İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI BETONARME YAPILARDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇERİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

MAYIS 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI BETONARME YAPILARDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet ÇERİ
(501091116)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ (İTÜ)

30 Mayıs 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091116 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mehmet ÇERİ** , ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"ÇOK KATLI BETONARME YAPILARDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Metin AYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Oğuz TAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **30 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **20 Haziran 2012**

Aileme,

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 Taşkın'a, çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Yamaç Ünerdem'e ve hayatım boyunca her anlamda yanımda olan, hedeflerimi gerçekleştirme yolunda beni her zaman destekleyen ve benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2012

Mehmet ÇERİ
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xviiii**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı 1
2. PERFORMANS KAVRAMI **3**
2.1 Genel Kavramalar ve Kabuller 3
2.2 Betonarme Malzeme Modelleri 3
2.1.1 Beton malzeme modelleri 3
2.1.2 Donatı çeliği için malzeme modeli 4
2.3 Plastik mafsal hipotezi 5
2.3.1 Plastik mafsal hipotezinin esasları 8
2.4 Kapasite Tasarımı 8
2.5 Binalardan Bilgi Toplanması 10
2.5.1 Bina bilgi düzeyleri 10
2.5.2 Betonarme binalarda sınırlı bilgi düzeyi 10
2.5.3 Betonarme binalarda orta bilgi düzeyi 11
2.5.4 Betonarme binalarda kapsamlı bilgi düzeyi 13
2.5.5 Bilgi düzeyi katsayıları 14
2.6 Doğrusal Olmayan Çözümlemede Performans Kavramı 14
2.7 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri 15
2.7.1 Kesit hasar sınırları 15
2.7.2 Kesit hasar bölgeleri 15
2.7.3 Kesit ve eleman hasarlarının tanımlanması 15
2.8 Bina Deprem Performansının Belirlenmesi 16
2.8.1 Hemen kullanım performans seviyesi (HK) 18
2.8.2 Can güvenliği performans seviyesi (CG) 16
2.8.3 Göçme öncesi performans seviyesi (GÖ) 17
2.8.4 Göçme Durumu 17
2.9 Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri 18
2.10 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar 19
2.11 Doğrusal Elastik Olmayan Anaiz Yöntemleri 22
2.11.1 Artırımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol 22
2.11.2 Doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi 23
2.11.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi 25

2.11.4 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi 25
2.11.5 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi 26
3. ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ 27
3.1 Giriş 27
3.2 Bina Genel Bilgileri 27
3.3 Yapısal Modelin Oluşturulması 31
3.3.1 Mevcut yapının üç boyutlu ETABS modelinin oluşturulması 31
3.3.2 Mevcut yapının üç boyutlu SAP2000 modelinin oluşturulması 32
3.3.2.1 Sap2000 programında yapısal elemanlar için oluşturulan malzeme modelleri……34
3.3.2.2 Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin elde edilmesi ……35
3.3.2.3 Yapısal elemanlar için plastik mafsalların oluşturulması…… 37
3.4 Mevcut Yapının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesaplama Yöntemi ile Çözümlenmesi 47
3.4.1 Giriş 47
3.4.2 Modellemede ve çözümleme aşamasında yapılan kabuller 47
3.4.3 Çözümlemede kullanılacak deprem ivme kayıtlarının belirlenmesi 48
3.4.4 SAP2000'de zaman tanım alanında çözümleme için veri girişi yapılması 54
3.5 Mevcut Binaya Ait Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Sonuçlarının Değerlendirilmesi 57
3.5.1 Kirişlerin çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi 57
3.5.1.1 Çözümleme sonucunda elde edilen verilerle örnek bir kiriş için hasar tespiti ……..59
3.5.2 Kolonların çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi 60
3.5.2.1 Çözümleme sonucunda elde edilen verilerle örnek bir kiriş için hasar tespiti ……..……64
3.5.3 Perdelerin çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi 61
3.5.3.1 Çözümleme sonucunda elde edilen verilerle örnek bir perde için hasar tespiti ……..……63
3.5.4 Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması 65
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 69
4.1 Sonuçlar 69
4.2 Öneriler 70
KAYNAKLAR 71
EKLER 73
ÖZGEÇMİŞ 89

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 : Donatı çeliği için gerilme şekil-değiştirme değerleri 5
Çizelge 2.2: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları..... 14
Çizelge2.3: Deprem etkisi parametreleri 18
Çizelge 2.4 : Farklı deprem yüzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri..... 19
Çizelge 3.1 : ETABS'da oluşturulan modele ait peritoylar ve kütle katılım oranları 31
Çizelge 3.2 : SAP2000'de oluşturulan modele ait peritoylar ve kütle katılım oranları 33
Çizelge 3.3 : Kolonların ve perdelerin katlara göre normal kuvvet değişimi..... 41
Çizelge 3.4 : Çözümlemede kullanılan deprem kayıtları..... 49
Çizelge 3.5 : Göreli Kat Ötelemeleri Sınırları 66
Çizelge 3.6 : X doğrultusu için göreli kat ötelemelerinin irdelenmesi 66
Çizelge 3.7 : Y doğrultusu için göreli kat ötelemelerinin irdelenmesi 67
Çizelge A.1: X doğrultusundaki deprem etkisinde tüm katlardaki kolonların hasar bölgelerinin katlara göre değişimi 74
Çizelge A.2: Y doğrultusundaki deprem etkisinde tüm katlardaki kolonların hasar bölgelerinin katlara göre değişimi 75
Çizelge A.3: X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerin kritik perde yüksekliği boyunca hasar bölgelerinin katlara göre değişimi 76
Çizelge A.4: Y doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerin kritik perde yüksekliği boyunca hasar bölgelerinin katlara göre değişimi 76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sargılı ve sargısız beton malzemeler için gerilme-şekil değiştirme model.4
Şekil 2.2 : Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntısı 4
Şekil 2.3 : "Gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı" 5
Şekil 2.4 : Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler 6
Şekil 2.5 : İdealleştirilmis eğilme momenti-eğrilik bağıntısı 7
Şekil 2.6 : Plastik mafsal boyu 7
Şekil 2.7 : Betonarme elemanlardaki kesit hasar bölgeleri modeli 15
Şekil 2.8 : Yapı performans düzeyleri 16
Şekil 2.9 : "Tepe yer değiştirmesi – Taban kesme kuvveti" değişimi 25
Şekil 3.1 : Yapının 1. Bodrum Kat Tavan Kalıp Planı 28
Şekil 3.2 : Yapının Zemin Kat Tavan Kalıp Planı 29
Şekil 3.3 : Yapının üç boyutlu ETABS modeli 32
Şekil 3.4 : Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli 33
Şekil 3.5 : C40 beton sınıfı için malzeme modeli 34
Şekil 3.6 : S420 donatı çeliği için malzeme modeli 35
Şekil 3.7 : SAP2000'de bir asansör perdesi kesitinin "Section Designer"da tasarımı 36
Şekil 3.8 : SAP2000'de bir kiriş kesitinin "Section Designer"da moment-eğrilik bağıntısının hesaplaması... 36
Şekil 3.9: SAP2000'de bir asasör perdesi kesitinin "Section Designer"da akma yüzeylerinin hesaplanması. 37
Şekil 3.10 : SAP2000 kiriş kesitleri için plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması 38
Şekil 3.11 : SAP2000 kiriş kesitleri için M3 mafsalı veri girişi 38
Şekil 3.12: SAP2000 doğrusal olmayan çok katmanlı kabuk perde modeli için veri girişi 40
Şekil 3.13 : SAP2000 doğrusal olmayan çok katmanlı kabuk perde modeli için Katmanların oluşturulması 41
Şekil 3.14: SAP2000 çubuk model perde kesitleri için plastik mafsal tanımlanması 42
Şekil 3.15 : SAP2000 Kolon ve PerdeKesitleri için P-M2-M3 mafsalı veri girişi 42
Şekil 3.16: 2000 P-M2-M3 tipi plastik mafsalı için eksenel kuvvet değerlerinin girişi 43
Şekil 3.17 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı açı değerleri için veri girişi 44
Şekil 3.18 : SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için veri girişi 44
Şekil 3.19: SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için normal kuvvet-deplasman ilişkisinin seçilmesi 45
Şekil 3.20: SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için akma yüzeyi diyagramı değerlerinin girilmesi 45
Şekil 3.21: Çok katmanlı kabuk eleman olarak oluşturulan perde modeli 47
Şekil 3.22: Orta dikmeli çubuk eleman olarak oluşturulan perde modeli 47
Şekil 3.23 : Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-eq1 50

Şekil 3.24 : Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-eq2 50
Şekil 3.25 : Erzincan-db deprem kaydı 51
Şekil 3.26 : Elastik spektral ivme – periyot 51
Şekil 3.27 : Ortalama elastik spektral ivme - periyot 52
Şekil 3.28: Doğrusal olmayan statik analiz için veri girişi 53
Şekil 3.29: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz için Veri Girişine Örnek 54
Şekil 3.30: X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%) 55
Şekil 3.31: Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%) 56
Şekil 3.32: X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarında meydana gelen hasar bölgeleri (%) 58
Şekil 3.33: Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonlarında meydana gelen hasar bölgeleri (%) 58
Şekil 3.34: X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat perdelerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%) 61
Şekil 3.35: Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat perdelerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%) 61
Şekil 3.35: X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerde meydana gelen hasar bölgelerinin orta dikmeli çubuk model ve çok katmanlı kabuk modelle karşılaştırılması 63
Şekil B.1: X Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 75
Şekil B.2: X Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti -Zaman Grafiği 75
Şekil B.3: X Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi-Zaman Grafiği 76
Şekil B.4: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 77
Şekil B.5: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti -Zaman Grafiği 77
Şekil B.6: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi-Zaman Grafiği 78
Şekil B.7: X Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 79
Şekil B.8: X Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti -Zaman Grafiği 79
Şekil B.9: X Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi-Zaman Grafiği 80
Şekil B.10: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 81
Şekil B.11: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti -Zaman Grafiği 81
Şekil B.12:Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi-Zaman Grafiği 82
Şekil B.13: X Doğrultusunda Etkitilen EQ3 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 83
Şekil B.14: X Doğrultusunda Etkitilen EQ3 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti -Zaman Grafiği 83

Şekil B.15: X Doğrultusunda Etkitilen EQ3 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi-Zaman Grafiği 84
Şekil B.16: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ3 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği 85
Şekil B.17: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ3 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti -Zaman Grafiği 85
Şekil B.18:Y Doğrultusunda Etkitilen EQ3 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi-Zaman Grafiği 86

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
L_p : Plastik mafsal boyu
N_D : Düşey yükler altında kolonda veya perdede oluşan eksenel kuvvet
T_{1x} : Binanın x doğrultusunda birinci periyodu
T_{1y} : Binanın y doğrultusunda birinci periyodu
$u_{xN1}^{(i)}$: 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 değiştirmesi
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 eğriliği
θ_p : Plastik dönme istemi

ÇOK KATLI BETONARME YAPILARDA ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN ÇÖZÜMLEME

ÖZET

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağı üzerinde bulunması ve son yıllarda ülkemizde yaşanan depremlerin neden olduğu hasar ve can kayıpları nedeniyle yapıların depreme karşı dayanıklı olarak tasarımının gerekliliği anlaşılmıştır. Aynı nedenle depreme karşı dayanıklı tasarım için mevcut doğrusal elastik hesap yöntemlerinin yetersiz olduğu anlaşılmış ve yapının elastik ötesi davranışını gözönünde bulunduran ve yapının depreme karşı davranışı ve hasar durumu hakkında daha net bir fikir veren doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri deprem yönetmeliklerinde geliştirilmiştir. Halen yürürlükte bulunan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) (2007)' 7. Bölümde deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binaların ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme tasarımlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirilmesine karar verilen binaların genel güçlendirme yöntemleri bu bölümde tanımlanmıştır. Bu çalışmanın birinci bölümünde genel anlamda çalışma hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde ise depreme dayanıklı tasarım, kapasite tasarımı, performans kavramı ve doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri özetlenmiştir.

Üçüncü bölümde incelemeye tabi olan çok katlı betonarme yapının özellikleri açıklanmıştır. Modellemede ve çözümlemelerde yapılan yaklaşımlar, yönetmeliklerdeki spektrumlar, DBYBHY 2007 tanımlanan tasarım spektrumları ile uyumlu olarak üretilen ivme kayıtları, çözümlemelerde kullanılacak yapı modelinin oluşturulması, analiz yöntemlerinin tanımlanması, mod birleştirme yöntemi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz yöntemi sonuçları bu bölümde anlatılmıştır.

NON-LINEAR TIME HISTORY ANALYSIS METHOD FOR HIGH RISE REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

SUMMARY

The fact Turkey's being on an active seismic zone and devastating earthquakes occured in recent years demonstrated 'earthquake resistant structure design' is a must. By means of these earthquakes we also understood that current 'linear elastic analysis method' is not sufficient. Paying attention on structural behaviours beyond elastic behaviours gives more idea about damages and resistance of structures during earthquakes, consequently in addition to linear analysis, non-linear analysis method has been developped. Current regulation about building specifications in earthquake zones of Turkey coded as DBYBHY 2007. In 7th. section of this regulation, principles of calculations for all kind of structure performance analysis under earthquake forces and fundamentals of strengthening design, strengthening method for existing buildings are described. In first section of this study, general information is given. In second section, structural design principles for quake-resistant buildings, capacity design, concept of performance, linear and nonlinear analysis methods are summarized.

In third section, specifications of high rise reinforced concrete building are described. Approaching to modelling and analysis, spectrum of regulations, acceleration records that accordingly generated with desing spectrum described in DBYBHY 2007, structural model creating for analysis, description of analysis methods, combining mode method and results of non-linear time history analysis method are explained.

1.GİRİŞ

1.1 Giris ve Çalısmanın Amacı

Depremin yeri ve zamanı tespit edilemediği için zararları çok büyük olmaktadır. Bu yüzden inşaat mühendisliği ve uygulama alanları daha çok önem kazanmıştır.

Şimdiye kadar ülkemizde meydana gelen depremler çok büyük maddi ve manevi yıkımlara sebep olmuştur. Bu depremlerden 1999 yılında yaşanan 17 Ağustos Kocaeli , 12 Kasım Düzce ve son olarak 23 Ekim 2011 Van depremleri yakın zamanda meydana gelen ve büyük hasara neden olan depremlerdir. Bu depremlerde yönetmeliklere uygun olarak yapılmayan mevcut binalarda büyük hasarlar meydana gelmiştir.

DBYBHY 2007, özellikle mevcut binaları değerlendirme ve güçlendirme konusunda getirdiği performans yaklaşımı sayesinde ülkemizdeki mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesinde önemli bir yol kat edilmiştir. DBYBHY'07 yönetmeliğine 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'07 Bölüm 7'de belirtilen performans kavramı, mevcut binaların değerlendirilmesi açısından önemlidir. Performansı değerlendirilen yapı eğer yönetmeliğe göre yetersizse güçlendirilme çalışmalarının yapılması veya yapının yıkılıp tekrardan yapılması yapıların deprem etkisinden dolayı gördükleri zararları en aza indirme bakımından oldukça önemlidir.

DBYBHY'07 Bölüm 7'de mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesinde "Doğrusal Elastik Hesap Yöntemi" ve "Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemi" olmak üzere iki ayrı çözümleme yöntemi verilmiştir. Bu yöntemlerde yapısal elemanların taşıma kapasiteleri yapıya etkimesi muhtemel olan deprem kuvvetleri etkitilerek irdelenmektedir.

Doğrusal elastik hesap yöntemleri yaklaşık yöntemler olduğu için bu yöntemlerle yapının elastik ötesi davranışlarını tam irdelenememektedir.

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri, şekil değiştirme ve yer değiştirme esaslı oldukları için ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından yapının elastik ötesi davranışlarını da hesaba katıldığı için bu yöntemlerle daha gerçekçi çözümleme yapılabilmektedir. Bu yöntemde belirli bir deprem etkisi altında yapısal elemanların elastik ötesi şekil değiştirmelerinin, plastik şekil değiştirme kapasitesini karşılayıp karşılamadığı değerlendirilir.

Bu tez çalışması kapsamında doğrusal elastik olmayan çözümleme yöntemlerinden zaman tanım alanında çözümleme yöntemi kullanılarak mevcut çok katlı bir binanın performans seviyesi DBYBHY'07 standarlarına göre belirlenmiştir.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1. Genel Kavramlar ve Kabuller

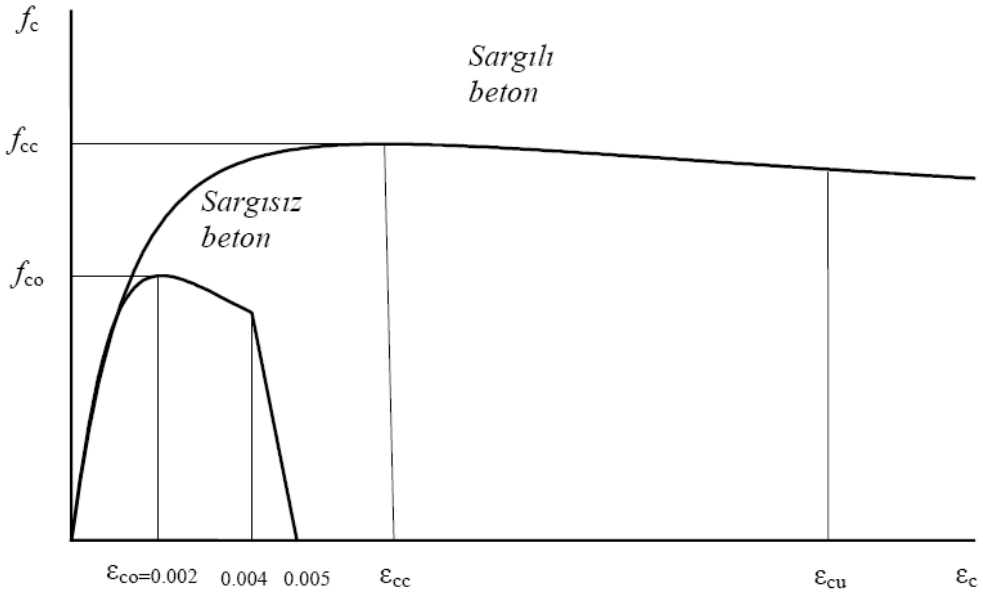
Mevcut bir binanın deprem performansının belirlenebilmesi için o binaya ait yapısal elemanlar hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Bu bilgiler kullanılarak binanın yapısal modeli olusturulur ve belirli doğrultularda etkitilen belirli deprem etkileri altında yapısal elemanlarda meydana gelecek iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler hesaplanarak bir binada olusabilecek hasarların düzeyi ve dağılımı tespit edilir. Bu çözümlemeler sonucunda binanın performans düzeyi bulunur. Performans düzeyinin bulunması için kabul edilen betonarme malzeme modelleri aşağıda verilmiştir.

2.2. Betonarme Malzeme Modelleri

Betonarme malzeme temel olarak çimento, agrega, su ve bazı kimyasal maddelerden oluşan beton ve donatı çeliğinden oluşur. Betonarme malzemede beton kısmın basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşüktür. Donatı çeliğinin ise çekme dayanımı yüksektir. DBYBHY 2007 7. Bölümde Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile performans değerlendirmesi yapılabilmesi için beton ve donatı çeliği için malzeme modelleri verilmiştir.

2.2.1. Beton malzeme modelleri

DBYBHY 2007 7. Bölümde Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler ile yapılacak olan çözümlemelerde kullanılmak üzere performans değerlendirmesi için "Sargısız" ve "Sargılı" olmak üzere iki ayrı beton modeli verilmiştir. Sargılı betonun davranışı; enine donatının aralığı, dağılımı, hacimsel oranı, çap ve çekme dayanımı, boyuna donatının kesit içinde dağılımı ve hacimsel oranı, betonun basınç dayanımı ve cinsi, eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda eksenel kuvvetin seviyesi gibi birçok değişkene bağlıdır [4]. Şekil 2.1'de DBYBHY 2007 sargılı ve sargısız beton malzemelerine ait gerilme şekil değiştirme modellerinin grafiği verilmiştir.



Şekil 2.1: Sargılı ve sargısız beton malzemeler için gerilme- şekil değiştirme modeli

2.2.2. Donatı çeliği için malzeme modeli

DBYBHY 2007 Ek 7.B'e göre donatı çeliği için şekil değiştirme ve gerilme değerleri Şekil 2,2'de ve Çizelde 2.1'de verilmiştir [1].



Şekil 2.2: Donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

Şekil 2,1'de verilen grafiğe göre DBYBHY 2007'de gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, elastik bölge, plastik plato bölgesi ve pekleşme bölgesi olmak üzere üç parçaya bölünmüştür. Donatı çeliğin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi üç parçadan oluşur.

Birinci parça doğrusal davranışın bulunduğu elastik bölüm, ikinci bölüm akma sahanlığının bulunduğu plastik plato bölgesi ve üçüncü bölüm ise pekleşme bölgesidir. Donatı çeliği modeli için DBYBHY 2007'de verilen gerilme ve şekil değiştirme değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

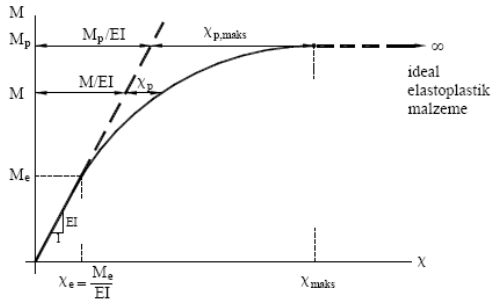
Çizelge 2.1: Donatı çeliği için gerilme şekil-değiştirme değerleri

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

2.3. Plastik Mafsal Hipotezi

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılarda ve bazı koşullar altında betonarme yapılarda) plastik mafsal hipotezi yapılarak sistem hesapları onemli ölçüde kısaltılabilmektedir [20].

Toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi adı verilir. Gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısı Şekil 3.2'da verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler Şekil 3.3'de görulmektedir [5].

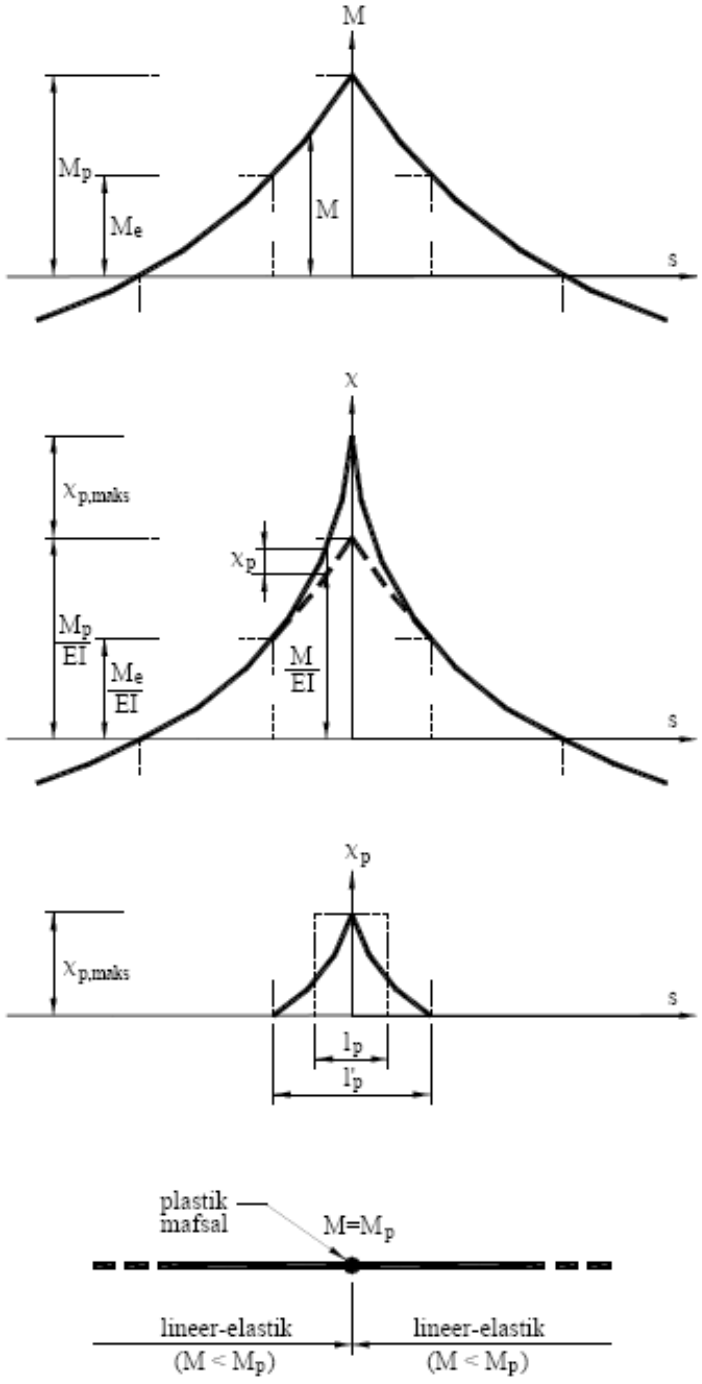


Şekil 2.3: "Gercek eğilme momenti – eğrilik bağıntısı''

Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı uzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgeye yayılan doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin

$$Ø_{p\,max} = \int_A^B x_p ds$$

şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, $Ø_p$ plastik mafsalın dönmesi olarak tanımlanır [5].



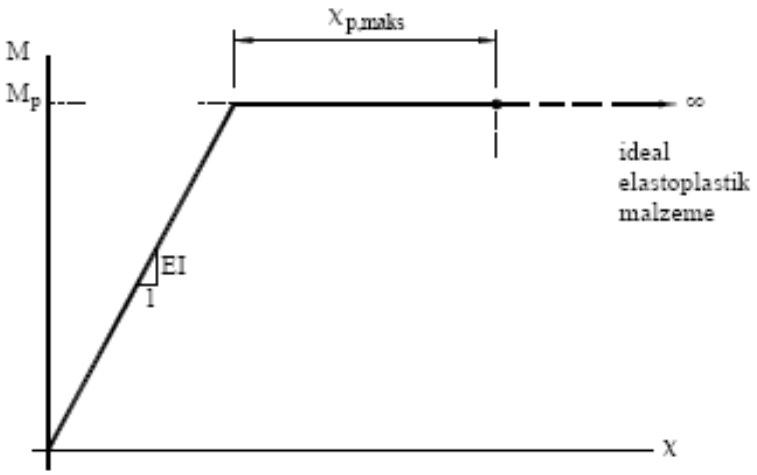
Şekil 2.4: Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti – eğrilik bağıntısının

$M \leq M$ için $\chi = M / EI$ (4.85)

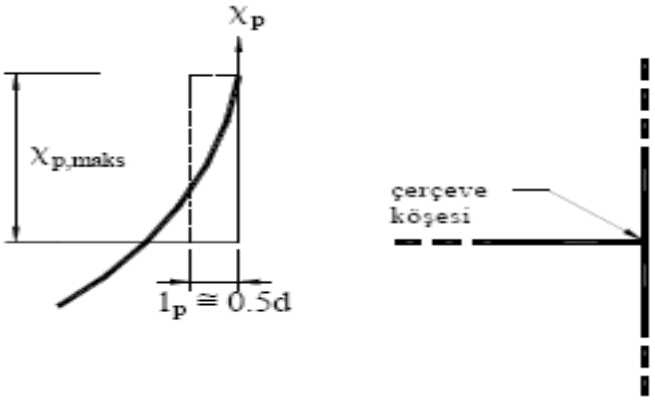
$M = Mp$ için $\chi \rightarrow \chi_{p,maks}$ (4.86)

şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karsı gelmektedir Şekil 3.4'de İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı verilmiştir [5].



Şekil 2.5: İdealleştirilmis eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

Artan dış yükler altında plastik mafsalın dönmesi artarak dönme kapasitesi adı verilen bir sınır değere eşit olunca, oluşan büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha cok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin dönme kapasitesine ulasması ise, yapının tümünün kullanılamaz hale gelmesine (işletme dışı olmasına), diğer bir deyişle göçmesine neden olmaktadır [5].



Şekil 2.6: Plastik mafsal boyu

Dönme kapasitesi $\varnothing_{p\,max} = \int_A^B \chi_p ds \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks}$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Burada l_p, eşdeğer plastik bölge uzunluğunu (plastik mafsal boyu) göstermektedir ve yaklasık olarak $l_p=0.5d$ (d: en kesit yüksekliği)

formülü ile ifade edilir, Şekil 3.5 de plastik mafsal boyu verilmiştir.

2.3.1.Plastik mafsal hipotezinin esasları

1- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o

kesitte bir plastik mafsal olusur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti M_p = M olarak sabit kalır ve kesit serbestce döner. Plastik mafsaldaki $\varnothing_p$ plastik dönmesi artarak maks $\varnothing_p$ dönme kapasitesine erişince, olusan hasar nedeniyle kesit kullanılamaz duruma gelebilir.

2- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal - elastik olarak davranır.

3- Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma kosulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M'_p) değeri esas alınır.

2.4. Kapasite Tasarımı

Modern deprem yönetmeliklerinde depreme dayanıklı bina tasarımı, farklı büyüklüklerdeki olası deprem yer hareketleri altında, bina taşıyıcı sisteminin öngörülen belirli performans düzeylerini sağlayabilmesi olarak tanımlanmaktadır [6].

Diğer başlıca deprem yönetmeliklerinde olduğu gibi, Türk Deprem Yönetmeliği'nde de, yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı olarak tasarımının ana ilkesi, hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan elemanların herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlanması olarak tanımlanmıştır. Bu tanımdaki şiddetli deprem, bina önem katsayısı I=1 olan binalar için, 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Bu tanıma paralel olarak, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesinde gözönüne alınmak üzere, farklı aşılma olasılıklı depremler ve bu

deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri de yönetmelikte ayrıca verilmiştir [6].

Kapasite tasarımı, deprem etkisindeki sünek yapılarda kullanılır. Tasarımda taşıyıcı sistemin bazı elemanları büyük şekil değiştirmelerle enerji tüketecek ve elastik ötesi şekil değiştirme yapacak şekilde tasarlanır. Bu kritik kesitlere plastik mafsal denir. Bunun dışındaki kesitler daha büyük mukavemette yapılarak güç tükenmesi önlenir. Elastik ötesi davranıştan dolayı, elastik deprem etkileri ortaya çıkmaz [7].

Kapasite tasarımı adımları [7]:

- Büyük depremde oluşacak mekanizma durumu seçilir.
- Plastik mafsalda minimum elastik ötesi dönme ile gerekli yerdeğiştirme sünekliğinin elde edilmesi amaçlanır.
- Plastik mafsal bölgeleri tanımlanır. Bu kesitlerde süneklik sağlanır. Donatı kenetlenmesi ve dönme kapasitesi sağlanır. Bunun için en uygun yöntem sık ve kenetlenmesi tam sargı donatısı uygulamasıdır.
- Donatı düzeni plastik mafsal bölgelerinde ve diğer bölgelerde farklı olarak düzenlenir.
- Plastik mafsal içeren elemanlarda istenmeyen elastik ötesi şekil değiştirme biçimleri bunların dayanımları yüksek tutularak önlenir.
- Gevrek elemanların veya enerji tüketmeyen elemanların dayanımları, plastik mafsal kapasitelerin talebinden yüksek tutulur. Bunlar elastik kalacak şekilde tasarlanır.
- Kapasite tasarımında, taşıyıcı sistemin davranışı tasarımcı tarafından belirlenir. Taşıyıcı sistemin istenen mekanizma durumu sağlanırken, istenmeyen mekanizma durumu önlenir.
- Kolon ve kirişte kesme kuvveti dayanımı, plastik mafsalın talebinden yüksek tutulur.
- Kiriş-kolon birleşim bölgesi enerji tüketimi bakımından zayıf bir bölgedir. Kesme kuvvetinden oluşabilecek elastik ötesi şekil değiştirme ve donatıda aderans çözülmesi önlenmelidir. Dayanım plastik mafsalın talebinden daha büyük tutulmalıdır.

2.5 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].

2.5.1.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[1].

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.

2.5.2. 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[1].

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[1].

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[1].

2.5.3. 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 kütlesinin 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[1].

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[1].

Betonarme projeler veya imalat çizimleri mevcut ise donatı kontrolu 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[1].

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 400 m^2'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[1].

2.5.4. 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 kütlesinin hassas biçimde tanımlanması için gerekli ayrıntıları içermelidir. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenecektir[1].

Eleman Detayları: Binanın betonarme detay projeleri mevcuttur. Donatının projeye uygunluğunun kontrolu 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[1].

Malzeme Özellikleri: Her kattaki kolonlardan veya perdelerden toplam üç adetten az olmamak üzere ve binada toplam 9 adetten az olmamak üzere, her 200m^2'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.

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[1].

2.5.5 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 2.2: Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

2.6. Doğrusal Olmayan Çözümlemede Performans Kavramı

Doğrusal olmayan çözümleme yöntemi ile yapının deprem hareketi doğrultusunda şekil değiştirme ve yer değiştirmesi esaslı değerlendirilmesi yapıldığı için yapının gerçek davranışı olan elastik ötesi davranışı ele alınır. Bu sayede daha gerçekçi bir biçimde çözümleme yapılmış olur.

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].

Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, yerdeğiştirme ve şekil değiştirme bazlı değerlendirmenin esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri akımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir [2].

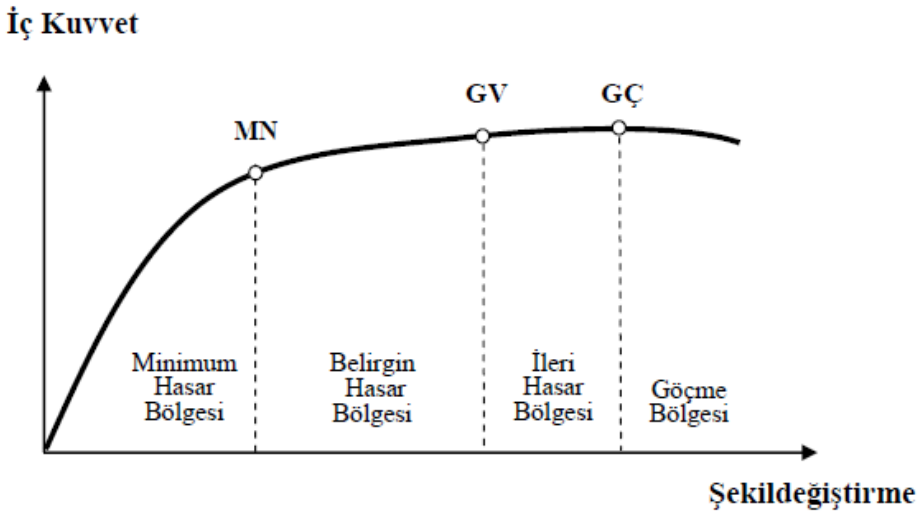
2.7. Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

2.7.1. 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)'dır. 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. Gevrek olarak hasar gören elemanlarda bu sınıflandırma geçerli değildir[1].

2.7.2. Kesit hasar bölgeleri

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]. (Şekil 2.1)



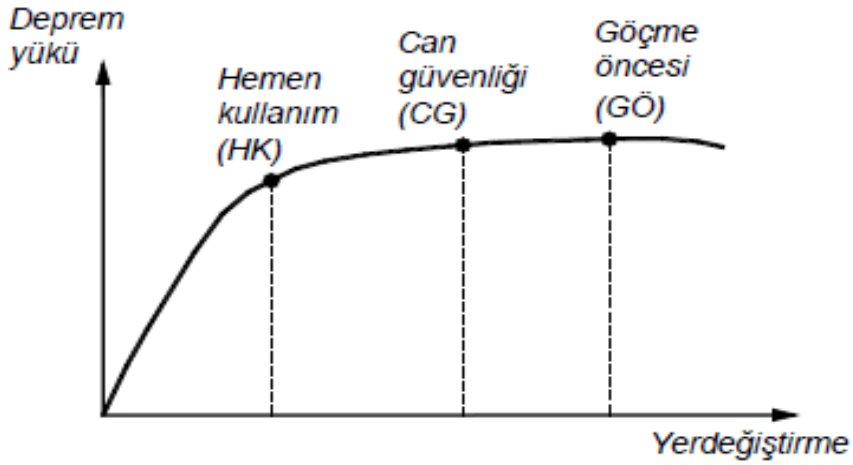
Şekil 2.7: Betonarme elemanlardaki kesit hasar bölgeleri

2.7.3. 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].

2.8. 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. DBYBHY 2007 Bölüm 7.5 ve 7.6'da tanımlana hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans düzeyi belirlenir[1].



Şekil 2.8: Yapı performans düzeyleri

2.8.1. 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 değiştirmelerin oluşmasına izin verilmektedir.

2.8.2. Can güvenliği performans seviyesi (CG)

DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.3'e göre eğer varsa, gevrek 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.

2.8.3. 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 Böüm 7.7.4'de tanımlanan Göçme Öncesi Performans Seviyesi'ne göre yapı bütünlüğünü korumaktadır, fakat can güvenliği bakımından yapı kullanılmamaktadır.

2.8.4. Göçme durumu performans seviyesi

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

2.9. Binalar İçin Hedeflenen Performans Düzeyleri

DBYBHY 2007 mevcut binaların deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirilmesi için üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. Çizelge 2.2'de deprem etkisi parametreleri gösterilmiştir [3].

Çizelge2.3: 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

Servis (Kullanım) Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremdir. Yaklaşık olarak dönüş periyodu 72 yıl olan bu depremin, binanın ömrü boyunca en az bir kere ortaya çıkması kuvvetle muhtemeldir.

Tasarım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremdir. Yaklaşık olarak dönüş periyodu 475 yıl olan bu deprem DBYBHY 2007'de bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine tekabül temektedir.

En Büyük Deprem: 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremdir. Yaklaşık olarak dönüş periyodu 2475 olan bu deprem DBYBHY 2007'de en büyük deprem 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].

Çizelge2.4: Farklı deprem yüzeyinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

Bina Kullanım Amacı ve Türü	Depremin 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**	–

2.10. Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

DBYBHY'07 7.4 nolu bölümüne göre deprem hesabının amacı, mevcut veya güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemektir. Bu amaçla DBYBHY'07 7.5'de tanımlanan doğrusal elastik veya DBYBHY'07 7.6'de tanımlanan 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 (I=1.0).
- 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 şekil değiştirmeleri 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 çeliğinin DBYBHY'07 Bölüm 7.2'de tanımlanan bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.

b) Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

c) Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılarak çok doğrulu veya çok düzlemli diyagramlar olarak modellenebilir.

- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak gözönüne alınabilir.

- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:
  (a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$
  (b) Kolon ve perdelerde,

  $N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40(EI)_o$

  $N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80\ (EI)_o$

  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 çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğil 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.

- 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 şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır.
- DBYBHY'07Bölüm 2'de modelleme ile ilgili olarak verilen diğer esaslar geçerlidir [1].

2.11. Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

DBYBHY 2007'de, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi olmak üzere üç tane doğrusal olmayan analiz yöntemi yer almıştır.

2.11.1. Artırımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek yol

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

a) 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.

b) 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 Yükü 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 şekil değiştirme (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 şekil değiştirme (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 şekil değiştirme istemleri hesaplanacaktır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için 7.6.9'da tanımlanan ilgili birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır. Ayrıca, güçlendirilen dolgu duvarlarında göreli kat ötelemeleri cinsinden hesaplanan şekil değiştirme istemleri, DBYBHY'07 7.6.10'da tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılacaktır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, DBYBHY'07 7.6.11'de tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılacaktır.

2.11.2. Doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesi

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 mafsal 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 oluştuğu varsayılmaktadır.

b) Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesi'nin uzunluğu (Lp), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınacaktır (Lp = 0,5 h). Hw / ℓw ≤ 2.0 olan perdelerde, eğilme etkisi altında plastik şekil değiştirmeler gözönüne alınmayacaktır.

c) Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınacaktır.

d) Yığılı plastik şekil değiştirmeyi temsil eden plastik kesit'in, teorik olarak

7.6.4.1'de tanımlanan plastik şekil değiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmelere izin verilebilir:

1)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.

Kirişlerde, $(EI)_e = 0{,}40\ (EI)_o$ **(2.1)**

Kolonlarda ve Perdelerde, $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0{,}10 \quad (EI)_e = 0{,}40\ (EI)_o$

$N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0{,}40 \quad (EI)_e = 0{,}80\ (EI)_o$ **(2.2)**

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 çatlamamış 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.

2.11.3. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi

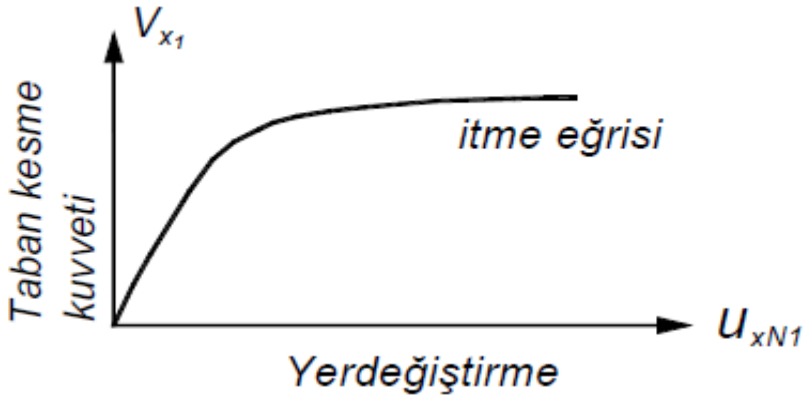
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizi'nin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır[1].

2.11.4. Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nde taşıyıcı sistemin deprem davranışının sadece birinci (deprem doğrultusunda hakim) doğal titreşim modundaki davranıştan ibaret olduğunun varsayılır. Bu nedenle yöntem, çok katlı olmayan ve deprem doğrultusuna göre planda simetrik veya simetriğe yakın olan binalarla sınırlıdır [1].

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].

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin sonucunda eksenleri "tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan itme eğrisi elde edilir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9: "Tepe yer değiştirmesi – Taban kesme kuvveti" değişimi

2.11.5. 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. ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN DEPREM PERFORMANSININ ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

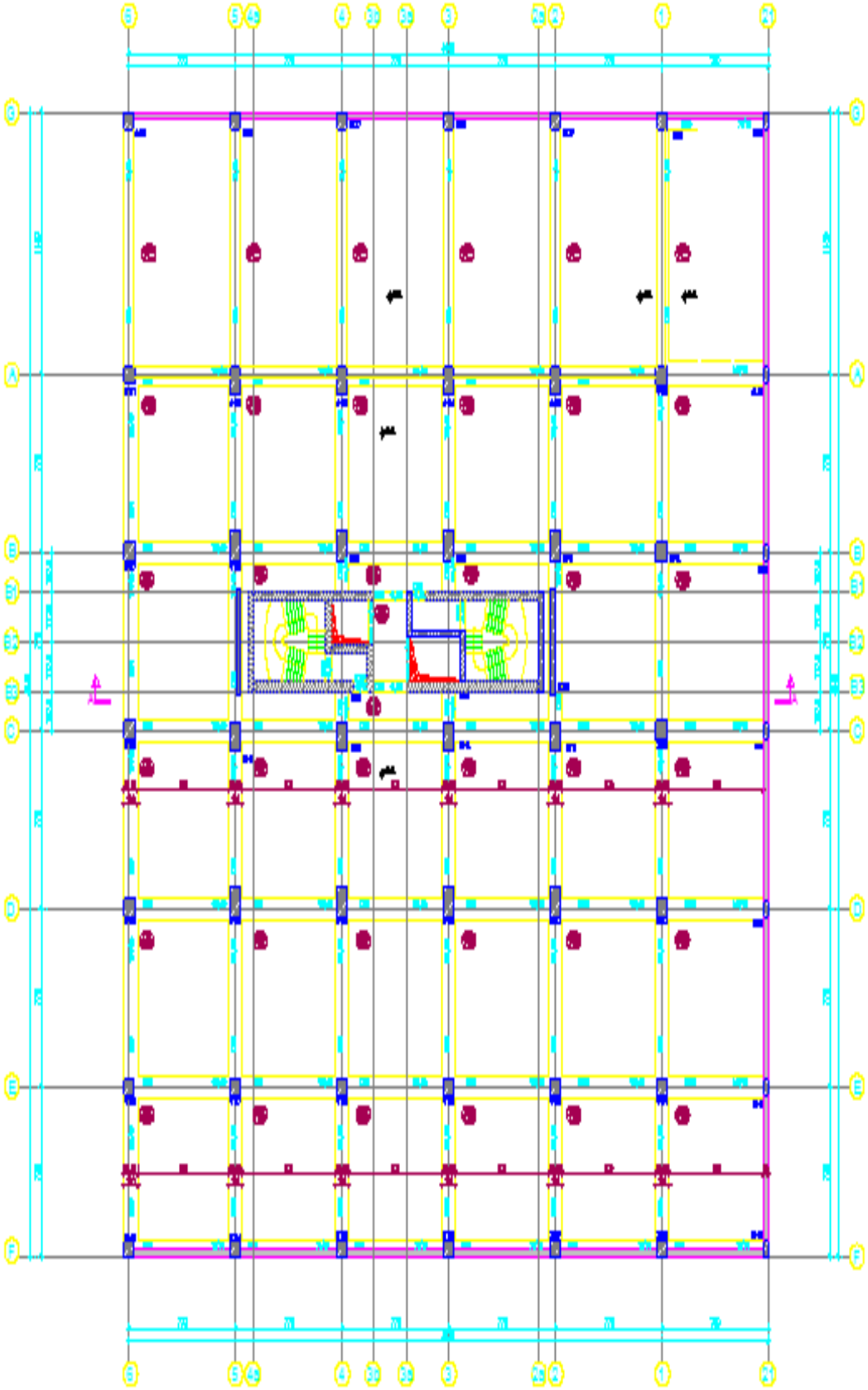
3.1. Giriş

Bu bölümde Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi kullanılarak 23 katlı betonarme bir binanın DBYBHY 2007'ye göre deprem performans düzeyi belirlenecektir. Binadan beklenen performans düzeyi kullanım amacının konut olması dolayısı ile 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde can güvenliği performans hedefidir. Bu çalışma kapsamında binaya her iki doğrultuda, yönetmelikte ön koşulları belirtilen 3 farklı yer hareketinin ivme kayıtları uygulanmıştır.

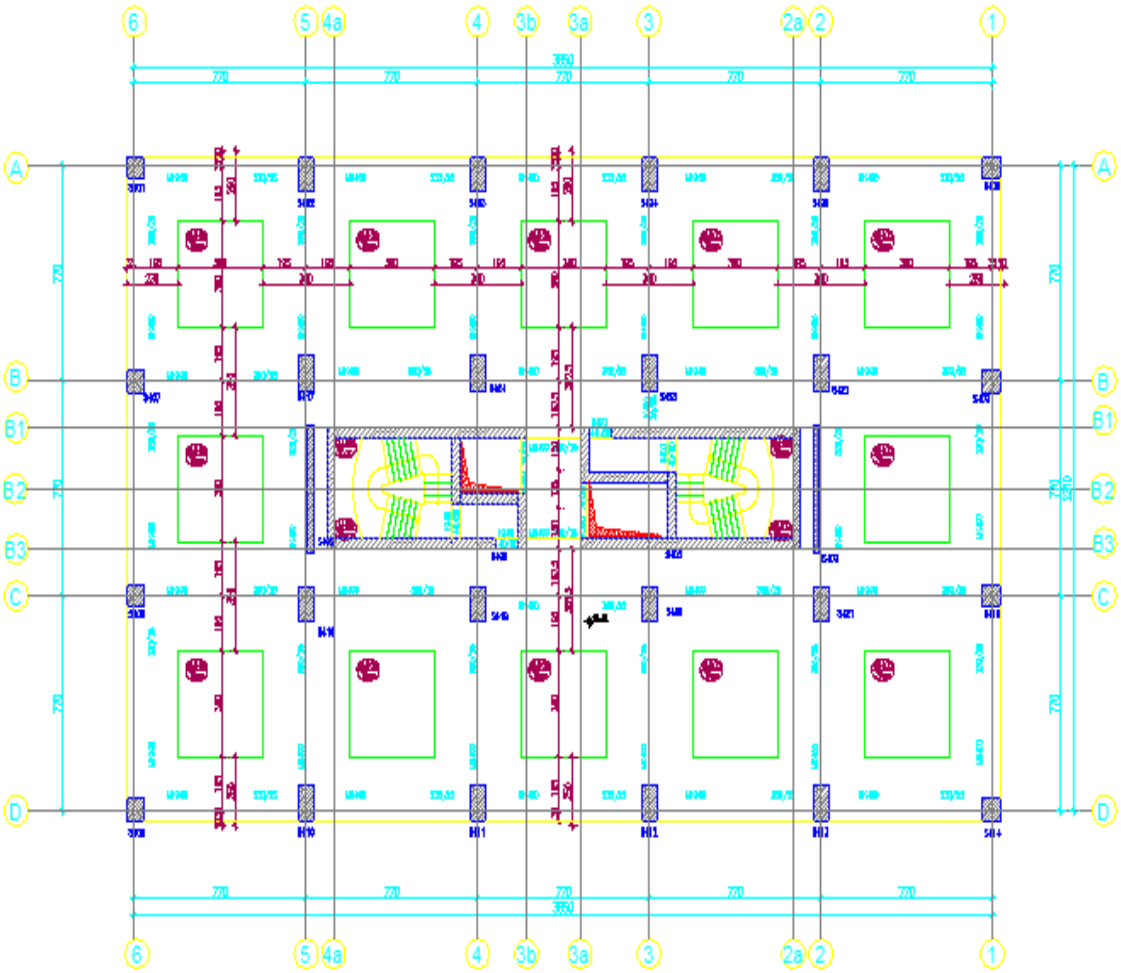
3.2 Bina Genel Bilgileri

Binanın statik projeleri mevcuttur. Yapısal elemanlardaki donatılar binaya ait statik projelerden alınmıştır. Bina kapsamlı bilgi düzeyinde kabul edilerek, yapısal elemanların özelliklerinin değerlendirilmesinde kapsamlı bilgi düzeyine ait katsayı değeri kullanılmıştır. Yapının döşeme sistemi bodrum kat tavanlarında plak döşeme ve kirişlerden oluşmaktadır. Zemin kat tavanından itibaren kirişsiz döşemelerden oluşmaktadır. Konut binası olarak tasarlanmış olan yapı, 1. Derece deprem bölgesinde ve Z2 zemin sınıfına giren bir zemin üzerinde bulunmaktadır. Malzeme C40 / S420'dir.

Bina doğrusal elastik çözümlemesinde ETABS 9.7.0 programı, doğrusal elastik olmayan çözümlemesinde SAP 2000 V.15.0 programı kullanılmıştır. Yapının doğrusal olmayan performansının değerlendirilmesi için kolon, kiriş ve perde kesitlerinde mevcut projede belirtilen donatı koşulları göz önüne alınarak hesap yapılmıştır.



Şekil 3.1: Yapının 1. Bodrum Kat Tavanı Kalıp Planı



Şekil 3.2: Yapının Zemin Kat Tavanı Kalıp Planı

Bina Özellikleri:

- Kat Adedi: 23
- Bina Toplam Yüksekliği: 80 m.
- Kat Yükseklikleri: Birinci Bodrum Kat ve Zemin Kat 6,4m Diğer Katlar 3,2 m. dir
- Kullanım Amacı: Konut
- Bina Taşıyıcı Sistemi: Betonarme Perde + Çerçeve Sistem
- Temel Tipi: Radye Temel

Malzeme Özellikleri:

- Beton Sınıfı: C40
- Beton Çeliği Sınıfı: S420

Bina Parametreleri:

- Zemin Sınıfı: Z2 (T_A=0,15 ve T_B=0,40)
- 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 :

- Kirişli döşeme yükü (d=0,17 cm) : 5,95 kN/m^2
- Kirişsiz döşeme yükü (d=0,25 cm) : 7,95 kN/m^2

Hareketli Yükler :

- Hareketli Yük (Normal Kat ve Çatı Katı): 3,5 kN/m^2
- Hareketli Yük (Bodrum Katlar): 5 kN/m^2
- Hareketli Yük (Merdivenler): 3,5 kN/m^2
- Kar Yükü: 0,75 kN/m^2

Zemin Gerilmesi Tahkiki için Gerekli Parametrik Değerler:

- Zemin Cinsi: Orta Sıkı Kum
- Zemin Emniyet Gerilmesi: 300 kN/m^2
- Zemin Yatak Katsayısı (K_o): 50000 kN/m^3

3.3 Yapısal Modelin Oluşturulması

3.3.1 Mevcut yapının üç boyutlu ETABS modelinin oluşturulması

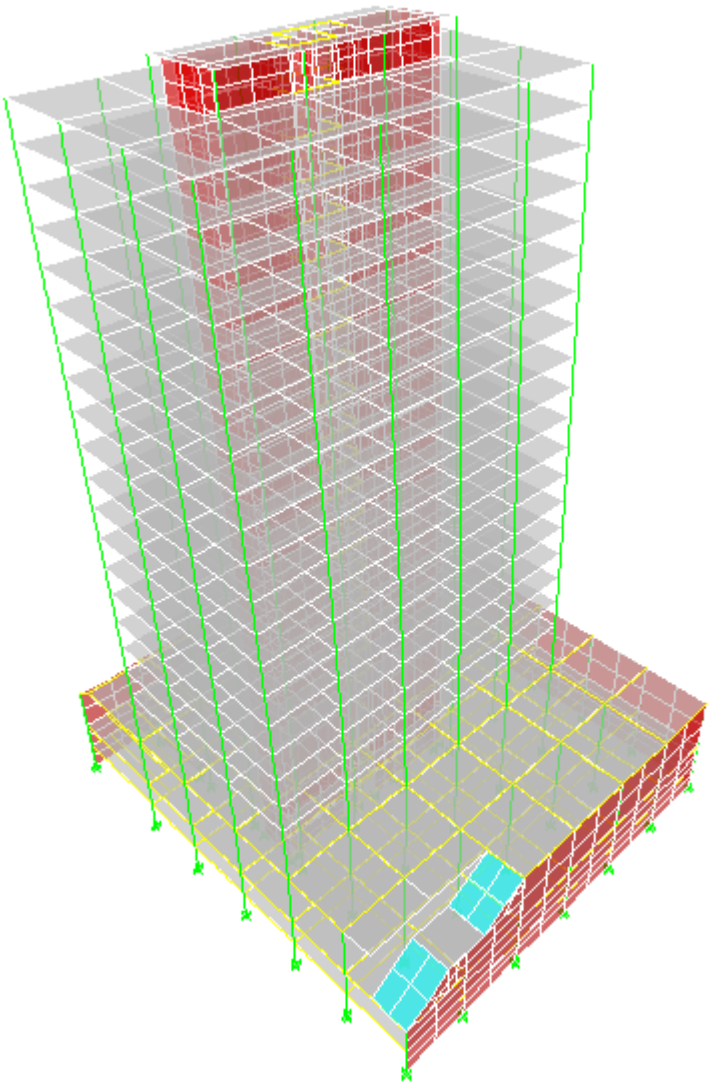
Yapı mevcut kalıp planınlarına uygun olarak ETABS 9.7.0 programında üç boyutlu olarak modellenmiştir. Döşeme elemanları ETABS'de program tarafından otomatik olarak sonlu elemanlara bölünmüştür. Perde elemanları kabuk olarak modellenmiştir. Yine, perde elemanlar da maksimum genişlikleri 1'er metre olmak üzere sonlu elemanlara bölünmüşlerdir. Yapının üç boyutlu ETABS modeli Şekil 3.3'de gösterilmiştir. Mod birleştirme yöntemi ile doğrusal elastik hesap için kullanılan deprem kombinasyonları:

- G + Q
- 1,4G + 1,6Q
- G + Q $\pm$ EX $\pm$ 0,3EY
- G + Q $\pm$ EY $\pm$ 0,3 EX
- 0,9G $\pm$ EX $\pm$ 0,3EY
- 0,9G $\pm$ EY $\pm$ 0,3 EX

Yapının perdeleri kabuk eleman olarak tanımlanan 3 boyutlu Etabs modeline ait periyot değerleri ve kütle katılım oranları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : ETABS'de oluşturulan modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları

	Periyot	Kütle Katılım Oranları %
T_{1y} (sn)	2.502	98.6321
T_{1x} (sn)	2.163	99.0338



Şekil 3.3: Yapının üç boyutlu ETABS modeli

3.3.2 Mevcut yapının üç boyutlu SAP2000 modelinin oluşturulması

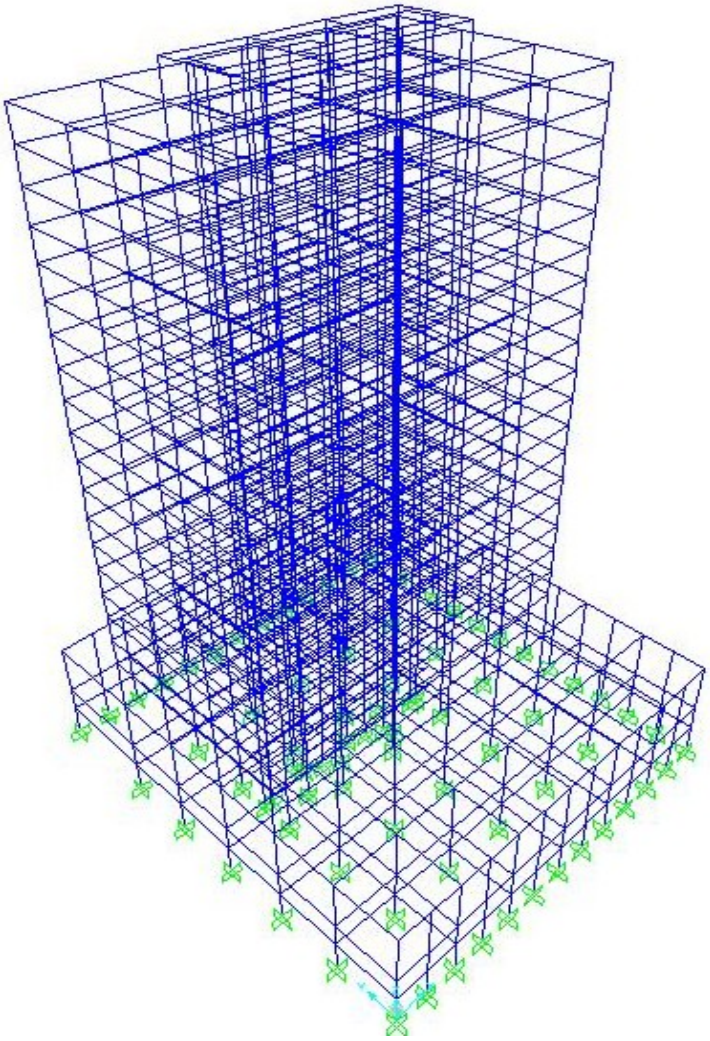
Yapı mevcut kalıp planına uyularak SAP 2000 programında modellenmilştir. Modelde kirişsiz döşemeye etki eden sabit ve hareketli yükler, eşdeğer yayılı yüke dönüştülerek fiktif kirişler üzerine etkitilmiştir. Yapının kolon kiriş ve perde kesitlerine ait sargılı beton karekteristikleri Xtract programı ile elde edilmiş ve analizde bu değerler kullanılmıştır. Yapının doğrusal olmayan performansının değerlendirilmesinde orta dikmeli çubuk model ve çok katmanlı kabuk model olmak üzere iki model oluşturulmuştur. Fakat kabuk modelde yeterli idealleştirme yapılamadığı için değerlendirmede sadece orta dikmeli çubuk model kullanılmıştır.

Çözümlemede çubuk elemanlarda çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Yapını mevcut radye temel sistemi kaldırılmış ve modele ankastre mesnet tanımlanmıştır.

Yapının üç boyutlu SAP2000 modelleri Şekil 3.4'de verilmiştir. Çatlamış kesite ait eğilme rijitlikleri kullanıldığında yapıya ait periyot ve kütle katılım değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : SAP2000'de oluşturulan çubuk modele ait periyotlar ve kütle katılım oranları

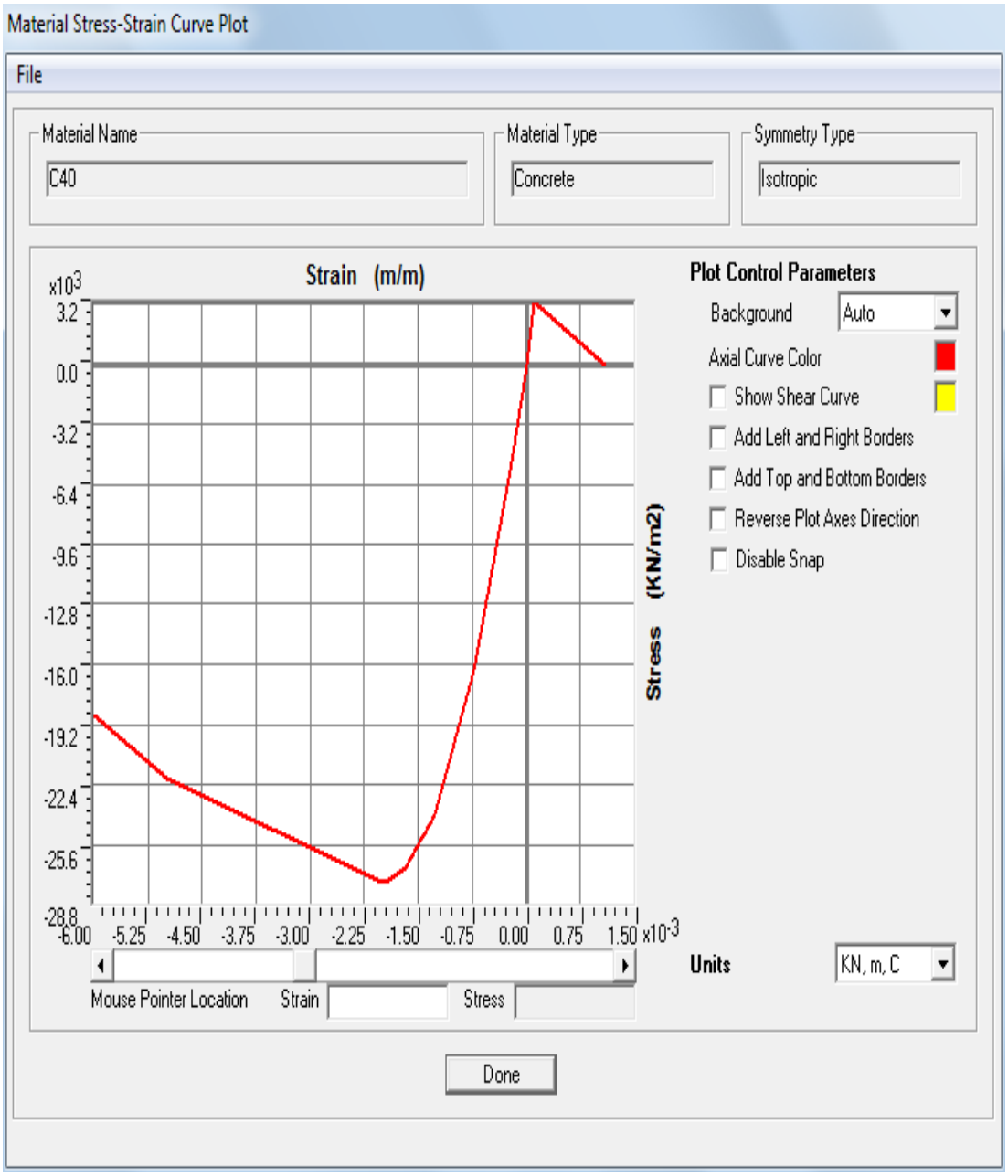
	Periyot	Kütle Katılım Oranı %
T_y (sn)	2.485	92.7
T_x(sn)	1.856	93.6



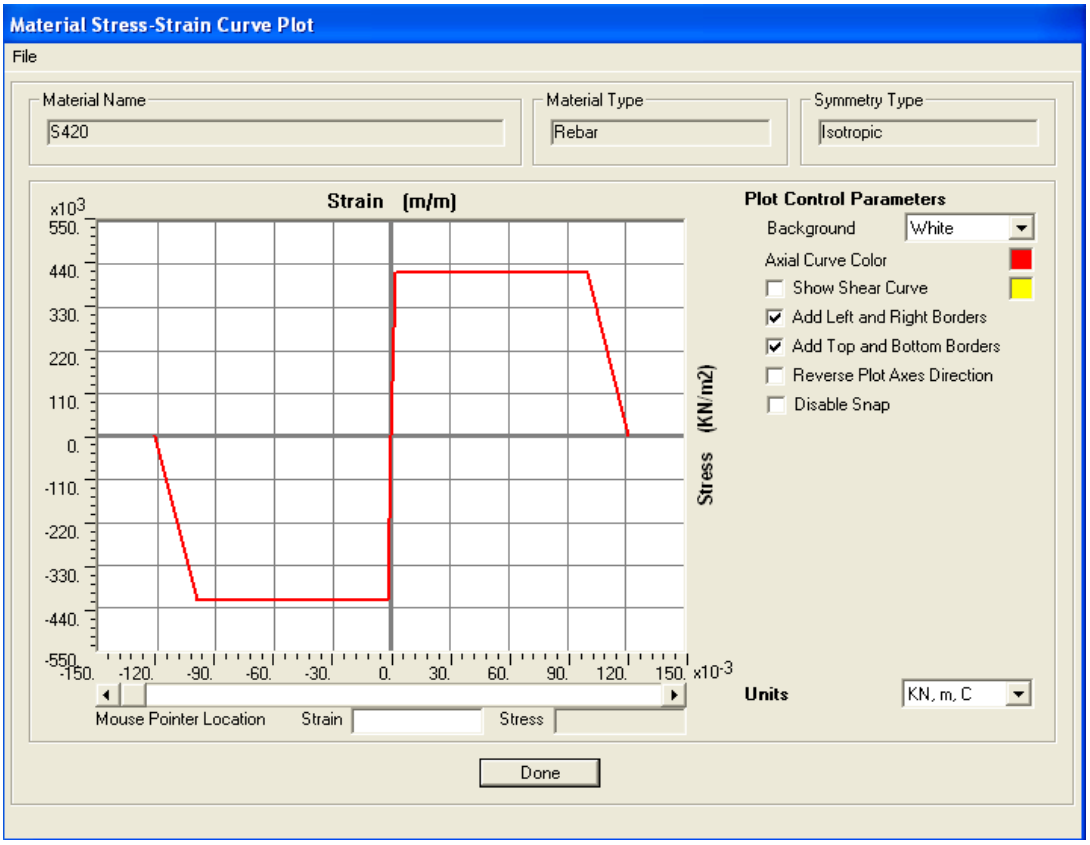
Şekil 3.4: Yapının üç boyutlu SAP2000 modeli

3.3.2.1 Sap2000 programında yapısal elemanlar için oluşturulan malzeme modelleri

Binada yapısal elemanlar için kullanılan beton sınıfı C40, donatı çeliği kalitesi S420 olarak alınmıştır. Malzemelerin sınır değerleri DBYBHY 2007 Ek 7B'de verilen modele uygun olarak belirlenmiştir. Şekil 3.5'da beton malzeme modeline ait gerilme-şekil değiştirme grafiği, Şekil 3.6'de ise donatı malzeme modeline ait gerilme şekil değiştirme grafiği gösterilmiştir



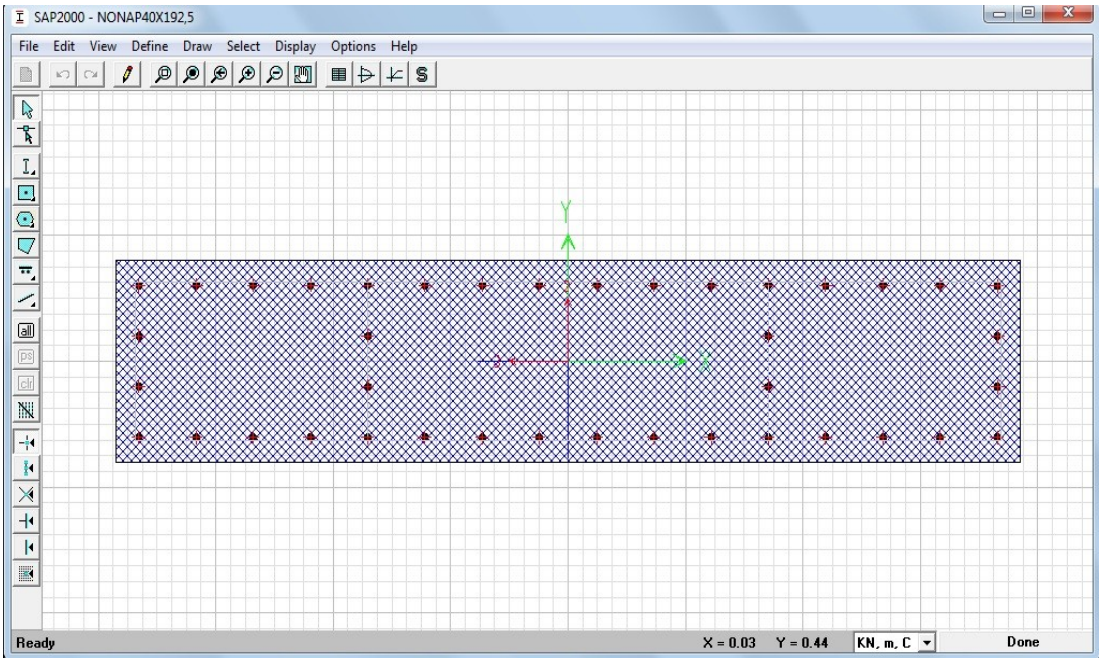
Şekil 3.5: C40 beton sınıfı için malzeme modeli



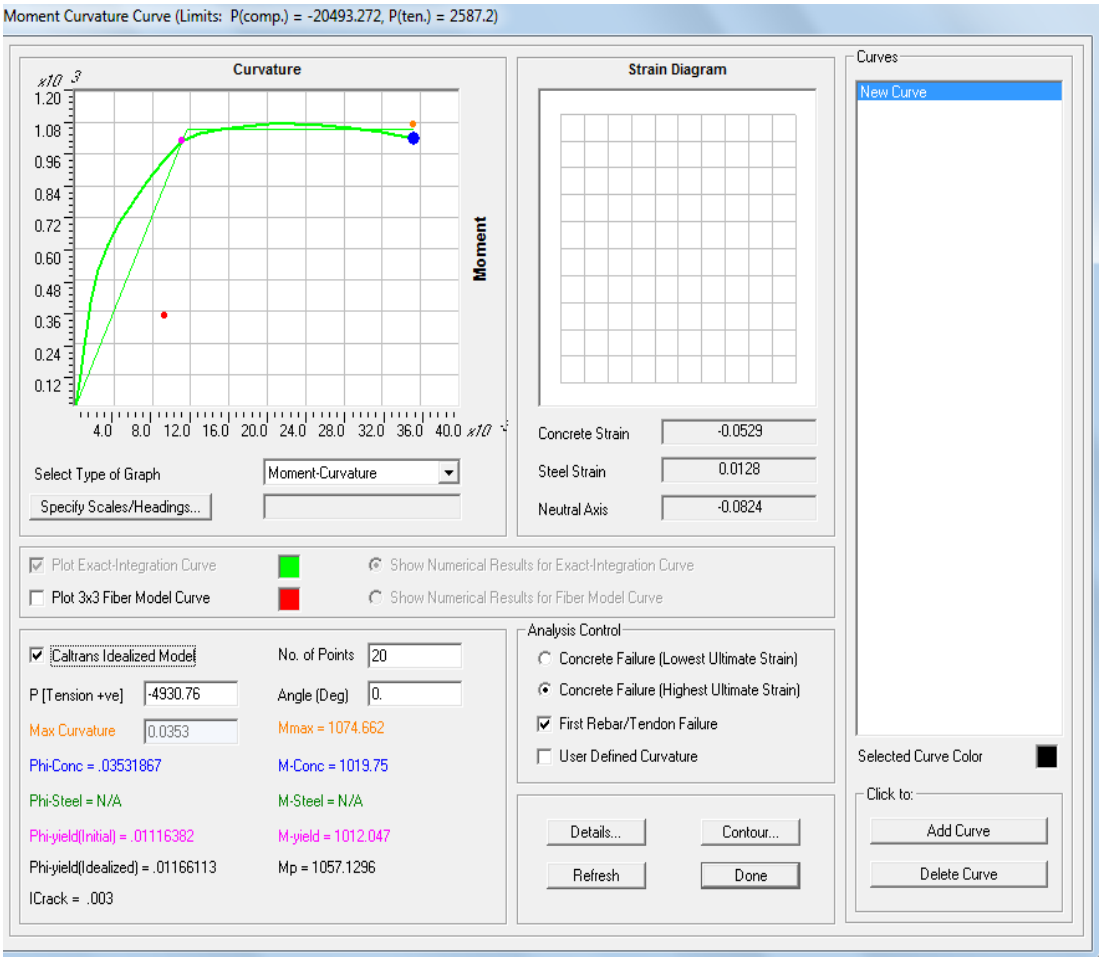
Şekil 3.6: S420 donatı çeliği için malzeme modeli

3.3.2.2 Yapısal elemanların moment-eğrilik bağıntılarının oluşturulması ve akma yüzeylerinin elde edilmesi

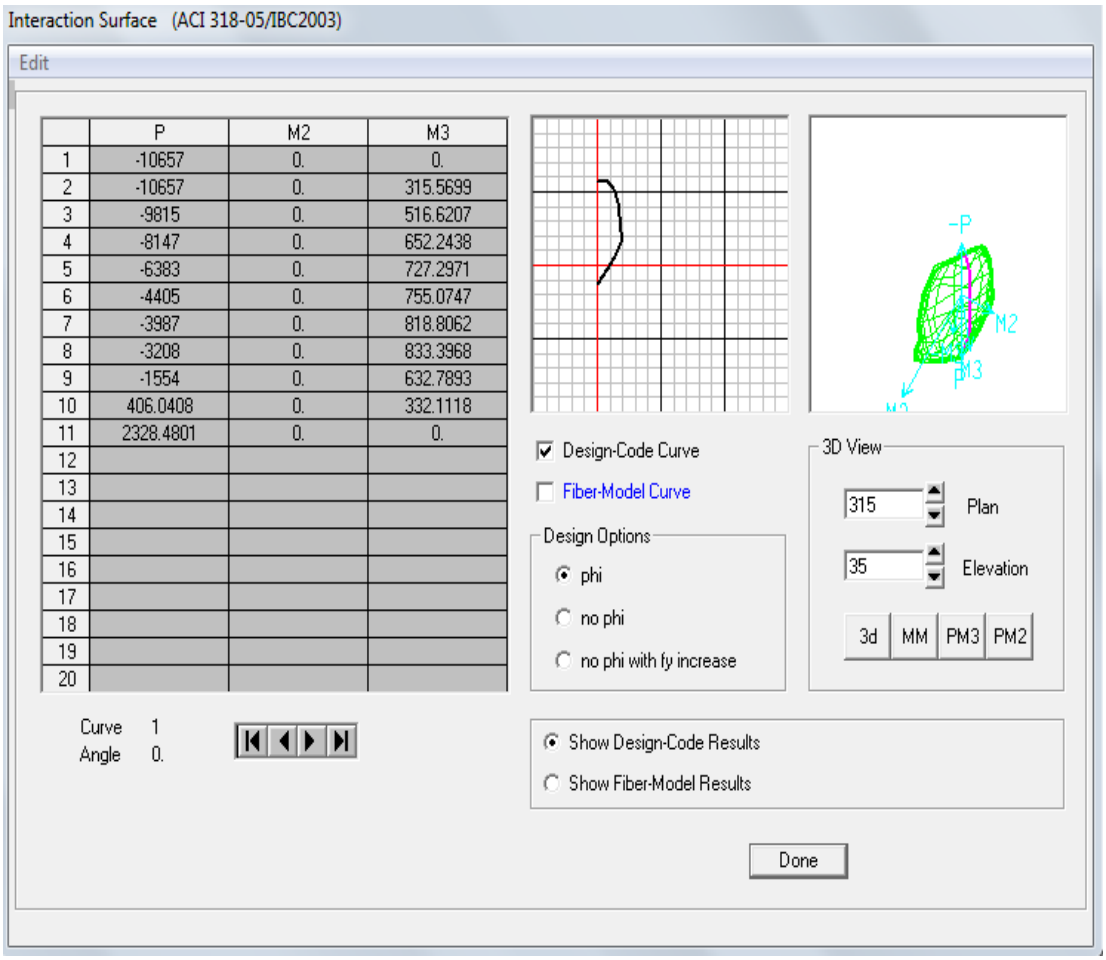
Yapısal elemanların doğrusal olmayan modellerinin oluşturulmasında, betonarme kiriş ve kolonlara ait akma yüzeylerinin tanımlanmasında ve hasar bölgelerini belirleyen beton ve donatı çeliğinin sınır şekil değiştirmelerine bağlı olarak normal kuvvet – eğrilik bağıntılarının çıkarılmasında SAP 2000 V.15.0 programının "Section Designer" arayüzü kullanılmıştır. Kolon ve perdeler eksenel kuvvet etkisi altında oldukları için moment-eğrilik bağıntıları ile birlikte akma yüzeyleri de hesaplanır kirişlerde ise eksenel kuvvet bulunmadığı için sadece moment-eğrilik bağıntılarının hesaplanması yeterlidir. Mevcut donatı yerleşimine göre kolon, perde ve kirişler "Section Designer" da tasarlanarak moment-eğrilik bağıntılarının belirlenir. Şekil 3.7'de "Section Designer" da çizimi yapılan bir asansör perdesi kesiti verilmiştir. Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da de yine aynı asansör perdesine ait perde kesitinin "Section Designer" da moment-eğrilik bağıntısı ve akma yüzeylerinin elde edilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.7: SAP2000'de bir asansör perdesi kesitinin "Section Designer"da tasarımı



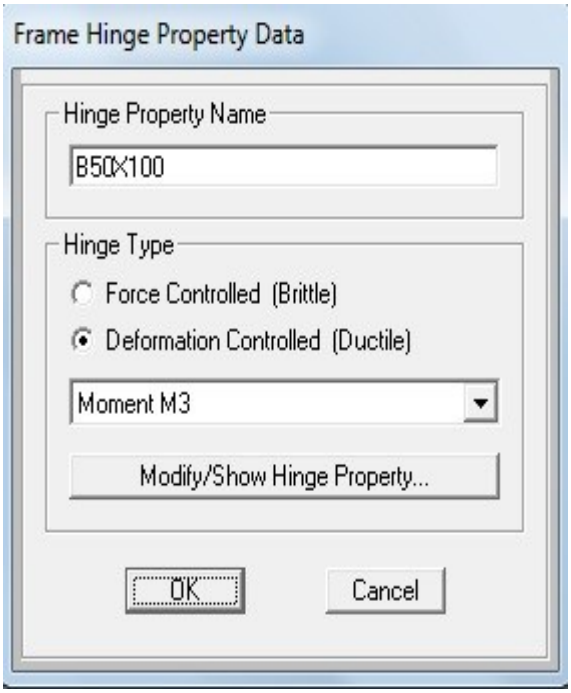
Şekil 3.8: SAP2000'de bir asasör perdesi kesitinin "Section Designer"da moment eğrilik bağıntısının hesaplaması



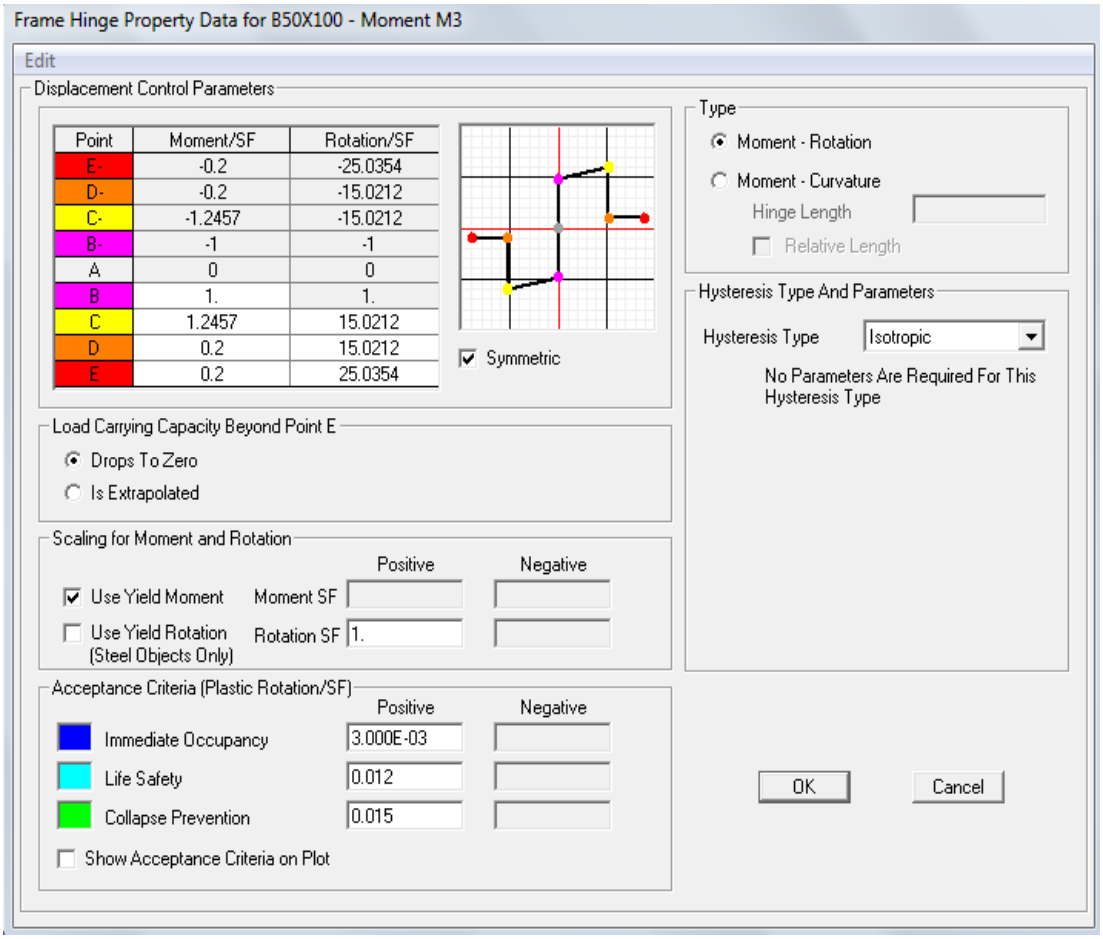
Şekil 3.9: SAP2000'de bir asasör perdesi kesitinin "Section Designer"da akma yüzeylerinin hesaplanması

3.3.2.3 Yapısal elemanlar için plastik mafsalların oluşturulması

Kolon, perde ve kirişlerin plastik mafsal özellikleri SAP2000 programında "Hinge Properties" modülünde tanımlanarak plastik mafsallar oluşturulur. Bu tanımlar yapılırken eksenel kuvvet dikkate alınarak, kolon ve perdeler için "Interacting P-M2-M3" PMM mafsal türü seçilmiştir, kirişlerde ise eksenel kuvvet bulunmadığı için M3 mafsalı seçilmiştir. Eleman şekil değiştirmelerinin uç bölgelerde yoğunlaştığı varsayılarak, plastik mafsallar yapısal elemanların uç bölgelere atanmıştır. "Section Designer" da kiriş kesitleri mevcut donatı koşullarına göre tasarlandıktan sonra "Show Moment-Curvature Curve" sekmesi ile çizilen kirişe ait moment ve eğrilik değerleri belirlenirek Şekil 3.10'de görülen "Hinge Properties" de seçilen kirişe ait moment ve eğrilik değerleri için hesaplanan katsayılar "Modify/Show Hinge Property" sekmesi tıklandığında açılan ekrana girilerek seçilen kirişe ait plastik mafsak oluşturulmuş olur.



Şekil 3.10: SAP2000 kiriş kesitleri için plastik mafsal özelliklerinin tanımlanması

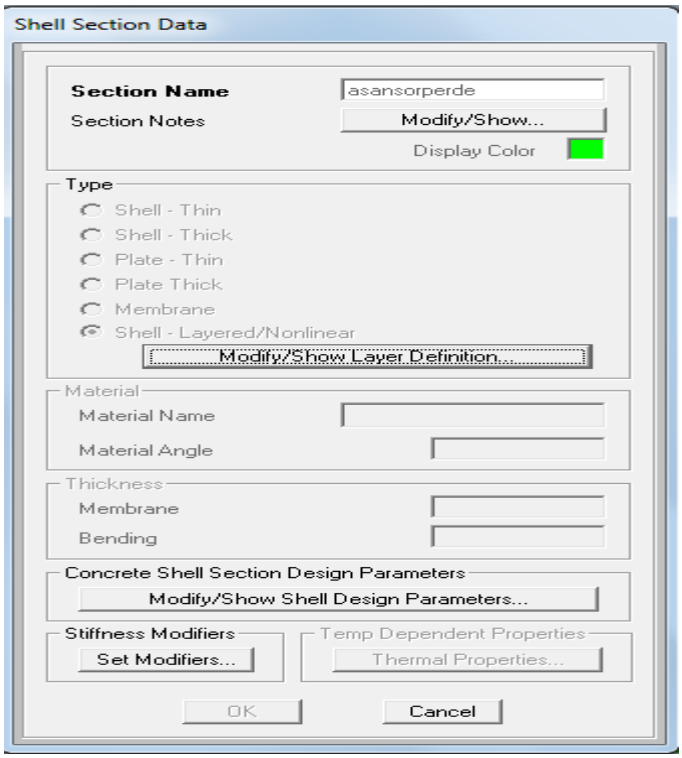


Şekil 3.11: SAP2000 kiriş kesitleri için M3 mafsalı veri girişi

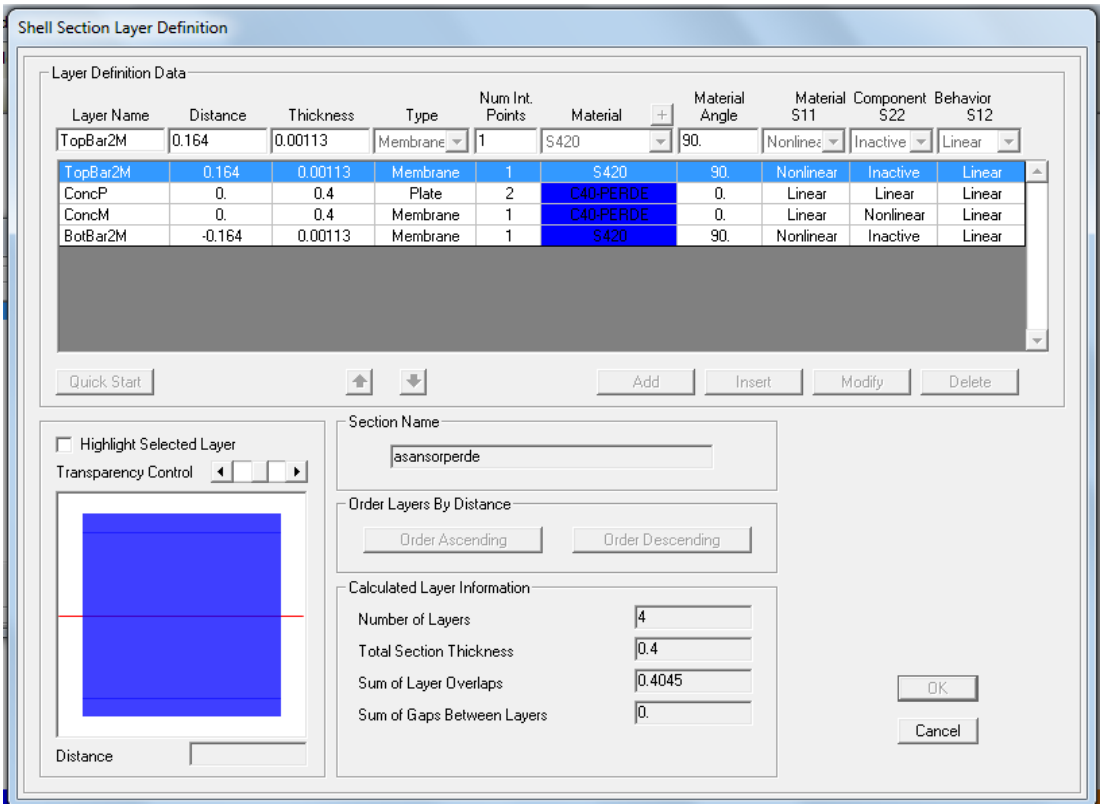
Kolonlar ve orta dikmeli çubuk eleman olarak modellenen perdeler için plastik mafsal hesapları aynıdır. “Section Designer” da kolon ve perde kesitleri mevcut donatı koşullarına göre tasarlandıktan sonra “Show Moment-Curvature Curve” sekmesi ile tasarlanan kolon veya perdeye ait moment ve eğrilik değerleri hesaplanır. Hesaplanan normal kuvvetlerin üst katlarda azalmasının göz önüne alındığı için her iki katta bir ortalama normal kuvvet değeri girilerek her kolon ve perde kesidi için her iki kat için bir normal kuvvet değeri tanımlanmıştır. Çubuk modelde kolon ve perde moment-eğrilik bağıntıları ile beraber akma yüzeylerine ait değerlerde plastik mafsallar oluşturulurken programa “Show Moment-Curvature Curve” sekmesinden alınan moment ve eğrilik değerleri Şekil 3.12’de gösterilen “Hinge Properties” sekmesinde içinde bulunan Şekil 3.13’de gösterilen “Modify/Show Hinge Property” sekmesine girilir.

Kolonların ve perdelerin donatıları simetrik olduğu için Şekil 3.15’de gösterilen pencerede “Symmetry Condition” “Doubly Symmetric” seçilir. Yine kolon ve perdeler için donatıların simetrik olmasından dolayı “Curve Angles for Moment Rotation Curves” sekmesinde “Number of Angles” 0° ve 90° olarak seçilir. Kolonlarda karşılıklı etki diyagramlarının SAP2000’de tanımlanması için “Modify/Show P-M2-M3 Interaction Surface Data” penceresinden “Axial Load-Dışplacement Releationship” sekmesinde normal kuvvet yer değiştirme ilişkisi yönetmelik gereğince “Elastic-Perfectly Plastic” olarak seçilir. “Interaction Surface Definition” için“Section Designer” dan elde edilen veriler girilir. “Define/Show User Interaction Surface” penceresinde “Doubly Symmetric about M2 and M3” seçilir. Kolonlar “Number of Curves” 0° den 90° ye kadar dört perdeler için altı açının P-M2-M3 değerleri girilir. “Number of Points on Each Curve” kutucuğuna SAP2000’de “Section Designer” da her bir kesitin karşıklı etki diyagramı için on bir noktanın değerini verdiğinden dolayı bu onbir noktanın değerleri olduğu gibi girilir ve böylece kolonlar ve perdeler için plastik mafsal tasarımı yapılmış olur.

Çok katmalı kabuk eleman olarak modellenen perdeler için modelleme yapılırken “Shell Section Data” sekmesinde “Shell-Layered Non Lineer” butonu tıklanarak katmanlar için beton malzeme değerleri paspayları ve yerel eksenler için donatı adetleri ve boyutları girilerek perde modeli oluşturulur.



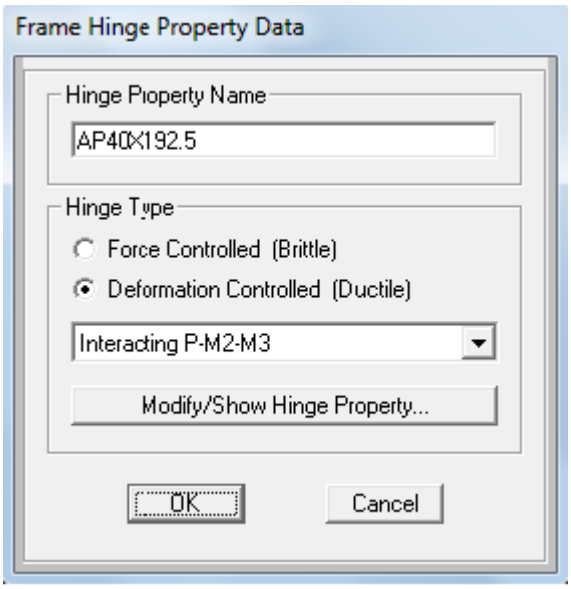
Şekil 3.12: SAP2000 doğrusal olmayan çok katmanlı kabuk perde modeli için veri girişi



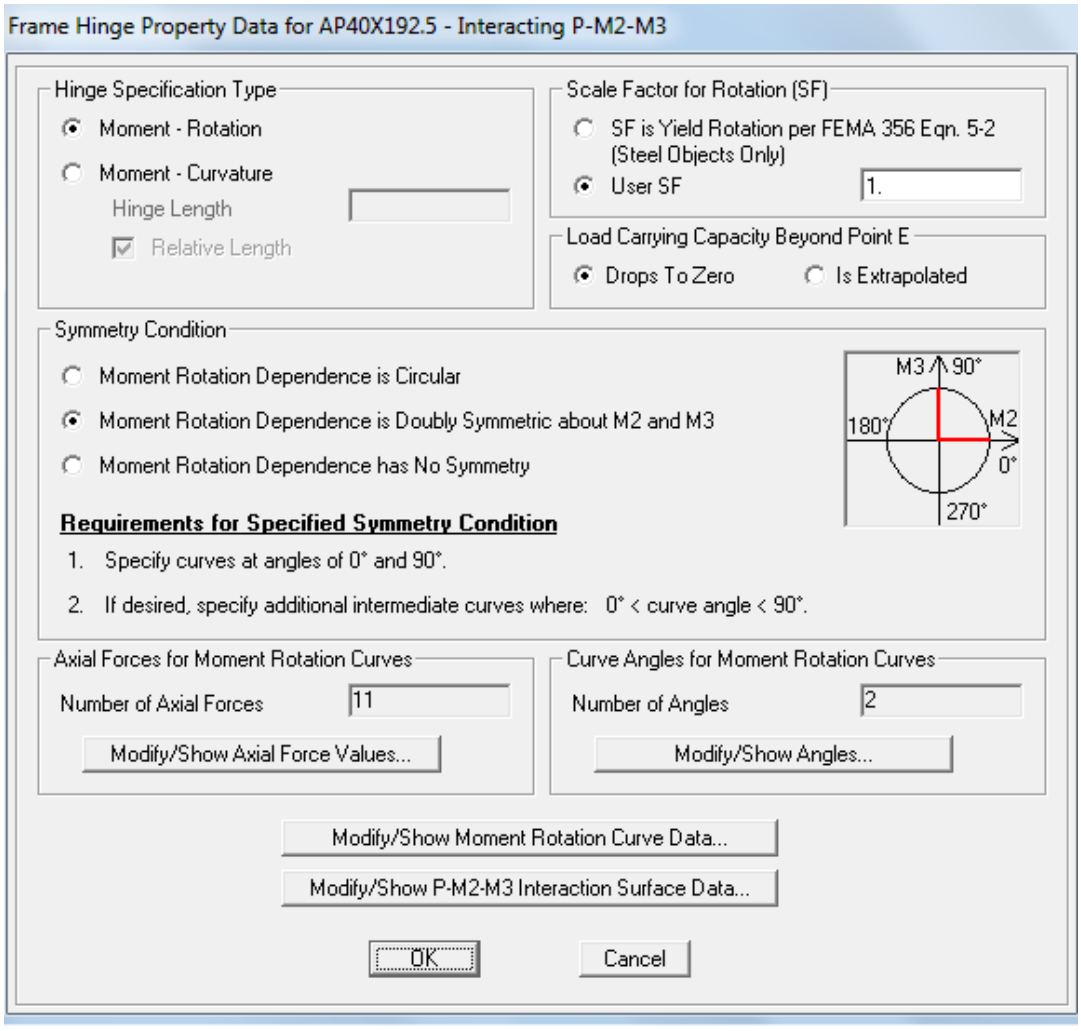
Şekil 3.13: SAP2000 doğrusal olmayan çok katmanlı kabuk perde modeli için katmanların oluşturulması

Çizelge 3.3 : Kolonların ve perdelerin katlara göre normal kuvvet değişimi

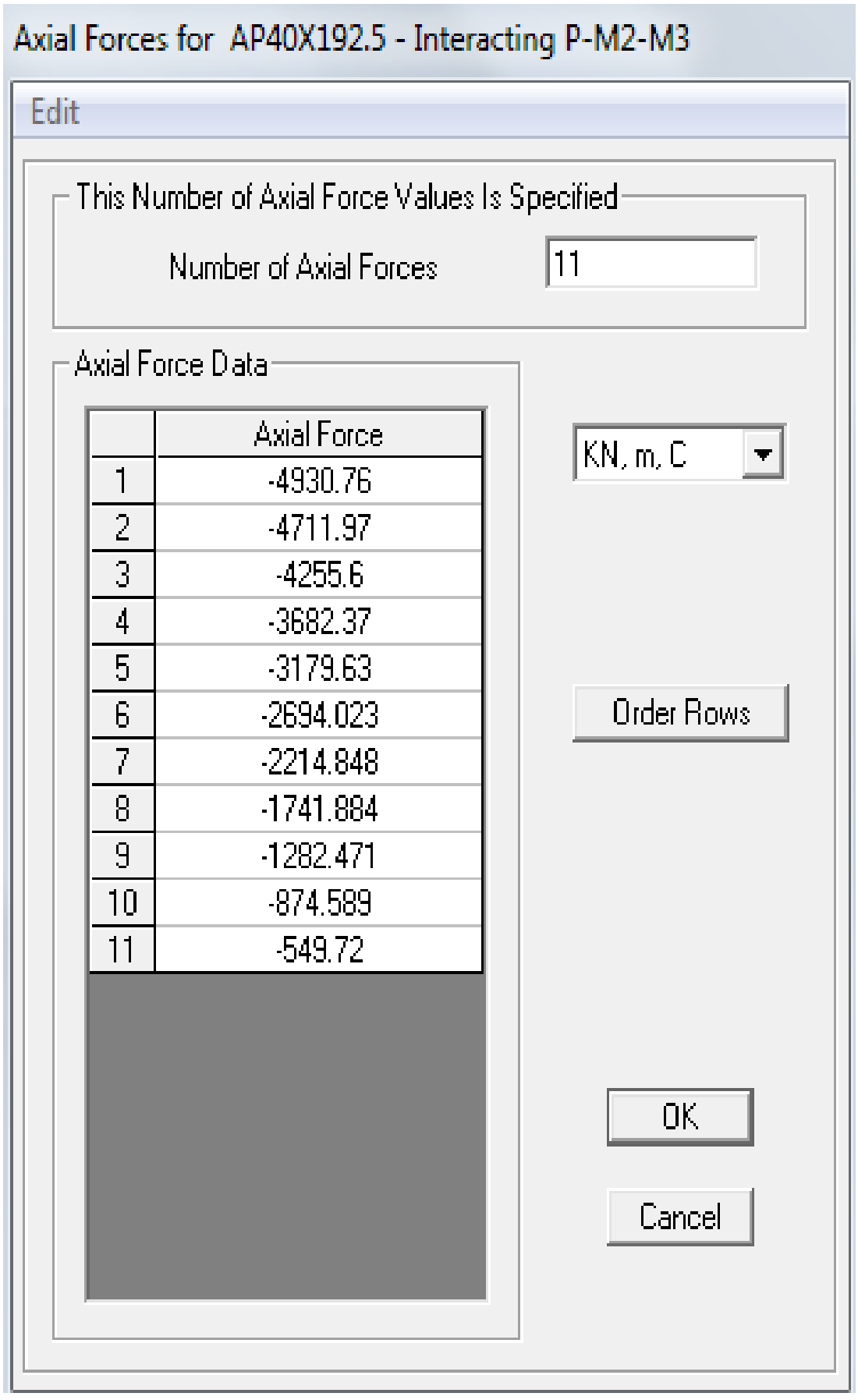
	BODRUM PERDE	C70X70 (F-G AKSLARI)	C70X70 (21-6 AKSLARI)	C80X80	C70X125	AP30X385	AP30X192.5	AP30X660	AP30X910	AP30X380
1	-1620.218	-481.61	-2980.598	-10912.87	-11820.987	-12631.813	-4711.972	-14260.497	-24321.593	-8338.82
2	-714.997	-131.926	-1031.65	-9831.85	-10824.828	-12751.253	-4930.757	-13753.125	-23659.744	-7946.426
3				-8705.783	-9316.463	-11229.253	-4255.596	-12122.659	-21086.173	-7160.916
4				-7720.853	-8055.77	-9482.316	-3682.371	-10531.195	-18436.531	-6420.784
5				-6739.99	-6846.825	-7994.252	-3179.63	-8994.423	-15871.07	-5636.602
6				-5763.344	-5665.144	-6634.187	-2694.023	-7557.579	-13337.137	-4833.128
7				-4790.953	-4552.391	-5344.029	-2214.848	-6224.875	-10837.92	-4030.154
8				-3822.927	-3494.1989	-4102.402	-1741.884	-4956.16	-8430.478	-3238.554
9				-2859.463	-2497.403	-2925.12	-1282.471	-3703.689	-6186.821	-2664.752
10				-1900.8	-1563.247	-1898.56	-874.589	-2480.824	-4171.672	-1712.712
11				-947.01	-686.074	-1115.858	-549.72	-1374.069	-2421.155	-981.399



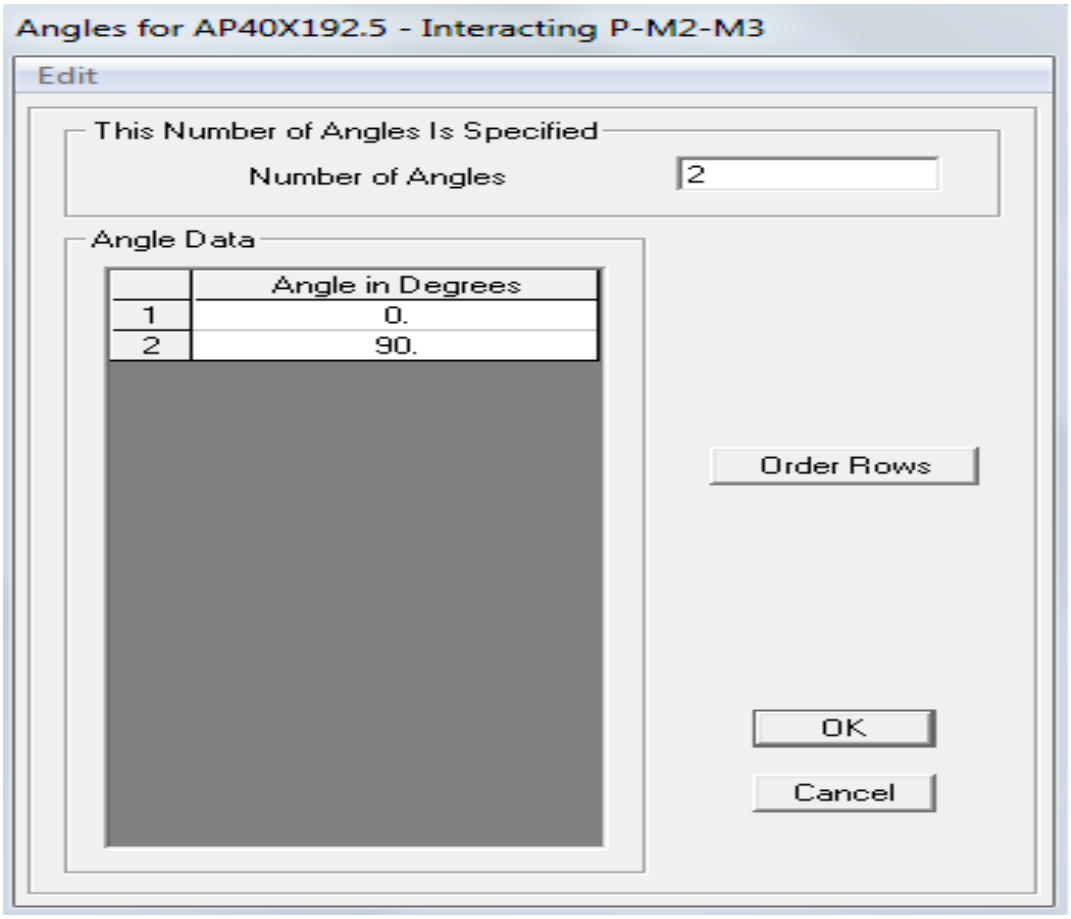
Şekil 3.14: SAP2000 çubuk model perde kesitleri için plastik mafsal tanımlanması



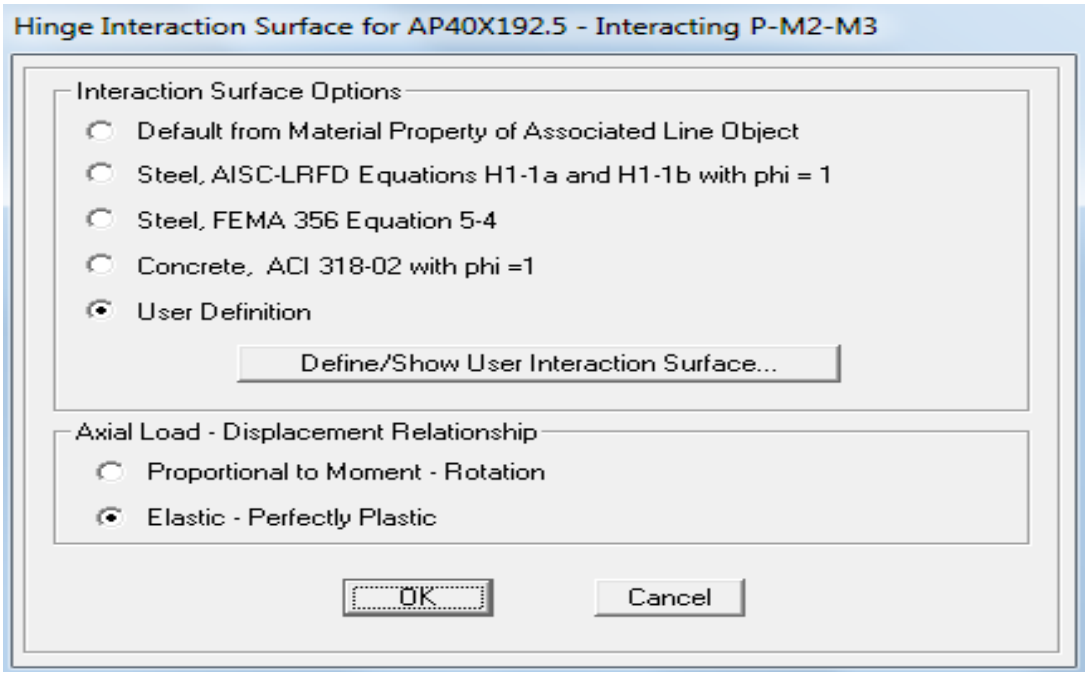
Şekil 3.15: SAP2000 P-M2-M3 mafsalı için veri girişi



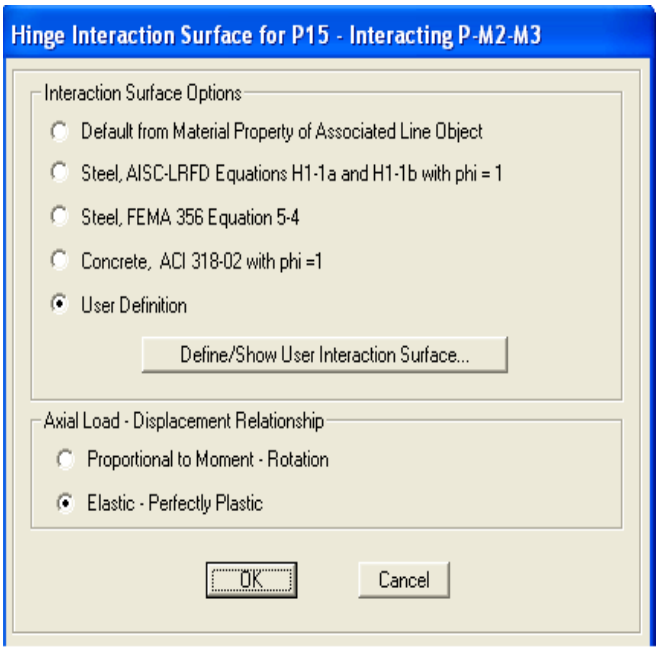
Şekil 3.16: 2000 P-M2-M3 tipi plastik mafsalı için eksenel kuvvet değerlerinin girişi



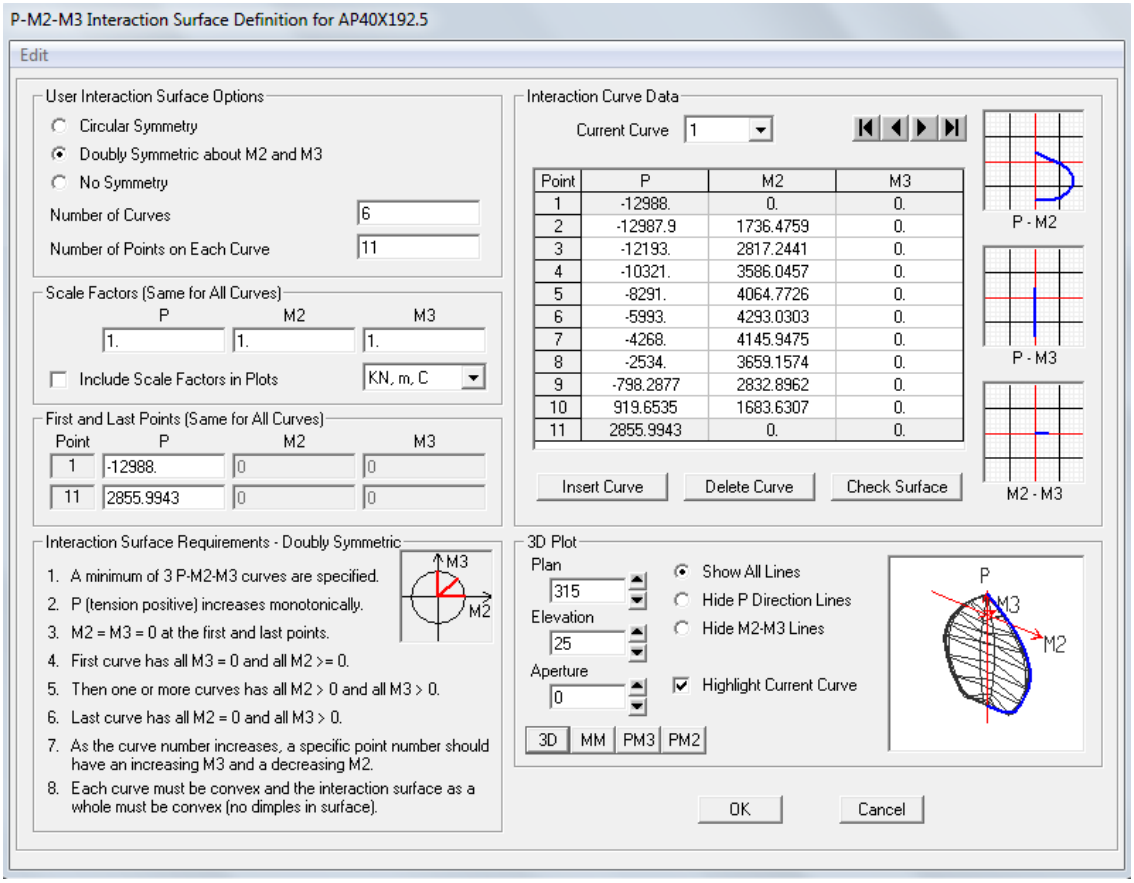
Şekil 3.17: SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı açı değerleri için veri girişi



Şekil 3.18: SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için veri girişi



Şekil 3.19: SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için normal kuvvet- deplasman ilişkisinin seçilmesi



Şekil 3.20: SAP2000 P-M2-M3 plastik mafsalı için akma yüzeyi diyagramı değerlerinin girilmesi

3.4 Mevcut Yapının Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesaplama Yöntemi ile Çözümlenmesi

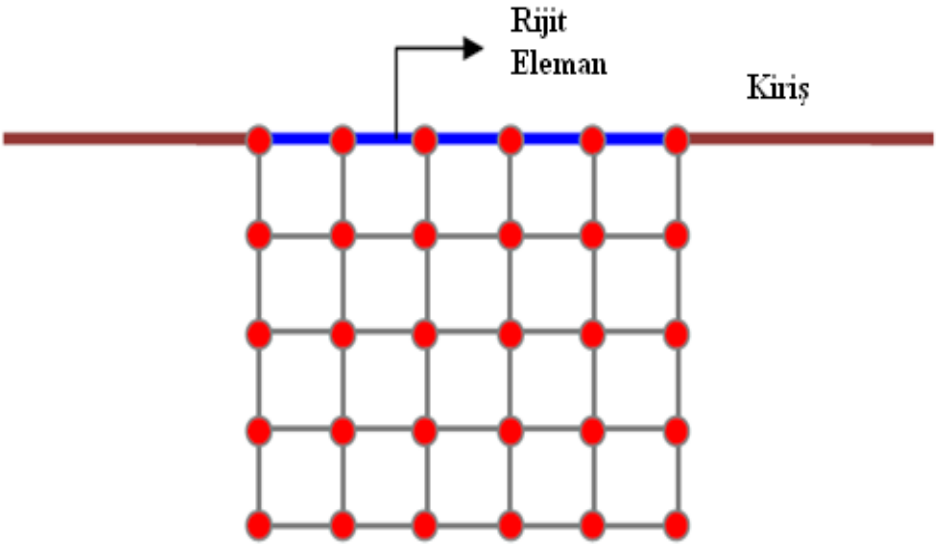
3.4.1 Giriş

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi ile çözümleme, tasıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak hareket denkleminin adım adım entegre edilmesi ile yapılır. Bu hesap yönteminde zaman tanım alanında çözümleme için kabul edilen bir benzetilmiş veya gerçek deprem hareketi esas alınıp, her bir zaman artımında taşıyıcı sistemde meydana gelen plastik şekil değiştirme, yer değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karsı gelen maksimum değerleri hesaplanarak çözümleme yapılır.

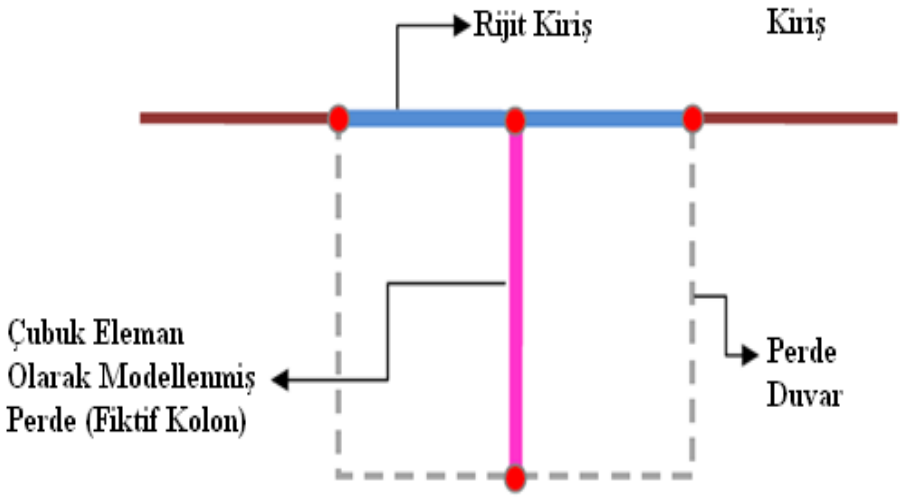
3.4.2 Modelleme ve çözümleme aşamasında yapılan kabuller

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemenin süresini azaltmak için 23 katlı binanın SAP2000 modellenmesinde bazı kabuller yapılmıştır:

1) Perde Kesitleri hem çok katmanlı kabuk model hemde orta dikmeli çubuk model olarak modellenmilştir. Fakat kabuk eleman olarak boyutlanan perdeler modelin analiz süresini bir hayli uzatacağı için sonlu elemanlara bölme işlemi yapılmamıştır. Sap2000 modelinde, perde elemanlar, orta dikmeli çubuk eleman olarak tanımlanan perde elemanı taşıyıcı sisteme bağlamak için çubuk elemanın kat hizasına sonsuz rijit ve fiktif kirişler tanımlanmıştır. Tanımlanan sonsuz rijit ve fiktif kirişlerin kütleleri ve ağırlıkları ihmal edilerek rijit eleman olarak çalışabilmeleri için kesitlerinin 2 ve 3 yerel eksenleri doğrultusundaki atalet momentleri ile ilgili katsayı değeri 100 alınmıştır.
2) Mevcut binanın temeli üç boyutlu Sap2000 modelinde radye temel yerine ankastre mesnet temel olarak modellenmiştir
3) Zemin kattan itibaren kullanılan mantar döşemeler üç boyutlu Sap2000 modelinde kaldırılarak döşemeye gelen yükler, fiktif kirişlere etkitilmiştir.
4) Zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılırken çözüm süresini azaltmak için P-delta etkileri ihmal edilmiştir.



Şekil 3.21: Çok katmanlı kabuk eleman olarak oluşturulan perde modeli



Şekil 3.22: Orta dikmeli çubuk eleman olarak oluşturulan perde modeli

3.4.3. Çözümleme kullanılacak deprem ivme kayıtlarının belirlenmesi

Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir[1].

Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir[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.

Zaman tanım alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde gözönüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar yukarıda verilen tüm koşulları sağlayacaktır[1].

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır[1].

Bu tez çalışmasında DBYBHY 2007 Bölüm 2.9.1 de istenen koşullara göre üretilen iki adet deprem yer hareketi ve bir adet gerçek deprem yer hareketi, X ve Y doğrultularında binaya etkitilerek zaman tanım alanında altı adet doğrusal olmayan çözümleme yapılmıştır.

Analizde kullanılan deprem kayıtları seçilirken deprem yönetmeliğinin istediği koşullara uygun bir seçim yapılmıştır. DBYBHY 2007'de istenen birinci koşul olan Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır[1]. Koşuluna uygundur. Seçilen

depremlerin süresini yapının birinci doğal titreşim periyodu 2,485 sn'nin beş katından ve 15 sn.'den uzundur.

DBYBHY 2007'de istenen koşullardan ikincisi olan üretilen deprem yer hareketinin kayıtlarının sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0g'den daha küçük olmayacaktır[1]. Koşulunu sağlamaktadır. Üretilen deprem yer hareketinin kayıtlarının sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerleri Çizelge 3.4'de verilmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için ikinci şartın sağlandığı aşağıda gösterilmiştir.

$[420.126 + 427.445 + 488.301] / 3 = 445.29$ cm/sn^2 >392.4 cm/sn^2 =0.4 x 981 cm/sn^2

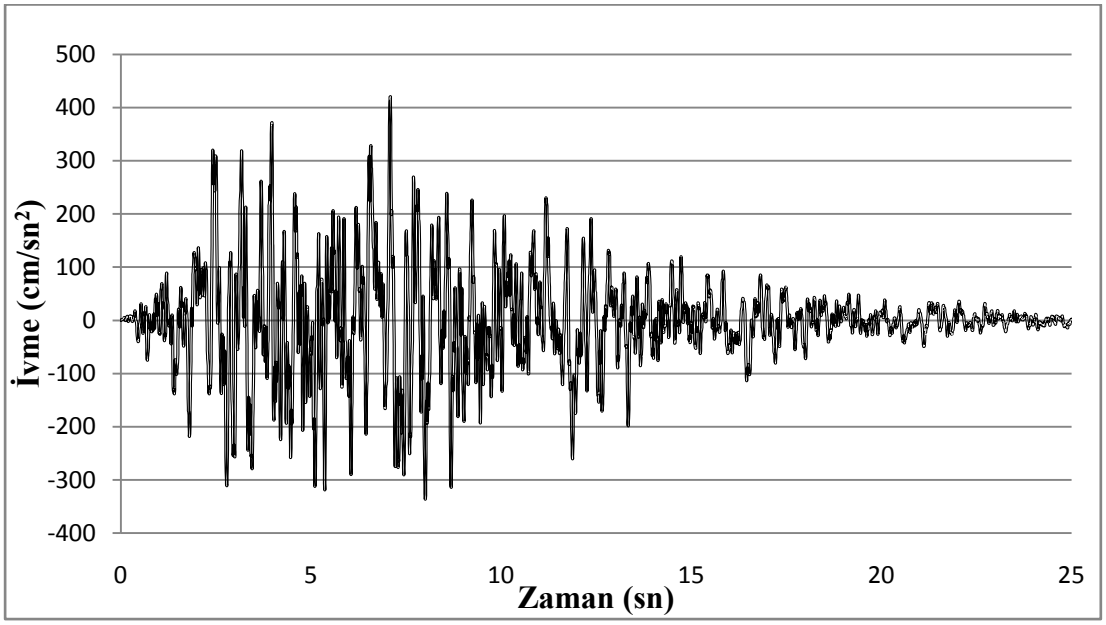
DBYBHY 2007'de istenen koşullardan üçüncüsü olan yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için ortalama değerleri alınan spektrumun $S_{ae}(t)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır[1]. koşuluna uygun olduğu Şekil 3.27'da gösterilmiştir.

Deprem yer hareketinin kayıtlarının özellikleri Çizelge 3.4'de özetlenmiştir.

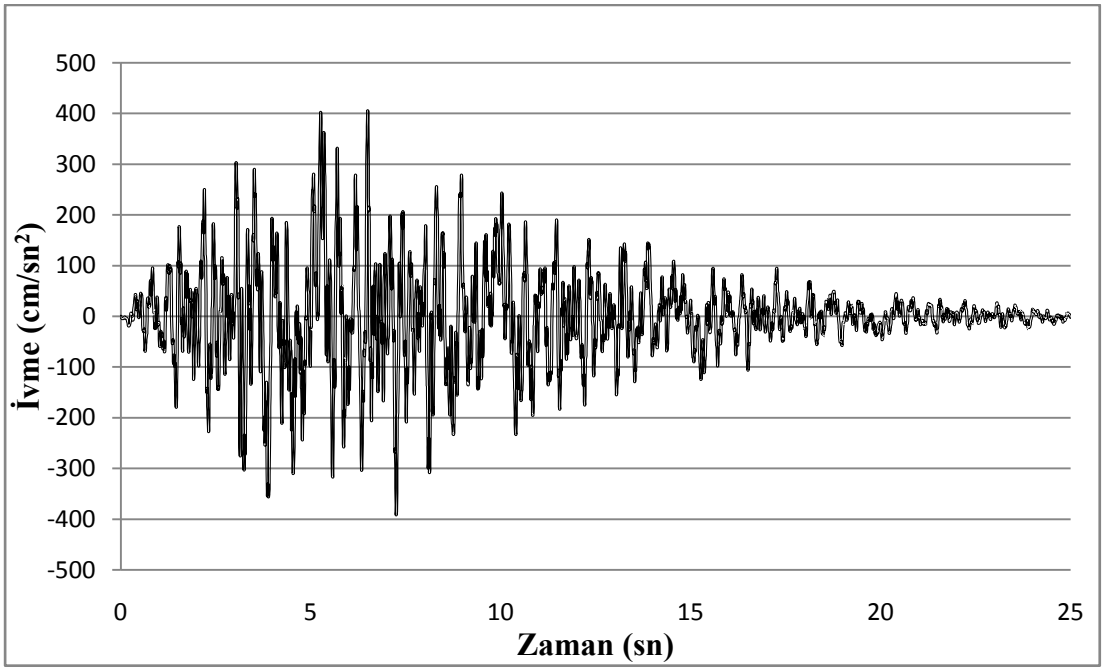
Çizelge 3.4 : Çözümlemede kullanılan deprem kayıtları

Deprem	Süre (sn)	Toplam Adım Sayısı	Analiz Zaman İlerleme Aralığı	Veri Çıktı Zaman İlerleme Aralığı	T=0 anında yer ivmesi değeri (cm/sn^2)
eq1	25.00	2500	0.005	0.01	420.126
eq2	25.00	2500	0.005	0.01	427.445
erzincan-db	20.94	2094	0.01	0.01	488.301

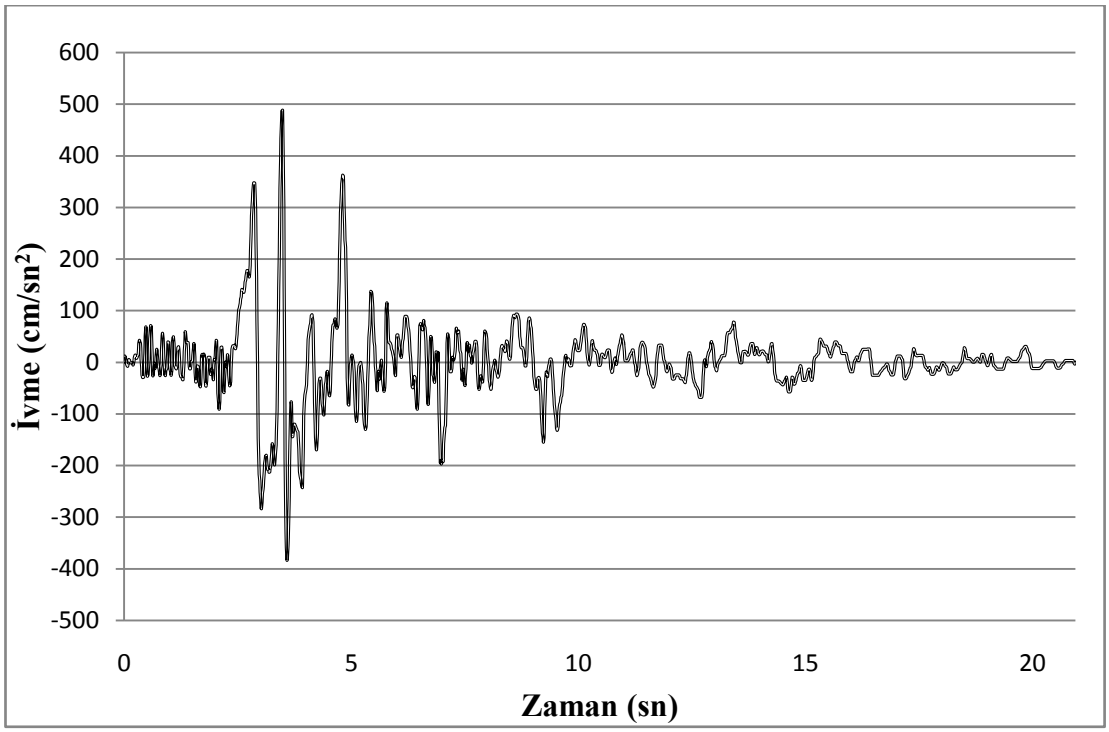
Çizelge 3.4'de gösterilen deprem kayıtları SeismoSignal programı yardımıyla incelenmiş olup spektral ivme-periyot geçmişine dönüştürülüp ivme spektrumu ile eşleştirilmiştir [16]. eq1 ve eq2 deprem kayıtları yapay yollarla üretilmiş deprem ivme kayıtlarıdır, erzincan-db deprem yer hareketi ivme kaydı gerçek deprem kaydıdır. Belirlenen deprem ivme kayıtları Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-eq1

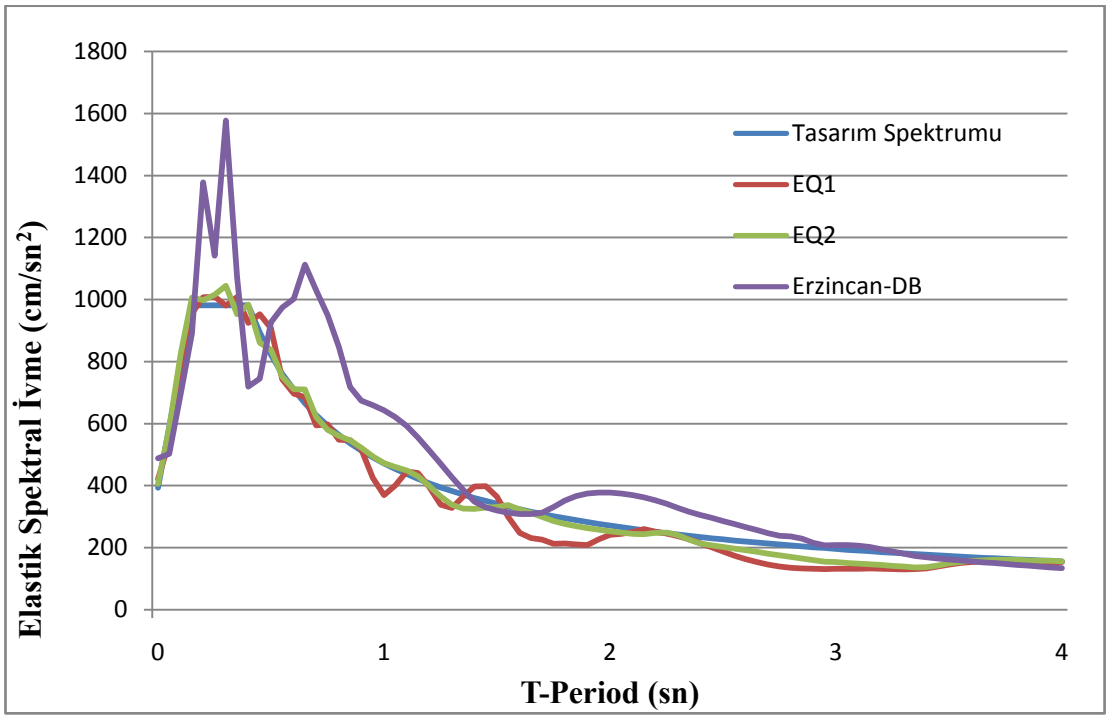


Şekil 3.24: Yapay yollarla üretilmiş deprem kaydı-eq2



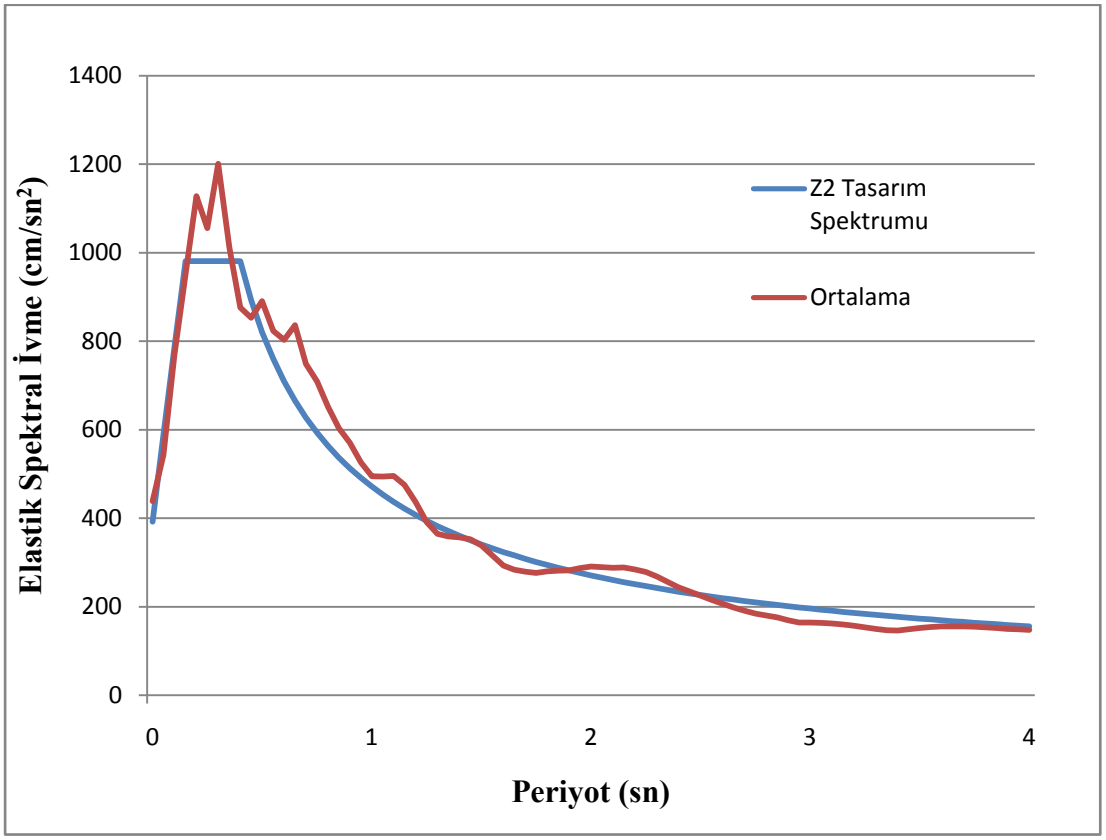
Şekil 3.25: erzincan-db deprem kaydı

SeismoSignal programı yardımıyla spektral ivme-periyot geçmişine dönüştürülmüş deprem kayıtları ve Z2 yerel zemin sınıfına göre tanımlanan Tasarım Spektrumu Şekil 3.26' de gösterilmiştir.



Şekil 3.26: Elastik spektral ivme - periyot

Yönetmelikte istenilen üçüncü şart olan ortalama değerleri hesaplanan deprem kayıtlarının Z2 yerel zemin sınıfı için tanımlanan S_{ae} (t) elastik ivme spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmadığı Şekil 3.27'da gösterilmiştir.

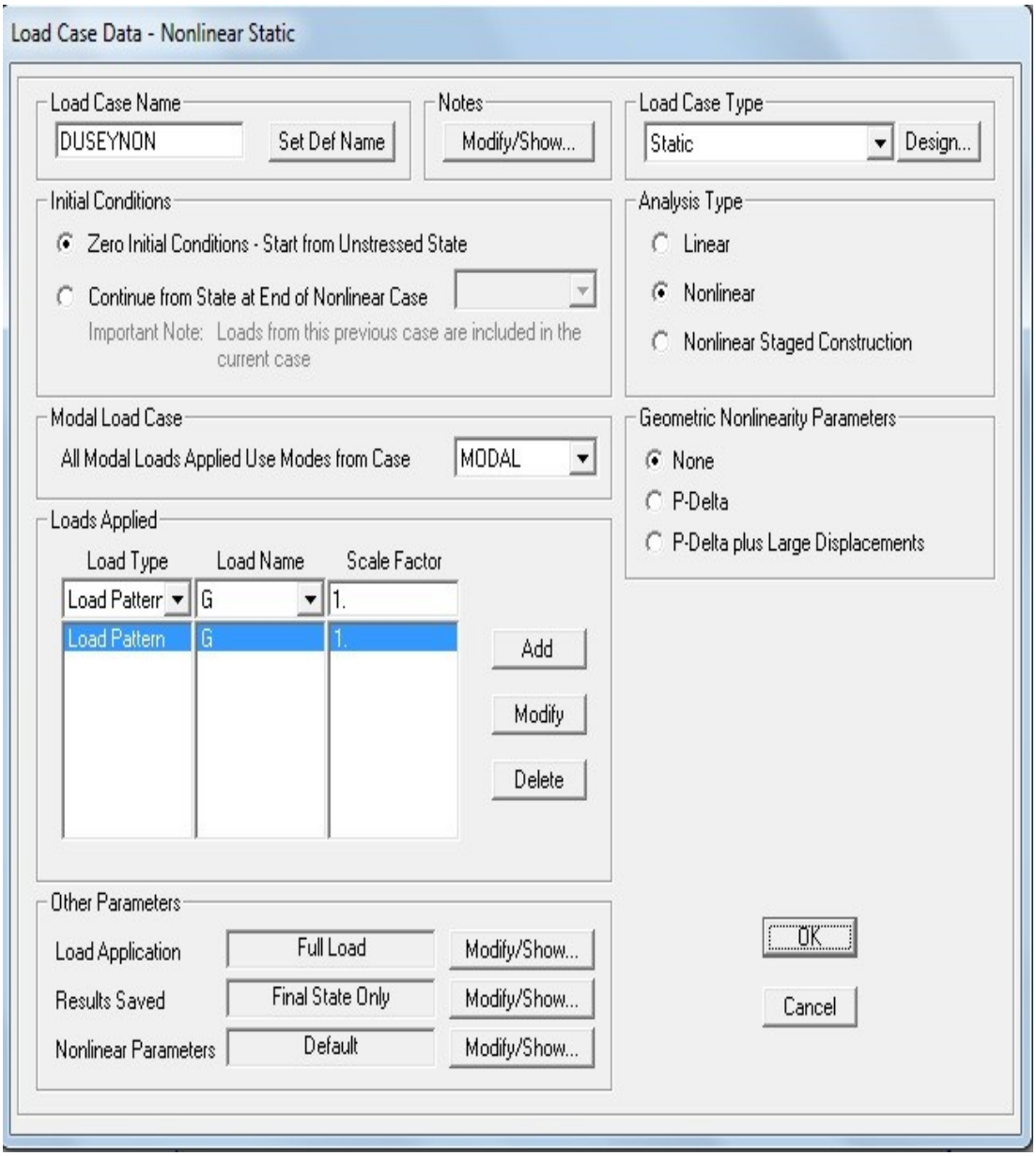


Şekil 3.27: Ortalama elastik spektral ivme - periyot

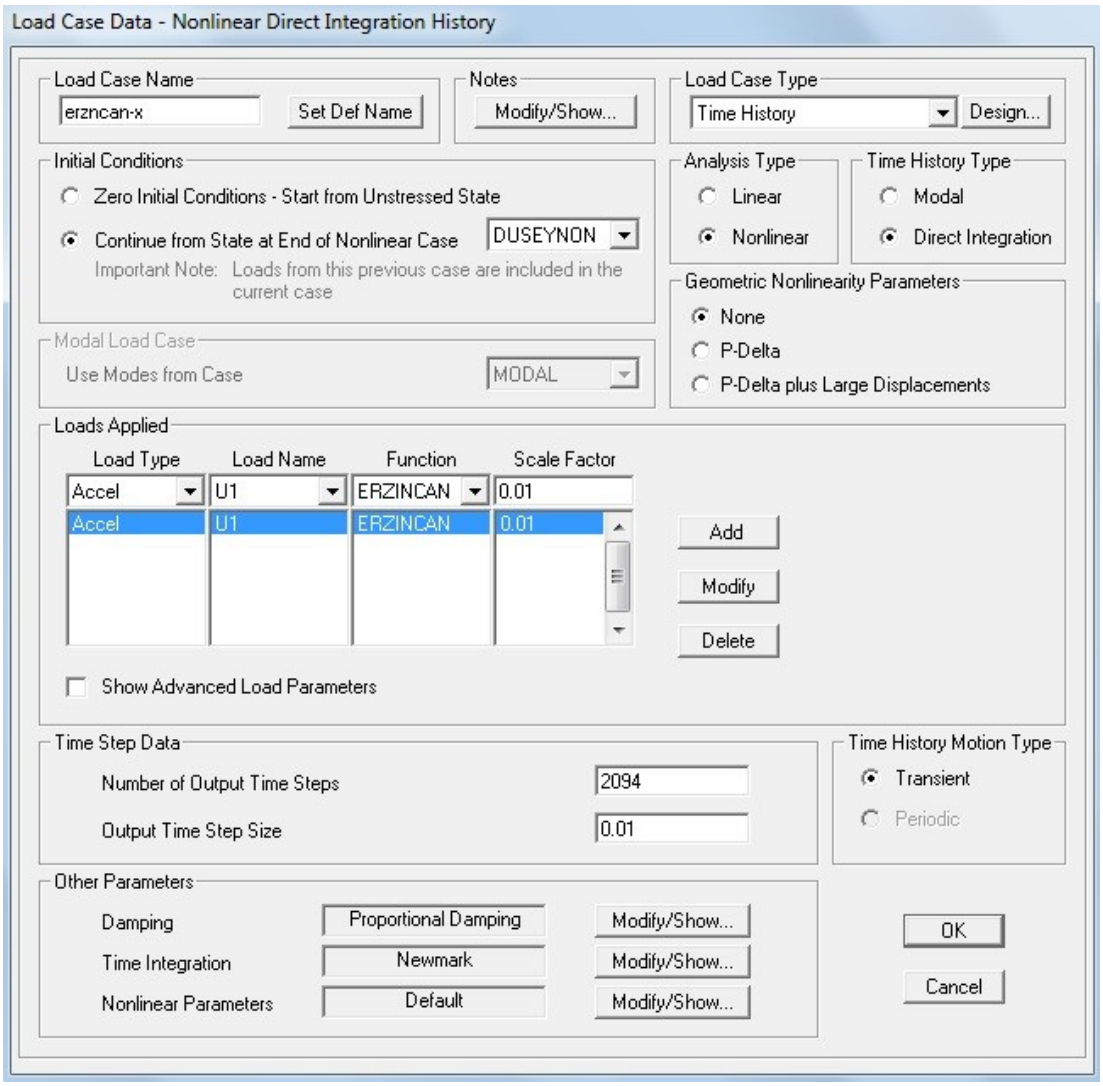
3.4.4 SAP 2000'de zaman tanım alanında çözümleme için veri girişi yapılması

SAP2000'de zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için yüklemeye ait veri girişi ve tanımlamaları Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'de örnek olarak bir yükleme için gösterilmiştir. Şekil 3.29'da gösterildiği gibi zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemeden önce kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı bir doğrusal olmayan statik çözümleme yapılmış ve bu çözümlemenin sonuçları zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümlemenin başlangıç koşulları olarak dikkate alınarak zaman tanım alanında çözümlemeye başlanmıştır. Şekil 3.28'de doğrusal olmayan statik çözümleme örneği gösterilmiştir. Şekil 3.29'de gösterilen zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için veri girişi örneğinde, "Load Case Name" sekmesinde Erzincan-db olarak isimlendirilen deprem durumunda Erzincan-db depremi kaydının binaya "x" yönünde etkitilmesini göstermektedir.

Yükleme tipi olarak “Time History” tipi seçilmiştir.“Time History” tipi olarak da “Direct Integration” seçilmiştir. Çözümleme süresini kısaltmak için “Geometric Nonlinearity Parameters”, P-Delta etkileri ihmal edilerek “None” olarak sekmesi işaretlenmiştir. Erzincan-db yapay depreminin ivme kaydı 20.94 saniye olduğu için toplam adım sayısı 2094 adım olacak şekilde veri çıktı zaman aralığı 0.01, olarak ayarlanmıştır. “Nonlinear Parameters” bölümündeki “Damping” penceresinden binanın ilk iki periyot değerlerinin %5’i oranında sönüm tanımlanmıştır. Yine “Time Integration” bölümünde entegrasyon yöntemi olarak “Newmark” yöntemi seçilmiştir. Bütün bu işlemlerden sonra Erzincan-db yapay depremi için x yönünde yükleme tanımlanmış oldu.



Şekil 3.28: Doğrusal Olmayan Statik Analiz için Veri Girişi



Şekil 3.29: Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz için Veri Girişine Örnek

DBYBHY 2007'ye göre üretilen iki deprem ivme kaydı eq1 ile eq2 ve gerçek deprem kaydı olan Erzincan-db deprem ivme kaydı x ve y yönlerinde de ayrı ayrı etki ettirililerek toplam 6 tane zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılmıştır.

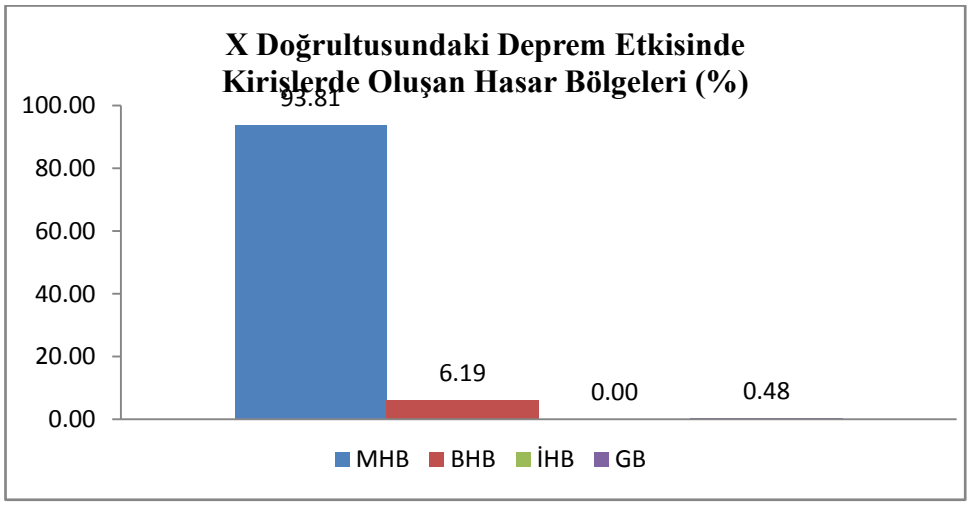
3.5 Mevcut binaya ait zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi

Tez çalışmasında, mevcut 23 katlı betonarme yapı için iki adet yapay yollarla üretilmiş deprem ivme kaydı ve bir adet gerçek deprem ivme kaydı her iki yönde (X ve Y yönlerinde) ayrı ayrı uygulanarak zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılmıştır.

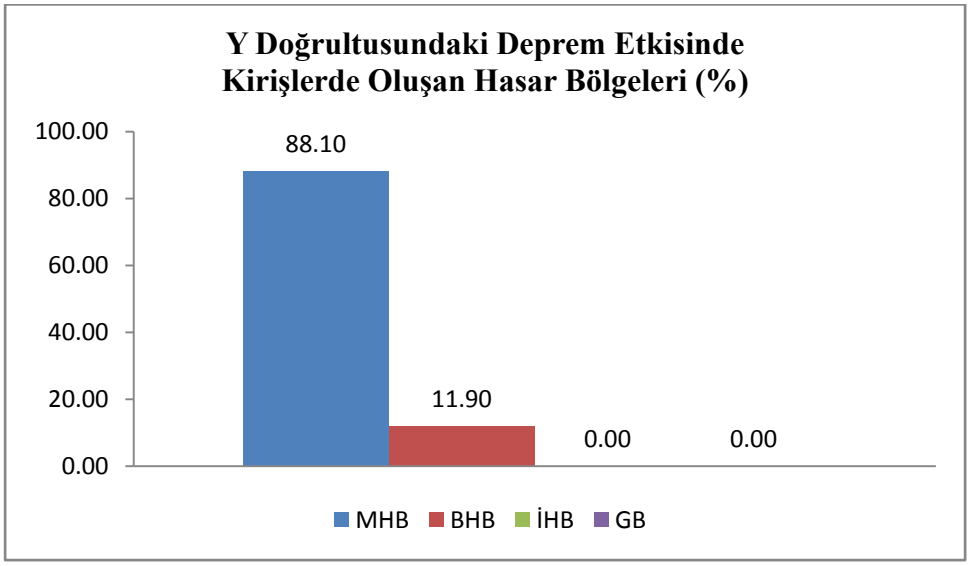
Yapısal elemanların uç bölgelerine atanan plastik mafsalların bir kısmında zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme sonucunda plastik mafsallar oluşmuştur. Çözümleme esnasında plastikleşen kesitlerde, beton ve donatı çeliğinin şekil değiştirmesi ile belirli bir miktarda plastik dönmeler oluşmuştur. Çalışma kapsamında her iki yönde 3 adet deprem ivme kaydı kullanıldığı için DBYBHY 2007'ye göre her iki yönde elde edilen sonuçların en elverişsiz olanları tespit edilerek performans hesabı için değerlendirilmeye alınmışlardır.Çözümlemeler sonucu elde edilen plastik dönme değerleri plastik mafsal boyuna bölünrek plastik eğrilik değeri elde edilmiş ve bu plastik eğrilik değeri akma eğriliği ile toplanarak o kesitte oluşan toplam eğrilik değeri hesaplanmıştır. Toplam eğrilik değerine karşı gelen beton birim basınç şekil değiştirmesi ve donatı birim uzama şekil değiştirmesi değerlerini bulmak için toplam eğrilik değeri SAP2000 programında "Section Designer" modülünde her kesit için ayrı ayrı girilerek hesaplanarak yönetmeliğin izin verdiği şekil değiştirme sınır değerleri çerçevesinde kontroller yapılmış ve yapısal elemanların bulundukları hasar bölgeleri tespit edilmiştir.

3.5.1. Kirişlerin çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi

Binada sadece bodrum katlarda kiriş bulunmaktadır. Bu yüzden sadece bodrum katlar için meydana gelen şekil değiştirme değerleri kontrol edilmiştir. 1. bodrum kat kirişleri için X deprem doğrultusunda bulunan şekil değiştirmelerine göre belirlenen hasar bölgeleri Şekil 3.30'de gösterilmiştir.



Şekil 3.30: X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%)



Şekil 3.31: Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kirişlerinde meydana gelen hasar bölgeleri (%)

X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde 1.bodrum kat kirişlerinde meydana gelen hasarlarda oluşan şekil değiştirme değerleri, donatı ve beton için belirlenen şekil değiştirme sınır değerlerini aşmadığı için kirişlerde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

3.5.1.1. Çözümleme sonucunda elde edilen verilerle örnek bir kiriş için hasar tespiti

X doğrultusunda deprem etkisi altında, bodrum kat 100x50 boyutlarındaki kirişlerden biri olan 477 numaralı kiriş için birim şekil değiştirme istemleri belirlenmiştir ve bulunduğu hasar bölgesi aşağıda gösterilmiştir:

$\theta_{p,sol}$ = 0,003223 rad (SAP2000'den okunan değer)

$\theta_{p,sağ}$ = 0,002224 rad (SAP2000'den okunan değer)

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

$L_p = 0{,}5h = 0{,}25$ m

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik ve toplam eğrilik değerleri elde edilir.

$$Ø_p = \frac{\theta p}{Lp} = \frac{0{,}00323}{0.25} = 0{,}012892 \text{ rad/m (sol uçtaki plastik eğrilik)}$$

$$Ø_p = \frac{\theta p}{Lp} = \frac{0,00224}{0.25} = \ 8,896x10\text{^-}^3 \text{ rad/m (sağ uçtaki plastik eğrilik)}$$

$Ø_y = 2.1x\varepsilon_{sy} / h = 2,1x0,0021/3,2 = 1,378x10\text{^-}^3 rad$ (100x50 boyutlarındaki kirişin X doğrultusundaki akma eğriliği)

$Ø_t = Ø_y + Ø_p = 0,01427$ rad/m (sol uçtaki toplam eğrilik)

$= 0,010274$ rad/m (sağ uçtaki toplam eğrilik)

Hesaplanan toplam eğrilik değeri, beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeletiyle orantılı bir değerdir. SAP2000 programı "Section Designer" bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile incelenen kirişteki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirme değerleri elde edilir:

$\varepsilon_c = 7,281 \times 10^{-4}$ (sol uçtaki plastik mafsalda betonun birim kısalması) <0,0035

$\varepsilon_s = 5,736x10^{-4}$ (sol uçtaki plastik mafsalda donatının birim uzaması) <0,0100

$\varepsilon_c = 5,931 \times 10^{-3}$ (sağ uçtaki plastik mafsalda betonun birim kısalması) <0,0035

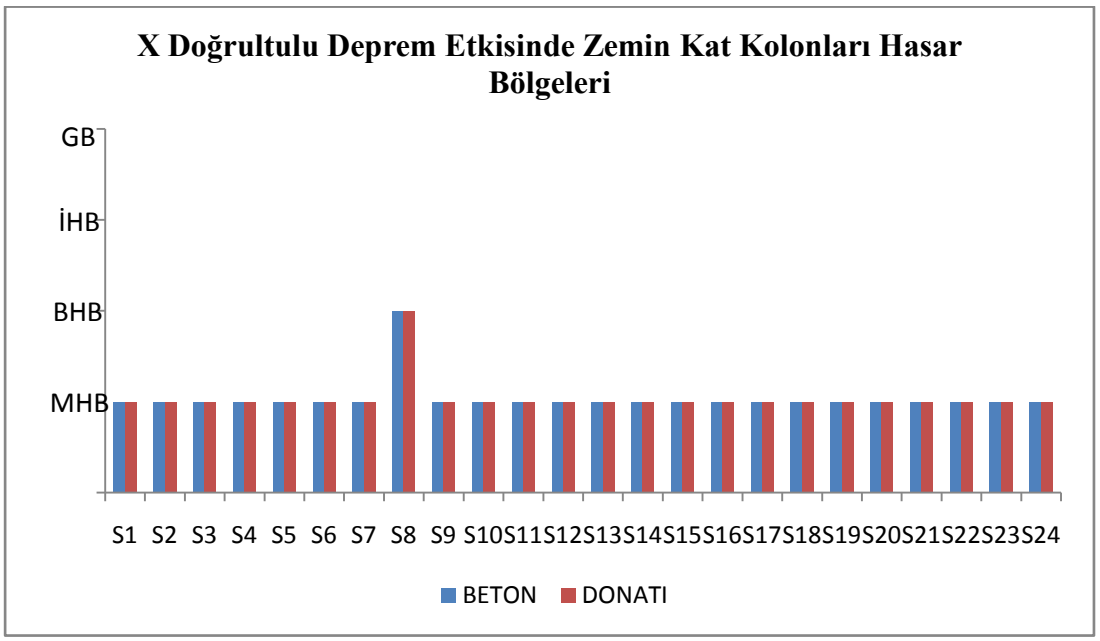
$\varepsilon_s = 4,031x10^{-4}$ (sağ uçtaki plastik mafsalda donatının birim uzaması) <0,00100

Bulunan beton ve donatı çeliği 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 karşılaştırılarak kesit hasar durumları tespit edilir. Yapılan karşılaştırmalarda, beton malzemesi için betonun birim kısalma değeri ve donatı çeliğinin birim kısalma değerleri minimum hasar sınırlarını geçmemektedir. Zemin katta bulunan 100x50 boyutlarındaki 477 numaralı kiriş, beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınır değerleri bakımından minimum hasar sınırı değerlerini aşmadığı için Miniumum Hasar Bölgesinde bulunmaktadır.

3.5.2. Kolonların çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi

X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde kolonlarda oluşan plastik mafsallarda meydana gelen beton ve donatı malzemesindeki şekil değiştirmeler ve bu şekil değiştirme değerlerine göre beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumları tespit edilmiştir. SAP2000 programının analiz sonuçlarında kolonların yerel eksenlerine göre verdiği, plastik dönme değerleri kolonların kendi yerel eksenlerine göre belirlenen plastik eğrilik değerine çevrilerek kesitin hangi hasar bölgesinde olduğu tespit edilir.

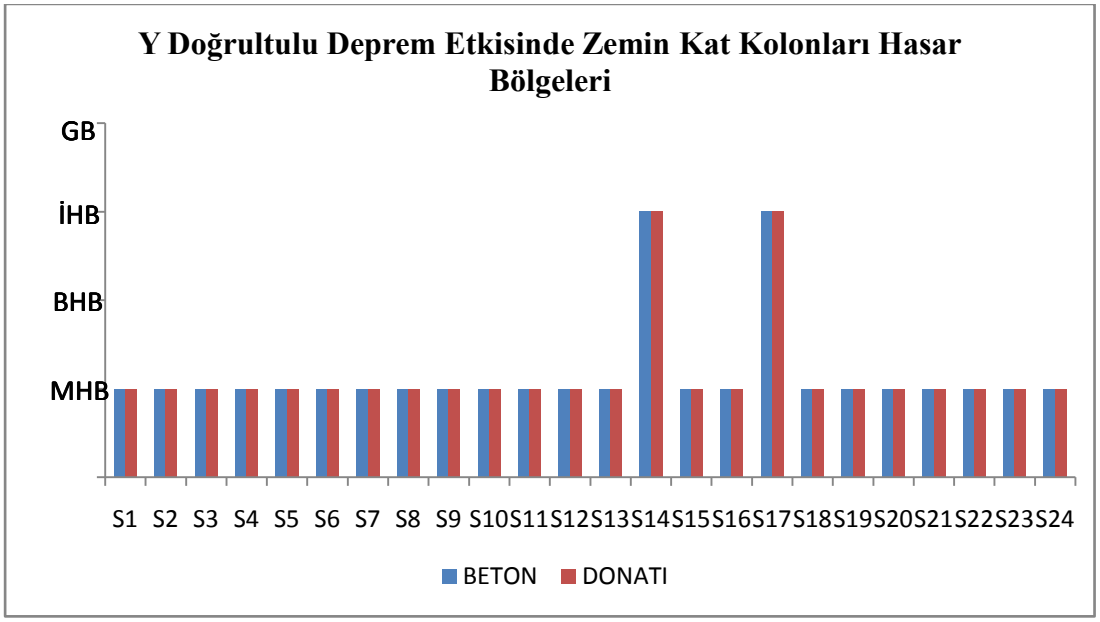
Zemin kat kolonları için X deprem doğrultusunda oluşan hasar bölgeleri Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32: X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonları hasar bölgeleri

Y deprem doğrultusunda zemin kat kolonlarının büyük çoğunluğunda plastik mafsal oluşmamaktadır. Sadece 70x125 boyutlarında olan S8 kolonunda plastik mafsallaşma oluşmaktadır.

Zemin kat kolonlarında Y doğrultusunda oluşan deprem etkisinde meydana hasar bölgeleri Şekil 3.33 de gösterilmiştir.



Şekil 3.33: Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat kolonları hasar bölgeleri

Y deprem doğrultusunda zemin kat kolonlarının büyük çoğunluğunda plastik mafsal oluşmamaktadır. Sadece 70x125 boyutlarında olan S14 ve S17 kolonlarında plastik mafsallar oluşmaktadır ve bu kolonlarda oluşan plastik mafsallarda meydana gelen dönme değerlerine göre belirlenen hasar bölgeleri Şekil 4.34 gösterilmiştir. Ayrıca, bu çalışmada plastik mafsal oluşmayan kolonların minimum hasar bölgesinde oldukları kabul edilmiştir.

3.5.2.1 Çözümleme sonucunda elde edilen verilerle örnek bir kolon için hasar tespiti

X doğrultusunda deprem etkisi altında, zemin kat 70x125 boyutlarındaki kolonlardan biri olan 545 numaralı yapısal eleman olan kolonun uzun doğrultusu için birim şekil değiştirme istemleri belirlenmiştir ve bunduğu hasar bölgesi gösterilmiştir.

θ_p = 0,001263 rad (kolonunun alt ucundaki plastik mafsal dönmesi)

Plastik mafsal boyu olarak 70x125 boyutlarındaki kolonun X doğrultusundaki deprem etkisinde eğilmeye çalışan kısmının yarısı ile ifade edilen plastik mafsal boyu:

L_p = 0,5h = 0,625m

Plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik ve toplam eğrilik değerleri elde edilir.

$$Ø_p = \frac{\theta p}{Lp} = \frac{0,001263}{0,625} = 2,0208x10\text{^-3 rad/m}$$

$Ø_y = 2.1x\varepsilon_{sy} / h = 2,1x0,0021/6,4=6,89x10\text{^-4rad}$ (70x125 boyutlarında kolonun X doğrultusundaki akma eğriliği)

$Ø_t = Ø_y + Ø_p$ = 0,002709 rad/m

Hesaplanan toplam eğrilik değeri, beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeletiyle orantılı bir değerdir. Perdelerde ve kolonlarda, kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet etkiside hesaba katılır.. SAP2000 programı "Section Designer" bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile hesabı yapılan kolondaki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirme değerleri okunur:

$\varepsilon_c = 1,978 \times 10^{-3} < 0,0035$ MHB

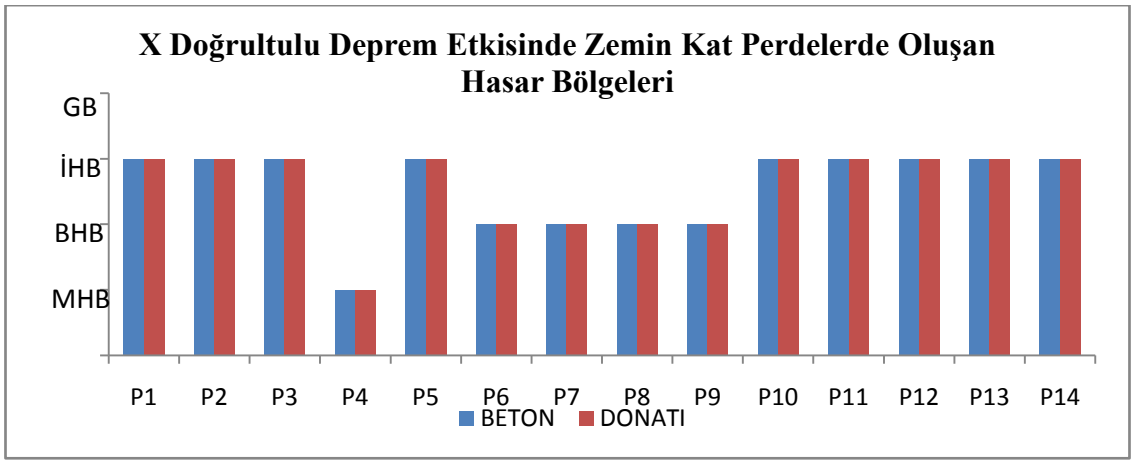
$\varepsilon_s = 3{,}752 \times 10^{-3} < 0{,}010$ MHB

Denklem (3.4) bağıntısına göre hesaplanan toplam eğrilik değeri, beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeletiyle orantılı bir değerdir. Perdelerde ve kolonlarda, kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet etkiside hesaba katılır. SAP2000 programı "Section Designer" bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile hesabı yapılan kolondaki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirme değerleri karşılaştırılarak hasar sınırı belirlenir:

Yapılan heasplamalara göre, beton malzemesi için betonun birim kısalma değeri, minimum hasar sınırı değeri 0,0035'den küçük kalmıştır yine donatı malzemesi için donatı birim uzama değeride, minimum hasar sınırı değeri 0,01'den küçüktür. Bundan dolayı, 70x125 boyutlarındaki zemin kat kolonunu, X doğrultusunda deprem etkisinde minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır.

3.5.3 Perdelerin çözümleme sonuçlarının değerlendirilmesi

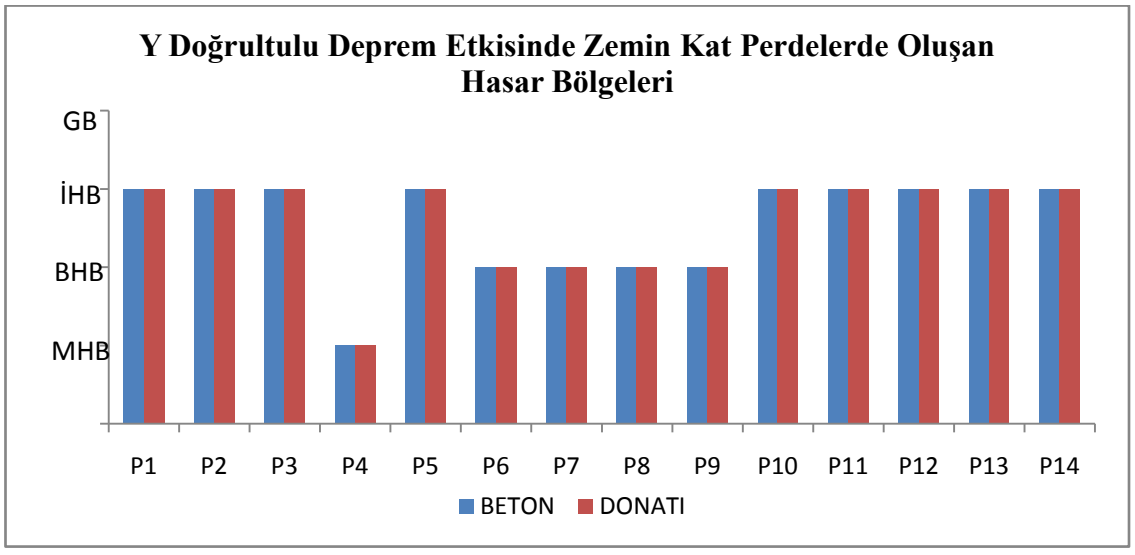
X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde perdelerde çok katmanlı kabuk model olarak modellenen modelde çerçevede oluşan mafsallar ile orta dikmeli çubuk modelde oluşan mafsallar kirişleriçin benzerlik göstermektedir. Fakat çok katmnalı modelde perdelere yakın kolonlarda mafsallaşma olmazken orta dikmeli çubuk modelde mafsallaşmalar görülmektedir. Öte yandan performans değerlendirilmesi açısından daha sağlıklı olması için çubuk modelde oluşan mafsallaşmalar dikkate alınmıştır. X ve Y doğrultusundaki deprem etkilerinde perdelerde oluşan plastik mafsallarda meydana gelen beton ve donatı malzemesindeki şekil değiştirmeler ve bu şekil değiştirme değerlerine göre beton ve donatı çeliği birim şekil değiştirme üst sınır değerleri ile karşılaştırılarak kesit hasar durumları tespit edilmiştir. SAP2000 programının analiz sonuçlarında perdelerin yerel eksenlerine göre verdiği, plastik dönme değerleri perdelerin kendi yerel eksenlerine göre belirlenen plastik eğrilik değerine çevrilerek kesitin hangi hasar bölgesinde olduğu tespit edilir. Perdelerde hasar bölgelerinin belirlenmesi için kritik perde yüksekliği boyunca inceleme yapılması yeterli görülmüştür. Bunun için perde elemanların 5 kat boyunca plastik dönme değerleri incelenmiştir. Zemin kat perdeleri için X deprem doğrultusunda oluşan hasar bölgeleri Şekil 3.34'de gösterilmiştir.



Şekil 3.34: X doğrultusundaki deprem etkisinde zemin kat perdelerinde meydana gelen hasar bölgeler

X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerde meydana gelen hasar bölgeleri incelendiğinde perdelerin %73'i minimum hasar bölgesinde, %14,66'si belirgin hasar bölgesinde, %17,33'si ileri hasar bölgesinde bulunmaktadır. İlk katlarda bulunan perde kesitlerinde büyük eksenel kuvvetlerin çıkması nedeniyle kesitin moment taşıma kapasitesini azaltarak, plastik mafsallardaki plastik dönme değerlerin etkisiyle beton malzemesinde oluşan şekil değiştirmelerin sınır değerleri aşmasına neden olmuştur. Daha üst katlar gözlemlendiğinde, eksenel kuvvetler azaldığı için plastik mafsallarda meydana gelen şekil değiştirmeler sınır değerleri geçmemektedir.

Zemin kat perdeleri için Y deprem doğrultusunda oluşan hasar bölgeleri Şekil 3.35'de gösterilmiştir.



Şekil 3.35: Y doğrultusundaki deprem etkisinde zemin katperdelerinde meydana gelen hasar bölgeler

X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerde meydana gelen hasar bölgeleri incelendiğinde perdelerin %78,6'ü minimum hasar bölgesinde, %22,33'i belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Perdeler Y doğrultusunda deprem etkisinde eksenel çekme kuvvetlerin kesit kapasitesini aşmasından dolayı göçme hasar bölgesine ulaşan perde kesiti yoktur.

3.5.3.1 Çözümleme sonucunda elde edilen verilerle örnek bir perde için hasar tespiti

X doğrultusunda deprem etkisi altında, zemin kat 553 eleman numaralı 40x192,5 boyutlarındaki perdelerden biri olan 293 numaralı perdenin kısa doğrultusu için birim şekil değiştirme istemleri belirlenmiştir ve bulunduğu hasar bölgesi tespit edilmiştir:

θ_p = 0,003489 rad

Plastik mafsal boyu olarak 40x192,5 boyutlarındaki perdenin X doğrultusundaki deprem etkisinde eğilmeye çalışan kısmının yarısı ile ifade edilen plastik mafsal boyu:

L_p = 0,5h = 0,20 m

Eğrilik, birim dönme olarak tanımlandığından, plastik dönme değeri plastik mafsal boyuna bölünerek plastik eğrilik değeri elde edilmiştir.

$$Ø_p = \frac{\theta p}{Lp} = \frac{0,000278}{0,20} = 0,00139 \text{ rad/m}$$

$Ø_y = \frac{2,1x0,021}{0,4}$ =0,000689 rad/m (40x192,5 boyutlarında perdenin X doğrultusundaki akma eğriliği)

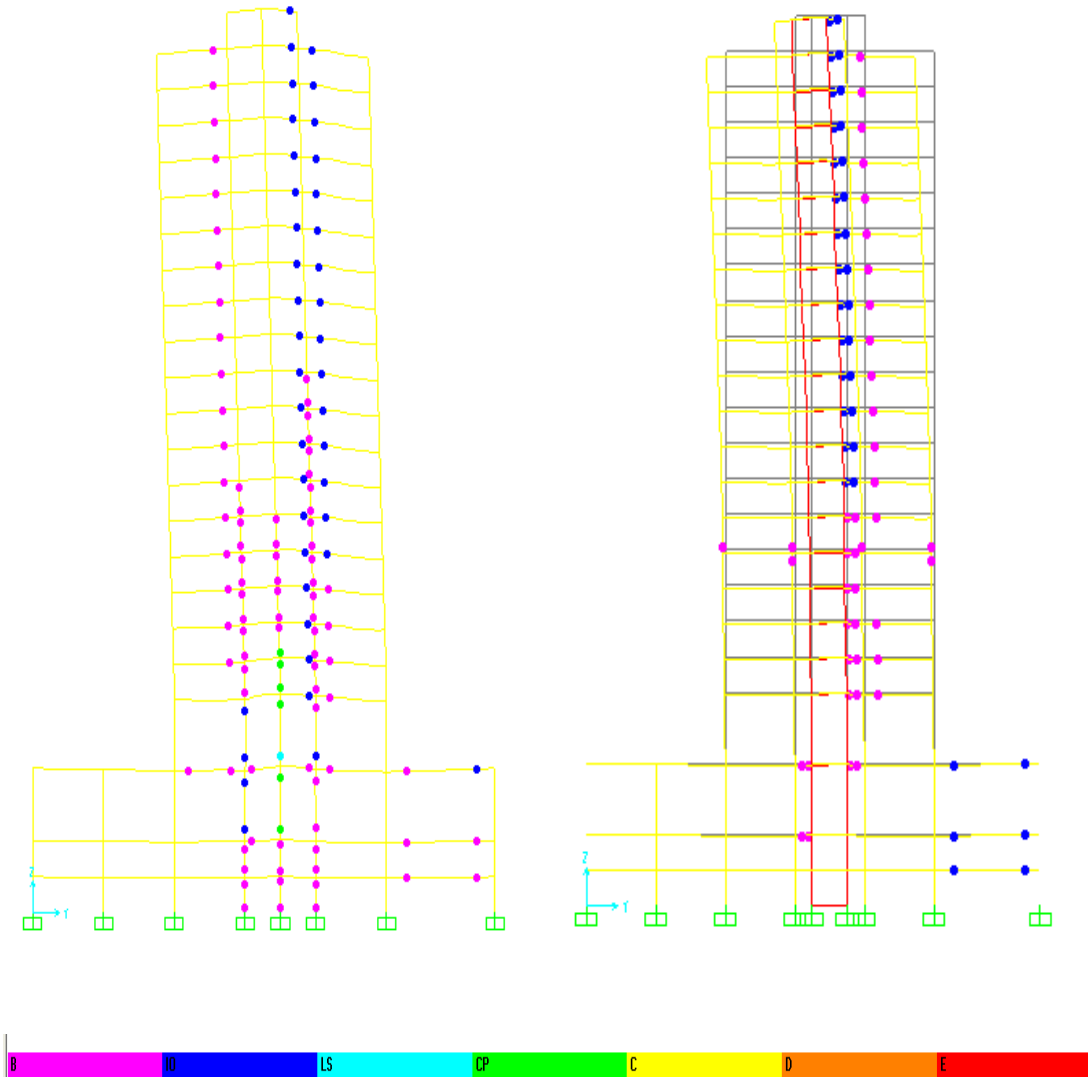
$Ø_t = Ø_y + Ø_p$ = 0,002079 rad/m

Hesaplanan toplam eğrilik değeri, beton ve donatı malzemelerinin şekil değiştirmeletiyle orantılı bir değerdir. Perdelerde ve kolonlarda, kirişlerden farklı olarak eksenel kuvvet etkiside hesaba katılır. SAP2000 programı "Section Designer" bölümünde hesaplanan toplam eğrilik değeri ile hesabı yapılan kolondaki beton ve donatı malzemesine ait şekil değiştirme değerleri karşılaştırılarak hasar sınırı belirlenir:

$\varepsilon_c = 1,999 \times 10^{-3} < 0,0035$ MHB

$\varepsilon_s = 2{,}729 \times 10^{-3} < 0{,}010$ MHB

Yapılan heasplamalara göre, beton malzemesi için betonun birim kısalma değeri, minimum hasar sınırı değeri 0,0035'den küçük kalmıştır yine donatı malzemesi için donatı birim uzama değeride, minimum hasar sınırı değeri 0,01'den küçüktür. Bundan dolayı, 40x192,5 boyutlarındaki zemin kat perdesi, X doğrultusunda deprem etkisinde minimum hasar bölgesinde bulunmaktadır.



Orta Dikmeli Çubuk Model Çok Katmanlı Kabuk Model

Şekil 3.36: X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerinde meydana gelen hasar bölgelerinin orta dikmeli çubuk model ve çok katmanlı kabuk modelle karşılaştırılması

3.5.4 Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması

Doğrusal elastik yöntemlerle yapılan hesapta her bir deprem doğrultusunda, binanın herhangi bir katındaki kolon veya perdelerin göreli kat ötelemeleri, her bir hasar sınırı için Çizelge 3.5'de verilen değeri aşmayacaktır. Çizelge 3.5'de δji i'inci katta j'inci kolon veya perdenin alt ve üst uçları arasında yerdeğiştirme farkı olarak hesaplanan göreli kat ötelemesini, hji ise ilgili elemanın yüksekliğini göstermektedir

Çizelge 3.5 : Göreli Kat Ötelemeleri Sınırları

Göreli Kat Ötelemesi Oranı	**Hasar Sınırı**		
	MN	**GV**	**GÇ**
δ_{ji} / h_{ji}	0.01	0.03	0.04

Çizelge 3.6 : X doğrultusu için göreli kat ötelemelerinin irdelenmesi

Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü								
Kat	EQ1-X							
	h_i m	d_i m	(Δ_i) m	$(\Delta_i/ h_i)_{ort}$	$(\delta_i)_{max} = R\Delta_i$ m	$(\delta_i)_{max} / h_i$ m		Hasar Sınırı
23	3.2	0.0085	-0.0047000	-0.0014688	-0.0329000	-0.0102813	<0.01	MN
22	3.2	0.0132	0.0006000	0.0001875	0.0042000	0.0013125	<0.01	MN
21	3.2	0.0126	0.0006000	0.0001875	0.0042000	0.0013125	<0.01	MN
20	3.2	0.0120	0.0006000	0.0001875	0.0042000	0.0013125	<0.01	MN
19	3.2	0.0114	0.0006000	0.0001875	0.0042000	0.0013125	<0.01	MN
18	3.2	0.0108	0.0007000	0.0002188	0.0049000	0.0015313	<0.01	MN
17	3.2	0.0101	0.0007000	0.0002188	0.0049000	0.0015313	<0.01	MN
16	3.2	0.0094	0.0006000	0.0001875	0.0042000	0.0013125	<0.01	MN
15	3.2	0.0088	0.0007000	0.0002188	0.0049000	0.0015313	<0.01	MN
14	3.2	0.0081	0.0006900	0.0002156	0.0048300	0.0015094	<0.01	MN
13	3.2	0.0074	0.0006100	0.0001906	0.0042700	0.0013344	<0.01	MN
12	3.2	0.0068	0.0068000	0.0021250	0.0476000	0.0148750	<0.01	MN
11	3.2	0.0061	0.0061000	0.0019063	0.0427000	0.0133438	<0.01	MN
10	3.2	0.0055	0.0055000	0.0017188	0.0385000	0.0120313	<0.01	MN
9	3.2	0.0050	0.0050000	0.0015625	0.0350000	0.0109375	<0.01	MN
8	3.2	0.0045	0.0045000	0.0014063	0.0315000	0.0098438	<0.01	MN
7	3.2	0.0041	0.0037000	0.0011563	0.0259000	0.0080938	<0.01	MN
6	3.2	0.0037	0.0028000	0.0008750	0.0196000	0.0061250	<0.01	MN

5	3.2	0.0028	0.0017000	0.0005313	0.0119000	0.0037188	<0.01	MN
4	6.4	0.0017	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.02	MN
3	6.4	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.01	MN
2	3.2	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.01	MN
1	3.2	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.01	MN

Çizelge 3.7 : Y doğrultusu için göreli kat ötelemelerinin irdelenmesi

Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü								
Kat	EQ1-Y							
	h_i m	d_i m	(Δ_i) m	$(\Delta_i/ h_i)_{ort}$	$(\delta_i)_{max}$ $=R\Delta_i$ m	$(\delta_i)_{max}$ $/h_i$ m		Hasar Sınırı
23	3.2	0.0196	0.0012000	0.0003750	0.0084000	0.0026250	<0.01	MN
22	3.2	0.0184	0.0009000	0.0002812	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
21	3.2	0.0175	0.0010000	0.0003125	0.0070000	0.0021875	<0.01	MN
20	3.2	0.0165	0.0009000	0.0002813	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
19	3.2	0.0156	0.0009000	0.0002813	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
18	3.2	0.0147	0.0008000	0.0002500	0.0056000	0.0017500	<0.01	MN
17	3.2	0.0139	0.0009000	0.0002813	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
16	3.2	0.0130	0.0009000	0.0002813	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
15	3.2	0.0121	0.0009000	0.0002813	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
14	3.2	0.0112	0.0009000	0.0002813	0.0063000	0.0019688	<0.01	MN
13	3.2	0.0103	0.0008000	0.0002500	0.0056000	0.0017500	<0.01	MN
12	3.2	0.0095	0.0095000	0.0029688	0.0665000	0.0207813	<0.01	MN
11	3.2	0.0088	0.0088000	0.0027500	0.0616000	0.0192500	<0.01	MN
10	3.2	0.0080	0.0080000	0.0025000	0.0560000	0.0175000	<0.01	MN
9	3.2	0.0080	0.0080000	0.0025000	0.0560000	0.0175000	<0.01	MN
8	3.2	0.0070	0.0070000	0.0021875	0.0490000	0.0153125	<0.01	MN
7	3.2	0.0055	0.0039000	0.0012188	0.0273000	0.0085313	<0.01	MN
6	3.2	0.0039	0.0022000	0.0006875	0.0154000	0.0048125	<0.01	MN
5	3.2	0.0022	0.0012000	0.0003750	0.0084000	0.0026250	<0.01	MN
4	6.4	0.0012	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.02	MN
3	6.4	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.01	MN
2	3.2	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.01	MN
1	3.2	0.0000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	<0.01	MN

Yukarıda verilen her iki tabloya bakıldığında X ve Y doğrultuları için 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem için bina performansı "Hemen Kullanım" seviyesinde olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

4.1.Sonuçlar

Bu tez çalışmasında 23 katlı betonarme bir binanın DBYBHY 2007'ye göre zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yapılarak deprem performansı belirlenmiştir. DBYBHY 2007 Bölüm 7.7.3 can güvenliği performans düzeyine göre düşey taşıyıcı elemanların hiçbiri göçme bölgesinde bulunmamalıdır. Fakat çözümleme sonuçları incelendiğinde 23 katlı betonarme binanın özellikle perde lerinde ve perdelere yakın olan kolonlarda özellikle kritik perde yüksekliği boyunca önemli hasarların meydana geldiği görülmüştür. DBYBHY 2007'ye göre yapılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme sonucunda hedeflenen 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremde Can Güvenliği performans hedefinin sağlamamıştır dolayısıyle yapının performansı Göçme Önlenmesi Durumu (GÖ) düzeyindedir. Çözümlemelerden elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda açıklanmıştır:

- Çözümleme için beton malzemesinin sargılı durumuna ait şekil değiştirme sınır değerleri Xtract programında hesaplanarak çözümleme için kullanılmıştır
- Doğrusal olmayan çözümleme için kirişlerin sol ve sağ uçlarına, kolonların alt ve üst ucuna ve çubuk eleman olarak modellenmiş perdelerin alt ve üst ucuna tanımlanan plastik mafsallara ait dönme değerleri elde edilir. Her bir kesit için 4 adet plastik dönme değeri hesaplanır. Bu dönme değerlerinin hepsi için hasar durumları belirlenerek en elverişsiz olanı kesitin hasar durumu olarak belirlenmiştir.
- X ve Y doğrultularında etkitilen deprem etkileri sonucunda yapıdaki kirişlerde, donatının betondan önce şekil değiştirme sınır değerlerine ulaşmasıyla hasarların oluştuğu tespit edilmiştir.
- Yapıda dış kısımlarda bulunan kolonlarda plastik mafsallaşmanın olmadığı, sadece iç kısımlarda perdelerin bulunduğu bölgelere yakın olan kolonlarda plastik mafsal oluşumu olduğu tespit edilmiştir.

- Plastik mafsalların oluşmadığı kolonların minimum hasar bölgesinde olduğu kabul edilmiştir.
- Yapıdaki perdeler için iki farklı model kullanılmıştır. Orta dikmeli çubuk modelde perdeler kolonlar gibi çubuk eleman olarak modellenmiştir. Perdelerin alt ve üst uçlarına tanımlanan plastik mafsallara ait plastik dönme değerleri kritik perde yüksekliği (5 kat) boyunca incelenerek en elverişsiz olanlarını dikkate alarak perdelerin hasar durumlarının belirlenmiştir. Çok katmanlı kabuk modelde ise kabuk elemanlar gerektiği gibi sonlu elemanlara bölünemediği için tek parça halinde kabul edilerek çözümleme yapılmıştır. Performans değerlendirmesi için her eleman için oluşan dönme değerlerine bakılmıştır.

Çözümleme sonuçlarına göre, X doğrultusundaki deprem etkisinde yapıdaki tüm kirişlerinin %93,81'sı minimum hasar bölgesinde, %6,19'si belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır. Y doğrultusundaki deprem etkisinde ise yapıdaki tüm kirişlerinin %88,10'sı minimum hasar bölgesinde, %11,90'si belirgin hasar bölgesinde bulunmaktadır.

Kolonlarda ise X doğrultusundaki deprem etkisinde tüm kolonlarının %97,96'si minimum hasar bölgesinde, %1,3'ü belirgin hasar bölgesinde ve %0,74'ü ileri hasar bölgesinde bulunmaktadır. Y doğrultusundaki deprem etkisinde tüm kolonlarının %97,46'si minimum hasar bölgesinde, %1,27'ü belirgin hasar bölgesinde ve %1,27'ü ileri hasar bölgesinde bulunmaktadır.

4.2. 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 yapılmalıdır.
- Perdeler, zaman tanım alanında analiz süresini azaltmak için düzlem eleman olarak değil de çubuk eleman olarak tanımlanmıştır. Bunun için, perdelerin gerçeğe yakın bir şekilde doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi için çok katmanlı kabuk model olarak modellenip sonlu elamanlara bölünmeli o şekilde çözümleme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY 2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.

[2] Özer, E., 2009. Yapı Sistemlerinin Lineer Lineer Olmayan Hesabı Ders Notları, İstanbul.

[3] Celep, Z., 2007. Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, Beta Dağıtım, İstanbul.

[4] Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2004. Deprem Mühendışliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

[5] Özer, E., 2008. İleri Yapı Statiği Ders Notları, İstanbul.

[6] Özer, E., 2007. Kapasite Tasarımı İlkesi ve Türk Deprem Yönetmeliği, İstanbul.

[7] Celep, Z.,2008. Betonarme taşıyıcı sistemlerde kapasite tasarımı

[8] ETABS, Integrated Analysis, Design and Drafting of Buildings Systems Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[9] SAP 2000, Integrated Software for Structural Analysis and Design Program,Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[10] X-Tract, Cross-Section Analysis Program, 2007. TRC & Charles Chadwell, Ph. D.P. E, USA.

[11] SEISMOSIGNAL, Seismosoft, Earthquake Engineering Software Solutions, Messina, Italy

[12] ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildins, 1996. Applied Techlonogy Council, California.

[13] 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.

[14] Celep, Z., 2007. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi (2007 Deprem Yönetmeliği – Bölüm 7), İnşaat Mühendışleri Odası Meslekiçi Eğitim Kursu, Bakırköy, İstanbul.

[15] Celep, Z., 2007. Betonarme Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış: Plastik Mafsal Kabulü ve Çözümleme, Altıncı Ulusal Deprem Konferansı, İstanbul.

[16] Hasgür, Z. ve Gündüz, A. N., 1996. *Betonarme Çok Katlı Yapılar*, Beta Basım, İstanbul.

[17] Ünerdem, Yamaç., 2011. 30 Katlı Betonarme Bir Binanın Deprem Performansının Zaman Tanım Alanında Çözümleme Uygulanarak Belirlenmesi *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

EKLER

EK A : Doğrusal olmayan zaman tanım alanında çözümleme sonucunda kolonlarda ve perdelerde oluşan hasar bölgeleri

EK B: X ve Y yönünde etkitilen depremler sonucu mevcut yapının taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti ve en üst kat yerdeğişimlerinin zaman göre değişimleri

Çizelge A1 : X doğrultusundaki deprem etkisinde tüm katlardaki kolonların hasar bölgelerinin katlara göre değişimi

X DOĞRULTULU DEPREM TÜM KAT KOLONLAR HASAR BÖLGELERİ																								
KATLAR	KOLONLAR																							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
3	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
4	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
5	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
6	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
7	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
8	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
9	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
10	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
11	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
12	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
13	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
14	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
15	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
16	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
17	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
18	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
19	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
20	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
21	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
22	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
23	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB

Çizelge A2 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde tüm katlardaki kolonların hasar bölgelerinin katlara göre değişimi

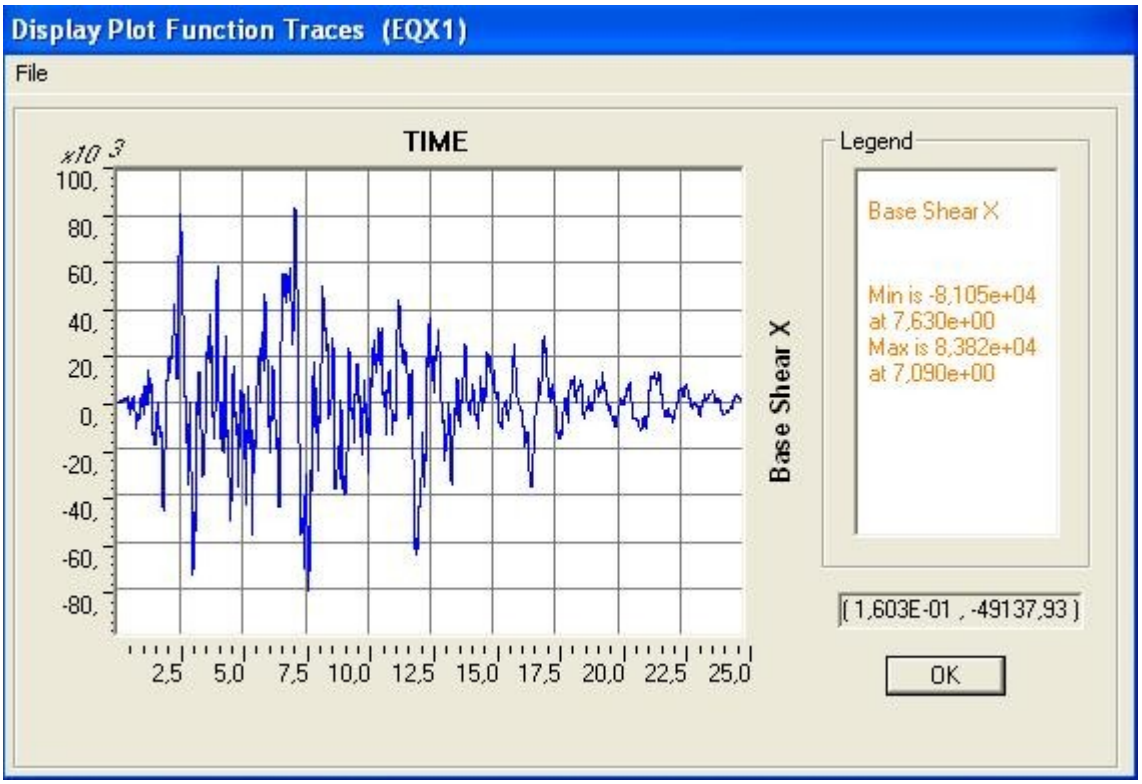
Y DOĞRULTULU DEPREM TÜM KAT KOLONLAR HASAR BÖLGELERİ																								
KATLAR	KOLONLAR																							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24
1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
2	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
3	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
4	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
5	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
6	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
7	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
8	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
9	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
10	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
11	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
12	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
13	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
14	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
15	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
16	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
17	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
18	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
19	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
20	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
21	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
22	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
23	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB

Çizelge A3 : X doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerin kritik perde yüksekliği boyunca hasar bölgelerinin katlara göre değişimi

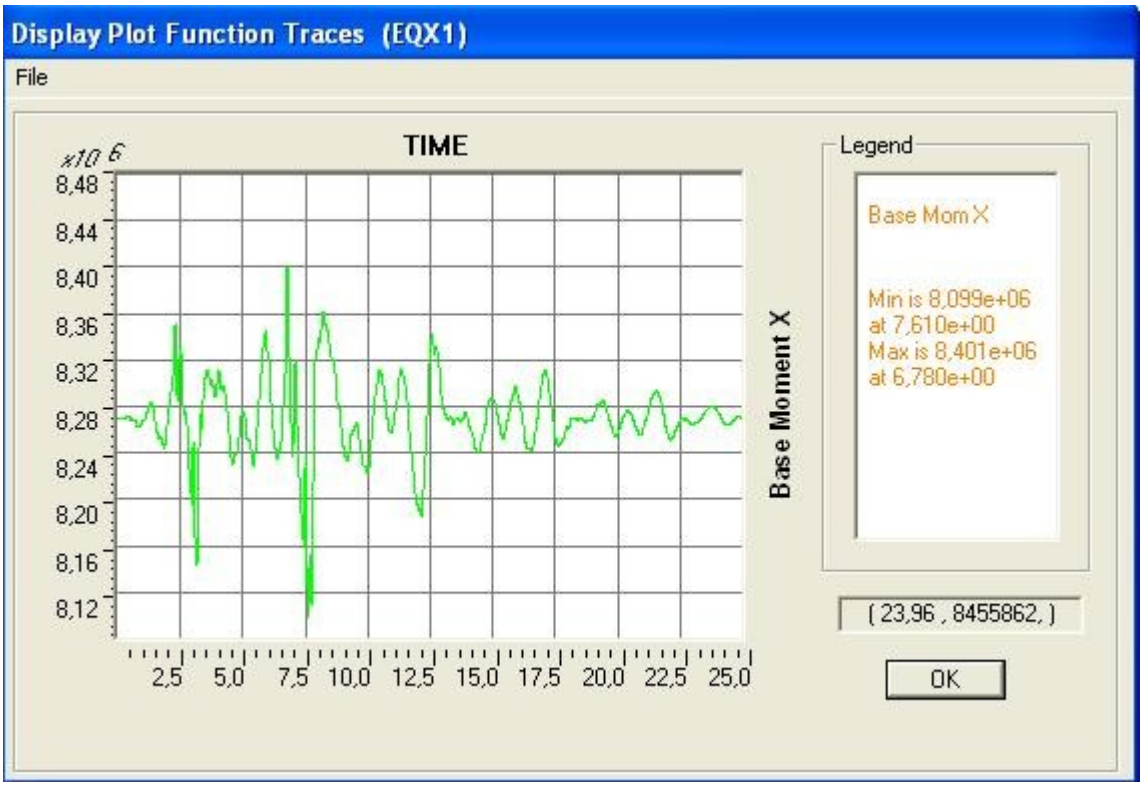
KAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
1	İHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB
2	İHB	İHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	İHB
3	İHB	İHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	İHB	İHB
4	İHB	İHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	İHB	İHB
5	BHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	İHB

Çizelge A4 : Y doğrultusundaki deprem etkisinde perdelerin kritik perde yüksekliği boyunca hasar bölgelerinin katlara göre değişimi

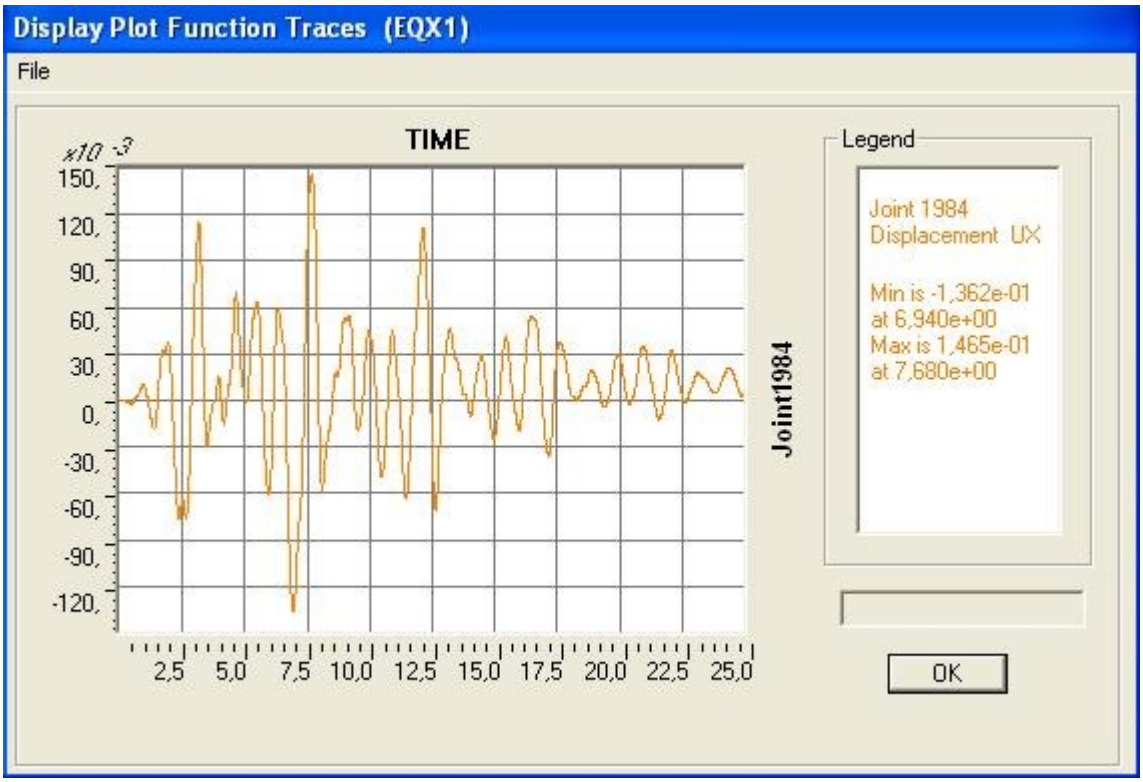
KAT	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14
1	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB
2	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB
3	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	BHB	BHB
4	BHB	BHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	BHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB
5	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB	MHB	MHB	BHB	MHB	MHB



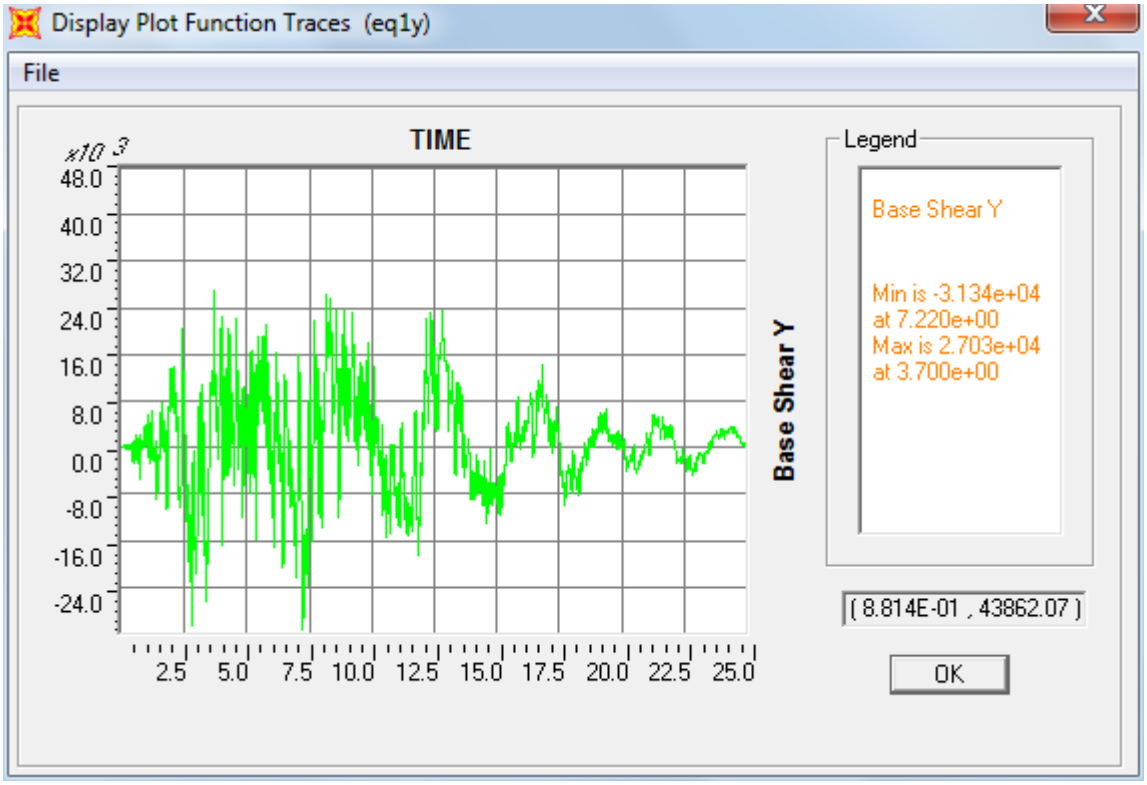
Şekil B1: X Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği



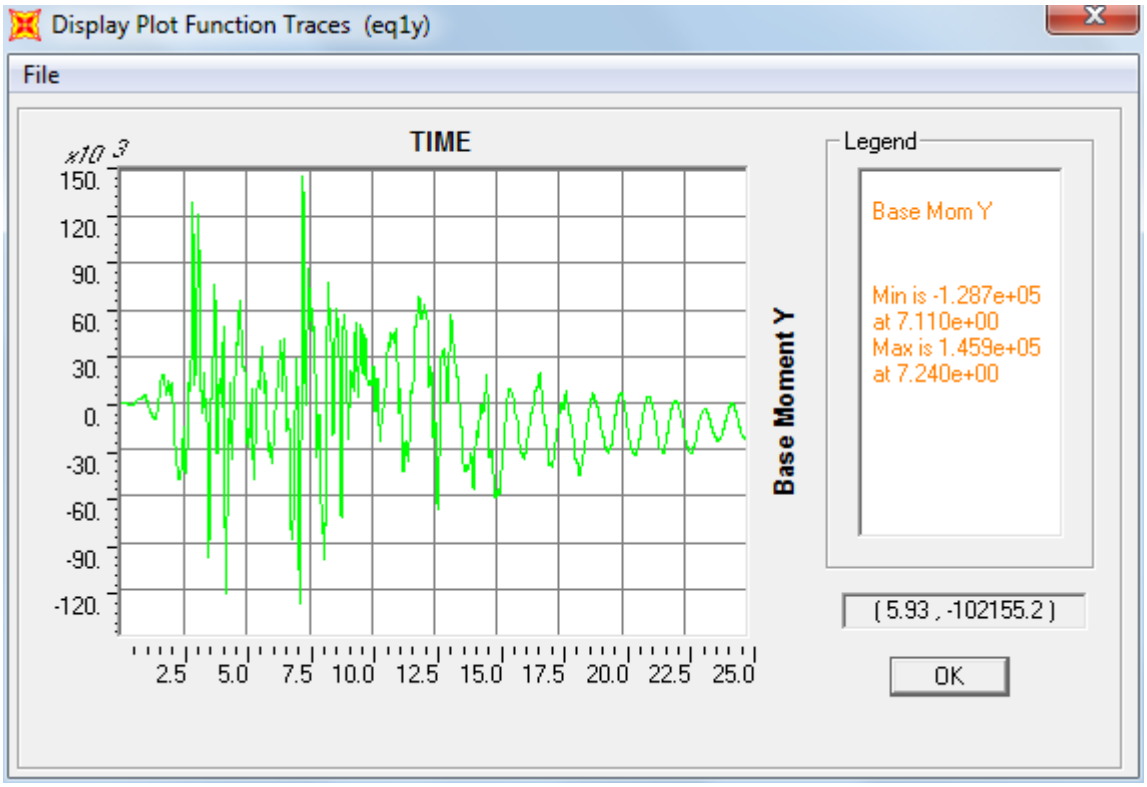
Şekil B2: X Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti-Zaman Grafiği



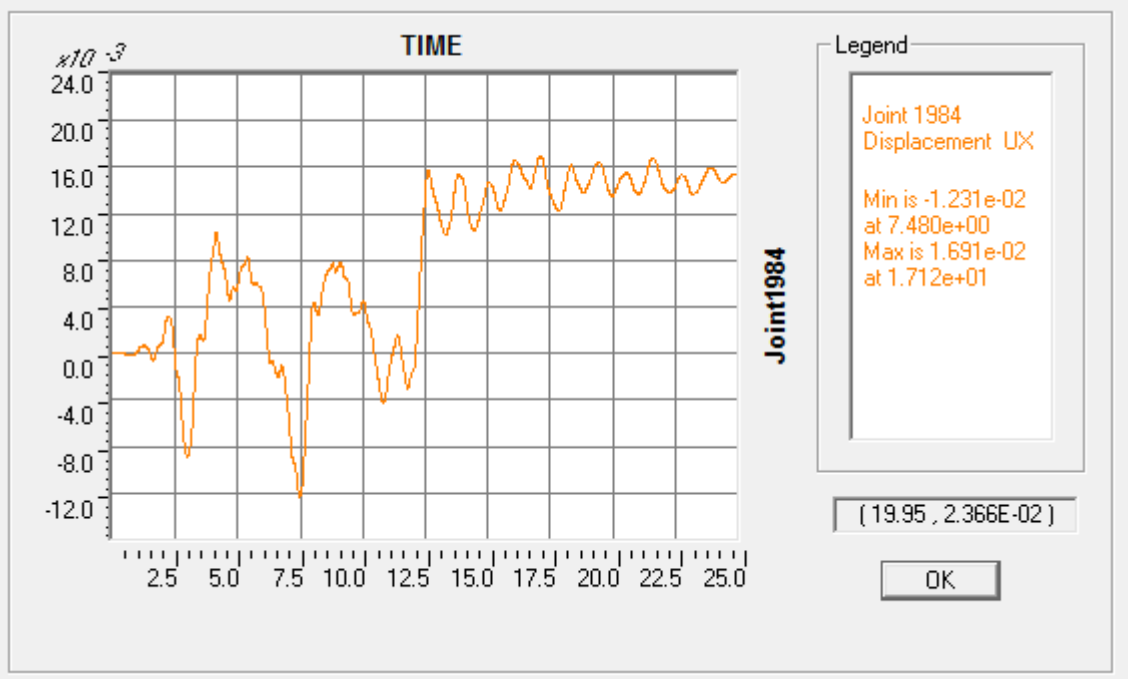
Şekil B3: X Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi -Zaman Grafiği



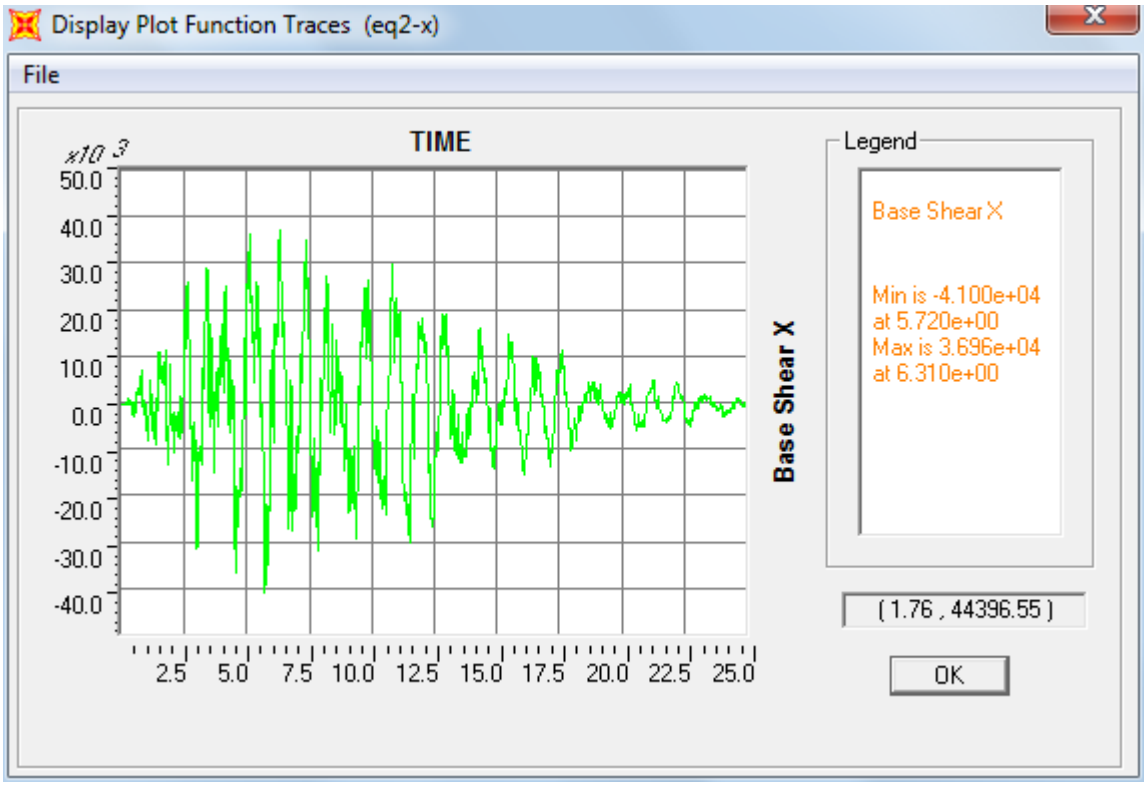
Şekil B4: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği



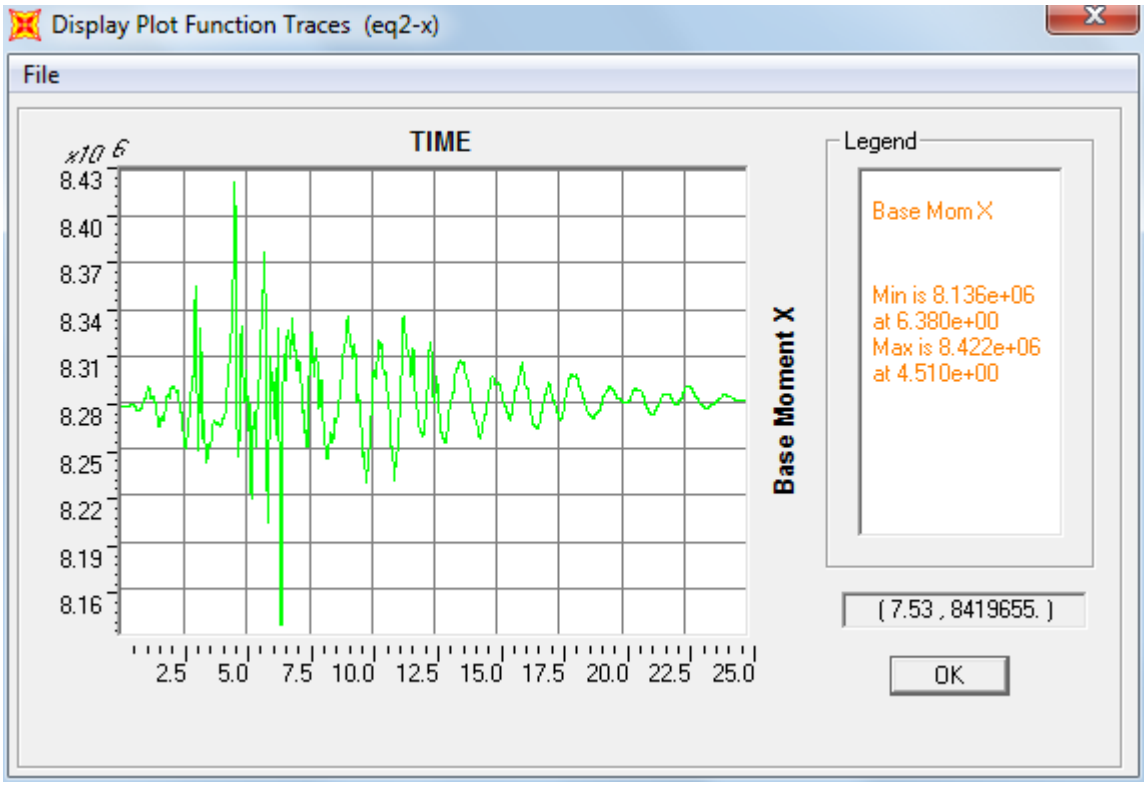
Şekil B5: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti-Zaman Grafiği



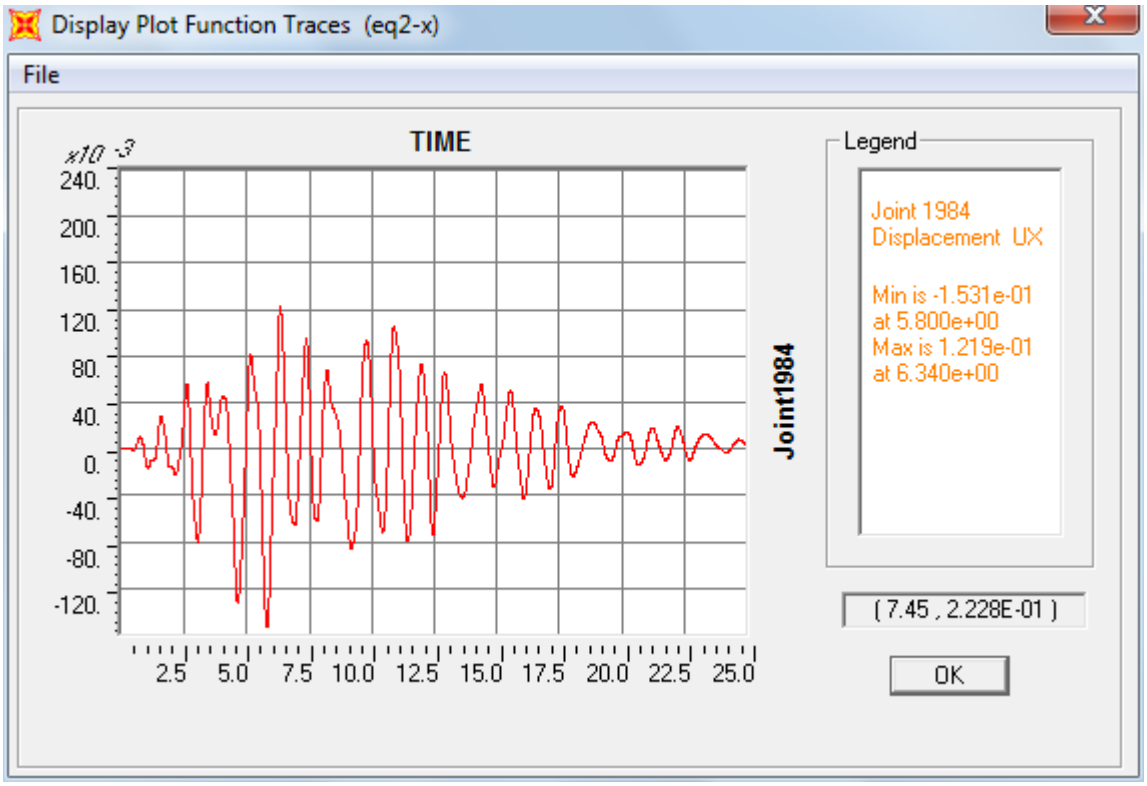
Şekil B6: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ1 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi -Zaman Grafiği



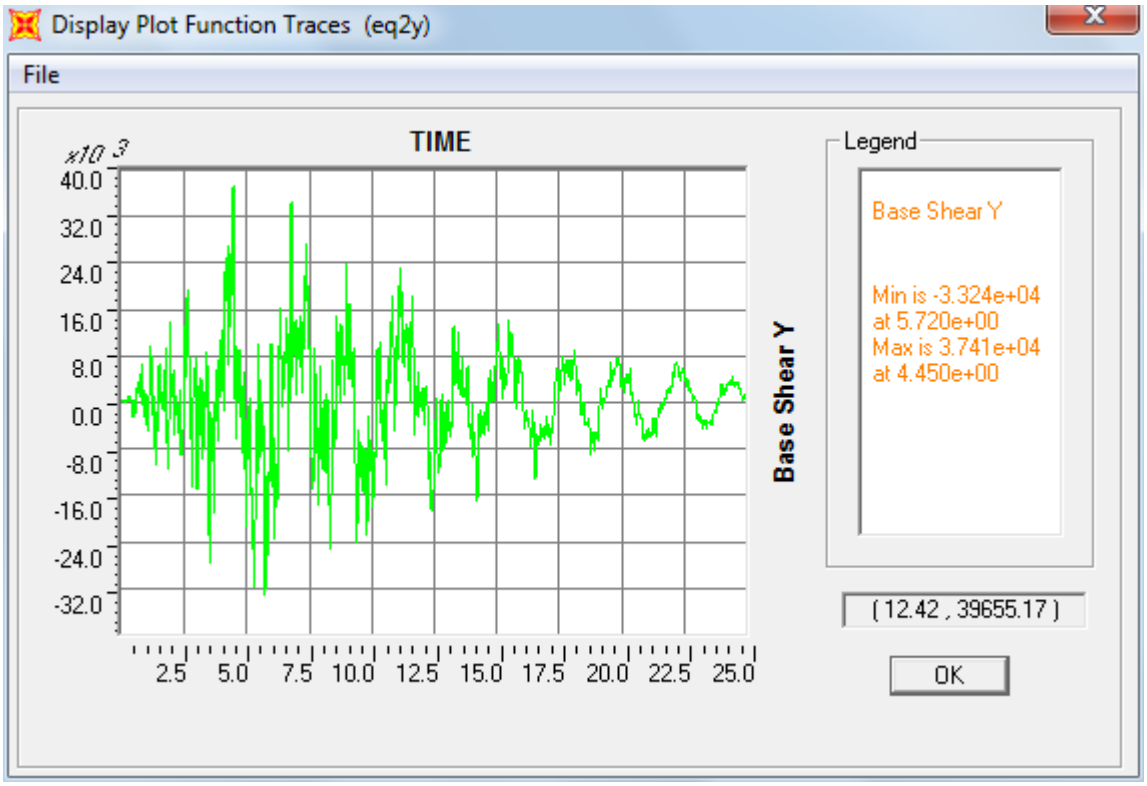
Şekil B7: X Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği



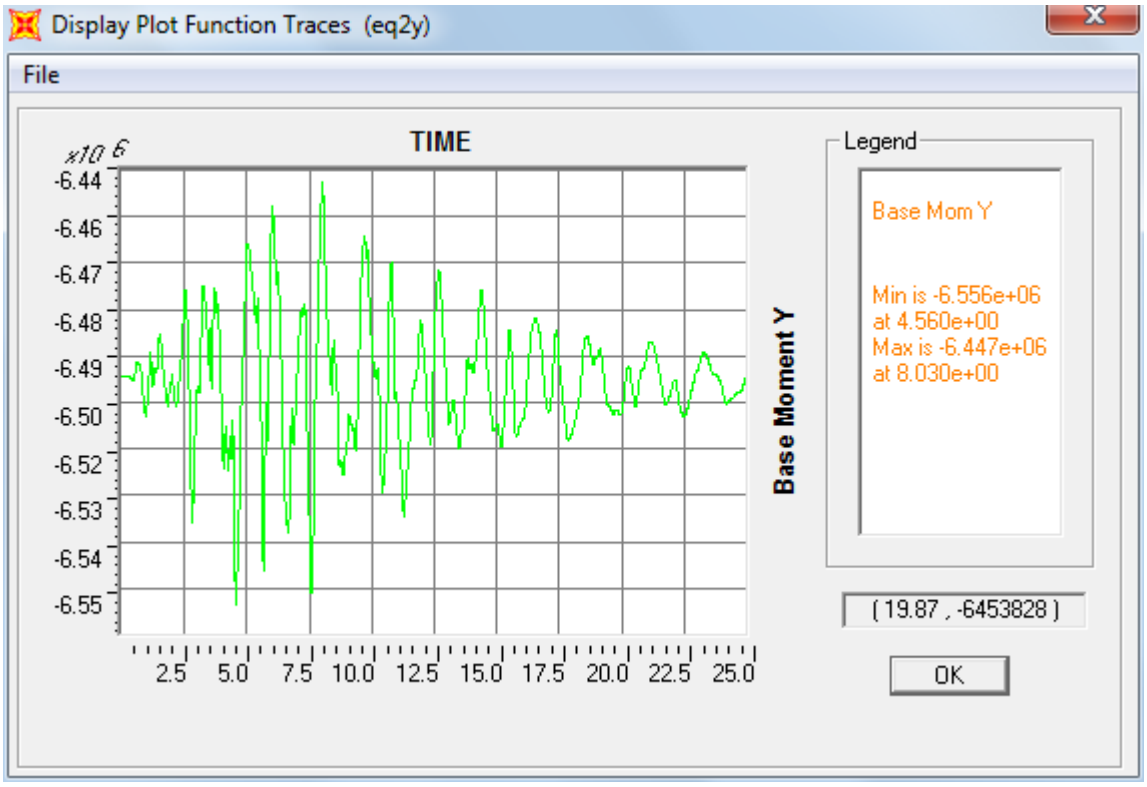
Şekil B8: X Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti-Zaman Grafiği



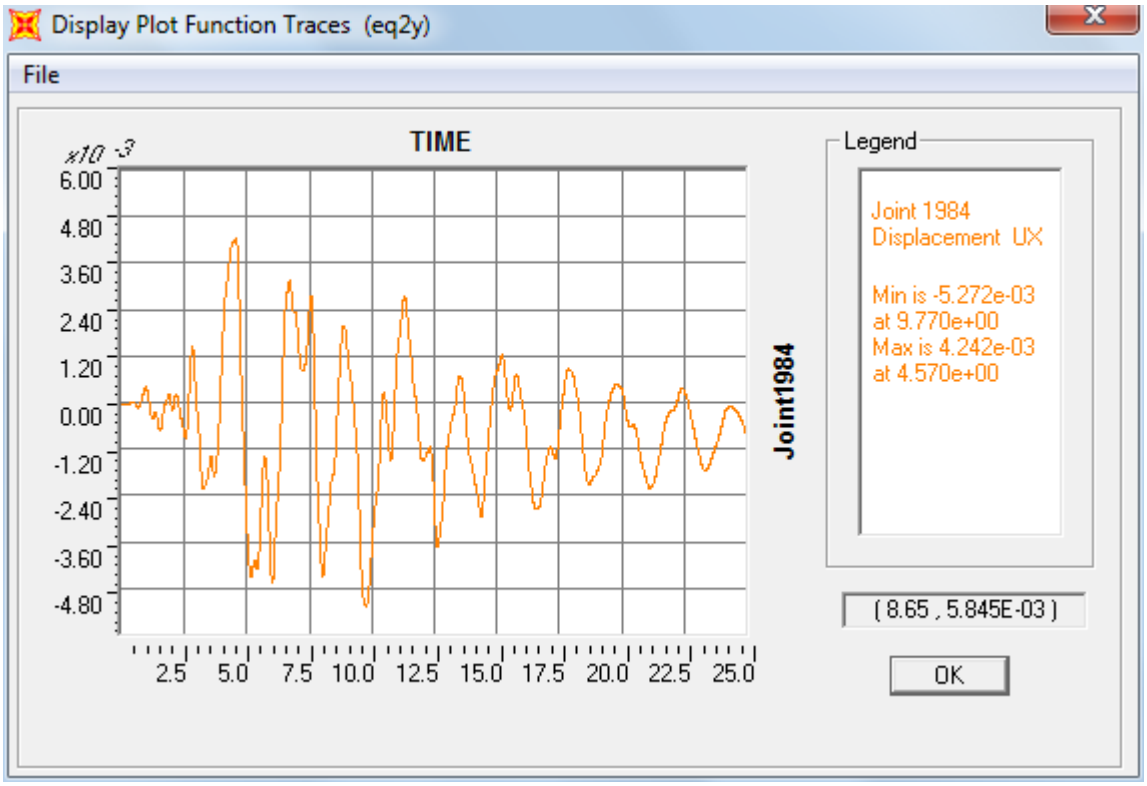
Şekil B9: X Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi -Zaman Grafiği



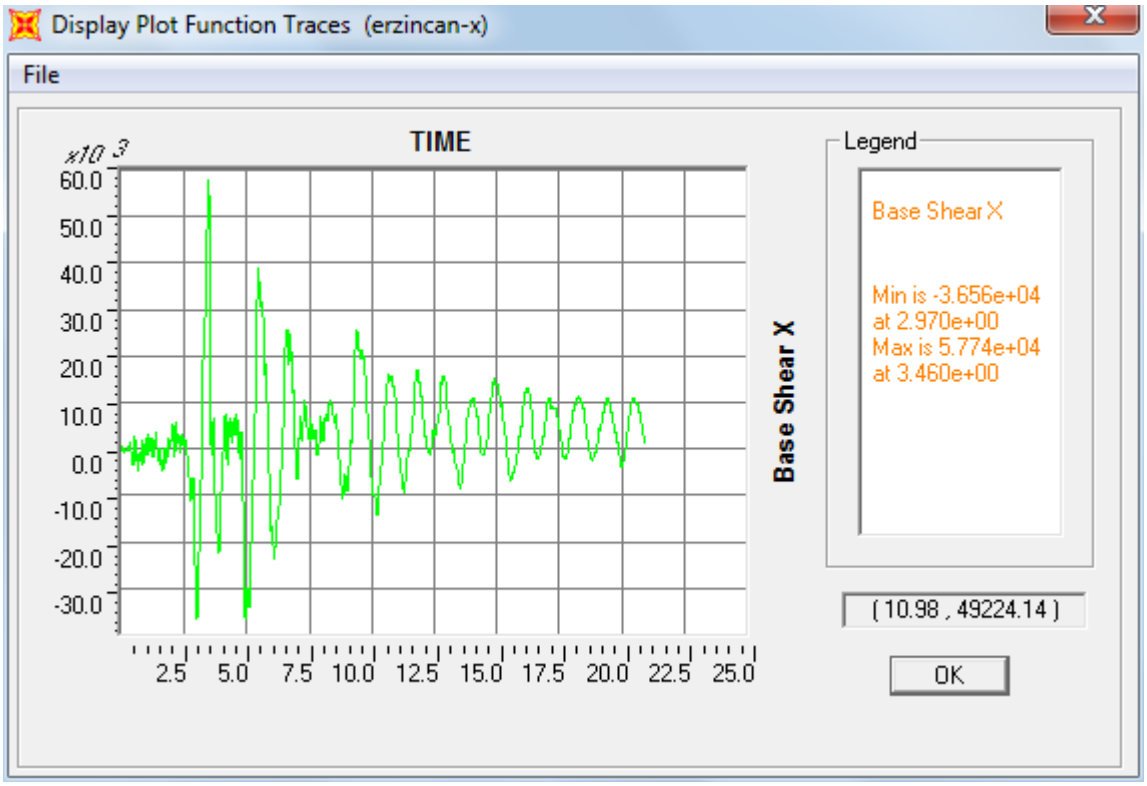
Şekil B10: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği



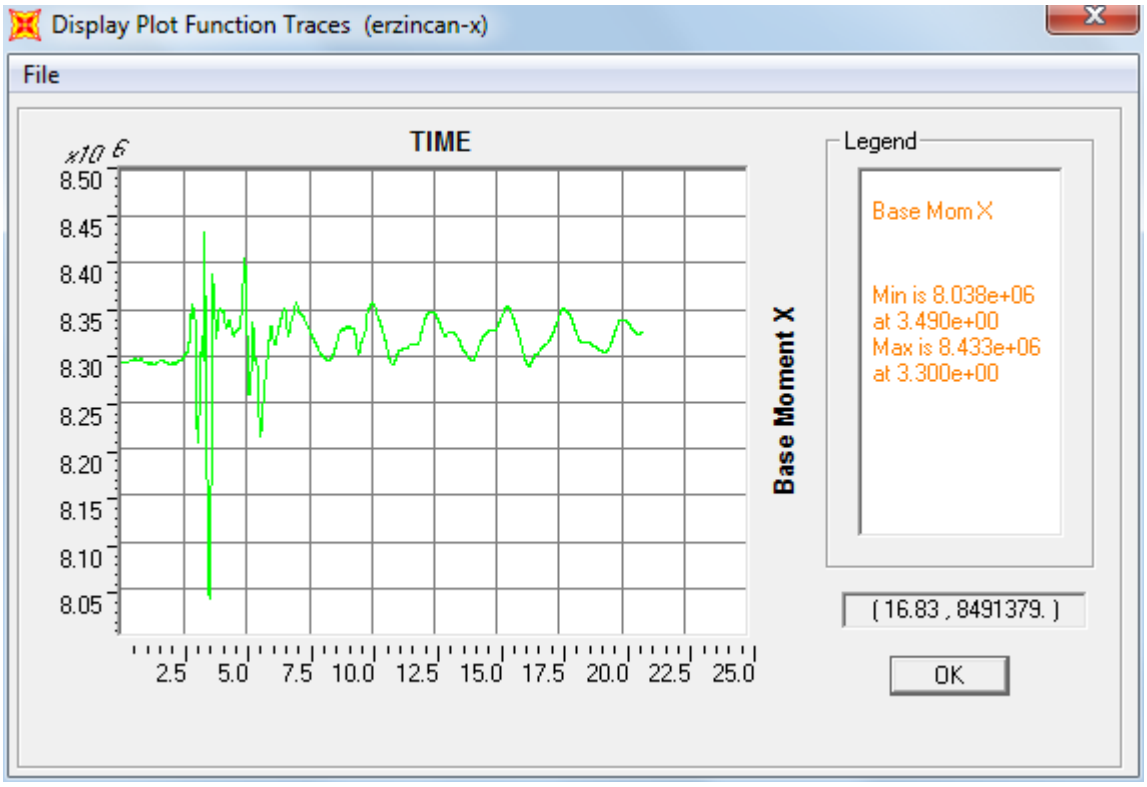
Şekil B11: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti-Zaman Grafiği



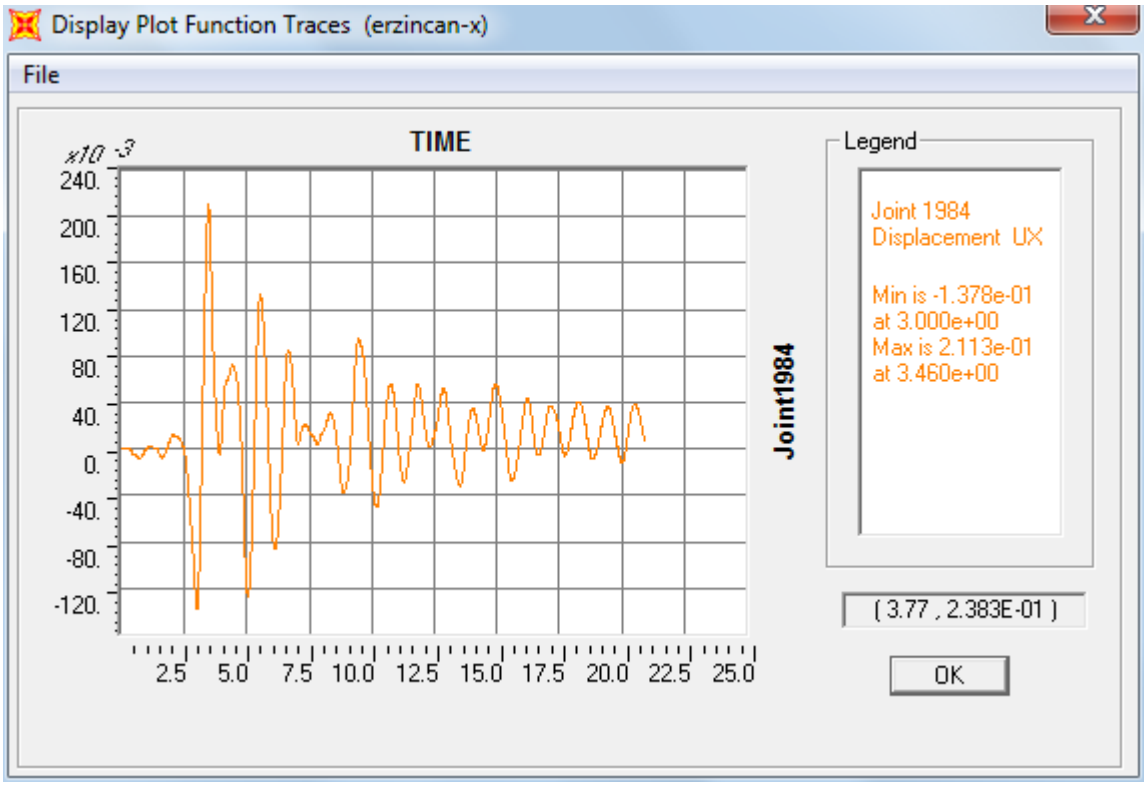
Şekil B12: Y Doğrultusunda Etkitilen EQ2 Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi -Zaman Grafiği



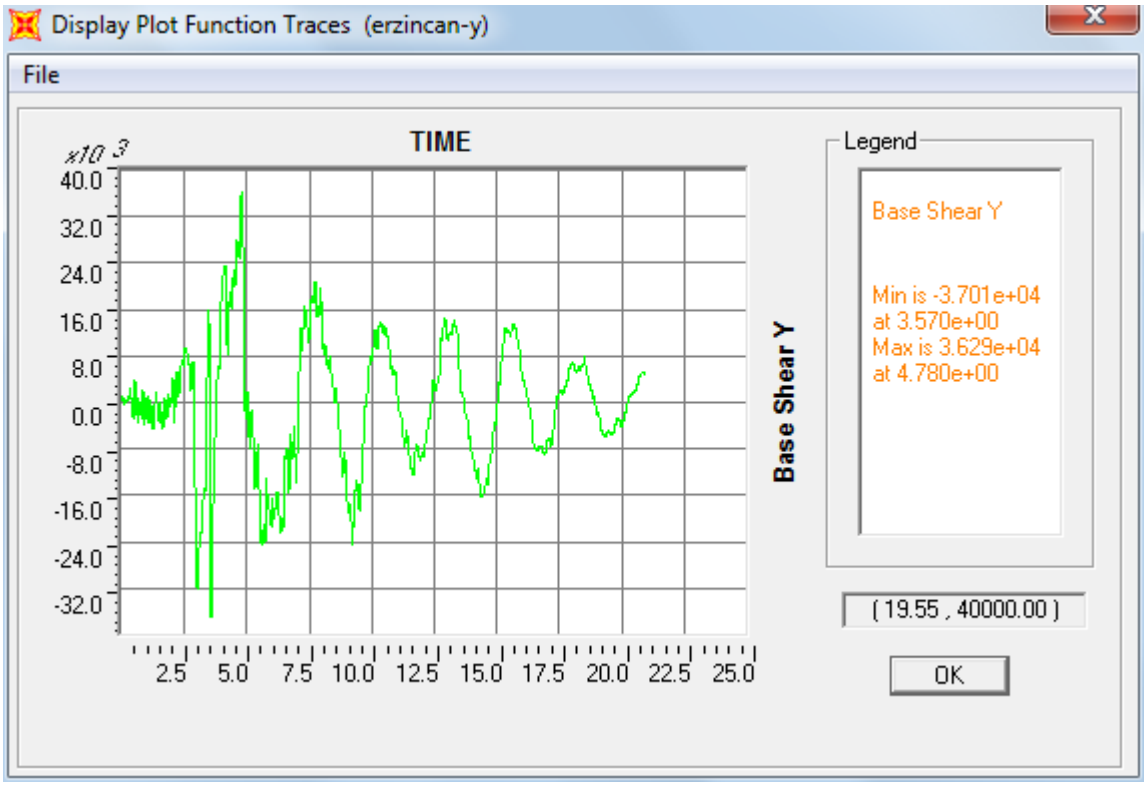
Şekil B13: X Doğrultusunda Etkitilen Erzincan Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği



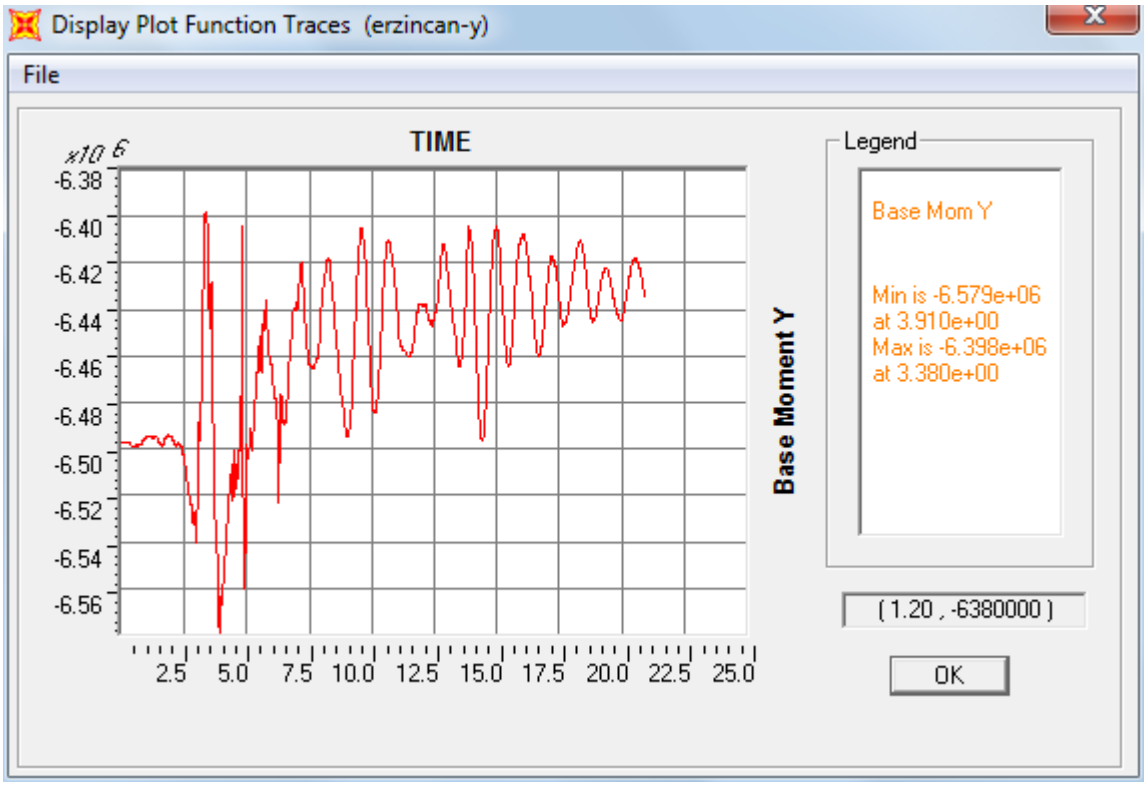
Şekil B14: X Doğrultusunda Etkitilen Erzincan Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti-Zaman Grafiği



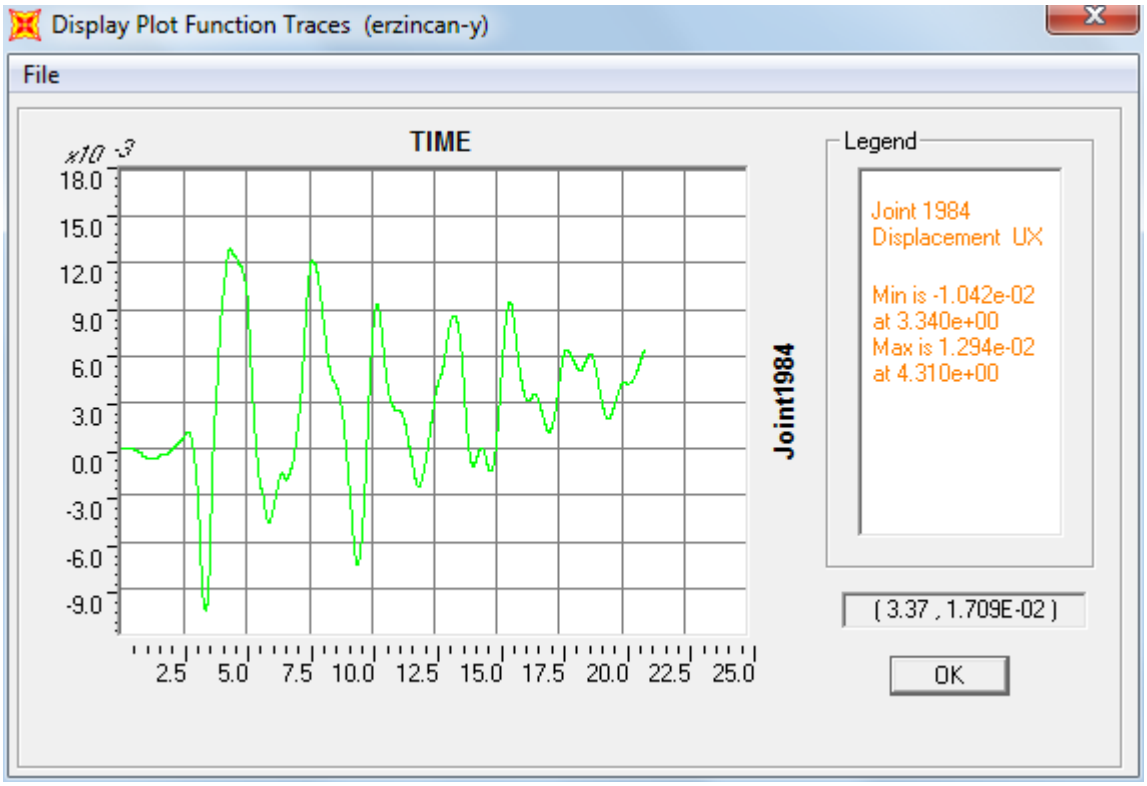
Şekil B15: X Doğrultusunda Etkitilen Erzincan Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi -Zaman Grafiği



Şekil B16: Y Doğrultusunda Etkitilen Erzincan Depremi Etkisinde Oluşan Taban Kesme Kuvveti-Zaman Grafiği



Şekil B17: Y Doğrultusunda Etkitilen Erzincan Depremi Etkisinde Oluşan Taban Devrilme Momenti-Zaman Grafiği



Şekil B18: Y Doğrultusunda Etkitilen Erzincan Depremi Etkisinde Oluşan En Üst Kat Yerdeğiştirmesi -Zaman Grafiği

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Mehmet Çeri

Doğum Yeri ve Tarihi: Sinop, 10 Ocak 1985

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi