

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KAMPÜS
BİNALARININ DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Özlem GÖK

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Mekanik

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON

ŞUBAT-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KAMPÜS
BİNALARININ DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem GÖK

07115106

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Mekanik

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08.02.2010

ŞUBAT-2010

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KAMPÜS
BİNALARININ DEPREM PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özlem GÖK

07115106

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.02.2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 02.03.2010

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

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Orhan ÇAKAR (F.Ü)

: Prof. Dr. Yusuf CALAYIR (F.Ü)

ŞUBAT – 2010

ÖNSÖZ

Ülkemiz, dünyanın en aktif deprem bölgelerinden birini teşkil eden Himalaya-Alp deprem kuşağının ortasına isabet etmekte olup, bir deprem ülkesidir. Ülke topraklarının % 96 sı deprem bölgeleri içerisinde olup nüfusun %98'i bu bölgelerde yaşamakta, her yıl önemli boyutta deprem hasarları ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle depreme dayanıklı yapı inşa etmekten başka bir çaremiz yoktur.

Depreme dayanıklı yapı tasarımı inşaat yöntemlerinin araştırılması, depremden meydana gelecek hasarların azaltılması konuları, büyük önem taşıyan mühendislik problemlerinin başında yer almaktadır. Yapıların deprem tesirinden zarar görmesi normal bir davranıştır, ancak yapı depremden dolayı göçmemelidir.

Bu çalışmada, yapı elemanlarının depreme karşı davranışları, taşıma güçleri incelenmiş ve olması muhtemel bir depremde hasar görebilecek yapıların güçlendirilmesi konuları tartışılmıştır. Böylece ileriki araştırmalar için bir basamak teşkil edeceği ve bu konuyla ilgilenen mühendisler için faydalı olacağı düşüncesindeyim.

Özlem GÖK
ELAZIĞ-2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XIII
KISALTMALAR	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konu	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3 Konu ile İlgili Çalışmalar	3
2. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	5
2.1 Kesit Eleman ve Taşıyıcı Sistem Hasar Sınır ve Bölgeleri	5
2.2 Taşıyıcı Eleman Deprem Hasar Sınır Bölgeleri.....	6
2.3 Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri.....	6
2.3.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi	7
2.3.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi	8
2.3.3 Göçme Öncesi Performans Düzeyi	8
2.3.4 Göçme Durumu	9
2.4 Binalar İçin Performans Hedefleri	9
2.5 Değerlendirme Yöntemleri	10
2.6 Performansa Dayalı Tasarım ve Değerlendirme.....	13
2.6.1 ATC ve FEMA' ya Göre Performans Seviyeleri	13
2.6.2 ATC ve FEMA'ya Göre Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri ve aralıkları	14
3. DEPREM PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ.....	15
3.1 Artımsal Eşdeğer Yatay Yük Yöntemi	15

	<u>Sayfa No</u>
3.1.1 Yatay Yük Kapasite Eğrisi	15
3.1.2 Deprem Etkisi Talep Eğrisi.....	15
3.1.3 Kapasite ve Talep Eğrilerinin Kesiştirilmesi	16
3.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi	23
3.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	23
4. YAPILARIN ELASTİK ÖTESİ DOğRUSAL OLMAYAN DAVRANIşI HESABI	18
4.1 Plastik Mafsal Kabul	24
4.2 Yarı Rijit Bağlantılı Sistemler	30
4.3 Elastik Olmayan Kiriş Elemanı.....	33
4.3.1 Toplanmış Tip Elastik Olmayan Plastik Mafsal	34
4.3.2 Yayılı Tip Elastik Olmayan Mafsal.....	36
5. FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KAMPUS BİNALARI HASAR DURUMLARI ve LİNEER OLMAYAN ANALİZLERİ	37
5.1 Makine Mühendisliği.....	38
5.1.1 Makine Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları.....	39
5.1.2 Depremiñ x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Makine Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	40
5.1.3 Depremiñ y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Makine Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	43
5.2 İñřaat Mühendisliği Bölüm Binası.....	47
5.2.1 İñřaat Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları.....	48
5.2.2 Depremiñ x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin İñřaat Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	50
5.2.3 Depremiñ y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin İñřaat Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	52
5.3 İñřaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binası.....	56
5.3.1 İñřaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları....	56
5.3.2 Depremiñ x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin İñřaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	58
5.3.3 Depremiñ y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin İñřaat Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	60
5.4 Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binası	63

	<u>Sayfa No</u>
5.4.1 Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları.....	64
5.4.2 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi.....	66
5.4.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi.....	70
5.5 Kimya Mühendisliği Bölüm Binası	75
5.5.1 Kimya Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları	76
5.5.2 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Kimya Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	77
5.5.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Kimya Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	80
5.6 Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binası.....	84
5.6.1 Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları (A Blok).....	84
5.6.2 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	86
5.6.3 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	89
5.6.4 Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları (B Blok).....	93
5.6.5 Deprem x Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	94
5.6.6 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali İçin Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi	96
6. SONUÇLAR.....	99
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ	103

ÖZET

Bu çalışmada, Elazığ ve bölgesinde mikro bölgeleme çalışmasına örnek teşkil etmesi ve ileriki çalışmalara zemin hazırlaması amacıyla Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi kampusu içerisinde yer alan binaların öncelikle mevcut durumları değerlendirilmiş ve daha sonra bu binaların lineer olmayan statik itme analizi ile deprem performansları belirlenmiştir. Çözümler için Elektrik-Elektronik, Makine, İnşaat, Hidrolik, Bilgisayar ve Kimya mühendisliği binalarının lineer olmayan analizleri yapılmıştır. Binaların sonlu eleman modelinde üç boyutlu çerçeve ve kabuk elemanlar kullanılmıştır. Lineer olmayan davranışın sadece çerçeve elemanlarda olduğu kabul edilmiş olup toplanmış tip plastik mafsallı model ile idealize edilmiştir. Tüm binaların zemin ortamı ise rijit kabul edilmiştir.

Bu binalar içerisinde, Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının en iyi performansı sergilediği; en kötü binanın ise Kimya mühendisliği bölüm binası olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lineer olmayan analiz, Plastik mafsallı, Üç boyutlu çerçeve eleman ve statik itme analizi

SUMMARY

DETERMINATION OF EARTHQUAKE PERFORMANCE OF BUILDINGS IN THE FIRAT UNIVERSITY, ENGINEERING FACULTY'S CAMPUS

In this study, to form an example to micro-zoning studies in Elazig and a background to future investigations in this area, the present situations of the buildings located in the campus of Engineering Faculty in Firat University were firstly investigated, and then nonlinear static push-over analyses of this buildings were established and their earthquake performances were obtained. For the solutions, nonlinear analyses of Electric-Electronic, Mechanic, Civil, Hydraulic, Computer and Chemical engineering buildings were performed. Three dimensional frame and shell elements were used for the finite element models of the building. Nonlinear behavior in only the frame element assume, was idealized as lumped type plastic hinge. Soil domains of all building were to be rigid.

Computer engineer building was exhibited the best performance in all building. However, Chemical engineering buildings was established worst performance.

Keywords: Nonlinear analysis, plastic hinge, three dimensional frame element and static pushover analysis

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Kesit hasar sınırları ve bölgeleri	6
Şekil 2.2 Taşıyıcı sistem performans düzeyleri	6
Şekil 2.3 Hasar durumlarından bina performans düzeyine geçiş	7
Şekil 3.1 Statik itme analizi	17
Şekil 3.2 Statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi	17
Şekil 3.3 Spektrum eğrisinde eksen değiştirilmesi	18
Şekil 3.4 Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi	19
Şekil 3.5 a, b, Elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilerek elastik ve elasto yerdeğiştirmenin bulunması	20
Şekil 4.1 Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti-eğrilik diyagramı	26
Şekil 4.2 Kiriş mesnet bölgesinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler	27
Şekil 4.3 Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi	28
Şekil 4.4 Kolonlarda eğilme momenti- eğrilik ilişkisi	28
Şekil 4.5 İdealleştirilmiş bünye bağıntısı	28
Şekil 4.6 Plastik mafsallık boyu	29
Şekil 4.7 Yarı rijit elemanda uç kuvvetler	31
Şekil 4.8 Yarı rijit elemanda uç dönmeler	31
Şekil 4.9 Yarı rijit elemanda rijitlik faktörü	32
Şekil 4.10 Elastik olmayan kiriş elemanı	34
Şekil 4.11 Elastik olmayan plastik mafsallık moment- dönme ilişkisi	35
Şekil 5.1 Mühendislik kampusu yerleşim durumu	37
Şekil 5.2 a,b,c,d Makine mühendisliği ve laboratuvar binaları hasar durumları	38
Şekil 5.3 Makine mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli	40
Şekil 5.4 Depremiñ x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G, h) H, I) ı, J) j, k) K ve l) L aksları hasar durumları	41
Şekil 5.5 Depremiñ x yönünde etkimesi için a) M, b) N, c) O, d) P, e) R, f) 1, g) 8, h) 11, ı) 12, j) 13, k) 14, l) 15, m) 18, n) 19 ve o) 24 aksları hasar durumları	42

Şekil 5.6	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B ve c) C aksları hasar durumları.....	43
Şekil 5.7	Depremin y yönünde etkimesi için a) D, b) E, c) F, d) G, e) H, f) I, g) J, h) K ve i) L aksları hasar durumları.....	44
Şekil 5.8	Depremin y yönünde etkimesi için a) M, b) N, c) O, d) P, e) R, f) 1, g) 2, h) 6, i) 8 ve j) 11 aksları hasar durumları.....	45
Şekil 5.9	Depremin y yönünde etkimesi için a) 12, b) 13, c) 15, d) 16, e) 18, f) 19, g) 24, h) 27 ve i) 48 aksları hasar durumları 11 aksları hasar durumları...	46
Şekil 5.10	Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri.....	47
Şekil 5.11	a,b,c,d İnşaat mühendisliği bölümü binası ve hasar durumları	48
Şekil 5.12	İnşaat mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli	49
Şekil 5.13	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G ve h) H aksları hasar durumları	50
Şekil 5.14	Depremin x yönünde etkimesi için a) K, b) M, c) N, d) R, e) U, f) V, g) Y, h) Z, i) Q, j) W ve k) X aksları hasar durumları	51
Şekil 5.15	Depremin y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D ve e) E aksları hasar durumları	52
Şekil 5.16	Depremin y yönünde etkimesi için a) G, b) J, c) K, d) L, e) R, f) U, g) V, h) Y, i) Z, j) Q, k) W, l) X, m) 1, n) 5, o) 6 ve p) 7 aksları hasar durumları	53
Şekil 5.17	Depremin y yönünde etkimesi için a) 8, b) 10, c) 14, d) 15, e) 17, f) 25, g) 26, h) 28, i) 30, j) 32, k) 33, l) 35, m) 37, n) 38, o) 40, p) 44 ve r) 49 aksları hasar durumları.....	54
Şekil 5.18	Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri.....	55
Şekil 5.19	a,b Hidrolik bölümü hasar durumları	56
Şekil 5.20	Hidrolik binası sonlu eleman modeli.....	57
Şekil 5.21	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G ve h) H aksları hasar durumları	58
Şekil 5.22	Depremin x yönünde etkimesi için a) J, b) K, c) L, d) M, e) 1, f) 2, g) 3, h) 4, i) 11, j) 12 ve k) 13 aksları hasar durumları	59
Şekil 5.23	Depremin y yönünde etkimesi için a) A ve b) B aksları hasar durumları	60
Şekil 5.24	Depremin y yönünde etkimesi için a) C, b) D, c) E, d) F, e) G, f) H, g) J, h) K, i) L, j) M, k) 1 ve l) 2 aksları hasar durumları	61
Şekil 5.25	Depremin y yönünde etkimesi için a) 3, b) 11, c) 12 ve d) 13 aksları hasar durumları	62

Şekil 5.26	a,b, Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri	63
Şekil 5.27	a,b,c ve d Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümü binasında mevcut hasarlar	64
Şekil 5.28	Elektrik Elektronik mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli	65
Şekil 5.29	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E ve f) G aksları hasar durumları	66
Şekil 5.30	Depremin x yönünde etkimesi için, a) H, b) I, c) K, d) O, e) P, f) R, g) S, h) T, i) U, j) V, k) Y, l) Z ve m) Q aksları hasar durumları	67
Şekil 5.31	Depremin x yönünde etkimesi için a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 8, h) 10, i) 12, j) 13, k) 14, l) 15, m) 16, n) 19 aksları hasar durumları ...	68
Şekil 5.32	Depremin x yönünde etkimesi için, a) 21, b) 22, c) 23, d) 24, e) 24', f) 26, g) 27, h) 29, i) 34, j) 35 ve k) 36 aksları hasar durumları.....	69
Şekil 5.33	Depremin y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C ve d) D aksları hasar durumları	70
Şekil 5.34	Depremin y yönünde etkimesi için, a) E, b) F, c) G, d) H, e) I, f) K, g) O, h) P, i) R, j) S, k) T, l) U, m) Y aksları hasar durumları	71
Şekil 5.35	Depremin y yönünde etkimesi için a) Z, b) Q, c) 1, d) 2, e) 3, f) 4, g) 5, h) 6, i) 9, j) 10, k) 12, l) 13, m) 14, n) 16 ve o) 17 aksları hasar durumları	72
Şekil 5.36	Depremin y yönünde etkimesi için, a) 19, b) 21, c) 22, d) 23, e) 24, f) 24', g) 26, h) 27 ve i) 28 aksları hasar durumları	73
Şekil 5.37	Depremin y yönünde etkimesi için, a) 30, b) 32, c) 33, d) 34, e) 35, f) 36, g) 37 ve h) 38 aksları hasar durumları	74
Şekil 5.38	Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri	74
Şekil 5.39	a, b, ve c Kimya mühendisliği bölümü ve laboratuvar binaları hasar durumları.....	75
Şekil 5.40	Kimya mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli	76
Şekil 5.41	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) G, g) J, h) K, i) M, j) R, k) Y, aksları hasar durumları	77
Şekil 5.42	Depremin x yönünde etkimesi için a) Q, b) A', c) Z, d) B', e) F', f) G', g) N', h) J', i) 1, j) 2 ve k) 15 aksları hasar durumları.....	78
Şekil 5.43	Depremin x yönünde etkimesi için a) 16, b) 23, c) 25, d) 26, e) 27, f) 28, g) 29, h) 30, i) 34, j) 36, k) 37 ve l) 38 aksları hasar durumları.....	79
Şekil 5.44	Depremin y yönünde etkimesi için a) A, ve b) C aksları hasar durumları .	80

Şekil 5.45	Depremin y yönünde etkimesi için a) D, b) G, c) J, d) S, e) Y, f) Q, g) B', h) E', ı) G', j) J', k) N', l) U' ve m) T' aksları hasar durumları.....	81
Şekil 5.46	Depremin y yönünde etkimesi için a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 15, f) 16, g) 25, h) 26, ı) 27, j) 28, k) 29 ve l) 36 aksları hasar durumları.....	82
Şekil 5. 47	Depremin y yönünde etkimesi için, a) 37, b) 38 aksları hasar durumları...	83
Şekil 5.48	Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri	83
Şekil 5.49	a,b,c Bilgisayar mühendisliği bölüm binası.....	84
Şekil 5.50	Bilgisayar mühendisliği binası (A Blok) sonlu eleman modeli	86
Şekil 5.51	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G, h) H, ı) J, j) K, k) L, l) M, m) N, n) O, o) P ve p) R aksları hasar durumları.....	87
Şekil 5.52	Depremin x yönünde etkimesi için a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 7, h) 8, ı) 9, j) 10 ve k) 11 aksları hasar durumları.....	88
Şekil 5.53	Depremin y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G, h) H, ı) J, j) K, k) L, l) M, m) N, n) O ve o) P aksları hasar durumları.....	90
Şekil 5.54	Depremin y yönünde etkimesi için a) R, b) 1, c) 2, d) 3, e) 4, f) 5, g) 6, h) 7, ı) 8 ve j) 9 aksları hasar durumları.....	91
Şekil 5.55	Depremin y yönünde etkimesi için a) 10 ve b) 11 aksları hasar durumları	92
Şekil 5.56	Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri	92
Şekil 5.57	Bilgisayar mühendisliği bölüm binası (B blok) sonlu eleman modeli	93
Şekil 5.58	Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B ve c) C aksları hasar durumları.....	94
Şekil 5.59	Depremin x yönünde etkimesi için a) D, b) E, c) F, d) 1, e) 2, f) 3, g) 4, h) 5, ı) 6, j) 7 ve k) 8 aksları hasar durumları.....	95
Şekil 5.60	Depremin y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) F, f) 1 ve g) 17 aksları hasar durumları.....	97
Şekil 5.61	Depremin x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri.....	98

TABLOLARIN LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Deprem etkisi parametreleri	10
Tablo 2.2. Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri	10
Tablo 2.3. Yapısal elemanların performans seviyeleri	14
Tablo 3.1. Beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri	22
Tablo 4.1. Moment dönme etkisine bağlı elastik olmayan mafsalların başlangıç rijitliği	35
Tablo 5.1. Makine mühendisliği deprem x yönü performans değerleri	43
Tablo 5.2. Makine mühendisliği deprem y yönü performans değerleri	46
Tablo 5.3. İnşaat mühendisliği deprem x yönü performans değerleri	52
Tablo 5.4. İnşaat mühendisliği deprem y yönü performans değerleri	55
Tablo 5.5. İnşaat mühendisliği hidrolik bölüm binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları	57
Tablo 5.6. Hidrolik binasının deprem x yönüne ait performans değerleri	60
Tablo 5.7. Hidrolik binasının deprem y yönüne ait performans değerleri	62
Tablo 5.8. Elektrik Elektronik mühendisliği bölüm binasının kolon ebat ve sayıları	65
Tablo 5.9. Elektrik elektronik mühendisliği deprem x yönü performans değerleri ..	70
Tablo 5.10. Elektrik elektronik mühendisliği deprem y yönü performans değerleri ...	74
Tablo 5.11. Kimya mühendisliği binasının deprem x yönüne ait performans değerleri	80
Tablo 5.12. Kimya mühendisliği binasının deprem y yönüne ait performans değerleri.	83
Tablo 5.13. Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının kolon ebat ve sayıları (A Blok)	85
Tablo 5.14. Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının perde ebat ve sayıları (A Blok)	85
Tablo 5.15. Bilgisayar mühendisliği binasının deprem x yönüne ait performans değerleri	89
Tablo 5.16. Bilgisayar mühendisliği binasının deprem y yönüne ait performans değerleri	92
Tablo 5.17. Bilgisayar mühendisliği binasının deprem x yönüne ait performans değerleri	96
Tablo 5.18. Bilgisayar mühendisliği binasının deprem y yönüne ait performans değerleri	98

SEMBOLLER LİSTESİ

A_c	: Brüt beton alanı
A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
a_1	: Modal ivme
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
$b(x)$	: x bölgesindeki kesitin kuvvet dağılım fonksiyon matrisi
C_e	: Düzeltme 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
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	: Kalıcı yük etkisi
h	: Kesit yüksekliği
I	: Önem katsayısı
K	: Elastik olmayan kirişin eleman rijitliğinin matrisi
L	: Elemanın uzunluğu
L_p	: Plastik mafsalsın boyu
M	: Eğilme momenti
M_p	: Plastik moment
M_1	: Birinci modal kütle
m_n	: Kat kütlesi
N_{G+Q+E}	: Normal kuvvet
R_{y1}	: Dayanım azaltma katsayısı
S_a	: Spektral ivme
S_{ae1}	: 1. moda ait doğrusal elastik spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme

S_e	: Tam bağılı duruma ait elastik rijitlik matrisi
T	: Sistemin periyodu
T_1	: Sistemin birinci periyodu
T_B	: Spektrum karakteristik periyodu
U_{N1}	: En üst katın yerdeğiştirmesi
U_{xN1}	: Yatay yer değiştirme
V_{x1}	: Toplam kuvvet
x	: Kesitin yeri
ϵ_{cg}	: Enine donatı içinde kalan betonun birim kısalmanın sınırı
ϵ_{cu}	: Dış betondaki birim kısalmanın sınırı
ϵ_{su}	: Donatı kopma uzaması
ϕ_{n1}	: Birinci moddaki kat yer değiştirmesi vektör elemanları
ϕ_p	: Plastik eğrilik
ϕ_t	: Toplam eğrilik
ϕ_y	: Akma elastik eğriliği
θ_p	: Plastik mafsal dönmeleri
Q	: Hareketli yük etkisi
ρ_s	: Beton kesitteki donatı oranı
ρ_{sm}	: Ortalama donatı oranı
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
DBYBHY'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

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Son yıllarda meydana gelen depremler ile yapıların deprem davranışlarının belirlenmesi gereği iyice anlaşılmıştır. Yapıların deprem kuvvetlerine göre geleneksel tasarımında, dayanım esaslı çözümler kullanılmasına rağmen günümüzde dayanım yerine performans kavramı daha fazla kabul görmektedir. Deprem Yönetmeliğinde mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinin performans kavramına dayalı yapılması öngörülmüştür. Bu durumda da betonarme yapıların deprem anındaki davranışlarının önceden bilinmesi amacıyla performansa bağlı analiz yöntemleri yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1].

Yapı sistemleri, beklenen deprem kuvvetlerinden büyük bir deprem kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Yapıların deprem kapasitelerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen performansa dayalı deprem mühendisliği, depreme dayanıklı yapının kalitesini geliştirmede önemli rol oynamaktadır. Günümüz inşaat mühendisliğinin en yeni kavramları arasında yer alan performansa dayalı tasarım ve değerlendirmede, depremlerin yıkıcı etkisinden korunabilmek için, yeni yapılacak yapıların performans hedeflerine göre tasarlanması gerekmektedir.

Gerçekte birçok mühendislik boyutlandırmalarının performansa dayalı olduğu söylenebilir. Bilindiği gibi, betonarme taşıyıcı sistem boyutlamasında iki performans seviyesi esas alınır: Kullanma sınır durumu ve taşıma gücü sınır durumu. Birinci performans seviyesinde kullanma durumundaki yükler altında 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 güvenliğin mevcut olması beklenir [2].

Üzerinde durulması 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 seviyesi için yapıdan istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin belirlenmesidir. İstenen

performans hedefinin belirlenmesi, binanın önemi ve kullanım ömrü gibi birçok parametre ile gerçekleştirilmektedir.

Son zamanlarda meydana gelen depremlerde yapılarıdaki 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 [3] ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, 356 [4] raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının geliştirilmesi amacıyla ATC 55 [5] projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 [6] taslak raporu hazırlanmıştır. Bu çalışmaların yanında, Building Seismic Safety Council (BSSC) [7], American Society of Civil Engineers (ASCE) [8] ve Earthquake Engineering Research Center of University of California at Berkeley (EERC-UCB) [9] 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 çalışmada Mühendislik Fakültesi Kampüsü içersinde yer alan binalarının performans değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır. Bunun için Hızlı Gözden Geçirme (Rapid View Process) yöntemi ile binaların envanterleri ve mevcut hasar durumları belirlenmiş ve kampus binaları içerisinde yer alan Elektrik-Elektronik, Makine, İnşaat, Hidrolik, Bilgisayar ve Kimya mühendisliği binalarının lineer olmayan çözümleri statik itme yöntemiyle elde edilmiştir. Binaların sonlu eleman modeli, üç boyutlu çerçeve ve kabuk elemanlar yardımıyla modellenmiştir. Lineer olmayan davranışın sadece çerçeve elemanlarda olduğu kabul edilmiş olup toplanmış tip plastik mafsalları ile idealize edilmiştir. Tüm binaların zemin ortamı ise rijit kabul edilmiştir.

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi kampüsü içerisinde yer alan binalar içerisinde, Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının en iyi performansı sergilediği; en kötü binanın ise Kimya mühendisliği bölüm binası olduğu belirlenmiştir.

1.3 Konu ile İlgili Çalışmalar

Doğrusal olmayan itme analizinin gelişimi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır gelecekte de yapılması beklenmektedir. Bu konuyla ilgili olarak, Kilar ve Fajfar, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artmakta olan yatay yükler etkisindeki yapıların doğrusal olmayan statik itme analizi için bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemde yapıların düzlemsel makro elemanlardan oluştukları kabul edilmiştir. Her bir düzlemsel makro eleman için doğrusallaştırılmış taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi dikkate alınmıştır. Buna göre adım adım işlem yapılarak tüm yapı sistemi için toplam taban kesme kuvveti-tepe noktası yer değiştirmesi ilişkisi belirlenmiştir [10].

Krawinkler H. ve Seneviranta G.D.P.K. tarafından 1998 yılında yapılan çalışmada, doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerinin dayandığı temel ilkeler özetlenmiş, yöntemlerin hassasiyeti değerlendirilmiştir [11].

Kim, Hong ve Ju tarafından, elastik ötesi bölgelerde elemanların değişen rijitliklerine bağlı olarak değişen mod şekilleri ile orantılı kuvvet dağılımlarını esas alan, dinamik bir elastik ötesi analiz yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde yapının elastik ötesi davranışa girmesiyle birlikte, yatay yüklerin dağılımı mod şekline göre değişmektedir [12].

Chopra ve Goel tarafından yapılan çalışmada, sabit yatay yük dağılımını esas alan mevcut doğrusal olmayan statik itme analizi yöntemlerindeki temel kavramların ve hesap kolaylıklarının korunduğu, yapı dinamiği teorilerini esas alan bir elastik ötesi statik itme analizi yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yüksek mod esaslı elastik ötesi artımsal itme analizinde (Modal Pushover Analysis), artan deprem yüklerine bağlı olarak oluşan sismik talep, her bir moda ait atalet kuvvetlerinin dağılımı kullanılarak yapılan doğrusal olmayan statik itme analizleri ile belirlenmektedir [13].

Almeida ve Carneiro-Barros tarafından yapılan çalışmada, birinci doğal titreşim mod şekline göre yatay yük dağılımı uygulaması durumunda çok iyi sonuçlar veren, fakat yüksek mod etkilerinin önemli olduğu yapılarda bu hassasiyetini kaybeden doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi yöntemlerine alternatif olarak her modun katılımını içeren bir yatay yük dağılımı geliştirilmiştir [14].

Chintanapakdee ve Chopra tarafından, yüksek mod esaslı doğrusal olmayan modal artımsal itme analizlerinin (Modal Pushover Analysis), hassasiyetini belirlemek için 3, 6, 9, 12, 15, 18 katlı çerçeveler kullanılmıştır. Yüksek mod esaslı statik itme analizi ve California depremlerine ait kayıtlar kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan dinamik

analizler gerçekleştirilerek, kat ötelemeleri hesaplanmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada ilk iki veya üç mod etkisini dikkate alarak yapılan yüksek mod esaslı statik itme analizlerinin doğrusal olmayan dinamik analizler ile tutarlı sonuçlar verdiği gösterilmiştir [15].

Gelecekte sismik tasarımı çok yönlü performans hedeflerine ihtiyaç duyacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte performansa dayalı tasarımın uygulama yöntemleri konusunda farklı bakış açıları da gelişmektedir. Performansa dayalı tasarım kavramı için temel uzantılarıyla birlikte birkaç dokümana itibar edilmektedir. Bu dokümanlar SEAOC Vision 2000 [16], ATC–40 [3], FEMA 273 ve 274 [4] dir.

ATC–40 dokümanında performansa dayalı tasarım, performans hedefinin sağlanması dayanan yapısal kriterin gösterildiği yöntemi işaret etmektedir. ATC–40 betonarme binalar için sınırlandırılmıştır ve kapasite spektrum yönteminin kullanılmasıyla uygulanmaktadır. Yönetmelik kapasite ve talep spektrumunun belirlenmesini öngörmektedir. Kapasite spektrumunu oluşturmak için, doğrusal olmayan statik itme analizi kullanılarak yapı üzerindeki bir noktanın kuvvet-yer değiştirme eğrisi belirlenmektedir. Kuvvetler ve yer değiştirmeler; spektral ivmeler ve tek serbestlik dereceli eř sistemi kullanan spektral yer değiştirmelere dönüştürülmektedir. Deprem talepleri oldukça yüksek sönümlenmiş elastik spektrum ile ifade edilmektedir. Performans noktasında sismik kapasite, ivme (dayanım) ve yer değiştirme (talep) tahminini sağlayan değere eşit varsayılmaktadır [17].

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 Deprem yönetmeliği' ne 'Mevcut Binaların Değerlendirilmesi ve Güçlendirilmesi' başlığı altında bir bölüm (bölüm 7) eklenmiş ve yeni şekliyle yürürlüğe girmiştir.

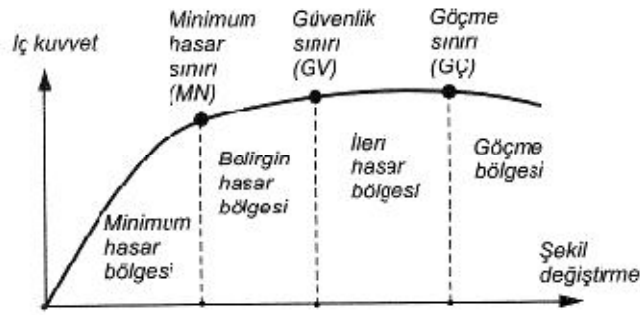
Mevcut binanın deprem güvenliğinin belirlenmesi işlemi üç adım olarak görülebilir:

- 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 tanımlanmıştır. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu tanımlama geçerli değildir.

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 almaktadır.



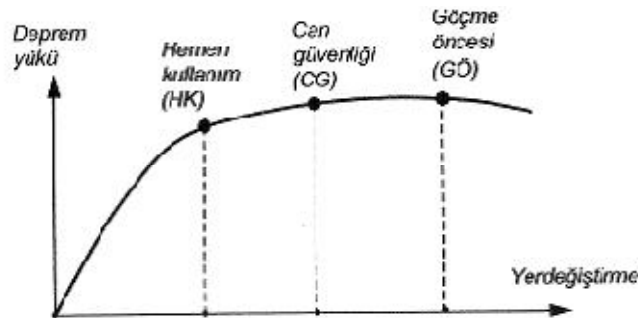
Şekil 2.1 Kesit hasar sınırları ve bölgeleri

2.2 Taşıyıcı Eleman Deprem Hasar Sınır ve Bölgeleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin kolon ve kirişlerinin zorlanan kesitleri iki uç kesitleridir. Deprem etkisinin karşılanmasında yer almayan kirişler değerlendirmede göz önüne alınmaz. Bu elemanların kesitlerinden daha ileri hasar bölgesinde bulunanı elemanın hasar bölgesini tanımladığı kabul edilir. Bunun gibi perdelerin en çok zorlanan mesnet kesitlerinin hasar bölgesi, perdenin hasar bölgesi olarak kabul edilir. Eleman hasar durumundan kat hasar durumu elde edilir. Kesitlerinden birisi gevrek olan eleman gevrek olarak tanımlanır.

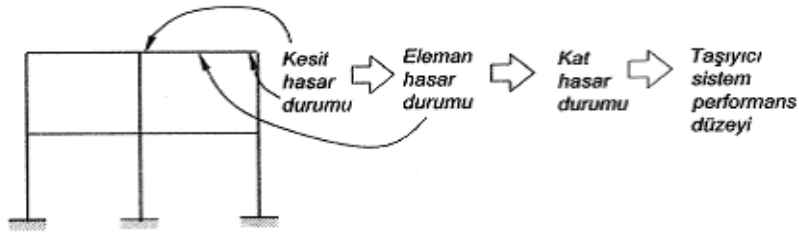
2.3 Taşıyıcı Sistemin Deprem Performans Düzeyleri

Deprem etkisindeki taşıyıcı sistemin davranışı, Şekil 2.2’de ki gibi örneğin en üst kat yer değiştirmesi ve toplam deprem taban kesme kuvveti arasında çizilecek eğri ile yorumlanabilir. Bu değişim Şekil 2.1’ de kesit davranışı verilen eğriye benzer olup, sadece tüm taşıyıcı sistem için elde edilmiştir.



Şekil 2.2 Taşıyıcı sistem (bina) performans düzeyleri

Benzer şekilde elastik davranışa benzetilebilecek ilk bölümden sonra elasto-plastik davranışı simgeleyen bir bölüm ortaya çıkar. Bu eğri üzerinde elastik ötesi davranışın (elasto-plastik şekil değiştirmeye) belirgin başlangıcına ve sınırlı hasara karşı geldiği için, Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK) olarak isimlendirilir. Büyük yer değiştirmelerden sonra dış statik deprem yükünün azalmaya yüz tutması taşıyıcı sistemde güç tükenmesinin ortaya çıkmasına işaret eder ve Göçme Öncesi Performans Düzeyi (GÖ) olarak bilinir. Can Güvenliği Performans Düzeyi (CG) taşıyıcı sistemin sınırlı elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesini güvenli olarak karşılayabileceği sınırı olarak tanımlanır.



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

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 düzeyleri tanımlanır. Değerlendirmenin binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılması gerekir.

2.3.1 Hemen Kullanım Performans Düzeyi

Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için yapılan değerlendirmede kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'nde bulunabilir. Ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü Minimum Hasar Bölgesi'nde kalmalıdır. Varsa gevrek elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile bu durumdaki binanın Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.

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 uygulamada sağlanması oldukça zor bir şart olarak ortaya çıkabilir.

2.3.2 Can Güvenliği Performans Düzeyi

Varsa gevrek elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile aşağıdaki koşulları sağlayan bina Can Güvenliği performans Düzeyi'nde kabul edilir:

- 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 kadarı İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- 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 oranı en fazla %40 olabilir.
- 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 gerekir. (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon şartının sağlandığı kolonlar bu hesaba dahil edilmez).

Hasar durumu kirişlerde oran olarak verilirken, kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmesi, önemli ve daha önemli kolonların ayrılabilmesi bakımından dikkat çekicidir. 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. Benzer şekilde güçlü kolon kavramının olumlu yanının ortaya çıkarıldığı görülmektedir.

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 arttırılır. 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 yönetmeliği'nde 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. Yönetmelikte, 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	Deprem 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 beklenir. Mevcut durumda önem katsayısı $I=1$ olan binaların depreme dayanıklı tasarımının “Can Güvenliği” olarak tanımlanan performans seviyesi esas alınarak yapıldığı kabul edilebilir. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan sınır durumlar ile bina için performans seviyesi tanımlanır. Performansa dayalı değerlendirmede, binada değişik deprem etkilerinde değişik performans seviyesinin incelenmesi, Tablo 2.2’de görüldüğü gibi, söz konusudur. Değerlendirilecek ve ya güçlendirildikten sonra yeterliliğine karar verilecek binalar ile ilgili deprem performansı belirleme çalışmaları düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkisi altında incelenir. Performans seviyesi, depremden sonra binada meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Binanın deprem performansı, taşıyıcı sistem elemanlarının (kiriş, kolon ve perde) deprem hasar seviyesinin bir bütünü olarak ifade edilir. Kesitin hasar durumunun belirlenmesi çözüm neticesinde elde edilecek iç kuvvetler ve ya şekil değiştirmelerin, yönetmelikte tanımlanan sınır değerlerle karşılaştırılmasıyla yapılır. 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 tanımlanır. Farklı yöntemlerin yönetmelikte bulunması, bir uygulama zenginliği olarak görülebilir. Bu yöntemlerin kabul ve çözüm işlemleri birbirinden farklı olduğu için, matematiksel olarak aynı sonuçların elde edilmesi her zaman beklenmez. Ancak, uygulama açısından ve yasak sorunların çıkmaması bakımından sonuçların birbirinden çok farklı olmaması uygundur. Böylece deprem yönetmeliğinde değişik açılardan taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışını göz önüne alan üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar (a) yeni binalar için öngörülen tasarım yöntemi, mevcut binalar için öngörülen (b) doğrusal olan ve (c) doğrusal olmayan değerlendirme yöntemleri olarak verilebilir. Hatta doğrusal olmayan yöntem çerçevesinde verilen (d) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi, kabulleri farklı olması bakımından, ayrı bir dördüncü yöntem olarak kabul edilebilir. İlk üç yöntemin ayrıca, tek modlu ve çok modlu uygulaması söz konusudur.

Aşağıda özetlenen ve yönetmelikte ayrıntısı verilen yöntemlerde taşıyıcı sistem periyot, kesit etkilerinin ve yer değiştirmelerinin hesapları çatlamış kesit eğilme rijitlikleri;

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

esas alınarak yapılır. Burada $(EI)_0$ nın çatlamamış kesitin eğilme rijitliği olduğu verilmiştir. Bu nedenle daha gerçekçi bir yaklaşım söz konusu olmaktadır.

Doğrusal elastik yöntemde görelî kat ötelemeleri taşıyıcı sistemde taşıyıcı olmayan elemanların hasarını sınırlı tutmak için sınırlandırılır. Buna karşılık doğrusal elastik olmayan yöntemde beton ve donatının birim uzamaları doğrudan sınırlandırıldığı için ayrıca görelî kat ötelemesi kontrolüne ihtiyaç duyulmaz.

2.6 PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

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 performans 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.

Yapı sistemlerini depremden kaynaklanan hasar durumlarına göre değerlendirme yapan performans 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 yapılara da uygulanabilmektedir. 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 [18]. Ülkemizde de bu tür çalışmalara paralel olarak, 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinin 7. Bölümü mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde performans dayalı doğrusal elastik ile doğrusal elastik olmayan hesaplama yöntemlerini içermektedir [19].

Birçok önemli yapının tasarımının performansa dayalı tasarım kriterlerine göre tasarıldığı, 1997 yılından itibaren yapılan yayınlardan anlaşılmaktadır [20].

Performansa dayalı tasarımın özellikle binalarla sınırlı kalmayıp pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için; öncelikle basit fakat güvenilir yaklaşımların, sayısal yöntemlerin ve standartların geliştirmesi gerekmektedir [20].

SEAOC (1995, 1996, 1999), ATC-40 (1996), FEMA-73, 274 (1997), 2000, FEMA-350-356 (2000) tarafından yayınlanan dokümanlar, performansa dayalı deprem tasarımının mevcut ve yeni yapılara nasıl uygulanacağı hakkında ilkeler vermektedir. Ayrıca, FEMA-302,303 (1997) ve FEMA-368(2001), performansa dayalı tasarım için hazırlık yönetmeliklerdir [5,7].

2.6.1 ATC ve FEMA'ya Göre Performans Seviyeleri

Performans seviyeleri, yapıda belirli bir deprem etkisi altında meydana gelmesi öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki fiziksel hasar miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturumamasına, deprem sonrasında yapının kullanılabilirlik durumuna ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenmektedir. Yapı performans seviyeleri, yapısal ve yapısal olmayan elemanlar için ayrı ayrı tanımlanan performans seviyelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Yapısal performans seviyeleri, SP kısaltması ve buna takip eden numaraya sahiptir. Yapısal olmayan performans seviyeleri ise, NP kısaltması ve bunu izleyen harf gösteriminden oluşmaktadır. Yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşiminde oluşan yapı performans seviyeleri ise ilgili rakam ve harf şeklinde belirtilmektedir.

2.6.2 ATC ve FEMA'ya Göre Yapısal Elemanların Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Bir yapının performans seviyesi, depremden sonra ortaya çıkması beklenen hasara ve bina içinde bulunanların can güvenliği ile depremden sonra binanın hizmet verebilmesine bağlı olarak tanımlanmaktadır. Hedeflenen performans seviyesi yapısal olan ve olmayan elemanlar için ayrı ayrı ifade edilir.

Tablo 2.3 Yapısal elemanların performans seviyeleri

Performans Seviyesi	Performans Aralığı	Tanım
SP-1		Hemen kullanım performans seviyesi
	SP-2	Hasar kontrollü performans aralığı
SP-3		Can güvenliği performans seviyesi
	SP-4	Sınırlı güvenli performans aralığı
SP-5		Göçmenin önlenmesi performans seviyesi
SP-6		Performansın dikkate alınmadığı durum

a) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1): Deprem sonrasında yapısal elemanlarda yok denecek kadar hasar meydana gelmiştir. Yapının taşıyıcı sistemleri deprem öncesi sahip oldukları dayanım ve kapasitelerinin hemen hemen hepsini korumaktadır. Yapısal hasardan dolayı yaralanma riski oluşmaz. Yapının depremden önce sahip olduğu kullanım durumu, deprem sonrasında da devam etmektedir.

b) Hasar Kontrollü Performans Aralığı (SP-2): Meydana gelen hasar Hemen Kullanım Performans Seviyesi (SP-1) ile Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3) aralığındadır. Bu performans aralığında, hem can güvenliğinin sağlanması hem de hasar miktarının sınırlandırılması öngörülmektedir. Yeni yapılacak yapıların 50 yıllık süre içinde aşılma olasılığı %10 olarak tanımlanan deprem etkisinde öngörülen performans seviyesi yaklaşık olarak bu aralığa düşmektedir.

c) Can Güvenliği Performans Seviyesi (SP-3): Deprem sonrasında yapıda önemli ölçüde yapısal hasar oluşmuştur. Fakat meydana gelen bu hasardan dolayı kısmen veya toptan göçmenin söz konusu değildir. Yapının taşıyıcı elemanlarında göçmeyi önleyecek bir ek kapasite mevcuttur. Yapıdaki taşıyıcı elemanlarda can güvenliğini tehdit edecek biçimde kırılma veya düşme meydana gelmez. Deprem esnasında çeşitli nedenlerden dolayı küçük yaralanmalar olsa bile, yapısal hasardan dolayı hayati tehlike oluşturabilecek yaralanma riski çok düşüktür. Yapının depremden sonra kullanımı için çeşitli onarım ve güçlendirmeler gerekebilir. Meydana gelen hasardan dolayı yapılacak güçlendirmelerin maliyetleri iyi analiz edilmelidir. Çünkü bazı durumlarda güçlendirme maliyeti fazla olabilir. Yönetmelik esaslarına uygun olarak tasarlanan yeni yapıların, bu yapısal performans seviyesine ulaşmaması beklenir.

d) Sınırlı Güvenlikli Performans Aralığı (SP-4): Yapısal performans seviye olmayıp, deprem sonrası yapıdaki hasarın Can Güvenliği Yapısal Performans Seviyesi (SP-3) ile Göçmenin Önlenmesi Yapısal Performans Seviyesi (SP-5) arasında kalan yapısal performans aralığıdır. Bu aralıkta yapısal elemanların performansları can güvenliğini sağlamayabilir.

e) Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (SP-5): Bu performans seviyesinde, deprem sonrası yapısal elemanların önemli bir kısmı güç tükenmesi sınırına gelmiştir. Yapı ağır hasarlıdır. Yapının depremden önce sahip olduğu yatay rijitlik ve dayanımında önemli azalmalar meydana gelmiştir. Yapının taşıyıcı elemanlarının taşıma kapasiteleri düşey yükleri ancak taşıyabilmektedir. Yapı içerisinde ve dışında yapısal elemanların göçme tehlikelerine bağlı olarak önemli oranda can güvenliği riski vardır. Artçı sarsıntılar yapının göçmesine neden olabilir. Yapının kullanılması için önemli bir güçlendirme yapılmalıdır. Fakat yapılacak güçlendirme genellikle ekonomik olmaz. Yapıların bu performans seviyesini en büyük deprem etkisi altında göstermesi istenir. Düşük bir deprem etkisi için bu performans seviyesinin dikkate alınması, ekonomik olarak akılcı değildir. Çünkü bu performans seviyesi yapının ömrü boyunca pek karşılaşmayacağı büyük depremler için verilmiştir.

f) Performansın Dikkate Alınmadığı Seviye (SP-6): Bir performans seviyesi olarak kabul edilmez. Sadece yapısal olmayan sismik değerlendirme ve güçlendirmenin gerektiği durumlarda kullanılabilir. Alışılmışın dışında da olsa, bazı durumlarda yapı gözden geçirilmeden yapısal olmayan sismik değerlendirme yapılmaktadır. Yapısal elemanlara ait hasarların dikkate alınmadığı durumdur.

3. DEPREM PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN HESAP YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

Bu yöntemle taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı daha gerçekçi bir biçimde ele alınır. Buna karşılık yöntemin uygulanmasında taşıyıcı sisteme ait daha çok parametreye ihtiyaç duyulur. Bu durumda özellikle mevcut binalar için bazen aşılması zor olan belirsizlikler ortaya çıkabilir. Ayrıca, doğrusal elastik çözüm yapan mevcut programlar kullanılmaz ve çok daha ayrıntılı çözüm teknikleri içeren programlara ihtiyaç duyulur. Doğrusal yönteme göre çözüm taşıyıcı sistemin düzensizliğinden daha çok etkilenir. Tahmin edileceği gibi, elde edilecek sonuç ne kadar çok kabul ile ortaya çıkıyorsa, güvenilirliği de o oranda daha az olacaktır. Bu yöntemin esasını oluşturan statik itme analizi olarak ifade edilen bu çözümün, doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları ile önemli derecede farklılık gösterdiği bilinmektedir.

Şekil değiştirme ve yer değiştirme esaslı değerlendirmenin göz önüne alındığı bu yöntemde, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için binadaki yer değiştirme talebine ulaşıldığında, binanın beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Bu yöntemin iki uygulaması mevcuttur. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal mod birleştirme yöntemi.

3.1 Artımsal Eşdeğer Yatay Yük Yöntemi (İtme Analizi)

Bu yöntem birinci modun etkili olduğu düşük katlı binalarda ve binada burulma düzensizliğinin sınırlı olduğu durumda yeterli yaklaşım sağlar. Yönetmelikte bu şartlar aşağıdaki gibi verilmiştir.

- Toplam kat adedi 8’i aşmayan binalarda,
- Burulma düzensizlik katsayısı 1.4 den küçük olan binalarda,
- Deprem doğrultusundaki birinci titreşim moduna ait etkin kütle oranı 0.70 den büyük olan binalarda

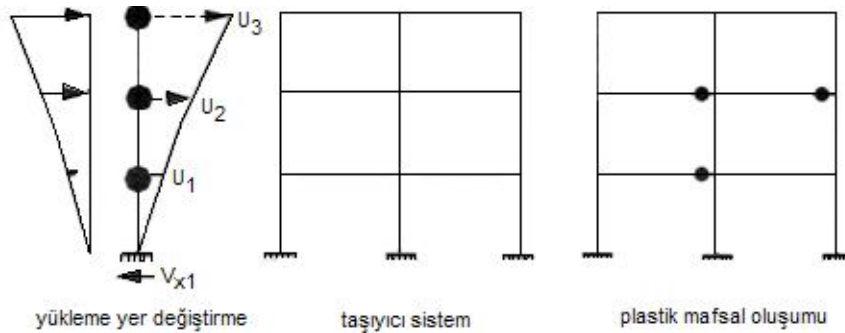
Yöntem, taşıyıcı sistemin yatay yük kapasitesi ile deprem etkisi talebinin buluşturularak, depremli duruma karşı gelen performans durumunun belirlenmesi olup, üç adımdan ibaret kabul edilebilir: a) kapasite eğrisinin belirlenmesi, b) deprem etkisinin talep eğrisinin belirlenmesi, c) iki eğrinin kesiştirilerek 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.

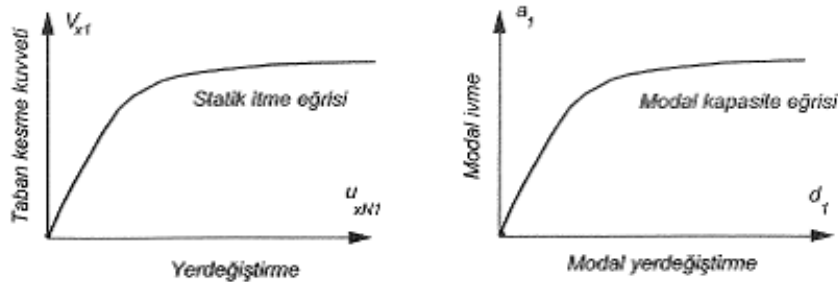
3.1.1 Yatay Yük Kapasite Eğrisi

Taşıyıcı sistemin geometrisi, kesit ve malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak sistem adım adım yüklenir (statik itme analizi) ve toplam yatay yük ile en üst noktanın yer değiştirmesi arasındaki ilişki elde edilir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Yatay yükün değişimi deprem etkisinde olduğu gibi birinci titreşim modu ve kat kütleleri ile orantılı kabul edilir. Statik itme analizinde aşağıdaki kabuller yapılır:

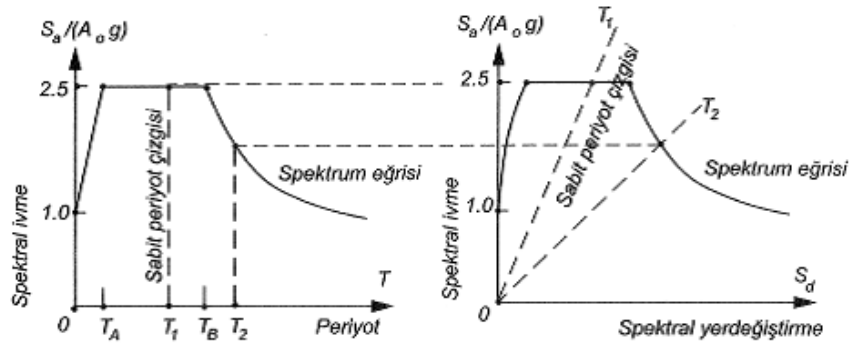
- Plastik şekil değiştirmelerin belirli kesitlerde toplandığı kabul edilerek, plastik mafsallık kabulü kullanılır.
- Plastik mafsallık boyu kesit yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilir. ($L_p=0.5 h$)
- Plastik mafsalların, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarında, perdelerde ise her katta kat seviyesinde oluşabileceği kabul edilir.



Şekil 3.1 Statik İtme analizi



Şekil 3.2 Statik İtme eğrisi ve modal kapasite eğrisi



Şekil 3.3 Spektrum eğrisinde eksen değiştirilmesi

- Eğilme momenti yanında normal kuvvette bulunan kolon kesitlerinde plastik mafsallı kesitlerinin güç tükenmesi (karşılıklı etki) çizgileri (yüzeyleri) mevcut malzeme dayanımları kullanılarak belirlenir ve bunların eğrisel değişiminin yeterli yaklaşıklıkla doğrularla ifade edilebileceği kabul edilir.
- Tablalı kiriş kesitlerde tabladaki beton ve donatının kesit kapasitesine katkısının olduğu kabul edilir.
- Betonarme elemanlarda daha gerçekçi olması sebebiyle çatlamış kesit eğilme rijitlikleri kabul edilir.

Statik itme eğrisi, tamamen sistemin özelliklerine bağlı olup Şekil 3.2' de verildiği gibi, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışla karşıladığı V_{x1} yatay kuvveti altında oluşan U_{xN1} yatay yer değiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu eğrinin dinamik elasto-plastik davranışta oluşan kuvvet-yer değiştirme eğrisinin ana iskelet eğrisi olduğu kabul edilir. Statik itme eğrisinde yatay kuvvet arttıkça plastik şekil değiştirmeler ve yatay yer değiştirmeler büyümekte ve sistemde hasar artarak ortaya çıkmaktadır. Bu eğrinin adımlarında kesitlerde plastik mafsalların ortaya çıkış sırasının izlenmesi, sistemin davranışının değerlendirilmesi bakımından önemli bilgiler içerir. Statik itme eğrisini daha sonra talep eğrisi ile bir araya getirebilmek için bir eksen değişimi uygulanır. V_{x1} toplam kuvvet (taban kesme kuvveti), a_1 modal ivmeye ve U_{N1} en üst katın yer değiştirmesi d_1 modal yer değiştirmeye dönüştürülür.

$$a_1 = \frac{V_1}{M_1} \quad d_1 = \frac{u_{N1}}{\phi_{N1} \Gamma_1} \quad (3.1)$$

Burada m_n kat kütlesi, ϕ_{n1} birinci moddaki kat yer değiştirmesi vektör elemanları olup, M_1 birinci modal kütle ve Γ_1 aşağıdaki gibi tanımlıdır.

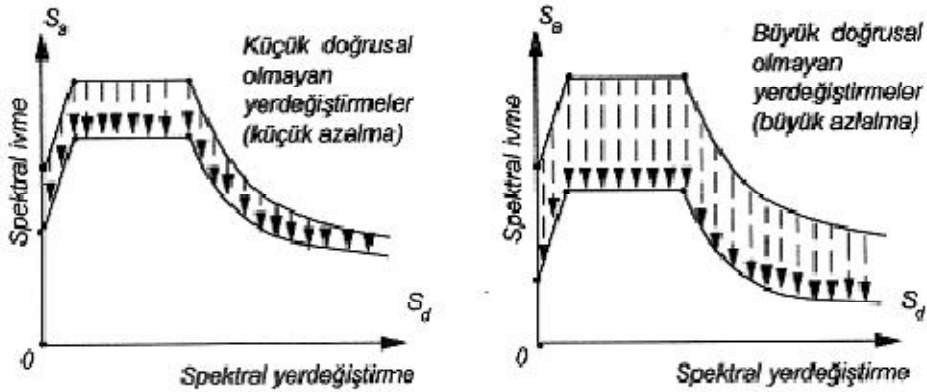
$$\overline{M}_1 = \frac{[\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}]^2}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad \Gamma_1 = \frac{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}}{\sum_{n=1}^N m_n \phi_{n1}^2} \quad (3.2)$$

3.1.2 Deprem Etkisi Talep Eğrisi

Deprem etkisi yönetmelikte spektrum eğrisi ile tanımlı olup, Şekil 3.3' de Tasarım depremi için gösterilmiştir. Kullanım depremi için eğri değerleri yarıya inerken (A_0 yerine $0.5 A_0$) ve en büyük deprem için %50 arttırılır. (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

$$S_a = \frac{S_d}{\omega^2} = S_d \frac{T^2}{(2\pi)^2} \quad (3.3)$$

ifadesiyle dönüşüm yapılır.

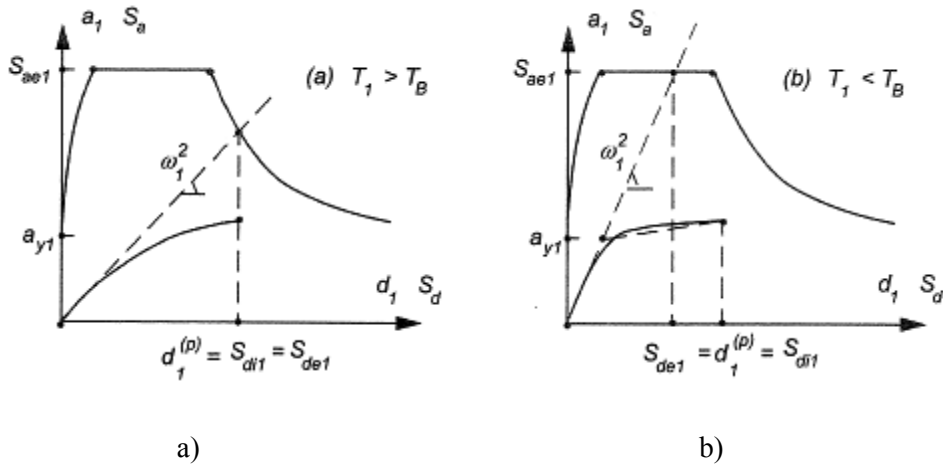


Şekil 3.4 Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi

3.1.3 Kapasite ve Talep Eğrilerinin Kesiştirilmesi

İki eğrinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge konumu bulunur. Ancak, bu kesişmenin yapılabilmesi için iki eğrinin aynı türden olması gerekir. 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 bulunabilir. Ancak, bu azalma sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlı olarak ortaya çıkar. Büyük elasto-plastik yer değiştirmeler daha büyük sönüme sebep olacağı için elastik spektrum eğrisinin azaltılması da daha büyük olur (Şekil 3.4). Ancak talep eğrisinin bu tür azaltılması değişik parametrelere bağlı olduğu için, seçilecek basit bir azaltma katsayısı ile bu işlemin yapılması mümkün olmaz. Deprem yönetmeliği'nde kapasite eğrisinin talep eğrisi gibi elastik duruma çevrilmesi ile dönüşümün yapılması önerilir. Bu işlem kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesiyle kolayca yapılır. Bu teğetle elastik talep (spektrum) eğrisinin kesimi ile hem göz önüne alınan depremin talebi ve hem de sistemin ona verdiği yatay yer değiştirme elde edilir. Ancak, her iki eğride elastik tabanlı olduğu için bulunan nokta da sistemin elastik davranışı ile, yani taşıyıcı sistemin hasarsız olarak depremi karşılaması ile ilgilidir. Eşit yer değiştirme Kuralı kullanılarak elastik sistem için elde edilen d_{max}^{ep} elasto plastik olana geçilir. Buna göre periyodu büyük yapılarda elastik ve elasto-plastik yer değiştirmelerin yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilirken, periyodu küçük yapılarda elasto-plastik yer değiştirme elastik yer değiştirmenin bir katsayı ile büyütülmesi ile elde edilir.



Şekil 3.5 a,b, Elastik spektrum eğrisi ile kapasite eğrisinin kesiştirilerek elastik ve elasto plastik yer değiştirmenin bulunması

$$d_{max}^{ep} = C_{R1} d_{max}^e \quad (3.4)$$

Burada C_{R1} dönüşürme katsayısı,

$$\begin{aligned} T_1 \leq T_B & \quad C_{R1} = \frac{1}{R_{y1}} \left[1 + (R_{y1} - 1) \frac{T_B}{T_1} \right] \\ T_1 \leq T_B & \quad C_{R1} = 1 \end{aligned} \quad (3.5)$$

olarak öngörülür. Burada T_1 sistemin birinci periyodunu ve $R_{y1} = S_{ael}/a_{y1}$ bu moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir. Şekil 3.5.b’de görüldüğü gibi kapasite eğrisinin son noktası bulunduktan sonra bu eğrinin iki doğrulu bir değişime dönüştürülmesi ve buradan bulunacak a_{y1} değeri ile R_{y1} ve C_{R1} in hesap edilmesi gerekir. Ancak başlangıçta kapasite eğrisi üzerinde ortaya çıkacak performans noktası bilinmediği için, bir veya iki adımda sonuç veren bir deneme-yanılma çözümünün uygulanması gerekli olabilir.

Statik itme çözümünün adımlarında elamanların güç tükenmesi durumlarının kontrolü gerekir. Örneğin elde edilen kesme kuvveti mevcut donatı ile karşılanamıyorsa, sistemin bu itme adımına ulaşmadan gücünün tükeneceğine karar verilir. Geri dönerek kesit etkilerinin karşı gelen mevcut kapasite ile karşılaştırılmasıyla, ulaşılabilecek en büyük itme adımı bulunur. Bu adım eğer depremin talep yer değiştirmesinden küçük kalıyorsa, deprem etkisi karşılanamıyor demektir. İstenirse güçlendirme ile kesit veya eleman kapasitesi arttırılarak daha ileri itme adımlarına geçilebilir. Performans noktasının belirlenmesinden sonra, depremin talebine karşı sistemin elasto-plastik davranışla yapacağı yer değiştirme, plastik mafsallık yerleri, θ_p plastik mafsallık dönmeleri ve dolayısıyla ϕ_p plastik eğrilikler bulunur. Bu plastik eğriliklere kesitin plastikleşmeye erişinceye kadar yaptığı ϕ_y akma elastik eğrililiği de eklenerek kesitin ϕ_t toplam eğrililiği bulunabilir.

$$\phi_p = \theta_p / L_p \quad \phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.6)$$

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 edilebilir. Bu değerler Tablo 3.1’de ki performans durumlarına ait sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar durumu elde edilir. Bu adımdan sonraki adımlarda doğrusal elastik yöntemde olduğu gibi, kesitlerden elemanlara ve katlara geçilerek binanın performans durumu belirlenir.

Tablo 3.1’de incelendiğinde hasar sınırının ilerlemesiyle donatıda daha büyük şekil değiştirmelere müsaade edildiği görülmektedir. Betonda minimum hasar sınırında en dış betondaki birim kısalmanın sınırı $\mathcal{E}_{cu}$ verilirken, güvenlik ve göçme sınırında enine donatı

içinde kalan betonun birim kısalmasının sınırı ϵ_{cg} verilir. Yöntemin adımları şöyle özetlenebilir:

- Mevcut taşıyıcı sistem $G+nQ$ yükleri altında çözülerek kesit etkileri hesap edilir.
- 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. Kolon ve perdelerde deprem etkisinde normal kuvvette değişiklik olacağı için, bu kapasite değerlerinde de değişiklik olacaktır.
- 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.
- Göz önüne alınan depreme bağlı olarak (kullanma, tasarım ve en büyük deprem) ve zemin karakteristik periyodları dikkate alınarak, periyot-spektral ivme eğrisi oluşturulur. Bu eğriden spektral yer değiştirme- spektral ivme eğrisine geçilir.
- Bulunan deprem talep ve sistem kapasite eğrileri kullanılarak binanın performans noktası elde edilir.
- Performans noktasında bulunan modal yer değiştirme talebinden, taşıyıcı sisteme ait iç kuvvet, yer değiştirme ve şekil değiştirme talebi belirlenir.
- Bulunan şekil değiştirmeler, kesit hasar sınırlarına karşı gelen beton ve donatı şekil değiştirmeleri ile karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.
- Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak, taşıyıcı sistemin verilen deprem etkisindeki deprem performansı belirlenir.
- Bina için belirlenen performans düzeyinin kabul edilip edilmeyeceği kontrol edilir.

Tablo 3.1 Beton ve donatıda şekil değiştirme sınır değerleri

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

3.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemin amacı, birinci modal kütlenin 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.

3.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Bu yöntemde taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak kabul edilen bir deprem hareketi altındaki taşıyıcı sistemin hareket denklemi sayısal olarak çözülerek, doğrusal davranışta olduğu gibi, sistemin bütün elastik ve plastik şekil değiştirmeleri, yer değiştirmeleri ve kesit iç etkileri zamana bağlı olarak bulunur, daha sonra sistemde plastik mafsallarda dönmesi ve beton donatısının birim uzama/kısalma talepleri belirlenir. Çözümü en kapsamlı olan bu yöntemde, kabullerin çok sayıda olması sonuçların yorumlanmasında özenli olmayı gerektirir. Ayrıca, seçilen deprem kaydının yönetmelikte verilen spektrum eğrisi ile uyuşması ve olabildiğince çok sayıda kayıtla çözüm yapılması önerilir.

4.YAPILARIN ELASTİK ÖTESİ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

Yapıların analizinde doğrusal olmamayı doğuran iki unsur, malzeme bakımından doğrusal olmama ile geometri değişimlerinin doğrusal olmamasıdır. Malzeme davranışı bakımından doğrusal olmayan analizde, yapı malzemesinin gerçek gerilme-şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak hesap yapılmaktadır. Malzemelerin gerçek gerilme-şekil değiştirme bağıntıları ise doğrusal değildir. Gerçek gerilme şekil değiştirme bağıntılarının kullanılması nedeniyle yapı sisteminin hesabı da doğrusal olmamaktadır.

Yapı sistemlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan analizinin yapılabilmesi için öncelikle malzemenin gerilme-şekil değiştirme davranışının modellenmesi gerekmektedir. Malzemelerin yükler altında göstermiş oldukları gerilme-şekil değiştirme davranışının tam olarak modellenmesi ise oldukça zordur. Bu nedenle malzemenin gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrisine göre hesap oldukça zordur.

Betonun σ - ϵ eğrisinin şekil ve maksimum birim kopma uzaması, beton mukavemetine göre değişmektedir. Beton mukavemetinin σ - ϵ eğrisi üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla yapılan deneylerden;

- Farklı mukavemete sahip betonlar için elde edilen farklı σ - ϵ eğrilerinin başlangıç eğimlerinin beton kalitesi yükseldikçe arttığı,
- Yüksek mukavemetli betonların tepe noktalarının daha belirgin olduğu,
- Düşük mukavemetli betonların, yüksek mukavemetli olanlara oranla daha fazla sünekliliğe sahip olduğu, yani düşük mukavemetli betonların kırılma anındaki kısalmasının daha büyük olduğu,
- Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalmanın, beton mukavemetinden bağımsız olarak 0.002 mertebesinde olduğu gözlenmiştir.

4.1 Plastik Mafsal Kabulü

Gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal olmayan malzemeden yapılan sistemlerde, artan yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde orantı sınırını aşmakta ve bu kesitler dolayında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yapı çeliği gibi sünek malzemeden yapılan sistemlerde, plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit

adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunların dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik olarak davrandığı varsayılabilir (elastoplastik davranış). Bilindiği gibi, tek eksenli basit eğilmenin etkin olduğu düzlem sistemlerde bu varsayıma plastik mafsalları teorisi denilmektedir. Yeterli sayıda plastik mafsalları oluştuktan sonra sistem, yükün şiddetindeki herhangi bir artıma ihtiyaç olmadan yer değiştirme yapabilmektedir. Yani, plastik mafsallar arasında kalan kiriş parçaları yükün şiddetindeki herhangi bir artıma gerek olmadan hareket edebilmektedir. Bu duruma mekanizma adı verilmektedir.

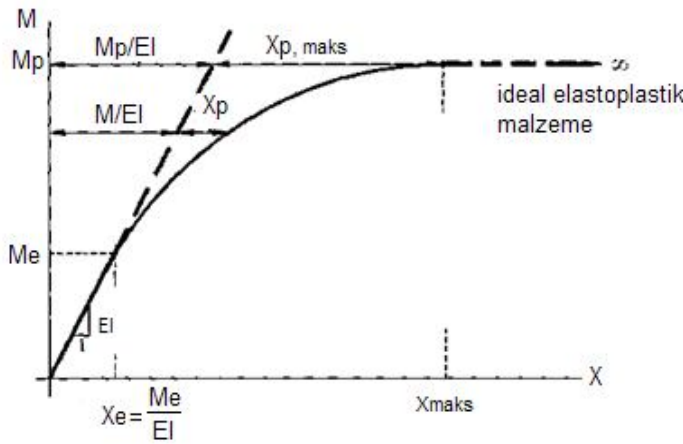
Betonarme binalarda deprem sarsıntısının etkisi, çatı ve kat seviyelerinde birbirlerine yatay elemanlarla bağlanan düşey çerçeve perdelerle karşılanır. Kolon, kiriş gibi yapısal elemanların doğrusal olmayan özelliklerini ve mekanizma durumlarını belirlemek önemlidir. Bu özellikler, kuvvetler (eksenel, eğilme ve kayma) ve ilgili elastik ötesi deplasmanlarla ilgilidir. Deprem yükleri bu elemanlara genellikle dairesel bir çevrimde etki eder. Modelleme ve analizlerde bu ilişkiler idealize edilirler.

Basit eğilme etkisi altındaki yapı taşıyıcı elemanlarında oluşan plastik şekil değiştirmeler eleman boyunca yayılı olarak gerçekleşir. Sünek betonarme kesitlerde eğilme momenti-eğrilik eğrisinin iki kısımdan oluştuğu gözlenmektedir. Birinci bölgede, eğilme momentinin düşük değerleri için, moment eğrilik bağıntısı yaklaşık olarak doğrusal-elastik kabul edilmektedir. Bu bölgede, kesitteki beton doğrusal davranış gösterdiğinden dolayı moment-eğrilik bağıntısı da benzer davranış göstermektedir. Fakat kesitte gerilmelerin artmasına paralel olarak çekme bölgesinde beton çatlar ve donatı akar. Kesitteki gerilmelerin artmasıyla birlikte betonda doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kesitin davranışında hâkim olmaya başlamasıyla kesitin eğilme momenti-eğrilik bağıntısının doğrusal davranışı sona erer. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğri yataya yakın olmaktadır. Plastik davranışın hâkim olduğu bu bölgede, kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artışlar meydana gelirken kesit dönmeleri ve eğrilik hızlı bir şekilde artmakta ve eğrilik sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelmektedir [2].

Betonarme kolon ve kiriş gibi elemanlarda eğilme momenti elemanın eksenini boyunca değişir. Kritik kesitin bulunduğu sınırlı bölgenin dışındaki kesitler güç tükenmesine erişmez. Bazı kesitlerde momentin küçük olması sebebiyle çekme bölgesinde çatlama oluşmaz. Küçük moment değerlerinde moment ile eğrilik doğrusal davranış gösterirler. Ancak, kesitte meydana gelen çatlakların kesitin atalet momentini

azaltmasından dolayı eğriliğin çatlak kesitlerinde büyüdüğü görülmektedir. Mesnede yakın bölgelerde eğilme momenti büyük olduğu için elastik ötesi davranışta plastik dönmeler daha etkili olur [21].

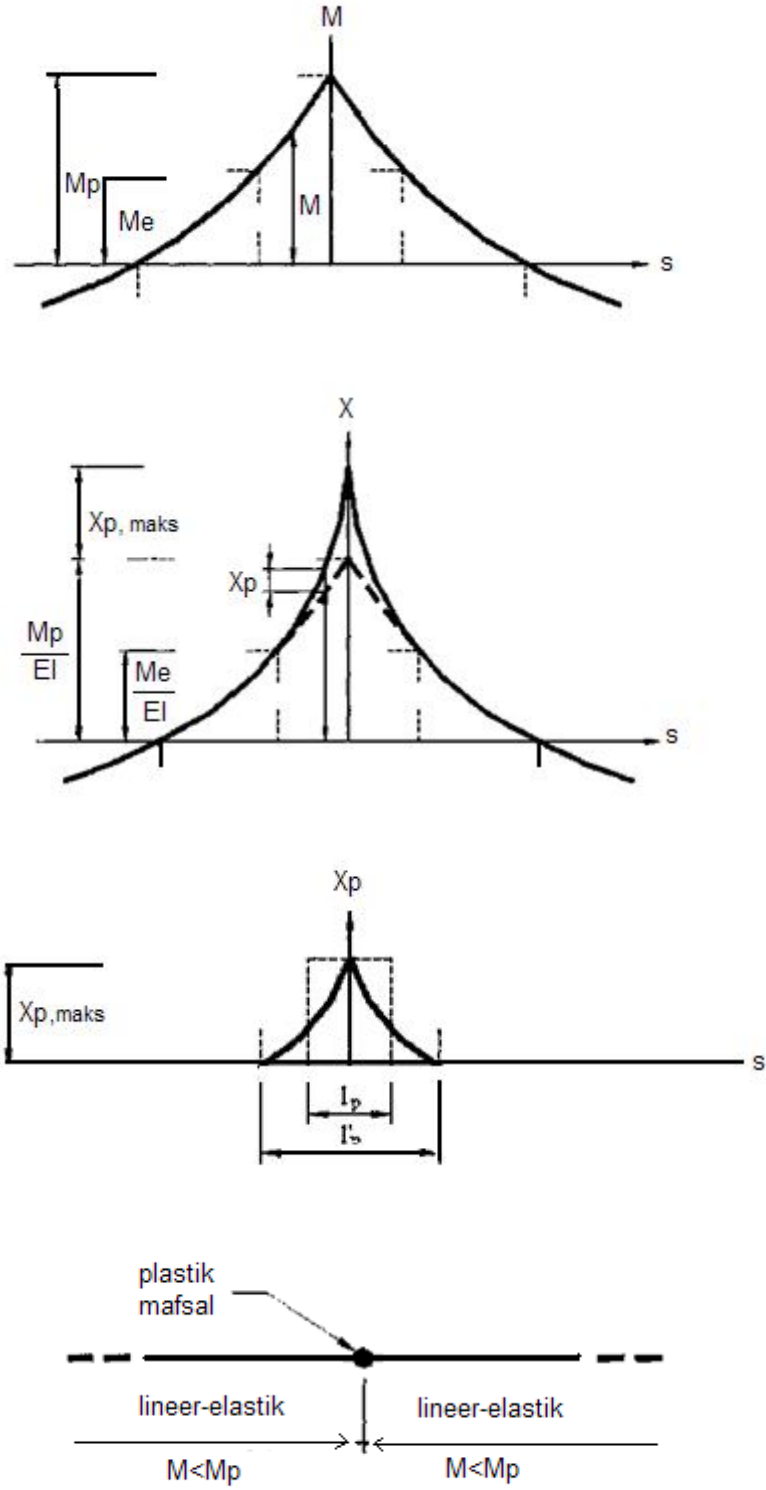
Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan μ süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerin plastik mafsalsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, plastik mafsalsal (plastik kesit) hipotezi adı verilir. Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsalsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısıtlanabilmektedir [2].



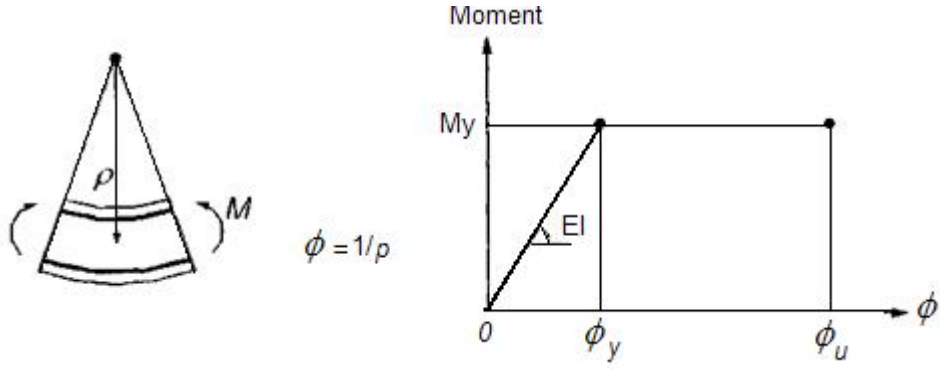
Şekil 4.1 Düzlem çubuk elemanın eğilme momenti-eğrilik diyagramı

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

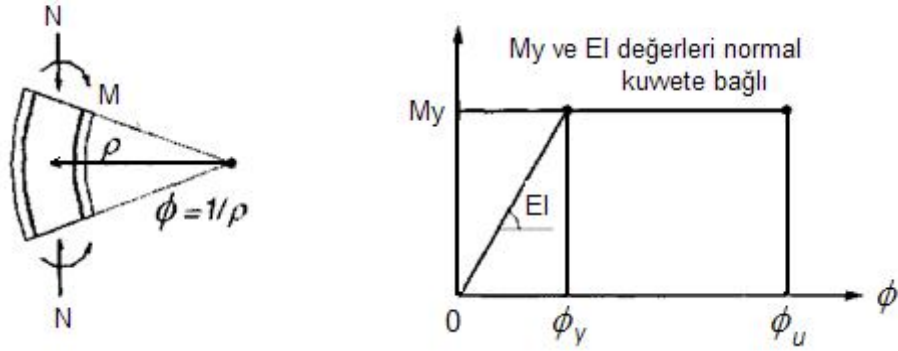
$$\phi_p = \int_{l_p} X_p ds \quad (4.1)$$



Şekil 4.2 Kiriş mesnet bölgesinde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler



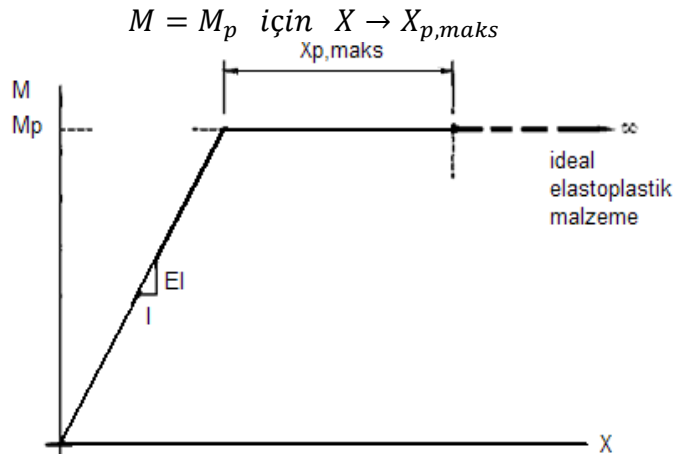
Şekil 4.3 Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi



Şekil 4.4 Kolonlarda eğilme momenti- eğrilik ilişkisi

Plastik mafsal kabulünde eğilme momenti - eğrilik bağıntısı elastoplastik özellik gösterecek şekilde idealize edilmektedir.

$$M \leq M_p \text{ için } X = \frac{M}{EI} \quad (4.2)$$



Şekil 4.5 İdealleştirilmiş bünye bağıntısı

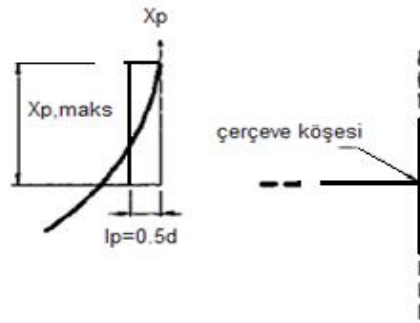
Plastik mafsal dönmelerinin yapı sisteminin bir veya daha çok kesitinde dönme kapasitesine ulaşması ile yapı kullanılamaz hale gelir, Diğer bir deyişle yapı göçer. Dönme kapasitesi eğilme momenti diyagramının şekline ve $M - X$ bağıntısına bağlı olarak belirlenir. Dönme kapasitesinin yaklaşık olarak hesabı

$$maks \int_{l_p} X_p ds \quad (X_p \rightarrow X_{p,maks}) \quad (4.3)$$

$$maks \phi_p = l_p X_{p,maks} \quad (4.4)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada l_p plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsal boyu) göstermektedir ve yaklaşık olarak, d : en kesit yüksekliğidir.

$$l_p \cong 0.5d \quad (4.5)$$



Şekil 4.6 Plastik mafsal boyu

Plastik mafsal dönmelerini etkileyen çeşitli etkenler aşağıda verilmiştir. Bunların en önemlileri;

- Betonarme betonu ve beton çeliğinin σ - ϵ diyagramlarını belirleyen ϵ_{cu} ve ϵ_{su} sınır birim boy değişimleri,
- Betonarme betonunun ϵ_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,
- Plastik bölge uzunluğunu etkileyen en kesit boyutları,
- Eğilme momenti diyagramının şekli,
- Yapı elemanının normal kuvvetinin büyüklüğüdür.

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.

Plastik mafsallarda kabulünde temel unsurlar aşağıda sıralanmıştır:

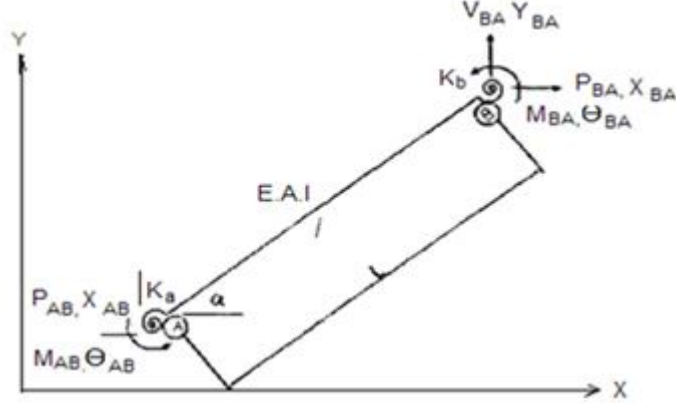
Bir kesitte plastik mafsallarda oluşması için o kesitteki eğilme momentinin, M_p plastik moment değerine eşit olması gerekir. Kesitteki eğilme momenti M_p ' ye eşit olunca taşıyabileceği en büyük moment değerine ulaşmış demektir. Bundan sonra kesit daha fazla moment taşıyamaz ve serbestçe döner. Kesitte 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 doğrusal-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 kesitte M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment M_p değeri esas alınır.

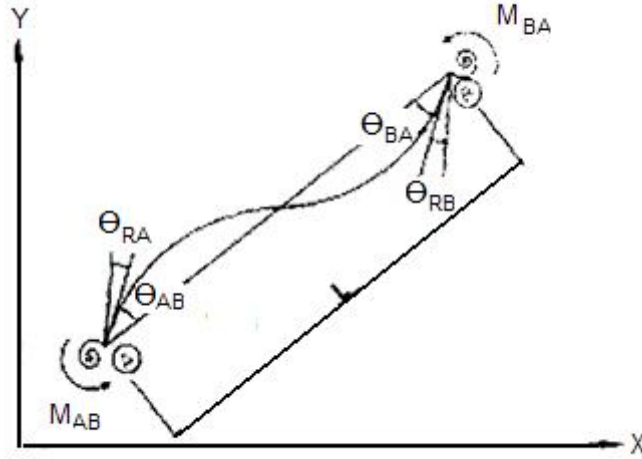
4.2 Yarı Rijit Bağlantılı Sistemler

Yarı rijit bağlantılı sistemler, kolon - kiriş birleşimlerinin bağlantılarının tam rijit veya mafsallı olarak tanımlanamadığı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlama hemen hemen tüm çerçeveler için geçerli olmasına rağmen, tasarımda kolaylık sağlaması amacıyla, ihmal edilebilecek düzeyde olan dönme veya momentlerin göz önüne alınmamasıyla idealize sistemler modellenmektedir. Bunun yanı sıra daha gerçekçi modellerin aranmasıyla yarı rijit bağlantılı sistemler kullanılmıştır (Şekil 4.7- 4.8). Sistemleri yarı rijit bağlantılı olarak tasarlayıp doğrusal hesaplama yapılabilir. Ancak yarı rijit bağlantılı elemanların doğrusal olmayan analizde yer alması, doğrusal analizde rijit bağlantılı olarak tanımlanan sistemlerin hasar durumu sonrasında tam olarak mafsallı kabul

edilmesinin analiz sonuçlarında yanlışlıklara yol açmasını önlemek amacıyla yöneliktir. Aksi durumda analiz adımlarında plastikleşen kesitlere gerçek bir mafsal atanması yeterli görülecektir.

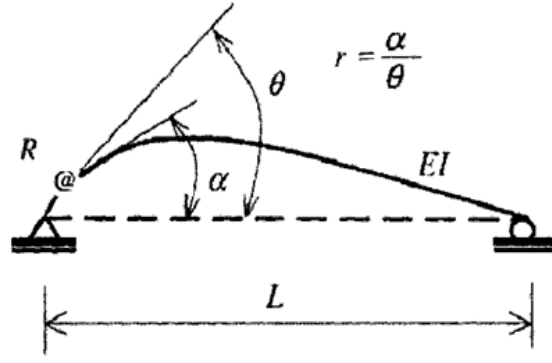


Şekil 4.7 Yarı rijit bağlı elemanda uç kuvvetler



Şekil 4.8 Yarı rijit elemanda uç dönmeler

Yarı rijit bağlı çerçevelerin sonlu eleman modellemelerinde çubuk uç bağlantı şekilleri doğrusal ve doğrusal olmayan yay şeklinde olabilir. Plastik mafsalları kullanarak yapıların doğrusal olmayan itme analizlerinde yay rijit tam plastik veya rijit pekleşen plastik şeklinde modellenmektedir. R dönme rijitliği ve r uç dönmesinin toplam dönmeye oranını gösteren rijitlik faktörüdür (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Yarı rijit elemanda rijitlik faktörü (redör)

$$r_1 = \frac{1}{1 + \left(\frac{3EI}{R_1 L}\right)} \quad r_2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{3EI}{R_2 L}\right)} \quad (4.6)$$

Yarı rijit bağlı elemanın elastik rijitlik matrisi (K), Denklem 4.7 'den hesaplanmaktadır.

S_e ve C_e , sırasıyla, Denklem 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Burada,

S_e : Tam bağlı duruma ait elastik rijitlik matrisi

C_e : Düzeltme matrisidir.

$$K = S_e \cdot C_e \quad (4.7)$$

$$S_e = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ \text{simetri} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$\begin{bmatrix}
1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
1 & \frac{4r_2 - 2r_1 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & -2L \frac{r_1(1 - r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{4r_1 - 2r_2 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & 2L \frac{r_2(1 - r_1)}{4 - r_1r_2} \\
0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_1(2 - r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_2(2 - r_1)}{4 - r_1r_2} \\
1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
0 & \frac{4r_2 - 2r_1 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & -2L \frac{r_1(1 - r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{4r_1 - 2r_2 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} & 2L \frac{r_2(1 - r_1)}{4 - r_1r_2} \\
0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_1(2 - r_2)}{4 - r_1r_2} & 0 & \frac{6}{L} \frac{r_1 - r_2}{4 - r_1r_2} & 3 \frac{r_2(2 - r_1)}{4 - r_1r_2}
\end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Denklem 4.7' de verilen tam rijit bağı durumuna ait elastik rijitlik matrisi ile düzeltme matrisinin çarpımından elde edilen yarı rijit bağı eleman rijitlik matrisi Denklem 4.10' da verilmiştir.

$$K = \begin{bmatrix}
\frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\
\frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & \frac{6EI}{L^2} \alpha_2 & 0 & -\frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & \frac{6EI}{L^3} \alpha_3 \\
\frac{4EI}{L} \beta_1 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} \alpha_2 & \frac{2EI}{L} \beta_3 \\
\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & -\frac{6EI}{L^3} \alpha_3 \\
\frac{12EI}{L^3} \alpha_1 & -\frac{6EI}{L^3} \alpha_3 & \frac{4EI}{L} \beta_2
\end{bmatrix} \quad (4.10)$$

simetri

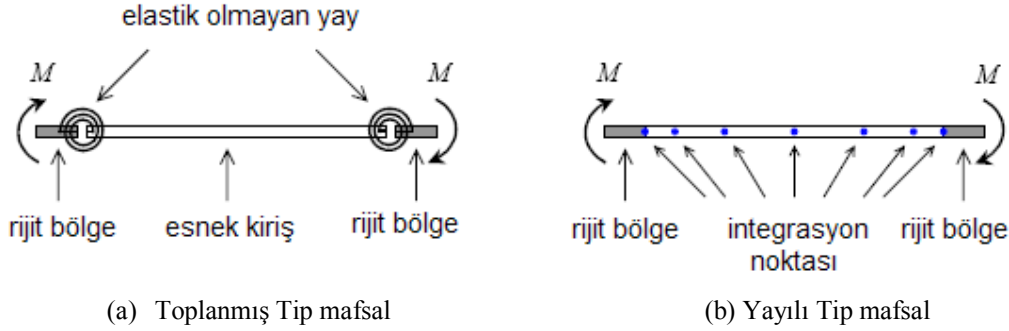
Burada;

$$\alpha_1 = \frac{r_1 + r_2 + r_1r_2}{4 - r_1r_2} \quad \alpha_2 = \frac{r_1(2 + r_2)}{4 - r_1r_2} \quad \alpha_3 = \frac{r_2(2 + r_1)}{4 - r_1r_2} \quad \text{dir.} \quad (4.11)$$

4.3 Elastik Olmayan Kiriş Elemanı

Elastik olmayan bir kiriş elemanı, elastik olmayan mafsallık özelliğine sahiptir. Elastik olmayan kirişin rijitliği elastiklik metoduyla formüle edilmektedir. Elastik olmayan kiriş elemanı prizmatik bir kesite sahiptir. Tek bir kiriş elemanı için mafsallık özellikleri ise birim 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 4.10 Elastik olmayan kiriş elemanı

4.3.1 Toplanmış Tip Elastik Olmayan Plastik Mafsallı

Toplanmış tip mafsalda 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 mafsallı elemanın dışında kalan diğer kiriş eleman kısımları ise elastik olarak kabul edilmektedir. Toplam eleman esneklik matrisi ise elastik kiriş esneklik matrisine toplanmış tip mafsallı elemanın 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 mafsallı elemanın teğet esneklik matrisi, tek veya çok eğrili histeresis modelleri ile elde edilmektedir.

$$F_s = F_H - F_{H0} \quad (4.12)$$

$$F = F_B + \sum F_s \quad (4.13)$$

$$K = F^{-1} \quad (4.14)$$

Burada;

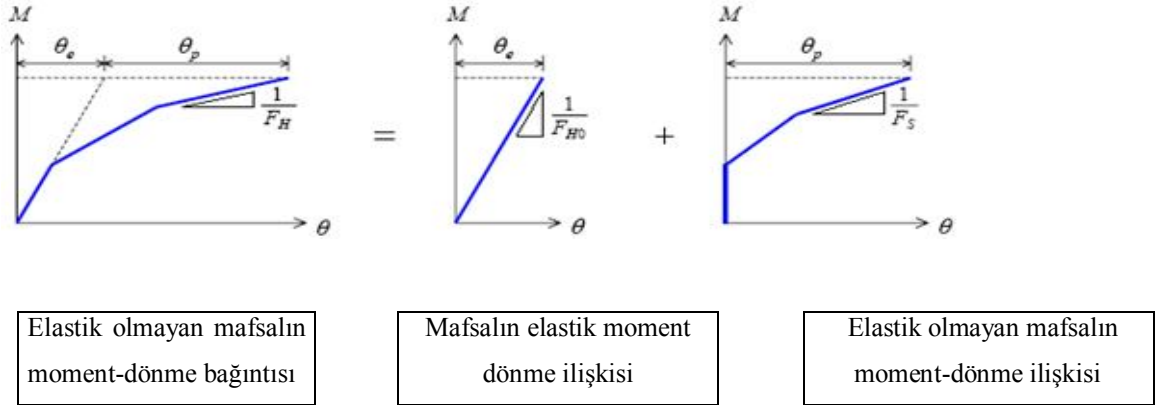
F_H : Elastik olmayan mafsalsın bükülebilirlik matrisi

F_{H0} : Elastik olmayan mafsalsın başlangıç bükülebilirliğinin matrisi

F_S : Elastik olmayan yayın bükülebilirlik matrisi

F_B : Elastik kirişin bükülebilirlik matrisi

K : Elastik olmayan kirişin eleman rijitliğinin matrisi



Şekil 4.11 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. Başlangıç rijitliğine dayalı olarak kiriş üzerindeki moment dağılımı Şekil 4.3’de görüldüğü gibi olmaktadır.

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

Tablo 4.1 Moment-dönme etkisine bağlı elastik olmayan mafsalların başlangıç rijitliği
(toplam uzunluk= L, bükülme sertliği= EI)

4.3.2 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 elde edilmektedir. Elemanın boyuna doğrultusunda bir integrasyon noktasında yer alan bir kesitin esnekliği tek veya çok doğrulu belirtilen histeretik modelleri kullanılarak elde edilmektedir. Rijitlik matrisi ise esneklik matrisinin tersi alınarak elde edilmektedir.

$$F = \int_0^L b^T(x)f(x)b(x)dx \quad (4.15)$$

$$F = K^{-1} \quad (4.16)$$

Burada;

$f(x)$: x bölgesindeki kesitin esneklik matrisi

$b(x)$: x bölgesindeki kesitin kuvvet dağılım fonksiyon matrisi

F : Eleman esneklik matrisi

K : Eleman rijitlik matrisi

L : Elemanın uzunluğu

x : Kesitin yeri

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 belirlenebilir.

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 çözüm zamanının artmasına neden olacaktır.

5. FIRAT ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ KAMPÜSÜ BİNALARI HASAR DURUMLARI VE LİNEER OLMAYAN ANALİZLERİ

Elazığ Fırat Üniversitesi, Mühendislik ve Rektörlük kampusu olmak üzere iki ayrı yerleşim alanından oluşmuş, 1967 yılında Yüksek Teknik Okul olarak kurulmuştur. 1969 yılında da Elazığ Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi adını alarak en son 1975 yılında bugünkü adı olan Fırat Üniversitesi ünvanına kavuşmuştur.

Fırat Üniversitesi, Rektörlük ve Mühendislik Fakültesi, Dekanlık kampusu ile birlikte toplam 10 adet üniteden oluşmaktadır. Rektörlük kampusu 1.414.394 m² lik alana sahip olup bünyesinde Tıp Fakültesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Veteriner Fakültesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Fırat üniversitesi Uygulama ve Araştırma Hastanesi, Üniversite Evi, Rektörlük ve Yapı İşleri Teknik Daire Başkanlığı binalarını barındırmaktadır. Binalar genel olarak çerçevesiz ve çerçevesiz-perdeli sistemden teşkil edilmiş olup, yapım aşamasında karma betonla inşa edilmiştir.

Mühendislik kampusu 626.092 m² alana kurulmuş olup içerisinde; Atatürk Kültür Merkezi, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı, İnşaat Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Jeoloji Mühendisliği, Beden Eğitimi Spor Meslek Yüksek Okulu, Çevre Mühendisliği, Kimya Mühendisliği, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Kütüphane ve yurt binaları bulunmaktadır. Ayrıca Mühendislik kampusu içerisinde 150 adet lojman mevcuttur.

Mikro bölgeleme çalışmaları süresince Mühendislik kampusu içerisinde bulunan binaların özellikleri ve hasar durumları belirlenip bilgileri kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5.1 Mühendislik kampüsü yerleşim durumu

5.1 Makine Mühendisliği Bölüm Binası

Makine Mühendisliği bölüm binası toplam 3866.2 m² kullanım alanına sahip olup; zemin, bir adet kısmi bodrum kat ve idare kısmında bir adet normal kattan oluşmuştur. Bina dilatasyon derzleri ile ayrılmış 7 ayrı bloktan meydana gelmiştir. Betonarme karkas özelliktedir ve taşıyıcı sistemi çerçeveselidir. Makine Mühendisliği laboratuvarı ise ayrı bir bina olarak inşa edilmiş olup dilatasyon derzleri ile ayrılmış 3 ayrı bloktan oluşmuştur. Bir normal kata sahip ve toplam bina alanı 922.35 m² dir. Şekil 5.2’de binanın şuan ki mevcut hasar durumları görülmekte olup tehlike arz edecek bir durum olmadığı sadece oturma çatlaklarının olduğu belirlenmiştir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 5.2 a,b,c,d Makine mühendisliği ve laboratuvar binaları hasar durumları

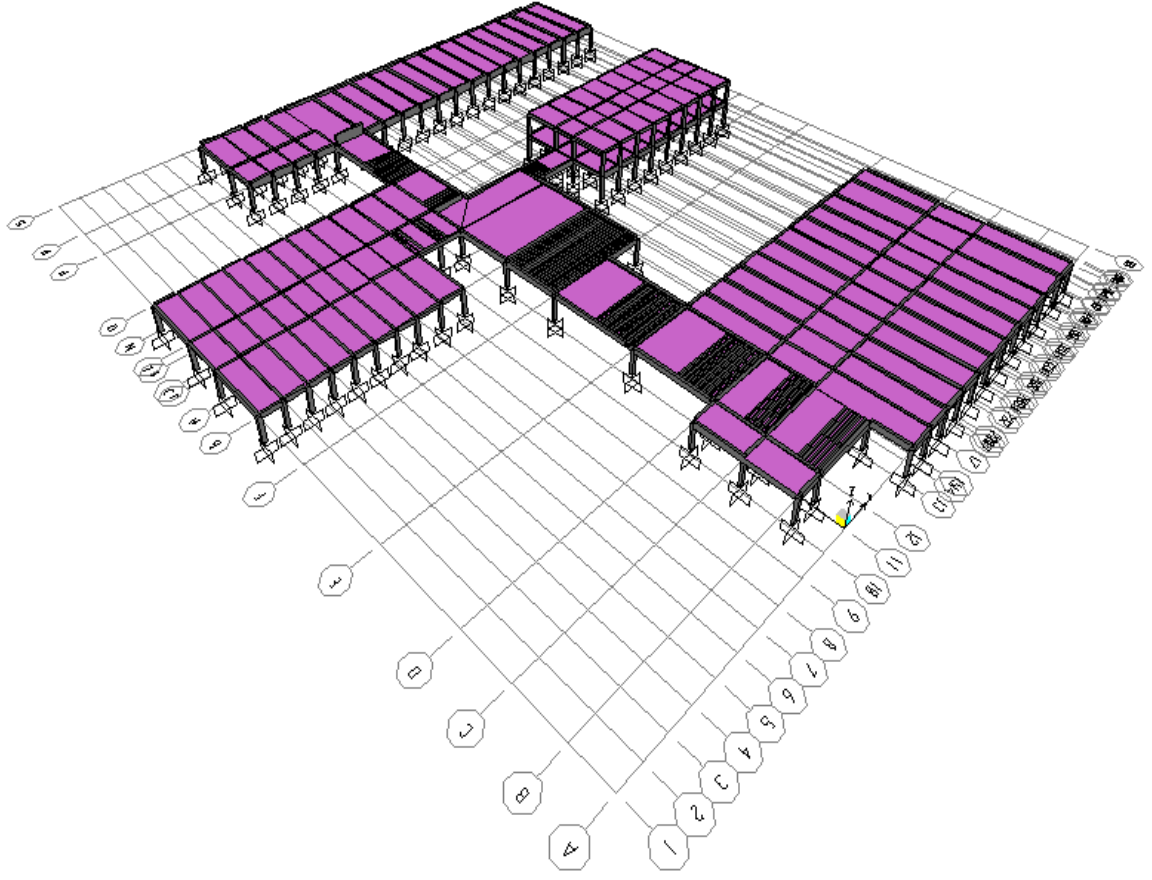
5.1.1 Makine Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları

Makine mühendisliği bölümü betonarme çerçevelerden oluşan bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Binanın zemin kat yüksekliği 3 metre olup, x doğrultusunda ki en büyük uzunluğu 72.50 metre, y doğrultusundaki en büyük uzunluğu ise 85.90 m' dir. Yapıda, bütün kat döşemeleri kirişli plak döşeme, çerçeve elemanları ise süneklilik düzeyi yüksek dikdörtgen kesitlerden oluşmuştur. Bu binanın taşıyıcı sisteminde; 0.25×0.45 m ölçülerinde 72 adet ve 0.30×0.45 m ölçülerinde 156 adet olmak üzere toplamda 29.16 m² kesit alanına sahip kolon elemanlar mevcuttur.

Makine mühendisliği bölümünün deprem performanslarının belirlenmesi amacıyla sonlu eleman metodu yönteminden faydalanılmış olup çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 1084 adet çerçeve ve 146 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.3' de görüldüğü gibidir. Binanın kendi ağırlığı, hareketli yükleri ve deprem yüklemesi altında push-over analizleri yapılarak hasar ve performans seviyeleri belirlenmiştir.

Makine mühendisliği bölüm binasının deprem performansları belirlenirken depremin x (enine) ve y (boyuna) asal doğrultularında etki ettiği kabul edilmiş başlangıç yüklemeleri olarak ölü ve hareketli yüklerin etkisi dikkate alınmıştır. Binada sönüm oranı % 5 olacak şekilde ilk 10 mod dikkate alınmış olup temel ortamı rijit olarak kabul edilmiştir. Binanın x yönüne ait deprem performansının belirlenmesinde lineer olmayan analizin çözümlere yansıtılabilmesi amacıyla, toplanmış tip mafsal elemanlar kullanılmıştır.

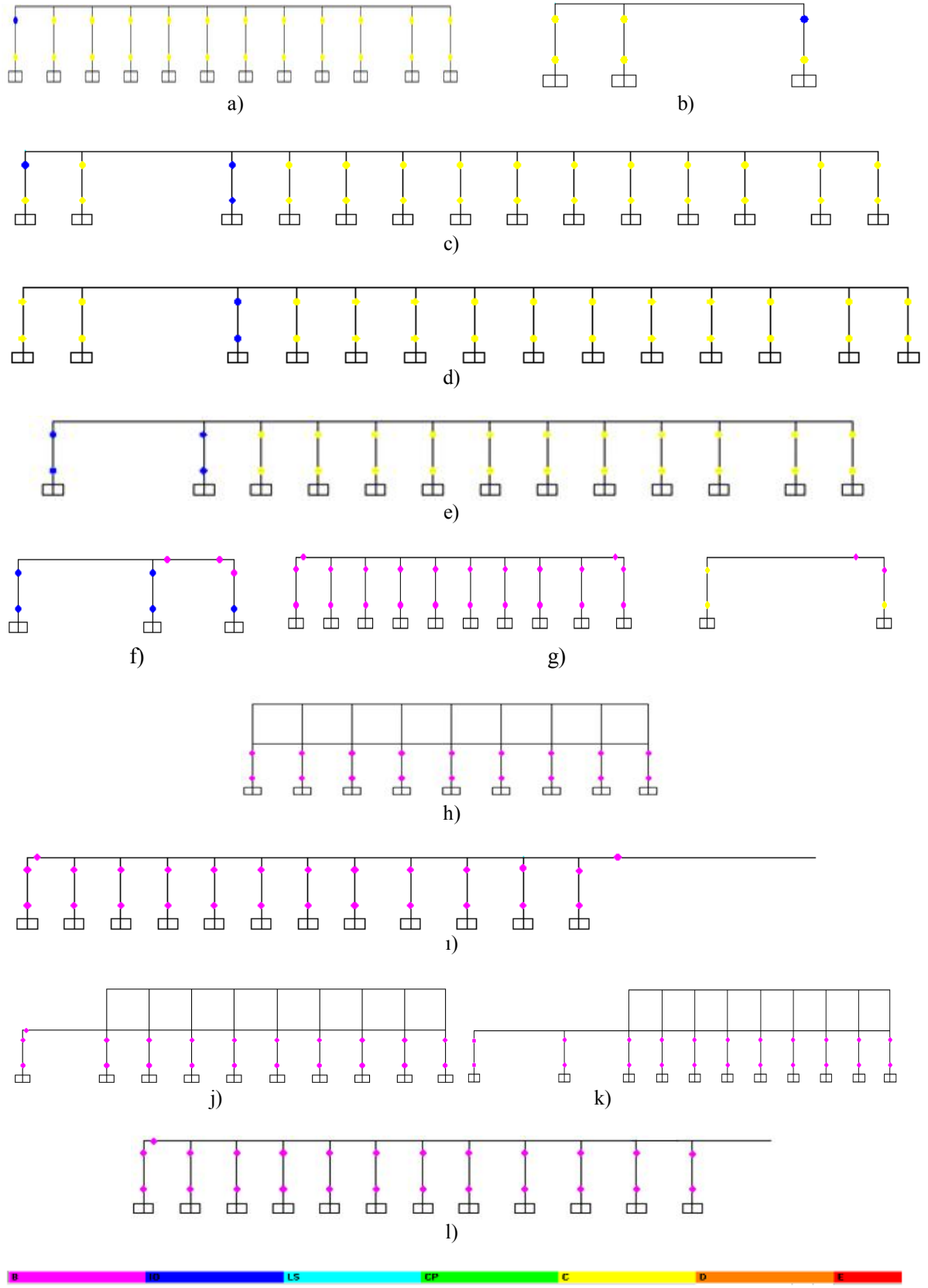
Makine mühendisliği binalarının lineer olmayan statik itme analizlerinde, beton malzemesi C16 (BS16) sınıfında ve kesitlere ait donatı oranı ise minimum seçilip sonuçlar elde edilmiştir.



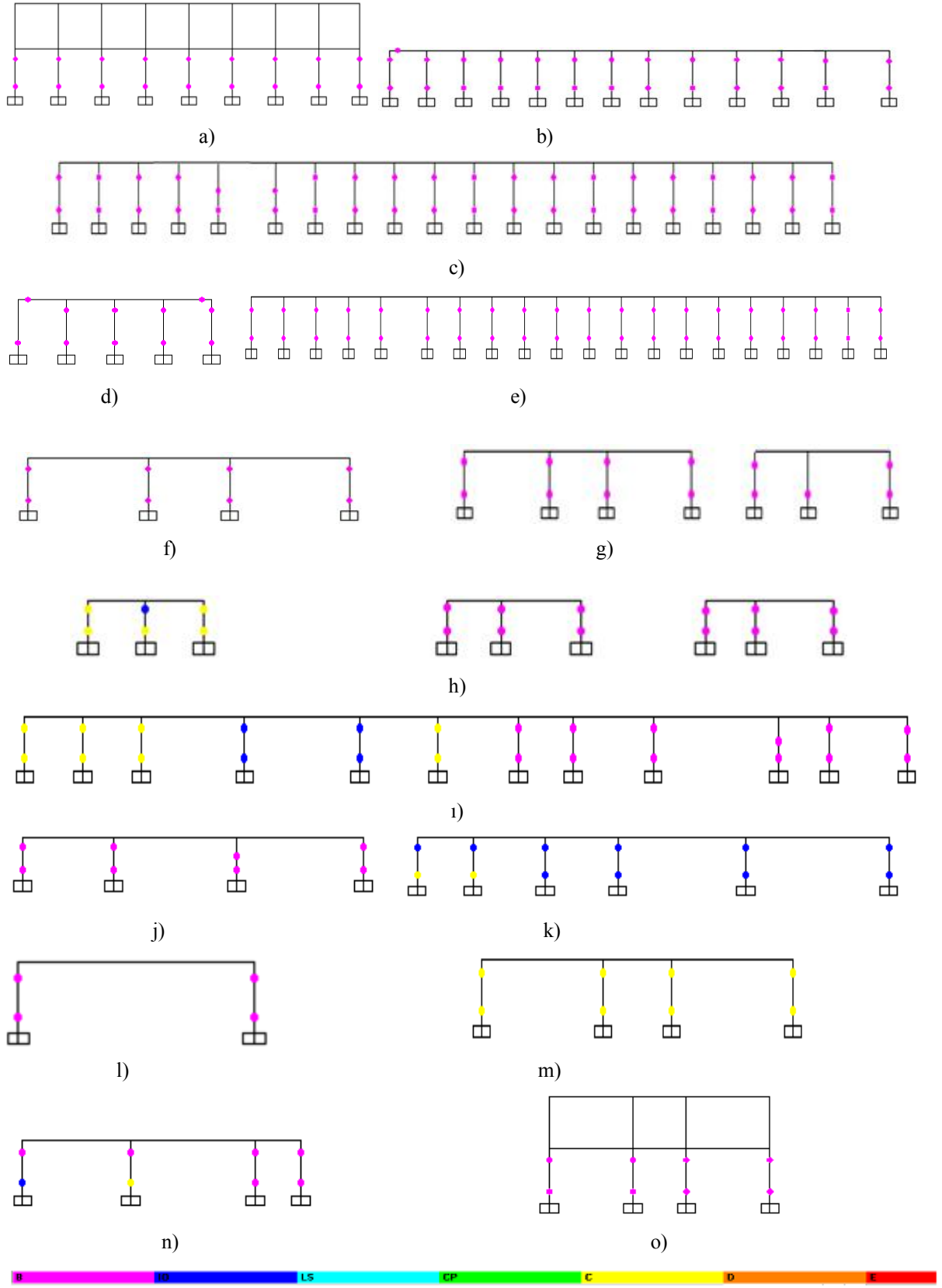
Şekil 5.3 Makine mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli

5.1.2 Depremin x Yönünde Etki Etmesi Hali için Makine Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Depremin x eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.4-5.5’de görülmektedir. Bu binanın 228 adet kolonunun, 138’ inde hemen kullanım ve 54’ ünde ise göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Hasar bölgelerinin tamamı kolon uç bölgelerinde yer almaktadır. Aynı zamanda 533 adet kirişin de 11 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Tablo 5.1 dikkate alındığında, hasar gören kiriş sayısının kolon sayısından önemli derecede az olması, bu bina için kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının sağlanmadığı sonucunu vermektedir.



Şekil 5.4 Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G, h) H, I) 1, J) j, k) K ve l) L aksları hasar durumları



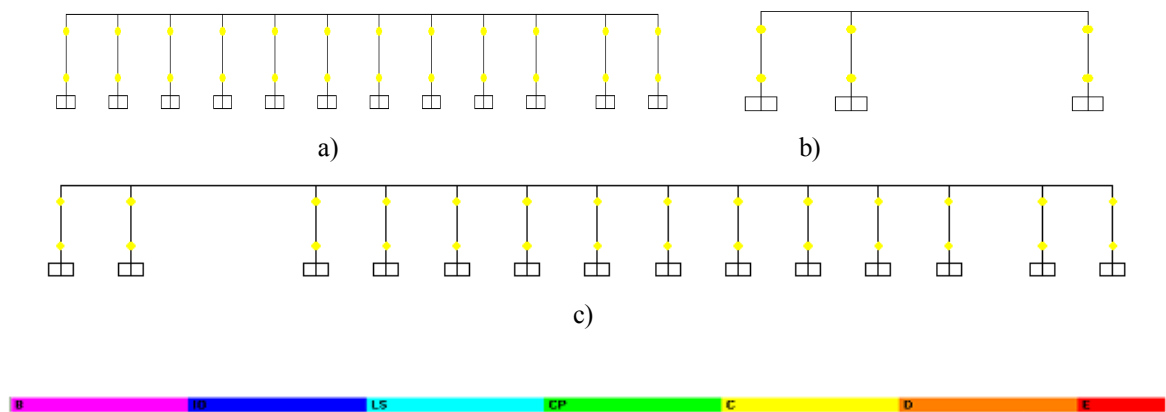
Şekil 5.5 Depremin x yönünde etkimesi için a) M, b) N, c) O, d) P, e) R, f) 1, g) 8, h) 11, ı) 12, j) 13, k) 14 , l) 15, m) 18, n) 19 ve o) 24 aksları hasar durumları

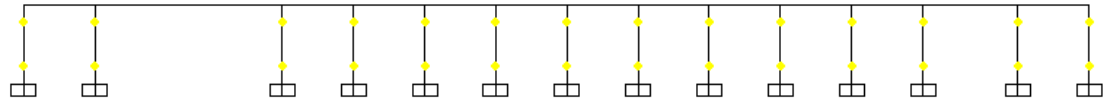
Tablo 5.1 Makine mühendisliği deprem x yönü performans değerleri

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
Zemin kat	192	474	138	-	54	11	-	-
Birinci kat	36	59	-	-	-	-	-	-
Toplam	228	533	138	-	54	11	-	-

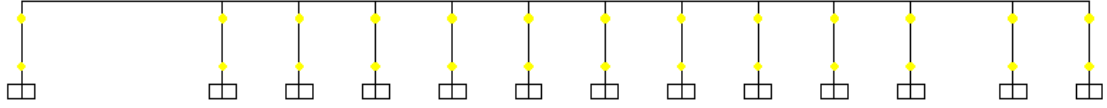
5.1.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için Makine Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Deprem y eksen y yönünde etki etmesi hali için de yapı hasarı Şekil 5.6-5.9’ da görülmektedir. Bina y 228 adet kolonun, 14’ ünde hemen kullanım ve 192’ sinde ise göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Hasar bölgelerinin tamamı kolon uç bölgelerinde yer almaktadır. Toplam 533 adet kirişin de 1 adedinin kiriş uç bölgesinde plastik mafsallarda meydana gelmiş olup bu kiriş taşıyıcı elemanın hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Tablo 5.2 dikkate alındığında, binada ki kolonların tamamının göçme öncesi performans seviyesine ulaştığı görülmektedir. Bu da yine kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının sağlanmadığı sonucunu vermektedir. Bu nedenle tüm kolonların güçlü kolon zayıf kiriş davranışına sahip olabilmesi için mantolanarak yanal ötelenme rijitliklerinin artırılması gerekmektedir.

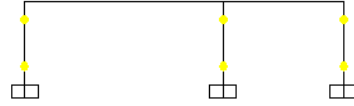
**Şekil 5.6** Deprem x yönünde etkimesi için a) A, b) B ve c) C aksları hasar durumları



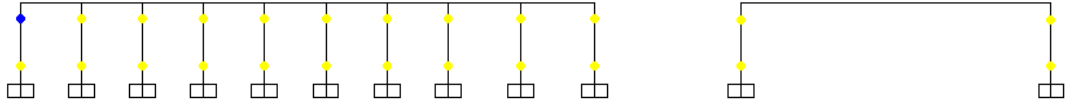
a)



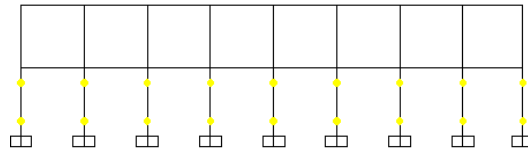
b)



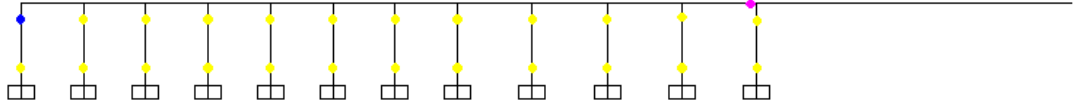
c)



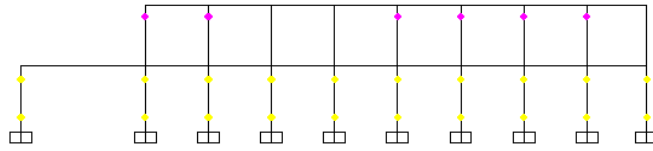
d)



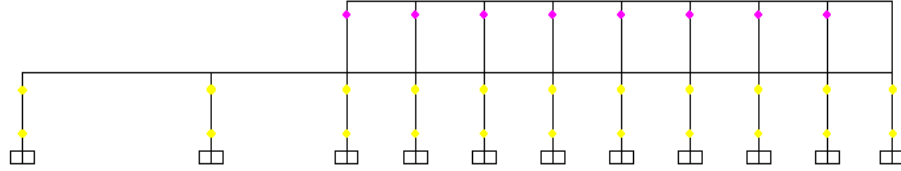
e)



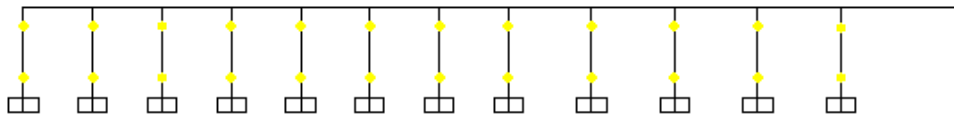
f)



g)



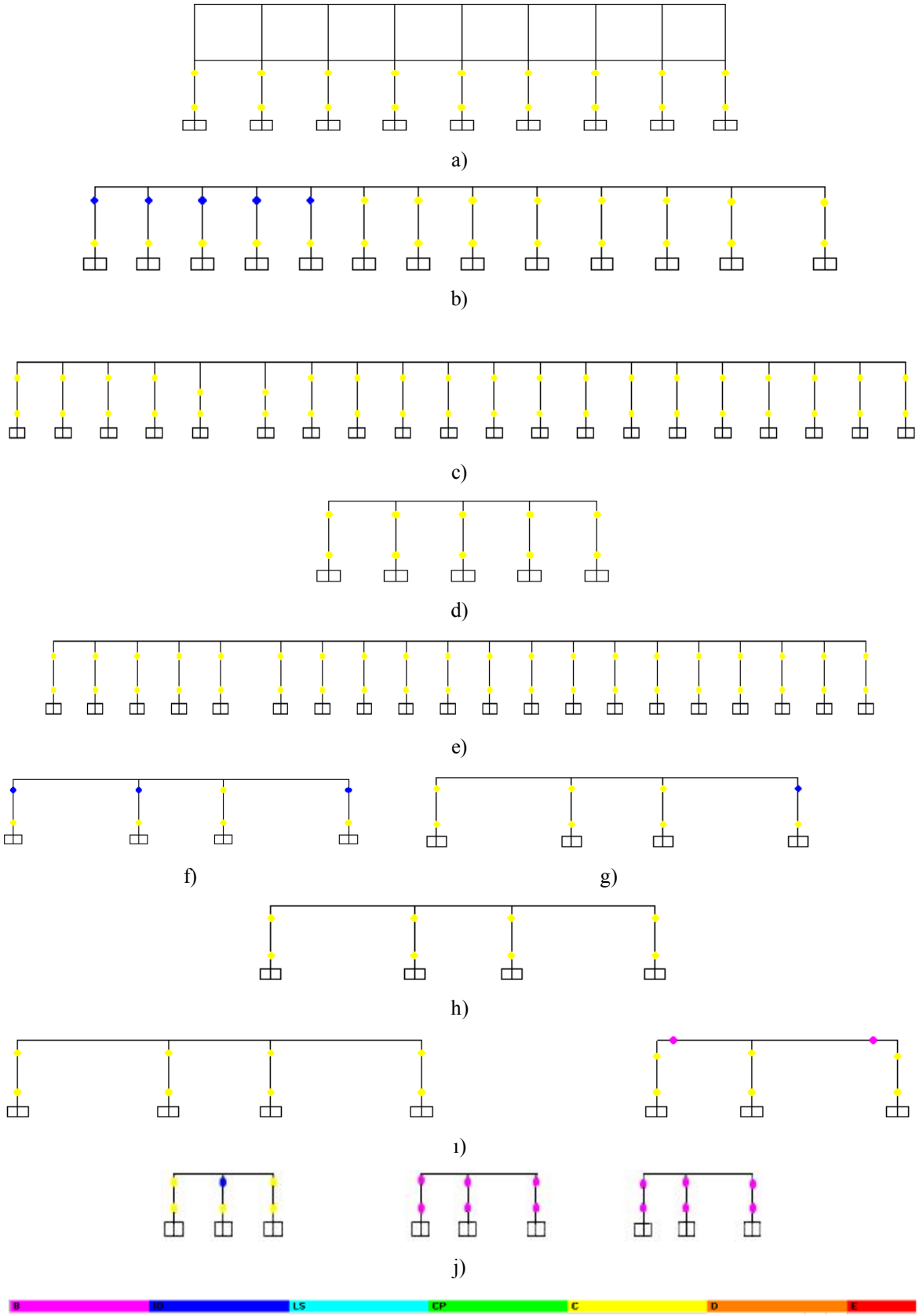
h)

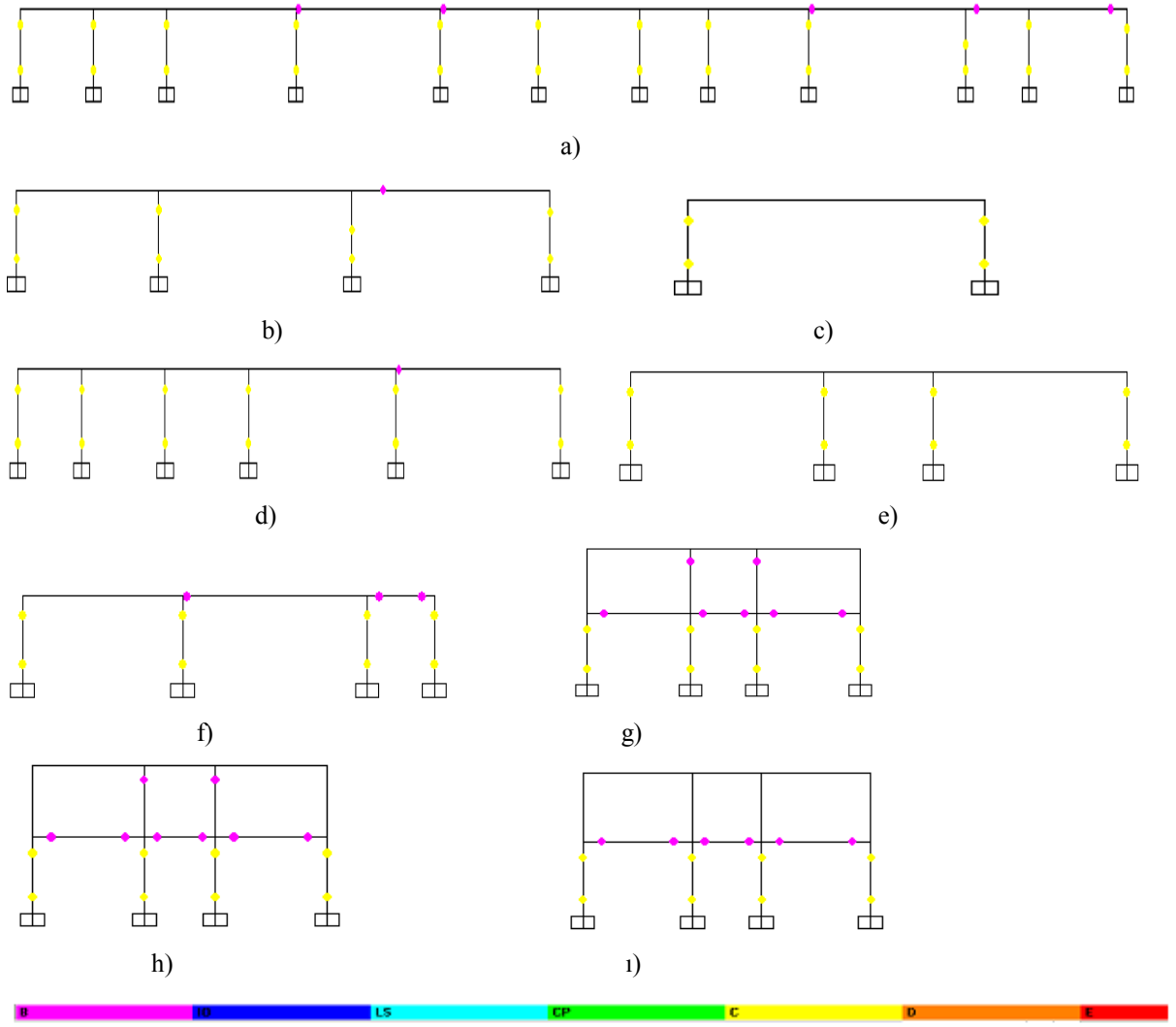


i)



Şekil 5.7 Depremin y yönünde etkimesi için a) D, b) E, c) F, d) G, e) H, f) I, g) J, h) K ve i) L aksları hasar durumları





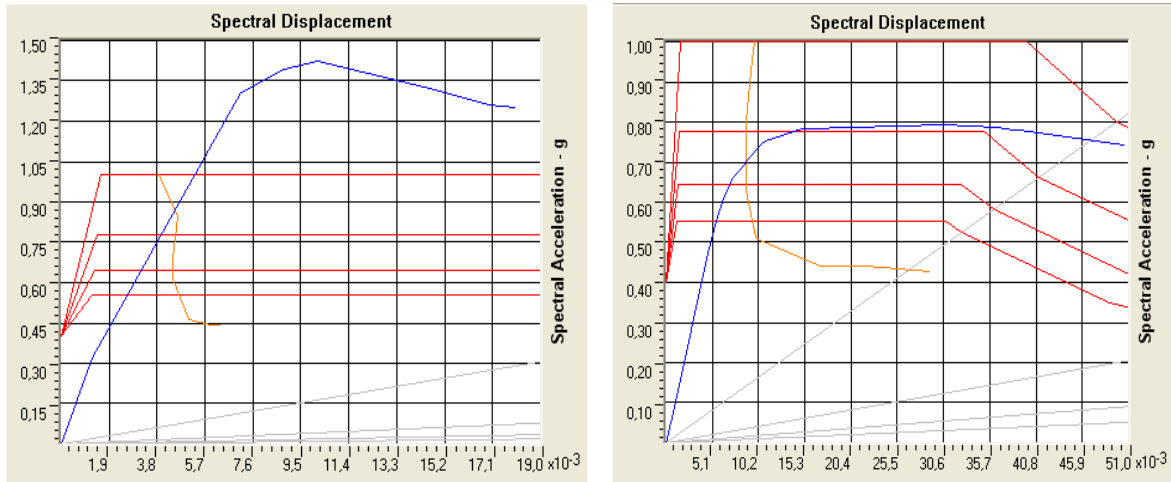
Şekil 5.9 Depremi y yönünde etkimesi için a) 12, b) 13, c) 15, d) 16, e) 18, f) 19, g) 24, h) 27 ve i) 48 aksları hasar durumları

Tablo 5.2 Makine mühendisliği 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
Zemin kat	192	474	-	-	192	1	-	-
Birinci kat	36	59	14	-	-	-	-	-
Toplam	228	533	14	-	192	1	-	-

Makine mühendisliği bölüm binasına x ve y yönlerine depremin etkimesi haline ait kapasite spektrum eğrileri Şekil 5.10' da görülmektedir. Depremi x ve y yönlerinden etkimesi halleri için yapılan çözümlerden hem x hem de y eksenindeki kolon elemanlar,

göçme öncesi hasar seviyesine ulaşmaktadır. Bu nedenle her iki asal doğrultuda da binanın yanal ötelenme rijitliğinin perde gibi taşıyıcı elemanlarla arttırılması gerekmektedir. Aynı zamanda x yönündeki göçme öncesi hasar seviyesine ulaşan kolon eleman sayısının y eksenine göre daha az olması sebebi ile y yönüne, kesit alanları daha fazla olan perde elemanların yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu perde elemanların, binada burulma meydana getirmeyecek şekilde tasarımı yapılmalıdır.



Şekil 5.10 Depremi x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

5.2 İnşaat Mühendisliği Bölüm Binası

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesinin 1967 yılında açılan ilk bölümlerinden biridir. Toplam bina alanı 2908.1 m² olup; zemin, bir adet kısmi bodrum kat ve idare kısmında bir normal kattan oluşmuştur. Yapı dilatasyon derzleri ile ayrılmış yedi ayrı bloktan meydana gelmiştir. Bu bina, betonarme karkas özellikte olup taşıyıcı sistemi çerçeveselidir. Şekil 5.11' de görüldüğü gibi binada sadece oturma çatlakları mevcut olup duvarlar gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda sadece meydana geldiğinden binada önemli sayılabilecek hasarlar oluşmamıştır.



a)



b)



c)



d)

Şekil 5.11 a,b,c,d İnşaat mühendisliği bölümü binası ve hasar durumları

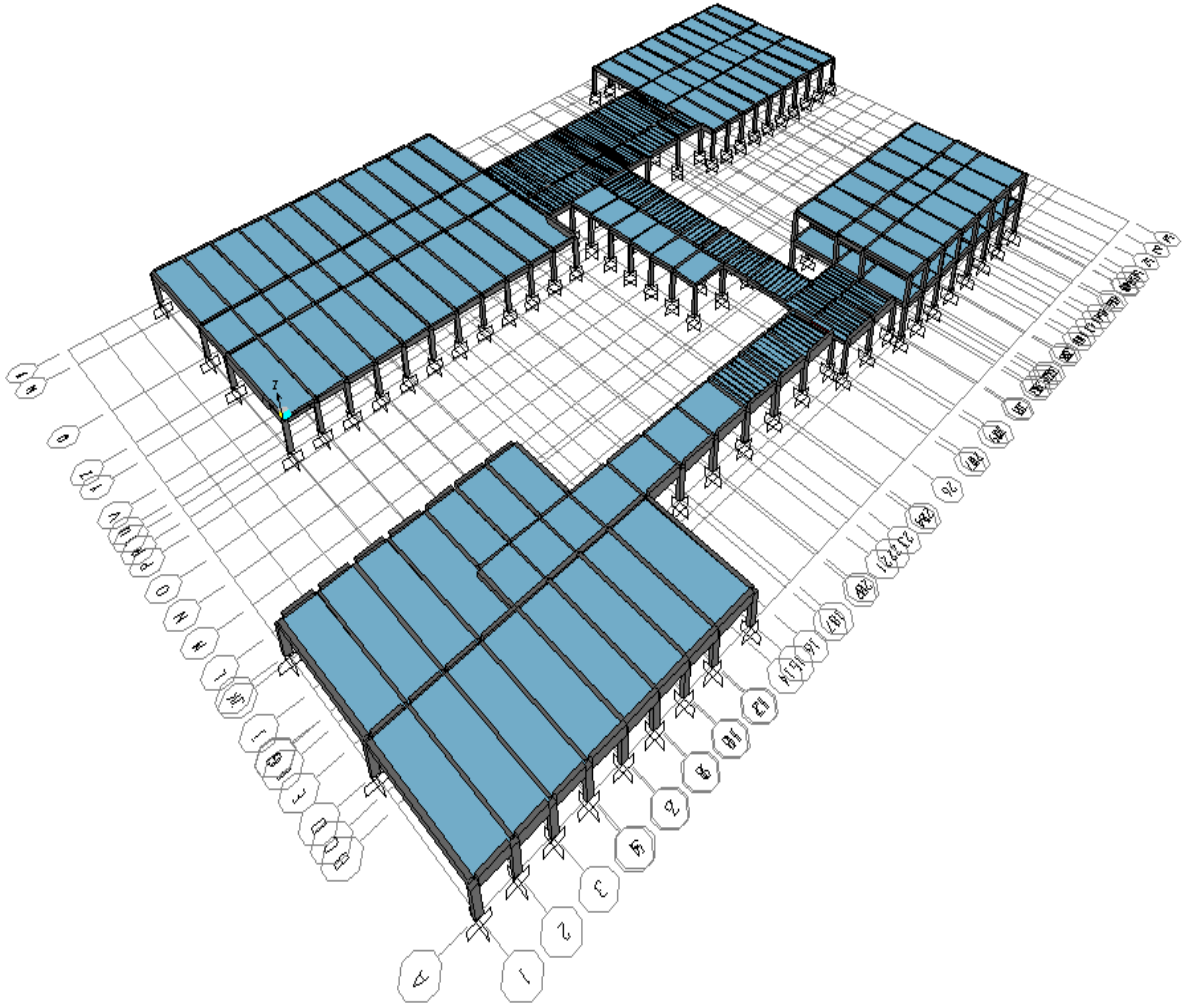
5.2.1 İnşaat Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları

İnşaat mühendisliği bölümü betonarme çerçevelerden oluşan bir taşıyıcı sisteme sahiptir. Binanın zemin kat yüksekliği 3 metre olup, x doğrultusunda ki en büyük uzunluğu 90.64 metre, y doğrultusundaki en büyük uzunluğu ise 63.65 m' dir. Yapıda, bütün kat döşemeleri kirişli plak döşeme, çerçeve elemanları ise süneklik düzeyi yüksek dikdörtgen kesitlerden oluşmuştur. Bu binanın taşıyıcı sisteminde; 0.35×0.60 m ölçülerinde 28 adet, 0.30×1.75 m ölçülerinde 1 adet ve 110 cm çapında 4 adet dairesel kolon taşıyıcı elemanlar mevcuttur.

İnşaat mühendisliği bölümünün deprem performanslarının belirlenmesinde sonlu eleman yöntemi kullanılmış olup sistem çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 1063 adet çerçeve ve 310 adet kabuk eleman kullanılmış olup sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.12' de görüldüğü gibidir. Binanın kendi ağırlığı, hareketli yükleri ve

deprem yüklemesi altında push-over analizleri yapılarak hasar ve performans seviyeleri belirlenmiştir.

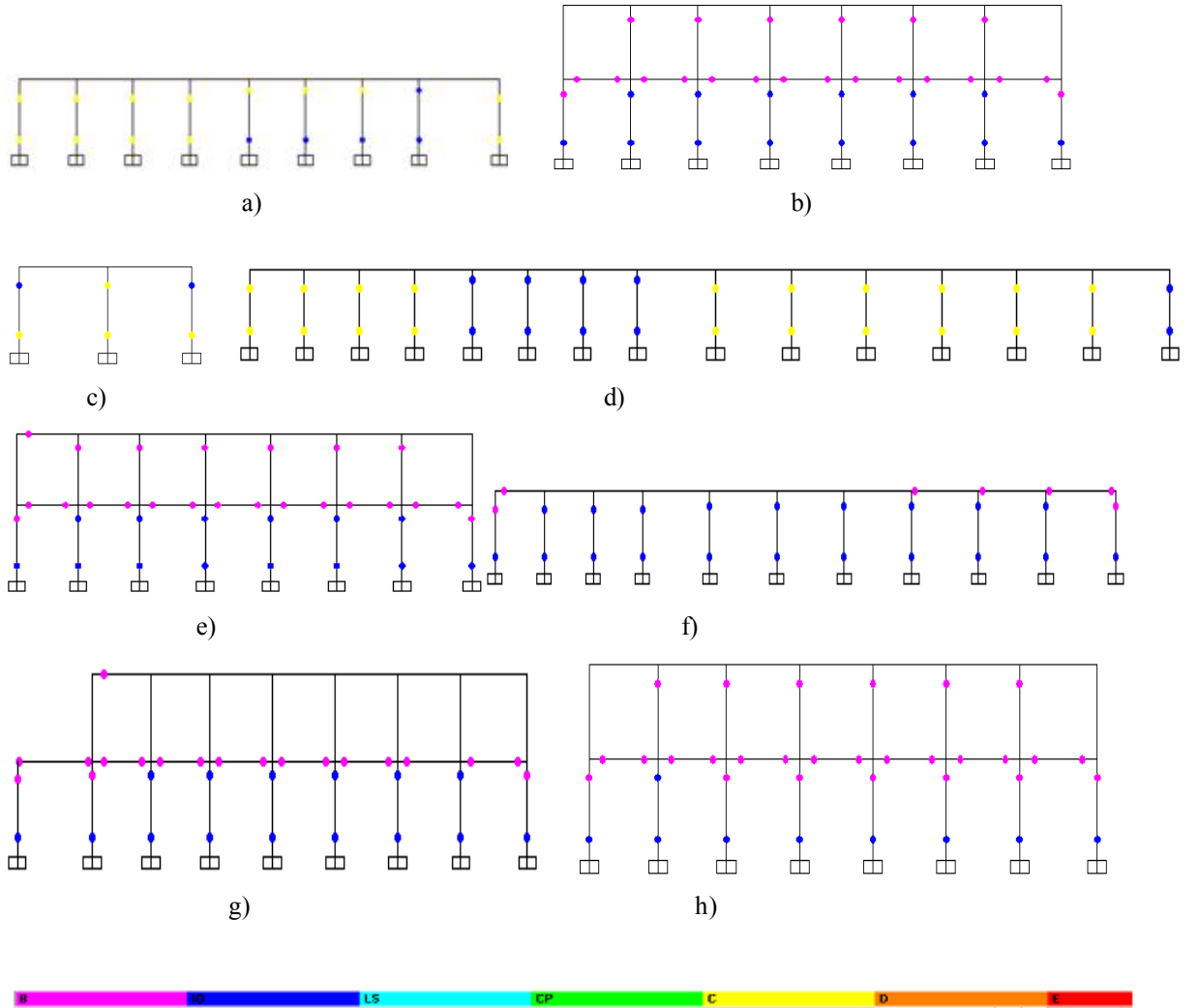
İnşaat mühendisliği bölüm binasının deprem performansları belirlenirken depremin x (enine) ve y (boyuna) asal doğrultularında etki ettiği kabul edilmiş olup başlangıç yüklemeleri olarak hareketli ve ölü yüklerin etkisi dikkate alınmıştır. Binada sönüm oranı % 5 olacak şekilde ilk 12 mod dikkate alınmış olup temel ortamı rijit olarak kabul edilmiştir. Binanın x yönüne ait deprem performansının belirlenmesinde lineer olmayan analizin çözümlere yansıtılabilmesi amacıyla, toplanmış tip mafsal elemanlar kullanılmıştır. İnşaat mühendisliği binasının lineer olmayan statik itme analizinde, beton malzemesi C16 (BS16) sınıfında ve kesitlere ait donatı oranı ise minimum seçilip sonuçlar elde edilmiştir.



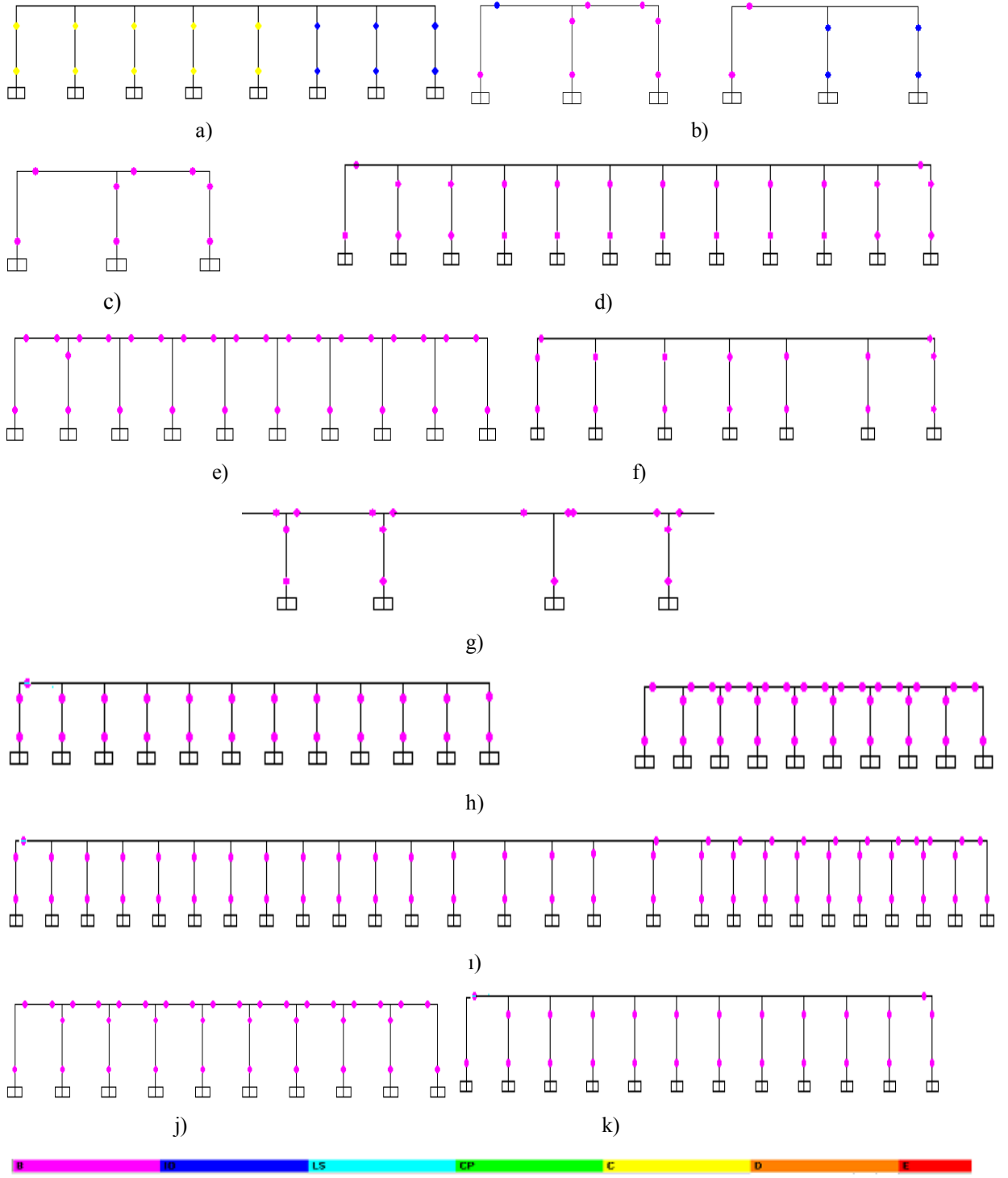
Şekil 5.12 İnşaat mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli

5.2.2 Depremin x Yönünde Etki Etmesi Hali için İnşaat Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Depremin x eksenı yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarları Şekil 5.13-5.14’ de görölmektedir. Bu binanın 233 adet kolonunun, 193’ ünde hemen kullanım ve 26’ sını da ise göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. 545 adet kirişin de 95 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kiriş taşıyıcı elemanların hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Tablo 5.3 dikkate alındığında, hasar gören kiriş sayısının kolon sayısından az olması, bu bina için kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının sağlanmadığı sonucunu vermektedir.



Şekil 5.13 Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G ve h) H aksları hasar durumları



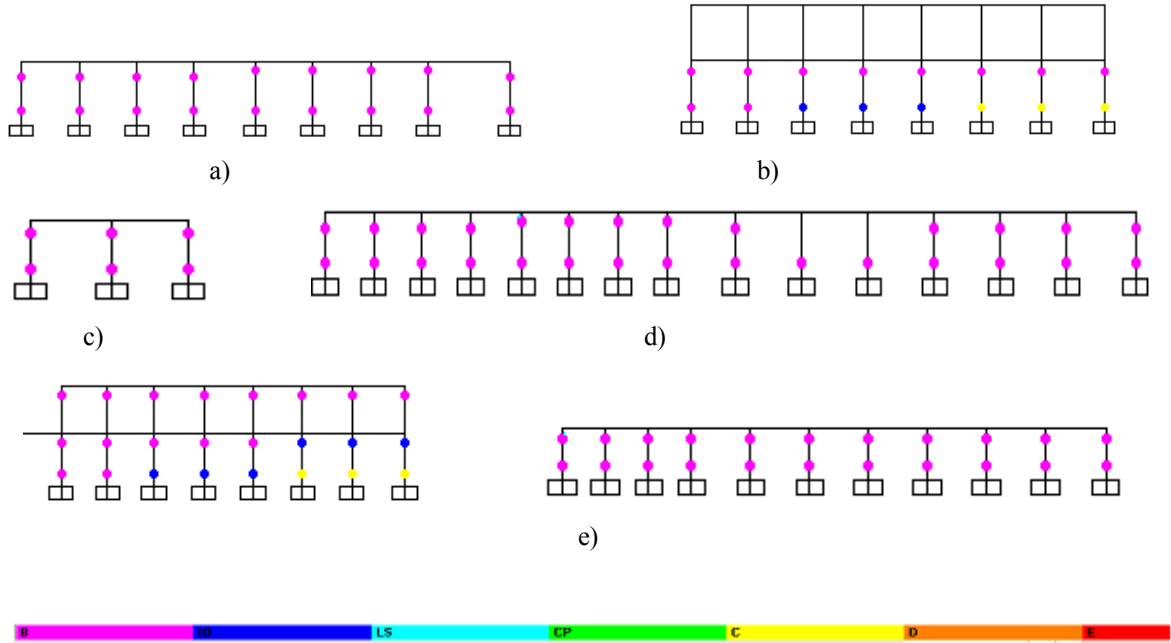
Şekil 5.14 Depremi x yönünde etkimesi için a) K, b) M, c) N, d) R, e) U, f) V, g) Y, h) Z, i) Q, j) W ve k) X aksları hasar durumları

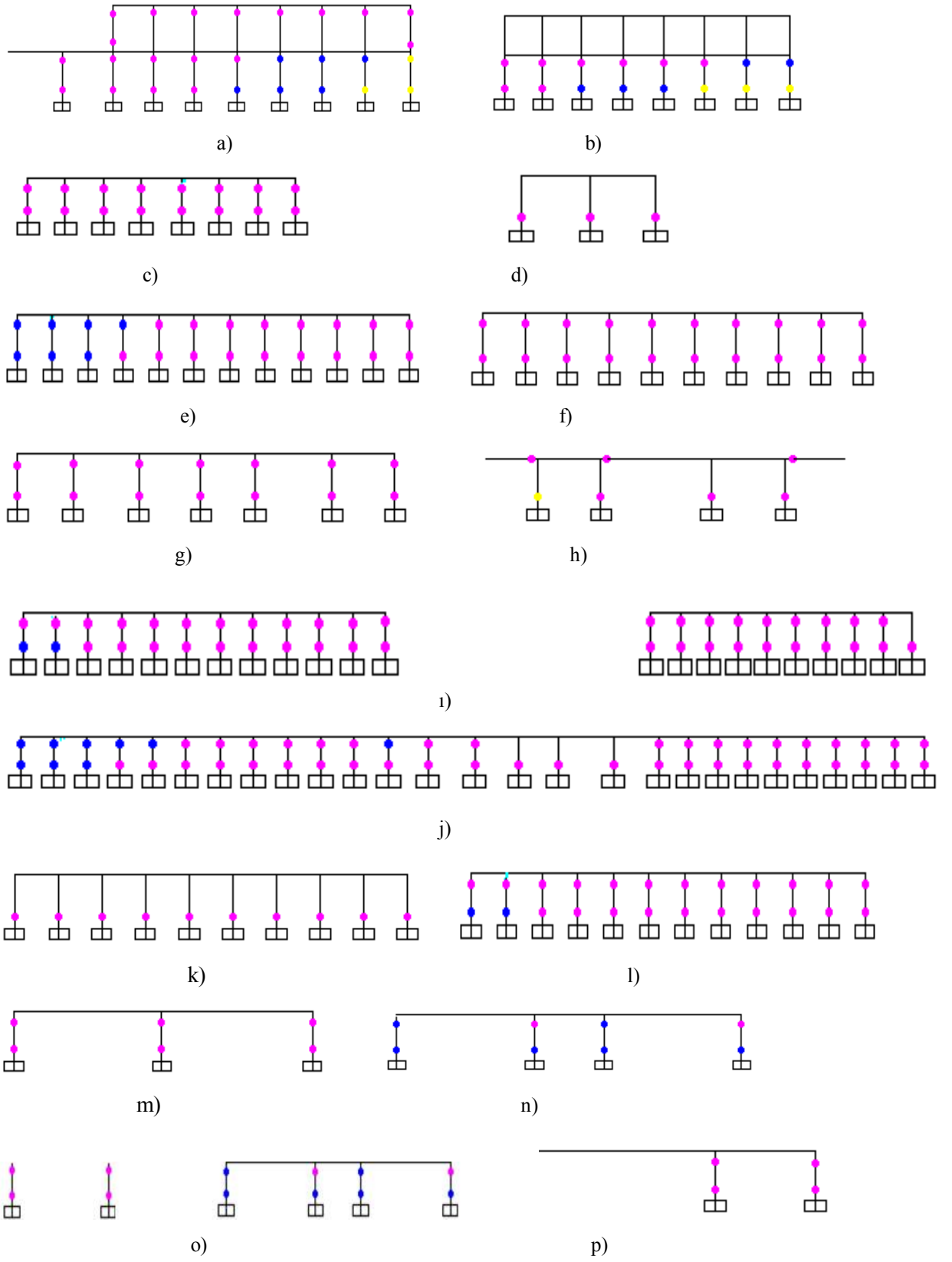
Tablo 5.3 İnşaat mühendisliği deprem x yönü performans değerleri

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
Zemin kat	201	493	175	-	26	93	-	-
Birinci kat	32	52	18	-	-	2	-	-
Toplam	233	545	193	-	26	95	-	-

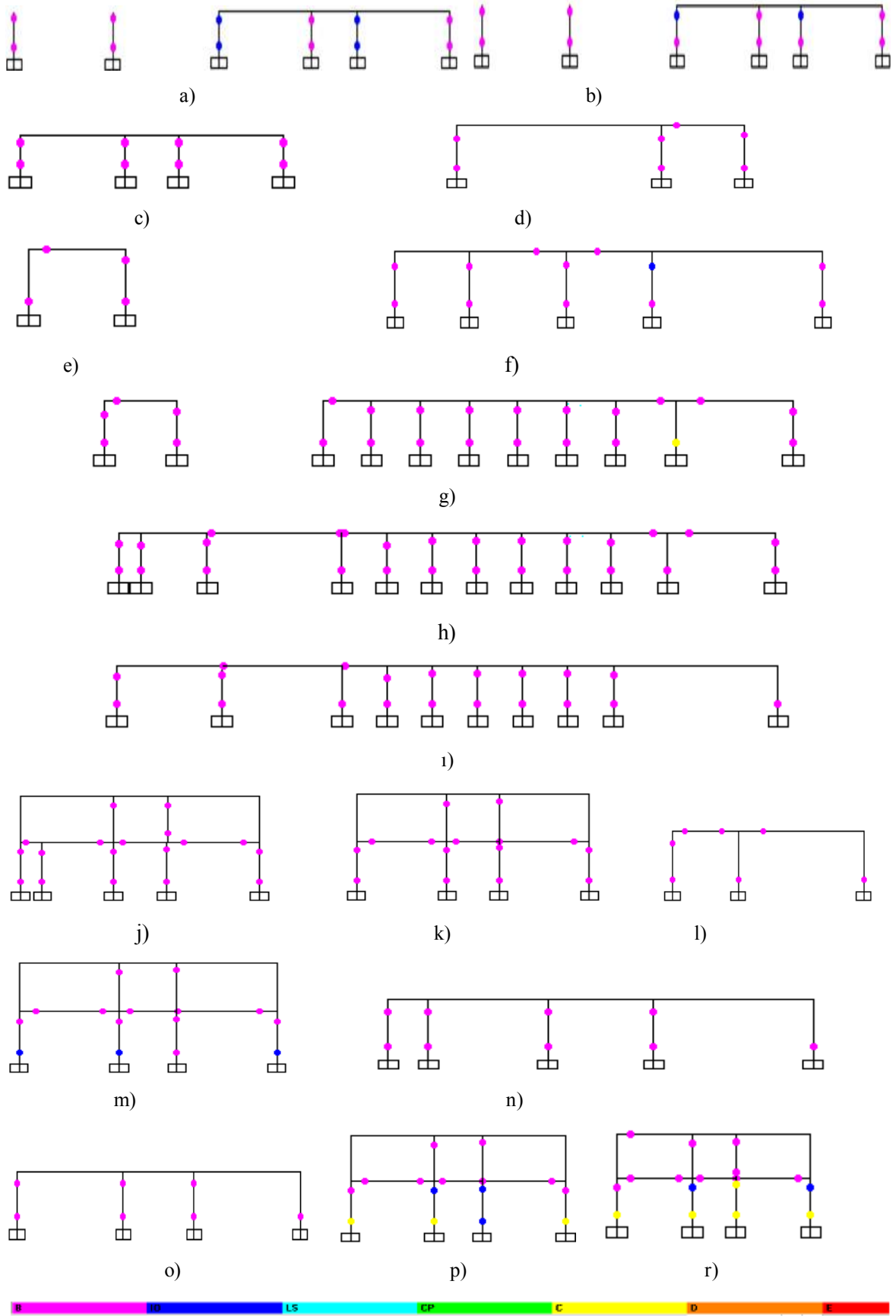
5.2.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için İnşaat Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Deprem y eksen y yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı ise Şekil 5.15-5.17' de görülmektedir. Tablo 5.4 dikkate alındığında bu binanın 233 adet kolonunun 220' sinde hemen kullanım, "B, E, G, J" ve "Y" akslarında yer alan toplam 12 adet kolonda da göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. 545 adet kirişin de 3 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir.

**Şekil 5.15** Deprem y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D ve e) E aksları hasar durumları



Şekil 5.16 Depremin y yönünde etkimesi için a) G, b) J, c) K, d) L, e) R, f) U, g) V, h) Y, ı) Z, j) Q, k) W, l) X, m) 1, n) 5, o) 6 ve p) 7 taksları hasar durumları

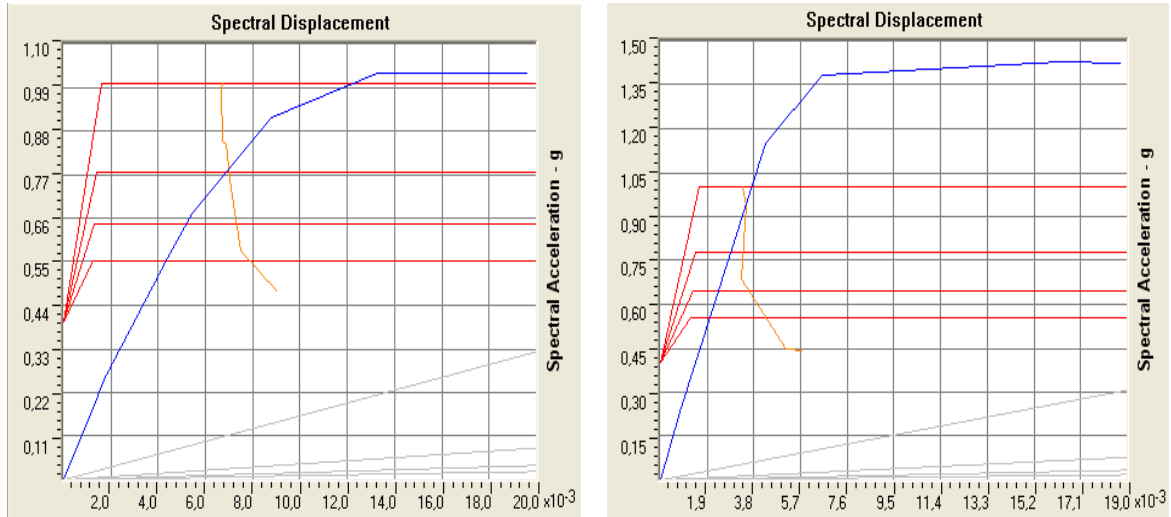


Şekil 5.17 Depremin y yönünde etkimesi için a) 8, b) 10, c) 14, d) 15, e) 17, f) 25, g) 26, h) 28, ı) 30, j) 32, k) 33, l) 35, m) 37, n) 38, o) 40, p) 44 ve r) 49 aksları hasar durumları

Tablo 5.4 İnşaat mühendisliği 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
Zemin kat	201	493	196	-	12	3	-	-
Birinci kat	32	52	24	-	-	-	-	-
Toplam	233	545	220	-	12	3	-	-

Sonuç olarak yapının deprem altındaki davranışında; taşıyıcı elemanların konumu, boyutları, zemin özellikleri gibi etkilere bağlı olarak yapı elemanlarında hafif, orta veya ağır hasarlar meydana gelmektedir. Bu hasarların giderilmesi ve yapı güvenliğinin yeniden sağlanması için hasar gören elemanların onarım veya güçlendirilmesi gerekli olacaktır. Bu nedenle tüm kolonların güçlü kolon zayıf kiriş davranışına sahip olabilmesi için mantolanarak yanal ötelenme rijitliklerinin artırılması gerekmektedir. Ayrıca her iki asal doğrultuda da binanın yanal ötelenme rijitliğinin perde gibi taşıyıcı elemanlarla artırılması gerekmektedir. Bu perde elemanların, binada burulma meydana getirmeyecek şekilde tasarımı yapılmalıdır.

**Şekil 5.18** Depremi x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

5.3 İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binası

Hidrolik binası, toplam 3426.44 m² kullanım alanına sahip olup zemin ve iki adet normal kattan inşa edilmiştir. Bodrum ve zemin katların alanı 1130m² olup 1. ve 2. katın alanı ise 583.22 m² olacak şekilde inşa edilmiştir. Bu bina betonarme karkas özellikte olup taşıyıcı sistemi perdeli-çerçevevi şeklindedir. Şekil 5.19’ da yapıya ait mevcut hasar bölgeleri görülmektedir.



a)



b)

Şekil 5.19 a,b Hidrolik bölümü hasar durumları

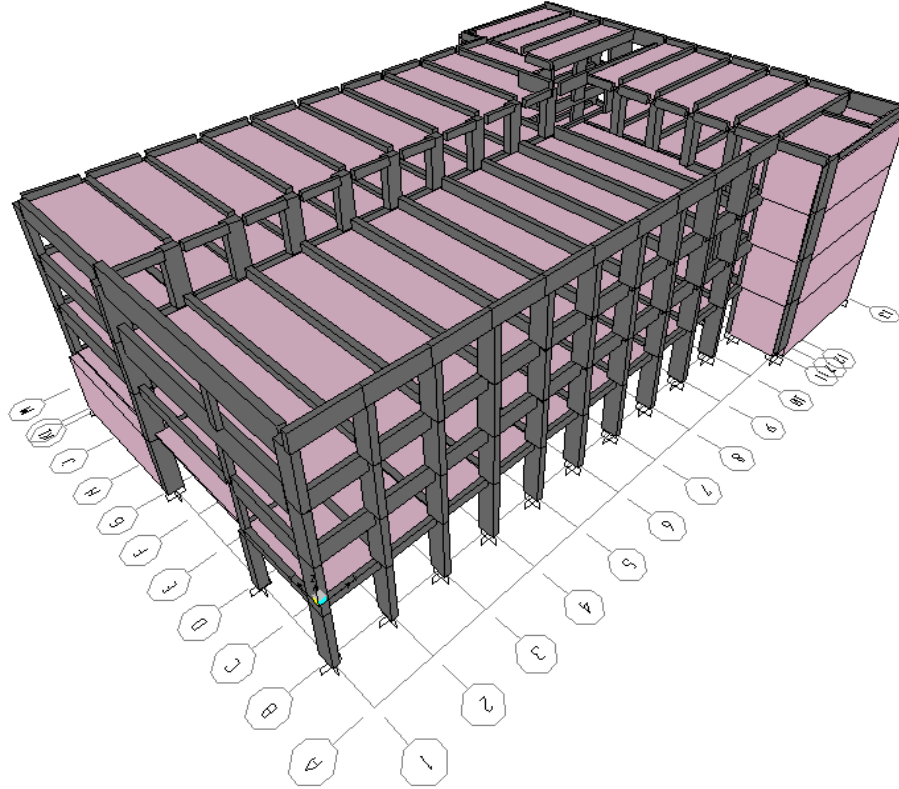
5.3.1 İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları

Hidrolik binası, düzgün çerçevevi süneklilik düzeyi yüksek dikdörtgen kesitli kolon ve kirişlerden inşa edilmiş olup bodrum, zemin ve 2 normal kattan oluşmuştur. Kat yüksekliği bodrum katta 4.50 metre, diğer katlarda ise 3.70 metredir. x doğrultusundaki açıklık 44.30 metre, y doğrultusundaki açıklık 30.30 m’ dir. Zemin kat döşeme kalınlıkları 20 ve 25 cm, 1. kat döşeme kalınlıkları 15-17 ve 20 cm, son kat döşeme kalınlıkları ise 12 cm olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu binanın taşıyıcı sisteminde toplam 225 adet kolon ve 6 adet perde eleman mevcut olup, kolon ve perde elemanların boyut ve sayıları Tablo 5.5’ de ki gibidir.

Tablo 5.5 İnşaat mühendisliği bölümü hidrolik binasının kolon ve perde elemanlarının ebat ve sayıları

Kolon boyutu	Kolon sayısı	Kolon boyutu	Kolon sayısı	Perde boyutu	Perde sayısı
0.30x0.80	3	0.40x1.10	80	0.25x2.60	1
0.30x1.20	28	0.60x0.60	10	0.25x2.85	2
0.30x1.30	36	0.60x0.80	20	0.25x7.00	2
0.30x 2.70	8	0.60x1.00	40	0.25x8.95	1

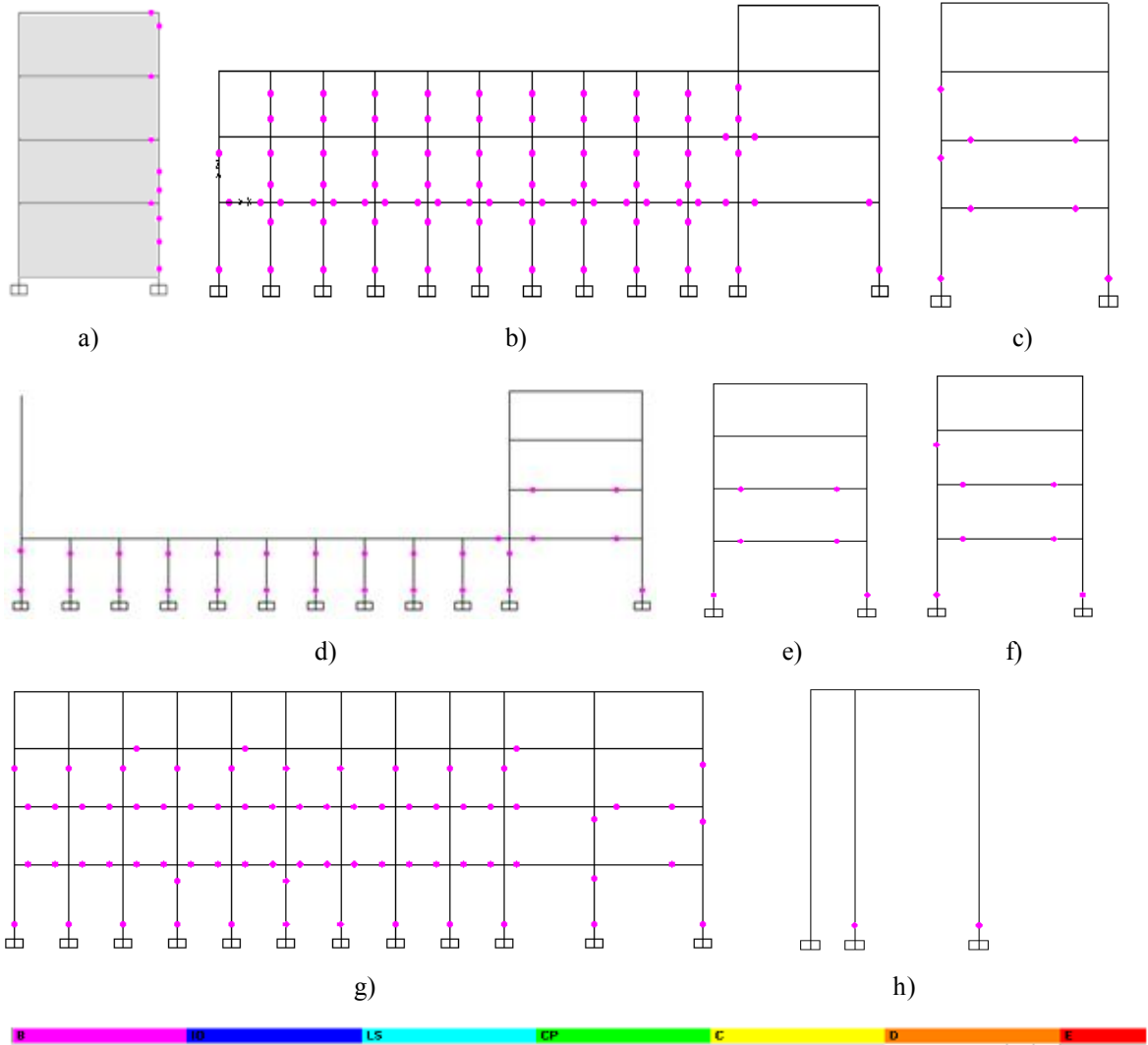
Binanın deprem performanslarının belirlenmesinde sonlu eleman yöntemi kullanılmış olup sistem çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 604 adet çerçeve ve 106 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Binada sönüm oranı % 5 olacak şekilde ilk 12 mod dikkate alınmış olup temel ortamı rijit kabul edilmiştir. İnşaat mühendisliği hidrolik bölüm binasının lineer olmayan statik itme analizinde, beton malzemesi C16 (BS16) sınıfı ve kesitlere ait donatı oranı ise minimum seçilmiştir. Kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.20’ de görüldüğü gibidir. Binanın kendi ağırlığı, hareketli yükleri ve deprem yüklemesi altında push-over analizleri yapılarak hasar ve performans seviyeleri belirlenmiştir.



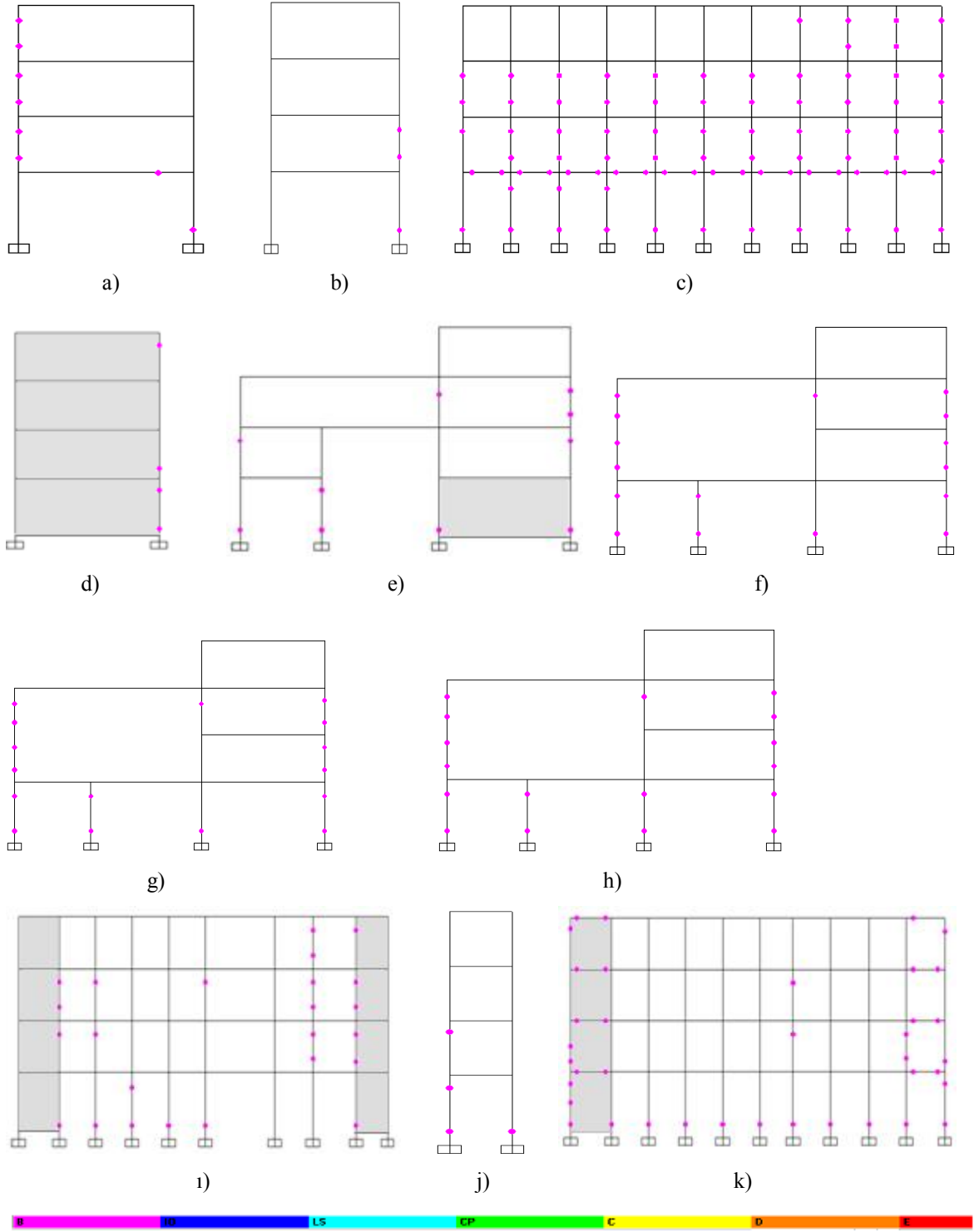
Şekil 5.20 Hidrolik binası sonlu eleman modeli

5.3.2 Depremi x Yönünde Etki Etmesi Hali için İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Depremi x eksenii yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.21-5.22’ de görölmektedir. Tablo 5.6 dikkate alındığında bu binanın 225 adet kolonunun, 124’ ünde hemen kullanım seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Aynı zamanda 309 adet kirişin de 58 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Taşıyıcı sistemin "A" ve "M" akslarında yer alan konsol perdelerde de önemli hasarların meydana gelmediği görölmektedir.



Şekil 5.21 Depremi x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G ve h) H aksları hasar durumları



Şekil 5.22 Depremin x yönünde etkimesi için a) J, b) K, c) L, d) M, e) 1, f) 2, g) 3, h) 4, ı) 11, j) 12 ve k) 13 aksları hasar durumları

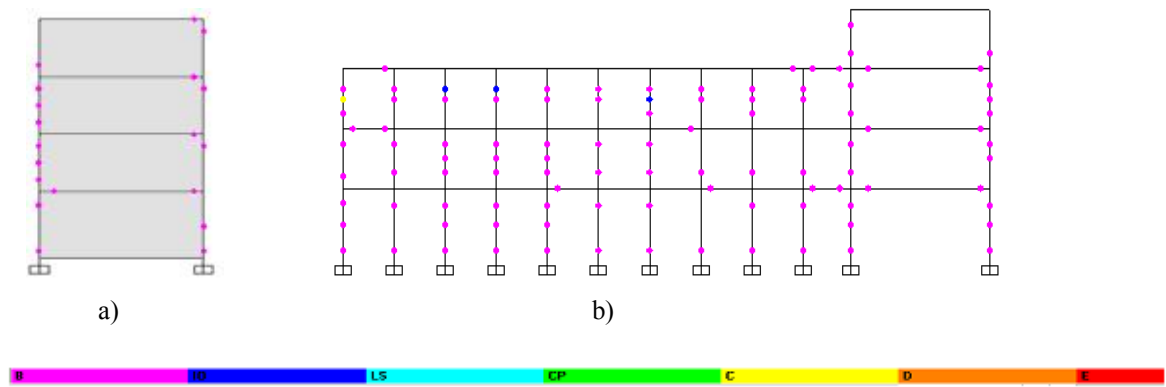
Tablo 5.6 Hidrolik binasının deprem x yönüne ait performans değerleri

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
Bodrum kat	63	96	57	-	-	38	-	-
Zemin kat	54	68	27	-	-	17	-	-
Birinci kat	54	76	35	-	-	3	-	-
İkinci kat	54	69	5	-	-	-	-	-
Toplam	225	309	124	-	-	58	-	-

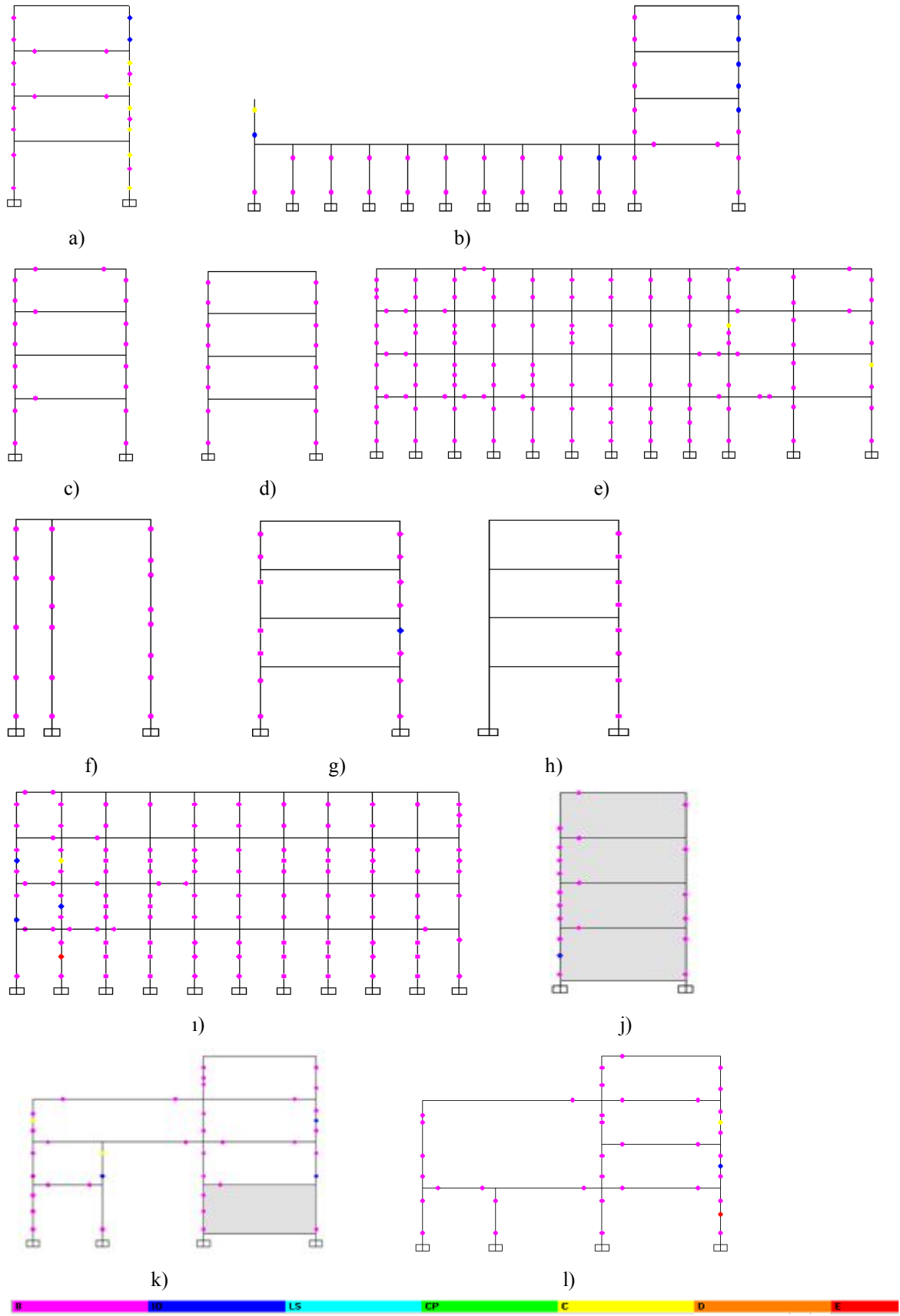
5.3.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Deprem y eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.23-5.25 'de görülmektedir. Tablo 5.7 dikkate alındığında 225 adet kolonun 188' i hemen kullanım seviyesinde, 9 adet kolonunda göçme öncesi performans seviyesinde hasarlar aldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda 309 adet kirişin de 178 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi hemen kullanım performans seviyesine sahiptir.

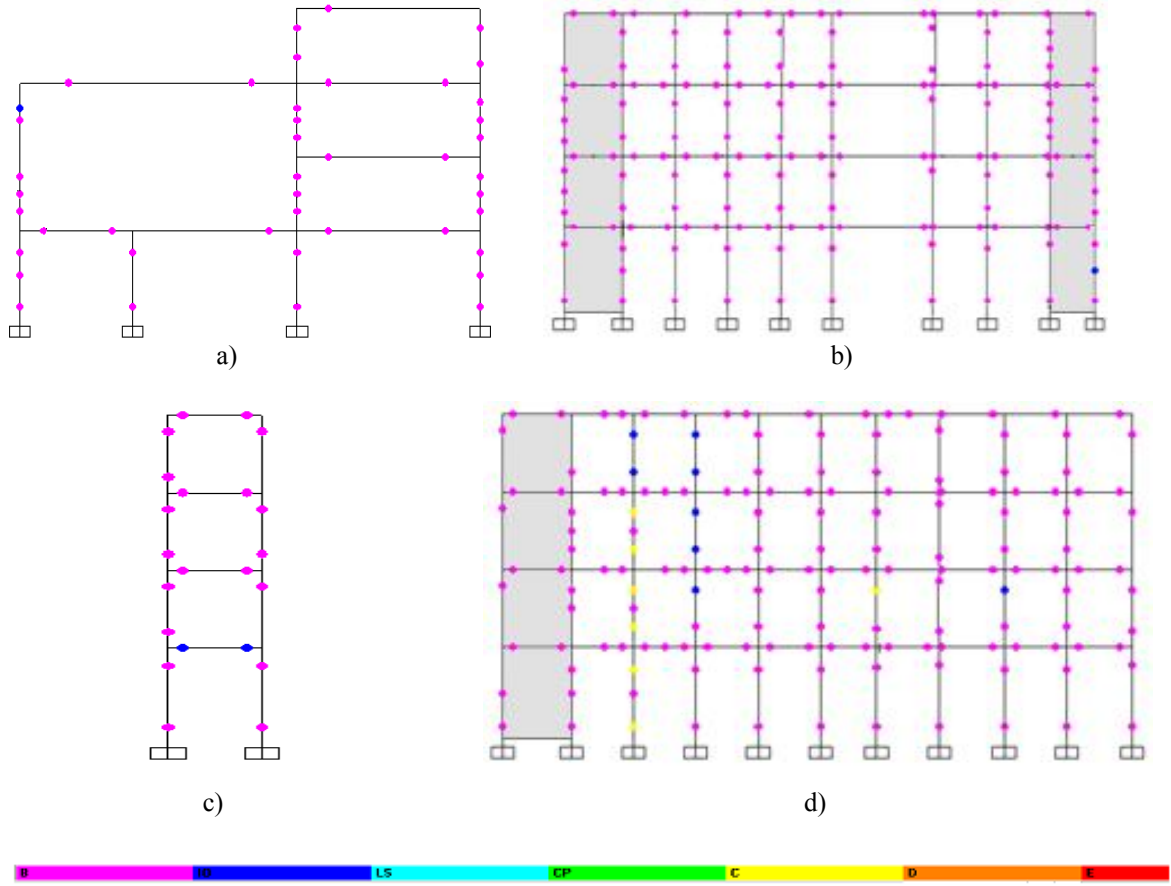
Deprem y etkisi altındaki perde elemanlarda ise Şekil 5.23' de görülen "A" ve Şekil 5.24' de görülen "M ve 1" akslarında ki perdelerin önemli hasarlar almadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.23 Deprem y yönünde etkimesi için a) A ve b) B aksları hasar durumları



Şekil 5.24 Depremin y yönünde etkimesi için a) C, b) D, c) E, d) F, e) G, f) H, g) J, h) K, ı) L, j) M, k) 1 ve l) 2 aksları hasar durumları

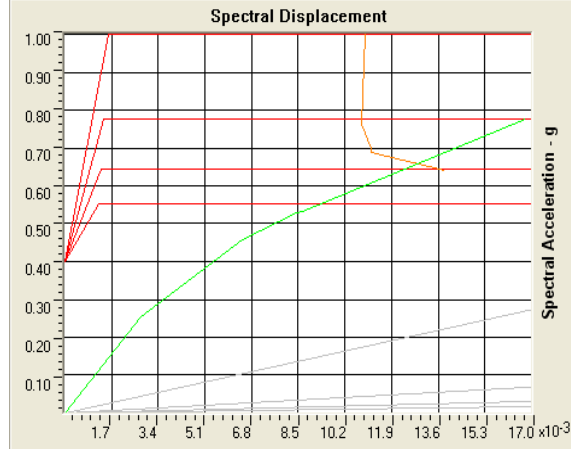


Şekil 5.25 Deprem y yönünde etkimesi için a) 3, b) 11, c) 12 ve d) 13 aksları hasar durumları

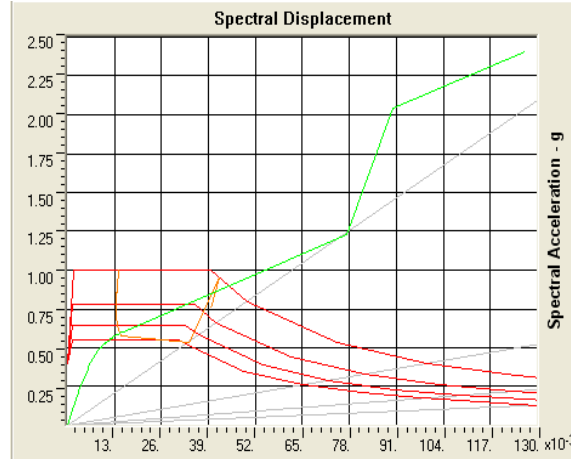
Tablo 5.7 Hidrolik binasının deprem y yönüne ait performans değerleri

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	63	96	57	-	2	60	-	-
Zemin kat	54	68	47	-	3	39	-	-
Birinci kat	54	76	45	-	4	48	-	-
İkinci kat	54	69	39	-	-	31	-	-
Toplam	225	309	188	-	9	178	-	-

Deprem x ve y yönlerinden etkimesi halleri için yapılan çözümlerden hem x hem de y eksenindeki kolon ve kiriş elemanların, önemli hasarlar almadığı, sadece bazı dış kolonlarda hasarların olduğu görülmüştür. Hasar alan bu kolon elemanların mantolanarak güvenliğinin artırılması sağlanmalıdır.



a)



b)

Şekil 5.26 a,b, Depremi x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

5.4 Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Binası

Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm binası, toplam 5943.1 m² kullanım alanına sahip olup her bir katının alanı 2423.0 m²' dir. Bina, zemin ve iki adet normal kattan inşa edilmiş olup bir adet bodrum kata sahiptir. Yapı, dilatasyon derzleri ile ayrılmış altı ayrı bloktan meydana gelmiştir. Betonarme karkas özellikte olup taşıyıcı sistemi çerçevelidir. Şekil 5.27' de yapıya ait mevcut hasar bölgeleri görülmektedir.



a)



b)



c)



d)

Şekil 5.27 a,b,c ve d Elektrik-Elektronik mühendisliği bölümü binasında mevcut hasarlar

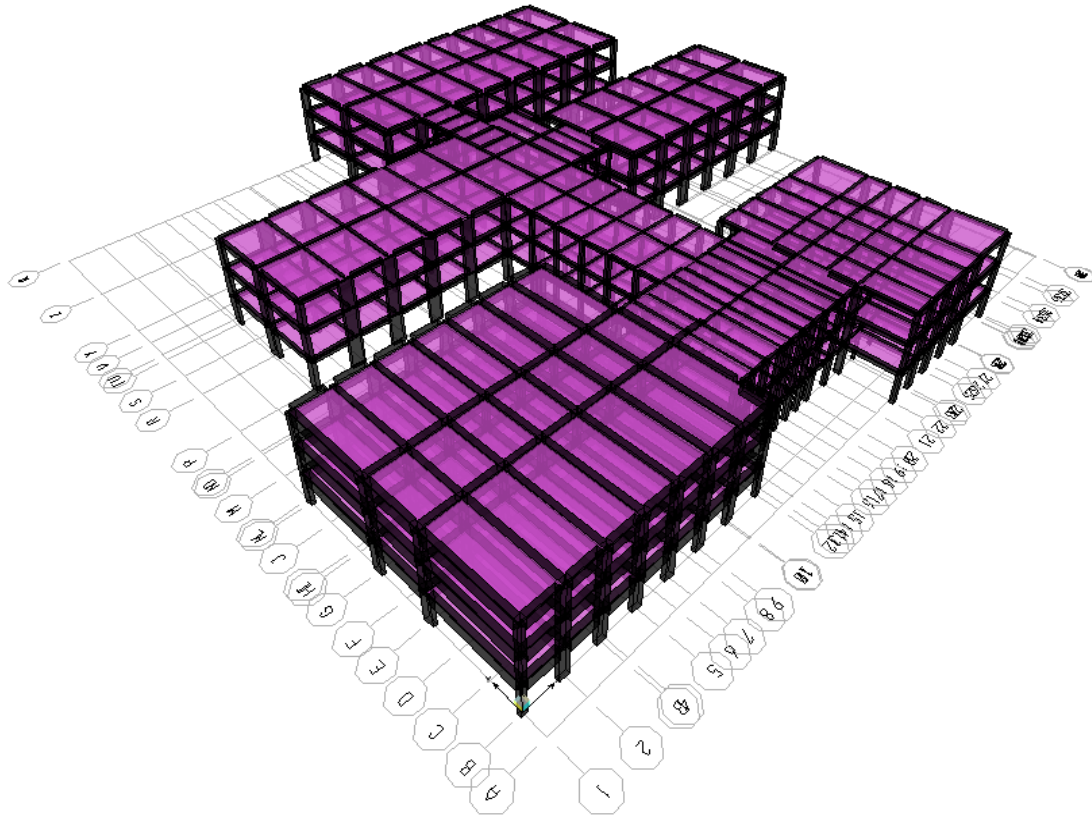
5.4.1 Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları

Elektrik elektronik mühendisliği bölümü betonarme çerçeveli sistem olarak inşa edilmiş olup üç katının da kat yüksekliği 3.20 m' dir. x doğrultusunda ki en büyük uzunluğu 66.85 metre, y doğrultusunda ki en büyük uzunluğu ise 63.85 m' dir. Kat döşemeleri 16 cm'lik plak döşeme şeklinde tasarlanmış olup çerçeve elemanları ise süneklilik düzeyi yüksek dikdörtgen kesitlerden oluşmuştur. Bu binanın taşıyıcı sisteminde toplam 576 adet kolon eleman mevcut olup, kolon elemanların boyut ve sayıları Tablo 5.8' de görüldüğü gibidir.

Tablo 5.8 Elektrik Elektronik mühendisliği bölüm binasının kolon ebat ve sayıları

Kolon boyutu	Kolon sayısı	Kolon boyutu	Kolon sayısı	Kolon boyutu	Kolon sayısı
0.30x0.30	147	0.35x0.60	24	0.60x0.60	18
0.30x0.45	57	0.35x0.75	6	0.65x0.35	24
0.30x0.50	36	0.35x0.85	6	0.75x0.35	24
0.35x 0.35	6	0.35x1.25	15	0.85x0.35	36
0.35x0.40	57	0.40x0.35	9	1.25x0.35	99
0.35x0.55	6	0.55x0.35	6		

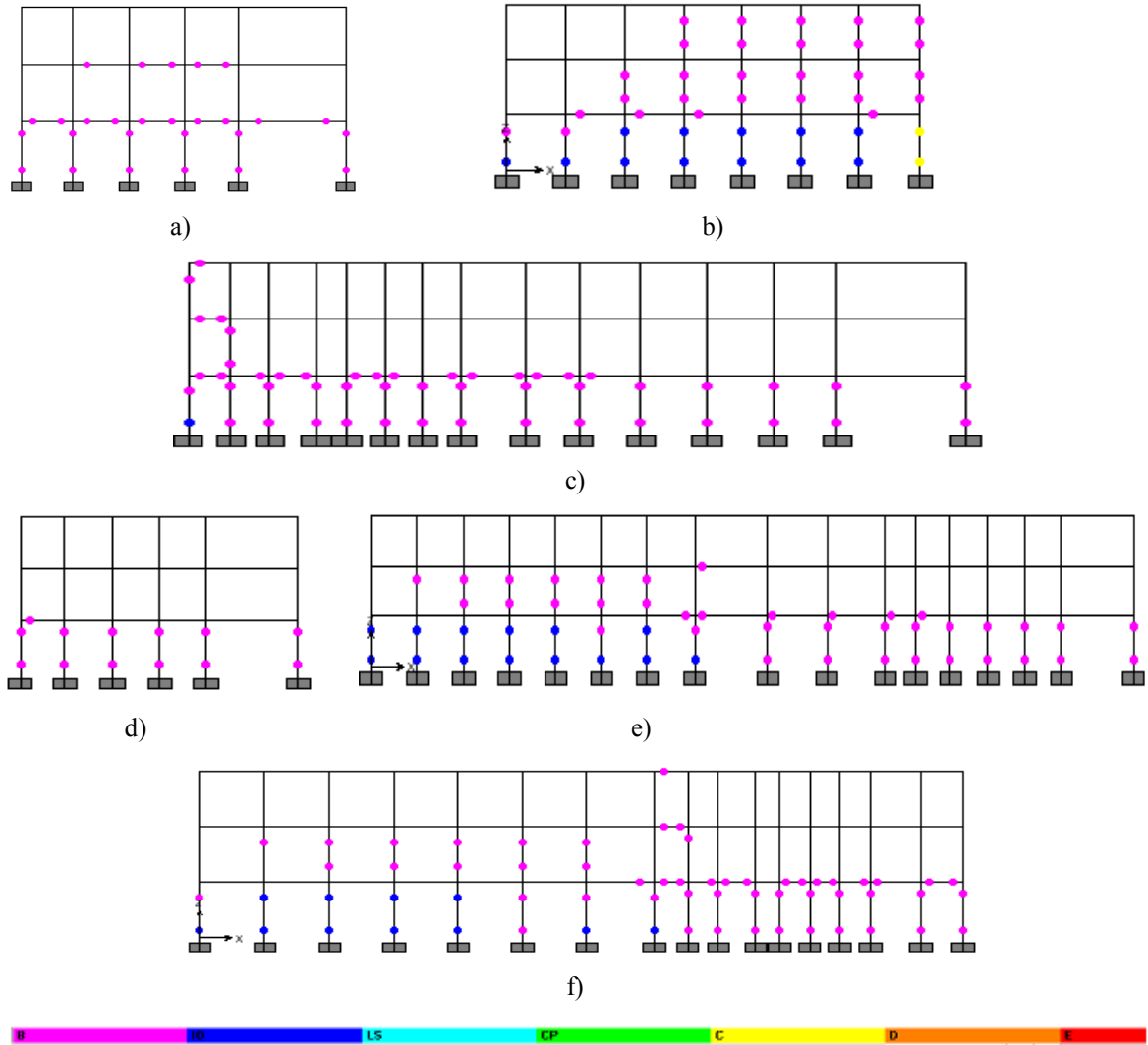
Deprem performanslarının belirlenmesinde sonlu eleman yöntemi kullanılmış olup sistem çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 1567 adet çerçeve ve 386 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Hareketli ve ölü yüklerin etkisi dikkate alınarak yapılan hesapta temel ortamı rijit kabul edilmiştir. Elektrik elektronik mühendisliği bölüm binasının lineer olmayan statik itme analizinde, beton malzemesi C16 (BS16) sınıfında ve kesitlere ait donatı oranı ise minimum seçilmiştir. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.28’ de görüldüğü gibidir.



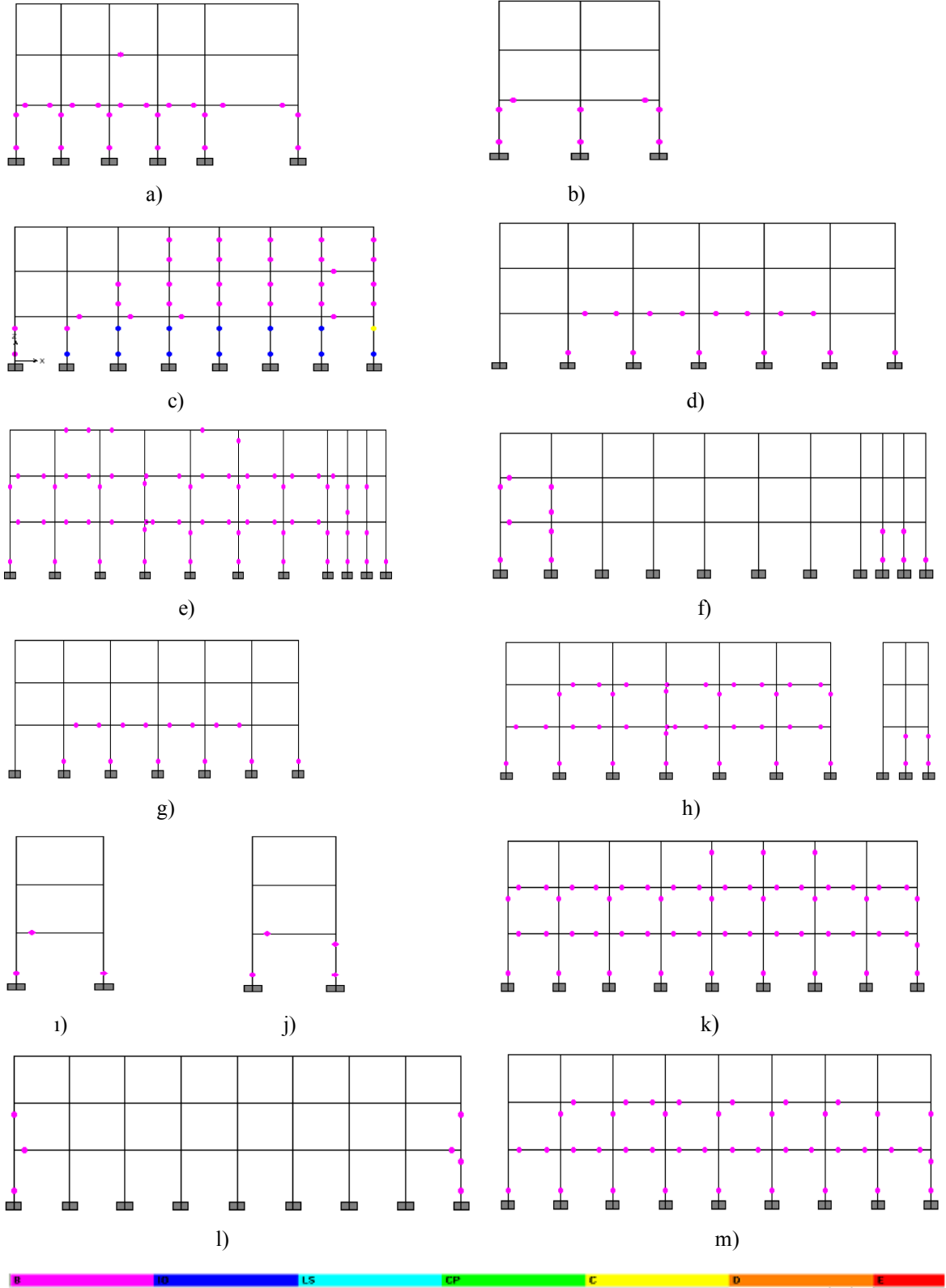
Şekil 5.28 Elektrik Elektronik mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli

5.4.2 Depremi x Yönünde Etki Etmesi Hali için Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

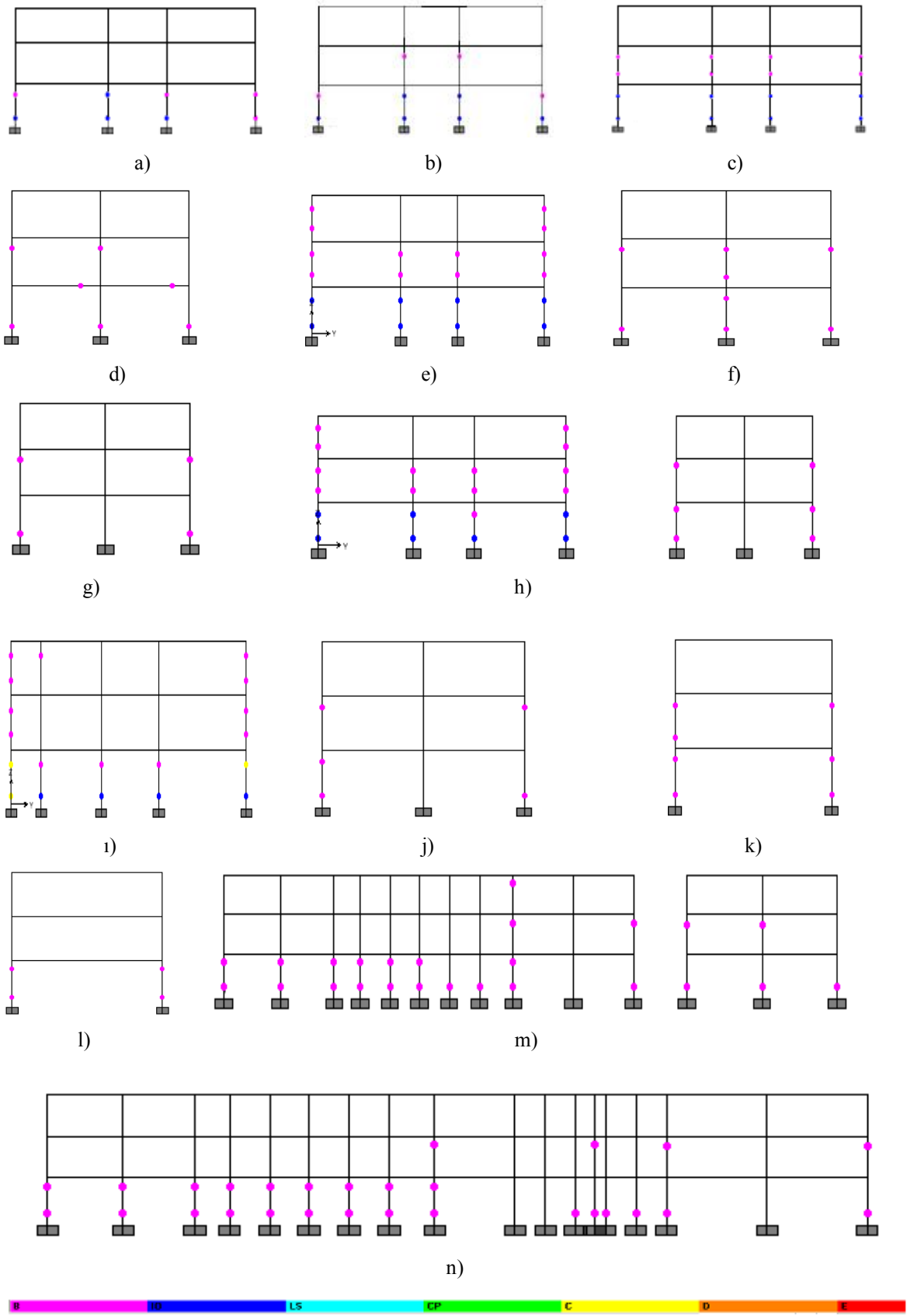
Depremi x eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.29-5.32’ de görülmektedir. Tablo 5.9 dikkate alındığında bu binanın 576 adet kolonunun, 224’ ünde hemen kullanım ve 2 adetinde ise göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Hasar bölgelerinin tamamı kolon uç bölgelerinde yer almaktadır. Aynı zamanda 967 adet kirişin de 135 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Bu nedenle binada x yönü için hafif hasarlar meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak binanın özellikle köşe kısımlarında hasarların yoğunlaşması nedeniyle bu kısımların rijitliklerinin artırılması gerekmektedir.



Şekil 5.29 Depremi x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E ve f) G aksları hasar durumları

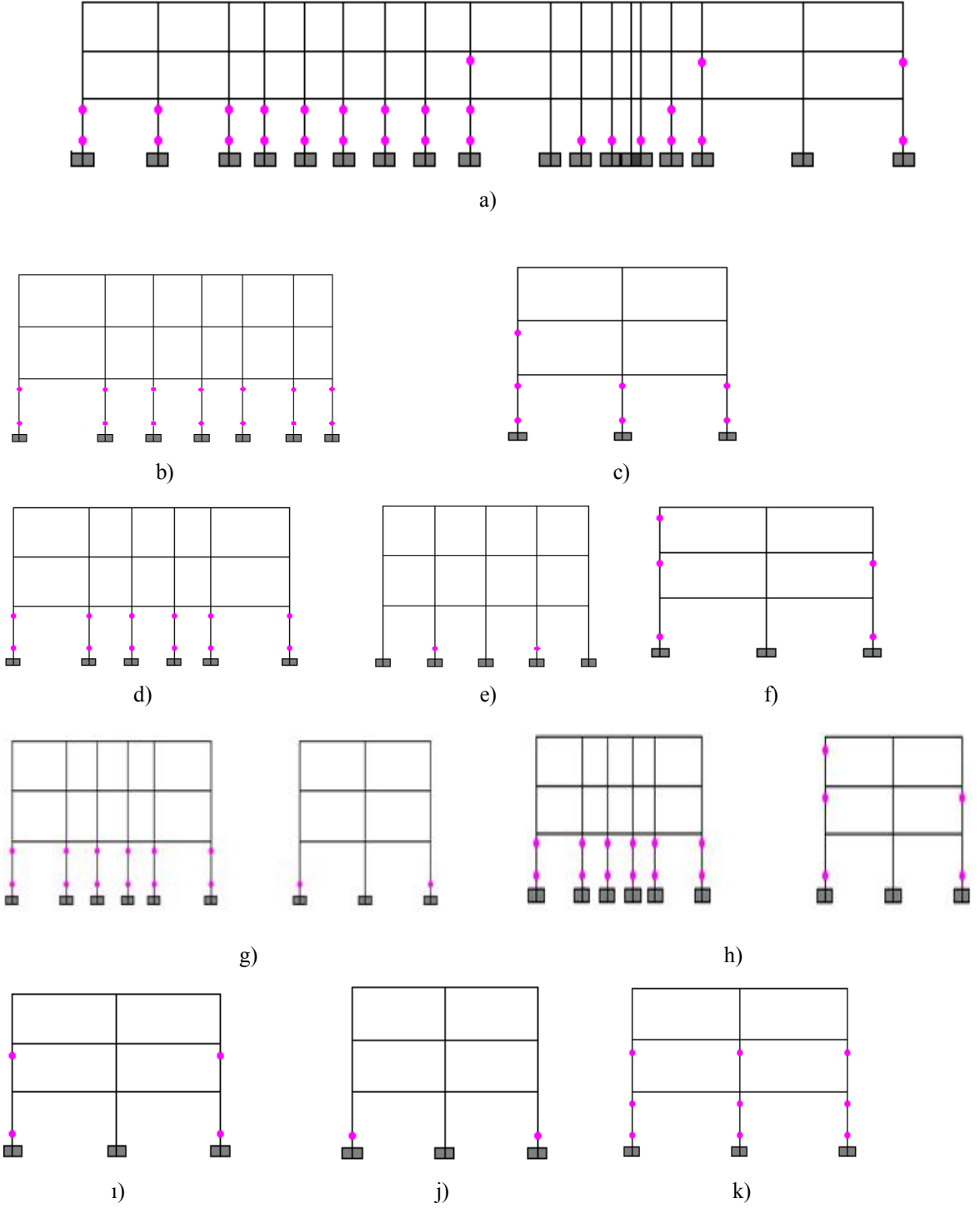


Şekil 5.30 Depremin x yönünde etkimesi için, a) H, b) I, c) K, d) O, e) P, f) R, g) S, h) T, ı) U, j) V, k) Y, l) Z ve m) Q aksları hasar durumları



Şekil 5.31 Depremin x yönünde etkimesi için a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 8, h) 10, i) 12, j) 13,

k) 14, l) 15, m) 16, n) 19 aksları hasar durumları



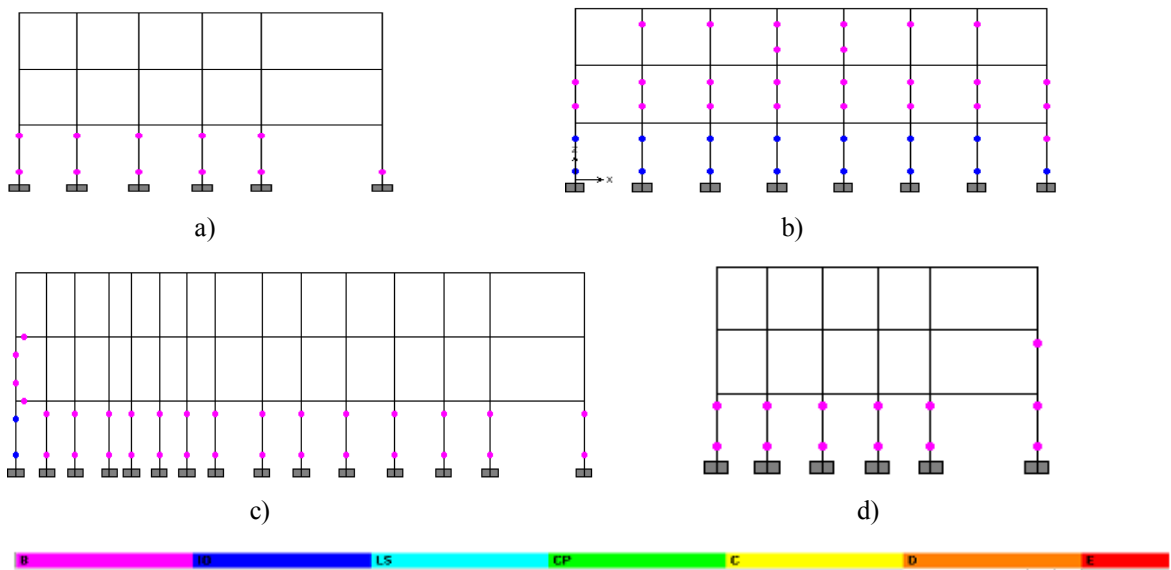
Şekil 5.32 Depremin x yönünde etkimesi için, a) 21, b) 22, c) 23, d) 24, e) 24', f) 26, g) 27, h) 29, ı) 34, j) 35 ve k) 36 aksları hasar durumları

Tablo 5.9 Elektrik elektronik mühendisliği deprem x yönü performans değerleri

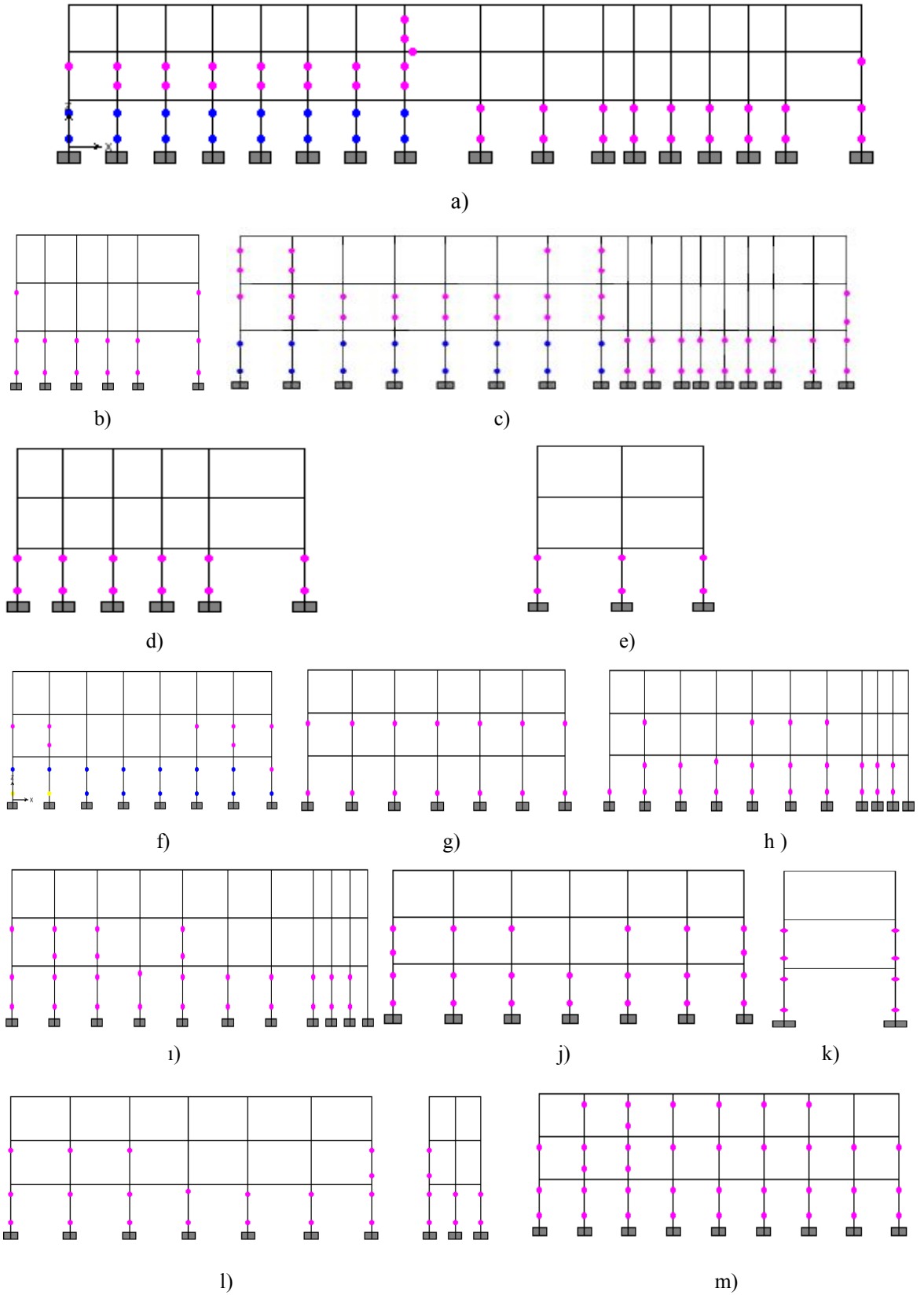
Kat No	Toplam kolon sayısı	Toplam kiriş sayısı	Kolon ve kirişlerin hasar sınırları (Deprem x)					
			Kolon hasarları			Kiriş hasarları		
			HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
Zemin kat	192	325	147	-	2	94	-	-
Birinci kat	192	323	62	-	-	36	-	-
İkinci kat	192	319	15	-	-	5	-	-
Toplam	576	967	224	-	2	135	-	-

5.4.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

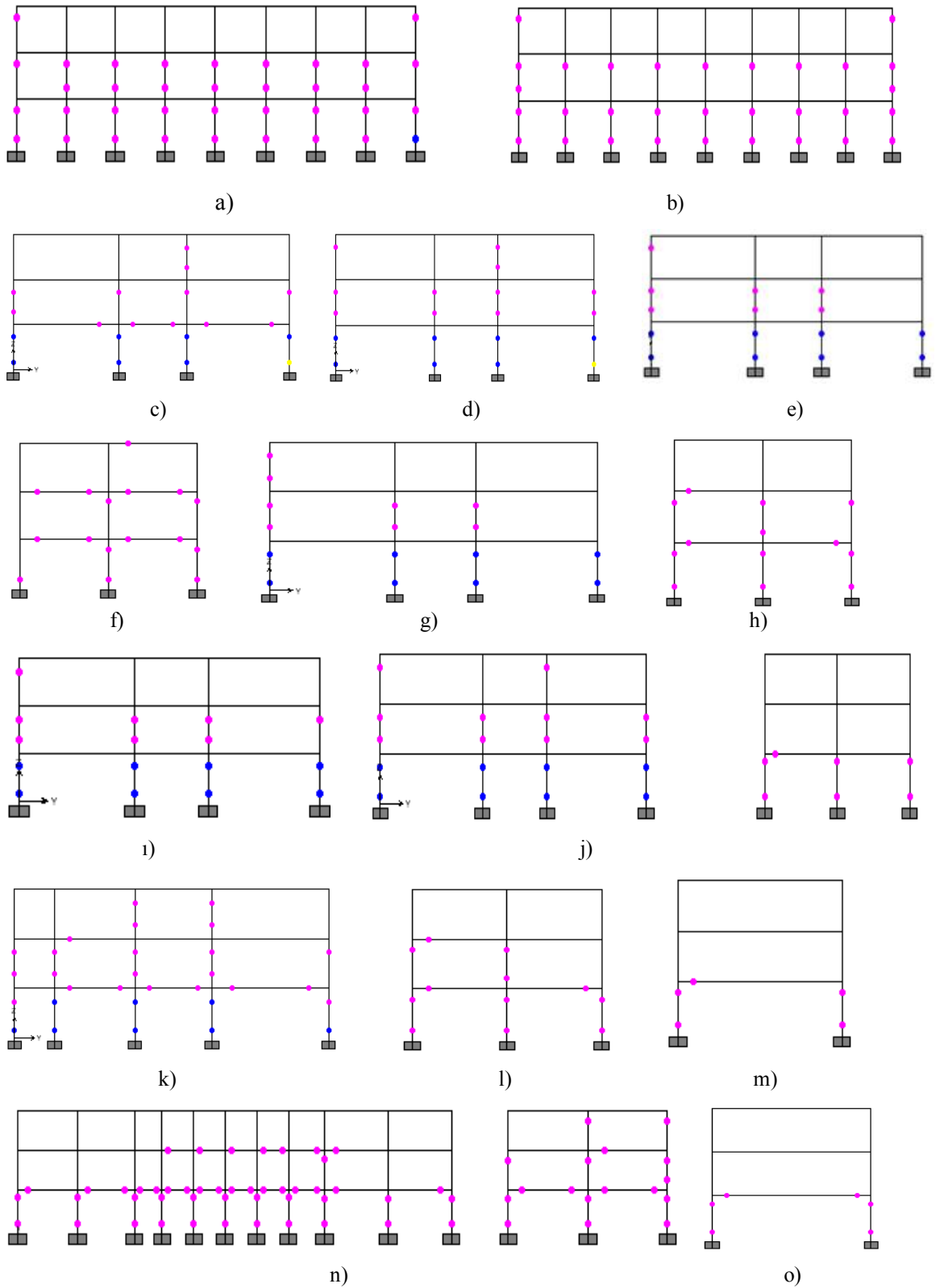
Deprem y eksen y yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.33-5.37’ de görülmektedir. Tablo 5.10 dikkate alındığında ise 576 adet kolonunun, 290’ nın da hemen kullanım ve yine 2 adet kolonda da göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Aynı zamanda 967 adet kirişin de 144 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Binanın x yönüne benzer olarak y yönü içinde hafif hasarlar meydana geldiği belirlenmiş ve yine köşe kısımlarında hasarların yoğunlaşması nedeniyle bu kısımların rijitliklerinin artırılması gerektiği belirlenmiştir.



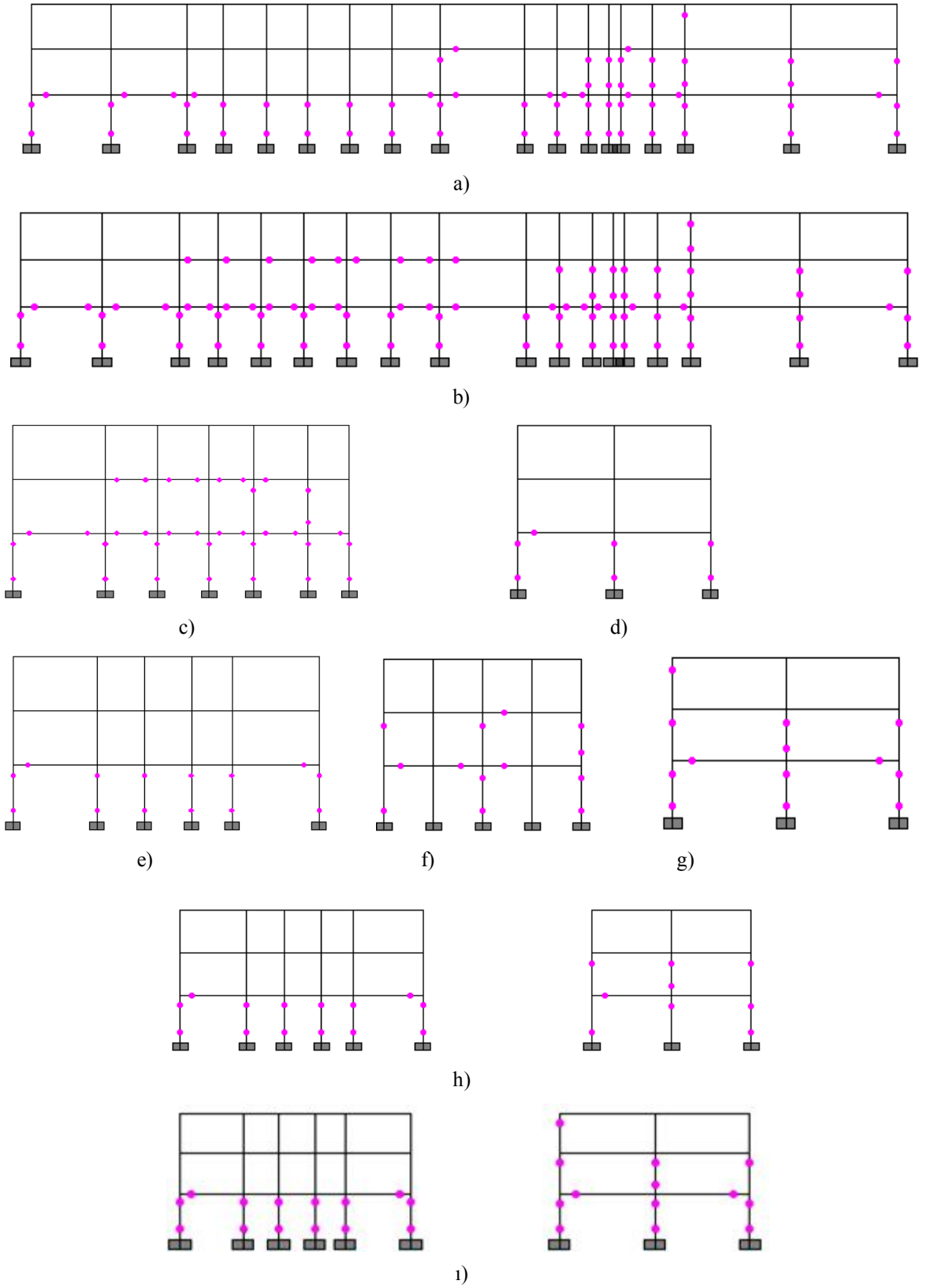
Şekil 5.33 Deprem y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C ve d) D aksları hasar durumları



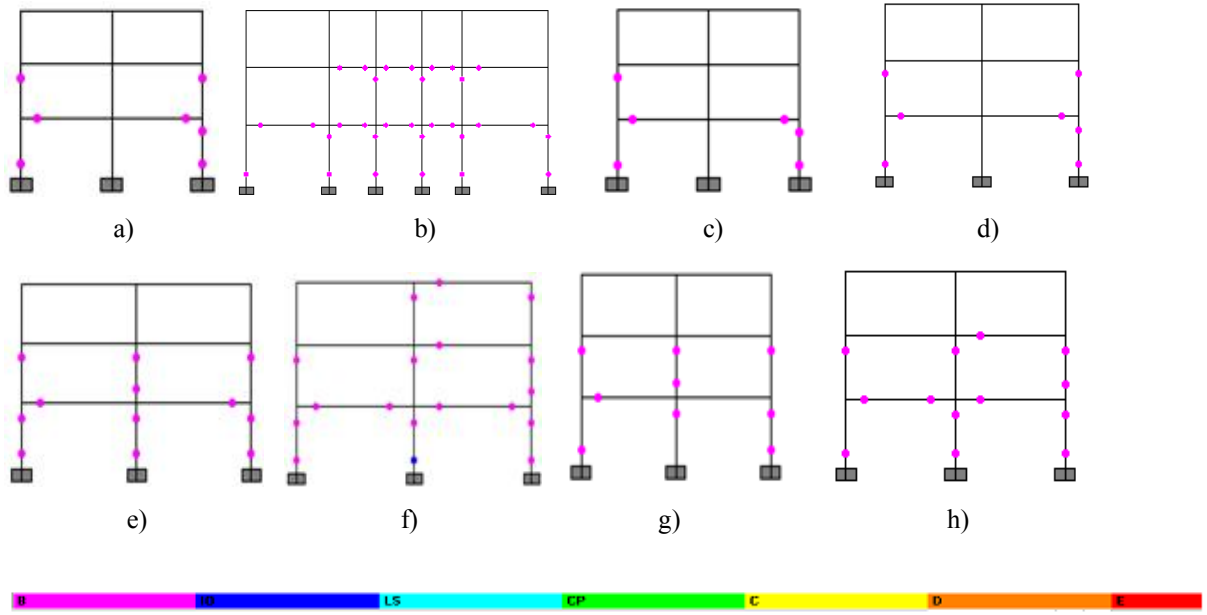
Şekil 5.34 Depremin y yönünde etkimesi için, a) E, b) F, c) G, d) H, e) I, f) K, g) O, h) P, i) R, j) S, k) T, l) U, m) Y aksları hasar durumları



Şekil 5.35 Depremin y yönünde etkimesi için a) Z, b) Q, c) 1, d) 2, e) 3, f) 4, g) 5, h) 6, ı) 9, j) 10, k) 12, l) 13, m) 14, n) 16 ve o) 17 aksları hasar durumları



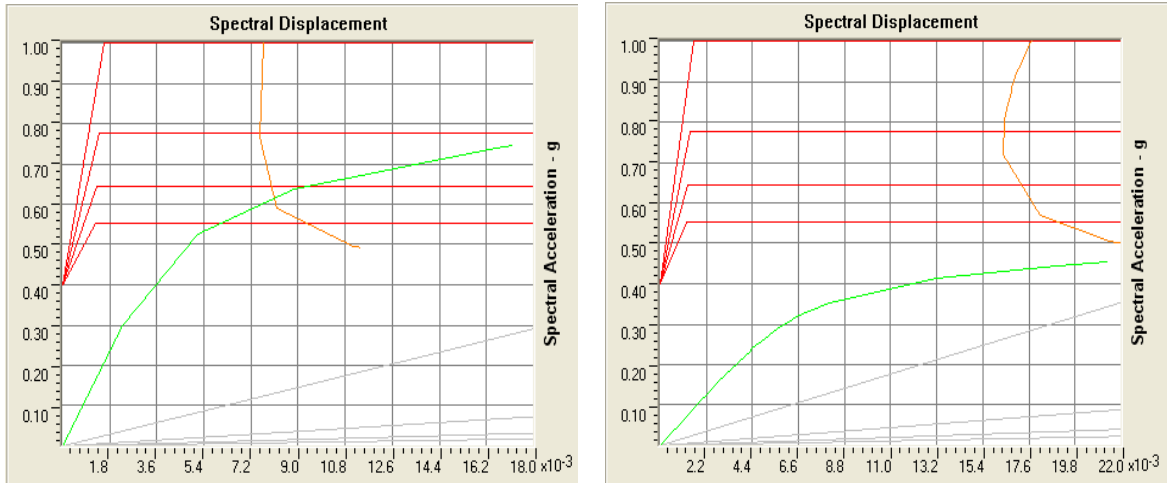
a) Şekil 5.36 Depremin y yönünde etkimesi için, a) 19, b) 21, c) 22, d) 23, e) 24, f) 24', g) 26, h) 27 ve i) 28 aksları hasar durumları



Şekil 5.37 Deprem y yönünde etkimesi için, a) 30, b) 32, c) 33, d) 34, e) 35, f) 36, g) 37 ve h) 38 aksları hasar durumları

Tablo 5.10 Elektrik elektronik mühendisliği 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
Zemin kat	192	325	177	-	2	108	-	-
Birinci kat	192	323	92	-	-	34	-	-
İkinci kat	192	319	21	-	-	2	-	-
Toplam	576	967	290	-	2	144	-	-

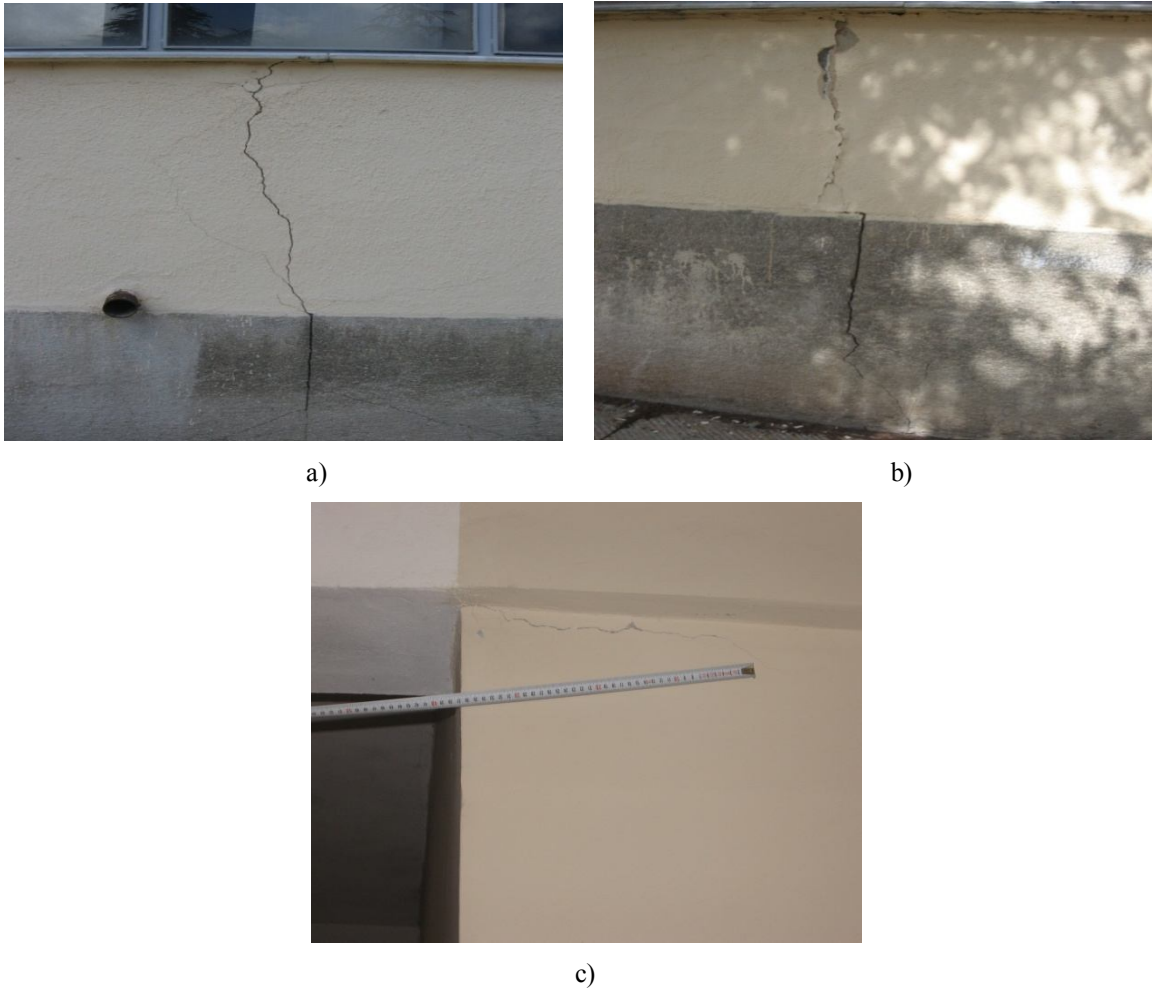


Şekil 5.38 Deprem x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

Deprem x ve y yönlerinden etkimesi halleri için yapılan çözümlerden hem x hem de y eksenindeki kolon elemanların, önemli hasarlar almadığı deprem x yönü için "B" ve "K" akslarında deprem y yönü için de 1 ve 2 akslarında sadece dış kolonlarda göçme durumu görülmektedir. Bu nedenle her iki asal doğrultuda da binanın köşelerine "L" şeklinde perdeler ilave edilerek her iki yönünde güçlendirilmesi gerektiği önerilebilir.

5.5 Kimya Mühendisliği Bölüm Binası

Kimya Mühendisliği Bölüm binası, toplam 2325.0 m² kullanım alanına sahip olup her bir katının alanı 775.0 m² dir. Yapı, zemin ve bir adet normal kattan inşa edilmiş olup ayrıca bir bodrum kata sahiptir. Bina betonarme karkas özellikte olup taşıyıcı sistemi çerçeveselidir. Şekil 5.39’ da görüldüğü gibi binada sadece bölgesel oturma çatlaklarının olduğu ve taşıyıcı sistemde herhangi bir hasarın olmadığı tespit edilmiştir.

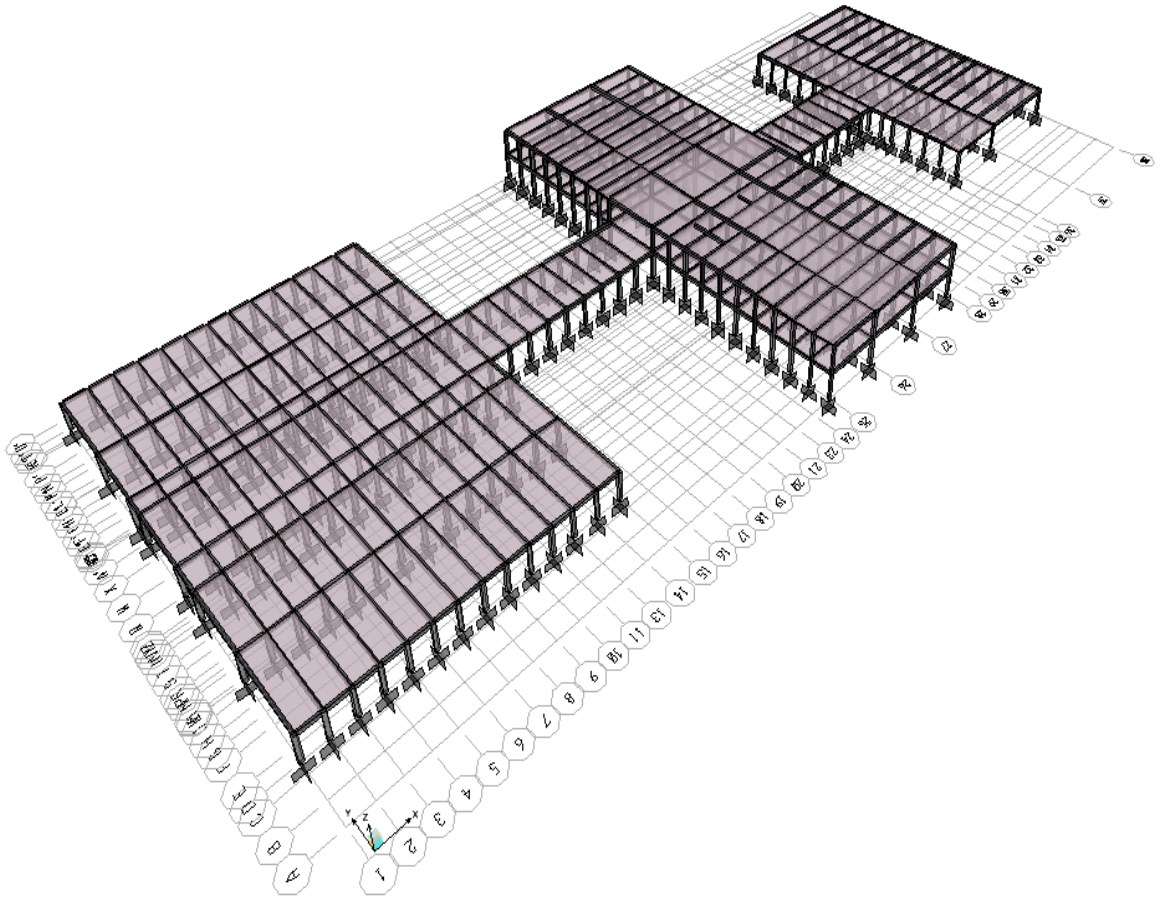


Şekil 5.39 a, b, ve c Kimya mühendisliği bölümü ve laboratuvar binaları hasar durumları

5.5.1 Kimya Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları

Kimya mühendisliği bölümü betonarme çerçeve sistem olarak inşa edilmiş ve kat yüksekliği her iki katta da 3.50 m. olup x doğrultusundaki en büyük uzunluğu 137.80 metre, y doğrultusunda en büyük uzunluğu ise 76.15 m.' dir. Kat döşemeleri 15 cm kalınlığına sahip olup düşey taşıyıcı elemanlar 0.30×0.50 m ölçülerine sahip toplamda 347 adet kolondan meydana gelmiştir.

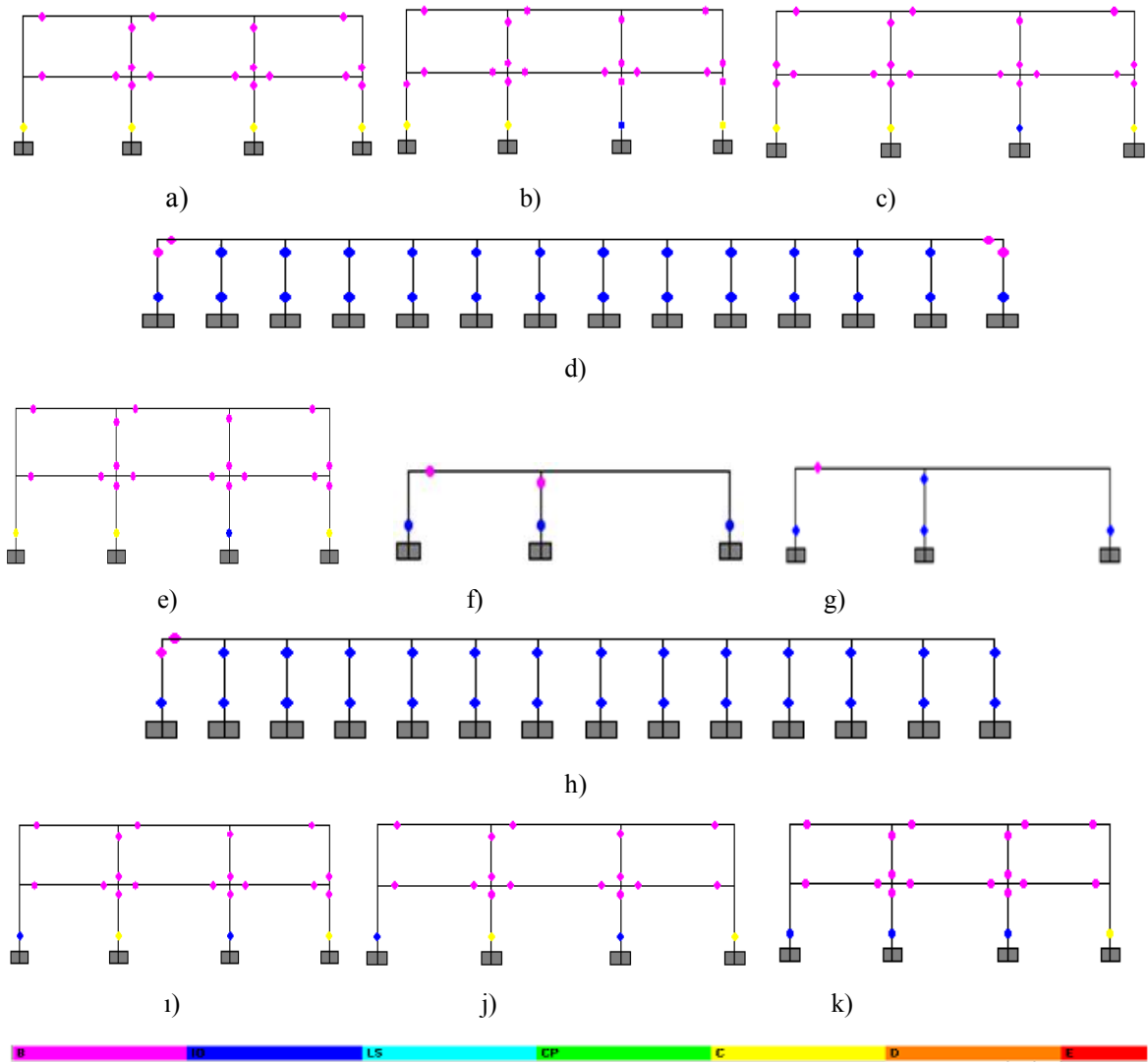
Bu binanın deprem performansının belirlenmesinde sonlu eleman yöntemi kullanılmış olup sistem, çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 946 adet çerçeve ve 250 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Binada sönüm oranı % 5 olacak şekilde ilk 12 mod dikkate alınmış olup hareketli ve ölü yüklerin etkisi altında temel ortamı rijit kabul edilmiştir. Kimya mühendisliği binasının lineer olmayan statik itme analizinde, beton malzemesi C16 (BS16) sınıfında ve kesitlere ait donatı oranı ise minimum seçilip sonuçlar elde edilmiştir. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.40' da görüldüğü gibidir.



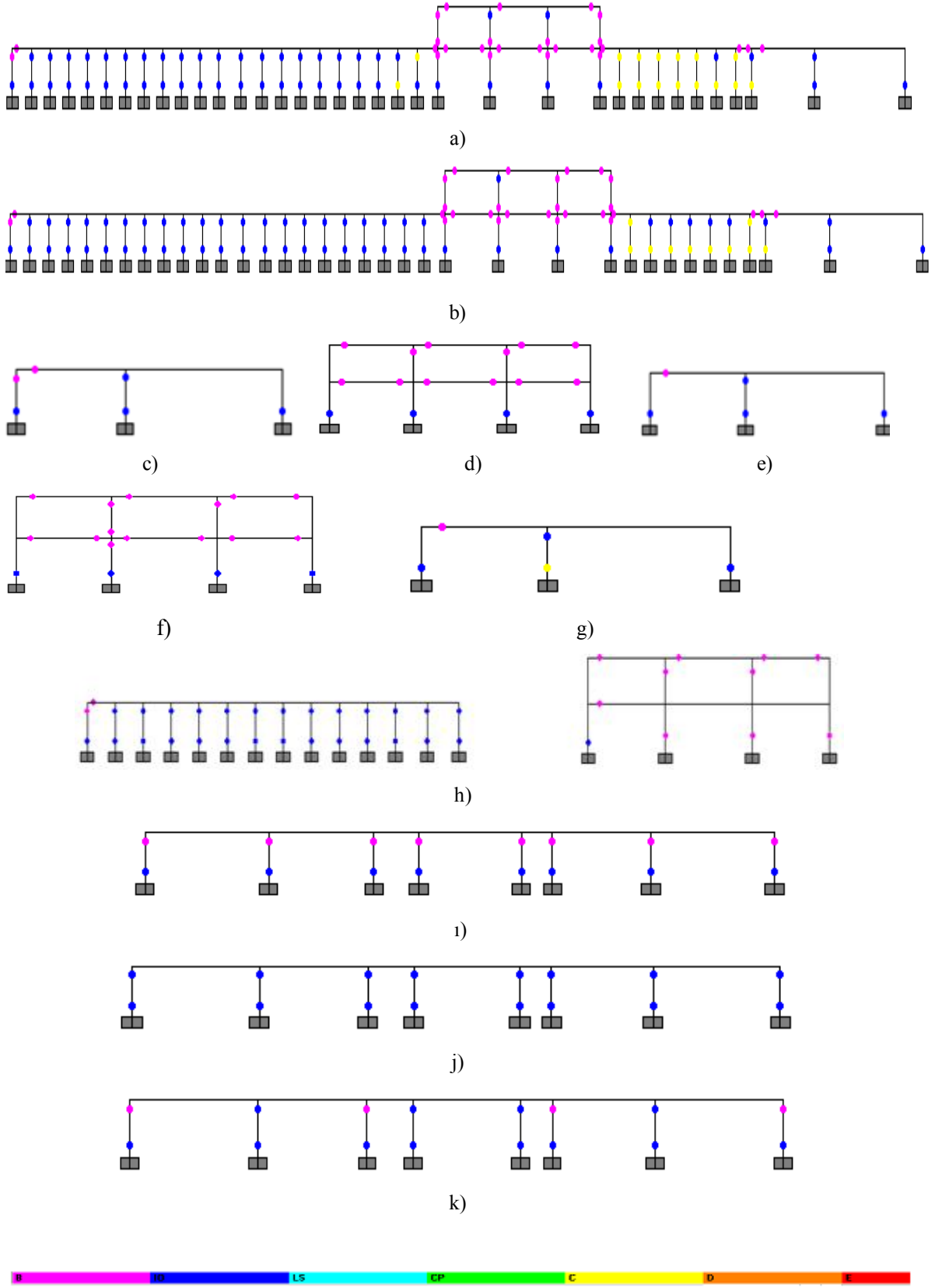
Şekil 5.40 Kimya mühendisliği bölüm binası sonlu eleman modeli

5.5.2 Deprem'in x Yönünde Etki Etmesi Hali için Kimya Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

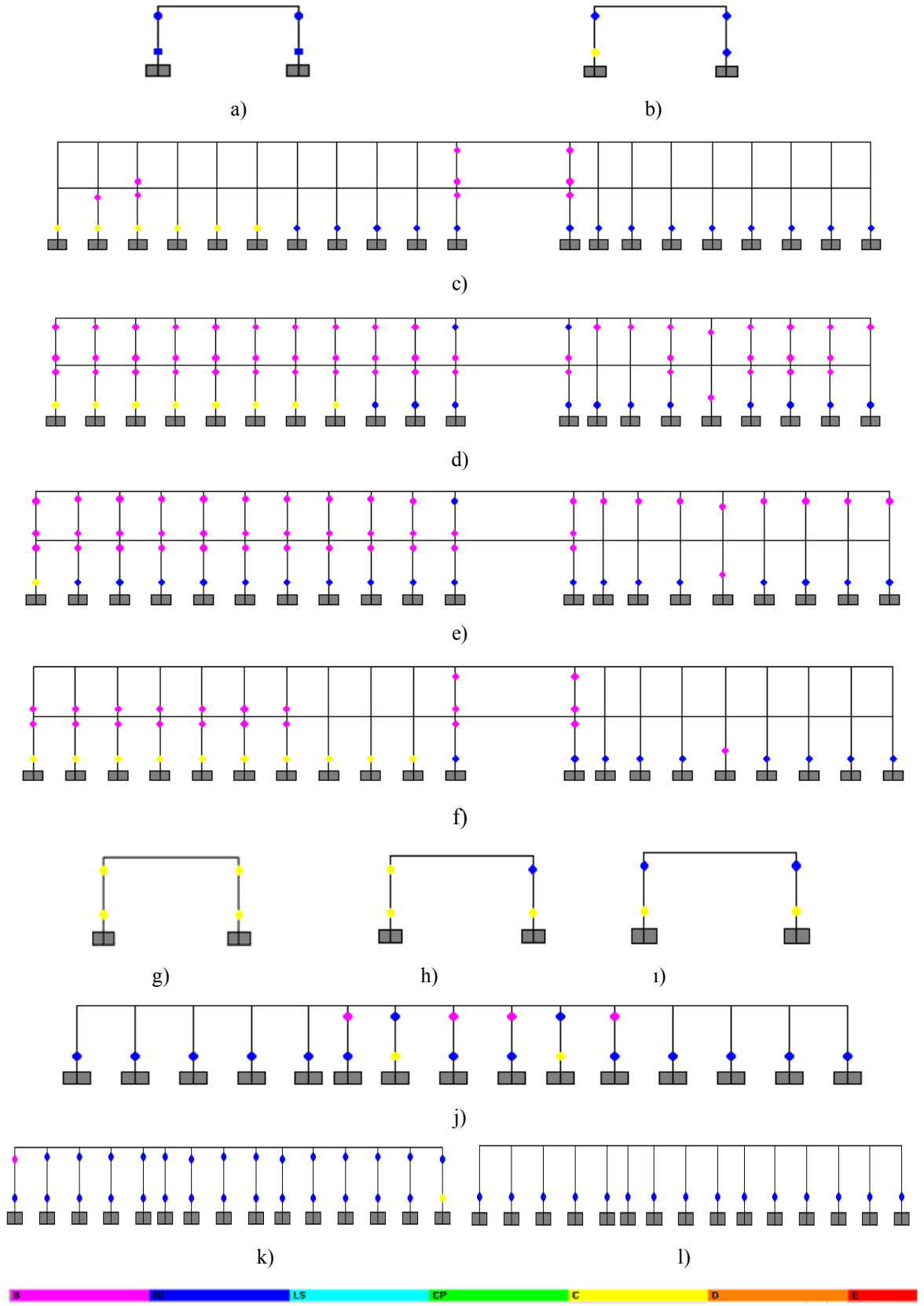
Deprem'in x eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.41- 5.43' de görülmektedir. Tablo 5.11 dikkate alındığında, bu binanın 347 adet kolonunun, 226' sında hemen kullanım ve 45 adedin de ise göçme öncesi performans seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Hasar bölgelerinin tamamı kolon uç bölgelerinde yer almaktadır. Aynı zamanda 392 adet kirişin de 145 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Hasar gören kiriş sayısının kolon sayısından az olması bu bina için kuvvetli kolon-zayıf kiriş şartının sağlanmadığı sonucunu vermektedir.



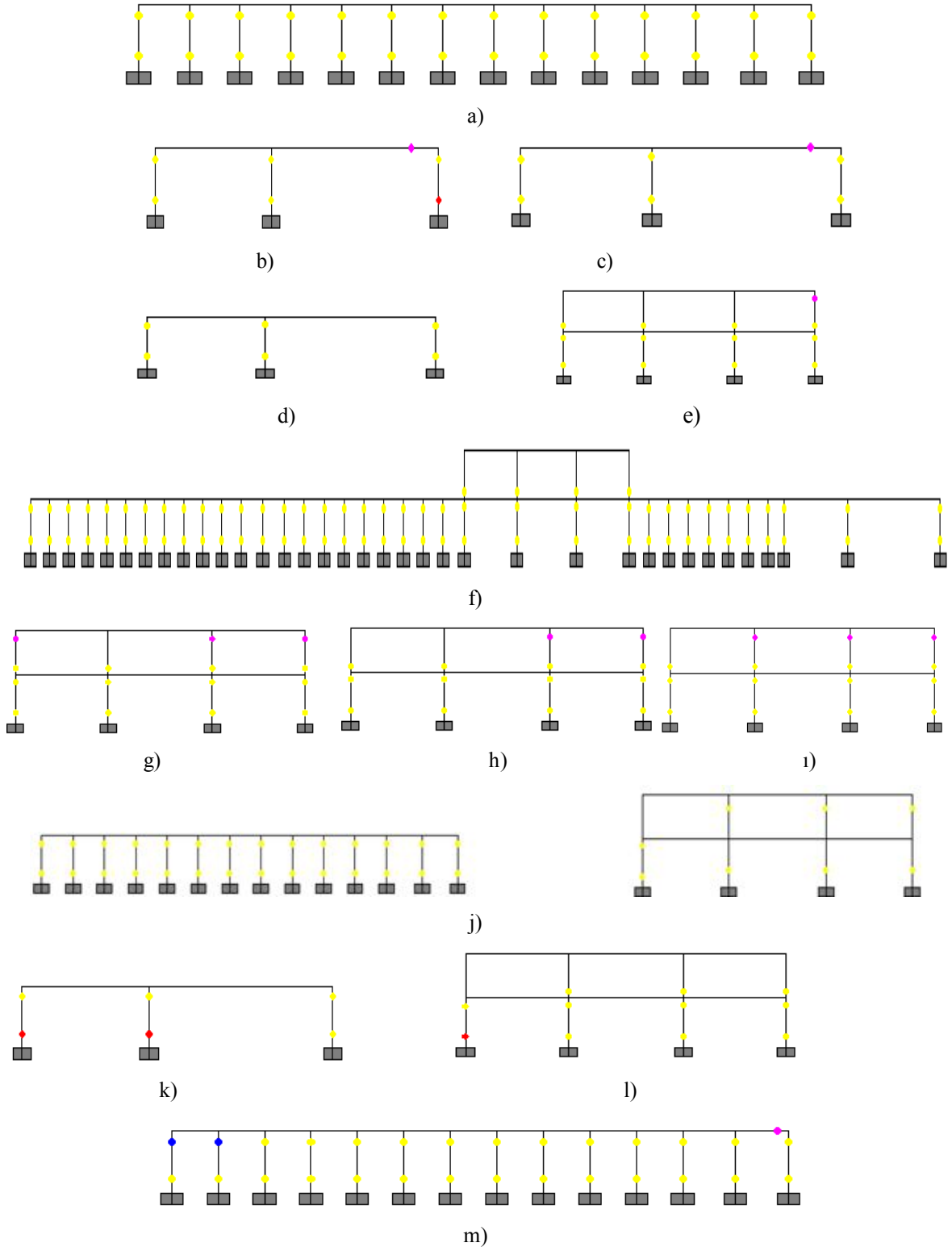
Şekil 5.41 Deprem'in x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) G, g) J, h) K, i) M, j) R, k) Y, aksları hasar durumları



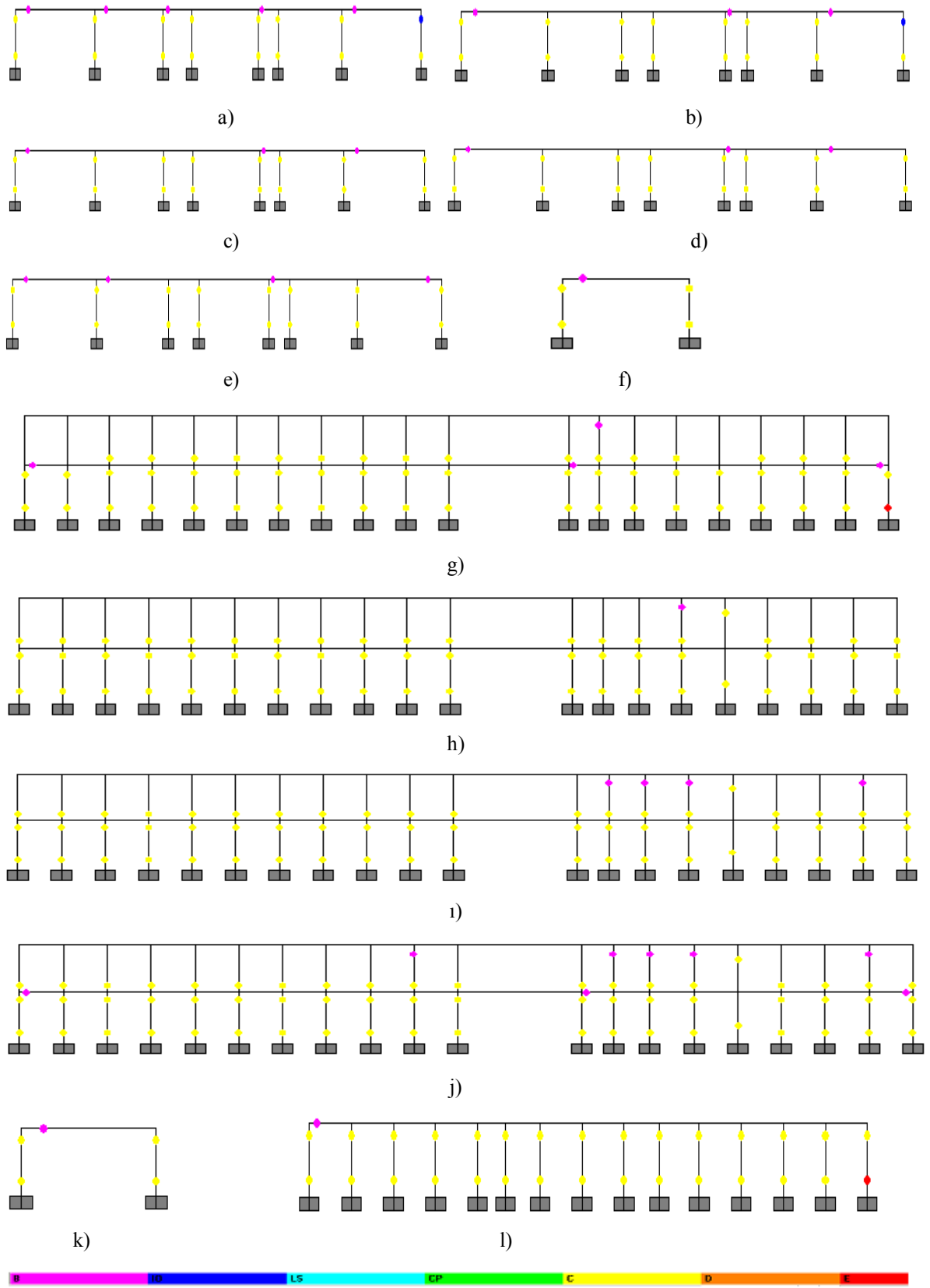
Şekil 5.42 Depremin x yönünde etkimesi için a) Q, b) A', c) Z, d) B', e) F', f) G', g) N', h) J', i) 1, j) 2 ve k) 15 aksları hasar durumları



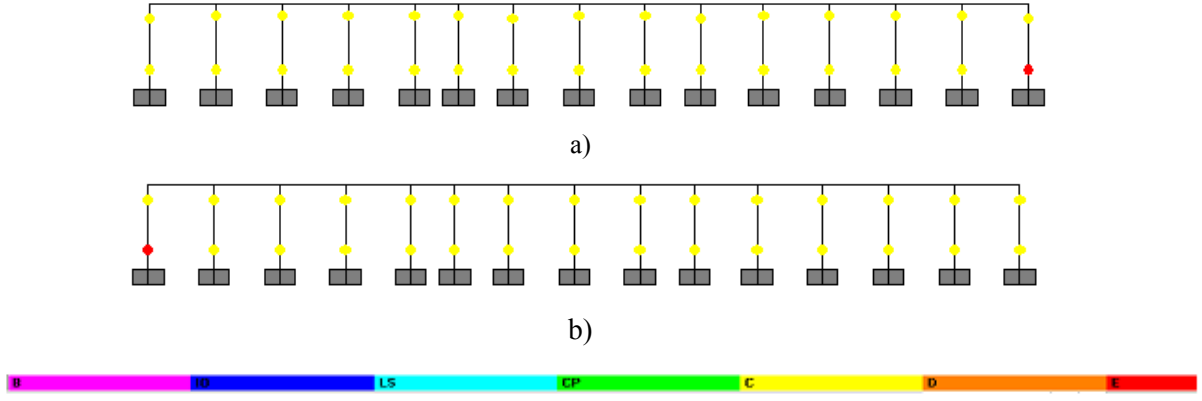
Şekil 5.43 Depremin x yönünde etkimesi için a) 16, b) 23, c) 25, d) 26, e) 27, f) 28, g) 29, h) 30, ı) 34, j) 36, k) 37 ve l) 38 aksları hasar durumları



Şekil 5.45 Depremin y yönünde etkimesi için a) D, b) G, c) J, d) S, e) Y, f) Q, g) B', h) E', ı) G', j) J', k) N', l) U' ve m) T' aksları hasar durumları



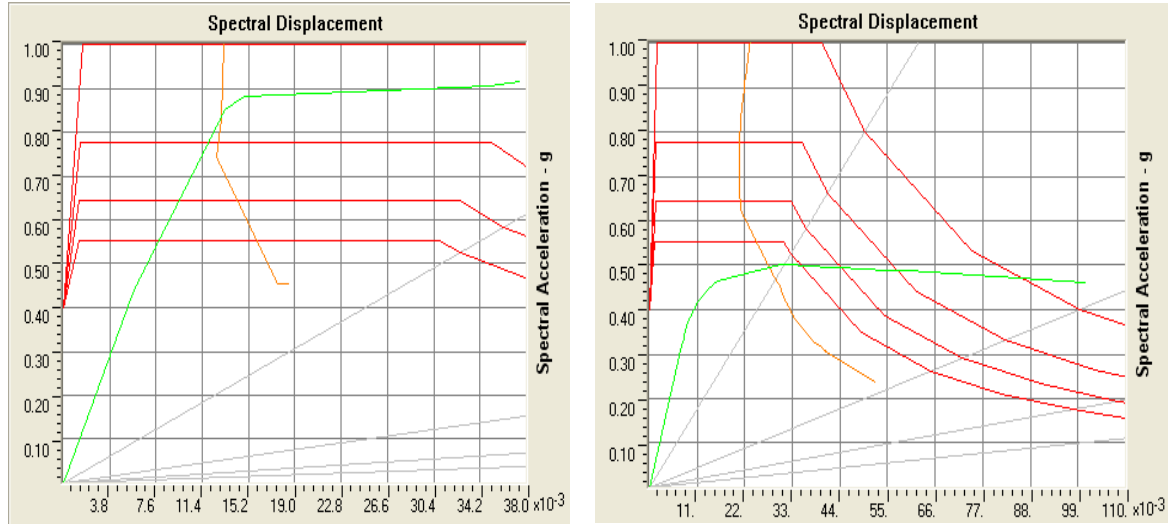
Şekil 5.46 Depremin y yönünde etkimesi için a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 15, f) 16, g) 25, h) 26, ı) 27, j) 28, k) 29 ve l) 36 aksları hasar durumları



Şekil 5.47 Deprem y yönünde etkimesi için, a) 37, b) 38 aksları hasar durumları

Tablo 5.12 Kimya mühendisliği 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
Zemin kat	267	330	-	-	259	68	-	-
Birinci kat	80	62	-	-	76	-	-	-
Toplam	347	392	-	-	335	68	-	-



Şekil 5.48 Deprem x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

5.6 Bilgisayar Mühendisliği

Bilgisayar Mühendisliği Bölüm binası, dilatasyon derzi ile ayrılmış iki ayrı bölümden oluşmuştur. Birinci kısım (A Blok) toplam 7688.16 m², ikinci kısım (B Blok) toplam 6858.72 m² kullanım alanına sahiptir. Yapı, zemin ve 5 adet normal kattan inşa edilmiş olup ayrıca bir bodrum kata sahiptir. Bölüm binası karkas özellikte olup taşıyıcı sistemi çerçeveselidir.



a)



b)



Şekil 5.49 a,b,c Bilgisayar mühendisliği bölüm binası

5.6.1 Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları (A blok)

Bilgisayar mühendisliği bölüm binası (A Blok) düzgün çerçevesel süneklilik düzeyi yüksek dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perde elemanlardan oluşmuştur. Kat yüksekliği bodrum katta 5.40 metre, diğer tüm katlarda 4.50 m' dir. A bloğunun x doğrultusundaki açıklığı 35.10 metre, y doğrultusundaki açıklığı 34.80 m' dir. Sistemdeki bütün döşemeler

20-25 ve 30 cm, nervürlü döşemelerin kalınlığı ise 15 cm' dir. Bu binanın taşıyıcı sisteminde toplam 172 adet kolon ve 18 adet perde eleman mevcut olup, kolon elemanların boyut ve sayıları Tablo 5.13' de, perde elemanların boyut ve sayıları Tablo 5.14' deki gibidir.

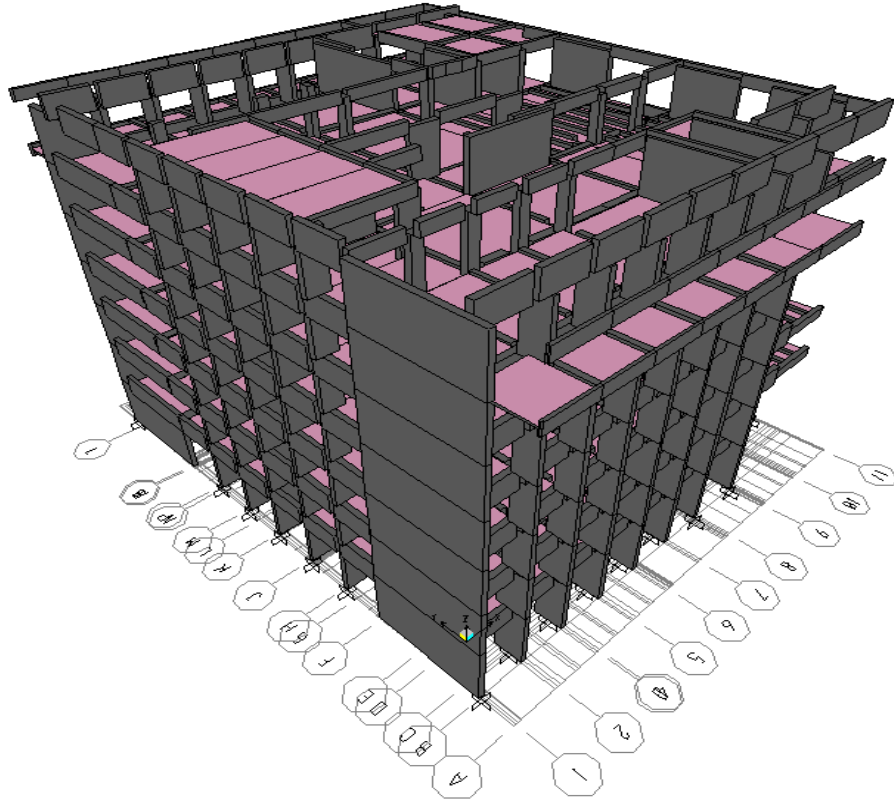
Tablo 5.13 Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının kolon ebat ve sayıları (A Blok)

Kolon boyutu	Kolon sayısı	Kolon boyutu	Kolon sayısı	Kolon boyutu	Kolon sayısı
0.40x1.70	70	0.50x2.60	1	0.90x2.20	4
0.40x2.20	15	0.60x3.00	2	1.80x0.60	6
0.50x0.70	3	0.70x2.20	10	2.20x0.80	12
0.50x 0.80	4	0.70x3.00	2	2.00x0.70	12
0.50x1.00	1	0.80x0.50	4	2.20x0.90	6
0.50x2.40	3	0.80x2.20	8	3.40x0.60	3
0.50x2.20	2	0.80x3.10	1	3.40x0.70	3

Tablo 5.14 Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının perde ebat ve sayıları (A Blok)

Aks adı	Perde sayısı	Perde boyutu (m)	Aks adı	Perde sayısı	Perde boyutu (m)
F	2	0.25x7.40-0.25 x7.60	2	1	0.25x3.60
G	2	0.25x7.40-0.25 x7.60	7	2	0.25x8.60*2
H	1	0.25x7.40	8	2	0.25x8.60-0.25x5.20
K	1	0.25x7.40	9	1	0.25x5.20
1	2	0.25x7.40-0.25x8.60	10	4	0.25x5.00*2-0.25x5.20 0.25x8.60

Binanın deprem performanslarının belirlenmesinde sonlu eleman yöntemi kullanılmış olup sistem çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 1465 adet çerçeve ve 316 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Binanın kendi ağırlığı, hareketli yükleri ve deprem yüklemesi altında push-over analizleri yapılarak hasar ve performans seviyeleri belirlenmiştir. Binada sönüm oranı % 5 olacak şekilde ilk 30 mod dikkate alınmıştır. Bilgisayar mühendisliği binasının lineer olmayan statik itme analizinde, beton malzemesi C16 (BS16) sınıfında ve kesitlere ait donatı oranı ise minimum seçilip sonuçlar elde edilmiştir. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.50' de görüldüğü gibidir.

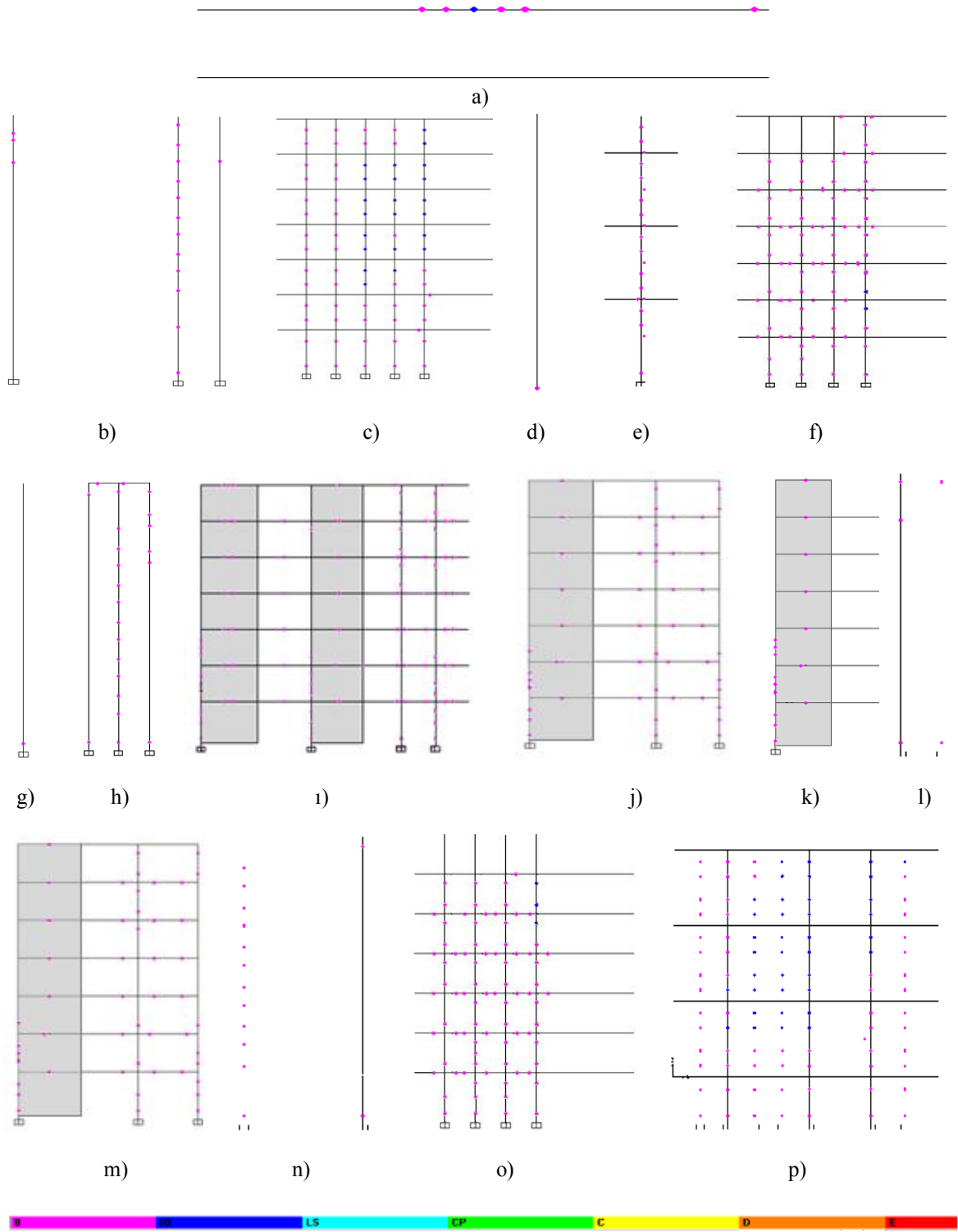


Şekil 5.50 Bilgisayar mühendisliği binası (A Blok) sonlu eleman modeli

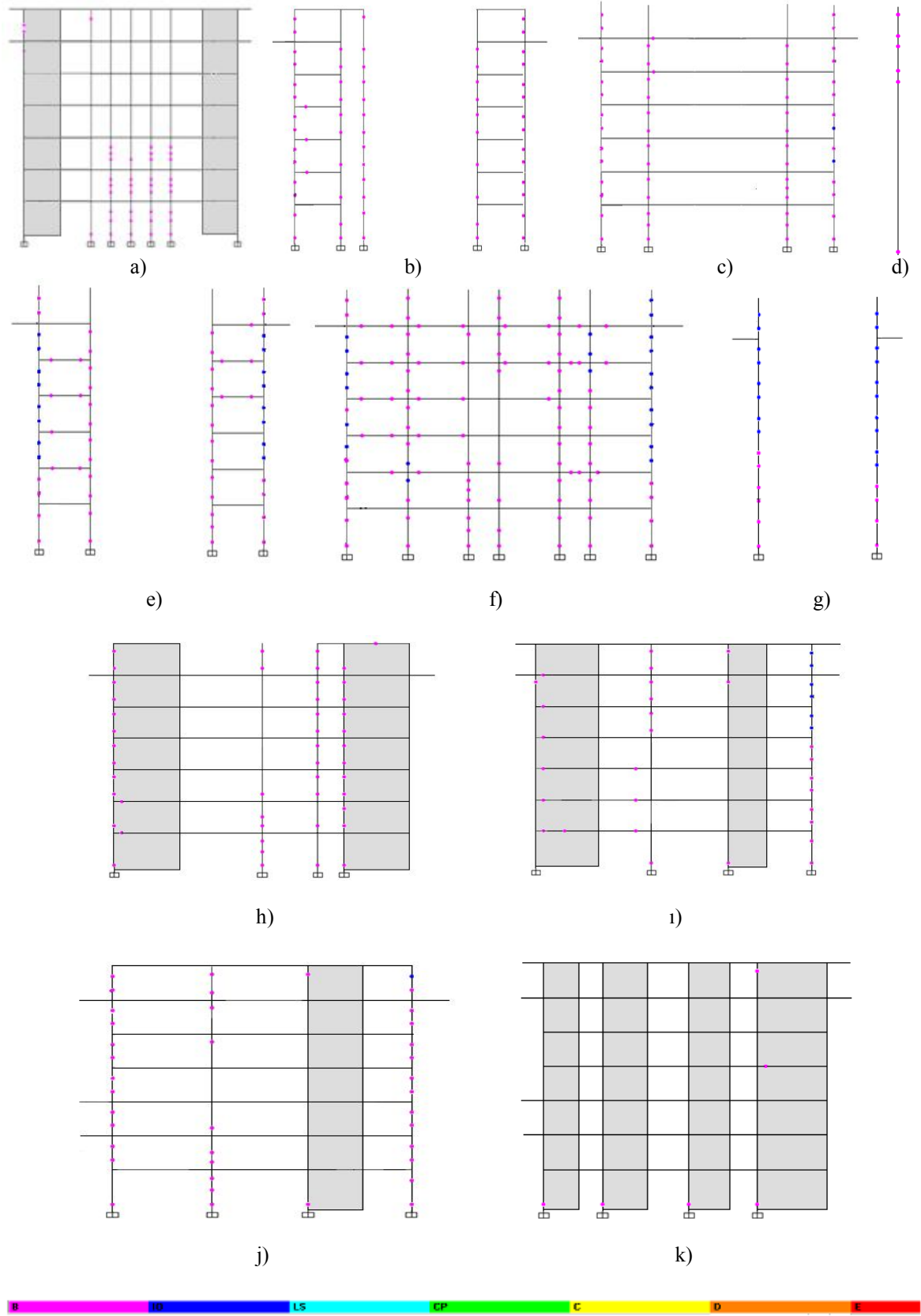
5.6.2 Depremi x Yönünde Etki Etmesi Hali için Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Depremi x eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.51-5.52' de görülmektedir. Tablo 5.15 dikkate alındığında bu binanın 172 adet kolonunun, 172' sin de hemen kullanım seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Hasar bölgelerinin tamamı kolon uç bölgelerinde yer almaktadır. Aynı zamanda 740 adet kirişin de 139 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir.

Yapıdaki yanal ötelenme rijitliğinin artırılması amacıyla yerleştirilen perde elemanlarından, depremin x eksenini yönünde etkimesi hali için, Şekil 5.51'de ki "J-K-L" ve "M" akslarında yer alan perdelerin orta bölgelerinde hasarlar meydana gelmiş olup bu perdelerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi hemen kullanım performans seviyesine erişmiştir. Şekil 5.52'deki "1-10" ve "11" akslarında yer alan perdelerin ise hasar almadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.51 Depremin x yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G, h) H, ı) J, j) K, k) L, l) M, m) N, n) O, o) P ve p) R aksları hasar durumları



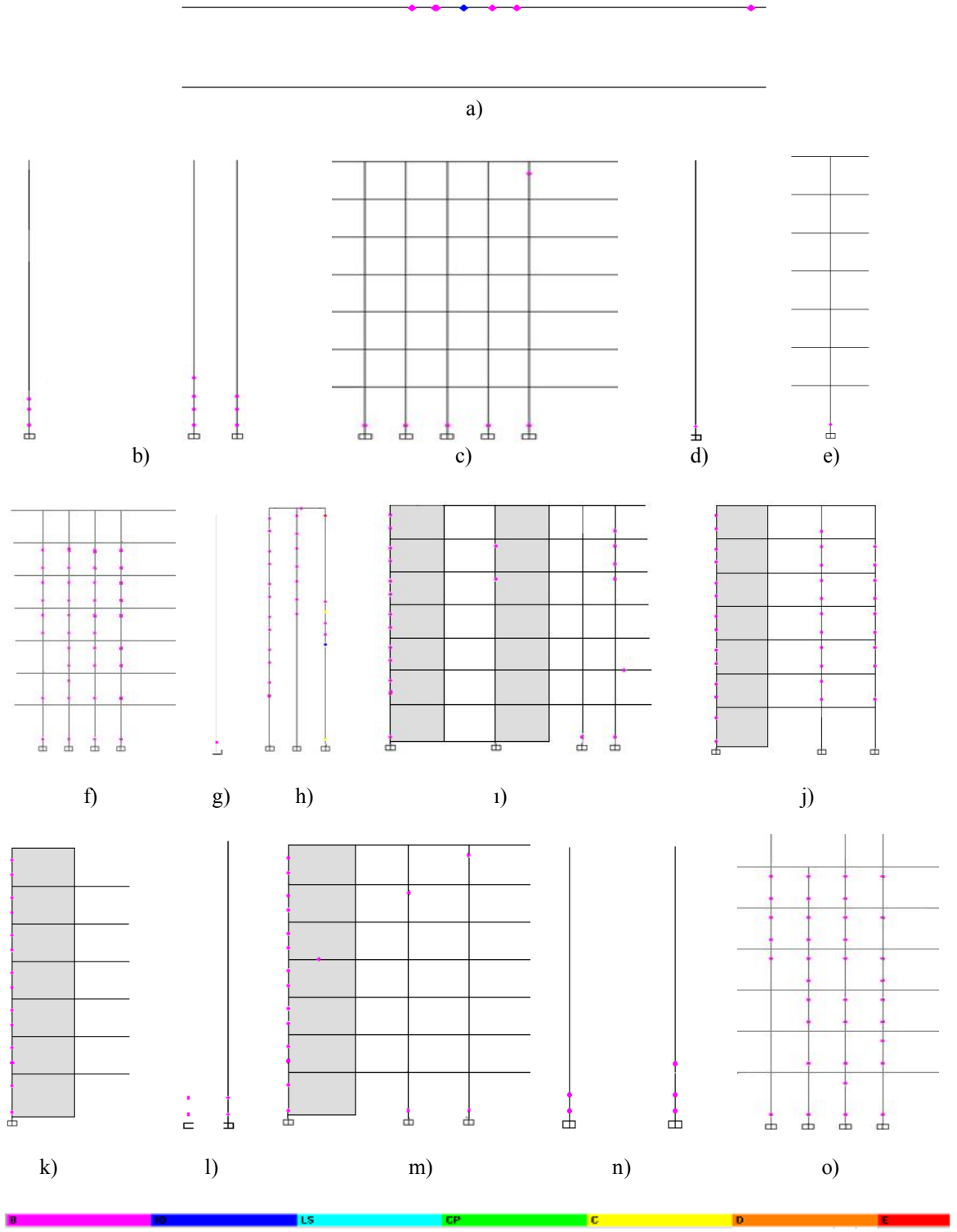
Şekil 5.52 Depremin x yönünde etkimesi için a) 1, b) 2, c) 3, d) 4, e) 5, f) 6, g) 7, h) 8, i) 9, j) 10 ve k) 11 aksları hasar durumları

Tablo 5.15 Bilgisayar mühendisliği binasının deprem x yönüne ait performans değerleri

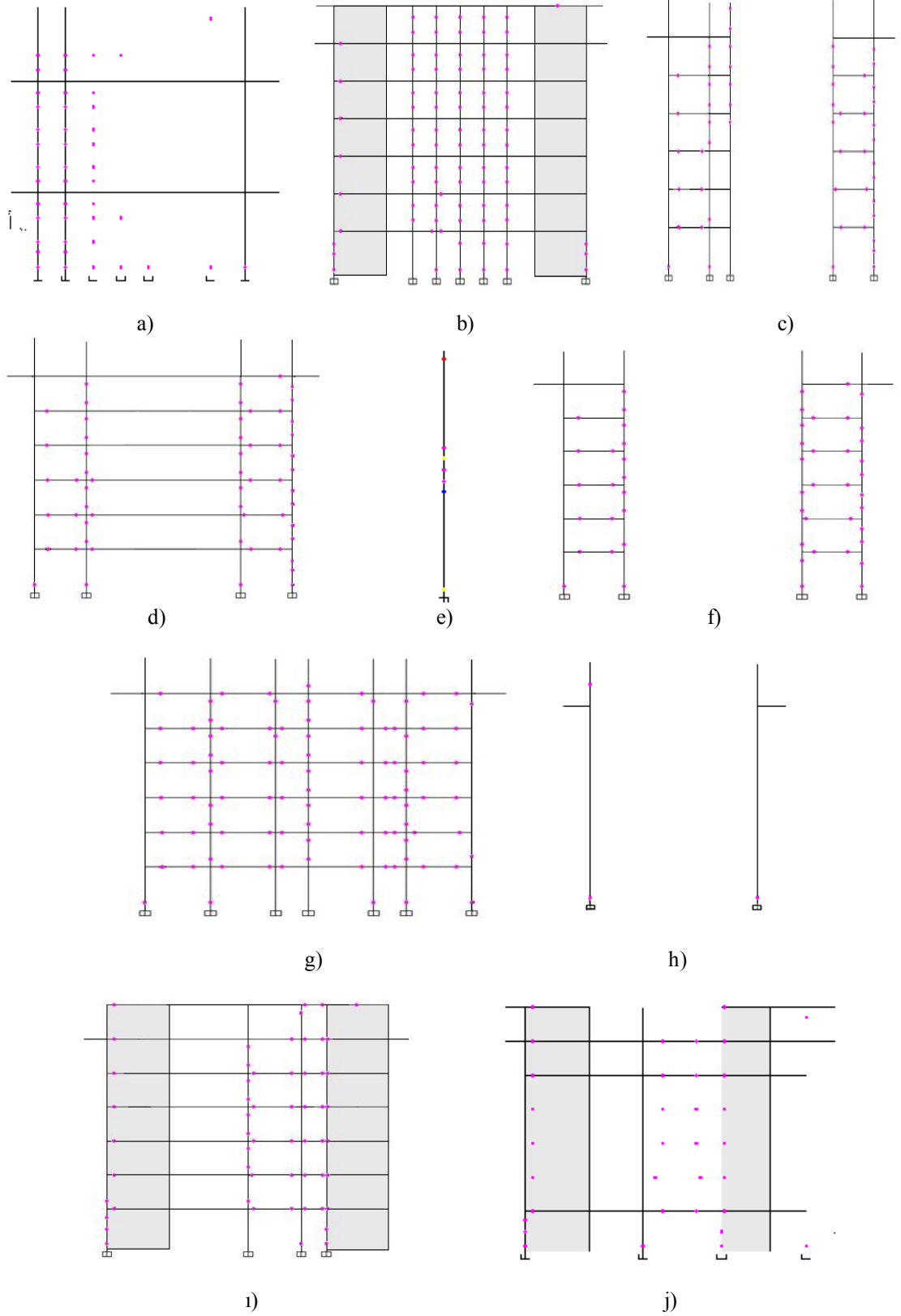
Kat No	Toplam kolon sayısı	Toplam kiriş sayısı	Kolon ve kirişlerin hasar sınırları (Deprem x)					
			Kolon hasarları			Kiriş hasarları		
			HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ
Bodrum kat	25	94	25	-	-	18	-	-
Zemin kat	25	112	25	-	-	26	-	-
Birinci kat	25	112	25	-	-	23	-	-
İkinci kat	25	104	25	-	-	23	-	-
Üçüncü kat	25	103	25	-	-	25	-	-
Dördüncü kat	25	141	25	-	-	17	-	-
Beşinci kat	22	74	22	-	-	7	-	-
Toplam	172	740	172	-	-	139	-	-

5.6.3 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

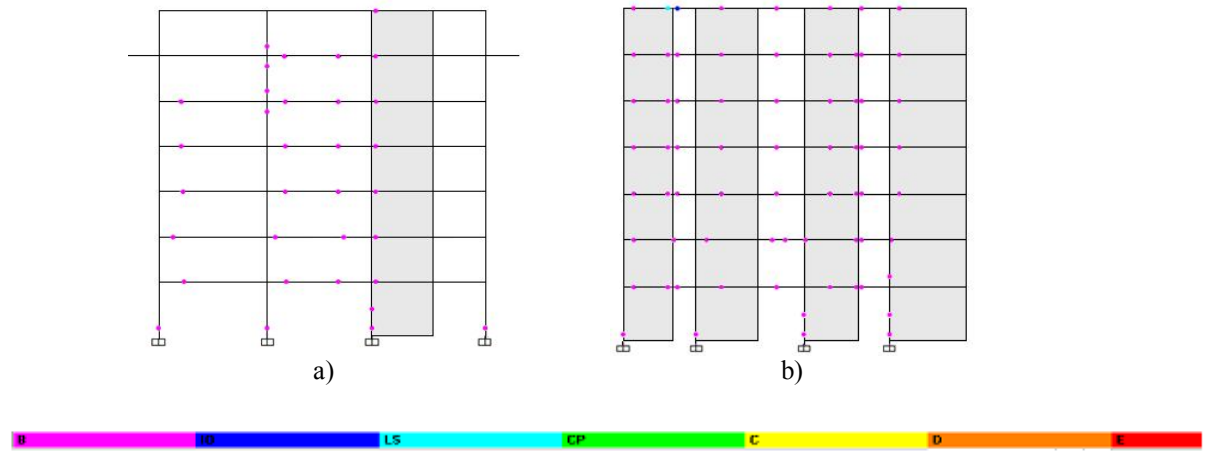
Deprem y eksen y yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.53-5.55’de görülmektedir. Tablo 5.16 dikkate alındığında 172 adet kolonun 172’ si hemen kullanım seviyesinde, 2 adet kolonunda göçme öncesi performans seviyesinde hasarlar aldığı belirlenmiştir. Aynı zamanda 740 adet kirişin de 126 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Taşıyıcı sistemin önemli elamanlarından olan Şekil 5.53-54 ve Şekil 5.55’ de yer alan perdeler ise deprem y etkisi altında önemli hasarların meydana gelmediği, bu perde elemanların taşıyıcı sistem hasar sınırının hemen kullanım performans seviyesinde kaldığı görülmektedir. Hasar alan bu elemanların mantolanarak rijitlikleri arttırılabilir.



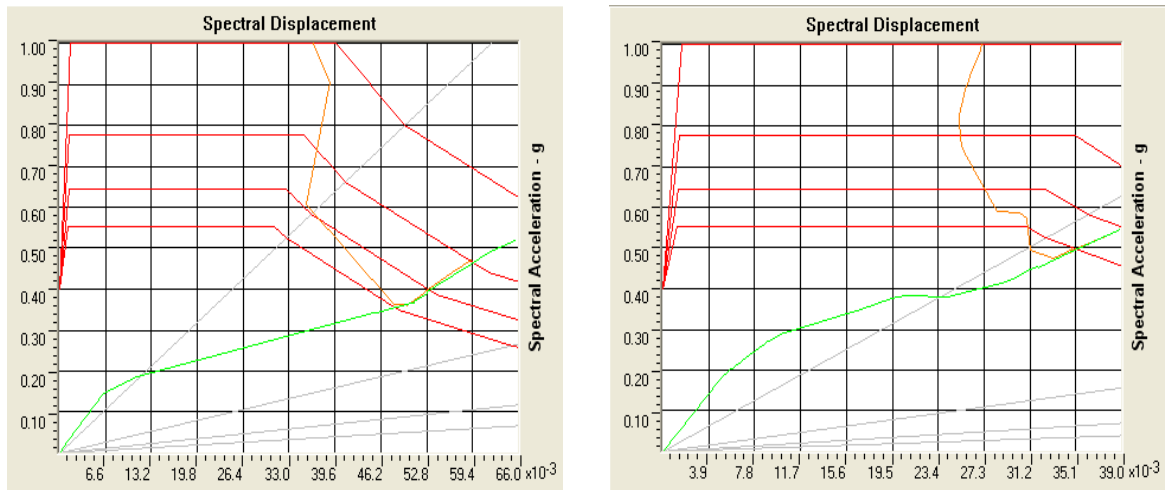
Şekil 5.53 Depremin y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) E, f) F, g) G, h) H, ı) J, j) K k) L, l) M, m) N, n) O ve o) P ağısları hasar durumları



Şekil 5.54 Depremin y yönünde etkimesi için a) R, b) 1, c) 2, d) 3, e) 4, f) 5, g) 6, h) 7, ı) 8 ve j) 9 aksları hasar durumları



Şekil 5.55 Depremi y yönünde etkimesi için a) 10 ve b) 11 aksları hasar durumları



Şekil 5.56 Depremi x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

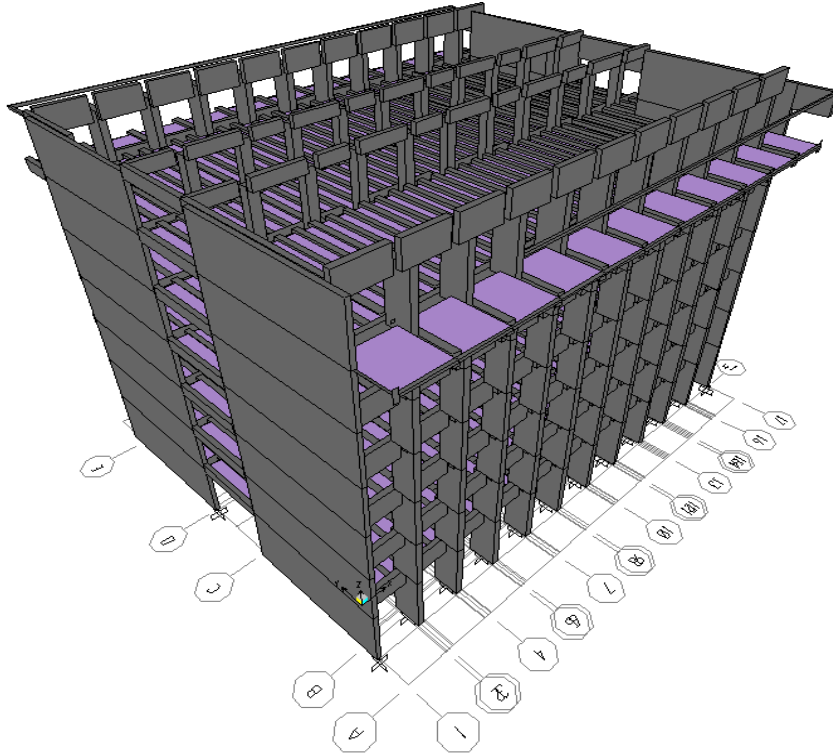
Tablo 5.16 Bilgisayar mühendisliği binasının deprem y yönüne ait performans değerleri

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	94	25	-	-	23	-	-
Zemin kat	25	112	25	-	-	23	-	-
Birinci kat	25	112	25	-	-	21	-	-
İkinci kat	25	104	25	-	1	20	-	-
Üçüncü kat	25	103	25	-	-	20	-	-
Dördüncü kat	25	141	25	-	-	13	-	-
Beşinci kat	22	74	22	-	1	6	-	-
Toplam	172	740	172	-	2	126	-	-

5.6.4 Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Sayısal Analiz Sonuçları (B blok)

Dilatasyonla ayrılmış olan B Blok' ta düzgün çerçeveli süneklilik düzeyi yüksek dikdörtgen kesitli kolon, kiriş ve perde elemanlardan oluşmuştur. Kat yüksekliği A Bloкта olduğu gibi bodrum katta 5.40 metre, diğer tüm katlarda 4.50 m' dir. x doğrultusundaki açıklığı 39.60 metre, y doğrultusundaki açıklığı 35.20 m' dir. Sistemdeki bütün döşemeler nervürlü olup kalınlıkları 15 cm'dir. Bu binanın taşıyıcı sisteminde; 0.70×0.70 m ölçülerinde 20 adet, 0.50×1.70 m ölçülerinde 110 adet, 0.50×1.90 m ölçülerinde 20 adet, 0.50×2.10 m ölçülerinde 10 adet olmak üzere toplam 160 adet kolon eleman, 0.35×12.20 m ölçülerinde 4 adet, 4.30×0.70 m ölçülerinde 10 adet olmak üzere toplam 14 adet perde eleman mevcuttur.

Bu binanın deprem performansının belirlenmesinde sonlu eleman yöntemi kullanılmış olup sistem, çerçeve ve kabuk elemanlarla modellenmiştir. Çözümlerde 1878 adet çerçeve ve 601 adet kabuk eleman kullanılmıştır. Binada sönüm oranı % 5 olacak şekilde ilk 21 mod dikkate alınmış olup temel ortamı ise rijit kabul edilmiştir. Çözümlerde kullanılan sonlu eleman ağ sistemi Şekil 5.57' de görüldüğü gibidir.

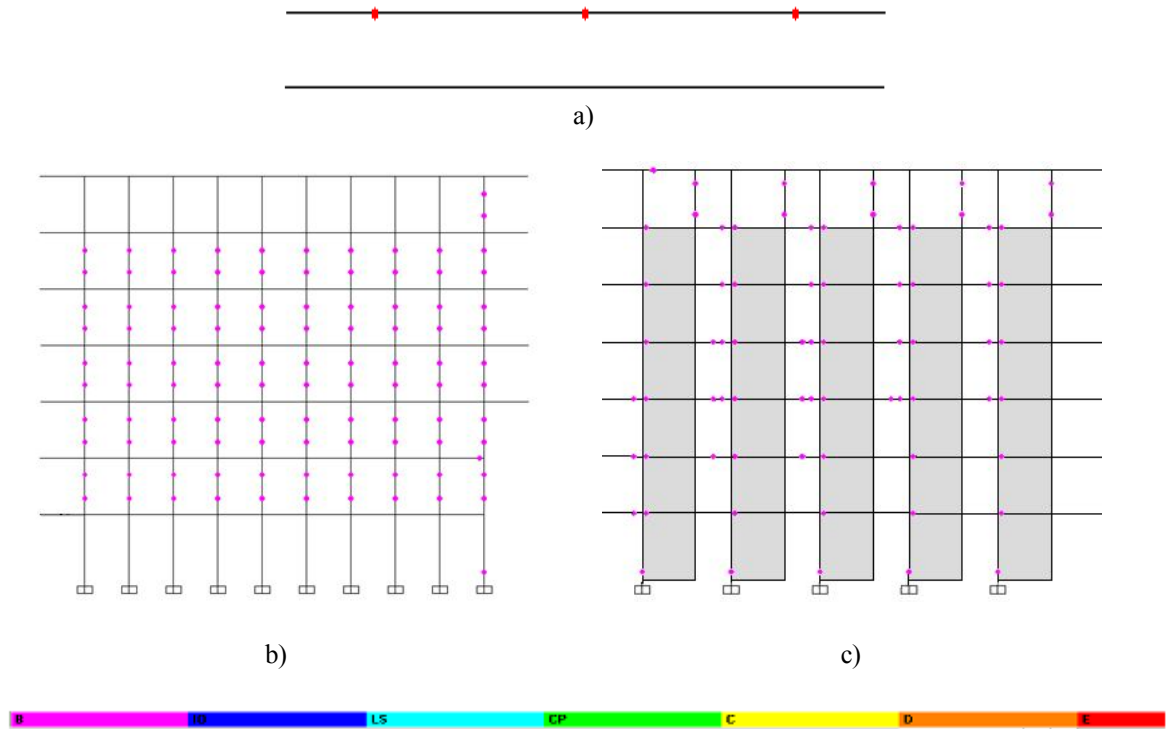


Şekil 5.57 Bilgisayar mühendisliği bölüm binası (B blok) sonlu eleman modeli

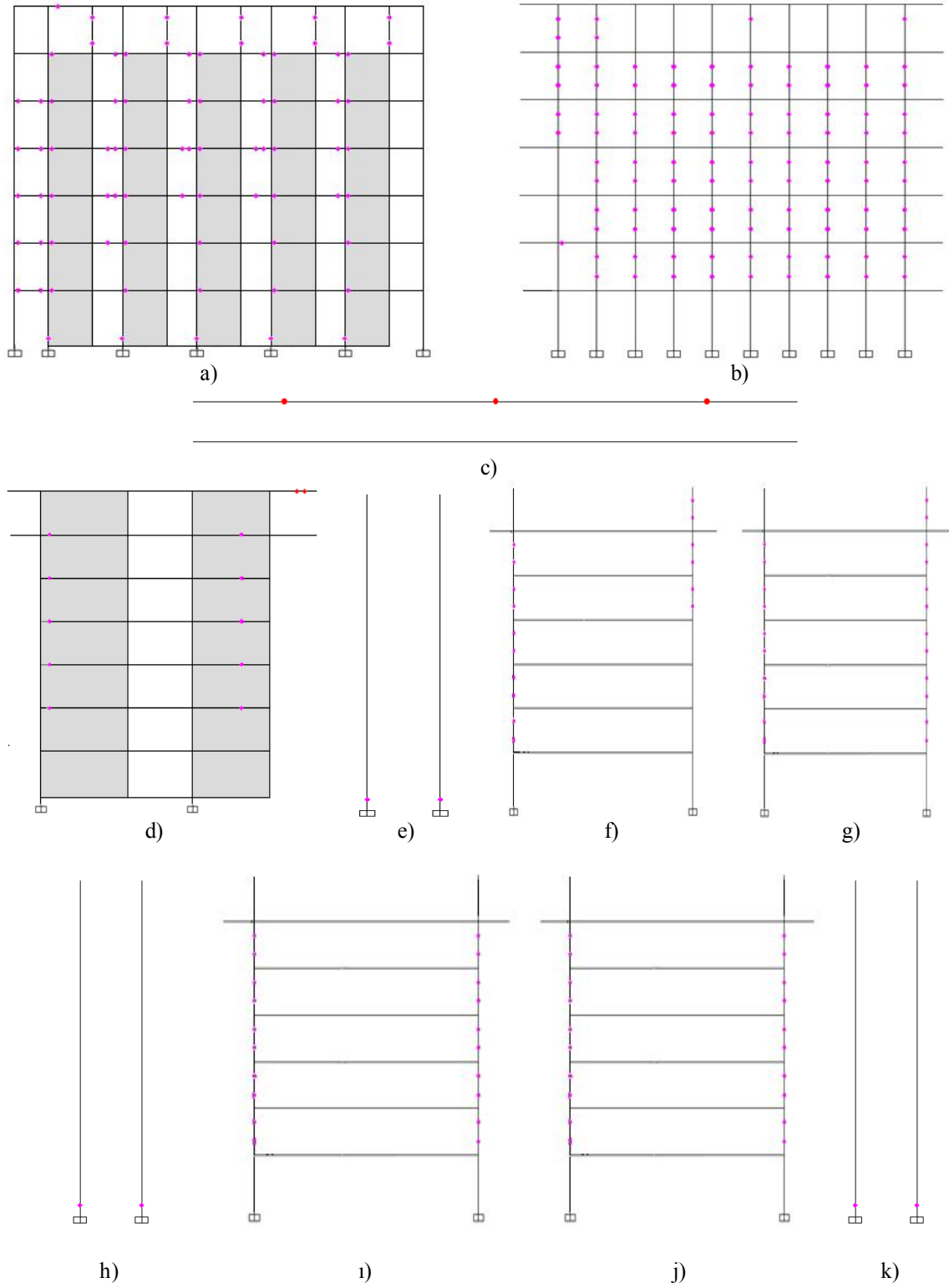
5.6.5 Depremi x Yönünde Etki Etmesi Hali için Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Depremi x eksenini yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.58-5.59’ da görülmektedir. Tablo 5.17 dikkate alındığında bu binanın 160 adet kolonunun, 123’ün de hemen kullanım seviyesine sahip hasarlar meydana gelmiştir. Hasar bölgelerinin tamamı kolon uç bölgelerinde yer almaktadır. Aynı zamanda 866 adet kirişin de 47 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi ise hemen kullanım performans seviyesine sahiptir. Yalnız son katta yer alan Şekil 5.58’ de görülen "A" aksında ve Şekil 5.59’ da görülen "F" aksında ki parapet kirişlerinde göçme durumu görülmektedir.

Deprem yüklerinin karşılanması da rijitlik ve dayanım bakımından taşıyıcı sistemin önemli elamanlarından olan perdeler de deprem x etkisi altında önemli derecede hasarların meydana gelmediği, bu perde elemanların taşıyıcı sistem hasar sınırının hemen kullanım performans seviyesinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 5.58 Depremi x yönünde etkimesi için a) A, b) B ve c) C aksları hasar durumları



Şekil 5.59 Depremin x yönünde etkimesi için a) D, b) E, c) F, d) 1, e) 2, f) 3, g) 4, h) 5, i) 6, j) 7 ve k) 8 aksları hasar durumları

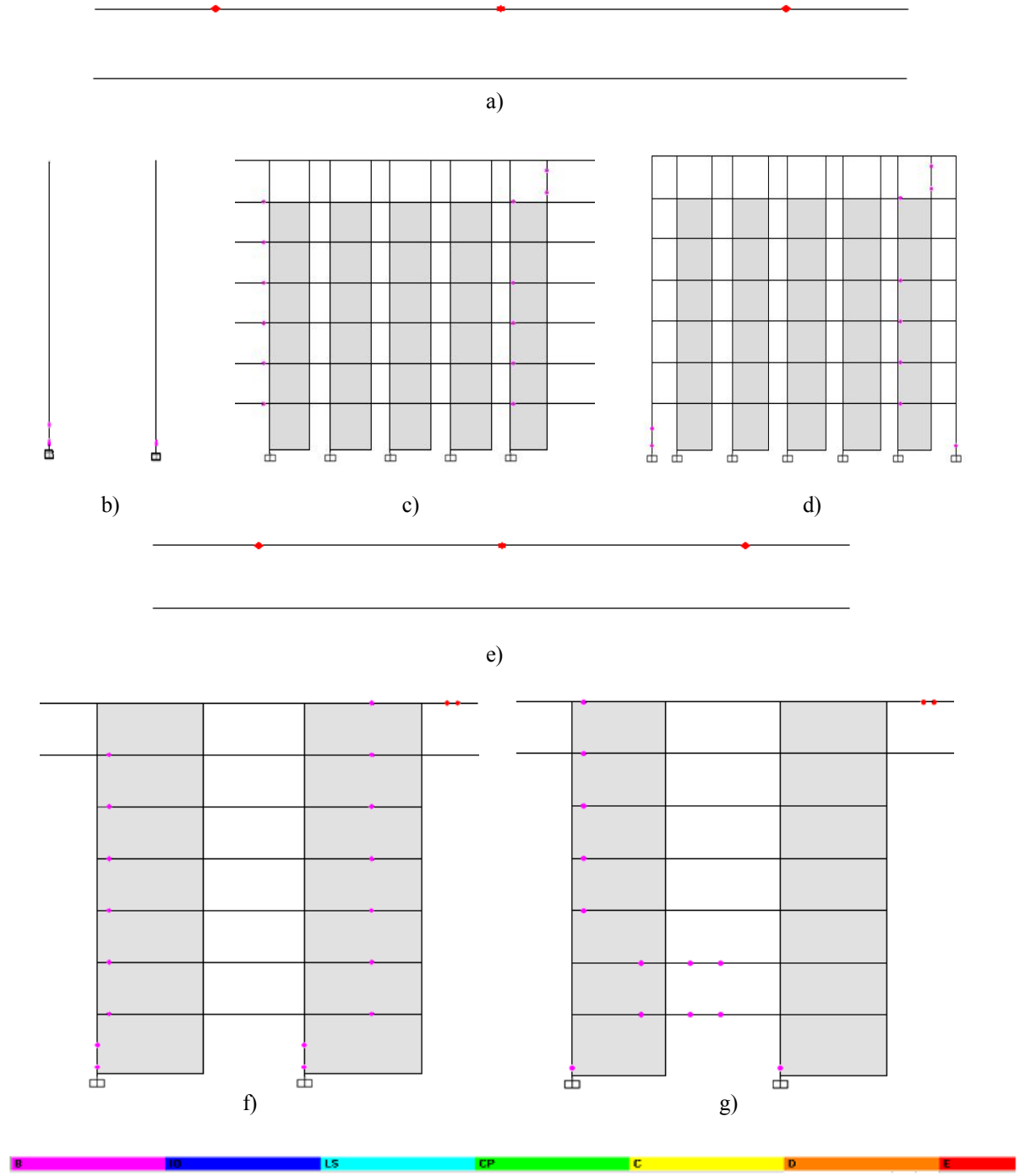
Tablo 5.17 Bilgisayar mühendisliği binasının deprem x yönüne ait performans değerleri

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
Bodrum kat	20	129	11	-	-	2	-	-
Zemin kat	20	129	19	-	-	7	-	-
Birinci kat	20	129	19	-	-	10	-	-
İkinci kat	20	129	19	-	-	9	-	-
Üçüncü kat	20	129	20	-	-	9	-	-
Dördüncü kat	20	175	20	-	-	8	-	-
Beşinci kat	40	46	15	-	-	2	-	3
Toplam	160	866	123	-	-	47	-	3

5.6.6 Deprem y Yönünde Etki Etmesi Hali için Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Binasının Performans Değerlendirmesi

Deprem y eksen y yönünde etki etmesi hali için, yapı hasarı Şekil 5.60-5.61' de görülmektedir. Tablo 5.18 dikkate alındığında 160 adet kolondan yalnızca bodrum kattaki 4 adet kolonun hasar aldığı diğer katlardaki kolonlarda herhangi bir hasar oluşmadığı, bodrum katta hasar alan kolonların ise taşıyıcı sistem hasar sınırının hemen kullanım performans seviyesinde olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda 866 adet kirişin de 8 adedinin kiriş uç bölgelerinde plastik mafsallar meydana gelmiş olup bu kirişlerin taşıyıcı eleman hasar seviyesi hemen kullanım performans seviyesine sahiptir.

y eksen y yönündeki deprem etkisi altında deprem yükü taşımak üzere düzenlenen perde elemanların ise önemli hasarlar almadığı sadece son katta Şekil 5.60' da ki "A" ve "F" akslarında yer alan parapet kirişlerinin ağır hasarlar aldığı görülmüştür.

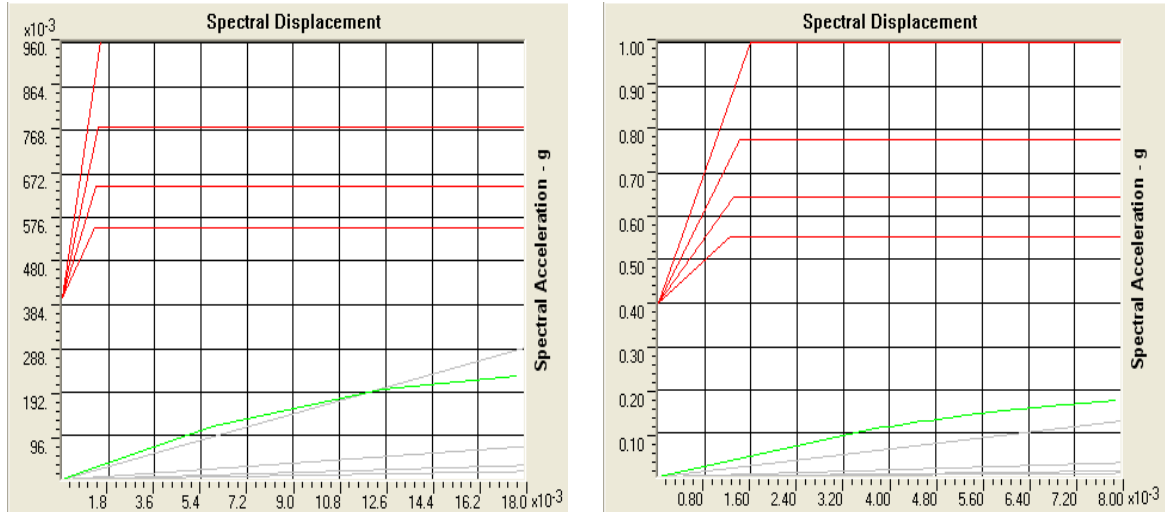


Şekil 5.60 Depremin y yönünde etkimesi için a) A, b) B, c) C, d) D, e) F, f) 1 ve g) 17 aksları hasar durumları

Tablo 5.18 Bilgisayar mühendisliği 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	20	129	4	-	-	2	-	-
Zemin kat	20	129	-	-	-	2	-	-
Birinci kat	20	129	-	-	-	1	-	-
İkinci kat	20	129	-	-	-	1	-	-
Üçüncü kat	20	129	-	-	-	1	-	-
Dördüncü kat	20	175	-	-	-	1	-	-
Beşinci kat	40	46	-	-	-	-	-	4
Toplam	160	866	4	-	-	8	-	4

Deprem x ve y yönlerinden etkimesi halleri için yapılan çözümlerden hem x hem de y eksenindeki kolon ve kiriş elemanlarda önemli hasarların olmadığı sadece parapet kirişlerinde önemli hasarların olduğu görülmüştür. Olması muhtemel büyük bir deprem de belirttiğimiz bu hasarların meydana gelmemesi ya da etkilerinin en az seviyeye indirilmesi için güçlendirme yoluna gidilmelidir.

**Şekil 5.61** Deprem x ve y yönlerinde etkimesi halinde ATC-40' a göre kapasite spektrum grafikleri

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Mühendislik Fakültesi Kampüsü içersinde yer alan binalarının performans değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır. Bunun için Hızlı Gözden Geçirme (Rapid View Process) yöntemi ile binaların envanterleri ve mevcut hasar durumları belirlenmiş ve kampus binaları içerisinde yer alan Elektrik-Elektronik, Makine, İnşaat, Hidrolik, Bilgisayar ve Kimya mühendisliği binalarının lineer olmayan çözümleri statik itme yöntemiyle elde edilmiştir. Binalarda başlangıç yüklemeleri olarak statik ve hareketli yükler dikkate alınarak çözümlere ulaşılmıştır. Binaların sonlu eleman modeli, üç boyutlu çerçeve ve kabuk elemanlar yardımıyla modellenmiştir. Lineer olmayan davranışın sadece çerçeve elemanlarda olduğu kabul edilmiş olup toplanmış tip plastik mafsallı modeli ile idealize edilmiştir. Tüm binaların zemin ortamı ise rijit kabul edilmiştir.

Makine Mühendisliği bölümü için yapılan çözümlerde hem x hem de y eksenindeki kolon elemanların, göçme öncesi hasar seviyesine ulaştıkları bu nedenle her iki asal doğrultuda binanın yanal ötelenme rijitliğinin perde gibi taşıyıcı elemanlarla arttırılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca x yönündeki göçme öncesi hasar seviyesine ulaşan kolon eleman sayısının y eksenine göre daha az olması sebebi ile y yönüne, kesit alanları daha fazla olan perde elemanların yerleştirilmesi önerilmektedir.

İnşaat Mühendisliği bölümü için tüm kolonların güçlü kolon zayıf giriş davranışına sahip olabilmesi amacıyla mantolanarak yanal ötelenme rijitliklerinin arttırılması gerektiği aynı zamanda her iki asal doğrultuda binanın yanal ötelenme rijitliğinin perde gibi taşıyıcı elemanlarla arttırılması önerilmektedir.

İnşaat Mühendisliği hidrolik bölümü için yapılan çözümlerden x ve y eksenindeki giriş ve perde elemanların, önemli hasarlar almadığı, sadece bazı kolon elemanların göçme durumuna eriştiği belirlenmiştir. Bu nedenle hasar alan bu kolonların mantolanarak kalınlıklarının arttırılması yani rijitliklerinin büyütülmesi gerektiği önerilmektedir.

Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümü için yapılan çözümlerde hem x hem de y eksenindeki kolon elemanların, önemli hasarlar almadığı sadece bazı çerçevelerin dış kolonlarında göçme durumu görülmektedir. Bu nedenle her iki asal doğrultuda da binanın köşelerine "L" şeklinde perdeler ilave edilerek her iki yönünde güçlendirilmesi gerektiği önerilmektedir.

Kimya Mühendisliği için büyük hasar alan elemanların mantolama gibi güçlendirme yöntemleriyle rijitliklerinin arttırılması gerektiği, aynı zamanda bu binanın y yönü için yanal ötelenme rijitliğinin perde gibi elemanlarla arttırılması önerilmektedir.

Bilgisayar Mühendisliği bölümü için hem x hem de y yönünde az da olsa hasar alan kolon, kiriş ve perde elemanların mantolanarak rijitliklerinin daha da arttırılması önerilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda incelenen binalardan, Bilgisayar mühendisliği bölüm binasının en iyi performansı sergilediği; en kötü binanın ise Kimya mühendisliği bölüm binası olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak; fonksiyonları ve deprem sonrası muhtemel kullanımları göz önüne alındığında deprem felaketi sonrası okul tipi binalar, ayakta kalması gereken önemli yapılarıdır. Bu yapıların statik itme analizi veya benzeri yöntemlerle lineer olmayan analizlerinin yapılması gerekmektedir. Böylece, bu tip binaların mevcut olanları için uygun güçlendirme yönteminin belirlenmesi ve ileride yapılacak projeler için uygun taşıyıcı sistem ve kesit alanlarının tasarlanması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Korkmaz, A., Uçar, T.,** 23-25 Mart 2005 “ Betonarme Yapıların Performansa Bağlı Analizi”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- [2] **Çakıroğlu A. ve Özer E.,** 1980, Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Ankara
- [3] ATC-40, 1996. “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council”, California.
- [4] FEMA-273, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [5] FEMA-356, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [6] ATC-55, Project: Evaluation of Inelastic Seismic Analysis Procedures.
- [7] FEMA-440 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, Federal Emergency Management Agency, Washington.
- [8] (BSSC) Building Seismic Safety Council
- [9] American Society of Civil Engineering
- [10] **Kilar V. and Fajfar P.,** 1997, Simple Pushover Analysis of Asymmetric Buildings. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, v.26, p.233-249.
- [11] **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.
- [12] **Kim S.D., Hong W.K. and Ju Y.K.,** 1999, The Structural Design of Tall Buildings, v.8, issue one, p.57-73
- [13] **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
- [14] **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
- [15] **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.
- [16] (SEAOC Vision 2000) Structural Engineers Association of California
- [17] **Ahmed Ghobarah** “Performance Based Design in Earthquake Engineering: State of Development” Engineering Structures 23 (2001), 878-884
- [18] **Özer, E.,** 2006, Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.ins.itu.edu.tr/eozer , İstanbul.

- [19] DBYBHY, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [20] **Priestley, M.J.N.**, 2000, Performance Based Design, 12WCEE.
- [21] **Celep, Z. Kumbasar, N.**, 2004, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Özlem GÖK, 1983 yılında Elazığ’ da doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla, Elazığ’da tamamlamıştır. 2001 yılında, Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazanmıştır. 2005 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2007 yılında F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başlamış olup halen öğrenimine devam etmektedir.