

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**30 KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ
ZAMAN TANIM ALANINDA ÇÖZÜMLEME UYGULANARAK
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yamaç ÜNERDEM**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**30 KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ
ZAMAN TANIM ALANINDA ÇÖZÜMLEME UYGULANARAK
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yamaç ÜNERDEM
(501091152)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)
Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İTÜ)**

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Tez çalışması boyunca bilgi ve tecrübesiyle önemli katkıları olan, yardımlarını hiç esirgemeyen, her zaman ulaşabildiğim değerli tez danışmanım Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ'e, tez çalışmasında yapay yollarla üretilmiş deprem kayıtlarını kullanmamıza izin veren Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN'a, SAP2000 ile ilgili sorularıma cevap veren Doç. Dr. Kutlu DARILMAZ'a teşekkür ederim.

Manevi desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Oğuz Can ÖĞÜT'e ve yüksek lisans öğrenimi boyunca desteğini esirgemeyen ve mühendislik anlamında sürekli fikir alışverişinde bulunduğum İnş. Müh. Gökhan DOK'a teşekkürü borç bilirim.

Yaşamım boyunca her anlamda yanımda olan, yüksek inşaat mühendisi olma yolunda beni her zaman destekleyen ve benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen anneme, babama ve ağabeyime saygılarımı, sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2011

Yamaç ÜNERDEM

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. PERFORMANS KAVRAMI	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Kapasite Tasarımı.....	4
2.3 Doğrusal Olmayan Analizde Performans Kavramı.....	4
2.4 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	5
2.4.1 Kesit hasar sınırları	5
2.4.2 Kesit hasar bölgeleri.....	5
2.4.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması	5
2.5 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi	6
2.5.1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi (HK).....	7
2.5.2 Can Güvenliği Performans Seviyesi (CG)	7
2.5.3 Göçme Öncesi Performans Seviyesi (GÖ).....	7
2.5.4 Göçme Durumu.....	8
2.6 Binalardan Bilgi Toplanması	8
2.6.1 Bina bilgi düzeyleri	9
2.6.2 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi	9
2.6.3 Betonarme binalarda orta bilgi düzeyi	10
2.6.4 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi	11
2.6.5 Bilgi düzeyi katsayıları	12
2.7 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri	13
2.8 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar	14
3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	17
3.1 Giriş.....	17
3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Anaiz Yöntemleri.....	17
3.2.1 Artırsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi.....	17
3.2.1.1 Artırımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol	18
3.2.2 Artırsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi	19
3.2.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi	20
3.3 Doğrusal Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi	20
3.4 Sergili ve Sergisiz Beton Modelleri	22

3.5 Donatı Çeliği Modeli	23
3.6 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri	24
3.6.1 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi	24
3.7 Plastik Mafsallı Hipotezi	25
4. 30 KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERDEN ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ.....	29
4.1 Giriş	29
4.2 Bina Genel Bilgileri.....	29
4.3 Yapısal Modelin Oluşturulması.....	36
4.3.1 Yapısal modelin ETABS programında oluşturulması.....	36
4.3.1.1 Yapısal modelin temelinde zemin gerilmesi tahkiki	39
4.3.1.2 Kazık taşıma kapasitesinin (gücünün) tahkiki	40
4.3.2 Yapısal modelin SAP2000 programında oluşturulması	42
4.3.2.1 Yapısal elemanlar için malzeme modeli	44
4.3.2.2 Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin belirlenmesi	45
4.3.2.3 Yapısal elemanların plastik mafsallı özelliklerinin tanımlanması	47
4.4 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi.....	58
4.4.1 Giriş.....	58
4.4.2 Çok serbestlik dereceli sistemler ve çözümü	58
4.4.3 Modelleme ve çözümleme aşamasında yapılan kabuller	59
4.4.4 Analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi.....	61
4.4.5 SAP2000’de analiz durumunun oluşturulması.....	65
4.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	67
4.5.1 Yapıya etki eden deprem etkileri	68
4.5.2 Kirişlerin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	72
4.5.3 Kolonların analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	76
4.5.4 Perdelerin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	79
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
5.1 Öneriler.....	90
5.2 Tez Çalışması Boyunca Karşılaşılan Problemler	90
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	95

KISALTMALAR

BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 2007
CG	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
E	: Deprem Yükleri
ETABS	: Integrated Analysis, Design, and Drafting of Building Systems
G	: Düşey Sabit Yükler
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Kesit Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi Performans Seviyesi
HK	: Hemen Kullanım Performans Seviyesi
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Kesit Minimum Hasar Sınırı
Q	: Düşey Hareketli Yükler
SAP2000	: Integrated Software for Structural Analysis and Design

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.....	13
Çizelge 2.2 : Deprem etkisi parametreleri.	13
Çizelge 2.3 : Farklı deprem yüzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	14
Çizelge 3.1 : Donatı çeliği için gerilme şekil değiştirme değerleri.	23
Çizelge 3.2 : Kesit hasar sınırlarına göre tanımlanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınırları.	24
Çizelge 4.1 : Kolon ve kiriş kesitlerine ait minimum donatı alanları ve seçilen donatılar.	33
Çizelge 4.2 : Perde kesitlerine ait minimum donatı alanları ve seçilen donatılar.....	34
Çizelge 4.3 : ETABS’de oluşturulan modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları	37
Çizelge 4.4 : ETABS’de oluşturulan ikinci modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları.....	37
Çizelge 4.5 : SAP2000’de oluşturulan modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları.....	42
Çizelge 4.6 : Kolonlara ait kat bazında normal kuvvet değişimi.	50
Çizelge 4.7 : Perdelere ait kat bazında normal kuvvet değişimi.....	57
Çizelge 4.8 : Analizde kullanılan deprem kayıtları.	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Betonarme elemanlardaki kesit hasar bölgeleri.....	6
Şekil 2.2 : Yapı performans düzeyleri.	6
Şekil 3.1 : “Tepe yer değiştirmesi – Taban kesme kuvveti” değişimi.....	18
Şekil 3.2 : Pekleşme etkisine göre moment-plastik dönme bağıntıları.....	21
Şekil 3.3 : Sargılı ve sargısız beton malzemesinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları.	22
Şekil 3.4 : Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntısı.	23
Şekil 3.5 : Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.	26
Şekil 3.6 : Kiriş mesnet bölgesinde eğrilik değişimi.	26
Şekil 3.7 : Betonarme bir kesitte güç tükenmesi durumu.....	27
Şekil 4.1 : Yapının zemin kat kalıp planı.	30
Şekil 4.2 : Yapı temeline ait kazık kalıp planı.....	31
Şekil 4.3 : Yapı temeline ait kazık kesit planı.	32
Şekil 4.4 : Yapının üç boyutlu ETABS modeli.	38
Şekil 4.5 : Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli.....	43
Şekil 4.6 : C40 beton sınıfı için malzeme modeli.....	44
Şekil 4.7 : S420 donatı için malzeme modeli.	44
Şekil 4.8 : SAP2000’de bir perde kesitinin “Section Designer”da oluşturulması	45
Şekil 4.9 : SAP2000’de bir perde kesitinin “Section Designer”da moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi.....	46
Şekil 4.10 : SAP2000’de bir perde kesitinin “Section Designer”da akma yüzeylerinin elde edilmesi.....	46
Şekil 4.11 : SAP2000’de bir kiriş kesitinin “Section Designer”da moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi.....	47
Şekil 4.12 : SAP2000 kiriş kesitleri için plastik mafsalları tanımlanması.....	48
Şekil 4.13 : SAP2000 M3 mafsalları için veri girişi.....	49
Şekil 4.14 : SAP2000 kolon kesitleri için plastik mafsalları tanımlanması.....	51
Şekil 4.15 : SAP2000 P-M2-M3 mafsalları için veri girişi.	51
Şekil 4.16 : SAP2000 perde kesitleri için plastik mafsalları tanımlanması.....	52
Şekil 4.17 : SAP2000 P-M2-M3 mafsalları için veri girişi.	53
Şekil 4.18 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalları normal kuvvet değerleri için veri girişi.....	54
Şekil 4.19 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalları açı değerleri için veri girişi.....	54
Şekil 4.20 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalları için veri girişi.....	55
Şekil 4.21 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalları için akma yüzeyi diyagramı değerlerini girmek için kullanılan yöntemin seçilmesi.	55
Şekil 4.22 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalları için akma yüzey diyagramlarının tanımlanması.	56
Şekil 4.23 : Shell eleman olarak oluşturulan perde modeli.	60
Şekil 4.24 : Çubuk eleman olarak oluşturulan perde modeli.....	60
Şekil 4.25 : Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-EQ1.....	63

Şekil 4.26 : Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-EQ2.....	63
Şekil 4.27 : Erzincan-DB deprem kaydı.	64
Şekil 4.28 : Elastik spektral ivme – periyot.	64
Şekil 4.29 : Ortalama elastik spektral ivme – periyot.....	65
Şekil 4.30 : Doğrusal olmayan statik analiz için veri girişine örnek.	66
Şekil 4.31 : Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için veri girişine örnek.	67
Şekil 4.32 : EQ1 depreminin u1 ve u2 analizleri için deprem etkileri.....	69
Şekil 4.33 : EQ2 depreminin u1 ve u2 analizleri için deprem etkileri.....	70
Şekil 4.34 : Erzincan-DB depreminin u1 ve u2 analizleri için deprem etkileri.....	71
Şekil 4.35 : X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%).....	72
Şekil 4.36 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%).....	73
Şekil 4.37 : X doğrultusundaki deprem etkisinde binadaki tüm kirişlerde meydana gelen hasar bölgeleri (%).....	74
Şekil 4.38 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde binadaki tüm kirişlerde meydana gelen hasar bölgeleri (%).....	74
Şekil 4.39 : X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının kısa doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.....	76
Şekil 4.40 : X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının uzun doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.....	76
Şekil 4.41 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının kısa doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.....	77
Şekil 4.42 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının uzun doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.....	77
Şekil 4.43 : X doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin kısa doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.	80
Şekil 4.44 : X doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin uzun doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.	81
Şekil 4.45 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin kısa doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.	83
Şekil 4.46 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin uzun doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.	84
Şekil 5.1 : X doğrultusunda deprem etkisinde yapıdaki elemanların hasar durumları.	89
Şekil 5.2 : Y doğrultusunda deprem etkisinde yapıdaki elemanların hasar durumları.	89

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
B	: Kazık genişliği
c	: Kohezyon
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{co}	: Sargısız beton dayanımı
f_s	: Donatı çeliğindeki gerilme
f_{sy}	: Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_{su}	: Donatı çeliğinin kopma dayanımı
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite eğilme rijitliği
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesit eğilme rijitliği
h	: Çalışan doğrultudaki kesit boyutu
K_o	: Zemin yatak katsayısı
K_1	: Şekil faktörü
L_p	: Plastik mafsallık boyu
N_D	: Düşey yükler altında kolonda veya perdede oluşan aksel kuvvet
N_q	: Terzaghi'ye göre içsel sürtünme açısına bağlı olarak alınan taşıma gücü katsayısı
N_γ	: Terzaghi'ye göre içsel sürtünme açısına bağlı olarak alınan taşıma gücü katsayısı
p_o	: Kazık ucunda oluşan düşey basınç
Q_d	: Kazık taşıma gücü
Q_f	: Kazık çevre sürtünmesi taşıma gücü
Q_d	: Kazık taşıma gücü
Q_u	: Kazık uç direnci
T_{1x}	: Binanın x doğrultusunda birinci periyodu
T_{1y}	: Binanın y doğrultusunda birinci periyodu
$u_{xNI}^{(i)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$V_{x1}^{(i)}$	: X deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
W	: Kazık ağırlığı
ϵ_c	: Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{cc}	: Sargılı betonun taşıyacağı en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme
ϵ_{co}	: Sargısız betonun taşıyacağı en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sh}	: Donatı çeliğinin pekleşmeye başladığı andaki birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sy}	: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekil değıştirmesi
δ_{maks}	: Temelde oluşan maksimum çökme
σ_{maks}	: Temelde oluşan maksimum basınç gerilmesi
$\sigma_{z,em}$	: Zemin emniyet gerilmesi
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
$\emptyset$	: Zeminin içsel sürtünme açısı
$\emptyset_p$	: Plastik eğrilik istemi
$\emptyset_t$	: Toplam eğrilik istemi
$\emptyset_y$	: Eşdeğer akma eğriliğı
θ_p	: Plastik dönme istemi

30 KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA ÇÖZÜMLEME UYGULANARAK BELİRLENMESİ

ÖZET

Son yıllarda ülkemizde yaşanan depremler nedeniyle meydana gelen can ve mal kayıpları, mevcut durumdaki binaların performansının değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu tez çalışmasında, DBYBHY 2007 Bölüm 7’de belirtilen doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile 30 katlı betonarme bir binanın deprem performansının değerlendirilmesi irdelenmiştir.

Birinci bölümde, yapılan tez çalışmasının amacı ve kapsamı, DBYBHY 2007 Bölüm 7’de yer alan performans kavramı ve mevcut yapılarının performansının değerlendirilmesinde kullanılan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri ana hatlarıyla açıklanmıştır.

İkinci ve üçüncü bölümlerde, performans kavramı, bina performans seviyeleri ve mevcut binaların performansının değerlendirilmesinde kullanılan doğrusal olmayan yöntemlerden artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, artımsal mod birleştirme yöntemi ve zaman tanım alanında hesap yöntemi deprem yönetmeliği çerçevesinde kapsamlı olarak incelenmiştir. Ayrıca Bölüm 3’de, plastik mafsallı hipotezi detaylı olarak açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde ise, 30 katlı betonarme bir binanın yapısal olarak incelenmesi, yapısal sistemin bilgisayar programında modellenmesi ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden zaman tanım alanında hesap yöntemi ile deprem performansının değerlendirilmesi detaylı olarak anlatılmıştır. Bu çerçevede, zaman tanım alanında deprem performansının belirlenmesinde kullanılan DBYBHY’de Z2 zemin sınıfı tasarım spektrumu ile uyumlu olarak yapay yollarla üretilen ivme kayıtları ve gerçek ivme kaydı olan Erzincan depreminin yapıya uygulanma aşamaları açıklanmış ve zaman tanım alanında analiz sonucunda yapısal elemanların hedeflenen performans seviyesini sağlayıp sağlamadıklarının kontrolü yapılmıştır.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, zaman tanım alanında hesap yöntemi ile performans değerlendirilmesi yapılan 30 katlı betonarme binanın analizinden elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF 30 STORY REINFORCED CONCRETE BUILDING BY NONLINEAR TIME HISTORY ANALYSIS

SUMMARY

Because of the nature of the earthquakes causing the loss of human casualties and properties, the seismic performance evaluation of existing buildings in Turkey is obliged to be observed by the Turkish Earthquake Code 2007 Section 7. In this thesis, the seismic performance evaluation of 30 story reinforced concrete building had been carried out by nonlinear time history analysis, one of the nonlinear analysis methods which is given by the Turkish Earthquake Code 2007 Section 7.

In the first chapter of the thesis, the scope and the aim of this study, the performance concept and the linear and nonlinear analysis methods used in the seismic performance evaluation of existing buildings are examined generally.

In the second and third chapter, the performance concept, the seismic performance levels of buildings mentioned in the first chapter generally are examined in detail. Moreover, the incremental equivalent earthquake method, the incremental response spectrum method, and the nonlinear time history analysis used in the evaluation of the existing buildings are examined in detail by the framework of the Turkish Earthquake Code 2007 Section 7. Also, in the third chapter, the plastic hinge hypotheses are mentioned

In the fourth chapter, 30 story reinforced concrete building is examined structurally. The stages of this building in the computer model and the seismic performance evaluation of this building by nonlinear time history analysis method are described in detail. In this process, the building is applied by the artificial earthquake records, compatible with the design spectrum of second type of ground and by the real earthquake record which is Erzincan Earthquake. The stages of this process are described in the fourth chapter, and also whether its performance targets are ensured or not is controlled according to the results of the nonlinear time history analysis.

In the last chapter, analysis results of seismic performance evaluation examined by nonlinear time history analysis are summarized and discussed.

1. GİRİŞ

Deprem etkisi, yeryüzündeki doğal afetlerin en önemlilerinden birisidir. Yeri ve zamanı kestirilemediği için maddi ve manevi birçok zarar vermektedir. Günümüz teknolojisinde depremleri önceden haber verme olanağı olmadığı için inşaat mühendisliğinin ve uygulama alanlarının daha çok önem kazanmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı, depremlerin etkilerini en aza indirmek için yapıların deprem etkilerine dayanıklı olarak inşa edilmesi gerekir.

Ülkemizde meydana gelen depremler büyük can ve mal kayıplarına yol açmıştır. 1999 yılında yaşanan 17 Ağustos Kocaeli ve 12 Kasım Bolu-Düzce depremleri, ülkemizde meydana gelen depremlerin en ağır örnekleridir. Bu depremlerde binaların zarar görmesinin en önemli nedeni, binaların yönetmeliklere uygun olarak yapılmamasıdır. Ayrıca, önceki yönetmeliklerin deprem etkilerine karşı yeterliliği ayrı bir tartışma konusudur.

Ülkemizde yaşanan depremler sonucu binalarda oluşan hasarları en aza indirmek amacıyla 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) yürürlüğe girmiştir. DBYBHY 2007, özellikle mevcut binaları değerlendirme ve güçlendirme konusunda getirdiği performans yaklaşımı ile ülkemizdeki yapıların değerlendirilmesi açısından önemli bir katkı yapmıştır. Ayrıca, bu yönetmeliğe göre yeni yapılacak binaların hafif şiddetteki depremlerde zarar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal veya yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı veya onarılabilir düzeyde olması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması hedeflenmektedir [1].

DBYBHY 2007 Bölüm 7’de belirtilen performans kavramı, mevcut binaların değerlendirilmesi açısından önemli yön gösterici bir gelişme olmuştur. Günümüzde, mevcut yapıların deprem etkilerine karşı performansı değerlendirilip eğer yetersizse güçlendirilme çalışmalarının yapılması yapıların deprem etkisinden dolayı gördükleri zararları en aza indirme bakımından önemlidir.

DBYBHY 2007 Bölüm 7’de mevcut binaların performansının değerlendirilmesinde “Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi” ve “Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi” olmak üzere iki ayrı hesap yöntemi tanımlanmıştır.

Doğrusal elastik hesap yöntemleri kuvvet esaslıdır. Yapıya etkimesi beklenen deprem kuvvetlerinin yapısal elemanlar tarafından karşılanıp karşılanmadığını irdelemektedir. Yaklaşık bir yöntem olup yapının elastik ötesi davranışlarını tam irdeleyemediği için deprem sırasında oluşabilecek hasar büyüklükleri ve tipleri hakkında net fikirler ortaya koyamamaktadır.

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri, yer değiştirme ve şekil değiştirme esaslı olup yapının elastik ötesi davranışlarını da hesaba katarak daha gerçekçi çözümler yapabilmektedir. Yapının depremde ne kadar elastik ötesi şekil değiştirme yapacağı araştırılarak bu elastik ötesi şekil değiştirmenin yapısal eleman plastik şekil değiştirme kapasitesi tarafından karşılanıp karşılanmayacağını tahkik eder.

Bu tez çalışması kapsamında doğrusal olmayan yöntemlerden zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi kullanılarak mevcut çok katlı bir binanın performans seviyesi DBYBHY 2007’ye göre belirlenecektir. 30 katlı, toplam yüksekliği 102 metre olan çok katlı yapının öngörülen performans hedefini sağlayıp sağlamadığı araştırılacaktır.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

Mühendislik yapılarında bina tasarımı yapılırken genellikle tasarım ilkesi olarak kuvvete dayalı klasik bir yöntem olan Kapasite Tasarımı kullanılmaktadır. Hemen hemen dünyadaki tüm deprem yönetmeliklerinin kullandığı gibi DBYBHY 2007’de temel tasarım yaklaşımı Kapasite Tasarım ilkesidir. Kapasite Tasarımı, kesitlerde oluşan iç kuvvetleri (kesit tesirleri) göz önüne alan kuvvete dayalı bir yöntemdir.

Son zamanlarda deprem yönetmelikleri kapasite tasarım ilkesinin yanında şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımı olan performansla göre tasarım kavramını ön planda tutmaktadır.

Performans kavramı, mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinin yanında yeni yapıların tasarımında yapının kapasitesini geliştirmek için de kullanılmaktadır. Performansa dayalı tasarımın amacı yapısal elemanların elastik ötesi davranışlarını inceleyerek göçme durumuna ulaşmadan sahip oldukları taşıma kapasitelerini belirlemektir. Kısaca performansla dayalı tasarım, yapının deprem performansını, güvenliğini, yapıda göçme meydana geliyorsa göçme şeklini (sünek, gevrek), yapı içerisindeki en kritik kesitleri ve hasar durumunu, oluşan plastik mafsalların şekil değiştirme yeteneğini belirlemek ve iç kuvvet dağılımını gözlemlemek için başvurulmuş bir yöntemdir.

Yapıların deprem performansının belirlenmesinde doğrusal elastik analiz yöntemleri ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Doğrusal analiz yöntemleri, binanın gerçek davranışı olan elastik ötesi davranışı çözümleyememektedir. Bunun için DBYBHY 2007, yapının yapısal elemanlarının kapasitelerinin ötesinde gerçekleşen bu davranış için doğrusal olmayan analiz yöntemlerini belirlemiştir.

2.2 Kapasite Tasarımı

Hemen hemen dünyadaki tüm deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, DBYBHY 2007’de esas alınan temel tasarım yaklaşımı Kapasite Tasarımı (Dayanıma Göre Tasarım) ilkesidir. DBYBHY 2007, kapasite tasarımını ön planda tutarak tasarım depremi etkisinde ve daha büyük depremlerde sünek güç tükenmesinin oluşması için doğrusal olmayan elasto-plastik davranışı kullanır [2].

Kapasite Tasarımı, kuvvete dayalı bir değerlendirme yöntemi olup dış yükler tarafından kesitte oluşan talebin, kesit taşıma kapasitesine eşit veya daha az olması beklenir. Fakat Kapasite Tasarımı, yapının elastoplastik davranışından kaynaklanan şekil değiştirmeleri ve bundan dolayı oluşacak ek kuvvetleri hesaba katmaz. Bunun için, deprem yönetmelikleri yapının sünek davranışını göz önüne alabilmesi ve yapının deprem etkileri altında kontrollü hasar görebilmesi için Kapasite Tasarımı’nın uygulanabilmesi için bazı şartlar istemiştir.

Deprem yönetmeğinde kapasite tasarımı kapsamındaki uygulama şartlarından bazıları [2]:

- Kolonların kirişlerden güçlü olması,
- Kiriş ve kolonların kesme kuvveti kapasitesinin eğilme kapasitesinden yüksek olması,
- Kiriş ve kolonların deprem etkisinde en çok zorlanan kesitlerinde sargı donatısı öngörerek betonda sınırlı da olsa süneklik sağlanması,
- Perdelerin en çok zorlanan kesitleri olan mesnet bölgelerinde (kritik perde yüksekliği) ve perde uç bölgelerinde sargı donatısının öngörülmesi,
- Perde tasarım momentinin, perde kritik yüksekliğinde sabit değişim ve yükseklik boyunca momentin değişimini doğrusal kabul edilmesi,
- Tabandaki perde kesme kuvvetinin tasarımda kesitin eğilme momenti kapasitesine uygun olarak arttırılması.

2.3 Doğrusal Olmayan Analizde Performans Kavramı

Doğrusal olmayan analiz, yapının deprem hareketi doğrultusunda şekil değiştirme ve yer değiştirmesi esaslı değerlendirilmesini göz önünde bulundurur. Doğrusal

olmayan analiz yöntemi, yapının gerçek davranışı olan elastik ötesi davranışı ele alarak daha gerçekçi bir biçimde yapıyı çözümlemektedir.

Performansa dayalı tasarımda ilk olarak yapının elastik sınırlar ötesindeki dayanım ve şekil değiştirme kapasitesi belirlenir. Daha sonra göz önüne alınacak deprem etkisi seçilir. Talep olarak adlandırılan bu deprem etkileri sonucunda yapıda ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin hesabı yapılır. Kapasite ve talebin karşılaştırılarak beklenen hasar durumunun belirlenmesi ve bu hasar durumunun kabul edilebilir veya edilemez olmasına karar verilmesi ile yapının performansı belirlenir [2].

2.4 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

2.4.1 Kesit hasar sınırları

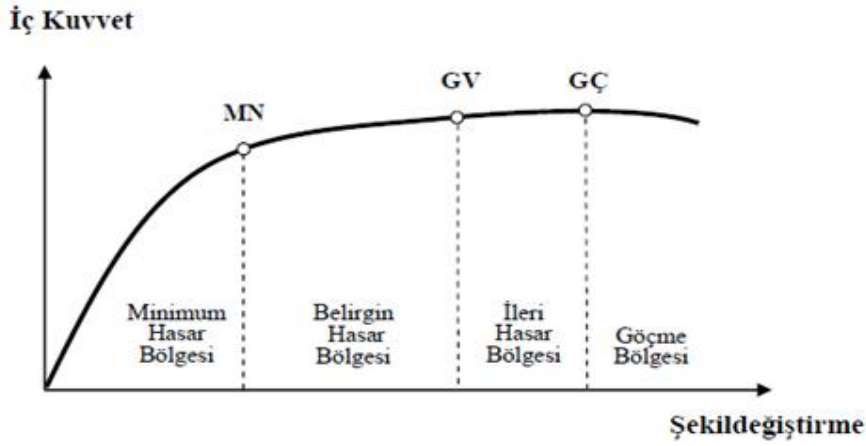
Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır [1]. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.

2.4.2 Kesit hasar bölgeleri

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, kritik kesitleri MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer alırlar [1].

2.4.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması

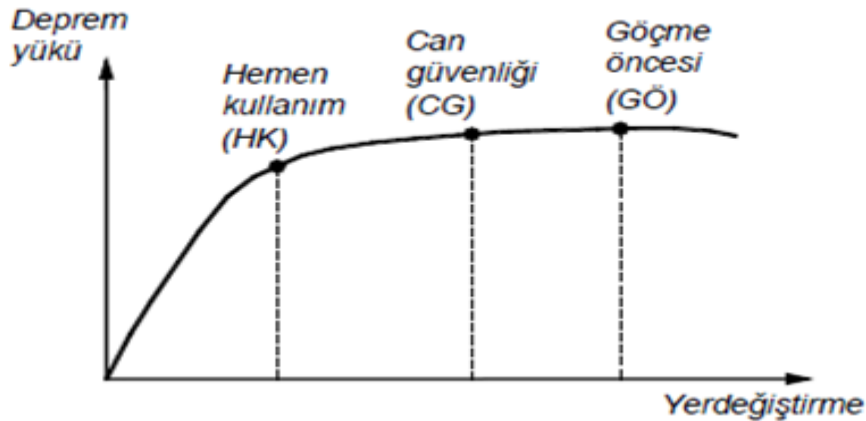
İç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin kesit hasar sınırlarına karşı gelmek üzere tanımlanan sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda, kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenecektir [1].



Şekil 2.1 : Betonarme elemanlardaki kesit hasar bölgeleri.

2.5 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi

Binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı performans seviyesi esas alınarak tanımlanmıştır. Analiz yöntemlerinin uygulanması ve hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi performans düzeyleri eğrisi, kesit davranışı için verilen eğriye benzetmekte olup deprem yükü ve yer değişime ilişkisini gösteren eğri sınır performans noktalarını gösterir. Bu eğri üzerinde elastik ötesi davranışın başlangıcı sınırlı hasara karşı geldiği için, Hemen Kullanım Performans Düzeyi (HK) olarak isimlendirilir. Dış statik deprem yükünün yapıda boşalmaya başladığı Göçme Öncesi Performans Seviyesi (GÖ), ve yapıda elastik ötesi şekil değiştirmelerle yatay yük kapasitesini güvenli olarak sağlayabildiği performans noktası Can Güvenliği Performans Seviyesi (CG) olarak tanımlanır [1].



Şekil 2.2 : Yapı performans düzeyleri.

2.5.1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi (HK)

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1].

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.2'e göre Hemen Kullanım Performans Seviyesinde binada küçük elasto-plastik şekil değiştirmelere, yani yapıda çok sınırlı yapısal hasarın oluşmasına izin verilmektedir.

2.5.2 Can Güvenliği Performans Seviyesi (CG)

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.3'e göre eğer varsa, gevrek hasar olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1]:

- a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında 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 olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o 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, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

2.5.3 Göçme Öncesi Performans Seviyesi (GÖ)

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.4'e göre, gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir [1]:

- a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde 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, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.4'de tanımlanan Göçme Öncesi Performans Seviyesi'ne göre yapısal elemanlarda yerel göçmeler görülmektedir. Gevrek elemanların taşıma güçlerine eriştikten sonra doğrudan göçme duruma geldiği kabul edilmektedir. Yapı bütünlüğünü korumaktadır, fakat can güvenliği bakımından yapı kullanılmamaktadır.

2.5.4 Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır [1].

2.6 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilecektir.

Binalardan bilgi toplanması kapsamında yapılacak işlemler, yapısal sistemin tanımlanması, bina geometrisinin, temel sisteminin ve zemin özelliklerinin saptanması, varsa mevcut hasarın ve evvelce yapılmış olan değişiklik ve/veya onarımların belirlenmesi, eleman boyutlarının ölçülmesi, malzeme özelliklerinin saptanması, sahada derlenen tüm bu bilgilerin binanın varsa projesine uygunluğunun kontrolüdür [1].

2.6.1 Bina bilgi düzeyleri

Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için bilgi düzeyi ve buna bağlı olarak bilgi düzeyi katsayıları tanımlanmaktadır. Bilgi düzeyleri sırasıyla sınırlı, orta ve kapsamlı olarak sınıflandırılır. Elde edilen bilgi düzeyleri taşıyıcı eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılır.

*Sınırlı Bilgi Düzeyi'*nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümlerle belirlenir.

*Orta Bilgi Düzeyi'*nde eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılır. Eğer mevcut ise sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri doğrulanır.

*Kapsamlı Bilgi Düzeyi'*nde binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur. Proje bilgilerinin doğrulanması amacıyla yeterli düzeyde ölçümler yapılır.

2.6.2 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi

Bina Geometrisi: Saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem plan rölevesi çıkarılacaktır. Mimari projeler mevcut ise, röleve çalışmalarına yardımcı olarak kullanılır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının her kattaki yerini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir ve binanın hesap modelinin oluşturulması için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya uygulama çizimleri mevcut değildir. Betonarme elemanlardaki donatı miktarı ve detaylarının binanın yapıldığı tarihteki minimum donatı koşullarını sağladığı varsayılır. Bu varsayımın doğrulanması veya hangi oranda gerçekleştiğinin belirlenmesi için her katta en az birer adet olmak üzere perde ve kolonların %10'unun ve kirişlerin %5'inin pas payları sıyrılarak donatı ve donatı bindirme boyu tespiti yapılacaktır. Sıyırma işlemi kolonların ve kirişlerin uzunluğunun açıklık ortasındaki üçte birlik bölümde yapılmalı, ancak donatı bindirme boyunun tespiti amacıyla en az üç kolonda bindirme bölgelerinde yapılmalıdır.

Sıyrılan yüzeyler daha sonra yüksek dayanımlı tamir harcı ile kapatılacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Donatı tespiti yapılan betonarme kolon ve kirişlerde bulunan mevcut donatının minimum donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her katta kolonlardan veya perdelerden TS-10465'debelirtilen koşullara uygun şekilde en az iki adet beton örneği (karot) alınarak deney yapılacak ve örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

2.6.3 Betonarme binalarda orta bilgi düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcut ise, binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projesine uygunluğu kontrol edilir. Proje yoksa saha çalışması ile binanın taşıyıcı sistem rölevesi çıkarılacaktır. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarlarının her kattaki yerini, açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içermelidir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Binadaki kısa kolon larve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Binanın komşu binalarla olan ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut değil ise sınırlı bilgi düzeyi malzeme özelliklerindeki koşullar geçerlidir, ancak pas payları sıyrılarak donatı kontrolü yapılacak perde, kolon ve kirişlerin sayısı her katta en az ikişer adet olmak üzere o kattaki toplam kolon sayısının %20'sinden ve kiriş sayısının %10'undan az olmayacaktır.

Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolü için sınırlı bilgi düzeyi malzeme özelliklerinde belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m²'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan görsel inceleme ile tespit edilecek, bu sınıftaki çeliğin karakteristik dayanımı eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

2.6.4 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi

Bina Geometrisi: Binanın betonarme projeleri mevcuttur. Binada yapılacak ölçümlerle mevcut geometrinin projelere uygunluğu kontrol edilir. Projeler ölçümler ile önemli farklılıklar gösteriyor ise proje yok sayılacak ve bina orta bilgi düzeyine uygun olarak incelenecektir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenecektir. Komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var/yok) belirlenecektir. Bina geometrisi bilgileri, bina kütesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir.

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolü için orta bilgi düzeyi eleman detaylarında belirtilen işlemler, aynı miktardaki betonarme elemanda uygulanacaktır. Ayrıca pas payı sıyrılmayan elemanların %20'sinde enine ve boyuna donatı sayısı ve yerleşimi donatı tespit cihazları ile belirlenecektir. Proje ile uygulama arasında uyumsuzluk bulunması halinde, betonarme elemanlardaki mevcut donatının projede öngörülen donatıya oranını ifade eden donatı gerçekleşme katsayısı kolonlar ve kirişler için ayrı ayrı belirlenecektir. Eleman kapasitelerinin belirlenmesinde kullanılan bu katsayı 1'den büyük olamaz. Bu katsayı donatı tespiti yapılmayan diğer tüm elemanlara uygulanarak olası donatı miktarları belirlenecektir.

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 200m²'den bir adet beton örneği (karot) TS-10465'de belirtilen koşullara uygun şekilde alınarak deney yapılacaktır. Elemanların kapasitelerinin hesaplanmasında, örneklerden elde edilen (ortalama-standart sapma) değerleri mevcut beton dayanımı olarak alınacaktır. Beton dayanımının binadaki dağılımı, karot deney sonuçları ile uyarlanmış beton çekici okumaları veya benzeri hasarsız inceleme araçları ile kontrol edilebilir. Donatı sınıfı, yukarıdaki paragrafta açıklandığı şekilde sıyrılan yüzeylerde yapılan inceleme ile tespit edilecek, her sınıftaki çelik için (S220, S420, vb.) birer adet örnek alınarak deney yapılacak, çeliğin akma ve kopma dayanımları ve şekil değiştirme özellikleri belirlenerek projeye uygunluğu saptanacaktır. Projesine uygun ise, eleman kapasite hesaplarında projede kullanılan çeliğin karakteristik akma dayanımı mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Uygun değil ise, en az üç adet örnek daha alınarak deney yapılacak, elde edilen en elverişsiz değer eleman kapasite hesaplarında mevcut çelik dayanımı olarak alınacaktır. Bu incelemede, donatısında korozyon gözlenen elemanlar planda işaretlenecek ve bu durum eleman kapasite hesaplarında dikkate alınacaktır.

2.6.5 Bilgi düzeyi katsayıları

İncelenen binalardan edinilen bilgi düzeylerine göre, eleman kapasitelerine uygulanacak Bilgi Düzeyi Katsayıları kullanılmaktadır [1]. Çizelge 2.1'de binalar için yönetmelikte belirlenen bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

2.7 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

Mevcut binaların deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirilmesinde göz önüne alınmak üzere üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. Çizelge 2.2’de deprem etkisi parametreleri gösterilmiştir [3].

Çizelge 2.2 : 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

Kullanım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremdir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 72 yıl olan bu depremin, binanın ömrü boyunca en az bir kere ortaya çıkması kuvvetle olasıdır. Maksimum deprem etkisi, tasarım depreminin yarısı (0.2g) olarak kabul edilir.

Tasarım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Ortalama dönüş periyodu 475 yıl olan bu deprem bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşı gelmektedir. Maksimum deprem ivmesi (0.4g) olarak kabul edilir.

En Büyük Deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremdir. 2475 yıllık dönüş periyodu ile oluşabilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Maksimum depremin etkisi tasarım depreminin 1.5 katı (0.6g) olarak kabul edilir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Çizelge 2.3’de verilmiştir [1].

Çizelge 2.3 : Farklı deprem yüzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.

Bina Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Hemen Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim 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.	HK	CG	—
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	—	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, bina türü endüstri yapıları, vb.)	—	CG	—

2.8 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Bu amaçla doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir. Ancak, teorik olarak farklı yaklaşımları esas alan bu yöntemlerle yapılacak performans değerlendirmelerinin birebir aynı sonucu vermesi beklenmemelidir. Aşağıda tanımlanan genel ilke ve kurallar her iki türdeki yöntemler için de geçerlidir [1].

- Deprem etkisinin tanımında, DBYBHY'07 Bölüm 2.4'de verilen elastik (azaltılmamış) ivme spektrumu kullanılacak, ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY'07 7.8'e göre yapılan değişiklikler göz önüne alınacaktır. Deprem hesabında DBYBHY'07 2.4.2'de tanımlanan Bina Önem Katsayısı uygulanmayacaktır.
- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir. Hareketli düşey yükler, DBYBHY'07 7.4.7'ye göre deprem hesabında gözönüne alınan kütleler ile uyumlu olacak şekilde tanımlanacaktır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin parametreleri DBYBHY'07 Bölüm 6'ya göre belirlenecektir.
- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.
- Deprem hesabında göz önüne alınacak kat ağırlıkları DBYBHY'07 2.7.1.2'ye göre hesaplanacak, kat kütleleri kat ağırlıkları ile uyumlu olarak tanımlanacaktır.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.
- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, binadan derlenen verilerin kapsamına göre DBYBHY'07 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyi katsayıları aracılığı ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.
- DBYBHY'07 3.3.8'e göre kısa kolon olarak tanımlanan kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanmasına ilişkin koşullar aşağıda verilmiştir:

- a) Analizde beton ve donatı eliğinin DBYBHY'07 Bölüm 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.
- b) Betonun maksimum basınç birim ekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim ekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.
- c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemlili diyagramlar olarak modellenebilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.
 - Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
 - Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.
 - Zemindeki ekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır.
 - DBYBHY'07 Bölüm 2'de modelleme ile ilgili olarak verilen diğer esaslar geçerlidir.

3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1 Giriş

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan, denge denklemlerinde yer değiştirmelerin küçük olmadığı, geometrik süreklilik denklemlerinde yer değiştirmelerin küçük kabul edildiği sistemlerde, doğrusal olmayan hareketi göz önüne alan bir analiz yöntemidir. Artan dış yüklerle (deprem etkisi altında) iç kuvvetler de artarak yapıdaki bazı kesitlerde elastik sınırlar aşılmakta olup doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir [4].

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinde şekil değiştirme ve yer değiştirme esaslı değerlendirme göz önüne alınır. Bu yöntemlerde, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değiştirme istemleri ve gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemleri hesaplanır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, yönetmelikte tanımlanmış şekil değiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır. Daha net bir şekilde açıklamak gerekirse bu yöntemin amacı, belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki yer değiştirme talebine ulaşıldığında, yapının beklenen performans hedefini sağlayıp sağlanmadığı, eğer sağlamıyorsa yapının göçme durumuna ulaşp ulaşmadığını ya da göçme durumuna ne kadar yaklaştığını araştırmaktır.

DBYBHY 2007; doğrusal olmayan analiz yöntemlerini, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olmak üzere üçe ayırmıştır.

3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

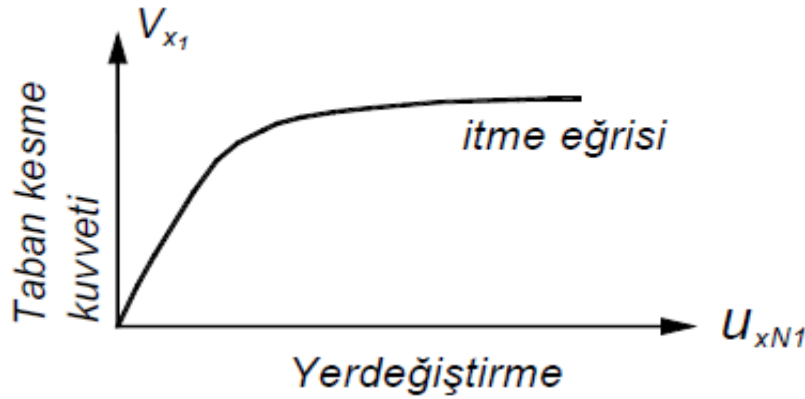
3.2.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal eşdeğer deprem yükü yönteminde yer değiştirme ve şekil değiştirme değerlerine bağlı değerlendirme esas alınır. Belirli bir yatay deprem yükü dağılımı için yapıdaki tepe yer değiştirme talebine ulaşıldığında, olası deprem koşulları

altında beklenen performans hedeflerinin belirtilen koşullar altında sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi, toplam kat adedi sekizi aşmayan, burulma düzensizlik katsayısı 1,4'den küçük olan ve deprem doğrultusundaki birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütlelerine oranının en az 0,70 olan binalarda uygulanabilmektedir [5].

Bu yöntemin amacı, her iki deprem doğrultusunda binanın birinci titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım artırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Bu analizin sonucunda koordinatları “tepe yer değiştirmesi – taban kesme kuvveti” olan itme eğrisi elde edilir. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 : “Tepe yer değiştirmesi – Taban kesme kuvveti” değişimi.

3.2.1.1 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol

Artımsal İtme Analizi kullanılarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenecek adımlar aşağıda özetlenmiştir [1].

- Deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi ve analiz modelinin oluşturulması için DBYBHY 2007 doğrusal elastik olmayan davranışların idealleştirilmesi bölümünde tanımlanan kurallara uyulacaktır.
- Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılacaktır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınacaktır.

- c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme”olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilecektir. Bu diyagram ile birlikte, 2.4’de tanımlanan elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde DBYBHY 2007 7.8’de yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenecektir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.
- d) Artımsal itme analizinin Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de elde edilecek, bunlara bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanacaktır.
- e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve DBYBHY’07 7.6.8’e göre toplam eğrilik istemleri elde edilecektir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için 7.6.9’da tanımlanan ilgili birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında göreceli kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekildeğiştirme istemleri, DBYBHY’07 7.6.10’da tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesmekuvveti istemleri ise, DBYBHY’07 7.6.11’de tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

3.2.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi’nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli 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 Mod

Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde “adım adım doğrusal elastik” davranış esas alınır [1].

3.2.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

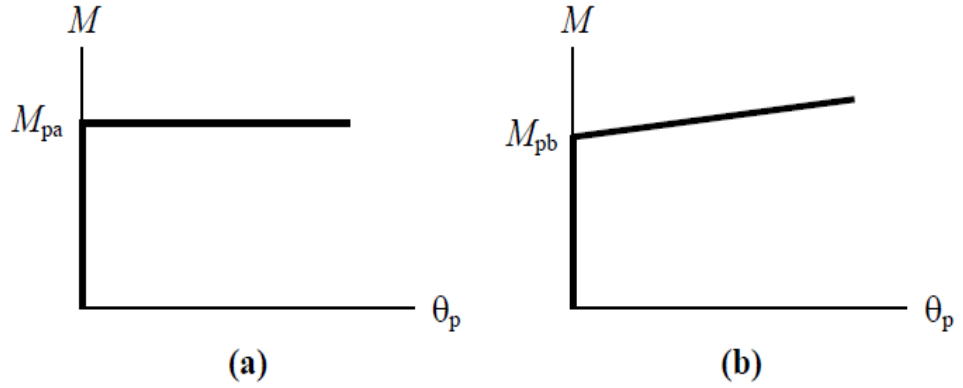
Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır [1].

3.3 Doğrusal Olmayan Davranışın İdealleştirilmesi

Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.4'e göre yapısal elemanlar için bazı kabullerin yapılması gereklidir [1].

- a) Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Ancak, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile aşağıdaki kısımlarda doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modeli esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda plastik mafsallarda hipotezi'ne karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde olduğu varsayılmaktadır. Plastik mafsallarda boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0,5 h$).
- b) Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır. Plastik mafsallar, kolon ve kirişlerin uçlarına, perdelerde ise her katta kat tabanına yerleştirilir.
- c) Plastik kesitlerin iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentinin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir. Pekleşme etkisininin terk edildiği durum Şekil 3.1(a)'da

gösterilmiştir. Pekleşme etkisinin göz önüne alındığı durum Şekil 3.1(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 : Pekleşme etkisine göre moment-plastik dönme bağıntıları.

- d) Hem eksenel kuvvet hem de eğilme momentleri etkisi altındaki betonarme kesitlerin akma yüzeylerinin tanımlanmasında beton ve donatının mevcut dayanımları kullanılır ve eğrisel değişimin düzlemsel bir şekilde idealleştirilmesi kabul edilebilir.
- e) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0,003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi 0,01 alınabilir.
- f) Eğilme etkisindeki betonarme yapısal elemanlarda, çatlamış kesitlere ait eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılmalıdır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır.

$$\text{Kirişlerde, } (EI)_e = 0,40 (EI)_o \quad (3.1)$$

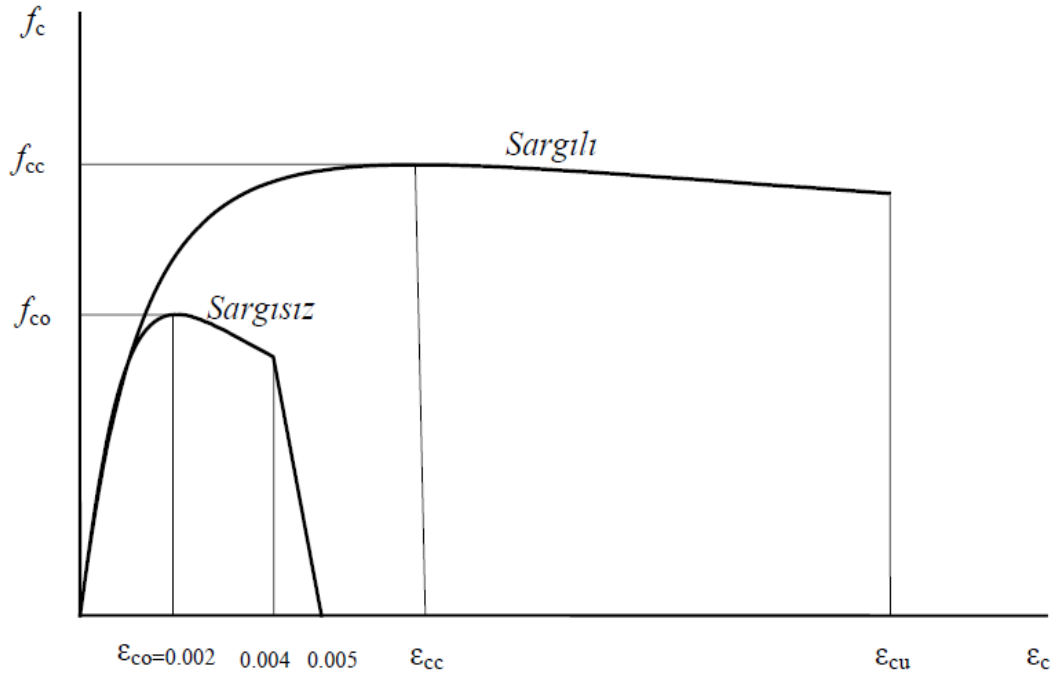
$$\begin{aligned} \text{Kolonlarda ve Perdelerde, } N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0,10 \quad (EI)_e &= 0,40 (EI)_o \\ N_D/(A_c f_{cm}) > 0,10 \quad (EI)_e &= 0,80 (EI)_o \end{aligned} \quad (3.2)$$

Eksenel basınç kuvveti N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D , deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlama kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenecektir. Deprem hesabı için başlangıç durumunu oluşturan düşey yük hesabı ise, yukarıda belirtildiği şekilde elde edilen etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$ kullanılarak, deprem

hesabında esas alınan kütlelerle uyumlu yüklere göre yeniden yapılacaktır. Deprem hesabında da aynı rijitlikler kullanılacaktır.

3.4 Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

DBYBHY 2007 Ek 7.B'e göre sargılı ve sargısız beton modelleri için şekil değiştirme ve gerilme değerleri Şekil 3.2'de verilmiştir [1].

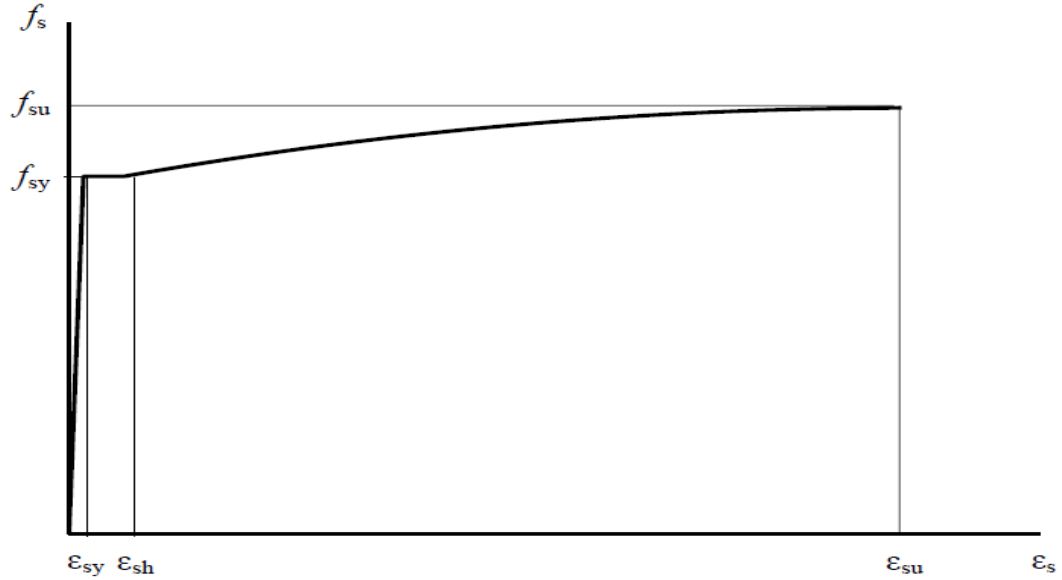


Şekil 3.3 : Sargılı ve sargısız beton malzemesinin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları.

Şekil 3.3'de verilen sargılı ve sargısız beton malzemesinin gerilme-şekil değiştirme grafiğine göre, ϵ_{co} , ϵ_{cc} , ϵ_{cu} , f_{co} , f_{cc} , sırasıyla sargısız betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme, sargılı betonun taşıyabileceği en büyük basınç gerilmesi anındaki şekil değiştirme, sargılı betondaki en büyük basınç birim şekil değiştirmesi, sargısız betonun basınç dayanımı, sargılı betonun basınç dayanımı tanımlarına karşılık gelmektedir. Sargılı betonarme bir kesitte beton malzemesinin aktığı andan itibaren göçme durumuna geldiği ana kadar yapabildiği şekil değiştirme değerleri, sargısız beton modeli şekil değiştirme değerlerine göre daha büyüktür.

3.5 Donatı Çeliği Modeli

DBYBHY 2007 Ek 7.B'e göre donatı çeliği için şekil değiştirme ve gerilme değerleri Şekil 3.3'de ve Çizelge 3.1'de verilmiştir [1].



Şekil 3.4 : Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntısı.

Şekil 3.3'de verilen grafiğe göre DBYBHY 2007 gerilme-şekil değiştirme ilişkisini, elastik bölge, plastik plato bölgesi ve pekleşme bölgesi olmak üzere üç parçaya bölmüştür. Burada ϵ_{sy} donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesini, ϵ_{sh} donatı çeliğinin pekleşmeye başladığı andaki birim şekil değiştirmeni, ϵ_{su} donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesini, f_{sy} donatı çeliğinin akma dayanımını, f_{su} donatı çeliğinin kopma gerilmesini ifade etmektedir. Donatı çeliği modeli için gerilme ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Donatı çeliği için gerilme şekil değiştirme değerleri.

Kalite	f_{sy} (MPa)	ϵ_{sy}	ϵ_{sh}	ϵ_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

3.6 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri

Plastik şekil değiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekil değiştirme üst sınırları Çizelge 3.2’de verilmiştir [2].

Çizelge 3.2 : Kesit hasar sınırlarına göre tanımlanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınırları.

Kesit Hasar Sınırı	Sargısız Beton		Sargılı Beton	
	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi	Beton birim şekil değiştirmesi	Çelik birim şekil değiştirmesi
MN	0.0035	0.010	0.0035	0.010
GV	0.0035	0.040	0.0135	0.040
GÇ	0.004	0.060	0.018	0.060

3.6.1 Birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

DBYBHY 2007 Bölüm 7.6.5 ve 7.6.6’ya göre yapılan itme analizi veya zaman tanım alanında 7.6.7’ye göre yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı Denklem (3.3) ile hesaplanacaktır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \quad (3.3)$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki aksenal kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrultulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, Denklem (3.3) ile tanımlanan ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.4)$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirme istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, denklem (3.4) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanacaktır.

Sargılı veya sargısız beton ve donatı çeliği modelleri için, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, DBYBHY 2007 Bilgilendirme Eki 7B'den yararlanılabilir.

3.7 Plastik Mafsal Hipotezi

Çubuk elemanlarda eğilme momenti değişiminden dolayı eğilme rijitliği ile ters orantılı eğrilik meydana gelir. Çubuk eleman kesitinde, eğilme momentinin küçük değerlerinde elastik, eğilme momentinin büyük değerlerinde ise elastik ve plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu eğriliğin değeri, eğilme momenti değerinin donatı çeliğinden akma oluşturacak şekil değiştirme değerlerine ulaşıncaya kadar momentle orantılı olarak değişir ($\theta = M/EI$). Bu değerden sonra betonarme kesit ulaşabileceği, malzemenin izin verdiği, en büyük eğriliğe kadar momentteki küçük artımlarla serbestçe dönebilir [2].

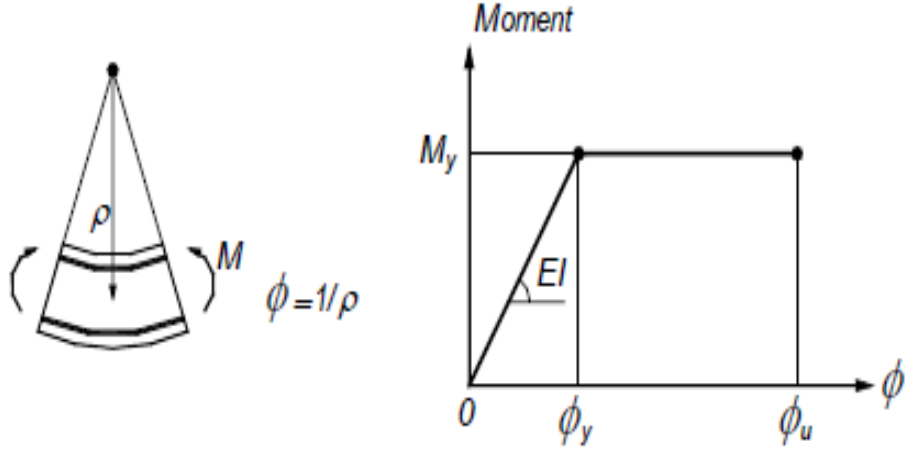
Kirişlerde $0 \leq M \leq M_y$ olan kesitleri tamamen elastik kalmakta ve eğilme rijitliğine bağlı olarak kesitte elastik eğrilik ortaya çıkmaktadır. $M_y \leq M \leq M_u$ olan kesitlerde ise, kesitin bir kısmı elastik bir kısmı plastik olduğu için, eğrilik elastik ve plastik bölümlerin toplamı olarak oluşur. Deprem yükleri etkisinde kirişlerde mesnet bölgeleri daha çok zorlandığı için bu bölgelerde plastik mafsalın oluşması beklenir. Bu bölgelerde meydana gelen eğilme momenti, elastik ve plastik eğrilik değişimlerinin düzgün yayılı olarak bir l_p boyunda olduğu kabul edilir. Plastik mafsal dönmesi ise elastik ve plastik eğriliklerden oluşan toplam eğriliğin kiriş boyunca integrasyonu ile Denklem (3.5)'deki gibi ortaya çıkar.

$$\theta_{BA} = \int_A^B \theta_t dx = \int_A^B (\theta_{elastik} + \theta_{plastik}) dx = \int_A^B \theta_{elastik} dx + \int_A^B \theta_{plastik} dx \quad (3.5)$$

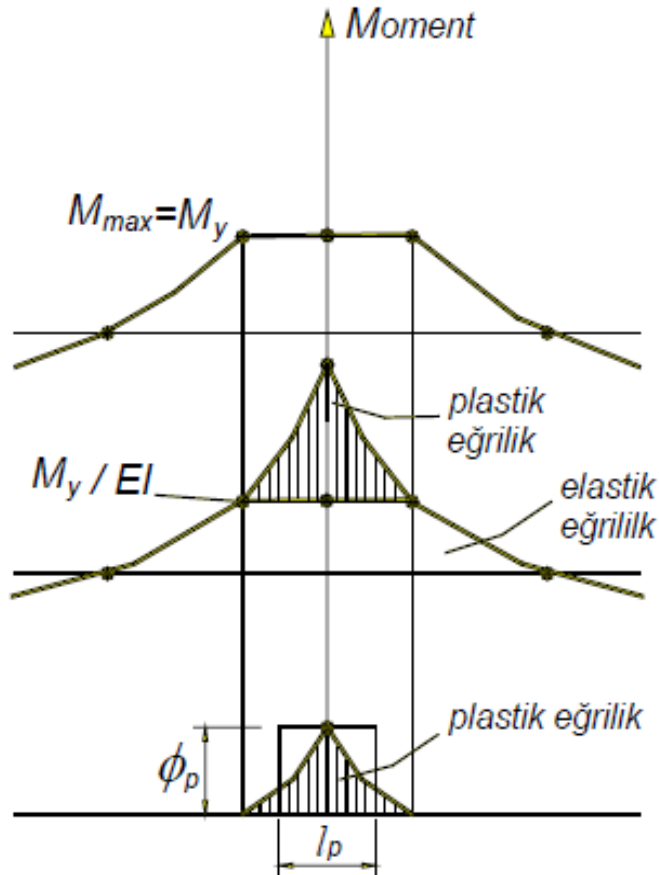
Hesaplanan en büyük plastik eğriliğin toplam dönmeye bölünmesiyle elde edilen l_p Plastik Mafsal Boyu Denklem (3.6)'deki gibi teorik olarak elde edilebilir.

$$l_p = \frac{\theta_{BA \text{ plastik}}}{\theta_{p \text{ max}}} = \frac{1}{\theta_{p \text{ max}}} \int_A^B \theta_{plastik} dx \quad (3.6)$$

DBYBHY 2007 plastik mafsal boyu olarak, çalışan doğrultudaki kesit boyutunun yarısına eşit olarak tanımlamıştır. Şekil 3.5’de kirişler için eğilme momentinin eğrilik ile olan ilişkisi, Şekil 3.6’de ise kirişlerde mesnet bölgelerindeki zorlanmalardan dolayı oluşan plastikleşme ve eğrilik değişimi gösterilmiştir [6].



Şekil 3.5 : Kirişlerde eğilme momenti-eğrilik ilişkisi.

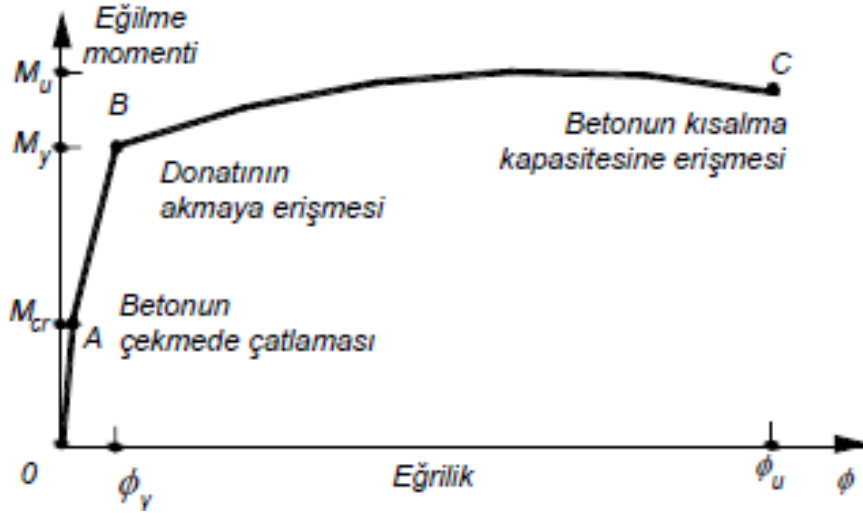


Şekil 3.6 : Kiriş mesnet bölgesinde eğrilik değişimi.

Kolonlarda, alt ve üst kesitler hem düşey yüklemeden hem de deprem etkilerinden oluşan yüklemeden zorlandığı için plastik mafsallar oluşabilir. Plastik mafsalların oluşabilmesi için, bu bölgedeki kesitlerin plastik eğrilik kapasitesine sahip olması gerekir ve ortaya çıkan plastik şekil değiştirmelerin kabul edilebilir sınırlar içinde olması gerekir.

Perdelerde ise, plastik mafsallar kolonlardakine benzer şekilde düşey yüklemelerden ve deprem etkilerinde dolayı oluşmaktadır. Kolonlarda ve perdelerde oluşan plastik mafsal boyları ve dönmeleri, kirişlerdeki gibi Denklem (3.6) ve Denklem (3.7) ile hesap edilebilir.

Eleman kesitlerinde artan eğilme momenti etkisiyle donatı plastik uzaman yaparken, beton da doğrusal olmayan $\sigma_c - \epsilon_c$ değişimi çok daha belirgin duruma gelir. Genellikle donatının uzama kapasitesi daha büyük olduğu için, güç tükenmesi betonun en büyük kısılması kapasitesine erişmesiyle ortaya çıkar ve kesit taşıma gücüne erişir [7]. Şekil 3.7’de betonarme bir kesitte betonun kısılma kapasitesine erişmesiyle meydana gelen güç tükenme durumuna ilişkin moment – eğrilik ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Betonarme bir kesitte güç tükenmesi durumu.

4. 30 KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN YÖNTEMLERDEN ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

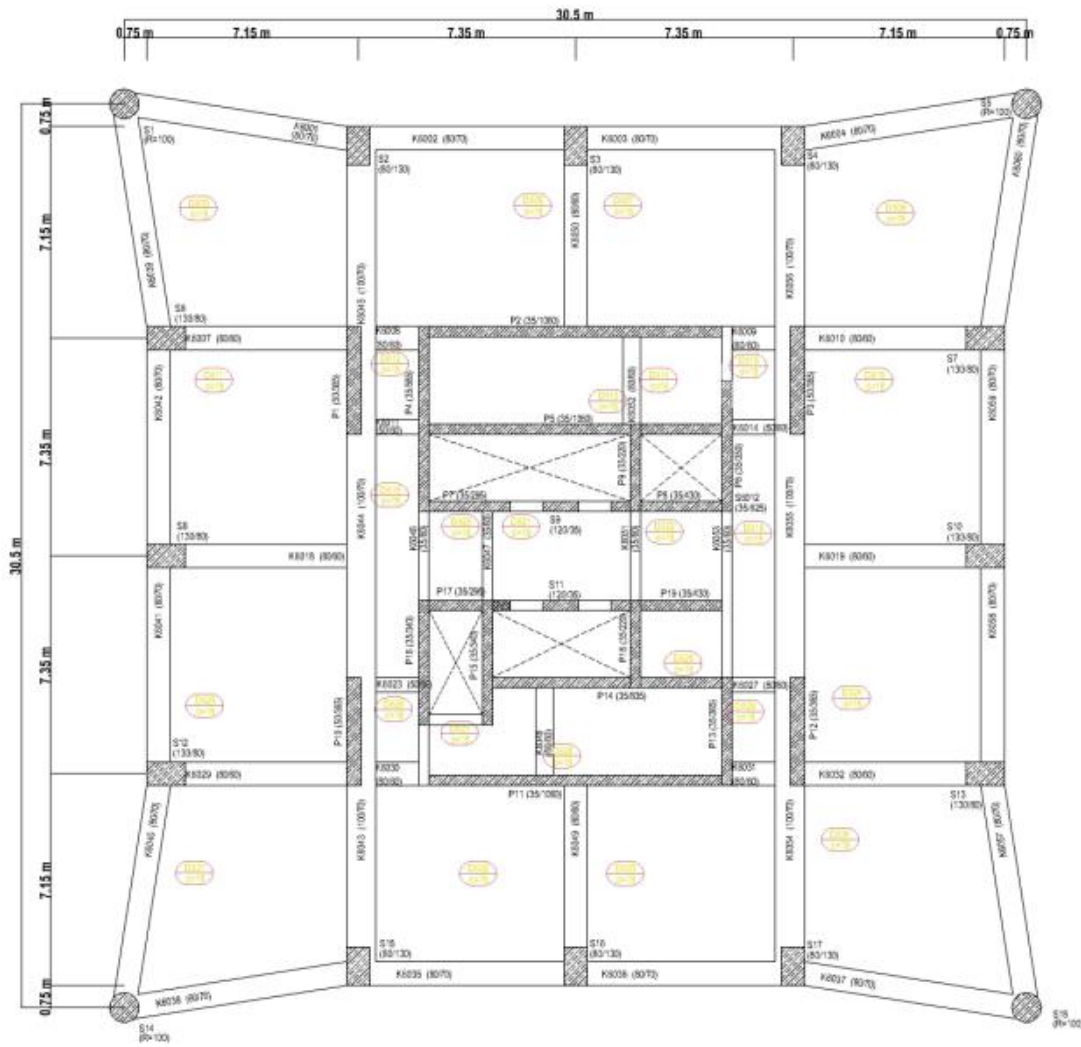
4.1 Giriş

Bu bölümde doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinden “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi” kullanılarak 30 katlı betonarme bir binanın DBYBHY 2007’ye göre deprem performans düzeyi belirlenecektir. Binanın kullanım amacının konut olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Can Güvenliği performans hedefini sağlaması öngörülmektedir. Bu amaçla bu binaya her iki doğrultuda, yönetmelikte ön koşulları belirtilen 3 farklı depremin ivme kayıtları uygulanmıştır. Ayrıca bu bölümde, binanın doğrusal elastik çözümlemesi yapılarak zemin emniyet gerilmesi tahkiki ve binanın temel sisteminde bulunan kazıkların taşıma gücü tahkiki yapılmıştır.

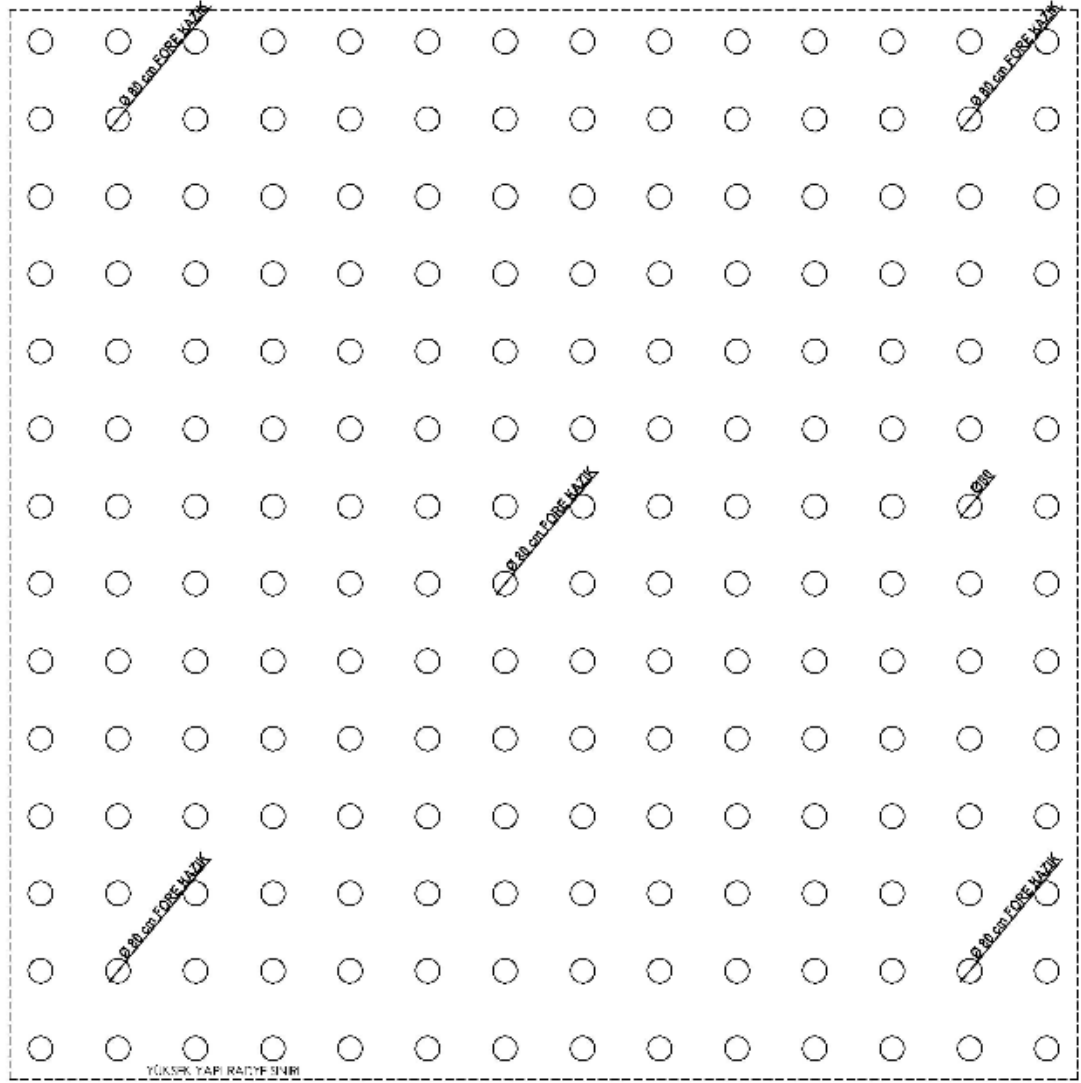
4.2 Bina Genel Bilgileri

Binaya ait statik projeler arasında temel kalıp planı ve katlara ait kalıp planları mevcuttur. Fakat yapısal eleman kesitlerine ait donatı detayları bulunmamaktadır. Bunun için yapısal elemanlarda minimum donatı bulunduğu kabulü yapılmıştır. Ayrıca bina kapsamlı bilgi düzeyinde kabul edilerek, yapısal elemanların özelliklerinin değerlendirilmesinde kapsamlı bilgi düzeyine ait katsayı değeri kullanılacaktır. Yapı taşıyıcı sistemi çerçeve ve perdelerden oluşmaktadır. Bina 30 katlı olup 1.normal kat planı Şekil 4.1’de verilmiştir. Diğer kat planları, 1. normal kat planı ile aynıdır. Konut binası olarak tasarlanmış olan yapı, 1. derece deprem bölgesindedir ve Z2 zemin sınıfına giren bir zemin üzerinde bulunmaktadır. Kullanılan beton sınıfı C40 ve donatı çeliği sınıfı S420’dir. Binanın temeli, kazıklı radye temel olarak tasarlanmış olup binaya ait kazık planı Şekil 4.2 ve Şekil 4.3’de verilmiştir.

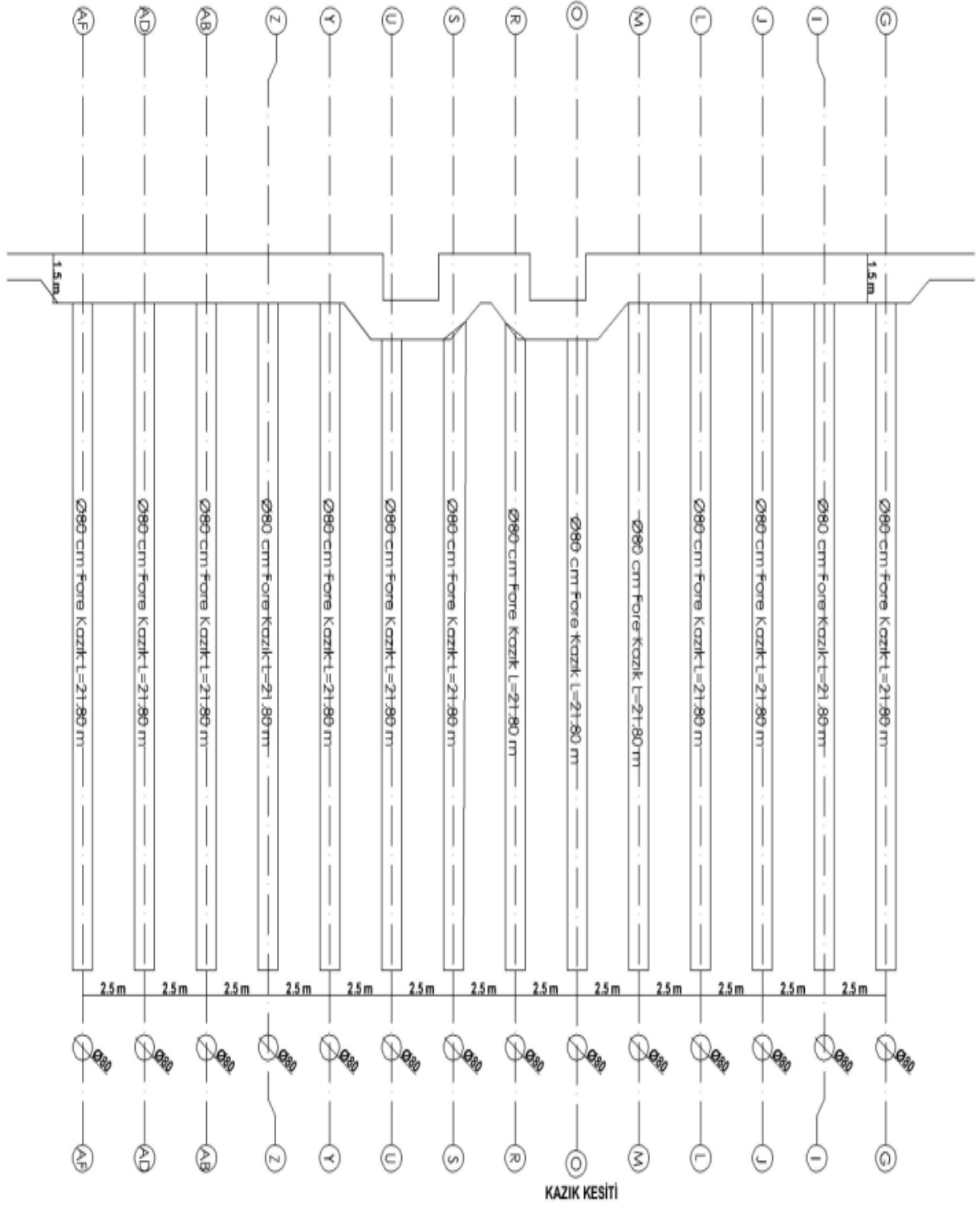
Bina doğrusal elastik analizinde ETABS 9.6.0 programı, doğrusal elastik olmayan analizinde SAP 2000 V.14.0.0 programı kullanılmıştır. Yapıda doğrusal analiz yöntemlerinden mod birleştirme yönteminin uygulanmasının sebebi, yapının temelinde zemin emniyet gerilmesi tahkikini ve binanın temel sisteminde bulunan kazıkların taşıma gücü tahkikini yapabilmek içindir. Yapının doğrusal olmayan performansının değerlendirilmesi için kolon, kiriş ve perde kesitlerinde deprem yönetmeliğinde belirtilen minimum donatı koşulları göz önüne alınarak hesap yapılmıştır. Kolon, kiriş ve perde kesitlerine ait minimum donatılar Çizelge 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Yapının zemin kat kalıp planı.



Şekil 4.2 : Yapı temeline ait kazık kalıp planı.



Şekil 4.3 : Yapı temeline ait kazık kesit planı.

Çizelge 4.1 : Kolon ve kiriş kesitlerine ait minimum donatı alanları ve seçilen donatılar.

Kesit (cm x cm)		Minimum Donatı Alanı (cm ²)	Seçilen Donatı
Kolon	80/130	104.00	24 ϕ 24
	130/80	104.00	24 ϕ 24
	Ø100	78.54	18 ϕ 24
	35/120	42.00	16 ϕ 20
Kiriş	35/60	6.67	4 ϕ 16
	50/60	9.53	5 ϕ 16
	60/60	11.44	6 ϕ 16
	80/60	15.25	8 ϕ 16
	80/70	17.80	10 ϕ 16
	100/70	22.25	12 ϕ 16

Çizelge 4.2 : Perde kesitlerine ait minimum donatı alanları ve seçilen donatılar.

Kesit			Başlık Kesiti (cm x cm)	Minimum Başlık Donatı Alanı (cm ²)	Seçilen Başlık Donatısı		Seçilen Gövde Donatısı
					Sol	Sağ	
Perde	P1	50/365	50/100	36.50	12 ϕ 20	12 ϕ 20	ϕ 12/25
	P2	35/1060	35/215	74.20	26 ϕ 20	26 ϕ 20	ϕ 12/25
	P3	50/365	50/100	36.50	12 ϕ 20	12 ϕ 20	ϕ 12/25
	P4	35/585	35/120	40.95	14 ϕ 20	14 ϕ 20	ϕ 12/25
	P5	35/1060	35/215	74.20	26 ϕ 20	26 ϕ 20	ϕ 12/25
	P6	35/350	35/70	31.40	10 ϕ 20	10 ϕ 20	ϕ 12/25
	P7	35/295	35/70	20.65	12 ϕ 16	12 ϕ 16	ϕ 12/25
	P8	35/430	35/90	30.10	12 ϕ 20	12 ϕ 20	ϕ 12/25
	P9	35/220	35/70	15.40	10 ϕ 16	10 ϕ 16	ϕ 12/25
	P10	50/365	50/100	36.50	12 ϕ 20	12 ϕ 20	ϕ 12/25
	P11	35/1060	35/215	74.20	26 ϕ 20	26 ϕ 20	ϕ 12/25
	P12	50/365	50/100	36.50	12 ϕ 20	12 ϕ 20	ϕ 12/25
	P13	35/365	35/75	25.55	10 ϕ 20	10 ϕ 20	ϕ 12/25
	P14	35/835	35/170	58.45	20 ϕ 20	20 ϕ 20	ϕ 12/25
	P15	35/340	35/70	23.80	10 ϕ 20	10 ϕ 20	ϕ 12/25
	P16	35/340	35/70	23.80	10 ϕ 20	10 ϕ 20	ϕ 12/25
	P17	35/295	35/70	20.65	12 ϕ 16	12 ϕ 16	ϕ 12/25
	P18	35/220	35/70	15.40	10 ϕ 16	10 ϕ 16	ϕ 12/25
	P19	35/430	35/90	30.10	12 ϕ 20	12 ϕ 20	ϕ 12/25

Bina Özellikleri:

- Kat Sayısı: 30
- Bina Toplam Yüksekliği: 102 m.
- Kat Yükseklikleri: 3,4 m.
- Kullanım Amacı: Konut
- Bina Taşıyıcı Sistemi: Betonarme Perde + Çerçeve Sistem
- Temel Tipi: Kazıklı Radye Temel
- Zemin Emniyet Gerilmesi: 300 kN/m^2

Malzeme Özellikleri:

- Beton Sınıfı: C40
- Beton Çeliği Sınıfı: S420

Bina Parametreleri:

- Zemin Sınıfı: Z2 ($T_A=0,15 \text{ s}$ ve $T_B=0,40 \text{ s}$)
- Deprem Bölgesi: 1 ($A_0=0,40$)
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n) : 0,30
- Bina Bilgi Düzeyi: Kapsamlı Bilgi Düzeyi
- Öngörülen Performans Hedefleri:
 - ✓ 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde “Can Güvenliği” performans seviyesi

Ölü Yükler [8]:

- Döşeme yükü ($d=0,18 \text{ cm}$) : $0,18 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 4,5 \text{ kN/m}^2$
- Sıva + Kaplama Ağırlığı: $1,2 \text{ kN/m}^2$
- Dış Duvar Yükü: $5,1 \text{ kN/m}^2$

Hareketli Yükler [8]:

- Hareketli Yük (Normal Kat ve Çatı Katı): $2 \text{ kN/m}^2 - 1,5 \text{ kN/m}^2$
- Hareketli Yük (Merdivenler): $3,5 \text{ kN/m}^2$

- Kar Yüğü: 0,75 kN/m²

Kazıklı Radye Temel Sistemine ait özellikler:

- Kazık Kolon Çapı: 0,80 m
- İki Kazık Kolonun Merkezleri Arasındaki Uzaklık: 2,5 m
- Kazık Kolon Boyu: 21,8 m
- Temel Sisteminde Bulunan Toplam Kazık Kolon Sayısı: 196

Zemin Gerilmesi Tahkiki için Gerekli Parametrik Değerler:

- Zemin Cinsi: Orta Sıkı Kum
- Zemin Emniyet Gerilmesi: 300 kN/m²
- Zemin Yatak Katsayısı (K₀): 50000 kN/m³

4.3 Yapısal Modelin Oluşturulması

4.3.1 Yapısal modelin ETABS programında oluşturulması

Yapı mevcut kalıp planına uyularak ETABS 9.6.0 programında üç boyutlu olarak modellenmiştir [9]. Yapısal modelin oluşturulmasında kat döşemeleri ve kat döşemelerine etkiyen ölü ve hareketli yükler dikkate alınmıştır. Döşeme elemanları ETABS’de mesh olarak isimlendirilen parçalara program tarafından otomatik olarak bölünmüştür. Perde elemanları shell eleman olarak modellenmiştir. Ayrıca, perde elemanlara maksimum genişlikleri 1’er metre olmak üzere mesh (parça) elemanlara bölünmüştür. Yapıda zemin emniyet gerilmesi tahkikini yapabilmek için mod birleştirme yöntemi ile deprem hesabı yapılmıştır. Bu analiz sonucunda sadece binaya oturduğu zeminin emniyet gerilmesi kontrolü ve kazık kolonların taşıma kapasitesi kontrolü yapılmıştır. Yapının üç boyutlu ETABS modeli Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Mod birleştirme yöntemi ile doğrusal elastik hesap için yapıya etki ettirilen kombinasyonlar:

- G + Q
- 1,4G + 1,6Q
- G + Q ± EX ± 0,3EY
- G + Q ± EY ± 0,3 EX

- $0,9G \pm EX \pm 0,3EY$
- $0,9G \pm EY \pm 0,3 EX$

EX ve EY deprem yükleri için $\pm 0,05$ dışmerkezlilik etkisi göz önüne alınmıştır. Yapının ETABS programında kazıklı radye temele sahip ve perdeleri shell eleman olarak tanımlanan modele ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

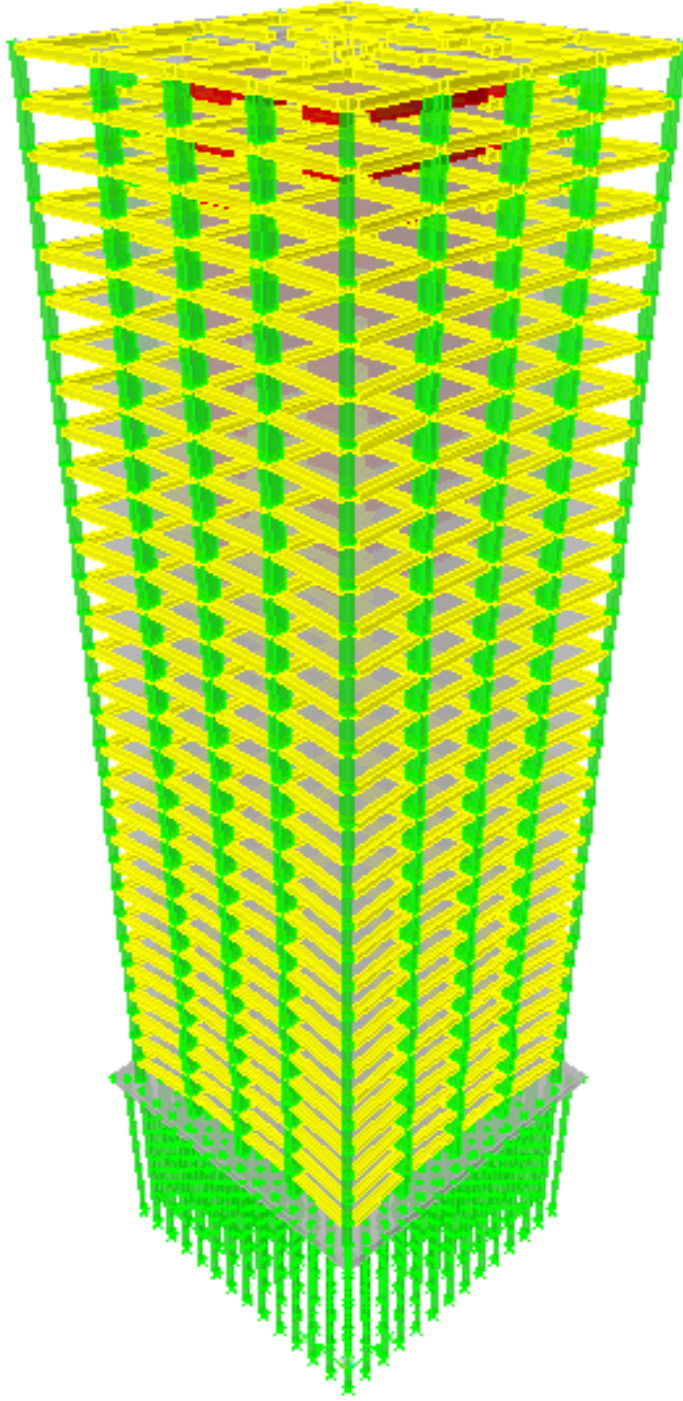
Çizelge 4.3 : ETABS’de oluşturulan modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları.

	Periyot	Kütle Katılım Oranları
T_{1y} (s)	2.375	0.67
T_{1x} (s)	2.200	0.65

Ayrıca yapının doğrusal olmayan performansı için SAP2000 programında oluşturulan modelin periyot değerlerinin, ETABS programındaki model ile karşılaştırabilmesi için ETABS programında perdelerin çubuk eleman olarak oluşturulduğu ve temelin ankastre mesnet temel olarak oluşturulduğu ayrı bir modelin analiz sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : ETABS’de oluşturulan ikinci modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları.

	Periyot	Kütle Katılım Oranları
T_{1y} (s)	2.305	0.71
T_{1x} (s)	2.051	0.67



Şekil 4.4 : Yapının üç boyutlu ETABS modeli.

4.3.1.1 Yapısal modelin temelinde zemin gerilmesi tahkiki

Temel sistemi, binanın statik projesine uygun olarak kazıklı radye temel sistemi olarak modellenmiştir. Temel sisteminde bulunan kolonlar ETABS’de 80 cm çaplı dairesel kesitli kolon eleman olarak modellenmiştir. Kazık kolonlar, toplam 196 adet olmak üzere 2,5 metre aralıklarla ve toplam yükseliği 21,8 metre olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kazık kolon yüksekliği boyunca zeminin pasif direncini karşılamak için kazık kolonlar eşit aralıklarla yatay yaylarla bağlanmıştır. Ayrıca, kazık kolonların en alt uç noktaları basit mesnet olarak tanımlanmıştır. Kazık alt ucunun basit mesnet olarak atanması, kazıkların sağlam bir kaya zemine oturduğunu ifade etmektedir.

Kazıklı radye temel sistemin radye plağı bölümü, 2 m ampatsız olmak üzere 1,5 m kalınlığındadır. Yapısal yükün, kazık kolonlar ve radye plağı tarafından taşındığının kabulü yapılmıştır. Bunun için, radye plağının taban bölümüne düşey yaylar tanımlanmıştır. Ayrıca, binanın bulunduğu zemine ait geoteknik rapor bulunmadığı için zemin emniyet gerilmesi tahkiki için gerekli parametreler için, orta sıkı kuma ait değerler kullanılmıştır.

Yapıda yapılan mod birleştirme yöntemi ile yapılan analizlerde DX1 deprem kombinasyonu altında temelin radye plağı bölümünde maksimum çökme (δ_{maks}) 0,0051 m olarak kaydedilmiştir. Çekme gerilmesi ortaya çıkmamıştır. Temeldeki maksimum basınç gerilmesi (σ_{maks}) depremli durumda zemin emniyet gerilmesinin ($\sigma_{z,em}$) 1,5 katıyla kontrol edilebilmektedir.

$$\sigma_{maks} = \delta_{maks} \times K_o \leq \sigma_{z,em} (G+Q) \quad (\text{Depremsiz Durumda}) \quad (4.1)$$

$$\leq 1,5 \times \sigma_{z,em} (G+Q) \quad (\text{Depremli Durumda}) \quad (4.2)$$

$$0,0051 \times 50000 = 255 \text{ kN/m}^2 \leq 300 \text{ kN/m}^2$$

$$0,0067 \times 50000 = 335 \text{ kN/m}^2 \leq 1,5 \times 300 = 450 \text{ kN/m}^2$$

Yapılan zemin emniyet gerilmesi tahkikleri sonucunda zeminde oluşan basınç gerilmelerinin zemin emniyet gerilmesinden küçük olduğu Denklem (4.1) ve Denklem (4.2) ile kontrol edilmiştir.

4.3.1.2 Kazık taşıma kapasitesinin (gücünün) tahkiki

Kazık taşıma kapasitesinin tahkikinde, kazık uç direnci ile kazığın çevresindeki zeminden kaynaklanan çevre sürtünmesi dikkate alınır [10]. Kazık uç direnci ile çevre sürtünmesi taşıma kapasitesinin toplamı, toplam kazık taşıma gücünü verir ve bu değerin kazıklarda oluşan en büyük normal kuvvet değerinden büyük olması beklenir [11].

(G + Q) yüklemesinden dolayı üst yapıdan ve radye temelden kazıklara gelen yükler sonucunda kazıklarda oluşan en büyük normal kuvvet değeri 3550 kN'dır. Kazıklara gelen yükün uniform olduğu kabul edilirse kazıklarda oluşan normal kuvvet değeri 1985 kN olmaktadır.

Yapının bulunduğu zemine ait geoteknik rapor bulunmadığı için yapının orta sıkı kum zeminin üzerine oturduğu kabul edilmiştir ve bu zemine ait parametreler, kazık taşıma kapasitesinin tahkiki için kullanılmıştır.

Orta sıkı kum zemine ait parametrik değerler [10]:

- $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- $c = 0$
- $\phi = 30^\circ$
- $N_q = 22,5$
- $N_\gamma = 19,7$
- $B = 0,8 \text{ m}$
- $K_1 = 0,3$
- $K \tan \delta = 0,3$

N_q ve N_γ değerleri Terzaghi'nin taşıma gücü katsayıları tablosundan alınmıştır. Bu değerler arasında; γ zeminin birim hacim ağırlığını, c kohezyonu, ϕ zeminin içsel sürtünme açısını, B kazık genişliğini, K_1 şekil faktörünü, K relatif sıkılık oranını göstermektedir. Orta sıkı kuma ait parametrik değerler ile kazık uç direnci (Q_u) ve kazık çevre sürtünmesi taşıma gücü (Q_f) Denklem (4.3) ve Denklem (4.5) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Q_u = q_d \times A_p \quad (4.3)$$

$$q_d = (p_o \times N_q) + (K_1 \times \gamma \times N_\gamma \times B) \quad (4.4)$$

$$q_d = 8914 \text{ kN/m}^2$$

$$A_p = \pi \times r^2 = 0,5026 \text{ m}^2$$

$$Q_u = 4480 \text{ kN}$$

$$Q_f = (c + f_s) \times A_s \quad (4.5)$$

$$f_s = K_p \tan \delta \leq \text{maks } f_s = 110 \text{ kN/m}^2 \text{ olmalıdır.} \quad (4.6)$$

$$A_s = 2 \times \pi \times r \times h \quad (4.7)$$

$$A_s = 54,79 \text{ m}^2$$

$$Q_f = 6027 \text{ kN}$$

$$Q_d = (Q_u + Q_f) / FS - W \quad (4.8)$$

$$W = 274 \text{ kN}$$

$$Q_d = 3930 \text{ kN}$$

$$P_{\text{maks}} = 3550 \text{ kN} \leq Q_d = 3930 \text{ kN}$$

Araştırmacılar tarafından birim çevre sürtünmesi, f_s 'nin, zemin içinde derinliklere inildikçe belli bir derinlikten sonra pek değişmediği görülmüştür. Bundan dolayı Denklem (4.6) ile bulunan f_s değeri hesaplamalarda, maksimum değerden fazla çıksa bile maksimum değer hesaba katılır [10]. Ayrıca betonarme bir kazığın ağırlığı 274 kN hesaplanmış olup Denklem (4.8)'de kazık taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılmıştır.

Kazıklarda oluşan en büyük normal kuvvet değeri, kazık taşıma gücü (Q_d) değerinden küçük olduğu gösterilerek kazıkların taşıma kapasitelerinin yeterli olduğu Denklem (4.8) ile gösterilmiştir.

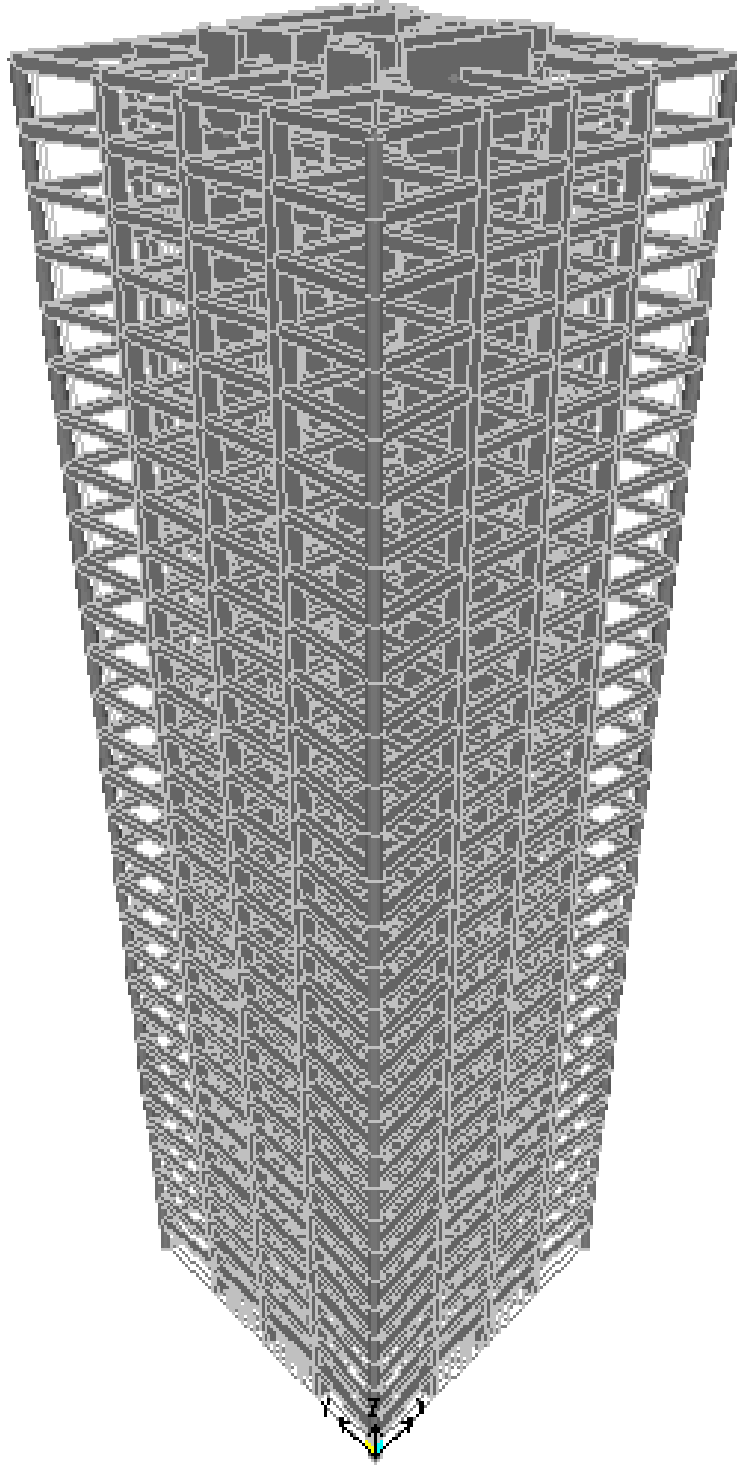
4.3.2 Yapısal modelin SAP2000 programında oluşturulması

Yapı mevcut kalıp planına uyularak SAP 2000 programında perdelerin çubuk eleman olarak tanımlanmasıyla oluşturulmuştur [12]. Döşemelere etki eden sabit ve hareketli yükler, eşdeğer yayılı yüke dönüştürülerek kirişler üzerine etkitilmiştir. Yapının doğrusal olmayan performansının değerlendirilmesinde çubuk elemanlarda çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Mevcut temel sisteminin lineer elastik davrandığı kabulü ile temel sistemi kaldırılmış ve modele ankastre mesnet tanımlanmıştır.

Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli Şekil 4.5’de verilmiştir. Çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanıldığında yapıya ait periyot ve kütle katılım değerleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 : SAP2000’de oluşturulan modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları.

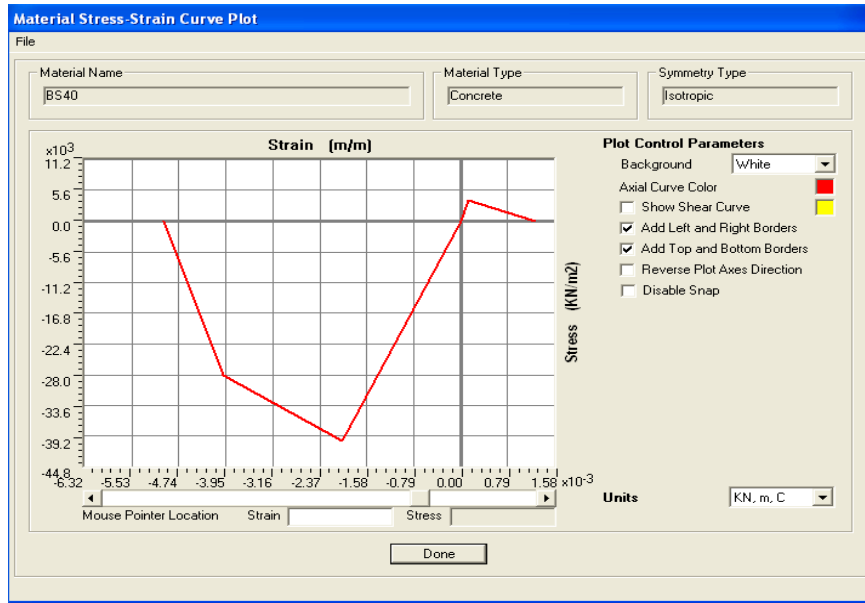
	Periyot	Kütle Katılım Oranı
T_{1y} (s)	2.988	0.71
T_{1x} (s)	2.610	0.67



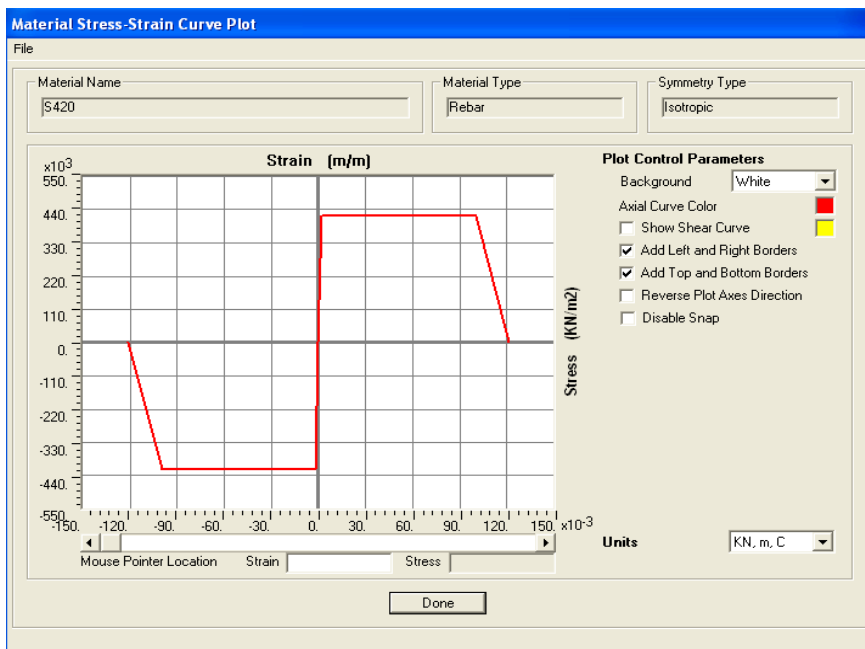
Şekil 4.5 : Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli.

4.3.2.1 Yapısal elemanlar için malzeme modeli

Yapısal elemanlar için kullanılan malzeme modeli beton için C40, sargısız beton modeli olarak ve donatı için S420 kalitesindeki malzeme olarak modellenmiştir. Malzemelerin uzama ve kısılma için sınır değerleri DBYBHY 2007 Ek 7B’de anlatılan modele uygun olarak belirlenmiştir. Şekil 4.6’da beton malzeme modeline ait gerilme-şekil değiştirme grafiği, Şekil 4.7’de ise donatı malzeme modeline ait gerilme şekil değiştirme grafiği gösterilmiştir



Şekil 4.6 : C40 beton sınıfı için malzeme modeli.

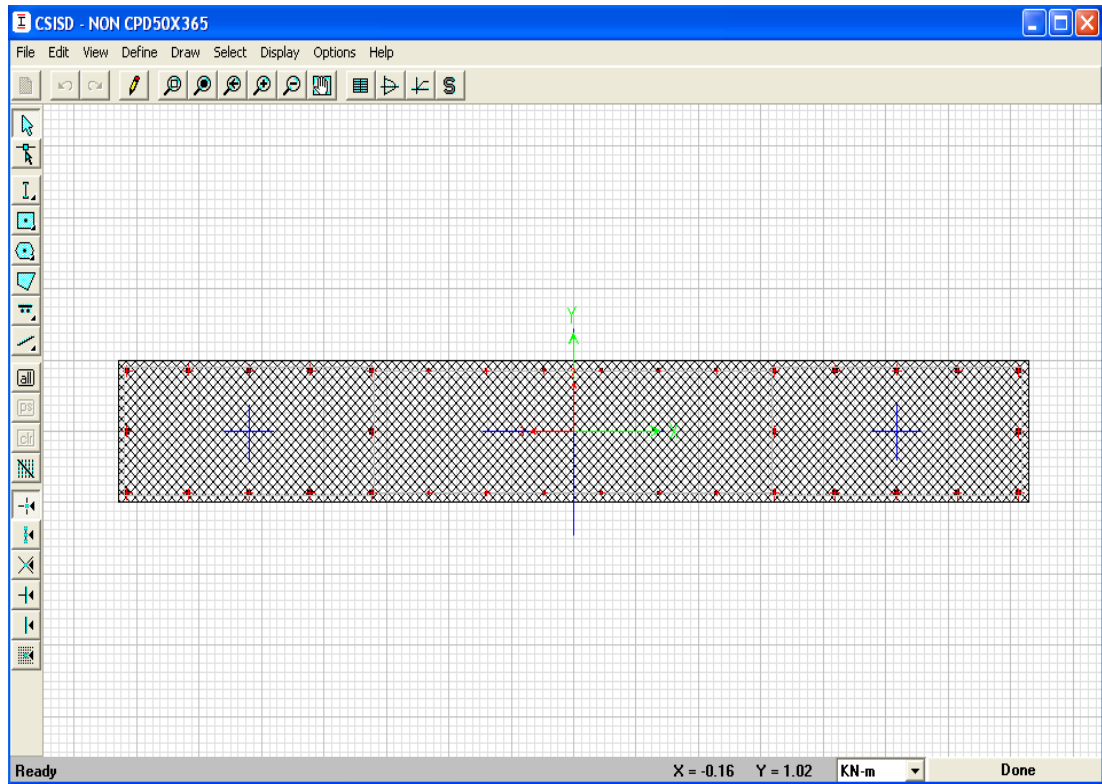


Şekil 4.7 : S420 donatı için malzeme modeli.

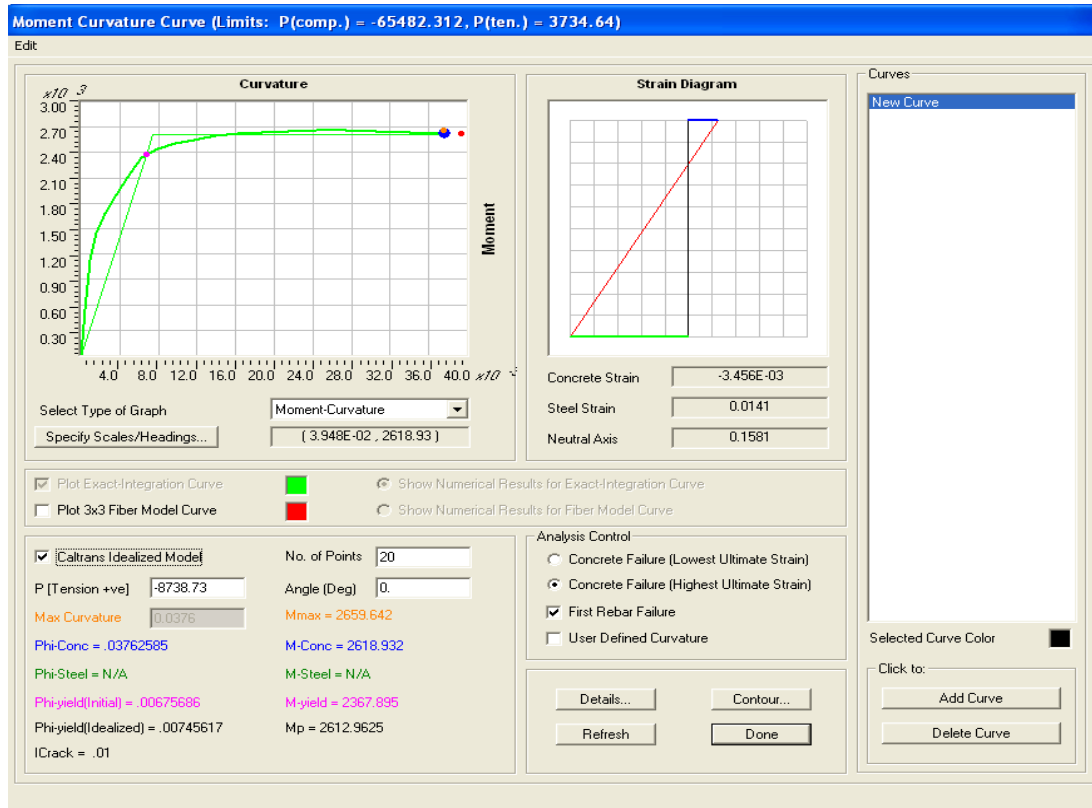
4.3.2.2 Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin belirlenmesi

Yapısal eleman modellerinin oluşturulmasında, betonarme kiriş ve kolonlara ait akma yüzeylerinin tanımlanmasında ve hasar bölgelerini belirleyen sınır beton ve donatı çeliği şekil değiştirmelerine bağlı normal kuvvet – eğrilik bağıntılarının çıkarılmasında SAP 2000 V.14.0.0 programının “Section Designer” arayüzü kullanılmıştır [11].

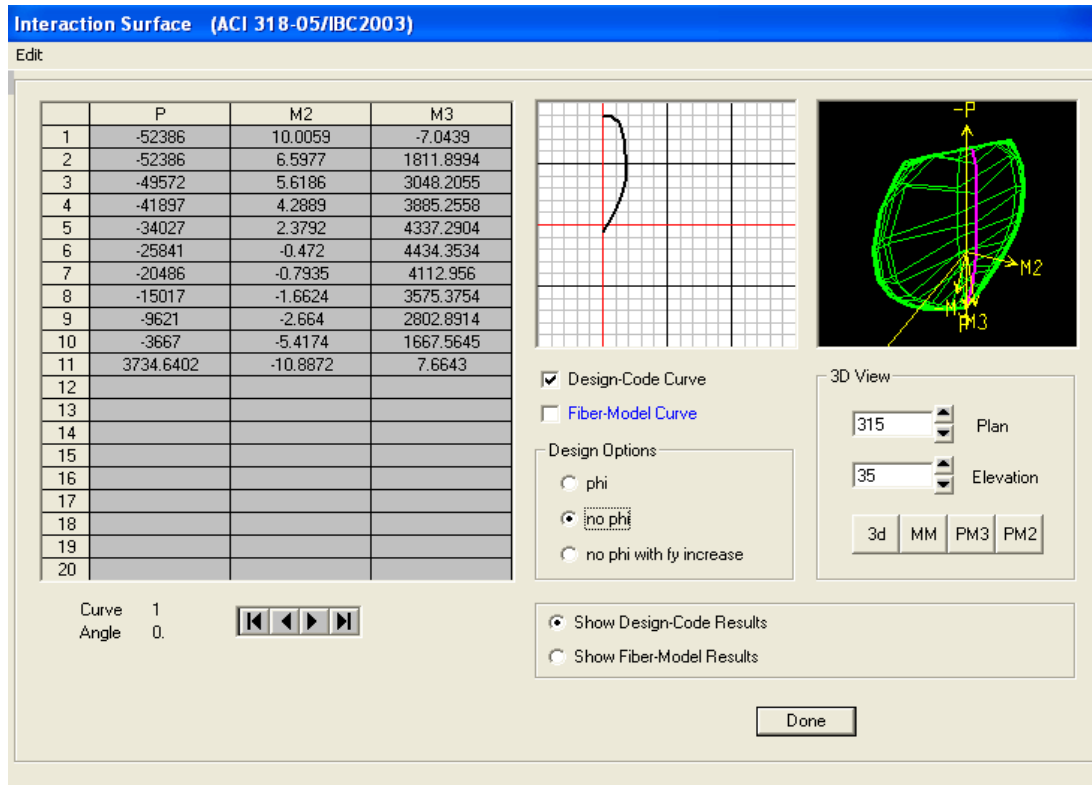
Kirişlerde eksenel kuvvet olmadığı için sadece moment-eğrilik bağıntıları, kolon ve perdeler eksenel kuvvet etkisi altında olduğu için moment-eğrilik bağıntıları ile birlikte akma yüzeyleri de belirlenmiştir. Kolon ve perde elemanların normal kuvvet değerleri için beş katta bir ortalama değerleri alınmıştır. Perde, kolon ve kiriş elemanların moment-eğrilik bağıntılarının belirlenmesi için bu elemanlar minimum donatı koşullarına göre “Section Designer” da çizilmiştir. Şekil 4.8’de “Section Designer” da çizilmiş bir perde kesit gösterilmiştir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da bir perde kesitinin “Section Designer” da moment-eğrilik bağıntısı ve akma yüzeylerinin elde edilmesi sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 4.11’de ise bir kiriş kesitinin moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi gösterilmiştir.



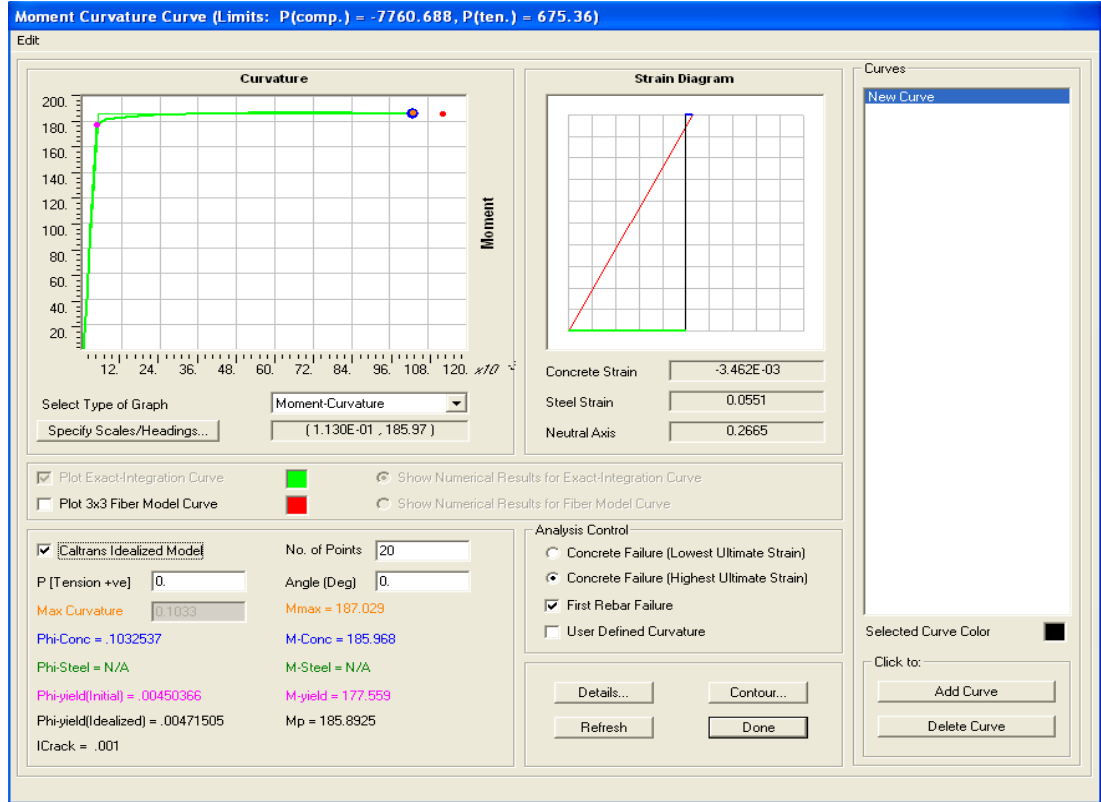
Şekil 4.8 : SAP2000’de bir perde kesitinin “Section Designer”da oluşturulması.



Şekil 4.9 : SAP2000’de bir perde kesitinin “Section Designer”da moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi.



Şekil 4.10 : SAP2000’de bir perde kesitinin “Section Designer”da akma yüzeylerinin elde edilmesi.

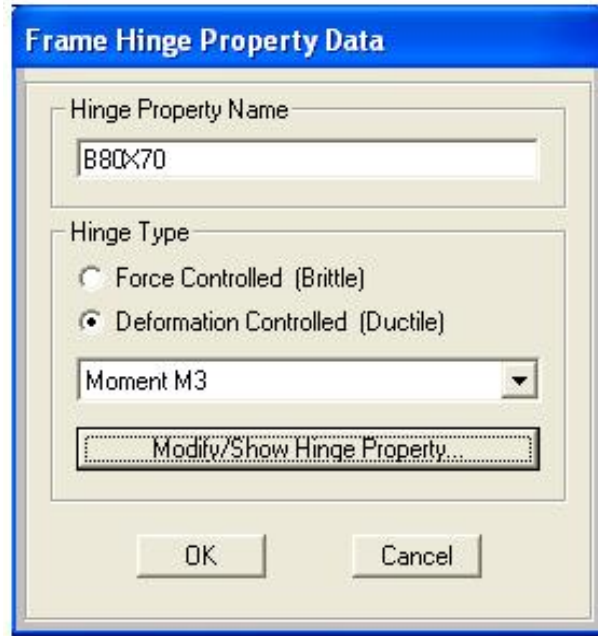


Şekil 4.11 : SAP2000’de bir kiriş kesitinin “Section Designer”da moment-eğrilik bağıntısının elde edilmesi.

4.3.2.3 Yapısal elemanların plastik mafsallık özelliklerinin tanımlanması

Moment-eğrilik bağıntıları ve akma yüzeyleri belirlenen yapısal elemanların plastik mafsallık özellikleri SAP2000 programında tanımlanırken programın veri girişi yöntemine uyulmuştur. Eleman şekil değiştirmeleri uç bölgelerde yoğunlaştığı kabul edilip, plastik mafsallar bu bölgelerde tanımlanmıştır. Ayrıca, kolon ve perdeler eksenel kuvvet etkisi altında olduğu için P-M2-M3 mafsalları olarak, kirişlerde ise eksenel kuvvet olmadığı için M3 mafsalları olarak tanımlanmıştır. SAP2000, çubuk elemanlar için plastik mafsallık tanımlamalarında FEMA-356 (Federal Emergency Management Agency) ve ATC-40 (Applied Technology Council) tarafından hazırlanan plastik mafsallık yaklaşımlarını otomatik olarak kesitlere atayabilmektedir. Fakat elemanların şekil değiştirme kapasiteleri sahip oldukları gerçek kapasite değerlerinden yüksek çıkabileceği için plastik mafsalların moment-eğrilik bağıntıları programa kullanıcı tanımlı olarak veri girişi yapılmıştır [13].

“Section Designer” da kiriş kesitleri minimum donatı koşullarına göre çizildikten sonra “Show Moment-Curvature Curve” sekmesi ile çizilen kirişe ait moment ve eğrilik değerlerinin belirlenmesi daha önceki bölümlerde anlatılmıştır. Plastik mafsallıkların özelliklerinin programa girişinde bu değerler direk olarak girilemez. Kesitlere ait eğrilik değerleri eğilme doğrultusundaki plastik mafsallık boyu ile çarpılır ve plastik mafsallık dönmeleri elde edilir. Fakat bu durumda plastik mafsallık boylarının programa girilmesi gerekmektedir. Veri girişi olarak bu yöntem yerine moment-eğrilik değerleri, akma momenti ve akma momentine karşı gelen eğrilik değerleri ile orantılı olacak katsayı değerleri olarak programa tanıtılır. Bu moment ve eğrilik değerleri için hesaplanan katsayı değerlerinin programa girişi “Hinge Properties” sekmesinden yapılmaktadır. Moment ve eğrilik değerleri akma momenti ve akma momentine karşı gelen durumdaki eğrilik değerleri ile orantılı olacak şekilde “Moment/SF” ve “Rotation/SF” katsayı değerleri haline getirilir ve bu katsayı değerleri programa girilir. “Modify/Show Hinge Property” sekmesine bu katsayı değerleri girildikten sonra o kiriş kesitine ait “Moment SF” ve “Rotation SF” gerçek değerleri girilir. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de bir kiriş kesitine ait plastik mafsallığın SAP2000’de tanımlanması gösterilmiştir.



Şekil 4.12 : SAP2000 kiriş kesitleri için plastik mafsallık tanımlanması.

Frame Hinge Property Data for B80X70 - Moment M3

Edit

Displacement Control Parameters

Point	Moment/SF	Rotation/SF
E	-0.076	-32.355
D-	-0.076	-23.134
C-	-1.155	-23.134
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.155	23.134
D	0.076	23.134
E	0.076	32.355

☒ Symmetric

Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☐ Relative Length

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero

☐ Is Extrapolated

Scaling for Moment and Rotation

☐ Use Yield Moment

Moment SF

☐ Use Yield Rotation (Steel Objects Only)

Rotation SF

Acceptance Criteria (Plastic Rotation/SF)

☒ Immediate Occupancy

☐ Life Safety

☐ Collapse Prevention

☐ Show Acceptance Criteria on Plot

Positive

Negative

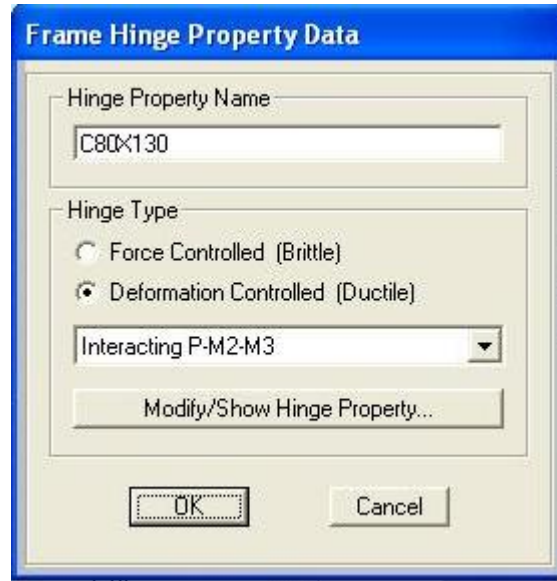
OK Cancel

Şekil 4.13 : SAP2000 M3 mafsalı için veri girişi.

Kolonlarda ise moment ve eğrilik değerlerinin programa girilmesi kirişlere göre daha farklıdır. “Section Designer” da kolon kesitleri minimum donatı koşullarına göre çizildikten sonra kirişlerde olduğu gibi “Show Moment-Curvature Curve” sekmesi ile çizilen kolona ait moment ve eğrilik değerleri belirlenir. Fakat kolonlar normal kuvvet etkisindedir ve kolonlara ait normal kuvvetlerin üst katlarda azalmasının göz önüne alınması için her beş katta bir ortalama normal kuvvet değeri girilerek her kolon kesidi için 6 adet normal kuvvet değeri girilmiştir. Kolonlarda moment-eğrilik bağıntıları ile birlikte akma yüzeyleri de tanımlanmıştır. Kolonlara ait normal kuvvet değişimi Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Toplamda her bir kolon kesiti için altı normal kuvvet değeri girilmiştir. “Show Moment-Curvature Curve” sekmesinden alınan moment ve eğrilik değerleri kirişlerde de olduğu gibi Şekil 4.14’de gösterilen “Hinge Properties” sekmesinde o kolonda deprem etkileri sonucunda oluşacak plastik mafsala ait katsayılar olarak SAP 2000’e tanıtılmıştır.

Çizelge 4.6 : Kolonlara ait kat bazında normal kuvvet değişimi.

KOLONLARDAKİ EKSENEL KUVVET DEĞERLERİ (KN)							
KOLON ADI	KESİT (cm)	1-5. KATLAR ARASI	6-10. KATLAR ARASI	11-15. KATLAR ARASI	16-20.KATLAR ARASI	21-25. KATLAR ARASI	26-30. KATLAR ARASI
S1	Ø100	-12190.96	-10014.99	-7745.24	-5479.57	-3294.52	-1175.75
S5	Ø100	-12071.18	-9951.10	-7740.84	-5515.41	-3318.09	-1183.02
S14	Ø100	-12031.08	-9917.72	-7715.26	-5497.76	-3307.35	-1178.92
S18	Ø100	-12225.13	-10041.24	-7760.21	-5490.48	-3303.32	-1179.54
S2	130/80	-16430.54	-13050.65	-9849.79	-6861.16	-4057.32	-1439.96
S3	130/80	-14587.77	-11889.13	-9149.24	-6463.14	-3876.36	-1396.04
S4	130/80	-16442.22	-13023.88	-9793.23	-6802.90	-4016.45	-1419.78
S15	130/80	-16322.13	-12943.62	-9740.13	-6771.65	-4002.05	-1418.17
S3	130/80	-14549.05	-11852.58	-9118.50	-6440.95	-3858.55	-1388.79
S16	130/80	-16521.37	-13087.17	-9842.67	-6845.04	-4039.25	-1429.35
S6	80/130	-15606.62	-12708.99	-9835.77	-7013.02	-4251.95	-1550.42
S8	80/130	-14634.67	-12027.27	-9370.59	-6715.40	-4087.50	-1492.63
S12	80/130	-15587.64	-12675.50	-9796.97	-6978.03	-4226.70	-1539.52
S7	80/130	-15615.66	-12700.88	-9815.51	-6989.71	-4232.96	-1541.64
S10	80/130	-14657.62	-12044.56	-9382.02	-6722.47	-4090.33	-1493.44
S13	80/130	-15613.90	-12706.89	-9828.32	-7004.17	-4244.79	-1547.39
S9	35/120	-3068.75	-2342.28	-2003.29	-1630.99	-1119.85	-468.25
S11	35/120	-3012.44	-2349.68	-1998.14	-1613.05	-1097.26	-455.13



Frame Hinge Property Data

Hinge Property Name: C80X130

Hinge Type:

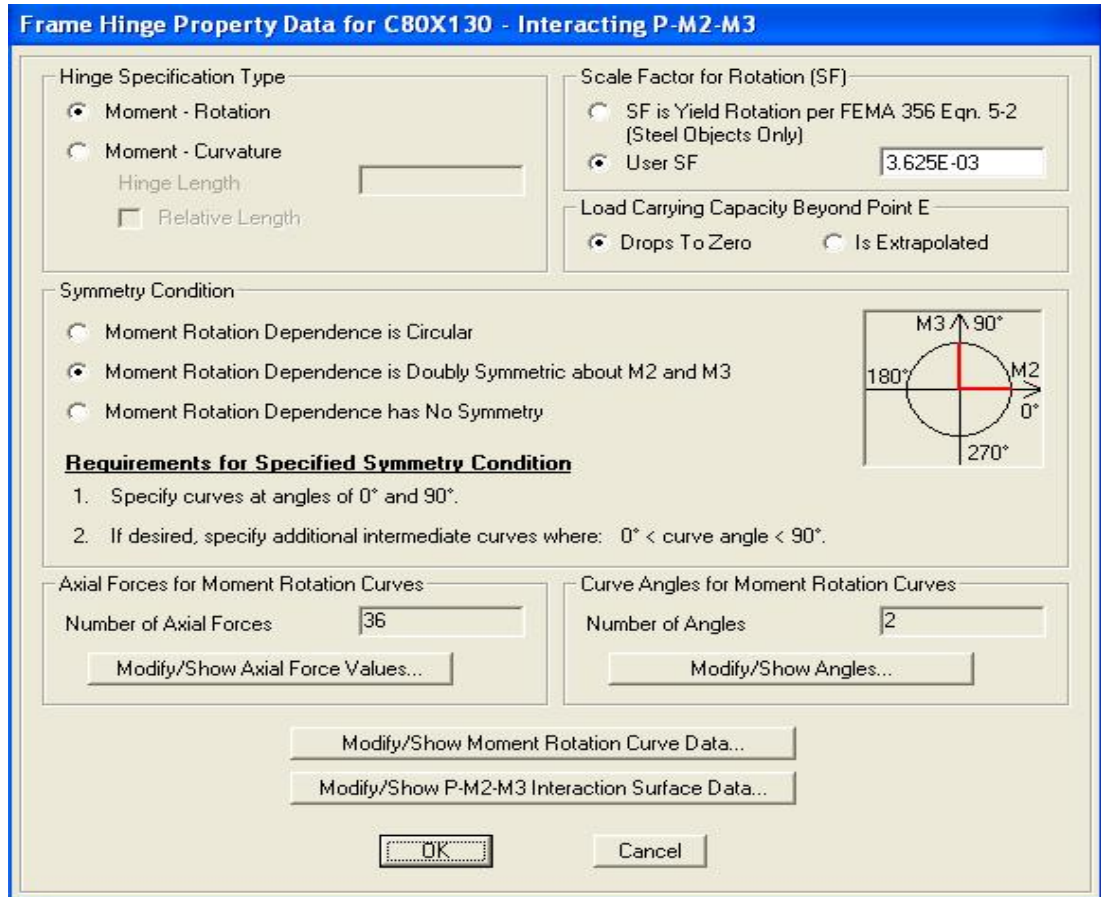
- ☐ Force Controlled (Brittle)
- ☒ Deformation Controlled (Ductile)

Interacting P-M2-M3

Modify/Show Hinge Property...

OK Cancel

Şekil 4.14 : SAP2000 kolon kesitleri için plastik mafsalları tanımlanması.



Frame Hinge Property Data for C80X130 - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type:

- ☒ Moment - Rotation
- ☐ Moment - Curvature

Hinge Length:

☐ Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF):

- ☐ SF is Yield Rotation per FEMA 356 Eqn. 5-2 (Steel Objects Only)
- ☒ User SF: 3.625E-03

Load Carrying Capacity Beyond Point E:

- ☒ Drops To Zero
- ☐ Is Extrapolated

Symmetry Condition:

- ☐ Moment Rotation Dependence is Circular
- ☒ Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3
- ☐ Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

- Specify curves at angles of 0° and 90°.
- If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 90°.

Axial Forces for Moment Rotation Curves:

Number of Axial Forces: 36

Modify/Show Axial Force Values...

Curve Angles for Moment Rotation Curves:

Number of Angles: 2

Modify/Show Angles...

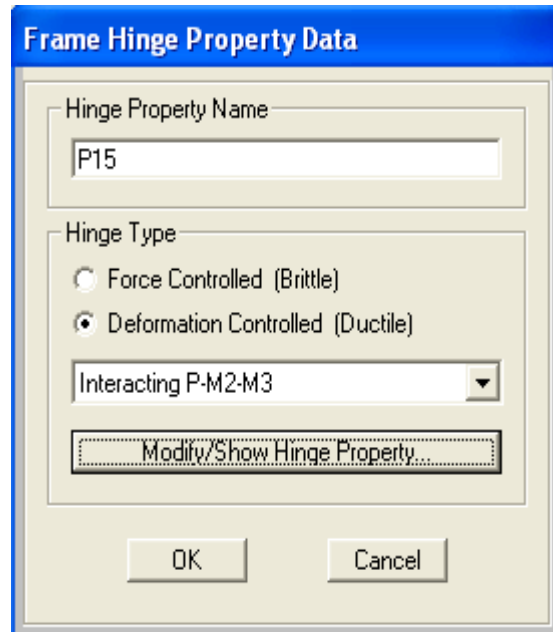
Modify/Show Moment Rotation Curve Data...

Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data...

OK Cancel

Şekil 4.15 : SAP2000 P-M2-M3 mafsalları için veri girişi.

Moment ve eğrilik değerleri akma momenti ve akma momentine karşı gelen durumdaki eğrilik değerleri ile orantılı olacak şekilde “Moment/Yield Moment” ve “Rotation/SF” katsayı değerleri haline getirilir. “Modify/Show Hinge Property” sekmesine bu katsayı değerleri girildikten sonra o kolon kesitine ait akma eğrilik değeri “Scale Factor” olarak girilmiştir. Ayrıca kolon donatıları simetrik olduğu için Şekil 4.15’de gösterilen pencerede “Symmetry Condition” “Doubly Symmetric” seçilmiştir. “Curve Angles for Moment Rotation Curves” sekmesinde “Number of Angles” kolonlar simetrik donatılı olduğundan dolayı 0° ve 90° için yeterli görülmüştür. Kolonlarda karşılıklı etki diyagramlarının SAP2000’de tanımlanması için “Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data” penceresi kullanılmıştır. Burada, “Axial Load-Displacement” normal kuvvet yer değiştirme ilişkisi yönetmelik ilkesince “Elastic-Perfectly Plastic” seçilmiştir. “Interaction Surface” verileri kullanıcı tarafından girilmiştir. “Define/Show User Interaction Surface” penceresinde “Doubly Symmetric about M2 and M3” seçilmiştir. “Number of Curves” 0° den 90° ye kadar dört açının P-M2-M3 değerleri girilmiştir. “Number of Points on Each Curve” kutucuğuna SAP2000’de “Section Designer” da her bir kesitin karşılıklı etki diyagramı için 11 noktanın değerini verdiği için dolayı bu değer yeterli görülmüştür.



Şekil 4.16 : SAP2000 perde kesitleri için plastik mafsalları tanımlanması.

Frame Hinge Property Data for P15 - Interacting P-M2-M3

Hinge Specification Type

☒ Moment - Rotation

☐ Moment - Curvature

Hinge Length

☐ Relative Length

Scale Factor for Rotation (SF)

☐ SF is Yield Rotation per FEMA 356 Eqn. 5-2 (Steel Objects Only)

☒ User SF

Load Carrying Capacity Beyond Point E

☒ Drops To Zero ☐ Is Extrapolated

Symmetry Condition

☐ Moment Rotation Dependence is Circular

☒ Moment Rotation Dependence is Doubly Symmetric about M2 and M3

☐ Moment Rotation Dependence has No Symmetry

Requirements for Specified Symmetry Condition

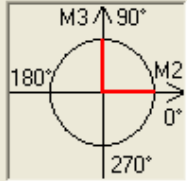
1. Specify curves at angles of 0° and 90°.
2. If desired, specify additional intermediate curves where: 0° < curve angle < 90°.

Axial Forces for Moment Rotation Curves

Number of Axial Forces

Curve Angles for Moment Rotation Curves

Number of Angles



Şekil 4.17 : SAP2000 P-M2-M3 mafsalı için veri girişi.

Perdelerin moment ve eğrilik değerlerinin SAP2000'e girilmesi kolonların girilmesi şeklinin aynısıdır. Kolonlarda olduğu gibi perdeler için “Frame Hinge Property Data” “Interacting P-M2-M3” olarak seçilmesi Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Şekil 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de bir perde kesidine ait plastik mafsallik özelliklerinin programa tanımlanma aşamaları gösterilmiştir. Şekil 4.22’de gösterildiği gibi kolonların aksine “Interaction Surface” da “Number of Curves” 0° den 90° ye kadar altı açının P-M2-M3 değerleri girilmiştir. Ayrıca kolon ve perdelerde moment eğrilik bağıntılarının veri girişi her farklı normal kuvvet değeri için ayrı ayrı yapılmalıdır. Moment-eğrilik bağıntılarının tanımlanmasında eğrilik değerleri kirişlerde olduğu gibi akma momentine karşı gelen eğrilik değeri ile oranlanmış bir katsayı değeri olarak programa tanıtılmıştır. Perdelerdeki normal kuvvet değerlerinin kat bazında değişimi Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Axial Forces for P15 - Interacting P-M2-M3

Edit

This Number of Axial Force Values Is Specified

Number of Axial Forces

Axial Force Data

	Axial Force
1	-9056.87
2	-7839.55
3	-6391.44
4	-4815.56
5	-3032.06
6	-1195.82

KN, m, C

Order Rows

OK

Cancel

Şekil 4.18 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı normal kuvvet değerleri için veri girişi.

Angles for P15 - Interacting P-M2-M3

Edit

This Number of Angles Is Specified

Number of Angles

Angle Data

	Angle in Degrees
1	0.
2	90.

Order Rows

OK

Cancel

Şekil 4.19 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı açı değerleri için veri girişi.

Moment Rotation Data for P15 - Interacting P-M2-M3

Edit

Select Curve
 Axial Force: -9056.87 Angle: 0. Curve #1: [Previous] [Next] [First] [Last]

Units: KN, m, C

Moment Rotation Data for Selected Curve

Point	Moment/Yield Mom	Rotation/SF
A	0.	0.
B	1.	0.
C	1.076	2.564
D	0.027	2.564
E	0.027	3.458

Note: Yield moment is defined by interaction surface

Copy Curve Data Paste Curve Data

Acceptance Criteria (Plastic Deformation / SF)

☒ Immediate Occupancy 3.000E-03
☐ Life Safety 0.012
☐ Collapse Prevention 0.015
☐ Show Acceptance Points on Current Curve

3D View
 Plan: 315 Elevation: 35 Aperture: 0
 Axial Force: -9056.87
☐ Hide Backbone Lines
☐ Show Acceptance Criteria
☐ Show Thickened Lines
☒ Highlight Current Curve

Moment Rotation Information
 Symmetry Condition: Double
 Number of Axial Force Values: 6
 Number of Angles: 2
 Total Number of Curves: 12

Angle Is Moment About
 0 degrees = About Positive M2 Axis
 90 degrees = About Positive M3 Axis
 180 degrees = About Negative M2 Axis
 270 degrees = About Negative M3 Axis

OK Cancel

Şekil 4.20 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için veri girişi.

Hinge Interaction Surface for P15 - Interacting P-M2-M3

Interaction Surface Options

☐ Default from Material Property of Associated Line Object
☐ Steel, AISC-LRFD Equations H1-1a and H1-1b with $\phi = 1$
☐ Steel, FEMA 356 Equation 5-4
☐ Concrete, ACI 318-02 with $\phi = 1$
☒ User Definition

Define/Show User Interaction Surface...

Axial Load - Displacement Relationship

☐ Proportional to Moment - Rotation
☒ Elastic - Perfectly Plastic

OK Cancel

Şekil 4.21 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için akma yüzeyi diyagramı değerlerini girmek için kullanılan yöntemin seçilmesi.

P-M2-M3 Interaction Surface Definition for P15

Edit

User Interaction Surface Options

☐ Circular Symmetry
☒ Doubly Symmetric about M2 and M3
☐ No Symmetry

Number of Curves:

Number of Points on Each Curve:

Scale Factors (Same for All Curves)

P: M2: M3:

☐ Include Scale Factors in Plots

First and Last Points (Same for All Curves)

Point	P	M2	M3
1	-34796.	0	0
11	3302.04	0	0

Interaction Surface Requirements - Doubly Symmetric

1. A minimum of 3 P-M2-M3 curves are specified.
2. P (tension positive) increases monotonically.
3. $M2 = M3 = 0$ at the first and last points.
4. First curve has all $M3 = 0$ and all $M2 \geq 0$.
5. Then one or more curves has all $M2 > 0$ and all $M3 > 0$.
6. Last curve has all $M2 = 0$ and all $M3 > 0$.
7. As the curve number increases, a specific point number should have an increasing $M3$ and a decreasing $M2$.
8. Each curve must be convex and the interaction surface as a whole must be convex (no dimples in surface).

Interaction Curve Data

Current Curve:

Point	P	M2	M3
1	-34796.	0.	0.
2	-34795.	7964.352	0.
3	-33328.	13299.	0.
4	-28480.	17073.	0.
5	-23495.	19292.	0.
6	-18219.	20047.	0.
7	-14071.	19151.	0.
8	-10097.	16718.	0.
9	-6053.	12991.	0.
10	-1592.	7576.9493	0.
11	3302.04	0.	0.

3D Plot

☒ Show All Lines
☐ Hide P Direction Lines
☐ Hide M2-M3 Lines
☒ Highlight Current Curve

Şekil 4.22 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için akma yüzey diyagramlarının tanımlanması.

Çizelge 4.7 : Perdelere ait kat bazında normal kuvvet değişimi.

PERDELERDEKİ EKSENEL KUVVET DEĞERLERİ(KN)							
PERDE ADI	KESİT(cm)	1-5. KATLAR ARASI	6-10. KATLAR ARASI	11-15. KATLAR ARASI	16-20. KATLAR ARASI	21-25. KATLAR ARASI	26-30. KATLAR ARASI
P1	50/365	-22426.47	-16655.65	-12302.27	-8708.29	-5231.31	-1925.70
P2	35/1060	-42475.06	-29632.56	-21889.69	-16028.60	-10340.04	-4330.97
P3	50/365	-23362.33	-17199.74	-12615.69	-8973.29	-5423.71	-2008.49
P4	35/585	-21086.61	-15722.24	-12625.06	-9485.14	-5833.25	-2154.54
P5	35/1060	-24018.03	-21238.31	-17562.85	-13111.50	-8218.23	-3117.11
P6	35/350	-12016.31	-9287.38	-7533.36	-5663.98	-3486.37	-1275.61
P7	35/295	-9794.39	-7034.39	-5715.47	-4490.49	-3138.96	-1480.10
P8	35/430	-13016.43	-10008.09	-8163.81	-6324.45	-4317.91	-1966.88
P9	35/220	-5075.45	-4535.07	-3762.54	-2954.80	-1981.86	-869.96
P10	50/365	-23714.68	-17578.20	-12830.61	-9048.91	-5453.55	-2027.27
P11	35/1060	-43183.75	-30109.40	-22377.49	-16397.63	-10508.96	-4392.19
P12	50/365	-22817.42	-16756.36	-12319.57	-8738.73	-5289.18	-1984.71
P13	35/365	-14274.16	-10163.19	-7973.36	-5916.95	-3611.20	-1330.57
P14	35/845	-19809.70	-17178.13	-14218.85	-10740.59	-6861.31	-2658.26
P15	35/340	-9056.87	-7839.55	-6391.44	-4815.56	-3032.06	-1195.82
P16	35/340	-11825.81	-8959.19	-7174.41	-5366.88	-3300.81	-1189.70
P17	35/295	-9296.87	-7173.07	-5772.27	-4411.66	-2886.46	-1303.74
P18	35/220	-5364.25	-4539.29	-3860.72	-3077.71	-2098.37	-941.89
P19	35/430	-13711.66	-9998.55	-8111.72	-6501.24	-4479.03	-2025.66

4.4 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

4.4.1 Giriş

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi, bina performansının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden en çok zaman alıcı çözümlerdir. Taşıyıcı sistem, zaman tanım alanında boyutlama için kabul edilen bir benzetilmiş veya gerçek deprem hareketi esas alınarak, adım adım çözülür. Taşıyıcı sistemin davranışı elastik kabul edilebileceği gibi, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla elastik ötesi davranış da hesaba katılabilir. Fakat elastik ötesi davranışın hesaba katıldığı durumda, her yükleme durumu için ayrı rijitlik matrisi oluşturulması gerekir. Hesap yönteminin karmaşıklığı ve ayrıntılı olması bilgisayarla çözümün kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, bu çözüm yönteminde yapılan kabuller ve yaklaşımlar doğru bir biçimde yapılırsa, çözüm sonuçlarının tam güvenilir bir biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır [14].

4.4.2 Çok serbestlik dereceli sistemler ve çözümü

Çok serbestlik dereceli sistemlerde dinamik davranışı belirleyen hareket denklem sistemi, tek serbestlik dereceli sisteminkinin genelleştirilmesi olarak düşünülebilir ve çok serbestlik dereceli bir sistemin zamana bağlı kuvvet denklemi Denklem (4.9)'de olduğu gibi ifade edilebilir [14].

$$\mathbf{f}_I + \mathbf{f}_D + \mathbf{f}_S = \mathbf{p}(t) \quad (4.9)$$

Burada verilen $\mathbf{f}_I$, $\mathbf{f}_D$, $\mathbf{f}_S$ kuvvet vektörleri sırasıyla; kat kütlelerine etkiyen atalet, sönüm ve yay kuvveti vektörlerini, $\mathbf{p}(t)$ ise bu vektörlerin toplamına karşı gelen dış yüklerin kuvvet vektörüdür.

Çok serbestlik dereceli bir sistemin hareket denkleminin ivme, hız ve yer değiştirme bileşenleri ile ifade edilmiş hali Denklem (4.10)'da gösterilmiştir.

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{k}\mathbf{v} = \mathbf{p}(t) \quad (4.10)$$

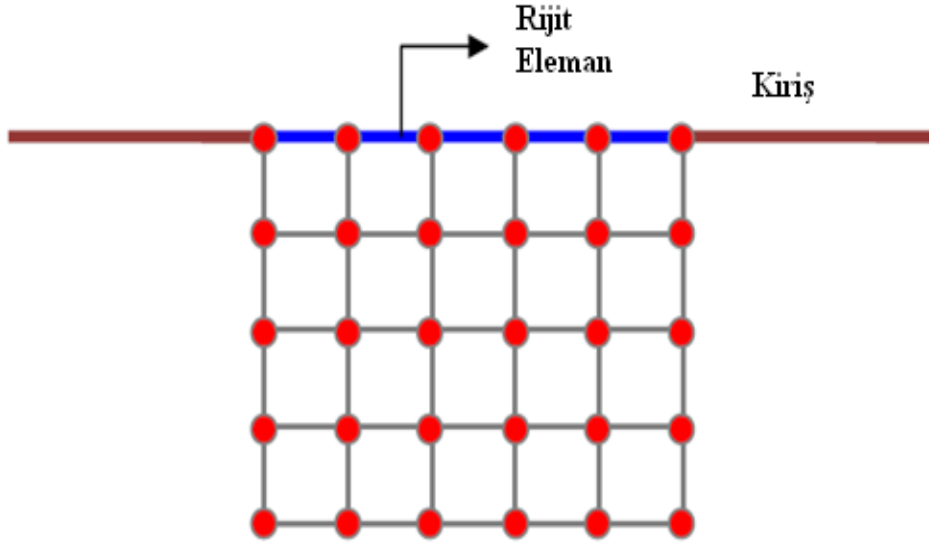
Burada $\mathbf{m}$ kütle matrisini, $\mathbf{c}$ sönüm matrisini, $\mathbf{k}$ rijitlik matrisini, $\mathbf{v}$ yer değiştirme vektörünü, $\dot{\mathbf{v}}$ hız vektörünü, $\ddot{\mathbf{v}}$ ivme vektörünü göstermektedir.

Kütle matrisi, kütlelerin katlarda toplandığı varsayımı ile oluşturulur. Sönüm matrisi, yapıda meydana gelebilecek enerji kayıplarını temsil edecek şekilde oluşturulur. Rijitlik matrisi ise doğrusal olmayan analizlerde her plastik mafsallardan oluşumundan sonra değişir ve bu değişim her hesap adımında göz önüne alınır. Çok serbestlik dereceli sistemin çözümü, sayısal integrasyon yöntemi ve modal spektral çözümleme yöntemleriyle yapılabilmektedir [3]. Çok serbestlik dereceli sistemin çözümü SAP2000 programında zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile yapılmıştır. Program sayısal integrasyon yöntemlerinden biri olan doğrudan artım yöntemi ile verilen ivme kaydını kullanır ve modele etkitir. Çok serbestlik dereceli sistemin hareket denklemindeki kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri her zaman artımında yeniden hesaplanır ve bir sonraki adımda yeni değerleri hesaplamak için kullanılır.

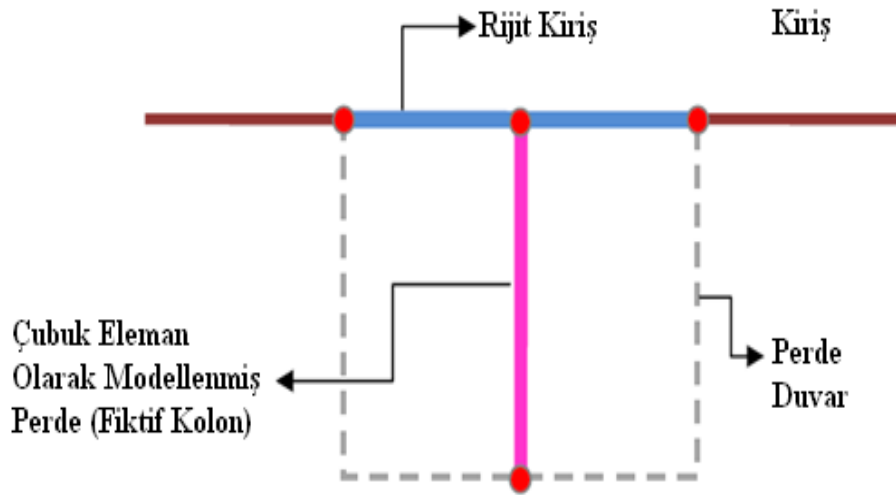
4.4.3 Modelleme ve çözümleme aşamasında yapılan kabuller

30 katlı bina SAP2000 programı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. Fakat zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemenin süresini azaltmak için bazı kabuller yapılmıştır:

- 1) 30 katlı binanın statik projesinde kazıklı radye temel olmasına rağmen zaman tanım alanında performans analiz süresini azaltmak için binanın temeli ankastre mesnet temel olarak modellenmiştir. Bina temel sisteminin lineer elastik olarak davrandığı kabulü yapılmıştır.
- 2) Kat döşemelerinin modellenmesi binanın serbestlik derecesini artırdığından dolayı analiz süresini uzatmaktadır. Bundan dolayı döşemeler kaldırılmıştır ve döşemeye gelen yükler, kirişlere etkitilmiştir.
- 3) Binanın üç boyutlu modelinde, perde elemanları shell eleman yerine, çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Çünkü Şekil 4.23'deki gibi shell eleman olarak boyutlanan perdeler analiz süresini çok uzatmaktadır. Şekil 4.24'de gösterildiği gibi çubuk eleman olarak tanımlanan her bir perde elemanın üstüne sonsuz rijit kiriş tanımlanmıştır. Sonsuz rijit kirişin ağırlığı ve kütlesi ihmal edilmiştir. Sonsuz rijit kirişlerin rijit eleman olarak çalışabilmesi için eleman kesitinin 2 ve 3 yerel eksenleri doğrultusundaki atalet momentleri ile ilgili katsayı değeri 1 alınmasına rağmen yükseklikleri kat yükseliği 3.4 metre alınmıştır [15].



Şekil 4.23 : Shell eleman olarak oluşturulan perde modeli.



Şekil 4.24 : Çubuk eleman olarak oluşturulan perde modeli.

- 4) Plastik mafsallar kiriş, kolon ve perde elemanlar için tüm katlarda tanımlanmıştır.
- 5) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde çözüm süresini azaltmak için P-delta etkileri ihmal edilmiştir. Fakat zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde daha gerçekçi sonuçlar alınabilmesi için P-delta etkilerinin de dikkate alınması gerekebilir.

4.4.4 Analizde kullanılacak deprem kayıtlarının seçilmesi

Deprem yönetmeliğine göre analizde kullanılacak, en az üç adet depremin, ivme kayıtlarının uyması gereken koşulları aşağıdaki gibidir [1]:

- a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- b) Deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.
- c) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için bulunan spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyot T_1 'e göre $0.2 T_1$ ile $2 T_1$ arasındaki periyotlar için, DBYBHY 2007 Bölüm 2.4'te tanımlanan spektrumun $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

Analizde kullanılan deprem kayıtlarında DBYBHY'ye göre üretilen iki adet ivme kaydı ve bir adet gerçek ivme kaydı, her iki yönde binaya etki ettirilerek toplam altı adet zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılmıştır.

Analizde kullanılan deprem kayıtlarının seçilmesinde deprem yönetmeliğinin şart biçtiği koşullara uyulmuştur. Birinci koşula göre, depremlerin süresinin yapının birinci doğal titreşim periyodu 2.988 s.'nin beş katından ve 15 s.'den uzun olması gerekir. Yapay olarak üretilmiş deprem kayıtlarının süresi 25 s. ve Erzincan depreminin süresi 20.94 s. olduğu için bu depremlerin süreleri yönetmeliğin istediği deprem sürelerinden oldukça fazladır.

Deprem yönetmeliğinde istenen koşullardan ikincisine göre, seçilen deprem kayıtlarının sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır. Sıfır priyoda karşı gelen spektral ivme değerleri Çizelge 4.5'de verilmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için ikinci şartın sağlandığı aşağıda gösterilmiştir.

$$[420.73 + 405.29 + 488.30] / 3 = 438.11 \text{ cm/sn}^2 > 392.4 \text{ cm/sn}^2 = 0.4 \times 981 \text{ cm/s}^2$$

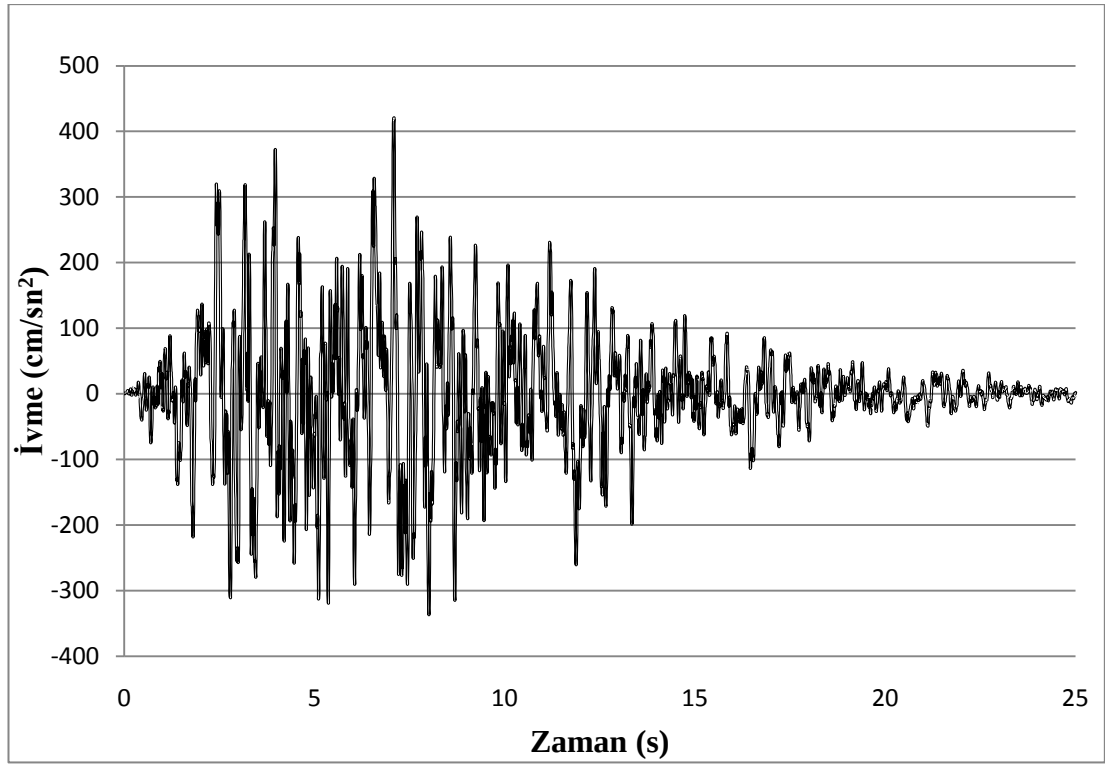
Deprem yönetmeliğinin istediği şartların üçüncüsü olan ortalama değerleri alınan spektrumun $S_{ae}(t)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmadığı Şekil 4.29'da gösterilmiştir.

Deprem yönetmeliğinin istediği koşulları sağlayan Z2 yerel zemin sınıfı için tanımlanan elastik ivme spektrumu ile benzerlik gösteren deprem kayıtlarının özellikleri Çizelge 4.8’de özetlenmiştir.

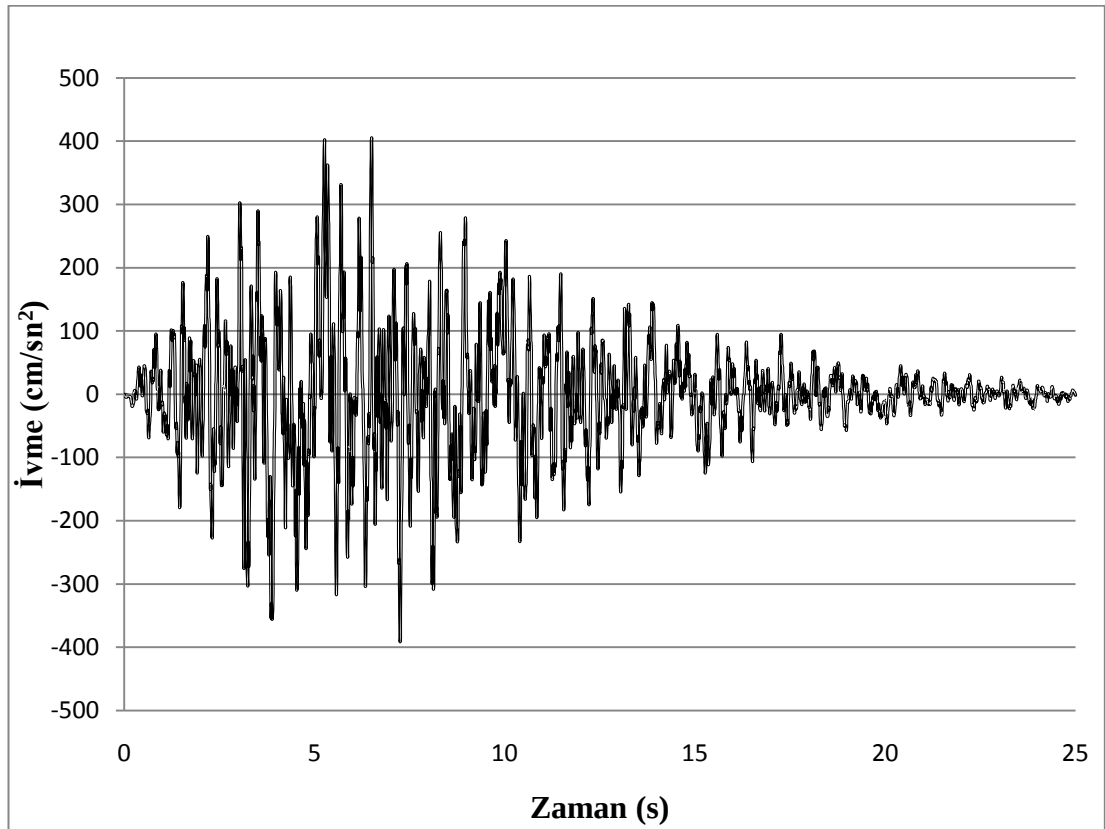
Çizelge 4.8 : Analizde kullanılan deprem kayıtları.

Deprem	Süre (sn)	Toplam Adım Sayısı	Analiz Zaman İlerleme Aralığı	Veri Çıktı Zaman İlerleme Aralığı	T=0 anında elastik spektral ivme değeri (cm/s ²)
EQ1	25.00	2500	0.005	0.01	420.73
EQ2	25.00	2500	0.005	0.01	405.29
ERZİNCAN-DB	20.94	2094	0.01	0.01	488.30

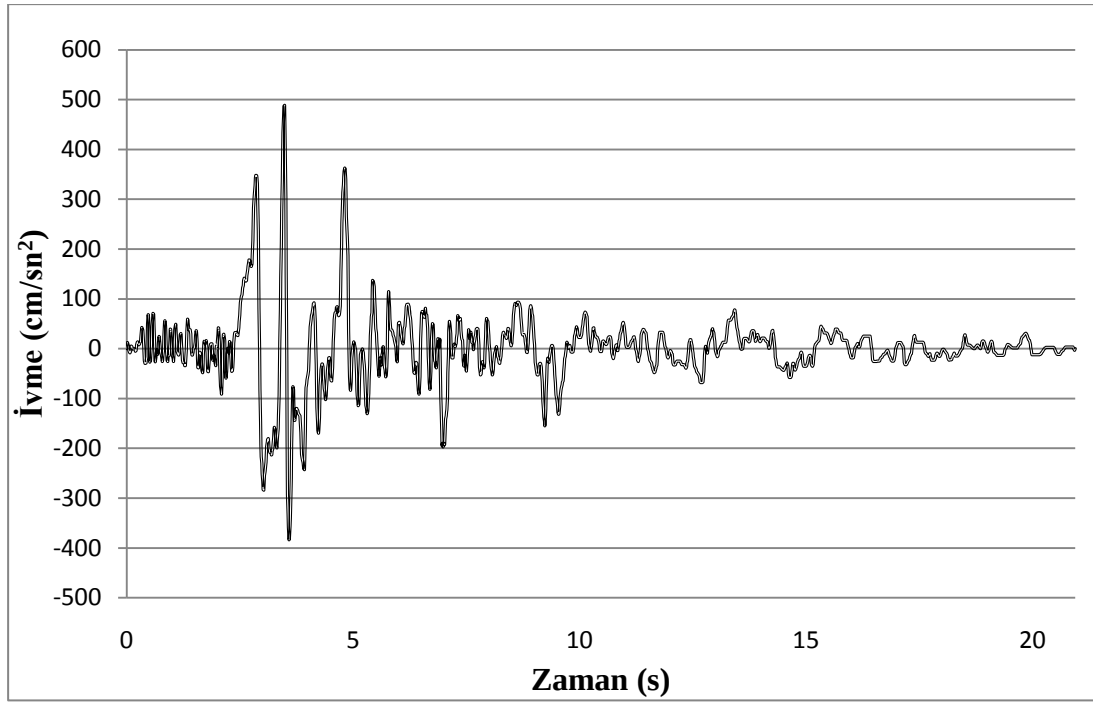
Çizelge 4.8’de gösterilen belirlenen deprem kayıtları SeismoSignal programı yardımıyla incelenmiş ve spektral ivme-periyot geçmişine dönüştürülüp ivme spektrumu ile karşılaştırılmıştır [16]. EQ1 ve EQ2 deprem kayıtları yapay yollarla üretilmiş deprem kayıtları olup Erzinca-DB deprem kaydı gerçek deprem kaydı olmaktadır. Belirlenen deprem kayıtları Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.25 : Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-EQ1.

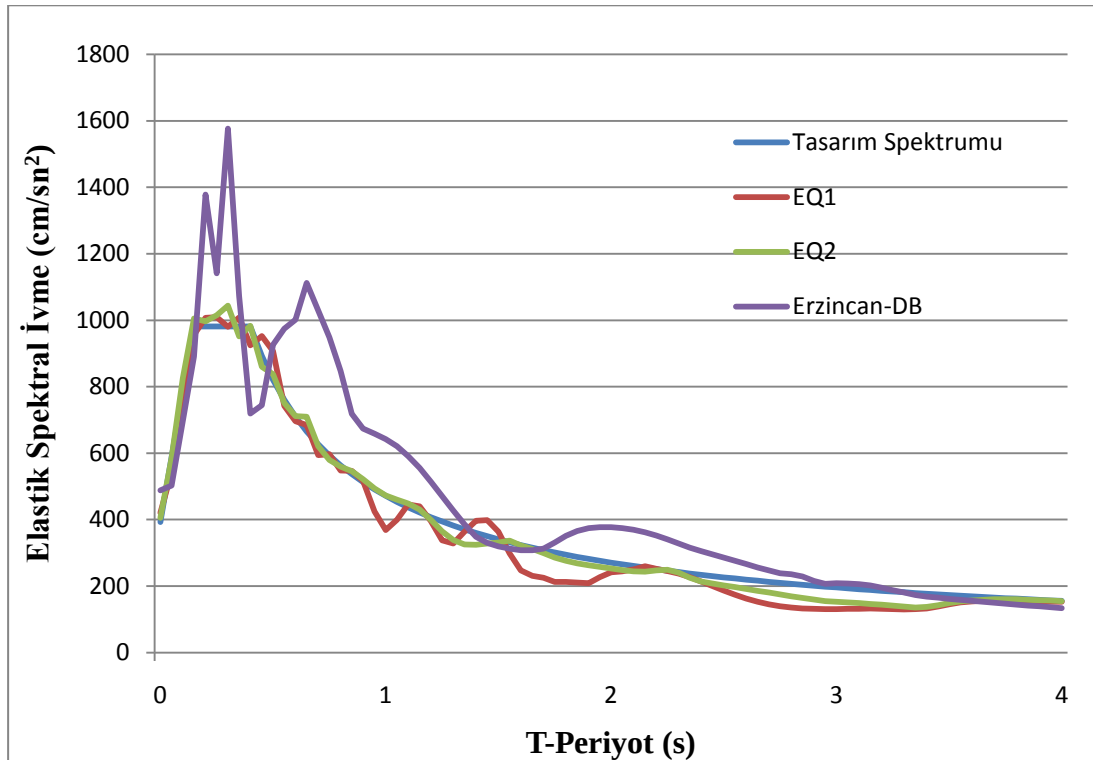


Şekil 4.26 : Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-EQ2.



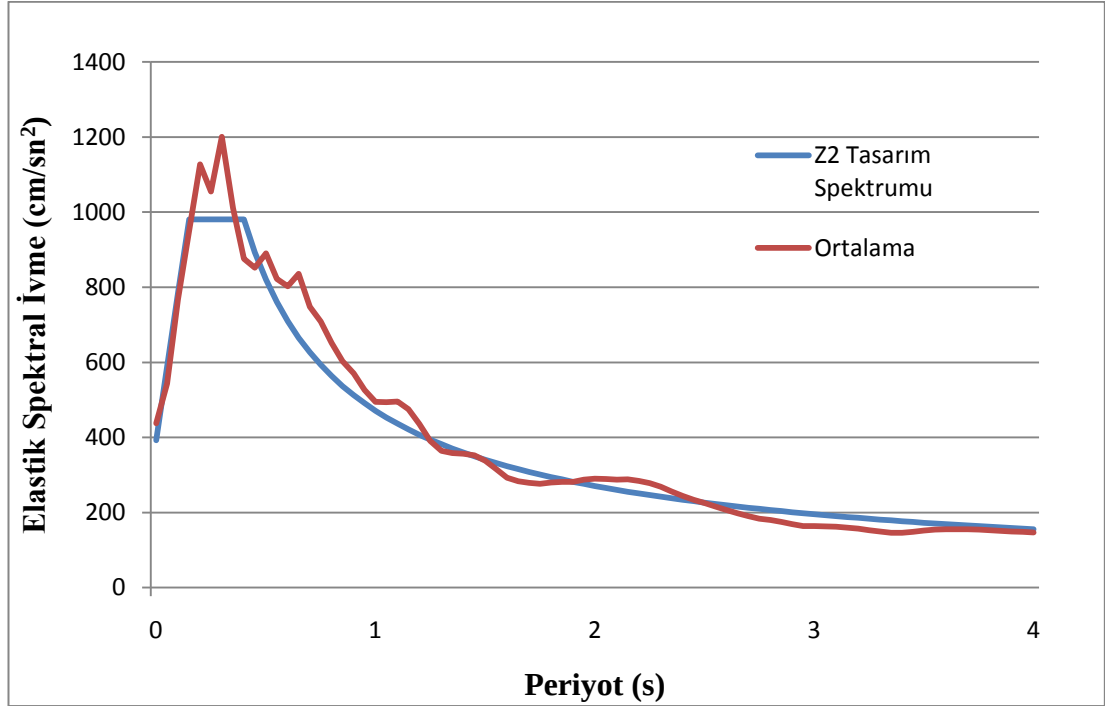
Şekil 4.27 : Erzincan-DB deprem kaydı.

SeismoSignal programı yardımıyla spektral ivme-periyot geçmişine dönüştürülmüş deprem kayıtları ve Z2 yerel zemin sınıfına göre tanımlanan Tasarım Spektrumu Şekil 4.28’de üst üste gösterilmiştir.



Şekil 4.28 : Elastik spektral ivme – periyot.

Ortalama değerleri alınan deprem kayıtlarının Z2 yerel zemin sınıfı için tanımlanan $S_{ae}(t)$ elastik ivme spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmadığı Şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29 : Ortalama elastik spektral ivme – periyot.

4.4.5 SAP2000'de analiz durumunun oluşturulması

SAP2000'de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için yüklemeye ait veri girişi ve tanımlamaları Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de yüklemelerden biri için gösterilmiştir. Şekil 4.30'da gösterildiği gibi zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizden önce yine kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılmış ve bu analizin sonuçları zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin başlangıç koşulları olarak dikkate alınmıştır. Şekil 4.31'de doğrusal olmayan statik analiz örneği gösterilmiştir. Doğrusal olmayan statik analiz için tepe yer değiştirmesi, yapının en üst kat kütle merkezi noktasının ya da bu noktaya yakın bir noktanın yer değiştirmesi olarak izlenmesi gerektiği için SAP2000'de bu koşula uygun olacak bir nokta gözlem noktası olarak tanımlanmıştır.

Şekil 4.31'de gösterilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için veri girişi örneğinde, "Load Case Name" bölümünde Erzincan_u1 olarak isimlendirilen deprem durumunda Erzincan depremi kaydının binaya "u1" yönünde etkitildiğini göstermektedir. Analiz tipi "Nonlinear Time History" dir. "Time History" tipi olarak

“Direct Integration” seçilmiştir. Fakat analiz süresini kısaltmak için “Geometric Nonlinearity Parameters”, “None” olarak bırakılarak P-Delta etkileri ihmal edilmiştir. Erzincan depreminin ivme kaydı 20.94 saniye sürdüğü için veri çıktı zaman aralığı 0.01, toplam adım sayısı 2094 adım olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretilmiş deprem kayıtlarında ise daha önceden Çizelge 4.8’de belirtildiği gibi 0.005 zaman ilerleme aralığıyla ilerleyen 25 sn’lik depremlerde veri çıktı zaman aralığı 0.01 olarak ayarlanarak analiz süreleri kısaltılmıştır. “Nonlinear Parameters” bölümündeki “Damping” penceresinden binanın ilk iki periyodu değerlerinin %5’i oranında sönüm tanımlanmıştır. Ayrıca “Time Integration” bölümünde “Newmark” entegrasyon yöntemi seçilmiştir. SAP2000 programı bu periyod değerleri için sönüm oranını kendisi hesaplamaktadır.

Load Case Data - Nonlinear Static

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

Load Case Type: Static [Design...]

Initial Conditions:

- ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☐ Continue from State at End of Nonlinear Case []

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

Analysis Type:

- ☐ Linear
- ☒ Nonlinear
- ☐ Nonlinear Staged Construction

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case EIGENMODES

Geometric Nonlinearity Parameters:

- ☒ None
- ☐ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	G1	1.
Load Pattern	G1	1.
Load Pattern	G2	1.
Load Pattern	Q	0.3

[Add] [Modify] [Delete]

Other Parameters:

- Load Application: Full Load [Modify/Show...]
- Results Saved: Final State Only [Modify/Show...]
- Nonlinear Parameters: User Defined [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 4.30 : Doğrusal olmayan statik analiz için veri girişine örnek.

Load Case Data - Nonlinear Direct Integration History

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

Load Case Type: Design...

Initial Conditions:

☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☒ Continue from State at End of Nonlinear Case

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

Modal Load Case:

Use Modes from Case

Analysis Type:

☐ Linear

☒ Nonlinear

Time History Type:

☐ Modal

☒ Direct Integration

Geometric Nonlinearity Parameters:

☒ None

☐ P-Delta

☐ P-Delta plus Large Displacements

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	erzincan	0.01
Accel	U1	erzincan	0.01

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Time Step Data:

Number of Output Time Steps:

Output Time Step Size:

Time History Motion Type:

☒ Transient

☐ Periodic

Other Parameters:

Damping: Modify/Show...

Time Integration: Modify/Show...

Nonlinear Parameters: Modify/Show...

OK Cancel

Şekil 4.31 : Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz için veri girişine örnek.

DBYBHY'ye göre üretilen iki deprem kaydı EQ1 ile EQ2 ve gerçek deprem kaydı olan Erzincan-DB deprem kaydı her iki yönde de ayrı ayrı etki ettirilmiştir ve toplam 6 tane zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapıya uygulanmıştır.

4.5 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez çalışmasında, iki adet yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı ve bir adet gerçek deprem kaydı 30 katlı betonarme binaya her iki yönde (X ve Y doğrultularında) ayrı ayrı uygulanarak zaman tanım alanında analizin sonuçları hesaplanmıştır. Yapısal elemanların uçlarına yerleştirilen mafsallarda zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda plastik mafsallar oluşmuştur. Analiz esnasında plastikleşen kesitler, beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirmesi sayesinde belirli bir

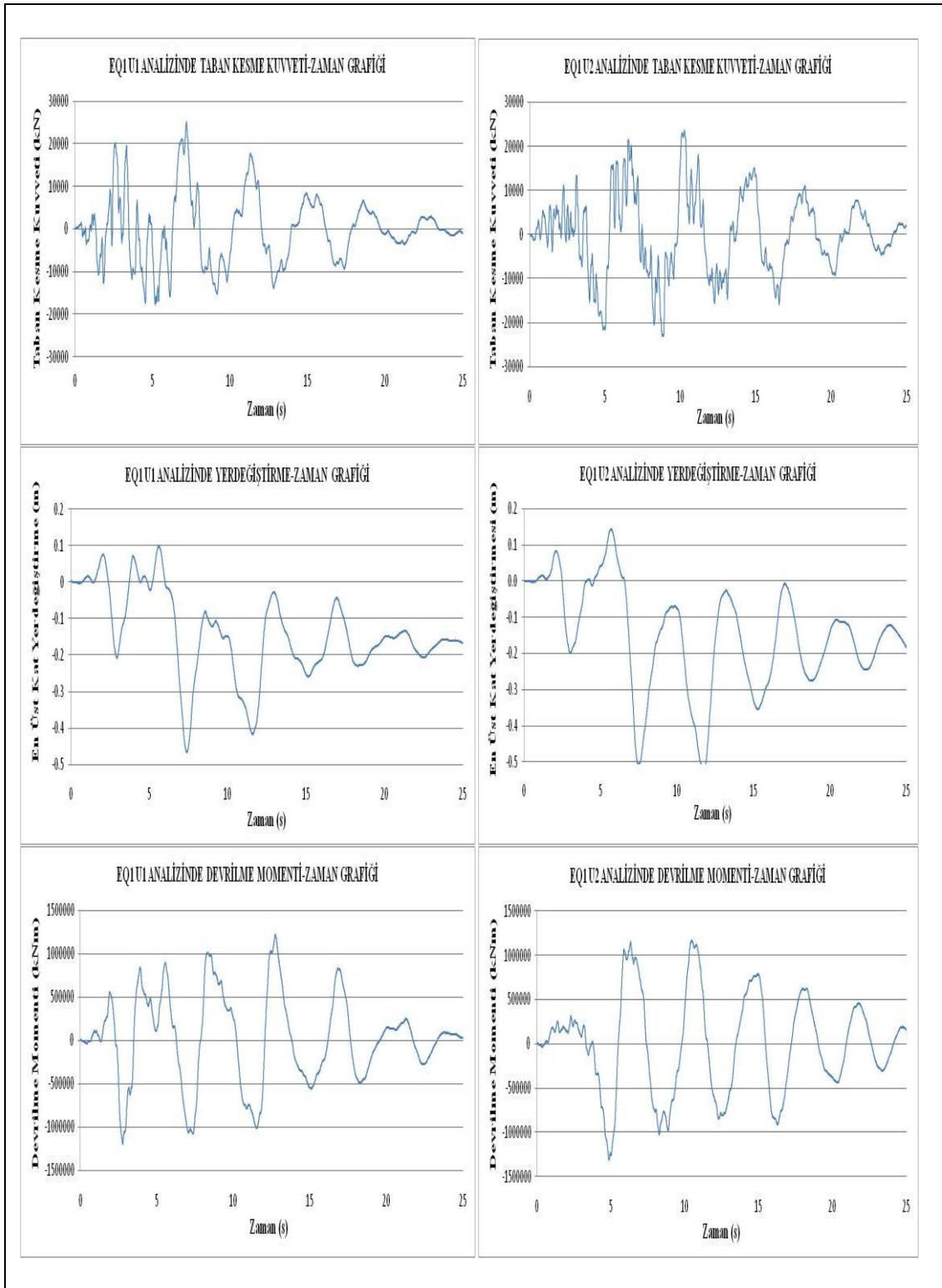
miktarda plastik dönme yapmışlardır. SAP2000 programı bu plastik dönme değerlerini, eleman kesitlerinin kendi yerel eksenleri (2 ve 3 yerel eksenleri) çerçevesinde verebilmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonucunda her iki yönde üçer adet olmak üzere toplam altı adet analiz için sonuç alınmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre her iki yönde elde edilen sonuçların en elverişsiz olanları değerlendirilmeye alınmıştır.

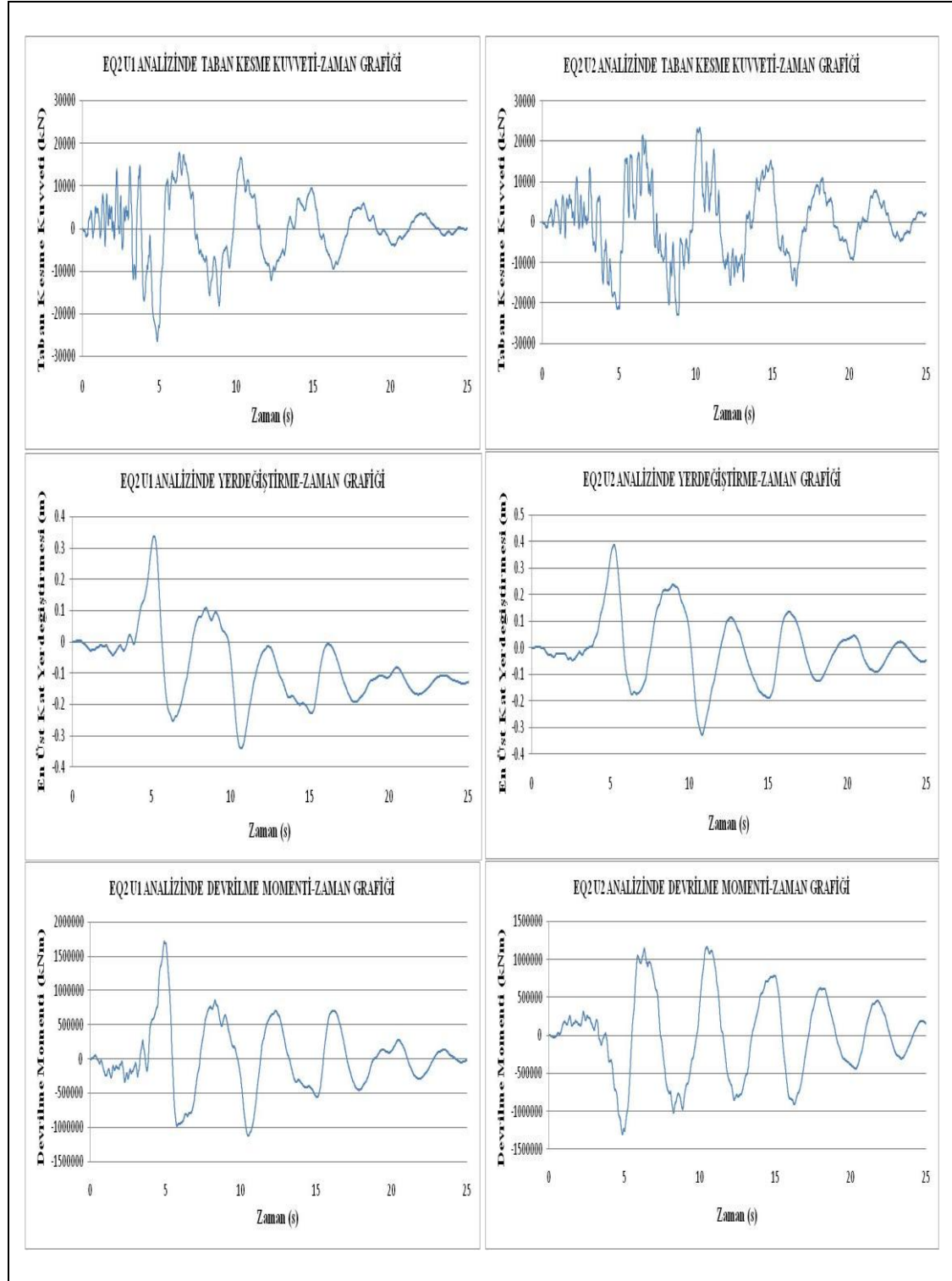
Çözümlemeler sonucu elde edilen plastik dönme değerleri plastik eğriliğe çevrilmiştir ve bu plastik eğrilik değeri akma eğriliği ile birlikte o kesitte oluşan toplam eğrilik değeri olarak hesaplanmıştır. Toplam eğrilik değerine karşı gelen beton birim basınç şekil değiştirmesi ve donatı birim uzama şekil değiştirmesi değerleri SAP2000 programında “Section Designer” bölümünde yönetmeliğin izin verdiği şekil değiştirme sınır değerleri çerçevesinde kontrol edilmiştir ve yapısal elemanların bulundukları hasar bölgeleri belirlenmiştir.

4.5.1 Yapıya etki eden deprem etkileri

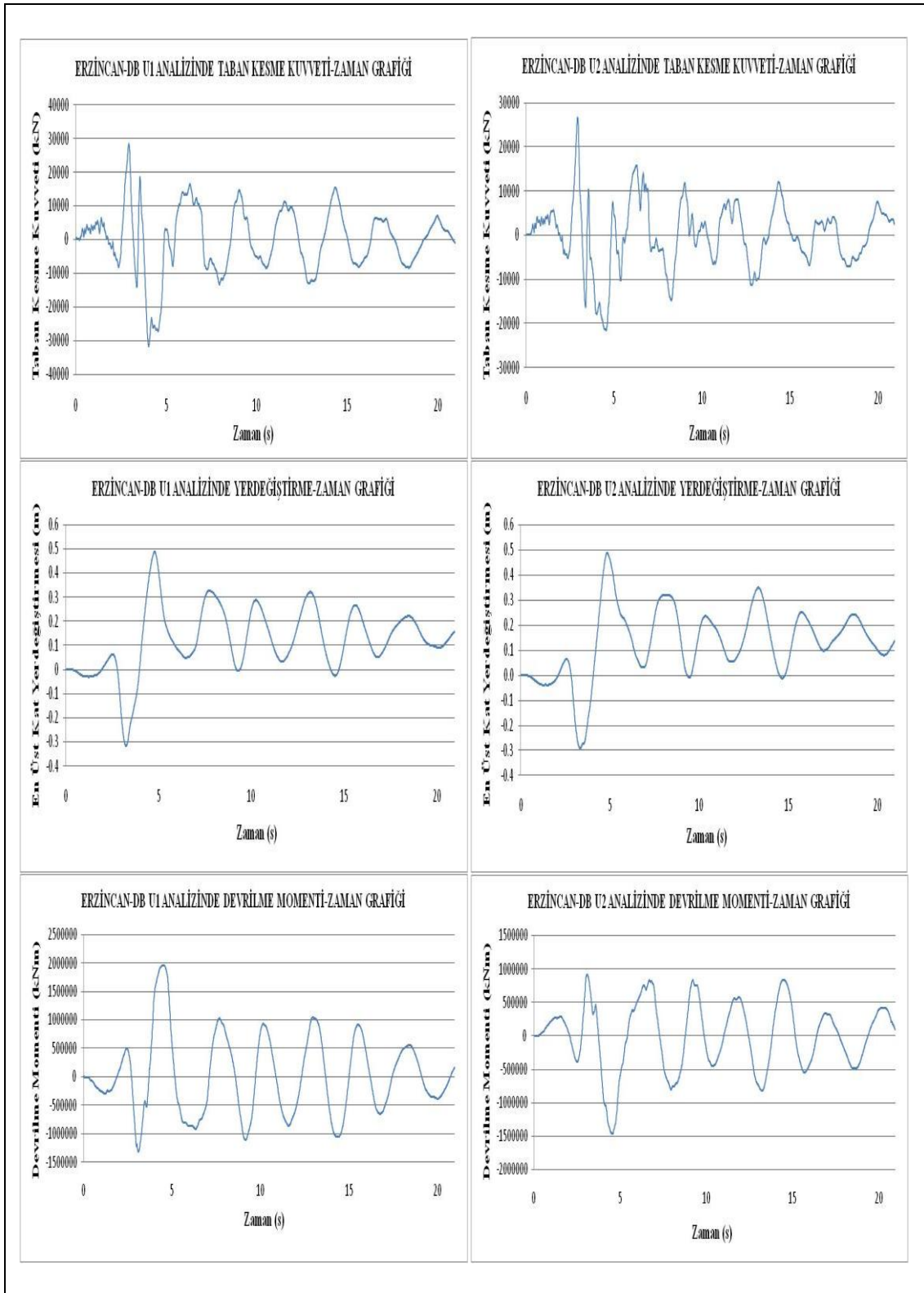
Farklı deprem kayıtlarına bağlı olarak yapılan 6 analiz sonucunda yapıya etkileyen deprem parametreleri ve yerdeğiştirmeler de analiz sonuçlarında elde edilmiştir. Bu anlamda her bir farklı analiz için 3 farklı parametre değerlendirilmiş bunların zamana bağlı değişimleri şekillerle grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu analizler sonucunda x ve y deprem doğrultularında ayrı ayrı olmak kaydı ile taban kesme kuvveti, en üst kat yerdeğiştirmesi ve devrilme momenti ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Aşağıdaki şekillerde Şekil 4.32, 4.33, 4.34’te her bir deprem farklı analiz için bu 3 parametre zamana bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.32 : EQ1 depreminin u1 ve u2 analizleri için deprem etkileri.



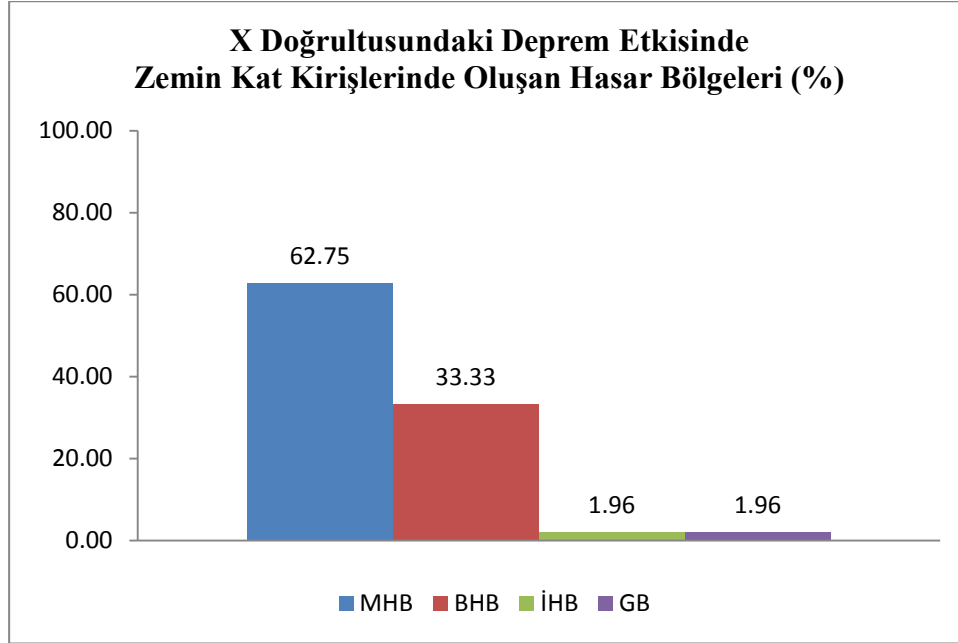
Şekil 4.33 : EQ2 depreminin u1 ve u2 analizleri için deprem etkileri.



Şekil 4.34 : Erzincan-DB depreminin u1 ve u2 analizleri için deprem etkileri.

4.5.2 Kirişlerin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

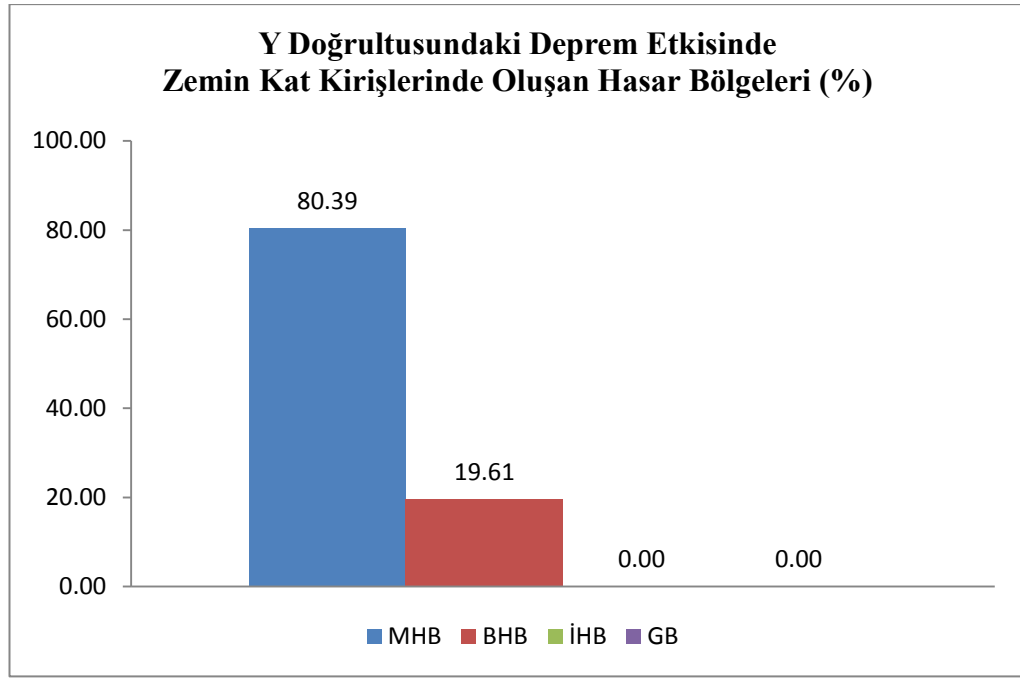
Tüm katlar boyunca kirişlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu beton ve donatı malzemesinde oluşan şekil değiştirme değerleri kontrol edilmiştir. Zemin kat kirişleri için X deprem doğrultusunda bulunan şekil değiştirmelerine göre belirlenen hasar bölgeleri Şekil 4.35’de gösterilmiştir.



Şekil 4.35 : X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%).

Şekil 4.35’de gösterilen X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgelerine göre, zemin kat kirişlerinin %33.33’ü Belirgin Hasar Bölgesinde, %1.96’sı İleri Hasar Bölgesinde, %1.96’sı Göçme Bölgesinde bulunmaktadır.

Zemin kat kirişleri için Y deprem doğrultusunda bulunan şekil değiştirme değerlerine göre belirlenen hasar bölgeleri Şekil 4.36’da gösterilmiştir.

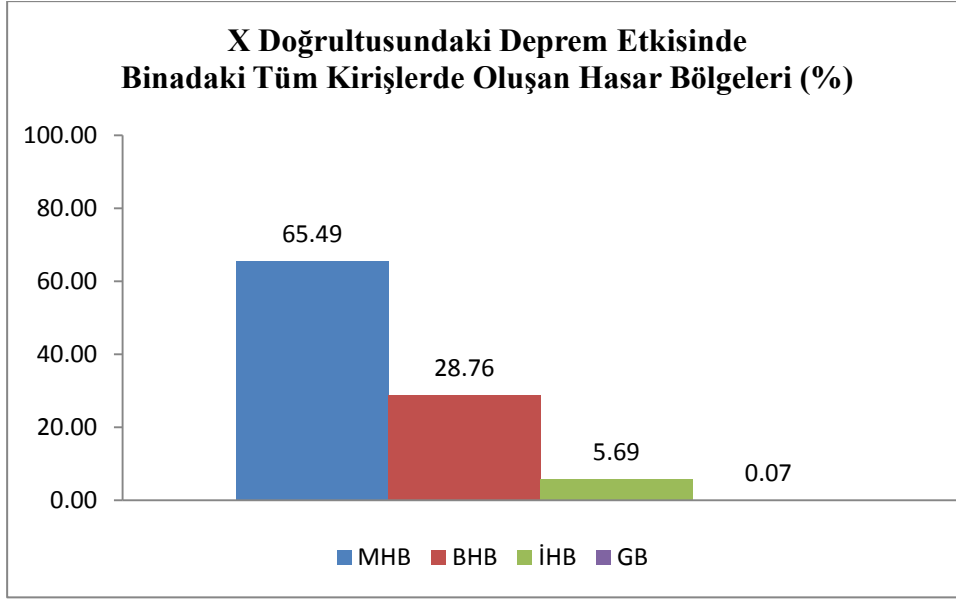


Şekil 4.36 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%).

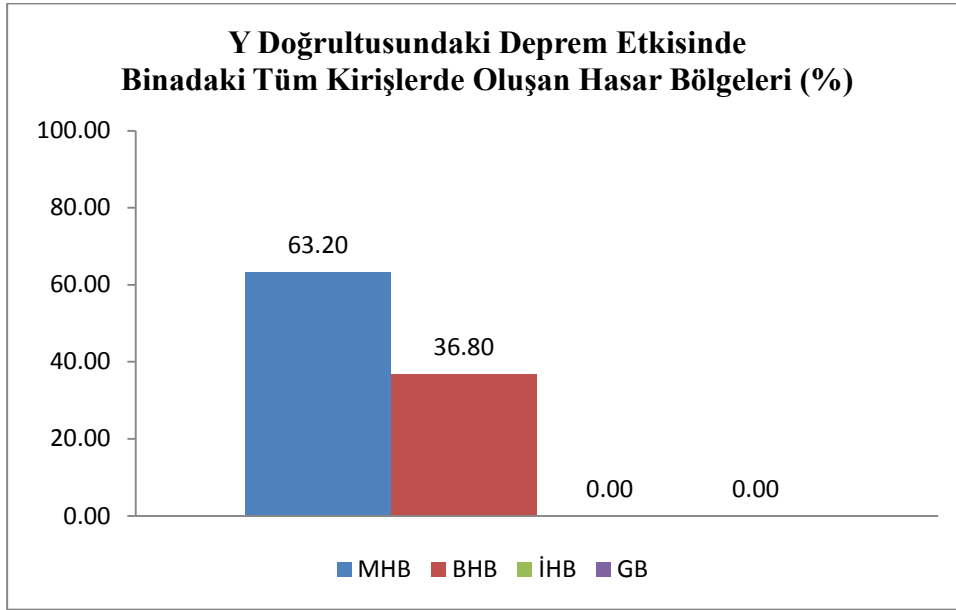
Şekil 4.36’da gösterilen Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgelerine göre, zemin kat kirişlerinin %19.61’i Belirgin Hasar Bölgesinde bulunmaktadır.

X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasarlarda oluşan şekil değiştirme değerleri, donatı malzemesi için belirlenen şekil değiştirme sınır değerlerini aştığı için kirişlerde hasarlar meydana gelmektedir. Beton malzemesi için oluşan şekil değiştirme değerleri, minimum hasar bölgesi için belirlenen 0,0035 değerinden daha düşük kaldığı için kirişler beton malzemesinden dolayı hasar görmemektedir.

Ayrıca, binada bulunan tüm kirişlerin hasar bölgeleri incelenmiş olup X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde yüzde bakımından hasar bölgeleri Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.37 : X doğrultusundaki deprem etkisinde binadaki tüm kirişlerde meydana gelen hasar bölgeleri (%).



Şekil 4.38 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde binadaki tüm kirişlerde meydana gelen hasar bölgeleri (%).

Analiz sonucunda kirişlerde hasar tespiti için bir örnek;

X doğrultusunda deprem etkisi altında, zemin kat 35x60 boyutlarındaki kirişlerden biri olan 72 numaralı kiriş için birim şekil değiştirme istemleri belirlenmiştir ve bulunduğu hasar bölgesi aşağıda gösterilmiştir:

$$\theta_{p,sol} = 0,013367 \text{ rad (SAP2000'den okundu)}$$

$$\theta_{p,sağ} = 0,011519 \text{ rad (SAP2000'den okundu)}$$

Plastik mafsal boyu olarak kesit derinliğinin yarısı olarak hesaplanabilir ($h=0,6$ m).

$$L_p = 0,5h = 0,3 \text{ m}$$

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) yardımıyla plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik ve toplam eğrilik değerleri elde edilir.

$$\theta_p = \frac{\theta_p}{L_p} = 0,0445 \text{ rad/m (sol uçtaki plastik eğrilik)}$$

$$\theta_p = \frac{\theta_p}{L_p} = 0,0384 \text{ rad/m (sağ uçtaki plastik eğrilik)}$$

$$\theta_y = 0,004715 \text{ rad (35x60 boyutlarındaki kirişin X doğrultusundaki akma eğriliği)}$$

$$\theta_t = \theta_y + \theta_p = 0,049265 \text{ rad/m (sol uçtaki toplam eğrilik)}$$

$$= 0,04311 \text{ rad/m (sağ uçtaki toplam eğrilik)}$$

Denklem (3.4) bağıntısında göre hesaplanan toplam eğrilik değeri, betonarme kolon ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeleyle orantılıdır. SAP2000 programının “Section Designer” bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile bakılan kirişteki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirmeler okunur:

$$\epsilon_c = 1,783 \times 10^{-3} \text{ (sol uçtaki plastik mafsalda betonun birim kısalması)}$$

$$\epsilon_s = 0,0262 \text{ (sol uçtaki plastik mafsalda donatının birim uzaması)}$$

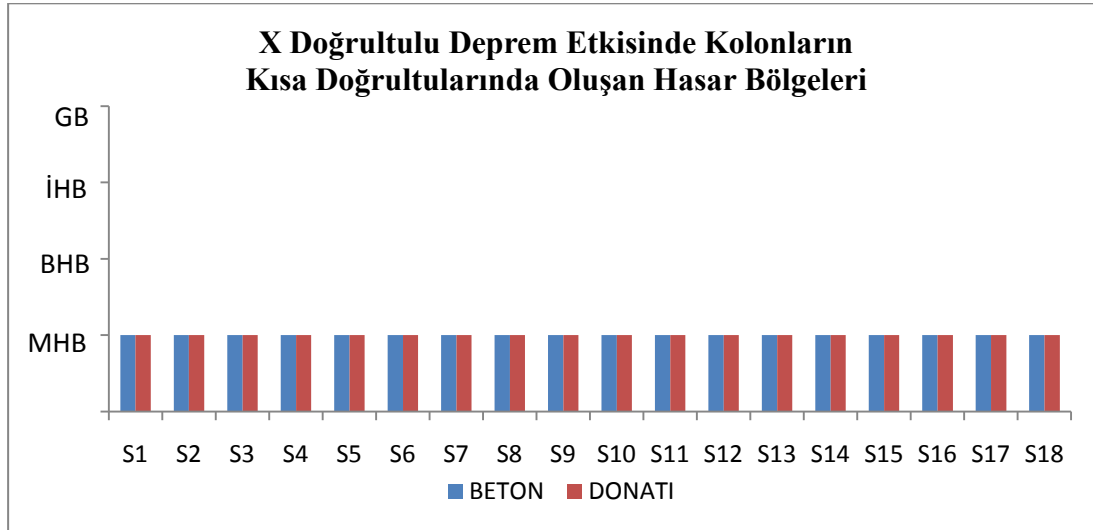
$$\epsilon_c = 1,626 \times 10^{-3} \text{ (sağ uçtaki plastik mafsalda betonun birim kısalması)}$$

$$\epsilon_s = 0,0228 \text{ (sağ uçtaki plastik mafsalda donatının birim uzaması)}$$

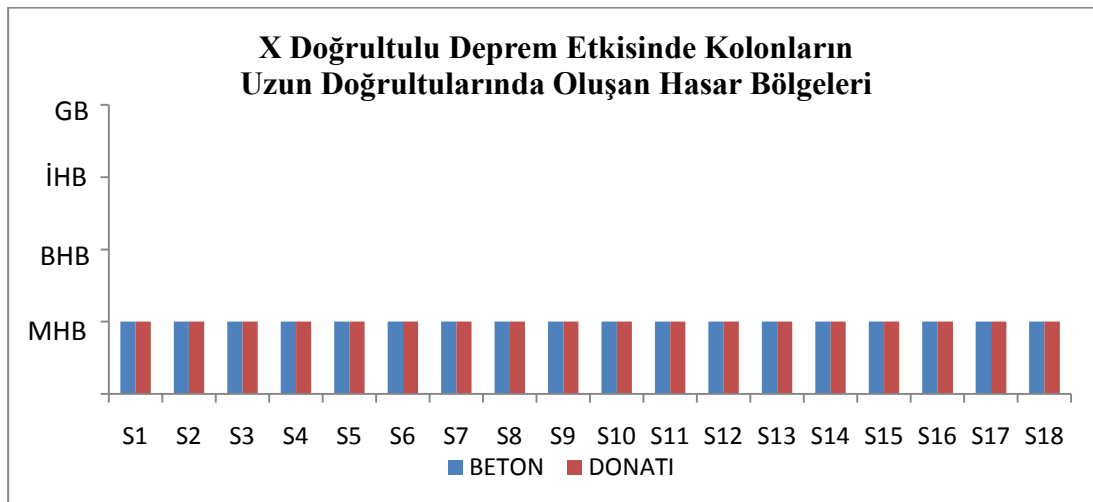
Bulunan beton ve donatı malzemesine ait birim şekil değiştirmeler Çizelge 3.2’de belirtilen kesit hasarlarına göre tanımlanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılır ve kesit hasar durumları belirlenir. Yapılan analizlerde kirişlerde enine donatının mevcut olmadığı kabulü yapılmıştır ve bunun için yapılan karşılaştırmalarda sargısız duruma ait şekil değiştirme değerleri kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda, beton malzemesi için betonun birim kısalma değeri minimum hasar sınırı 0,0035 değerini geçmemektedir. Fakat donatı malzemesi için minimum hasar sınırı 0.01 değerini geçmiş olup güvenlik hasar sınırı 0.04 değerinden küçük kalmaktadır. Zemin katta bulunan 35x60 boyutlarındaki 72 numaralı kiriş, donatı malzemesi bakımından minimum hasar sınırı değerini aştığı için Belirgin Hasar Bölgesinde bulunmaktadır.

4.5.3 Kolonların analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde incelenen kolonlarda oluşan plastik mafsalların meydana getirdiği beton ve donatı malzemesindeki şekil değiştirmeler ve bu şekil değiştirme değerlerine göre kolonlarda meydana gelen hasar bölgeleri belirlenmiştir. SAP2000 programı analiz sonuçlarında, plastik dönme değerlerini kolonların yerel eksenlerine göre vermektedir. Programdan alınan plastik dönme değerleri, perdelerin kendi yerel eksenlerine göre belirlenen plastik eğrilik değerine çevrilmiştir. Zemin kat kolonlarında X deprem doğrultusunda oluşan hasar bölgeleri, kolonların kısa ve uzun doğrultularına göre belirlenmiştir ve hasar bölgeleri Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da gösterilmiştir.



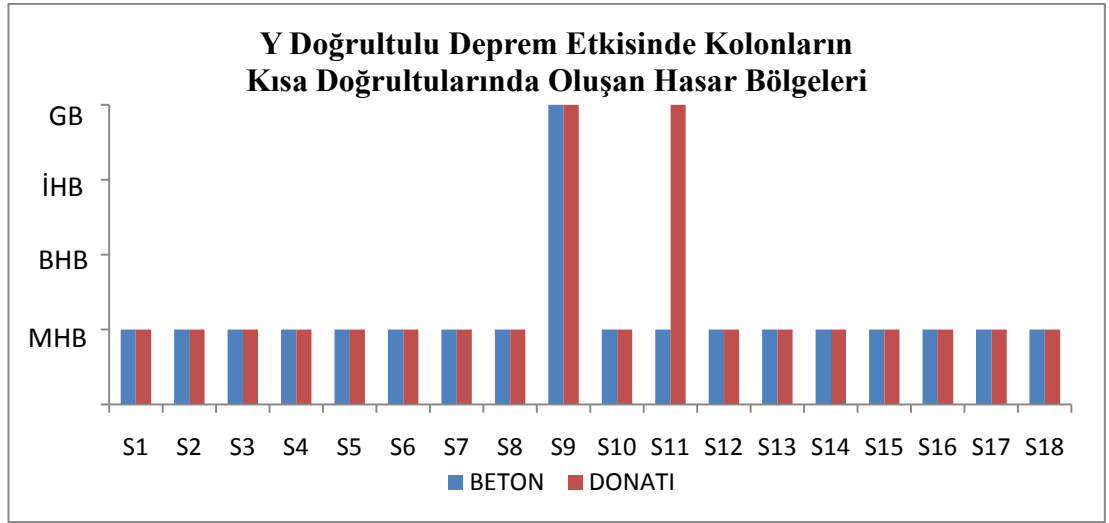
Şekil 4.39 : X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının kısa doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.



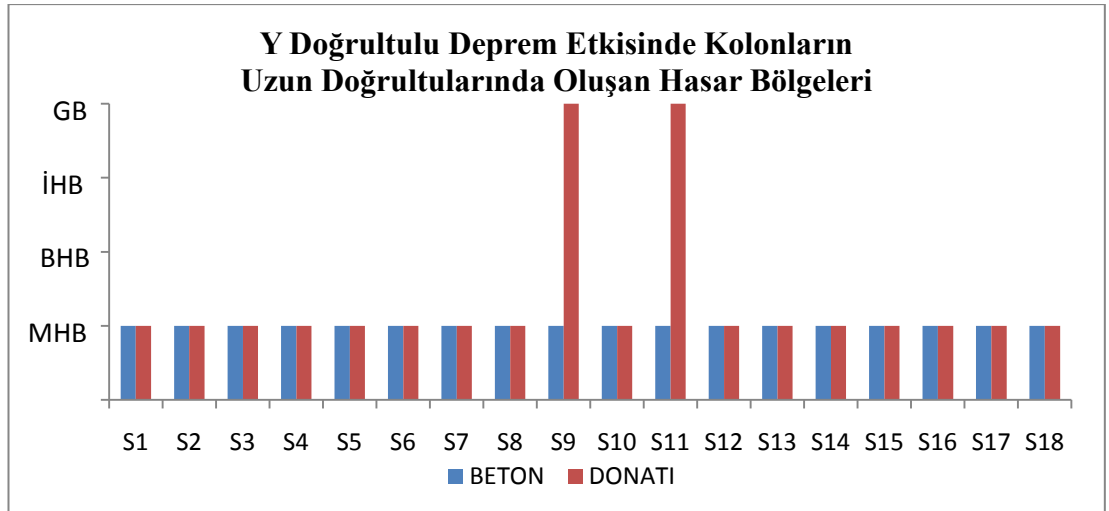
Şekil 4.40 : X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının uzun doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.

X deprem doğrultusunda zemin kat kolonlarının büyük çoğunluğunda plastik mafsall oluşmamaktadır. Sadece 35x120 boyutlarında olan S9 ve S11 kolonlarında plastik mafsallar oluşmaktadır ve bu kolonlarda oluşan hasarlar minimum hasar bölgesinde kalmaktadır. Şekil 4.39 ve Şekil 4.40’da gösterildiği gibi plastik mafsall oluşmayan kolonların minimum hasar bölgesinde oldukları kabul edilmiştir.

Zemin kat kolonlarında Y deprem doğrultusunda oluşan hasar bölgeleri, kolonların kısa ve uzun doğrultularına göre belirlenmiştir ve hasar bölgeleri Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de gösterilmiştir.



Şekil 4.41 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının kısa doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.



Şekil 4.42 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarının uzun doğrultularında meydana gelen hasar bölgeleri.

Y deprem doğrultusunda zemin kat kolonlarının büyük çoğunluğunda plastik mafsall oluşmamaktadır. Sadece 35x120 boyutlarında olan S9 ve S11 kolonlarında plastik mafsallar oluşmaktadır ve bu kolonlarda oluşan plastik mafsallarda meydana gelen dönme değerlerine göre belirlenen hasar bölgeleri Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Ayrıca, plastik mafsall oluşmayan kolonların minimum hasar bölgesinde oldukları kabul edilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre zemin kat kolonlarının % 11’i göçme bölgesinde, geri kalan kısmı minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır.

Analiz sonucunda kolonlarda hasar tespiti için bir örnek;

X doğrultusunda deprem etkisi altında, zemin kat 35x120 boyutlarındaki kolonlardan biri olan 101 numaralı (S9) kolonun uzun doğrultusu için birim şekil değiştirme istemleri belirlenmiştir ve bulunduğu hasar bölgesi aşağıda gösterilmiştir.

$$\theta_p = 0,001139 \text{ rad (S9 kolonunun alt ucundaki plastik mafsall dönmesi)}$$

Plastik mafsall boyu olarak 35x120 boyutlarındaki kolonun X doğrultusundaki deprem etkisinde eğilmeye çalışan kısmının yarısı ile ifade edilen plastik mafsall boyu:

$$L_p = 0,5h = 0,6 \text{ m}$$

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) yardımıyla plastik dönme değeri plastik mafsall boyuna bölünerek plastik eğrilik ve toplam eğrilik değerleri elde edilir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = 0,00189 \text{ rad/m}$$

$$\phi_y = 0,00335 \text{ rad/m (35x120 boyutlarında perdenin X doğrultusundaki akma eğriliği)}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0,00524 \text{ rad/m}$$

Denklem (3.4) bağıntısında göre hesaplanan toplam eğrilik değeri, beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeleleriyle orantılıdır. Perdelerde ve kolonlarda, kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet etkisi altındadır. SAP2000 programının “Section Designer” bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile bakılan perdedeki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirmeler okunur:

$$\varepsilon_c = 1,871 \times 10^{-3}$$

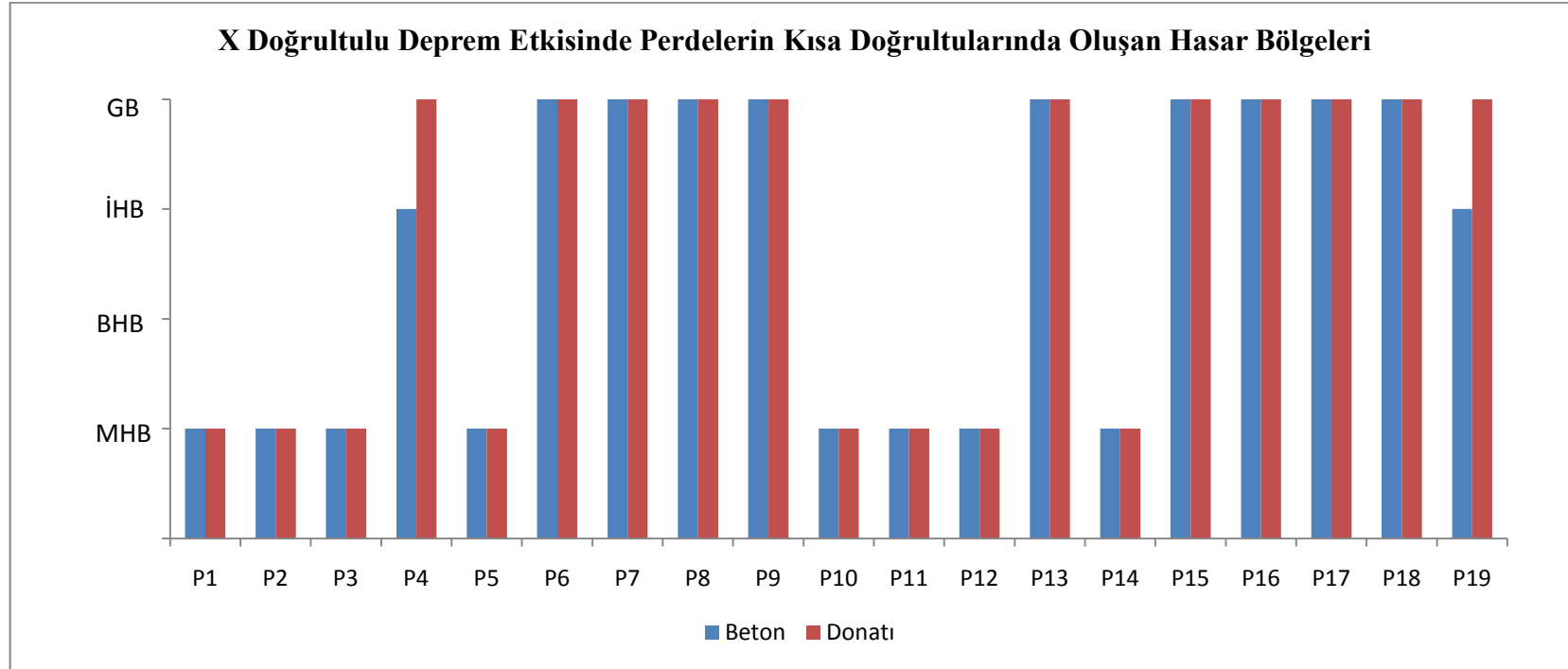
$$\varepsilon_s = 4,212 \times 10^{-3}$$

Bulunan beton ve donatı malzemesine ait birim şekil değiştirmeler Çizelge 3.2’de belirtilen kesit hasarlarına göre tanımlanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılır ve kesit hasar durumları belirlenir.

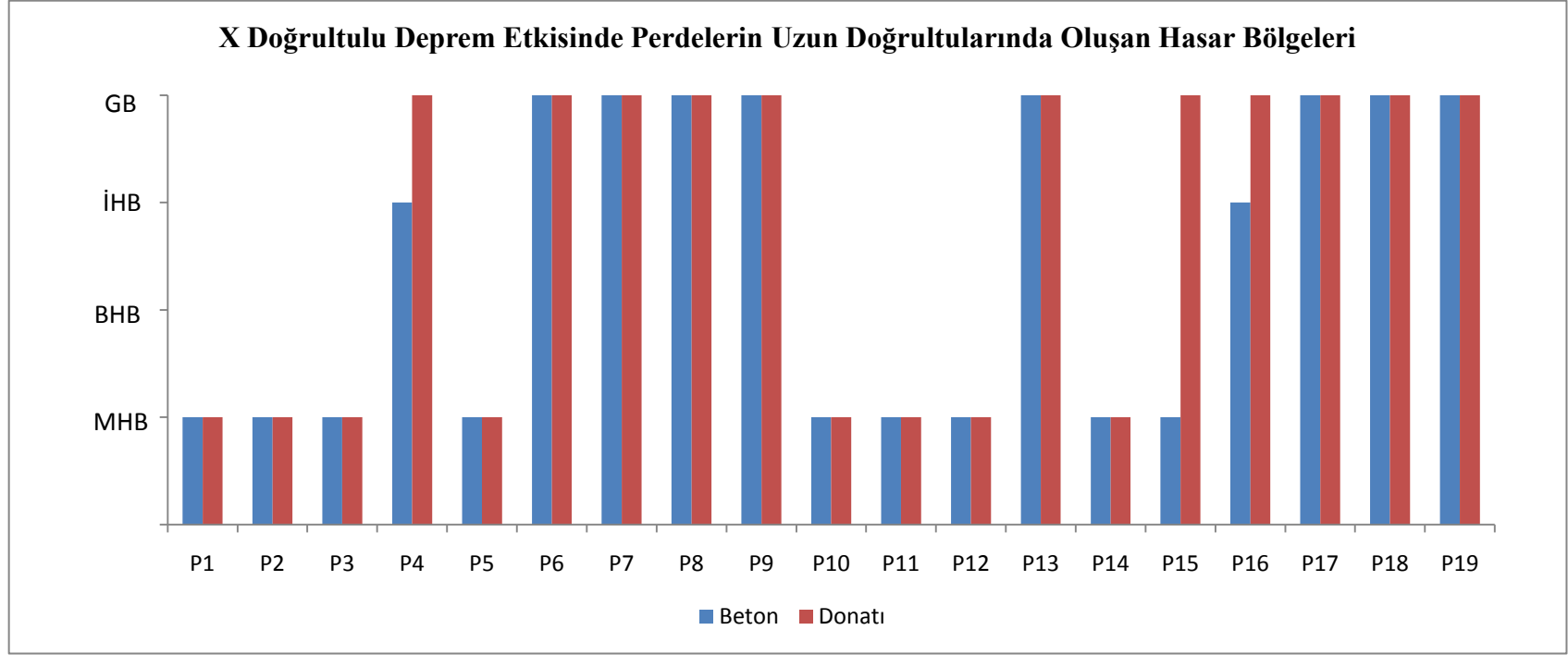
Yapılan analizlerde kolonlarda enine donatının mevcut olmadığı kabulü yapılmıştır ve bunun için yapılan karşılaştırmalarda sargısız duruma ait şekil değiştirme değerleri kullanılmıştır. Ayrıca perdeler eksenel kuvvet etkisi altında olduğu için, SAP2000’de yapılan beton ve donatı malzemesi şekil değiştirmesi okumalarında eksenel kuvvet de göz önüne alınmaktadır. Yapılan karşılaştırmalarda, beton malzemesi için betonun birim kısalma değeri, minimum hasar sınırı değeri 0,0035’den küçük kalmaktadır. Donatı malzemesi için donatı birim uzama değeri, minimum hasar sınırı değeri 0,01’den küçüktür. Bundan dolayı, 35x120 boyutlarındaki S9 zemin kat kolonunun, 2455 kN eksenel basınç kuvveti altında X doğrultusunda deprem etkisinde minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır.

4.5.4 Perdelerin analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde incelenen perdelerde oluşan plastik mafsalların meydana getirdiği beton ve donatı malzemesindeki şekil değiştirmeler ve bu şekil değiştirme değerlerine göre perdelerde meydana gelen hasar bölgeleri belirlenmiştir. SAP2000 programı, analiz sonuçlarında plastik dönme değerlerini perdelerin yerel eksenlerine göre vermektedir. Plastik dönme değerleriyle, kolonlarda olduğu gibi plastik eğrilik ve toplam eğrilik değerleri bulunmuştur. Perdelerde hasar bölgelerinin belirlenmesi için kritik perde yüksekliği boyunca perdelerin incelenmesi yeterli görülmüştür. Bunun için perde elemanların 6 kat boyunca plastik dönme değerleri incelenmiş ve herhangi bir katta göçme meydana gelirse o perde kesitinin göçtüğü kabul edilmiştir. X deprem doğrultusunda kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerde oluşan hasar bölgeleri, perdelerin kısa ve uzun doğrultularına göre belirlenmiştir ve kritik perde yüksekliği boyunca perdelerde oluşan en elverişsiz hasar bölgeleri Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de gösterilmiştir.



Şekil 4.43 : X doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin kısa doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.



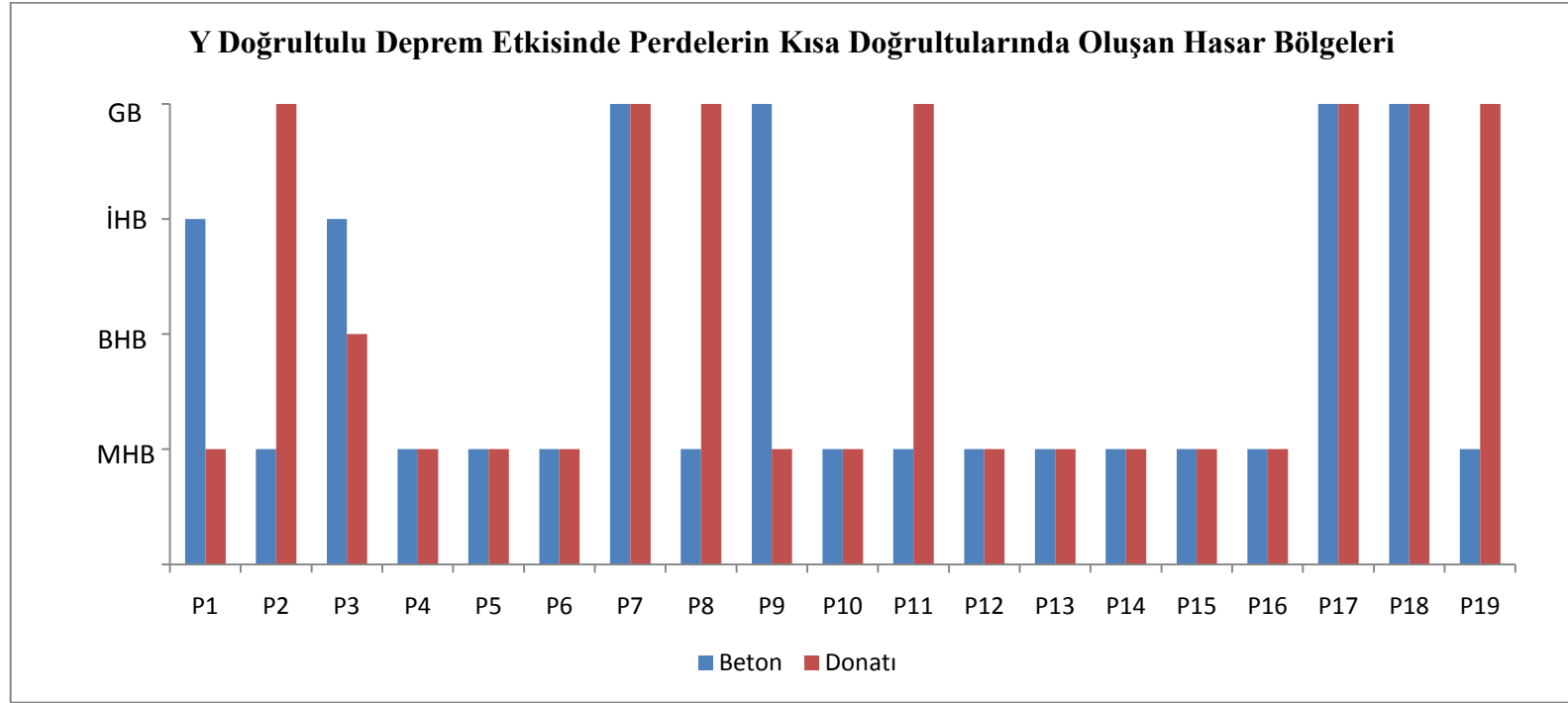
Şekil 4.44 : X doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin uzun doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.

X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerde meydana gelen hasar bölgeleri incelendiğinde perdelerin %58'i göçme bölgesinde, %42'si minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Perdeler, sadece beton malzemesinin sınır değerleri aşmasından, sadece donatı malzemesinin sınır değerleri aşmasından veya her iki malzemenin de sınır değerleri aşmasından dolayı hasar görmüştür. Bu hasarların oluşmasının en büyük nedenleri; perde kesitlerinde büyük eksenel kuvvetlerin oluşması ve minimum donatı koşullarına göre tasarlanan perdelerde donatı miktarlarının yeterli olmamasıdır.

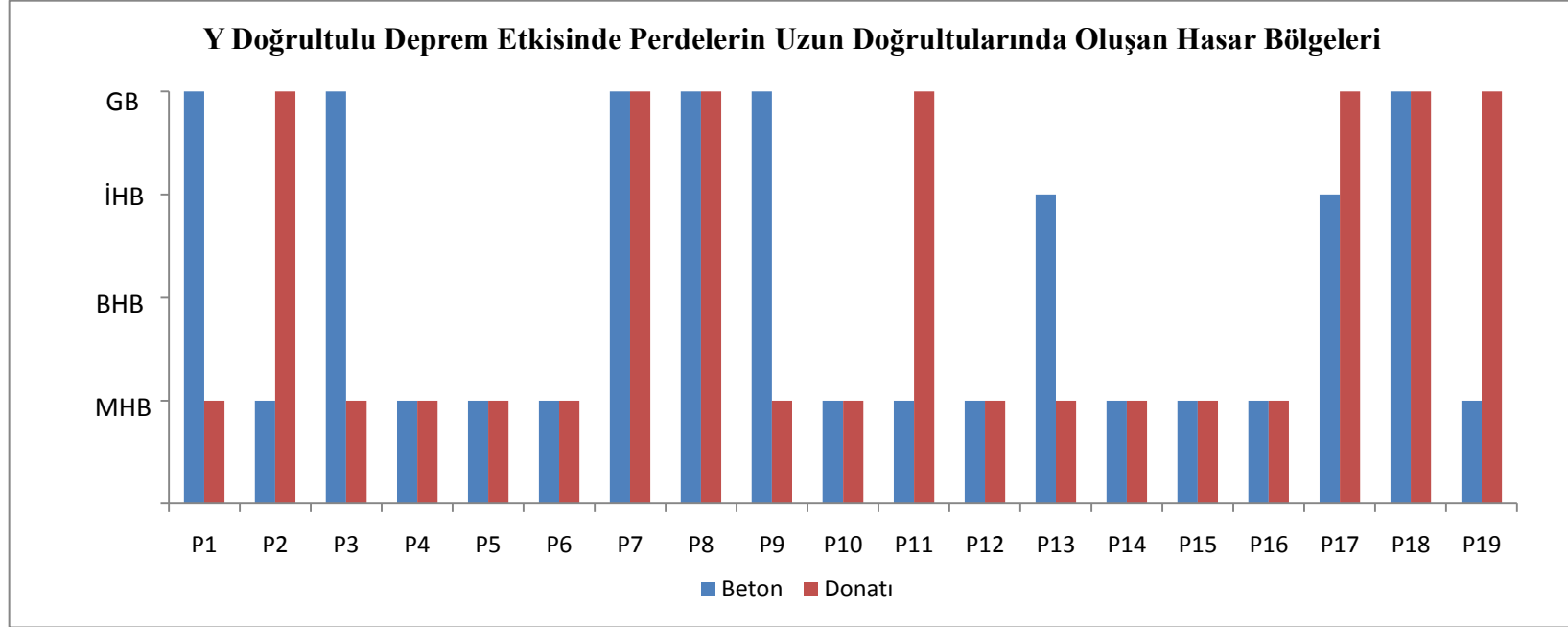
Beton malzemesinden dolayı hasar gören perdelerde eksenel basınç kuvvetleri fazla çıkmıştır. Özellikle ilk katlarda bulunan perde kesitlerinde büyük eksenel kuvvetlerin çıkması kesitin moment taşıma kapasitesini azaltarak, plastik mafsallardaki plastik dönme değerlerinin etkisiyle beton malzemesinde oluşan şekil değiştirmelerin sınır değerleri aşmasına neden olmaktadır. Daha üst katlar gözlemlendiğinde, eksenel kuvvetler azaldığı için plastik mafsallarda meydana gelen şekil değiştirmeler sınır değerleri geçmemektedir.

Donatı malzemesinden dolayı hasar gören bazı perdelerde eksenel çekme kuvvetleri fazla çıkmıştır. Çekmeden dolayı meydana gelen eksenel kuvvetler, kesitin taşıyabileceği eksenel kuvvet kapasitesini aştığı için perde kesitlerinde göçme hasarların oluşmasına neden olmuştur. Analiz öncesinde perdeler boyutlandırılırken minimum donatı kullanılmıştı. Eğer perde kesitlerinde gerekli donatı hesabı yapılsaydı, analiz sonucunda perdelerde meydana gelen çekme kuvvetleri daha düşük çıkabilirdi.

Y deprem doğrultusunda kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerde oluşan hasar bölgeleri, perdelerin kısa ve uzun doğrultularına göre belirlenmiştir ve kritik perde yüksekliği boyunca perdelerde oluşan en elverişsiz hasar bölgeleri Şekil 4.45 ve Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



Şekil 4.45 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin kısa doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.



Şekil 4.46 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde kritik perde yüksekliği boyunca incelenen perdelerin uzun doğrultularında meydana gelen en elverişsiz hasar bölgeleri.

Y doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerde meydana gelen hasar bölgeleri incelendiğinde perdelerin %53'ü göçme bölgesinde, %5'i ileri hasar bölgesinde, %42'si minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır. Perdeler Y doğrultusunda deprem etkisinde, sadece beton malzemesinin sınır değerleri aşmasından, sadece donatı malzemesinin sınır değerleri aşmasından veya her iki malzemenin de sınır değerleri aşmasından dolayı hasar görmüştür. Bazı perdelerde eksenel çekme kuvvetlerin kesit kapasitesini aştığı ve bundan dolayı göçme hasar bölgesine ulaştığı görülmüştür.

Analiz sonucunda perdelerde hasar tespiti için bir örnek;

X doğrultusunda deprem etkisi altında, üçüncü kat 35x340 boyutlarındaki perdelerden biri olan 293 numaralı (P15) perdenin kısa doğrultusu için birim şekil değiştirme istemleri belirlenmiştir ve bulunduğu hasar bölgesi aşağıda gösterilmiştir:

$$\theta_p = 0,003489 \text{ rad (P15 perdesinin alt ucundaki plastik mafsallı dönmesi)}$$

Plastik mafsallı boyu olarak 35x340 boyutlarındaki perdenin X doğrultusundaki deprem etkisinde eğilmeye çalışan kısmının yarısı ile ifade edilen plastik mafsallı boyu:

$$L_p = 0,5h = 0,175 \text{ m}$$

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) yardımıyla plastik dönme değeri plastik mafsallı boyuna bölünerek plastik eğrilik değeri elde edilir.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} = 0,0199 \text{ rad/m}$$

$$\phi_y = 0,0125 \text{ rad/m (35x295 boyutlarında perdenin X doğrultusundaki akma eğriliği)}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0,0324 \text{ rad/m}$$

Denklem (3.4) bağıntısında göre hesaplanan toplam eğrilik değeri, beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeleyle orantılıdır. Perdelerde ve kolonlarda, kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet etkisi altındadır. SAP2000 programının "Section Designer" bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile bakılan perdedeki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirmeler okunur:

$$\epsilon_c = 4,386 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_s = 5,858 \times 10^{-3}$$

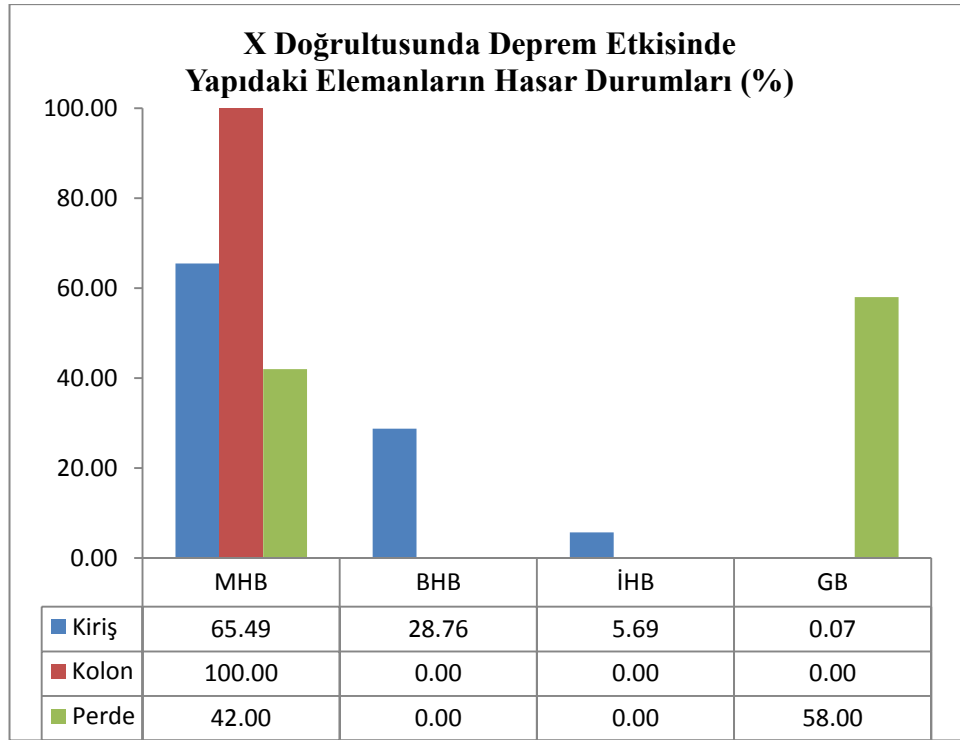
Bulunan beton ve donatı malzemesine ait birim şekil değiştirmeler Çizelge 3.2’de belirtilen kesit hasarlarına göre tanımlanan beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılır ve kesit hasar durumları belirlenir. Yapılan analizlerde perdelerde enine donatının mevcut olmadığı kabulü yapılmıştır ve bunun için yapılan karşılaştırmalarda sargısız duruma ait şekil değiştirme değerleri kullanılmıştır. Ayrıca perdeler eksenel kuvvet etkisi altında olduğu için, SAP2000’de yapılan beton ve donatı malzemesi şekil değiştirmesi okumalarında eksenel kuvvet de göz önüne alınmaktadır. Yapılan karşılaştırmalarda, beton malzemesi için betonun birim kısalma değeri, sargısız durum için belirlenen göçme hasar sınırı 0,004 değerini geçmektedir. Donatı malzemesi için donatı birim uzama değeri minimum hasar sınırı 0,01 değerinin altında kalmaktadır. Üçüncü katta bulunan 35x340 boyutlarındaki 293 numaralı (P15) perde, 10825 kN eksenel basınç kuvveti altında, beton malzemesi bakımından göçme hasar sınırını aştığı için Göçme Bölgesinde bulunmaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

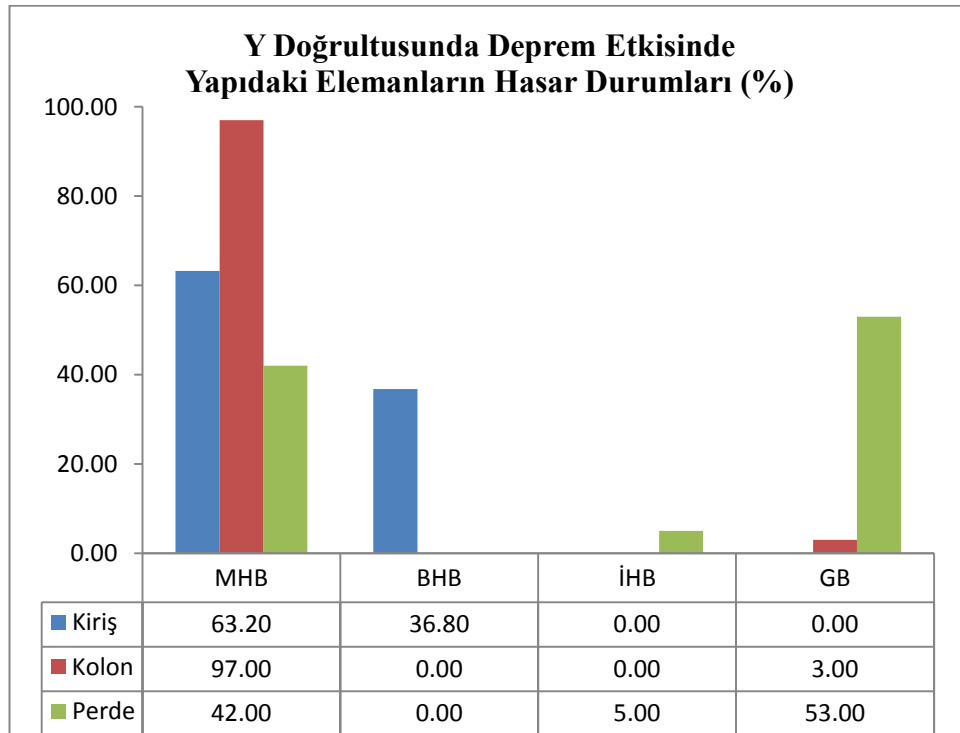
Bu tez çalışmasında 30 katlı betonarme bir binanın DBYBHY 2007'ye göre zaman tanım alanında çözümleme yapılarak deprem performansı belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre tez çalışmasının başında hedeflenen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Can Güvenliği performans hedefinin sağlanmadığı görülmüştür. Analiz sonuçlarına göre binanın kiriş, kolon ve perde elemanlarında önemli hasarların meydana geldiği görülmüştür. Analizlerden elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

- Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için, kirişlerin sol ve sağ uçlarında, kolonların alt ve üst ucunda, çubuk eleman olarak modellenmiş perdelerin alt ve üst ucunda tanımlanmış olan plastik mafsallara ait sonuçlar elde edilmiştir. Tanımlanan her bir eleman kesiti için SAP2000 programı, sağ ve sol uçta veya alt ve üst uçta birer adet minimum ve maksimum plastik dönme değeri vermektedir. Sonuç olarak her bir kesit için 4 adet plastik dönme değeri elde edilmiştir. Bu dönme değerlerinin hepsi için hasar durumları belirlenmiştir ve en elverişsiz olanı kesitin hasar durumu olarak kabul edilmiştir.
- Analiz durumlarının incelenmesinde, beton malzemesinin sargısız durumuna ait şekil değiştirme sınır değerleri kullanılmıştır.
- Deprem etkileri sonucunda yapıdaki kirişlerde, donatı malzemesinin beton malzemesinden önce şekil değiştirme sınır değerlerine ulaşmasıyla hasarlar oluşmaktadır.
- Yapıdaki kolonların büyük çoğunluğunda plastik mafsalların oluşmadığı gözlemlenmiştir. Plastik mafsal oluşmayan kolonlar yapının dış tarafında bulunmaktadır. Sadece perde elemanlarının bulunduğu bölgede yer alan kolonlarda plastik mafsalların oluştuğu görülmüştür.
- Plastik mafsalların oluşmadığı kolonların minimum hasar bölgesinde olduğu kabulü yapılmıştır.

- Plastik mafsalların oluştuğu kolonlar, kısa ve uzun doğrultularına göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu kolonlarda 4 plastik dönme değer, 2 eksenel basınç kuvveti, 2 eksenel çekme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Eksenel basınç kuvveti etkisi altında oluşan plastik dönme değerleri incelenirken kesitte önce beton malzemesinin sınır değerleri aşmasından dolayı hasarların oluştuğu grlmştir. Eksenel ekme kuvveti etkisi altında oluşan plastik dönme değerleri incelenirken çekme kuvvetlerinin kesit tarafından taşınamadığı grlmştir. Bu kolonlara ait hasarlar incelendiğinde ilk 8 kat seviyesinde hasarların oluştuğu grlmştir.
- Yapıdaki perdeler, kolonlar gibi çubuk eleman olarak modellenmiştir. Alt ve st uçlarında tanımlanan plastik mafsallara ait plastik dönme değerleri kontrol edilmiştir. Perdelerin hasar durumlarının belirlenmesinde plastik dönme değerleri kritik perde yüksekliği (6 kat) boyunca incelenmiştir ve bu plastik dönme değerlerinden en elverişsiz olanları perdenin hasar durumu olarak kabul edilmiştir.
- Kritik perde yüksekliği boyunca perdeler, kısa ve uzun doğrultularına göre ayrı ayrı incelenmiştir. Perdelerde her bir kesit için 4 plastik dönme değer oluşmuştur. Bazı perdelerde oluşan plastik dönme değerlerinin eksenel çekme ve eksenel basınç kuvvetleri altında oluştuğu grlmştir. Bazı perdelerde eksenel basınç kuvvetlerinin fazla çıkması kesitin moment taşıma kapasitesini dşrmştir. Moment taşıma kapasiteleri düşen perdelerde beton malzemesindeki şekil değiştirmeler, oluşan plastik dönmelerin etkisiyle sınır değerleri aşmıştır. Ayrıca, bazı perdelerde oluşan büyük çekme kuvvetleri kesitin moment taşıyamaz duruma getirip kesitin göçtüğü grlmştir. Oluşan hasarların genellikle kk kesitli perdelerde oluştuğu grlmştir. Perde kesitlerinde oluşan hasarlar, perde boyutlarının ve kullanılan donatı miktarlarının yetersiz olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.1 : X doğrultusunda deprem etkisinde yapıdaki elemanların hasar durumları.



Şekil 5.2 : Y doğrultusunda deprem etkisinde yapıdaki elemanların hasar durumları.

Analiz sonuçları incelendiğinde, X doğrultusundaki deprem etkisinde yapıdaki tüm kirişlerinin %28,76'sı belirgin hasar bölgesinde, %5,69'u ileri hasar bölgesinde, %0,07'si göçme bölgesinde bulunmaktadır. Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinin %36,80'i belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır.

Zemin kat kolonlarının tamamı X doğrultusundaki deprem etkisinde minimum hasar bölgesinde, Y doğrultusundaki deprem etkisinde %11'i göçme bölgesinde bulunmaktadır. Tüm yapıdaki kolonlar incelendiğinde, Y doğrultusundaki kolonların %3'ü göçme bölgesinde bulunmaktadır.

Perde elemanlar kritik perde yüksekliği boyunca incelendiğinde, X doğrultusundaki deprem etkisinde %58'i göçme bölgesinde, Y doğrultusundaki deprem etkisinde %53'ü göçme bölgesinde, %5'i ileri hasar bölgesinde bulunmaktadır. Tüm yapıdaki elemanların hasar durumları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de özetlenmiştir.

Deprem Yönetmeliği Bölüm 7.7.3 Can Güvenliği Performans Düzeyine göre düşey taşıyıcı elemanların hiçbir göçme bölgesinde bulunmamalıdır. Fakat analiz sonuçları incelendiğinde 30 katlı betonarme binanın özellikle perde elemanlarında önemli hasarların meydana geldiği görülmüştür. DBYBHY 2007'ye göre yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme sonucunda yapının performansı göçme düzeyindedir. Bundan dolayı tez çalışması boyunca incelenen 30 katlı betonarme binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

5.1 Öneriler

Bu tez çalışmasında zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde P-Delta etkileri göz önüne alınmamıştır. Perdelerin ve kolonların daha gerçekçi davranışını inceleyebilmek için P-Delta etkilerinin göz önüne alındığı zaman tanım alanında analiz yapılabilir.

5.2 Tez Çalışması Boyunca Karşılaşılan Problemler

- Tez çalışmasında 30 katlı betonarme binanın zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemesi, SAP2000 bilgisayar programı ve Intel® Core™ i5 CPU 650 3.20 GHZ işlemcili ve 4.00 GB bellekli (RAM) işlemcili bir bilgisayar ile yapılmıştır. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemede 2 adet 25 saniye, 1 adet 20.94 saniyelik deprem kayıtları

kullanılmıştır ve 6 adet analiz binanın X ve Y doğrultularında yapılmıştır. Bu analizler ortalama 10 saat sürmektedir.

- Analizlerin uzun sürmesi, analiz sonuçlarının önemli ölçüde bilgisayar sabit belleğinde yer kaplamasına neden olmaktadır. Bu çalışmada yapılan 6 adet doğrusal olmayan analizden her biri için ortalama 19 GB belleğe ihtiyaç duyulmaktadır.
- Perdeler, zaman tanım alanında analiz süresini azaltmak için shell eleman yerine çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Bunun için, perdelerin gerçekçi bir şekilde doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi zordur.
- Bu tez çalışmasında, zaman tanım alanında analizde P-Delta etkileri (II. Mertebe Etkiler) analiz süresini azaltmak için ihmal edilmiştir. P-Delta etkilerinin ihmal edilmesi kolon ve perdelerde oluşan II. mertebe momentlerin oluşmasını engellemiştir ve buna bağlı olarak plastik mafsalların dönme değerleri azalmıştır.
- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizin SAP2000 programında çözümlenmesi hakkında yeterli bir kaynak bulunmamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY 2007.** Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.
- [2] **Celep, Z., 2007.** Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [3] **Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004.** Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [4] **Özer, E., 2009.** Lineer Olmayan Hesaba Giriş Ders Notları, İstanbul.
- [5] **Darılmaz, K., 2008.** Betonarme Düzlem Çerçeve Bir Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Performans Değerlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Bülteni, s. 94, İstanbul.
- [6] **Celep, Z., 2007.** Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi (2007 Deprem Yönetmeliği – Bölüm 7), İnşaat Mühendisleri Odası Mesleki Eğitim Kursu, Bakırköy, İstanbul.
- [7] **Celep, Z., 2007.** Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Konferansı, İstanbul.
- [8] **TS-498, 1987.** Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [9] **ETABS, Integrated Analysis, Design and Drafting of Buildings Systems Program,** Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [10] **Kumbasar, V., Kip, F., 1999.** Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [11] **Gelekçi, Ç., Özuygur, A.R., 2007.** Binalarda Kazıklı Temel Tasarımı ve Uygulamada Karşılaşılan Zorluklar, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara.
- [12] **SAP 2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design Program,** Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [13] **İnel, M., Özmen, H. B., 2006.** Effects of Plastic Hinge Properties in Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Buildings, Engineering Structures, 28, 1494-1502.
- [14] **Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2001.** Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [15] **Kubin, J., Fahjan, Y. M., Tan, M. T., 2008.** Comparison of Practical Approaches for Modelling Shearwalls in Structural Analysis of Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, Çin.

[16] **SEISMOSIGNAL**, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions,
Messina, Italy.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Yamaç Ünerdem

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 9 Mayıs 1987

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi