

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERDE KOLON  
BOYUTLARININ VE SARGI DONATISININ DEPREM  
PERFORMANSINA ETKİSİ ÜZERİNE SAYISAL BİR ÇALIŞMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Cahit ELMAS

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP

Şubat 2022

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

**BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLERDE KOLON  
BOYUTLARININ VE SARGI DONATISININ DEPREM  
PERFORMANSINA ETKİSİ ÜZERİNE SAYISAL BİR ÇALIŞMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Cahit ELMAS**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Bu tez 04/02/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

**Jüri Başkanı**

**Üye**

**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.

Mehmet Cahit ELMAS  
10.12.2021

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimin boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, bana değerli vaktini ayıran tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca gurur duyduğum, beni her yönde destekleyen ve yönlendiren aileme şükranlarımı sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY .....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Amaç ve Kapsam .....	1
1.2. Literatür Taraması .....	1
BÖLÜM 2.	
YAPILARDA PERFORMANS KAVRAMI .....	3
2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	3
2.2. Bina Performans Düzeyleri.....	4
2.2.1. Kesintisiz kullanım performans düzeyi (KK) .....	4
2.2.2. Sınırlı hasar performans düzeyi (SH) .....	4
2.2.3. Kontrollü hasar performans düzeyi (KH) .....	4
2.2.4. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (GÖ).....	5
2.3. Bina Performans Hedefleri .....	5
2.4. Malzeme Modelleri .....	6
2.4.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri.....	6
2.4.2. Donatı çeliği için malzeme modeli .....	7
2.5. Süneklik .....	8

2.6. Plastik Mafsalsal Hipotezi.....	9
BÖLÜM 3.	
YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ .....	11
3.1. TBDY (2018)'e Göre İtme Analizi Yöntemleri .....	11
3.2. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değişirme Kapasiteleri ....	14
BÖLÜM 4.	
BETONARME YAPILARIN TASARIMI VE İTME ANALİZİ UYGULAMASI	15
4.1. Referans Model Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	17
4.2. Model – A1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	41
4.3. Model – A2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	52
4.4. Model – B1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	65
4.5. Model – B2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	77
4.6. Model – B3 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	88
4.7. Model – C1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	99
4.8. Model – C2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları .....	110
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR .....	121
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ .....	134

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$a_1^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tekserbestlik dereceli sistem'in modal sözde-ivmesi
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
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
E	: Elastisite modülü
ETK	: Enerji tüketim katsayısı
GÖ	: Göçmenin önlenmesi performans düzeyi
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
KK	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
M	: Moment
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
$\Gamma_n^{(X)}$	: (X) deprem doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı
$\mu$	: Süneklik
$\Phi_{ix1}^{(1)}$	: i'nci katta birinci doğal titreşim mod genliklerinin x doğrultusundaki karşılığı
$d_1^{(X,k)}$	: Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirilmesi
$V_t$	: Taban kesme kuvveti
u	: Deplasman miktarı
$U_{px}$	: X doğrultusu yer değiştirme istemi

$U_{py}$	: Y doğrultusu yer değiştirme istemi
$a$	: İvme
$C_R$	: Spektral yer değiştirme oranı
$k$	: Rijitlik katsayısı
$T$	: Doğal titreşim periyodu
$S_{ae1}$	: İtme analizinin ilk adımındaki birinci moda ait elastik spektral ivme
$\text{şGDT}$	: şekil değiştirmeye göre değerlendirme ve tasarım
$W$	: Yapı ağırlığı



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Bina performans düzeyleri (Darılmaz, 2018) .....	5
Şekil 2.2. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme modeli (Mander, 1988).....	7
Şekil 2.3. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme grafiği (TBDY, 2018).....	7
Şekil 2.4. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği (TBDY, 2018) .....	8
Şekil 2.5. Kesit, eleman ve sistem etki-şekil (yer) değiştirme ilişkisi (Celep, 2008)	9
Şekil 2.6. Eğilme momenti-eğrilik grafiği .....	10
Şekil 3.1. İtme (pushover) eğrisi ve modal kapasite diyagramı (Darılmaz, 2019)	13
Şekil 4.1. Referans model kalıp planı .....	17
Şekil 4.2. Referans Model Perspektif Görünümü .....	18
Şekil 4.3. C30/37 beton tanımlanması .....	19
Şekil 4.4. S420 donatı tanımlanması.....	19
Şekil 4.5. Kolon kesit özelliklerinin tanımlanması .....	20
Şekil 4.6. Kolon beton modeli tanımlanması (Mander).....	20
Şekil 4.7. Kolon çelik özelliklerinin tanımlanması .....	20
Şekil 4.8. Kiriş kesit özelliklerinin tanımlanması .....	21
Şekil 4.9. Kiriş beton modeli tanımlanması (Mander).....	21
Şekil 4.10. Kiriş çelik özelliklerinin tanımlanması .....	22
Şekil 4.11. Kolon ve kiriş eğime rijitliği parametreleri .....	22
Şekil 4.12. Yük tipleri tanımlanması .....	22
Şekil 4.13. Sismik yük tipi parametreleri tanımlanması .....	23
Şekil 4.14. TBDY 2018 tasarım spektrumları (AFAD, 2022).....	24
Şekil 4.15. Yükleme durumları tanımlanması.....	25
Şekil 4.16. P-DUSEY parametrelerinin tanımlanması.....	25
Şekil 4.17. P-DUSEY uygulanacak nokta tanımlanması .....	26

Şekil 4.18. 3 boyutlu modelde itmenin uygulanacağı "144" nolu noktanın gösterimi .....	26
Şekil 4.19. PUSH-X parametreleri tanımlanması .....	27
Şekil 4.20. PUSH-X uygulanacak nokta ve yerdeğiştirme tanımlanması.....	27
Şekil 4.21. PUSH-Y parametreleri tanımlanması .....	28
Şekil 4.22. PUSH-Y uygulanacak nokta ve yerdeğiştirme tanımlanması.....	28
Şekil 4.23. Mafsal atama ekranı .....	29
Şekil 4.24. Kolon mafsal atama ekranı .....	29
Şekil 4.25. Kiriş mafsal atama ekranı .....	30
Şekil 4.26. Analiz ayarları ve yükleme durumları .....	30
Şekil 4.27. Referans model "PUSH-X" itme eğrisi.....	32
Şekil 4.28. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	33
Şekil 4.29. Referans model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi .....	33
Şekil 4.30. Referans model kapasite eğrisi .....	34
Şekil 4.31. Referans model modal kapasite eğrisi .....	34
Şekil 4.32. Referans model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	36
Şekil 4.33. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	38
Şekil 4.34. Referans model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi .....	38
Şekil 4.35. Referans model kapasite eğrisi .....	39
Şekil 4.36. Referans model modal kapasite eğrisi .....	39
Şekil 4.37. A-1 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	43
Şekil 4.38. Model A-1 X doğrultusu modal kapasite diyagramı.....	44
Şekil 4.39. Model A-1 X doğrultusu modal yer değiştirme istemi .....	44
Şekil 4.40. A-1 model kapasite eğrisi .....	45
Şekil 4.41. A-1 model modal kapasite eğrisi .....	46
Şekil 4.42. A-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	48
Şekil 4.43. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	49
Şekil 4.44. A-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi .....	49
Şekil 4.45. A-1 model kapasite eğrisi .....	50
Şekil 4.46. A-1 model modal kapasite eğrisi .....	50
Şekil 4.47. A-2 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	54
Şekil 4.48. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	55

Şekil 4.49. A-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi .....	56
Şekil 4.50. A-2 model kapasite eğrisi .....	57
Şekil 4.51. A-2 model modal kapasite eğrisi .....	57
Şekil 4.52. A-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	60
Şekil 4.53. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	61
Şekil 4.54. A-2 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi .....	62
Şekil 4.55. A-2 model kapasite eğrisi .....	63
Şekil 4.56. A-2 model modal kapasite eğrisi .....	63
Şekil 4.57. B-1 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	66
Şekil 4.58. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	68
Şekil 4.59. B-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	68
Şekil 4.60. B-1 model kapasite eğrisi.....	69
Şekil 4.61. B-1 model modal kapasite eğrisi.....	70
Şekil 4.62. B-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi .....	72
Şekil 4.63. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	73
Şekil 4.64. B-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	74
Şekil 4.65. B-1 model kapasite eğrisi.....	75
Şekil 4.66. B-1 model modal kapasite eğrisi.....	75
Şekil 4.67. B-2 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	78
Şekil 4.68. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	79
Şekil 4.69. B-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	80
Şekil 4.70. B-2 model kapasite eğrisi.....	81
Şekil 4.71. B-2 model modal kapasite eğrisi.....	81
Şekil 4.72. B-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	83
Şekil 4.73. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	84
Şekil 4.74. B-2 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	85
Şekil 4.75. B-2 model kapasite eğrisi.....	86
Şekil 4.76. B-2 model modal kapasite eğrisi.....	86
Şekil 4.77. B-3 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	89
Şekil 4.78. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	90
Şekil 4.79. B-3 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	91
Şekil 4.80. B-3 model kapasite eğrisi.....	92

Şekil 4.81. B-3 model modal kapasite eğrisi.....	92
Şekil 4.82. B-3 model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	94
Şekil 4.83. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	95
Şekil 4.84. B-3 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	96
Şekil 4.85. B-3 model kapasite eğrisi.....	97
Şekil 4.86. B-3 model modal kapasite eğrisi.....	97
Şekil 4.87. C-1 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	100
Şekil 4.88. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	101
Şekil 4.89. C-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	102
Şekil 4.90. C-1 model kapasite eğrisi.....	103
Şekil 4.91. C-1 model modal kapasite eğrisi.....	103
Şekil 4.92. C-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	105
Şekil 4.93. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	106
Şekil 4.94. C-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	107
Şekil 4.95. C-1 model kapasite eğrisi.....	108
Şekil 4.96. C-1 model modal kapasite eğrisi.....	108
Şekil 4.97. C-2 model "PUSH-X" itme eğrisi.....	111
Şekil 4.98. X doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	112
Şekil 4.99. C-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi.....	113
Şekil 4.100. C-2 model modal kapasite eğrisi .....	114
Şekil 4.101. C-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi.....	116
Şekil 4.102. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı .....	117
Şekil 5.1. Model yapı periyotları karşılaştırması .....	121
Şekil 5.2. Model yapı periyotları karşılaştırması - 2.....	122
Şekil 5.3. X doğrultusu itme kapasite eğrileri.....	124
Şekil 5.4. Y doğrultusu itme kapasite eğrileri.....	124
Şekil 5.5 X doğrultusu itme kapasite eğrileri – 2.....	125
Şekil 5.6. Y doğrultusu itme kapasite eğrileri - 2 .....	126
Şekil 5.7. X ve Y doğrultuları rijitlik katsayıları karşılaştırması .....	127
Şekil 5.8. X ve Y doğrultuları rijitlik katsayıları karşılaştırması-2.....	127
Şekil 5.9. X ve y doğrultuları süneklik katsayıları karşılaştırması .....	128
Şekil 5.10. X ve y doğrultuları süneklik katsayıları karşılaştırması -2 .....	129

Şekil 5.11. Deprem yükü azaltma katsayıları karşılaştırması .....	130
Şekil 5.12. Deprem yükü azaltma katsayıları karşılaştırması -2.....	130

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (TBDY, 2018).....	5
Tablo 2.2. Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ( BYS = 1) (TBDY, 2018) .....	6
Tablo 2.3. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (TBDY, 2018).....	6
Tablo 2.4. Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY, 2018).....	8
Tablo 4.1 Model Detayları .....	16
Tablo 4.2. Referans model eleman bilgileri .....	18
Tablo 4.3. Referans model periyot ve frekanslar .....	31
Tablo 4.4. Referans model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları.....	31
Tablo 4.5. Referans model "PUSH-X" modal hesap sonuçları.....	32
Tablo 4.6. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	32
Tablo 4.7. Referans model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları.....	36
Tablo 4.8. Referans model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları.....	37
Tablo 4.9. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	37
Tablo 4.10. A-1 model eleman bilgileri .....	41
Tablo 4.11. Referans model periyot ve frekanslar .....	42
Tablo 4.12. Referans model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları.....	42
Tablo 4.13. A-1 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları.....	43
Tablo 4.14. A-1 Model X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları.....	43
Tablo 4.15. A-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları.....	47
Tablo 4.16. A-1 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları.....	48
Tablo 4.17. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	48
Tablo 4.18. A-2 model eleman bilgileri .....	52
Tablo 4.19. A-2 model periyot ve frekanslar .....	53

Tablo 4.20. A-2 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları.....	53
Tablo 4.21. A-2 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları.....	54
Tablo 4.22. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	54
Tablo 4.23. A-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları.....	59
Tablo 4.24. A-2 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları.....	60
Tablo 4.25. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	60
Tablo 4.26. B-1 model eleman bilgileri .....	65
Tablo 4.27. B-1 model periyot ve frekanslar .....	65
Tablo 4.28. B-1 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları .....	66
Tablo 4.29. B-1 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları .....	67
Tablo 4.30. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	67
Tablo 4.31. B-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları .....	71
Tablo 4.32. B-1 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları .....	72
Tablo 4.33. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	72
Tablo 4.34. B-2 model eleman bilgileri .....	77
Tablo 4.35. B-2 model periyot ve frekanslar .....	77
Tablo 4.36. B-2 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları .....	78
Tablo 4.37. B-2 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları .....	78
Tablo 4.38. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	79
Tablo 4.39. B-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları .....	83
Tablo 4.40. B-2 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları .....	83
Tablo 4.41. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	84
Tablo 4.42. B-3 model eleman bilgileri .....	88
Tablo 4.43. B-3 model periyot ve frekanslar .....	88
Tablo 4.44. B-3 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları .....	89
Tablo 4.45. B-3 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları .....	89
Tablo 4.46. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	90
Tablo 4.47. B-3 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları .....	94
Tablo 4.48. B-3 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları .....	94
Tablo 4.49. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	95
Tablo 4.50. C-1 model eleman bilgileri .....	99
Tablo 4.51. C-1 model periyot ve frekanslar .....	99

Tablo 4.52. C-1 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları .....	100
Tablo 4.53. C-1 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları .....	101
Tablo 4.54. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	101
Tablo 4.55. C-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları .....	105
Tablo 4.56. C-1 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları .....	106
Tablo 4.57. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	106
Tablo 4.58. C-2 model eleman bilgileri .....	110
Tablo 4.59. C-2 model periyot ve frekanslar .....	110
Tablo 4.60. C-2 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları .....	111
Tablo 4.61. C-2 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları .....	112
Tablo 4.62. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	112
Tablo 4.63. C-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları .....	116
Tablo 4.64. C-2 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları .....	117
Tablo 4.65. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları .....	117
Tablo 5.1. Modellerin yapı periyotları (sn) .....	121
Tablo 5.2. X Doğrultusu Model Kapasite Eğrileri Sonuçları .....	123
Tablo 5.3. Y Doğrultusu Model Kapasite Eğrileri Sonuçları .....	123
Tablo 5.4. X ve Y doğrultuları rijitlik katsayıları .....	126
Tablo 5.5. X ve y doğrultuları süneklik katsayıları karşılaştırması .....	128
Tablo 5.6. X ve Y doğrultularında deprem yükü azaltma katsayıları .....	129



## ÖZET

Anahtar kelimeler: itme analiz, doğrusal olmayan analiz, betonarme yapıların deprem etkisi altında davranışları, pushover, yer değiştirme, performans analizi

Bu çalışma kapsamında, aynı taşıyıcı sisteme sahip betonarme yapılarda, kolon enkesit boyutları ve sargı donatılarındaki düzen ve aralık değişikliklerinin deprem etkisi altında plastik mafsal teorisine göre itme analizi yöntemi kullanılarak taşıyıcı sistem davranışı üzerine etkileri incelenmiştir.

İncelenmesi yapılan sekiz adet farklı yapı modelinin her birine SAP2000 sonlu elemanlar programı ile ayrı ayrı itme analizi uygulanarak hesap adımları anlatılmış, yer değiştirme istemleri hesaplanarak kapasite diyagramları oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucundaki verilere göre yapı modellerinin periyotları, rijitlik katsayıları, süneklik katsayıları, deprem yükü azaltma katsayıları hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak donatı ve etriye miktarları sabit tutularak kolon ebatlarının artırılmasının rijitliği artırdığı, sünekliği azalttığı görülmüş, etriye aralıklarının artırılmasının sünekliği düşürdüğü gözlemlenmiş, çiroz eklenmesi ve adedinin artırılmasının ise sünekliği artırdığı görülmüştür.

# **A STUDY TO DETERMINE SEISMIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS WITH VARIOUS COLUMN SIZE AND STIRRUP CONFIGURATIONS**

## **SUMMARY**

Keywords: Pushover, nonlinear analysis, performance analysis, displacement, seismic behavior of reinforced concrete structures

In thesis the seismic behavior of reinforced concrete structures with various column sizes and various type of confinement rebars is studied.

Nonlinear pushover analysis is applied to seven different structural model by using SAP2000 finite element analysis software. Pushover results of both directions are investigated and converted to capacity diagram by following the procedures of Turkish Design Code 2018. Stiffness, ductility and seismic load reduction factors are calculated and compared to each other.

The main results can be summarized as that enlarging the size of the column with same reinforcement layout increases stiffness but decreases ductility. Moreover, reducing the spaces of stirrups increases ductility and finally adding more tie reinforcement also increases ductility of structural system.

# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Amaç ve Kapsam**

Yaşadığımız coğrafyanın deprem kuşağı üzerinde yer aldığı ve ülke nüfusunun önemli bir kısmının bu bölgeler üzerinde yaşadığı bilinmektedir. Ülkemizde meydana gelen depremlerde çok fazla sayıda can ve mal kaybı yaşanmış ve bu durum mevcut ve yeni yapılacak binaların deprem etkisine karşı performanslarını sorgulanır hale getirmiştir.

Yapıların deprem etkisi altında gösterdiği performans kavramı 2007 yılında hazırlanan ve yürürlüğe giren “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” ile gündeme gelmiş ve sonrasında geliştirilerek 2018 yılında yürürlüğe giren “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ile son halini almıştır.

Bu kapsamda ele alınan Statik itme yöntemi, daha önce deprem etkisi altında kalmış mevcut binalar veya yeni yapılmış binalarda en çok hasarın nasıl oluşacağı veya hangi bölgelerde hasarların oluşabileceği konusunda ciddi bir referans oluşturur.

## **1.2. Literatür Taraması**

(Soycan, 2019) yüksek lisans tez çalışmasında, farklı kolon boyutları ve farklı burulma düzensizliği katsayıları olan 5 ve 7 katlı betonarme sistem Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de belirtilen doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmiştir. Yapılan analizlerin sonuçları değerlendirilmiş, yeni yönetmelikte yapılan değişikliklerin, yapıların performans seviyelerinin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği’ne göre daha güvenli alana getirilmiş olduğu belirtilmiştir.

(Çam, 2019), altı farklı betonarme taşıyıcı sistemi itme (pushover) analizi yöntemi kullanarak analiz etmiş, deprem etkisi altında bu taşıyıcı sistemlerin elde edilen deprem performansları süneklik ve rijitlik katsayıları gibi değerleri hesaplanarak kıyaslamalar yapılmıştır. Analizler sonucu yapılan değerlendirmede taşıyıcı sistemlerin tasarlanmasında kolon ve perde yerleşimi ile aks açıklıkları gibi parametrelerin belirlenmesinde göz önüne alınacak kriterler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

(Uçar, 2019) yüksek lisans tez çalışmasında, betonarme çerçeve ve betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 9 katlı betonarme yapının 2007 Türk Deprem Yönetmeliği ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliği'nde belirtilen doğrusal olmayan yöntemlerle deprem etkisi altında performansı değerlendirilmiştir. Kullanım amacı hastane olarak belirlenen yapının yönetmeliklerde tanımlanan farklı deprem düzeylerine göre performans analizleri yapıp sonuçları değerlendirilmiştir.

(Jamal & Yüksel, 2021), yayınladıkları makalede, tek açıklıklı bir yapının ASCE41-17 ve TBDY 2018 yönetmeliklerine göre performans analizleri yapılmış ve sonuçları incelenmiştir. Yönetmeliklere göre yapılan taşıyıcı sistem modellemelerinde, doğrusal olmayan analizlerde plastik mafsalları tanımlamalarının yanlış kullanılmasının hatalı sonuçlar üreteceğine vurgu yapılmıştır. Her iki yönetmeliğe göre elde edilen kapasite eğrileri incelendiğinde, ASCE 41-17'ye göre hesaplanan tepe yer değiştirme miktarının TBDY2018'e göre elde edilen yer değiştirme miktarından fazla olduğu sonucu elde edilmiştir.

(Raut & Prasad, 2014) tarafından yapılan çalışmada, zayıf kat düzensizliği bulunan bir taşıyıcı sistem, pushover itme analizi yapılarak analiz edilmiştir. 4 katlı betonarme yapı, FEMA-356 ve ATC-40 yönetmeliklerinde tanımlanan şekilde yapılarak dayanım ve deformasyon sonuçları incelenmiştir. İtme analizi yönteminin yapıların doğrusal olmayan yöntemlerle incelenmesinin basit ve etkin bir yöntem olduğu belirtilmiş, itme analizi sonuçları ile yapının rijitlik, süneklik vb. özellikleri incelenmiştir.

## **BÖLÜM 2. YAPILARDA PERFORMANS KAVRAMI**

Deprem etkisi altındayken yapılar elastik davranış göstermeyebilir. Yapının davranışları elastik sınırlar dışına çıktığı durumda doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin kullanılması gerekir. Yapıların performansı için belirli kriterler ve parametreler TBDY 2018’de detaylı olarak incelenmiştir.

### **2.1. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri**

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ile deprem yer hareketi düzeyleri 4 farklı şekilde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1): “DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.”
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2): “DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.”
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): “DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.”
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4): “DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer

hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.”

## **2.2. Bina Performans Düzeyleri**

Yapılarda deprem etkisi altında yer değiştirmeler meydana gelir ve yapı sistemleri doğrusal olmayan davranış sergiler. Deprem etkisi altında yapının gösterdiği performans seviyeleri yönetmelik ile farklı şekillerde tanımlanmıştır. İlk olarak 2007 yılında “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” ile tanımlanan performans seviyeleri, 2018 yılında yayınlanan “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” ile son halini almıştır.

### **2.2.1. Kesintisiz kullanım performans düzeyi (KK)**

“Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.” (TBDY, 2018)

### **2.2.2. Sınırlı hasar performans düzeyi (SH)**

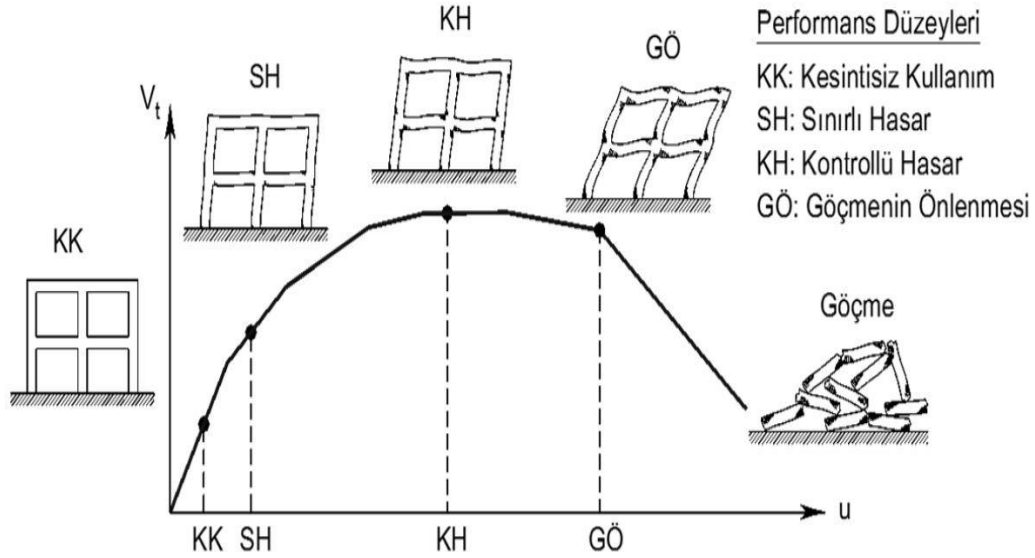
“Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.” (TBDY, 2018)

### **2.2.3. Kontrollü hasar performans düzeyi (KH)**

“Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.” (TBDY, 2018)

### 2.2.4. Göçmenin önlenmesi performans düzeyi (GÖ)

“Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.” (TBDY, 2018)



Şekil 2.1. Bina performans düzeyleri (Darılmaz, 2018)

### 2.3. Bina Performans Hedefleri

Yapının deprem etkisi altında iken göstereceği performans hedefleri ve uygulanacak tasarım yaklaşımları, deprem tasarım sınıflarına göre, yeni yapılacak veya mevcut durumdaki binalar için aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (TBDY, 2018)

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

Tablo 2.2. Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ( BYS = 1) (TBDY, 2018)

Deprem Yer Hareketi Düzei	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a , 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	-	-
DD-3	-	-	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT <sup>(3)</sup>	KH	DGT <sup>(3,4)</sup>
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

Tablo 2.3. Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar (TBDY, 2018)

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

<sup>(1)</sup> BYS>3 olan binalarda uygulanacaktır, <sup>(2)</sup> BYS=2,3 olan binalarda uygulanacaktır, <sup>(3)</sup> Ön tasarım olarak yapılacaktır, <sup>(4)</sup> I=1.5 alınarak uygulanacaktır.

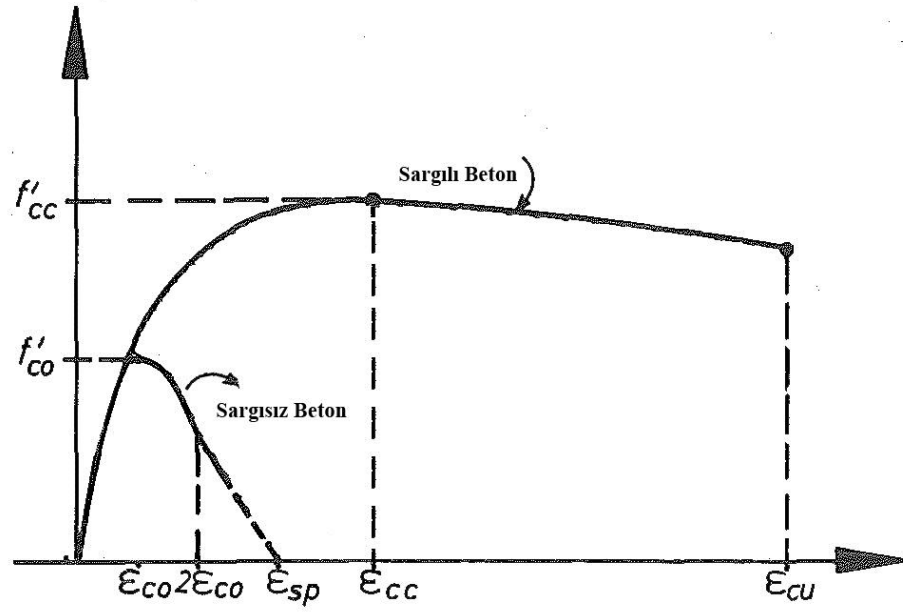
## 2.4. Malzeme Modelleri

Çelik malzemesinin sünek davranış sergilemesine karşın beton malzemesinin davranışı gevrekçektir. Beton ve çeliğin bir araya gelmesinden meydana gelen betonarme, çelik ve betonun mekanik özelliklerinden etkilenerek doğrusal elastik davranış sergilemez. Sargılı ve sargısız beton ile donatıda kullanılan çelik için farklı malzeme modelleri ortaya konulmuştur.

### 2.4.1. Sargılı ve sargısız beton modelleri

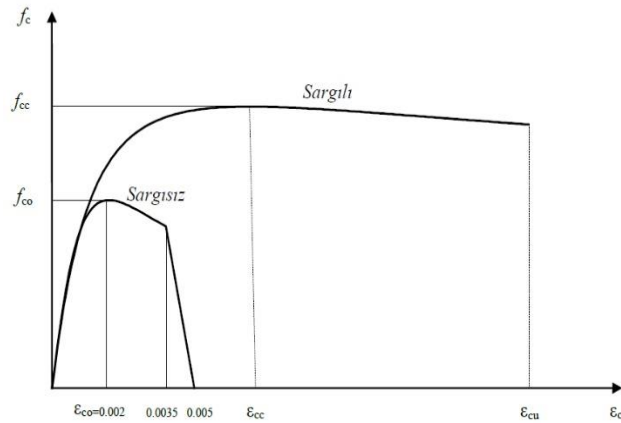
Basınç altındaki sargılı ve sargısız betonun davranışı için onlarca model oluşturulmuştur. Yaygın olarak kullanılan modellerden biri ve birçok modelin çıkış noktası olan (Mander, 1988) modeli aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.2.).





Şekil 2.2. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme modeli (Mander, 1988)

TBDY – 2018’de ise gerilme ve şekil değiştirme grafiği aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Sargılı ve sargısız beton için gerilme-şekil değiştirme grafiği (TBDY, 2018)

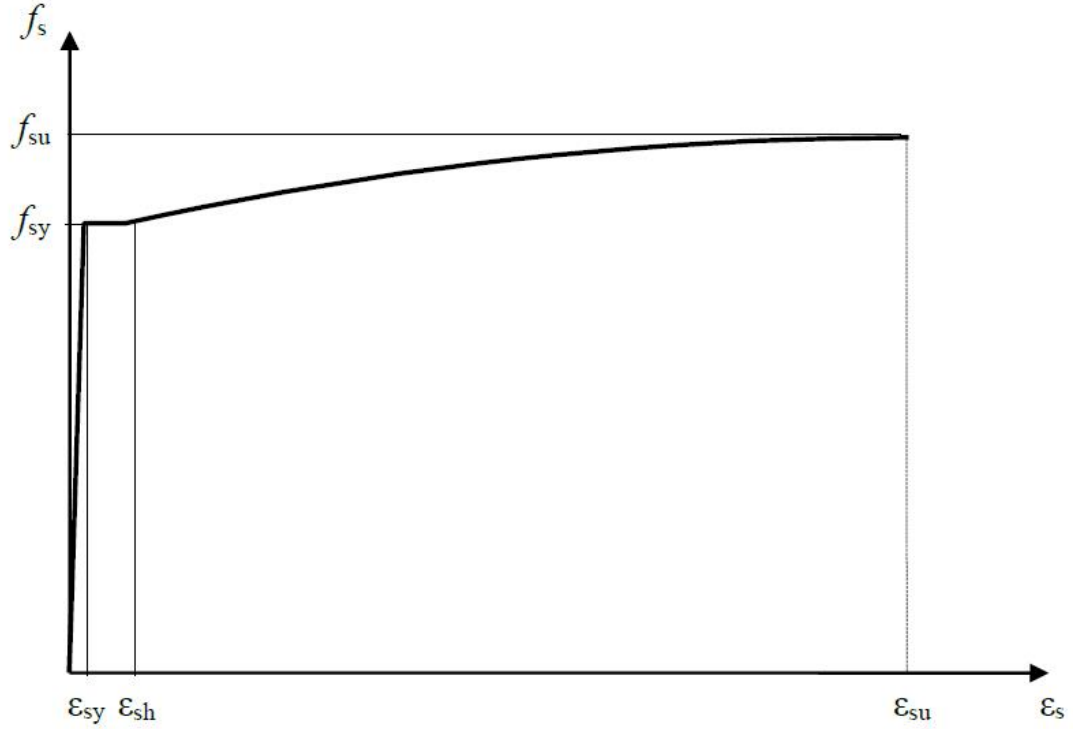
#### 2.4.2. Donatı çeliği için malzeme modeli

Donatı çeliğinin elastisite modülü  $E_s = 2 \times 10^5$  MPa’dır. Donatı çeliklerine ait bilgiler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Tablo 2.4.)

Tablo 2.4. Donatı çeliklerine ait bilgiler (TBDY, 2018)

Kalite	$f_{sy}$ (Mpa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$\epsilon_{su}$	$f_{su} / f_{sy}$
S220	220	0,0011	0,011	0,12	1,20
S420	420	0,0021	0,008	0,08	1,15-1,35

Donatı çeliği için gerilme ve şekil değiştirme grafiği aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafiği (TBDY, 2018)

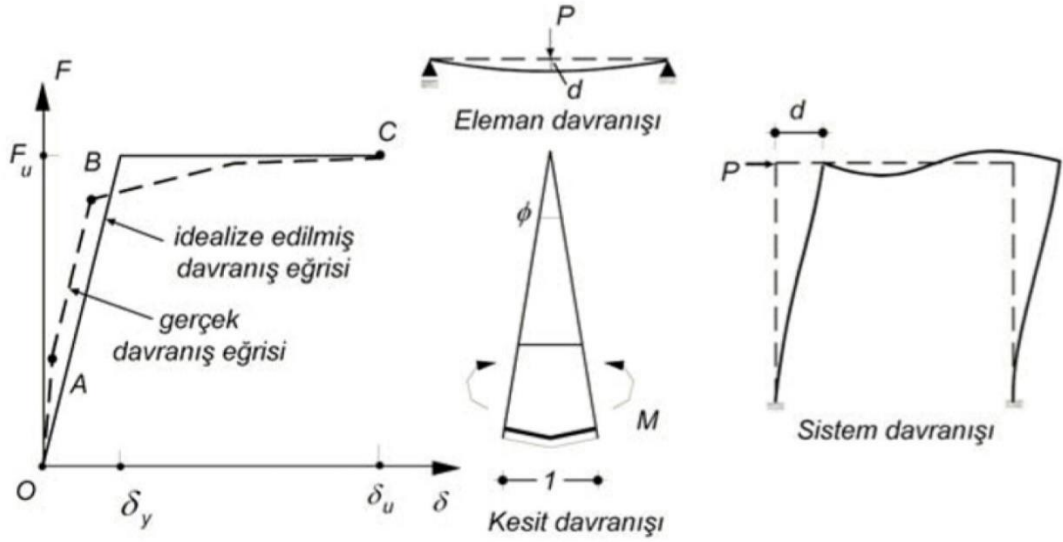
## 2.5. Süneklilik

“Süneklilik, bir kesitin veya bir elemanın veya bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yer değiştirme yapma yeteneği olarak tanımlanabilir.” (Celep, 2008)

Sayısal olarak ise, güç tükenme durumununun elastik sınır şekil değiştirme ya da yer değiştirmeye oranı alınarak (Denklem 2.1) hesaplanır.

$$\mu = \frac{\delta u}{\delta y} \quad (2.1)$$

Kesit, eleman ve sistemin etki-şekil (yer) değiştirme ilişkisi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2.5.).

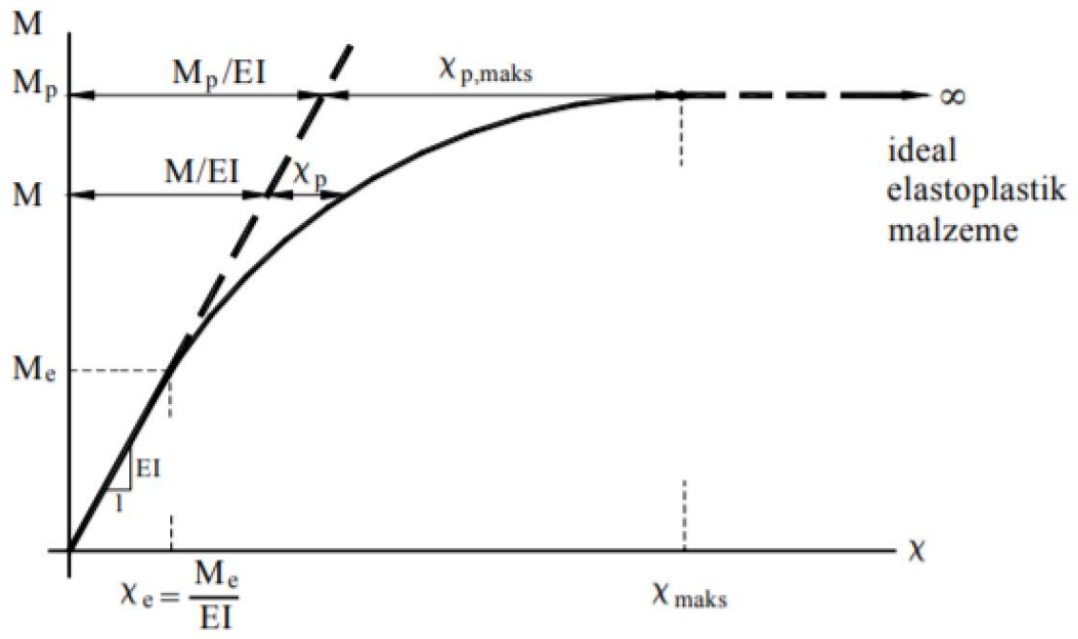


Şekil 2.5. Kesit, eleman ve sistem etki-şekil (yer) değiştirme ilişkisi (Celep, 2008)

## 2.6. Plastik Mafsal Hipotezi

Süneklik oranı toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak ifade edilir. Süneklik oranı büyük olan ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeyen küçük bir alana yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin en çok zorlanma bölgelerde olduğu, bunun dışında kalan alanlarda ise sistemin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilir. Bu kabul, plastik mafsal hipotezi olarak adlandırılır.

Doğrusal elastik olmayan malzemenin eğilme momenti-eğrilik diyagramı aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 2.6.).



Şekil 2.6. Eğilme momenti-eğrilik grafiği

## **BÖLÜM 3. YAPI SİSTEMLERİNİN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

Yapı sistemleri bazı özel durumlar haricinde işletme yükleri altındayken çoğunlukla doğrusal davranış gösterirler. Doğrusal davranışı baz alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal-elastik olarak alınmakta ve oluşan yer değiştirmelerinin çok küçük değerler olduğu varsayımı yapılmaktadır. (Özer, 2009)

Doğrusal elastik olmayan analiz yönteminde taşıyıcı sistemin etki altındaki doğrusal olmayan davranışı daha gerçekçi şekilde değerlendirilir. Ancak yöntemin uygulanmasında taşıyıcı sistem ile ilgili daha çok parametreye ihtiyaç duyulur ve mevcut olan binalarda değerlendirme yapılacağı zaman oluşabilecek belirsizliklerden dolayı analizin uygulanmasında sorunlar yaşanabilir. Buna ek olarak genellikle kullanılan ve doğrusal elastik çözüm yapan programlar yerine çok daha ayrıntılı çözüm teknikleri içeren programlara ihtiyaç duyulur. Uygulanan analizde elde edilecek sonuçlar ne kadar çok kabul yapılarak hesaplama yapıldıysa güvenilirliği de o oranda azalacağından, yöntemin temelini oluşturan statik itme analizi sonuçları, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile önemli derecede farklılık gösterecektir. (Celep, 2008)

### **3.1. TBDY (2018)'e Göre İtme Analizi Yöntemleri**

Sabit tek modlu itme yönteminde, değerlendirmeye alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki ilk adımda belirlenen ve yapılan itme hesabı boyunca değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı bir şekilde tanımlanırlar. Uygulanan itme hesabı sonucunda koordinatları tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti şeklinde olan bir itme eğrisi elde edilir. Sonrasında elde edilen bu itme eğrisine uygulanacak olan koordinat

dönüşümü ile koordinatları modal yerdeğiştirme – modal sözde ivme olan modal kapasite diyagramı ortaya çıkar. Yapılan hesabın sonunda ise elde edilen bu kapasite diyagramı, sisteme tanımlaması yapılan deprem etkisi altında modal yerdeğiştirme talebinin ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemde ortaya çıkan iç kuvvet ve plastik şekil değiştirme taleplerinin hesaplanmasında esas alınır. (Darılmaz, 2019)

TBDY-2018'e göre;

Verilen (X) deprem doğrultusunda n'inci titreşim moduna ait modal katkı çarpanı  $\Gamma_n^{(X)}$  Denklem 3.1 ile tanımlanır.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i(x)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \phi_{ixn}^2 + m_i \phi_{iyn}^2 + m_{i\theta} \phi_{i\theta n}^2)} \quad (3.1)$$

Kat etkin kütlelerinin birinci adımda hesaplanan birinci mod karşılıkları aşağıdaki bağıntılarla elde edilir.

$$m_{ix1}^{(X,1)} = m_i \phi_{ix1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (3.2)$$

$$m_{iy1}^{(X,1)} = m_i \phi_{iy1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (3.3)$$

$$m_{i\theta 1}^{(X,1)} = m_i \phi_{i\theta 1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)} \quad (3.4)$$

$\phi_{ix1}^{(1)}, \phi_{iy1}^{(1)}, \phi_{i\theta 1}^{(1)}$  i'nci katta birinci doğal titreşim mod genliklerinin x,y ve z doğrultularındaki karşılıkları

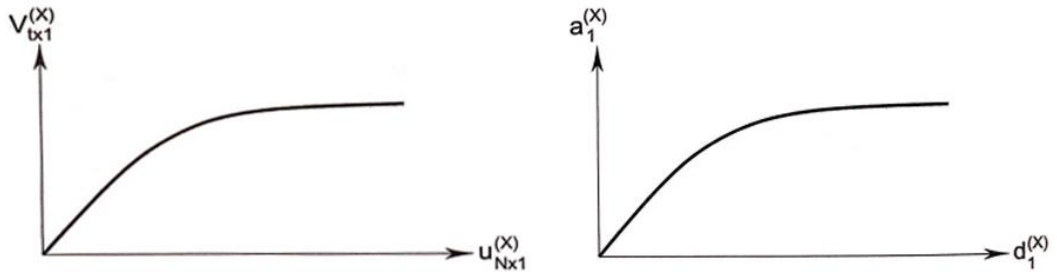
İtme hesabında  $a_1^{(X,k)}$ , (X) deprem doğrultusunda taban kesme kuvveti için yazılan Denklem (3.5) ile elde edilir.

$$a_1^{(X,k)} = \frac{V_{tx1}^{(X,k)}}{m_{tx1}^{(X,1)}} \quad (3.5)$$

Birinci moda ait modal tek serbestlik dereceli sistemin modal yer değiştirmesi  $d_1^{(X,k)}$  Denklem (3.6) ile elde edilir.

$$d_1^{(X,k)} = \frac{u_{Nx1}^{(X,k)}}{\Phi_{Nx1}^{(1)} \Gamma_1^{(X,1)}} \quad (3.6)$$

Taban kesme kuvveti – tepe yer değiştirmesi ilişkisini gösteren itme (pushover) eğrisi ve modal sözde ivme – modal yer değiştirme ilişkisini gösteren modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (şekil 3.1.).



şekil 3.1. İtme (pushover) eğrisi ve modal kapasite diyagramı (Darılmaz, 2019)

“Deprem modal yer değiştirme talebinin elde edilmesi, verilen deprem etkisi altında modal kapasite diyagramı tarafından temsil edilen modal tek serbestlik dereceli sistemin en büyük yer değiştirmesinin hesabına karşılık gelmektedir.” (Darılmaz, 2019)

Doğrusal olmayan spektral yer değiştirme, tek serbestlik dereceli sistemdeki en büyük yer değiştirmedir ve Denklem 3.7 ile elde edilir. Taşıyıcı sistemin birinci doğal titreşim periyodu  $T_1$  ‘e karşı gelen doğrusal olmayan spektral yer değiştirme Denklem 3.8 ile tanımlanır. Spektral yer değiştirme oranı ise  $C_R$  ile ifade edilir ve Denklem 3.9 ile hesaplanır.

$$d_{1,max}^{(X)} = S_{di}(T_1) \quad (3.7)$$

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad (3.8)$$

$$C_R = \frac{\mu(R_y, T_1)}{R_y} \quad (3.9)$$

### 3.2. Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değişirme Kapasiteleri

Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere yeni betonarme bina elemanlarında yayılı plastik davranış modeline göre hesaplanan, dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perdelerde, beton ve donatı çeliği toplam birim yer değiştirmeleri için izin verilen sınırlar aşağıda tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$\varepsilon_C^{(GÖ)} = 0,0035 + 0,04\sqrt{\omega_{we}} \leq 0,018 \quad , \quad \varepsilon_S^{(GÖ)} = 0,4\varepsilon_{su}$$

Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere yeni betonarme bina elemanlarında beton ve donatı çeliği toplam birim yer değiştirmeleri için izin verilen sınırlar, göçmenin önlenmesi için tanımlanan değerlere bağlı olarak aşağıda tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$\varepsilon_C^{(KH)} = 0,75\varepsilon_C^{(GÖ)} \quad , \quad \varepsilon_S^{(KH)} = 0,75\varepsilon_S^{(GÖ)}$$

Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi için yapılacak performans değerlendirmesinde kullanılmak üzere yeni betonarme bina elemanlarında beton ve donatı çeliği toplam birim yer değiştirmeleri için izin verilen sınırlar aşağıda tanımlanmıştır (TBDY, 2018).

$$\varepsilon_C^{(SH)} = 0,0025 \quad , \quad \varepsilon_S^{(SH)} = 0,0075$$



## **BÖLÜM 4. BETONARME YAPILARIN TASARIMI VE İTME ANALİZİ UYGULAMASI**

Bu bölümde, çalışma kapsamında, aynı taşıyıcı sisteme sahip betonarme yapılarda, kolon enkesit boyutları ile aksenal kuvvet düzeylerindeki değişimin ve sargı donatılarındaki düzen ve aralık değişikliklerinin, deprem etkisi altında plastik mafsal teorisine göre itme analizi yöntemi kullanılarak taşıyıcı sistem davranışı üzerine detaylı etkileri incelenmiştir.

Analizlerin yapılması için TBDY-2018 yönetmeliği ile de uyumlu SAP2000 (V.23) programı kullanılmıştır. Programa farklı modellemelerin tanımlaması yapılmış ve itme analizi yaptırılarak sonuçları incelenmiştir. Yapı analizinde KN ve m birimleri kullanılmıştır.

Tasarlanan modellerin bir tanesi referans modeldir. Diğer modeller kendi içerisinde gruplandırılarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tasarlanan modeller, Referans model, Model A-1, Model A-2, Model B-1, Model B-2, Model B-3, Model C-1, Model C-2 şeklinde isimlendirilmiş olup değişiklik yapılan kısımlar karşılaştırmalı olarak Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.

Model A ile isimlendirilen modellerde kolon ebatları 0,4 m x 0,4 m ve 0,7 m x 0,7 m olarak değiştirilmiştir.

Model B ile isimlendirilen modellerde kolon etriye aralıkları 0,05 m, 0,15 m ve 0,20 m olarak değiştirilmiştir.

Model C ile isimlendirilen modellerde her iki yönde bir çiroz ve iki çiroz yerleştirilmiştir.

Tablo 4.1 Model Detayları

Model Adı	Kolon Boyutu (m)	Etriye Aralığı (m)	Çiroz Durumu
Referans Model	0,6 x 0,6	0,10	-
Model A-1	0,4 x 0,4	0,10	-
Model A-2	0,7 x 0,7	0,10	-
Model B-1	0,6 x 0,6	0,05	-
Model B-2	0,6 x 0,6	0,15	-
Model B-3	0,6 x 0,6	0,20	-
Model C-1	0,6 x 0,6	0,10	Her iki yönde birer
Model C-2	0,6 x 0,6	0,10	Her iki yönde ikişer

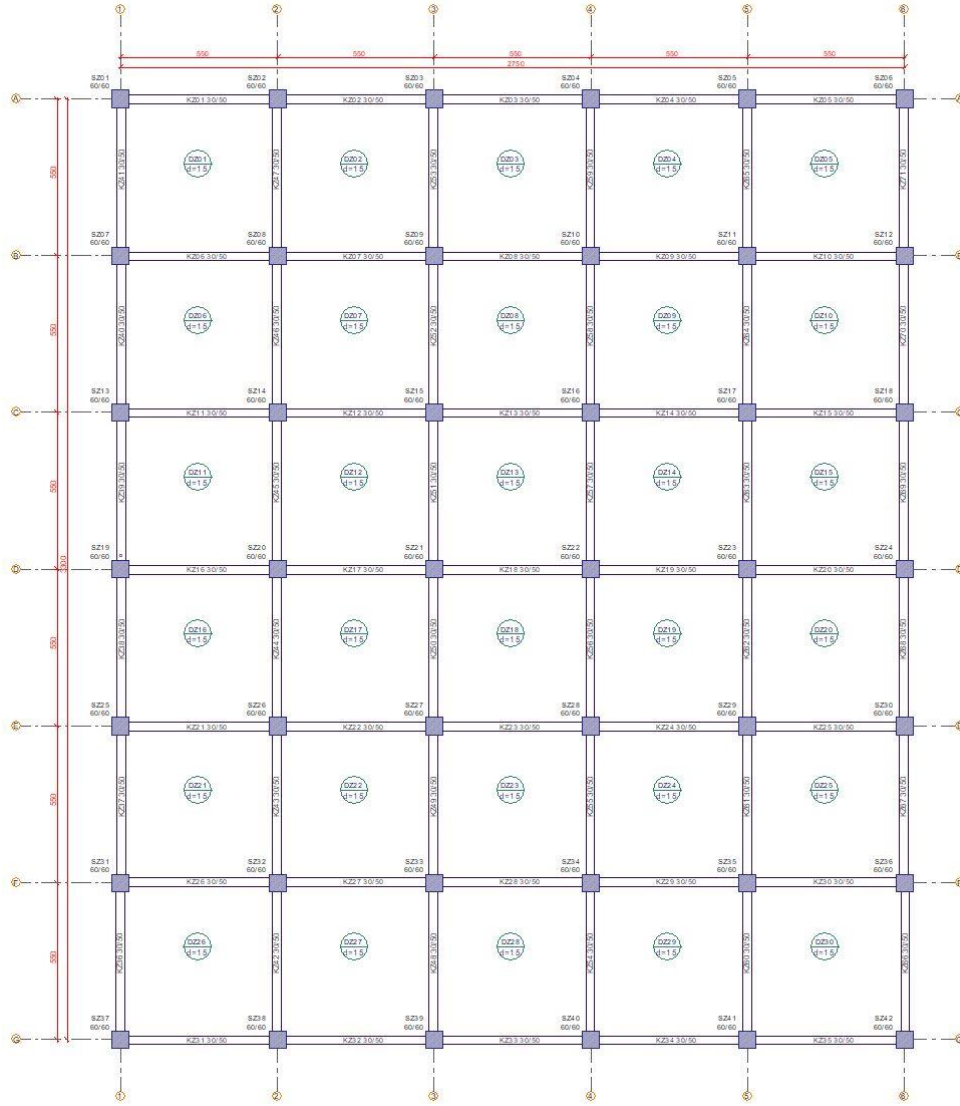
Tasarlanan yapılar hakkındaki genel bilgiler aşağıdaki gibidir ;

- X doğrultusundaki toplam uzunluk / aks sayısı : 33 m / 7 aks
- Y doğrultusundaki toplam uzunluk / aks sayısı : 27,5 m / 6 aks
- Kat sayısı : 7 kat
- Kat yüksekliği : 3 m
- Bina toplam yüksekliği : 21 m
- Beton sınıfı : BS 30/37
- Beton birim hacim ağırlığı : 25 kN/m<sup>3</sup>
- Poisson oranı : 0,2
- Bina önem katsayısı : 1
- Zemin sınıfı : ZE (TBDY, 2018)
- Döşeme türü : Plak – Rijit Diyafram
- Döşeme kalınlığı : 0,15 m
- Çelik sınıfı : S420 (Europe Rebar)

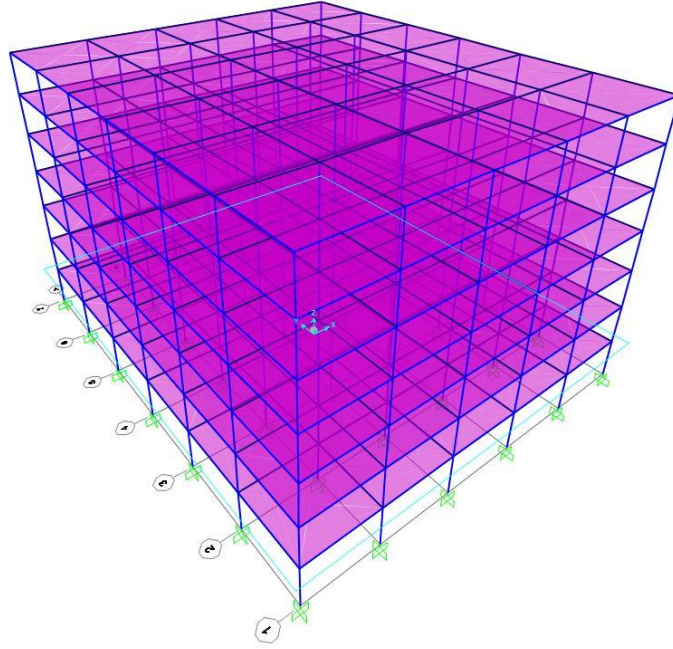
Tasarlanan yapının Sakarya ili Serdivan ilçesinde yapılacak olduğu varsayılmış olup yapılacak konumun enlemi 40.779512, boylamı 30.380889 olarak belirlenmiştir. Zemin ve deprem bilgileri için tasarım spektrumu Şekil 4.14.'te verilmiştir.

#### 4.1. Referans Model Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Oluşturulan referans modeli X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,60 m x 0,60 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,10 m olup çiroz bulunmamaktadır. Şekil 4.1.'de referans model olarak oluşturulan yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.2.'de ise yapının perspektif görünüşü gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Referans model kalıp planı



Şekil 4.2. Referans Model Perspektif Görünümü

Tablo 4.2.'de oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Referans model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

SAP2000 programında beton ve donatı çeliğinin malzeme özellikleri tanımlanması yapılmış, kolon ve kiriş özellikleri ile donatı bilgileri “section designer” bölümünden girilmiştir. Bu tanımlamalar Şekil 4.3. – Şekil 4.11. ile gösterilmiştir.

**S** Material Property Data ×

**General Data**

Material Name and Display Color: C30/37 [Color]

Material Type: Concrete

Material Grade: C30/37

Material Notes: Modify/Show Notes...

---

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 25 Units: KN, m, C

Mass per Unit Volume: 2,5485

---

**Isotropic Property Data**

Modulus Of Elasticity, E: 33000000,

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,000E-05

Shear Modulus, G: 13750000,

---

**Other Properties For Concrete Materials**

Specified Concrete Compressive Strength,  $f_c$ : 30000,

Expected Concrete Compressive Strength: 30000,

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

---

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.3. C30/37 beton tanımlanması

**S** Material Property Data ×

**General Data**

Material Name and Display Color: S420 [Color]

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

---

**Weight and Mass**

Weight per Unit Volume: 76,9729 Units: KN, m, C

Mass per Unit Volume: 7,849

---

**Uniaxial Property Data**

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

Poisson, U: 0,

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G:

---

**Other Properties For Rebar Materials**

Minimum Yield Stress,  $F_y$ : 420000,

Minimum Tensile Stress,  $F_u$ : 550000,

Expected Yield Stress,  $F_{ye}$ : 420000,

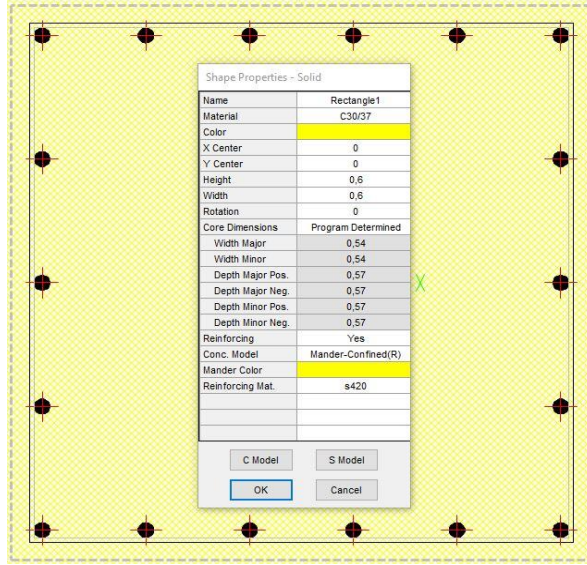
Expected Tensile Stress,  $F_{ue}$ : 550000,

---

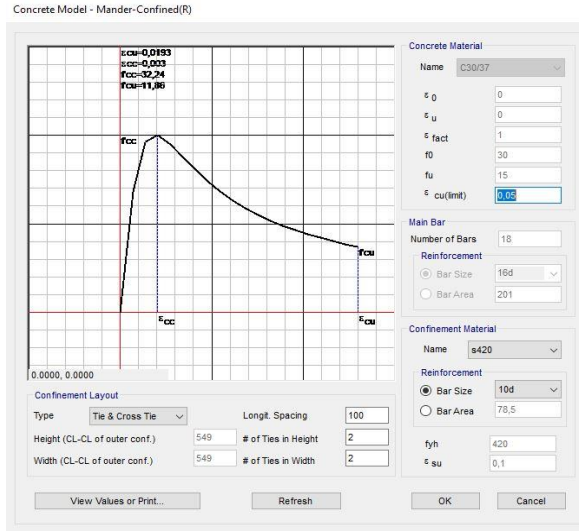
Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

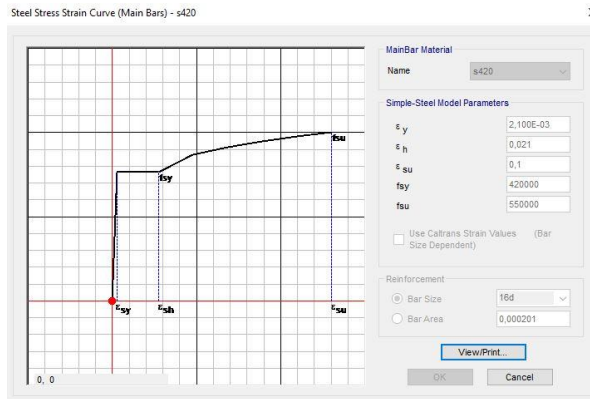
Şekil 4.4. S420 donatı tanımlanması



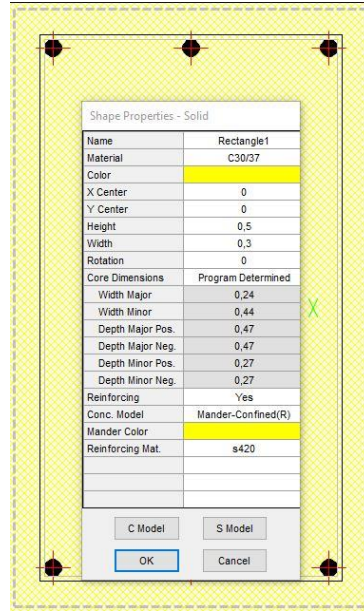
Şekil 4.5. Kolon kesit özelliklerinin tanımlanması



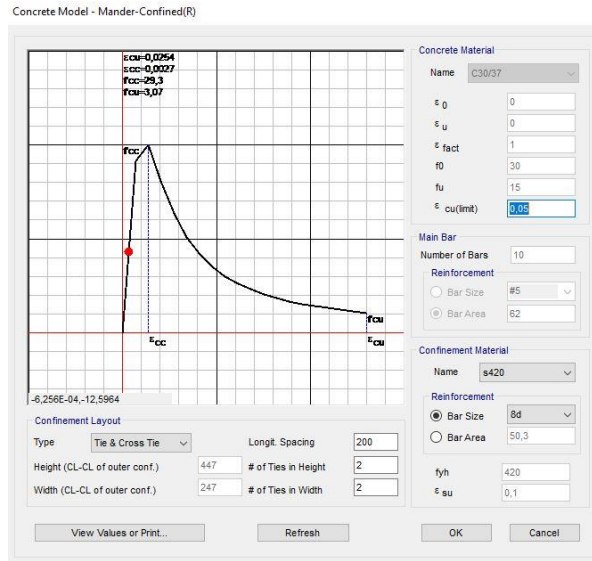
Şekil 4.6. Kolon beton modeli tanımlanması (Mander)



Şekil 4.7. Kolon çelik özelliklerinin tanımlanması

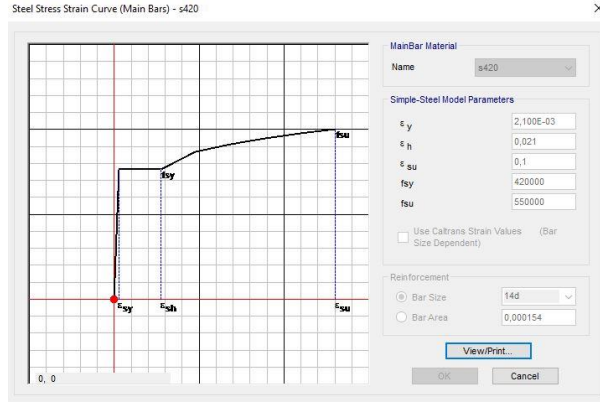


Şekil 4.8. Kiriş kesit özelliklerinin tanımlanması



Şekil 4.9. Kiriş beton modeli tanımlanması (Mander)





Şekil 4.10. Kiriş çelik özelliklerinin tanımlanması

The figure shows two dialog boxes titled "Assign Frame Property Modifiers". Each dialog box contains a list of property modifiers for analysis with input fields for their values:

Property Modifier	Value
Cross-section (Axial) Area	1
Shear Area in 2 Direction	1
Shear Area in 3 Direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2-Axis	0,7
Moment of Inertia about 3-Axis	0,7
Mass	1
Weight	1

Buttons at the bottom include "Reset Form to Default Values", "OK", "Close", and "Apply".

Şekil 4.11. Kolon ve kiriş eğime rijitliği parametreleri

SAP2000 programında modelde kullandığımız malzeme ve kesit özellikleri girildikten sonra sistemdeki elemanlara gelecek olan yüklerin tanımlanması yapılır. Yük tipleri "load patterns" bölümünden yapıya gelen sabit yük ve kendi ağırlığının da hesaba katıldığı "G", yapıya gelen hareketli yükler için "Q", X doğrultusundaki deprem yüklerinin hesabı için "EX", Y doğrultusundaki deprem yüklerinin hesabı için "EY" yük tipleri tanımlanması yapılmıştır. (Şekil 4.12.)

The figure shows a dialog box titled "Define Load Patterns". It contains a table with the following columns: Load Pattern Name, Type, Self Weight Multiplier, and Auto Lateral Load Pattern. The table is as follows:

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
G	Dead	1	
Q	Live	0	
EX	Quake	0	TSC-2018
EY	Quake	0	TSC-2018

Buttons at the bottom include "OK" and "Cancel".

Şekil 4.12. Yük tipleri tanımlanması



X ve Y doğrultusunda tanımlaması yapılan deprem yüklerinin (EX ve EY) zemin parametreleri, SAP2000 programında “Modify Lateral Load Pattern” ekranına girerek tanımlanmıştır (Şekil 4.13.). Tanımlanan zemin değerleri, AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulamasında seçilen koordinatın enlem ve boylam değerleri girilerek (enlem : 40.779512 , boylam : 30.380889) elde edilmiştir (Şekil 4.14.).

**TSC-2018 Seismic Load Pattern**

**Load Direction and Diaphragm Eccentricity**

Global X Direction  
 Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

**Time Period**

Approx. Period Ct (m), x =

Program Calc Ct (m), x =

User Defined T =

**Lateral Load Elevation Range**

Program Calculated

User Specified

Max Z

Min Z

**Seismic Coefficients**

0.2 Sec Spectral Accel, Ss

1 Sec Spectral Accel, S1

Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs

Site Coefficient, F1

**Calculated Coefficients**

SDS = Fs \* Ss

SD1 = F1 \* S1

**Factors**

Response Modification, R

System Overstrength, D

Occupancy Importance, I

Şekil 4.13. Sismik yük tipi parametreleri tanımlanması



## Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

### Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	Mehmet Cahit Elmas Tez	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak - katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $C_u < 25$ kPa ) içeren profiller
Enlem:	40.779512°	
Boylam	30.380889°	

### Çıktılar

$S_S = 1.562$	$S_1 = 0.428$	$PGA = 0.635$	$PGV = 50.444$
---------------	---------------	---------------	----------------

$S_S$  : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

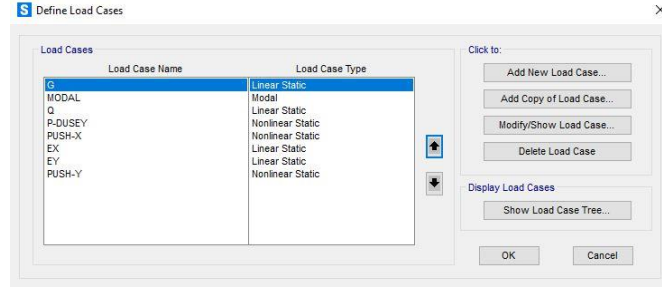
$PGA$  : En büyük yer ivmesi [g]

$PGV$  : En büyük yer hızı [cm/sn]

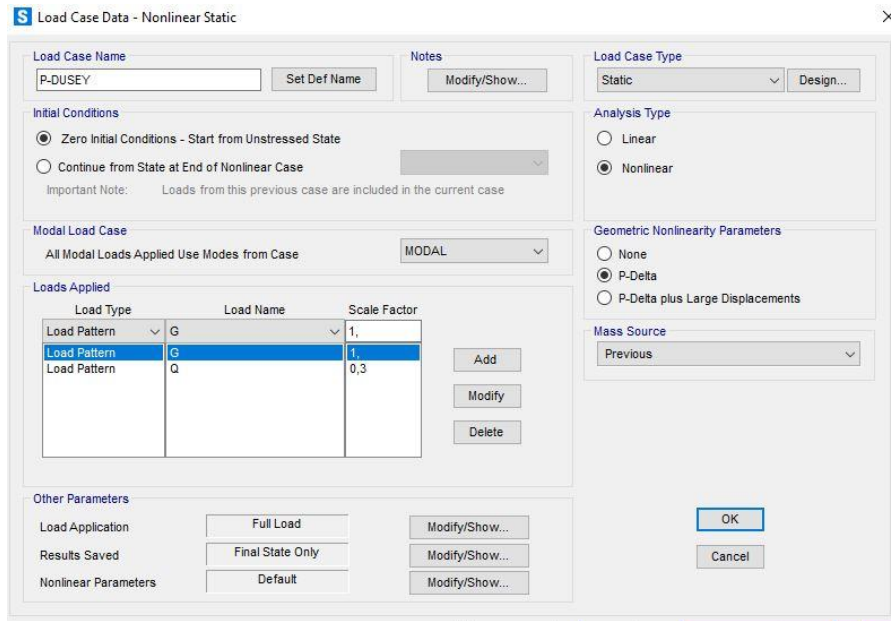
Şekil 4.14. TBDY 2018 tasarım spektrumları (AFAD, 2022)

Yük tipleri tanımlaması yapıldıktan sonra “load cases” bölümünden itme analizi başlangıç durumu için “P-DUSEY”, X doğrultusunda itme analizi için “PUSH-X”, Y doğrultusunda itme analizi için “PUSH-Y” yükleme durumları tanımlanmıştır. (Şekil 4.15.) “P-DUSEY” başlangıç için yükleme durumu, yapıya etkiyen düşey yükler gözönüne alınarak uygulandığından “G” ve “Q” yüklemeleri baz alınır. Analiz tipi, doğrusal olmayan analiz uygulandığından dolayı “non-linear”, geometrik lineer

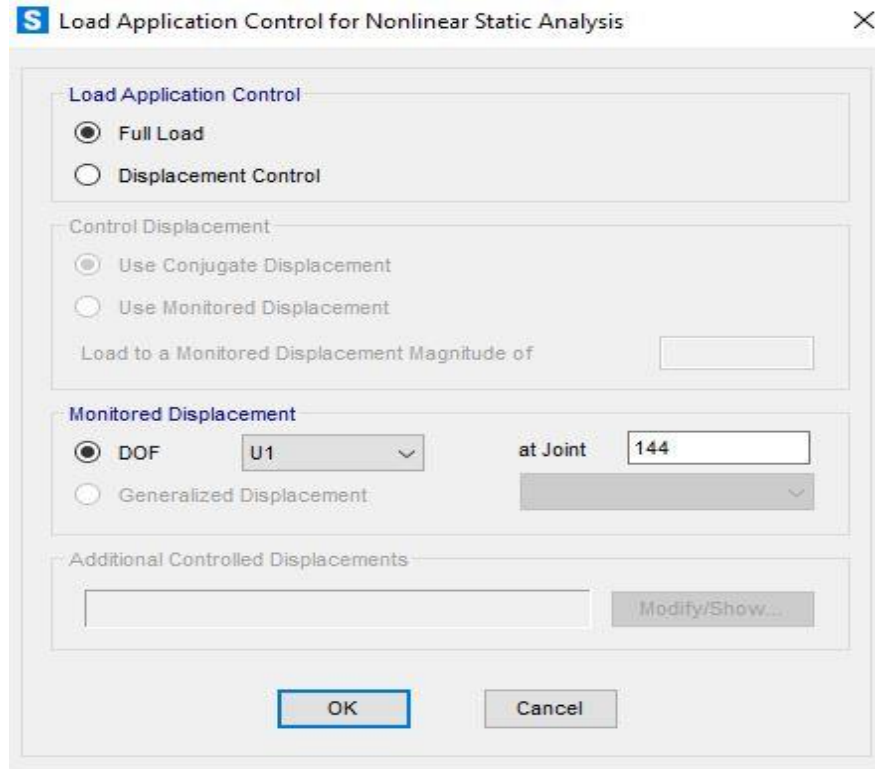
olmama durumu “P-Delta” seçilir ve hareketli yük için TBDY-2018’de yer alan konut tipi yapılar için 0,30 azaltma katsayısı uygulanır (Şekil 4.16.). Yapıya itme uygulanacak “144” noktası Şekil 4.17.’de tanımlanmış ve üç boyutlu model üzerinde turuncu renkli çember içerisinde Şekil 4.18.’de gösterilmiştir.



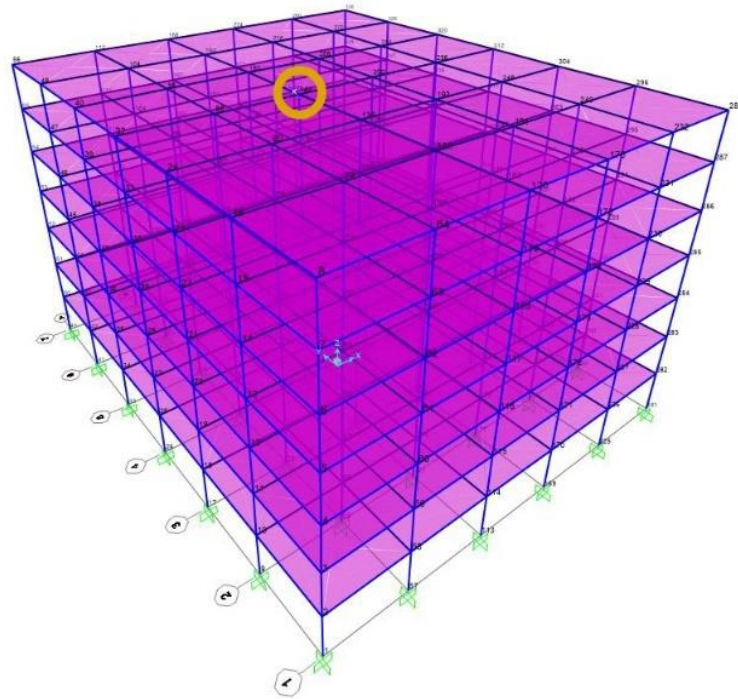
Şekil 4.15. Yükleme durumları tanımlanması



Şekil 4.16. P-DUSEY parametrelerinin tanımlanması



Şekil 4.17. P-DUSEY uygulanacak nokta tanımlanması



Şekil 4.18. 3 boyutlu modelde itmenin uygulanacağı "144" nolu noktanın gösterimi

Başlangıç durumu tanımlaması yapıldıktan sonra itme analizinin yapılacağı X ve Y doğrultuları için yükleme durumları tanımlanmıştır. “PUSH-X” için yükleme tipi EX (Şekil 4.19.) ve itme uygulanacak nokta tanımlanmış (Şekil 4.20.), “PUSH-Y” için yükleme tipi EY (Şekil 4.21.) ve itme uygulanacak nokta (Şekil 4.22.) tanımlanmıştır.

**Load Case Data - Nonlinear Static**

Load Case Name: PUSH-X

Load Case Type: Static

Analysis Type: Nonlinear

Modal Load Case: MODAL

Load Type	Load Name	Scale Factor
EX	1	1

Other Parameters: Displ Control, Multiple States, Nonlinear Parameters

Şekil 4.19. PUSH-X parametreleri tanımlanması

**Load Application Control for Nonlinear Static Analysis**

Load Application Control: Displacement Control

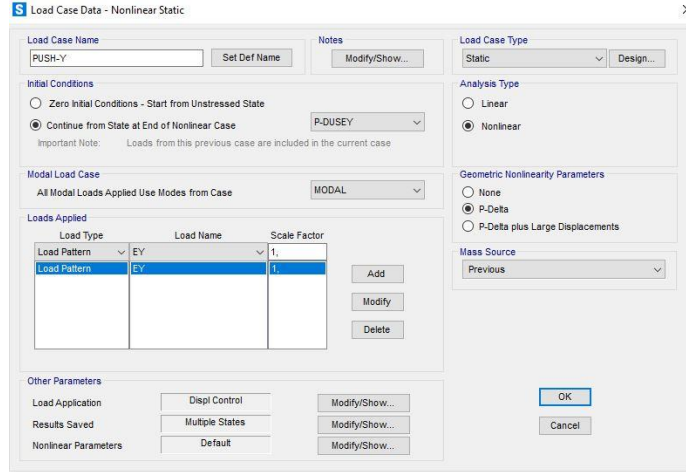
Control Displacement: Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 0,6

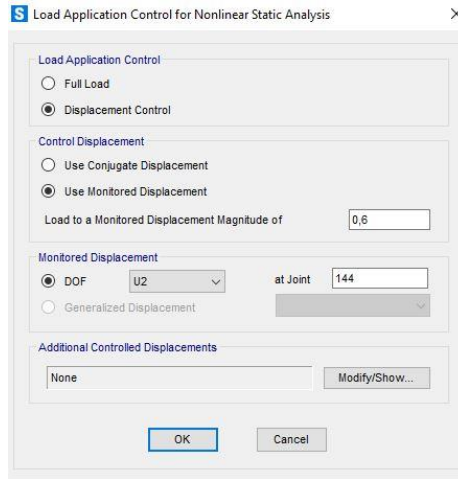
Monitored Displacement: DOF U1 at Joint 144

Additional Controlled Displacements: None

Şekil 4.20. PUSH-X uygulanacak nokta ve yerdeğiştirme tanımlanması



Şekil 4.21. PUSH-Y parametreleri tanımlanması



Şekil 4.22. PUSH-Y uygulanacak nokta ve yerdeğiştirme tanımlanması

Oluşturulan modelde, yapının kat seviyelerindeki düğüm noktalarının etki eden yatay yükler altında beraber hareket edebilmesi için rijit diyafram atamaları yapıldı. “Load Combinations” bölümünden “G+nQ” yük kombinasyonu tanımlaması yapıldı.

Sistemdeki kolon ve kiriş uçlarına plastik mafsalları tanımlamaları yapıldı Şekil (4.23.-4.25.) ve şimdiye kadar tanımlanan malzeme, eleman ve yük durumlarının “assign” fonksiyonu ile sisteme atamaları yapıldı.

**Assign Frame Hinges**

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	1	
Auto P-M2-M3	Relative To Clear Length	0	
Auto P-M2-M3	Relative To Clear Length	1	

Buttons: Add Hinge..., Modify Hinge..., Delete Hinge

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Current Hinge Information  
 Type: From Tables In ASCE 41-13  
 Table: Table 10-8 (Concrete Columns)  
 DOF: 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: 294  
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 588  
 All 588 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

Buttons: OK, Close, Apply

Şekil 4.23. Mafsals atama ekranı

**Auto Hinge Assignment Data**

Auto Hinge Type  
 From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table  
 Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom

M2  P-M2  Parametric P-M2-M3  
 M3  P-M3  
 M2-M3  P-M2-M3

P and V Values From  
 Case/Combo  User Value  
 G+1Q V2: V3:

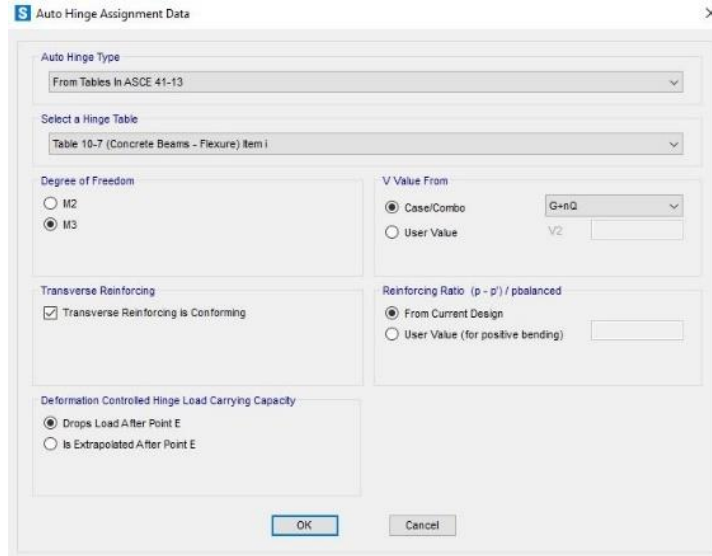
Concrete Column Failure Condition  
 Condition i - Flexure  Condition iv - Development  
 Condition ii - Flexure/Shear  
 Condition iii - Shear

Shear Reinforcing Ratio  $\rho = A_v / (b_w \cdot s)$   
 From Current Design  
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity  
 Drops Load After Point E  
 Is Extrapolated After Point E

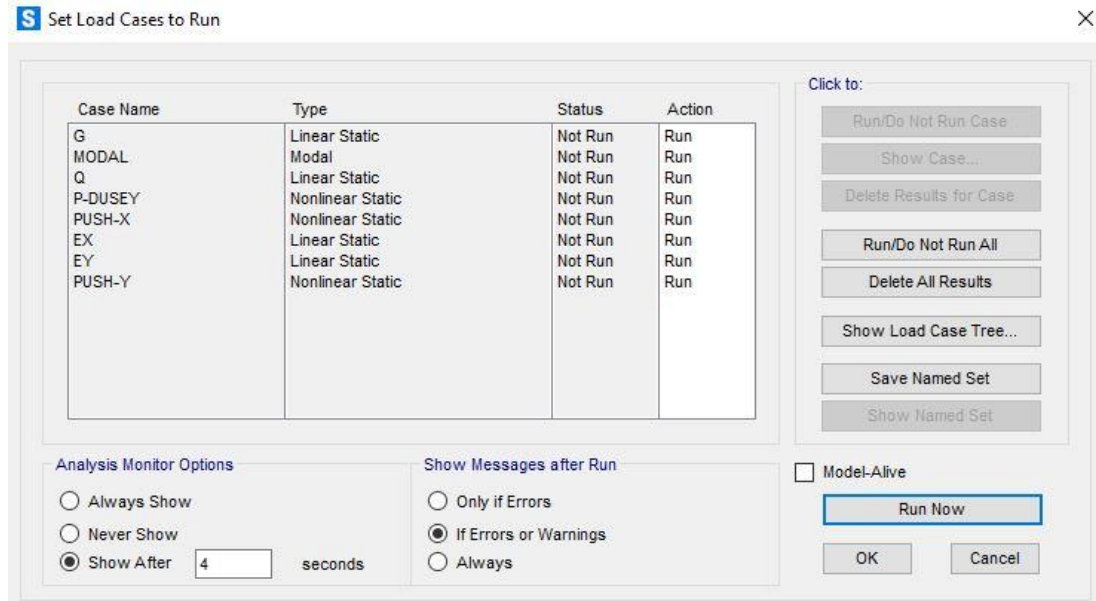
Buttons: OK, Cancel

Şekil 4.24. Kolon mafsals atama ekranı



Şekil 4.25. Kiriş mafsals atama ekranı

Analiz ayarları ekranında tanımlaması yapılan yükleme durumları Şekil 4.26.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. Analiz ayarları ve yükleme durumları

Referans modelin analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.3.'de gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod



periyodu x doğrultusunda 1,386 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,370 sn olarak hesaplanmıştır.

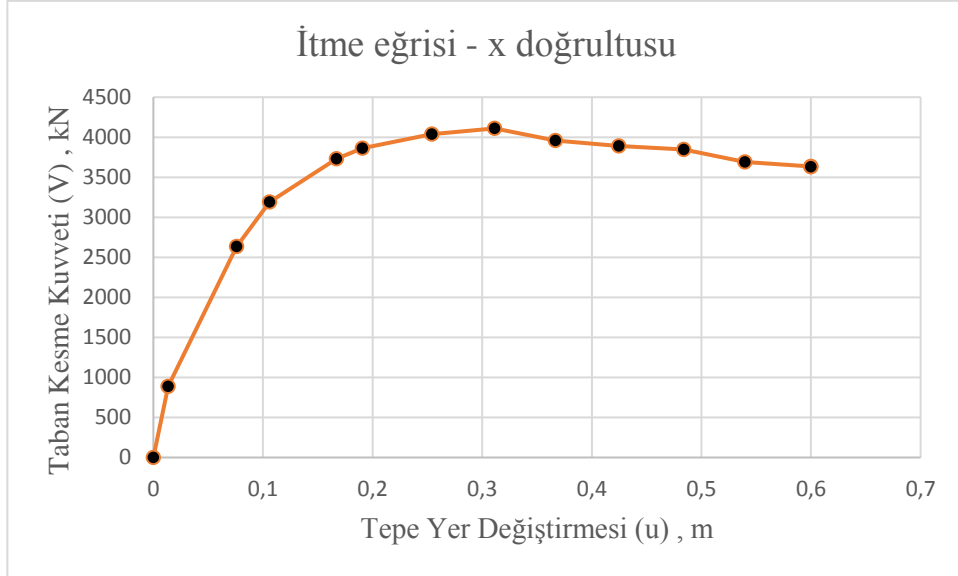
Tablo 4.3. Referans model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,386	0,722
2	1,370	0,730
3	1,253	0,798
4	0,417	2,401
5	0,413	2,423
6	0,380	2,633
7	0,211	4,731
8	0,210	4,761
9	0,195	5,124
10	0,126	7,925
11	0,126	7,957
12	0,118	8,488

Referans model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan “PUSH-X” itme eğrisi sonuçları Tablo 4.4.’te, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.27.’de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.5.’te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Referans model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013415	886,04
2	0,076056	2634,37
3	0,106051	3190,23
4	0,166956	3731,67
5	0,190878	3861,89
6	0,253992	4039,07
7	0,311366	4109,77
8	0,366729	3960,40
9	0,424547	3891,46
10	0,483813	3847,30
11	0,539866	3691,74
12	0,599899	3632,78
13	0,6	3632,54



Şekil 4.27. Referans model "PUSH-X" itme eğrisi

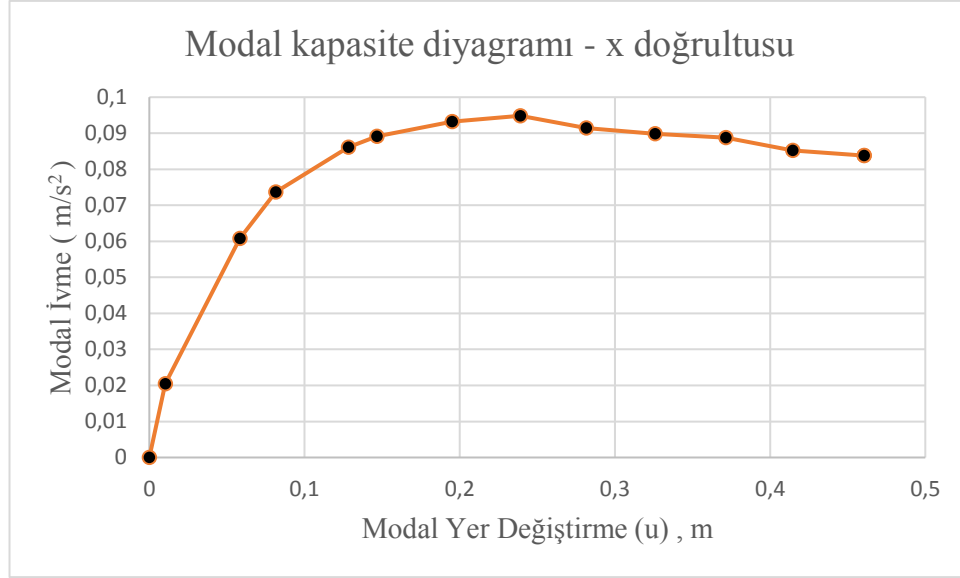
Tablo 4.5. Referans model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,386
Kütle katılım oranı	0,8030
Toplam Kütle (M)	4417,36
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,124
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.5.'te gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır (Tablo 4.6.) ve Şekil 4.28.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

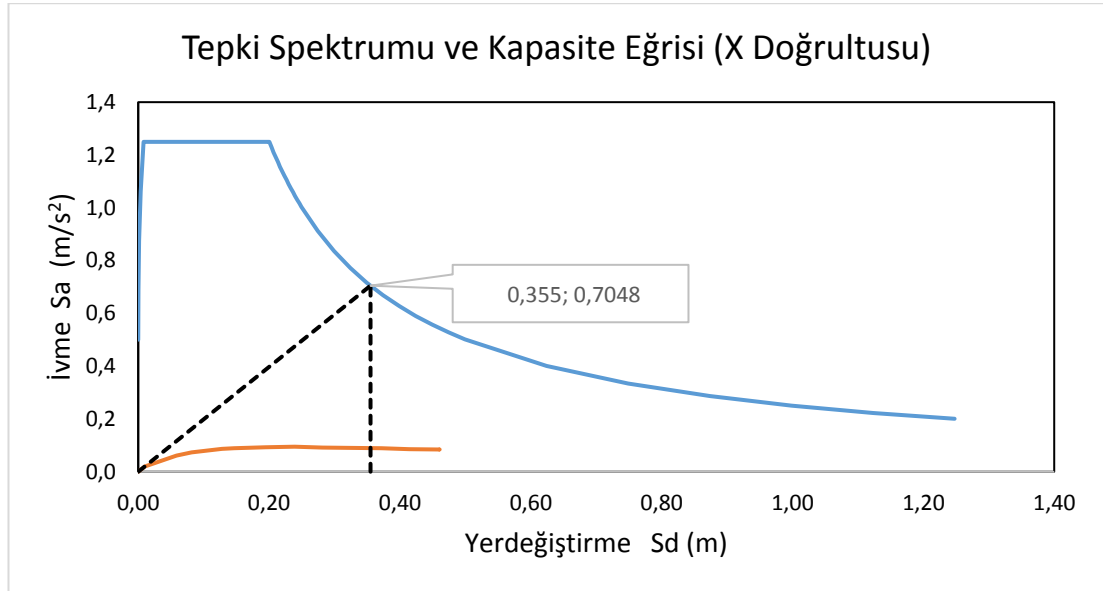
Tablo 4.6. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01030	0,020
2	0,05839	0,060
3	0,08141	0,074
4	0,12817	0,086
5	0,14653	0,089
6	0,19498	0,093
7	0,23903	0,095
8	0,28153	0,091
9	0,32591	0,090
10	0,37141	0,089
11	0,41444	0,085
12	0,46052	0,84
13	0,46060	0,84



Şekil 4.28. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

Referans model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.29.'da gösterilmiş ve 0,355 m olarak bulunmuştur.



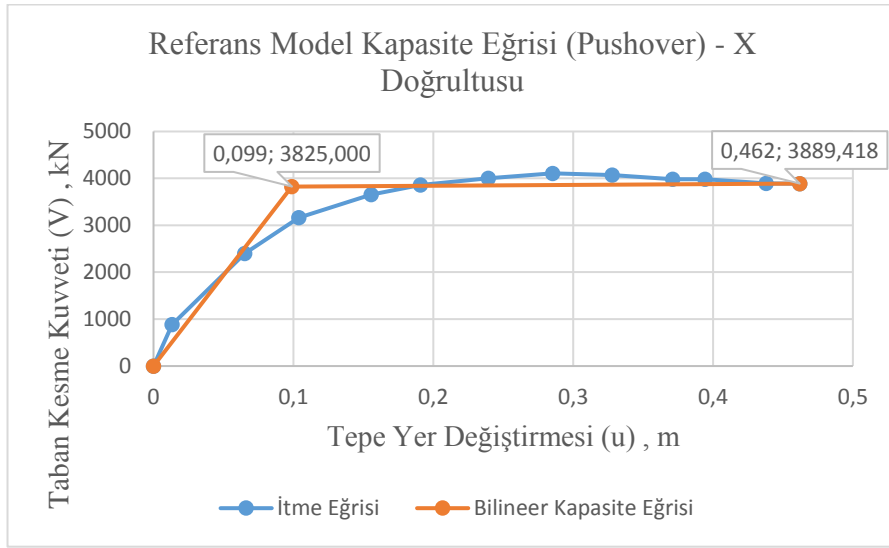
Şekil 4.29. Referans model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

Denklem 4.1 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi

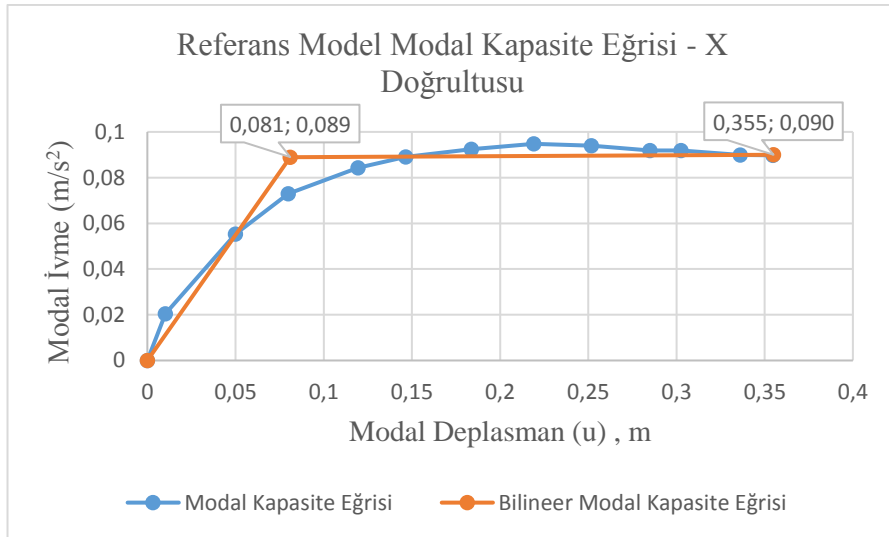
Şekil 4.30. ve 4.31.'de gösterilmiştir. Yapılan bilineerizasyon işlemi için excel fonksiyonu yazılmış ve grafikler yaklaşık olarak idealize edilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.1)$$

$$U_{px} = 66,124 \times 0,0197 \times 0,355 = 0,462 \text{ m}$$



Şekil 4.30. Referans model kapasite eğrisi



Şekil 4.31. Referans model modal kapasite eğrisi

Referans model için Şekil 4.30.'daki değerler yardımıyla yapıya ait süneklilik Denklem 4.2 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.2)$$

$$\mu_x = \frac{0,462}{0,099} = 4,667$$

Referans model için Şekil 4.30.'daki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.3 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.3)$$

$$k_x = \frac{3825}{99} = 38,636$$

Referans model için Şekil 4.30. ve Şekil 4.31.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.4 – Denklem 4.7 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.4)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.5)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.6)$$

$$R_{yx} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.7)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7048}{0,089} = 7,919$$

$$f_d = \frac{3825}{1,5} = 2550$$

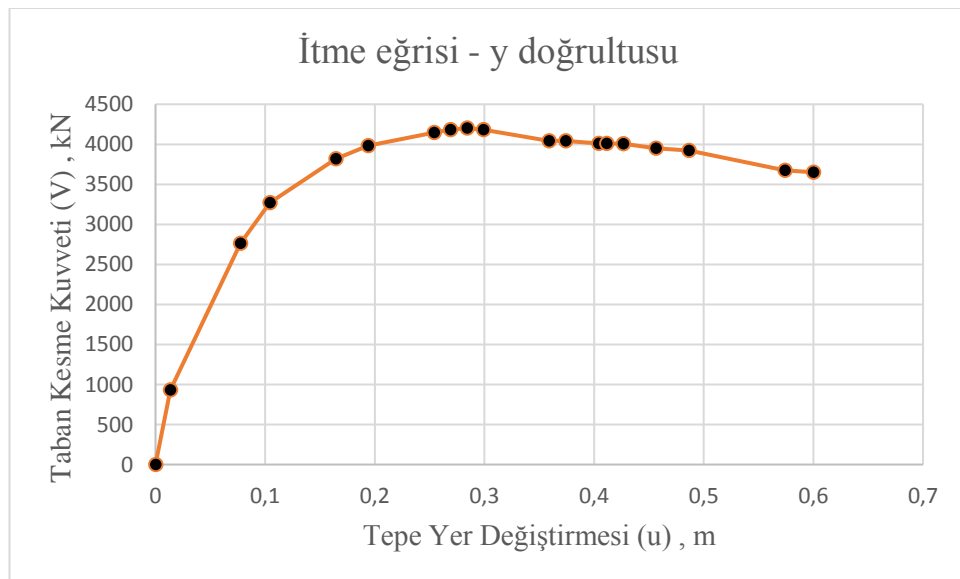
$$f_e = 7,919 \times 3825 = 30290,562 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{30290,562}{2550} = 11,879 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

Referans model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.7.'de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.32.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.8.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Referans model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013545	932,51
2	0,07747	2763,028
3	0,104377	3268,958
4	0,164489	3817,505
5	0,194047	3980,907
6	0,254047	4144,882
7	0,269047	4180,659
8	0,284047	4200,97
9	0,299047	4183,878
10	0,359047	4044,265
11	0,374047	4042,113
12	0,404047	4010,428
13	0,411547	4010,688
14	0,426547	4006,116
15	0,456547	3948,838
16	0,486547	3920,546
17	0,574022	3674,437
18	0,6	3649,466



Şekil 4.32. Referans model "PUSH-Y" itme eğrisi

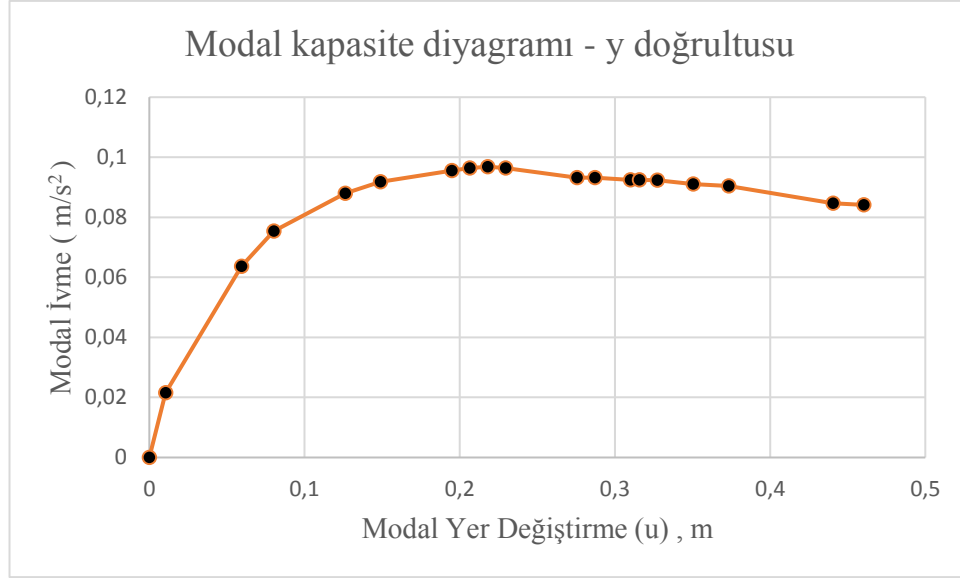
Tablo 4.8. Referans model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,3702
Kütle katılım oranı	0,8039
Toplam Kütle (M) ton	4422,26
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,161318
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.8.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır (Tablo 4.9.) ve Şekil 4.33.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

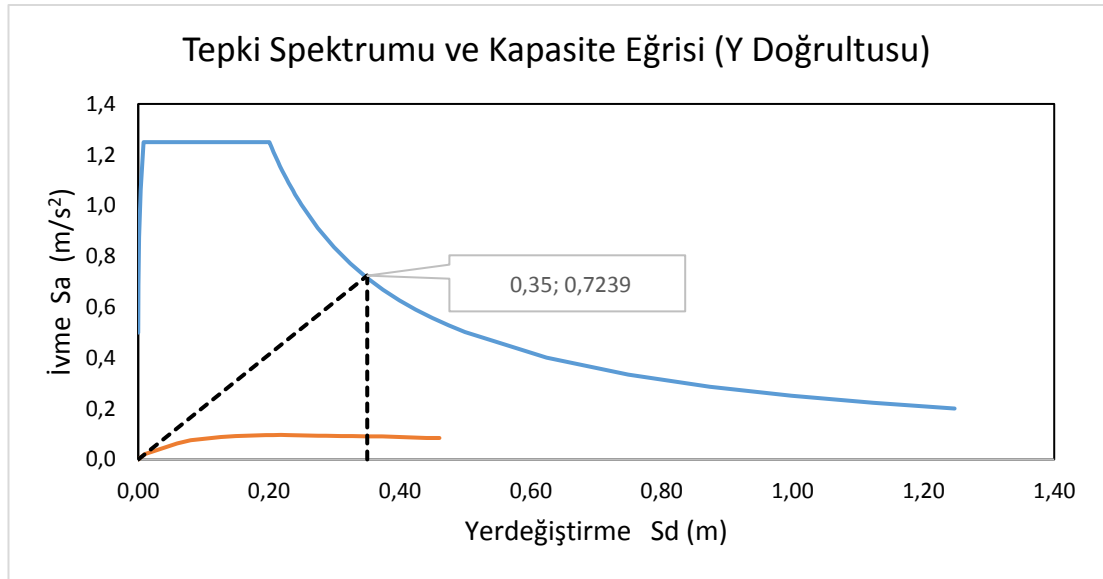
Tablo 4.9. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,010392	0,022
2	0,059438	0,064
3	0,080082	0,075
4	0,126202	0,088
5	0,148880	0,092
6	0,194914	0,096
7	0,206423	0,096
8	0,217931	0,097
9	0,229440	0,093
10	0,275474	0,093
11	0,286983	0,092
12	0,310000	0,092
13	0,315754	0,092
14	0,327263	0,091
15	0,350280	0,090
16	0,440411	0,085
17	0,460342	0,084



Şekil 4.33. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

Referans model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.34.'te gösterilmiştir.



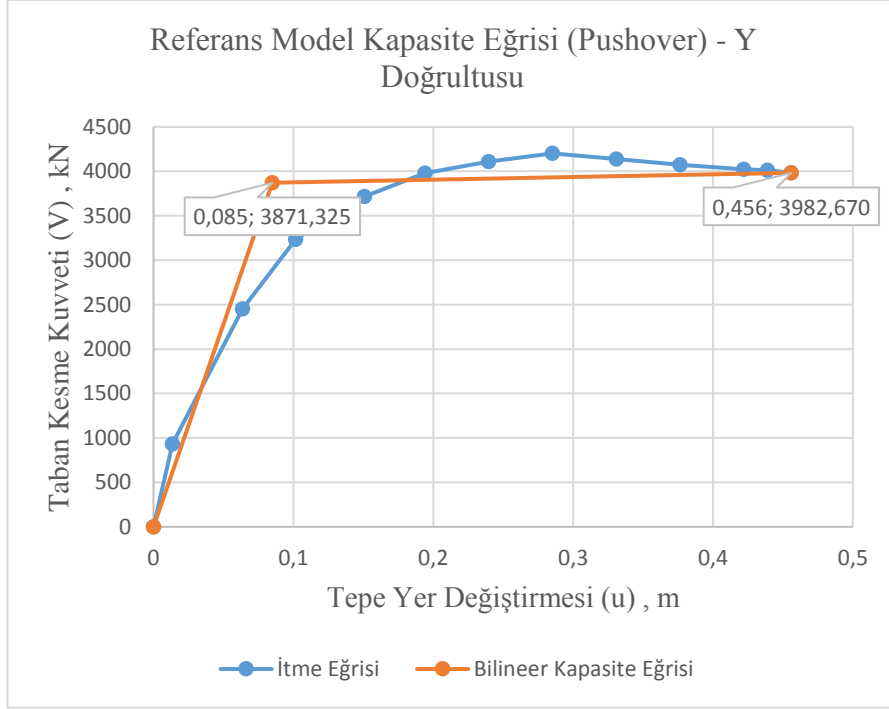
Şekil 4.34. Referans model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

Denklem 4.8 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşana kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.35. ve 4.36.'da gösterilmiştir.

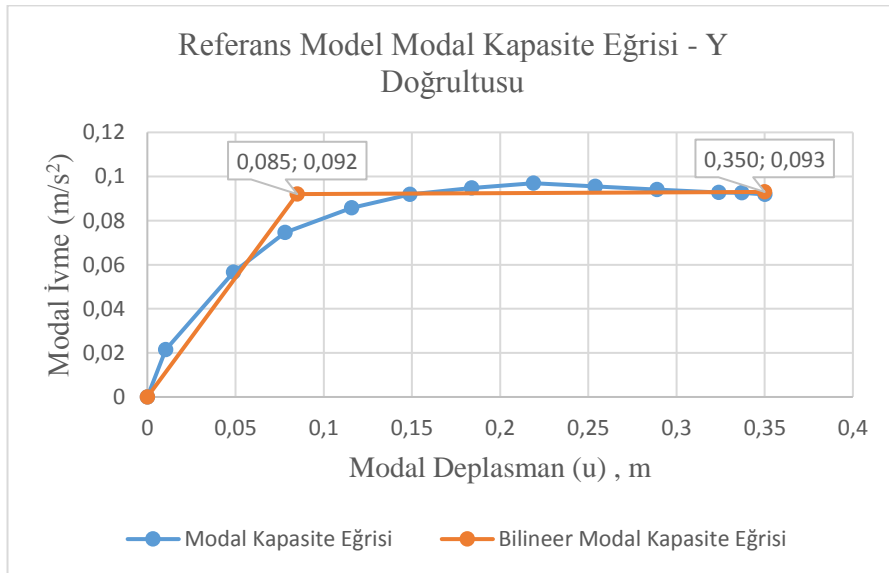


$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.8)$$

$$U_{py} = 66,161318 \times 0,0197 \times 0,35 = 0,456 \text{ m}$$



Şekil 4.35. Referans model kapasite eğrisi



Şekil 4.36. Referans model modal kapasite eğrisi

Referans model için Şekil 4.35.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.9 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.9)$$

$$\mu_y = \frac{0,456}{0,085} = 5,37$$

Referans model için Şekil 4.35.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.10 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.10)$$

$$k_y = \frac{3871,325}{85} = 45,55$$

Referans model için Şekil 4.35. ve Şekil 4.36.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.11 – Denklem 4.14 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.11)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.12)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.13)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.14)$$

$$R_{yy} = \frac{0,7239}{0,092} = 7,868$$

$$f_d = \frac{3871,325}{1,5} = 2580,883$$

$$f_e = 7,868 \times 3871,325 = 30461,437 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{30461,437}{2580,883} = 11,803 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.2. Model – A1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-A1, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,40 m x 0,40 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,10 m olup çiroz bulunmamaktadır.

Tablo 4.10.'da oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.10. A-1 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	400	400	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-A1 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.11.'de gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,711 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,694 sn olarak hesaplanmıştır.

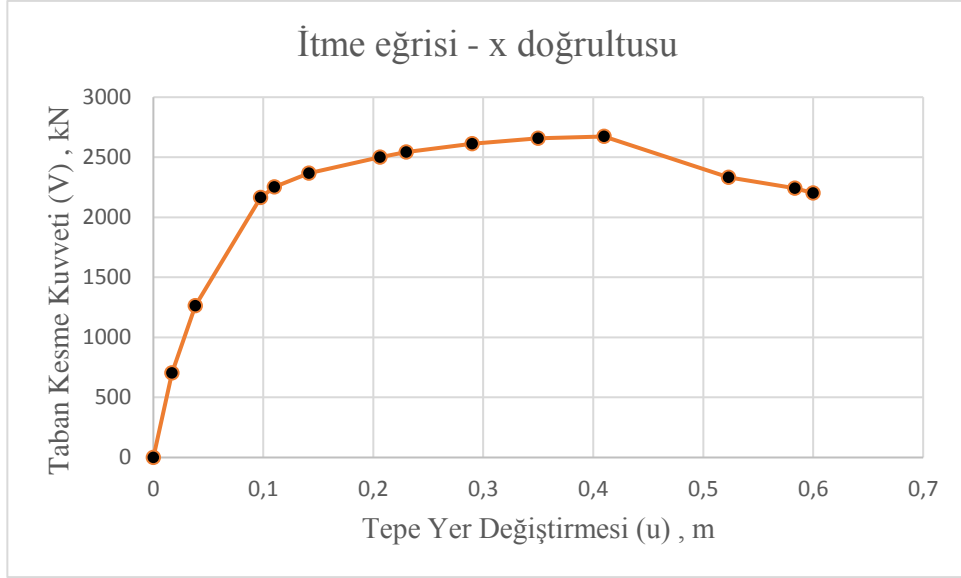
Tablo 4.11. Referans model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,711	0,585
2	1,694	0,590
3	1,567	0,638
4	0,551	1,813
5	0,546	1,830
6	0,507	1,973
7	0,312	3,203
8	0,310	3,227
9	0,289	3,463
10	0,209	4,783
11	0,208	4,809
12	0,195	5,136

Model A-1 için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan “PUSH-X” itme eğrisi sonuçları Tablo 4.12.’de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.37.’de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.13.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. Referans model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,017069	702,71
2	0,038259	1263,07
3	0,097418	2164,98
4	0,109943	2252,40
5	0,141462	2366,63
6	0,206148	2499,65
7	0,229972	2543,07
8	0,289972	2611,77
9	0,349972	2658,12
10	0,409972	2672,65
11	0,523251	2332,76
12	0,58325	2241,39
13	0,60000	2201,99



Şekil 4.37. A-1 model "PUSH-X" itme eğrisi

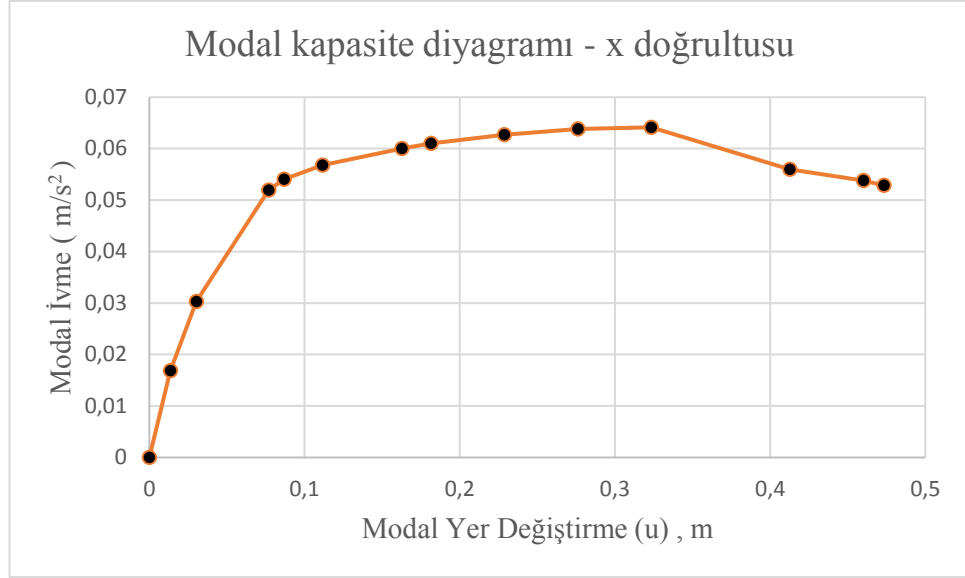
Tablo 4.13. A-1 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,711
Kütle katılım oranı	0,8407
Toplam Kütle (M)	4247,02
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{X1}$ )	65,0143
Modal büyüklük $\phi_{XN1}$	0,0195

Tablo 4.13.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.14. ve Şekil 4.38.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

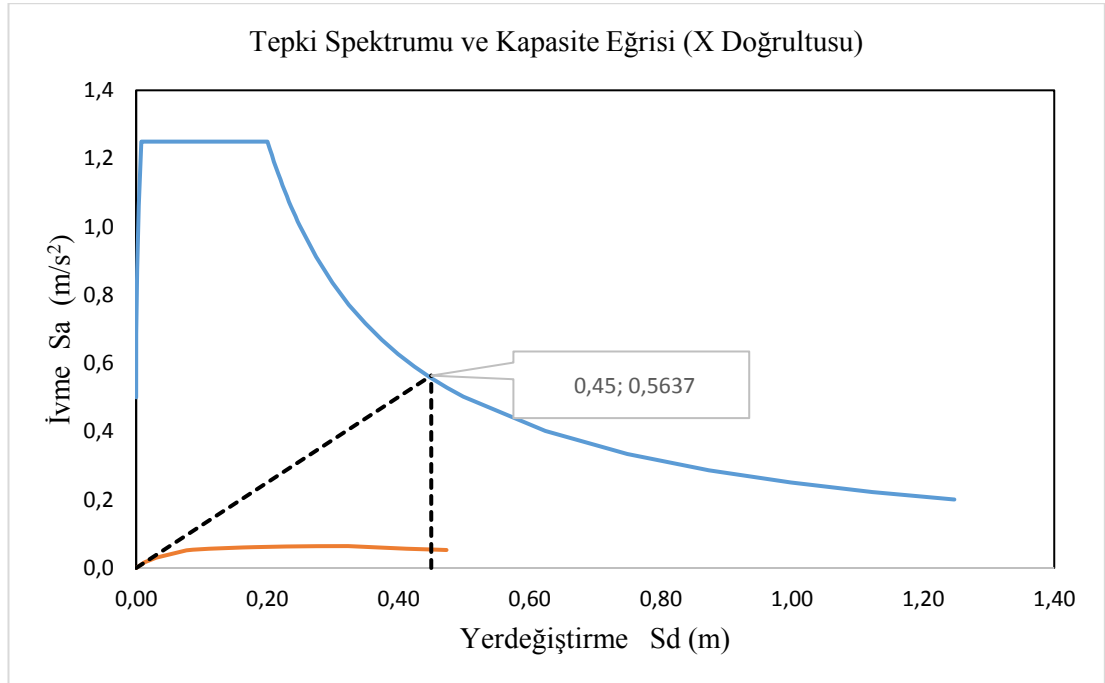
Tablo 4.14. A-1 Model X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01346	0,017
2	0,03018	0,030
3	0,07684	0,052
4	0,08672	0,054
5	0,11158	0,057
6	0,16261	0,060
7	0,18140	0,061
8	0,22872	0,063
9	0,27605	0,064
10	0,32338	0,064
11	0,41273	0,056
12	0,46006	0,054
13	0,47327	0,053



Şekil 4.38. Model A-1 X doğrultusu modal kapasite diyagramı

Model A-1 için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.39.'da gösterilmiş ve 0,45 m olarak bulunmuştur.

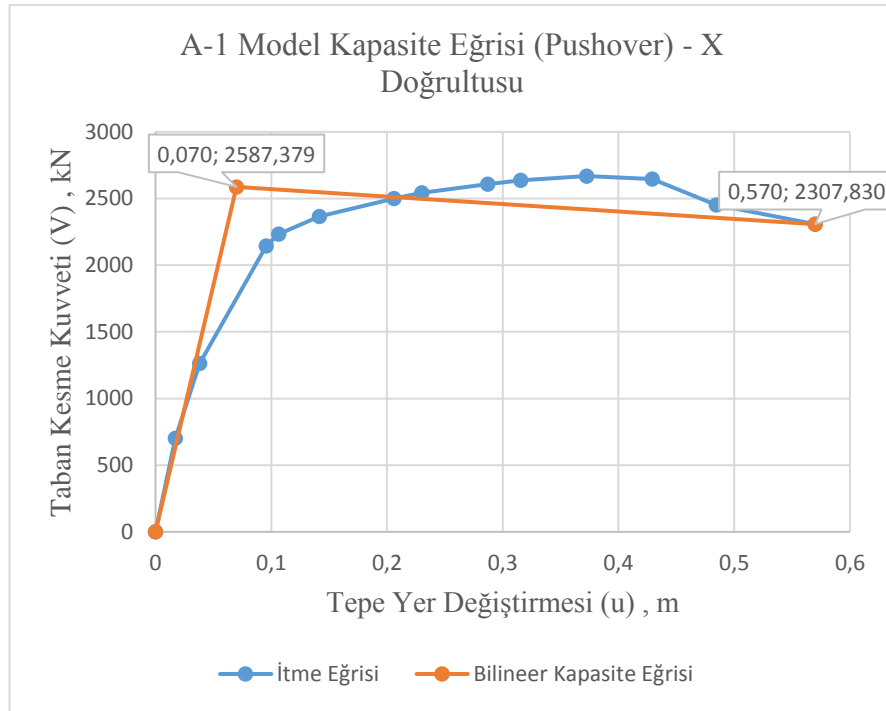


Şekil 4.39. Model A-1 X doğrultusu modal yer değiştirme istemi

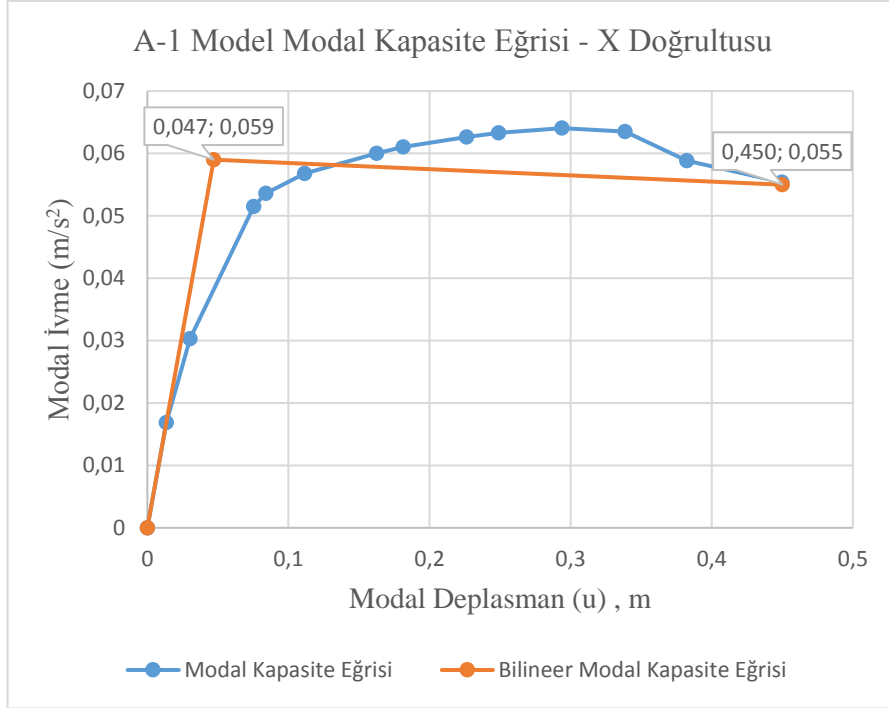
Denklem 4.15 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.40. ve Şekil 4.41.'de gösterilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.15)$$

$$U_{px} = 65,0143 \times 0,0195 \times 0,45 = 0,57 \text{ m}$$



Şekil 4.40. A-1 model kapasite eğrisi



Şekil 4.41. A-1 model modal kapasite eğrisi

A-1 model için Şekil 4.40.'taki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.16 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.16)$$

$$\mu_x = \frac{0,57}{0,07} = 8,143$$

A-1 model için Şekil 4.40.'taki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.17 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.17)$$

$$k_x = \frac{2587,379}{70} = 36,963$$

A-1 model için Şekil 4.40. ve Şekil 4.41.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.18 – Denklem 4.20 ile hesaplanır.



$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.18)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.19)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.20)$$

$$R_{yx} = \frac{0,5637}{0,059} = 9,554$$

$$f_d = \frac{2587,379}{1,5} = 1724,919$$

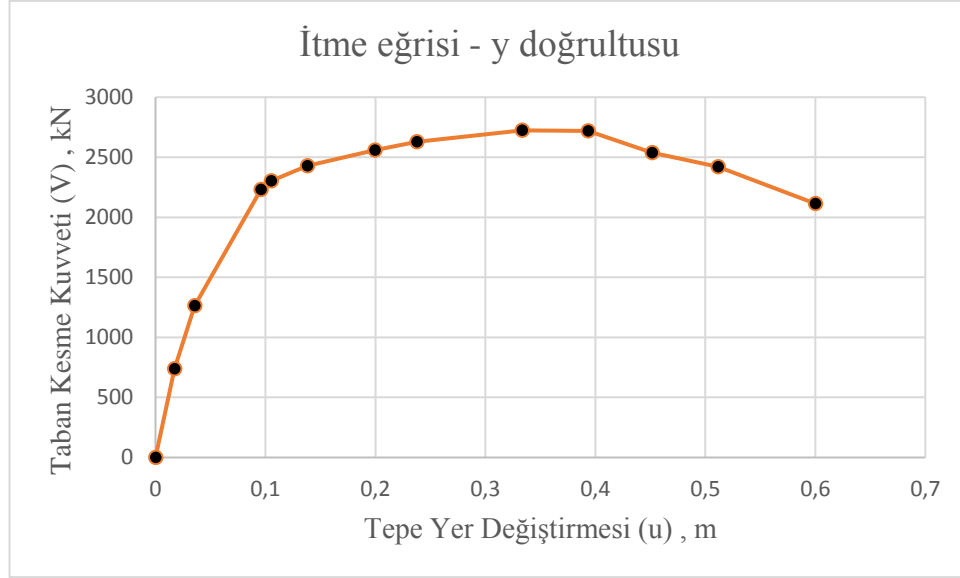
$$f_e = 9,554 \times 2587,379 = 24720,433 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{24720,433}{1724,919} = 14,331 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

A-1 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.15.'te, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.42.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.16.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.15. A-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,017248	738,676
2	0,035645	1262,727
3	0,095985	2231,161
4	0,105132	2302,118
5	0,138078	2429,198
6	0,199497	2559,08
7	0,237629	2627,824
8	0,33328	2723,715
9	0,393228	2719,698
10	0,451646	2537,988
11	0,511411	2421,142
12	0,6	2113,836



Şekil 4.42. A-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi

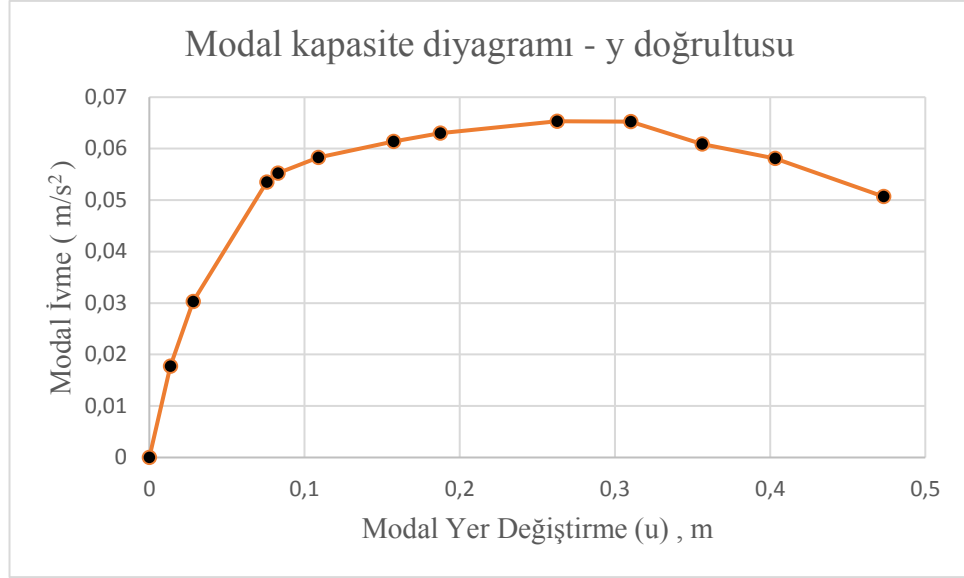
Tablo 4.16. A-1 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,694
Kütle katılım oranı	0,8414
Toplam Kütle (M) ton	4250,41
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{X1}$ )	65,040429
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0195

Tablo 4.16.'da gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.17. ve Şekil 4.43.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

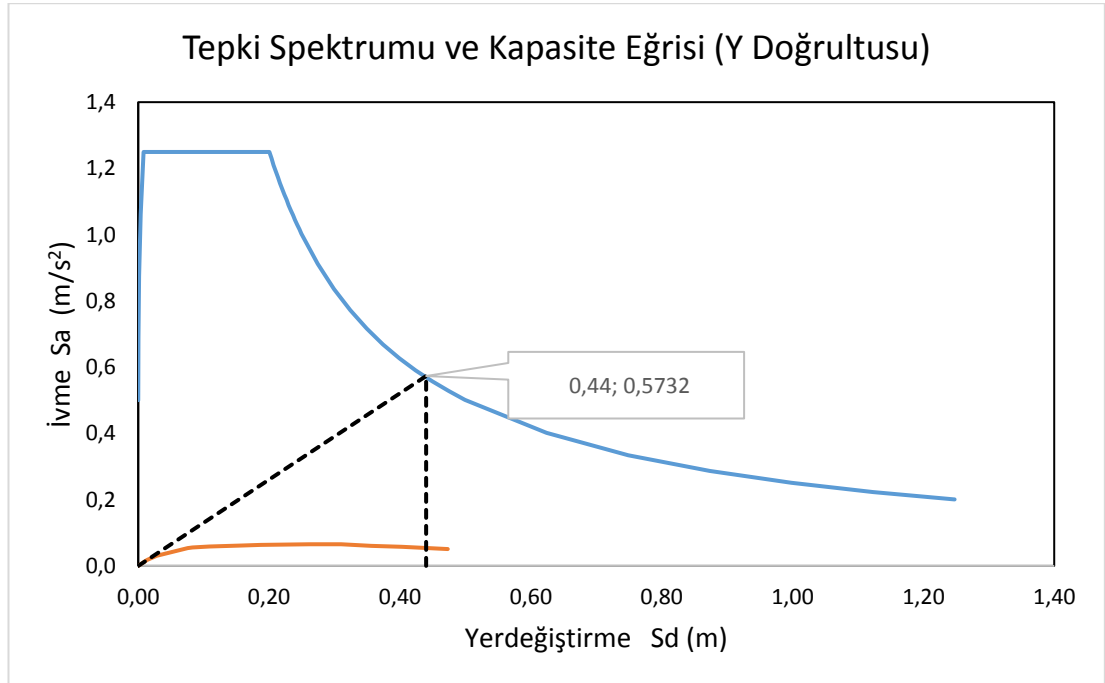
Tablo 4.17. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01360	0,017
2	0,02810	0,030
3	0,07568	0,054
4	0,08289	0,055
5	0,10887	0,058
6	0,15730	0,061
7	0,18736	0,063
8	0,26278	0,065
9	0,31005	0,065
10	0,35611	0,061
11	0,40323	0,058
12	0,47308	0,051



Şekil 4.43. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

A-1 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.44.'te gösterilmiştir.

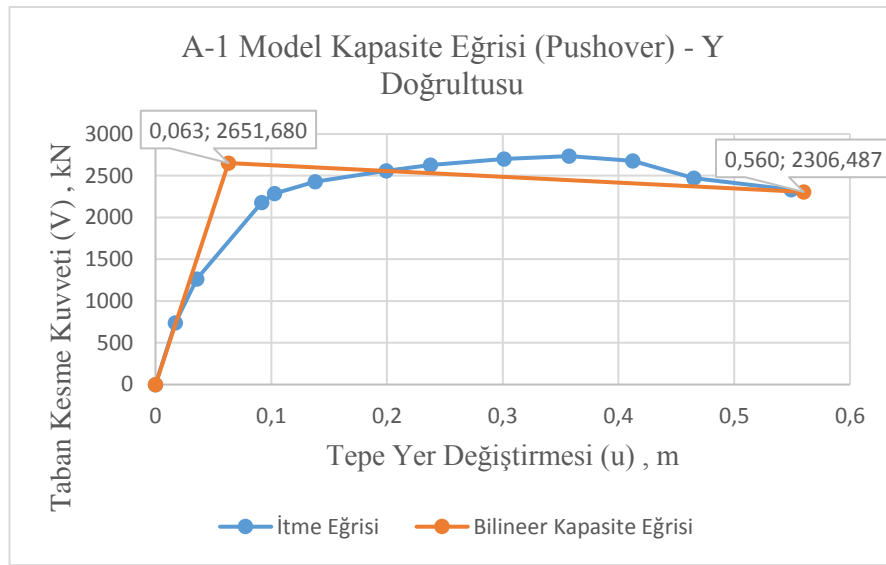


Şekil 4.44. A-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

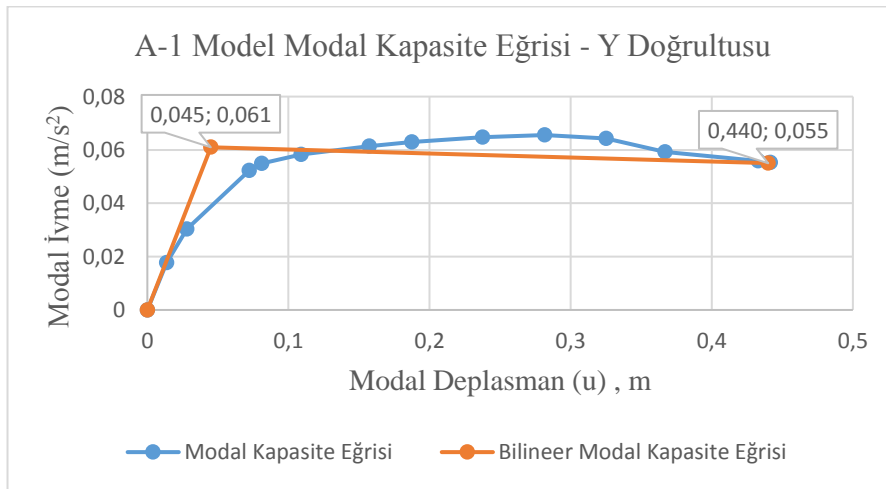
Denklem 4.21 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.45. ve Şekil 4.46.'da gösterilmiştir.

$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.21)$$

$$U_{py} = 65,040429 \times 0,0195 \times 0,44 = 0,56 \text{ m}$$



Şekil 4.45. A-1 model kapasite eğrisi



Şekil 4.46. A-1 model modal kapasite eğrisi

A-1 model için Şekil 4.45.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.22 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.22)$$

$$\mu_y = \frac{0,56}{0,063} = 8,889$$

A-1 model için Şekil 4.45.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.10 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.23)$$

$$k_y = \frac{2651,68}{63} = 42,09$$

A-1 model için Şekil 4.45. ve Şekil 4.46.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.24 – Denklem 4.27 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.24)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.25)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.26)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.27)$$

$$R_{yy} = \frac{0,5732}{0,061} = 9,397$$

$$f_d = \frac{2651,68}{1,5} = 1767,787$$

$$f_e = 9,397 \times 2651,68 = 24917,018 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{24917,018}{1767,787} = 14,095 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

### 4.3. Model – A2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-A2, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,70 m x 0,70 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon donatı etriye aralığı 0,10 m olup çiroz bulunmamaktadır.

Tablo 4.18.'de oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.18. A-2 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	700	700	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-A2 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.19.'da gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,309 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,295 sn olarak hesaplanmıştır.

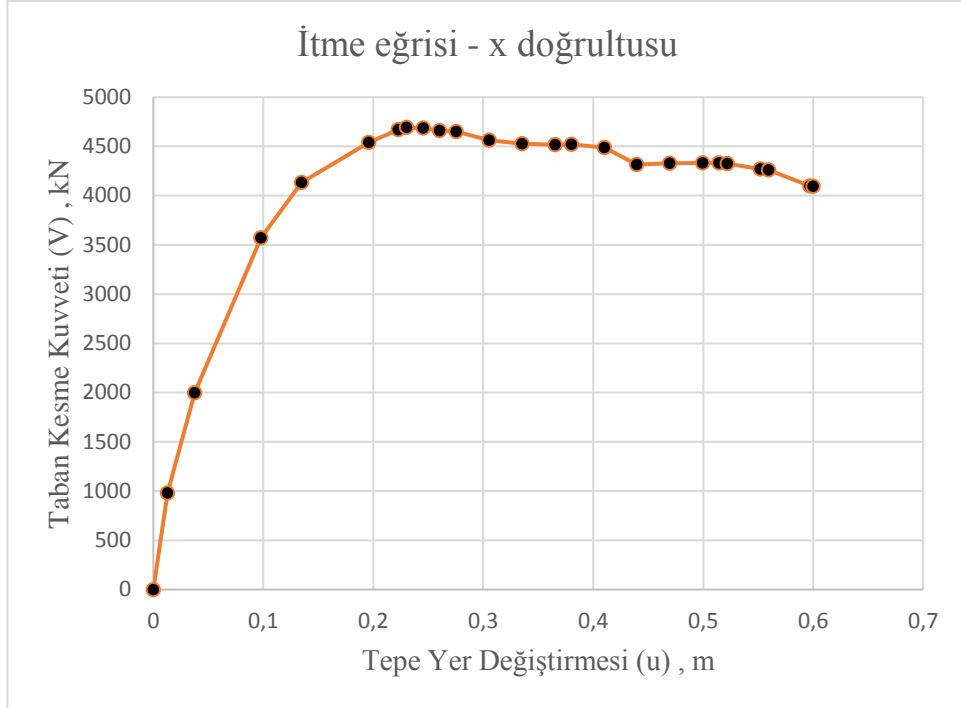
Tablo 4.19. A-2 model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,309	0,764
2	1,295	0,772
3	1,170	0,885
4	0,376	2,657
5	0,373	2,680
6	0,341	2,930
7	0,180	5,569
8	0,179	5,597
9	0,166	6,027
10	0,102	9,764
11	0,102	9,792
12	0,096	10,426

A-2 model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan “PUSH-X” itme eğrisi sonuçları Tablo 4.20.’de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.47.’de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.21.’de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. A-2 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,012968	980,736
2	0,037542	1999,417
3	0,097769	3570,095
4	0,134785	4135,496
5	0,195913	4539,306
6	0,222801	4670,05
7	0,230296	4691,745
8	0,245296	4685,253
9	0,260296	4661,287
10	0,275296	4649,955
11	0,305296	4563,111
12	0,335296	4528,732
13	0,365296	4517,455
14	0,380296	4519,253
15	0,41029	4486,981
16	0,439473	4316,826
17	0,469473	4329,201
18	0,499473	4333,067
19	0,514473	4332,363
20	0,521973	4325,799
21	0,551947	4268,968
22	0,559447	4261,644
23	0,596954	4099,588
24	0,6	4096,006



Şekil 4.47. A-2 model "PUSH-X" itme eğrisi

Tablo 4.21. A-2 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,309
Kütle katılım oranı	0,7832
Toplam Kütle (M)	4537,293
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{X1}$ )	66,9119
Modal büyüklük $\Phi_{xN1}$	0,0198

Tablo 4.21.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.22. ve Şekil 4.48.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

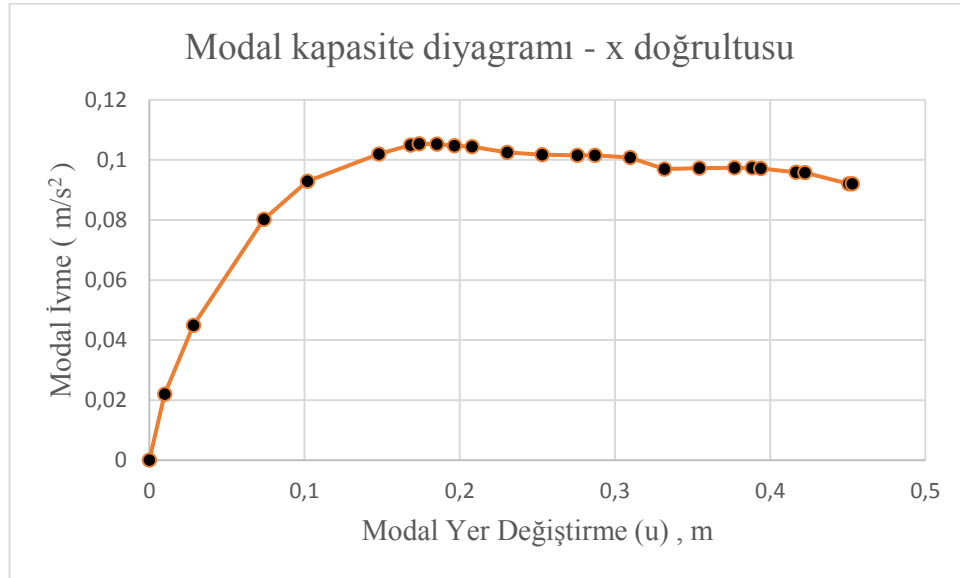
Tablo 4.22. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,00979	0,022
2	0,02834	0,045
3	0,07380	0,080
4	0,10174	0,093
5	0,14788	0,102
6	0,16817	0,105
7	0,17383	0,105
8	0,18515	0,105
9	0,19647	0,105
10	0,20779	0,104



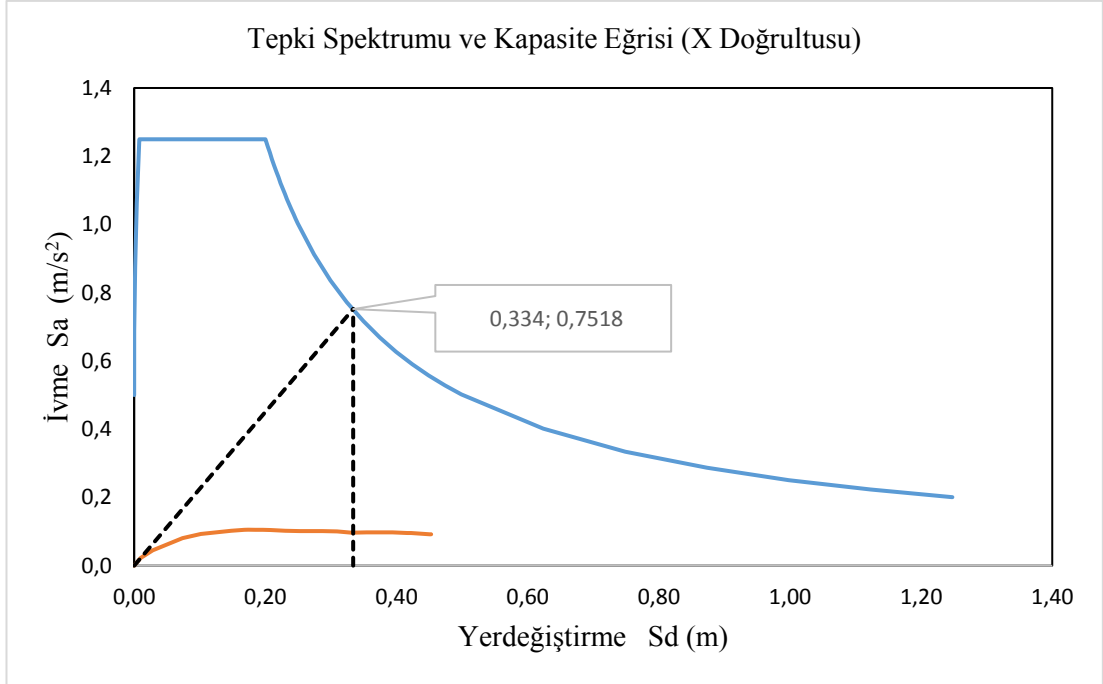
Tablo 4.22. (Devamı)

11	0,23044	0,103
12	0,25308	0,102
13	0,27573	0,101
14	0,28705	0,102
15	0,30969	0,101
16	0,33171	0,097
17	0,35436	0,097
18	0,37700	0,097
19	0,38832	0,097
20	0,39398	0,097
21	0,41661	0,096
22	0,42227	0,096
23	0,45058	0,092
24	0,45288	0,092



Şekil 4.48. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

A-2 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.49.'da gösterilmiş ve 0,334 m olarak bulunmuştur.

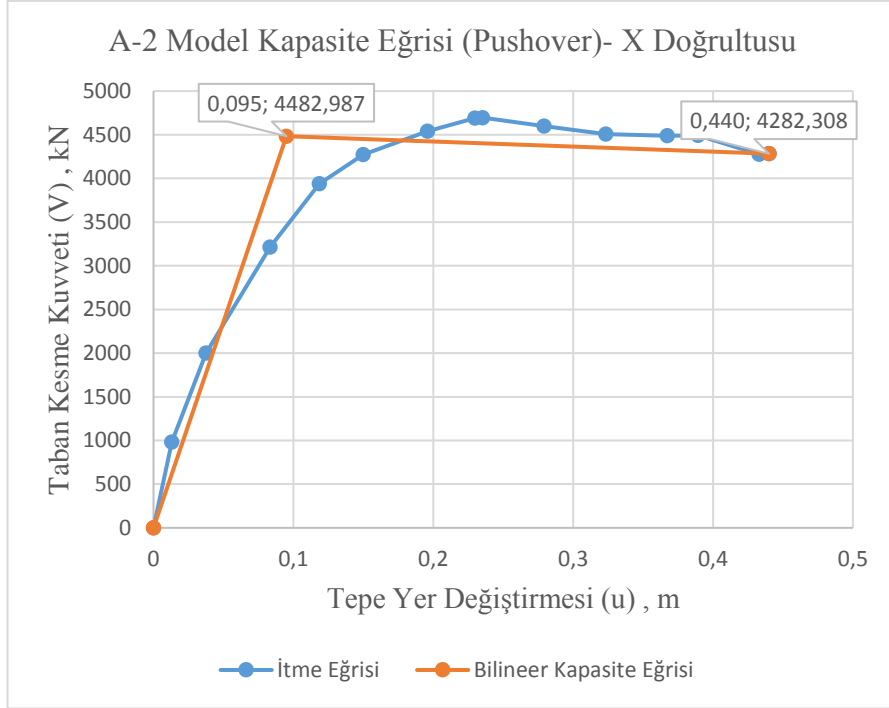


Şekil 4.49. A-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

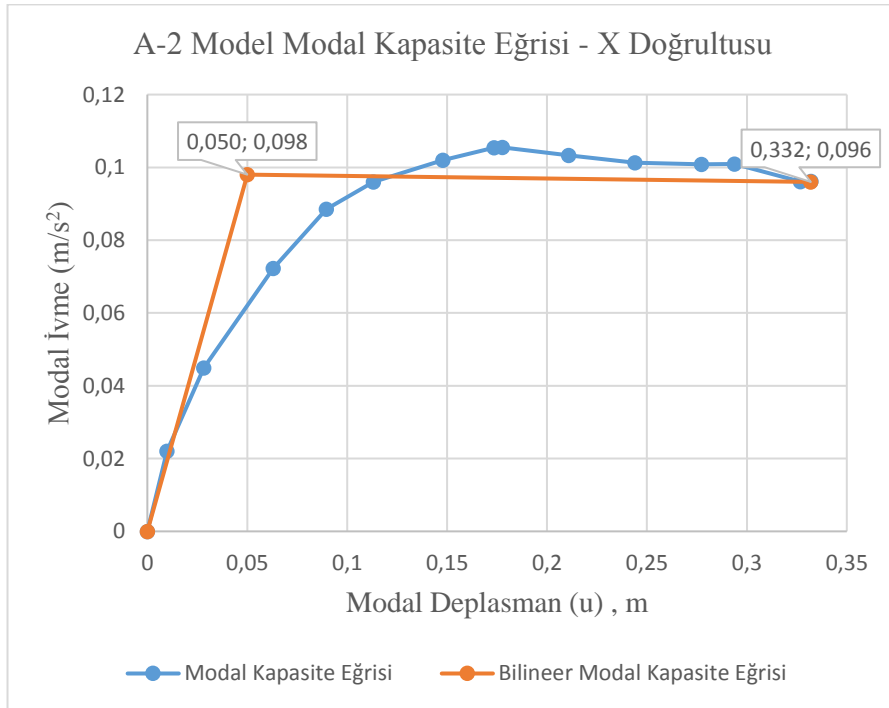
Denklem 4.28 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılanaya kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılanaya kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.50. ve Şekil 4.51.'de gösterilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.28)$$

$$U_{px} = 66,9119 \times 0,0198 \times 0,334 = 0,44 \text{ m}$$



Şekil 4.50. A-2 model kapasite eğrisi



Şekil 4.51. A-2 model modal kapasite eğrisi

A-2 model için Şekil 4.50.'deki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.29 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.29)$$

$$\mu_x = \frac{0,44}{0,099} = 4,44$$

A-2 model için Şekil 4.50.'deki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.30 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.30)$$

$$k_x = \frac{4482,987}{99} = 45,283$$

A-2 model için Şekil 4.50. ve Şekil 4.51.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.31 – Denklem 4.33 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.31)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.32)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.33)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7518}{0,098} = 7,671$$

$$f_d = \frac{4482,987}{1,5} = 2988,658$$

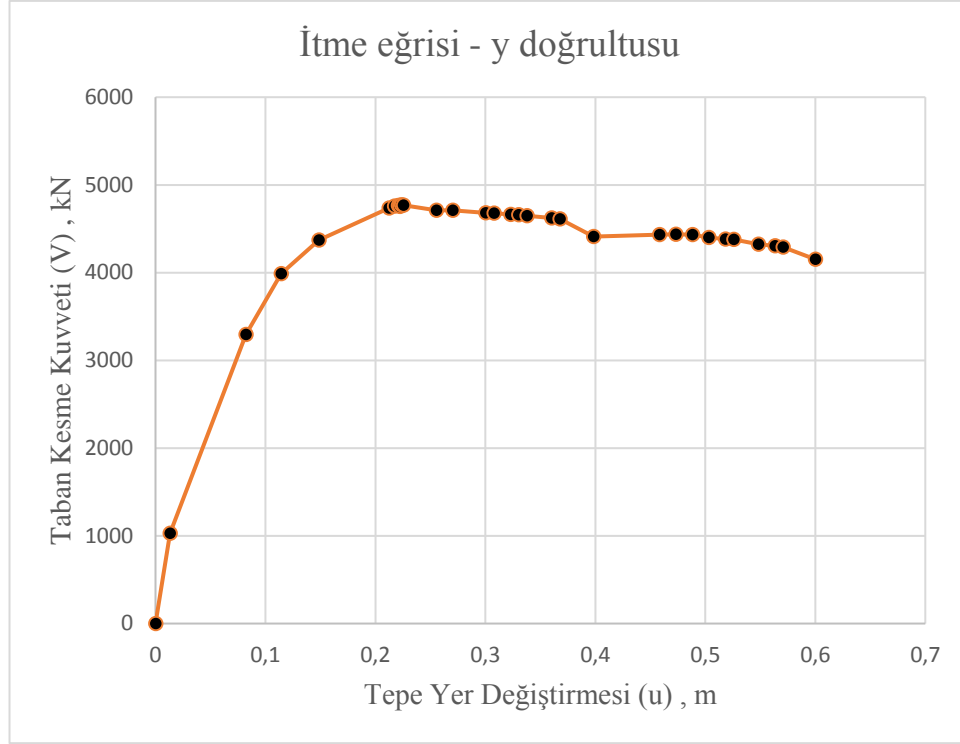
$$f_e = 7,671 \times 4482,987 = 34390,915 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{34390,915}{2988,658} = 11,51 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

A-2 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan “PUSH-Y” itme eğrisi sonuçları Tablo 4.23.’te, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.52.’de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.24.’te gösterilmiştir.

Tablo 4.23. A-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013079	1029,849
2	0,082209	3293,838
3	0,114198	3988,473
4	0,148555	4372,559
5	0,212328	4736,868
6	0,217304	4756,024
7	0,220709	4763,631
8	0,222177	4763,996
9	0,222235	4753,963
10	0,223757	4770,588
11	0,225278	4769,877
12	0,270278	4711,9
13	0,300278	4709,275
14	0,307778	4682,217
15	0,322778	4679,277
16	0,330278	4659,759
17	0,337778	4646,58
18	0,360278	4623,318
19	0,36778	4610,75
20	0,398235	4410,24
21	0,458235	4433,38
22	0,473235	4436,405
23	0,488235	4432,98
24	0,503235	4399,679
25	0,518235	4381,938
26	0,525735	4377,386
27	0,548235	4321,866
28	0,563235	4304,415
29	0,570735	4289,832
30	0,6	4151,44



Şekil 4.52. A-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi

Tablo 4.24. A-2 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,295
Kütle katılım oranı	0,7842
Toplam Kütle (M) ton	4543,14
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,955076
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0198

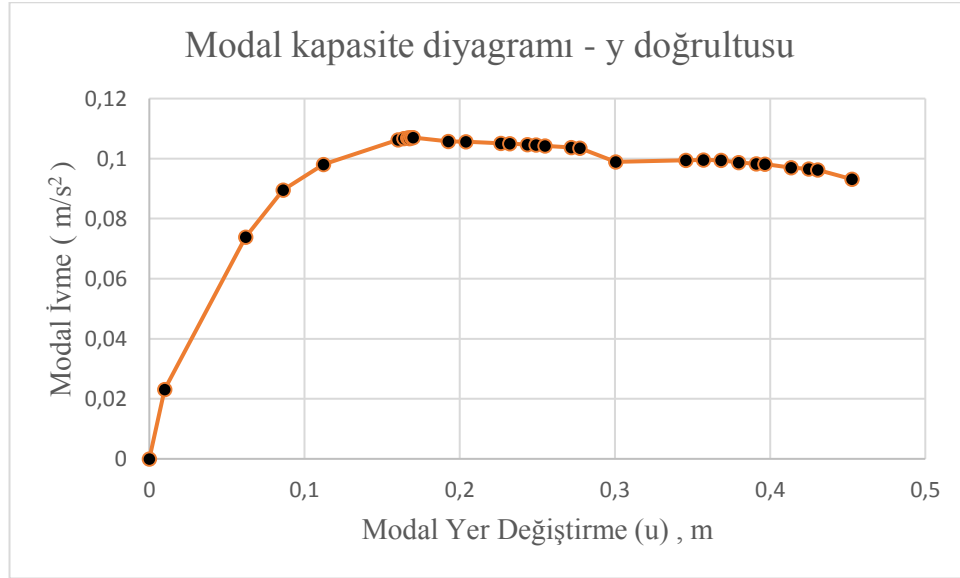
Tablo 4.24.'te gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.25. ve Şekil 4.53.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

Tablo 4.25. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,000987	0,023
2	0,06201	0,074
3	0,08614	0,089
4	0,11206	0,098
5	0,16016	0,106
6	0,16392	0,107
7	0,16648	0,107
8	0,16759	0,107
9	0,16764	0,107

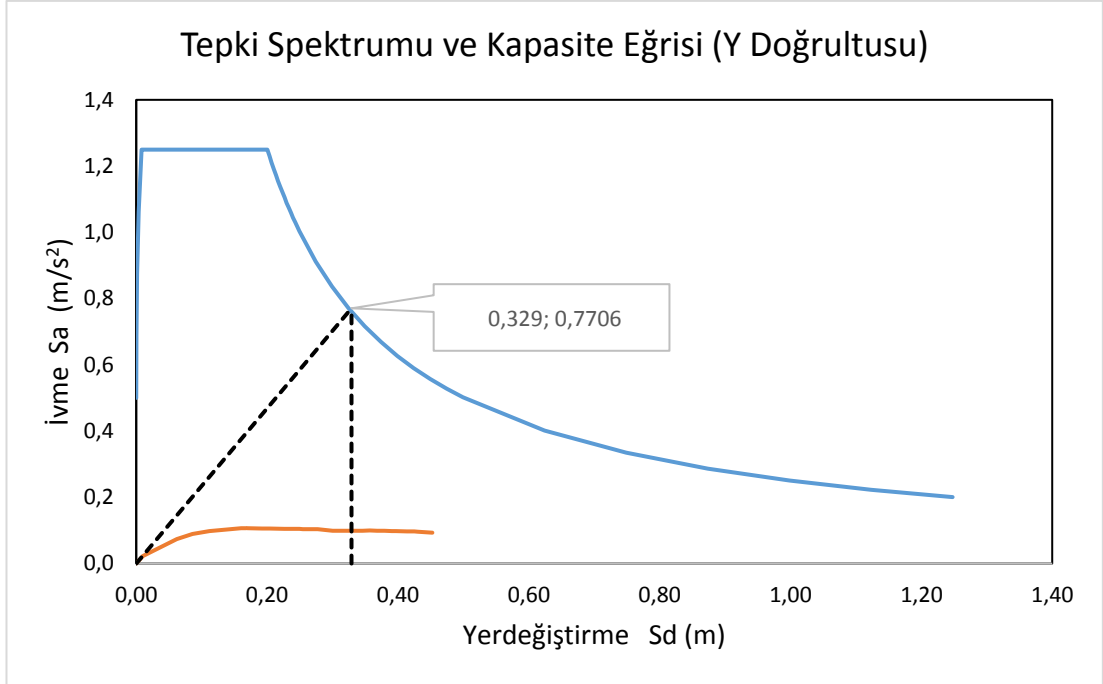
Tablo 4.25. (Devamı)

10	0,16878	0,107
11	0,16993	0,107
12	0,19256	0,106
13	0,20387	0,106
14	0,22650	0,105
15	0,23216	0,105
16	0,24848	0,105
17	0,24913	0,105
18	0,25479	0,104
19	0,27176	0,104
20	0,27742	0,103
21	0,30039	0,099
22	0,34565	0,099
23	0,35697	0,100
24	0,36828	0,099
25	0,37960	0,099
26	0,39091	0,098
27	0,39657	0,098
28	0,41354	0,097
29	0,42486	0,097
30	0,43051	0,096
31	0,45259	0,093



Şekil 4.53. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

A-2 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.54.'te gösterilmiştir.



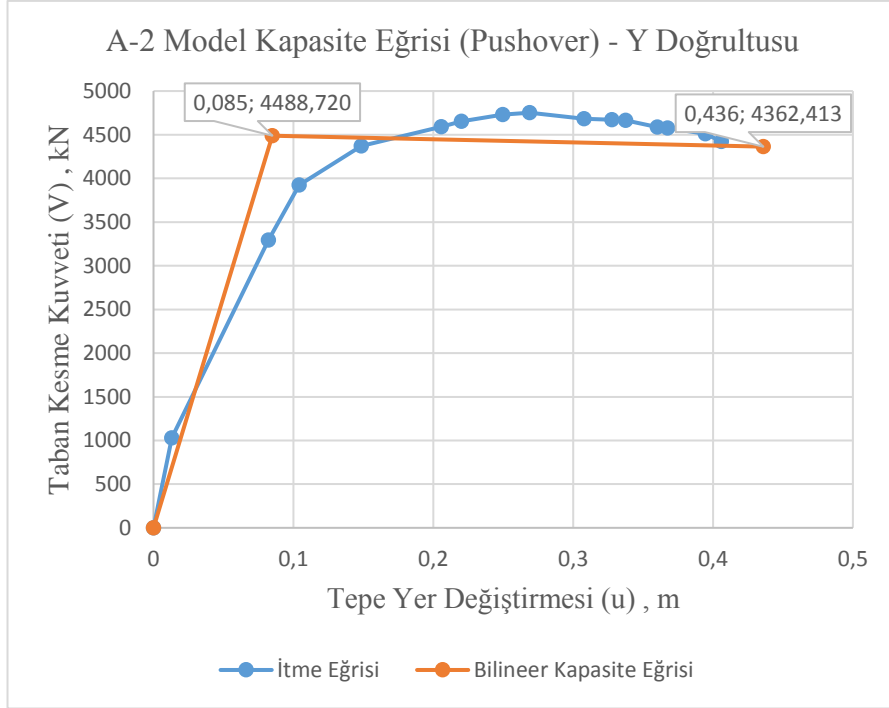
Şekil 4.54. A-2 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

Denklem 4.34 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılanaya kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılanaya kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.55. ve Şekil 4.56.'da gösterilmiştir.

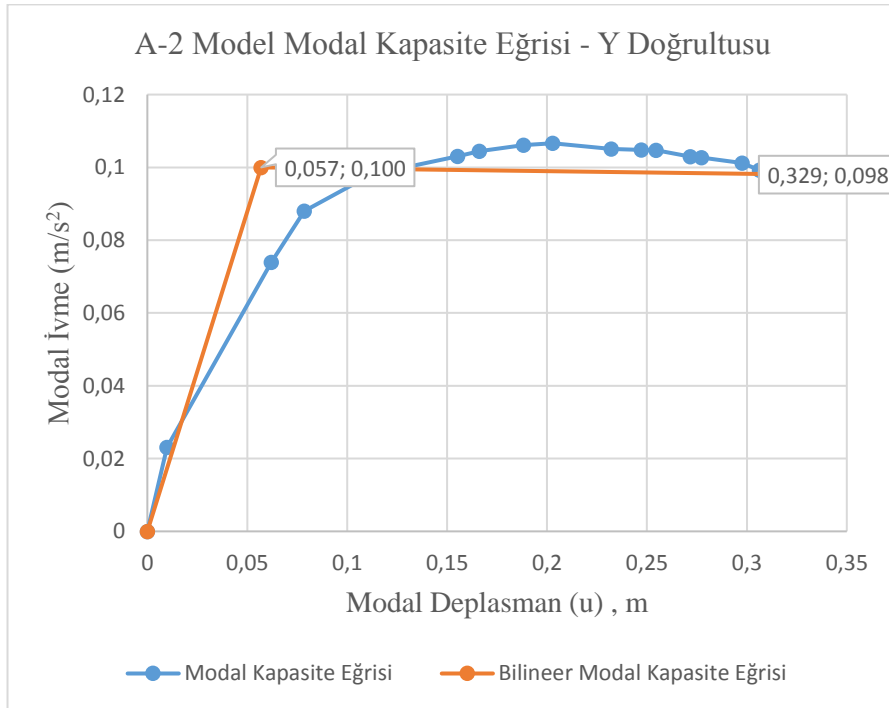
$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.34)$$

$$U_{py} = 66,9551 \times 0,0198 \times 0,329 = 0,436 \text{ m}$$





Şekil 4.55. A-2 model kapasite eğrisi



Şekil 4.56. A-2 model modal kapasite eğrisi

A-2 model için Şekil 4.54.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.9 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.35)$$

$$\mu_y = \frac{0,436}{0,085} = 5,13$$

A-2 model için Şekil 4.54.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.36 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.36)$$

$$k_y = \frac{4488,72}{85} = 52,81$$

A-2 model için Şekil 4.54. ve Şekil 4.55.'teki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.37 – Denklem 4.39 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.37)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.38)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.39)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.40)$$

$$R_{yy} = \frac{0,7706}{0,1} = 7,706$$

$$f_d = \frac{4488,72}{1,5} = 2992,48$$

$$f_e = 7,706 \times 4488,72 = 34590,076 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{34590,076}{2992,48} = 11,56 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.4. Model – B1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-B1, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,60 m x 0,60 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,05 m olup çiroz bulunmamaktadır.

Tablo 4.26.'da oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.26. B-1 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-B1 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.27.'de gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,386 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,37 sn olarak hesaplanmıştır.

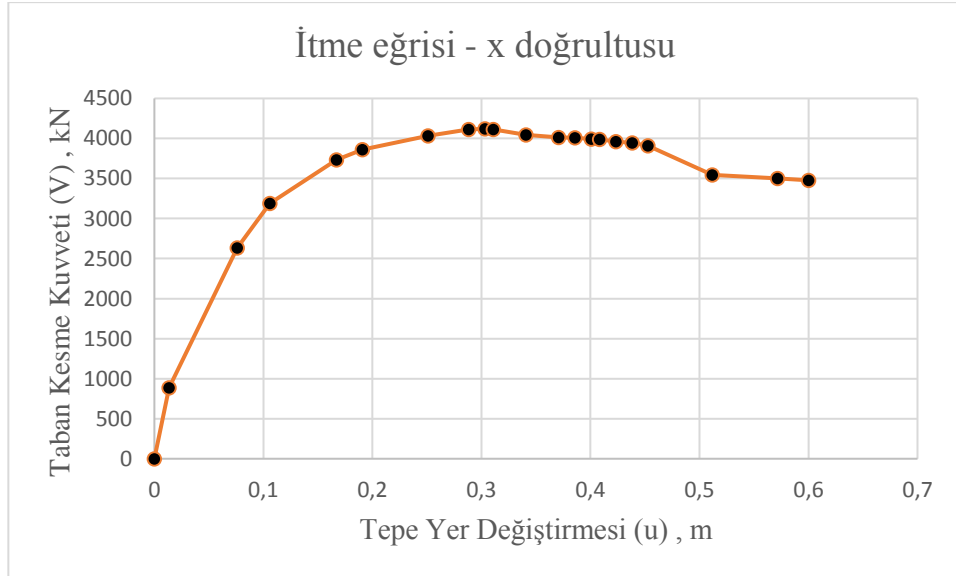
Tablo 4.27. B-1 model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,386	0,722
2	1,370	0,730
3	1,253	0,798
4	0,417	2,401
5	0,413	2,423
6	0,380	2,633
7	0,211	4,731
8	0,210	4,761
9	0,195	5,124
10	0,126	7,925
11	0,126	7,957
12	0,118	8,488

B-1 model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.28.'de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.57.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.29.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.28. B-1 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013415	886,044
2	0,076056	2634,366
3	0,106051	3190,228
4	0,166956	3731,669
5	0,190879	3861,892
6	0,250879	4031,496
7	0,288379	4112,462
8	0,303379	4120,051
9	0,310879	4113,913
10	0,340879	4044,765
11	0,370879	4013,182
12	0,385879	4008,856
13	0,400879	3994,947
14	0,408379	3990,724
15	0,423379	3961,490
16	0,438331	3945,497
17	0,452841	3909,113
18	0,511677	3546,234
19	0,571677	3500,567
20	0,6	3479,205



Şekil 4.57. B-1 model "PUSH-X" itme eğrisi

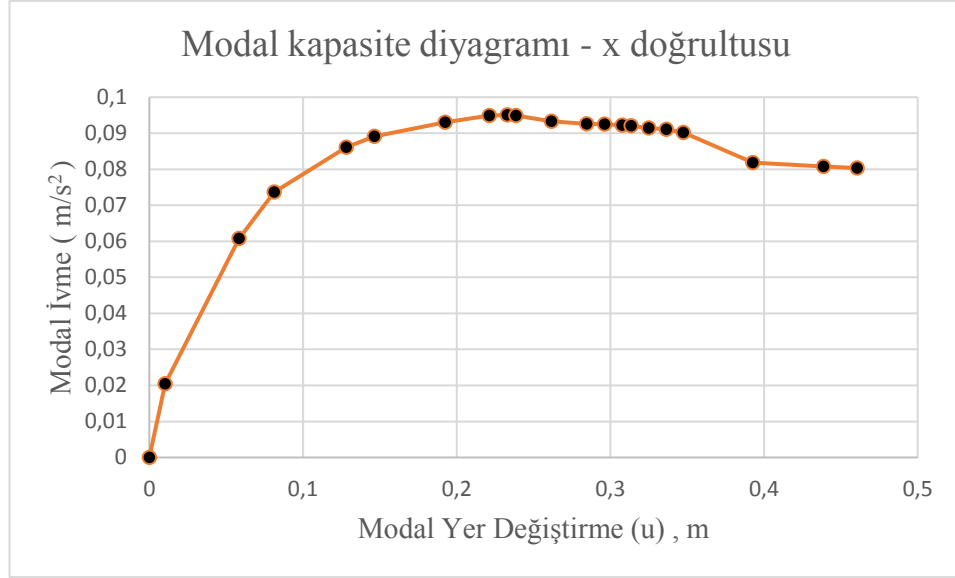
Tablo 4.29. B-1 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,386
Kütle katılım oranı	0,80302
Toplam Kütle (M)	4417,3624
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{X1}$ )	66,12448
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.29.'da gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.30. ve Şekil 4.58.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

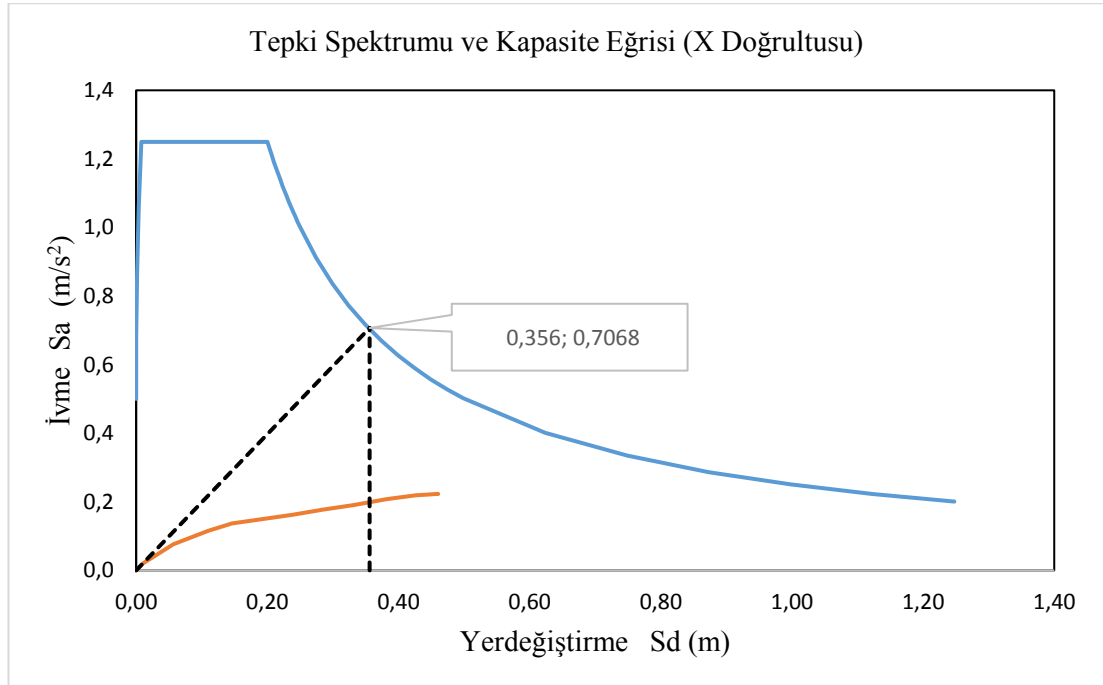
Tablo 4.30. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01030	0,020
2	0,05839	0,061
3	0,08141	0,074
4	0,12817	0,086
5	0,14653	0,089
6	0,19259	0,093
7	0,22138	0,095
8	0,23289	0,095
9	0,23865	0,095
10	0,26168	0,093
11	0,28471	0,093
12	0,29623	0,093
13	0,30774	0,092
14	0,31350	0,092
15	0,32501	0,091
16	0,33649	0,091
17	0,34763	0,090
18	0,39280	0,082
19	0,43886	0,081
20	0,46060	0,080



Şekil 4.58. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

B-1 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.59.'da gösterilmiştir.

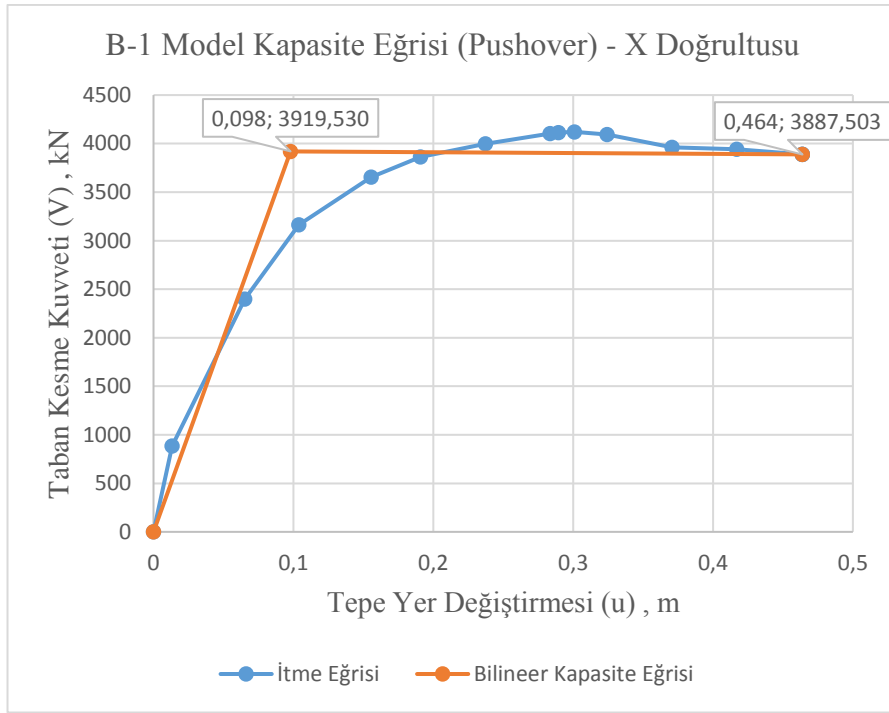


Şekil 4.59. B-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

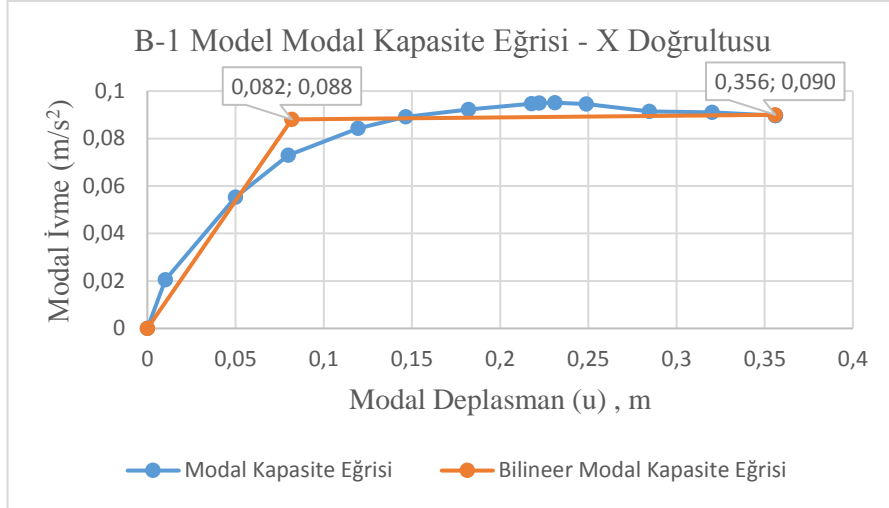
Denklem 4.41 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.60. ve Şekil 4.61.'de gösterilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.41)$$

$$U_{px} = 66,12448 \times 0,0197 \times 0,356 = 0,464 \text{ m}$$



Şekil 4.60. B-1 model kapasite eğrisi



Şekil 4.61. B-1 model modal kapasite eğrisi

B-1 model için Şekil 4.60.'taki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.42 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.42)$$

$$\mu_x = \frac{0,464}{0,098} = 4,735$$

B-1 model için Şekil 4.60.'taki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.43 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.43)$$

$$k_x = \frac{3919,53}{98} = 39,995$$

B-1 model için Şekil 4.60. ve Şekil 4.61.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.44 – Denklem 4.46 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.44)$$



$$f_e = R_{yx}f_y \quad (4.45)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.46)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7068}{0,088} = 8,032$$

$$f_d = \frac{3919,53}{1,5} = 2613,02$$

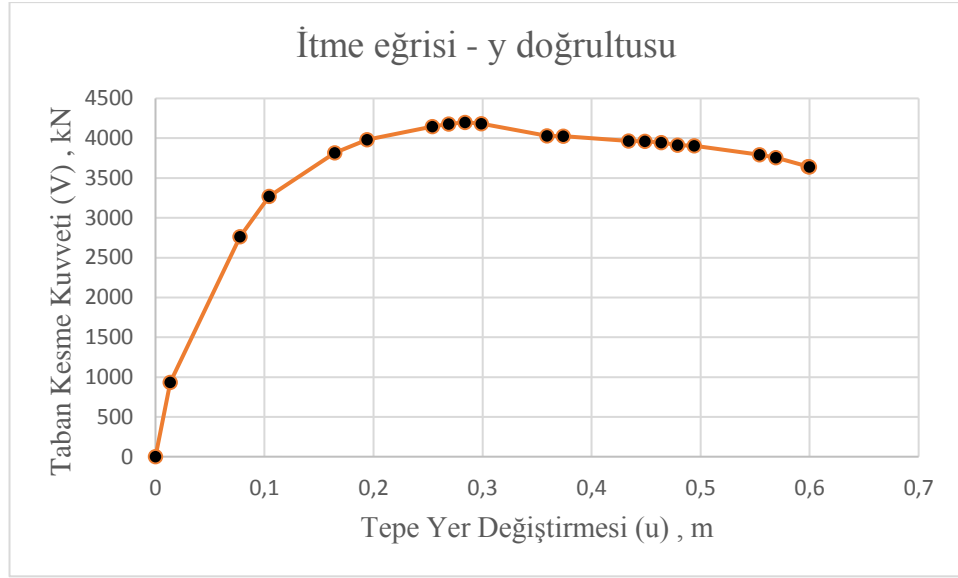
$$f_e = 8,032 \times 3919,53 = 31480,952 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{31480,952}{2613,02} = 12,048 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

B-1 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.31.'de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.62.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.32.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.31. B-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013545	932,51
2	0,077470	2763,028
3	0,104377	3268,958
4	0,164489	3817,505
5	0,194047	3980,906
6	0,254047	4144,851
7	0,269047	4180,57
8	0,284047	4200,35
9	0,299047	4181,474
10	0,359047	4030,191
11	0,374047	4026,238
12	0,434047	3965,929
13	0,449047	3960,332
14	0,464047	3943,529
15	0,479079	3914,952
16	0,494079	3903,657
17	0,554086	3793,538
18	0,569095	3755,411
19	0,598619	3642,672
20	0,6	3640,852



Şekil 4.62. B-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi

Tablo 4.32. B-1 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,37
Kütle katılım oranı	0,80391
Toplam Kütle (M) ton	4422,26
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,161318
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

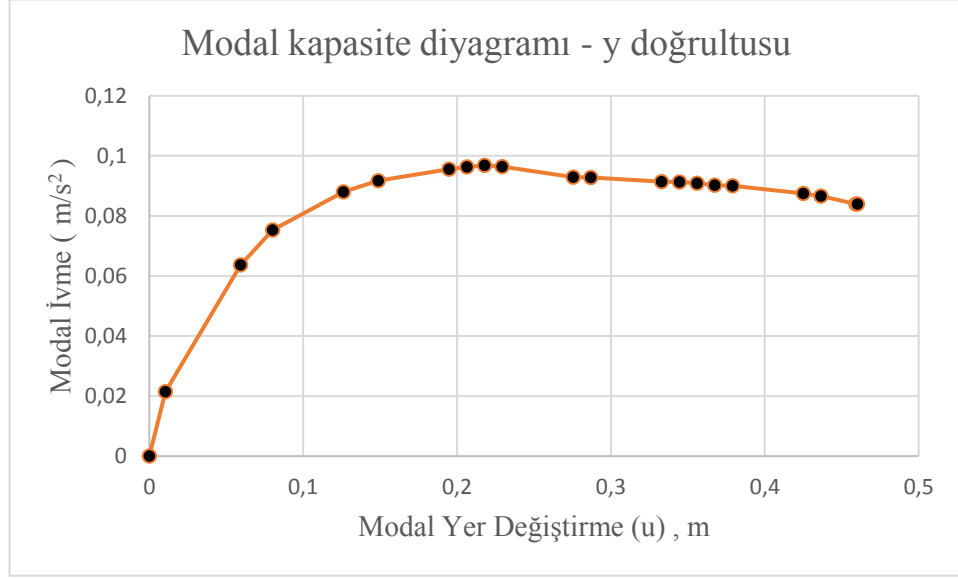
Tablo 4.32.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.33. ve Şekil 4.63.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

Tablo 4.33. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01039	0,021
2	0,05944	0,064
3	0,08008	0,075
4	0,12620	0,088
5	0,14888	0,092
6	0,19491	0,096
7	0,20642	0,096
8	0,21793	0,097
9	0,22944	0,096
10	0,27547	0,093
11	0,28698	0,093
12	0,33302	0,091
13	0,34453	0,091

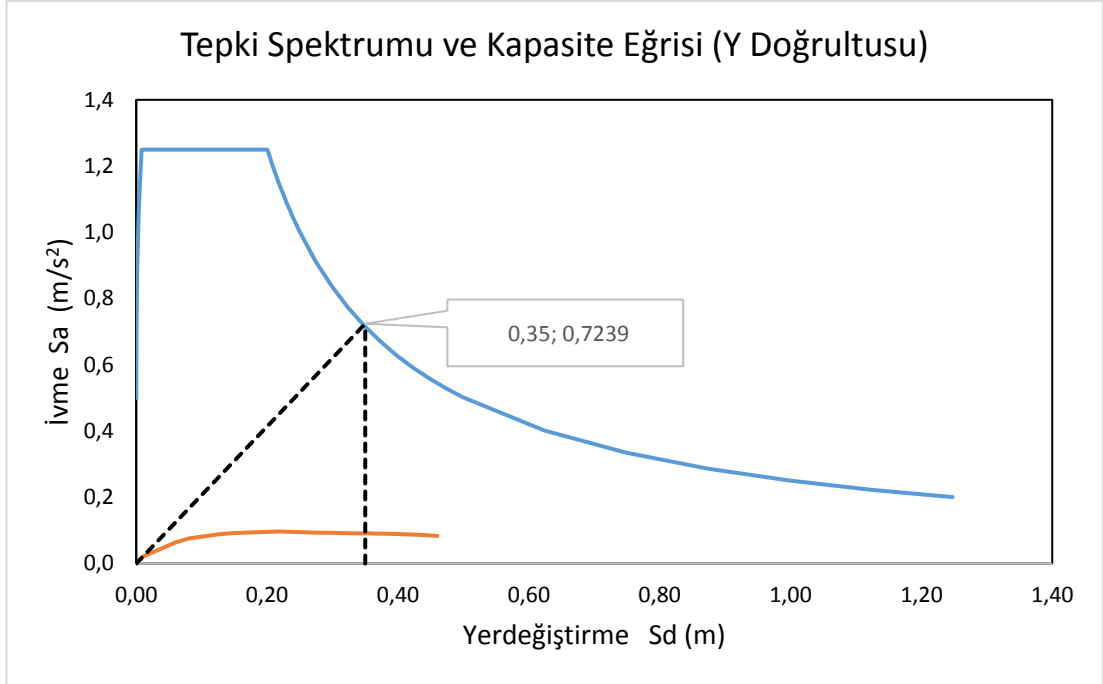
Tablo 4.33. (Devamı)

14	0,35603	0,091
15	0,36757	0,090
16	0,37908	0,090
17	0,42512	0,087
18	0,43663	0,087
19	0,45928	0,084
20	0,46034	0,084



Şekil 4.63. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

B-1 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.64.'te gösterilmiştir.

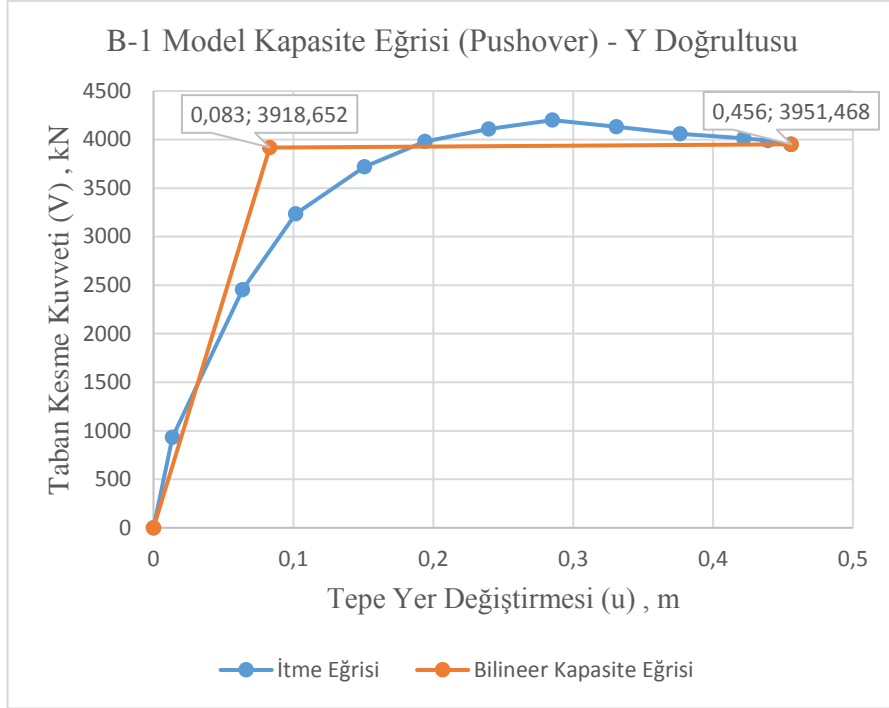


Şekil 4.64. B-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

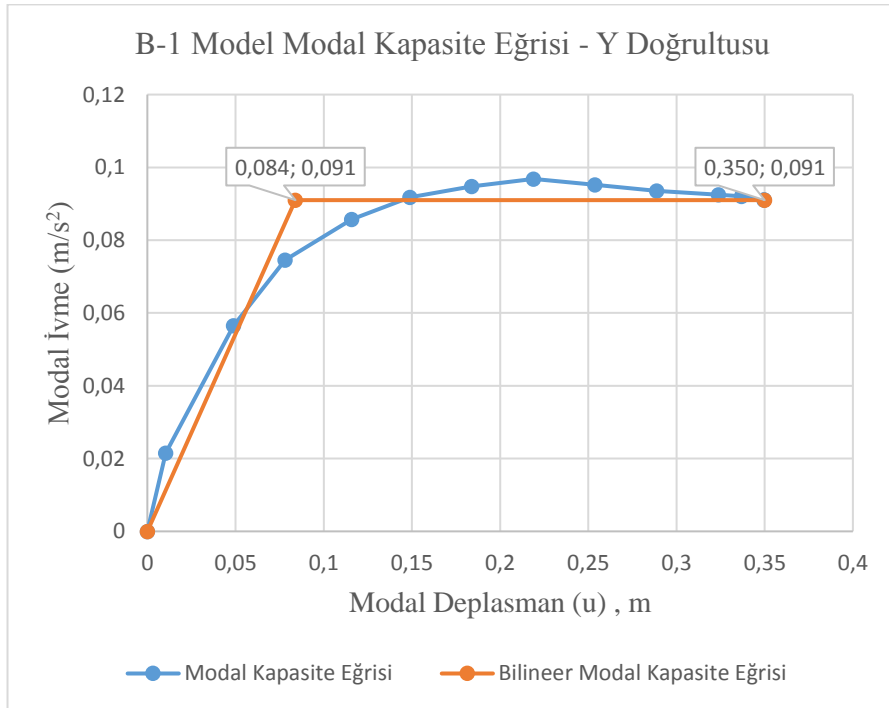
Denklem 4.47 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.65. ve Şekil 4.66.'da gösterilmiştir.

$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.47)$$

$$U_{py} = 66,161318 \times 0,0197 \times 0,35 = 0,456m$$



Şekil 4.65. B-1 model kapasite eğrisi



Şekil 4.66. B-1 model modal kapasite eğrisi

B-1 model için Şekil 4.65.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.48 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.48)$$

$$\mu_y = \frac{0,456}{0,083} = 5,494$$

B-1 model için Şekil 4.65.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.49 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.49)$$

$$k_y = \frac{3918,652}{83} = 47,213$$

B-1 model için Şekil 4.65. ve Şekil 4.66.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.50 – Denklem 4.53 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.50)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.51)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.52)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.53)$$

$$R_{yy} = \frac{0,7239}{0,091} = 7,955$$

$$f_d = \frac{3918,652}{1,5} = 2612,435$$

$$f_e = 7,955 \times 3918,652 = 31172,661 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{31172,661}{2612,435} = 11,932 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.5. Model – B2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-B2, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,60 m x 0,60 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,15 olup çiroz bulunmamaktadır.

Tablo 4.34.'te oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.34. B-2 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-B2 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.35.'te gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,386 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,37 sn olarak hesaplanmıştır.

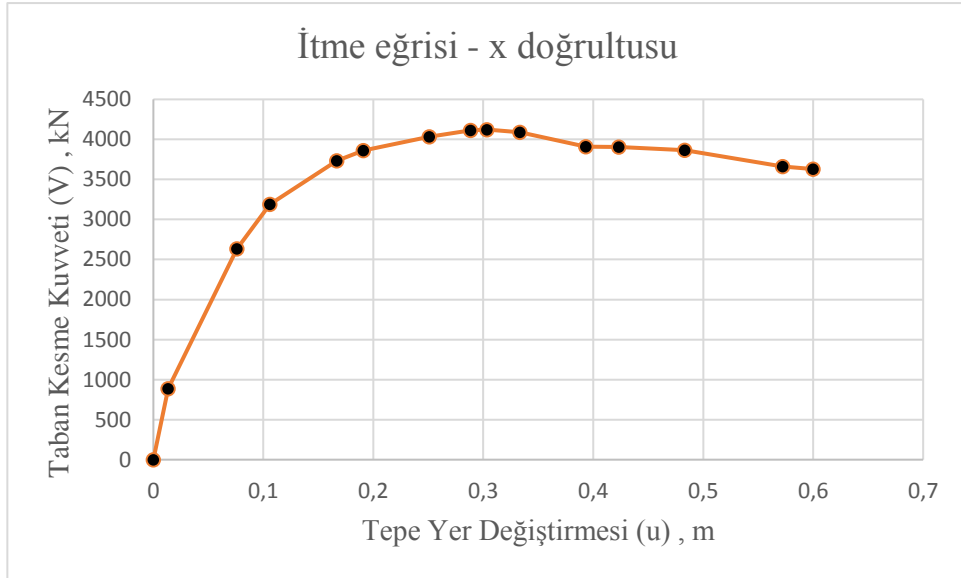
Tablo 4.35. B-2 model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,386	0,722
2	1,370	0,730
3	1,253	0,798
4	0,417	2,401
5	0,413	2,423
6	0,380	2,633
7	0,211	4,731
8	0,210	4,761
9	0,195	5,124
10	0,126	7,925
11	0,126	7,957
12	0,118	8,488

B-2 model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.36.'da, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.67.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.37.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.36. B-2 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013415	886,044
2	0,076056	2634,366
3	0,106051	3190,228
4	0,166956	3731,669
5	0,190878	3861,894
6	0,250878	4031,551
7	0,288378	4113,007
8	0,303378	4122,96
9	0,333378	4090,332
10	0,393378	3911,13
11	0,423378	3907,06
12	0,483378	3865,847
13	0,572276	3662,793
14	0,6	3631,503



Şekil 4.67. B-2 model "PUSH-X" itme eğrisi

Tablo 4.37. B-2 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

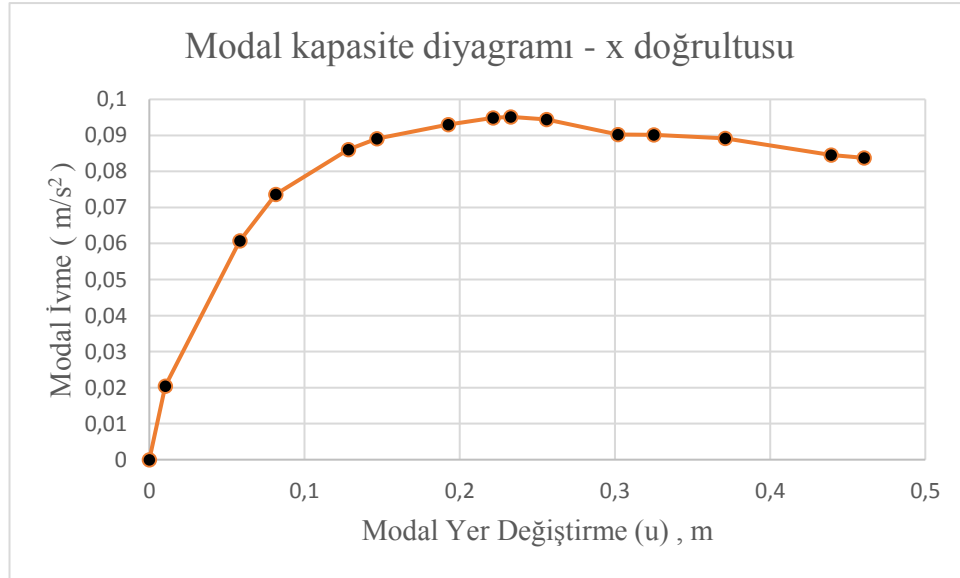
Periyot (T) sn	1,386
Kütle katılım oranı	0,80302
Toplam Kütle (M)	4417,3624
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,1245
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197



Tablo 4.37.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.38. ve Şekil 4.68.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

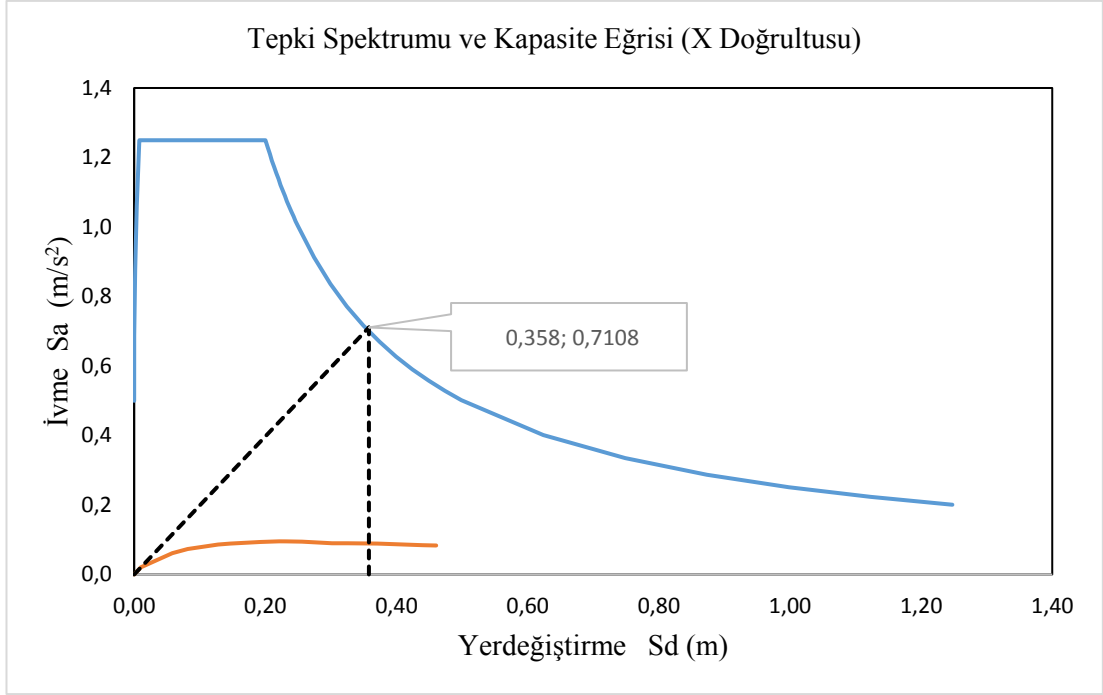
Tablo 4.38. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01030	0,020
2	0,05839	0,061
3	0,08141	0,074
4	0,12817	0,086
5	0,14653	0,089
6	0,19259	0,093
7	0,22138	0,095
8	0,23289	0,095
9	0,25592	0,094
10	0,30198	0,090
11	0,32501	0,090
12	0,37107	0,089
13	0,43932	0,085
14	0,46060	0,084



Şekil 4.68. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

B-2 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.69.'da gösterilmiştir.

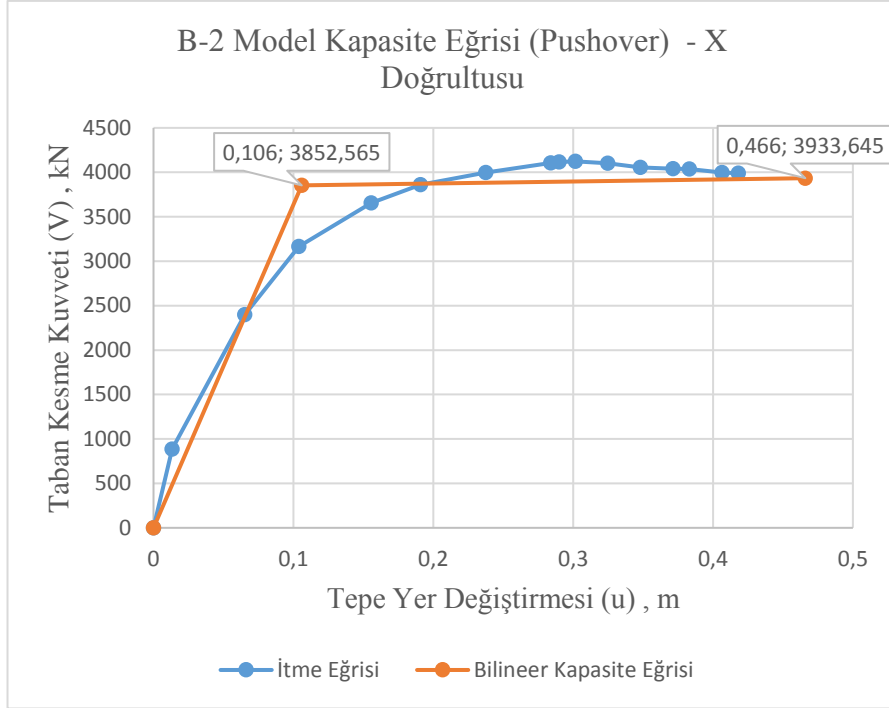


Şekil 4.69. B-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

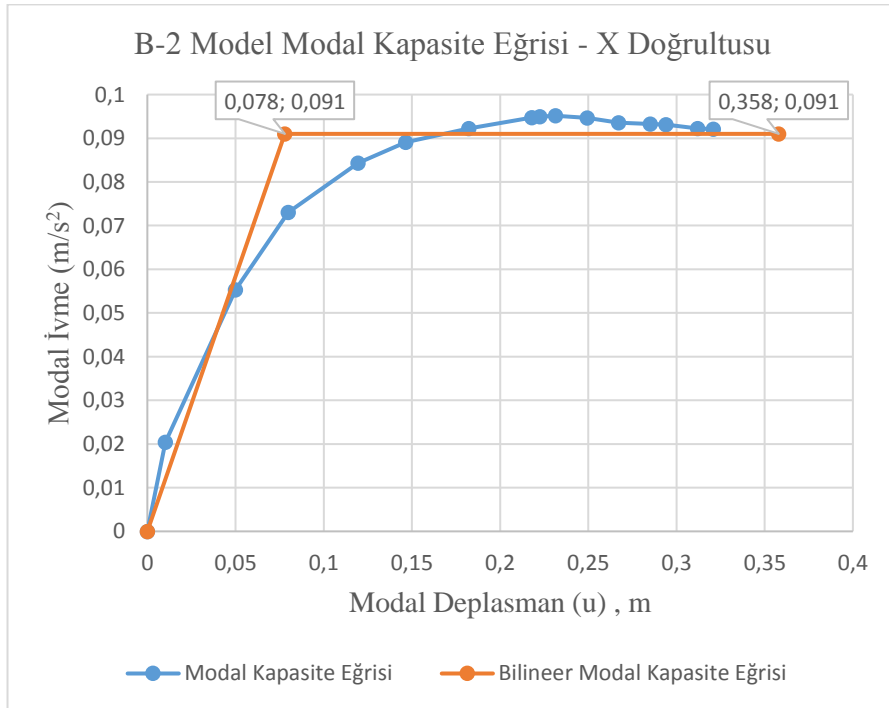
Denklem 4.54 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.70. ve Şekil 4.71.'de gösterilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.54)$$

$$U_{px} = 66,1245 \times 0,0197 \times 0,358 = 0,466 \text{ m}$$



Şekil 4.70. B-2 model kapasite eğrisi



Şekil 4.71. B-2 model modal kapasite eğrisi

B-2 model için Şekil 4.70.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.55 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.55)$$

$$\mu_x = \frac{0,466}{0,106} = 4,396$$

B-2 model için Şekil 4.70.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.56 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.56)$$

$$k_x = \frac{3852,565}{106} = 36,345$$

B-2 model için Şekil 4.70. ve Şekil 4.71.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.57 – Denklem 4.59 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.57)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.58)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.59)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7108}{0,091} = 7,811$$

$$f_d = \frac{3852,565}{1,5} = 2568,377$$

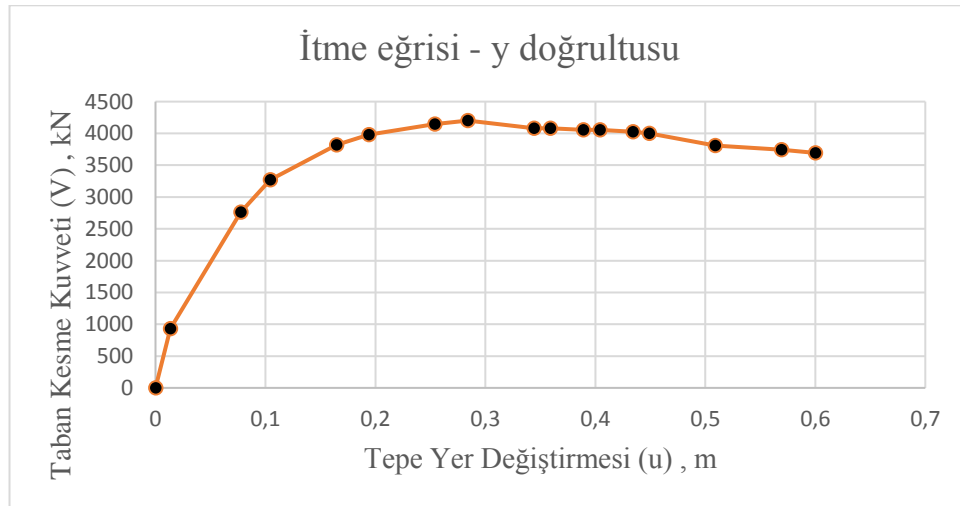
$$f_e = 7,811 \times 3852,565 = 30092,343 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{30092,343}{2568,377} = 11,716 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

B-2 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.39.'da, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.72.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.40.'ta gösterilmiştir.

Tablo 4.39. B-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013545	932,51
2	0,077470	2763,028
3	0,104377	3268,958
4	0,164489	3817,505
5	0,194047	3980,908
6	0,254047	4144,905
7	0,284047	4201,747
8	0,344047	4082,671
9	0,359047	4080,793
10	0,389047	4058,031
11	0,404047	4054,867
12	0,434047	4026,971
13	0,449029	3998,863
14	0,509029	3806,923
15	0,569029	3743,373
16	0,6	3695,959



Şekil 4.72. B-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi

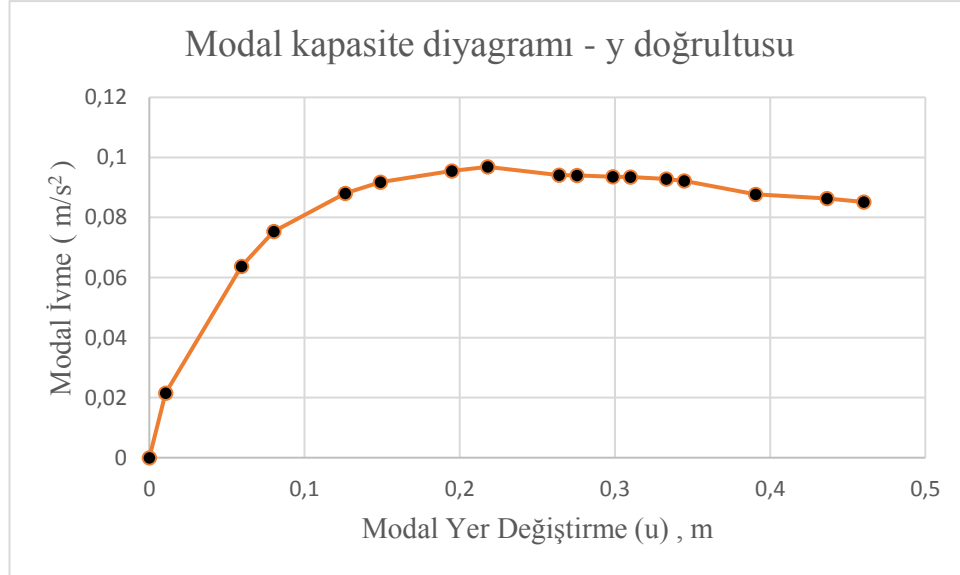
Tablo 4.40. B-2 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,37
Kütle katılım oranı	0,8039
Toplam Kütle (M) ton	4422,26
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,161318
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.40.'ta gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.41. ve Şekil 4.73.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

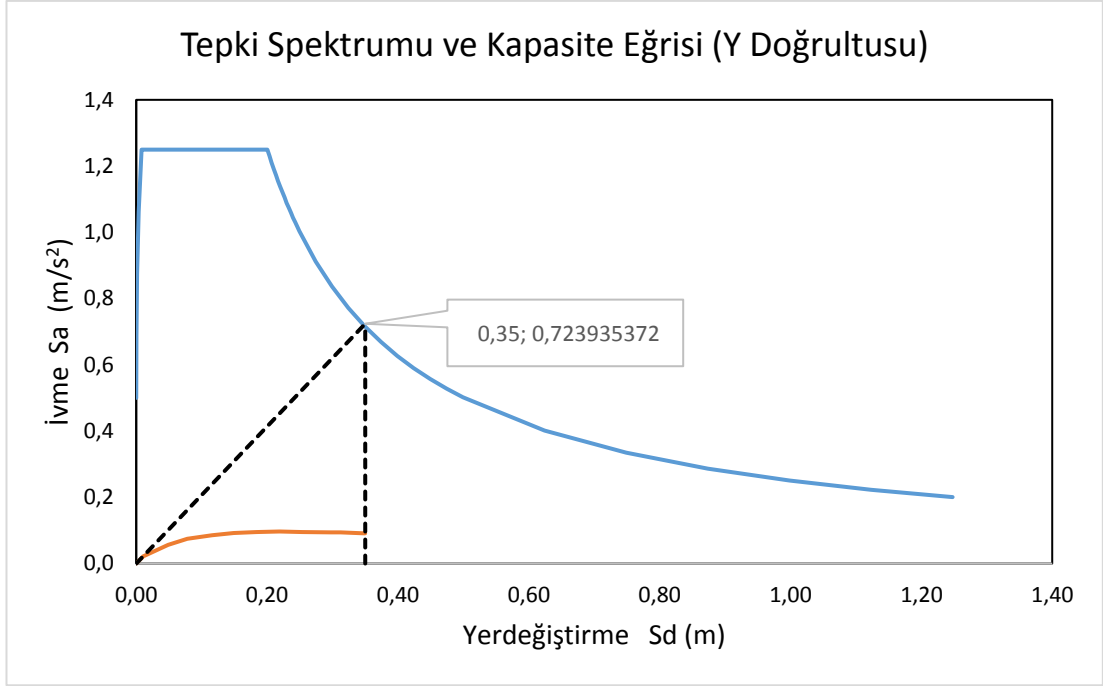
Tablo 4.41. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01039	0,021
2	0,05944	0,064
3	0,08008	0,075
4	0,12620	0,088
5	0,14888	0,092
6	0,19491	0,096
7	0,21793	0,097
8	0,26397	0,094
9	0,27547	0,094
10	0,29849	0,094
11	0,31000	0,093
12	0,33302	0,093
13	0,34451	0,092
14	0,39055	0,088
15	0,43658	0,086
16	0,46034	0,085



Şekil 4.73. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

B-2 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.74.'te gösterilmiştir.

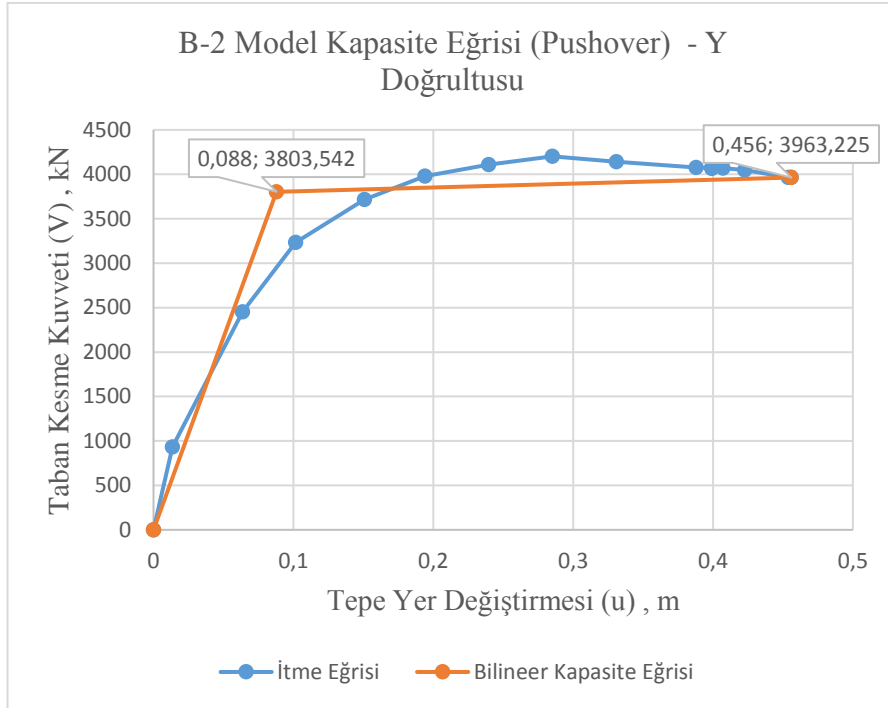


Şekil 4.74. B-2 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

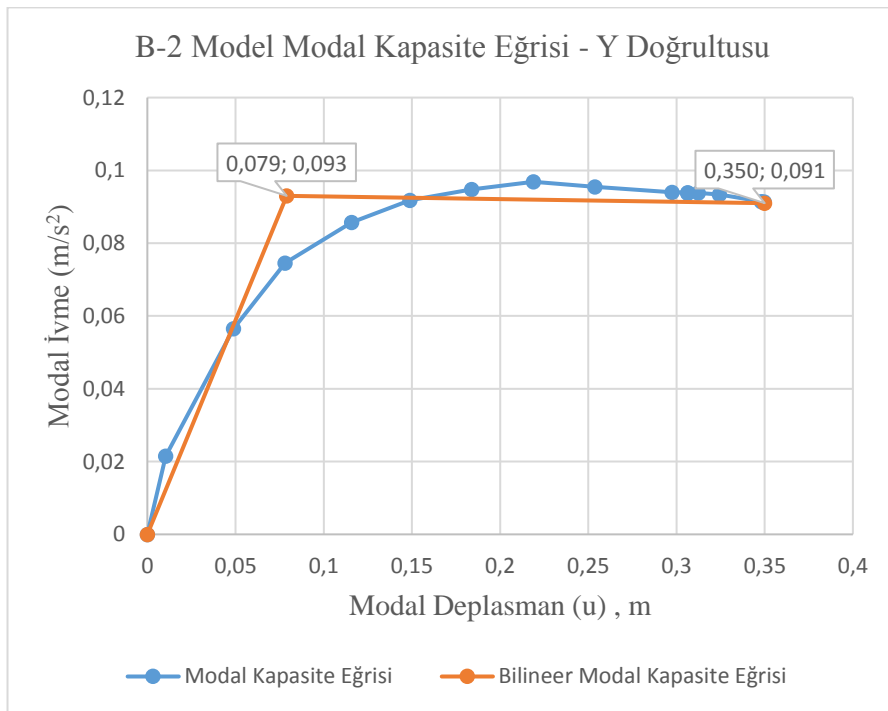
Denklem 4.60 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılanaya kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılanaya kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.75. ve Şekil 4.76.'da gösterilmiştir.

$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.60)$$

$$U_{py} = 66,161318 \times 0,0197 \times 0,35 = 0,456 \text{ m}$$



Şekil 4.75. B-2 model kapasite eğrisi



Şekil 4.76. B-2 model modal kapasite eğrisi

B-2 model için Şekil 4.75.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.61 ile hesaplanır.



$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.61)$$

$$\mu_y = \frac{0,456}{0,088} = 5,182$$

B-2 model için Şekil 4.75.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.62 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.62)$$

$$k_y = \frac{3803,542}{88} = 43,22$$

B-2 model için Şekil 4.75. ve Şekil 4.76.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.63 – Denklem 4.66 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.63)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.64)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.65)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.66)$$

$$R_{yy} = \frac{0,724}{0,093} = 7,785$$

$$f_d = \frac{3803,542}{1,5} = 2535,695$$

$$f_e = 7,785 \times 3803,542 = 29610,37 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{29610,37}{2535,695} = 11,677 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.6. Model – B3 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-B3, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,60 m x 0,60 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,20 olup çiroz bulunmamaktadır.

Tablo 4.42.'de oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.42. B-3 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-B3 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.43.'te gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,386 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,37 sn olarak hesaplanmıştır.

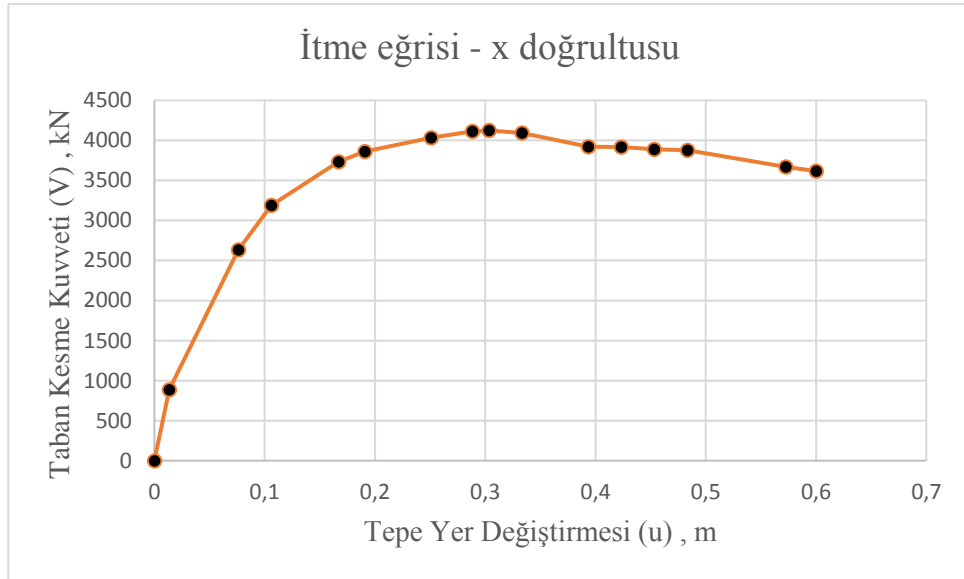
Tablo 4.43. B-3 model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,386	0,722
2	1,370	0,730
3	1,253	0,798
4	0,417	2,401
5	0,413	2,423
6	0,380	2,633
7	0,211	4,731
8	0,210	4,761
9	0,195	5,124
10	0,126	7,925
11	0,126	7,957
12	0,118	8,488

B-3 model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.44.'te, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.77.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.45.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.44. B-3 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013415	886,044
2	0,076056	2634,366
3	0,106051	3190,228
4	0,166956	3731,669
5	0,190878	3861,895
6	0,250878	4031,564
7	0,288378	4113,141
8	0,303378	4123,476
9	0,333378	4093,011
10	0,393378	3921,516
11	0,423378	3916,047
12	0,453378	3888,982
13	0,483378	3876,387
14	0,572567	3667,692
15	0,6	3618,588



Şekil 4.77. B-3 model "PUSH-X" itme eğrisi

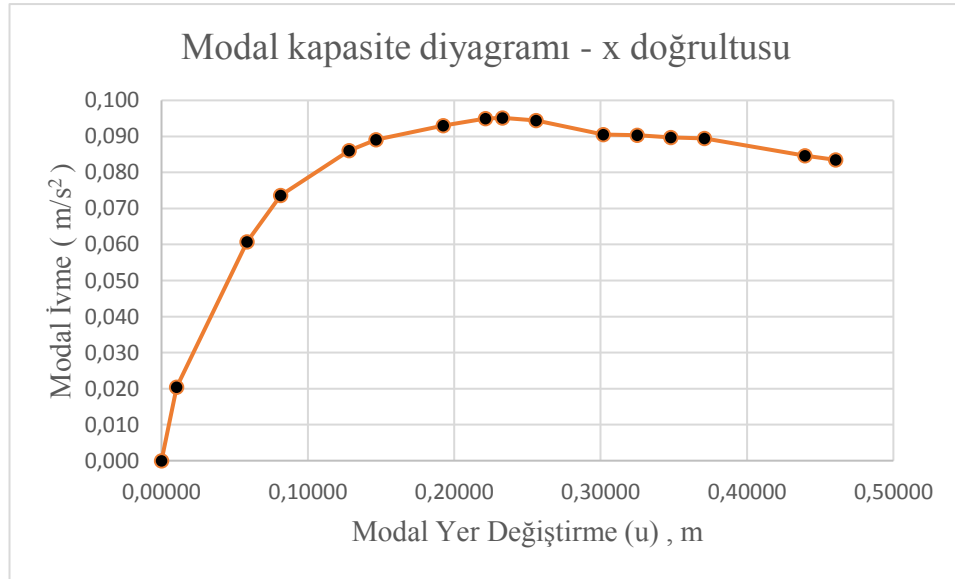
Tablo 4.45. B-3 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,386
Kütle katılım oranı	0,80302
Toplam Kütle (M)	4417,3624
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,1245
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.45.'te gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.46. ve Şekil 4.78.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

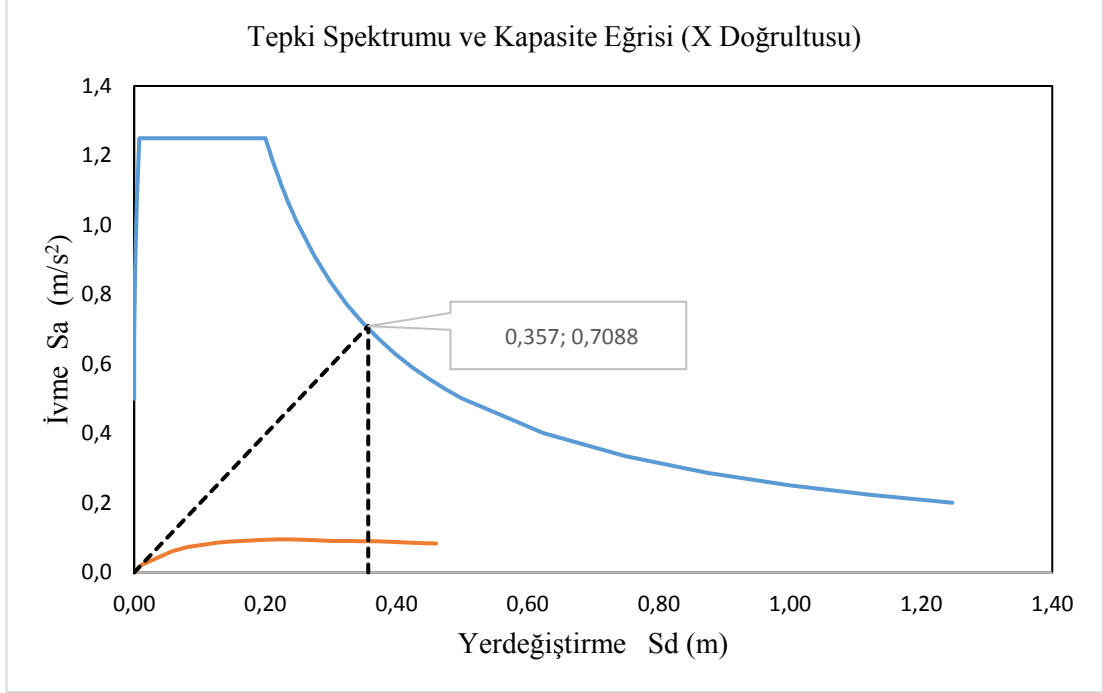
Tablo 4.46. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01030	0,020
2	0,05839	0,061
3	0,08141	0,074
4	0,12817	0,086
5	0,14653	0,089
6	0,19259	0,093
7	0,22138	0,095
8	0,23289	0,095
9	0,25592	0,094
10	0,30198	0,090
11	0,32501	0,090
12	0,34804	0,090
13	0,37107	0,089
14	0,43954	0,085
15	0,46060	0,084



Şekil 4.78. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

B-3 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.79.'da gösterilmiştir.

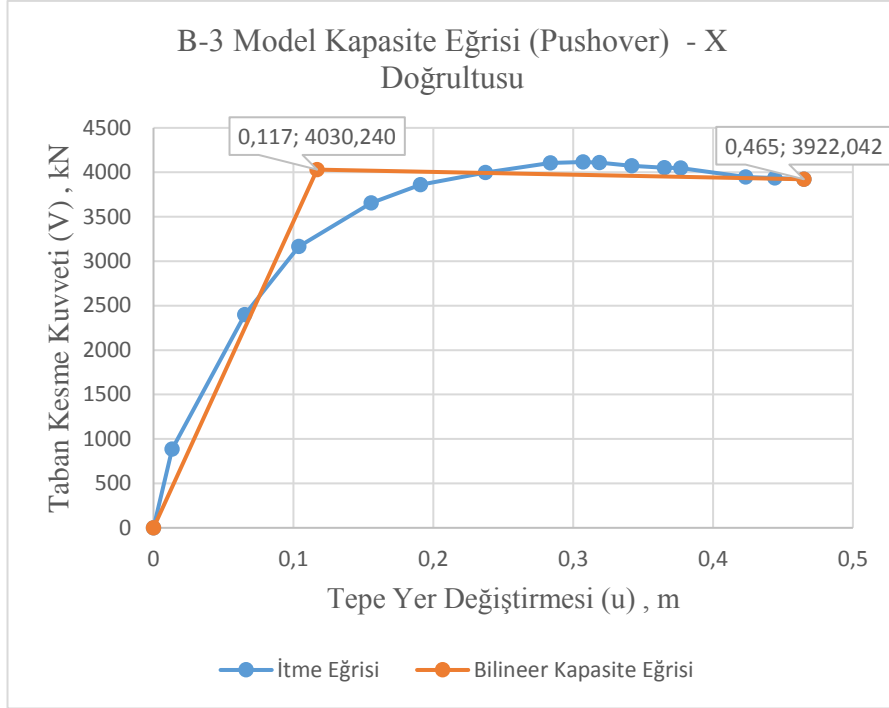


Şekil 4.79. B-3 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

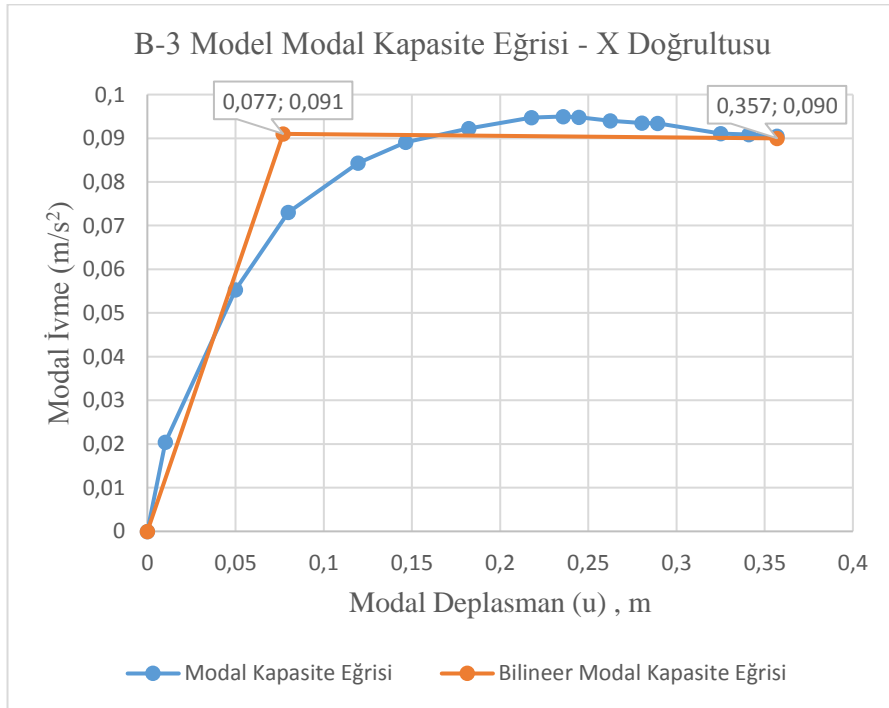
Denklem 4.54 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşana kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.80. ve Şekil 4.81.'de gösterilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.54)$$

$$U_{px} = 66,1245 \times 0,0197 \times 0,357 = 0,465 \text{ m}$$



Şekil 4.80. B-3 model kapasite eğrisi



Şekil 4.81. B-3 model modal kapasite eğrisi

B-3 model için Şekil 4.80.'deki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.55 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.55)$$

$$\mu_x = \frac{0,465}{0,117} = 3,974$$

B-3 model için Şekil 4.80.'deki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.56 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.56)$$

$$k_x = \frac{4030,24}{117} = 34,446$$

B-3 model için Şekil 4.80. ve Şekil 4.81.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.57 – Denklem 4.59 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.57)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.58)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.59)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7088}{0,091} = 7,789$$

$$f_d = \frac{4030,24}{1,5} = 2686,827$$

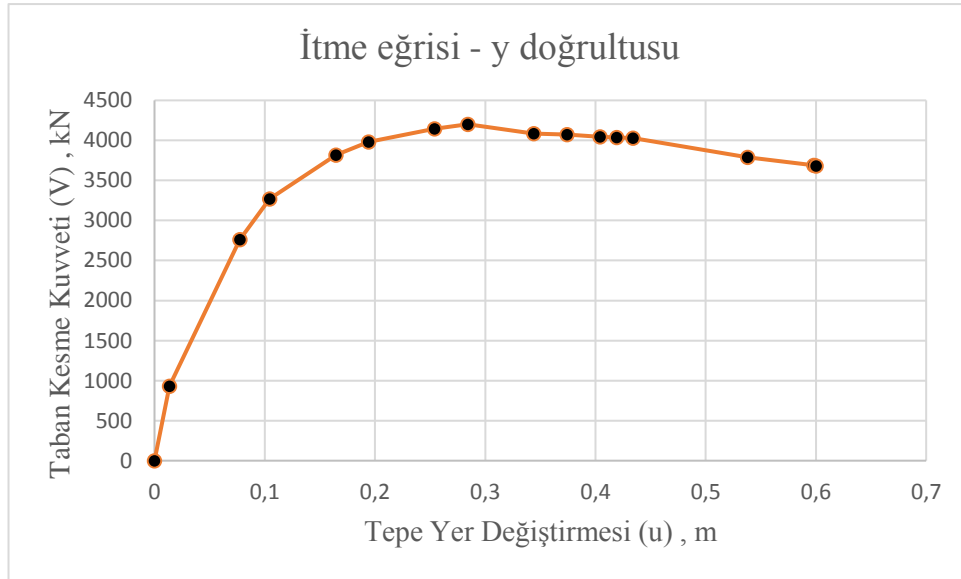
$$f_e = 7,789 \times 4030,24 = 31391,584 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{31391,584}{2686,827} = 11,684 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

B-3 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.46.'da, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.72.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.47.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.47. B-3 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013545	932,51
2	0,077470	2763,028
3	0,104377	3268,958
4	0,164489	3817,505
5	0,194047	3980,908
6	0,254047	4144,920
7	0,284047	4201,984
8	0,344047	4086,506
9	0,374047	4075,041
10	0,404047	4044,624
11	0,419047	4039,306
13	0,434047	4029,971
14	0,537920	3788,659
15	0,597920	3687,505
16	0,6	3681,816



Şekil 4.82. B-3 model "PUSH-Y" itme eğrisi

Tablo 4.48B-3 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

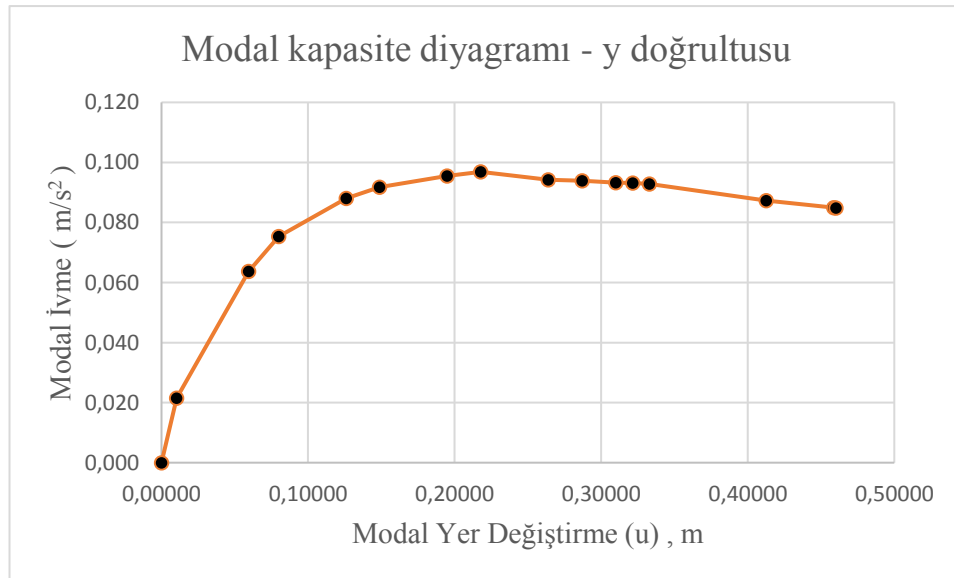
Periyot (T) sn	1,37
Kütle katılım oranı	0,8039
Toplam Kütle (M) ton	4422,26
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,161318
Modal büyüklük $\Phi_{xN1}$	0,0197



Tablo 4.47.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.48. ve Şekil 4.83.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

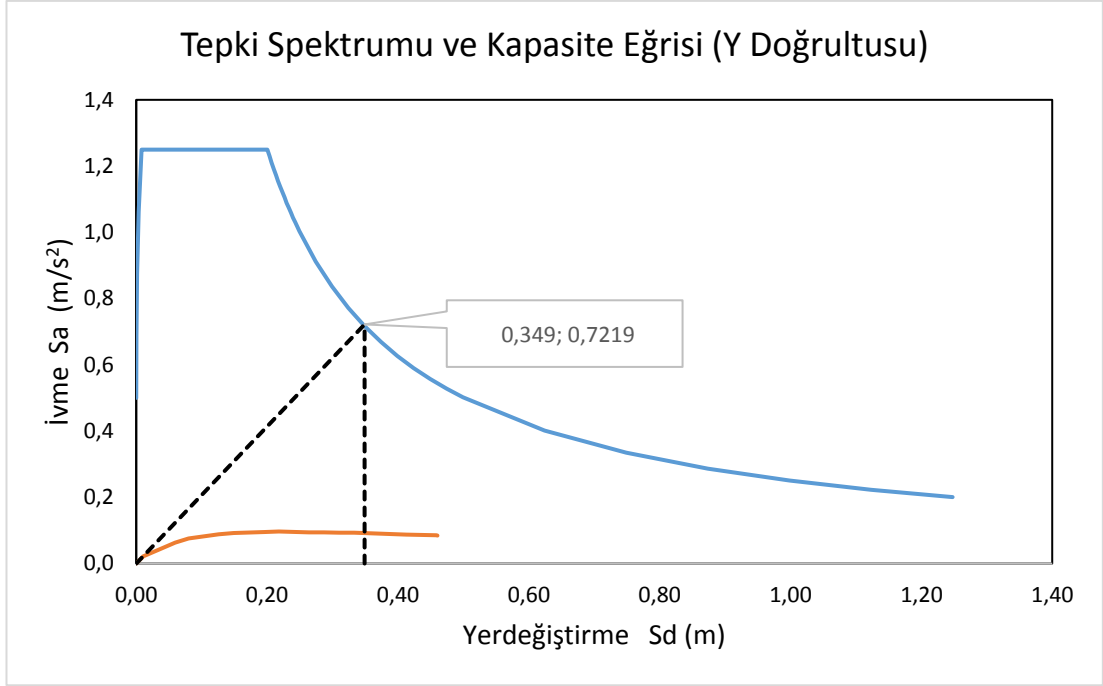
Tablo 4.49. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01039	0,021
2	0,05944	0,064
3	0,08008	0,075
4	0,12620	0,088
5	0,14888	0,092
6	0,19491	0,096
7	0,21793	0,097
8	0,26397	0,094
9	0,28698	0,094
10	0,31000	0,093
11	0,32151	0,093
12	0,33302	0,093
13	0,41271	0,087
14	0,45875	0,085
15	0,46034	0,085



Şekil 4.83. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

B-3 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.84.'te gösterilmiştir.

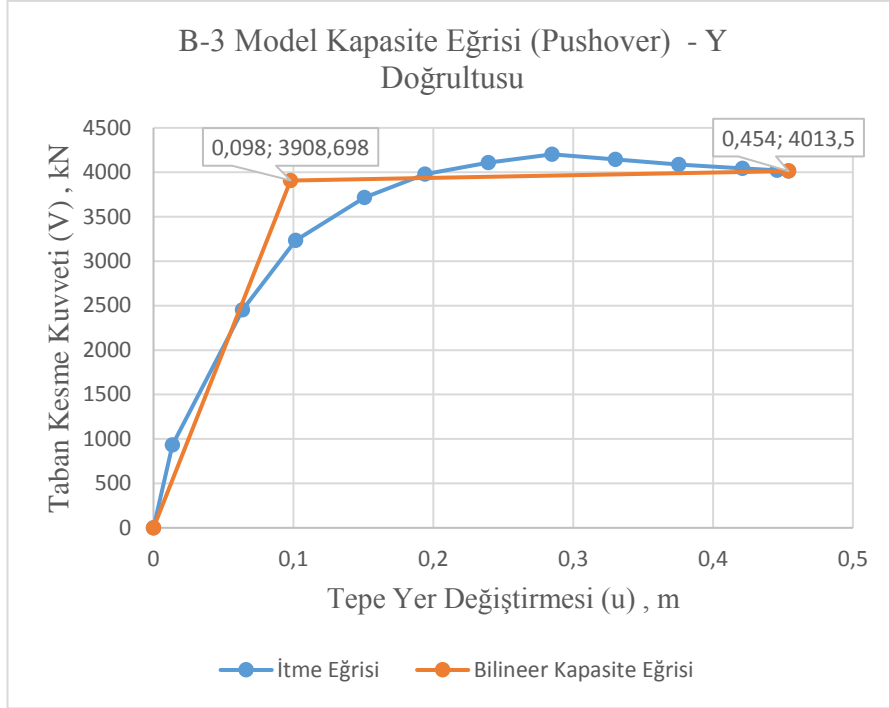


Şekil 4.84. B-3 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

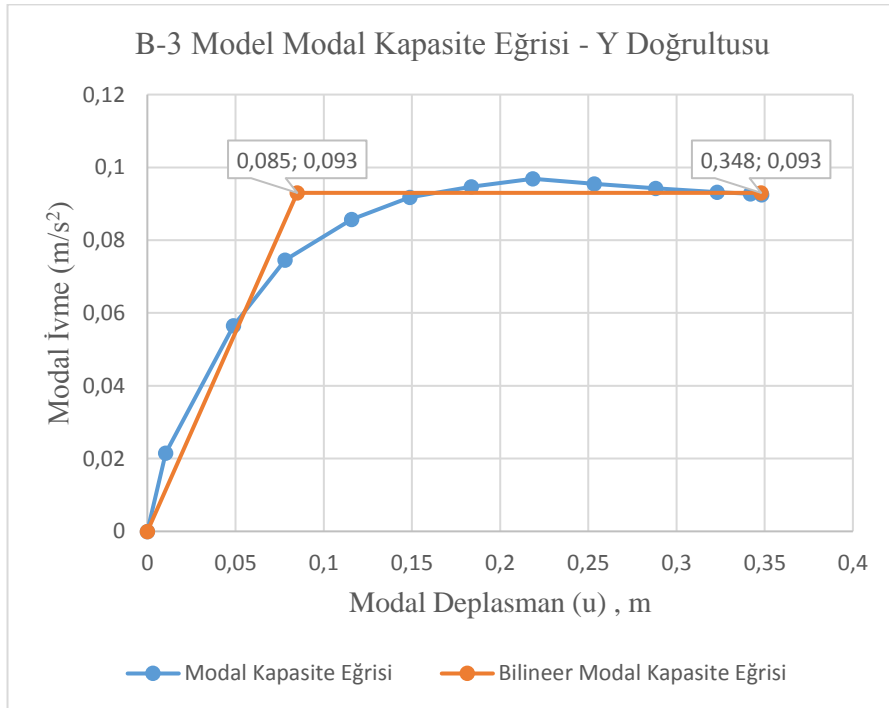
Denklem 4.60 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılanaya kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılanaya kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.85. ve Şekil 4.86.'da gösterilmiştir.

$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.60)$$

$$U_{py} = 66,161318 \times 0,0197 \times 0,349 = 0,454 \text{ m}$$



Şekil 4.85. B-3 model kapasite eğrisi



Şekil 4.86. B-3 model modal kapasite eğrisi

B-3 model için Şekil 4.85.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.61 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.61)$$

$$\mu_y = \frac{0,454}{0,098} = 4,633$$

B-3 model için Şekil 4.85.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.62 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.62)$$

$$k_y = \frac{3908,698}{98} = 39,885$$

B-3 model için Şekil 4.85. ve Şekil 4.86.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.63 – Denklem 4.66 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.63)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.64)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.65)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.66)$$

$$R_{yy} = \frac{0,7219}{0,093} = 7,762$$

$$f_d = \frac{3908,698}{1,5} = 2605,799$$

$$f_e = 7,762 \times 3908,698 = 30340,743 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{30340,743}{2605,799} = 11,644 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.7. Model – C1 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-C1, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,60 m x 0,60 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,10' dur. Her iki doğrultuda birer adet çiroz koyulmuştur.

Tablo 4.49.'da oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.50. C-1 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-C1 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.50.'de gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,386 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,37 sn olarak hesaplanmıştır.

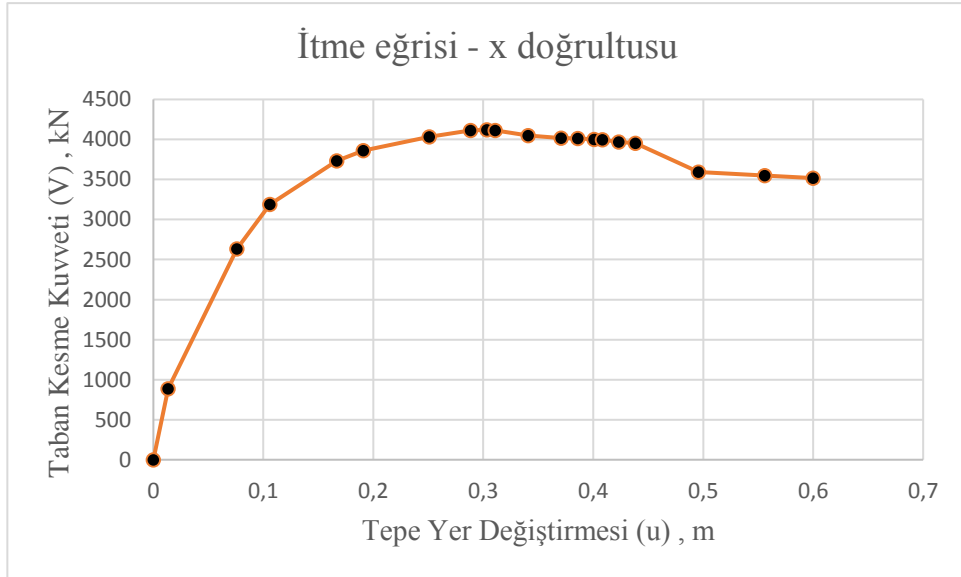
Tablo 4.51. C-1 model periyot ve frekanslar

Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,386	0,722
2	1,370	0,730
3	1,253	0,798
4	0,417	2,401
5	0,413	2,423
6	0,380	2,633
7	0,211	4,731
8	0,210	4,761
9	0,195	5,124
10	0,126	7,925
11	0,126	7,957
12	0,118	8,488

C-1 model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.51.'de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.87.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.52.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.52. C-1 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013415	886,044
2	0,076056	2634,366
3	0,106051	3190,228
4	0,166956	3731,669
5	0,190879	3861,892
6	0,250879	4031,510
7	0,288379	4112,614
8	0,303379	4120,682
9	0,310879	4114,795
10	0,340879	4047,964
11	0,370879	4017,589
12	0,385879	4013,495
13	0,400879	4000,011
14	0,408379	3995,976
15	0,423379	3968,9
16	0,438354	3953,263
17	0,49587	3592,639
18	0,55587	3550,938
19	0,6	3515,959



Şekil 4.87. C-1 model "PUSH-X" itme eğrisi

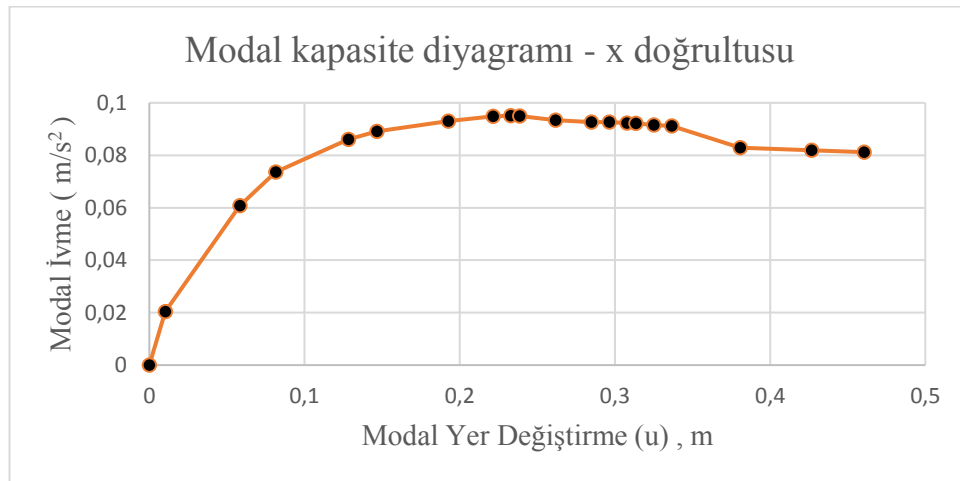
Tablo 4.53. C-1 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,386
Kütle katılım oranı	0,80302
Toplam Kütle (M)	4417,3624
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,12479
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.52.'de gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.53. ve Şekil 4.88.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

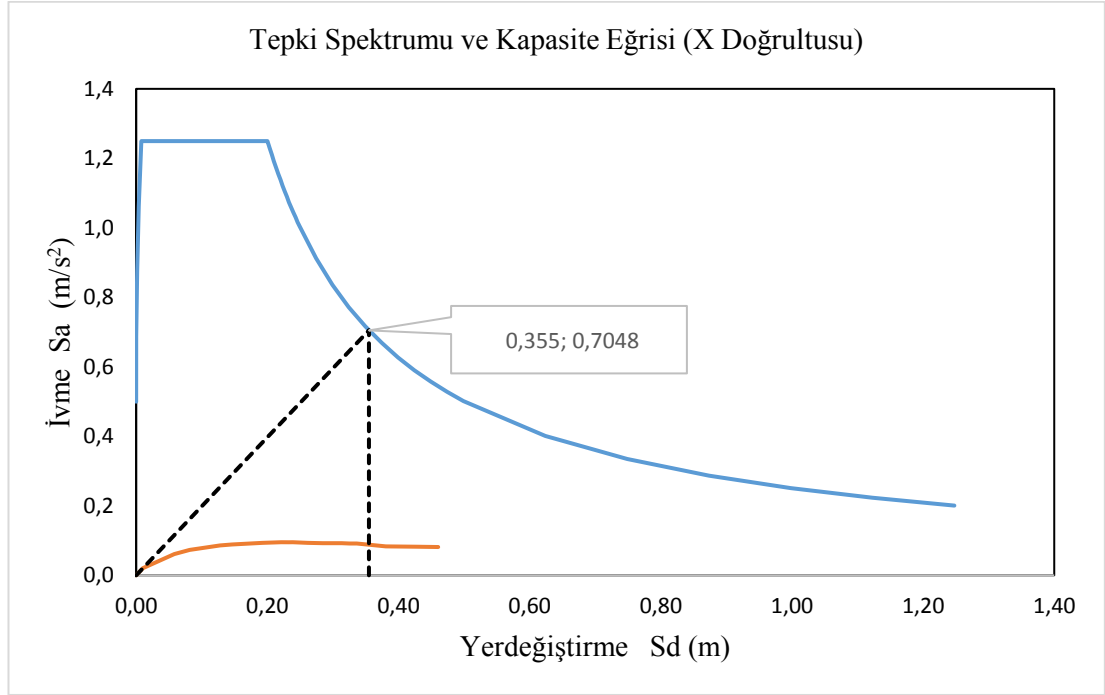
Tablo 4.54. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01030	0,020
2	0,05839	0,061
3	0,08141	0,074
4	0,12817	0,086
5	0,14653	0,089
6	0,19259	0,093
7	0,22138	0,095
8	0,23289	0,095
9	0,23865	0,095
10	0,26168	0,093
11	0,28471	0,093
12	0,29623	0,093
13	0,30774	0,092
14	0,31350	0,092
15	0,32501	0,092
16	0,33651	0,091
17	0,38066	0,083
18	0,42672	0,082
19	0,46060	0,081



Şekil 4.88. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

C-1 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.89.'da gösterilmiştir.



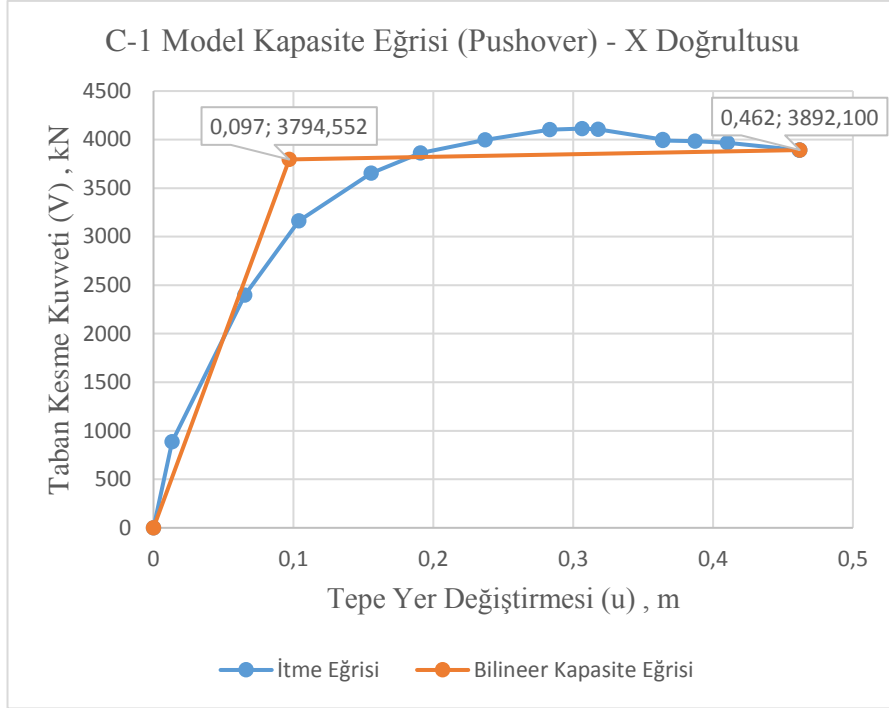
Şekil 4.89. C-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

Denklem 4.67 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılanaya kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılanaya kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.90. ve Şekil 4.91.'de gösterilmiştir.

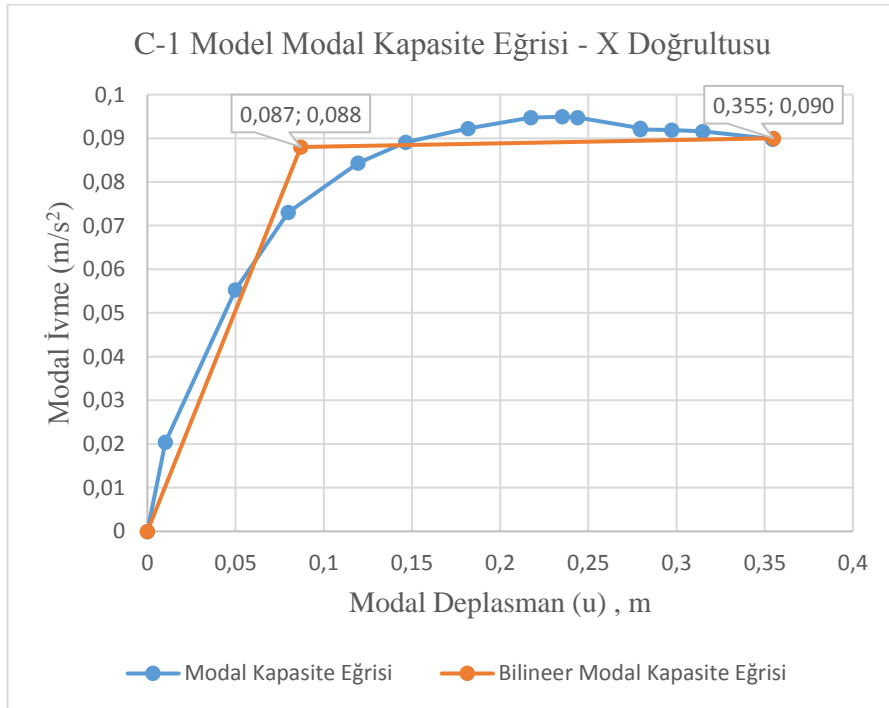
$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.67)$$

$$U_{px} = 66,12479 \times 0,0197 \times 0,355 = 0,462 \text{ m}$$





Şekil 4.90. C-1 model kapasite eğrisi



Şekil 4.91. C-1 model modal kapasite eğrisi

C-1 model için Şekil 4.90.'daki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.68 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.68)$$

$$\mu_x = \frac{0,462}{0,097} = 4,763$$

C-1 model için Şekil 4.90.'daki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.69 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.69)$$

$$k_x = \frac{3794,552}{97} = 39,119$$

C-1 model için Şekil 4.90. ve Şekil 4.91.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.70 – Denklem 4.72 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.70)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.71)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.72)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7048}{0,088} = 8,009$$

$$f_d = \frac{3794,552}{1,5} = 2529,701$$

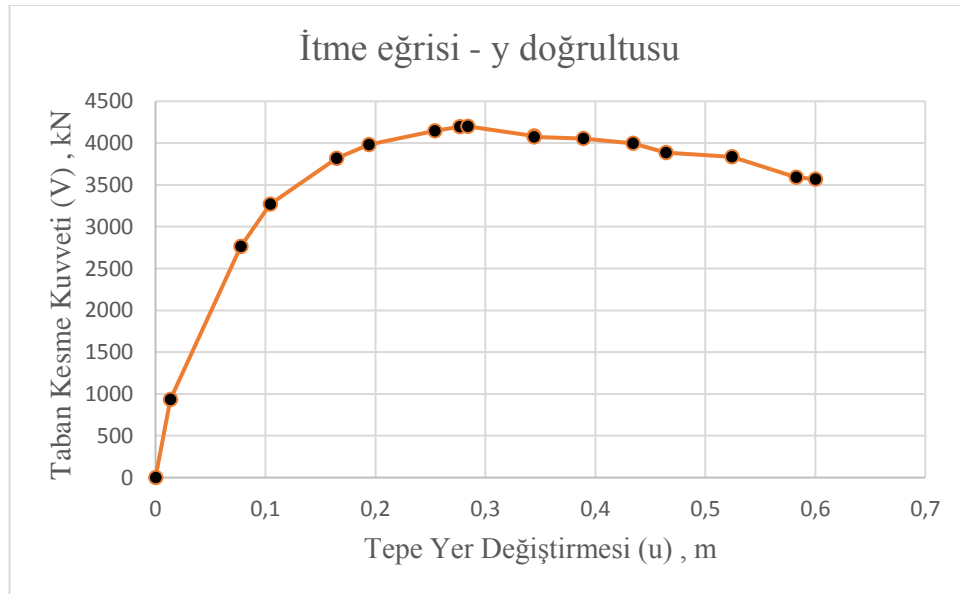
$$f_e = 8,009 \times 3794,552 = 30390,912 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{30390,912}{2529,701} = 12,014 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

C-1 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan “PUSH-Y” itme eğrisi sonuçları Tablo 4.54.’te, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.92.’de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.55.’te gösterilmiştir.

Tablo 4.55. C-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013545	932,51
2	0,077470	2763,028
3	0,104377	3268,958
4	0,164489	3817,505
5	0,194047	3980,906
6	0,254047	4194,859
7	0,276547	4194,194
8	0,284047	4200,093
9	0,344047	4084,493
10	0,344053	4073,156
11	0,389053	4052,675
12	0,434041	3998,034
13	0,463986	3887,345
14	0,523986	3835,093
15	0,582593	3590,337
16	0,6	3567,035



Şekil 4.92. C-1 model "PUSH-Y" itme eğrisi

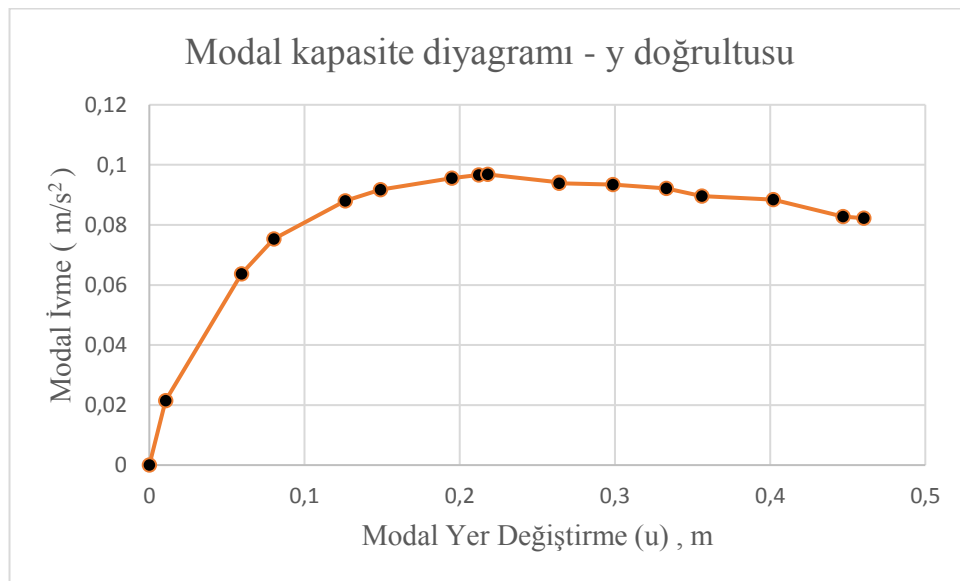
Tablo 4.56. C-1 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,37
Kütle katılım oranı	0,80391
Toplam Kütle (M) ton	4422,26
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,161318
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.55.'te gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.56. ve Şekil 4.93.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

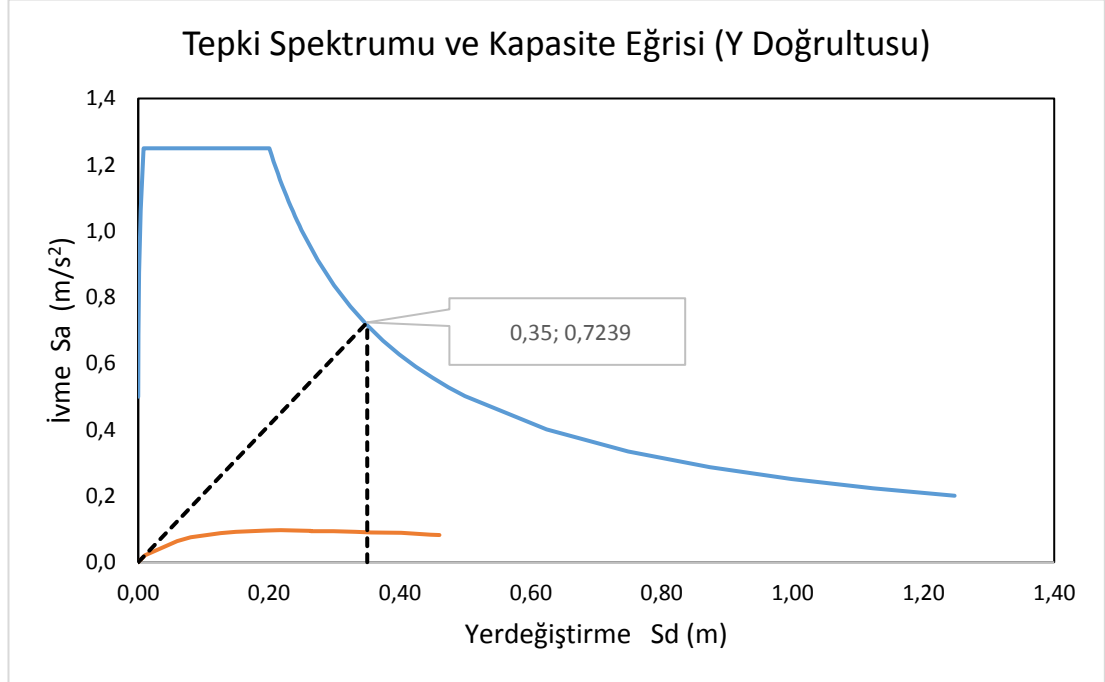
Tablo 4.57. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01039	0,021
2	0,05944	0,064
3	0,08008	0,075
4	0,12620	0,088
5	0,14888	0,092
6	0,19491	0,096
7	0,21218	0,097
8	0,21793	0,097
9	0,26397	0,094
10	0,26397	0,094
11	0,29850	0,093
12	0,33301	0,092
13	0,35599	0,090
14	0,40202	0,088
15	0,44699	0,083
16	0,46034	0,082



Şekil 4.93. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

C-1 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.94.'te gösterilmiştir.

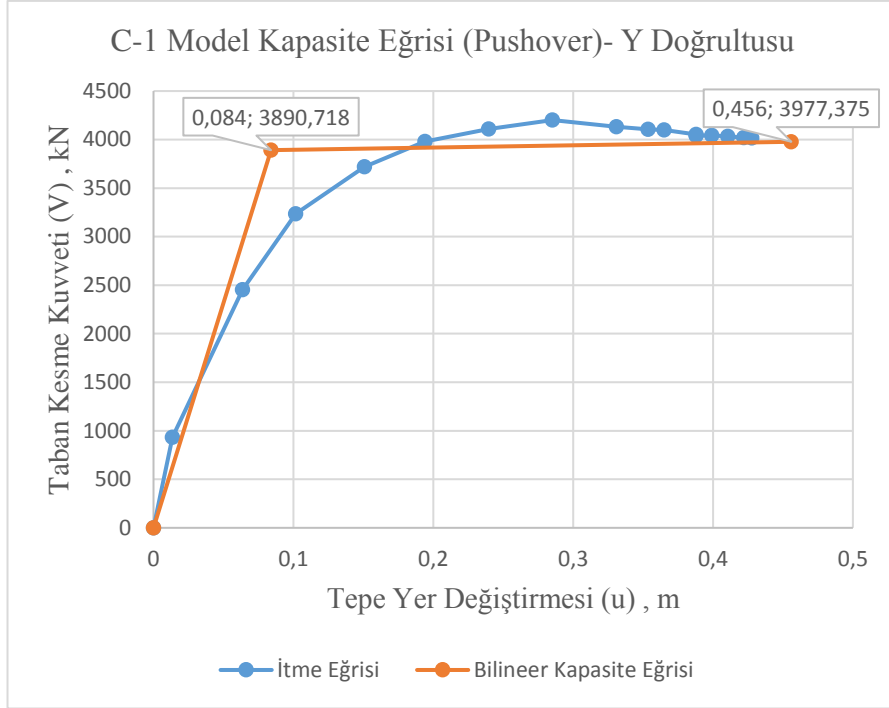


Şekil 4.94. C-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

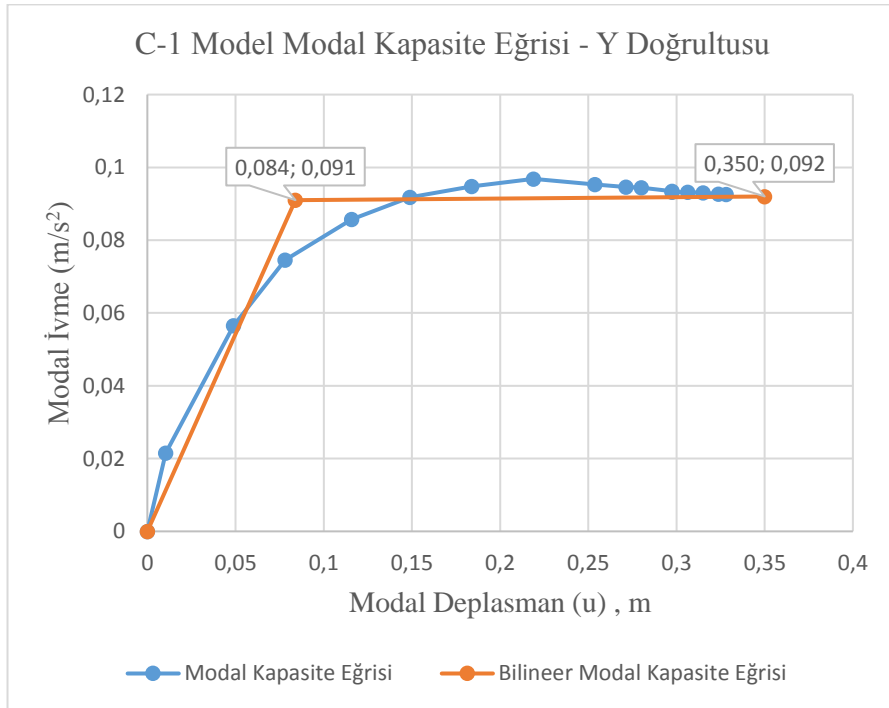
Denklem 4.73 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.95. ve Şekil 4.96.'da gösterilmiştir.

$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.73)$$

$$U_{py} = 66,161318 \times 0,0197 \times 0,35 = 0,456 \text{ m}$$



Şekil 4.95. C-1 model kapasite eğrisi



Şekil 4.96. C-1 model modal kapasite eğrisi

C-1 model için Şekil 4.95.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.74 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.74)$$

$$\mu_y = \frac{0,456}{0,084} = 5,429$$

C-1 model için Şekil 4.95.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.75 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.75)$$

$$k_y = \frac{3890,718}{84} = 46,318$$

C-1 model için Şekil 4.95. ve Şekil 4.96.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.76 – Denklem 4.80 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.76)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.77)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.78)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.79)$$

$$R_{yy} = \frac{0,7239}{0,091} = 7,955$$

$$f_d = \frac{3890,718}{1,5} = 2593,812$$

$$f_e = 7,955 \times 3890,718 = 30950,448 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{30950,448}{2593,812} = 11,932 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

#### 4.8. Model – C2 Tasarımı ve Analiz Sonuçları

Model-C2, X ve Y yönünde sabit 5,5 m açıklıklara sahip olup, X doğrultusunda 7 aks, Y doğrultusunda ise 6 adet akstan oluşmaktadır. Kolonlar 0,60 m x 0,60 m boyutlarında, kirişler 0,30 m x 0,50 m boyutlarındadır. Kolon etriye aralığı 0,10'dur. Her iki doğrultuda ikişer adet çiroz koyulmuştur.

Tablo 4.57.'de oluşturulan yapıya ait kolon ve kirişlerin ebat ve donatı özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.58. C-2 model eleman bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h (mm)			b (mm)	h (mm)	alt	üst
1	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
2	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
3	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
4	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
5	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
6	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8
7	600	600	18Φ16	Φ10/10	300	500	3Φ8	3Φ8

Model-C2 analizi sonucunda çıkan periyotlar ve frekanslar Tablo 4.58.'de gösterilmiştir. Tasarlanan yapı 7 katlı ve 21 m yüksekliğindedir. Uygulanan itme analizinde yer değiştirme başlangıç noktası 0,6 m olarak belirlenmiştir. Yapının 1.mod periyodu x doğrultusunda 1,386 sn, 2.mod periyodu y doğrultusunda 1,37 sn olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.59. C-2 model periyot ve frekanslar

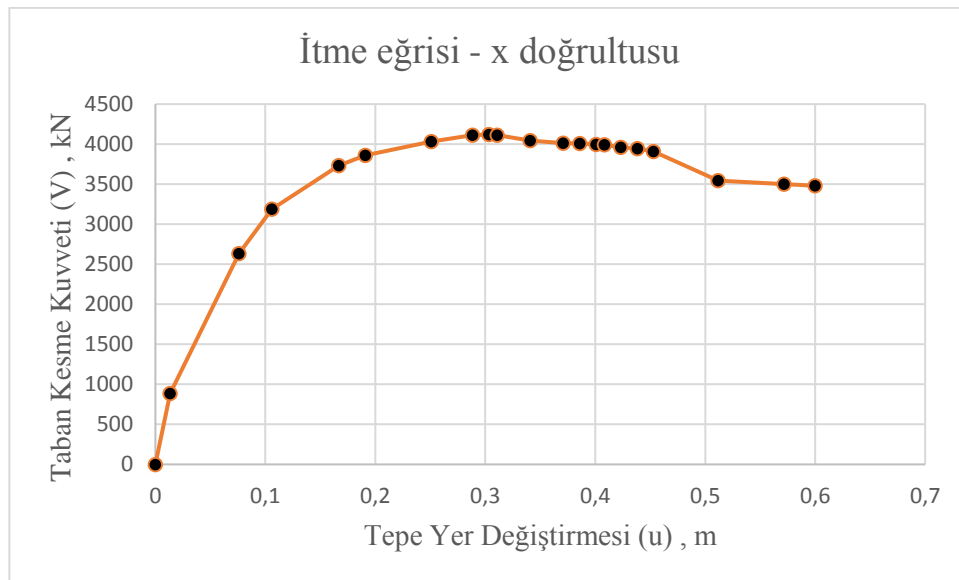
Modlar	Periyotlar (sn)	Frekanslar (Hz)
1	1,386	0,722
2	1,370	0,730
3	1,253	0,798
4	0,417	2,401
5	0,413	2,423
6	0,380	2,633
7	0,211	4,731
8	0,210	4,761
9	0,195	5,124
10	0,126	7,925
11	0,126	7,957
12	0,118	8,488



C-2 model için yapılan analiz sonucunda x doğrultusunda uygulanan "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.59.'da, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.97.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.60.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.60. C-2 model "PUSH-X" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xNI}^i$ (m)	$V_{xI}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013415	886,044
2	0,076056	2634,366
3	0,106051	3190,228
4	0,166956	3731,669
5	0,190879	3861,892
6	0,250879	4031,496
7	0,288379	4112,462
8	0,303379	4120,051
9	0,310879	4113,913
10	0,340879	4044,765
11	0,370879	4013,182
12	0,385879	4008,856
13	0,400879	3994,947
14	0,408379	3990,724
15	0,423379	3961,49
16	0,438331	3945,497
17	0,452841	3909,113
18	0,511677	3546,234
19	0,571677	3500,567
20	0,6	3479,205



Şekil 4.97. C-2 model "PUSH-X" itme eğrisi

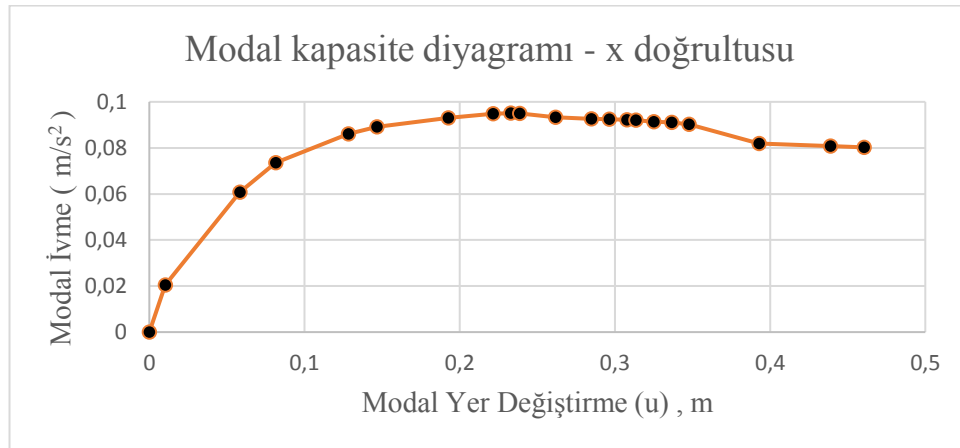
Tablo 4.61. C-2 model "PUSH-X" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,386
Kütle katılım oranı	0,80302
Toplam Kütle (M)	4417,3624
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{X1}$ )	66,12479
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.60.'da gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.61. ve Şekil 4.98.'deki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

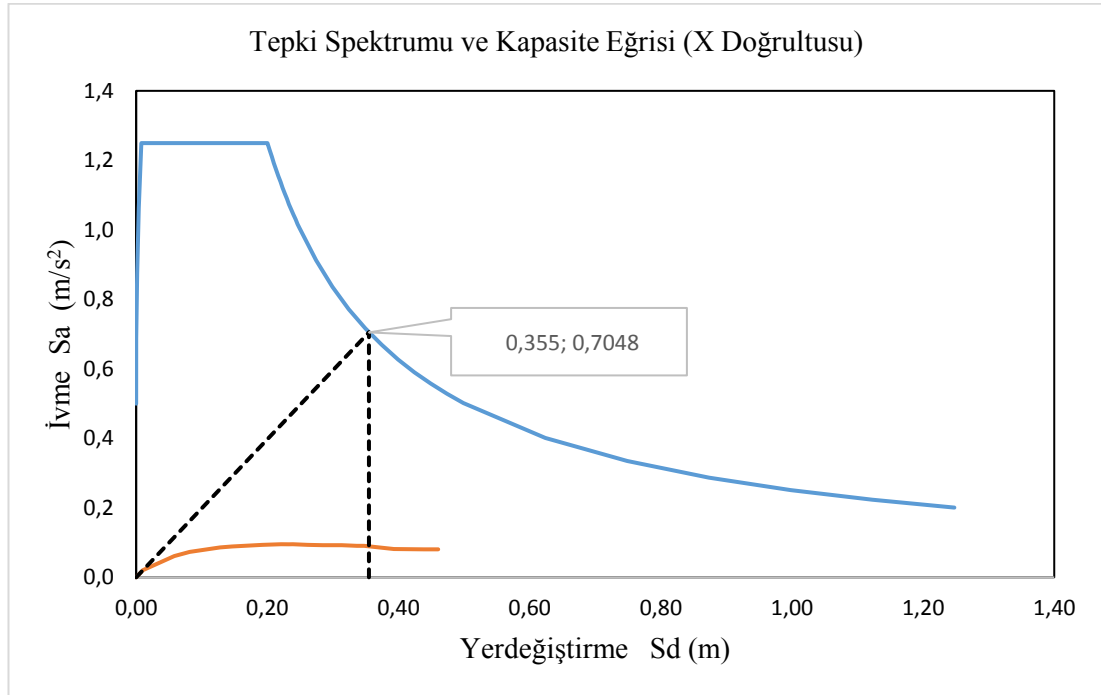
Tablo 4.62. X doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01030	0,020
2	0,05839	0,061
3	0,08141	0,074
4	0,12817	0,086
5	0,14653	0,089
6	0,19259	0,093
7	0,22138	0,095
8	0,23289	0,095
9	0,23865	0,095
10	0,26168	0,093
11	0,28471	0,093
12	0,29623	0,093
13	0,30774	0,092
14	0,31350	0,092
15	0,32501	0,091
16	0,33649	0,091
17	0,34763	0,090
18	0,39280	0,082
19	0,43886	0,081
20	0,46060	0,080



Şekil 4.98. X doğrultusu modal kapasite diyagramı

C-2 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan x doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.99.'da gösterilmiştir.

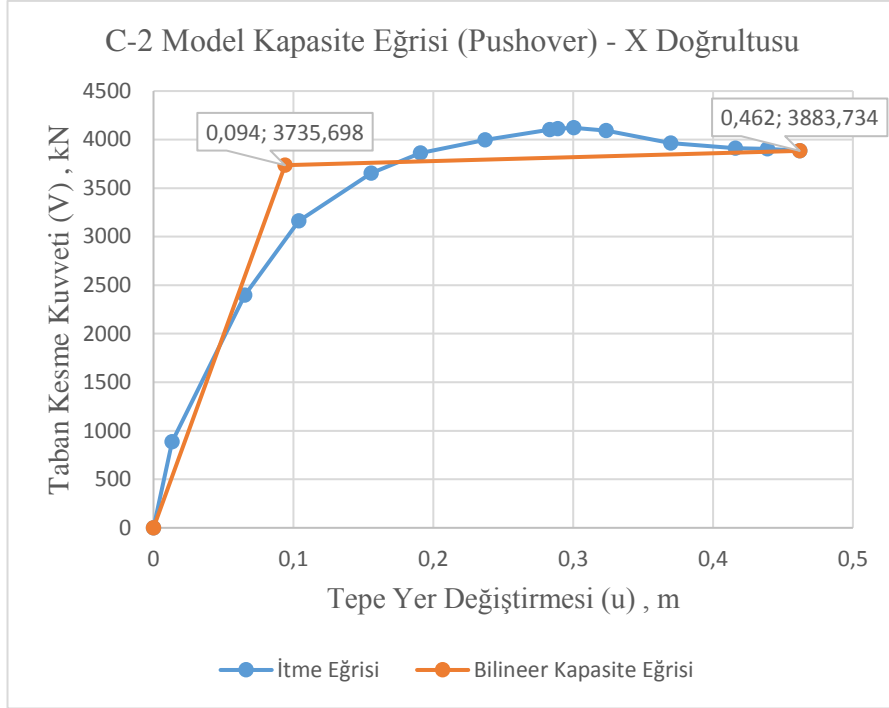


Şekil 4.99. C-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme istemi

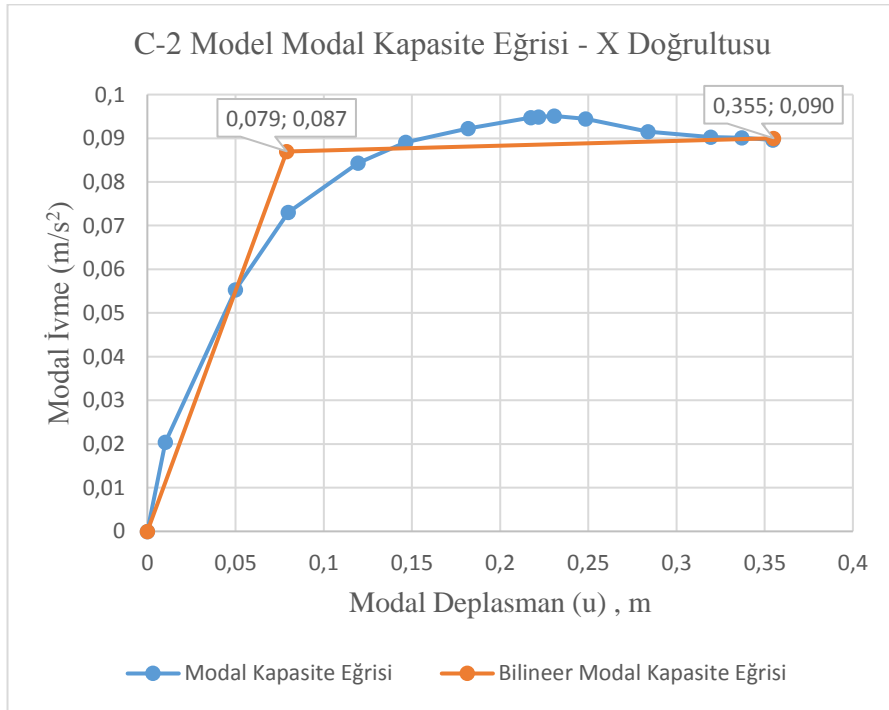
Denklem 4.80 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. X doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.100. ve Şekil 4.101.'de gösterilmiştir.

$$U_{px} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.80)$$

$$U_{px} = 66,12479 \times 0,0197 \times 0,355 = 0,462 \text{ m}$$



Şekil 4.100. C-2 model kapasite eğrisi



Şekil 4.100. C-2 model modal kapasite eğrisi

C-2 model için Şekil 4.90.'daki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.81 ile hesaplanır.

$$\mu_x = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.81)$$

$$\mu_x = \frac{0,462}{0,094} = 4,915$$

C-2 model için Şekil 4.100.'daki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.82 ile hesaplanır.

$$k_x = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.82)$$

$$k_x = \frac{3735,698}{94} = 39,741$$

C-2 model için Şekil 4.100. ve Şekil 4.101.'deki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.83 – Denklem 4.85 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.83)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.84)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.85)$$

$$R_{yx} = \frac{0,7048}{0,087} = 8,101$$

$$f_d = \frac{3735,698}{1,5} = 2490,465$$

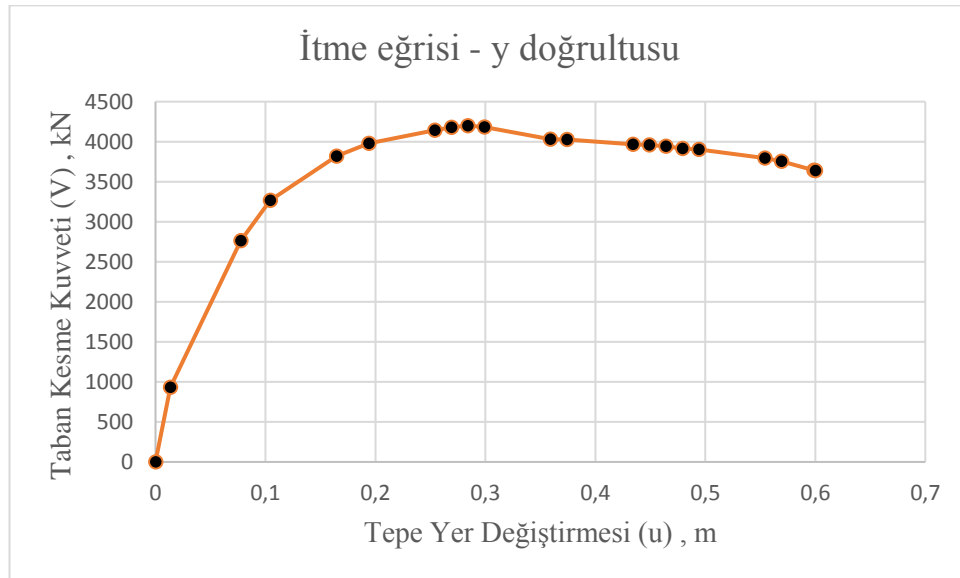
$$f_e = 8,101 \times 3735,698 = 30263,448 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{30263,448}{2490,465} = 12,152 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

C-2 model için X doğrultusunda yapılan analiz ve hesaplamalar aynı şekilde Y doğrultusu için uygulanmıştır. Y doğrultusunda uygulanan "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları Tablo 4.62.'de, itme (pushover) eğrisi Şekil 4.102.'de, modal hesap sonuçları ise Tablo 4.63.'te gösterilmiştir.

Tablo 4.63. C-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi sonuçları

Adım	$U_{xN1}^i$ (m)	$V_{x1}^i$ (kN)
0	0	0
1	0,013545	932,51
2	0,077470	2763,028
3	0,104377	3268,958
4	0,164489	3817,505
5	0,194047	3980,906
6	0,254047	4144,851
7	0,269047	4180,57
8	0,284047	4200,35
9	0,299047	4181,474
10	0,359047	4030,191
11	0,374047	4026,238
12	0,434047	3965,929
13	0,449047	3960,332
14	0,464047	3943,529
15	0,479079	3914,952
16	0,494079	3903,657
17	0,554086	3793,538
18	0,569095	3755,411
19	0,598619	3642,672
20	0,6	3640,852



Şekil 4.101. C-2 model "PUSH-Y" itme eğrisi

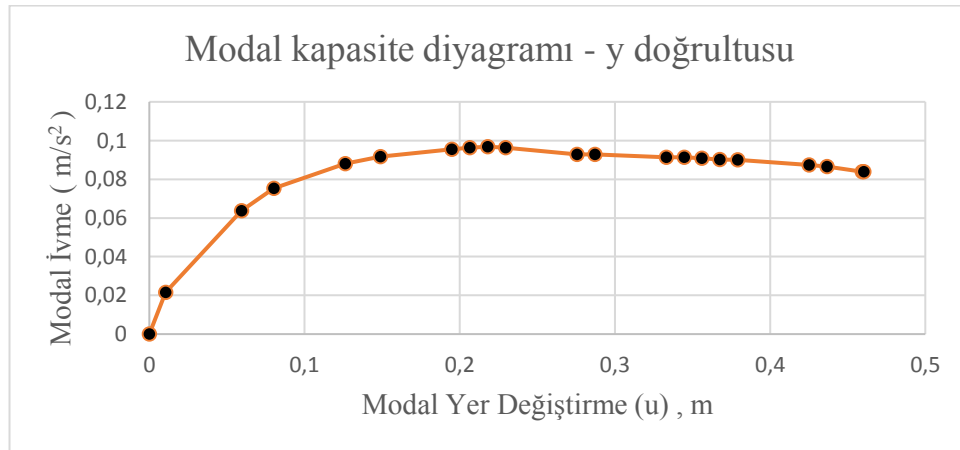
Tablo 4.64. C-2 model "PUSH-Y" modal hesap sonuçları

Periyot (T) sn	1,37
Kütle katılım oranı	0,80391
Toplam Kütle (M) ton	4422,26
Katkı çarpanı ( $\Gamma_{x1}$ )	66,161318
Modal büyüklük $\phi_{xN1}$	0,0197

Tablo 4.63.'te gösterilen modal hesap sonuçları Denklem 3.5 ve Denklem 3.6 kullanılarak modal kapasite eğrisi sonuçları hesaplanır Tablo 4.64. ve Şekil 4.103.'teki gibi modal kapasite diyagramı çizilir.

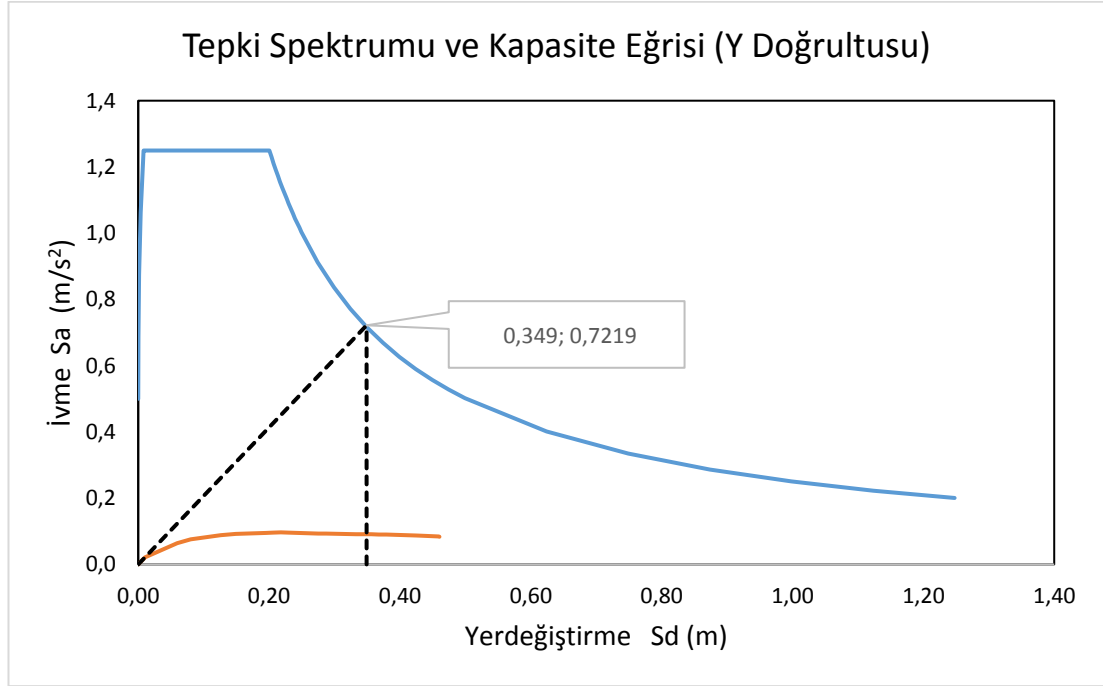
Tablo 4.65. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı sonuçları

Adım	d (m)	a (m/sn <sup>2</sup> )
0	0	0
1	0,01039	0,021
2	0,05944	0,064
3	0,08008	0,075
4	0,12620	0,088
5	0,14888	0,092
6	0,19491	0,096
7	0,20642	0,096
8	0,21793	0,097
9	0,22944	0,096
10	0,27547	0,093
11	0,28698	0,093
12	0,33302	0,091
13	0,34453	0,091
14	0,35603	0,091
15	0,36757	0,090
16	0,37908	0,090
17	0,42512	0,087
18	0,43663	0,087
19	0,45928	0,084
20	0,46034	0,084



Şekil 4.102. Y doğrultusu modal kapasite diyagramı

C-2 model için davranış spektrumu ve modal kapasite diyagramının aynı düzlemde gösterilmesiyle oluşan y doğrultusu modal yer değiştirme istemi Şekil 4.104.'te gösterilmiştir.



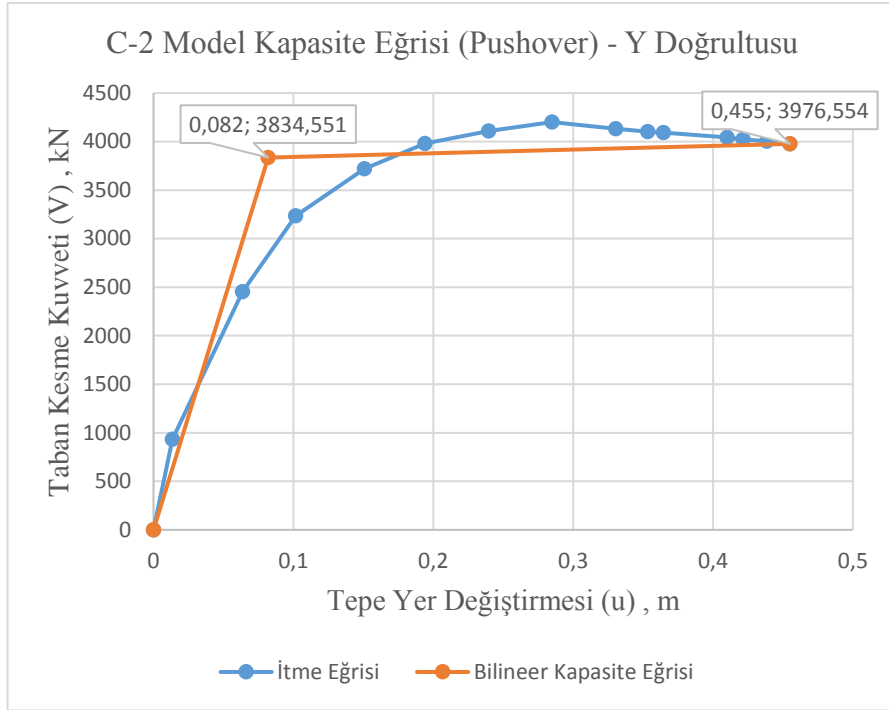
Şekil 4.104. C-2 model y doğrultusu modal yer değiştirme istemi

Denklem 4.86 ile performans noktası hesaplanır. Elde edilen performans noktasına ulaşılan kadar itme işlemi tekrarlanır. Y doğrultusunda performans noktasına ulaşılan kadar uygulanan itme analizi sonucu oluşan kapasite eğrisi ve modal kapasite eğrisi Şekil 4.105. ve Şekil 4.106.'da gösterilmiştir.

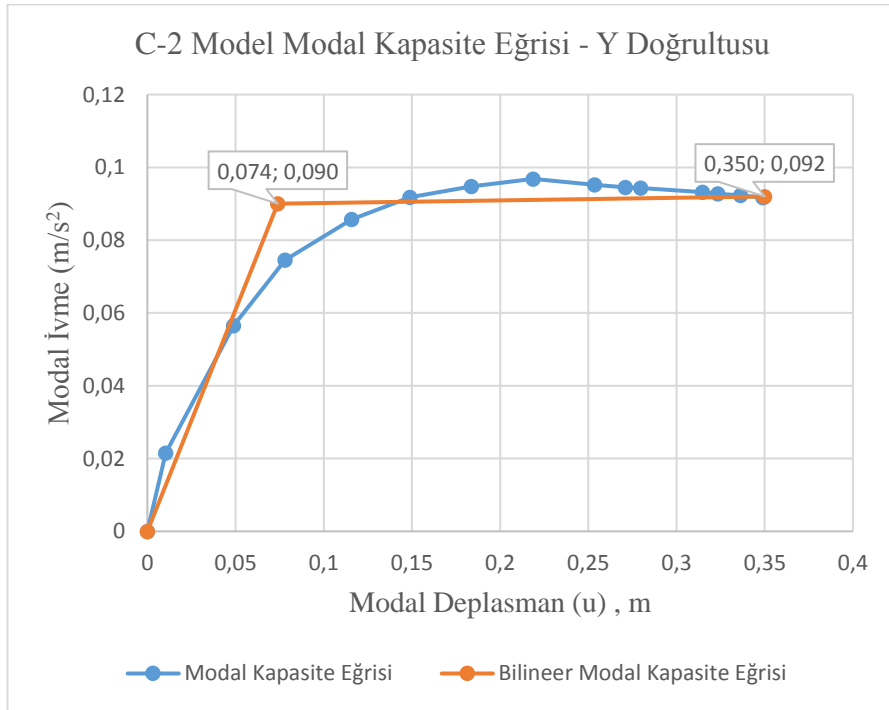
$$U_{py} = \Gamma_n \phi_m^i S_{di} \quad (4.86)$$

$$U_{py} = 66,161318 \times 0,0197 \times 0,349 = 0,455 \text{ m}$$





Şekil 4.105. C-2 model kapasite eğrisi



Şekil 4.106. C-2 model modal kapasite eğrisi

C-2 model için Şekil 4.105.'teki değerler yardımıyla yapıya ait süneklik Denklem 4.87 ile hesaplanır.

$$\mu_y = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.87)$$

$$\mu_y = \frac{0,455}{0,082} = 5,549$$

C-2 model için Şekil 4.105.'teki değerler yardımıyla rijitlik katsayısı Denklem 4.88 ile hesaplanır.

$$k_y = \frac{f_y}{u_y} \quad (4.88)$$

$$k_y = \frac{3834,551}{82} = 46,763$$

C-2 model için Şekil 4.105. ve Şekil 4.106.'daki değerler yardımıyla yapıya ait dayanım azaltma katsayısı  $R_{yy}$  ve deprem yükü azaltma katsayısı Denklem 4.89 – Denklem 4.92 ile hesaplanır.

$$R_a = \frac{f_e}{f_d} \quad (4.89)$$

$$f_e = R_{yx} f_y \quad (4.90)$$

$$f_d = \frac{f_y}{1,5} \quad (4.91)$$

$$R_{yy} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad (4.92)$$

$$R_{yy} = \frac{0,7219}{0,09} = 8,021$$

$$f_d = \frac{3834,551}{1,5} = 2556,367$$

$$f_e = 8,021 \times 3834,551 = 30757,36 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{30757,36}{2556,367} = 12,032 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

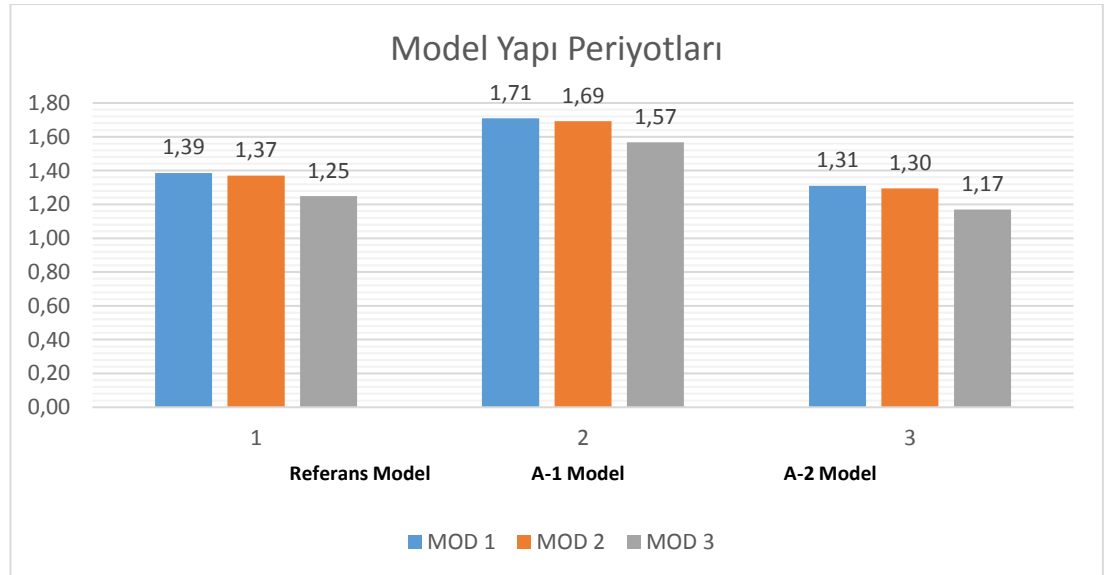
## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Tez kapsamında bir adet referans model, kolon ebatları farklı iki adet model (A1 ve A2), kolon etriye aralıkları farklı üç adet model (B1, B2 ve B3) ile çiroz adetleri farklı iki adet model (C1 ve C2) olmak üzere toplam 8 adet model incelenmiştir. İncelenmesi yapılan tüm modellerin donatı ve etriye miktarları, aks açıklıkları ve adetleri aynıdır.

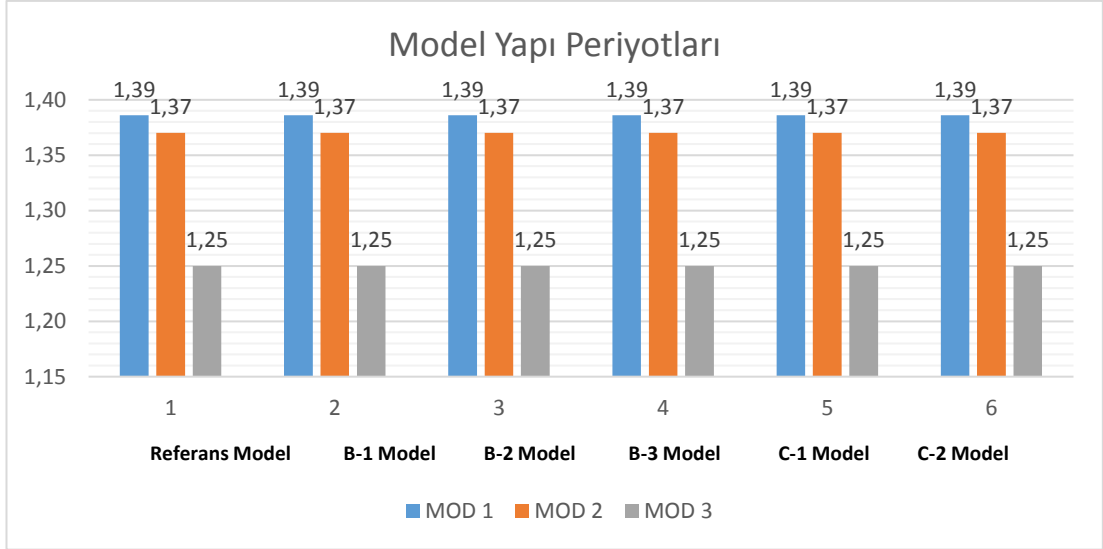
Analizi yapılan tüm modellerin yapı periyotlarının ilk üç modu Tablo 5.1.'de sunulmuş ve Şekil 5.1. ile Şekil 5.2.'de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Modellerin yapı periyotları (sn)

	Referans Model	Model A-1	Model A-2	Model B-1	Model B-2	Model B-3	Model C-1	Model C2
MOD1	1,386	1,710	1,309	1,386	1,386	1,386	1,386	1,386
MOD2	1,370	1,693	1,295	1,370	1,370	1,370	1,370	1,370
MOD3	1,250	1,567	1,170	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25



Şekil 5.1. Model yapı periyotları karşılaştırması



Şekil 5.2. Model yapı periyotları karşılaştırması - 2

Oluşturulan modellerin tamamında 1.modda X doğrultusunda hareket, 2.modda Y doğrultusunda hareket, 3.modda ise burulma hareketi oluşmuştur.

Referans model (kolon ebatları 60 cm x 60 cm) ile A-1 (kolon ebatları 40 cm x 40 cm) ve A-2 (kolon ebatları 70 cm x 70 cm) modellerin karşılaştırılması yapıldığında yapı periyodunun kolon ebatları arttıkça düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir. Referans model (etriye aralığı 10 cm) ile B-1 (etriye aralığı 5 cm), B-2 (etriye aralığı 15 cm) ve B-3 (etriye aralığı 20 cm) modellerinin karşılaştırılması yapıldığında yapı periyodunun değişmediği gözlemlenmiş, dolayısıyla kolon etriye aralıklarının yapı periyoduna etki etmediği görülmüştür. Referans model (çiroz yok) ile C-1 (her iki yönde birer çiroz) ve C-2 (her iki yönde ikişer çiroz) modellerinin karşılaştırılması yapıldığında ise yine yapı periyotlarının değişmediği gözlemlenmiş ve kolon donatısına çiroz eklenmesi ve adedinin artırılmasının yapı periyoduna etkisinin olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

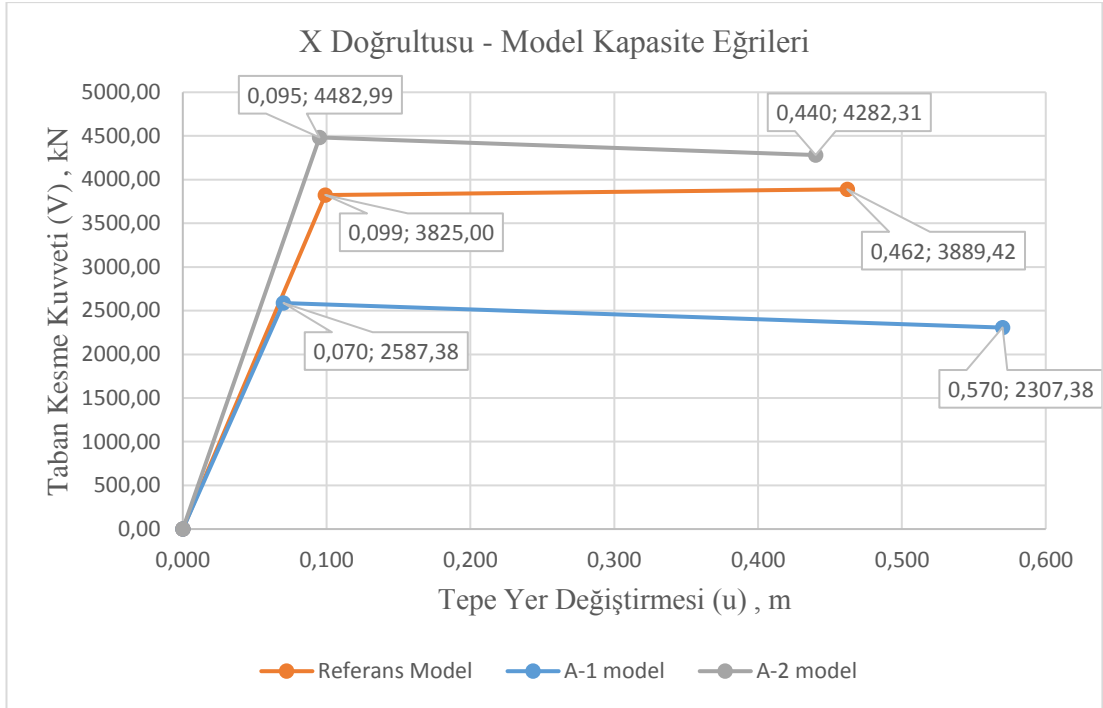
Tüm modellere itme analizi uygulandıktan sonra yeni performans noktası hesaplanmış ve buna göre itme işlemi tekrarlanmıştır. Bulunan sonuçlar ışığında oluşan itme eğrileri alan hesaplama metodu kullanan bir excel fonksiyonu yazılarak bilineer hale dönüştürülmüş ve tüm eğrilere uygulanmıştır. Tüm modellerde X ve Y doğrultularında oluşan kapasite eğrileri Tablo 5.2. ve Tablo 5.3.'te sunulmuş, Şekil 5.3. - Şekil 5.6.'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.2. X Doğrultusu Model Kapasite Eğrileri Sonuçları

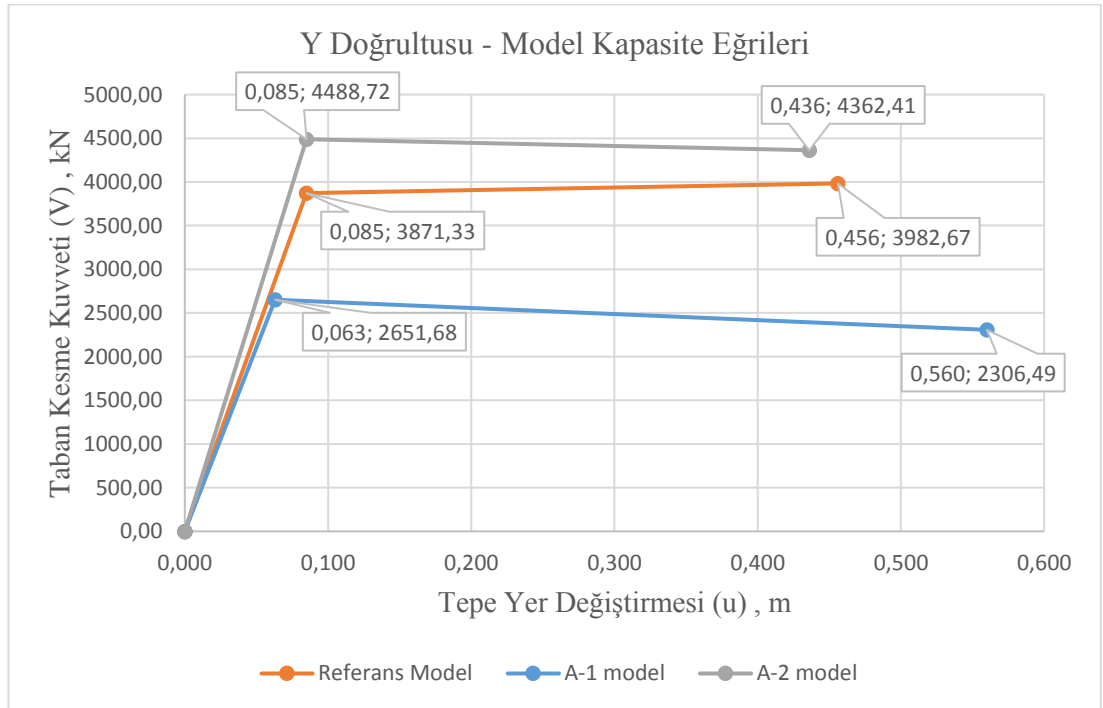
Referans Model		Model A-1		Model A-2		Model B-1		Model B-2		Model B-3		Model C-1		Model C-2	
u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,099	3825,00	0,070	2587,38	0,095	4482,99	0,098	3919,53	0,106	3852,57	0,117	4030,24	0,097	3794,55	0,094	3735,70
0,462	3889,42	0,570	2307,38	0,440	4282,31	0,464	3887,50	0,466	3933,65	0,465	3922,04	0,462	3892,10	0,462	3883,73

Tablo 5.3. Y Doğrultusu Model Kapasite Eğrileri Sonuçları

Referans Model		Model A-1		Model A-2		Model B-1		Model B-2		Model B-3		Model C-1		Model C-2	
u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)	u (m)	V (kN)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,085	3871,33	0,063	2651,68	0,085	4488,72	0,083	3918,65	0,088	3803,54	0,098	3908,70	0,084	3890,72	0,082	3834,55
0,456	3982,67	0,560	2306,49	0,436	4362,41	0,456	3951,47	0,456	3963,23	0,454	4013,50	0,456	3977,38	0,455	3976,55



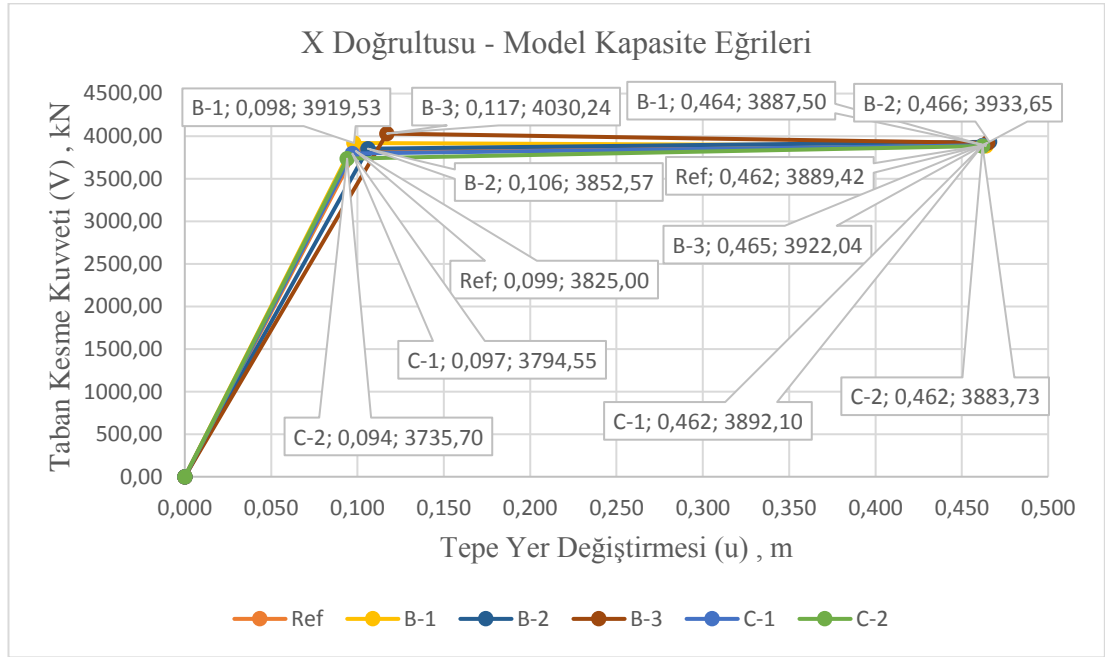
Şekil 5.3. X doğrultusu itme kapasite eğrileri



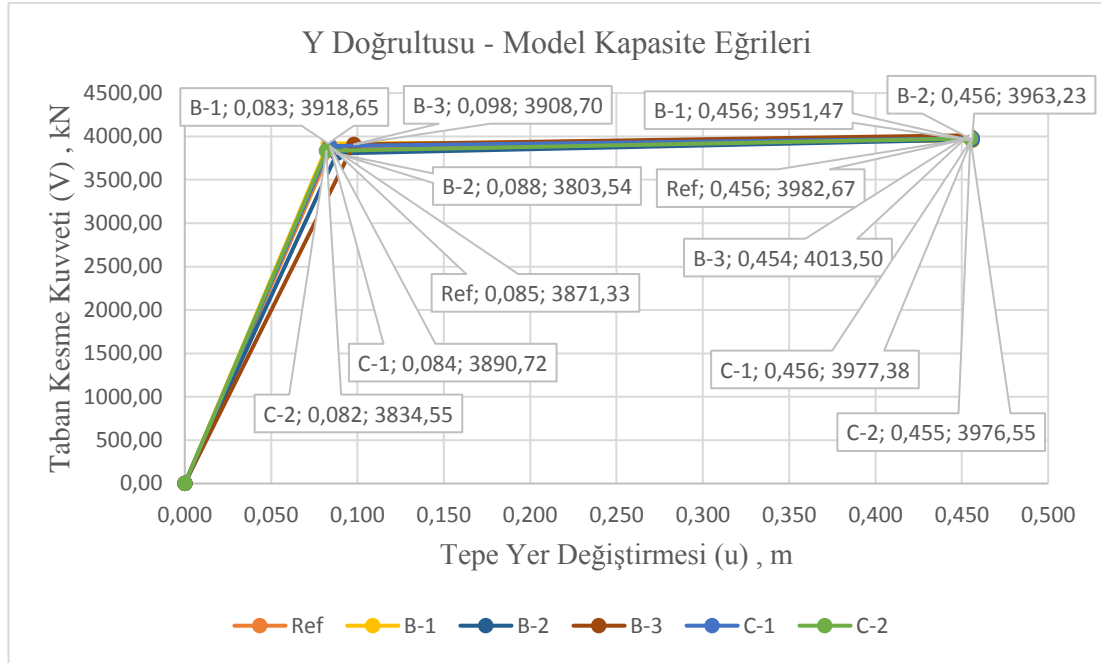
Şekil 5.4. Y doğrultusu itme kapasite eğrileri

Şekil 5.3.'de yer alan modellerin X doğrultusunda bilineer hale getirilmiş kapasite eğrilerinin karşılaştırmasında en büyük taban kesme kuvvetini A-2 (kolon ebatları 70

cm x 70 cm) modelin aldığı görülmektedir. A-2 modelini taban kesme kuvveti büyüklüğü olarak referans model (kolon ebatları 60 cm x 60 cm) ve A-1 (kolon ebatları 40 cm x 40 cm) model takip etmektedir. Şekil 5.4.'te yer alan modellerin Y doğrultusundaki bilineer hale getirilmiş kapasite eğrileri karşılaştırmasında da aynı sıralama ortaya çıkmıştır. Bu anlamda X ve Y doğrultularında kapasite eğrileri benzer sonuçlar vermiştir.



Şekil 5.5 X doğrultusu itme kapasite eğrileri – 2



Şekil 5.6. Y doğrultusu itme kapasite eğrileri - 2

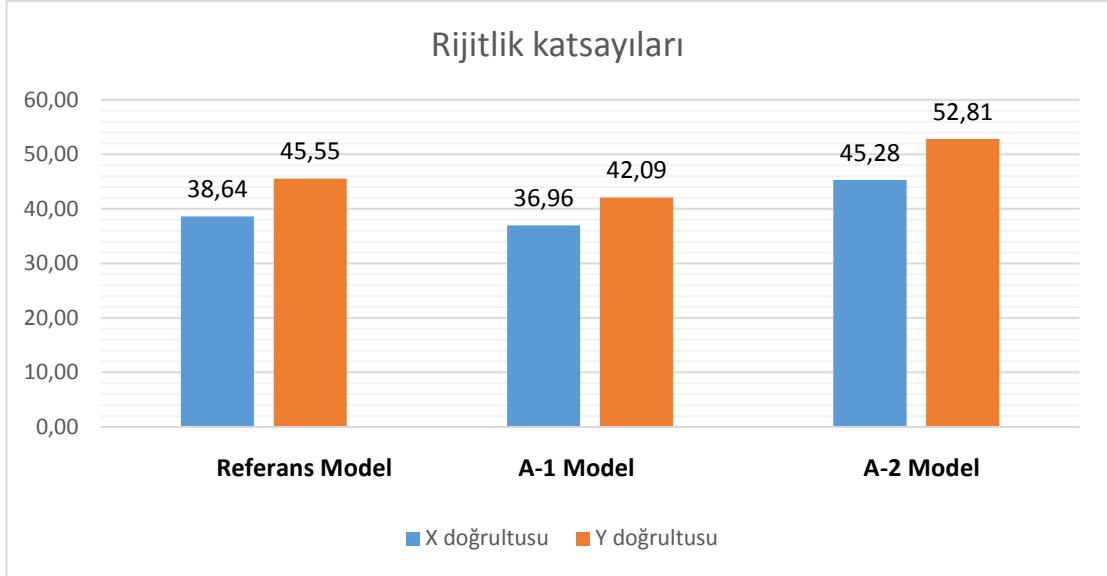
Şekil 5.5.'te yer alan modellerin X doğrultusunda bilinear hale getirilmiş kapasite eğrilerinin karşılaştırmasında en büyük taban kesme kuvvetini B-2 (etriye aralığı 15 cm) modelin aldığı görülmektedir. B-2 modelini taban kesme kuvveti büyüklüğü olarak sırasıyla B-3 (etriye aralığı 20 cm) model, C-1 (her iki yönde birer çiroz) model, referans model (etriye aralığı 10 cm, çiroz bulunmamakta), B-1 model (etriye aralığı 5 cm) ve C-2 (her iki yönde ikişer çiroz) model takip etmektedir. Şekil 5.6.'da yer alan modellerin Y doğrultusundaki bilinear hale getirilmiş kapasite eğrileri karşılaştırmasında en büyük taban kesme kuvvetini B-3 modeli almıştır. B-3 modelini taban kesme kuvveti büyüklüğü olarak sırasıyla referans model, C-1 model, C-2 model, B2 model ve B-1 model takip etmektedir.

Tüm modellerde performans noktasına kadar tekrarlanan itme analizi sonucunda hesaplanan rijitlik katsayıları Tablo 5.4.'te gösterilmiş ve Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

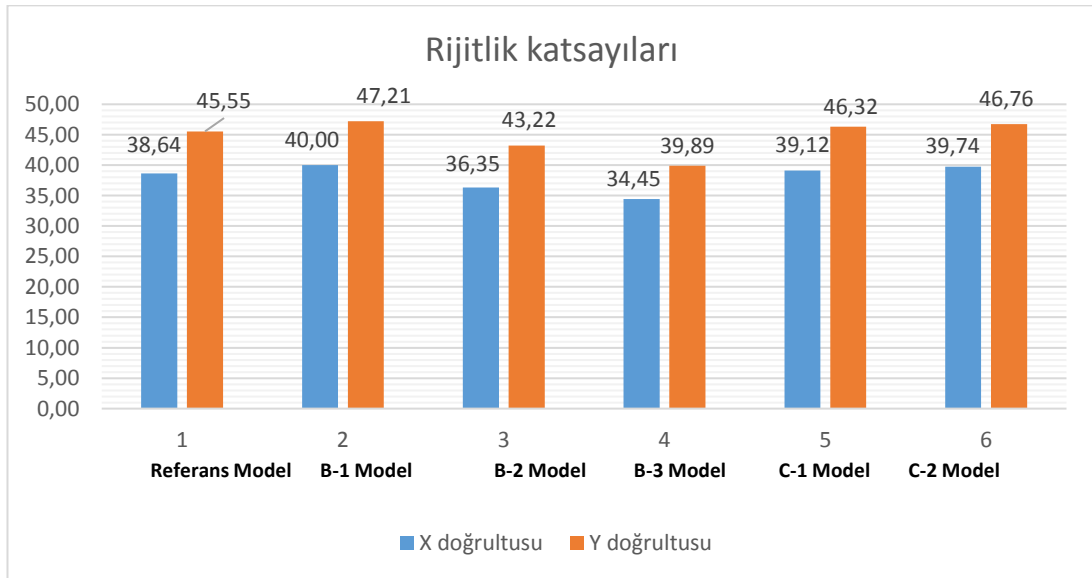
Tablo 5.4. X ve Y doğrultuları rijitlik katsayıları

	Referans Model	Model A-1	Model A-2	Model B-1	Model B-2	Model B-3	Model C-1	Model C2
$k_x$	38,64	36,96	45,28	40,00	36,35	34,45	39,12	39,74
$k_y$	45,55	42,09	52,81	47,21	43,22	39,89	46,32	46,76





Şekil 5.7. X ve Y doğrultuları rijitlik katsayıları karşılaştırması



Şekil 5.8. X ve Y doğrultuları rijitlik katsayıları karşılaştırması-2

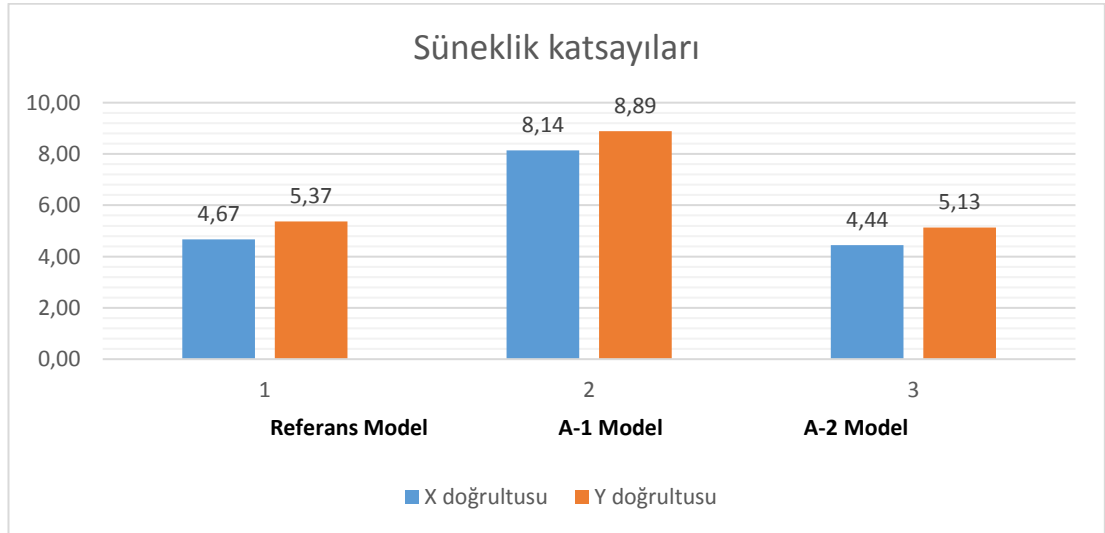
Tablo 5.4.'te modellerin x doğrultusundaki rijitlik katsayısı  $k_x$  ve y doğrultusundaki rijitlik katsayısı  $k_y$  görülmektedir. Referans model (kolon ebatları 60 cm x 60 cm) ile A-1 (kolon ebatları 40 cm x 40 cm) ve A-2 (kolon ebatları 70 cm x 70 cm) modelleri karşılaştırıldığında kolon ebatları küçüldükçe rijitliğin azaldığı görülmektedir. Bu modellerin X ve Y doğrultularındaki katsayıları birbirine yakın çıkmıştır. Referans model (etriye aralığı 10 cm) ile B-1 (etriye aralığı 5 cm), B-2 (etriye aralığı 15 cm) ve B-3 (etriye aralığı 20 cm) modelleri karşılaştırıldığında kolon etriye aralığının

artırılmasının rijitlik katsayısını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Referans model (çiroz bulunmamakta) ile C-1 (her iki yönde birer çiroz) ve C-2 (her iki yönde ikişer çiroz) modelleri karşılaştırıldığında ise donatıya çiroz eklenmesinin rijitlik katsayısını artırdığı, dolayısıyla rijitliği artırdığı sonucuna varılır.

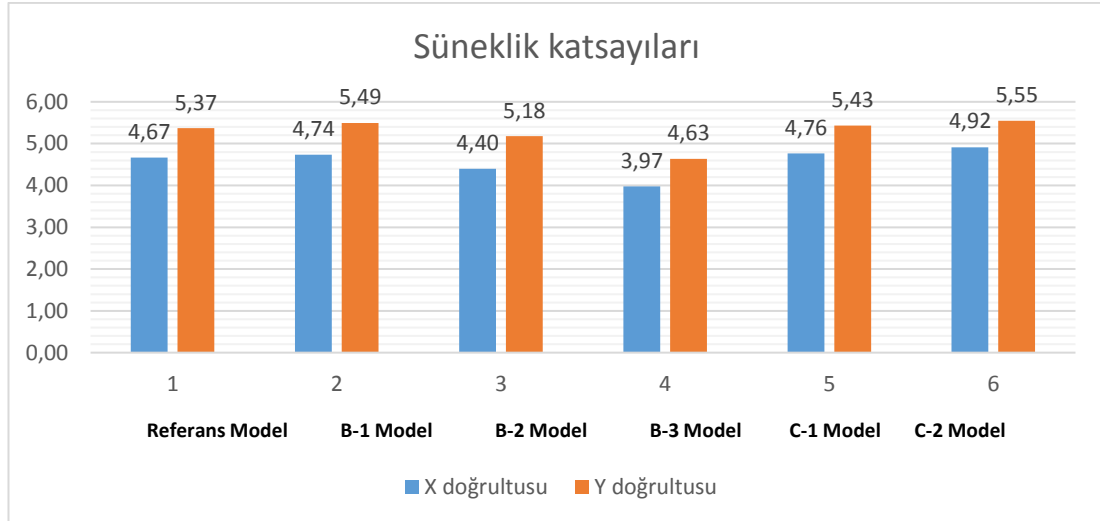
Tüm modellerde performans noktasına kadar tekrarlanan itme analizi sonucunda hesaplanan süneklik katsayıları Tablo 5.5.'te gösterilmiş olup Şekil 5.9. ve Şekil 5.10.'da grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.5. X ve y doğrultuları süneklik katsayıları karşılaştırması

	Referans Model	Model A-1	Model A-2	Model B-1	Model B-2	Model B-3	Model C-1	Model C2
$u_x$	4,67	8,14	4,44	4,74	4,40	3,97	4,76	4,92
$u_y$	5,37	8,89	5,13	5,49	5,18	4,63	5,43	5,55



Şekil 5.9. X ve y doğrultuları süneklik katsayıları karşılaştırması



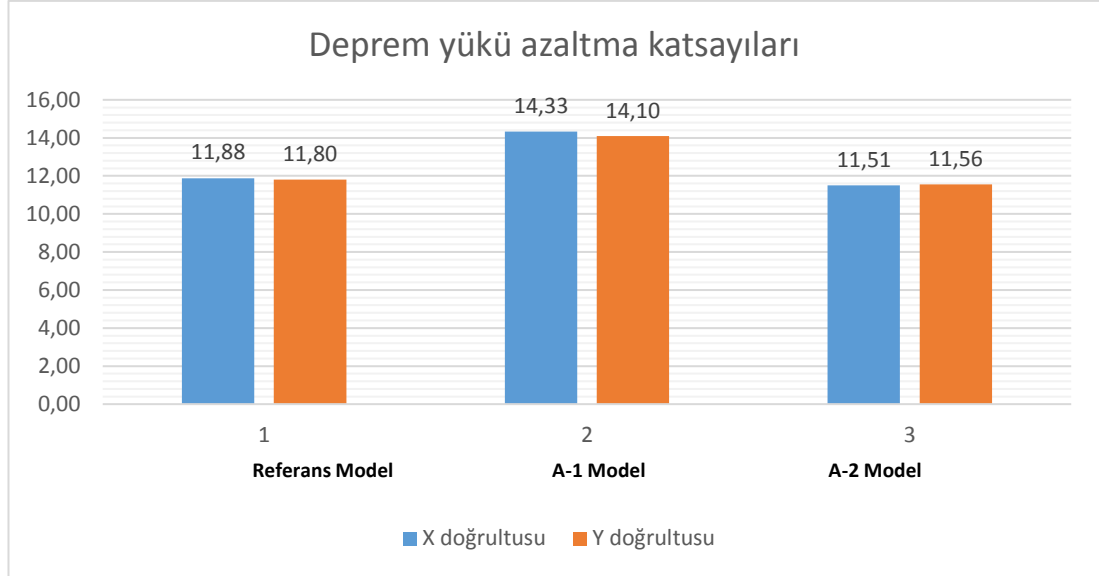
Şekil 5.10. X ve y doğrultuları süneklik katsayıları karşılaştırması -2

Tablo 5.5.'te modellerin x doğrultusundaki süneklik katsayısı  $u_x$  ve y doğrultusundaki süneklik katsayısı  $u_y$  görülmektedir. Referans model (kolon ebatları 60 cm x 60 cm) ile A-1 (kolon ebatları 40 cm x 40 cm) ve A-2 (kolon ebatları 70 cm x 70 cm) modelleri karşılaştırıldığında kolon ebatları küçüldükçe sünekliğin arttığı görülmektedir. Bu modellerin X ve Y doğrultularındaki katsayıları birbirine yakın çıkmıştır. Referans model (etriye aralığı 10 cm) ile B-1 (etriye aralığı 5 cm), B-2 (etriye aralığı 15 cm) ve B-3 (etriye aralığı 20 cm) modelleri karşılaştırıldığında kolon etriye aralığının artırılmasının süneklik katsayısını düşürdüğü gözlemlenmiştir. Referans model (çiroz bulunmamakta) ile C-1 (her iki yönde birer çiroz) ve C-2 (her iki yönde ikişer çiroz) modelleri karşılaştırıldığında ise donatıya çiroz eklenmesinin süneklik katsayısını artırdığı, dolayısıyla sünekliği artırdığı sonucuna varılır.

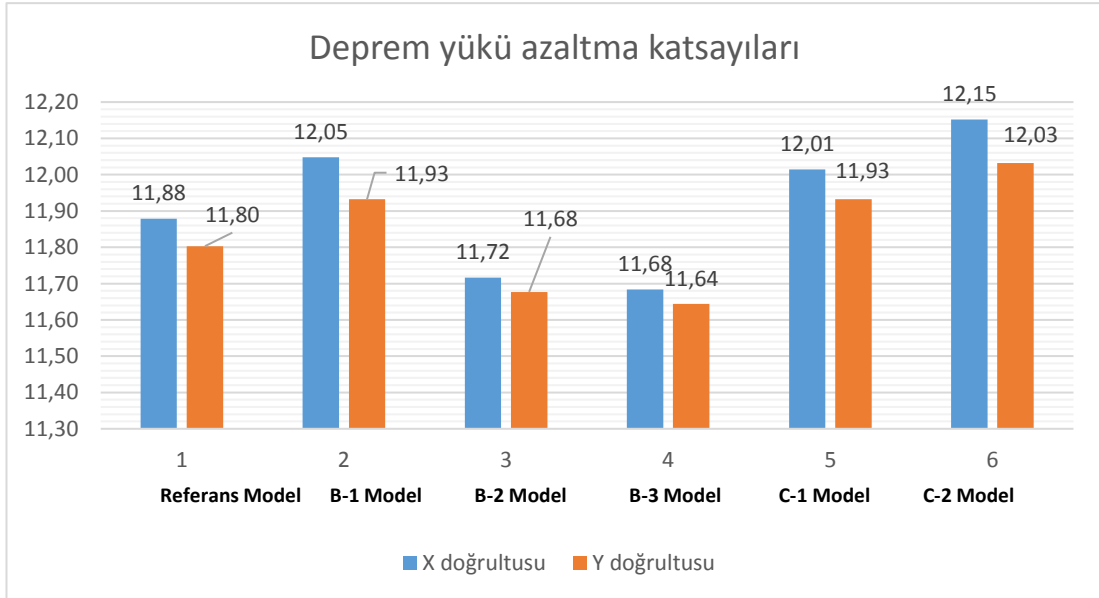
Tüm modellerde performans noktasına kadar tekrarlanan itme analizi sonucunda hesaplanan deprem yükü azaltma katsayıları Tablo 5.6.'da gösterilmiş, Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.6. X ve Y doğrultularında deprem yükü azaltma katsayıları

	Referans Model	Model A-1	Model A-2	Model B-1	Model B-2	Model B-3	Model C-1	Model C2
$R_{ax}$	11,88	14,33	11,51	12,05	11,72	11,68	12,01	12,15
$R_{ay}$	11,80	14,10	11,56	11,93	11,68	11,64	11,93	12,03



Şekil 5.11. Deprem yükü azaltma katsayıları karşılaştırması



Şekil 5.12. Deprem yükü azaltma katsayıları karşılaştırması -2

Tablo 5.6.'da modellerin x doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayısı  $R_{ax}$  ve y doğrultusundaki deprem yükü azaltma katsayısı  $R_{ay}$  görülmektedir. Referans model (kolon ebatları 60 cm x 60 cm) ile A-1 (kolon ebatları 40 cm x 40 cm) ve A-2 (kolon ebatları 70 cm x 70 cm) modelleri karşılaştırıldığında kolon ebatları büyüdükçe deprem yükü azaltma katsayısının küçüldüğü görülmektedir. Bu modellerin X ve Y doğrultularındaki deprem yükü azaltma katsayıları birbirine yakın çıkmıştır. Referans model (etriye aralığı 10 cm) ile B-1 (etriye aralığı 5 cm), B-2 (etriye aralığı 15 cm) ve B-3 (etriye aralığı 20 cm) modelleri karşılaştırıldığında kolon donatı etriye

aralığının artırılmasının deprem yükü azaltma katsayısını azalttığı gözlemlenmiştir. Referans model (çiroz bulunmamakta) ile C-1 (her iki yönde birer çiroz) ve C-2 (her iki yönde ikişer çiroz) modelleri karşılaştırıldığında ise donatıya çiroz eklenmesinin deprem yükü azaltma katsayısını artırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan incelemelerde donatı ve etriye miktarları sabit tutulup kolon boyutlarının % 56 azaltılması yapı periyodunu % 23 artırmış, taban kesme kuvvetini % 41 azaltmış, rijitliği % 4 azaltmış, sünekliği % 74 artırmış, deprem yükü azaltma katsayısını % 21 artırmıştır.

Donatı ve etriye miktarları sabit tutulup kolon boyutlarının % 36 artırılması yapı periyodunu % 6 azaltmış, taban kesme kuvvetini % 10 artırmış, rijitliği % 17 artırmış, sünekliği % 5 azaltmış, deprem yükü azaltma katsayısını % 3 azaltmıştır.

Etriye aralıklarının % 50 azaltılması yapı periyodunu değiştirmemiş, taban kesme kuvvetini % 0.05 azaltmış, rijitliği % 3,5 artırmış, sünekliği % 1,5 artırmış, deprem yükü azaltma katsayısını % 1,4 artırmıştır.

Etriye aralıklarının %50 artırılması yapı periyodunu değiştirmemiş, taban kesme kuvvetini % 1,1 artırmış, rijitliği % 5,9 azaltmış, sünekliği % 5,8 azaltmış, deprem yükü azaltma katsayısını % 1,3 azaltmıştır.

Etriye aralıklarının % 100 artırılması yapı periyodunu değiştirmemiş, taban kesme kuvvetini % 0,8 artırmış, rijitliği % 11 azaltmış, sünekliği % 15 azaltmış, deprem yükü azaltma katsayısını %1,7 azaltmıştır.

Her iki yönde birer çiroz eklenmesi yapı periyodunu değiştirmemiş, taban kesme kuvvetini % 0,08 artırmış, rijitliği % 1,2 artırmış, sünekliği % 1,9 artırmış, deprem yükü azaltma katsayısını %1,1 artırmıştır.

Her iki yönde ikişer çiroz eklenmesi yapı periyodunu değiştirmemiş, taban kesme kuvvetini % 0,1 azaltmış, rijitliği % 2,8 artırmış, sünekliği % 5,3 artırmış, deprem yükü azaltma katsayısını % 2,3 artırmıştır.

Sonuç olarak donatı ve etriye miktarları sabit tutulup kolon boyutlarının büyütülmesinin rijitliği ve taban kesme kuvvetini artırdığı, sünekliği, deprem yükü azaltma katsayısını ve periyodu ise azalttığı gözlemlenmiştir. Etriye aralığı ve çiroz değişimi ise eleman bazında belirgin farklar gösterse de sisteme etkisi sınırlı olmuştur. Etriye aralığı sıklařtıķça süneklik ve rijitlik artmış, periyot ise değişim göstermemiştir. Çiroz eklenmesi ve sayısının artırılması süneklik ve rijitliği az da olsa artırmış, periyot ise değişim göstermemiştir.

## KAYNAKLAR

- AFAD. (2022). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Celep, Z. (2008). Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme.
- Çam, M. F. (2019). Betonarme yapıların taşıyıcı sistemlerindeki değişikliklerin yapının sünekliğine ve deprem davranışlarına etkisinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi.
- Darılmaz, K. (2019). Depreme Dayanıklı Binaların Tasarımına Giriş. Birsen Yayınevi.
- Jamal, R., & Yüksel, S. B. (2021). TBDY 2018 ve ASCE 41-17 yönetmeliklerine göre çerçeveli bir yapının performans analizlerinin karşılaştırılması. El-Cezerî Journal of Science and Engineering.
- Mander, J. P. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. ASCE Structural Journal, 114(8), 1827-1849.
- Özer, P. D. (2009). Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları.
- Raut, A. V., & Prasad, R. (2014). Pushover analysis of G+3 reinforced concrete building with soft storey. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE).
- Soycan, C. (2019). Depremde betonarme bina performansının Türk Deprem Yönetmelikleri 2007 ve 2018'e göre değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Uçar, B. (2019). Betonarme bir hastane binasının DBYBHY 2007 ve TDBY 2018 kapsamında deprem performansının değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Tezi.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Mehmet Cahit ELMAS

### ÖĞRENİM DURUMU

<b>Derece</b>	<b>Eğitim Birimi</b>	<b>Mezuniyet Yılı</b>
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2013
Lise	Sakarya Fen Lisesi	2007

### İŞ DENEYİMİ

<b>Yıl</b>	<b>Yer</b>	<b>Görev</b>
2021-Halen	Elmas Yapı	Firma Ortağı
2013-Halen	Elmas Teknoloji	Firma Ortağı

### YABANCI DİL

İngilizce