

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

**BETONARME ÇERÇEVELİ YAPILARDA FARKLI TAŞIYICI SİSTEMLERİN
FARKLI TASARIM DURUMLARINDA YAPININ SÜNEKLİĞİNE VE
DEPREM DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selman VAROL

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

Eylül 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARDA ÇERÇEVELİ TAŞIYICI SİSTEMLERİNDEKİ
DEĞİŞİK DURUMLARIN YAPININ SÜNEKLİĞİNE VE DEPREM
DAVRANIŞLARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

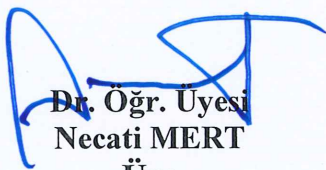
Selman VAROL

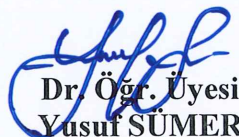
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 11.09.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin KASAP
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
Necati MERT
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Yusuf SUMER
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.

Selman VAROL

11.09.2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, her konuda bilgi ve desteğine başvurmaktan çekinmediğim, araştırma konusunun belirlenmesinden yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KASAP'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan bana her zaman destek olan canım Annem'in ve Baba'mın ellerinden öperim.

Çalışmak zorunda olup da paylaşamayıp yitirdiğimiz anlar için Sevgili Eşimin ve hayat bağımız Oğlumun hoşgörüsüne sığınıyorum. Desteğiniz olmasa buralara gelemezdim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvi
SUMMARY	xvii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Konu İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar	2

BÖLÜM 2.

DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN TBDY 2018'E GÖRE TASARIMI

İÇİN ESASLAR.....	6
2.1. Tasarım Prensipleri.....	6
2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	6
2.3. Harita Spektral İvme Katsayıları ve Yerel Zemin Etki Katsayıları	7
2.4. Tasarım İvme Spektrumu	8
2.5. Tasarım Yer Değiştirme Spektrumu.....	10
2.6. Düşey Tasarım Elastik Spektrumu	10
2.7. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları.....	11
2.8. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS).....	12
2.9. Bina Yükseklik Sınıfları (BYS).....	12
2.10. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	13

2.11. Yatay Deprem Etkisi Altında Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu	14
2.12. Dayanım Fazlalığı Katsayısı.....	14
2.13. Süneklik	15
2.14. Bina Performans Düzeyleri.....	16
2.14.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi	16
2.14.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi.....	16
2.14.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi.....	16
2.14.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi	17
2.15. Bina Performans Hedefleri	17

BÖLÜM 3.

DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ	20
3.1. Giriş	20
3.2. İtme Analizi	21
3.2.1. Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018’de belirtilen itme analizi yöntemleri	22
3.2.1.1. Tek modlu itme analizi	22
3.2.1.2. Çok modlu itme yöntemi	28

BÖLÜM 4.

YAPI MODELLERİNİN TASARIMI VE İTME ANALİZİ UYGULAMASI.....	30
4.1. Giriş	30
4.2. Referans Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	31
4.3. A-1 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	55
4.4. A-2 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	67
4.5. A-3 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	79
4.6. D-1 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	90
4.7. D-2 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	101
4.8. D-3 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları.....	114

BÖLÜM 5.

SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRMELER	127
5.1. Modellerin Periyotlarının Karşılaştırılması	127
5.2. Yapıların Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması	128
5.3. Yapıların Rijitliklerinin Karşılaştırılması	134
5.4. Yapıların Sünekliklerinin Karşılaştırılması	135
5.5. Yapıların Deprem Yüğü Azaltma Katsayılarının Karşılaştırılması	136
5.6. Yapıların Elastik Ötesi Güvenlik Katsayılarının Karşılaştırılması	138
5.7. Değerlendirmeler	140
 KAYNAKLAR	143
EKLER.....	145
ÖZGEÇMİŞ	146

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
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
ÇSD	: Çok serbestlik dereceli
$d_1^{(X,k)}$	: (X) deprem doğrultusu için k'inci itme adımında birinci moda ait modal tekserbestlik dereceli sistem'in modal yerdeğiştirmesi
DBYHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DD	: Deprem yer hareketi düzeyi
DD1	: 50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD3	: 50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DD4	: 50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	: Dayanıma göre tasarım
D_n	: n'inci mod tepe noktası yer değiştirmesi
ETK	: Enerji tüketim kapasitesi
F_1	: 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_d	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı olarak taşıyıcı sistemin sahip olması gereken tasarım dayanımı
F_e	: Taşıyıcı sistem için hesaplanan doğrusal (elastik) dayanım talebi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency

F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_y	: Öngörülen süneklik kapasitesi ve periyoda bağlı akma dayanımı
g	: Yer çekimi ivmesi
$G\ddot{O}$	: Göçme önlenmesi performans düzeyi
I	: Bina önem katsayısı
K	: Rijitlik katsayısı
KH	: Kontrollü hasar performans düzeyi
KK	: Kesintisiz kullanım performans düzeyi
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
$(N_{60})_{30}$	: Üst 30 metredeki örtü yükü düzeltmesi yapılmamış %60 enerji oranına göre düzeltilmiş SPT değeri
R_a	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Ref	: Referans
R_y	: Dayanım azaltma katsayısı
S_1	: 1,0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{ae1}	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_{aeD}(T)$	: Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aeR}(T)$	: Azaltılmış tasarım spektral ivmesi
$S_{de}(T)$	: Yatay elastik spektrum
S_{D1}	: 1,0 saniye kısa periyot spectral ivme katsayısı
S_{DS}	: Kısa periyot spectral ivme katsayısı
SH	: Sınırlı hasar performans düzeyi
$SRSS$	: Karelerinin toplamının kare kökü
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
$\$DGT$	: Şekil değiştirmeye göre tasarım
T	: Doğal titreşim periyodu
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrum köşe periyodu
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrum köşe periyodu
$TBDY$	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

T_{LD}	: Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
U_{px}	: X doğrultusu yer değiştirme istemi
U_{py}	: Y doğrultusu yer değiştirme istemi
$(V_s)_{30}$	: Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
V_t	: Taban Kesme Kuvveti
W	: Yapı ağırlığı
η_{bi}	: i'inci katta burulma düzensizliği katsayısı
Φ	: Donatı çapı
$\Phi_{1\Phi_1}^{(1)}$	: i'inci katta birinci itme adımında belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şeklinin 2. eksenindeki dönme genliği
$\Phi_{ix1}^{(1)}$	: i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şeklinin x doğrultusundaki genliği
$\Phi_{iy1}^{(1)}$	: i'inci katta her bir k'ıncı itme adımında serbest titreşim hesabı ile yenilenen değişken mod şeklinin y doğrultusundaki genliği
Γ_n	: n'inci mod için modal kütle çarpanı
μ_k	: Taşıyıcı sistem için öngörülen süneklik kapasitesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Tasarım ivme spektrumu.....	9
Şekil 2.2. Tasarım yer değiştirme spektrumu.....	10
Şekil 2.3. Düşey tasarım ivme spektrumu	11
Şekil 2.4. Deprem yükü azaltma katsayısı	13
Şekil 2.5. Dayanım fazlalığı katsayısı.....	14
Şekil 2.6. Sünek taşıyıcı sistem	15
Şekil 2.7. Sünek olmayan taşıyıcı sistem	15
Şekil 2.8. Yapı performans düzeylerinin performans eğrisi üzerinde gösterimi	19
Şekil 3.1. Tipik bir yapıya ait itme eğrisi.....	21
Şekil 3.2. İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramının karşılaştırılması.....	25
Şekil 3.3. Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi	26
Şekil 3.4. Modal yer değiştirme isteminin ardışık yaklaşım ile hesabı.....	27
Şekil 3.5. İtme eğrisi (a), SDF sistem eğrisi(b)	28
Şekil 4.1. Referans-model kalıp planı	32
Şekil 4.2. Referans-model 3 boyutlu görüntüsü.....	32
Şekil 4.3. Beton özelliklerinin tanımlanması	33
Şekil 4.4. S420 donatı çeliği özelliklerinin tanımlanması.....	34
Şekil 4.5. Kolon kesit özelliklerinin tanımlanması	34
Şekil 4.6. Kolon donatı özellikleri tanımlanması.....	35
Şekil 4.7. Kolon eğilme rijitliği tanımlanması	35
Şekil 4.8. Kiriş kesit özelliklerinin tanımlanması	36
Şekil 4.9. Kiriş donatı alanlarının girilmesi	36
Şekil 4.10. Kiriş eğilme rijitliği tanımlanması	37
Şekil 4.11. Yük tiplerinin belirlenmesi	37
Şekil 4.12. Sismik yük tipleri tanımlanması	38

Şekil 4.13. İtme analizi başlangıç adımı tanımlanması.....	39
Şekil 4.14. Yükleme yapılacak olan noktanın belirlenmesi.....	39
Şekil 4.15. X doğrultusu itme durumu tanımlanması	40
Şekil 4.16. X doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi..	40
Şekil 4.17. Y doğrultusunda itme durumu tanımlanması.....	41
Şekil 4.18. Y doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi..	41
Şekil 4.19. Tanımlanan itme yüklerinin 3 boyutlu model üzerindeki yeri	42
Şekil 4.20. Kiriş plastik mafsallık özellikleri tanımlanması	43
Şekil 4.21. Kolon plastik mafsallık özellikleri tanımlanması	43
Şekil 4.22. Kiriş veya kolonların her iki ucu için plastik mafsallık atanması.....	44
Şekil 4.23. Analiz ayarları diyalogu.....	44
Şekil 4.24. Referans model x doğrultusu itme eğrisi	46
Şekil 4.25. Referans model x doğrultusu modal kapasite diyagramı	48
Şekil 4.26. Referans model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	48
Şekil 4.27. Referans model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	49
Şekil 4.28. Referans model y doğrultusu itme (pushover) eğrisi.....	51
Şekil 4.29. Referans model y doğrultusu modal itme eğrisi	53
Şekil 4.30. Referans model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	53
Şekil 4.31. Referans model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	54
Şekil 4.32. A-1 model kalıp planı	56
Şekil 4.33. A-1 model perspektif görünüşü	56
Şekil 4.34. A-1 model x doğrultusu itme eğrisi	58
Şekil 4.35. A-1 model x doğrultusu modal itme eğrisi	60
Şekil 4.36. A-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi.	60
Şekil 4.37. A-1 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi.....	61
Şekil 4.38. A-1 model y doğrultusu itme eğrisi	63
Şekil 4.39. A-1 model y doğrultusu modal itme eğrisi	64

Şekil 4.40. A-1 model y doğrultusu yer değiştirme isteminin belirlenmesi.....	65
Şekil 4.41. A-1 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi.....	66
Şekil 4.42. A-2 model kalıp planı	68
Şekil 4.43. A-2 model perspektif görünüşü	68
Şekil 4.44. A-2 model x doğrultusu itme eğrisi	70
Şekil 4.45. A-2 model x doğrultusu modal itme eğrisi	71
Şekil 4.46. A-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi.	72
Şekil 4.47. A-2 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi.....	73
Şekil 4.48. A-2 model y doğrultusu itme eğrisi	75
Şekil 4.49. A-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi	76
Şekil 4.50. A-2 model y doğrultusu yer değiştirme isteminin belirlenmesi.....	76
Şekil 4.51. A-2 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi.....	77
Şekil 4.52. A-3 model kalıp planı	79
Şekil 4.53. A-3 model perspektif görünüşü	79
Şekil 4.54. A-3 model x doğrultusu itme eğrisi	81
Şekil 4.55. A-3 model x doğrultusu modal kapasite eğrisi	82
Şekil 4.56. A-3 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi.	83
Şekil 4.57. A-3 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme analizi	84
Şekil 4.58. A-3 model y doğrultusu itme eğrisi	86
Şekil 4.59. A-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi	87
Şekil 4.60. A-3 model y doğrultusu modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi..	88
Şekil 4.61. A-3 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi.....	89
Şekil 4.62. D-1 model kalıp planı	91
Şekil 4.63. D-1 model perspektif görünüşü	91
Şekil 4.64. D-1 model x doğrultusu itme eğrisi	93
Şekil 4.65. D-1 model x doğrultusu modal itme eğrisi	95

Şekil 4.66. D-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	95
Şekil 4.67. D-1 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	96
Şekil 4.68. D-1 model y doğrultusu itme eğrisi	98
Şekil 4.69. D-1 model y doğrultusu modal itme eğrisi	99
Şekil 4.70. D-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	99
Şekil 4.71. D-1 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	100
Şekil 4.72. A-3 türü düzensizlik durumu tanımı	102
Şekil 4.73. D-2 model kalıp planı	103
Şekil 4.74. D-2 model perspektif görünüşü	103
Şekil 4.75. D-2 model x doğrultusu itme eğrisi	105
Şekil 4.76. D-2 model x doğrultusu modal itme eğrisi	106
Şekil 4.77. D-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	106
Şekil 4.78. D-2 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	108
Şekil 4.79. D-2 model y doğrultusu itme eğrisi	110
Şekil 4.80. D-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi	111
Şekil 4.81. D-2 model modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	112
Şekil 4.82. D-2 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	113
Şekil 4.83. A-3 türü düzensizlik durumu tanımı	115
Şekil 4.84. D-3 model kalıp planı	115
Şekil 4.85. D-3 model perspektif görünüşü	116
Şekil 4.86. D-3 model x doğrultusu itme eğrisi	117
Şekil 4.87. D-3 model x doğrultusu modal itme eğrisi	118
Şekil 4.88. D-3 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	119

Şekil 4.89. D-3 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	120
Şekil 4.90. D-3 model y doğrultusu itme eğrisi	122
Şekil 4.91. D-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi	123
Şekil 4.92. D-3 model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi	124
Şekil 4.93. D-3 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi	125
Şekil 5.1. Yapı periyotlarının karşılaştırılması	128
Şekil 5.2. X doğrultusu itme eğrilerinin karşılaştırılması	129
Şekil 5.3. Y doğrultusu itme eğrilerinin karşılaştırılması	131
Şekil 5.4. Yapı rijitliklerinin karşılaştırılması.....	134
Şekil 5.5. Yapıların süneklik katsayılarının karşılaştırılması.....	136
Şekil 5.6. Deprem yükü azaltma katsayılarının karşılaştırılması	138
Şekil 5.7. Elastik ötesi güvenlik katsayısı	140

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	7
Tablo 2.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları	7
Tablo 2.3. Yerel zemin sınıfları	8
Tablo 2.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	12
Tablo 2.5. Deprem tasarım sınıfları	12
Tablo 2.6. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları	13
Tablo 2.7. Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar	17
Tablo 2.8. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS=1).....	17
Tablo 2.9. Mevcut yerinde dökme betonarme, önüretimli betonarme ve çelik binalar (yüksek binalar dışında $BYS \geq 2$)	18
Tablo 2.10. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar - üstyapı.....	18
Tablo 2.11. Deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar - üstyapı..	18
Tablo 2.12. Yeni yapılacak ve güçlendirilecek deprem yalıtımlı binalar – yalıtım sistemi ve altyapı	18
Tablo 4.1. Referans model kolon-kiriş bilgileri	33
Tablo 4.2. Referans Model periyot ve frekansları.....	45
Tablo 4.3. Bina ağırlığı ve kat yer değıştirmeleri	45
Tablo 4.4. Referans Model x doğrultusu itme eğrisi.....	46
Tablo 4.5. Referans model x doğrultusu modal hesap sonuçları	47
Tablo 4.6. Referans model x doğrultusu modal itme eğrisi	47
Tablo 4.7. Referans model y doğrultusu itme analizi sonuçları.....	51
Tablo 4.8. Referans model y doğrultusu modal hesap sonuçları	52
Tablo 4.9. Referans model y doğrultusu modal itme eğrisi	52
Tablo 4.10. A-1 model periyot ve frekansları	57

Tablo 4.11. A-1 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri.....	57
Tablo 4.12. A-1 model x doğrultısı itme eğrisi.....	58
Tablo 4.13. A-1 model x yünü modal hesap sonuçları	59
Tablo 4.14. A-1 model modal itme eğrisi	59
Tablo 4.15. A-1 model y doğrultısı itme eğrisi.....	62
Tablo 4.16. A-1 model modal analiz sonuçları.....	63
Tablo 4.17. A-1 model y doğrultusu modal kapasite diyagramı.....	64
Tablo 4.18. A-2 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri.....	69
Tablo 4.19. A-2 model yapı periyot ve frekansları	69
Tablo 4.20. A-2 model x doğrultusu itme eğrisi	70
Tablo 4.21. A-2 model x doğrultusu modal hesap sonuçları	71
Tablo 4.22. A-2 model x doğrultusu modal itme eğrisi	71
Tablo 4.23. A-2 model y doğrultusu itme eğrisi	74
Tablo 4.24. A-2 model y doğrultusu modal hesap sonuçları	75
Tablo 4.25. A-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi	75
Tablo 4.26. Model A-3 yapı periyot ve frekansları.....	80
Tablo 4.27. A-3 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri.....	80
Tablo 4.28. A-3 model x doğrultusu itme eğrisi	81
Tablo 4.29. A-3 model x doğrultusu modal analiz sonuçları.....	82
Tablo 4.30. A-3 model x doğrultusu modal itme eğrisi	82
Tablo 4.31. A-3 model y doğrultusu itme eğrisi	85
Tablo 4.32. A-3 model y doğrultusu modal analizi sonuçları.....	86
Tablo 4.33. A-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi	87
Tablo 4.34. D-1 model yapı periyot ve frekansları	92
Tablo 4.35. D-1 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri.....	92
Tablo 4.36. D-1 model x doğrultusu itme eğrisi	93
Tablo 4.37. D-1 model x doğrultusu modal analiz sonuçları.....	94
Tablo 4.38. D-1 model x doğrultusu modal itme eğrisi	94
Tablo 4.39. D-1 model y doğrultusu itme eğrisi	97
Tablo 4.40. D-1 model y doğrultusu modal itme eğrisi	98
Tablo 4.41. D-2 model yapı periyot ve frekansları	103
Tablo 4.42. D-2 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri.....	104

Tablo 4.43. D-3 model x doğrultusu itme analizi	104
Tablo 4.44. D-2 model x doğrultusu modal analiz sonuçları	105
Tablo 4.45. D-2 model x doğrultusu itme eğrisi	105
Tablo 4.46. D-2 model x doğrultusu hedef yer değiştirmeye kadar itme eğrisi	107
Tablo 4.47. D-2 model y doğrultusu itme eğrisi	109
Tablo 4.48. D-2 model y doğrultusu modal analiz sonuçları	110
Tablo 4.49. D-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi	110
Tablo 4.50. D-3 model yapı periyot ve frekansları	116
Tablo 4.51. D-3 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri	116
Tablo 4.52. D-3 model x doğrultusu itme eğrisi	117
Tablo 4.53. D-3 model modal analiz sonuçları	118
Tablo 4.54. D-3 model x doğrultusu modal itme eğrisi	118
Tablo 4.55. D-3 model y doğrultusu itme eğrisi	121
Tablo 4.56. D-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi	122
Tablo 4.57. D-3 model y doğrultusu modal analiz sonuçları	123
Tablo 5.1. Yapı periyotlarının karşılaştırılması	127
Tablo 5.2 . Yapıların rijitlik katsayıları	134
Tablo 5.3. Yapıların süneklik katsayıları	136
Tablo 5.4. Yapıların deprem yükü azaltma katsayıları	138

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Statik itme analizi, pushover analiz, betonarme yapılar, süneklik, betonarme yapıların deprem davranışı

Bu çalışmada farklı taşıyıcı sistem özelliklerine sahip yapıların deprem etkisi altında sünekliği ve deprem davranışları araştırılmıştır.

Deprem riski yüksek olan bölgelerde yapılar farklı aks açıklıklarında ve farklı düzensizliklerde tasarlanarak statik itme (pushover) analizi yapılmıştır.

İncelenen yapıların tamamına statik itme analizi uygulanmıştır. Yer değiştirme istemleri elde edilerek kapasite diyagramları oluşturulmuştur. Elde edilen diyagramlarla, farklı aks açıklıklarında ve farklı düzensizlik durumlarında tasarlanan 7 adet binaya etki eden taban kesme kuvvetleri, rijitlikleri, süneklikleri, deprem yükü azaltma katsayıları ve elastik ötesi güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Bu analiz sonucunda aks açıklıkları değiştirilerek kolon yerleşimi yapının köşelerine yaklaştığı ve kolonların orta kısmında sıklaştığı modellerde yapıların rijitlikleri ve süneklikleri %40 ile % 70 arasında arttığı görülmüştür. Bununla birlikte düzensizlik oluşan modellerde yapıların rijitlikleri %10-15 arasında azaldığı görülmüştür. Yapı süneklikleri %25-35 arasında artış gösterdiği görülmüştür.

Sonuç olarak, açıklığın azaltılarak kolonların birbirine yaklaştığı yapılarda kolon – perde arası davranış gösterdiği görülmüştür. Düzensiz yapıların dayanımlarında görülmeden azalmadan dolayı bu tip yapılardan kaçınılmalı, dilatasyon yardımı ile yapı düzenli hale getirilerek tasarım yapılması önerilir.

A STUDY TO DETERMINE THE EFFECT OF VARIANT CONDITIONS OF FRAMED CARRIER SYSTEMS ON THE FLEXIBILITY AND EARTHQUAKE BEHAVIORS OF THE BUILDING

SUMMARY

Keywords: Static pushover analysis, reinforced concrete structures, ductility, reinforced concrete structures earthquake behaviour

In this study, the ductility and earthquake behavior of the structures having different carrier system characteristics under the effect of earthquake were investigated.

In areas with high earthquake risk, structures were designed with different axle distances and different irregularities and static pushover analysis was performed.

Static thrust analysis was applied to all structures examined. Capacity diagrams were created by obtaining displacement requests. With the obtained diagrams, base shear forces, stiffness, ductility, earthquake load reduction coefficients and trans-elastic safety coefficients that affect 7 buildings designed at different axle distances and different irregularities were calculated.

As a result of this analysis, it was seen that the axle distances were changed to the corners of the structure and the stiffness and ductility of the structures increased between 40% and 70% in the models where the columns were compacted in the middle part. However, it was observed that the stiffness of the structures decreased between 10-15% in the models with irregularities. Structural ductility increased between 25-35%.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Depremler sonucunda edinilen bilgiler ışığında tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de deprem yönetmelikleri değiştirilmektedir. Bu doğrultuda Türkiye’de Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 yılından günümüze kadar yürürlükte kalmıştır. Yeni gelişmelere uyum sağlamak için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Ocak 2019 yılında yürürlüğe girmiştir.

Deprem bölgelerinde yapılardan istenen, yapının şiddetli depremler sonucunda göçme oluşmadan can güvenliğini sağlamasıdır. Yapı can güvenliğini sağlarken hasarlar alabilmektedir. Hasar alan yapı lineer davranıştan nonlineer davranışa geçmiştir. Nonlineer davranış gözlemlenebilmesi için yapılabilecek hesap metotlarından biri de Statik İtme Analizi yöntemidir.

Statik itme yönteminde yapı artımlı olarak itmeye tabii tutulur. Her adımda yapı elemanlarında oluşan değişim gözlenir. İtme işlemi yapının göçme durumuna erişene kadar devam ettirilir.

Sonuç olarak, statik itme analizi yönteminde deprem kuvvetlerinin binadan talep ettiği yükler ve binanın deprem yüklerine karşı vermiş olduğu cevabın incelenmesidir.

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, Türkiye Bina Yönetmeliği 2018’e göre farklı açıklıklarda ve farklı düzensizlik durumlarında tasarlanmış betonarme çerçeve sistemlerden oluşan yapılara doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Hesaplardan elde edilen sonuçlarla yapıların değişik durumlardaki davranışları incelenerek farklı şekillerde yapı tasarlarırken dikkat edilmesi gereken hususlar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Tez kapsamında 7 adet yapı modellenmiştir. Yapıların tamamı 4 kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri 3 m dir. Yapılar x yönünde 30m uzunluk y yönünde 20 m genişliktedir.

Tez beş ana bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, tezin konusu, kapsamı, uygulanacak yöntem ve literatür taraması konuları anlatılmaktadır.

İkinci bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre deprem etkisi altında binaların tasarlanması konusunda uyulması gereken esaslar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemleri kısaca anlatılmıştır.

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

Beşinci bölümde, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sonuçlar ışığında tavsiyelerde bulunulmuştur.

1.2. Konu İle İlgili Önceden Yapılmış Çalışmalar

Moghadam ve Tso (1996) çalışmalarında; yapı modeli olarak 24m x 17m ebatlarında 3m kat yüksekliğinde 7 kattan oluşan bir betonarme çerçeve tasarlamış ve 13 farklı deprem kaydı için analiz edilmiştir. Yapı dış merkezliğe sahip çok katlı yapıların hasar potansiyelini değerlendirmek için basitleştirilmiş yeni bir doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemidir. Bu yöntemde binanın dış çevresine yakınında bulunan yapısal elemanların yer değiştirmelerini ve sismik hasarını hesaplayabilmek için eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin tepki sonuçları ile iki adet 3 boyutlu doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçlarını birlikte kullanmaktadır. Çalışma sonunda, geliştirilen yeni yöntemin, birkaç tanesi hariç çoğu deprem kaydı için binanın kritik çerçeve ve bölgelerindeki deprem taleplerini hesaplamada genel olarak iyi yaklaşımlar sergilediği

görülmüştür. Hesaplamalardaki sadeleşme düşünüldüğünde sunulan yöntemin kütle dağılımı düzensiz çok katlı yapıların performans değerlendirmesinde umut verici bir yaklaşım olarak görülmektedir [1].

Moghadam ve Tso (2000) çalışmalarında, yapısal model olarak 24m x 17m ebatlarında 3 açıklıklı 3m kat yüksekliği olan 7'şer katlı bir adet simetrik ve bir adet simetrik olmayan yapı tasarlanmıştır. Bu yapılarda iki boyutlu çerçevelerde kullandıkları doğrusal olmayan statik itme analizi yönteminin üç boyutlu simetrik olmayan çerçeve tipi yapılarda uygulanabilirliğini araştırılmıştır. Doğrusal olmayan statik ite analizi sonuçlarını 10 adet farklı yer ivmesi kullandıkları doğrusal olmayan statik itme analizi sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yöntem, görelî kat ötelemeleri gibi genel tepki parametrelerinin hesaplanmasında, giriş veya kolon süneklik talepleri gibi yerel hasar göstergelerinin hesaplanmasına göre çok daha başarılı bulunmuştur [2].

Hasan, Xu ve Grierson (2002), yapı sistemlerinin performans esaslı tasarımında gerekli olan doğrusal olmayan statik itme analizi için, bilgisayar destekli bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerilen yöntem, yapısal model olarak seçilen 3 katlı 4 açıklıklı ve 9 katlı 5 açıklıklı düzlem çerçeve sistemlere uygulanmış ve oluşan plastik kesitlerin durumuna göre performans bölgeleri belirlenmiştir. Uygulanan statik itme analizinde, sabit düşey yükler altında artan yatay yükler için hesap yapılmaktadır [3].

Penelis ve Kappos (2002) çalışmalarında, doğrusal olmayan zaman tanım alanında dinamik analizden elde edilen sonuçlara mümkün olan en yakın sonuçları üretebilmek amacı ile doğrusal olmayan statik itme analizinde yapıların burulma tepkilerini modellemek için yeni bir yöntem ileri sürmüşlerdir. Yük vektörleri 5 doğrusal elastik dinamik analiz ile tanımlanırken, yer değiştirme ve öteleme durumlarının her ikisini de içeren eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin dinamik karakteristikleri, tek serbestlik dereceli esaslı önceki yöntemlerin uzantısı olan bir yaklaşımdan türetilmiştir. Çalışmada tek katlı, tek eksene göre simetrik, burulmalı ve burulmasız iki yapı ele alınmıştır. Çalışma sonunda, önerilen yöntemin bu tip yapılarda doğrusal olmayan burulma etkilerini yansıtmaya yeteneğine sahip olduğu görülmüştür [4].

Korkmaz (2005) tarafından yapılan çalışma kapsamında yapı sistemlerinin deprem davranışlarının belirlenmesinde kullanılan performansa bağlı analiz yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. 3, 5, 8 ve 15 katlı betonarme çerçeve sistemler ele almış ve doğrusal olmayan analizleri bu çerçeve sistemler üzerinde gerçekleştirmiştir. Uyarlanmış ve enerji esaslı artımsal itme analizleri yapılmış ve artımsal itme analizleri, farklı zemin sınıflarından seçilen 120 deprem verisiyle gerçekleştirilen dinamik zaman tanım alanında analizlerle karşılaştırılarak artımsal itme analizleri değerlendirilmiştir[5].

Korkmaz ve Düzgün (2006) çalışmalarında, betonarme yapıların deprem performansının belirlenmesinde doğrusal olmayan statik artımsal itme analizlerinde kullanılan yük dağılımlarını incelemiştir. Bunun için, farklı yük dağılımlarının kullanıldığı itme analizleri ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçlarını karşılaştırarak, en uygun yük dağılımının hangisi olduğunu belirlemeye çalışılmışlardır. Çalışmada yapısal model olarak 3, 5, 8 ve 15 katlı dört adet üç açıklıklı betonarme çerçeve bina ele alınmıştır. Statik artımsal itme analizlerinde dikdörtgen, üçgen (IBC, $k=1$) ve parabol (IBC, $k=2$) yük dağılımları kullanılmıştır. Tüm analizlerde DRAIN 2DX analiz programı kullanılmıştır. Çalışma sonunda, dikdörtgen yük dağılımının, üçgen ve parabol yük dağılımlarıyla karşılaştırıldığında her zaman daha yüksek taban kesme kuvveti / kat ağırlığı (V/W) oranı verdiği görülmüştür. Az katlı olan yapılarda statik artımsal itme analizi sonuçlarının daha gerçekçi sonuçlar verdiği ancak yapıların kat adedi arttıkça, elde edilen değerlerin zaman tanım alanında dinamik analiz sonuçlarından uzaklaştığı görülmüştür. Bu durum, 8 ve 15 katlı yapılarda oldukça belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Dikdörtgen yükleme tipinin en uygun yükleme tipi olduğu belirtirken yapının kat adedinin önemi vurgulanmıştır. [6].

Başarı A. (2007) çalışmasında, taşıyıcı sistemi kolon, perde ve kirişli plak döşemelerden oluşan betonarme sistemlerde değişik boyut ve yerlerde oluşturulan döşeme düzensizliklerinin taşıyıcı sistem davranışına nasıl etki ettiğini görmeyi amaçlanmıştır. Bunun için mevcut bir mimariden yararlanarak tipik bir kalıp planı oluşturmuş; bu kalıp planında farklı boyut ve yerlerde döşeme düzensizlikleri yaratılarak birbirinden farklı 6 bina ETABS programında modellenmiştir. Yapıların

hesaplarında eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Yapılan analizlerden sonra, karşılaştırılan ana unsurlar; her bir tip bina için kolon elemanlarda oluşan kesme kuvvetleri ve burulma momentleri ile bina bazında; bina doğal periyotları ve kütle katılımları, ortalama göreceli kat deplasmanları, kat kesme kuvvetleri, yatay ötelenme rijitlikleri ve kat mertebelerinde oluşan burulma katsayıları olmuştur. Sonuç olarak döşeme boşluğunun büyüklüğünden daha çok yeri, şekli ve taşıyıcı sistemde oluşturduğu süreksizlikler düzgün yapıda tahmin edilebilen davranışları etkilemekte ve belirsizlik oluşturmaktadır [7].

Bozdağ ve Düzgün (2010) çalışmalarında, yüksek mod etkilerini dikkate alan alternatif bir artımsal itme analiz yöntemi önermişler ve bu yöntem de dahil FEMA 356'da önerilen farklı yük dağılımlarını kullanılarak mevcut bir prefabrikte yapının deprem performansını artımsal statik itme analizleri ile belirlenmeyi amaçlamışlardır. Örnek yapı için ayrıca zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler de yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan artımsal itme analizlerinin tümünden elde edilen kat yatay yer değiştirmesi değerlerinin zaman tanım alanından bulunan yer değiştirme zarfının içinde kaldığı görülmüştür. FEMA 356'da tanımlanan uniform yatay yükleme, doğrusal olmayan dinamik analizden elde edilen ortalama yer değiştirmelere en yakın sonucu vermiştir. Çalışma kapsamında önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kat yer değiştirmelerinin uniform yüklemekten sonra en iyi bu yöntemle tahmin edildiği görülmüştür. Göreli kat öteleme oranları da doğrusal olmayan dinamik analizden bulunan ortalama değerlere yakın olarak elde edilmiştir. Son olarak, önerilen yöntemin daha çok ve farklı yapı sistemleri üzerinde incelenerek yöntemin sınırları ve geçerliliğinin daha detaylı olarak araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır [8].

İlkhun M. ve Kasap H. (2017) çalışmalarında, 11 adet yapı üzerinde Betonarme yapılarda çerçeve süreksizliklerinin yapı davranışlarına etkisi incelenmiştir. Yapılarda Kiriş süreksizlikleri ve aks süreksizlikleri oluşturulmuştur. Sonuç olarak, süreksizliklerinin simetrik olmaması sonucunda; toplam yatay yer değiştirmeler farklılık göstermiş olup, en büyük deplasmanlar sisteme simetrik olmayan süreksiz sistemlerde meydana gelmektedir [9].

BÖLÜM 2. DEPREM ETKİSİ ALTINDA BİNALARIN TBDY 2018'E GÖRE TASARIMI İÇİN ESASLAR

2.1. Tasarım Prensipleri

Ülkemiz coğrafi konum olarak oldukça aktif deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Dolayısıyla yapılacak olan yeni yapıların ve mevcutta var olan yapıların deprem etkisi altında davranışlarının incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) son yıllarda deprem mühendisliğinde yaşanan gelişmeler, gelişen ihtiyaçların karşılanabilmesi ve depreme dayanaklı yapı tasarlanmasında kullanılmak üzere Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından belirlenen komisyonca oluşturulmuştur.

TBDY 2018 ile birlikte Türkiye Deprem Tehlike Haritası Hazırlanmış deprem bölgesi kavramı yerine yer ivmesi değerleri belirtilerek sahaya özel değerler belirlenmiştir[10].

2.2. Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Deprem yer hareketi düzeyleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde dört başlıkta belirtilmiştir. Bu başlıklar şu şekildedir.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1):Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşılık depremin tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olarak öngörüldüğü çok seyrek depremlerdir. Göz önüne alınan deprem, en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2):Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 olduğu ve buna karşılık depremin tekrarlanma periyodunun

475 yıl olarak öngörüldüğü seyrek depremlerdir. Göz önüne alınan deprem, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3): Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 olduğu ve buna karşılık depremin tekrarlanma periyodunun 72 yıl olarak öngörüldüğü sık depremlerdir.
- Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4): Spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68(30 yılda aşılma olasılığı %50) olduğu ve buna karşılık depremin tekrarlanma periyodunun 43 yıl olarak öngörüldüğü çok sık depremlerdir. Göz önüne alınan deprem, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

2.3. Harita Spektral İvme Katsayıları ve Yerel Zemin Etki Katsayıları

Herhangi bir binanın analizi yapılırken Türkiye deprem tehlike haritalarından harita spektral ivme katsayıları olan kısa periyot harita spektral ivme katsayısı S_s ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı S_1 alınmalıdır.

Analize başlanırken, tasarım spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} katsayılarının hesabında kullanılan yerel zemin etki katsayıları Tablo 2.1. ve Tablo 2.2.'de verilmiştir. Yerel zemin sınıfları da Tablo 2.3.'te verilmiştir.

Tablo 2.1. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları [10]

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

Tablo 2.2. 1,0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayıları [10]

Yerel Zemin Sınıfı	1,0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \geq 0,60$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tablo 2.2. (Devamı)

ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	Sahaya özel davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 2.3. Yerel zemin sınıfları [10]

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

2.4. Tasarım İvme Spektrumu

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile birlikte hazırlanan Deprem Tehlike Haritası kapsamında tasarım spektrumu ve bu spektrumu tanımlayan farklı parametrelerin farklı şekilde tanımlanmıştır.

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik 2007 (DBYBHY 2007)'de deprem bölgelerine göre tanımlanan etkin yer ivmesi ile tanımlanan deprem tehlikesi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 de tasarım ivme spektrumu, kısa periyot ve 1,0 s periyot için Deprem Tehlikesi Haritası'nda tanımlanan harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak belirlenmektedir[9]. Tasarım ivme spektrumu Denklem 2.1-2.8 yardımıyla hesaplanmaktadır. Tasarım ivme spektrumu grafiği Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı: S_s

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

Yerel Zemin Etki Katsayıları: F_s ve F_1

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

Köşe periyotları: T_A ve T_B

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

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

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

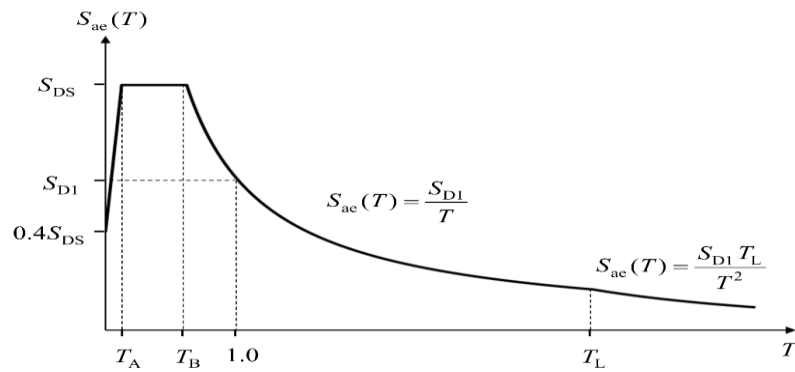
$$s_{ae}(T) = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T) \quad (2.4)$$

$$S_{DS} = S_s F_s \quad (2.5)$$

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

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

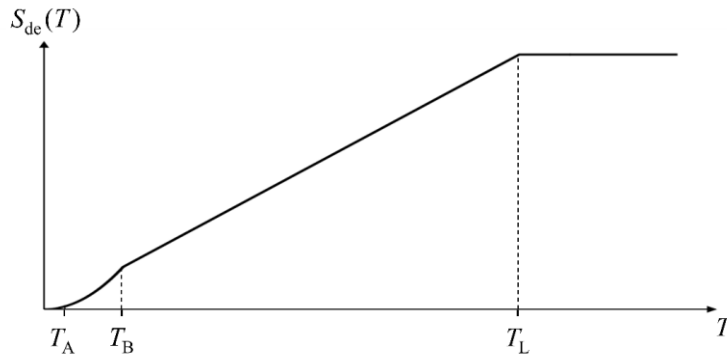
$$T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.8)$$



Şekil 2.1. Tasarım ivme spektrumu [10]

2.5. Tasarım Yer Değiştirme Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım yer değiştirme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral yer değiştirmeleri $S_{de}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak metre [m] cinsinden Denklem 2.9 ile tanımlanır[10]. Tasarım yer değiştirme spektrumu grafiği Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tasarım yer değiştirme spektrumu [10]

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

2.6. Düşey Tasarım Elastik Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım yer değiştirme spektrumunun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aeD}(T)$, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denklem 2.10-2.12 ile tanımlanmaktadır.

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

$$s_{aD}(T) = 0,8 S_{Ds} \quad (T_{AD} \leq T \leq T_{AD}) \quad (2.11)$$

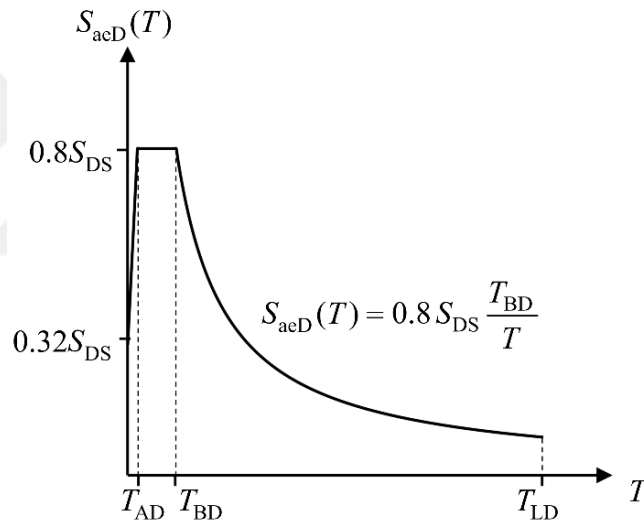
$$S_{aeD}(T) = 0,8S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (T_{BD} \leq T \leq T_{LD}) \quad (2.12)$$

Denklem 2.10-2.12’ de yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum köşe periyotları Denklem 2.13-2.15’te verilmiştir. Düşey tasarım ivme spektrum grafiği Şekil 2.3.’te verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad (2.13)$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad (2.14)$$

$$T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (2.15)$$



Şekil 2.3. Düşey tasarım ivme spektrumu [10]

2.7. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de BKS-1, BKS-2 ve BKS-3 olmak üzere üç farklı yapı kullanım sınıfı tanımlanmıştır. Bu sınıfların detayları Tablo 2.4.’te belirtilmiştir.

Tablo 2.4. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları [10]

Bina Kullanım Sınıfı	Bina Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı
BKS=1	Deprem Sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar Deprem sonrası hemen kullanılması gerekli binalar (Hastahaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminaller, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) Okullar ve diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, ceza evleri vb. Müzeler Toksik, patlayıcı parlayıcı vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS=2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro konser salonları, ibadethaneler vb.	1,2
BKS=3	Diğer Binalar Yukardaki tanımlara girmeyen diğer binalar(Konutlar, işyerleri, otelleri bina türü endüstri yapıları vb.)	1,0

2.8. Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

Yapıların bina kullanım sınıflarına ve kısa periyot tasarım spektral ivme katsayına (S_{DS}) bağlı deprem tasarım sınıfları Tablo 2.5.'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Deprem tasarım sınıfları [10]

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0,33$	DTS=4a	DTS=4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS=3a	DTS=3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS=2a	DTS=2
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

2.9. Bina Yükseklik Sınıfları (BYS)

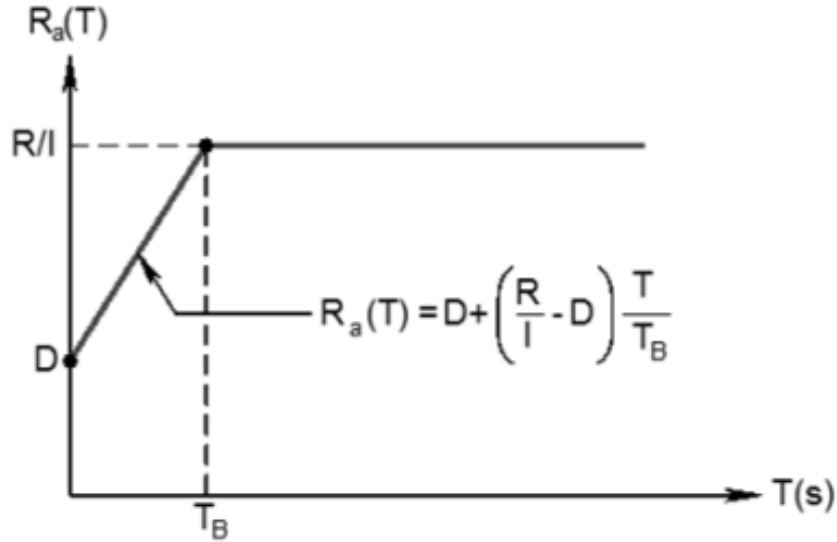
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de binalar yüksekliklerine göre sekiz sınıfa ayrılmıştır. Tablo 2.6.'da bina deprem tasarım sınıflarına göre yükseklik sınıfları belirtilmiştir.

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

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları (m)	DTS=3,3a	DTS=4,4a
BYS=1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS=2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS=3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS=4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS=5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS=6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS=7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS=8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

2.10. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , yapının doğrusal olmayan davranışı sırasında sünekliğini gösterir. Depreme dayanıklı yapı tasarlarken sönüm oranı, enerji yutma kapasitesi gibi ögeler göz önünde bulundurularak tasarım kuvvetlerini azaltmada kullanılır. Şekil 2.4.'de deprem yükü azaltma katsayısının dayanım azaltma katsayısı ve periyoda bağlı değişim grafiği gösterilmiştir. Denklem 2.16 ve denklem 2.17'de deprem yükü azaltma katsayısı periyoda bağlı değişim denklemleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Deprem yükü azaltma katsayısı [10]

$$R_a(T) = D + \left[\frac{R}{I} - D \right] \frac{T}{T_B} \quad (T \leq T_B) \quad (2.16)$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad (T > T_B) \quad (2.17)$$

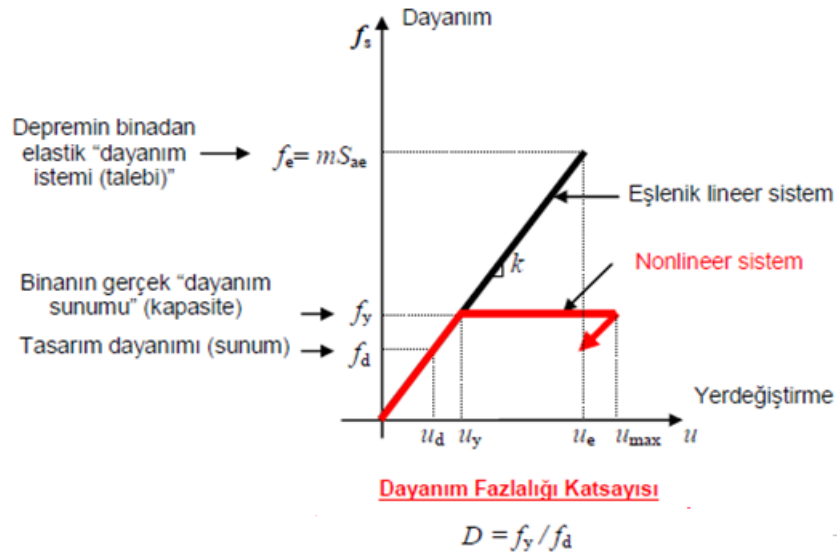
2.11. Yatay Deprem Etkisi Altında Azaltılmış Tasarım İvme Spektrumu

Göz önüne alınan herhangi bir deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri $S_{aR}(T)$, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi [g] cinsinden Denklem 2.18'de tanımlanmıştır[10].

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)} \quad (2.18)$$

2.12. Dayanım Fazlalığı Katsayısı

Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) akma dayanımının tasarım dayanımına göre fazlalığını göstermek için kullanılır. Dayanım fazlalığı katsayısının bağlı olduğu f_y ve f_d Şekil 2.5.'te gösterilmiştir.



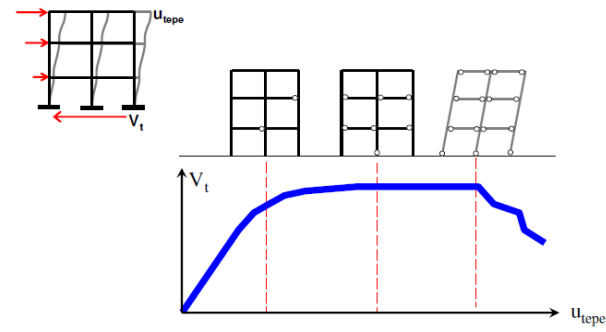
Şekil 2.5. Dayanım fazlalığı katsayısı[19]

2.13. Süneklik

Süneklik, yapının dayanımında güç kaybı olmaksızın yeterli miktarda plastik deformasyonlar yapabilmesidir. Yapılar tasarlanırken plastik davranacak şekilde tasarlanır. Plastik davranan bir yapı hasar alabilir ancak göçme olmaması gereklidir. Bu nedenle süneklik kavramı deprem ihtimali yüksek yerlerde büyük önem taşımaktadır.

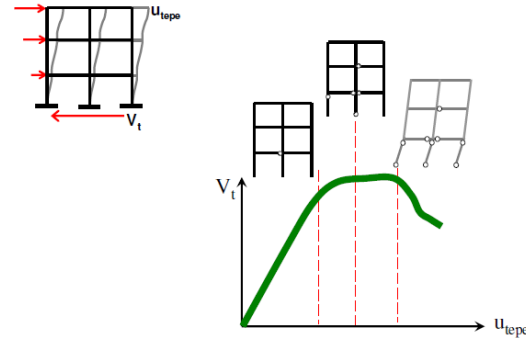
Bina taşıyıcı sistemlerinde, özellikle betonarme sistemlerde sünek davranış, kirişlerde basit eğilme etkisi altında, kolon ve perdelerde ise eğilme + eksenel kuvvet etkisi altında gerçekleşir. Sünek ve sünek olmayan taşıyıcı sistemler Şekil 2.6. ve Şekil 2.7.'de gösterilmiştir.

SÜNEK TAŞIYICI SİSTEM



Şekil 2.6. Sünek taşıyıcı sistem [11]

SÜNEK OLMAYAN TAŞIYICI SİSTEM



Şekil 2.7. Sünek olmayan taşıyıcı sistem [11]

2.14. Bina Performans Düzeyleri

Deprem anında yapıda oluşacak yer değiştirmeler sonucunda depremin büyüklüğüne göre yapının doğrusal olmayan bir davranış göstermesi beklenir. Bunun sonucunda yapıda plastik mafsallar oluşur. Elastik sınırın aşılmasıyla oluşan plastik mafsallar yapıdaki hasarın bir göstergesidir. Yapıda oluşan hasarın derecesinin belirlenmesinde ortaya çıkan plastik mafsalların dağılımı incelenerek belirlenir.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007’de tanımlanmaya başlanan bina performans düzeylerine Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de de yer verilmiştir.

2.14.1. Kesintisiz kullanım (KK) performans düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın oluşmadığı veya hasarın göz ardı edilebilir seviyede olduğu durumdur. DBYBHY 2007’de “Hemen Kullanım Performans Düzeyi” olarak adlandırılmıştır.

2.14.2. Sınırlı hasar (SH) performans düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarın belirli bir seviyede kaldığı, elastik ötesi davranışın sınırlandığı durumdur.

2.14.3. Kontrollü hasar (KH) performans düzeyi

“Can Güvenliği Performans Düzeyi” de denilen bu performans düzeyinde bina taşıyıcı sistem elemanlarında çoğunlukla onarılabilecek düzeyde ağır olmayan yapısal hasarın olduğu durumdur.

2.14.4. Göçmenin önlenmesi (GÖ) performans düzeyi

Bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği, ancak yapının kısmen veya tamamında göçmenin önlenildiği durumdur.

2.15. Bina Performans Hedefleri

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde binanın yapısına, deprem tasarım sınıflarına ve yapının durumuna bağlı olacak şekilde performans hedefleri belirlenmiştir. Bu hedefler yapının deprem etkisi altında göstermesi beklenen davranışın sonucunu göstermektedir.

Deprem tasarım sınıflarına göre yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları aşağıdaki 3 tabloda verilmiştir.

Tablo 2.7. Yeni yapılacak yerinde dökme betonarme, ön üretimli betonarme ve çelik binalar

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

Tablo 2.8. Yeni yapılacak veya mevcut yüksek binalar (BYS=1)

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

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

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

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

Deprem tasarım sınıflarına göre deprem yalıtımlı binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları aşağıdaki 3 tabloda verilmiştir (Tablo 2.10. – 2.12 ve Şekil 2.8)

Tablo 2.10. Yeni yapılacak deprem yalıtımlı binalar – üstyapı

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

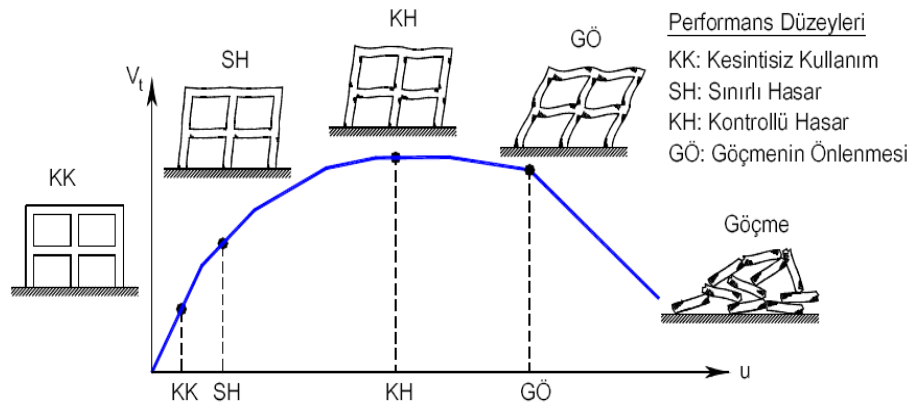
Tablo 2.11. Deprem yalıtımı yapılarak güçlendirilecek mevcut binalar – üstyapı

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

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

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD – 2	-	-	-	-
DD – 1	KK	ŞDGT ⁽⁵⁾ -DGT ⁽⁶⁾	KK	ŞDGT ⁽⁵⁾ -DGT ⁽⁶⁾

- 5) Yalıtım sistemi için uygulanacaktır.
- 6) Altyapı için uygulanacaktır.



Şekil 2.8. Yapı performans düzeylerinin performans eğrisi üzerinde gösterimi [12]

BÖLÜM 3. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME ANALİZİ

3.1. Giriş

Deprem yapıya gelen yatay yer harekettir. Yapıya kısa sürede büyük yatay kuvvetle etki eder. Bu etki depremin büyüklüğüne, zemin yapısına ve yapının karakteristiğine bağlıdır. Deprem mühendisliğinde yapıların tasarlanmasında ya da mevcut yapıların değerlendirilmesinde performans kavramı büyük önem taşımaktadır. Yapıların deprem yükleri altında nasıl davranış göstereceği ve deprem sonrasında oluşacak hasar durumunun önceden belirlenebilmesi kurtarıcı rol oynamaktadır.

Yapıların tasarlanmasında davranış spektrumu kullanılarak belirlenen elastik deprem yükleri, taşıyıcı sistemin lineer olması ve yapının hasar almaması durumunda kullanılabilir. Bu şekilde tasarım yapıldığında yapıya çok büyük depremler etki ettiğinde yapılan tasarım ekonomik olmaz. Ekonomik tasarımın yapılabilmesi için yapıların ‘can güvenli’ performans düzeyini sağlayarak kabul edilebilir seviyede hasar almasına izin verilir.

Doğrusal olmayan davranışın belirlenmesinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi yapının plastik mafsall oluşumunu, deprem kapasitesi ve taleplerini belirlemede en etkili ve geçerli yöntemdir. Ancak yöntemin uygulanması sırasında modelleme parametreleri, seçilen deprem kayıtlarının doğruluğu, etkime süresi ve frekansı gibi birçok değişkenden etkilenmektedir. Bu durumdan dolayı etki edecek olan kayıtların çok dikkatli seçilmelidir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi uygulamadaki karmaşıklığından ve prosedürün zaman almasından dolayı basitleştirilmiş yöntemlere ihtiyaç duyulmuş ve ortaya statik itme analizi yöntemi çıkmıştır. Statik itme analizi

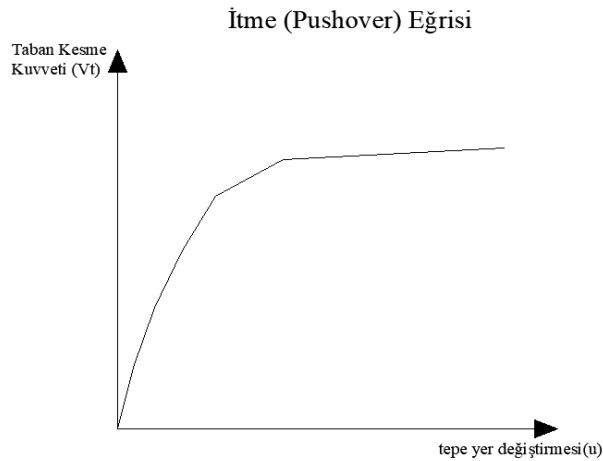
yöntemi yapının hasar aldığı yerler ve doğrusal olmayan bölgede kırılma mekanizması hakkında bilgi verir.

3.2. İtme Analizi

Statik itme analizi deprem yükleri altında yapı performansının belirlenmesinde kullanılan özel bir yöntemdir. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerine göre daha basitleştirilmiş bir yöntem olmasından dolayı son yıllarda kullanımı yaygınlaşmıştır.

İtme analizi yönteminde, yapı hareketinin hakim mod biçiminde kontrol edilerek yapının lineer ve lineer olmayan tepkisi boyunca bu şekilde devam ettiği kabul edilmiştir. Bu kabul hesabın statik olarak yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

İtme analizi yöntemi ile yapıya artımsal yatay yük verilerek yapının yapmış olduğu tepe noktası yer değiştirmesi ve taban kesme kuvveti arasındaki ilişki belirlenir. Elde edilen bu taban kesme kuvveti – yer değiştirme grafiği itme eğrisi olarak adlandırılmaktadır. İtme eğrisi yapının taban kesme kuvvetindeki artışına bağlı davranışı hakkında bilgi verir. Yük yapıya arttırılarak etki ettirilir. Yükün artması sonucunda elemanlarda plastik mafsall oluşur. Oluşan plastik mafsall sonucunda yapıdaki yük dağılımı değişiklik gösterir. Analiz göçme oluşuncaya veya belirli bir duruma gelinceye kadar devam ettirilir. Şekil 3.4.’te tipik bir yapıya ait itme eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tipik bir yapıya ait itme eğrisi

Literatürde itme analizinde izlenen değişkenlere göre iki çeşit prosedür bulunmaktadır. Bu prosedürlerden birinde kuvvet kontrolü diğerinde ise deplasman kontrolü uygulanmaktadır. Kuvvet kontrollü itme analizinde yükün, yerçekimi yüklemesi bilinmelidir. Deplasman kontrollü itme analizinde, Allahabadi tarafından 1987 yılında önerildiği gibi, yük dağılımının büyüklüğü, kontrol deplasmanının belirli bir değere ulaşana kadar artırılır. Ardından, tüm iç kuvvetler ve deformasyonlar hedef yer değiştirme seviyesinde hesaplanır.

1998 yılında Krawinkler ve Seneviratna, itme analizinin yapının tepkisini görselleştirmede çok güçlü olduğunu vurgulamıştır. Lineer veya dinamik analizde yapı tepkisi görselleştirilememektedir. Ayrıca lineer analiz yönteminde belirlenemeyecek yapının zayıflıklarını ortaya çıkarmıştır [12].

3.2.1. Türkiye bina deprem yönetmeliği 2018’de belirtilen itme analizi yöntemleri

Doğrusal olmayan statik itme analizi Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde iki temel itme analizi yöntemini benimsemiştir. Bu yöntemler tek modlu itme analizi ve çok modlu itme analizi yöntemleridir. Tek modlu itme yöntemi kendi içinde sabit tek modlu ve değişken tek modlu itme yöntemi olarak ikiye ayrılmıştır.

İtme analizi yöntemlerinin tümünde ortak olarak binanın düşey yükleri esas alınarak yapıya artımsal statik analiz uygulanır ve bu adımdan elde edilen yer değiştirme ve taban kesme kuvvetleri başlangıç değerleri olarak kabul edilir. Burada önemli bir nokta yeni yapılan binalarda düşey yükler etkisi altında yapı elemanlarının lineer olmayan davranışına izin verilmemesidir [10].

3.2.1.1. Tek modlu itme analizi

Tek modlu itme yöntemi mod birleştirme yönteminin yapıda artımsal olarak uygulanmasına karşılık gelir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için ek dışmerkezlikler dikkate alınmadan doğrusal elastik kısım dikkate alınarak hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\mu_{bi} < 1,4$ koşulunu sağlamalıdır. Bununla birlikte hesabın

yapıldığı deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış esasına göre hesaplanan hakim titreşim moduna ait taban kesme kuvveti etkin kütesinin toplam bina kütesine oranı (rijit perdelerle çevrilen bodrum katlar hariç) en az 0,7 olmalıdır. Yapıya ait yükseklik sınıfı $BYS \geq 5$ olmalıdır [10].

Tek modlu itme analizi hesap adımları aşağıdaki gibidir;

- Hesabın başlangıç adımında deprem dışı düşey yükler altında birinci mod biçimi ile orantılı şekilde artımsal itme hesabı yapılır. Bu hesap sonucunda bulunan iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler başlangıç adımı olarak dikkate alınacaktır.
- Katlara etkiyen deprem yükleri, düşey yüklerle yapılan hesaptan sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak belirlenir.
- İtme hesabında ikinci mertebe etkilerinin sonuçları dikkate alınmaktadır.
- İtme hesabı sonucunda tepe noktası yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti grafiği (itme eğrisi) elde edilir.
- İtme eğrisine uygulanacak olan koordinat dönüşümleri sonucunda modal yer değiştirme – modal ivme eğrisi elde edilir.
- Modal kapasite diyagramı, tanımlanan deprem etkisi altında modal yer değiştirme talebi ve buna bağlı olarak yapıda meydana gelecek iç kuvvet ve plastik yer değiştirme talepleri hesaplanır.
- İtme analizi adımlarında belirtildiği üzere modal kapasite eğrisinin elde edilmesi için yapılması gereken işlem şu şekildedir.

Birinci moda ait modal katkı çarpanı Denklem 3.1 ve kat etkin kütleleri Denklem 3.2-3.3 yardımıyla elde edilir.

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{iXn}^2 + m_i \Phi_{iYn}^2 + m_{i\theta} \Phi_{i\theta n}^2)} \quad (3.1)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

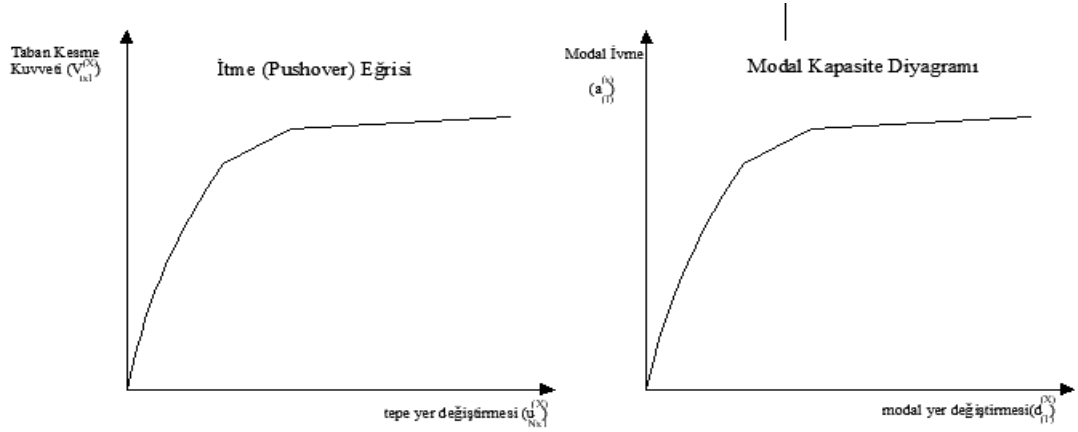
Yapıya ait modal ivme değerleri Denklem 3.5 ile hesaplanmaktadır.

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

Yapıya ait modal ivme değerleri Denklem 3.6 ile hesaplanmaktadır.

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

İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramları Şekil 3.5.'te karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2. İtme eğrisi ve modal kapasite diyagramının karşılaştırılması

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 değiştirmesi hesabına karşı gelmektedir. Sistemdeki en büyük yer değiştirme, doğrusal olmayan, spektral yer değiştirme Denklem 3.7’de tanımlanmıştır.

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

$S_{di}(T_1)$ Yapının hakim titreşim moduna karşılık gelen spektral yer değiştirmeyi verir(Denklem 3.8).

$$S_{di}(T_1) = C_R S_{de} T_{(1)} \quad (3.8)$$

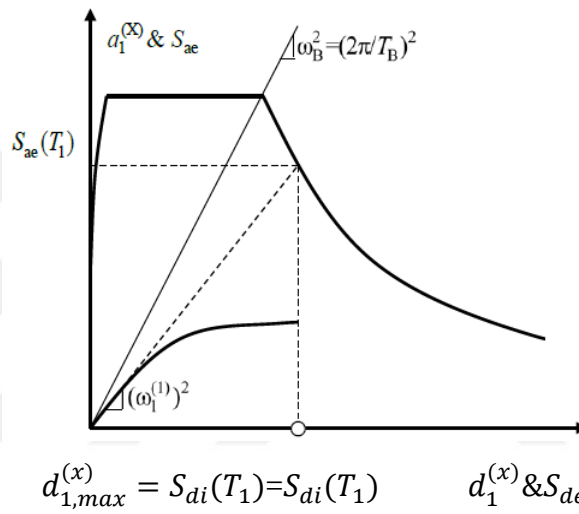
C_R Spektral yer değiştirme oranını belirler. Akma dayanımı azaltma katsayısına bağlı olarak aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanabilir.

T_1 başlangıç periyotunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ’ye eşit veya daha büyük olması durumunda, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme S_{di1} , eşit yer değiştirme kuralına göre doğal periyodu yine T_1 (1) olan eşlenik doğrusal elastik sistem’e ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme $S_{de}(1)$ ’e eşit alınır. Dolayısıyla spektral yer değiştirme oranı C_{r1} , T_1 (1) başlangıç periyodunun ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B ’ye eşit veya daha büyük olması

durumunda $C_{r1} = 1$ olarak alınır. C_r 'nin yapı periyodu ve köşe periyotlarına bağlı hesaplanması Denklem 3.9-3.10 yardımıyla yapılmaktadır. Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi Şekil 3.6.'da görülmektedir.

$$C_r = 1 \quad T_1 > T_A \quad (3.9)$$

$$C_r = \frac{(1+R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad T_1 \leq T_B \quad (3.10)$$



Şekil 3.3. Spektral yer değiştirme-modal yer değiştirme eğrisi

Spektral yer değiştirme oranı (C_{r1}), başlangıç periyodu (T_1) ivme spektrumundaki karakteristik periyot (T_B)'den küçük olması durumunda (C_{r1}) ardışık yaklaşımla hesaplanır.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_r = 1$ kabulü yapılır. Eşdeğer akma noktasının koordinatları diyagramın altında kalan alanların eşitliği ilkesine dayanır. Bu şekilde a_{yi}^0 (yaklaşık akma sözde ivmesi) kullanılarak

$$R_{y1} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{a_{y1}} \quad , \quad C_r = \frac{(1+R_y-1)\frac{T_B}{T_1}}{R_y} \geq 1 \quad \text{ve} \quad S_{di}(T_1) = C_R S_{de}(T_1) \quad \text{denklemleri}$$

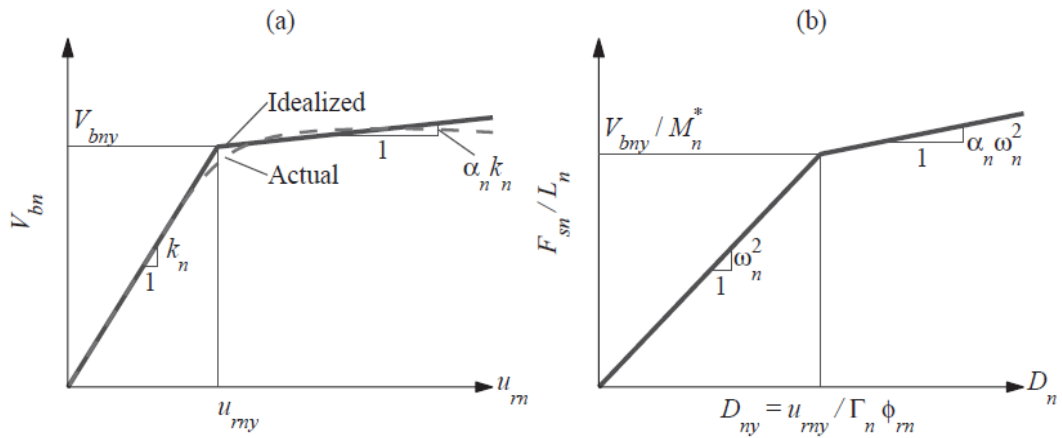
yardımıyla R_{y1} , C_r ve $S_{di}(T_1)$ değerleri hesaplanır. Bulunan bu değerler ile elastoplastik diyagram tekrar oluşturulur. Yeniden bulunan a_{y1} göz önüne alınarak aynı

3.2.1.2. Çok modlu itme yöntemi

Çok modlu itme analizi, 2001 yılında Chopra ve Goel tarafından ortaya konulmuştur. Yapıların dinamik analizi temelinde hesapların ve kavramların sade bir şekilde sabit yük altında bir analiz modelidir [15].

Çok modlu itme yöntemi analiz adımları şu şekildedir.

- Çok modlu itme analizine yapının doğal periyotları ve titreşim modları bulunarak başlanır.
- $\mathbf{S}_n^* = \mathbf{m} \cdot \Phi_n^i$ denkleminde taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirmesi eğrisi elde edilir.
- $\mathbf{m}$:kütle matrisi
- Φ_n^i :i-inci mod biçimi
- Sisteme yük kademeli olarak uygulanır. Tepe noktası yer değiştirmeleri bulunur. Sistemin seçilen modunda hedeflenen tepe noktası yer değiştirme miktarını aşması beklenir.
- Elde edilen kapasite eğrisi idealize edilir.
- $\left(\frac{F_{sn}}{L_n}\right) - D_n$ ilişki grafiği elde edilir(Şekil 3.8.).



Şekil 3.5. İtme eğrisi (a), SDF sistem eğrisi(b) [13]

- Seçilen zemin hareket uyarımı, D_n altında n inci mod elastik olmayan temsili tek serbestlik dereceli sisteminin tepe deformasyonunu hesaplanır.

- $\mathbf{U}_{m0} = \mathbf{\Gamma}_n \mathbf{\Phi}_m^i \mathbf{D}_n$ denklemi kullanılarak tek serbestlik dereceli sistem çok serbestlik dereceli sistem modeline dönüştürülür.

$\mathbf{\Gamma}_n$: n'İnci mod için modal kütle çarpanı

$\mathbf{\Phi}_m^i$: Tepe noktası şekil faktörü

$\mathbf{D}_n$: Tek serbestlik dereceli sistemin tepe noktası tepkisi

- İtme eğrisi sonuçlarında çok serbestlik dereceli sistemin karşılık sonuçları belirlenir.
- Tüm modlar için 2. Adımdan 8. Adıma kadar işlemler tekrarlanır.
- SRSS veya tam ikinci dereceden denklem kuralı ile zirve modal tepkileri belirlenir [16].

BÖLÜM 4. YAPI MODELLERİNİN TASARIMI VE İTME ANALİZİ UYGULAMASI

4.1. Giriş

Bu bölümde, tasarlanmış olan x doğrultusunda 30m y doğrultusunda 20m uzunluğunda kat yüksekliği 3'er metre olan ve 4'er kattan oluşan 7 farklı betonarme yapı tanıtılmıştır. Yapılan incelemeler ve analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Tasarlanmış olan 7 farklı modelden bir tanesi referans modeldir. Diğer 6 adet yapı kendi içlerinde 3'er adet tekrar gruplandırılmıştır. Çalışma kapsamında tasarlanan modellerin isimlendirmeleri şu şekildedir: Referans Model, Model A-1, Model A-2, Model A-3, Model D-1, Model D-2, Model D-3

Model A şeklinde isimlendirilen modeller yapının dış ebatları değiştirilmeden aks açıklıkları ve aks sayıları değiştirilerek oluşturulmuştur.

Model D şeklinde isimlendirilen modeller yapıda plan düzensizlikleri oluşturularak tasarlanmıştır.

Modellerin tümünde kesit özellikleri aynı özelliklerdedir. Kolon ebatları 50x50 cm boyutlarındadır. Döşeme kalınlıkları 15cm seçilmiştir. Döşemelerin oturduğu kirişler 25x50 cm olarak seçilmiştir.

Malzeme olarak beton sınıfı C25, çelik sınıfı ise S420 seçilmiştir. Yapılar konut olarak tasarlanmıştır. Bundan dolayı bina önem katsayısı $I=1$ olarak seçilmiştir. Deprem yüklerinin tamamı süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerden karşılanmaktadır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=8$ 'dir. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları

İnteraktif Web Uygulamasından yapının yapıldığı parselde esas alınan değerler aşağıdaki gibidir.

$$S_s = 1,357$$

$$S_1 = 0,368$$

$$S_{DS} = 1,357$$

$$S_{D1} = 0,711$$

$$PGA = 0,557$$

$$PGV = 36,035$$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

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

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

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Kolonlar için alınan etkin kesit eğilme rijitliği = 0,70

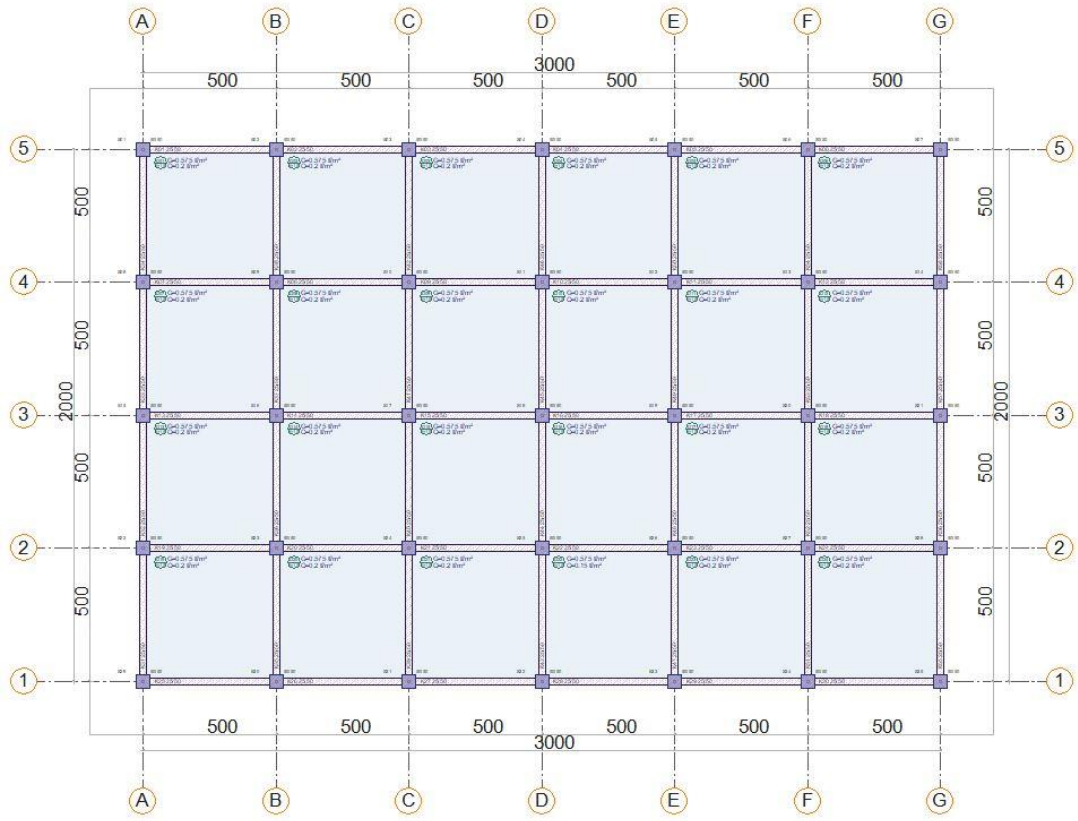
Kirişler için alınan etkin kesit eğilme rijitliği = 0,35

Hareketli yük katılım katsayısı (n) = 0,30

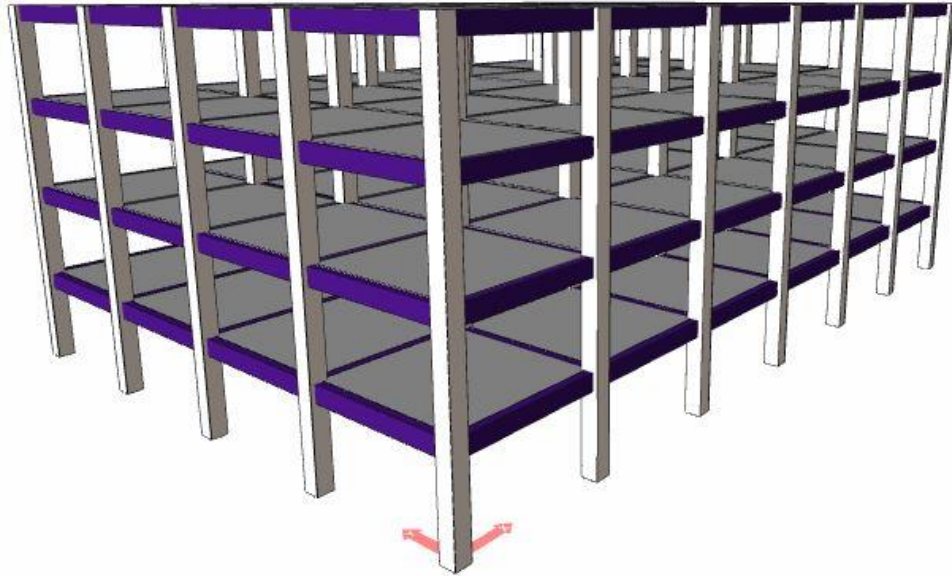
Modelleme sırasında döşeme ağılıkları ölü yük olarak kirişlere aktarılmıştır. Kolonlar zemine ankastre bağlandığı kabul edilmiştir.

4.2. Referans Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

Çalışmada ele alınan referans model x ve y doğrultularında aks açıklıkları sabit olup aks açıklığı 5 metredir. Düşey akslar A,B,C,D,E,F,G yatay akslar 1, 2, 3, 4 ve 5 olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.1.'de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.2'de perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Referans-model kalıp planı



Şekil 4.2. Referans-model 3 boyutlu görüntüsü

Tablo 4.1. Referans model kolon-kiriş bilgileri

Katlar	Kolon boyutları		Kolon donatısı	Kolon etriye donatısı	Kiriş boyutları		Kiriş donatısı	
	b (mm)	h(mm)			b (mm)	h(mm)	alt	üst
1	500	500	8Φ20	Φ10/10	250	500	4Φ14	2Φ12
2	500	500	8Φ20	Φ10/10	250	500	4Φ14	2Φ12
3	500	500	8Φ20	Φ10/10	250	500	4Φ14	2Φ12
4	500	500	8Φ20	Φ10/10	250	500	4Φ14	2Φ12

Tablo 4.1.'de yapının kolon ve kirişlerine ait boyut ve donatı bilgileri bulunmaktadır. Kolonlar tüm katlarda 50x50 cm olarak modellenmiştir. Kolonlarda 8Φ20 boyuna donatı ve Φ10/10 enine donatı seçilmiştir. Tüm kirişlerde alt donatılar 4Φ14, montaj donatıları 2Φ12 olarak seçilmiştir.

Malzeme özellikleri tanımlanması Şekil 4.3. ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: C25

Material Type: Concrete

Material Grade:

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 24

Mass per Unit Volume: 2,4473

Units

KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 30000000

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0,

Shear Modulus, G: 12500000

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f_c: 25000

Expected Concrete Compressive Strength: 25000

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor:

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.3. Beton özelliklerinin tanımlanması

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: S420

Material Type: Rebar

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 78.5

Mass per Unit Volume: 8,0048

Units

KN, m, C

Uniaxial Property Data

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

Poisson, U: 0,

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 0,

Shear Modulus, G:

Other Properties For Rebar Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 420000,

Minimum Tensile Stress, Fu: 420000,

Expected Yield Stress, Fye: 420000,

Expected Tensile Stress, Fue: 420000,

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 4.4. S420 donatı çeliği özelliklerinin tanımlanması

Kolon – kiriş çerçeve elemanları tanımlanması Şekil 4.5.-4.10. arasında gösterilmiştir.

Rectangular Section

Section Name: KOLON 50x50

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Depth (t3) : 0.5

Width (t2) : 0.5

Section

Material: C25/30

Property Modifiers: Set Modifiers...

Properties

Section Properties...

Time Dependent Properties...

Concrete Reinforcement...

OK Cancel

Şekil 4.5. Kolon kesit özelliklerinin tanımlanması

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: S420

Confinement Bars (Ties): S420

Design Type

☒ Column (P-M2-M3 Design)

☐ Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

☒ Rectangular

☐ Circular

Confinement Bars

☒ Ties

☐ Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 0.025

Number of Longit Bars Along 3-dir Face: 4

Number of Longit Bars Along 2-dir Face: 3

Longitudinal Bar Size: 20d

Confinement Bars

Confinement Bar Size: 10d

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 0.1

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

Check/Design

☐ Reinforcement to be Checked

☒ Reinforcement to be Designed

Şekil 4.6. Kolon donatı özellikleri tanımlanması

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

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

Şekil 4.7. Kolon eğilme rijitliği tanımlanması

Rectangular Section

Section Name: KRIS-25X50 Display Color:

Section Notes:

Dimensions

Depth (t3):

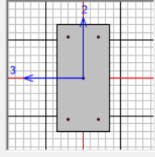
Width (t2):

Material

+ C25

Property Modifiers

Section



Properties

Şekil 4.8. Kiriş kesit özelliklerinin tanımlanması

Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + S420

Confinement Bars (Ties): + S420

Design Type

☐ Column (P-M2-M3 Design)

☒ Beam (M3 Design Only)

Concrete Cover to Longitudinal Rebar Center

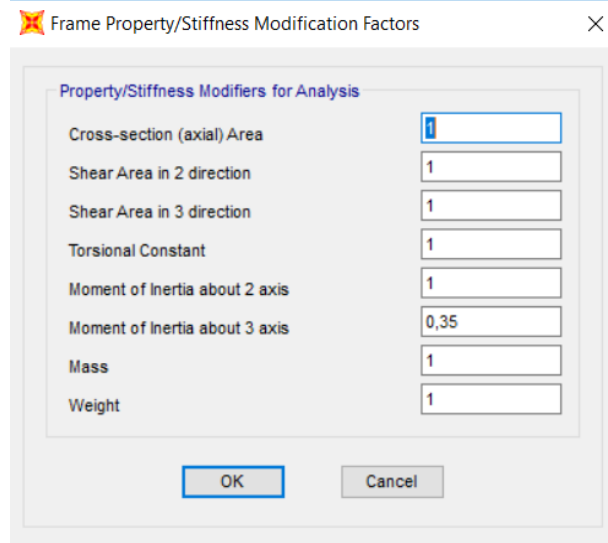
Top:

Bottom:

Reinforcement Overrides for Ductile Beams

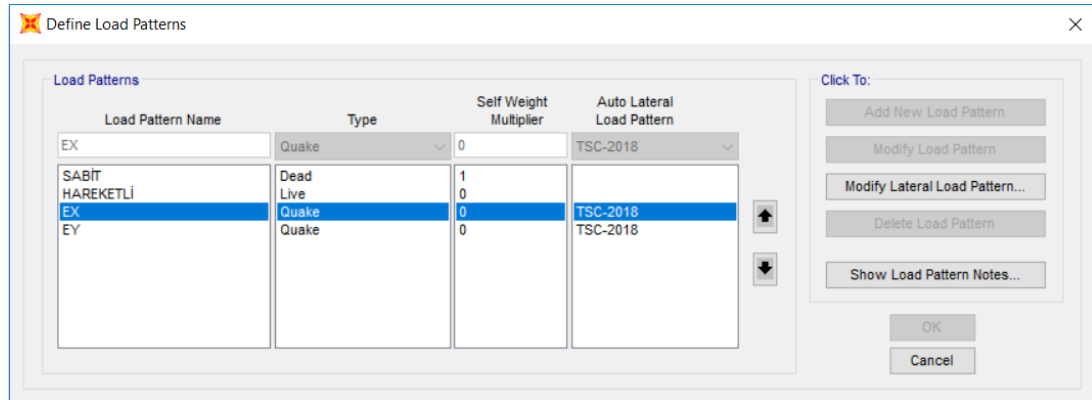
	Left	Right
Top	2,260E-04	2,260E-04
Bottom	6,157E-04	6,157E-04

Şekil 4.9. Kiriş donatı alanlarının girilmesi



Şekil 4.10. Kiriş eğilme rijitliği tanımlanması

Programa malzeme ve kesit özellikleri girildikten sonra elemanlara gelecek sabit ve hareketli yüklerin tanımlanabilmesi için yük tipleri (load cases) belirlenir. Bu kısımda yapıya gelen sabit yükler ve yapının kendi ağırlığının da hesaba katılabilmesi için “SABİT” yük tipi hareketli yüklerin tanımlanabilmesi için “HAREKETLİ” X yönündeki deprem yüklerinin hesaplanabilmesi için “EX” Y yönündeki deprem yüklerinin hesaplanabilmesi için “EY” yük tipleri belirlenir. Modal analiz yapılabilmesi için “MODAL” yük tipleri tanımlanmıştır (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Yük tiplerinin belirlenmesi

Tanımlanan deprem yüklerinin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne uygun hale getirilebilmesi için yapılması gereken işlemler vardır. Bunun için Yük tipleri “Load Pattern” bölümünde ilgili yükleme işaretlenip “Modify/Show Load Pattern” sekmesi

tıklanır. Açılan ekranda zemin sınıfı, yapı davranış katsayısı, dayanım fazlalığı katsayısı, bina önem katsayısı, eksantirisite oranı, zemine bağlı S_s , S_1 değerleri girilir (Şekil 4.12.).

Şekil 4.12. Sismik yük tipleri tanımlanması

Yük tipleri belirlendikten sonra yapıya döşemelerden gelen hareketli ve sabit yükler girişlere etki ettirilir.

Analizde kullanılacak yükleme durumları (Load Case) belirlenir.

Yükleme durumlarında belirlemiş olduğumuz yük tiplerine ek olarak itme analizi yapılabilmesi için “PUSH 0” başlangıç koşulu, ‘x’ yönünde itme analizi için “PUSH X” ve ‘y’ yönünde itme analizi için “PUSH Y” yükleme durumları tanımlanır. “PUSH 0” yükleme durumu yapının düşey yükleri esas alınarak yapılan analizdir. Pushover analizi doğrusal olmayan analiz yöntemi olduğundan “PUSH 0” analiz tipi nonlinear olarak seçilir. P-Delta analiz yöntemi kullanılacağından bu parametre işaretlenir. Yükleme durumlarında, başlangıç adımı analizinde düşey yükler kullanılacağından “SABİT” ve “HAREKETLİ” yükler yükleme durumuna eklenir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta hareketli yüklerin sisteme etki ettirilmesi noktasında hareketli yük azaltma katsayısının unutulmamasıdır. Hareketli yük azaltma katsayısı TBDY 2018’de konut tipi yapılar için “0,30” olarak belirtilmiştir[10]. Başlangıç adımı

yükleme durumu Şekil 4.13.'te gösterilmiştir. Şekil 4.14.'de yapıya etki edecek itme kuvvetinin yerinin belirlenmesi gösterilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH0 [Set Def Name] [Modify/Show...]

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

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

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	SABIT	1
Load Pattern	HAREKETLI	0,3

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:
 Load Application: Full Load [Modify/Show...]
 Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
 Nonlinear Parameters: Default [Modify/Show...]

Load Case Type: Static [Design...]
 Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear
☐ Nonlinear Staged Construction
 Geometric Nonlinearity Parameters:
☐ None
☒ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements
 Mass Source: MSSSRC1

[OK] [Cancel]

Şekil 4.13. İtme analizi başlangıç adımı tanımlanması

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control:
☒ Full Load
☐ Displacement Control

Control Displacement:
☒ Use Conjugate Displacement
☐ Use Monitored Displacement
 Load to a Monitored Displacement Magnitude of: []

Monitored Displacement:
☒ DOF [U1] at Joint [5]
☐ Generalized Displacement []

Additional Controlled Displacements:
 [] [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.14. Yükleme yapılacak olan noktanın belirlenmesi

Başlangıç adımı belirlendikten sonra Şekil 4.15.-18.'de 'x' ve 'y' doğrultuları için yükleme durumlarını belirlenmesi gösterilmiştir.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHX **Set Def Name** **Notes**: Modify/Show...

Initial Conditions: ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case (PUSH0)

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

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case (MODAL)

Loads Applied

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

Add **Modify** **Delete**

Other Parameters

Load Application: Displ Control **Modify/Show...**

Results Saved: Multiple States **Modify/Show...**

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

Load Case Type: Static **Design...**

Analysis Type: ☐ Linear ☒ Nonlinear ☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters: ☐ None ☒ P-Delta ☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: MSSSRC1

OK **Cancel**

Şekil 4.15. X doğrultusu itme durumu tanımlanması

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control: ☐ Full Load ☒ Displacement Control

Control Displacement: ☐ Use Conjugate Displacement ☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of: 0,40

Monitored Displacement: ☒ DOF U1 at Joint 5 ☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements: None **Modify/Show...**

OK **Cancel**

Şekil 4.16. X doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSHY Set Def Name Modify/Show...

Initial Conditions

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case PUSH0

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

Modal Load Case

All Modal Loads Applied Use Modes from Case MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	EY	1,
Load Pattern	EY	1,

Add Modify Delete

Other Parameters

Load Application Displ Control Modify/Show...

Results Saved Multiple States Modify/Show...

Nonlinear Parameters Default Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Analysis Type

☐ Linear

☒ Nonlinear

☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters

☐ None

☒ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source

MSSSRC1

OK Cancel

Şekil 4.17. Y doğrultusunda itme durumu tanımlanması

Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of 0,40

Monitored Displacement

☒ DOF U1 at Joint 5

☐ Generalized Displacement

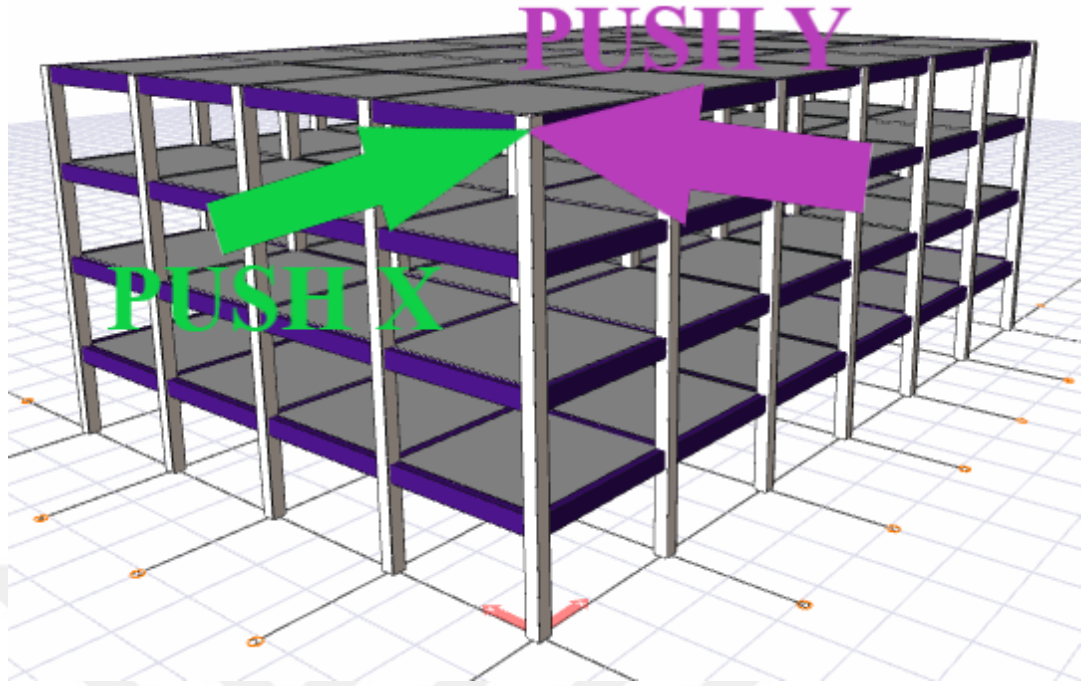
Additional Controlled Displacements

None Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 4.18. Y doğrultusu itme noktası ve yer değiştirme miktarının belirlenmesi

Şekil 4.19.'da itme kuvvetinin etkiye noktasının 3 boyutlu model üzerindeki yeri gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Tanımlanan itme yüklerinin 3 boyutlu model üzerindeki yeri

Yapının kat seviyelerindeki düğüm noktalarının yatay yükler altında birlikte hareket edebilmesini sağlamak amacıyla rijit diyafram atanır. Bunun için mesnet noktaları hariç bütün yapı seçilir. Daha sonra Assign, joint, constraints sekmeleri sırasıyla tıklanır. Define Constraints penceresi üzerinde Add New Constraints açılır ve burada Z axis seçeneği ile birlikte “Assign a different diaphragm constraints to each different selected Z axis” seçeneği de işaretlenir. Böylece her katta ayrı ayrı işlem yapmadan rijit diyafram tanımlanması sağlanarak işlem kolaylığı sağlanmış olur.

Katlara gelen yüklerin ve yapının kendi ağırlığının hesaba katılabilmesi için “mass source” tanımlanır.

Yapının temel seviyesinde mesnet koşulları tanımlanır. Mesnetler tüm yönde dönmeye ve yer değiştirmeye engellenmiş olarak tanımlanır.

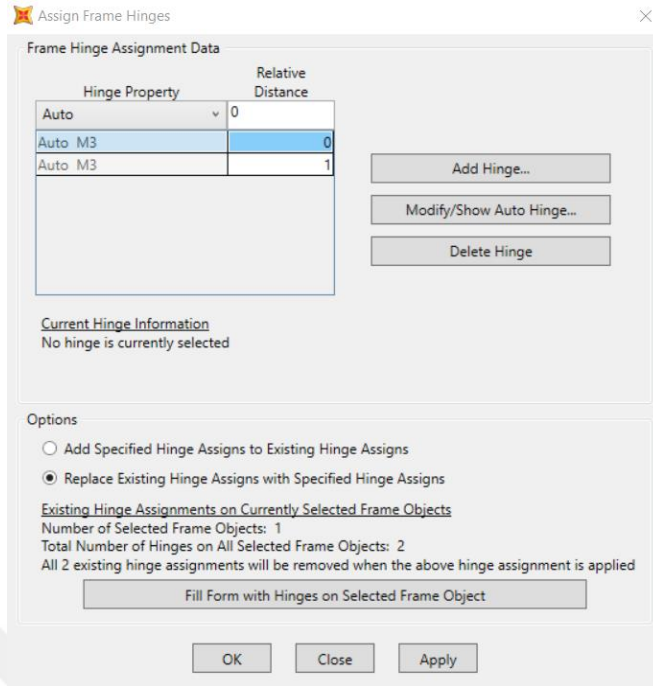
Kiriş ve kolonların uçlarında plastik mafsallar (hinge) tanımlanır. Plastik mafsal elemanın donatısını akma sınırına kadar taşıyabileceği maksimum momenti taşımasıdır. Eleman taşıyabileceği maksimum momente ulaştıktan sonra kapasitesi kadar momenti taşımaya devam eder daha fazlasını taşıyamaz ve döner.

İtme analizi yapılırken kolon ve kiriş uçlarında oluşacak olan plastik mafsalların tanımlanması gereklidir. Kiriş elemanlara plastik mafsalları tanımlanması için yapıdaki tüm kirişler seçilir. Assign, Frame, Hinges sekmeleri tıklanır. Add Hinge butonuna basılır Açılan pencerede kiriş hinge ayarları yapılır(Şekil 4.20.). Eklenen hinge '0' ve '1' şeklinde iki kez eklenerek kirişin her iki ucu için plastik mafsalları tanımlanmış olur.

Şekil 4.20. Kiriş plastik mafsalları özellikleri tanımlanması

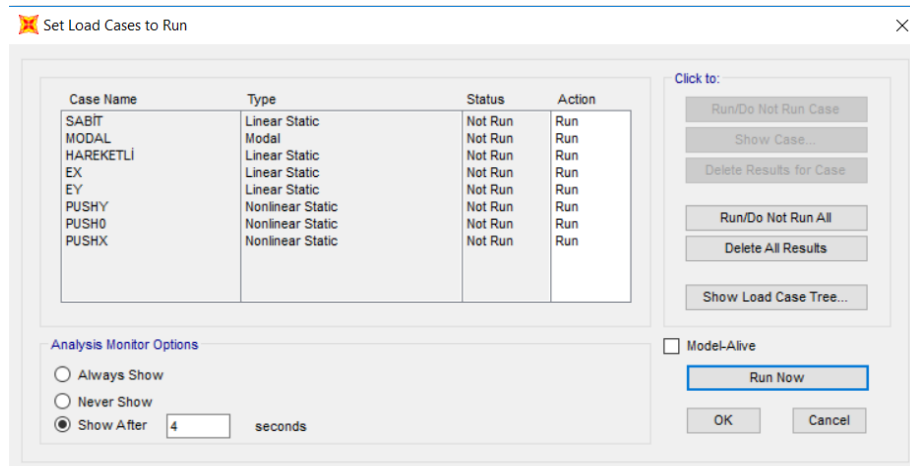
Kolon plastik mafsalları özellikleri tanımlanması Şekil 4.21.'de gösterilmiştir. Kiriş uçlarına plastik mafsalların tanımlanmasından sonra, kolonların da tamamı seçilerek, benzer işlemler mafsalları özelliklerine uygun olacak şekilde '0' ve '1' tanımlanmasıyla her iki uç için yapılır(Şekil 4.22.).

Şekil 4.21. Kolon plastik mafsalları özellikleri tanımlanması



Şekil 4.22. Kiriş veya kolonların her iki ucu için plastik mafsalları atanması

Tez çalışması kapsamında sabit ve hareketleri içeren bir yük kombinasyonu tanımlanmıştır. (SABİT+0,3 HAREKETLİ) Son olarak analiz ekranında yapılması istenen analizlerin action kısmında “Run” yazacak konuma getirilir. Ardından “Run Now” sekmesine tıklanarak analiz yapılır(Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Analiz ayarları diyalogu

Analiz yapıldıktan sonra analiz sonuçları incelenir.

Tablo 4.2. Referans Model periyot ve frekansları

Modlar	Periyotlar (s)	Frekanslar (Hz)
1	0.397	2.518
2	0.388	2.578
3	0.370	2.700
4	0.114	8.798
5	0.112	8.949
6	0.107	9.331
7	0.056	18.015
8	0.055	18.157
9	0.053	18.852
10	0.036	28.080
11	0.036	28.131
12	0.034	29.173

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.2.'de gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.397 s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 0.388 s x doğrultusundaki periyodudur.

Bina ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

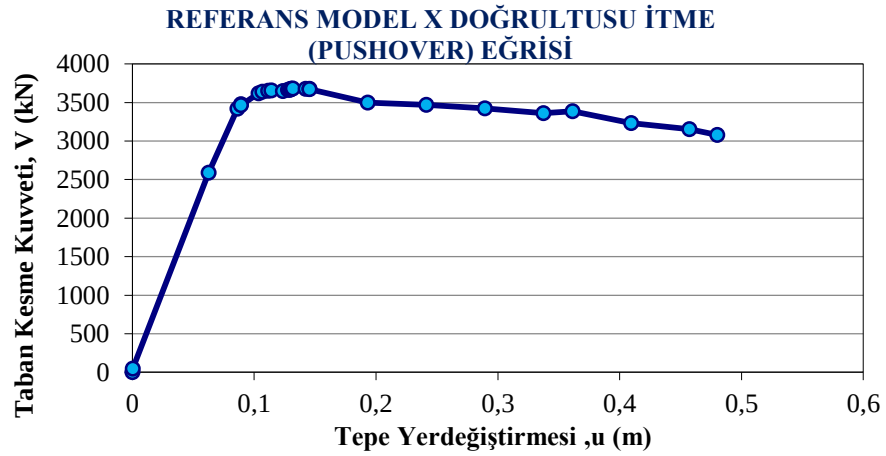
Tablo 4.3. Bina ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

Katlar	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat Yer Değiştirmeleri (mm)	
		dx	dy
4	6574.84	60	60
3	6574.84	48	48
2	6574.84	31	31
1	6574.84	11	11
Toplam	26299.36		

Tez çalışması için tasarladığımız yapıların yükseklikleri 12 m'dir. İtme analizinde yapılara vereceğimiz deplasman miktarı 0,48 m olarak etki ettirilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen itme eğrileri X ve Y doğrultuları için aşağıda gösterilmiştir. Referans Model x doğrultusuna ait itme adımları Tablo 4.4.'te gösterilmiştir. Referans Model İtme eğrisi Şekil 4.24.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Referans Model x doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0005	46.40
2	0.0625	2589.48
3	0.0862	3420.19
4	0.0892	3477.06
5	0.0892	3465.67
6	0.1037	3621.47
7	0.1068	3638.35
8	0.1114	3654.11
9	0.1141	3658.41
10	0.1235	3648.10
11	0.1279	3663.48
12	0.1294	3666.52
13	0.1294	3670.52
14	0.1300	3677.48
15	0.1307	3679.49
16	0.1316	3680.43
17	0.1423	3678.00
18	0.1453	3675.96
19	0.1453	3673.91
20	0.1933	3499.14
21	0.2413	3468.66
22	0.2893	3423.79
23	0.3373	3361.88
24	0.3613	3387.05
25	0.4093	3232.62
26	0.4573	3154.84
27	0.4800	3080.30



Şekil 4.24. Referans model x doğrultusu itme eğrisi

Tablo 4.5. Referans model x doğrultusu modal hesap sonuçları

Periyot; T (s)	0.3879	MODE
Kütle Katılım oranı	0.801	
Toplam M (ton)	2680	2
Katkı Γ_{x1}	çarpımı; 22.00	Yön
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0601	+ X

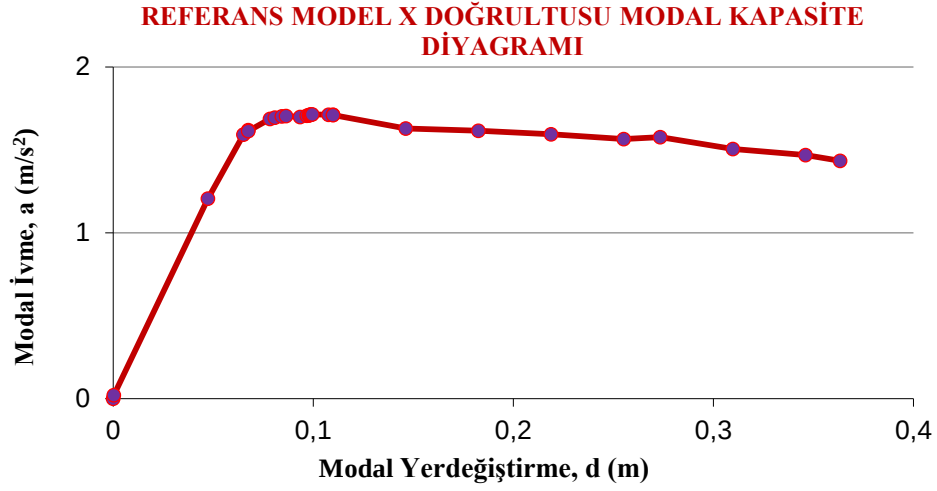
İtme eğrisi Tablo 4.5.'te verilen modal hesap değerler kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.25.). Tablo 4.6.'da Referans Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Referans model x doğrultusu modal itme eğrisi

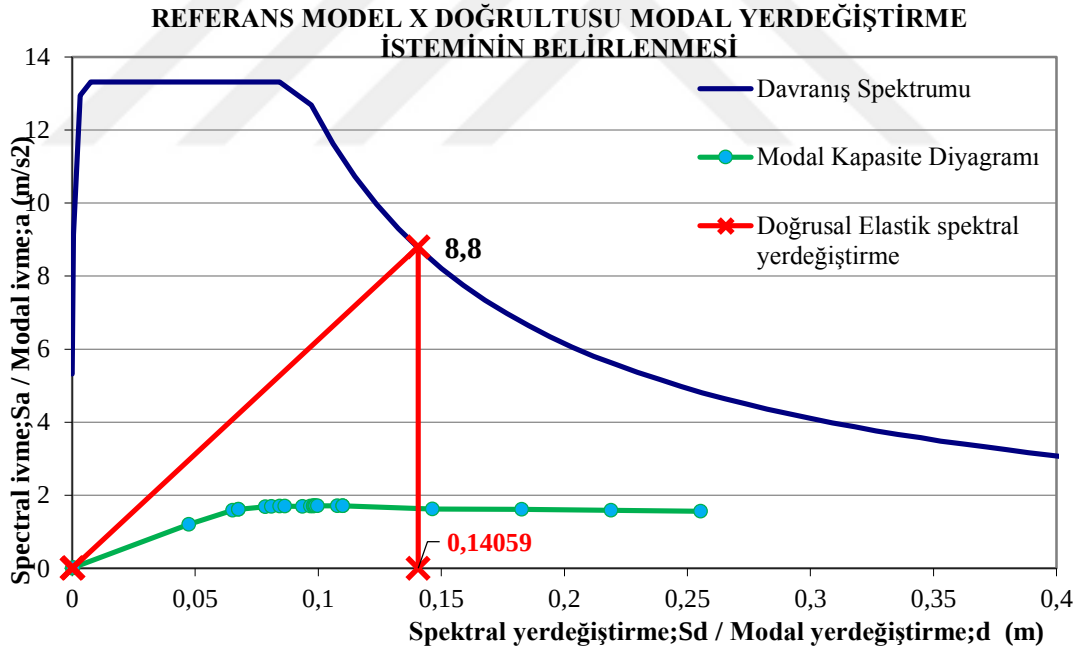
Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00035	0.022
2	0.04734	1.206
3	0.06523	1.592
4	0.06751	1.619
5	0.06752	1.614
6	0.07850	1.686
7	0.08085	1.694
8	0.08432	1.701
9	0.08639	1.703
10	0.09351	1.699
11	0.09680	1.706
12	0.09796	1.707
13	0.09797	1.709
14	0.09844	1.712
15	0.09890	1.713
16	0.09963	1.714
17	0.10772	1.713
18	0.10996	1.712
19	0.10997	1.711
20	0.14630	1.629
21	0.18263	1.615
22	0.21897	1.594
23	0.25532	1.565
24	0.27349	1.577
25	0.30982	1.505

Tablo 4.6. (Devamı)

26	0.36333	1.434
27	0.36333	1.434



Şekil 4.25. Referans model x doğrultusu modal kapasite diyagramı



Şekil 4.26. Referans model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

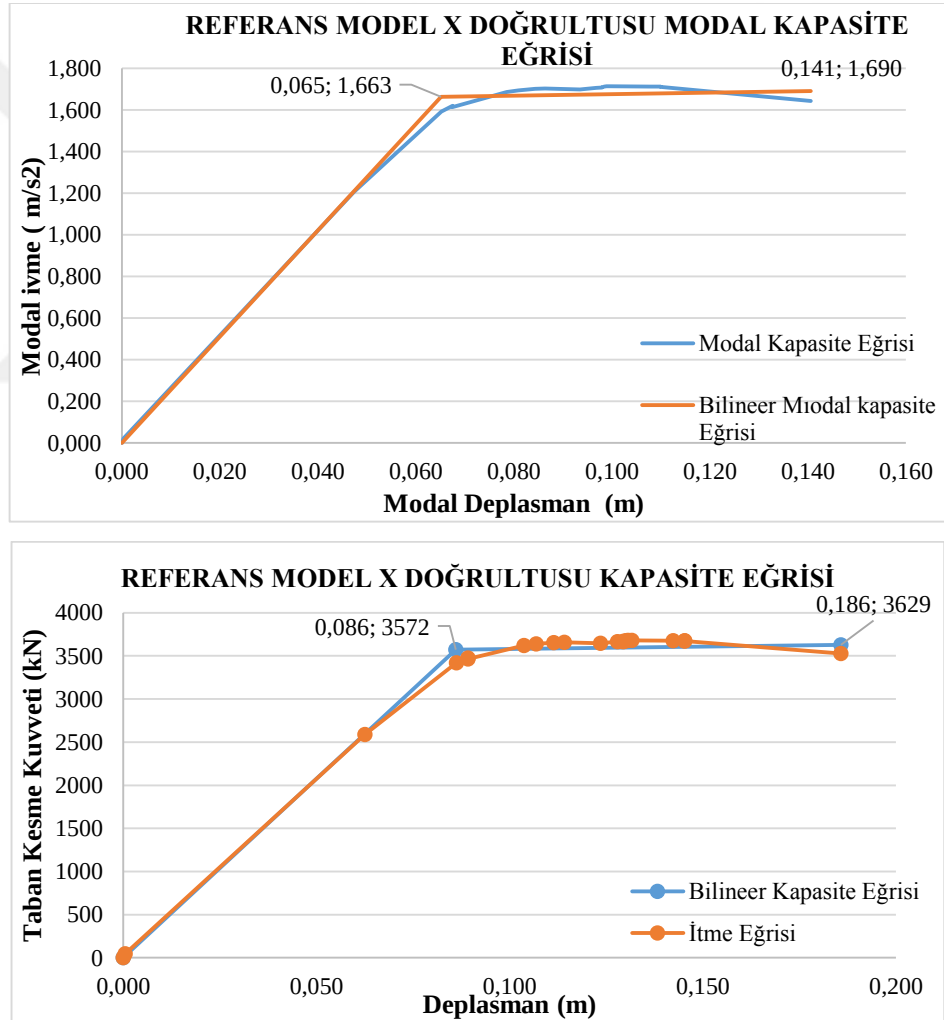
Modal yer değiştirme istemi $d_1(p)$ (performans noktası) 0.14059m olarak bulunmuştur. Şekil 4.26.'da modal yer değiştirme istemine karşılık spektral ivme değeri 8.8 olarak bulunmuştur. Bu değer $S_{ae}(T_1)$, T_1 periyodun karşılık gelen spektral ivme değeridir.

Modal yer değiştirme istemi bulunduğundan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 22.0 \times 0.0601 \times 0.14059 = 0.186m$$

Referans Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları şekil 4.27.'de gösterilmiştir.



şekil 4.27. Referans model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{8.8}{1.663} = 5.29$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3572}{1.5} = 2381$$

$$f_e = R_y \times f_y = 5.29 \times 3572 = 18901 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{18901}{2381} = 7.94$$

İtme analizi bize yapının sünekliği ve rijitliği hakkında bilgi verir. Süneklik katsayısı (μ) yapının doğrusal olmayan davranışında yaptığı maksimum yer değiştirme miktarının elastik yer değiştirmeye oranıdır[15]. Rijitlik yapının kuvvet altında şekil değiştirmeye karşı olan direncidir.

$$\mu_x = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.186}{0.086} = 2.16$$

$$k_x = f_y/\mu_y$$

$$k_x = \frac{3572}{86} = 41.49$$

Kapasite eğrisinin altında kalan alan yapının tükettiği enerji miktarını verir. İtme analizinde göçme anından ilk mafsall oluşana kadar tüketilen enerjinin, başlangıçtan ilk mafsall oluşana kadar tüketilen enerjiye oranı sistemin ‘Elastik Tüketim Kapasitesi (ETK)’ni verir.

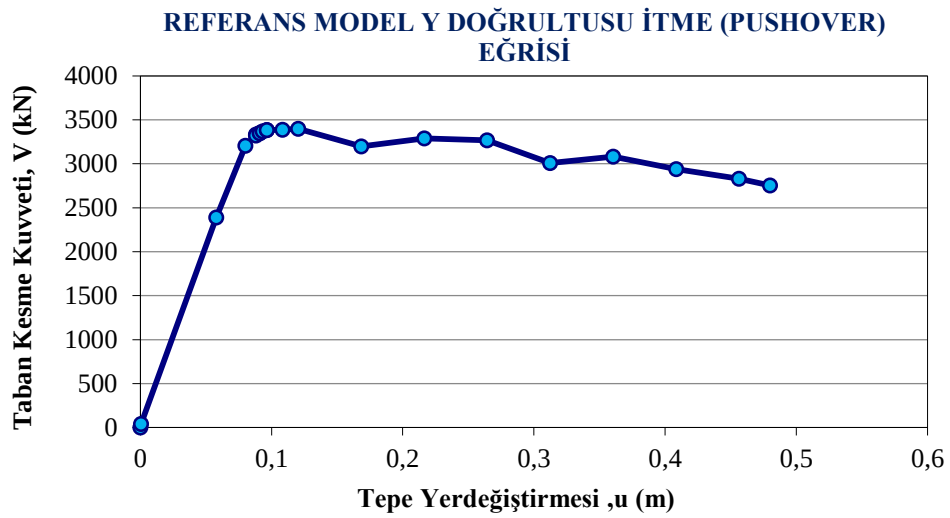
$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsall oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsall oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{430.71}{81.84} = 5.26$$

Referans Model y doğrultusuna ait itme adımları Tablo 4.7.'de gösterilmiştir. Referans Model İtme eğrisi Şekil 4.28.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Referans model y doğrultusu itme analizi sonuçları

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{yN1}^i (m)	V_{y1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0004	42.05
2	0.0579	2388.81
3	0.0800	3204.28
4	0.0882	3332.33
5	0.0882	3322.34
6	0.0912	3352.47
7	0.0912	3346.58
8	0.0933	3367.83
9	0.0964	3384.33
10	0.0964	3385.01
11	0.1084	3386.02
12	0.1204	3399.14
13	0.1684	3198.08
14	0.2164	3289.78
15	0.2644	3265.71
16	0.3124	3009.32
17	0.3604	3080.36
18	0.4084	2939.80
19	0.4564	2830.25
20	0.4800	2752.58



Şekil 4.28. Referans model y doğrultusu itme (pushover) eğrisi

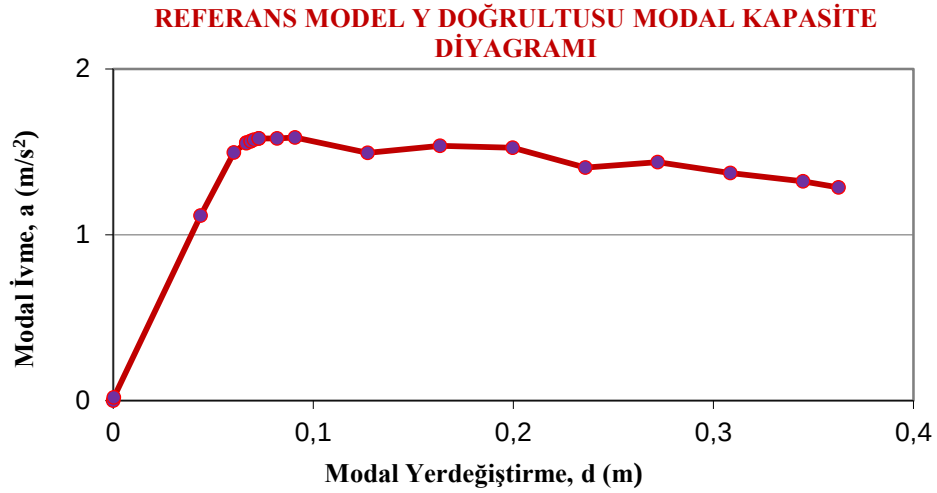
Tablo 4.8. Referans model y doğrultusu modal hesap sonuçları

Periyot; T (s)	0.3879	MODE
Kütle Katılım oranı	0.799	
Toplam Kütle; M (ton)	2680	1
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	21.96	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0603	+ Y

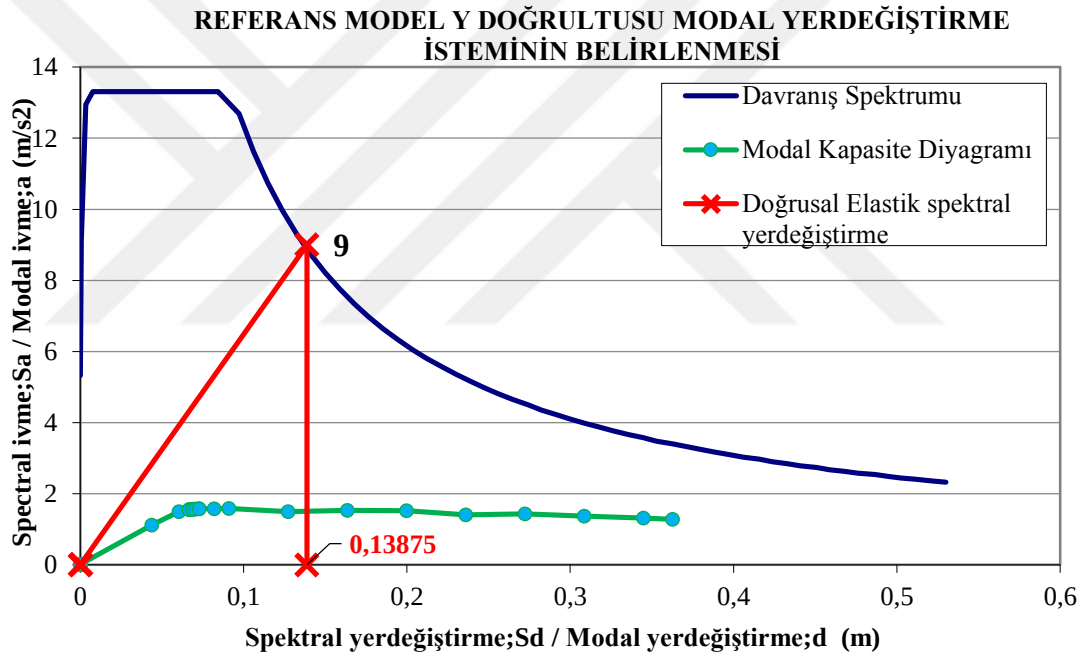
İtme eğrisi Tablo 4.8.'de verilen modal hesap değerler kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.29.). Tablo 4.9.'da Referans Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Referans model y doğrultusu modal itme eğrisi

Adım	Modal Kapasite Diyagramı	
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00030	0.020
2	0.04375	1.116
3	0.06040	1.497
4	0.06662	1.557
5	0.06662	1.552
6	0.06886	1.566
7	0.06886	1.564
8	0.07051	1.574
9	0.07284	1.581
10	0.07284	1.582
11	0.08188	1.582
12	0.09095	1.588
13	0.12720	1.494
14	0.16346	1.537
15	0.19972	1.526
16	0.23601	1.406
17	0.27227	1.439
18	0.30853	1.374
19	0.34478	1.322
20	0.36259	1.286



Şekil 4.29. Referans model y doğrultusu modal itme eğrisi



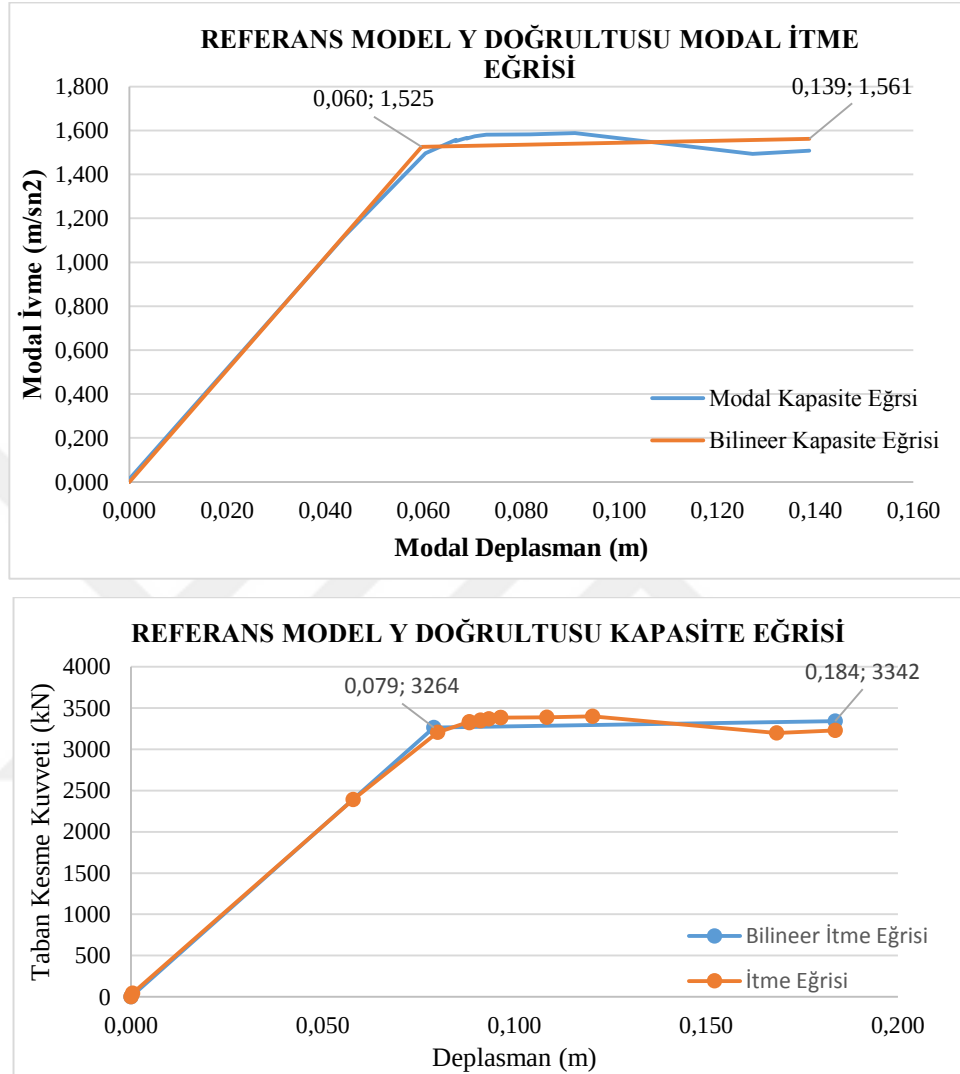
Şekil 4.30. Referans model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.13875m olarak bulunmuştur(Şekil 4.30.). Modal yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 21.96 \times 0.0603 \times 0.1387 = 0.1837m$$

Referans Model y doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.31.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Referans model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{9}{1.525} = 5.90$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3264}{1.5} = 2176 \text{ Kn}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 5.90 \times 3264 = 19264 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{19264}{2176} = 8.85$$

Tekrarlanan itme analizinin ardından yapının y doğrultusundaki performans noktasına kadar bulunan kapasite eğrisi yardımıyla süneklik katsayısı ve rijitlik katsayıları hesaplanır.

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.184}{0.079} = 2.33$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{3264}{79} = 41.34$$

Referans modelde y doğrultusunda ilk mafsallık 2388 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.058 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.184m de ise 3227 kN yatay yük almıştır.

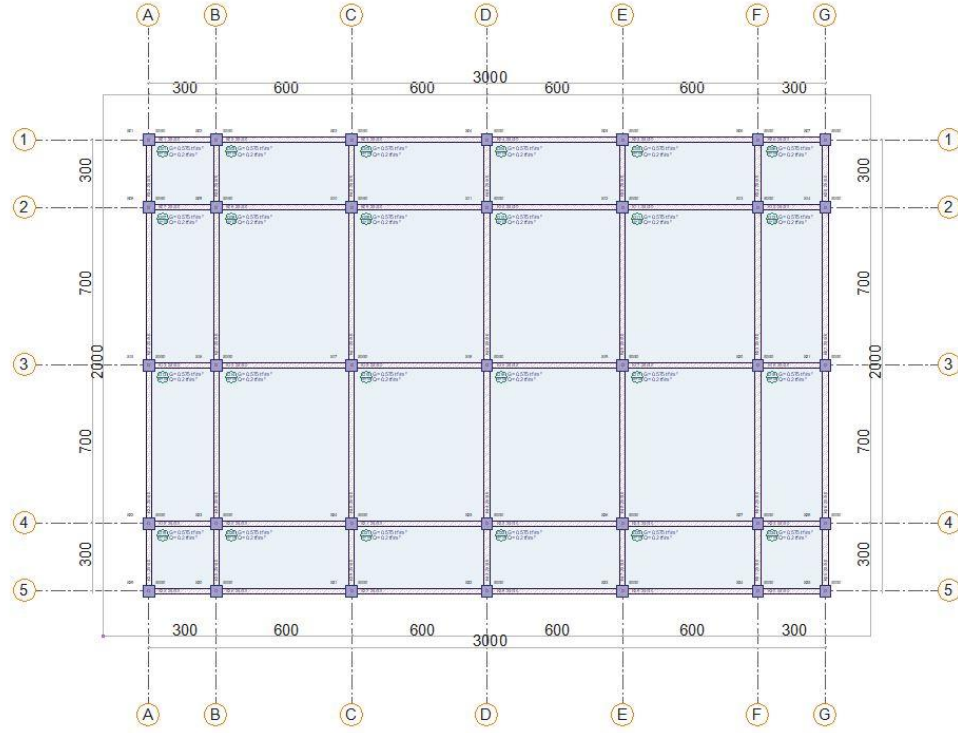
$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsallık oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsallık oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_y = \frac{404.85}{69.92} = 5.79$$

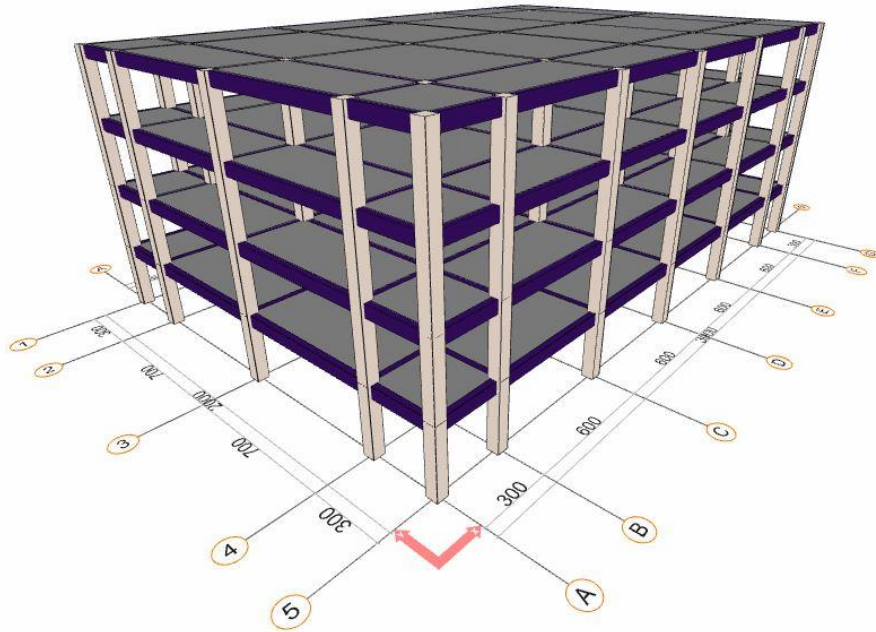
4.3. A-1 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

Model A-1, referans model ile aynı ebatlarda ve aynı aks sayılarından oluşmaktadır. Model A-1 tasarımında yapının kenar kısmında aks açıklıkları birbirine yaklaştırılarak kenar kısımlarda daha sık iç kısımlarda daha seyrek bir plan elde edilmiştir. X doğrultusunda yapı kenarlarında 3'er metre iç kısımlarda 6'şar metre olacak şekilde 7 aks bulunmaktadır. Y doğrultusunda yapı kenarlarında 3'er metre iç kısımlarda 7'şer metre olacak şekilde 5 aks bulunmaktadır. Model A-1'e ait kolon-kiriş ebatları ve

donatı miktarları referans model ile aynıdır. Şekil 4.32.'de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.33.'te perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.32. A-1 model kalıp planı



Şekil 4.33. A-1 model perspektif görünüşü

Tablo 4.10. A-1 model periyot ve frekansları

Mod	Periyot (s)	Frekans (Cyc/sec)
1	0.799	1.252
2	0.795	1.258
3	0.722	1.385
4	0.229	4.376
5	0.228	4.390
6	0.208	4.802
7	0.111	8.980
8	0.111	8.988
9	0.102	9.774
10	0.072	13.953
11	0.072	13.956
12	0.066	15.129

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.10.'de gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.799 s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 0.795 s x doğrultusundaki periyodudur.

Bina ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. A-1 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

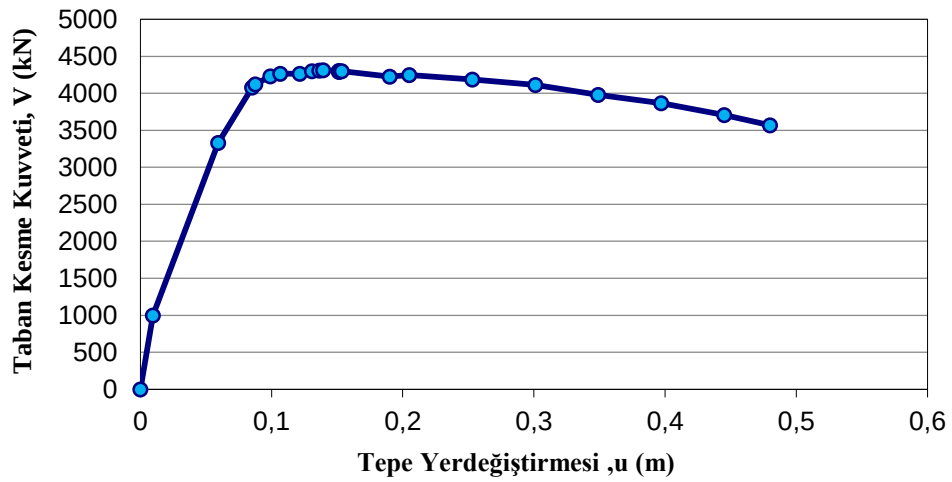
Kat	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat yer değiştirmeleri	
		dx (mm)	dy (mm)
1	6347.04	5.35	5.32
2	6347.04	14.59	14.54
3	6347.04	22.94	22.92
4	6347.04	28.63	28.68
Toplam	25388.15		

A-1 modele ait x doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.12.'de gösterilmiştir. A-1 Model itme eğrisi Şekil 4.34.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. A-1 model x doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0.009623	998.988
2	0.059238	3331.515
3	0.085152	4077.53
4	0.087688	4120.982
5	0.099164	4232.614
6	0.106755	4265.388
7	0.121536	4264.193
8	0.130941	4300.287
9	0.136476	4309.696
10	0.139474	4311.641
11	0.151231	4304.846
12	0.151236	4291.129
13	0.151758	4295.071
14	0.153634	4299.541
15	0.190051	4227.746
16	0.205051	4246.266
17	0.253051	4186.814
18	0.301051	4114.119
19	0.349051	3978.064
20	0.397051	3868.982
21	0.445051	3705.962
22	0.48	3567.795

A-1 MODEL X DOĞRULTUSU İTME (PUSHOVER) EĞRİSİ



Şekil 4.34. A-1 model x doğrultusu itme eğrisi

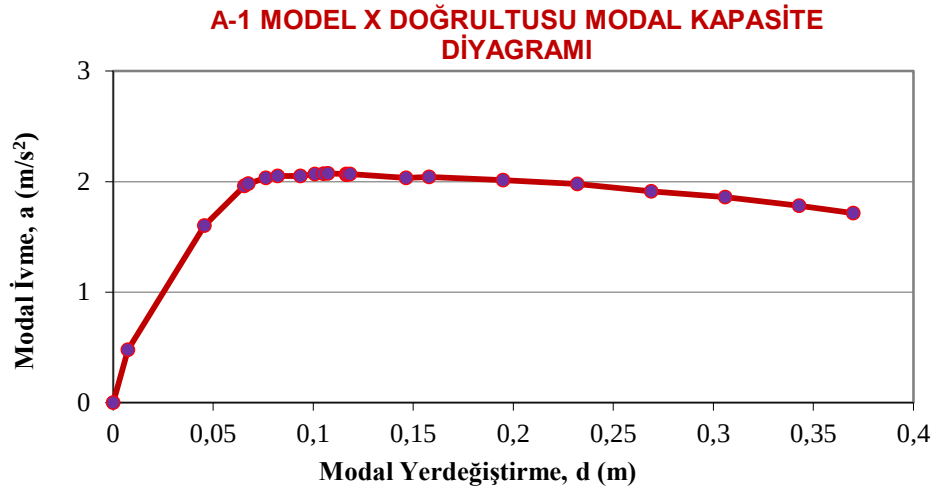
Tablo 4.13. A-1 model x yönü modal hesap sonuçları

Periyot; T (s)	0.7949	
Kütle Katılım oranı	0.804	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	2588	2
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	45.32	YÖN
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0286	+ X

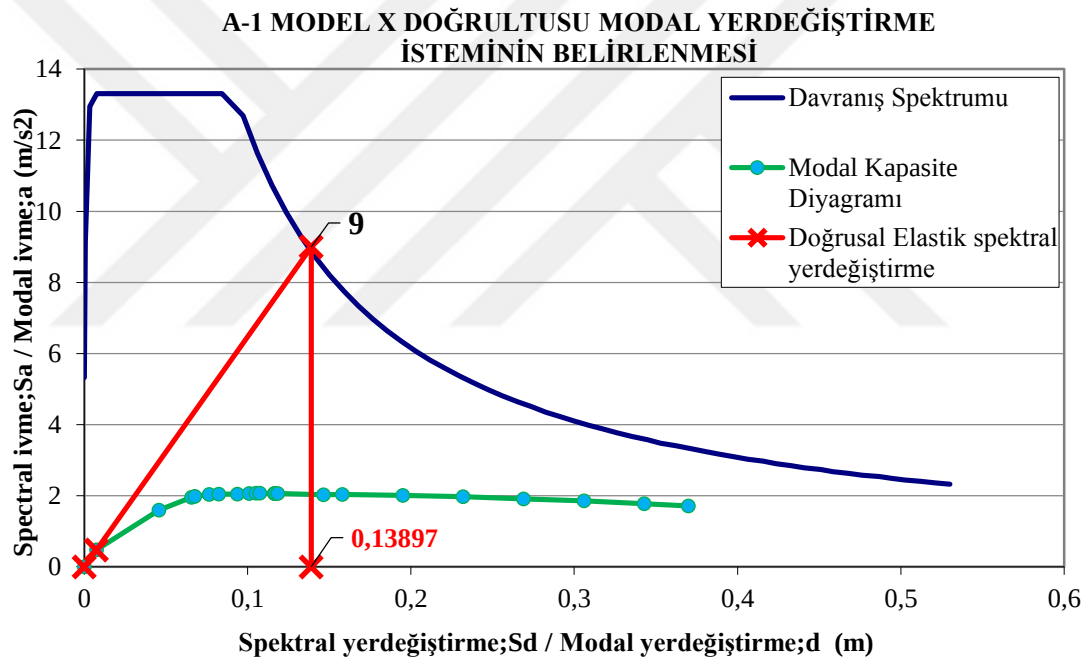
İtme eğrisi Tablo 4.13.'te verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.35.). Tablo 4.14.'de Referans Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.14. A-1 model modal itme eğrisi

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0	0
1	0.00742	0.480
2	0.04565	1.602
3	0.06562	1.960
4	0.06757	1.981
5	0.07641	2.035
6	0.08226	2.051
7	0.09365	2.050
8	0.10090	2.067
9	0.10517	2.072
10	0.10748	2.073
11	0.11654	2.069
12	0.11654	2.063
13	0.11694	2.065
14	0.11839	2.067
15	0.14645	2.032
16	0.15801	2.041
17	0.19500	2.013
18	0.23199	1.978
19	0.26897	1.912
20	0.30596	1.860
21	0.34295	1.782
22	0.36988	1.715



Şekil 4.35. A-1 model x doğrultusu modal itme eğrisi



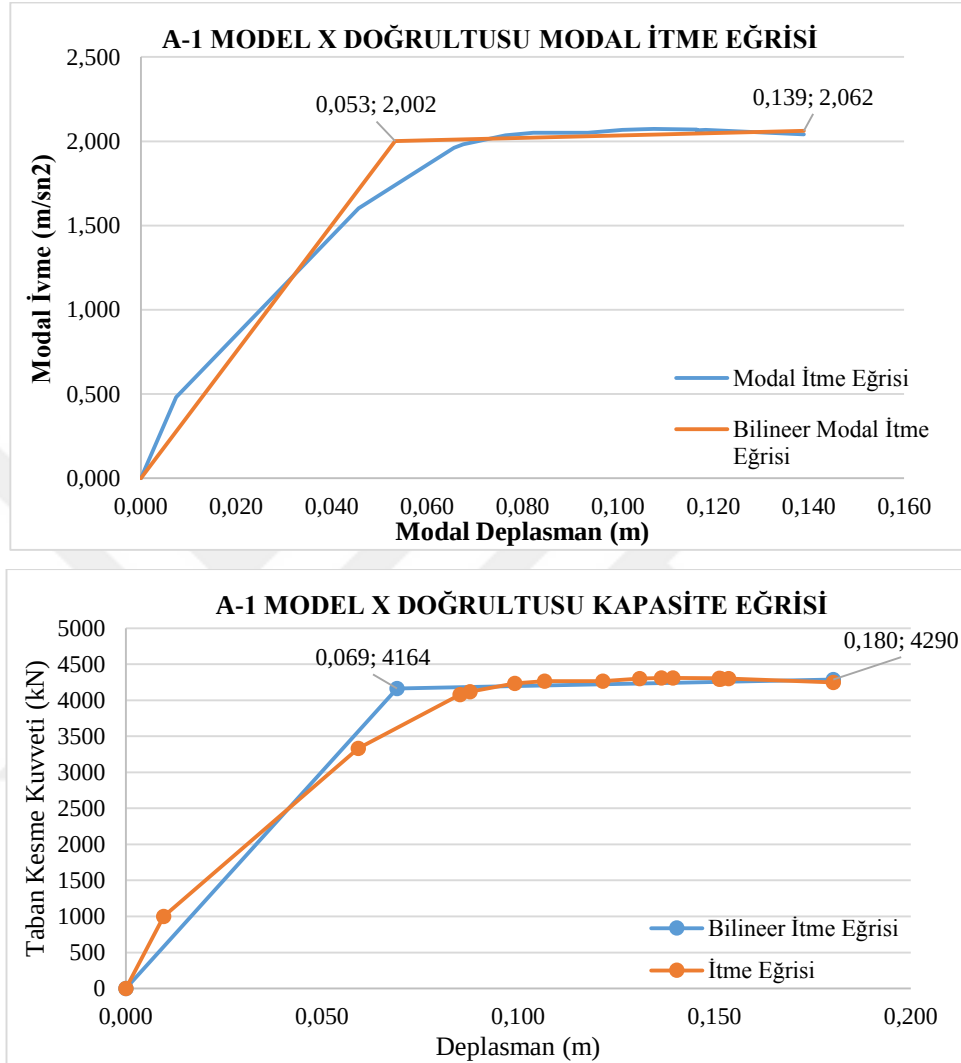
Şekil 4.36. A-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.13897m olarak bulunmuştur(Şekil 4.36.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 45.32 \times 0.0286 \times 0.13897 = 0.1803m$$

Referans Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.37.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. A-1 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{9}{2.002} = 4.50$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{4164}{1.5} = 2775 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y x f_y = 4.50 x 4164 = 18734 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{18734}{2775} = 6.75$$

Tekrarlanan itme analizinin ardından yapının y doğrultusundaki performans noktasına kadar bulunan kapasite eğrisi yardımıyla süneklik katsayısı ve rijitlik katsayıları hesaplanır.

$$\mu_x = \mu_{max} / \mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.180}{0.069} = 2.61$$

$$k_x = f_y / \mu_y$$

$$k_x = \frac{4164}{69} = 60.23$$

A-1 model x doğrultusunda ilk mafsalsal 3331 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.059 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.180m de ise 4246 Kn yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{501.74}{112.24} = 4.47$$

A-1 modele ait y doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.15.'te gösterilmiştir. A-1 Model itme eğrisi Şekil 4.38.'de gösterilmiştir.

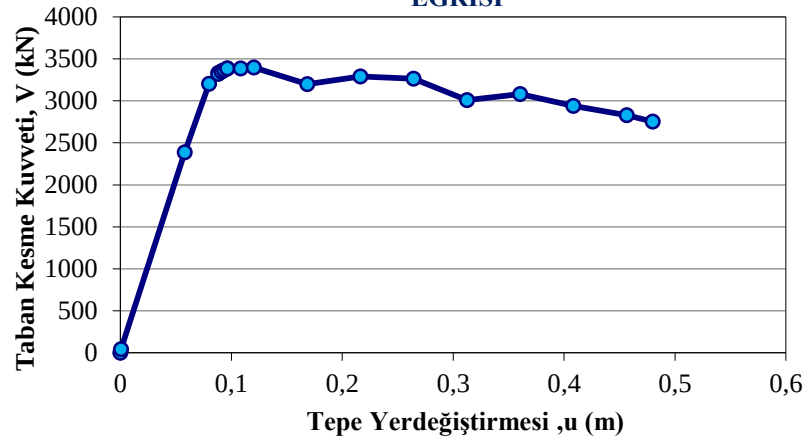
Tablo 4.15. A-1 model y doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u_{yN1}^i (m)	V_{y1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0004	42.05
2	0.0579	2388.81
3	0.0800	3204.28
4	0.0882	3332.33
5	0.0882	3322.34

Tablo 4.15. (Devamı)

6	0.0912	3352.47
7	0.0912	3346.58
8	0.0933	3367.83
9	0.0964	3384.33
10	0.0964	3385.01
11	0.1084	3386.02
12	0.1204	3399.14
13	0.1684	3198.08
14	0.2164	3289.78
15	0.2644	3265.71
16	0.3124	3009.32
17	0.3604	3080.36
18	0.4084	2939.80
19	0.4564	2830.25
20	0.4800	2752.58

A-1 MODEL Y DOĞRULTUSU İTME (PUSHOVER) EĞRİSİ



Şekil 4.38. A-1 model y doğrultusu itme eğrisi

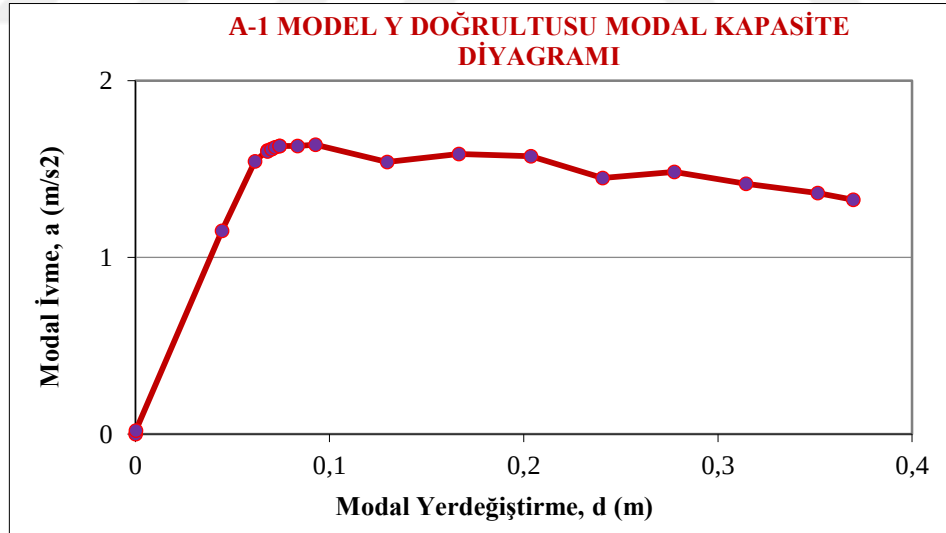
Tablo 4.16. A-1 model modal analiz sonuçları

Periyot; T (s)	0.799	
Kütle Katılım oranı	0.803	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	2587	1
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	45.29	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0287	+ Y

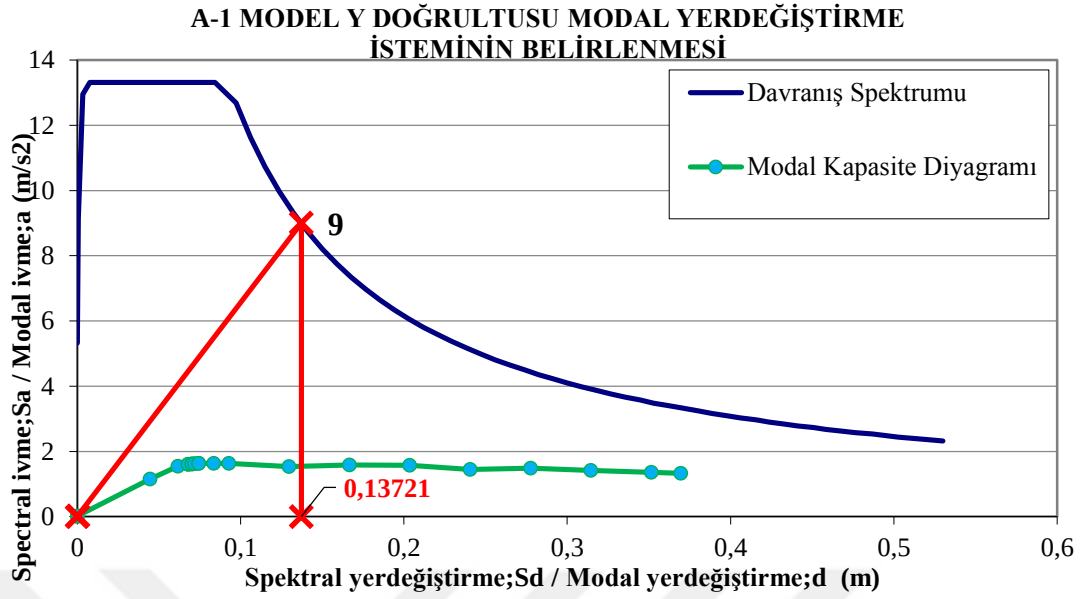
İtme eğrisi Tablo 4.16.'da verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.39.). Tablo 4.17.'de A-1 Model y doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.17. A-1 model y doğrultusu modal kapasite diyagramı

Adım	Modal (Pushover) Eğrisi	İtme
#	d (m)	a (m/sn ²)
0	0	0
1	0.00031	0.020
2	0.04459	1.150
3	0.06156	1.543
4	0.06790	1.605
5	0.06791	1.600
6	0.07018	1.614
7	0.07019	1.612
8	0.07187	1.622
9	0.07424	1.630
10	0.07424	1.630
11	0.08346	1.631
12	0.09270	1.637
13	0.12965	1.540
14	0.16661	1.584
15	0.20357	1.573
16	0.24055	1.449
17	0.27751	1.483
18	0.31447	1.416
19	0.35142	1.363
20	0.36957	1.326



Şekil 4.39. A-1 model y doğrultusu modal itme eğrisi



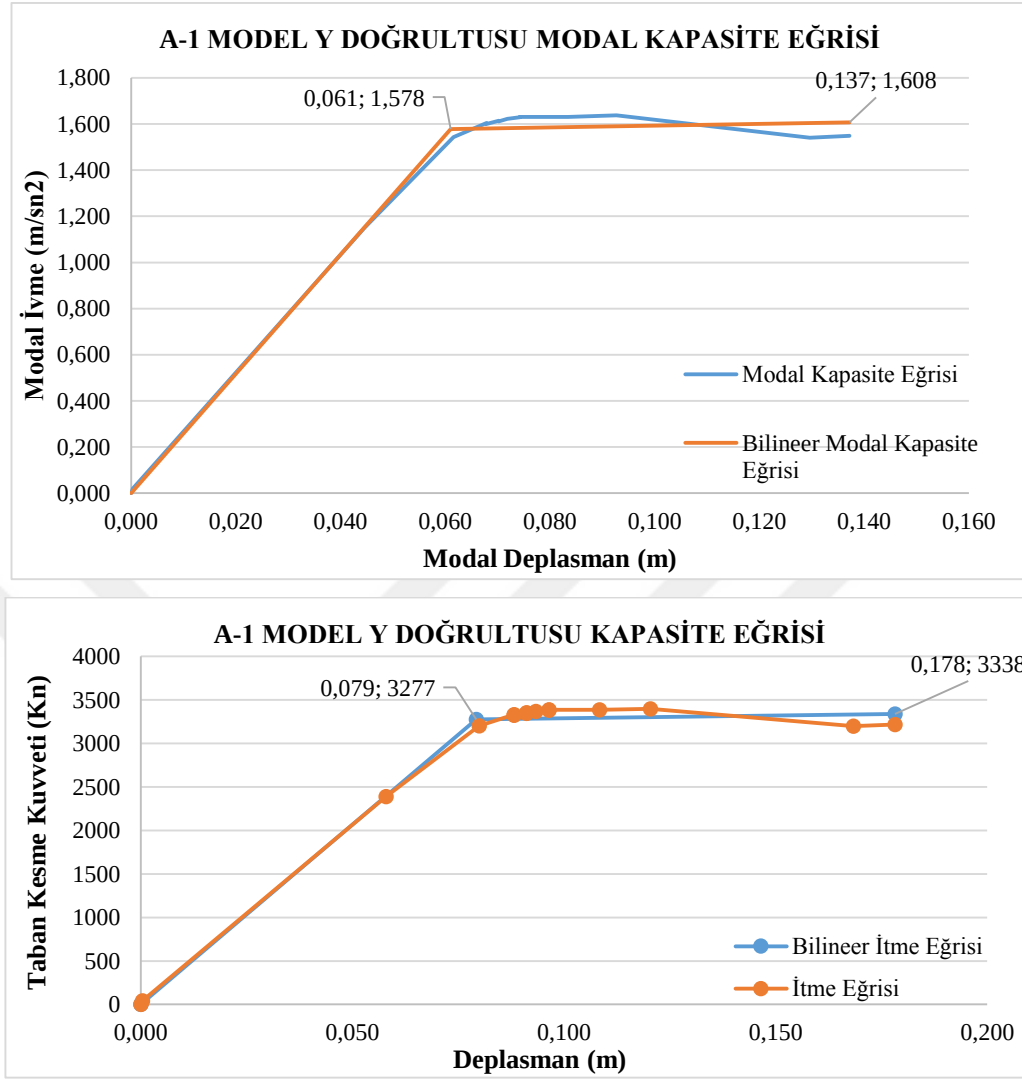
Şekil 4.40. A-1 model y doğrultusu yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.13721m olarak bulunmuştur(Şekil 4.40.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 45.29 \times 0.0286 \times 0.13721 = 0.1782m$$

A-1 Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.41.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.41. A-1 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{9}{1.578} = 5.70$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3277}{1.5} = 2184 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 5.70 \times 3277 = 18690 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{18690}{2184} = 8.56$$

Tekrarlanan itme analizinin ardından yapının y doğrultusundaki performans noktasına kadar bulunan kapasite eğrisi yardımıyla süneklik katsayısı ve rijitlik katsayıları hesaplanır.

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.178}{0.079} = 2.25$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{3277}{79} = 41.34$$

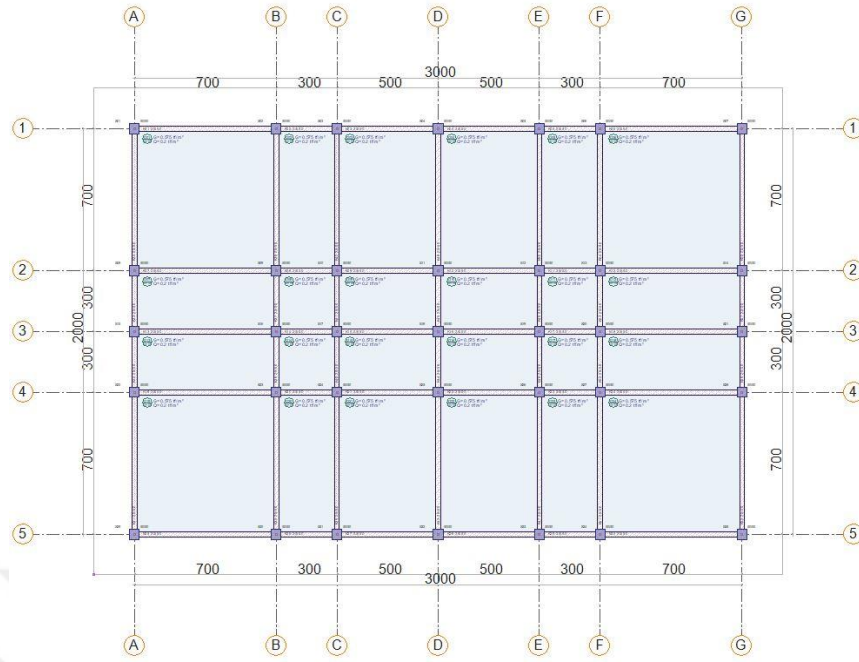
A-1 model y doğrultusunda ilk mafsalsal 2388 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.058 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.178m de ise 3216 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

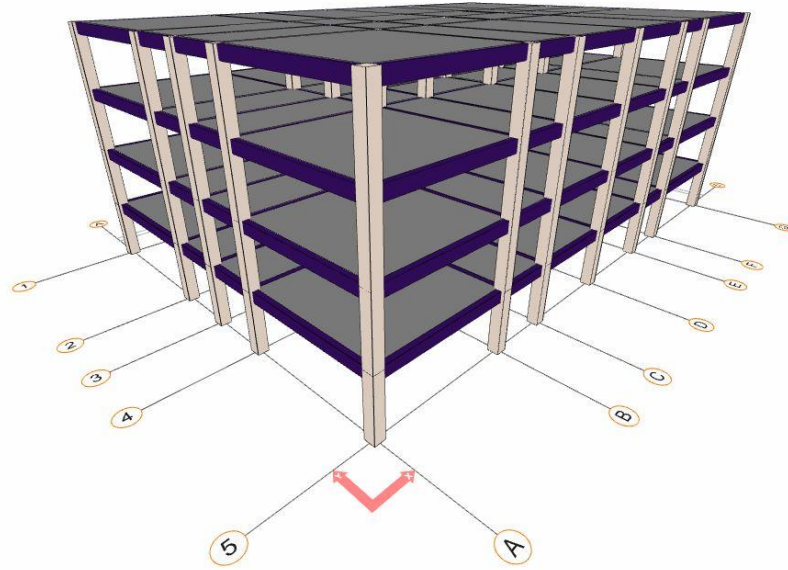
$$ETK_y = \frac{387.23}{69.92} = 5.54$$

4.4. A-2 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

Model A-2, referans model ile aynı ebatlarda ve aynı aks sayılarından oluşmaktadır. Model A-2 tasarımında yapının kenar kısmında aks açıklıkları referans modele göre arttırılarak dış kısımlarda daha seyrek, iç kısımlarda daha sık kolon yerleşimi olan bir plan elde edilmiştir. X doğrultusunda yapı kenarlarında 7'er metre iç kısımlarda 3'er ve 6'şar metre olacak şekilde 7 aks bulunmaktadır. Y doğrultusunda yapı kenarlarında 7'şer metre iç kısımlarda 3'er metre olacak şekilde 5 aks bulunmaktadır. Model A-2'ye ait kolon-kiriş ebatları ve donatı miktarları referans model ile aynıdır. Şekil 4.42'de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.43'te perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.42. A-2 model kalıp planı



Şekil 4.43. A-2 model perspektif görünüşü

Yapılan analiz sonrası yapının kat ağırlıkları ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.18.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18. A-2 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

Kat	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat yer değiştirmeleri	
		dx (mm)	dy (mm)
1	6393.18	5.33	5.34
2	6393.18	14.54	14.62
3	6393.18	22.85	23.01
4	6393.18	28.51	28.78
Toplam	25572.72		

Tablo 4.19. A-2 model yapı periyot ve frekansları

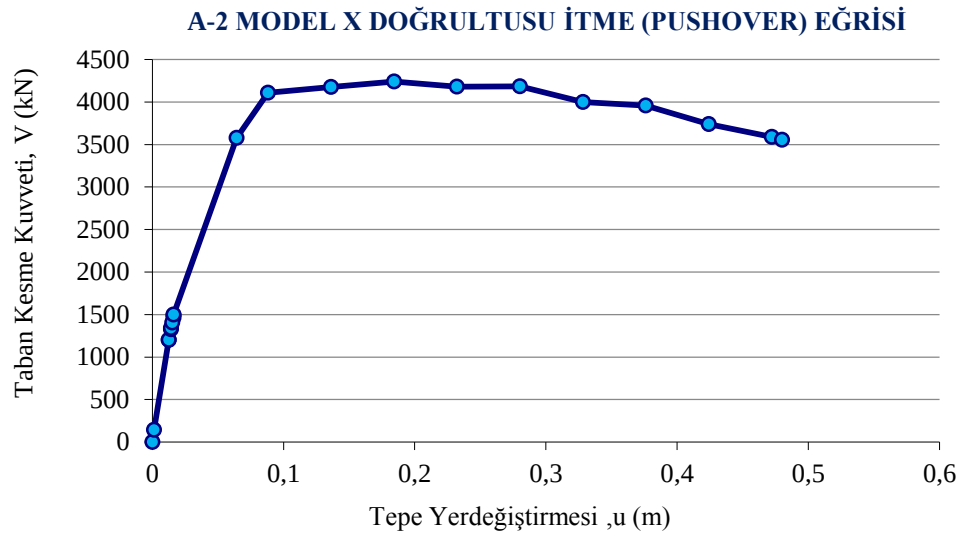
Mod	Periyot (s)	Frekans (Cyc/sec)
1	0.807	1.240
2	0.798	1.253
3	0.753	1.328
4	0.231	4.327
5	0.229	4.366
6	0.218	4.589
7	0.113	8.883
8	0.112	8.929
9	0.107	9.329
10	0.072	13.875
11	0.072	13.894
12	0.069	14.485

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.19.'da gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.807s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 0.798s x doğrultusundaki periyodudur.

A-2 modele ait x doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.20.'de gösterilmiştir. A-2 Model itme eğrisi Şekil 4.44.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. A-2 model x doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0014	143.34
2	0.0124	1203.40
3	0.0124	1202.14
4	0.0142	1324.30
5	0.0142	1340.96
6	0.0161	1460.91
7	0.0161	1491.62
8	0.0152	1403.15
9	0.0161	1497.32
10	0.0641	3578.15
11	0.0881	4109.67
12	0.1361	4177.84
13	0.1841	4241.86
14	0.2321	4178.57
15	0.2801	4182.84
16	0.3281	3997.45
17	0.3761	3956.40
18	0.4241	3738.53
19	0.4721	3590.27
20	0.4800	3555.73



Şekil 4.44. A-2 model x doğrultusu itme eğrisi

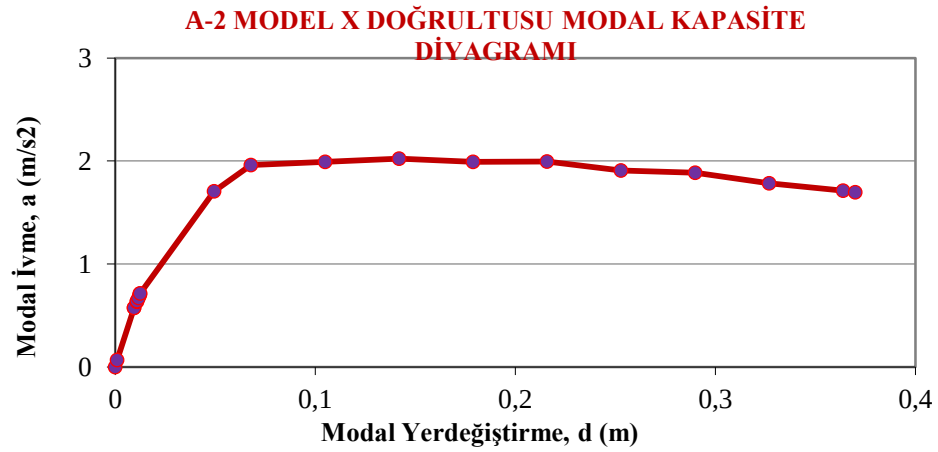
İtme eğrisi Tablo 4.21’de verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürölür(Şekil 4.45.). Tablo 4.22.’de A-2 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.21. A-2 model x doğrultusu modal hesap sonuçları

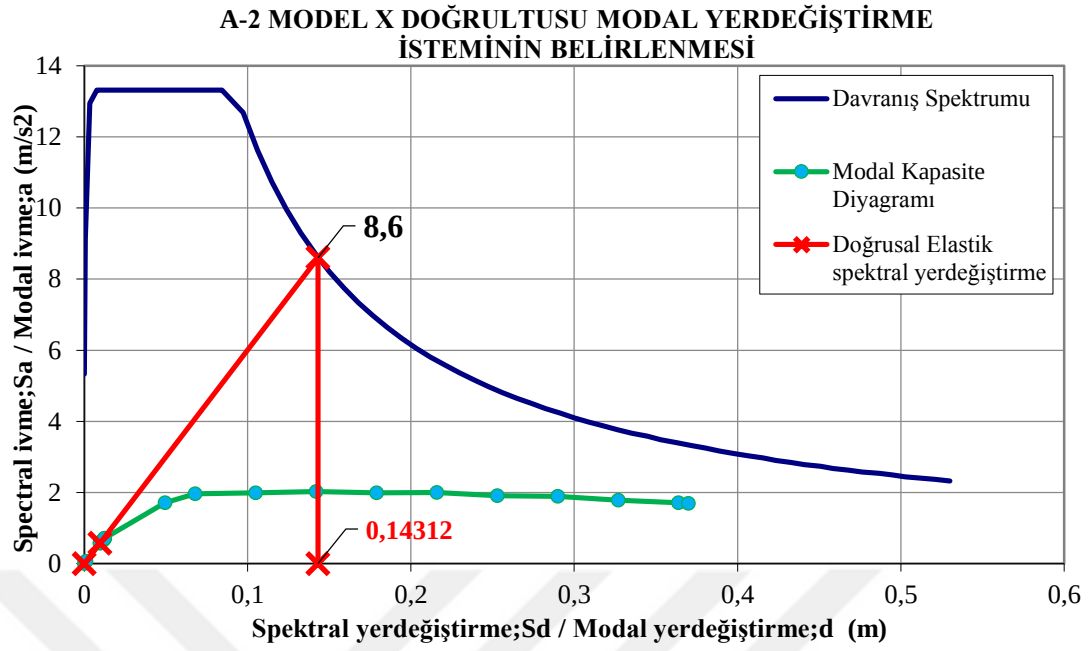
Periyot; T (s)	0.7978	
Kütle Katılım oranı	0.804	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	2606	2
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	45.50	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0285	+ X

Tablo 4.22. A-2 model x doğrultusu modal itme eğrisi

Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0.000	0.000
1	0.001	0.068
2	0.010	0.574
3	0.010	0.574
4	0.011	0.632
5	0.011	0.640
6	0.012	0.697
7	0.012	0.712
8	0.012	0.669
9	0.012	0.714
10	0.049	1.707
11	0.068	1.961
12	0.105	1.993
13	0.142	2.024
14	0.179	1.994
15	0.216	1.996
16	0.253	1.907
17	0.290	1.888
18	0.327	1.784
19	0.364	1.713
20	0.370	1.697



Şekil 4.45. A-2 model x doğrultusu modal itme eğrisi



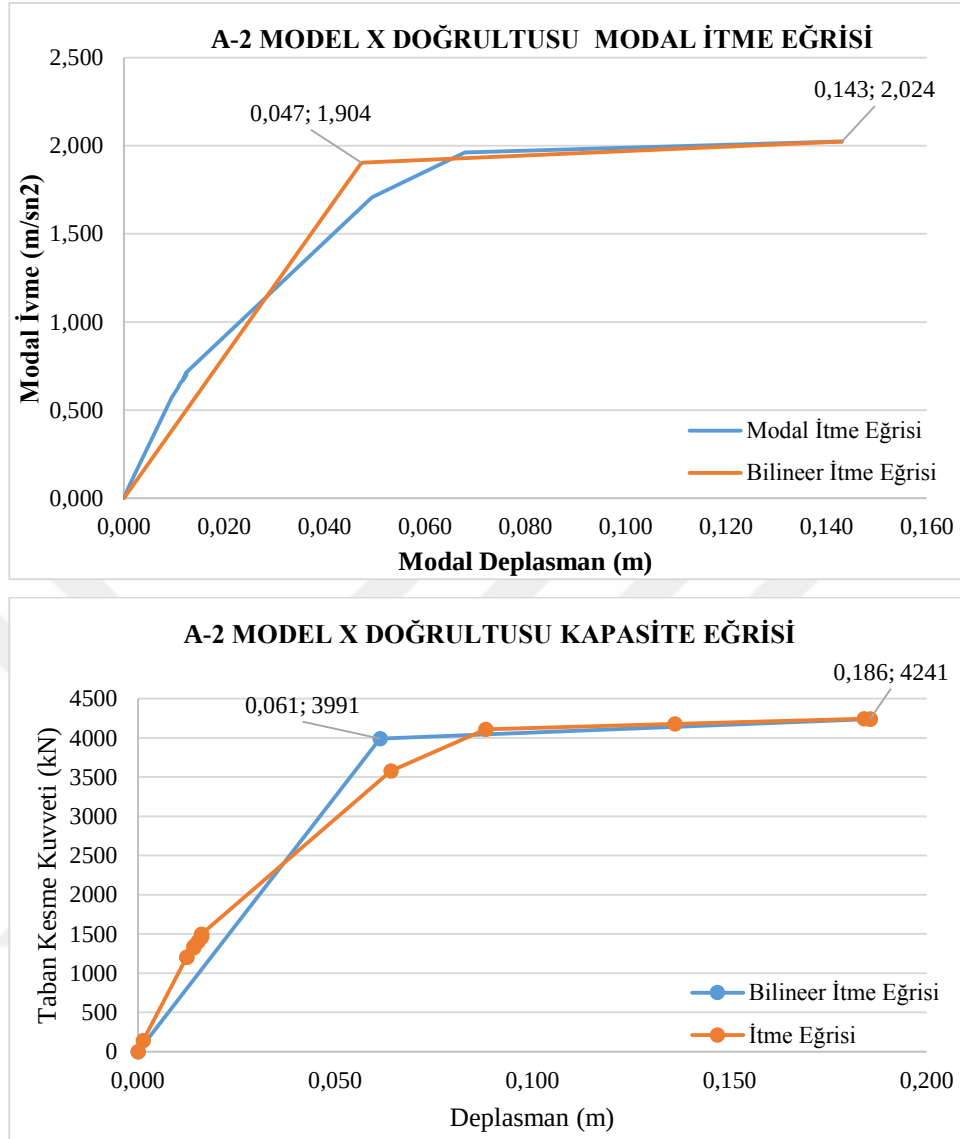
Şekil 4.46. A-2 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.14312m olarak bulunmuştur(Şekil 4.46.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 45.50 \times 0.0285 \times 0.14312 = 0.1857m$$

A-2 Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.47.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.47. A-2 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay_1} = \frac{8.6}{1.904} = 4.52$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3991}{1.5} = 2660 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 4.52 \times 3991 = 18024 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{18024}{2660} = 6.78$$

Tekrarlanan itme analizinin ardından yapının y doğrultusundaki performans noktasına kadar bulunan kapasite eğrisi yardımıyla süneklik katsayısı ve rijitlik katsayıları hesaplanır.

$$\mu_x = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.186}{0.061} = 3.03$$

$$k_x = f_y/\mu_y$$

$$k_x = \frac{3991}{61} = 65.03$$

A-2 model x doğrultusunda ilk mafsalsal 3578 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.064 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.186m de ise 4239 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{499.77}{134.35} = 3.72$$

A-2 modele ait y doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.23.'de gösterilmiştir. A-2 Model y doğrultusu itme eğrisi Şekil 4.48.'de gösterilmiştir.

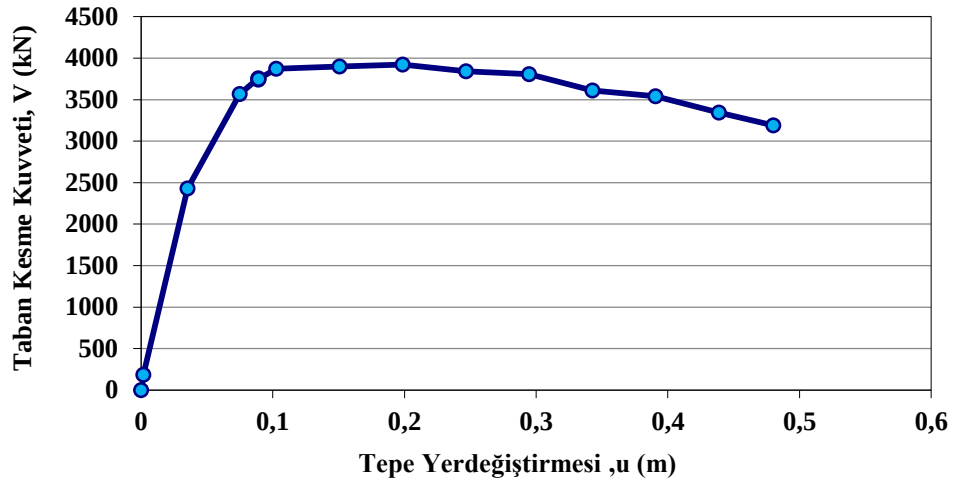
Tablo 4.23. A-2 model y doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u_{yN1}^i (m)	V_{y1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0018	183.14
2	0.0352	2428.49
3	0.0750	3569.12
4	0.0890	3754.92
5	0.0890	3740.70
6	0.0894	3749.45
7	0.1027	3870.88
8	0.1507	3898.22
9	0.1987	3923.98
10	0.2467	3842.53
11	0.2947	3805.95

Tablo 4.23. (Devamı)

12	0.3427	3610.95
13	0.3907	3539.57
14	0.4387	3343.71
15	0.4800	3191.13

İTME (PUSHOVER) EĞRİSİ



Şekil 4.48. A-2 model y doğrultusu itme eğrisi

İtme eğrisi Tablo 4.24’de verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.49.). Tablo 4.25.’te A-2 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.24. A-2 model y doğrultusu modal hesap sonuçları

Periyot; T (s)	0.8066	
Kütle Katılım oranı	0.803	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	2606	1
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	45.47	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0288	+ Y

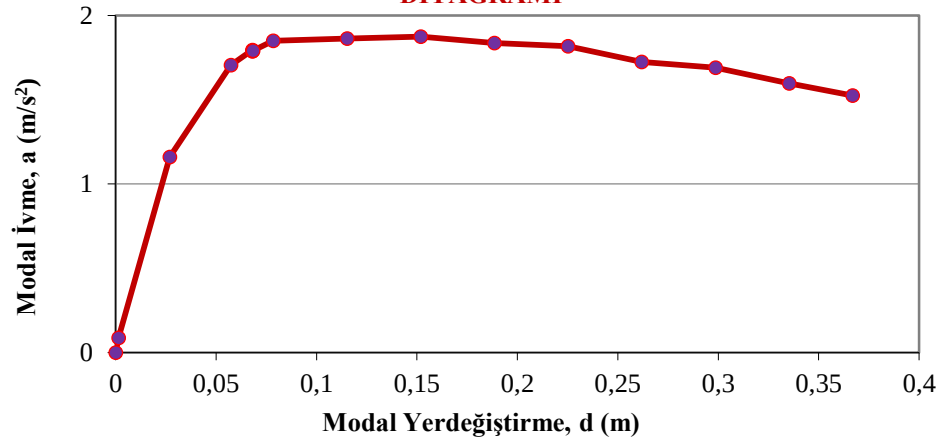
Tablo 4.25. A-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi

Modal Diyagramı	Kapasite
d (m)	a (m/s ²)
0	0
0.00139	0.088
0.02693	1.160
0.05732	1.705

Tablo 4.25. (Devamı)

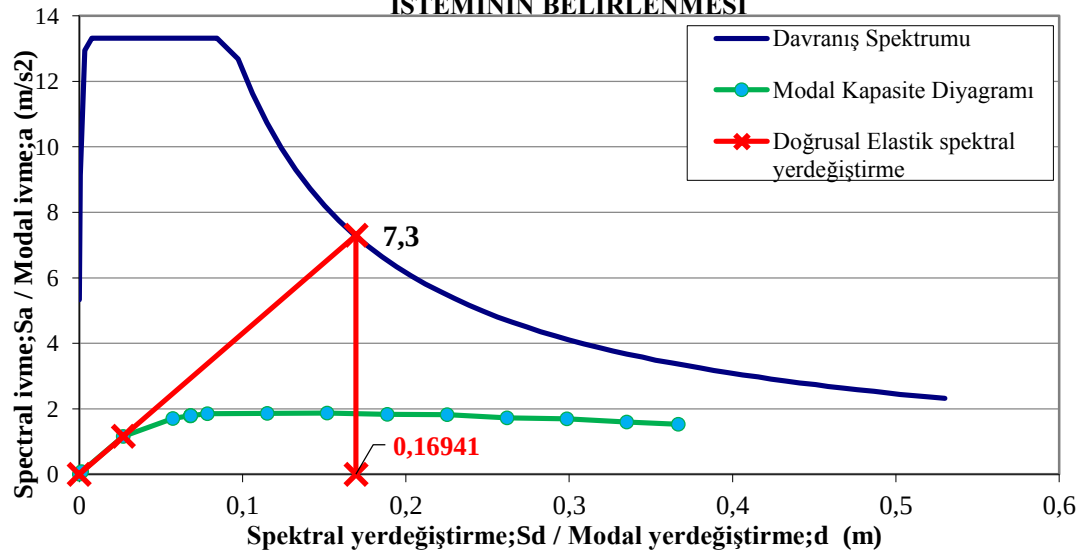
0.06800	1.794
0.06801	1.787
0.06829	1.792
0.07847	1.850
0.11515	1.863
0.15183	1.875
0.18851	1.836
0.22520	1.819
0.26188	1.725
0.29856	1.691
0.33525	1.598
0.36683	1.525

A-2 MODEL Y DOĞRULTUSU MODAL KAPASİTE DİYAGRAMI



Şekil 4.49. A-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi

A-2 MODEL Y DOĞRULTUSU MODAL YERDEĞİŞTİRME İSTEMİNİN BELİRLENMESİ



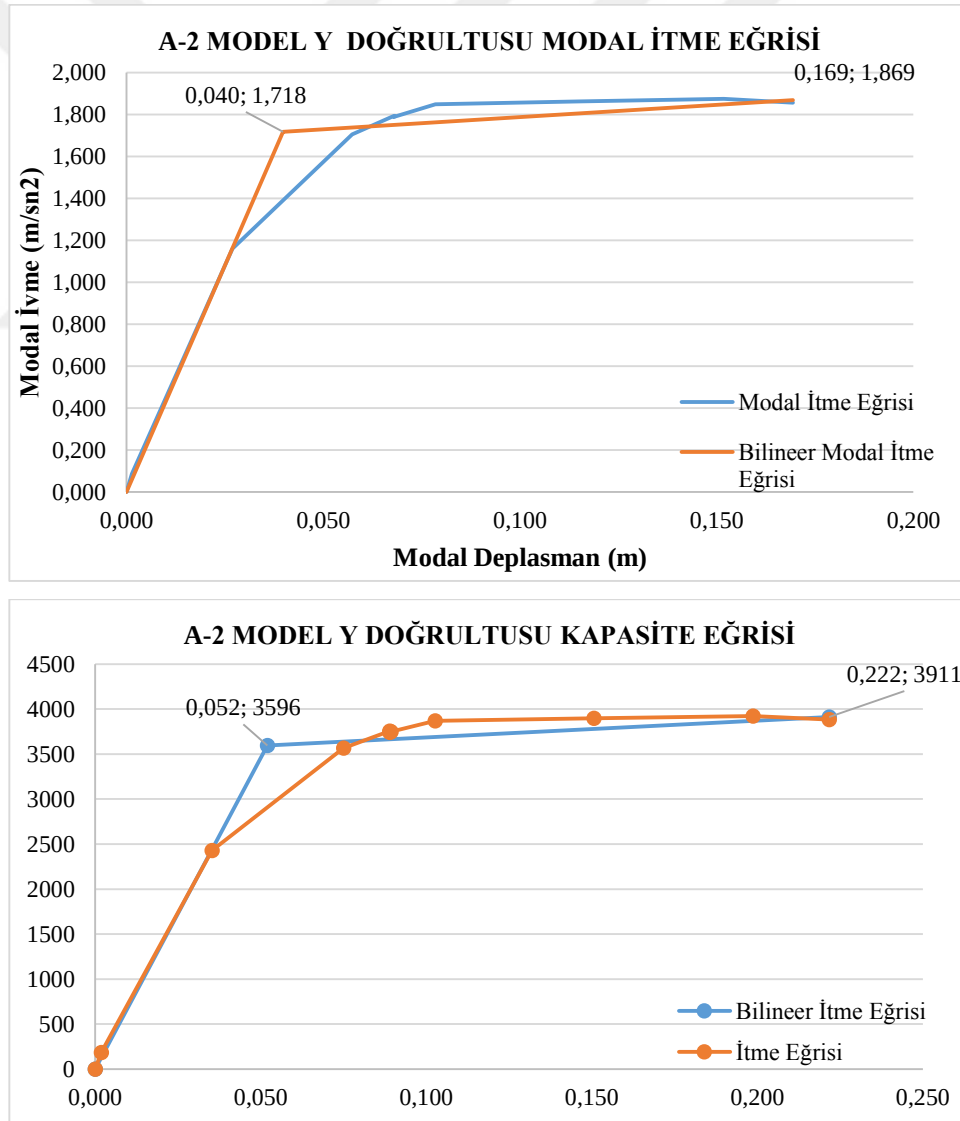
Şekil 4.50. A-2 model y doğrultusu yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_1(p)$ (performans noktası) 0.16941m olarak bulunmuştur(şekil 4.50.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 45.47 \times 0.0288 \times 0.16941 = 0.2217m$$

A-2 Model y doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları şekil 4.51.'de gösterilmiştir.



şekil 4.51. A-2 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{7.3}{1.718} = 4.25$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3596}{1.5} = 2398 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 4.25 \times 3596 = 15281 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{15281}{2398} = 6.37$$

Tekrarlanan itme analizinin ardından yapının y doğrultusundaki performans noktasına kadar bulunan kapasite eğrisi yardımıyla süneklik katsayısı ve rijitlik katsayıları hesaplanır.

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.222}{0.052} = 4.26$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{3596}{52} = 69.14$$

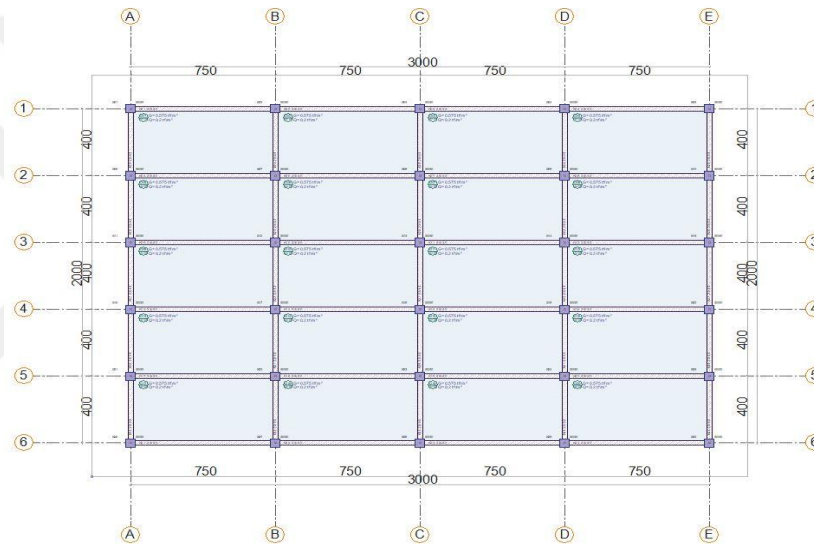
A-2 model x doğrultusunda ilk mafsallık 2428 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.035 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.222m de ise 3885 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsallık oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsallık oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

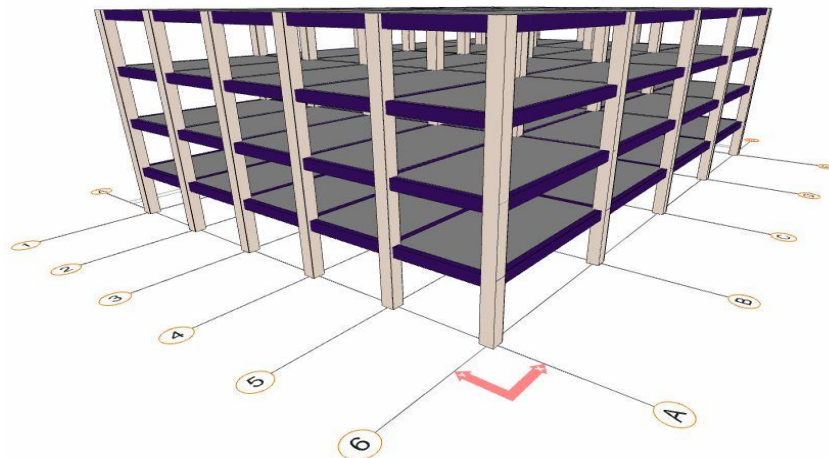
$$ETK_y = \frac{686.57}{43.80} = 15.67$$

4.5. A-3 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

Model A-3, referans model ile aynı ebatlarda ve aynı aks sayılarından oluşmaktadır. Model A-3 tasarımında referans modele göre x doğrultusunda aks açıklıkları artırılmış, y doğrultusunda açıklık azaltılarak farklı bir model oluşturulmuştur. X doğrultusunda aks açıklığı 7.50'şer metre y doğrultusunda 4'er metre olarak tasarlanmıştır. A-3 Model'e ait kolon-kiriş ebatları ve donatı miktarları referans model ile aynıdır. Şekil 4.52'de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.53'te perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.52. A-3 model kalıp planı



Şekil 4.53. A-3 model perspektif görünüşü

Tablo 4.26. Model A-3 yapı periyot ve frekansları

Mod	Periyot (s)	Frekans (Cyc/sec)
1	1.037	0.964
2	0.837	1.194
3	0.775	1.290
4	0.281	3.562
5	0.242	4.125
6	0.223	4.481
7	0.128	7.826
8	0.120	8.343
9	0.109	9.165
10	0.079	12.693
11	0.078	12.873
12	0.070	14.275

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.26.'da gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.837s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 1.037s x doğrultusundaki periyodudur.

Yapılan analiz sonrası yapının kat ağırlıkları ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.27.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.27. A-3 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

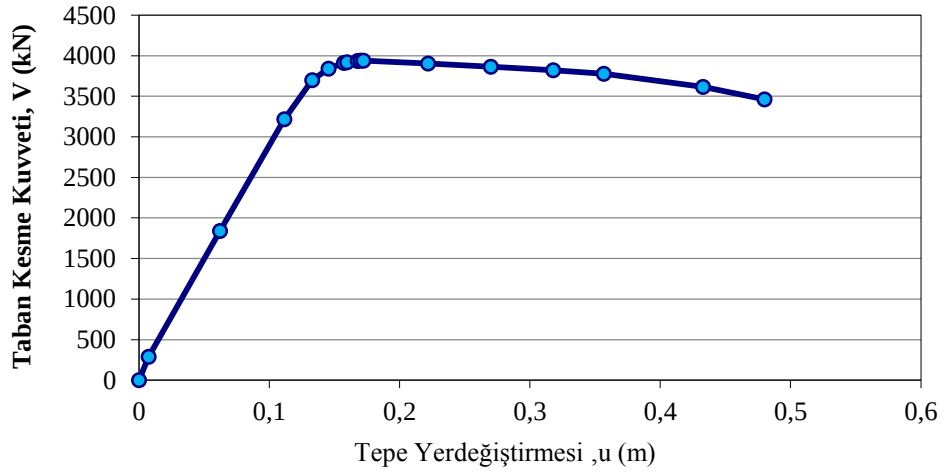
Kat	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat yer değiştirmeleri	
		dx (mm)	dy (mm)
1	6417.495	4.78	5.42
2	6417.495	13.77	14.62
3	6417.495	22.50	22.81
4	6417.495	29.09	28.27
Toplam	25669.982		

A-3 modele ait x doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.28.'de gösterilmiştir. A-3 Model x doğrultusu itme eğrisi Şekil 4.54.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.28. A-3 model x doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0075	287.46
2	0.0621	1838.29
3	0.1114	3216.92
4	0.1328	3699.64
5	0.1453	3841.04
6	0.1572	3912.82
7	0.1598	3921.12
8	0.1677	3935.92
9	0.1700	3937.62
10	0.1722	3937.72
11	0.2219	3904.03
12	0.2699	3862.84
13	0.3179	3820.78
14	0.3567	3777.67
15	0.4329	3614.13
16	0.4800	3460.60

A-3 MODEL X DOĞRULTUSU İTME (PUSHOVER) EĞRİSİ



Şekil 4.54. A-3 model x doğrultusu itme eğrisi

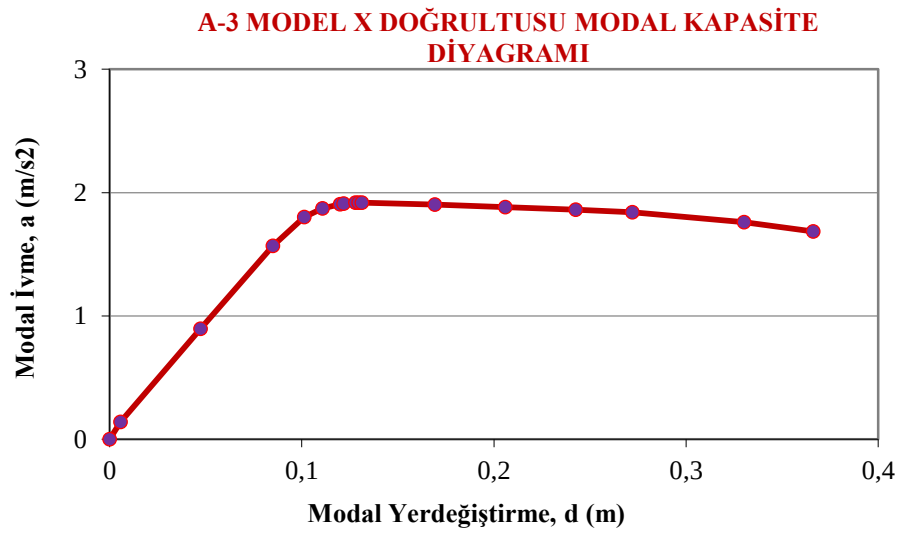
İtme eğrisi Tablo 4.29.'da verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.55.). Tablo 4.30.'da A-3 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.29. A-3 model x doğrultusu modal analiz sonuçları

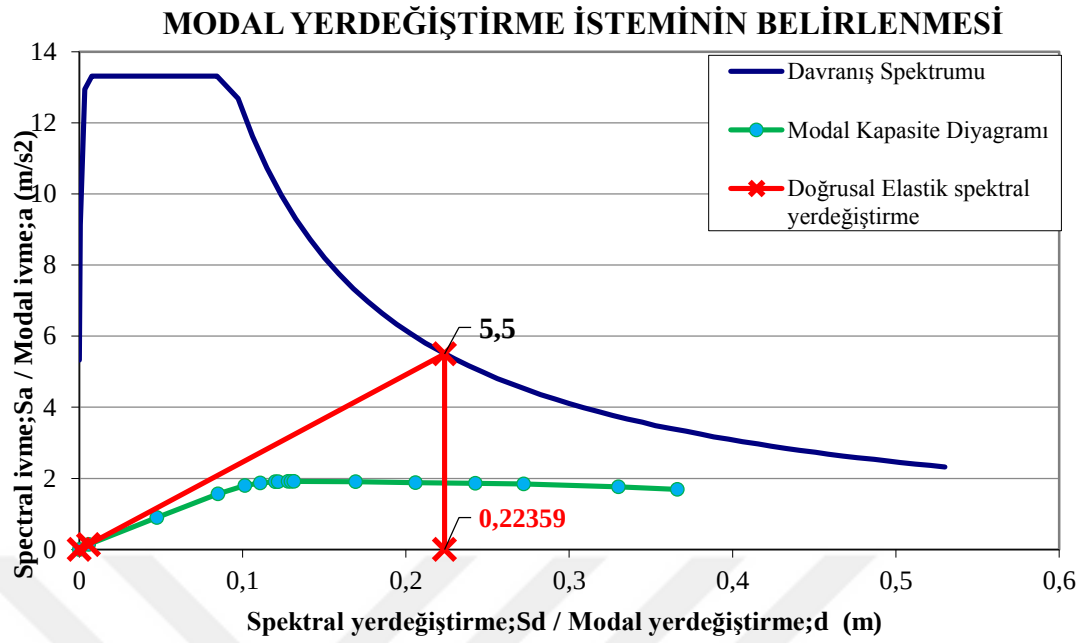
Periyot; T (s)	1.0372	
Kütle Katılım oranı	0.784	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	2616	1
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	45.07	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0291	+ X

Tablo 4.30. A-3 model x doğrultusu modal itme eğrisi

Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00569	0.140
2	0.04739	0.896
3	0.08499	1.568
4	0.10131	1.803
5	0.11083	1.872
6	0.11994	1.907
7	0.12184	1.911
8	0.12790	1.918
9	0.12965	1.919
10	0.13135	1.919
11	0.16926	1.902
12	0.20587	1.882
13	0.24248	1.862
14	0.27207	1.841
15	0.33020	1.761
16	0.36610	1.686



Şekil 4.55. A-3 model x doğrultusu modal kapasite eğrisi



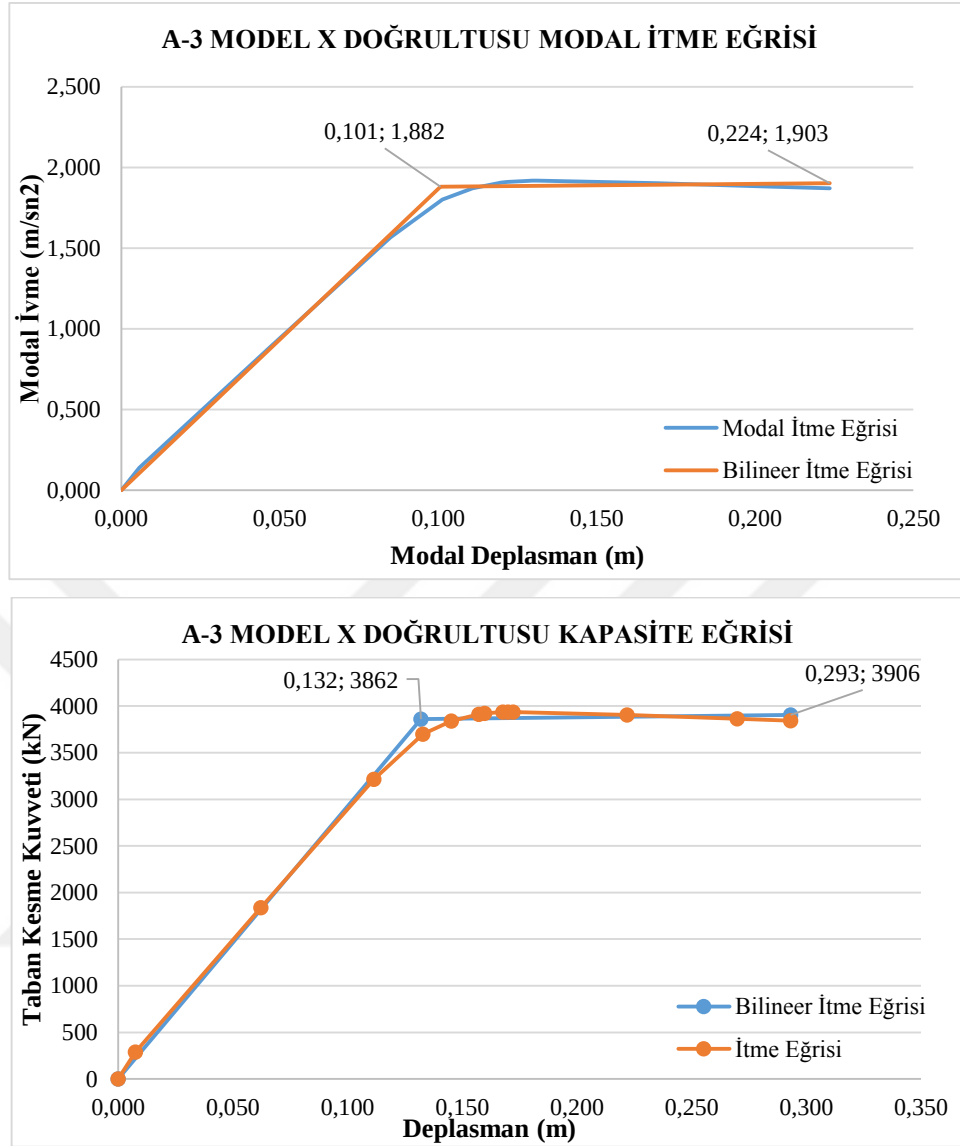
Şekil 4.56. A-3 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.22359m olarak bulunmuştur(Şekil 4.56.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 45.07 \times 0.0291 \times 0.22359 = 0.2932m$$

A-3 Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.57.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.57. A-3 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme analizi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrissi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{5.5}{1.882} = 2.92$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3862}{1.5} = 2574 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 4.25 \times 3596 = 11286 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{11286}{2574} = 4.38$$

$$\mu_x = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.293}{0.132} = 2.22$$

$$k_x = f_y/\mu_y$$

$$k_x = \frac{3862}{132} = 29.25$$

A-2 model x doğrultusunda ilk mafsalsal 3216 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.011 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.222m de ise 3885 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{696.96}{183.77} = 13.88$$

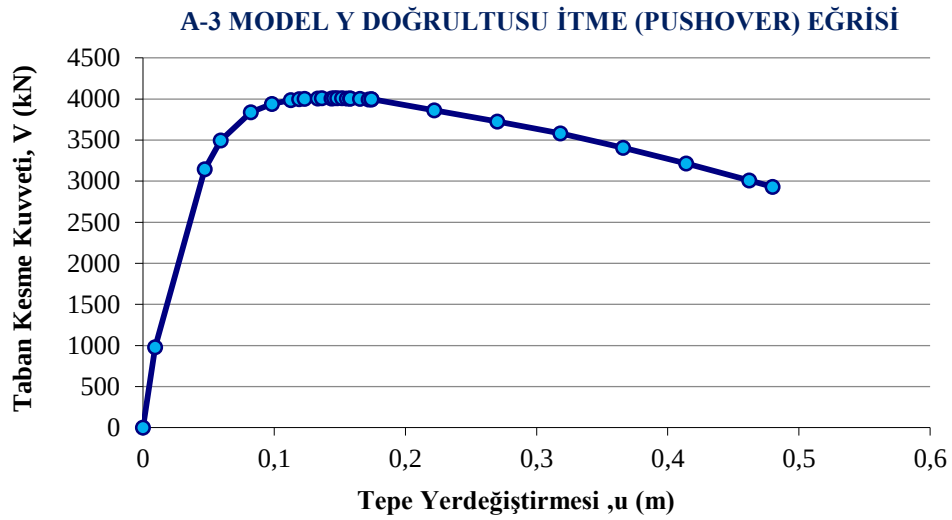
A-3 modele ait y doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.31.'de gösterilmiştir. A-3 Model x doğrultusu itme eğrisi Şekil 4.58.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.31. A-3 model y doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u_{yN1}^i (m)	V_{y1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0092	979.82
2	0.0470	3145.28
3	0.0592	3495.89
4	0.0822	3838.53
5	0.0982	3940.25
6	0.1126	3987.22
7	0.1191	3998.93
8	0.1232	4002.88
9	0.1333	4007.23
10	0.1362	4008.06
11	0.1436	4007.38
12	0.1456	4008.33
13	0.1480	4008.61
14	0.1516	4008.25

Tablo 4.31. (Devamı)

15	0.1554	4006.13
16	0.1578	4005.93
17	0.1580	4005.94
18	0.1653	4002.33
19	0.1720	3995.67
20	0.1741	3995.01
21	0.1741	3999.62
22	0.2221	3861.85
23	0.2701	3725.45
24	0.3181	3579.37
25	0.3661	3405.43
26	0.4141	3215.12
27	0.4621	3007.23
28	0.4800	2931.68



Şekil 4.58. A-3 model y doğrultusu itme eğrisi

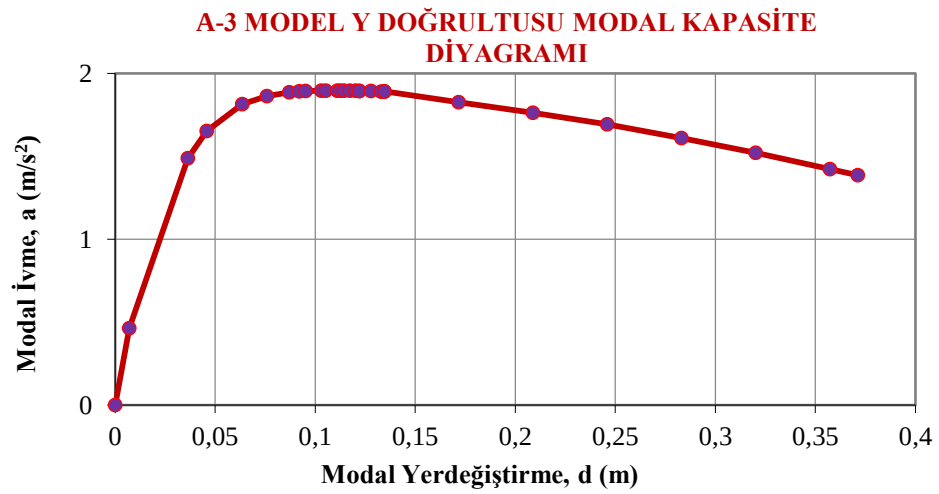
İtme eğrisi Tablo 4.32.'da verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.59.). Tablo 4.32.'de A-3 Model y doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.32. A-3 model y doğrultusu modal analizi sonuçları

Periyot; T (s)	0.8373	
		MODE
Kütle Katılım oranı	0.808	#
Toplam Kütle; M (ton)	2616	2
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	45.74	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0283	+ Y

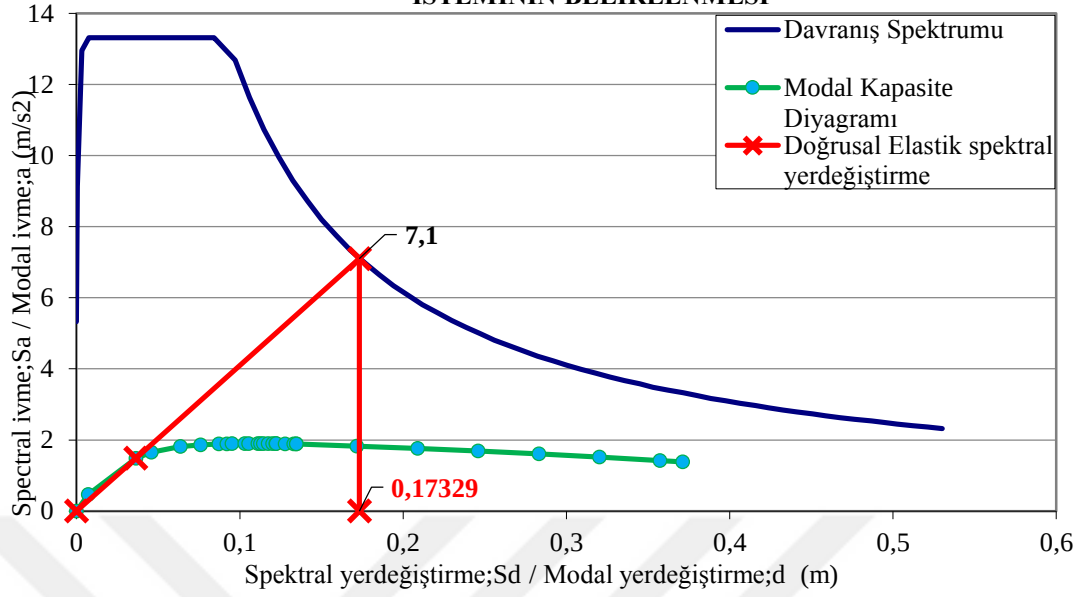
Tablo 4.33. A-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi

Adım	Modal Kapasite Diyagramı	
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00713	0.464
2	0.03632	1.488
3	0.04580	1.654
4	0.06353	1.816
5	0.07595	1.864
6	0.08710	1.886
7	0.09208	1.892
8	0.09523	1.894
9	0.10307	1.896
10	0.10534	1.896
11	0.11101	1.896
12	0.11255	1.896
13	0.11442	1.896
14	0.11725	1.896
15	0.12014	1.895
16	0.12205	1.895
17	0.12215	1.895
18	0.12780	1.893
19	0.13303	1.890
20	0.13460	1.890
21	0.13460	1.892
22	0.17172	1.827
23	0.20883	1.763
24	0.24595	1.693
25	0.28307	1.611
26	0.32019	1.521
27	0.35730	1.423
28	0.37117	1.387



Şekil 4.59. A-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi

A-3 MODEL Y DOĞRULTUSU MODAL YERDEĞİŞTİRME İSTEMİNİN BELİRLENMESİ



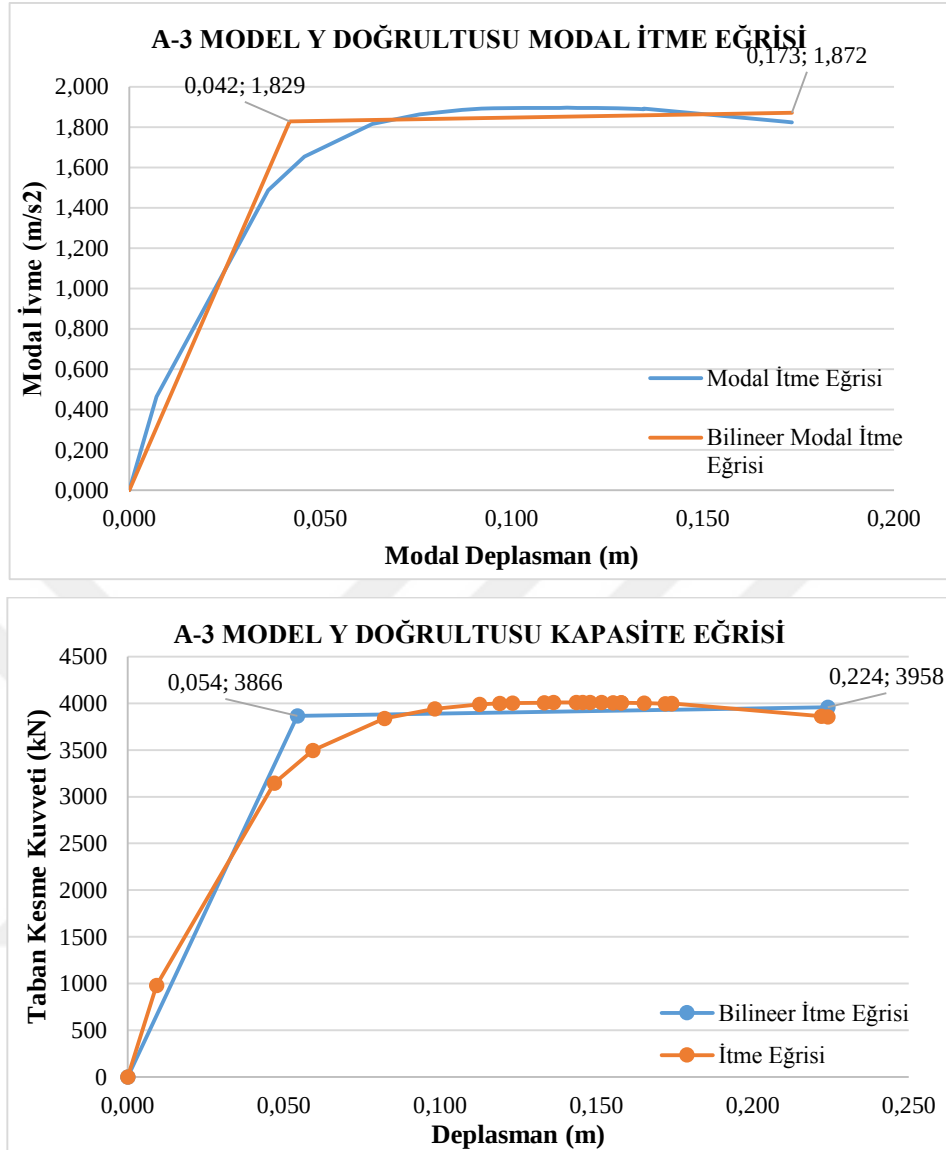
Şekil 4.60. A-3 model y doğrultusu modal yerdeğiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.17329m olarak bulunmuştur(Şekil 4.60.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 45.74 \times 0.0283 \times 0.17329 = 0.2241m$$

A-3 Model y doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.61.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.61. A-3 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

İtme analizinde elde edilen kapasite eğrisi yardımı ile yapıya ait dayanım azaltma katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısı hesaplanır.

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{7.1}{1.829} = 3.88$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3866}{1.5} = 2577 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 3.88 \times 3866 = 15008 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{15008}{2577} = 5.82$$

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.224}{0.054} = 4.13$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{3866}{54} = 71.22$$

A-3 model y doğrultusunda ilk mafsallarda 3145 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.047 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.224m de ise 3856 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsallara kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsallara kadar tüketilen enerji}}$$

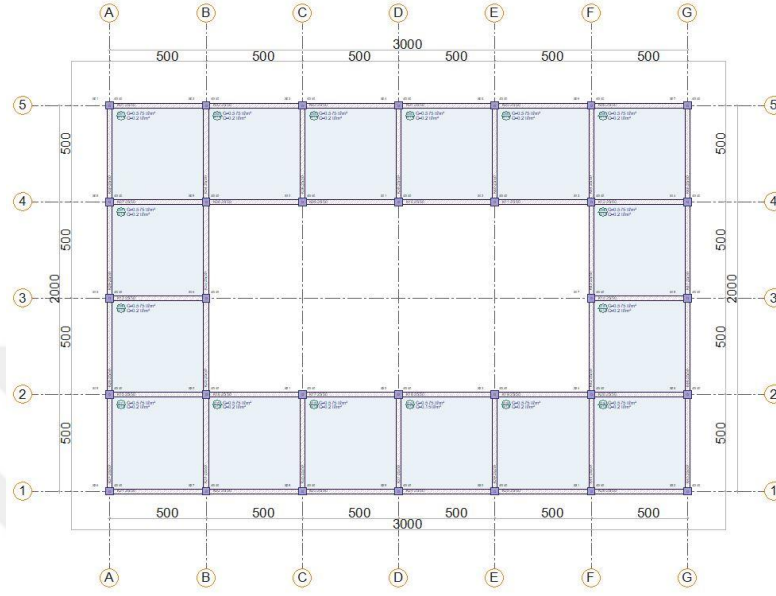
$$ETK_y = \frac{686.87}{82.38} = 8.38$$

4.6. D-1 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

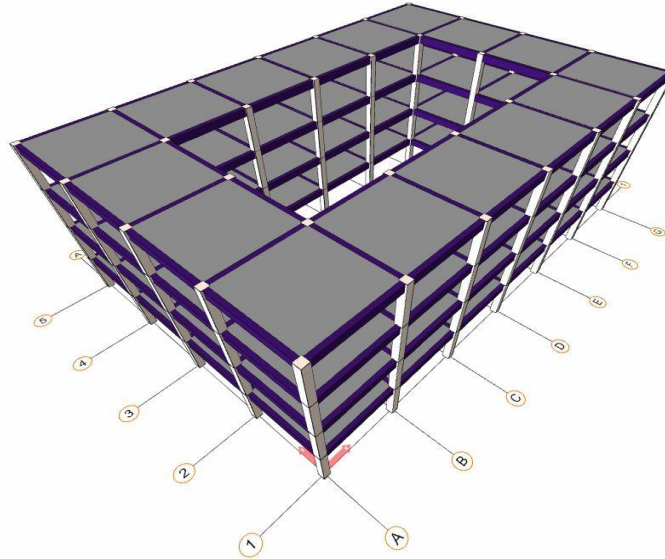
Model D-1, referans model ile aynı ebatlarda ve aynı aks sayılarından oluşmaktadır. Model D-1 tasarımında referans modele göre yapının orta kısmında döşeme boşluğu oluşturularak elde edilmiştir. Referans modelde B-F düşey aksları ve 2-4 yatay aksları arasındaki elemanlar kaldırılmıştır. Böylece yapının orta bölümünde büyük bir galeri boşluğu elde edilmiştir.

Elde edilen boşluk 20x10m ebatlarındadır. Yapının tamamı 30x20m 600 m² oluşturulan boşluk 200m²'dir. Boşluk oranı 1/3'tür. Yapıda A-2 türü düzensizlik oluşmuştur. A-2 türü düzensizliklerde yapıda oluşan büyük boşluktan dolayı döşemede rijit diyaframın davranışının oluşmadığı kabul edilir[10]. Bundan dolayı hesaplarda diyafram kabulünde yarı rijit diyafram seçilmiştir.

D-1 modelin kolon-kiriş ebatları ve donatı miktarları ve yapısal özellikleri referans model ile aynıdır. Şekil 4.62’de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.63’te perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.62. D-1 model kalıp planı



Şekil 4.63. D-1 model perspektif görünüşü

Tablo 4.34. D-1 model yapı periyot ve frekansları

Mod	Periyot (s)	Frekans (Cyc/sec)
1	0.411	2.434
2	0.384	2.603
3	0.374	2.673
4	0.344	2.911
5	0.327	3.058
6	0.299	3.341
7	0.231	4.337
8	0.228	4.377
9	0.205	4.883
10	0.195	5.141
11	0.191	5.246
12	0.187	5.348

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.34.'de gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.411s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 0.384s x doğrultusundaki periyodudur.

Yapılan analiz sonrası yapının kat ağırlıkları ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.35.'de gösterilmiştir.

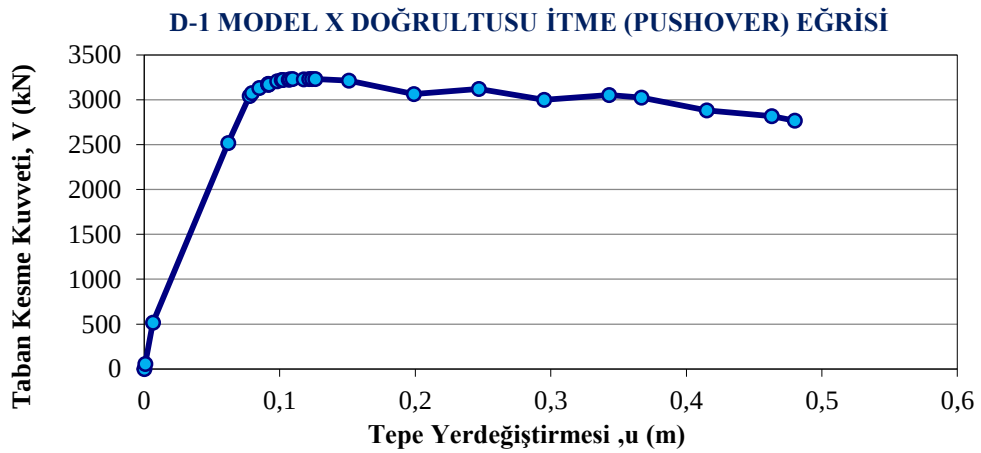
Tablo 4.35. D-1 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

Kat	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat yer değiştirmeleri	
		dx (mm)	dy (mm)
1	4896.80	5.33	5.34
2	4896.80	14.54	14.62
3	4896.80	22.85	23.01
4	4896.80	28.51	28.78
Toplam	19587.20		

D-1 modele ait x doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.36.'da gösterilmiştir. D-1 Model x doğrultusu itme eğrisi Şekil 4.64.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.36. D-1 model x doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0.0001	0.00
1	0.0007	57.41
2	0.0064	514.50
3	0.0618	2516.94
4	0.0778	3041.49
5	0.0794	3074.89
6	0.0849	3132.76
7	0.0915	3178.73
8	0.0915	3172.70
9	0.0915	3166.18
10	0.0919	3171.97
11	0.0980	3207.50
12	0.1012	3218.77
13	0.1024	3221.29
14	0.1066	3223.96
15	0.1074	3226.29
16	0.1093	3229.73
17	0.1176	3226.66
18	0.1216	3231.83
19	0.1239	3231.96
20	0.1261	3231.55
21	0.1509	3212.84
22	0.1989	3064.29
23	0.2469	3120.63
24	0.2949	2998.23
25	0.3429	3051.50
26	0.3669	3025.19
27	0.4149	2881.11
28	0.4629	2818.79
29	0.4801	2768.97



Şekil 4.64. D-1 model x doğrultusu itme eğrisi

Tablo 4.37. D-1 model x doğrultusu modal analiz sonuçları

Periyot; T (s)	0.3842		
Kütle Katılım oranı	0.795	MODE #	
Toplam Kütle; M (ton)	1996	2	
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	20.34	Direction	
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0606	+ X	

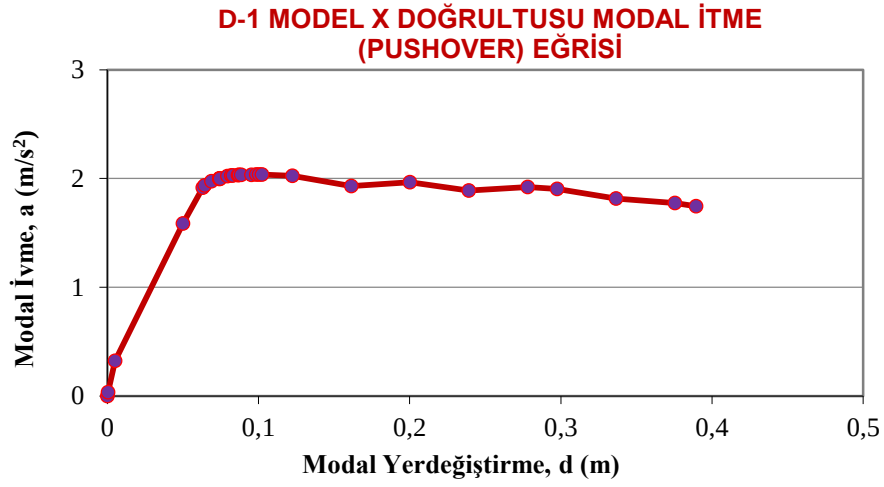
İtme eğrisi Tablo 4.37.'da verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.65.). Tablo 4.38.'de A-3 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.38. D-1 model x doğrultusu modal itme eğrisi

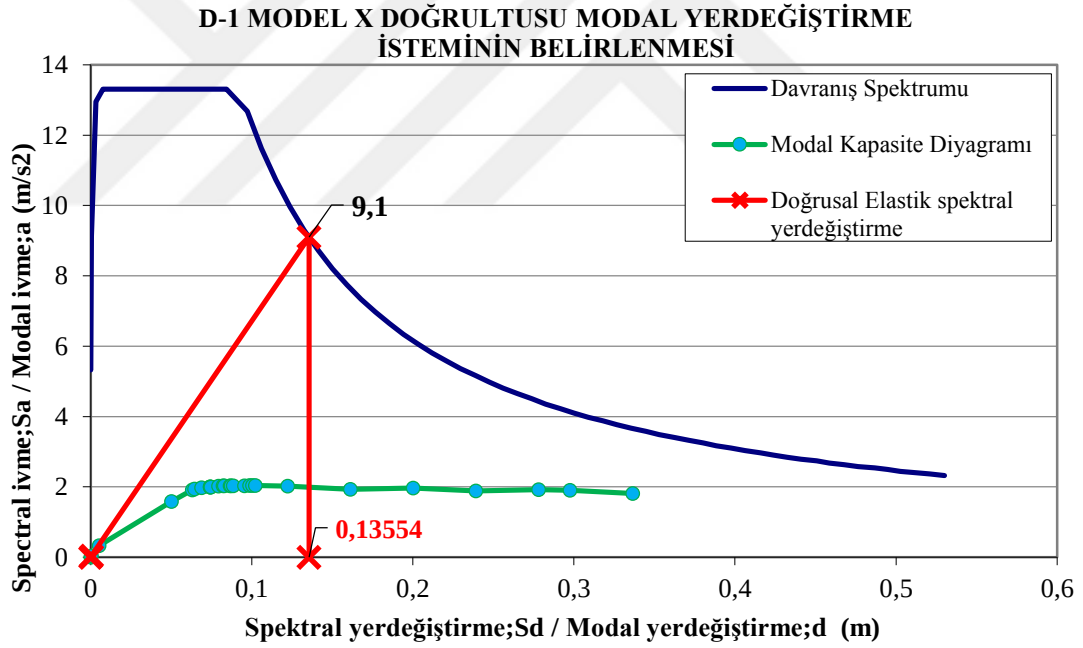
Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00054	0.036
2	0.00522	0.324
3	0.05010	1.585
4	0.06311	1.916
5	0.06440	1.937
6	0.06884	1.973
7	0.07420	2.002
8	0.07420	1.998
9	0.07421	1.994
10	0.07455	1.998
11	0.07946	2.020
12	0.08211	2.027
13	0.08304	2.029
14	0.08649	2.031
15	0.08714	2.032
16	0.08862	2.034
17	0.09538	2.032
18	0.09859	2.036
19	0.10046	2.036
20	0.10226	2.035
21	0.12241	2.024
22	0.16134	1.930
23	0.20027	1.966
24	0.23920	1.888
25	0.27813	1.922
26	0.29759	1.905
27	0.33652	1.815
28	0.37545	1.775

Tablo 4.38. (Devamı)

29	0.38935	1.744
----	---------	-------



Şekil 4.65. D-1 model x doğrultusu modal itme eğrisi



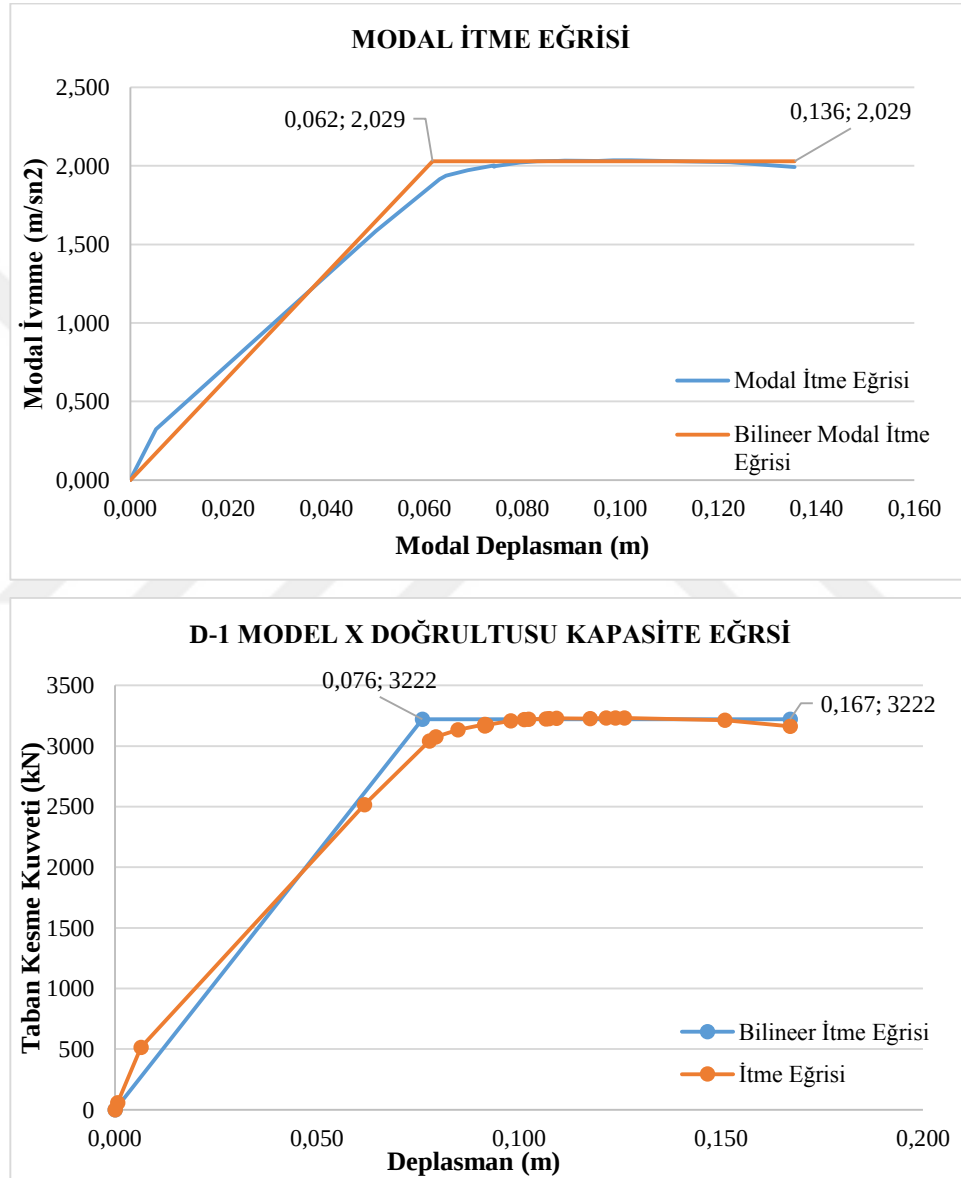
Şekil 4.66. D-1 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_1(p)$ (performans noktası) 0.13554m olarak bulunmuştur. Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 20.34 \times 0.00606 \times 0.13554 = 0.1671 \text{ m}$$

D-1 Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.67.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.67. D-1 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{9.1}{2.029} = 4.48$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3222}{1.5} = 2148 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y x f_y = 4.48 x 3222 = 14449 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{14449}{2148} = 6.73$$

$$\mu_x = \mu_{max} / \mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.167}{0.076} = 2.20$$

$$k_x = f_y / \mu_y$$

$$k_x = \frac{3222}{76} = 42.35$$

D-1 model x doğrultusunda ilk mafsal 2517 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.061 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.167m de ise 3162 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{330.29}{85.55} = 3.86$$

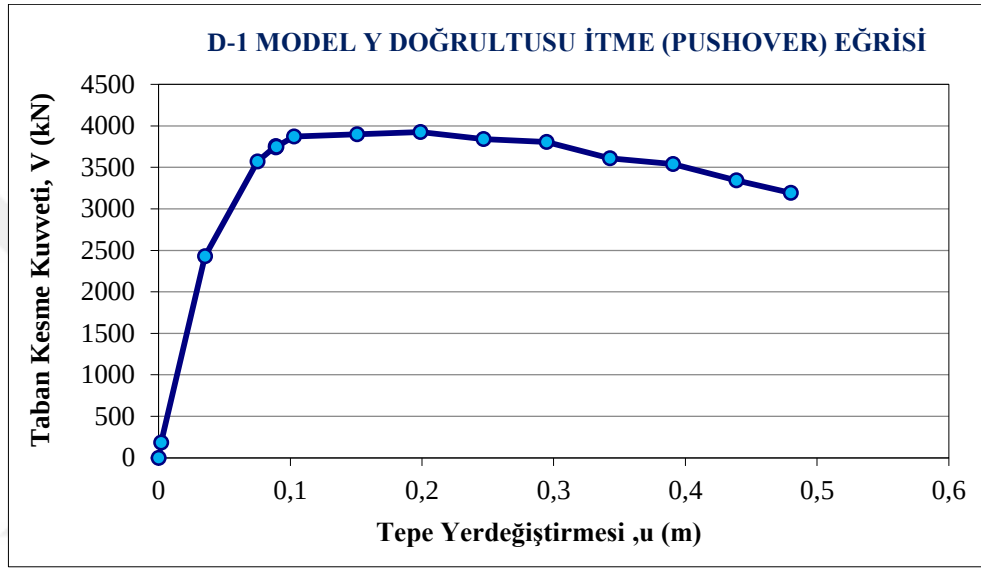
D-1 Model y doğrultusu itme adımları Tablo 4.39.'da gösterilmiştir. Şekil 4.68.'de itme grafiği gösterilmiştir.

Tablo 4.39. D-1 model y doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u^i_{xN1} (m)	V^i_{x1} (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0018	183.14
2	0.0352	2428.49
3	0.0750	3569.12
4	0.0890	3754.92
5	0.0890	3740.70
6	0.0894	3749.45

Tablo 4.39. (Devamı)

7	0.1027	3870.88
8	0.1507	3898.22
9	0.1987	3923.98
10	0.2467	3842.53
11	0.2947	3805.95
12	0.3427	3610.95
13	0.3907	3539.57
14	0.4387	3343.71
15	0.4800	3191.13



Şekil 4.68. D-1 model y doğrultusu itme eğrisi

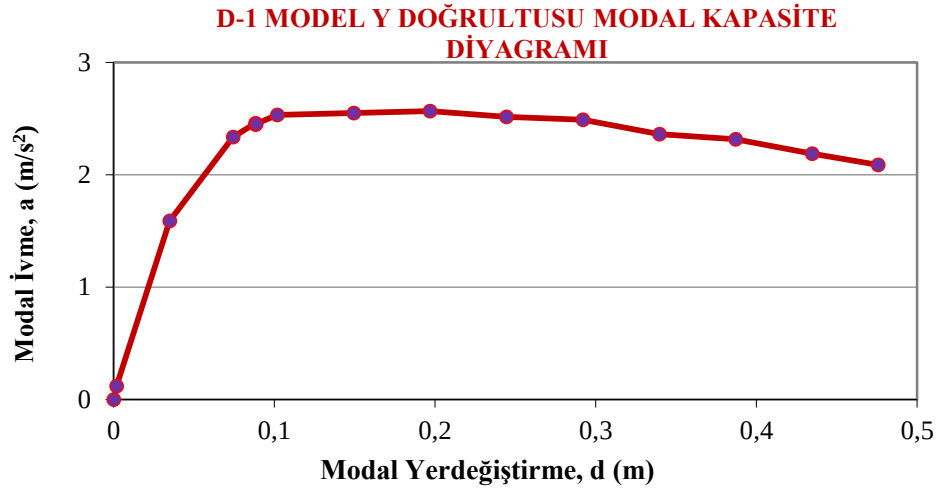
İtme eğrisi Tablo 4.37.'de verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.69.). Tablo 4.40.'ta D-1 Model y doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.40. D-1 model y doğrultusu modal itme eğrisi

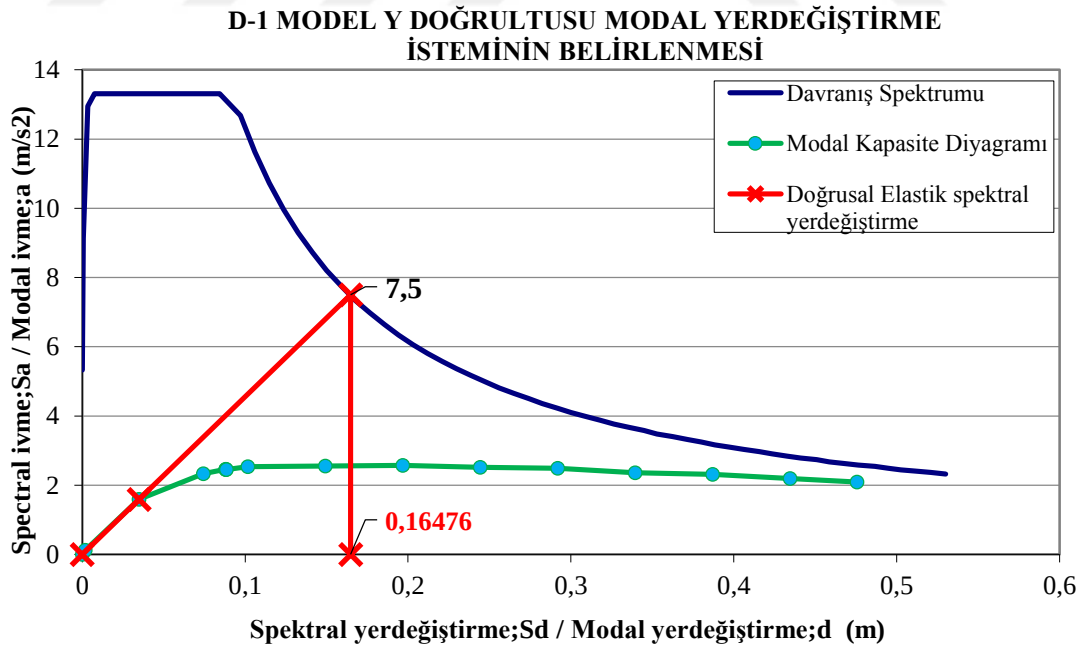
Adım	Modal	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00181	0.120
2	0.03492	1.589
3	0.07432	2.336
4	0.08817	2.458
5	0.08818	2.448
6	0.08854	2.454
7	0.10174	2.533
8	0.14930	2.551

Tablo 4.40. (Devamı)

9	0.19686	2.568
10	0.24443	2.515
11	0.29199	2.491
12	0.33955	2.363
13	0.38711	2.317
14	0.43468	2.188
15	0.47563	2.089



Şekil 4.69. D-1 model y doğrultusu modal itme eğrisi



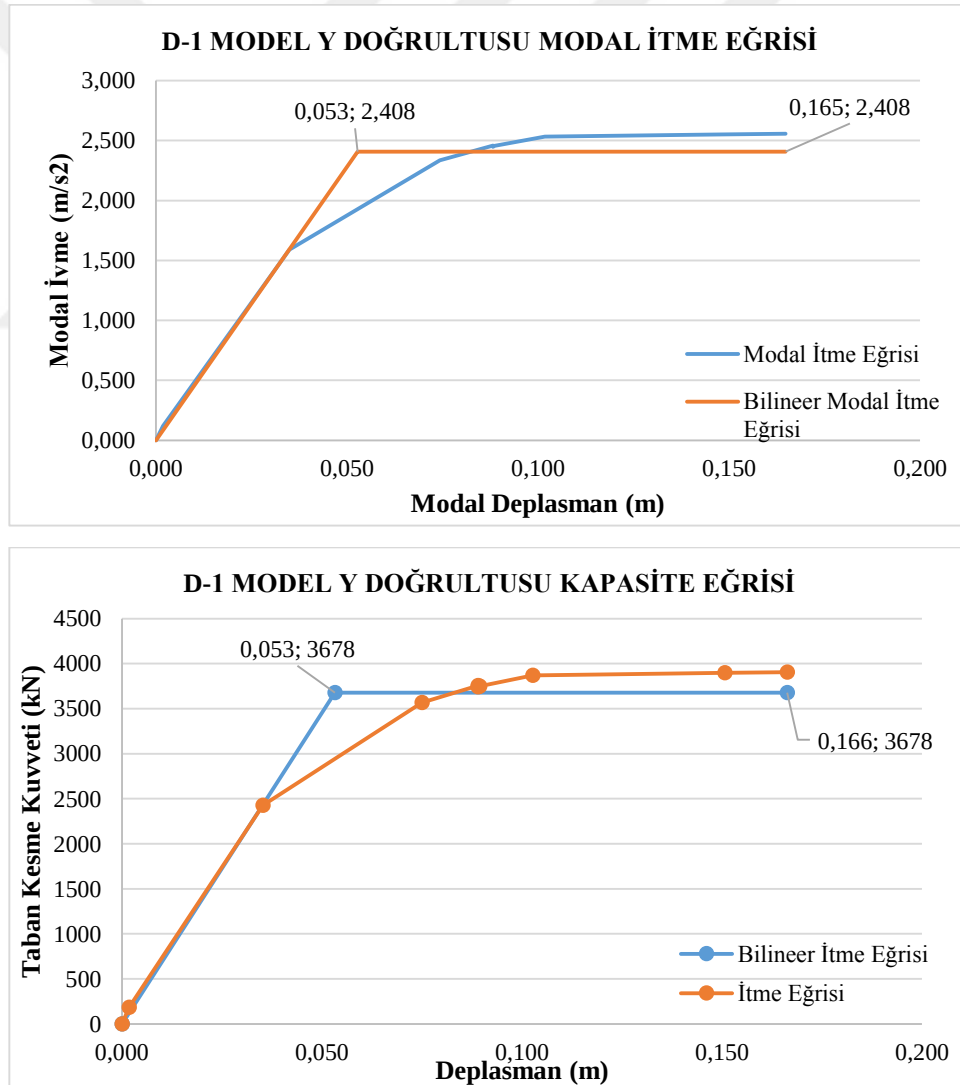
Şekil 4.70. D-1 model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_1(p)$ (performans noktası) 0.16476m olarak bulunmuştur(şekil 4.70.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 19.95 \times 0.0506 \times 0.16476 = 0.1663m$$

D-1 Model y doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları şekil 4.67.'de gösterilmiştir.



şekil 4.71. D-1 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{7.5}{2.408} = 3.12$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{3678}{1.5} = 2452 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 3.12 \times 3678 = 11459 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{11459}{2452} = 4.67$$

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.166}{0.053} = 3.12$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{3678}{0.053} = 69.10$$

D-1 model y doğrultusunda ilk mafsallarda 2428 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.035 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.167m de ise 3906 kN yatay yük almıştır.

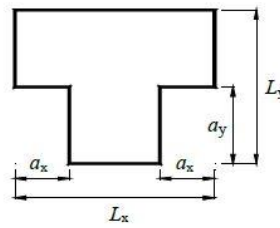
$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsallara kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsallara kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_y = \frac{469.91}{43.8} = 10.73$$

4.7. D-2 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

Model D-2, referans model ile aynı ebatlarda ve aynı aks sayılarından oluşmaktadır. Model D-2'nin tasarımı referans modele göre yapıda düşeyde A-C ve E-G aksları yatayda 3-5 aksları arasında bulunan yapı elemanlarının kaldırılarak yapılmıştır. Böylece T tipinde bir yapı oluşturulmuştur. Yapının sağ ve sol üst iki köşesinde her iki doğrultusunda (x ve y doğrultuları) 10'ar metre girinti oluşmuştur. Yapı x doğrultusunda 30m, y doğrultusunda 20m' dir. TBDY 2018'de düzensiz yapıların tanımında planda bulunan girintilerin yapı uzunluğunun %20 si veya daha fazlası

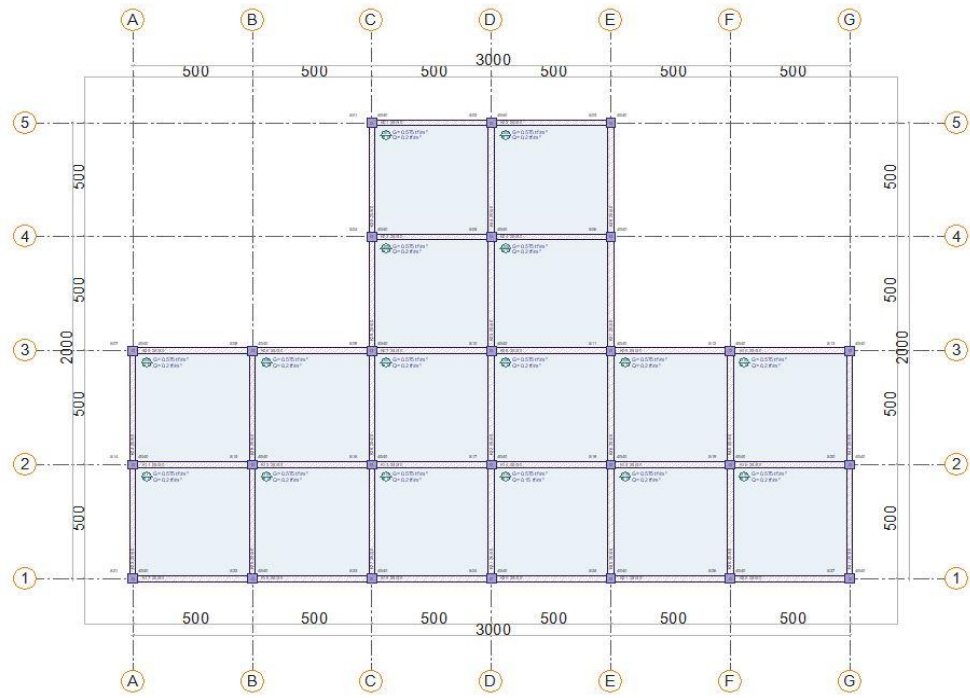
olduğunda A-3 türü düzensizlik olduğu belirtilmiştir[10]. Yapımızda bulunan girintiler her iki doğrultuda da 10'ar metre olup x doğrultusundaki yapı uzunluğunun %20'si olan 6m ve y doğrultusundaki yapı uzunluğunun %20'si olan 4m'den büyük olduğundan yapıda A-3 türü düzensizlik oluşmuştur. Modelde A-3 türü düzensizlik bulunan yapılarda döşemelerin rijit diyafram kabulüne uygun davranamayacağından yarı rijit diyafram olarak modellenmiştir. Şekil 4.72.'de A-3 türü düzensizlik durumu gösterilmiştir.



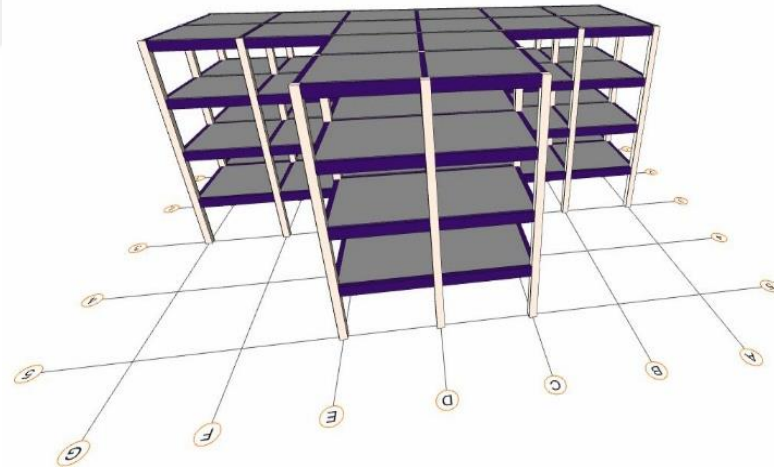
A3 türü düzensizlik durumu:
 $a_x > 0.2 L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 4.72. A-3 türü düzensizlik durumu tanımı[10]

D-1(ortasında boşluk bulunan) modelin kolon-kiriş ebatları ve donatı miktarları ve yapısal özellikleri referans model ile aynıdır. Şekil 4.73'de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.74'te perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.73. D-2 model kalıp planı



Şekil 4.74. D-2 model perspektif görünüşü

Tablo 4.41. D-2 model yapı periyot ve frekansları

Mod	Periyot (s)	Frekans (Cyc/sec)
1	0.400	2.501
2	0.389	2.571
3	0.378	2.647
4	0.313	3.194
5	0.301	3.317
6	0.276	3.625
7	0.218	4.583

Tablo 4.41. (Devamı)

8	0.186	5.373
9	0.180	5.554
10	0.164	6.090
11	0.156	6.396
12	0.149	6.693

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.41.'de gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.400s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 0.389s x doğrultusundaki periyodudur.

Tablo 4.42. D-2 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

Kat	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat yer değiştirmeleri	
		dx (mm)	dy (mm)
1	4577.35	8.39	11.77
2	4577.35	23.13	33.09
3	4577.35	36.34	52.80
4	4577.35	45.22	66.65
Toplam	18309.42		

Yapılan analiz sonrası yapının kat ağırlıkları ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.42.'de gösterilmiştir. D-2 modele ait x doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.43.'de gösterilmiştir. D-2 Model x doğrultusu itme eğrisi Şekil 4.75.'de gösterilmiştir.

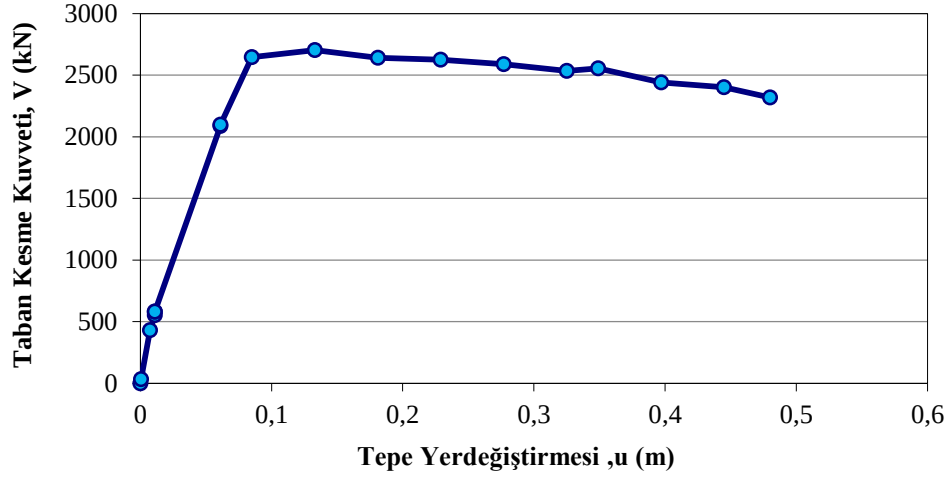
Tablo 4.43. D-2 model x doğrultusu itme analizi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
#		
0	0.0001	0.00
1	0.0005	32.31
2	0.0074	430.94
3	0.0110	553.16
4	0.0110	581.64
5	0.0110	581.66
6	0.0610	2088.67
7	0.0610	2097.40
8	0.0850	2646.89
9	0.1330	2701.90
10	0.1810	2641.23
11	0.2290	2624.41
12	0.2770	2588.29
13	0.3250	2533.36
14	0.3490	2553.67

Tablo 4.43. (Devamı)

15	0.3970	2440.45
16	0.4450	2401.26
17	0.4801	2319.55

D-2 MODEL X DOĞRULTUSU İTME (PUSHOVER) EĞRİSİ



Şekil 4.75. D-2 model x doğrultusu itme eğrisi

İtme eğrisi Tablo 4.44.'da verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.76.). Tablo 4.45.'de D-2 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.44. D-2 model x doğrultusu modal analiz sonuçları

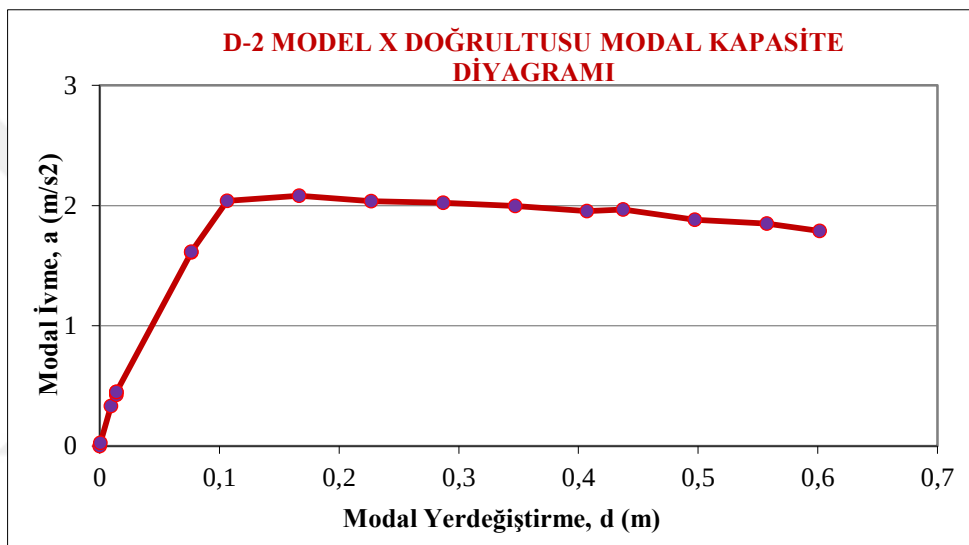
Periyot; T (s)	0.3890	
Kütle Katılım oranı	0.695	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	1866	2
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	17.65	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0452	+ X

Tablo 4.45. D-2 model x doğrultusu itme eğrisi

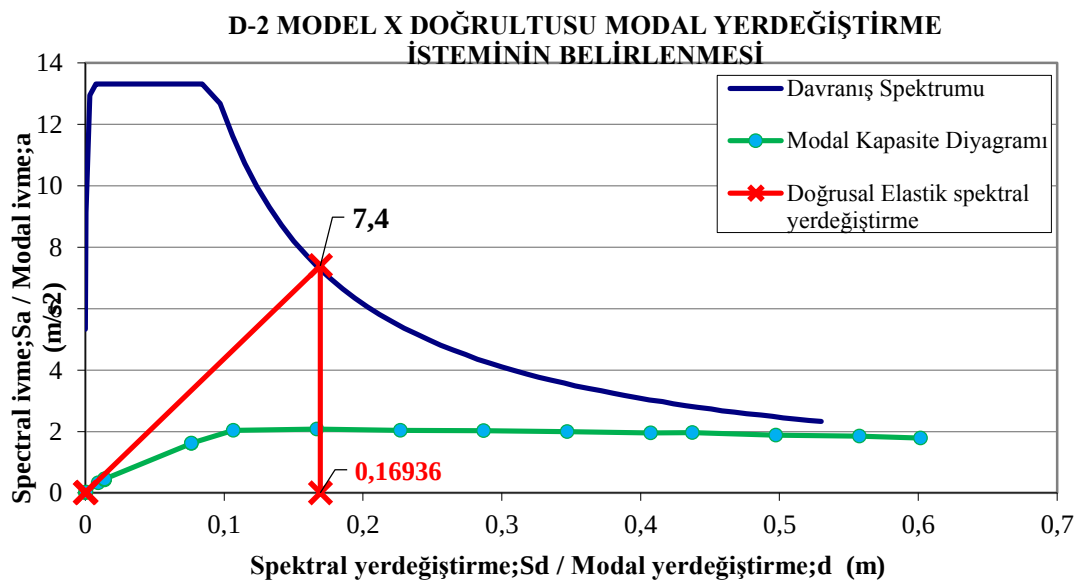
Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00057	0.025
2	0.00933	0.332
3	0.01379	0.426
4	0.01379	0.448
5	0.01379	0.448

Tablo 4.5. (Devamı)

6	0.07643	1.610
7	0.07643	1.617
8	0.10654	2.041
9	0.16668	2.083
10	0.22684	2.036
11	0.28696	2.023
12	0.34709	1.996
13	0.40718	1.953
14	0.43726	1.969
15	0.49740	1.882
16	0.55754	1.851
17	0.60150	1.788



Şekil 4.76. D-2 model x doğrultusu modal itme eğrisi



Şekil 4.77. D-2 model x doğrultusu modal yer değıştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.16936m olarak bulunmuştur(şekil 4.77.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

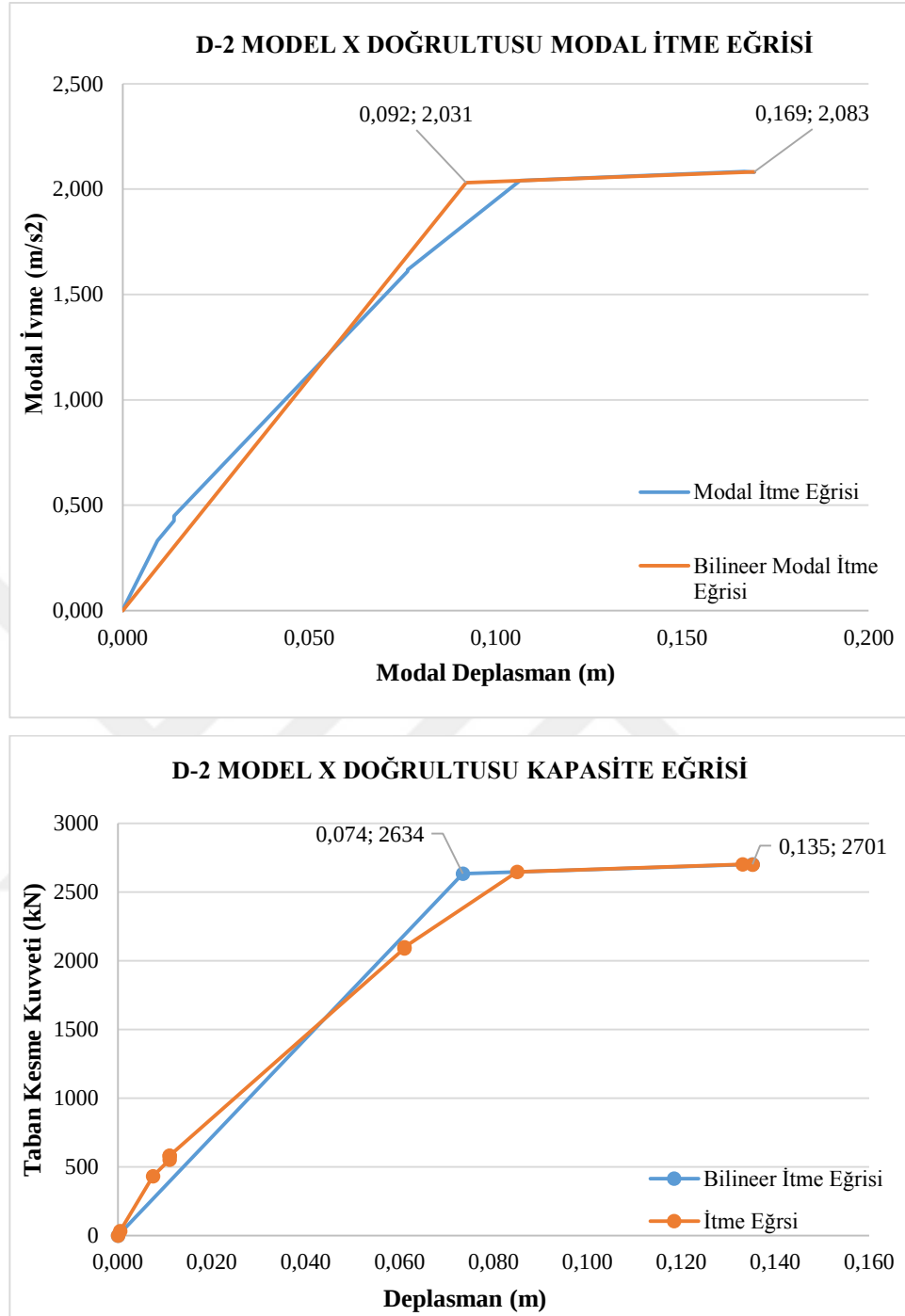
$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 17.65 \times 0.0452 \times 0.16936 = 0.1352m$$

Tablo 4.46. D-2 model x doğrultusu hedef yer değiştirmeye kadar itme adımları

Adım	İtme (Pushover)	
	Eğrisi	
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
	0	0
1	0.0005	32.31
2	0.0074	430.94
3	0.0110	553.16
4	0.0110	581.64
5	0.0110	581.66
6	0.0610	2088.67
7	0.0610	2097.40
8	0.0850	2646.89
9	0.1330	2701.90
10	0.1810	2641.23
11	0.1932	2636.98

D-2 Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen itme adımları Tablo 4.46.'da gösterilmiştir. şekil 4.78.'de D-2 Model'e ait x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi bulunmaktadır.



Şekil 4.78. D-2 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{7.4}{2.031} = 3.64$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{2634}{1.5} = 1756 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 3.64 \times 2634 = 9596 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{9596}{1756} = 5.47$$

$$\mu_x = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.135}{0.074} = 1.84$$

$$k_x = f_y/\mu_y$$

$$k_x = \frac{2634}{74} = 35.83$$

D-2 model x doğrultusunda ilk mafsal 553 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.011 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.135m de ise 2699 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{257.90}{3.38} = 76.37$$

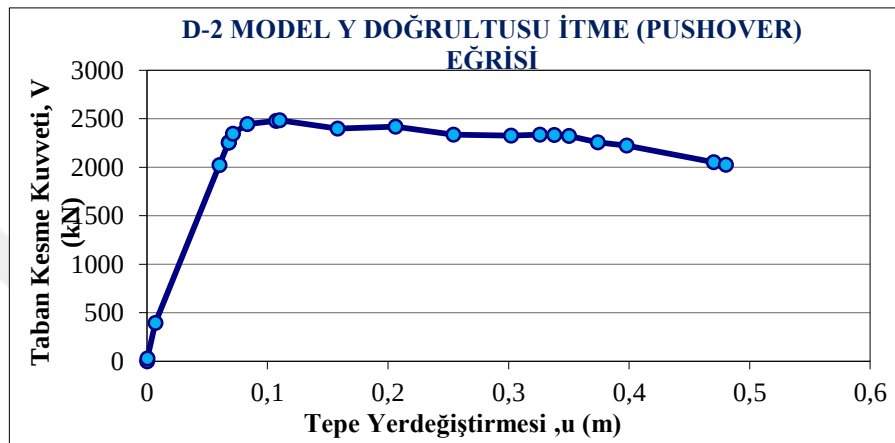
D-2 Model y doğrultusu itme adımları Tablo 4.47.'de gösterilmiştir. Şekil 4.79.'da itme grafiği gösterilmiştir.

Tablo 4.47. D-2 model y doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u_{yN1}^i (m)	V_{y1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0004	30.59
2	0.0070	395.56
3	0.0602	2022.38
4	0.0678	2255.96
5	0.0678	2254.17
6	0.0713	2347.15
7	0.0832	2445.73
8	0.1072	2477.97
9	0.1101	2485.32
10	0.1581	2399.33

Tablo 4.47. (Devamı)

11	0.2061	2420.18
12	0.2541	2334.87
13	0.3019	2326.21
14	0.3259	2337.89
15	0.3379	2333.59
16	0.3499	2323.76
17	0.3739	2257.52
18	0.3979	2224.70
19	0.4699	2051.21
20	0.4800	2026.77



Şekil 4.79. D-2 model y doğrultusu itme eğrisi

İtme eğrisi Tablo 4.48.'da verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.80.). Tablo 4.49.'da D-2 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.48. D-2 model y doğrultusu modal analiz sonuçları

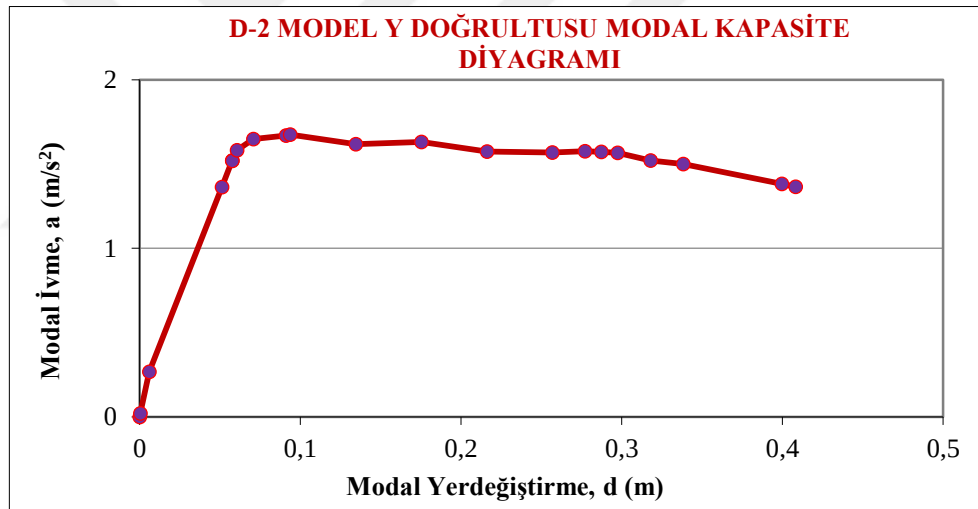
Periyot; T (s)	0.3998	
Kütle Katılım oranı	0.795	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	1866	1
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	17.65	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0666	+ Y

Tablo 4.49. D-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi

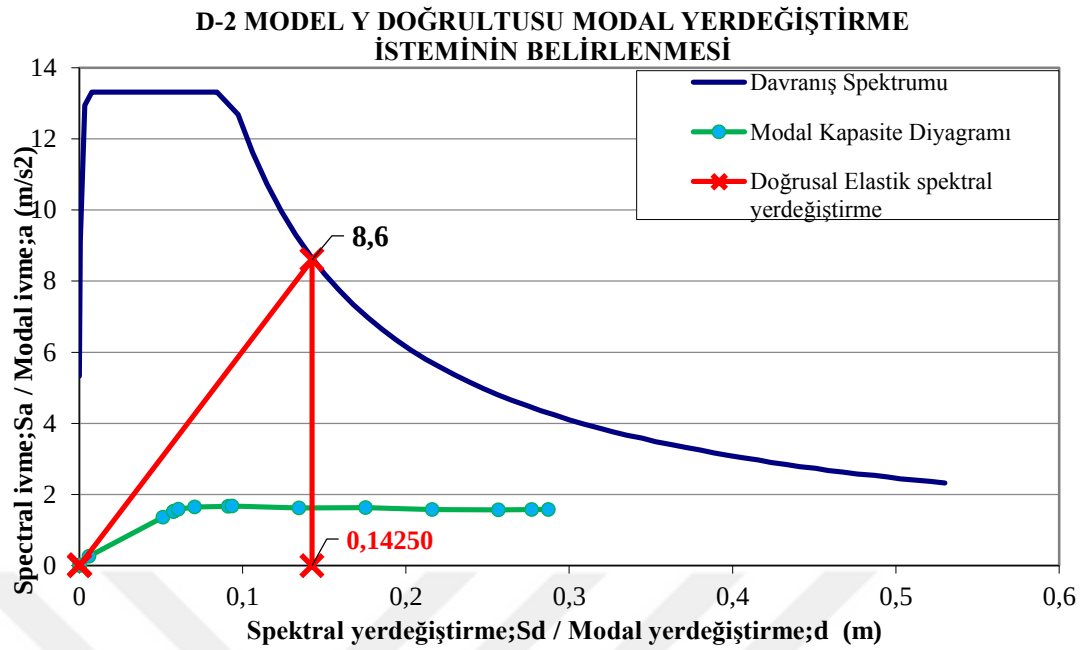
Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00034	0.021

Tablo 4.49. (Devamı)

2	0.00593	0.267
3	0.05119	1.363
4	0.05764	1.521
5	0.05764	1.520
6	0.06063	1.582
7	0.07069	1.649
8	0.09109	1.671
9	0.09362	1.675
10	0.13443	1.618
11	0.17523	1.632
12	0.21602	1.574
13	0.25668	1.568
14	0.27708	1.576
15	0.28728	1.573
16	0.29748	1.567
17	0.31788	1.522
18	0.33828	1.500
19	0.39949	1.383
20	0.40806	1.366



Şekil 4.80. D-2 model y doğrultusu modal itme eğrisi



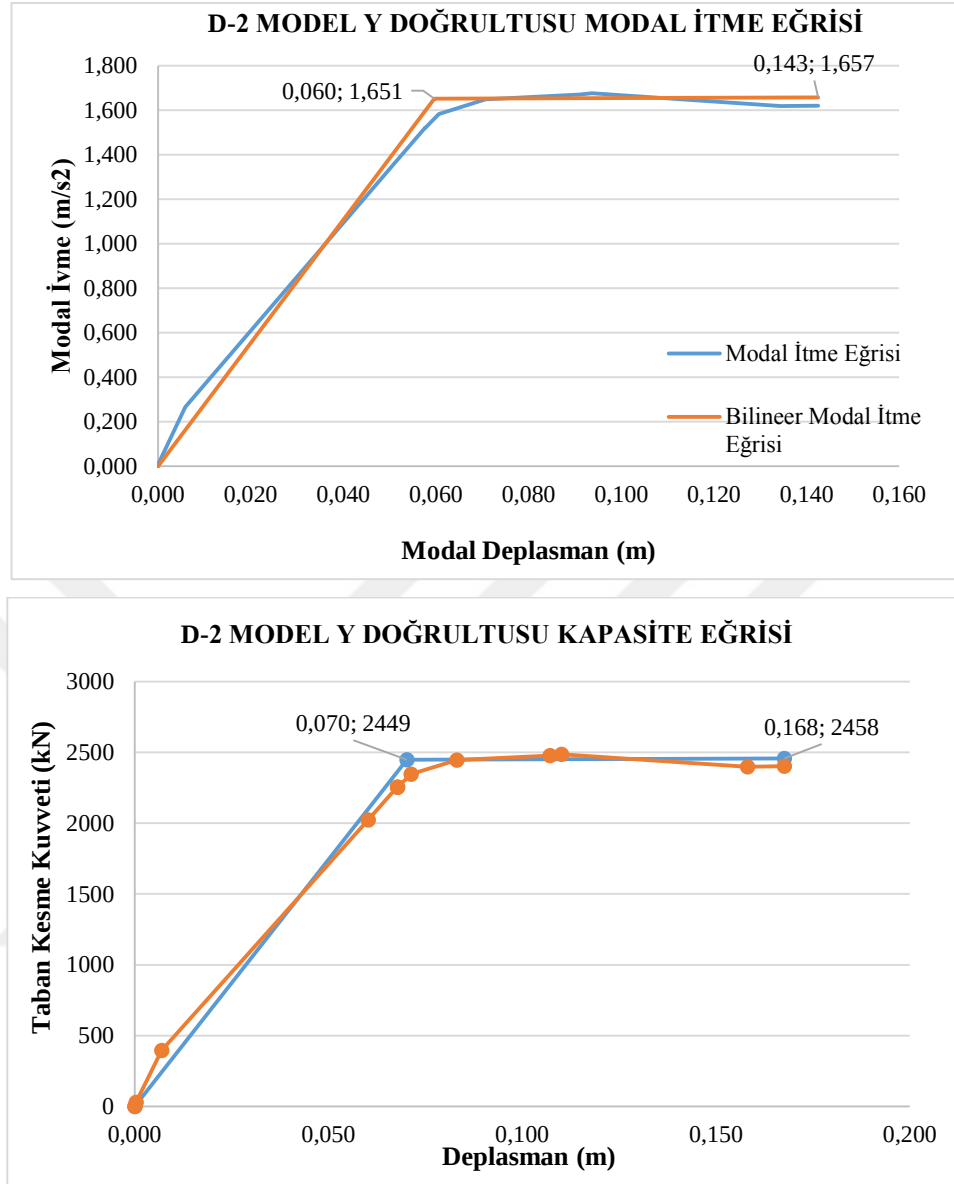
Şekil 4.81. D-2 model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.1425m olarak bulunmuştur(Şekil 4.81.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 17.65 \times 0.0666 \times 0.1425 = 0.1676m$$

D-2 Model y doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.82.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.82. D-2 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{8.6}{1.651} = 5.21$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{2449}{1.5} = 1632 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 5.21 \times 2448 = 12754 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{12754}{1632} = 7.81$$

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.168}{0.070} = 2.39$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{2449}{70} = 34.88$$

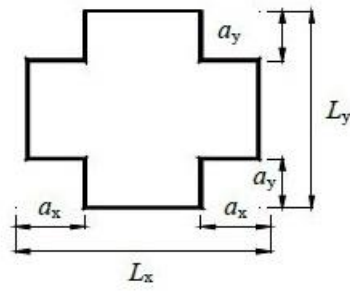
D-2 model y doğrultusunda ilk mafsalsal 2022 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.060 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.168m de ise 2403 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsalsal oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_y = \frac{259.20}{65.77} = 3.94$$

4.8. D-3 Model Tasarım Özellikleri ve Analiz Sonuçları

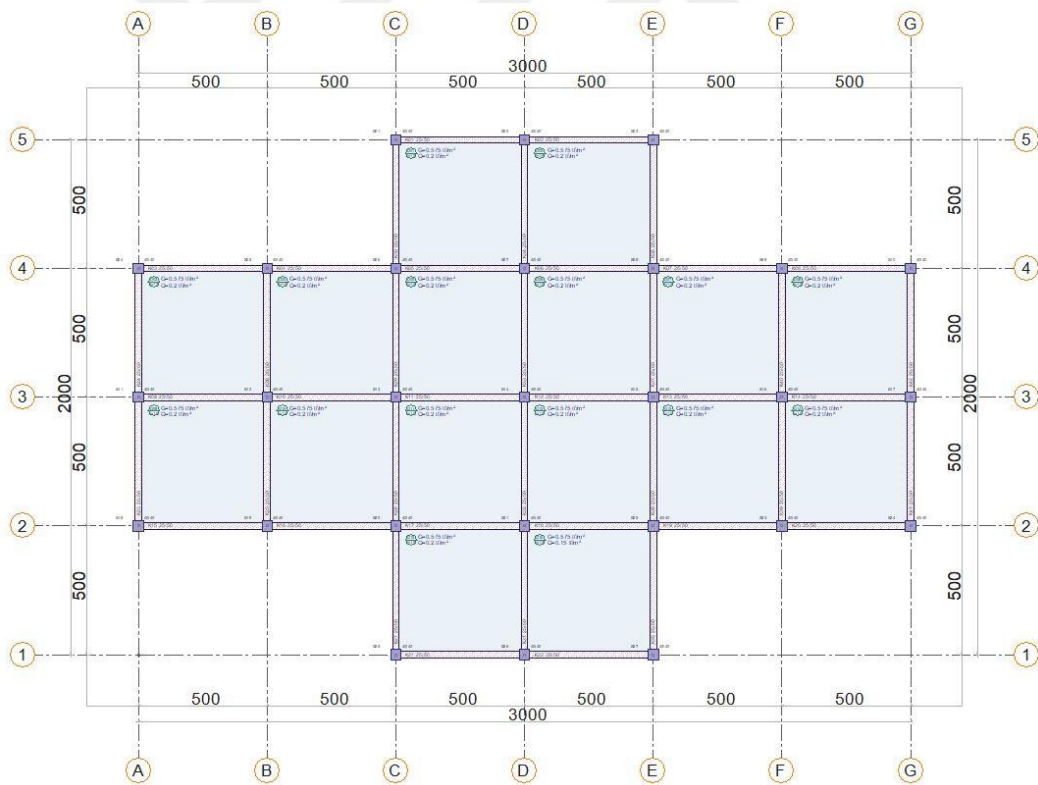
Model D-3, referans model ile aynı ebatlarda ve aynı aks sayılarından oluşmaktadır. Model D-3'nin tasarımı referans modele göre yapıda düşeyde A-C ve E-G aksları yatayda 1-2 ve 4-5 aksları arasında bulunan yapı elemanlarının kaldırılarak yapılmıştır. Böylece T tipinde bir yapı oluşturulmuştur. Yapının sağ ve sol üst iki köşesinde her iki doğrultusunda (x ve y doğrultuları) 10'ar metre girinti oluşmuştur. Yapı x doğrultusunda 30m, y doğrultusunda 20m' dir. TBDY 2018'de düzensiz yapıların tanımında planda bulunan girintilerin yapı uzunluğunun %20 si veya daha fazlası olduğunda A-3 türü düzensizlik olduğu belirtilmiştir [10].Şekil 4.83.'te A-3 türü düzensizlik durumu gösterilmiştir. Yapıda bulunan girinti x doğrultusunda 10 metre olup x doğrultusundaki yapı uzunluğunun %20'si olan 6m ve y doğrultusundaki girinti 5 metre yapı uzunluğunun %20'si olan 4m'den büyük olduğundan yapıda A-3 türü düzensizlik oluşmuştur. Modelde A-3 türü düzensizlik bulunan yapılarda döşemelerin rijit diyafram kabulüne uygun davranamayacağından yarı rijit diyafram olarak modellenmiştir.



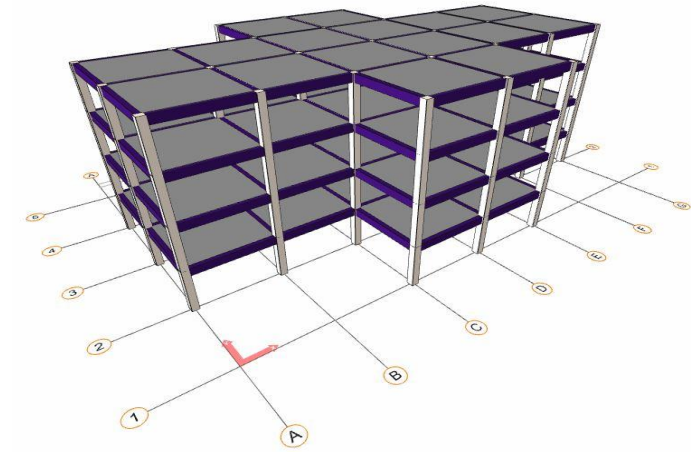
A3 türü düzensizlik durumu:
 $a_x > 0.2 L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 4.83. A-3 türü düzensizlik durumu tanımı

D-1(ortasında boşluk bulunan) modelin kolon-kiriş ebatları ve donatı miktarları ve yapısal özellikleri referans model ile aynıdır. Şekil 4.84’de yapıya ait kalıp planı, Şekil 4.85’te perspektif görünüşü gösterilmiştir.



Şekil 4.84. D-3 model kalıp planı



Şekil 4.85. D-3 model perspektif görünüşü

Tablo 4.50. D-3 model yapı periyot ve frekansları

Mod	Periyot (s)	Frekans (Cyc/sec)
1	0.836	1.195
2	0.809	1.235
3	0.749	1.335
4	0.598	1.671
5	0.582	1.720
6	0.507	1.974
7	0.463	2.162
8	0.381	2.624
9	0.373	2.679
10	0.335	2.986
11	0.334	2.991
12	0.316	3.163

Yapılan analiz sonrası yapıya ait periyot ve frekansları Tablo 4.50.'de gösterilmiştir. Yapının 1. Modunda 0.836 s y doğrultusundaki, 2. Modundaki 0.809 s x doğrultusundaki periyodudur.

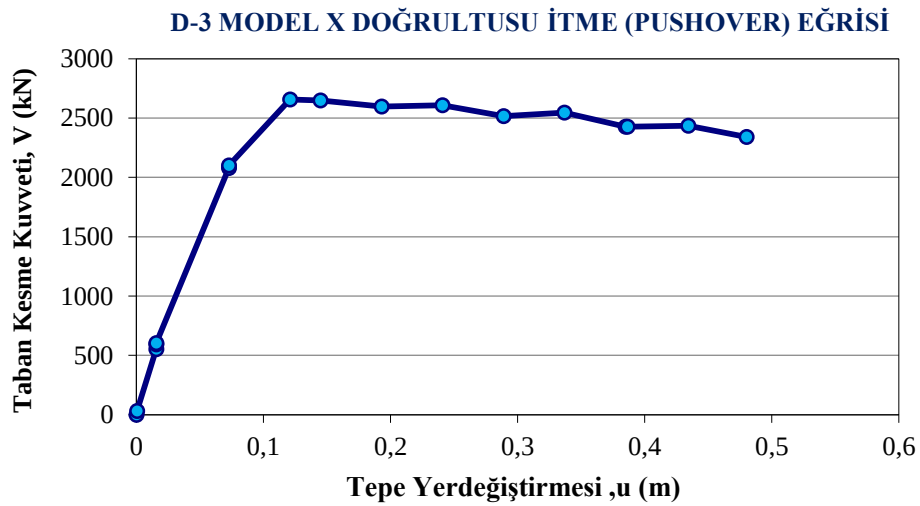
Tablo 4.51. D-3 model yapı ağırlığı ve kat yer değiştirmeleri

Kat	Kat Ölü Yük + 0.3W (KN)	Kat yer değiştirmeleri	
		dx (mm)	dy (mm)
1	4577.35	6.75	4.50
2	4577.35	18.61	12.75
3	4577.35	29.35	20.56
4	4577.35	36.74	26.23
Toplam	18309.42		

Yapılan analiz sonrası yapının kat ağırlıkları ve kat yer değiştirmeleri Tablo 4.51.'de gösterilmiştir. D-3 modele ait x doğrultusu itme analizi adımları Tablo 4.52.'de gösterilmiştir. D-3 Model x doğrultusu itme eğrisi Şekil 4.86.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.52. D-3 model x doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme Eğrisi	(Pushover)
#	u_{xN1}^i (m)	V_{x1}^i (kN)
0	0.0001	0.00
1	0.0006	33.19
2	0.0156	552.84
3	0.0156	592.71
4	0.0156	603.08
5	0.0729	2080.22
6	0.0729	2102.15
7	0.1209	2655.99
8	0.1449	2649.62
9	0.1929	2597.41
10	0.2409	2609.04
11	0.2889	2517.50
12	0.3369	2546.34
13	0.3849	2426.11
14	0.3864	2427.12
15	0.4344	2434.63
16	0.4801	2341.98



Şekil 4.86. D-3 model x doğrultusu itme eğrisi

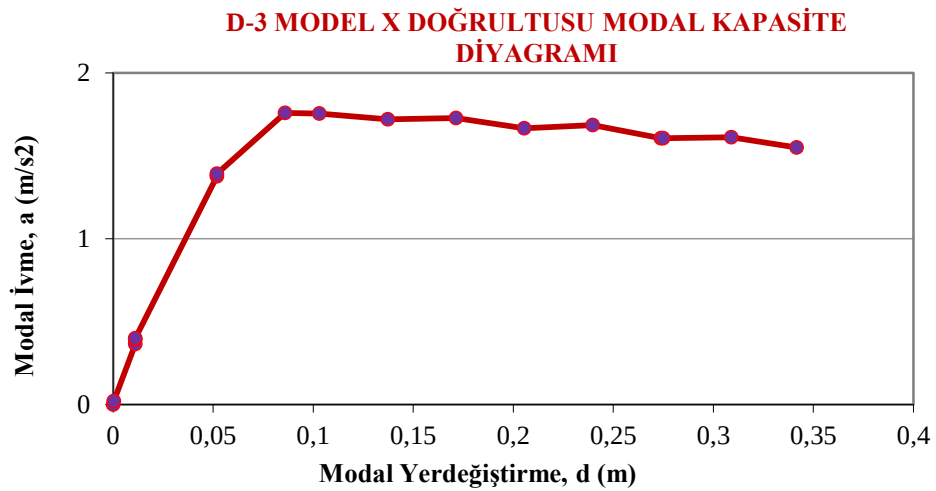
Tablo 4.53. D-3 model modal analiz sonuçları

Periyot; T (s)	0.8094	
Kütle Katılım oranı	0.809	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	1866	2
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	38.25	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0367	+ X

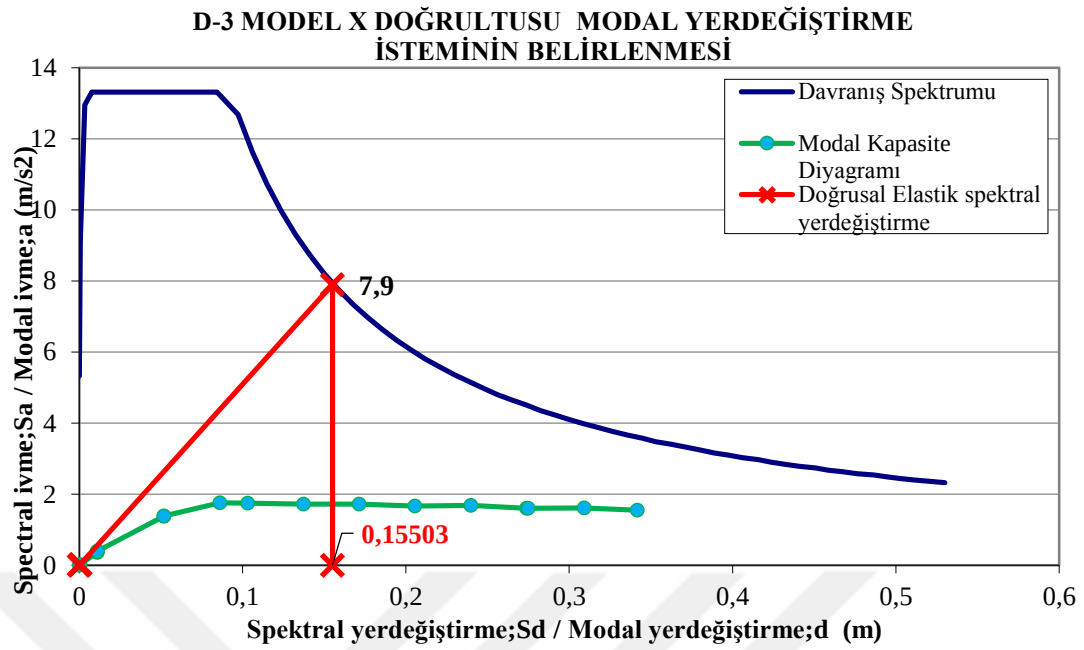
İtme eğrisi Tablo 4.53.'te verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.87.). Tablo 4.54.'de D-3 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.54. D-3 model x doğrultusu modal itme eğrisi

Adım	Modal Diyagramı	Kapasite
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00043	0.02197
2	0.01108	0.36603
3	0.01108	0.39243
4	0.01109	0.39930
5	0.05187	1.37731
6	0.05187	1.39184
7	0.08601	1.75854
8	0.10309	1.75432
9	0.13724	1.71975
10	0.17140	1.72745
11	0.20554	1.66684
12	0.21467	1.67194



Şekil 4.87. D-3 model x doğrultusu modal itme eğrisi



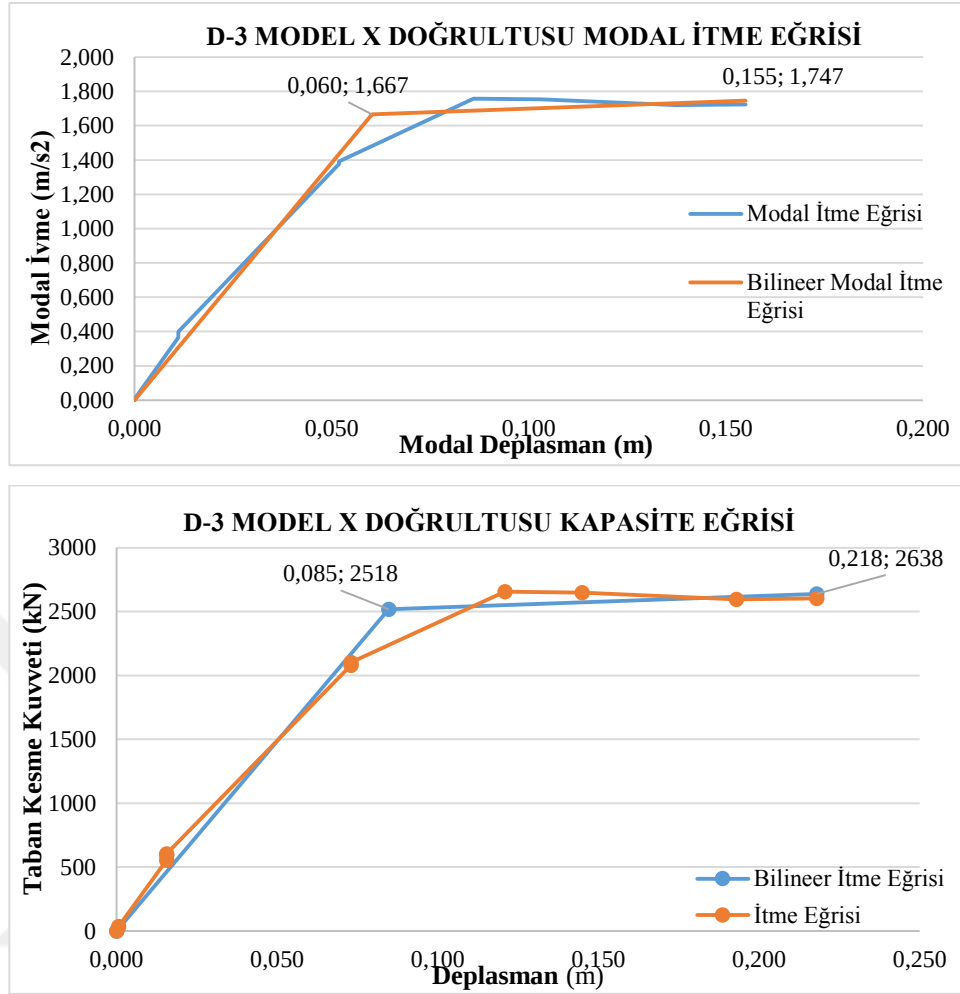
Şekil 4.88. D-3 model x doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_l(p)$ (performans noktası) 0.15503m olarak bulunmuştur(Şekil 4.88.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{px} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{px} = 38.25 \times 0.0367 \times 0.15503 = 0.2179m$$

D-3 Model x doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.89.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.89. D-3 model x doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

$$R_{yx} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{7.9}{1.667} = 4.74$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{2518}{1.5} = 1678 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 4.74 \times 1678 = 11932 \text{ kN}$$

$$R_{ax} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{11932}{1678} = 7.11$$

$$\mu_x = \mu_{max} / \mu_y$$

$$\mu_x = \frac{0.218}{0.085} = 2.57$$

$$k_x = f_y / \mu_y$$

$$k_x = \frac{2518}{85} = 29.74$$

D-3 model x doğrultusunda ilk mafsallarda 2080 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.073 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.168m de ise 2403 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsallarda oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsallarda oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_x = \frac{368.74}{81.30} = 4.53$$

D-3 Model y doğrultusu itme adımları Tablo 4.55.'de gösterilmiştir. Şekil 4.90.'da itme grafiği gösterilmiştir.

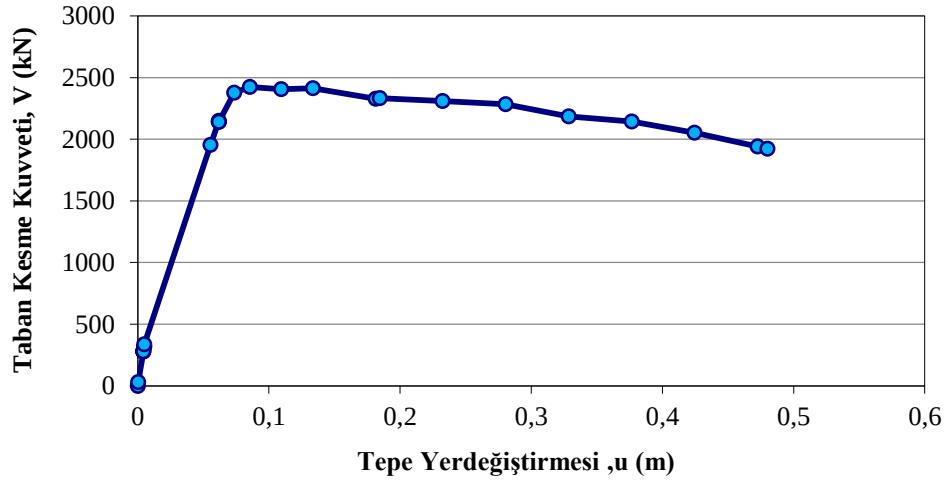
Tablo 4.55. D-3 model y doğrultusu itme eğrisi

Adım	İtme (Pushover) Eğrisi	
#	u_{yN1}^i (m)	V_{y1}^i (kN)
0	0.0000	0.00
1	0.0003	30.52
2	0.0050	314.49
3	0.0050	321.33
4	0.0042	278.41
5	0.0042	278.56
6	0.0042	278.72
7	0.0042	278.88
8	0.0050	336.00
9	0.0555	1954.95
10	0.0618	2148.34
11	0.0618	2141.25
12	0.0618	2141.65
13	0.0735	2377.77
14	0.0855	2423.96
15	0.1095	2405.27
16	0.1335	2413.07
17	0.1815	2327.65
18	0.1845	2332.81
19	0.2325	2310.24
20	0.2805	2282.77
21	0.3286	2186.16
22	0.3766	2144.56

Tablo 4.55. (Devamı)

23	0.4246	2053.61
24	0.4726	1940.50
25	0.4800	1923.23

D-3 MODEL Y DOĞRULTUSU İTME (PUSHOVER) EĞRİSİ



Şekil 4.90. D-3 model y doğrultusu itme eğrisi

İtme eğrisi Tablo 4.53.'te verilen modal hesap değerleri kullanılarak Denklem 3.4. ve Denklem 3.5. yardımıyla modal kapasite eğrisine dönüştürülür(Şekil 4.87.). Tablo 4.54.'de D-3 Model x doğrultusu modal itme adımları gösterilmiştir.

Tablo 4.56. D-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi

Adım	Modal Kapasite Diyagramı	
#	d (m)	a (m/s ²)
0	0	0
1	0.00025	0.021
2	0.00356	0.214
3	0.00356	0.219
4	0.00303	0.190
5	0.00303	0.190
6	0.00304	0.190
7	0.00304	0.190
8	0.00356	0.229
9	0.03972	1.332
10	0.04420	1.464
11	0.04420	1.459
12	0.04420	1.459
13	0.05257	1.620

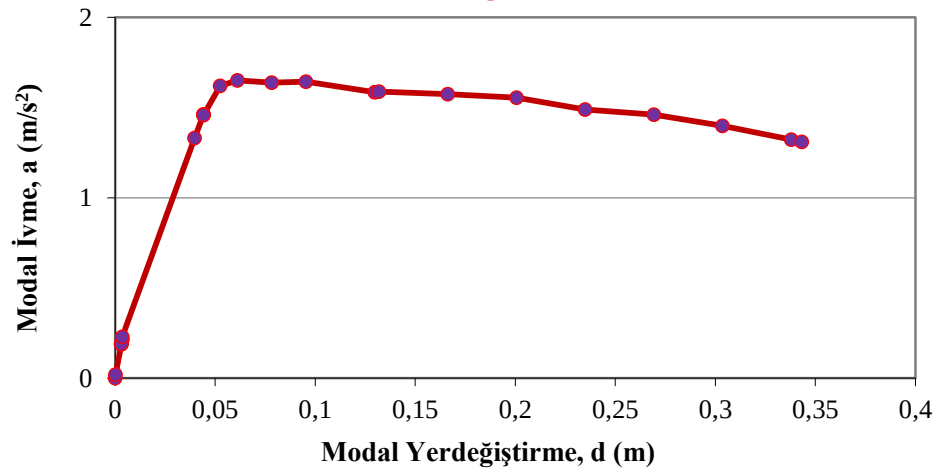
Tablo 4.56. (Devamı)

14	0.06115	1.651
15	0.07831	1.639
16	0.09548	1.644
17	0.12980	1.586
18	0.13195	1.589
19	0.16627	1.574
20	0.20061	1.555
21	0.23495	1.489
22	0.26927	1.461
23	0.30360	1.399
24	0.33792	1.322
25	0.34324	1.310

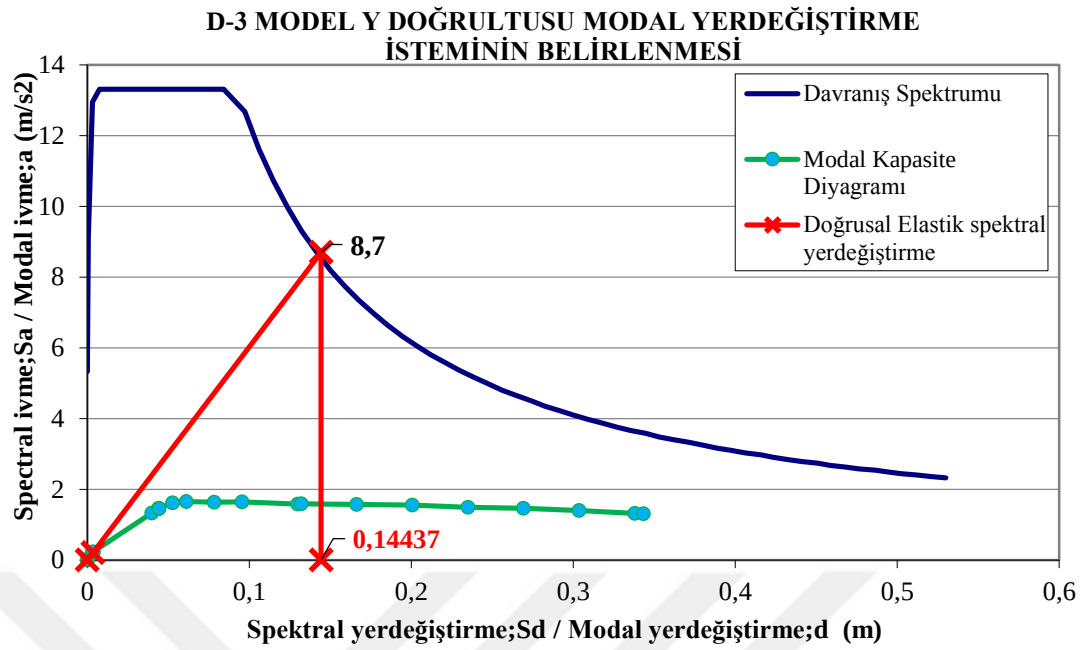
Tablo 4.57. D-3 model y doğrultusu modal analiz sonuçları

Periyot; T (s)	0.8365	
Kütle Katılım oranı	0.787	MODE #
Toplam Kütle; M (ton)	1866	1
Katkı çarpanı; Γ_{x1}	38.06	Direction
Modal büyüklük; Φ_{xN1}	0.0367	+ Y

D-3 MODEL Y DOĞRULTUSU MODAL KAPASİTE DİYAGRAMI



Şekil 4.91. D-3 model y doğrultusu modal itme eğrisi



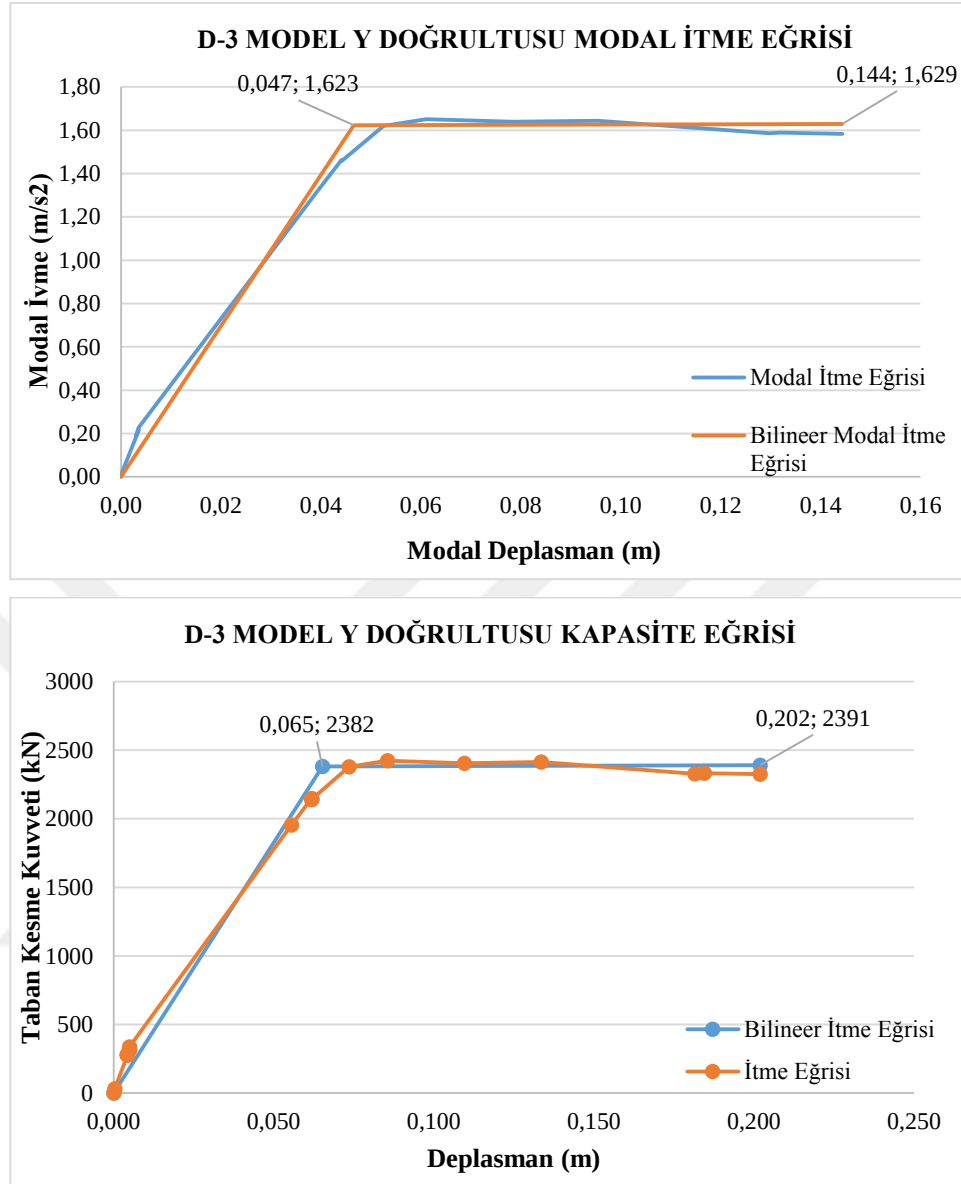
Şekil 4.92. D-3 model y doğrultusu modal yer değiştirme isteminin belirlenmesi

Modal yer değiştirme istemi $d_1(p)$ (performans noktası) 0.14437m olarak bulunmuştur(Şekil 4.92.). Modal yer yer değiştirme istemi bulunduktan sonra aşağıdaki işlemler yapılarak performans noktası bulunur. Bulanan performans noktasına göre itme işlemi tekrarlanır.

$$U_{py} = \Gamma_n \Phi_m^i S_{di}$$

$$U_{py} = 38.06 \times 0.0367 \times 0.14437 = 0.2019m$$

D-3 Model y doğrultusunda performans noktasına kadar yapılan itme analizi sonucu elde edilen kapasite diyagramları Şekil 4.93.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.93. D-3 model y doğrultusu performans noktasına kadar yapılan itme eğrisi

$$R_{yy} = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}(T_1)}{ay1} = \frac{8.7}{1.623} = 5.36$$

$$R_a = \frac{f_e}{f_d}$$

$$f_d = \frac{f_y}{1.5} = \frac{2382}{1.5} = 1588 \text{ kN}$$

$$f_e = R_y \times f_y = 5.36 \times 2382 = 20724 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = \frac{f_e}{f_d} = \frac{20724}{1588} = 13.05$$

$$\mu_y = \mu_{max}/\mu_y$$

$$\mu_y = \frac{0.202}{0.065} = 3.10$$

$$k_y = f_y/\mu_y$$

$$k_y = \frac{2382}{65} = 36.53$$

D-3 model y doğrultusunda ilk mafsallık 1955 kN kesme kuvvetinde oluşmuştur. Bu kuvvete karşılık yapı 0.056 m yer değiştirmiştir. Hedef yer değiştirmeye kadar yapılan itme analizinde yapı 0.202m de ise 2325 kN yatay yük almıştır.

$$ETK = \frac{\text{göçme anından ilk mafsallık oluşana kadar tüketilen enerji}}{\text{başlangıçtan ilk mafsallık oluşana kadar tüketilen enerji}}$$

$$ETK_y = \frac{345.11}{58.72} = 5.87$$

BÖLÜM 5. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRMELER

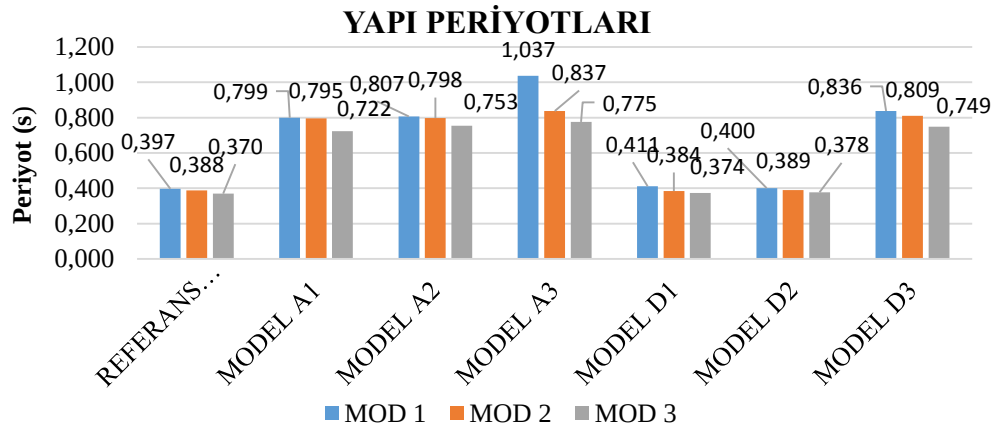
Bu çalışmada, yedi adet bina; bir adet referans(referans model) , üç adet aks açıklıkları farklı(A-1 model , A-2 model, A-3 model) üç adette planda düzensizlikler bulunan (D-1 model, D-2 model, D-3 model) yapılar incelenmiştir. Tüm binalarda taşıyıcı sistemlerin hepsinde aynı malzeme ve kesit özellikleri kullanılmıştır. (Beton: C25, Donatı çeliği S420).

İtme analizi yöntemi kullanılarak elde edilen kapasite eğrileri ile binaların taban kesme kuvveti kapasiteleri bulunmuştur. Kapasite eğrileri ile yapının süneklik katsayıları (μ) ve rijitlik katsayıları (k) da x ve y doğrultularında hesaplanmıştır. Bunlar ile birlikte itme eğrilerinden faydalanarak yapıların deprem yükü azaltma katsayıları ve elastik ötesi güvenlik katsayıları hesaplanarak yapıların deprem davranışları hakkında karşılaştırmalar yapılmıştır.

5.1. Modellerin Periyotlarının Karşılaştırılması

Tablo 5.1. Yapı periyotlarının karşılaştırılması

	REFERANS MODEL	MODEL A1	MODEL A2	MODEL A3	MODEL D1	MODEL D2	MODEL D3
T _x	0.397	0.799	0.807	0.837	0.411	0.400	0.836
T _y	0.388	0.795	0.798	1.037	0.384	0.389	0.809



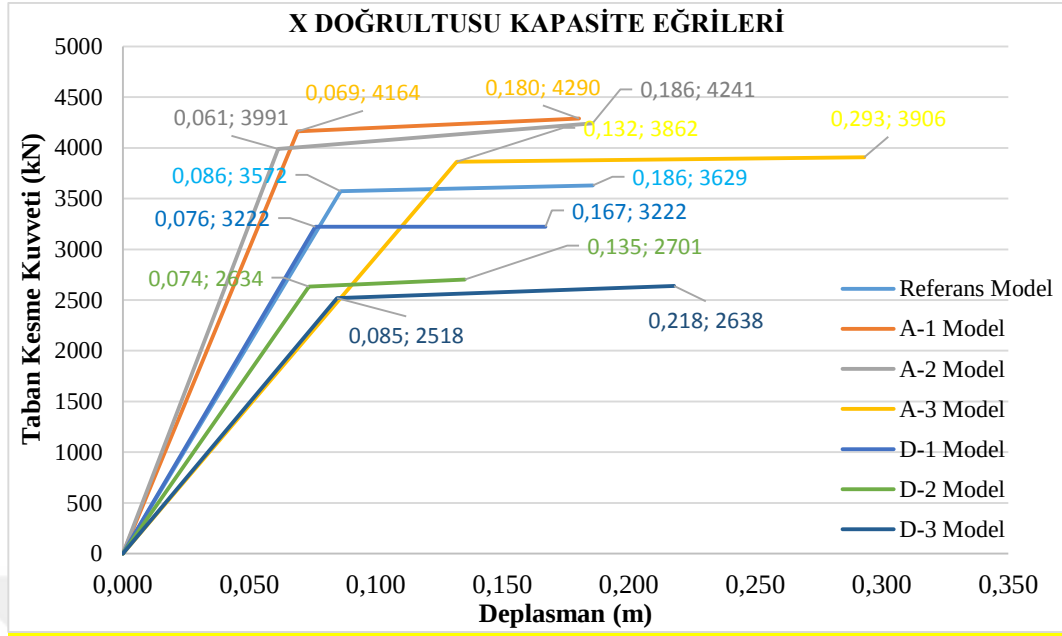
Şekil 5.1. Yapı periyotlarının karşılaştırılması

Yukarıda çalışma kapsamında tasarlanan yapıların periyotları Tablo 5.1.'de gösterilmiştir. Yapıların periyotları Şekil 5.1.'de karşılaştırılmıştır. Yapıların A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) model hariç 1. Modundaki hareketi y doğrultusunda 2. Modundaki hareketi x doğrultusunda 3. Modundaki hareketi burulma olmuştur. A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) modelde 1. Mod x doğrultusu 2. Mod y doğrultusu 3. Mod ise burulma yönündedir.

Referans modelin periyodu ilk üç modunda birbirine çok yakındır. 0.39 sn olarak hesaplanmıştır. D-1(ortasında boşluk bulunan) ve D-2($\perp$ şeklindeki) modellerde de periyot süreleri referans model ile çok yakın çıkmıştır. Diğer modellerin periyot süreleri referans modelden daha uzun olup A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) ve A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) modelde yaklaşık 0.80 sn, D-3 modelde 0.83 sn ve A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) modelde 1. Mod 1.03sn, 2. Mod 0.83sn olarak hesaplanmıştır.

5.2. Yapıların Kapasite Eğrilerinin Karşılaştırılması

Yapılara itme analizi yapılarak modal kapasite eğrileri çizilmiş ve yer değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Bulunan yer değiştirme istemi miktarınca itme analizi tüm modeller için tekrarlanmıştır. Bulunan itme eğrileri sonuçları 'bilin' excel eklentisi[18] kullanılarak bilineer hale getirilmiştir.



Şekil 5.2. X doğrultusu itme eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 5.2.'de tüm yapı modellerinin x doğrultusunda kapasite eğrileri tek bir grafikte toplanmıştır. Şekil 5.2.'ye baktığımızda en fazla taban kesme kuvvetini A-1 model almıştır. Bunun arkasından sırasıyla A-2 model, A-3 model, Referans model, D-1 model, D-2 model ve D-3 modeldir.

Referans model, 3572 kN taban kesme kuvveti etki ettiğinde 86mm yer değiştirme yapmıştır. Model kapasite eğrisinin bu kısmında lineer davranış göstermiştir. İtme adımları devam ettirildiğinde yapı yer değiştirme istemi olan 186 mm'ye kadar ittirilmiştir. Buna karşılık yapıda oluşan taban kesme kuvvetinde önemli bir artış olmamış 3629 kN olarak hesaplanmıştır. Yapı 3572 kN yükten sonra doğrusal olmayan davranış göstermiştir.

A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) model, 4164 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 69mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 180 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 4290 kN'dur. A-1 modelde Referans modele göre lineer kısımda daha fazla taban kesme kuvveti oluşur ancak buna rağmen yaptığı yer değiştirme daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans

modelden 17mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 11mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) model, 3991 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 61 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 188 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 4241 kN'dur. A-2 modelde Referans modele göre lineer kısımda daha fazla taban kesme kuvveti oluşur ancak buna rağmen yaptığı yer değiştirme daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 25mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 19mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

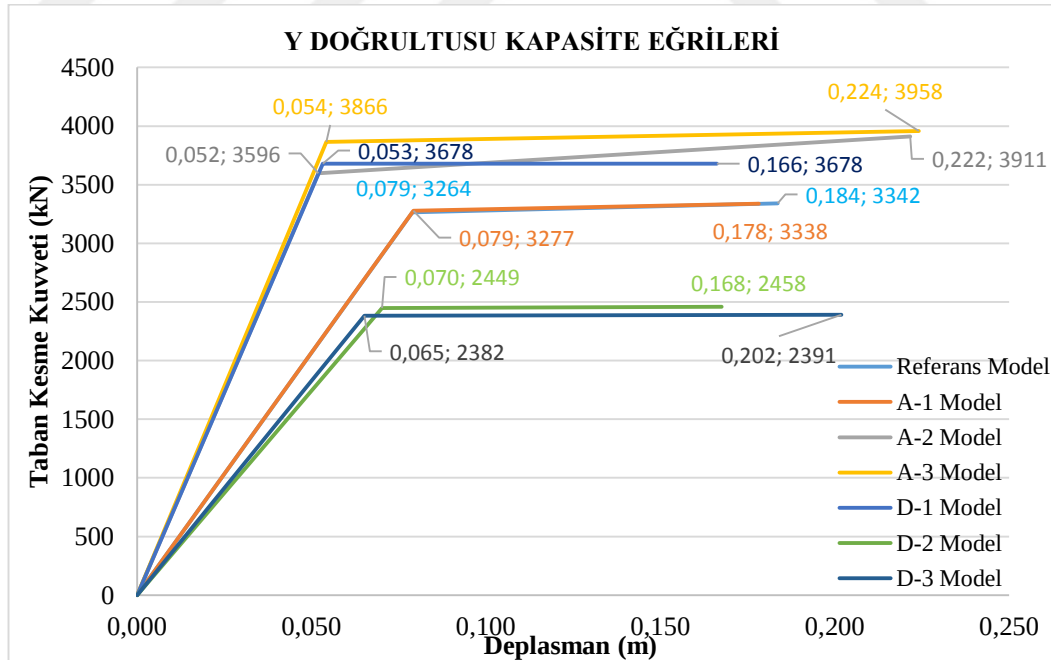
A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) model, 3862 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 132 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 293 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 3906 kN'dur. A-3 modelde referans modele göre lineer kısımda daha fazla taban kesme kuvveti oluşur ancak yaptığı yer değiştirme daha büyüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 46mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 61 mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

D-1(ortasında boşluk bulunan) model, 3222 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 76 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 167 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 3222 kN'dur. D-1 modelde referans modele göre lineer kısımda daha az taban kesme kuvveti oluşur ayrıca yaptığı yer değiştirme de daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 10mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 9 mm daha az yer değiştirme yapmıştır.

D-2($\perp$ şeklindeki) model, 2634 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 74 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı

135 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 2701 kN'dur. D-2 modelde referans modele göre lineer kısımda daha az taban kesme kuvveti oluşur ayrıca yaptığı yer değiştirme de daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 12mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 39 mm daha az yer değiştirme yapmıştır.

D-3(+ şeklindeki) model, 2518 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 85 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 218 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 2638 kN'dur. D-3 modelde referans modele göre lineer kısımda daha az taban kesme kuvveti oluşur ayrıca yaptığı yer değiştirme 1mm daha küçüktür. Yani aynı yer değiştirme miktarına daha az kuvvetle ulaşmıştır. Yapı lineer kısımda referans modelden 12mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 33 mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.



şekil 5.3. Y doğrultusu itme eğrilerinin karşılaştırılması

Şekil 5.3.'te tüm yapı modellerinin y doğrultusunda kapasite eğrileri tek bir grafikte toplanmıştır. Şekil 5.3.'e baktığımızda en fazla taban kesme kuvvetini A-3 model almıştır. Bunun arkasından sırasıyla A-2 model, D-1 model, A-1 model Referans model, D-2 model ve D-3 modeldir.

Referans model y doğrultusunda, 3264 kN taban kesme kuvveti etki ettiğinde 79mm yer değiştirme yapmıştır. Model kapasite eğrisinin bu kısmında lineer davranış göstermiştir. İtme adımları devam ettirildiğinde yapı yer değiştirme istemi olan 184 mm'ye kadar ittirilmiştir. Buna karşılık yapıda oluşan taban kesme kuvvetinde önemli bir artış olmamış 3342 kN olarak hesaplanmıştır. Yapı 3264 kN yükten sonra doğrusal olmayan davranış göstermiştir.

A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) model, 3277 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 79mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 178 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 3338 kN' dur. A-1 modelde Referans modele göre lineer kısımda daha fazla taban kesme kuvveti oluşur. Buna rağmen yaptığı yer değiştirme eşittir. Yapı lineer kısımda referans model ile aynı yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 6mm daha az yer değiştirme yapmıştır.

A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) model, 3596 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 52 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 222 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 3911 kN'dur. A-2 modelde Referans modele göre lineer kısımda daha fazla taban kesme kuvveti oluşur ancak buna rağmen yaptığı yer değiştirme daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 27mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 65mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) model, 3866 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 54 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 224 mm yer değiştirme

yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 3958 kN'dur. A-3 modelde referans modele göre lineer kısımda daha fazla taban kesme kuvveti oluşur ancak yaptığı yer değiştirme daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 25mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 65 mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

D-1(ortada boşluk bulunan) model, 3678 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 53 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 166 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 3678 kN'dur. D-1 modelde referans modele göre lineer kısımda daha az taban kesme kuvveti oluşur ayrıca yaptığı yer değiştirme de daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 26mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 8 mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

D-2(⊥ şeklindeki) model, 2449 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 70 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 168 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 2458 kN'dur. D-2 modelde referans modele göre lineer kısımda daha az taban kesme kuvveti oluşur ayrıca yaptığı yer değiştirme de daha küçüktür. Yapı lineer kısımda referans modelden 9mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 7 mm daha az yer değiştirme yapmıştır.

D-3(+ şeklindeki) model, 2382 kN taban kesme kuvveti oluşana kadar lineer kısımda kalmıştır. Bu taban kesme kuvvetine karşılık 65 mm yer değiştirme yapmıştır. Yapı 202 mm yer değiştirme yapana kadar ittirilmiştir. Bu itme değerine ulaştığında ise etki eden taban kesme kuvveti 2391 kN'dur. D-3 modelde referans modele göre lineer kısımda daha az taban kesme kuvveti oluşur ayrıca yaptığı yer değiştirme 14mm daha küçüktür. Yani aynı yer değiştirme miktarına daha az kuvvetle ulaşmıştır. Yapı lineer kısımda referans modelden 12mm daha az yer değiştirme yapmıştır. Doğrusal

olmayan kısımda ise yapı referans modele göre 32 mm daha fazla yer değiştirme yapmıştır.

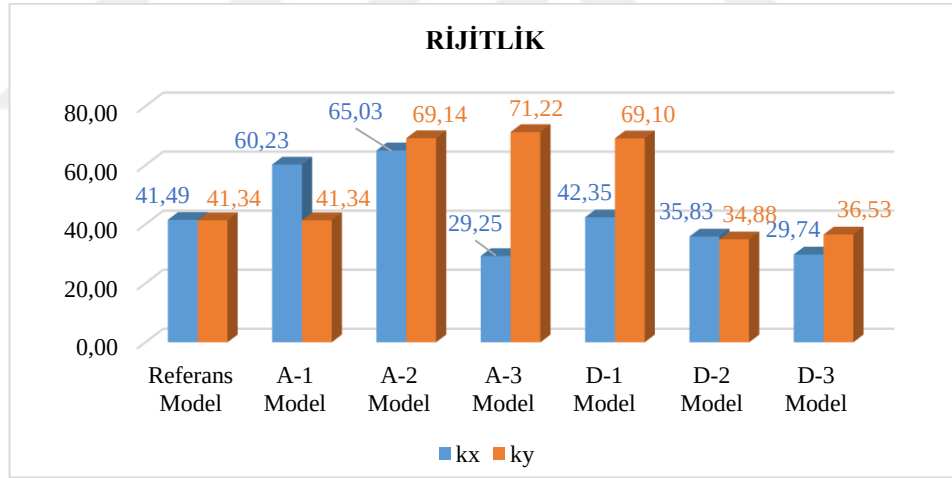
5.3. Yapıların Rijitliklerinin Karşılaştırılması

İtme eğrileri ile kapasite eğrisinde başlangıç konumundan lineer davranışın olduğu yere kadar olan doğrunun eğimi bize yapının rijitliğini verir. Süneklik kapasitesinin hesaplanması için yapının yaptığı maksimum yer değiştirmenin lineer davranış boyunca yaptığı yer değiştirme miktarına bölünmesi ile hesaplanır.

Tablo 5.2.'de yapıların rijitlik katsayıları verilmiştir.

Tablo 5.2. Yapıların rijitlik katsayıları

	REF MODEL	A-1 MODEL	A-2 MODEL	A-3 MODEL	D-1 MODEL	D-2 MODEL	D-3 MODEL
kx	41.49	60.23	65.03	29.25	42.35	35.83	29.74
ky	41.34	41.34	69.14	71.22	69.10	34.88	36.53



Şekil 5.4. Yapı rijitliklerinin karşılaştırılması

Yapıların rijitlikleri Şekil 5.4.'te karşılaştırılmıştır.

Referans model x ve y doğrultularında rijitlikleri yaklaşık olarak eşittir.

A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) modelin rijitliği x doğrultusunda referans modele göre %45 artmıştır. Y doğrultusunda ise değişmemiştir.

A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) modelin x ve y doğrultularında rijitliği referans modele göre artmıştır. X doğrultusunda rijitlik %57 y doğrultusunda %67 artmıştır. A-2 modelde yapının orta kısmında aks açıklıkları 3 metreye düşürülmüştür. Böylece x doğrultusunda B-C ve E-F aks araları 3 metre olduğunda kolon – perde arasında bir davranış yaptığı görülmüştür. Y doğrultusunda 2-3 ve 3-4 aksları arası 3 metre olduğundan burada da rijitliğin arttığı görülmüştür.

A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) modelin x doğrultusunda aks adedi 5'e düşürülüp açıklık 7.5 metreye çıkarıldığından rijitlik yaklaşık %41'ine düşmüştür. Y doğrultusunda ise aks adedi 6 adede çıkarılıp aks açıklığı 4 metreye düşürüldüğünden kolon sayısı artmıştır. Bu yüzden y doğrultusunda rijitlik %72 artmıştır.

D-1(ortasında boşluk bulunan) modelin x doğrultusunda yapıda x doğrultusunda B-F, y doğrultusunda 2-4 aksları arasındaki yapı elemanları kaldırılarak A2 düzensizliği oluşturulmuştur. Rijitlik x doğrultusunda %2'lik bir artış yapmıştır. Y doğrultusuna ise rijitlik %67 oranında artmıştır.

D-2($\perp$ şeklindeki) modelde A-C ve 3-5 aksları ile E-G ve 3-5 aksları arasında kalan yapı elemanları kaldırılarak ' $\perp$ ' şeklinde bir yapı elde edilmiştir. Bu yapı rijitliklerinin x ve y doğrultularında birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Referans modele göre ise rijitlik yaklaşık %15 oranında azalma görülmüştür.

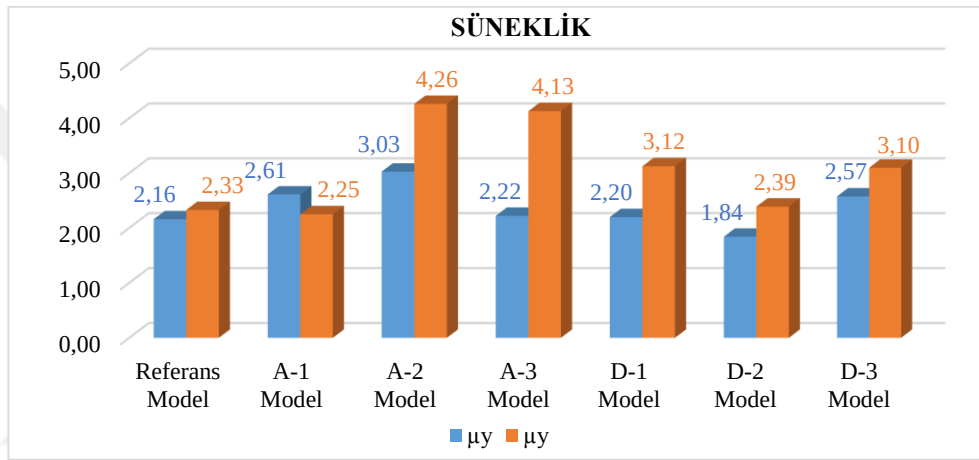
D-3(+ şeklindeki) modelde A-C ve 1-2 ile E-G aksları ve 4-5 aksları arasında kalan yapı elemanları kaldırılarak '+' şeklinde bir yapı oluşturulmuştur. Rijitlik x ve y doğrultularında azalma görülmüştür. X doğrultusunda ki rijitlik azalması referans modele göre %39 oranında azalmıştır. Y doğrultusunda ise rijitlik yaklaşık %13 oranında azaldığı görülmüştür.

5.4. Yapıların Sünekliklerinin Karşılaştırılması

Tablo 5.3.'te yapıların süneklik katsayıları verilmiştir. Şekil 5.5.'te yapıların x ve y doğrultularında modellerin süneklikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.3. Yapıların süneklik katsayıları

	REFERANS MODEL	A-1 MODEL	A-2 MODEL	A-3 MODEL	D-1 MODEL	D-2 MODEL	D-3 MODEL
μ_x	2.16	2.61	3.03	2.22	2.20	1.84	2.57
μ_y	2.33	2.25	4.26	4.13	3.12	2.39	3.10



Şekil 5.5. Yapıların süneklik katsayılarının karşılaştırılması

Referans modelin x ve y doğrultularında aks açıklıkları 5'er metredir. Yapı süneklikleri de her iki doğrultuda da birbirine çok yakındır. X yönünde süneklik katsayısı 2.16, y doğrultusunda 2.33 olarak hesaplanmıştır. Y doğrultusunun sünekliği x yönündeki sünekliğe göre %7 daha büyüktür.

A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) modelde kolon sayısı ve ebatları referans model ile aynı olmasına rağmen A-1 modelin sünekliği x doğrultusunda referans modele göre daha büyüktür. Süneklik x doğrultusunda % 20 daha fazladır. Y doğrultusunda süneklik yaklaşık %7 azalmıştır.

A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) modelin sünekliği, x ve y doğrultularında da referans modelden yüksektir. X doğrultusunda süneklik %40, y doğrultusunda süneklik yaklaşık % 83 oranında artmıştır.

A-1 ve A-2 modeller referans model ile aynı ölçülerde olmasına rağmen yapıya gelen taban kesme kuvvetleri, rijitlikleri ve süneklikleri daha büyüktür. Yapılarda aks açıklıkları değiştirilerek kolonların birbirine yakınlığı ile perde benzeri bir davranış gösterdiği görülmüştür. Böylece aynı sayıda kolon ile daha sağlam yapılar elde edilmiştir.

A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) modelin sünekliği, x ve y doğrultuda da artmıştır. X doğrultusunda süneklik %3 daha fazladır. Y doğrultusunda süneklik %77 oranında artmıştır.

D-1(ortada boşluk bulunan) modelin sünekliği, x ve y doğrultusunda da referans modele göre artmıştır. X doğrultusunda süneklik yaklaşık %2 oranında, y doğrultusunda ise %34 oranında artmıştır.

D-2($\perp$ şeklindeki) model sünekliği referans model göre x doğrultusunda azalmış, y doğrultusunda ise artmıştır. X doğrultusunda süneklik yaklaşık % 15 azalmış, x doğrultusunda ise yaklaşık %34 oranında arttığı görülmüştür.

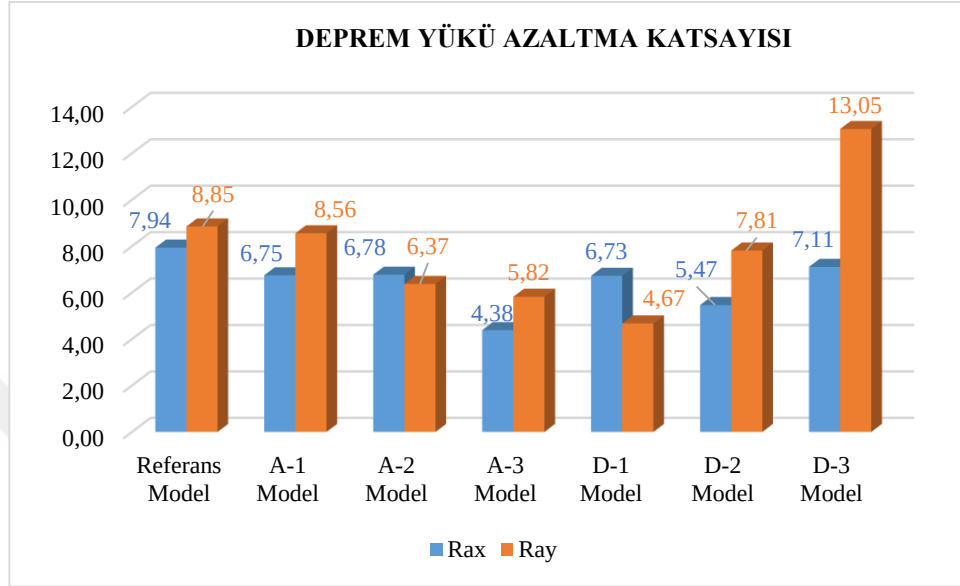
D-3(+ şeklindeki) model sünekliği, x ve y doğrultusunda da referans modele göre artmıştır. X doğrultusunda süneklik yaklaşık %25 oranında, y doğrultusunda ise %33 oranında artmıştır.

5.5. Yapıların Deprem Yüğü Azaltma Katsayılarının Karşılaştırılması

Tbdy 'de 'R' deprem yüğü azaltma katsayısı yüksek süneklikte projelendirilen çerçeve türünden taşıyıcı sistemlerde $R=8$ olarak öngörülmüştür. Tablo 5.4.'de çalışmada kullanılan 7 farklı modelin itme analizi yardımıyla hesaplanan deprem yüğü azaltma katsayıları x ve y doğrultuları için gösterilmiştir. Şekil 5.6.'da Deprem yüğü azaltma katsayıları karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.4. Yapıların deprem yükü azaltma katsayıları

----	Referans Model	A-1 Model	A-2 Model	A-3 Model	D-1 Model	D-2 Model	D-3 Model
R_{ax}	7.94	6.75	6.78	4.38	6.73	5.47	7.11
R_{ay}	8.85	8.56	6.37	5.82	4.67	7.81	13.05



Şekil 5.6. Deprem yükü azaltma katsayılarının karşılaştırılması

Referans model x yönü deprem yükü azaltma katsayısı 7,94 hesaplanmıştır. Yönetmeliğin seçilmesini öngördüğü 8 değerine yakın çıkmıştır. Y doğrultusunda bakıldığında 8.85 hesaplanmıştır. Bu değer seçilen değerden % 11 daha fazladır.

A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) model x yönü deprem yükü azaltma katsayısı 6.75 olduğu görülmüştür. Bu değer Tbdy’de seçilmesi istenen ‘8’ değerinden %15 daha azdır. Y doğrultusunda 8.56 hesaplanmıştır. Hesaplanan 8.56 değeri %7 daha büyüktür.

A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) model deprem yükü azaltma katsayısı 6.78, y doğrultusunda 6.37 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %15, y doğrultusunda %20 daha küçüktür.

A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) model deprem yükü azaltma katsayısı x doğrultusunda 4.58, y doğrultusunda 5.82 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %42, y doğrultusuna %27 daha küçüktür.

D-1(ortada boşluk bulunan) model deprem yükü azaltma katsayısı x doğrultusunda 6.73, y doğrultusunda 4.61 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %15, y doğrultusunda %42 daha küçüktür.

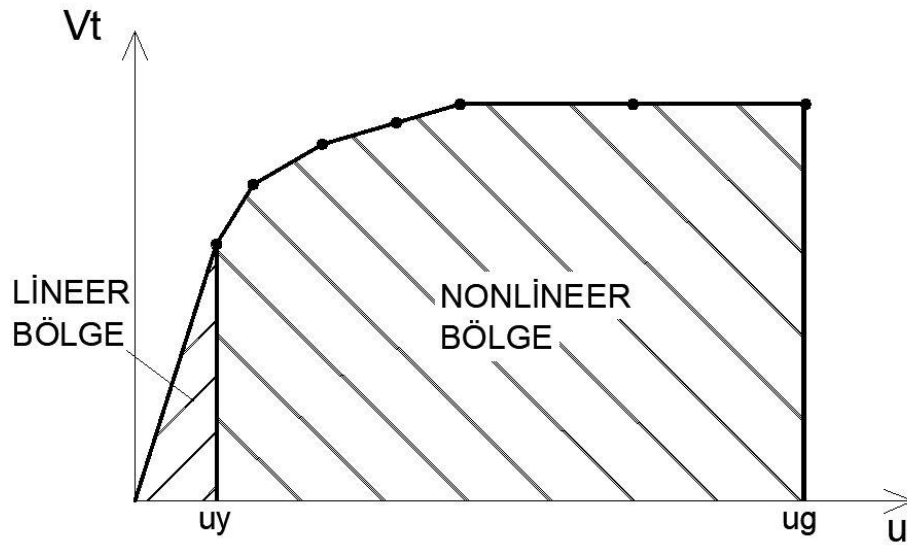
D-2($\perp$ şeklindeki) model deprem yükü azaltma katsayısı x doğrultusunda 5.47, y doğrultusunda 7.81 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %31, y doğrultusunda %2 daha küçüktür.

D-3(+ şeklindeki) model x doğrultusunda deprem yükü azaltma katsayısı 7.11, y doğrultusunda 13.05 olarak hesaplanmıştır. Deprem yükü azaltma katsayısı referans değere göre x doğrultusunda %11 azalmış, y doğrultusunda %63 daha büyüktür.

Deprem yükü azaltma katsayısı TBDY 2018’de Tablo 4.1.’de yapı sistemine bakılarak uygun değer alınır. Bu çalışmadaki yapılar süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçevelerden oluşmaktadır ve TBDY 2018’e göre deprem yükü azaltma katsayısı 8 alınması önerilir. İtme analizi ile yapılarda alınan deprem yükü azaltma katsayısının gerçekte olandan farklı olabildiği görülmüştür. Yapıların hesabında itme analizi sonucu hesaplanan gerçek deprem yükü azaltma katsayılarının alınması önerilir.

5.6. Yapıların Enerji Tüketim Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Kapasite diyagramı yapıya verilen itme analizinde yapıda oluşan taban kesme kuvveti yer değiştirme değişimlerini adım adım göstermektedir. Çizilen kapasite eğrisinin altında kalan alan yapının tükettiği enerji miktarını gösterir. Enerji tüketim kapasitesi(ETK), yapıda ilk mafsallardan sonra tüketilen enerjinin başlangıçtan ilk mafsallara kadar tüketilen enerjiye oranıdır. Kapasite eğrisindeki lineer ve nonlineer bölgeler Şekil 5.7.’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Elastik ötesi güvenlik katsayısı

Referans model ETK katsayısı x doğrultusunda 5,26, y doğrultusunda 5.79 olarak hesaplanmıştır.

A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) model ETK katsayısı x doğrultusunda 4.47, y doğrultusunda 5.54 olarak hesaplanmıştır.

A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) model ETK katsayısı x doğrultusunda 3.72, y doğrultusunda 15.67 olarak hesaplanmıştır.

A-3(kolon sayısının y doğrultusunda arttığı, x doğrultusunda azaldığı model) model ETK katsayısı x doğrultusunda 3.79, y doğrultusunda 8.33 olarak hesaplanmıştır.

D-1(ortada boşluk bulunan) model ETK katsayısı x doğrultusunda 3.86, y doğrultusunda 10.72 olarak hesaplanmıştır.

D-2($\perp$ şeklindeki) model ETK katsayısı x doğrultusunda 2.72, y doğrultusunda 3.94 olarak hesaplanmıştır.

D-3($+$ şeklindeki) model ETK katsayısı x doğrultusunda 4.53, y doğrultusunda 5.87 olarak hesaplanmıştır.

5.7. Değerlendirmeler

Çalışma kapsamında tasarlanan yapılarda A-1(kolonların köşelerde sıklaştığı model) ve A-2(kolonların yapının orta kısmında sıklaştığı model) modellerde her iki doğrultuda da referans model ile aynı kolon sayısına sahip olmasına rağmen yapıların karşıladığı taban kesme kuvveti yaklaşık %15 oranında daha fazladır. Bununla birlikte rijitlikleri de %40 ile %70 arasında artmıştır. Artan rijitliklerle birlikte sünekliklerinde de %20 ile %80 oranlarında artış gözlenmiştir. A-3 modelde kolon açıklığının artması sonucu rijitlik ve yapıya gelen taban kesme kuvvetinin yaklaşık %15 oranında azaldığı görülmüştür.

Kolonların yapının dış çerçevesinde birbirine yaklaşması sonucunda yapının karşıladığı taban kesme kuvveti, rijitliği ve sünekliğinde referans modele göre %40 artış görülmüştür.

Açıklığın azaltılarak kolonların birbirine yaklaştığı yapılarda kolon – perde arası davranış gösterdiği görülmüştür. Mimarı veya farklı sebeplerden ötürü perde kullanılamayan yapılarda bu şekilde tasarım yapılması önerilir.

Düzensizlik durumlarının olduğu D-1(ortada boşluk bulunan), D-2($\perp$ şeklindeki) ve D-3($+$ şeklindeki) modellerde yapıya gelen taban kesme kuvvetinin %10 ile %30 oranlarında azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte yapıların rijitliklerinde de %13 ile %28 oranlarında azalma görülmüştür.

Düzensiz yapıların dayanımlarında görülmeden azalmadan dolayı bu tip yapılardan kaçınılmalı, dilatasyon yardımı ile yapı düzenli hale getirilerek tasarım yapılması önerilir.

İtme analizi ile elde edilen kapasite eğrisi kullanılarak yapıların deprem yükü azaltma katsayıları hesaplanmış ve yönetmeliğin önerdiği değerden farklı olduğu görülmüştür. Yapılar tasarlanırken analiz sonucu elde edilen deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak tekrar analiz yapılabilir. TBDY 2018'e göre taşıyıcı sistem davranış

katsayısı süneklik düzeyi yüksek çerçeveli taşıyıcı sistemlerde 8 den büyük alınamayacağından bu yapılarda ekstra güvenlik sağlayacağı görülmüştür.

Lineer olmayan yaklaşımla yapılan itme analizi ile yapıda oluşan hasar mekanizması görülebilmektedir. Bununla birlikte yapının tükettiği enerji miktarı da adım adım hesaplanabilir. Bu şekilde yapının lineer kısımda ve lineer olmayan kısımlarında istenildiği kadar enerji tüketmesi müdahale edilerek istenildiği şekilde yapı davranışı gerçekleşmiş olur. Enerji tüketim kapasitesi yapının sünekliği hakkında bilgi vermektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Moghadam A.S. ve Tso W.K. (1996). Damage assessment of eccentric multistorey buildings using 3-D pushover analysis. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, sayfa No.997.
- [2] Moghadam A.S. ve Tso W.K. (2000). 3-D Pushover analysis for damage assessment of buildings. Japanese Society for Engineering Education, Vol.2, No.3, 23-31.
- [3] Hasan R., Xu L., Grierson D. E. (2002). Push-over Analysis for Performance-Based Seismic Design, Computers and Structures.
- [4] Penelis Gr.G. ve Kappos A.J., (2002). 3D Pushover analysis: The issue of torsion. 12th European Conference on Earthquake Engineering, Paper Reference 015.
- [5] Hasan R., Xu L., Grierson D. E. (2002). Push-over Analysis for Performance-Based Seismic Design, Computers and Structures, 2483-2493.
- [6] Korkmaz K.A. ve Düzgün M. (2006). Statik artımsal itme analizinde kullanılan yük dağılımlarının değerlendirilmesi. İMO Teknik Dergi, 3873 -3878, Yazı 255.
- [7] Başarı A. (2007). Döşeme düzensizliklerinin taşıyıcı sistem davranışına etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [8] Bozdağ Ö. ve Düzgün M. (2010). Mevcut Prefabrike Bir Binanın Deprem Performansının Artımsal İtme Analizi Yöntemleri İle Belirlenmesi. Beton Prefabrike, 93, 5-13.
- [9] İlkhun M. ve Kasap H. (2017). Betonarme yapılarda çerçeve süreksizliklerinin yapı davranışlarına etkisinin incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 21(5), (842-850), 2017.
- [10] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara Afet İşleri Müdürlüğü.
- [11] Kırçıl M. Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları YTÜ.
- [12] Çağlar N. Yapıların Doğrusal Olmayan Analizi Ders Notları SAÜ.

- [13] T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar, Ankara: Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- [14] Krawinkler, Seneviratna, “Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation,” Journal of Engineering Structures, 1998.
- [15] FEMA and NEHRP, “Pre-standard and Commentary 144 on the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA-356),” American Society of Civil Engineers (ASCE): Reston VA, 2000.) (ATC, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (ATC-40), Applied Technology Council: Redwood City, CA, 1997.
- [16] Nzapfakumunsı Alexis, T Tipi Plan Düzensizliği Olan Betonarme yapıların Doğrusal Olmayan Yöntemle Performansının Değerlendirmesi, Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [17] Düzgün M. ve Bozdağ Ö. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Belirlenmesi İMO Manisa Şubesi Seminer Notları 09.05.2013.
- [18] Polat H. Microsoft Office Excel programı ‘bilin’ eklentisi.
- [19] Aydınoglu M.N, Celep Z., Özer E. ve Sucuoğlu H. 2012 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar ve Örnekler Kitabı, 30, 2012.

EKLER

EK 1: Türkiye Deprem Tehlike Haritası Sonuçları



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	SELMAN VAROL TEZ	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	40.832337°	
Boylam	31.1566°	

Çıktılar

$S_s = 1.357$	$S_1 = 0.368$	$S_{DS} = 1.357$	$S_{D1} = 0.711$
$PGA = 0.557$	$PGV = 36.032$		

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

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

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

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

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

ÖZGEÇMİŞ

Selman VAROL, 26.10.1989 tarihinde Düzce’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Düzce’de tamamladı. 2007 yılında Düzce Arsal Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne kayıt oldu. İlgili bölümden 2012 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı. 2015 yılında inşaat proje ve danışmanlık hizmetleri veren Varol Yapı & Mühendislik Şirketi’ni kurdu. Halen kurmuş olduğu şirkette kurucu olarak çalışmalarına devam etmektedir.