İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİYLE ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nusret OKAY

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİYLE ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Nusret OKAY
(501061095)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)
Prof. Dr. Feridun ÇILI (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Ülkemiz aktif fayların bulunduğu bir deprem kuşağında yer almaktadır. Özellikle nüfusun yoğun olduğu bölgelerimiz büyük risk altındadır. Nitekim yaşanmış depremler bu yargıyı doğrulamaktadır. Ortaya çıkan bu tablo, ülkemizde inşa edilecek yeni yapıların depreme dayanıklı yapı tasarım kuralları dikkate alınarak titizlikle projelendirilmesi ve de mevcut yapıların güvenliğinin değerlendirilmesinde geleneksel yöntemlere ek olarak yeni akılcı yöntemler geliştirmemiz ve bunları uygulamamız gerektiğini bizlere göstermiştir.

Gerek yurtdışında gerekse yurtiçinde yapılan çalışmalar depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda, doğrusal analiz yöntemleri yanında doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin gelişmesini ve yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu yöntemler genel olarak performansa dayalı itme analizi olarak adlandırılır. Bu yöntemlerin kullanılmasındaki asıl gaye, talep edilen deprem etkisi altında yapı güvenliğinin belirlenmesidir.

Bu tez çalışmamda "DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2007"de anlatılan "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" konusu incelenmiş örnek çok katlı bir betonarme proje üzerinde uygulaması yapılmıştır.

Çalışma boyunca her an her konuda büyük desteğini gördüğüm ve bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük emeği olan değerli hocam Sn. Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ'E, değerli dostlarım inşaat mühendisleri Fatih AKIN, Halis GÜRLEK ve Emre Serdar YÜKSEL'e, öğrenim hayatım boyunca maddi manevi hiçbir fedakârlıktan çekinmeyen sevgili anneannem Naime ERK, dedem İlhan ERK, dayım İbrahim ERK ve eşi Hürriyet ERK'e, halam Nurten VARDAR ve eşi Orhan VARDAR'a, canımdan çok sevdiğim anneciğim İltan OKAY'a, şu anda benim oturduğum sıralarda oturan canım kardeşim Ferzan OKAY'a, ve yine İTÜ'den mezun inşaat mühendisi babam İsmet OKAY'a teşekkürlerimi arz ederim.

Mayıs 2009 Nusret Okay

(İnşaat Mühendisi-Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **ixi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiii**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**

1. GİRİŞ **1**
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı **1**

2. PERFORMANS KAVRAMI **3**
2.1 Giriş **3**
2.2 Mevcut Binalardan Bilgi Toplanması ve Bilgi Düzeyleri **3**
2.2.1 Sınırlı bilgi düzeyi 4
2.2.2 Orta bilgi düzeyi 5
2.2.3 Kapsamlı bilgi düzeyi 5
2.3 Betonarme Elemanların Kesit Hasar Sınırları ve Bölgeleri **5**
2.3.1 Betonarme elemanların kesit hasar sınırları 5
2.3.2 Betonarme elemanların kesit hasar bölgeleri 6
2.4 Taşıyıcı Sistem Deprem Performans Seviyeleri **7**
2.4.1 Hemen kullanım performans seviyesi 7
2.4.2 Can güvenliği performans seviyesi 7
2.4.3 Göçme öncesi performans seviyesi 8
2.4.4 Göçme durumu performans seviyesi 9
2.5 Deprem Etkisi **9**
2.6 Binalar İçin Performans Hedefleri **10**
2.7 Bina İçin Seçilen Hedef Performans Düzeyi **11**

3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ **13**
3.1 Giriş **13**
3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri Kavramları **13**
3.3 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri **14**
3.3.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi 14
3.3.1.1 Yöntemin amacı 14
3.3.1.2 Yöntemin kullanılabilme koşulları 14
3.3.1.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi kabulleri 15
3.3.1.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü için adım adım işlemler 20
3.3.1.5 Statik itme eğrisinin belirlenmesi 22
3.3.1.6 Deprem talep eğrisinin belirlenmesi 23

3.3.1.7 Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi 23
3.3.1.8 Deprem talep eğrisi eksen değişimi 25
3.3.1.9 Modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilmesi 25
3.3.1.10 Doğrusal ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme 27
3.3.1.11 Spektral yerdeğiştirme oranı 27
3.3.1.12 Bina güvenlik seviyesinin belirlenmesi..... 29
3.3.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi..... 30
3.3.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi 30

4. ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÖNTEMİ İLE ÇOK KATLI ÖRNEK BİR BETONARME BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ 33

4.1. Giriş 33
4.2 Yapı Bilgileri 33
4.2.1 Bina hakkında genel bilgiler 33
4.2.2 Kolon, kiriş ve perde özellikleri 36
4.3 Yapıya Etki Eden Yükler 37
4.3.1 Düşey yükler 37
4.3.1.1 Ölü yükler..... 37
4.3.1.2 Hareketli yükler..... 37
4.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması ve tanıtılması 37
4.3.2 Yatay yükler 37
4.4 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabilirliği 39
4.5 Yapının Modellenmesi ve İtme Analizi 40
4.5.1 Doğrusal elastik analiz 40
4.5.1.1 Malzeme ve kesit özelliklerinin sisteme tanıtılması 40
4.5.1.2 Düşey yüklerin sisteme tanıtılması 41
4.5.1.3 Yapı modelinin analize hazır hale getirilmesi..... 41
4.5.2 Doğrusal elastik olmayan analiz 42
4.5.2.1 Yapıya etkiyen yatay yüklerin hesabı 42
4.5.2.2 Etkin eğilme rijitliklerinin hesaplanması 47
4.5.2.3 Sisteme plastik mafsalların tanıtılması..... 47
4.5.2.4 Analiz dosyalarının tanımlanması..... 49
4.6 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü İle İtme Analizi Sonuçları..... 50
4.6.1 X yönü için eşdeğer deprem yükü ile itme analizi sonuçları 50
4.6.2 Y yönü için eşdeğer deprem yükü ile itme analizi sonuçları 51
4.7 Hedef Deplasman Sınırının Belirlenmesi 52
4.7.1 X yönü için hedef deplasman sınırının belirlenmesi..... 52
4.7.1.1 X yönü için modal kapasite eğrisinin elde edilmesi..... 52
4.7.1.2 Talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin çakıştırılması 55
4.7.2 Y yönü için hedef deplasman sınırının belirlenmesi..... 57
4.7.2.1 Y yönü için modal kapasite eğrisinin elde edilmesi..... 57
4.7.2.2 Talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin çakıştırılması 59
4.8 Gerçek Hedef Deplasman Değeri İle Analizin Tekrarı..... 60
4.8.1 X yönü için kesit hasar tespiti 64
4.8.2 Y yönü için kesit hasar tespiti 66
4.9 Bina Performans Seviyesinin Belirlenmesi 67

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 69

KAYNAKLAR 71

EKLER..... 73

ÖZGEÇMİŞ..... 99

KISALTMALAR

ATC-40 **:** Applied Technology Council-40 No'lu Raporu
BS **:** Beton Sınıfı
BÇ **:** Beton Çeliği
CG **:** Can Güvenliği Performans Seviyesi
DBYBHY **:** Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
GV **:** Kesit Güvenlik Sınırı
GÇ **:** Kesit Göçme Sınırı
GÖ **:** Göçme Öncesi Performans Seviyesi
HK **:** Hemen Kullanım Performans Seviyesi
MN **:** Kesit Minimum Hasar Sınırı
RC **:** Reinforced Concrete
TS **:** Türk Standardı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Deprem etkisi parametreleri 10
Çizelge 2.2 : Binalar için hedeflenen deprem performans hedefleri 11
Çizelge 3.1 : Etkin yer ivmesi katsayısı 16
Çizelge 3.2 : Spektrum karakteristik periyotları 16
Çizelge 3.3 : Hareketli yük katılım katsayısı 17
Çizelge 4.1 : Deprem hesabında dikkate alınacak düşey yükler 38
Çizelge 4.2 : X-X doğrultusu için burulma düzensizlikleri 39
Çizelge 4.3 : Y-Y doğrultusu için burulma düzensizlikleri 39
Çizelge 4.4 : Bina hakim titreşim periyotları 41
Çizelge 4.5 : X-X doğrultusu için artımsal eşdeğer deprem yükü dağıtımı 46
Çizelge 4.6 : Y-Y doğrultusu için artımsal eşdeğer deprem yükü dağıtımı 46
Çizelge 4.7 : X-X doğrultusu kapasite eğrisi dönüşüm değerleri 53
Çizelge 4.8 : X-X yönü statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi değerleri 54
Çizelge 4.9 : Y-Y doğrultusu kapasite eğrisi dönüşüm değerleri 57
Çizelge 4.10 : Y-Y yönü statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi değerleri 58
Çizelge 4.11 : Yapıdaki kolon ve perdeler için hesaplanan beton ve çelik şekildeğiştirme kapasiteleri 63
Çizelge 4.12 : X-X yönünde kiriş hasar durumları 65
Çizelge 4.13 : X-X yönünde kolon hasar durumları 65
Çizelge 4.14 : X-X yönünde perde hasar durumları 66
Çizelge 4.15 : Y-Y yönünde kiriş hasar durumları 66
Çizelge 4.16 : Y-Y yönünde perde hasar durumları 67
Çizelge A.1.a : Kirişlere etkiyen yükler (8. kat hariç) 75
Çizelge A.1.b : 8. kat kirişlerine etkiyen yükler 76
Çizelge A.2 : Kolon boyut kontrolü ve çatlamış kesit eğilme rijitlikleri 77
Çizelge B.1.a : X-X yönünde 1. kat kirişleri hasar sınırı 82
Çizelge B.1.b : X-X yönünde 2. kat kirişleri hasar sınırı 83
Çizelge B.1.c : X-X yönünde 3. kat kirişleri hasar sınırı 84
Çizelge B.1.d : X-X yönünde 4. kat kirişleri hasar sınırı 85
Çizelge B.1.e : X-X yönünde 5. kat kirişleri hasar sınırı 86
Çizelge B.1.f : X-X yönünde 6. kat kirişleri hasar sınırı 87
Çizelge B.1.g : X-X yönünde 7. kat kirişleri hasar sınırı 88
Çizelge B.1.h : X-X yönünde 8. kat kirişleri hasar sınırı 88
Çizelge B.2.a : Y-Y yönünde 1. kat kirişleri hasar sınırı 89
Çizelge B.2.b : Y-Y yönünde 2. kat kirişleri hasar sınırı 90
Çizelge B.2.c : Y-Y yönünde 3. kat kirişleri hasar sınırı 91
Çizelge B.2.d : Y-Y yönünde 4. kat kirişleri hasar sınırı 92
Çizelge B.2.e : Y-Y yönünde 5. kat kirişleri hasar sınırı 93
Çizelge B.2.f : Y-Y yönünde 6. kat kirişleri hasar sınırı 94
Çizelge B.2.g : Y-Y yönünde 7. kat kirişleri hasar sınırı 95
Çizelge B.2.h : Y-Y yönünde 8. kat kirişleri hasar sınırı 96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : DBYBHY 2007 Betonarme elemanların kesit hasar bölgeleri 7
Şekil 3.1 : Spektrum katsayısı S(T) 16
Şekil 3.2 : Moment – Plastik dönme eğrisi 20
Şekil 3.3 : Statik itme eğrisi 22
Şekil 3.4 : Yükleme-Yerdeğiştirme 22
Şekil 3.5 : Tasarım depremi için spektrum eğrisi 23
Şekil 3.6 : Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi 23
Şekil 3.7 : Deprem talep eğrisi eksen değişimi 25
Şekil 3.8 : Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi 26
Şekil 3.9 : Deprem talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin birlikte gösterimi 26
Şekil 3.10 : $T_1^{(1)} \geq T_B$ durumu için elastik spektrum ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi 27
Şekil 3.11 : Modal kapasite diyagramı bilineer gösterimi 28
Şekil 3.12 : $T_1^{(1)} \leq T_B$ durumu için elastik spektrum ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi 29
Şekil 4.1 : Zemin kat kalıp yerleşim planı 34
Şekil 4.2 : Normal katlar kalıp yerleşim planı 35
Şekil 4.3 : 1.kat (zemin) duvar yüklemesi 41
Şekil 4.4 : Bina modeli 42
Şekil 4.5 : İdealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi 48
Şekil 4.6 : SAP 2000 programına PDUSEY yüklemesinin tanımlanması 49
Şekil 4.7 : SAP 2000 programına POY yüklemesinin tanımlanması 50
Şekil 4.8 : Yapının X yönündeki taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi grafiği 51
Şekil 4.9 : Yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi grafiği 52
Şekil 4.10 : Yapının X yönündeki elastik modal kapasite eğrisi 53
Şekil 4.11 : Z2 sınıfı zemin karakteristikli spektrum eğrisi 55
Şekil 4.12 : %5 Sönümlü tasarım depremi için elastik deprem talep spektrumu 55
Şekil 4.13 : Yapının X yönü için spektral hedef deplasman değerinin belirlenmesi 56
Şekil 4.14 : Yapının Y yönündeki elastik modal kapasite eğrisi 59
Şekil 4.15 : Yapının Y yönü için spektral hedef deplasman değerinin belirlenmesi 60
Şekil 4.16 : X yönü için yapılan analiz sonucu ortaya çıkan plastik mafsallar 61
Şekil 4.17 : Y yönü için yapılan analiz sonucu ortaya çıkan plastik mafsallar 61
Şekil 4.18 : Çift donatılı birleşik eğilme altındaki kirişin gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı 62
Şekil 4.19 : 70x35 kolon kesit modeli 62
Şekil 4.20 : 70x35 kolon X-X yönü performans düzeyleri 64
Şekil A.1 : Kolon kesitleri 73
Şekil A.2 : Kiriş kesiti 73
Şekil A.3 : Bina kesitleri 74
Şekil B.1.a : 105x35 kolon X-X yönü performans düzeyleri 96
Şekil B.1.b : Perde X-X yönü performans düzeyi 97
Şekil B.1.c : Perde Y-Y yönü performans düzeyi 97

SEMBOL LİSTESİ

$\mathbf{A_0}$: Etkin yer ivmesi katsayısı

$\mathbf{A(T)}$: Spektral ivme katsayısı

$\mathbf{a}_1^{(i)}$: i. itme adımı sonunda elde edilen, birinci moda ait modal ivme

$\mathbf{C_{R1}}$: Spektral yerdeğiştirme oranı

$\mathbf{D_f}$: Dayanım fazlalığı

$\mathbf{d}_1^{(i)}$: i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme

$\mathbf{d}^{e}$: Elastik yerdeğiştirme

$\mathbf{d}^{ep}$: Elasto-plastik yerdeğiştirme

$\mathbf{(EI)_e}$: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği

$\mathbf{(EI)_0}$: Çatlamamış kesite ait etkin eğilme rijitliği

$\mathbf{E_c}$: Betonun elastisite modülü

$\mathbf{E_s}$: Beton çeliğinin elastisite modülü

$\mathbf{f_{cd}}$: Betonun hesap basınç dayanımı

$\mathbf{f_{ck}}$: Betonun karakteristik basınç dayanımı

$\mathbf{f_{cm}}$: Mevcut beton dayanımı

$\mathbf{f_{ym}}$: Mevcut donatı akma gerilmesi

$\mathbf{G_i}$: i. katın sabit yüklerinden oluşan ağırlık

$\mathbf{g}$: Yerçekimi ivmesi

$\mathbf{H}$: Çalışan doğrultudaki kesit boyu

$\mathbf{H_i}$: i. katın yerden yüksekliği

$\mathbf{I}$: Bina önem katsayısı

$\mathbf{L_p}$: Plastik mafsal boyu

$\mathbf{m_i}$: i. kata ait kütle

$\mathbf{N}$: Binadaki bodrum üzeri kat sayısı

$\mathbf{N_d}$: Kolondaki normal kuvvet

$\mathbf{n}$: Hareketli yük katılım katsayısı

$\mathbf{n_{bi}}$: Burulma düzensizliği katsayısı

$\mathbf{R}$: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

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

$\mathbf{Q_i}$: i. katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlık

$\mathbf{S(T)}$: Spektrum katsayısı

$\mathbf{S_{ae}(T)}$: Elastik spektral ivme

$\mathbf{S_{di1}}$: 1. moda ait doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme

$\mathbf{T}$: Bina doğal periyodu

$\mathbf{T_{A-B}}$: Zemin spektrum karekteristik periyotları

$\mathbf{U_{xN1}}$: Binanın N. katında x deprem doğrultusundaki yerdeğiştirme

$\mathbf{V_b}$: Taban kesme kuvveti

$\mathbf{V_t}$: Toplam eşdeğer deprem yükü

$\mathbf{W}$: Bina toplam ağırlığı

$\mathbf{w_i}$: i. katın ağırlığı

$\boldsymbol{\beta}$: Modal kütle katılım oranı

$\boldsymbol{\delta}$: Yerdeğiştirme

Δ_i : Binanın i. katındaki azaltılmış göreli kat ötelemesi

$\mathbf{(\Delta_i)_{ort}}$: Binanın i. katındaki ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi

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

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

$\boldsymbol{\varepsilon_{cg}}$: Etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi

$\boldsymbol{\varepsilon_s}$: Donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi

$\boldsymbol{\varepsilon_{su}}$: Beton çeliğinin akmaya karşı gelen en büyük birim boy değişimi

$\boldsymbol{\Phi_{xN1}}$: Binanın tepesinde (N.katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait modal genlik

$\boldsymbol{\Phi_{i1}}$: i. katın yanal yerdeğiştirmesi

$\boldsymbol{\Phi_p}$: Plastik eğrilik istemi

$\boldsymbol{\Phi_t}$: Toplam eğrilik istemi

$\boldsymbol{\Phi_y}$: Eşdeğer akma eğriliği

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

$\boldsymbol{\theta_p}$: Kesitte oluşan plastik dönme

ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİYLE ÇOK KATLI BETONARME BİR BİNANIN PERFORMANS SEVİYESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, performans kavramı çerçevesinde deprem talep etkisi göz önünde bulundurularak, "DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2007"de anlatılan, doğrusal olmayan bir yöntem olan "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" kullanılmış ve yapı güvenliğinin belirlenmesi konu edilmiştir. Ayrıca 8 katlı betonarme bir yapı üzerinde konunun detaylı irdelemesi ve anlatılan yöntemin uygulaması yapılarak incelenen konunun örneklemesi yapılmıştır.

Sunulan bu çalışmanın birinci bölümünde konuya kısa bir giriş yapılmış ve çalışmanın amacı belirtilmiştir.

İkinci bölümde DBYBHY 2007'de anlatılan performans kavramı ve seviyeleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mevcut binalardan bilgi toplanması ve bilgi düzeylerinden bahsedilmiş, öngörülen deprem etkileri açıklanmış ve eleman bazında hasarlardan yapı bazındaki hasara geçiş konuları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi Yöntemi" ayrıntılı olarak açıklanmış, yöntemin uygulanmasında izlenecek adımlar belirtilmiş ve DBYBHY 2007'de bahsedilen diğer doğrusal olmayan statik analiz yöntemleri anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, "Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi" ile performans seviyesi belirlenecek olan 8 katlı betonarme bir bina incelenmiştir. Yapı bilgilerinden ve yapıya etki eden yüklerden bahsedilmiş, statik itme analizi SAP 2000 yazılımı ile yapılmış ve sonuçlar incelenmiştir. Talep edilen sismik yer hareketi ve kapasite eğrisinin birleştirilmesi ile hedef yerdeğiştirme sınırı elde edilmiştir. Bu sınıra karşı gelen hasar dağılımı sonucunda yapının performans seviyesi belirlenmiştir.

Son bölümde analiz sonuçları değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

DETERMINATION OF THE EARTHQUAKE PERFORMANCE OF A MULTISTOREY REINFORCED CONCRETE BUILDING BY INCREMENTAL EQUIVALENT EARTHQUAKE LOAD METHOD

SUMMARY

In this study, the seismic safety level of a RC structure is evaluated with nonlinear analysis method, “Incremental Equivalent Earthquake Load Method” that is described in DBYBHY 2007 depending on the performance concept. Besides, the practice of the method is assigned on an eight storey RC structure that has been designed regarding the DBYBHY 2007.

In the first chapter, it has been made an introduction to subject and the aim of the study determined.

In the second chapter, the performance concept and the performance levels for frame elements and whole structures that determined in DBYBHY 2007 are examined in detail. Moreover, gathering information and knowledge of existing buildings are mentioned. Besides, element and structure damages, predicted earthquake effects are examined.

In the third chapter, “Incremental Equivalent Earthquake Load Method” is explained in detail. The steps of the processes are respectively described and other nonlinear static analysis methods, which are described in DBYBHY 2007, are discussed.

In the fourth chapter, the seismic safety level of an eight-storey RC building is determined by the method of “Incremental Equivalent Earthquake Load Method”. General structure information and loads are explained. Pushover analysis is made by using SAP 2000 software and the results are examined. The target limit of the displacement is obtained by combining the spectrum of the strong ground motion spectrum and capacity curve. Due to this limit, the performance level of the structure is determined through the damage percentage.

In the final part, the results of the analyses are discussed and interpreted.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Ülkemizde yaşanılan depremler büyük hasarlara ve can kayıplarına neden olmaktadır. Bu hasarların ve can kayıplarının en önemli nedeni, binaların depreme dayanıklı yapılmamış olmasıdır. Gelecekte meydana gelecek ve yerleşim bölgelerini etkileyecek depremlerde deprem zararlarının azaltılabilmesi için, öncelikle mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi gereklidir. Ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren DBYBHY 2007'nin 7. bölümünde mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemler açıklanmıştır.

Doğrusal elastik hesap yöntemleri belli bazı katsayılarla yaklaşık sonuçlar verebilse de, deprem sırasında oluşabilecek hasar büyüklükleri ve tipleri hakkında verdiği bilgiler yapı deprem güvenliğinin belirlenmesi için yetersiz kalmaktadır. Doğrusal elastik olmayan yöntemlerle ise farklı deprem kuvvetleri etkisi altında yapının göçme anına kadarki davranışı belirlenebilmektedir.

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerle mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi için önce taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik ve mekanik özelliklerine göre kesit kapasitelerinin hesaplanması gerekir. Sonra göz önüne alınacak deprem etkisinin seçilmesi ve bu depremde binada ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yerdeğiştirmelerin belirlenmesi gereklidir. Son olarak ise eleman ve kesitlerde bulunan kapasite ve talep karşılaştırılır ve taşıyıcı sistem performans durumu belirlenir. Performansın kabul edilebilir olup olmadığına karar verilir.

Yapılan bu çalışmada, performans kavramı ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden bahsedilmiş ve Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile itme analizi yöntemi detaylı olarak ele alınmıştır. Uygulama kısmında ise, sekiz katlı örnek bir betonarme konut binasının deprem performansı belirlenmiştir ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. PERFORMANS KAVRAMI

2.1 Giriş

DBYBHY 2007, deprem bölgelerinde bulunan bina türündeki yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde kullanmak üzere çeşitli yöntemler sunmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarını şekil değiştirme temeline dayalı, doğrusal elastik olmayan yöntemler oluşturmaktadır. Şekildeğiştirme temeline dayalı bu yöntemlerde ortak amaç, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemlerinin, gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanması ve bu istemlerin kesitlerin şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılmasıyla kesit ve bina düzeyinde deprem performansı değerlendirilmesinin yapılmasıdır [1].

Binaların deprem performansı yeni bir kavramdır. Deprem performansı, “belirli bir deprem etkisi altında bir binada oluşabilecek hasarların düzeyi ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumu” olarak tanımlanabilir.

Mevcut bir binanın deprem performansının belirlenebilmesi için öncelikle o binanın yapısal durumunun bilinmesi gereklidir. Mevcut binadan toplanan yapısal sistem özellikleri, boyutlar, malzeme ve detaylarla ilgili bilgiler kullanılarak binanın yapısal modeli oluşturulur ve deprem etkileri altında elemanlarda meydana gelecek iç kuvvetler ve şekildeğiştirmeler hesaplanır.

Bu bölümde DBYBHY 2007’de belirtilen, mevcut binalardan bilgi toplanması, binalardaki yapısal elemanların hasar sınır ve bölgeleri, bina performans seviyeleri, deprem risk seviyeleri ve binalar için hedeflenen performans düzeyleri üzerinde durulacaktır.

2.2 Mevcut Binalardan Bilgi Toplanması ve Bilgi Düzeyleri

Mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesinde taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının belirlenmesi için binanın taşıyıcı sistemi konusunda bilgi toplanması gerekir. Taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitelerinin belirlenmesinde ve

deprem dayanımlarının değerlendirilmesinde kullanılacak eleman detayları ve boyutları, taşıyıcı sistem geometrisine ve malzeme özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden ve raporlarından, binada yapılacak gözlem ve ölçümlerden, binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerle elde edilir.

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

Binanın incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre, her bina türü için Bilgi Düzeyi ve buna bağlı olarak Bilgi Düzeyi Katsayısı tanımlanır. Bilgi düzeyleri sırasıyla, Sınırlı, Orta ve Kapsamlı olarak sınıflandırılır. Elde edilen bilgi düzeyleri yapısal eleman kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılır.

2.2.1 Sınırlı bilgi düzeyi

Bina taşıyıcı sistem projeleri mevcut değildir. Taşıyıcı sistem özellikleri binada yapılacak ölçümler ile belirlenir. Elde edilen bilgiler tüm betonarme elemanların ve dolgu duvarların her kattaki yerini, eksen açıklıklarını, yüksekliklerini ve boyutlarını içerir. Bunlar binanın hesap modelinin oluşturulabilmesi için yeterli olmalıdır. Temel sistemi bina içinde veya dışında açılacak yeterli sayıda inceleme çukuru ile belirlenir. Binadaki kısa kolonlar ve benzeri olumsuzluklar kat planına ve kesitlere işlenir. Binanın komşu binalarla ilişkisi (ayrık, bitişik, derz var / yok) belirlenmelidir. Eleman detaylarının ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi için DBYBHY 2007 7.2.4.2 ve 7.2.4.3 de belirtilen kriterler gerçekleştirilmelidir. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında “f_{cm}” mevcut basınç dayanımı olarak beton örneği en düşük basınç dayanımı kabul edilecektir. Kapasite hesabında kullanılacak bilgi düzeyi katsayısı 0.70’dir.

Sınırlı bilgi düzeyi “Deprem Sonrasında Hemen Kullanımı Gereken Binalar” ile “İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar” için uygulanamaz.

2.2.2 Orta bilgi düzeyi

Eğer binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcut değilse, sınırlı bilgi düzeyine göre daha fazla ölçüm yapılması gerekir. Eğer mevcutsa sınırlı bilgi düzeyinde belirtilen ölçümler yapılarak proje bilgileri kontrol edilir. Eleman detaylarının ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi için DBYBHY 2007 7.2.5.2 ve 7.2.5.3 de belirtilen kriterler gerçekleştirilmelidir. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında "f_{cm}" mevcut basınç dayanımı olarak (ortalama basınç dayanımı – standart sapma) kabul edilir. Kapasite hesabında kullanılacak bilgi düzeyi katsayısı 0.90'dır.

2.2.3 Kapsamlı bilgi düzeyi

Binanın taşıyıcı sistem projeleri mevcuttur ve proje bilgilerinin kontrol edilmesi için yeterli düzeyde ölçüm yapılması gerekir. Eleman detaylarının ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi için DBYBHY 2007 7.2.6.2 ve 7.2.6.3 de belirtilen kriterler gerçekleştirilmelidir. Kesit ve eleman kapasitelerinin hesabında "f_{cm}" mevcut basınç dayanımı olarak (ortalama basınç dayanımı – standart sapma) kabul edilir. Kapasite hesabında kullanılacak bilgi düzeyi katsayısı 1.00'dır.

Bütün bilgi düzeylerinde "f_{ym}" donatı mevcut akma gerilmesi olarak donatı karakteristik gerilmesi kullanılır. Binanın bilgi düzeyine göre, eleman kapasitelerinin hesabında Bilgi Düzeyi Katsayıları kullanılır. Böylece bilgi toplamadaki belirsizlik göz önüne alınmış olur. Sınırlı bilgi düzeyinde belirsizlik daha büyük olduğu için kapasite % 30 oranında azaltılır. Buna karşılık kapsamlı bilgi düzeyinde belirsizliğin olmadığı kabul edilerek azaltma yapılmaz. Kapasite hesabında beton ve donatının malzeme dayanımları, "γ_m" malzeme katsayıları ile azaltılmaz ve mevcut malzeme dayanımları kullanılır.

2.3 Betonarme Elemanların Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

2.3.1 Betonarme elemanların kesit hasar sınırları

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) denklem (2.1), denklem (2.2) ve denklem (2.3) ile tanımlanmıştır [2].

• Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN): İlgili kesit için kesitin elastik ötesi davranışının başlangıcı tanımlanmaktadır. Kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{MN} = 0.010 \qquad (2.1)$$

• Kesit Güvenlik Sınırı (GV): İlgili kesit için kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışının sınırı tanımlanmaktadır. Etriye içindeki bölgenin dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01\,(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GV} = 0.040 \qquad (2.2)$$

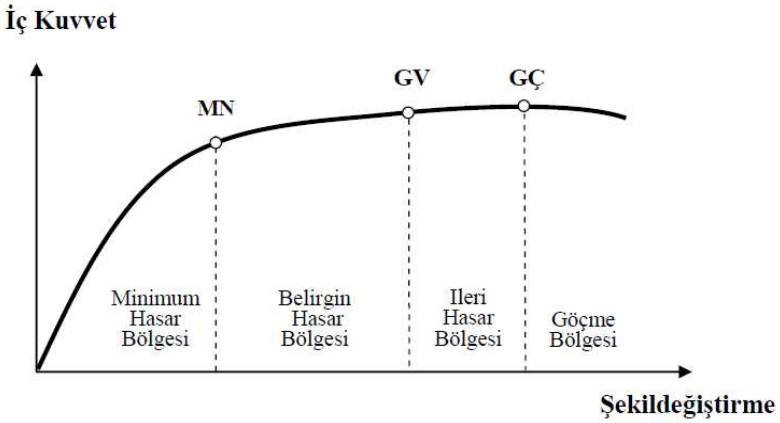
• Kesit Göçme Sınırı (GÇ): İlgili kesit için kesitin göçme öncesi davranışının sınırı tanımlanmaktadır. Etriye içindeki bölgenin dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları;

$$(\varepsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014\,(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \quad ; \quad (\varepsilon_s)_{GC} = 0.060 \qquad (2.3)$$

Burada göz önüne alınan enine donatıların özel deprem etriyeleri ve çirozları olarak düzenlenmiş olması zorunludur. Yukarıda belirtilen üst sınırlar incelendiğinde, hasar sınırının ilerlemesiyle donatıda daha büyük şekil değiştirmelere izin verildiği görülmektedir. Betonda minimum hasar sınırında, en dış betondaki ε_{cu} birim kısalması esas alınırken, güvenlik ve göçme sınırında enine donatı içinde kalan betonun ε_{cg} birim kısalması esas alınır [3].

2.3.2 Betonarme elemanların kesit hasar bölgeleri

Kritik kesitlerin 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, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde yer almaktadır [2]. Betonarme elemanların kesit hasar bölgeleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : DBYBHY 2007 Betonarme elemanların kesit hasar bölgeleri

2.4 Taşıyıcı Sistem Deprem Performans Seviyeleri

Deprem hasarları kiriş, kolon, perde ve birleşim bölgesi gibi elemanlarda meydana gelir. Eleman hasarlarının değerlendirilmesinde öncelikle hasarın incelenen elemanın sünek ya da gevrek davranışından kaynaklandığının belirlenmesi gerekir. Gevrek olarak hasar gören elemanlar göçmüş kabul edilir. Sünek olarak hasar gören elemanların hasarları ise hesaplanan iç kuvvet veya şekildeğiştirme düzeylerine göre DBYBHY 2007'de belirtilen kriterlere göre derecelendirilir. DBYBHY 2007'de, binaların deprem performansı, uygulanan deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasarların durumu ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu esas alınarak tanımlanmıştır. Değerlendirme, binanın her iki doğrultusu için ve her katta ayrı ayrı yapılmalıdır. Betonarme binaların deprem etkileri altında sağlaması gereken performans hedefleri aşağıda anlatılmıştır [2].

2.4.1 Hemen kullanım performans seviyesi

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

2.4.2 Can güvenliği performans seviyesi

Varsa gevrek elemanların sünek duruma getirilmesi şartı ile aşağıdaki koşulları sağlayan bina *Can Güvenliği Performans Düzeyi*'nde kabul edilir.

a. Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların (b) maddesi uyarınca tanımlanmış kesimi *İleri Hasar Bölgesi*'ne geçebilir.

b. *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında kalmalıdır. En üst katta *İleri Hasar Bölgesi*'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetleri toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

c. Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi* veya *Belirgin Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon zayıf kiriş şartının sağlandığı kirişler bu hesaba dahil edilmezler.

Açıklanan koşulların da gösterdiği üzere, en üst katın, taşıyıcı sistem kararlılığındaki etkisi diğer katlara göre daha azdır. Bunun yanında, kirişlerde oran olarak verilen hasar durumu kolonlarda kolon kesme kuvvetine bağlı olarak verilmiştir. Bu, kolonların hasar durumu bakımından birbirinden daha net ayrılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca kolonun iki ucunun da hasar bölgesine erişmesi, olumsuz bir durum olarak kabul edilmektedir.

2.4.3 Göçme öncesi performans seviyesi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların *Göçme Bölgesi*'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların *Göçme Öncesi Performans Düzeyi*'nde olduğu kabul edilir.

a. Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusu için, yapılan değerlendirmede, ikincil yani yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si *Göçme Bölgesi*'ne geçebilir.

b. Diğer taşıyıcı elemanların tümü *Minimum Hasar Bölgesi*, *Belirgin Hasar Bölgesi* veya *İleri Hasar Bölgesi*'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden *Minimum Hasar Sınırı* aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme

kuvvetlerinin, ilgili kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst birleşim bölgesinde her ikisinde birden yönetmelikte verilen güçlü kolon zayıf kiriş şartının sağlandığı kirişler bu hesaba dahil edilmezler.

Değerlendirme sonucu *Göçme Öncesi Performans Seviyesi*'nde olduğu düşünülen binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

2.4.4 Göçme durumu

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

2.5 Deprem Etkisi

Türkiye bir deprem ülkesi olup, yüzölçümünün %90'ı ve nüfusun %92'si deprem bölgesi içinde kalmaktadır. Yapılara gelen dış etkiler arasında deprem etkisi çok önemli bir yer tutmaktadır. Depremler, yer kabuğu içinde birikmiş olan potansiyel enerjinin, bir yerde, genel olarak fay denilen jeolojik kırıklar (çatlaklar) üstünde boşalması ile oluşan ve o bölgenin dengesini bozan, aniden meydana gelen, saniye ile ölçülen zaman süreleri içinde devam eden, kısa süreli hareketler olarak tanımlanmaktadır.

Yer hareketlerinin yatay ve düşey hareketleri yapılara da yansımaktadır. Düşey hareketler, yapının düşey statik yüklere karşı dayanıklı olarak boyutlandırılması sebebi ile ihmal edilmektedirler. Çünkü kolonlar düşey yükler etkisi ile önemli deformasyonlar yapmamaktadırlar. Fakat yatay hareketler kolonlarda kesme etkileri oluşturarak yapıların üst kısımlarında önemli ötelenmelere (deplasmanlara) neden olmaktadırlar. Bu nedenle yapılar genellikle yatay deprem kuvvetlerine karşı dayanıklı olarak tasarlanmakta ve boyutlandırılmaktadır. Depremden oluşan yer hareketinin ivmesi, yapıda atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu kuvvetler etkisi ile yapı harekete başlamaktadır.

Performansa dayalı tasarımda, talep edilen bina performans seviyesinin hangi büyüklükteki bir deprem etkisi altında elde edilmesi gerektiğinin belirlenmesi gerekir [4]. Mevcut binaların deprem güvenlik ve performanslarının değerlendirilmesinde

göz önüne alınmak üzere, DBYBHY 2007'de üç farklı deprem etkisi tanımlanmıştır. Bahsedilen deprem etkisi parametreleri Çizelge 2.1 ile gösterilmiştir.

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

• Tasarım Depremi: 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 474 yıl olan bu deprem, bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşı gelmektedir. Maksimum deprem ivmesi 0.4g olarak kabul edilir.

• En Büyük Deprem: 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu yaklaşık 2475 yıl olan bu deprem, bina önem katsayısı 1'den büyük olan toplumsal önemli yeni konut binaları için göz önüne alınan deprem etkisine karşı gelmektedir. Maksimum deprem etkisi tasarım depreminin 1.5 katı (0.6g) olarak kabul edilir.

Çizelge 2.1 : Deprem etkisi parametreleri

Deprem Türü	Maksimum Deprem Etkisi (g)	50 Yılda Aşılma Olasılığı	Ortalama Dönüş Periyodu
Kullanım Depremi	0.2	%50	72 Yıl
Tasarım Depremi	0.4	%10	474 Yıl
En Büyük Deprem	0.6	%2	2475 Yıl

2.6 Binalar İçin Performans Hedefleri

Deprem yönetmeliğinde, genel anlamda binaların küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliğini sağlayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmadan atlatması hedeflenir. Deprem performans hedefi de verilen bir deprem türü için yapıdan beklenen performans seviyesinin seçilmesidir. Yapıda depremden sonra nasıl bir hasar seviyesi ve bununla ilgili olarak nasıl bir performans seviyesi kabul edilecektir. Bunların belirlenmesinde hangi deprem esas alınacaktır. Bu iki sorunun cevabının birleştirilmesi ile "Bina Deprem Performans amacı" tanımlanır [5]. Farklı deprem düzeylerinde binalar için

hedeflenen minimum performans hedefleri Çizelge 2.2 ile gösterilmiştir. Burada da görüldüğü üzere, farklı deprem etkilerinin aşılma olasılıklarına göre çeşitli kullanım türlerindeki binalar için, hemen kullanım, can güvenliği veya göçme öncesi performans hedeflerinden birinin seçilmesi ve bina performansının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.2 : Binalar için hedeflenen deprem 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**	-

2.7 Bina İçin Seçilen Hedef Performans Düzeyi

Yapılacak örnek için, DBYBHY 2007'de tasarım depreminde konut tarzı binaların sağlaması gereken minimum performans düzeyi olan "Can Güvenliği Performans Seviyesi" seçilmiştir.

3. DOĞRUSAL ELASTİK OLMAYAN ANALİZ YÖNTEMLERİ

3.1 Giriş

DBYBHY 2007'de deprem hesabı ve performans değerlendirmesi için binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranış kabullerine dayalı, birbirinden oldukça farklı iki yöntem tanımlanmıştır. Bu bölümde doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden bahsedilecek ve ağırlıklı olarak Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi üzerinde durulacaktır.

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerin amacı, verilen bir deprem için öncelikle kesit bazında sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemlerinin ve gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükler, yine her kesit için tanımlanmış bulunan, şekildeğiştirme kapasiteleri ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılır, önce kesit bazında ve daha sonra bina bazında yapısal performans değerlendirmesi yapılır.

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinde artan yükler altında sistemde bulunan yapısal elemanlar sırayla kapasitelerine ulaştıkça bu elemanlar tarafından taşınamayan yüklerin diğer elemanlara dağılmasına izin verilir. Böylece iç kuvvet dağılımı doğrusal elastik yönteme göre daha gerçekçi bir şekilde hesaplanır.

3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri Kavramları

Doğrusal elastik olmayan yöntemlerinin değerlendirmesinde şekil değiştirme ve yerdeğiştirmeler göz önüne alınır. Belirli bir deprem yükü dağılımında binadaki yerdeğiştirme talebine ulaşıldığında, binanın beklenen performans hedefini sağlayıp sağlamadığı yani kapasitenin talebi karşılama yeterliliği kontrol edilir. Aşağıda kapasite, talep ve performans kavramları kısaca açıklanmıştır.

a) **Kapasite:** Mevcut bir binanın kapasitesi, taşıyıcı sistem elemanlarının geometrik ve mekanik özelliklerine bağlı olarak, binaya etkimesi muhtemel yatay ve düşey yükler altında, yönetmelikte belirtilen kurallar kapsamında hesaplanabilen dayanım ve deformasyon yeteneğidir. Bu yeteneğin sınırı

yapısal stabilitenin bozulduğu veya önceden belirlenen bir deplasman limitine ulaşıldığı andır. Elastik sınırlara kadar olan kapasiteyi belirlemek için doğrusal analiz yöntemleri yeterli görülebilir. Fakat elastik ötesi kapasiteyi belirlemek için doğrusal elastik olmayan analizlere ihtiyaç duyulur. Yapılacak itme analizinin sonucunda tepe yerdeğiştirmesi ve taban kesme kuvveti dikkate alınarak çizilen kapasite eğrisi ortaya çıkar.

b) **Talep:** Göz önüne alınan deprem etkisinde binada ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yerdeğiştirme değerleridir.

c) **Performans:** Belirli bir deprem etkisi altında bir binada oluşabilecek hasarların düzeyi ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumudur. Kapasitenin talebi karşılama durumu olarak düşünülebilir. Kapasite eğrisi ve talep deplasman bulunduktan sonra performans kontrolü yapılır.

3.3 Doğrusal Elastik Olmayan Analiz Yöntemleri

DBYBHY 2007 Bölüm 7 kapsamında üç adet doğrusal elastik olmayan analiz yöntemi tanımlanmıştır. Bunlar Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. Bu çalışma kapsamında, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile İtme Analizi ayrıntılı bir şekilde ele alınacak, diğer yöntemler hakkında özet bilgi verilecektir.

3.3.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

3.3.1.1 Yöntemin amacı

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 artırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır [2].

3.3.1.2 Yöntemin kullanılabilme koşulları

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi birinci modun hakim olduğu, bina kat sayısı ve burulma düzensizliğinin belli sınırlar altında kaldığı şartlarda uygulanabilir. Bu koşullar aşağıdaki gibidir.

a) Bina kat sayısı bodrum hariç 8'den ve bodrum üzerinde toplam bina yüksekliği 25 metreden fazla olmamalıdır.

b) Analizi yapılacak binadaki herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} < 1.4$ olmalıdır.

c) Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine oranının en az 0.70 olması gereklidir.

3.3.1.3 Artımsal eşdeğer deprem yükü ile itme analizi kabulleri

DBYBHY 2007 Bölüm 7.4 ve 7.6'da, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi için aşağıda listelenen kabuller öngörülmüştür.

1- Yeni binaların için tanımlanan deprem etkisinde kullanılan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım depremini esas almaktadır. Mevcut binaların değerlendirilmesinde ise, binanın kullanım amacına ve türüne bağlı olarak, tasarım depreminin yanında, 50 yılda aşılma olasılığı % 50 olan kullanım depremi ve 50 yılda aşılma olasılığı % 2 olan en büyük deprem düzeyleri tanımlanmıştır. Kullanım depremi için tanımlanan spektrum ordinatları, tasarım depremi için tanımlanan ordinatların yaklaşık yarısı olarak alınacaktır. En büyük deprem için tanımlanan spektrum ordinatları ise, tasarım depremi için tanımlanan ordinatların yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir. Bahsedilen deprem etkisi parametreleri Bölüm 2.5'te Çizelge 2.1 ile gösterilmiştir. Deprem hesabında, yeni binaların tasarımında kullanılan bina önem katsayısı (I) kullanılmayacaktır. Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak Spektral İvme Katsayısı, A(T), denklem (3.1) ile verilmiştir. Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesinin (g) çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0.I.S(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T).g \qquad (3.1)$$

Denklem (3.1)'de tanımlanan Etkin Yer İvmesi Katsayısı $A_{0,}$ Çizelge 3.1'de tanımlanmıştır.

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

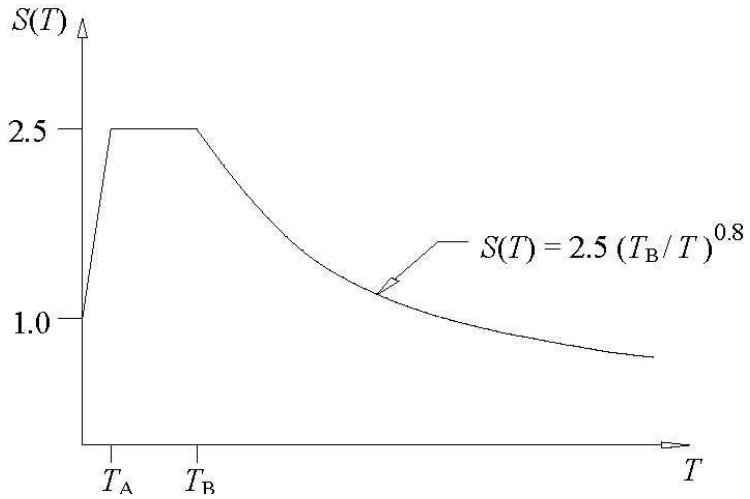
Çizelge 3.1 : Etkin yer ivmesi katsayısı

Denklem (3.1)'de tanımlanan Spektrum Katsayısı S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu (T)'ye bağlı olarak denklem (3.2) ile hesaplanır (Şekil 3.1).

$$S(T)=1+1.5\frac{T}{T_A} \qquad 0\le T\le T_A$$

$$S(T) = 2.5 \qquad T_A \le T \le T_B \qquad (3.2)$$

$$S(T) = 2.5\ [\frac{T_B}{T}]^{0.8} \qquad T_B \le T$$



Şekil 3.1: Spektrum katsayısı S(T)

Denklem (3.2)'de tanımlanan Spektrum Karekteristik Periyotları, T_A ve T_B, DBYBHY 2007'de tablo 6.2 ile tanımlanan Yerel Zemin Sınıfları'na bağlı olarak, Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Spektrum karakteristik periyotları

DBYBHY 2007 Tablo 6.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

2- Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey yüklerin ve deprem etkilerinin birleşik etkileri altında değerlendirilecektir.

3- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.

4- Binanın taşıyıcı sistem modeli, deprem etkileri ile düşey yüklerin ortak etkileri altında yapı elemanlarında oluşacak iç kuvvet, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirmeleri hesaplamak için yeterli doğrulukta hazırlanacaktır.

5- Deprem hesabında göz önüne alınacak w_i kat ağırlıkları denklem (3.3) ile tanımlanmıştır.

$$w_i = g_{i+} n.q_i \tag{3.3}$$

Burada g_i, sabit yükleri, q_i, hareketli yükleri, n hareketli yük katılım katsayısını tanımlamaktadır. DBYBHY 2007 Bölüm 2.7'de tanımlanan Hareketli Yük Katılım Katsayısı, çizelge 3.3 ile verilmiştir.

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Çizelge 3.3 : Hareketli yük katılım katsayısı

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı W denklem (3.4) ile tanımlanmıştır.

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \tag{3.4}$$

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t, denklem (3.5) ile gösterilmiştir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \tag{3.5}$$

Denklem (3.5) ile bulunan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü, bina katlarına etkiyen deprem yüklerinin toplamıdır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi için Toplam Eşdeğer Deprem Yükü'nün bina katlarına dağıtılması gerekmektedir. Bu, DBYBHY 2007 Bölüm 2.7'de açıklanmıştır.

6- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri gözönüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dışmerkezlik uygulanmayacaktır.

7- Mevcut binaların taşıyıcı sistemlerindeki belirsizlikler, Bölüm 2.2'de belirtilen bilgi düzeyi katsayıları ile hesap yöntemlerine yansıtılacaktır.

8- Mevcut beton ve donatı çeliği dayanımı olarak, DBYBHY 2007 Bölüm 7.2'de tanımlanan bilgi düzeylerine göre belirlenen dayanımlar esas alınacaktır.

9- Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin maksimum birim şekildeğiştirmesi 0.01 alınabilir.

10- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.

11- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, etkin eğilme rijitlikleri için aşağıda verilen değerler kullanılacaktır:

a) Kirişlerde: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$

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

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

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

12- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.

13- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir.

14- Zemindeki şekildeğiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zemin özellikleri analiz modeline yansıtılacaktır.

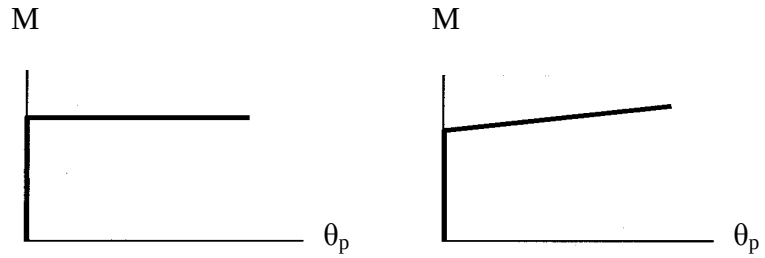
15- Malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışın idealleştirilebilmesi için, *yığılı plastik davranış modeli* esas alınmıştır. Basit eğilme durumunda *plastik mafsal hipotezine* karşı gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu kesit yüksekliğinin yarısı olarak kabul edilir [11].

16- Plastik mafsalların, deprem etkisinde en çok zorlanan kolon ve kirişlerin uçlarına, perdelerde ise her katta kat seviyesinde oluşabileceği kabul edilir.

17- 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.

18- Eğilme momenti yanında normal kuvvet de bulunan kolon kesitlerinde plastik mafsal kesitlerinin güç tükenmesi (karşılıklı etki) çizgilerinin (yüzeylerinin) mevcut malzeme dayanımları kullanılarak belirlenir ve eğrisel değişimin yeterli yaklaşıklıkla doğrularla ifade edilebileceği kabul edilebilir.

19- İç kuvvet-plastik şekildeğiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik moment artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 3.2a). 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 alınacaktır. Pekleşme etkisinin gözönüne alınması durumunda (Şekil 3.2b), 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 tanımlanacaktır.



Şekil 3.2 : Moment – Plastik dönme eğrisi

20- 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 tanımlanacaktır. 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 alınacaktır.

3.3.1.4 Artımsal eşdeğer deprem yükü için adım adım işlemler

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile performans değerlendirmesi adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir

1- Yöntemin kullanılabilmesi için gereken, Bölüm 3.3.1.2'de anlatılan şartların bina için uygunluğu kontrol edilir.

2- Binanın taşıyıcı sistem modeli, Bölüm 3.3.1.3'de belirtilen kabuller göz önüne alınarak, bilgisayar ortamında oluşturulur. Hareketli ve ölü yükler modele tanıtılır.

3- Modal genliklerle orantılı kat kesme kuvvetleri rijit diyafram olarak idealleştirilen döşemelerin bulunduğu katların kütle merkezlerine etkitilir. Bu analiz zati yükleri de kapsar. Eksantrisite ihmal edilebilir.

4- Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılır. Bu rijitlikler 3.3.1.3'de anlatılan kabullere göre bulunur.

5- Yapıyı oluşturan elemanların plastik mafsal özellikleri tanımlanır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu, çalışan

doğrultudaki kesit boyunun yarısına eşit alınacaktır. Genel olarak üç tip plastik mafsal kullanılır.

• PMM (P-M2-M3): Kolonlar için kullanılır. Kullanım yükleri altında, mevcut donatı ile moment eğrilik ilişkisini temsil eder.

• M3: Kirişler için kullanılır. Mevcut alt ve üst donatıya göre moment eğrilik ilişkisini temsil eder.

• P: Yalnızca normal kuvvet doğrultusunda çalışan elemanlar için kullanılır. Kullanım yükleri altında, mevcut donatı ile moment eğrilik ilişkisini temsil eder. Kafes elemanlar ve uçları mafsallı çelik çaprazlar için kullanılabilir.

6- 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. Konut tarzı yapılarda G+0.3Q yüklemesi uygundur.

7- İtme analizi tahmini bir deplasman değeri için uygulanır. Bu değer için bina yüksekliğinin % 2 ~ 4 mertebesi olasıdır. Tahmini hedef deplasman değeri normalin çok üstünde olursa, sistem bu deplasman sınırına ulaşamayacağından analiz tamamlanamaz.

8- İtme analizi sonucunda, taşıyıcı sisteme birinci (hakim) titreşim modu ve kat kütleleri ile orantılı uygulanan yatay yük etkisi altındaki, statik itme eğrisi elde edilir. Statik itme eğrisi bir eksen değişimine tabi tutularak modal kapasite eğrisine dönüştürülür.

9- Göz önüne alınan depreme bağlı olarak periyot-spektral ivme eğrisi oluşturulur. Bu eğriden spektral yerdeğiştirme-spektral ivme eğrisine geçilir.

10- Deprem talep ve sistem kapasite eğrileri karşılaştırılarak hedef deplasman sınırı tayin edilir.

11- Her iki yatay doğrultu için hedef deplasman üst sınır alınır ve itme analizi tekrarlanır.

12- Statik itme analizinin hedef deplasman sınırına ulaştığı son adımında elemanlardaki birim şekildeğiştirme, iç kuvvet ve dönmeler bulunur.

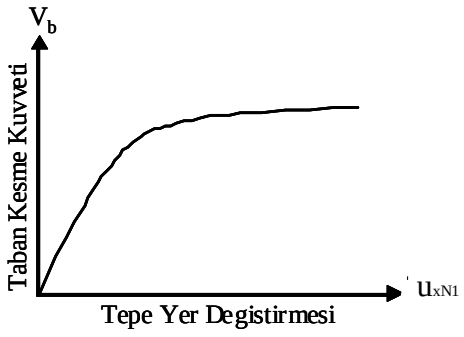
13- Bulunan şekildeğiştirmeler, kesit hasar sınırlarına karşı gelen beton ve donatı şekildeğiştirmeleri ile karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar bölgesi belirlenir.

14- Kiriş ve kolonların uç kesitleri için belirlenen hasar bölgeleri esas alınarak, taşıyıcı sistemin verilen deprem etkisindeki deprem performansı belirlenir.

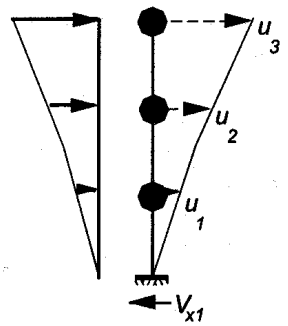
15- Bina için belirlenen performans düzeyinin kabul edilip edilmeyeceği kontrol edilir.

3.3.1.5 Statik itme eğrisinin belirlenmesi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nde yapısal kapasite statik itme eğrisi ile ifade edilir. (Şekil 3.3). Statik itme eğrisi, taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yatay yerdeğiştirmesi arasındaki bağıntı çizilerek elde edilir. Geometri düzeni, kesit, malzeme özellikleri ve elastik ötesi davranış dikkate alınarak taşıyıcı sistem adım adım yüklenir. Bu yüklemenin sonucunda taban kesme kuvveti ile yapının tepe noktasının yerdeğiştirmesi arasındaki statik itme eğrisi belirlenmektedir. (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 : Statik itme eğrisi

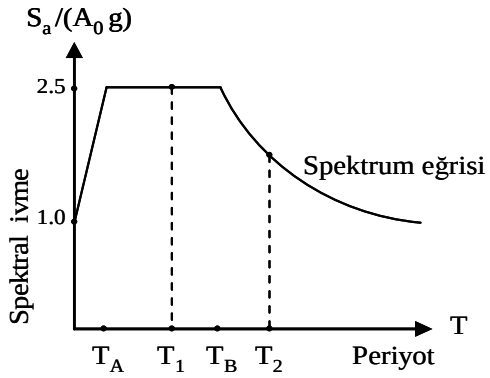


Şekil 3.4 : Yükleme-Yerdeğiştirme

1. moda (hakim moda) ait doğal titreşim periyodunun 1 saniye ya da daha az olduğu binalar için yüksek modların yapıya etkileri göz ardı edilebilir düzeydedir. Statik itme eğrisinde yatay kuvvet adım adım arttıkça, yatay yerdeğiştirmeler ve plastik şekildeğiştirmeler büyümektedir. Bu büyüme neticesinde sistemde plastik mafsallar oluşmakta ve taşıyıcı sistem elemanlarında hasar gözlenebilmektedir. Statik itme eğrisinin adımları, kesitlerde plastik mafsalların ortaya çıkış sırasının izlenmesi ve sistem davranışının değerlendirilmesi bakımından önemli bilgiler içerir [3].

3.3.1.6 Deprem talep eğrisinin belirlenmesi

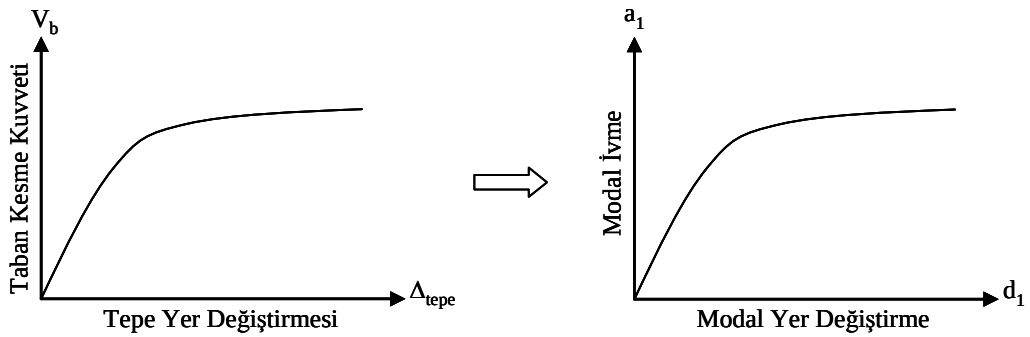
Deprem etkisi talep eğrisi spektrum eğrisi ile ifade edilmektedir. Deprem etkisi talep eğrisi, spektral ivme ile tablo 3.2'de tanımlanan ve yerel zemin sınıflarına göre belirlenen spektrum karakteristik periyotlarını baz alan eksenler arasındaki bağıntı çizilerek elde edilir. Tasarım Depremi, bina önem katsayısı 1 olan yeni konut binaları için göz önüne alınan, 50 yılda aşılma olasılığı % 10, ortalama dönüş periyodu yaklaşık 474 yıl olan deprem etkisine karşı gelmektedir. Şekil 3.5 ile Tasarım Depremi için tanımlanan spektrum eğrisi gösterilmiştir. Bölüm 2.5'de belirtilen farklı aşılma olasılıkları için tasarlanmış deprem talep spektrumları açıklanmıştır.



Şekil 3.5 : Tasarım depremi için spektrum eğrisi

3.3.1.7 Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi

Statik İtme Eğrisi, Deprem Talep Eğrisi ile bir araya getirilerek hedef deplasman noktası belirlenebilir. Bunun belirlenebilmesi için Statik İtme Eğrisi bir eksen değişimine tabi tutulur. V_{x1} toplam kuvvet (taban kesme kuvveti), α_1 modal ivmeye ve u_{N1} en üst katın yer değiştirmesi, d_1 modal yerdeğiştirmeye dönüştürülür. Bu dönüşüm denklemleri (3.6), (3.7), (3.8) ve (3.9) ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.6 : Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi

$$\Gamma_{x1}=\left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(m_i\phi_{i1})}{\sum_{i=1}^{N}(m_i\phi_{i1}^2)}\right] \tag{3.6}$$

$$M_1=\left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{N}(m_i\phi_{i1})\right)^2}{\sum_{i=1}^{N}(m_i\phi_{i1}^2)}\right] \tag{3.7}$$

$$a_1^{(i)} = \frac{V_b}{M_1} \tag{3.8}$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Gamma_{x1}\phi_{xN1}} \tag{3.9}$$

Formüllerde kullanılan semboller:

Γ_{x1} = 1. doğal titreşim modu için modal katkı çarpanı

m_i = i. kattaki toplanmış kütle

ϕ_{i1} = i. katın 1. moddaki kat yerdeğiştirmesi

M_1 = 1. moda ait etkin kütle

$a_1^{(i)}$ = i. itme adımı sonunda elde edilen, birinci moda ait modal ivme

V_b = taban kesme kuvveti

$d_1^{(i)}$ = i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait modal yerdeğiştirme

ϕ_{xN1} = binanın tepesinde (N. katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği

$u_{xN1}^{(i)}$ = binanın tepesinde (N. katında) x deprem doğrultusunda i. itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme

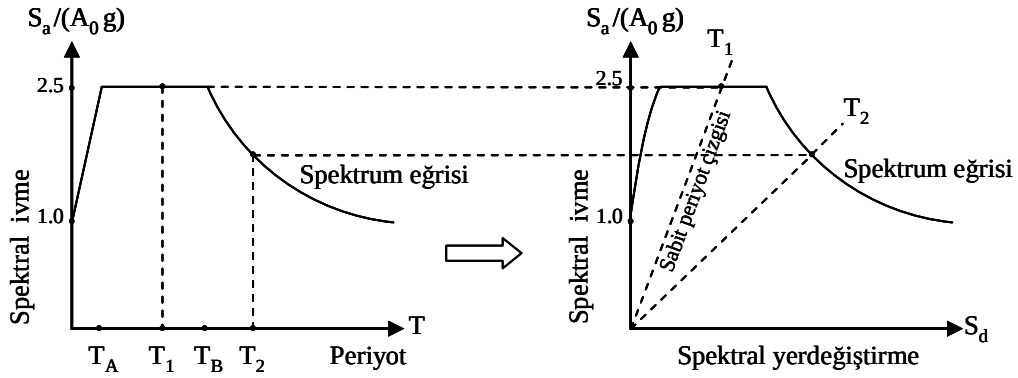
Statik itme eğrisini modal kapasite eğrisine dönüştürmek için önce denklem (3.6) ve (3.7) kullanılarak birinci doğal titreşim modu için modal katılım çarpanı Γ_1 ve 1. modal kütle M_1 hesaplanır. Daha sonra denklem (3.8) ve (3.9) kullanılarak statik itme

eğrisi (Taban kesme kuvveti-Tepe yerdeğiştirme eğrisi) modal kapasite eğrisine (Modal ivme-Modal Yerdeğiştirme eğrisine) dönüştürülür (Şekil 3.6).

3.3.1.8 Deprem talep eğrisi eksen değişimi

Modal kapasite eğrisinin deprem talep eğrisi ile bir araya gelebilmesi için eksen dönüşümüne ihtiyaç duyulur (Şekil 3.7). Denklem (3.10) kullanılarak bu dönüşüm gerçekleştirilir.

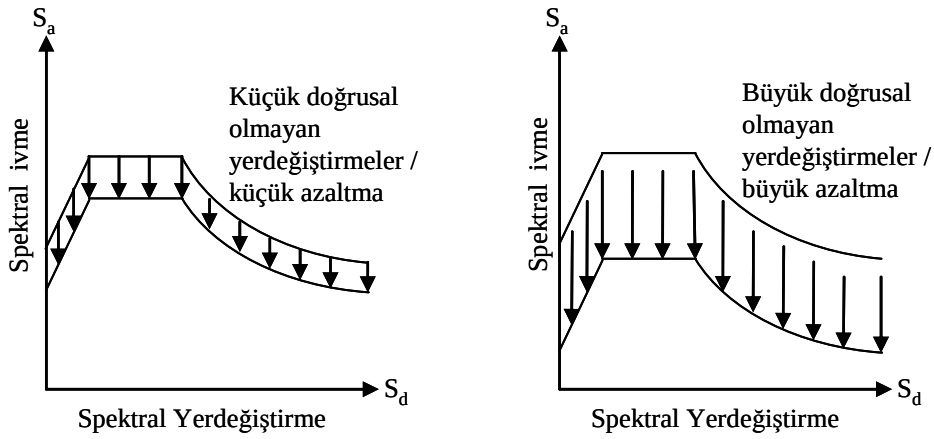
$$S_d = S_a \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \tag{3.10}$$



Şekil 3.7 : Deprem talep eğrisi eksen değişimi

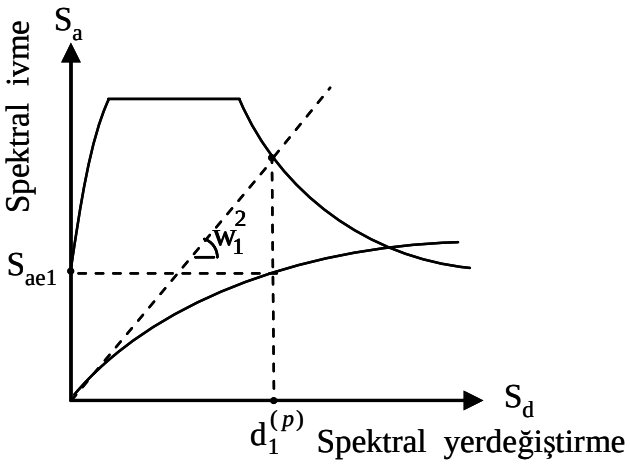
3.3.1.9 Modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin kesiştirilmesi

Modal kapasite ve deprem talep eğrilerinin kesiştirilmesi ile depremin talebine sistemin verdiği cevap yani karşı gelen denge durumu bulunur. Depremin talebi elastik spektrum eğrisi ile tanımlanmıştır. Buna karşılık sistemin kapasitesi doğrusal olmayan davranışla elde edilmiştir. Bu durumda, depremin elastik talep eğrisi, sistemin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak azaltılır ve kesişme noktası bulunur. Ancak, bu azaltma sistemin doğrusal olmayan davranışına bağlı olur. Büyük elasto-plastik yerdeğiştirmeler daha büyük sönüme sebep olacağı için elastik spektrum eğrisinin azaltılması da daha büyük olur (Şekil 3.8). Ancak talep eğrisinin bu tür azaltılması değişik parametreler bağlı olduğu için bağlı olduğu için seçilecek basit bir azaltma katsayısı ile bu işin yapılması kolay olmaz. DBYBHY 2007, kapasite eğrisinin talep eğrisi gibi elastik duruma çevrilmesi ile dönüşümün yapılmasını önerir. Bu işlem kapasite eğrisinin başlangıç teğetinin çizilmesiyle kolayca yapılabilir [3].



Şekil 3.8 : Elastik spektrum eğrisinin azaltılarak elasto-plastik spektrumun elde edilmesi

Çizilen teğetle elastik spektrum eğrisinin kesişimi ile hem göz önüne alınan depremin talebi ve hem de sistemin ona verdiği yatay yerdeğiştirme elde edilir. Ancak, her iki eğri de elastik tabanlı olduğu için bulunan nokta da sistemin elastik olmasına karşı gelir. Eşit yerdeğiştirme kuralı kullanılarak elastik sistem için elde edilen d_{max}^{e} elastik yerdeğiştirmeden, d_{max}^{ep} elasto-plastik olana geçilir (Şekil 3.9). Buna göre periyodu büyük olan yapılarda elastik ve elasto-plastik yerdeğiştirmelerin yaklaşık olarak eşit olduğu kabul edilirken, periyodu küçük olan yapılarda elasto-plastik yerdeğiştirme elastik yerdeğiştirmenin C_{R1} spektral yerdeğiştirme oranı ile büyütülmesi ile elde edilir [3].



Şekil 3.9 : Deprem talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin birlikte gösterimi

3.3.1.10 Doğrusal ve doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme

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 denklem (3.11) ile elde edilir [2].

$$S_{di1} = C_{R1}\, S_{de1} \tag{3.11}$$

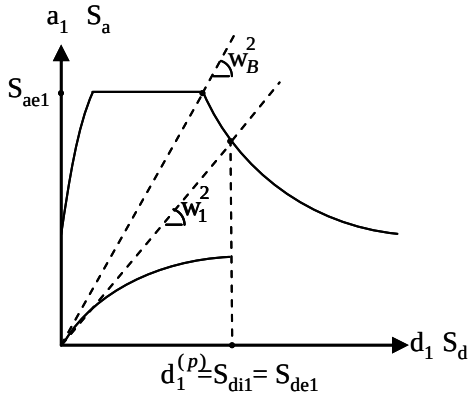
Doğrusal elastik (lineer) spektral yerdeğiştirme S_{de1}, itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1}'den denklem (3.12) ile hesaplanır [2].

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{\left(w_1^{(1)}\right)^2} \tag{3.12}$$

3.3.1.11 Spektral yerdeğiştirme oranı

Denklem (3.11) de yer alan spektral yerdeğiştirme oranı $C_{R1,}$ başlangıç periyodu olan $T_1^{(1)}$ in ($T_1^{(1)}=2\pi/w_1^{(1)}$) değerine bağlı olarak aşağıda anlatılan biçimlerde ifade edilebilir [2].

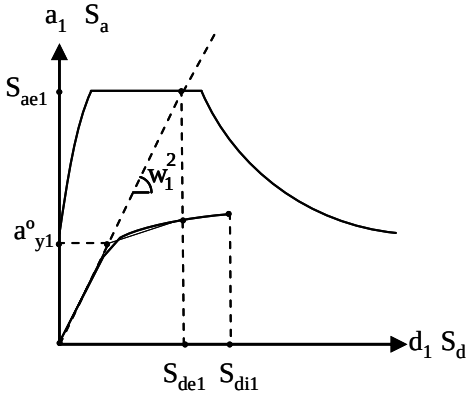
$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, tasarım depremi ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(w_1^{(1)})^2 \leq w_B^2$), doğrusal elastik olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme S_{di1}, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1}'e eşit alınacaktır (Şekil 3.10). Buna göre denklem (3.11) deki spektral yerdeğiştirme oranı $C_{R1} = 1$ alınır [2].



Şekil 3.10 : $T_1^{(1)} \geq T_B$ durumu için elastik spektrum ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, tasarım depremi ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(w_1^{(1)})^2 > w_B^2$) ise, spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} aşağıdaki şekilde hesaplanır [2].

a. İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 3.11 ile gösterildiği üzere, 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, $(w_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / w_1^{(1)}$).



Şekil 3.11 : Modal kapasite diyagramı bilineer gösterimi

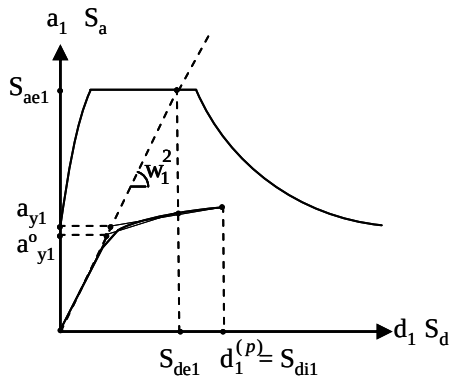
b. Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.12 de görülen a_{y1}^0 esas alınarak C_{R1} aşağıdaki denklem (3.13) ile şekildeki gibi tanımlanır [2].

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^1}{R_{y1}} \geq 1 \qquad (3.13)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir. R_{y1} aşağıdaki denklem (3.14) ile şekildeki gibi tanımlanır [2].

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \qquad (3.14)$$

Denklem 3.14 de bulunan C_{R1} kullanılarak denklem 3.14 e göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 3.12 ile 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 [2].



Şekil 3.12 : $T_1^{(1)} \leq T_B$ durumu için elastik spektrum ile kapasite eğrisinin kesiştirilmesi

Modal kapasite eğrisi ile deprem talep eğrisinin birleştirilmesi ile ortaya çıkan değerler kullanılarak yeni bir tepe noktası yerdeğiştirmesi istemi elde edilir. Analiz, ilk aşamalarda uygulanan itme analizinde talep edilen yer değiştirmeye ulaşılamamışsa, tekrarlanır. Yeni tepe noktası yerdeğiştirmesine ulaşıldığı adımdaki değerler, performans değerlendirmesinde kullanılır [2].

3.3.1.12 Bina güvenlik seviyesinin belirlenmesi

Performans noktasının belirlenmesinden sonra, depremin talebine karşı sistemin elasto-plastik davranışla yapacağı yerdeğiştirme, plastik mafsal yerleri, θ_p plastik mafsal dönmeleri ve dolayısıyla Φ_p plastik eğrilikler bulunur. Bu plastik eğriliklere kesitin plastikleşmeye erişinceye kadar yaptığı akma elastik eğriliği de eklenerek denklem (3.15) ile Φ_t toplam eğriliği bulunabilir [3]. Denklemdeki L_p plastik mafsal boyudur. L_p çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısı alınır.

$$\Phi_p = \theta_p / L_p \qquad \Phi_t = \Phi_y + \Phi_p \tag{3.15}$$

Plastik mafsal dönmeleri, taşıyıcı sistem elemanlarının plastik mafsal oluşan kısımlarından elde edilir. Eşdeğer akma eğriliği denklem (3.16) ile gösterilen Priestley formülü kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} \tag{3.16}$$

Toplam eğrilik belirlendikten sonra kesitteki şekil değiştirme durumu yani betonun en büyük kısalması ve donatının en büyük uzaması hesap edilebilir. Bu değerler Bölüm 2.3.1'de anlatılan performans durumlarına ait sınır değerlerle karşılaştırılarak kesitin bulunduğu hasar durumu elde edilir. Kesitten elemanlara ve sonra katlara

geçilerek binanın performans durumu ve yapı güvenliği tespit edilir [4]. Kesitlerde DBYBHY 2007 Ek 7B. de yer alan sargılı ve sargısız beton modelleri ve donatı çeliği modeli hakkındaki kurallar dikkate alınarak moment-eğrilik ilişkisi tanımlanmalıdır.

3.3.2 Artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizi, deprem istem limitine kadar her bir titreşim modunda monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak yapılır. Mod Birleştirme Yöntemi, ardışık iki plastik mafsal oluşumu arasındaki her bir itme adımında artımsal olarak uygulanır. Bu itme adımlarında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bu büyüklüklere ait birikimli değerler ve son itme adımında deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi, tüm binalara uygulanabilir.Bu yöntemde, önce doğrusal elastik sistemin titreşim modları hesaplanır ve her moda ait modal kuvvetler binaya birbirinden bağımsız şekilde ayrı ayrı uygulanarak statik itme analizi yapılır. Ancak her modun statik itme analizi sırasında oluşan elastik ötesi etkiler birbirlerinden bağımsız olamayacağı için bu durumun bazı ilave yaklaşık hesaplarla düzeltilmesi gerekir. Daha sonra elde edilen modal değerler bir istatistiksel yöntemle birleştirilir. Çok modlu statik itme analizi henüz gelişmekte olan bir araştırma konusudur. Kabul edilmiş standart bir yönteme sahip değildir. Çok modlu statik itme analizi için geliştirilmekte olan birbirinden farklı yöntemler vardır ve hepsi de birbirlerinden farklı sonuçlar vermektedir. Bu yöntemlerin içerdiği hesaplar oldukça karmaşıktır ve pratik olarak uygulanması pek de kolay değildir. İtme analizi yöntemlerinin hassasiyeti arttıkça, yapılan hesap miktarı zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemine yaklaşmakta ve amacını yitirmektedir. Bu nedenlerle de ülkemiz haricinde hiçbir ülkenin bina deprem yönetmeliğinde yer almamaktadır.

3.3.3 Zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile taşıyıcı sistemdeki nonlineer davranış gözönüne alınarak sistemin hareket denklemi artımsal olarak entegre edilir ve her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı

gelen maksimum değerleri hesaplanır [6]. Çözümü en kapsamlı olan bu yöntemde, kabuller çok fazladır ve bu, sonuçların yorumlanmasında özenli olmayı gerektirir. Ayrıca seçilen deprem kaydının yönetmelikte verilen spektrum eğrisi ile uyuşması ve olabildiğince çok sayıda kayıtlı çözüm yapılması önerilir. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi tüm binalara uygulanabilir.

4. ARTIMSAL EŞDEĞER DEPREM YÖNTEMİ İLE ÇOK KATLI ÖRNEK BİR BETONARME BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ

4.1 Giriş

Bu bölümde daha önceden inşa edilmiş, çerçeve taşıyıcı sistemle oluşturulmuş sekiz katlı betonarme bir binanın 3. bölümde anlatılan Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi kullanılarak doğrusal olmayan analizi yapılmış ve sonuç olarak bina performans seviyesi tespit edilmiştir.

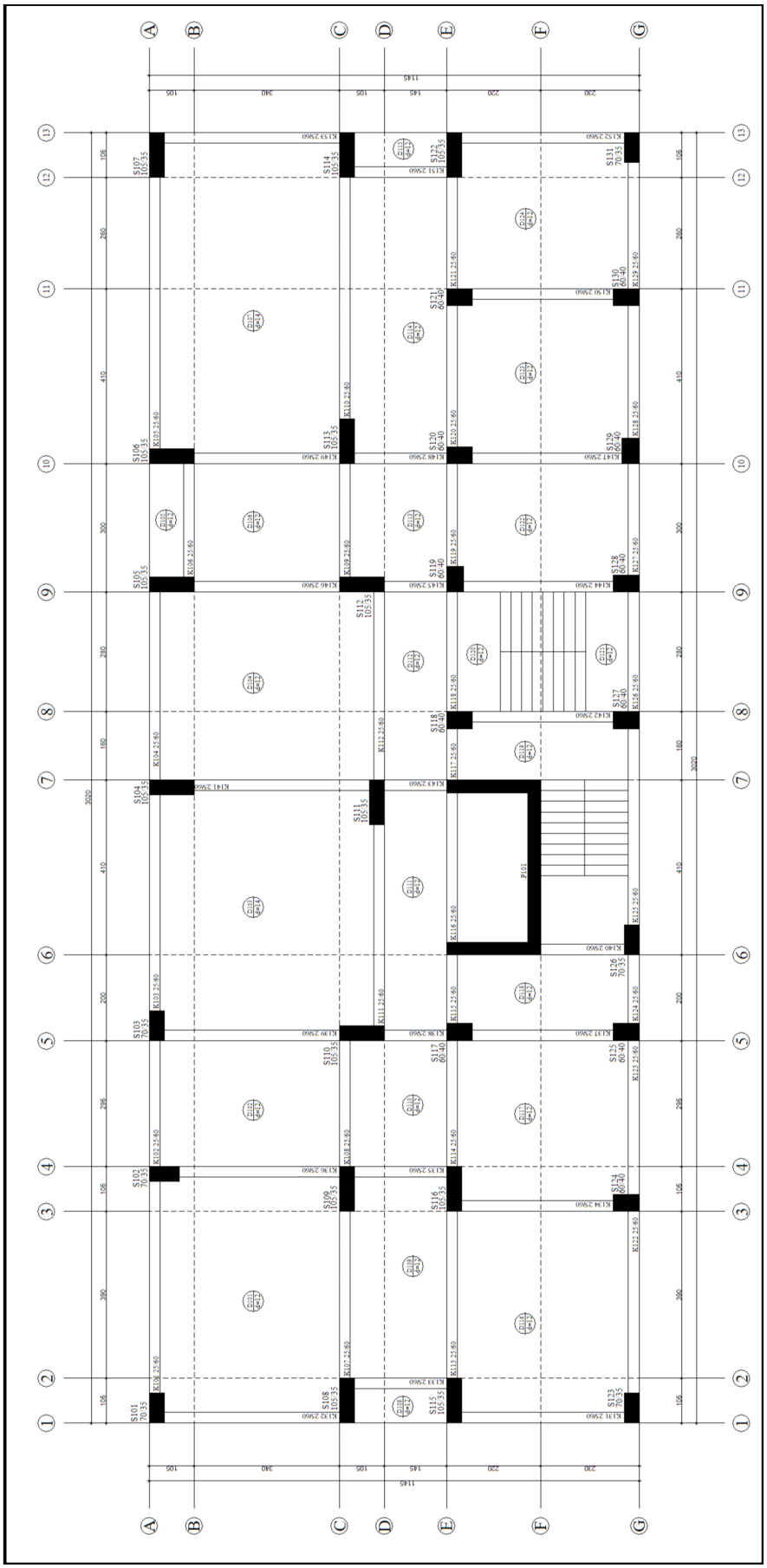
Bina tahkiki, doğrusal olmayan analiz yapabilen SAP 2000 V.11.00 ve XTRACT yazılımları kullanılarak yapılmıştır [7,8].

4.2 Yapı Bilgileri

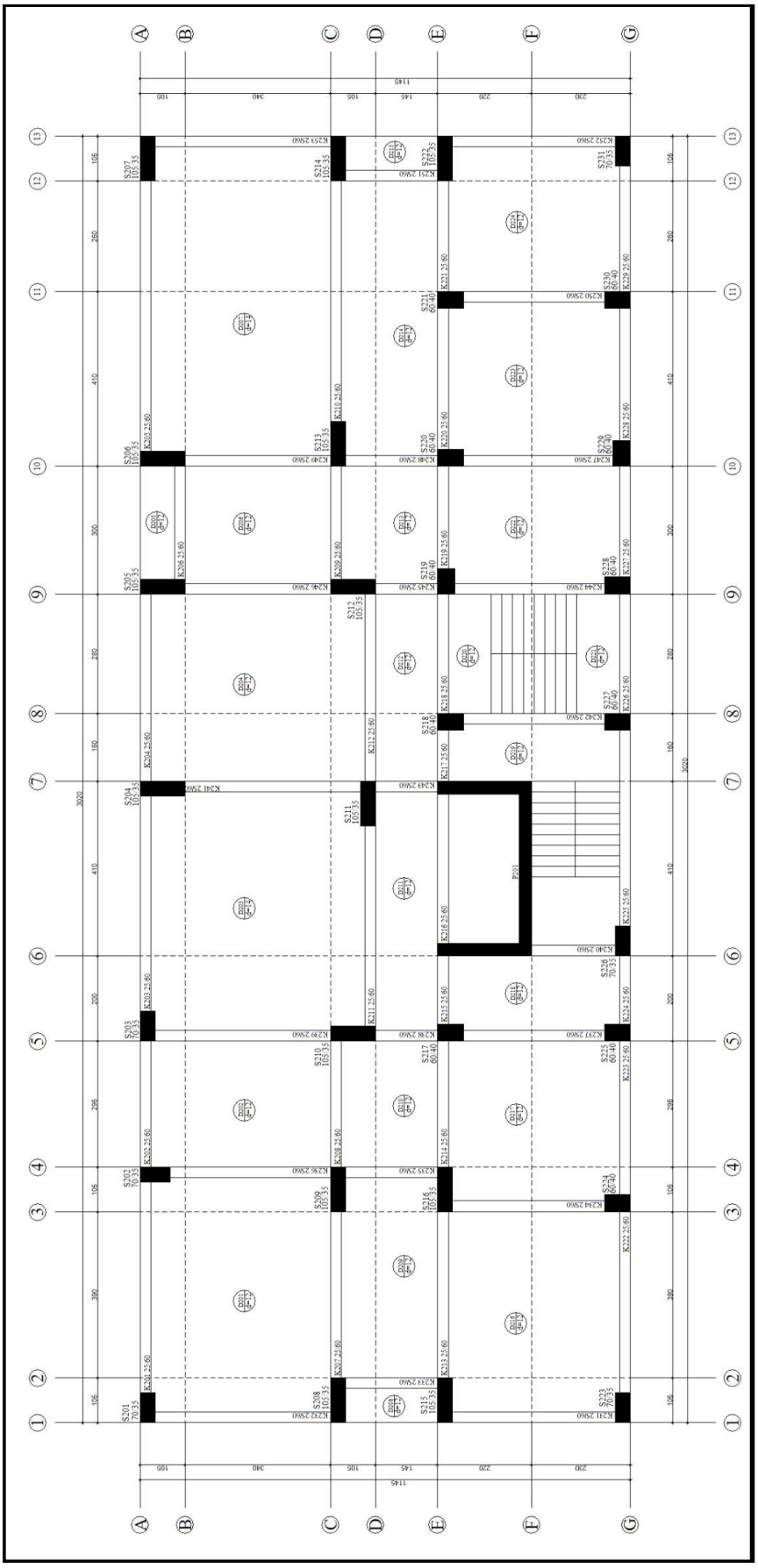
4.2.1 Bina hakkında genel bilgiler

Örnek olarak incelenen yapı, zemin + 7 normal kat, toplam 8 kattan oluşan, taşıyıcı sistemi betonarme olan bir konut yapısıdır. Bina hakkındaki genel bilgiler aşağıda sunulmuştur.

- Kat yükseklikleri sabit olup 2.80 m. ve toplam bina yüksekliği 22.4 m.dir.
- Yapının oturma alanı yaklaşık 346 m²'dir. Yapıda konsol bulunmamaktadır.
- Çatı, teras çatı şeklindedir.
- Yapıda 3 tip kolon bulunmaktadır. Bunlar, 70x35, 105x35 ve 60x40 cm. ebatlarındadır. Yapıda bütün kirişler 25/60 cm. boyutunda tasarlanmıştır.
- Yapıda 30 cm. kalınlığında asansör perdesi bulunmaktadır.
- Yapının döşeme sistemi kiriş + plak döşemedir. Döşeme kalınlıkları birçok döşemede 12 cm.dir. 12 cm değerinin sehim şartını sağlamadığı döşemelerde döşeme kalınlığı 14 cm. tasarlanmıştır.
- Kat kalıp yerleşim planları Şekil 4.1 ve 4.2 ile verilmiştir



Şekil 4.1 : Zemin kat kalıp yerleşim planı



Şekil 4.2 : Normal katlar kalıp yerleşim planı

- Binada beton basınç dayanımı 20N/mm² olan C20 sınıfı beton kullanılmıştır.
- Binada tahkik hesaplarında kullanılacak donatı çeliği sınıfı S420'dir.
- Zemin sınıfı Z2'dir ($T_A = 0.15$ ve $T_B = 0.40$).
- Yapı önem katsayısı: I = 1 (Konut)
- Bina, İstanbul ilinde ve 1. deprem bölgesindedir ($A_o = 0.40$).
- Bina, deprem yüklerinin çerçeveler ve boşluksuz perdelerle taşındığı süneklik düzeyi yüksek sistemden oluşmaktadır. Dolayısıyla, bina için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 7 seçilmiştir.
- Binada öngörülen minimum performans hedefi, aşılma olasılığı 50 yılda %10 olan depremde "Can Güvenliği" performans seviyesidir.

Ayrıca, analizlerde aşağıda belirtilen malzeme özellikleri kullanılmıştır [9].

- Betonun birim kısalması $\varepsilon_{cu} = 0.004$ (Mander beton modeli)
- Çeliğin maksimum birim uzaması $\varepsilon_{su} = 0.1$
- Beton elastisite modülü = 28000 MPa
- Donatı çeliği elastisite modülü = 200000 MPa

4.2.2 Kolon, kiriş ve perde özellikleri

Örnek olarak incelenen yapı, zemin + 7 normal kat, toplam 8 kattan oluşan, taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve perdelerden oluşan betonarme bir konut yapısıdır. Yapıda her katta 31 adet olmak üzere, 3 tip kolon bulunmaktadır ve bunlar katlarda farklılık göstermemektedir. Kolon kesitleri EK A, Şekil A.1 ile verilmiştir.

Her katta 52 adet olmak üzere, tüm binada 25/60 cm. ebatlarında tek tip kiriş kullanılmıştır. Kiriş kesiti EK A kısmında Şekil A.2 ile verilmiştir. Kolon ve kirişlerde, plastik mafsallar genellikle uç bölgelerde oluşmaktadır. Binada ayrıca kesiti 30 cm. olan ve katlar boyunca değişmeyen bir asansör perdesi bulunmaktadır. Bina kesitleri EK A, Şekil A.3 ile verilmiştir.

4.3 Yapıya Etki Eden Yükler

4.3.1 Düşey yükler

4.3.1.1 Ölü yükler

Döşeme ve duvar ağırlıkları ayrı ayrı hesaplanmıştır ve kirişlere etkitilmiştir. Kiriş, kolon ve perde ağırlıkları analiz programında otomatik olarak hesaba girmektedir. Kirişlere etkiyen döşeme ve duvar yükleri TS 500 ve TS 498 kullanılarak aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

Toplam döşeme ölü yükü : 12 cm döşeme yükü + şap ve kaplama yükü

Beton birim hacim ağırlığı : 25 kN/m²

12 cm döşeme yükü : 0.12 m · 25 kN/m² = 3.00 kN/m²

Şap ve kaplama yükü : 2.00 kN/m²

Toplam döşeme ölü yükü : 5.00 kN/m²

Dış duvar çizgisel yükü : 7.00 kN/m

İç duvar çizgisel yükü : 4.50 kN/m

4.3.1.2 Hareketli yükler

Konutlarda kullanılacak minimum hareketli yük değeri 2.00 kN/m² olarak TS 498'de belirtilmiştir [10]. Merdiven sahanlıklarında 3.50 kN/m², balkonlarda ve çatı terasında ise 5.00 kN/m² yük değeri esas alınmıştır. Yapı analizinde kullanılan hareketli yük değerleri çizelge 4.1 ile gösterilmiştir.

4.3.1.3 Düşey yüklerin hesaplanması ve tanıtılması

Yapı taşıyıcı sistemine etkiyen sabit ve hareketli yükler çeşitli kombinasyonlar kullanılarak birleştirilir ve kirişler üzerine düzgün yayılı yük halinde etkitilir. Yapıdaki tüm kirişler için tek tek hesaplanan bu değerler EK A, Çizelge A.1 ile gösterilmiştir. Kolon, kiriş ve perde ağırlıkları program tarafından otomatik olarak hesaba katılmıştır.

4.3.2 Yatay yükler

Binanın deprem hesabı DBYBHY 2007 de anlatılan şekilde doğrusal eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Eşdeğer deprem yükü hesabı ile binanın X ve

Y yönleri için taban kesme kuvvetleri elde edilmiş ve bu değerler, her iki yön için uygulanan itme analizi sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri ile kıyaslanarak dayanım fazlalığı olarak ifade edilen değerler bulunmuştur.

Binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı W, denklem (4.1) ile kat ağırlıkları denklem (4.2) ile tanımlanmıştır.

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i \tag{4.1}$$

$$w_i = G_i + n\, Q_i \tag{4.2}$$

Yukarıdaki formüllerde tanımlanan değerlerin ifadeleri aşağıda açıklandığı gibidir.

W : Bina toplam ağırlığı

w_i : i. katın ağırlığı

G_i : i. katın sabit yüklerinden oluşan ağırlık

n : Hareketli yük katılım katsayısı (konut olarak kullanılan binalarda, n = 0.30)

Q_i : i. katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlık

Yukarıdaki açıklamalar sonucunda deprem hesabında dikkate alınacak düşey yükler Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Deprem hesabında dikkate alınacak düşey yükler

KAT	**G (kN)**	**Q (kN)**	**G + 0.3Q (kN)**
8. KAT	3483	1132	3822
7. KAT	3985	843	4238
6. KAT	3985	843	4238
5. KAT	3985	843	4238
4. KAT	3985	843	4238
3. KAT	3985	843	4238
2. KAT	3985	843	4238
1. KAT	4397	843	4650
TOPLAM	**31790**	**7033**	**33900**

4.4 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabilirliği

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin mevcut binaya uygulanabilmesi için gereken şartlar bölüm 3.3.1.2'de anlatılmıştır. Buna göre;

a) Binadaki toplam kat sayısı 8'dir ve bodrum üzeri bina toplam yüksekliği 22.4 metredir. Toplam kat sayısı 8'i ve bodrum üzerindeki bina yüksekliği 25 metreyi aşmamaktadır. √

b) Binada herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} < 1.4$ olmalıdır. X ve Y yönleri için ayrı ayrı hesaplanan burulma düzensizlik değerleri çizelge 4.2 ve çizelge 4.3 ile belirtilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere her iki yön için $\eta_{bi} < 1.4$ şartı sağlanmıştır. √

Çizelge 4.2 : X-X doğrultusu için burulma düzensizlikleri

KAT	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_{bix}
8	0,0107	0,0069	0,0088	1,21
7	0,0101	0,0064	0,0082	1,22
6	0,0091	0,0056	0,0074	1,24
5	0,0079	0,0047	0,0063	1,25
4	0,0063	0,0036	0,0050	1,27
3	0,0045	0,0025	0,0035	1,29
2	0,0027	0,0014	0,0021	1,30
1	0,0010	0,0005	0,0008	1,30

Çizelge 4.3 : Y-Y doğrultusu için burulma düzensizlikleri

KAT	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_{biy}
8	0,0120	0,0105	0,0113	1,07
7	0,0111	0,0099	0,0105	1,06
6	0,0100	0,0090	0,0095	1,05
5	0,0085	0,0078	0,0081	1,04
4	0,0067	0,0062	0,0064	1,04
3	0,0047	0,0044	0,0046	1,03
2	0,0027	0,0026	0,0026	1,02
1	0,0010	0,0009	0,0009	1,01

c) Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin toplam bina kütlesine oranının en az 0.70 olması gereklidir. Hakim modların kütle katılım oranı olarak da ifade edilen bu değerler, aşağıda belirtildiği gibi 0.70 değerinin üzerindedir.

$\beta_x = 0.70 \geq 0.70$ √

$\beta_y = 0.71 \geq 0.70$ √

Bu değerlendirmeler sonucunda binanın, DBYBHY 2007 Bölüm 7.5.1.1'de anlatılan, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabilmesi için gereken şartları sağladığı görülmüştür.

4.5 Yapının Modellenmesi ve İtme Analizi

Analiz süreci, binayı meydana getiren taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme özellikleri, çubuk elemanların kesit özellikleri, birleşim şekilleri, taşıyıcı sisteme etkiyen yükler, deprem yükü tanımı gibi yapının matematik modelini oluşturan tüm kavramların programa tanıtılması ve ilgili sistem elemanlarına atanması ile başlar. Yapı periyodunun ve kolonlara gelen normal kuvvetlerin bulunması gerekir. Çatlamış kesit eğilme rijitliklerinin belirlenebilmesi için düşey yükler sisteme tanıtılır ve lineer bir analiz yapılır. Bu analiz sonucu elde edilen verilerden çatlamış kesit eğilme rijitlikleri ve yatay deprem kuvvetleri bulunur ve yapıya etkitilir. Daha sonra yapılan non-lineer analiz sonucunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile yapı performans seviyesi bulunur.

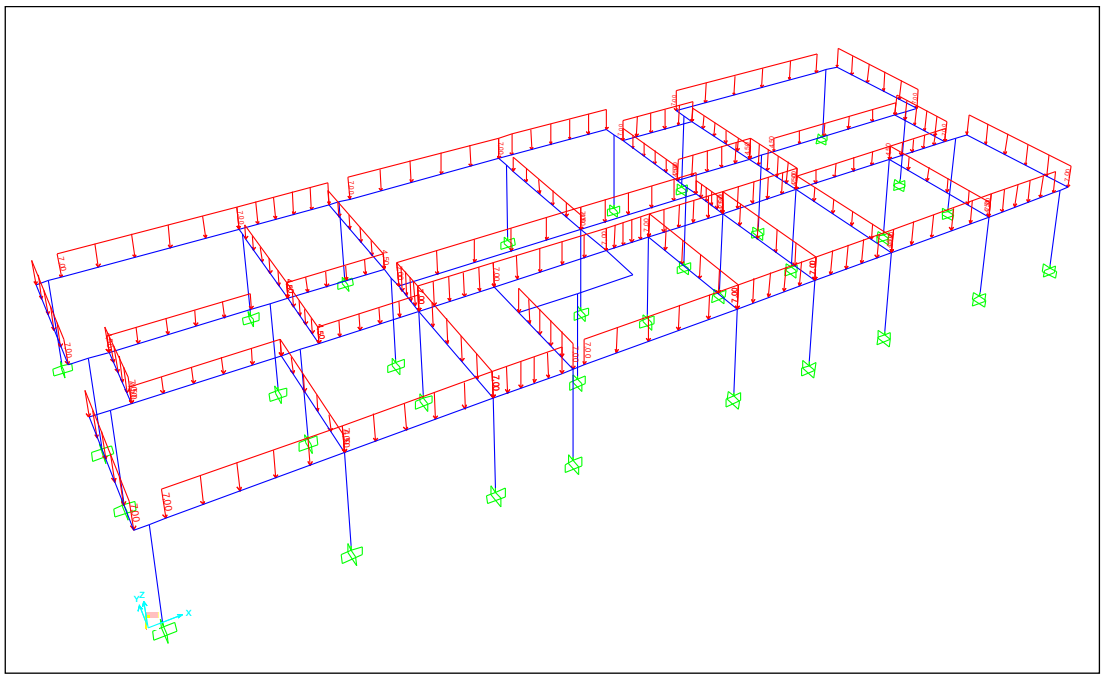
4.5.1 Doğrusal elastik analiz

4.5.1.1 Malzeme ve kesit özelliklerinin sisteme tanıtılması

Yapı sistemindeki elemanların Bölüm 4.2.1 ve 4.2.2'de anlatılan malzeme özellikleri, kesitleri ve içerdikleri donatılar programa tanımlanır. Modeldeki elemanlara bu tanımlar atanır. Model oluşturulurken tanımlanan elemanların uç noktalarının oluşturulma sırası önemlidir. Yerel eksenler nokta seçim sırasına göre i ve j uçları olacağından gelişigüzel yapılmamalıdır.

4.5.1.2 Düşey yüklerin sisteme tanıtılması

Döşemelerden gelen zati ve hareketli yükler Betonarme Çizelge ve Abaklar 2005'te belirtildiği şekilde hesaplanıp yayılı yüklere çevrilerek kirişlere tek tek etkitilmiştir. Duvarlardan gelen yükler ise aynı şekilde yayılı yüke çevrilerek sisteme girilmiştir (Şekil 4.3).



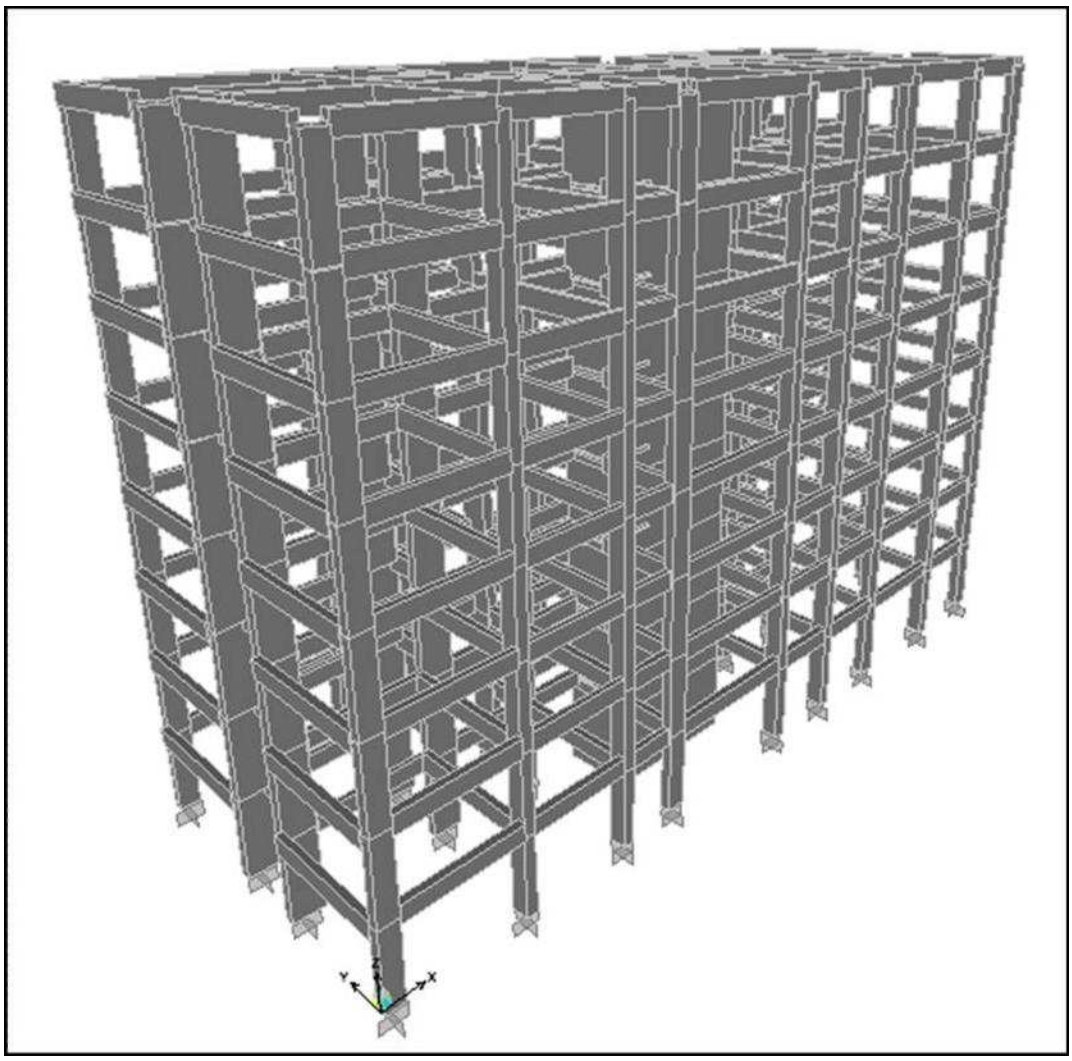
Şekil 4.3 : 1.kat (zemin) duvar yüklemesi

4.5.1.3 Yapı modelinin analize hazır hale getirilmesi

Malzemelerin, kesit özelliklerinin ve yüklerin sisteme tanımlanmasının ardından her kata ayrı ayrı kendi düzlemleri içindeki hareketlerini sembolize edecek şekilde rijit diyafram tanımı yapılmıştır. Daha sonra sabit mesnetler oluşturulmuştur. Lineer analiz için modellenen yapı, düşey ve arttırılmış yük tanımlarının yapılması ile analize hazır hale gelmiştir (Şekil 4.4). Yapı modal analize sokulup binanın X ve Y yönünde hakim periyotları bulunmuştur. Bulunan değerler Çizelge 4.4 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.4 : Bina hakim titreşim periyotları

Doğal Titreşim Periyotları	Tx (s)	Ty (s)
	0,487	0,613



Şekil 4.4 : Bina Modeli

1.4G+1.6Q arttırılmış yükler altında kolonlara gelen eksenel kuvvetler bulunmuş ve bu değerler üzerinden kolon boyut kontrolü yapılmıştır. Boyut kontrolü hesapları ekler kısmında EK A; Çizelge A.2 ile verilmiştir.

4.5.2 Doğrusal elastik olmayan analiz

4.5.2.1 Yapıya etkiyen yatay yüklerin hesabı

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (taban kesme kuvveti), V_t, denklem (4.3) ile tanımlanır. Deprem hesabında Bina Önem Katsayısı uygulanmaz (I=1).

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0W \qquad (4.3)$$

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak Spektral İvme Katsayısı, A(T), denklem (4.4) ile verilmiştir. Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik DSpektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesinin (g) çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0.S(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T).g \qquad (4.4)$$

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı, Bölüm 3.3.1.3'de anlatıldığı üzere deprem bölgesine bağlıdır ve bina için 0.40 olarak hesaba katılacaktır.

S(T) : Spektrum katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu (T)'ye bağlı olarak denklem (4.5a), (4.5b) ve (4.5c) ile hesaplanır.

$$S(T)=1+1.5\frac{T}{T_A} \qquad 0\leq T\leq T_A \qquad (4.5a)$$

$$S(T) = 2.5 \qquad T_A \leq T \leq T_B \qquad (4.5b)$$

$$S(T) = 2.5\ [\frac{T_B}{T}]^{0.8} \qquad T_B \leq T \qquad (4.5c)$$

Denklem (4.5a), (4.5b) ve (4.5c)'de tanımlanan Spektrum Karekteristik Periyotları, T_A ve T_B, yerel zemin sınıflarına bağlıdır ve detaylı olarak Bölüm 3.3.1.3'de anlatılmıştır. Binanın zemin sınıfı olan Z2 için, $T_A = 0.15$ ve $T_B = 0.40$ olarak hesaba katılır.

Bina periyotlarını bulmak için yapılan modal analiz sonucunda x doğrultusu için hakim periyot $T_x = 0.487$ sn. ve y doğrultusu için hakim periyot $T_y = 0.613$ sn. olarak belirlenmiştir.

$T_B \leq T_{x,}\ T_y$ olduğu için $S(T_x)$ ve $S(T_x)$ değerleri denklem (4.5c) dikkate alınarak denklem (4.6a) ve (4.6b) ile hesaplanır.

$$S(T_x) = 2.5\ [\frac{T_B}{T_x}]^{0.8} = 2.5\ [\frac{0.4}{0.487}]^{0.8} = 2.136 \qquad (4.6a)$$

$$S(T_x) = 2.5\ [\frac{T_B}{T_y}]^{0.8} = 2.5\ [\frac{0.4}{0.613}]^{0.8} = 1.777 \qquad (4.6b)$$

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak Spektral İvme Katsayısı, A(T), için denklem (4.4) kullanılarak hesap yapılır ve X ve Y yönleri için $A(T_x)$ ve $A(T_y)$ değerleri denklem (4.7a) ve denklem (4.7b) ile bulunur.

$$A(T_x) = A_0.S(T_x) = 0.4 \cdot 2.136 = 0.854 \qquad (4.7a)$$

$$A(T_y) = A_0.S(T_y) = 0.4 \cdot 1.777 = 0{,}711 \qquad (4.7b)$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağlı olarak denklem (4.8a) ve denklem (4.8b) ile hesaplanır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5)\, T / T_A \qquad (0 \le T \le T_A) \qquad (4.8a)$$

$$R_a(T) = R \qquad (T \ge T_A) \qquad (4.8b)$$

Bina, DBYBHY 2007 bölüm 2.5'de anlatılan, süneklik düzeyi yüksek, deprem yüklerinin çerçeveler ile bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar sınıfındadır. Bu sebeple taşıyıcı sistem davranış katsayısı R = 7 alınır. Bina hakim periyotları T_x = 0.487 sn. ve T_y = 0.613 sn, T_A = 0.15 değerinden büyük olduğundan, denklem (4.7b) kullanılır ve deprem yükü azaltma katsayısı her iki yön için $R_a(T) = R = 7$ alınarak hesaba dahil edilir.

Sonuç olarak, toplam eşdeğer deprem yükleri, X ve Y yönleri için ayrı ayrı denklem (4.3) yardımıyla;

$$V_{tx} = \frac{WA(T_x)}{R_a(T_x)} \ge 0.10A_0W \quad \rightarrow \quad \frac{33900 \times 0.854}{7} \ge 0.10 \times 0.40 \times 3390$$

$$V_{tx} = 4137 \text{ kN} \ge 1356 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = \frac{WA(T_y)}{R_a(T_y)} \ge 0.10A_0W \quad \rightarrow \quad \frac{33900 \times 0.711}{7} \ge 0.10 \times 0.40 \times 3390$$

$$V_{ty} = 3442 \text{ kN} \ge 1356 \text{ kN}$$

olarak hesaplanır.

Denklem (4.3) yardımıyla X ve Y yönleri için hesaplanan eşdeğer deprem yükleri, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak denklem (4.9) ile ifade edilir [2].

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \tag{4.9}$$

Binanın *N*. katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değeri denklem (4.10) ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0.0075 \cdot N \cdot V_t \tag{4.10}$$

Binada X yönü için toplam eşdeğer deprem yükü $V_{tx,}$ 4137 kN, Y yönü için toplam eşdeğer deprem yükü $V_{ty,}$ 3442 kN, denklem (4.3) ile bulunmuştu. X ve Y yönleri için binanın *N*. katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değerleri denklem (4.11a) ve (4.11b) ile ifade edilmiştir.

$$\Delta F_{NX} = 0.0075 \cdot 8 \cdot 4137 = 247\,\text{kN} \tag{4.11a}$$

$$\Delta F_{NY} = 0.0075 \cdot 8 \cdot 3442 = 207\,\text{kN} \tag{4.11b}$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında kalan kısmı, *N*. kat dahil olmak üzere, bina katlarına denklem (4.12) ile dağıtılır. Bina için yapılan hesaplar denklem (4.13a) ve (4.13b) ile verilmiştir.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N)\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \tag{4.12}$$

$$F_{ix} = (V_{tx} - \Delta F_{NX})\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \Rightarrow (4137 - 248)\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \Rightarrow 3889kN\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \tag{4.13a}$$

$$F_{iy} = (V_{ty} - \Delta F_{NY})\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \Rightarrow (3442 - 207)\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \Rightarrow 3235kN\frac{w_i H_i}{\sum_{J=1}^{N} w_j H_j} \tag{4.13b}$$

X-X doğrultusu ve Y-Y doğrultusu için ayrı ayrı yapılan bu değerlendirmeler Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 ile gösterilmiştir. Bulunan kat deprem kuvvetleri SAP 2000 programı ile hazırlanan modele kat yanal kuvvetleri olarak kütle merkezinden etkitilmiştir.

Çizelge 4.5 : X-X doğrultusu için artımsal eşdeğer deprem yükü dağıtımı

Kat	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i \cdot H_i$ (kNm)	$w_iH_i/\Sigma w_iH_i$	F_{ix} (kN)	$F_{ix}+\Delta F_{nx}$ (kN)	V_{ix} (kN)
8	3822	22,40	85665	0,20	795	1043	1043
7	4238	19,60	83055	0,20	771	771	1814
6	4238	16,80	71190	0,17	661	661	2475
5	4238	14,00	59325	0,14	551	551	3026
4	4238	11,20	47460	0,11	440	440	3466
3	4238	8,40	35595	0,08	330	330	3796
2	4238	5,60	23730	0,06	220	220	4016
1	4650	2,80	13022	0,03	121	121	4137
Σ	33900	-	419042	1,00	3889	4137	-

Çizelge 4.6 : Y-Y doğrultusu için artımsal eşdeğer deprem yükü dağıtımı

Kat	w_i (kN)	H_i (m)	$w_i \cdot H_i$ (kNm)	$w_iH_i/\Sigma w_iH_i$	F_{ix} (kN)	$F_{ix}+\Delta F_{nx}$ (kN)	V_{ix} (kN)
8	3822	22,40	85665	0,20	661	868	868
7	4238	19,60	83055	0,20	641	641	1509
6	4238	16,80	71190	0,17	550	550	2059
5	4238	14,00	59325	0,14	458	458	2517
4	4238	11,20	47460	0,11	366	366	2883
3	4238	8,40	35595	0,08	275	275	3158
2	4238	5,60	23730	0,06	183	183	3341
1	4650	2,80	13022	0,03	101	101	3442
Σ	33900	-	419042	1,00	3235	3442	-

4.5.2.2 Etkin eğilme rijitliklerinin hesaplanması

Eğilme etkisindeki betonarme elemanlarda çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri (EI)e kullanılır. Yapıdaki bütün kirişler için başka hiçbir tahkike gerek duyulmaksızın başlangıç eğilme rijitliğinin %40 kadarı çatlamış kesit eğilme rijitliği olarak hesaba katılmıştır. Kolonlar için normal kuvvet etkisi ve kesit alanlarına göre bu değerler değişmektedir. DBYBHY 2007'de etkin eğilme rijitlikleri için kullanılması önerilen değerler kirişlerde denklem (4.14), kolon ve perdelerde denklem (4.15a) ve (4.15b) ile gösterilmiştir.

$$(EI)_e = 0.40\ (EI)_o \tag{4.14}$$

$N_D / (A_c\, f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40\ (EI)_o$ (4.15a)

$N_D / (A_c\, f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80\ (EI)_o$ (4.15b)

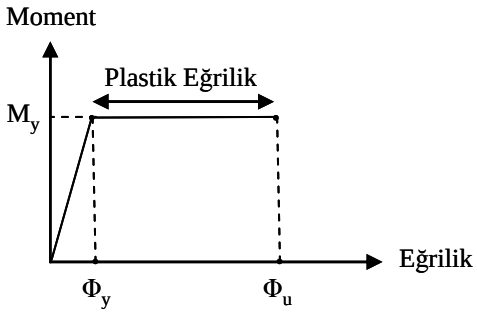
Eksenel basınç kuvveti N_D'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. N_D, deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu yüklerin gözönüne alındığı ve çatlamamış kesitlere ait $(EI)_o$ eğilme rijitliklerinin kullanıldığı bir ön düşey yük hesabı ile belirlenmiştir. Yapıdaki bütün kolonlar ve perdeler için çatlamış kesit eğilme rijitlikleri hesaplanmıştır ve bulunan sonuçlar itme analizinden önce elemanlara tanıtılmıştır. Yapılan hesaplar ve bulunan sonuçlar EK A, Çizelge A2 ile gösterilmiştir.

4.5.2.3 Sisteme plastik mafsalların tanıtılması

DBYBHY 2007'de, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü ile İtme Analizi'nde kullanılan plastik mafsallar ile ilgili bazı koşullar bulunmaktadır. Bu şartlar Bölüm 3.3.1.3'de anlatılmıştır.

Binanın performans değerlendirmesinin yapılabilmesi için, kesitlerde oluşan şekil değiştirmelerin DBYBHY 2007'de belirtilen sınır değerlerle kontrol edilmesi gereklidir. Şekildeğiştirmelere ulaşabilmek için ise kesitlerin toplam eğriliklerinin bilinmesi gereklidir. Toplam eğrilik, denklem (4.16) ile gösterildiği üzere, elastik eğrilik Φ_y ve plastik eğrilik Φ_p değerlerinin toplamından oluşur (Şekil 4.5).

$$\Phi_t = \Phi_y + \Phi_p \tag{4.16}$$



Şekil 4.5 : İdealleştirilmiş moment-eğrilik ilişkisi

Sünek kesitlerde dış yükte önemli bir değişme olmaksızın kesitte eğrilik ve dönme artışı olur. Φ_y akma elastik eğriliğini hesaplamak için kesit moment-eğrilik ilişkilerine bakmak gerekir. Kiriş kesitleri için, hesaplanan tepe yerdeğiştirmesi istemine karşılık gelen itme adımındaki plastik dönme isteminin yönüne bağlı olarak moment-eğrilik ilişkisi elde edilir. Kolon kesitleri için, hesaplanan tepe yerdeğiştirmesi istemine karşılık gelen itme adımındaki eksenel kuvvetler altında moment-eğrilik ilişkisi bulunur. Kiriş ve kolon kesitleri için bulunan moment-eğrilik ilişkileri lineer iki doğru olarak idealize edilir ve her kesit için Φ_y akma elastik eğriliği değeri bulunur. Elastik eğrilik momentle orantılı olarak denklem (4.17) ile elde edilir.

$$\Phi_y = M_y / EI \tag{4.17}$$

Plastik eğrilik ise plastik mafsal dönmesinin, L_p plastik mafsal boyuna bölünmesi ile denklem (4.18) ile gösterildiği gibi ifade edilir.

$$\Phi_p = \theta_p / L_p \tag{4.18}$$

DBYBHY 2007'de, L_p plastik mafsal boyu için, denklem (4.19) ile gösterildiği gibi çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısının alınabileceği kabul edilmektedir [11].

$$L_p = 0.5\ h \tag{4.19}$$

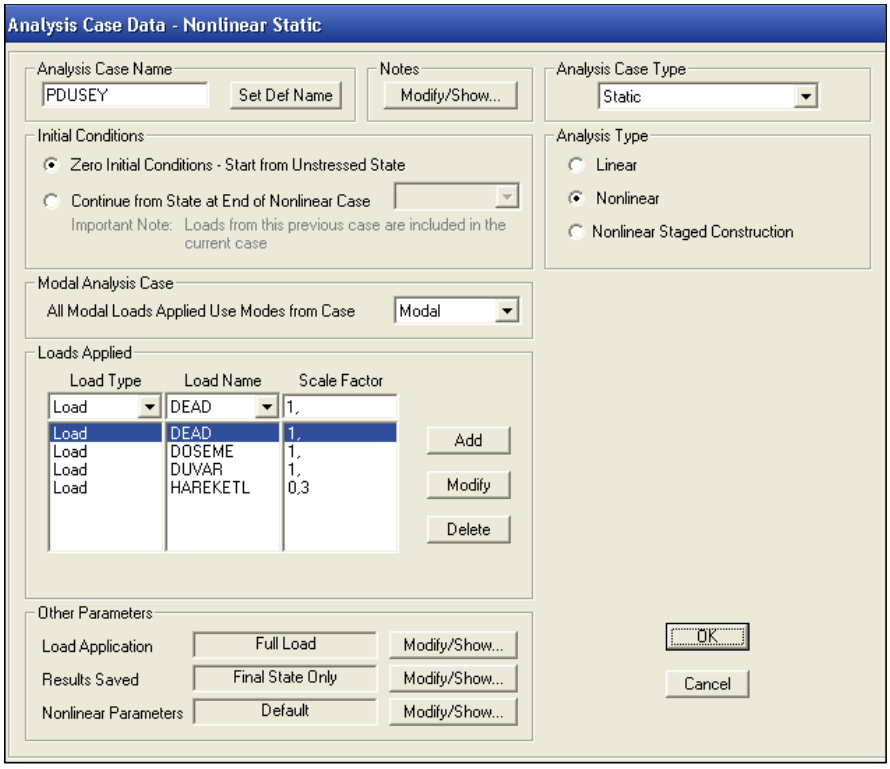
Bina modelinde de, deprem sırasında en fazla zorlanacağı düşünülen kolon, kiriş uçlarına ve perdelerin her katta kat hizasındaki birleşim bölgelerine plastik mafsal tanımlanmıştır. Kolon ve perde kesitleri, hem eğilme hem de normal kuvvete maruz kaldıklarından PMM mafsalları tanımlanmıştır. Eksenel kuvvet düzeyi oldukça düşük olan kirişlere ise M3 mafsalı atanmıştır. SAP 2000 programında plastik mafsallar kolon, kiriş ve perde elemanlarına "Assign-Frame Hinges" menüsü altında tanımlanarak atanır. Çubukların başlangıç ve bitiş uçlarını simgeleyen 0 ve 1 rölatif

uç tanımlamaları yapılırken kolonlar için her iki uca (0 ve 1), perdeler içinse başlangıç ucuna (0) plastik mafsal tanımı yapılmıştır.

4.5.2.4 Analiz dosyalarının tanımlanması

İtme analizini yapabilmek için programa üç adet yükleme tanıtılmıştır. Kullanılan itme analizi dosyalarının isimleri ve karşılıkları aşağıda belirtilmiştir. Bütün analiz adımlarında kütle kaynağı olarak, zati yükler ve hareketli yüklerin 0.30 katına tekabül eden G+0.3Q kombinasyonu kullanılmıştır.

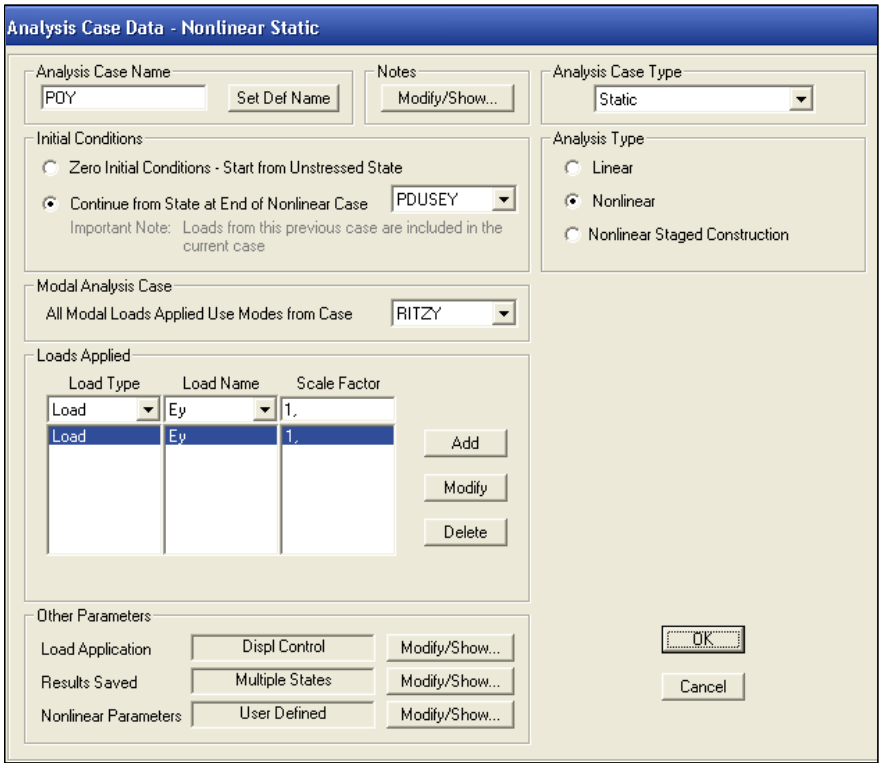
PDUSEY : Artımsal itme analizinden önce, kütlelerle uyumlu düşey yüklerin göz önüne alındığı doğrusal olmayan analizdir (Şekil 4.6). Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşullarını oluşturur.



Şekil 4.6 : SAP 2000 programına PDUSEY yüklemesinin tanımlanması

POX : X doğrultusu için deplasman kontrollü, Çizelge 4.5'de gösterilen yatay kuvvet dağılım oranına sahip ve PDUSEY modal analizini, düşey yüklerin yapının yanal stabilitesine olan etkisini göz önüne almak için başlangıç koşulu olarak alan, modal itme analizidir. Bölüm 3.3.1.4'de anlatılan yaklaşık deplasman değeri bu adımda programa girilir. Analiz sorunsuz sona erene kadar girilen değer azaltılır ve işlem tekrarlanır. Yerdeğiştirme değerleri katlardaki bir nokta seçilerek takip edilir.

POY : Y doğrultusu için deplasman kontrollü, Çizelge 4.6'de gösterilen yatay kuvvet dağılım oranına sahip ve PDUSEY modal analizini, düşey yüklerin yapının yanal stabilitesine olan etkisini göz önüne almak için başlangıç koşulu olarak alan, modal itme analizidir. Bölüm 3.3.1.4'de anlatılan yaklaşık deplasman değeri bu adımda programa girilir. Analiz sorunsuz sona erene kadar girilen değer azaltılır ve işlem tekrarlanır. Yerdeğiştirme değerleri katlardaki bir nokta seçilerek takip edilir. SAP 2000 programında bina için tanımlanan POY yüklemesi, Şekil 4.7 ile gösterilmiştir.



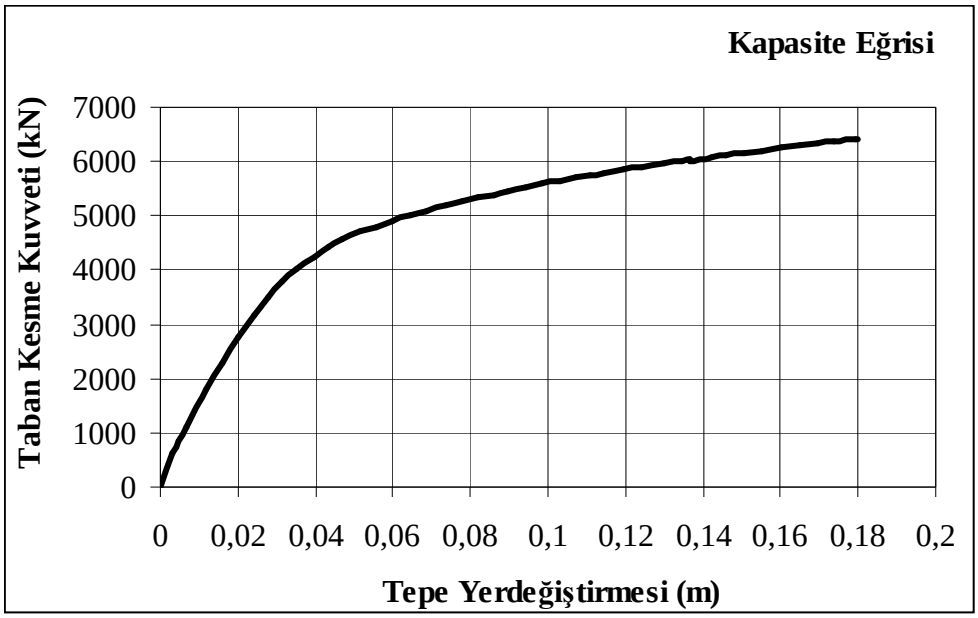
Şekil 4.7 : SAP 2000 programına POY yüklemesinin tanımlanması

4.6 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü İle İtme Analizi Sonuçları

Her iki doğrultu için SAP 2000 programı ile yapılan analiz tamamlandığında, analizin her adımında taşıyıcı sistemin lineer olmayan davranışla karşıladığı taban kesme kuvveti V_{b1} ile tepe yerdeğiştirmesi U_{N1} arasındaki verilerle elde edilen statik itme eğrisi elde edilir.

4.6.1 X yönü için eşdeğer deprem yükü ile itme analizi sonuçları

Analiz sonucunda oluşan X yönündeki taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.8 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : Yapının X yönündeki taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi grafiği

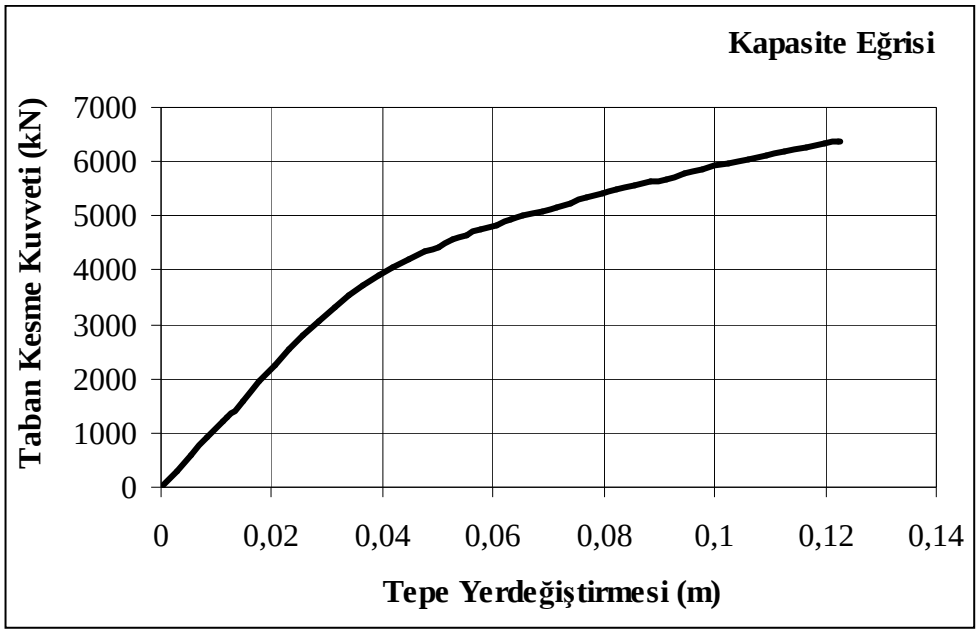
Grafik üzerinde de görüldüğü üzere yapının bu yöndeki taban kesme kuvveti kapasitesi V_{x1} = 6418 kN olarak hesaplanmıştır. Bu kuvvete karşı gelen tepe yerdeğiştirmesi ise U_{xN1} = 0.18 m. olarak bulunmuştur. Yapının bu yöndeki dayanım fazlalığı oranı yani binanın karşıladığı taban kesme kuvvetinin binaya etkiyen deprem yüküne oranı D_{fx} = 1.55 olarak hesaplanmıştır.

D_{fx} = 6418 / 4137 = 1.55

4.6.2 Y yönü için eşdeğer deprem yükü ile itme analizi sonuçları

Analiz sonucunda oluşan Y yönündeki taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi arasındaki ilişki Şekil 4.9 ile gösterilmiştir. Grafik üzerinde de görüldüğü üzere yapının bu yöndeki taban kesme kuvveti kapasitesi V_{x1} = 6376 kN olarak hesaplanmıştır. Bu kuvvete karşı gelen tepe yerdeğiştirmesi ise U_{xN1} = 0.122 m. olarak bulunmuştur. Yapının bu yöndeki dayanım fazlalığı oranı yani binanın karşıladığı taban kesme kuvvetinin binaya etkiyen deprem yüküne oranı D_{fx} = 1.85 olarak hesaplanmıştır.

D_{fx} = 6376 / 3442 = 1.85



Şekil 4.9 : Yapının Y yönündeki taban kesme kuvveti – tepe yerdeğiştirmesi grafiği

4.7 Hedef Deplasman Sınırının Belirlenmesi

4.7.1 X yönü için hedef deplasman sınırının belirlenmesi

4.7.1.1 X yönü için modal kapasite eğrisinin elde edilmesi

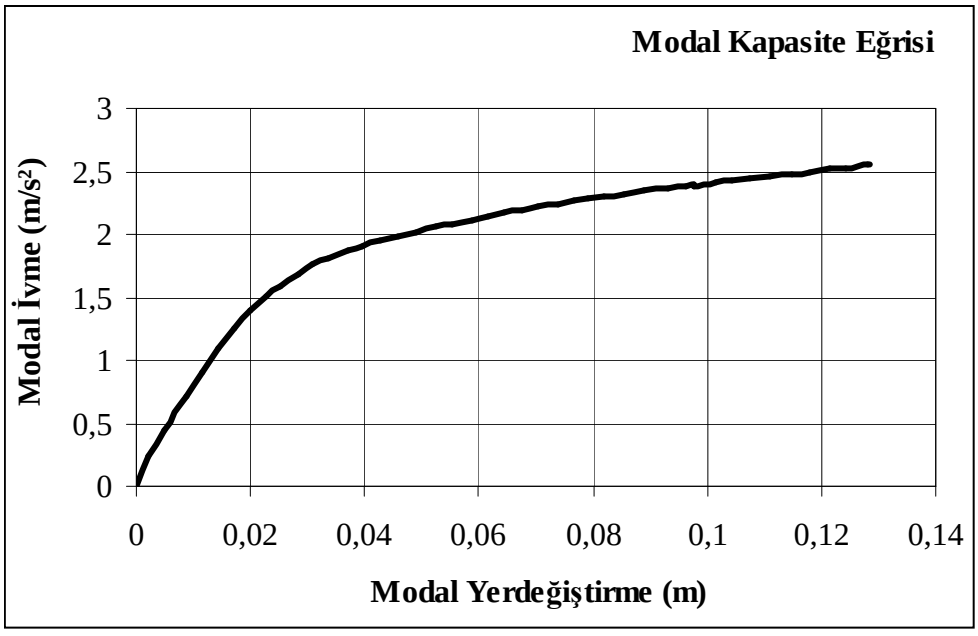
Hedef deplasman noktasını belirleyebilmek için statik itme eğrisini, deprem talep eğrisiyle bir araya getirmek gerekir. Bunun için önce statik itme eğrisinde bir eksen değişimi yapılmalıdır. Bu eksen değişimi, Şekil 4.8 ile gösterilen kapasite eğrisinin, modal koordinat dönüşümlerinin yapılması ile gerçekleşir. V_{x1} toplam kuvvet (taban kesme kuvveti), α_{1x} modal ivmeye ve u_{xN1} en üst katın yer değiştirmesi, d_{1x} modal yerdeğiştirmeye dönüştürülür. Bu dönüşümün yapılabilmesi için denklem (4.20), denklem (4.21) ve Bölüm 3.3.1.7'de konu edilen denklemlerden faydalanılmıştır. Bulunan dönüşüm değerleri Çizelge 4.7, bulunan statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi verileri Çizelge 4.8, elde edilen elastik modal kapasite eğrisi Şekil 4.10 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.7 : X-X doğrultusu kapasite eğrisi dönüşüm değerleri

Kat	w_i (kN)	m_i (kNs²/m)	ϕ_{ix1}	$m_i \cdot \phi_{ix1}$ (kNs²/m)	$m_i \cdot \phi_{ix1}^2$ (kNs²/m)	M_{x1} (kNs²/m)	Γ_{x1}
8	3822	390	0,024	9,48	0,23	2516	57,53
7	4238	432	0,022	9,31	0,20		
6	4238	432	0,018	7,94	0,15		
5	4238	432	0,015	6,43	0,10		
4	4238	432	0,011	4,83	0,05		
3	4238	432	0,008	3,25	0,02		
2	4238	432	0,004	1,80	0,01		
1	4650	474	0,001	0,69	0,00		

$$a_{x1}^{(i)} = \frac{V_{x1}}{M_{x1}} \tag{4.20}$$

$$d_{x1}^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Gamma_{x1}\phi_{xN1}} \tag{4.21}$$



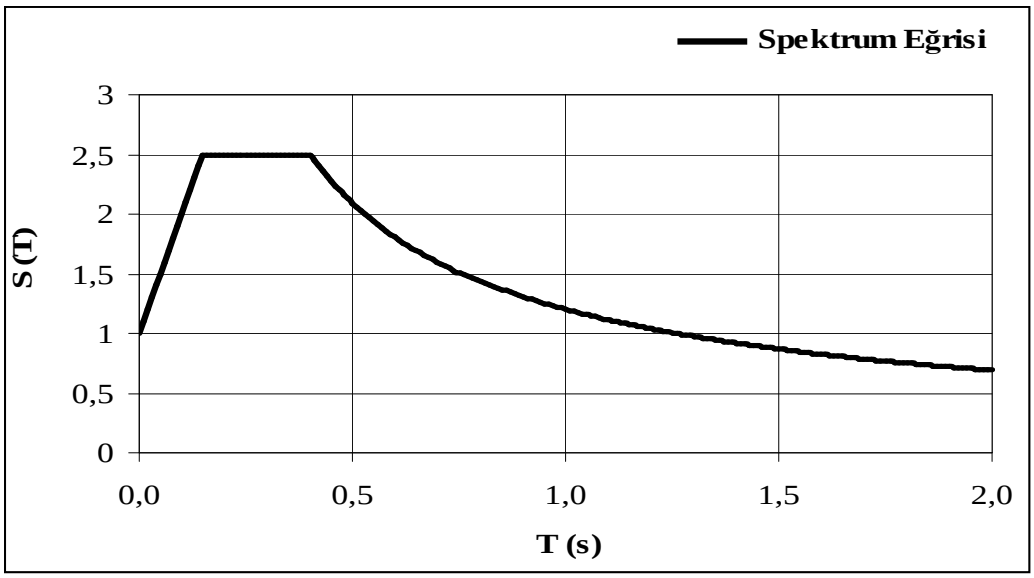
Şekil 4.10 : Yapının X yönündeki elastik modal kapasite eğrisi

Çizelge 4.8 : X-X yönü statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi değerleri

İtme Adımı	u_{xN1} **(m)**	V_{x1} **(kN)**	α_{1x} **(m/s²)**	d_{1x} **(m)**
0	0	0	0	0
1	0,003	615	0,244	0,002
2	0,007	1106	0,440	0,005
3	0,012	1810	0,720	0,009
4	0,016	2281	0,907	0,011
5	0,020	2769	1,101	0,015
6	0,024	3164	1,257	0,017
7	0,028	3502	1,392	0,020
8	0,032	3777	1,501	0,023
9	0,035	4010	1,594	0,025
10	0,040	4246	1,687	0,028
11	0,043	4418	1,756	0,031
12	0,047	4555	1,810	0,034
13	0,052	4701	1,868	0,037
14	0,056	4804	1,909	0,040
15	0,060	4905	1,949	0,043
16	0,064	4996	1,985	0,046
17	0,069	5090	2,023	0,049
18	0,074	5180	2,059	0,053
19	0,078	5251	2,087	0,055
20	0,082	5328	2,117	0,059
21	0,086	5393	2,143	0,062
22	0,090	5452	2,167	0,064
23	0,095	5523	2,195	0,068
24	0,099	5584	2,219	0,070
25	0,103	5646	2,244	0,074
26	0,107	5699	2,265	0,077
27	0,111	5738	2,280	0,079
28	0,115	5781	2,297	0,082
29	0,120	5842	2,322	0,085
30	0,124	5901	2,345	0,089
31	0,130	5963	2,370	0,093
32	0,135	6009	2,388	0,096
33	0,137	6028	2,396	0,098
34	0,137	6003	2,386	0,098
35	0,142	6066	2,411	0,102
36	0,146	6105	2,426	0,104
37	0,151	6153	2,445	0,108
38	0,155	6194	2,462	0,111
39	0,161	6246	2,482	0,115
40	0,165	6288	2,499	0,118
41	0,170	6331	2,516	0,121
42	0,174	6367	2,530	0,124
43	0,179	6413	2,549	0,128
44	0,180	6419	2,551	0,129

4.7.1.2 Talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin çakıştırılması

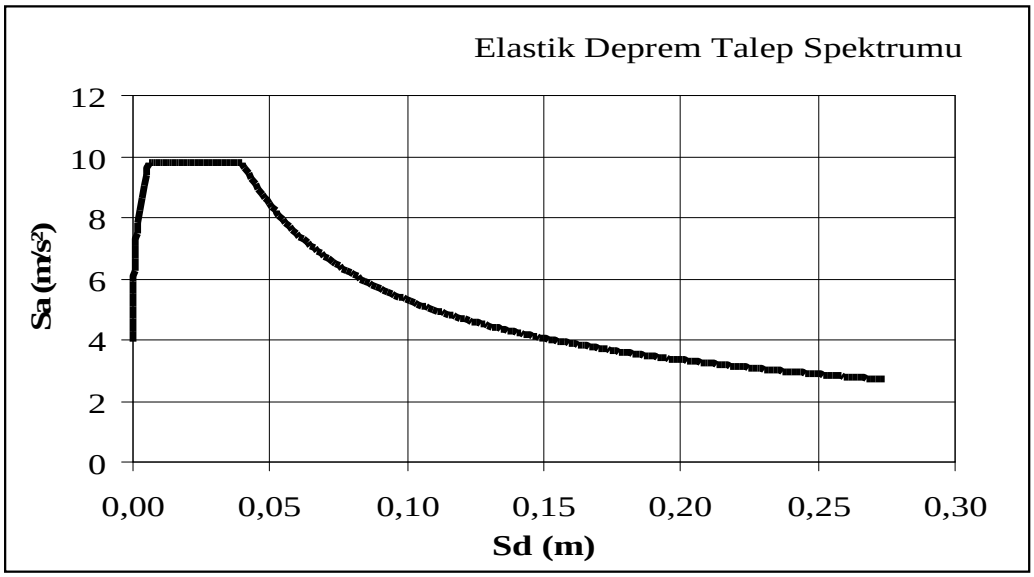
Deprem etkisi DBYBHY 2007'de spektrum eğrisi ile gösterilir. Deprem talep eğrisinin modal kapasite eğrisi ile bir araya gelebilmesi için eksen dönüşümüne ihtiyaç duyulur. Şekil 4.11'de Z2 sınıfı zemin için gösterilen spektrum eğrisi, tasarım depremi dikkate alınarak, elastik deprem spektrumuna dönüştürülür (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 : Z2 sınıfı zemin karakteristikli spektrum eğrisi

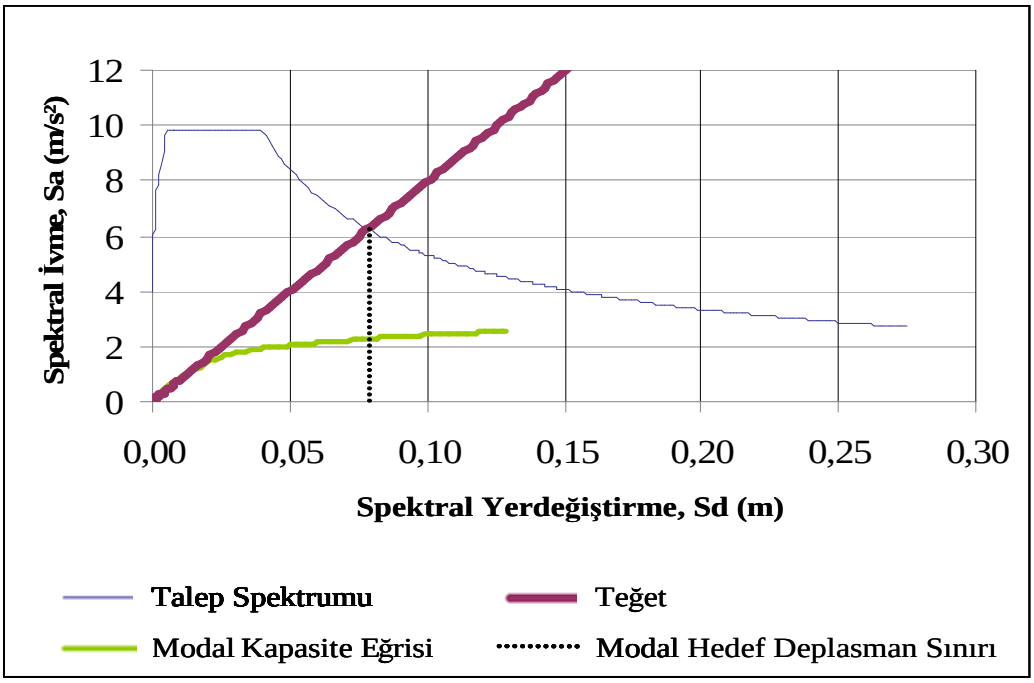
Deprem talep eğrisi üzerinde bulunan herhangi bir noktadaki modal yerdeğiştirme değeri denklem (4.22) kullanılarak hesaplanabilir.

$$d_1^{(i)} = \alpha_1^{(i)} \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \tag{4.22}$$



Şekil 4.12 : %5 Sönümlü tasarım depremi için elastik deprem talep spektrumu

Modal kapasite eğrisinin başlangıç teğeti ile elastik deprem talep spektrum eğrisinin birleştirilmesi sonucu modal hedef deplasman sınırı Şekil 4.13'de 0.077 m. olarak belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen modal deplasman değeri, denklem (4.21) kullanılarak koordinat dönüşümüne tabi tutulmuş ve hedef deplasman sınırı 0.109 m. olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.13 : Yapının X yönü için spektral hedef deplasman değerinin belirlenmesi

$S_{di1} = C_{R1} \cdot S_{de1}$

$C_{R1} = 1$

$d_1^{(p)} = S_{di1} = S_{de1} = 0.077$ m.

$u_{xN1}^{(p)} = 0.109$ m.

Kesişim noktası spektrum eğrisinin kuyruk bölgesinde meydana gelmiştir. Bunun sonucunda elastik yerdeğiştirmenin elasto-plastik yerdeğiştirmeye eşit olacağı kabulü ile C_{R1} değeri 1 alınmış, herhangi bir büyütme yapılmamıştır. Ayrıca analiz sonucunda X doğrultusu için çatlamış kesitli duruma ait yapı periyodu 0,67 sn. bulunmuştur. Kesişim noktasına gelen karşı gelen periyot değerinin, zemin parametresi $T_B = 0.40$ sn. değerinden oldukça büyük olduğu açıkça görülmektedir.

4.7.2 Y yönü için hedef deplasman sınırının belirlenmesi

4.7.2.1 Y yönü için modal kapasite eğrisinin elde edilmesi

Hedef deplasman noktasını belirleyebilmek için statik itme eğrisini, deprem talep eğrisiyle bir araya getirmek gerekir. Bunun için önce statik itme eğrisinde bir eksen değişimi yapılmalıdır. Bu eksen değişimi, Şekil 4.9 ile gösterilen kapasite eğrisinin, modal koordinat dönüşümlerinin yapılması ile gerçekleşir. V_{y1} toplam kuvvet (taban kesme kuvveti), α_{1y} modal ivmeye ve u_{yN1} en üst katın yer değiştirmesi, d_{1y} modal yerdeğiştirmeye dönüştürülür.

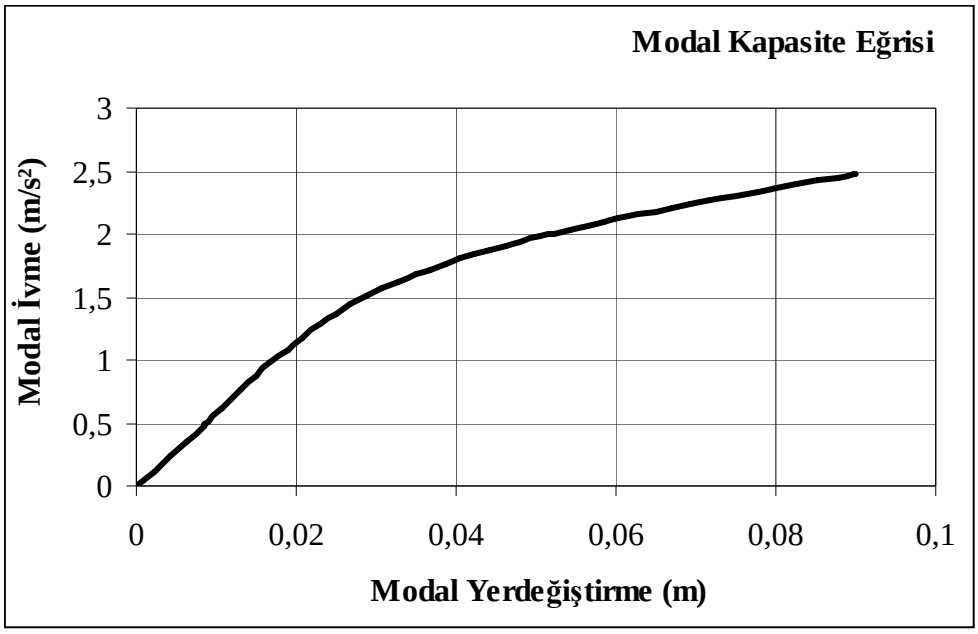
Çizelge 4.9 : Y-Y doğrultusu kapasite eğrisi dönüşüm değerleri

Kat	w_i (kN)	m_i (kNs²/m)	ϕ_{ix1}	$m_i \cdot \phi_{ix1}$ (kNs²/m)	$m_i \cdot \phi_{ix1}^2$ (kNs²/m)	M_{x1} (kNs²/m)	Γ_{x1}
8	3822	390	0,024	9,32	0,22	2581	57,04
7	4238	432	0,022	9,38	0,20		
6	4238	432	0,019	8,21	0,16		
5	4238	432	0,016	6,82	0,11		
4	4238	432	0,012	5,24	0,06		
3	4238	432	0,008	3,58	0,03		
2	4238	432	0,005	1,98	0,01		
1	4650	474	0,002	0,73	0,00		

Bu dönüşümün yapılabilmesi için denklem 4.20, denklem 4.21 ve Bölüm 3.3.1.7'de konu edilen denklemlerden faydalanılmıştır. Bulunan dönüşüm değerleri Çizelge 4.9, bulunan sonuçlar Çizelge 4.10, elde edilen elastik modal kapasite eğrisi Şekil 4.14 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 : Y-Y yönü statik itme eğrisi ve modal kapasite eğrisi değerleri

İtme Adımı	**u_{yN1} (m)**	**V_{y1} (kN)**	**α_{1y} (m/s²)**	**d_{1y} (m)**
0	0	0	0	0
1	0,004	303	0,117	0,003
2	0,007	606	0,235	0,005
3	0,009	909	0,352	0,007
4	0,011	1212	0,469	0,008
5	0,012	1281	0,496	0,009
6	0,015	1595	0,618	0,011
7	0,018	1946	0,754	0,013
8	0,020	2255	0,874	0,015
9	0,023	2528	0,980	0,017
10	0,026	2805	1,087	0,019
11	0,028	3046	1,180	0,021
12	0,031	3298	1,278	0,023
13	0,034	3521	1,364	0,025
14	0,037	3718	1,440	0,027
15	0,039	3897	1,510	0,029
16	0,042	4044	1,567	0,031
17	0,045	4194	1,625	0,033
18	0,048	4332	1,678	0,035
19	0,050	4438	1,719	0,037
20	0,053	4551	1,763	0,039
21	0,055	4651	1,802	0,041
22	0,058	4743	1,838	0,042
23	0,061	4839	1,875	0,044
24	0,063	4923	1,907	0,046
25	0,065	4999	1,937	0,048
26	0,069	5101	1,977	0,051
27	0,071	5172	2,004	0,052
28	0,074	5247	2,033	0,054
29	0,077	5332	2,066	0,056
30	0,080	5409	2,096	0,058
31	0,082	5481	2,123	0,060
32	0,086	5560	2,154	0,063
33	0,089	5628	2,181	0,065
34	0,091	5688	2,204	0,067
35	0,094	5766	2,234	0,069
36	0,098	5849	2,266	0,072
37	0,102	5952	2,306	0,075
38	0,106	6037	2,339	0,078
39	0,109	6104	2,365	0,080
40	0,113	6173	2,392	0,083
41	0,116	6254	2,423	0,085
42	0,120	6323	2,450	0,088
43	0,122	6371	2,469	0,090
44	0,123	6377	2,471	0,090



Şekil 4.14 : Yapının Y yönündeki elastik modal kapasite eğrisi

4.7.2.2 Talep eğrisi ile modal kapasite eğrisinin çakıştırılması

Modal kapasite eğrisinin başlangıç teğeti ile elastik deprem talep spektrum eğrisinin birleştirilmesi sonucu modal hedef deplasman sınırı Şekil 4.15'de 0.087 m. olarak belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen modal deplasman değeri, denklem (4.21) kullanılarak koordinat dönüşümüne tabi tutulmuş ve hedef deplasman sınırı 0.119 m. olarak hesaplanmıştır.

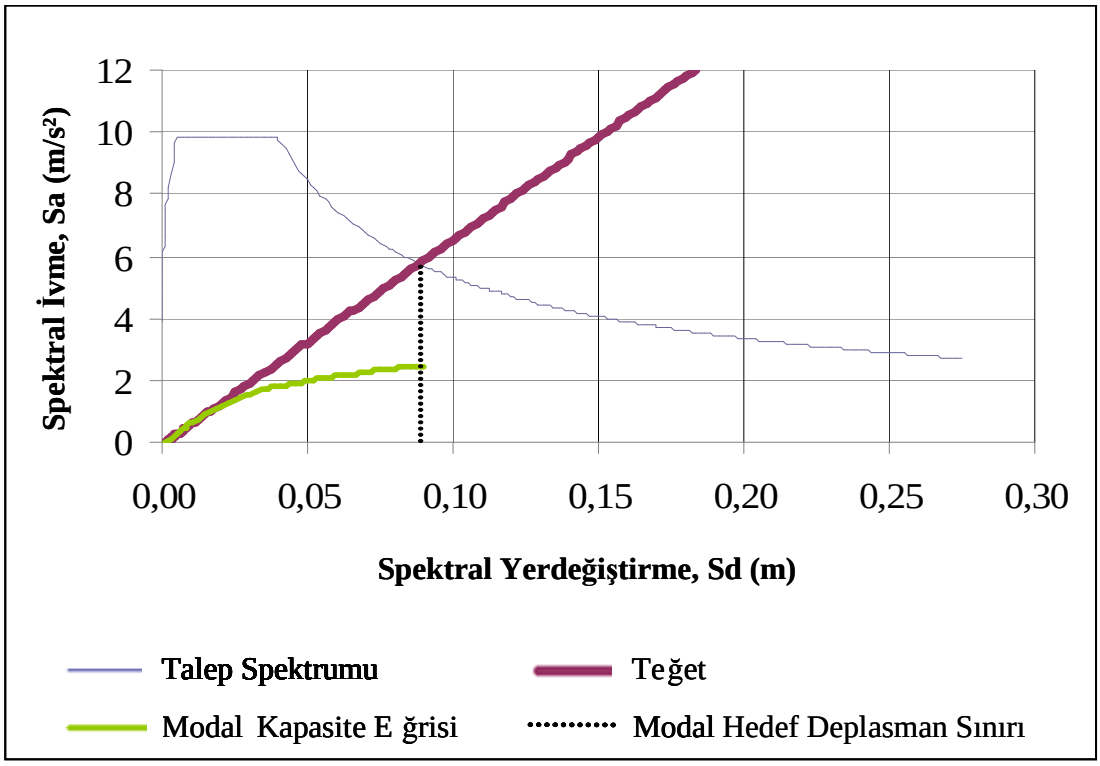
Kesişim noktası spektrum eğrisinin kuyruk bölgesinde meydana gelmiştir. Bunun sonucunda elastik yerdeğiştirmenin elasto-plastik yerdeğiştirmeye eşit olacağı kabulü ile C_{R1} değeri 1 alınmış, herhangi bir büyütme yapılmamıştır. Ayrıca analiz sonucunda Y doğrultusu için çatlamış kesitli duruma ait yapı periyodu 0,92 sn. bulunmuştur. Kesişim noktasına gelen karşı gelen periyot değerinin, zemin parametresi T_B = 0.40 sn. değerinden oldukça büyük olduğu açıkça görülmektedir.

$S_{di1} = C_{R1} \cdot S_{de1}$

$C_{R1} = 1$

$d_1^{(p)} = S_{di1} = S_{de1} = 0.087$ m.

$u_{yN1}^{(p)} = 0.119$ m.



Şekil 4.15 : Yapının Y yönü için spektral hedef deplasman değerinin belirlenmesi

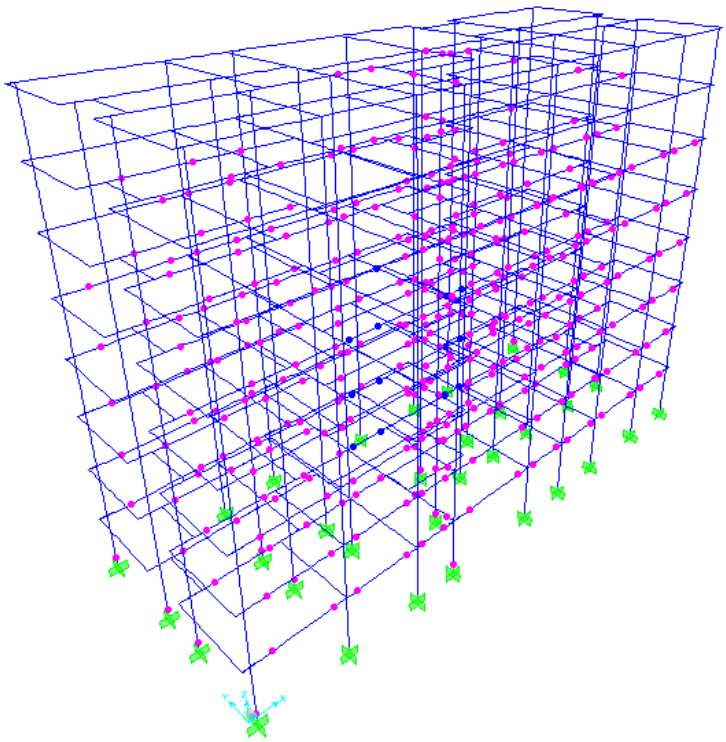
4.8 Gerçek Hedef Deplasman Değeri İle Analizin Tekrarı

Yapılan itme analizlerinin ardından bulunan hedef deplasman değerleri üst sınır olarak analiz programına atanmış, itme analizi tekrar edilmiştir ve her iki yön için yapılan analizler sonucunda bina taşıyıcı sistem elemanlarında ortaya çıkan plastik mafsal oluşumları Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 ile gösterilmiştir.

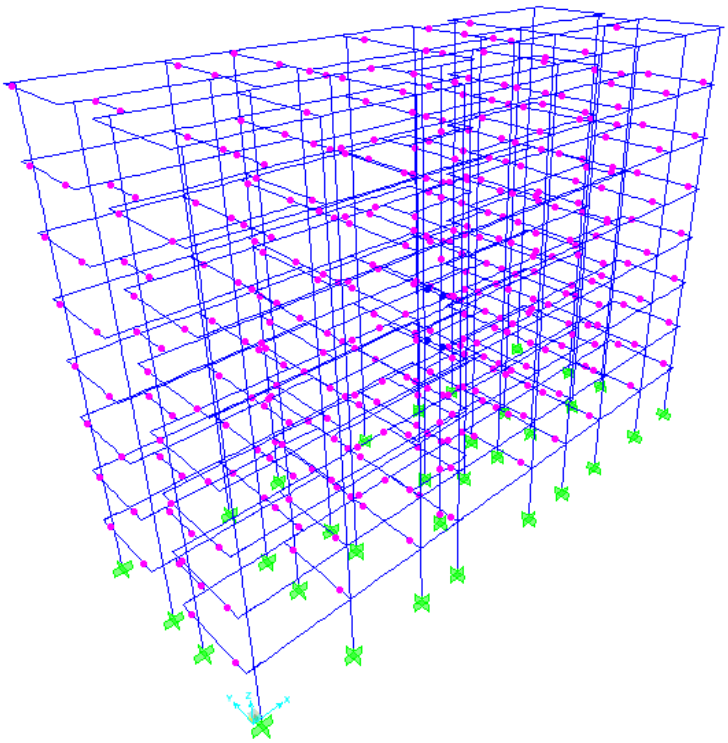
Plastik mafsal dönmeleri, taşıyıcı sistem elemanlarının plastik mafsal oluşan kısımlarından elde edilir. Plastik mafsal dönmeleri, Bölüm 3.3.1.12'de anlatıldığı gibi, her kesit için çalışan doğrultudaki kesit boyunun yarısı olarak kabul edilen L_p plastik mafsal boyuna bölünmüş ve kesitlere ait plastik eğrilikler elde edilmiştir. Bu plastik eğriliklere kesitin plastikleşmeye erişinceye kadar yaptığı akma elastik eğriliği de eklenerek denklem (4.23) ile gösterilen Φ_t toplam eğriliği bulunmuştur. Eşdeğer akma eğriliği denklem (4.24) ile gösterilen Priestley formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Phi_t = \Phi_y + \Phi_p \tag{4.23}$$

$$\Phi_y = \frac{2.1\varepsilon_{sy}}{h} \tag{4.24}$$



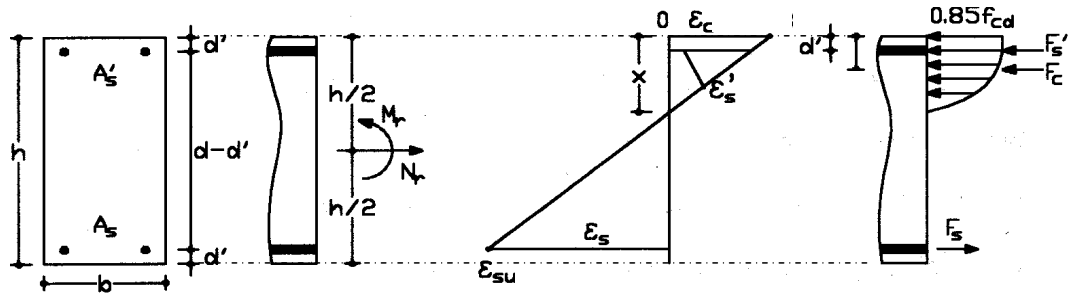
Şekil 4.16 : X yönü için yapılan analiz sonucu ortaya çıkan plastik mafsallar



Şekil 4.17 : Y yönü için yapılan analiz sonucu ortaya çıkan plastik mafsallar

Kirişlerde hasar durumu belirlenirken sargısız beton kabulü yapılmıştır. Betonda birim kısalma ve donatıda birim uzama değerleri hesaplanırken akma eğriliğinden faydalanılmıştır. Bileşik eğilme altında akma durumundaki kesitte denklem (4.25) ile gösterilen bağıntı kullanılır. Kiriş gerilme-şekildeğiştirme diyagramı Şekil 4.18 ile gösterilmiştir.

$$F_s - F_c - F'_s = N_r \qquad (4.25)$$



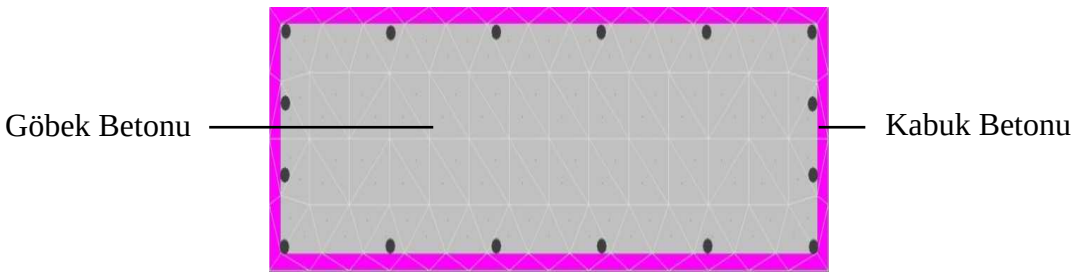
Şekil 4.18 : Çift donatılı birleşik eğilme altındaki kirişin gerilme-şekildeğiştirme bağıntısı

Kiriş hesabında normal kuvvet N, sıfır kabul edilmiş ve denklem (3.18) yardımıyla tarafsız eksen X bulunmuş ve betondaki birim kısalma ve donatıdaki birim uzama değerleri denklem (4.26) ile bulunmuştur. Kirişlerin hasar sonuçları EK B, Çizelge B.1'de detaylı şekilde gösterilmiştir.

$$F_s - F_c - F'_s = 0$$

$$\Phi_y = \frac{\varepsilon_c}{x} \Rightarrow \qquad \varepsilon_c = \varepsilon_s \frac{x}{d - x} \qquad (4.26)$$

Kolon ve perdelerin hasar sınırları belirlenirken XTRACT programı kullanılmıştır. Bu elemanların geometrisi ve donatı detayı, programa veri olarak girilmiş, kesitlerde sargılı beton davranışı için kolon ve perde dış kabuk betonunda Mander sargısız beton modeli, etriyeler ile çevrili çekirdek betonunda ise Mander sargılı beton modeli kullanılmıştır (Şekil 4.19).



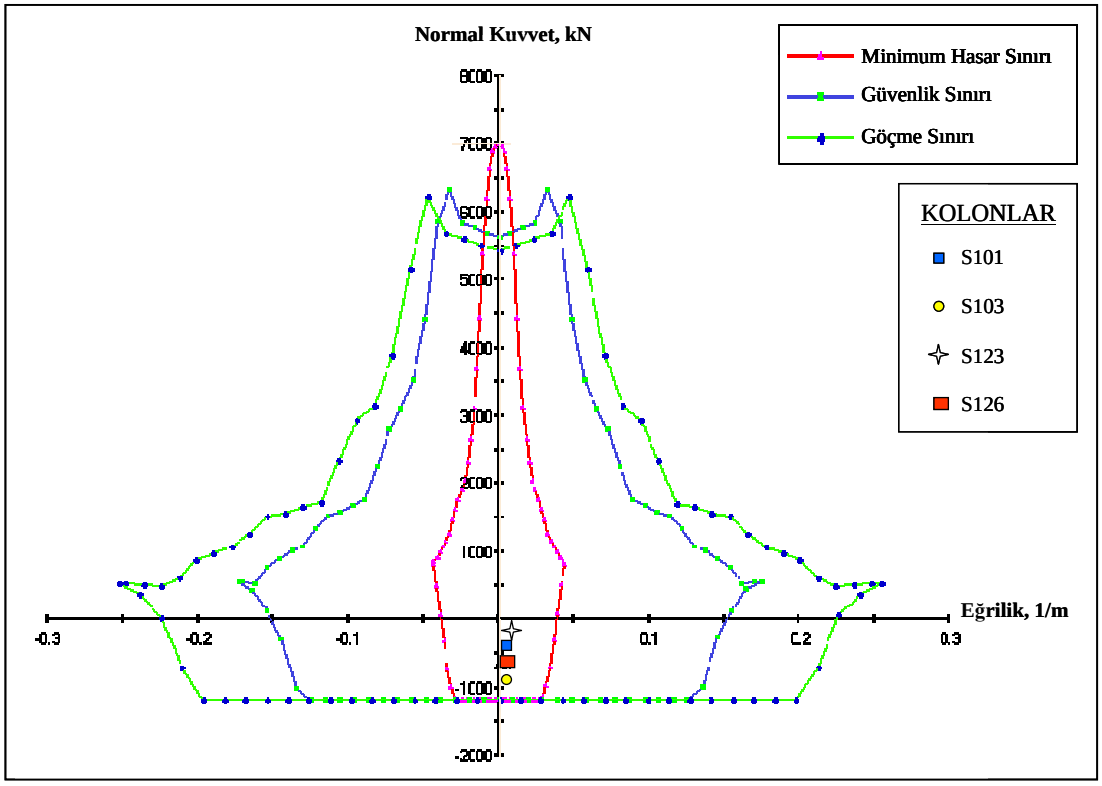
Şekil 4.19 : 70x35 kolon kesit modeli

Yapıda bulunan kolonlar ve perdeler için kesit hasar sınırlarına göre izin verilen beton ve çelik birim şekildeğiştirme üst sınırları (kapasiteleri) Bölüm 2.3.1'de anlatıldığı gibi hesaplanmış ve Çizelge 4.11 ile tanımlanmıştır. Elde edilen bu değerler kesit analizi yapan XTRACT programına tanımlanmış ve ilgili kesitin bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları elde edilmiştir.

Çizelge 4.11 : Yapıdaki kolon ve perdeler için hesaplanan beton ve çelik şekildeğiştirme kapasiteleri

	Kesit Minimum Hasar Sınırı		Kesit Güvenlik Sınırı		Kesit Göçme Sınırı	
KESİT TİPİ	$(\varepsilon_{cu})_{MN}$	$(\varepsilon_{s})_{MN}$	$(\varepsilon_{cg})_{GV}$	$(\varepsilon_{s})_{GV}$	$(\varepsilon_{cg})_{GC}$	$(\varepsilon_{s})_{GC}$
S40 x 60	0.0035	0.01	0.0135	0.04	0.0180	0.06
S60 x 40	0.0035	0.01	0.0135	0.04	0.0180	0.06
S35 x 70	0.0035	0.01	0.0135	0.04	0.0180	0.06
S70 x 35	0.0035	0.01	0.0135	0.04	0.0180	0.06
S35 x 105	0.0035	0.01	0.0121	0.04	0.0160	0.06
S105 x 35	0.0035	0.01	0.0121	0.04	0.0160	0.06
Asansör Per.	0.0035	0.01	0.0135	0.04	0.0180	0.06

İtme analizi sonunda bulunan normal kuvvet ve hesaplanan toplam eğrilik değerleri ile diyagramdaki hasar sınırları karşılaştırılarak kesitlerin hasar durumu tespit edilmiştir. Kesit hasar sınırları bulunan 70x35 kolon kesiti için performans düzeylerini belirten diyagram ve ilgili kesite ait olan kolonların analizdeki yerleşimi Şekil 4.20 ile belirtilmiştir. Plastik mafsallaşma görülen diğer kesitlere ait diyagramlar EK B, Şekil B1 ile verilmiştir.



Şekil 4.20 : 70x35 kolon X-X yönü performans düzeyleri

4.8.1 X yönü için kesit hasar tespiti

Yapılan analizler sonucunda ortaya çıkan veriler değerlendirilmiş; kolon, kiriş ve perdelerin, Bölüm 2.3'de anlatıldığı gibi, kesit hasar tespitleri yapılmıştır. Bu hasar değerlendirmeleri ile ilgili bilgiler EK B, Çizelge B.1. ve Şekil B.1'de detaylı bir şekilde verilmiştir. Bu verilere göre kirişlerin kesit bazındaki hasar durumları Çizelge 4.12 ile gösterilmiştir.

Çizelgede de görüldüğü üzere ilk beş katta katlar bazında kirişlerin %30'undan fazlası belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Daha üst katlarda belirgin hasar bölgesine geçen kiriş sayısında azalma olmuştur. Yapıda X yönü için yapılan analiz sonucunda ileri hasar bölgesine geçen kiriş kesitine rastlanmamıştır.

Çizelge 4.12 : X-X yönünde kiriş hasar durumları

KATLAR	TOPLAM KİRİŞ SAYISI	MHB	BHB	İHB	KAT HASAR DURUMU
1	52	29	23	0	%44 Belirgin Hasar Bölgesi
2	52	22	30	0	%58 Belirgin Hasar Bölgesi
3	52	22	30	0	%58 Belirgin Hasar Bölgesi
4	52	22	30	0	%58 Belirgin Hasar Bölgesi
5	52	36	16	0	%31 Belirgin Hasar Bölgesi
6	52	50	2	0	%4 Belirgin Hasar Bölgesi
7	52	51	1	0	%2 Belirgin Hasar Bölgesi
8	52	51	1	0	%2 Belirgin Hasar Bölgesi

Kolonlarda ve perdelerde plastik mafsal oluşan kesitlerin normal kuvvet ve toplam eğrilik diyagramları çizilmiştir. Sonra, statik itme analizi sonucu hesaplanan değerlere göre eğrilik diyagramındaki yerleri belirlenmiş ve hasar sınırları okunmuştur. Aşağıda Çizelge 4.13 ile kolon ve Çizelge 4.14 ile perde kesit hasar sınırları verilmiştir.

Çizelge 4.13 : X-X yönünde kolon hasar durumları

KOLON	UÇ	P kN	M2 kNm	M3 kNm	Lp m	Φ_p rad/m x E-03	Φ_y rad/m x E-03	Φ_t rad/m x E-03	KESİT HASAR BÖLGESİ
S101	0	-475	22	469	0,35	1,06	6,30	7,36	MHB
S103	0	-960	12	553	0,35	0,14	6,30	6,44	MHB
S107	0	-991	5	1049	0,53	2,30	4,20	6,50	MHB
S108	0	-594	14	972	0,53	2,30	4,20	6,50	MHB
S109	0	-737	11	1022	0,53	2,23	4,20	6,43	MHB
S111	0	-1098	10	1171	0,53	1,54	4,20	5,74	MHB
S113	0	-1230	0	1185	0,53	1,63	4,20	5,83	MHB
S114	0	-1089	1	1082	0,53	1,87	4,20	6,07	MHB
S115	0	-490	22	918	0,53	2,35	4,20	6,55	MHB
S116	0	-949	15	1034	0,53	2,02	4,20	6,22	MHB
S122	0	-882	3	1121	0,53	1,57	4,20	5,77	MHB
S123	0	-238	17	422	0,35	0,76	6,30	7,06	MHB
S126	0	-530	20	475	0,35	0,43	6,30	6,73	MHB

Çizelge 4.14 : X-X yönünde perde hasar durumları

PERDE	UÇ	P kN	M2 kNm	M3 kNm	Φ_p rad/m x E-03	Φ_y rad/m x E-03	Φ_t rad/m x E-03	KESİT HASAR BÖLGESİ
P101	0	-2769	-7030	-299	1,64	1,08	2,72	MHB
P201	0	-2469	-5258	-99	1,43	1,08	2,51	MHB
P301	0	-2146	-3351	-78	0,29	1,08	1,37	MHB
P501	0	-1416	3280	137	0,51	1,08	1,58	MHB
P601	0	-1065	3512	91	0,91	1,08	1,98	MHB
P701	0	-700	3416	78	0,79	1,08	1,87	MHB
P801	0	-323	2679	28	0,41	1,08	1,48	MHB

4.8.2 Y yönü için kesit hasar tespiti

Y-Y yönündeki kesit hasar bölgeleri Çizelge 4.15 ile gösterilmiştir. Kesitlere ait hasar sınırları EK B, Çizelge B.2. ve Şekil B.2 ile belirtilmiştir.

Çizelge 4.15 : Y-Y yönünde kiriş hasar duru$mları

KATLAR	TOPLAM KİRİŞ SAYISI	MHB	BHB	İHB	KAT HASAR DURUMU
1	52	46	6	0	%12 Belirgin Hasar Bölgesi
2	52	29	23	0	%44 Belirgin Hasar Bölgesi
3	52	28	24	0	%46 Belirgin Hasar Bölgesi
4	52	29	23	0	%44 Belirgin Hasar Bölgesi
5	52	29	23	0	%44 Belirgin Hasar Bölgesi
6	52	40	12	0	%23 Belirgin Hasar Bölgesi
7	52	47	5	0	%10 Belirgin Hasar Bölgesi
8	52	51	1	0	%2 Belirgin Hasar Bölgesi

Çizelgede de görüldüğü üzere ilk altı katta kirişlerin ayrı ayrı katlar bazında %10'undan fazlası belirgin hasar bölgesine geçmiştir. Daha üst katlarda belirgin hasar bölgesine geçen kiriş sayısında belirgin bir azalma olmuştur. Yapıda Y yönü için yapılan analiz sonucunda ileri hasar bölgesine geçen kiriş kesitine rastlanmamıştır.

Y-Y yönünde hiçbir kolon kesitinde plastik mafsal oluşmamıştır. Perdelerde plastik mafsal oluşan kesitlerin, normal kuvvet - toplam eğrilik diyagramları çizilmiştir. Sonra, statik itme analizi sonucu hesaplanan değerlere göre eğrilik diyagramındaki yerleri belirlenmiş ve hasar sınırları okunmuştur. Aşağıda Çizelge 4.16 ile perde kesit hasar sınırları verilmiştir.

Çizelge 4.16 : Y-Y yönünde perde hasar durumları

PERDE	UÇ	P kN	M2 kNm	M3 kNm	Φ_p rad/m x E-03	Φ_y rad/m x E-03	Φ_t rad/m x E-03	KESİT HASAR BÖLGESİ
P101	0	150	978	28448	0,22	1,00	1,22	MHB
P201	0	101	700	19715	0,21	1,00	1,21	MHB
P301	0	48	390	10892	0,16	1,00	1,16	MHB
P601	0	-1081	-598	-6516	0,05	1,00	1,05	MHB
P701	0	-706	-578	-7873	0,08	1,00	1,08	MHB
P801	0	-324	-399	-6844	0,06	1,00	1,06	MHB

4.9 Bina Performans Seviyesinin Belirlenmesi

Yapıyı oluşturan elemanların itme analizi sonucu kat bazında hasar dağılımı Bölüm 4.8'de elde edilmiştir. Bu hasar durumları Bölüm 2.4'de anlatılan taşıyıcı sistem deprem performans seviyeleri ile mukayese edildiğinde bina performans seviyesi ortaya çıkar. Bina performans seviyesi belirlenirken, birbirine dik iki doğrultu için, herhangi bir katta oluşan hasarların en olumsuzu dikkate alınmıştır.

Yapı kirişlerinin % 10'undan fazlası belirgin hasar bölgesindedir. Bu, yapının Hemen Kullanım Performans Seviyesi'nin ötesinde bir seviyede olduğunu gösterir. Hasar sonuçları, bir ileri performans seviyesi olan ve Bölüm 2.4.2'de detaylı şekilde anlatılan Can Güvenliği Performans Seviyesi için kontrol edilirse;

- Kiriş elemanlarının hiçbiri ileri hasar bölgesine geçmemiştir. Kat bazında değerlendirilirse, en fazla %58 oranında belirgin hasar bölgesinde bulunan kirişler vardır. İleri Hasar Bölgesi'ne geçen kiriş bulunmamaktadır. Can Güvenliği Performans Seviyesi için kirişlerin en fazla %30'unun ileri hasar bölgesine geçmesine izin verildiğinden bu koşul sağlanmaktadır.
- Kolon ve perdelerin bir kısmı belirgin hasar bölgesine geçmiş ama ileri hasar bölgesine geçen olmamıştır.

- Taşıyıcı sistemin bütün elemanları minimum hasar bölgesi ve belirgin hasar bölgesindedir. Her iki ucunun da belirgin hasar bölgesinde olduğu kolon bulunmamaktadır.

Tüm bu değerlendirmeler neticesinde, bu çok katlı mevcut betonarme yapının taşıyıcı sistem deprem performans seviyesi, Can Güvenliği Performans Seviyesi'dir. DBYBHY 2007'de mevcut konut niteliğindeki yapılar için 50 yılda %10 aşılma olasılıklı deprem için öngörülen performans hedefi Can Güvenliği Performans seviyesidir. Analizi yapılan yapının deprem performansı açısından problemi bulunmamaktadır.

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, mevcut sekiz katlı betonarme bir yapının deprem performans seviyesinin DBYBHY 2007'nin öngördüğü sınırlar içinde kalıp kalmadığının incelemesi yapılmıştır. Bu incelemede, doğrusal elastik olmayan analiz yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde değerlendirilmiştir.

DBYBHY 2007'de belirtilen performans sınırlarına göre taşıyıcı sistem elemanları bazında kesitler incelenmiştir. Yapıda ileri hasar bölgesine geçen eleman olmadığı görülmüştür. Belirgin hasar bölgesine ise sadece bazı kirişler geçmiştir. Tüm kolon ve perde elemanları minimum hasar bölgesinde kalmıştır. Kirişlerde yapının mod şeklini yansıtacak şekilde bir hasar durum dağılımı gözlenmiştir. Kiriş elemanlarında kolonlara oranla çok daha fazla plastik mafsal oluşmuştur. Bu, itme analizi sırasında binanın sünek davranış gösterdiğini ve güçlü kolon-zayıf kiriş ilkesinin sağladığını ifade etmektedir.

Yapının deprem performans seviyesi, taşıyıcı sistem elemanlarının kesit hasarlarına bakılarak Can Güvenliği Performans Seviyesi olarak bulunmuştur. Yapıda gevrek güç tükenmesine uğrayan elemanlar da bulunmadığından, yapı güçlendirilmeye gerek kalmadan kullanılabilir durumdadır.

Yapının taşıyıcı sistemi incelendiğinde, kolon güçlü eksenlerinin X doğrultusunda Y yönüne kıyasla çoğunlukta olduğu görülmektedir. Beklendiği gibi, analizler yapıldığında yapının güçlü eksen olan X yönünde, periyodunun daha küçük ve taban kesme kuvvetinin daha büyük olduğu görülmüştür.

Yapının doğrusal olmayan analiz sonucunda her iki yönde karşıladığı taban kesme kuvvetleri, doğrusal elastik yöntem sonucunda bulunan kuvvetlere kıyasla daha büyük bulunmuştur. Doğrusal olmayan analiz sonucunda X yönünde 6418 kN iken doğrusal elastik yöntemde 4137 kN bulunmuştur. Yapının bu yöndeki dayanım fazlalığı oranı, yani binanın karşıladığı taban kesme kuvvetinin binaya etkiyen deprem yüküne oranı 1.55 olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde Y yönünde de

doğrusal olmayan analizde 6376 kN, doğrusal elastik analizde ise 3442 kN taban kesme kuvveti değerleri bulunmuştur. Yapının bu yöndeki dayanım fazlalığı oranı ise 1.85 olarak hesaplanmıştır.

Dayanım fazlalığı oluşmasının birinci nedeni, tasarım aşamasında beton ve çeliğin azaltılmış dayanımları üzerinden hesap yapılmasıdır. Beton karakteristik dayanımı tasarım esnasında 1.5 kat, çeliğin dayanımı ise 1.15 kat azaltılarak tasarım değerlerine geçilir ve hesapta bu azaltılmış değerler kullanılır. Dayanım fazlalığının diğer bir sebebi ise, analizi yapılan mevcut binada olduğu gibi yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemlerin hiperstatiklik derecesinin fazlalığıdır. Yapıda plastik mafsalların oluşumu ile birlikte kapasitelerine ulaşan kesitlere gelen yükler diğer kesitlerce paylaşılmış, sistemin güç tükenme yükü artmış ve dayanım fazlalığı oluşmuştur.

İnşaat mühendisinin taşıyıcı sistemi çözerken hedefi, gereksiz dayanım fazlalığı olmayan, ekonomik, hafif, öngörülen depreme dayanıklı, mimariyle uyumlu ve doğal çevreye duyarlı bir çözüm üretmek olmalıdır. Şu anda DBYBHY 2007'de mevcut binaların deprem güvenliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan doğrusal elastik davranışı esas alan kuralların, yeni tasarımı yapılacak yapıları da içerecek biçimde değiştirilmesiyle bu nihai hedefe bir adım daha yaklaşılacaktır.

6. KAYNAKLAR

[1] **Darılmaz**, **K.,** 2008. Betonarme Düzlem Çerçeve Bir Yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Performans Değerlendirmesi, *İMO İstanbul Bülten*, 94, s.18-22, İstanbul.

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

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

[4] **Köse, D.,** 2007, Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Betonarme Bir Binanın Performans Seviyesinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[5] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

[6] **Özer, E.,** 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, İstanbul.

[7] **SAP 2000,** Integrated Structural Analysis and Design Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

[8] **XTRACT V2.6.2,** Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento.

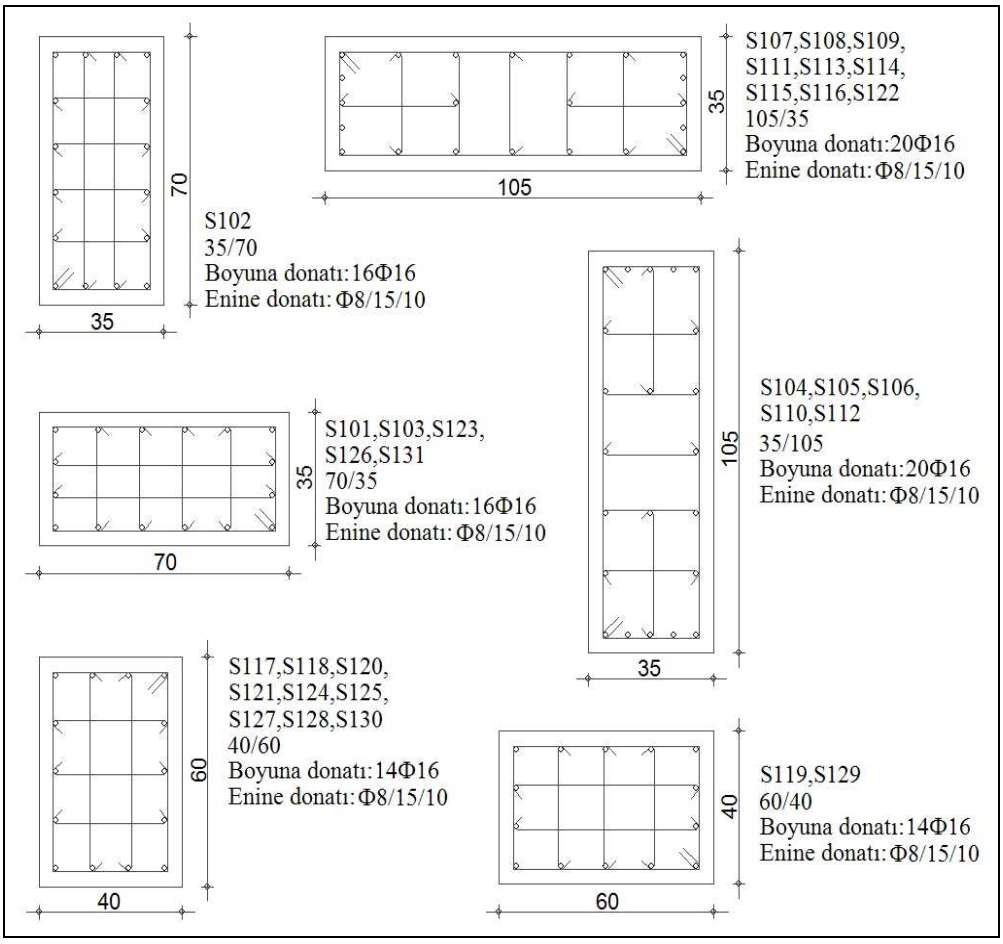
[9] **TS-500,** 2000, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, İstanbul.

[10] **TS-498,** 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Ankara.

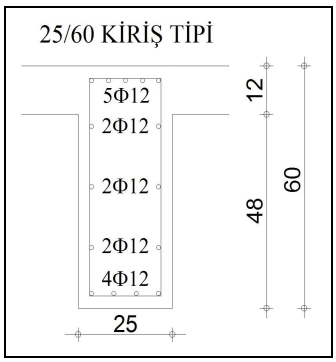
[11] **Park, R., and Paulay T.,** 1975. Reinforced Concrete Structures, John Wiley, New York.

EKLER

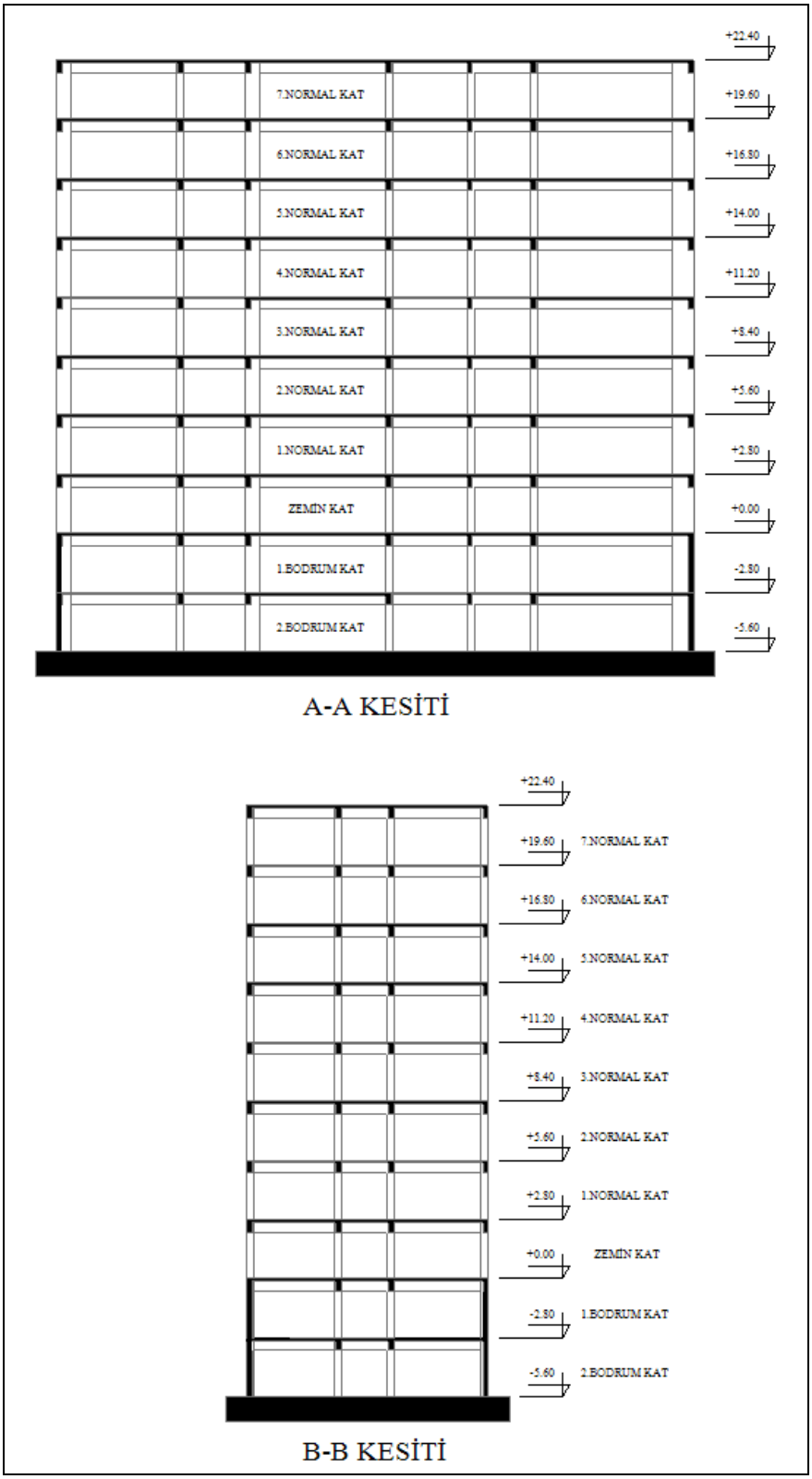
EK A.1 : Yapı modeli ve yapı bilgileri



Şekil A.1: Kolon kesitleri



Şekil A.2: Kiriş kesiti



Şekil A.3 : Bina kesitleri

Çizelge A.1.a : Kirişlere etkiyen yükler (8. kat hariç)

Kiriş	bw (mm)	d (mm)	Kiriş Uzunluğu (m)	Çizgisel (G) (kN)	Çizgisel (Q) (kN)
K101	250	600	5,30	12,75	2,56
K102	250	600	2,95	10,99	1,77
K103	250	600	5,45	14,91	3,01
K104	250	600	4,35	12,10	2,26
K105	250	600	3,00	13,66	4,67
K106	250	600	6,70	14,28	2,83
K107	250	600	3,90	13,98	4,22
K108	250	600	2,95	11,54	3,12
K109	250	600	6,15	17,76	3,01
K110	250	600	4,35	14,50	4,51
K111	250	600	3,00	13,66	4,00
K112	250	600	5,65	16,02	4,65
K113	250	600	3,90	13,55	7,55
K114	250	600	2,95	9,15	3,47
K115	250	600	2,35	14,35	4,09
K116	250	600	3,80	9,85	2,09
K117	250	600	1,55	13,15	3,86
K118	250	600	2,80	12,94	2,76
K119	250	600	3,00	14,13	4,19
K120	250	600	4,10	9,33	4,00
K121	250	600	2,60	13,13	3,64
K122	250	600	4,25	12,31	5,89
K123	250	600	4,00	11,77	2,12
K124	250	600	2,00	11,50	1,60
K125	250	600	5,00	10,98	1,78
K126	250	600	2,80	10,08	1,65
K127	250	600	3,00	11,05	1,80
K128	250	600	4,10	11,83	2,15
K129	250	600	2,95	11,53	2,02
K130	250	600	4,45	13,30	4,71
K131	250	600	2,50	13,30	4,71
K132	250	600	4,50	12,31	5,89
K133	250	600	3,75	14,24	4,33
K134	250	600	2,50	11,28	3,01
K135	250	600	4,50	7,77	8,01
K136	250	600	4,45	14,24	4,78
K137	250	600	1,45	12,90	2,08
K138	250	600	4,50	16,27	3,79
K139	250	600	2,98	10,75	2,00
K140	250	600	4,45	17,51	5,27
K141	250	600	1,45	5,90	2,08
K142	250	600	4,50	10,75	2,02
K143	250	600	3,40	8,09	3,85
K144	250	600	1,45	9,98	4,23
K145	250	600	4,50	11,05	1,80
K146	250	600	3,40	15,51	4,42
K147	250	600	2,50	14,17	4,21
K148	250	600	4,50	9,33	3,95
K149	250	600	4,50	13,86	4,17
K150	250	600	4,45	14,43	2,83
K151	250	600	2,50	13,66	4,67
K152	250	600	4,50	11,53	2,02

Çizelge A.1.b : 8. kat kirişlerine etkiyen yükler

Kiriş	bw (mm)	d (mm)	Kiriş Uzunluğu (m)	Çizgisel (G) (kN)	Çizgisel (Q) (kN)
K801	250	600	5,30	8,25	3,46
K802	250	600	2,95	6,49	2,39
K803	250	600	5,45	10,41	4,06
K804	250	600	4,35	7,60	3,05
K805	250	600	3,00	13,66	6,30
K806	250	600	6,70	9,78	3,82
K807	250	600	3,90	9,48	5,70
K808	250	600	2,95	7,04	4,21
K809	250	600	6,15	10,76	4,06
K810	250	600	4,35	7,50	6,09
K811	250	600	3,00	6,66	5,40
K812	250	600	5,65	11,52	6,28
K813	250	600	3,90	9,05	10,19
K814	250	600	2,95	4,65	4,68
K815	250	600	2,35	7,35	5,52
K816	250	600	3,80	2,85	2,82
K817	250	600	1,55	6,15	5,21
K818	250	600	2,80	5,94	3,73
K819	250	600	3,00	7,13	5,66
K820	250	600	4,10	4,83	5,40
K821	250	600	2,60	8,63	4,91
K822	250	600	4,25	7,81	7,95
K823	250	600	4,00	7,27	2,86
K824	250	600	2,00	7,00	2,16
K825	250	600	5,00	6,48	2,40
K826	250	600	2,80	5,58	2,23
K827	250	600	3,00	6,55	2,43
K828	250	600	4,10	7,33	2,90
K829	250	600	2,95	7,03	2,73
K830	250	600	4,45	8,80	6,36
K831	250	600	2,50	8,80	6,36
K832	250	600	4,50	7,81	7,95
K833	250	600	3,75	9,74	5,85
K834	250	600	2,50	6,78	4,06
K835	250	600	4,50	3,27	10,81
K836	250	600	4,45	9,74	6,45
K837	250	600	1,45	5,90	2,81
K838	250	600	4,50	9,27	5,12
K839	250	600	2,98	3,75	2,70
K840	250	600	4,45	13,01	7,11
K841	250	600	1,45	5,90	2,81
K842	250	600	4,50	3,75	2,73
K843	250	600	3,40	3,59	5,20
K844	250	600	1,45	5,48	5,71
K845	250	600	4,50	4,05	2,43
K846	250	600	3,40	11,01	5,97
K847	250	600	2,50	7,17	5,68
K848	250	600	4,50	4,83	5,33
K849	250	600	4,50	9,36	5,63
K850	250	600	4,45	9,93	3,82
K851	250	600	2,50	9,16	6,30
K852	250	600	4,50	7,03	2,73

Çizelge A.2 : Kolon boyut kontrolü ve çatlamış kesit eğilme rijitlikleri

Kolon Adı	Nd 1 (G+0.3Q) (kN)	Nd 2 (1.4G+1.6Q) (kN)	Ac (mm^2)	Ac x a (mm^2)	Varolan Ac (mm^2)	Nd / (Ac x fcm)	Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliği
S801	98	190	18955	24642	245000	0,04	0,40
S802	112	215	21454	27890	245000	0,04	0,40
S803	121	230	23039	29951	245000	0,05	0,40
S804	171	328	32793	42631	367500	0,04	0,40
S805	136	246	24630	32018	367500	0,03	0,40
S806	153	283	28307	36799	367500	0,04	0,40
S807	130	234	23431	30460	367500	0,03	0,40
S808	130	257	25665	33364	367500	0,03	0,40
S809	138	270	26959	35047	367500	0,04	0,40
S810	140	281	28051	36466	367500	0,04	0,40
S811	108	233	23262	30241	367500	0,03	0,40
S812	121	246	24592	31970	367500	0,03	0,40
S813	152	309	30864	40123	367500	0,04	0,40
S814	140	263	26308	34200	367500	0,04	0,40
S815	131	285	28468	37009	367500	0,04	0,40
S816	140	321	32062	41680	367500	0,04	0,40
S817	68	145	14478	18821	240000	0,03	0,40
S818	48	97	9747	12672	240000	0,02	0,40
S819	72	152	15239	19810	240000	0,03	0,40
S820	94	211	21076	27398	240000	0,04	0,40
S821	92	193	19338	25140	240000	0,04	0,40
S822	120	213	21317	27711	367500	0,03	0,40
S823	88	202	20232	26301	245000	0,04	0,40
S824	96	232	23161	30110	240000	0,05	0,40
S825	70	137	13734	17854	240000	0,03	0,40
S826	54	89	8861	11519	245000	0,02	0,40
S827	54	89	8851	11506	240000	0,02	0,40
S828	65	114	11447	14881	240000	0,02	0,40
S829	83	161	16140	20982	240000	0,03	0,40
S830	87	169	16871	21932	240000	0,04	0,40
S831	71	123	12347	16051	245000	0,03	0,40
S701	211	372	37243	48416	245000	0,08	0,40
S702	244	425	42519	55275	245000	0,09	0,40
S703	260	453	45303	58893	245000	0,09	0,40
S704	354	621	62069	80689	367500	0,08	0,40
S705	280	484	48449	62984	367500	0,07	0,40
S706	319	553	55338	71940	367500	0,08	0,40
S707	276	465	46469	60410	367500	0,06	0,40
S708	277	506	50561	65729	367500	0,07	0,40
S709	298	536	53551	69617	367500	0,07	0,40
S710	307	549	54900	71370	367500	0,07	0,40
S711	233	421	42111	54744	367500	0,06	0,40
S712	274	495	49543	64406	367500	0,07	0,40
S713	327	593	59291	77079	367500	0,08	0,40
S714	294	513	51298	66687	367500	0,07	0,40
S715	268	523	52255	67932	367500	0,07	0,40
S716	285	564	56399	73319	367500	0,08	0,40
S717	164	298	29767	38697	240000	0,06	0,40
S718	120	208	20768	26998	240000	0,04	0,40
S719	168	304	30414	39538	240000	0,06	0,40
S720	208	392	39152	50897	240000	0,08	0,40
S721	197	361	36108	46941	240000	0,08	0,40
S722	258	438	43847	57001	367500	0,06	0,40
S723	184	372	37212	48375	245000	0,08	0,40
S724	202	411	41067	53387	240000	0,09	0,40
S725	158	274	27395	35613	240000	0,06	0,40

Çizelge A.2 : Kolon boyut kontrolü ve çatlamış kesit eğilme rijitlikleri (devam)

Kolon Adı	Nd 1 (G+0.3Q) (kN)	Nd 2 (1.4G+1.6Q) (kN)	Ac (mm^2)	Ac x a (mm^2)	Varolan Ac (mm^2)	Nd / (Ac x fcm)	Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliği
S726	130	206	20586	26762	245000	0,04	0,40
S727	140	216	21605	28087	240000	0,05	0,40
S728	156	252	25249	32824	240000	0,05	0,40
S729	183	317	31716	41231	240000	0,07	0,40
S730	189	327	32657	42454	240000	0,07	0,40
S731	156	257	25677	33380	245000	0,05	0,40
S601	324	554	55370	71981	245000	0,11	0,42
S602	376	636	63573	82645	245000	0,13	0,44
S603	399	675	67472	87713	245000	0,14	0,45
S604	538	915	91501	118952	367500	0,12	0,43
S605	422	718	71821	93368	367500	0,10	0,40
S606	486	824	82417	107142	367500	0,11	0,42
S607	422	694	69401	90222	367500	0,09	0,40
S608	424	753	75261	97840	367500	0,10	0,40
S609	457	798	79814	103758	367500	0,11	0,41
S610	477	821	82125	106762	367500	0,11	0,42
S611	363	620	62014	80619	367500	0,08	0,40
S612	427	743	74301	96591	367500	0,10	0,40
S613	503	879	87909	114282	367500	0,12	0,43
S614	450	765	76456	99393	367500	0,10	0,41
S615	405	762	76210	99074	367500	0,10	0,40
S616	432	812	81210	105572	367500	0,11	0,41
S617	259	449	44941	58424	240000	0,09	0,40
S618	192	318	31781	41315	240000	0,07	0,40
S619	265	458	45786	59522	240000	0,10	0,40
S620	323	577	57667	74967	240000	0,12	0,43
S621	303	531	53118	69053	240000	0,11	0,41
S622	395	660	66027	85835	367500	0,09	0,40
S623	279	541	54125	70363	245000	0,11	0,41
S624	308	593	59296	77085	240000	0,12	0,43
S625	248	413	41283	53668	240000	0,09	0,40
S626	207	323	32271	41952	245000	0,07	0,40
S627	226	344	34354	44660	240000	0,07	0,40
S628	246	390	38962	50651	240000	0,08	0,40
S629	284	474	47380	61594	240000	0,10	0,40
S630	291	487	48667	63267	240000	0,10	0,40
S631	241	388	38809	50452	245000	0,08	0,40
S501	436	734	73449	95484	245000	0,15	0,47
S502	507	846	84611	109995	245000	0,17	0,50
S503	539	897	89659	116557	245000	0,18	0,51
S504	722	1210	120977	157270	367500	0,16	0,49
S505	562	949	94853	123309	367500	0,13	0,44
S506	652	1095	109494	142342	367500	0,15	0,47
S507	568	922	92248	119922	367500	0,13	0,43
S508	569	998	99805	129747	367500	0,14	0,45
S509	615	1059	105889	137655	367500	0,14	0,46
S510	650	1097	109721	142637	367500	0,15	0,47
S511	498	828	82829	107678	367500	0,11	0,42
S512	579	990	98992	128689	367500	0,13	0,45
S513	679	1167	116678	151681	367500	0,16	0,48
S514	606	1017	101718	132233	367500	0,14	0,45
S515	543	1002	100211	130275	367500	0,14	0,45
S516	578	1061	106144	137987	367500	0,14	0,46
S517	355	603	60311	78404	240000	0,13	0,43

Çizelge A.2 : Kolon boyut kontrolü ve çatlamış kesit eğilme rijitlikleri (devam)

Kolon Adı	Nd 1 (G+0.3Q) (kN)	Nd 2 (1.4G+1.6Q) (kN)	Ac (mm^2)	Ac x a (mm^2)	Varolan Ac (mm^2)	Nd / (Ac x fcm)	Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliği
S518	264	429	42921	55797	240000	0,09	0,40
S519	363	613	61331	79730	240000	0,13	0,44
S520	440	765	76468	99408	240000	0,16	0,48
S521	409	703	70269	91350	240000	0,15	0,46
S522	530	879	87922	114298	367500	0,12	0,43
S523	375	711	71075	92397	245000	0,15	0,46
S524	416	778	77767	101097	240000	0,16	0,48
S525	339	554	55449	72084	240000	0,12	0,42
S526	283	439	43939	57121	245000	0,09	0,40
S527	313	472	47152	61298	240000	0,10	0,40
S528	336	526	52630	68419	240000	0,11	0,41
S529	385	631	63143	82086	240000	0,13	0,44
S530	395	649	64863	84322	240000	0,14	0,45
S531	325	518	51832	67381	245000	0,11	0,41
S401	547	914	91436	118866	245000	0,19	0,52
S402	639	1056	105637	137328	245000	0,22	0,55
S403	678	1118	111849	145404	245000	0,23	0,57
S404	907	1505	150530	195689	367500	0,20	0,54
S405	699	1174	117378	152592	367500	0,16	0,48
S406	819	1366	136592	177570	367500	0,19	0,51
S407	712	1150	114966	149456	367500	0,16	0,48
S408	714	1242	124155	161402	367500	0,17	0,49
S409	772	1317	131710	171222	367500	0,18	0,51
S410	896	1378	137818	179164	367500	0,19	0,52
S411	683	1050	104971	136463	367500	0,14	0,46
S412	730	1236	123558	160626	367500	0,17	0,49
S413	858	1457	145661	189360	367500	0,20	0,53
S414	763	1271	127136	165277	367500	0,17	0,50
S415	680	1243	124281	161565	367500	0,17	0,49
S416	725	1312	131234	170604	367500	0,18	0,50
S417	453	760	75967	98757	240000	0,16	0,48
S418	338	543	54284	70569	240000	0,11	0,42
S419	462	771	77134	100274	240000	0,16	0,48
S420	558	957	95677	124381	240000	0,20	0,53
S421	516	876	87620	113906	240000	0,18	0,51
S422	663	1094	109424	142251	367500	0,15	0,47
S423	471	880	88046	114460	245000	0,18	0,51
S424	525	966	96573	125545	240000	0,20	0,53
S425	432	700	69975	90968	240000	0,15	0,46
S426	361	556	55610	72293	245000	0,11	0,42
S427	400	600	60031	78040	240000	0,13	0,43
S428	426	662	66222	86088	240000	0,14	0,45
S429	486	790	79023	102730	240000	0,16	0,49
S430	501	813	81330	105729	240000	0,17	0,49
S431	408	647	64683	84088	245000	0,13	0,44
S301	658	1093	109304	142095	245000	0,22	0,56
S302	771	1266	126647	164640	245000	0,26	0,61
S303	817	1340	134034	174244	245000	0,27	0,63
S304	1092	1802	180166	234216	367500	0,25	0,59
S305	833	1393	139250	181025	367500	0,19	0,52
S306	987	1637	163723	212839	367500	0,22	0,56
S307	857	1375	137523	178780	367500	0,19	0,52
S308	858	1483	148264	192743	367500	0,20	0,54
S309	928	1572	157205	204367	367500	0,21	0,55

Çizelge A.2 : Kolon boyut kontrolü ve çatlamış kesit eğilme rijitlikleri (devam)

Kolon Adı	Nd 1 (G+0.3Q) (kN)	Nd 2 (1.4G+1.6Q) (kN)	Ac (mm^2)	Ac x a (mm^2)	Varolan Ac (mm^2)	Nd / (Ac x fcm)	Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliği
S310	1005	1665	166515	216470	367500	0,23	0,57
S311	793	1289	128892	167560	367500	0,18	0,50
S312	880	1479	147906	192278	367500	0,20	0,53
S313	1037	1749	174906	227378	367500	0,24	0,58
S314	922	1528	152758	198586	367500	0,21	0,54
S315	818	1484	148439	192971	367500	0,20	0,54
S316	871	1565	156469	203410	367500	0,21	0,55
S317	599	921	92088	119714	240000	0,19	0,52
S318	430	660	66008	85810	240000	0,14	0,45
S319	607	933	93324	121322	240000	0,19	0,53
S320	679	1154	115400	150019	240000	0,24	0,59
S321	625	1052	105213	136777	240000	0,22	0,56
S322	793	1304	130430	169558	367500	0,18	0,50
S323	568	1050	105050	136564	245000	0,21	0,55
S324	636	1158	115792	150529	240000	0,24	0,59
S325	529	850	84964	110453	240000	0,18	0,50
S326	439	673	67304	87495	245000	0,14	0,45
S327	488	730	73029	94937	240000	0,15	0,47
S328	515	797	79709	103622	240000	0,17	0,49
S329	588	950	95048	123563	240000	0,20	0,53
S330	608	981	98143	127586	240000	0,20	0,54
S331	490	773	77319	100515	245000	0,16	0,48
S201	769	1270	127034	165144	245000	0,26	0,61
S202	903	1476	147629	191918	245000	0,30	0,67
S203	1016	1562	156208	203071	245000	0,32	0,69
S204	1278	2099	209861	272819	367500	0,29	0,65
S205	961	1603	160326	208423	367500	0,22	0,56
S206	1154	1909	190879	248142	367500	0,26	0,61
S207	1000	1599	159883	207848	367500	0,22	0,56
S208	1000	1721	172066	223686	367500	0,23	0,58
S209	1081	1823	182300	236989	367500	0,25	0,60
S210	1189	1959	195857	254614	367500	0,27	0,62
S211	959	1551	155133	201673	367500	0,21	0,55
S212	1026	1719	171876	223439	367500	0,23	0,58
S213	1218	2045	204459	265797	367500	0,28	0,64
S214	1081	1786	178636	232226	367500	0,24	0,59
S215	956	1727	172709	224522	367500	0,23	0,58
S216	1016	1818	181832	236382	367500	0,25	0,60
S217	659	1089	108909	141581	240000	0,23	0,57
S218	493	783	78267	101747	240000	0,16	0,48
S219	669	1101	110093	143121	240000	0,23	0,57
S220	803	1357	135744	176468	240000	0,28	0,64
S221	734	1231	123092	160020	240000	0,26	0,61
S222	920	1508	150811	196054	367500	0,21	0,54
S223	665	1221	122113	158747	245000	0,25	0,60
S224	750	1355	135504	176155	240000	0,28	0,64
S225	629	1006	100562	130730	240000	0,21	0,55
S226	518	790	79045	102759	245000	0,16	0,48
S227	578	862	86188	112044	240000	0,18	0,51
S228	604	931	93073	120995	240000	0,19	0,53
S229	692	1113	111251	144626	240000	0,23	0,58
S230	718	1154	115390	150007	240000	0,24	0,59
S231	570	897	89708	116620	245000	0,18	0,51
S101	877	1445	144500	187850	245000	0,29	0,66

Çizelge A.2 : Kolon boyut kontrolü ve çatlamış kesit eğilme rijitlikleri (devam)

Kolon Adı	Nd 1 (G+0.3Q) (kN)	Nd 2 (1.4G+1.6Q) (kN)	Ac (mm^2)	Ac x a (mm^2)	Varolan Ac (mm^2)	Nd / (Ac x fcm)	Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliği
S102	1035	1686	168600	219180	245000	0,34	0,73
S103	1095	1782	178200	231660	245000	0,36	0,75
S104	1465	2397	239700	311610	367500	0,33	0,70
S105	1083	1802	180200	234260	367500	0,25	0,59
S106	1323	2182	218200	283660	367500	0,30	0,66
S107	1141	1820	182000	236600	367500	0,25	0,60
S108	1141	1955	195500	254150	367500	0,27	0,62
S109	1231	2067	206700	268710	367500	0,28	0,64
S110	1377	2259	225900	293670	367500	0,31	0,68
S111	1145	1847	184700	240110	367500	0,25	0,60
S112	1166	1950	195000	253500	367500	0,27	0,62
S113	1402	2344	234400	304720	367500	0,32	0,69
S114	1243	2049	204900	266370	367500	0,28	0,64
S115	1095	1972	197200	256360	367500	0,27	0,62
S116	1161	2074	207400	269620	367500	0,28	0,64
S117	772	1268	126800	164840	240000	0,26	0,62
S118	577	913	91300	118690	240000	0,19	0,52
S119	782	1279	127900	166270	240000	0,27	0,62
S120	932	1570	157000	204100	240000	0,33	0,70
S121	846	1414	141400	183820	240000	0,29	0,66
S122	1042	1704	170400	221520	367500	0,23	0,58
S123	762	1392	139200	180960	245000	0,28	0,65
S124	867	1559	155900	202670	240000	0,32	0,70
S125	734	1168	116800	151840	240000	0,24	0,59
S126	598	909	90900	118170	245000	0,19	0,51
S127	670	996	99600	129480	240000	0,21	0,54
S128	692	1062	106200	138060	240000	0,22	0,56
S129	796	1277	127700	166010	240000	0,27	0,62
S130	832	1332	133200	173160	240000	0,28	0,64
S131	648	1017	101700	132210	245000	0,21	0,54

EK B.1 : Analiz sonuçları

Çizelge B.1.a : X-X yönünde 1. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K101	1	-131	12,77	7,35	20,12	0,001	0,011	BHB
K101	0	104	9,54	7,35	16,89	0,001	0,009	MHB
K102	1	-131	15,98	7,35	23,33	0,001	0,013	BHB
K102	0	105	12,84	7,35	20,19	0,001	0,011	BHB
K103	1	-130	15,61	7,35	22,96	0,001	0,012	BHB
K103	0	104	7,37	7,35	14,72	0,001	0,008	MHB
K104	1	-129	12,17	7,35	19,52	0,001	0,011	BHB
K104	0	105	9,02	7,35	16,37	0,001	0,009	MHB
K105	1	-130	12,06	7,35	19,41	0,001	0,010	BHB
K105	0	105	11,83	7,35	19,18	0,001	0,010	BHB
K106	1	-131	21,45	7,35	28,80	0,001	0,016	BHB
K107	1	-131	18,47	7,35	25,82	0,001	0,014	BHB
K107	0	106	17,09	7,35	24,44	0,001	0,013	BHB
K108	0	106	17,04	7,35	24,39	0,001	0,013	BHB
K108	1	-131	14,21	7,35	21,56	0,001	0,012	BHB
K109	1	-131	18,39	7,35	25,74	0,001	0,014	BHB
K110	1	-131	11,83	7,35	19,18	0,001	0,010	BHB
K110	0	104	10,42	7,35	17,77	0,001	0,010	MHB
K111	1	-131	16,34	7,35	23,69	0,001	0,013	BHB
K111	0	105	14,01	7,35	21,36	0,001	0,012	BHB
K112	1	-132	20,55	7,35	27,90	0,001	0,015	BHB
K112	0	104	8,05	7,35	15,40	0,001	0,008	MHB
K113	1	-131	17,95	7,35	25,30	0,001	0,014	BHB
K113	0	105	16,32	7,35	23,67	0,001	0,013	BHB
K114	0	105	16,91	7,35	24,26	0,001	0,013	BHB
K114	1	-130	12,89	7,35	20,24	0,001	0,011	BHB
K115	0	107	23,27	7,35	30,62	0,001	0,017	BHB
K115	1	-132	20,03	7,35	27,38	0,001	0,015	BHB
K117	1	-131	21,00	7,35	28,35	0,001	0,015	BHB
K117	0	106	19,62	7,35	26,97	0,001	0,015	BHB
K118	1	-130	12,62	7,35	19,97	0,001	0,011	BHB
K118	0	105	10,21	7,35	17,56	0,001	0,009	MHB
K119	0	105	12,78	7,35	20,13	0,001	0,011	BHB
K119	1	-129	10,41	7,35	17,76	0,001	0,010	MHB
K120	1	-130	9,35	7,35	16,70	0,001	0,009	MHB
K120	0	105	8,29	7,35	15,64	0,001	0,008	MHB
K121	1	-131	17,34	7,35	24,69	0,001	0,013	BHB
K121	0	104	14,07	7,35	21,42	0,001	0,012	BHB
K122	0	105	11,45	7,35	18,80	0,001	0,010	BHB
K122	1	-130	10,66	7,35	18,01	0,001	0,010	MHB
K123	1	-130	8,90	7,35	16,25	0,001	0,009	MHB
K123	0	104	7,36	7,35	14,71	0,001	0,008	MHB
K124	1	-131	15,33	7,35	22,68	0,001	0,012	BHB
K124	0	105	13,58	7,35	20,93	0,001	0,011	BHB
K125	1	-130	9,43	7,35	16,78	0,001	0,009	MHB
K125	0	105	9,03	7,35	16,38	0,001	0,009	MHB
K126	0	104	9,81	7,35	17,16	0,001	0,009	MHB
K126	1	-129	8,94	7,35	16,29	0,001	0,009	MHB
K127	1	-130	11,68	7,35	19,03	0,001	0,010	BHB
K127	0	105	9,39	7,35	16,74	0,001	0,009	MHB
K128	0	105	9,59	7,35	16,94	0,001	0,009	MHB
K128	1	-130	8,94	7,35	16,29	0,001	0,009	MHB
K129	1	-131	14,96	7,35	22,31	0,001	0,012	BHB
K129	0	104	11,33	7,35	18,68	0,001	0,010	BHB
K139	1	-129	4,91	7,35	12,26	0,000	0,007	MHB
K139	0	104	2,96	7,35	10,31	0,000	0,005	MHB
K141	0	104	8,33	7,35	15,68	0,001	0,008	MHB
K141	1	-128	5,54	7,35	12,89	0,000	0,007	MHB

Çizelge B.1.b : X-X yönünde 2. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K201	1	-130	19,26	7,35	26,61	0,001	0,014	BHB
K201	0	105	15,17	7,35	22,52	0,001	0,012	BHB
K202	1	-132	21,77	7,35	29,12	0,001	0,016	BHB
K202	0	106	19,44	7,35	26,79	0,001	0,015	BHB
K203	1	-131	21,88	7,35	29,23	0,001	0,016	BHB
K203	0	105	13,12	7,35	20,47	0,001	0,011	BHB
K204	1	-131	17,90	7,35	25,25	0,001	0,014	BHB
K204	0	105	14,98	7,35	22,33	0,001	0,012	BHB
K205	1	-131	17,39	7,35	24,74	0,001	0,013	BHB
K205	0	106	17,35	7,35	24,70	0,001	0,013	BHB
K206	1	-132	28,74	7,35	36,09	0,001	0,020	BHB
K206	0	104	4,46	7,35	11,81	0,000	0,006	MHB
K207	1	-132	26,19	7,35	33,54	0,001	0,018	BHB
K207	0	106	24,73	7,35	32,08	0,001	0,018	BHB
K208	0	106	24,06	7,35	31,41	0,001	0,017	BHB
K208	1	-131	20,50	7,35	27,85	0,001	0,015	BHB
K209	1	-131	24,94	7,35	32,29	0,001	0,018	BHB
K209	0	103	3,54	7,35	10,89	0,000	0,006	MHB
K210	1	-131	17,47	7,35	24,82	0,001	0,013	BHB
K210	0	105	16,36	7,35	23,71	0,001	0,013	BHB
K211	1	-132	22,78	7,35	30,13	0,001	0,016	BHB
K211	0	105	20,24	7,35	27,59	0,001	0,015	BHB
K212	1	-133	27,63	7,35	34,98	0,001	0,019	BHB
K212	0	106	14,95	7,35	22,30	0,001	0,012	BHB
K213	1	-131	25,44	7,35	32,79	0,001	0,018	BHB
K213	0	106	23,69	7,35	31,04	0,001	0,017	BHB
K214	0	106	23,92	7,35	31,27	0,001	0,017	BHB
K214	1	-131	19,57	7,35	26,92	0,001	0,015	BHB
K215	1	-135	40,58	7,35	47,93	0,001	0,026	BHB
K215	0	108	39,67	7,35	47,02	0,001	0,026	BHB
K217	0	108	38,08	7,35	45,43	0,001	0,025	BHB
K217	1	-134	35,18	7,35	42,53	0,001	0,023	BHB
K218	1	-130	17,81	7,35	25,16	0,001	0,014	BHB
K218	0	106	15,92	7,35	23,27	0,001	0,013	BHB
K219	0	106	18,03	7,35	25,38	0,001	0,014	BHB
K219	1	-130	16,17	7,35	23,52	0,001	0,013	BHB
K220	1	-131	15,22	7,35	22,57	0,001	0,012	BHB
K220	0	105	14,12	7,35	21,47	0,001	0,012	BHB
K221	1	-132	23,83	7,35	31,18	0,001	0,017	BHB
K221	0	106	20,68	7,35	28,03	0,001	0,015	BHB
K222	0	105	16,71	7,35	24,06	0,001	0,013	BHB
K222	1	-130	16,63	7,35	23,98	0,001	0,013	BHB
K223	1	-131	14,69	7,35	22,04	0,001	0,012	BHB
K223	0	105	13,14	7,35	20,49	0,001	0,011	BHB
K224	1	-131	21,49	7,35	28,84	0,001	0,016	BHB
K224	0	106	20,01	7,35	27,36	0,001	0,015	BHB
K225	1	-130	15,58	7,35	22,93	0,001	0,012	BHB
K225	0	105	14,61	7,35	21,96	0,001	0,012	BHB
K226	0	106	15,35	7,35	22,70	0,001	0,012	BHB
K226	1	-130	14,52	7,35	21,87	0,001	0,012	BHB
K227	1	-130	16,63	7,35	23,98	0,001	0,013	BHB
K227	0	105	14,97	7,35	22,32	0,001	0,012	BHB
K228	1	-130	14,72	7,35	22,07	0,001	0,012	BHB
K228	0	105	14,70	7,35	22,05	0,001	0,012	BHB
K229	1	-131	20,13	7,35	27,48	0,001	0,015	BHB
K229	0	106	17,31	7,35	24,66	0,001	0,013	BHB
K239	1	-130	12,60	7,35	19,95	0,001	0,011	BHB
K239	0	105	11,49	7,35	18,84	0,001	0,010	BHB
K241	0	105	16,65	7,35	24,00	0,001	0,013	BHB
K241	1	-130	14,26	7,35	21,61	0,001	0,012	BHB

Çizelge B.1.c : X-X yönünde 3. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K301	1	-130	19,93	7,35	27,28	0,001	0,015	BHB
K301	0	105	15,91	7,35	23,26	0,001	0,013	BHB
K302	1	-132	22,49	7,35	29,84	0,001	0,016	BHB
K302	0	105	20,01	7,35	27,36	0,001	0,015	BHB
K303	1	-130	22,69	7,35	30,04	0,001	0,016	BHB
K303	0	105	14,09	7,35	21,44	0,001	0,012	BHB
K304	1	-131	18,65	7,35	26,00	0,001	0,014	BHB
K304	0	105	15,70	7,35	23,05	0,001	0,012	BHB
K305	1	-131	17,97	7,35	25,32	0,001	0,014	BHB
K305	0	105	17,97	7,35	25,32	0,001	0,014	BHB
K306	1	-132	29,44	7,35	36,79	0,001	0,020	BHB
K306	0	104	5,18	7,35	12,53	0,000	0,007	MHB
K307	1	-133	26,84	7,35	34,19	0,001	0,019	BHB
K307	0	106	25,51	7,35	32,86	0,001	0,018	BHB
K308	0	106	24,64	7,35	31,99	0,001	0,017	BHB
K308	1	-131	21,20	7,35	28,55	0,001	0,016	BHB
K309	1	-132	25,52	7,35	32,87	0,001	0,018	BHB
K309	0	104	4,18	7,35	11,53	0,000	0,006	MHB
K310	1	-130	18,41	7,35	25,76	0,001	0,014	BHB
K310	0	106	16,99	7,35	24,34	0,001	0,013	BHB
K311	1	-132	23,29	7,35	30,64	0,001	0,017	BHB
K311	0	105	20,80	7,35	28,15	0,001	0,015	BHB
K312	1	-133	28,53	7,35	35,88	0,001	0,020	BHB
K312	0	106	15,79	7,35	23,14	0,001	0,013	BHB
K313	1	-132	26,01	7,35	33,36	0,001	0,018	BHB
K313	0	105	24,47	7,35	31,82	0,001	0,017	BHB
K314	0	107	24,55	7,35	31,90	0,001	0,017	BHB
K314	1	-132	20,24	7,35	27,59	0,001	0,015	BHB
K315	1	-135	44,84	7,35	52,19	0,001	0,029	BHB
K315	0	109	42,48	7,35	49,83	0,001	0,027	BHB
K317	0	109	41,54	7,35	48,89	0,001	0,027	BHB
K317	1	-134	37,27	7,35	44,62	0,001	0,025	BHB
K318	1	-131	18,38	7,35	25,73	0,001	0,014	BHB
K318	0	105	16,56	7,35	23,91	0,001	0,013	BHB
K319	0	105	18,85	7,35	26,20	0,001	0,014	BHB
K319	1	-131	16,77	7,35	24,12	0,001	0,013	BHB
K320	1	-131	15,84	7,35	23,19	0,001	0,013	BHB
K320	0	104	14,97	7,35	22,32	0,001	0,012	BHB
K321	1	-131	24,46	7,35	31,81	0,001	0,017	BHB
K321	0	106	21,18	7,35	28,53	0,001	0,016	BHB
K322	0	105	17,37	7,35	24,72	0,001	0,013	BHB
K322	1	-130	17,16	7,35	24,51	0,001	0,013	BHB
K323	1	-131	15,33	7,35	22,68	0,001	0,012	BHB
K323	0	104	13,85	7,35	21,20	0,001	0,011	BHB
K324	1	-131	22,23	7,35	29,58	0,001	0,016	BHB
K324	0	106	20,58	7,35	27,93	0,001	0,015	BHB
K325	1	-130	16,12	7,35	23,47	0,001	0,013	BHB
K325	0	105	15,42	7,35	22,77	0,001	0,012	BHB
K326	0	105	15,93	7,35	23,28	0,001	0,013	BHB
K326	1	-130	14,92	7,35	22,27	0,001	0,012	BHB
K327	1	-131	17,21	7,35	24,56	0,001	0,013	BHB
K327	0	105	15,49	7,35	22,84	0,001	0,012	BHB
K328	0	106	15,47	7,35	22,82	0,001	0,012	BHB
K328	1	-130	15,35	7,35	22,70	0,001	0,012	BHB
K329	1	-131	20,87	7,35	28,22	0,001	0,015	BHB
K329	0	105	17,85	7,35	25,20	0,001	0,014	BHB
K339	1	-130	14,22	7,35	21,57	0,001	0,012	BHB
K339	0	104	13,14	7,35	20,49	0,001	0,011	BHB
K341	0	106	17,95	7,35	25,30	0,001	0,014	BHB
K341	1	-130	15,53	7,35	22,88	0,001	0,012	BHB
K346	0	-128	1,34	7,35	8,69	0,000	0,005	MHB
K346	1	104	0,91	7,35	8,26	0,000	0,004	MHB

Çizelge B.1.d : X-X yönünde 4. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K401	1	-132	17,07	7,35	24,42	0,001	0,013	BHB
K401	0	105	13,19	7,35	20,54	0,001	0,011	BHB
K402	1	-131	19,43	7,35	26,78	0,001	0,015	BHB
K402	0	105	16,97	7,35	24,32	0,001	0,013	BHB
K403	1	-131	20,02	7,35	27,37	0,001	0,015	BHB
K403	0	104	11,51	7,35	18,86	0,001	0,010	BHB
K404	1	-131	16,11	7,35	23,46	0,001	0,013	BHB
K404	0	104	13,32	7,35	20,67	0,001	0,011	BHB
K405	1	-130	15,43	7,35	22,78	0,001	0,012	BHB
K405	0	106	15,26	7,35	22,61	0,001	0,012	BHB
K406	1	-131	26,74	7,35	34,09	0,001	0,019	BHB
K406	0	103	2,63	7,35	9,98	0,000	0,005	MHB
K407	1	-132	23,93	7,35	31,28	0,001	0,017	BHB
K407	0	106	22,54	7,35	29,89	0,001	0,016	BHB
K408	0	106	21,84	7,35	29,19	0,001	0,016	BHB
K408	1	-130	18,49	7,35	25,84	0,001	0,014	BHB
K409	1	-131	23,47	7,35	30,82	0,001	0,017	BHB
K409	0	103	1,95	7,35	9,30	0,000	0,005	MHB
K410	1	-131	16,14	7,35	23,49	0,001	0,013	BHB
K410	0	105	14,94	7,35	22,29	0,001	0,012	BHB
K411	1	-132	20,50	7,35	27,85	0,001	0,015	BHB
K411	0	106	17,90	7,35	25,25	0,001	0,014	BHB
K412	1	-131	25,97	7,35	33,32	0,001	0,018	BHB
K412	0	105	13,07	7,35	20,42	0,001	0,011	BHB
K413	1	-131	23,41	7,35	30,76	0,001	0,017	BHB
K413	0	106	21,64	7,35	28,99	0,001	0,016	BHB
K414	0	107	22,04	7,35	29,39	0,001	0,016	BHB
K414	1	-131	17,76	7,35	25,11	0,001	0,014	BHB
K415	1	-135	44,63	7,35	51,98	0,001	0,029	BHB
K415	0	108	40,47	7,35	47,82	0,001	0,026	BHB
K417	0	109	40,72	7,35	48,07	0,001	0,026	BHB
K417	1	-133	34,65	7,35	42,00	0,001	0,023	BHB
K418	1	-130	16,25	7,35	23,60	0,001	0,013	BHB
K418	0	105	14,34	7,35	21,69	0,001	0,012	BHB
K419	0	105	16,68	7,35	24,03	0,001	0,013	BHB
K419	1	-130	14,67	7,35	22,02	0,001	0,012	BHB
K420	1	-131	13,91	7,35	21,26	0,001	0,011	BHB
K420	0	105	12,87	7,35	20,22	0,001	0,011	BHB
K421	1	-131	21,72	7,35	29,07	0,001	0,016	BHB
K421	0	105	18,55	7,35	25,90	0,001	0,014	BHB
K422	0	105	15,21	7,35	22,56	0,001	0,012	BHB
K422	1	-129	15,15	7,35	22,50	0,001	0,012	BHB
K423	1	-130	13,67	7,35	21,02	0,001	0,011	BHB
K423	0	104	12,08	7,35	19,43	0,001	0,010	BHB
K424	1	-130	20,01	7,35	27,36	0,001	0,015	BHB
K424	0	106	18,38	7,35	25,73	0,001	0,014	BHB
K425	1	-131	14,10	7,35	21,45	0,001	0,012	BHB
K425	0	105	13,50	7,35	20,85	0,001	0,011	BHB
K426	0	105	13,97	7,35	21,32	0,001	0,012	BHB
K426	1	-130	13,01	7,35	20,36	0,001	0,011	BHB
K427	1	-130	15,34	7,35	22,69	0,001	0,012	BHB
K427	0	104	13,56	7,35	20,91	0,001	0,011	BHB
K428	1	-129	13,66	7,35	21,01	0,001	0,011	BHB
K428	0	105	13,65	7,35	21,00	0,001	0,011	BHB
K429	1	-131	18,64	7,35	25,99	0,001	0,014	BHB
K429	0	105	15,70	7,35	23,05	0,001	0,012	BHB
K439	1	-129	14,11	7,35	21,46	0,001	0,012	BHB
K439	0	104	12,80	7,35	20,15	0,001	0,011	BHB
K441	0	106	17,08	7,35	24,43	0,001	0,013	BHB
K441	1	-131	14,78	7,35	22,13	0,001	0,012	BHB

Çizelge B.1.e : X-X yönünde 5. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K501	1	-129	11,12	7,35	18,47	0,001	0,010	MHB
K501	0	104	6,82	7,35	14,17	0,001	0,008	MHB
K502	1	-130	12,80	7,35	20,15	0,001	0,011	BHB
K502	0	104	10,45	7,35	17,80	0,001	0,010	MHB
K503	1	-130	13,89	7,35	21,24	0,001	0,011	BHB
K503	0	104	5,27	7,35	12,62	0,000	0,007	MHB
K504	1	-130	10,48	7,35	17,83	0,001	0,010	MHB
K504	0	104	7,49	7,35	14,84	0,001	0,008	MHB
K505	1	-129	9,80	7,35	17,15	0,001	0,009	MHB
K507	1	-131	16,70	7,35	24,05	0,001	0,013	BHB
K507	0	105	15,23	7,35	22,58	0,001	0,012	BHB
K508	0	104	15,11	7,35	22,46	0,001	0,012	BHB
K508	1	-129	11,98	7,35	19,33	0,001	0,010	BHB
K509	1	-130	16,19	7,35	23,54	0,001	0,013	BHB
K510	1	-130	10,55	7,35	17,90	0,001	0,010	MHB
K510	0	104	9,33	7,35	16,68	0,001	0,009	MHB
K511	1	-130	13,81	7,35	21,16	0,001	0,011	BHB
K511	0	105	11,18	7,35	18,53	0,001	0,010	MHB
K512	1	-131	19,07	7,35	26,42	0,001	0,014	BHB
K512	0	104	6,54	7,35	13,89	0,001	0,007	MHB
K513	1	-130	16,22	7,35	23,57	0,001	0,013	BHB
K513	0	104	14,48	7,35	21,83	0,001	0,012	BHB
K514	0	104	15,45	7,35	22,80	0,001	0,012	BHB
K514	1	-129	11,22	7,35	18,57	0,001	0,010	MHB
K515	1	-134	38,63	7,35	45,98	0,001	0,025	BHB
K515	0	108	32,62	7,35	39,97	0,001	0,022	BHB
K517	0	108	31,15	7,35	38,50	0,001	0,021	BHB
K517	1	-132	23,34	7,35	30,69	0,001	0,017	BHB
K518	1	-130	10,59	7,35	17,94	0,001	0,010	MHB
K518	0	105	8,79	7,35	16,14	0,001	0,009	MHB
K519	0	104	10,95	7,35	18,30	0,001	0,010	MHB
K519	1	-129	9,07	7,35	16,42	0,001	0,009	MHB
K520	1	-130	8,49	7,35	15,84	0,001	0,008	MHB
K520	0	105	7,34	7,35	14,69	0,001	0,008	MHB
K521	1	-130	14,85	7,35	22,20	0,001	0,012	BHB
K521	0	104	11,72	7,35	19,07	0,001	0,010	BHB
K522	0	105	9,26	7,35	16,61	0,001	0,009	MHB
K522	1	-130	9,08	7,35	16,43	0,001	0,009	MHB
K523	1	-130	8,31	7,35	15,66	0,001	0,008	MHB
K523	0	104	6,70	7,35	14,05	0,001	0,007	MHB
K524	1	-130	13,47	7,35	20,82	0,001	0,011	BHB
K524	0	104	11,99	7,35	19,34	0,001	0,010	BHB
K525	1	-130	8,33	7,35	15,68	0,001	0,008	MHB
K525	0	104	7,78	7,35	15,13	0,001	0,008	MHB
K526	0	105	8,50	7,35	15,85	0,001	0,008	MHB
K526	1	-129	7,63	7,35	14,98	0,001	0,008	MHB
K527	1	-129	9,88	7,35	17,23	0,001	0,009	MHB
K527	0	104	8,09	7,35	15,44	0,001	0,008	MHB
K528	0	105	8,27	7,35	15,62	0,001	0,008	MHB
K528	1	-130	8,17	7,35	15,52	0,001	0,008	MHB
K529	1	-130	12,39	7,35	19,74	0,001	0,011	BHB
K529	0	104	9,48	7,35	16,83	0,001	0,009	MHB
K539	1	-129	12,31	7,35	19,66	0,001	0,011	BHB
K539	0	104	11,11	7,35	18,46	0,001	0,010	MHB
K541	0	104	10,82	7,35	18,17	0,001	0,010	MHB
K541	1	-130	8,64	7,35	15,99	0,001	0,009	MHB

Çizelge B.1.f : X-X yönünde 6. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K601	1	-128	3,14	7,35	10,49	0,000	0,006	MHB
K602	1	-129	5,18	7,35	12,53	0,000	0,007	MHB
K602	0	104	2,32	7,35	9,67	0,000	0,005	MHB
K603	1	-129	5,35	7,35	12,70	0,000	0,007	MHB
K604	1	-128	3,50	7,35	10,85	0,000	0,006	MHB
K604	0	103	0,27	7,35	7,62	0,000	0,004	MHB
K605	1	-129	3,54	7,35	10,89	0,000	0,006	MHB
K605	0	104	2,26	7,35	9,61	0,000	0,005	MHB
K606	1	-129	8,46	7,35	15,81	0,001	0,008	MHB
K607	1	-128	8,29	7,35	15,64	0,001	0,008	MHB
K607	0	104	6,63	7,35	13,98	0,001	0,007	MHB
K608	0	104	7,07	7,35	14,42	0,001	0,008	MHB
K608	1	-128	4,62	7,35	11,97	0,000	0,006	MHB
K609	1	-129	6,58	7,35	13,93	0,001	0,007	MHB
K610	1	-128	3,70	7,35	11,05	0,000	0,006	MHB
K610	0	104	2,61	7,35	9,96	0,000	0,005	MHB
K611	1	-129	6,01	7,35	13,36	0,001	0,007	MHB
K611	0	104	3,13	7,35	10,48	0,000	0,006	MHB
K612	1	-129	10,59	7,35	17,94	0,001	0,010	MHB
K613	1	-129	7,65	7,35	15,00	0,001	0,008	MHB
K613	0	103	6,01	7,35	13,36	0,001	0,007	MHB
K614	0	104	7,52	7,35	14,87	0,001	0,008	MHB
K614	1	-129	3,18	7,35	10,53	0,000	0,006	MHB
K615	1	-132	28,06	7,35	35,41	0,001	0,019	BHB
K615	0	106	21,66	7,35	29,01	0,001	0,016	BHB
K617	0	105	15,06	7,35	22,41	0,001	0,012	BHB
K617	1	-129	6,45	7,35	13,80	0,001	0,007	MHB
K618	1	-128	3,69	7,35	11,04	0,000	0,006	MHB
K618	0	104	1,41	7,35	8,76	0,000	0,005	MHB
K619	0	104	3,97	7,35	11,32	0,000	0,006	MHB
K619	1	-128	1,90	7,35	9,25	0,000	0,005	MHB
K620	1	-128	1,61	7,35	8,96	0,000	0,005	MHB
K620	0	104	0,26	7,35	7,61	0,000	0,004	MHB
K621	1	-129	6,75	7,35	14,10	0,001	0,008	MHB
K621	0	103	3,24	7,35	10,59	0,000	0,006	MHB
K622	0	104	1,88	7,35	9,23	0,000	0,005	MHB
K622	1	-128	1,56	7,35	8,91	0,000	0,005	MHB
K623	1	-128	1,39	7,35	8,74	0,000	0,005	MHB
K624	1	-128	5,58	7,35	12,93	0,000	0,007	MHB
K624	0	104	3,78	7,35	11,13	0,000	0,006	MHB
K625	1	-128	0,77	7,35	8,12	0,000	0,004	MHB
K625	0	104	0,47	7,35	7,82	0,000	0,004	MHB
K626	0	104	1,26	7,35	8,61	0,000	0,005	MHB
K626	1	-128	0,46	7,35	7,81	0,000	0,004	MHB
K627	1	-128	3,01	7,35	10,36	0,000	0,005	MHB
K627	0	104	0,86	7,35	8,21	0,000	0,004	MHB
K628	0	103	1,48	7,35	8,83	0,000	0,005	MHB
K628	1	-127	1,28	7,35	8,63	0,000	0,005	MHB
K629	1	-128	4,88	7,35	12,23	0,000	0,006	MHB
K629	0	103	1,63	7,35	8,98	0,000	0,005	MHB
K639	1	-130	9,46	7,35	16,81	0,001	0,009	MHB
K639	0	104	8,31	7,35	15,66	0,001	0,008	MHB
K641	0	103	0,34	7,35	7,69	0,000	0,004	MHB

Çizelge B.1.e : X-X yönünde 7. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K706	1	-128	0,89	7,35	8,24	0,000	0,004	MHB
K707	1	-128	2,06	7,35	9,41	0,000	0,005	MHB
K707	0	102	0,49	7,35	7,84	0,000	0,004	MHB
K708	0	103	1,08	7,35	8,43	0,000	0,004	MHB
K712	1	-129	2,04	7,35	9,39	0,000	0,005	MHB
K713	1	-129	1,63	7,35	8,98	0,000	0,005	MHB
K714	0	103	1,35	7,35	8,70	0,000	0,005	MHB
K715	1	-131	18,43	7,35	25,78	0,001	0,014	BHB
K715	0	105	13,84	7,35	21,19	0,001	0,011	BHB
K717	0	103	0,13	7,35	7,48	0,000	0,004	MHB
K721	1	-129	0,53	7,35	7,88	0,000	0,004	MHB
K724	1	-127	0,83	7,35	8,18	0,000	0,004	MHB
K739	1	-128	7,57	7,35	14,92	0,001	0,008	MHB
K739	0	104	6,52	7,35	13,87	0,001	0,007	MHB
K741	0	-128	2,30	7,35	9,65	0,000	0,005	MHB
K741	1	103	1,57	7,35	8,92	0,000	0,005	MHB

Çizelge B.1.f : X-X yönünde 8. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K815	1	-131	13,39	7,35	20,74	0,001	0,011	BHB
K815	0	104	9,15	7,35	16,50	0,001	0,009	MHB
K817	1	103	1,24	7,35	8,59	0,000	0,004	MHB
K817	0	-128	0,53	7,35	7,88	0,000	0,004	MHB
K839	1	-129	5,91	7,35	13,26	0,001	0,007	MHB
K839	0	103	2,60	7,35	9,95	0,000	0,005	MHB
K841	0	-129	6,37	7,35	13,72	0,001	0,007	MHB
K841	1	104	4,95	7,35	12,30	0,000	0,007	MHB

Çizelge B.2.a : Y-Y yönünde 1. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K115	1	104	4,10	7,35	11,45	0,000	0,006	MHB
K115	0	-128	1,40	7,35	8,75	0,000	0,005	MHB
K117	0	104	5,79	7,35	13,14	0,000	0,007	MHB
K117	1	-129	2,75	7,35	10,10	0,000	0,005	MHB
K130	1	-129	5,44	7,35	12,79	0,000	0,007	MHB
K130	0	103	0,42	7,35	7,77	0,000	0,004	MHB
K131	0	104	5,03	7,35	12,38	0,000	0,007	MHB
K131	1	-128	4,45	7,35	11,80	0,000	0,006	MHB
K132	1	-129	4,49	7,35	11,84	0,000	0,006	MHB
K132	0	103	1,92	7,35	9,27	0,000	0,005	MHB
K133	1	-129	8,96	7,35	16,31	0,001	0,009	MHB
K133	0	103	4,35	7,35	11,70	0,000	0,006	MHB
K134	0	103	5,49	7,35	12,84	0,000	0,007	MHB
K134	1	-128	4,67	7,35	12,02	0,000	0,006	MHB
K135	0	103	4,78	7,35	12,13	0,000	0,006	MHB
K135	1	-128	4,27	7,35	11,62	0,000	0,006	MHB
K136	1	-129	7,70	7,35	15,05	0,001	0,008	MHB
K136	0	103	5,84	7,35	13,19	0,001	0,007	MHB
K137	1	-131	13,81	7,35	21,16	0,001	0,011	BHB
K137	0	105	13,25	7,35	20,60	0,001	0,011	BHB
K138	1	-129	7,60	7,35	14,95	0,001	0,008	MHB
K138	0	103	3,71	7,35	11,06	0,000	0,006	MHB
K139	1	-130	7,72	7,35	15,07	0,001	0,008	MHB
K139	0	103	7,65	7,35	15,00	0,001	0,008	MHB
K140	1	-129	11,94	7,35	19,29	0,001	0,010	BHB
K140	0	103	2,97	7,35	10,32	0,000	0,005	MHB
K141	0	106	18,93	7,35	26,28	0,001	0,014	BHB
K141	1	-131	15,94	7,35	23,29	0,001	0,013	BHB
K142	1	-130	7,67	7,35	15,02	0,001	0,008	MHB
K142	0	103	5,03	7,35	12,38	0,000	0,007	MHB
K143	1	-130	13,21	7,35	20,56	0,001	0,011	BHB
K143	0	105	13,02	7,35	20,37	0,001	0,011	BHB
K144	1	-130	14,47	7,35	21,82	0,001	0,012	BHB
K144	0	104	11,50	7,35	18,85	0,001	0,010	BHB
K145	0	104	5,57	7,35	12,92	0,000	0,007	MHB
K145	1	-129	5,04	7,35	12,39	0,000	0,007	MHB
K146	1	-130	12,17	7,35	19,52	0,001	0,011	BHB
K146	0	104	7,56	7,35	14,91	0,001	0,008	MHB
K147	0	103	8,41	7,35	15,76	0,001	0,008	MHB
K147	1	-129	5,96	7,35	13,31	0,001	0,007	MHB
K148	1	-129	7,32	7,35	14,67	0,001	0,008	MHB
K148	0	103	5,04	7,35	12,39	0,000	0,007	MHB
K149	1	-129	9,32	7,35	16,67	0,001	0,009	MHB
K149	0	104	5,40	7,35	12,75	0,000	0,007	MHB
K150	1	-128	8,95	7,35	16,30	0,001	0,009	MHB
K150	0	103	2,60	7,35	9,95	0,000	0,005	MHB
K151	0	104	7,14	7,35	14,49	0,001	0,008	MHB
K151	1	-128	6,43	7,35	13,78	0,001	0,007	MHB
K152	1	-129	6,46	7,35	13,81	0,001	0,007	MHB
K152	0	103	4,51	7,35	11,86	0,000	0,006	MHB

Çizelge B.2.b : Y-Y yönünde 2. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K215	1	105	8,40	7,35	15,75	0,001	0,008	MHB
K215	0	-129	5,84	7,35	13,19	0,001	0,007	MHB
K217	0	105	10,39	7,35	17,74	0,001	0,010	MHB
K217	1	-129	7,49	7,35	14,84	0,001	0,008	MHB
K230	1	-129	13,07	7,35	20,42	0,001	0,011	BHB
K230	0	104	8,28	7,35	15,63	0,001	0,008	MHB
K231	0	104	12,85	7,35	20,20	0,001	0,011	BHB
K231	1	-129	12,23	7,35	19,58	0,001	0,011	BHB
K232	1	-130	12,40	7,35	19,75	0,001	0,011	BHB
K232	0	104	9,33	7,35	16,68	0,001	0,009	MHB
K233	1	-131	16,79	7,35	24,14	0,001	0,013	BHB
K233	0	104	12,90	7,35	20,25	0,001	0,011	BHB
K234	0	104	13,15	7,35	20,50	0,001	0,011	BHB
K234	1	-130	12,29	7,35	19,64	0,001	0,011	BHB
K235	1	-130	12,15	7,35	19,50	0,001	0,011	BHB
K235	0	104	12,01	7,35	19,36	0,001	0,010	BHB
K236	1	-130	16,18	7,35	23,53	0,001	0,013	BHB
K236	0	105	13,73	7,35	21,08	0,001	0,011	BHB
K237	1	-131	23,36	7,35	30,71	0,001	0,017	BHB
K237	0	107	23,15	7,35	30,50	0,001	0,017	BHB
K238	1	-130	15,13	7,35	22,48	0,001	0,012	BHB
K238	0	104	10,94	7,35	18,29	0,001	0,010	MHB
K239	1	-130	16,06	7,35	23,41	0,001	0,013	BHB
K239	0	105	15,70	7,35	23,05	0,001	0,012	BHB
K240	1	-131	20,09	7,35	27,44	0,001	0,015	BHB
K240	0	105	12,02	7,35	19,37	0,001	0,010	BHB
K241	0	108	32,29	7,35	39,64	0,001	0,022	BHB
K241	1	-133	29,60	7,35	36,95	0,001	0,020	BHB
K242	1	-130	14,94	7,35	22,29	0,001	0,012	BHB
K242	0	105	12,01	7,35	19,36	0,001	0,010	BHB
K243	1	-132	22,94	7,35	30,29	0,001	0,017	BHB
K243	0	107	22,85	7,35	30,20	0,001	0,016	BHB
K244	1	-132	24,03	7,35	31,38	0,001	0,017	BHB
K244	0	106	21,93	7,35	29,28	0,001	0,016	BHB
K245	1	-130	13,40	7,35	20,75	0,001	0,011	BHB
K245	0	105	13,14	7,35	20,49	0,001	0,011	BHB
K246	1	-131	20,83	7,35	28,18	0,001	0,015	BHB
K246	0	105	17,22	7,35	24,57	0,001	0,013	BHB
K247	0	105	15,97	7,35	23,32	0,001	0,013	BHB
K247	1	-129	14,06	7,35	21,41	0,001	0,012	BHB
K248	1	-130	15,19	7,35	22,54	0,001	0,012	BHB
K248	0	105	12,74	7,35	20,09	0,001	0,011	BHB
K249	1	-131	16,79	7,35	24,14	0,001	0,013	BHB
K249	0	104	13,10	7,35	20,45	0,001	0,011	BHB
K250	1	-130	16,97	7,35	24,32	0,001	0,013	BHB
K250	0	104	11,25	7,35	18,60	0,001	0,010	BHB
K251	0	105	15,46	7,35	22,81	0,001	0,012	BHB
K251	1	-130	14,73	7,35	22,08	0,001	0,012	BHB
K252	1	-130	14,96	7,35	22,31	0,001	0,012	BHB
K252	0	104	12,62	7,35	19,97	0,001	0,011	BHB

Çizelge B.2.c : Y-Y yönünde 3. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K308	0	-127	0,39	7,35	7,74	0,000	0,004	MHB
K315	1	104	10,62	7,35	17,97	0,001	0,010	MHB
K315	0	-129	7,78	7,35	15,13	0,001	0,008	MHB
K317	0	104	11,87	7,35	19,22	0,001	0,010	BHB
K317	1	-130	8,77	7,35	16,12	0,001	0,009	MHB
K330	1	-131	16,32	7,35	23,67	0,001	0,013	BHB
K330	0	104	11,66	7,35	19,01	0,001	0,010	BHB
K331	0	105	16,09	7,35	23,44	0,001	0,013	BHB
K331	1	-130	15,40	7,35	22,75	0,001	0,012	BHB
K332	1	-131	15,74	7,35	23,09	0,001	0,012	BHB
K332	0	104	12,91	7,35	20,26	0,001	0,011	BHB
K333	1	-131	20,60	7,35	27,95	0,001	0,015	BHB
K333	0	105	16,53	7,35	23,88	0,001	0,013	BHB
K334	0	106	16,13	7,35	23,48	0,001	0,013	BHB
K334	1	-130	15,39	7,35	22,74	0,001	0,012	BHB
K335	1	-130	15,54	7,35	22,89	0,001	0,012	BHB
K335	0	106	15,42	7,35	22,77	0,001	0,012	BHB
K336	1	-131	19,73	7,35	27,08	0,001	0,015	BHB
K336	0	105	17,54	7,35	24,89	0,001	0,014	BHB
K337	1	-133	27,68	7,35	35,03	0,001	0,019	BHB
K337	0	107	27,46	7,35	34,81	0,001	0,019	BHB
K338	1	-130	18,46	7,35	25,81	0,001	0,014	BHB
K338	0	104	14,32	7,35	21,67	0,001	0,012	BHB
K339	1	-131	20,37	7,35	27,72	0,001	0,015	BHB
K339	0	105	19,39	7,35	26,74	0,001	0,015	BHB
K340	1	-132	23,90	7,35	31,25	0,001	0,017	BHB
K340	0	105	15,62	7,35	22,97	0,001	0,012	BHB
K341	0	109	38,40	7,35	45,75	0,001	0,025	BHB
K341	1	-134	34,76	7,35	42,11	0,001	0,023	BHB
K342	1	-131	17,91	7,35	25,26	0,001	0,014	BHB
K342	0	106	14,91	7,35	22,26	0,001	0,012	BHB
K343	1	-133	27,19	7,35	34,54	0,001	0,019	BHB
K343	0	107	27,07	7,35	34,42	0,001	0,019	BHB
K344	1	-133	27,80	7,35	35,15	0,001	0,019	BHB
K344	0	106	25,57	7,35	32,92	0,001	0,018	BHB
K345	1	-130	16,45	7,35	23,80	0,001	0,013	BHB
K345	0	105	16,37	7,35	23,72	0,001	0,013	BHB
K346	1	-132	24,58	7,35	31,93	0,001	0,017	BHB
K346	0	106	20,58	7,35	27,93	0,001	0,015	BHB
K347	0	106	18,73	7,35	26,08	0,001	0,014	BHB
K347	1	-130	16,71	7,35	24,06	0,001	0,013	BHB
K348	1	-130	18,19	7,35	25,54	0,001	0,014	BHB
K348	0	105	15,82	7,35	23,17	0,001	0,013	BHB
K349	1	-131	19,69	7,35	27,04	0,001	0,015	BHB
K349	0	106	15,87	7,35	23,22	0,001	0,013	BHB
K350	1	-132	19,76	7,35	27,11	0,001	0,015	BHB
K350	0	106	13,87	7,35	21,22	0,001	0,011	BHB
K351	0	106	17,98	7,35	25,33	0,001	0,014	BHB
K351	1	-131	17,23	7,35	24,58	0,001	0,013	BHB
K352	1	-131	17,55	7,35	24,90	0,001	0,014	BHB
K352	0	106	15,35	7,35	22,70	0,001	0,012	BHB

Çizelge B.2.d : Y-Y yönünde 4. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K408	0	-127	0,23	7,35	7,58	0,000	0,004	MHB
K415	1	105	10,44	7,35	17,79	0,001	0,010	MHB
K415	0	-129	7,63	7,35	14,98	0,001	0,008	MHB
K417	0	105	10,95	7,35	18,30	0,001	0,010	MHB
K417	1	-129	7,81	7,35	15,16	0,001	0,008	MHB
K430	1	-130	16,66	7,35	24,01	0,001	0,013	BHB
K430	0	104	11,88	7,35	19,23	0,001	0,010	BHB
K431	0	105	16,29	7,35	23,64	0,001	0,013	BHB
K431	1	-130	15,57	7,35	22,92	0,001	0,012	BHB
K432	1	-131	16,07	7,35	23,42	0,001	0,013	BHB
K432	0	105	13,18	7,35	20,53	0,001	0,011	BHB
K433	1	-132	20,65	7,35	28,00	0,001	0,015	BHB
K433	0	105	16,76	7,35	24,11	0,001	0,013	BHB
K434	0	106	16,04	7,35	23,39	0,001	0,013	BHB
K434	1	-130	15,32	7,35	22,67	0,001	0,012	BHB
K435	1	-130	15,73	7,35	23,08	0,001	0,012	BHB
K435	0	105	15,59	7,35	22,94	0,001	0,012	BHB
K436	1	-131	19,69	7,35	27,04	0,001	0,015	BHB
K436	0	106	17,43	7,35	24,78	0,001	0,013	BHB
K437	1	-132	27,38	7,35	34,73	0,001	0,019	BHB
K437	0	106	27,21	7,35	34,56	0,001	0,019	BHB
K438	1	-132	18,45	7,35	25,80	0,001	0,014	BHB
K438	0	106	14,13	7,35	21,48	0,001	0,012	BHB
K439	1	-131	20,46	7,35	27,81	0,001	0,015	BHB
K439	0	106	19,22	7,35	26,57	0,001	0,014	BHB
K440	1	-132	23,63	7,35	30,98	0,001	0,017	BHB
K440	0	104	15,53	7,35	22,88	0,001	0,012	BHB
K441	0	108	37,68	7,35	45,03	0,001	0,025	BHB
K441	1	-132	33,85	7,35	41,20	0,001	0,023	BHB
K442	1	-130	17,36	7,35	24,71	0,001	0,013	BHB
K442	0	105	14,35	7,35	21,70	0,001	0,012	BHB
K443	1	-132	26,67	7,35	34,02	0,001	0,019	BHB
K443	0	106	26,60	7,35	33,95	0,001	0,019	BHB
K444	1	-132	26,81	7,35	34,16	0,001	0,019	BHB
K444	0	107	24,46	7,35	31,81	0,001	0,017	BHB
K445	0	105	16,02	7,35	23,37	0,001	0,013	BHB
K445	1	-131	15,91	7,35	23,26	0,001	0,013	BHB
K446	1	-132	23,89	7,35	31,24	0,001	0,017	BHB
K446	0	106	20,02	7,35	27,37	0,001	0,015	BHB
K447	0	106	18,03	7,35	25,38	0,001	0,014	BHB
K447	1	-130	16,04	7,35	23,39	0,001	0,013	BHB
K448	1	-131	17,49	7,35	24,84	0,001	0,013	BHB
K448	0	105	15,26	7,35	22,61	0,001	0,012	BHB
K449	1	-130	18,97	7,35	26,32	0,001	0,014	BHB
K449	0	105	15,04	7,35	22,39	0,001	0,012	BHB
K450	1	-130	19,05	7,35	26,40	0,001	0,014	BHB
K450	0	105	13,11	7,35	20,46	0,001	0,011	BHB
K451	0	105	17,12	7,35	24,47	0,001	0,013	BHB
K451	1	-131	16,33	7,35	23,68	0,001	0,013	BHB
K452	1	-130	16,87	7,35	24,22	0,001	0,013	BHB
K452	0	106	14,41	7,35	21,76	0,001	0,012	BHB

Çizelge B.2.e : Y-Y yönünde 5. kat kirişleri hasar sınırı

KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K515	1	105	8,97	7,35	16,32	0,001	0,009	MHB
K515	0	-128	6,13	7,35	13,48	0,001	0,007	MHB
K517	0	105	8,20	7,35	15,55	0,001	0,008	MHB
K517	1	-129	5,01	7,35	12,36	0,000	0,007	MHB
K530	1	-130	15,23	7,35	22,58	0,001	0,012	BHB
K530	0	104	10,31	7,35	17,66	0,001	0,009	MHB
K531	0	105	14,59	7,35	21,94	0,001	0,012	BHB
K531	1	-130	13,95	7,35	21,30	0,001	0,012	BHB
K532	1	-130	14,69	7,35	22,04	0,001	0,012	BHB
K532	0	105	11,57	7,35	18,92	0,001	0,010	BHB
K533	1	-131	18,59	7,35	25,94	0,001	0,014	BHB
K533	0	105	14,56	7,35	21,91	0,001	0,012	BHB
K534	0	106	14,04	7,35	21,39	0,001	0,012	BHB
K534	1	-130	13,16	7,35	20,51	0,001	0,011	BHB
K535	1	-130	13,85	7,35	21,20	0,001	0,011	BHB
K535	0	104	13,79	7,35	21,14	0,001	0,011	BHB
K536	1	-130	17,31	7,35	24,66	0,001	0,013	BHB
K536	0	106	15,01	7,35	22,36	0,001	0,012	BHB
K537	1	-132	24,22	7,35	31,57	0,001	0,017	BHB
K537	0	107	24,01	7,35	31,36	0,001	0,017	BHB
K538	1	-131	16,19	7,35	23,54	0,001	0,013	BHB
K538	0	105	12,00	7,35	19,35	0,001	0,010	BHB
K539	1	-131	18,34	7,35	25,69	0,001	0,014	BHB
K539	0	105	16,96	7,35	24,31	0,001	0,013	BHB
K540	1	-131	20,95	7,35	28,30	0,001	0,015	BHB
K540	0	104	12,64	7,35	19,99	0,001	0,011	BHB
K541	0	108	32,77	7,35	40,12	0,001	0,022	BHB
K541	1	-133	28,41	7,35	35,76	0,001	0,020	BHB
K542	1	-130	14,49	7,35	21,84	0,001	0,012	BHB
K542	0	104	11,61	7,35	18,96	0,001	0,010	BHB
K543	1	-132	22,92	7,35	30,27	0,001	0,016	BHB
K543	0	105	22,91	7,35	30,26	0,001	0,016	BHB
K544	1	-132	22,54	7,35	29,89	0,001	0,016	BHB
K544	0	106	20,27	7,35	27,62	0,001	0,015	BHB
K545	0	104	13,18	7,35	20,53	0,001	0,011	BHB
K545	1	-130	13,12	7,35	20,47	0,001	0,011	BHB
K546	1	-131	20,37	7,35	27,72	0,001	0,015	BHB
K546	0	106	16,39	7,35	23,74	0,001	0,013	BHB
K547	0	105	14,91	7,35	22,26	0,001	0,012	BHB
K547	1	-130	12,83	7,35	20,18	0,001	0,011	BHB
K548	1	-130	14,48	7,35	21,83	0,001	0,012	BHB
K548	0	104	12,16	7,35	19,51	0,001	0,011	BHB
K549	1	-131	15,45	7,35	22,80	0,001	0,012	BHB
K549	0	104	11,73	7,35	19,08	0,001	0,010	BHB
K550	1	-130	15,46	7,35	22,81	0,001	0,012	BHB
K550	0	105	9,47	7,35	16,82	0,001	0,009	MHB
K551	0	104	13,49	7,35	20,84	0,001	0,011	BHB
K551	1	-130	12,64	7,35	19,99	0,001	0,011	BHB
K552	1	-130	13,09	7,35	20,44	0,001	0,011	BHB
K552	0	104	11,00	7,35	18,35	0,001	0,010	MHB

Çizelge B.2.f : Y-Y yönünde 6. kat kirişleri hasar sınırı

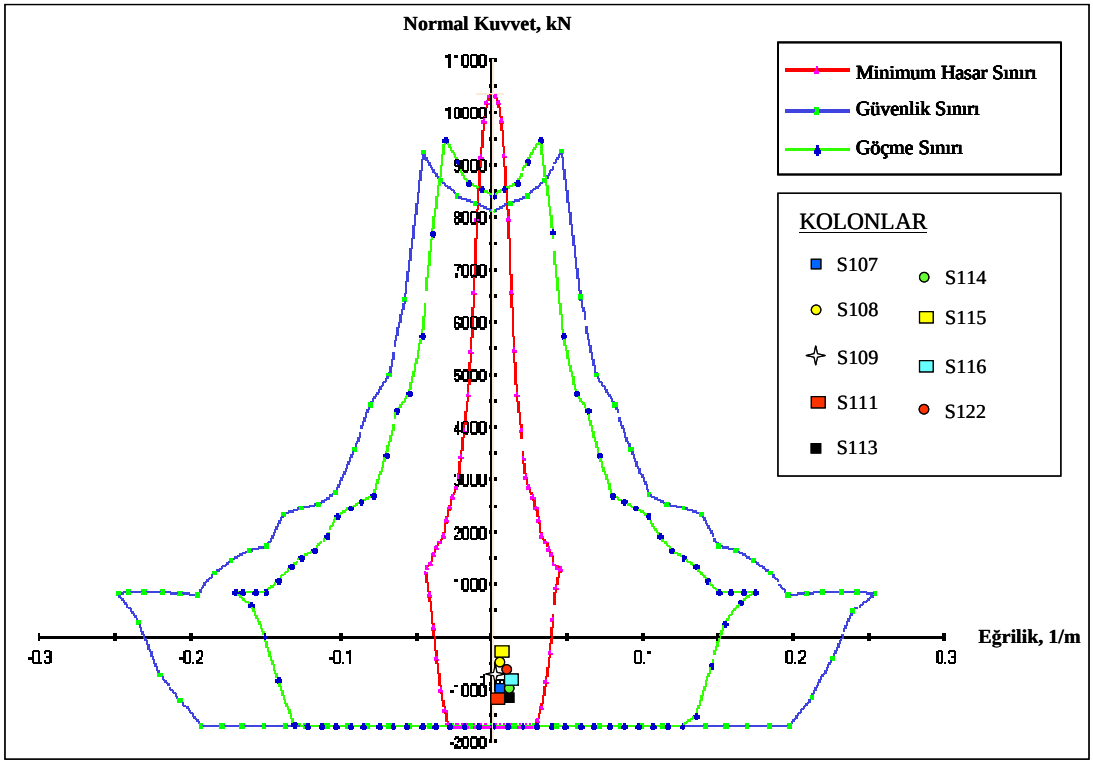
KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K615	1	104	6,70	7,35	14,05	0,001	0,007	MHB
K615	0	-129	3,57	7,35	10,92	0,000	0,006	MHB
K617	0	104	3,78	7,35	11,13	0,000	0,006	MHB
K617	1	-129	0,45	7,35	7,80	0,000	0,004	MHB
K630	1	-130	11,75	7,35	19,10	0,001	0,010	BHB
K630	0	105	6,89	7,35	14,24	0,001	0,008	MHB
K631	0	104	11,04	7,35	18,39	0,001	0,010	MHB
K631	1	-129	10,49	7,35	17,84	0,001	0,010	MHB
K632	1	-129	11,26	7,35	18,61	0,001	0,010	BHB
K632	0	104	8,36	7,35	15,71	0,001	0,008	MHB
K633	1	-131	14,74	7,35	22,09	0,001	0,012	BHB
K633	0	104	10,68	7,35	18,03	0,001	0,010	MHB
K634	0	105	10,12	7,35	17,47	0,001	0,009	MHB
K634	1	-129	9,49	7,35	16,84	0,001	0,009	MHB
K635	0	104	10,38	7,35	17,73	0,001	0,010	MHB
K635	1	-130	10,10	7,35	17,45	0,001	0,009	MHB
K636	1	-130	12,92	7,35	20,27	0,001	0,011	BHB
K636	0	104	11,06	7,35	18,41	0,001	0,010	MHB
K637	1	-132	19,04	7,35	26,39	0,001	0,014	BHB
K637	0	105	18,70	7,35	26,05	0,001	0,014	BHB
K638	1	-130	12,42	7,35	19,77	0,001	0,011	BHB
K638	0	104	8,25	7,35	15,60	0,001	0,008	MHB
K639	1	-130	14,89	7,35	22,24	0,001	0,012	BHB
K639	0	105	12,98	7,35	20,33	0,001	0,011	BHB
K640	1	-130	16,49	7,35	23,84	0,001	0,013	BHB
K640	0	105	7,85	7,35	15,20	0,001	0,008	MHB
K641	0	106	24,58	7,35	31,93	0,001	0,017	BHB
K641	1	-130	19,51	7,35	26,86	0,001	0,015	BHB
K642	1	-130	10,17	7,35	17,52	0,001	0,009	MHB
K642	0	104	7,15	7,35	14,50	0,001	0,008	MHB
K643	1	-131	17,27	7,35	24,62	0,001	0,013	BHB
K643	0	105	17,15	7,35	24,50	0,001	0,013	BHB
K644	1	-131	16,26	7,35	23,61	0,001	0,013	BHB
K644	0	105	13,78	7,35	21,13	0,001	0,011	BHB
K645	1	-129	8,65	7,35	16,00	0,001	0,009	MHB
K645	0	105	8,55	7,35	15,90	0,001	0,009	MHB
K646	1	-130	15,06	7,35	22,41	0,001	0,012	BHB
K646	0	104	10,87	7,35	18,22	0,001	0,010	MHB
K647	0	105	10,05	7,35	17,40	0,001	0,009	MHB
K647	1	-129	7,97	7,35	15,32	0,001	0,008	MHB
K648	1	-129	9,67	7,35	17,02	0,001	0,009	MHB
K648	0	103	7,47	7,35	14,82	0,001	0,008	MHB
K649	1	-129	10,50	7,35	17,85	0,001	0,010	MHB
K649	0	103	6,68	7,35	14,03	0,001	0,007	MHB
K650	1	-130	10,08	7,35	17,43	0,001	0,009	MHB
K650	0	103	4,41	7,35	11,76	0,000	0,006	MHB
K651	0	104	8,18	7,35	15,53	0,001	0,008	MHB
K651	1	-129	7,49	7,35	14,84	0,001	0,008	MHB
K652	1	-130	7,84	7,35	15,19	0,001	0,008	MHB
K652	0	103	5,78	7,35	13,13	0,000	0,007	MHB

Çizelge B.2.g: Y-Y yönünde 7. kat kirişleri hasar sınırı

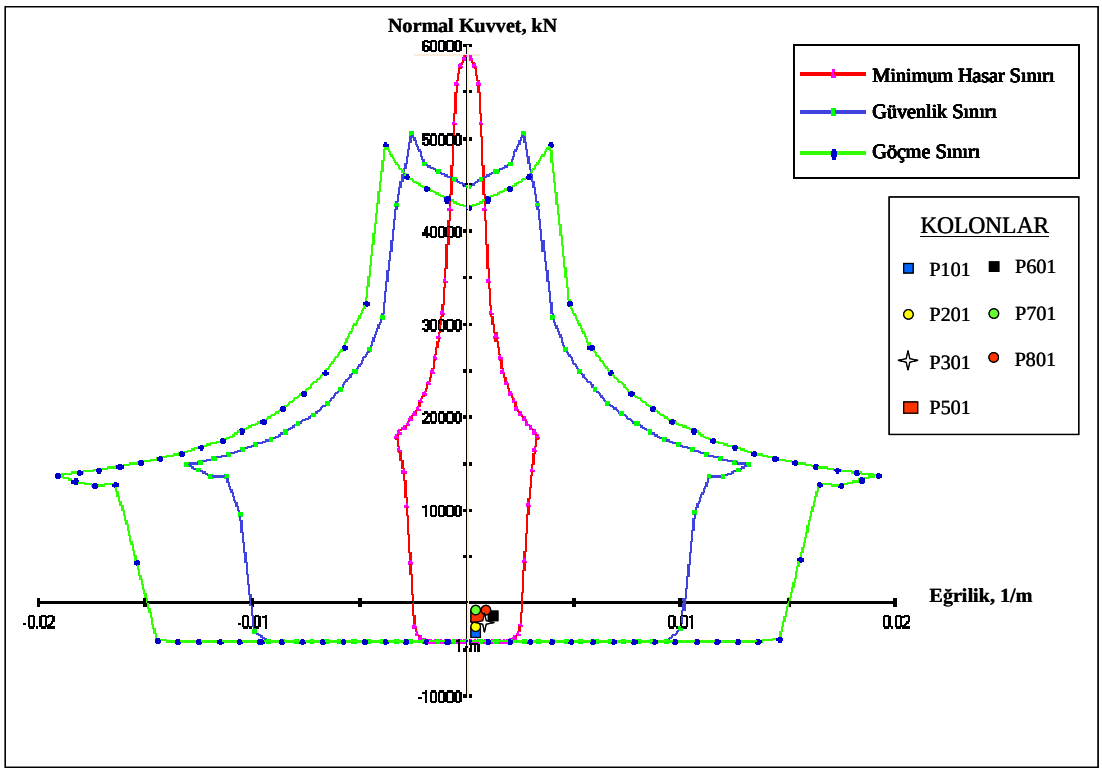
KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K715	1	103	3,77	7,35	11,12	0,000	0,006	MHB
K715	0	-128	0,70	7,35	8,05	0,000	0,004	MHB
K730	1	-130	9,51	7,35	16,86	0,001	0,009	MHB
K730	0	104	4,73	7,35	12,08	0,000	0,006	MHB
K731	0	104	9,17	7,35	16,52	0,001	0,009	MHB
K731	1	-129	8,22	7,35	15,57	0,001	0,008	MHB
K732	1	-129	9,48	7,35	16,83	0,001	0,009	MHB
K732	0	104	5,75	7,35	13,10	0,000	0,007	MHB
K733	1	-129	11,22	7,35	18,57	0,001	0,010	MHB
K733	0	105	7,64	7,35	14,99	0,001	0,008	MHB
K734	0	104	7,79	7,35	15,14	0,001	0,008	MHB
K734	1	-129	6,71	7,35	14,06	0,001	0,007	MHB
K735	1	-130	7,75	7,35	15,10	0,001	0,008	MHB
K735	0	104	7,09	7,35	14,44	0,001	0,008	MHB
K736	1	-129	9,63	7,35	16,98	0,001	0,009	MHB
K736	0	104	6,89	7,35	14,24	0,001	0,008	MHB
K737	0	105	14,12	7,35	21,47	0,001	0,012	BHB
K737	1	-129	13,93	7,35	21,28	0,001	0,011	BHB
K738	1	-129	9,32	7,35	16,67	0,001	0,009	MHB
K738	0	103	4,81	7,35	12,16	0,000	0,006	MHB
K739	1	-130	11,31	7,35	18,66	0,001	0,010	BHB
K739	0	104	10,07	7,35	17,42	0,001	0,009	MHB
K740	1	-130	11,79	7,35	19,14	0,001	0,010	BHB
K740	0	103	4,34	7,35	11,69	0,000	0,006	MHB
K741	0	106	16,07	7,35	23,42	0,001	0,013	BHB
K741	1	-130	11,64	7,35	18,99	0,001	0,010	BHB
K742	1	-129	6,27	7,35	13,62	0,001	0,007	MHB
K742	0	104	3,17	7,35	10,52	0,000	0,006	MHB
K743	0	104	11,62	7,35	18,97	0,001	0,010	BHB
K743	1	-129	11,62	7,35	18,97	0,001	0,010	BHB
K744	1	-130	10,37	7,35	17,72	0,001	0,010	MHB
K744	0	104	8,79	7,35	16,14	0,001	0,009	MHB
K745	1	-129	5,30	7,35	12,65	0,000	0,007	MHB
K745	0	104	4,54	7,35	11,89	0,000	0,006	MHB
K746	1	-129	9,71	7,35	17,06	0,001	0,009	MHB
K746	0	103	6,37	7,35	13,72	0,001	0,007	MHB
K747	0	103	6,32	7,35	13,67	0,001	0,007	MHB
K747	1	-129	4,14	7,35	11,49	0,000	0,006	MHB
K748	1	-128	5,96	7,35	13,31	0,001	0,007	MHB
K748	0	103	3,27	7,35	10,62	0,000	0,006	MHB
K749	1	-129	6,19	7,35	13,54	0,001	0,007	MHB
K749	0	104	2,02	7,35	9,37	0,000	0,005	MHB
K750	1	-128	5,70	7,35	13,05	0,000	0,007	MHB
K750	0	100	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	MHB
K751	0	104	3,65	7,35	11,00	0,000	0,006	MHB
K751	1	-129	2,89	7,35	10,24	0,000	0,005	MHB
K752	1	-129	3,41	7,35	10,76	0,000	0,006	MHB
K752	0	104	0,84	7,35	8,19	0,000	0,004	MHB

Çizelge B.2.h: Y-Y yönünde 8. kat kirişleri hasar sınırı

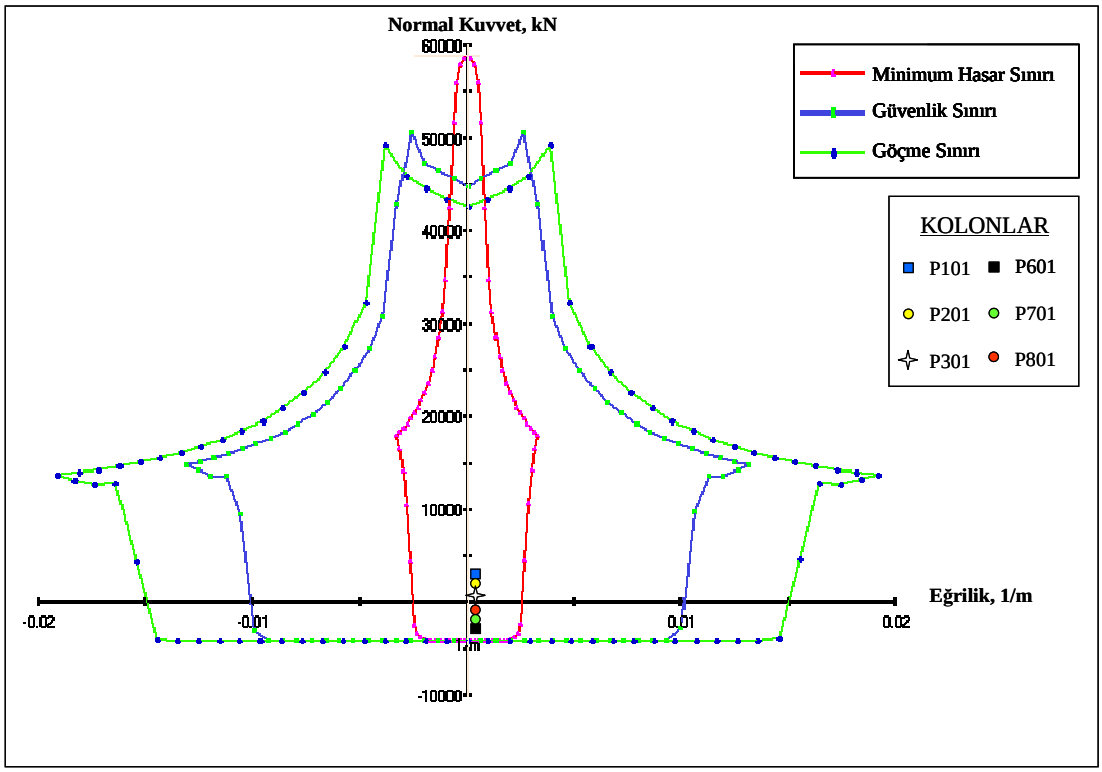
KİRİŞ	UÇ	M3	Φ_p	Φ_y	Φ_t	ε_c	ε_s	HASAR BÖLGESİ
		kNm	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3	rad/m x E-10^3			
K815	1	103	1,25	7,35	8,60	0,000	0,004	MHB
K830	1	-127	0,12	7,35	7,47	0,000	0,004	MHB
K831	1	-128	0,11	7,35	7,46	0,000	0,004	MHB
K833	1	-128	6,34	7,35	13,69	0,001	0,007	MHB
K833	0	104	0,28	7,35	7,63	0,000	0,004	MHB
K835	0	104	2,81	7,35	10,16	0,000	0,005	MHB
K836	0	104	3,45	7,35	10,80	0,000	0,006	MHB
K836	1	-128	1,91	7,35	9,26	0,000	0,005	MHB
K837	1	-130	8,94	7,35	16,29	0,001	0,009	MHB
K837	0	105	6,82	7,35	14,17	0,001	0,008	MHB
K838	1	-128	2,04	7,35	9,39	0,000	0,005	MHB
K838	0	103	1,79	7,35	9,14	0,000	0,005	MHB
K839	1	-130	9,17	7,35	16,52	0,001	0,009	MHB
K839	0	104	4,66	7,35	12,01	0,000	0,006	MHB
K840	1	-128	7,01	7,35	14,36	0,001	0,008	MHB
K841	0	105	11,74	7,35	19,09	0,001	0,010	BHB
K841	1	-129	2,19	7,35	9,54	0,000	0,005	MHB
K842	0	102	0,63	7,35	7,98	0,000	0,004	MHB
K842	1	-128	0,35	7,35	7,70	0,000	0,004	MHB
K843	1	-129	7,46	7,35	14,81	0,001	0,008	MHB
K843	0	104	7,18	7,35	14,53	0,001	0,008	MHB
K844	1	-129	5,19	7,35	12,54	0,000	0,007	MHB
K844	0	103	0,12	7,35	7,47	0,000	0,004	MHB
K845	0	104	0,15	7,35	7,50	0,000	0,004	MHB
K846	1	-128	6,04	7,35	13,39	0,001	0,007	MHB
K849	1	-128	0,14	7,35	7,49	0,000	0,004	MHB



Şekil B.1.a: 105x35 kolon X-X yönü performans düzeyleri



Şekil B.1.b: Perde X-X yönü performans düzeyi



Şekil B.1.c: Perde Y-Y yönü performans düzeyi

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nusret Okay

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara, 01.07.1981

Adres: Bakırköy / İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık

01.07.1981 tarihinde Ankara'da dünyaya geldi. İstanbul Bahçelievler Adnan Menderes Anadolu Lisesini bitirdikten sonra 2000 yılında İTÜ İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. Burada bir sene İngilizce hazırlık sınıfı okudu. 2003 yılında mühendislik eğitiminin yanında, İTÜ Mimarlık Fakültesi bünyesindeki Mimarlık bölümünü de okumaya başladı. 2004 yılında Amerika'da 4 ay cankurtaranlık yaptı ve sosyal faaliyetlerde bulundu. 2006 yılında İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu ve İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği bölümünde lisansüstü eğitimine başladı. 2007 yılında Mimarlık lisans eğitimini tamamlayarak Mimar ünvanını aldı. Mesleğiyle ilgili yarı zamanlı ve tam zamanlı işlerde çalıştı. Alman Allplan mimari CAD ve SCIA statik programlarının teknik destek ve pazarlama görevlerinde bulundu. Çeşitli şirketlerde şantiye şefliği, statik proje mühendisliği yaptı. İngilizce bilen yazar, Çuhadaroğlu Alüminyum bünyesinde giydirme cephe sistemleri üzerine çalışmalarını sürdürmektedir.