

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

**BİNALARIN SİSMİK RİSK ANALİZİ VE
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Sevtap GÖYMEN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON**

AĞUSTOS-2011

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

BİNALARIN SİSMİK RİSK ANALİZİ VE PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sevtap GÖYMEN

(08215103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Ağustos 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Eylül 2011

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yusuf CALAYIR (F.Ü)

Prof. Dr. Aydın TURGUT (F.Ü)

AĞUSTOS-2011

ÖNSÖZ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı, depremden meydana gelecek hasarların azaltılması konuları, büyük önem taşıyan mühendislik problemlerinin başında yer almaktadır. Günümüzde yapıların deprem kuvvetlerine göre tasarımında dayanım yerine performans kavramı daha fazla kabul görmektedir. Yapı sistemleri, o bölgede olması beklenen deprem kuvvetlerinden büyük bir deprem kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede, depremlerin yıkıcı etkisinden korunabilmek için, yapıların performans hedeflerine göre tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, verilen spektrum ivme kaydına uygun bir yapay deprem üretilmiş, binalarda kullanılarak lineer olmayan dinamik analizleri yapılmış ve performansları belirlenerek sonuçları tartışılmıştır. Böylece bu çalışmanın ileriki araştırmalar için bir basamak teşkil edeceğini düşünerek, çalışmamın ilk gününden son gününe kadar yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevtap GÖYMEN
ELAZIĞ- 2011

İÇİNDEKİLER

SAYFA NO

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XII
KISALTMALAR.....	XIV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konu	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ.....	3
2.1 Kesit, Eleman ve Taşıyıcı Sistem Hasar Sınır ve Bölgeleri	3
2.2 Taşıyıcı Eleman Deprem Hasar Sınırı ve Bölgeleri	4
2.3 Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri	4
2.3.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi	5
2.3.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi	6
2.3.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi	7
2.3.4 Göçme Durumu	7
2.4 Binalar İçin Performans Hedefleri	7
2.5 Değerlendirme Yöntemleri.....	8
2.6 Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme	10
3. ÇERÇEVELERİN ELASTİK ÖTESİ LİNEER OLMAYAN DAVRANIŞI.....	11
3.1 Plastik Mafsallık Kabulü	11
3.2 Lineer Olmayan Kiriş Elemanı.....	16
3.2.1 Toplanmış Tip Plastik Mafsallık	17
3.2.2 Yayılı Tip Elastik Olmayan Mafsallık	19
4. DEPREM PERFORMANSININ LİNEER ELASTİK OLMAYAN	
HESAP YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ	20
4.1 Artımsal Eşdeğer Yatay Yük Yöntemi (İtme Analizi)	20
4.1.1 Yatay Yük Kapasite Eğrisi	21
4.1.2 Deprem Etkisi Talep Eğrisi	23
4.1.3 Kapasite ve Talep Eğrilerinin Kesiştirilmesi	24
4.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi	27
4.3 Zaman Tanım Alanında Lineer Olmayan Hesap Yöntemi	28
5. ELAZIĞ İÇİN SİSMİK RİSK ANALİZİ VE	
YAPAY DEPREM ÜRETİLMESİ.....	29
5.1 Türkiye'deki Fay Hatları	29
5.1.1 Doğu Anadolu Fay Zonunun Genel Özellikleri	29
5.1.2 Doğu Anadolu Fay Zonu Üzerinde Olmuş Önemli Depremler	33
5.1.3 Doğu Anadolu Fay Sisteminin Bölgedeki Özellikleri.....	34
5.1.4 Bölgenin Durumu ve Alınacak Önlemler.....	34
5.2 Elazığ İçin Sismik Risk Analizi	34

5.2.1 Regresyon Analizleri.....	35
5.2.2 Azalım İlişkileri.....	38
6. FIRAT ÜNİVERSİTESİ SU URUNLERİ FAKÜLTESİ	
DERSLİK VE MERKEZİ BİRİMLER BİNALARININ	
LİNEER OLMAYAN ANALİZLERİ	42
6.1 Öğretim Elemanları Binası	42
6.1.1 Öğretim Elemanları Binası Modal Analiz Sonuçları	44
6.1.2 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin	
Öğretim Elemanları Binasının Performans Değerlendirmesi.....	45
6.1.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin	
Öğretim Elemanları Binasının Performans Değerlendirmesi.....	51
6.2 Derslik Binası	56
6.2.1 Derslik Binası Modal Analiz Sonuçları	57
6.2.2 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin	
Derslik Binasının Performans Değerlendirmesi.....	58
6.2.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin	
Derslik Binasının Performans Değerlendirmesi.....	66
6.3 Amfi Binası	72
6.3.1 Amfi Binası Modal Analiz Sonuçları.....	74
6.3.2 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin	
Amfi Binasının Performans Değerlendirmesi	75
6.3.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin	
Amfi Binasının Performans Değerlendirmesi	78
7. SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ÖZET

Bu tezde, Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Öğretim Elemanları, Derslik ve Amfi Binalarının lineer olmayan dinamik analizleri yapılarak performansları belirlenmiştir. Lineer olmayan davranış için toplanmış tip plastik mafsallı elemanlar kullanılmıştır. Binaların bulunduğu bölge dikkate alınarak 1905- 2005 yılları arasında Elazığ'da meydana gelmiş deprem karakteristikleri yardımıyla manyitüd ilişkileri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra azalın fonksiyonları kullanılarak söz konusu binalar için yer ivmesinin maksimum değeri elde edilmiştir. Yer ivmesi olarak, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik-2007' de verilen spektrum ivme kaydına uygun bir yapay deprem kullanılmıştır. Yapay deprem söz konusu binaların x ve y yönlerinde ayrı ayrı etki ettirilmiş olup başlangıç yer değiştirme değeri olarak binanın kendi ağırlığı ve hareketli yükleri dikkate alınmıştır. Dinamik analiz çözümleri, adım-adım integrasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiş olup çözümlerde SAP2000 paket programı kullanılmıştır.

Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Öğretim Elemanları ve Derslik binalarının performans analizinde, x yönünde göçme meydana gelirken y yönünde binalarda hasarlar oluşmasına rağmen toptan göçme olayı gözlenmemiştir. Amfi binasında ise hem x hem de y yönlerinde etkiyen deprem ivmesi altında herhangi bir plastik mafsallı oluşmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lineer olmayan analiz, Plastik mafsallı, Yapay deprem ve Dinamik analiz.

SUMMARY

DETERMINATION OF SEISMIC RISK ANALYSIS AND PERFORMANCE OF BUILDINGS

In this thesis, nonlinear dynamic analyses of Firat University, Faculty of Aquaculture Instructors, Classroom, and Lecture Halls were performed and performances of these structures were determined. Lumped plastic hinge elements were used for the nonlinear behavior. Magnitude relationships were produced by earthquakes characteristics occurred in Elazig between the 1905 and 2005 years. However, maximum value of ground acceleration for these buildings was obtained by using attenuation functions. Synthetic earthquake acceleration matched to acceleration spectrum specified in the Specification for Building to be Built in the Earthquake Areas-2007 was used for the ground acceleration. Synthetic earthquake was affected on the x and y directions of the buildings, separately. Weight and live loads were taken into account for the initial condition. Dynamic analysis results were computed by using step by step integration method. SAP2000 program was used for the solutions.

In performance analyses of Firat University Faculty of Aquaculture Instructors, Classroom Buildings, while, the buildings was collapsed on the x direction, those was not collapse in spite of the damages on the y direction. Additionally, a plastic hinge was not occurred under earthquake acceleration affected both x and also y directions for Lecture Halls.

Keywords: Nonlinear analysis, plastic hinge, synthetic earthquake and dynamic analysis.

ŞEKİLLER LİSTESİ

SAYFA NO

Şekil 2.1	Kesit hasar sınırları ve bölgeleri.....	4
Şekil 2.2	Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri.....	4
Şekil 2.3	Hasar durumlarından bina (taşıyıcı sistem) performans düzeyine geçiş	5
Şekil 3.1	Düzlem çubuk elemanının eğilme momenti-eğrilik diyagramı.....	13
Şekil 3.2	Kiriş mesnet bölgesinde lineer olmayan şekil değiştirmelerin meydana gelme durumları	13
Şekil 3.3	Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi	14
Şekil 3.4	Kolonlarda eğilme momenti- eğrilik ilişkisi	14
Şekil 3.5	İdealleştirilmiş moment eğrilik bağıntısı.....	14
Şekil 3.6	Plastik mafsallık boyu	15
Şekil 3.7	Elastik olmayan kiriş elemanı	17
Şekil 3.8	Elastik olmayan plastik mafsallık moment- dönme ilişkisi.....	18
Şekil 4.1	Statik itme analizi binanın taşıyıcı sistemi ve plastik mafsallık oluşması.....	22
Şekil 4.2	Binanın a)statik itme eğrisi ve b) modal kapasite eğrisi	22
Şekil 4.3	Spektrum eğrisinde eksen değiştirilmesi.....	23
Şekil 4.4	Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi	24
Şekil 4.5	Elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilerek elastik ve elasto plastik yer değiştirmenin bulunması	25
Şekil 5.1	Türkiye’ deki fay hatları.....	29
Şekil 5.2	Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Fay Zonları	33
Şekil 5.3	Deprem tekrarlanma sayısı - manyitüd ilişkisi	37
Şekil 5.4	Odak Uzaklığı	39
Şekil 5.5	Yapay depreme ait spektrum grafiği	40
Şekil 5.6	Yapay depreme ait hız-zaman grafiği	40
Şekil 5.7	Yapay depreme ait ivme- zaman grafiği	40
Şekil 6.1	Öğretim elemanları binası zemin kat kalıp planı	43
Şekil 6.2	Öğretim elemanları binasının sonlu eleman modeli	43
Şekil 6.3	Öğretim elemanları binasının a) 2. mod ve b) 4. mod için yer değiştirme durumu	44
Şekil 6.4	Depremi x yönünde etki etmesi hali için 6 nolu aksında a) $t=0.99$ s ve b) $t=1.08$ s anlarında oluşan hasar durumları	46
Şekil 6.5	Depremi x yönünde etki etmesi hali için 14 nolu aksında a) $t=0.69$ s, b) $t=0.97$ s, c) $t=1.05$ s ve d) $t=1.08$ s anlarında oluşan hasar durumları	47

Şekil 6.6	Depremi x yönünde etki etmesi halinde tüm taşıyıcı sistemde $t=1.08$ s anı için oluşan hasar durumları	48
Şekil 6.7	Öğretim elemanları binasının 337 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	49
Şekil 6.8	Öğretim elemanları binasının 381 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	50
Şekil 6.9	Depremi x yönünde etki etmesi halinde oluşan hasarların plandan görünüşü	51
Şekil 6.10	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde S aksında a) 0.71 s anı için b) 1.03 s anı için c) 10 s anı için oluşan hasar durumları.....	52
Şekil 6.11	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde 14 nolu aksda a) 1.00 s anı için b) 1.03 s ve 10.00 s anı için oluşan hasar durumları.....	52
Şekil 6.12	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde H aksında $t=1.00$ s ve $t=10.00$ s anları için oluşan hasar durumları.....	53
Şekil 6.13	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde M aksında $t=1.00$ s ve $t=10.00$ s anı için oluşan hasar durumları.....	53
Şekil 6.14	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde tüm taşıyıcı sistemde $t=10.00$ s anı için oluşan hasar durumları.....	53
Şekil 6.15	Öğretim elemanları binasının 337 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	54
Şekil 6.16	Öğretim elemanları binasının 381 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	55
Şekil 6.17	Derslik binası zemin kat kalıp planı	57
Şekil 6.18	Derslik binası sonlu eleman modeli	57
Şekil 6.19	Derslik binasının a) 2.mod ve b) 4. mod için yer değiştirme durumu	58
Şekil 6.20	Depremi x eksen yönünde etki etmesi halinde D aksında a) $t=0.96$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları.....	60
Şekil 6.21	Depremi x eksen yönünde etki etmesi halinde H aksında a) $t=0.97$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları.....	60
Şekil 6.22	Depremi x eksen yönünde etki etmesi halinde Y aksında a) $t=1.22$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları.....	61

Şekil 6.23	Depremi x eksen yönünde etki etmesi halinde 21 aksında a) $t=0.96$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları	61
Şekil 6.24	Depremi x eksen yönünde etki etmesi halinde 19 aksında a) $t=0.97$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları	61
Şekil 6.25	Depremi x eksen yönünde etki etmesi halinde tüm taşıyıcı sistemde $t=1.27$ s anı için oluşan hasar durumları	62
Şekil 6.26	Derslik binasının 290 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	63
Şekil 6.27	Derslik binasının 610 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	64
Şekil 6.28	Derslik binasının 608 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	65
Şekil 6.29	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde $t=10$ s için a) 7, b) 11, c) 14, d) 17, e) 20, g) 23 ve h) 26 nolu akslarda oluşan hasar durumları	67
Şekil 6.30	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde 28 nolu aksta oluşan hasar durumları	68
Şekil 6.31	Depremi y eksen yönünde etki etmesi halinde 10.00 s anı için oluşan hasar durumları	68
Şekil 6.32	Derslik binasının 290 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	69
Şekil 6.33	Derslik binasının 610 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	70
Şekil 6.34	Derslik binasının 608 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	71
Şekil 6.35	Amfi binası bodrum kat kalıp planı	73
Şekil 6.36	Amfi binası zemin kat kalıp planı	73
Şekil 6.37	Amfi binası 1. kat kalıp planı	73
Şekil 6.38	Amfi binası sonlu eleman modeli	74
Şekil 6.39	Amfi binasının a) 2. mod ve b) 6. mod için yer değiştirme durumu	74

Şekil 6.40	Amfi binasının 194 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	76
Şekil 6.41	Amfi binasının 197 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	77
Şekil 6.42	Amfi binasının 194 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	78
Şekil 6.43	Amfi binasının 197 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği	79

TABLÖLAR LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo 2.1.	Deprem etkisi parametreleri	8
Tablo 2.2.	Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri.....	8
Tablo 3.1.	Moment dönme etkisine bağlı elastik olmayan mafsalların başlangıç rijitliği	18
Tablo 4.1.	Beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri	26
Tablo 5.1.	Doğu Anadolu fay sistemi üzerinde olmuş depremler.....	33
Tablo 5.2.	1905-2005 Yılları arası 50 km yarıçaplı mesafe için Elazığ ve çevresinde oluşan depremler	36
Tablo 5.3.	Regresyon analizleri	37
Tablo 5.4.	Tr yılda oluşacak deprem manyitüdüleri	38
Tablo 5.5.	Depremin ivme- mesafe ilişkileri	39
Tablo 6.1.	Öğretim elemanları binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları	42
Tablo 6.2.	Öğretim elemanları binası modal analiz sonuçları.....	45
Tablo 6.3.	Öğretim elemanları binası deprem x yönü performans değerleri	46
Tablo 6.4.	Öğretim elemanları binası deprem y yönü performans değerleri.....	52
Tablo 6.5.	Derslik binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları	56
Tablo 6.6.	Derslik binası modal analiz sonuçları.....	58
Tablo 6.7.	Derslik binası deprem x yönü performans değerleri	60
Tablo 6.8.	Derslik binası deprem y yönü performans değerleri.....	66
Tablo 6.9.	Amfi binası kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları	72
Tablo 6.10.	Amfi binası modal analiz sonuçları	75

SEMBOLLER LİSTESİ

A_c	: Brüt beton alanı
a_1	: Modal ivme
α	: Regresyon katsayısı
a	: Regresyon katsayısı
b	: Regresyon katsayısı
$b(x)$	: x bölgesindeki kesitin kuvvet dağılım fonksiyon matrisi
β	: Regresyon katsayısı
C_s	: Sönüm matrisi
C_{R1}	: Dönüştürme katsayısı
d_1	: Modal yerdeğiştirme
d_{max}^{ep}	: Elasto-plastik yer değiştirme
$(EI)_e$	: Çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_0$	: Çatlamamış kesitin eğilme rijitliği
ϵ_{cg}	: Enine donatı içinde kalan betonun birim kısalmanın sınırı
ϵ_{cu}	: Dış betondaki birim kısalmanın sınırı
ϵ_{su}	: Donatı kopma uzaması
F	: Eleman esneklik matrisi
F_B	: Elastik kirişin bükülebilirlik matrisi
F_H	: Elastik olmayan mafsalsın bükülebilirlik matrisi
F_{HO}	: Elastik olmayan mafsalsın başlangıç bükülebilirliğinin matrisi
F_S	: Elastik olmayan yayın bükülebilirlik matrisi
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
$f(x)$	: x bölgesindeki kesitin esneklik matrisi
$G(M)$	: Bir yılda manyitüdü M' den büyük depremlerin aşılmama olasılığı
I	: Önem katsayısı
K	: Elastik olmayan kirişin eleman rijitliğinin matrisi
L	: Elemanın uzunluğu
L_p	: Plastik mafsals boyu
M	: Eğilme momenti
M	: Depremin manyitüdü
M_s	: Kütle matrisi
M_p	: Plastik moment
M_1	: Birinci modal kütle

m_n	: Kat kütlesi
N	:Manyitüdü M veya daha büyük olan depremlerin bir yıldaki sayısı
N_{G+Q+E}	: Normal kuvvet
R	: Yıllık risk
R_{y1}	: Dayanım azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
T	: Sistemin periyodu
T_r	: Depremin tekrarlanma periyodu
T_1	: Sistemin birinci periyodu
T_B	: Spektrum karakteristik periyodu
U_{N1}	: En üst katın yerdeğiştirmesi
U_{xN1}	: Yatay yer değıştirme
$\ddot{U}_s$	: Bağıl İvme
F_s^{int}	: İç kuvvet vektörü
F_s	: Dış kuvvet vektörü
V_{x1}	: Toplam kuvvet
ω	: Sistemin frekansı
x	: Kesitin yeri
ϕ_{n1}	: Birinci moddaki kat yer değıştirmesi vektör elemanları
ϕ_p	: Plastik eğrilik
ϕ_t	: Toplam eğrilik
ϕ_y	: Akma elastik eğriliğı
θ_p	: Plastik mafsal dönmeleri
Γ_1	:1 moda ait katkı çarpanı

KISALTMALAR

ASCE	: American Society of Civil Engineers
ATC	: Applied Technology Council
ATC-40	: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
BSSC	: Building Seismic Safety Council
CG	: Can Güvenliği
ABYYHY'07	: 2007 Türk Deprem Yönetmeliği
EERC-UCB	: Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FEMA 273,356,440	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçmenin Önlenmesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
MN	: Minimum Hasar Sınırı
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design
SEAOC Vision 2000	: Structural Engineers Association of California
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
ÖDF	: Ölüdeniz Fayı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
ÖDFZ	: Ölüdeniz Fay Zonu
KRDAE	: Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Günümüzde yapıların deprem kuvvetlerine göre tasarımında dayanım yerine performans kavramı daha fazla kabul görmektedir. Deprem Yönetmeliğinde mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmüştür. Bu nedenle betonarme yapıların deprem altındaki davranışlarının önceden bilinmesi amacıyla performansa bağlı analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [20].

Yapı sistemleri, o bölgede olması beklenen deprem kuvvetlerinden büyük bir deprem kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede, depremlerin yıkıcı etkisinden korunabilmek için, yapıların performans hedeflerine göre tasarlanması gerekmektedir.

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 aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmemesi ve sistemde meydana gelebilecek hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması istenir. İkinci performans seviyesinde de taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliğinin mevcut olması beklenir [21].

Deprem mühendisliği açısından oldukça önemli olan performansa bağlı analiz için birçok yöntem geliştirilmiş ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Performansa bağlı analiz yöntemlerinin genel amacı, belirli bir deprem yükü altında yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin tayinidir. İstenen performans hedefinin belirlenmesi ise birçok parametreye bağlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Son yıllarda meydana gelen depremlerde yapılardaki hasarların büyük oluşu ve çok fazla can kaybının görülmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımında hasar kontrolünün de göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Bu gereksinimi karşılamak amacıyla, Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 [15] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 [16] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının geliştirilmesi amacıyla ATC 55 [18] projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren

FEMA 440 [19] taslak raporu hazırlanmıştır. Bu çalışmaların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC) [11], American Society of Civil Engineers (ASCE) [10] ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) tarafından yürütülen diğer projeler de bu alandaki araştırmalara katkı sağlamaktadır.

Günümüzde performansa dayalı tasarımda ATC 40 ve FEMA 356 olmak üzere birbirine yakın iki yaklaşım mevcuttur.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tezde, Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Öğretim Elemanları, Derslik, ve Amfi Binalarının lineer olmayan dinamik analizleri yapılarak performansları belirlenmiştir. Tezin ilk bölümü giriş kısmını teşkil etmekte olup, ikinci bölümünde Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik- 2007 (ABYYHY-2007)' de mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi bölümü detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu bölümde eleman ve taşıyıcı sistem hasarları dikkate alınarak performans belirlenmesi konuları incelenmiştir. Bölüm 3' de çerçevelerin lineer elastik olmayan davranışından plastik mafsallık kavramından bahsedilmiştir. Bölüm 4' de binaların deprem performanslarının belirlenmesinde lineer olmayan yöntemlerden artımsal statik deprem yükü ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri tanıtılmıştır. Bölüm 5' de ise Su ürünleri Fakültesi Öğretim Elemanları, Derslik, ve Amfi binalarının bulunduğu bölge dikkate alınarak 1905-2005 yılları arasında Elazığ'da meydana gelmiş deprem karakteristikleri yardımıyla manyitüd ilişkileri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra azalım fonksiyonları kullanılarak söz konusu binalar için yer ivmesinin maksimum değeri elde edilmiştir. Yer ivmesi olarak, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik- 2007' de verilen spektrum ivme kaydına uygun bir yapay deprem ivme kaydı elde edilmiştir. Bölüm 6' da ise söz konusu binaların üretilen yapay deprem ivmesi etkisi altında lineer olmayan dinamik analizleri elde edilmiş ve binalarda oluşan hasarların değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlar bölümünde ise bölüm 6' dan elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

2. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yaşanan depremlerden edinilen tecrübeler ışığında mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi ve olası bir deprem öncesinde hazırlıklı olunması için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalara paralel olarak, mevcut binaların deprem güvenliğinin gerçekçi olarak belirlenebilmesi ve gerekmesi durumunda güçlendirme işlemlerinin uygun olarak yapılabilmesinin esaslarını düzenlemek amacıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007 (ABYYHY- 2007)' de "Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi" başlığı altında bir bölüm (bölüm 7) eklenmiş ve yeni şekliyle yürürlüğe girmiştir [23,29].

ABYYHY-2007'de Mevcut binanın deprem güvenliğinin belirlenmesi işlemi üç adım olarak yer almıştır,

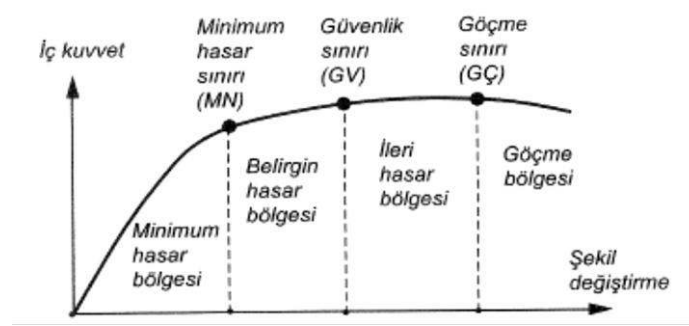
- Mevcut binanın taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. Bu bilgileri kullanarak deprem etkisinde zorlanması beklenen eleman kesit kapasitelerinin hesabı.
- Göz önüne alınacak deprem etkisinin seçilmesi ve bu depremde binada ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin hesabı.
- Eleman ve kesitlerde bulunan kapasite ve talebin karşılaştırılarak beklenen hasar durumunun belirlenmesi. Bu durumun kabul edilebilir veya edilemez olmasına karar verilmesi.

2.1 Kesit, Eleman ve Taşıyıcı Sistem Hasar Sınır ve Bölgeleri

Deprem yönetmeliğinde sünek kesitler için hasar sınırları ve bölgeleri tanımlanmıştır. Şekil 2.1' de verilen eğri üzerinde elastik ötesi davranışın belirgin başlangıcı Minimum Hasar Sınırı (MN), kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırı Güvenlik Sınırı (GV) ve güç tükenmesinin ortaya çıkması Göçme Sınırı (GÇ) olarak tanımlanmış olup gevrek olarak hasar gören elemanlar için bu tanımlama kullanılmamıştır.

Hasar durumu Minimum Hasar Sınırı' na ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi' nde, Minimum Hasar Sınırı ile Güvenlik Sınırı arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi' nde, Güvenlik Sınırı ve Göçme Sınırı arasında kalan elemanlar İleri Hasar

Bölgesi' nde, Göçme Sınırı'nı aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer aldığı kabul edilmiştir.



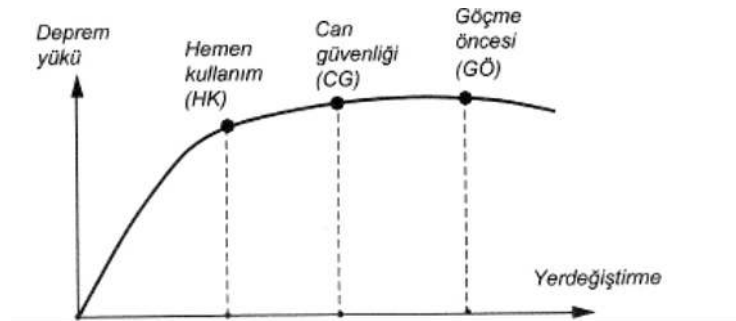
Şekil 2.1 Kesit hasar sınırları ve bölgeleri

2.2 Taşıyıcı Eleman Deprem Hasar Sınırı ve Bölgeleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerinin zorlanan kesitleri genelde iki ucunda yer alan kesitlerdir. Bu elemanlarda yer alan kesitler içerisinde en büyük hasar derecesine sahip kesitin hasar derecesi elemanın tümü için geçerli olmaktadır. Benzer şekilde perdelerin en çok zorlanan mesnet kesitlerinin hasar bölgesi, perdenin tümüne ait hasar bölgesi olarak kabul edilmektedir. Eleman hasar durumundan yararlanılarak kat hasar durumu elde edilmektedir. Eleman içerisinde dikkate alınan kesitlerinden birisi gevrek olursa elemanın tamamı gevrek olarak tanımlanmaktadır.

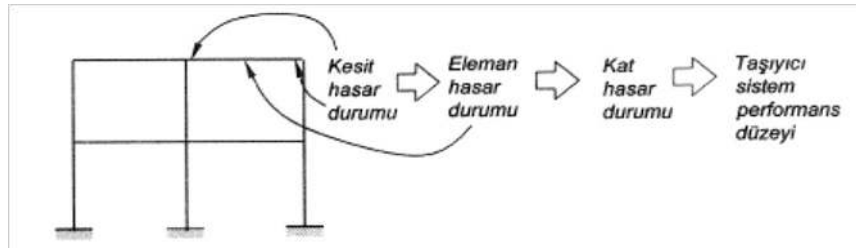
2.3 Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin davranışı, Şekil 2.2' de görüldüğü gibi en üst kat yer değiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğri ile yorumlanmaktadır. Bu değişim Şekil 2.1' de görülen kesit davranışına benzer bir eğriden oluşmaktadır. Tüm bina için geçerli olan bu eğri Hemen Kullanım, Can Güvenliği ve Göçme Öncesi gibi sınırlar olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.2 Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri

Taşıyıcı sistemin genel davranışının tanımlandığı ve Şekil 2.2’ de görülen eğrinin başlangıçta lineer elastik bir davranış sergilediği eğrinin devamında ise elastik-plastik bir davranış içerisine girdiği görülmektedir. Bu lineer elastik ve elastik-plastik davranışın sınırlı olduğu kısım için Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK) bölgesi olarak adı verilmiştir. Bu sınır ötesinde yer alan ve yatay yükler altında taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerini güvenli olarak karşılayabilen sınır, Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) olarak tanımlanmaktadır. Büyük yer değiştirmelerin ortaya çıktığı ve etkiyen dış yükün azalmaya yüz tutması taşıyıcı sistemde güç tükenmesinin ortaya çıkmasına işaret etmektedir. Bu davranış sınırına ise Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ) adı verilmektedir. Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesinin güvenli olarak karşılanabileceği sınır olarak tanımlanır. Taşıyıcı sistem için bu sınırların matematiksel olarak tanımlanması kolay değildir. Kesit hasar sınırlarından eleman hasar sınırları elde edildiği gibi, eleman hasar sınırlarından taşıyıcı sistem performans düzeyi elde edilmektedir. Değerlendirmenin binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.3 Hasar durumlarından bina (taşıyıcı sistem) performans düzeyine geçiş

2.3.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede kirişlerin en fazla %10’unun Belirgin Hasar Bölgesi’nde olup diğer taşıyıcı elemanların tümünün Minimum Hasar Bölgesi’nde yer alması durumu için geçerli olmaktadır. Gevrek elemanlar var ise bu elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyi’nde olduğu kabul edilmektedir.

Hemen kullanım durumunda binada küçük elasto-plastik şekil değiştirmelere izin verilmektedir. Taşıyıcı sistemin ana elemanı olarak kabul edilebilecek olan kolon ve perdelerin en düşük hasar seviyesinde kalması öngörülmüşken, kirişlerde belirli oranın bir

üst hasar seviyesine geçmesine izin verilmektedir. Gevrek hiçbir elemanın kabul edilmemesi, uygulama sırasında sağlanması oldukça zor bir şart olarak ortaya çıkmaktadır.

2.3.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Gevrek elemanların sünek duruma getirilmesi şartı dikkate alınarak aşağıdaki koşulları sağlayan binanın Can Güvenliği performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilmektedir. Bu şartlar,

- a) Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla % 30'u ve kolonların (b) de tanımlanan kadarının İleri Hasar Bölgesi'nde yer alması,
- b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı % 20'nin altında kalmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, ilgili kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranının en fazla % 40 olması,
- c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi' ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin toplamının, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının % 30'u aşmaması (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmemektedir.)

durumları dikkate alınmaktadır. Hasar durumu kirişlerde oran olarak verilirken, kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmektedir. En üst katın, taşıyıcı sistemin kararlılığındaki daha az etkili durumunun da, oran %20'den %40'a arttırılarak ifade edildiği görülmektedir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi anlamlı bir şekilde olumsuz bir durum olarak kabul edilmektedir.

2.3.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğunun kabul edilmesi için aşağıdaki şartları sağlamasının yanı sıra gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun kabul edilmesi gerekmektedir.

- a) Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede, ikincil (yatay yük taşıma sistemlerinde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmez).
- c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Sünek elemanlar için Şekil 2.2' de olduğu gibi çeşitli hasar durumları tanımlanırken, gevrek elemanların taşıma güçlerine eriştikten sonra doğrudan göçme durumuna geldiği kabul edilmektedir. Hasar durumu kirişlerde oran olarak, kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmektedir. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi olumsuz olarak kabul edilmektedir.

2.3.4 Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.4 Binalar İçin Performans Hedefleri

Tablo 2.1' de verilen deprem etkileri altında binalardan sağlanması gereken performans hedefleri Tablo 2.2' de verilmiştir. Bu tablo yeni tasarımı yapılacak binalar için söz konusu olan bina önem katsayısı tablosuna benzerdir. Yeni binalar için bina önem

katsayısı ile karşılanması öngörülen deprem etkisi artırılır. Mevcut binalarda ise, Tablo 2.2’ de verildiği gibi, binanın kullanım amacı ve türü ile deprem etkisine bağlı olarak binanın sağlaması gereken performans hedefi öngörülmektedir.

Tablo 2.1 Deprem etkisi parametreleri

Deprem Türü	Deprem Etkisi Katsayısı	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	~0.50	% 50	72 Yıl
Tasarım Depremi	1.00	% 10	474 Yıl
En Büyük Deprem	~1.50	% 2	2475 Yıl

2.5 Değerlendirme Yöntemleri

Deprem yönetmeliğinde mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmüştür. Performans kavramı, deprem mühendisliğinde yeni gelişen bir kavram olup, önce mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi için geliştirilmiştir. Performans kavramına dayalı tasarım, klasik tasarımın genişletilmesi olarak kabul edilebilir. Deprem yönetmeliklerinin oluşumu incelenirse, daha öncede performans kavramının belirli ölçüde tanımlandığı görülebilir. ABYYHY- 2007’ de, genel anlamda binanın küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlatması gibi performans seviyeleri hedeflenmiştir. Yeni önerilen performans dayalı değerlendirmede bu amaçlar daha belirgin şekilde tanımlanmıştır.

Tablo 2.2 Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri

Binanın kullanım amacı ve türü	Depremin 50 yılda aşılma olasılığı		
	%50	%10	%2
Deprem sonrası hemen kullanımı gereken binalar Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık, belediye binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri, vb.	HK	CG	-
Tehlikeli madde içeren binalar Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar, vb.	-	HK	GÖ
Diğer Binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller) turistik tesisler, bina türü endüstri yapıları, vb.	-	CG	-

Deprem yönetmeliğinde mevcut binaların performansa dayalı değerlendirmesinin, yakın bir gelecekte performansa dayalı tasarım olarak yeni binalara da genişletileceği beklenmektedir. Mevcut durumda önem katsayısı $I=1$ olan binaların depreme dayanıklı tasarımının “Can Güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesi esas alınarak yapıldığı kabul edilmektedir. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan sınır durumlar binalar için tanımlanmış performans seviyeleridir. Performansa dayalı değerlendirmede, binada değişik deprem etkilerinde değişik performans seviyesinin incelenmesi, Tablo 2.2’ de görüldüğü gibi yapılmaktadır. Değerlendirilecek veya güçlendirildikten sonra yeterliliğine karar verilecek binalar ile ilgili deprem performansı belirleme çalışmaları düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkisi altında incelenmektedir. Performans seviyesi, depremden sonra binada meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülmektedir. Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon ve perde) deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilmektedir. Kesitteki hasar durumunun belirlenmesi için, çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler veya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılması yapılmaktadır. Bir taşıyıcı sistem elemanının hasar durumu, bu elemanın depremde en çok zorlandığı kabul edilen ve doğrusal olmayan şekil değiştirmenin ortaya çıkması beklenen kesitlerin hasar durumları değerlendirilerek tanımlanmaktadır. Yönetmelikte farklı yöntemler tanımlanmış olup bu yöntemlerin kabul ve çözüm işlemleri birbirinden farklı olduğu için, matematiksel olarak aynı sonuçların elde edilmesi her zaman beklenmemelidir. Ancak, uygulama açısından ve istenmeyen sorunların çıkmaması açısından sonuçların birbirinden çok farklı olmaması uygun görülmektedir. Deprem yönetmeliğinde, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı için; a) yeni binalar ve mevcut binalar için öngörülen tasarım yöntemi, b) doğrusal olan değerlendirme yöntemleri ve c) doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri olmak üzere üç yöntem tanımlanmıştır. Hatta doğrusal olmayan yöntem içerisinde Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olarak dördüncü bir yöntemde kabul edilmektedir.

Yönetmelikte taşıyıcı sistemin çatlamış kesit eğilme rijitlikleri,

$$\begin{aligned}
 \text{Kirişlerde:} \quad & (EI)_e = 0.40 (EI)_0 \\
 \text{Kolon ve perdelerde:} \quad & (EI)_e = 0.40 (EI)_0 \quad \text{eğer } N_{G+Q+E}/(A_c f_{cm}) \leq 0.10 \\
 & (EI)_e = 0.80 (EI)_0 \quad \text{eğer } N_{G+Q+E}/(A_c f_{cm}) \geq 0.40 \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

olarak tanımlanmıştır. Burada E ve I sırasıyla elastisite modülü ve atalet momentini alt indis o ise çatlamamış kesit özelliğini belirtmektedir.

Doğrusal elastik yöntemde taşıyıcı sistemde hasarı sınırlı tutmak için görelî kat ötelemelerine sınırlama getirilmektedir. Doğrusal elastik olmayan yöntemde ise beton ve donatının birim uzamaları doğrudan sınırlandırıldığı için ayrıca görelî kat ötelemesi kontrolüne ihtiyaç duyulmamaktadır.

2.6 Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme

Son yıllardaki önemli depremlerin yıkıcı etkileri, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapıların deprem dayanımı ile ilgili geleneksel yaklaşımların gözden geçirilmesi gereğini ortaya koymuştur. Böylelikle daha güvenilir deprem yönetmeliklerinin gelişimine zemin hazırlanmıştır. SEAOC Vision 2000 tarafından 1995 yılında "Yapıların performansa dayalı sismik mühendisliği" adlı bir rapor yayınlanmış, bu raporun adı sonraları "Performansa Dayalı Sismik Mühendislik" olarak, daha sonra da "Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği" olarak değiştirilmiştir [7,29].

Yapı sistemlerini depremde kaynaklanan hasar durumlarına göre değerlendirme yapan performansa dayalı değerlendirme ve tasarım kavramı, öncelikle mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha da gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri amacıyla geliştirilmiş olmakla birlikte yeni yapılar içinde uygulanmaktadır. Depremlerin yapılarda büyük hasarlara neden olması, yapıların analizinde yer değiştirme ve şekil değiştirmeleri esas alan yeni yöntemlerin geliştirilmesi çalışmalarına araştırmacıları yönlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, Applied Technology Council (ATC) tarafından ATC- 40 ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından FEMA-273, 356 raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirmesi amacıyla ATC-55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA-440 taslak raporu hazırlanmıştır [22,29]. Ülkemizde de bu tür çalışmalara paralel olarak, 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinin 7. Bölümü mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde performansa dayalı doğrusal elastik ile doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerini içermektedir [23,29].

Performansa dayalı tasarımın özellikle binalarla sınırlı kalmayıp pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için; öncelikle basit fakat güvenilir yaklaşımların, sayısal yöntemlerin ve standartların geliştirmesi gerekmektedir [9,29].

3. ÇERÇEVELERİN ELASTİK ÖTESİ LINEER OLMAYAN DAVRANIŞI

Yapıların lineer olmayan analizleri, malzeme ve geometrik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Malzemenin lineer olmayan davranışı, yapıda kullanılan malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağlantılarının lineer olmayan kısımlarının da hesaba katılmasıyla çözümler elde edilmektedir. Lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme bağlantılarının kullanılması sonucunda tüm yapı sistemine uygulanan yük altındaki davranış da lineer olmamaktadır [21,29].

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından lineer olmayan analizinin yapılabilmesi için öncelikle malzemenin gerilme-şekil değiştirme davranışının modellenmesi gerekmektedir. Betonun σ - ε (gerilme-şekil değiştirme) eğrisinin maksimum birim kopma uzaması, betonun dayanımına göre değişmektedir. Beton dayanımının σ - ε eğrisi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla yapılan deneylerden,

- Farklı dayanıma sahip betonlar için elde edilen farklı σ - ε eğrilerinin başlangıç eğimlerinin (elastisite modülü) beton kalitesi yükseldikçe arttığı,
- Düşük dayanımlı betonların, yüksek dayanımlı olanlara oranla daha fazla sünekliğe sahip olduğu,
- Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın, beton dayanımından bağımsız olarak 0.002 mertebesinde olduğu,

belirlenmiştir [21,29].

3.1 Plastik Mafsal Kabulü

Malzemenin lineer olmayan davranışı dikkate alınarak yapılan çözümlerde, etkiyen dış yükün değerinin büyümesine karşılık meydana gelen iç kuvvetler büyümekte ve buna bağlı olarak bazı kesitlerde orantılık sınırını aşan iç gerilmeler meydana gelmektedir. Böylece söz konusu gerilmeler bu kesitler içerisinde plastik şekil değiştirmelerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Yapı çeliği gibi sünek malzemeden yapılan sistemlerde, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli bölgelerde toplandığı, bunların dışındaki bölgelerde ise sistemin lineer-elastik olarak davrandığı kabul edilmektedir (elasto-plastik davranış). Tek eksenli basit eğilmenin etkin olduğu sistemlerde, bu davranışa “Plastik Mafsal Teorisi” adı verilmektedir. Yeterli sayıda plastik mafsal

oluştuktan sonra sistem, yükün şiddetindeki herhangi bir artıma ihtiyaç olmadan daha büyük yer değiştirmeler yapabilmektedir. Böylece sistem, taşıyıcı özelliğini yitirip stabilitesini kaybedecektir. Bu duruma ise “Göçme Mekanizması” adı verilmektedir.

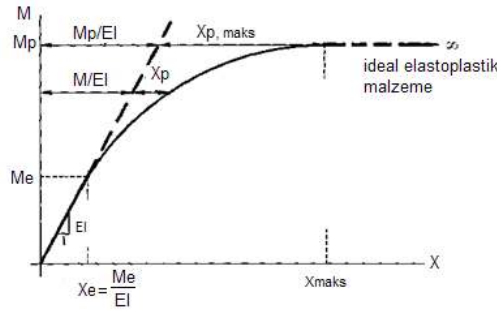
Betonarme binalarda deprem sarsıntısının etkisi, çatı ve kat seviyelerinde birbirlerine yatay elemanlarla bağlanan düşey kolon ve perde elemanlarıyla karşılanmaktadır. Kolon ve kiriş gibi yapı elemanlarının, lineer olmayan özelliklerini ve mekanizma durumlarını belirlemek önem arz etmektedir. Bu özellikler, kuvvetler (eksenel, eğilme ve kayma) ve ilgili elastik ötesi yer değiştirmelere bağlıdır. Deprem yükleri bu elemanlara genellikle dairesel bir çevrim etkisinde bulunur. Modelleme ve analizlerde bu ilişkiler idealize edilmektedirler [24,29].

Basit eğilme etkisi altındaki yapı taşıyıcı elemanlarında oluşan plastik şekil değiştirmeler eleman boyunca yayılı olarak gerçekleşir. Sünek betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, moment eğrilik bağıntısı yaklaşık olarak doğrusal-elastik kabul edilmektedir. Bu bölgede, kesitteki beton doğrusal bir davranış gösterdiğinden dolayı moment-eğrilik bağıntısı da benzer davranış sergilemektedir. Fakat kesitte gerilmelerin artmasına paralel olarak çekme bölgesinde betonda çatlamlar ve donatıda ise akma olayları meydana gelmektedir. Kesitteki gerilmelerin büyümesine bağlı olarak lineer olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkileri kesitin davranışına hakim olmaya başlamaktadır. Böylece, kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısı lineer olmayan bir davranış sergilemektedir. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğri yataya yakın bir doğru görünümüne sahiptir [24,29]. Plastik davranışın etkin olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artışlar meydana gelmesine karşılık kesitteki dönmeler ve eğrilik çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Eğriliğin bir sınır değerine erişmesi halinde ise kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir [24,29].

Betonarme kolon ve kiriş gibi elemanlarda eğilme momenti elemanın ekseni boyunca değişmektedir. Bu elemanların belirli bölgelerinde güç tükenmesine ulaşan gerilmeler meydana gelmektedir. Bazı kesitlerde ise momentin küçük olması sebebi ile oluşan gerilmelerin malzemenin çekme dayanımından küçük olması durumlarında çatlamlar oluşmamaktadır. Bu kesitlerde moment ile eğrilik arasında lineer bir davranış mevcuttur. Kesitte meydana gelen çatlakların kesitin atalet momentini azaltmasından dolayı eğriliğin çatlağın olduğu kesitlerde daha büyüdüğü görülmektedir. Mesnet

bölgelerinde eğilme momenti büyük olduğundan genelde bu bölgelerdeki kesitlerde plastik dönmeler meydana gelmektedir [24,29].

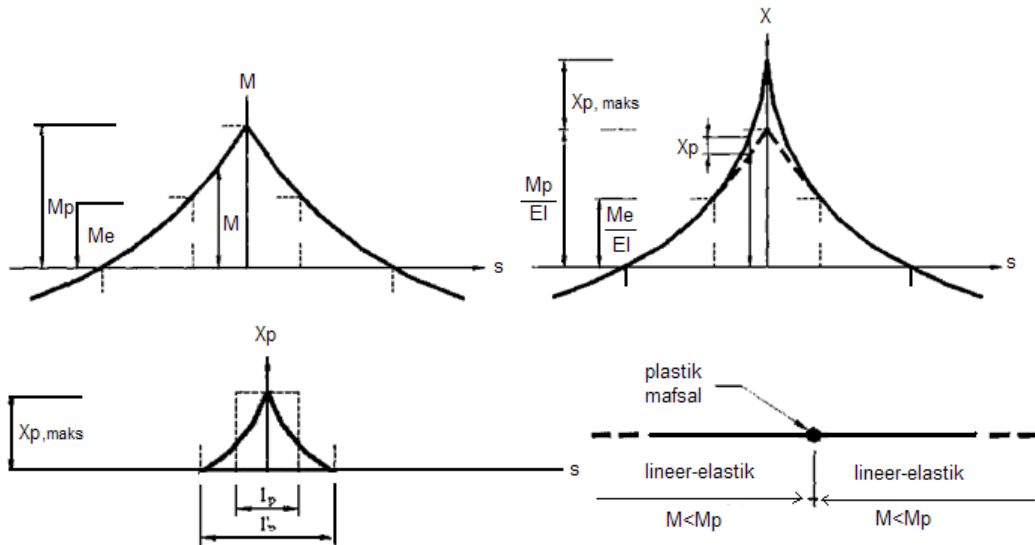
Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan μ süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin belirli bir bölgeye yayıldığı sistemler için lineer olmayan eğilme-şekil değiştirmelerin plastik mafsalsı adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin lineer elastik davrandığı kabul edilmektedir. Bu hipoteze, plastik mafsalsı (plastik kesit) hipotezi adı verilmektedir.



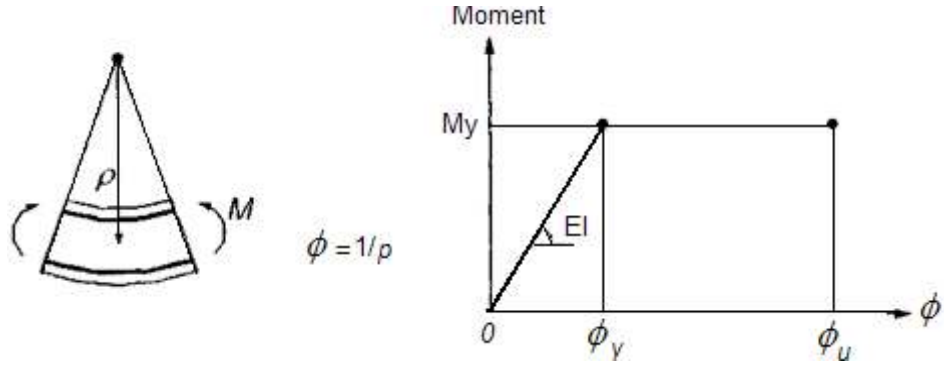
Şekil 3.1 Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti-eğrilik diyagramı

Plastik mafsalsı hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin plastik mafsalsı olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, ϕ_p plastik mafsalsın dönmesini göstermektedir.

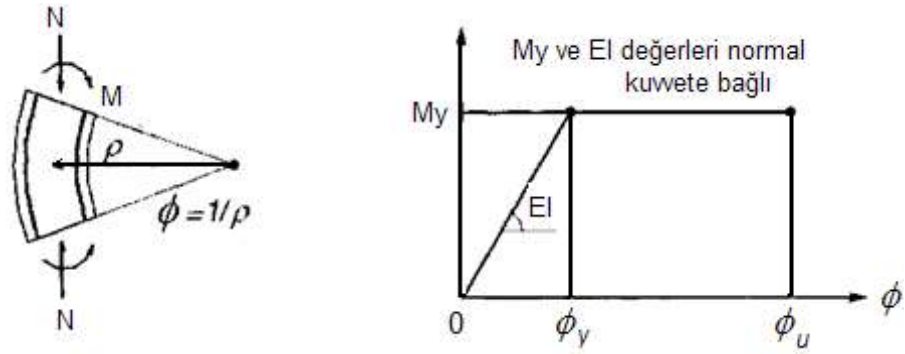
$$\phi_p = \int_{l_p} X_p ds \quad (3.1)$$



Şekil 3.2 Kiriş mesnet bölgesinde lineer olmayan şekil değiştirmelerin meydana gelme durumları



Şekil 3.3 Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi



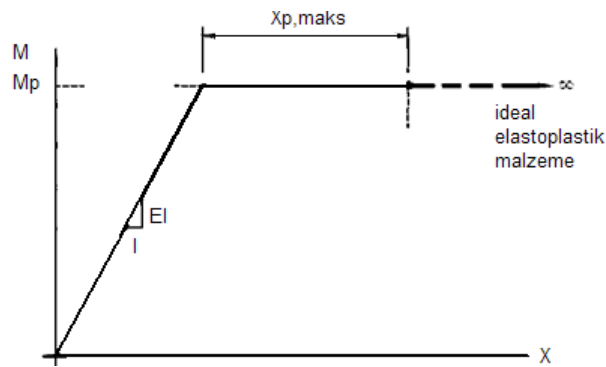
Şekil 3.4 Kolonlarda eğilme momenti-eğrilik ilişkisi

Plastik mafsal kabulünde eğilme momenti-eğrilik bağıntısı elasto plastik özellik gösterecek şekilde idealize edilmektedir. Burada X eğriliği göstermek üzere,

$$M \leq M_p \text{ için } X = \frac{M}{EI} \quad (3.2.a)$$

$$M = M_p \text{ için } X \rightarrow X_{p,maks} \quad (3.2.b)$$

eşitlikleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.5 İdealleştirilmiş moment eğrilik bağıntısı

Yapı taşıyıcı sisteminin birden fazla kesitinde meydana gelen plastik mafsallardan birinin dönme kapasitesine ulaşması ile yapı mekanizma durumuna gelebilmektedir. Bir kesitin dönme kapasitesi ise eğilme momenti diyagramının şekline ve $M - X$ bağıntısına bağlı olarak belirlenmektedir. Dönme kapasitesinin yaklaşık olarak hesabı ise,

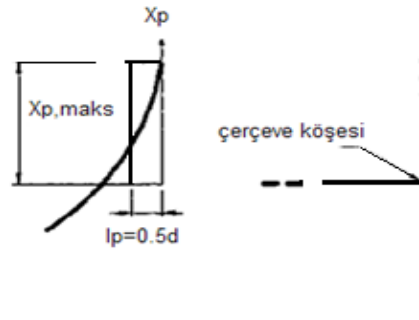
$$maks \int_{l_p} X_p ds \quad (X_p \rightarrow X_{p,maks}) \quad (3.3)$$

$$maks \phi_p = l_p X_{p,maks} \quad (3.4)$$

denklemleri yardımı ile hesaplanabilmektedir. Burada l_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsallık boyu) göstermektedir ve yaklaşık olarak, d en kesit yüksekliğini göstermek üzere,

$$l_p \cong 0.5d \quad (3.5)$$

bağıntısı ile hesaba katılmaktadır. Şekil 3.6' da plastik mafsallık boyunun belirlenme durumu görülmektedir.



Şekil 3.6 Plastik mafsallık boyu

Plastik mafsallık dönmelerini etkileyen çeşitli etkenler vardır bu etkenlerden en önemlileri;

- Betonarme beton ve beton çeliğinin $\sigma - \epsilon$ diyagramlarını belirleyen ϵ_{cu} ve ϵ_{su} sınır şekil değiştirme değerleri,
- Betonarme betonunun ϵ_{cu} şekil değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen en kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekli,
- Yapı elemanının normal kuvvetinin büyüklüğü,

olduğu söylenebilmektedir. Çelik yapı sistemlerinin dönme kapasitesi betonarme yapı sistemlerine göre daha büyük değerler almaktadır. Diğer taraftan, performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etkili olmaktadır [24,29]. Plastik mafsallarda kabul edilen temel unsurlar ise,

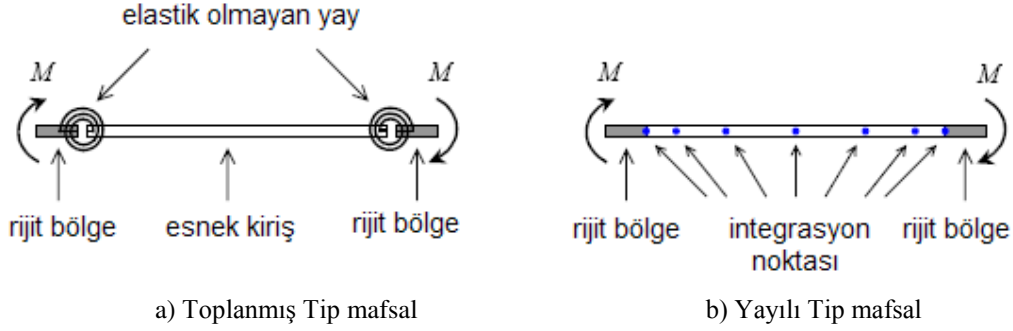
- Bir kesitte plastik mafsallarda oluşması için o kesitteki eğilme momentinin, M_p plastik moment değerine eşit olması gerekir. Kesitteki eğilme momenti M_p ' ye eşit olunca taşıyabileceği en büyük moment değerine ulaşmış demektir. Bundan sonra kesit daha fazla moment taşıyamaz ve serbestçe döner. Kesitte oluşan ϕ_p plastik dönmesi maksimum ϕ_p ' ye ulaşınca dönme kapasitesine erişir ve kesit kullanılmaz duruma gelir.
- Plastik mafsallar genellikle taşıyıcı elemanların uç kısımlarında, orta noktalarında ve tekil kuvvetin etkiye noktasında oluşur. Fakat sistemin stabilitesini etkileyen mafsallar uç noktalardaki mafsallardır. Uç noktalar arasında kalan sistem ise lineer-elastik olarak davranır.
- Bilindiği gibi düşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar ve perdeler) normal kuvvet etkisi kadar eğilme momenti etkisi altındadır. Yönetmeliklerde bu elemanların boyutlandırılmasında sadece normal kuvvet etkisinin alınması yasaklanmıştır. Bu yüzden bu elemanlarda plastik mafsallarda hesabı yapılırken kesite M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulunda bulunan indirgenmiş plastik moment M_p değeri esas alınmaktadır.

şeklinde sıralanabilir.

3.2 Lineer Elastik Olmayan Kiriş Elemanı

Elastik olmayan bir kiriş elemanı, elastik olmayan mafsallarda özelliğine sahiptir. Elastik olmayan kirişin rijitliği elastiklik metoduyla formüle edilmektedir. Elastik olmayan kiriş elemanı prizmatik bir kesite sahiptir. Tek bir kiriş elemanı için mafsallarda özellikleri ise boyutsuz kabul edilmektedir. Elastik olmayan kirişin rijitlik matrisi ise esneklik metodu kullanılarak elde edilmektedir. Elastik olmayan analizlerde elde edilen şekil değiştirmeler elastik şekil değiştirmelerden farklı olduğundan mevcut şekil fonksiyonları

kullanılamamaktadır. Bununla birlikte, esneklik metodunda kiriş elemanın kesitleri üzerindeki kuvvet dağılımı dikkate alındığı için sonuçlar çok daha doğru olmaktadır. Esneklik metoduna dayanan çözümlerde az eleman kullanarak doğru sonuçlara ulaşıldığı için işlemler daha hızlı olmaktadır.



Şekil 3.7 Elastik olmayan kiriş elemanı

3.2.1 Toplanmış Tip Plastik Mafsalsal

Toplanmış tip mafsalsal eleman esneklik matrisi elde edilirken, tek eksenli kuvvet-yer değiştirme ve moment-dönme açısı arasındaki ilişkiler kullanılmaktadır. Formüller, sıfır uzunluklu ve boyutsuz yer değiştirme ve dönme yayı ile temsil edilebilir. Bu yaylar plastik şekil değiştirme özelliğine sahip olup kirişin orta ve uç kısımlarına yerleştirilmektedir. Toplanmış mafsalsalın dışında kalan diğer kiriş eleman kısımları ise elastik olarak kabul edilmektedir. Toplam eleman esneklik matrisi ise elastik kiriş esneklik matrisine toplanmış tip mafsalsalın esneklik matrisinin ilave edilmesiyle elde edilmektedir. Elastik olmayan yayların esneklik matrisi, teğet esneklik matrisi ile başlangıç esneklik matrisi arasındaki fark yardımıyla elde edilmektedir. Elastik olmayan mafsalsalın teğet esneklik matrisi, tek veya çok eğrili histeresis modelleri ile elde edilmekte olup,

$$F_s = F_H - F_{H0} \quad (3.6)$$

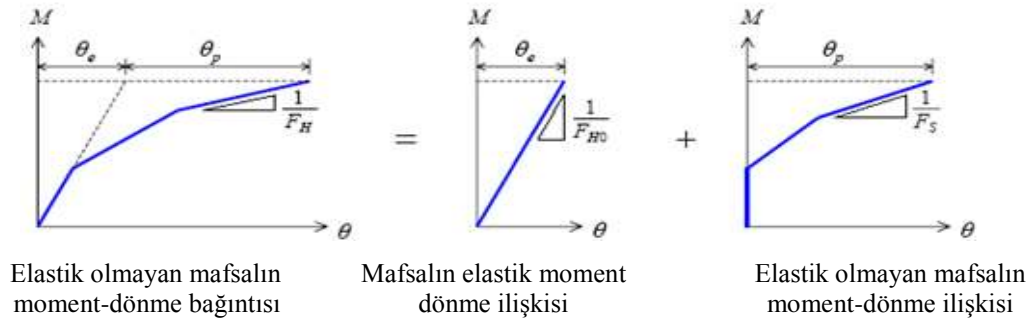
$$F = F_B + \sum F_s \quad (3.7)$$

$$K = F^{-1} \quad (3.8)$$

bağıntıları kullanılarak hesaba katılmaktadır. Burada,

F_H : Elastik olmayan mafsalsın esneklik matrisini,
 F_{H0} : Elastik olmayan mafsalsın başlangıç esneklik matrisini,
 F_S : Elastik olmayan yayın esneklik matrisini,
 F_B : Elastik kirişin esneklik matrisini,
 K : Elastik olmayan kirişin eleman rijitlik matrisini,

belirtmektedir.



Şekil 3.8 Elastik olmayan plastik mafsalsın moment-dönme ilişkisi

Esnek şekil değiştirme mafsalsının moment ve dönme açısı arasındaki ilişki, uç momentleri ile birlikte eleman içerisinde oluşan esnek moment dağılımını etkilemektedir. Bu ilişkiyi belirleyebilmek için esnek moment dağılımı kabulü yapılmıştır. Tablo 3.1’ de ise moment-dönme ilişkisine bağlı olarak lineer elastik olmayan mafsallar için başlangıç rijitlikleri görülmektedir. Burada L , kiriş elemanın toplam uzunluğunu ve EI ise eğilme rijitliğini göstermektedir.

Tablo 3.1 Moment-dönme etkisine bağlı elastik olmayan mafsalların başlangıç rijitliği

DÖNME ŞEKLİ	MOMENT DAĞILIMI	BAŞLANGIÇ RİJİTLİĞİ
		$6EI/L$
		$3EI/L$
		$2EI/L$

3.2.2 Yayılı Tip Elastik Olmayan Mafsal

Yayılı tip elastik olmayan mafsalda, bir kesit üzerindeki esnek bileşenler için tek eksenli kuvvet-yer değiştirme ve moment-dönme açısı arasındaki ilişkiler kullanılmaktadır. Yayılı tip mafsalın bulunduğu bir kiriş elemanının rijitlik matrisi aşağıda verilen denklem yardımıyla elde edilmektedir. Bu denklemin nümerik integrali ise Gauss-Lobatto yöntemiyle hesaplanmaktadır. Elemanın boyuna doğrultusunda bir integrasyon noktasında yer alan bir kesitin esnekliği tek veya çok doğrulu belirtilen histeresis modelleri kullanılarak elde edilmektedir. Rijitlik matrisi ise esneklik matrisinin tersi alınarak oluşturulmakta olup,

$$F = \int_0^L b^T(x)f(x)b(x)dx \quad (3.9)$$

$$K = F^{-1} \quad (3.10)$$

eşitliklerinden faydalanılmaktadır. Burada;

- $f(x)$: x bölgesindeki kesitin esneklik matrisini,
- $b(x)$: x bölgesindeki kesitin kuvvet dağılım fonksiyon matrisini,
- F : Eleman esneklik matrisini,
- K : Eleman rijitlik matrisini,
- L : Elemanın uzunluğunu,
- x : Kesitin yerini,

belirtmektedir. İntegrasyon noktalarının yerleri integrasyon noktalarının sayısı ile belirlenmektedir. İntegrasyon noktaları arasındaki fark kirişin iki ucu arasındaki mesafeye bağlıdır. Bir kiriş içerisinde maksimum 20 integrasyon noktası belirlenebilmektedir.

Yayılı tip elastik olmayan mafsal yöntemi, eleman boyunca rastgele kuvvet ve moment dağılımı olması durumları için çözümlerin kısa bir zamanda daha doğru sonuçlar vermesini sağladığı için avantajlı olmaktadır. Çözümler, integrasyon noktası sayısının artırılması ile daha doğru sonuçlar vermektedir. Ancak bu durum çözüm zamanının artmasına neden olmaktadır.

4. DEPREM PERFORMANSININ LİNEER ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Taşıyıcı sistemin lineer olmayan davranışı dikkate alınarak elde edilen çözümler gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Bunun yanı sıra lineer olmayan davranışın dikkate alındığı yöntemlerin uygulanmasında taşıyıcı sisteme ait birçok parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durumda özellikle mevcut binalar için bazen aşılması zor olan belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. Lineer elastik olmayan yöntemler, lineer elastik yöntemle göre binanın taşıyıcı sisteminde olan düzensizliklerden daha çok etkilenmektedir. Aynı zamanda “Statik İtme Analizi” olarak adlandırılan lineer elastik olmayan çözümler, lineer elastik olmayan dinamik analiz sonuçları ile önemli derecede farklılık gösterebilmektedir. Her iki yöntemde şekil değiştirme ve yer değiştirmeler dikkate alınarak malzemenin lineer olmayan davranışı yardımıyla binanın lineer olmayan analizini içermektedir. Statik itme analizinde belirli bir yatay deprem yükü dikkate alınmakta ve bu yükün etkisi belirli bir değere ulaşması anında binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Bu yöntemin, “Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi” ve “Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi” olmak üzere iki uygulaması mevcuttur.

4.1 Artımsal Eşdeğer Yatay Yüğü Yöntemi (İtme Analizi)

Bu yöntem, birinci modun etkili olduğu düşük katlı binalarda ve binada burulma düzensizliğinin sınırlı olduğu durum için yeterli bir yaklaşım sağlamaktadır. ABYYHY-2007’ de bu yöntemin,

- Her bir katta burulma düzensizlik katsayısının 2’ den küçük olduğu binalar (Deprem bölgesi 1-2, Toplam yükseklik sınırı $H_N \leq 25$ m)
- Her bir katta burulma düzensizlik katsayısının 2’ den küçük olduğu ve B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar (Deprem bölgesi 1-2, Toplam yükseklik sınırı $H_N \leq 40$ m)
- Tüm binalar (Deprem bölgesi 3-4, Toplam yükseklik sınırı $H_N \leq 40$ m)

durumlarını sağlayan binalar için kullanılabileceği belirtilmiştir [23]. Yöntem, taşıyıcı sistemin yatay yük kapasitesi ile deprem etkisi talebinin buluşturulması ve depremli duruma karşı gelen performans durumunun belirlenmesi esasına dayalı dört adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar,

- a) Binanın kapasite eğrisinin belirlenmesi,
- b) Deprem etkisinin talep eğrisinin belirlenmesi,
- c) İki eğrinin kesiştirilerek taşıyıcı sistemde dengenin olduğu bina performans durumunun belirlenmesi,
- d) Performans durumunda iç kuvvetler ve şekil değiştirme durumunun incelenerek sağlanan performans durumunun hedeflenene uygun olup olmadığının tespiti,

aşamalarından oluşmaktadır.

4.1.1 Yatay Yük Kapasite Eğrisi

Taşıyıcı sistemin geometrisi ve malzemelerin elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak artımsal olarak sistem adım adım yüklenmektedir (statik itme analizi). Tüm yükleme adımlarında kullanılan toplam yatay yük ile binanın en üst noktasının yükün etkidiği yöne ait yer değiştirmesi arasındaki grafik elde edilmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Etki eden dış yatay yükün değişimi, birinci titreşim modu ve kat kütleleri ile orantılı olarak her bir kata kat hizasından etki ettirilmektedir. Lineer olmayan statik itme analizinde,

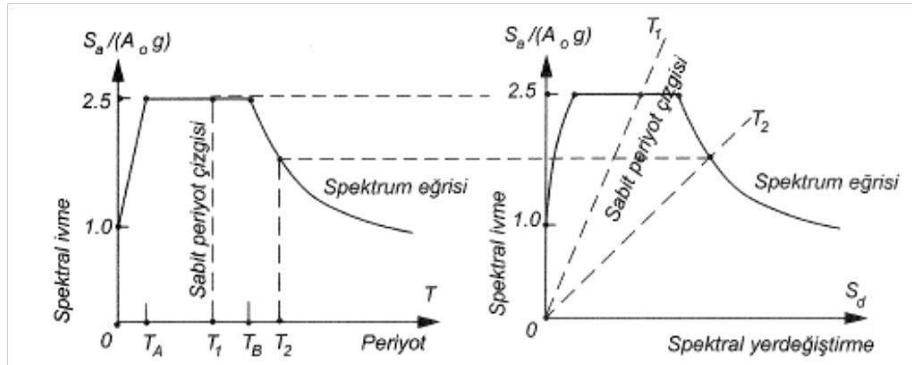
- Plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı,
- Plastik mafsallık boyu kesit yüksekliğinin yarısı kadar olduğu ($L_p=0.5 h$)
- Plastik mafsalların, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarında, perdelerde ise her katta kat seviyesinde oluşabileceği,
- Eğilme momenti yanında normal kuvvette bulunan kolon kesitlerinde plastik mafsallık kesitlerinin güç tükenmesi (karşılıklı etki) çizgileri (yüzeyleri) mevcut malzeme dayanımlarının kullanılarak belirlenebileceği ve bunların eğrisel değişiminin yeterli yaklaşıklıkla doğrularla ifade edilebileceği,
- Tablalı kiriş kesitlerde tabladaki beton ve donatının kesit kapasitesine katkısının olduğu,

$$a_1 = \frac{V_1}{M_1} \quad d_1 = \frac{u_{N1}}{Q_{N1}\Gamma_1} \quad (4.1)$$

eşitlikleri yazılabilir [24,29]. Burada m_n n. kata ait toplam kütleyi, ϕ_{n1} birinci moddaki kat yer değiştirmesini ve M_1 birinci modal kütleyi göstermek üzere Γ_1 için,

$$\bar{M}_1 = \frac{[\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}]}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad \Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad (4.2)$$

eşitlikleri kullanılmaktadır.



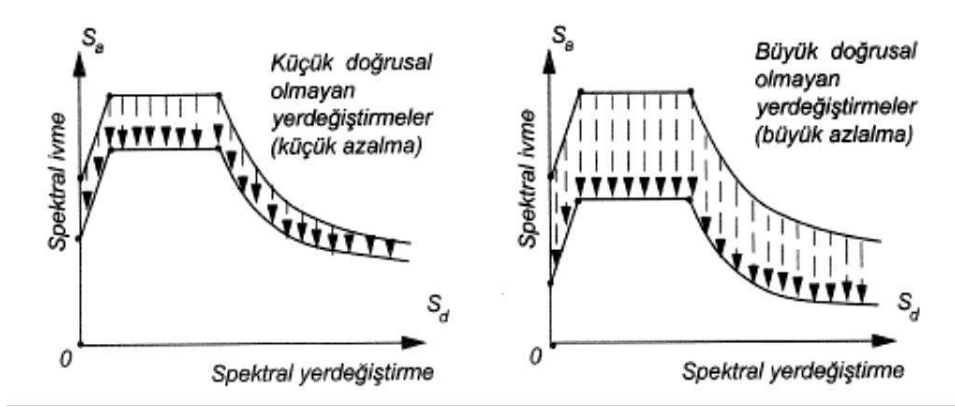
Şekil 4.3 Spektrum eğrisinde eksen değiştirilmesi

4.1.2 Deprem Etkisi Talep Eğrisi

Deprem etkisi yönetmelikte spektrum eğrisi ile tanımlanmakta olup, Şekil 4.3' de tasarım depremi için gösterilmiştir. Kullanım depremi için eğri değerleri yarıya inerken (A_0 yerine $0.5 A_0$) en büyük deprem için %50 arttırılmaktadır (A_0 yerine $1.5 A_0$). $S_a \sim T$ eksenlerinde tanımlı olan bu eğriyi $S_a \sim S_d$ eksenlerinde ifade etmek ve kapasite eğrisi ile aynı eksene getirmek için şekildeki gibi yatay eksende,

$$S_a = \frac{S_d}{\omega^2} = S_d \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (4.3)$$

bağıntısı ile bir dönüşüm yapılmaktadır.



Şekil 4.4 Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi

4.1.3 Kapasite ve Talep Eğrilerinin Kesiştirilmesi

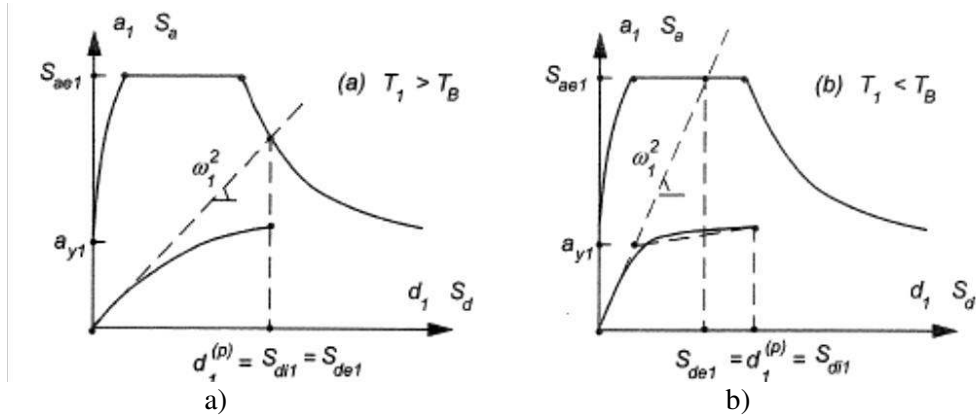
İki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap kullanılarak bir denge konumu bulunur. Ancak, bu kesişmenin yapılabilmesi için iki eğrinin aynı eksen özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Depremin talebi elastik spektrum eğrisi ile tanımlanmıştır. Buna karşılık sistemin kapasitesi doğrusal olmayan davranışla elde edilmiştir. Bu durumda, ATC40 da önerildiği gibi, depremin elastik talep eğrisi sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak azaltıldıktan sonra kesişme noktası elde edilecektir. Ancak, bu azaltma işlemi sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Büyük elasto-plastik yer değiştirmeler daha büyük sönüme sebep olacağı için elastik spektrum eğrisinin azaltılması da daha büyük olacaktır (Şekil 4.4). Ancak talep eğrisinin bu tür azaltılması değişik parametrelere bağlı olduğu için, seçilecek basit bir azaltma katsayısı ile bu işlemin yapılması mümkün olmayacaktır. Deprem yönetmeliğinde kapasite eğrisinin talep eğrisi gibi elastik duruma çevrilmesi ile dönüşümün yapılması önerilmektedir. Bu işlem kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesiyle kolayca yapılmaktadır. Bu teğetle elastik talep (spektrum) eğrisinin kesiştirilmesi ile kullanılan depremin talebi ve sistemin ona verdiği yatay yer değiştirme büyüklüğü elde edilmektedir. Ancak, her iki eğride elastik esaslı olduğu için bulunan nokta sistemin elastik davranışı ile ilgili olmaktadır. Bu durum taşıyıcı sistemin hasarsız olarak depremi karşılaması ile ilgili olmaktadır. Eşit yer değiştirme durumu dikkate alınarak elastik sistem için elde edilen değerden d_{max}^{ep} elasto-plastik olan yer değiştirme değerine geçilmektedir. Buna göre periyodu büyük yapılarda elastik ve elasto-plastik yer değiştirmelerin yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu kabul edilirken, periyodu küçük yapılarda bu yer değiştirme değerleri bir katsayı yardımıyla birbirine eşitlenmektedir. Bu

katsayı maksimum plastik şekil değiştirme, d_{max}^{ep} ve maksimum elastik şekil değiştirme d_{max}^e arasında olup,

$$d_{max}^{ep} = C_{R1} d_{max}^e \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} T_1 \leq T_B \quad C_{R1} &= \frac{1}{R_{y1}} \left[1 + (R_{y1} - 1) \frac{T_B}{T_1} \right] \\ T_1 > T_B \quad C_{R1} &= 1 \end{aligned} \quad (4.5)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Burada C_{R1} maksimum elastik yer değiştirmeleri maksimum plastik yer değiştirmelere bağlayan dönüşüm katsayısıdır. Aynı zamanda T_1 sistemin birinci periyodunu ve $R_{y1} = S_{ae1}/a_{y1}$ bu moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir. Şekil 4.5.b' de görüldüğü gibi kapasite eğrisinin son noktası bulunup bu eğrinin iki doğrulu bir değişime dönüştürülmesi gerekmektedir. Buradan elde edilecek a_{y1} yardımı ile R_{y1} ve C_{R1} hesaplanabilir. Ancak başlangıçta kapasite eğrisi üzerinde ortaya çıkacak performans noktası bilinmediği için, çözümlerin birkaç iterasyon yapıldıktan sonra elde edilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.5 Elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilerek elastik ve elasto-plastik yer değiştirmenin bulunması

Statik itme çözümünün adımlarında elamanların güç tükenmesi durumlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Kesit etkilerinin karşı gelen mevcut kapasite ile karşılaştırılıp, ulaşılabilecek en büyük itme adımı bulunur. Bu adım eğer depremin talep yer değiştirmesinden küçük kalıyorsa, deprem etkisi karşılanamıyor anlamı çıkmaktadır. Performans noktasının belirlenmesinden sonra, depremin talebine karşı sistemin elasto-

plastik davranışla yapacağı yer değiştirme, plastik mafsal yerleri, θ_p plastik mafsal dönmeleri ve dolayısıyla ϕ_p plastik eğrilikleri elde edilebilmektedir. Bu plastik eğriliklere kesitin plastikleşmeye erişinceye kadar yaptığı ϕ_y akma elastik eğriliği de eklenerek kesitin ϕ_t toplam eğriliği hesaplanmaktadır. Kesitin toplam eğriliği,

$$\phi_p = \theta_p / L_p \quad \phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (4.6)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Kesitte bulunan normal kuvvet ve eğilme momenti belirli olduğuna göre bu değerler kullanılarak kesitteki şekil değiştirme durumu (betonun en büyük kısalması ve donatının en büyük uzaması) hesap edilmektedir.

Bu değerler Tablo 4.1’ de ki performans durumlarına ait sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar durumu elde edilmektedir. Böylece, kesitlerdeki hasarlardan eleman ve kat hasarlarına geçilerek binanın performans durumu belirlenmektedir.

Beton ve donatıdaki şekil değiştirme sınırları Tablo 4.1’ de görülmektedir. Burada ε_{cu} betonun en dış lifine ait şekil değiştirmeyi, ε_{su} ise donatıdaki en büyük şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. Betonda müsaade edilen maksimum şekil değiştirmenin donatıya oranla daha düşük olduğu aynı tablodan görülmektedir. Aynı zamanda ε_{cg} ise güvenlik ve göçme sınırı için enine donatı içinde kalan betonun birim kısalma sınırını göstermektedir.

Tablo 4.1 Beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri

Hasar sınırı		
	Betonda birim kısaltma	Donatıda Birim kısaltma ve uzatma ε_{su}
Maksimum hasar sınırı	$\varepsilon_{cu} = 0.0035$	0.010
Güvenlik sınırı	$\varepsilon_{cg} = \min [0.0035 + 0.010\rho_s/\rho_{sm}; 0.0135]$	0.040
Göçme sınırı	$\varepsilon_{cg} = \min [0.0040 + 0.014\rho_s/\rho_{sm}; 0.0180]$	0.060

Atımsal İtme Analizi Yöntemin adımları kısaca,

- a) Mevcut taşıyıcı sistem $G+nQ$ yükleri altında çözülerek kesit etkileri bulunur.
- b) Taşıyıcı sistemde plastik mafsall oluşması beklenen kesitlerinin (kiriş ve kolonların iki uç kesitleri, perdelerin her kattaki kesitleri) $G+nQ$ yüklemedeki normal kuvvet altında pozitif ve negatif eğilme moment kapasiteleri hesaplanır.
- c) Taşıyıcı sisteme birinci titreşim modu ve kat kütleleri ile orantılı uygulanan yatay yük etkisi altındaki statik itme eğrisi elde edilir. Bulunan bu eğri modal kapasite eğrisine dönüştürülür.
- d) Göz önüne alınan ve depreme bağlı olarak (kullanma, tasarım ve en büyük deprem) ve zemin periyotları dikkate alınarak, periyot-spektral ivme eğrisi oluşturulur. Bu eğriden spektral yer değiştirme- spektral ivme eğrisine geçilir.
- e) Bulunan deprem talep ve sistem kapasite eğrileri kullanılarak binanın performans noktası elde edilir.
- f) Performans noktasında bulunan modal yer değiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme talebi belirlenir.
- g) Bulunan şekil değiştirmeler, kesit hasar sınırlarına karşı gelen beton ve donatı şekil değiştirmeleri ile karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.
- h) Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak, taşıyıcı sistemin verilen deprem etkisindeki deprem performansı belirlenir.
- i) Bina için belirlenen performans düzeyinin kabul edilip edilmeyeceği kontrol edilir.

olarak özetlenebilir.

4.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemin amacı, birinci modal kütleinin davranışa yeterli katkıda bulunmadığı durumlarda (yüksek binalar ve taşıyıcı sistemde düzensizlik bulunan binalar gibi) yeterli kütle katılımlarının sağlanması için diğer modların katkılarını göz önüne almaktadır. Yöntemin uygulanması taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ve kat kütlesi ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak yapılır.

4.3 Zaman Tanım Alanında Lineer Olmayan Hesap Yöntemi

Bu yöntemde taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak kabul edilen bir deprem hareketi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözülmektedir. Sistemin bütün elastik ve plastik yer değiştirmeleri, şekil değiştirmeleri ve kesit iç etkileri zamana bağlı olarak elde edilmektedir. Böylece sistemde plastik mafsallarda dönmeleri ile beton ve donatıdaki birim uzama/kısalma talepleri belirlenmektedir.

Yapıya ait hareket denklemi,

$$[M] \{\ddot{U}\} + [C] \{\dot{U}\} + \{F^{int}\} = \{F\} \quad (4.7)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada, $[M]$ ve $[C]$ sırasıyla binanın kütle ve sönüm matrislerini; $\{\ddot{U}\}$, $\{\dot{U}\}$, $\{F^{int}\}$ ve $\{F\}$ büyüklükleri de binanın bağlı ivme, bağlı hız, iç ve dış kuvvet vektörlerini göstermektedir. İç kuvvet vektörü, elasto-plastik davranış nedeniyle zamana bağlı olarak sürekli değişmektedir. Dış kuvvet vektörü ise statik ve hareketli yükleri de içerecek şekilde elde edilmekte olup yer ivmesinin değişimine bağlı olarak zaman içerisinde farklı değerlere sahip olmaktadır.

5.ELAZIĞ İÇİN SİSMİK RİSK ANALİZİ VE YAPAY DEPREM ÜRETİLMESİ

5.1 Türkiye’ deki Fay Hatları

Türkiye’ de etkin olan 3 büyük fay hattı belirlenmiştir. Bunlar,

- 1.Kuzey Anadolu fay hattı
- 2.Doğu Anadolu fay hattı
- 3.Ege çöküntü sistemi

olarak adlandırılmış olup Şekil 5.1’ de görülmektedir.



Şekil 5.1 Türkiye’ deki fay hatları

5.1.1 Doğu Anadolu Fay Zonunun Genel Özellikleri

Doğu Anadolu fayı, kuzeydoğuda Karlıova birleşim noktasından başlayıp güneybatıda Türkoğlu kavşağına kadar devam etmektedir. Türkoğlu kavşağında üç veya dört kola ayrılmaktadır. Kuzeydeki kollar Helenik-Kıbrıs yayı ile birleşirken güneyde kalan kolu ise Ölü Deniz Fay Zonuna (ÖDFZ) doğru uzanmaktadır. Yaklaşık KD-GB doğrultulu, sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur. Doğu Anadolu fayı, sismik olarak suskun olduğu zamanlarda, birleşik fayı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) tarafından kuzeydoğu ucunun ötelenmesiyle, Karlıova birleşim noktasının güneybatısında birkaç küçük kol gelişmiştir. Güneydoğuda yer olan kol, kuzeybatıda olana göre daha gençtir

[32]. Diğer taraftan Doğu Anadolu Fayı, Karlıova birleşim noktasının kuzey doğusundan Ermenistan'a doğru uzanmaktadır. Karlıova'da KAFZ ile Kahramanmaraş'ta ise Türkoğlu civarında ÖDFZ ile karşılaşarak buralarda üçlü eklemleri oluşturmaktadır. Doğu Anadolu Fayının bu iki nokta arasında kalan ana kısmın uzunluğu 400 km olup, bu ana kısımdaki kayma hızı yıllık 5 mm civarındadır. DAF, transform bir fay niteliğinde olup Arabistan-Afrika ile Anadolu-Avrasya plakaları arasındaki sıkışmayı yanal bir hareketle karşılamaktadır.

Fay zonunun Maraş'tan sonra devamı konusunda değişik araştırmacılar farklı görüşler öne sürmüşlerdir. Bunlardan bir kısmı DAFZ' nun Antakya'ya kadar uzandığını ve burada ÖDFZ ile birleştiğini öne sürmektedirler. İkinci bir görüş ise, fay zonunun Akdeniz ya da Kıbrıs'a doğru uzandığıdır. Diğer bir görüşe göre ise fay zonu üçlü eklem noktasında sonlanır.

DAFZ' nun yaşı için Geç Miyosen-Geç Pliyosen aralığında değişen öneriler getirilmiştir. Karlıova-Bingöl segmenti boyunca, Ilıca kuzeyinde 15-22 km aralığında değişen ve maksimum 17 km' lik bir atım önerilmiştir [32]. Bu segmentte, metamorfik kayalarda, fay boyunca sol yanal ötelenme miktarı 13 km olarak gözlemlenmiştir. Palu-Hazar Gölü segmenti boyunca 27 km' lik sol yanal hareket önerisine karşın Simaki Formasyonu üzerinde 9 km' lik bir atım belirlenmiştir. Hazar Gölü-Sincik segmentinde, Keferdiz yakınlarında Fırat Nehri'ndeki atım miktarı 10-15 km aralığında tespit edilmiş olup Çelikhhan dolaylarında tektonik bir kaynakta DAFZ tarafından oluşturulan 10 km' lik bir sol yanal ötelenme de belirlenmiştir. Bunların yanı sıra Gölbaşı-Türkoğlu segmenti boyunca 20 km' lik bir ötelenme de tespit edilmiştir [32]. Aynı zamanda, Turan [32] Göksu Nehri vadisi boyunca, 13 km' lik sol-yanal ötelenme olduğunu ve bu ötelenmenin DAFZ ile açıklanabileceğini belirtmiştir. Maraş-Antakya grabeninde ise Kuvaterner volkanitlerinde 400 m civarında bir düşey atım belirlenmiştir [32].

DAFZ boyunca olan kayma hızı, jeolojik verilere göre, 6-10 mm/yıl, GPS verilerine göre ise 11 ± 2 mm/yıl olarak bulunmuştur. Kinematik rekonstrüksiyonlara göre bulunan değer ise 30 mm/yıl' dır. DAFZ' nundaki sol yanal kayma hızı için üst sınırı 9 ± 1 mm/yıl olarak belirlenirken, jeolojik verilere göre ise bu değer 4-7mm/yıl aralığında tahmin edilmiştir. GPS ve jeolojik verilere dayanarak, Doğu Akdeniz ve Orta Doğu bölgelerindeki günümüz plaka hareketi için oluşturulan model, yeniden gözden geçirilmiş ve DAFZ boyunca olan kayma hızını 8 mm/yıl olarak belirlenmiştir [32].

Fayın Karlıova'dan başlayıp Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Sincik, Çelikhan ve Gölbaşı'ndan geçerek yön değiştirdiği, Hatay grabenini oluşturan faylarla devam ettiği ve Ölüdeniz fayına birleştiği belirtilmektedir. Buna karşılık diğer bazı araştırmacılar Hatay grabenini oluşturan fayları Ölüdeniz fayı ile birleştirirken, bu sistemi DAFZ' nundan ayırmışlardır. DAFZ' nun Ölü deniz fayından farklı olduğu, DAFZ' nun Adana-Misis dağlarına ulaşarak bindirme bileşenli karakter kazandığı, burada bindirme bileşeninin olmasının Ölüdeniz fayının hareketinden daha hızlı hareket etmesiyle mümkün olabileceği savunulmaktadır [32].

1900- 1995 yılları arasında Doğu Anadolu fayı üzerinde yıkıcı ve yüzey kırığı oluşturmuş toplam 10 deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin dış merkez dağılımları, segmentlerin sınırlarında yoğunlaşma eğilimleri göstermiştir. Bu dağılımlar, fayın Karlıova-Türkoğlu arasında, üç ana segment ile Türkoğlu kavşağından güneybatıya doğru olan kollara ayrıldığı belirtilmiştir [32].

DAF, sol yönlü doğrultu atımlı fay olması nedeniyle paleosismolojik olarak Kuzey Anadolu fayına büyük bir benzerlik göstermektedir. 1900- 1993 yılları arasında oluşmuş depremlerin yoğunlaşma yerleri, bu fayın segmentleri hakkında kabaca bir fikir vermektedir. Doğu Anadolu fayı, muhtemelen 5 veya 6 segmentten oluşmaktadır. Doğu Anadolu fayının kuzeydoğu ucunda dönemsel olarak Kuzey Anadolu fayı tarafından kesilmesi sonucu, ana fay doğrultusuna paralel birkaç küçük faylanma gelişmiştir. Bu faylanmalar, Karlıova birleşim noktasının güneybatısında açık bir şekilde görülmektedir. Fayın güneydoğuda yer alan kolu, kuzey batısına göre daha genç olanı teşkil etmektedir. Doğu Anadolu fayında 1900- 1995 yılları aralığında yıkıcı ve hasar yapıcı depremlerin dışmerkez dağılımları, bu fay segmentlerinin sınırlarında yer alma eğilimi göstermiştir. Tarihsel kayıtlar, Doğu Anadolu fayının 1900- 1995 yılları arasındaki dönemde olduğu gibi 1900'den önceki yüzyıl içerisinde de oldukça sakin bir sismik etkinlik göstermiştir. Dolayısıyla bu fayda, önümüzdeki yüzyıl içerisinde Kuzey Anadolu Fayına benzer bir deprem serisine yol açması oldukça muhtemeldir. Bu fayda en azından 200 yıldır bir enerji birikimi olmaktadır. Bu açıdan sismik olarak oldukça yüksek bir potansiyel tehlike taşımaktadır [32].

Depremlerin yer-zaman diyagramı, fayın önce orta kısımlarına yakın bir yerden kırıldığını ve kırılmanın daha sonra doğu ve batı uçlarında yer alan segmentlerine doğru kaydığını göstermektedir. Faydaki ana sıkışma yönü KD-GB olarak elde edilmiştir. Doğu Anadolu fayında son dört yüzyılda ve 1900- 1995 yılları arasında oluşmuş yıkıcı

deprem dağılımları ve mikro deprem aktivitesi, Doğu Anadolu Fayının Karlıova-Ceyhan arasında kalan kısmında,

- 1- Andırın sismik boşluğu (Ceyhan-Türkoğlu),
- 2- Türkoğlu sismik boşluğu (Türkoğlu-Çelikhan),
- 3- Hazar gölü segmenti

olmak üzere toplam 3 tane sismik boşluk bulunmaktadır [32].

Doğu Anadolu fayı, yüzyılımızda ve önceki yüzyıl içerisinde olduğu gibi sismik olarak oldukça suskun bir dönem geçirmektedir. Bu faydaki sismik boşlukların dağılımları, muhtemelen Kuzey Anadolu Fayındaki 1939- 1967 deprem serisine benzer bir deprem serisinin önümüzdeki yüzyıl içerisinde oluşabileceğini göstermektedir. Bu fayın kısa bir süre içerisinde tamamen kırılmasına neden olabilecek 1939 Erzincan depremine benzer bir büyük deprem tetikleme rolü üstlenebilir. Bu yüzden Doğu Anadolu fayının bu işaret edilen sismik boşlukları civarında çalışmaların yoğunlaştırılması, deprem tehlikesinin belirlenmesi ve zararlarının en aza indirgenmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır.

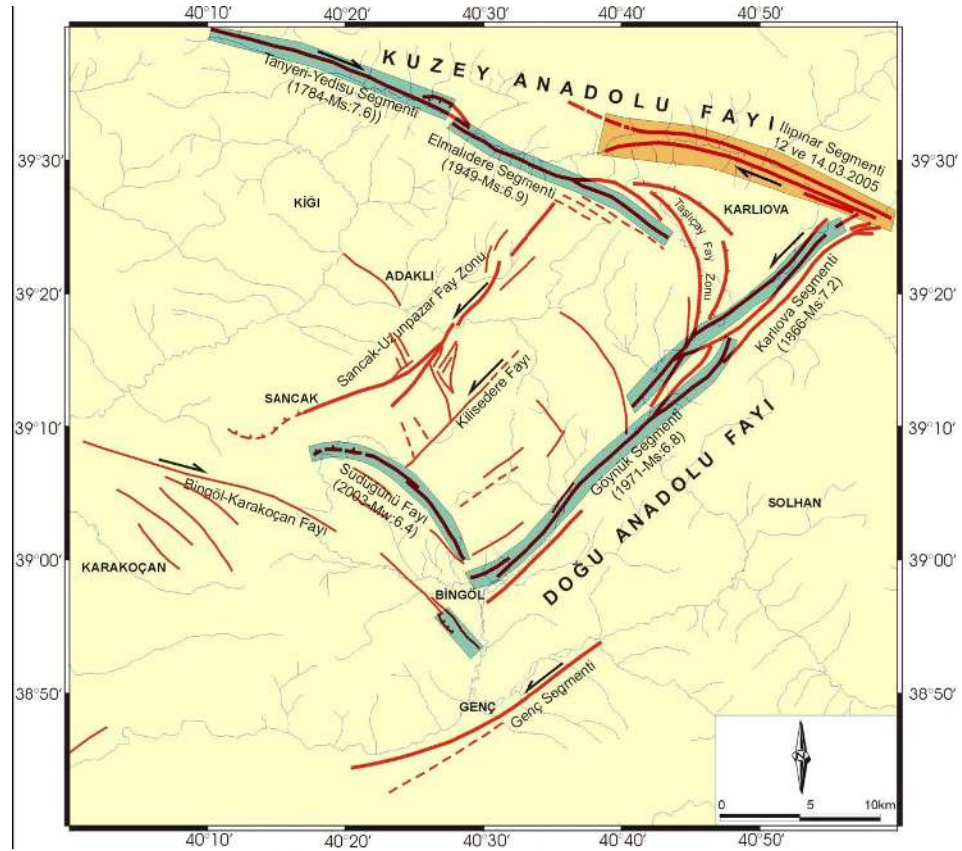
Söz konusu olan bu üç sismik boşlukta özellikle başta Andırın civarında olmak üzere Ergani ve Hazar gölü civarında 1989'dan bu yana her yıl manyitüdü 4.0 olan birkaç deprem oluşmuştur. Dünyanın değişik bölgelerinde geçmişte oluşmuş depremler üzerindeki haberci olaylara (precursory) ait çalışmalar, kırılacak segment uzunluğu ile habercilerin süresi arasında doğrudan bir bağlantı olduğu sonucunu ortaya koymuştur. Buna en iyi örnek olarak günümüzde meydana gelen 1 Ekim 1995 Dinar depremi verilebilir. Dinar depreminde 10 km uzunluğunda bir kırık oluşurken, haberci olaylar 30 gün öncesinde ortaya çıkmaya başlamıştır. Buradan hareket ederek Doğu Anadolu fayında sismik boşluklarda oluşması muhtemel haberci olarak nitelendirilebilecek depremlerin 5-7 yıl öncesinde gözlenmeye başlanması, kırılacak uzunlukların oldukça uzun (100 km veya daha uzun) olabileceğine işaret etmektedir. Bu açıdan fayın bu bölümlerinin yeterli derecede yoğun bir gözlem altında bulundurulması yerinde olacaktır. Ayrıca bu sismik boşluklar üzerinde geçmiş son yüzyıl içinde (1900- 1995) hasar yapıcı ve yüzey kırığı oluşturan büyük depremlerin meydana gelmemesi, bu bölgenin önemini daha da artırmaktadır [32].

5.1.2 Doğu Anadolu Fay Sistemi Üzerinde Olmuş Önemli Depremler

Doğu Anadolu fay sistemi üzerinde 1900 ve 2004 yılları arasında olmuş depremler Tablo 5.1 de verilmiştir. Bu tablo; tarih, oluş zamanı, yer, şiddet, büyüklük, can kaybı ve hasarlı binaları içermekte olup Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE, UDİM) tarafından hazırlanmıştır [28]. Bu tabloda aletsel büyüklüğü 5.0' den büyük olan, can kaybı ve hasara neden olan depremler yer almaktadır.

Tablo 5.1 Doğu Anadolu fay sistemi üzerinde olmuş depremler

KRDAE, ULUSAL DEPREM İZLEME MERKEZİ							
No	Tarih	Saat	Yer	Şiddet	M _s	Can Kaybı	Hasarlı Binalar
1	17.08.1949	20:44	Karlıova (BİNGÖL)	IX	6.7	450	3500
2	14.06.1964	15:15	MALATYA	VIII	6.0	8	847
3	14.06.1964	15:15	MALATYA	VIII	6.0	8	847
4	22.05.1971	18:43	BİNGÖL	VIII	6.8	878	9111
5	06.09.1975	12:20	Lice (DIYARBAKIR)	VIII	6.6	2385	8149
6	05.05.1986	06:35	Doğanşehir(MALATYA)	VIII	5.9	7	824
7	06.06.1986	13:39	Doğanşehir(MALATYA)	VIII	5.6	1	1174
8	13.04.1998	18:14	Karlıova (BİNGÖL)	VI	5.0	-	148
9	01.05.2003	03:27	BİNGÖL	VIII	6.4	176	6000



Şekil 5.2. Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Fay Zonları

5.1.3 Doğu Anadolu Fay Sisteminin Bölgedeki Özellikleri

Sismolojik kayıtlara göre 21 Şubat 2007 Sivrice Depremi'ne ait ana şok lokasyonu DAFS' nin Hazar Gölü-Sincik Segmenti yakın çevresine rastlamaktadır. KRDAE' nin kayıtlarına göre artçı şoklar bu segment üzerindeki Sivrice ilçesinin yakın güneybatısında kümelenmiştir. Öte yandan, depremde meydana gelen hasarlar da Sivrice-Çüngüş-Pötürge ilçe merkezleri arasında yoğunlaşmıştır. Bu bölgede depreme kaynaklık edebilecek iki fayın varlığı bilinmektedir. Bu faylar DAFZ' nun Hazar Gölü-Sincik segmenti ile daha güneydeki Hazar fayıdır. Hazar Gölü ile Sincik arasında uzanan DAFZ' nun Hazar Gölü-Sincik Segmenti yaklaşık K 65° doğrultulu olup, 85 km uzunluğundadır. Fay zonunun bu segment boyunca olan genişliği ise 100 m ile 2 km arasında değişmektedir. Palu-Hazar Gölü ve Hazar Gölü-Sincik segmentleri birbirlerinden Hazar Gölü ile ayrılırlar.

5.1.4 Bölgenin Durumu ve Alınacak Önlemler

Ülkemizin en önemli 2 fay sisteminden biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAF), Doğu Anadolu'daki Karlıova' dan başlayan ve 580 km uzunluğu boyunca Antakya'ya doğru uzanan 4-25 km genişlikte olan bir deformasyon kuşağıdır. Son 2 milyon yıldır hareket etmekte olup, bu güne kadar 15 km' lik yanal öteleme yapmıştır. Kayma hızı yılda yaklaşık 8 mm olup, Karlıova-Bingöl, Palu-Hazar, Hazar-Sincik, Çelikhan-Gölbaşı, Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya, bu zonun üzerinde oluşabilecek bir depremde kırılması beklenen olası bölümlerdir.

Tarihsel kayıtlara göre DAF boyunca yukarıda belirtilen bölümlerde 6.7 ile 7.8 büyüklüğü arasında değişen bir çok deprem gelişmiş ve ağır hasarlara neden olmuştur. Ancak; son 100 yıldır büyük yıkıcı depremler oluşmamıştır. Dolayısıyla bu fay zone gelecekte yıkıcı depremlerin riski altındadır.

Bu fay üzerinde yer alan Malatya, Maraş, Elazığ, Hazar-Sincik, Çelikhan-Gölbaşı ve Sürgü Faylarının özellikleri gereği üretebileceği 7 ve üzerindeki büyüklüklerde depremlerin riski altındadır.

5.2 Elazığ İçin Sismik Risk Analizi

Çalışmanın ilk aşamasında, Elazığ' da inşa edilecek yapıların projelendirilmesinde dikkate alınması gereken depremin belirlenmesi amacıyla sismik risk analizi yapılmıştır.

Analizi gerçekleştirebilmek için 1905- 2005 yılları arasında Elazığ’ da meydana gelmiş deprem kayıtları, adetleri, odak derinlikleri ve manyitüd değerleri toplanmış olup Tablo 5.2’ de verilmiştir. Burada verilen, M_s , Yüzey dalgası büyüklüğünü, M_b , Cisim dalgası büyüklüğünü, M_l , Richter yerel büyüklüğünü ve M_w ise Moment büyüklüğünü belirtmektedir.

5.2.1 Regresyon Analizleri

Regresyon analizleri için Tablo 5.2’ den faydalanılarak aynı manyitütlü depremlerin tekrarlanma sayısı hesaplanış ve Tablo 5.3’ de sunulmuştur. Yıllık maksimum şiddetli deprem manyitüdlerinin dağılımı,

$$G(M)=e^{-\alpha \cdot \exp(-\beta M)} \quad (5.1)$$

bağıntısıyla hesaplanmış olup bu bağıntı Gumbel tarafından geliştirilmiştir [12,30]. Deprem manyitüdü M ’ nin bir yıldaki tüm depremlerin adedi N ile ilişkisi,

$$\log N=a-b.M \quad (5.2)$$

denklemini ile belirlenmekte olup Gutenberg- Richter tarafından geliştirilmiştir [13,30]. Burada,

$G(M)$: Bir yılda manyitüdü M ’ den büyük depremlerin aşılma olasılığını,

M : Depremin manyitüdünü

N : Manyitüdü M veya daha büyük olan depremlerin bir yıldaki sayısını

α, β, a, b : Regresyon katsayılarını,

belirtmektedir. Bu katsayıların matematiksel ifadesi ise,

$$\alpha = 10^a \quad \beta = b \cdot \ln 10 \quad (5.3)$$

bağıntılarıyla elde edilmektedir. Tablo 5.3’ deki hesaplamalar yapıldıktan sonra $\log(N)$ ’ in M ’ ye bağlı grafiği çizilmiş olup $\log(N)=a-b.M$ doğrusundaki regresyon katsayıları olan a ve b değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Şekil 5.3’ de gösterilmektedir.

Tablo 5.2 1905-2005 Yılları arası 50 km yarıçaplı mesafe için Elazığ ve çevresinde oluşan depremler

SN	Tarih	Zaman	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Ms	Mb	Md	MI	Mw	Mesafe
1	04.12.1905	07:04:00.0	39.00	39.00	30	6.8	6.3	6.4	6.3	6.5	40,00
2	04.12.1905	09:40:00.0	39.00	39.00	30	5.8	5.6	5.6	5.6	5.8	40,00
3	04.12.1905	12:20:00.0	39.00	39.00	30	5.6	5.4	5.4	5.4	5.7	40,00
4	08.02.1930	05:20:17.8	38.52	39.40	100	5.1	5.1	5	5	5.3	22,00
5	23.09.1940	19:30:28.2	38.96	39.32	80	4.9	4.9	4.9	4.9	5.2	31,00
6	18.08.1948	19:06:11.9	38.51	39.25	10	5	5	5	4.9	5.3	18,00
7	25.04.1949	23:09:21.0	38.27	38.99	80	5.3	5.2	5.2	5.2	5.5	49,00
8	08.11.1950	10:08:01.5	38.27	39.16	50	5.2	5.1	5.1	5.1	5.4	45,00
9	18.04.1957	05:25:04.8	38.74	39.67	10	4.8	4.9	4.8	4.8	4.9	37,00
10	24.08.1970	16:36:03.0	38.32	39.45	27	4.2	4.4	4.3	4.3	4.5	43,00
11	24.05.1971	12:49:11.5	38.81	39.51	33	3.9	4.2	4.1	4.3	4.3	27,00
12	10.09.1973	03:02:05.0	38.48	39.64	39	4.7	4.7	4.7	4.7	5	40,00
13	23.06.1974	21:06:13.8	38.75	39.17	75	4.5	4.5	4.6	4.6	4.8	9,00
14	21.03.1979	05:04:16.3	38.53	39.54	10	4.3	4.5	4.4	4.4	4.6	30,00
15	31.07.1979	05:49:33.7	38.72	38.75	10	3.7	4.1	4	4	4.2	40,00
16	22.11.1980	10:32:47.8	38.30	39.29	10	3.9	4.2	4.1	4.1	4.3	42,00
17	10.03.1983	05:02:20.0	38.34	38.97	25	3.9	4.2	4.2	4.1	4.3	43,00
18	14.06.1985	03:20:19.0	38.33	39.26	9	3.9	4.2	4.2	4.1	4.3	38,00
19	24.06.1987	06:53:24.0	38.32	39.35	33	4.6	4.7	4.6	4.7	4.8	41,00
20	13.12.1988	15:46:24.0	38.73	39.47	10	3.9	4.2	4.2	4.1	4.3	20,00
21	28.01.1994	11:52:12.2	38.73	38.78	45	4.2	4.4	4.4	4.4	4.5	37,00
22	01.06.1994	11:33:08.8	38.27	39.49	10	4	4.3	4	4.2	4.4	50,00
23	07.02.1996	12:27:05.0	38.49	39.26	10	4.2	4.4	4.6	4.4	4.5	21,00
24	08.04.1996	02:01:56.0	38.25	39.10	8	3.8	4.1	4	4	4.2	48,00
25	20.06.1996	10:45:12.0	38.30	39.20	6	3.8	4.1	4	4	4.2	42,00
26	12.11.1996	11:01:50.0	38.40	39.20	10	3.8	4.1	4	4	4.2	31,00
27	24.06.1997	08:42:47.6	38.38	39.13	7	3.6	4	4.1	4	4.1	34,00
28	10.08.1997	17:31:50.4	38.24	39.07	10	3.6	4	4.1	4	4.1	50,00
29	06.12.1997	04:17:00.5	38.38	39.25	8	3.8	4.1	4	4	4.2	33,00
30	13.03.1999	21:17:37.5	38.44	39.24	10	3.8	4.1	4	4	4.2	26,00
31	13.04.1999	09:47:02.2	38.52	39.21	10	4	4.3	4.7	4.2	4.4	17,00
32	02.01.2000	20:28:37.0	38.43	38.76	19	3.8	4.1	4	4	4.2	47,00
33	18.02.2001	00:07:14.2	38.26	39.28	10	3.6	4	4.2	4.1	4.1	46,00
34	13.07.2003	01:48:21.6	38.33	38.98	6	5.3	5.2	5.1	5.4	5.5	44,00
35	06.01.2004	10:39:11.9	38.30	38.95	11	4.6	4.7	4.7	4.6	4.7	48,00
36	12.06.2004	13:37:52.0	38.61	39.61	10	4.3	4.5	4.4	4.5	4.6	32,00
37	25.07.2004	08:51:08.0	38.36	39.21	3	3.8	4.1	4	4	4.1	35,00
38	11.08.2004	15:48:23.8	38.37	39.22	10	6.1	5.8	5.5	5.5	6	34,00
39	13.08.2004	20:35:05.6	38.38	39.16	10	4	4.3	4.3	4.3	4.4	33,00
40	14.08.2004	00:20:25.2	38.42	39.22	10	4.3	4.5	4.4	4.5	4.6	28,00
41	14.08.2004	20:42:15.9	38.40	39.15	10	3.6	4	4.2	4.2	4.1	31,00
42	08.09.2004	16:16:42.3	38.45	39.14	2	3.8	4.1	4	4.1	4.2	26,00
43	25.09.2004	14:28:52.8	38.41	39.23	7	3.8	4.1	4	4.1	4.2	29,00
44	18.02.2005	13:21:47.5	38.81	39.00	4	3.8	4.1	4	4	4.2	23,00
45	18.10.2005	07:17:04.4	38.76	39.03	3	4.3	4.5	4.5	4.3	4.6	18,00
46	28.12.2005	14:07:59.2	38.52	39.31	10	3.9	4.2	4.2	4.3	4.3	18,00

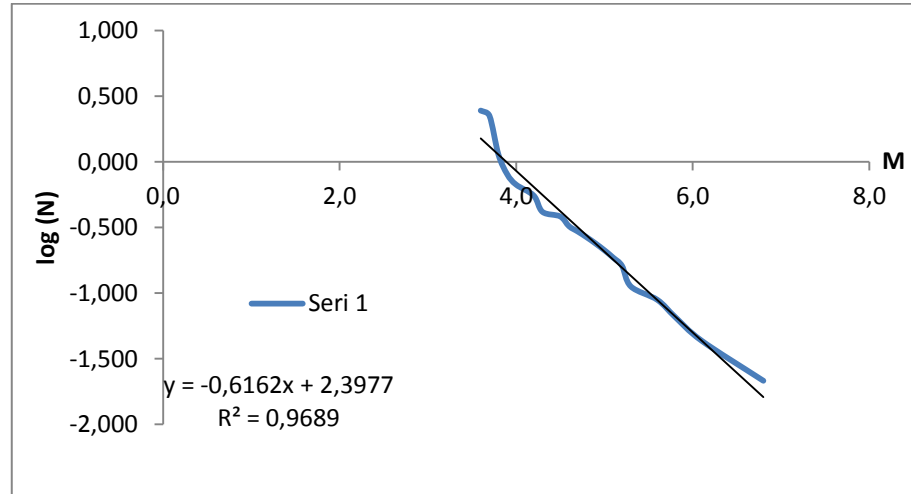
Tüm bu hesaplamalar bir yıldaki maksimum depremler yerine, kendilerini Tr yılda tekrarlayan depremler için yapılırsa, Tr yıl içinde meydana gelebilecek maksimum manyitüd,

$$\log N = a - b.M + \log T_r \quad (5.4)$$

denklemleri ile hesaplanmaktadır. Burada T_r , depremin tekrarlanma periyodunu belirtmekte olup yıllık risk olan R' nin tersine eşittir.

Tablo 5.3 Regresyon analizleri

M	J	$f=j/(\sum j+1)$	G(M)	$N=-\ln(G)$	$\log(N)$
3.6	4	0.085	0.085	2.464	0.392
3.7	1	0.021	0.106	2.241	0.350
3.8	10	0.213	0.319	1.142	0.058
3.9	6	0.128	0.447	0.806	-0.094
4.0	3	0.064	0.511	0.672	-0.173
4.2	3	0.064	0.574	0.554	-0.256
4.3	4	0.085	0.660	0.416	-0.381
4.5	1	0.021	0.681	0.384	-0.415
4.6	2	0.043	0.723	0.324	-0.490
4.7	1	0.021	0.745	0.295	-0.530
4.8	1	0.021	0.766	0.267	-0.574
4.9	1	0.021	0.787	0.239	-0.621
5.0	1	0.021	0.809	0.213	-0.673
5.1	1	0.021	0.830	0.187	-0.729
5.2	1	0.021	0.851	0.161	-0.792
5.3	2	0.043	0.894	0.112	-0.949
5.6	1	0.021	0.915	0.089	-1.051
5.8	1	0.021	0.936	0.066	-1.181
6.1	1	0.021	0.957	0.043	-1.362
6.8	1	0.021	0.979	0.022	-1.667



Şekil 5.3 Deprem tekrarlanma sayısı-Manyitüd ilişkisi

Şekil 5.3’ de hesaplanan a ve b regresyon katsayıları kullanılarak Elazığ bölgesinde tekrarlanma periyodunun 10 yıl, 20 yıl, 50 yıl, 100 yıl, 200 yıl olması durumları dikkate

alınırsa depremin episantrında meydana gelebilecek deprem büyüklükleri Tablo 5.4’ de verilmiştir.

Tablo 5.4 Tr yılda oluşacak deprem manyitüdüleri

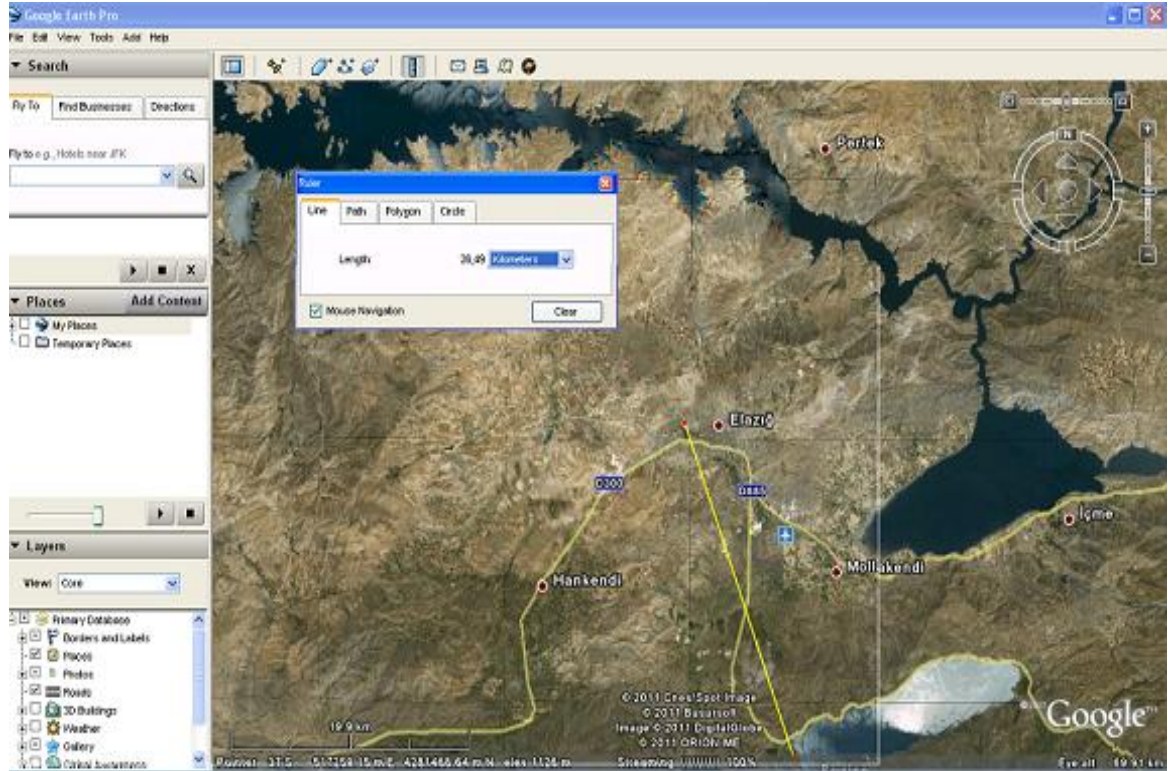
Tr (yıl)	M	R
10	5.515	%10
20	6.003	%5
50	6.649	%2
100	7.138	%1
200	7.627	%0.5

Nümerik hesaplamalarda bina türü yapılar seçildiği için 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem dikkate alınarak çözümler elde edilmiştir. Bu depremin manyitüdü ise 6.649 olarak hesaplanmış olan değer dikkate alınmıştır. Bu değerler depremin episantrı için elde edildiğinden binaların bulunduğu bölgeye olan mesafe dikkate alındığında bu değerlerin bir azalım ilişkisi ile hesaba katılması gerekmektedir. Bu sebeple Tablo 5.5’ de görülen azalım ilişkileri dikkate alınmış ve bu değerler içerisinde en büyük değeri veren ifade kullanılmıştır.

5.2.2 Azalım İlişkileri

Herhangi bir deprem sırasında oluşan zemin titreşimi dalganın hızına, depremin büyüklüğüne ve zemin koşullarına bağlı olarak odakta uzaklaştıkça azalacaktır. Azalım ilişkileri depremin manyitüdüne ve odak derinliğine bağlı olarak elde edilen parametrelerdir. Elazığ için manyitüdü 6.649 olan ve odak derinliği 26.5 km alınarak (Şekil 5.4) hesaplanan azalım ilişkileri Tablo 5.5’ de verilmiştir. Yapay deprem için dikkate alınacak en büyük yer ivmesi 328.97 cm/s^2 olarak hesaplanmış azalım ilişkisi Orphal ve Lahoud tarafından önerilmiştir.

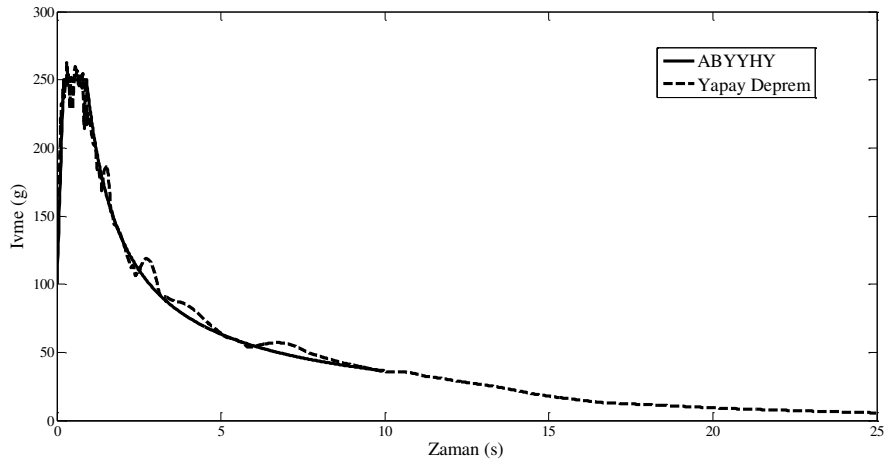
Elazığ bölgesinde 50 yılda tekrar eden aşılma olasılığı %2 olan depremin yer ivmesi 328.97 cm/s^2 olarak hesaplanmıştır. Bu yer ivmesi dikkate alınarak yapay deprem üretilmiş olup üretilen depreme ait grafikler Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’ de verilmiştir.



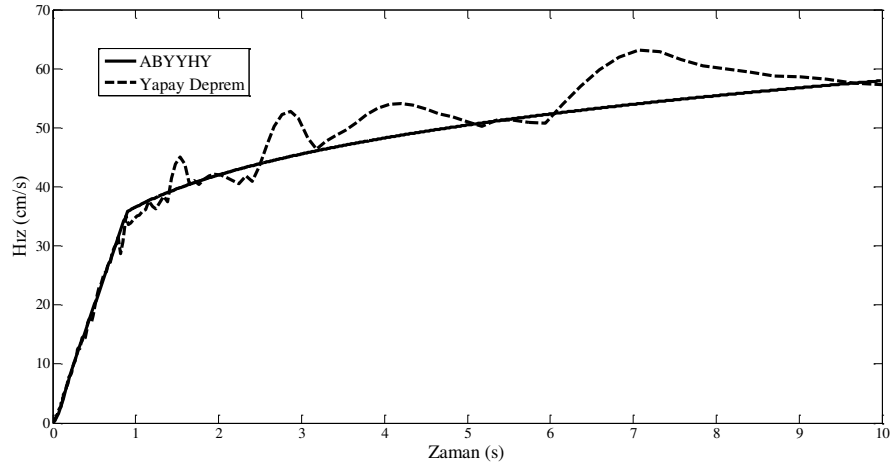
Şekil 5.4 Odak Uzaklığı

Tablo 5.5 Depremın ivme-mesafe ilişkileri

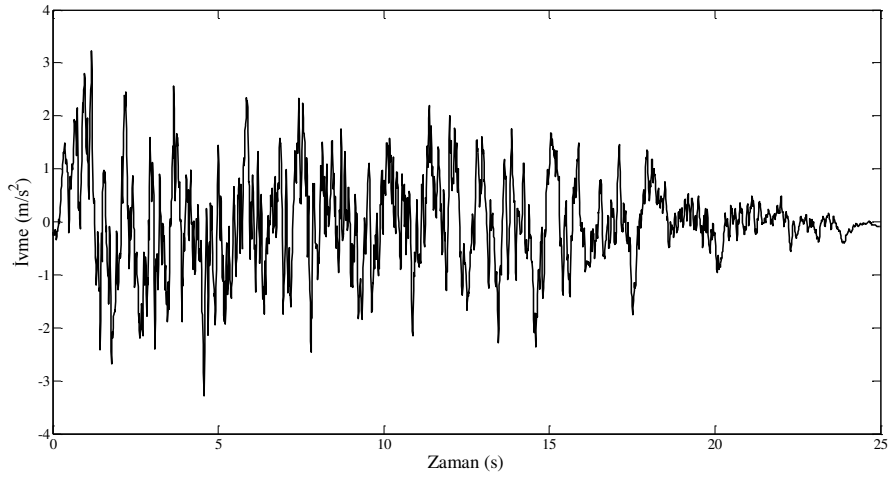
Azalış İlişkisi	Hesaplanan Değer	Kaynak
$Y=2000.e^{0.8M}.(R+20)^{-2}$	188.90	Esteva ve Rosenblueth [30]
$Y=1230.e^{0.8M}.(R+25)^{-2}$	94.71	Esteva [30]
$Y=274.e^{0.8M}.R^{-1.64}$	259.25	Davenport[30]
$Y=1300.e^{0.67M}.(R+25)^{-1.6}$	204.06	Donovan[30]
$Y=5590.e^{0.8M}.(R+40)^{-2}$	258.15	Esteva ve Villaverde[30]
$Y=1230.e^{0.58M}.(R+25)^{-1.52}$	145.47	Donovan[30]
$Y=1080.e^{0.5M}.(R+25)^{-1.32}$	165.06	Donovan[30]
$Y=472.3.e^{0.64M}.(R+25)^{-1.301}$	197.35	McGuire[30]
$Y=69.e^{0.92M}.R^{-1.39}$	328.97	Orphal ve Lahoud[30]
$Y=5000.e^{0.8M}.(R+40)^{-2}$	230.90	Shah ve diğerleri[30]
$Y=62282.e^{0.6M}.(R+25)^{-2.54}$	150.99	Shah ve diğerleri[30]
Y: İvme değeri (cm/s ²)	M: Deprem Manyitüdü	R: Odak uzaklığı (km)



Şekil 5.5 Yapay depreme ait spektrum eğrisi



Şekil 5.6 Yapay depreme ait hız-zaman grafiği



Şekil 5.7 Yapay depreme ait ivme-zaman grafiği

Yapay depremin elde edilmesinde ABYYHY- 2007' de verilen ivme spektrum eğrilerinden Z4 zemini için olan grafik dikkate alınmıştır (Şekil 5.6). Bu ivme grafiğine uyumlu deprem üretilmesi amacıyla hız spektrum eğrisi elde edilmiş olup Şekil 5.6' da görülmektedir. Yapay depremin üretilmesinde SHAKE paket programı kullanılmış olup bu depremin ivme spektrumu, hız spektrumu ve ivme genliği-zaman grafikleri sırasıyla Şekil 5.5- 5.7' de verilmiştir. Şekil 5.5 ve 5.6' de hem yapay depremin hem de yönetmeliğin verdiği spektrum eğrileri yer almaktadır. Bu şekillerden yapay depremin yönetmeliğin önerdiği spektrum eğrilerine uyumlu grafiklerinin elde edildiği görülmektedir. Şekil 5.7' de verilen yapay deprem ivme kaydı Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Derslik ve Merkezi Birimler binalarından öğretim elemanları, derslik ve amfi binalarına uygulanmış olup sonuçlar ve tartışma bölüm 6' da verilmiştir.

6. FIRAT ÜNİVERSİTESİ SU ÜRÜNLERİ FAKÜLTESİ DERSLİK VE MERKEZİ BİRİMLER BİNALARININ LİNEER OLMAYAN ANALİZLERİ

Bu bölümde Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Derslik ve Merkezi Birimler binalarından Öğretim Elemanları Binası, Derslik Binası ve Amfi binasının lineer olmayan analizleri yapılmıştır. Bu üç binada kullanılan beton ve çelik malzemesinin malzeme özellikleri aynı olup beton malzemesinin elastisite modülü 28500 MPa, poisson oranı 0.2, birim hacim kütlesi 2,549 t/m³ alınmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı 20MPa olarak hesaba katılmıştır. Kullanılan çelik malzemesinin elastisite modülü 200000 MPa, poisson oranı 0.3 ve akma gerilmesi 420 MPa olarak alınmıştır.

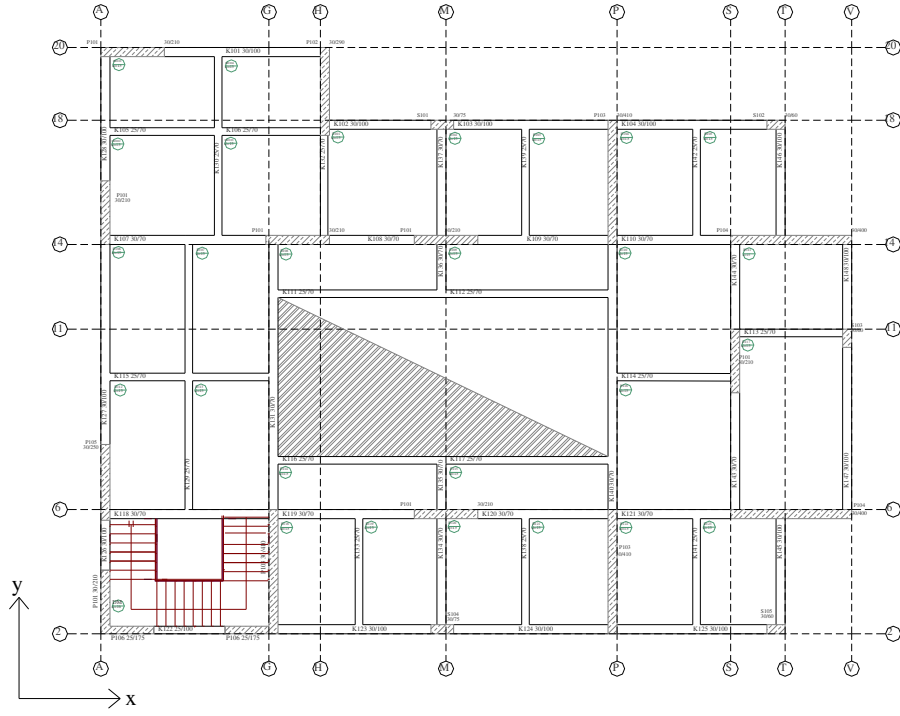
6.1 Öğretim Elemanları Binası

Öğretim elemanları binası toplam bina alanı 421.76 m² olup; bodrum, zemin ve bir normal kattan oluşmaktadır. Binanın kat yüksekliği bodrum katta 4.5 m, diğer katlarda 3.5 metre olup, *x* doğrultusundaki en büyük uzunluğu 24.80 metre, *y* doğrultusundaki en büyük uzunluğu ise 19.35 m' dir. Yapıya ait zemin kat kalıp planı Şekil 6.1'de verilmiştir. Yapıda, bütün kat döşemeleri dört tarafı kirişlere oturan döşemelerden meydana gelmekte olup taşıyıcı sistemi ise perde-çerçevelerden oluşmaktadır. Bu binanın taşıyıcı sisteminde toplam 5 adet kolon ve 16 adet perde eleman mevcut olup, kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları Tablo 6.1' de verildiği gibidir.

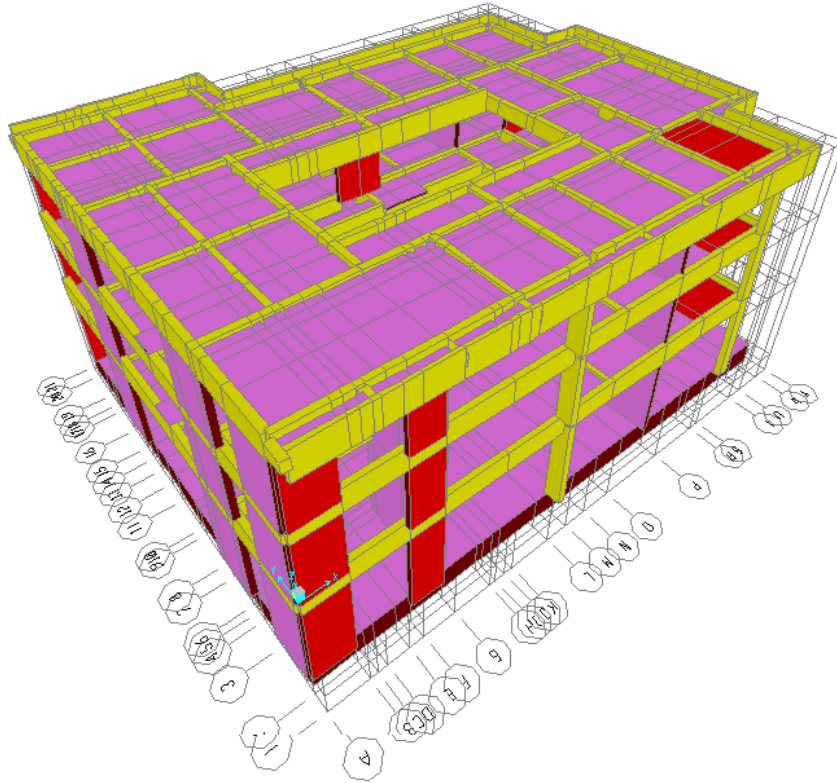
Tablo 6.1 Öğretim elemanları binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları

Kolon boyutları	Kolon sayısı	Perde boyutları	Perde sayısı
0.30x0.60	3	0.25x1.75	2
0.30x0.75	2	0.30x2.50	1
		0.30x4.00	2
		0.30x4.10	3
		0.30x2.90	1
		0.30x2.10	7

Öğretim elemanları binasının deprem performanslarının belirlenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Taşıyıcı sistem çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 556 adet çerçeve ve 1403 adet kabuk eleman kullanılmış olup sonlu eleman ağ sistemi Şekil 6.2' de görüldüğü gibidir. Söz konusu binanın kendi ağırlığı, hareketli ve deprem yükleri altında lineer olmayan analizleri yapılarak performans seviyeleri belirlenmiştir.



Şekil 6.1 Öğretim elemanları binası zemin kat kalıp planı



Şekil 6.2 Öğretim elemanları binasının sonlu eleman modeli

Öğretim elemanları binasının deprem performansları belirlenirken yapay depremin x (enine) ve y (boyuna) asal doğrultularında etki ettiği kabul edilmiş ve başlangıç yüklemeleri olarak hareketli ve ölü yüklerin etkisi dikkate alınmıştır. Binanın x ve y

yönüne ait deprem performansının belirlenmesinde lineer olmayan analizin çözümlere yansıtılabilmesi amacıyla, toplanmış tip mafsallı elemanlar kullanılmıştır.

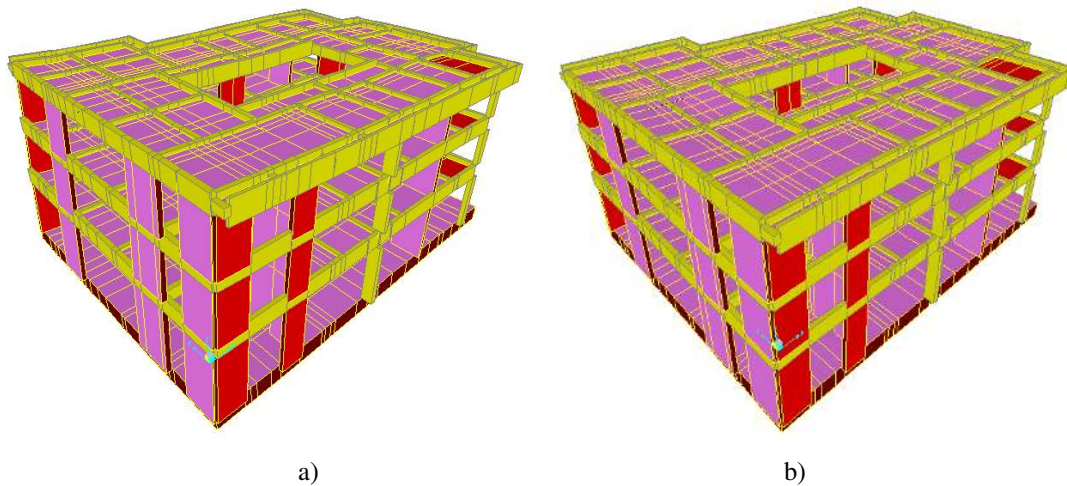
6.1.1 Öğretim Elemanları Binası Modal Analiz Sonuçları

Öğretim elemanları binasının sönüm katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla binanın modal analizi yapılmış sonuçlar Tablo 6.2’ de verilmiştir. Sönüm için Rayleigh sönüm kat sayıları kullanılmıştır. Bu katsayılar,

$$\alpha = \frac{2*\xi*\omega_1*\omega_2}{\omega_1+\omega_2} \quad (6.1)$$

$$\beta = \frac{2*\xi}{\omega_1+\omega_2} \quad (6.2)$$

eşitlikleri ile elde edilmektedir. Burada, ω_1 ve ω_2 seçilen doğal titreşim frekanslarını, ξ sönüm oranını, α ve β ise sırasıyla kütle ve rijitlik katsayılarını belirtmektedir. Öğretim elemanları binasının Tablo 6.2’ de görüldüğü gibi 2. ve 4. modlarının katılım oranlarının yüksek olmasından α , β rayleigh sönüm katsayıları bu iki mod kullanılarak elde edilmiştir. Burada binanın hasarsız durumu dikkate alınarak sönüm oranı %5 olarak seçilip hesaplar yapılmıştır. Söz konusu binanın 2. ve 4. modlarına ait yer değiştirme durumları ise Şekil 6.3’ de görülmektedir.



Şekil 6.3 Öğretim elemanları binasının a) 2.mod ve b) 4.mod için yer değiştirme durumu

Tablo 6.2 Öğretim elemanları binası modal analiz sonuçları

Kütle İçin Modal Katılım Oranları								
Açıklama	Mod Numarası	Periyot	U_x	U_y	U_z	R_x	R_y	R_z
		Saniye	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz
Mod	1	0,2997	0,000	46,389	0,286	10,577	0,265	25,183
Mod	2	0,2833	49,760	0,019	0,021	0,026	9,789	15,726
Mod	3	0,2245	1,278	0,296	0,014	0,331	0,262	12,014
Mod	4	0,1570	0,640	1,505	93,962	49,707	74,532	1,440
Mod	5	0,1396	20,386	0,210	3,253	3,579	11,365	6,384
Mod	6	0,1335	0,253	33,990	1,746	34,785	2,433	11,885
Mod	7	0,1125	0,305	2,619	0,061	0,261	0,063	12,070
Mod	8	0,1049	27,076	0,001	0,042	0,019	0,939	8,602
Mod	9	0,0995	0,033	12,515	0,059	0,077	0,074	5,681
Mod	10	0,0945	0,000	1,751	0,000	0,107	0,044	0,714
Mod	11	0,0869	0,059	0,502	0,007	0,044	0,007	0,025
Mod	12	0,0786	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

6.1.2 Depremin x Yönünde Etki Etmesi Hali için Öğretim Elemanları Binasının Performans Değerlendirmesi

Depremin x eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarları Şekil 6.4- 6.6' da verilmiştir. Bu binanın 15 adet kolonunun, 12 tanesinde göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. 144 adet kirişin 9 adedinde hemen kullanım, 3 adedinde can güvenliği ve 114 adedinde de göçme öncesi performans seviyelerine ait hasarların meydana geldiği görülmekte olup Tablo 6.3' de verilmiştir.

Binaya etkiyen deprem ivmesi spektrum değerlerinin periyotla değişim grafiği Şekil 5.7' de görülmektedir. Bu değerlerinin en büyük olduğu periyotlar 0.2- 0.9 s aralığında yer almaktadır. Binanın 2. moduna ait katılım oranı Tablo 6.2' de görülmekte olup % 49.76 değerinde ve x yönündeki yer değiştirme büyüklüğü için periyodu 0.2833 s' dir. Bu sebepten bu modun periyotları dikkate alındığında yapıda en büyük ivme değerlerinin bu periyotlarda oluşacağı görülebilir. İlk hasar, binanın 14 nolu aksının bodrum katına ait orta açıklığında 0.69 s anında meydana gelmiştir (Şekil 6.5). Aynı zamanda binanın 6 nolu aksının son açıklığı bodrum ve zemin katına ait kirişlerde 0.99 s anı için hasarlar oluşmuştur (Şekil 6.4). İlerleyen zaman adımlarında binanın titreşimine bağlı olarak 6 ve 14 nolu akslarında meydana gelen hasarlarda büyümelerin ve komşu taşıyıcı elemanlarda yeni plastik mafsalların meydana geldiği görülmüştür.

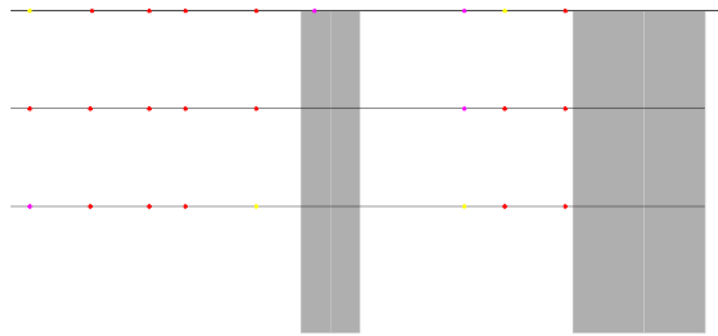
Plastik mafsalların sayısı ve oluşan hasarlardaki büyümeye bağlı olarak binanın taşıyıcı sistemi, mekanizma konumuna geçerek 1.08 s anından sonra sayısal çözümlerin ıraksamasına neden olmuştur (Şekil 6.6).

Tablo 6.3 Öğretim elemanları binası deprem x yönü performans değerleri

Kat No	Toplam kolon sayısı	Toplam kiriş sayısı	Kolon ve kirişlerin hasar sınırları (Deprem x)					
			Kolon hasarları			Kiriş hasarları		
			HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
Bodrum kat	5	48	-	-	4	2	2	37
Zemin kat	5	48	-	-	3	4	-	40
Birinci kat	5	48	-	-	5	3	1	37
Toplam	15	144	-	-	12	9	3	114



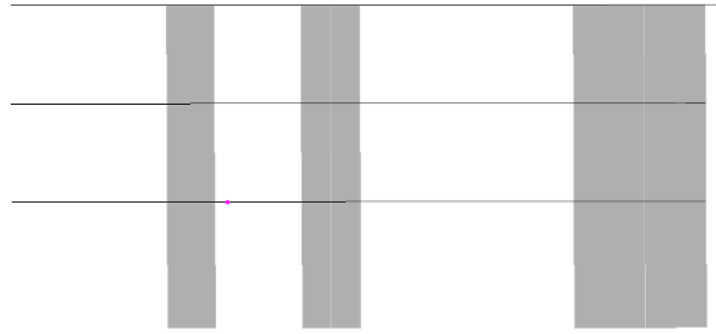
a) $t=0.99$ s



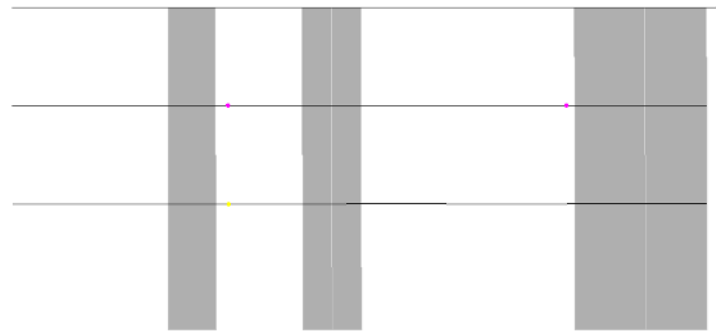
b) $t=1.08$ s



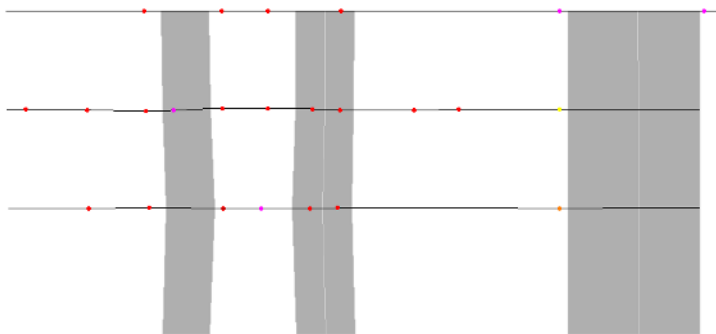
Şekil 6.4 Deprem x yönünde etki etmesi hali için 6 nolu aksında a) $t=0.99$ s ve b) $t=1.08$ s anlarında oluşan hasar durumları



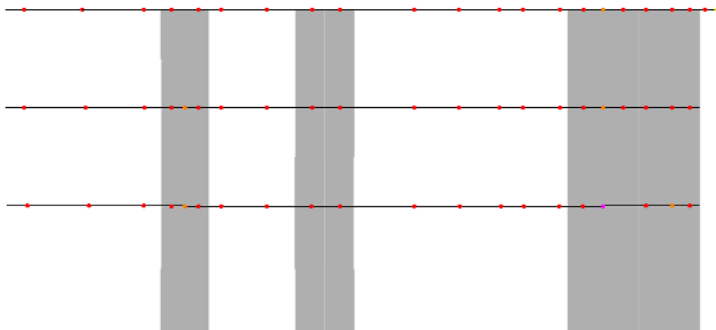
a) $t=0.69$ s



b) $t=0.97$ s



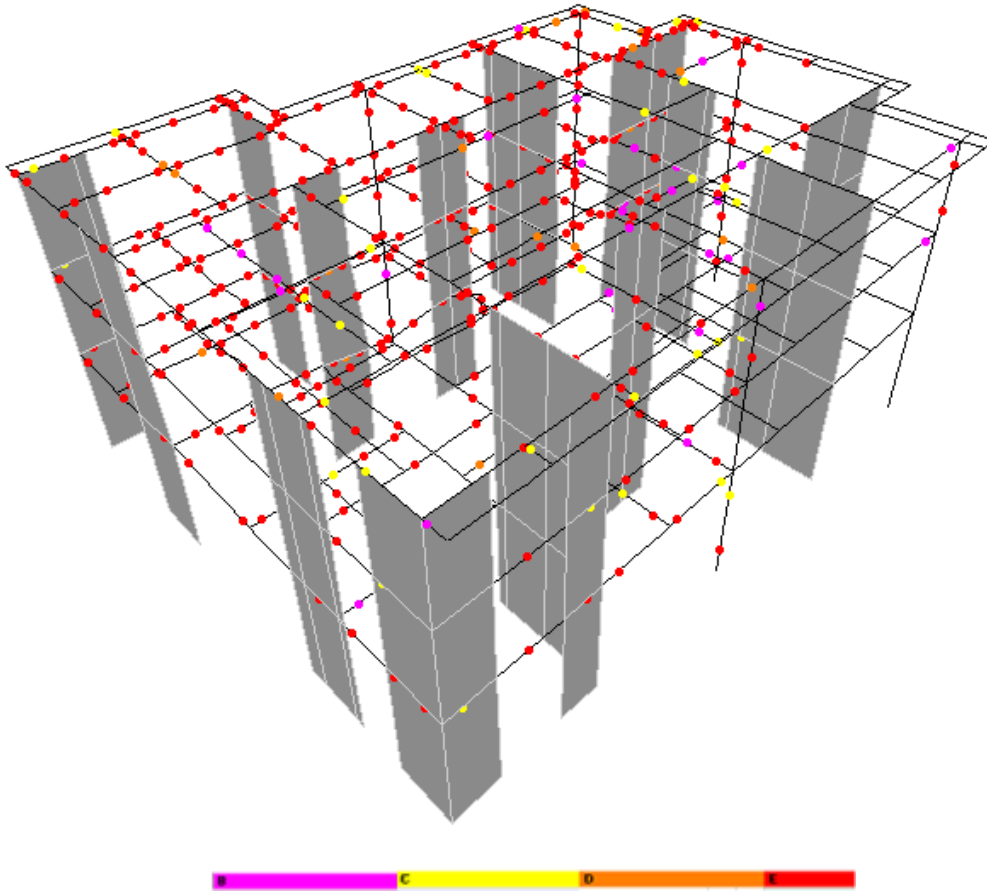
c) $t=1.05$ s



d) $t=1.08$ s



Şekil 6.5 Depremin x yönünde etki etmesi hali için 14 nolu aksında a) $t=0.69$ s ,
b) $t=0.97$ s , c) $t=1.05$ s ve d) $t=1.08$ s anlarında oluşan hasar durumları

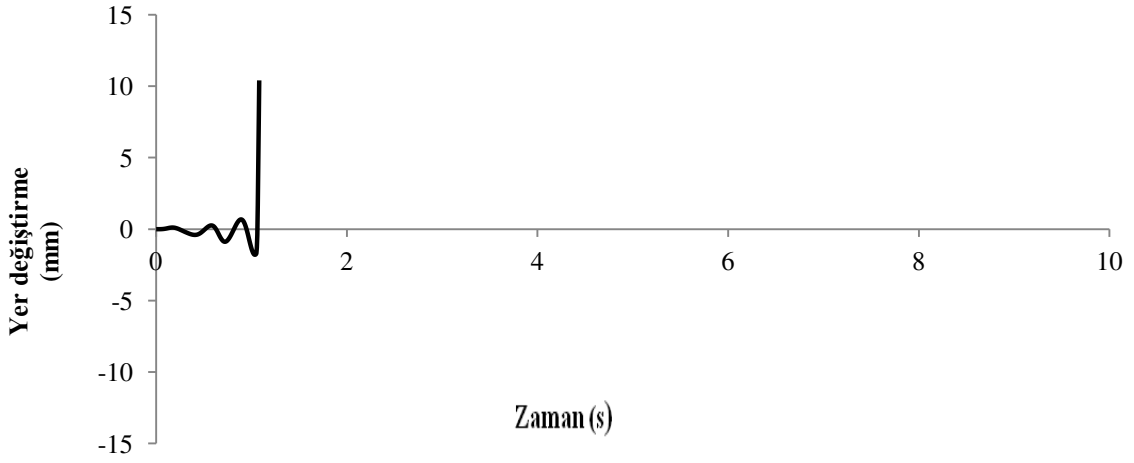


Şekil 6.6 Depremin x yönünde etki etmesi halinde tüm taşıyıcı sistemde $t=1.08$ s anı için oluşan hasar durumları

Öğretim elemanları binasına yapay depremin x yönünde etki etmesi halinde binanın her iki köşesine ait 337 ve 381 nolu düğüm noktalarının x , y ve z eksenlerindeki yer değiştirmelerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.7-6.8’ de görülmektedir. Bu şekillerden 337 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 38.9, 10.4 ve 27.9 mm ve 381 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla, 12.3, 1.78 ve 4.1 mm olarak elde edilmiştir. Buradan, söz konusu binanın sol en üst kısmının (337 nolu düğüm noktası) sağ en üst (381 nolu düğüm noktası) kısmına göre x yönünde % 216, y yönünde % 484 ve z yönünde ise % 580 daha fazla yer değiştirme yaptığı belirlenmiştir. Bu durumun, binada oluşan hasarların, planda (Şekil 6.9) binanın sol üst bölgesinde yoğunlaşmasından kaynaklandığı belirlenmiş olup binanın sol üst bölgesinde yer alan taşıyıcı sistemin rijitliğinin sağ alt kısmına göre daha düşük olduğu düşencini ortaya çıkarmıştır.



a)

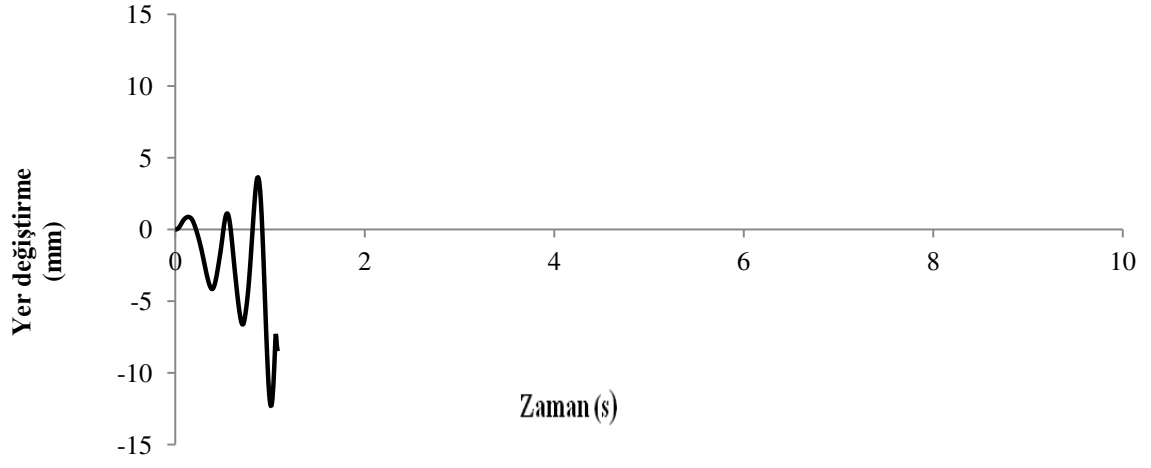


b)

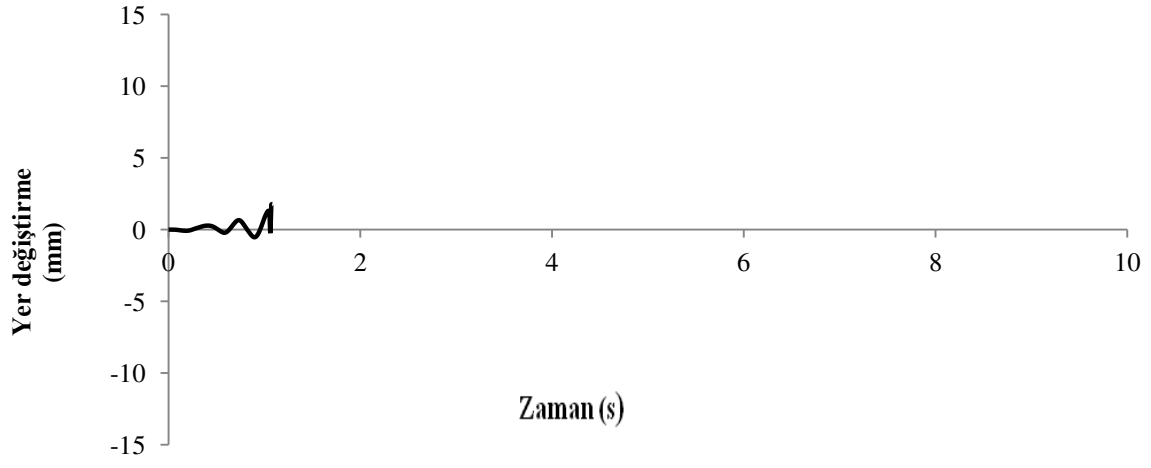


c)

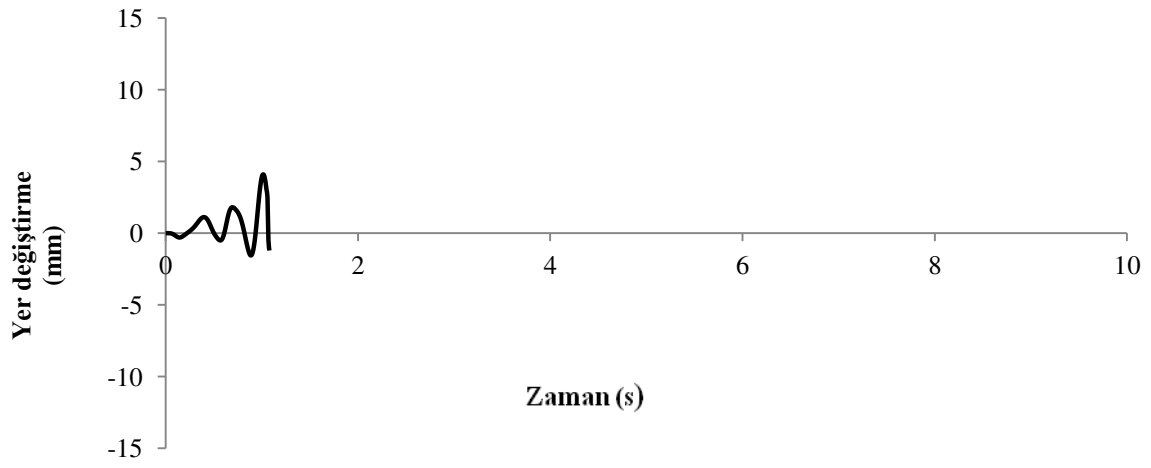
Şekil 6.7 Öğretim elemanları binasının 337 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)

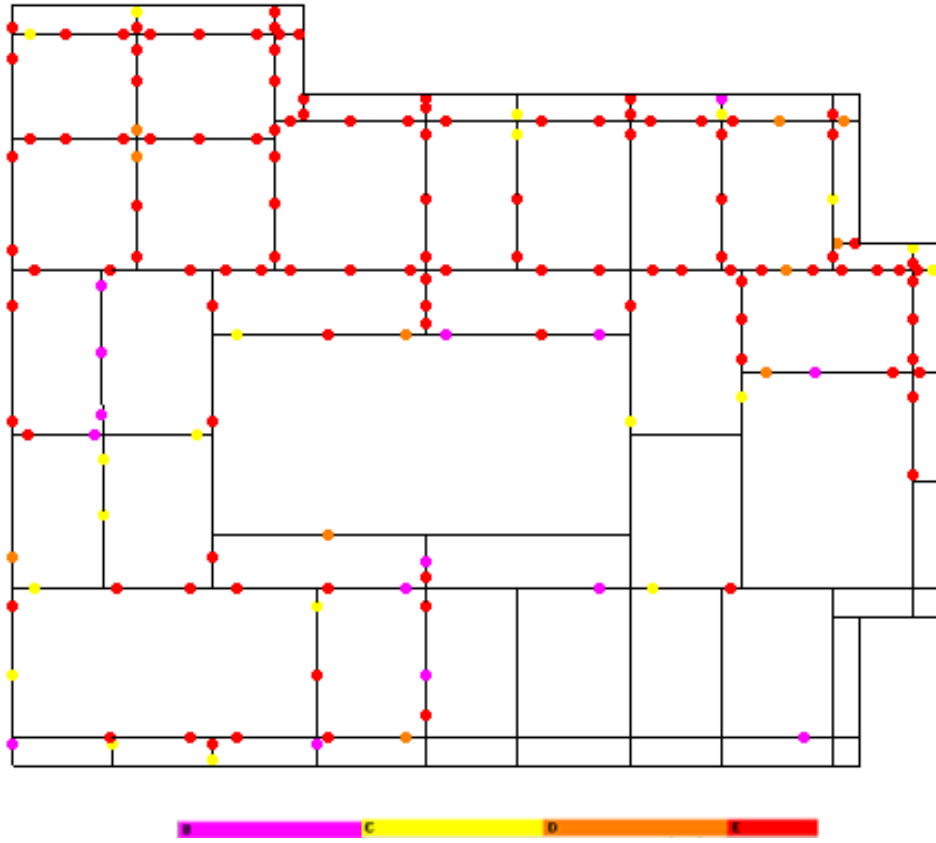


b)



c)

şekil 6.8 Öğretim elemanları binasının 381 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



Şekil 6.9 Depremin x yönünde etki etmesi halinde oluşan hasarların plandan görünüşü

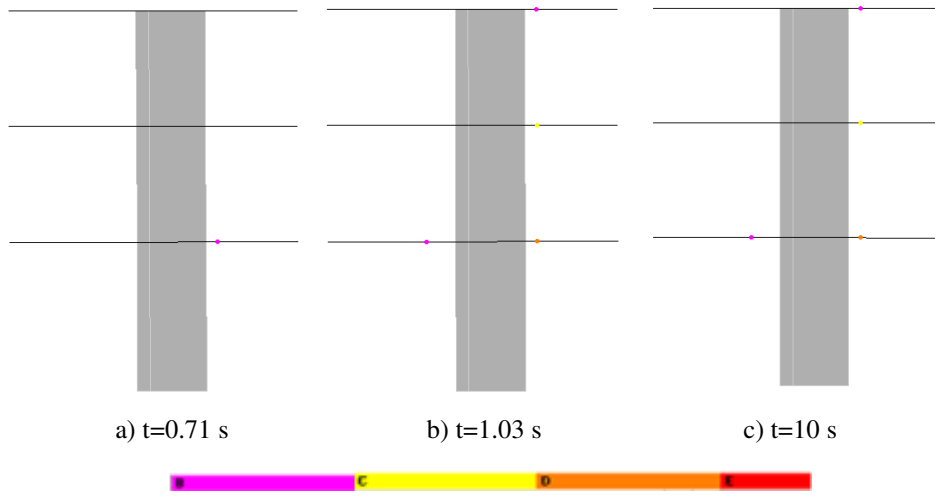
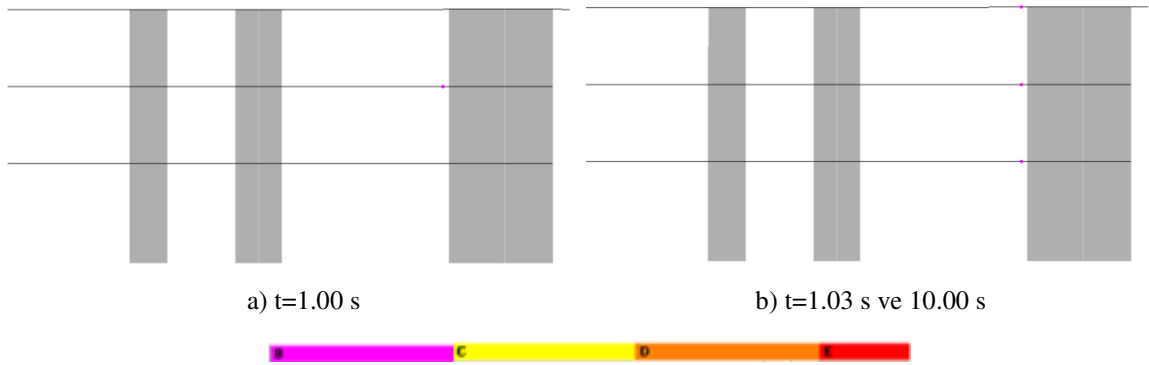
6.1.3 Depremin y Yönünde Etki Etmesi Hali için Öğretim Elemanları Binasının Performans Değerlendirmesi

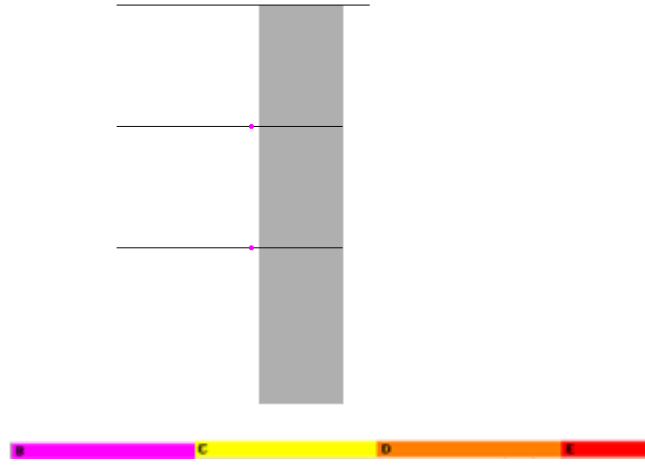
Depremin y eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarları Şekil 6.10- 6.14' de görülmektedir. Bu binanın 15 adet kolonunun hiçbirinde hasar meydana gelmemiştir. 144 adet kirişin de 9 adedinde hemen kullanım ve 1 adedinde can güvenliği performans seviyelerine ait hasarların meydana geldiği görülmüş olup Tablo 6.4' de verilmiştir.

Binanın 1. moduna ait katılım oranı Tablo 6.2' de görülmekte olup % 46.4 değerinde ve y yönündeki yer değiştirme büyüklüğü için periyodu 0.2997 s' dir. İlk hasar binanın S aksı üzerinde 11- 14 aksları arasında yer alan bodrum katı kirişinde 0.71 s anında meydana gelmiştir (Şekil 6.10a). Aynı zamanda binanın 14, H ve S aksları üzerinde yer alan kirişlerin perde elemanlarına bağlandıkları bölgelerde ve M aksı üzerinde bulunan kirişlerin kolonla birleştiği bölgelerde minimum hasarlar oluşmuştur. İlerleyen zamanlarında S aksı üzerinde yer alan hasarlarda büyüme gözlenirken diğer akslarda meydana gelen hasarlarda önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir (Şekil 6.10- 6.13).

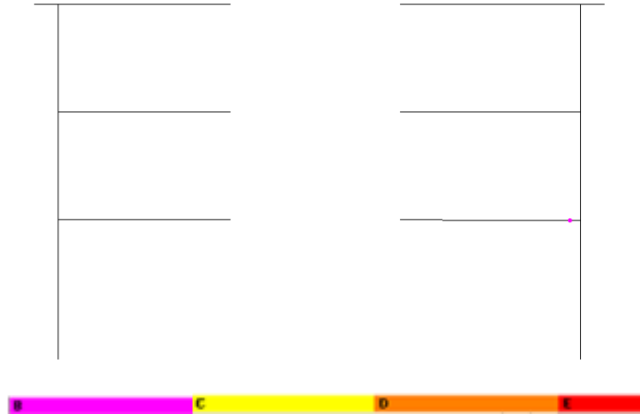
Tablo 6.4 Öğretim elemanları binası deprem y yönü performans değerleri

Kat No	Toplam kolon sayısı	Toplam kiriş sayısı	Kolon ve kirişlerin hasar sınırları (Deprem y)					
			Kolon hasarları			Kiriş hasarları		
			HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
Bodrum kat	5	48	-	-	-	4	1	-
Zemin kat	5	48	-	-	-	3	-	-
Birinci kat	5	48	-	-	-	2	-	-
Toplam	15	144	-	-	-	9	1	-

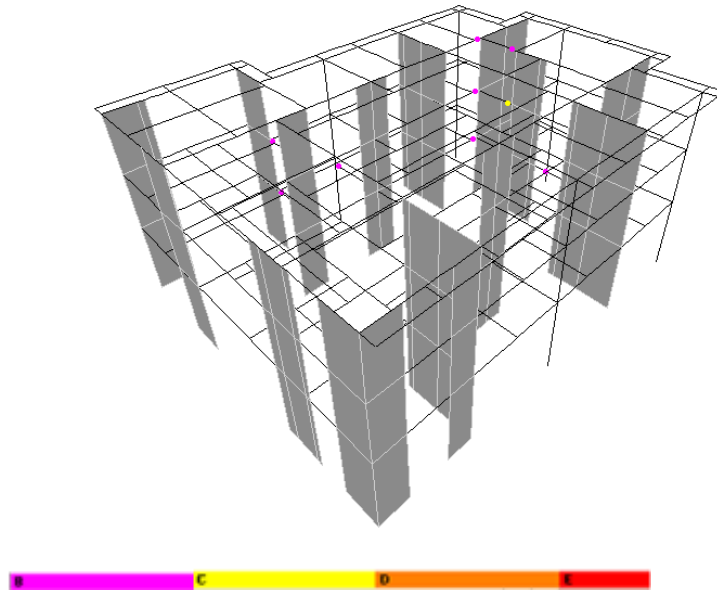
**Şekil 6.10** Deprem y ekseninde etki etmesi halinde S aksında a) 0.71 s anı için b) 1.03 s anı için c) 10 s anı için oluşan hasar durumları**Şekil 6.11** Deprem y ekseninde etki etmesi halinde 14 nolu aksda a) 1.00 s anı için b) 1.03 s ve 10.00 s anı için oluşan hasar durumları



Şekil 6.12 Depremin y eksenine yönünde etki etmesi halinde H aksında $t=1.00$ s ve $t=10.00$ s anları için oluşan hasar durumları

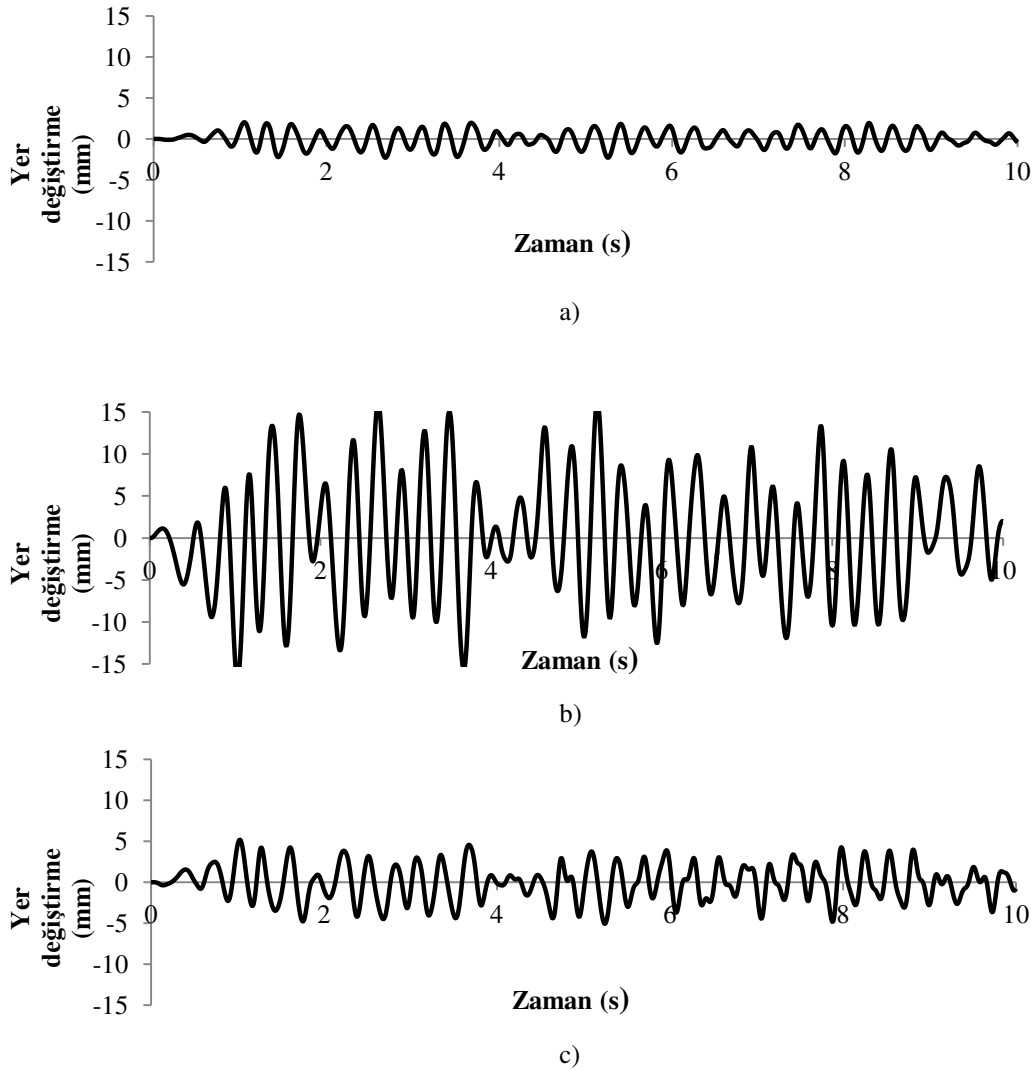


Şekil 6.13 Depremin y eksenine yönünde etki etmesi halinde M aksında $t=1.00$ s ve $t=10.00$ s anı için oluşan hasar durumları

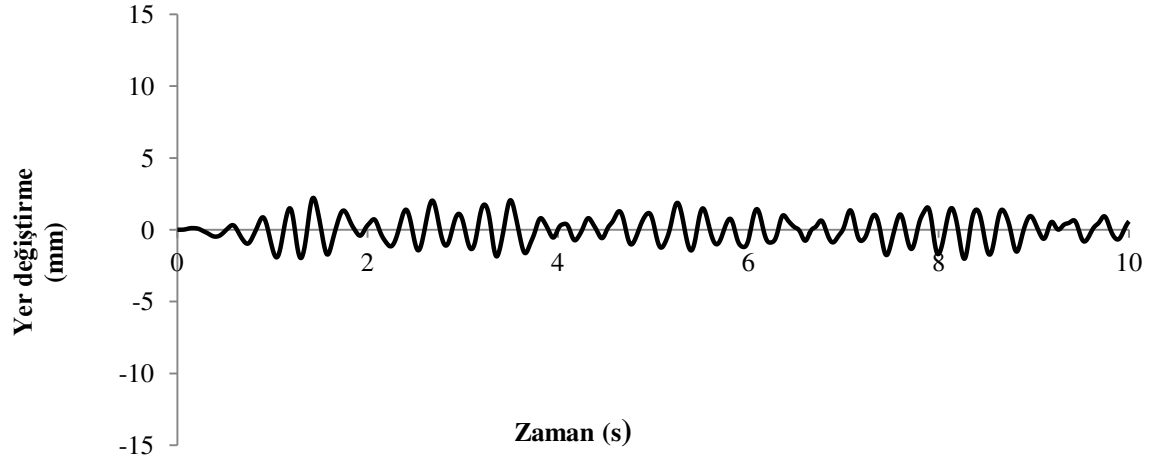


Şekil 6.14 Depremin y eksenine yönünde etki etmesi halinde tüm taşıyıcı sistemde $t=10.00$ s anı için oluşan hasar durumları

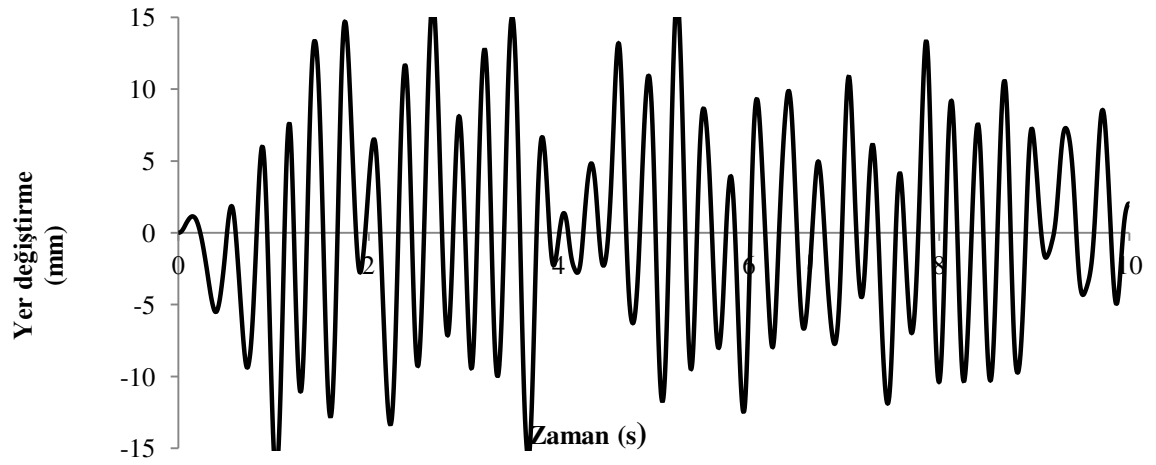
Öğretim elemanları binasına yapay depremin y yönünde etki etmesi halinde binanın her iki köşesine ait 337 ve 381 nolu düğüm noktalarının x , y ve z eksenlerindeki yer değiştirmelerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.15- 6.16’ da görülmektedir. Bu şekillerden 337 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 2.28, 12.64 ve 5.15 mm ve 381 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla, 2.21, 16.81 ve 6.5 mm olarak elde edilmiştir. Buradan, söz konusu binanın planda sol en üst kısmı (337 nolu düğüm noktası) ile sağ en alt (381 nolu düğüm noktası) kısmına göre x yönündeki yer değiştirmelerin % 3 daha küçük, y ve z yönlerindeki yer değiştirmelerin sırasıyla % 33, % 26 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, binada oluşan küçük hasarlardan ortaya çıkmaktadır.



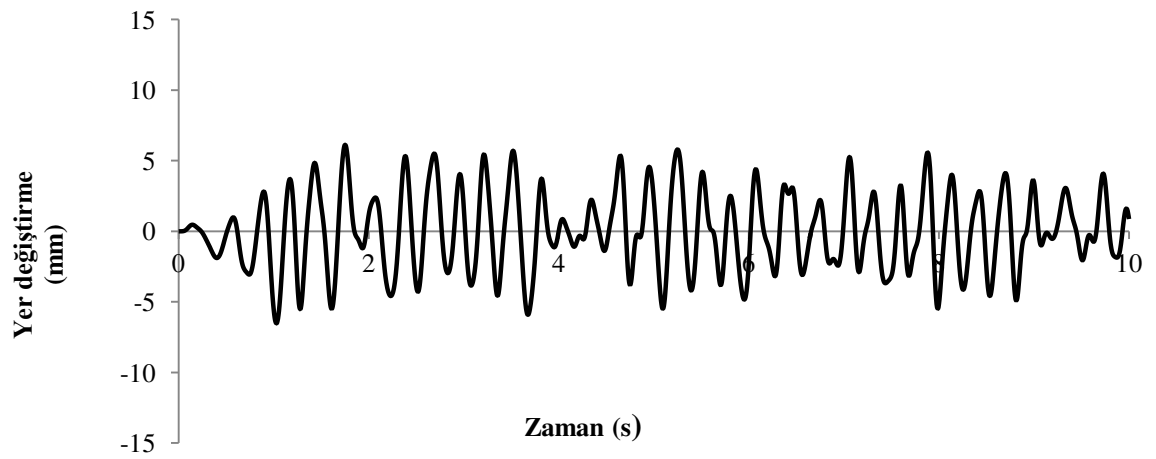
Şekil 6.15 Öğretim elemanları binasının 337 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)



b)



c)

Şekil 6.16 Öğretim elemanları binasının 381 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafikleri

6.2 Derslik Binası

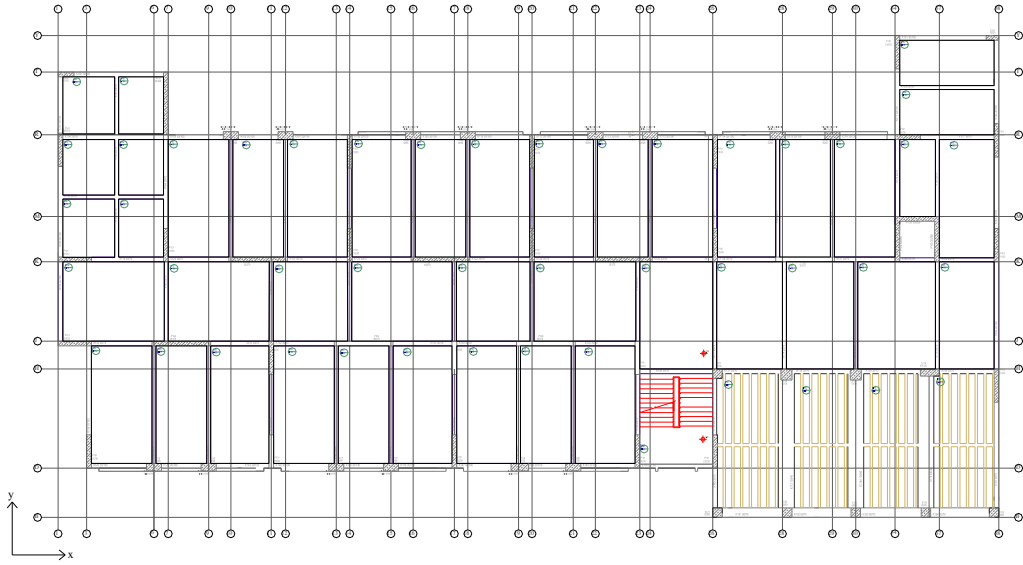
Derslik binası toplam bina alanı 1356.84 m² olup; bodrum, zemin ve bir normal kattan oluşmuştur. Binanın kat yüksekliği bodrum katta 4.5 m, diğer katlarda 3.5 metre olup, x doğrultusunda ki en büyük uzunluğu 59.35 metre, y doğrultusundaki en büyük uzunluğu ise 30.35 m' dir. Binaya ait zemin kat kalıp planı Şekil 6.17' de verilmiştir. Yapıdaki kat döşemeleri plak ve asmolen döşeme, taşıyıcı sistemi ise perde ve çerçevelerden oluşan karma bir sisteme sahiptir. Bu binanın taşıyıcı sisteminde toplam 25 adet kolon ve 34 adet perde eleman mevcut olup, kolon ve perde elemanlarının boyut ve sayıları Tablo 6.5' de verildiği gibidir.

Tablo 6.5 Derslik binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları

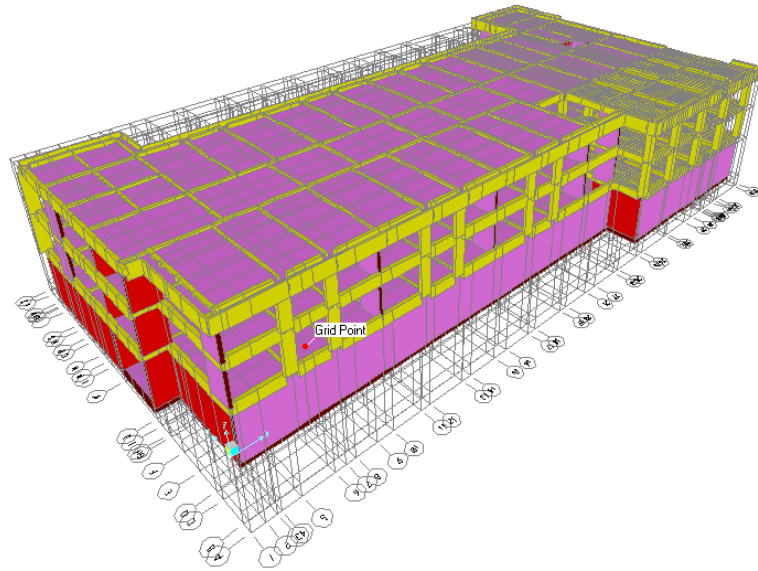
Kolon boyutları	Kolon sayısı	Perde boyutları	Perde sayısı
0.30x1.00	1	0.30x2.10	23
0.30x0.95	14	0.30x4.25	1
0.30x0.80	1	0.30x3.70	7
0.60x0.60	6	0.30x2.85	2
0.45x1.20	1	0.30x2.80	1
0.70x0.70	2		

Derslik bölümünün deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmış olup söz konusu bina, 3 boyutlu çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 2953 adet çerçeve ve 5171 adet kabuk sonlu eleman kullanılmıştır. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 6.18' de görüldüğü gibidir. Binanın kendi ağırlığı, hareketli yükleri ve yapay deprem yüklemesi altında lineer olmayan deprem analizleri yapılarak binanın elemanlarında oluşan hasar ve performans seviyeleri belirlenmiştir.

Derslik binasının deprem performansları belirlenirken yapay depremin x (enine) ve y (boyuna) asal doğrultularında etki ettiği kabul edilmiş başlangıç yüklemeleri olarak ölü ve hareketli yüklerin etkisi dikkate alınmıştır. Binanın x ve y yönlerine ait deprem performansının belirlenmesinde lineer olmayan analizin çözümlere yansıtılabilmesi amacıyla, toplanmış tip mafsal elemanlar kullanılmıştır.



Şekil 6.17 Derslik binası zemin kat kalıp planı

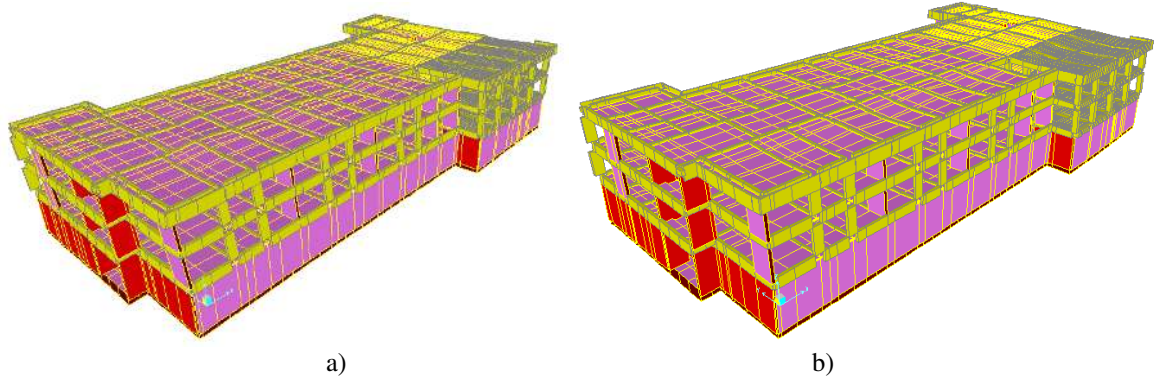


Şekil 6.18 Derslik binası sonlu eleman modeli

6.2.1 Derslik Binası Modal Analiz Sonuçları

Derslik binasının sönüm katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla binanın modal analizi yapılmış olup sonuçlar Tablo 6.6' da verilmiştir. Derslik binasının Tablo 6.6' da görüldüğü gibi 2. ve 4. modlarının x ve z yönlerindeki yer değiştirme katılım oranlarının yüksek olmasından dolayı α , β rayleigh sönüm katsayıları bu iki mod kullanılarak elde edilmiştir. Sönüm oranı % 5 olarak seçilerek lineer olmayan dinamik analiz çözümleri elde

edilmiştir. Söz konusu binanın 2. ve 4. modlarına ait yer değiştirme durumları ise Şekil 6.19’ da görülmektedir.



Şekil 6.19 Derslik binasının a) 2. mod ve b) 4. mod için yer değiştirme durumu

Tablo 6.6 Derslik binasının modal analiz sonuçları

Kütle İçin Modal Katılım Oranları								
Açıklama	Mod Numarası	Periyot	U_x	U_y	U_z	R_x	R_y	R_z
		Saniye	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz
Mod	1	0,3151	0,029	48,092	0,765	6,681	0,758	30,214
Mod	2	0,2382	61,953	0,016	0,458	0,092	9,507	2,975
Mod	3	0,2334	0,985	0,005	0,153	0,037	1,475	21,215
Mod	4	0,1973	2,782	5,197	85,533	46,728	73,863	7,232
Mod	5	0,1810	23,361	0,711	6,271	8,420	3,879	8,805
Mod	6	0,1713	0,996	31,856	6,045	37,123	9,165	17,417
Mod	7	0,1526	0,262	0,068	0,119	0,476	0,311	0,494
Mod	8	0,1449	0,295	0,603	0,181	0,018	0,483	0,124
Mod	9	0,1230	0,826	6,338	0,000	0,173	0,002	5,231
Mod	10	0,1206	3,746	5,042	0,061	0,008	0,053	1,092
Mod	11	0,1110	0,077	0,437	0,003	0,000	0,023	0,657
Mod	12	0,1081	2,349	1,377	0,021	0,008	0,031	4,245

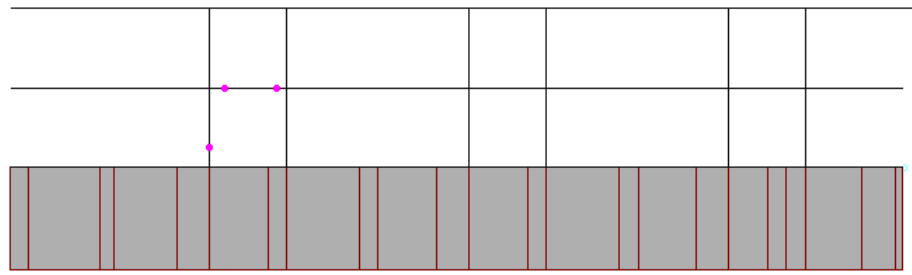
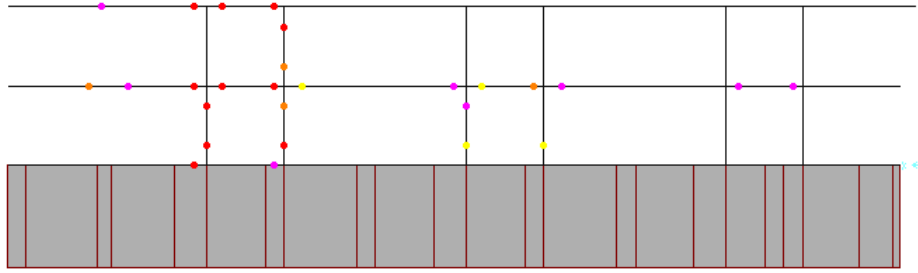
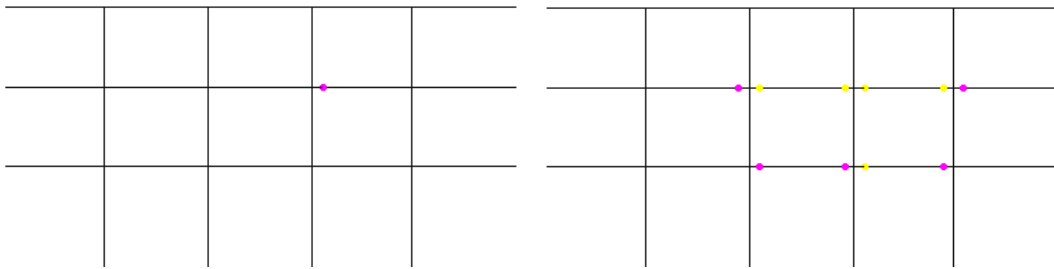
6.2.2 Depremin x Yönünde Etki Etmesi Hali için Derslik Binasının Performans Değerlendirmesi

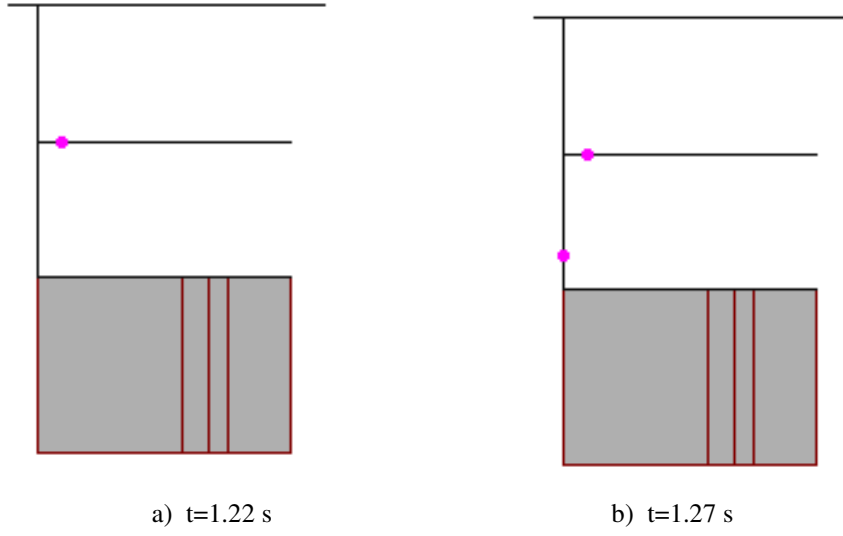
Depremin x eksen yönünde etki etmesi hali için, binada oluşan hasarlar, Şekil 6.20- 6.25’ de verilmiştir. Bu binanın 75 adet kolonunun 3 tanesinde hemen kullanım, 3 tanesinde de ise göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. 252 adet kirişin 22 adedinde hemen kullanım, 5 adedinde can güvenliği ve 5 adedinde de göçme öncesi performans seviyelerine ait hasarların meydana geldiği görülmüş olup Tablo 6.7’ de verilmiştir.

Binaya etkiyen deprem ivmesi spektrum değerlerinin periyotla değişim grafiği şekil 5.7' de görülmektedir. Bu değerlerinin en büyük olduğu periyotlar 0.2- 0.9 s aralığında yer almaktadır. Binanın 2. moduna ait katılım oranı Tablo 6.6' de görülmekte olup % 61,95 değerinde ve x yönündeki yer değiştirme büyüklüğü için periyodu 0.2382 s' dir. Bu sebepten bu modun periyotları dikkate alındığında yapıda en büyük ivme değerlerinin bu ana yakın zamanlarda oluşacağı belirlenmiştir. Depremin x eksenini yönünde etki etmesi halinde binada oluşan hasarlar çoğunlukla zemin ve 1. kata ait kolon ve kirişlerinde meydana gelmiştir. Bu durum bodrum katın çepeçevre perde elemanlarla teşkil edilmesinden kaynaklanmaktadır. İlk hasar, 0.96 s anında binanın D aksı üzerinde 21- 19 aksları arasında yer alan zemin kat kirişinde ve D aksı ile 21 aksının keşiştiği kolon alt bölgesinde meydana gelmiştir (şekil 6.20a). Bu hasarlar ilerleyen zaman adımlarında zemin katın bu aks üzerindeki kolon ve kirişlerinde oluşmuştur. Aynı zamanda zemin katta bu hasarların büyüklüğü artmış ve bu aksın 1. katına ait kolon ve kirişlerinde de hasarlar meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra bu aksın 21 ve 24 aksları arasındaki kirişlerinde, D ve 19 akslarının keşiştiği kolonun her iki ucunda da ilave hasarlar oluşmuştur (şekil 6.20b). 0.97 s anında H aksının 28- 26 aksları arasında kalan zemin kat kirişinde minimum hasarlar meydana gelmiştir (şekil 6.21a). İlerleyen zaman adımlarında bu katın komşu kirişlerinde ve aynı akslar arasında kalan bodrum kat kirişlerinde de benzer hasarlar oluşmuştur (şekil 6.21b). Binanın planda sağ üst bölgesinde yer alan Y aksının, aynı binanın alt kısmındaki H-D akslarında meydana gelen hasarların etkisi ile ve binanın titreşim özelliklerine bağlı olarak söz konusu bu aksta 1.22 s anında 34- 38 aksları arasında zemin kat kirişlerinde minimum hasarlar meydana gelmiştir (şekil 6.22a). Bu kirişin bağlandığı kolonun alt bölgesinde de minimum hasarlar ilerleyen zaman adımlarında oluşmuştur (şekil 6.22b). Aynı zamanda D aksında meydana gelen hasarın etkisiyle 21-D ve 19-D akslarının keşiştiği noktada yer alan zemin kat kolonlarının alt uç bölgelerinde sırasıyla 0.96 s ve 0.97 s anlarında minimum hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarlar zaman içerisinde kolonun alt ucundan bir üst kata doğru yayılarak büyümüştür. Tüm bunların yanı sıra, 21-D aksında bu kolona bağlanan konsol ve kenar açıklık kirişlerinde hasarlar meydana gelirken 19-D aksında yer alan kolona bağlanan 1. Kat konsol kirişinde minimum hasarların meydana geldiği görülmüştür. Plastik mafsalların sayısı ve oluşan hasarlardaki büyümeye bağlı olarak binanın taşıyıcı sisteminde 1.27 s anından sonra nümerik stabilite kaybı elde edilmiştir.

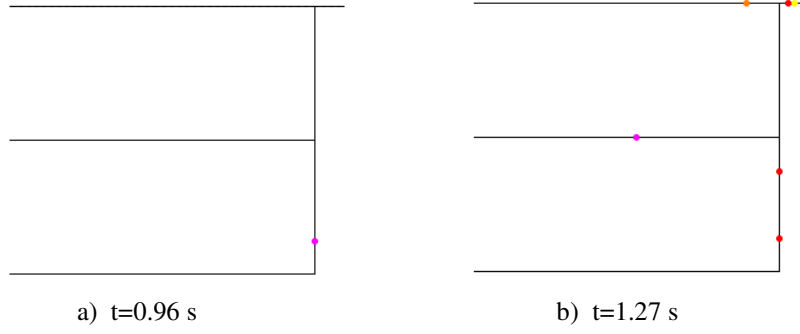
Tablo 6.7 Derslik binasının deprem x yönüne ait performans değerleri

Kat No	Toplam kolon sayısı	Toplam kiriş sayısı	Kolon ve kirişlerin hasar sınırları (Deprem x)					
			Kolon hasarları			Kiriş hasarları		
			HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
Bodum kat	25	84	-	-	-	3	-	1
Zemin kat	25	84	3	-	2	10	2	2
Birinci kat	25	84	-	-	1	9	3	2
Toplam	75	252	3	-	3	22	5	5

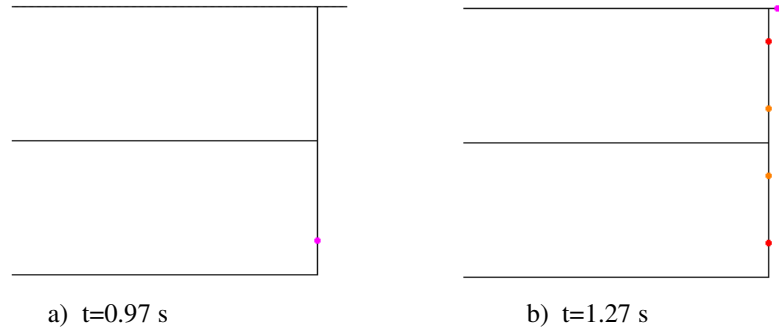
a) $t=0.96$ sb) $t=1.27$ s**Şekil 6.20** Deprem x eksen yönünde etki etmesi halinde D aksında a) $t=0.96$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumlarıa) $t=0.97$ sb) $t=1.27$ s**Şekil 6.21** Deprem x eksen yönünde etki etmesi halinde H aksında a) $t=0.97$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları



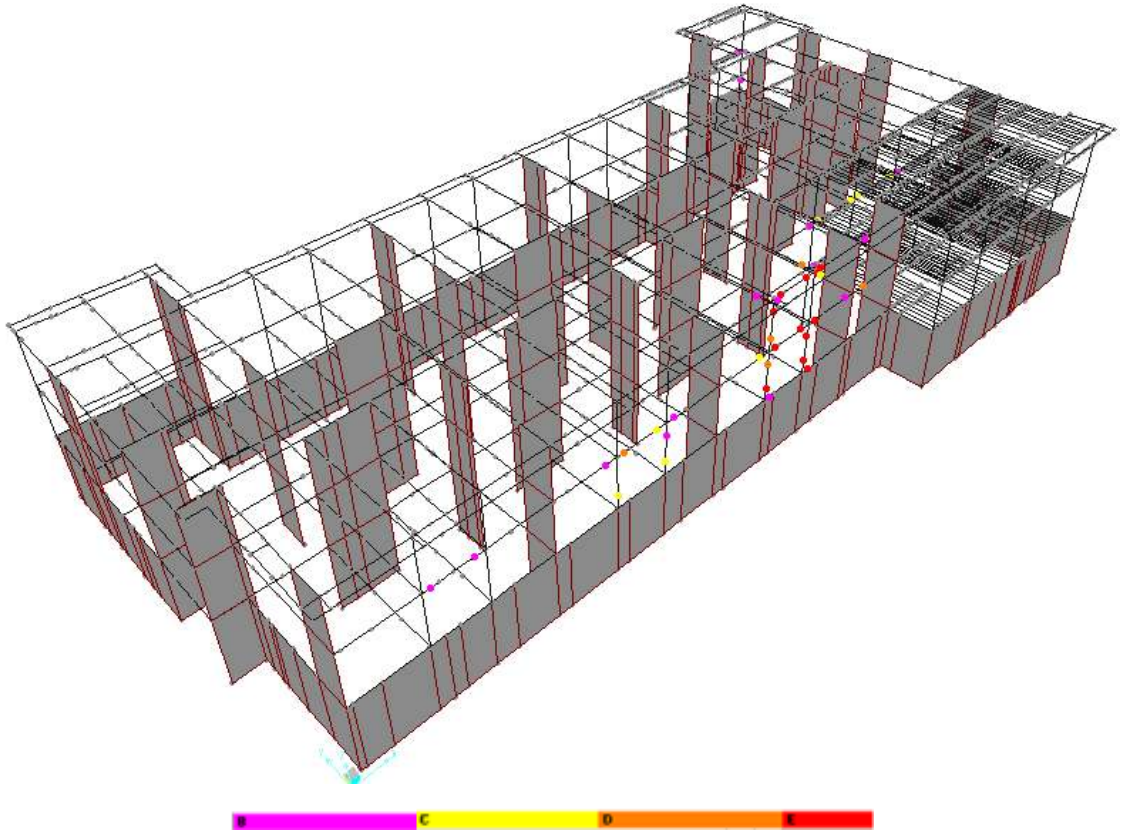
Şekil 6.22 Depremin x eksenî yönünde etki etmesi halinde y aksında a) $t=1.22$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları



Şekil 6.23 Depremin x eksenî yönünde etki etmesi halinde 21 aksında a) $t=0.96$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları

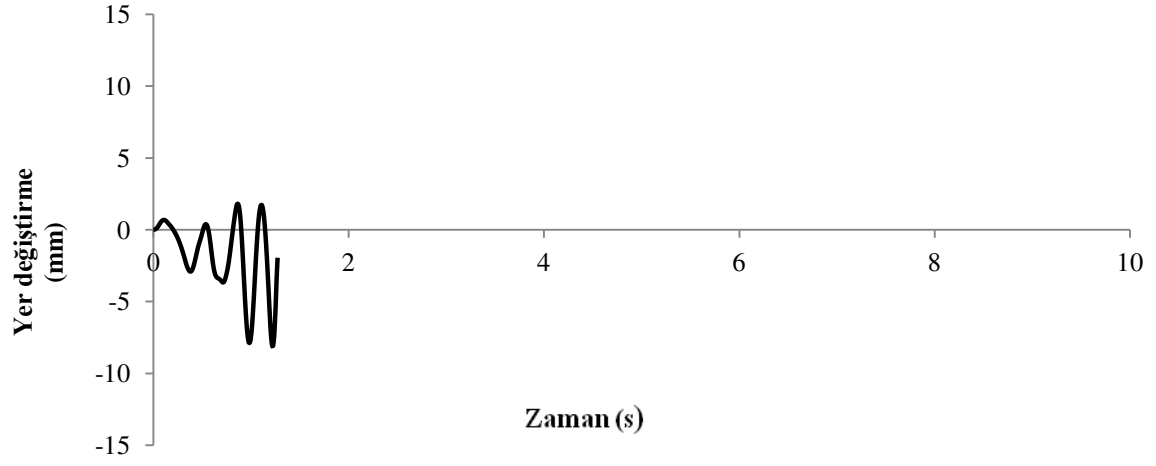


Şekil 6.24 Depremin x eksenî yönünde etki etmesi halinde 19 aksında a) $t=0.97$ s ve b) $t=1.27$ s anları için oluşan hasar durumları

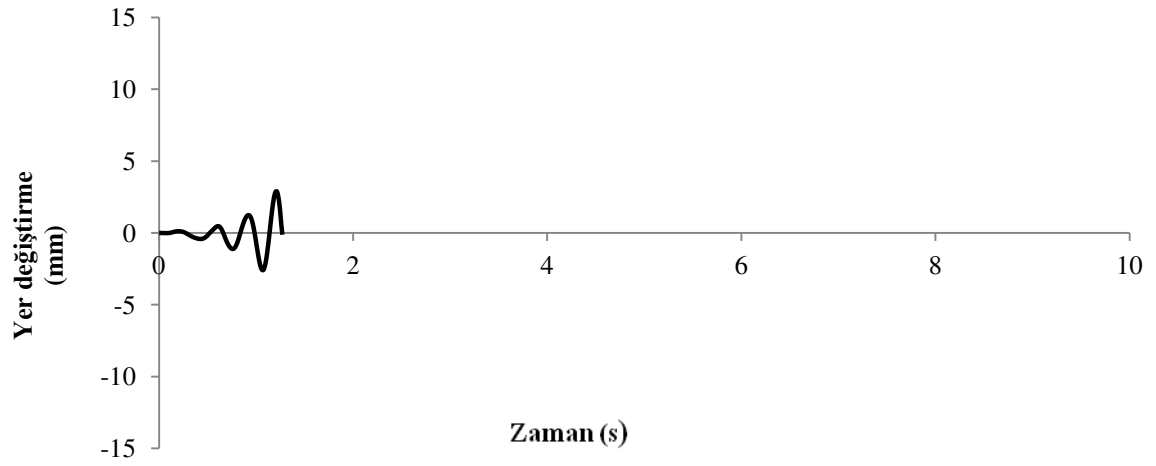


Şekil 6.25 Depremin x eksenini yönünde etki etmesi halinde tüm taşıyıcı sistemde $t=1.27$ s anı için oluşan hasar durumları

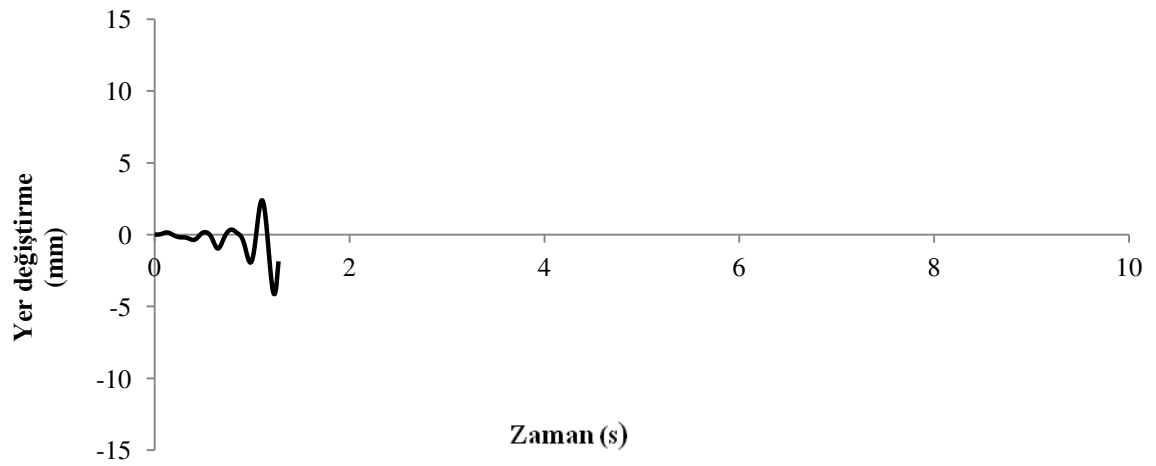
Derslik binasına yapay depremin x yönünde etki etmesi halinde binanın her üç köşesine ait 290, 610 ve 608 nolu düğüm noktalarının x , y ve z eksenlerindeki yer değiştirmelerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.26- 6.28’ de görülmektedir. Bu şekillerden 290 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 8.14, 2.91 ve 4.15 mm, 610 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 10.88, 1.47 ve 7.95 mm ve 608 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla 16.3, 1.76 ve 5.41 mm olarak elde edilmiştir. Buradan, söz konusu binanın 1.kat sol en üst köşe kısmının (290 nolu düğüm noktası) sağ en alt köşe (610 nolu düğüm noktası) kısmına göre x yönünde % 33, z yönünde % 92 daha az ve y yönünde ise % 98 daha fazla yer değiştirme yaptığı belirlenmiştir. Binanın 1.kat sol en üst köşe kısmının (290 nolu düğüm noktası) sağ en üst köşe (608 nolu düğüm noktası) kısmına göre ise x ve z yönlerinde sırasıyla % 100 ve % 30 daha az ve y yönünde ise % 65 daha fazla yer değiştirme yaptığı görülmüştür.



a)

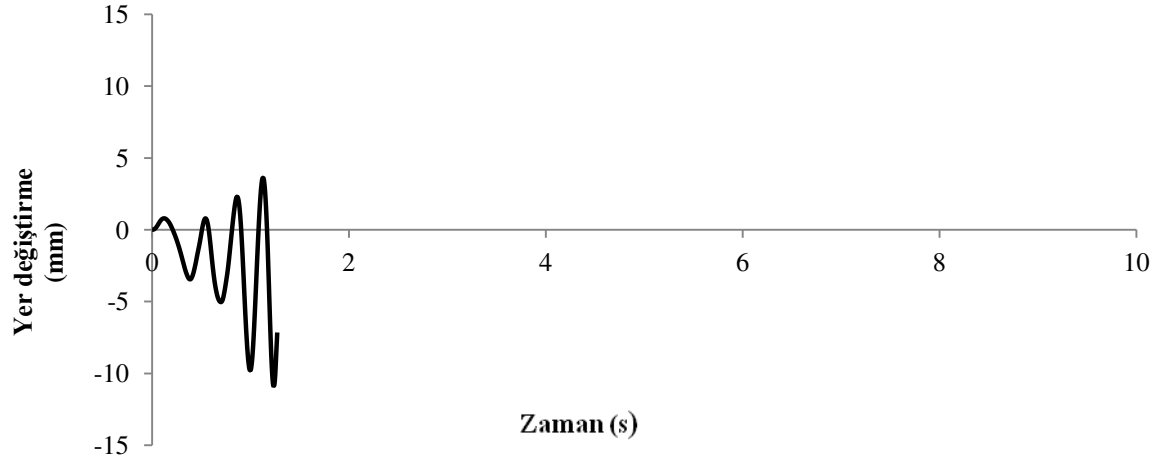


b)

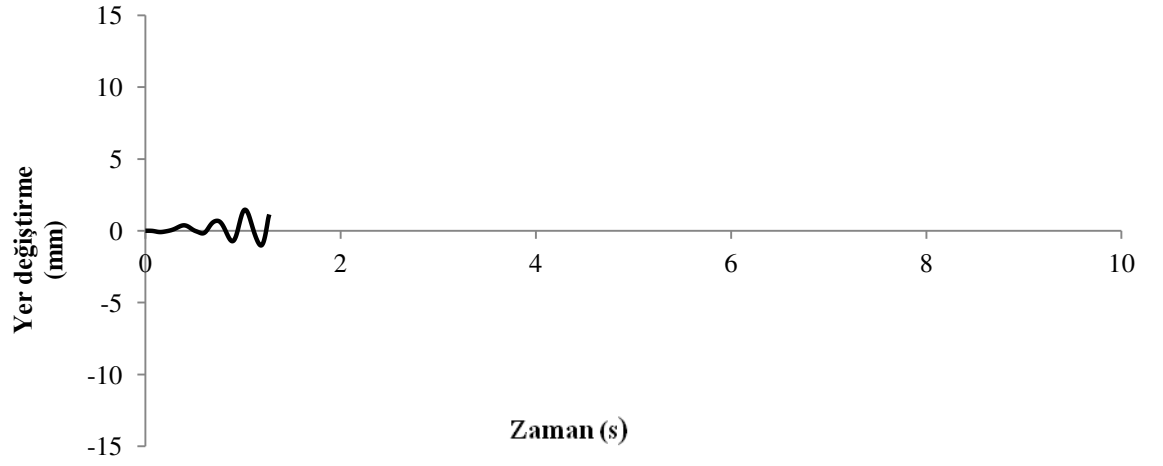


c)

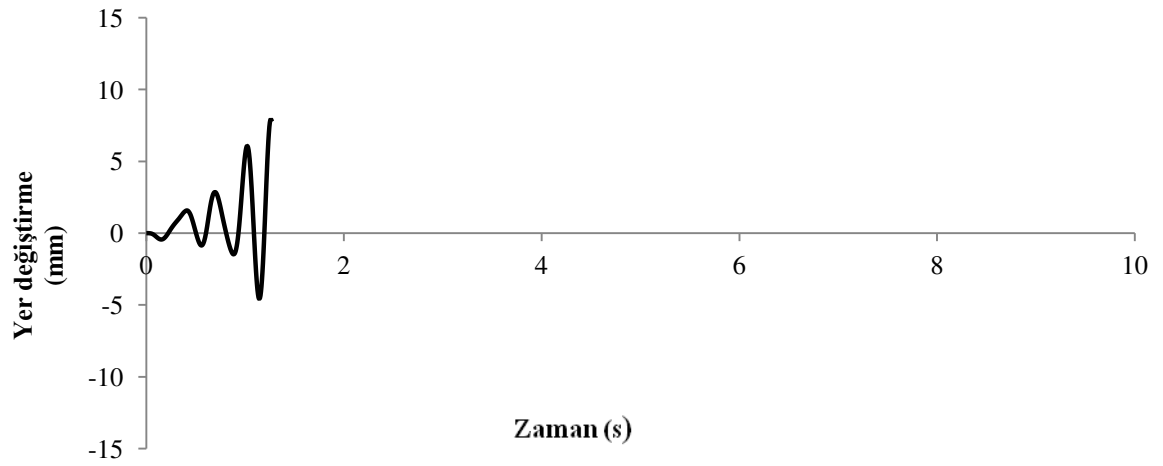
şekil 6.26 Derslik binasının 290 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)

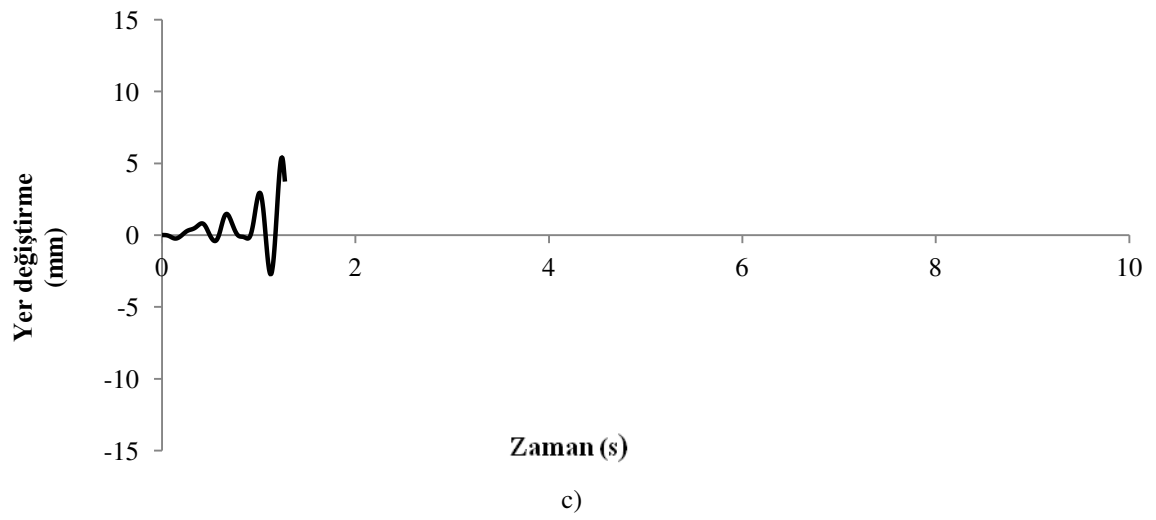
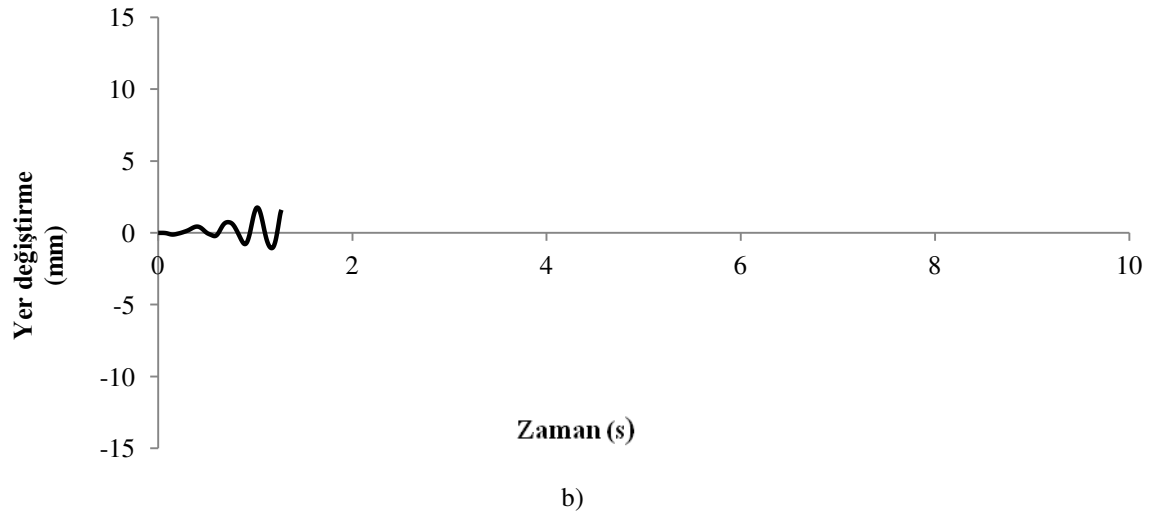
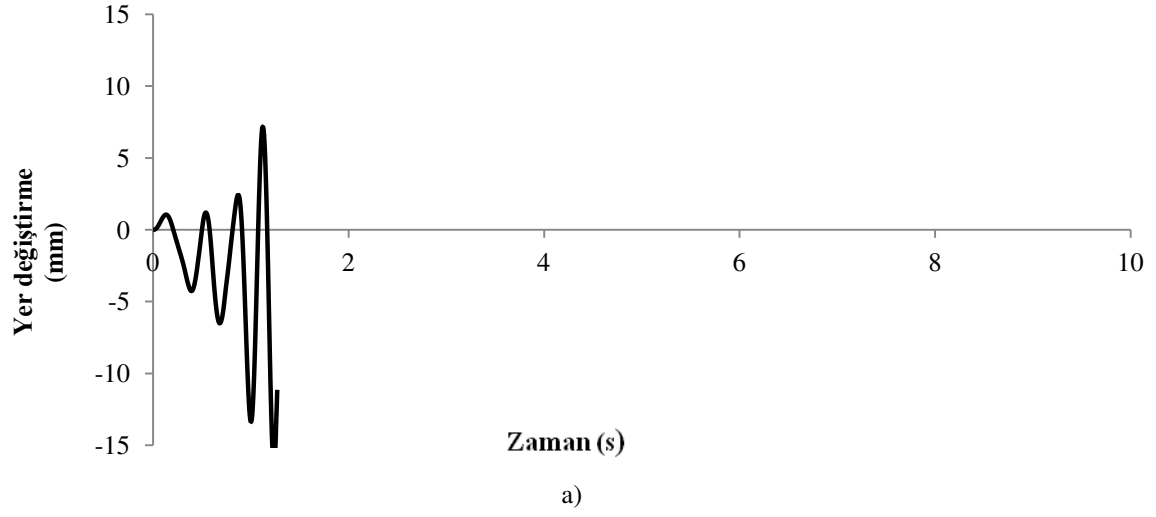


b)



c)

şekil 6.27 Derslik binasının 610 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda
a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



şekil 6.28 Derslik binasının 608 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda
a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği

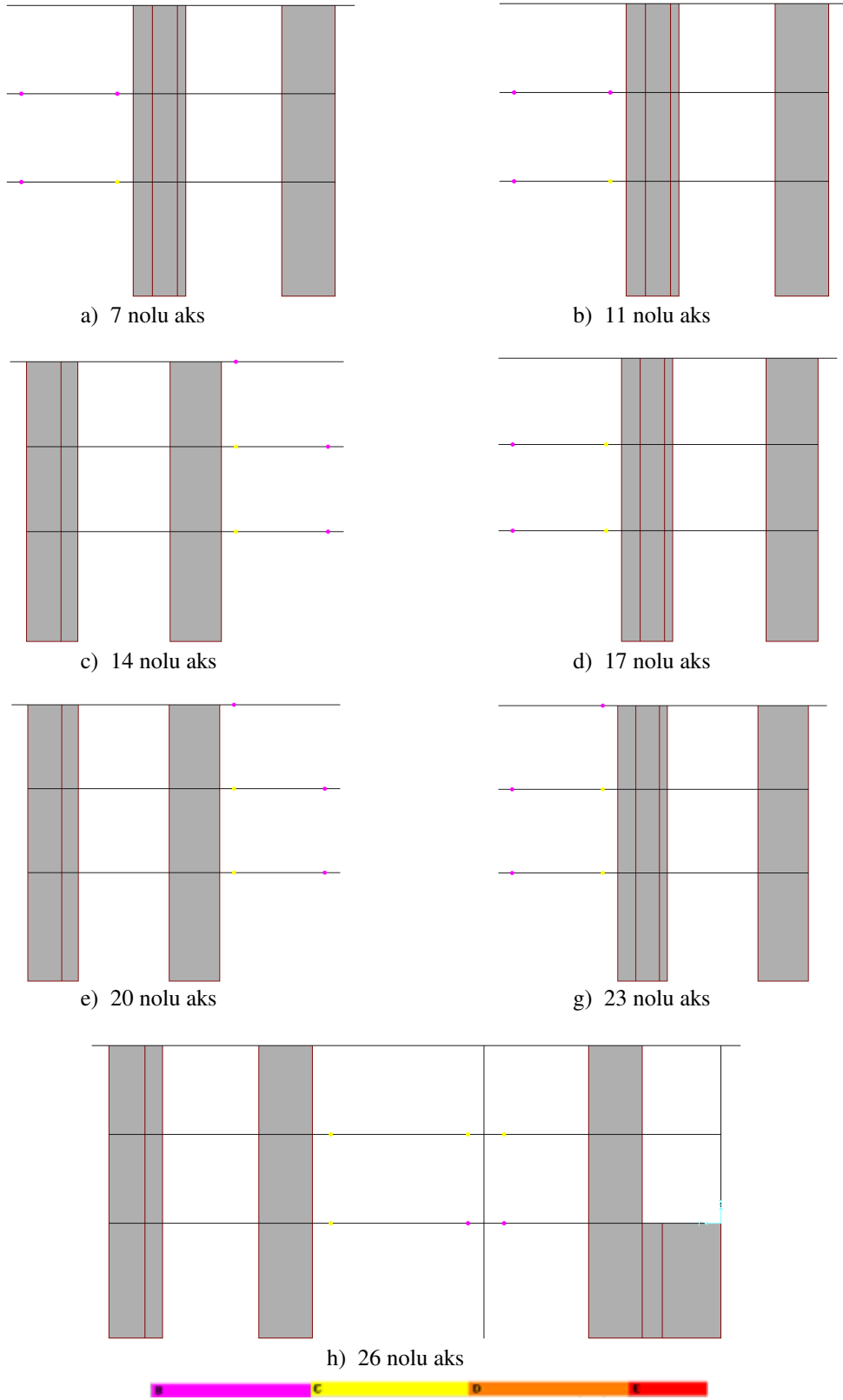
6.2.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için Derslik Binasının Performans Değerlendirmesi

Deprem y eksenine yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarları Şekil 6.29- 6.30’ da verilmiştir. Bu binanın 75 adet kolonunun hiçbirinde hasar görülmemiştir. 252 adet kirişinin 30 adedinde hemen kullanım performans seviyelerine ait hasarların meydana geldiği görülmüş ve sonuçlar Tablo 6.8’ de verilmiştir.

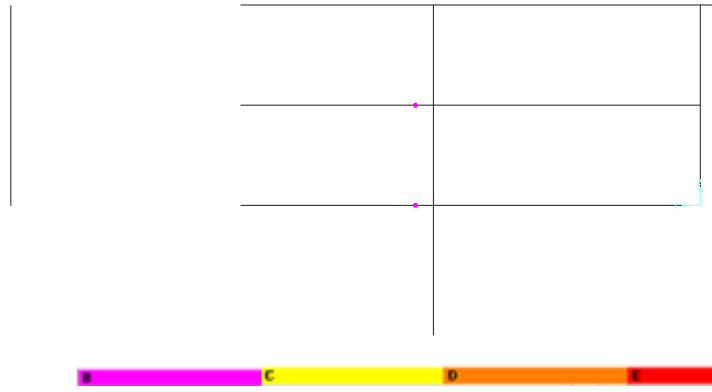
Binaya etkiyen deprem ivmesi spektrum değerlerinin periyotla değişim grafiği Şekil 5.7’ de görülmektedir. Bu değerlerinin en büyük olduğu periyotlar 0.2- 0.9 s aralığında yer almaktadır. Binanın 1. moduna ait katılım oranı Tablo 6.6’ da görülmekte olup % 48.09 değerinde ve y yönündeki yer değiştirme büyüklüğü için periyodu 0.3151 s’ dir. Bu sebepten bu modun periyotları dikkate alındığında yapıda en büyük ivme değerlerinin bu iki mod için oluşacağı belirlenmiştir. Deprem y eksenine yönünde etki etmesi halinde, ilk hasarlar K-J aksları arasında kalan bodrum ve zemin katta 7 ve 20- 23 aksları arasında bodrum, zemin ve 1. kat koridor kirişlerinin perde ile birleştiği uç bölgelerinde minimum hasarlar oluşmuştur. Aynı zamanda, 26 aksının K-E aksları arasında kalan bodrum ve zemin kat koridor kirişlerinin perde ve kolonla birleştiği uç bölgelerinde de minimum hasarlar meydana gelmiştir. İlerleyen zaman anlarında bu minimum hasarların şiddeti büyüyerek komşu kirişlerde ilave hasarların oluşmasına neden olmuştur. Bu aksların yanı sıra, binada oluşan hasarlardan ve titreşim etkisinden dolayı 11-17-28 akslarının K-J aksları arasında kalan bodrum ve zemin kat kirişleri ile 14 aksının K-J aksları arasında kalan bodrum, zemin ve 1.kat kirişlerinde hasarlar meydana gelmiştir. Hasarlar genelde K-J ve K-E aksları aralığında bodrum ve zemin kat kirişlerinde oluşmuştur.

Tablo 6.8 Derslik binasının deprem y yönüne ait performans değerleri

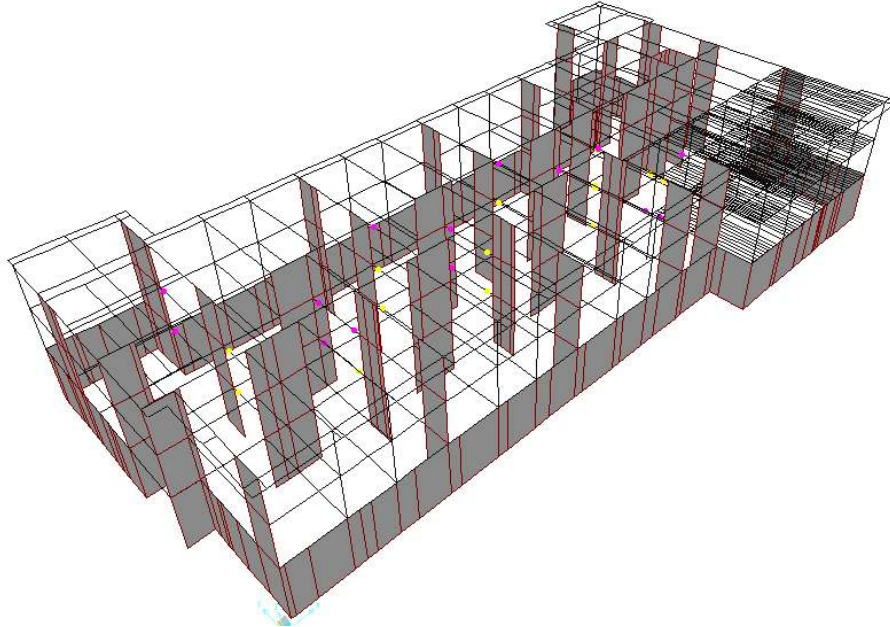
Kat No	Toplam kolon sayısı	Toplam kiriş sayısı	Kolon ve kirişlerin hasar sınırları (Deprem y)					
			Kolon hasarları			Kiriş hasarları		
			HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
Bodrum kat	25	84	-	-	-	10	-	-
Zemin kat	25	84	-	-	-	10	-	-
Birinci kat	25	84	-	-	-	10	-	-
Toplam	75	252	-	-	-	30	-	-



Şekil 6.29 Depremin y eksenini yönünde etki etmesi halinde $t=10$ s için a) 7, b) 11, c) 14, d) 17, e) 20, g) 23 ve h) 26 nolu akslarda oluşan hasar durumları



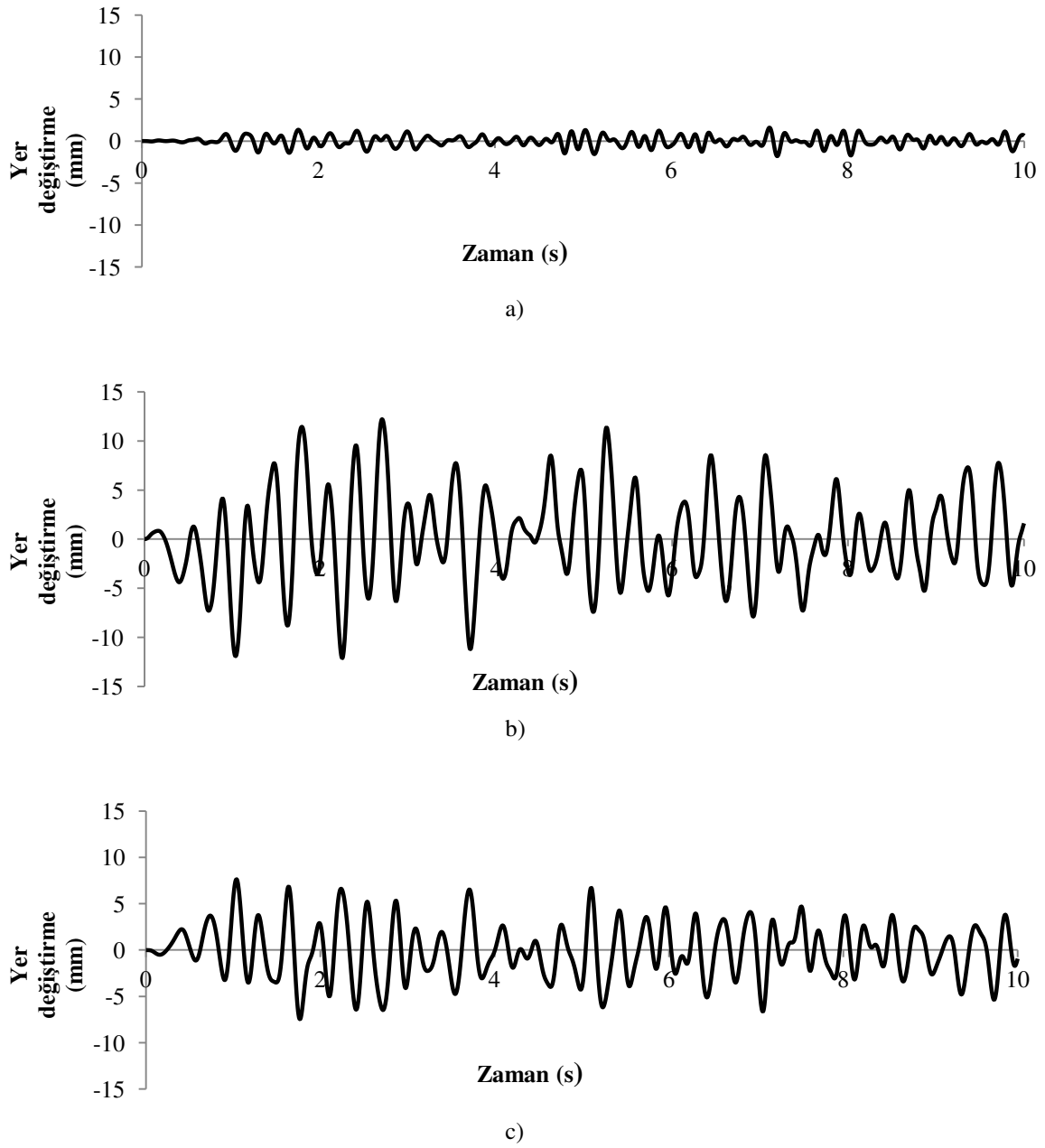
Şekil 6.30 Depremi y eksenini yönünde etki etmesi halinde 28 nolu aksta oluşan hasar durumları



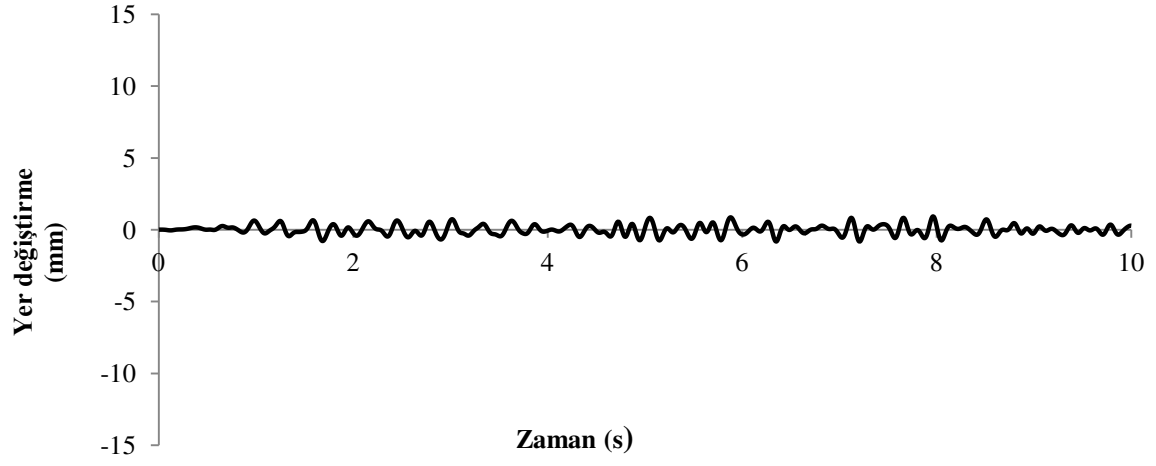
Şekil 6.31 Depremi y eksenini yönünde etki etmesi halinde 10.00 s anı için oluşan hasar durumları

Derslik binasına yapay depremin y yönünde etki etmesi halinde binanın her üç köşesine ait 290, 610 ve 608 nolu düğüm noktalarının x , y ve z eksenlerindeki yer değiştirmelerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.32- 6.34' de görülmektedir. Bu şekillerden 290 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 1.79, 1.22 ve 7.65 mm, 610 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 0.92, 11.3 ve 8.69 mm ve 608 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla 1.49, 11 ve 8.3 mm olarak elde

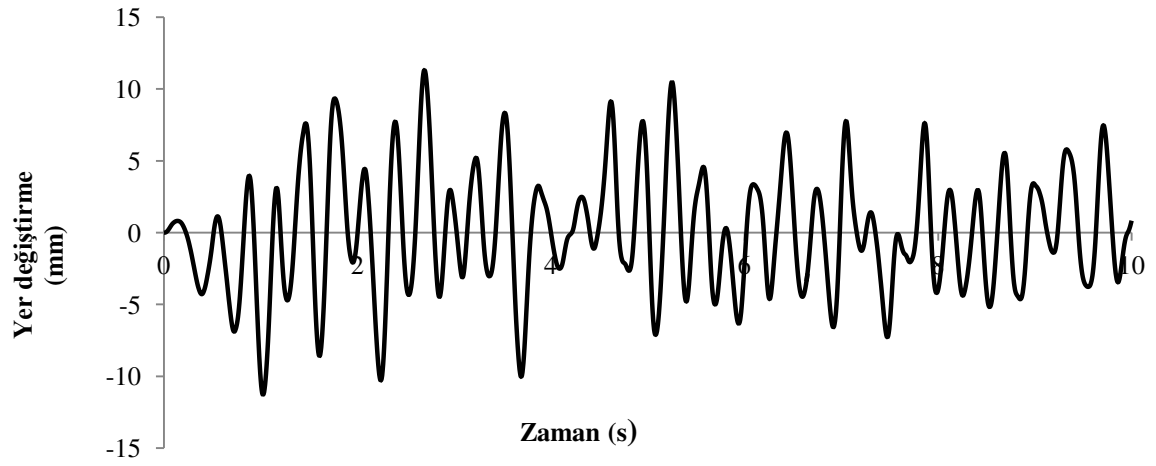
edilmiştir. Buradan, söz konusu binanın 1. kat sol en üst köşe kısmı (290 nolu düğüm noktası) sağ en alt köşe (610 nolu düğüm noktası) kısmına göre x yönünde % 94 daha fazla y ve z yönünde ise sırasıyla % 826, % 14 daha küçük yer değiştirme yaptığı belirlenmiştir. Binanın 1. kat sol en üst köşe kısmının (290 nolu düğüm noktası) sağ en üst köşe (608 nolu düğüm noktası) kısmına göre ise x yönünde % 20 daha fazla y ve z yönünde ise sırasıyla % 802, % 8 daha küçük yer değiştirme yaptığı görülmüştür.



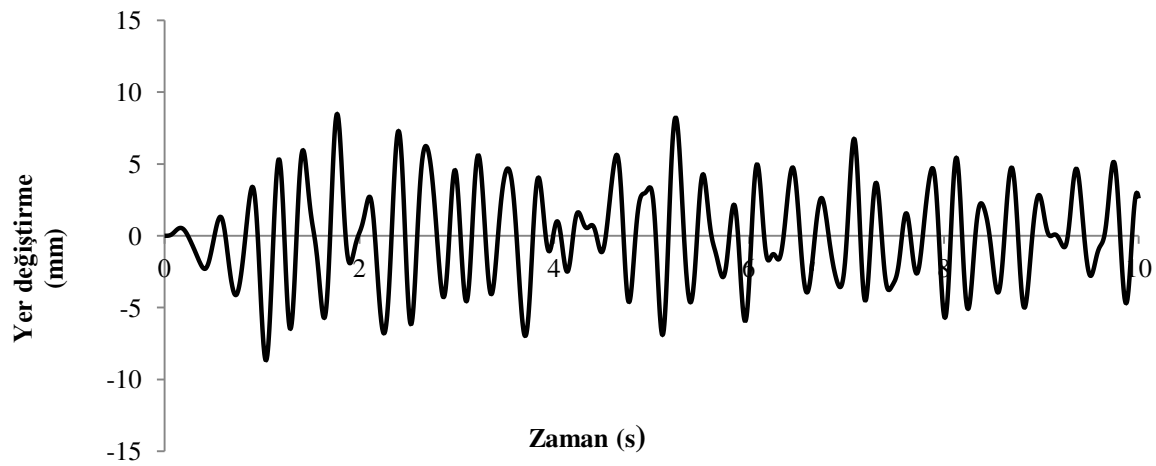
Şekil 6.32 Derslik binasının 290 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)



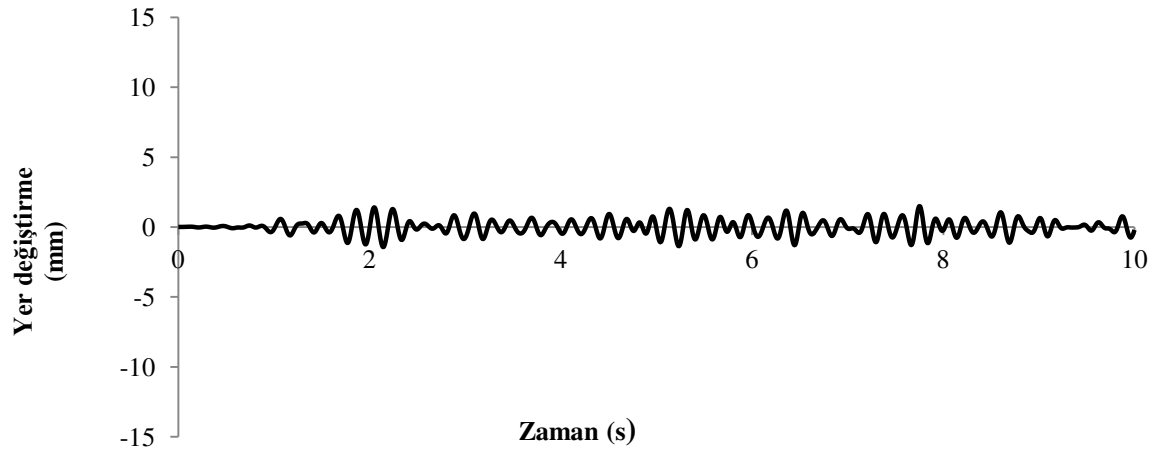
b)



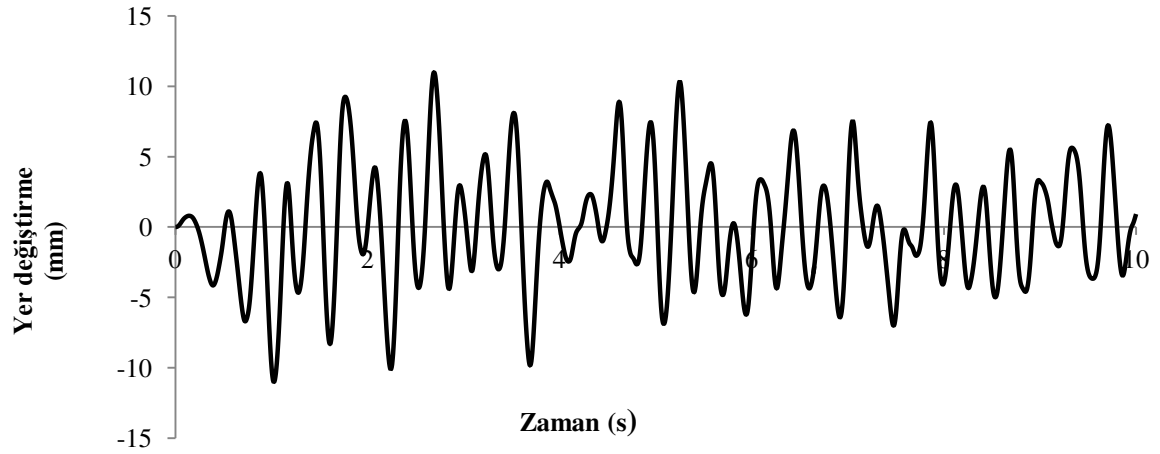
c)

şekil 6.33 Derslik binasının 610 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda

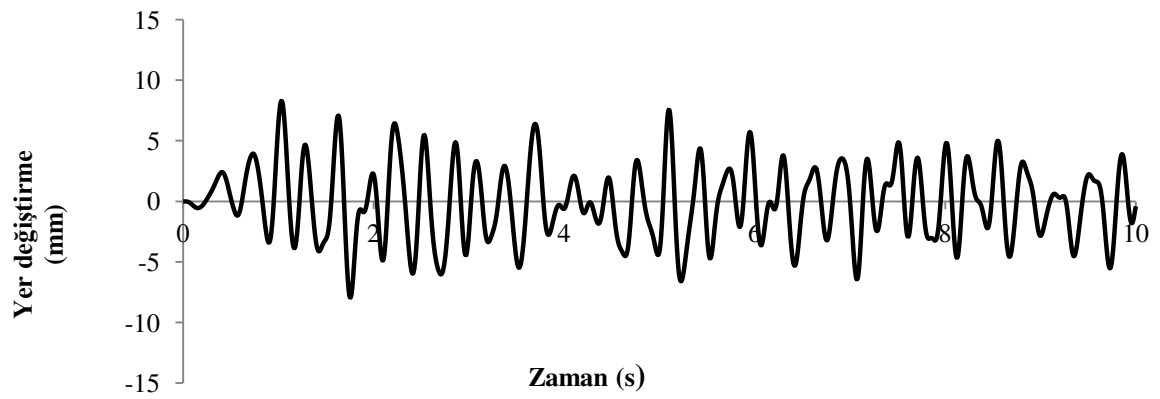
a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)



b)



c)

şekil 6.34 Derslik binasının 608 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda
a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği

6.3 Amfi Binası

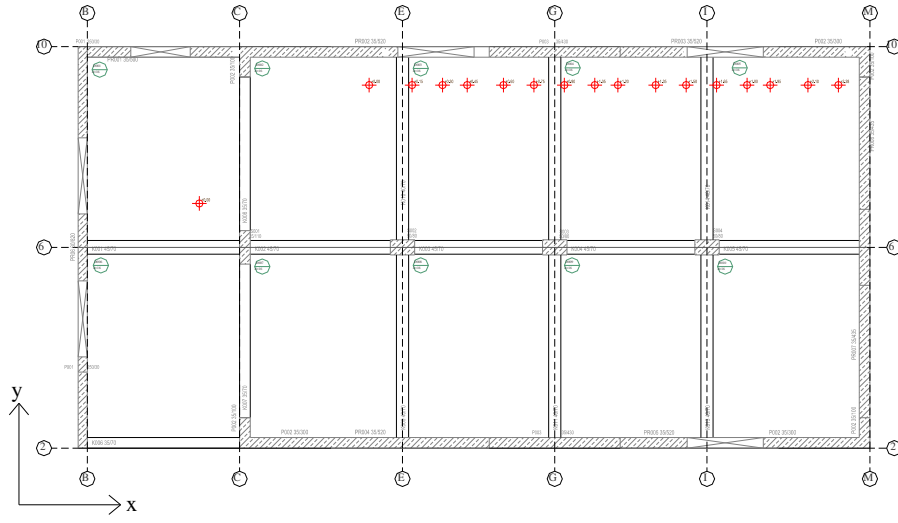
Amfi binası toplam 343.85 m² kullanım alanına sahip olup; bodrum, zemin ve bir normal kattan oluşmuştur. Binanın kat yüksekliği bodrum katta 4.5 m, diğer katlarda 3.5 metre olup, x doğrultusundaki en büyük uzunluğu 25.70 metre, y doğrultusundaki en büyük uzunluğu ise 13.20 m' dir. Binaya ait bodrum kat, zemin kat ve 1.kat kalıp planları Şekil 6.35-6.37'de verilmiştir. Binanın, bütün kat döşemeleri dört tarafı kirişlere oturan döşemelerden ve nervürlü döşemelerden meydana gelmekte olup taşıyıcı sistemi ise perdeli çerçevelidir. Bu binanın taşıyıcı sisteminde toplam 4 adet kolon ve 13 adet perde eleman mevcut olup, kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları Tablo 6.9' da verildiği gibidir.

Tablo 6.9 Amfi binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları

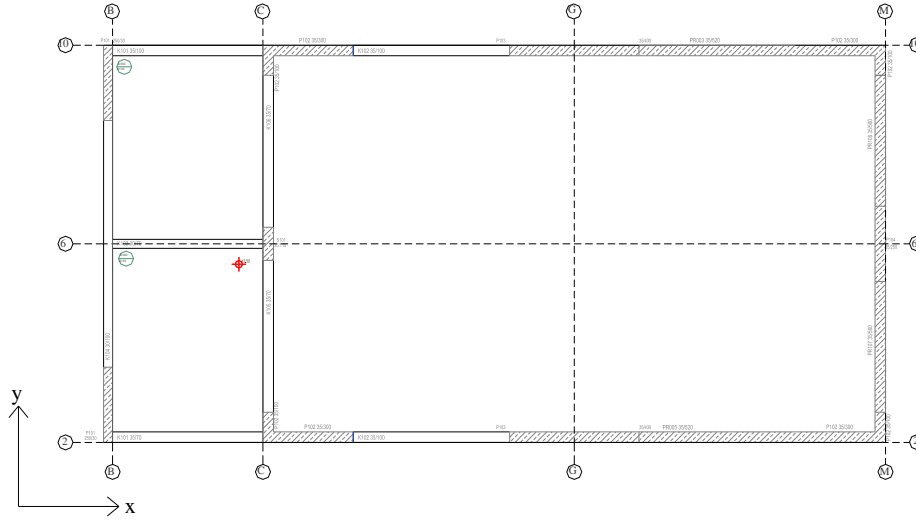
Kolon boyutları	Kolon sayısı	Perde boyutları	Perde sayısı
0.50x0.80	3	0.30x2.50	2
0.35x1.10	1	0.35x3.00	4
		0.35x1.00	4
		0.35x4.30	2
		0.35x2.50	1

Amfi binasının deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla sonlu elemanlar yönteminden faydalanılmış olup bina üç boyutlu çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 617 adet çerçeve ve 1190 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 6.38' de görüldüğü gibidir. Binanın kendi ağırlığı, hareketli yükleri ve yapay deprem yüklemesi altında lineer olmayan dinamik analizleri elde edilerek hasar ve performans seviyeleri belirlenmiştir.

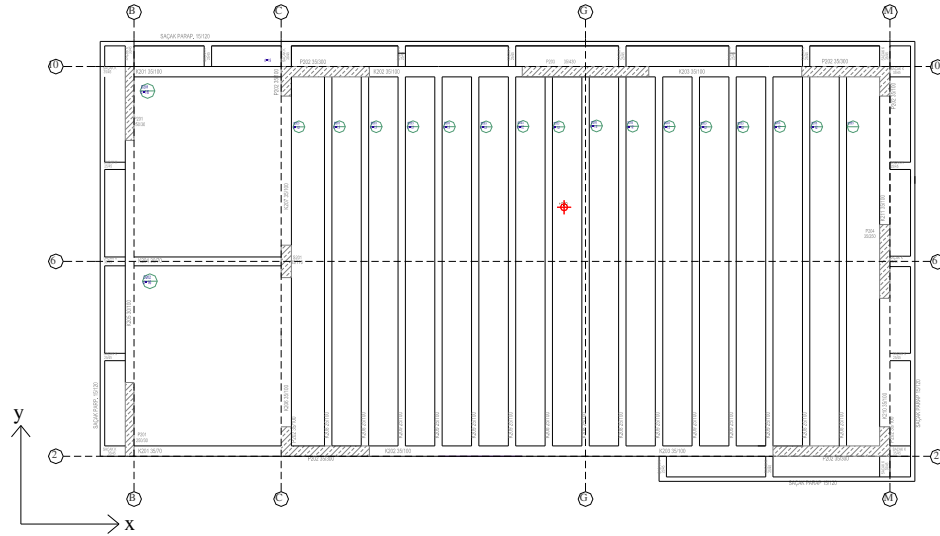
Amfi binasının deprem performansları belirlenirken yapay depremin x (enine) ve y (boyuna) asal doğrultularında etki ettiği kabul edilmiş başlangıç yüklemeleri olarak ölü ve hareketli yüklerin etkisi dikkate alınmıştır. Binanın x ve y yönlerine ait deprem performansının belirlenmesinde lineer olmayan analizin çözümlere yansıtılabilmesi amacıyla, toplanmış tip mafsallı elemanlar kullanılmıştır.

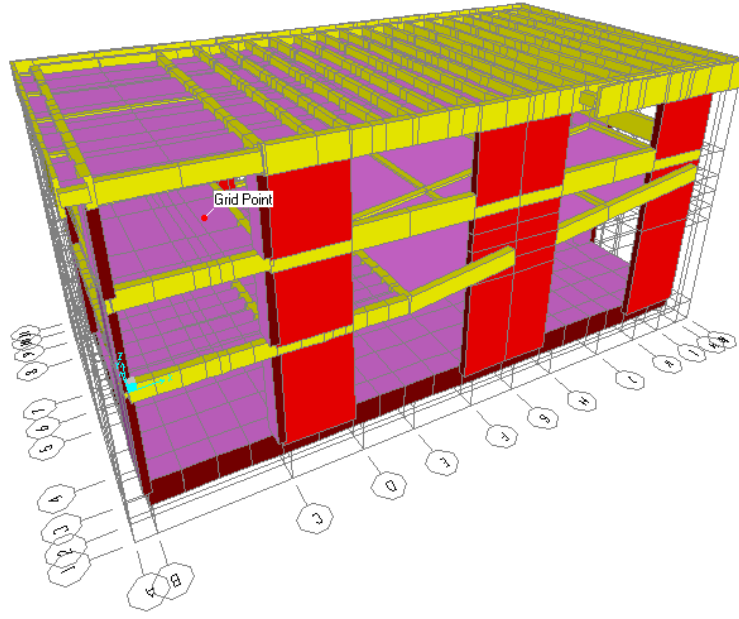


Şekil 6.35 Amfi binası bodrum kat kalıp planı



Şekil 6.36 Amfi binası zemin kat kalıp planı

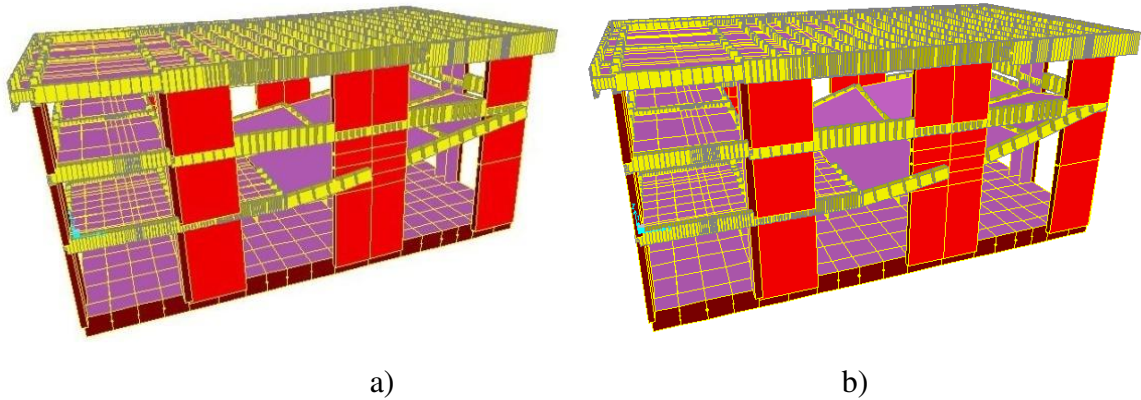




Şekil 6.38 Amfi binası sonlu eleman modeli

6.3.1 Amfi Binası Modal Analiz Sonuçları

Amfi binasının sönüm katsayılarının belirlenebilmesi amacıyla binanın modal analizi yapılmış olup sonuçlar Tablo 6.10’ da verilmiştir. Sönüm için Rayleigh sönüm kat sayıları kullanılmıştır. Amfi binasının Tablo 6.10’ da görüldüğü gibi 2. ve 6. modlarının katılım oranlarının yüksek olmasından α , β rayleigh sönüm katsayıları bu iki mod kullanılarak elde edilmiştir. Bu binanın lineer olmayan dinamik analizlerinde sönüm oranı %5 olarak seçilmiştir. Söz konusu binanın 2. ve 6. modlarına ait yer değiştirme durumları ise Şekil 6.39’ da görülmektedir.



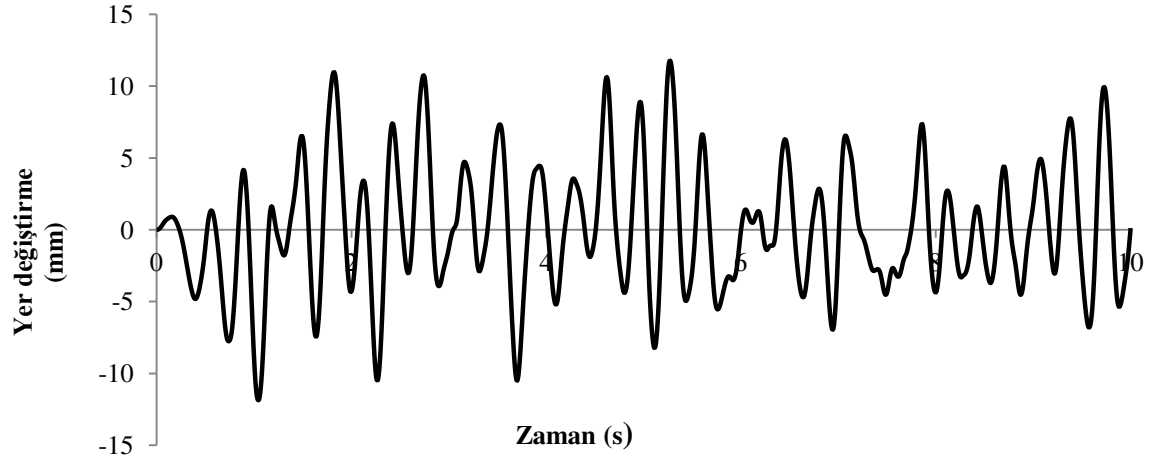
Şekil 6.39 Amfi binasının a) 2.mod ve b) 6. mod için yer değiştirme durumu

Tablo 6.10 Amfi binasının modal analiz sonuçları

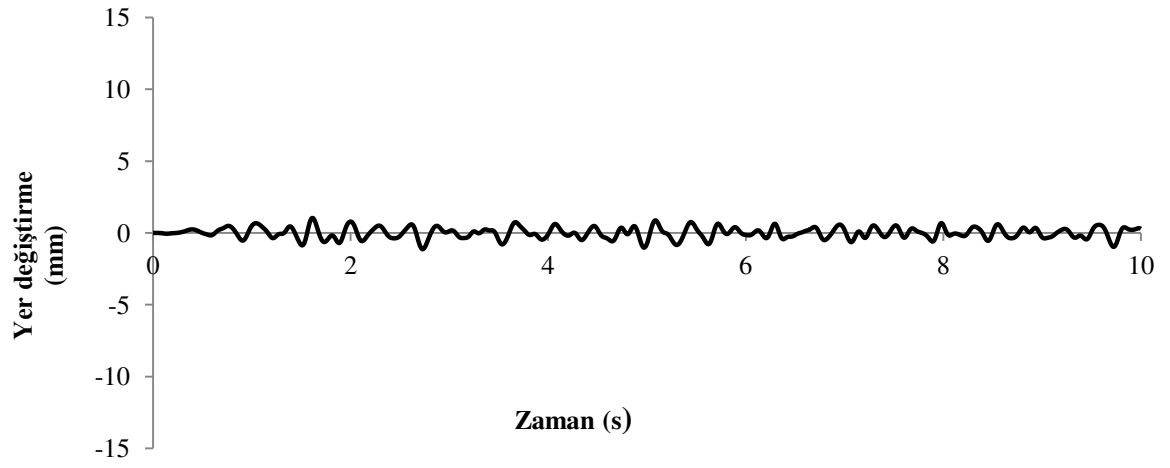
Kütle İçin Modal Katılım Oranları								
Açıklama	Mod Numarası	Periyot	U_x	U_y	U_z	R_x	R_y	R_z
		Saniye	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz	Boyutsuz
Mod	1	0,4435	0,000	46,896	0,000	21,407	0,000	27,813
Mod	2	0,3047	49,871	0,000	0,755	0,365	19,866	7,861
Mod	3	0,2377	0,094	0,022	0,046	0,074	0,027	25,315
Mod	4	0,2247	2,973	1,488	11,772	3,112	9,849	4,954
Mod	5	0,2178	1,159	1,609	31,589	23,811	22,547	0,415
Mod	6	0,1922	0,017	0,550	49,223	19,011	29,971	0,181
Mod	7	0,1688	38,941	0,057	0,949	0,312	12,598	4,825
Mod	8	0,1608	0,014	37,912	0,377	29,618	0,125	19,933
Mod	9	0,1401	0,289	0,736	3,371	0,581	3,022	0,722
Mod	10	0,1232	0,720	0,013	0,074	0,035	0,145	0,064
Mod	11	0,1186	0,001	9,261	0,004	0,404	0,004	3,360
Mod	12	0,1161	0,879	0,029	1,081	0,762	1,305	0,025

6.3.2 Yapay Depremi x Eksenini Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Amfi Binasının Performans Değerlendirmesi

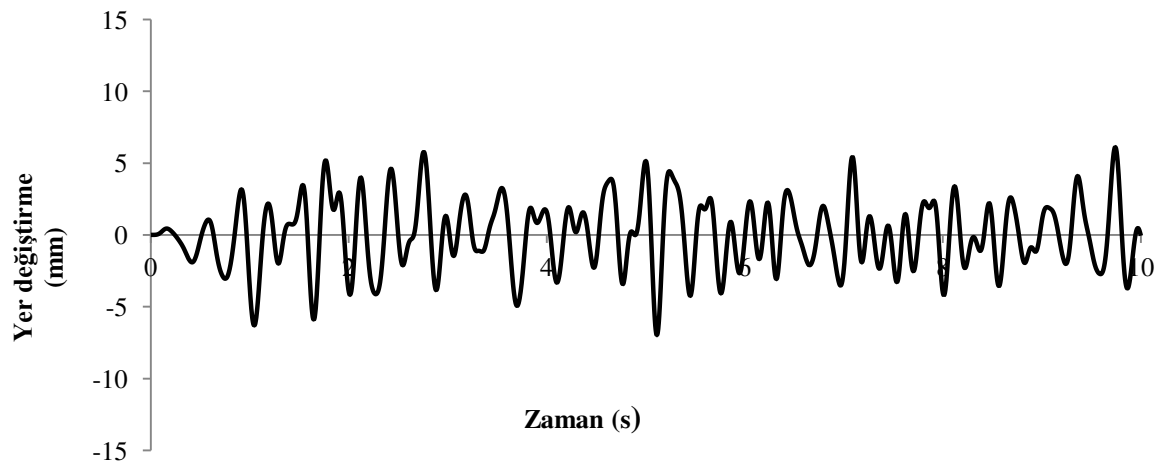
Amfi binasının yapay depremin x eksenini yönünde etki etmesi hali için, taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasarın oluşmadığı belirlenmiştir. Amfi binasına yapay depremin x yönünde etki etmesi halinde binanın her iki köşesine ait 194 ve 197 nolu düğüm noktalarının x , y ve z eksenlerindeki yer değiştirmelerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.40-6.41’ de görülmektedir. Bu şekillerden 194 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 11.85, 1.13 ve 6.70 mm ve 197 nolu düğüm noktasının x , y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla, 11.4, 0.53 ve 7.91 mm olarak elde edilmiştir. Buradan, söz konusu binanın sol en üst kısmı (194 nolu düğüm noktası) sağ en üst (197 nolu düğüm noktası) kısmına göre x yönünde % 4, y yönünde % 113 daha fazla ve z yönünde ise % 18 daha az yer değiştirme yaptığı belirlenmiştir.



a)

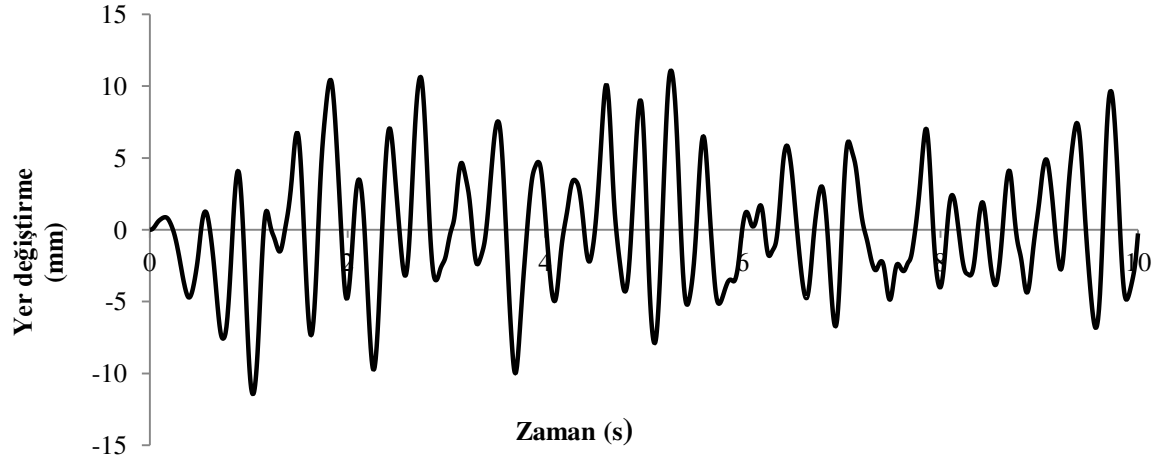


b)

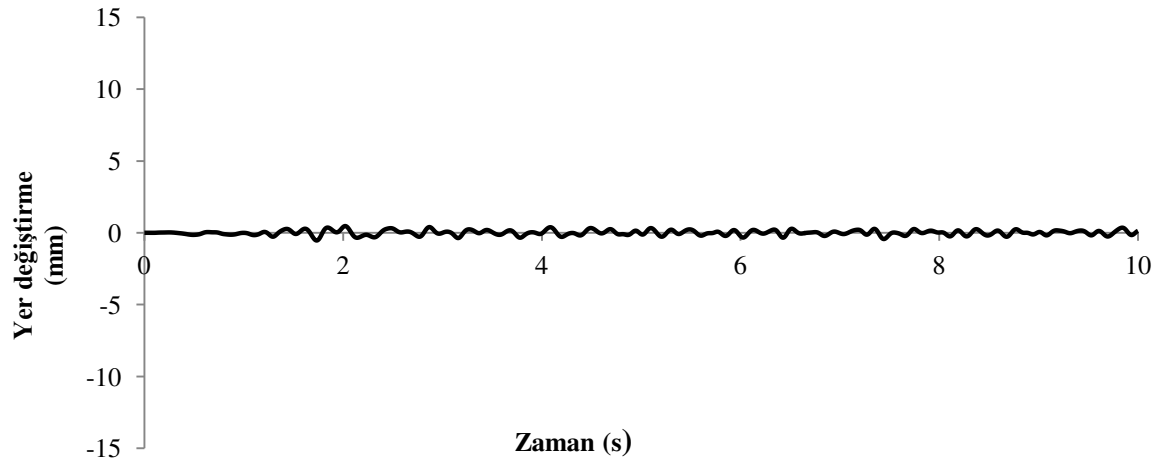


c)

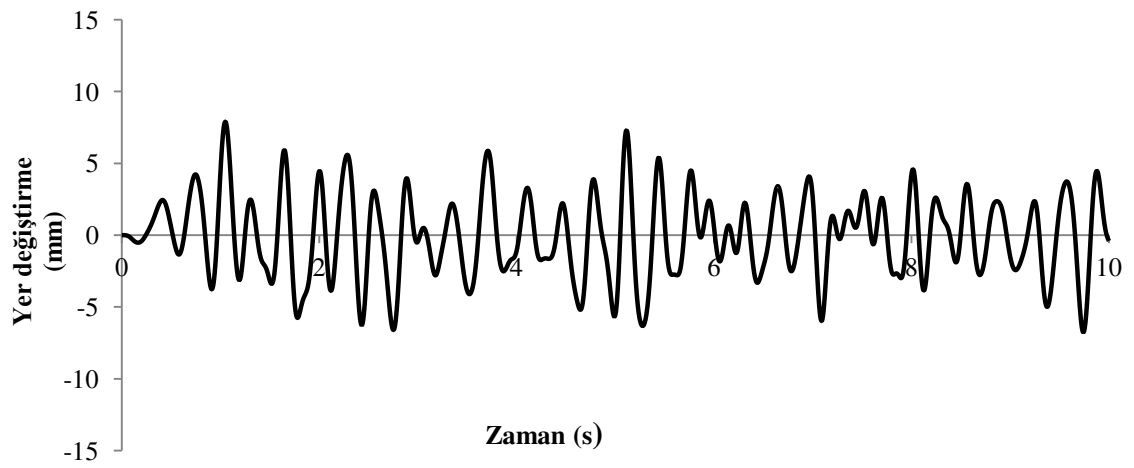
şekil 6.40 Derslik binasının 194 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda
a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)



b)

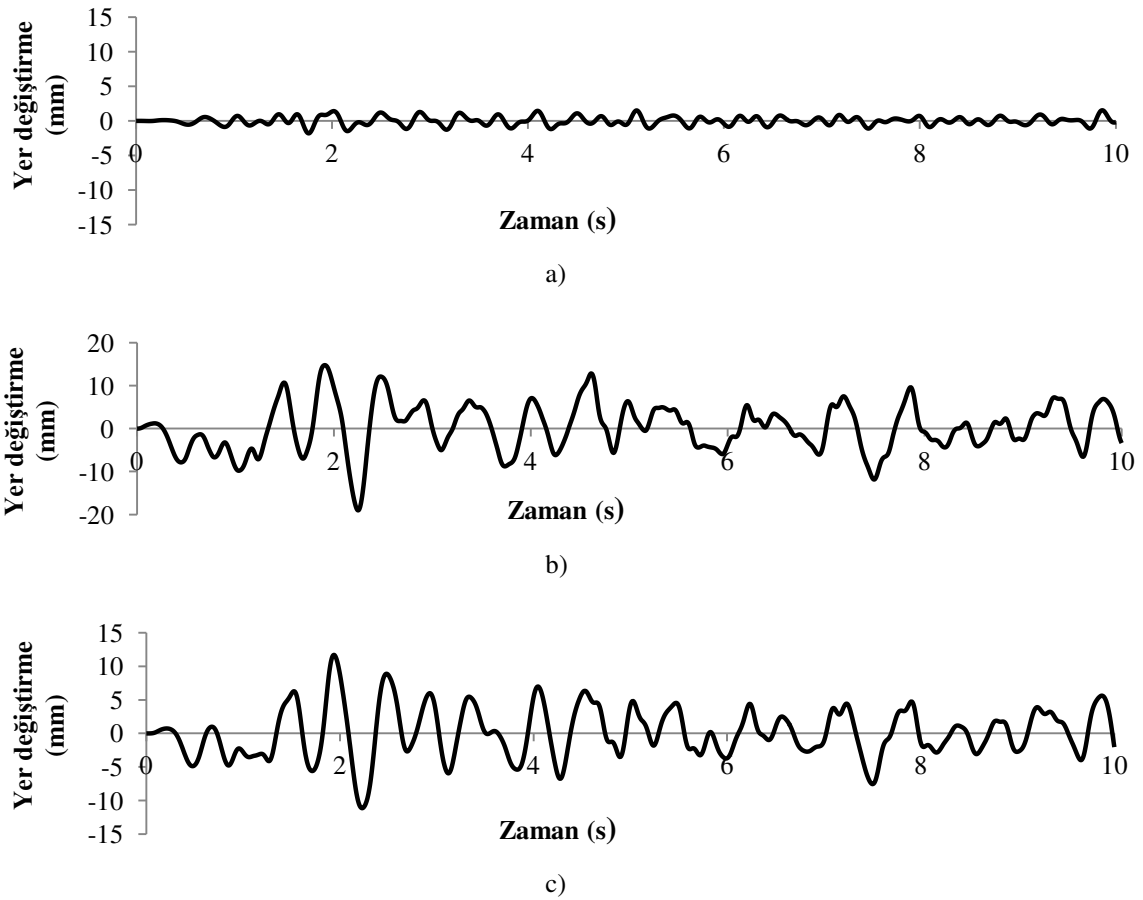


c)

şekil 6.41 Derslik binasının 197 nolu düğüm noktasının yapay depremin x yönünde etkimesi durumunda
a) x , b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği

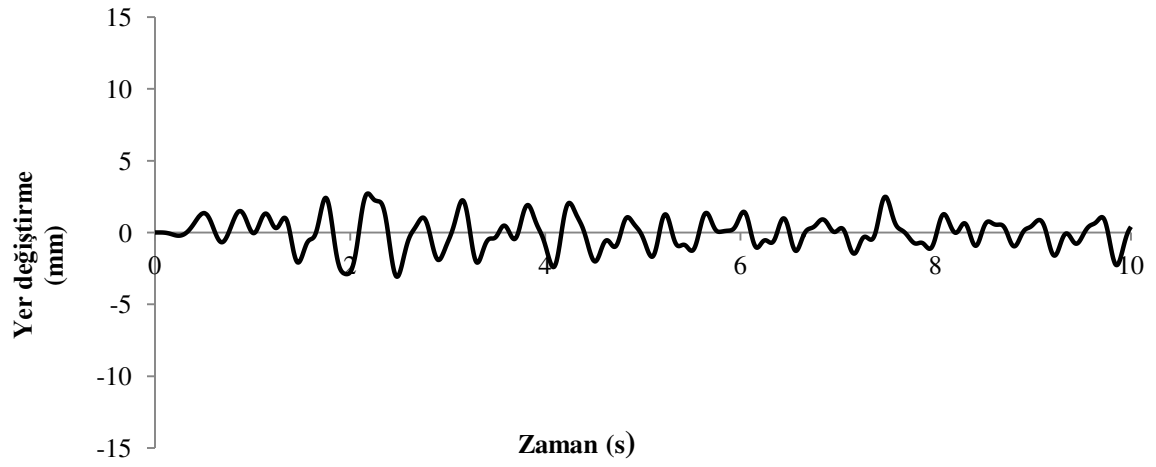
6.3.3 Yapay Deprem y Eksen Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Amfi Binasının Performans Değerlendirmesi

Amfi binasının yapay depremin y eksen yönünde etki etmesi hali için, taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasarın oluşmadığı belirlenmiştir. Amfi binasına yapay depremin y yönünde etki etmesi halinde binanın her iki köşesine ait 194 ve 197 nolu düğüm noktalarının x, y ve z eksenlerindeki yer değiştirmelerinin zamanla değişim grafikleri Şekil 6.42- 6.43' de görülmektedir. Bu şekillerden 194 nolu düğüm noktasının x, y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri sırasıyla, 1.81, 19 ve 7.53 mm ve 197 nolu düğüm noktasının x, y ve z eksenlerine ait yer değiştirmelerinin mutlak maksimum değerleri ise sırasıyla, 3.09, 28.7 ve 11.69 mm olarak elde edilmiştir. Buradan, söz konusu binanın sol en üst kısmı (194 nolu düğüm noktası) sağ en üst (197 nolu düğüm noktası) kısmına göre x yönünde % 71, y yönünde % 51 ve z yönünde ise % 55 daha az yer değiştirme yaptığı belirlenmiştir.

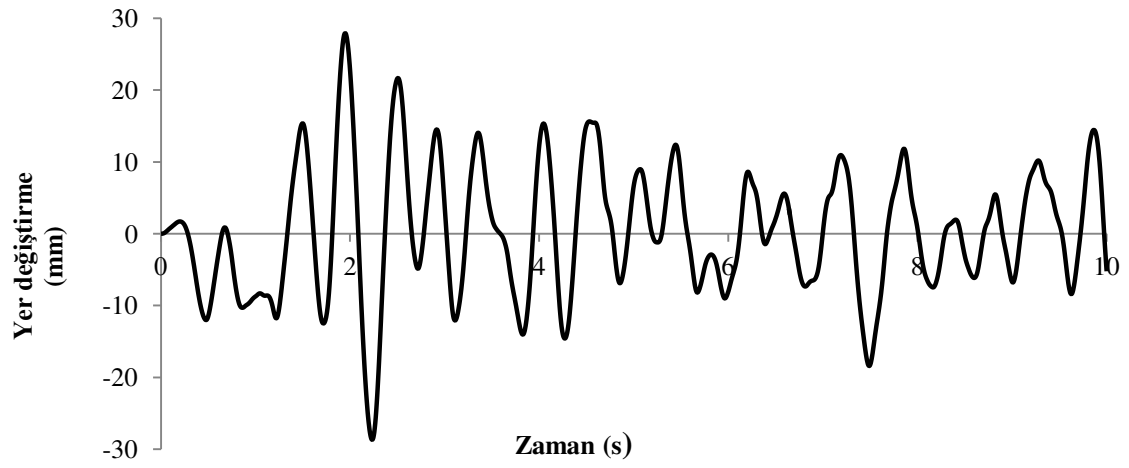


Şekil 6.42 Amfi binasının 194 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda

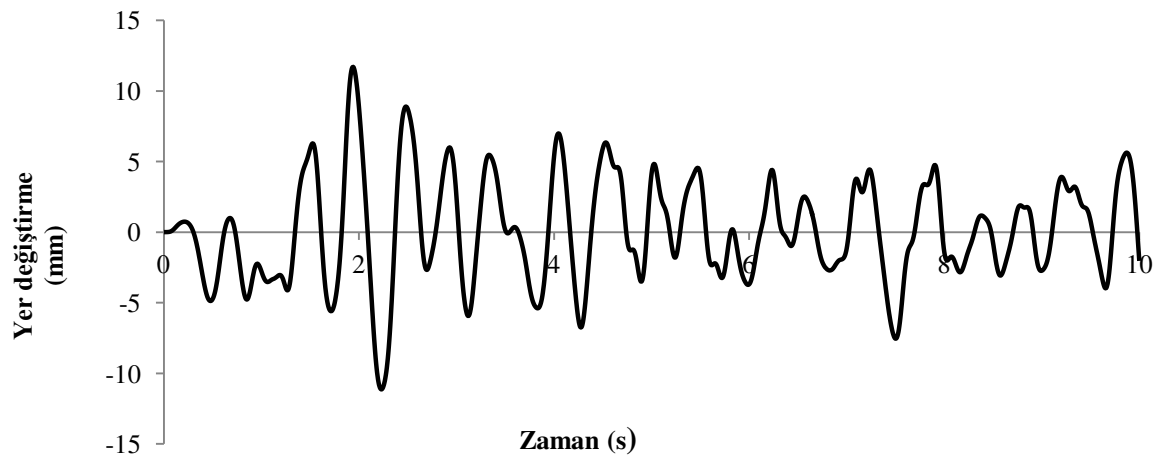
a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değiştirmesinin zamanla değişim grafiği



a)



b)



c)

şekil 6.43 Amfi binasının 197 nolu düğüm noktasının yapay depremin y yönünde etkimesi durumunda a) x, b) y ve c) z yönündeki yer değişirmesinin zamanla değişim grafiği

7. SONUÇLAR

Bu tezde, Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Öğretim Elemanları, Derslik, ve Amfi Binalarının lineer olmayan dinamik analizleri yapılarak performansları belirlenmiştir. Lineer olmayan davranış için toplanmış tip plastik mafsallı elemanlar kullanılmıştır. Binaların bulunduğu bölge dikkate alınarak 1905- 2005 yılları arasında Elazığ'da meydana gelmiş deprem karakteristikleri yardımıyla manyitüd ilişkileri elde edilmiştir. Bunun yanı sıra azalım fonksiyonları kullanılarak söz konusu binalar için yer ivmesinin maksimum değeri elde edilmiştir. Yer ivmesi olarak, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik- 2007' de verilen spektrum ivme kaydına uygun bir yapay deprem kullanılmıştır. Yapay deprem söz konusu binaların x ve y yönlerinde ayrı ayrı etki ettirilmiş olup başlangıç yer değiştirme değeri olarak binanın kendi ağırlığı ve hareketli yükleri dikkate alınmıştır. Dinamik analiz çözümleri, adım-adım integrasyon yöntemi kullanılarak elde edilmiş olup çözümlerde SAP2000 paket programı kullanılmıştır.

Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Öğretim Elemanları binası için yapılan çözümlerlerde yapay depremin x eksen yönünde etki etmesi halinde hasar gören kolon ve kiriş elemanlarının çoğu belirgin ve ileri hasar bölgesinde kalmış olup binanın taşıyıcı sistemi mekanizma konumuna geçmiştir. Bu binanın x yönünde takviye perde veya kolonlarla güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapay depremin y eksen yönünde etki etmesi durumunda ise hafif hasarların oluştuğu görülmüştür.

Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Derslik binası için yapılan çözümlerlerde yapay depremin x eksen yönünde etki etmesi halinde oluşan hasarların tamamının kolon ve kirişlerde uç bölgelerde meydana geldiği görülmektedir. Plastik mafsalların sayısı ve oluşan hasarlardaki büyümeye bağlı olarak binanın taşıyıcı sisteminde nümerik stabilite kaybının oluşmasına neden olmuştur. Bu binanın x yönünde takviye perde veya kolonlarla güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapay depremin y eksen yönünde etki etmesi halinde hasarların çoğunun bodrum ve zemin kat koridor kirişlerinde oluştuğu görülmektedir. Kolonlarda hasarın oluşmayıp kirişlerde oluşması bu binanın y yönü için kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının sağlandığı sonucunu vermektedir.

Fırat Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi Amfi binası için yapılan çözümlerde hem x hem de y ekseninde kolon, perde ve kiriş elemanlarında plastik mafsallar oluşmadığı görülmüştür.

Sonuç olarak, deprem gibi sismik etkiler altında okul binalarının deprem sonrasında ayakta kalması gerekmektedir. Bu yapıların deprem etkisi altında lineer olmayan analizlerinin gelişmiş bu gibi yöntemlerle performans analizlerinin yapılması önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kilar V. and Fajfar P., 1997, Simple Pushover Analysis of Asymmetric Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.26, p.233-249.
- [2] Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. (1998). Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. Engineering Structures, Vol.20, 452-464.
- [3] Kim S.D., Hong W.K. and Ju Y.K., 1999, The Structural Design of Tall Buildings, v.8, issue one, p.57-73
- [4] Chopra A.K. and Goel R.K., 2001, A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.31, p.561-582
- [5] Almeida R. and Carneiro-Barros R., 2003 A New Multimode Load Pattern for Pushover Analysis: The Effect of Higher Modes of Vibration, Earthquake Resistant Engineering Structures, v.IV, p.3-13
- [6] Chintanapakdee C. Ve Chopra A.K., 2003, Evaluation of Modal Pushover Analysis Using Generic Frames, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.32, p.417-442.
- [7] (SEAO Vision 2000) Structural Engineers Association of California
- [8] Ahmed Ghobarah "Performance Based Design in Earthquake Engineering: State of Development" Engineering Structures 23 (2001), 878-884
- [9] Priestley, M.J.N., 2000, Performance Based Design, 12WCEE.
- [10] American Society of Civil Engineering
- [11] (BSSC) Building Seismic Safety Council
- [12] Gumbel E.J., Statics of Extremes, Colombia Un.Press, N.Y., USA
- [13] Gutenberg B., Richter C.F., Earthquake Magnitude Intensity, Energy and Acceleration, Bull.Seis.Soc of America, Vol 32 No:3
- [14] Esteva L., Seismicity Prediction: A Bayesian Approach, Proc.4th.World Conf. On Eart.Eng., Santiago, Chile,(1969)
- [15] ATC-40, 1996. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council", California.
- [16] FEMA-273, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [17] FEMA-356, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [18] ATC-55, Project: Evaluation of Inelastic Seismic Analysis Procedures.
- [19] FEMA-440 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington.

- [20] Korkmaz, A., Uçar, T., 23-25 Mart 2005 “ Betonarme Yapıların Performansa Bağlı Analizi”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- [21] Çakıroğlu A. ve Özer E., 1980, Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Ankara
- [22] Özer, E., 2006, Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozel , İstanbul.
- [23] ABYYHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [24] Celep, Z. Kumbasar, N., 2004, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.
- [25] Celep, Z. Kumbasar, N., 2001, Yapı Dinamiği, İstanbul.
- [26] Celep, Z., 2008, Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, İstanbul.
- [27] Yüçemen M.S.,1982, Sismik Risk Analizi, Ankara.
- [28] Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü.
- [29] Gök Ö., 2010, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kampüs Binalarının Sismik Risk Analizi ve Performanslarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
- [30] Taşkın B., 1994, İstanbul ve Çevresi İçin Sismik Risk Analizi ve Hedef Spekturumuna Uygun Yapay Deprem İvme Kaydı Üretilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [31] Shake Paket Programı.
- [32] Turan M., 2009, Türkiye'nin Neotektoniği, Yüksek Lisans Ders Notları, Fırat Üniversitesi

ÖZGEÇMİŞ

Sevtap GÖYMEN, 1983 yılında Van’ da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla, Van’da tamamlamıştır. 2001 yılında, Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2005 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2009 yılında F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlamış olup halen öğrenimine devam etmektedir.