

**PREFABRİKE ÇELİK UZAY KAFES  
ÇATI SİSTEMLİ  
BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARIN  
SİSMİK PERFORMANSI**

**Züleyha ÖZGÜR**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA 2005**

**T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PREFABRİKE ÇELİK UZAY KAFES  
ÇATI SİSTEMLİ  
BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARIN  
SİSMİK PERFORMANSI**

**Züleyha ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ISPARTA 2005**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak Kabul Edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Zeki AY (Danışman)

Üye : Prof. Dr. Mümin FİLİZ

Üye : Yrd. Doç Dr. Kemal T. YÜCEL

ONAY

Bu tez . . / . . / 2001 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu' nca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

. . / . . / 2005

**S.DÜ. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ**

Adı ve Soyadı : Prof. Dr. Çiğdem SAVAŞKAN

İmza :

## İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER .....	i
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR .....	iv
SİMGELER DİZİNİ .....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Konunun Tanımı .....	1
1.2. Amaç ve Kapsam .....	4
1.3.Yöntem .....	5
2. KAYNAK BİLGİSİ .....	6
2.1. Çelik Uzay Sistemlerle İlgili Çalışmalar .....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	11
3.1. Materyal .....	11
3.1.1. Çelik Uzay Kafes Sistemler .....	11
3.1.1.1. Prefabrike Çelik Uzay Kafes Uygulamaları .....	14
3.1.1.2. Prefabrike Çelik Uzay Kafes Düğüm Sistemleri .....	16
3.1.1.3. Hatalı Uygulama Örnekleri .....	18
3.1.1.4. Göçen Yapı Örnekleri .....	19
3.1.2. Modeller .....	21
3.1.2.1. Temel Modeller .....	21
3.1.2.2 Alt Modeller .....	22
3.2. Yöntem .....	25
3.2.1. Deprem .....	25
3.2.2. Deprem Etkisi Maruz Ç.S.D. Sistemler İçin Hareket Denklemi .....	26
3.2.3. Deprem Hesap Yöntemleri .....	28
3.2.3.1. Zaman Tanım Alanında Çözüm (Time History Analiz) .....	30
3.2.3.2. Modal Yöntemler .....	30
3.2.3.3. Direkt İntegrasyon Yöntemleri .....	32
3.2.3.4. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi .....	34
3.2.3.4. Deprem Hesap Yöntemlerinin Değerlendirilmesi .....	34
3.2.5. Performansa Dayalı Sismik Tasarım .....	36
3.2.5.1. Yapıların Performansa Dayalı Sismik Tasarımı .....	38
3.2.5.2. Performansa Dayalı Sismik Tasarım Yöntemleri .....	40
3.2.5.3. Pushover Analiz .....	43
3.2.5.4. Kapasite Spektrum Yöntemi .....	44
4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR .....	56
4.1. Araştırma .....	56
4.2. Analizi Yapılan Modellerin Kapasite-Spektrum Eğrileri .....	66
4.2.1. Analizi Yapılan Modellerin Farklı Deprem Bölgeleri ve Yerel Zemin Sınıfları İçin Kapasite Spektrum Eğrileri .....	66
4.2.2. Analizi Yapılan Modellerin Mafsallaşma Durumları .....	113
5. SONUÇLAR .....	122
6. KAYNAKLAR .....	124

## ÖZET

### PREFABRİKE ÇELİK UZAY KAFES ÇATI SİSTEMLİ BÜYÜK AÇIKLIKLI YAPILARIN SİSMİK PERFORMANSI

Mimaride, mümkün olduğunca yüksek, kolonsuz ve geniş açıklıklı alanlar veya mekanlar inşaa etmek ve bu alanları örtmek kuşkusuz tüm çağların en önemli arayışı olmuştur. Günümüzde, bu arayışın en başarılı örnekleri, uzay kafes sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Uzay kafes inşaatında, ekonomik, hızlı, estetik ve güvenli çözümler ise prefabrike çelik uzay sistemlerle mümkün olmaktadır. Büyük açıklıkların geçilmesinde klasik çelik çatı konstrüksiyonları vb. sistemler günümüzde yerini prefabrike çelik uzay sistemlere bırakmıştır. Prefabrike çelik uzay kafes sistemler, stabilitesi oldukça yüksek yapılardır. Çeşitli geometrilerdeki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek kapalı mekan olarak kullanılmasında oldukça ekonomik çözümler sağlarlar. Çelik uzay sistemler, sanayi tesisleri, fabrikalar, uçak-helikopter hangarları, yüzme havuzları, spor salonları, depolar, tribünler, tiyatro-opera binaları, sinemalar, benzin istasyonları, sergi stantları, mağaza, dersane, okul yapıları, laboratuvarlar ve fuar reyonları vb. sahalarda kullanılan ve aynı zamanda son derece ekonomik yapı sistemleridir.

Bu çalışmada, sismic inceleme için farklı geometriye üç esas model kullanılmıştır. Onların her biri altı alt modele sahiptir. Toplamda onsekiz model dikkate alınmıştır. Bu modeller sistem geometrisi bakımından farklıdır. İlk önce her bir model için, Türk Deprem Yönetmeliği(TDY-98) kullanılarak 4 deprem bölgesi ve 4 yerel zemin sınıfı için deprem yükleri hesaplanmıştır. Tüm modeller doğrusal statik itme (pushover) yöntemi kullanılarak analiz edildi.

Çalışmada, sistem geometrisi bakımından birbirinden farklı üç esas model ve değişik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş altı alt model toplamda geometri bakımından birbirinden farklı onsekiz model üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmaya esas alınan modeller öncelikle TDY-1998'e göre, Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak, dört deprem bölgesi (1.,2.,3.ve 4.), dört farklı yerel zemin sınıfı(Z1, Z2, Z3 veZ4) için elastik ötesi davranışlarının incelenmesi amacı ile , Doğrusal Olmayan Statik İtme (pushover) yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır. Bu analizde, her bir model için, taban kesme kuvveti hesabında yapının serbest titreşim analizi yapılarak hesaplanan birinci mod doğal titreşim periyodu kullanılmıştır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı(R)=5 alınarak Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı( $R_a(T)$ ) hesaplanmıştır. Deprem yükleri, kolon tepe noktalarına uygulanmıştır.

Bu çalışmada, uzay kafes sistemlerin güçlendirilmesi amacıyla değişik biçimlerde kullanılan, çaprazlar elemanların yapı sismik performansı üzerine etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada ayrıca, tüm modellerin, çökme mekanizmaları ve periyotları da incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Prefabrike Çelik Uzay Kafes Sistemler, Pushover Analiz, Çelik Yapılar, Sismik Performans, Deprem.

## ABSTRACT

### SEISMIC PERFORMANCE OF LARGE SPAN STRUCTURES WITH PREFABRICATED STEEL SPACE TRUSS ROOF SYSTEM

The most significant expectation for ages has been building structures which are as high as possible, without column and wide-spanned in architecture. Also it is vital to cover these structures are space truss systems. Similarly; economic, rapid, safe and aesthetical solutions in space systems are possible by prefabricated steel space system. In wide-span structures, prefabricated steel space truss systems are preferred instead of classical steel roof constructions, etc. Prefabricated steel space truss systems are highly stabilized structures. They provide economic solutions in using the wide gaps in diverse geometries passing without columns as indoors. Steel space systems are used in places such as industrial areas, factories, air-plane and helicopter hangars, swimming-pools, sport-centers, storerooms, theater-opera saloons, cinemas, stands, shop, school buildings, laboratories and fair-departments and in addition, they are highly economic structure systems.

Until recently, procedures for seismic evaluation of buildings were concerned with life-safety objectives and did not address building performance or damage control. Current building codes, however, permit linear elastic analysis to predict the structural response and estimate seismic demands. Since the actual response of most structures under the design earthquake loading results in inelastic behavior, linear elastic procedures are clearly inaccurate and inadequate. Therefore, in recent years, Performance Based Seismic Design has gained widespread support from the structural engineering community as a better methodology for use in the design of new structures or retrofit of existing buildings. By this methodology, performance objectives are established and structural systems are designed and analyzed to ensure the objectives are met. Unfortunately, the design process usually involves nonlinear analyses, which can be tedious and time consuming. However, if the design team can work together to come up with a well defined but simple structural system, which is easy to construct, implementing this design approach can be practical and economical as well.

In this study, effect on seismic performance of steel space structures of braced members which have been used for strengthened, collapse mechanisms and periods were investigated. Three essential models were used for seismic investigation. Each of them has six sub models. The number of geometrically different models is eighteen in total. Earthquake loads were calculated for four earthquake zones and four soil site factors by using Turkish Earthquake Code (TDY-98). Periods for earthquake loads were found from free vibration analysis of structures. Nonlinear structural analysis of models was realized by using pushover method. Capacity spectrum method was used in seismic performance analysis.

**Key words:** Prefabricated Steel Space Truss System, , Pushover Analysis, Steel Structures, Seismic Performance, Earthquake

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı bünyesinde gerçekleştirilen bu çalışmada, Prefabrike Çelik Uzay Kafes Çatı Sistemine Sahip Büyük Açıklıklı Yapıların Sismik Performansı incelenmiştir. Bu tip yapıların özellikle son yıllarda çok değişik amaçla yaygın olarak kullanılmaya başlandığı göz önüne alınacak olursa elde edilen sonuçların bu tip yapıların tasarımı ile uğraşan mühendisler için büyük önem taşıdığı muhakkaktır.

Bu Yüksek Lisans çalışması süresince, gösterdikleri yakın ilgi ve yardımlardan dolayı danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Zeki AY'a, çalışmalarında bana yardımcı olan İnş. Yük. Müh. Gülhan DURMUŞ, İnşaat Müh. İ.Devran ÇELİK ve Selçuk YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu güne kadar benden maddi ve manevi desteğini hiç eksik etmeyen, karşılaştığım güçlükleri aşmamda bana hep yardımcı olan aileme en içten duygularıyla teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

## SİMGELER (KISALTMALAR) DİZİNİ

$a_{pi}$	Tanımlanan noktanın spektral ivme koordinatı
$C_a, C_v$	Sismik katsayılar
$C_0, C_1, C_2, C_3$	Spektral deplasman katsayıları
D	Deplasman
$d_{pi}$	Tanımlanan noktanın spektral deplasman koordinatı
F	Kuvvet.
F(t)	Uygulanan Dış Yük Vektörü.
F(t) <sub>D</sub>	Viskoz sönümlenme veya enerji dağılımından kuvvet vektörleri.
F(t) <sub>I</sub>	Düğüm kütlelerine etkiyen atalet kuvvetleri.
F(t) <sub>s</sub>	Yapının iç kuvvet vektörü.
g	Yerçekimi ivmesi
K	Yapı sisteminin rijitlik matrisi, Yapı tipi katsayısı
$K_e$	Efektif yanal rijitlik
$K_i$	Elastik yanal rijitlik
$K_s$	İleri elastik rijitlik
M	Kütle matrisi.
$S_a$	Spektral ivme
$S_d$	Spektral deplasman
$S_{RA}, S_{RV}$	Spektral indirgeme faktörleri
T	Periyot
$T_e$	Efektif temel periyot
$T_{eff}$	Efektif periyot
$T_i$	Elastik temel periyot
$U(t)_a$	Düğüm deplasmanı.
V	Hız
$\delta_t$	Hedef deplasman
$\dot{U}(t)_a$	Hız
$\ddot{U}(t)_a$	İvme
$\ddot{U}(t)_g$	Yer ivmesi.
$\beta_0$	Histerik sönüm
$\beta_{eff}$	Efektif sönüm
TSD	Tek serbestlik dereceli sistem
ÇSD	Çok serbestlik dereceli sistem
TDY	Türk deprem yönetmeliği
FEMA	Federal Emergency Management Agency
ADRS	Acceleration displacement response spectrum



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Tek eğimli çelik uzay çatı sistemleri, salon yapısı .....	11
Şekil 3.2.	Tonoz çelik uzay çatı sistemleri, salon yapısı.....	12
Şekil 3.3.	Kırık çelik uzay çatı sistemleri, salon yapısı .....	12
Şekil 3.4.	Ülkemizde gerçekleştirilen çelik uzay sistem örneklerinden bazıları.	14
Şekil 3.5.	Boş küre düğüm sistemleri .....	16
Şekil 3.6.	Boş küre düğüm sistemi elemanları.....	17
Şekil 3.7.	Döküm olarak yapılan bir düğüm sistemi.....	17
Şekil 3.8.	Dolu küre elemanı.....	17
Şekil 3.9.	Mesnet Elemanları .....	17
Şekil 3.10.	Bulonlar .....	18
Şekil 3.11.	Boru Elemanlar .....	18
Şekil 3.12.	Hatalı uygulama örnekleri.....	18
Şekil 3.13.	Dolu küre düğüm bir uzay kafes uygulama .....	20
Şekil 3.14.	Döküm düğüm sistemli bir uzay kafes sistem .....	20
Şekil 3.15.	Dolu küre sistemli bir uzay sistem örneği.....	20
Şekil 3.16.	Dolu küre sistemli bir uzay sistem örneği.....	21
Şekil 3.17.	Dolu küre sistemli bir uzay sistem örneği.....	21
Şekil 3.18.	M1 Modeli (Tonoz Çelik Uzay Çatı Sistemli Salon Yapısı).....	21
Şekil 3.19.	M2 Modeli (Düz Çelik Uzay Çatı Sistemli Salon Yapısı) .....	22
Şekil 3.20.	M3 Modeli (Kırıklı Çelik Uzay Çatı Sistemli Salon Yapısı ).....	22
Şekil 3.21.	MZ1-C Modeli .....	23
Şekil 3.22.	MZ1-DB Modeli.....	23
Şekil 3.23.	MZ1-TDB Modeli.....	23
Şekil 3.24.	MZ1-TVB Modeli.....	24
Şekil 3.25.	MZ1-VB Modeli.....	24
Şekil 3.26.	MZ1-XB Modeli.....	24
Şekil 3.29.	Eleman için tipik yük deformasyon eğrisi .....	42
Şekil 3.30.	Pushover eğrisi.....	45
Şekil 3.31.	Pushover Eğrisinin Kapasite Eğrisine Çevrilmesi.....	47
Şekil 3.32.	Elastik Dizayn Spektrumunun ADRS Formata Çevrilmesi.....	47
Şekil 3.33.	Geleneksel ve ADRS Formatta Davranış Spektrumu.....	48
Şekil 3.34.	%5 sönümlü elastik davranış spektrum eğrisinin indirgenmesi.....	48
Şekil 3.35.	Bilineer kapasite eğrisi varsayımı.....	50
Şekil 3.36.	$E_D$ ve $E_{SO}$ açısından $\beta_0$ 'ın hesabı .....	51
Şekil 3.37.	Performans noktasının belirlenmesi.....	52
Şekil 3.38.	Bilineer şekle indirgenmiş kapasite eğrisi .....	53
Şekil 4.1.	Tonoz Yapılarda 1. Deprem Bölge Ve Z4 Zemin Sınıfı İçin Pushover Eğrileri .....	64
Şekil 4.2.	Tonoz Yapılarda 1. Deprem Bölge ve Z4 Zemin Sınıfı İçin Pushover Eğrileri .....	64
Şekil 4.3.	Kırık Çatılı Yapılarda 1. Deprem Bölge ve Z4 Zemin Sınıfı İçin Pushover Eğrileri.....	65
Şekil 4.4.	Farklı Çatı Tiplerine Göre 1. Deprem Bölge ve Z4 Zemin Sınıfı için Pushover Eğrileri.....	65
Şekil 4.5.	MZ1-D1-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	66
Şekil 4.6.	MZ1-D1-D Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	66

Şekil 4.7. MZ1-D1-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	67
Şekil 4.8. MZ1-D1-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	67
Şekil 4.9. MZ1-D1-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	67
Şekil 4.10. MZ1-D1-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	68
Şekil 4.11. MZ1-D2-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	68
Şekil 4.12. MZ1-D2-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	68
Şekil 4.13. MZ1-D2-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	69
Şekil 4.14. MZ1-D2-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	69
Şekil 4.15. MZ1-D2-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	69
Şekil 4.16. MZ1-D2-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	70
Şekil 4.17. MZ1-D3-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	70
Şekil 4.18. MZ1-D3-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	70
Şekil 4.19. MZ1-D3-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	71
Şekil 4.20. MZ1-D3-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	71
Şekil 4.21. MZ1-D3-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	71
Şekil 4.22. MZ1-D3-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	72
Şekil 4.23. MZ2-D1-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	72
Şekil 4.24. MZ2-D1-D Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	72
Şekil 4.25. MZ2-D1-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	73
Şekil 4.26. MZ2-D1-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	73
Şekil 4.27. MZ2-D1-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	73
Şekil 4.28. MZ2-D1-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	74
Şekil 4.29. MZ2-D2-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	74
Şekil 4.30. MZ2-D2-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	74
Şekil 4.31. MZ2-D2-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	75
Şekil 4.32. MZ2-D2-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	75
Şekil 4.33. MZ2-D2-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	75
Şekil 4.34. MZ2-D2-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	76
Şekil 4.35. MZ2-D3-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	76
Şekil 4.36. MZ2-D3-D Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	76
Şekil 4.37. MZ2-D3-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	77
Şekil 4.38. MZ2-D3-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	77
Şekil 4.39. MZ2-D3-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	77
Şekil 4.40. MZ2-D3-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	78
Şekil 4.41. MZ2-D4-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	78
Şekil 4.42. MZ2-D4-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	78
Şekil 4.43. MZ2-D4-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	79
Şekil 4.44. MZ2-D4-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	79
Şekil 4.45. MZ2-D4-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	79
Şekil 4.46. MZ2-D4-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	80
Şekil 4.47. MZ3-D1-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	80
Şekil 4.48. MZ3-D1-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	80
Şekil 4.49. MZ3-D1-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	81
Şekil 4.50. MZ3-D1-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	81
Şekil 4.51. MZ3-D1-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	81
Şekil 4.52. MZ3-D1-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	82
Şekil 4.53. MZ3-D2-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	82
Şekil 4.54. MZ3-D2-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	82

Şekil 4.55.	MZ3-D2-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	83
Şekil 4.56.	MZ3-D2-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	83
Şekil 4.57.	MZ3-D2-V Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	83
Şekil 4.58.	MZ3-D2-X Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	84
Şekil 4.59.	MZ3-D3-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	84
Şekil 4.60.	MZ3-D3-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	84
Şekil 4.61.	MZ3-D3-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	85
Şekil 4.62.	MZ3-D3-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	85
Şekil 4.63.	MZ3-D3-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	85
Şekil 4.64.	MZ3-D3-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	86
Şekil 4.65.	MZ3-D4-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	86
Şekil 4.66.	MZ3-D4-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	86
Şekil 4.67.	MZ3-D4-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	87
Şekil 4.68.	MZ3-D4-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	87
Şekil 4.69.	MZ3-D4-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	87
Şekil 4.70.	MZ3-D4-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	88
Şekil 4.71.	MZ1-C-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	88
Şekil 4.72.	MZ1-DB-D1- Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	88
Şekil 4.72.	MZ1-TDB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	89
Şekil 4.73.	MZ1-TVB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	89
Şekil 4.74.	MZ1-VB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	89
Şekil 4.75.	MZ1-XB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	90
Şekil 4.76.	MZ1-C-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	90
Şekil 4.77.	MZ1-DB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	90
Şekil 4.78.	MZ1-TDB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	91
Şekil 4.79.	MZ1-TVB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	91
Şekil 4.80.	MZ1-VB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	91
Şekil 4.81.	MZ1-XB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	92
Şekil 4.82.	MZ1-C-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	92
Şekil 4.83.	MZ1-DB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	92
Şekil 4.84.	MZ1-TDB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	93
Şekil 4.85.	MZ1-TVB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	93
Şekil 4.86.	MZ1-VB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	93
Şekil 4.87.	MZ1-XB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	94
Şekil 4.88.	MZ1-C-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	94
Şekil 4.89.	MZ1-DB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	94
Şekil 4.90.	MZ1-TDB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	95
Şekil 4.91.	MZ1-TVB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	95
Şekil 4.92.	MZ1-VB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	95
Şekil 4.92.	MZ1-XB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	96
Şekil 4.93.	MZ2-C-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	96
Şekil 4.94.	MZ2-DB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	96
Şekil 4.95.	MZ2-TDB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	97
Şekil 4.96.	MZ2-TVB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	97
Şekil 4.97.	MZ2-VB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	97
Şekil 4.98.	MZ2-XB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	98
Şekil 4.99.	MZ2-C-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	98
Şekil 4.100.	MZ2-DB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi.....	98

Şekil 4.101. MZ2-TDB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	99
Şekil 4.102. MZ2-TVB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	99
Şekil 4.103. MZ2-VB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	99
Şekil 4.104. MZ2-XB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	100
Şekil 4.105. MZ2-C-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	100
Şekil 4.106. MZ2-DB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	100
Şekil 4.107. MZ2-TDB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	101
Şekil 4.108. MZ2-TVB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	101
Şekil 4.109. MZ2-VB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	101
Şekil 4.110. MZ2-XB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	102
Şekil 4.111. MZ2-C-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	102
Şekil 4.112. MZ2-DB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	102
Şekil 4.113. MZ2-TDB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	103
Şekil 4.114. MZ2-TVB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	103
Şekil 4.115. MZ2-VB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	103
Şekil 4.116. MZ2-XB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	104
Şekil 4.117. MZ3-C-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	104
Şekil 4.118. MZ3-DB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	104
Şekil 4.119. MZ3-TDB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	105
Şekil 4.120. MZ3-TVB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	105
Şekil 4.121. MZ3-VB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	105
Şekil 4.122. MZ3-XB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	106
Şekil 4.123. MZ3-C-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	106
Şekil 4.124. MZ3-DB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	106
Şekil 4.125. MZ3-TDB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	107
Şekil 4.126. MZ3-TVB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	107
Şekil 4.127. MZ3-VB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	107
Şekil 4.128. MZ3-XB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	108
Şekil 4.129. MZ3-C-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	108
Şekil 4.130. MZ3-DB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	108
Şekil 4.131. MZ3-TDB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	109
Şekil 4.131. MZ3-TVB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	109
Şekil 4.132. MZ3-VB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	109
Şekil 4.133. MZ3-XB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	110
Şekil 4.134. MZ3-C-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	110
Şekil 4.135. MZ3-DB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	110
Şekil 4.136. MZ3-TDB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	111
Şekil 4.137. MZ3-TVB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	111
Şekil 4.138. MZ3-VB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	111
Şekil 4.139. MZ3-XB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi .....	112
Şekil 4.140. MZ1 Grubu Yapıların Mafsallaşma Durumları .....	115
Şekil 4.141. MZ2 Grubu Yapıların Mafsallaşma Durumları .....	118
Şekil 4.142. MZ3 Grubu Yapıların Mafsallaşma Durumları .....	121

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Alt Modellerin Tanımı .....	22
Çizelge 3.2 Yapısal Davranış Tipleri .....	49
Çizelge 3.3 Spektral İndirgeme Faktörleri .....	49
Çizelge 3.4 $C_0$ Düzeltme Katsayısı Değerleri .....	53
Çizelge 3.5 $C_2$ düzeltme katsayısı değerleri .....	54
Çizelge 4.1. Analizi Yapılan Modellerin Periyotları .....	56
Çizelge 4.2. Türk Deprem Yönetmeliği (1998) ve UBC 97 için Deprem Bölgelerine Göre Katsayılar .....	57
Çizelge 4.3 TDY (1998) etkin yer ivme katsayılarının UBC97'ye göre karşılığı ..	57
Çizelge 4.4. MZ1 Grubu Modelleri Eşdeğer Deprem Yükleri .....	58
Çizelge 4.5. MZ2 Grubu Modelleri Eşdeğer Deprem Yükleri .....	59
Çizelge 4.6. MZ3 Grubu Modelleri Eşdeğer Deprem Yükleri .....	60
Çizelge 4.7. MZ1 Modelinde Z1 Zemin Sınıfına ve Deprem Bölgelerine Göre Performans Noktaları .....	61
Çizelge 4.6. MZ2 Modelinde Z1 Zemin Sınıfına ve Deprem Bölgelerine Göre Performans Noktaları .....	62
Çizelge 4.7. MZ3 Modelinde Z1 Zemin Sınıfına ve Deprem Bölgelerine Göre Performans Noktaları .....	63

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Konunun Tanımı

Ülkemizde, genellikle endüstri yapıları, büyük açıklıklı çatı sistemleri veya prestij yapıları olarak tercih edilen çelik yapılar, özellikle 1999 Marmara (M:7,4), ve Düzce (M:7,4) depremlerinden sonra az katlı özel konut yapılarında veya çok katlı alışveriş merkezleri, eğitim yapıları veya yüksek katlı konut tipi yapılarda tercih edilmeye başlandı. Diğer taraftan, mimaride, mümkün olduğunca yüksek, kolonsuz ve geniş açıklıklı alanlar veya mekanlar inşa etmek ve bu alanları örtmek arayışının en başarılı örnekleri, çelik uzay sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Çelik yapı sistemleri içerisinde çelik uzay sistemler, sanayi tesisleri, fabrikalar, uçak-helikopter hangarları, yüzme havuzları, spor salonları, depolar, tribünler, tiyatro-opera binaları, sinemalar, benzin istasyonları, sergi standları, mağaza, dersane, okul yapıları, laboratuvarlar ve fuar reyonları vb. sahalarda kullanılan ve aynı zamanda son derece ekonomik yapı sistemleridir. Çelik uzay sistem inşaatında, ekonomik, hızlı, estetik ve güvenli çözümler ise prefabrike çelik uzay sistemlerle mümkün olmaktadır. Böylece, prefabrike çelik uzay sistemlerle, çağdaş teknoloji, mimarinin hizmetine sunulmaktadır. Büyük açıklıkların geçilmesinde klasik çelik çatı konstrüksiyonları vb. sistemler günümüzde yerini prefabrike çelik uzay sistemlere bırakmıştır.

Malzeme yönünden yüksek duktilite özelliğine sahip çelik yapıların, sistem duktiliteleri açısından aynı yüksek özelliğe sahip olmadıklarını 1994 Northridge (M:6.7), 1995 Kobe (M:7.2), 2004 Güney Asya (M:8.9) ve ülkemizde meydana gelen 1999 Marmara (M:7.4) ve Düzce (M:7.2) depremi gibi büyük depremler sonucunda hasar görmüş birçok çelik yapının incelenmesi ile ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda, çelik yapıların sadece malzeme özelliklerine bakarak, depremde, sanıldığı kadar güvenli olmadıkları görülmüştür. Bu durum, konu ile ilgili bilim adamlarını çelik yapı tasarımı ile ilgili olarak teorik ve deneysel çok sayıda araştırma yapmaya yönlendirmiştir.

Yapıda deprem anında oluşacak plastik deformasyonların yeri, şekli ve oluşum sırasını düzenleyecek geometrik tasarım ilkeleri depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında büyük önem taşır. Bu ilkelere uymadan yapılacak güçlendirme çalışmaları yapıya fayda yerine zarar vermektedir. Pek çok tasarımcı tarafından yeterince kavranılmayan bu tasarım ilkelerinin önemi, yakın zamanda meydana gelen büyük depremlerde bir kez daha açık bir şekilde görüldü. Bunun sonucunda, çelik yapılar ile ilgili kabul gören tasarım anlayışları sorgulanmaya başlandı.

Uygulamada, çelik yapılarda çok değişik stabilite (kararlılık) bağlantı elemanları ve şekilleri ile yapılar kararlı hale getirilmektedir. Yapı geometrisi, gelen etkiler v.b. diğer yapı özelliklerine bağlı olarak çok farklı kararlılık bağları kullanılmaktadır. Kullanılan bu kararlılık bağlarının şekli, kesiti, birleşim şekli, birleşim yeri gibi özellikleri, yapının sismik performansını doğrudan etkilemektedir. Çünkü bu kararlılık bağları yapıda oluşacak plastik mafsalların yeri ve özelliklerini dolayısıyla oluşacak plastik deformasyonları etkilemektedir. Bu durum doğal olarak yapı duktilitesini, sistemin doğal periyodunu sonuçta da yapısal davranış katsayısını etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda, kullanılan her kararlılık elemanının yapının sismik performansını arttırmadığı, hatta başlangıçta bu kararlılık bağlantılarının dikkate alındığı boyutlandırmanın, yapının sismik performansını olumsuz etkilediğini ifade edilmektedir. Özellikle, kuvvetli yer hareketine maruz bir yapının doğrusal olmayan davranışlarında, kullanılan kararlılık elemanların burkulması ile birlikte yapı performansının ani bir şekilde düştüğü görülmektedir. Bu durumda yapı duktilitesi önemli ölçüde azalmakta ve bunun sonucunda da yapının enerji yutma kapasitesi de oldukça düşük olmaktadır.

Diğer taraftan, son on yılda meydana gelen depremlerde, hasar gören yapıların incelenmesi ile, deprem standartları ve bu standartlardaki sismik tasarım yöntemlerinin yetersiz kaldığı görülmüştür. Depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda yapılan yeni çalışmalar ve son büyük depremler sonrası edinilen tecrübeler neticesinde, yeni yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Gelişen bu yeni bakış açısı ile günümüzde mühendisler, performansa dayalı tasarım yaklaşımını kullanarak, yapının herhangi bir etki altında kendisinden beklenen dayanımı gösterme düzeyini

belirlemeye çalışmaktadırlar. Bu düzey de o yapının o etki karşındaki performansı olarak ifade edilmektedir. Bir yapının sismik etkiler altında sağlaması gereken koşullara bağlı olarak tasarımının yapılması da performansa dayalı sismik tasarım olarak tanımlanmaktadır.

Gerçekte bütün mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas alınır: Kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemin hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmemesi istenir. İkinci performans seviyesinde de taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğinin mevcut olması beklenir.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım yöntemi, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılır. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Bilindiği üzere, deprem yönetmeliklerinde verilen deprem etkisi ve sınır durum ile bir performans seviyesi tanımlanmıştır. Performansa dayalı tasarımda belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Kuvvetli yer hareketine maruz kalan bir yapının deprem performansının değerlendirilmesinde ve deprem isteminin (talep) belirlenmesinde en etkili yol doğrusal elastik olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemidir. Ancak, bu yöntemin güvenilir olabilmesi için bazı parametrelerin çok açık olarak tanımlanması gerekmektedir. Örneğin, bu yöntemde taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki davranışını tanımlayan iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının belirlenmesi ve deprem hesabında kullanılacak ivme kayıtlarını seçilmesi gibi sorunları vardır. Bu nedenlerden dolayı, daha basit ve güvenilir analiz yöntemlerine ihtiyaç duyulmuştur.



Statik itme (pushover) analizi olarak bilinen nonlinear (doğrusal elastik olmayan) statik yöntemin kullanılışı 1970’li yıllara dayanmaktadır. Statik itme (pushover) analizinin amacı, yapının dayanım ve deformasyon (şekil değiştirme) kapasitelerini belirleyerek ilgili performans düzeylerindeki deprem istemleri ile karşılaştırmak suretiyle, yapının performansını değerlendirmektir. Bu yöntemde ikinci mertebeye etkisi, malzemenin elastik ötesi davranışı ve iç kuvvetlerin yeniden dağılımı da dikkate alınmaktadır.

## **1.2. Amaç ve Kapsam**

Çelik yapılarda düktilite ve sismik davranış ile ilgili literatürde genellikle düzlem sistemlerin deneysel ve analitik çalışmalarından elde edilen sonuçlar verilmektedir. Uygulamada ise, düzlem sistem olarak modellenebilecek yapı sistemi çok azdır. Yani yapılar büyük bir oranda üç boyutlu davranış gösterirler. Bu nedenle düzlem sistemlerin incelenmesiyle elde edilen sonuçların tüm sistemler için geçerli olabileceği şeklinde bir yaklaşım doğru değildir. Özellikle yapı davranış katsayısı “R” için böyle bir yaklaşım hiç de doğru değildir. Çünkü kütle ve rijitliklerin sistem içerisinde dağılımına bağlı olarak değişen yapı doğal periyodu, malzeme, kesit tipi ve yine sistem geometrisine bağlı sistem düktilitesinin bir fonksiyonu olan yapı davranış katsayısı “R”, düzlem sistem modeller kullanılarak belirlenmesi doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Bu nedenle çelik yapılarda R katsayısının belirlenmesinde, malzeme, kesit tipi, birleşim şekilleri v.b. düktiliteyi etkileyen tüm faktörlerin göz önüne alınmadığı yaklaşımlar ile ilgili tartışmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada, uzay kafes sistemlerin güçlendirilmesi amacıyla değişik biçimlerde kullanılan, çapraz elemanların yapı sismik performansı üzerine etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Farklı şekillerde güçlendirilerek hazırlanan modeller, SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak statik itme analizleri yapılmış, yapılan güçlendirmelerin sistem davranışına olan etkisi ve ayrıca, tüm modellerin, çökme mekanizmaları ve periyotları da incelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada, sistem geometrisi bakımından birbirinden farklı üç esas model ve değişik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş altı alt model toplamda geometri bakımından birbirinden farklı onsekiz model üzerinde çalışma yapılmıştır. Tüm modellerin, elastik ötesi davranışları doğrusal olmayan statik itme (pushover) yöntemi kullanılarak, dört deprem bölgesi (1.,2.,3.ve 4.), dört farklı yerel zemin sınıfı(Z1, Z2, Z3 veZ4) için incelenmiştir. Taban kesme kuvveti hesabında yapının serbest titreşim analizi yapılarak hesaplanan birinci mod doğal titreşim periyodu kullanılmıştır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı(R)=5 alınarak Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı( $R_a(T)$ ) hesaplanmıştır. Deprem yükleri, kolon tepe noktalarına etkilmiştir.

### **1.3.Yöntem**

Bu çalışmada, son zamanlarda, tasarımcı mühendisler tarafından, yapıların doğrusal olmayan davranışlarının belirlenmesinde oldukça kabul gören prosedürlerden biri olan statik itme (pushover) analizine dayalı Kapasite Spektrum Yöntemi[Freeman, 1998] kullanılmıştır.

Performansa dayalı sismik tasarım yöntemlerden biri olan Kapasite Spektrum Yöntemi kullanılırken, yerel zemin sınıfları ile ilgili katsayılar, Amerikan UBC 1997 (Uniform Building Code) standardından alınmıştır. Performans seviyesi olarak can güvenliği (Life Safety) performans seviyesi esas alınmıştır. Yapıların sismik performans noktaları belirlenirken UBC 97'e göre düzenlenmiş spektrum eğrileri kullanılmıştır. Yapıların inelastik statik itme analizleri, deplasmana bağlı dizayn metodolojisindeki son gelişmeler (ATC-40, FEMA 273-274) dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada, yine son zamanlarda, Kapasite Spektrum Yöntemi ile birlikte yaygın kabul gören deplasmana dayalı değerlendirme ve tasarım yöntemlerinden Deplasman Katsayı Yöntemi ve Sekant Yöntemi gibi diğer performansa dayalı sismik tasarım yöntemleri kullanılmayacaktır. Çalışmada, SAP2000 (Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures) bilgisayar programı kullanılmıştır.

## **2. KAYNAK BİLGİSİ**

Çelik uzay sistemlerle ve performansa dayalı sismik tasarımla ilgili olarak çok sayıda çalışmaya ulaşılmıştır. Bu çalışmalardan doğrudan konuyla ilgili ve önemli olanları aşağıda anlatılmıştır.

### **2.1. Çelik Uzay Sistemlerle İlgili Çalışmalar**

Arda(1985), Prefabrike Çelik Uzay Sistemlerle ilgili Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler ve Aşkar(1985) Çelik Uzay Taşıyıcı Sistemler adlı çalışmalar Türkçe kaynak konusunda önemli bir boşluğu doldurmuşlardır. Çalışmalarda, Çelik Uzay Sistemler ve Prefabrike Çelik Uzay Sistemlerle detaylı bir şekilde tanıtılmışlardır.

Ay(1993), Bu çalışmada, Uzamsal Çelik Uzay Yapıların Serbest Titreşimlerinin ve İmpulsive Yükler Altında Dinamik Davranışlarının incelenmiştir. Ayrıca, Ay(1995), Çelik Uzay Sistemler ders notları da kendi alanında önemli bir derleme niteliğindedir.

Makowski,(1963), Prefabrike Çelik Uzay Sistemlerle, Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler ve Çelik Uzay Taşıyıcı Sistemler ile ilgili özellikle geometrik formlar ve düğüm detayları konusunda Almanca bir kaynaktır. Makowski (1988), Çalışmada, Çelik Uzay Taşıyıcı Sistemlerin tarihi gelişimi anlatılmıştır.

Meek&Loganathan(1988) Geodezik Kubbelerin özellikle geometri yönünden doğrusal olmayan davranışları üzerinde durulmuştur. Yapıların geometrik nonlineer analizinde Riks ve Crisfield tarafından önerilen Arc-Length yöntemi hakkında detaylı bilgi verilmiş ve yapılan deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Pakandam&Ashraf.(1988), Bu çalışmada, Geodezik Kubbelerin geometrik parametrelerin değişimine göre yapı davranışı incelenmiştir.

Makowski (1988), bu çalışmasında, çelik kubbe-ağ kabukların, daha genel anlamda uzamsal çelik uzay yapıların tarihçesini ve günümüze kadar konu ile ilgili gelişmeleri anlatmıştır. Özellikle bu tip yapıların sınıflandırılması ve adlandırılmasının hâlâ önemini koruduğu düşünülürse bu çalışma derli toplu bilgi veren bir yayın olma özelliğindedir.

Meek ve Loganathan (1989), uzamsal çelik uzay yapıların, genelde, çelik uzay yapıların geometrice nonlinear analizi gerçekleştirdikleri bu çalışmalarda Riks ve Crisfield tarafından önerilen ve nonlinear yük sehim eğrisinde katlı kritik noktasını aşmada etkili bir yöntem olan Arc-Lenght yöntemini düzeltilmiş Newton Raphson iterasyon stratejisi ile birlikte kullanmışlar ve konu ile ilgili daha önce yapılan deneysel ve teorik sonuçları karşılaştırmışlardır.

Malla ve Pai (1995), düğüm noktası ve eleman başlangıç hatalarını, kafes tipi bir uzay yapının deterministik ve olasılıklı davranışını belirlemek için çalışmışlardır. Hem deterministik hem de olasılıklı çalışmalardan elde edilen sonuçlar, eleman-sonu bağlantı hataları birleşim frekanslarında özellikle ilk modda önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir.

Blandford (1996), çalışmasında, inelastik malzemeye sahip ve büyük deformasyonları içeren geometri yönünden nonlinear uzay kafes yapıların statik analizini incelemiştir.

Kapasite spektrum yöntemi (Freeman,1998). bu uğraşlar sonucunda nonlinear statik analiz yaklaşım olarak sunulmuş bir yöntemdir. Bu süreç içinde değişik performans dayalı mühendislik yöntemleri incelendi. Bu yöntemler daha sonra daha da geliştirilerek ATC-1982, USACE-1986, ATC 40(1996) gibi yapıların sismik tasarımı ile ilgili yönetmeliklerde detaylı bir şekilde yer buldu. Günümüze kadar özellikle Freeman, Bommer Elnashai, Mahaney , Moehle, Gülkan, Sözen, Shibita, Kunnath, Reinhorn, Chopra ve Goel gibi bilim adamlarının performans dayalı tasarım yöntemlerini geliştirilmesinde çok büyük katkıları olmuştur. ATC40, FEMA273, FEMA306, FEMA307, FEMA 356 gibi yapıların sismik tasarımıyla ilgili yeni yönetmeliklerde yapıların performans dayalı yöntemler detaylı bir şekilde

verilmiştir. Özellikle, çelik yapıların performansa dayalı sismik tasarımı ilgili çalışmalar başta olmak üzere, konu ile ilgili son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Kalay (1999), bu makalesinde performansa dayalı tasarımın ilgili olarak form-fonksiyon ilişkisini inceleyerek, performansa dayalı tasarım metodolojisini geliştirmiştir.

Fajfar (2000), yapıların sismik analizi için basit doğrusal olmayan bir yöntem (N2 metot) sunmuştur. Yöntemde, tek serbestlik dereceli bir sistemin spektrum analizi ile çok serbestlik dereceli bir sistemin pushover analizini birleştirmiştir. Prosedür, sismik davranışın temel özellikleri göz önünde tutarak, görsel yoruma imkan verecek şekilde ivme-deplasman formatında formüle edilmiştir. Bu çalışma, kapasite spektrum yönteminden önemli bir fark göstermiştir. Ayrıca, etki özellikleri ardışık işlemler gerekmeksizin elde edilebilmiş ve genellikle N2 yönteminin sonuçlarının doğruluğu, birinci mod için sağlanmıştır. Makalede, yeni bir yöntem tanımlanmış, tartışılmıştır. ATC40 ve FEMA 273'de verilen doğrusal olmayan statik prosedürleri için önerilen yöntemler arasında benzerlikler ve farklar tartışılmış ve yöntemin uygulaması bir örnekte gösterilmiştir.

Medhaker vd. (2000), bu çalışmasında, halen depreme dayanıklı yapı tasarımı ile ilgili standartlarda kullanılan spektral ivmeye dayalı tasarım yöntemlerinin kavramsal temelleri tekrar gözden geçirilmiş ve tartışılmıştır. Tasarım prosedürleri için temel olarak deplasmanları kullanan bir alternatif yöntem sunmuştur. Yöntemde, burulma etkileri de dikkate alınarak, elastik ve elastik ötesi sismik tasarım için kavramsal temellerin, tek ve çok serbestlik dereceli yapılara uygulaması gözden geçirilmiştir. Yazara göre, bu ve bir sonraki makale çelik binaların sismik tasarımı için deplasmana dayalı prosedürün ilk uygulamasıdır.

Medhaker vd. (2000), çalışmada, yanal yük dayanımlı sistem olarak oluşturulan orta merkezli çaprazlara sahip 2 ve 8 katlı çelik binaların sismik tasarımı için deplasmana dayalı sismik tasarım yöntemi uygulanmıştır. Yazara göre bu çalışma, çelik binaların

deplasmana dayalı sismik tasarımda yöntemin ilk uygulamasıdır. Nonlineer statik ve dinamik time- history analizler, sismik davranışı hesaplamak (tayin etmek) için kullanılmıştır.

Chopra (1999), bu çalışmasında, ATC 40 ve FEMA 274 dokümanlarında verilen, elastik ötesi olarak deforme olması beklenen bir binaya uygulanan deplasman etkilerini belirlemek için basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz prosedürlerini incelemiştir. Bu dokümanlardaki nonlineer statik prosedür kapasite spektrum yöntemine dayanan birkaç yaklaşım gerektirir. Pushover analiz için yanal kuvvet dağılımı ve kapasite diyagramına göre bu sonuçların değişimi yalnızca elastik sistemin temel titreşim moduna dayanır. Elastik ötesi tek serbestlik dereceli bir sistemin(TSD) depremden kaynaklanan deformasyonlarını dinamik analiz ile belirlemek yerine eşdeğer doğrusal TSD bir sistemin ardışık olarak belirlenmektedir. Çalışmada, bu son yaklaşım ilk defa değerlendirilmiş ve elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistemlerin pik deformasyonunu tahmin etmek için, kapasite ve etki diyagramların dayanan düzeltilmiş, basitleştirilmiş bir analiz prosedürü geliştirilmiştir.

Mahim vd.(2002), çalışmasında, 1995 Hyogo-ken Nanbu, 1994 Northridge ve 1989 Lomo Prieta depremleri esnasında kaynaklı birleşimli moment dayanımlı çelik çerçeve binalar için beklenmeyen hasarları değerlendirmek amacıyla önemli araştırmalar yapıldığını belirtmektedir. FEMA (Federal Emergency Management Agency) 6 yıllık büyük bir program üstlenmiş, araştırma sonuçlarını yorumlamış ve sentezlemiş, yeni çelik moment çerçeve yapıların tasarım ve inşası için maliyet etkileri, uygulamaya yönelik ve güvenilir gelişimi için ilave araştırmalara rehberlik etmiştir. Bu rapor, bu araştırma programının baştan başa organizasyon ve yönetimi, rehber geliştirme eğitim ve emsal değerlendirme, üstelenilen araştırmanın kapsamı ve genel organizasyonu ve geliştirilen rehberlerin içeriğini gözden geçirmiştir.

Xue (2001), bu çalışmada, basit fakat etkili bir deplasmana dayalı sismik tasarım prosedürü sunmuştur. Bu prosedür, elastik ötesi etki spektrumu için Newmark-Hall indirgeme faktörleri kullanılarak kapasite spektrum yönteminden elde edilen

formüllere bağlıdır. Tek serbestlik dereceli sistemler için önerilen prosedür, kapasite spektrum yöntemine bağlı Newmark- Hall faktörleri kullanılarak ADRS format spektrumdan türetilen bazı basitleştirilmiş formülasyonlara bağlıdır.

Hasan vd.(2002), deprem yüküne maruz bina çerçevelerinin performansa dayalı tasarımı için basit, bilgisayara dayalı pushover analiz tekniğini sunmuştur. Teknik, elastik analizin geleneksel deplasman yöntemine bağlıdır. Önerilen prosedür 3 katlı ve 9 katlı çelik çerçeve için uygulanarak, bu tip binaların performansa dayalı sismik rehabilitasyonu için gerekli bilgiler elde edilmiştir.

Gioncu (2000), bu genel raporda, çelik çerçeve yapıların sismik davranışı ile ilişkili olarak duktilite için bilgi birikimi araştırma çalışmalarını tekrar gözden geçirmeyi amaçlamıştır. Mevcut duktilite, düğüm noktasının genel davranışı olarak elde edilirken, istenen duktilite yapı davranışının bütün seviyelerinde belirlenmiştir. Duktilite kontrolü sismik ve düzgün yükler için yapılabilir. Düzgün yükler için pushover yöntem bir rijit plastik global mekanizmanın temeli üzerine Mazzolini ve Pluso tarafından önerilen basitleştirilmiş formda geliştirilmiştir. Aynı zamanda bir lokal plastik mekanizma belirlenen mevcut duktilite için kullanılmıştır. Sismik yükler için, istenen duktilite, bazı önemli düzeltmelere neden olan, yakın ve uzak kaynaklı depremler arasındaki farklar vurgulanmıştır. Sonunda, bu elde edilen sonuçlar kullanılarak, tasarımcı eğer mevcut duktilite istenen duktiliteden daha büyükse doğrulayabileceğini göstermiştir.

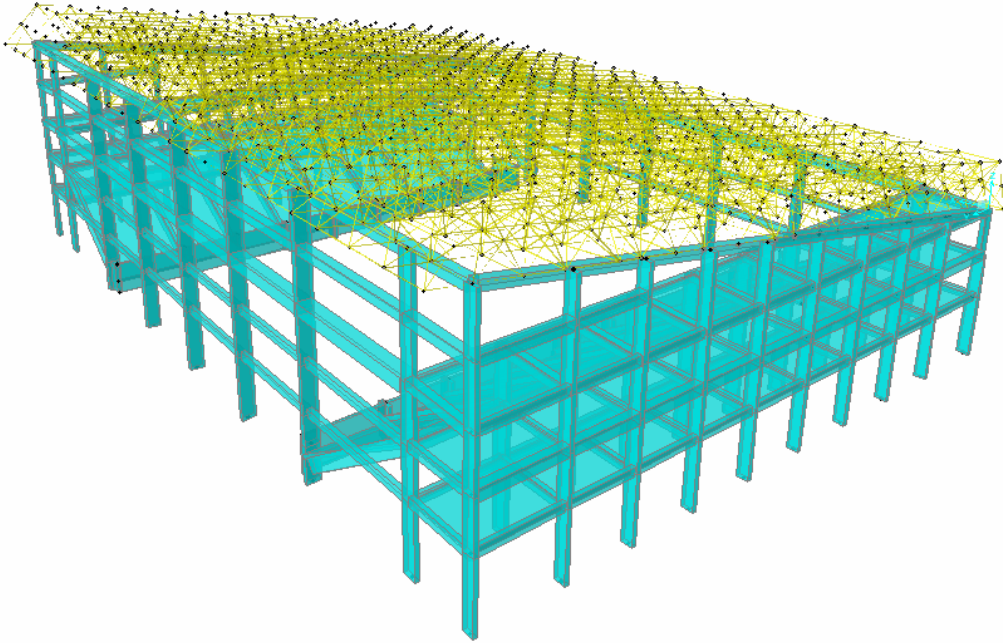
Miranda vd. (2002), tek serbestlik dereceli sistemlerin maksimum elastik ötesi deplasman istemin tahmin etmek için altı yaklaşık yöntem değerlendirmiştir. Tüm yöntemlerde, elastik ötesi sistemin maksimum deplasman etkisi doğrusal elastik sistemin maksimum deplasman etkisinden tahmin edilmiştir. Bunun içinde değerlendirilen yöntemlerin tümü, sonunda, pratik durumlar için uygulandığı zaman her yöntemin avantaj ve dezavantajları üzerine yorumlar verilmiştir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

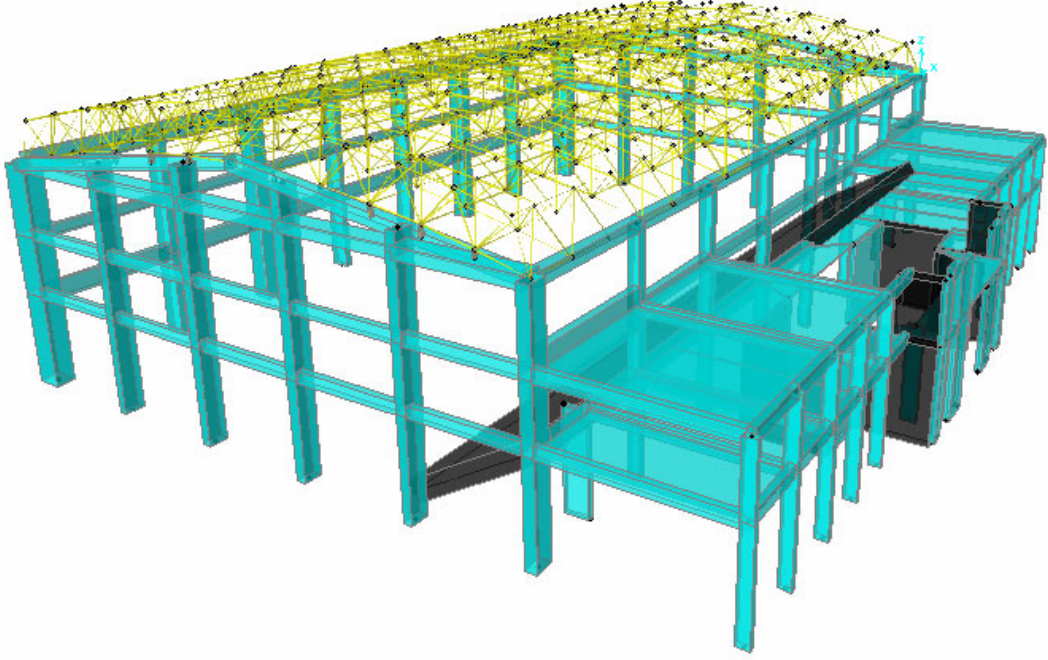
##### 3.1.1. Çelik Uzay Kafes Sistemler

Günümüzde, geniş açıklıklı mekanların örtülmesi genellikle uzay kafes sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Uzay kafes inşaatında, ekonomik, hızlı, estetik ve güvenli çözümler ise prefabrike çelik uzay sistemlerle mümkün olmaktadır. Böylece, prefabrike çelik uzay sistemlerle, çağdaş teknoloji, mimarinin hizmetine sunulmaktadır. Uzay kafes sistemlerde her düğüm noktası üç doğrultuda gelen çubuklarla tutulmaktadır. Bu nedenle, düğüm noktaları yüksek hiperstatiklik derecesine sahip oldukları için mafsalı kabul edilmeleri doğru bir yaklaşım olmaktadır. Büyük açıklıkların geçilmesinde geleneksel çelik çatı konstrüksiyonları vb. sistemler günümüzde yerini prefabrike çelik uzay sistemlere bırakmıştır.

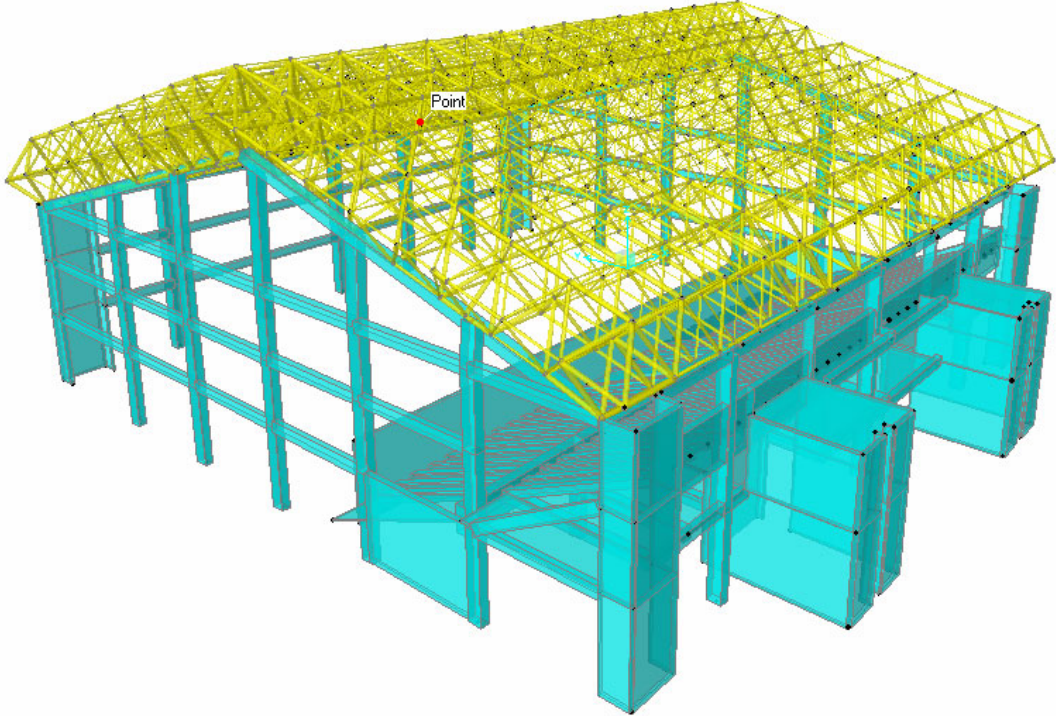


Şekil 3.1. Tek eğimli çelik uzay çatı sistemleri, salon yapısı





Şekil 3.2. Tonoz çelik uzay çatı sistemleri, salon yapısı



Şekil 3.3. Kırık çelik uzay çatı sistemleri, salon yapısı

Prefabrike çelik uzay kafes sistemler, stabilitesi oldukça yüksek yapılardır. Çeşitli geometrilerdeki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek kapalı mekan olarak kullanılmasında oldukça ekonomik çözümler sağlarlar. Ayrıca, bu sistemler, prefabrike standart elemanlardan meydana geldiği için, dizayn, imalat ve montaj süreleri çok kısa olmakta ve özellikle işçilik hatalarından kaynaklanan problemler en aza inmektedir

Mimaride, mümkün olduğunca yüksek, kolonsuz ve geniş açıklıklı alanlar veya mekanlar inşa etmek ve bu alanları örtmek kuşkusuz tüm çağların en önemli arayışı olmuştur. Günümüzde, bu arayışın en başarılı örnekleri, uzay kafes sistemlerle gerçekleştirilmektedir. Uzay kafes inşaatında, ekonomik, hızlı, estetik ve güvenli çözümler ise prefabrike çelik uzay sistemlerle mümkün olmaktadır. Böylece, prefabrike çelik uzay sistemlerle, çağdaş teknoloji, mimarinin hizmetine sunulmaktadır. Uzay kafes sistemlerde her düğüm noktası üç doğrultuda gelen çubuklarla tutulmaktadır. Bu nedenle, düğüm noktalarının yüksek hiperstatiklik derecesine sahip olmalarından dolayı mafsallı kabul edilmeleri de doğru bir yaklaşım olmaktadır. Büyük açıklıkların geçilmesinde klasik çelik çatı konstrüksiyonları vb. sistemler günümüzde yerini prefabrike çelik uzay sistemlere bırakmıştır.

Uzay sistem bir yapı, kendisine gelecek yatay ve düşey etkileri her üç doğrultuda da dağıttıkları için stabilitesi oldukça yüksek yapılardır. Çeşitli geometrilerdeki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek kapalı mekan olarak kullanılmasında da oldukça ekonomik çözümler sağlarlar. Ayrıca, bu sistemler, prefabrike standart elemanlardan meydana geldiği için, dizayn, imalat ve montaj süreleri çok kısa olmakta ve özellikle işçilik hatalarından kaynaklanan problemler en aza indirgenmektedir.

### 3.1.1.1. Prefabrike Çelik Uzay Kafes Uygulamaları



Yunus Göleti - Ankara



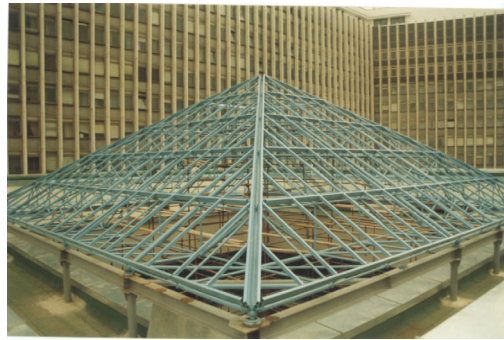
Samsun 19 Mayıs Stadyumu



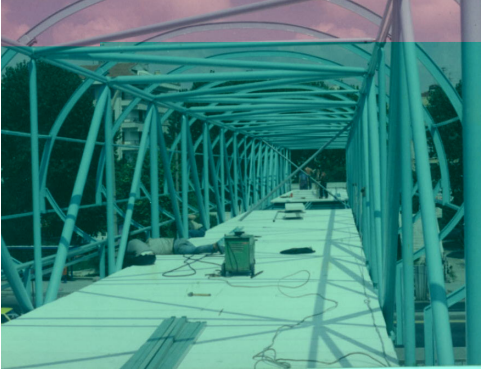
Kumluca Spor Salonu



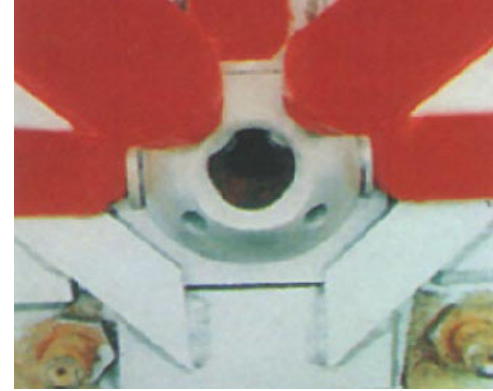
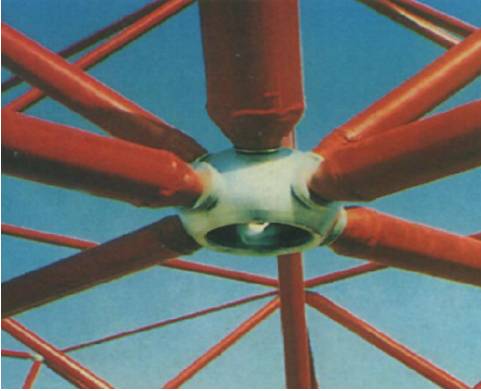
Şekil 3.4. Ülkemizde gerçekleştirilen çelik uzay sistem örneklerinden bazıları



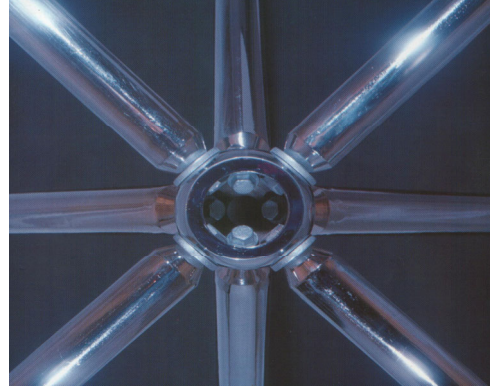
Şekil 3.4.(devam)



### 3.1.1.2. Prefabrike elik Uzay Kafes Dügüm Sistemleri



Şekil 3.5. Boş küre dgm sistemleri



Şekil 3.6. Boş küre düğüm sistemi elemanları



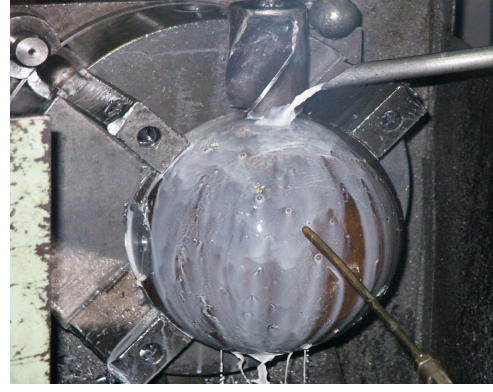
Şekil 3.7. Döküm olarak yapılan bir düğüm sistemi



Şekil 3.8. Dolu küre elemanı



Şekil 3.9. Mesnet Elemanları



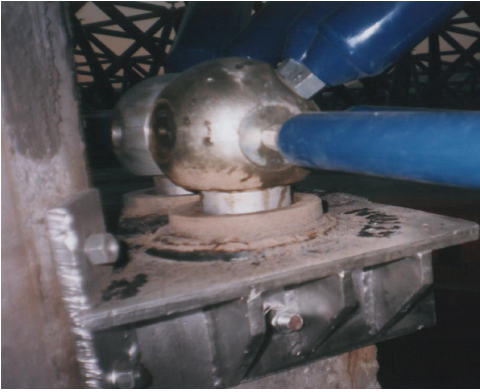
Şekil 3.10. Bulonlar

Şekil 3.11. Boru Elemanlar

### 3.1.1.3. Hatalı Uygulama Örnekleri



Şekil 3.12. Hatalı uygulama örnekleri



Şekil 3.12. (devam)



#### 3.1.1.4. Göçen Yapı Örnekleri



Şekil 3.13. Dolu küre düğüm bir uzay kafes uygulama



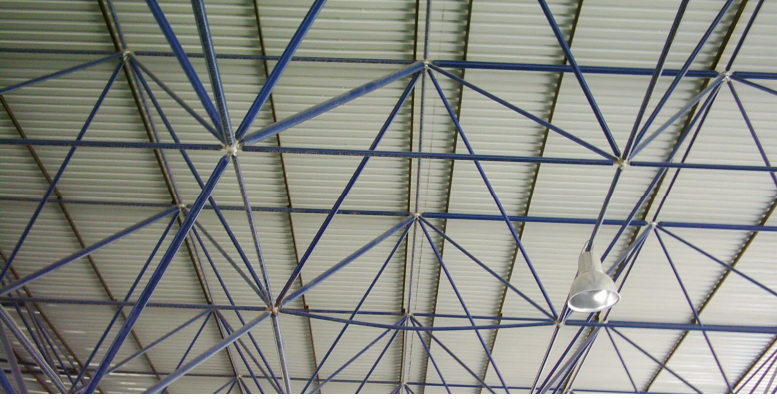
Şekil 3.14. Döküm düğüm sistemli bir uzay kafes sistem



Şekil 3.15. Dolu küre sistemli bir uzay sistem örneği



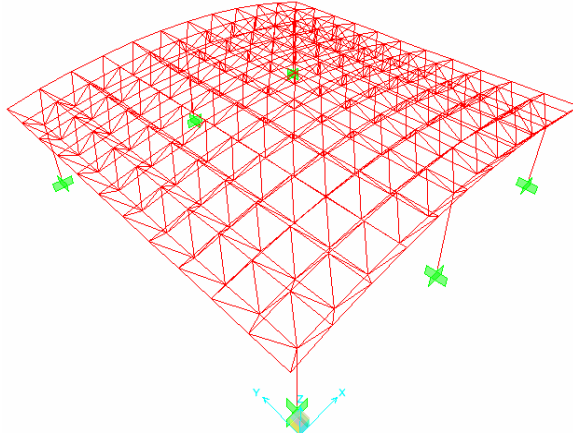
Şekil 3.16. Dolu küre sistemli bir uzay sistem örneği



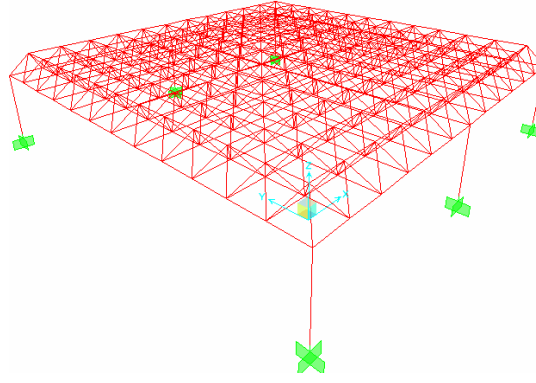
Şekil 3.17. Dolu küre sistemli bir uzay sistem örneği

### 3.1.2. Modeller

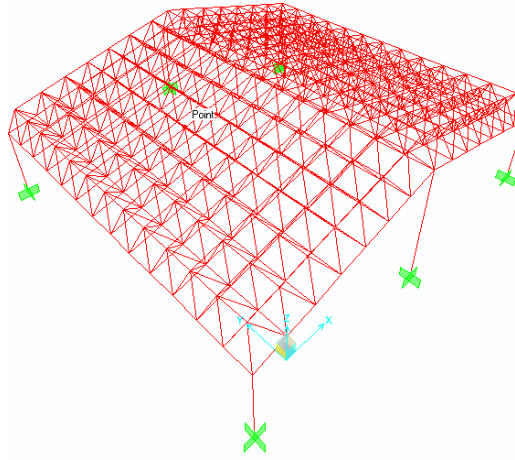
#### 3.1.2.1. Temel Modeller



Şekil 3.18. M1 Modeli (Tonoz Çelik Uzay Çatı Sistemli Salon Yapısı)



Şekil 3.19. M2 Modeli (Düz Çelik Uzay Çatı Sistemli Salon Yapısı )



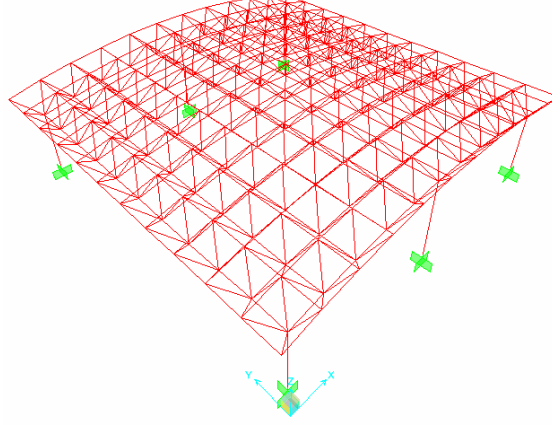
Şekil 3.20. M3 Modeli (Kırıklı Çelik Uzay Çatı Sistemli Salon Yapısı )

### 3.1.2.2 Alt Modeller

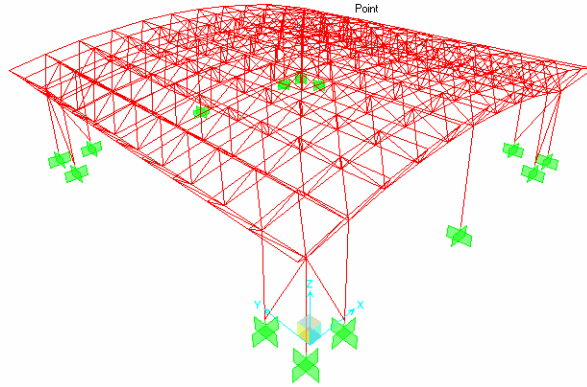
Çizelge 3.1 Alt Modellerin Tanımı

Alt Modeller	Açıklama
C	Kolonlara oturan model
DB	Diagonal elemanlarla güçlendirilmiş çelik kolonlara oturan model
TDB	Ters diagonal elemanlarla güçlendirilmiş çelik kolonlara oturan model
TVB	Ters V Tipi elemanlarla güçlendirilmiş çelik kolonlara oturan model
VB	V Tipi elemanlarla güçlendirilmiş çelik kolonlara oturan model
XB	Çapraz elemanlarla güçlendirilmiş çelik çerçeve sisteme oturan model

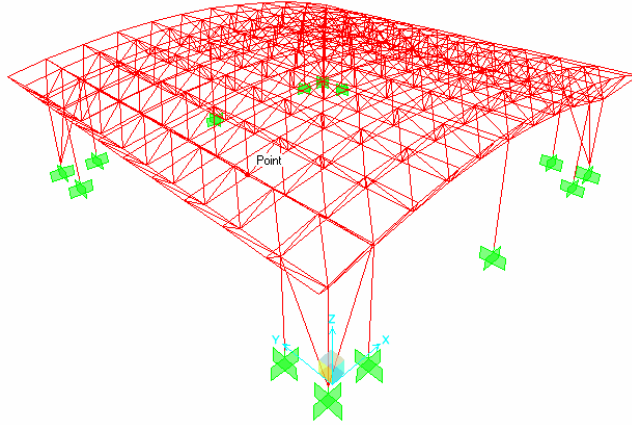
Örnek: MZ1-C, 1. modeli çelik kolon üzerine oturan alt modelini ifade etmekte, MZ1-XB ise aynı modelin çelik kolon ve kirişe sahip çelik çaprazlı alt modelini ifade etmektedir.



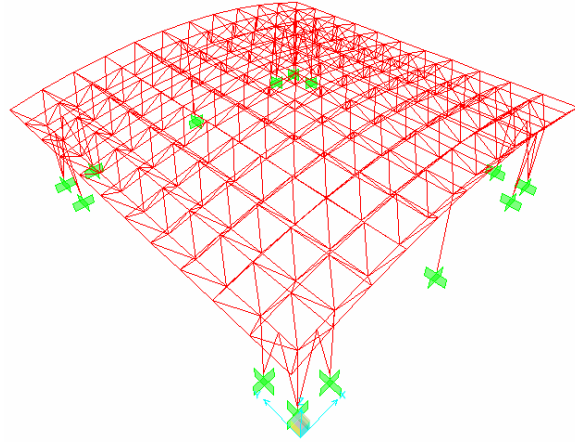
Şekil 3.21. MZ1-C Modeli



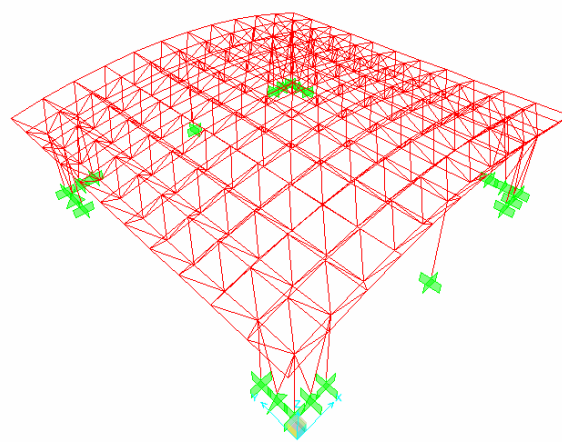
Şekil 3.22. MZ1-DB Modeli



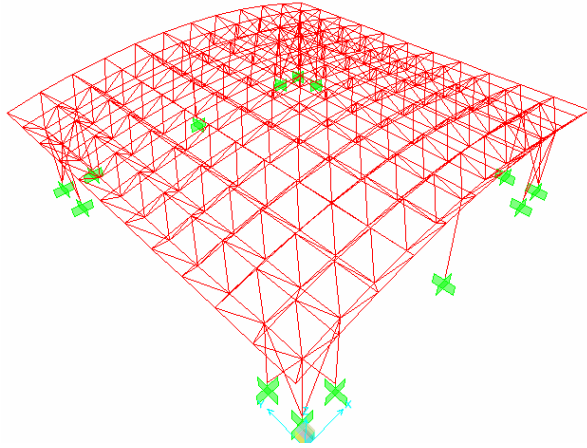
Şekil 3.23. MZ1-TDB Modeli



Şekil 3.24. MZ1-TVB Modeli



Şekil 3.25. MZ1-VB Modeli



Şekil 3.26. MZ1-XB Modeli

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. Deprem

Deprem, önceden uyarı olmaksızın yer kabuğunun çeşitli sebeplerden dolayı titreşimi ile meydana gelen en büyük doğal afetlerden birisidir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön belirtiler olsa bile depremin önceden güvenilir biçimde tahmin edilmesi günümüzde de mümkün değildir. Halen dünyanın önemli bir kısmı aktif deprem bölgesidir ve bu bölgelerde de nüfusun yoğunluğu oldukça fazladır

Depremler oluş nedenlerine göre değişik türlerde olabilir. Levhaların hareketi sonucu olan depremler, genellikle “tektonik” depremler olarak nitelenir ve bu depremler çoğunlukla levhaların sınırlarında oluşurlar. İkinci tip depremler “volkanik” depremlerdir. Bunlar volkanların püskürmesi sonucu oluşurlar. Yerin derinliklerinde ergimiş maddenin yeryüzüne çıkışı sırasında fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda oluşan gazların yapmış oldukları patlamalarla bu tür depremlerin meydana geldiği bilinmektedir. Bir başka tip depremler de “çöküntü” depremlerdir. Bunlar yeraltındaki boşlukların, kömür ocaklarında galerilerin, tuz ve jipsli arazilerde erime sonucu olan boşlukların tavan bloğunun çökmesi ile oluşurlar

Depremlerin çok büyük bir bölümü, yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir. Böyle bir olay sırasında yer kabuğunu oluşturan plakalar, kendisini sınırlayan çizgiler olan faylar boyunca ani olarak kayar. Bu tür tektonik depremde ortaya çıkan yer değiştirme dalgaları, sönmülenererek uzaklara yayılır. Deprem yer ve şiddetine göre yer kabuğunda yeni fayları da oluşturabilir. Deprem hareketinin bu tür açıklanmasına, Elastik Geri Sekme Teorisi denir

Plaka tektoniği olarak bilinen bilim dalı, yer kabuğunun birkaç parçadan oluştuğunu, bu plakaların birbirine göre hareket ettiklerini kabul etmekte ve birçok tektonik olayı bu esasa göre açıklamaktadır. Yer kabuğunda artan gerilmeler zayıf olan çizgiler üzerinde veya belirli zayıf bölgelerde yer kabuğunun taşıma gücünü aşarak, ani bir kayma oluşur. Böylece uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi, kayma

hareketi ile yer kabuğunun taşıyabileceği seviyeye ani olarak iner. Yer kabuğunda meydana gelen kaymanın, bir dalga hareketi olarak yayılması sonucu oluşan yüzey titreşimleri, deprem olarak algılanır

Depremler nedeniyle yerkürenin dış kısmını oluşturan kabukta meydana gelen yırtılmaya fay adı verilmektedir. Faylar açığa çıkan enerjinin miktarına ve odak derinliğine göre de yeryüzünde gözlenebilirler. Depremin büyüklüğü, yerküredeki yırtılma sırasında boşalan enerji ve fayın boyutu ile ilgilidir. Yerkürenin derinliklerinde depremin meydana geldiği noktaya odak noktası denir. Yerkürenin yüzeyinde odak noktasına en yakın noktaya merkez üstü adı verilir. Merkez üstü ile odak noktası arasındaki mesafeye odak derinliği adı verilir. Odak derinliği, 0-50 km arasında olan depremlere yüzeysel depremler, 50-300 km arasında olan depremlere orta derinlikte depremler ve odak derinliği 300 km den fazla olan depremlere derin depremler adı verilmektedir. Yüzeysel depremler az bir alanda etki göstermekte, ancak hasar çok olmaktadır. Orta ve derin depremler ise büyük alanda etki göstermekte ve hasar az olmaktadır

Afet yönetmeliğine göre depreme dayanıklı yapı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde, yapılardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacıyla yapıların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesidir

### 3.2.2. Deprem Etkisi Maruz Ç.S.D. Sistemler İçin Hareket Denklemi

Çok serbestlik dereceli bir sistemin genel hareket denklemi aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$F(t)_I + F(t)_D + F(t)_S = F(t) \quad (3.1)$$

$F(t)$ , anındaki kuvvet vektörleri sırasıyla;

$F(t)_I$  : Düğüm kütlelerine etkiyen atalet kuvvetleri

$F(t)_D$ : Viskoz sönümleme veya enerji dağılımından kuvvet vektörleri

$F(t)_S$ : Yapının iç kuvvet vektörü

$F(t)$  : Uygulanan dış yük vektörü

Fiziksel kanunlara dayalı denklem (3.1) lineer sistemler için geçerlidir. Eğer denklem (3.1) dengesi yapının deforme olmuş geometrisine göre yazılmış ise aynı denklem nonlinear sistemler içinde geçerlidir.

Pek çok yapı sistemleri için fiziksel denge durumuna çevirmenin lineer yapısal davranış yaklaşımı yapılmıştır. Bunun için denklem (3.1) aşağıdaki gibi 2. Mertebe lineer diferansiyel denklem şeklinde ifade edilir.

$$M\ddot{u}(t)_a + C\dot{u}(t)_a + Ku(t)_a = F(t) \quad (3.2)$$

Burada ;

M: Kütle matrisi , C: Viskoz sönüm matrisi (gerçek yapılarda yaklaşık enerji dağılımına göre seçilir). K: Yapı sistem rijitlik matrisi

Zamana bağlı vektörler  $u(t)_a$  ,  $\dot{u}(t)_a$  ,  $\ddot{u}(t)_a$  , sırasıyla mutlak düğüm deplasmanları, hızlar ve ivmelerdir.

Sismik harekette, yapı temeline etki eden deprem etkisinin üç doğrultuda ivme, hız ve deplasman bileşenleri mevcuttur. Bu yüzden denklem (3.2) üç doğrultuda bileşenlere göre yazılabilir. Böylece, mutlak deplasmanlar, hızlar ve ivmeler denklem (3.2) de aşağıdaki şekilde yazılarak elimine edilebilir.

$$u(t)_a = u(t) + I_x u(t)_{xg} + I_y u(t)_{yg} + I_z u(t)_{zg}$$

$$\dot{u}(t)_a = \dot{u}(t) + I_x \dot{u}(t)_{xg} + I_y \dot{u}(t)_{yg} + I_z \dot{u}(t)_{zg} \quad (3.3)$$

$$\ddot{u}(t)_a = \ddot{u}(t) + I_x \ddot{u}(t)_{xg} + I_y \ddot{u}(t)_{yg} + I_z \ddot{u}(t)_{zg}$$



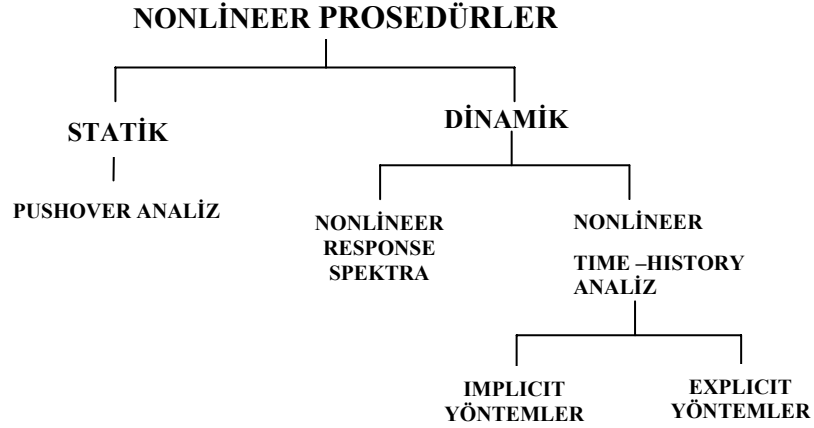
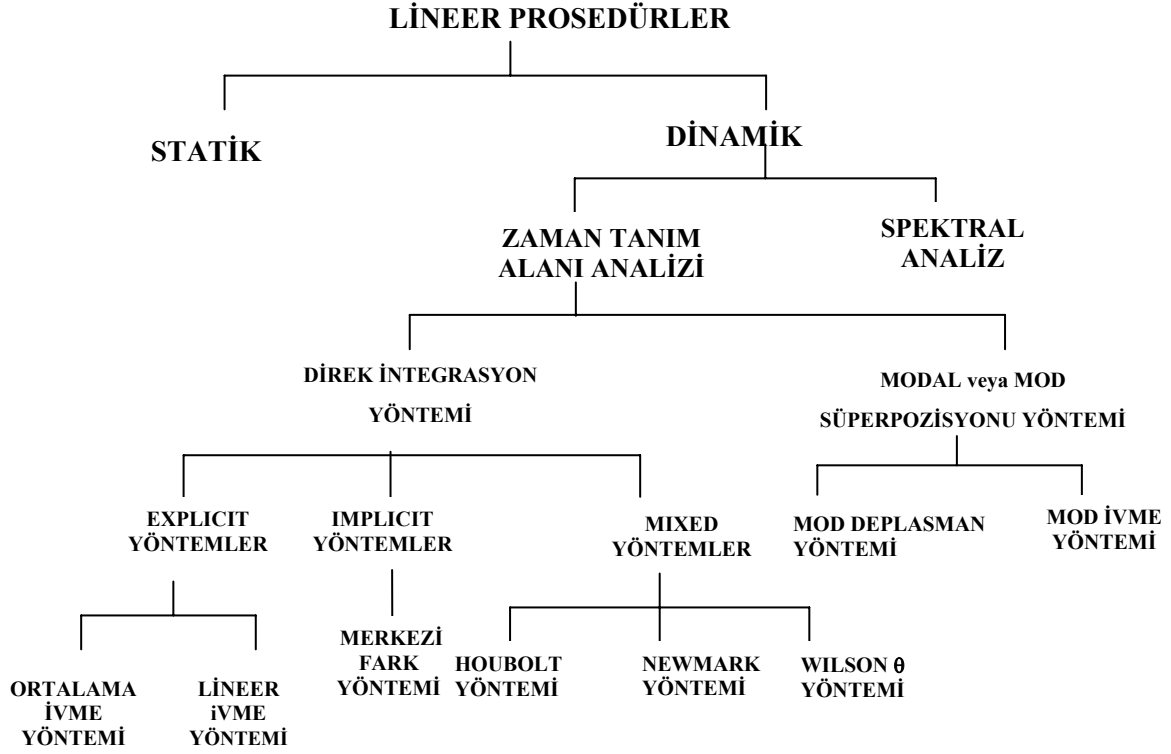
Burada  $I_i$  i yönünde bir, diğer bütün yönlerde sıfır olan bir vektördür. Denklem (3.2) de denklem (3.3)'ü yazarsak;

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -M_x \ddot{u}(t)_{xg} - M_y \ddot{u}(t)_{yg} - M_z \ddot{u}(t)_{zg} \quad (3.4)$$

### 3.2.3. Deprem Hesap Yöntemleri

Deprem hesap yöntemleri kuvvete dayalı yöntemler ve deplasmana dayalı yöntemler olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Deprem hesaplarındaki bütün doğrusal prosedürler kuvvete dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemler, doğrusal statik prosedürler ve doğrusal dinamik prosedürler olarak iki grupta incelenebilir. Doğrusal dinamik prosedürler ise spektral analiz ve zaman tanım alanı analizi olarak ayırmak mümkündür. Zaman tanım alanı analizi, ortalama ivme, lineer ivme, merkezi fark, Houbolt, Newmark, Wilson  $\theta$  gibi direk integrasyon yöntemlerini ve mode ivme ve mode deplasman yöntemlerinin dahil olduğu modal veya mod süperpozisyonu yöntemlerini içerir.

Doğrusal olmayan analiz prosedürlerini de aynı şekilde doğrusal olmayan statik prosedürler ve doğrusal olmayan dinamik prosedürler olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Bu çalışma da kullanılan, doğrusal olmayan statik prosedür olan, Statik İtme (pushover) analiz prosedürüne dayalı, performans dayalı sismik tasarım yöntemleri bölüm 3.2.3.3.'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 3.27. Deprem Hesap Yöntemleri

### 3.2.3.1. Zaman Tanım Alanında Çözüm (Time History Analiz)

Deprem etkisi altında çok serbestlik dereceli bir sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M][I]a(t) \quad (3.5)$$

Burada ;

$a(t)$  = yer ivmesi,  $[M]$  ,  $[C]$  ,  $[K]$  matrisleri sırasıyla kütle , sönüm ve rijitlik matrisleridir.  $[M]$  Kütle matrisi hem lineer hem de nonlinear problemlerde değişmez yani sabittir.  $[M]$ ,  $[C]$  ve  $[K]$  matrisleri zamandan bağımsızdır. Sönüm matrisi  $[C]$  kütle matrisi ve rijitlik matrisinin bir fonksiyonudur. Bir dinamik problem,  $[K]$  matrisi lineerse sönüm matrisi de lineer olacağı için lineer dinamik, değilse nonlinear dinamik problem olarak adlandırılır.  $[K]$  rijitlik matrisi ise malzeme , geometri veya hem malzeme hem de geometri yönünden nonlinear olabilir. Denklem (3.5)'deki  $\{u\}$ ,  $\{\dot{u}\}$  ve  $\{\ddot{u}\}$  zamanın bir fonksiyonudur.  $\{u\}$  ve  $\{\dot{u}\}$ 'nin başlangıç değerleri sınırlandırıldığı zaman Denklem (3.5) başlangıç değer problemi olarak adlandırılır.

### 3.2.3.2. Modal Yöntemler

Modal veya mod süperpozisyonu yöntemi denklem (3.5)'de  $\{u\}$  ve onun zamana göre türevlerini  $\{Z\}$ 'ye bağlı olarak yazmamızı gerektirir. Burada  $\{Z\}$  modal genliklerin vektörüdür. Diğer bir deyişle genelleştirilmiş serbestlik derecesinin vektörüdür. Eğer sönüm ortogonal, yani sönümsüz özdeğer problemi ile alakalı özvektörler vasıtasıyla modların bağımsız olmasına izin verirse Rayleigh sönümü söz konusudur ki ; dönüştürülmüş denklemler bağımsızdır. Bu nedenle, her bir denklem diğerlerinden bağımsız bir şekilde çözülür. Sonuçta, esas problemin çözümünü gerçekleştirmek için bu modal denklemlerin her birinin çözümü,

süperpoze edilir. Modal analiz, özvektör işlemlerinin özelliklerinden dolayı etkilidir. Bu özellikler, ortogonalite ve lineer bağımsızlıktır.

Çok serbestlik dereceli yapının sönümsüz serbest titreşim hareketi aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (3.6)$$

Denklem (3.6) çözüldüğü zaman deplasman vektörü ve ivme vektörü genlik vektörü  $\{\bar{u}\}$ 'e bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılır.

Yani;

$$\{u\} = \{\bar{u}\} \sin \omega t \quad (3.7)$$

$$\{\ddot{u}\} = -\omega^2 \{\bar{u}\} \sin \omega t$$

Burada  $\{\bar{u}\}$  genlik,  $\omega =$  açısal frekanstır. (3.7) ifadeleri (3.6) ifadesinde yerine yazılacak olursa ;

$$[M](-\omega^2 \{\bar{u}\} \sin \omega t) + [K](\{\bar{u}\} \sin \omega t) = \{0\}$$

Burada,  $\lambda = \omega^2$  alınır ve eşitliğin her iki tarafı  $\sin \omega t$ 'ye bölünecek olursa, denklem (3.6) aşağıdaki şekle dönüştürülmüş olur.

$$([K] - \lambda[M])\{\bar{u}\} = \{0\} \quad (3.8)$$

Bu problem özdeğer problemi olarak adlandırılır.  $\lambda$ 'nın her bir değerine bağlı olarak hesaplanan  $\{\bar{u}\}$  özvektörü, normal veya doğal veya karakteristik mod olarak adlandırılır. Denklem (3.8) deki  $\{\bar{u}\}$  özvektörleri kütle ve rijitlik matrisleri ile ilgili olarak ortogondur. Yani;

$$\{\bar{u}\}_i^T [M] \{\bar{u}\}_j = 0 \quad \text{ve} \quad \{\bar{u}\}_i^T [K] \{\bar{u}\}_j = 0 \quad \text{burada } i \neq j \quad (3.9)$$

Eğer özvektörler kütle matris ile alakalı olarak normalize edilmişse ;

$$\{\bar{u}\}_i^T [K] \{\bar{u}\}_i = 1 \quad \{\bar{u}\}_i^T [K] \{\bar{u}\}_i = \omega_i^2 \quad (3.10)$$

elde edilir. Burada  $\omega_i^2$ , sönümsüz açısal frekanstır.

$[\phi]$  matrisinin her bir kolonu normalize edilmiş özvektörlerden meydana gelir. Bu matrise modal matris adı verilir. Modal matris ile kütle ve rijitlik matrisleri arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$[\phi]^T [M] [\phi] = [I] \quad \text{ve} \quad [\phi]^T [K] [\phi] = [\omega^2] \quad (3.11)$$

Burada  $\omega^2$  diyagonal bir matristir ve spektral matris olarak adlandırılır. Özvektörlerin lineer bağımsız özelliğini kullanarak herhangi bir  $\{u\}$  vektörü özvektörlerin lineer kombinasyonu olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\{u\} = [\phi] \{Z\} \quad (3.12)$$

Burada  $\{Z\}$ 'deki  $Z_i$  değeri dönüşümde her bir vektörle orantılı olarak elde edilir.

Modal analizde iki temel yaklaşım söz konusudur. Bunlar, mod-deplasman ve mod-ivme yöntemleridir. Burada modal yöntemlere girilmeyip, zaman tanım alanı analizde direkt integrasyon yöntemleri açıklanacaktır.

### 3.2.3.3. Direkt İntegrasyon Yöntemleri

Direkt integrasyon yöntemleri veya adım-adım analiz yöntemleri, denklem (3.5)'ün çözümünde belirli zaman aralıklarındaki  $\{u\}$ ,  $\{\dot{u}\}$  ve  $\{\ddot{u}\}$  değerlerini hesaplamak için kullanılır. Buradaki temel yaklaşım, sonlu farklar yaklaşımıdır. Başlangıç değer problemlerinin yaklaşık çözümü için sonlu farklar yöntemleri literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır. Direkt integrasyon yöntemleri modal yöntemlere bir

alternatiftir. Özellikle nonlinear problemler için direkt integrasyon daha kullanışlıdır. Direkt integrasyonda, herhangi bir  $t$  anında hareketin denklemi, denk (3.5)'den hareketle aşağıdaki şekilde yazılır.

$$[M]\{\ddot{u}\}_n + [C]\{\dot{u}\}_n + [K]\{u\}_n = F(t)_n \quad (3.13)$$

Burada alt indis  $n$ ,  $n\Delta t$  zaman artımı miktarında, zaman adımı sayısını gösterir. Nonlinear dinamik problemlerde,  $[M]$  matrisinin sabit olduğu için yine değişmez fakat seçilen nonlinear hesap yöntemine (Newton Raphson gibi) göre  $[C]$ ,  $[K]$  matrisleri de her zaman adımında değişken alınabilir. Geometrik Nonlinear problemler için  $[K]$  deplasmanların fonksiyonu olarak ifade edilir.

$$[M]\{\ddot{u}\}_n + [C]\{\dot{u}\}_n + \{F^{i\varphi}\} = F(t)_n \quad (3.14)$$

Denklem (3.13) ve (3.14)'in direkt integrasyon için fark yöntemleri açık (explicit) veya kapalı (implicit) olarak sınıflandırılır. Açık yöntemlerde deplasman vektörü aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\{u\}_{n+1} = f(\{u\}_n, \{\dot{u}\}_n, \{\ddot{u}\}_n, \{u\}_{n-1}, \dots) \quad (3.15)$$

Kapalı yöntemlerde ise deplasman vektörü aşağıdaki gibidir.

$$\{u\}_{n+1} = f(\{\dot{u}\}_{n+1}, \{\ddot{u}\}_{n+1}, \{u\}_n, \dots) \quad (3.16)$$

Açık (Explicit) ve kapalı (implicit) yöntemler farklı özelliklere sahiptirler (3.15) ve (3.16) denklemlerinin genel formuna sahip yöntemler çok adımlı metotlar olarak adlandırılırlar. Denklem (3.15) ve (3.16)'ün sağ tarafı sadece  $n\Delta t$  zamanından bir önceki adımda bilgiler içerdiği zaman tek adımlı yöntemler olarak adlandırılır. Denklem (3.19) ve (3.20)'ün sağ tarafı sadece  $(n-1)\Delta t$  zamanından bir önceki adımda bilgiler içerdiği zaman iki adımlı yöntemler olarak adlandırılır. Tek adımlı

yöntemler başlangıç şartlarından kolayca başlatılabilir. Çok adımlı yöntemler ise özel başlama prosedürlerine ihtiyaç duyar.

#### 3.2.3.4. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkileyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkileyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiğı kabul edilerek, taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur. Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılan Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü, taban kesme kuvveti olarak bilinir ve  $W$  toplam yapı ağırlığı olmak üzere,

$$V_t = WA(T_1)/R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 IW \quad (3.21)$$

Şeklinde belirlenir. İfadede ‘ $A_0$ ’ etkin yer ivmesi Katsayısı, ‘ $I$ ’ Yapı Önem Katsayısı, ‘ $S$ ’ Spektrum Katsayısı, ‘ $T_1$ ’ Yapının Birinci Titreşim Periyodu, ‘ $W$ ’ Toplam Yapı Ağırlığı, ‘ $R_a$ ’ Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı ve ‘ $A$ ’ Spektral İvme Katsayısı olup

$$A(T_1) = A_0 IS(T_1) \quad (3.22)$$

olarak verilmiştir (Celep ve Kumbasar, 2000).

#### 3.2.3.4. Deprem Hesap Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

Yapıların dinamik analizinde “Davranış Spektrumu Metodu” dikkatli kullanılmalıdır. Kaçınılabılır hataların ortaya çıkmasını en aza indirmek için modların maksimum değerlerinin kombinasyonunda CQC metodu kullanılmalıdır. Bir sismik analizde hesaplama işindeki artış, SRSS metodu ile mukayese edildiğinde, toplam bilgisayar zamanı açısından daha azdır. CQC metodunun teorik esaslı bir vurgusu olup, deprem mühendisliğinde uzmanların çoğu tarafından kabul edilmiştir. Mod kombinasyonunda SRSS metodu veya mutlak değerler toplamı kullanılmasının doğruluğu ispat edilememektedir.

Bir yapının bütün yönlerdeki deprem hareketlerine eşit direnç gösterebilmesi için, üç boyutta uygulanan deprem spektrumlarının etkilerini kombine etmekte CQC3 metodunun kullanılması zorunludur. Yüzde kuralı metotlarının teorik temeli yoktur ve bunlar referans sisteminden bağımsızdırlar.

“Davranış Spektrumu Metodu”, kuvvet ve deplasmanların maksimum pik değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılan yaklaşık bir metottur ve oldukça önemli sınırlamaları vardır. Bu metot, güvenilirlik derecesi düşük bir tarzda sadece tahmin edilebilen sönümleme özelliklerine sahip lineer elastik analizle sınırlandırılmıştır. Yaygın olarak kullanılan doğrusal olmayan (nonlinear) spektrumlar için çok küçük bir teorik arka planı vardır ve karmaşık üç boyutlu yapıların analizinde kullanılmalıdır. Bu gibi yapılarda, gerçek doğrusal olmayan (nonlinear) zaman tanım aralığı (time history) davranışının kullanılması zorunludur.

“Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” nde yapının birinci modu esas alınır ve katlara etkiyen deprem kuvvetlerinin kat kütlesi ve katın temelden yüksekliği ile orantılı olduğu kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabına ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütlesi hesaba katıldığı için bu yöntemde yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak da kabul edilebilir. “Mod Birleştirme Yöntemi” nde toplam deprem kuvvetinin bulunmasında diğer titreşim periyotları ve mod şekilleri esas alınır. Bu yöntem çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışını veren ifadelerin her mod şekli için ayrı ayrı değerlendirilmesi olarak da görülebilir.

Matematiksel bir bakış açısında Mod Birleştirme Yöntemi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’ ne göre daha kesin bir yöntem olarak görülür. Ancak taşıyıcı sistemin elemanlarının atalet momentlerinde, davranışlarındaki belirsizlikler yanında hesapta depremi temsil eden spektrum eğrisindeki kabuller bu yöntemin de önemli bir yaklaşıklık içerdiğini gösterir. Elastik deprem yükünün azaltılması, kesit hesaplarının daha sonra doğrusal olmayan kabullere dayanan taşıma gücü yöntemine göre yapılması da bu yöntemin yaklaşımlar içerdiğine işaret eder. Eşdeğer Deprem Yüğü



Yöntemi' nin kabullerinin daha az sayıda olması pek çok durumda yönetime olan güveni artırır. Bu nedenle Mod Birleştirme Yöntemi ile elde edilen çözümleme sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi' ninkilerle karşılaştırılması faydalı olur.

### **3.2.5. Performansa Dayalı Sismik Tasarım**

Performansa dayalı tasarım, yaklaşık 40 yıldan daha fazla bir süre içerisinde, özellikle mimarlar tarafından yapıların tasarım amacı ve bu amacı karşılamadaki yeteneğinin belirlenmesi bakımından üzerinde çok fazla çalışmalar yapılan bir yaklaşım olarak bilinmektedir (Kalay,1999).Yakın zamanda ise mühendisler, performansa dayalı tasarım yaklaşımını kullanarak, yapının herhangi bir etki altında kendisinden beklenen dayanımı gösterme düzeyini belirlemeye çalışmaktadırlar. Bir yapının herhangi bir etki altında kendisinden beklenen dayanımı gösterme düzeyi, o yapının o etki karşındaki performansı olarak ifade etmektedir. Kısaca, yapıda performans, gelen etkileri yapının karşılama düzeyidir. Diğer taraftan, bir yapının sismik etkiler altında sağlaması gereken koşullara bağlı olarak tasarımının yapılması da performansa dayalı sismik tasarım olarak tanımlanmaktadır.

Özellikle, son on yıllarda, depreme dayanıklı yapı tasarımı ile uğraşan mühendis ve bilim adamları yapıların doğrusal olmayan deprem davranışları üzerine yoğun olarak ilgilenmeye başlamışlardır. Bu alanda yapılan çalışmalar neticesinde, depreme dayanıklı yapı tasarımında yeni yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Bu bağlamda, yapının deprem dayanımı ve emniyetini belirlemek için kullanılan deplasmana dayalı değerlendirme ve tasarım yöntemleri yakın tarihte oldukça popüler olmuşlardır. Bu yöntemler kuvvete dayalı yöntemlerden daha doğru kabul edilmekte ve daha çok tercih edilmektedirler. Deplasmana dayalı değerlendirme ve tasarım yöntemleri yapının deprem etkisi altında performansını belirleme yaklaşımına dayanmaktadır.

Performansa dayalı tasarım, yapının maruz kaldığı risk ve gösterebileceği performansın dengesine dayanır. Bu tasarım yaklaşımı geçmişte alışık olunan tasarım yaklaşımlarından oldukça farklıdır. Son zamanlarda, depreme dayanıklı yapı tasarımında yapıların en büyük deplasman davranışını tahmin etmek için nonlineer

statik prosedürlerin kullanılması çok yaygın hale gelmiştir. Bu konu özellikle FEMA 273 (Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings-1997) ATC-40 (Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings-1996)ve ATC-32 (Improved Seismic Design Criteria For California Bridge), FEMA 356 (Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings - 2000) gibi kaynaklarda oldukça geniş yer bulmaktadır.

Günümüzdeki yapı standartları, öngörülen sismik etkileri ve yapısal davranışı tahmin etmek için lineer elastik analize izin vermesine karşın, pek çok yapı, deprem yükleri etkisi altında elastik ötesi bir davranış gösterdiği için lineer elastik prosedürler yetersiz kalmakta veya tam doğru sonuç vermemektedirler. Bu nedenle, son yıllarda, performans dayalı sismik tasarım, hem mevcut yapıların güçlendirilmesi hem de yeni yapılacak olan yapıların tasarımında dünyadaki bir çok inşaat mühendisliği kuruluşları tarafından en yaygın tercih edilen hesap yaklaşımı olmuştur. Diğer taraftan, elastik ötesi sismik etkinin tahmini için statik prosedürlerin güvenilirliği üzerine bazı kaygılar olması nedeni ile, hala pek çok araştırmacı, bu kaygıları ortadan kaldırmak için yoğun bir şekilde çalışmaktadırlar.

Bir deprem etkisi altında, yeni ve mevcut yapıların davranışını ve sismik kapasitesinin değerlendirilmesi konusu yapı mühendisleri için her zaman çok önemsenen bir konu olmuştur. Son otuz yıl içerisinde, araştırmacılar deprem esnasında yapının elastik ötesi davranışını göz önüne alan sismik tasarım yöntemlerini geliştirmek için uğraştılar.

Kapasite spektrum yöntemi (Freeman,1998). bu uğraşlar sonucunda nonlineer statik analiz yaklaşım olarak sunulmuş bir yöntemdir. Bu süreç içinde değişik performans dayalı mühendislik yöntemleri incelendi. Bu yöntemler daha sonra daha da geliştirilerek ATC-1982, USACE-1986, ATC 40(1996) gibi yapıların sismik tasarımı ile ilgili yönetmeliklerde detaylı bir şekilde yer buldu. Günümüze kadar özellikle Freeman, Bommer Elnashai, Mahaney , Moehle, Gülkan, Sözen, Shibita, Kunnath, Reinhorn, Chopra ve Goel gibi bilim adamlarının performans dayalı tasarım yöntemlerini geliştirilmesinde çok büyük katkıları olmuştur. ATC40, FEMA273,

FEMA306, FEMA307, FEMA 356 gibi yapıların sismik tasarımıyla ilgili yeni yönetmeliklerde yapıların performansa dayalı yöntemler detaylı bir şekilde verilmiştir.

### **3.2.5.1. Yapıların Performansa Dayalı Sismik Tasarımı**

Ülkemizde ve dünyada yapılarla ilgili yürürlükteki şartnameler, çoğunlukla, yeni binaların, sismik etkiler altında can güvenliği problemi oluşturmayacak şekilde tasarımıyla ilgili hükümler içermektedir. Oysa, mevcut binaların pek çoğu, bugün için yürürlükten kalkmış yönetmeliklere göre veya hiçbir yönetmelik koşullarına tabi olmaksızın yapılmışlardır. Bu nedenle, mevcut yapıların kendisine gelebilecek etkileri güvenli şekilde karşılayıp karşılayamayacağı sorusu inşaat mühendislerinin her zaman önemsedikleri bir soru olmuştur. Özellikle, daha önce yürürlükte olan yönetmeliklere göre yapılmış bir yapının yeni yönetmeliklere göre kendisine gelebilecek etkileri karşılama kapasitesi hep merak edilmiştir. Ayrıca hasarlı bir yapının takviye edildikten sonra hangi oranda güçlendiğinin belirlenmesi de merak edilen diğer bir konudur. Yapılan son araştırmalar, eski bir yönetmeliğe göre yapılmış mevcut bir yapının sadece yeni yönetmelik hükümlerine göre yetersiz kalmasının, o yapının, güvenli olmadığını kanıtlamadığını göstermiştir. Fakat burada, yapının kendisine gelecek olan etkileri hangi oranda karşıladığının bilinmesi, buna göre o yapı ile ilgili güvenlik konusunda hüküm verilmesi için gereklidir.

Bir deprem etkisi altında, yeni ve mevcut yapıların davranışını ve sismik kapasitesinin değerlendirilmesi için geleneksel sismik tasarım yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Çünkü, geleneksel sismik tasarım yöntemleri kuvvete dayalı yöntemlerdir. Bu yöntemlerde eleman kesitlerinin yeterli olmasından sonra deplasman kontrolü yapılmaktadır. Dünyadaki deprem yönetmeliklerinin birçoğunda da olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliği (TDY-1998) kuvvete dayalı yöntemlerle ilgili hükümler içermektedir. Diğer taraftan, performansa dayalı tasarım yöntemlerinde önce deformasyonların seviyesi kontrol edilir, sonra kesitlerin yeterliliği araştırılır. Performansa dayalı sismik tasarım yöntemlerinin geleneksel sismik tasarım yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü, performansa dayalı sismik

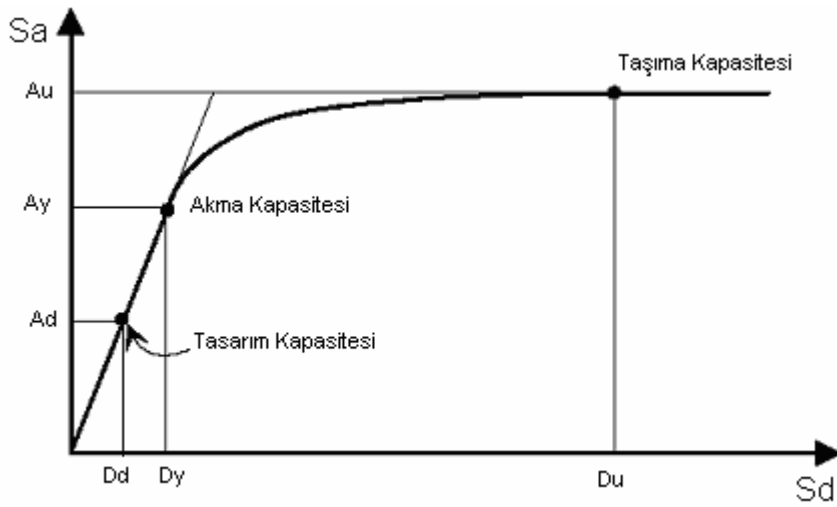
tasarımda farklı amaçlar için farklı limit durumlarına sahip olması mümkün binaların bu durumlarının göz önüne alınabilmesidir.

Deprem hesap yönetmelikleri genellikle yapının performansını belirlemek için kuvvete dayalı analizin uygulamasını tanımlamışlar ve önermişlerdir. Elastik kuvvete dayalı analiz, elastik ötesi davranışı tahmin etmek için bir yoldur. Bu yöntem tanımı ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Yönetmeliklerde, eşdeğer yanal yüklerin hesabı ve bunların yapıya uygulama şekillerine ilave olarak, ayrıca yapının enerji yutma kapasitesini ve minimum düktilitesini sağlamak için bazı koşullar belirtilmiştir. Bu yaklaşımla yönetmelik hükümlerine göre yapılan yapılar için , can güvenliğinin sağlanması ve göçmenin önlenmesi amaçlanmıştır. Fakat, bu yaklaşımda, yapının hasar görmesinin önlenmesi garantilenmez.

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucunda nonlineer deplasmana dayalı yöntemlerin uygulaması yaygınlaşmıştır. Yapının elastik ötesi davranışı tahmin etmek için , elastik kuvvete dayalı yöntemlere güvenilmemesi, deplasmana dayalı yöntemleri daha fazla tercih edilir hale getirmiştir.

Özellikle şiddetli yer hareketine maruz kalan hasarlı yapılar incelendiği zaman pek çoğunun elastik olmayan davranış sergileyerek hasar gördüğünü bilinmektedir. Yapıların sismik etkilere göre tasarımında en önemli noktalardan biri yapı bileşenlerinin doğrusal olmayan elastik deformasyonları boyunca enerji dağılımının nasıl hesaba katılacağı ve nasıl kontrol edileceğidir. Doğrusal olmayan yapı analizi kuvvet deformasyon karakteristiklerinin modellenmesi esnasında elemanların doğrusal olmayan deformasyon kapasitesini dikkate almaktadır. Dünyada ve ülkemizde yapıların deprem tasarımı ile ilgili yürürlükte olan standartların pek çoğu deprem nedeniyle meydana gelen kesit tesirlerinin hesaplanmasında ve yapının deprem davranışının belirlenmesinde doğrusal elastik analiz yöntemlerini kullanmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi deprem etkisi altında pek çok yapının doğrusal olmayan davranış sergilemesi nedeniyle doğrusal – elastik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Özellikle mevcut binaların sismik rehabilitasyonu göz önüne alındığı zaman önemli bir çoğunluğu daha önce yürürlükte olan şartnamelere göre

yapıldığı için yürürlükte olan şartnamelere göre değerlendirilmeleri halinde depreme dayanıklılık açısından yetersiz görülmektedir. Böyle bir değerlendirme hem ekonomik açıdan hem de depreme dayanıklı yapı tasarımı kriterleri açısından kabul edilebilir bir yaklaşım olmamaktadır. Bu nedenle deprem etkisi altındaki bir yapının depreme dayanım performansının sadece geçmiş ve yürürlükte olan şartnameler açısından değerlendirilmesi yerine yapının performansını belirleyecek yöntemler kullanılarak performans dayalı tasarım yöntemlerinden faydalanmak daha gerçekçi bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.28 Örnek bina kapasite eğrisi

### 3.2.5.2. Performansa Dayalı Sismik Tasarım Yöntemleri

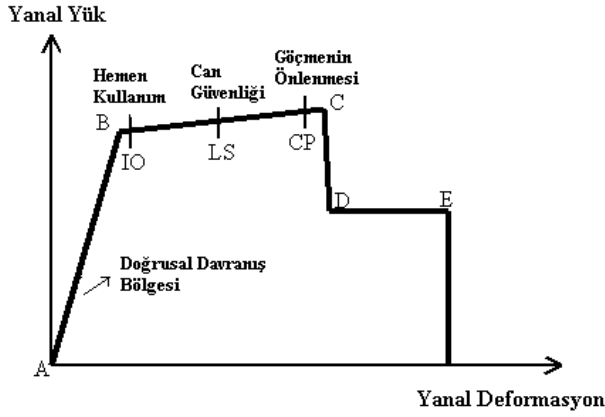
Deprem etkisi altında yapıların çoğunun elastik ötesi davranış sergilemesi sonucunda elastik sınır dayanımı aşıldığında, gevrek yapılar depreme karşı koyamayarak ağır hasar görür ve yıkılırken, sünek yapılar deforme olabildikleri ölçüde ayakta kalırlar ve gevrek yapılara göre daha az hasar görürler. Sünek olamayan veya yatay yük dayanımı yüksek olan rijit yapılarda büyük deformasyon beklemek gerçekçi değildir. Bu tür yapıların deprem dayanımı kuvvet esasına göre belirlenirken sünek yapıların deprem dayanımı ise deformasyon esasına göre belirlenmelidir. Kuvvet veya deformasyon esaslı yapı değerlendirmesi farklı yöntemler kullanmayı gerektirmektedir. Deformasyon esaslı yapı dayanımı yöntemleri genel olarak

deplasmana dayalı sismik değerlendirme ve dizayn yöntemleri olarak adlandırılmaktadırlar

Yapıların performansa dayalı sismik tasarımında dört farklı prosedür bulunmaktadır. Bunlar, lineer statik, lineer dinamik, nonlinear statik ve nonlinear dinamik prosedürlerdir. Yapıların depreme göre tasarımında yapıların maksimum deplasman davranışını tahmin etmek için, yukarıdaki yöntemlerden nonlinear prosedürlerin kullanılması son zamanlarda yapı mühendisliği uygulamalarında çok daha fazla yaygın hale gelmiştir. Yapıların deprem dayanım ve güvenliğini belirlemek için kullanılan deplasmana dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemleri FEMA 273 (Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings-1997) ATC-40 (Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings-1996)ve ATC-32 (Improved Seismic Design Criteria For California Bridge) gibi kaynaklarda geniş bir şekilde anlatılmaktadır. Bu yöntemler, Kapasite Spektrum Yöntemi, Deplasman Katsayı Yöntemi ve Sekant Yöntemleridir.

Kuvvete dayalı yöntemlerde yapı davranış olarak elastik bölgede kalır. Bundan dolayı çoğu zaman kuvvete dayalı yöntemlere göre tasarlanan yapıların ekonomik boyutlandırıldıkları söylenemez. Özellikle şiddetli depremlerde yapı elastik ötesi bir davranış sergilemektedir ve elastik analiz ile yapının elastik ötesi davranışını izlemek de mümkün değildir. Bu, ileri elastik ötesi davranışı hesaba katmak için klasik kuvvete dayalı prosedürlerde değişik düzeltmeler yapmak gerektir. Sismik kuvvet indirgeme faktörü “R” dolaylı olarak elastik ötesi davranışı hesaba katar. Elastik kuvvetleri, elastik ötesi kuvvete indirmek için sismik kuvvet indirgeme faktörü “R” kullanılmıştır. Dünyadaki pek çok deprem standardında olduğu gibi 1998 TDY’de de bu kavramdan faydalanılmıştır.

Performansa dayalı sismik tasarımda FEMA356 ve FEMA273’te temel performans seviyeleri aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.



Şekil 3.29 Eleman için tipik yük deformasyon eğrisi

**Hemen Kullanım (Immediate Occupancy) Performans Seviyesi (IO) :** Bu performans seviyesinde, deprem sonrasında, yapının taşıyıcı elamanları deprem öncesindeki dayanımını büyük bir oranda korur. Özellikle deprem sonrası hemen kullanılması gereken hastane, itfaiye, belediye binaları gibi yapıların bu performans seviyesine göre tasarımı yapılmalıdır.

**Can güvenliği (Life Safety) Performans Seviyesi (LS):** Bu performans seviyesinde ise, deprem sonrasında, yapının bazı eleman ve bileşenleri önemli bir şekilde hasar görür fakat, bu hasarlar, yapıda tamamen veya kısmen göçme tehlikesi yaratmaz. Deprem esnasında zararlar oluşabilir fakat, yapısal hasar sonucu, can kaybı riski beklenenden düşüktür. Yapının onarımı mümkündür fakat, ekonomik nedenlerden dolayı pratik olmayabilir. Konut tipi yapılar, toplu yaşam yerleri, iş merkezleri gibi binalar bu performans seviyesine göre tasarımı yapılmalıdır.

**Göçmenin Önlenmesi (Collapse Prevention) Performans Seviyesi (CP):** Bu performans seviyesinde ise deprem sonrası, yapı kısmen veya tamamen göçme sınırındadır. Yapıda önemli hasarlar ve kalıcı deformasyonlar oluşmuştur. Yapının onarımı teknik olarak pratik değildir ve tekrar kullanımı güvenli değildir, artçı şoklar göçmeye neden olabilir. Deprem sonrası hemen kullanılmayacak yapılar için seçilen performans seviyesidir.

### 3.2.5.3. Pushover Analiz

Deplasmana dayalı nonlinear yöntemlerin temel noktası, pushover veya kapasite eğrisinin elde edilmesidir. Pushover analiz, yapının yanal yük kapasitesini elde etmek için temel bir yaklaşımdır. Yapının kapasitesi, elemanların dayanım ve deformasyon kapasitelerine bağlıdır. Yapının sismik davranışı, eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistem davranışı kabulüne dayanmaktadır. Bu nedenle, yapının davranışı tek bir mod şekliyle ifade edilebilir. Bu kabul, temel titreşim periyodu  $1s_n$ 'ye kadar olan yapılar için geçerlidir. Bu yüzden çok fazla esnek yapılar için yüksek mod etkileri göz önüne alınmalıdır.

Statik itme (pushover) analizin iki esas tipinden biri kuvvet kontrollü pushover yöntemidir. Bu yöntemde, daha önce seçilmiş yanal yük şekli iki veya üç boyutlu ana modellere artımsal olarak uygulanır. Çünkü, pek çok eleman için, etkiler(demand), elastik kuvvet kapasitesini aştığı zaman, plastik mafsalların oluşumlarının ve iç kuvvetlerin tekrar dağıtılması gerekir. Bu tip pushover analizi uygulamak kolaydır. Bununla birlikte, bu yöntemin sakıncası da vardır. Yapının toplam rijitliği azaltıldığı için, kuvvet seviyesinde herhangi bir önemli değişim olmaksızın deplasman artar. Bu durum yakınsamada nümerik problemler yaratabilir. Bu problemin üstesinden gelmek için araştırmacılar deplasman kontrollü pushover analizin kullanılmasını önermişlerdir. Bu yöntemde ise, yanal yük paterni seçilir ve bu yük paterninin büyüklüğü önceden belirlenmiş deplasman artımlarını sağlamak için iterasyonlar boyunca değişir. Yapıya uygulanmış yanal yük paterninin büyüklüğü değiştirilerek hedef deplasmana ulaşılır. Genellikle bütün adımlar için deplasman artımı sabit alınır ve önceden belirlenmiş deplasman seviyesine veya göçme mekanizmasına kadar analiz sürdürülür. Başka bir deyişle; bir yapının pushover analizini yapmak için; eşdeğer yanal yük yöntemi veya modal analiz tekniği gibi uygun bir yöntemle ilk önce sismik yük dağılımı veya şablonu belirlenir. Kuvvet dağılımı uygulanılır ve yükün büyüklüğü monotonik olarak artırılır. Yapının ilk plastik deformasyonu ile ilişkili olan yüklemenin konum ve büyüklüğü tespit edilir ve akma konumunda yapının rijitliği değiştirilir. Yükün büyüklüğü, tespit edilen bir sonraki akma noktasına kadar tekrar artırılır. Bu işlemler, maksimum beklenen bir deprem nedeniyle, hesaplanan maksimum yer değiştirmeleri veya deformasyon dayanımı



aşmayacak şekilde oluşacak sismik kuvveti sağlamak için yeterli rijitlik indirgenmesine ulaşana kadar tekrar edilir.

Diğer taraftan pushover analizde, önemli noktalardan biride yük şablonunun seçimidir. Genelde, seçilmiş yük paterni deprem esnasındaki atalet kuvvetlerinin dağılımına karşılık gelir. Bununla birlikte, atalet kuvvetlerinin dağılımı sismik etki halinde sabit değildir. Bu yüzden bazı araştırmacılar bu problemin üstesinden gelmek için farklı yollar önermişlerdir. Bu yollardan birinde, kat yükleri, sehim şekil ile orantılı olarak dağıtılırken, bir diğerinde, yüklerin, bir önceki adımdaki kat kesme kuvvetleri ile orantılı olarak dağıtılması önerilmektedir. Bir başkasında ise, her bir yük adımında sekant rijitlikleri kullanılarak çıkartılmış mod şekillerine dayalı SRSS yük paternlerinin kullanılmasını önerilmiştir. Hesaplarda daha basit yöntemler geliştirmek ve yakınsama için, sabit yük paternlerinin kullanılması da mümkündür. Sabit yük paterni kabulünde, deprem süresince atalet kuvvetlerinin dağılımı sabit kabul edilir. Sabit yük paterni kullanıldığı zaman, bu sabit yük paternleri ile elde edilen maksimum deformasyonlar, bir depremde beklenen deformasyonlarla uyumlu olmalıdır. Eğer yüksek mod katkısı yapı davranışında çok etkin değilse ve yapı için yalnızca tek göçme mekanizması varsa sabit yük paterni kabulü gerçekçidir. Ayrıca, üçgen dağılım, birinci mod şekli dağılımı, üniform dikdörtgen dağılım ve en üst kat seviyede tekil yatay yük uygulaması değişik yatay yük şablonları uygulanmaktadır. Bu çalışmada, kat ağırlık ve yükseklikleriyle orantılı olarak kat seviyelerine tekil kuvvetler gelecek şekilde yükleme şablonu kullanılmıştır.

#### **3.2.5.4. Kapasite Spektrum Yöntemi**

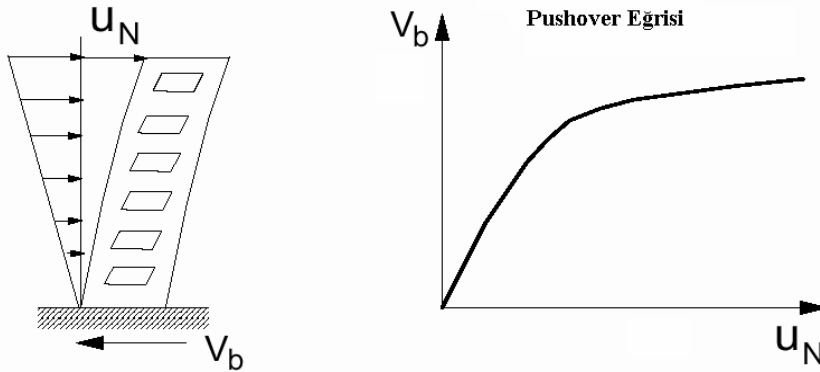
Kapasite spektrum yöntemi, yapıların performansına dayalı sismik tasarımda kullanılan doğrusal olmayan statik prosedürlerden biridir. Bu prosedürde, deprem etkisine maruz bir yapının, global taban kesme kuvveti ve tepe deplasmanından hareketle çizilen pushover eğrisinden elde edilen kapasite eğrisi ile, yine ya doğrudan deprem kaydından ya da şartnamelerden alınan ivme-periyot spektrum eğrisinden elde edilen ivme – deplasman grafiği kesiştirilir.

Kapasite spektrum yöntemi, büyük bina stokları ile ilgili hızlı değerlendirme tekniği olarak, yeni yapılar için tasarım doğrulama prosedürü olarak, mevcut yapıların hasar durumlarını güçlendirme için yapılan çalışmaları değerlendirme prosedürü olarak kullanılabilir. Deprem hareketine maruz kalacak bir binanın performans seviyesi kapasite spektrum yöntemi ile yaklaşık olarak tahmin edilebilir.

Yanal yük dayanım kapasitesi, pushover analiz yapılarak elde edilmiş olan kuvvet deplasman eğrisiyle ifade edilir. Depremlerin etkisi ise davranış spektrum etkileriyle ifade edilir. Bu iki eğri aynı koordinat takımında çizildiği zaman etki ve kapasite arasındaki ilişki kolayca belirlenir. Eğer kapasite eğrisi, etki diyagramı ile kesişirse bina depremde ayakta kalır. Bu iki eğrinin kesişimi o deprem için yapının performans seviyesini ve davranışını yaklaşık olarak tahmin etmemizi sağlar. Öncelikle kapasite eğrisi çizilir. Sonra davranış spektrum eğrisi çizilir. Yapının elastik ötesi davranışını hesaba katmak için elastik doğrusal davranış spektrumuna efektif sönüm değerleri uygulanarak elastik ötesi davranış spektrumu elde edilir. Yapının kapasitesini belirleyebilmek için pushover analiz prosedürü gibi nonlineer analiz prosedürlerine ihtiyaç vardır. Pushover analiz daha önce, bölüm 3.2.3.3'de açıklanmıştır.

Aşağıda, kapasite spektrum yönteminde uygulanacak adımlar verilmiştir.

Pushover eğrisinin elde edilmesi



Şekil 3.30 Pushover eğrisi

Yapının tepe noktası deplasmanı ( $U_N$ ) ve taban kesme kuvveti  $V_B$  arasındaki ilişki grafik olarak çizilir.

## 2. Pushover Eğrisinin Kapasite Eğrisine Çevrilmesi

Pushover eğrisi yerçekimi etkisini göz önüne alınırsa, 3.23 formülü kullanılarak kapasite eğrisine çevrilir.

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_{i,1}) / g}{\sum (w_i \cdot \phi_{i,1}^2) / g} \quad \text{ve} \quad S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{PF_1 \cdot \phi_{\text{roof},1}} \quad (3.23)$$

kapasite eğrisinin düşey eksenini  $S_a$ 'ya aşağıdaki gibi çevrilir.

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad \text{ve} \quad \alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N (w_i \cdot \phi_{i,1}) / g \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N w_i / g \right] \cdot \left[ \sum (w_i \cdot \phi_{i,1}^2) / g \right]} \quad (3.24)$$

$T$ ,  $S_d$ 'ye aşağıdaki gibi çevrilir.

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot S_a \cdot g \quad (3.25)$$

Burada  $PF_1$  1. mod için modal katılım faktörü,  $W_1$  ise birinci katın ağırlığıdır.  $g$ : yerçekimi ivmesidir.  $\phi_{i,1}$  i. kattaki birinci modun genliğidir.  $N$  ise kat sayısıdır.  $\Delta_{\text{çatı}}$  ise kapasite eğrisinde çatı deplasmanı,  $\alpha_1$  ise 1. mod için modal kütle katsayısıdır.  $V$ ; toplam taban kesmesidir.  $W$ : hareketli yükleri kapsayan bina ağırlığıdır.

Yer çekimi etkisi göz önüne alınmadan ise aşağıda verilen 3.6 formülü kullanılarak şekil 3.26'da görüldüğü gibi çevrilir.

$$\Gamma_1 = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \cdot \phi_{j,1}}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot \phi_{j,1}^2}, \quad M_1^* = \frac{\left( \sum_{j=1}^N m_j \cdot \phi_{j,1} \right)^2}{\sum_{j=1}^N m_j \cdot \phi_{j,1}^2} \quad (3.26)$$

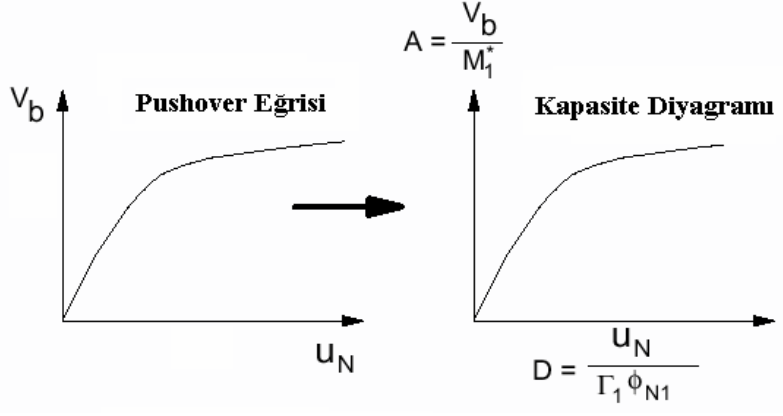
Burada;

$m_j$  : j katında toplanmış kütleler

$N$  : kat sayısı

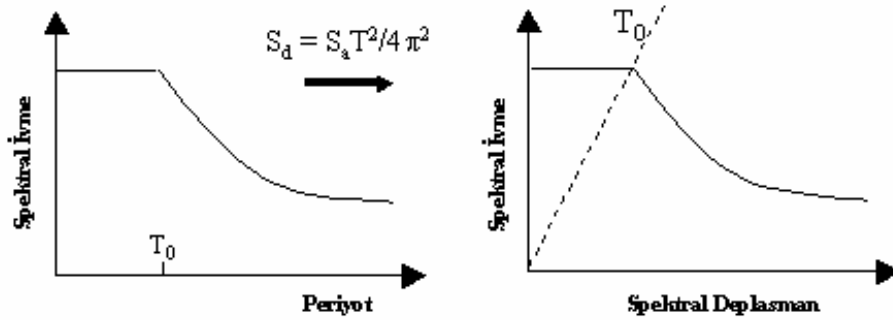
$\phi_{j,1}$  : j inci katta temel mode  $\phi$ 'nin birinci elemanı

$M_1^*$  : temel titreşim modu efektif modal kütle



Şekil 3.31 Pushover Eğrisinin Kapasite Eğrisine Çevrilmesi

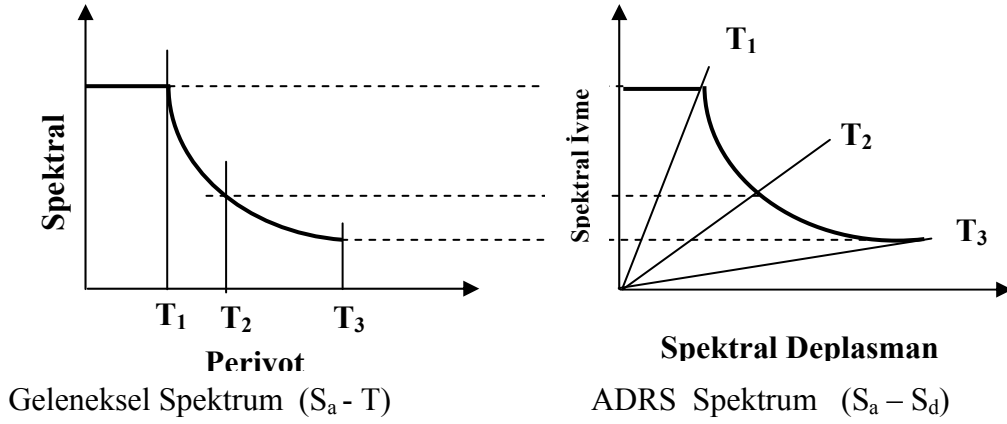
### 3. Elastik Dizayn Spektrumunun ADRS Formata Çevrilmesi



Şekil 3.32 Elastik Dizayn Spektrumunun ADRS Formata Çevrilmesi

$$S_d = \frac{1}{4\pi^2} \cdot S_a \cdot T^2 \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (3.27)$$

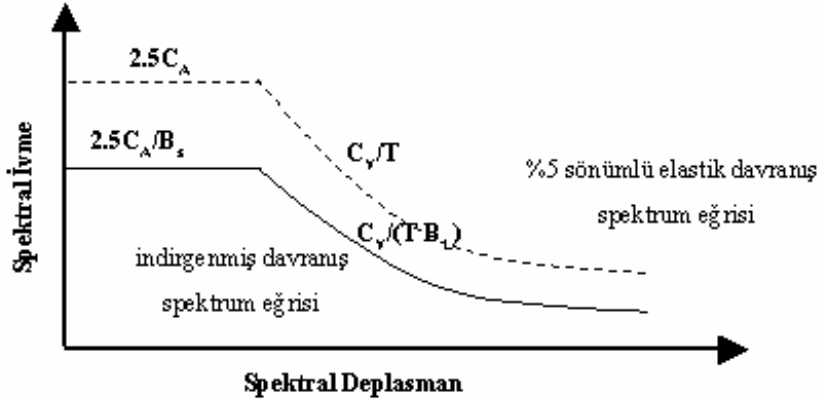
Spektral ivme periyot grafiğindeki spektral ivme–spektral deplasman grafiğine (ADRS- acceleration displacement response spectrum) formatına dönüştürüldüğünde periyotlar spektral ivme – spektral deplasman grafiğinde orijinden başlayarak aşağıdaki gibi çizilir.



Şekil 3.33 geleneksel ve ADRS Formatta Davranış Spektrumu

#### 4. Elastik ötesi – Etki diyagramının elde edilmesi

Elastik ötesi etki diyagramı, üçüncü adımda elde edilen ADRS formatındaki elastik dizayn spektrum eğrisi değerleri,  $S_{RA}$  ve  $S_{RV}$  indirgeme faktörleri ile çarpılarak aşağıdaki gibi elde edilmektedir.



Şekil 3.34 %5 sönümlü elastik davranış spektrum eğrisinin indirgenmesi

İndirgenmiş davranış spektrumunu oluşturmak için faydalanılan spektral indirgeme faktörleri  $S_{RA}=1/B_S$  ve  $S_{RV}=1/B_L$ 'dir. Burada indirgeme faktörleri ya Newmark ve Hall tarafından 1982'de geliştirilmiş olan  $\beta_{eq}$  'la alakalı ya da  $\beta_{eff}$ 'e bağlı olarak ATC40'da verilen, aşağıdaki çizelge 3.3'den doğrudan alınır veya aşağıdaki formül 3.28 ve 3.29 kullanılarak hesaplanır.

Çizelge 3.2 Yapısal Davranış Tipleri

Sarsma Süresi	Yeni Binalar	Orta Mevcut Binalar	Eski Mevcut Binalar
Kısa	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun	Tip B	Tip C	Tip C

Çizelge 3.3 Spektral İndirgeme Faktörleri

$\beta_0$ toleransı	Davranış Tipi A			Davranış Tipi B			Davranış Tipi C		
	$\beta_{eff}$	$SR_A$ ( $1/B_s$ )	$SR_V$ ( $1/B_L$ )	$\beta_{eff}$	$SR_A$ ( $1/B_s$ )	$SR_V$ ( $1/B_L$ )	$\beta_{eff}$	$SR_A$ ( $1/B_s$ )	$SR_V$ ( $1/B_L$ )
0	5	1	1	5	1	1	5	1	1
5	10	0.78	0.83	8	0.83	0.87	7	0.91	0.93
15	20	0.55	0.66	15	0.64	0.73	10	0.78	0.83
25	28	0.44	0.57	22	0.53	0.63	13	0.69	0.76
35	35	0.38	0.52	26	0.47	0.59	17	0.61	0.70
$\geq 45$	40	0.33	0.50	29	0.44	0.56	20	0.56	0.69

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eff})}{2.12} \quad (3.28)$$

ve

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}{1.65} \quad (3.29)$$

eşdeğer sönüm aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0 \quad (3.30)$$

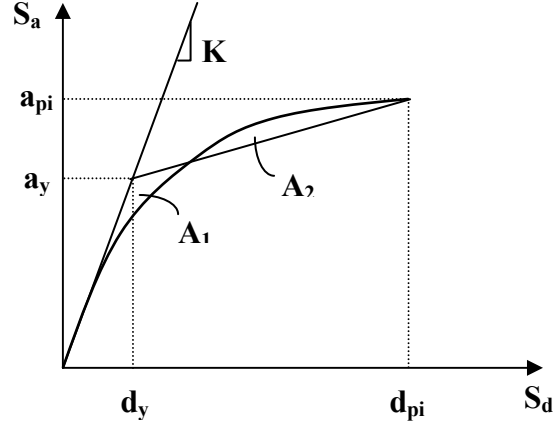
Düktilitesi yüksek sistemler için  $\beta_{eq} = \beta_{eff}$  olarak tanımlanmaktadır. Düktilitesi düşük sistemler için ise aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\beta_{eff} = K \cdot \beta_0 + 0.05 \quad (3.31)$$

Burada  $\beta_0$  histerik sönüm, K katsayısı ise, yapının davranışı,  $\beta_0$  ve sarsma süresine bağlı sönüm düzeltme faktörüdür ve ATC40'da verilmiştir.

$$\beta_0 = \frac{0,637(a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (3.32)$$

$\beta_0$  formülündeki  $a_y$ ,  $a_{pi}$ ,  $d_y$  ve  $d_{pi}$  değişkenlerin hesabı ikili doğrusal kapasite eğrisinden faydalanılarak belirlenir.



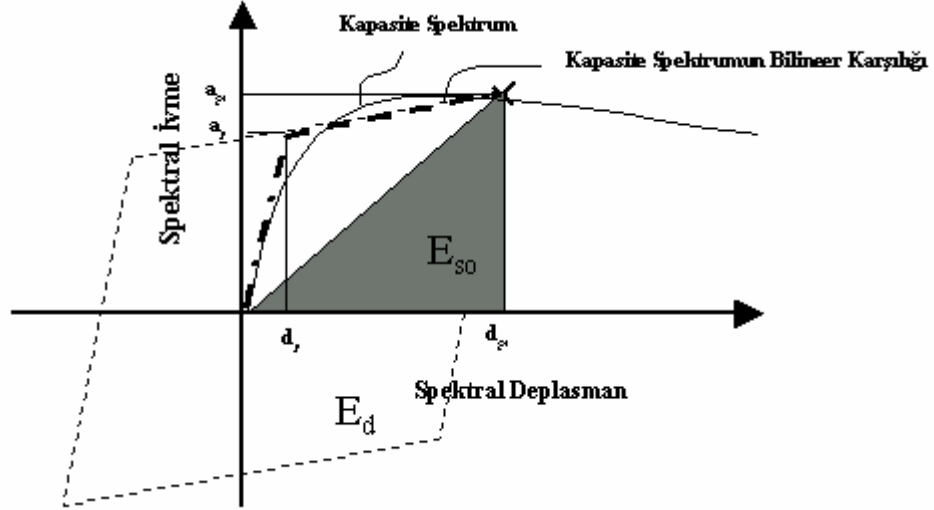
Şekil 3.35 Bilineer kapasite eğrisi varsayımı

Efektif sönümün tahmini ve spektral istemin uygun şekilde indirgenmesine devam edebilmek için kapasite-spektrum formunda çizilmiş kapasite eğrisinin eşdeğer ikili lineer kapasite eğrisi olarak elde edilmiş şekline ihtiyaç vardır. İkili doğrusal karşılığın oluşturulması  $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$  noktasının tanımını gerekli kılmaktadır. Bu nokta deneme performans noktasıdır. İndirgenmiş istem-davranış spektrumunu geliştirmek için mühendisler tarafından tahmin edilir. Eğer tahmin edilen  $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$  noktalarında indirgenmiş davranış spektrumu kapasite spektrumu ile kesiştirilirse bu nokta performans noktasıdır.  $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$  noktasının ilk tahmini  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ , ikinci tahmini  $a_{p2}$ ,  $d_{p2}$  ve böylece devam eder.  $a_{p1}$ ,  $d_{p1}$ 'in tahmini eşit deplasman yaklaşımıyla yapılır ki, yaklaşım bir saniye civarındaki periyotlar için oldukça iyi sonuç verir.

Binanın başlangıç rijitliği çizgisi orijinden çizilir. Diğer doğru şekil 3.30'da görüldüğü gibi  $A_1$ ,  $A_2$  alanları yaklaşık eşit olacak şekilde çizilerek kapasite eğrisi ikili doğrusal forma dönüştürülür. Bu iki doğrunun kesiştiği noktanın düşey koordinatı  $a_y$ , yatay koordinatı  $d_y$  olarak gösterilir. İkinci doğrunun deneme

performans noktası  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  'nin yeri şekil 3.30'da görüldüğü gibi alanlar eşit olacak şekilde belirlenir.

Artık ikili doğrusal kapasite eğrisinin oluşturulmasından sonra sönüm hesaplanabilir.  $\beta_{eq}$  viskoz ve histerik sönümün kombinasyonu olarak göz önüne alınabilir. Histerik sönüm, döngü içerisindeki alanla alakalıdır.



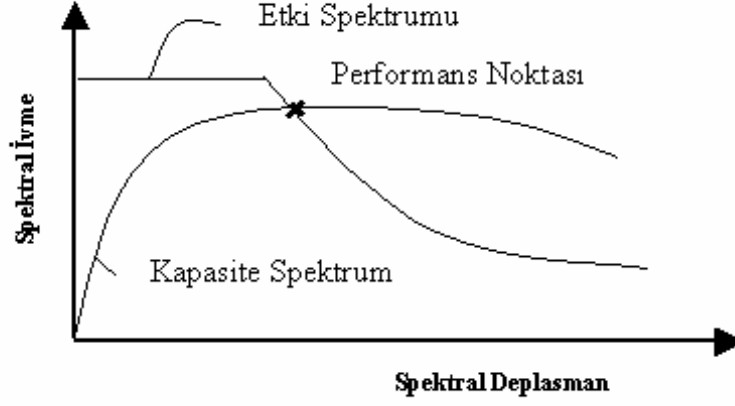
Şekil 3.36  $E_D$  ve  $E_{SO}$  açısından  $\beta_0$ 'ın hesabı

$E_D$  ve  $E_{SO}$  açısından  $\beta_0$ , eşdeğer viskoz sönüme karşılık gelen histerik sönüm,  $E_D$  hareketin tek bir devrinde yapı tarafından yutulan enerji  $E_{SO}$ , maksimum şekil değiştirme enerjisidir

## 5. Kapasite Eğrisi Ve Etki Diyagramının Kesiştirilmesi

$S_{RA}$  ve  $S_{RV}$  vasıtasıyla indirgenmiş etki spektrumu ve ADRS formatında kapasite spektrumu kesiştirilir (Şekil 3.32). Eğer bu kesişme noktası deneme performans noktasının deplasman değişimi içerisinde ise  $a_{pi}$  ve  $d_{pi}$  yapının performans noktasını oluşturur ( $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$ ). Eğer bu etki ve kapasite spektrumlarının kesişimi kabul edilebilir tolerans içinde değilse deneme performans noktası ( $a_{pi}$ ,  $d_{pi}$ ) değiştirilir ve işlemler tekrarlanır.





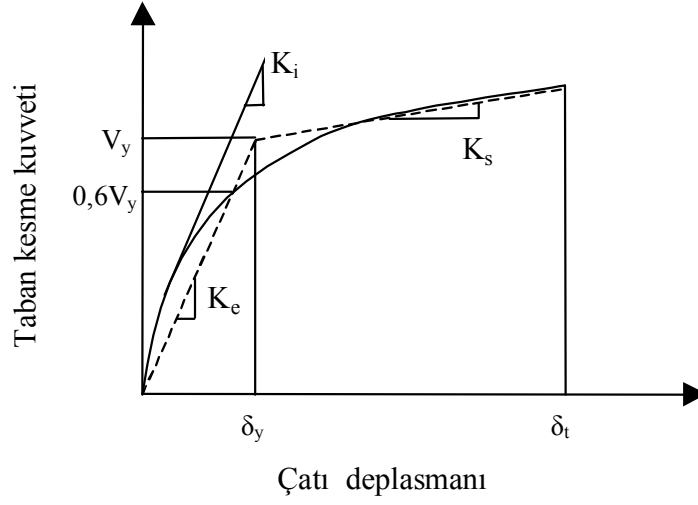
Şekil 3.37 Performans noktasının belirlenmesi

Bu çalışmada, yapının sismik performansını belirlemek için kapasite spektrum yöntemi kullanılmıştır.

### 3.2.5.5. Deplasman Katsayı Yöntemi

Bu yöntem yapının performans seviyesini hesaplamak için FEMA356 ve FEMA273'te önerilen bir nümerik yöntemdir. Bu yöntemde pushover eğrisini, kapasite spektrum yönteminde olduğu gibi spektral koordinatlara çevirmek gerekmez. Pushover eğrisini kullanarak performansı tanımlanan binanın, maksimum en üst kat deplasmanın hesaplamak için basit bir formül (denkl.3.35) kullanılır.

Başlangıçta, bu formülde kullanılacak olan, başlangıç rijitliği,  $K_i$  ve efektif elastik rijitliği,  $K_e$  bilinmediğinden efektif temel periyodu belirlemek için kapasite eğrisinin bilineer karşılığı gereklidir. Kapasite eğrisini bilineer şekle dönüştürmek için önce, yapı dayanım seviyesinin bitmiş olduğu bölgede ortalama rijitliğe karşılık geldiği düşünülerek ileri elastik rijitlik  $K_s$  ve başlangıç rijitliği  $K_i$  kapasite eğrisi üzerine çizilir. Sonra, efektif elastik rijitlik  $K_e$ ,  $0,6V_y$  'nın taban kesmelerine karşılık gelen kapasite eğrisinin üzerindeki doğru geçirilerek oluşturulur. Burada  $K_e$  ve  $K_s$  doğrularının kesiştiği yer  $V_y$  'dir. Bu işlemler deneme yanılma işlemlerini gerektirir. Çünkü  $K_e$  doğrusu çizilinceye kadar  $V_y$  'nin değeri bilinmemektedir.



Şekil 3.38 Bilineer şekle indirgenmiş kapasite eğrisi

Hedef deplasman ;

$$\delta_t = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (3.33)$$

formülüyle hesaplanır. Burada ;

$C_0$  : Çok serbestlik dereceli bir binanın çatı deplasmanını eşdeğer tek serbestlik dereceli bir sistemin spektral deplasmanına dönüştürmek için düzeltme faktörü. Bu katsayı FEMA356'da verilen aşağıdaki çizelge 3.4'den alınabilir.

Çizelge 3.4  $C_0$  Düzeltme Katsayısı Değerleri

C <sub>0</sub> Katsayısı için değerler			
Kat Sayısı	Kayma Binası		Diğer binalar Herhagibir Yük Paterni
	Üçgen Yük Paterni	Üniform Yük Paterni	
1	1,0	1,0	1,0
2	1,2	1,15	1,2
3	1,2	1,2	1,3
5	1,3	1,2	1,4
10 <sup>+</sup>	1,3	1,2	1,5

$C_1$  : Lineer elastik davranış için hesaplanan deplasmanları beklenen maksimum elastik ötesi deplasmanlara dönüştürmek için düzeltme faktörü. Bu katsayı efektif temel periyoda bağlı olarak denklem 3.34 kullanılarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} T_e \geq T_0 \quad \text{için} \quad C_1 &= 1.0 \\ T_e \leq T_0 \quad \text{için} \quad C_1 &= \left[ 1 + (R - 1) \frac{T_0}{T_e} \right] / R \end{aligned} \quad (5.12)$$

$T_0$  : Karakteristik periyot

$R$  dayanım oranı, formül 5.13 ile hesaplanır.  $V_y$  ise kapasite eğrisinden daha önce anlatıldığı gibi elde edilir.

$$R = \frac{S_a / g}{V_y / W} \quad (3.35)$$

$C_2$  : Maksimum deplasman davranışı üzerine dayanım bozulması, rijitlik azalması ve histerik şeklin etkilerini temsil eden düzeltme faktörü.  $C_2$  katsayısı FEMA 356'da verilen aşağıdaki çizelge 3.5'den alınabilir.

Çizelge 3.5  $C_2$  düzeltme katsayısı değerleri

C <sub>2</sub> Katsayısı için değerler				
Yapısal Performans Seviyesi	T ≤ 0.1		T ≥ T <sub>0</sub>	
	Çerçeve Tipi 1	Çerçeve Tipi 2	Çerçeve Tipi 1	Çerçeve Tipi 2
Hemen Kullanım	1,0	1,0	1,0	1,0
Can Güvenliği	1,3	1,0	1,1	1,0
Göçme Önlenmesi	1,5	1,0	1,2	1,0

$C_3$  : Dinamik P-Δ etkilerine göre indirgenmiş deplasmanı temsil eden düzeltme faktörü. İleri akma rijitliği pozitif olan binalar için 1.0 alınır, ileri akma rijitliği negatif olan binalar için ise ;

$$C_3 = 1 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T} \quad (3.36)$$

formülü kullanılarak hesaplanır.

$S_a$  : Efektif temel periyoda karşılık gelen davranış spektrum ivmesi

$T_e$  : Efektif temel periyot

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.37)$$

formülüyle hesaplanır.

Burada ;

$T_i$  : Göz önüne alınan yönde elastik temel periyottur.

Bu prosedür, yapı performans seviyelerini belirlemek için, yapı elemanlarının uçlarında inelastik dönmelerin miktarını göz önüne alır. Nonlineer statik prosedürler için kabul edilebilir dönme miktarları FEMA 356'da hemen kullanım, can güvenliği, göçmenin önlenmesi performans seviyelerine göre, kirişler, kolonlar ve perdeler için tablolar halinde verilmiştir. Hesaplanmış dönmeler, istenen sismik performans seviyelerinin izin verilen değerleri ile karşılaştırılır.

## 4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

### 4.1. Araştırma

Çalışmada, sistem geometrisi bakımından birbirinden farklı üç esas model ve değişik çapraz elemanlarla güçlendirilmiş altı alt model toplamda geometri bakımından birbirinden farklı onsekiz model üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmaya esas alınan modeller öncelikle TDY-1998'e göre, Eşdeğer Statik Deprem Yüğü Yöntemi kullanılarak, dört deprem bölgesi (1.,2.,3.ve 4.), dört farklı yerel zemin sınıfı(Z1, Z2, Z3 veZ4) için elastik ötesi davranışlarının incelenmesi amacı ile , Doğrusal Olmayan Statik İtme (pushover) yöntemi kullanılarak analizleri yapılmıştır. Bu analizde, her bir model için, taban kesme kuvveti hesabında yapının serbest titreşim analizi yapılarak hesaplanan birinci mod doğal titreşim periyodu kullanılmıştır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı(R)=5 alınarak Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı( $R_a(T)$ ) hesaplanmıştır. Deprem yükleri, kolon tepe noktalarına etkilmiştir.

Bu çalışmada, uzay kafes sistemlerin güçlendirilmesi amacıyla değişik biçimlerde kullanılan, çaprazlar elemanların yapı sismik performansı üzerine etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada ayrıca, tüm modellerin, çökme mekanizmaları ve periyotları da incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Analizi Yapılan Modellerin Periyotları

Çapraz Tipleri	Modeller		
	MZ1	MZ2	MZ3
<b>0</b>	0.15056	0.22319	0.18084
<b>C</b>	0.52968	0.93135	0.59187
<b>DB</b>	0.17803	0.21946	0.23167
<b>TDB</b>	0.18791	0.21887	0.21375
<b>TVB</b>	0.20381	0.22957	0.25617
<b>VB</b>	0.19796	0.24093	0.26527
<b>XB</b>	0.14662	0.21854	0.18937

Çizelge 4.2. Türk Deprem Yönetmeliği (1998) ve UBC 97 için Deprem Bölgelerine Göre Katsayılar

TDY-1998		UBC-1997	
Deprem Bölgesi	Etkin Yer İvme Katsayısı	Deprem Bölgesi	Sismik Bölge Faktörü
1	0,40	4	0,40
2	0,30	3	0,30
3	0,20	2B	0,20
-	-	2A	0,15
4	0,10	-	-
-	-	1	0,075

Çizelge 4.3 TDY (1998) etkin yer ivme katsayılarının UBC97'ye göre karşılığı

Zemin Profil Tipleri	Sismik bölge faktörü (Z), Etkin yer ivmesi (A <sub>0</sub> )											
	UBC:1 TDY: - Z=0,075		UBC: - TDY: 4 Z=0,10 A <sub>0</sub> =0,10		UBC: 2A TDY: - Z=0,15		UBC: 2B TDY: 3 Z=0,20 A <sub>0</sub> =0,20		UBC: 3 TDY: 2 Z=0,30 A <sub>0</sub> =0,30		UBC: 4 TDY: 1 Z=0,40 A <sub>0</sub> =0,40	
	C <sub>a</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>a</sub>	C <sub>v</sub>
<b>S<sub>A</sub> (Z<sub>1</sub>-A)</b>	0,06	0,06	0,08	0,08	0,12	0,12	0,16	0,16	0,24	0,24	0,32N <sub>a</sub>	0,32N <sub>v</sub>
<b>S<sub>B</sub> (Z<sub>1</sub>-B)</b>	0,08	0,08	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20	0,30	0,30	0,40N <sub>a</sub>	0,40N <sub>v</sub>
<b>S<sub>C</sub> (Z<sub>2</sub>)</b>	0,09	0,13	0,12	0,17	0,18	0,25	0,24	0,32	0,33	0,45	0,40N <sub>a</sub>	0,56N <sub>v</sub>
<b>S<sub>D</sub> (Z<sub>3</sub>)</b>	0,12	0,18	0,15	0,23	0,22	0,32	0,28	0,40	0,36	0,54	0,44N <sub>a</sub>	0,64N <sub>v</sub>
<b>S<sub>A</sub> (Z<sub>4</sub>)</b>	0,19	0,26	0,23	0,34	0,30	0,50	0,34	0,64	0,36	0,84	0,36N <sub>a</sub>	0,96N <sub>v</sub>

Çizelge 4.4. MZ1 Grubu Modelleri Eşdeğer Deprem Yükleri (ton)

Deprem Bölgeleri	Zemin Sınıfları	Modeller					
		C	DB	TDB	TVB	VB	XB
D1	Z1	1.568	2.754	2.756	2.788	2.811	2.794
	Z2	1.974	2.754	2.756	2.788	2.811	2.801
	Z3	2.471	2.754	2.756	2.788	2.811	2.801
	Z4	2.471	2.786	2.774	2.788	2.814	2.886
D2	Z1	1.176	2.065	2.067	2.091	2.108	2.096
	Z2	1.48	2.065	2.067	2.091	2.108	2.1
	Z3	1.853	2.065	2.067	2.091	2.108	2.101
	Z4	1.853	2.09	2.08	2.091	2.11	2.164
D3	Z1	0.784	1.377	1.378	1.394	1.405	1.397
	Z2	0.987	1.377	1.378	1.394	1.405	1.4
	Z3	1.235	1.377	1.378	1.394	1.405	1.4
	Z4	1.235	1.393	1.387	1.394	1.406	1.443
D4	Z1	0.392	0.688	0.689	0.697	0.702	0.698
	Z2	0.493	0.688	0.689	0.697	0.702	0.7
	Z3	0.617	0.688	0.689	0.697	0.702	0.7
	Z4	0.617	0.696	0.693	0.697	0.703	0.721

Çizelge 4.5. MZ2 Grubu Modelleri Eşdeğer Deprem Yükleri (ton)

Deprem Bölgeleri	Zemin Sınıfları	Modeller					
		C	DB	TDB	TVB	VB	XB
D1	Z1	1.091	2.972	2.972	3.005	3.012	3.011
	Z2	1.374	2.972	2.972	3.005	3.012	3.011
	Z3	1.901	2.972	2.972	3.005	3.012	3.011
	Z4	2.629	2.972	2.972	3.005	3.012	3.011
D2	Z1	0.818	2.229	2.229	2.253	2.259	2.258
	Z2	1.031	2.229	2.229	2.253	2.259	2.258
	Z3	1.425	2.229	2.229	2.253	2.259	2.258
	Z4	1.972	2.229	2.229	2.253	2.259	2.258
D3	Z1	0.545	1.486	1.486	1.502	1.506	1.505
	Z2	0.687	1.486	1.486	1.502	1.506	1.505
	Z3	0.95	1.486	1.486	1.502	1.506	1.505
	Z4	1.314	1.486	1.486	1.502	1.506	1.505
D4	Z1	0.272	0.743	0.743	0.751	0.753	0.752
	Z2	0.343	0.743	0.743	0.751	0.753	0.752
	Z3	0.475	0.743	0.743	0.751	0.753	0.752
	Z4	0.657	0.743	0.743	0.751	0.753	0.752



Çizelge 4.6. MZ3 Grubu Modelleri Eşdeğer Deprem Yükleri (ton)

Deprem Bölgeleri	Zemin Sınıfları	Modeller					
		C	DB	TDB	TVB	VB	XB
D1	Z1	1.82	3.416	3.434	3.451	3.451	3.456
	Z2	2.291	3.416	3.434	3.451	3.451	3.456
	Z3	3.135	3.416	3.434	3.451	3.451	3.456
	Z4	3.135	3.416	3.434	3.451	3.451	3.475
D2	Z1	1.365	2.562	2.575	2.588	2.588	2.592
	Z2	1.718	2.562	2.575	2.588	2.588	2.592
	Z3	2.351	2.562	2.575	2.588	2.588	2.592
	Z4	2.351	2.562	2.575	2.588	2.588	2.606
D3	Z1	0.91	1.708	1.717	1.725	1.725	1.728
	Z2	1.145	1.708	1.717	1.725	1.725	1.728
	Z3	1.567	1.708	1.717	1.725	1.725	1.728
	Z4	1.567	1.708	1.717	1.725	1.725	1.737
D4	Z1	0.455	0.854	0.858	0.862	0.862	0.864
	Z2	0.572	0.854	0.858	0.862	0.862	0.864
	Z3	0.783	0.854	0.858	0.862	0.862	0.864
	Z4	0.783	0.854	0.858	0.862	0.862	0.868

Çizelge 4.7. MZ1 Modelinde Z1 Zemin Sınıfına ve Deprem Bölgelerine Göre Performans Noktaları

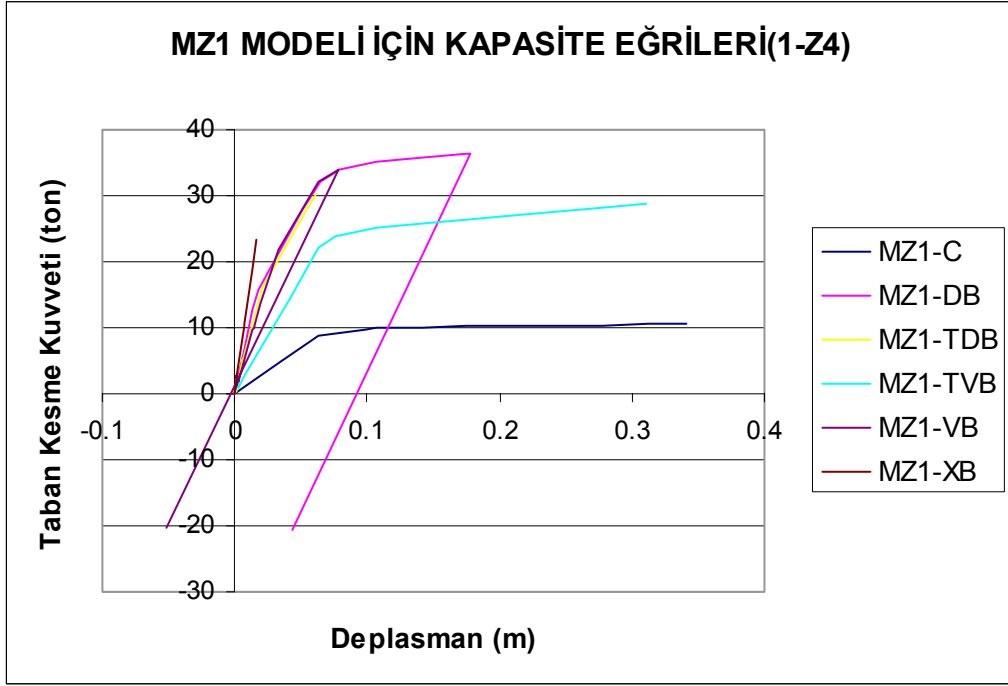
<b>Deprem Bölgesi</b>	<b>Modeller</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>Sa</b>	<b>Sd</b>	<b>Teff</b>	<b><math>\beta_{eff}</math></b>
<b>D1</b>	<b>C</b>	8.737	0.062	0.900	0.062	0.529	0.050
	<b>DB</b>	9.004	0.00967	0.875	0.00979	0.212	0.073
	<b>TDB</b>	9.289	0.011	0.901	0.012	0.229	0.050
	<b>TVB</b>	7.162	0.020	0.692	0.020	0.343	0.112
	<b>VB</b>	8.221	0.012	0.793	0.012	0.243	0.076
	<b>XB</b>	6.795	0.00439	0.655	0.00452	0.161	0.066
<b>D2</b>	<b>C</b>	8.737	0.062	0.900	0.062	0.529	0.050
	<b>DB</b>	7.998	0.00852	0.777	0.00864	0.211	0.076
	<b>TDB</b>	9.289	0.011	0.901	0.012	0.229	0.050
	<b>TVB</b>	7.162	0.020	0.692	0.020	0.343	0.112
	<b>VB</b>	8.231	0.012	0.794	0.012	0.243	0.076
	<b>XB</b>	7.399	0.00485	0.713	0.00498	0.163	0.066
<b>D3</b>	<b>C</b>	8.252	0.059	0.850	0.059	0.529	0.050
	<b>DB</b>	7.508	0.0095	0.729	0.0088	0.211	0.077
	<b>TDB</b>	8.773	0.011	0.851	0.011	0.229	0.050
	<b>TVB</b>	6.635	0.019	0.641	0.019	0.342	0.016
	<b>VB</b>	7.519	0.611	0.725	0.011	0.242	0.084
	<b>XB</b>	7.572	0.00497	0.730	0.00514	0.163	0.065
<b>D4</b>	<b>C</b>	5.582	0.040	0.575	0.040	0.529	0.050
	<b>DB</b>	5.095	0.00519	0.495	0.00530	0.203	0.068
	<b>TDB</b>	5.930	0.00731	0.575	0.00750	0.229	0.050
	<b>TVB</b>	4.072	0.011	0.394	0.011	0.342	0.137
	<b>VB</b>	4.342	0.00594	0.419	0.00609	0.239	0.119
	<b>XB</b>	49.563	0.00300	0.478	0.00313	0.155	0.067

Çizelge 4.6. MZ2 Modelinde Z1 Zemin Sınıfına ve Deprem Bölgelerine Göre Performans Noktaları

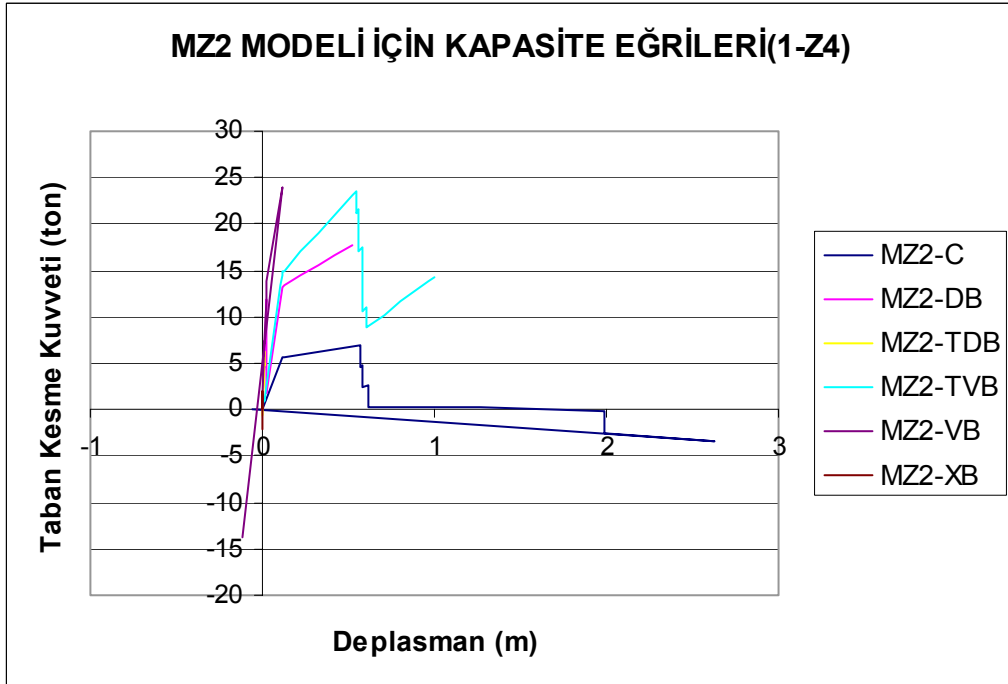
<b>DEPREM BÖLGESİ</b>	<b>TİP</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>Sa</b>	<b>Sd</b>	<b>Teff</b>	<b>βeff</b>
<b>D1</b>	<b>C</b>	5.938	0.210	0.555	0.210	1.141	0.099
	<b>DB</b>	8.129	0.015	0.724	0.014	0.281	0.112
	<b>TDB</b>	7.100	0.00123	0.679	0.00132	0.091	0.050
	<b>TVB</b>	7.068	0.056	0.625	0.056	0.625	0.056
	<b>VB</b>	9.363	0.020	0.825	0.019	0.304	0.064
	<b>XB</b>	8.066	0.00385	0.713	0.00344	0.139	0.050
<b>D2</b>	<b>C</b>	5.910	0.200	0.553	0.200	1.121	0.095
	<b>DB</b>	9.175	0.015	0.817	0.014	0.262	0.068
	<b>TDB</b>	7.170	0.00123	0.686	0.00133	0.090	0.050
	<b>TVB</b>	7.068	0.056	0.625	0.056	0.584	0.164
	<b>VB</b>	9.363	0.020	0.827	0.019	0.304	0.064
	<b>XB</b>	8.636	0.00409	0.763	0.00368	0.139	0.050
<b>D3</b>	<b>C</b>	5.768	0.150	0.540	0.149	1.018	0.070
	<b>DB</b>	8.912	0.0150	0.793	0.014	0.264	0.061
	<b>TDB</b>	7.203	0.00123	0.689	0.00133	0.090	0.050
	<b>TVB</b>	6.366	0.051	0.563	0.050	0.582	0.176
	<b>VB</b>	8.769	0.018	0.775	0.018	0.304	0.066
	<b>XB</b>	9.105	0.00419	0.804	0.00375	0.137	0.050
<b>D4</b>	<b>C</b>	31.837	0.081	0.356	0.081	0.955	0.050
	<b>DB</b>	5.732	0.00935	0.510	0.00863	0.260	0.070
	<b>TDB</b>	6.745	0.00124	0.644	0.00129	0.097	0.050
	<b>TVB</b>	3.453	0.027	0.305	0.027	0.574	0.226
	<b>VB</b>	5.347	0.011	0.472	0.010	0.287	0.080
	<b>XB</b>	6.512	0.00313	0.575	0.00268	0.137	0.050

Çizelge 4.7. MZ3 Modelinde Z1 Zemin Sınıfına ve Deprem Bölgelerine Göre Performans Noktaları

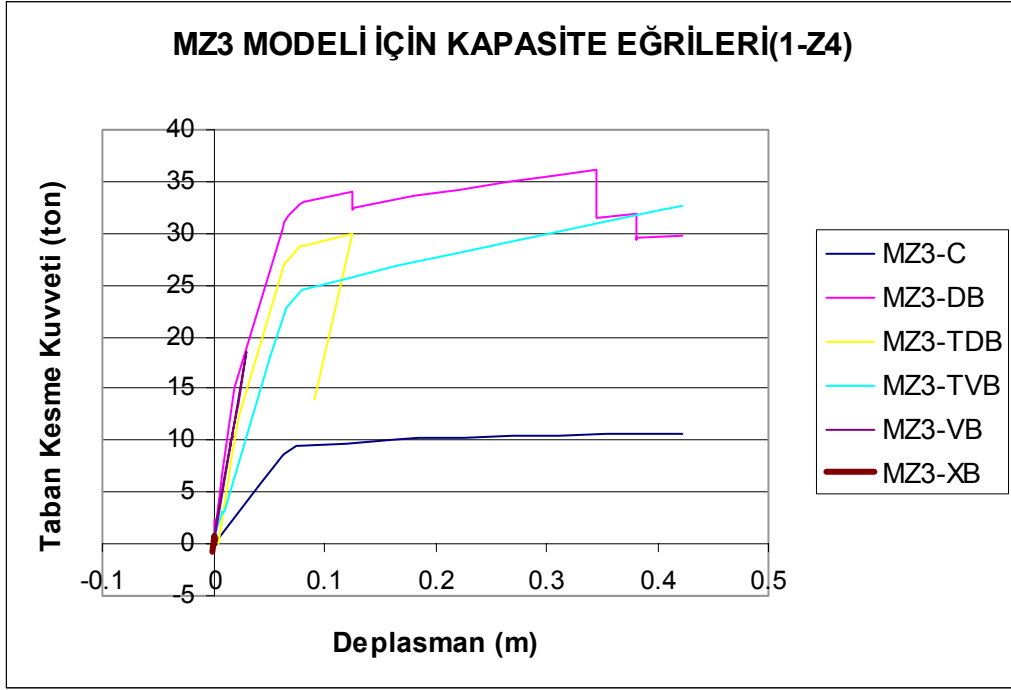
<b>DEPREM BÖLGESİ</b>	<b>TİP</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>Sa</b>	<b>Sd</b>	<b>Teff</b>	<b>βeff</b>
<b>D1</b>	<b>C</b>	9.395	0.075	0.761	0.070	0.608	0.080
	<b>DB</b>	9.964	0.012	0.767	0.012	0.252	0.079
	<b>TDB</b>	11.518	0.021	0.888	0.016	0.269	0.052
	<b>TVB</b>	9.751	0.028	0.747	0.027	0.383	0.094
	<b>VB</b>	11.030	0.018	0.845	0.018	0.291	0.060
	<b>XB</b>	8.615	0.00511	0.659	0.00510	0.176	0.086
<b>D2</b>	<b>C</b>	9.395	0.075	0.761	0.070	0.608	0.080
	<b>DB</b>	9.964	0.012	0.767	0.012	0.252	0.079
	<b>TDB</b>	11.486	0.020	0.886	0.016	0.269	0.052
	<b>TVB</b>	9.751	0.028	0.747	0.027	0.383	0.094
	<b>VB</b>	11.030	0.018	0.845	0.018	0.291	0.060
	<b>XB</b>	8.747	0.00549	0.670	0.00541	0.180	0.099
<b>D3</b>	<b>C</b>	9.227	0.072	0.747	0.067	0.602	0.073
	<b>DB</b>	11.933	0.011	0.718	0.011	0.251	0.081
	<b>TDB</b>	28.764	0.017	0.831	0.015	0.269	0.053
	<b>TVB</b>	9.065	0.026	0.694	0.025	0.383	0.097
	<b>VB</b>	10.541	0.017	0.808	0.017	0.290	0.058
	<b>XB</b>	8.779	0.00543	0.672	0.00539	0.179	0.096
<b>D4</b>	<b>C</b>	7.110	0.051	0.574	0.049	0.584	0.050
	<b>DB</b>	6.018	0.00705	0.463	0.00699	0.244	0.089
	<b>TDB</b>	9.231	0.014	0.712	0.013	0.302	0.057
	<b>TVB</b>	5.637	0.016	0.432	0.016	0.384	0.114
	<b>VB</b>	6.411	0.010	0.491	0.010	0.287	0.081
	<b>XB</b>	7.252	0.00369	0.554	0.00369	0.163	0.055



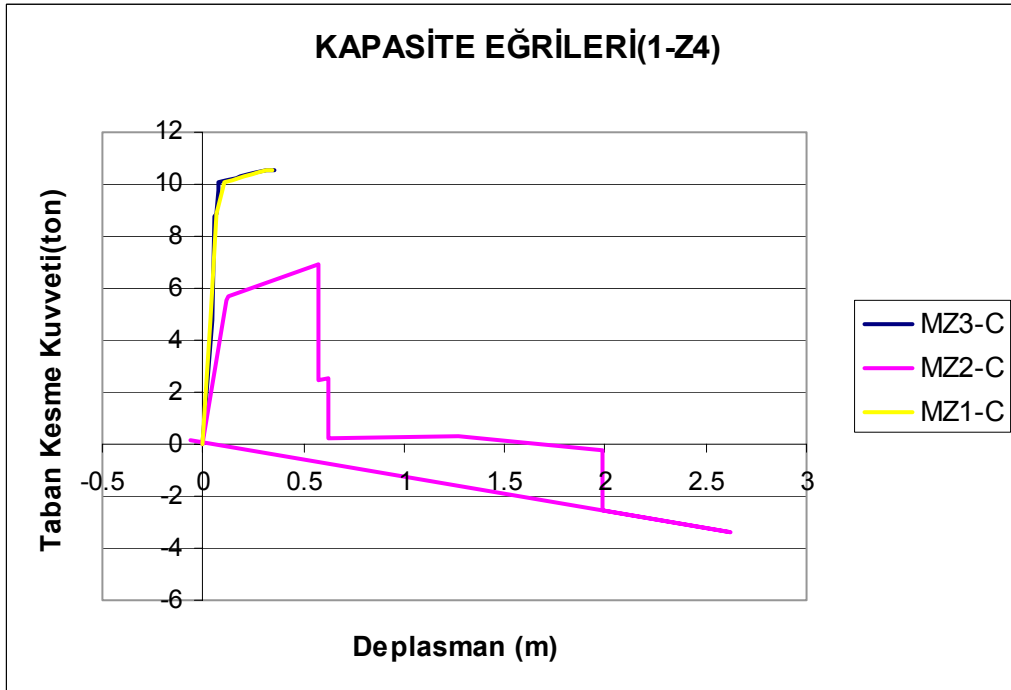
Şekil 4.1. Tonoz Yapılarda 1. Deprem Bölge Ve Z4 Zemin Sınıfı İçin Pushover Eğrileri



Şekil 4.2. Tonoz Yapılarda 1. Deprem Bölge ve Z4 Zemin Sınıfı İçin Pushover Eğrileri



Şekil 4.3. Kırık Çatılı Yapılarda 1. Deprem Bölge ve Z4 Zemin Sınıfı İçin Pushover Eğrileri

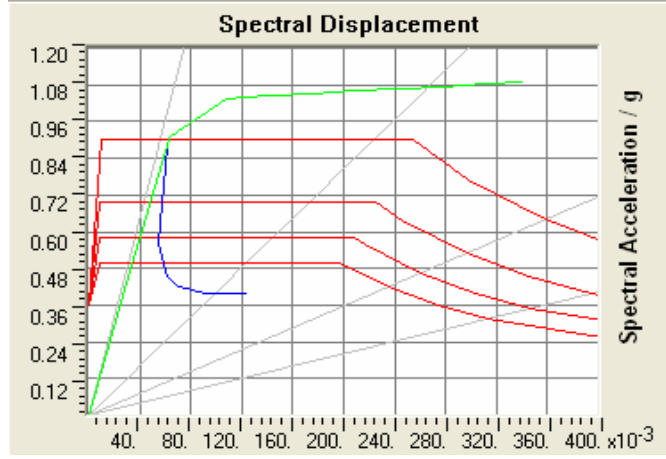


Şekil 4.4. Farklı Çatı Tiplerine Göre 1. Deprem Bölge ve Z4 Zemin Sınıfı için Pushover Eğrileri

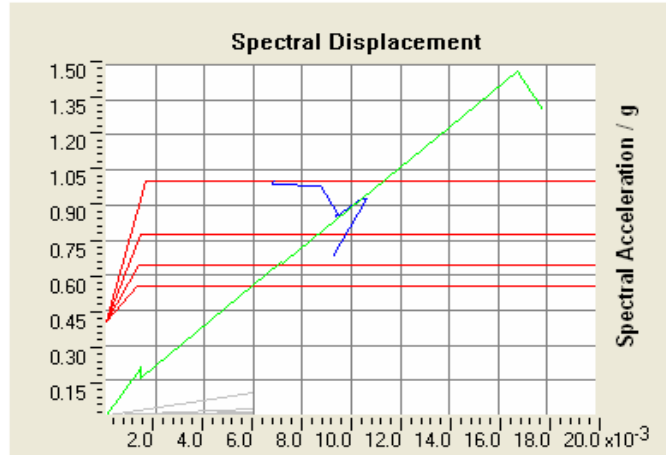
## 4.2. Analizi Yapılan Modellerin Kapasite-Spektrum Eğrileri

Yapılan analizler sonucunda, 3 tip yapının, 1998 Türk Deprem Yönetmeliğinde yer alan dört deprem bölgesi ve dört yerel zemin sınıfı için, kapasite-spektrum eğrileri (şekil 4.5- 4.139) verilmiştir.

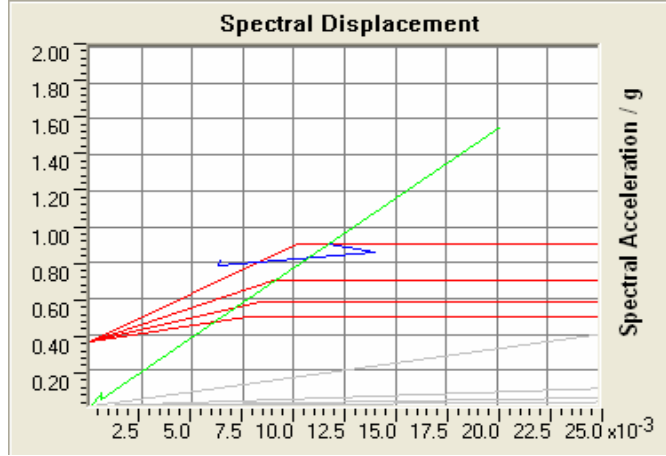
### 4.2.1. MZ1,MZ2,MZ3 Alt Modellerinin Farklı Deprem Bölgeleri ve Yerel Zemin Sınıfları İçin Kapasite Spektrum Eğrileri



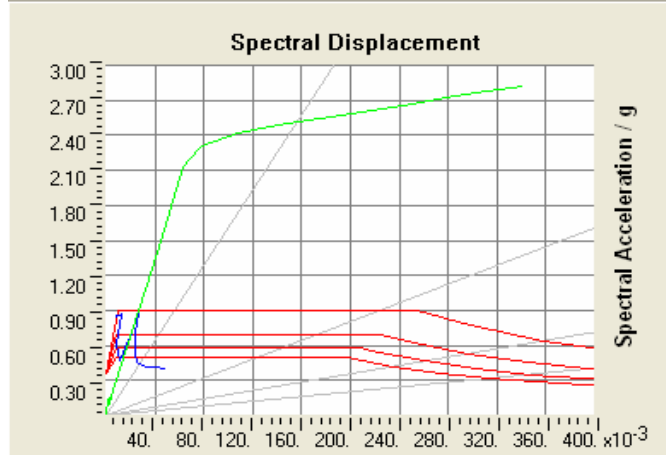
Şekil 4.5. MZ1-D1-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



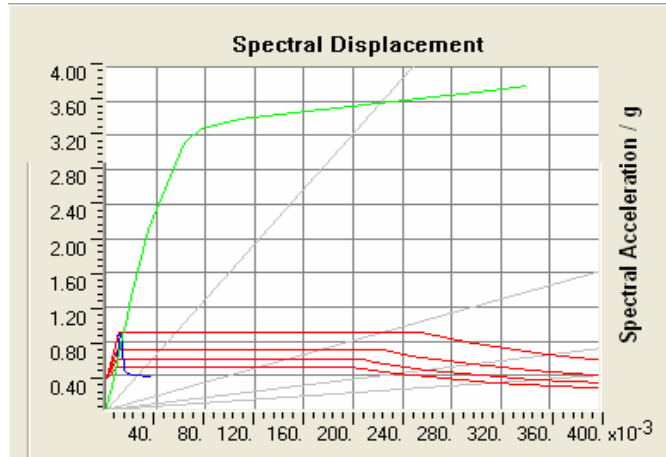
Şekil 4.6. MZ1-D1-D Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.7. MZ1-D1-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

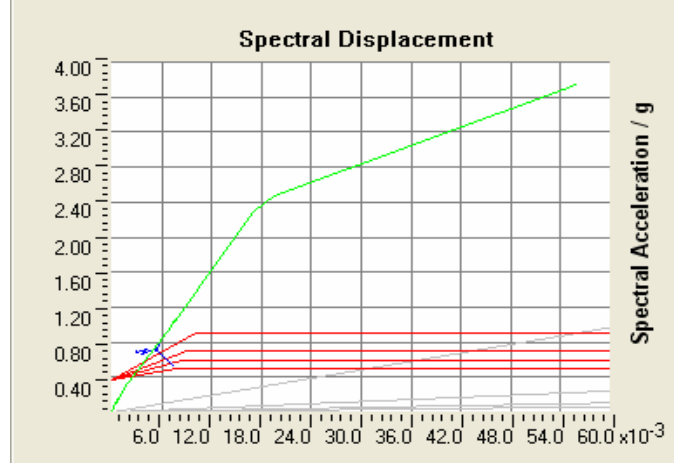


Şekil 4.8. MZ1-D1-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

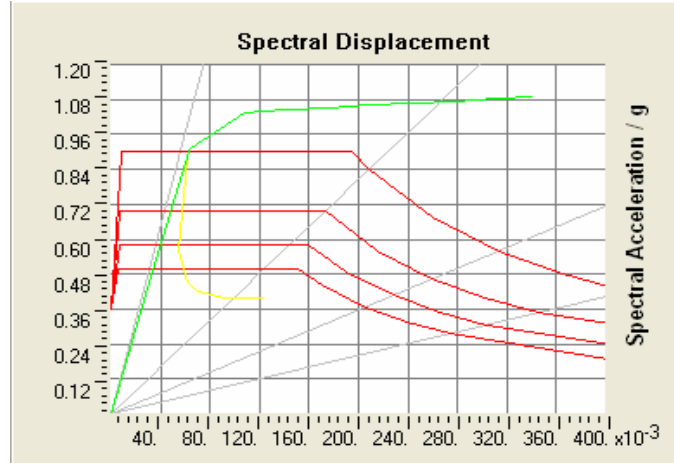


Şekil 4.9. MZ1-D1-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

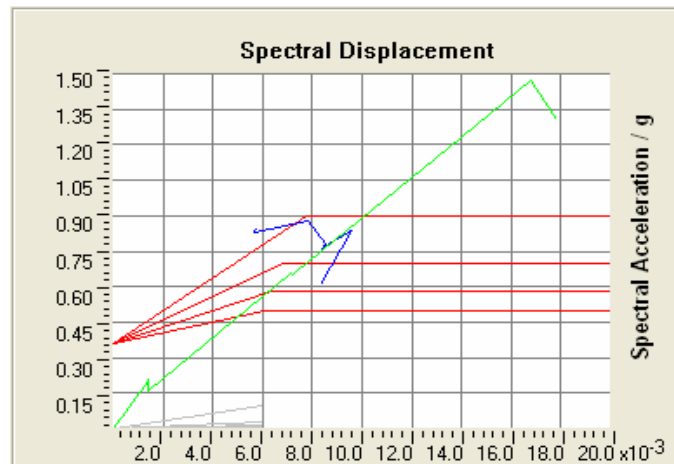




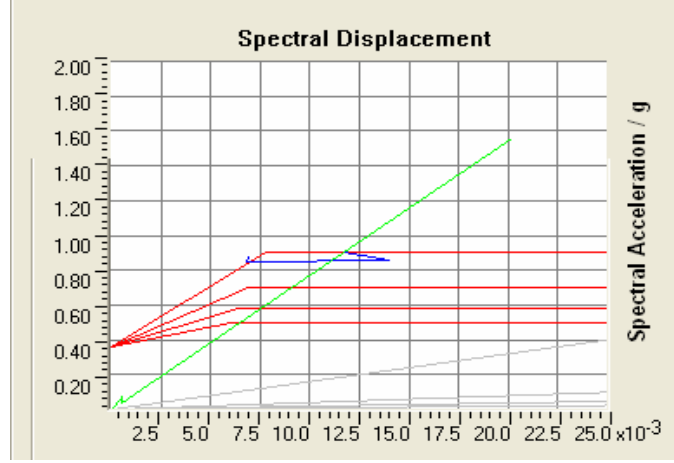
Şekil 4.10. MZ1-D1-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



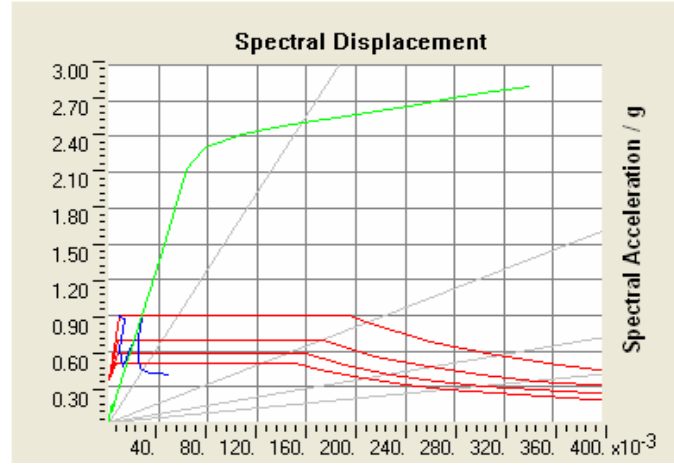
Şekil 4.11. MZ1-D2-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



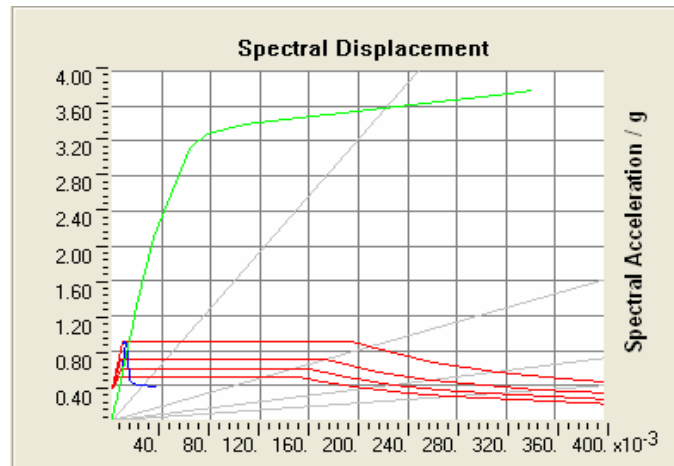
Şekil 4.12. MZ1-D2-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



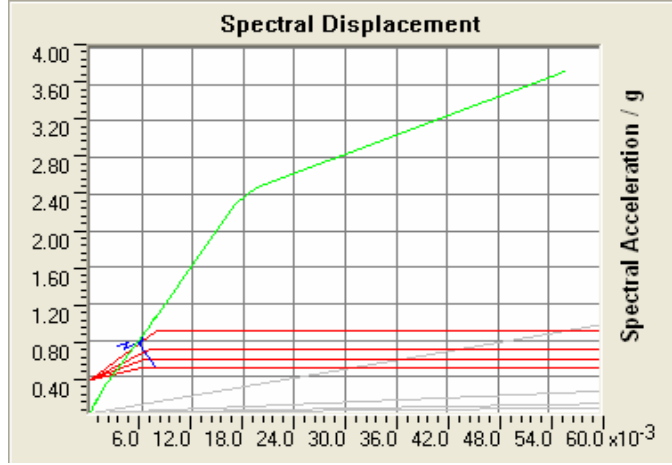
Şekil 4.13. MZ1-D2-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



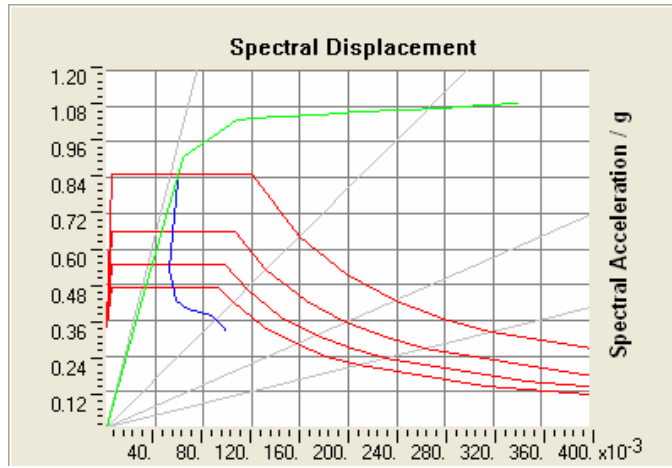
Şekil 4.14. MZ1-D2-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



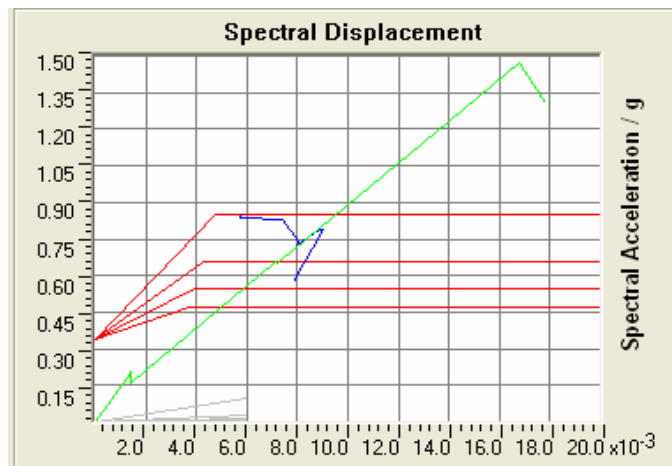
Şekil 4.15. MZ1-D2-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



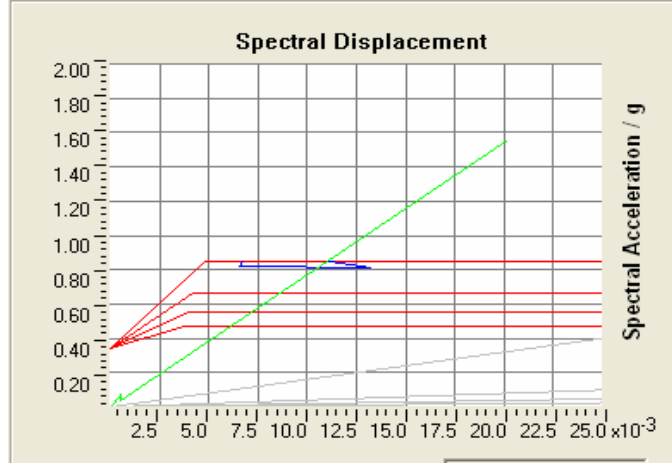
Şekil 4.16. MZ1-D2-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



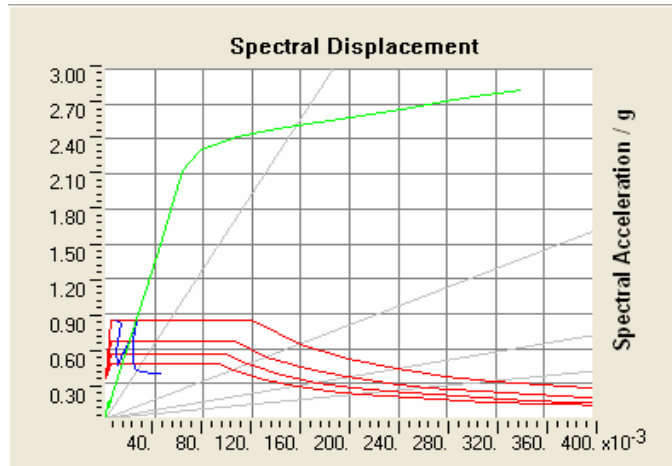
Şekil 4.17. MZ1-D3-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



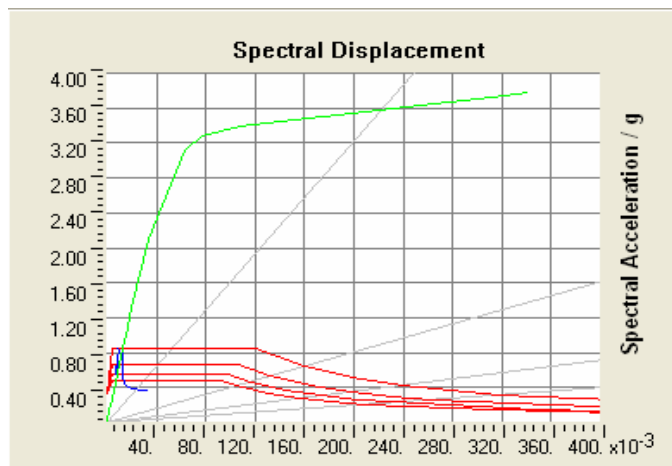
Şekil 4.18. MZ1-D3-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



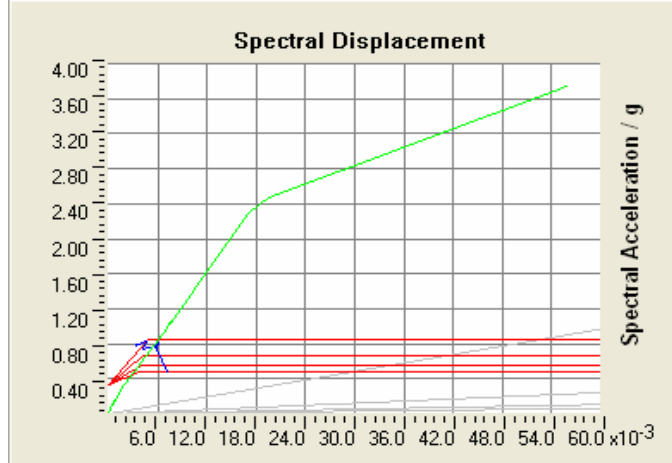
Şekil 4.19. MZ1-D3-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



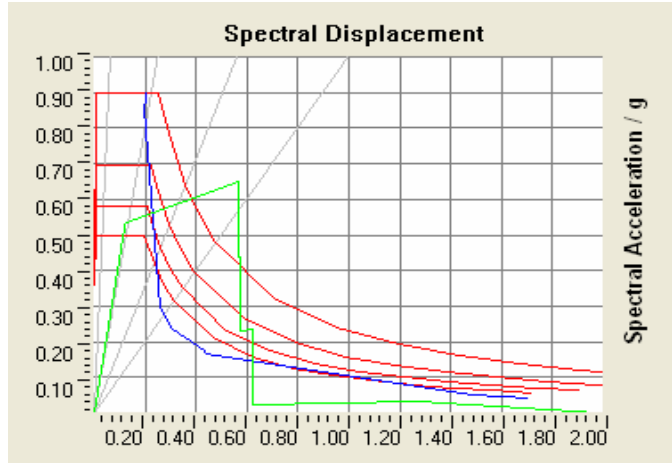
Şekil 4.20. MZ1-D3-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



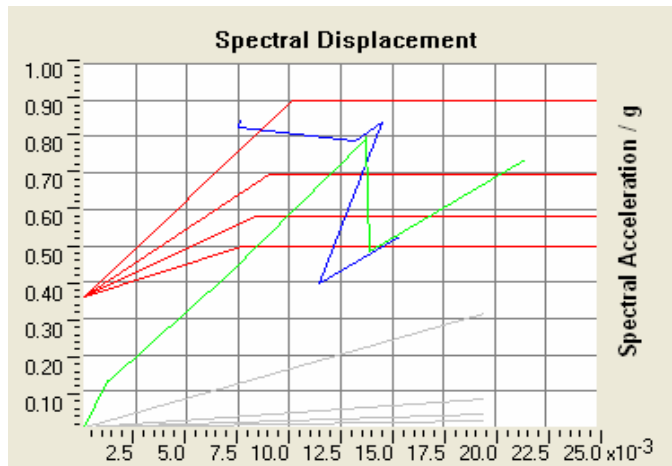
Şekil 4.21. MZ1-D3-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



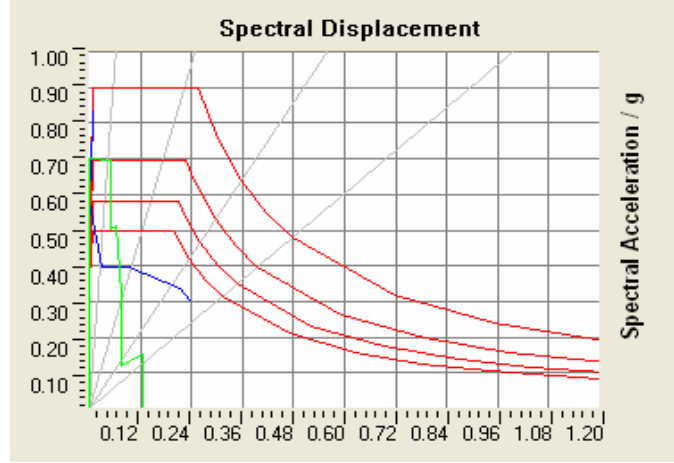
Şekil 4.22. MZ1-D3-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



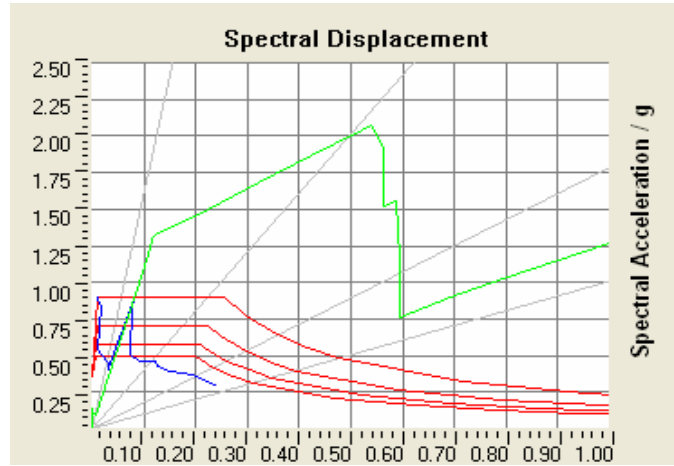
Şekil 4.23. MZ2-D1-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



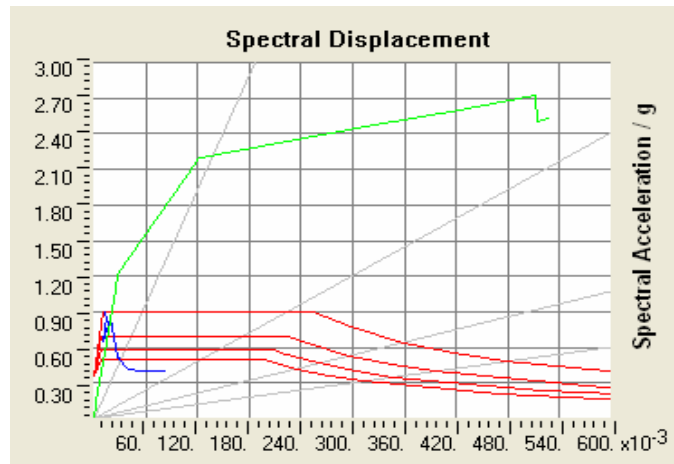
Şekil 4.24. MZ2-D1-D Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



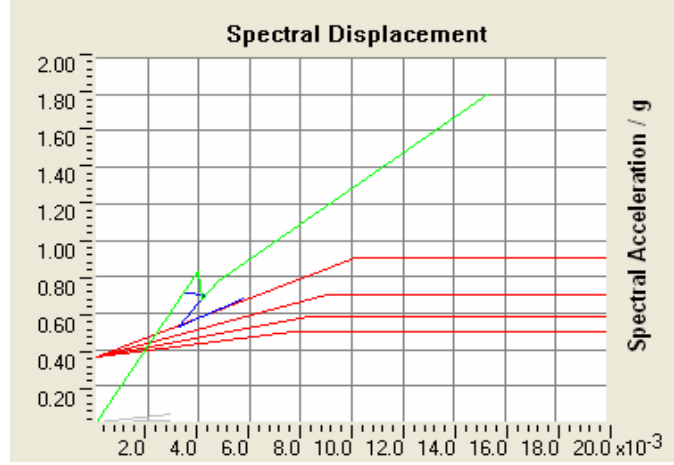
Şekil 4.25. MZ2-D1-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



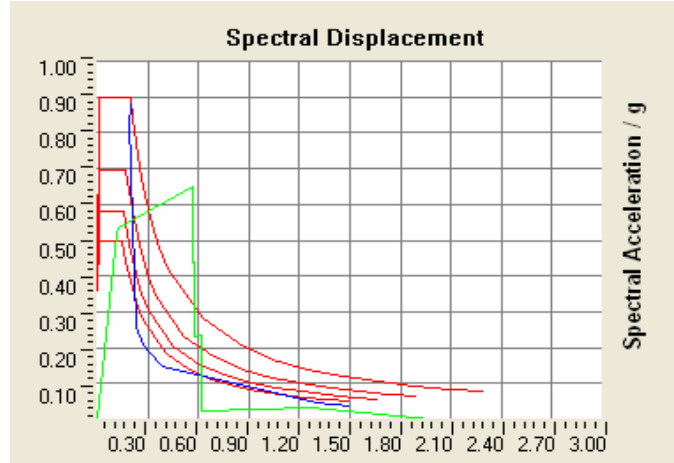
Şekil 4.26. MZ2-D1-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



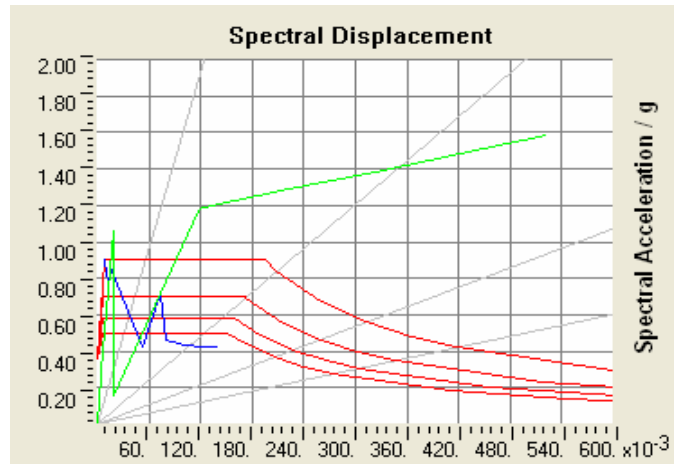
Şekil 4.27. MZ2-D1-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



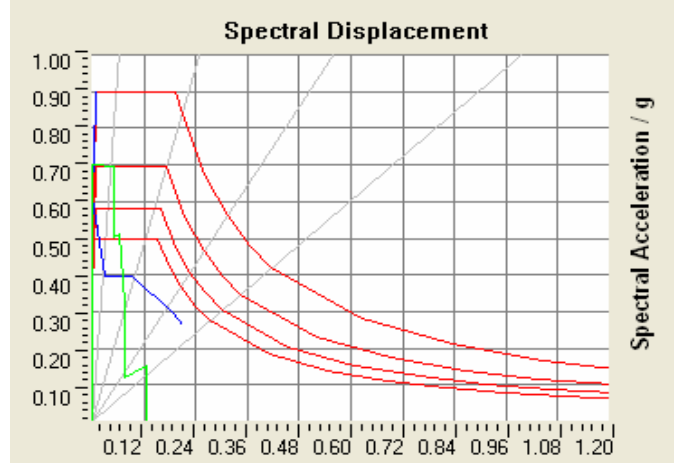
Şekil 4.28. MZ2-D1-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



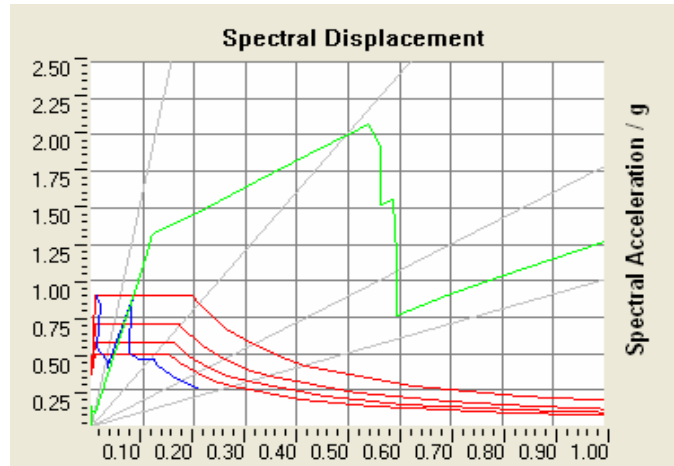
Şekil 4.29. MZ2-D2-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



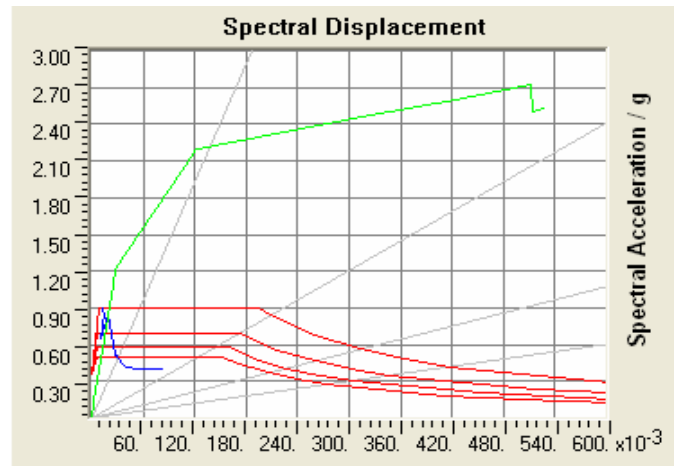
Şekil 4.30. MZ2-D2-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.31. MZ2-D2-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

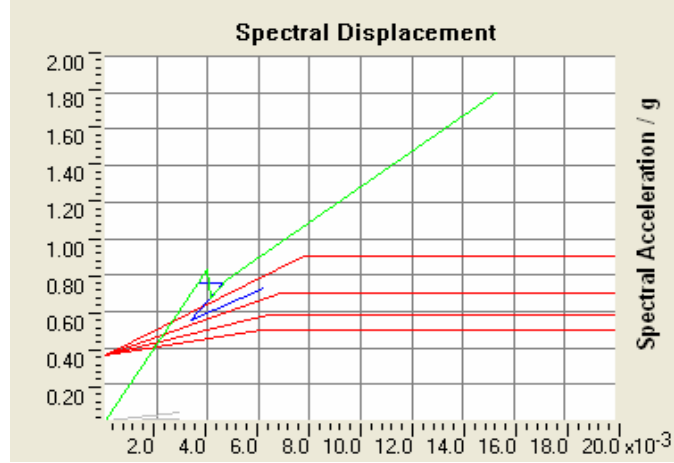


Şekil 4.32. MZ2-D2-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

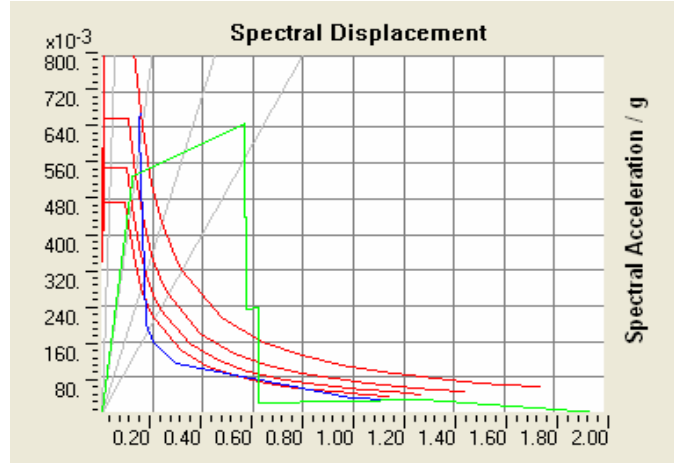


Şekil 4.33. MZ2-D2-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

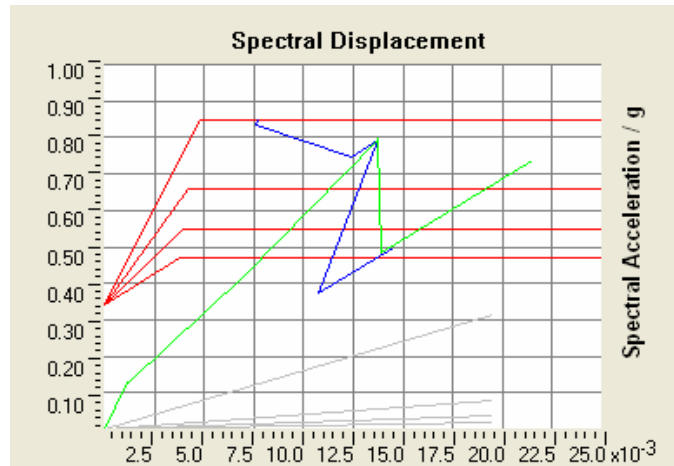




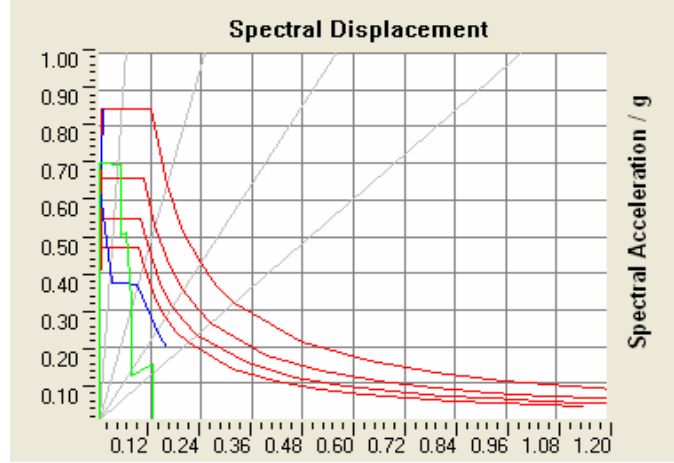
Şekil 4.34. MZ2-D2-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



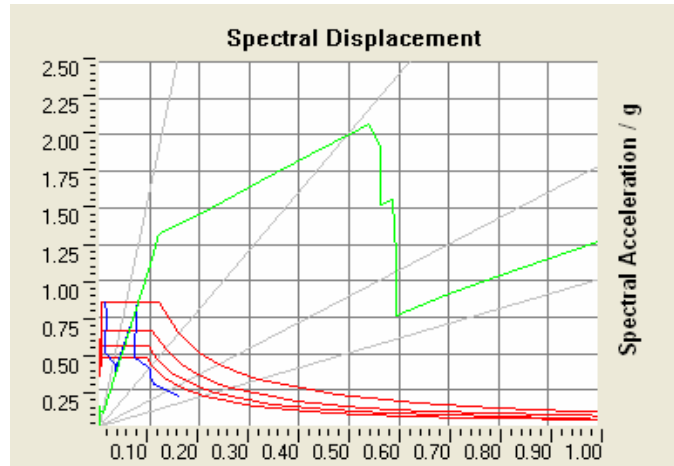
Şekil 4.35. MZ2-D3-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



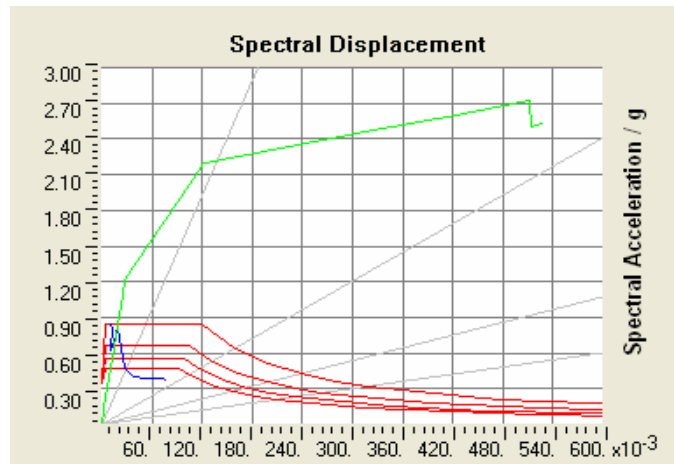
Şekil 4.36. MZ2-D3-D Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



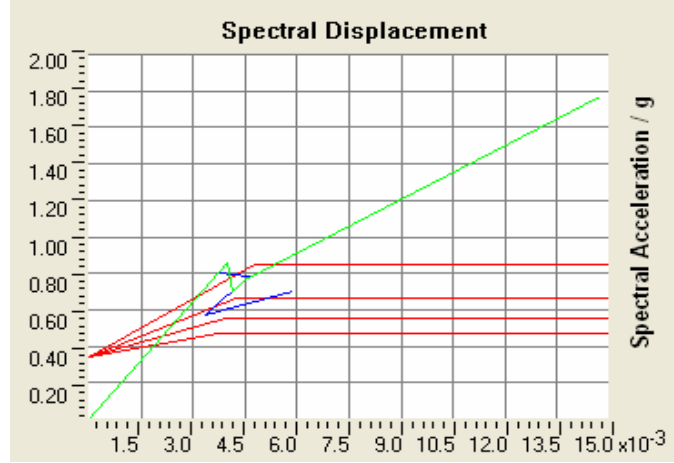
Şekil 4.37. MZ2-D3-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



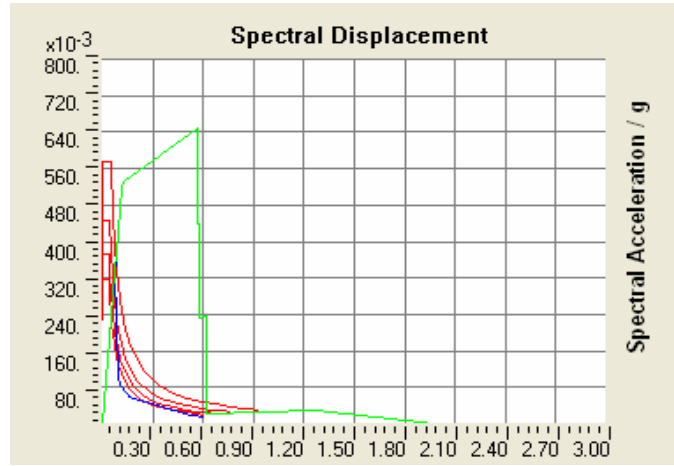
Şekil 4.38. MZ2-D3-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



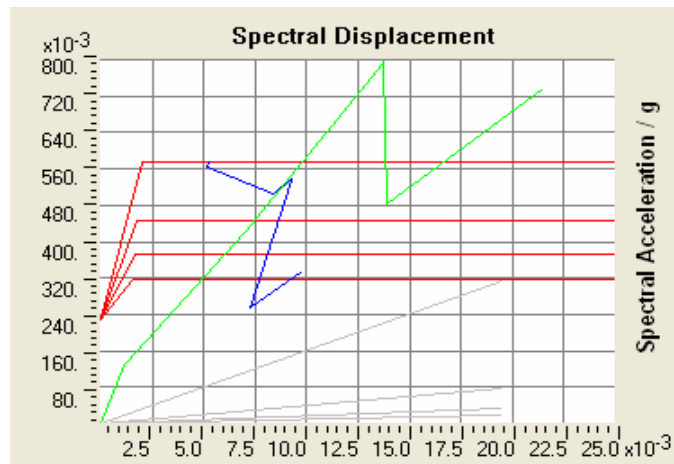
Şekil 4.39. MZ2-D3-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



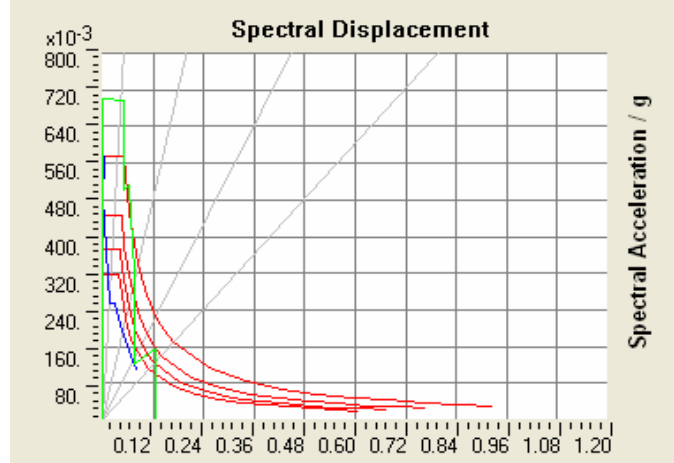
Şekil 4.40. MZ2-D3-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



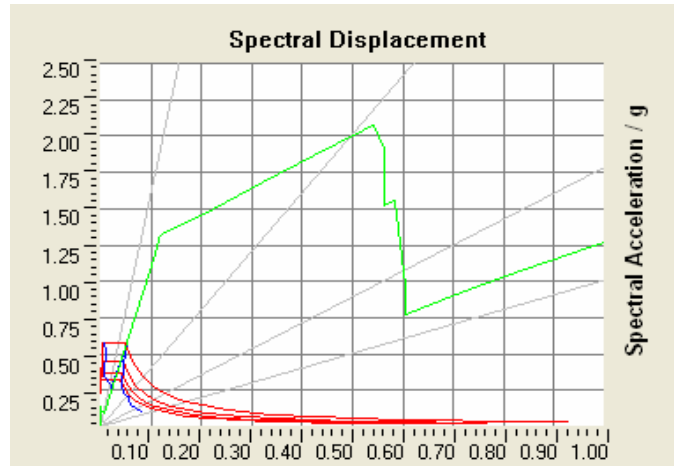
Şekil 4.41. MZ2-D4-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



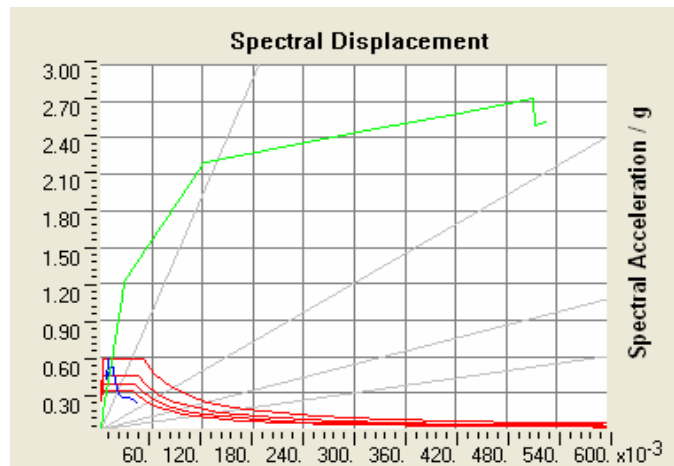
Şekil 4.42. MZ2-D4-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



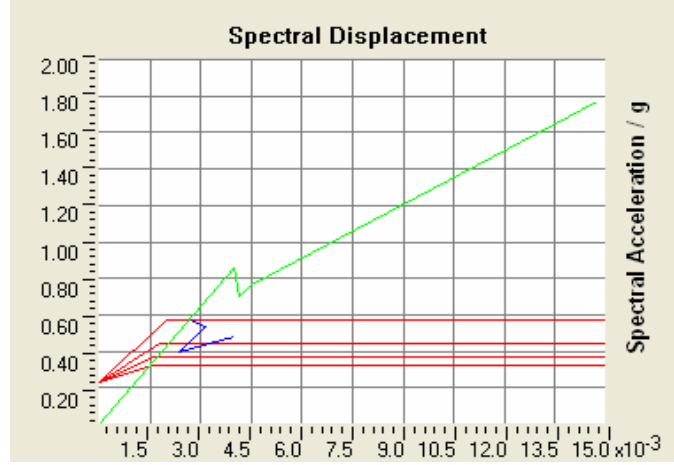
Şekil 4.43. MZ2-D4-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



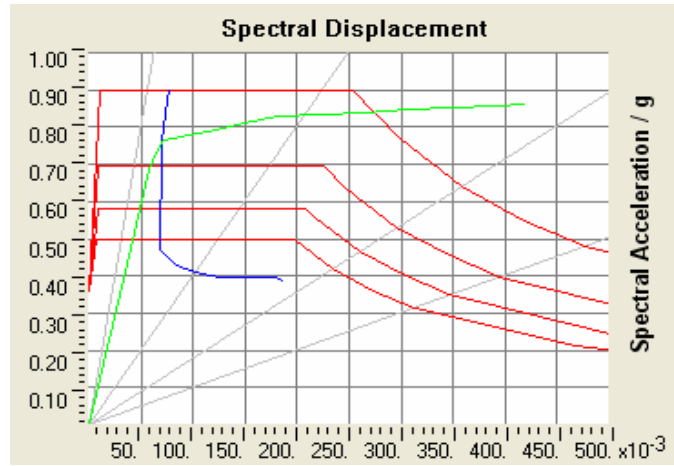
Şekil 4.44. MZ2-D4-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



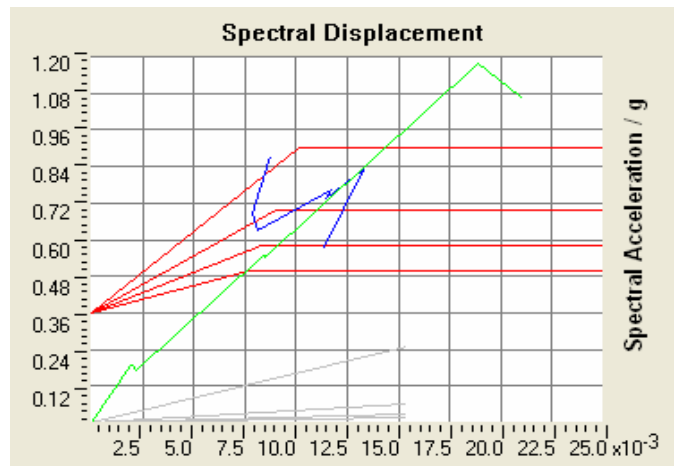
Şekil 4.45. MZ2-D4-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



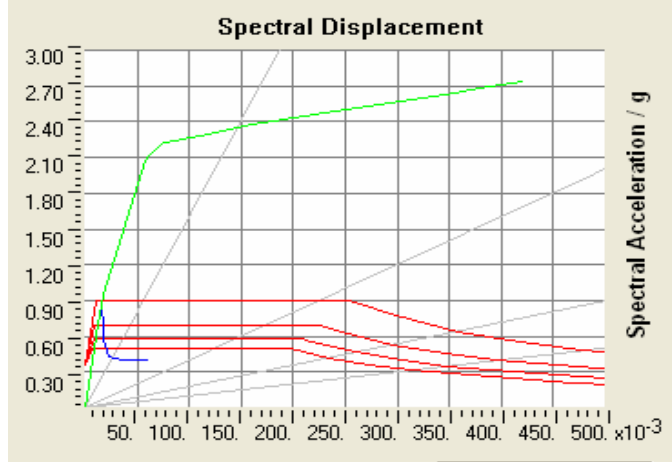
Şekil 4.46. MZ2-D4-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



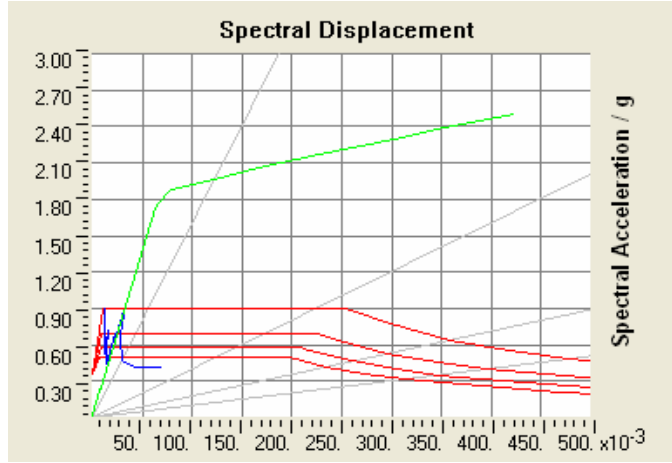
Şekil 4.47. MZ3-D1-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



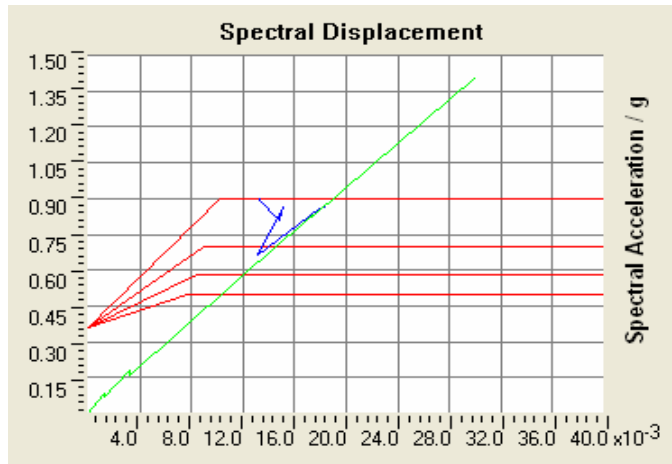
Şekil 4.48. MZ3-D1-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



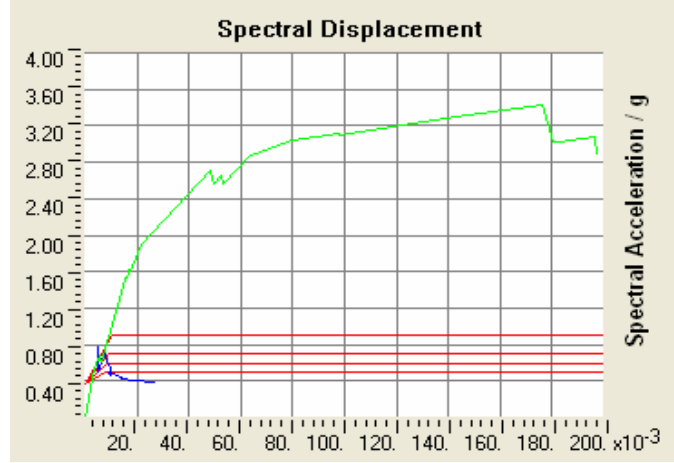
Şekil 4.49. MZ3-D1-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



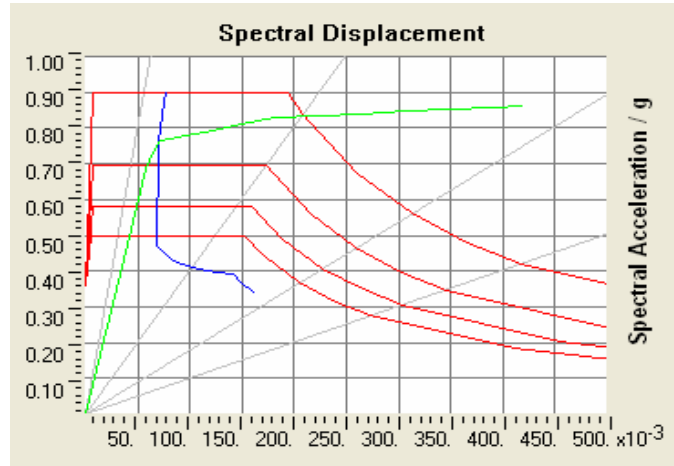
Şekil 4.50. MZ3-D1-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



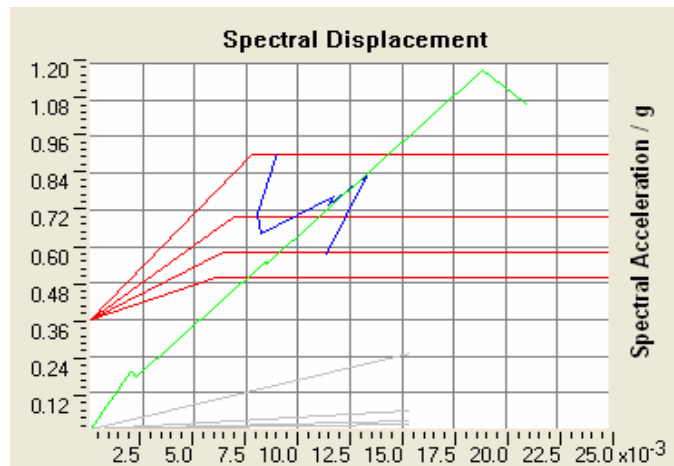
Şekil 4.51. MZ3-D1-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



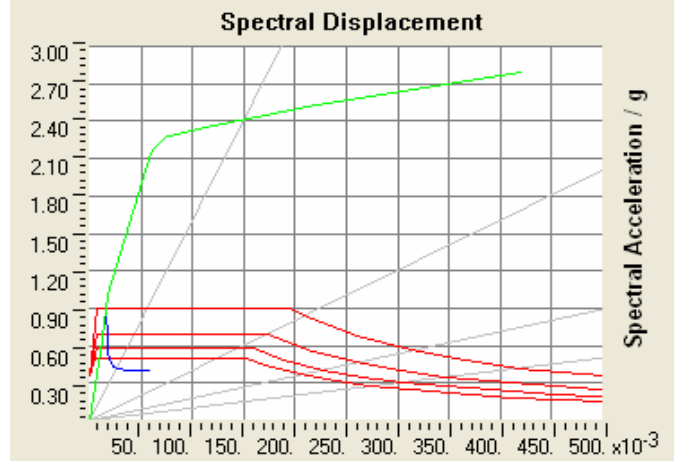
Şekil 4.52. MZ3-D1-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



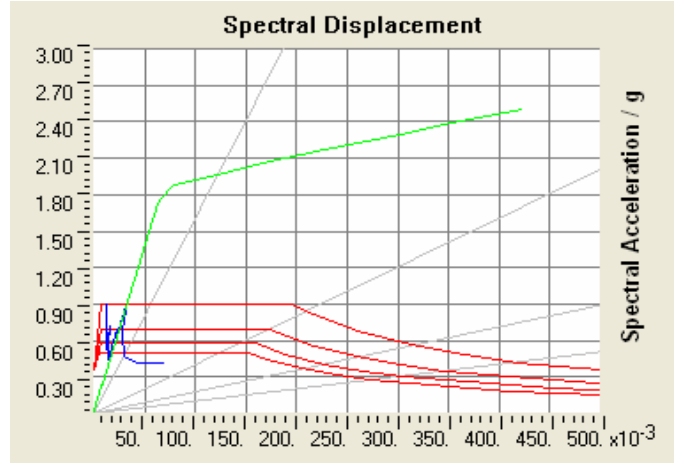
Şekil 4.53. MZ3-D2-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



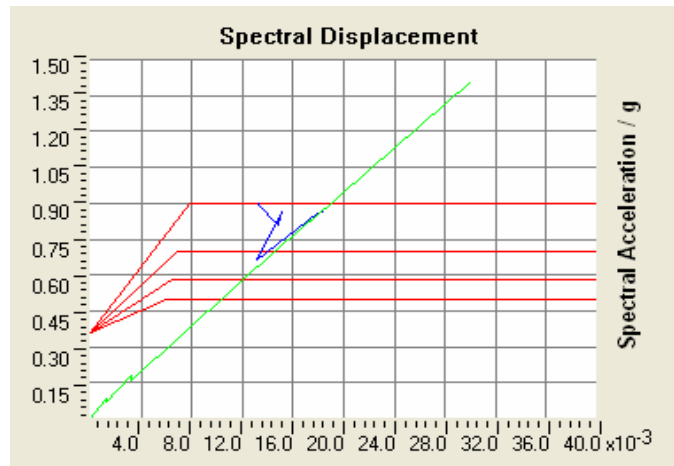
Şekil 4.54. MZ3-D2-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.55. MZ3-D2-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

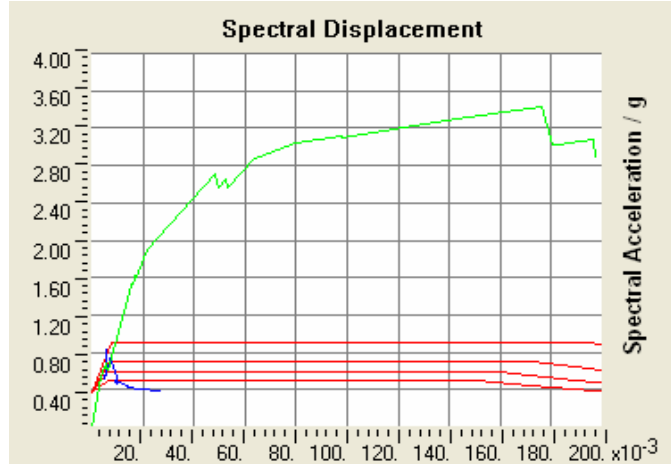


Şekil 4.56. MZ3-D2-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

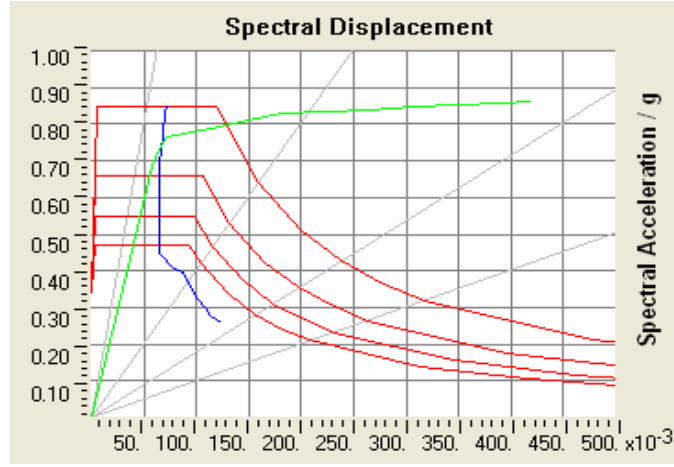


Şekil 4.57. MZ3-D2-V Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

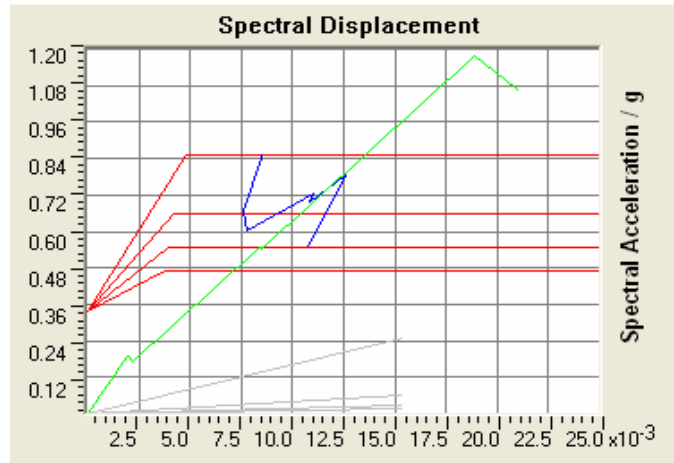




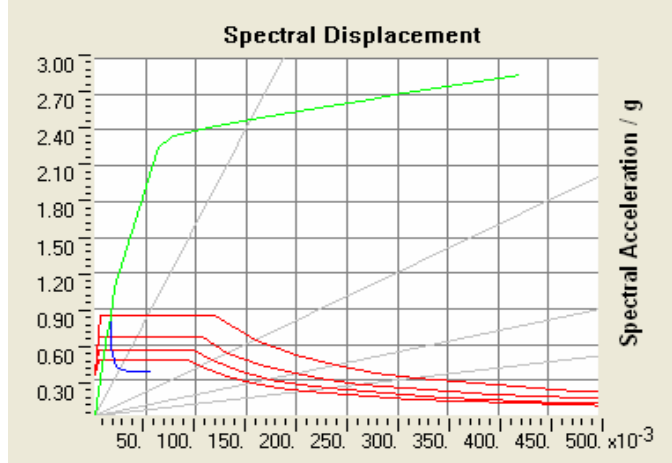
Şekil 4.58. MZ3-D2-X Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



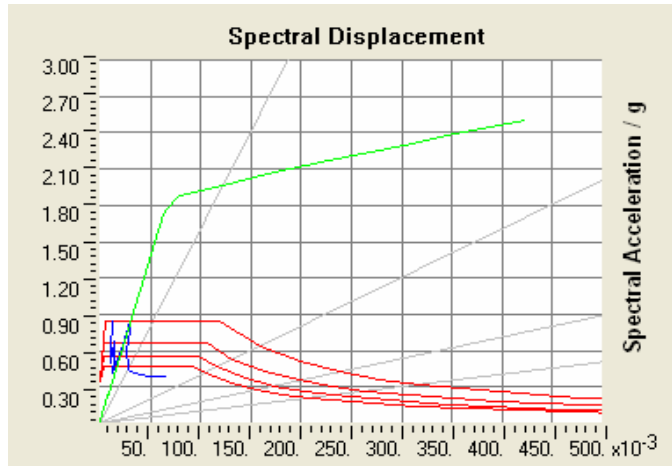
Şekil 4.59. MZ3-D3-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



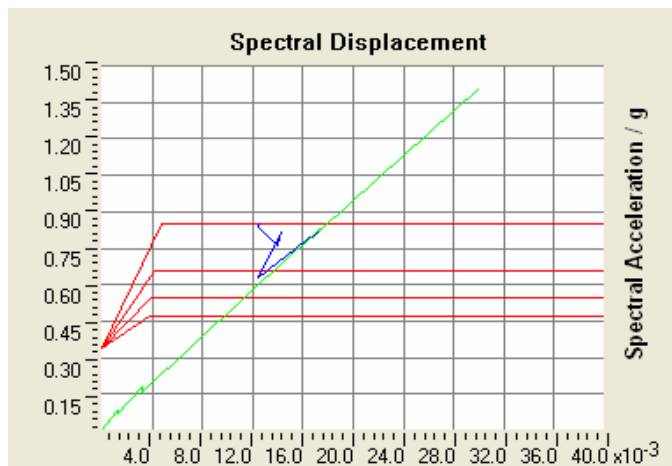
Şekil 4.60. MZ3-D3-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



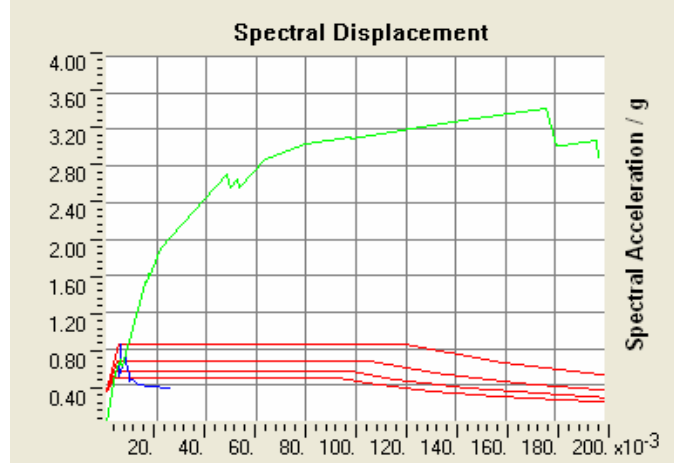
Şekil 4.61. MZ3-D3-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



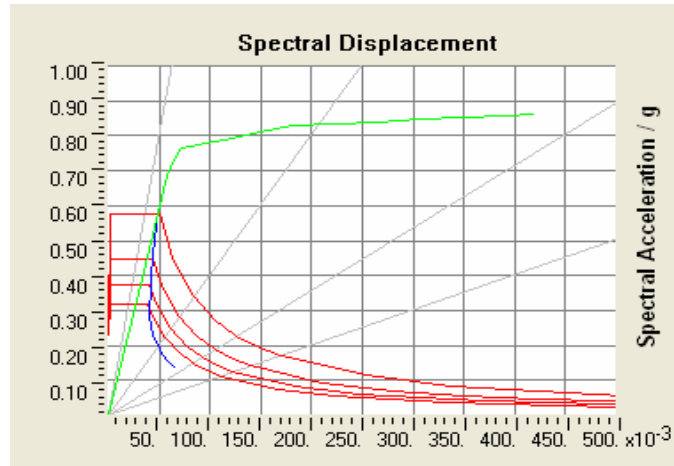
Şekil 4.62. MZ3-D3-TVb Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



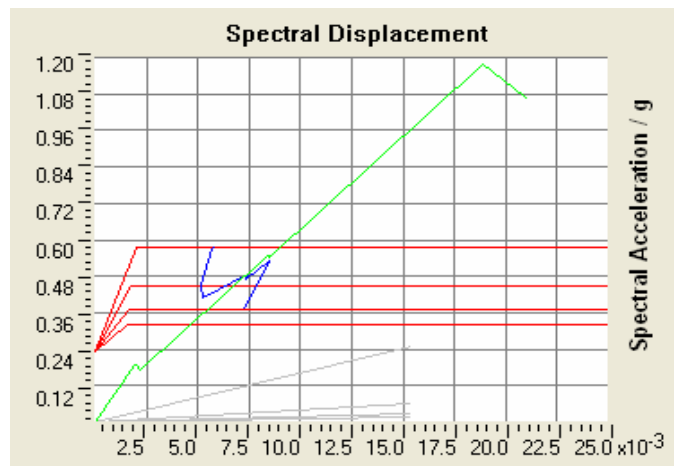
Şekil 4.63. MZ3-D3-Vb Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



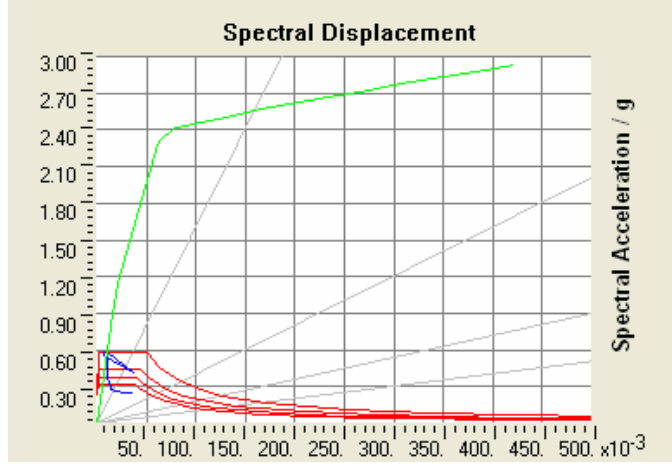
Şekil 4.64. MZ3-D3-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



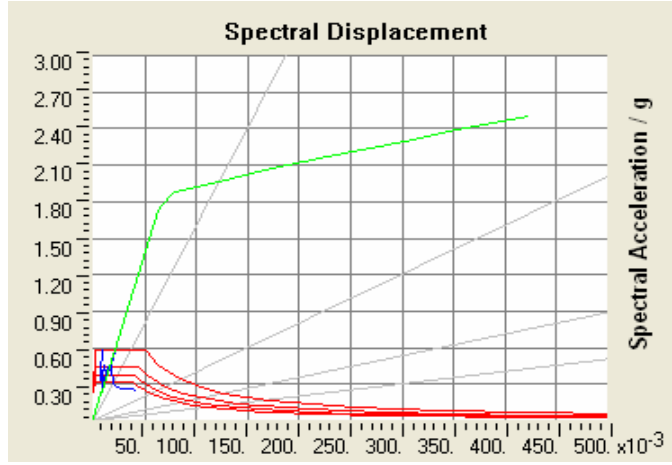
Şekil 4.65. MZ3-D4-C Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



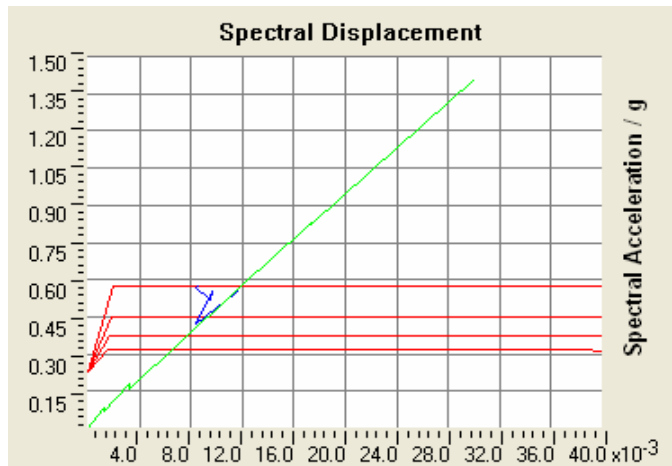
Şekil 4.66. MZ3-D4-DB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



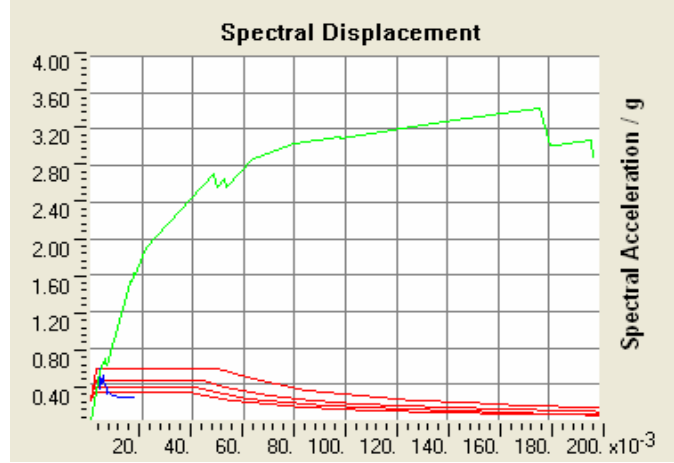
Şekil 4.67. MZ3-D4-TDB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



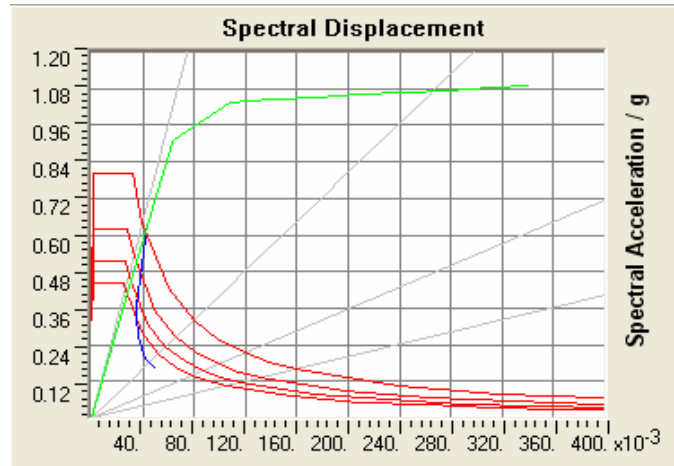
Şekil 4.68. MZ3-D4-TVB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



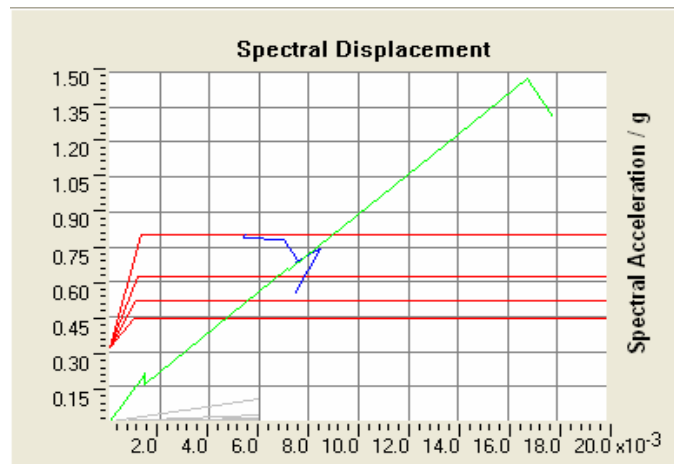
Şekil 4.69. MZ3-D4-VB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



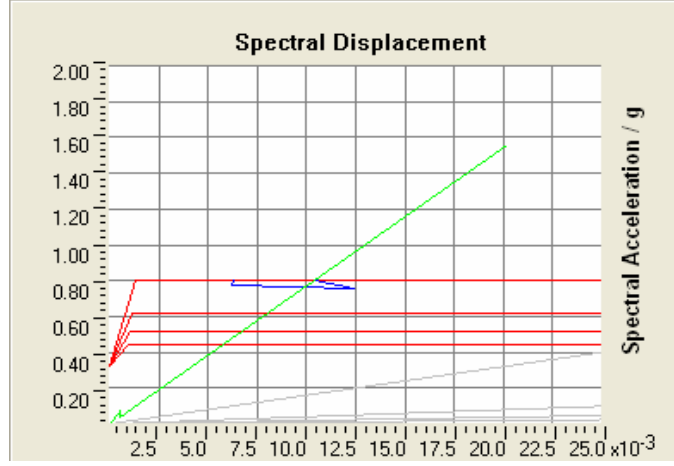
Şekil 4.70. MZ3-D4-XB Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



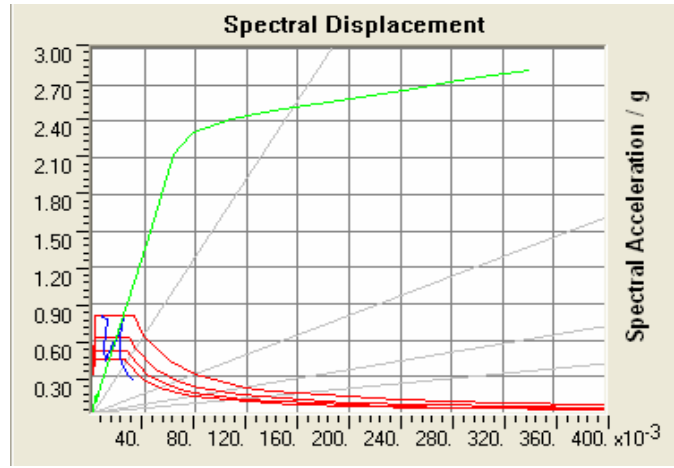
Şekil 4.71. MZ1-C-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



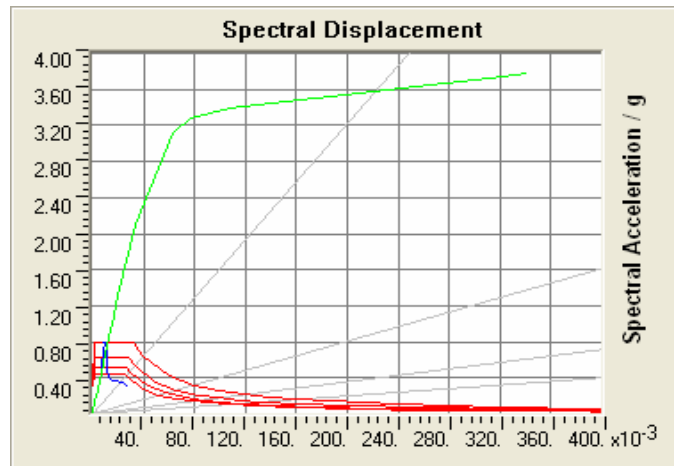
Şekil 4.72. MZ1-DB-D1- Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



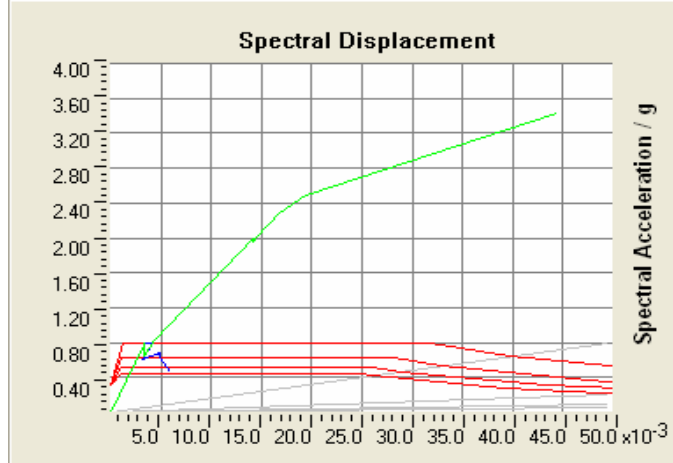
Şekil 4.72. MZ1-TDB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



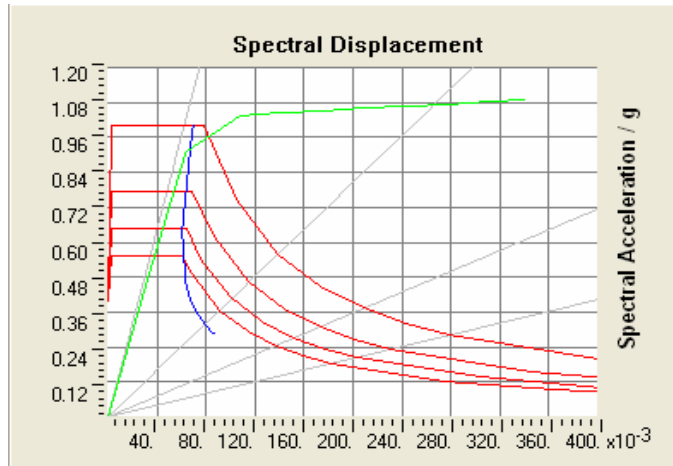
Şekil 4.73. MZ1-TVB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



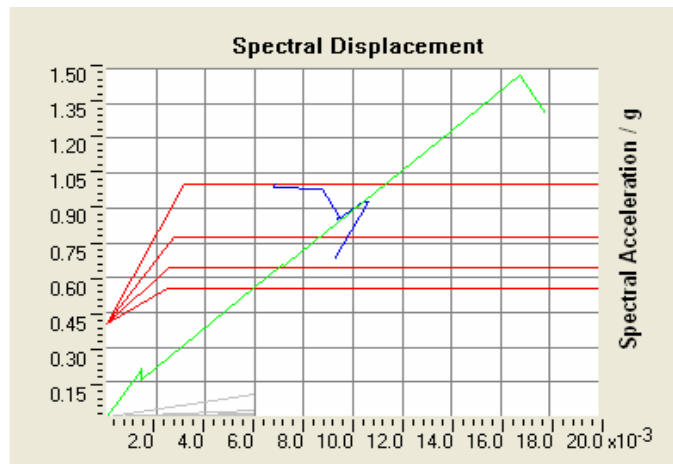
Şekil 4.74. MZ1-VB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



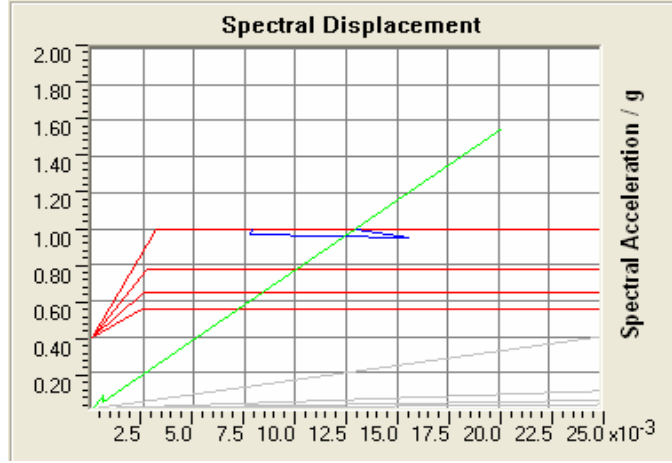
Şekil 4.75. MZ1-XB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



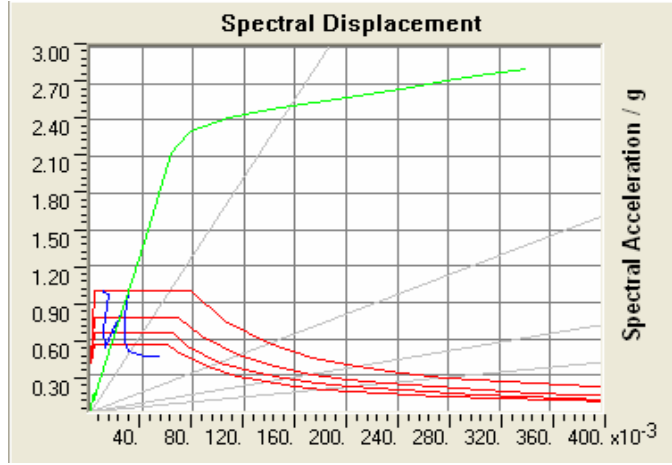
Şekil 4.76. MZ1-C-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



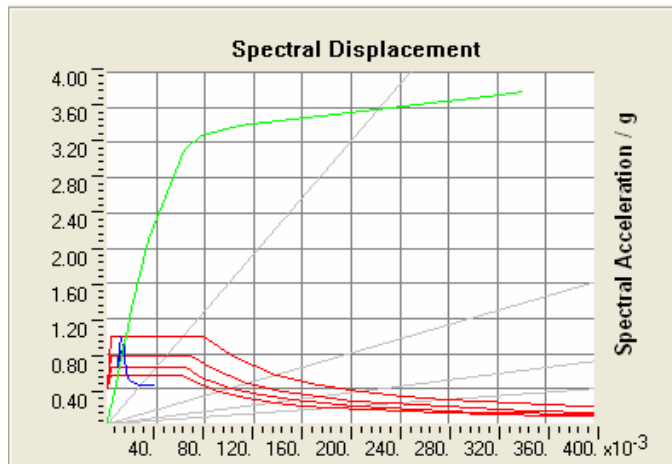
Şekil 4.77. MZ1-DB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.78. MZ1-TDB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

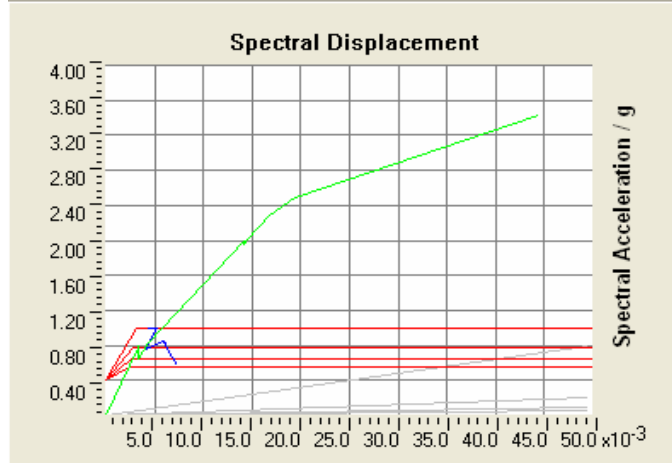


Şekil 4.79. MZ1-TVb-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

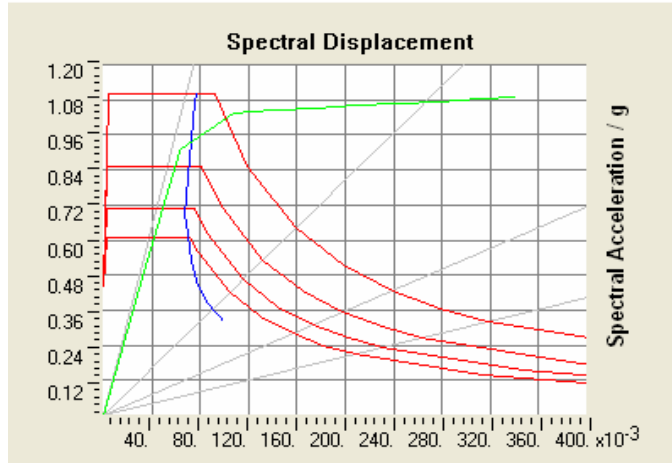


Şekil 4.80. MZ1-Vb-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

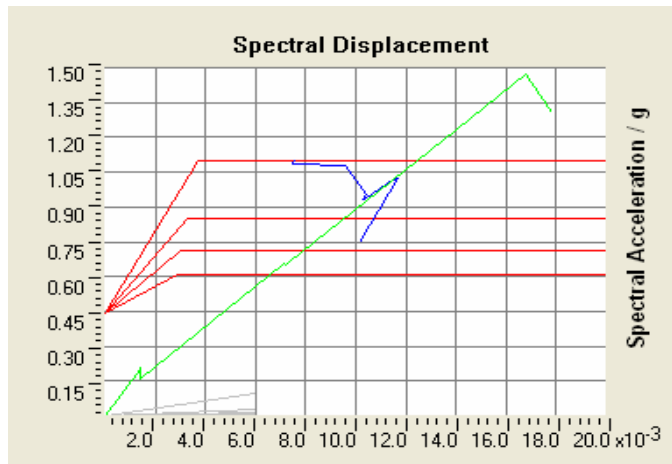




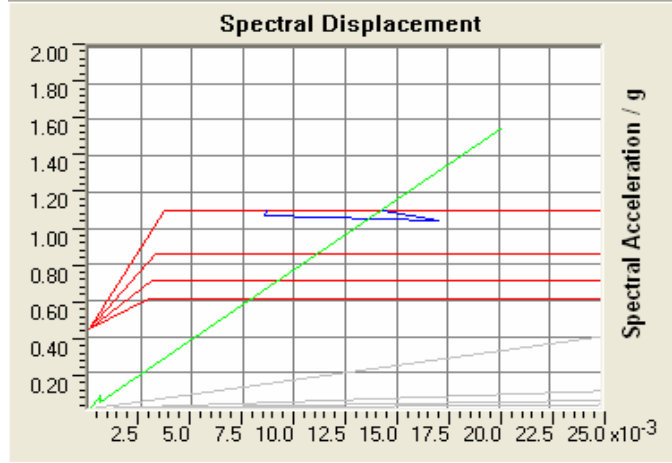
Şekil 4.81. MZ1-XB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



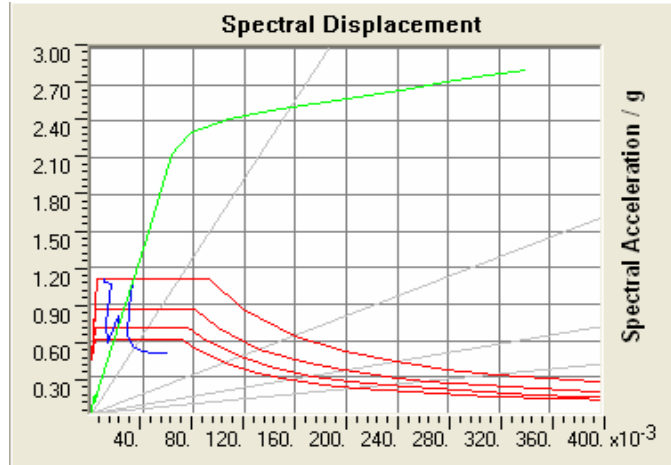
Şekil 4.82. MZ1-C-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



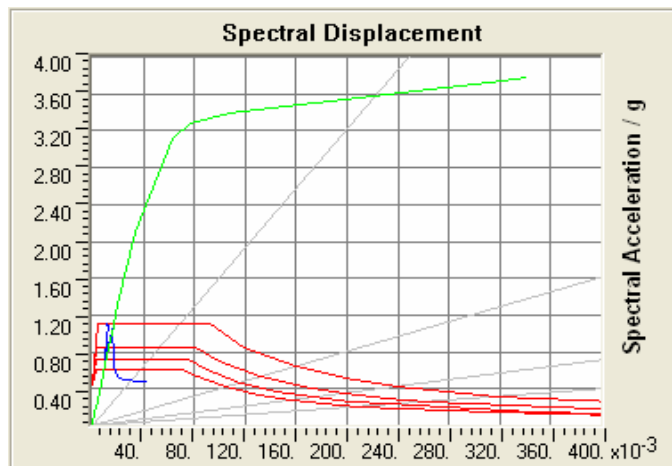
Şekil 4.83. MZ1-DB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



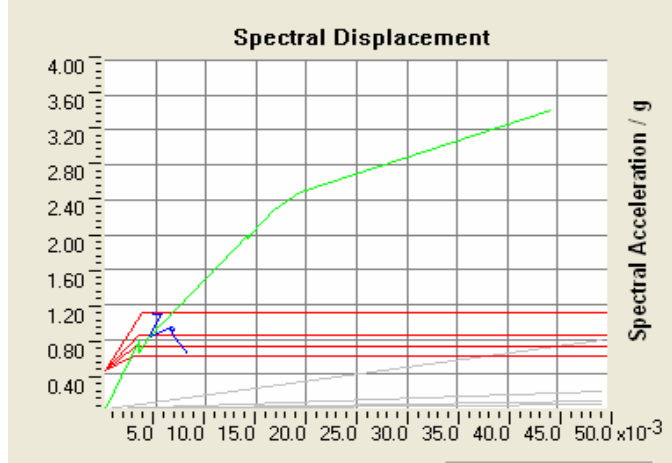
Şekil 4.84. MZ1-TDB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



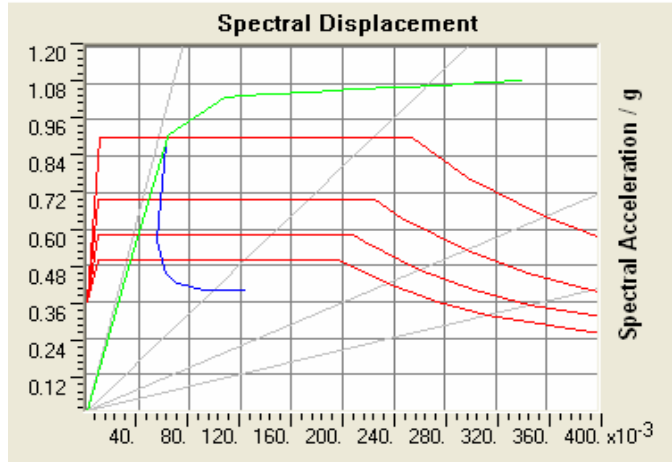
Şekil 4.85. MZ1-TVB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



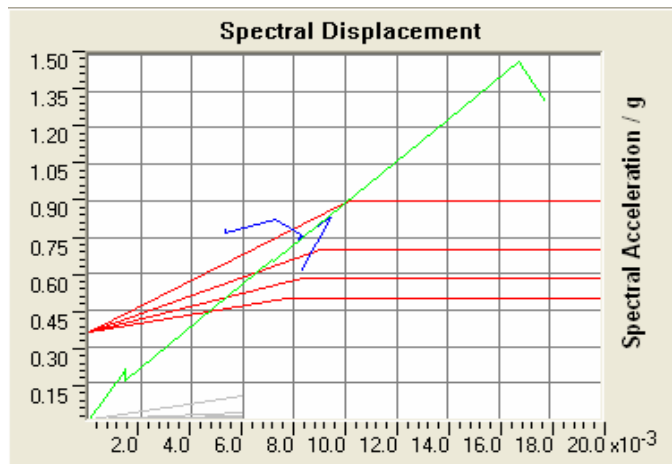
Şekil 4.86. MZ1-VB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



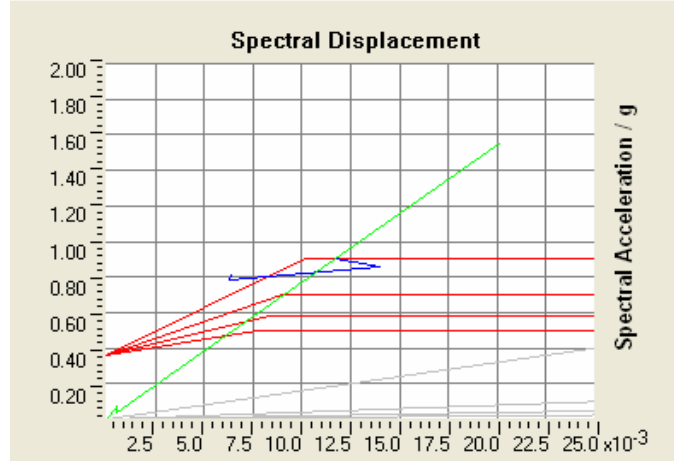
Şekil 4.87. MZ1-XB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



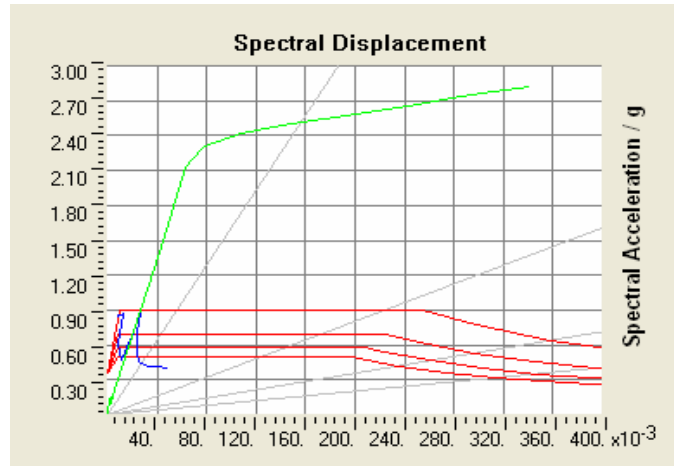
Şekil 4.88. MZ1-C-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



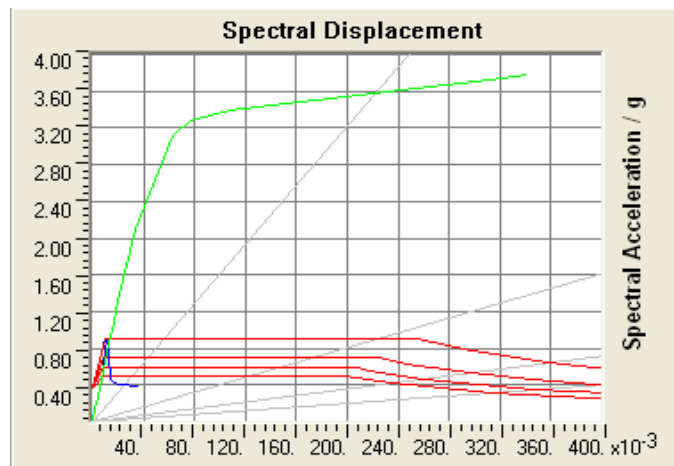
Şekil 4.89. MZ1-DB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



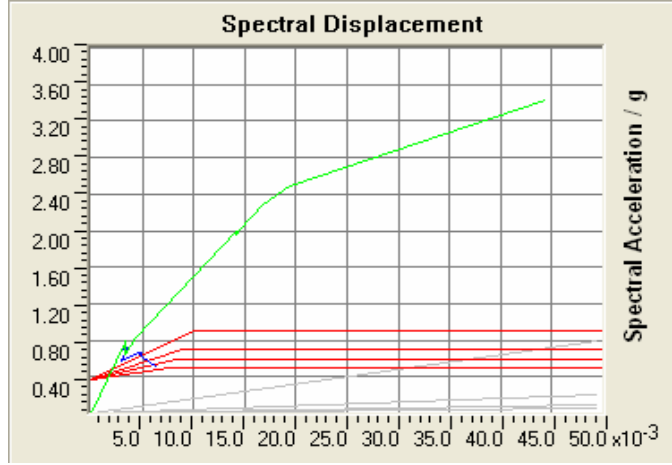
Şekil 4.90. MZ1-TDB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



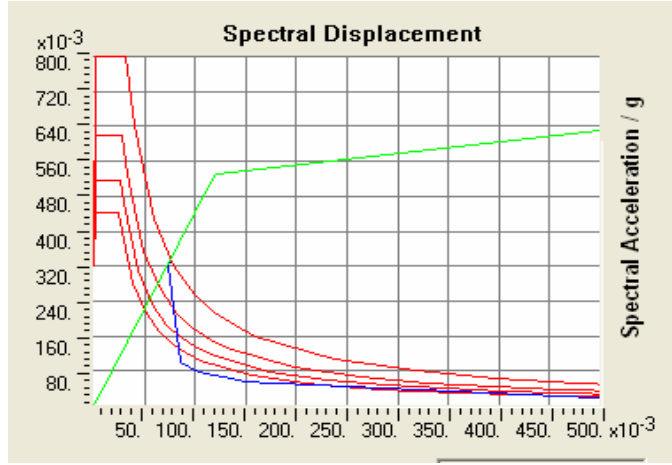
Şekil 4.91. MZ1-TVB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



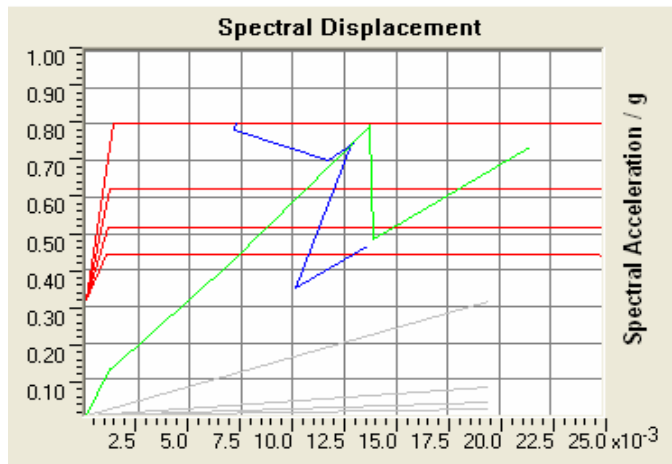
Şekil 4.92. MZ1-VB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



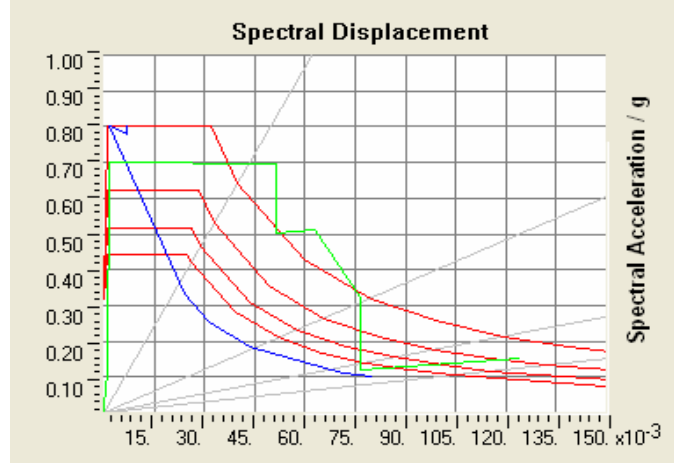
Şekil 4.92. MZ1-XB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



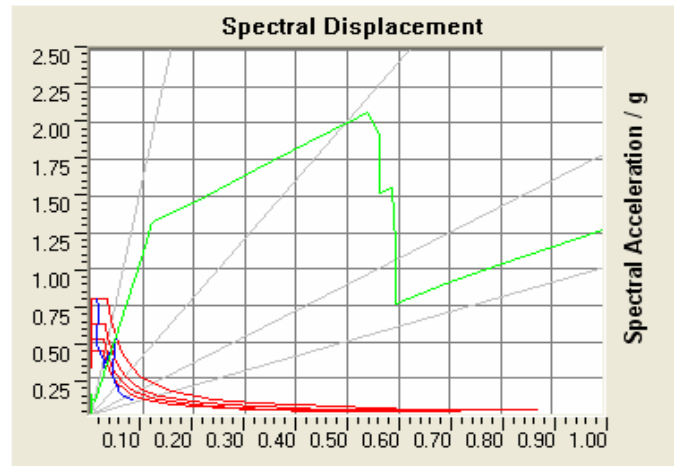
Şekil 4.93. MZ2-C-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



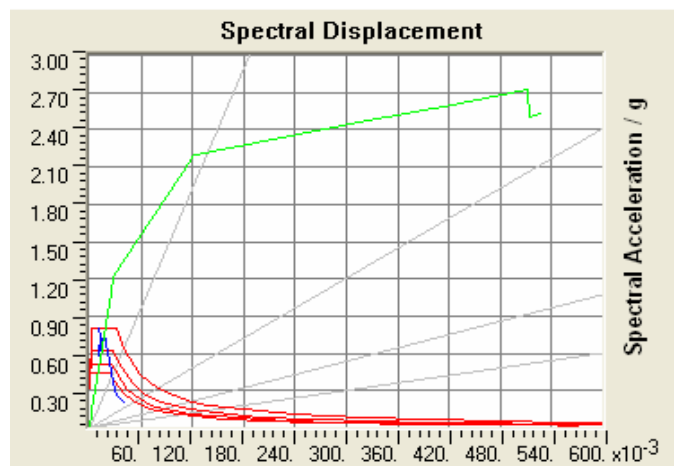
Şekil 4.94. MZ2-DB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



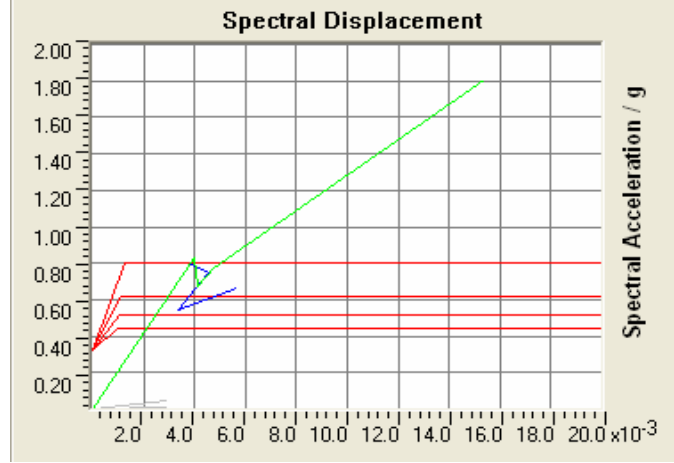
Şekil 4.95. MZ2-TDB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



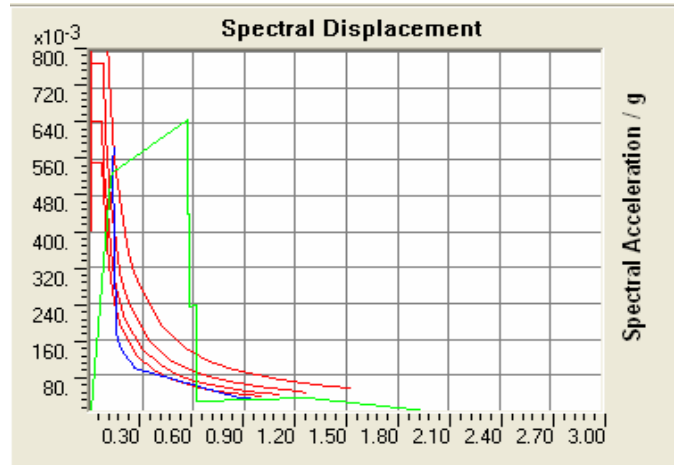
Şekil 4.96. MZ2-TVB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



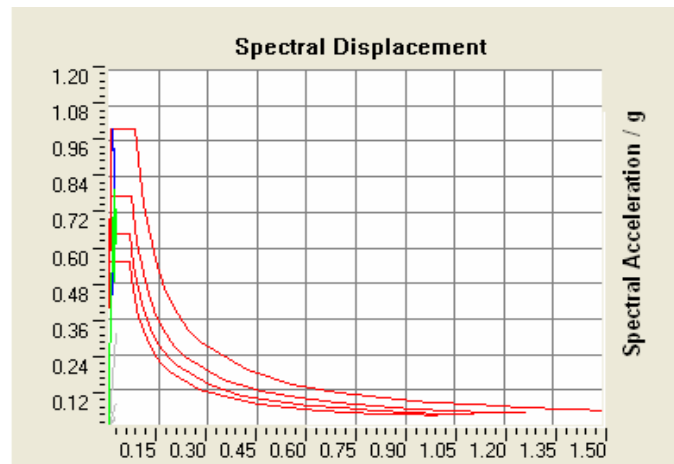
Şekil 4.97. MZ2-VB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



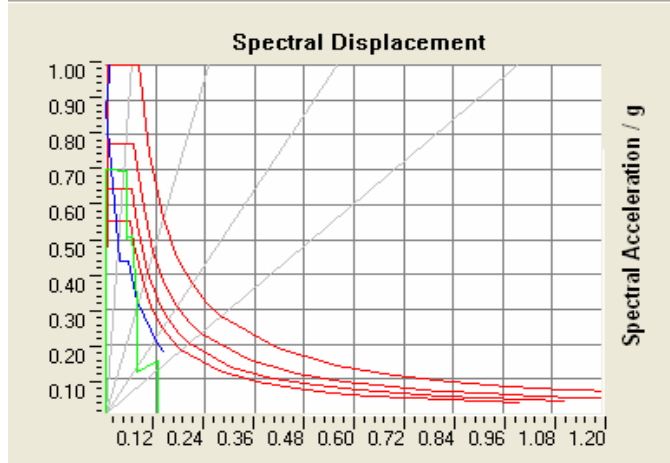
Şekil 4.98. MZ2-XB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



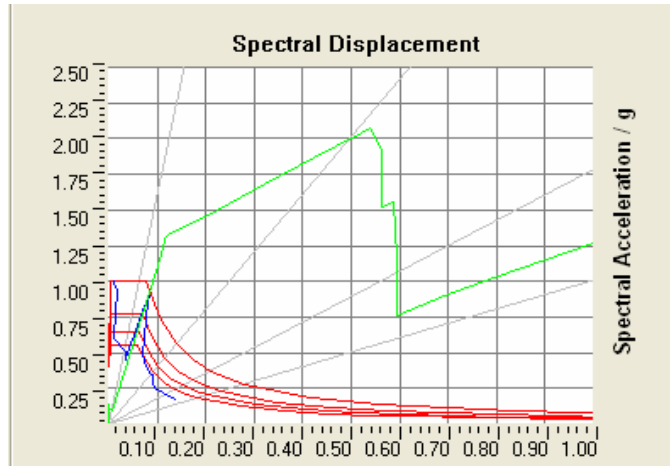
Şekil 4.99. MZ2-C-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



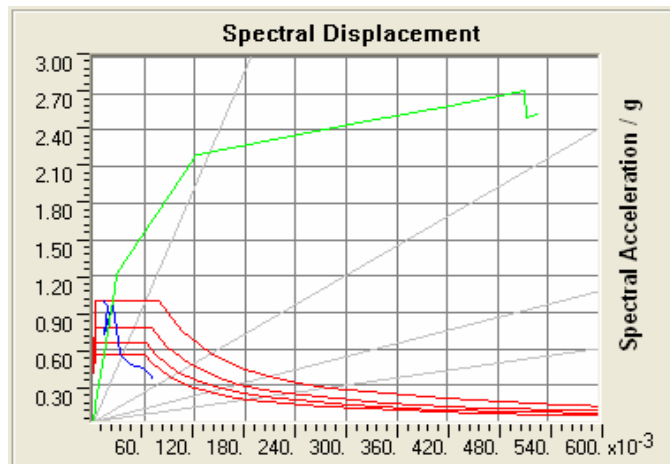
Şekil 4.100. MZ2-DB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.101. MZ2-TDB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

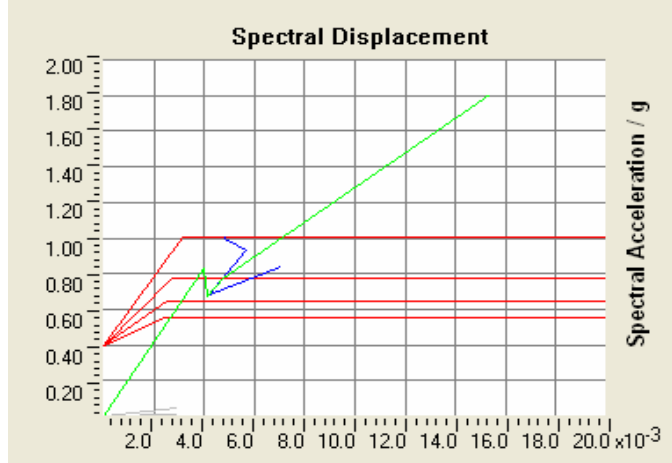


Şekil 4.102. MZ2-TVB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

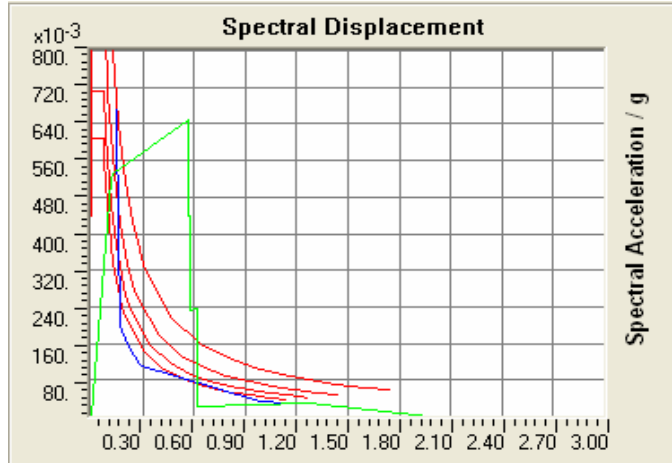


Şekil 4.103. MZ2-VB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

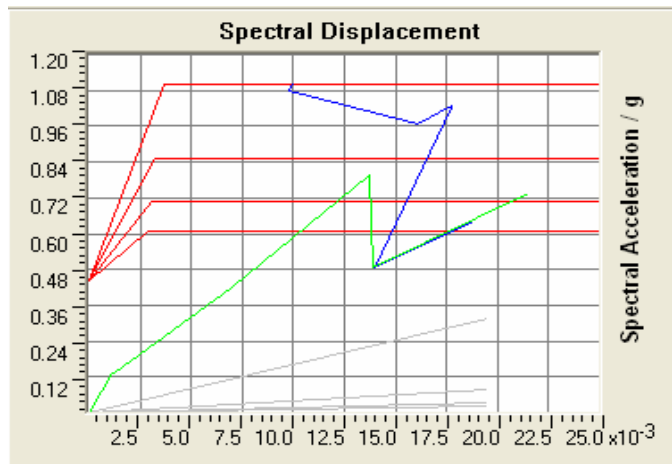




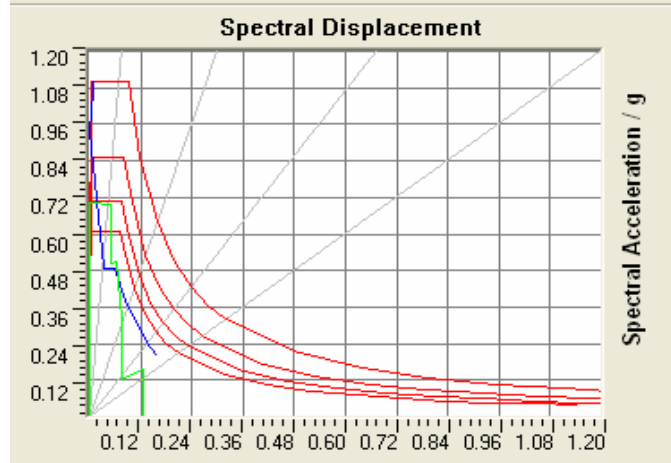
Şekil 4.104. MZ2-XB-D1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



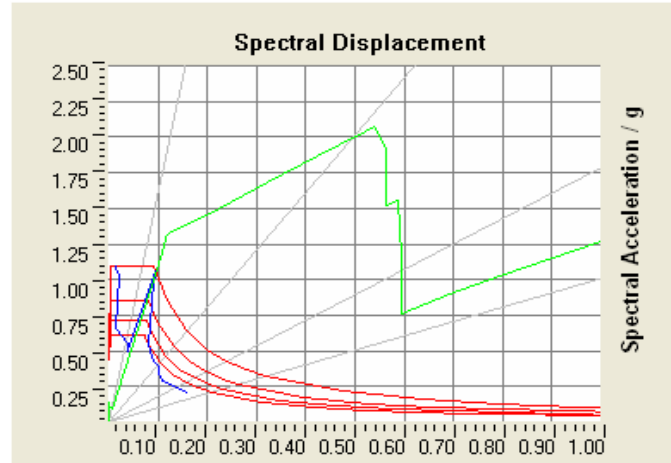
Şekil 4.105. MZ2-C-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



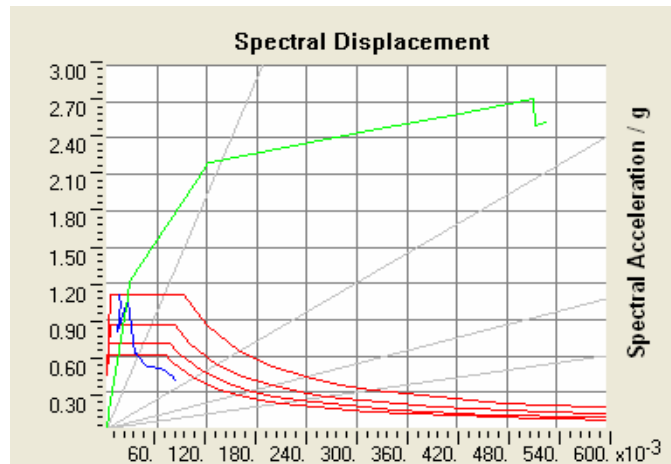
Şekil 4.106. MZ2-DB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



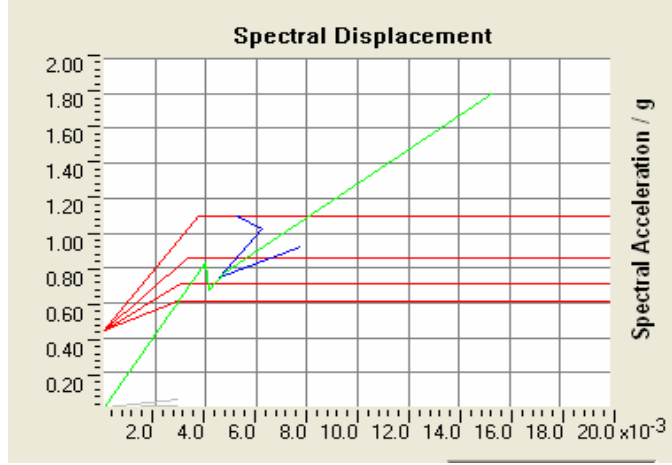
Şekil 4.107. MZ2-TDB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



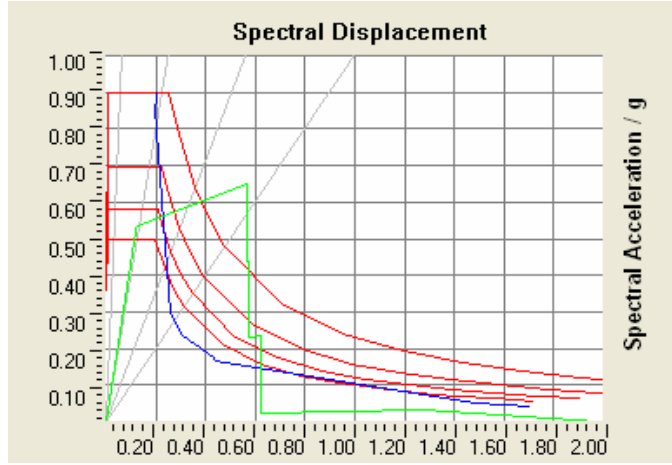
Şekil 4.108. MZ2-TVB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



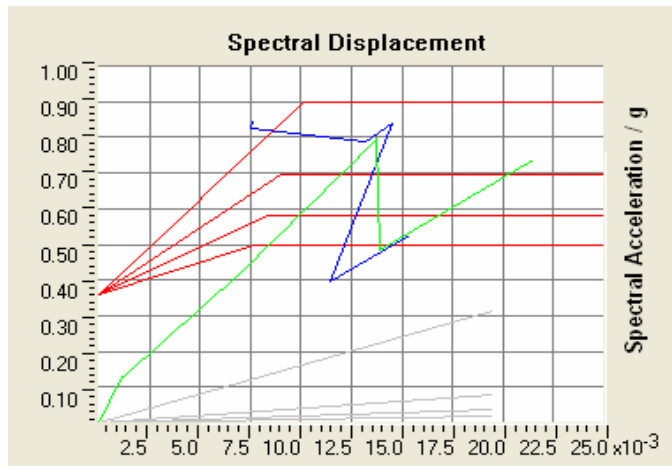
Şekil 4.109. MZ2-VB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



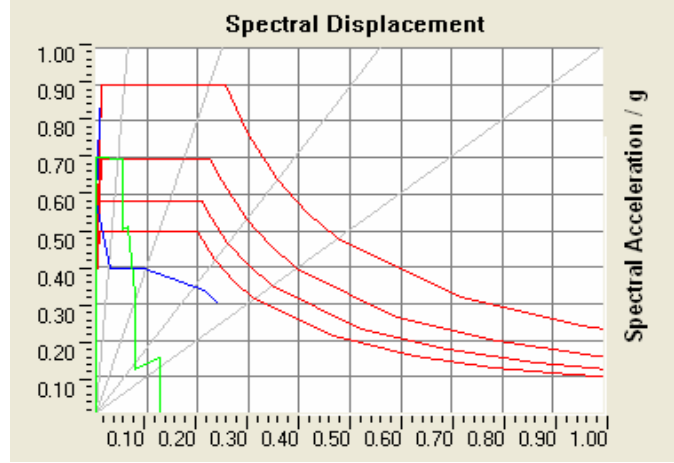
Şekil 4.110. MZ2-XB-D1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



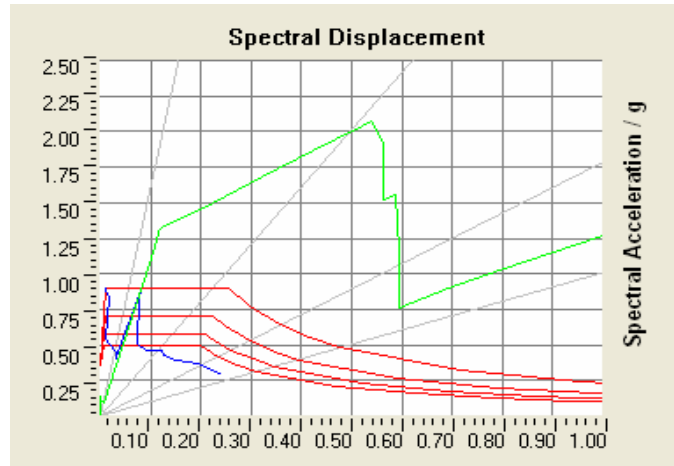
Şekil 4.111. MZ2-C-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



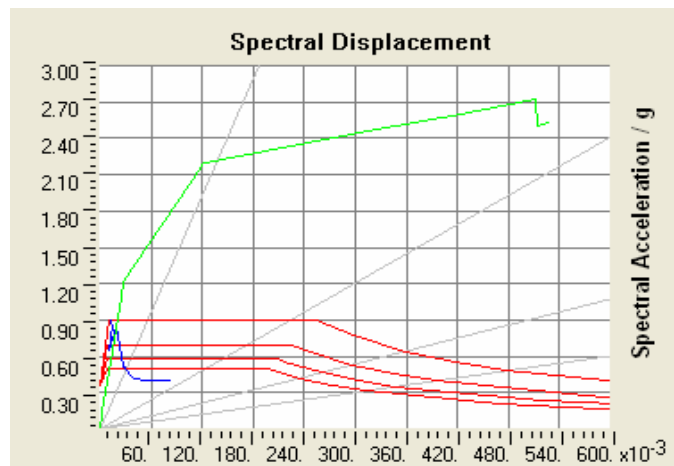
Şekil 4.112. MZ2-DB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



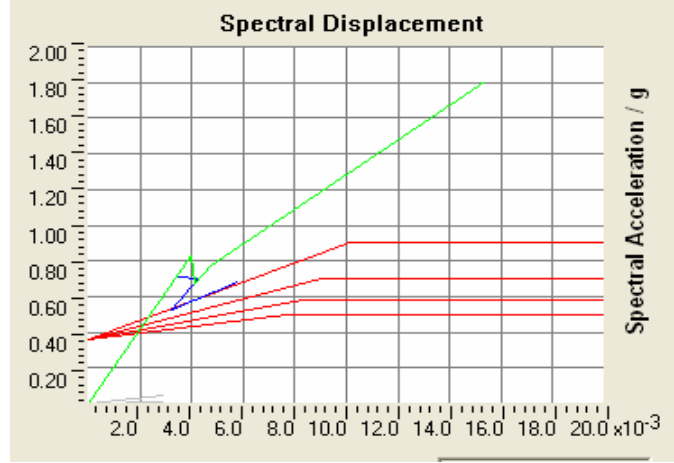
Şekil 4.113. MZ2-TDB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



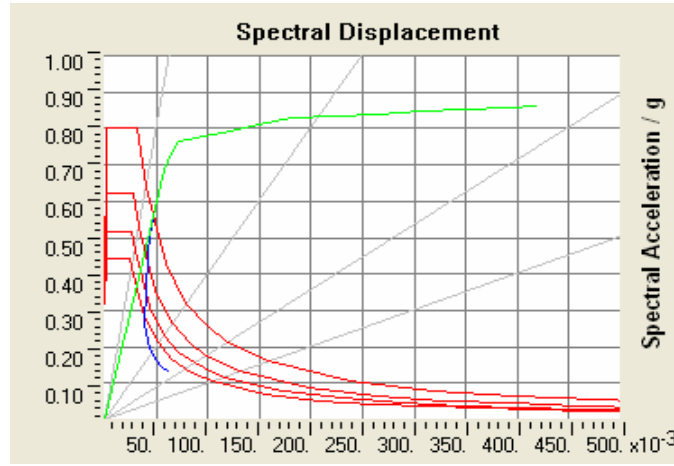
Şekil 4.114. MZ2-TVB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



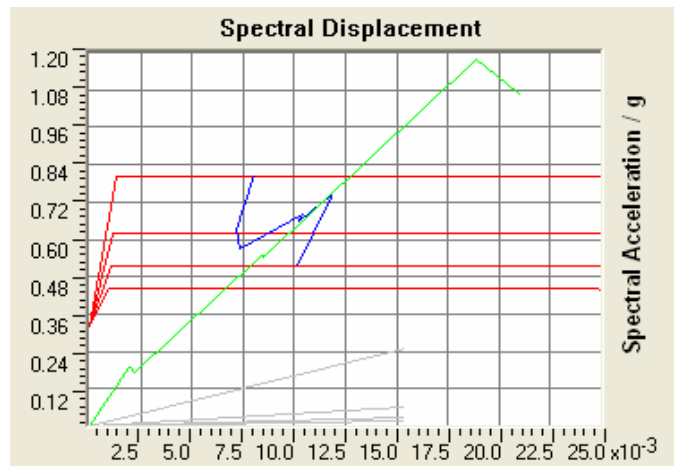
Şekil 4.115. MZ2-VB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



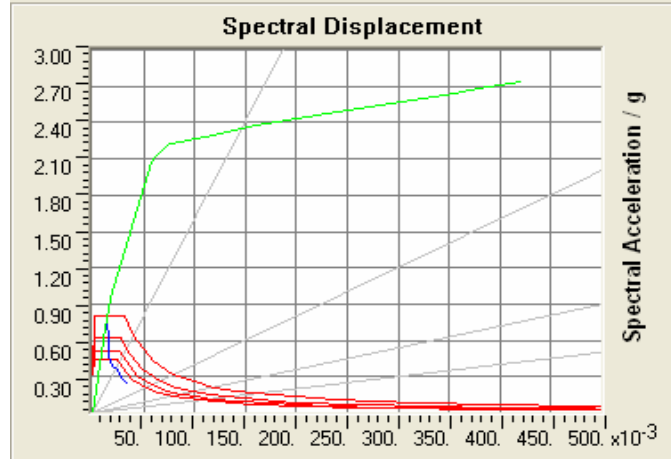
Şekil 4.116. MZ2-XB-D1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



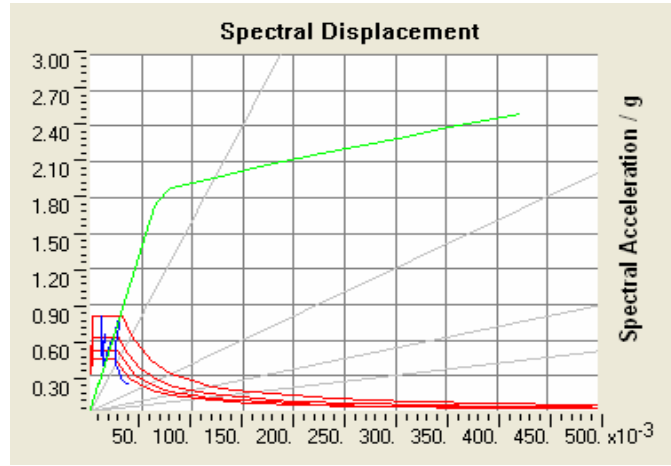
Şekil 4.117. MZ3-C-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



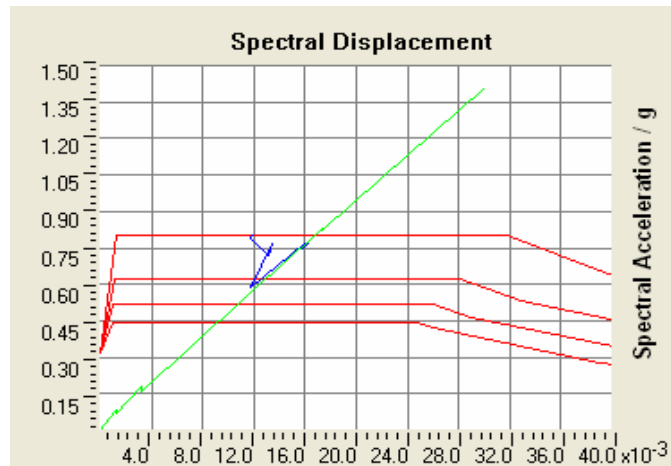
Şekil 4.118. MZ3-DB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



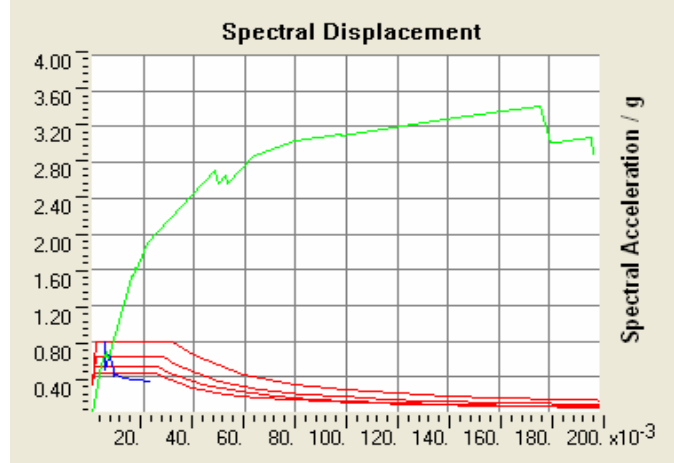
Şekil 4.119. MZ3-TDB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



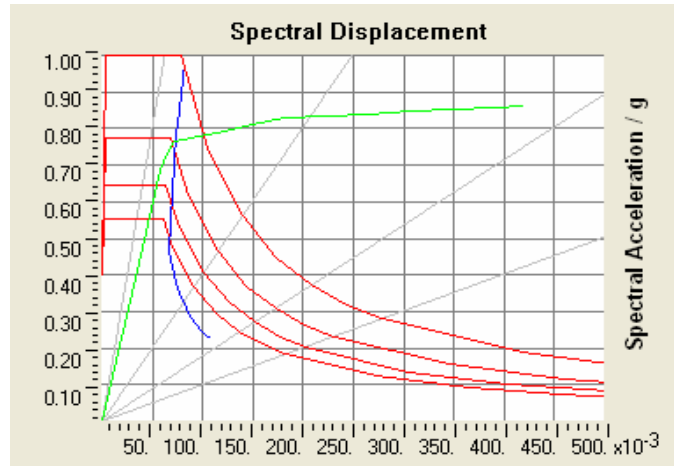
Şekil 4.120. MZ3-TVB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



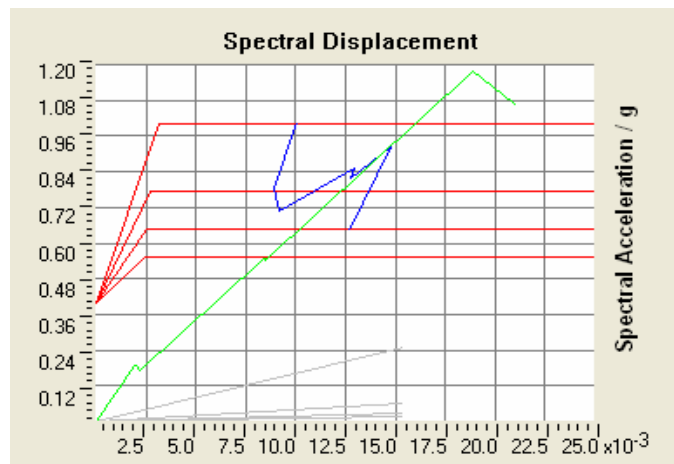
Şekil 4.121. MZ3-VB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



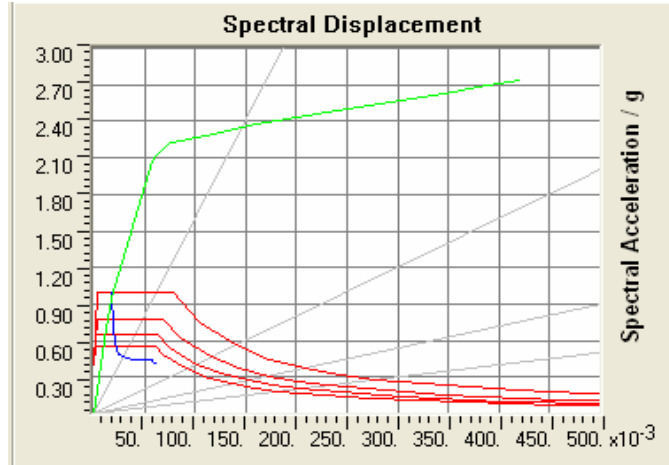
Şekil 4.122. MZ3-XB-D1-Z1 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



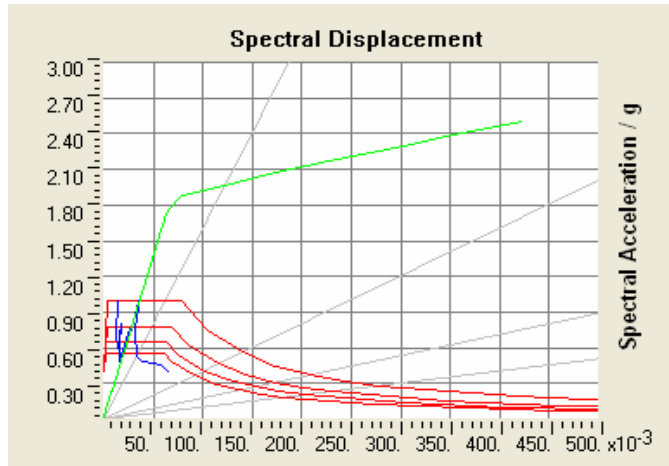
Şekil 4.123. MZ3-C-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



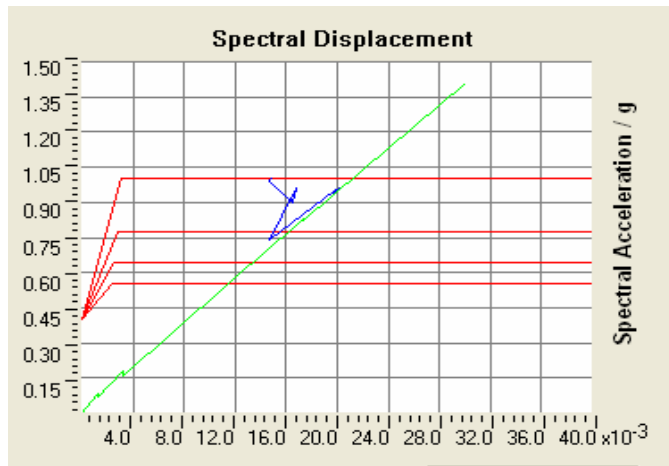
Şekil 4.124. MZ3-DB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.125. MZ3-TDB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

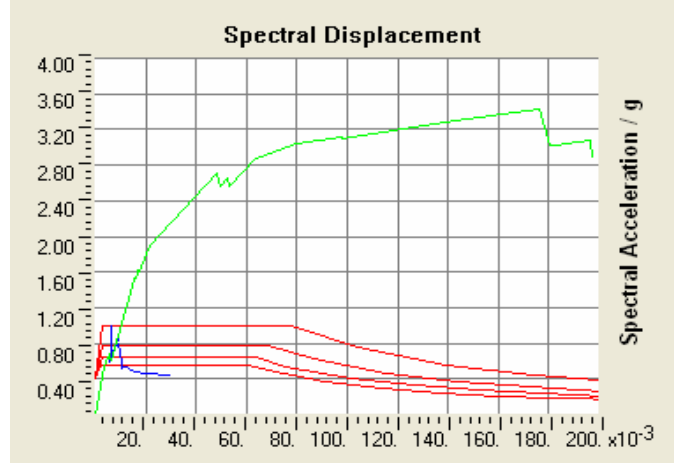


Şekil 4.126. MZ3-TVB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

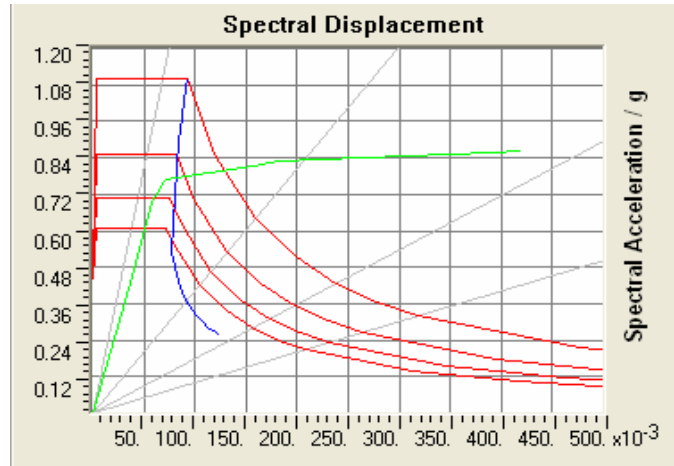


Şekil 4.127. MZ3-VB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

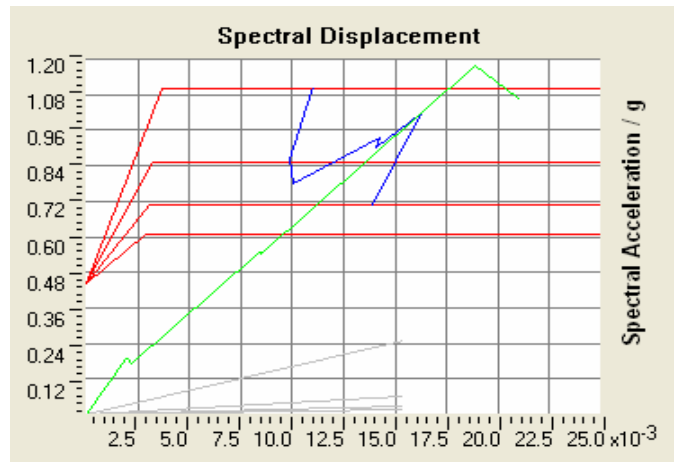




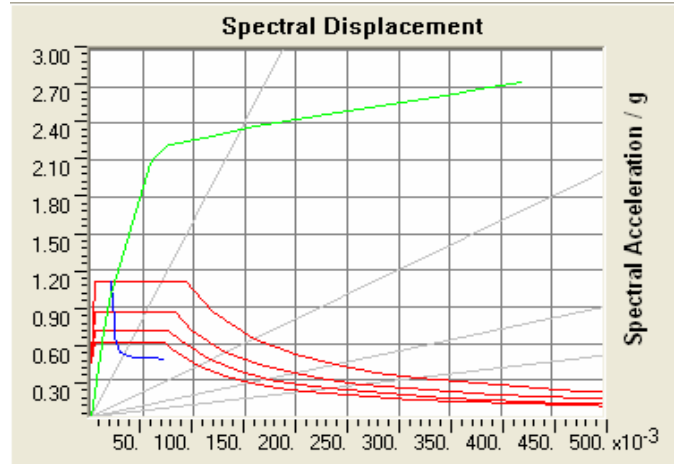
Şekil 4.128. MZ3-XB-DB1-Z2 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



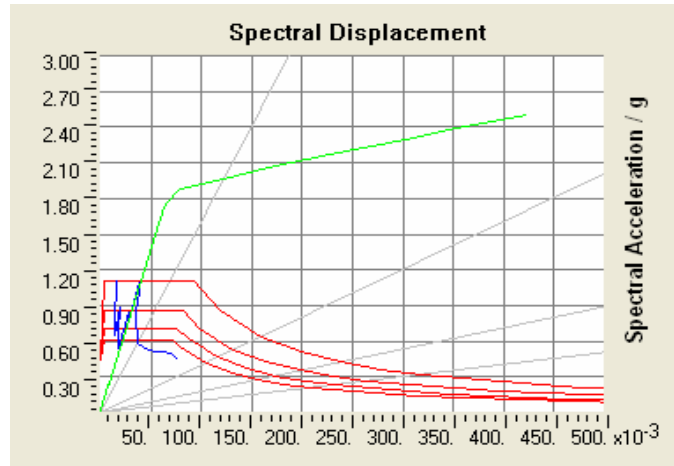
Şekil 4.129. MZ3-C-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



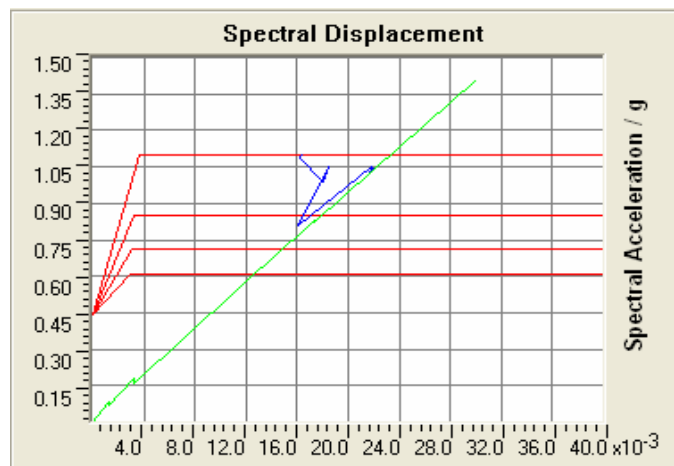
Şekil 4.130. MZ3-DB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



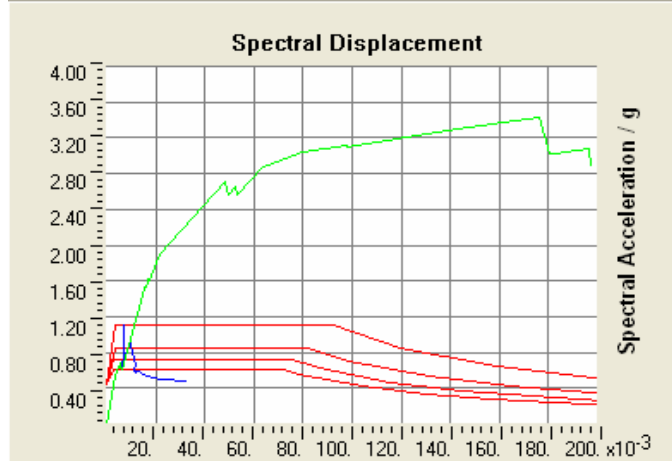
Şekil 4.131. MZ3-TDB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



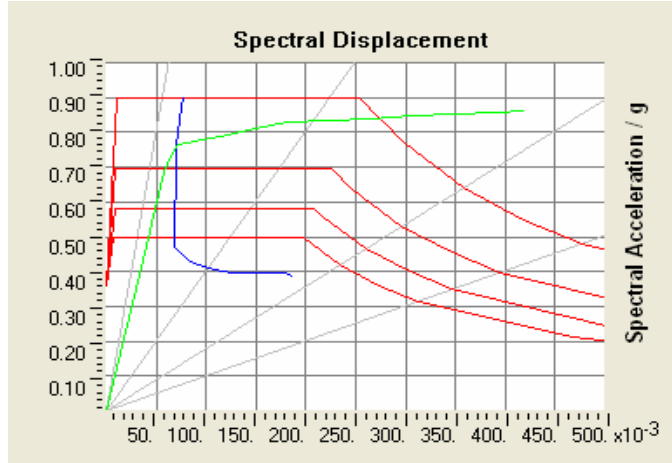
Şekil 4.131. MZ3-TVB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



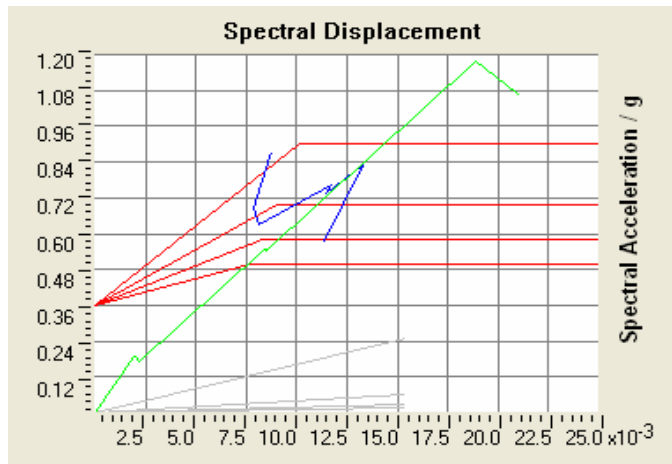
Şekil 4.132. MZ3-VB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



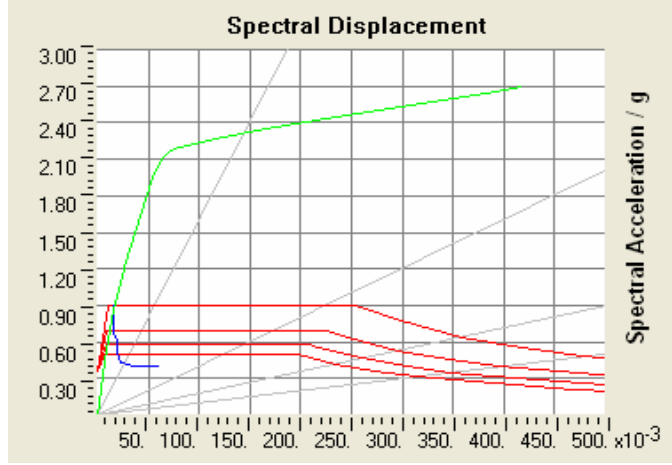
Şekil 4.133. MZ3-XB-DB1-Z3 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



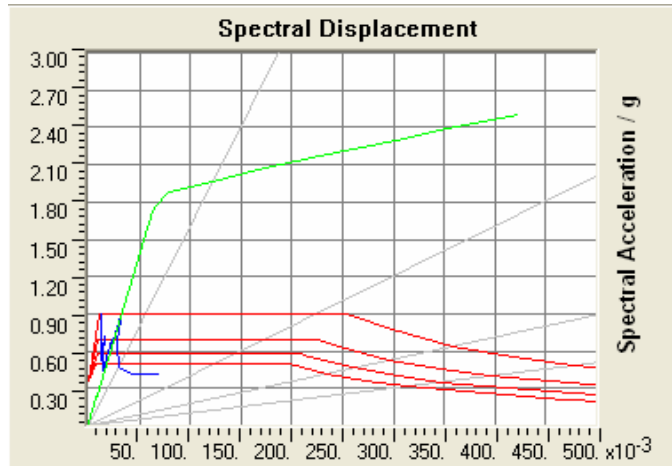
Şekil 4.134. MZ3-C-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



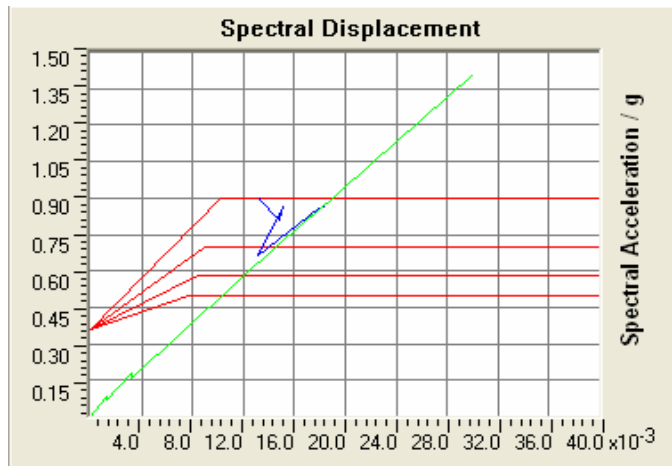
Şekil 4.135. MZ3-DB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



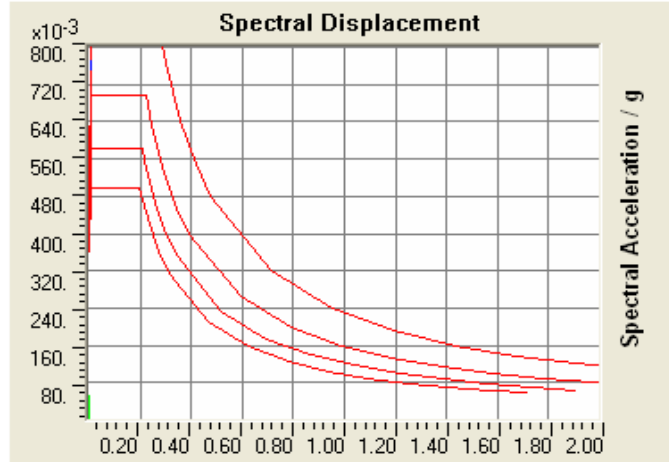
Şekil 4.136. MZ3-TDB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



Şekil 4.137. MZ3-TVB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi



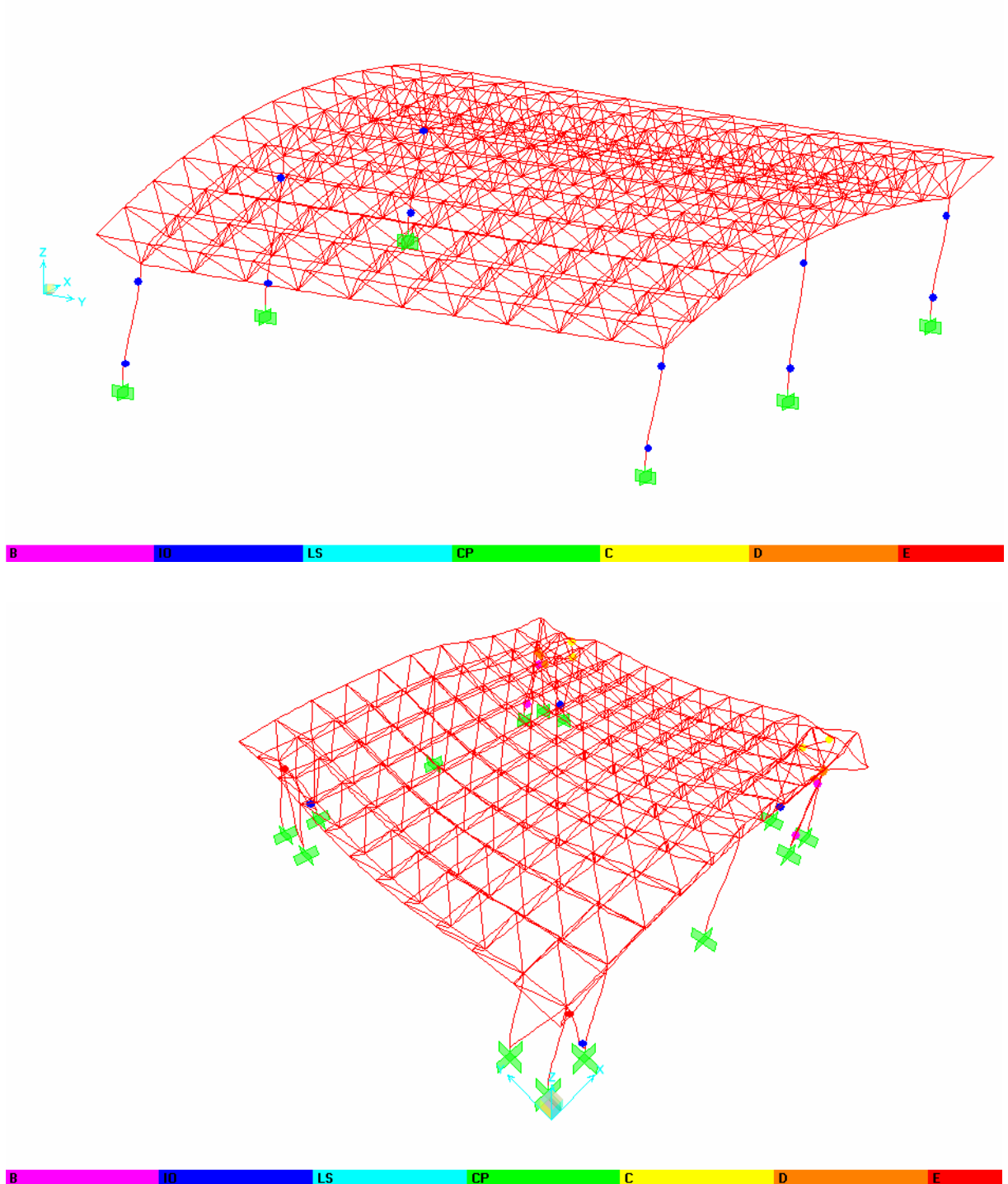
Şekil 4.138. MZ3-VB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

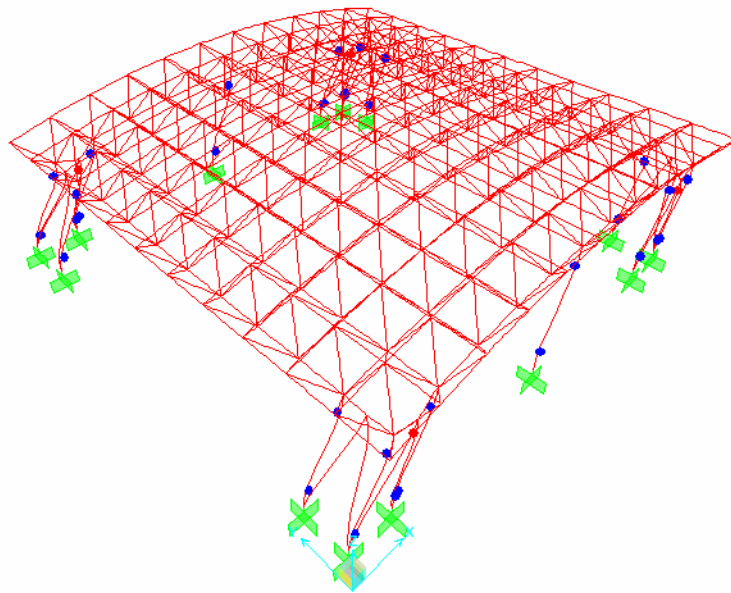
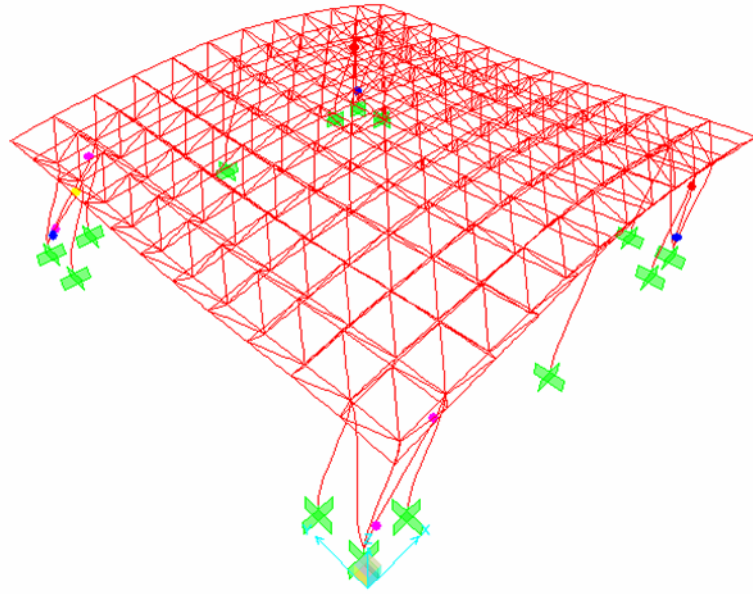


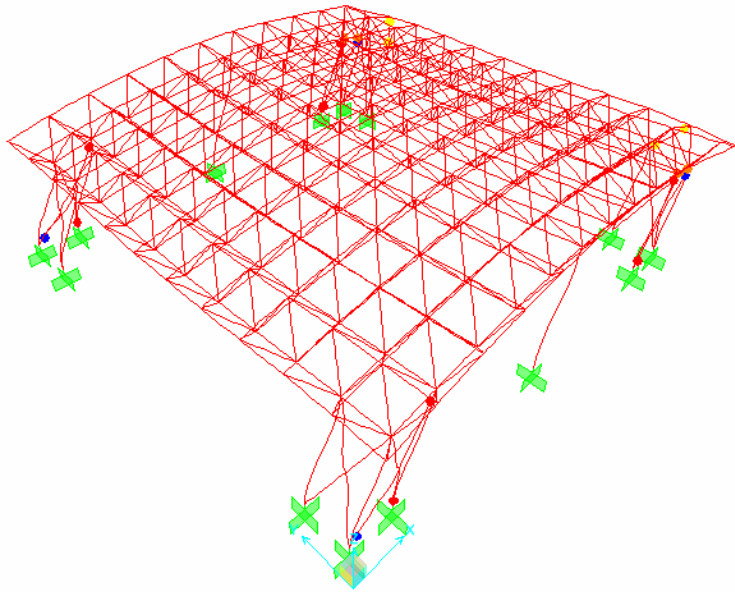
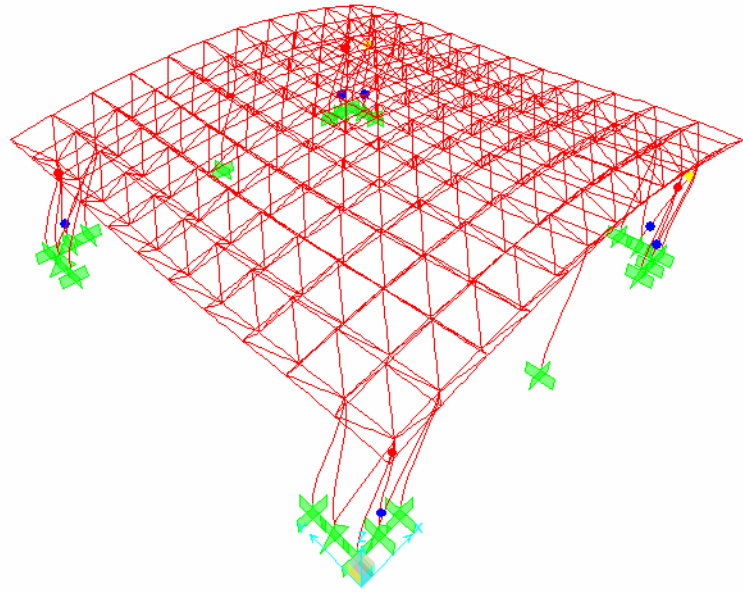
Şekil 4.139. MZ3-XB-DB1-Z4 Modeli Kapasite Spektrum Eğrisi

## 4.2.2. Sistemlerin Mafsallaşma Durumları

MZ1 GURUBU

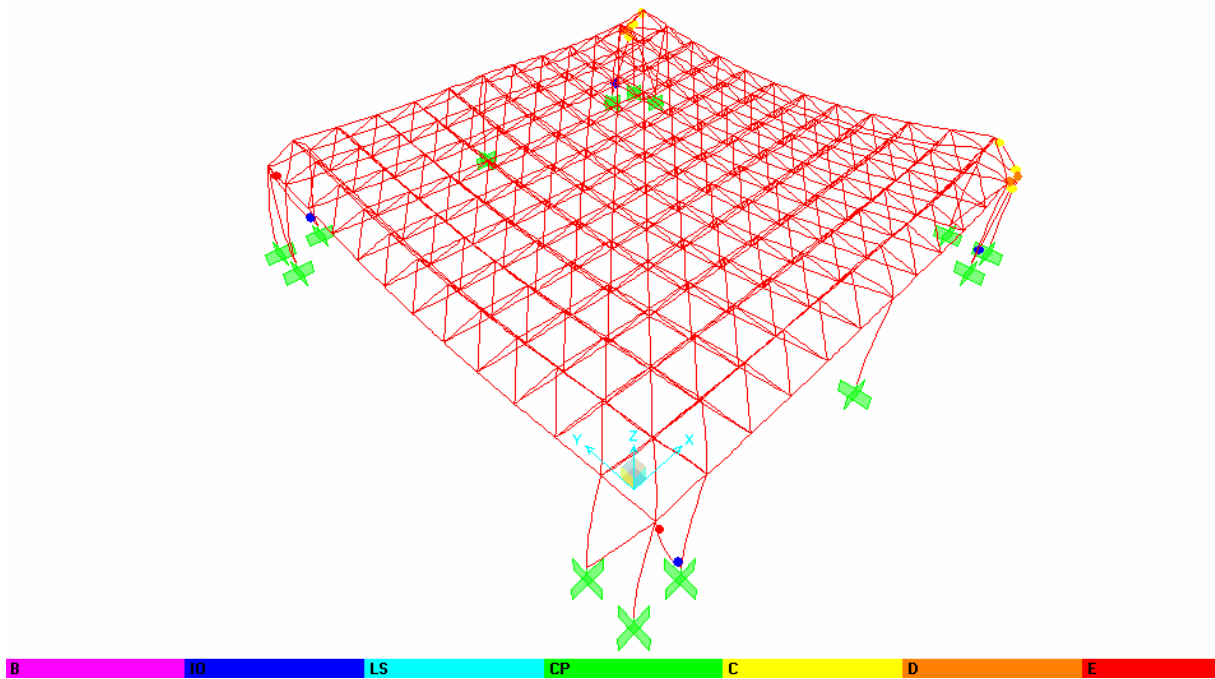
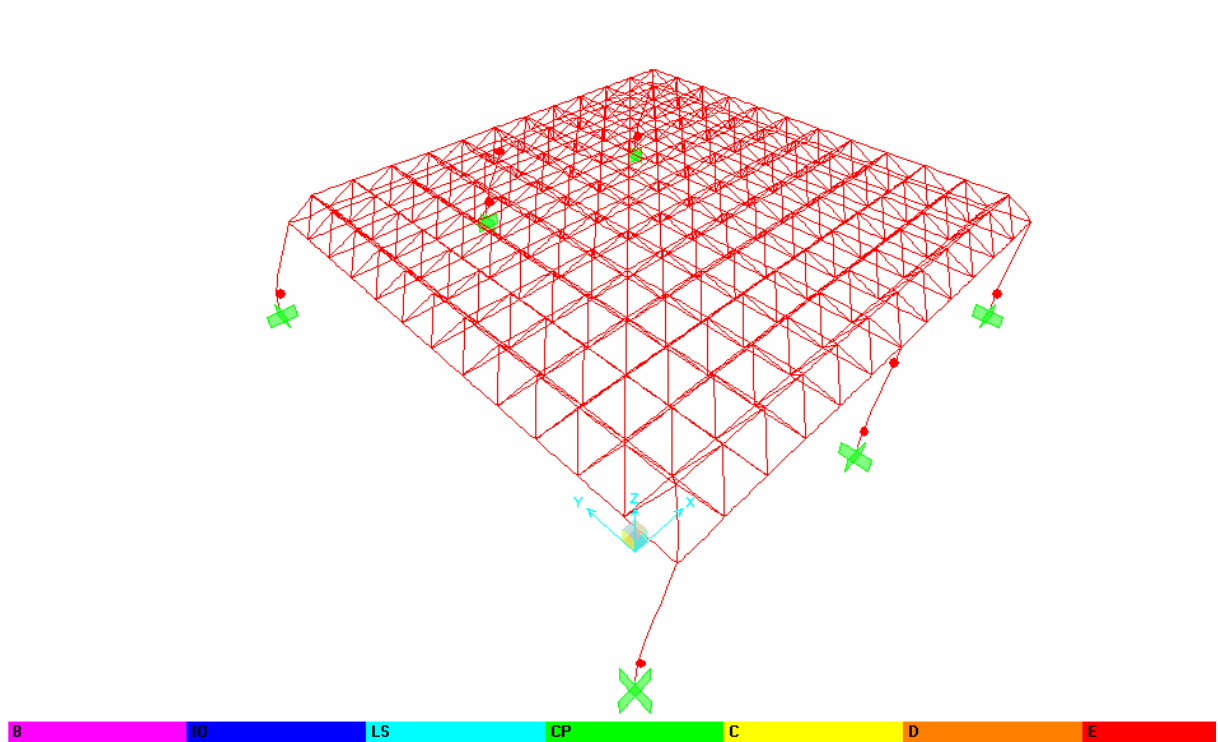


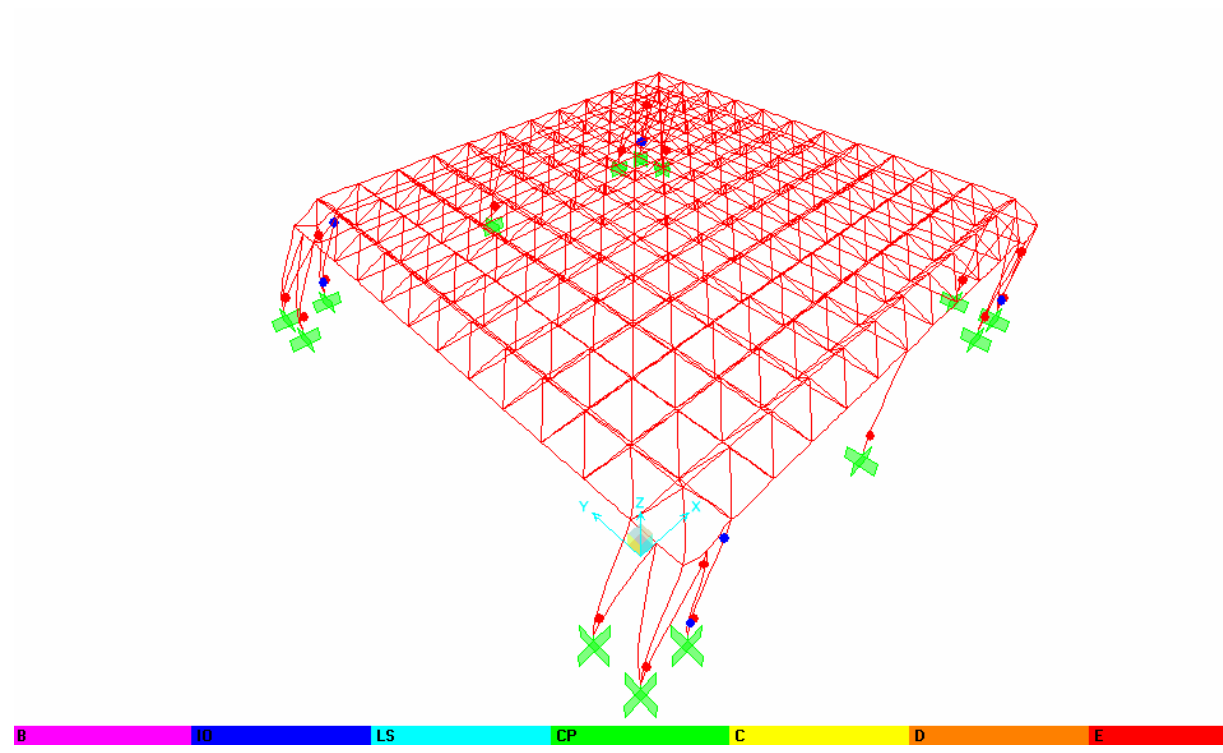
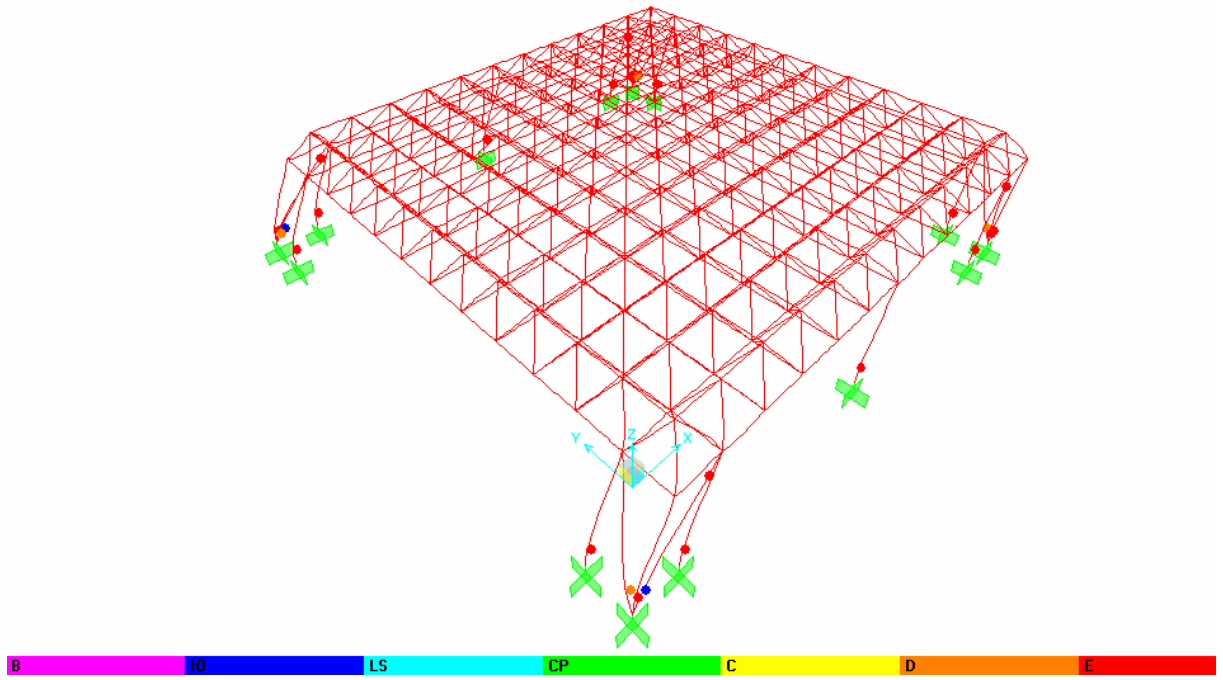


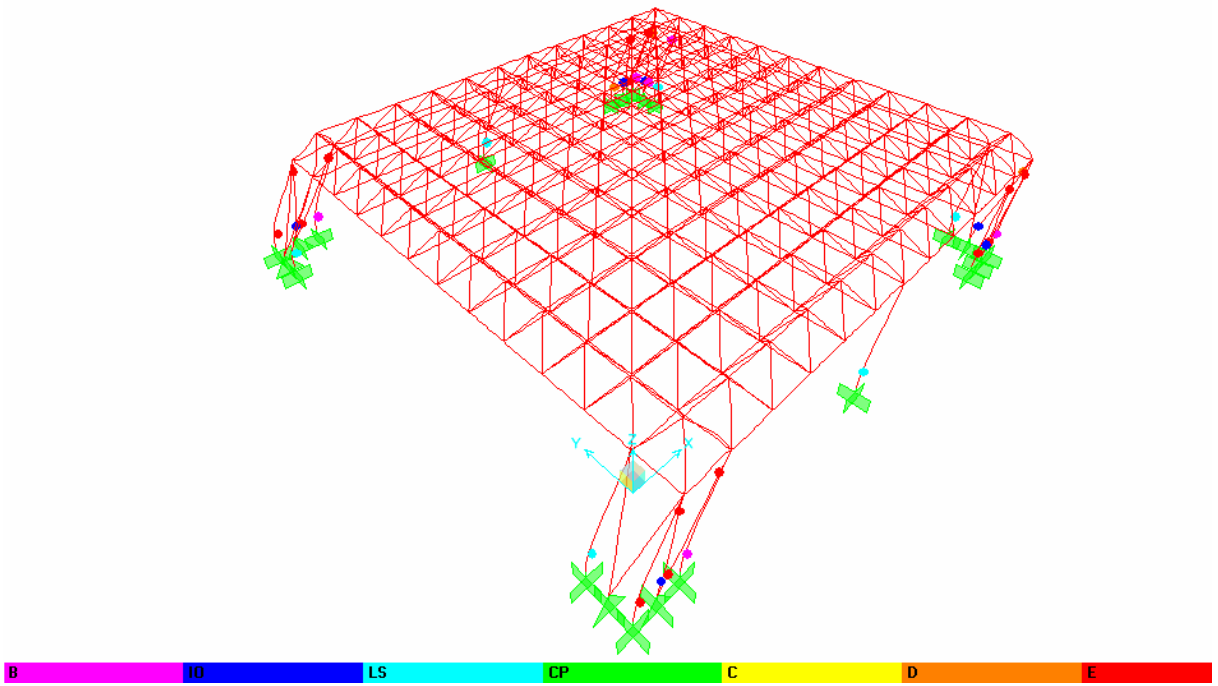
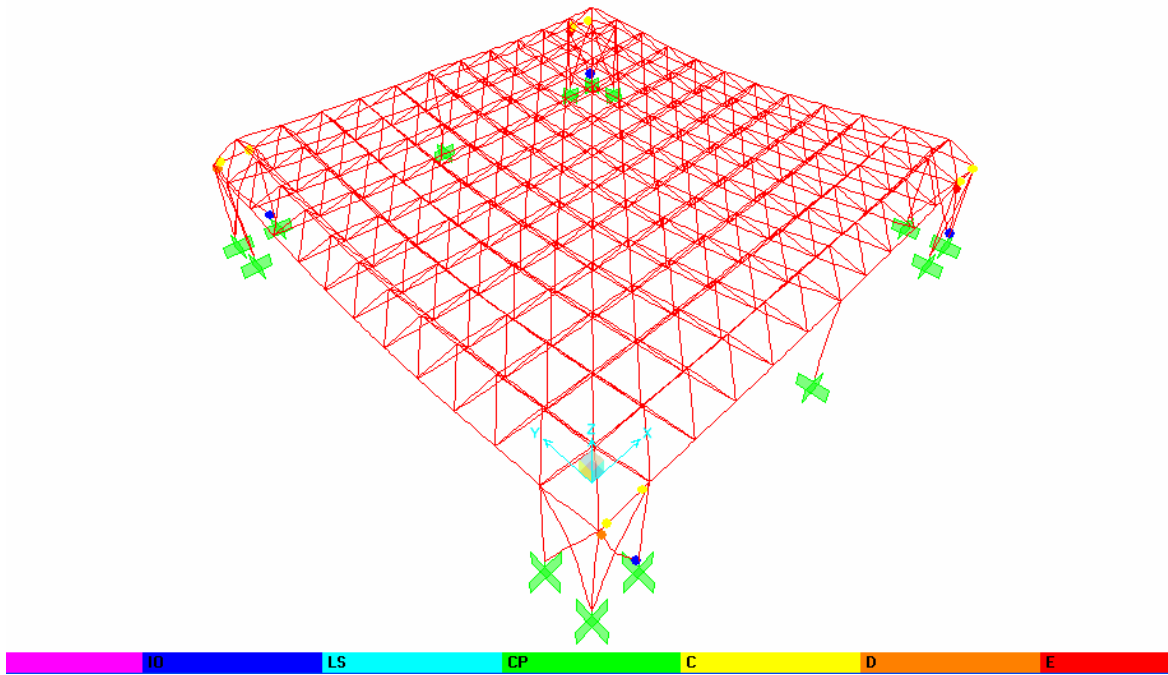




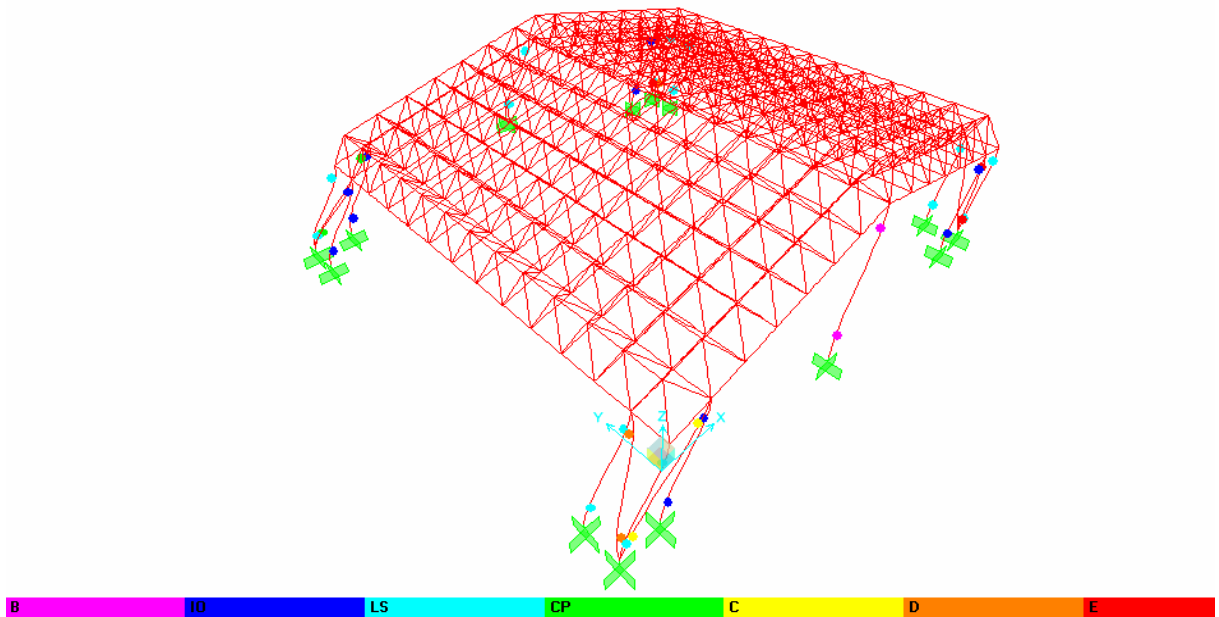
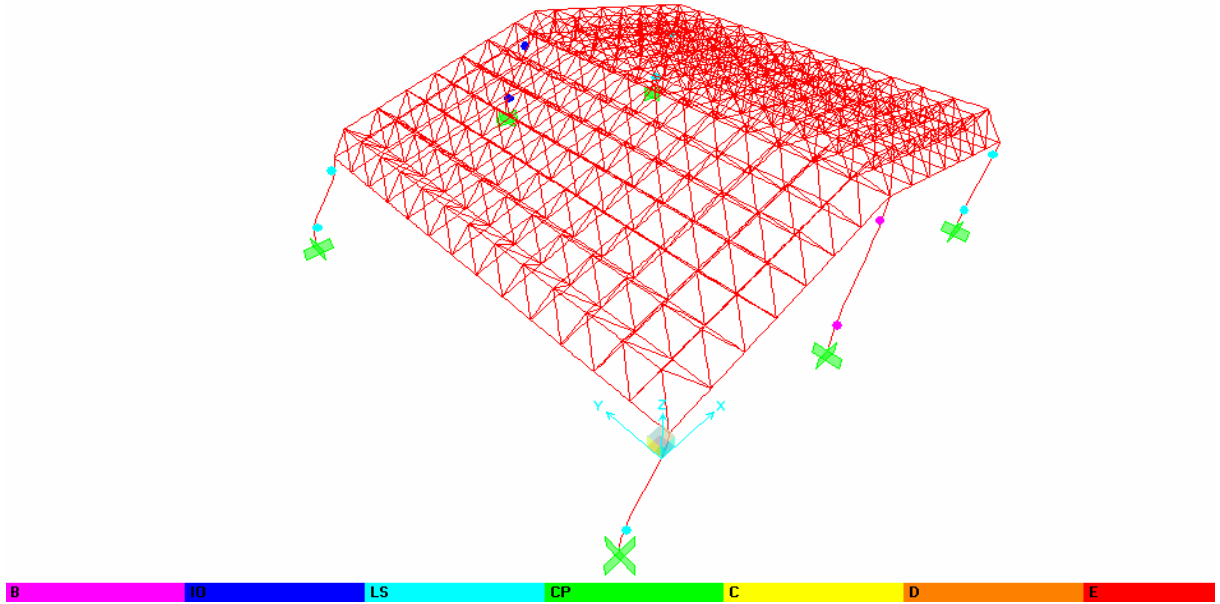
## MZ2 GURUBU

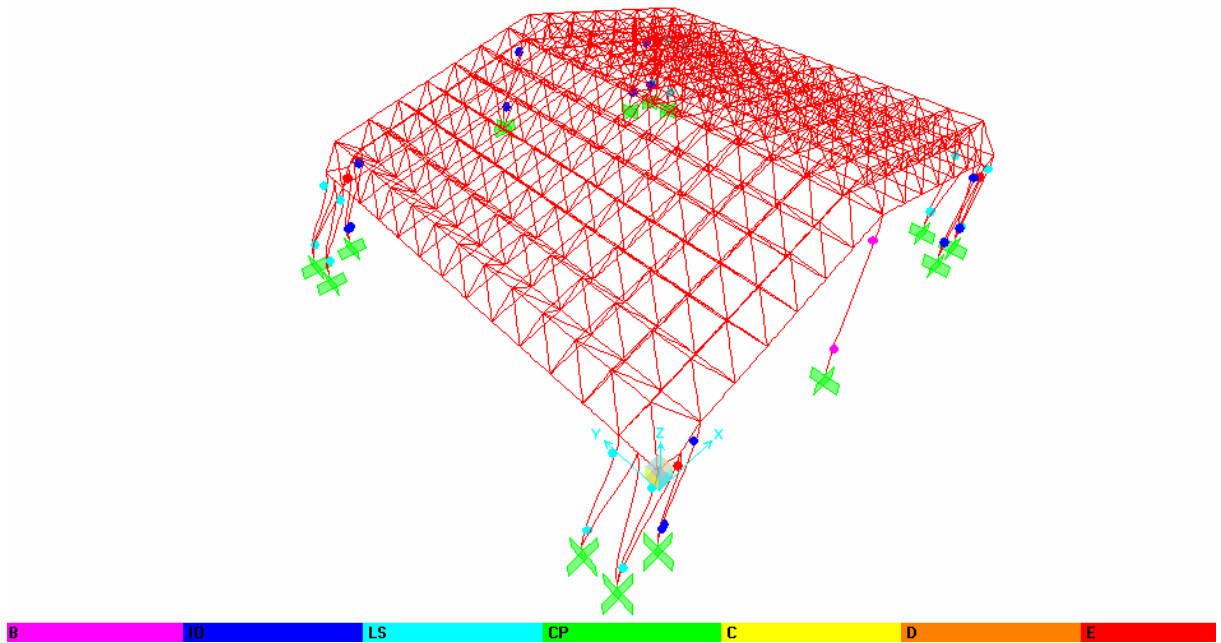
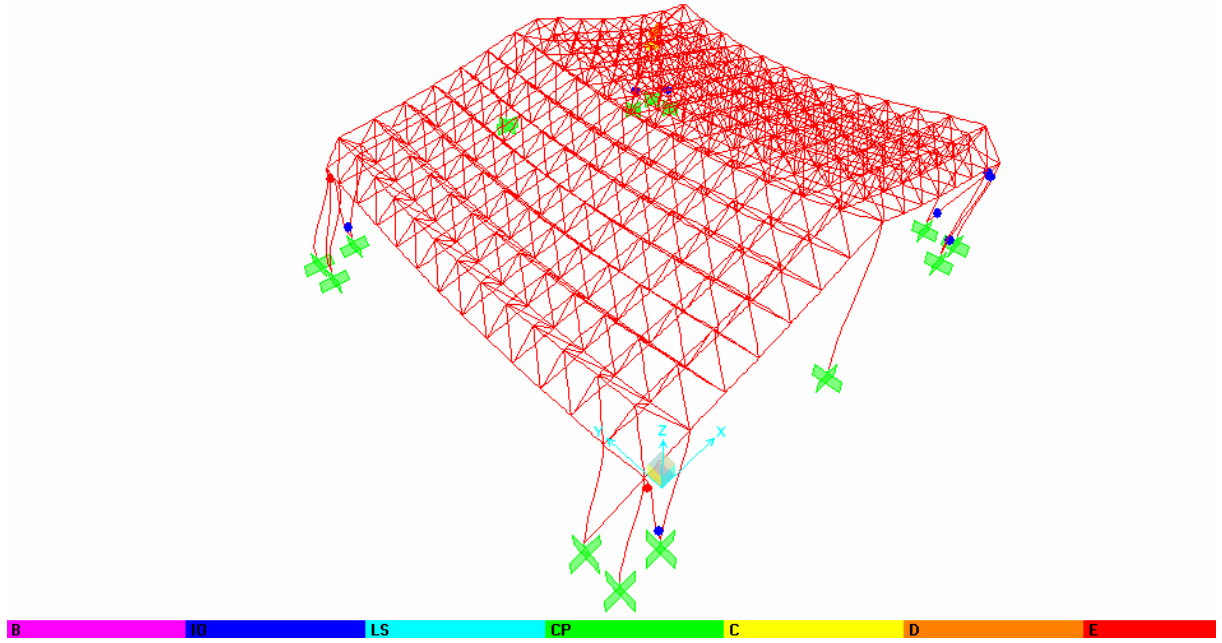


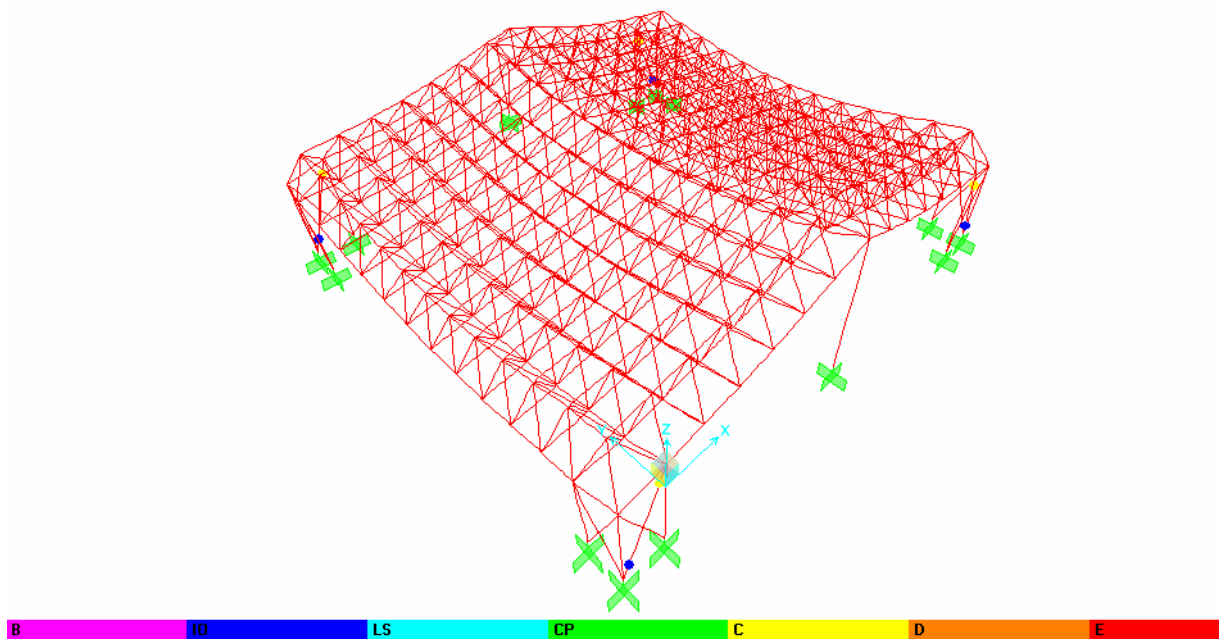
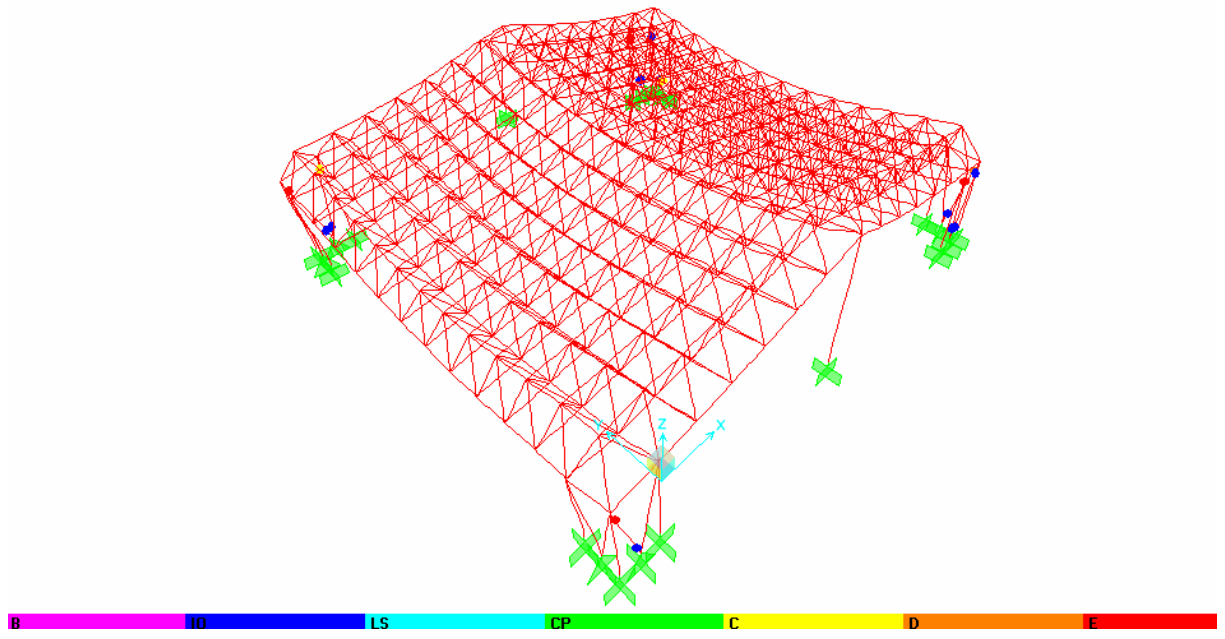




MZ3 GURUBU







## 5. SONUÇLAR

1. Sabit mesnet'e oturan çelik uzay sistemlerin periyotları diğerlerine göre en küçük çıkarken, sadece kolonlara oturan sistemlerin periyotları en büyük çıkmaktadır. Diğer taraftan basit mesnetli sistemler ile (X) çaprazlarla güçlendirilmiş sistemlerin periyotları birbirine yakın çıkmaktadır. Burada, kullanılan çapraz (braced) elemanların sistem periyodunda önemli bir etkiye sahip oldukları görülmektedir.
2. Üç ana model içinde de dayanımı en yüksek olan sistem DB olmasına rağmen sünekliliği TVB ve C den daha küçük çıkmaktadır. Bununla birlikte TDB, VB, XB süneklilik ve sistem kapasitesi açısından uygun sistemler değildir.
3. MZ1, MZ2 ve MZ3 modellerinin hepsinin de sünekliliği yüksek olmasına karşın MZ2 modelinin dayanımı diğer iki modele göre daha düşük çıkmaktadır. Bu sonuçtan, sistem geometrisinin sistem kapasitesini önemli bir şekilde etkilediği görülmektedir. Düktilite yönünden düz sistemlerin daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır.
4. Çelik uzay çatı sistemli yapılarda çapraz elemanların sistemde rastgele düzenlenmesinin doğru olmadığı, yapıların sismik performansında deprem bölgelerinin ve yerel zemin sınıflarının etkisinin bir dereceye kadar etkili olduğunun fakat daha önemli olanın sistem geometrisi olduğu gözlemlenmiştir.
5. En iyi çapraz eleman düzenlenmesinin TVB olduğu ortaya çıkmıştır. Süneklilik (X) çaprazların, çerçeve sistem yapılarda olduğu gibi, başlangıçta sistemin dayanımını artırırken, sonrasında, çaprazların ani burkulması ile sistem göçme durumuna gelmektedir.





## 6. KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik., 1997. Resmi Gazete 1997, İstanbul

ATC (Applied Technology Council) 40, Seismic Evaluation And Retrofit of Concrete Buildings

Bayılı, S., 2002. Düzce'deki Bir Konut Binasının 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'ndeki Sismik Performansının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, 145 s, Ankara

Beskos, D.E., Anagnostopoulos, S.A.,1997. Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures A Handbook, 532-561 Great Britain

Carlson E.A., 1999. Three – Dimensional Nonlinear Inelastic Analysis of Steel Moment – Frame Buildings Damaged By Earthquake Excitations, report no. EERL 99-02

Chopra, A.K., Goel R.K., 1999. Capacity – Demand – Diagram Methods for Estimating Seismic Deformation of Inelastic Structures: Sdf Systems, report no. PEER- 1999/02

Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha, M.E., 1989, Concepts and Applications of Finite Element Analysis. John Wiley & Sons, inc. 395-409, New York.

Dolunay, M.A., Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Etkisi Altında Dinamik Davranışı, Süleyman Demirel Üniv. 2003

Durmuş, G., Düzensiz Çelik Yapıların Doğrusal Olmayan Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniv. 2003

Fajfar, P., EERI, M., 2000. A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Design., Earthquake Spectra, vol.16, no.3, pp.573-592,

Farrow, K.T., Kurama, Y.C., 2001. Capacity – Demand Index Relationships for Performance – Based Seismic Design, report no. NDSE-01-02

FEMA (Federal Emergency Management Agency) 273, Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings-1997

FEMA (Federal Emergency Management Agency) 356, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings - 2000.

Ghobarah, A., 2001. Performance - Based Design in Earthquake Engineering: State of Development, vol.23, pp. 878-884

Gioncu, V., 2000. Framed Structures. Ductility and Seismic Response General Report, vol. 55, pp.125-154

Hasan, R., Xu, L., Grierson, D. E., 2002. Push-over Analysis for Performance – Based Seismic Design, vol.80,pp.2483-2493.

Kalay, Y.,E., (1999). Performance – Based Design, vol.8, pp.395 – 409

Kibar, A.,A, 2002. 1975 Türk Deprem Yönetmeliğinin Bina Çökmesini Önlemesi Açısından Yeterliliğinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, 128 s, Ankara

Krawinkler, H., Seneviratna, G.D.P.K., 1998. Pros And Cons Of A Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation, vol. 20, pp.452-464

Lefort, T., 2000. Advanced Pushover Analysis of RC Multi-Storey Buildings, MSc Dissertation, London

Mahim, S., Malley, J., Hamburger, R., 2002. Overview of the FEMA/SAC Program For Reduction of Earthquake Hazards in Steel Moment Frame Structures, journal of constructional steel research ,vol.58, pp.511-528

Medhaker, M.S., Kennedy, D.J.L., 2000. Displacement – Based Design of Buildings-Theory, Engineering Structures, vol 22, pp.201-209

Medhaker, M.S., Kennedy, D.J.L., 2000. Displacement – Based Design of Buildings-Application, Engineering Structures, vol 22, pp.210-221

Miranda E., Ruiz-Garcia, J., 2002. Evaluation of Approximate Methods to Estimate Maximum Inelastic Displacement Demands, vol. 31, pp. 539-560

Motlagh, Y.A.R., Saadeghvaziri, A.M., 2001. Nonlinear Seismic Response of Stiffening SDOF Systems, vol.23, pp.1269-1280

Peköz, H., A., 2002. 12 Kasım 1999 Düzce Depreminin Ardından Okul Binalarının Sismik Değerlendirilmesi , Yüksek Lisans Tezi, 159 s, Ankara

Sucuoğlu, H., Yapıların Deprem Güvenliğini Değerlendirme Yöntemleri , ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Ankara

TS 498, 1987. Yapı Elamanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

UBC (Uniform Building Code) 1997, Structural Engineering Design Provisions (vol .2)

Wilson, E.L., 2001. Three Dimensional Static And Dynamic Analysis of Structures. Computers and Structures, inc., USA.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Züleyha ÖZGÜR

Doğum Yeri : Antalya

Doğum Yılı : 1978

Medeni Hali : Bekar

### Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1993–1996 Antalya Anadolu Lisesi

Lisans : 1998–2003 Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik  
Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce- Almanca