

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERDE VE ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN ON İKİ KATLI BİR
BETONARME YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İzgi ŞENDAĞ**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

EKİM 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PERDE VE ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN ON İKİ KATLI BİR
BETONARME YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İzgi ŞENDAĞ
(501071057)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Eylül 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Ekim 2010**

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

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)
Prof. Dr. Feridun ÇILI (İTÜ)**

EKİM 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, DBYBHY'07'ye göre boyutlandırılması yapılmış 12 katlı bir yapının aynı yönetmeliğin 7. bölümü kapsamında artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine göre performansı belirlenmiştir.

Tez çalışmamın en başından beri yardımını ve desteğini esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. A. Necmettin GÜNDÜZ'e; tez çalışmalarımızı birlikte yürüttüğüm arkadaşım Göktuğ AŞIK'a Yasemin ve Yeşim AKER'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Benim bu aşamaya gelebilmem için maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım annem ve babama minnetarlığımı belirtirim.

Eylül 2010

İzgi ŞENDAĞ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ	xv
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI.....	3
2.1 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözüm Yöntemleri.....	3
2.2 DBYBHY 2007’ye Göre Doğrusal Olmayan Davranış Kabulleri	3
2.2.1 Mander modeli	4
2.2.2 Plastik mafsalsal hipotezi	7
2.3 Binaların Deprem Altındaki Davranışı.....	10
2.3.1 Yapı sistemlerinde süneklik	11
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME	13
3.1 Mevcut Yapılardan Bilgi Toplanması	13
3.2 Yapı Elemanlarının Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	14
3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri	14
3.4 Yapıların Performans Düzeyleri Belirlenirken Uygulanacak Deprem Hareketleri	15
3.5 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar	16
3.6 Performans Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri.....	17
3.6.1 Bina performansının doğrusal elastik yöntem ile belirlenmesi.....	18
3.6.1.1 Eşdeğer deprem yükü yöntemi	18
3.6.1.2 Mod birleştirme yöntemi	18
3.6.2 Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi.....	18
3.6.3 Bina performansının doğrusal olmayan yöntem ile belirlenmesi	20
3.6.3.1 Performans analizinin artımsal itme analizi ile değerlendirilmesinde izlenecek hesap adımları	20
3.6.3.2 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi	21
3.6.3.3 Kesitteki birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi	26
3.6.3.4 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri	27
4. SAYISAL İNCELEMELER	29
4.1 Performans Değerlemesi Yapılacak Yapı Hakkındaki Bilgiler	29
4.1.1 Hesap yükleri, malzeme kalitesi ve deprem parametreleri	29
4.1.2 Yapının dinamik analizi	30
4.2 Yapının Artımsal Deprem Yüğü ile Performansının Belirlenmesi	31
4.2.1 Modelleme adımları	31
4.2.2 Modellemede yapılan kabuller.....	32
4.2.3 Yapıya itme analizinin uygulanması ve hedef deplasmanın belirlenmesi	34
4.2.4 Kesit düzeyinde hasar bölgelerinin belirlenmesi	38

4.2.5 Yapının performans düzeyinin belirlenmesi	44
5. SONUÇLAR	45
KAYNAKLAR.....	47
EKLER.....	49
EK A	51
EK B	61
EK C	65
EK D	71
EK E.....	77

KISALTMALAR

BHB	: Belirgin Hasar Bölgesi
CG	: Can Güvenliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
GB	: Göçme Bölgesi
GÇ	: Göçme Sınırı
GÖ	: Göçme Öncesi
GV	: Güvenlik Sınırı
HK	: Hemen Kullanım
İHB	: İleri Hasar Bölgesi
MHB	: Minimum Hasar Bölgesi
MN	: Minimum Hasar Sınırı
SAP2000	: Structural Analysis Program 2000
PERFORM3D	: Nonlinear Analysis and Performance Assessment of 3D Structures
TS-500	: Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
XTRACT	: Cross-sectional X Structural Analysis of Components

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları.....	14
Çizelge 3.2 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri.....	16
Çizelge 3.3 : Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)	19
Çizelge 3.4 : Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)	20
Çizelge 3.5 : Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)	20
Çizelge 4.1 : Modlar ve Kütle Katılım Oranları	30
Çizelge 4.2 : Deprem Hesabında Dikkate Alınacak Kat Kütleleri	30
Çizelge 4.3 : Y Yönü Kat Kütlesi ve mod genliğinin hesaplanması	35
Çizelge 4.4 : X Yönü Kat Kütlesi ve mod genliğinin hesaplanması	35
Çizelge 4.5 : Modal yerdeğiştirme isteminin hesabı	37
Çizelge 4.6 : 1. Kat kirişleri X doğrultusu performans analizi hasar bölgeleri	39
Çizelge 4.7 : B40/50 kirişi hasar bölgesi dönme istemleri	40
Çizelge 4.8 : C101 Kolonu, X doğrultusu performans analizi hasar bölgeleri.....	41
Çizelge 4.9 : S1 perdesi, X doğrultusu performans analizi hasar bölgeleri.....	42
Çizelge A.1 : S2 Perdesi hasar düzeyleri.....	53
Çizelge A.2 : S3 Perdesi hasar düzeyleri.....	54
Çizelge A.3 : S4 Perdesi hasar düzeyleri.....	55
Çizelge A.4 : S5 Perdesi hasar düzeyleri.....	56
Çizelge A.5 : Y doğrultusu performans analizi sonucunda 1. Kat kirişleri hasar bölgeleri	57
Çizelge A.6 : B40/50 kirişi negatif moment taşıma kapasitesi ve karakteristik mafsallık değerleri	58
Çizelge A.7 : X Doğrultusu performans analizi sonucunda kirişlerin katlara göre performans düzeyleri	59
Çizelge A.8 : Y Doğrultusu performans analizi sonucunda kirişlerin katlara göre performans düzeyleri	59
Çizelge A.9 : X –Y Doğrultusu performans analizi sonucunda kolonların katlara göre performans düzeyleri	60
Çizelge A.10 : X –Y Doğrultusu performans analizi sonucunda perdelerin katlara göre performans düzeyleri	60
Çizelge B.1 : Taşıyıcı Sistem Modelleri.....	63
Çizelge B.2 : Taşıyıcı sistem kirişlerinde oluşan kesit tesirleri.....	64
Çizelge C.1 : Analiz programı itme analizi toplam taban kesme kuvvetleri.....	67
Çizelge C.2 : Adım adım itme analizi yatay kuvvetleri	68
Çizelge C.3 : Adım adım itme analizi kesit tesirleri (moment kNm).....	69
Çizelge D.1 : P3- itme analizine dik doğrultudaki perdenin hedef deplasmana ulaşmaya kadar kesme kuvveti değişim grafiği	74

Çizelge D.2 : P1- itme analizi doğrultusundaki perdenin hedef deplasmana ulaşınca kadar kesme kuvveti değişim grafiği	74
Çizelge E.1 : Doğrusal elastik yöntemle kolon hasar tespiti	77
Çizelge E.2 : Doğrusal elastik yöntemle kiriş hasar tespiti	78
Çizelge E.3 : Doğrusal elastik yöntemle görelî kat ötelemeleri kontrolü.....	78
Çizelge E.4 : Doğrusal elastik yöntemle perde hasar tespiti	79

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Mander beton modeli.....	5
Şekil 2.2 : Kesitte ve Boyuna Doğrultuda Etkin Sargı Alanının Hesaplanması.....	5
Şekil 2.3 : Sargılı ve sargısız betonların σ - ε ilişkileri.....	7
Şekil 2.4 : Eğilme-momenti eğrilik diyagramı	8
Şekil 2.5 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler	9
Şekil 2.6 : İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı	10
Şekil 3.1 : Performans noktasının belirlenmesi $T^{(1)} \geq T_B$	24
Şekil 3.2 : Performans noktasının belirlenmesi $T^{(1)} \leq T_B$	25
Şekil 3.3 : Performans noktasının belirlenmesi $T^{(1)} \leq T_B$	26
Şekil 4.1 : Yapı 1. Kat Kalıp Planı	32
Şekil 4.2 : Beton Malzeme Modeli	33
Şekil 4.3 : 1. Kat Perde Kesitleri Donatı Planı	34
Şekil 4.4 : 1. Kat Kiriş ve Kolon Donatı Planı	34
Şekil 4.5 : X ve Y Doğrultusu Taban Kesme Kuvveti- Tepe Noktası Grafiği	36
Şekil 4.6 : Spektral ivme – spektral yerdeğiştirme diyagramı.....	37
Şekil 4.7 : SAP2000- Perform3D X doğrultusu statik itme eğrisi karşılaştırması	38
Şekil 4.8 : B40/50 kirişi hasar bölge sınır değerlerinin Perform3D analiz modeline girilmesi.....	41
Şekil D.1 : Taşıyıcı sistem kalıp planı	75

SEMBOL LİSTESİ

A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı
A_c	: Kolon veya perdenin brüt enkesit alanı
A_s	: Boyuna donatı alanı
$a_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen, birinci moda ait modal ivme
a_i	: Kesit çevresindeki boyuna donatının eksenleri arasındaki uzaklık
b_o, h_o	: Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutları
bw	: Kirişin gövde genişliği
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d	: Kirişin veya kolonun faydalı yüksekliği
$d_1^{(i)}$	: (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen, birinci moda ait modal yerdeğiştirme
$d_1^{(p)}$	: Birinci moda ait modal yerdeğiştirme istemi
$(EI)_o$	: Çatlamamış kesite ait eğilme rijitliği
$(EI)_e$	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
E_c	: Beton elastisite modülü
E_s	: Donatı çeliğinin elastisite modülü
f_c	: Sargılı betonda beton basınç gerilmesi
f_{cc}	: Sargılı beton basınç dayanımı
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{cm}	: Mevcut beton dayanımı
f_{co}	: Sargısız beton basınç dayanımı
f_{ctm}	: Mevcut betonun çekme dayanımı
f_e	: Etkili sargılama basıncı
f_{ex}, f_{ey}	: İlgili doğrultulardaki etkili sargılama basınçları
f_{yw}	: Enine donatının akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği)
H_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği)
H_w	: Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
k_e	: Sargılama etkinlik katsayısı
l_p	: Plastik mafsallık boyu
l_w	: Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
M_{L1}	: L_1 durumuna karşı gelen eğilme momenti değeri

M_p	: Kesitin taşıyabileceği maksimum eğilme momenti
M_{x1}	: x deprem doğrultusunda doğrusal elastik davranış için tanımlanan birinci (hakim) moda ait etkin kütle
m	: Kütle
N_D	: Deprem hesabında esas alınan toplam kütlelerle uyumlu düşey yükler altında kolonda veya perdede oluşan aksenal kuvvet
N_{ob}	: Moment sıfır iken kesitin taşıyabileceği maksimum basınç kuvveti
N_{oc}	: Moment sıfır iken kesitin taşıyabileceği maksimum çekme kuvveti
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
r	: Etki/kapasite oranı
r_s	: Etki/kapasite oranının sınır değeri
$S_{ae}(T)$	: Elastik spektral ivme
$S_{ae1}(1)$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme
$S_{de1}(1)$	: İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
S_{di1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme
s	: Etriye aralığı
T_1	: Binanın 1. doğal titreşim periyodu
$T_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyodları
u	: Yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(i)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait yerdeğiştirme
$u_{xN1}^{(p)}$	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda tepe yerdeğiştirme istemi
V_e	: Kolon, kiriş, perdede esas alınan tasarım kesme kuvveti
V_i	: Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etkiyen kat kesme kuvveti
V_r	: Kolon, kiriş, perdede kesitin kesme dayanımı
V_t	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
$V_{x1}^{(i)}$	: x deprem doğrultusunda (i)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda (hakim moda) ait taban kesme kuvveti
v	: Kesitin çubuk eksenine dik doğrultudaki şekildeğiştirmesi
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w_i	: Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
β_v	: Perdede kesme kuvveti için dinamik büyütme katsayısı
Γ_{x1}	: x deprem doğrultusunda birinci moda ait katkı çarpanı
γ	: Birim kayma şekildeğiştirmesi
ϵ	: Birim boy değişmesi
ϵ_{co}	: Betonda plastik şekildeğiştirmelerin başladığı şekildeğiştirme sınırı
ϵ_{cu}	: Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi
ϵ_e	: Beton çeliğinin akma şekildeğiştirmesi
ϵ_{su}	: Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirmesi

η_{bi}	: Burulma düzensizliği katsayısı
θ	: Etkin sargılanma alanının belirlenmesi için gerekli olan açı
θ_p	: Plastik dönme istemi
λ_c	: Sargılı beton basınç dayanımı ile sargısız beton basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi kuran bir katsayı
μ	: Süneklik katsayısı
ρ_s	: Enine donatının toplam hacimsel oranı
ρ_x, ρ_y	: İlgili doğrultulardaki enine donatı hacimsel oranı
σ_e	: Beton çeliğinin akma gerilmesi
σ_k	: Beton çeliğinin kopma gerilmesi
σ_p	: Beton çeliğinin orantılılık sınırı gerilmesi
Φ_p	: Plastik eğrilik istemi
Φ_t	: Toplam eğrilik istemi
Φ_{xN1}	: Binanın tepesinde (N'inci katında) x deprem doğrultusunda birinci moda ait mod şekli genliği
Φ_y	: Eşdeğer akma eğriliği
φ	: Kesitin dönmesi
$\varphi_{p,maks}$	: Plastik mafsalın dönme kapasitesi
χ	: Birim dönme (eğrilik)
χ_p	: M_p momentine karşılık gelen birim dönme (eğrilik)
χ_u	: Güç tükenmesine karşı gelen toplam eğrilik
χ_y	: Çekme donatısının akmaya başlaması ve ya betondaki birim kısalmanın ε_{co} sınır değerine ulaşması durumundaki eğrilik
$\omega_1^{(1)}$	: Başlangıçtaki (i=1) birinci (deprem doğrultusunda hâkim) titreşim moduna ait doğal açısal frekans

PERDE VE ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN ON İKİ KATLI BİR BETONARME YAPININ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Ülkemizin önemli bir bölümü büyük deprem kuşakları içerisinde yer almaktadır. Yapı mühendisliği genelinde uygulanan hesap yöntemlerinde büyük ölçüde yapıların doğrusal elastik davranışı incelenerek yapıların güvenliği sağlanmaya çalışılmıştır. Ancak, dünya üzerinde oluşan depremlerin verdiği zarar ve hasar düzeyleri göz önüne alınarak yapıların doğrusal olmayan davranışının incelenmesi zorunluluk haline gelmiştir.

Bu çalışma kapsamında, 12 katlı perde çerçeve sistemli betonarme bir yapının DBYBHY'07 kapsamında doğrusal olmayan davranışı incelenerek deprem performansı belirlenmiştir.

Yapılan deprem performanslarının değerlendirilmesi için doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler uygulanmaktadır. Doğrusal elastik olmayan analiz için önerilen başlıca yöntemler, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılarak uygulanan artımsal itme analizi ve zaman tanım alanında yapılan hesap yöntemidir.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin tanıtılması amacıyla, DBYBHY'07'ye göre boyutlandırılması yapılmış 12 katlı bir yapının yine DBYBHY'07 7. bölüm kapsamında artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine göre deprem performansı belirlenmiştir.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde: Çalışmanın amacı ve kapsamı çerçevesinde konu açıklanmış, konu ile ilgili çalışmalar gözden geçirilmiştir.

İkinci bölümde: Doğrusal olmayan sistemlerin genel incelemesi yapılmış, doğrusal olmayan yöntemlerin uygulanmasında yapılan malzeme kabulü ve plastik mafsalları teorisi açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde: Yapıların performansa dayalı tasarımı ve değerlendirilmesi hakkında açıklamalar yapılmaktadır. DBYBHY'07 'de tanımlanan kesit hasar düzeyleri, performans seviyeleri ve çoklu performans hedefleri özetlendikten sonra, doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden ikisi olan ve bu çalışmada kullanılan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde: Sayısal parametrik incelemeler yer almaktadır. Bu incelemeler kapsamında 12 katlı perde çerçeve sisteminden oluşan betonarme bir yapının, tasarım depremi göz önüne alınarak artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile doğrusal olmayan davranışı ele alınmış ve deprem performansı DBYBHY 2007 kapsamında değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde: Çalışmamızın başlıca özellikleri, sayısal sonuçların değerlendirilmesi ve konunun olası genişleme alanlarına ilişkin olarak, çalışmamızın neticesinde vardığımız sonuçlar açıklanmıştır.

SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF A 12 STOREY REINFORCE CONCRETE SHEAR WALL- FRAME STRUCTURE

SUMMARY

The thesis deals with evaluation of the seismic performance of a 12-storey reinforced concrete shear wall-frame structure

Turkey is a very earthquake-prone region. Although design philosophies based on nonlinear structural analyses have proven themselves more effective in design of earthquake resistant buildings the current engineering community uses primarily linear elastic procedures to ensure structural safety during earthquakes.

DBYBHY07 recommends various linear elastic or nonlinear procedures for seismic performance evaluation. These procedures include equivalent static lateral force analysis, modal response spectral analysis, incremental equivalent static lateral force analysis (single mode pushover), incremental modal response spectral analysis and multi-mode pushover analysis.

The thesis investigates the seismic behavior of 12-storey reinforced concrete shear wall-frame building using incremental equivalent static lateral force analysis (single mode pushover) recommended by the DBYBHY07.

The study consists of five chapters.

Chapter 1 includes a state-of-the-art literature review and explains the scope and the goal of the study.

Chapter 2 summarizes nonlinear structural analysis techniques and plastic hinge concept and pushover analysis.

Chapter 3 describes performance-based design and assessment methodologies. Furthermore, this chapter explains some of the key concepts of the seismic assessment methods proposed in DBYBHY07. These concepts include but not are limited to damage limits, performance levels and multiple target performance levels. Also, equivalent static lateral force analysis (single mode pushover) and nonlinear dynamic analysis in time-domain are explained as well.

Chapter 4 investigates the structural behavior of a 12-storey shear wall-frame structure under the design earthquake and conducts a performance assessment according to DBYBHY07.

Chapter 5 includes comparative conclusions and qualitative results.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Türkiye, büyük deprem kuşaklarının yer aldığı bir coğrafyada bulunmaktadır. Ülkemizin sınırları içinde bulunan Kuzey Anadolu Fay Hattı dünyanın en hızlı hareket eden ve en aktif sağ-yanal atımlı faylarından biridir. Bu fay hattının kırılması neticesinde, 1939 Erzincan, 1949 Karlıova, 1992 Erzincan ve yakın zamanda İzmit’de (1999) gerçekleşerek ciddi can ve mal kayıplarına sebep olan depremler meydana gelmiştir.

1999 yılında gerçekleşen İzmit depreminden sonra, mevcut Yönetmeliklerde eksikler olduğunun farkına varılmış olup, yapıda sünekliğin ciddi biçimde irdelendiği ve gerek yeni yapılan gerek mevcut yapıların deprem sonrası performansının da incelendiği *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007 (DBYYHY’07)* yayınlanıp, yapıların deprem yükleri altındaki tasarımında ağır şartlar içeren değişiklikler yapılmıştır.

DBYBHY’07, yurt dışında yapı performansının incelenmesi Vision 2000 (1995), ATC-40 (1996), FEMA 273, 274 (1997) çalışmaları ile hazırlanmıştır. Bu gelişim çalışması esnasında çeşitli analiz yöntemleri geliştirilmiştir. Bu analiz yöntemleri temel varsayımları bakımından iki grupta incelenebilir:

1. Doğrusal olmayan şekil değiştirmenin sistem üzerine sürekli olarak yayıldığını gözönüne alındığı çalışmalar ve yöntemler,
2. Plastik mafsallı hipotezine dayanan yöntemler.

Bu yöntemlerin geliştirilmesine paralel olarak, doğrusal olmayan kurama dayanan pratik ve etkin bilgisayar programları da giderek gelişmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır .

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma, orta yükseklikli bir betonarme binanın DBYBHY'07'ye göre tasarım ve boyutlandırılmasının yapılması; boyutlandırılan binanın *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile performansının Perform3D ve SAP2000 analiz programları ile karşılaştırılmalı olarak belirlenmesini kapsamaktadır.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

- a) Hesap Yönteminin öğrenilmesi amacı ile küçük taşıyıcı sistemler üzerinde aşağıdaki ön çalışmalar yapılmıştır.
 - Ek B'de perde-çerçeve bir sistemde kesit tesirlerinde gerçeğe yakın sonuçlar elde edileceği üzerinde bir çalışma yapılmıştır.
 - Ek C'de iki katlı bir çerçeveye önce elle itme analizi uygulanmış ardından aynı taşıyıcı sisteme analiz programlarında itme analizi uygulanarak sonuçların yakınlığı kontrol edilmiştir.
 - Ek D'de birbirine dik doğrultuda iki perdeye sahip bir binada, perdelerin itme analizi altındaki davranışı incelenmiştir.
- b) 12 katlı perde-çerçeve bir yapı DBYBHY'07'ye göre boyutlandırılmıştır.
- c) Boyutlandırılan yapının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemine göre performans analizi SAP2000 ve Perform3D sonlu elemanlar analiz programlarında yapılmıştır.
- d) Sırası ile yapıdaki elemanların kesit düzeyindeki hasarlarının her iki analiz programı tarafından hesaplanması yapılmıştır.
- e) Elde edilen bilgiler ışığında yapının performans düzeyinin belirlenmiştir.
- f) Çalışmalarda varılan sonuçlar açıklanmıştır.

2. YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI

2.1 Doğrusal Olmayan Sistemlerin Çözüm Yöntemleri

Geçmiş yıllarda yapılar tasarlanırken malzemelerin elastik davranışları dikkate alınarak tasarım yapıldı. Günümüzde ise, gerek malzeme kalitesinin iyileştirilmesi, gerekse analiz yöntemlerinin gelişmesi ile malzemenin elastik olmayan davranışı da hesaba katılarak daha ekonomik ve gerçekçi çözümler yapılmaktadır.

Ülkemizin önemli deprem kuşakları içinde kalmasından dolayı malzemenin doğrusal olmayan davranışının dikkate alınarak yapılmasının yanında, taşıyıcı sistemlerin yatay yükler altındaki davranışının modellenip, performansının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Yapının doğrusal olmayan davranışı hesaplanırken, *malzeme açısından* ve *geometrik olarak doğrusal olmayan açıdan* olmak üzere iki adet doğrusal olmayan davranışın dikkate alınması gerekmektedir. Ülkemizde yapıların tasarımında kullanılan DBYBHY'07 göre yapının geometri bakımından doğrusal olmayan davranışını hesap yönteminde göz ardı etmek amacı ile yatay yöndeki deplasman değerine sınırlandırılma getirilmiştir. Bu sayede yapının deprem altındaki performansı belirlenirken, sadece malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak hesap yapılması yeterli olmaktadır.

2.2 DBYBHY 2007'ye Göre Doğrusal Olmayan Davranış Kabulleri

Bir yapının deprem yükleri altındaki performansını belirleyen en önemli kriter, yapının dayanımını kaybetmeden şekil değiştirme yapabilme (süneklik) yeteneğidir. Yapı, dayanımını kaybetmeden şekil değiştirme yapabildiği oranda enerji yutacaktır. Yapı elemanlarında süneklik, kullanılan malzemelerin birbirleri ile etkileşimi ile sağlanmaktadır.

Donatı çeliği aksenal çekme ve basınç altında sünek bir davranış sergilerken; donatısız betonun davranışı ise, son derece kısıtlı, göçmesi gevrek olmaktadır. Betonun yapı içinde sargı donatısı ile kullanılması durumunda, dayanımını

kaybetmeden şekil değiştirme yeteneği iyileşmekte, dolayısı ile yapının enerji yutma kapasitesi artmaktadır. Kesit içindeki betonun donatı ile etkileşimini dikkate alarak davranışını belirleyen yöntemlerden birisi Mander Beton Modeli'dir.

2.2.1 Mander modeli

Yüksek eksenel kuvvet etkisindeki kesitin tarafsız eksen uzaklığı büyük olduğundan, kolonların eğilme kapasiteleri betonun basınç altındaki gerilme dağılımına daha çok bağlıdır. Bu nedenle, yapının performansını belirlemek için kullanılan analiz modellerinde gerçekçi eğilme momenti-eğrilik ilişkileri tanımlamak için, sargı etkisini de gözönüne alan beton modelleri kullanılmalıdır. Modelde kabuk betonu için *sargısız model*; çekirdek betonu için ise *sargılı model* esas alınır. Mander 1988 yılında beton için sargı etkisini de gözönüne alan gerilme-şekil değiştirme modeli önermiştir [13].

Mander modelinde beton basınç gerilmesi hesabı

$$f_c = \frac{f_{cc} x^r}{r - 1 + x^r} \quad (2.1)$$

denklemleri ile ifade edilmektedir. Burada f_{cc} sargılı beton dayanımını, x ise

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad (2.2)$$

şeklinde tanımlanan ε_c beton basınç şekil değiştirmesi ile ε_{cc} sargılı beton dayanımını ifade eden birim şekil değiştirme arasındaki oranı göstermektedir.

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad (2.3)$$

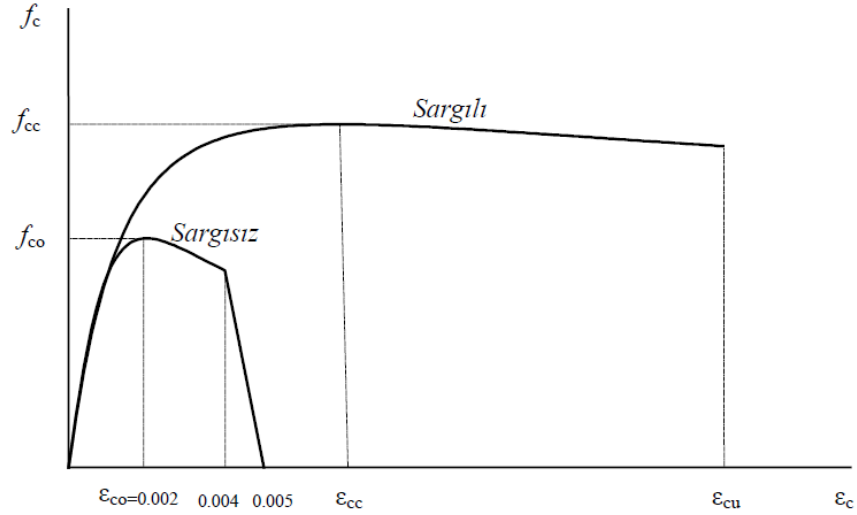
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (2.4)$$

ile tanımlanırken, bağıntıda

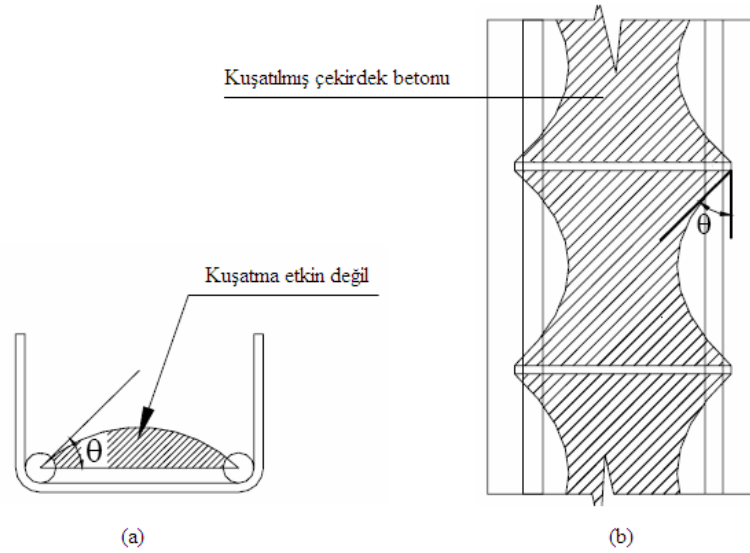
$$E_c \cong 5000 \sqrt{f_{co}} \quad [MPa] : \text{beton elastisite modülünü} \quad (2.5)$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{sec}} \text{ sekant modülünü göstermektedir.} \quad (2.6)$$

Şekil 2.1’de sargılı ve sargısız betonun gerilme şekil-değiştirme diyagramları gösterilmektedir. Sargı donatısının betondaki etkisi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Mander beton modeli.



Şekil 2.2 : Kesitte ve Boyuna Doğrultuda Etkin Sargı Alanının Hesaplanması

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0 h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0 h_0}\right)^{-1} \quad (2.7)$$

Denklem 2.7 'de ifade edilen sargılama etkinlik katsayısı hesaplanır. Bu katsayı kullanılarak, x ve y doğrultularındaki etkili sargılama basıncı

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (2.8)$$

formülleri ile hesaplanır.

Sargılanmış beton dayanımını veren

$$f_{cc} = \lambda_c f_{co} \quad (2.9)$$

denkleminde, f_{co} sargısız betonun basınç dayanımıdır. λ_c ise denklem (2.10) ile hesaplanır.

$$\lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254 \quad (2.10)$$

DBYBHY07'ye göre f_e etkili sargılama basıncı için dikdörtgen kesitlerde Denklem (2.8) de verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir [3].

Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirmesi,

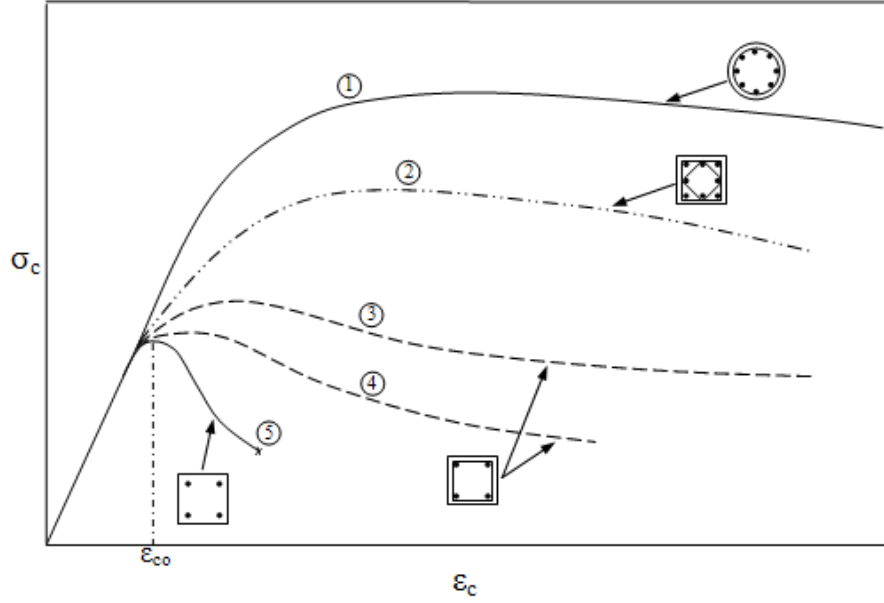
$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4 \rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (2.11)$$

formülü ile hesaplanır.

Formülde ρ_s x ve y doğrultularının toplamı olan enine donatının hacimsel oranını, ε_{su} enine donatı çeliğinde maksimum gerilme altındaki birim uzama şekil değişimini göstermektedir.

Betonarme bir kesitin, sargı donatısı ile sarılması, çekirdekteki betonun dayanımının yükseltmesine ve sünekliğinin önemli ölçüde arttırmasına imkan vermektedir.

Şekil 2.3'de sargılı ve sargısız betonların σ - ε ilişkileri gösterilmiştir. Bu diyagramı incelediğinde betondaki sargı donatısının önemi açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.3 : Sargılı ve sargısız betonların σ - ϵ ilişkileri

2.2.2 Plastik mafsallık hipotezi

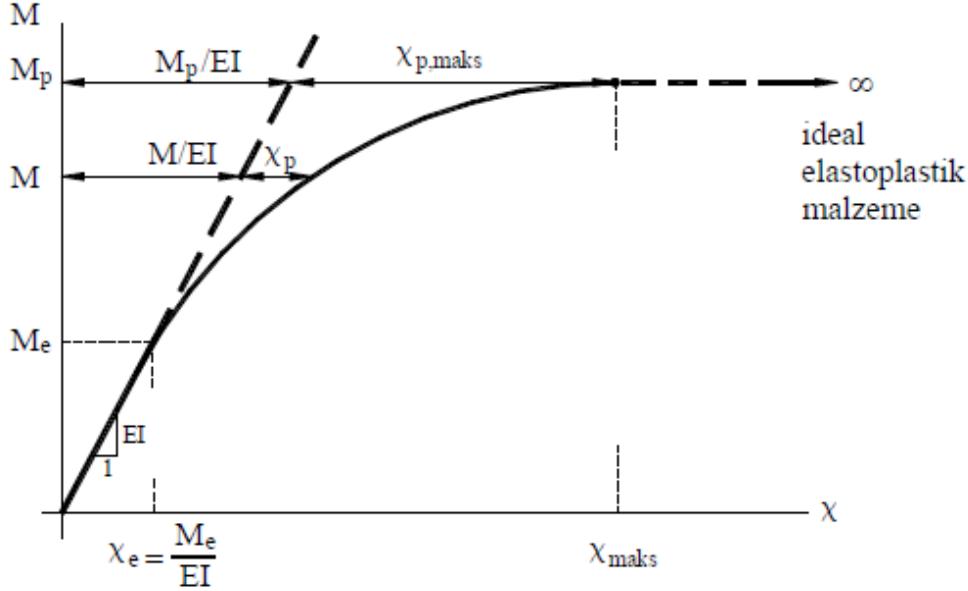
Yapının yatay yükler altındaki performansını belirlemek istenildiğinde, yapıdaki düşey yüklere ek olarak, yapıya artan oranlarda yatay yükler etkitilecektir. Kesitler üzerilerine gelen yükleri kapasitelerine ulaşıncaya kadar büyük şekil değiştirmeler yapmadan taşıyabileceklerdir. Ancak kesitler taşıma kapasitesilerine ulaştınca, artık daha fazla yük alamayacak ve şekil değiştirme ile enerji yutmaya çalışacaklardır.

Yatay yükler altında kesit tesirleri taşıyıcı sistem elemanlarının uç kısımlarında yoğunlaşmaktadır. Elemanların plastik şekil değiştirme yapacak bölgelerinin belirli bir uzunluk içerisinde kalması beklenir. Yapı elemanlarında belirli bir yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra, üzerlerindeki yükü kaybetmeden şekil değiştirme yapabilen kısımları **plastik mafsallık** olarak adlandırılmaktadır.

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

Betonarme kesitlerde kiriş ve kolonların uçlarındaki donatının akması, dolayısıyla bu bölgelerde plastik mafsalların oluşması olasıdır. Elastik sınırlar içinde kalan deformasyonla enerjinin tüketimi çok düşük düzeyde kaldığından, enerjinin büyük ölçüde oluşan plastik mafsallarda tüketilmesi gerekmektedir.

Bir plastik mafsaldaki enerji tüketimi, mafsalın dönme kapasitesine; başka bir deyişle, kesitin sünekliğine bağlıdır. Kesitin sünekliğini önemli ölçüde arttıran sargı donatısı bu nedenle gereklidir, [12].

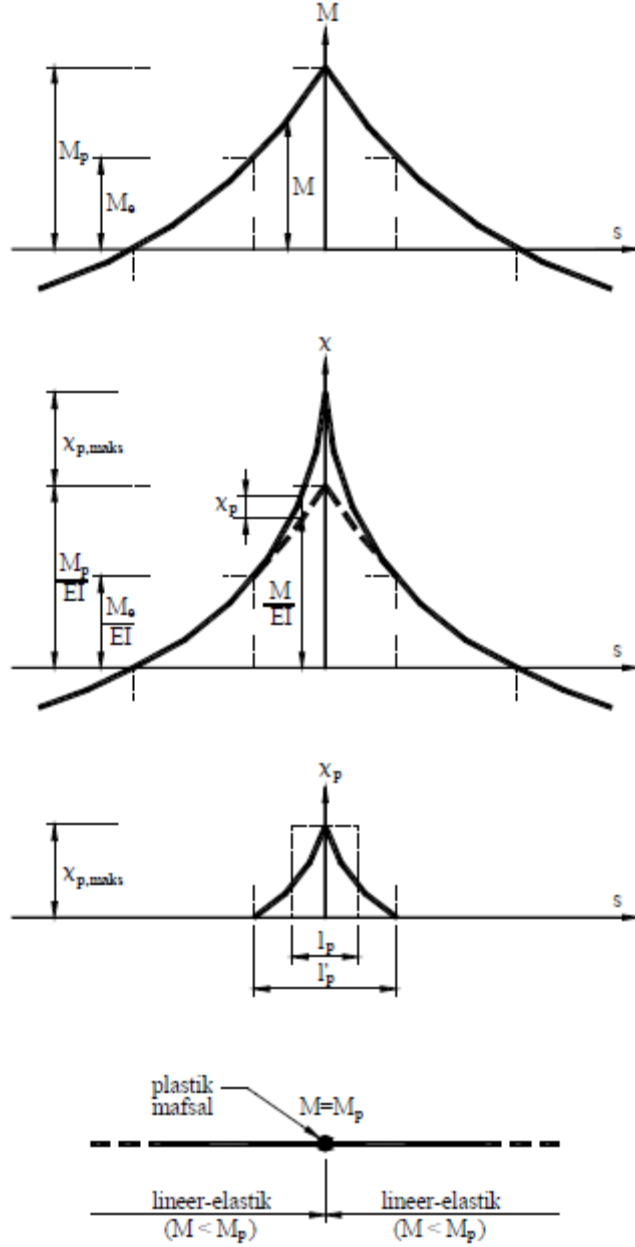


Şekil 2.4 : Eğilme-momenti eğrilik diyagramı

Sünek bir davranış sergileyebilen betonarme kesitlerin moment-eğrilik bağıntılarını incelendiğimizde, momentin küçük değerleri için eğilme momenti-eğrilik ilişkisi yaklaşık olarak doğrusal-elastik varsayılabilir.

Artan yükler altında kesitin moment eğrilik ilişkisi doğrusallıktan uzaklaşacak ,kesit taşıma kapasitesine ulaşınca artık yük artımı olmadan çok büyük şekil değiştirme yapacaktır , (Şekil 2.4).

Şekil 2.5’de plastik şekil değiştirmelerin I_p pasltik mafsal bölgesinde yoğunlaştığı görülmekte ve en büyük plastik eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine karşılık gelmektedir.



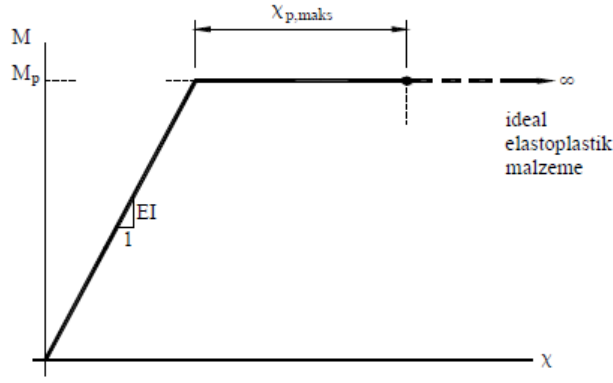
Şekil 2.5 : Doğrusal olmayan şekildeğiştirmeler

Plastik mafsal hipotezinin uygulaması, gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının

$$M \leq M_p \quad \text{için} \quad \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.12)$$

$$M = M_p \quad \text{için} \quad \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.13)$$

şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir, (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : İdealleştirilmiş eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

Artan dış yükler altında, plastik mafsalsal dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ulaşınca, meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeniyle, kesit kullanılamaz hale gelebilir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsal dönmelerinin dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapının tümünün kullanılmaz hale gelmesine (işletme dışı olmasına); diğer bir deyişle, göçmesine neden olmaktadır.

Şekil 2.5’da görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler çubuk üzerindeki l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmakta ve en büyük plastik eğrilik $\chi_{p,maks}$ değerine eşit olmaktadır. Bu hipotezde doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğunda bir bölgede sürekli ve sabit olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda plastik mafsalsal boyunun:

$$L_p = 0.5h \quad (h: \text{enkesit yüksekliği}) \quad (2.14)$$

alınmasının hesaplar için yeterli olacağı öngörülmüştür.

Betonarme yapı elemanlarında kesitin dönme kapasitesi: enkesit boyutlarına, kesit içindeki sargı donatısının miktarına, eğilme momentinin dağılımına ve kesite etkiyen normal kuvvet değerine bağlıdır.

2.3 Binaların Deprem Altındaki Davranışı

Yapı sistemini zorlayıcı etkilerden biri olan deprem, yapı kütlesi ile orantılı eylemsizlik kuvvetlerinin oluşmasına ve dolayısı ile yapı içinde zorlanmalara yol açar [10]. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi ,yapının:

- Sık meydana gelen küçük şiddetteki depremleri, elastik sınırlar içinde kalarak,
- Orta şiddetteki depremleri, elastik sınırların ötesinde fakat taşıyıcı sistemde onarılabilecek hasarlarla,
- Çok seyrek ve şiddetli depremleri büyük hasarla,

taşıyıcı sistem tamamen göçmeden ve can kaybı olmaksızın karşılayabilmesidir. Bu kabuller çerçevesinde yapıya etki edebilecek deprem kuvvetleri R_a deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak uygulanır. Yapılan azaltma büyük ölçüde yapının sünekliğine ve elemanların birbiri ile yardımlaşma özelliğine bağlıdır [11]. Bu nedenle, yapıların elastik ötesi davranışları önem kazanmaktadır.

2.3.1 Yapı sistemlerinde süneklik

Süneklik, bir yapı, eleman veya kesitin, taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan, büyük şekil değiştirme yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Bu tanım, büyük şekil değiştirme yeteneği ile enerji tüketebilme kapasitesine sahip olmayı da kapsamaktadır. [13]

Yapının deprem etkilerine karşı dayanımında, plastik mafsallı oluşan kesitlerde tüketilen enerji çok önemli bir rol oynamaktadır.

Sünekliğin önemi şu şekilde özetlenebilir:

- Depremin dinamik etkisinin, elastik ve geri dönüşümlü olmayan enerji türüne dönüştürülerek yutulması ve sönümlenmesi,
- Yapıda büyük hasarların ve toptan göçmenin önlenmesi,
- R_a deprem yükü azaltma katsayısı ile, taşıyıcı sistemde elastik ötesi davranışı gözönüne alınması olarak sıralanabilir [11].

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM VE DEĞERLENDİRME

Ülkemizin kritik deprem bölgeleri arasında yer alması ve 1999 yılında gerçekleşen İzmit ve Düzce depremlerinin ardından, özellikle daha yeni yapılmış yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinin ve yeterli deprem güvenliğine sahip olmayan yapıların güçlendirilmesinin nasıl yapılacağını gösteren kaynak niteliğinde bir yönetmelik hazırlanmasına başlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak, 1998 yılında yayınlanan Deprem Yönetmeliği, ardından da 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik hazırlanarak bu konuda mühendislere yol gösterecek bir kaynak yayınlanmıştır. Tezin ilerleyen bölümlerinde DBYBHY'07 yönetmeliğinden alıntılar yapılarak mevcut ve yeni yapılacak betonarme binaların performans düzeylerinin hesaplanmasında izlenecek yollar ve hesap yöntemleri anlatılmaktadır.

3.1 Mevcut Yapılardan Bilgi Toplanması

Daha önce yapılmış bir binanın deprem güvenliğinin ve performans düzeyinin belirlenebilmesi için ilk önce o bina hakkında bilgi toplanması gerekmektedir. Yapı hakkında edinilmesi gereken bilgiler ve bunlara göre belirlenen güvenlik katsayıları Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Mevcut binaların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere, taşıyıcı sistem geometrisine, elemanların enkesit özelliklerine, malzeme karakteristiklerine ve zemin özelliklerine ilişkin bilgiler, binaların projelerinden, ilgili raporlardan, binada yapılacak gözlem ve ölçümler ile binadan alınacak malzeme örneklerine uygulanacak deneylerden elde edilebilir. Binaların incelenmesinden elde edilecek mevcut durum bilgilerinin kapsamına göre: sınırlı, orta ve kapsamlı bilgi düzeyi olmak üzere, yönetmelikte üç bilgi düzeyi tanımlanmış ve bu bilgi düzeyleri için eleman kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : Binalar için bilgi düzeyi katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Orta	0.90
Kapsamlı	1.00

Bilgi düzeyleri ile ilgili detaylı açıklamalar DBYYHY'07'nin 7.2 bölümünde bulunmaktadır.

3.2 Yapı Elemanlarının Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yapı elemanlarında göçme, gevrek ve sünek olmak üzere iki guruba ayrılır. Gevrek göçme, elemanların kesme dayanımlarının yetersiz kalmasından ötürü meydana gelen kontrolsüz göçmedir. Sünek göçme ise, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan deformasyonların, kesit içindeki malzeme şekil değiştirme miktarlarına göre üç sınıfa ayrılmıştır.

Sünek taşıyıcı sistem elemanlarında malzeme şekil değiştirmeleri miktarlarına göre:

- Minimum Hasar Sınırı (MN),
- Güvenlik Sınırı (GV),
- Göçme Sınırı (GÇ),

olmak üzere sınıflara ayrılmıştır. Şekil 3.1'de yapı elemanlarının hangi hasar bölgesi içinde kaldığını özetleyen bir diyagram bulunmaktadır.

Gevrek göçme ile kapasitelerine ulaşmış elemanlarının minimum hasar bölge içinde kalmasına bile izin verilemez. Başka bir deyişle, taşıyıcı elemanlarının hiç birinde gevrek göçme olmaması gerekmektedir.

3.3 Bina Deprem Performans Düzeyleri

Deprem Yönetmeliği'ne göre yapıların önemlerine göre sağlaması gereken performans düzeyi koşulları vardır. Bunlar:

Hemen Kullanım Performans Düzeyi: Yapıya etkiyen tasarım depremi altında yapıdaki elemanların %90'nın minimum hasar bölgesi içinde kalmış olması gerekmektedir.

Can Güvenliği Performans Düzeyi: Yapı elemanlarında kalıcı hasar oluşabilir. Ancak elemanların büyük çoğunluğu dayanımlarını kaybetmeden deformasyon yapabilecek durumdadır. Düşey yük taşıyan elemanların hasar görmelerine rağmen, üzerlerindeki düşey yükleri problemsizce taşıyabilir durumda olması gerekmektedir.

Yapıda güçlendirme yapılarak tekrar deprem yükü taşıyabilir hale getirilebilir.

Göçme Öncesi Performans Düzeyi: Yapı elemanlarının en fazla %20'si göçme bölgesinde bulunabilir. Yapıda kalıcı deformasyonlar oluşmuş durumdadır. Düşey yük taşıyan elemanların bazıları normal kuvvet taşıma kapasitesine ulaşmış olabilir. Yapı, can güvenliği açısından sakıncalıdır. Yapıda güçlendirme yapıp yapılmayacağı ekonomik açıdan değerlendirilmelidir.

Göçme Durumu Performans Düzeyi: Yapı etkisi altında kaldığı yük sonucunda göçme duruma ulaşmış durumdadır. Yapıdaki elemanlar büyük taşıma gücü kapasitesine ulaşmış durumdadır. Kapasitesine ulaşmayan elemanlar da, bir sonraki hafif şiddetteki deprem etkisi altında kapasitelerine ulaşp, dayanımlarını kaybedeceklerdir.

3.4 Yapıların Performans Düzeyleri Belirlenirken Uygulanacak Deprem Hareketleri

DBYBHY'07'e göre, yapıların performansları belirlenirken üç farklı düzeyde deprem kuvveti yapıya etkitilecektir. Bunlar:

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

Tasarım depremi : Elli yılda aşılma olasılığı % 10 olan yer hareketidir. Yaklaşık dönüş periyodu 475 yıldır. Bu deprem 1998 Deprem Yönetmeliği ve DBYBHY07'de esas alınmaktadır.

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

Mevcut veya güçlendirilme yapılacak binaların deprem performansının belirlenmesinde uygulanan deprem ve sağlaması gereken performans düzeyi Çizelge 3.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 : Farklı deprem düzeylerinde binalar için öngörülen minimum performans hedefleri

<i>Binanın Kullanım Amacı ve Türü</i>	<i>Deprem Aşılma Olasılığı</i>		
	<i>50 yılda %50</i>	<i>50 yılda %10</i>	<i>50 yılda %2</i>
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	–

HK: Hemen Kullanım; **CG:** Can Güvenliği; **GÖ:** Göçme Öncesi

3.5 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

Aşağıda, Deprem Yönetmeliği kapsamında mevcut veya güçlendirilmiş binaların doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin her ikisi içinde kullanılacak genel ilke ve kurallar tariflenmiştir.

- Deprem hesabında bina önem katsayısı uygulanmayacaktır ($I=1.0$). Binanın önem düzeyine göre farklı aşılma olasılıklı depremler için elastik spektrum üzerinde gerekli düzeltmeler yapılacaktır.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve her iki yönde ayrı ayrı etki ettirilecektir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin özellikleri DBYBHY’07 6. bölümüne göre belirlenecektir.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınacaktır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanacak, ayrıca ek dış merkezlik uygulanmayacaktır.

- DBYBHY'07 3. bölümünde tariflenen kısa kolon durumundaki kolonlar, taşıyıcı sistem modelinde gerçek serbest boyları ile tanımlanacaktır.
- Betonarme kesitlerin etkileşim diyagramları bu paragraftaki bilgiler doğrultusunda tanımlanır. Beton ve donatı çeliği için, yönetmelikteki binalardan bilgi toplanması bahsinde tanımlanan mevcut dayanımları kullanılır. Betonun en büyük basınç birim şekil değiştirmesi 0.003, donatı çeliğinin en büyük birim şekil değiştirmesi ise 0.01 alınabilir. Etkileşim diyagramları uygun biçimde doğrusallaştırılabilir.
- Betonarme sistemlerin eleman boyutlarının tanımında birleşim bölgeleri sonsuz rijit uç bölgeleri olarak göz önüne alınabilir.
- Çatlamış kesit etkin eğilme rijitlikleri aşağıdaki tariflenmiştir. N_D 'nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

Kirişlerde $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

Kolon ve Perdelerde, $N_D/(A_c f_{cm}) \leq 0.10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.40 (EI)_0$

$N_D/(A_c f_{cm}) \geq 0.40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0.80 (EI)_0$

- Betonarme tablalı kirişlerin pozitif ve negatif plastik momentlerinin hesabında tabla betonu ve içindeki donatı hesaba katılabilir.
- Betonarme elemanlarda kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda, kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatı akma gerilmesi kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılabilir
- Zemindeki şekil değiştirmelerin yapı davranışını etkileyebileceği durumlarda zeminin şekil değiştirme özellikleri yapı modeline yansıtılacaktır.
- Yönetmeliğin 2. bölümündeki modelleme ile ilgili diğer esaslar geçerlidir.

3.6 Performans Belirlenmesi ve Kullanılan Analiz Yöntemleri

Mevcut ve güçlendirilecek binaların deprem performanslarının belirlenmesi için uygulanan yöntemler dayanım bazlı doğrusal elastik hesap yöntemleri ile şekil değiştirme ve yer değiştirme bazlı doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleridir [13].

3.6.1 Bina performansının doğrusal elastik yöntem ile belirlenmesi

DBYBHY07’de binaların deprem performanslarının belirlenmesi için elastik hesap yöntemi kapsamı içerisinde belirtilen iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan birincisi *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* diğeri ise *Mod Birleştirme Yöntemi*’ dir.

3.6.1.1 Eşdeğer deprem yüğü yöntemi

Eşdeğer deprem yüğü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmayan, ayrıca ek dış merkezlik gözönüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Bu yöntemde, toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvveti) hesabında $R_a=1$ alınır ve denklemin sağ tarafı λ katsayısı ile çarpılır. λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 değerini almaktadır [4].

3.6.1.2 Mod birleştirme yöntemi

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

3.6.2 Yapı elemanlarının hasar düzeylerinin belirlenmesi

Doğrusal elastik hesap yöntemleri ile betonarme sünek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde, hesabı yapılacak taşıyıcı elemanın etki/kapasite oranı (r) olarak ifade edilen sayısal değerler kullanılacaktır.

Kesit hasar bölgelerinin belirlenmesinde elemanların göçmesi kırılma türü eğilme ise sünek, kesme ise gevrek olarak nitelendirilecektir. Taşıyıcı elemanların sünek olarak sayılabilmeleri için bu elemanların kritik kesitlerinde eğilme kapasitesi ile uyumlu olarak hesaplanan kesme kuvveti V_e ’nin, bilgi düzeyi ile uyumlu mevcut malzeme dayanımı değerleri kullanılarak TS-500’e göre hesaplanan kesme kapasitesi V_r ’yi aşmaması gereklidir. Taşıyıcı elemanlarda V_e yönetmelikte belirtilen ilgili bölümlere göre yapılır. Ancak perdelerde kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı $\beta_v=1$ alınır. Kolon, kiriş ve perdelerde V_e ’nin hesabında pekleşmeli taşıma gücü momentleri yerine taşıma gücü momentleri kullanılır.

Perdelerin sünek eleman olarak sayılabilmesi için ayrıca $H_w / \ell_w > 2.0$ koşulunu sağlaması gerekir. Bu koşulları sağlamayan betonarme elemanlar gevrek olarak hasar gören elemanlar olarak nitelendirilir.

Kırılma türü eğilme olan sünek kiriş, kolon ve perde kesitlerinin etki/kapasite oranı, deprem etkisi altında elastik deprem yükü azaltma katsayısı $R_a = 1$ alınarak hesaplanan kesit momentinin kesit artık moment kapasitesine bölünmesi ile elde edilir.

Kesit artık moment kapasitesi, kesitin eğilme momenti kapasitesi ile düşey yükler altında kesitte hesaplanan moment etkisinin farkıdır. Etki/kapasite oranının hesabında, uygulanan deprem kuvvetinin yönü dikkate alınır. Kiriş mesnetlerinde düşey yükler altında hesaplanan moment etkisi, yeniden dağılım ilkesine göre en fazla %15 oranında azaltılabilir. Sarılma bölgesindeki enine donatının düzeni ve miktarı bakımından yönetmeliğin ilgili bölümlerindeki koşulları sağlayan betonarme kolonlar, betonarme kirişler ve betonarme perdeler “sargılanmış”, sağlamayanlar ise “sargılanmamış” eleman sayılır. “Sargılanmış” sayılan elemanlarda sargı donatılarının “özel deprem etriyeleri ve çirozları” olarak düzenlenmiş olması ve donatı aralıklarının yönetmelikte belirtilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Hesaplanan r katsayıları, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’teki sınır değerler (r_s) ile karşılaştırılarak elemanların hangi hasar bölgesinde olduğuna karar verilir.

Çizelge 3.3 : Betonarme kirişler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

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

Çizelge 3.4 : Betonarme kolonlar için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

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

Çizelge 3.5 : Betonarme perdeler için hasar sınırlarını tanımlayan etki/kapasite oranları (r_s)

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

3.6.3 Bina performansının doğrusal olmayan yöntem ile belirlenmesi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi'dir. Bu tez kapsamında Artımsal Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi ile mevcut bir binanın deprem performansı değerlendirilecektir.

3.6.3.1 Performans analizinin artımsal itme analizi ile değerlendirilmesinde izlenecek hesap adımları

DBYBHY07'ye göre *Artımsal İtme Analizi* uygulanmak suretiyle yapılacak doğrusal elastik olmayan performans değerlendirmesindeki adımlar aşağıdaki bölümde açıklanmıştır.

(a) Genel ilke ve kurallara ek olarak, analiz modeli oluşturulurken taşıyıcı sistem elemanlarında yönetmeliğin ilgili kısımlarında belirtilmiş idealleştirme yöntemleri uygulanır.

(b) Artımsal itme analizine başlamadan önce yapının deprem hesabında kullanılacak düşey yükler altında statik analizi yapılır. Bu analizin sonuçları, artımsal itme analizinin başlangıç koşulları olarak dikkate alınır.

(c) Artımsal itme analizinin artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile yapılması durumunda, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olarak tanımlanan birinci (hakim) moda ait “modal kapasite diyagramı” elde edilir. Bu diyagram ile birlikte, yönetmelikte belirtilmiş elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, birinci (hakim) moda ait modal yer değiştirme istemi belirlenir. Son aşamada, modal yer değiştirme istemine karşı gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme (plastik dönmeler) ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(d) Artımsal itme analizinin artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılması durumunda, gözönüne alınan bütün modlara ait “modal kapasite diyagramları” ile birlikte modal yerdeğiştirme istemleri de, bir önceki madde de açıklandığı gibi elde edilir. Bunlara bağlı olarak, taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet istemleri hesaplanır.

(e) Plastikleşen (sünek) kesitlerde hesaplanmış olan plastik dönme istemlerinden plastik eğrilik istemleri ve son olarak toplam eğrilik istemleri elde edilir. Daha sonra, bunlara bağlı olarak betonarme kesitlerde betonda ve donatı çeliğinde meydana gelen birim şekildeğiştirme istemleri hesaplanır. Bu istem değerleri, kesit düzeyinde çeşitli hasar sınırları için yönetmeliğin ilgili bölümünde tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde sünek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır. Analiz sonucunda elde edilen kesme kuvveti istemleri ise, yönetmelikte tanımlanan kapasitelerle karşılaştırılarak kesit düzeyinde gevrek davranışa ilişkin performans değerlendirmesi yapılır.[5]

3.6.3.2 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi

Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi’nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hakim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istemi sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında *doğrusal olmayan itme analizi*’nin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik

şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

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

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

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

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

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}} \quad (3.1)$$

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

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

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \quad (3.2)$$

Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin başlangıç adımıdaki doğrusal elastik davranışı için tanımlı ilgili bölümde yapılan L_{x1} ve 1. doğal titreşim moduna ait modal kütle M_1 'den yararlanılarak aşağıdaki şekilde elde edilir (3.4).

$$\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1} \quad (3.3)$$

İtme analizinin modal kapasite diyagramına dönüştürülmesinin ardından, yönetmelikte tanımlanmış spektrum eğrisinin, elastik davranış spektrumuna dönüştürülür. Gerekli dönüşümler yapıldıktan sonra birinci (hakim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer deyişle, *modal yerdeğiştirme istemi* hesaplanır. Modal yer değiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, doğrusal olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{d1} 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{d1} \quad (3.4)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme, S_{d1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan hakim periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak Denklem (3.6) ile elde edilir.

$$S_{d1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.5)$$

Doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} . Denklem (3.7)'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (3.6)$$

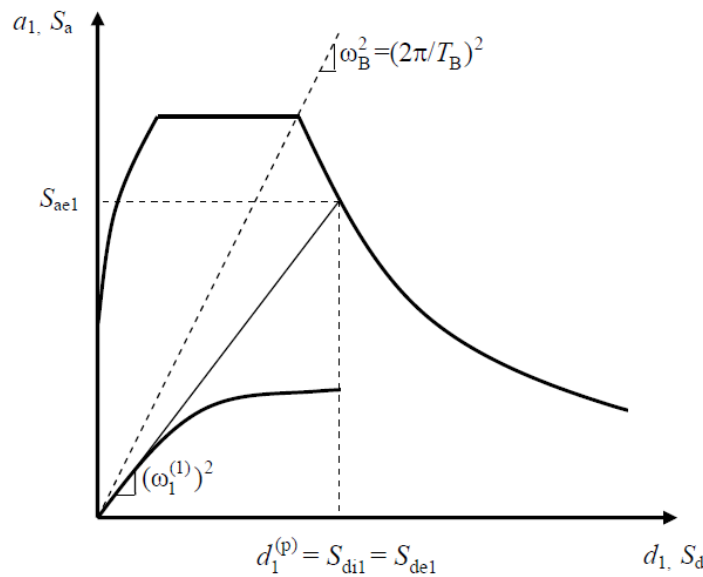
Denklem (3.6) da yer alan spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda, doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme S_{di1} , *eşit yerdeğiştirme kuralı* uyarınca doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınır. Buna göre

$$C_{R1} = 1 \quad (3.7)$$

değerini eşit olmaktadır.

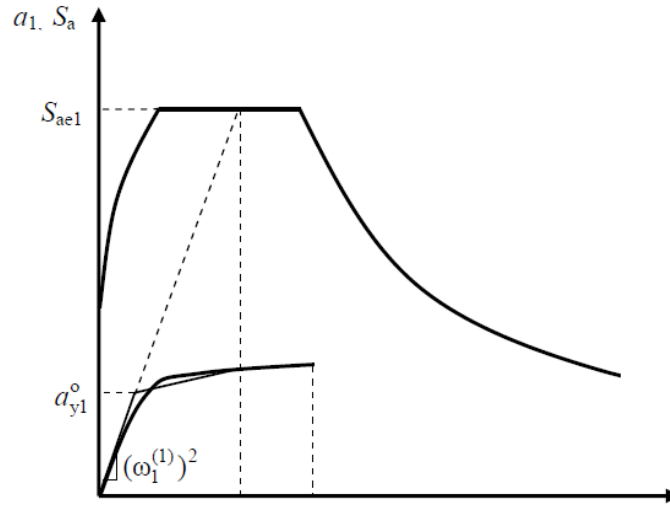
Şekil 3.1'te, birinci (hakim) titreşim moduna ait *modal kapasite diyagramı* ile koordinatları olan davranış spektrumu gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Performans noktasının belirlenmesi $T^{(1)} \geq T_B$

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B 'den daha kısa olması durumunda ise, spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla hesaplanır.

(a) İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 3.2'te görüldüğü gibi, yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).



Şekil 3.2 : Performans noktasının belirlenmesi $T^{(1)} \leq T_B$

(b) Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ varsayımı yapılarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 3.2'te görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} aşağıda şekilde tanımlanır:

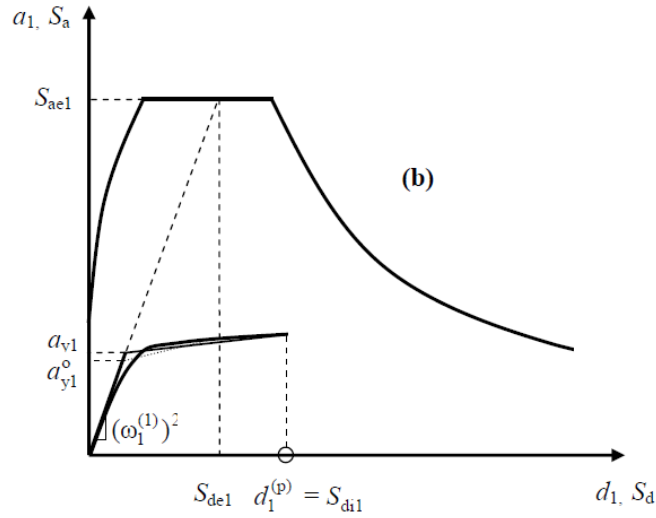
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1) T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.8)$$

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

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.9)$$

Denklem (3.9)' dan bulunan C_{R1} kullanılarak, Denklem (3.6) ya göre hesaplanan S_{d1} esas alınarak bulunan eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 3.5'te gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir. Buna göre, a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar

hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.3 : Performans noktasının belirlenmesi $T^{(1)} \leq T_B$

Son itme adımı $i = p$ için Denklem (3.5) e göre belirlenen modal yerdeğiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin Denklem (3.3) de yerine konulması ile, x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirmesi istemi $u_{xN1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)} \quad (3.10)$$

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

3.6.3.3 Kesitteki birim şekil değiştirme istemlerinin belirlenmesi

İtme analizi sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönmesine bağlı olarak *plastik eğrilik istemi*, Denklem 3.11'de gösterildiği gibi plastik dönmenin plastik mafsalsal boyuna bölünmesi ile hesaplanır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{l_p} \quad (3.11)$$

Beton ve donatı çeliği gerilme şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak elde edilen iki doğrulu eğilme momenti eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer akma eğriliği, ϕ_p plastik eğrilik istemi ile toplanarak , kesitteki ϕ_t toplam eğrilik elde edilir.

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \quad (3.12)$$

Betonarme yapılarda betonun basınç birim şekil değiştirmesi istemi ile donatı çeliğindeki birim şekil değiştirme istemi, toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi ile hesaplanır.

Hesaplanmış olan beton ve donatı birim şekil değiştirme istemleri, aşağıdaki bölümdeki birim şekil değiştirme istemleri ile kıyaslanarak eleman düzeyin hasar bölgesi belirlenir.

3.6.3.4 Betonarme elemanların kesit birim şekildeğiştirme kapasiteleri

DBYBHY07’de sünnek elemanların hasar düzeylerinin belirlenmesinde dikkate alınacak malzeme şekil değiştirme sınır değerleri aşağıda özetlenmiştir.

(a) *Minimum Hasar Sınırı* (MN):

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 ; (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \quad (3.13)$$

(b) *Kesit Güvenlik Sınırı* (GV)

$$(\epsilon_{cu})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 ; (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \quad (3.14)$$

(c) *Kesit Göçme Sınırı* (GÇ)

$$(\epsilon_{cu})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 ; (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \quad (3.15)$$

4. SAYISAL İNCELEMELER

Bu bölümde, DBYBHY07'ye göre tasarımı yapılmış 12 katlı süneklik düzeyi yüksek perde- çerçeve taşıyıcı sisteme sahip bir betonarme yapının doğrusal elastik performans değerlendirilmesi ve doğrusal olmayan artımsal eşdeğer deprem yükü ile analiz edilerek performans düzeyi belirlenecektir. Yapının performans analizi yapılırken taşıyıcı sistem Sap2000 ve Perform 3D analiz programlarında modellenerek hem sonuçların doğruluğu kontrol edilmiş, hem de programların performans analiz yaparken birbirlerine göre üstünlük ve sakıncaları değerlendirilmiştir.

4.1 Performans Değerlemesi Yapılacak Yapı Hakkındaki Bilgiler

Yapıyı analiz programlarında modellemeye başlamadan önce, yukarıdaki bölümde bahsedildiği gibi yapı, DBYBHY07'ye göre boyutlandırılmıştır. Boyutlama sonucunda belirlenen kesit ebatları ve kritik kesitlerin donatı krokisi aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Ardından yapının performansının belirlenmesi için üç boyutlu sistem modeli bölüm 4.2.1'de belirtilen adımlar ile oluşturulup yapının analizi yapılır. Yapının 1. kat kalıp planı Şekil 4.1 'de gösterilmiştir.

4.1.1 Hesap yükleri, malzeme kalitesi ve deprem parametreleri

Tüm taşıyıcı sistem modellerinin boyutlandırılmasında aşağıda verilen düşey yükler gözönüne alınmıştır.

Yapıdaki döşeme kalınlığı : 15cm

Düşey yükler: $g = 0.15 \times 25 \text{ kN/m}^3 + 1.5 \text{ kN/m}^2 = 5.25 \text{ kN/m}^2$

$q = 3.50 \text{ kN/m}^2$

Beton Kalitesi : C30 f_{ck} :30MPa f_{ctd} :1.25MPa E:32000MPa

Donatı Kalitesi: S420 f_{yk} : 420MPa f_{yu} : 550MPa E:21000MPa

Etkin Yer ivmesi Katsayısı: $A_0=0.4$

Bina Önem Katsayısı: I=1

Zemin Sınıfı : 3, $T_A = 0.15s_n$, $T_B = 0.60s_n$

Hareketli Yük Katılım Katsayısı: $n=0.3$

4.1.2 Yapının dinamik analizi

Çizelge 4.1’de boyutlandırılması yapılan yapının modları ve kütle katılım oranları, Çizelge 4.2’de ise deprem hesabında kullanılacak kat kütleleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Modlar ve Kütle Katılım Oranları

Mode	Peryot	X yönü	Y yönü	X yönü toplam	Y yönü toplam
No	S_n	Kütle Katılım	Kütle Katılım	Kütle Katılım	Kütle Katılım
1	0.943	0.000	0.618	0.000	0.618
2	0.832	0.658	0.000	0.658	0.618
3	0.588	0.000	0.041	0.658	0.659
4	0.216	0.000	0.187	0.658	0.846
5	0.191	0.203	0.000	0.860	0.846
6	0.138	0.000	0.010	0.860	0.856
7	0.133	0.000	0.000	0.860	0.856
8	0.126	0.000	0.000	0.860	0.856
9	0.126	0.000	0.000	0.860	0.856
10	0.119	0.000	0.000	0.860	0.856
11	0.090	0.000	0.069	0.860	0.925
12	0.082	0.072	0.000	0.933	0.925

Çizelge 4.2 : Deprem Hesabında Dikkate Alınacak Kat Kütleleri

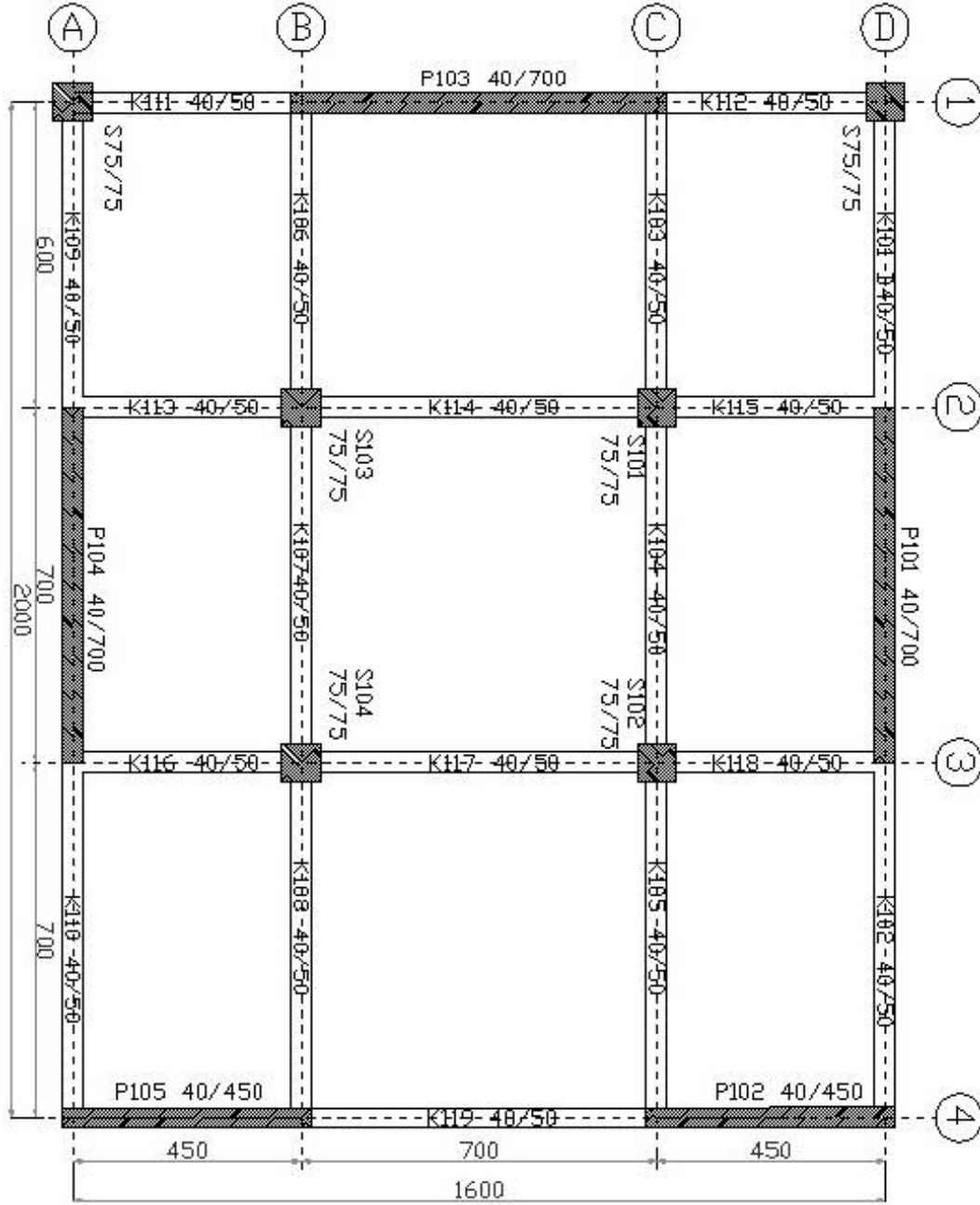
KAT	W (kN)
1	4469.121
2	3679.717
3	3586.356
4	3586.357
5	3586.356
6	3586.357
7	3167.054
8	3167.054
9	3167.053
10	3167.054
11	3167.054
12	3167.054
Toplam	41496.59

4.2 Yapının Artımsal Deprem Yüğü ile Performansının Belirlenmesi

4.2.1 Modelleme adımları

- Yapının 2007 Deprem Yönetmeliğinde belirtilen kapsamlar içinde doğrusal sistem analizi yapılarak, taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan iç kuvvetler belirlenmiştir. Ardından, kesit hesapları taşıma gücü yöntemine göre boyutlandırılmıştır.
- Yapının doğrusal olmayan davranışının modellenebilmesi için, boyutlandırılması yapılmış kesitler Xtract Kesit Analiz Programında analiz edilerek:
 - o Kirişlerin moment – dönme grafikleri,
 - o Kolonların karşılıklı etki diyagramları ve farklı normal kuvvet değerleri için moment dönme grafikleri,
 - o Perdelerin kesit içinde kalan sarılmış beton gerilme şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir.
- Yapının üç boyutlu modeli her iki analiz programında oluşturulmuş ve üzerine düşey yükler çubuk elemanlara yük alanları ile çarpılarak çizgisel yük olarak girilmiştir.
- Yapıdaki lineer olmayan davranışı tanımlamak için Xtract’den alınan doneler:
 - o Kiriş ve kolonlardaki lineer ötesi davranış plastik mafsallı modeli tanımlanarak, çubuk elemanların baş ve son kısımlarına atanmıştır.
 - o Perdelerin uç ve orta bölgelerinin malzeme davranışları, sisteme malzeme modeli olarak girilmiştir. Ardından perdeler Non-lineer shell olarak modellenip içindeki donatı girilerek perde için uygun beton malzeme modeli perdeye atanmıştır.
- Yapıya itme analizinde uygulanacak yatay yükün bina üzerindeki dağılımı Bölüm 3’de açıklandığı şekilde, kat kütlesi ve o kattaki mod genliğinin çarpımı oranında kat kütle merkezine girilmiştir.
- Yapı ilk önce düşey yükler altında lineer ötesi davranışı da dikkate alarak çözülür. Ardından, düşey yükler altında yapılan çözümü başlangıç adımı sayarak her iki yönde itme analizi yapıya uygulanır.

DBYBHY07'e boyutlandırılan yapının Şekil 4.1'de 1. Kat kalıp planı verilmiştir.; Şekil 4.2 ve 4.3'de taşıyıcı sistem elemanların donatı planları gösterilmiştir.

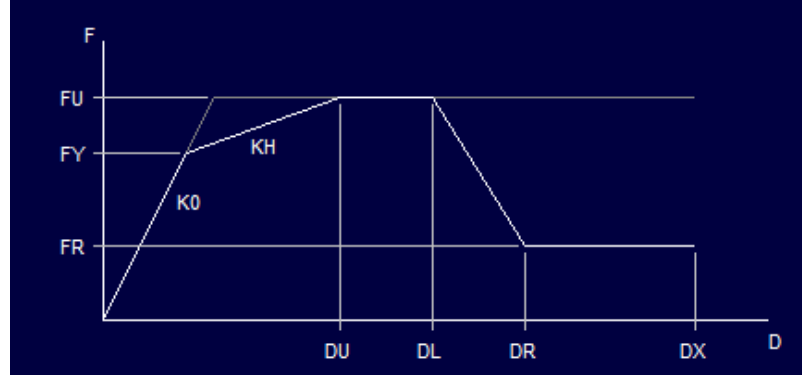


Şekil 4.1 : Yapı 1. Kat Kalıp Planı

4.2.2 Modellemede yapılan kabuller

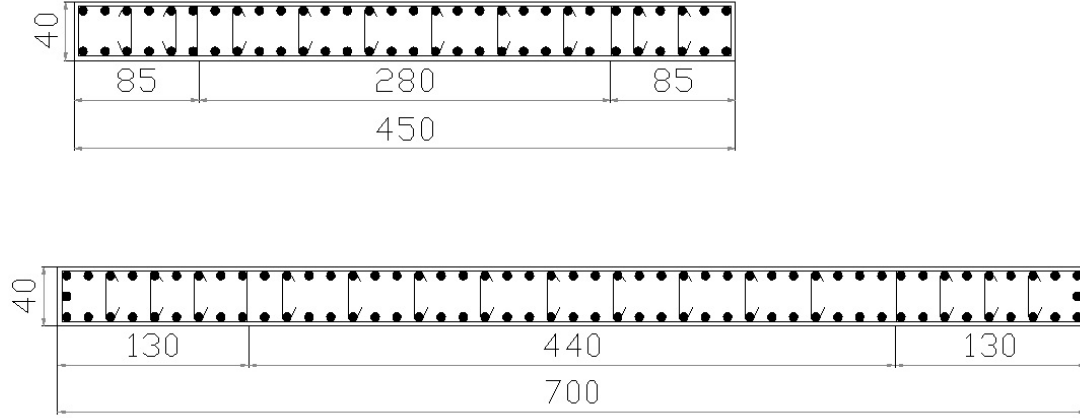
- Yapının 2 kat bodrumu performans analizi yapılırken göz önüne alınmamış, yapı zemin kat üzerinden 12 katlı olarak modellenmiştir.

- Malzeme modelleri genelleştirilme yapılarak Şekil 4.2’de gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.

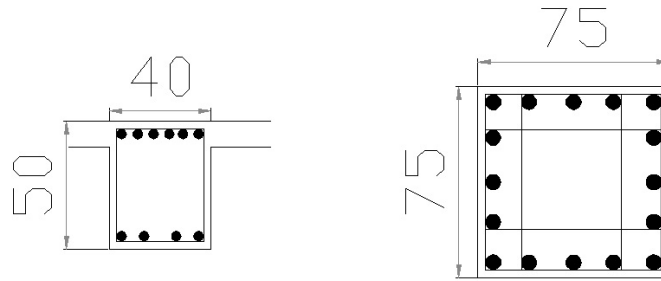


Şekil 4.2 : Beton Malzeme Modeli

- Kolonlarda 3 boyutlu karşılıklı etki diyagramları 0^0 45^0 90^0 derecedeki eğriler girilerek her iki yönde de simetrik olarak oluşturulmuştur. Normal kuvvet değerinin sıfır olduğu durumdaki plastik mafsal davranışı baz alınarak lineer ötesi davranışı modellenmiştir.
- Plastik mafsallarda pekleşme etkisinin göz önüne alındığı model uygulanmıştır.
- Sap2000 analiz programında perde elemanlar iki boyutlu, çubuk elemanlar ise bir boyutlu modellenmiştir. Bu iki elemanın birbirlerine bağlandığı kısımlarda çubuk elemanlardan perdeye yük aktarımında, perdeye bir noktadan bağlanmalarından dolayı kesit tesirlerinde hatalı değerler oluşmaktadır. Bu bölümde ağırlığı sıfır olan bir fiktif eleman perde boyunca devam ettirilerek yükün perde en kesit alanına dağılması sağlanmıştır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışma ek kısmında açıklanmıştır.
- Kirişlerin eğilme rijitlikleri, çatlama kesit rijitliği düşünülerek %40 oranında düşürülmüştür. Kolonlar ise, normal kuvvet düzeyine göre 0.40 ile 0.80 arasında azaltılmıştır. Perdelerin lineer ötesi davranışı göz önüne alındığından betonun çatlama durumundaki rijitliği programlar tarafından göz önüne alınmaktadır.



Şekil 4.3 : 1. Kat Perde Kesitleri Donatı Planı



Şekil 4.4 : 1. Kat Kiriş ve Kolon Donatı Planı

4.2.3 Yapıya itme analizinin uygulanması ve hedef deplasmanın belirlenmesi

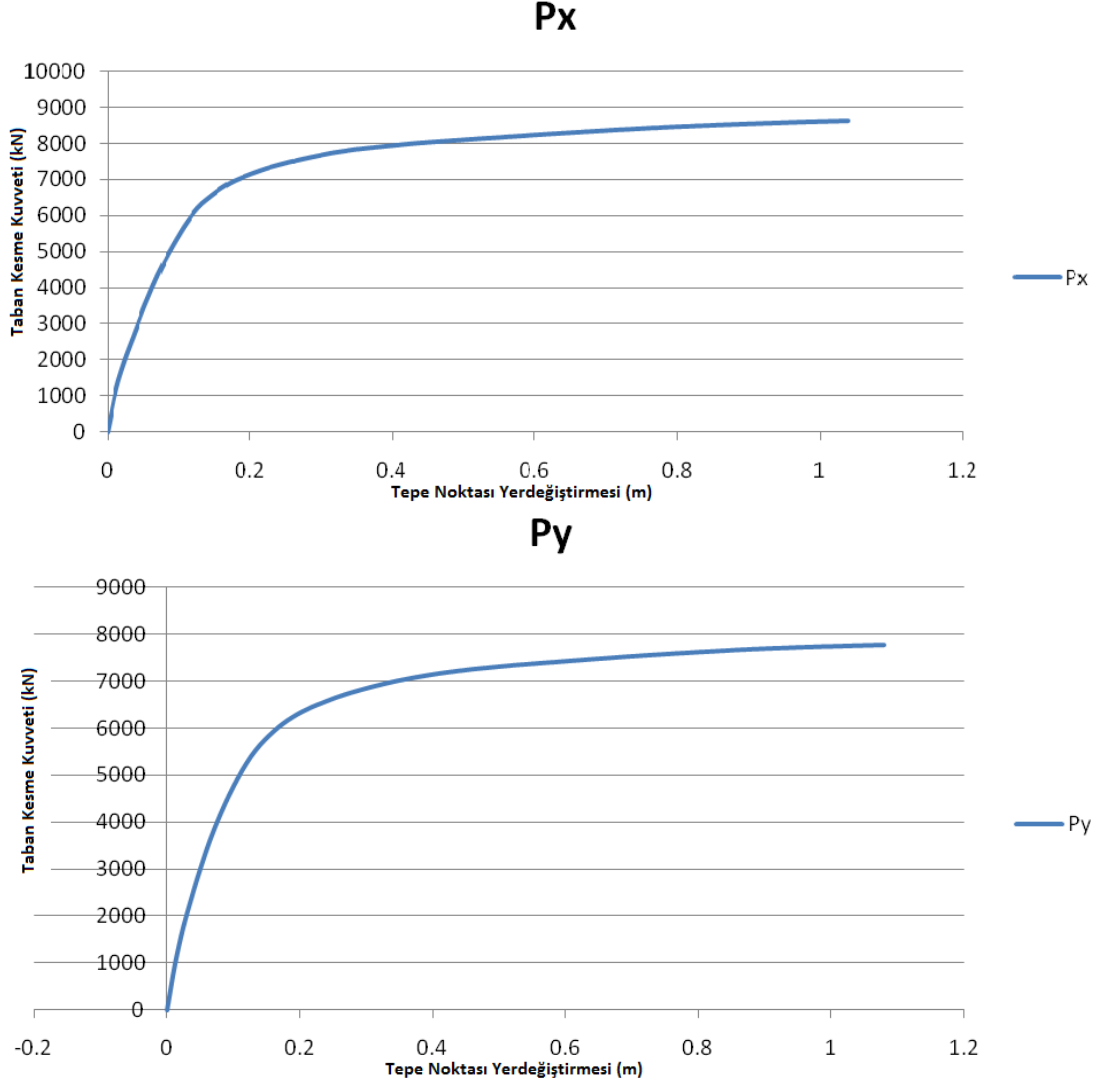
Yapının kat kütleleri ile ilgili moddaki genlikleri çarpılarak ilk etapta %4 öteleme değerine kadar itme analizi yapılmış durumdaki değerler Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Y Yönü Kat Kütlesi ve mod genliğinin hesaplanması

Y Yönü										
Kat	W (kN)	m_i	Φ_{yin}	$m_i\Phi_{il(y)}$	L_{yn}	$m_i\Phi_{il}^2(y)$	M_n	M_{yn}	Oran	Γ_{y1}
1	4469.1	455.6	0.001084	0.49383	52.49	0.00053	0.96	2885.05	0.68	54.96
2	3679.7	375.1	0.002483	0.93136		0.00231				
3	3586.4	365.6	0.004306	1.57419		0.00677				
4	3586.4	365.6	0.006442	2.35507		0.01517				
5	3586.4	365.6	0.008804	3.21858		0.02833				
6	3586.4	365.6	0.011309	4.13436		0.04675				
7	3167.1	322.8	0.013952	4.50425		0.06284				
8	3167.1	322.8	0.016649	5.37495		0.08948				
9	3167.1	322.8	0.019324	6.23854		0.12053				
10	3167.1	322.8	0.021939	7.08277		0.15538				
11	3167.1	322.8	0.024469	7.89955		0.19329				
12	3167.1	322.8	0.026899	8.68405		0.23359				

Çizelge 4.4 : X Yönü Kat Kütlesi ve mod genliğinin hesaplanması

X yönü										
Kat	W (kN)	m_i	Φ_{xin}	$m_i\Phi_{il(x)}$	L_{xn}	$m_i\Phi_{il}^2(x)$	M_n	M_{xn}	Oran	Γ_{x1}
1	4469.1	455.57	0.00106	0.48290	54.24	0.00051	1.04	2832.00	0.67	52.21
2	3679.7	375.1	0.00243	0.91148		0.00221				
3	3586.4	365.58	0.004245	1.55189		0.00658				
4	3586.4	365.58	0.006404	2.34118		0.01496				
5	3586.4	365.58	0.008825	3.22625		0.02847				
6	3586.4	365.58	0.011423	4.17604		0.04770				
7	3167.1	322.84	0.014212	4.58819		0.06520				
8	3167.1	322.84	0.017103	5.52152		0.09443				
9	3167.1	322.84	0.020027	6.46550		0.12948				
10	3167.1	322.84	0.022943	7.40690		0.16993				
11	3167.1	322.84	0.025818	8.33506		0.21519				
12	3167.1	322.84	0.028605	9.23481		0.26410				



Şekil 4.5 : X ve Y Doğrultusu Taban Kesme Kuvveti- Tepe Noktası Grafiğı

Yapının itme analizi her iki doğrultu içinde yapıldıktan sonra, her iki doğrultu için taban-kesme kuvveti-tepe deplasman grafiğı bölüm 3.6.3.2’de açıklandığı üzere denklem 3.3 ve 3.4 kullanılarak modal ivme-modal deplasmanın bulunduğu modal kapasite diyagramına dönüştürölür. Denklemlerde yer alan, etkin kütle M_{x1} ve modal katkı çarpanı Γ_{x1} değerlerinin hesaplanmasına ilişkin hesaplar Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 de gösterilmiştir.

Modal kapasite diyagramı oluşturulduktan sonra, ivme spektrumu eğrisi koordinatları 3.6.3.2’ de anlatıldığı gibi spektral ivme ve spektral yer değiştirmeye dönüştürölür ve modal kapasite diyagramı ile aynı grafik üzerinde gösterilir. Bu iki diyagram üzerinden bölüm 3.6.3.2’de anlatıldığı gibi modal yer değiştirme istemi $d_i^{(p)}$ elde edilir. Modal yerdeğiştirme istemi $d_i^{(p)}$ doğrusal olmayan spektral yer değiştirme

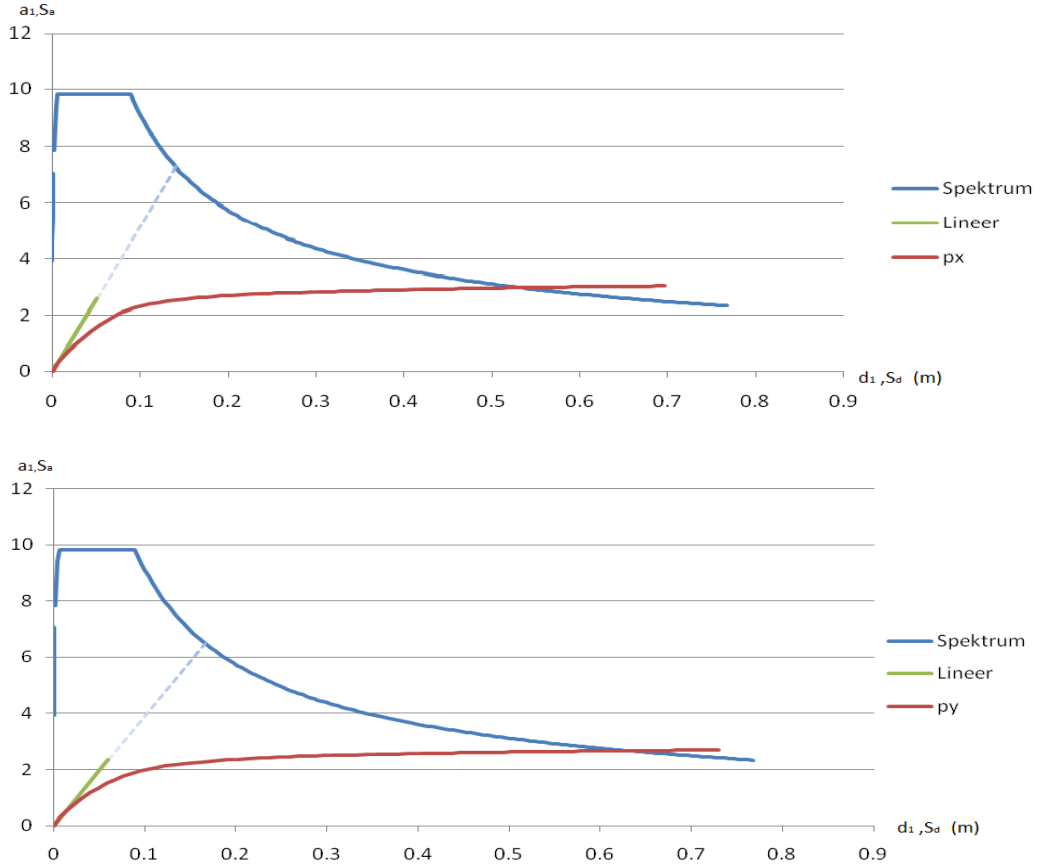
S_{dil} 'e eşittir. Yukarıdaki paragrafta modal yer değıştirme isteminin hesabını gösteren bilgiler Çizelge 4.5'de özetlenmiştir.

İtme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ periyodu, ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B ile karşılaştırılır. $T_1^{(1)}$ ivme spektrumundaki karakteristik periyod T_B den daha büyük olduğu için, Bölüm 3.6'da açıklandığı üzere, eşit yer değıştirme kuralı uyarınca, doğrusal elastik olmayan spektral yer değıştirme, doğrusal elastik spektral yer değıştirmeye eşit olarak alınır (Şekil 4.6).

Çizelge 4.5 : Modal yerdeğıştirme isteminin hesabı

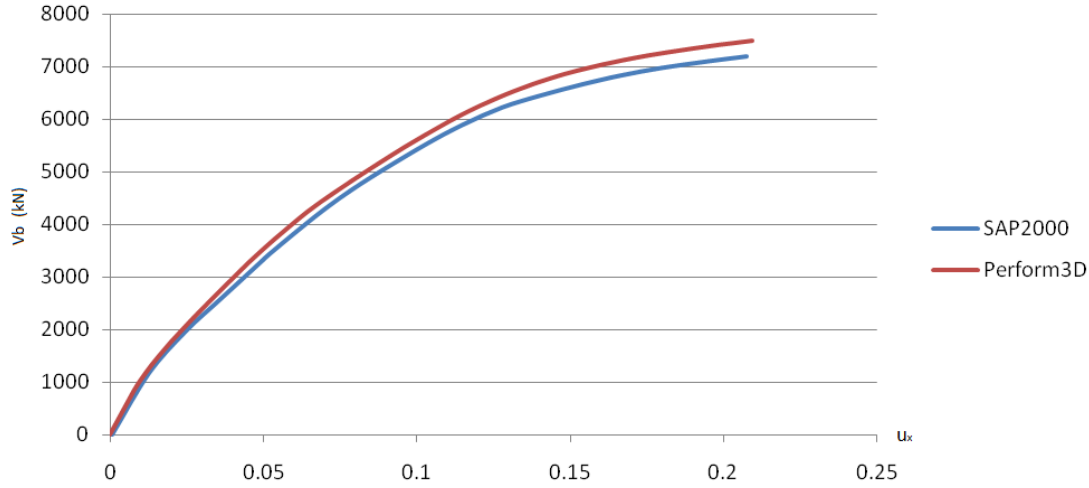
Tx	S(T)	S_{ae}(T)	Sae(T)/g	Sd (m)
1.18	1.45530963	5.710635	0.582124	0.201414
Ty	S(T)	S_{ae}(T)	Sae(T)/g	Sd (m)
1.225	1.412381883	5.542187	0.564953	0.210666

Modal yerdeğıştirmenin grafik olarak elde edilmesi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : Spektral ivme – spektral yerdeğıştirme diyagramı

Modal yerdeğiştirme isteminin bulunmasından sonra tepe noktası yer değiştirme istemi bölüm 3.6.3.2’de açıkladığı gibi denklem 3.11’e göre hesaplanır. Hesaplama sonucunda X yönündeki tepe noktası yerdeğiştirme istemi 0.20m, Y yönündeki tepe noktası yerdeğiştirme istemi ise 0.24m çıkmıştır. şekil 4.7’ de iki analiz programında oluşan taban kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.



şekil 4.7 : SAP2000- Perform3D X doğrultusu statik itme eğrisi karşılaştırması

4.2.4 Kesit düzeyinde hasar bölgelerinin belirlenmesi

Her iki doğrultu için tepe yer değiştirme istemi belirlendikten sonra yapı, hesaplanan itme değerlerine kadar tekrar itilir. Bu adımı gerçekleştirmedeki amaç, uygulanan deformasyon altında önce yapı elemanlarında oluşan kalıcı dönmelerin tespit edilmesi ve ardından bu dönmelerden dolayı elemanların içindeki beton ve çelik malzemelerinin birim şekil değiştirme değerlerinin hesaplanmasıdır. Bu hesaplanan değerler, Bölüm 3.6.3.4’de belirtilen kesit hasar bölgeleri, malzeme şekil değiştirme sınır değerleri ile karşılaştırılarak her bir elemanın hangi hasar bölgesi içinde kaldığı tespit edilecektir. Aşağıdaki bölümde sırası ile kirişlerin, kolonların ve perdelerin kesti düzeyinde hasar durumu hesaplanacaktır.

SAP2000 programında kirişlerde hasar bölgesi tespiti yapılırken önce Bölüm 3.6.3.3.’de açıklandığı gibi yapının toplam dönme istemi hesaplanacak ardından bu dönme altında kesit içindeki elemanların birim şekil değitirme değereleri hesaplanacaktır. Çizelge 4.7’de yapı taşıyıcı elemanlarından 1. Kat kirişlerinin X doğrultusundaki itme analizi sonucunda oluşan hasar düzeyleri gösterilmektedir. Diğer elemanların hasar durumları ise Ek A’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 : 1. Kat kirişleri X doğrultusu performans analizi hasar bölgeleri

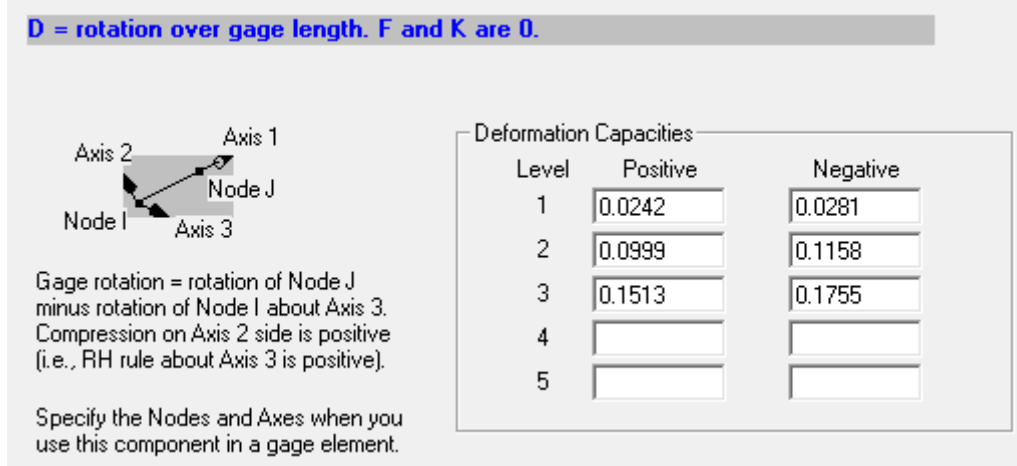
KIRIS		Φ_p	L_p	ϕ_p	ϕ_y	ϕ_t	ϵ_s	ϵ_c	HASAR BÖLGELERİ
K101	SOL UÇ	0.0096	0.25	0.0384	0.0067	0.0451	1.77E-02	2.32E-03	BHB
	SAĞ UÇ	0.0042	0.25	0.0169	0.0077	0.02465	8.73E-03	1.33E-03	MHB
K102	SOL UÇ	0.0041	0.25	0.0166	0.0067	0.02327	9.01E-03	1.34E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.0011	0.25	0.0042	0.0077	0.01191	3.88E-03	2.03E-03	MHB
K103	SOL UÇ	0.0034	0.25	0.0136	0.0067	0.02029	7.81E-03	1.22E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.0016	0.25	0.0062	0.0077	0.01393	4.11E-03	1.62E-04	MHB
K104	SOL UÇ	0.0025	0.25	0.01	0.0067	0.01667	6.35E-03	9.86E-04	MHB
	SAĞ UÇ	0.002	0.25	0.008	0.0077	0.01573	5.33E-03	8.61E-04	MHB
K105	SOL UÇ	0.0027	0.25	0.0109	0.0067	0.01756	6.71E-03	1.11E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.0013	0.25	0.0054	0.0077	0.01305	4.31E-03	7.04E-04	MHB
K106	SOL UÇ	0.0034	0.25	0.0136	0.0067	0.02028	7.81E-03	1.22E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.0016	0.25	0.0062	0.0077	0.01393	4.65E-03	7.57E-04	MHB
K107	SOL UÇ	0.0025	0.25	0.01	0.0067	0.01666	6.35E-03	1.07E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.002	0.25	0.008	0.0077	0.01573	5.33E-03	8.61E-04	MHB
K108	SOL UÇ	0.0027	0.25	0.0109	0.0067	0.01756	6.71E-03	1.11E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.0013	0.25	0.0054	0.0077	0.01305	4.31E-03	7.04E-04	MHB
K109	SOL UÇ	0.0096	0.25	0.0383	0.0067	0.04503	1.77E-02	2.31E-03	BHB
	SAĞ UÇ	0.0043	0.25	0.0171	0.0077	0.02483	8.80E-03	1.34E-03	MHB
K110	SOL UÇ	0.0041	0.25	0.0166	0.0067	0.02327	9.01E-03	1.34E-03	MHB
	SAĞ UÇ	0.0011	0.25	0.0042	0.0077	0.01191	3.88E-03	6.93E-04	MHB
K111	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	6.37E-04	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	4.92E-04	MHB
K112	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB
K113	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0.0059	0.25	0.0234	0.0077	0.03112	1.12E-02	1.81E-03	BHB
K114	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB
K115	SOL UÇ	0.0059	0.25	0.0234	0.0067	0.03013	1.18E-02	1.45E-03	BHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB
K116	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB
K117	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB
K118	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB
K119	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	2.35E-03	0.000637	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	2.32E-03	0.000492	MHB

Perform3D programında ise, sınır bölge (limit states) özelliği atamak mümkündür. Bunu kullanmanın amacı yapıdaki elemanların kiriş, kolon veya perde gibi belli hasar bölgelerinde yapacakları deformasyonları sınır değer olarak tanıtip yapının

hangi hasar bölgesi içinde kalıp kalmadığını ek hesaplamaya gerek kalmadan belirlenmektedir. Perform3D’de kirişlerin performansını belirlemek için tümden gelim yöntemi uygulanmıştır. Yani, yönetmelikte izin verilen birim şekil değiştirme sınır değerleri için kesitin ne kadar dönme yapması gerektiği hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan bu dönme değerleri Perform3D analiz programına sınır değer olarak atanmıştır. Bu hesaba ilişkin özet tablo Çizelge 4.8’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.7 : B40/50 kirişi hasar bölgesi dönme istemleri

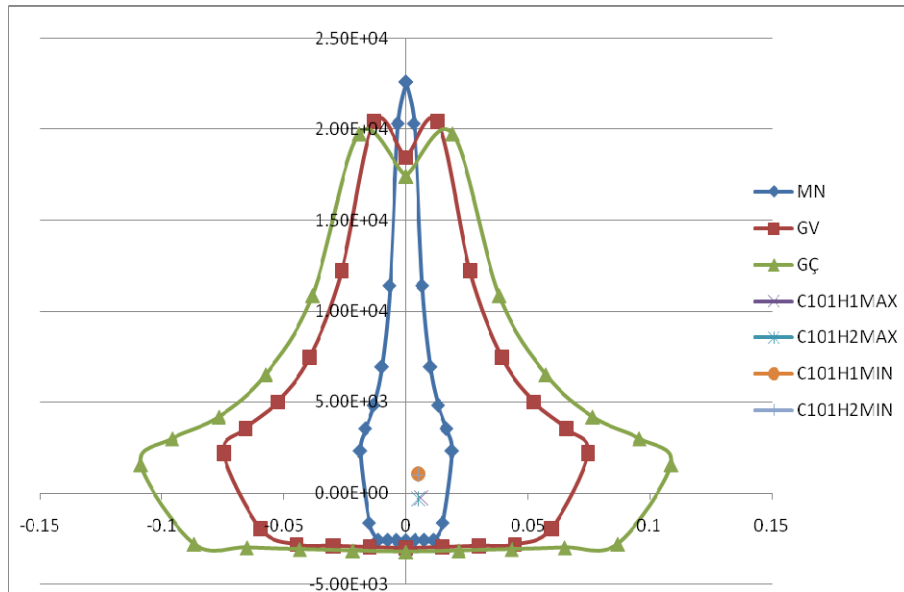
B40/50 Kirişi Pozitif Moment Taşıma Kapasitesine Göre Dönme Sınır Değer Hesplanması							
b (mm)	400	Betonun Çatlama Öncesi Kesit Değerleri		Minimum Hasar Sınırı (MN)			
h (mm)	500			$(\epsilon_{cu})_{MN} =$	0.0035	$(\epsilon_s)_{MN} =$	0.01
d' (mm)	50	A (mm ²) =	209891	$(\epsilon_s) =$	0.0387	$\epsilon_{cu} =$	0.000905
f_c (N/mm ²)	30	$\gamma_{üst}$ (mm) =	253	ϕ (rad/m) =	0.0938	ϕ (rad/m) =	0.0242
f_r (N/mm ²)	0.001	I (mm ⁴) =	4.56E+09				
f_y (N/mm ²)	420	$M_{çet}$ (kNm) =	0.02				
f_{su} (N/mm ²)	550	$\phi_{çet}$ (rad/m) =	0.000000	Güvenlik Sınırı (GV)			
E_c (N/mm ²)	32000	Donatının Akmaya Erişmesi Durumunda		$(\epsilon_{sg})_{GV} =$	0.0135	$(\epsilon_s)_{GV} =$	0.04
E_s (N/mm ²)	200000			$(\epsilon_s) =$	0.1085	$\epsilon_{cu} =$	0.004977
K_1	0.85	$k_x =$	0.24498	ϕ (rad/m) =	0.0271	ϕ (rad/m) =	0.0999
ϵ_{cy}	0.003	$\epsilon_c =$	0.00068				
ϵ_{su}	0.1	M_y (kNm) =	217.999	Göçme Sınırı (GÇ)			
Φ_s (mm)	10	ϕ_y (rad/m) =	0.0062	$(\epsilon_{sg})_{GÇ} =$	0.0175	$(\epsilon_s)_{GÇ} =$	0.06
s (mm)	100	Güç Tükenmesi Durumunda Kesit Değerleri		$(\epsilon_s) =$	0.1297	$\epsilon_{cu} =$	0.008094
f	1			ϕ (rad/m) =	0.3272	ϕ (rad/m) =	0.1513
N (kN)	0	a =	48				
A_s (mm ²)	1256	x =	57				
$A_{s'}$ (mm ²)	628	M_U (kNm) =	314.92				
ϵ_{cu}	0.02	ϕ_U (rad/m) =	0.3528				
n	6.25	$\epsilon_s =$	0.1388				
ρ	0.006978	$0.85 \times f_c \times b \times a = A_s \times f_y$					
ρ'	0.003489						
ρ_s	0.009158						
ρ_{sm}	0.009158						
ϵ_{sy}	0.0021						



Şekil 4.8 : B40/50 kirişi hasar bölge sınır değerlerinin Perform3D analiz modeline girilmesi

Kolonlarda hasar bölgeleri belirlenirken SAP2000 ve Perform3D’de aynı yöntem uygulanmıştır. Kolon kesitleri için, betonun sargı etkisinin de dikkate alındığı malzeme modelini kullanılarak moment-eğrilik ilişkisi elde edilir. Ardından yönetmelikte belirtilen performans düzeylerine göre izin verilen şekil değiştirme sınırları tanımlanarak kolon kesitlerinde bu sınırlara karşılık gelen normal kuvvet-toplam eğrilik diyagramları elde edilir. Analiz sonucunda bulunan normal kuvvet - toplam eğrilik istemi değerleri bu diyagram üzerine yerleştirilerek kesitin hasar bölgesi belirlenir. C101 kolonunun X doğrultusu performans analizine ait kapasite grafiği, örnek olması amacı ile Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Diğer kolonların her iki doğrultudaki performans analizi Ek A’da tablo halinde gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 : C101 Kolonu, X doğrultusu performans analizi hasar bölgeleri



SAP2000’de perdelerin hasar düzeyleri belirlenmesinde perde taşıyıcı elemanları analiz modeli yapılırken, iki boyutlu (shell) eleman olarak modellendiği için elemanların kenarlarından uzama değerleri direkt olarak okunabilmektedir. Bu okunan değerler yapı elemanı boyuna bölünerek beton ve donatıdaki birim şekil değiştirme değerleri elde edilip yapının hasar bölgesi kolayca belirlenmektedir. Örnek olması amacı ile S1 perdesinde elemanların performans düzeyleri Çizelge 4.9’da özetlenmektedir. Diğer perdelerin hasar düzeyleri Ek A’da gösterilmiştir. Perform3D’de perdelerin hasar bölgeleri belirlenirken SAP2000’dekine benzer bir yöntem uygulanır. Perform3D’de perdelerin kenarlarına kirişlerde olduğu gibi birim şekil değiştirme ölçer (Strain Gage) yerleştirilir. Yerleştirilen birim şekil değiştirme ölçerlerin sınır değerleri olarak Bölüm 3.6.3.4 gösterilen sınır değerler girilir. Bu sayede, analiz sonucunda eleman birim şekil değiştirme değerlerine ulaşıncı program tarafından performans seviyesi belirlenecektir.

Çizelge 4.9 : S1 perdesi, X doğrultusu performans analizi hasar bölgeleri

PERDE	KAT	YERDEĞİŞTİRME(m)	h(m)	BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME	HASAR BÖLGESİ
S1	1	0	5	0.0060588	MHB
		0.030294			
	2	0.030294	3	0.001961667	MHB
		0.036179			
	3	0.036179	3	0.001550333	MHB
		0.04083			
	4	0.04083	3	0.000965667	MHB
		0.043727			
	5	0.043727	3	0.000498	MHB
		0.045221			
	6	0.045221	3	0.000137333	MHB
		0.045633			
	7	0.045633	3	8.23333E-05	MHB
		0.04588			
	8	0.04588	3	0	MHB
		0.04588			
	9	0.04588	3	6.7E-05	MHB
		0.046081			
	10	0.046081	3	4.33333E-06	MHB
		0.046094			
	11	0.046094	3	5.66667E-06	MHB
		0.046111			
	12	0.046111	3	2.23333E-05	MHB
		0.046178			

K113 Kirişı İçin Örnek Hesap:

Statik itme analizi sonucunda K113 kirişinin sağ ucu için elde edilen plastik dönme değeri analiz programından alıp, plastik mafsalsal boyuna bölünerek plastik eğrilik istemi bulunur. Plastik mafsalsal boyu olarak, Bölüm 2’de açıklandığı üzere, çalışan doğrultudaki enkesit yüksekliğinin yarısı alınır.

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$l_p = 50 / 2 = 25 \text{ cm}$$

$$\theta_p = 0.0056 \text{ radyan}$$

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{l_p} = 0.0238 \text{ rad / m}$$

Hesaplanan eğrilik, akma eğriliği ile toplanarak toplam eğrilik istemi elde edilir. Akma eğriliğinin hesabı için Xtract kesit analiz programından alınır (Çizelge A.6).

$$\Phi_y = 0.007735 \text{ rad / m}$$

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p = 0.0315 \text{ rad / m}$$

Φ_t toplam eğriliği hesaplandıktan sonra bu eğrilik değerine gelen beton kısılması ve donatı şekil değiştirmesi

$$\epsilon_c = 0.00162 \quad , \quad \epsilon_s = 0.0118$$

Kesit içindeki malzemelerin birim şekil değiştirme değerleri hesaplandıktan sonra, bu değerlerin yönetmelikte belirlenen hasar düzeylerinin hangisi içinde kaldığı hesaplanarak kesit düzeyinde hasar tespiti yapılmış olur.

$$\epsilon_c = 0.00162 < (\epsilon_c)_{MN} = 0.0035$$

$$(\epsilon_s)_{MN} = 0.01 < \epsilon_s = 0.01115 < (\epsilon_s)_{GV} = 0.04$$

Buna göre, kesit hasar bölgesi *belirgin hasar bölgesi* olarak belirlenir.

4.2.5 Yapının performans düzeyinin belirlenmesi

Bir önceki bölümde taşıyıcı elemanlarının herbirinin kesit düzeyinde performansı belirlenmiştir. Şimdi elemanların hasar düzeylerini kullanarak Bölüm 3.3’de bahsedildiği gibi yapının performans düzeyi belirlenecektir. Ek A Çizelge A.7, Çizelge A.8, Çizelge A.9, Çizelge A.10 kiriş, kolon ve perdelerin kat bazında sınıflandırılmış hasar yüzdeleri bulunmaktadır. Grafikleri incelediğimizde kirişlerin yarısının belirgin hasar bölgesi, geri kalanının minimum hasar bölgesi sınırları içinde kaldığı görülmektedir. Kolonları incelediğimizde, yapı elemanlarının tamamının minimum hasar bölgesi içinde kaldığı görülmektedir.

Perdeleri incelediğimizde her iki performans doğrultusunda da, o doğrultudaki perdelerin sadece ilk katta belirgin hasar bölgesi içinde olduğu, geri kalanın ise minimum hasar bölgesi sınırlarında kaldığı görülmektedir. Bu doneler ışığında DBYYHY’07’i kaynak alarak hazırlanmış olan Bölüm 3.3’deki bilgiler ışığında yapı elemanlarının hiç birinde ileri hasar oluşmamasından dolayı, yapının performans düzeyi *Can Güvenliği Performans Düzeyi* olarak belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Piyasadaki analiz programları, mühendislerin hesaplarını kolaylaştırmak için tasarlanan yardımcı elemanlardır. Analiz programlarının yaptığı hesapları kontrol etmeden çıkan sonuçlar, nihai sonuçlar olarak kabul edilmeyerek; sonuçlar mühendis bakış açısı ile değerlendirip kontrol edilmelidir. Netice olarak, o programlara girilen bilgilerin doğruluğu ve girme yöntemi ile orantılı olarak gerçekçi sonuçları elde edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik 2007 (DBYBHY07)'ye göre tasarımı yapıp boyutlandırılmış bir yapının, performans düzeyi *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi* ile SAP2000 ve Perform3D sonlu elemanlar, analiz programlarında hesaplanmış ve iki programdan alınan sonuçlar ve programların birbirlerine göre üstünlük ve sakıncaları değerlendirilmiştir. Ancak her iki analiz programında da, yapının tasarımına başlanmadan önce hem hesapların doğruluğunu kontrol edebilmek için, hem de her iki programda gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için küçük modeller üzerinde ön çalışmalar yapılarak gerçeğe en yakın çözümler üretilmeye çalışılmıştır.

Yapılan ön çalışmalar sonucunda kirişlerden perdeler yüklerin doğru bir şekilde aktarılabilmesi için kirişlerin perde içinde sürekli olarak devam ettirilmesi gerekmektedir. Bu konu ile ilgili çalışma EK B'de detayları ile açıklanmaktadır. Taşıyıcı sistemde itme doğrultusuna dik olan perdeler mevcut ise, itme analizinde doğru sonuçlar elde edebilmek için perdelerin düzlem dışı davranışlarında da lineer ötesi davranışın göz önüne alınması gerekmektedir. Bu konu ile ilgili çalışma ise EK D'de mevcuttur.

Ön çalışmalardan istenen verim düzeyi elde edildikten sonra 12 katlı perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapı sırası ile SAP2000 ve Perform3D analiz programlarında modellenip itme analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, her iki programda da yakın değerler elde edilmiştir.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre yapının performans düzeyi Can Güvenliği Performans Düzeyi olarak belirlenmiştir. Burdan da anlaşılmaktadır ki, DBYBHY07'ye göre tasarlanan yapıların göçmesi sünek olarak olmakta ve *Tasarım Depremi* altında istenen performans düzeyini sağlamaktadır.

Programların birbirleri ile karşılaştırılmasına bakıldığında, hesap sonuçlarında gerek deplasmanlar gerek kesit tesirleri açısından oldukça yakın sonuçlar vermektedir. SAP2000 analiz programı, alan elemanların lineer ötesi hesabının yapılmasında yeni olmasına karşın Perform3D'ye oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Bunun yanında, SAP2000 analiz programı arayüz, modelleme ve raporlama açısından oldukça gelişmiş olup, ek olarak da başka programlarla kordineli olarak çalışabilmektedir.

Perform3D Sonlu Elemanlar Analiz Programı incelendiğinde, program yapıların lineer ötesi davranışlarının incelenmesi yönünden oldukça gelişmiş özelliklere sahiptir. Bu özellikleri kısaca belirtmek gerekir ise:

- Kayma şekil değiştirmelerini eğilme sünekliğine etkisi,
- Mafsallarda döngü (loop) etkisinin göz önüne alınabilmesi,
- Yapılan hesapların enerji metotları açısından da kontrol edilebilmesi,
- Yapıların performans düzeyinin gerekli doneleri girerek başka ara programa gerek kalmadan hesaplanabilmesi,
- Sönümleyici gibi ileri teknoloji elemanların lineer ötesi dinamik hesapta göz önüne alınabilmesi.

Sonuç olarak, iki program kıyaslandığında, hesap yönteminin detaylarına göre her iki program da düzgün sonuçlar vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Kim, S. & D'Amore, E.**, “Push-over analysis procedure in earthquake engineering”, *Earthquake Spectra*, (1999) 15, p.417.
- [2] **Özer, E.**, 2007. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları, www.itu.edu.tr/eozer, İstanbul.
- [3] **DBYBHY**, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [4] **Chopra, A.K.**, 2000. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey.
- [5] **Mander, J.B., Priestley, M.J.N., Park, R.** (1988). Theoretical Stress-Strain Confined Concrete, *Journal of Structural Division (ASCE)*, 114(8), 1804-1826.
- [6] **Çakıroğlu, A., Özer, E.**, 1980. Malzeme ve Geometri Değişimleri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- [7] **Özer, G.**, 2003. Malzeme bakımından lineer olmayan sistemlerin hesabı için bir ardışık yaklaşım yöntemi ve bilgisayar programı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Hodge, P.G.**, 1959. Plastic Analysis of Structures, McGraw-Hill, New York.
- [9] **Neal, B.G.**, 1956. The Plastic Methods of Structural Analysis, Chapman & Hall, London.
- [10] **Atımtay, E.**, 2001. Çerçevesel ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı Cilt I, METU Press, Ankara.
- [11] **Celep, Z., Kumbasar N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Yayıncılık, İstanbul.
- [12] **Ersoy, U., Özcebe G.**, 2001. Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [13] **Gezen, D.**, 2010. Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının Belirlenmesinde Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanması Üzerine Parametrik Bir Araştırma *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [14] **Kolgu, S., Peker, K.**, 2003. Betonarme Kesit Davranışında Eksenel Yük, Malzeme Modeli, ve Sargı Donatısı Oranının Etkisi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 26-30 Mayıs.
- [15] **TS-500**, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [16] **SAP 2000**, 2005. Structural Analysis Program, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

[17] **XTRACT**, 2001, Section Analysis Program, Imbsen Software Systems.

EKLER

EK A : Performans Analiz Tabloları

EK B : Perde-Çerçeve Taşıyıcı Sisteme Ait Bir Yapıda Yük Dağılımı

EK C : İki Katlı Bir Yapıda El İle Statik İtme Analizi Yapılması

EK D : Birbirine Dik İki Perde Taşıyıcı Sisteme Ait Yapının İrdelenmesi

EK E : Doğrusal Elastik Yöntemle Performans Değerlendirilmesi

EK A

Çizelge A.1 : S2 Perdesi hasar düzeyleri

PERDE	KAT	YERDEĞİŞTİRME(m)	h(m)	BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME	HASAR BÖLGESİ
S2	1	0	5	0.0044	MHB
		0.021802			
	2	0.021802	3	0.0016	MHB
		0.026534			
	3	0.026534	3	0.0012	MHB
		0.0302			
	4	0.0302	3	0.0008	MHB
		0.032532			
	5	0.032532	3	0.0004	MHB
		0.033701			
	6	0.033701	3	0.0002	MHB
		0.034329			
	7	0.034329	3	0.0001	MHB
		0.034556			
	8	0.034556	3	0.0000	MHB
		0.034623			
	9	0.034623	3	0.0000	MHB
		0.034514			
	10	0.034514	3	-0.0001	MHB
		0.034303			
	11	0.034303	3	-0.0001	MHB
		0.034081			
	12	0.034081	3	0.0000	MHB
		0.034127			

Çizelge A.2 : S3 Perdesi hasar düzeyleri

PERDE	KAT	YERDEĞİŞTİRME(m)	h(m)	BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME	HASAR BÖLGESİ
S3	1	0	5	0.0065	MHB
		0.032374			
	2	0.032374	3	0.0022	MHB
		0.03883			
	3	0.03883	3	0.0017	MHB
		0.043821			
	4	0.043821	3	0.0010	MHB
		0.046869			
	5	0.046869	3	0.0005	MHB
		0.048407			
	6	0.048407	3	0.0002	MHB
		0.049026			
	7	0.049026	3	0.0001	MHB
		0.0492			
	8	0.0492	3	0.0000	MHB
		0.04924			
	9	0.04924	3	0.0000	MHB
		0.049101			
	10	0.049101	3	-0.0001	MHB
		0.048855			
	11	0.048855	3	-0.0001	MHB
		0.048579			
	12	0.048579	3	0.0001	MHB
		0.048857			

Çizelge A.3 : S4 Perdesi hasar düzeyleri

PERDE	KAT	YERDEĞİŞTİRME(m)	h(m)	BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME	HASAR BÖLGESİ
S4	1	0	5	0.0046	MHB
		0.023077			
	2	0.023077	3	0.0017	MHB
		0.02807			
	3	0.02807	3	0.0013	MHB
		0.031906			
	4	0.031906	3	0.0008	MHB
		0.034313			
	5	0.034313	3	0.0004	MHB
		0.035578			
	6	0.035578	3	0.0002	MHB
		0.03632			
	7	0.03632	3	0.0001	MHB
		0.036647			
	8	0.036647	3	0.0000	MHB
		0.036754			
	9	0.036754	3	0.0000	MHB
		0.0367			
	10	0.0367	3	0.0000	MHB
		0.036578			
	11	0.036578	3	0.0000	MHB
		0.036479			
	12	0.036479	3	0.0002	MHB
		0.037012			

Çizelge A.4 : S5 Perdesi hasar düzeyleri

PERDE	KAT	YERDEĞİŞTİRME(m)	h(m)	BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME	HASAR BÖLGESİ
S5	1	0	1	0.0303	MHB
		0.030297			
	2	0.030297	3	0.0020	MHB
		0.03618			
	3	0.03618	3	0.0016	MHB
		0.040831			
	4	0.040831	3	0.0010	MHB
		0.043729			
	5	0.043729	3	0.0005	MHB
		0.045224			
	6	0.045224	3	0.0002	MHB
		0.045882			
	7	0.045882	3	0.0001	MHB
		0.046097			
	8	0.046097	3	0.0000	MHB
		0.04618			
	9	0.04618	3	0.0000	MHB
		0.046085			
	10	0.046085	3	-0.0001	MHB
		0.04589			
	11	0.04589	3	-0.0001	MHB
		0.045635			
	12	0.045635	3	0.0002	MHB
		0.046114			

Çizelge A.5 : Y doğrultusu performans analizi sonucunda 1. Kat girişleri hasar bölgeleri

KIRIS		Φp	L_p	ϕp	ϕy	ϕt	ϵs	ϵc	HASAR BÖLGELERİ
K101	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002487	0.00052	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002261	0.000337	MHB
K102	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002302	0.001751	MHB
K103	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.001733	1.85E-05	MHB
K104	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.00052	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002277	0.000375	MHB
K105	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002274	0.00038	MHB
K106	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0.003	0.25	0.0119	0.0067	0.01858	0.006418	0.001039	MHB
K107	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002277	0.000375	MHB
K108	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002274	0.00038	MHB
K109	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002487	0.00052	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002261	0.000337	MHB
K110	SOL UÇ	0	0.25	0	0.0067	0.00671	0.002332	0.000655	MHB
	SAĞ UÇ	0	0.25	0	0.0077	0.0077	0.002302	0.000417	MHB
K111	SOL UÇ	0.0123	0.25	0.0491	0.0067	0.05581	0.021998	0.002834	BHB
	SAĞ UÇ	0.0072	0.25	0.0286	0.0077	0.03634	0.013167	0.002082	BHB
K112	SOL UÇ	0.0062	0.25	0.0247	0.0067	0.0314	0.012282	0.001693	BHB
	SAĞ UÇ	0.0039	0.25	0.0155	0.0077	0.02322	0.008183	0.001248	MHB
K113	SOL UÇ	0.0036	0.25	0.0142	0.0067	0.02094	0.008073	0.001245	MHB
	SAĞ UÇ	0.002	0.25	0.008	0.0077	0.01569	0.005318	0.000858	MHB
K114	SOL UÇ	0.003	0.25	0.0119	0.0067	0.01858	0.007123	0.001147	MHB
	SAĞ UÇ	0.0028	0.25	0.0113	0.0077	0.01896	0.006563	0.001057	MHB
K115	SOL UÇ	0.0052	0.25	0.0209	0.0067	0.02758	0.010747	0.001527	BHB
	SAĞ UÇ	0.002	0.25	0.008	0.0077	0.01575	0.005339	0.000862	MHB
K116	SOL UÇ	0.005	0.25	0.0198	0.0067	0.02655	0.010334	0.001482	BHB
	SAĞ UÇ	0.0026	0.25	0.0102	0.0077	0.01794	0.006172	0.000994	MHB
K117	SOL UÇ	0.0033	0.25	0.0133	0.0067	0.02004	0.00771	0.001208	MHB
	SAĞ UÇ	0.0032	0.25	0.0126	0.0077	0.02035	0.00709	0.00114	MHB
K118	SOL UÇ	0.0056	0.25	0.0225	0.0067	0.02921	0.011402	0.001598	BHB
	SAĞ UÇ	0.0017	0.25	0.0068	0.0077	0.01454	0.00488	0.000789	MHB
K119	SOL UÇ	0.0082	0.25	0.0326	0.0067	0.03936	0.015466	0.002049	BHB
	SAĞ UÇ	0.0045	0.25	0.0179	0.0077	0.02563	0.009115	0.001461	MHB

Çizelge A.6 : B40/50 kirişi negatif moment taşıma kapasitesi ve karakteristik mafsal değerleri

XTRACT Analysis Report -

Section Name: B40x50
Loading Name: M-C_n
Analysis Type: Moment Curvature

GOKTUG
itu tez
10.09.2010
TEZ BITIR...
DD
Page __ of __

Section Details:

X Centroid: -.3724E-18 m
Y Centroid: 5.535E-3 m
Section Area: .2000 m²

Loading Details:

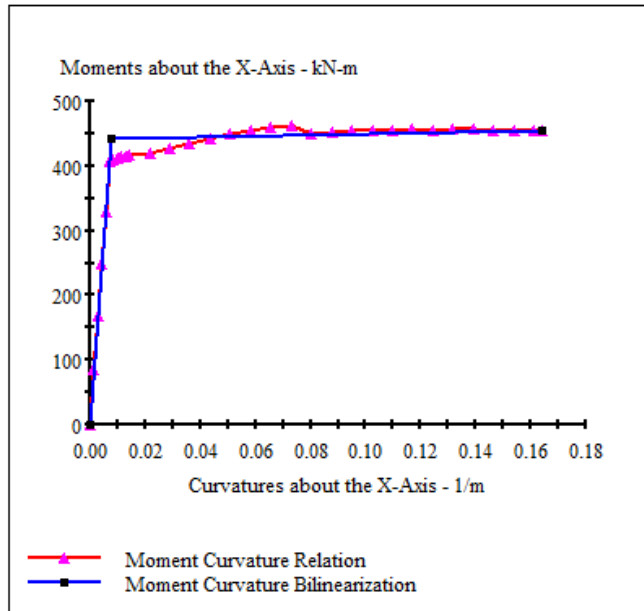
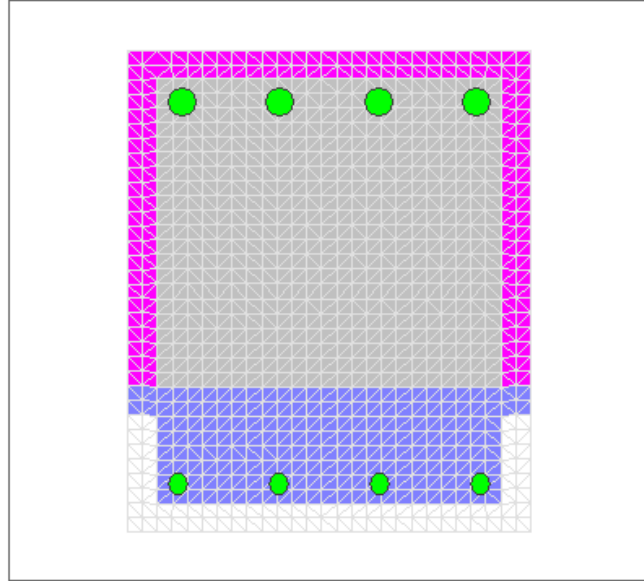
Incrementing Loads: Mxx Only
Number of Points: 31
Analysis Strategy: Displacement Control

Analysis Results:

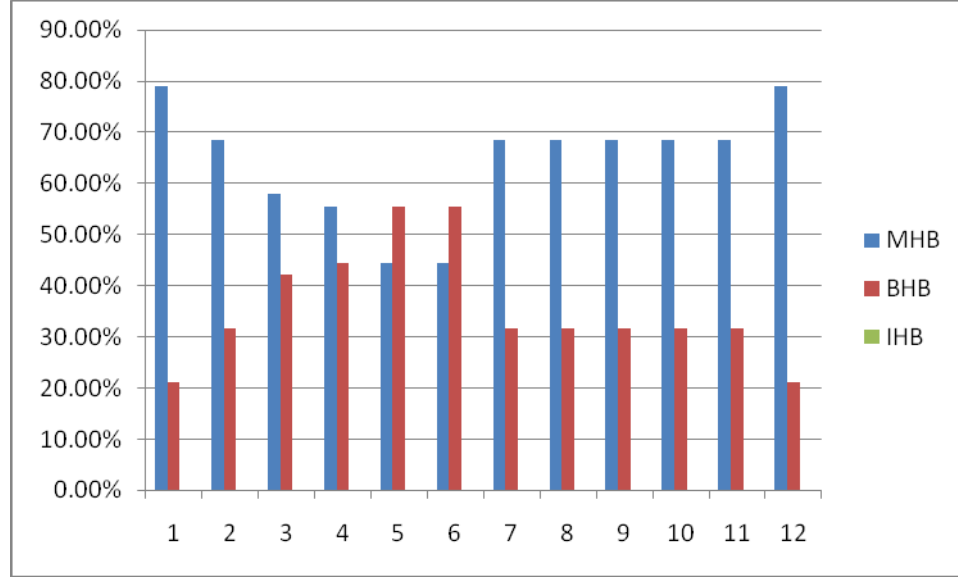
Failing Material: C30b40
Failure Strain: 19.76E-3 Compression
Curvature at Initial Load: 0 1/m
Curvature at First Yield: 7.113E-3 1/m
Ultimate Curvature: .1640 1/m
Moment at First Yield: 407.1 kN-m
Ultimate Moment: 453.8 kN-m
Centroid Strain at Yield: .7453E-3 Ten
Centroid Strain at Ultimate: 16.40E-3 Ten
N.A. at First Yield: .1048 m
N.A. at Ultimate: .1000 m
Energy per Length: 71.75 kN
Effective Yield Curvature: 7.732E-3 1/m
Effective Yield Moment: 442.5 kN-m
Over Strength Factor: 1.025
Plastic Rotation Capacity: 39.07E-3 rad
EI Effective: 5.72E+7 N-m²
Yield EI Effective: 71.91E+3 N-m²
Bilinear Hardening Slope: .1256 %
Curvature Ductility: 21.21

Comments:

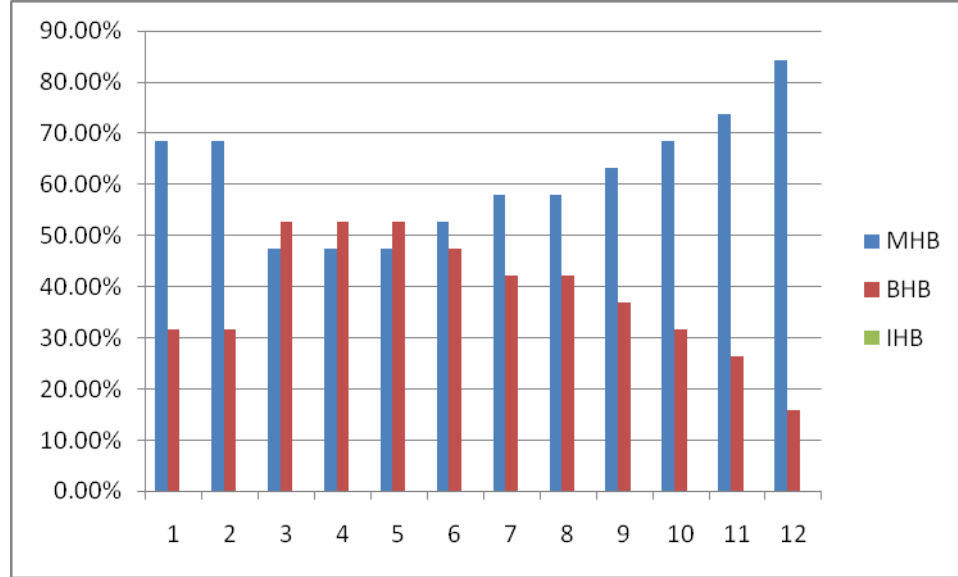
User Comments



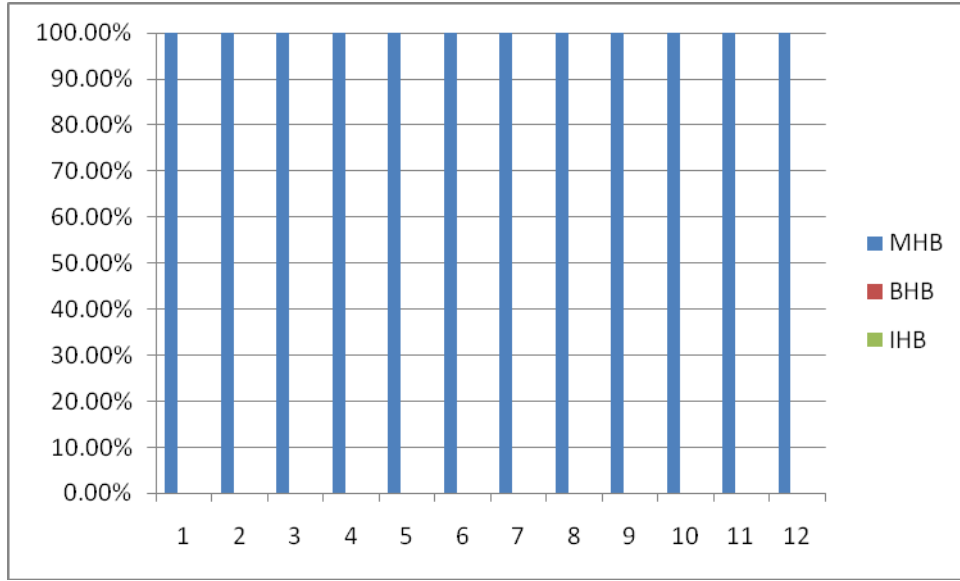
Çizelge A.7 : X Doğrultusu performans analizi sonucunda kirişlerin katlara göre performans düzeyleri



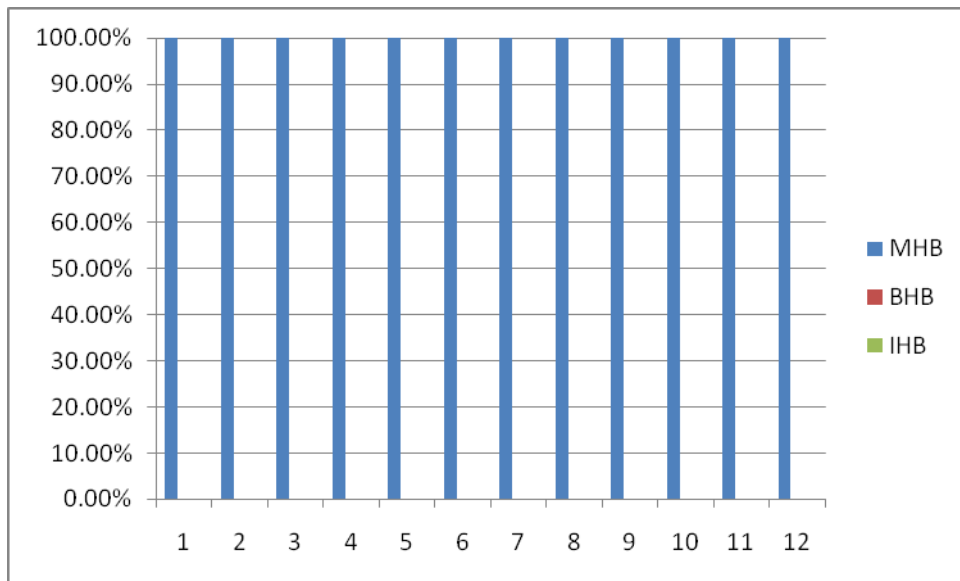
Çizelge A.8 : Y Doğrultusu performans analizi sonucunda kirişlerin katlara göre performans düzeyleri



Çizelge A.9 : X –Y Doğrultusu performans analizi sonucunda kolonların katlara göre performans düzeyleri



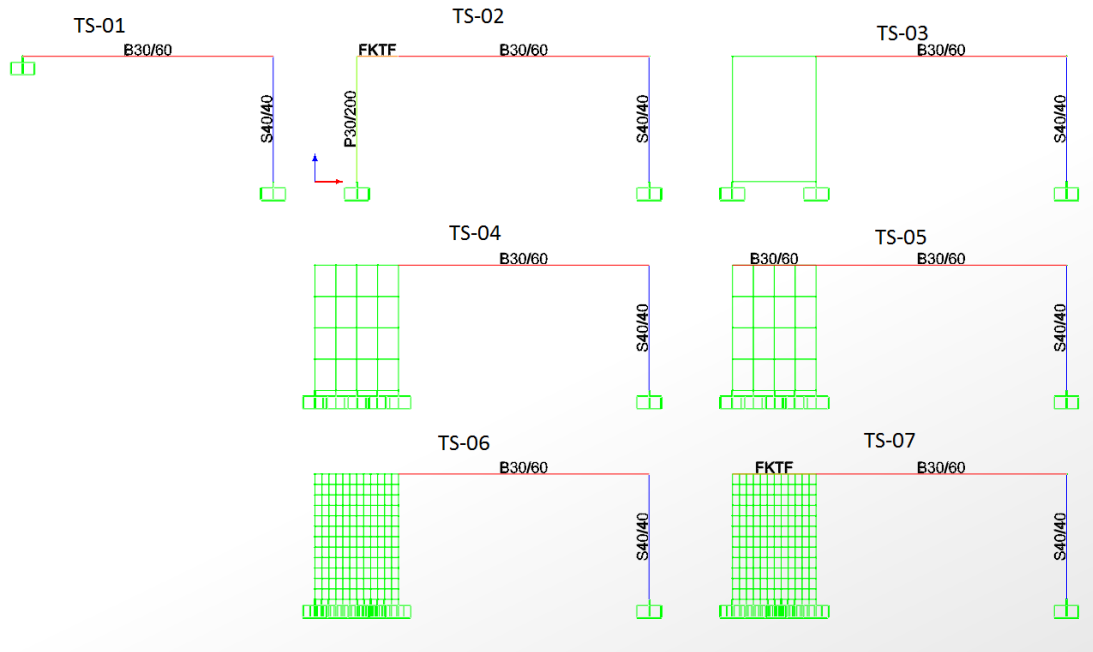
Çizelge A.10 : X –Y Doğrultusu performans analizi sonucunda perdelerin katlara göre performans düzeyleri



EK B

Perde-çerçevelerden oluşan bir taşıyıcı sistem, analiz programlarında perdeler iki boyutlu (shell) elemanlar, kolonlar ve kirişler çubuk elemanlar olarak modellenebilmektedir. Bu modelleme tekniğinde perdelerin tek parça halinde sisteme atanması yapının davranışının gerçekten uzaklaştırmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırıp perdelerin yükleri homojen biçimde dağıtabilmeleri ve gerçeğe yakın bir davranış sergileyebilmeleri için, perdeleri tek parça alan elemanı olarak modellemek yerine, belli oranlarda küçük dörtgen alan elemanlara bölünerek modellenmesi gerekmektedir. Alan elemanlar ile çubuk elemanlarının birbirlerine bir noktadan bağlanmaktadır. Analiz programı bu düğüm noktasında rijitlik hesabı yaparken sadece bağlanan elemanların rijitliğini dikkate almaktadır. Perdenin bir kaç parçaya bölünmesinden dolayı çubuk eleman ile bağlandığı noktada bölgede rijitlik kaybı oluşmaktadır. Bu bölgesel rijitlik kaybından yapının tümü etkilenmese de perde ile kirişin bağlandığı noktada gerçeğe yakın olmayan çözümler meydana gelmektedir.

Çizelge B.1 : Taşıyıcı Sistem Modelleri



Örnek olarak bir kirişin bir tarafı perdeye diğer tarafı kolona bağlandığı bir taşıyıcı sistem de, düşey yükler altında kirişin perdeye yakın yerdeki mesnet momentinin kolona yakın yerdekine göre büyük olması gerekmektedir. Ancak bu durum perde olarak modellenen alan elemanın kaç parçadan oluştuğuna göre değişiklik göstermekte hatta kolona yakın kısımda daha büyük mesnet momentleri

okunmaktadır. **Çizelge B.1**'de taşıyıcı sistem modelleri, **Çizelge B.2**'de taşıyıcı sistemlerdeki kirişin iki ucundaki moment değerinin dağılımını göstermektedir.

Çizelge B.2 : Taşıyıcı sistem kirişlerinde oluşan kesit tesirleri

Taşıyıcı Sistem Modeli	Kiriş	
	SOL	SAĞ
TS-1	-270.4	-89.46
TS-2	-242.9	-102.69
TS-3	-221.94	-108.04
TS-4	-59.17	-144.18
TS-5	-195.55	-114.14
TS-6	-6.62	-155.31
TS-7	-243.73	-102.59

Bu sorunu ortadan kaldırmak amacı ile, çubuk olarak modellenmiş kiriş elemanının düğüm noktasında sonlandırmak yerine perde enkesiti boyunca sürekli devam ettirilmesi, hem tek noktadan aktarılamaya çalışılan yükü yayacak, hem de perde enkesiti içindeki tüm alan elemanların rijitliği dikkate alınmış olacaktır. Bu konuyla ilgili yapılmış farklı boyuttaki alan elemanlara bölünmüş ve kirişin sürekli devam ettiği hesap dosyalarından alınan çözümlerin sonuçları **Çizelge B.2**'de özetlenmiştir.

Sonuç olarak, alan elemanlarla modellenmiş hesap dosyalarında gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebilmesi için çubuk elemanların perde içlerine kadar sürekli olarak devam ettirilmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, hesabı yapılan yapı SAP2000 analiz programında modellenirken, kirişler perde içinde sürekli olarak modellenmiştir.

EK C

İtme analizinin mantığının layıkı ile öğrenilebilmesi için, Sn. Prof. Dr. Zekai CELEP Hocamızın kitabındaki örneklerden birinin ilk önce elle itme analizi hesabı yapılmış olup; ardından SAP2000 sonlu elemanlara analiz programı ile itme analizi uygulanıp değerler karşılaştırılmıştır. Hesap ile ilgili ayrıntılar aşağıda açıklanmaktadır.

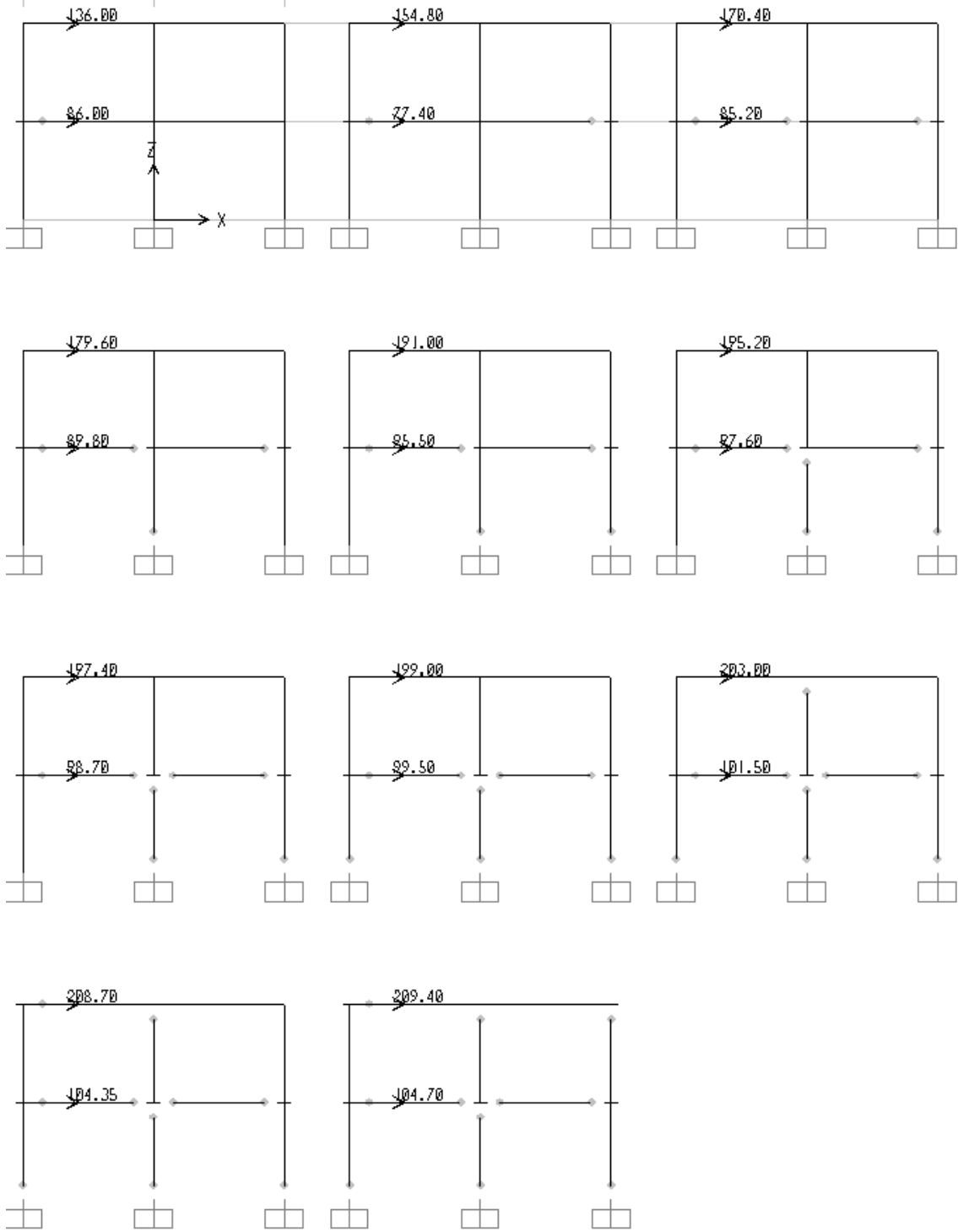
Elle hesap yapılırken yapıya artan yük değerleri altında yatay kuvvet değerleri uygulandı. Yapıdaki kesitlerden herhangi birisi taşıma gücü momentine erişince oraya mafsalları atanıp, plastikliği ifade eden taşıma gücü moment değeri yük olarak verildi. Artan yük değerleri ile yukarıdaki hesap adımları taşıyıcı sistem mekanizma durumuna ulaşınca kadar tekrarlanır. Şekil C.1’de her bir hesap adımı için yatay kuvvet değerleri Şekil C.2’de her bir adımdaki kesit tesirleri gösterilmektedir.

Elle itme analizi tamamlandıktan sonra, aynı analiz SAP2000 tarafından tekrarlanmıştır. Çizelge C.1’de analiz programından alınan toplam taban kesme kuvveti değerleri özetlenmiştir.

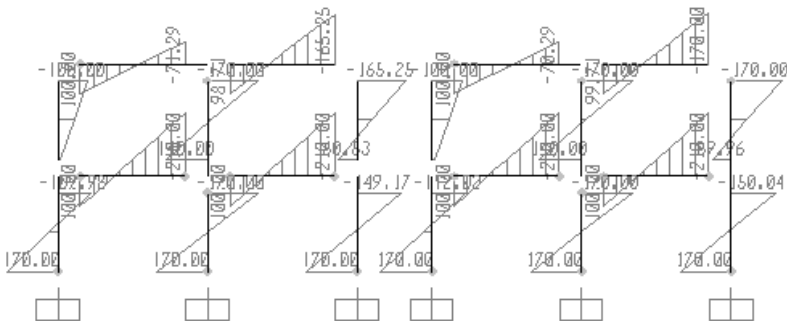
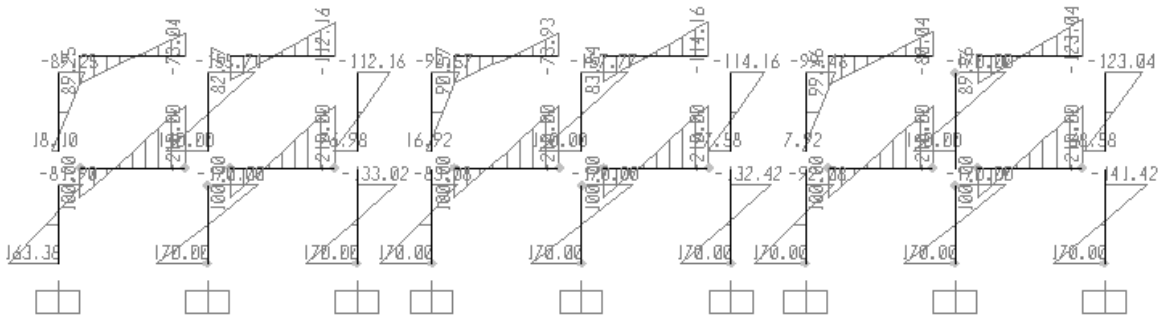
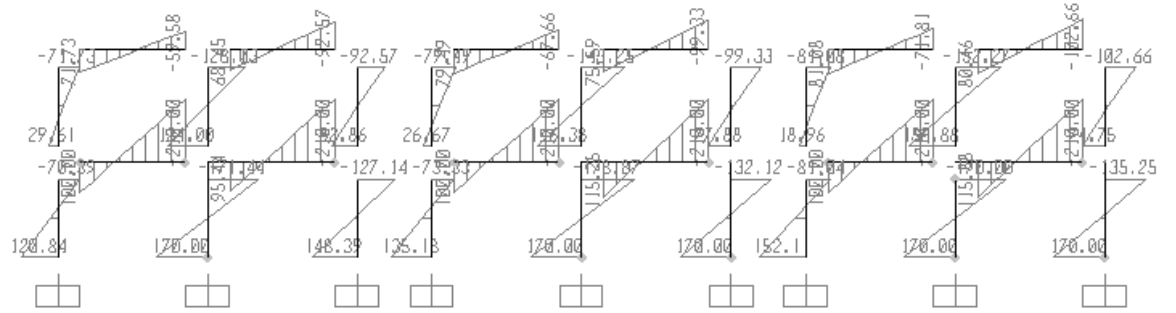
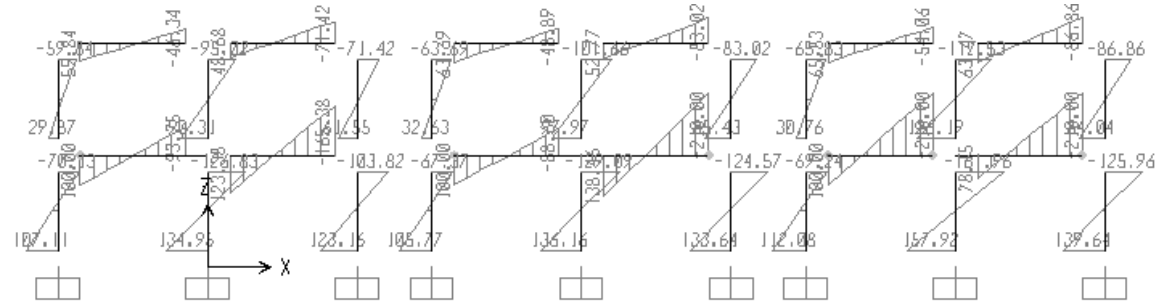
Çizelge C.1 : Analiz programı itme analizi toplam taban kesme kuvvetleri

Taban Kesme Kuvveti Değerleri			
İtme adımı	VX	VY	VZ
	KN	KN	KN
0	0	0	960
1	-223.985	0	960
2	-268.679	0	960
3	-296.26	0	960
4	-298	0	960
5	-303.431	0	960
6	-313.585	0	960
7	-313.586	0	960

Çizelge C.2 : Adım adım itme analizi yatay kuvvetleri



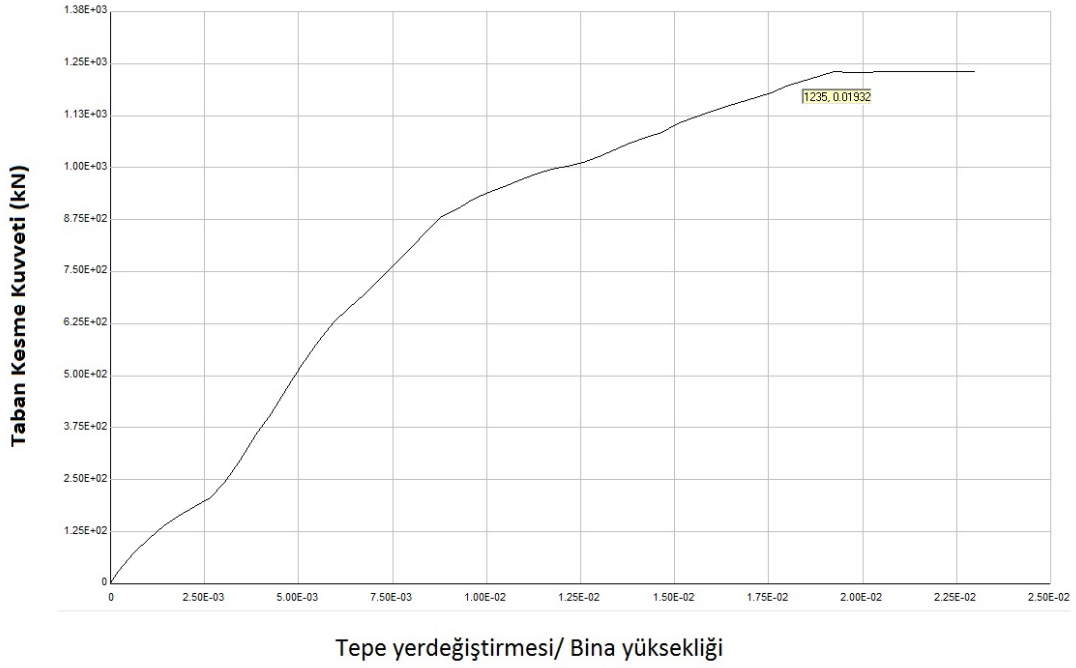
Çizelge C.3 : Adım adım itme analizi kesit tesirleri (moment kNm)



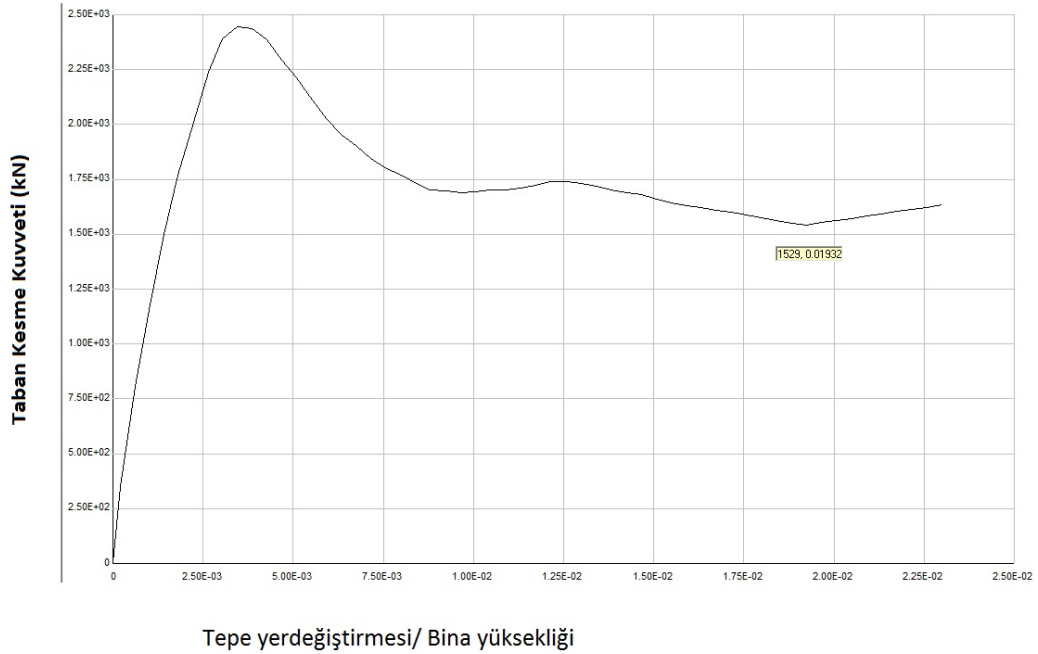
EK D

Gerek SAP2000 gerek Perform3D programında perde yapı elemanları doğrusal olmayan alan eleman olarak modellenip düzlemi doğrultusunda analizi yapıldığında, analiz sonuçlarında herhangi bir sıkıntı çıkmamaktadır. Ancak bu elemanlar düzeleminde dik doğrultuda yüke tabi tutulduklarında, analiz sonuçlarının gerçeğe yakın sonuçlar vermesi için dikkate alınması gereken bir kaç husus vardır. Örnek olarak, birbirine dik iki perdeden oluşmuş bir yapıya itme analizi uygulandığı durumu ele alalım. Eğer doğrusal olmayan alan elemanı oluşturulurken düzlem dışındaki malzeme modeli elastik olarak kabul edilmiş ise, taşıyıcı sisteme itme analizi uygulanmaya başladığında her hangi bir sıkıntı yoktur. Ancak itme adımının ilerleyen değerlerinde, itme doğrultudaki kesit kapasitesine yaklaştıkça rijitliği azalacaktır. Bunun yanında ona dik doğrultudaki perde rijitliğinde bir kayıp olmadan elastik davranmaya devam edecektir. Sonuçta itme adımı sayısı arttıkça iki perde arasındaki rijitlik farkı azalacak, yani zayıf doğrultudaki perde gerçekte alamayacağı yükleri almış olacaktır. İtme analizinin son adımlarına gelindiğinde asıl perde rijitliğinin büyük bölümünü kaybetmiş, yani yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olacak, ona dik doğrultudaki perde ise rijitliğin kaybetmediğinden deplasman yaparak yüklerin büyük bölümünü taşır nitelikte kalacaktır. Bu durum hedef deplasman değerinin büyüklüğüne göre önem kazanmaktadır. Örneğin, bu tezde performans analizi yapılan yapıyı incelediğimizde, birbirine dik iki doğrultudaki perdenin hedef deplasman değerine ulaşmaya kadar olan yatay yük taşıma grafikleri **Çizelge D.1** ve **Çizelge D.2**'de gösterilmiştir.

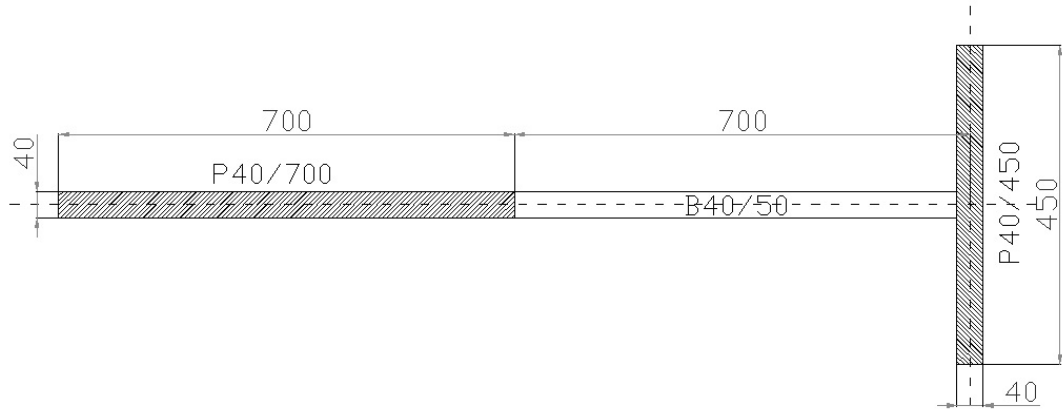
Çizelge D.1 : P3- itme analizine dik doğrultudaki perdenin hedef deplasmana ulaşınca kadar kesme kuvveti değişim grafiği



Çizelge D.2 : P1- itme analizi doğrultusundaki perdenin hedef deplasmana ulaşınca kadar kesme kuvveti değişim grafiği



Bu problemin çözümü için düzlem dışı davranışta da, kesitin lineer ötesi davranışının gözönüne alınarak hesap yapılması gerekmektedir. Bu şekilde analiz yapıldığında artan deformasyon değerleri için düzleme dik perdede akma gerçekleşecek; dolayısı ile, o perdede dayanım kaybı yaşanacaktır. SAP2000 Sonlu Eleman Analiz Programı'nda “non-linear layered shell” özelliği kullanılırken kesitin düzlem dışı davranışında da lineer ötesi davranış kolayca göz önüne alınmaktadır. Ancak Perform3D programının doğrusal olmayan perde davranış modelini “Shear Wall-Inelastic Section” incelediğimizde, kesitin düzlem dışı davranış elastik olarak kısıtlanmıştır. Perform3D programında düzlem dışı davranışın lineer ötesi olarak modellenmesinin tek yolu “General Wall-Inelastic Section” kesit modelinin kullanılmasıdır. Bu kesit modelinde, perde kesitinde elemanların fiber olarak teker teker tanıtılması gerekmektedir. Bu özelliği kullanmanın hem zahmetli hemde hesap süresini uzatacağı göz önüne alınmalıdır.



Şekil D.1 : Taşıyıcı sistem kalıp planı

EK E**Çizelge E.1 : Doğrusal elastik yöntemle kolon hasar tespiti**

KAT	KOLON	M _K	M _{EX}	M _{EY}	M _D	r _x	r _y	HASAR BÖLGESİ
1	S1	1	0.36	0.58	0.109	0.40	0.65	MHB
	S2	1	0.367	0.345	0.281	0.51	0.48	MHB
	S3	1	0.395	0.421	0.303	0.57	0.60	MHB
	S4	1	0.313	0.345	0.281	0.44	0.48	MHB
	S5	1	0.394	0.421	0.303	0.57	0.60	MHB
	S6	1	0.36	0.58	0.109	0.40	0.65	MHB
2	S1	1	0.46	0.696	0.096	0.51	0.77	MHB
	S2	1	0.326	0.313	0.253	0.44	0.42	MHB
	S3	1	0.357	0.392	0.253	0.48	0.52	MHB
	S4	1	0.325	0.313	0.253	0.44	0.42	MHB
	S5	1	0.356	0.391	0.272	0.49	0.54	MHB
	S6	1	0.459	0.696	0.096	0.51	0.77	MHB
3	S1	1	0.939	1.543	0.141	1.09	1.80	MHB
	S2	1	0.55	0.539	0.376	0.88	0.86	MHB
	S3	1	0.485	0.67	0.405	0.82	1.13	MHB
	S4	1	0.55	0.539	0.376	0.88	0.86	MHB
	S5	1	0.585	0.669	0.405	0.98	1.12	MHB
	S6	1	0.938	1.543	0.141	1.09	1.80	MHB
4	S1	1	1.147	1.722	0.128	1.32	1.97	MHB
	S2	1	0.501	0.488	0.335	0.75	0.73	MHB
	S3	1	0.531	0.61	0.362	0.83	0.96	MHB
	S4	1	1.147	1.722	0.128	1.32	1.97	MHB
	S5	1	0.501	0.488	0.335	0.75	0.73	MHB
	S6	1	0.531	0.61	0.362	0.83	0.96	MHB
5	S1	1	1.184	1.701	0.112	1.33	1.92	MHB
	S2	1	0.512	0.51	0.295	0.73	0.72	MHB
	S3	1	0.531	0.648	0.319	0.78	0.95	MHB
	S4	1	1.184	1.701	0.112	1.33	1.92	MHB
	S5	1	0.512	0.51	0.295	0.73	0.72	MHB
	S6	1	0.531	0.648	0.319	0.78	0.95	MHB
6	S1	1	1.321	1.776	0.1	1.47	1.97	MHB
	S2	1	0.557	0.534	0.255	0.75	0.72	MHB
	S3	1	0.551	0.783	0.276	0.76	1.08	MHB
	S4	1	1.321	1.776	0.1	1.47	1.97	MHB
	S5	1	0.557	0.534	0.255	0.75	0.72	MHB
	S6	1	0.551	0.783	0.276	0.76	1.08	MHB

Çizelge E.2 : Doğrusal elastik yöntemle kiriş hasar tespiti

Kiriş	Ve/bwdfctm		r		HASAR BÖLGESİ
	X	Y	X	Y	
K101	0.584	-	1.38	-	MHB
K102	0.536	-	1.68	-	MHB
K103	0.656	-	1.42	-	MHB
K104	0.648	-	1.89	-	MHB
K105	0.679	-	1.66	-	MHB
K106	0.656	-	1.43	-	MHB
K107	0.648	-	1.9	-	MHB
K108	0.679	-	1.41	-	MHB
K109	0.584	-	1.37	-	MHB
K110	0.536	-	1.69	-	MHB
K111	-	0.700	-	1.77	MHB
K112	-	0.700	-	1.82	MHB
K113	-	0.717	-	1.83	MHB
K114	-	0.664	-	1.57	MHB
K115	-	0.717	-	1.37	MHB
K116	-	0.728	-	1.82	MHB
K117	-	0.664	-	1.83	MHB
K118	-	0.728	-	1.73	MHB
K119	-	0.532	-	1.46	MHB

Çizelge E.3 : Doğrusal elastik yöntemle görel kat ötelemeleri kontrolü

KAT	d _{imaksX}	h _i	Δ_i/h_i
12	0.2618	3	0.009267
11	0.234	3	0.0093
10	0.2061	3	0.009267
9	0.1783	3	0.009133
8	0.1509	3	0.008867
7	0.1243	3	0.008367
6	0.0992	3	0.007733
5	0.076	3	0.0071
4	0.0547	3	0.0062
3	0.0361	3	0.005167
2	0.0206	3	0.0039
1	0.0089	5	0.00178

KAT	d _{imaksy}	h _i	Δ_i/h_i
12	0.3718	3	0.013433
11	0.3315	3	0.013133
10	0.2921	3	0.0131
9	0.2528	3	0.012933
8	0.214	3	0.012533
7	0.1764	3	0.011867
6	0.1408	3	0.011033
5	0.1077	3	0.010067
4	0.0775	3	0.0089
3	0.0508	3	0.007333
2	0.0288	3	0.005533
1	0.0122	5	0.00244

Çizelge E.4 : Doğrusal elastik yöntemle perde hasar tespiti

KAT	PERDE	M _K	M _{EX}	M _{EY}	M _D	r _x	r _y	HASAR BÖLGESİ
1	P1	1	5.533	1.762	0.07	5.95	1.89	BHB
	P2	1	0.224	5.403	0.1	0.25	6.00	BHB
	P3	1	0.257	5.442	0.07	0.28	5.85	BHB
	P4	1	0.223	5.412	0.1	0.25	6.01	BHB
	P5	1	5.398	1.761	0.075	5.84	1.90	BHB
2	P1	1	5.365	1.482	0.067	5.75	1.59	BHB
	P2	1	0.195	5.034	0.08	0.21	5.47	BHB
	P3	1	0.121	4.485	0.064	0.13	4.79	BHB
	P4	1	0.144	5.018	0.087	0.16	5.50	BHB
	P5	1	5.366	1.481	0.067	5.75	1.59	BHB
3	P1	1	4.546	1.274	0.06	4.84	1.36	BHB
	P2	1	0.29	4.238	0.08	0.32	4.61	BHB
	P3	1	0.124	3.769	0.058	0.13	4.00	BHB
	P4	1	0.138	4.22	0.08	0.15	4.59	BHB
	P5	1	4.547	1.274	0.06	4.84	1.36	BHB
4	P1	1	3.793	1.071	0.055	4.01	1.13	BHB
	P2	1	0.254	3.52	0.07	0.27	3.78	BHB
	P3	1	0.114	3.113	0.052	0.12	3.28	BHB
	P4	1	0.125	3.501	0.07	0.13	3.76	BHB
	P5	1	3.794	1.07	0.054	4.01	1.13	BHB
5	P1	1	3.11	0.88	0.05	3.27	0.93	BHB
	P2	1	0.244	2.884	0.06	0.26	3.07	BHB
	P3	1	0.107	2.529	0.045	0.11	2.65	MHB
	P4	1	0.112	2.865	0.06	0.12	3.05	BHB
	P5	1	3.111	0.881	0.048	3.27	0.93	BHB
6	P1	1	2.497	0.71	0.04	2.60	0.74	MHB
	P2	1	0.294	2.328	0.055	0.31	2.46	MHB
	P3	1	0.12	2.02	0.04	0.13	2.10	MHB
	P4	1	0.102	2.309	0.055	0.11	2.44	MHB
	P5	1	2.499	0.709	0.041	2.61	0.74	MHB
7	P1	1	2.886	0.792	0.045	3.02	0.83	BHB
	P2	1	0.321	1.928	0.057	0.34	2.04	MHB
	P3	1	0.083	2.32	0.045	0.09	2.43	MHB
	P4	1	0.109	1.913	0.057	0.12	2.03	MHB
	P5	1	2.893	0.795	0.046	3.03	0.83	BHB

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İzgi ŞENDAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Çankırı ,27.02.1983

Lise : Maltepe Anadolu Lisesi

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi