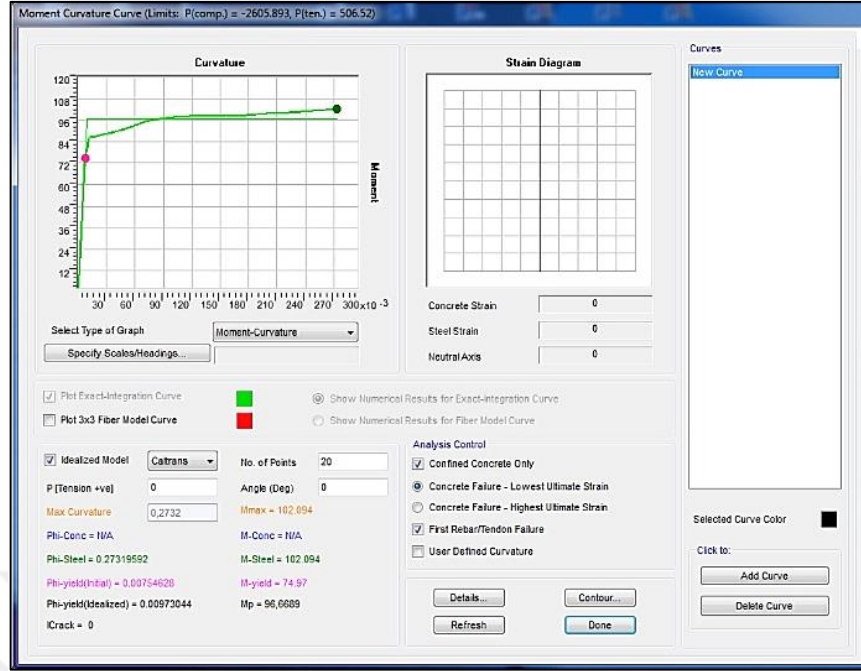


Şekil 4.9. S420 donatı çeliği modeli

SAP2000 programında moment eğrilik bağıntılarına ‘Section Designer > Display > Show Moment-Curvature Curve’ sekmesinden ulaşılmıştır. Kolon ve kirişe ait moment eğrilik bağıntıları Şekil 4.10. ve Şekil 4.11.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Kolon M-φ bağıntısının elde edilmesi

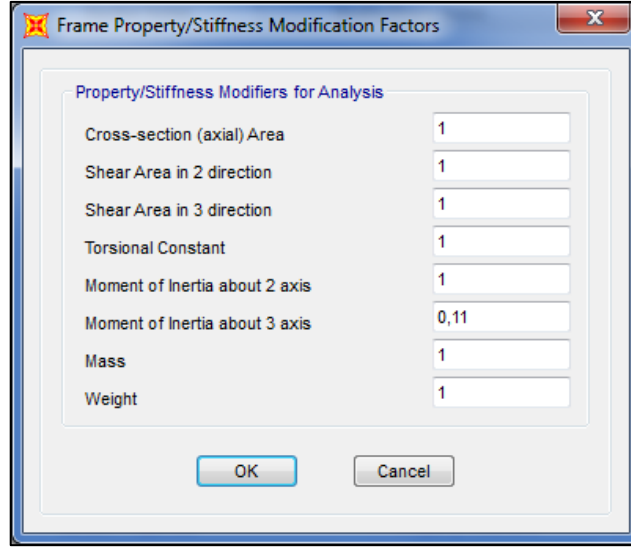


Şekil 4.11. Kiriş M- ϕ bağıntısının elde edilmesi

Section Designer ara sekmesinden ulaştığımız moment eğrilik bağıntılarından faydalanılarak etkin kesit rijitlikleri hesaplanır. Sisteme tanımlanan etkin kesit rijitlikleri Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'te gösterilmiştir.

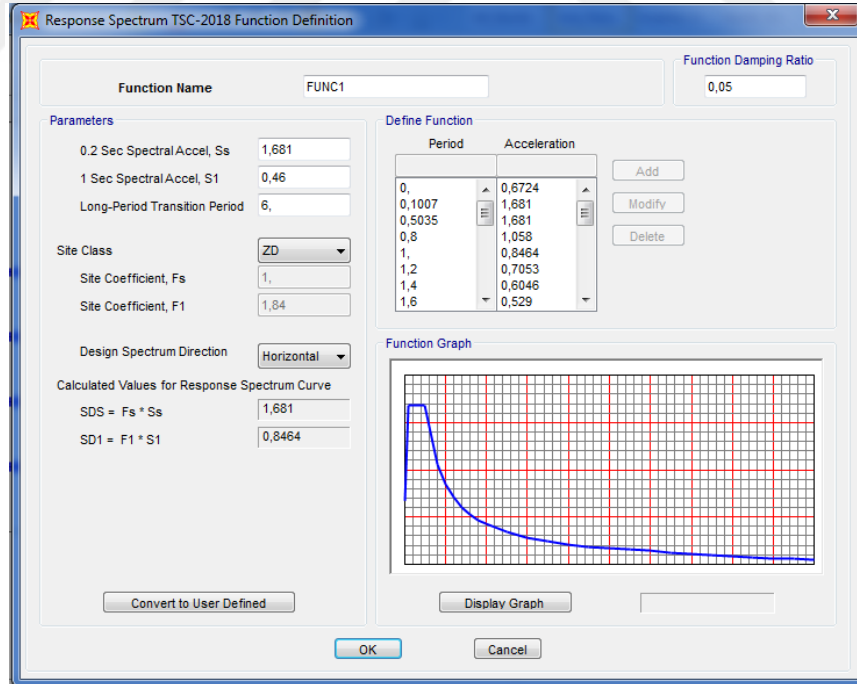
The screenshot shows the 'Frame Property/Stiffness Modification Factors' dialog box. The title bar says 'Frame Property/Stiffness Modification Factors'. The main area is titled 'Property/Stiffness Modifiers for Analysis'. It contains several input fields with numerical values: 'Cross-section (axial) Area' (1), 'Shear Area in 2 direction' (1), 'Shear Area in 3 direction' (1), 'Torsional Constant' (1), 'Moment of Inertia about 2 axis' (0,14), 'Moment of Inertia about 3 axis' (0,14), 'Mass' (1), and 'Weight' (1). At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 4.12. Kolon etkin kesit rijitliği tanımlanması



Şekil 4.13. Kiriş etkin kesit rijitliği çarpanı tanımlanması

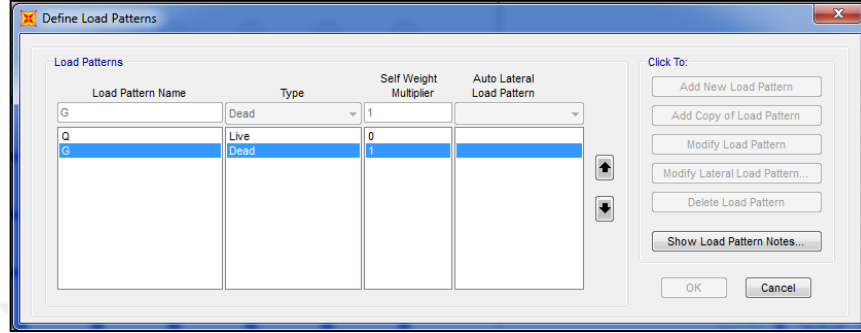
Afad deprem haritalarından aldığımız verilere göre tasarım spektrumunu ve zemin değerleri 'Define > Functions > Response Spektrum' sekmesinden tanımlanır. Modele ait tasarım spektrumunu ve zemin değerleri Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Tasarım spektrumunu ve zemin değerleri veri girişi

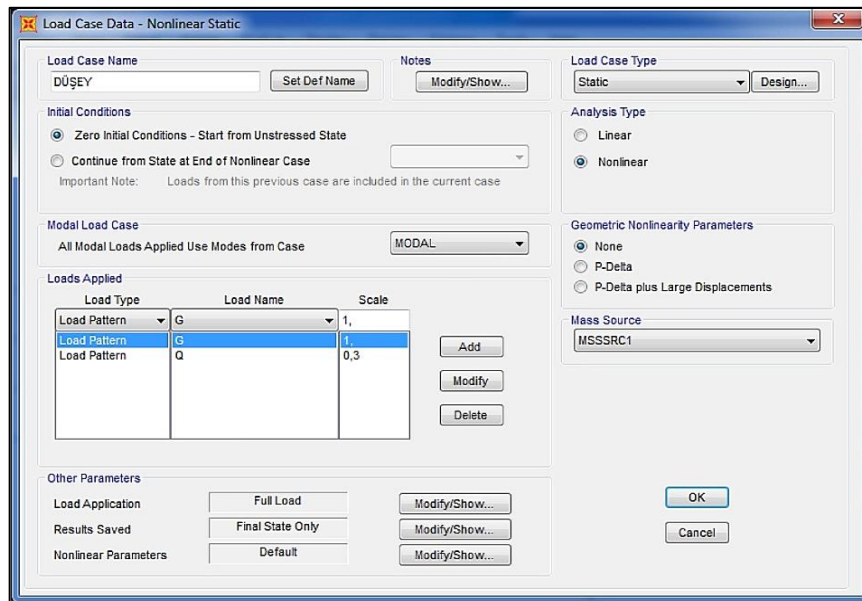
Yapı elemanlarına ait kesit özellikleri tanımlandıktan sonra elemanlara gelecek yükler tanımlanır. Yapıya gelen sabit yük ve yapının kendi ağırlığına hesabına

katılabilmesi için ‘G’ yük tipi sisteme tanımlanır. Yapıya gelen hareketli yüklerin tanımlaması ‘Q’ şeklinde yapılır. Program modal analiz yapabilmesi için otomatik olarak ‘MODAL’ yük tipi tanımlar. Yük tiplerinin belirlenmesi Şekil 4.15.’te gösterilmiştir.



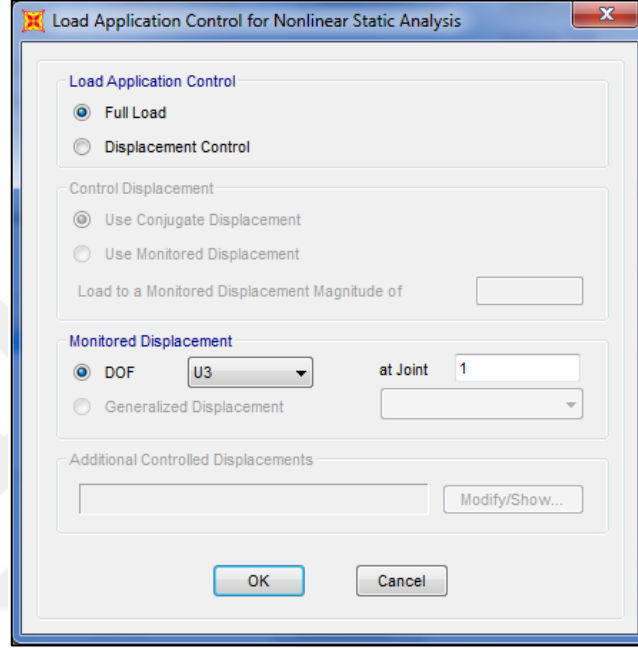
Şekil 4.15. Yük tiplerinin belirlenmesi

Sadece düşey yüklerin esas alındığı ‘DÜŞEY’ yük tanımı yapılır. Düşey yükleme tanımında ‘G’ ve ‘Q’ yükler sisteme aktarılır. Hareketli yük aktarılırken TBDY 2018’de belirtildiği üzere konut tipi yapılar için hareketli yük azaltma katsayısı 0.30 olarak alınır. Düşey yük ‘Define > Load Cases > Add New Load Cases’ sekmesinden tanımlanır. Sisteme tanımlanan düşey yük Şekil 4.16.’da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. İtme analizi başlangıç adımı tanımlanması

Yüklemenin yönü 'Load Applications > Modify Show Load Case sekmesinden belirlenir. Düşey yükleme durumunda sadece düşey yükler dikkate alınacağından U3 yönünde yükleme tanımlanır. Yüklelemenin yapılacağı nokta ise son kat döşeme düğüm noktası olarak seçilir. Modelin yükleme noktası ve yönü Şekil 4.17.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Yükleme yapılacak olan noktanın belirlenmesi

Düşey yüke bağlı olarak sistem lineer durumdan nonlinear duruma geçiş yapar. Bu durumda modla uyumlu 'X' ve 'Y' yönünde statik itme analizi yapılabilmesi için "PUSHX" ve "PUSHY" yüklemesi sisteme tanımlanır. Analizde müsaade edilen yer değiştirme miktarları belirlenir. X ve Y doğrultularına ait yükleme durumları Şekil 4.18. - 4.21'de gösterilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Static

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

Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

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

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
Mode	1	1,

[Add] [Modify] [Delete]

Analysis Type:

- ☐ Linear
- ☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters:

- ☒ None
- ☐ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: MSSSRC1

Other Parameters:

Load Application: [Displ Control] [Modify/Show...]

Results Saved: [Multiple States] [Modify/Show...]

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

[OK] [Cancel]

Şekil 4.18. X doğrultusu itme durumu tanımlanması

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control:

- ☐ Full Load
- ☒ Displacement Control

Control Displacement:

- ☐ Use Conjugate Displacement
- ☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 0,5

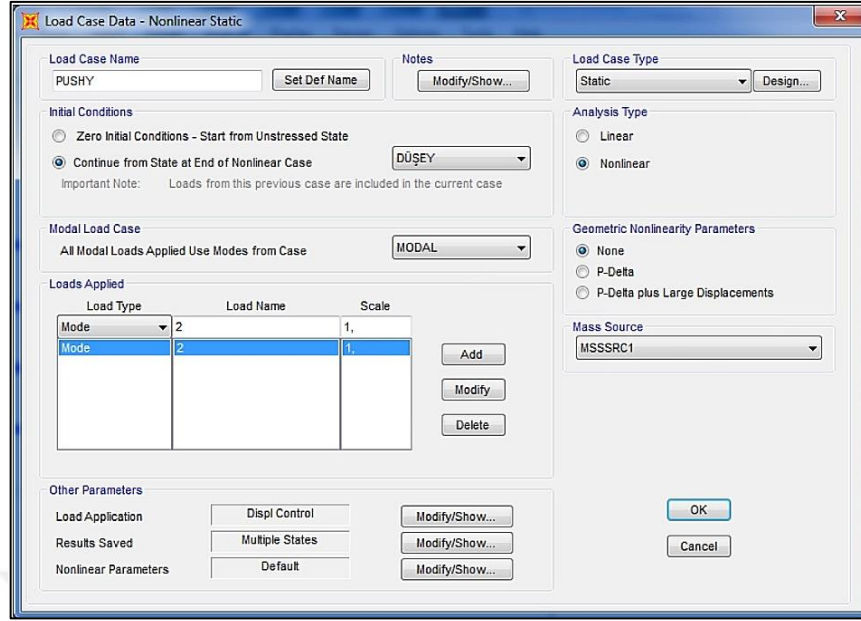
Monitored Displacement:

- ☒ DOF [U1] at Joint [1]
- ☐ Generalized Displacement

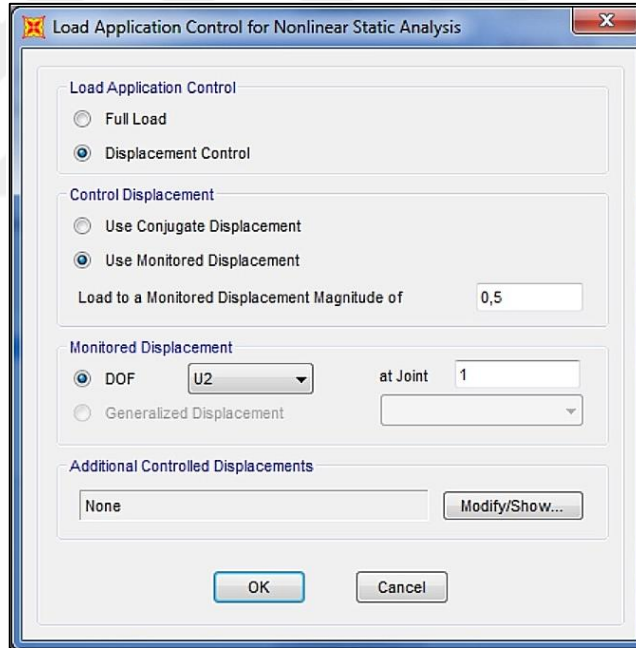
Additional Controlled Displacements: [None] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.19. X doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi

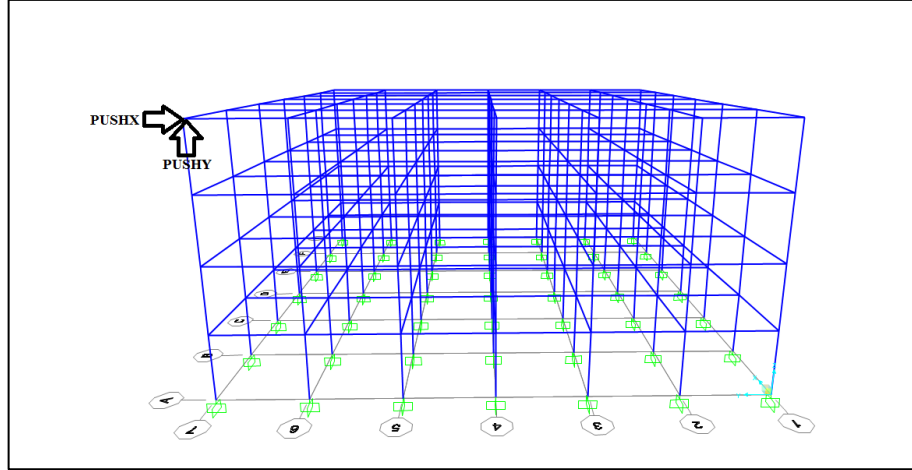


Şekil 4.20. Y doğrultusu itme durumu tanımlanması



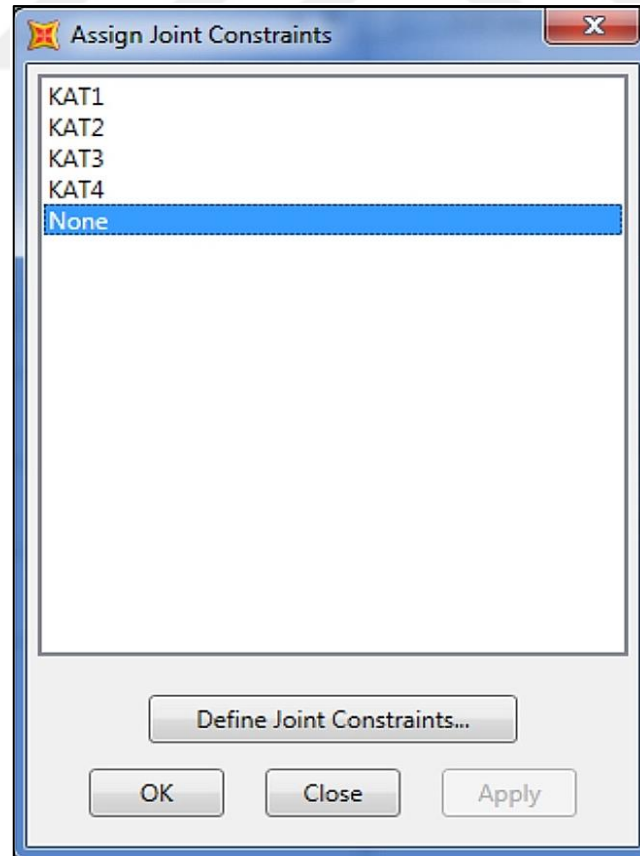
Şekil 4.21. Y doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi

‘PUSHX’ ve ‘PUSHY’ itme yüklemeleri Şekil 4.22.’de 3 boyutlu model üzerinde gösterilmiştir.



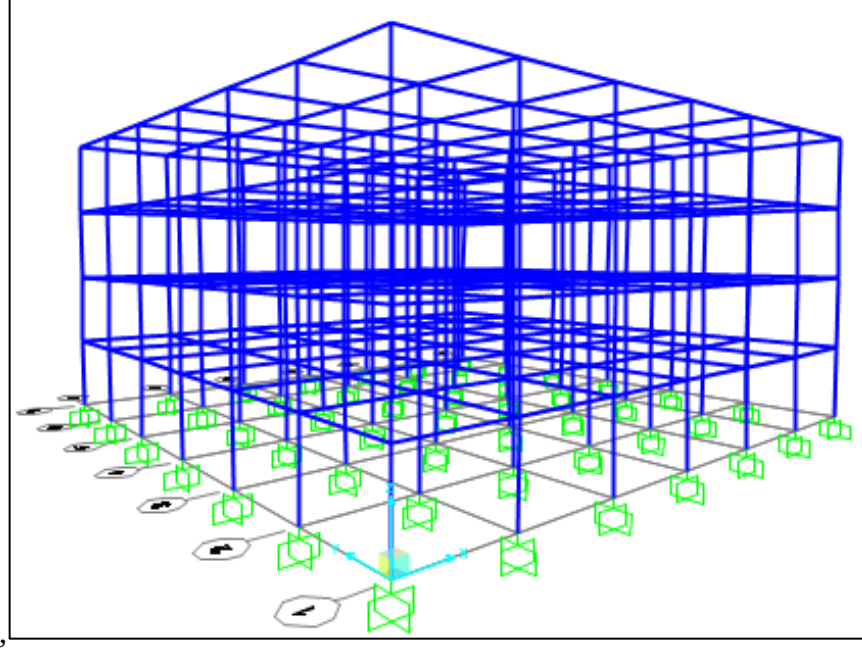
Şekil 4.22. Tanımlanan itme yüklerinin model üzerindeki gösterimi

Katlardaki düğüm noktalarının yatay yükler etkisi altında birlikte hareket edebilmesi için her kata ayrı olmak üzere rijit diyafram atanır. Rijit diyafram Assing > Joint > Constraints sekmesinden tanımlanır. Yapıya tanımlanan rijit diyaframlar Şekil 4.23.'te gösterilmiştir.



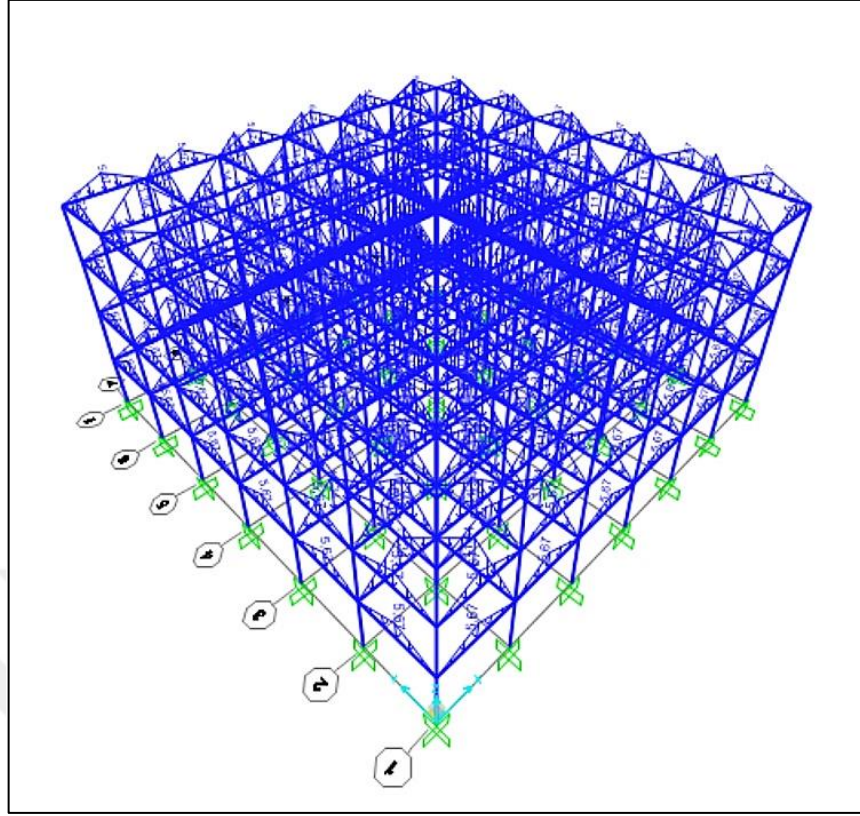
Şekil 4.23. Rijit diyafram kavramının tanımlanması

Yapının temeli için tüm yönde dönmesini ve yer değiştirmesini engelleyen ankastre mesnetler tanımlanır. Yapının temel düğüm noktaları seçilir. Sonrasında Assing > Joint > Restraints sekmesinde ankastre mesnet seçilerek sisteme tanımlanmış olur. Ankastre mesnetleri tanımlanan sistemin üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.24.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.24. Temel mesnetlerinin üç boyutlu model üzerinde gösterimi

Döşemelerden gelen sabit ve hareketli yükler kirişlere arayüz olarak aktarılır. Bu yük aktarımı 'Assing > Frame Loads > Distrubuted' sekmesinden yük seviyesi girilerek tanımlanır. Kirişlere gelen yükler Şekil 4.25.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Döşemelerden kirişlere aktarılan yükler (G-Q)

Kat kütleleri modellenirken sabit yüklerin tamamı alınmak şartıyla hareketli yüklerin kullanım amacına bağlı katılım katsayısı belirlenir. Tasarlanan modele ilişkin tanımlanan yük kombinasyonu Şekil 4.26.'da gösterilmiştir.

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
G	Linear Static	1,
G	Linear Static	1,
Q	Linear Static	0,3

Şekil 4.26. Yük kombinasyonlarının tanımlanması

Plastik mafsall yapı elemanının donatısının akma sınırına kadar taşıyabileceği maksimum moment ifade eder. Plastik mafsallar 'Define > Section Properties > Hinge Properties > Add New Property' sekmesinden tanımlanır.

Kolonlarda eksenel yüke bağlı 'P-M2-M3' plastik mafsalları tanımlanır. Şekil 4.27.'de kolonlara ait tanımlanan plastik mafsall özellikleri gösterilmiştir.

Şekil 4.27. Kolon plastik mafsall tanımlanması

Kiriş elemanlarında eksenel yük olmadığından 'M3' plastik mafsalları tanımlanır. Şekil 4.28.'de kirişlere ait tanımlanan plastik mafsall özellikleri gösterilmiştir.

Frame Hinge Property Data for KIRIS HINGE - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-1	-1
D	-1	-1
C	-1	-1
B	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1	1
D	1	1
E	1	1

☒ Symmetric

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero
☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment Moment SF: 97, Positive: Negative:

☒ Use Yield Rotation Rotation SF: Positive: Negative:

(Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy Positive: 3,000E-03 Negative:

☐ Life Safety Positive: 0,012 Negative:

☐ Collapse Prevention Positive: 0,015 Negative:

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Type

☒ Moment - Rotation
☐ Moment - Curvature
Hinge Length:

☐ Relative Length

Hysteresis Type And Parameters

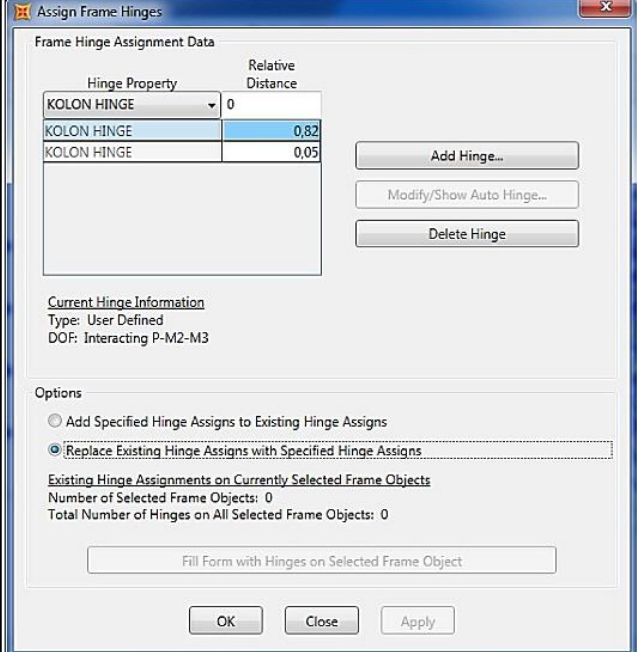
Hysteresis Type: **Isotropic**

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

OK Cancel

Şekil 4.28. Kiriş plastik mafsall tanımlanması

Plastik mafsallar kesitlere atanırken kolon-kiriş birleşim bölgeleri dışında kalmak üzere net açıklık uçlarına konulmalıdır. Plastik mafsallar koyulabilmesi için öncelikle yapı elemanları seçilir. Sonrasında ‘Assing > Frame > Hinge’ sekmesinden net açıklıklarına tanımlanır. Plastik mafsalların kesitelere atanması Şekil 4.29. - 4.31.’de gösterilmiştir.



Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
KOLON HINGE	0
KOLON HINGE	0.82
KOLON HINGE	0.05

Buttons: Add Hinge..., Modify/Show Auto Hinge..., Delete Hinge

Current Hinge Information
 Type: User Defined
 DOF: Interacting P-M2-M3

Options

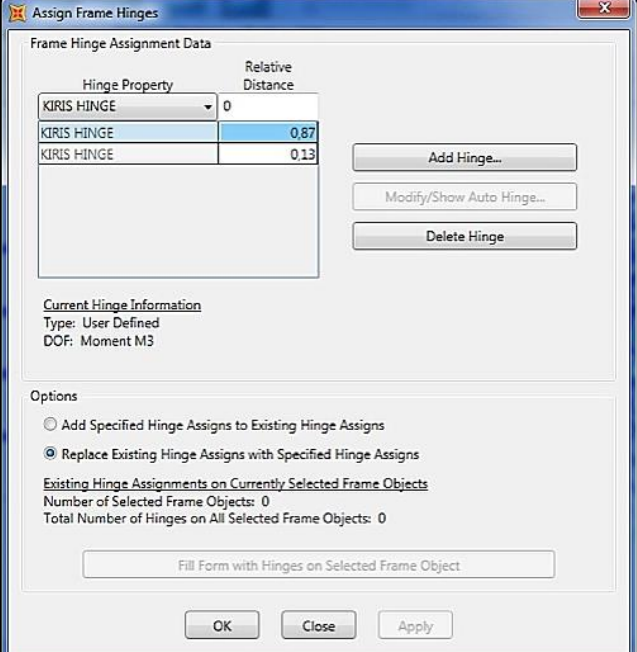
☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
 Number of Selected Frame Objects: 0
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 0

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

Buttons: OK, Close, Apply

Şekil 4.29. Kolon plastik mafsals atanması



Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Relative Distance
KIRIS HINGE	0
KIRIS HINGE	0.87
KIRIS HINGE	0.13

Buttons: Add Hinge..., Modify/Show Auto Hinge..., Delete Hinge

Current Hinge Information
 Type: User Defined
 DOF: Moment M3

Options

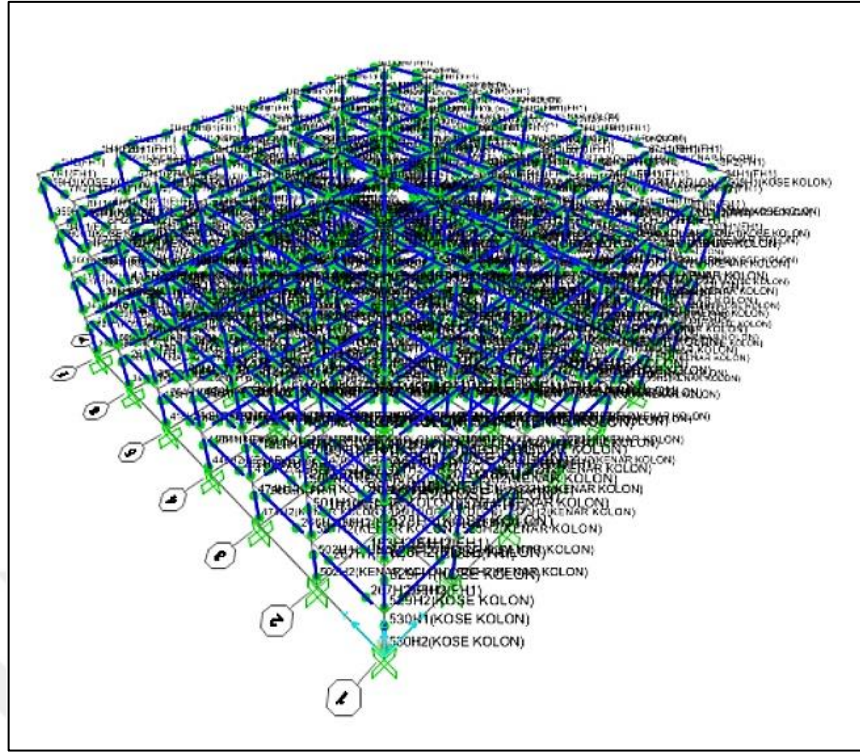
☐ Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
☒ Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
 Number of Selected Frame Objects: 0
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 0

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

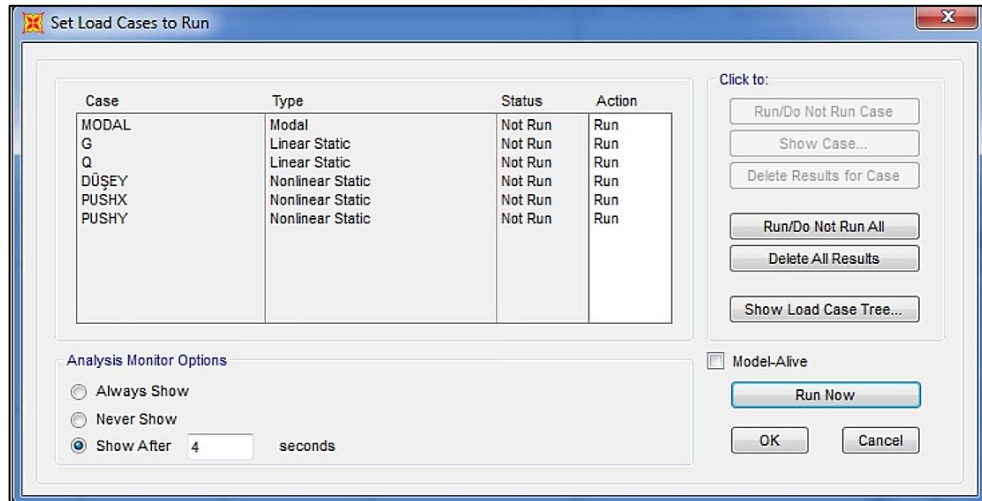
Buttons: OK, Close, Apply

Şekil 4.30. Kiriş plastik mafsals atanması



Şekil 4.31. Kolon-kiriş plastik mafsalların detaylı gösterimi

Tüm adımlar yapıldıktan sonra farklı yükleme durumlarına göre analiz aşamasına geçilir. Analiz ‘Run Analysis > Run now’ sekmesinden başlatılır. Statik itme analiz (pushover analysis) ayarları Şekil 4.32.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Analiz ayarları

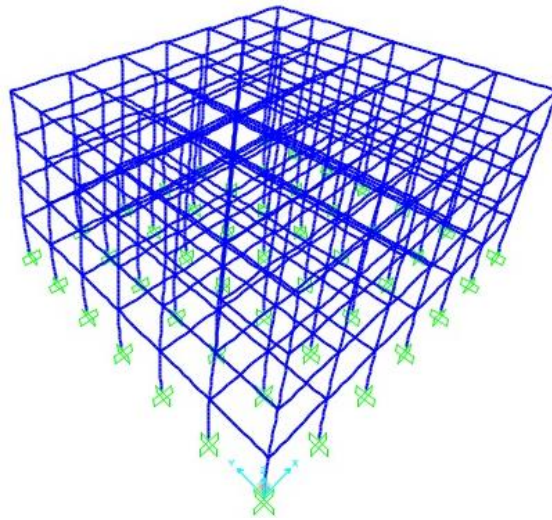
Analiz tamamlandıktan sonra sonuçlar detaylı olarak incelenmiştir. Yapıya ait periyot ve frekanslar Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Referans Model-A yapı periyotları ve frekansları

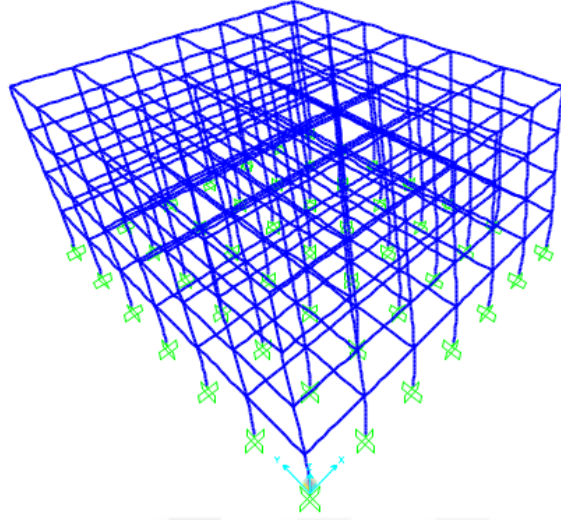
Mod	T (s)	f (1/s)
1	1,05861	0,94464
2	1,05861	0,94464
3	0,8463	1,18161
4	0,28094	3,55943
5	0,28094	3,55943
6	0,24001	4,16641
7	0,12522	7,98569
8	0,12522	7,98569
9	0,11298	8,85095
10	0,076	13,15782
11	0,076	13,15782
12	0,07001	14,28316

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 1,05861 s olarak hesaplanmıştır.

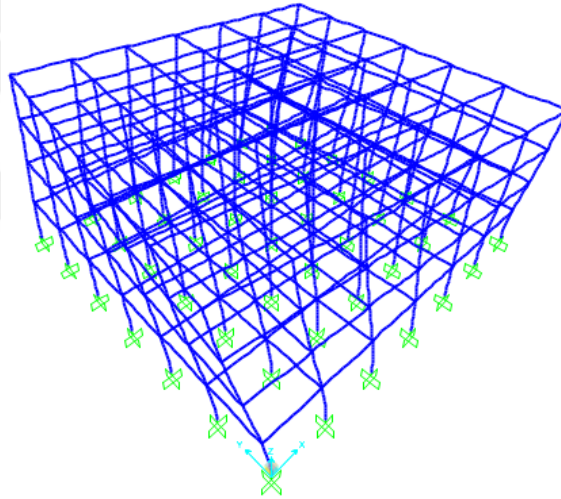
Yapının ilk 6 mod şekline ait davranışları Şekil 4.33. – 4.38.'de detaylı olarak gösterilmiştir.



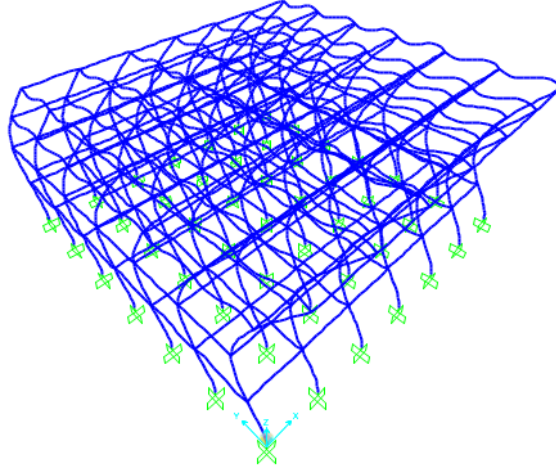
Şekil 4.33. Yapının 1. mod şekli



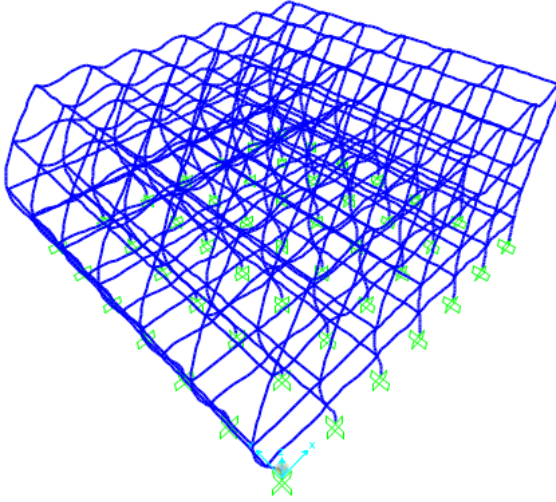
Şekil 4.34. Yapının 2. mod şekli



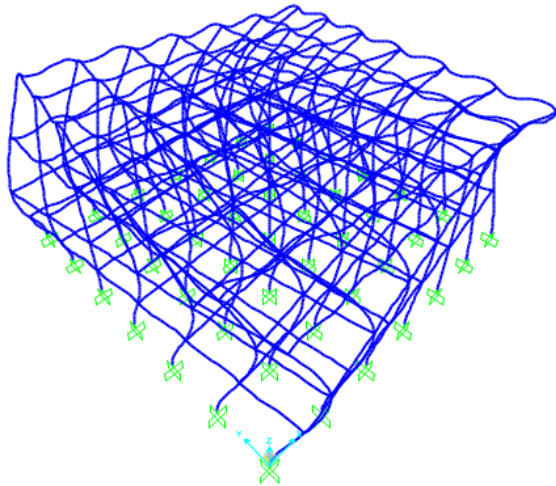
Şekil 4.35. Yapının 3. mod şekli



Şekil 4.36. Yapının 4. mod şekli



Şekil 4.37. Yapının 5. mod şekli



Şekil 4.38. Yapının 6. mod şekli

FEMA 356'da;

B: Akmanın meydana geldiği nokta

IO: Hemen kullanım durumu,

LS: Can güvenliği durumu,

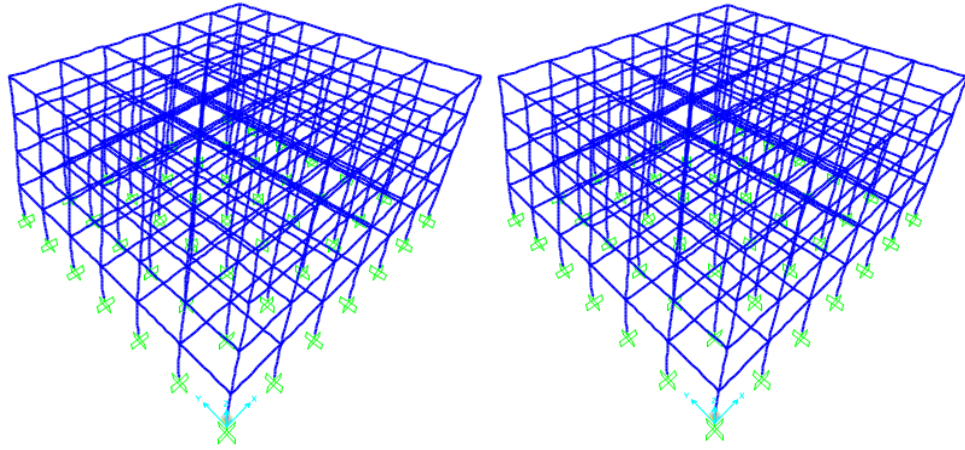
CP: Yapı stabilite durumu,

C: Nihai kapasite durumu,

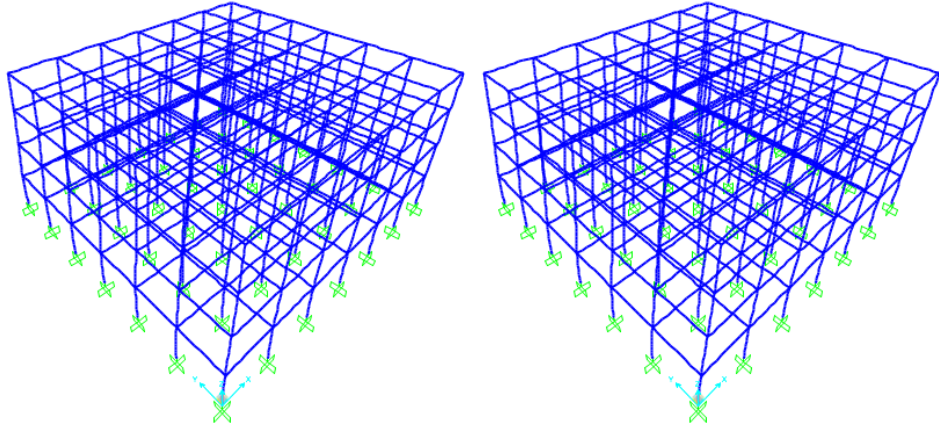
D: Göçme öncesi durum,

E: Göçmenin meydana geldiği nokta olarak, 9 farklı yapı modeli için statik itme analizlerinde adım adım belirlenmiştir.

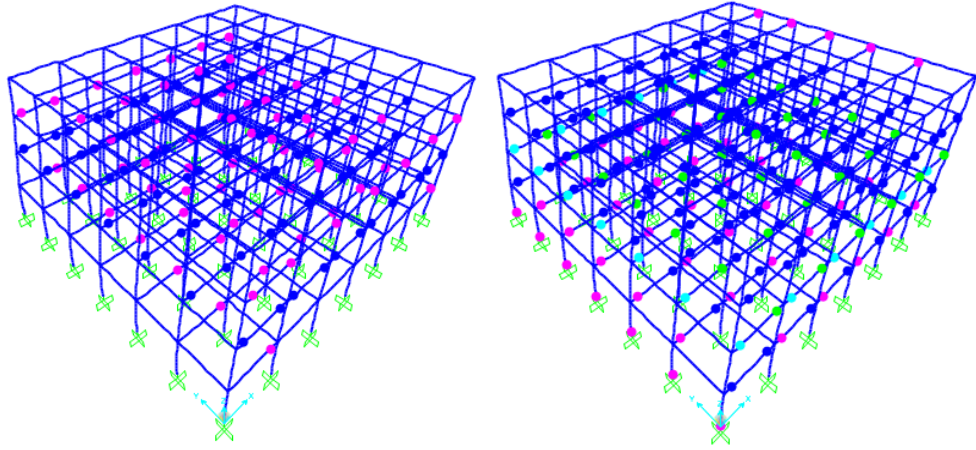
Statik itme analizinde 0,50 m deplasman miktarı etki ettirilmiştir. İtme analizi adımları boyunca X yönünde oluşan plastik mafsalları detaylı olarak Şekil 4.39. - 4.45.'te gösterilmiştir.



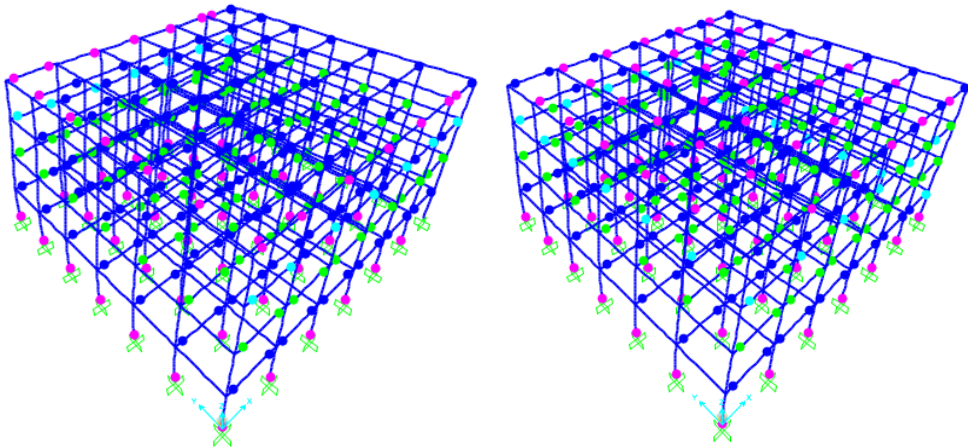
Şekil 4.39. X doğrultusu 1. - 2. adımları plastik mafsalları oluşumları



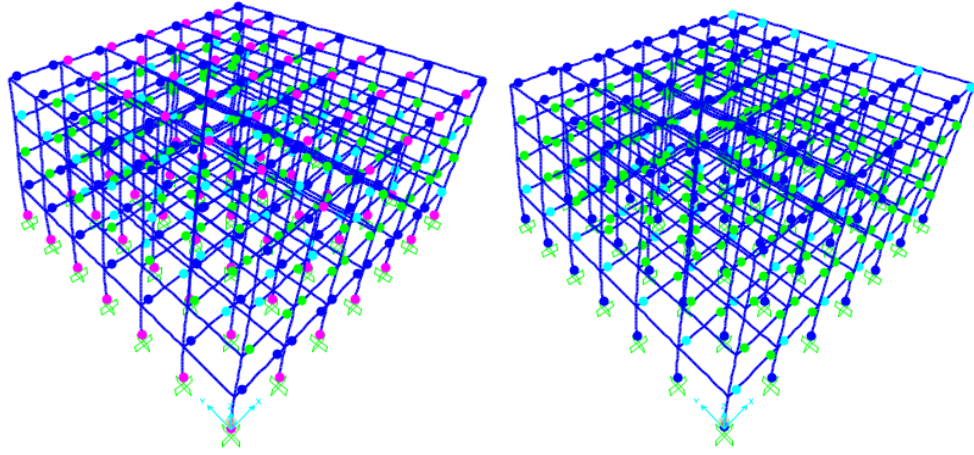
Şekil 4.40. X doğrultusu 3. - 4. adımları plastik mafsall oluşumları



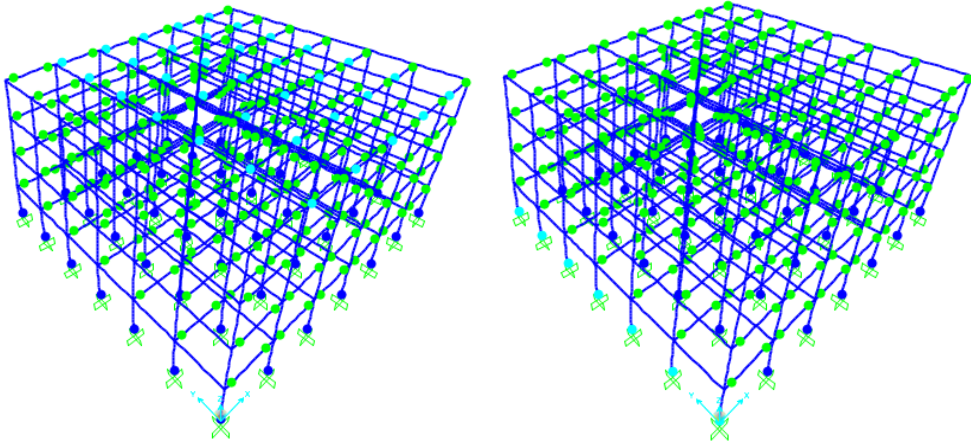
Şekil 4.41. X doğrultusu 5. - 6. adımları plastik mafsall oluşumları



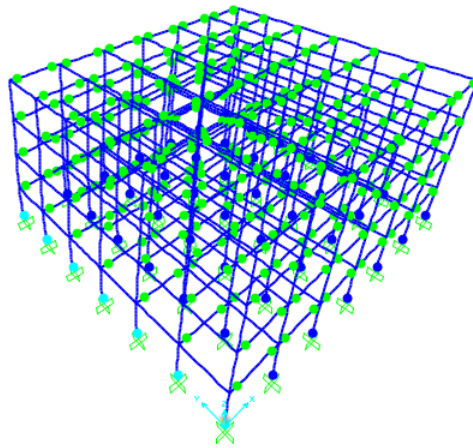
Şekil 4.42. X doğrultusu 7. - 8. adımları plastik mafsall oluşumları



Şekil 4.43. X doğrultusu 9. - 10. adımları plastik mafsal oluşumları



Şekil 4.44. X doğrultusu 11. - 12. adımları plastik mafsal oluşumları



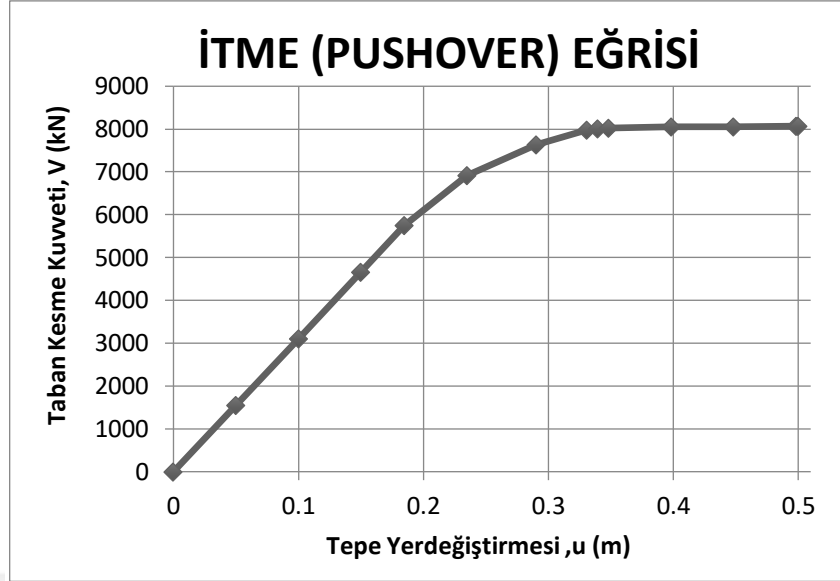
Şekil 4.45. X doğrultusu 13. adım plastik mafsal oluşumları

İtme adımlarını incelediğimizde ilk mafsalın 4. adımda oluştuğu görülmüştür. Yapıya uygulanan itmenin devam etmesiyle yapıda yük dağılımında meydana gelen değişimlerle bağlı olarak mafsallar oluşmaya başlamıştır. 13. adımda hedef yer değiştirme sınırına ulaşıncaya analiz sona ermiştir.

Analiz sonucu ulaştığımız referans model X yönü itme adımları Tablo 4.4.'te, itme eğrisi ise Şekil 4.46.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Referans model X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	1553,945
2	0,1	3107,889
3	0,15	4661,836
4	0,184915	5746,943
5	0,234914	6921,586
6	0,290373	7638,171
7	0,331064	7985,398
8	0,339616	8014,883
9	0,348408	8030,945
10	0,398408	8046,814
11	0,448408	8061,393
12	0,498408	8074,19
13	0,5	8074,753



Şekil 4.46. Referans model X yönü itme eğrisi

Referans model X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.5. ve Tablo 4.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Referans model X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,08	0,08	1,00
1	0,14	0,14	1,00
2	0,15	0,15	1,00
3	0,13	0,13	1,00

Tablo 4.6. Referans model X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	1,0586
Kütle Katılım Oranı	0,771
Toplam Kütle; M(ton)	1798
Katkı Çarpanı; $\Gamma \times I$	34,84
Modal büyüklük; $\Phi \times N1$	0,0382

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.1 ve Denklem 4.2'ye göre hesaplanan modal

kapasite değerleri bulunur. Referans model X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.7.'de gösterilmiştir.

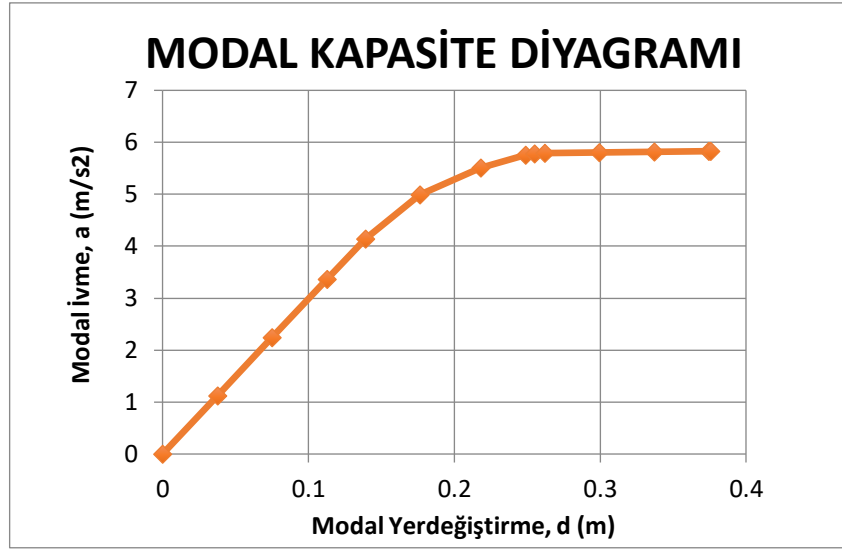
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.1)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\Phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.2)$$

Tablo 4.7. Referans model X yönü modal kapasite değerleri

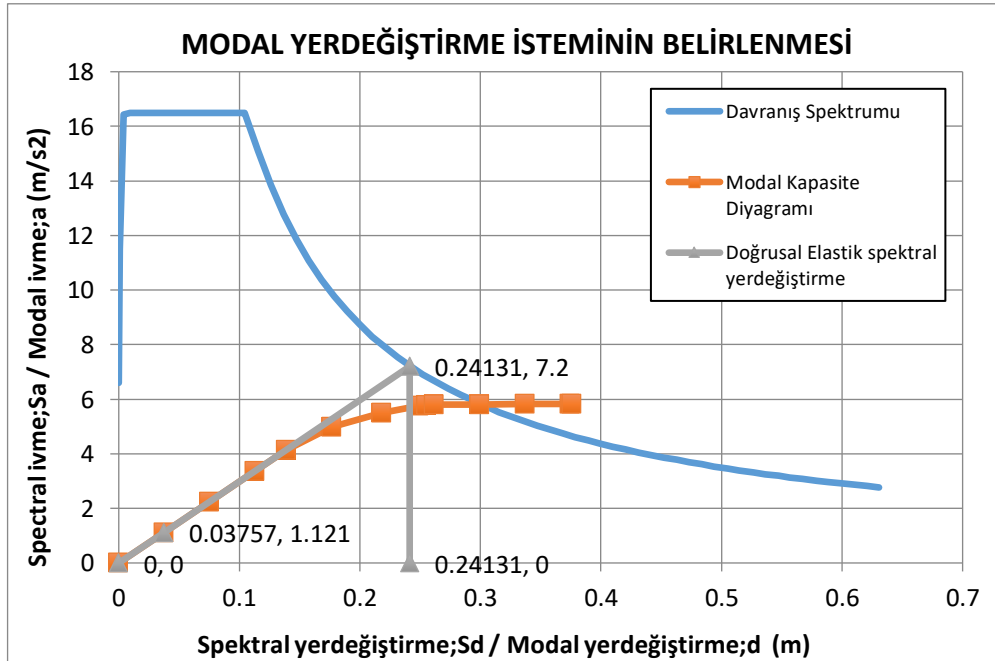
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s²)
0	0
0,03757	1,121
0,07514	2,242
0,11271	3,363
0,13894	4,146
0,17651	4,993
0,21818	5,51
0,24875	5,76
0,25518	5,782
0,26179	5,793
0,29936	5,805
0,33692	5,815
0,37449	5,824
0,37569	5,825

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.47. Referans model X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Referans modele X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.48.'de gösterilmiştir.



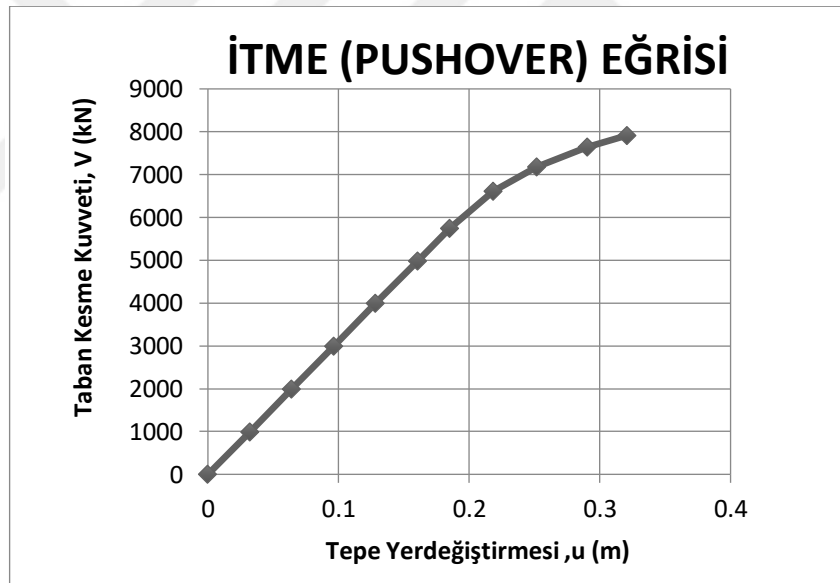
Şekil 4.48. Referans model X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,24131 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.3'e bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.3)$$

$$U_p = 34,84 \times 0,0382 \times 0,24131 = 0,32 \text{ m}$$

Referans model performans noktası olan 0,32 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Referans model, X yünü performans noktasına kadar olan itme eğrisi şekil 4.49.'da gösterilmiştir.



şekil 4.49. Referans model X yünü performans noktasına kadar olan itme analizi

Referans model X yünü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsal hasar seviyeleri Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

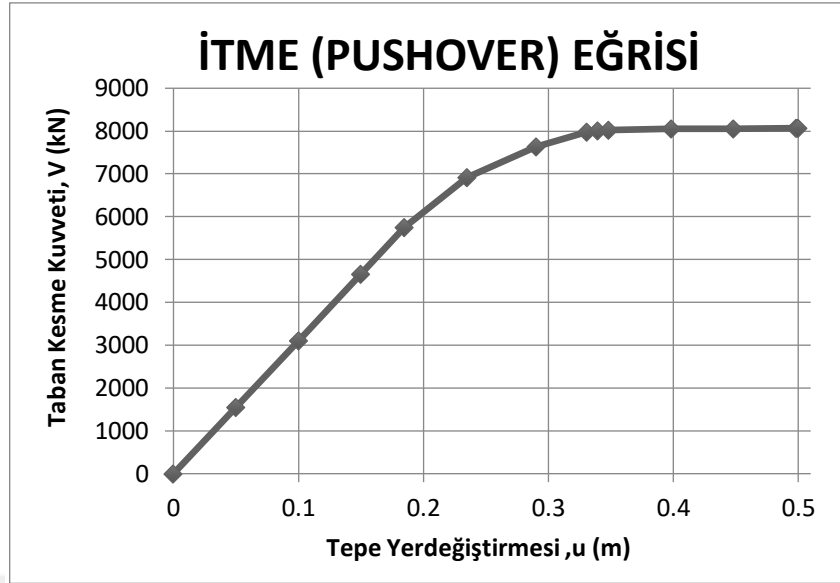
Tablo 4.8. Referans model X yönü plastik mafsall hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
1	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
2	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
3	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
4	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
5	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
6	1059	5	0	0	0	0	0	0	1064
7	975	47	42	0	0	0	0	0	1064
8	852	81	131	0	0	0	0	0	1064
9	800	52	153	17	42	0	0	0	1064
10	746	59	133	42	84	0	0	0	1064

Referans model X yönüne ait itme analizi sonuçları yukarıda anlatılmıştır. Aynı işlem adımları Y yönü için de uygulanmıştır. Referans model Y yönü itme analizi sonuçları Tablo 4.9.'da, itme eğrisi ise Şekil 4.50.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Referans model Y yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	1553,945
2	0,1	3107,889
3	0,15	4661,836
4	0,184915	5746,943
5	0,234914	6921,586
6	0,290373	7638,171
7	0,331064	7985,398
8	0,339616	8014,883
9	0,348408	8030,945
10	0,398408	8046,814
11	0,448408	8061,393
12	0,498408	8074,19
13	0,5	8074,753



Şekil 4.50. Referans model Y yönü itme eğrisi

Referans model Y yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.10. ve Tablo 4.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Referans model Y yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,08	0,08	1,00
1	0,14	0,14	1,00
2	0,15	0,15	1,00
3	0,13	0,13	1,00

Tablo 4.11. Referans model Y yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+Y
Periyot; T(s)	1,0586
Kütle Katılım Oranı	0,771
Toplam Kütle; M(ton)	1798
Katkı Çarpanı; $\Gamma \times I$	34,84
Modal büyüklük; $\Phi \times N1$	0,0382

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.4 ve Denklem 4.5'e göre hesaplanan modal

kapasite değerleri bulunur. Referans model Y yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.12.'de gösterilmiştir.

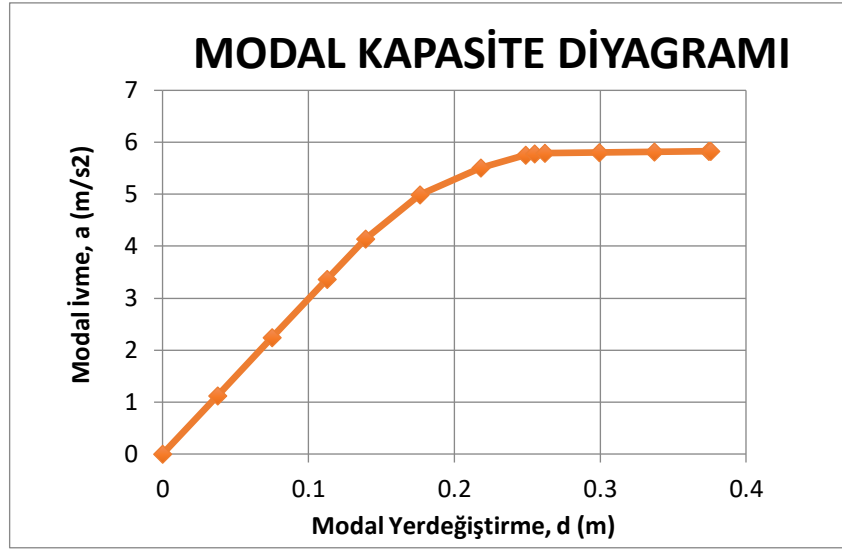
$$a_1^{(X,k)} = \frac{v_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.4)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.5)$$

Tablo 4.12. Referans model Y yönü modal kapasite değerleri

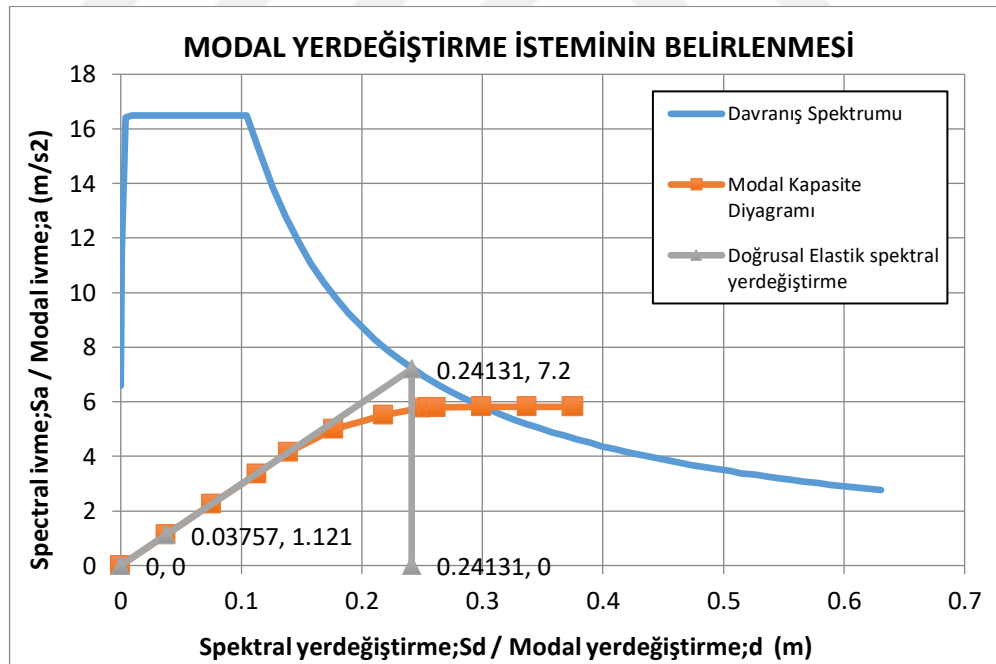
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s ²)
0	0
0,03757	1,121
0,07514	2,242
0,11271	3,363
0,13894	4,146
0,17651	4,993
0,21818	5,51
0,24875	5,76
0,25518	5,782
0,26179	5,793
0,29936	5,805
0,33692	5,815
0,37449	5,824
0,37569	5,825

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.51'de gösterilmiştir.



Şekil 4.51. Referans model Y yönü modal kapasite diyagramı

Referans model Y yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.52.'de gösterilmiştir.



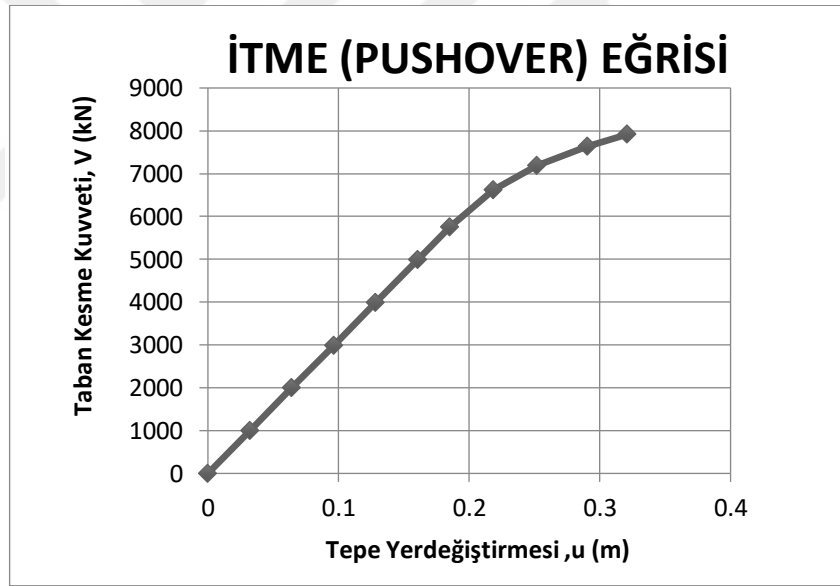
Şekil 4.52. Referans model- Y yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,24131 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.6'ya bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.6)$$

$$U_p = 34,84 \times 0,0382 \times 0,24131 = 0,32 \text{ m}$$

Referans model performans noktası olan 0,32 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Referans model, Y yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi şekil 4.53.'te gösterilmiştir.



şekil 4.53. Referans model Y yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Referans model X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsall hasar seviyeleri Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.13. Referans model Y yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

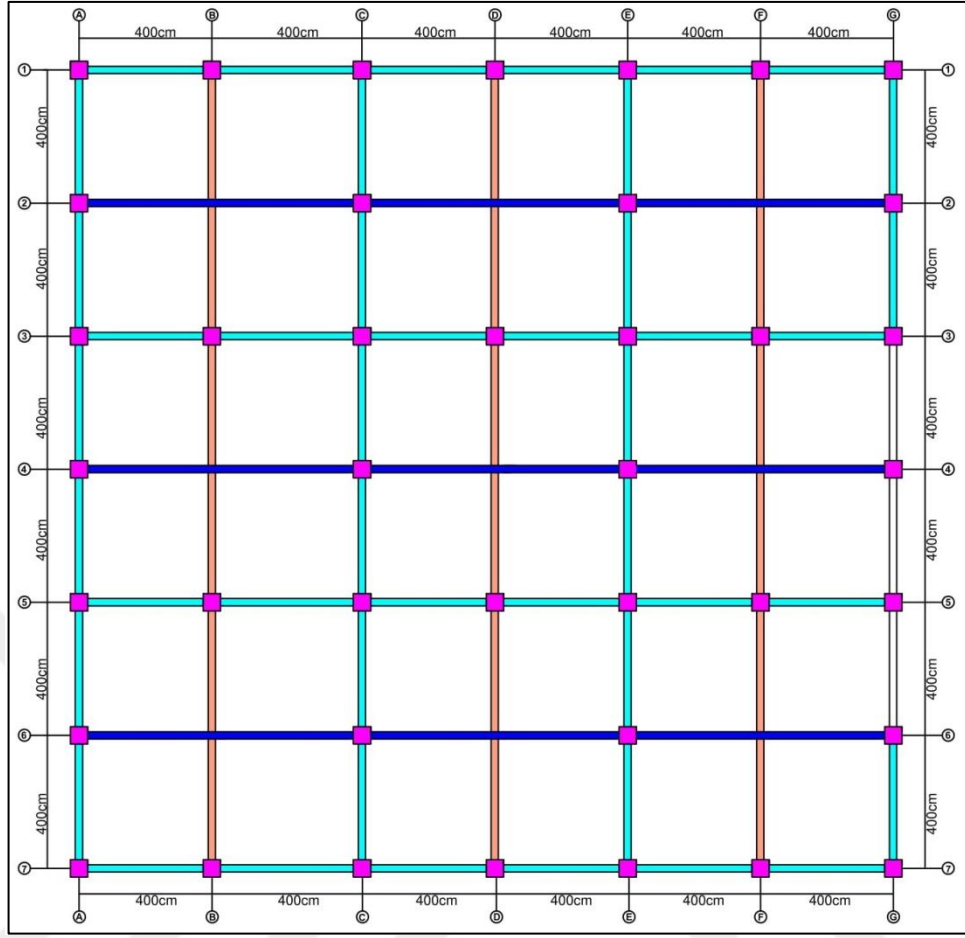
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
1	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
2	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
3	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
4	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
5	1064	0	0	0	0	0	0	0	1064
6	1059	5	0	0	0	0	0	0	1064
7	975	47	42	0	0	0	0	0	1064
8	852	81	131	0	0	0	0	0	1064
9	800	52	153	17	42	0	0	0	1064
10	746	59	133	42	84	0	0	0	1064

Referans model plan olarak simetrik olması sebebiyle X ve Y yönlerinde göstermiş olduğu davranışlar benzerdir. Bu bağlamda tez kapsamında incelenen yapı modellerinden simetrik plana sahip olanların Y yönünde incelemeleri yapılmamıştır.

Referans olarak kabul ettiğimiz modele yapılan analizler ve formüller ile ortaya çıkan sonuç ve grafikler yukarıda detaylı şekilde anlatılmıştır. Aynı adım işlemleri diğer tüm modellerde tekrar edilerek analizleri yapılmıştır.

4.2. Model-A1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Referans modelden farklı olarak yapıda büyük alanlar oluşturma fikriyle yola çıkılıp yapı 9 farklı büyük alan elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu 9 büyük alanın orta aksların kesişim noktalarındaki kolonlar kaldırılarak kenar akslardaki kolonların boyutları arttırılmıştır. Referans model ile benzer aks açıklığına sahiptir. Model-A1 olarak isimlendirilen yapı 0.70m x 0.70m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemidir. Model-A1'e ait kalıp planı Şekil 4.54.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54. Model-A1 kalıp planı

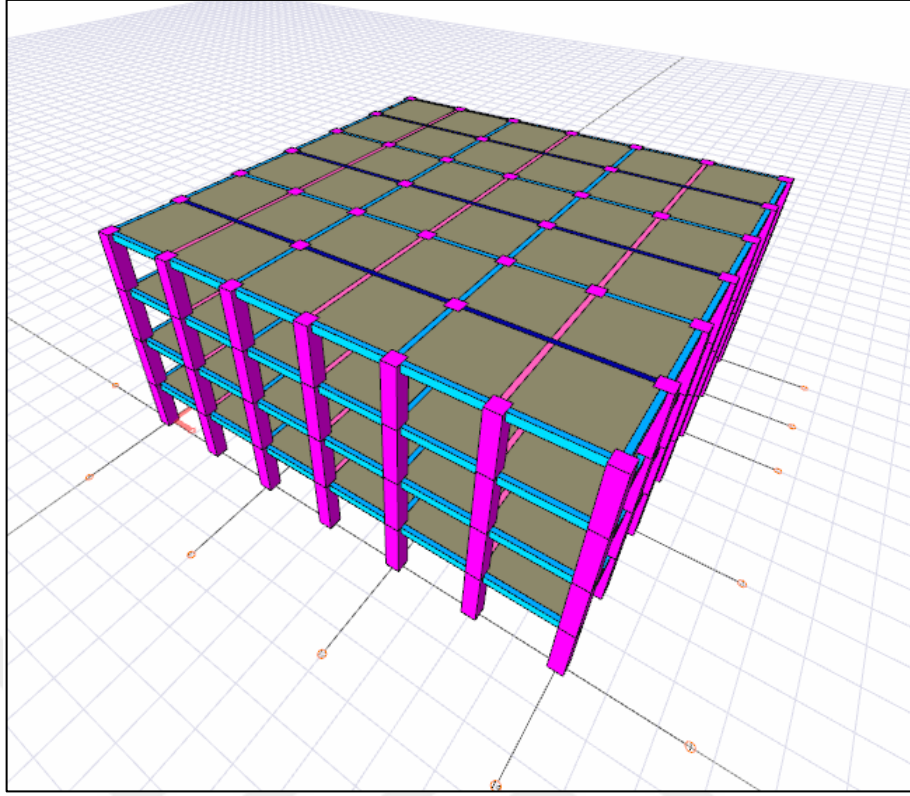
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.14.'te kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.15.'te kirişlerin donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.55.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. Model-A1 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
700	700	22 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.15. Model-A1 kiriş bilgileri

	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
	b(mm)	h(mm)	alt	üst	
Kısa kiriş	250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10
Uzun kiriş	250	400	5 Φ 20	5 Φ 20	10 Φ /10



Şekil 4.55. Model-A1 üç boyutlu görüntüsü

Model-A1'e ait periyot ve frekanslar Tablo 4.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Model-A1 yapı periyotları ve frekansları

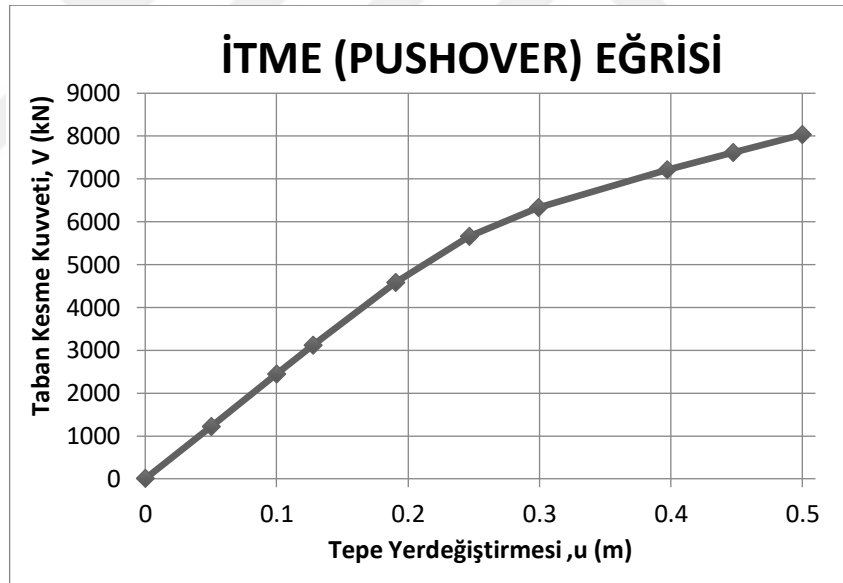
Mod	T (s)	f (1/s)
1	1,35962	0,73555
2	1,35962	0,73555
3	0,95285	1,04948
4	0,48477	2,06282
5	0,48141	2,07729
6	0,47986	2,08396
7	0,47793	2,09238
8	0,47657	2,09832
9	0,47654	2,09846
10	0,47481	2,10614
11	0,47456	2,10721
12	0,47362	2,11138

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 1,35962 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-A1 X yönü itme adımları Tablo 4.17.'de, itme eğrisi ise şekil 4.56.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.17. Model-A1 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	1222,98
2	0,01	2445,96
3	0,127404	3116,252
4	0,19056	4586
5	0,246541	5657,334
6	0,299236	6324,665
7	0,397183	7207,08
8	0,447183	7611,953
9	0,5	8031,322



şekil 4.56. Model-A1 X yönü itme eğrisi

Model-A1 X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.18. ve Tablo 4.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.18. Model-A1 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,05	0,05	1,00
1	0,11	0,11	1,00
2	0,12	0,12	1,00
3	0,09	0,09	1,00

Tablo 4.19. Model-A1 X Yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	1,36
Kütle Katılım Oranı	0,772
Toplam Kütle; M(ton)	2000
Katkı Çarpanı; Γ_X	40,23
Modal büyüklük; Φ_{XN1}	0,332

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.7 ve Denklem 4.8'e göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunur. Model-A1 X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.20.'de gösterilmiştir.

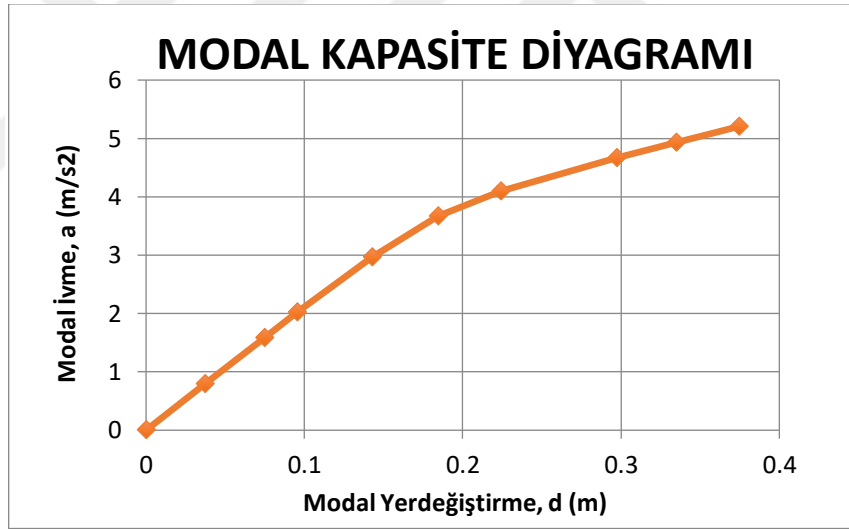
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.7)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\Phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.8)$$

Tablo 4.20. Model-A1 X yönü modal kapasite değerleri

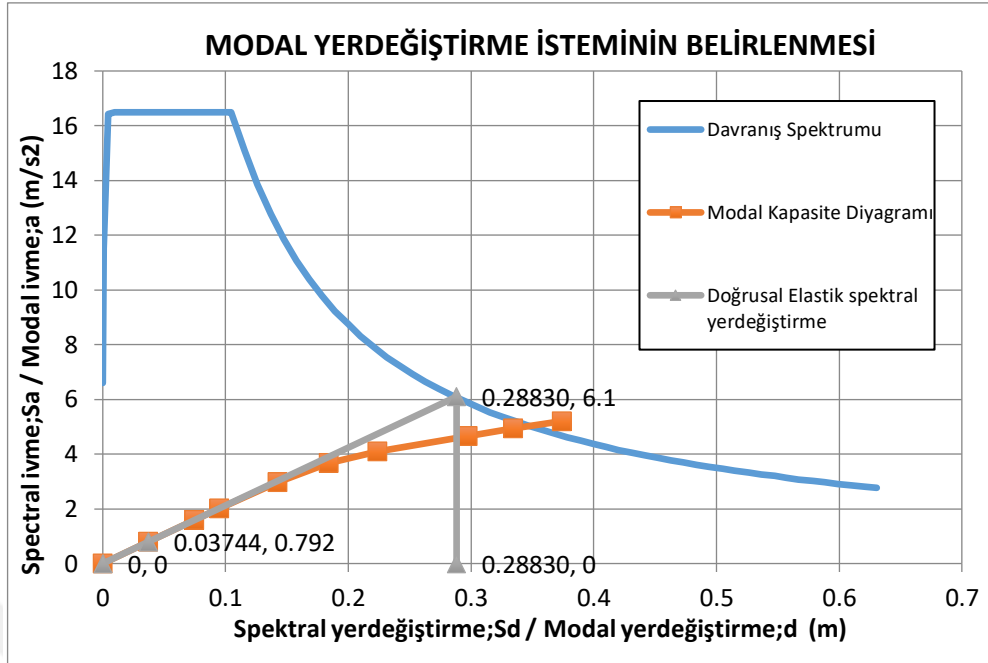
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s²)
0	0
0,03744	0,792
0,07487	1,584
0,09539	2,018
0,14267	2,970
0,18459	3,664
0,22404	4,096
0,29737	4,668
0,33692	4,930
0,37435	5,204

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.57'de gösterilmiştir.



Şekil 4.57. Model-A1 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-A1 X doğrultusuna ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.58.'de gösterilmiştir.



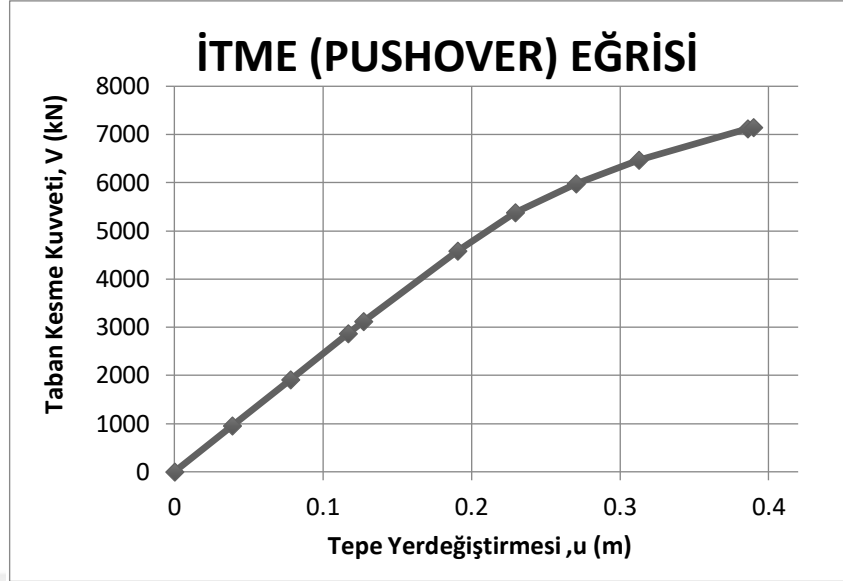
Şekil 4.58. Model-A1 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,28830 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.9'a bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.9)$$

$$U_p = 40,23 \times 0,0332 \times 0,28830 = 0,39 \text{ m}$$

Model-A1 performans noktası olan 0,39 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-A1, X yönünde performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.59.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.59. Model-A1 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-A1, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsallı hasar seviyeleri Tablo 4.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.21. Model-A1 X yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

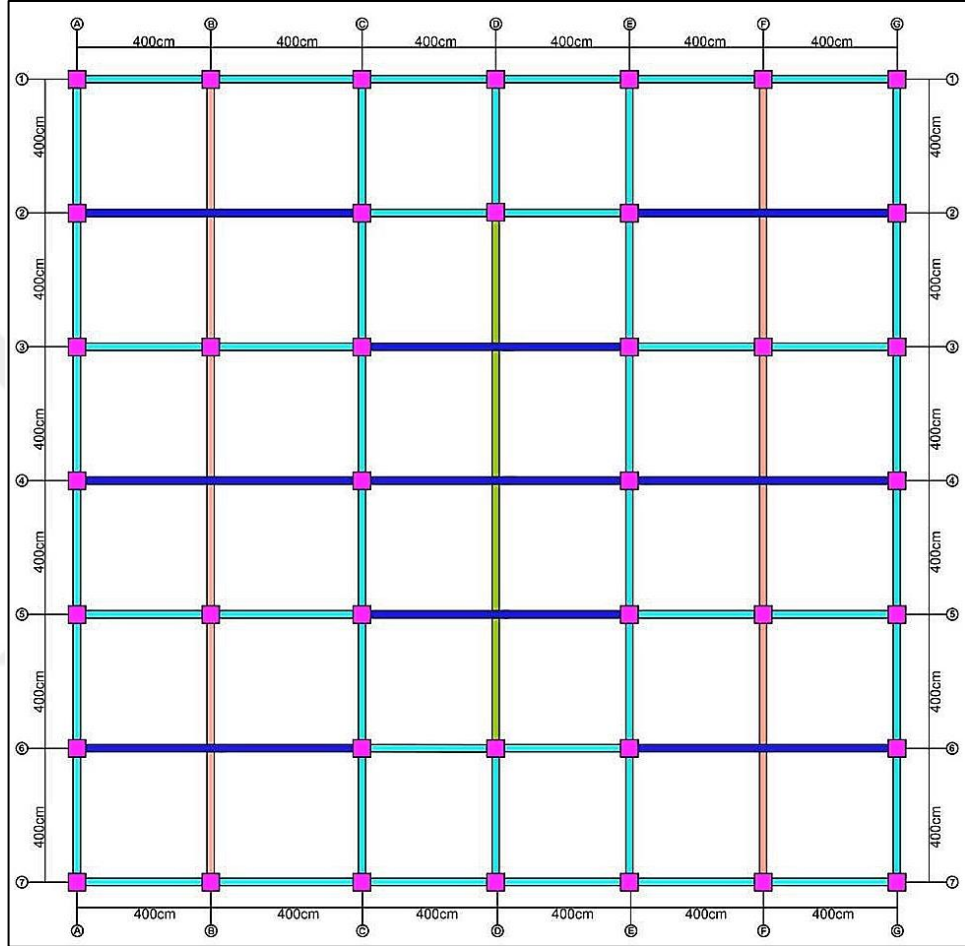
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	920	0	0	0	0	0	0	0	920
1	920	0	0	0	0	0	0	0	920
2	920	0	0	0	0	0	0	0	920
3	920	0	0	0	0	0	0	0	920
4	912	8	0	0	0	0	0	0	920
5	888	5	27	0	0	0	0	0	920
6	834	26	42	9	9	0	0	0	920
7	762	48	81	11	18	0	0	0	920
8	730	20	84	33	53	0	0	0	920
9	692	0	68	28	132	0	0	0	920
10	692	0	66	30	132	0	0	0	920

Model-A1'de planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

4.3. Model-A2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Referans model ile benzer aks açıklığına sahiptir. Kolonların dağılımı düzensiz bir şekilde yapıldı, yapının çekirdek kısmında 128 m² büyüklüğünde ızgara kirişlerle

desteklenen büyük bir alan elde edilmiştir. Model-A2 olarak isimlendirilen yapı 0.70m x 0.70m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Model-A2'ye ait kalıp planı Şekil 4.60.'ta gösterilmiştir.



Şekil 4.60. Model-A2 kalıp planı

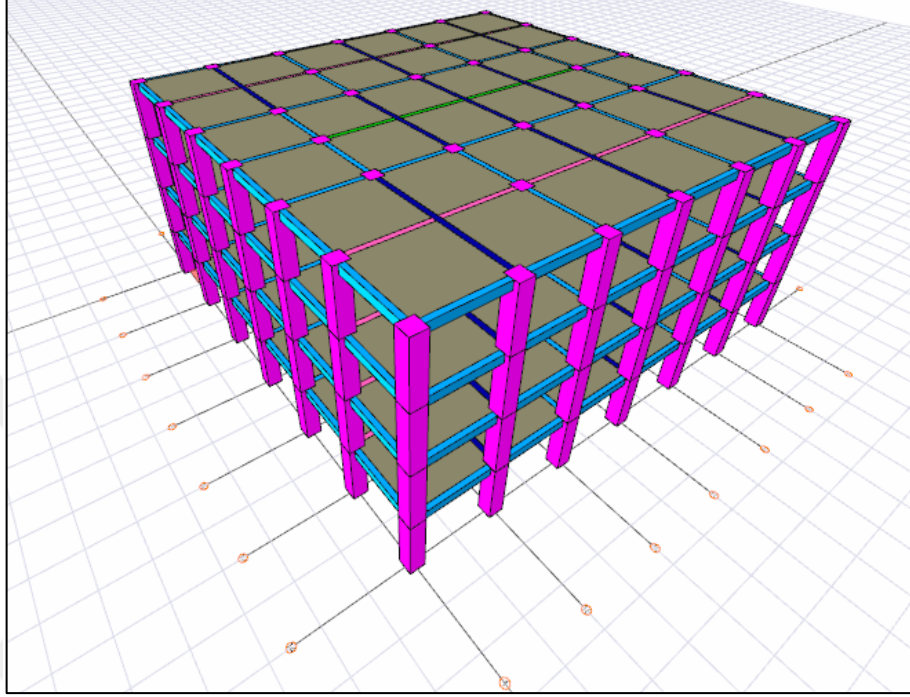
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.22.'de kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.23.'te kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.61.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.22. Model-A2 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
700	700	22Φ20	10Φ/10

Tablo 4.23. Model-A2 kiriş bilgileri

	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
	b(mm)	h(mm)	alt	üst	
Kısa kiriş	250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10
Uzun kiriş	250	400	5 Φ 20	5 Φ 20	10 Φ /10



Şekil 4.61. Model-A2 üç boyutlu görüntüsü

Model-A2'ye ait periyot ve frekanslar Tablo 4.24.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.24. Model-A2 yapı periyotları ve frekansları

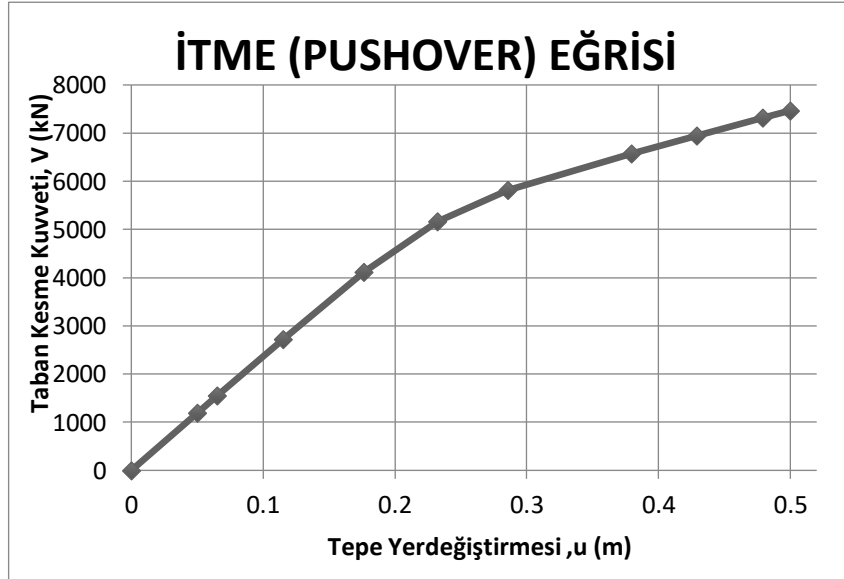
Mod	T (s)	f (1/s)
1	1,34002	0,74626
2	1,30517	0,76618
3	0,92195	1,08465
4	0,60722	1,64685
5	0,60092	1,66412
6	0,59812	1,67172
7	0,59704	1,67493
8	0,47737	2,09479
9	0,47344	2,11222
10	0,47187	2,11923
11	0,47082	2,12395
12	0,45652	2,1905

Yapının 1. Modu X yönünü temsil eden periyot 1,34002 s ve 2. Modu Y yönünü temsil eden periyot 1,30517 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-A2 X yönü itme adımları, Tablo 4.25.'te, itme eğrisi ise Şekil 4.62.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.25. Model-A2 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	1191,479
2	0,065047	1545,541
3	0,115047	2717,941
4	0,176294	4115,406
5	0,232109	5161,191
6	0,285552	5809,704
7	0,379251	6570,892
8	0,429251	6943,252
9	0,479251	7315,609
10	0,5	7468,265



Şekil 4.62. Model-A2 X yönü itme eğrisi

Model-A1 X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.26 ve Tablo 4.27.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.26. Model-A2 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,04	0,04	1,00
1	0,07	0,07	1,00
2	0,07	0,07	1,00
3	0,06	0,06	1,00

Tablo 4.27. Model-A2 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	1,340
Kütle Katılım Oranı	0,771
Toplam Kütle; M(ton)	2082
Katkı Çarpanı; Γ_X1	39,29
Modal büyüklük; Φ_{XN1}	0,034

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.10 ve Denklem 4.11'e göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunur. Model-A2 X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.28.'de gösterilmiştir.

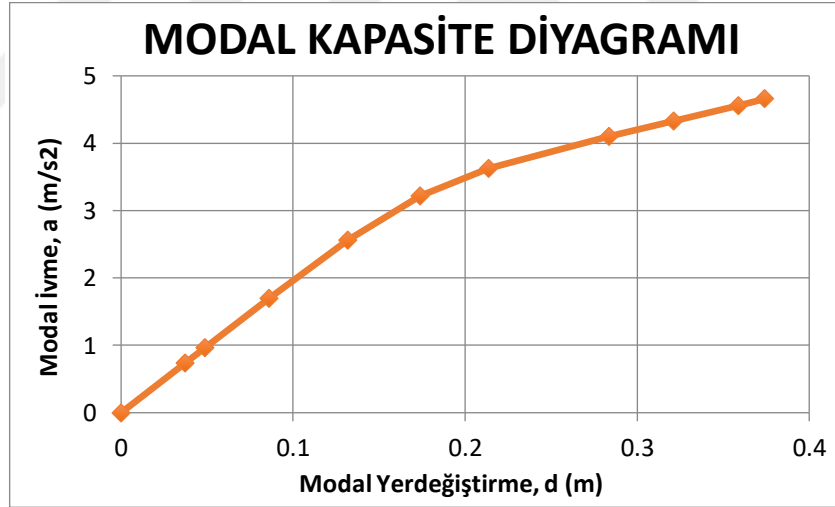
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.10)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.11)$$

Tablo 4.28. Model-A2 X Yönü modal kapasite değerleri

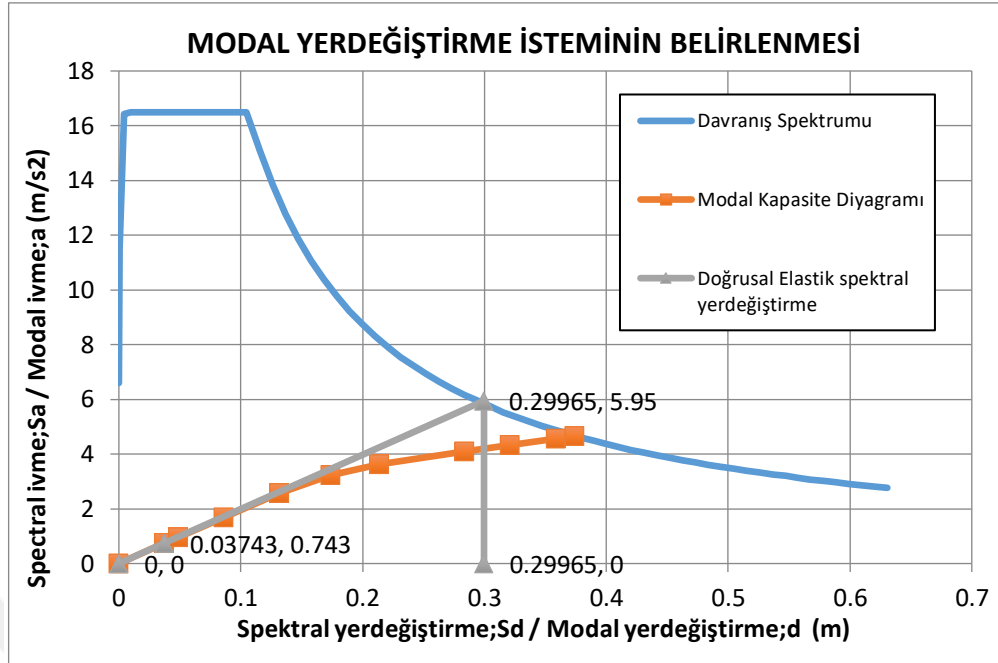
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s²)
0	0
0,03743	0,743
0,04869	0,964
0,08612	1,695
0,13197	2,567
0,17375	3,219
0,21376	3,624
0,28390	4,099
0,32133	4,331
0,35876	4,563
0,37429	4,659

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.63'te gösterilmiştir.



Şekil 4.63. Model-A2 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-A2 X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.64.'te gösterilmiştir.



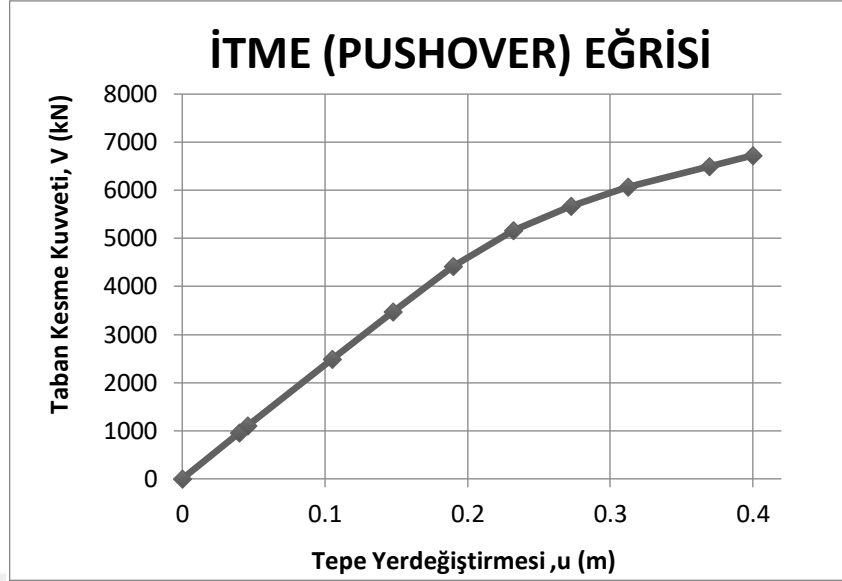
Şekil 4.64. Model-A2 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,29965 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.12'ye bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.12)$$

$$U_p = 39,29 \times 0,0340 \times 0,29965 = 0,40 \text{ m}$$

Model-A2 performans noktası olan 0,40 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-A2, X yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.65.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.65. Model- A2 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-A2, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsalları hasar seviyeleri Tablo 4.29.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.29. Model-A2 X yönü plastik mafsalları hasar seviyeleri

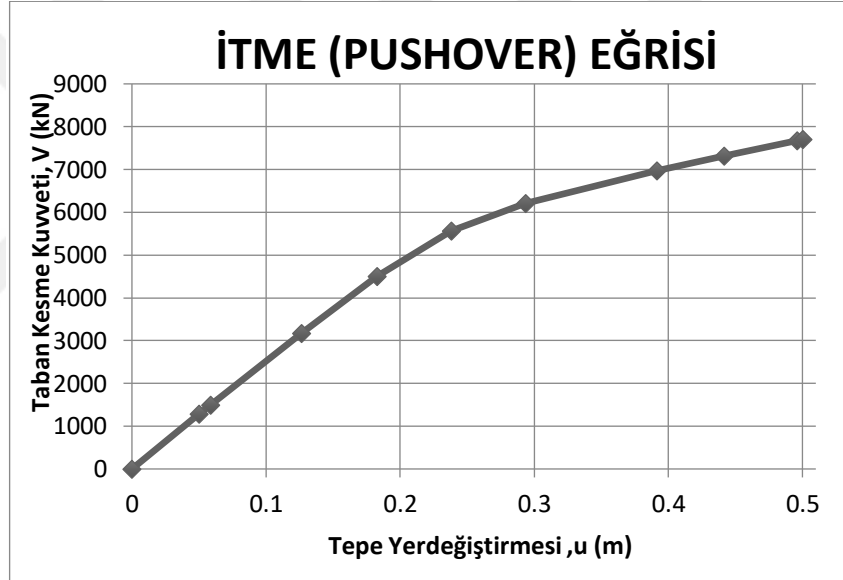
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	912	0	8	0	0	0	0	0	920
1	910	2	5	3	0	0	0	0	920
2	908	4	4	4	0	0	0	0	920
3	904	0	12	0	4	0	0	0	920
4	892	6	12	4	6	0	0	0	920
5	871	15	22	2	10	0	0	0	920
6	800	34	62	6	18	0	0	0	920
7	736	32	100	27	25	0	0	0	920
8	694	30	88	46	62	0	0	0	920
9	680	0	86	22	132	0	0	0	920
10	680	0	48	36	156	0	0	0	920

Model-A2'de planın X ve Y yönünde simetrik olmaması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmıştır.

Referans model Y yönü itme analizi sonuçları Tablo 4.30.'da, itme eğrisi ise Şekil 4.66'da gösterilmiştir.

Tablo 4.30. Model-A2 Y yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,050164	1279,739
2	0,058522	1491,839
3	0,126178	3167,171
4	0,18271	4508,78
5	0,237903	5558,476
6	0,293296	6210,841
7	0,391297	6964,332
8	0,441297	7309,545
9	0,496042	7676,948
10	0,5	7701,618



Şekil 4.66. Model-A2 Y yönü itme eğrisi

Model-A2, Y yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.31. ve Tablo 4.32.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.31. Model-A2 Y yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,04	0,04	1,00
1	0,07	0,07	1,00
2	0,07	0,07	1,00
3	0,06	0,06	1,00

Tablo 4.32. Model-A2 Y Yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+Y
Periyot; T(s)	1,323
Kütle Katılım Oranı	0,772
Toplam Kütle; M(ton)	2082
Katkı Çarpanı; Γ_{x1}	39,37
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0,0339

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.13 ve Denklem 4.14'e göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunur. Model-A2, Y yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.33.'te gösterilmiştir.

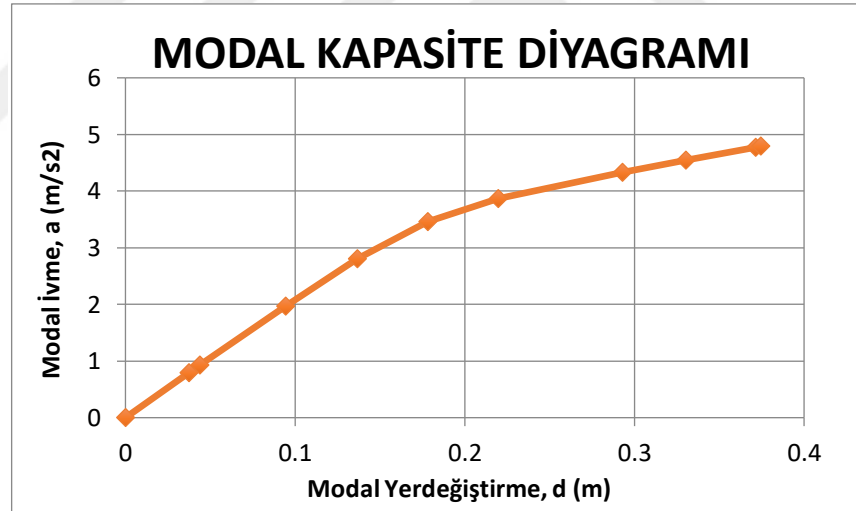
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.13)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.14)$$

Tablo 4.33. Model-A2 Y yönü modal kapasite değerleri

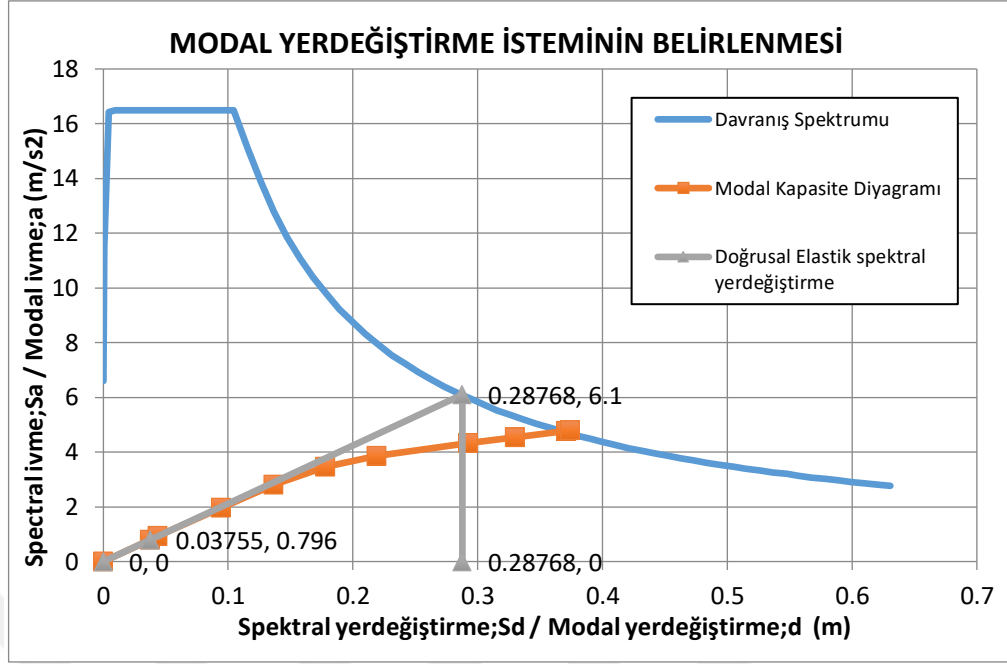
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s²)
0	0
0,03755	0,796
0,04381	0,928
0,09445	1,970
0,13676	2,805
0,17808	3,458
0,21954	3,864
0,29290	4,333
0,33032	4,548
0,37130	4,776
0,37426	4,792

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.67.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.67. Model-A2 Y yönü modal kapasite diyagramı

Model-A2, Y yönüne ait modal yer değiştirme istemi Şekil 4.68.'de gösterilmiştir.



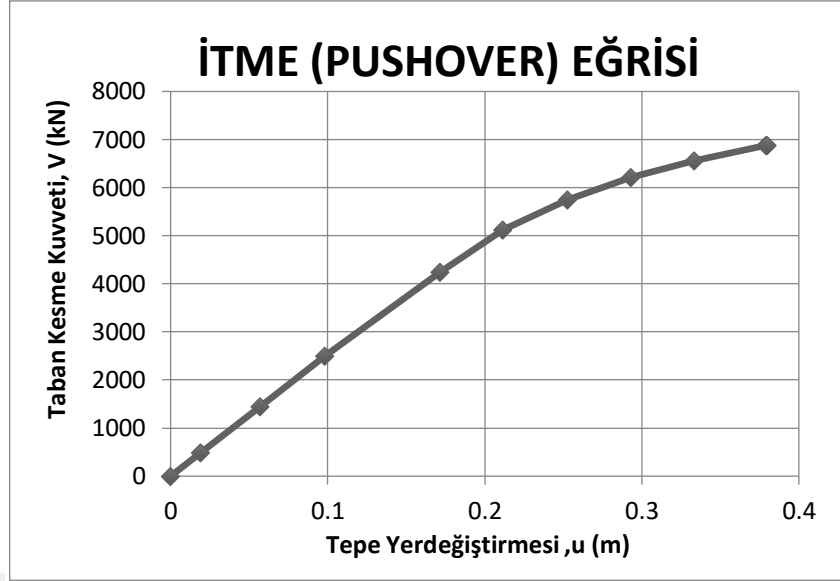
Şekil 4.68. Model-A2 Y yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,28768 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.15'e bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.15)$$

$$U_p = 39,37 \times 0,0339 \times 0,28768 = 0,38 \text{ m}$$

Model-A2 performans noktası olan 0,38 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-A2, Y yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.69.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.69. Model- A2 Y yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

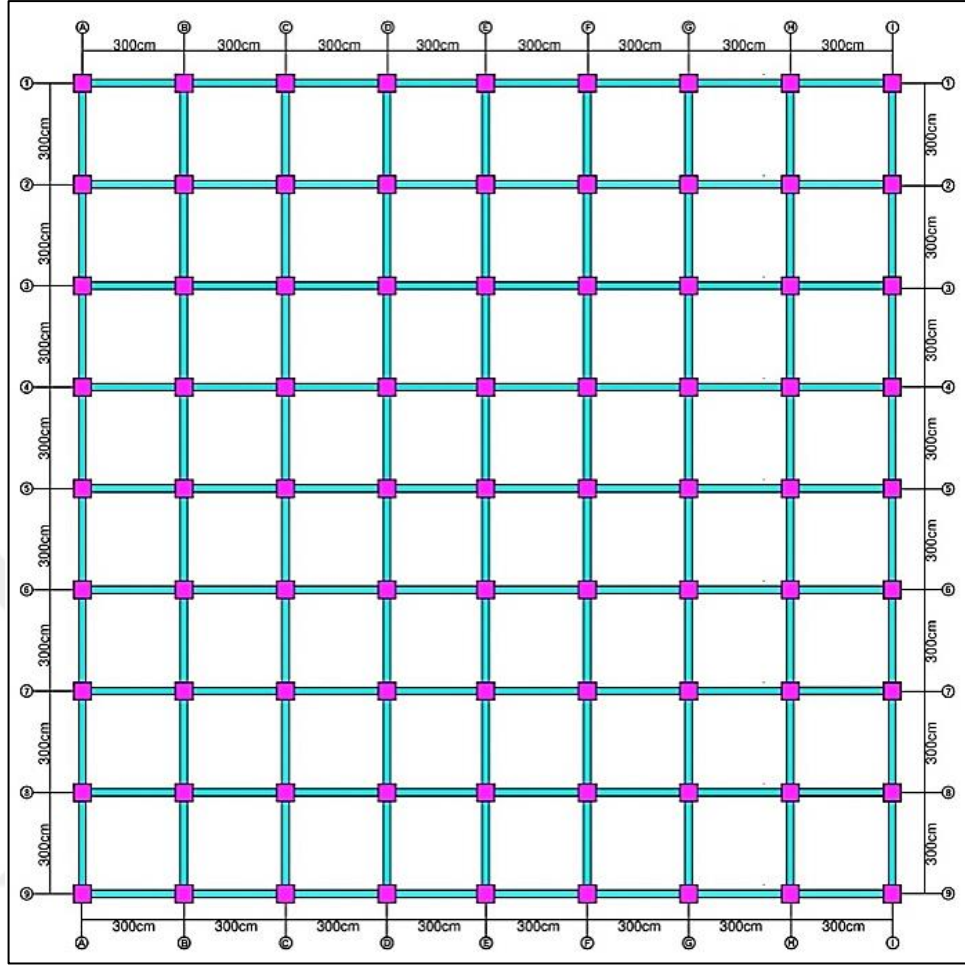
Model-A2, Y yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsallı hasar seviyeleri Tablo 4.34.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.34. Model-A2 Y yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	912	0	8	0	0	0	0	0	920
1	912	0	8	0	0	0	0	0	920
2	908	3	9	0	0	0	0	0	920
3	896	12	12	0	0	0	0	0	920
4	884	0	27	2	7	0	0	0	920
5	836	26	36	2	20	0	0	0	920
6	734	64	94	6	22	0	0	0	920
7	693	39	113	21	54	0	0	0	920
8	646	26	113	22	113	0	0	0	920
9	638	4	92	36	150	0	0	0	920
10	638	4	92	36	150	0	0	0	920

4.4. Model-B1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Referans modelden farklı olarak 3 metre aks açıklığına sahiptir. Model-B1 olarak isimlendirilen yapı 0.55m x 0.55m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Model-B1'e ait kalıp planı Şekil 4.70.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.70. Model-B1 kalıp planı

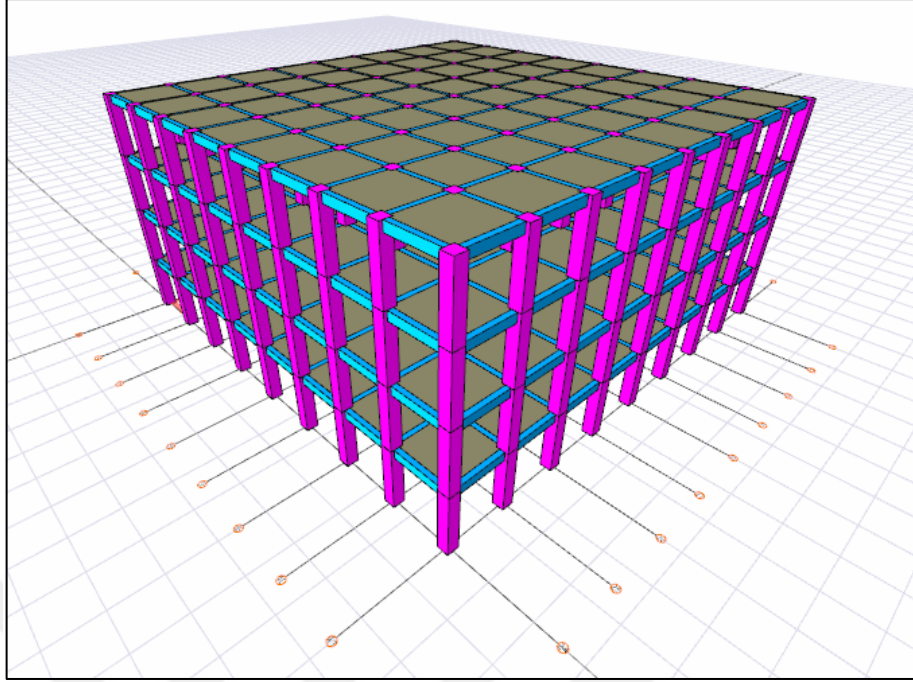
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.35.'te kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.36.'da kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.71.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.35. Model-B1 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
550	550	16 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.36. Model-B1 kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	alt	üst	
250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10



Şekil 4.71. Model-B1 üç boyutlu görüntüsü

Model-B1'e ait periyot ve frekanslar Tablo 4.37.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.37. Model-B1 yapı periyotları ve frekansları

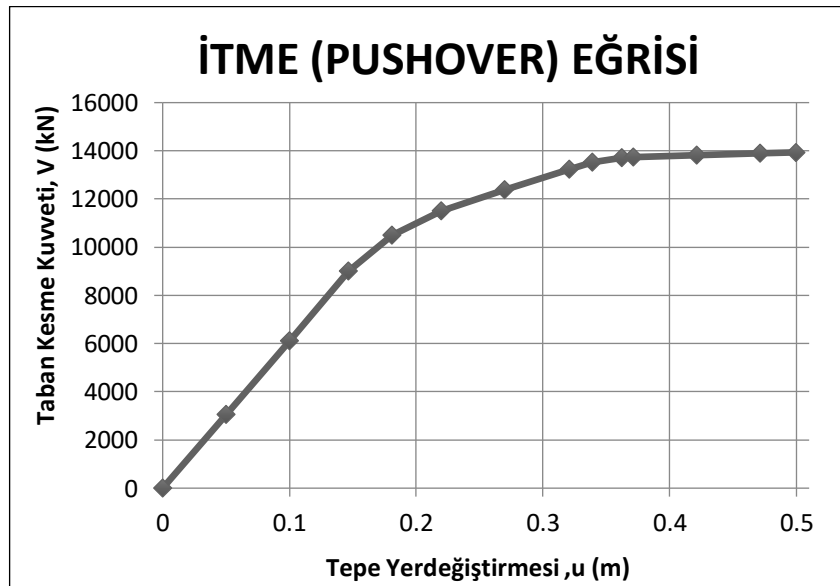
Mod	T (s)	f (1/s)
1	0,85102	1,17506
2	0,85102	1,17506
3	0,72784	1,37393
4	0,24329	4,11004
5	0,24329	4,1104
6	0,21564	4,63739
7	0,11835	8,44923
8	0,11835	8,44923
9	0,10887	9,18537
10	0,07551	13,24362
11	0,07551	13,24362
12	0,07069	14,14536

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 0,85102 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-B1 X yönü itme adımları Tablo 4.38.'de, itme eğrisi ise Şekil 4.72.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.38. Model-B1 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	3062,039
2	0,1	6124,079
3	0,146955	8999,668
4	0,18122	10493,41
5	0,220141	11505,99
6	0,270141	12372,79
7	0,321098	13239,62
8	0,338987	13521,54
9	0,362648	13713,16
10	0,371606	13750,85
11	0,421606	13819,24
12	0,471606	13896,76
13	0,5	13936,39



Şekil 4.72. Model-B1 X yönü itme eğrisi

Model-B1, X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.39. ve Tablo 4.40.'ta gösterilmiştir.

Tablo 4.39. Model-B1 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,04	0,04	1,00
1	0,08	0,08	1,00
2	0,07	0,07	1,00
3	0,05	0,05	1,00

Tablo 4.40. Model-B1 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	0,851
Kütle Katılım Oranı	0,799
Toplam Kütle; M(ton)	1949
Katkı Çarpanı; Γ_{x1}	38,51
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0,0343

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.16 ve Denklem 4.17'ye göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunmuştur. Model-B1, X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.41.'de gösterilmiştir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.16)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.17)$$

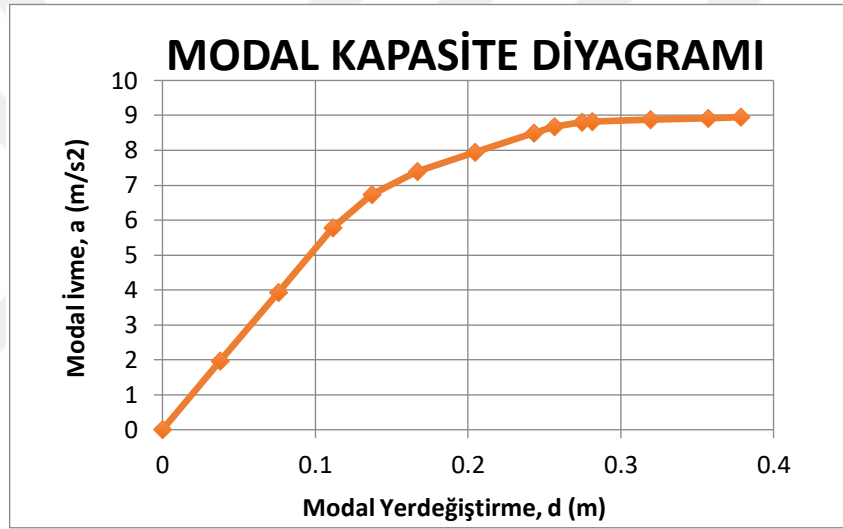
Tablo 4.41. Model-B1 X yönü modal kapasite değerleri

Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s ²)
0	0
0,03785	1,966
0,07571	3,933
0,11125	5,779
0,1372	6,738
0,16666	7,389

Tablo 4.41. (Devamı)

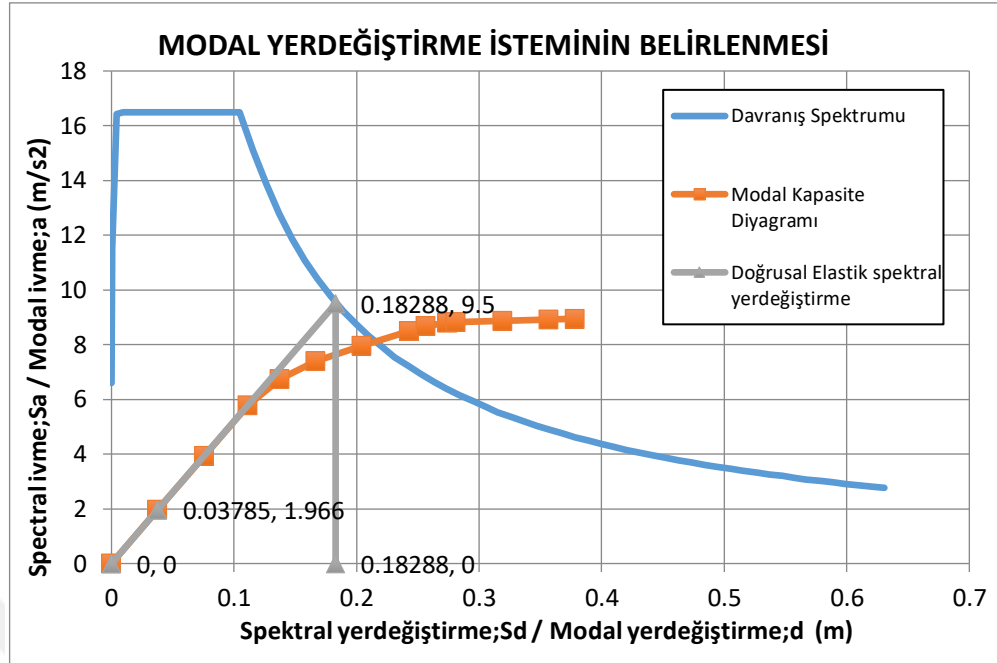
0,20451	7,945
0,24309	8,502
0,25663	8,683
0,27455	8,806
0,28133	8,83
0,31918	8,874
0,35704	8,924
0,37853	8,949

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.73’de gösterilmiştir.



Şekil 4.73. Model-B1 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası’ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-B1, X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.74.’de gösterilmiştir.



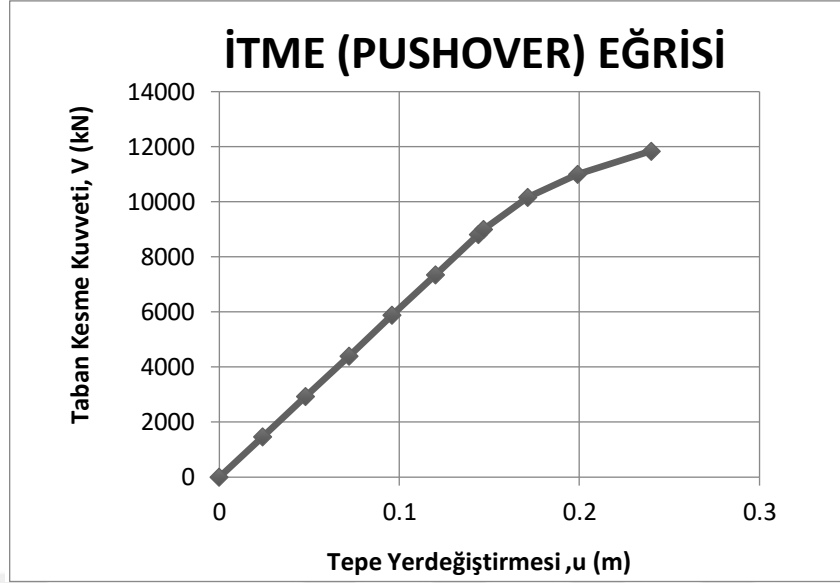
Şekil 4.74. Model-B1 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,18288 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.18'e bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.18)$$

$$U_p = 38,51 \times 0,0343 \times 0,18288 = 0,24 \text{ m}$$

Model-B1 performans noktası olan 0,24 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-B1, X yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.75.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.75. Model- B1 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-B1, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsals hasar seviyeleri Tablo 4.42.'de gösterilmiştir.

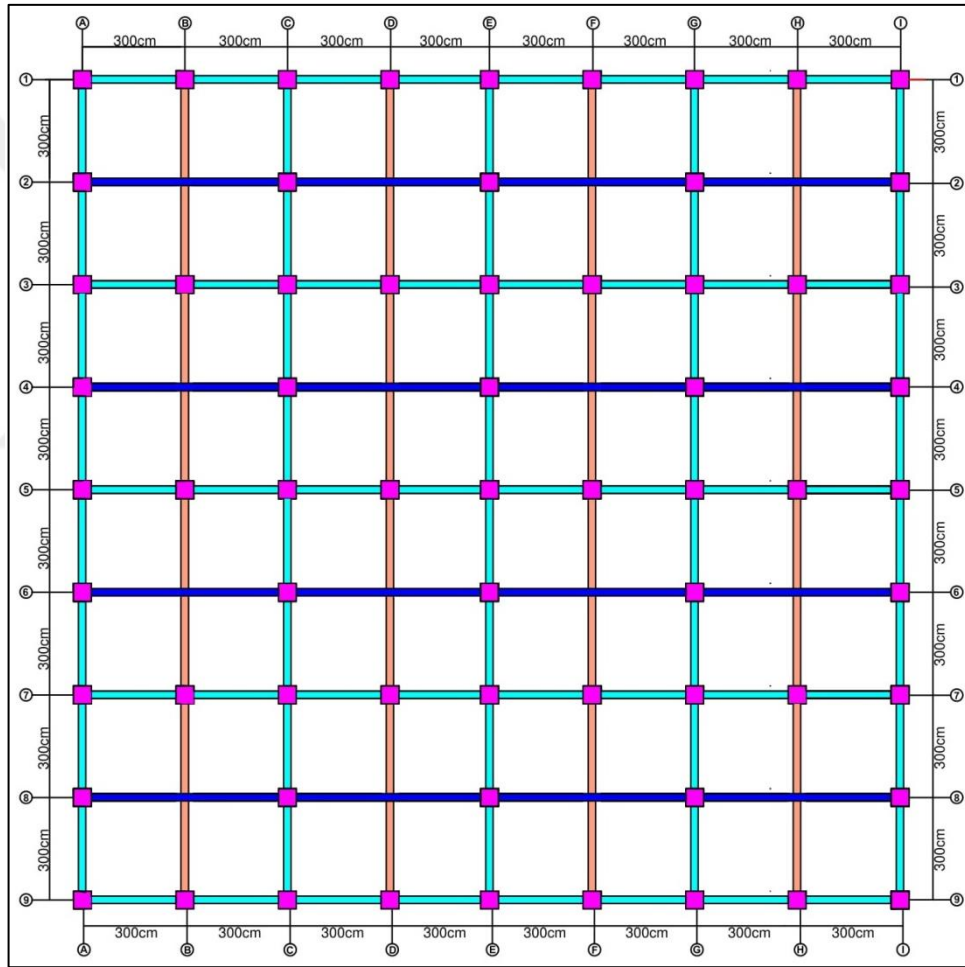
Tablo 4.42. Model-B1 X yönü plastik mafsals hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
1	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
2	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
3	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
4	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
5	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
6	1800	0	0	0	0	0	0	0	1800
7	1791	9	0	0	0	0	0	0	1800
8	1587	139	74	0	0	0	0	0	1800
9	1503	72	225	0	0	0	0	0	1800
10	1368	63	225	135	9	0	0	0	1800

Model-B1'de planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

4.5. Model-B2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model B1 ile benzer aks açıklığına sahiptir. Yapıda 16 adet büyük alan elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu 16 adet büyük alanın orta aksların kesişim noktalarındaki kolonlar kaldırılarak, kenar akslardaki kolonların boyutu arttırılmıştır. Model-B2 olarak isimlendirilen yapı 0.60m x 0.60m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Model-B2'ye ait kalıp planı Şekil 4.76.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.76. Model-B2 kalıp planı

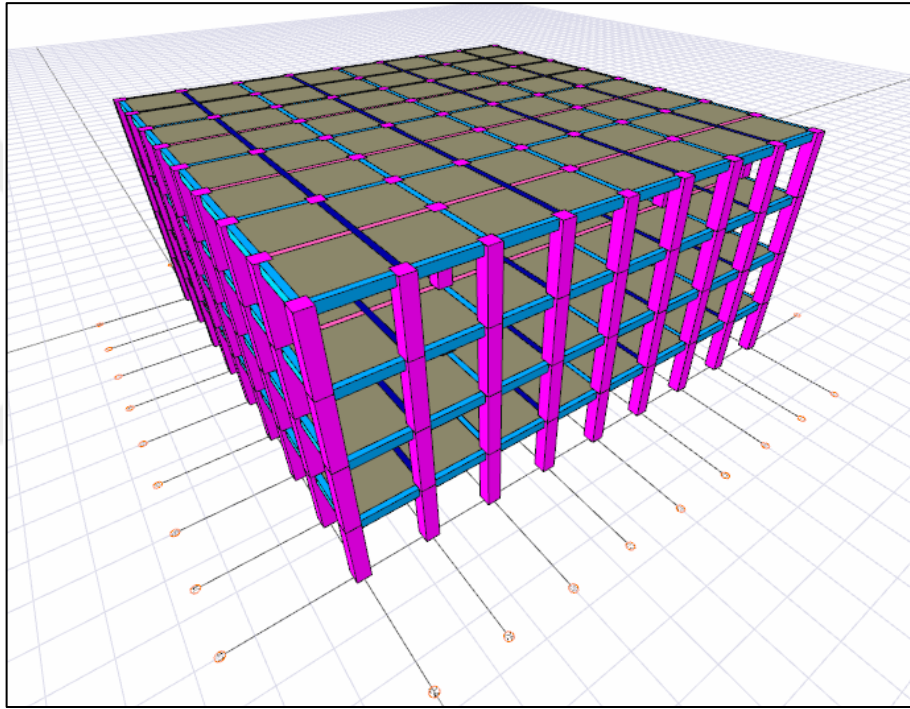
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.43.'te kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.44.'te kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.77.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.43. Model-B2 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
600	600	16 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.44. Model-B2 kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	alt	üst	
250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10



Şekil 4.77. Model-B2 üç boyutlu görüntüsü

Model-B2'ye ait periyot ve frekanslar Tablo 4.45.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.45. Model-B2 yapı periyotları ve frekansları

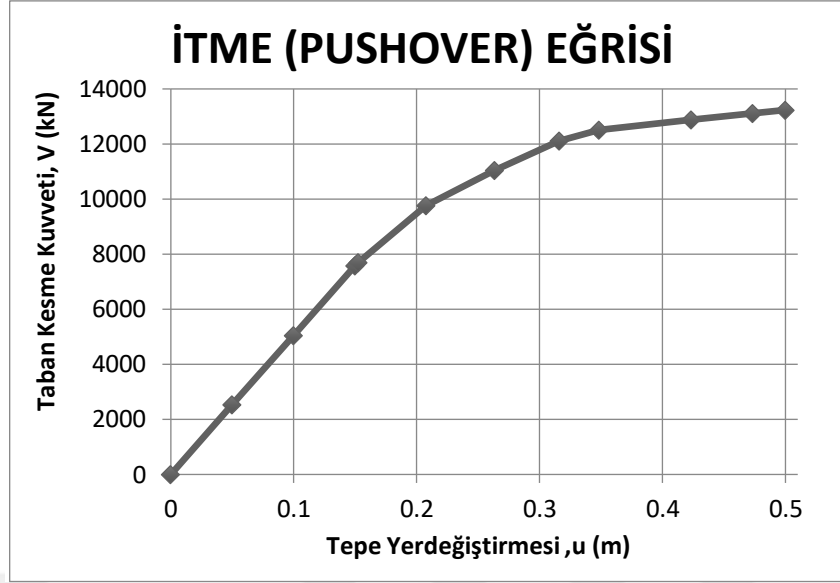
Mod	T (s)	f (1/s)
1	1,00215	0,99785
2	1,00215	0,99785
3	0,81014	1,23436
4	0,28112	3,55716
5	0,28112	3,55716
6	0,23793	4,2029
7	0,2248	4,44847
8	0,22273	4,48968
9	0,22273	4,48968
10	0,21207	4,53106
11	0,22011	4,54318
12	0,22011	4,5432

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 1,00215 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-B2 X yönü itme adımları Tablo 4.46.'da, itme eğrisi ise Şekil 4.78.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.46. Model-B2 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	2525,033
2	0,1	5050,065
3	0,15	7575,107
4	0,152481	7698,758
5	0,207865	9758,659
6	0,263177	11045,03
7	0,315774	12106,33
8	0,348373	12519,72
9	0,423138	12872,89
10	0,473138	13114,28
11	0,5	13235,6



Şekil 4.78. Model-B2 X yönü itme eğrisi

Model-B2, X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.47. ve Tablo 4.48.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.47. Model-B2 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,05	0,05	1,00
1	0,09	0,09	1,00
2	0,09	0,09	1,00
3	0,06	0,06	1,00

Tablo 4.48. Model-B2 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	1,022
Kütle Katılım Oranı	0,792
Toplam Kütle; M(ton)	2295
Katkı Çarpanı; $\Gamma \times 1$	41,81
Modal büyüklük; $\Phi \times N1$	0,0316

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.19 ve Denklem 4.20'ye göre hesaplanan modal

kapasite değerleri bulunmuştur. Model-B2, X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.49.'da gösterilmiştir.

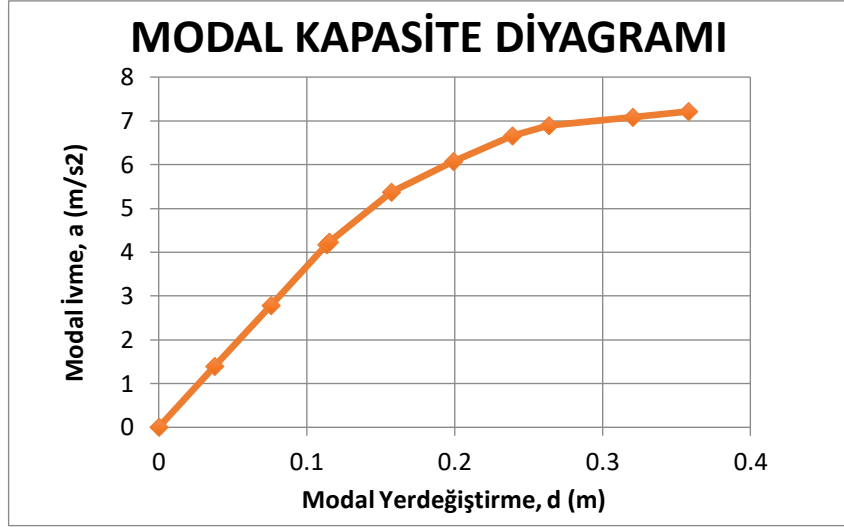
$$a_1^{(X,k)} = \frac{v_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.19)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.20)$$

Tablo 4.49. Model-B2 X yönü modal kapasite değerleri

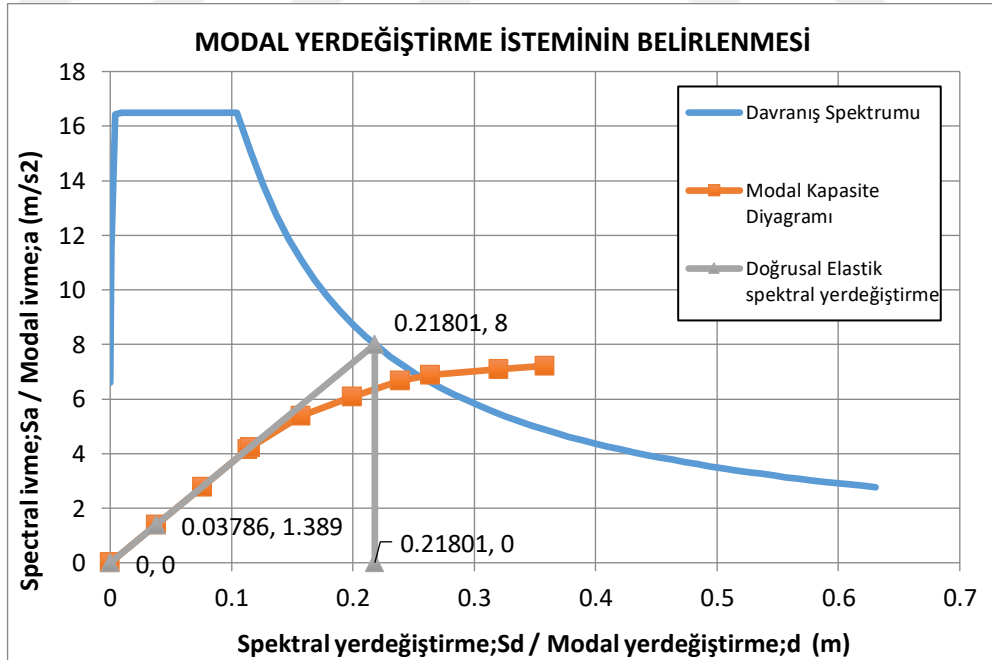
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s²)
0	0
0,03786	1,389
0,07571	2,778
0,11357	4,168
0,11545	4,236
0,15738	5,369
0,19926	6,077
0,23908	6,66
0,26376	6,888
0,32037	6,888
0,35823	7,215

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.79'da gösterilmiştir.



Şekil 4.79. Model-B2 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-B2, X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.80.'de gösterilmiştir.



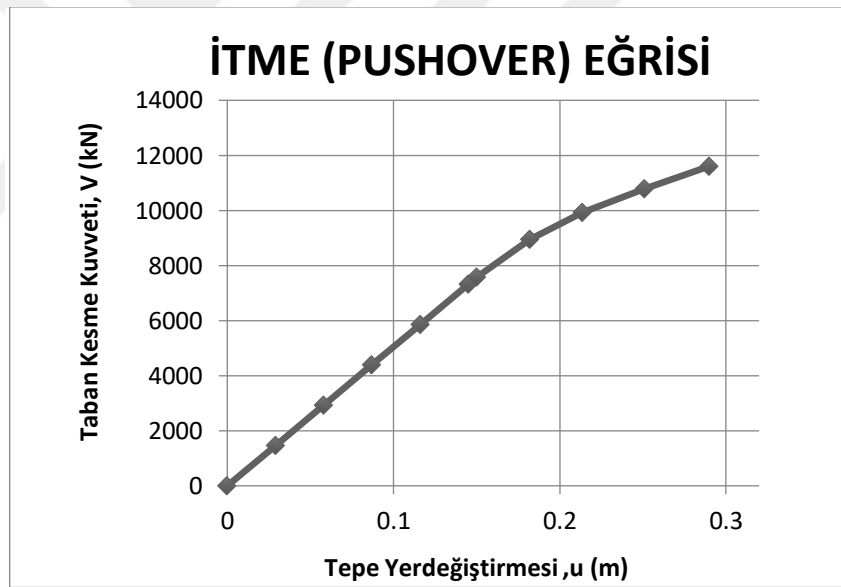
Şekil 4.80. Model-B2 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,21801m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası denklem 4.21'e bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.21)$$

$$U_p = 41,81 \times 0,0316 \times 0,21801 = 0,29 \text{ m}$$

Model-B2 performans noktası olan 0,29 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-B2, X yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi şekil 4.81.'de gösterilmiştir.



şekil 4.81. Model- B2 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-B2, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsal hasar seviyeleri Tablo 4.50.'de gösterilmiştir.

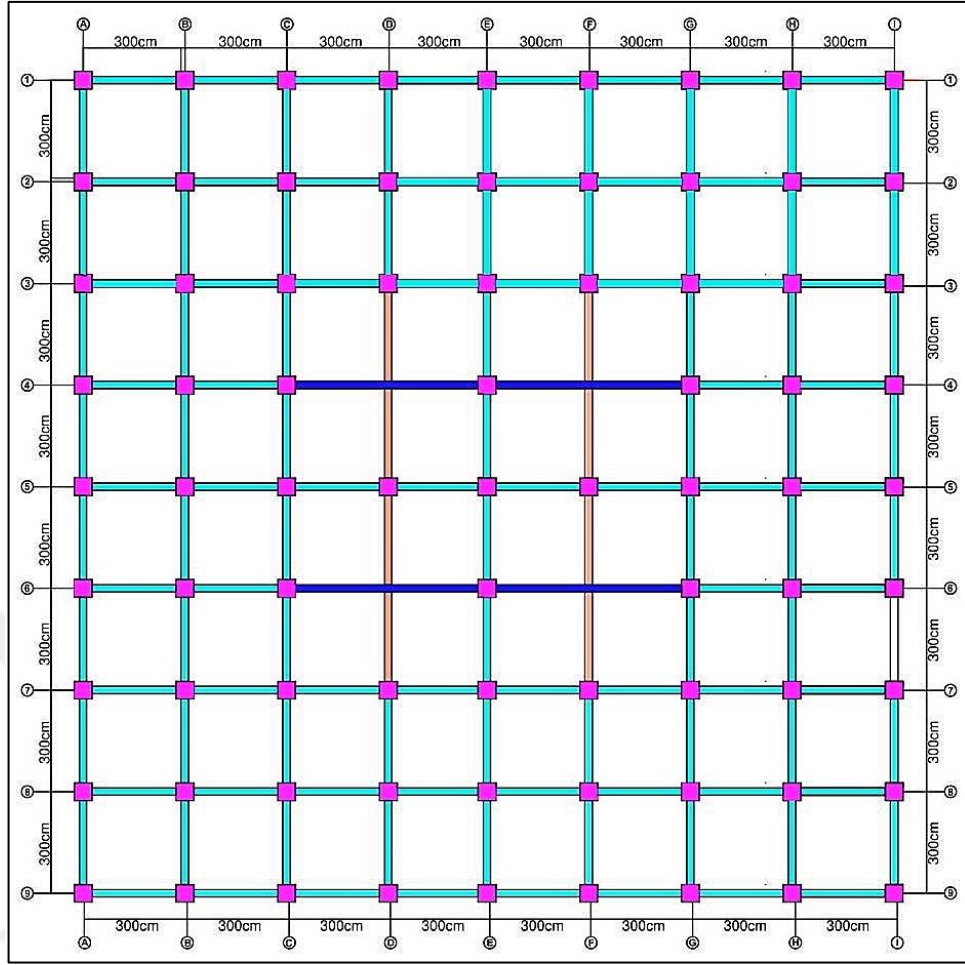
Tablo 4.50. Model-B2 X yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1544	0	0	0	0	0	0	0	1544
1	1544	0	0	0	0	0	0	0	1544
2	1544	0	0	0	0	0	0	0	1544
3	1544	0	0	0	0	0	0	0	1544
4	1544	0	0	0	0	0	0	0	1544
5	1544	0	0	0	0	0	0	0	1544
6	1538	6	0	0	0	0	0	0	1544
7	1425	64	55	0	0	0	0	0	1544
8	1285	94	161	4	0	0	0	0	1544
9	1256	0	190	60	38	0	0	0	1544
10	1235	5	108	84	112	0	0	0	1544

Model-B2’de planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

4.6. Model-B3 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Yapının orta kısmında büyük alanlar elde etmek üzerine tasarlanmıştır. Model-B1 ile aynı taşıyıcı eleman boyutlarına sahiptir. Tek fark olarak yapının çekirdek kısmında bazı aks kesişim noktalarındaki kolonlar kaldırılarak büyük alanlar elde edilmiştir. Kaldırılan kolonların yapının performansına olan etkisi araştırılmıştır. Model-B3 olarak isimlendirilen yapı 0.55m x 0.55m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Model-B3’e ait kalıp planı Şekil 4.54.’te gösterilmiştir.



Şekil 4.82. Model-B3 kalıp planı

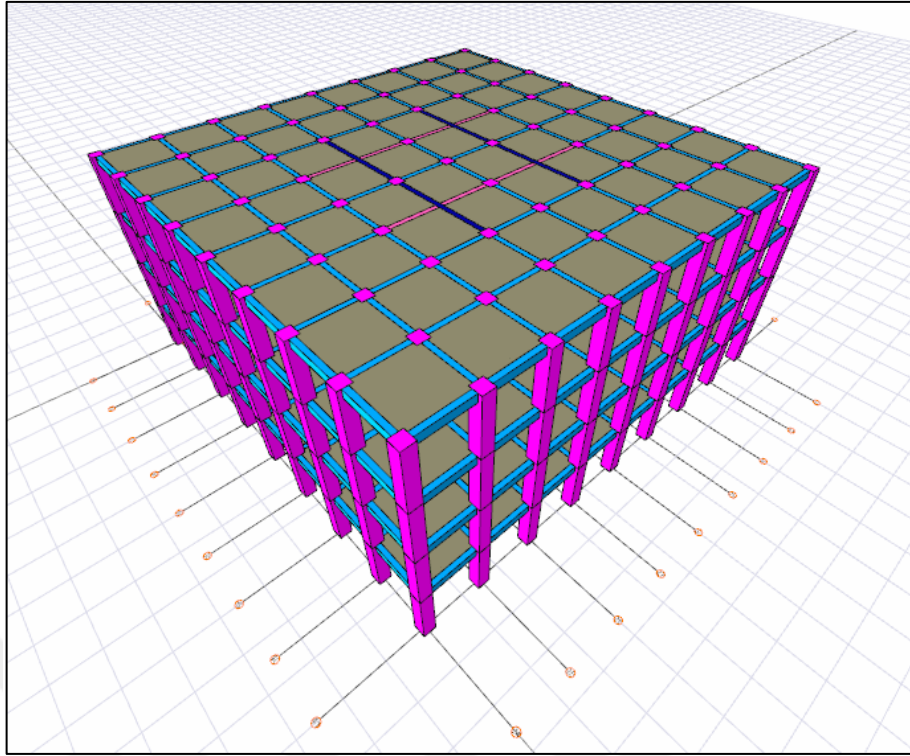
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.51.'de kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.52.'de kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.83.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.51. Model-B3 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
550	550	16 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.52. Model-B3 kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	alt	üst	
250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10



Şekil 4.83. Model-B3 üç boyutlu görüntüsü

Model-B3'e ait periyot ve frekanslar Tablo 4.53.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.53. Model-B3 yapı periyotları ve frekansları

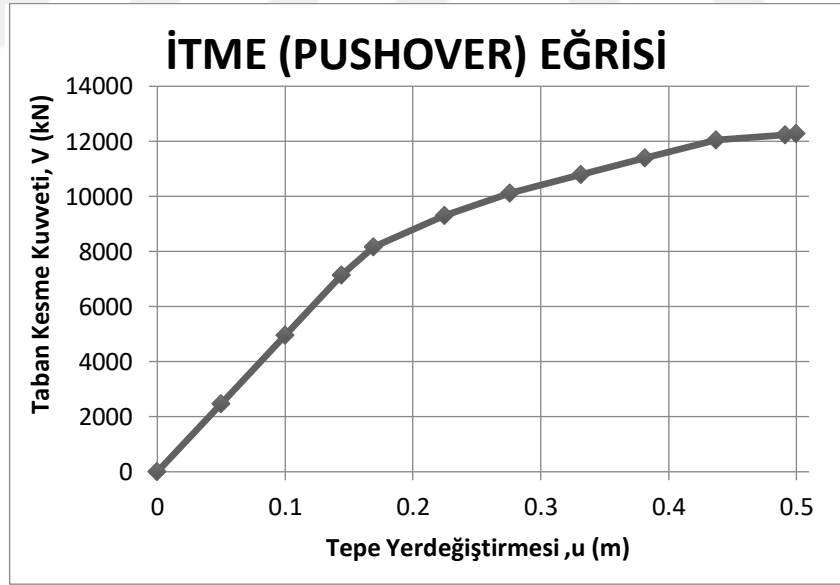
Mod	T (s)	f (1/s)
1	0,98105	1,01932
2	0,98105	1,01932
3	0,80402	1,24376
4	0,29416	3,3995
5	0,29415	3,39963
6	0,24892	4,01737
7	0,22946	4,35802
8	0,22325	4,47933
9	0,22272	4,48989
10	0,22272	4,48989
11	0,21976	4,55049
12	0,21857	4,5753

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 0,98105 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-B3 X yönü itme adımları Tablo 4.54.'te, itme eğrisi ise Şekil 4.84.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.54. Model-B3 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	2476,607
2	0,1	4953,215
3	0,144339	7149,403
4	0,169027	8166,998
5	0,224746	9311,232
6	0,275955	10129,98
7	0,331779	10796,78
8	0,381779	11392,79
9	0,437203	12040,01
10	0,491375	12228,34
11	0,5	12271,6



Şekil 4.84. Model-B3 X yönü itme eğrisi

Model-B3, X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.55. ve Tablo 4.56.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.55. Model-A1 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,06	0,06	1,00
1	0,10	0,10	1,00
2	0,08	0,08	1,00
3	0,04	0,04	1,00

Tablo 4.56. Model-B3 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	0,9811
Kütle Katılım Oranı	0,819
Toplam Kütle; M(ton)	2007
Katkı Çarpanı; $\Gamma \times 1$	39,63
Modal büyüklük; $\Phi \times N1$	0,0328

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.22 ve Denklem 4.23'e göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunmuştur. Model-B3, X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.57.'de gösterilmiştir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.22)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.23)$$

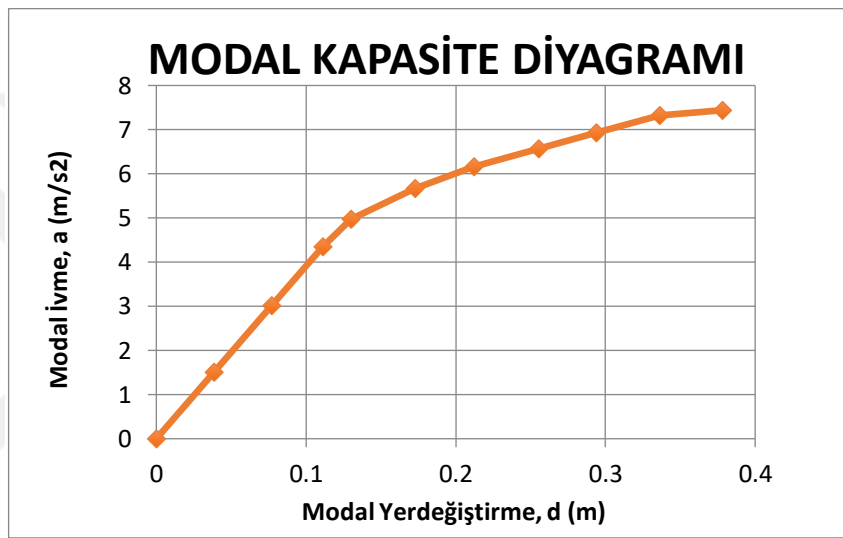
Tablo 4.57. Model-B3 X yönü modal kapasite değerleri

Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s ²)
0	0
0,03847	1,507
0,07693	3,013
0,11104	4,349
0,13003	4,969
0,1729	5,665

Tablo 4.57. (Devamı)

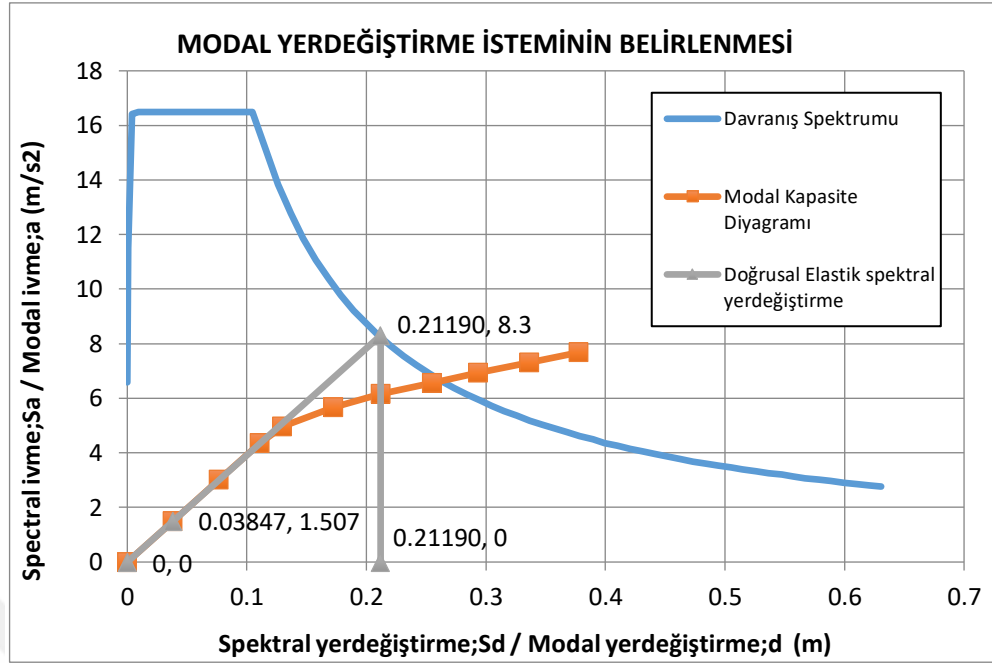
0,2123	6,163
0,25524	6,568
0,29371	6,931
0,33635	7,325
0,37802	7,439

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.85'te gösterilmiştir.



Şekil 4.85. Model-B3 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-B3, X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.86.'da gösterilmiştir.



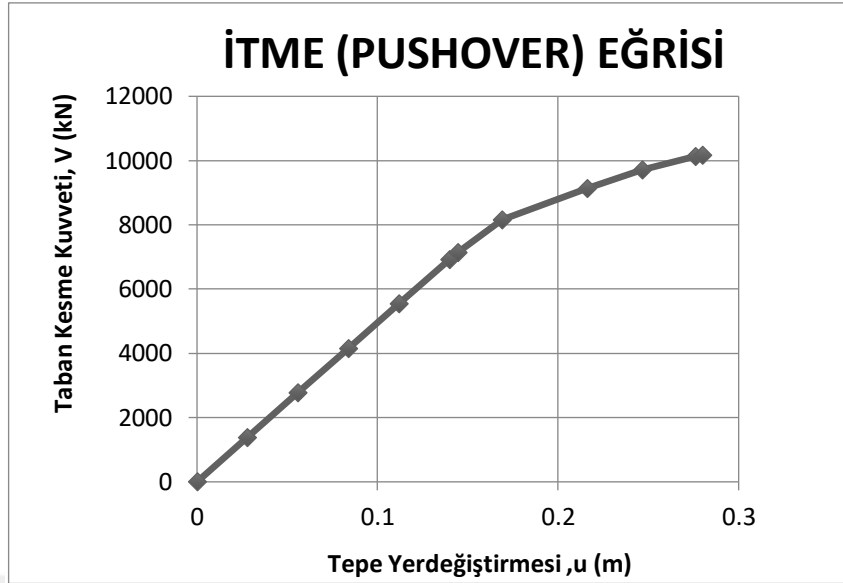
Şekil 4.86. Model-B3 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,21190 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.9'a bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.24)$$

$$U_p = 39,63 \times 0,0328 \times 0,21190 = 0,28 \text{ m}$$

Model-B3 performans noktası olan 0,28 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-B3, X yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.87.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.87. Model-B3 X Yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-B3, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsallı hasar seviyeleri Tablo 4.58.'de gösterilmiştir.

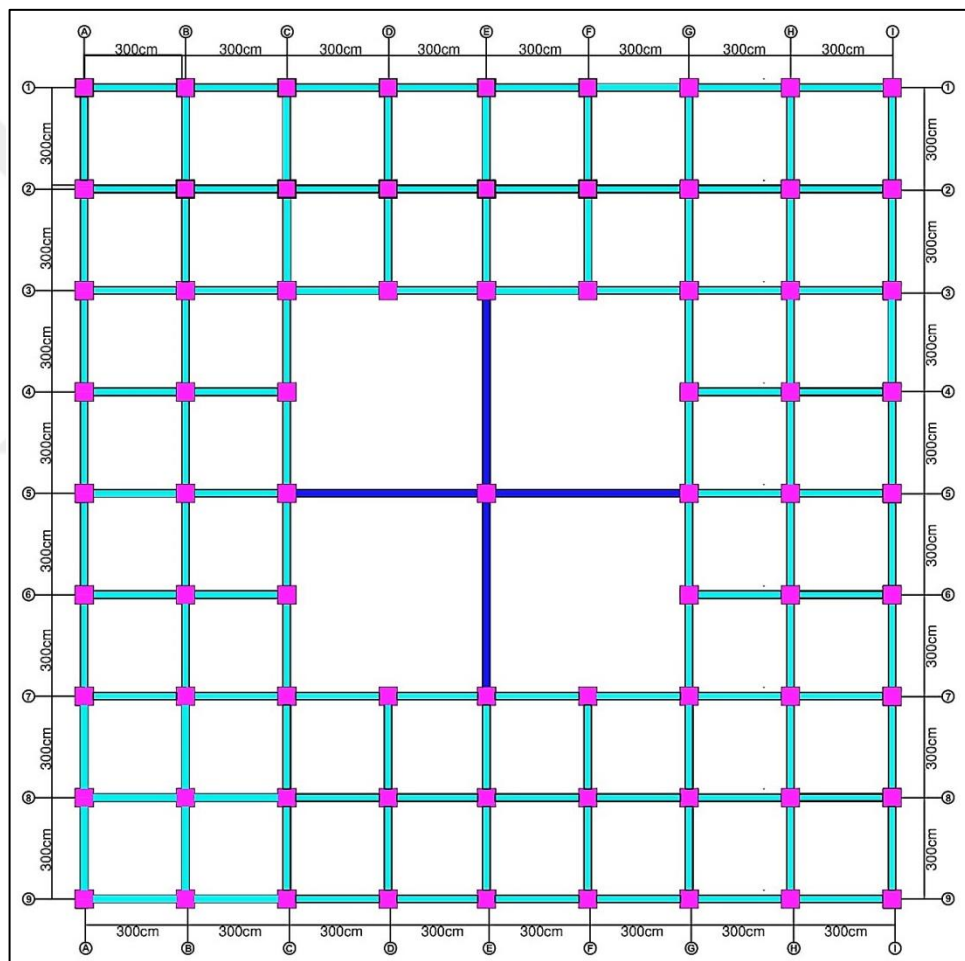
Tablo 4.58. Model-B3 X yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1736	0	0	0	0	0	0	0	1736
1	1736	0	0	0	0	0	0	0	1736
2	1736	0	0	0	0	0	0	0	1736
3	1736	0	0	0	0	0	0	0	1736
4	1736	0	0	0	0	0	0	0	1736
5	1736	0	0	0	0	0	0	0	1736
6	1734	2	0	0	0	0	0	0	1736
7	1535	177	24	0	0	0	0	0	1736
8	1470	2	260	4	0	0	0	0	1736
9	1405	71	99	143	18	0	0	0	1736
10	1336	65	73	47	126	0	0	0	1736
11	1284	128	91	86	147	0	0	0	1736

Model-B3'te planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

4.7. Model-B4 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Referans modelden farklı olarak 3 m aks açıklığına sahiptir. Düğün salonları vb. yerlerdeki orta kısımda yer verilmesi zorunlu olan büyük alan fikrinden yola çıkılarak tasarlanmıştır. Yapıda uzun açıklıklar elde etmek amacıyla süresiz kirişlerle yer verilmiştir. Model-B4 olarak isimlendirilen yapı 0.55 m x 0.55 m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Model-B4'e ait kalıp planı Şekil 4.88.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.88. Model-B4 kalıp planı

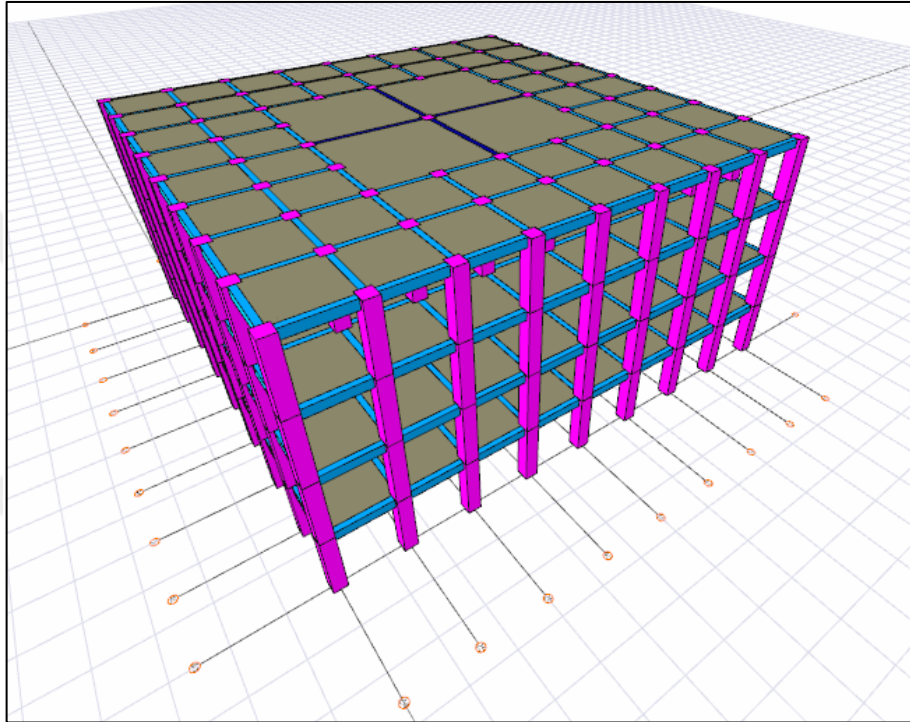
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.59.'da kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.60.'ta kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.89.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.59. Model-B4 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
550	550	16 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.60. Model-B4 kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	Alt	üst	
250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10



Şekil 4.89. Model-B4 üç boyutlu görüntüsü

Model-B4'e ait periyot ve frekanslar Tablo 4.61.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.61. Model-B4 yapı periyotları ve frekansları

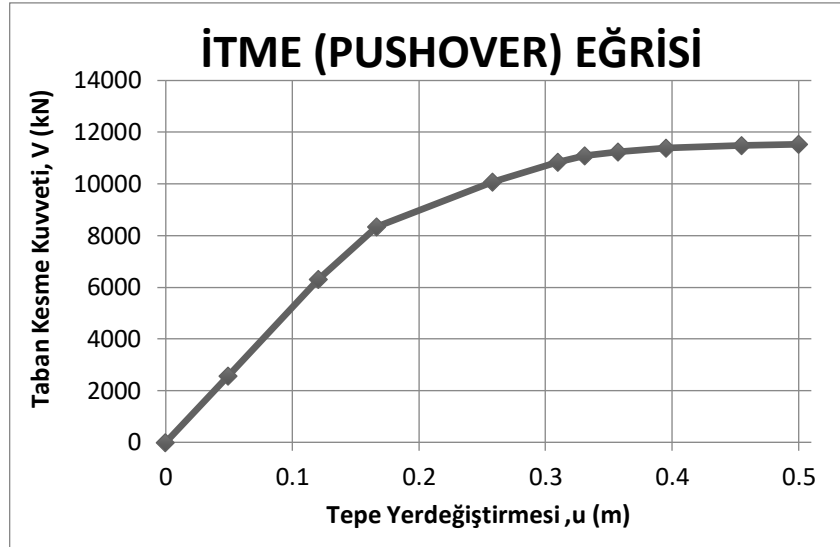
Mod	T (s)	f (1/s)
1	0,92572	1,08024
2	0,92572	1,08024
3	0,74099	1,34955
4	0,26287	3,8042
5	0,26287	3,8042
6	0,21887	4,56899
7	0,12683	7,88474
8	0,12683	7,88474
9	0,11005	9,08674
10	0,08082	12,3739
11	0,08082	12,3739
12	0,0713	14,02482

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 0,92572 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-B4 X yönü itme adımları Tablo 4.62.'de, itme eğrisi ise Şekil 4.90.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.62. Model-B4 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,049126	2575,977
2	0,120908	6313,287
3	0,166648	8335,79
4	0,25846	10069,18
5	0,309723	10841,2
6	0,331285	11088,02
7	0,357669	11247,74
8	0,395231	11384,12
9	0,45496	11476,74
10	0,5	11531,4



Şekil 4.90. Model-B4 X yönü itme eğrisi

Model-B4, X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.63. ve Tablo 4.64.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.63. Model-B4 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,05	0,05	1,00
1	0,09	0,09	1,00
2	0,09	0,09	1,00
3	0,06	0,06	1,00

Tablo 4.64. Model-B4 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	0,9257
Kütle Katılım Oranı	0,797
Toplam Kütle; M(ton)	1969
Katkı Çarpanı; $\Gamma \times 1$	38,75
Modal büyüklük; $\Phi \times N1$	0,0381

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.25 ve Denklem 4.26'ya göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunmuştur. Model-B4, X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.65.'te gösterilmiştir.

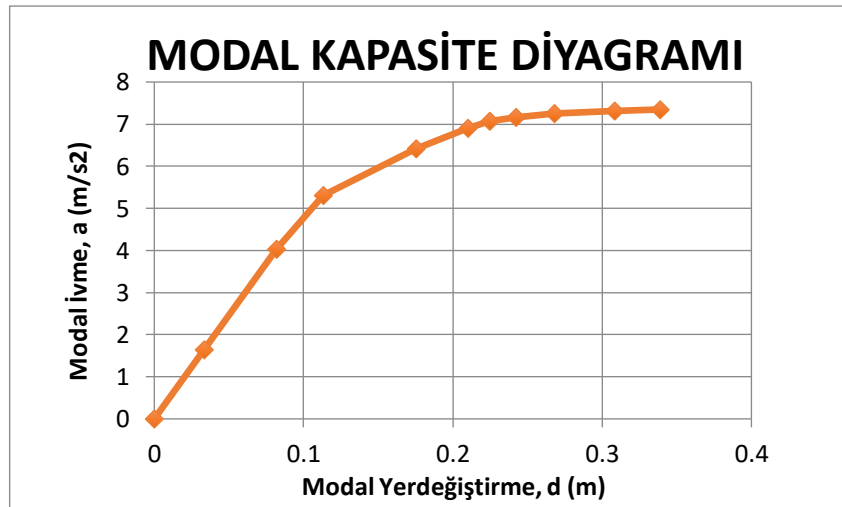
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.25)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.26)$$

Tablo 4.65. Model-B4 X yönü modal kapasite değerleri

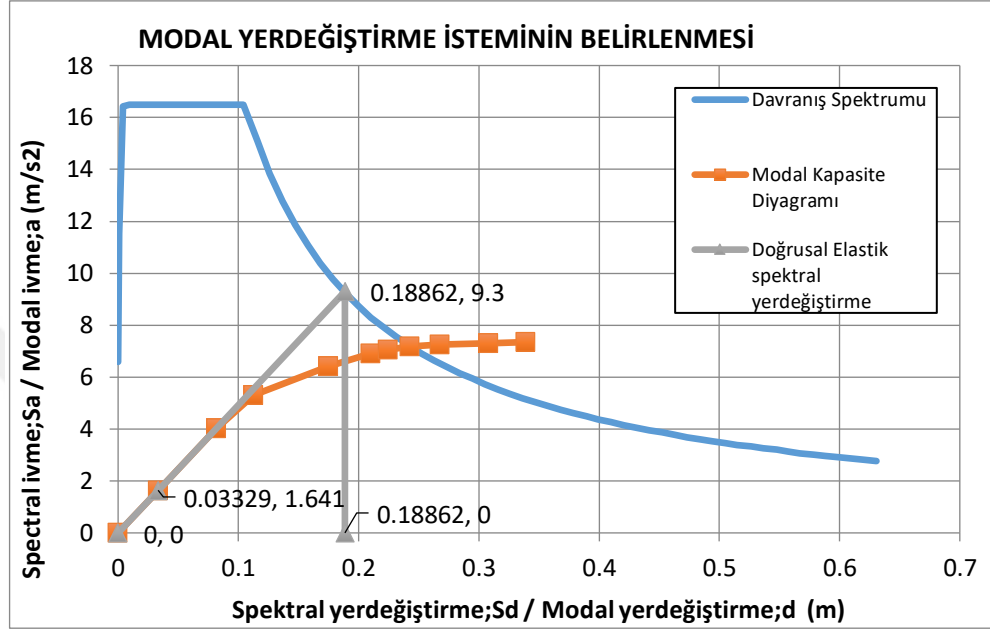
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s ²)
0	0
0,03329	1,641
0,08194	4,023
0,11294	5,312
0,17516	6,416
0,2099	6,908
0,22451	7,066
0,24239	7,167
0,26784	7,254
0,30832	7,313
0,33885	7,348

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.91’de gösterilmiştir.



Şekil 4.91. Model-B4 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-B4, X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.92.'de gösterilmiştir.



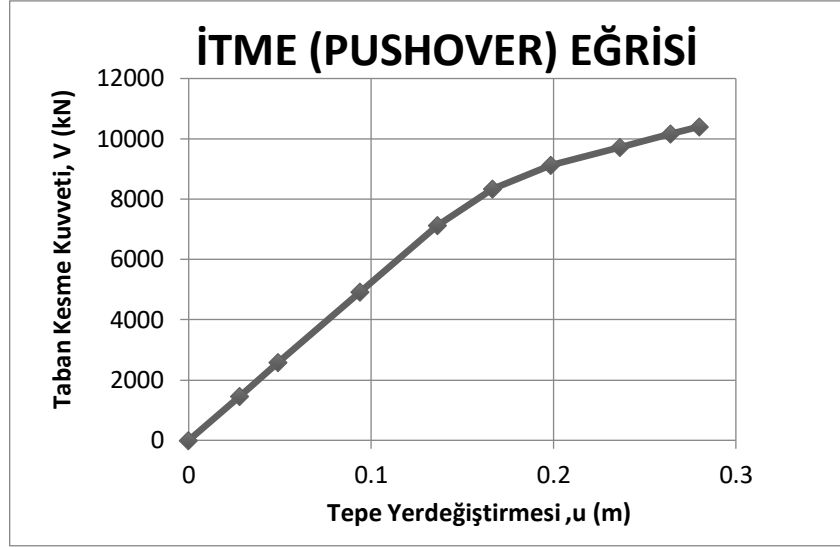
Şekil 4.92. Model-B4 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,18862 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.27'ye bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.27)$$

$$U_p = 38,75 \times 0,0381 \times 0,18862 = 0,28 \text{ m}$$

Model-B4 performans noktası olan 0,28m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-B4, X yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.93.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.93. Model- B4 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-B4, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsallı hasar seviyeleri Tablo 4.66.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.66. Model-B4 X yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

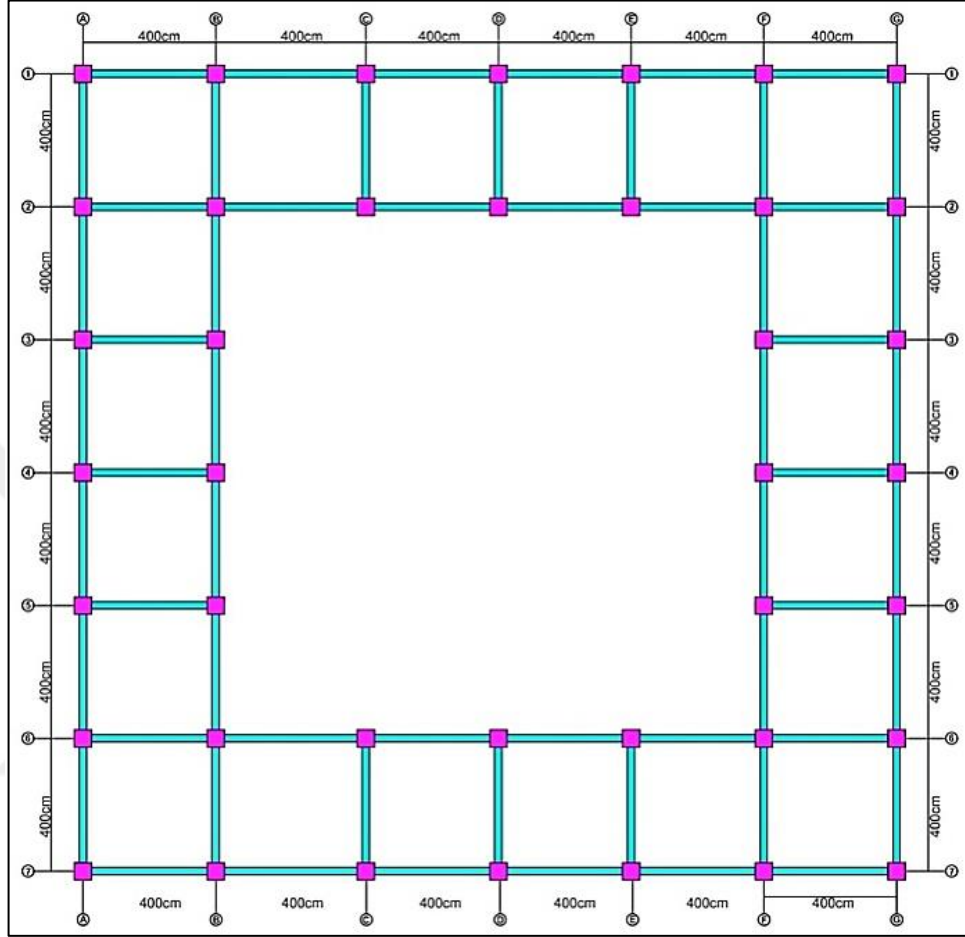
Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1576	0	0	0	0	0	0	0	1576
1	1576	0	0	0	0	0	0	0	1576
2	1575	1	0	0	0	0	0	0	1576
3	1569	1	6	0	0	0	0	0	1576
4	1567	2	4	3	0	0	0	0	1576
5	1377	122	72	1	4	0	0	0	1576
6	1257	106	207	0	6	0	0	0	1576
7	1208	0	242	108	18	0	0	0	1576
8	1208	0	195	47	126	0	0	0	1576
9	1206	2	155	76	137	0	0	0	1576

Model-B4'te planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

4.8. Model-C1Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Referans model ile benzer aks açıklığına sahip olup, yapının orta kısmında büyük bir galeri boşluğu yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Model-C1 olarak isimlendirilen yapı 0.60m x 0.60m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle

birbirine bağılı çerçeve sistemdir. Model-C1'e ait kalıp planı Şekil 4.94.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.94. Model-C1 kalıp planı

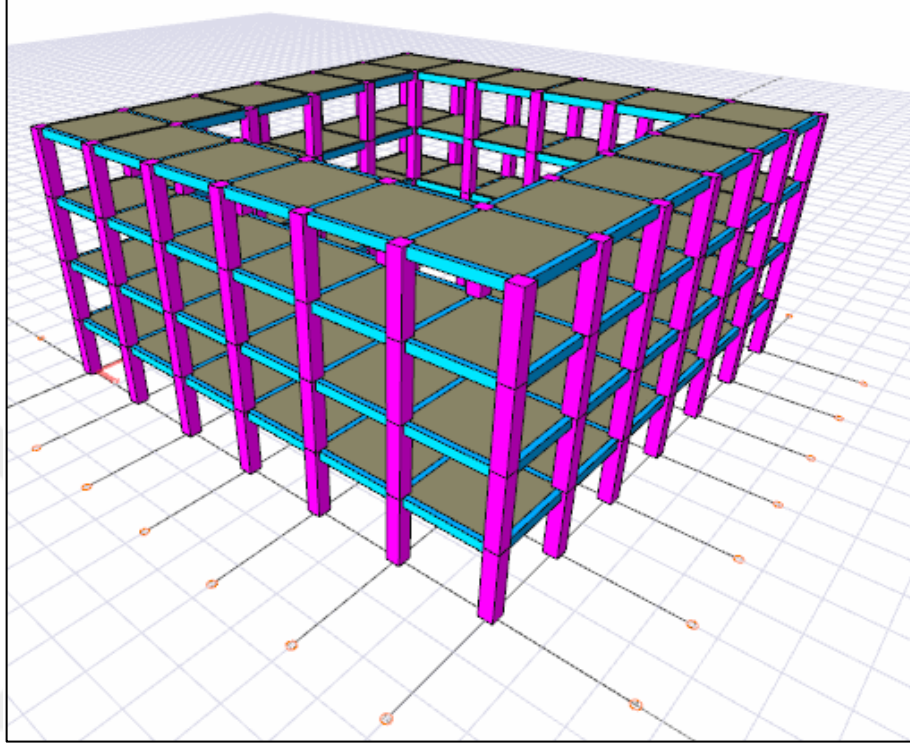
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.67.'de kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.68.'de kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.95.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.67. Model-C1 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
600	600	16Φ20	10Φ/10

Tablo 4.68. Model-C1 kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	alt	üst	
250	400	3Φ16	3Φ16	10Φ/10



Şekil 4.95. Model-C1 üç boyutlu görüntüsü

Model-C1'e ait periyot ve frekanslar Tablo 4.69.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.69. Model-C1 yapı periyotları ve frekansları

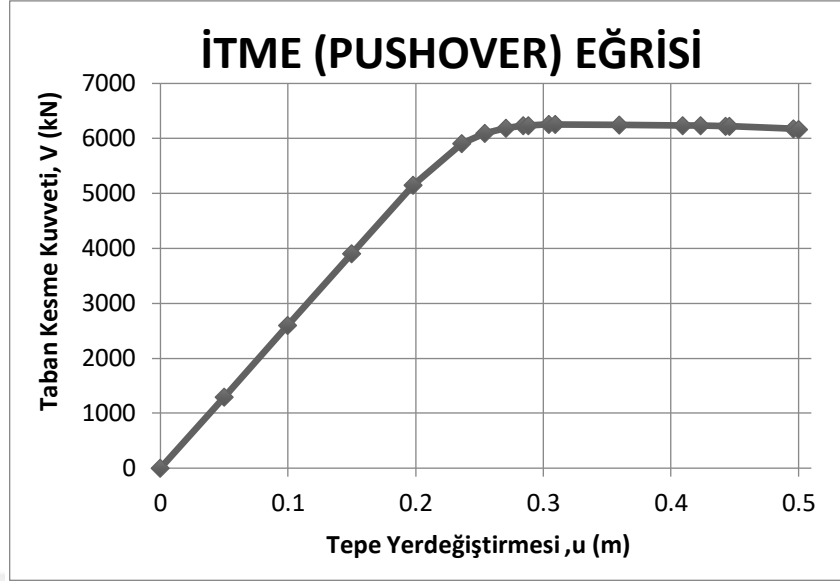
Mod	T (s)	f (1/s)
1	0,92353	1,08281
2	0,92353	1,08281
3	0,77455	1,29107
4	0,23051	4,33819
5	0,23051	4,33819
6	0,2089	4,78697
7	0,09768	10,23772
8	0,09768	10,23772
9	0,09331	10,71681
10	0,05796	17,25282
11	0,05796	17,25282
12	0,05641	17,72795

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 0,92353 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-C1 X yönü itme adımları Tablo 4.70.'de, itme eğrisi ise Şekil 4.96.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.70. Model-C1 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	1300,48
2	0,1	2600,96
3	0,15	3901,443
4	0,198145	5153,688
5	0,236185	5907,165
6	0,254318	6095,511
7	0,271048	6185,217
8	0,284306	6230,749
9	0,288522	6238,266
10	0,304529	6252,626
11	0,309563	6252,721
12	0,359563	6244,985
13	0,409563	6236,929
14	0,423194	6235,868
15	0,44319	6228,485
16	0,446138	6226,506
17	0,496138	6171,032
18	0,5	6169,774



Şekil 4.96. Model-C1 X yönü itme eğrisi

Model-C1, X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.71. ve Tablo 4.72.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.71. Model-C1 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görelî kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,04	0,04	1,00
1	0,08	0,08	1,00
2	0,08	0,08	1,00
3	0,07	0,07	1,00

Tablo 4.72. Model-C1 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	0,923
Kütle Katılım Oranı	0,753
Toplam Kütle; M(ton)	1093
Katkı Çarpanı; $\Gamma \times 1$	27,95
Modal büyüklük; $\Phi \times N1$	0,0486

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.28 ve Denklem 4.29'ya göre hesaplanan modal

kapasite değerleri bulunmuştur. Model-C1, X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.73.'te gösterilmiştir.

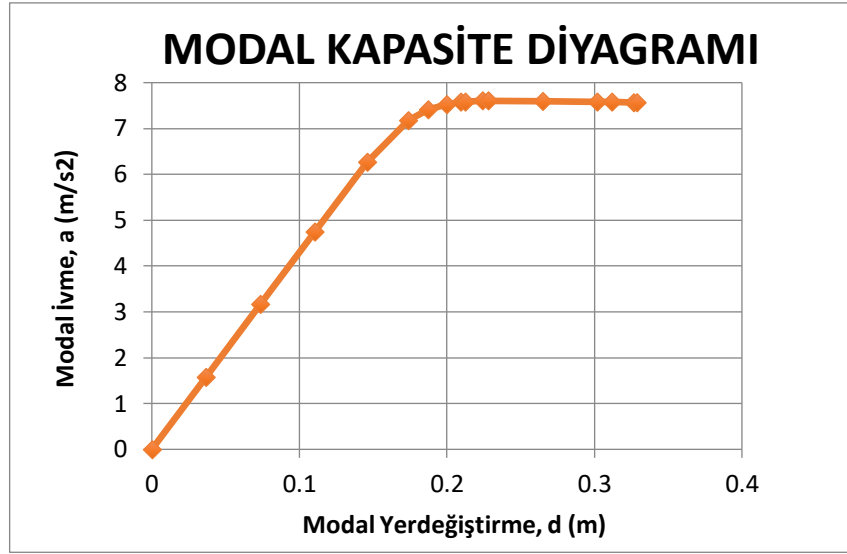
$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.28)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.29)$$

Tablo 4.73. Model-C1 X yönü modal kapasite değerleri

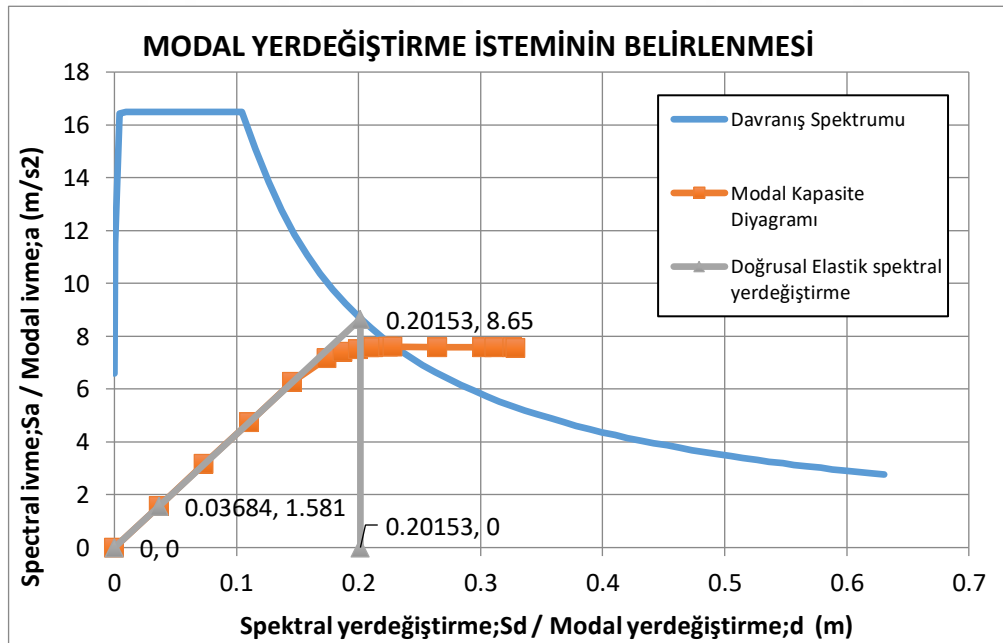
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s²)
0	0
0,03684	1,581
0,07368	3,162
0,11052	4,743
0,14599	6,266
0,17402	7,182
0,18738	7,411
0,1997	7,52
0,20947	7,576
0,21258	7,585
0,22437	7,602
0,22808	7,602
0,26492	7,593
0,30176	7,583
0,3118	7,582
0,32653	7,573
0,32871	7,57

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.97'de gösterilmiştir.



Şekil 4.97. Model-C1 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-C1 X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.98.'de gösterilmiştir.



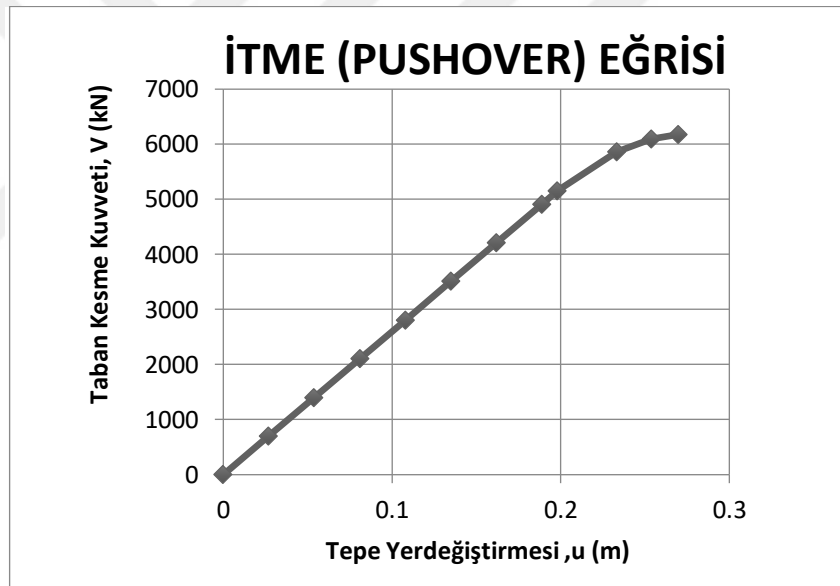
Şekil 4.98. Model-C1 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,20153 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.30'a bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.30)$$

$$U_p = 27,95 \times 0,0486 \times 0,20153 = 0,28 \text{ m}$$

Model-C1 performans noktası olan 0,28 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-C1, X yönü performans noktasına kadar olan itme eğrisi şekil 4.99.'da gösterilmiştir.



şekil 4.99. Model- C1 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-C1, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsallı hasar seviyeleri Tablo 4.74.'te gösterilmiştir.

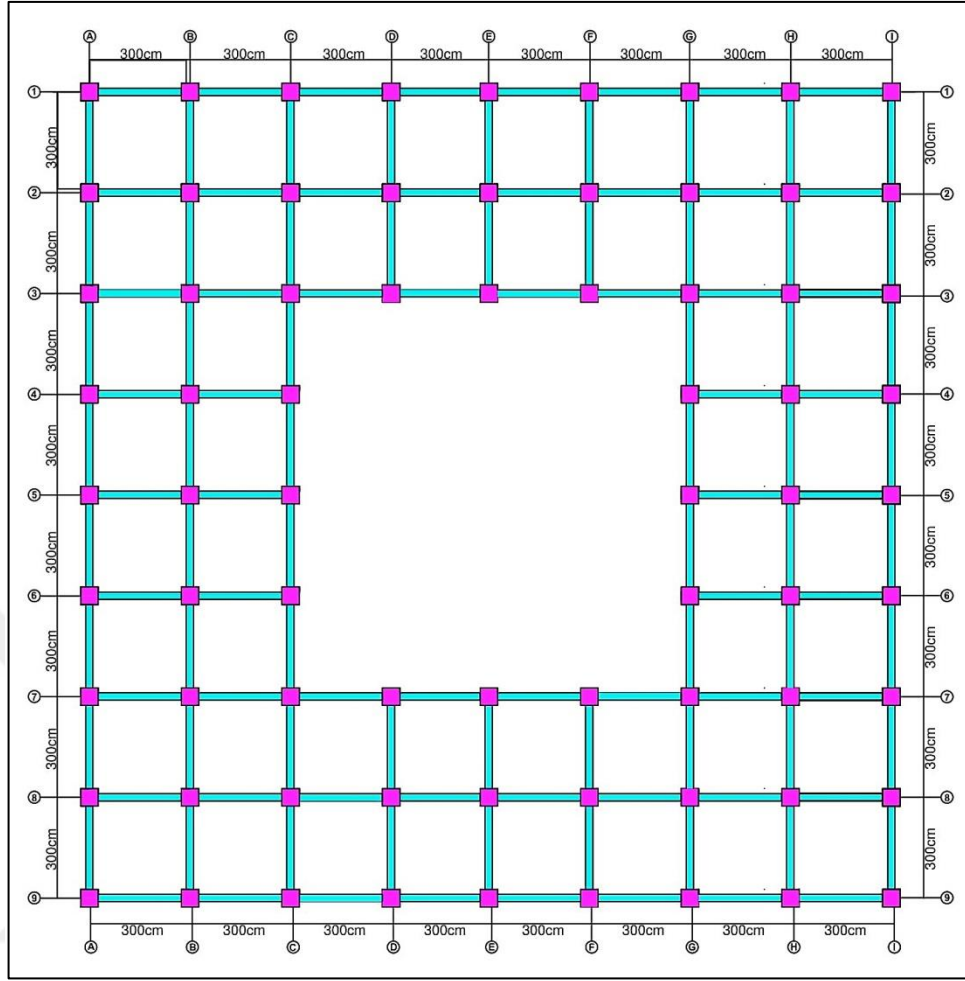
Tablo 4.74. Model-C1 X yönü plastik mafsalları hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	800	0	0	0	0	0	0	0	800
1	800	0	0	0	0	0	0	0	800
2	800	0	0	0	0	0	0	0	800
3	800	0	0	0	0	0	0	0	800
4	800	0	0	0	0	0	0	0	800
5	800	0	0	0	0	0	0	0	800
6	800	0	0	0	0	0	0	0	800
7	800	0	0	0	0	0	0	0	800
8	782	18	0	0	0	0	0	0	800
9	689	79	32	0	0	0	0	0	800
10	625	70	90	15	0	0	0	0	800
11	514	47	107	61	71	0	0	0	800

Model-C1’de planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

4.9. Model-C2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model C1’den farklı olarak modelinde orta kısmındaki galeri boşluğu hacmi daha küçük tutulmuştur ve aks açıklıkları azaltılarak yapı desteklenmiştir. Model-C2 olarak isimlendirilen yapı 0.60m x 0.60m boyutlarındaki kolonlar ve 0.25m x 0.40m boyutlarındaki kirişlerle birbirine bağlı çerçeve sistemdir. Model-C2’ye ait kalıp planı Şekil 4.100.’de gösterilmiştir.



Şekil 4.100. Model-C2 kalıp planı

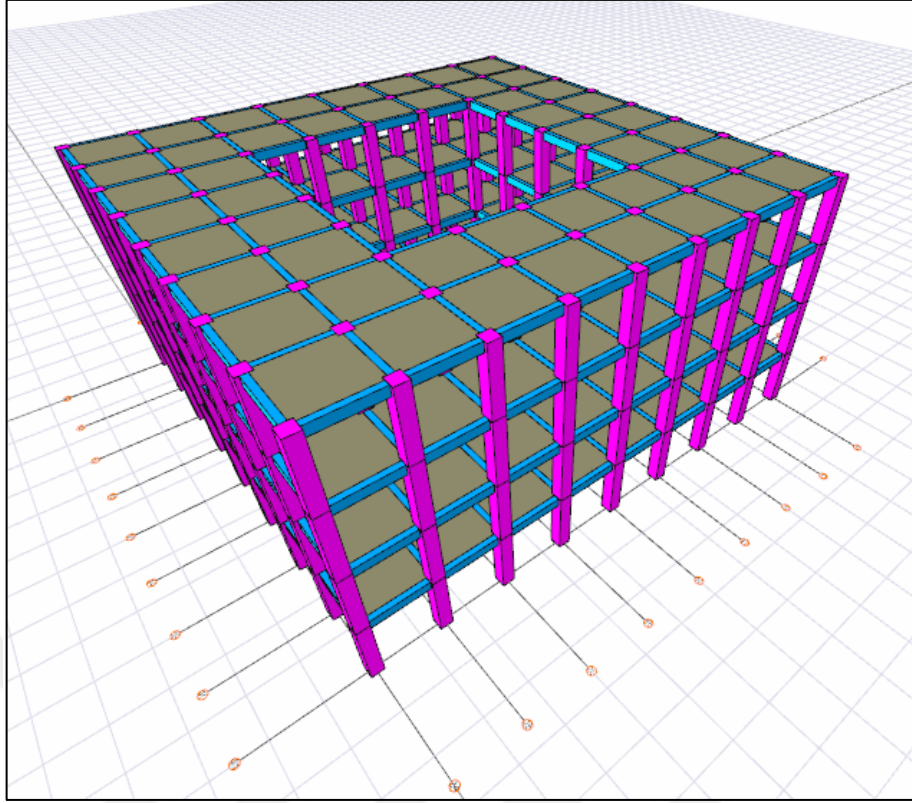
Her katta aynı olmak üzere, Tablo 4.75.'te kolon donatı bilgileri ve Tablo 4.76.'da kiriş donatı bilgileri verilmiştir. Yapının üç boyutlu görüntüsü Şekil 4.101.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.75. Model-C2 kolon bilgileri

Kolon boyutları		Kolon donatısı	Etriye
b(mm)	h(mm)		
550	550	16 Φ 20	10 Φ /10

Tablo 4.76. Model-C2 kiriş bilgileri

Kiriş boyutları		Kiriş donatısı		Etriye
b(mm)	h(mm)	alt	üst	
250	400	3 Φ 16	3 Φ 16	10 Φ /10



Şekil 4.101. Model-C2 üç boyutlu görüntüsü

Model-C2'ye ait periyot ve frekanslar Tablo 4.77.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.77. Model-C2 yapı periyotları ve frekansları

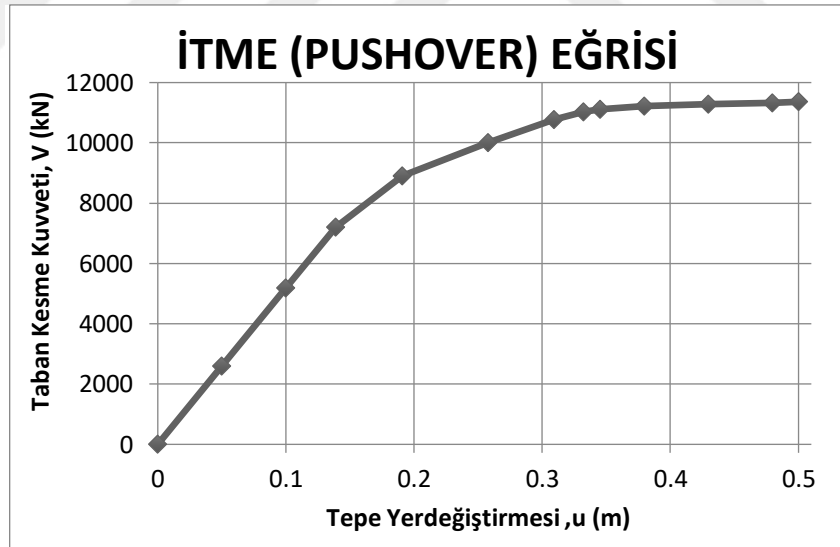
Mod	T (s)	f (1/s)
1	0,83316	1,20024
2	0,83316	1,20024
3	0,72627	1,3769
4	0,23692	4,22085
5	0,23692	4,22085
6	0,2145	4,66204
7	0,1145	8,73331
8	0,1145	8,73331
9	0,10793	9,26488
10	0,07272	13,75042
11	0,7277	13,75042
12	0,06996	14,29329

Yapının 1. Modu X yönünü 2. Modu Y yönünü temsil eden periyotlar benzer olmak üzere 0,83316 s olarak hesaplanmıştır.

Analiz sonucu ulaştığımız Model-C2 X yönünde itme adımları Tablo 4.78.'de, itme eğrisi ise Şekil 4.102.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.78. Model-C2 X yönü itme analizi sonuçları

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0,05	2598,168
2	0,1	5196,335
3	0,13874	7209,403
4	0,190955	8915,252
5	0,257734	10002,02
6	0,309444	10767,96
7	0,33244	11038,54
8	0,34554	11114,77
9	0,379612	11222,31
10	0,429612	11283,65
11	0,479612	11337,38
12	0,5	11363,45



Şekil 4.102. Model-C2 X yönü itme eğrisi

Model-C2, X yönüne ait burulma düzensizlikleri ve modal hesap değerleri Tablo 4.79. ve Tablo 4.80.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.79. Model-C2 X yönü burulma düzensizliği kontrolü

KAT	X yönü ortalama azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	X Yönü en büyük azaltılmış görel kat ötelemesi (m)	Burulma Düzensizliği Katsayısı
Z	0,03	0,03	1,00
1	0,06	0,06	1,00
2	0,05	0,05	1,00
3	0,04	0,04	1,00

Tablo 4.80. Model-C2 X yönü modal hesap sonuçları

MODE	1
Yön	+X
Periyot; T(s)	0,833
Kütle Katılım Oranı	0,792
Toplam Kütle; M(ton)	2295
Katkı Çarpanı; Γ_{x1}	41,81
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0,0316

Pushover analiz sonucu elde ettiğimiz veriler yardımıyla bir takım koordinat dönüşümleri uygulanarak, Denklem 4.31 ve Denklem 4.32'ye göre hesaplanan modal kapasite değerleri bulunmuştur. Model-C2, X yönü modal kapasite değerleri Tablo 4.81.'de gösterilmiştir.

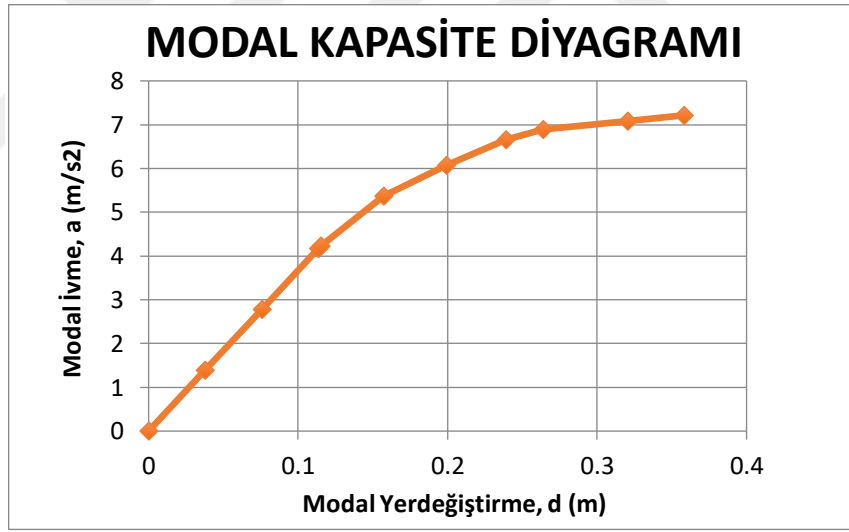
$$a_1^{(X,k)} = \frac{v_{tX1}^{(X,k)}}{m_{tX1}^{(X,k)}} \quad (4.31)$$

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{NX1}^{(X,k)}}{\phi_{NX1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (4.32)$$

Tablo 4.81. Model-C2 X yönü modal kapasite değerleri

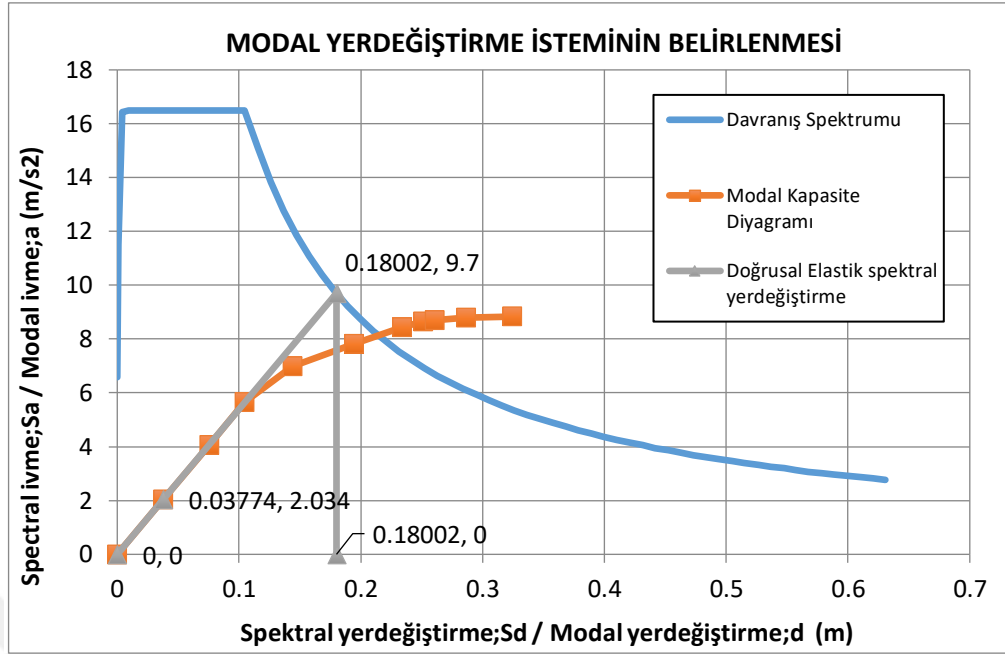
Modal Kapasite Diyagramı	
d (m)	a (m/s ²)
0	0
0,03786	1,389
0,07571	2,778
0,11357	4,168
0,11545	4,236
0,15738	5,369
0,19926	6,077
0,23908	6,66
0,32037	7,082
0,35823	7,215

Modal kapasite değerlerine göre oluşturduğumuz modal kapasite diyagramı Şekil 4.103'te gösterilmiştir.



Şekil 4.103. Model-C2 X yönü modal kapasite diyagramı

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan kendi koordinatlarımıza bağlı elde ettiğimiz davranış spektrumu ile modal kapasite diyagramı aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek modal yer değiştirme istemi bulunur. Model-C2, X yönüne ait modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi Şekil 4.104.'te gösterilmiştir.



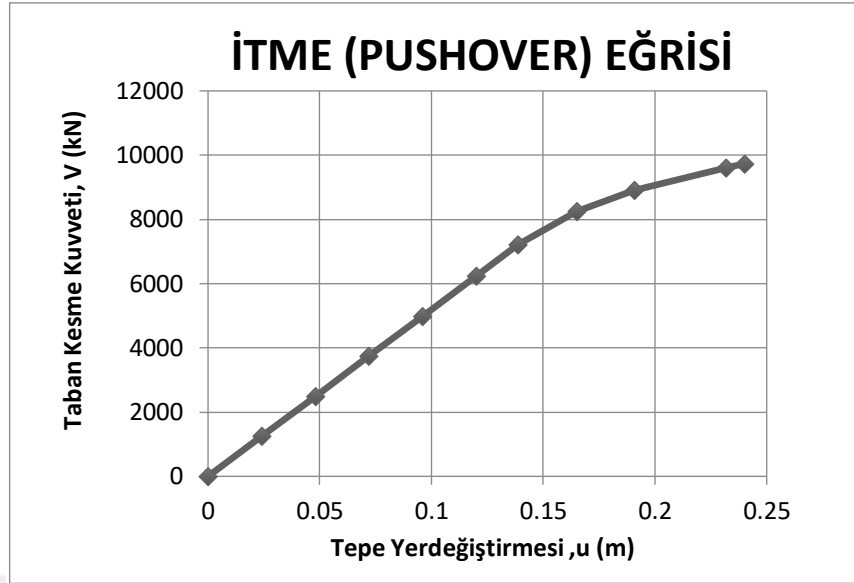
Şekil 4.104. Model-C2 X yönü modal yer değiştirme istemi

Modal yer değiştirme istemi 0,18002 m olarak bulunmuştur. Bu adımdan sonra yapının performans noktası bulunur. Performans noktası Denklem 4.33'e bağlı olarak hesaplanır.

$$U_p = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di} \quad (4.33)$$

$$U_p = 34,79 \times 0,0381 \times 0,18 = 0,24 \text{ m}$$

Model-C2 performans noktası olan 0,24 m'ye kadar tekrar itme işlemine tabi tutulur. Model-C2, X doğrultusunda performans noktasına kadar olan itme eğrisi Şekil 4.105.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.105. Model- C2 X yönü performans noktasına kadar olan itme analizi

Model-C2, X yönü hedef performans noktasına kadar oluşan plastik mafsallı hasar seviyeleri Tablo 4.82.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.82. Model-C2 X yönü plastik mafsallı hasar seviyeleri

Step	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
0	1536	0	0	0	0	0	0	0	1536
1	1536	0	0	0	0	0	0	0	1536
2	1536	0	0	0	0	0	0	0	1536
3	1536	0	0	0	0	0	0	0	1536
4	1536	0	0	0	0	0	0	0	1536
5	1536	0	0	0	0	0	0	0	1536
6	1526	10	0	0	0	0	0	0	1536
7	1344	130	62	0	0	0	0	0	1536
8	1274	70	192	0	0	0	0	0	1536
9	1176	26	240	94	0	0	0	0	1536
10	1146	10	240	82	78	0	0	0	1536

Model-C2'de planın simetrik olması sebebiyle Y yönünde inceleme yapılmamıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Tez çalışması kapsamında bir tanesi referans model olmak üzere, toplam 9 farklı çerçeve yapı modeli incelenmiştir. Yapı modellerinde farklı aks açıklıkları, taşıyıcı eleman boyut ve konumundaki değişimlere göre yapıların deprem davranışları ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Tüm modellerin taşıyıcı sistemlerinde yapı malzemeleri sabit olup beton C25, donatı çeliği ise S420 seçilmiştir.

9 yapı modeline sabit tek modlu statik itme analizi (pushover analysis) uygulanarak; yapıların hedef performans noktaları, taban kesme kuvvetleri ve plastik mafsallarda hasar seviyelerine ulaşılmıştır. Bu bilgiler ışığında yapıların performansları hakkında karşılaştırmalar yapılmıştır.

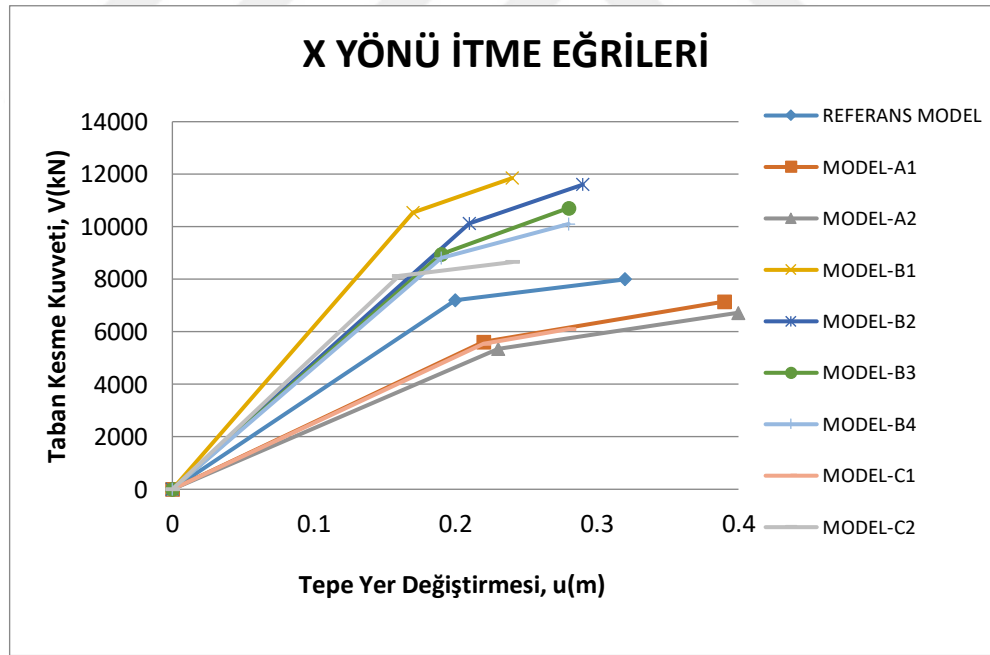
5.1. Yapıların Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması

Tez çalışmasında önceki bölümlerde ayrıntılı olarak anlatıldığı üzere yapı modellerine itme analizi uygulanarak ' $U_{max(p)}$ ' hedef yer değiştirmeleri bulunmuştur. Tüm modeller hedef yer değiştirmesine kadar itilerek analizleri yapılmıştır. Analizler sonucu modellerin X yönü itme analizi sonuçları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Tüm modellerin X yönü itme analizi sonuçları

REFERANS MODEL		MODEL-A1		MODEL-A2		MODEL-B1		MODEL-B2	
$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,20	7205	0,22	5626	0,23	5345	0,17	10541	0,21	10124
0,32	7994	0,39	7149	0,40	6725	0,24	11850	0,29	11603
MODEL-B3		MODEL-B4		MODEL-C1		MODEL-C2			
$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$		
0	0	0	0	0	0	0	0		
0,19	8954	0,19	8802	0,22	5532	0,16	8139		
0,28	10714	0,28	10105	0,28	6102	0,24	8652		

Tüm modellerin hedef performans noktasına kadar deplasman yapmasına müsaade edilen statik itme analizlerine (pushover analysis) göre itme eğrileri oluşturulmuştur. X yönü itme eğrileri bilineer hale getirilip, karşılaştırılması Şekil 5.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. X yönü bilineer itme eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 5.1. detaylı olarak incelendiğinde en fazla taban kesme kuvvetini Model-B1 almıştır. Model-B1'in ardından sırasıyla Model-B2, Model-B3, Model-B4, Model-C2, Referans Model, Model-A1, Model-A2 ve Model-C1 gelmiştir.

Referans model incelediğinde 7205 kN taban kesme kuvveti yapıya etki ettiğinde 0,20 m deplasman yapmıştır. Yapı bu sınıra kadar doğrusal davranış sergilemiştir. İtme işlemi 0,32 m olan performans noktasına kadar devam ettirilmiştir. Yapı 0,32 m deplasman gösterdiğinde ise taban kesme kuvveti 7994 kN olarak hesaplanmıştır.

Model-A1, 5626 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 5626 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,22 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,39 m'ye ulaştığında ise 7149 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-A1 referans modele göre daha az taban kesme kuvveti karşılarken, daha fazla hedef deplasman yapmıştır.

Model-A2, 5345 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 5345 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,23 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,40 m'ye ulaştığında ise 6789 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-A2 referans modele göre daha az taban kesme kuvveti karşılarken, daha fazla hedef deplasman yapmıştır.

Model-B1, 10541 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 10541 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,17 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,24 m'ye ulaştığında ise 11850 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-B1 referans modele göre daha az hedef deplasman yaparken, daha fazla taban kesme kuvveti karşılamıştır.

Model-B2, 10124 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 10124 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,21 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,29 m'ye ulaştığında ise 11603 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-B2 referans modele göre daha az hedef deplasman yaparken, daha fazla taban kesme kuvveti karşılamıştır.

Model-B3, 8954 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 8954 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,19 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,28 m'ye ulaştığında ise 10714 kN

taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-B3 referans modele göre daha az hedef deplasman yaparken, daha fazla taban kesme kuvveti karşılamıştır.

Model-B4, 8802 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 8802 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,19 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,28 m'ye ulaştığında ise 10105 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-B4 referans modele göre daha az hedef deplasman yaparken, daha fazla taban kesme kuvveti karşılamıştır.

Model-C1, 5332 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 5332 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,22 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0,28 m'ye ulaştığında ise 6102 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-B4 referans modele göre daha az hedef deplasman yaparken, daha fazla taban kesme kuvveti karşılamıştır.

Model-C2, 8139 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar yapı doğrusal davranış göstermiştir. 8139 kN taban kesme kuvveti oluştuğunda ise 0,16 m deplasman yapmıştır. Yapı hedef performans noktası olan 0.24 m'ye ulaştığında ise 8652 kN taban kesme kuvveti etki etmektedir. Model-B4 referans modele göre daha az hedef deplasman yaparken, daha fazla taban kesme kuvveti karşılamıştır.

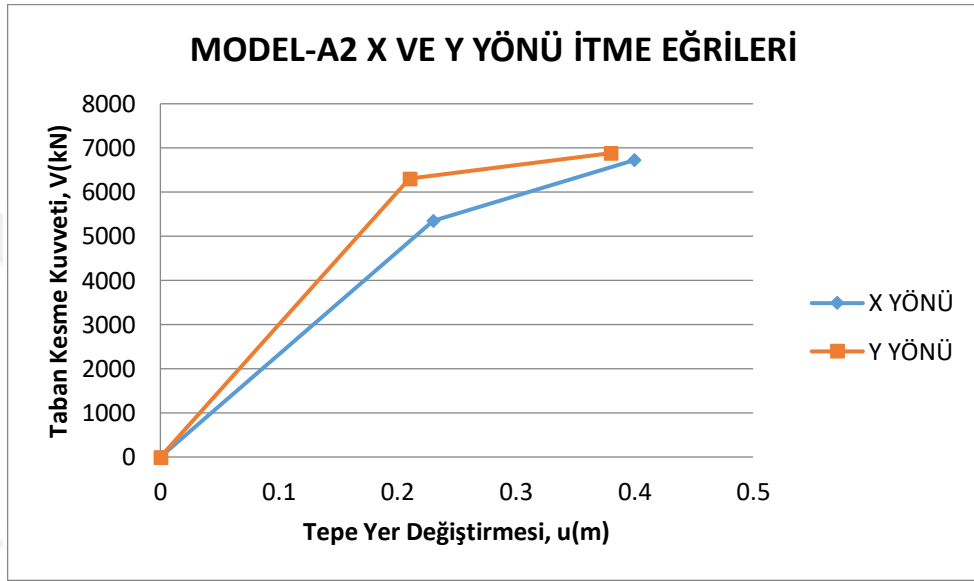
5.2. X ve Y Yönünde Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması

Tez çalışmasında 9 yapı modelinin 8 tanesinin simetrik olması sebebiyle X ve Y yönünde aynı analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu sebeple sadece X yönünde inceleme yapılmıştır. Diğer modellerden farklı olarak Model-A2'de planın simetrik olmaması sebebiyle X ve Y yönünde statik itme analiz (pushover analysis) değerleri incelenmiştir. Model-A2'ye ait X ve Y yönü itme analizi sonuçları Tablo 5.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Model-A2 X ve Y yönü itme analizi sonuçları

PUSHX		PUSHY	
$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$	$u_{xN1}^i(m)$	$V_{x1}^i(kN)$
0	0	0	0
0,23	5345	0,15	6305
0,40	6725	0,38	6882

Model-A2 X ve Y yönündeki bilineer itme eğrileri Şekil 5.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Model-A2 X ve Y yönleri bilineer itme eğrileri karşılaştırılması

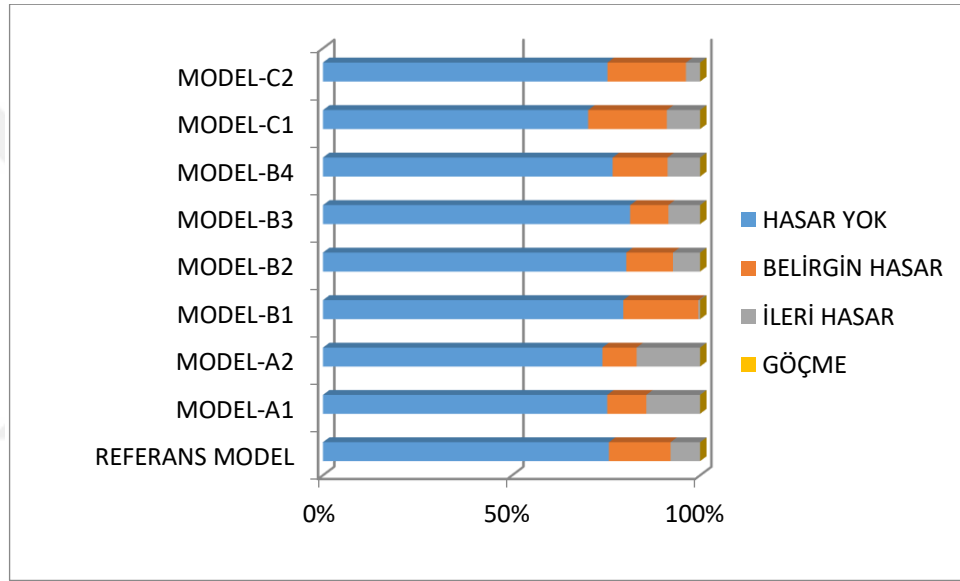
Model-A2, her iki deprem doğrultusunda ele alındığında uzun kirişlerin genellikle hakim olduğu X yönünde daha fazla deplasman yaparken, daha az taban kesme kuvveti aldığı görülmüştür.

5.3. Plastik Mafsal Hasar Seviyelerinin Karşılaştırılması

Tüm modellerde yatay kuvvetin artışına bağlı olarak yapılar elastik ötesi davranış göstermiş ve plastik mafsallar oluşumuna sebebiyet vermiştir. Yapılarda plastik mafsal oluşumuna bağlı olarak hasar seviyeleri tespit edilmiştir. Modellerin hedef performans noktalarındaki plastik mafsal sayıları Tablo 5.3.'te verilmiştir. Tüm yapıların plastik mafsal hasar seviyeleri aynı düzlem üzerinde bir araya getirilerek karşılaştırılması Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Tüm modellerin hedef performans noktasındaki plastik mafsalların hasar seviyeleri

	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
REFERANS									
MODEL	746	59	133	42	84	0	0	0	1064
MODEL-A1	692	0	66	30	132	0	0	0	920
MODEL-A2	680	0	48	36	156	0	0	0	920
MODEL-B1	1368	63	225	135	9	0	0	0	1800
MODEL-B2	1235	5	108	84	112	0	0	0	1544
MODEL-B3	1284	128	91	86	147	0	0	0	1736
MODEL-B4	1206	2	155	76	137	0	0	0	1576
MODEL-C1	514	47	107	61	71	0	0	0	800
MODEL-C2	1146	10	240	82	58	0	0	0	1536



Şekil 5.3. Plastik mafsal hasar seviyelerinin karşılaştırılması

Yapıların plastik mafsal hasar seviyelerini incelediğinde ileri hasar seviyesine geçme oranı en yüksek olan yapı modeli Model-A2 olmuştur. Model-A2'yi sırasıyla Model-A1, Model-C1, Model-B4, Model-B3, Model-B2, Referans Model, Model C2 ve Model-B1 takip etmiştir.

5.4. Değerlendirmeler

İlk olarak Referans Model, Model-A1 ve Model-A2'yi ele alındığında referans modele göre A tipi modellerin kolon boyutları büyütülürken sayıları azaltılmıştır. Aynı kolon hacmine sahip olmalarına rağmen Model-A1 ve Model-A2'de büyük

alan yaratmak adına yer verilen uzun açıklıkların taban kesme kuvvetini %10 oranında azalttığı görülmüştür. Aynı zamanda plastik mafsalların ileri hasar seviyesine geçişinde %6 oranında artış olmuştur. Yapıdaki uzun açıklıklar her ne kadar taşıyıcı eleman boyutlarını büyüterek desteklenmeye çalışılsa da aynı performansı sergilemediği açıkça görülmüştür.

Model-A1 (orta kısımda kolon kaldırılan 4m açıklıklı) ve Model-A2 (çekirdek kısmındaki tüm kolonların kaldırıldığı, 4m açıklıklı) kendi içerisinde incelediğinde yapıda ver yerilen düzensizlikler simetrik olmadığı durumda, yapının performansında %5 oranında düşüş olduğu sonucuna varılmıştır. Yapıda plastik mafsalların ileri hasara geçiş yaptığı görülmüştür. İleri hasar seviyesi plastik mafsallar sayılarında %3 oranında artış olduğu görülmüştür.

Model-A2 (çekirdek kısmındaki tüm kolonların kaldırıldığı, 4m açıklıklı) detaylı olarak incelendiğinde yapının simetrik olmaması sebebiyle performansında düşüş olduğu sonucuna varılmıştır. Yapının performans noktasına kadar olan plastik mafsallar incelediğinde ise yapının %17 oranında ileri hasar seviyesine geçiş yaptığı görülmüştür.

Model-B1 (düzenli, 3m açıklıklı) ile Referans modeli (düzenli, 4m açıklıklı) ele alındığında ikisi de düzenli bir yapıya sahip olup, aks açıklıkları değişkenlik göstermiştir. İki yapı modeli incelendiğinde aks açıklıklarının azaltılması, yapının deprem davranışını %30 oranında arttırdığı sonucuna varılmıştır. Hasar seviyeleri göz önüne alındığında %7 oranında ileri hasar seviyesinde düşüş olduğu görülmüştür.

Model-A1 (orta kısımda kolon kaldırılan, 4m açıklıklı) ile Model-B2 (orta kısımda kolon kaldırılan, 3m açıklıklı) ele alındığında bazı aks kesişim noktalarındaki kolonlar kaldırılıp büyük alanlar elde edilmesine rağmen yeterli aks açıklıklarıyla desteklendiğinde yapının karşıladığı taban kesme kuvvetinde %32 oranında artış olduğu görülmüştür. İleri hasar seviyesi plastik mafsallar sayılarında %7 oranında düşüş olduğu görülmüştür.

Model-B3 (orta kısımda 4 büyük alan, 3m açıklıklı) ve Model-B4 (orta kısımda büyük alan, kiriş süreksizliği, 3m açıklıklı) adı verilen yapılar kendi aralarında karşılaştırıldığında yapı elemanlarında sürekliliğin sağlanmaması sebebiyle yapının deprem performansında %5 oranında düşüş olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki modelinde hasar seviyelerini incelediğinde %9 oranında ileri hasar seviyesinde plastik mafsalları oluştuğu görülmüştür.

Model-C1 (galeri boşluklu, 4m açıklıklı) ile Referans modeli (düzenli, 4m açıklıklı) incelediğimizde yapıda aks açıklıkları ve kolon boyutları aynı olmasına rağmen galeri boşluğu yapının deprem davranışını %25 oranında olumsuz etkilediği sonucuna varılmıştır. İleri hasar seviyesinde plastik mafsalları sayısında %2 oranında artış olduğu görülmüştür.

Model-C1 (galeri boşluklu, 4m açıklıklı) ve Model-C2 (galeri boşluklu, 3m açıklıklı) ele alındığında galeri boşluğu alanı ve aks açıklıklarında farklılıklar görülmektedir. Yapıda galeri boşluğu alanının azaltılması ve aynı zamanda aks açıklıklarının azaltılmasıyla desteklenmesi sonucu yapının performansını %30 oranında arttırmıştır. Yapıların performans noktalarına kadar olan plastik mafsalları incelediğinde ise Model-C2’de %5 oranında ileri hasar seviyesine geçişte düşüş olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 6. ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında betonarme çerçeve yapı modellerinde mimari tasarımlarda yer verilen düzensizlik durumlarına göre yapıların deprem sırasında ve sonrasında göstermiş olduğu davranışlar incelendi.

Önceki bölümde aktarıldığı üzere yapı modellerinde aks açıklıklarının, galeri boşluklarının ve düzensizliklerin deprem performansını etkilediği sonucuna varıldı.

Yapılarımızın tasarım aşamasındaki kilit nokta yapıdaki aks açıklıklarıdır. Yapıda oluşturacağımız her aks açıklığı yapının direkt olarak performansına etki etmektedir. Aks açıklıkları kullanışa bağlı olarak değil, yapının deprem davranışına göre belirlenmelidir. Bu bilinçle aks kesişim noktalarındaki kolonlar kaldırılarak büyük alanlar tasarlanırken aks açıklıklarının olabildiğince küçük tutulması hedeflenmelidir.

Günümüzde parsel çözümlemeleri ve imar kanunları yapının simetrik olmasına pek imkan vermemektedir. Fakat mümkün olduğunca yapılarda simetrikliğe önem verilmelidir. Simetrikliği ne kadar sağlayabilirsek yapının depreme karşı etkinliğini de o derecede artmaktadır.

Betonarme yapılarda yer vereceğimiz galeri boşlukları yapıyı olumsuz yönde etkilenmektedir. Galeri boşluğu olan yapılar tasarlanacağı zaman taşıyıcı elemanların boyutlarını arttırılmalı ve aks açıklıkları olabildiğince minimum ölçülerde tutulmalıdır.

Tüm modelleri incelediğinde ise varılan ortak bir sonuç olduğu görülmektedir. Yapıda oluşturacağımız her türlü düzensizlik, yapının deprem performansında büyük olumsuzlar yaratmaktadır. Düzensizliklerden olabildiğince uzak durarak, yapı simetriğine ve geometrisine uygun aks açıklıkları ve uygun boyuttaki yapı elemanları ile destekleyerek yapılar tasarlanmalıdır.

Bu tez çalışması kapsamında yapılarda taşıyıcı eleman hacimleri değiştirilmeden büyük alanlar yaratma fikriyle yola çıkılarak buna uygun tasarımlar yapıldı. Yapıların aynı deprem performansını sergilemediği net bir şekilde görüldü. Taşıyıcı eleman hacimlerini değiştirip, düzenli hali ile aynı performansı elde etme amacıyla yapıda ne tür değişimler yapılabileceği araştırma konusu olarak önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Turgay, T., Taşıyıcı sistemi yalnızca çerçevelerden oluşan binalarda kolonların ön boyutlandırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2000.
- [2] Hasan, R., Push-over Analysis for Performance-Based Seismic Design. Computers and Structures, 2483-2493, 2002.
- [3] Kırca, H., Çerçevesiz taşıyıcı sistemlerde kolon sayısındaki değişim yapı davranışına etkisi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [4] Hamutçuoğlu, O. M., Yapısal kusurların az katlı betonarme deprem davranışlarına etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2004.
- [5] Karakaya, M. H., Betonarme taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan yöntemlerle performansının değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [6] İlkun M. ve Kasap H., Betonarme yapılarda çerçeve süreksizliklerinin yapı davranışlarına etkisinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,21(5): 842-850, 2017.
- [7] Tinas, A. D., Betonarme çok katlı yapıların deprem performansının statik itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2017.
- [8] Varol S., Kasap H., Mert, N., Sümer, Y., International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management. Kong., Van, 2019.
- [9] Çam, M. F., Kasap,H., Mert, N., Sümer, Y., International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management. Kong., Van, 2019.

- [10] Çapa, Y. U., Kat adetleri farkı betonarme binaların deprem performanslarının incelenmesi. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2020.
- [11] Darılmaz, K., Çağlar N., Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları SAÜ, 2018.
- [12] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı, Resmi Gazete sayı: 30364(mükerrer), 2018.
- [13] Kırçıl, M. Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları YTÜ, 2018
- [14] FEMA and NEHRP, “Pre-standart and Commentary 144 on the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA-356),” American Society of Civil Engineers (ASCE): Reston VA, 2000.
- [15] Penelis Gr. G. ve Kappos A.J., 3D Pushover analysis: The issue of torsion. 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Reference, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Elif Egi, İlk ve orta eğitimini Büyükgazi İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2013 yılında Ali Dilmen Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2013'te başladığı Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirdi. 2017 yılı güz döneminde Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 Eylül ayından beri özel bir inşaat firmasında 'İnşaat Mühendisi' olarak mesleğini icra etmektedir.