İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT BİR BİNANIN 2007 DBYBHY 7. BÖLÜM'E GÖRE DEPREM YÜKLERİ ALTINDA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Sedat MAVUZER

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

EKİM 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEVCUT BİR BİNANIN 2007 DBYBHY 7. BÖLÜM'E GÖRE DEPREM YÜKLERİ ALTINDA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Sedat MAVUZER
(501051110)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Eylül 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 06 Ekim 2008

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Melike ALTAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü.)

EKİM 2008

ÖNSÖZ

Bugünlere gelmemde üzerimde çok büyük emekleri geçen sevgili anne ve babama, tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Melike ALTAN'a, konu hakkındaki bilgilerini benimle paylaşan değerli hocam Prof. Dr. Erkan ÖZER'e, arkadaşlarım Emre Serdar YÜKSEL, Esra NAMLI, Uğur ÇALIŞKAN, Yeşim BİNARBAŞI, Bahar NUHOĞLU ve çalışmamı bitirmemde en büyük etken olan B. Aycan ERARSLAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Eylül 2008 Sedat MAVUZER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa no
KISALTMALAR	**v**
TABLO LİSTESİ	**vi**
ŞEKİL LİSTESİ	**vii**
SEMBOL LİSTESİ	**ix**
ÖZET	**xi**
SUMMARY	**xii**
1. GİRİŞ	**1**
1.1 Konu	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	**3**
2.1 Binalardan Bilgi Toplanması	4
2.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	4
2.2.1 Kesit hasar sınırları	5
2.2.2 Kesit hasar bölgeleri	5
2.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri	5
2.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi	6
2.3.2 Can güvenliği performans düzeyi	7
2.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi	7
2.3.4 Göçme durumu	8
2.4 Performans Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri	8
2.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri	9
2.6 Doğrusal elastik hesap yöntemleri	9
2.6.1 Yöntemin esasları	9
2.6.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi	10
2.6.3 Mod birleştirme yöntemi	10
2.6.4 Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi	10
2.7 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri	12
2.7.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri	12
2.7.1.1 İdeal malzemeler	13
2.7.1.2 Yapı malzemelerinin gerilme–şekildeğiştirme bağıntıları	14
2.7.1.3 Mander beton modeli	16
2.7.2 Plastik mafsal hipotezi ve limit yük	20
2.7.2.1 Plastik mafsal hipotezi	20

2.7.2.2 Yük artımı yöntemi 24
2.7.2.3 Limit yükün doğrudan doğruya hesabı 28
2.7.3 Analizlerde kullanılan yöntemler 28
2.7.3.1 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek hesap adımları 29
2.7.3.2 Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi 30
2.7.3.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi 32
2.7.3.4 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi 37
2.7.3.5 Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi 38
2.7.3.6 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri 39

3. MEVCUT BİR BİNAYA AİT SAYISAL İNCELEMELER 40
3.1 Binanın tanıtılması 40
3.2 Binaya ait hesap modelinin oluşturulması 41
3.2.1 Yük analizi 41
3.2.2 Kat ağırlıklarının ve kütlelerinin hesabı 42
3.2.3 Bilgi düzeyi katsayısının belirlenmesi 44
3.3 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Performans Değerlendirmesi 45
3.3.1 Bina boyuna doğrultusu için performans değerlendirmesi 45
3.3.2 Bina enine doğrultusu için performans değerlendirmesi 49
3.3.3 Performans değerlendirmesi 52
3.4 Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesi 53
3.4.1 Plastik mafsalların tanımlanması 53
3.4.2 Sap2000 malzeme ve kesit tanımlamaları 58
3.4.2.1 Malzemeler 58
3.4.2.2 Kesitler 59
3.4.3 Performans eğrilerinin elde edilmesi 60
3.4.4 Bina performansın değerlendirilmesi 65
3.4.4.1 Bina boyuna yönde performans değerlendirmesi 65
3.4.4.2 Bina enine yönde performans değerlendirmesi 69

4. SONUÇLAR 74
KAYNAKLAR 75
EK A 77
ÖZGEÇMİŞ 86

KISALTMALAR

DBYBHY : Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ‘ Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’
ATC : Applied Technology Council
FEMA : Federal Emergency Management Agency
MN : Minimum Hasar Sınırı
GV : Güvenlik Sınırı
GÇ : Göçme Sınırı
MHB : Minimum Hasar Bölgesi
BHB : Belirgin Hasar Bölgesi
İHB : İleri Hasar Bölgesi
GB : Göçme Bölgesi

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : Binalar İçin Bilgi Düzeyi Katsayıları 4
Tablo 2.2 : Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri 9
Tablo 2.3 : Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) 11
Tablo 2.4 : Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) 12
Tablo 2.5 : Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s) 12
Tablo 3.1 : Bina Kat Kütleleri 44
Tablo 3.2 : Boyuna Yönde Eşdeğer Deprem Yükü 46
Tablo 3.3 : Boyuna Yönde Ek Eşdeğer Deprem Yüklü Kat Kesme Kuvvetleri 46
Tablo 3.4 : Boyuna Yönde Ek Dışmerkezlik Momentleri 47
Tablo 3.5 : KN30 Kirişi İç Kuvvetleri 47
Tablo 3.6 : KN30 Kirişi Moment Kapasiteleri ve Hasar Değerlendirmesi 47
Tablo 3.7 : Herbir Kattaki Kirişlerin Hasar Durumları ve Yüzdeleri 48
Tablo 3.8 : S101 Kolonu İç Kuvvetleri 48
Tablo 3.9 : S101 Kolonu Moment Kapasiteleri ve Hasar Değerlendirmesi 49
Tablo 3.10 : Her bir Kattaki Kolonların Hasar Durumları ve Yüzdeleri 49
Tablo 3.11 : Enine Yönde Herbir Kata Gelen Eşdeğer Deprem Yükleri 50
Tablo 3.12 : Enine Yönde Ek Eşdeğer Deprem Yüklü Kat Kesme Kuvvetleri 50
Tablo 3.13 : Enine Yönde Ek Dışmerkezlik Momentleri 51
Tablo 3.14 : Herbir Kattaki Kirişlerin Hasar Durumları ve Yüzdeleri 51
Tablo 3.15 : Her bir Kattaki Kolonların Hasar Durumları ve Yüzdeleri 52
Tablo 3.16 : Bina Boyuna Yönde Analizde Zemin Kat Kirişleri Hasar Durumları 65
Tablo 3.17 : Hasarlı Kiriş Yüzdeleri 66
Tablo 3.18 : Bina Boyuna Yönde Analizde Zemin Kat Kolonları Hasar Durumları 67
Tablo 3.19 : Bina Boyuna Yönde Analizde Perde Hasar Durumları 68
Tablo 3.20 : Enine Yönde Analizde Hasarlı Kiriş Yüzdeleri 68
Tablo 3.21 : Enine Yönde Analizde Hasarlı Kiriş Yüzdeleri 69
Tablo 3.22 : Bina Enine Yönde Analizde Zemin Kat Kirişleri Hasar Durumları 70
Tablo 3.23 : Bina Enine Yönde Analizde Kat Kolonları Hasar Durumları 70
Tablo 3.24 : Bina Enine Yönde Analizde Zemin Kat Kolonları Hasar Durumları 71
Tablo 3.25 : Bina Enine Yönde Analizde Perde Hasar Durumları 72

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Kesit Hasar Bölgeleri 6
Şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim 13
Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi – Şekildeğiştirme Diyagramı 13
Şekil 2.4 : İdeal Malzemeler 14
Şekil 2.5 : Beton Çeliğinde σ-ε Diyagramı 15
Şekil 2.6 : Beton Çeliğinin σ-ε Diyagramının İdealleştirilmesi 15
Şekil 2.7 : Betonarme Çubuğun Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ-ε Diyagramı 16
Şekil 2.8 : Mander Beton Modeli 18
Şekil 2.9 : Kesitte ve Boyuna Doğrultuda Etkin Sargı Alanının Hesaplanması 18
Şekil 2.10 : Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı 20
Şekil 2.11 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler 21
Şekil 2.12 : İdealleştirilmiş Bünye Bağlantısı 22
Şekil 2.13 : Plastik Mafsal Boyu 23
Şekil 2.14 : Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı 25
Şekil 2.15 : Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları 25
Şekil 2.16 : Yerdeğiştirmelerin Hesabı 27
Şekil 2.17 : Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması 27
Şekil 2.18 : Plastik Mafsalların Dönmelerinin Hesaplanması 28
Şekil 2.19 : Eğilme Momenti – Plastik Dönem Bağıntıları 32
Şekil 2.20 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$) 35
Şekil 2.21 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$) 35
Şekil 2.22 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$ **)** 36
Şekil 3.1 : Zemin ve Normal Kat Kolon Donatıları 40
Şekil 3.2 : Perde Donatıları 41
Şekil 3.3 : Mander Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri 53
Şekil 3.4 : XTRACT Donatı Malzeme Modeli 54
Şekil 3.5 : Tablalı Kiriş XTRACT Analiz Modeli 55
Şekil 3.6 : XTRACT Analizi Sonucunda Elde Edilen M – K Diyagramı 55
Şekil 3.7 : SAP 2000'de Plastik Mafsal İçin Moment-Eğrilik Diyagramı 56
Şekil 3.8 : Sap2000 Plastik Mafsal Örneği 57
Şekil 3.9 : Kolon XTRACT Analiz Modeli 57
Şekil 3.10 : Sap2000 Kolon Normal Kuvvet – Moment Etkileşim Diyagramı Örneği 58

Şekil 3.11 : Sap2000 Malzeme Özellikleri 59
Şekil 3.12 : Z3 Zemin Sınıfına Ait Davranış Spektrum Eğrisi 61
Şekil 3.13 : Bina Boyuna Yönü(X) İçin Kapasite Diyagramı..... 61
Şekil 3.14 : Bina Boyuna Yönü(X) Performans Noktası 62
Şekil 3.15 : Bina Enine Yönü(Y) Performans Noktası 62
Şekil 3.16 : $\varepsilon - K$ Diyagramı 63
Şekil 3.17 : Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı..... 64
Şekil 3.18 : Zemin Kat Kolonları Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı 67
Şekil 3.19 : Perde Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı..... 68
Şekil 3.20 : Zemin Kat Kolonları Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı 70
Şekil 3.21 : Perde Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı..... 71

SEMBOL LİSTESİ

A_c : Kolon veya perdenin brüt kesit alanı
$a_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal ivme
b_w : Kirşin gövde genişliği
C_{R1} : Spektral yerdeğiştirme oranı
d : enkesit yüksekliği
$d_1^{(i)}$: (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme
d : Kiriş ve kolonun faydalı yüksekliği
d_1^{p} : Birincimodaaitmodalyerdeğitirmeistemi
e : Güvenlik katsayısı
E_{sec} : Sekant elastiste modülü
E_c : Betonun elastiste modülü
f_{ctm} : Tanımlanan mevcut betonun çekme dayanımı
f_{cm} : Mevcut beton dayanımı
f_{ck} : Karakteristik basınç dayanımını
f_{cc} : Sargılı beton dayanımı
f_{co} : Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{yw} : Çelik sargıda çeliğin akma dayanımı
H_w : Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
k_e : Sargılama etkinlik katsayısını
K_y : Elastik eğrilik
K_u : Toplam eğrilik
K_{maks} : Nihai eğrilik
K_{ef} : Efektif eğrilik
l_p : Plastik mafsal boyu
l_w : Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
M_u : Taşıyabileceği en büyük moment
M_e : Efektif moment
M_p : Plastik moment değeri
M_P' : İndirgenmiş plastik moment değeri
M_{x1} : X deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleyi göstermektedir.
N_K : Mevcut malzeme dayanımları ile hesaplanan moment kapasitesine karşı gelen eksenel kuvvet
P_L : Limit yük

$\mathbf{P_G}$: Göçme yükü

$\mathbf{P_i}$: İşletme yükü

$\mathbf{R_a}$: Deprem yükü azaltma katsayısı

$\mathbf{R_{y1}}$: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını

$\mathbf{r}$: Etki/kapasite oranı

$\mathbf{r_s}$: Etki/kapasite oranının sınır değeri

$\mathbf{S_{di1}}$: Birincimodaaitdoğrusalolmayanspektralyerdeğitirme

$\mathbf{S_{de1}}$: Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme

$\mathbf{S_{ae1}}$: Birinci moda ait elastik spektral ivme

$u_{xN1}^{(p)}$: X deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi

$\mathbf{V_e}$: Kolon, kiriş ve perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti

$\mathbf{V_r}$: Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı

$\mathbf{V_{x1}^{(i)}}$: X deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini,

$\boldsymbol{\eta_{bi}}$: Burulma düzensizliği katsayısı

$\boldsymbol{\lambda}$: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı

$\boldsymbol{\rho'}$: Basınç donatısı oranı

$\boldsymbol{\rho}$: Çekme donatısı oranı

$\boldsymbol{\rho_s}$: Enine donatının hacimsel oranını

$\boldsymbol{\rho_b}$: Dengeli donatı oranı

$\boldsymbol{\sigma}$: Gerilmeler

$\boldsymbol{\sigma_k}$: Kopma gerilmesi

$\boldsymbol{\sigma_e}$: Akma gerilmesi

$\boldsymbol{\varepsilon}$: Şekil değiştirmeler

$\boldsymbol{\varepsilon_e}$: Akma şekildeğiştirmesi

$\boldsymbol{\varepsilon_{cu}}$: Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekil değiştirmesi

$\boldsymbol{\varepsilon_s}$: Donatı çeliği birim şekil değiştirmesi

$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$: Donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesi

$\boldsymbol{\varepsilon_{sy}}$: Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi

$\boldsymbol{\theta_p}$: Plastik dönme

$\boldsymbol{\delta}$: Virtüel şekildeğiştirme

$\boldsymbol{\Gamma_{x1}}$: X deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı

$\boldsymbol{\Phi_{xN1}}$: Binanın tepesinde(N'incikatında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

$\boldsymbol{\Delta F_N}$: Ek dış merkezlik momenti

$\boldsymbol{\Delta l_l}$: Doğrusal şekildeğiştirmeler

$\boldsymbol{\Delta l_p}$: Doğrusal olmayan şekil değiştirmeler

MEVCUT BİR BİNANIN 2007 DBYBHY 7. BÖLÜME GÖRE DEPREM YÜKLERİ ALTINDA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu yüksek lisans tezinde; 2007 DBYBHY'nin öngördüğü doğrusal ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin tanıtılması amacıyla, 1. derece deprem bölgesinde bulunan ve kullanım amacı konut olan mevcut bir binanın deprem yükleri altındaki davranışı incelenmiş ve bulunan sonuçlar 2007 DBYBHY'e göre değerlendirilmiştir.

Söz konusu bina, 1. derece deprem bölgesinde kolon, kiriş ve perdeden oluşan taşıyıcı sisteme sahip, kullanım amacı konut olan, 1 zemin kat ve 7 normal katı olan bir yapıdır. Kat yükseklikleri en üst katta 3.00m ve diğer katlarda 2.90m'dir.

Birinci bölüm giriş niteliğinde olup yapılan bu çalışmanın amacı hakkında bilgiler vermektedir.

İkinci bölümde, kullanılan analiz yöntemleri hakkında bilgiler ve kullanılan formüller yer almaktadır.

Üçüncü bölüm ise incelenen binaya ait detaylı bilgiler, analizler ve bu analiz sonuçlarına ait değerlendirmeleri içermektedir.

Dördüncü ve son bölümde, binaya ait genel performans değerlendirmesi yapılmış ve analiz yöntemlerine ait sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapıda malzeme olarak BS20(C20) beton BÇI(S220) donatı çeliği kullanılmıştır. Yapı hakkında her türlü donatı ve mimari çizim bulunmaktadır. Ayrıca kullanılan yapı malzemeleri bu çizimler üzerinde de görünmektedir. Tüm kesit analizlerinde ve bilgisayar modellemelerinde bu malzeme değerleri kullanılmıştır.

Zemin sınıfı Z3 olarak kabul edilmiştir.

Yapının statik ve dinamik analizinde Sap2000 yapı analiz programı v8.3.5 versiyonu kullanılmıştır. Her türlü kesit analizi için ise XTRACT kesit analiz programından faydalanılmıştır.

Sap2000'de binaya ait analiz modelleri oluşturulmuş ve analizler her iki doğrultu için de tekrarlanarak sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Her iki analiz yönteminde de binanın Göçme Bölgesi Performans Seviyesini sağladığı sonucuna varılmıştır. Binanın bu şekilde kullanılmasının can güvenliği açısından tehlikeli olduğu görülmüştür.

ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF AN EXISTING BUILDING CONSEDERING THE DBYBHY 2007, CHAPTER 7

SUMMARY

In this study; the behaviour of the building, which was built as a house, is inspected under earhquake loads consedering the DBYBHY 2007, chapter7 in the purpose of understand the lineer and non-lineer analysis methods.

The building, which was built on a first earthquake zone, has a structure that consists of columns, beams and concrete walls. It has 7+1=8 floors. The first 7 floors have the height of 2.9 m and the last one has 3.0m height.

The first chapter gives some information about the purpose of this study.

In the second chaper, there are detailed information about the analysis methods and the formulas which are used fort he analysis.

The third chapter consists of detailed structural information about the building, the analiysis and the results of these analysis.

In the forth and the last chapter, a general assessment has been made and the analysis results were compared with each other.

As materials, C20 is used as concrete material and S220 as steel material. We also have all the architectural and statical drawings from the local manicipality.

Soil is considered as Z3 soil type.

For the statical and dynamic analysis, Sap2000 v8.3.5 structural analysis software is used. Fort he all beam and coloumn section analysis XTRACT section analysis software is used.

The analysis models have been established by using Sap2000 and the results, that obtained from the analysis for both directions, have been considered separately. In conclusion, the building is in Failure Performance Level(Göçme Bölgesi Performans Seviyesi) and it is dangerous to use this building without any strengthening operation.

1. GİRİŞ

1.1. Konu

Yapı mühendisliğinde, son yıllarda performansa dayalı tasarım ve değerlendirme giderek önem kazanmaktadır. Bu kavram genel anlamda, bir yapı sisteminin öngörülen performans seviyeleri için, bir veya birden daha fazla, tasarımı ve değerlendirilmesi olarak açıklanabilir. Ülkemizde ve Dünya' da son zamanlarda meydana gelen önemli depremler göstermiştir ki, depremlerin yapılarda meydana getirdiği hasarlardan yada kullanım kesintiye uğramasından dolayı önemli maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bu durumda yapıların farklı sınır durumlara göre tasarlanmasının gerekliliği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Bir binanın performansının değerlendirilmesindeki temel öğeler olan hasar durumları yerdeğiştirme ve şekil değiştirme olarak ifade edilebilir. Doğrusal olmayan teoriyi esas alan hesap yöntemlerinden faydalanılarak, yapı sistemlerinin dış yükler ve deprem etkileri altındaki davranışları daha gerçekçi izlenebilmekte, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmelere bağlı deprem performansları daha sağlıklı bir biçimde belirlenebilmektedir.

Performansa dayalı mevcut yapıların değerlendirilmesi için kullanılacak olan analiz yönteminin seçimi önemli bir konu olmakla birlikte, son yıllarda doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri yaygınlaşmıştır. Doğrusal olmayan analiz için önerilen başlıca yöntemler, zaman tanımı aralığında doğrusal olmayan dinamik analiz ve statik itme analizidir.

Ülkemizde de bu doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin önemi anlaşılmaya başlanmış ve afet yönetmeliği 2007 yılında bu doğrusal olmayan analiz yöntemlerini de kapsayacak şekilde güncellenmiştir. 2007 DBYBHY 7. bölüm uyarınca, yapılara performansa dayalı analiz yapılabilmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, mevcut bir bina üzerinde, 2007 DBYBHY'de tanımlanan doğrusal ve doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve elde edilen sayısal sonuçların değerlendirilmesi suretiyle bu mevcut binanın deprem performans ve güvenliğinin belirlenmesidir.

Bu amaçla elde donatı ve mimari çizimleri olan ve malzemesi bilinen mevcut bir yapının *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Artımsal İtme Analizi Hesap Yöntemi* yardımıyla sayısal incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada izlenecek yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

a) Malzeme bakımından doğrusal olmayan betonarme yapı sistemlerinin dinamik ve statik hesap yöntemlerinin ve davranışa etkisi olan parametrelerin incelenmesi.

b) Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yöntemlerinin gözden geçirilmesi.

c) Sayısal incelemesi yapılacak olan binanın hesap modellerinin oluşturulması.

d) Bu modelin 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal hesap yöntemlerinden *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve doğrusal olmayan *Artımsal İtme Analizi* ile çözülmesi.

e) Her iki yöntemle elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması.

2. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Yerdeğiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı, özellikle son yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nin deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayan yapıların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterlerine alternatif olarak, yerdeğiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimini ortaya çıkarmıştır.

Bu gereksinimi karşılamaya yönelik olarak, Applied Technology Council (ATC) tarafından *Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings* - **ATC 40** ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* – **FEMA 273 , FEMA 356** raporları yayınlanmıştır. Daha sonra, bu çalışmaların sonuçlarının irdelenerek geliştirilmesi amacıyla **ATC 55** projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren **FEMA 440** taslak raporu hazırlanmıştır.

Ülkemizde, özellikle 1999 Adapazarı-Kocaeli ve Düzce depremlerinin ardından, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesini ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesini amaçlayan pratik uygulamalara hız verilmiştir. Ancak o tarihlerde, diğer bir çok ülkede olduğu gibi ülkemizde de mevcut yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesine yönelik bir yönetmeliğin henüz mevcut olmaması nedeniyle, bu uygulamaların önemli bir bölümü yeni yapılacak yapılar için geçerli olan yönetmelik (1998 Türk Deprem Yönetmeliği) esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumun oluşturduğu sakıncaları

ortadan kaldırmak amacıyla, 2003 yılından başlayarak, deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin de güncelleştirilmesi çalışmaları yürütülerek tamamlanmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nin (DBBHY'07), mevcut betonarme binaların deprem performans ve güvenliklerinin değerlendirmesine ilişkin bölümünün (Bölüm 7) temel ilkelerine ve uygulanmasına yönelik bilgi verilecektir,.

2.1 Binalardan Bilgi Toplanması

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden, ilgili raporlardan, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir. Binalardan toplanan bilginin kapsam ve güvenilirliğine bağlı olarak

a) sınırlı bilgi düzeyi

b) orta bilgi düzeyi

c) kapsamlı bilgi düzeyi

olmak üzere, yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmış ve bu bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir, Tablo 2.1.

Tablo 2.1 : Binalar için Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

2.2 Yapı Elemanlarında Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapıların deprem etkileri altındaki performanslarının değerlendirmesi genel olarak iki farklı kritere göre yapılabilmektedir. Doğrusal elastik değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan ve *dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme* adı verilen

birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının dayanım kapasiteleri elastik deprem yüklerinden oluşan ve doğrusal teoriye göre hesaplanan etkilerle karşılaştırılmakta ve yapı elemanının sünekliğini gözönüne alan, eleman bazındaki bir tür deprem yükü azaltma katsayıları çerçevesinde, binadan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Doğrusal elastik olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, *yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme bazlı değerlendirmenin* esas alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi için binadaki yerdeğiştirme istemine ulaşıldığında, yapıdan beklenen performans hedefinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir.

Her iki yaklaşımda da, yapı elemanları için hasar sınırları ve hasar bölgeleri tanımlanmıştır. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları "*sünek*" ve "*gevrek*" olarak iki sınıfa ayrılırlar. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türü ile ulaştıkları ile ilgilidir.

2.2.1 Kesit hasar sınırları

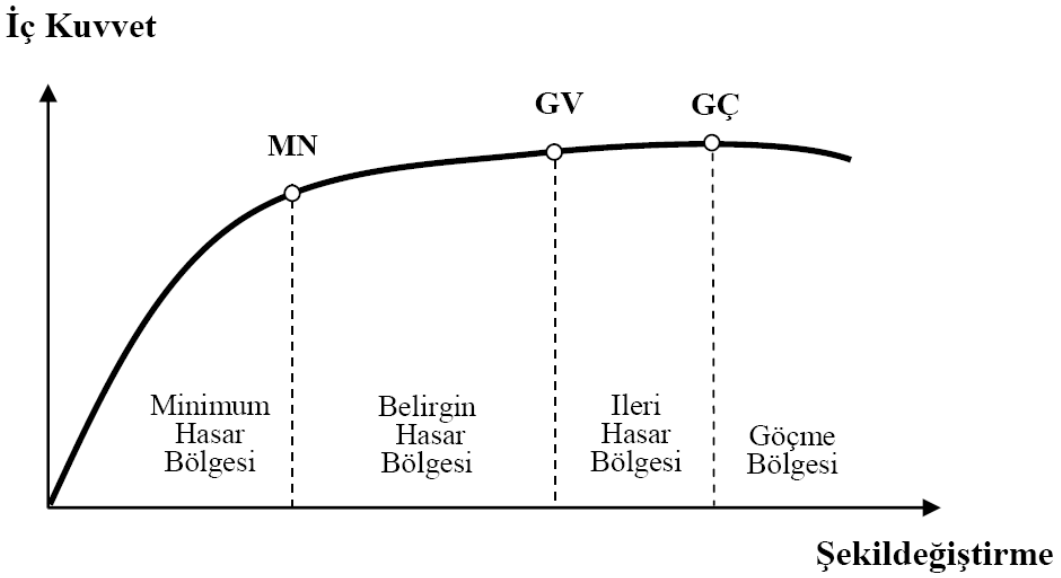
Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar Minimum Hasar Sınırı (MN), Güvenlik Sınırı (GV) ve Göçme Sınırı (GÇ)'dır. Minimum hasar sınırı ilgili kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Eksenel basınç ve kesme gibi etkiler altında kapasitesine ulaşan gevrek elemanlar için elastik ötesi davranışa izin verilmemektedir.

2.2.2 Kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerinin hasarı 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 kabül edilirler, Şekil 2.1.

2.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri

Performans düzeyleri verilen bir yapı için, verilen bir deprem etkisi altında öngörülen hasar miktarının sınır durumlarıdır. Bu sınır durumlar, binadaki taşıyıcı ve



Şekil 2.1 : Kesit Hasar Bölgeleri

taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına, bu hasarın can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmamasına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılmamasına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplara bağlı olarak belirlenir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği binaların deprem performansını, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen yapısal hasara bağlı olarak tanımlamaktadır. Yönetmelikte tanımlanan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin uygulanması ve eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina deprem performans seviyesi belirlenir.

2.3.1 Hemen kullanım performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanlarda oluşan hasar minimum düzeydedir ve elemanlar rijitlik ve dayanım özelliklerini korumaktadırlar. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmamıştır. Az sayıda elemanda akma sınırı aşılmış olabilir. Yapısal olmayan elemanlarda çatlamalar görülebilir, ancak bunlar onarılabilir düzeydedir.

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.

2.3.2 Can güvenliği performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların bir kısmında hasar görülür, ancak bu elemanlar yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü korumaktadırlar. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınması için yeterlidir. Yapısal olmayan elemanlarda hasar bulunmakla birlikte dolgu duvarları yıkılmamıştır. Yapıda az miktarda kalıcı ötelenmeler oluşabilir; ancak gözle farkedilebilir değerlerde değildir.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesindedir. Bu durumda, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri koşulu ile, bina *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Can güvenliği performans düzeyinin kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine, güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

2.3.3 Göçme öncesi performans düzeyi

Uygulanan deprem etkisi altında yapısal elemanların önemli bir kısmında hasar görülür. Bu elemanların bazıları yatay rijitliklerinin ve dayanımlarının önemli bölümünü yitirmişlerdir. Düşey elemanlar düşey yüklerin taşınmasında yeterlidir; ancak bazıları eksenel kapasitelerine ulaşmıştır. Yapısal olmayan elemanlar hasarlıdır, dolgu duvarların bir bölümü yıkılmıştır. Yapıda kalıcı ötelenmeler oluşmuştur.

Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si göçme bölgesine geçebilir. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Bu durumda bina, eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların

güçlendirilmeleri koşulu ile, *Göçmenin Öncesi Performans Düzeyi*'nde kabul edilir. Göçmenin önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır ve bina güçlendirilmelidir. Ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.

2.3.4 Göçme durumu

Yapı uygulanan deprem etkisi altında göçme durumuna ulaşır. Düşey elemanların bir bölümü göçmüştür. Göçmeyenler düşey yükleri taşıyabilmektedir; ancak rijitlikleri ve dayanımları çok azalmıştır. Yapısal olmayan elemanların büyük çoğunluğu göçmüştür. Yapıda belirgin kalıcı ötelenmeler oluşmuştur. Yapı tamamen göçmüştür veya yıkılmanın eşiğindedir ve daha sonra meydana gelebilecek hafif şiddette bir yer hareketi altında bile yıkılma olasılığı yüksektir.

Bina göçme öncesi performans düzeyini sağlamıyorsa *Göçme Durumu*'ndadır. Binanın güçlendirme uygulanmadan, mevcut durumu ile kullanılması can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bununla beraber, güçlendirme de çok kere ekonomik olmayabilir.

2.4 Performans Belirlemede Esas Alınacak Deprem Hareketleri

Performansa dayalı değerlendirme ve tasarımda gözönüne alınmak üzere, farklı düzeyde üç deprem hareketi tanımlanmıştır. Bu deprem hareketleri genel olarak, 50 yıllık bir süreç içindeki aşılma olasılıkları ile ve benzer depremlerin oluşumu arasındaki zaman aralığı (dönüş periyodu) ile ifade edilirler.

1- *Servis (kullanım) depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 72 yıldır. Bu depremin etkisi, aşağıda tanımlanan tasarım depreminin yarısı kadardır.

2- *Tasarım depremi* : 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 ve 2007 Türk Deprem Yönetmelikleri'nde esas alınmaktadır.

3- *En büyük deprem* : 50 yılda aşılma olasılığı % 2, dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bir depremdir. Bu depremin etkisi tasarım depreminin yaklaşık olarak 1.50 katıdır.

2.5 Performans Hedefi ve Çok Seviyeli Performans Hedefleri

Belirli bir deprem hareketi altında, bina için öngörülen yapısal performans düzeyi, *performans hedefi* olarak tanımlanır. Bir bina için, birden fazla yer hareketi altında farklı performans hedefleri öngörülebilir. Buna *çok seviyeli performans hedefi* denir. Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesinde esas alınacak deprem düzeyleri ve bu deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2 : Binalar İçin Öngörülen Minimum Performans Hedefleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	***Depremin Aşılma Olasılığı***		
	50 yılda %50	*50 yılda %10*	*50 yılda %2*
Deprem Sonrası 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, endüstri yapıları, vb.)	–	**CG**	–

2.6 Doğrusal elastik hesap yöntemleri

2.6.1 Yöntemin esasları

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde öngörülen ve binaların deprem performanslarının belirlenmesi için kullanılan doğrusal elastik hesap yöntemleri, *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi*' dir. Dayanım bazlı olan bu yöntemlerin amacı, verilen bir deprem etkisi altında, deprem yükü azaltma katsayısının R_a=1 değeri için hesaplanan etkiler ile yapı elemanlarının artık kapasiteleri arasındaki etki/kapasite oranlarının hesaplanması ve bu değerlerin ilgili sınır değerler ile karşılaştırılması suretiyle yapı elemanlarının kesit hasar bölgelerinin

belirlenmesi ve bunlardan yararlanarak bina düzeyinde performans değerlendirmesi yapılmasıdır.

2.6.2 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8'i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında R_a=1 alınır ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır.

2.6.3 Mod birleştirme yöntemi

Mod Birleştirme Yöntemi ile hesapta R_a=1 alınır, diğer bir deyişle, elastik deprem spektrumları azaltılmadan, aynen kullanılır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesabında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

2.6.4 Yapı elemanlarında hasar düzeylerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, gözönüne alınan elemanın etki/kapasite oranı (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılır.

Kırılma türü eğilme olan elemanlar sünek, kesme olan elemanlar ise gevrek eleman olarak sınıflanır. Kolon, kiriş ve perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e'nin, bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500'e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r'yi aşmaması gereklidir. V_e'nin hesabı kolonlar, kirişler ve perdeler için yönetmelikte belirtilen ilgili bölümlere göre yapılır, ancak perdelerde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı βv=1 alınır. Kolon, kiriş ve perdelerde V_e'nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılır. Düşey yükler ile birlikte, elastik deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ alınarak depremden hesaplanan toplam kesme kuvvetinin V_e'den küçük olması durumunda ise, V_e yerine bu kesme kuvveti kullanılır. Ek koşul olarak perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmesi için ayrıca

H_w / ℓ_w > 2.0 koşulunu sağlaması gerekir. Bu koşulları sağlamayan betonarme elemanlar *gevrek olarak hasar gören elemanlar* olarak nitelendirilir.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında elastik deprem yükü azaltma katsayısı R_a = 1 alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir. Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Etki/kapasite oranının hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan moment etkisi, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilir. Sarılma bölgesindeki enine donatının düzeni ve miktarı bakımından yönetmeliğin ilgili bölümlerindeki koşulları sağlayan betonarme kolonlar, betonarme kirişler ve betonarme perdeler "sargılanmış", sağlamayanlar ise "sargılanmamış" eleman sayılır. "Sargılanmış" sayılan elemanlarda sargı donatılarının "özel deprem etriyeleri ve çirozları" olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yönetmelikte belirtilen koşulları sağlaması gereklidir.

Hesaplanan kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite (r) oranları, yönetmelikte verilen ilgili sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

Tablo 2.3 : Betonarme Kirişler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Kirişler			**Hasar Sınırı**		
$\frac{\rho-\rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d\ f_{ctm}}$ (1)	**MN**	**GV**	**GÇ**
≤ 0.0	Var	≤ 0.65	3	7	10
≤ 0.0	Var	≥ 1.30	2.5	5	8
≥ 0.5	Var	≤ 0.65	3	5	7
≥ 0.5	Var	≥ 1.30	2.5	4	5
≤ 0.0	Yok	≤ 0.65	2.5	4	6
≤ 0.0	Yok	≥ 1.30	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≤ 0.65	2	3	5
≥ 0.5	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	4

Tablo 2.4 : Betonarme Kolonlar İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite Oranları (r_s)

Sünek Kolonlar			Hasar Sınırı		
$\frac{N_K}{A_c f_{cm}}$ (1)	Sargılama	$\frac{V_e}{b_w d\, f_{ctm}}$ (2)	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	Var	≤ 0.65	3	6	8
≤ 0.1	Var	≥ 1.30	2.5	5	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≤ 0.65	2	4	6
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Var	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≤ 0.1	Yok	≤ 0.65	2	3.5	5
≤ 0.1	Yok	≥ 1.30	1.5	2.5	3.5
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≤ 0.65	1.5	2	3
≥ 0.4 ve ≤ 0.7	Yok	≥ 1.30	1	1.5	2
≥ 0.7	–	–	1	1	1

Kiriş, kolon ve perdelerde etki/kapasite oranlarının sınır değerleri Tablo 2.3 - 2.5'te verilmiştir.

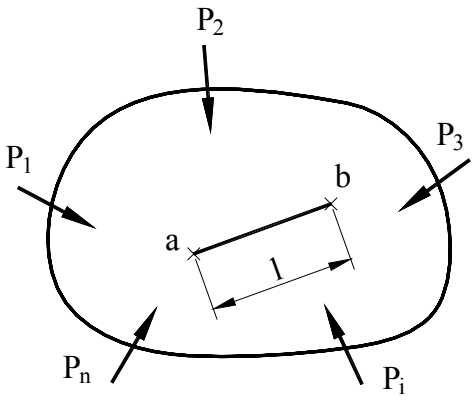
Tablo 2.5 : Betonarme Perdeler İçin Hasar Sınırlarını Tanımlayan Etki/Kapasite (r_s)

Sünek Perdeler	Hasar Sınırı		
Perde Uç Bölgesinde Sargılama	MN	GV	GÇ
Var	3	6	8
Yok	2	4	6

2.7 Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri

2.7.1 Malzemelerin şekildeğiştirme özellikleri

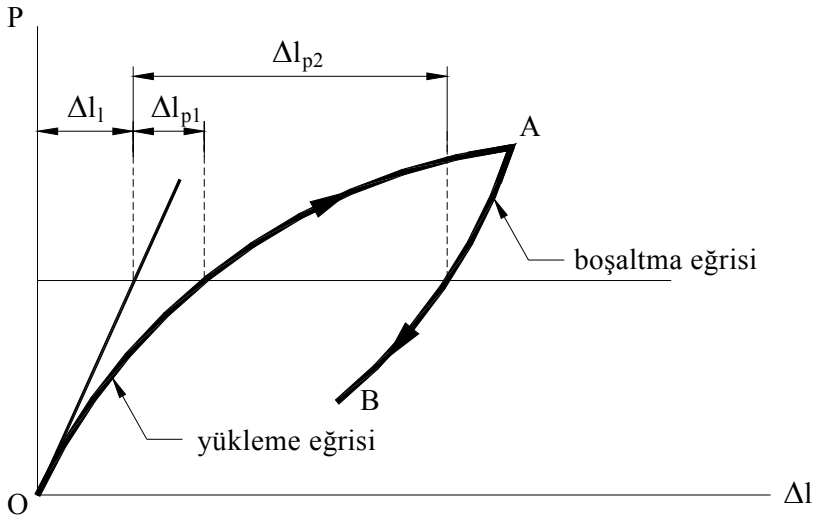
Şekil 2.2'de verilen katı cisim, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan P_i dış kuvvetlerinin etkisi altındadır. Bu dış kuvvetlerin büyüklüğünü tanımlayan P yük parametresi ordinata, bu kuvvetlerden dolayı katı cismin a ve b noktaları arasındaki l uzunluğunun Δl değişimi absise taşınarak çizilen P-Δl diyagramı Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilmiştir.



$P_i = p_i P$

P : yük parametresi

Şekil 2.2 : Dış Kuvvetler Etkisindeki Katı Cisim

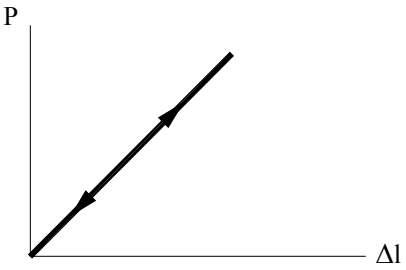


Şekil 2.3 : Şematik Yük Parametresi – Şekildeğiştirme Diyagramı

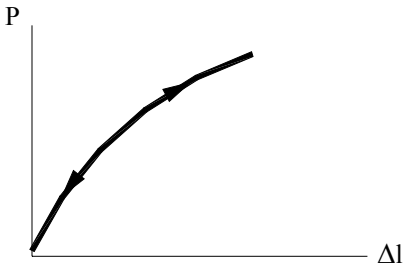
Bu diyagramın, artan yük parametresi için elde edilen *OA* bölümüne yükleme eğrisi, yüklerin kaldırılması durumuna karşı gelen *AB* bölümüne de boşaltma eğrisi denir. Eğrinin başlangıç teğeti ile ordinat ekseni arasındaki Δl_l şekildeğiştirmeleri doğrusal şekildeğiştirmeler, başlangıç teğeti ile yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan Δl_{p1} ve Δl_{p2} şekildeğiştirmeleri ise doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler olarak tanımlanır.

2.7.1.1 İdeal malzemeler

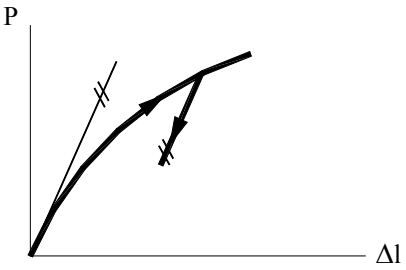
Yapı sistemlerinde kullanılan gerçek yapı malzemelerinin şekildeğiştirme özellikleri üzerinde bazı idealleştirmeler yaparak tanımlanan ideal malzemelerin başlıcaları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



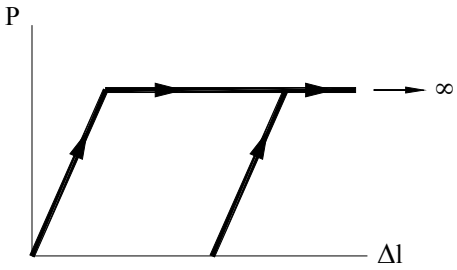
(a) Doğrusal-elastik malzeme



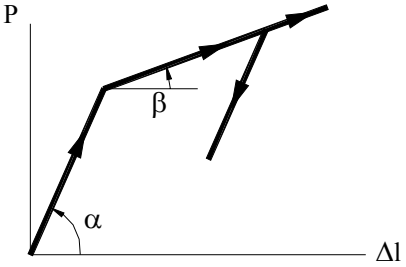
(b) Doğrusal olmayan elastik malzeme



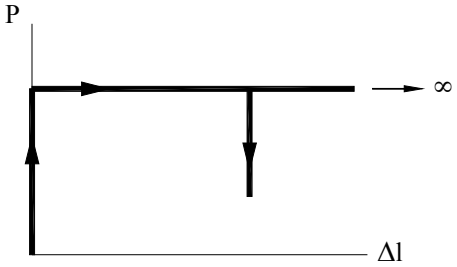
(c) Elastoplastik malzeme



(d) İdeal elastoplastik malzeme



(e) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme



(f) Rijit plastik malzeme

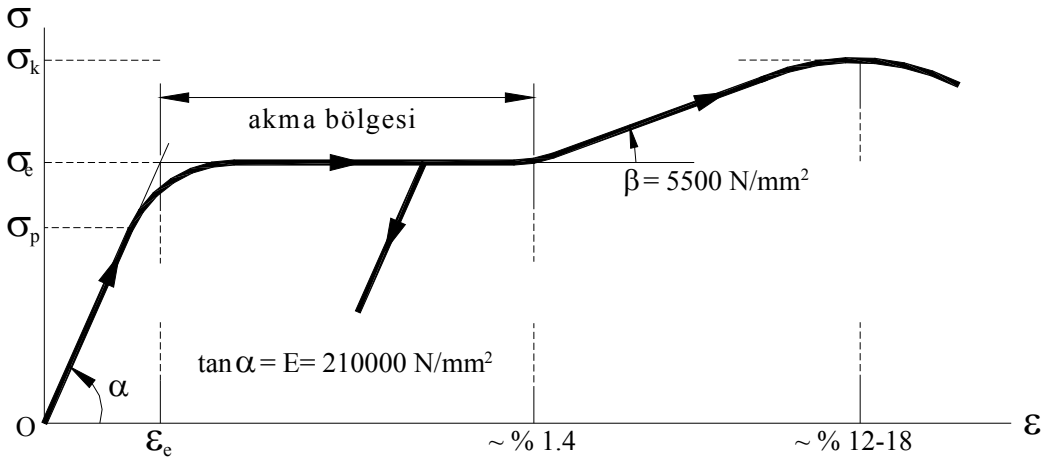
Şekil 2.4: İdeal Malzemeler

2.7.1.2. Yapı malzemelerinin gerilme–şekildeğiştirme bağıntıları

Betonarme yapı elemanlarını oluşturan beton çeliği ve betonun gerilme-şekildeğiştirme (σ-ε) diyagramları ve bu diyagramlara ait bazı sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

a) Beton Çeliği

Beton çeliğinin gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 2.5'te görülmektedir.

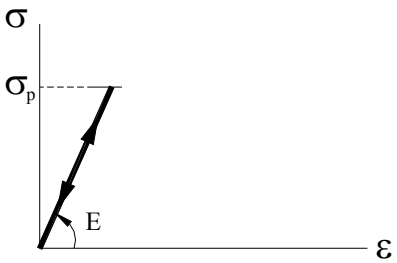


Şekil 2.4 : Beton Çeliğinde σ-ε Diyagramı

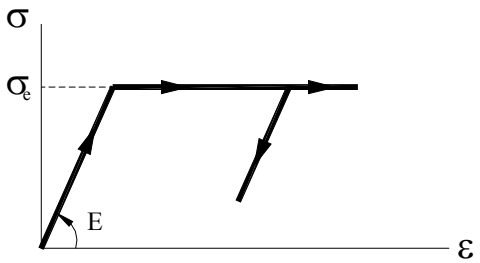
Bu diyagramı tanımlayan σ_k kopma gerilmesi, σ_e akma gerilmesi ve ε_e akma şekildeğiştirmesinin **S420** beton çeliği için aldığı değerler aşağıda verilmiştir:

S420 *beton çeliği* : σ_k=550 N/mm^2 , σ_e=420 N/mm^2 ($\varepsilon_e \cong 0{,}0021$)

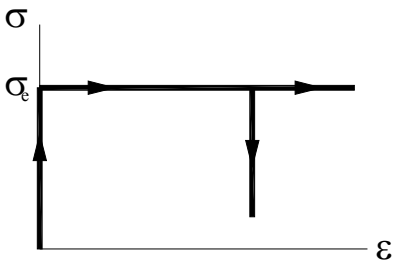
Betonarme yapı elemanlarının iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının elde edilmesinde, uygulanan analiz ve tasarım yaklaşımına bağlı olarak, beton çeliğinin σ-ε diyagramının bir bölümü veya tümü Şekil 2.6'daki modellerden birine uygun olarak idealleştirilebilir.



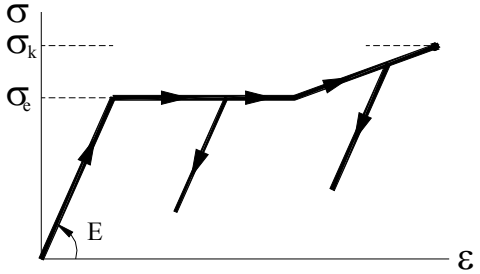
(a) Doğrusal - elastik malzeme



(b) İdeal elastoplastik malzeme



(c) Rijit plastik malzeme

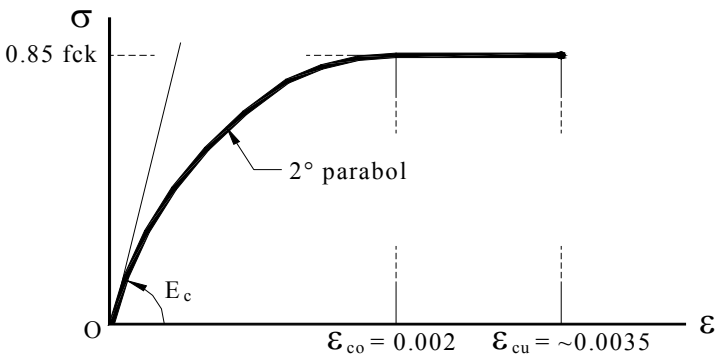


(d) Pekleşen ideal elastoplastik malzeme

Şekil 2.5 : Beton Çeliğinin σ-ε Diyagramının İdealleştirilmesi

b) Beton

Betonarme bir çubuk elemanın eğilmesinde, dış basınç lifindeki betonun σ-ε bağıntısı Şekil 2.7'de görülmektedir.



Şekil 2.6 : Betonarme Çubuğun Eğilmesinde Dış Basınç Lifindeki σ-ε Diyagramı

Şekil 2.7' de f_{ck} karakteristik basınç dayanımını, E_c ise

$$E_c = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (N/mm^2) \tag{2.1}$$

formülü ile hesaplanabilen beton elastisite modülünü göstermektedir.

Betonun ezilerek kırılmasına neden olan ε_{cu} birim kısalması sargısız betonda yaklaşık olarak 0.003-0.0035 iken, sargılı betonda sargı donatısı (etriye) miktarına bağlı olarak önemli oranda artabilmektedir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği, başkaca bir seçim yapılmadığı durumlarda, sargılı veya sargısız beton modelleri için Mander beton modelinin kullanılmasını önermektedir. Mander sargılı beton modelinde, sargı etkisiyle artan beton basınç dayanımı ve ε_{cu} birim kısalması, malzeme dayanımlarının yanında elemanda enine ve boyuna donatı yerleşimi gözönüne alınarak hesaplanır. Mander sargısız beton modelinde ise ε_{cu} birim kısalmasının değeri 0.004 olarak alınmaktadır.

2.7.1.3 Mander beton modeli

Yüksek eksenel kuvvet etkisindeki kesitin tarafsız eksen derinliği büyük olduğundan, kolonların eğilme kapasiteleri betonun basınç altındaki gerilme dağılımına daha çok bağlıdır. Bu nedenle yapının performansını belirlemek için kullanılan analiz modellerinde gerçekçi moment–eğrilik ilişkileri tanımlamak için, sargı etkisini de

göz önüne alan beton modelleri kullanılmalıdır. Modelde kabuk betonu için sargısız, çekirdek betonu için sargılı model esas alınır. Mander 1988 yılında beton için sargı etkisini de gözönüne alan gerilme-şekildeğiştirme modeli önermiştir.

Mander modelinde beton basınç gerilmesi

$$f_c = \frac{f_{cc}\, x\, r}{r - 1 + x^r} \tag{2.2}$$

bağıntısı ile verilir. Denklemde f_{cc} sargılı beton dayanımı, x ise

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \tag{2.3}$$

şeklinde tanımlanan bir oranı göstermektedir. Burada ε_c beton basınç birim şekildeğiştirmesi, ε_{cc} ise, λ_c sargılı beton dayanımı ile sargısız beton dayanımı arasındaki ilişkiyi kuran bir katsayı ve ε_{co}=0.002 olmak üzere,

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}[1 + 5(\lambda_c - 1)] \tag{2.4}$$

ile tanımlanan birim şekildeğiştirmedir.

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \tag{2.5}$$

ile tanımlanırken, bağıntıda

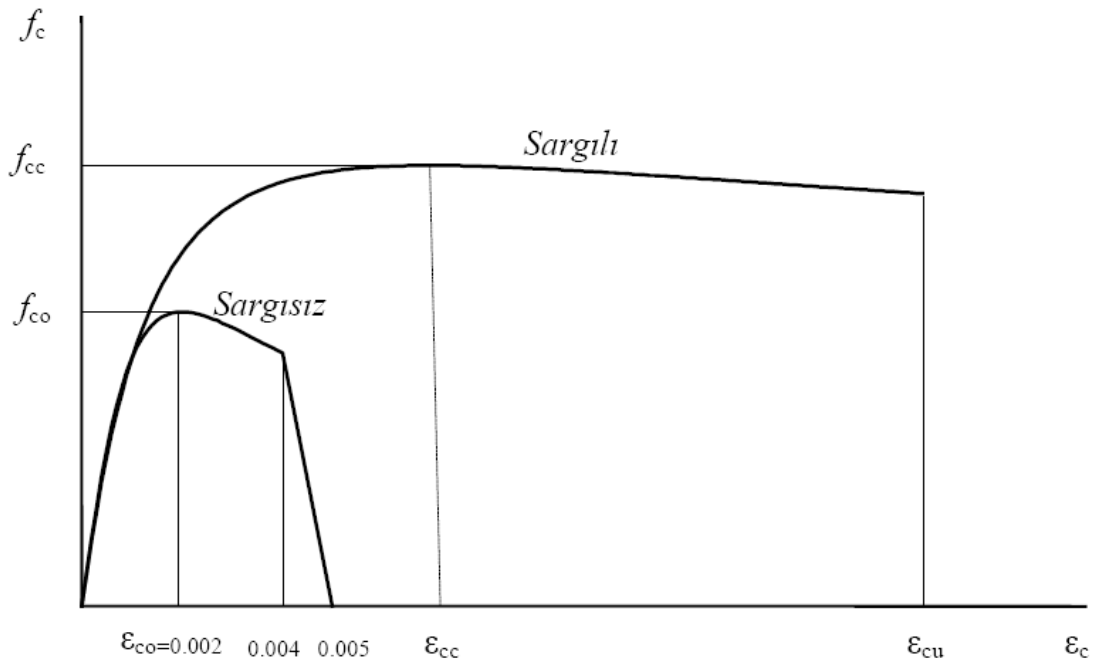
$$E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \quad [MPa] \tag{2.6}$$

beton elastisite modülünü

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \tag{2.7}$$

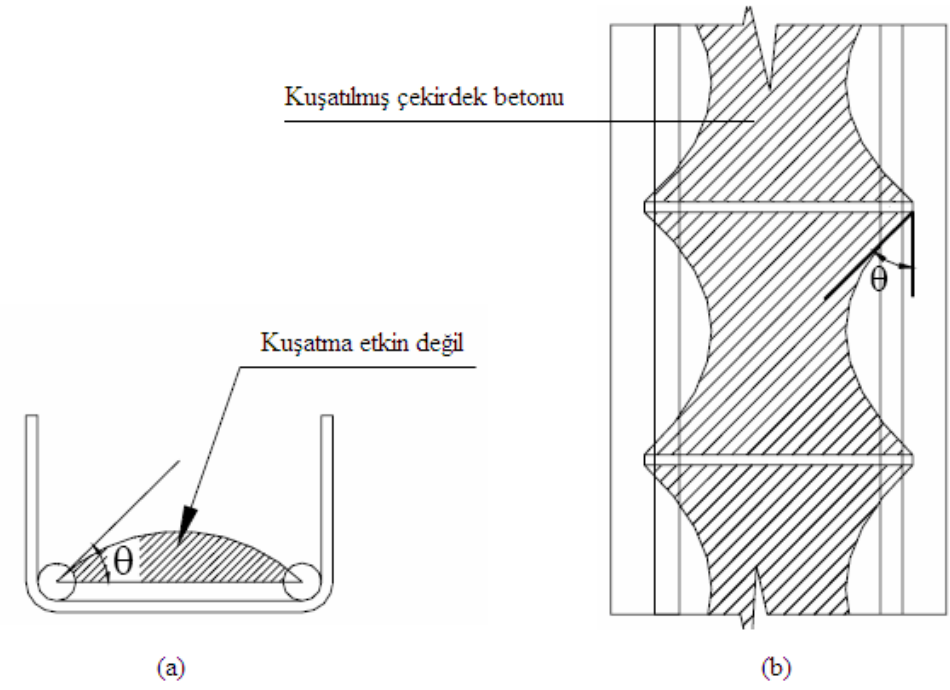
sekant elastisite modülünü göstermektedir.

Sargısız kabuk betonu için $\varepsilon_c > 2\varepsilon_{c0}$ olan bölgede gerilme – birim şekildeğiştirme bağıntısının doğrusal olarak azaldığı varsayılarak betonun dökülmesine karşı gelen birim şekildeğiştirme değerinde gerilme sıfır değerini alır.



Şekil 2.8 : Mander Beton Modeli

Mander, betonarme kesitte sargı basıncının etkili olduğu bölgeleri belirlemek için Sheikh ve Üzümeri'nin yaklaşımını kullanmış, düşeyde etriyeler arasındaki ve yatayda mesnetlenmiş boyuna donatı çubukları arasındaki bölgede, kesitteki sargı gerilmelerinin ikinci derece parabol şeklinde değişeceği varsayımını yapmıştır, Şekil 2.9.



Şekil 2.9 : Kesitte ve Boyuna Doğrultuda Etkin Sargı Alanının Hesaplanması

Mander ikinci derece parabollerinin başlangıç teğet eğimini $\theta = 45^0$ alarak, kuşatmanın etkin olmadığı parabol alanlarını hesaplayarak bu değerleri çekirdek beton alanından çıkarmış ve etkin sargılanmış beton alanını bulmuştur. Bulunan etkin sargılanmış çekirdek beton alanını, çevre etriye eksenleri arasında kalan ve boyuna donatı alanı içermeyen çekirdek betonu alanına oranlayarak k_e *sargılama etkinlik katsayısını* belirlemiştir.

$$k_e = \left(1-\frac{\sum a_i^2}{6b_o h_o}\right)\left(1-\frac{s}{2b_o}\right)\left(1-\frac{s}{2h_o}\right)\left(1-\frac{A_s}{b_o h_o}\right)^{-1} \tag{2.8}$$

Bu katsayı kullanılarak, x ve y doğrultularındaki etkili sargılama basıncı

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \tag{2.9}$$

ile hesaplanır.

Sargılanmış beton dayanımını veren

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \tag{2.10}$$

denkleminde, f_{co} sargısız betonun basınç dayanımıdır. λ_c ise

$$\lambda_c = 2.254\sqrt{1+7.94\frac{f_e}{f_{co}}} - 2\frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \tag{2.11}$$

bağıntısı ile belirlenir.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde f_e etkili sargılama basıncı için dikdörtgen kesitlerde Denklem 2.9'da verilen değerlerin ortalamasının alınması öngörülmektedir.

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\,\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \tag{2.12}$$

formülü ile hesaplanır.

Formülde ρ_s enine donatının hacimsel oranını, ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekildeğiştirmesini göstermektedir.

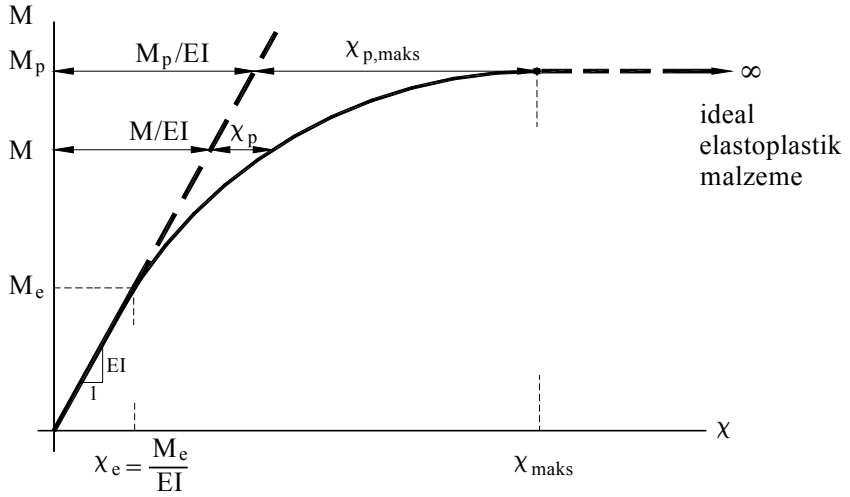
2.7.2. Plastik mafsal hipotezi ve limit yük

2.7.2.1. Plastik mafsal hipotezi

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 ise sistemin doğrusal-elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze, *plastik mafsal (plastik kesit) hipotezi* adı verilir.

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış bir kesitteki gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.10'te verilen bir düzlem çubuk elemanın bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve doğrusal olmayan şekil değiştirmeler ise Şekil 2.11'de gösterilmişlerdir.

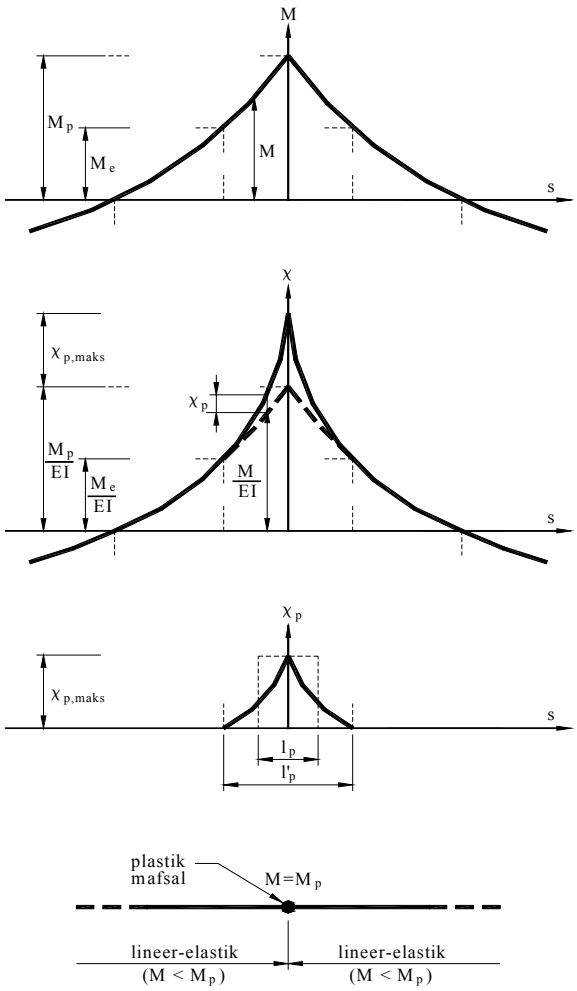


Şekil 2.10 : Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı

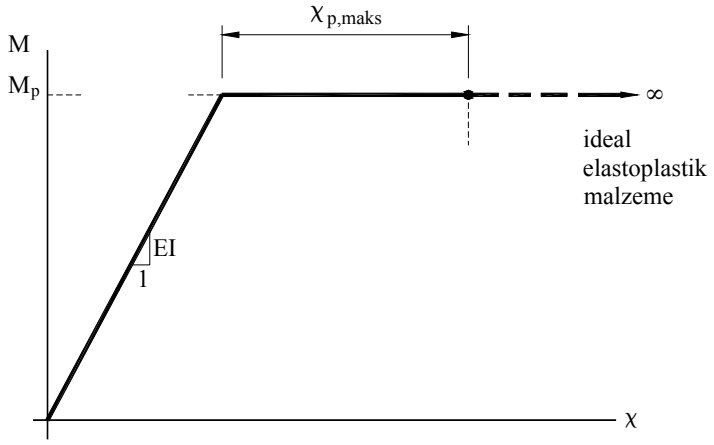
Çelik kesitlerin ve yeterli sünekliğe sahip olan betonarme kesitlerin eğilme momenti-eğrilik bağıntıları incelendiğinde, bu bağıntıların esas olarak iki farklı bölgeden oluştuğu gözlenir. Birinci bölgede, eğilme momentinin küçük değerleri için eğilme momenti-eğrilik ilişkisi yaklaşık olarak doğrusal-elastik varsayılabilir. Betonarme kesitlerde, bu bölgede beton ve beton çeliği doğrusal davranış bölgesinde kaldığı için, eğilme momenti-eğrilik bağıntısında da benzer özellik ortaya çıkar. Ancak

beton ve çelik gerilmelerinin artmasına paralel olarak, doğrusal olmayan gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin kesitin davranışında etkili olmaya başlaması, eğilme momenti-eğrilik bağıntısının da doğrusal davranıştan ayrılmasına neden olur. Eğilme momenti-eğrilik bağıntısının ikinci bölgesinde eğrinin eğimi giderek azalır. Bu bölgede elastik ötesi, elastoplastik davranış etkilidir. Kesite etkiyen eğilme momentinde çok küçük artım meydana gelirken, eğrilik belirgin bir şekilde artar ve eğriliğin sınır değerine erişmesi ile kesitte güç tükenmesi meydana gelir. Plastik mafsal hipotezinde, eğilme momenti-eğrilik bağıntısını oluşturan bu iki bölge ideal olarak, biri yatay olan iki doğru parçası ile ifade edilir, Şekil 2.12.

İdealleştirilmiş bünye bağıntısının her iki bölümü birbirinden kesin bir nokta ile ayrılmaz. Ancak, çekme donatısının akmaya başlaması veya betondaki birim kısalmanın ε_{co} sınır değerine erişmesi bu iki bölgeyi ayıran nokta olarak varsayılabilir ve bu duruma karşı gelen eğrilik K_y olarak gösterilir.



Şekil 2.11 : Doğrusal Olmayan Şekildeğiştirmeler



Şekil 2.12 : İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı

Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik de K_u ile gösterilirse, kesitin eğilme sünekliği

$$\mu = K_u / K_y \tag{2.13}$$

şeklinde tanımlanır.

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir. Bu idealleştirme, Denklem (2.14) ve (2.15)' te verilen bağıntılarla temsil edilmektedir.

$$M < M_p \text{ için } K = \frac{M}{EI} \tag{2.14}$$

$$M = M_p \text{ için } K \rightarrow K_u \tag{2.15}$$

Artan dış yükler altında, plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekildeğiştirmeler nedeniyle kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Şekil 2.11'den görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük plastik eğrilik $K_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekildeğiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğunda bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam

plastik dönme

$$\theta_p = \int_{l_p'} K_p ds \tag{2.16}$$

şeklinde hesaplanabilir ve plastik mafsal dönmesi olarak isimlendirilir.

Plastik mafsalın *dönme kapasitesi* ise

$$\text{maks}\theta_p = \int_{l_p'} K_p ds \qquad (K \rightarrow K_{p,maks}) \tag{2.17}$$

şeklinde, eğilme momenti diyagramının şekline ve (M-K) bağıntısına bağlı olarak belirlenir.

Plastik dönme kapasitesi yaklaşık olarak

$$\text{maks}\theta_p = l_p K_{p,maks} \tag{2.18}$$

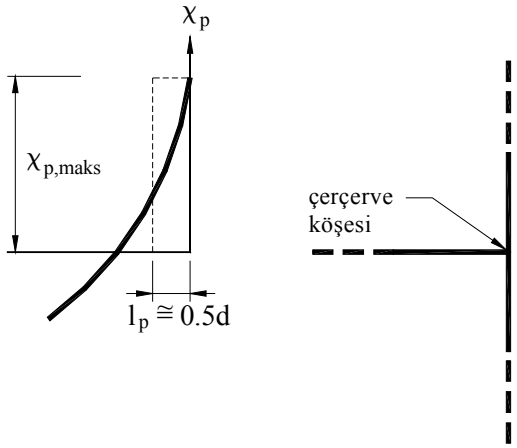
$$l_p \cong 0.5d \tag{2.19}$$

bağıntıları ile hesaplanabilir. Burada

d : enkesit yüksekliği

l_p : plastik mafsal boyu

olarak tanımlanmaktadır, Şekil 2.13.



Şekil 2.13 : Plastik Mafsal Boyu

Betonarme yapı sistemlerinde dönme kapasitesi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunların başlıcaları

a. betonarme betonu ve beton çeliğinin σ-ε diyagramlarını belirleyen ε_{cu} ve ε_{su} sınır birim boy değişmeleri,

b. betonarme betonunun ε_{cu} birim boy değişmesini etkileyen sargı donatısının miktarı, şekli ve yerleşim düzeni,

c. plastik bölge uzunluğunu etkileyen enkesit boyutları,

d. eğilme momenti diyagramının şekli,

e. kesitteki normal kuvvettir.

Diğer taraftan, bu çalışmada esas alınan performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, yukarıdaki bu faktörlerin yanında, yapıdan beklenen performans düzeyi de dönme kapasitesinin belirlenmesinde etken olmaktadır.

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsal hipotezinin esasları aşağıda özetlenmiştir.

1. Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, o kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti ($M=M_p$) sabit olarak kalır ve kesit serbestçe döner. Böylece kesitteki eğilme momentinin $M=M_p$ değerinde sabit kalması sağlanır. Plastik mafsaldaki θ_p plastik dönmesi artarak dönme kapasitesine ($maks\theta_p$) erişince kesitte güç tükenmesi meydana gelir.
2. Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal-elastik olarak davranır.
3. Düzlem sistemlerde, kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M_p') değeri kullanılır.

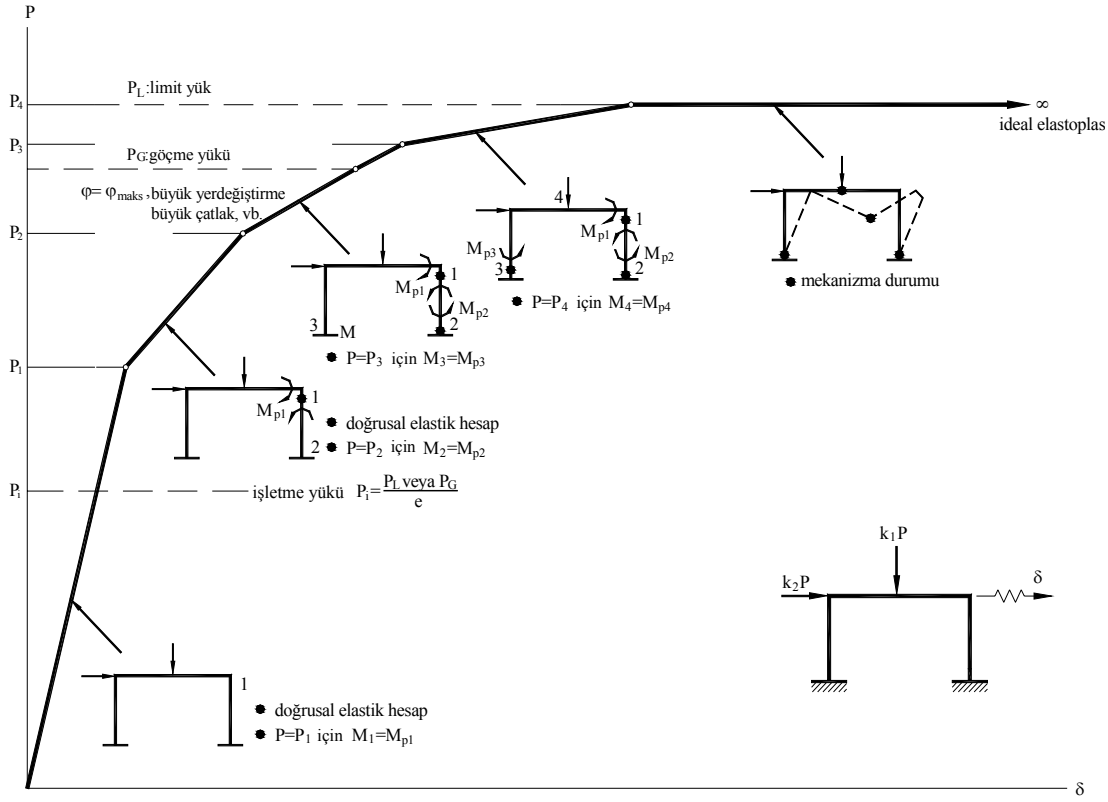
2.7.2.2. Yük artımı yöntemi

Plastik mafsal hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.14' te şematik olarak gösterilmiştir.

Bu davranışı izleyerek sistem analizinin gerçekleştirildiği yük artımı yönteminde, her plastik mafsalın oluşumundan sonra, o noktaya bir adi mafsal koymak ve M_p plastik momentini dış yük olarak etkitmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanır.

Sistem belirli sayıda plastik mafsalın oluşumundan sonra, kısmen veya tamamen mekanizma durumuna ulaşır, diğer bir deyişle, stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelir, Şekil 2.15. Bu duruma karşı gelen P_L yük parametresi limit yük (birinci mertebe limit yük) olarak tanımlanır. Bu tanıma göre, birinci mertebe limit yük sistemin tümünü veya bir bölümünü mekanizma durumuna getiren yüktür.

Bazı hallerde limit yükten önce, plastik mafsallardaki dönmelerin dönme kapasitesini aşması, büyük yerdeğiştirmelerin oluşması veya betonarme sistemlerde büyük çatlaklar meydana gelmesi nedeniyle sistem kullanım dışı kalabilir. Bu duruma karşı gelen P_G yük parametresi *göçme yükü* olarak tanımlanır.



Şekil 2.14 : Plastik Mafsal Hipotezinin Geçerli Olduğu Bir Yapı Sisteminin Artan Yükler Altındaki Davranışı



tümsel mekanizma bölgesel mekanizma

Şekil 2.15 : Tümsel ve Bölgesel Mekanizma Durumları

Limit yük (veya göçme yükü) bulunduktan sonra, yapının yeter güvenlikle taşıyabileceği yük, yani işletme yükü

$$P_i = \frac{P_G \; veya \; P_L}{e} \qquad \text{(e: güvenlik katsayısı)} \qquad (2.20)$$

şeklinde hesaplanır. Ayrıca işletme yükleri altında doğrusal-elastik sınırın pek aşılmaması, zararlı yerdeğiştirme ve çatlakların oluşmaması istenir.

Bir yapı sisteminin artan yükler altındaki hesabı iki şekilde yapılabilir.

1- Sistem, aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan düşey ve yatay yükler altında hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği belirlenir.

2- Düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitildikten sonra, artan yatay yükler için hesap yapılır ve yatay yüklere ait limit yük (veya göçme yükü) parametresi bulunur. Böylece, düşey yükler için öngörülen bir güvenlik altında, sistemin yatay yükler altındaki davranışı izlenir ve yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.

Büyük oranda yapı ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirgin olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu göz önünde tutulduğunda, yapı sisteminin gerçek göçme güvenliğinin belirlenmesi açısından, ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği görülmektedir. Diğer taraftan, doğrusal olmayan yöntemlerle deprem performansının belirlenmesinde esas alınan statik itme analizi artan yatay yükler altında gerçekleştirilmektedir.

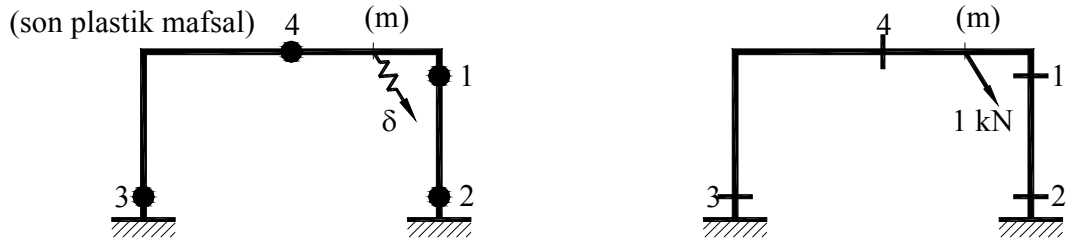
Plastik mafsallarda eğilme momentinin yanında normal kuvvetin de bulunması halinde, akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen indirgenmiş eğilme momenti (M_P') esas alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Plastik mafsallardaki normal kuvvetler başlangıçta bilinmediğinden, bir ardışık yaklaşım yolu uygulanması gerekebilir.

Yerdeğiştirmelerin ve Plastik Mafsal Dönmelerinin Hesabı

Üzerinde plastik mafsallar bulunan bir sistemde, limit yüke karşı gelen son plastik mafsalın oluştuğu fakat dönmenin başlamadığı andaki yerdeğiştirmeler virtüel iş teoremi ile hesaplanabilir, Şekil 2.16.

Kesit Zorları : M, N, T

Plastik Mafsal Dönmeleri : $\theta_1,\ \theta_2,\ \theta_3,\ \theta_4 = 0$



yerdeğiştirmesi aranan sistem (virtüel şekildeğiştirme durumu)

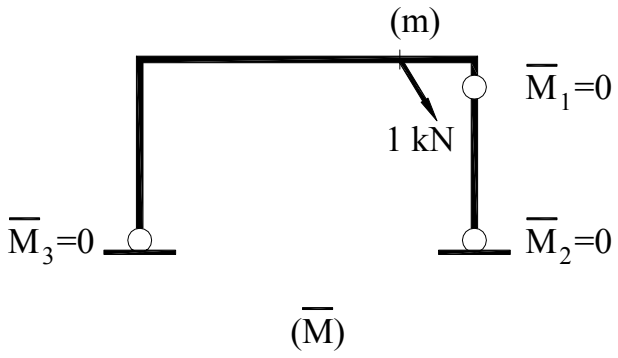
birim yükleme (yükleme durumu)

Şekil 2.16 : Yerdeğiştirmelerin Hesabı

Yerdeğiştirmesi aranan sistem virtüel şekildeğiştirme durumu, yerdeğiştirmesi aranan noktaya aranan yerdeğiştirme doğrultusunda yapılan birim yükleme durumu olarak alınır ve virtüel iş teoremi uygulanırsa

$$\sum 1.\delta = \int \overline{M}\frac{M}{EI}ds + \int \overline{N}\frac{N}{EF}ds + \int \overline{T}\frac{T}{GF'} + \sum M_i\theta_i \qquad (2.21)$$

elde edilir. Kısaltma teoremi uyarınca, son plastik mafsalın dışındaki plastik mafsalların bulunduğu noktalara adi mafsallar konularak elde edilen sisteme birim yükleme yapılırsa (Şekil 2.17)



Şekil 2.17 : Birim Yüklemede Kısaltma Teoreminin Uygulanması

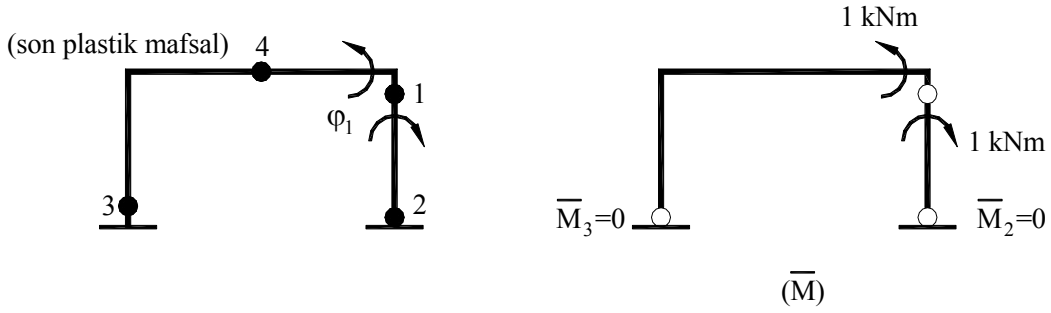
$$\overline{M}_1\theta_1=\overline{M}_2\theta_2=\overline{M}_3\theta_3=\ldots=0 \qquad (2.22)$$

olacağından, δ yerdeğiştirmesi

$$\delta = \int (\overline{M}) \frac{M}{EI} ds + \int (\overline{N}) \frac{N}{EF} ds + \int (\overline{T}) \frac{T}{GF'} ds \qquad (2.23)$$

şeklinde, plastik mafsalların dönmelerinden bağımsız olarak hesaplanabilir.

Plastik mafsalların dönmeleri de benzer şekilde hesaplanabilir. Bunun için, plastik mafsallara birim moment çifti uygulanır, Şekil 2.18.



Şekil 2.18 : Plastik Mafsalların Dönmelerinin Bulunması

Limit yükten önceki aşamalara ait yerdeğiştirmeler de benzer şekilde hesaplanabilir. Ancak bu durumda, plastik mafsallar konulmak suretiyle elde edilen sistem hiperstatik olacağından, ayrıca kesimler yapılarak izostatik hale getirilir.

2.7.2.3. Limit yükün doğrudan doğruya hesabı

Büyük yerdeğiştirmelere ve plastik şekildeğiştirmelere izin verilen süneklik düzeyi yüksek sistemler (örneğin yumuşak çelikten yapılan sistemler ile beton basınç bölgesi derinliği $a/d \leq 0.25$ koşulunu sağlayan bazı betonarme sistemler), kendilerine etkiyen dış yükleri limit yüke kadar göçmeden taşıyabilirler; yani bu sistemlerde $P_G=P_L$ olur. Bu nedenle, söz konusu sistemlerin dayanım bazlı yöntemlerle boyutlandırılmaları doğrudan doğruya limit yük esas alınarak yapılabilir.

Limit yükün doğrudan doğruya hesabı için uygulanmakta olan yöntemlerin başlıcaları, plastik teorinin alt sınır teoremine dayanan statik yöntem ile üst sınır teoreminin uygulandığı sinematik yöntemdir.

2.7.3. **Analizlerde kullanılan yöntemler**

Deprem etkileri altındaki mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin

hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, bu bölümde tanımlanan şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

2007 Türk Deprem Yönetmeliği kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'dir. İlk iki yöntem, mevcut binaların deprem performanslarının belirlenmesinde ve güçlendirilmesinde artımsal itme analizinin esas alındığı yöntemlerdir. Aşağıda tez kapsamında yer alan doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden, *Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi*'ne yer verilecektir.

2.7.3.1. Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesinde izlenecek hesap adımları

Artımsal İtme Analizi esas alınarak yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesinde izlenen yolun adımları aşağıda özetlenmiştir.

(a) Genel ilke ve kurallara ek olarak, taşıyıcı sistem elemanlarında doğrusal olmayan davranışın idealleştirilmesine ve analiz modelinin oluşturulmasına yönelik kurallar esas alınır.

(b) Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin gözönüne alındığı bir doğrusal olmayan statik analiz yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

(c) Artımsal itme analizinin Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi kapsamında yapılması durumunda, koordinatları "modal yerdeğiştirme-modal ivme" olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait "modal kapasite diyagramı" elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yerdeğiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yerdeğiştirme istemine karşı gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(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 edilir. Bunlara bağlı olarak taşıyıcı

sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış bulunan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve son olarak toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.

2.7.3.2. Doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi

Malzeme bakımından doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeni ile, 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 şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan *plastik şekildeğiştirme bölgesi*'nin uzunluğu (L_p), çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nin yarısına eşit alınır.

$$L_p = 0.5\ h \tag{2.24}$$

Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekildeğiştirme yapan elemanların plastik şekildeğiştirme bölgelerinin uzunluğu, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınır.

Yığılı plastik şekildeğiştirmeyi temsil eden *plastik kesit*'in, teorik olarak plastik şekildeğiştirme bölgesinin tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda aşağıda belirtilen yaklaşık idealleştirmeler yapılabilir:

(a) Kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon-kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konulabilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği gözönüne alınmalıdır.

(b) Betonarme perdelerde, plastik kesitlerin her katta perde kesiminin alt ucuna konulmasına izin verilebilir. U, T, L veya kutu kesitli perdeler, bütün kolları birlikte çalışan tek perde olarak idealleştirilmelidir. Binaların bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunması durumunda, bu perdelerden üst katlara doğru devam eden perdelerin plastik kesitleri bodrum üstünden başlamak üzere konulmalıdır.

Bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki betonarme kesitlerin etkileşim diyagramlarının tanımlanması aşağıda verilen ilkelere göre yapılır:

(a) Analizde beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınır.

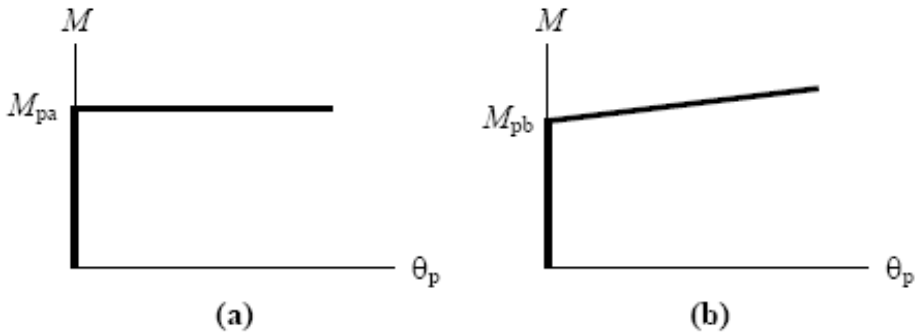
(b) Betonun maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi ise 0.01 alınabilir.

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

İtme analizi modelinde kullanılacak plastik kesitlerin iç kuvvet - plastik şekildeğiştirme bağıntıları ile ilgili olarak, aşağıdaki idealleştirmeler yapılabilir:

(a) İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir, Şekil 2.19a. Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekildeğiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu gözönüne alınır.

(b) Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 2.19b), bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında iç kuvvetlerin ve plastik şekildeğiştirme vektörünün sağlaması gereken koşullar, ilgili literatürden alınan uygun bir pekleşme modeline göre tanımlanır.



Şekil 2.19 : Eğilme Momenti – Plastik Dönme Bağıntıları

2.7.3.3. Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme 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 şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine (rijit perdelerle çevrelenen bodrum katlarının kütleleri hariç) oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında, eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik kesit oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda yük dağılımı, analizin başlangıç adımında doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olacak şekilde tanımlanır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınır.

Sabit yük dağılımına göre yapılan itme analizi ile, koordinatları "tepe yerdeğiştirmesi – taban kesme kuvveti" olan *itme eğrisi* elde edilir. Tepe yerdeğiştirmesi, binanın en üst katındaki kütle merkezinde, gözönüne alınan x deprem doğrultusunda, her itme adımında hesaplanan yerdeğiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise, her adımda eşdeğer deprem yüklerinin x deprem doğrultusundaki toplamıdır. İtme eğrisine uygulanan koordinat dönüşümü ile, koordinatları "*modal yerdeğiştirme – modal ivme*" olan modal kapasite diyagramı aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

(a) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme $a_1^{(i)}$ aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \tag{2.25}$$

denklemde $V_{x1}^{(i)}$ x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci (hakim) moda ait taban kesme kuvvetini, M_{x1} x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütleyi göstermektedir.

(b) (i)'inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yer değiştirme $d_1^{(i)}$ 'nin hesabı için ise, aşağıdaki bağıntıdan yararlanılabilir:

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1}\,\Gamma_{x1}} \tag{2.26}$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1}, x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımındaki doğrusal elastik davranışı için tanımı ilgili bölümde yapılan L_{x1} ve 1. doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1'den yararlanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_{x1}} \tag{2.27}$$

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıklı deprem istemi için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle, modal yerdeğiştirme istemi hesaplanır. Tanım olarak

modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}'e eşittir:

$$d_1^{(p)} = S_{di1} \tag{2.28}$$

Doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme, S_{di1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}'e bağlı olarak Denk.(2.29) ile elde edilir:

$$S_{di1} = C_{R1}\, S_{de1} \tag{2.29}$$

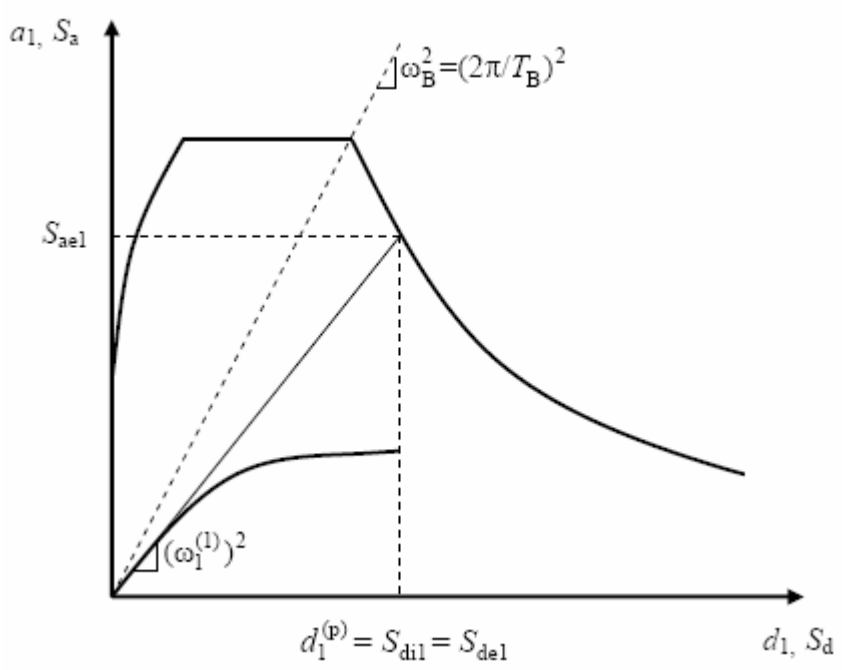
Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den hesaplanır:

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \tag{2.30}$$

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1}, başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak belirlenir. $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}, *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan *eşlenik doğrusal elastik sistem*'e ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1}'e eşit alınır. Buna göre spektral yerdeğiştirme oranı:

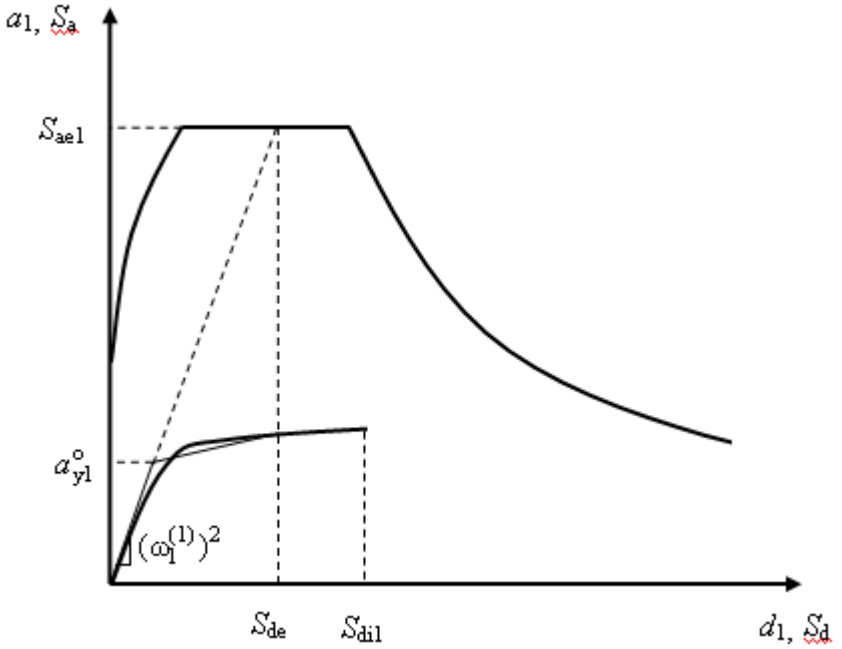
$$C_{R1} = 1 \tag{2.31}$$

olarak tanımlanır. Şekil 2.20.



Şekil 2.20 : Performans Noktasının Belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$ **)**

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 2.21'de görüldüğü gibi, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i=1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).



Şekil 2.21 : Performans Noktasının Belirlenmesi($T_1^{(1)} < T_B$)

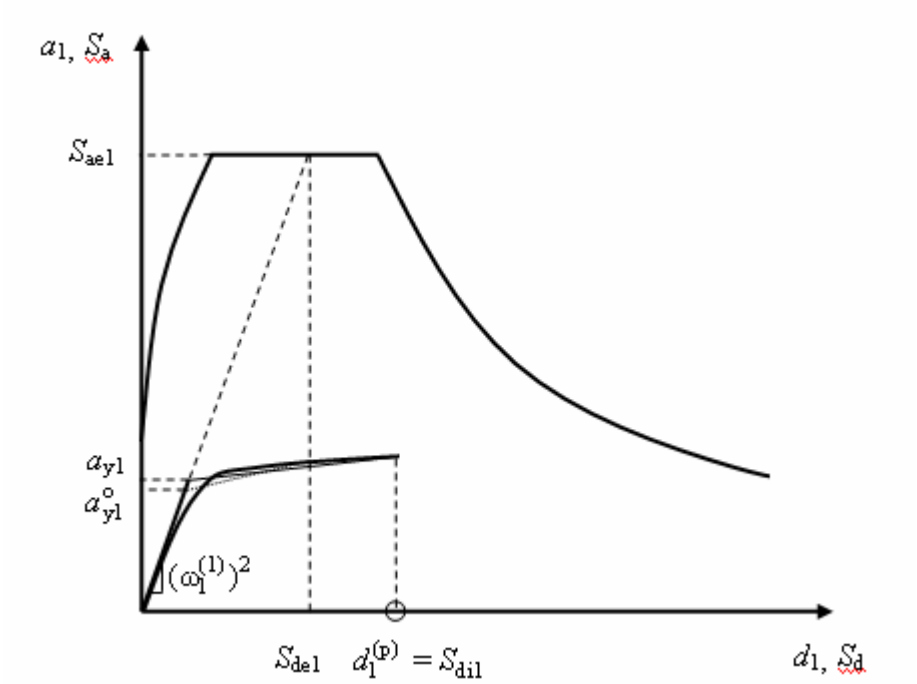
(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında C_{R1} = 1 varsayımı yapılarak, *eşdeğer akma noktası*'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.4'de görülen a_{y1}^{o} esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)\, T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \qquad (2.32)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \qquad (2.33)$$

Denklem 2.32'den bulunan C_{R1} kullanılarak, Denklem 2.29'a göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 2.22'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 2.22 : Performans Noktasının Belirlenmesi($T_1^{(1)} < T_B$ **)**

Son itme adımı i = p için Denk.(2.28)' e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$'nin Denk.(2.26)'de yerine konulması ile, *x* deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1}\, \Gamma_{x1}\, d_1^{(p)} \tag{2.34}$$

Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilir veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılan yeni bir itme analizi ile hesaplanır.

2.7.3.4. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

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

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analizde, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet şekildeğiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile, ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım ve değerlendirme için esas alınır.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesapta yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilir.

(a) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmamalıdır.

(b) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{og}'den daha küçük olmamalıdır.

(c) 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, yönetmelikde tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmamalıdır.

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 üretilir ve bunların yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda verilen tüm koşulları sağlaması gerekir.

2.7.3.5. Kesitteki birim şekildeğiştirme istemlerinin belirlenmesi

Yönetmelikde belirtilen artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi veya zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerine göre yapılan hesap sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$K_p = \frac{\theta_p}{L_p} \tag{2.35}$$

Amaca uygun olarak seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de gözönüne alan donatı çeliği modeli kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkişi ile tanımlanan K_y eşdeğer akma eğriliği, Denk.(2.35) ile tanımlanan K_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kesitteki K_t toplam eğrilik istemi elde edilir:

$$K_t = K_y + K_p \tag{2.36}$$

Betonarme sistemlerde betonun basınç birim şekildeğiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekildeğiştirme istemi, Denk.(2.36) ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanır.

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit bazında hasar bölgesi belirlenir.

2.7.3.6. Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği sünek betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında, performans düzeylerine göre izin verilen şekildeğiştirme sınırları (kapasiteleri) aşağıda tanımlanmıştır.

a) *Minimum Hasar Sınırı* (MN) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \tag{2.37}$$

b) *Kesit Güvenlik Sınırı* (GV) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01\,(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \tag{2.38}$$

c) *Kesit Göçme Sınırı* (GÇ) için beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları için:

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014\,(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \tag{2.39}$$

değerleri önerilmektedir.

3. MEVCUT BİR BİNAYA AİT SAYISAL İNCELEMELER

3.1. Binanın tanıtılması

Mimari özellikler

Kat adedi : 1 Zemin kat + 7 Normal kat = Toplam 8 katlı

Kat yükseklikleri : 2.90 m (tüm katlarda)

Toplam yapı yüksekliği : 27.45 m

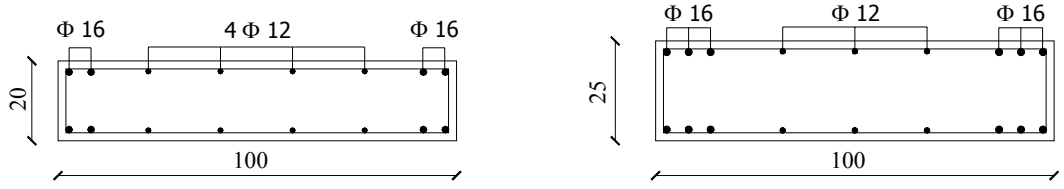
Taşıyıcı sistem özellikleri

Binanın taşıyızı sistemi kolon, perde, kiriş ve döşemenden oluşan bir çerçeve sistem özelliği taşımaktadır. Bu elemanlara ait özellikler aşağıda verildiği gibidir:

Kolonlar : 25 / 100 cm (zemin katta)

20 / 100 cm (diğer katlarda)

Kolon donatıları Şekil 3.1'deki gibidir.



(a) Normal Kat Kolonları (b) Zemin Kat Kolonları

Şekil 3.1: Zemin ve Normal Kat Kolon Donatıları

Kirişler : 20 / 50 cm (tüm katlarda)

Kirişlere ait donatılar ilgili çizimlerden alınmış ve Tablo Ek.A.1'de verilmiştir.

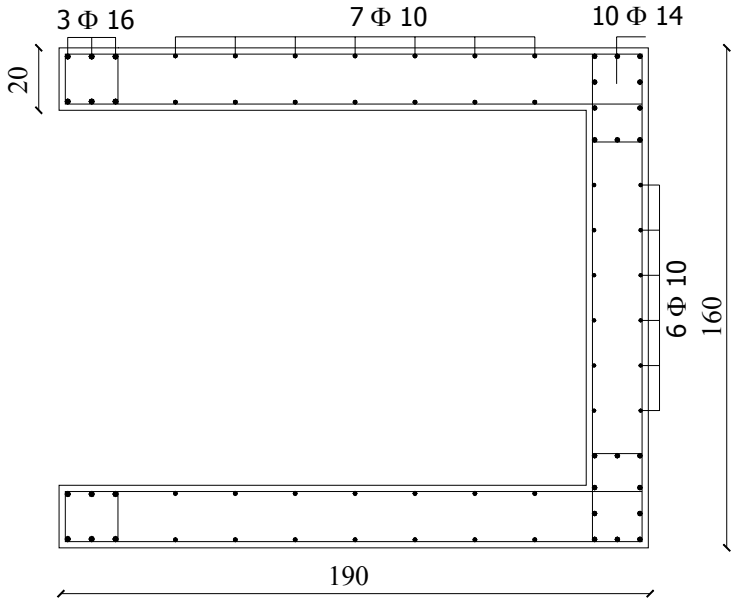
Döşeme tipi : Kirişli plak döşeme

Döşeme kalınlığı : 16 cm (D107, D110), 12 cm (diğer tüm döşemeler)

Yapı önem katsayısı : 1 (konut tipi yapılar)

Perdeler : 1 adet 20 cm kalınlığında “U” perde

Perde binanın merkezinde bulunup donatıları Şekil 3.2’te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.2: Perde Donatıları

Malzeme özellikleri

Beton sınıfı : C20 (projeden)

f_{ck} = 20 N / mm^2, f_{ctd} = 1.0 N / mm^2, E_c = 28.5 GPa

Çelik sınıfı : S420

f_{yk} = 420 N / mm^2, f_{yd} = 365 N / mm^2, E_s = 200 GPa

Bölgesel özellikler

Zemin sınıfı : Z3 (T_A = 0.15 s, T_B = 0.60 s)

Deprem bölgesi : 1. Derece deprem bölgesi (A_0 = 0.4)

3.2. Binaya ait hesap modelinin oluşturulması

3.2.1. Yük analizi

Hareketli yükler

q = 2.0 kN / m^2 Normal kat döşemelerinde

q = 3.5 kN / m^2 Merdivenlerde ve balkonlarda

q = 1.5 kN / m^2 Çatı katı döşemelerinde

Zati yükler

Normal katlarda

	h (m)	λ (kN/m^3)	Toplam	
Betonarme plak :	0.12	25	3.00	kN / m^2
	0.16	25	4.00	kN / m^2
Sıva :	0.02	20	0.40	kN / m^2
Kaplama :	0.05	22	1.10	kN / m^2
		g (*h =12 cm*) =	4.50	kN / m^2
		g (*h =16 cm*) =	5.50	kN / m^2

Çatı katında

	h (m)	λ (kN/m^3)	Toplam	
Betonarme plak :	0.12	25	3.00	kN / m^2
	0.16	25	4.00	kN / m^2
Sıva :	0.02	20	0.40	kN / m^2
Kaplama + İzolasyon :	-	-	2.00	kN / m^2
		g (*h =12 cm*) =	5.40	kN / m^2
		g (*h =16 cm*) =	6.40	kN / m^2

Duvar yükleri

Tam tuğla + sıva = 3.80 kN / m^2

Yarım tuğla + sıva = 2.50 kN / m^2

3.2.2. Kat ağırlıklarının ve kütlelerinin hesabı

Taban kesme kuvveti F'nin hesabında kullanılacak olan toplam yapı ağırlığı W

$$W = \sum_{i=1}^{N} W_i \tag{3.1}$$

olup, W_i kat ağırlığı

$$W_i = \sum_{i=1}^{N} \left(G_i + nQ_i \right) \tag{3.2}$$

G_i = i' inci kattaki sabit yüklerin toplamı

$$Dönme\ Ataleti\ Kütlesi = \frac{M(a^2 + b^2)}{12} \tag{3.3}$$

Q_i = i' inci kattaki hareketli yüklerin toplamı

n = hareketli yük katsayısıdır.

İncelenen bina tipi özel konut olduğundan n = 0.3 olarak alınmıştır.

Normal Kat Kütlesi

Birim ağırlıklar

Döşeme birim ağırlığı (12cm / 16cm) : 4.50 / 5.50 kN/m^2

Kiriş birim ağırlığı (15cm / 20cm) : 1.16 / 1.55 kN/m

Duvar birim ağırlığı (tam / yarım) : 9.12 / 6.00 kN/m

Kolon birim ağırlığı (20 / 100) : 5.00 kN/m

Perde birim ağırlığı : 25 kN/m

Hareketli yük : 2.00 kN/m^2

Döşeme Ağırlığı

Alan(m^2)		**Ağırlık(kN)**		**Toplam**	
12cm	**16cm**	**12cm**	**16cm**		
193.44	82.38	870.48	453.09	1323.57	kN

Kiriş Ağırlığı

Uzunluk(m)		**Ağırlık(kN)**		**Toplam**	
15cm	**20cm**	**12cm**	**16cm**		
11.6	98.2	13.49	152.21	165.70	kN

Duvar Ağırlığı

Uzunluk(m)		**Ağırlık(kN)**		**Toplam**	
Tam	**Yarım**	**Tam**	**Yarım**		
83	47	756.96	282.00	1038.96	kN

Kolon Ağırlığı

Adet	**Uzunluk(m)**	**Toplam**	**Ağırlık(kN)**	**Toplam**	
35	2.4	84.00	420.00		
1	2.4	2.40	60.00	480.00	kN

Hareketli Yükün Katkısı

Alan	Ağırlık(kN)	Toplam	
275.82	551.64		
		551.64	kN
	1 Katın Ağırlığı	3173.72	kN
	1 Katın Kütlesi	323.52	kNs^2/m
	Dönme Atalet Kütlesi	19355.58	kNs^2/m

Çatı katı ve zemin katı kütle ve ağırlık hesapları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Bina Kat Kütleleri

	Ağırlık(kN)						Kütle(kNs^2/m)	
Kat	**Döşeme**	**Kiriş**	**Duvar**	**Kolon**	**H. Yük**	**Toplam**	**Ötelenme Ataleti**	**Dönme Ataleti**
Çatı Katı	1252.90	141.52	452.18	216.00	425.13	2190.14	223.26	13357.04
Normal Katlar	1323.57	165.70	1038.96	480.00	551.64	3173.72	323.52	19355.58
Zemin Kat	1221.52	165.70	1038.96	532.50	551.64	3124.16	318.47	19053.36

3.2.3. Bilgi düzeyi katsayısının belirlenmesi

Bina geometrisi

Binaya ait tüm betonarme projeler mevcuttur. Yerinde ölçümler yapıldığı ve projeden elde edilen değerlere göre büyük farklılıklar olmadığı varsayımı yapılmıştır.

Eleman detayları

Binaya ait tüm donatı çizimleri mevcuttur. Donatı gerçekleşmesinin yerinde yapılan ölçümlerde sağlandığı varsayımı yapılmıştır.

Malzeme özellikleri

Malzeme özellikleri mevcut çizimlerde belirtildiği gibi alınmış ve numunelerden elde edilen sonuçlarda bu dayanımların sağlandığı varsayımı yapılmıştır.

Bu bilgiler doğrultusunda *Kapsamlı Bilgi Düzeyi* kabulü yapılmış ve *Bilgi Düzeyi Katsayısı* olarak 1.0 değeri alınmıştır.

3.3. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine Göre Performans Değerlendirmesi

Tasarımda gözönüne alınan deprem yükleri 2007 Türk Deprem Yönetmeliği esas alınarak hesaplanmıştır. Taban kesme kuvveti ve eşdeğer deprem yükü hesabında izlenen hesap adımları aşağıda özetlenmiştir.

Bina deprem karakteristikleri gözönüne alınarak;

Yapı önem katsayısı : 1 (konut tipi yapılar)

Zemin sınıfı : Z3 (T_A = 0.15 s, T_B = 0.60 s)

Deprem bölgesi : 1. Derece deprem bölgesi (A_0 = 0.4)

Deprem yükü azaltma katsayısı : R = 1

Binanın doğal titreşim periyotları SAP2000 hesap modelininden alınmıştır.

3.3.1.Bina boyuna doğrultusu için performans değerlendirmesi

T_1 = 1.08 s

$T_1 > T_B = 0.6$ s

$$S(T) = 2.5 \times \left[\frac{0.60}{1.08}\right]^{0.8} = 1.56$$

$$A(T_1) = A_0 \times I \times S(T)$$

$$A(T_1) = 0.4 \times 1 \times 1.56 = 0.532$$

$$V_t = \frac{W \times A(T_1)}{R_a(T_1)}$$

$$V_t = 0.85 \times \frac{0.625 \times 24356.62}{1} = 12936.5kN > 0.10 \times 0.4 \times 24356.62 = 974.27kN$$

$$\Delta F_N = 0.0075 \times N \times V_t \qquad (3.4)$$

Bina boyuna yönde her bir kata gelen eşdeğer deprem yükleri hesaplanmış ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Boyuna Yönde Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	h(m)	H(m)	w_i(kN)	$w_i.H_i$	F_i(kN)
7	3.00	23.30	2190.14	51030.26	2142.75
6	2.90	20.30	3173.72	64426.52	2705.25
5	2.90	17.40	3173.72	55222.73	2318.79
4	2.90	14.50	3173.72	46018.94	1932.32
3	2.90	11.60	3173.72	36815.15	1545.86
2	2.90	8.70	3173.72	27611.36	1159.39
1	2.90	5.80	3173.72	18407.58	772.93
Zem. Kat	2.90	2.90	3124.16	9060.06	380.43

$\Delta F_N = 777.46kN$

olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.2'ye göre hesaplanan en üst katın eşdeğer deprem yüklemesi değerine yönetmelik uyarınca ΔF_N değerinin eklenmesi ile birlikte katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri Tablo 3.3'teki gibi tekrar düzenlenmiştir.

Tablo 3.3: Boyuna Yönde Ek Eşdeğer Deprem Yüklü Kat Kesme Kuvvetleri

Kat	F_i(kN)
7	2920.21
6	2705.25
5	2318.78
4	1932.32
3	1545.85
2	1159.39
1	772.92
Zem. Kat	380.42

Her kat için belirlenen eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezlerine etkitilmiştir. Buna ek olarak deprem yönetmeliği uyarınca ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için eşdeğer deprem yükleri kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yük olarak modele girilmesi gerekmektedir. Kaydırılmış kütle merkezleri, kat kütle merkezlerinin göz önüne alınan deprem doğrultusunda kat boyunun ±%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalardır. Sap2000 hesap modelinde kütle merkezlerine tekil yatay yük olarak girilmesi gereken eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezlerine moment olarak yüklenmiştir, Tablo 3.4.

Tablo 3.4: Boyuna Yönde Ek Dışmerkezlik Momentleri

Kat	Mx(kNm)
7	1825.13
6	1460.84
5	1252.15
4	1043.45
3	834.76
2	626.07
1	417.38
Zem. Kat	205.43

Kirişler

KN30 kirişi için örnek hesap

Tablo 3.5'te KN30 kirişine ait zati durum depremli durum analizleri sonucunda elde edilen artı ve eksi mesnet momentleri verilmiştir.

Tablo 3.5: KN30 Kirişi İç Kuvvetleri

Kiriş	Mesnet	Zati Durum		Depremli Durum	
		V	M	V	M
KN30	**Sol**	-23.36	-11.11	-56.43	-69.60
KN30	**Sağ**	20.40	-7.42	-56.43	71.46

Tablo 3.6'da ise her iki mesnede ait artı ve eksi moment kapasiteleri, artık momentler ve performans değerlendirmeleri gösterilmektedir.

Tablo 3.6'dan da anlaşılacağı gibi KN30 kirişinin her iki mesnedindeki hasar durumu da *Minimum Hasar Bölgesi* olarak elde edilmektedir. Bu durumda kirişin genel performans seviyesi Minimum Hasar Seviyesidir.

Tablo 3.6: KN30 Kirişi Moment Kapasiteleri ve Hasar Değerlendirmesi

Kiriş	Mesnet	Moment Kapasitesi		Artık Moment		$V_e/b_w d f_{ctm}$	$\rho-\rho'/\rho_b$	M_d/M_r	Hasar Durumu
		M^-	M^+	M^-	M^+				
KN30	**Sol**	-80.73	70.49	-69.62	70.49	0.37	0.08	1.2	MHB
KN30	**Sağ**	-71.54	60.27	-64.12	60.27	0.37	0.08	1.2	MHB

Diğer kiriş kesitlerine ait artı ve eksi moment kapasiteleri XTRACT kesit analiz programı kullanılarak elde edilmiş ve Tablo Ek A.3'te verilmiştir.

Tablo 3.7'de her bir kattaki kirişlere ait mesnet kesiti hasar durumları ve bu hasar durumlarının o kattaki kiriş sayısına oranları verilmiştir.

Tablo 3.7: Herbir Kattaki Kirişlerin Hasar Durumları ve Yüzdeleri

Kat	T. Kiriş	MHB		BHB		İHB		GB
		Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet
1. kat	52	46	0.88	6	0.12	0	0.00	0
2. kat	52	42	0.81	8	0.15	2	0.04	0
3. kat	52	35	0.67	13	0.25	4	0.08	0
4. kat	52	32	0.62	15	0.29	5	0.10	0
5. kat	52	32	0.62	15	0.29	5	0.10	0
6. kat	52	34	0.65	14	0.27	4	0.08	0
7. kat	52	36	0.69	12	0.23	4	0.08	0
8. kat	46	36	0.78	9	0.20	1	0.02	0

Tablo Ek A.4'te ve Tablo Ek A.5'te yukarıda KN30 kirişi için verilen tüm bilgiler ve hesaplamalar zemin kattaki tüm kirişler için verilmiştir.

Kolonlar

S101 kolonu için örnek hesap

Kolon ve perde gibi önemli derecede eksenel yük taşıyan elemanlarda eğilme momenti kapasiteleri bulunurken normal kuvvetin de etkisi göz önüne alınması gerekir.

İncelenen binada hesapların kolaylaştırılması açısından kolon ve perdenin eğilme momenti kapasiteleri bulunurken XTRACT'a girilen normal kuvvet değerleri gruplandırılarak girilmiştir.

Tablo 3.8: S101 Kolonu İç Kuvvetleri

			Zati	Depremli	
Kolon	**Mesnet**	**P(kN)**	**M(kNm)**	**V(kN)**	**M(kNm)**
S101	Alt	-439.324	1.86	73.10	127.62
S101	Üst	-421.199	3.96	73.10	84.36

Tablo 3.9: S101 Kolonu Moment Kapasiteleri ve Hasar Değerlendirmesi

		Kapasite	A. Kap.	Sargılama				Hasar Durumu
Kolon	**Mesnet**	**M(kNm)**	**M(kNm)**		N_k/A_cf_{cm}	V_e/b_wdf_{ctm}	M_d/M_{akap}	
S101	Alt	101.3	99.44	yok	0.09	0.20	1.3	MHB
S101	Üst	101.3	97.34	yok	0.08	0.20	0.9	MHB

İç kuvvet durumu Tablo 3.8'de verilen S101 kolonu için performans değerlendirmesi sonucu Tablo 3.9'daki gibidir. Her bir kata ait genel değerlendirme ise Tablo 3.10'daki gibidir.

Tablo 3.10: Her bir Kattaki Kolonların Hasar Durumları ve Yüzdeleri

Kat	Toplam Kolon	MHB		BHB		İHB		GB	
		Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
1. kat	35	34	0.97	1	0.03	0	0	0	0
2. kat	35	1	0.03	34	0.97	0	0	0	0
3. kat	35	0	0	22	0.63	13	0.37	0	0
4. kat	35	0	0	10	0.29	25	0.71	0	0
5. kat	35	0	0	7	0.20	28	0.80	0	0
6. kat	35	0	0	14	0.40	21	0.60	0	0
7. kat	35	0	0	11	0.31	18	0.51	6	0.17
8. kat	31	0	0	1	0.03	26	0.84	4	0.13

Tablo Ek A.6'da ve Tablo Ek A.7'de zemin kat kolonlarının her biri için yukarıda verilen hesaplamalar ve değerlendirmeler verilmiştir.

Perdeler

Perdeler de kolonlar gibi yüksek eksenel kuvvetlere maruz kaldıklarından performans değerlendirmesi yapılırken kolonlar için uygulanan kapasite analizleri kendi normal kuvvet değerleri altında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo Ek A.8'de verilmiştir.

3.3.2. Bina enine doğrultusu için performans değerlendirmesi

$T_1 = 0.52$ s

$T_1 < T_B = 0.6$ s

$$S(T) = 2.5$$

$$A(T_1) = 0.4 \times 1 \times 2.5 = 1.00$$

$$V_t = 0.85 \times 24356.62kN = 20703.13 > 0.10 \times 0.4 \times 24356.62 = 974.26kN$$

Bina enine yönde her bir kata gelen eşdeğer deprem yükleri hesaplanmış ve Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.11: Enine Yönde Herbir Kata Gelen Eşdeğer Deprem Yükleri

Kat	h(m)	H(m)	w_i(kN)	$w_i.H_i$	F_i(kN)
7	3.00	23.30	2190.14	51030.26	3423.56
6	2.90	20.30	3173.72	64426.52	4322.30
5	2.90	17.40	3173.72	55222.73	3704.83
4	2.90	14.50	3173.72	46018.94	3087.36
3	2.90	11.60	3173.72	36815.15	2469.89
2	2.90	8.70	3173.72	27611.36	1852.42
1	2.90	5.80	3173.72	18407.58	1234.94
Zem. Kat	2.90	2.90	3124.16	9060.06	607.83

$$\Delta F_N = 1242.19kN$$

olarak hesaplanmış ve Tablo 3.12'de katlara etkitilecek olan yeni eşdeğer deprem yükleri verilmiştir.

Tablo 3.12: Enine Yönde Ek Eşdeğer Deprem Yüklü Kat Kesme Kuvvetleri

Kat	F_i(kN)
7	4665.75
6	4322.30
5	3704.83
4	3087.35
3	2469.88
2	1852.41
1	1234.94
Zem. Kat	607.82

Bina enine yön için hesaplanan %5 ek dış merkezlik momentleri Tablo 3.13'te verildiği gibidir. Bu değerler Sap2000 hesap modeline etkitilmiştir.

Tablo 3.13: Enine Yönde Ek Dışmerkezlik Momentleri

Kat	My(kNm)
7	5528.91
6	5969.10
5	5116.37
4	4263.64
3	3410.91
2	2558.19
1	1705.46
Zem. Kat	839.41

Kirişler

Kiriş hesapları boyuna yöndeki hesap aşamaları ile aynıdır. Her bir kata ait kiriş hasarları ve bunlara ait yüzdeler Tablo 3.14'te verildiği gibidir.

Tablo 3.14: Herbir Kattaki Kirişlerin Hasar Durumları ve Yüzdeleri

Kat	T. Kiriş	MHB		BHB		İHB		GB	
		Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
1. kat	52	39	75	7	13	5	10	1	2
2. kat	52	39	75	5	10	4	8	4	8
3. kat	52	39	75	3	6	6	12	4	8
4. kat	52	39	75	5	10	5	10	3	6
5. kat	52	39	75	5	10	5	10	3	6
6. kat	52	41	79	7	13	3	6	1	2
7. kat	52	43	83	6	12	3	6	0	0
8. kat	46	41	89	4	9	1	2	0	0

Kolonlar

Kolon hesapları boyuna yönde olduğu gibi normal kuvvet etkisi de göz önüne alınmıştır. Performans değerlendirmeleri yapılırken kolon kesitleri için XTRACT analizinden elde edilen bu normal kuvvet etkileşimli momentler kullanılmıştır. Tablo 3.15'te her bir kata ait kolonların genel hasar durumları ve bu hasarlara yüzde değerleri verilmiştir.

Tablo 3.15: Herbir Kattaki Kolonların Hasar Durumları ve Yüzdeleri

Kat	Toplam Kolon	MHB		BHB		İHB		GB	
		Adet	%	Adet	%	Adet	%	Adet	%
1. kat	35	15	43	17	49	3	9	0	0
2. kat	35	21	60	12	34	2	6	0	0
3. kat	35	21	60	9	26	4	11	1	3
4. kat	35	24	69	6	17	4	11	1	3
5. kat	35	25	71	3	9	6	17	1	3
6. kat	35	26	74	7	20	1	3	1	3
7. kat	35	30	86	4	11	1	3	0	0
8. kat	31	24	69	2	6	5	14	0	0

Perdeler

Perde kesitlerine ait hasar durumları Tablo Ek A.3.9'da verildiği gibidir.

3.3.3. Performans değerlendirmesi

Bina Boyuna Doğrultuda

- Göçme bölgesine geçen herhangi bir kirişe rastlanmamıştır.
- İHB bölgesine geçen kirişlerin oranı %10'u aşmamaktadır.
- Diğer tüm kiriş kesitleri BHB veya MHB hasar durumuna ulaşmaktadır.
- 7. ve 8. kat kolonlarında %17'yi aşmayacak şekilde GB hasar durumu gözlenmiştir.
- 1, 2 ve 3. katlardaki perde kesitlerinde GB hasar durumu görülmektedir.

Bina Enine Doğrultuda

- 7 ve 8. katlardaki kirişler hariç diğer katlarda %8'i aşmayacak oranda GB hasar durumu meydana gelmiştir
- 7 ve 8. katlardaki kiriş hasarları daha çok BHB ve MHB'de meydana gelmektedir.
- 3, 4, 5 ve 6. katlarda sadece 1'er kolonda GB hasar durumu ile karşılaşılmıştır.
- Tüm katlar göz önüne alındığında kolonlar daha çok BHB'de bulunmaktadır.

- Perde kesitlerinde ise sadece 1 ve 2. kat kesitlerinde GB, 3. ve 6. katlarda ise BHB hasar durumu meydana gelmiştir.

Her iki deprem doğrultusuna ait analiz beraber değerlendirildiğinde, binanın göçme durumuna ulaştığı görülmektedir.

3.4. Artımsal itme analizi ile performans değerlendirmesi

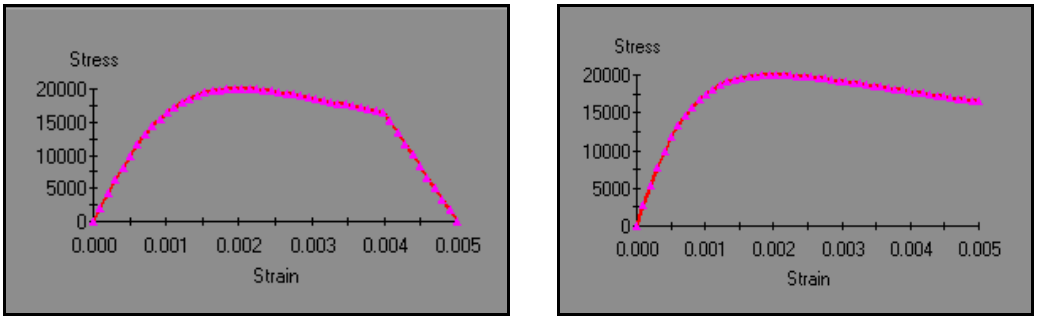
3.4.1. Plastik mafsalların tanımlanması

Sistem analizleri ve hesapları Sap2000 hesap programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan itme analizinde kullanılan plastik mafsal tanımlamaları için gerekli olan kesit kapasiteleri *Mander Beton Modelini* esas alan XTRACT kesit analiz programı yardımıyla yapılmıştır. Kirişlere ait plastik mafsalların tanımlanabilmesi için kiriş kesitlerine ait *Moment - Eğrilik* diyagramları, kolon kesitleri için ise normal kuvvetin de göz önüne alındığı normal kuvvet etkileşimli *Moment – Eğrilik* diyagramları analiz programı yardımı ile elde edilmiştir.

Betonarme kesitler için kullanılan *sargısız beton modeli* (Şekil 3.3.a) ve *sargılı beton modeli* (Şekil 3.3.b) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$f_c' = 20$ N/mm^2
$E_c = 28500$ N/mm^2
$\varepsilon_{co} = 0.002$
$\varepsilon_c = 0.005$

$f_c' = 20$ N/mm^2
$E_c = 28500$ N/mm^2
$\varepsilon_c = 0.005$



(a) Sargısız Beton Modeli (b) Sargılı Beton Modeli

Şekil 3.3: Mander Sargılı ve Sargısız Beton Modelleri

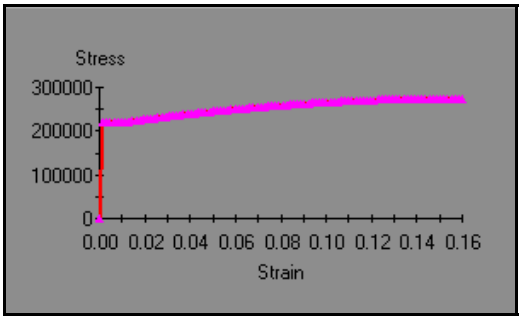
S220 donatı çeliğine ait *gerilme – şekil değiştirme* grafiği Şekil 3.4'teki gibi programda tanımlanmıştır. Kesit analizlerinde pekleşme de gözönüne alınmıştır.

E_s = 200000 Mpa ε_y = 0.0011

f_y = 220 MPa ε_{sh} = 0.011

f_u = 275 MPa ε_{su} = 0.10

ε_{su} = 0.16



Şekil 3.4: XTRACT Donatı Malzeme Modeli

Sargı donatısı kontrolü

Kirişlerde

$$S_b \le \frac{h}{4}; 8 \times D_{\min}$$

Kirişlerdeki en küçük donatı çapı : 12 mm = 1.2 cm

Kiriş yüksekliği (h) : 50 cm

$$S_b \le \frac{50}{4} = 12.5\,cm$$
$$\le 8 \times 12\,mm = 96\,mm = 9.6cm$$

Kiriş mesnetlerindeki mevcut etriye aralığı : 10 cm

15 cm > 12.5 cm > 10 cm ≈ 9.6 cm

Kiriş mesnetlerindeki sargı koşullarının *sargılı beton modeli kabulü* için yeterli olduğu kabulu yapılmıştır.

Kolonlarda

$$S_c \le 10\,cm; \frac{b_{\min}}{3}$$
$$\ge 5\,cm$$

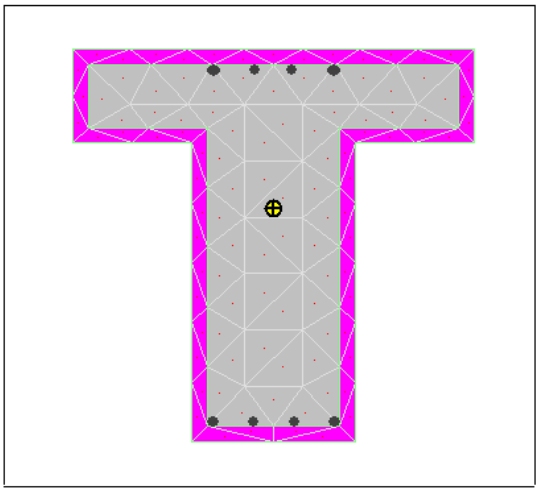
Kolon kesitlerindeki mevcut etriye aralığı : 20 cm

20 cm > 10 cm

Kolonlardaki mevcut etriyelerin sargı koşullarını sağlamamasından dolayı, kolon kesitlerinin analizinde *sargısız beton modeli* kullanmıştır.

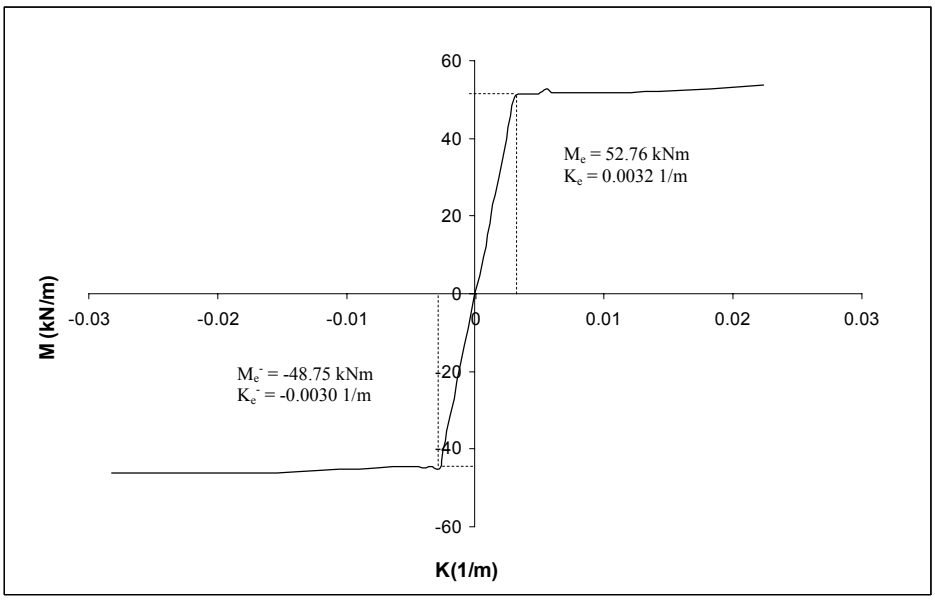
KN37 Kirişine ait örnek

Plastik mafsal tanımlamaları yapılırken aynı donatı düzeni ve geometriye sahip kesitler arasında gruplandırma yapılmıştır. Şekil 3.5'teki gri bölge gövde betonunu temsil ederken mor bölge ise beton örtüsünü temsil etmektedir. Kesit donatıları donatı çizimlerinden alınarak şekilde görüldüğü gibi kesitte modellenmiştir.



Şekil 3.5: Tablalı Kiriş XTRACT Analiz Modeli

Aşağıda KN37 kirişi sol mesnet kesiti XTRACT analizi sonuçları verilmiştir.

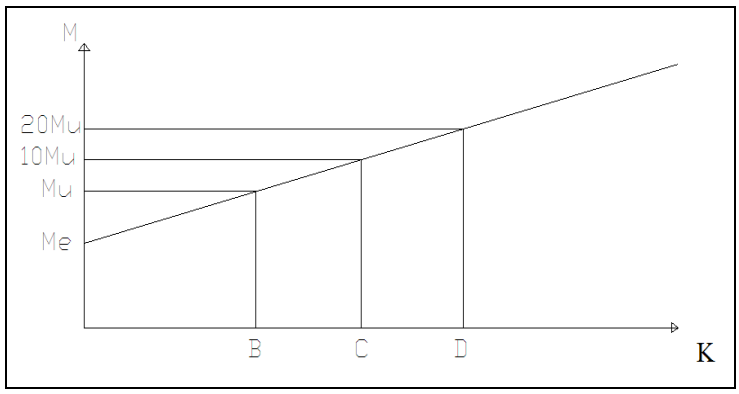


Şekil 3.6: XTRACT Analizi Sonucunda Elde Edilen *M – K* Diyagramı

Sap2000'de plastik mafsallar tanımlanırken kesite ait *Plastik Moment – Dönme* grafikleri kullanılır. Bu nedenle XTRACT'tan alınan kesitlere ait *Plastik Moment-Eğrilik* grafiklerinin *Moment – Dönme* grafiklerine dönüştürülmesi gerekmektedir.

$$K = \frac{\theta}{l_p} \tag{3.5}$$

bağıntısından faydalanılarak eğriliklerden(K) dönmelere(θ) geçilmiştir.



Şekil 3.7: SAP 2000'de Plastik Mafsal İçin Moment-Eğrilik Diyagramı

$$B = (K_{ult} - K_{eff}) \times l_p \tag{3.6}$$

$$K = \frac{(10M_u - M_e)}{\frac{(M_u - M_e)}{B}} \tag{3.7}$$

$$D = \frac{(20M_u - M_e)}{\frac{(M_u - M_e)}{B}} \tag{3.8}$$

Burada:

l_p plastik mafsal boyu

M_u: taşıyabileceği en büyük moment

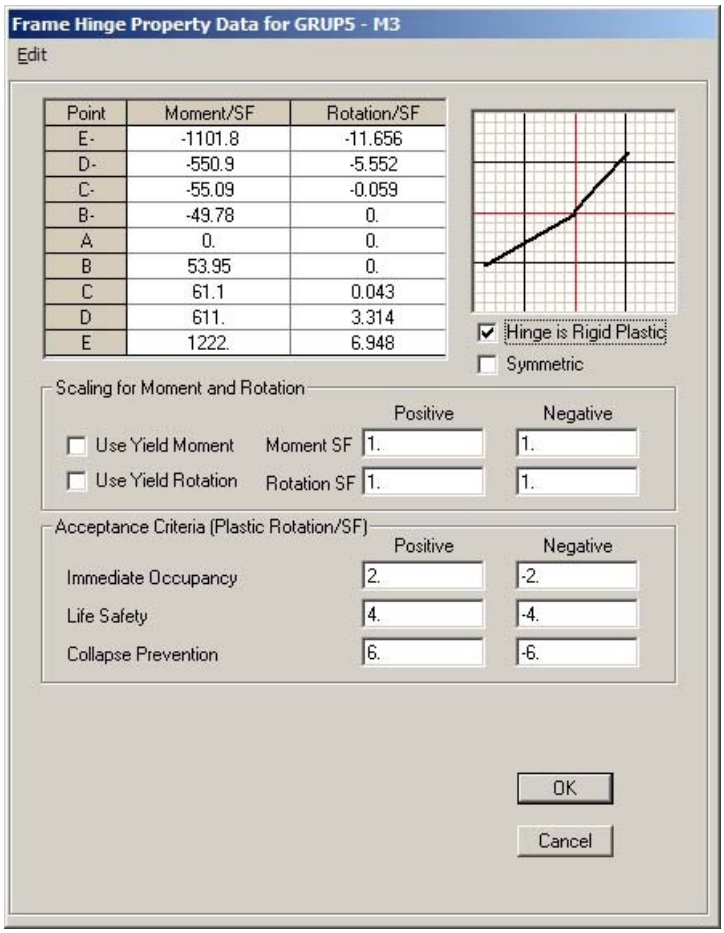
M_e: efektif moment

K_{maks}: nihai eğrilik

K_{ef}: efektif eğrilik

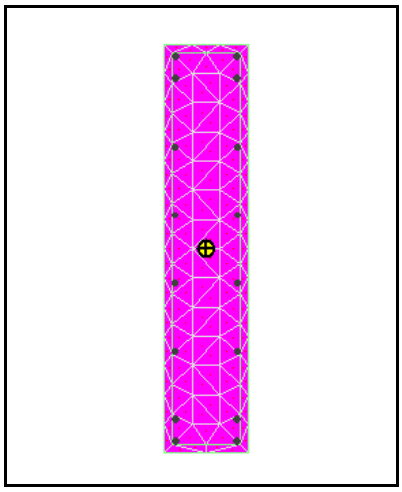
M_u, M_e, K_{ult}, K_{eff} Değerleri XTRACT programı analiz sonucunda bulunmuştur. Bulduğumuz plastik mafsalı temsil eden değerler Sap2000 modelindeki plastik mafsal boyunun ortasına atanmıştır.

Kiriş kesitlerinde alt ve üst donatılar birbirinden farklı olduğu için kesite ait artı ve eksi olmak üzere her iki kapasite analizi de yapılmıştır.



Şekil 3.8: Sap2000 Plastik Mafsal Örneği

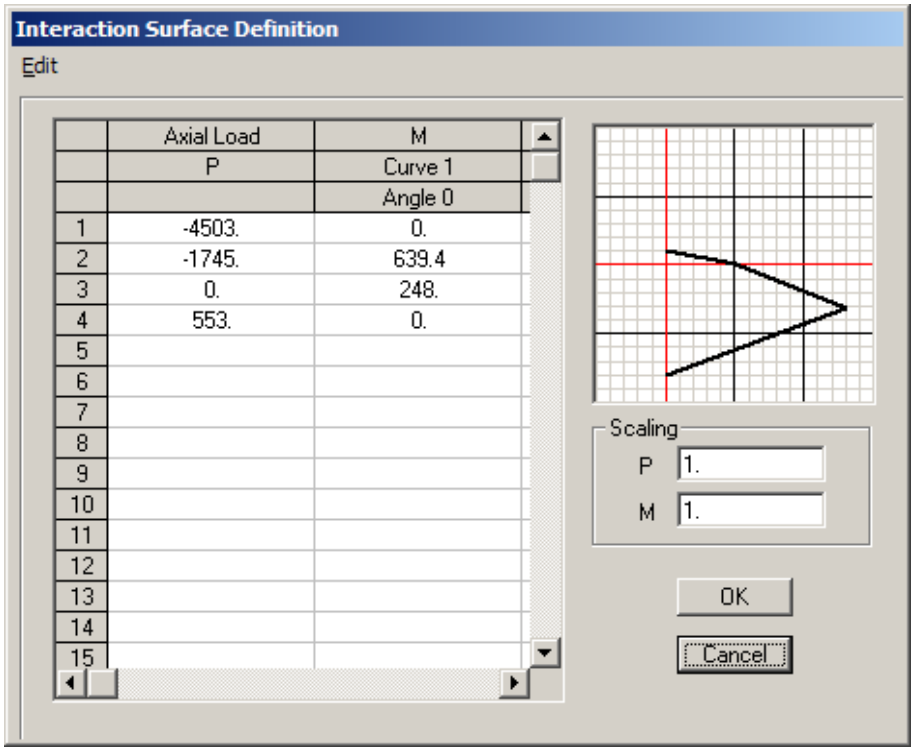
Kolon kesitlerinin XTRACT programında tanımlanması



Şekil 3.9: Kolon XTRACT Analiz Modeli

Kolon kesitlerindeki donatıların simetrik olmalarından dolayı Moment – Eğrilik diyagramları Sap2000 programında simetrik olarak tanımlanmıştır. Kolonlarda ise

Moment - Eğrilik ilişkisi yanında *Normal Kuvvet – Moment* ilişkisini gösteren grafikler de tanımlanmıştır, Şekil 3.9.



Şekil 3.10: Sap2000 Kolon Normal Kuvvet – Moment Etkileşim Diyagramı Örneği

Bu şekilde oluşturulan plastik mafsallar kolon ve kirişlerin her iki ucunda bulunan olası plastik mafsal bölgelerinin ortasına atanır.

3.4.2. Sap2000 malzeme ve kesit tanımlamaları

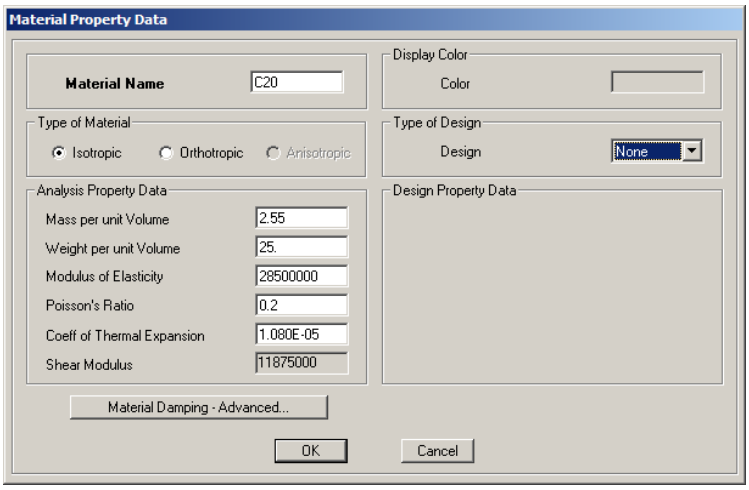
3.4.2.1. Malzemeler

C20

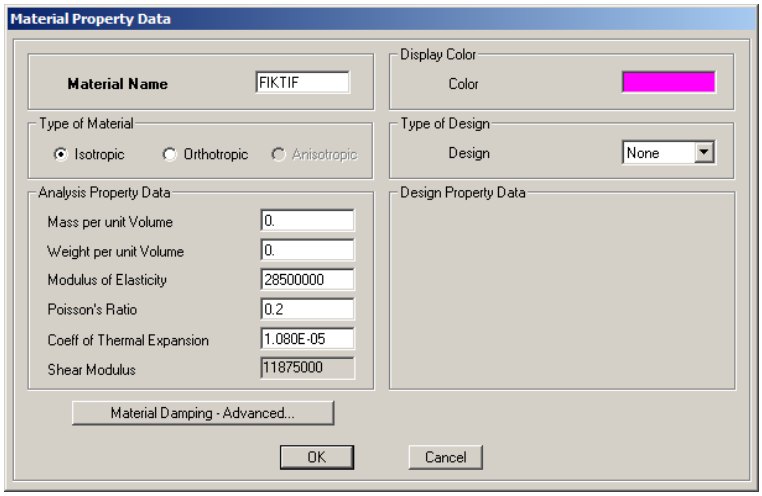
Binaya ait beton malzemesini temsil etmektedir. Tüm betonarme elemanlar için bu malzeme kullanılacaktır. Malzeme özellikleri Sap2000'de Şekil 3.11.a'daki gibi tanımlanmıştır.

Fiktif

Sap2000 hesap modelinde fiktif elemanların malzeme özelliklerini temsil etmektedir. Malzeme özelliklerine ait değerler Şekil 3.11.b'de görüldüğü gibidir.



(a) Sap2000 C20 Malzeme Özellikleri



(b) Sap2000 Fiktif Malzeme Özellikleri

Şekil 3.11 : Sap2000 Malzeme Özellikleri

3.4.2.2. Kesitler

Sap2000'de kesit tanımlamaları yapılırken kolon ve kiriş kesitleri ile elemanların mesnet bölgelerinde kalan kısımlarını temsil eden fiktif kesitler ayrı olarak tanımlanmıştır.

Fiktif kesitler tanımlanan fiktif malzeme özelliğine sahiptir. Aynı zaman da mesnet bölgeleri içinde kaldıklarından herhangi bir şekil değiştirme yapmadıkları kabul edilmiş ve eğilme rijitlikleri arttırılmıştır.

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* $(EI)_e$ kullanılacaktır.

S201 kolonu için örnek hesap

N_d – Düşey yükler altında = 374.14 kN

A_c – Normal kat kolonu kesit alanı = 0.2 m x 1.0 m = 0.2 m^2

f_{cm} – Mevcut beton dayanımı = 20000 kN/m^2

$$\frac{N}{A_c \times f_{cm}} = 0.09$$

oranı 0.1 den küçük olduğundan S201 kolonu için;

$$(EI)_e = 0.4 \times EI$$

alınmıştır.

Diğer kolonlar için hesaplanan çatlamış kesit rijitlikleri Tablo Ek A.2'de verilmiştir.

Bu değer bütün kirişler için;

$$(EI)_e = 0.4 \times EI$$

3.4.3.Performans eğrilerinin elde edilmesi

İtme analizinde hesap yapılan yönler için o yönlere ait *Ritz* modları kullanılmıştır. Boyuna yönündeki kapasite diyagramını elde edebilmek için boyuna yöndeki en yüksek kütle katılımlı mod şeklini, 1. mod, birim yükleme olarak yapıya etkitilmiş ve adım adım arttırılarak (Sap2000 programında Nonlinear-statik analiz işlemi) kapasite diyagramı (pushover curve) elde edilmiştir. Elde edilen kapasite diyagramları kapasite spektrumlarına çevirilmiş, bulunan modal kapasite diyagramı ile zemin sınıfına ait ivme spektrumu eğrisi gözönüne alınarak modal yerdeğiştirme istemi hesaplanmıştır. Modal yerdeğiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}'e eşittir.

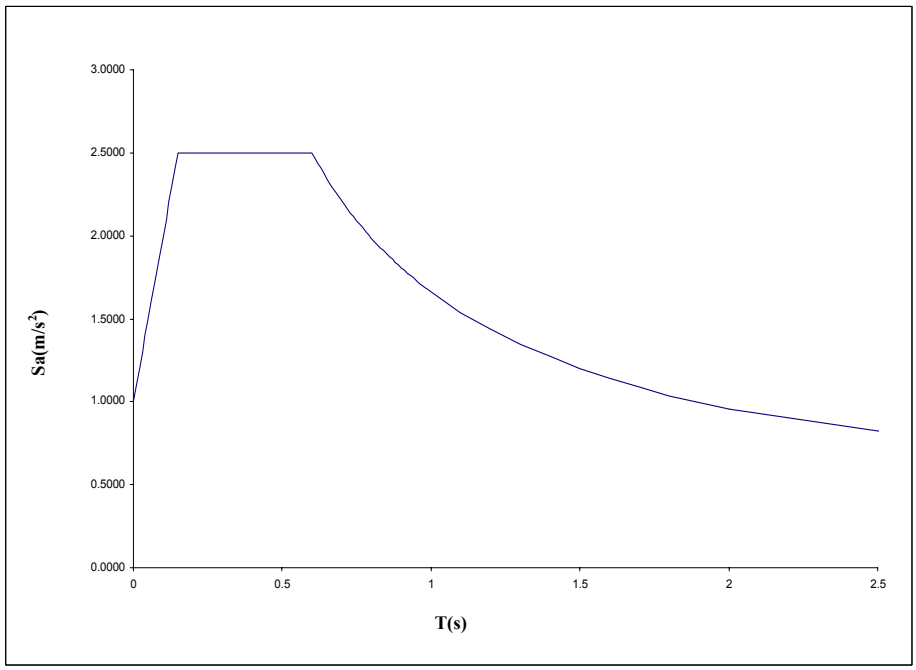
$T_1^{(1)}$(Yapı başlangıç periyodu) = 1.08s > T_B = 0.60 s olduğu için,

$C_{R1} = 1$

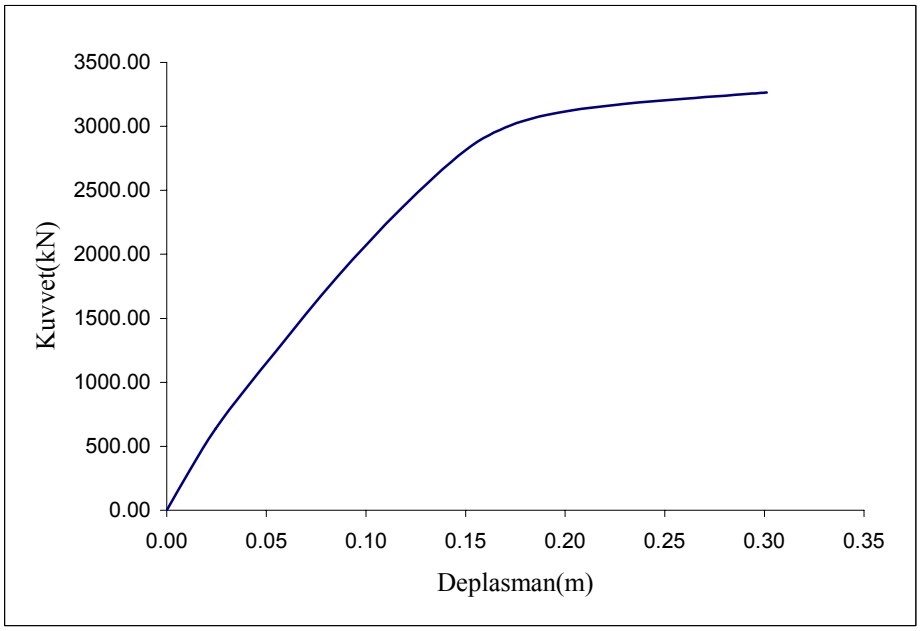
dolayısı ile doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmeler,

$d_1^{(p)} = S_{di1} = S_{de1}$

olmaktadır.

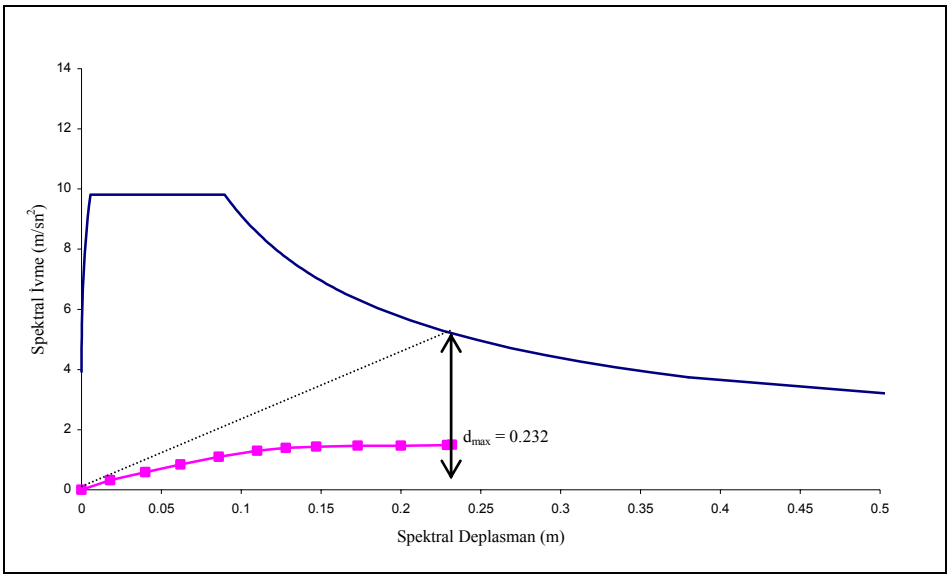


Şekil 3.12: Z3 Zemin Sınıfına Ait Davranış Spektrum Eğrisi



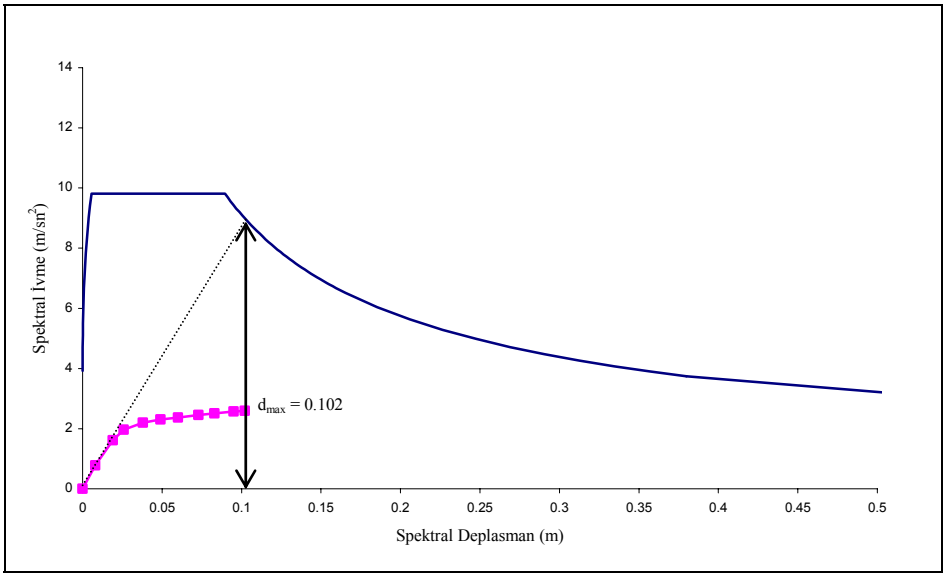
Şekil 3.13: Bina Boyuna Yönü(*X*) İçin Kapasite Eğrisi

Kapasite spektrumunun doğrusal kısmı talep eğrisini kesecek şekilde uzatılmış ve kestiği nokta performans noktası olarak belirlenmiştir (eşit deplasman kuralı), Şekil 3.14.



Şekil 3.14: Bina Boyuna Yönü(X) Performans Noktası

Benzer işlemler binanın enine yönü(Y) için de yapılmış ve performans noktası Şekil 3.15'teki gibi bulunmuştur.



Şekil 3.15: Bina Enine Yönü(Y) Performans Noktası

İtme analizi sonucunda tüm plastik kesitlerde elde edilen plastik mafsal dönmeleri plastik mafsal boyuna bölünerek, bu kesitlere ait plastik eğrilik istemleri elde edilir. Eşdeğer akma eğriliği K_y, *Priestley formülü* yardımıyla hesaplanır, Denklem(3.9).

$$K_e = 2.1 \times \frac{\varepsilon_{sy}}{h} \tag{3.9}$$

$$K = K_p + K_e \tag{3.10}$$

Eşdeğer akma eğriliği plastik eğrilik istemine eklenerek toplam eğrilik istemi elde edilir, Denklem (3.10).

KN22 Kirişi için örnek hesap

$\theta_p = 0.0093$ rad

L_p - Plastik Mafsal Boyu = 0.25 m (*0.5 x h = 0.5 x 0.5m = 0.25m*)

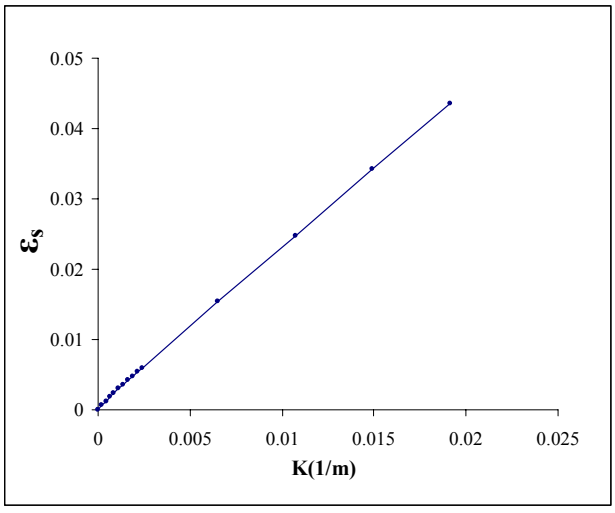
$$K_p = \frac{\theta_p}{l_p} = \frac{0.0093}{0.25} = 0.0374 \text{ rad/ m}$$

$$K_e = 2.1 \times \frac{\varepsilon_{sy}}{h} = 2.1 \times \frac{0.0011}{0.50} = 0.0046 \text{ rad/ m}$$

$$K = K_p + K_y = 0.0374 + 0.0046 = 0.0420 \text{ rad/ m}$$

Toplam eğrilikler bulunduktan sonra kiriş kesitlerine ait hasar seviyelerinin bilinebilmesi için, o kesitlere ait toplam şekil değiştirmelerin(strain) bulunması gerekmektedir.

Yapılan sayısal incelemelerde, donatı çeliğinin birim boy değişmesi nedeniyle hasar sınırına ulaşan kiriş kesitlerinde, donatı çeliğinin birim uzama istemi ile kesitin toplam eğrilik istemi arasında, yaklaşık olarak doğrusal bir bağıntı bulunduğu belirlenmiştir, Şekil 3.16.



Şekil 3.16: $\varepsilon - K$ Diyagramı

Bu özellikten yararlanarak, tüm kesitlerde toplam eğrilik istemine karşılık gelen donatı çeliği birim uzama istemleri kolaylıkla elde edilebilmektedir. Bu istem

değerleri kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak sünek davranışa ilişkin kesit hasar bölgeleri belirlenir.

Kolon kesitleri için hasar durumlarının pratik bir yolla belirlenebilmesi için kesit birim şekil değiştirme kapasitelerine karşılık gelen normal kuvvet – toplam eğrilik diyagramları kullanılmıştır.

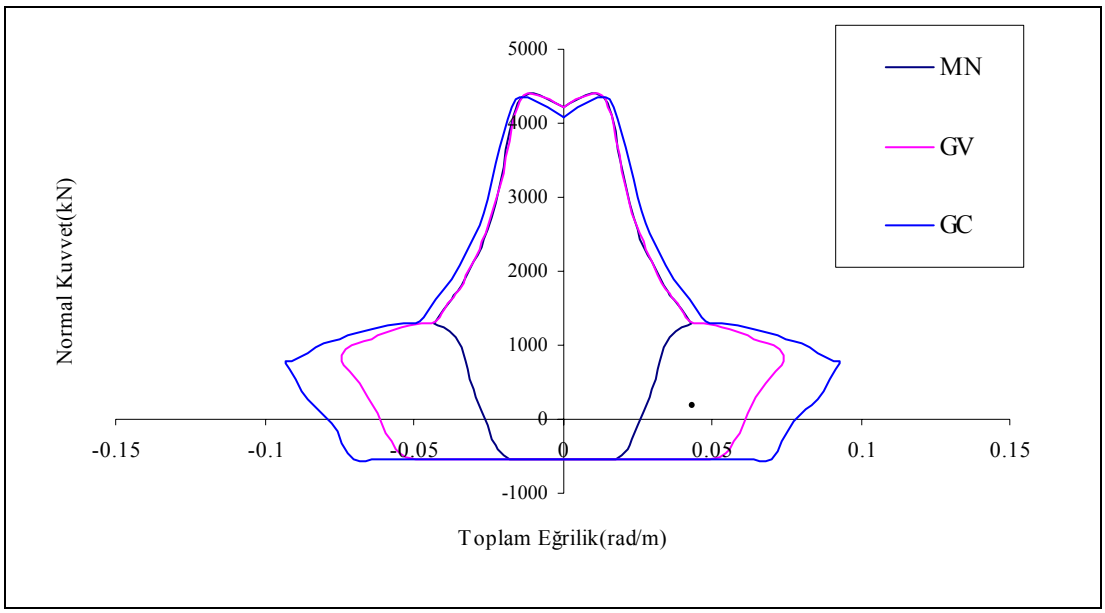
Her normal kuvvet seviyesi için moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Bu şekilde belirli bir hasar seviyesi için her bir normal kuvvete karşı gelen toplam eğrilik değerleri elde edilmiştir. İlgili kesite ait toplam eğrilik istemi ile normal kuvvet istemi bu diyagramın içine konulduğunda bu kesitin hangi hasar sınırları arasında kaldığı görülmektedir.

S234 Kolonu için örnek hesap

Boyuna yönde itme analizi için;

Eksenel kuvvet istemi = 87.99 kN

Toplam eğrilik istemi = 0.0424 rad/m



Şekil 3.17: Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı

Şekil 3.17'de görüldüğü gibi bu S234 kolon kesiti için eksenel yük istemine karşılık gelen toplam eğrilik MN hasar durumu için çizilen diyagramın içinde kalmaktadır. Dolayısıyla bu kolonun alt ucundaki plastik kesit *Belirgin Hasar Bölgesinde* kalmaktadır.

3.4.4. Bina performansın değerlendirilmesi

3.4.4.1. Bina boyuna yönde performans değerlendirmesi

Kirişler

Tablo 3.16: Bina Boyuna Yönde Analizde Zemin Kat Kirişleri Hasar Durumları

									Hasar Sınırları			
Kirişler	**M_p**	**θ_p**	**l_p**	**Eğrilik**			**Ş. Değ.**		**MN**	**GV**	**GÇ**	**H. Seviyesi**
	KN-m	Radyan	m	p	y	Σ	ε_{cu}	ε_s	ε_s	ε_s	ε_s	
KN01	138.60	0.0035	0.25	0.0140	0.0046	0.0186	0.0007	0.0081	0.01	0.04	0.06	BHB
KN02	82.79	0.0095	0.25	0.0381	0.0046	0.0427	0.0017	0.0185	0.01	0.04	0.06	İHB
KN03	73.44	0.0086	0.25	0.0346	0.0046	0.0392	0.0016	0.0170	0.01	0.04	0.06	İHB
KN04	136.17	0.0017	0.25	0.0068	0.0046	0.0114	0.0005	0.0050	0.01	0.04	0.06	BHB
KN05	139.44	0.0074	0.25	0.0296	0.0046	0.0342	0.0014	0.0149	0.01	0.04	0.06	BHB
KN06	55.79	0.0078	0.25	0.0313	0.0046	0.0359	0.0014	0.0156	0.01	0.04	0.06	BHB
KN08	39.74	0.0125	0.25	0.0498	0.0046	0.0544	0.0022	0.0237	0.01	0.04	0.06	İHB
KN09	39.58	0.0103	0.25	0.0412	0.0046	0.0458	0.0018	0.0199	0.01	0.04	0.06	İHB
KN10	140.02	0.0070	0.25	0.0278	0.0046	0.0324	0.0013	0.0141	0.01	0.04	0.06	BHB
KN11	127.54	0.0070	0.25	0.0280	0.0046	0.0326	0.0013	0.0142	0.01	0.04	0.06	İHB
KN12	161.10	0.0081	0.25	0.0325	0.0046	0.0371	0.0015	0.0161	0.01	0.04	0.06	BHB
KN13	163.83	0.0138	0.25	0.0553	0.0046	0.0599	0.0024	0.0260	0.01	0.04	0.06	İHB
KN14	-49.01	0.0061	0.25	0.0244	0.0046	0.0290	0.0012	0.0126	0.01	0.04	0.06	BHB
KN15	-49.54	0.0088	0.25	0.0354	0.0046	0.0400	0.0016	0.0174	0.01	0.04	0.06	İHB
KN16	129.14	0.0100	0.25	0.0398	0.0046	0.0444	0.0018	0.0193	0.01	0.04	0.06	İHB
KN17	-89.38	0.0093	0.25	0.0372	0.0046	0.0418	0.0017	0.0182	0.01	0.04	0.06	İHB
KN18	-90.75	0.0127	0.25	0.0506	0.0046	0.0552	0.0022	0.0240	0.01	0.04	0.06	İHB
KN19	-90.53	0.0121	0.25	0.0484	0.0046	0.0530	0.0021	0.0231	0.01	0.04	0.06	İHB
KN20	-90.51	0.0116	0.25	0.0465	0.0046	0.0511	0.0021	0.0222	0.01	0.04	0.06	İHB
KN22	46.85	0.0093	0.25	0.0374	0.0046	0.0420	0.0017	0.0183	0.01	0.04	0.06	İHB
KN23	82.71	0.0095	0.25	0.0380	0.0046	0.0426	0.0017	0.0185	0.01	0.04	0.06	İHB
KN24	95.84	0.0086	0.25	0.0344	0.0046	0.0390	0.0016	0.0170	0.01	0.04	0.06	İHB
KN25	138.99	0.0073	0.25	0.0293	0.0046	0.0339	0.0014	0.0147	0.01	0.04	0.06	İHB
KN26	83.44	0.0095	0.25	0.0381	0.0046	0.0427	0.0017	0.0186	0.01	0.04	0.06	İHB
KN27	94.91	0.0087	0.25	0.0348	0.0046	0.0394	0.0016	0.0171	0.01	0.04	0.06	İHB
KN28	139.57	0.0073	0.25	0.0291	0.0046	0.0337	0.0014	0.0146	0.01	0.04	0.06	İHB
KN42	81.71	0.0053	0.25	0.0211	0.0046	0.0257	0.0010	0.0112	0.01	0.04	0.06	BHB
KN43	71.89	0.0000	0.25	0.0001	0.0046	0.0047	0.0002	0.0021	0.01	0.04	0.06	MHB

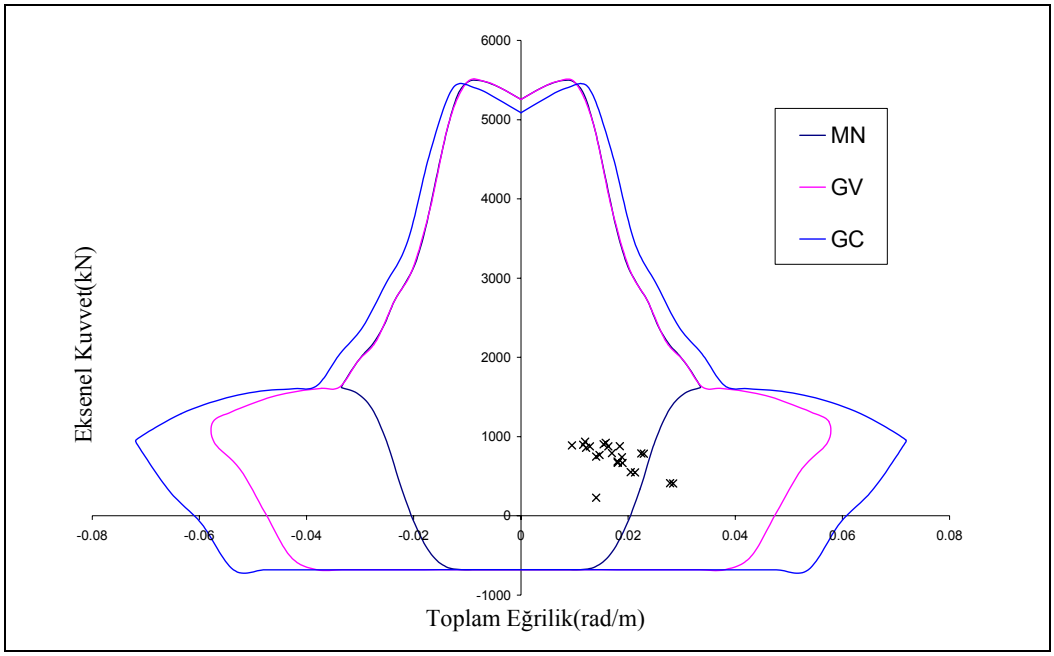
Binaya ait tüm katlardaki kiriş hasar seviyeleri Tablo 3.16'da verilmiştir. Tablo3.17'de ise katlar bazında her bir hasar seviyesindeki kirişlerin o katlardaki toplam kiriş sayısına oranları verilmiştir.

Tablo 3.17: Hasarlı Kiriş Yüzdeleri

	MHB		BHB		İHB		GB	
kat	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**
1	1	2	9	17	19	37	0	0
2	0	0	4	8	18	35	6	12
3	0	0	4	8	19	37	5	10
4	0	0	7	13	15	29	4	8
5	0	0	19	37	2	4	1	2
6	1	2	8	15	2	4	0	0
7	2	4	4	8	0	0	1	2
8	0	0	2	4	2	4	0	0

Kolonlar

Zemin kat kolonlarına ait hasar durumları Tablo 3.18'de verildiği gibidir. Şekil 3.18'de ise zemin kata ait kolonların hasar seviyeleri *Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı* üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.18: Zemin Kat Kolonları Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı

Tablo 3.18: Bina Boyuna Yönde Analizde Zemin Kat Kolonları Hasar Durumları

	P	**Mp**	**θp**	**lp**	**Eğrilik**		
Kolon	KN	KN-m	Radyan	m	P	y	Σ
S105	898.86	-144.43	-0.0012	0.5	0.0024	0.00924	0.0116
S107	934.79	-139.05	-0.0014	0.5	0.0027	0.00924	0.0120
S108	875.65	-104.11	-0.0035	0.5	0.0071	0.00924	0.0163
S109	901.22	-109.49	-0.0031	0.5	0.0062	0.00924	0.0155
S110	791.99	-111.99	-0.0039	0.5	0.0078	0.00924	0.0170
S115	686.18	-101.49	-0.0044	0.5	0.0088	0.00924	0.0180
S116	920.68	-109.00	-0.0033	0.5	0.0066	0.00924	0.0158
S117	877.77	-96.71	-0.0046	0.5	0.0092	0.00924	0.0184
S118	767.46	-122.05	-0.0027	0.5	0.0054	0.00924	0.0147
S119	889.70	-146.45	-0.0001	0.5	0.0003	0.00924	0.0095
S120	666.82	-88.60	-0.0049	0.5	0.0097	0.00924	0.0190
S121	740.77	-108.62	-0.0048	0.5	0.0096	0.00924	0.0189
S122	747.48	-126.30	-0.0024	0.5	0.0048	0.00924	0.0141
S123	668.88	-90.16	-0.0044	0.5	0.0088	0.00924	0.0181
S124	781.97	-100.00	-0.0069	0.5	0.0137	0.00924	0.0230
S125	787.73	-96.44	-0.0066	0.5	0.0132	0.00924	0.0225
S130	552.21	-87.04	-0.0056	0.5	0.0112	0.00924	0.0205
S131	875.52	-133.42	-0.0018	0.5	0.0036	0.00924	0.0129
S132	858.80	-137.41	-0.0015	0.5	0.0029	0.00924	0.0122
S133	547.59	-84.15	-0.0060	0.5	0.0121	0.00924	0.0213
S134	412.28	-68.60	-0.0093	0.5	0.0186	0.00924	0.0278
S135	408.97	-66.79	-0.0096	0.5	0.0192	0.00924	0.0284

Tüm katlardaki kolonlara ait hasar durumları Tablo 3.19'da özetlendiği gibidir.

Tablo 3.19: Bina Boyuna Yönde Analizde Kat Kolonlarına Ait Hasar Durumları

	MHB		BHB		İHB		GB	
kat	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**
1	22	63	1	3	0	0	0	0
2	6	17	5	14	0	0	0	0
3	7	20	8	23	0	0	0	0
4	10	29	9	26	0	0	0	0
5	14	40	18	51	0	0	0	0
6	32	91	1	3	0	0	0	0
7	6	17	0	0	0	0	0	0
8	4	11	0	0	0	0	0	0

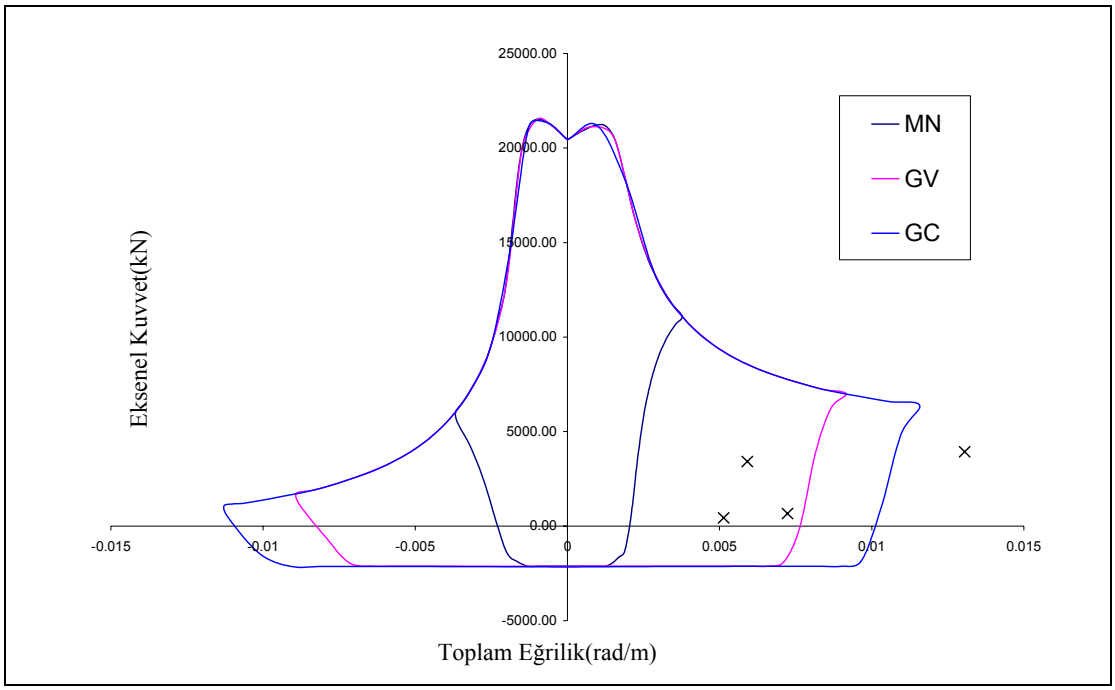
Perdeler

Perde kesitleri kolonlarla aynı şekilde değerlendirilmiş ve kesit hasar durumları Tablol 3.20'de gösterilmiştir.

Tablo 3.20: Bina Boyuna Yönde Analizde Perde Hasar Durumları

Kat	**P**	**Mp**	**θp**	**lp**	**Eğrilik**		
	KN	KN-m	Radyan	m	P	y	Σ
1	3932.71	-4374.56	0.0112	0.95	0.0118	0.0012	0.0131
2	3418.02	-3890.26	0.0045	0.95	0.0047	0.0012	0.0059
6	667.01	2638.09	0.0057	0.95	0.0060	0.0012	0.0072
7	440.91	2295.69	0.0037	0.95	0.0039	0.0012	0.0051

Şekil 3.19'da kat hizalarındaki perde kesitlerinde meydana gelen hasar seviyeleri görülmektedir.



Şekil 3.19: Perde Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı

3.4.4.2. Bina enine yönde performans değerlendirmesi

Kirişler

Binaya ait tüm katlardaki kiriş hasar seviyeleri Tablo 3.22'deki gibi olup Tablo3.21'de özetlenmiştir.

Tablo 3.21: Enine Yönde Analizde Hasarlı Kiriş Yüzdeleri

	MHB		**BHB**		**İHB**		**GB**	
kat	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**
1	0	0	14	27	0	0	0	0
2	1	2	2	4	12	23	0	0
3	1	2	2	4	12	23	0	0
4	1	2	5	10	9	17	0	0
5	1	2	11	21	3	6	0	0
6	0	0	14	27	0	0	0	0
7	4	8	7	13	0	0	0	0
8	1	2	2	4	0	0	0	0

Tablo 3.22: Bina Enine Yönde Analizde Zemin Kat Kirişleri Hasar Durumları

									Hasar Sınırları			
Kirişler	**M_p**	**θ_p**	**l_p**	**Eğrilik**			**Ş. Değ.**		**MN**	**GV**	**GÇ**	**H. Seviyesi**
	KN-m	Radyan	m	p	y	Σ	ε_{cu}	ε_s	ε_s	ε_s	ε_s	
KN29	86.63	0.01	0.25	0.0261	0.0046	0.0307	0.0012	0.0134	0.01	0.04	0.06	BHB
KN30	82.73	0.01	0.25	0.0269	0.0046	0.0315	0.0013	0.0137	0.01	0.04	0.06	BHB
KN32	92.79	0.01	0.25	0.0231	0.0046	0.0277	0.0011	0.0121	0.01	0.04	0.06	BHB
KN33	63.07	0.01	0.25	0.0298	0.0046	0.0344	0.0014	0.0150	0.01	0.04	0.06	BHB
KN36	74.68	0.01	0.25	0.0242	0.0046	0.0288	0.0012	0.0125	0.01	0.04	0.06	BHB
KN39	63.41	0.01	0.25	0.0255	0.0046	0.0301	0.0012	0.0131	0.01	0.04	0.06	BHB
KN40	93.26	0.01	0.25	0.0231	0.0046	0.0277	0.0011	0.0120	0.01	0.04	0.06	BHB
KN42	44.44	0.01	0.25	0.0270	0.0046	0.0316	0.0013	0.0137	0.01	0.04	0.06	BHB
KN43	73.46	0.01	0.25	0.0235	0.0046	0.0281	0.0011	0.0122	0.01	0.04	0.06	BHB
KN44	73.84	0.01	0.25	0.0226	0.0046	0.0272	0.0011	0.0118	0.01	0.04	0.06	BHB
KN46	71.12	0.01	0.25	0.0228	0.0046	0.0274	0.0011	0.0119	0.01	0.04	0.06	BHB
KN49	82.05	0.00	0.25	0.0185	0.0046	0.0231	0.0009	0.0100	0.01	0.04	0.06	BHB
KN51	92.47	0.00	0.25	0.0166	0.0046	0.0212	0.0009	0.0092	0.01	0.04	0.06	BHB
KN52	85.23	0.00	0.25	0.0181	0.0046	0.0227	0.0009	0.0099	0.01	0.04	0.06	BHB
KN29	86.63	0.01	0.25	0.0261	0.0046	0.0307	0.0012	0.0134	0.01	0.04	0.06	BHB
KN30	82.73	0.01	0.25	0.0269	0.0046	0.0315	0.0013	0.0137	0.01	0.04	0.06	BHB
KN32	92.79	0.01	0.25	0.0231	0.0046	0.0277	0.0011	0.0121	0.01	0.04	0.06	BHB
KN33	63.07	0.01	0.25	0.0298	0.0046	0.0344	0.0014	0.0150	0.01	0.04	0.06	BHB

Kolonlar

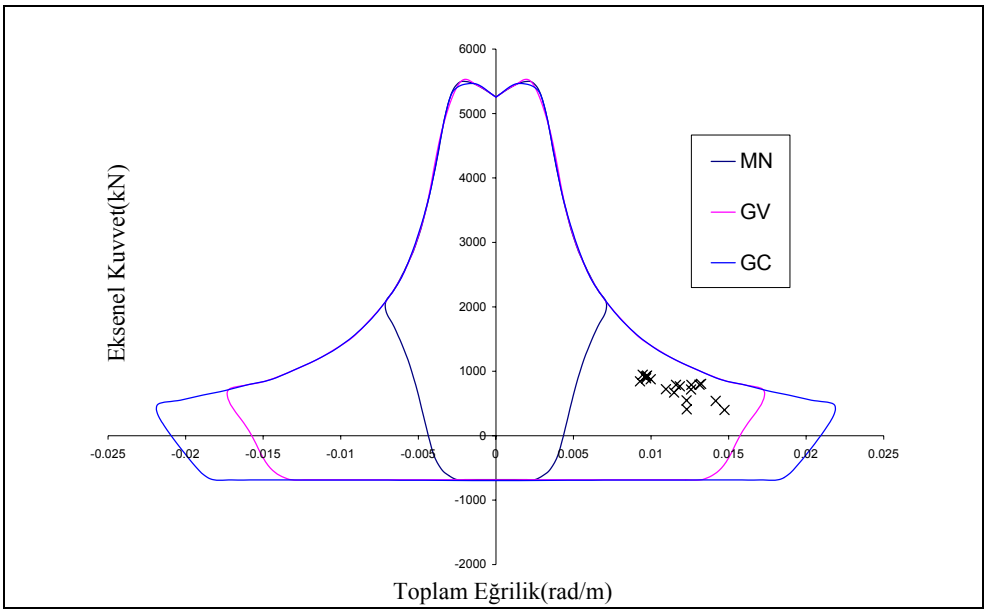
Bina enine yönde analiz sonucunda zemin kat kolonları için elde edilen toplam eğrilikler ve bu eğriliklere karşılık gelen normal kuvvet değerleri Tablo 3.24'te verildiği gibidir. Tablo 3.23'te ise tüm kat kolonlarına ait hasar durumları özet olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.23: Bina Enine Yönde Analizde Kat Kolonları Hasar Durumları

	MHB		**BHB**		**İHB**		**GB**	
kat	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**	**adet**	**%**
1	0	0	18	51	0	0	0	0
2	0	0	10	29	1	3	0	0
6	0	0	1	3	0	0	0	0

Tablo 3.24: Bina Enine Yönde Analizde Zemin Kat Kolonları Hasar Durumları

Kolonlar	P	Mp	θp	lp	Eğrilik		
	KN	KN-m	Radyan	m	P	y	Σ
S102	401.15	-213.59	-0.0027	0.5	0.0055	0.0092	0.0147
S104	944.83	-596.60	-0.0001	0.5	0.0002	0.0092	0.0095
S105	891.85	-578.85	-0.0002	0.5	0.0004	0.0092	0.0097
S106	539.39	-255.73	-0.0025	0.5	0.0049	0.0092	0.0142
S108	875.65	-538.51	-0.0004	0.5	0.0007	0.0092	0.0100
S110	791.99	-312.54	-0.0019	0.5	0.0039	0.0092	0.0131
S112	716.14	-313.87	-0.0017	0.5	0.0033	0.0092	0.0126
S114	803.41	-293.50	-0.0020	0.5	0.0040	0.0092	0.0132
S116	920.68	-519.82	-0.0002	0.5	0.0004	0.0092	0.0097
S118	767.46	-344.81	-0.0013	0.5	0.0026	0.0092	0.0119
S120	932.20	-501.43	-0.0003	0.5	0.0005	0.0092	0.0097
S122	721.79	-389.74	-0.0009	0.5	0.0017	0.0092	0.0110
S124	668.88	-332.44	-0.0011	0.5	0.0022	0.0092	0.0115
S126	787.73	-276.42	-0.0017	0.5	0.0034	0.0092	0.0126
S128	843.14	-499.21	0.0000	0.5	0.0001	0.0092	0.0093
S130	789.63	-313.31	-0.0012	0.5	0.0024	0.0092	0.0116
S134	547.59	-247.76	-0.0015	0.5	0.0030	0.0092	0.0123
S136	408.97	-218.61	-0.0015	0.5	0.0031	0.0092	0.0123



Şekil 3.20: Zemin Kat Kolonları Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı

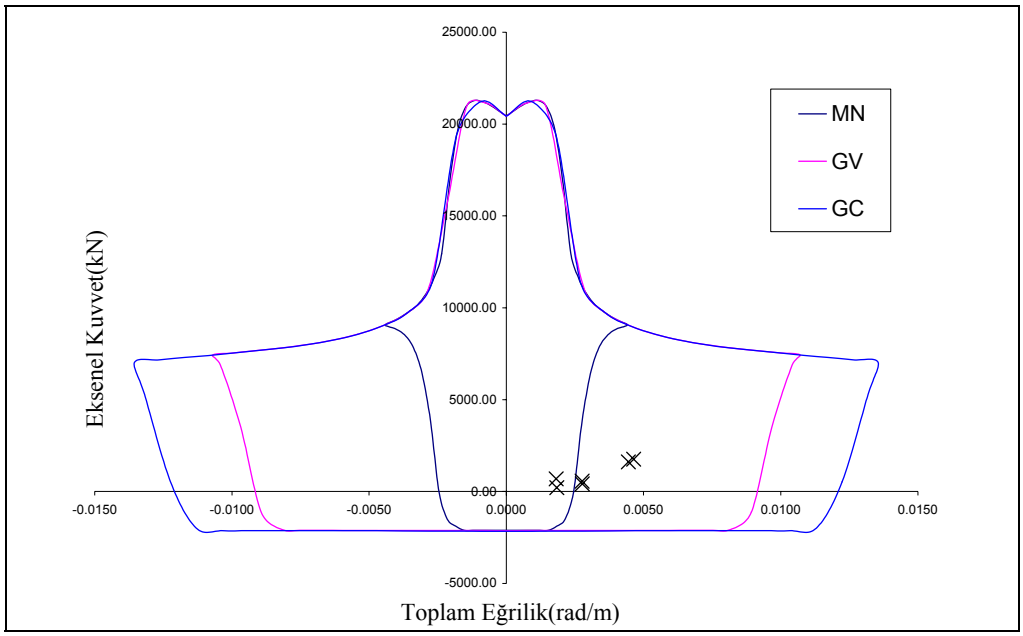
Zemin kat kolonlarına ait hasar durumları Tablo 3.23'de verilmiş olup plastikleşme görülen kolonların hasar durumları Şekil 3.20'de gösterildiği gibidir.

Perdeler

Tablo 3.25: Bina Enine Yönde Analizde Perde Hasar Durumları

Kat	**P**	**Mp**	**θp**	**lp**	**Eğrilik**		
	KN	KN-m	Radyan	m	P	y	Σ
1	1754.67	2721.15	0.0030	0.95	0.0032	0.0014	0.0046
2	1609.72	2617.59	0.0029	0.95	0.0030	0.0014	0.0044
5	690.88	2232.74	0.0004	0.95	0.0004	0.0014	0.0018
6	568.21	2170.70	0.0013	0.95	0.0013	0.0014	0.0028
7	417.82	2020.43	0.0013	0.95	0.0013	0.0014	0.0028
8	209.25	1820.33	0.0004	0.95	0.0004	0.0014	0.0018

Perde kesitleri hasar durumları Şekil 3.21'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.21: Perde Normal Kuvvet – Toplam Eğrilik Diyagramı

Binanın boyuna ve enine doğrultusunda yapılan artımsal itme analizi sonucunda elemanlar bazında elde edilen hasar durumlarından yola çıkılarak binanın genel performansı aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Bina Boyuna Doğrultuda

- Bazı katlarda kirişlerde maksimum %12'yi aşmayacak oranda GB hasar seviyesi gözlenmiştir.
- Kat kirişlerinde hasarların önemli bir kısmı İHB ve BHB'sinde gerçekleşmiştir.
- Kolonlarda herhangi bir katta gözlenen hasar seviyeleri İHB'sine geçmemiş ve BHB ile MHB'sinde yoğunlaşmıştır.
- Perdelerde ise sadece 1 katta GB ve 4 katta da BHB hasar durumları gözlenmiştir.

Bina Enine Doğrultuda

- Kat kirişleri bazı katlarda %12 oranında İHB hasar seviyesine ulaşmış diğer katlarda ise BHB hasar bölgesinde yoğunlaşmıştır.
- Kolonlarda ise sadece 1. ve 2. katlarda önemli oranda BHB hasar durumu gözlenmiş diğer katlar da ise herhangi bir hasar gözlenmemiştir.
- Perdelerde sadece 2 kat seviyesinde MHB, 4 kat seviyesinde ise BHB hasar durumları oluşmaktadır.

İtme analizi sonucunda her iki doğrultu bir arada değerlendirilecek olursa binanın performansı her ne kadar *Can Güvenliği Performans Seviyesine* yakın olarak görünse de, özellikle bina boyuna yönde kat kirişlerinde önemli oranda GB hasar durumu gözlenmiştir. Binanın genel deprem performansı değerlendirildiğinde *Göçme Bölgesi Performans Seviyesini* sağladığını söyleyebiliriz.

4. SONUÇLAR

Depremler büyük güçte etkilerdir ve büyük felaketlere neden olabilirler. Bununla beraber yer seçimi, projelerin hazırlanması, malzemenin seçimi ve inşaatın gerçekleştirebilmesinde belirli mühendislik kurallarına uyulduğu takdirde depremleri bir çok yapının hasarsız atlatması veya en azından minimum hasarla geçilmesi mümkündür. Bunun için ek masraf azdır ve bir çok kere sadece dikkat ve özenle yapının depreme karşı davranışında büyük iyileştirme sağlanabilir. Bu suretle büyük masraf, zahmet ve problemleri olan onarım ve güçlendirme işlerinden kurtulunmuş olur.

Genellikle her yapı kendine özgü bir taşıyıcı sisteme sahiptir ve depremde gördüğü hasar diğer yapılardan farklıdır. Bu sebepten özel bir onarım ve güçlendirme çözümü ve kendine mahsus detaylar gerektirir. Bu tez çalışması kapsamında, yeni deprem yönetmeliği ile hayatımıza girmiş olan doğrusal olmayan(non-lineer) yöntemler ve alışılagelmiş doğrusal(lineer) yöntemler ile mevcut bir binanın muhtemel bir senaryo depremi altındaki performansının deprem öncesinde belirlenmesi ve elde edilen sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. İncelenen bina 7 normal ve 1 zemin kat olmak üzere toplam 8 katlı olup, toplam yapı yüksekliği 27.45 m'dir.

Analizler karşılaştırıldığında doğrusal yöntemde kat kirişlerinin performanslarının doğrusal olmayan yönteme göre daha iyi, buna karşılık doğrusal olmayan analizde ise kolonların performansının daha iyi olduğu görülmüştür. Her iki yöntemde de perde kesitleri açısından çok büyük farklılıklar görülmemektedir. Her iki analiz sonucunda da binanın *Göçme Bölgesi Performans Düzeyini* sağladığı görülmektedir. Bina bu performans seviyesine gelinceye kadar sahip olduğu elemanların çoğunda hasarlar oluşacaktır. Binanın herhangi bir güçlendirme çalışması yapılmadan bu şekilde kullanılması can güvenliği açısından sakıncalıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Fajfar, P. and Krawingler, H.**, 1997. Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes, Prooceedings of International Workshop held in Bled (Slovenia), Balkema, The Netherlands.

[2] **Priestley, M.J.N.**, 2000, Performance Based Seismic Design*, 12th World Conference on Earthquake Engi*neering, Auckland, New Zealand, January-February 2000.

[3] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[4] **Çakıroğlu, A., Özden, E., Özmen, G.**, 1992. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

[6] **Attala, M.R., Deierlein, G. G. and McGuire, W.**, 1995**.** Spread of plasticity : quasi-plastic hinge approach, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **120**, 2451-2473.

[7] **Parikh, B.P.**,1966. The elastic-plastic analysis and design of unbraced multistory steel frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.

[8] **Kim, S.W.**,1971. Elastic-plastic analyis of unbraced frames, *PhD. Dissertation*, Lehigh University.

[9] **Girgin, K.**, 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi**,** *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] **SAP 2000**, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[11] **RAM**, International, User guide and element descriptions, RAM Perform-2D Ver.1.20.

[12] **ATC-40**, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, *Applied Technology Council,* California.

[13] **FEMA-273**, 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[14] **FEMA-356**, 2000. Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[15] **FEMA-440**, 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, *Federal Emergency Management Agency,* Washington.

[16] **European Committee for Standardization,** 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance-Assessment and Retrofitting of Buildings, Eurocode 8-3.

[17] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı,* Ankara.

[18] **Özer, E.**, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, *www.ins.itu.edu.tr/eozer*, İstanbul.

[19] **Çakıroğlu, A. ve Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.

EK A.

Kiriş kesitleri analizlerin kolaylığı açısından gruplara ayrılmış ve donatıları ile birlikte Tablo Ek A.1'de verilmiştir.

Zemin kat kolonlarına ait çatlamış kesit rijitlikleri Tablo Ek A.2'de verilmiştir.

Boyuna yöndeki analize ait kiriş kesitleri artı ve eksi moment kapasiteleri Tablo Ek A.3'te verilmiştir.

Boyuna yöndeki analize ait zemin kat kiriş kesitleri hasar durumları Tablo Ek A.4

Boyuna yöndeki analize ait zemin kat kiriş kesitleri hasar durumları Tablo Ek A.5

Boyuna yöndeki analize ait zemin kat kolon kesitleri hasar durumları Tablo Ek A.6

Boyuna yöndeki analize ait zemin kat kolon kesitleri hasar durumları Tablo Ek A.7

Bina boyuna yönde perde kesitleri hasar durumları Tablo Ek A.8

Bina enine yönde perde kesitleri hasar durumları Tablo Ek A.9

Tablo Ek A.1: Kiriş Grupları ve Donatıları

					ALT		ÜST			
Grup No	**Kesitler**	**Genişlik**	**Yükseklik**	**Kir. Uz.**	**Boyuna**	**Ek**	**Boyuna**	**Pilye**	**Ek**	**Tab. Gen.(cm)**
1	KN8-L	15	50	2.9	3Φ14	-	2Φ12	-	1Φ14	73.0
2	KN40-R	20	50	1.1	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	1Φ12	33.2
3	KN40-L	20	50	1.1	4Φ12	2Φ16	2Φ14	-	2Φ18	33.2
4	KN28-L	20	50	2.0	4Φ12	2Φ18	2Φ12	-	2Φ20	40.0
5	KN52-R	20	50	2.2	4Φ12	-	2Φ14	-	2Φ12	55.2
6	KN31-L	20	50	2.2	4Φ12	1Φ12	2Φ14	-	2Φ16	37.6
7	KN38-L	20	50	2.2	4Φ12	1Φ12	2Φ14	-	2Φ14	55.2
8	KN32-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ14	55.2
9	KN44-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ16	55.2
10	KN29-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ18	37.6
11	KN34-L	20	50	2.2	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ18	55.2
12	KN35-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ16	2Φ12	-	2Φ18	64.0
13	KN39-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ16	2Φ14	-	2Φ18	55.2
14	KN35-L	20	50	2.2	4Φ12	2Φ18	2Φ12	-	2Φ20	64.0
15	KN38-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ18	2Φ14	-	2Φ20	55.2
16	KN47-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ18	2Φ14	-	2Φ18	37.6
17	KN49-R	20	50	2.2	4Φ12	2Φ18	2Φ14	-	2Φ20	37.6
18	KN29-L	20	50	2.2	4Φ12	2Φ20	2Φ14	-	2Φ20	37.6
19	KN39-L	20	50	2.2	4Φ12	2Φ20	2Φ14	-	2Φ20	55.2
20	KN32-L	20	50	2.2	4Φ12	3Φ20	2Φ14	-	3Φ20	55.2
21	KN36-L	20	50	2.2	5Φ12	2Φ20	2Φ14	-	3Φ20	64.0
22	KN37-L	20	50	2.4	4Φ12	-	2Φ14	-	2Φ12	48.8
23	KN37-R	20	50	2.4	4Φ12	1Φ12	2Φ14	-	2Φ14	48.8
24	KN30-R	20	50	2.4	4Φ12	1Φ12	2Φ14	-	2Φ16	48.8
25	KN33-L	20	50	2.4	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ14	48.8
26	KN45-L	20	50	2.4	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ16	48.8
27	KN30-L	20	50	2.4	4Φ12	2Φ12	2Φ14	-	2Φ18	48.8
28	KN17-L	20	50	2.9	3Φ12	2Φ18	2Φ12	1Φ12	2Φ16	78.0
29	KN2-R	20	50	2.9	3Φ12	2Φ18	2Φ16	1Φ12	2Φ14	49.0
30	KN4-L	20	50	2.9	3Φ12	2Φ18	2Φ16	1Φ12	2Φ16	49.0
31	KN2-L	20	50	2.9	3Φ12	3Φ20	2Φ16	1Φ12	3Φ20	49.0
32	KN1-L	20	50	2.9	3Φ12	4Φ20	2Φ16	1Φ12	3Φ20	49.0
33	KN12-L	20	50	2.9	3Φ12	4Φ20	2Φ16	1Φ12	3Φ20	78.0
34	KN13-R	20	50	2.9	3Φ12	4Φ20	2Φ20	1Φ12	3Φ20	78.0
35	KN13-L	20	50	2.9	3Φ12	5Φ20	2Φ20	1Φ12	4Φ20	78.0
36	KN41-L	20	50	2.9	4Φ12	2Φ12	2Φ14	1Φ12	1Φ12	43.2
37	KN41-R	20	50	2.9	4Φ12	2Φ14	2Φ14	1Φ12	2Φ14	43.2
38	KN3-L	20	50	3.1	3Φ12	2Φ18	2Φ12	1Φ12	2Φ16	51.0
39	KN21-L	20	50	3.1	4Φ12	-	2Φ12	2Φ12	-	51.0
40	KN23-L	20	50	3.7	3Φ14	2Φ18	2Φ14	1Φ14	2Φ16	57.0
41	KN6-L	20	50	3.7	4Φ16	-	2Φ12	2Φ16	-	94.0
42	KN51-L	20	50	1.2	4Φ12	-	2Φ12	-	1Φ12	32.0

Tablo Ek A.2: Kiriş Grupları ve Donatıları

Kolon	**P**	**A_c *x* f_{cm}**	**N_D / A_c *x* f_{cm}**	**≤ 0.1**	**>0.1 <0.4**
S101	435.12	5000	0.09	0.4	-
S102	419.68	5000	0.08	0.4	-
S103	597.23	5000	0.12	-	0.40
S104	824.38	5000	0.16	-	0.41
S105	807.66	5000	0.16	-	0.41
S106	582.54	5000	0.12	-	0.40
S107	917.37	5000	0.18	-	0.41
S108	877.81	5000	0.18	-	0.41
S109	884.10	5000	0.18	-	0.41
S110	792.62	5000	0.16	-	0.41
S111	875.88	5000	0.18	-	0.41
S112	741.90	5000	0.15	-	0.41
S113	835.10	5000	0.17	-	0.41
S114	799.26	5000	0.16	-	0.41
S115	725.27	5000	0.15	-	0.41
S116	886.32	5000	0.18	-	0.41
S117	863.54	5000	0.17	-	0.41
S118	771.22	5000	0.15	-	0.41
S119	580.26	5000	0.12	-	0.40
S120	476.59	5000	0.10	0.4	-
S121	674.64	5000	0.13	-	0.40
S122	734.03	5000	0.15	-	0.41
S123	664.72	5000	0.13	-	0.40
S124	735.40	5000	0.15	-	0.41
S125	751.49	5000	0.15	-	0.41
S126	797.23	5000	0.16	-	0.41
S127	834.86	5000	0.17	-	0.41
S128	866.95	5000	0.17	-	0.41
S129	783.49	5000	0.16	-	0.41
S130	603.48	5000	0.12	-	0.40
S131	824.68	5000	0.16	-	0.41
S132	812.28	5000	0.16	-	0.41
S133	598.52	5000	0.12	-	0.40
S134	444.04	5000	0.09	0.4	-
S135	436.77	5000	0.09	0.4	-

Tablo Ek A.3: Kiriş Kesitleri Artı ve Eksi Moment Kapasiteleri

Mesnet	Grup	Moment Kapasitesi		Mesnet	Grup	Moment Kapasitesi	
		M^- (kNm)	M^+ (kNm)			M^- (kNm)	M^+ (kNm)
KN1-L	GRUP32	-137.40	154.10	KN22-L	GRUP31	-136.00	125.30
KN1-R	GRUP32	-137.40	154.10	KN22-R	GRUP29	-80.42	85.39
KN2-L	GRUP31	-136.00	125.30	KN23-L	GRUP40	-92.59	98.63
KN2-R	GRUP29	-80.42	85.39	KN23-R	GRUP40	-92.59	98.63
KN3-L	GRUP38	-70.63	86.67	KN24-L	GRUP30	-87.87	85.22
KN3-R	GRUP38	-70.63	86.67	KN24-R	GRUP31	-136.00	125.30
KN4-L	GRUP30	-87.87	85.22	KN25-L	GRUP31	-136.00	125.30
KN4-R	GRUP31	-136.00	125.30	KN25-R	GRUP29	-80.42	85.39
KN5-L	GRUP32	-137.40	154.10	KN26-L	GRUP40	-92.59	98.63
KN5-R	GRUP32	-137.40	154.10	KN26-R	GRUP40	-92.59	98.63
KN6-L	GRUP41	-54.50	82.95	KN27-L	GRUP30	-87.87	85.22
KN6-R	GRUP41	-54.50	82.95	KN27-R	GRUP31	-136.00	125.30
KN7-L	GRUP41	-54.50	82.95	KN28-L	GRUP4	-84.89	95.55
KN7-R	GRUP41	-54.50	82.95	KN28-R	GRUP4	-84.89	95.55
KN8-L	GRUP1	-38.26	48.40	KN29-L	GRUP18	-91.35	106.30
KN8-R	GRUP1	-38.26	48.40	KN29-R	GRUP10	-80.95	69.52
KN9-L	GRUP1	-38.26	48.40	KN30-L	GRUP27	-80.73	70.49
KN9-R	GRUP1	-38.26	48.40	KN30-R	GRUP24	-71.54	60.27
KN10-L	GRUP32	-137.40	154.10	KN32-L	GRUP20	-119.50	135.00
KN10-R	GRUP32	-137.40	154.10	KN32-R	GRUP8	-61.71	69.55
KN11-L	GRUP31	-136.00	125.30	KN33-L	GRUP25	-61.50	72.49
KN11-R	GRUP31	-136.00	125.30	KN33-R	GRUP27	-80.73	70.49
KN12-L	GRUP33	-137.00	158.70	KN36-L	GRUP21	-119.90	120.10
KN12-R	GRUP33	-137.00	158.70	KN36-R	GRUP21	-119.90	120.10
KN13-L	GRUP35	-183.40	188.30	KN39-L	GRUP19	-91.35	106.30
KN13-R	GRUP34	-157.40	159.10	KN39-R	GRUP13	-80.12	84.61
KN14-L	GRUP1	-38.26	48.40	KN40-L	GRUP3	-80.01	84.83
KN14-R	GRUP1	-38.26	48.40	KN40-R	GRUP2	-43.61	66.42
KN15-L	GRUP1	-38.26	48.40	KN43-L	GRUP21	-119.90	120.10
KN15-R	GRUP1	-38.26	48.40	KN43-R	GRUP21	-119.90	120.10
KN16-L	GRUP31	-136.00	125.30	KN44-L	GRUP20	-119.50	135.00
KN16-R	GRUP29	-80.42	85.39	KN44-R	GRUP9	-69.90	69.50
KN17-L	GRUP28	-73.26	87.60	KN46-L	GRUP9	-69.90	69.50
KN17-R	GRUP28	-73.26	87.60	KN46-R	GRUP20	-119.50	135.00
KN18-L	GRUP28	-73.26	87.60	KN49-L	GRUP6	-69.06	63.78
KN18-R	GRUP28	-73.26	87.60	KN49-R	GRUP17	-92.08	95.87
KN19-L	GRUP28	-73.26	87.60	KN51-L	GRUP42	-34.00	47.37
KN19-R	GRUP28	-73.26	87.60	KN51-R	GRUP42	-34.00	47.37
KN20-L	GRUP30	-87.87	85.22	KN52-L	GRUP19	-91.35	106.30
KN20-R	GRUP31	-136.00	125.30	KN52-R	GRUP5	-53.95	49.78
KN21-L	GRUP39	-45.07	47.67				
KN21-R	GRUP39	-45.07	47.67				

Tablo Ek A.4: Zemin Kat Kiriş Kesitleri Hasar Durumları

Kiriş	Mesnet	Zati	Depremli Durum		Moment Kapasitesi		Artık Mo. Kap.		$V_e/b_w d f_{ctm}$	$\rho-\rho'/\rho_b$	M_d/M_r	Kes. Hasar Durumu	Kir. Hasar Durumu
		M(kNm)	V	M	M^-(kNm)	M^+(kNm)	M^-(kNm)	M^+(kNm)		~			
KN01	Sol	-7.88	130.91	208.08	-137.40	154.10	-129.52	154.10	0.87	0.10	1.36	MHB	MHB
KN01	Sağ	-13.41	130.91	-197.74	-137.40	154.10	-123.99	154.10	0.87	0.10	1.11	MHB	
KN02	Sol	-11.63	108.02	183.34	-136.00	125.30	-124.37	125.30	0.72	0.10	1.48	MHB	MHB
KN02	Sağ	-14.64	108.02	-151.51	-80.42	85.39	-65.78	85.39	0.72	0.10	1.22	MHB	
KN03	Sol	-16.00	87.05	141.02	-70.63	86.67	-54.63	86.67	0.58	0.10	1.64	MHB	MHB
KN03	Sağ	-16.54	87.05	-146.23	-70.63	86.67	-54.09	86.67	0.58	0.10	1.31	MHB	
KN04	Sol	-15.15	110.31	158.84	-87.87	85.22	-72.72	85.22	0.73	0.10	1.88	MHB	MHB
KN04	Sağ	-11.90	110.31	-183.12	-136.00	125.30	-124.10	125.30	0.73	0.10	1.10	MHB	
KN05	Sol	-12.88	130.92	197.83	-137.40	154.10	-124.52	154.10	0.87	0.10	1.30	MHB	MHB
KN05	Sağ	-8.46	130.92	-208.02	-137.40	154.10	-128.94	154.10	0.87	0.10	1.07	MHB	
KN06	Sol	-19.98	37.09	72.05	-54.50	82.95	-34.52	82.95	0.25	0.10	0.88	MHB	MHB
KN06	Sağ	-20.84	37.09	-72.59	-54.50	82.95	-33.66	82.95	0.25	0.10	1.62	MHB	
KN07	Sol	-19.78	34.63	63.65	-54.50	82.95	-34.72	82.95	0.23	0.10	0.78	MHB	MHB
KN07	Sağ	-20.30	34.63	-71.40	-54.50	82.95	-34.20	82.95	0.23	0.10	1.59	MHB	
KN08	Sol	-14.75	101.44	138.29	-38.26	48.40	-23.51	48.40	0.67	0.10	2.89	BHB	BHB
KN08	Sağ	-10.38	101.44	-176.15	-38.26	48.40	-27.88	48.40	0.67	0.10	1.37	MHB	
KN09	Sol	-9.91	101.42	176.25	-38.26	48.40	-28.35	48.40	0.67	0.10	3.68	BHB	BHB
KN09	Sağ	-15.12	101.42	-138.14	-38.26	48.40	-23.14	48.40	0.67	0.10	1.65	MHB	
KN10	Sol	-7.27	118.05	209.38	-137.40	154.10	-130.13	154.10	0.78	0.10	1.37	MHB	MHB
KN10	Sağ	-16.59	118.05	-156.57	-137.40	154.10	-120.81	154.10	0.78	0.10	1.14	MHB	
KN11	Sol	-16.14	118.42	157.18	-136.00	125.30	-119.86	125.30	0.79	0.10	1.27	MHB	MHB
KN11	Sağ	-7.86	118.42	-209.93	-136.00	125.30	-128.14	125.30	0.79	0.10	1.06	MHB	
KN12	Sol	-16.67	146.63	223.72	-137.00	158.70	-120.33	158.70	0.97	0.10	1.42	MHB	MHB
KN12	Sağ	-11.27	146.63	-230.84	-137.00	158.70	-125.73	158.70	0.97	0.10	1.09	MHB	
KN13	Sol	-11.26	-257.22	-295.72	-183.40	188.30	-172.14	188.30	1.71	0.10	1.07	MHB	BHB
KN13	Sağ	-26.35	-257.22	501.64	-157.40	159.10	-131.05	159.10	1.71	0.10	3.18	BHB	
KN14	Sol	-6.61	26.04	30.47	-38.26	48.40	-31.65	48.40	0.17	0.10	0.64	MHB	MHB
KN14	Sağ	-5.03	26.04	-50.25	-38.26	48.40	-33.23	48.40	0.17	0.10	1.15	MHB	
KN15	Sol	-4.85	26.02	50.23	-38.26	48.40	-33.41	48.40	0.17	0.10	1.05	MHB	MHB
KN15	Sağ	-6.67	26.02	-30.42	-38.26	48.40	-31.59	48.40	0.17	0.10	1.21	MHB	
KN16	Sol	-7.24	122.61	218.85	-136.00	125.30	-128.76	125.30	0.81	0.10	1.76	MHB	MHB
KN16	Sağ	-16.64	122.61	-161.26	-80.42	85.39	-63.78	85.39	0.81	0.10	1.26	MHB	
KN17	Sol	-15.15	117.95	156.74	-73.26	87.60	-58.11	87.60	0.78	0.10	1.81	MHB	MHB
KN17	Sağ	-7.05	117.95	-208.89	-73.26	87.60	-66.21	87.60	0.78	0.10	1.11	MHB	
KN18	Sol	-12.96	148.42	234.65	-73.26	87.60	-60.30	87.60	0.99	0.10	2.71	BHB	BHB
KN18	Sağ	-14.44	148.42	-225.46	-73.26	87.60	-58.82	87.60	0.99	0.10	1.25	MHB	
KN19	Sol	-17.08	161.42	256.29	-73.26	87.60	-56.18	87.60	1.07	0.10	2.96	BHB	BHB
KN19	Sağ	-11.10	161.42	-244.12	-73.26	87.60	-62.16	87.60	1.07	0.10	1.18	MHB	
KN20	Sol	-6.20	118.02	208.92	-87.87	85.22	-81.67	85.22	0.78	0.10	2.48	MHB	MHB
KN20	Sağ	-15.54	118.02	-156.94	-136.00	125.30	-120.46	125.30	0.78	0.10	1.13	MHB	
KN21	Sol	-16.25	122.27	160.70	-45.07	47.67	-28.82	47.67	0.81	0.10	3.41	BHB	BHB
KN21	Sağ	-7.82	122.27	-218.35	-45.07	47.67	-37.25	47.67	0.81	0.10	1.21	MHB	
KN22	Sol	-12.94	44.29	71.21	-136.00	125.30	-123.06	125.30	0.29	0.10	0.57	MHB	MHB
KN22	Sağ	-14.29	44.29	-74.96	-80.42	85.39	-66.13	85.39	0.29	0.10	1.22	MHB	
KN23	Sol	-5.79	125.34	215.19	-92.59	98.63	-86.80	98.63	0.83	0.10	2.20	MHB	MHB
KN23	Sağ	-22.72	125.34	-173.39	-92.59	98.63	-69.87	98.63	0.83	0.10	1.33	MHB	

Tablo Ek A.5: Zemin Kat Kiriş Kesitleri Hasar Durumları

Kiriş	Mesnet	Zati	Depremli Durum		Moment Kapasitesi		Artık Mo. Kap.		$V_e/b_w df_{ctm}$	$\rho-\rho'/\rho_b$	M_d/M_r	Kes. Hasar Durumu	Kir. Hasar Durumu
		M(kNm)	V	M	M^-(kNm)	M^+(kNm)	M^-(kNm)	M^+(kNm)		~			
KN24	Sol	-33.08	70.17	136.30	-87.87	85.22	-54.79	85.22	0.47	0.10	1.62	MHB	MHB
KN24	Sağ	-33.95	70.17	-137.34	-136.00	125.30	-102.05	125.30	0.47	0.10	1.33	MHB	
KN25	Sol	-22.11	120.37	170.12	-136.00	125.30	-113.89	125.30	0.80	0.10	1.37	MHB	MHB
KN25	Sağ	-8.38	120.37	-203.04	-80.42	85.39	-72.04	85.39	0.80	0.10	1.12	MHB	
KN26	Sol	-9.14	120.77	204.13	-92.59	98.63	-83.45	98.63	0.80	0.10	2.09	MHB	MHB
KN26	Sağ	-17.95	120.77	-170.26	-92.59	98.63	-74.64	98.63	0.80	0.10	1.24	MHB	
KN27	Sol	-23.27	70.04	136.93	-87.87	85.22	-64.60	85.22	0.47	0.10	1.62	MHB	MHB
KN27	Sağ	-23.40	70.04	-136.25	-136.00	125.30	-112.60	125.30	0.47	0.10	1.21	MHB	
KN28	Sol	-17.96	125.37	173.43	-84.89	95.55	-66.93	95.55	0.83	0.10	1.83	MHB	MHB
KN28	Sağ	-7.16	125.37	-215.23	-84.89	95.55	-77.73	95.55	0.83	0.10	1.09	MHB	
KN29	Sol	-5.41	-98.17	-96.05	-91.35	106.30	-85.94	106.30	0.65	0.10	1.06	MHB	MHB
KN29	Sağ	-5.64	-98.17	100.30	-80.95	69.52	-75.31	69.52	0.65	0.10	1.46	MHB	
KN30	Sol	-11.11	-56.37	-69.53	-80.73	70.49	-69.62	70.49	0.37	0.10	1.16	MHB	MHB
KN30	Sağ	-7.42	-56.37	71.40	-71.54	60.27	-64.12	60.27	0.37	0.10	1.20	MHB	
KN32	Sol	-2.60	-56.45	-59.35	-119.50	135.00	-116.90	135.00	0.38	0.10	1.02	MHB	MHB
KN32	Sağ	-10.19	-56.45	64.84	-61.71	69.55	-51.52	69.55	0.38	0.10	0.94	MHB	
KN33	Sol	-8.32	-51.87	-66.35	-61.50	72.49	-53.18	72.49	0.34	0.10	1.16	MHB	MHB
KN33	Sağ	-15.21	-51.87	58.13	-80.73	70.49	-65.52	70.49	0.34	0.10	0.83	MHB	
KN36	Sol	-6.32	-19.92	-21.18	-119.90	120.10	-113.58	120.10	0.13	0.10	1.06	MHB	MHB
KN36	Sağ	-12.95	-19.92	26.62	-119.90	120.10	-106.95	120.10	0.13	0.10	0.22	MHB	
KN39	Sol	-15.51	-9.79	-9.81	-91.35	106.30	-75.84	106.30	0.07	0.10	1.20	MHB	MHB
KN39	Sağ	-14.85	-9.79	15.64	-80.12	84.61	-65.27	84.61	0.07	0.10	0.19	MHB	
KN40	Sol	-12.29	-1.42	-4.19	-80.01	84.83	-67.72	84.83	0.01	0.10	1.18	MHB	MHB
KN40	Sağ	-9.91	-1.42	-0.93	-43.61	66.42	-33.70	66.42	0.01	0.10	1.29	MHB	
KN43	Sol	-19.53	-1.76	-1.90	-119.90	120.10	-100.37	120.10	0.01	0.10	1.19	MHB	MHB
KN43	Sağ	-9.71	-1.76	3.74	-119.90	120.10	-110.19	120.10	0.01	0.10	0.03	MHB	
KN44	Sol	-8.01	8.92	7.81	-119.50	135.00	-111.49	135.00	0.06	0.10	0.06	MHB	MHB
KN44	Sağ	-11.49	8.92	-13.58	-69.90	69.50	-58.41	69.50	0.06	0.10	1.20	MHB	
KN46	Sol	-10.07	42.66	54.99	-69.90	69.50	-59.83	69.50	0.28	0.10	0.80	MHB	MHB
KN46	Sağ	-13.70	42.66	-47.39	-119.50	135.00	-105.80	135.00	0.28	0.10	1.13	MHB	
KN49	Sol	-11.11	48.77	59.83	-69.06	63.78	-57.95	63.78	0.32	0.10	0.95	MHB	MHB
KN49	Sağ	-7.47	48.77	-62.10	-92.08	95.87	-84.61	95.87	0.32	0.10	1.09	MHB	
KN51	Sol	-2.69	46.57	48.77	-34.00	47.37	-31.31	47.37	0.31	0.10	1.04	MHB	MHB
KN51	Sağ	-10.10	46.57	-53.69	-34.00	47.37	-23.90	47.37	0.31	0.10	1.42	MHB	
KN52	Sol	-5.50	86.19	84.07	-91.35	106.30	-85.85	106.30	0.57	0.10	0.80	MHB	MHB
KN52	Sağ	-5.56	86.19	-88.31	-53.95	49.78	-48.39	49.78	0.57	0.10	1.11	MHB	

Tablo Ek A.6: Zemin Kat Kolonları Hasar Durumları

Kolon	Mesnet	Zati		Depremli		Kapasite	A. Kap.	Sargı				Kes. Hasar Durumu	Kol. Hasar Durumu
		P(kN)	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)		$N_k/A_c f_{cm}$	$V_e/b_w d f_{ctm}$	M_d/M_{akap}		
S101	Alt	-439.32	1.86	73.02	127.49	101.30	99.44	yok	0.09	0.20	1.3	MHB	MHB
S101	Üst	-421.20	3.96	73.02	84.28	101.30	97.34	yok	0.08	0.20	0.9	MHB	
S102	Alt	-428.41	1.87	70.00	123.26	101.30	99.43	yok	0.09	0.20	1.3	MHB	MHB
S102	Üst	-410.29	3.98	70.00	79.73	101.30	97.32	yok	0.08	0.20	0.8	MHB	
S103	Alt	-583.62	1.35	76.66	132.48	101.30	99.95	yok	0.12	0.22	1.34	MHB	MHB
S103	Üst	-565.49	2.92	76.66	89.81	101.30	98.38	yok	0.11	0.22	0.92	MHB	
S104	Alt	-953.33	0.52	100.10	153.65	153.50	152.98	yok	0.19	0.28	1.01	MHB	MHB
S104	Üst	-935.20	1.26	100.10	136.66	153.50	152.24	yok	0.19	0.28	0.91	MHB	
S105	Alt	-937.07	0.52	94.48	146.73	153.50	152.98	yok	0.19	0.27	0.97	MHB	MHB
S105	Üst	-918.95	1.26	94.48	127.25	153.50	152.24	yok	0.18	0.27	0.84	MHB	
S106	Alt	-578.36	1.84	72.15	123.83	101.30	99.46	yok	0.12	0.20	1.26	MHB	MHB
S106	Üst	-560.24	3.92	72.15	85.40	101.30	97.38	yok	0.11	0.20	0.89	MHB	
S107	Alt	-1054.00	2.09	96.18	151.27	153.50	151.41	yok	0.21	0.27	1.01	MHB	MHB
S107	Üst	-1035.87	4.41	96.18	127.63	153.50	149.09	yok	0.21	0.27	0.86	MHB	
S108	Alt	-988.33	1.96	79.70	134.01	153.50	151.54	yok	0.20	0.22	0.89	MHB	MHB
S108	Üst	-970.21	3.74	79.70	97.12	153.50	149.76	yok	0.19	0.22	0.66	MHB	
S109	Alt	-1021.41	1.33	76.15	129.10	153.50	152.17	yok	0.20	0.21	0.86	MHB	MHB
S109	Üst	-1003.29	2.47	76.15	91.75	153.50	151.03	yok	0.20	0.21	0.61	MHB	
S110	Alt	-898.61	0.67	76.97	128.47	153.50	152.83	yok	0.18	0.22	0.85	MHB	MHB
S110	Üst	-880.49	1.14	76.97	94.74	153.50	152.36	yok	0.18	0.22	0.63	MHB	
S111	Alt	-1011.94	2.43	95.60	150.72	153.50	151.07	yok	0.20	0.27	1.01	MHB	MHB
S111	Üst	-993.82	4.69	95.60	126.53	153.50	148.81	yok	0.20	0.27	0.86	MHB	
S112	Alt	-821.32	2.60	79.73	134.05	153.50	150.90	yok	0.16	0.22	0.90	MHB	MHB
S112	Üst	-803.19	5.45	79.73	97.20	153.50	148.05	yok	0.16	0.22	0.66	MHB	
S113	Alt	-963.20	1.85	81.19	133.95	153.50	151.65	yok	0.19	0.23	0.89	MHB	MHB
S113	Üst	-945.07	3.93	81.19	101.51	153.50	149.57	yok	0.19	0.23	0.69	MHB	
S114	Alt	-916.89	0.09	74.50	126.09	153.50	153.41	yok	0.18	0.21	0.83	MHB	MHB
S114	Üst	-898.76	0.40	74.50	89.95	153.50	153.10	yok	0.18	0.21	0.59	MHB	
S115	Alt	-769.56	0.81	80.23	135.93	135.20	134.39	yok	0.15	0.23	1.02	MHB	MHB
S115	Üst	-751.43	1.42	80.23	96.74	135.20	133.78	yok	0.15	0.23	0.73	MHB	
S116	Alt	-1055.80	2.13	83.34	137.50	153.50	151.37	yok	0.21	0.23	0.92	MHB	MHB
S116	Üst	-1037.67	4.08	83.34	104.17	153.50	149.42	yok	0.21	0.23	0.70	MHB	
S117	Alt	-1009.30	2.66	78.41	131.26	153.50	150.84	yok	0.20	0.22	0.88	MHB	MHB
S117	Üst	-991.17	5.15	78.41	96.12	153.50	148.35	yok	0.20	0.22	0.65	MHB	
S118	Alt	-851.70	0.12	89.36	140.39	153.50	153.38	yok	0.17	0.25	0.92	MHB	MHB
S118	Üst	-833.58	0.04	89.36	118.75	153.50	153.46	yok	0.17	0.25	0.78	MHB	
S119	Alt	-688.54	0.69	79.99	135.69	135.20	134.51	yok	0.14	0.22	1.02	MHB	MHB
S119	Üst	-670.41	1.60	79.99	96.28	135.20	133.60	yok	0.13	0.22	0.73	MHB	
S120	Alt	-612.20	1.86	77.01	131.41	135.20	133.34	yok	0.12	0.22	1.00	MHB	MHB
S120	Üst	-594.08	3.95	77.01	91.91	101.30	97.35	yok	0.12	0.22	0.95	MHB	
S121	Alt	-769.81	0.42	86.81	137.94	135.20	134.79	yok	0.15	0.24	1.03	MHB	MHB
S121	Üst	-751.69	0.62	86.81	113.80	135.20	134.58	yok	0.15	0.24	0.85	MHB	
S122	Alt	-867.80	0.79	95.80	150.92	153.50	152.71	yok	0.17	0.27	1.00	MHB	MHB
S122	Üst	-849.67	1.80	95.80	126.92	153.50	151.70	yok	0.17	0.27	0.85	MHB	
S123	Alt	-765.24	2.58	81.77	136.00	135.20	132.62	yok	0.15	0.23	1.04	MHB	MHB
S123	Üst	-747.12	4.99	81.77	101.14	135.20	130.21	yok	0.15	0.23	0.78	MHB	
S124	Alt	-881.92	0.94	96.21	148.39	153.50	152.57	yok	0.18	0.27	0.98	MHB	MHB
S124	Üst	-863.79	1.67	96.21	130.60	153.50	151.83	yok	0.17	0.27	0.87	MHB	
S125	Alt	-891.91	0.28	75.47	127.03	153.50	153.22	yok	0.18	0.21	0.84	MHB	MHB
S125	Üst	-873.78	0.35	75.47	91.83	153.50	153.15	yok	0.17	0.21	0.61	MHB	
S126	Alt	-917.76	1.07	96.18	151.27	153.50	152.43	yok	0.18	0.27	1.00	MHB	MHB
S126	Üst	-899.64	1.94	96.18	127.63	153.50	151.56	yok	0.18	0.27	0.85	MHB	

Tablo Ek A.7: Zemin Kat Kolonları Hasar Durumları

Kolon	Mesnet	Zati		Depremli		Kapasite	A. Kap.	Sargı				Kes. Hasar Durumu	Kol. Hasar Durumu
		P(kN)	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	M(kNm)	M(kNm)		$N_k/A_c f_{cm}$	$V_e/b_w d f_{ctm}$	M_d/M_{akap}		
S127	Alt	-955.50	1.75	79.70	134.00	153.50	151.75	yok	0.19	0.22	0.89	MHB	MHB
S127	Üst	-937.38	3.74	79.70	97.12	153.50	149.76	yok	0.19	0.22	0.66	MHB	
S128	Alt	-1013.95	1.02	76.11	129.06	153.50	152.48	yok	0.20	0.21	0.85	MHB	MHB
S128	Üst	-995.83	2.26	76.11	91.66	153.50	151.24	yok	0.20	0.21	0.61	MHB	
S129	Alt	-896.00	0.34	76.90	128.40	153.50	153.16	yok	0.18	0.22	0.85	MHB	MHB
S129	Üst	-877.88	0.89	76.90	94.60	153.50	152.61	yok	0.18	0.22	0.63	MHB	
S130	Alt	-595.57	1.86	76.66	132.48	101.30	99.44	yok	0.12	0.22	1.35	MHB	MHB
S130	Üst	-577.44	3.53	76.66	89.81	101.30	97.77	yok	0.12	0.22	0.93	MHB	
S131	Alt	-955.65	0.90	100.04	153.58	153.50	152.60	yok	0.19	0.28	1.02	MHB	MHB
S131	Üst	-937.52	1.60	100.04	136.52	153.50	151.90	yok	0.19	0.28	0.91	MHB	
S132	Alt	-939.51	0.88	94.55	146.81	153.50	152.62	yok	0.19	0.27	0.97	MHB	MHB
S132	Üst	-921.39	1.56	94.55	127.41	153.50	151.94	yok	0.18	0.27	0.85	MHB	
S133	Alt	-586.33	2.15	72.14	123.83	101.30	99.15	yok	0.12	0.20	1.26	MHB	MHB
S133	Üst	-568.21	4.11	72.14	85.40	101.30	97.19	yok	0.11	0.20	0.89	MHB	
S134	Alt	-444.71	2.16	72.93	127.40	101.30	99.14	yok	0.09	0.20	1.3	MHB	MHB
S134	Üst	-426.58	4.14	72.93	84.10	101.30	97.16	yok	0.09	0.20	0.9	MHB	
S135	Alt	-435.89	2.17	70.10	123.36	101.30	99.13	yok	0.09	0.20	1.3	MHB	MHB
S135	Üst	-417.76	4.16	70.10	79.94	101.30	97.14	yok	0.08	0.20	0.8	MHB	

Tablo Ek A.8: Bina Boyuna Yönde Perde Kesitleri Hasar Durumları

Kat	Mesnet	Zati Durum		Depremli Durum		Kapasite		Artık Kapasite		Perde Uç Sargısı	M_d/M_{akap}	Kes. Hasar Durumu
		P	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	M^-(kNm)	M^+kNm)	M^-(kNm)	M^+kNm)			
1. kat	Alt	-3215.29	128.50	10813.94	103789.15	-4082.00	4079.00	-4082.00	4207.50	Var	24.9	GB
1. kat	Üst	-2992.51	140.65	10813.94	72428.73	-4082.00	4079.00	-4082.00	4219.65	Var	17.3	GB
2. kat	Alt	-2863.84	112.31	9757.53	73024.13	-4082.00	4079.00	-4082.00	4191.31	Var	17.6	GB
2. kat	Üst	-2641.07	127.56	9757.53	44727.31	-4082.00	4079.00	-4082.00	4206.56	Var	10.7	GB
3. kat	Alt	-2489.13	94.61	7637.70	45683.53	-4082.00	4079.00	-4082.00	4173.61	Var	11.1	GB
3. kat	Üst	-2266.35	114.21	7637.70	23534.19	-4082.00	4079.00	-4082.00	4193.21	Var	5.7	BHB
4. kat	Alt	-2096.47	77.51	5835.70	24704.04	-4082.00	4079.00	-4082.00	4156.51	Var	6.0	BHB
4. kat	Üst	-1873.70	100.72	5835.70	7780.51	-4082.00	4079.00	-4082.00	4179.72	Var	1.9	MHB
5. kat	Alt	-1690.28	60.90	4095.02	9040.57	-4082.00	4079.00	-4082.00	4139.90	Var	2.2	MHB
5. kat	Üst	-1467.51	87.26	4095.02	-2834.98	-4082.00	4079.00	-4082.00	4166.26	Var	0.7	MHB
6. kat	Alt	-1273.91	44.97	2277.50	-1570.40	-4082.00	4079.00	-4082.00	4123.97	Var	0.4	MHB
6. kat	Üst	-1051.14	74.01	2277.50	-8175.17	-4082.00	4079.00	-4082.00	4153.01	Var	2.0	MHB
7. kat	Alt	-850.61	29.93	157.05	-6956.63	-4082.00	4079.00	-4082.00	4108.93	Var	1.7	MHB
7. kat	Üst	-627.84	62.07	157.05	-7412.08	-4082.00	4079.00	-4082.00	4141.07	Var	1.8	MHB
8. kat	Alt	-420.03	16.82	-1729.33	-6246.73	-4082.00	4079.00	-4082.00	4095.82	Var	1.5	MHB
8. kat	Üst	-189.57	45.64	-1729.33	-1058.75	-4082.00	4079.00	-4082.00	4124.64	Var	0.3	MHB

Tablo Ek A.9: Bina Enine Yönde Perde Kesitleri Hasar Durumları

Kat	Mes.	Zati Durum		Depremli Durum		Kapasite		Artık Kapasite		Perde Uç Sargısı	M_d/M_{akap}	Kes. Hasar Dur.
		P(kN)	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	M^-(kNm)	M^+kNm)	M^-(kNm)	M^+kNm)			
1. kat	Alt	-3215.3	-2.0	8754.0	59861.0	-4790.0	3828.0	-4792.0	3828.0	Var	15.6	GB
1. kat	Üst	-2992.5	0.5	8754.0	34474.4	-4790.0	3828.0	-4790.0	3828.5	Var	9.0	GB
2. kat	Alt	-2863.8	-40.9	7636.8	36571.0	-4790.0	3828.0	-4830.9	3828.0	Var	9.6	GB
2. kat	Üst	-2641.1	-31.6	7636.8	14424.3	-4790.0	3828.0	-4821.6	3828.0	Var	3.8	BHB
3. kat	Alt	-2489.1	-56.0	4999.7	17313.8	-4172.0	3204.0	-4228.0	3204.0	Var	5.4	BHB
3. kat	Üst	-2266.3	-41.4	4999.7	2814.6	-4172.0	3204.0	-4213.4	3204.0	Var	0.9	MHB
4. kat	Alt	-2096.5	-54.5	3540.5	5888.7	-4172.0	3204.0	-4226.5	3204.0	Var	1.8	MHB
4. kat	Üst	-1873.7	-40.5	3540.5	-4378.7	-4172.0	3204.0	-4212.5	3204.0	Var	1.0	MHB
5. kat	Alt	-1690.3	-45.9	2494.9	-1480.9	-4172.0	3204.0	-4217.9	3204.0	Var	0.4	MHB
5. kat	Üst	-1467.5	-34.1	2494.9	-8716.1	-3430.0	2564.0	-3464.1	2564.0	Var	2.5	MHB
6. kat	Alt	-1273.9	-34.1	1504.3	-6199.5	-3430.0	2564.0	-3464.1	2564.0	Var	1.8	MHB
6. kat	Üst	-1051.1	-24.5	1504.3	-10562.1	-3430.0	2564.0	-3454.5	2564.0	Var	3.1	BHB
7. kat	Alt	-850.6	-21.3	294.4	-8533.3	-3430.0	2564.0	-3451.3	2564.0	Var	2.5	MHB
7. kat	Üst	-627.8	-13.4	294.4	-9387.0	-3430.0	2564.0	-3443.4	2564.0	Var	2.7	MHB
8. kat	Alt	-420.0	-4.9	-2249.5	-7816.0	-3430.0	2564.0	-3434.9	2564.0	Var	2.3	MHB
8. kat	Üst	-189.6	8.9	-2249.5	-1067.4	-3430.0	2564.0	-3430.0	2572.9	Var	0.3	MHB

ÖZGEÇMİŞ

Sedat MAVUZER, 1982 yılında Ardahan'da doğmuştur. İlk öğrenimini, Minur Nurettin Selçuk İlkokulu'nda, orta okulu Yeşilbağ Ortaokulu' nda ve liseyi Dr. Kemal Naci Ekşi Lisesi'nde, tamamlamıştır. 2000 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girmeye hak kazanmış, 2005 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun olmuştur. Gene 2005 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.