

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞEY DÜZENSİZLİĞE SAHİP BETONARME BİR
KONUT BİNASININ SİSMİK PERFORMANSININ
İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emre TURHAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**DÜŞEY DÜZENSİZLİĞE SAHİP BETONARME BİR
KONUT BİNASININ SİSMİK PERFORMANSININ
İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emre TURHAN
(501041204)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Haziran 2007**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kadir GÜLER (İ.T.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Güray ARSLAN (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Doğanın engellenemez ve kaçınılmaz en büyük ve tehlikeli afetlerinden biri olan depremler; dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birisinde bulunan ülkemizde çok sayıda can kaybına yol açmış ve büyük çaplı maddi hasarlara neden olmuşlardır. Bu can ve mal kayıpları, son yıllarda hızla ilerleyen çarpık ve plansız kentleşmenin, projesiz veya projelerine uygun olmayan yapılaşmanın, kalitesiz malzeme kullanımının, kötü işçiliğin ve en önemlisi yetersiz mühendislik hizmetlerinin bir neticesi olarak, ülke ekonomisini sarsabilecek boyutlara ulaşmışlardır. Bu durumun en yakın ve acı örnekleri, 1999 yılında meydana gelen 17 Ağustos “Marmara” ve 12 Kasım “Düzce” depremleridir.

Yaşanan bu felaketlerden sonra, depremin değil kalitesiz yapıların öldürdüğü gerçeği bir kez daha karşımıza çıkmıştır. Gelecekte de depremlerden kaçınılamayacağı gözönüne alınarak; bu depremleri mümkün olan en az maddi ve manevi hasarla atlatabilmek için yukarıda değinilen eksiklikleri en aza indirmek gerekmektedir. Günümüzde depreme karşı güvenli yapılar yapabilmek için bazı yapı analiz yöntemleri geliştirilmiş, hızla ilerleyen teknoloji sayesinde de bu yöntemler bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir.

Bu çalışmada, analiz yöntemlerinden bir tanesi olan “Statik İtme Analizi” ayrıntılarıyla işlenmeye çalışılmış ve 1975 Deprem Yönetmeliği şartlarına uygun yapılmış bir bina bu analiz yöntemi ile incelenerek uygulamalı bir anlatım sergilenmek istenmiştir.

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, çok değerli hocam, Yrd. Doç. Dr. Beyza TAŞKIN’a sonsuz teşekkür etmeyi bir borç biliyor; beni bu günlere getiren ve tüm hayatım boyunca maddi manevi desteklerini her zaman arkamda hissettiğim çok değerli aileme sevgilerimi sunuyorum.

Mayıs 2007

Emre TURHAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DÜZENSİZ YAPILAR	4
2.1 Giriş	4
2.2 Kısa Konsollar ve Konsollu Yapılar	4
2.2.1 Kısa Konsolların Tanımı ve Davranışları	4
2.2.2 Kısa Konsolların Boyutlandırılması ve Donatılması	7
2.2.3 Konsollu Yapılar	8
2.2.3.1 Konsollu Bina Tipi Yapı Uygulamaları	8
2.3 Kısa Konsolların Çözümlemesinde Çubuk Model Yaklaşımı	10
2.3.1 Giriş	10
2.3.2 Model Çubuklarının ve Düğüm Noktalarının Boyutlandırılması	12
2.4 Kısa Konsollar İle İlgili Yönetmelik Hükümleri	13
2.4.1 A.B.Y.Y.H.Y. (1998) ve D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de Kısa Konsollar	13
2.4.2 TS 9967'de Kısa Konsollar	14
2.4.3 ACI 318-02'de Kısa Konsollar	15
2.4.4 Eurocode 2'de Kısa Konsollar	16
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM KAVRAMI	18
3.1 Giriş	18
3.2 Performans Seviyeleri	19
3.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları	20
3.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	22
3.2.3 Bina Performans Seviyeleri	23
3.3 Deprem Etki Seviyeleri	25
3.4 Performans Kavramı	26
3.4.1 Performans Hedefleri ve Sınıflandırma	26
3.4.2 Performans Hedeflerinin Karşılaştırılması	27
3.5 D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de Performansa Dayalı Tasarım Kavramı	28
4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME (PUSHOVER) ANALİZİ	32
4.1 Giriş	32
4.2 D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	33
4.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi	33
4.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi İle İtme Analizi	37

4.2.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi	37
4.2.4 Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi	38
4.2.5 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri	38
4.3 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Statik Analiz	39
4.3.1 Kapasitenin Belirlenmesi	40
4.3.2 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürülmesi	42
4.3.3 ATC 40'a Göre %5 Sönümlü Talep Spektrumunun Oluşturulması	43
4.3.4 Kapasite Spektrum Eğrisinin Doğrular Haline Getirilmesi	46
4.3.5 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi	47
4.3.6 Performans Noktasının Bulunması	50
4.3.6.1 Kapasite ve İndirgenmiş Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi	51
4.3.6.2 Yöntem A Kullanılarak Performans Noktasının Bulunması	52
4.3.7 Performans Seviyesinin Bulunması	54
5. ÇALIŞMADA KULLANILAN BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENMESİ VE ANALİZİ	56
5.1 ETABS Analiz Programı İle Statik İtme Analizinin Uygulama Adımları	56
5.2 Örnek Binaya Ait Genel Bilgiler	58
5.3 Yapıya Etki Eden Yükler	59
5.4 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle Yatay Kuvvetlerin Hesaplanması	61
5.5 Düzensizliklerin Kontrolü	64
5.6 ETABS Programı İle Yapılan Statik İtme Analizinin Sonuçları	68
5.6.1 Yapıda x-x Doğrultusu İçin Analiz Sonuçları	68
5.6.2 Yapıda y-y Doğrultusu İçin Analiz Sonuçları	68
5.7 Yapının Performans Noktalarının Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Bulunması	69
5.7.1 Yapının x-x Doğrultusundaki Performans Noktasının Bulunması	69
5.7.2 Yapının y-y Doğrultusundaki Performans Noktasının Bulunması	73
5.8 ETABS Programı İle D.B.Y.B.H.Y. 2007 Esaslarına Göre Yapılan Statik İtme Analizinin Sonuçları ve Yapının Performans Noktalarının Bulunması	76
5.9 İncelenen Yapıda Düzensizliğe Neden Olan Bir Guseli Kirişin Çubuk Model Yöntemi Kullanılarak Çözümlemesi	80
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	83
KAYNAKLAR	88
EK A	90
ÖZGEÇMİŞ	100

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EC	: Eurocode
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
ACI	: American Concrete Institute
ATC	: Applied Technology Council
TS	: Türk Standardı
TGD	: Temel Güvenlik Depremi
SE	: Servis Depremi
DE	: Tasarım Depremi
ME	: Maksimum Deprem
SAP 2000	: Structural Analysis Program
ETABS	: Extended 3D Analysis of Building Systems

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : ACI 318R-02’de Gerilme Sınırları	12
Tablo 3.1 : Bina Performans Seviyeleri ve Aralıkları.....	19
Tablo 3.2 : Hasar Kontrolü ve Bina Performans Seviyeleri.....	20
Tablo 3.3 : Deprem Parametreleri.....	25
Tablo 3.4 : Performans Hedeflerinin Sınıflandırılması.....	26
Tablo 3.5 : Görelî Kat Ötelenmesi Sınırları.....	30
Tablo 3.6 : Binalar İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen Performans Düzeyleri.....	31
Tablo 4.1 : Deprem Bölge Katsayıları.....	43
Tablo 4.2 : Yapı Zemin Sınıfları.....	44
Tablo 4.3 : Kaynağa Olan Mesafe Katsayıları.....	44
Tablo 4.4 : Deprem Katsayısı, C_A	45
Tablo 4.5 : Deprem Katsayısı, C_V	45
Tablo 4.6 : Yapı Davranış Türü.....	49
Tablo 4.7 : Düzeltme Katsayısı κ	49
Tablo 4.8 : Spektral Azaltma Katsayıları.....	50
Tablo 4.9 : Spektral Azaltma Katsayıları’nın Minimum Değerleri..	50
Tablo 4.10 : Performans Noktasının Hesabı İçin Seçilebilecek Yöntem Çeşitleri.....	51
Tablo 5.1 : Zati Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları.....	59
Tablo 5.2 : Hareketli Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları.....	60
Tablo 5.3 : Yapı Kat Ağırlıkları ve Kütleleri.....	60
Tablo 5.4 : Katlara x-x Doğrultusunda Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.....	63
Tablo 5.5 : Katlara y-y Doğrultusunda Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri.....	63
Tablo 5.6 : Örnek Yapıya Ait Kat Ötelenmeleri.....	63
Tablo 5.7 : +X Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	64
Tablo 5.8 : -X Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	64
Tablo 5.9 : +Y Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	64
Tablo 5.10 : -Y Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü.....	65
Tablo 5.11 : Kat Boşluk Alanları Toplamlarının Kat Brüt Alanlarına. Oranları.....	65
Tablo 5.12 : 2. Bodrum Kat Planında Çıkıntı Yapan Kısımların İncelenmesi.....	66
Tablo 5.13 : +X Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü.....	66
Tablo 5.14 : -X Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü.....	67
Tablo 5.15 : +Y Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü.....	67
Tablo 5.16 : -Y Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü.....	67
Tablo 5.17 : X-X Doğrultusu İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü.....	79

Tablo 5.18	: Y-Y Doğrultusu İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü.....	80
Tablo 5.19	: Çubuk Modelin Sonuçları.....	82
Tablo 6.1	: Bina Performans Seviyeleri ve Performans Aralıkları...	85
Tablo A.1	: Kolon ve Perde Boyutları.....	95
Tablo A.2	: 1. Bodrum Kat Kiriş Boyutları ve Donatıları.....	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Kısa Konsolda Asal Gerilme Yörüngeleri.....	5
Şekil 2.2 : Kısa Konsolda Kafes Kiriş Benzeşimi.....	6
Şekil 2.3 : Kısa Konsolda Göçme Biçimleri.....	6
Şekil 2.4 : 2. Tür Konsollu Düşeyde Düzensiz Yapı Örneği.....	9
Şekil 2.5 : 2. Tür Konsollu Örnek Yapının Zemin ve Normal Kat Kalıp Planları.....	9
Şekil 2.6 : Kısa Konsol Örneği.....	10
Şekil 2.7 : Çubuk Sistem Örneği.....	11
Şekil 2.8 : A.B.Y.Y.H.Y. (1998) ve D.B.Y.Y.H.Y. (2007)'de Kısa Konsollar.....	13
Şekil 2.9 : Betonarme Kısa Konsol Donatıları.....	14
Şekil 2.10 : Kısa Konsol'da Kuvvetler ve Kesit Boyutları.....	15
Şekil 2.11 : Kısa Konsol'un Yapısı.....	16
Şekil 2.12 : Eurocode 2'de Kısa Konsol.....	16
Şekil 3.1 : Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri.....	29
Şekil 4.1 : Birarada Çizilmiş Modal Kapasite Diyagramı ve Davranış Spektrumu.....	36
Şekil 4.2 : Taban Kesme Kuvveti ile Tepe Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki.....	40
Şekil 4.3 : %5 Sönümlü Elastik Deprem Spektrumu.....	45
Şekil 4.4 : Geleneksel Talep Spektrumunun ADSR Formatına Dönüştürülmesi.....	46
Şekil 4.5 : Üst Üste Çizilmiş Kapasite ve Talep Spektrumları.....	46
Şekil 4.6 : Kapasite Spektrumunun Kırıklı Gösterimi.....	47
Şekil 4.7 : Spektral İndirgeme İçin Sönüm Elde Edilmesi.....	48
Şekil 4.8 : Talep Spektrumunun İndirgenmesi.....	49
Şekil 4.9 : Kapasite Spektrumu İle Talep Spektrumunun Kesişim Noktası.....	52
Şekil 4.10 : Kapasite Spektrumu İle Talep Spektrumunun Kesiştirilmesi.....	52
Şekil 4.11 : Başlangıç Performans Noktasının Bulunması.....	53
Şekil 4.12 : Kapasite Spektrumunun Kırıklı Hale Dönüştürülmesi....	53
Şekil 4.13 : İndirgenmiş Talep ve Kapasite Spektrumlarının Kesiştirilmesi.....	54
Şekil 4.14 : Taşıyıcı Sistemde Örnek Kapasite Spektrumu Eğrisi.....	54
Şekil 5.1 : Üç Boyutlu Yapısal Model.....	57
Şekil 5.2 : Yapının X-X Doğrultusundaki Kapasite Eğrisi.....	68
Şekil 5.3 : Yapının Y-Y Doğrultusundaki Kapasite Eğrisi.....	69
Şekil 5.4 : %5 Sönümlü Talep Spektrumu.....	70
Şekil 5.5 : Yapının X-X Doğrultusundaki Kapasite Spektrumu.....	70
Şekil 5.6 : X-X Doğrultusunda Başlangıç Performans Noktası.....	71

Şekil 5.7	: İndirgenmiş Talep Spektrumu.....	72
Şekil 5.8	: X-X Doğrultusunda Hesap İçin İndirgenmiş Talep ve Kapasite Spektrumları.....	72
Şekil 5.9	: İterasyon Sonrasında İndirgenmiş Talep Spektrumu.....	73
Şekil 5.10	: Yapının X-X Doğrultusundaki Performans Noktası.....	73
Şekil 5.11	: %5 Sönümlü Talep Spektrumu.....	74
Şekil 5.12	: Yapının Y-Y Doğrultusundaki Kapasite Spektrumu.....	74
Şekil 5.13	: Y-Y Doğrultusunda Başlangıç Performans Noktası.....	75
Şekil 5.14	: İndirgenmiş Talep Spektrumu.....	76
Şekil 5.15	: Yapının Y-Y Doğrultusundaki Performans Noktası.....	76
Şekil 5.16	: X-X Doğrultusundaki Kapasite ve İki Doğrulu Kapasite Eğrileri.....	77
Şekil 5.17	: Y-Y Doğrultusundaki Kapasite ve İki Doğrulu Kapasite Eğrileri.....	77
Şekil 5.18	: X-X Doğrultusundaki Tepe Yerdeğiştirme İstemi.....	78
Şekil 5.19	: Y-Y Doğrultusundaki Tepe Yerdeğiştirme İstemi.....	78
Şekil 5.20	: Guseli Kiriş ve Mesnetlendiği Kolonlar.....	81
Şekil 5.21	: Oluşturulan Çubuk Model	82
Şekil 6.1	: Yapının X-X Doğrultusu için Performans Seviyesi.....	84
Şekil 6.2	: Yapının Y-Y Doğrultusu için Performans Seviyesi.....	85
Şekil 6.3	: Yapıda İtme Analizi Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar.....	86
Şekil A.1	: 2. Bodrum Kat Kalıp Planı.....	90
Şekil A.2	: 1. Bodrum Kat Kalıp Planı.....	91
Şekil A.3	: Zemin Kat Kalıp Planı.....	92
Şekil A.4	: Normal Kat Kalıp Planı.....	93
Şekil A.5	: 4. Normal Kat (Çatı Katı) Kalıp Planı.....	94
Şekil A.6	: Kolon Kesitleri ve Donatı Yerleşimleri	95

SEMBOL LİSTESİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
C_A	: Zeminin etkili maksimum ivme katsayısı
C_V	: Periyodu 1 s olan %5 sönümlü sistemin spektrum değeri
E	: Deprem etki yükü katsayısı
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_D	: Sönümle yutulan enerji
E_s	: Beton çeliğinin elastisite modülü
E_{SO}	: Maksimum şekil değiştirmenin enerjisi
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{yk}	: Beton çeliğinin karakteristik akma dayanımı
f_{cd}	: Betonun hesap basınç dayanımı
f_{yd}	: Beton çeliğinin hesap akma gerilmesi
F_i	: i. kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
g	: Yerçekimi ivmesi
g_i	: i. katın sabit yüklerinden oluşan ağırlık
H	: Binanın toplam yüksekliği
H_i	: i. katın yerden yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
M_i	: i. kata ait kütle
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
N_{A-V}	: Bilinen bir deprem kaynağına olan mesafe katsayıları
$P_{göçme}$	: Göçme anındaki taban kesme kuvvetinin yük parametresi
$[P_o]$	: Sisteme ait yükleme matrisi
$R_a(T_1)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
q_i	: i. katın hareketli yüklerinden oluşan ağırlık
S_a	: Spektral ivme
S_d	: Spektral yerdeğiştirme
S_{RA}	: Spektral azaltma katsayısı
S_{RV}	: Spektral azaltma katsayısı
$S(T_1)$	: Spektrum katsayısı
$[S_{dd}]$	: Üzerinde plastik kesitler bulunmayan sisteme ait rijitlik matrisi
T	: Periyot
T_{A-B}	: Zeminin spektrum karakteristik periyotları
V	: Taban kesme kuvveti
w_i	: i. katın ağırlığı
W	: Bina toplam ağırlığı
Z	: Deprem bölge katsayısı
α_1	: 1. doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı
β_{ef}	: Etkili toplam sönüm oranı
β_o	: Eşdeğer sönümle temsil edilen histerik sönüm
δ	: Yerdeğiştirme
Δ_{tepe}	: Yapının tepe yerdeğiştirmesi
ϵ_{cu}	: Betonun nihai kısalması

ϵ_{co}	: Betonda plastik şekil değiştirmenin başlamasına karşı gelen birim kısalma
ϵ_{su}	: Beton çeliğinin akmaya karşı gelen en büyük birim boy değişimi
Φ_{Xi}	: i. katta X eksenli doğrultusundaki mod şekli
Φ_{Yi}	: i. katta Y eksenli doğrultusundaki mod şekli
$\emptyset$	: Donatı yarıçapı
Γ_1	: 1. doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı
K	: Sönüm düzeltme katsayısı
η_{bi}	: i. katta tanımlanan burulma düzensizlik katsayısı
η_{ci}	: i. katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i. katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı

DÜŞEY DÜZENSİZLİĞE SAHİP BETONARME BİR KONUT BİNASININ SİSMİK PERFORMANSININ İRDELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esaslarınca tanımlanmış B3 türü (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliğe sahip 7 katlı betonarme bir konut binasının deprem yükleri altında davranışı incelenmiştir. Betonarme perdelerle çevrilmiş 2. bodrum katın üstündeki 1. bodrum katta bina köşe kolonlarından bir adedi, guse teşkil edilmiş bir konsol kirişe mesnetlenmiş, daha üst katlarda ise aynı kolon bu konsol kirişin uç noktasına ötelenmek suretiyle süreksizlik oluşturmuştur. Arazi eğimine uygun olarak diğer bir köşe kolonda da benzer biçimde düzensizlik zemin kat seviyesinde yukarıya doğru teşkil edilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, bu türde düzensizlik barındıran yapılar hakkında gerçekleştirilmiş araştırma çalışmaları ile farklı ülkelerin yönetmeliklerinde ele alınış biçimleri irdelenmiştir. Nispeten benzer yapısal davranış sergilemeleri bakımından gerek ülkemiz yönetmeliklerinden TS6697’de, gerekse Avrupa ve Amerikan Yönetmeliklerinde çözüm stratejisi ve donatı düzeni bakımından kısa konsollara ait hususlar ele alınmıştır. Bu türde karmaşık birleşimlerin analizi için çubuk model yaklaşımının oldukça gerçekçi sonuçlar vermesinden yola çıkılarak, öncelikle mevcut düşey yükler ve eşdeğer deprem yükleri etkisinde gerçekleştirilen üç boyutlu çözümleme sonucunda elde edilen en elverişsiz etkiler için birleşim tahkik edilmiştir.

Yapının deprem yükleri etkisindeki performansının belirlenebilmesi amacıyla yeni deprem yönetmeliğinde tanımlanan doğrusal olmayan statik çözümleme yöntemleri arasından artımsal itme analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu doğrultuda, çalışmanın dördüncü bölümünde öncelikle performans kavramı ve çeşitli kullanım düzeyleri için yapısal performans hedefleri açıklanmıştır. Taşıyıcı sistemde tepe yerdeğiştirmesi ile taban kesme kuvvetinin değişimini gösteren eğriden yola çıkılarak, kapasite spektrumunun üretilmesi adımları ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Diğer yandan, yer hareketi, zemin koşulları ve yapısal performans düzeyi koşullarından yola çıkılarak, talep spektrumunun düzenlenmesi de çalışmanın bu bölümünde açıklanmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde yapısal çözümlemede kullanılacak olan ETABS bilgisayar yazılımı tanıtılmış, incelenen binanın özellikleri belirtilerek program için hesap modelinin oluşturulması anlatılmıştır. Analiz yönteminin programda nasıl uygulanacağı açıklanmış, dikkat edilmesi gereken noktalar vurgulanmıştır. Çözümleme sonucunda elde edilen kapasite eğrisinden ve düzenlenen talep spektrumundan yola çıkılarak; binanın performans noktası bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, çalışmanın son bölümünde tartışmaya açılmıştır.

EXAMINATION OF SEISMIC PERFORMNACE OF A REINFORCED CONCRETE RESIDENTIAL BUILDING WHICH HAS VERTICAL IRREGULARITY

SUMMARY

In this master thesis, the behavior of a 7 storey reinforced-concrete residential building, which is under the effect of earthquake loads and has B3 (Discontinuity of Vertical Structural Elements) type of irregularity according to Turkish Earthquake Resistant Design Code 2007, is examined. On the first basement floor which is above the second basement floor, surrounded by reinforced concrete shear walls, one of the corner columns is hinged to a corbel where it caused an irregularity when the same column is shifted to the edge of this corbel at the upper floors. This type of irregularity also exists because of another drifted column, starting from the ground floor and continues to the upper floors, according to the ground elevation.

In the first step of this study, investigations and regulations about the structures which have this type of irregularity is examined. Specifications, analyzing strategies and reinforcing detailing of corbels are obtained from European and American regulations and also from Turkish Standard 9967. As it gives realistic results, Strut and Tie Model is chosen for analyzing the corbels of the structure under the combined effect of vertical and lateral loads, where reinforcement design of the corbel is realized considering the most inadequate result.

To determine the performance of the structure under the effect of earthquake loads, pushover analysis method, a nonlinear static analyzing method defined in the new Turkish Earthquake Resistant Design Code, is chosen. In the forth chapter of this study performance based design and performance objectives are explained at first. Obtaining of the capacity spectrum by using pushover (capacity) curve, which is established by means of top floor displacement verses base shear force, is studied step by step also in this chapter. On the other hand, demand spectrum is obtained considering the soil conditions, seismicity and structural performance levels.

Through the fifth chapter of this study, the ETABS computer software which will be used for structural analysis is introduced and modeling of the examined building by this program is given. The way to use the analysis method through the program is explained, important points are indicated. Depending on the results of the analysis, capacity curve and demand spectrum are investigated and performance point of the building is computed. Results are discussed in the last chapter.

1. GİRİŞ

Deprem kısaca yer kabuğu içerisinde oluşan bir enerji akışı olarak tanımlanabilir. En geçerli teorilerden birisi olan ve 1911 yılında Reid tarafından ortaya konulan faylanma ya da diğer ismiyle Elastik Geri Sekme Teorisine (Elastic Rebound Theory) göre deprem; önceden jeolojik fay olarak adlandırılmış, ayrık ve kırık bir yüzey boyunca, taşkürenin (litosfer) kırılması sonucu meydana gelmektedir ve fayın her iki kenarı arasındaki elastik gerilmenin kademeli olarak artması sonucu tetiklenir. Deprem anında fayın kenarları, serbest kalan elastik gerilme miktarı kadar yer değiştirir.

1973 yılında Le Pichon tarafından ortaya konulan Levha Tektoniği Teorisine (Plate Tectonics Theory) göre Litosfer tabakası yedi ana levhadan ve daha küçük boyutlardaki alt levhalardan oluşmaktadır. Bu teori depremlerin oluşumunu okyanus ortası sırtlarında levhaların ayrılması sonucu, yükselme aksına simetrik olarak yeni yüzeylerin oluşması, okyanus çukurlarında levhaların yaklaşması sonucu bir levhanın diğer bir levhanın altına dalması ve mevcut yüzeyin asimetrik olarak yok olması veya dönüşüm fayları boyunca levhaların kayarak ayrılması olarak açıklamaktadır (Hasgür, 2004).

Günümüz olanakları dahilinde zamanı ve konumu güvenilir ve net bir şekilde tahmin edilemeyen deprem hareketlerinden en az can ve mal kaybı ile kurtulabilmek öncelikle can, daha sonra ise mal güvenliği bakımından büyük önem taşımaktadır. Bu doğa olayının afete dönüşmesindeki en büyük etkenin, deprem güvenliği sağlanamayan yapılar olduğu unutulmamalıdır. Depremlerin yapılarda oluşturabileceği hasarları sınırlandırmak amacıyla alınacak tedbirlerle maddi hasarların ve sosyo-ekonomik kayıpların kabul edilebilir seviyelere indirilmesi mümkündür.

Yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklükleri ve neden oldukları zararlar göz önüne alındığında iki ana deprem kuşağı öne çıkmaktadır. Bunlardan birini Pasifik Deprem Kuşağı oluştururken, diğerini, Türkiye'nin de içinde olduğu, Alp-Himalaya

Deprem Kuşağı oluşturmaktadır. Sismotektonik incelemeler, önceki yıllarda meydana gelmiş depremlerden elde edilen veriler ve olasılık teorilerinin yardımıyla hazırlanan Deprem Bölgeleri Haritası'na göre yurdumuz beş ana deprem bölgesine ayrılmıştır. Bu harita incelendiğinde; ülke nüfusunun %95'inin, toplam yüz ölçümü alanının %92'sinin, önemli sanayi ve endüstri merkezlerinin %98'inin ve barajların %93'ünün deprem riski yüksek bölgeler içinde yer aldığı görülmektedir. Son 58 yıl içerisinde meydana gelen depremler sonucunda; 400 bin'den fazla bina yıkılmış veya ağır hasar görmüş bu binalar 60 bin'e yakın insanımızın ölümüne 120 bin'den fazla insanımızın da yaralanmasına neden olmuştur (Can, 2005).

Depremlerin yapılar ve canlılar üzerindeki etkilerinin bu denli büyük olması, daha kapsamlı çalışmalar yapılması ve daha gerçekçi değerlendirme yöntemlerinin kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Yapılan teorik ve deneysel araştırma ve çalışmalar sonucunda uygulamaları bakımından oldukça kolay yaklaşık yöntemlerden, kesin sayılabilecek düzeyde karmaşık yöntemlere varan bir dizi çözümleme yöntemi bulunmuştur. Hemen hemen tüm ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yer alan eşdeğer deprem yükleri etkisindeki statik analiz; yapının dinamik karakteristiklerini hesaplamalarda gözönünde bulunduran modal analiz; zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan çözümleme yöntemleri bunlardan birkaçının temelini teşkil etmektedir. Son zamanlarda yönetmeliklerde de yer almaya başlayan ve Mart 2007 tarihi itibarıyla yürürlüğe giren "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik"te de yapısal performansın belirlenmesi için uygulanan Statik İtme Analizi Yöntemi bunlardan bir tanesidir. Yaklaşık hesaplamaların yetersizliği karşısında geliştirilmiş, doğrusal olmayan dinamik çözümleme yöntemlerine göre nispeten daha basit ve yapı dinamiği kuramını esas alarak oldukça gerçekçi sonuçlar vermesiyle son dönemde öne çıkan Statik İtme Analizi Yöntemi doğrusal olmayan statik bir çözümleme yöntemidir.

Bu çalışmada B3 türünde düzensizlik barındıran betonarme perde-çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 7 katlı bir yapı detaylı olarak irdelenmek suretiyle, deprem etkisindeki performansı değerlendirilmiştir. Araştırmanın ikinci bölümünde düşey doğrultuda teşkil edilen yapısal düzensizliklerden olan ve yönetmeliğimizde uygulanması kesinlikle yasaklanmış olan düşey taşıyıcılardaki süreksizlikten bahsedilmiş, farklı uygulama türleri ile diğer ülke yönetmeliklerinin bu hususu ele alışları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, yapılarda yatay deprem yüklemeleri etkisinde beklenen performans düzeyleri, performansa dayalı tasarımın felsefesi, yapısal kapasitelerin ve taleplerin belirlenmesi konularında teorik yaklaşımlar incelenmiş, bunların yönetmeliklerce öngörülen esasları araştırılmıştır.

Çalışmanın dördüncü bölümünde yapısal çözümlemede kullanılan statik ve dinamik hesap yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde ise düşey taşıyıcı sistem elemanlarında düzensizlik barındıran betonarme bir bina, bahsi geçen yöntemler uygulanmak suretiyle detaylı olarak incelenmiş, bulgular sonuç bölümünde tartışmaya sunulmuştur.

2. DÜZENSİZ YAPILAR

2.1 Giriş

Yapı tasarımı, taşıyıcı sistemin deprem kuvvetlerini güvenli bir şekilde karşılayabilmesi temel unsurlardan biridir. Yapının simetri özelliğini olabildiğince barındırması ve düzenli bir taşıyıcı sisteme sahip olması, depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi bakımından gerek sistem davranışının kolaylıkla modellenip, kontrol altına alınması, gerekse yatay deprem yüklerinin güvenli bir biçimde karşılanabilmesi için oldukça önemli bir ilkedir. Düzenli yapılar, boyutlandırma, analiz ve uygulamada kolaylık sağladıkları gibi, hesaplanan davranışlarıyla, gerçek yapı davranışlarının birbirlerine yakın olmaları nedeni ile iyi bir tasarım için öncelikli tercih seçeneğidirler. Taşıyıcı sistemdeki süreklilik ile yapının elastik ötesi davranış kapasitesi de artırılmış olmaktadır.

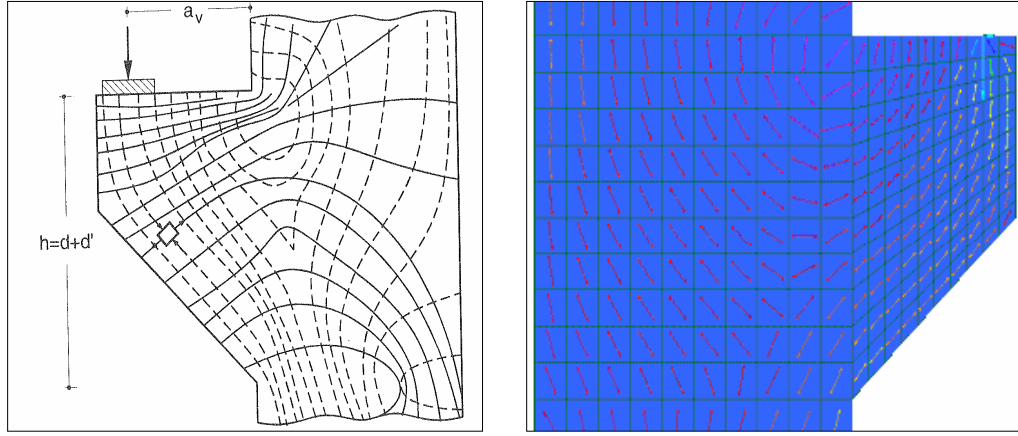
Yapıların taşıyıcı sistemlerinin planda ve özellikle düşeyde sürekli olmaları, taşıyıcı sistem elemanlarının birleşim noktalarında dış merkezlik bulunmaması ve yapıda ani rijitlik ve kütle değişimlerinin olmaması deprem etkisindeki davranış açısından çok önemlidir. Bu özellikleri bünyesinde bulundurmeyen yapılar, düzensiz yapılar olarak tanımlanır. Düzensiz yapılar ek burulma kuvvetlerine maruz kalmakta ve kritik kesitlerinde hesap kuvvetlerinin ötesinde etkiler oluşabilmektedir.

2.2 Kısa Konsollar ve Konsollu Yapılar

2.2.1 Kısa Konsolların Tanımı ve Davranışları

Kısa konsollar, çoğunlukla bir kolona bağlı, ağır tekil yükleri taşıyan yüksekliği sabit ya da değişken olabilen kısa kirişlerdir. Bu konsollarda, yükleme noktasından mesnet yüzüne olan uzaklığın (a_v) kesit faydalı yüksekliğine (d) oranı, $a_v / d < 1$ 'dir. Bu oran gerilme durumunun iki eksenli olarak göz önüne alınmasını gerektirir. Kayma gerilmeleri konsolun davranışında etkili olurken konsolun kesme kuvveti dayanımı belirleyici olarak ortaya çıkar. Düşey konsol yükünün yanında önemli bir yatay yük de bulunur. Bu tür konsolların davranışını klasik kiriş kabulleri ile açıklamak yerinde

olmaz. Kısa konsolu, iki boyutlu eleman olarak tanımlamak suretiyle asal gerilme yörüngelerinden yük taşıma davranışı daha açık olarak anlaşılabilir, (Şekil 2.1a ve Şekil 2.1b).

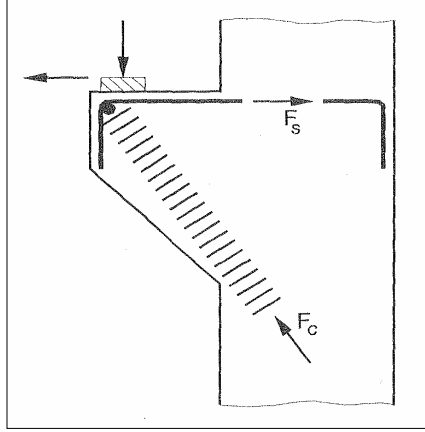


Şekil 2.1: Kısa Konsolda Asal Gerilme Yörüngeleri

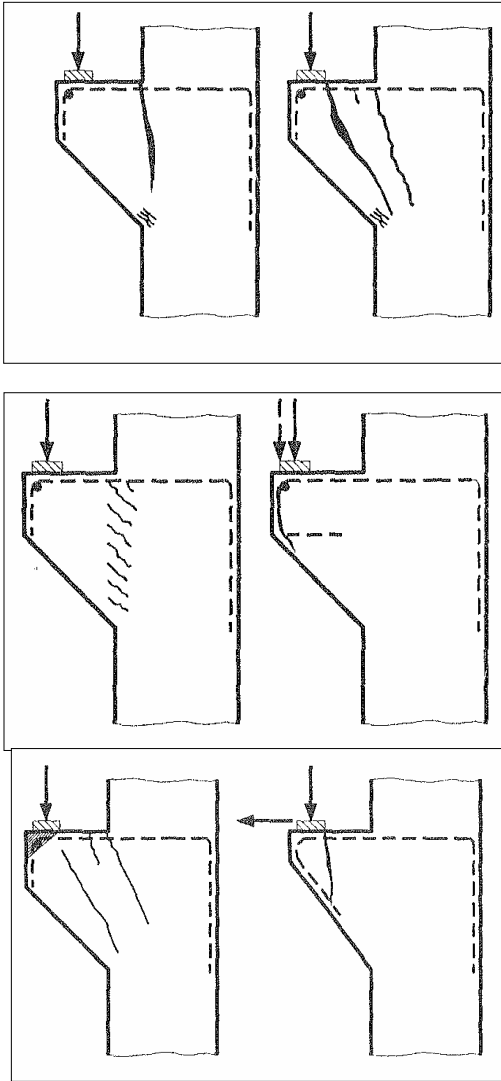
Yükün artmasıyla asal çekme yörüngelerine dik çatlaklar ortaya çıkar. Donatıların asal çekme yörüngeleri boyunca yerleştirilmesiyle etkili bir donatı düzeni elde edilir. Kısa konsolda meydana gelen asal gerilme yörüngelerinin incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar elde edilir, (Celep ve Kumbasar, 2005).

- i. Yükleme noktası ile kolonun kenarı arasındaki çekme kuvveti hemen hemen sabit bir yayılım gösterir.
- ii. Konsolun alt ucunda eğimli olarak kafes sistem benzeşimine uygun oluşan basınç kuvveti de sabit kabul edilir.
- iii. Basınç kuvvetinin doğrultu değiştirmesinden oluşan çekme gerilmeleri oldukça küçüktür.
- iv. Kısa konsolun dikdörtgen şeklinde olması, gerilme durumunda hemen hemen hiç değişiklik yapmaz. Dikdörtgen kesit durumunda kısa konsolun dış-alt kısmında çok küçük gerilmeler meydana gelir.

Konsol kirişin boyutlamasında, çatlama durumundan hareketle basit bir düzen oluşturulur. Buna göre üstte çekme donatısı yerleştirilerek kafes sistem oluşumu sağlanır (Şekil 2.2). Böylece, konsol yükü eğimli beton basınç çubuğu ve çekme kuvveti yatay donatı ile karşılanır. Bu tür donatı düzenine sahip kısa konsollar üzerinde yapılmış deneylerde, konsolun geometrik boyutlarına ve donatısına bağlı olarak, Şekil 2.3'de gösterilen değişik göçme durumları gözlenmiştir.



Şekil 2.2: Kısa Konsolda Kafes Kiriş Benzeşimi



Şekil 2.3: Kısa Konsolda Göçme Biçimleri

Göçme durumları irdelendiğinde aşağıdaki bulgular ortaya çıkmaktadır:

- i. Yatay çekme donatısının akması ve donatıda büyük uzamanın meydana gelmesi kolon yüzünde eğilme türünden çatlağın oluşup açılmasına neden olur. Bu sırada beton basınç çubuğunda da ezilmesiyle güç tükenmesi ortaya çıkar.
- ii. Gövdede meydana gelen çekme gerilmeleri, eğik çatlakların oluşmasına neden olur. Beton basınç çubuğunda ezilme sonucu güç tükenmesi oluşur.
- iii. Kolon yüzündeki kayma gerilmeleri eğik çatlakların oluşmasına neden olur. Bu çatlakların birleşmesiyle kısa konsol, kolon yüzünden ayrılır ve güç tükenmesi ortaya çıkar.
- iv. Dış yükün konsolun dış kenarına yakın uygulanması durumunda, konsolun dış ucunda meydana gelen kopma ile güç tükenmesi oluşur.
- v. Dış yükün altındaki plağın çok küçük olması alt kısımda betonun ezilmesine sebep olur. Yerel güç tükenmesi ile yük taşıma durumu sona erer.
- vi. Üst donatı ucunda yeterli kenetlenme boyunun bulunmaması, çekme kuvvetinin oluşmamasına ve konsolun üst kısmının ayrılmasına neden olur. Bu nedenle güç tükenmesi gerçekleşir.

2.2.2 Kısa Konsolların Boyutlandırılması ve Donatılması

Kısa konsollarda asal gerilmelerin yönü konsol eksenine doğrultusuna yakın olduğundan, bu tür elemanlarda en etkili donatı, kiriş eksenine paralel çeşitli seviyelerde düzenlenecek çubuklardan oluşur. Bu donatıyı, yükün uygulandığı bölgede gerekli kenetlenme boyu problemini ortadan kaldırabilmek için, firkete biçiminde düzenlemek uygundur. Yükün konsola saplanan bir kirişe aktarıldığı durumlarda, konsol alt yüzüne etkiyen bu yükün yukarı taşınması gerekmektedir. Bunu sağlamak için askı donatısının kullanılması yerinde olur (**Kartal, 2005**).

Kısa konsollarla birleşen kirişlerde meydana gelen sünme, büzülme ve sıcaklık değişimi nedeniyle yatay kuvvetler meydana gelebilir. Bu kuvvetlerin de boyutlandırmada göz önüne alınması önemlidir. Bu amaçla yatay konsol donatısını oluşan bu kuvvetleri taşıyacak şekilde arttırmak ve donatının, mesnet teşkil eden, kolon içine kenetlenmesini sağlamak yeterli olabilir.

Donatıların konsol ucunda ve kolon içinde kenetlenmesinin sağlanması önemlidir. Donatı çapı küçükse, yatayda firkete yapılabilir. Donatı çapı büyükse, mekanik kenetlenme kullanılabilir (Celep ve Kumbasar, 2005).

2.2.3 Konsollu Yapılar

İmar planlamalarında plandaki yapı alanları, yapı toplam alanları, kat yükseklikleri ve kat adetleri çeşitli parametrelere bağlı olarak belirlenmektedir. Bu parametrelerin en önemlileri, parsel alanı, bölgenin depremselliği ve zemin koşullarıdır. İmar kanunun izin verdiği yapı kullanım alanının tamamını değerlendirebilmek amacı ile, yapılarda konsollu çıkmalar yapılmakta ve kat kullanım alanları bina oturum alanlarından daha büyük tutulmaktadır.

2.2.3.1 Konsollu Bina Tipi Yapı Uygulamaları

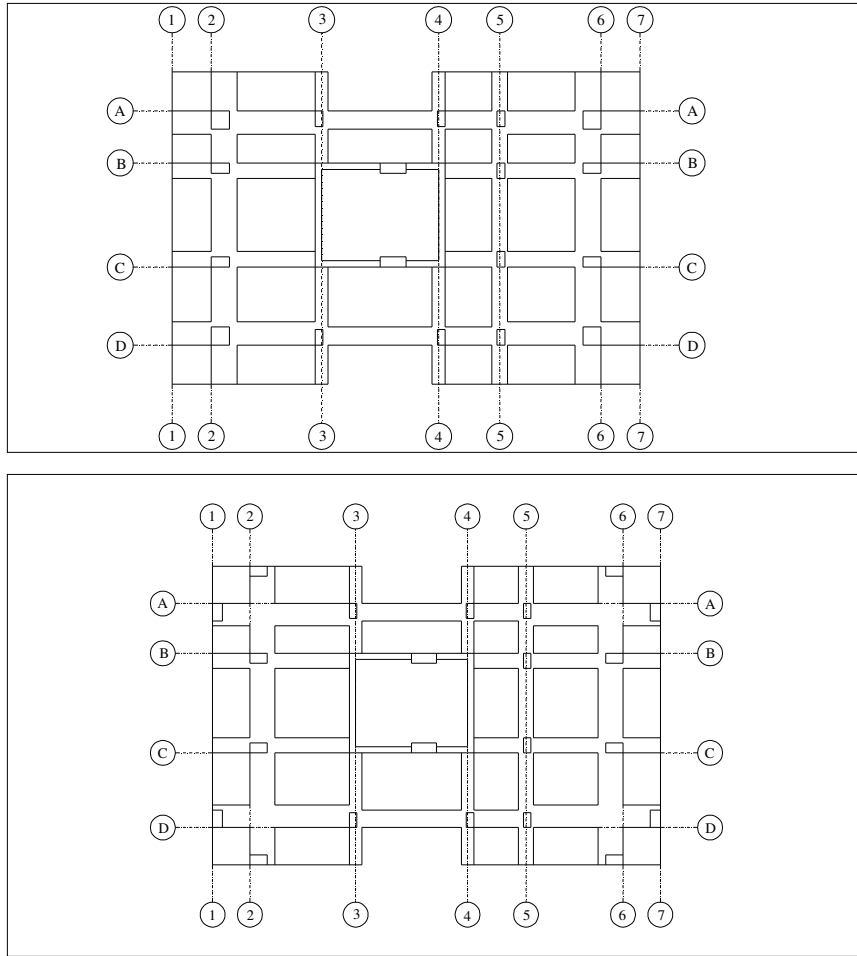
Genellikle uygulanan iki tür konsollu yapı tarzı vardır. Bunlardan birincisinde, çevre kirişler konsol kirişlerin ucuna bağlanmaktadır. Bu nedenle çevre kolonlar kirişler ile bağlanmamaktadır. Bu durum, deprem etkilerini karşılayacak ve yük aktarımını sağlayacak çerçevelerin oluşturulmaması demektir. İkinci tip konsollu yapı tarzında ise, yapı çevre kolonları bir üst katta dışa ötelenmekte ve ötelenen bu kolonlar bir alt kat kolonlarında oluşturulan guselere oturmaktadır. Bu durum, A.B.Y.Y.H.Y. (1998)'de ve D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de düşey doğrultuda B-3 türü (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizlik olarak tanımlanmış ve uygulanması yasaklanmıştır (Güler ve Altan, 2004).

Bu çalışmada incelenen yapı, yukarıda değinilen ikinci tip konsollu yapı uygulamasına bir örnek oluşturmakta olduğunda; bu tip düzensizliğe sahip bir bina, Şekil 2.4'deki fotoğraf ile, binanın planı ise Şekil 2.5 ile gösterilmiştir.

Örnek planlar ve fotoğraf incelendiğinde, kolonlarda guseler yapıldığı ve bir üst katlardaki çevre kolonlarının bu guseli kirişlerin üzerine oturdukları görülebilir. Bu uygulama taşıyıcı sistem elemanlarının kesitlerinde ve dolayısıyla elemanların ve katların rijitliklerinde ani değişimlere neden olmaktadır. Bu durum ek kesit tesirlerini oluşturmakta ve tasarım ötesi zorlara maruz kalan elemanların göçme tehlikesi oluşmaktadır. Örnek yapıda, dişli döşeme kullanılmış olduğundan mimari kaygılar ortadan kalkmış ve çevre kolonlarını birbirine bağlayan kirişlerin konsol uçlarına ötelenmesine gerek kalmamıştır.



Şekil 2.4: 2. Tür Konsollu Düşeyde Düzensiz Yapı Örneği



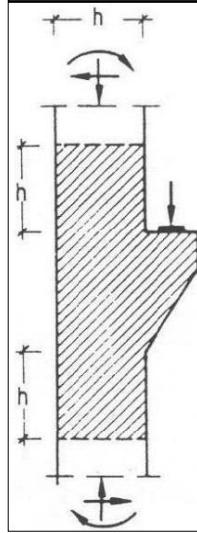
Şekil 2.5: 2. Tür Konsollu Örnek Yapının Zemin ve Normal Kat Kalıp Planları

2.3 Kısa Konsolların Çözümlemesinde Çubuk Model Yaklaşımı

2.3.1 Giriş

Betonarme yapı sistemlerini oluşturan elemanlar için “Çubuk Model Yöntemi” (Strut-and-Tie Model) 1900’lerin başında Ritter ve Mörch’ün kaymaya karşı boyutlandırmada kullandıkları kafes kiriş analojisi temel alınmak suretiyle geliştirilmiştir. Günümüzde kullanıldığı haliyle çubuk model yöntemi ise bundan oldukça uzun bir süre sonra 1985 yılında Marti’nin ve hemen sonrasında da 1987’de Schlaich, Shäfer ve Jennewein’in çalışmaları ile geliştirilmiş ve önerilmiştir.

Hem statik hem de geometrik süreksizliklerin bulunduğu bölgelerin hesabı ancak yaklaşık yöntemlerle yapılabilir. Şekil 2.6’da görülen kısa konsol bu tip süreksizliklere iyi bir örnektir.



Şekil 2.6: Kısa Konsol Örneği

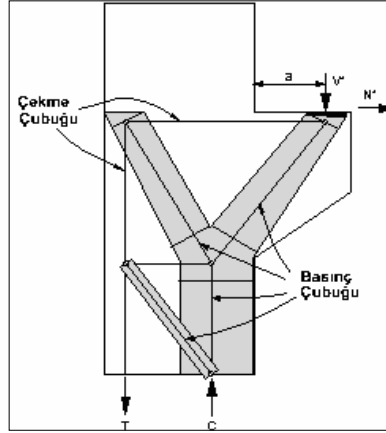
Betonarme bir taşıyıcıda betonda çatlama olduktan sonra kuvvet akışı:

- Beton basınç çubukları veya beton basınç gerilme alanları
- Betonarme veya öngerilmeli beton çekme çubukları

ile oluşturulan bir çubuk sistem veya model yardımıyla idealize edilebilir, (Şekil 2.7). Çubuk modelde beton basınç çubukları ile donatı çekme çubuklarının birleştiği noktalar düğüm noktaları olarak isimlendirilir.

Çubuk model ile hesapta betonarme bir taşıyıcı sistemi hesaplamak, donatmak ve konstrüktif olarak teşkil etmek demek taşıyıcı sistemi, eleman boyutları, donatı

düzeni, malzeme, yükleme ve mesnetlenme şekli göz önüne alınarak uygun bir çubuk sistemle idealize etmek; çubuk sistemin çubuk kuvvetleri ve düğüm noktalarındaki zorları bulmak ve bu sistemin tüm zorlara karşı güvenlik koşullarını sağladığını göstermek demektir.



Şekil 2.7: Çubuk Sistem Örneği

Kiriş ve çerçeve gibi elemanlarda bile geometrik, statik veya hem geometrik hem de statik süreksizliğin bulunduğu bölgelerde tüm kesitler Bernoulli-Navier Hipotezine uymamaktadır. Bu elemanlarda Bernoulli-Navier Hipotezine uyan bölgeler B bölgeleri (Beam/Bernoulli-Regions), diğer bölgeler ise D bölgeleri (Disturbed/Discontinuity-Regions) olarak isimlendirilir (Altan ve Taşkın, 2006).

Deneyler ve doğrusal olmayan Sonlu Eleman Metodu uygulamaları, donatılı betonun (betonarme veya öngerilmeli beton) yük taşıma özelliğinin basınç gerilme alanlarından oluştuğunu, bu gerilmeleri taşıyan basınç elemanlarının meydana geldiğini, basınç gerilme doğrultularının değiştiği yerlerde ve basınç elemanlarının uçlarında mesnet teşkil etmek üzere çekme elemanlarının gerektiğini göstermektedir. Çekme elemanları ise beton çekme mukavemetinin aşılmadığı yerlerde beton çekme gerilme alanlarından ve aşılacak yerlerde çekme donatılarından (betonarme veya öngerilmeli beton donatısı) oluşmaktadır. Buna göre B ve D bölgeleri olan veya yalnız D bölgesinden oluşan, betonarme veya öngerilmeli bir taşıyıcı sistemin emniyetli ve ekonomik hesabı, bu taşıyıcı sistemi iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler bakımından kullanma durumundan kırılma durumuna kadar olan safhalarda temsil edebilen bir çubuk sistem oluşturmakla mümkün olacaktır denebilir (Özden, 1992).

2.3.2 Model Çubuklarının ve Düğüm Noktalarının Boyutlandırılması

Model çubuklarının ve düğüm noktalarının boyutlandırmasının; modelin çubuk kuvvetlerini hesap etmek, basınç ve çekme çubuklarını kabul edilebilir çatlak genişliklerini de göz önüne alarak boyutlandırmak ve düğüm bölgelerinde çubuklar arasında kuvvet aktarımını sağlamak şeklinde olması gerekir.

Türkiye’de yürürlükte bulunan şartnamelerde çubuk modellerle hesapta göz önüne alınacak donatı ve beton basınç gerilmeleri hakkında bir bilgi mevcut olmadığından; boyutlandırma yapılırken, şartnamelere bu konu hakkında bilgiler ilave edilene kadar, ACI-318/02’de önerilen gerilme sınırlarının kullanılması uygun olacaktır, (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: ACI 318R-02’de Gerilme Sınırları

© BETON GERİLME LİMİTLERİ, f_{cu}	
Beton Basınç Çubukları:	$f_{cu} = 0.85 \cdot \beta_s \cdot f'_c$
	$\beta_s = 1.00$ Beton basınç bölgesindeki prizmatik basınç alanlarında $\beta_s = 0.40$ Beton çekme çubuklarında $\beta_s = 0.75$ Donatı ile çatlak kontrolü yapılan şişe formundaki basınç çubuklarında $\beta_s = 0.60$ Donatı ile çatlak kontrolü yapılan şişe formundaki basınç çubuklarında $\beta_s = 0.60$ Diğer durumlarda f'_c Karakteristik beton basınç dayanımı
NOT $\nrightarrow$	$\sum \rho_{vi} \cdot \sin \gamma_i \geq 0.003$ ise donatı ile çatlak kontrolü yapılıyor kabul edilecektir. Burada ρ_{vi} , i . katta beton basınç çubuğunu kesen donatı oranı; γ_i beton basınç çubuğu ile donatı arasındaki açıdır.
Düğüm Noktaları	$f_{cu} = 0.85 \cdot \beta_n \cdot f'_c$
	$\beta_n = 1.00$ eğer düğüm noktasında basınç çubukları birleşiyorsa - yük/mesnet bölgeleri $\beta_n = 0.80$ eğer düğüm noktasında bir (1adet) çekme çubuğu varsa $\beta_n = 0.60$ eğer düğüm noktasında birden fazla çekme çubuğu varsa
© GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ, ϕ	
	$\phi = 0.75$ beton basınç çubukları, çekme çubukları ve düğüm noktalarında

Çekme çubukları düğüm noktaları arasında uzanan tek boyutlu doğrusal elemanlardır. Beton basınç çubukları ise düğüm noktaları arasında iki veya üç boyutlu gerilme alanlarından oluşurlar. Basınç gerilme alanları prizmatik, şişe veya yelpaze şekilleri olmak kaydıyla, başlıca üç farklı form gösterirler. Düğüm noktaları, çubukların birleştiği noktalar. Düğüm noktalarında birleştiği kabul edilen basınç alanları ve varsa çekme donatılarının etkili alanlarının toplamı yardımıyla, düğüm bölgeleri belirlenir. Bu bölgenin doğru parçaları ile sınırlandırıldığı kabul edilir. Düğüm

bölgesi çevresinde ortalama beton basınç gerilmeleri, ilgili basınç kuvveti ile dik kesit üzerinde hesaplanmalıdır (**Altan ve Taşkın, 2006**).

2.4 Kısa Konsollar İle İlgili Yönetmelik Hükümleri

Ülkemizde ve dünyada, inşaatlarda kullanımına sıklıkla rastlanan, kısa konsolların düzenlenmesi, detaylandırılması ve kullanım sınırları ile ilgili bilgilere bir çok yönetmelikten ulaşmak mümkündür. Aşağıda, bu yönetmeliklerden bazılarının kısa konsollar ile ilgili hükümleri işlenmiştir.

2.4.1 A.B.Y.Y.H.Y. (1998) ve D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de Kısa Konsollar

Gerek A.B.Y.Y.H.Y. (1998)'de gerekse bu yönetmeliğin yenilenmiş hali olan D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de kısa konsollar ile ilgili hükümler aynı kalmıştır.

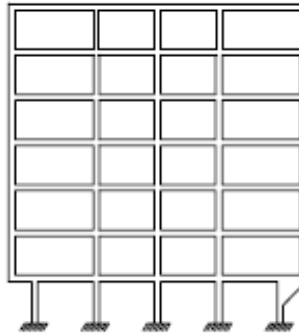
Her iki yönetmelikte de, düzensiz binalar ile ilgili hükümlerin anlatıldığı konularda, B3 türü (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizlik;

- Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlere veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu.

olarak açıklanmıştır.

Bu tip düzensizliğin bir parçasını oluşturan kısa konsollar ile ilgili hüküm ise şu şekilde yer almıştır;

- Kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilemez, (Şekil 2.8).

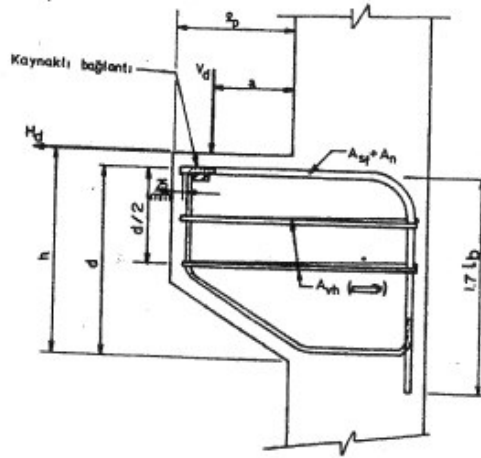


Şekil 2.8: A.B.Y.Y.H.Y. (1998) ve D.B.Y.Y.H.Y. (2007)'de Kısa Konsollar

Her iki yönetmelik de bu türde yapıları yasaklamış olmakla birlikte, daha önceki tarihlerde inşa edilmiş olan bu tip yapıların ne şekilde ve hangi sınırlar dahilinde kontrol edilerek düzenleneceği gibi hususlar herhangi bir deprem yönetmeliğinde belirtilmemiştir.

2.4.2 TS 9967’de Kısa Konsollar

TS 9967 (Yapı Elemanları Taşıyıcı Sistemler ve Binaların-Prefabrike, Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları İle İmalat ve Montaj Kuralları) kısa konsolların boyutlandırılarak donatılması için esaslar getirmiş olan tek yönetmeliğimizdir ve burada kısa konsollar betonarme, çelik profilli ve gövde kısa konsolları olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Bu tez çalışmasının konusuna dahil olan betonarme kısa konsollar, TS 9967’de aşağıdaki gibi boyutlandırılmaktadır, (Şekil 2.9).



Şekil 2.9: Betonarme Kısa Konsol Donatıları

Kısa konsollarda kesitin taşıma gücü aşağıdaki şartları sağlamalıdır;

$$V_{res} = 0.15 f_{ck} . b . h \quad V_d \leq V_{res}$$

$$\text{Buna göre, } A_s = A_{sf} + A_n = \frac{V_d a}{0.7 f_{yk} d} + \frac{H_d}{0.7 f_{yk}} \quad \text{veya} \quad A_s = \frac{V_d}{f_{yk} \cdot \mu_e} + \frac{H_d}{0.7 f_{yk}} \text{ 'den büyük}$$

değeri vereni seçilmelidir. μ_e hesaplanırken $A_{cr} = b . h$ alınmalıdır. b guse genişliği,

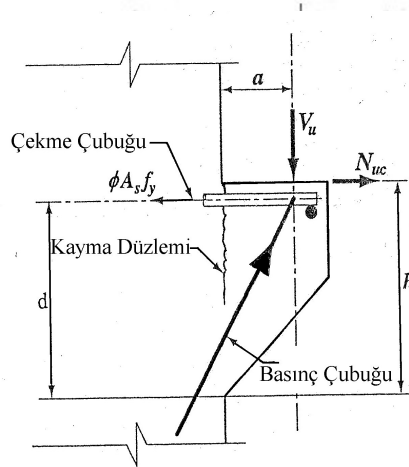
$$h \text{ guse yüksekliği' dir. } A_{vh} = \frac{A_s}{2}, \frac{f_{yk}}{f_{ywk}} \text{ olmalıdır.}$$

Bunun dışında; $F_s > 0.5V_d$ ve $A_s = \frac{F_s}{f_{yk}}$ şartı sağlanmalıdır. Burada V_d konsola gelen hesap yükü, F_s eğilme donatısının aldığı çekme kuvveti'dir.

2.4.3 ACI 318-02'de Kısa Konsollar

Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Institute, ACI)'nin betonarme yapısal elemanların yapımı ile ilgili yönetmeliği olan ACI-318'de, kısa konsolların modellenmesi ve yapımı ile ilgili hükümler aşağıdaki açıklanmıştır.

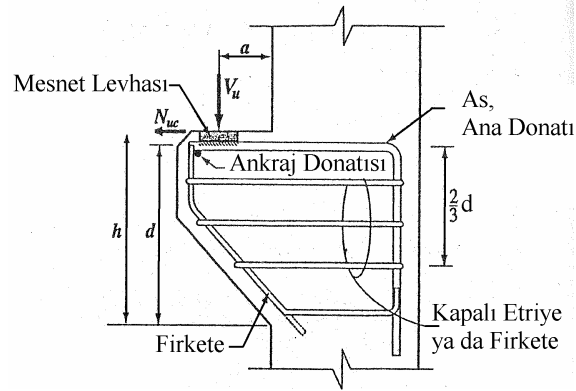
Konsol genişliğinin derinliğine oranı (a/d)'nin 2'den az olduğu kısa konsollu birleşimler için modelleme ve boyutlandırma aşamasında, daha önceki bölümde açıklanan, çubuk model kavramı gözönüne alınmalıdır. Aşağıdaki modelleme yöntemlerinin uygulanabilmesi için; a/d oranı 1'den ve yatay kuvvet N_{uc} 'nin da V_u 'dan büyük olmaması gerekmektedir. Konsolun dış yüzündeki derinlik de $0.5d$ 'den az olmamalıdır, (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Kısa Konsol'da Kuvvetler ve Kesit Boyutları

Mesnet levhası için tasarım yapılırken; kesme kuvveti V_u , moment $[V_u \cdot a + N_{uc} \cdot (h-d)]$ ve gerilme kuvveti N_{uc} aynı anda hesaba katılmalıdır. Tasarımda kuvvet azaltma faktörü $\phi=0.75$ alınmalıdır. Kesme kuvvetini karşılayacak olan A_{vf} donatı alanı ve momenti karşılayacak olan donatı alanı A_f hesaplanırken, yönetmeliğin ilgili maddeleri gözönüne alınmalıdır. En yüksek kesme dayanımı V_n , kullanılan betonun cinsine göre, yönetmelik hükümlerince hesaplanmalıdır. Yatay kuvveti karşılayacak donatı alanı A_n , $N_{uc} \leq \phi A_n f_y$ formülüne göre hesap edilmelidir. N_{uc} ; $0.2V_u$ 'dan

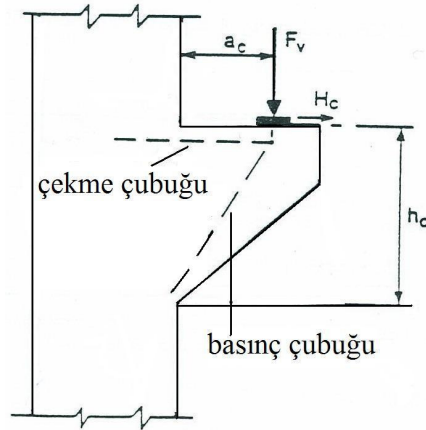
küçük seçilmemeli ve gerilme kuvveti, ısı değişimi, rötre veya sünme nedenlerinden dolayı da oluşsa, hareketli yük olarak alınmalıdır. Kısa konsolda esas (ana) donatı alanı $A_s \geq (A_f + A_n), (2A_{vf}/3 + A_n)$ olmalıdır. Kapalı etriyelerin donatı alanı A_h , $0.5(A_s - A_n)$ 'den küçük olmamalıdır ve etkili derinliğin $2/3$ 'ü boyunca eşit şekilde dağıtılmalıdır, (Şekil 2.11). Ana donatıların (A_s) ankraj ve kenetlenme boyları ile ilgili düzenlemeler yönetmelik hükümlerine uygun olarak yapılmalıdır.



Şekil 2.11: Kısa Konsol'un Yapısı

2.4.4 Eurocode 2'de Kısa Konsollar

Eurocode 2 hükümlerine göre kısa konsol, (Şekil 2.12);



Şekil 2.12: Eurocode 2'de Kısa Konsol

- $0.4 h_c \leq a_c \leq h_c$ olan kısa konsollar, basit çubuk model yaklaşımıyla tasarlanabilirler.
- $a_c < 0.4 h_c$ olan kısa konsollar ise, daha kapsamlı çubuk model yaklaşımları ile çözümlenebilirler.

- $a_c > h_c$ durumunda sistem konsol kiriş olarak kabul edilmeli ve çözüm ona göre yapılmalıdır.
- Kısa konsol üzerindeki düşey yük F_v ve yatay kuvvet H_c olmak üzere, limit yatay kuvvet için özel bir tanım olmadıkça veya bir sınırlama getirilmiyorsa, $H_c \geq |0.2 F_v|$ formülü ile hesap yapılmalıdır.
- Kısa konsol yüksekliği (h_c), yönetmeliğin kesme kuvveti ile ilgili hükümlerince hesaplanmalıdır.
- Çözümde kullanılan çubuk model analizi sonucunda elde edilen, çekme ve basınç çubuklarına ait, kuvvetler ve gerilmeler gözönüne alınarak tasarıma esas iç kuvvetler olarak kullanılacaktır.
- Kullanılacak donatıların yerleştirilmesi, yönetmeliğin ilgili hükümlerine uygun gerçekleştirilmelidir.

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM KAVRAMI

3.1 Giriş

Deprem mühendisliğinde performans dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin belirlenmesi için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür. Performansa dayalı tasarımda, belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans (hasar) seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Son yıllara kadar deprem yönetmeliklerinde kendine daha çok yer bulmuş olan klasik tasarımın da performans dayalı tasarım kavramına dayalı olduğu söylenebilir. Klasik tasarımda, taşıyıcı sistem boyutlandırmasında iki performans seviyesi esas alınmaktadır. Birinci seviyede, kullanma durumundaki yükler altında taşıyıcı sistemdeki hasarın kullanıcıları rahatsız etmeyecek seviyede kalması ve aşırı yerdeğiştirmelerin meydana gelmemesi istenirken; ikinci seviyede, taşıyıcı sistemin beklenen yüklerin arttırılmış değerleri altında güç tükenmesine gelmeden kabul edilebilir bir güvenliği sağlaması beklenmektedir.

Bu noktada performans dayalı tasarım kavramı ortaya çıkmaktadır. Bu tasarım kavramında, klasik tasarımda olmayan, ek performans seviyeleri öngörülmekte ve bunların sağlanması için tasarım yöntemleri veya sınır durumları tanımlanmaktadır. Performansa dayalı tasarım, klasik tasarım kavramından daha gerçekçi ve gelişmiş bir yöntem olarak düşünülebilir.

Bir yapı için performans hedefi seçildikten sonra çözümlemelerde kullanılacak sismik talep, yapının yapısal ve yapısal olmayan sisteminin değerlendirilmesi ve tasarım için kullanılacak performans seviyelerinin sınır değerlerini ifade eden kabul kriterleriyle tanımlanabilir. Performans seviyesine göre yapılan hesaplama yönteminde geçerli bir sonuç elde edebilmek için yapısal özelliklerin ve zemin davranışının iyi tanımlanmış olması gerekmektedir. Özellikle mevcut bir bina için güçlendirme amaçlı hesap yapılıyorsa bu özelliklerin ve değerlerin gerçekçi bir şekilde belirlenmiş olmasıyla ekonomik bir çözümleme yapılabilir.

3.2 Performans Seviyeleri

Bir binanın performansı, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarının performanslarından oluşmaktadır, (Tablo 3.1). Binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında oluşması muhtemel hasarların limit durumları Tablo 3.2’de açıklanmıştır. Bu sınırlar olası hasar düzeylerini ifade ettiklerinden; aynı performans seviyesini hedef almış binalarda bile farklı hasarların oluşabileceği göz ardı edilmemelidir.

Hedef performans seviyeleri; verilen bir depremin etkisi altında, bir binanın uğrayabileceği hasarlar spektrumu arasından seçilen hasar durumlarını ifade etmektedir.

Tablo 3.1: Bina Performans Seviyeleri ve Performans Aralıkları

Bina Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Kontrollü Hasar Aralığı	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	S-5 Göçmenin Önlenmesi	S-6 Performansın Gözönüne Alınmadığı
N-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A	NR	NR	NR	NR
N-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	NR	NR	NR
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış Hasar	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Performansın Göz Önüne Alınmadığı	NR	NR	3-E	4-E	5-E Göçmenin Önlenmesi	Uygulanamaz

Tablodaki NR; tavsiye edilmeyen bir duruma karşılık gelmektedir.

Bina Performans Seviyeleri diye adlandırılan hasar durumları; depremler sonrasında hasar görmüş binaların incelenmesi ile elde edilmişlerdir. Bu performans seviyeleri, binadaki taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanlardaki hasarın miktarına ve bu

hasarların can güvenliği bakımından bir tehlike oluşturup oluşturmadığına, deprem sonrasında binanın kullanılıp kullanılamayacağına ve hasarın neden olduğu ekonomik kayıplar gibi sonuçlara dayanılarak oluşturulmuşlardır.

Tablo 3.2: Hasar Kontrolü ve Bina Performans Seviyeleri

	Bina Performans Seviyeleri			
	Göçmenin Önlenmesi (5-E)	Can Güvenliği (3-C)	Hemen Kullanım (1-B)	Kullanıma Devam (1-A)
Toplam Hasar	Çok	Orta	Az	Çok Az
Genel Durum	Rijitlik ve dayanım oldukça azalmıştır ancak bina düşey yük taşımaya devam edebilmektedir. Kalıcı şekil değiştirmeler oluşmuştur ve yapı toptan göçmeye maruz kalmak üzeredir.	Az da olsa rijitlik ve dayanım kalmıştır. Düşey yükler taşına bilmektedir. Kalıcı şekil değiştirmeler gözlenebilir. Binaya ekonomik bir onarım uygulamak imkansızdır.	Kalıcı şekil değiştirme oluşmamıştır. Deprem öncesi dayanım ve rijitlik hemen hemen korunmuştur. Ufak çatlaklar ve kırıklar dışında pek hasar yoktur. Asansörler ve yangın tertibatı kullanılabilir durumdadır.	Kalıcı şekil değiştirme oluşmamıştır. Deprem öncesi dayanım ve rijitlik hemen hemen korunmuştur. Ufak çatlaklar ve kırıklar dışında pek hasar yoktur. Tüm sistemler ve teçhizat çalışmaktadır.
Yapısal Olmayan Elemanlar	Aşırı hasar almışlardır.	Mekanik ve elektrik sistemleri ve mimari hasar almıştır.	Daha az hasar daha az tehlike.	Çok daha az hasar ve daha az tehlike.

3.2.1 Yapısal Performans Seviyeleri ve Aralıkları

Hem yeni yapılacak hem de güçlendirilmesi düşünülen binalar için çok çeşitli yapısal performans talepleri ortaya çıkabilir. Aşağıda açıklanan dört adet Yapısal Performans Seviyesi ve iki adet Yapısal Performans Aralığı bu muhtemel taleplerin çoğunu karşılayabilecektir.

- S-1 Hemen Kullanım Performans Seviyesi (Immediate Occupancy): Çok az yapısal hasar oluşmuştur. En temel düşey ve yatay taşıyıcı sistem elemanları deprem öncesi tasarım dayanımını ve rijitliğini korumaktadır. Yapısal hasardan dolayı oluşabilecek ve can güvenliği tehlikesi doğurabilecek

yaralanmalar yok denecek kadar azdır. Küçük çaplı yapısal onarımlar gerekse de bunlar yapının hemen kullanımına engel oluşturmamaktadır.

- S-2 Hasar Kontrollü Performans Aralığı (*Damage Control*): Deprem sonrası gerekli onarımın süresini ve miktarını azaltmak, kıymetli ekipman ve içeriği korumak, tarihi ve mimari açıdan değerli yapıların korunması ve hemen kullanım performans seviyesine uygun tasarım yapmanın büyük maddi külfet oluşturduğu durumlar için tercih edilmektedir. S-1 ve S-3 seviyeleri arasında kalmakta, can güvenliğinin korunmasının yanı sıra hasarın da belirli ölçüde sınırlandırılmasına karşılık gelmektedir.
- S-3 Can Güvenliği Performans Seviyesi (*Life Safety*): Belirgin yapısal hasar olmasına karşın kısmi veya toptan göçme durumu oluşmamaktadır. Bazı yapısal elemanlar çok fazla hasar gördüğü halde bu durum ne bina içinde, ne de bina dışında yıkıntılardan veya döküntülerden dolayı tehlike yaratmayacak boyuttadır. Deprem sırasında yaralanmalar oluşabilecek ancak yapısal hasar nedeni ile oluşabilecek ve can güvenliği tehlikesi doğuracak yaralanmalar az olacaktır. Yapıyı onarmak mümkün olsa da, bu tercih pek ekonomik olmayacaktır. Ani göçme riski bulunmuyorsa; kullanımdan önce yapısal onarıma gidilmeli veya geçici destekler yerleştirilmelidir.
- S-4 Sınırlı Güvenlik Performans Aralığı (*Limited Safety*): Bu aralık net ve açık bir seviye olmayıp, Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3) ile Yapısal Stabilitate Performans Seviyesi (S-5) seviyeleri arasında kalan hasar durumunu ifade etmektedir.
- S-5 Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (*Collapse Prevention*): Yapıda ciddi düzeyde hasar meydana gelmiş, yapının taşıyıcı sistemi güç tükenmesi sınırına ulaşmıştır. Kısmi ve toptan göçme oluşmasına çok az kalmıştır. Yanal rijitlik ve dayanım önemli oranda azalmış, yatay kuvveti karşılayan sistemler önemli hasarlar almış ve yatay yönde kalıcı şekil ve yerdeğiştirmeler oluşmuştur. Tüm bunlara karşılık sistem düşey yük taşıyabilmeye devam etmektedir. Döküntüler ve yıkıntılar nedeniyle ciddi yaralanmaların oluşması kaçınılmazdır. Artçı depremler nedeni ile göçme tehlikesi bulunan yapının kullanılması uygun olmadığı gibi güçlendirilmesi de hem tekniksel hem de ekonomik açıdan uygun değildir.

- S-6 Yapısal Performansın Gözönüne Alınmadığı Performans Seviyesi (*Not Considered*): Yapının taşıyıcı sistemi yerine yapısal olmayan elemanların (asma tavan, korkuluklar, tehlikeli maddelerin depolandığı kutular v.b.) güçlendirilmesinin tercih edildiği bir seviyedir. Bazı durumlarda depremin oluşturabileceği tehlikelerin önemli ölçüde ve ucuza önlenmesini sağlaması nedeni ile tercih edilir.

3.2.2 Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri

Yapının; dış kaplama, asma tavan, mekanik ve elektrik aksam, tesisat, yangın uyarı, iklimlendirme ve aydınlatma sistemleri gibi yapısal olmayan mimari içerikli kısımlarını kapsar. Binanın dayanımına etkisi olmamakla beraber; olası yaralanma, devrilme ve kırılmalardan dolayı oluşabilecek maddi kaybın belirlenebilmesi ve güçlendirme aşamasındaki kriterleri belirlemek için kullanılır.

- (N-A) Kullanıma Devam Performans Seviyesi (*Operational*): Binanın normal kullanılması için gerekli olan tüm sistemler ve teçhizat küçük çaplı onarıma ihtiyaç duymalarına rağmen fonksiyonel durumdadır.
- (N-B) Hemen Kullanım Performans Seviyesi (*Immediate Occupancy*): Yapısal olmayan elemanlarda deprem sonrası küçük çaplı hasarlar meydana gelebilir. Bina yapısal olarak sağlamdır ve tüm teçhizat ve sistemleri güvenle koruyabilecek durumdadır; ancak su, doğalgaz, elektrik ve iletişim hatlarının normal kullanımı için ön inceleme ve onarım gerekmektedir. Can güvenliği tehlikesi oluşturabilecek yaralanmaların oranı çok düşüktür.
- (N-C) Can Güvenliği Performans Seviyesi (*Life Safety*): Deprem sonrasında yapısal olmayan elemanlarda belirgin ve onarımı maliyetli hasarlar meydana gelir. Bu hasarlar yerinden çıkmaya, dökülmeye veya yıkılmaya yol açmadığından bina içerisinde ya da dışarısında can güvenliği tehlikesi oluşturmazlar. Yapısal olmayan elemanların devrilmesi kırılması veya dökülmesi yaralanmalara yol açabilir. Bina içerisindeki çıkış yolları tam olarak engellenmiş olmamakla birlikte döküntüler nedeni ile kısmi kapanmalar oluşmuş olabilir. Su tesisatı ve yangın söndürme sistemi hasar görebilir ve bu durum su baskınına yol açabilir. Yapısal olmayan elemanların onarımı veya değişimi çok masraflı olabilir.

- (N-D) Azaltılmış Tehlike Performans Seviyesi (*Hazards Reduced*): Yapısal olmayan elemanlar büyük ölçüde hasar görmüştür. Çok sayıda insan için can güvenliği tehlikesi oluşturabilecek, büyük ve ağır, yapısal olmayan elemanların (asma tavan, korkuluklar, depolama rafları ve dış cephe giydirmeleri gibi) düşmeleri engellenmiştir. Ancak dökülmeler sebebi ile ciddi yaralanmaların oluşması muhtemeldir. Hafif, küçük ve yere yakın yapısal olmayan elemanlar ile daha ağır ve büyük ama önemli bir tehlike oluşturmayan yapısal olmayan elemanlar kırılıp düşebilir. Bu performans seviyesi, yapısal hasarlarda önemli hasarların olduğu ancak tüm yapısal olmayan elemanların onarıma ihtiyaç duymadığı bir performans seviyesidir.
- (N-E) Yapısal Olmayan Performansın Göz Önüne Alınmadığı Performans Seviyesi (*Not Considered*): Net bir seviye değildir. Yapının genel durumunun gözönünde bulundurularak çeşitli güçlendirme ve onarım çalışmaları yapılabilmesi için tasarım olanağı sunar.

3.2.3 Bina Performans Seviyeleri

Bina performans seviyeleri, taşıyıcı sistem durumunu gösteren “Yapısal Performans Seviyeleri” ile taşıyıcı olmayan elemanların durumunu gösteren “Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri” tanımlarının birleştirilmesi sonucunda oluşur. Yaygın olarak kullanılan; 1-A, 1-B, 3-C ve 5-E performans seviyeleri aşağıda açıklanmıştır.

- 1-A Kullanıma Devam Performans Seviyesi (*Operational*): Yapısal hemen kullanım (S-1) ve yapısal olmayan kullanıma devam (N-A) performans seviyelerinin birlikte karşılandığı durumdur. Bu performans seviyesinde, binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında hasar ya hiç yoktur ya da çok azdır. Önemsiz bazı sistemlerin bozulması dışında binanın hemen kullanımına mani olabilecek bir durum söz konusu değildir. Can güvenliği tehlikesi çok düşüktür. Bir çok bina düşük şiddetteki depremler sonrasında bu seviyeyi sağlamalıdır ancak çok önemli yapılar haricindeki binaların bu performansı şiddetli depremler sonrasında göstermesi için tasarlanmaları ekonomik olmayacaktır.
- 1-B Hemen Kullanım Performans Seviyesi (*Immediate Occupancy*): Yapısal hemen kullanım (S-1) ve yapısal olmayan hemen kullanım (N-B) performans seviyelerinin birlikte karşılandığı durumdur. Bu performans seviyesinde,

binanın yapısal elemanlarında hasar ya hiç yoktur ya da çok azdır; yapısal olmayan elemanlarda ise küçük hasarlar gözlenebilir. Bazı yapısal olmayan elemanların çalışmamasına karşın, büyük bir deprem sonrasında, binayı güvenli bir şekilde tekrar kullanmak mümkündür. Bina normal şekilde kullanılabilmesi için bazı onarımların yapılması şarttır. Can güvenliği tehlikesi çok düşüktür. Pek çok bina için, kuvvetli bir deprem sonrasında bu performansı sergilemek üzere tasarlanabilir. Bu performans seviyesi, hem kullanıma devam performans seviyesinin gereksinimlerini büyük ölçüde karşılamakta hem de bazı yapısal olmayan sistemlerin hasar görmesini göze alarak daha ekonomik bir tasarım imkanı sunmaktadır.

- 3-C Can Güvenliği Performans Seviyesi (Life Safety): Yapısal can güvenliği (S-3) ve yapısal olmayan can güvenliği (N-C) performans seviyelerinin birlikte karşılandığı durumdur. Bu performans seviyesinde, binaların yapısal ve yapısal olmayan elemanlarında büyük hasarlar meydana gelir. Yeniden kullanıma başlamadan önce, ekonomiklikten uzaklaşabilen onarımların yapılması gerekir. Can güvenliği tehlikesi düşüktür. Günümüz şartlarında tasarlanan pek çok bina dizayn depremine maruz kaldığında bu performans seviyesinin üstüne çıkabilmektedir. Bu seviye ise çok şiddetli depremler sonrasında ulaşılmak istenen performans seviyesidir.
- 5-E Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (Collapse Prevention): Yapısal göçmenin önlenmesi (S-5) ve yapısal olmayan performansın gözönüne alınmadığı (N-E) performans seviyelerinin birlikte karşılandığı durumdur. Yapısal olmayan elemanlarda meydana gelen hasarlar ve bu elemanların düşmesi sonucu ortaya çıkabilecek can güvenliği tehlikesi çok büyüktür. Bina toptan göçmediği için çok sayıda can kaybının olması önlenmektedir. Bu seviyeyi karşılayan binalar deprem sonrasında ekonomik olarak kaybedilmiş olacaklardır. Düşük bir maliyet karşılığında can güvenliği sağlayabildiği için, yerel yönetimler tarafından, sismik güvenlik açısından temel seviye olarak kabul edilebilir (**FEMA 356, 2000**).

3.3 Deprem Etki Seviyeleri

Performansa dayalı tasarımda, seçilen belirli bir bina performans seviyesinin hangi deprem etkisi altında elde edileceğinin öngörüldüğünün belirlenmesi gerekir. Deprem etkisi düzeyinin belirlenmesi spektrum eğrisinin tanımlanması ile yapılır. Genelde belirli büyüklükteki bir depremin 50 yıl ekonomik ömre sahip yapılar için belirli bir aşılma olasılığına karşı gelen dönüş periyodu gözönüne alınarak hareket edilir. Bu iki tanım arasındaki ilişki Tablo 3.3’de verilmiştir. Çeşitli deprem büyüklükleri seçilebilirse de, yaygın olarak aşağıdaki üç deprem etkisi göz önüne alınır.

- Servis Depremi (SE): 50 yıllık zaman diliminde oluşma olasılığı %50 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 72 yıl olan bu depremin binanın ömründe en az bir kere ortaya çıkması olasıdır. Deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık olarak yarısı kadar kabul edilir.
- Tasarım Depremi (DE): 50 yıllık zaman diliminde meydana gelme olasılığı %10 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 475 yıl olan bu depremin binanın ömrü boyunca ortaya çıkma ihtimali çok düşüktür.
- Maksimum Deprem (ME): 50 yıllık zaman diliminde meydana gelme olasılığı %2 olan yer hareketidir. Ortalama dönüş periyodu 2475 yıl olan bu deprem, bölgenin jeolojik bilgileri göz önüne alındığında, oluşabilecek en büyük deprem olarak kabul edilir. Maksimum depremin etkileri, tasarım depreminin 1.25~1.50 katı büyüklüğündedir (**Celep ve Kumbasar, 2004**).

Tablo 3.3: Deprem Parametreleri

Aşılma Olasılığı	Yapı Ekonomik Ömrü	Ortalama Dönüş Periyodu
50%	50 Yıl	72 Yıl
20%	50 Yıl	225 Yıl
10%	50 Yıl	475 Yıl
2%	50 Yıl	2475 Yıl

Dönüş periyodu, $P_R = \frac{-Y}{\ln(1 - P_{EY})}$ formülü ile hesaplanabilir. Bu formülde;

P_R , ortalama dönüş periyodunu, Y , yapı ekonomik ömrünü, P_{EY} ise aşılma olasılığını göstermektedir.

3.4 Performans Kavramı

3.4.1 Performans Hedefleri ve Sınıflandırma

Bir binanın sismik performans hedefi belirlenirken, binanın deprem öncesi durumuna getirilebilme olanağı ve bunun maliyeti, onarım için gerekli olan süre ve binanın tarihi ve mimari önemi gibi bina karakteristikleri ön plana çıkmaktadır. Bina karakteristikleri gözönünde bulundurularak, seçilen bir veya birçok bina performans seviyesi ve olası deprem parametrelerinin eşleştirilmesi sonucu binanın performans hedefi Tablo 3.4’de gösterildiği gibi düzenlenebilir.

Tasarım sırasında temel alınan performans hedefi, güçlendirme veya onarım için yapılacak harcamayı ve gereken süreyi, yapısal ve yapısal olmayan güvenliğinin artış miktarını, olası hasarlardaki azalmayı ve binanın kullanımına engel olacak hasarların miktarını belirlemekte kullanılır. Tabloda gösterilen her bir seviye ayrı ayrı kullanılabileceği gibi birden fazla seviye seçilerek çoklu performans hedefi oluşturulabilir.

Tablo 3.4: Performans Hedeflerinin Sınıflandırılması

	Bina Performans Seviyesi			
Deprem Tehlikesi Seviyesi	Kullanıma Devam Performans Seviyesi (1-A)	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C)	Göçmenin Önlenmesi Performans Seviyesi (5-E)
%50 / 50 Yıl Servis Depremi (SE)	a	b	c	d
%20 / 50 Yıl	e	f	g	h
TGD-1 %10 / 50 Yıl Tasarım Depremi (DE)	i	j	k	l
TGD-2 %2 / 50 Yıl Maksimum Deprem (ME)	m	n	o	p

Tablodaki performans hedeflerinden; k ve p ’nin birlikte kullanılması Temel Güvenlik Hedefini k ve p ile birlikte a, e, i, b, f, j, n’den herhangi birinin kullanılması Geliştirilmiş Performans Hedefini, o, n ve m’den herhangi birinin kullanılması Geliştirilmiş Performans Hedeflerini, geri kalanlar ise Sınırlı Performans Hedeflerini göstermektedir.

Geliştirilmiş Performans Hedefi (Çoklu Performans Hedefi); Temel Güvenlik Hedefinin ötesinde bir Bina Performansının sağlanması için uygulanır. TGD-1 veya TGD-2 etkileri altında elde edilmiş Temel Güvenlik Hedefi'ne uygun Bina Performans Seviyelerinin ötesinde bir tasarım yaparak ya da TGD-1 veya TGD-2'nin ötesinde bir deprem riski gözönüne alınarak Bina Performans Seviyelerinden bir veya bir kaçının hedeflenmesi suretiyle tasarımın gerçekleştirilmesi ile elde edilir.

Sınırlı Performans Amacı, Temel Güvenlik Amacının altındaki bina performanslarını elde etmek amacı ile uygulanabilir. Bu performans seviyesine, Azaltılmış Performans Hedefi ya da Kısmi Performans Hedefi ile ulaşılmalıdır. Sınırlı performans elde edilmek istenirken;

- Güçlendirme için alınan önlemler, mevcut binanın performans seviyesini düşürmemelidir.
- Güçlendirme için alınan önlemler, yapısal bir düzensizlik oluşturmamalı veya mevcut bir yapısal düzensizliği daha ileri bir boyuta taşımamalıdır.
- Güçlendirme için alınan önlemler, deprem kuvvetlerini karşılayan sistemlere daha fazla sismik etki yaratmaktadır.
- Güçlendirilen veya yenisi ile değiştirilen tüm yapısal parçalar ve elemanlar mevcut yapıyla bir bütünlük oluşturmalıdır.

Azaltılmış Performans Hedefi; tüm binanın yapısal ve yapısal olmayan elemanlarının Temel Güvenlik Hedefinden daha düşük seviyeli bir sismik tehlike veya daha düşük seviyeli bir Bina Performans Hedefi ile güçlendirilmesi demektir.

Kısmi Performans Hedefi ise; binanın tümü yerine bir kısmının güçlendirilmesi amacı ile elde edilir. Kısmi performans daha sonra yapılabilecek daha iyi güçlendirmelere bir hazırlık olarak düşünülmelidir (**FEMA 356, 2000**).

3.4.2 Performans Hedeflerinin Karşılaştırılması

Binanın projelendirilmesi veya mevcut binanın güçlendirilmesi için kullanılacak performans düzeyi, özel mülkiyetler için bina sahibi, toplu yerleşim birimleri içinse yerel yönetimler tarafından belirlenmelidir.

Yapının başlangıç performans düzeyinin belirlenmesi için bina performans seviyesi, deprem etki seviyesi ve ekonomiklik gibi faktörler ortak bir çalışma ile incelenerek sismik değerlendirme ve güçlendirme projesi ile ilgili beklentileri sağlayacak şekilde bir seçim yapılmalıdır.

Başlangıç performans düzeyi daha sonra değişen veya dikkate alınması gereken bazı şartların belirttiği durumlarda bina sahibi ve ilgili mühendisin kararları doğrultusunda tekrar gözden geçirilebilir veya değiştirilebilir. Daha yüksek veya daha düşük bir performans hedefi belirlenebilir. Bu durumda, değerlendirme ve güçlendirme aşamalarında kullanılan son performans hedefinin temel özellikleri ve başlangıç performansının amacından farklılıkları ilgili değerlendirme raporları ve güçlendirme çizimlerinde açıklanmalıdır (Can, 2005).

3.5 D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de Performansa Dayalı Tasarım Kavramı

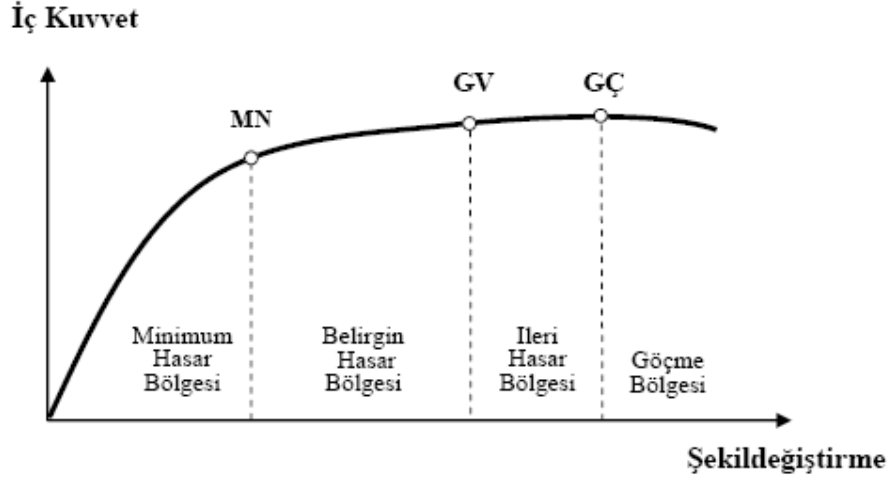
D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de, yapı elemanlarında hasar sınırları ve hasar bölgeleri ile ilgili hükümler aşağıdaki gibi işlenmiş; böylece binaların deprem performanslarının belirlenmesi sırasında kullanılacak sınırlar elde edilmiştir.

Yapı elemanları, sünek ve gevrek olarak iki sınıfa ayrılmışlardır. Sünekliği ve gevrekliği, elemanların sınır kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı belirlemektedir.

Sünek elemanlar için, D.B.Y.B.H.Y. (2007)'te, kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır.

- Minimum Hasar Sınırı (MN) : Kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını,
- Güvenlik Sınırı (GV) : Kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın başlangıcını,
- Göçme Sınırı (GÇ) : Kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır.

Kritik kesitleri, MN'ye ulaşmayan elemanlar Minimum Hasar Bölgesi'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesi'nde, GV ile GÇ arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesi'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise Göçme Bölgesi'nde kabul edilecektir, (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Yönetmelikte tanımlanan deprem hesabına ilişkin genel ilke ve kurallar kapsamında ve doğrusal veya doğrusal olmayan hesap yöntemleri ile hesaplanan iç kuvvetlerin ve şekil değiştirmelerin, yukarıda tanımlanan sınır değerler ile karşılaştırılmasıyla kesitlerin hangi hasar bölgelerinde olduğuna karar verilecektir. Eleman hasarının belirlenmesinde, elemanın en fazla hasarlı kesiti kullanılacaktır.

D.B.Y.B.H.Y. (2007)'de binaların deprem performansı aşağıda açıklanan esaslar doğrultusunda belirlenir.

- Hemen Kullanım Durumu: Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u belirgin hasar bölgesine geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesindedir. Binanın güçlendirilmesine gerek yoktur.
- Can Güvenliği Durumu: Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı ileri hasar bölgesine geçebilir. Ancak ileri hasar bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi veya belirgin hasar bölgesi'ndedir. Can Güvenliği durumunun kabul edilebilmesi için; herhangi bir katta alt ve üst kesitlerin ikisinde birden minimum hasar sınırı aşılmış kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta ileri hasar bölgesindeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin

toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın güçlendirilmesine; güvenlik sınırını aşan elemanların sayısına ve yapı içindeki dağılımına göre karar verilir.

- **Göçmenin Önlenmesi Durumu:** Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si ve kolonların bir kısmı göçme bölgesine geçebilir. Ancak göçme bölgesindeki kolonların, kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır ve bu elemanların durumu yapının kararlılığını bozmamalıdır. Diğer taşıyıcı elemanların tümü minimum hasar bölgesi, belirgin hasar bölgesi veya ileri hasar bölgesindedir. Göçmenin Önlenmesi durumunun kabul edilebilmesi için; herhangi bir katta alt ve üst kesitlerin ikisinde birden minimum hasar sınırını aşmış kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kat kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir. En üst katta göçme bölgesindeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır. Bina güçlendirilmelidir, ancak güçlendirmenin ekonomik verimliliği değerlendirilmelidir.
- **Göçme Durumu:** Bina Göçmenin Önlenmesi Durumu'nu sağlayamıyorsa, Göçme Durumu'ndadır. Güçlendirme uygulanmalıdır; ancak güçlendirme ekonomik olarak verimli olmayabilir. Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.
- **Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması:** Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki görelî kat ötelemesi her performans düzeyi için Tablo 3.5'i sağlayacaktır.

Tablo 3.5: Görelî Kat Ötelenmesi Sınırları

Görelî Kat Ötelenmesi Oranı	Performans Düzeyi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)/h_i$	0.008	0.02	0.03

Bu tabloda $(\delta_i)_{\max}$, ilgili kattaki düşey elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görelî kat ötelenmesi, h_i ise kat yüksekliğidir.

Mevcut veya güçlendirilecek binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde esas alınacak deprem etkileri ve performans düzeyleri Tablo 3.6’da verilmektedir.

Tablo 3.6: Binalar İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen Performans Düzeyleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, ceza evleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	CG	GÖ
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, iş yerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

Bu tabloda; HK hemen kullanım performans düzeyini, CG can güvenliği, GÖ ise göçmenin önlenmesi performans düzeylerini temsil etmektedir.

Bu çalışmada ele alınan bina bir konut yapısı olduğu için; 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem karşısında Can Güvenliği Performans Düzeyini sağlaması beklenmektedir.

4. DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK İTME (PUSHOVER) ANALİZİ

4.1 Giriş

Depremler veya diğer sismik jeolojik olaylar sonucunda; binaların taşıyıcı sistemlerinde meydana gelebilecek şekil değiştirmelerin, yerdeğiştirmelerin ve oluşabilecek kesit kuvvetlerin hesaplanması analizin ana temasını oluşturmaktadır. Betonarme binaların taşıyıcı sistemlerinin tasarlanmasında ve güçlendirilmesinde doğrusal veya doğrusal olmayan çözümleme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden ikisi, Doğrusal Statik Çözümleme ve Doğrusal Dinamik Çözümleme'dir. Bu çözümlemelerde doğrusal (elastik) davranış esas alınmaktadır. Diğer iki yöntemde ise, malzemenin doğrusal olmayan (elastik olmayan) davranışı hesaba katılmaktadır. Bu yöntemler; Doğrusal Olmayan Statik Çözümleme ve Doğrusal Olmayan Dinamik Çözümleme'dir.

Doğrusal analiz yöntemleri, yapının elastiklik kapasitesini ve ilk akmanın nerede oluşacağını açıkça göstermesine rağmen, yapıdaki mekanizma durumlarını ve akma sırasındaki kuvvet dağılımını göstermede yetersiz kalmaktadır. Buna karşılık doğrusal olmayan analiz yöntemleri, binaların göçme anına kadar olan davranışlarının, kuvvet dağılımlarının ve mod şekillerinin bulunmasında çok etkilidir. Tasarımda doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin kullanılması, yapının gerçek davranışı hakkında daha net fikirler verir ve daha gerçekçi çözümlere ulaşmasını sağlar.

Doğrusal olmayan analizlerde kullanılan yöntemler genellikle zaman tanım alanında analiz yöntemine dayanır. Ancak bu yöntem genel uygulama için oldukça karmaşık ve zordur. Bununla birlikte kullanımı daha kolay olan basitleştirilmiş doğrusal olmayan analiz yöntemleri de mevcuttur. Bu analiz yöntemlerinden; kapasite (capacity) eğrisi ve indirgenmiş talep (demand) spektrumu eğrilerinin kesişim noktalarını bularak uygulanan “Kapasite Spektrumu Yöntemi (CSM)” ile, doğrusal olmayan analiz kolayca yapılabilir. Bu bölümde, yeni deprem yönetmeliğinde yer alan “Depremde Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler İle

Belirlenmesi” özetlenecek; Kapasite Spektrumu Yönteminin uygulanması üzerinde durulacaktır.

Kapasite spektrumu yöntemi, binanın toplam taban kesme kuvveti ile tepe (çatı) yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrisiyle sismik yer hareketini ifade eden talep spektrumu eğrisinin karşılaştırmasını grafik bir ortamda sunar. Bu yöntem mevcut binaların değeriendirilmesi ve güçlendirilmesi için son derece kullanışlıdır.

4.2 D.B.Y.B.H.Y. 2007’de Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

Deprem kuvvetleri etkisindeki binaların performanslarının doğrusal elastik olmayan yöntemler ile belirlenmesi konusu, 6 Mart 2007’de yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğinde yer almıştır. Bu yöntemler, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi’dir. Mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan yöntemlerin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekil değıştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır.

D.B.Y.B.H.Y. 2007’de doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için “Artımsal İtme Analizi” temel alınmıştır. Artımsal itme analizi ile performansların değeriendirmesinde izlenecek yollar ve doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için yapılan kabuller deprem yönetmeliğinde ayrıntılı olarak işlenmişlerdir.

4.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi

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

Bu yöntemin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8’den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik gözönüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) titreşim moduna ait etkin kütlelerin toplam bina kütesine (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 tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme gözönüne alınacaktır.

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

- (i)’inci itme adımında birinci moda ait; modal ivme $a_1^{(i)} \quad a_1^{(i)} = \frac{V_{x1}^{(i)}}{M_{x1}}$, modal

$$\text{yerdeğiştirme } d_1^{(i)} \quad d_1^{(i)} = \frac{u_{xN1}^{(i)}}{\Phi_{xN1} \Gamma_{x1}} \text{ ifadeleri ile elde edilebilir.}$$

- Birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal katkı çarpanı Γ_{x1} , L_{x1} ve M_1 ’den yararlanılarak; $\Gamma_{x1} = \frac{L_{x1}}{M_1}$ şeklinde elde edilir. L_{x1} ve M_1 ise,

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin}, \quad M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_{i\theta} \Phi_{\theta in}^2) \text{ ilişkilerinden bulunabilir.}$$

Artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımı, her bir itme adımında öncekilere göre değişken olarak da gözönüne alınabilir. Bu durumda yük dağılımı, her bir itme adımı öncesinde taşıyıcı sistemde oluşmuş bulunan tüm plastik kesitler gözönüne alınarak hesaplanan birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim mod şeklinin genliği ile ilgili kütlelerin çarpımından elde edilen değerle orantılı olarak tanımlanacaktır. Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri yukarıda anlatıldığı gibi tanımlanacaktır.

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu ve farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde yapılan değişiklikler gözönüne alınarak, tasarım depremi yerine servis depremi kullanılması durumunda spektrum ordinatları 0.5, maksimum deprem kullanılması halinde ise 1.5 ile çarpılarak, birinci (hakim) moda ait maksimum modal yerdeğiştirme, diğer deyişle modal yerdeğiştirme istemi hesaplanacaktır. Tanım olarak modal yerdeğiştirme istemi, $d_1(p)$, doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme S_{d1} 'e eşittir.

Son itme adımı $i=p$ için, modal yerdeğiştirme istemi $d_1(p)$ kullanılarak x doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi $U_{xN1}^{(p)}$, $U_{xN1}^{(p)} = \Phi_{xN1} \Gamma_{x1} d_1^{(p)}$ bağıntısından hesaplanır.

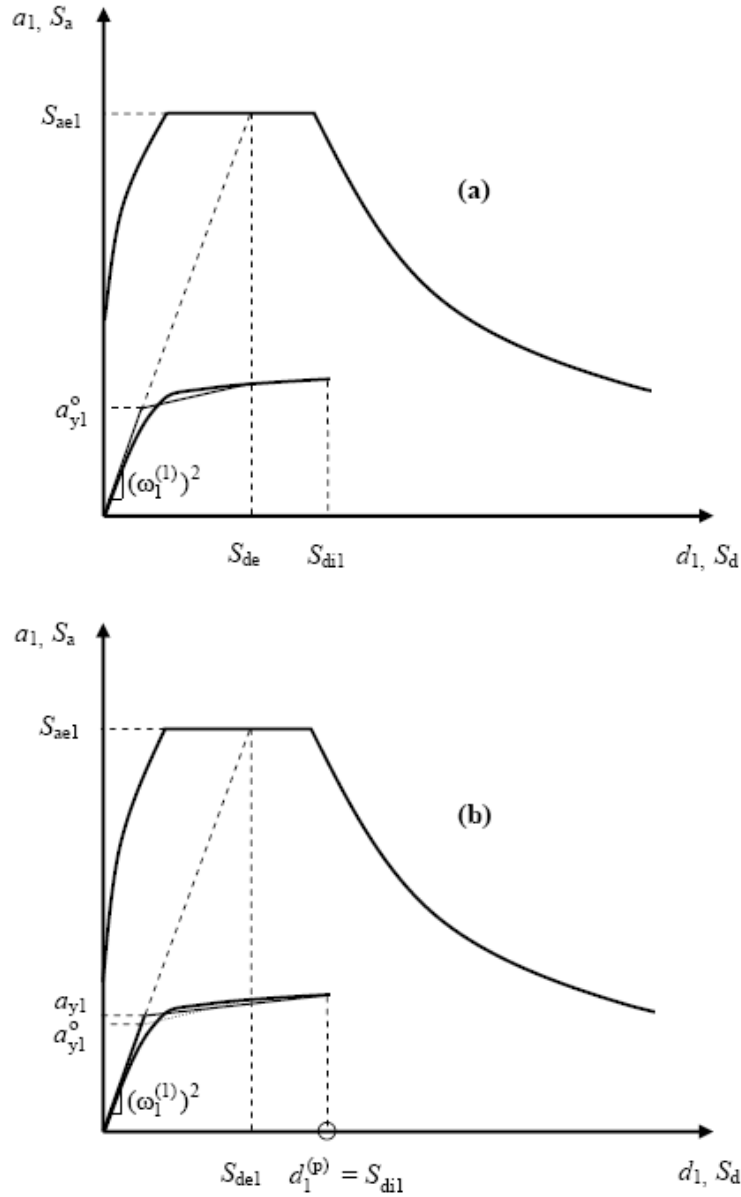
Buna karşı gelen diğer tüm istem büyüklükleri (yerdeğiştirme, şekil değiştirme ve iç kuvvet istemleri) mevcut itme analizi dosyasından elde edilecek veya tepe yerdeğiştirmesi istemine ulaşıncaya kadar yapılacak yeni bir itme analizi ile hesaplanacaktır.

Doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme, S_{d1} , itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak $S_{d1} = C_{R1} S_{de1}$ formülü ile elde edilir. Doğrusal elastik (linear) spektral yerdeğiştirme S_{de1} ise itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den $S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(w_1^{(1)})^2}$ formülü kullanılarak hesaplanır.

Spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in $(T_1^{(1)} = 2\pi/\omega_1^{(1)})$ değerine göre belirlenir. Başlangıç periyodu, ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşitse veya daha uzunsa $(T_1^{(1)} \geq T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_B^2)$ doğrusal elastik olmayan

spektral yerdeğiştirme S_{d1} , eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca doğal periyodu yine $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sistem'e ait lineer elastik spektral yerdeğiştirme S_{de1} 'e eşit alınacaktır. Bu durumda spektral yerdeğiştirme oranı $C_{R1}=1$ olacaktır.

Başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$, ivme spektrumu karakteristik periyodu T_B 'den kısa ise ($T_1^{(1)} < T_B$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_B^2$) spektral yerdeğiştirme oranı C_{R1} , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır:



şekil 4.1: Birarada Çizilmiş Modal Kapasite Diyagramı ve Davranış Spektrumu

- İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 4.1(a)'da gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i=1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait özdeğere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır ($T_1^{(1)}=2\pi/\omega_1^{(1)}$).

Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1}=1$ kabulü yapılarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 4.1(a)'da görülen $\ddot{a}_{y1}$ esas

alınarak $C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1$ şeklinde tanımlanır. Bu bağıntıda R_{y1}

birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı'nı göstermektedir ve $R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}}$ formülü

kullanılarak hesaplanabilir.

Hesaplanmış olan C_{R1} ve S_{d1} esas alınarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları, Şekil 4.1(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.

4.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi İle İtme Analizi

Bu yöntemin amacı taşıyıcı sistem davranışını temsil eden yeteri sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yerdeğiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak mod birleştirme yönteminin artımsal olarak uygulanmasıdır.

Bu analiz yönteminde ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde adım adım doğrusal elastik davranış esas alınır.

4.2.3 Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

Yöntemin amacı taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

4.2.4 Birim Şekildeğiştirme İstemlerinin Belirlenmesi

Yapılan analiz sonucunda herhangi bir kesitte elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, $\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Seçilen bir beton modeli ile pekleşmeyi de göz önüne alan donatı çeliği kullanarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan ϕ_y eşdeğer deprem eğriliği, ϕ_p plastik eğrilik istemine eklenerek kesitteki ϕ_t toplam eğrilik istemi $\phi_t = \phi_y + \phi_p$ şeklinde elde edilir.

4.2.5 Betonarme Elemanların Kesit Birim Şekildeğiştirme Kapasiteleri

Beton ve donatı çeliğinin birim şekildeğiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, aşağıda tanımlanan birim şekildeğiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenir.

Plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği betonarme sünek taşıyıcı sistem elemanlarında, çeşitli kesit hasar sınırlarına göre izin verilen şekildeğiştirme kapasiteleri aşağıdaki gibidir.

- (a) Kesit Minimum Hasar Sınırı (MN) için kesitin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cu})_{MN} = 0.0035 \text{ ve } (\epsilon_s)_{MN} = 0.010 \text{ 'dur.}$$

- (b) Kesit Güvenlik Sınırı (GV) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GV} = 0.0035 + 0.01(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.0135 \text{ ve } (\epsilon_s)_{GV} = 0.040 \text{ 'dır.}$$

- (c) Kesit Göçme Sınırı (GÇ) için etriye içindeki bölgenin en dış lifindeki beton basınç birim şekildeğiştirmesi ile donatı çeliği birim şekildeğiştirmesi üst sınırları:

$$(\epsilon_{cg})_{GC} = 0.004 + 0.014(\rho_s / \rho_{sm}) \leq 0.018 \text{ ve } (\epsilon_s)_{GC} = 0.060 \text{ 'dır.}$$

4.3 Basitleştirilmiş Doğrusal Olmayan Statik Analiz

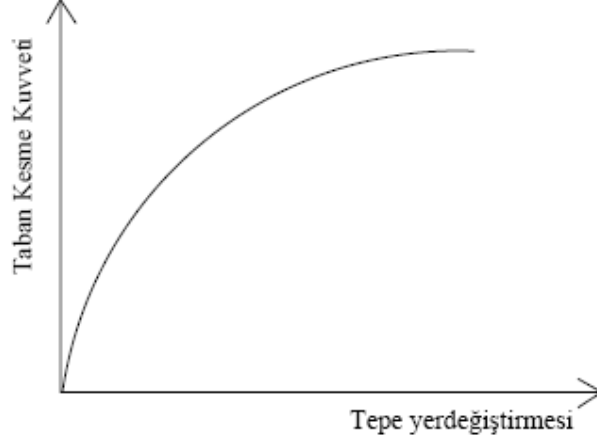
Performansa dayalı analizlerin temelini oluşturan iki önemli kavram, talep ile kapasitedir. Talep, sismik yer hareketinin, kapasite ise yapının sismik talebe karşılık verebilme yeteneğinin göstergesidir. Yapı performansı, kapasitenin talebe karşılık verebilme ölçüsüdür. Yani, yapı depremin talebine karşılık verebilecek kapasitede olmalıdır.

Statik itme yönteminde, yukarıda bahsi geçen, kapasite, talep ve performans özellikleri kullanılarak analiz yapılır. Bu özellikler aşağıda özetlenmişlerdir.

- **Kapasite:** Bir yapının toplam kapasitesi, o yapıyı oluşturan elemanlarının dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerine bağlıdır. Doğrusal analiz yöntemleri elastik sınıra kadar olan şekil değiştirme kapasitesi hesaplanabilir fakat, elastik sınırın ötesindeki şekil değiştirme kapasitesini belirlemek için statik itme (pushover) analizi gibi bir doğrusal olmayan analiz yönteminin kullanılması gerekir. Bu yöntemde yapı bileşenlerinin akmaya ulaşması için gereken yatay yük artırılarak uygulanır. Yapı labil hale gelinceye veya önceden belirlenen bir sınıra ulaşmaya kadar devam edilir. Doğrusal olmayan analiz yöntemiyle çözümleme ve kapasite eğrisinin bulunması bilgisayar programları tarafından yapılabilmektedir. Analiz sonucunda elde edilen kapasite eğrisi, yapıların elastik sınırlarını aştıktan sonraki davranışlarının tahmin edilmesine yardım eder.
- **Talep:** Deprem sebebiyle ortaya çıkan yer hareketleri, yapının zamana bağlı olarak değişen, karmaşık yerdeğiştirmeler yapmasına neden olurlar. Tasarım için gerekli parametreleri belirlemek amacıyla zaman tanım alanında analiz yapmak pratik olmayan bir hesap yöntemidir. Söz konusu yapı ve yer hareketine için talep yerdeğiştirmesi, yer hareketi boyunca yapıda meydana gelmesi beklenen maksimum yerdeğiştirme olarak tanımlanabilir.
- **Performans:** Yapı performansı, kapasite eğrisi ve talep eğrinin kesişmesiyle oluşan performans noktası ile bulunur. Performans noktasının kontrolü, yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşması muhtemel hasarların bina için öngörölmüş hasar sınırlarının aşmamasını sağlamak amacıyla yapılır.

4.3.1 Kapasitenin Belirlenmesi

Bir yapının kapasitesini belirleyebilmek için yapının tabanında meydana gelen kesme kuvveti ile tepe (çatı) yatay yerdeğiştirmesi bir grafik üzerinde göstermelidir. Bu grafik, statik itme (pushover) eğrisidir, (Şekil 4.2).



Şekil 4.2: Taban Kesme Kuvveti ile Tepe Yerdeğiştirmesi Arasındaki İlişki

Kapasite eğrisi çizilirken, genellikle yapının birinci doğal titreşim modu gözönüne alınarak yapılan yüklemeler sonucunda meydana gelen taban kesme kuvveti ile tepe (çatı) yerdeğiştirmesi gözönüne alınır. Bu durum birinci doğal titreşim periyodunun 1 saniye ya da daha az olduğu binalar için geçerlidir. Bu tür binalarda, yüksek modların etkileri göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. Ancak çok katlı ve daha sünek yapılarda genellikle 1. moda ait titreşim periyodu bir saniyeden daha fazladır ve yüksek modların yapıya etkileri göz ardı edilemeyecek kadar büyüktür; hesaplarda bu etkiler de dikkate alınmalıdır.

Kapasite hesabı yaparken aşağıdaki adımlar takip edilir;

1. Yapıya ait bilgisayar modeli oluşturulur.
2. Oluşturulan modelde her eleman derecelerine göre sınıflandırılır.
3. Yatay kuvvetler mod şekillerine ve kat ağırlıklarına göre yapının kütle merkezlerine uygulanır. Bu analiz aynı zamanda zati yükleri de kapsar. Aşağıda yatay yüklerin uygulama noktalarına göre beş farklı durum işlenmiştir.

- Genellikle tek katlı yapılara uygulanması önerilen ve yatay kuvvetin yapının tepe noktasına etkitildiği yapılardır.
- Yatay kuvvetin, yapının her katına deprem yönetmeliğinin öngördüğü şekilde, Denklem (4.1) kullanılarak, eşdeğer statik yatay yük olarak kat ağırlıkları oranında uygulandığı yapılardır.

$$F_x = \left[w_x h_x / \sum w_x h_x \right] V_t \quad (4.1)$$

- Yapının 1. mod şekline bağlı olarak, kat kütlelerinin toplandığı kütle merkezlerine, Denklem (4.2) yardımıyla hesaplanan, yatay kuvvetlerin etkidiği yapılardır. Bu durum, 1. moda ait titreşim periyodunun bir saniye ya da daha az olduğu yapılar için geçerlidir.

$$F_x = \left[w_x \phi_x / \sum w_x \phi_x \right] V \quad (4.2)$$

- İlk mafsallara kadar, önceki adımda anlatıldığı gibi hesaplanır. İlk mafsallın oluşmasından sonra mafsall oluşan her adım için, kuvvetler şekil değiştirmiş yeni yapıya göre ayarlanmalıdır.
 - Yukarıda anlatılan son iki adımla aynıdır fakat; yüksek mod şekillerinin etkilerinin de dikkate alınması gerekir. Bu etkiler yüksek moda uygulanacak statik itme analizi ile belirlenir. Yüksek modlarda yapı hem itilip hem de çekilerek mod şekli devam ettirilir.
4. Eleman kuvvetleri yatay ve düşey yüklerin belirli kombinasyonlarına göre hesap edilir.
 5. Bazı elemanlar veya eleman grupları için yatay yük, eleman dayanımının %10'u olacak şekilde ayarlanır.
 6. Performans kontrolü için taban kesme kuvveti ve ona bağlı tepe yerdeğiştirmeleri kaydedilir. Eleman kuvvetleri ve dönmelerinin kaydedilesi de bu kontrolün yapılmasına yardımcı olur.
 7. Mafsallaşan elemanlar için, rijitlik sıfır veya çok küçük alınır ve model tekrar kontrol edilir.
 8. Başka bir elemanda veya eleman gurubunda akma oluşuncaya kadar yatay yük arttırılmaya devam edilir.

9. Taban kesme kuvvetine oranla tepe (çatı) yerdeğiştirmesi oldukça sabitse de yatay yük artırılmaya devam edilir.
10. Limite ulaşınca kadar 7., 8. ve 9. adımlar tekrarlanır. P-Δ etkileri düzensiz bir duruma geldiğinde yapı yük taşıma kapasitesini yitirmiş demektir. Bu durum kapasitenin aşıldığının bir göstergesidir ve statik itme analizi sona erdirilir.

4.3.2 Kapasite Eğrisinin Kapasite Spektrumuna Dönüştürölmesi

Kapasite Spektrum Yönteminin kullanılabilmesi için “Taban Kesme Kuvveti-Tepe Yerdeğiştirmesi” şeklinde bulunan kapasite eğrisinin “Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme” eğrisine dönüştürölmesi gerekir. Dönüştürme ile elde edilen eğri ADRS (Accelaration-Displacement Response Spectra) formatında olur ve “Kapasite Spektrum Eğrisi” olarak adlandırılır. Bu dönüşümü yapabilmek için gerekli olan formüller aşağıda verilmişlerdir.

$$\Gamma_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (4.3)$$

$$M_1^* = \frac{(\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1})^2}{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1}^2} \quad (4.4)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \Phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (4.5)$$

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_1 W} \quad (4.6)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{\text{çatı}}}{\Gamma_1 \Phi_{N1}} \quad (4.7)$$

Formüllerde kullanılan simgelerin açıklamaları aşağıdaki gibidir :

Γ_1 : Birinci doğal titreşim modu için modal katılım katsayısı

α_1 : Birinci doğal titreşim modu için modal kütle katsayısı

w_i / g : i. kattaki toplanmış kütle

Φ_{il} : Birinci doğal titreşim modunda, i. katın mod şekli

N : Yapıdaki kat sayısı

V_b : Taban kesme kuvveti

W : Zati Yük + Hareketli Yük (katsayısız)

$\Delta_{\text{çatı}}$: Çatı (tepe) yerdeğiştirmesi

$S_{a,d}$: Spektral ivme ve spektral yerdeğiştirme

Φ_{N1} : Birinci doğal titreşim modu için yapının en üst katına ait yanal yerdeğiştirme

Kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürölürken ilk olarak modal katılım katsayısı Γ_1 ve modal kütle katsayısı α_1 hesaplanır. Daha sonra bu değerler kullanılarak kapasite eğrisi ($V_b - \Delta_{\text{çatı}}$) üzerindeki her nokta için spektral ivme S_a ve spektral yerdeğiştirme S_d değerleri kullanılarak kapasite spektrum eğrisi oluşturulur.

4.3.3 ATC 40'a Göre %5 Sönümlü Talep Spektrumunun Oluşturulması

%5 sönümlü talep spektrumu eğrisi, C_A ve C_V sismik parametreleri yardımıyla tanımlanır. Bu parametreler, yapının bulunduğu deprem bölgesine, bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına, zemin sınıfına ve kullanılacak deprem türüne bağlı olarak hesaplanır.

Yapının bulunduğu deprem bölgesine göre Deprem Bölge Katsayısı “Z” Tablo 4.1’den, yapının üzerinde yer aldığı zemine göre Yapı Zemin Sınıfı Tablo 4.2’den ve yapının bilinen bir deprem kaynağına olan uzaklığına ve bu kaynağın oluşturabileceği deprem türüne göre Kaynağa Olan Mesafe Katsayıları “ N_A ”, “ N_V ” Tablo 4.3’ten bulunur.

Tablo 4.1: Deprem Bölge Katsayıları

Bölge	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

Tablo 4.2: Yapı Zemin Sınıfları

	S_A	S_B	S_C	S_D	S_E	S_F
Zemin Sınıfı ve Tanımı	Sert kaya	Kaya	Çok sıkı zemin, Yumuşak kaya	Sert zemin	Yumuşak zemin	İncelenmesi gerekli zemin

Tablo 4.3: Kaynağa Olan Mesafe Katsayıları

Deprem Kaynağı Türü	Bilinen Deprem Kaynağına Olan Mesafe							
	≤ 2 km		5 km		10 km		≥ 15 km	
	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V	N_A	N_V
A: Büyük bir deprem oluşturacak kaynak	1.50	2.00	1.20	1.60	1.00	1.20	1.00	1.00
B: Orta büyüklükte deprem oluşturacak kaynak	1.30	1.60	1.00	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
C: Küçük bir deprem oluşturacak kaynak	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Deprem Etkisi Seviyesi “E” için aşağıdaki değerlerden uygun olanı seçilir;

Servis Depremi $\Rightarrow E = 0.5$

Tasarım Depremi $\Rightarrow E = 1.0$

Maksimum Deprem $\Rightarrow E = 1.25$ (ATC 40 Tablo 4.7’de belirtilen 4. Bölge için)

$\Rightarrow E = 1.50$ (ATC 40 Tablo 4.7’de belirtilen 3. Bölge için)

Deprem Katsayısı “ZEN”, önceden belirlenen Deprem Bölge Katsayısı “Z”, Kaynağa Olan Mesafe Katsayıları “ N_A ” ve “ N_V ” ve Deprem Etki Seviyesi “E” değerlerinin çarpımı ile elde edilir. Deprem Katsayısına ve Zemin Sınıfına bağlı olarak C_A ve C_V belirlenir, (Tablo 4.4 ve Tablo 4.5).

Tablo 4.4: Deprem Katsayısı, C_A

	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin Sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0* ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0* ZEN
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40	1.1* ZEN
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44	1.0* ZEN
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	0.36	0.9* ZEN
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

Tablo 4.5: Deprem Katsayısı, C_V

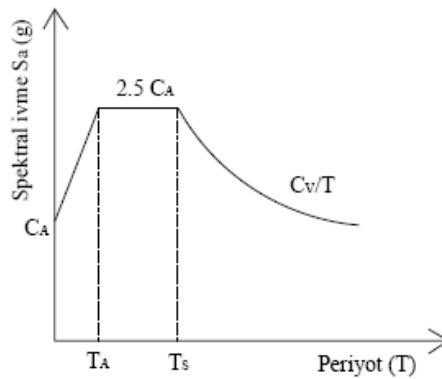
	Deprem Katsayısı ZEN					
Zemin Sınıfı	= 0.075	= 0.15	= 0.20	= 0.30	= 0.40	> 0.40
S_A	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0* ZEN
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40	1.0* ZEN
S_C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56	1.4* ZEN
S_D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64	1.6* ZEN
S_E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96	2.4* ZEN
S_F	Yerel zemin incelemesi gerekli					

C_A ve C_V değerleri bulunduğundan sonra Denklem 4.8 ve 4.9 kullanılarak T_A ve T_S değerleri elde edilir.

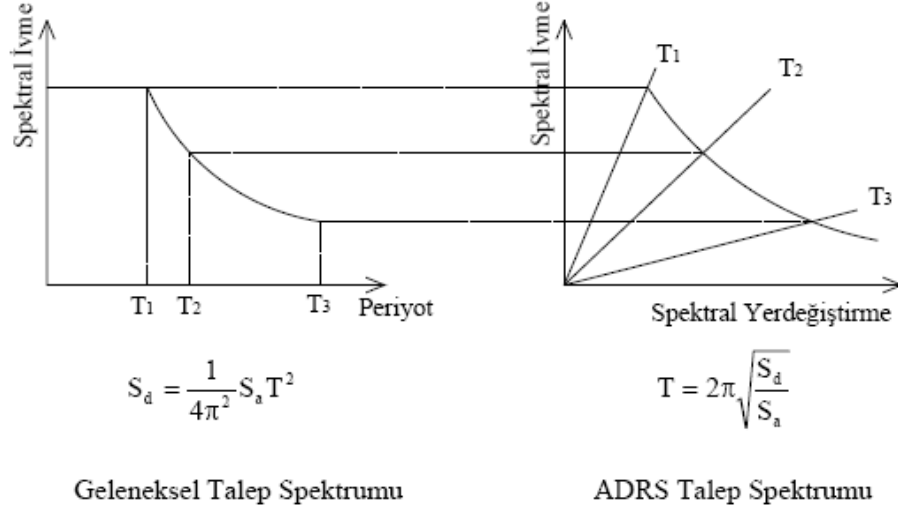
$$T_S = C_V / 2.5 * C_A \quad (4.8)$$

$$T_A = 0.2 * T_S \quad (4.9)$$

C_A , C_V , T_A ve T_S değerlerine bağlı olarak %5 sönümlü talep spektrumu Şekil 4.3'deki gibi oluşturulur.

**Şekil 4.3:** %5 Sönümlü Elastik Deprem Spektrumu

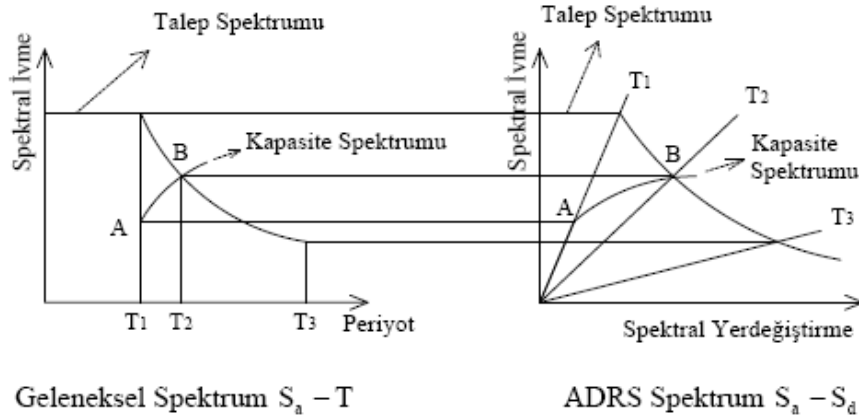
Genellikle talep spektrumu, spektral ivme-periyot ($S_a - T$) biçiminde ifade edilmektedir. ADRS formatı ise bu kadar yaygın kullanılmamaktadır. Bu türdeki gösterime geçiş Şekil 4.4'te gösterilmiştir. ADRS formatındaki spektrum üzerinde yer alan herhangi bir noktadaki T periyodu, $T = 2\pi(S_d / S_a)^{1/2}$ formülüyle, geleneksel talep spektrumu üzerindeki herhangi bir noktadaki S_d spektral yerdeğiştirme ise, $S_d = S_a T^2 / 4\pi^2$ formülüyle hesaplanabilir.



Şekil 4.4: Geleneksel Talep Spektrumunun ADRS Formatına Dönüştürülmesi

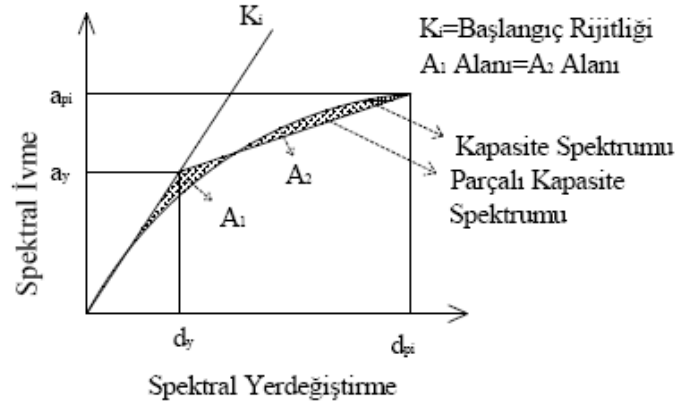
4.3.4 Kapasite Spektrum Eğrisinin Doğrular Haline Getirilmesi

Başlangıç performans noktasını bulabilmek için önceden oluşturulmuş olan %5 sönümlü talep spektrumu eğrisi ve kapasite spektrumu eğrisi aynı grafik üzerinde çizilir, (Şekil 4.5).



Şekil 4.5: Üst Üste Çizilmiş Kapasite ve Talep Spektrumları

Kapasite eğrisinin doğrusal kısmı uzatılarak %5 sönümlü talep spektrumu ile kesiştirilir. Kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki izdüşümü alınarak başlangıç performans noktasının koordinatları elde edilir (a_{pi}, d_{pi}). Koordinatlar belirlendikten sonra, Şekil 4.6'da da görülebileceği gibi, başlangıç performans noktasından geriye doğru (uzatılmış doğrusal kısma doğru) ve kapasite spektrumunun üstünde ve altında kalan alanlar (A_1 ve A_2) eşit olacak şekilde bir doğru çizilir. Bu alanların eşitlenmesinin nedeni, oluşturulan çift doğrulu spektrum ile gerçek kapasite eğrisinin aynı oranda enerji sönümlemesini sağlamaktır.

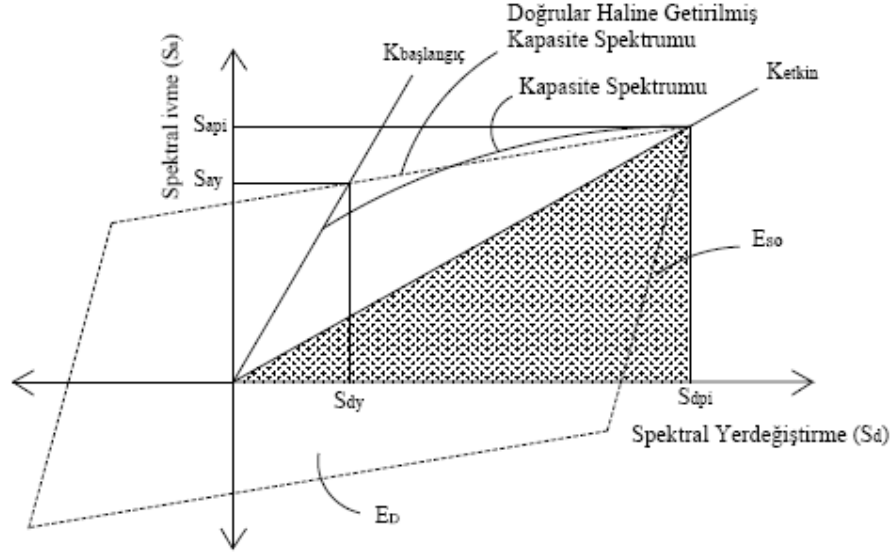


Şekil 4.6: Kapasite Spektrumunun Çift Doğrulu Temsili

4.3.5 Sönümün Tahmini ve %5 Sönümlü Talep Spektrumunun İndirgenmesi

Yönetmeliklerde verilen elastik ivme-yerdeğiştirme spektrum eğrisi %5'lik bir viskoz sönüm öngörülerek oluşturulmuştur, deprem hareketi sonucunda yapıda ortaya çıkan enerjinin bir kısmı elastik olmayan çevrimsel şekil değiştirmeler ile tüketilmektedir. Spektral ivme ile spektral yerdeğiştirme arasındaki bağıntı, elastik sınır aşıldığında, Şekil 4.7'de görüldüğü gibi çevrimsel bir değişim gösterir.

Eğrinin altında kalan alan, çevrimsel sönüm ile orantılıdır. Bu sönüm β_0 olarak eşdeğer viskoz sönüme Denklem 4.10 yardımıyla dönüştürülebilir. Etkili toplam sönüm oranı β_{ef} ise Denklem 4.11 kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 4.7: Spektral İndirgeme İçin Sönüm Elde Edilmesi

$$\beta_0 = \frac{E_D}{4\pi E_{S_0}} \quad (4.10)$$

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa \beta_0 \quad (4.11)$$

Denklemlerde E_D bir çevrimde tüketilen enerji olup, çevrim içinde kalan alana, E_{S_0} ise aynı yük seviyesi altındaki maksimum şekil değıştirme enerjisine (Şekil 4.6'daki taralı alan) karşı gelir. Geometriden faydalanarak Denklem 4.12 elde edilebilir.

$$\beta_{ef} = 0.05 + \kappa \times 0.64 \times \frac{S_{ay} S_{dpi} - S_{dy} S_{api}}{S_{api} S_{dpi}} \quad (4.12)$$

Burada S_{dy} ve S_{ay} doğrusal elastik davranışın sınırındaki, S_{dpi} ve ise S_{api} hedeflenen performans seviyesindeki spektral yerdeğıştirme ve spektral ivme değerlerini göstermektedir. Düzeltme katsayısı κ , çevrimsel sönümün belirlenmesinde kullanılan paralel kenarın geçekte farklılık gösterebileceğİ düşünülerek kullanılmıştır. Çevrimsel davranışın tam olarak oluşamadığı yapılarda düzeltme katsayısı daha küçük alınır. İşçiliğın ve kullanılan malzemenin iyi olduğı yeni yapılarda, çevrim dolgun bir biçimde oluşacağından düzeltme katsayısı büyük; kalitesiz ve eski yapılarda ise enerji tüketimi daha az olacağından düzeltme katsayısı küçük alınır. Olası depremin süresi de bu katsayıyı etkileyen faktörlerden bir

tanıdır. Uzun süre devam edecek bir deprem enerji tüketimini arttıracğından, kısa süreli bir depreme oranla katsayı daha büyük seçilir. Düzeltme katsayısı κ için kullanılabilecek değerler, Tablo 4.6'dan belirlenecek yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 4.7'de verilmiştir.

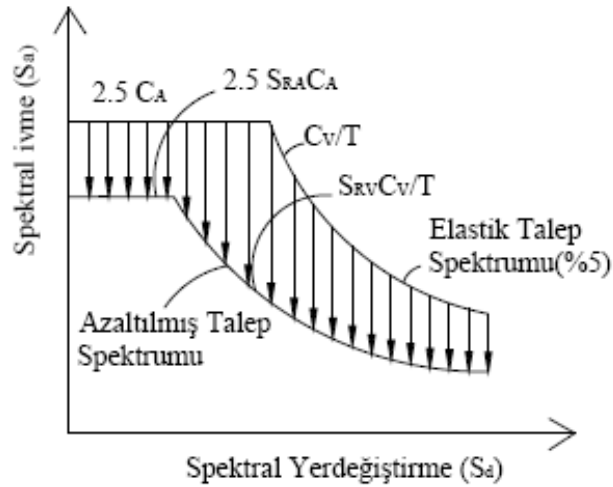
Tablo 4.6: Yapı Davranış Türü

Deprem Süresi	Genel Olarak Yeni Bina	Ortalama Mevcut Bina	Zayıf Mevcut Bina
Kısa	Tip A	Tip B	Tip C
Uzun	Tip B	Tip C	Tip C

Tablo 4.7: Düzeltme Katsayısı κ

Yapı Davranış Türü	Tip A	Tip B	Tip C
κ	1.00	0.67	0.33

Doğrusal olmayan davranışın gözönüne alınması için tanımlanan bu eşdeğer sönüm değerlerine bağlı olarak talep spektrumunda SR_A ve SR_V katsayıları ile azaltma yapılır, (Şekil 4.8). Bu katsayılar, yapıda deprem etkisine bağlı olarak oluşacak sönüme ve yapı davranış türüne bağlı olarak Tablo 4.8 ile gösterilmişlerdir.



Şekil 4.8: Talep Spektrumunun İndirgenmesi

Tablo 4.8: Spektral Azaltma Katsayıları

	Yapı Davranış Türü A			Yapı Davranış Türü B			Yapı Davranış Türü C		
β_0	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V	β_{ef}	SR_A	SR_V
0.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00	0.05	1.00	1.00
0.05	0.10	0.78	0.83	0.08	0.83	0.87	0.07	0.91	0.93
0.15	0.20	0.55	0.66	0.15	0.64	0.73	0.10	0.78	0.83
0.25	0.28	0.44	0.57	0.22	0.53	0.63	0.13	0.69	0.76
0.35	0.35	0.38	0.52	0.26	0.47	0.59	0.17	0.61	0.70
≥ 0.45	0.40	0.33	0.50	0.29	0.44	0.56	0.20	0.56	0.67

Sönüm oranına ve yapı davranış türüne bağlı olarak değişen azaltma katsayıları Denklem 4.13 ve 4.14 kullanılarak da hesaplanabilir. Ancak bu katsayılar için kullanılabilecek değerler Tablo 4.9’da verilen minimum değerlerden az olmamalıdır.

$$SR_A = \frac{1}{2.12} \left[3.21 - 0.68 \times \ln(100\beta_{ef}) \right] \quad (4.13)$$

$$SR_V = \frac{1}{1.65} \left[2.31 - 0.41 \times \ln(100\beta_{ef}) \right] \quad (4.14)$$

Tablo 4.9: Spektral Azaltma Katsayıları’nın Minimum Değerleri

	Yapı Davranış Türü A	Yapı Davranış Türü B	Yapı Davranış Türü C
SR_A	0.33	0.44	0.56
SR_V	0.50	0.56	0.67

4.3.6 Performans Noktasının Bulunması

Performans noktasının yeri şu iki koşul ile sağlanmalıdır:

1. Yapının kapasite eğrisi üzerinde olmalıdır,
2. %5 sönümlü talep spektrumundan indirgenmiş olan spektrumunun üzerinde yer almalıdır.

Performans noktası, bu iki koşulu sağlayabilecek tek nokta, yani kapasite eğrisi ile indirgenmiş talep spektrumunun kesiştiği noktadır. Performans noktasının belirlenebilmesi için iterasyon yapılmalıdır. Aşağıda bu işlemi kolaylaştırmak için kullanılabilecek üç yöntem anlatılmaktadır. Amaçları aynı olan bu yöntemlerde, kullanılan işlemler farklılık göstermektedir, (Tablo 4.10).

Tablo 4.10: Performans Noktasının Hesabı İçin Seçilebilecek Yöntem Çeşitleri

Yöntem A • En açık ve anlaşılır yöntemdir. Metodolijinin doğrudan uygulanmasıdır. • Analitik bir yöntemdir. • Programlama için uygundur. • Yeni başlayanlar için idealdir. Doğrudan sonuca gider ve anlaşılması kolaydır.
Yöntem B • Analitik bir yöntemdir. • Basitleştirme kabulleri olmasından Yöntem A'dan daha kolaydır. • Bilgisayarda programlama açısından en uygun olanıdır.
Yöntem C • Grafik bir yöntemdir. • Elle analiz yapmak için en uygun olanıdır. • Bilgisayarda programlama yapmak için uygun değildir. • Metodolijisi karışıktır.

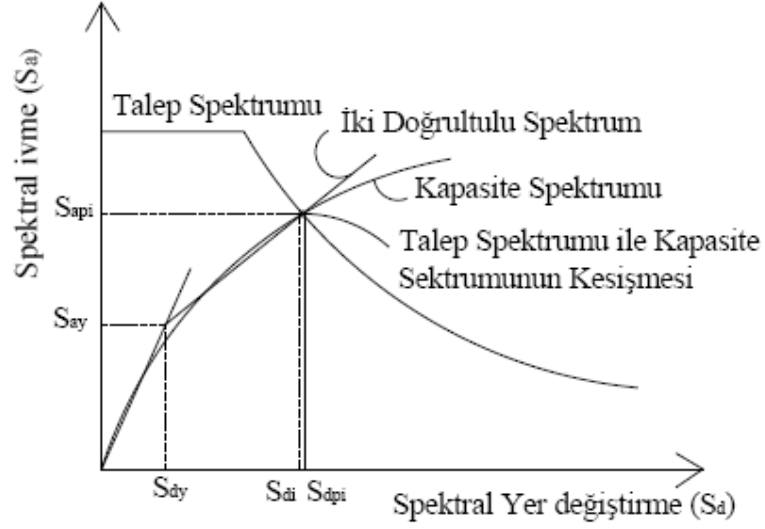
Yöntem A: Bu yöntem, kavramın en doğrudan uygulamasıdır. Tamamıyla iteratif bir yöntemdir fakat, formüle edilmiş işlemler kolaylıkla bilgisayar programlarına uygulanabilir. Yeni başlayanlar için en uygun, anlaşılır yöntem olup sonuca en kısa yoldan ulaşmak mümkündür.

Yöntem B: Kapasite eğrisinin iki doğrultuda modellenmesi imkanını sunan basit bir yöntemdir. Performans noktasının gerçek değeri küçük iterasyonlar yapılarak bulunur. Yöntem B analiktir ve bilgisayar programlarında uygulamak için en uygun yöntemdir. Ancak Yöntem A'ya nispeten daha zor anlaşılır bir yöntemdir.

Yöntem C: Performans noktasını bulmak için kullanılan zayıf bir grafik yöntemdir. Elle çözüm için en uygun yöntemdir ancak, anlaşılması ve bilgisayarlara uygulanması diğer yöntemlere göre daha zordur.

4.3.6.1 Kapasite ve İndirgenmiş Talep Spektrumlarının Kesiştirilmesi

Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktasının yatay koordinatı d_p , başlangıç performans noktasının yatay koordinatı olan d_{pi} 'den %5 kadar farklı ise ($0.95 d_{pi} \leq d_p \leq 1.05 d_{pi}$) bulunan performans noktası gerçek performans noktası olarak kabul edilebilir. Eğer d_p kabul edilebilir sınırlar dahilinde değilse yeni bir a_{pi}, d_{pi} noktası seçilerek iterasyona devam edilir, (Şekil 4.9).

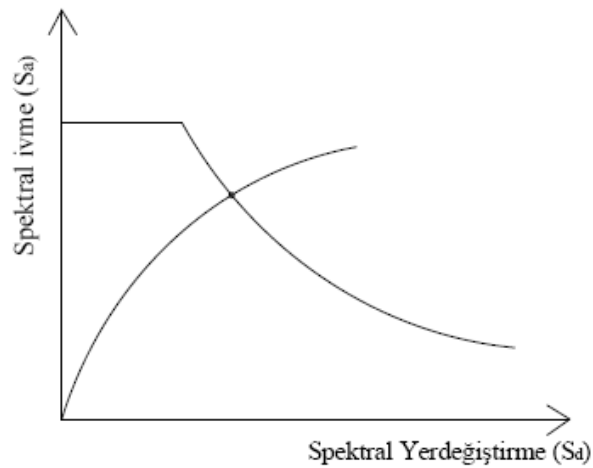


Şekil 4.9: Kapasite Spektrumu İle Talep Spektrumunun Kesişim Noktası

4.3.6.2 Yöntem A Kullanılarak Performans Noktasının Bulunması

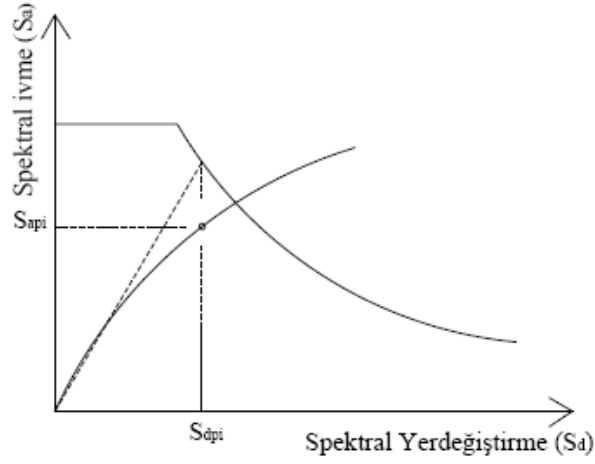
Daha önce anlatılmış olan yöntemleri en kolay ve sadesi olan Yöntem A'da işlem sırası aşağıdaki gibidir.

1. %5 sönümlü talep spektrumu oluşturulur.
2. Bölüm 4.3.2'deki denklemler sayesinde, kapasite eğrisi kapasite spektrumuna dönüştürülür. Kapasite spektrumu ile %5 sönümlü talep spektrumu aynı grafik üzerinde çizilir, (Şekil 4.10).



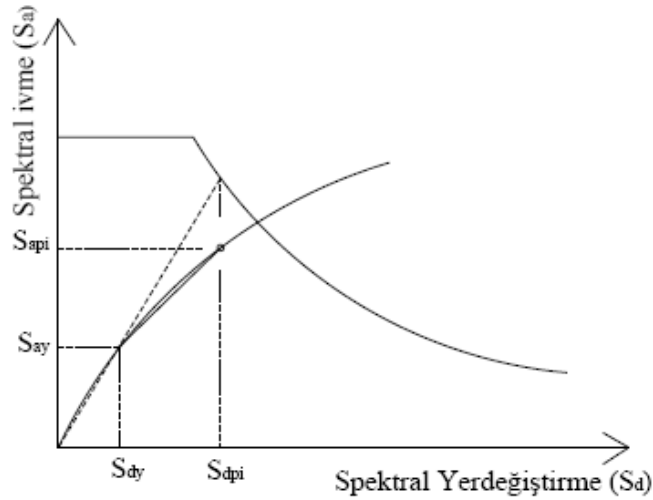
Şekil 4.10: Kapasite Spektrumu İle Talep Spektrumunun Kesiştirilmesi

3. Kapasite spektrumunun doğrusal olan kısmı uzatılarak talep spektrumu ile, Şekil 4.11’de gösterildiği gibi, kesiştirilir. Bu kesişim noktasının kapasite spektrumu üzerindeki izdüşümü bulunur. Bulunan nokta, a_{pi} ve d_{pi} koordinatlarındaki başlangıç performans noktasıdır.



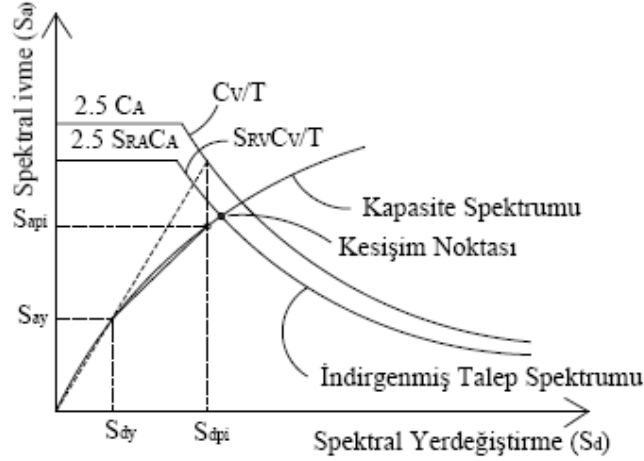
Şekil 4.11: Başlangıç Performans Noktasının Bulunması

4. Kapasite spektrumu, Bölüm 4.3.4’de anlatıldığı şekilde, çift doğrulu hale getirilir, (Şekil 4.12).
5. Azaltma katsayıları SR_A ve SR_V hesaplanır. Bu katsayılar kullanılarak %5 sönümlü talep spektrumu, Bölüm 4.3.5’de işlendiği şekilde, etkin sönümlü indirgenmiş talep spektrumuna dönüştürülür.



Şekil 4.12: Kapasite Spektrumunun Çift Doğrulu Hale Dönüştürülmesi

6. Kapasite spektrumu ile indirgenmiş talep spektrumunun kesişim noktası belirlenir, (Şekil 4.13). Bulunan nokta, Bölüm 4.3.6.1’de açıklanan sınırlar dahilinde kalıyorsa, gerçek performans noktası olarak kabul edilir.

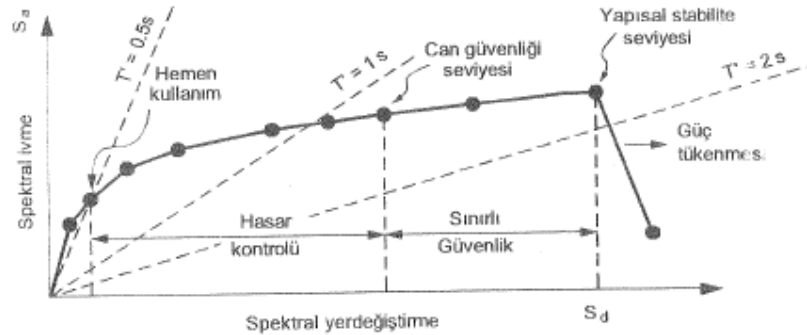


Şekil 4.13: İndirgenmiş Talep ve Kapasite Spektrumlarının Kesiştirilmesi

7. Bulunan a_p, d_p noktası kabul edilebilir toleranslar dahilinde değilse, 4. adıma dönülür ve koordinatları a_p, d_p olan nokta başlangıç performans noktası olarak kabul edilerek sonraki adımlar tekrarlanır.
8. Eğer a_p, d_p noktası kabul edilebilir toleranslar dahilinde ise, a_{pi}, d_{pi} başlangıç performans noktası, a_p, d_p gerçek performans noktası, d_p ise muhtemel deprem sonrasında oluşacak maksimum yapısal yerdeğiştirmedir.

4.3.7 Performans Seviyesinin Bulunması

Taşıyıcı sistemin deprem etkisi altındaki davranışını, kapasite spektrum eğrisinin temsil ettiği kabul edilir, (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Taşıyıcı Sistemde Örnek Kapasite Spektrumu Eğrisi

Bulunan performans noktasının koordinatları kullanılarak; $T = 2\pi(S_d/S_a)^{(1/2)}$ formülü yardımıyla periyot hesaplanır. Bulunan periyot, grafik üzerine, başlangıç noktasından geçen bir doğru oluşturacak şekilde çizilir. Kapasite spektrum eğrisi ile kesiştiği nokta yorumlanarak, yapının performans seviyesi bulunur.

Bu eğride, başlangıç noktasından geçen doğrular sabit periyotlara karşılık gelir ve ilerleyen yükleme durumunda rijitlik azaldıkça periyotlar da artar. Eğrinin doğrusal durumdan ayrılmasından sonra, hasar ile orantılı olan plastik davranış ortaya çıkar. Yükün artması ile sistemdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu sistem yumuşar ve rijitlik azalır. Eğrinin bu bölümünde kesitlerdeki betonda dökülmeler ve çatlamlar ile donatıda plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Yükleme ile, elemanlarda hasar olarak beliren bu tür plastik şekil değiştirmeler artarak devam eder. Kesitlerin bir veya bir kaçında plastik mafsallık dönme kapasitesine erişilmesi sistemi taşıma gücü sınır durumuna getirebilir. Eğer plastik mafsallık kesitlerinde yeterli dönme kapasitesi varsa, taşıyıcı sistem en sonunda yapısal stabilite sınırına gelir ve güç tükenmesi ortaya çıkar. Herhangi bir yükleme adımında meydana gelen hasar ve taşıyıcı sistemde geriye kalan ek taşıma kapasitesi göz önüne alınarak, hemen kullanım, can güvenliği veya göçmenin engellenmesi performans seviyeleri tanımlanabilir. Benzer şekilde, hasar kontrolü ve sınırlı güvenlik performans aralıkları oluşturulabilir.

5. ÇALIŞMADA KULLANILAN BİNANIN BİLGİSAYAR ORTAMINDA MODELLENMESİ VE ANALİZİ

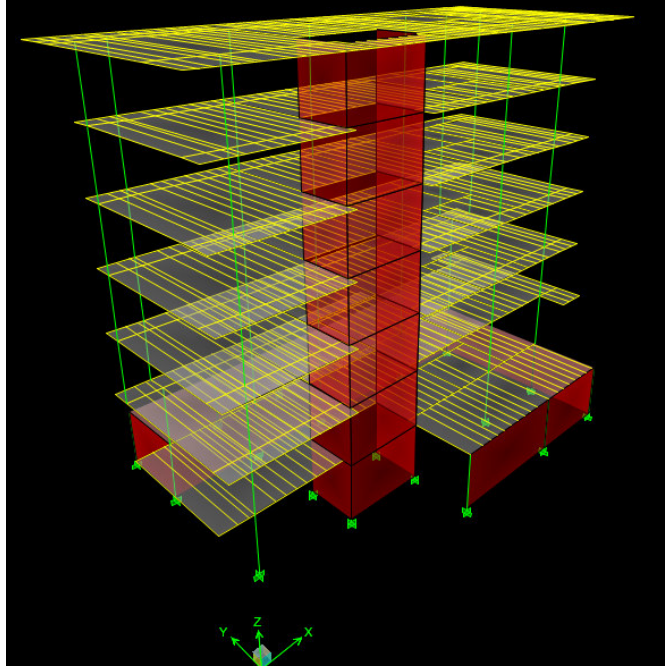
Bu çalışmada, 1975 deprem yönetmeliği esaslarına göre inşa edilmiş, betonarme çerçeve ve perdelerden oluşan taşıyıcı sisteme sahip 7 katlı bir binanın deprem güvenliği Eşdeğer Deprem Yüğü, Modal Analiz ve Statik İtme (Pushover) Analizi Yöntemleri kullanılarak ayrıntılı bir biçimde değerlendirilmiştir. Doğrusal ve doğrusal olmayan çözümlemeler için ETABS programı kullanılmıştır. Ayrıca düşey düzensizlik nedeni olan kısa konsol ve bağlandığı alt ve üst kolonlar, en elverişsiz etkiler dikkate alınarak çubuk model yöntemi ile irdelenmiştir.

5.1 ETABS Analiz Programı İle Statik İtme Analizinin Uygulama Adımları

Bu çalışmada detaylı olarak ele alınan örnek binanın statik itme yöntemi kullanılarak çözümlenmesi için, akademik çalışmalarda ve güncel uygulamalarda sıkça başvuru, ETABS (Extended 3D Analysis of Building Systems) bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Bina taşıyıcı sisteminin program içinde modellenmesi ve analizlerin gerçekleştirilmesi sırasında aşağıda özetlenen adımlar takip edilmiştir:

- Bina eksen ölçülerinin programa girilmesi.
- Taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların boyutlarının ve malzeme özelliklerinin tanıtılması.
- Binanın üç boyutlu hesap modelinin, kullanıcı tarafından bir önceki adımda tanımlanan elemanlar kullanılarak oluşturulması, (Şekil 5.1).
- Sisteme etkiyen tüm yüklerin ve yük kombinasyonlarının tanımlanması.
- Doğrusal olmayan analiz için gerekli adımların programa girilmesi.
- Oluşması olası mafsalların kesitlere atanması.
- Doğrusal çözümlemelerin ve statik itme analizinin yapılması.



Şekil 5.1: Üç Boyutlu Yapısal Model

Çözümlemeler sırasında doğrusal olmayan davranışın idealize edilebilmesi için iki tip mafsall kullanılmıştır. Birincisi, eksenel normal kuvvet ve eğik eğilme etkisi altındaki elemanlar için (kolon, perde v.b.) kullanılan PMM tipi mafsall; diğeri ise basit eğilmeye maruz kalan elemanlar için (kiriş v.b.) kullanılan M tipi mafsalldır. Bilindiğı üzere kolonlarda kullanılan PMM tipi mafsall, moment-eğrilik ilişkisini düzenlerken moment ve normal kuvvet etkisini dikkate almakta; kirişlerde kullanılan M tipi mafsall ise moment-eğrilik ilişkisini normal kuvvetten bağımsız tanımlamaktadır.

Statik itme analizi yapılmadan önce, eşdeğer deprem yükü ve modal analiz işlemleri tamamlanmalıdır. Doğrusal analiz ile elde edilen kat kesme kuvvetleri ve şekil değiştirmeler, devam eden analiz adımları sırasında hesaplara dahil edilerek, statik itme analizinde kullanılacaklardır.

Binanın performans düzeyini saptayabilmek için gerekli verilere ulaşmamızı sağlayacak olan statik itme analizi, düşey yükler ve yatay yükler (deprem yükleri) etkisi altında hesaplanmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, deprem sırasında düşey yüklerin etkisini tanımlamak için düşey yük kuvvet çarpanı kullanılarak girilen yükler altında analiz yapılır. İkinci aşama ise, ilk aşamada gelenen noktadan devam etmelidir. Yapının kütle merkezlerine, yatay yük çarpanı ile

orantılı uygulanan yatay kuvvetlerin etkisi altında ulaşılabilecek maksimum yerdeğiştirme tanımlanarak (örneğin bina yüksekliğinin yaklaşık 0.04 katı, **ATC 40**) bu aşama da tamamlanacaktır.

Analiz sonucunda elde edilen yapısal karşılıklar, maksimum tepe yerdeğiştirmesi ve ona karşı gelen maksimum taban kesme kuvveti değerleridir. Yapıya ait kapasite eğrileri çizilirken, her iki yön için tekrarlanan analiz sonuçlarından elde edilen bu değerler kullanılır. Oluşturulan kapasite eğrileri ve elde edilen modal analiz sonuçları kullanılarak, yapının performans noktaları bulunur.

5.2 Örnek Binaya Ait Genel Bilgiler

İnceleme konusu olan yapı, iki bodrum kat, bir zemim kat ve dört normal kattan oluşan betonarme bir konut binasıdır. Asmolen dolgulu dişli döşeme sistemi kullanılarak inşa edilmiş olan yapıda, değişik kesit ölçülerine sahip kiriş ve kolonlar kullanılmıştır. Üst katlarda kullanılan kolonların kesitleri alt kattakilere oranla küçülmektedir. Yapıya ait kolon kesitleri ve donatı detayları Ek A Tablo A.1 ve Şekil A.6'da gösterilmiştir. Binanın köşe kolonlarından bir tanesi birinci bodrum kattan sonra, bir diğeri ise tanesi de zemin kattan sonra üst katlarda devam etmemektedir. Bu kolonlarda oluşturulan guseli kirişlerin üzerine üst katlara devam eden kolonlar oturtulmuşlardır. Bina bu haliyle Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte tarif edilen, B3 türü (Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düzensizliğine sahiptir. Binada bu düzensizliğin oluşmasına neden olan uygulama, yani binanın bir katındaki kolonların alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin ucuna oturtulması durumu, hem A.B.Y.Y.H.Y. (1998) hem de D.B.Y.B.H.Y. (2007) hükümlerince yasaklanmıştır. Binaya ait kalıp planları Ek A Şekil A.1, A.2, A.3, A.4 ve A.5'te gösterilmektedir. Binaya ait genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

- Kat yükseklikleri aynıdır: $h_{\text{kat}} = 3.00$ m'dir.
- Bina toplam yüksekliği: $H_{\text{bina}} = 21.00$ m'dir.
- Bodrum Kat = 256.50m^2 , Zemin Kat = 167.50m^2 , Normal Katlar = 199.00m^2 ve Çatı Katı = 276.50m^2 alanlarına sahiptirler.
- Dış duvarlar 19cm, iç duvarlar ise 9cm kalınlığında delikli tuğladır.

- Dişli döşeme yüksekliği: $d_{\text{diş}} = 7\text{cm}$ 'dir.
- Düşük döşeme yüksekliği: $d_{\text{düşük}} = 12\text{cm}$ 'dir.
- Etkin Yer İvmesi Katsayısı: $A_0=0.4$ 'tür, (1. Derece Deprem Bölgesi).
- Yerel Zemin Sınıfı, Z2'dir. Buna bağlı olarak Spektrum Karakteristik Periyotları: $T_A = 0.15\text{s}$ ve $T_B = 0.40\text{s}$ 'dir.
- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, süneklik düzeyi normal betonarme bina olduğundan: $R = 4$ 'tür.
- Konut tipi bina olduğu için, Bina Önem Katsayısı: $I = 1$ 'dir.
- Beton sınıfı C20'dir.
- Çelik sınıfı S420'dir.

5.3 Yapıya Etki Eden Yükler

Zati yükler döşeme, kiriş, kolon ve duvar ağırlıklarının toplamıdır. Bu hesaplamalarda kabul edilen bazı yükler aşağıda açıklanmışlardır.

Döşemelerde, şap+kaplama, duvarlarda da sıva+kaplama ağırlığı olarak 1.50 kN/m^2 ek yük, zati ağırlığa eklenmiştir. Dış duvarların birim ağırlığı 3.0 kN/m^2 , iç duvarların birim ağırlığı ise 2.5 kN/m^2 olarak alınmıştır. Betonun birim hacim ağırlığı 25.0 kN/m^3 olarak kabul edilmiştir. Bu değerler kullanılarak hesaplanan kat ağırlıkları Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1: Zati Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları

Kat	Kolon, Kiriş ve Döşeme (kN)	İç-Dış Duvar, Sıva, Şap, Kaplama (kN)	G_i Toplam Sabit Yük (kN)
4. Kat	2002.73	397.88	2400.61
3. Kat	1575.95	1258.41	2834.36
2. Kat	1575.96	1371.81	2947.77
1. Kat	1591.70	1371.81	2963.51
Zemin Kat	1674.51	1371.81	3046.32
1. Bodrum Kat	1565.91	1283.08	2848.99
2. Bodrum Kat	2807.46	1257.42	4064.88
TOPLAM			21106.44

Hareketli yükler çatı katı için 1.50 kN/m^2 , diğer katlar için 2.0 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir. Hareketli Yük Katılım Katsayısı “n”, konut tipi bir yapı olduğu için 0.3 olarak alınmıştır. Hareketli yüklerden oluşan kat ağırlıkları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2: Hareketli Yüklerden Oluşan Kat Ağırlıkları

Kat	$Q_i \text{ (kN)}$	n	$n.Q_i \text{ (kN)}$
4. Kat	398.48	0.3	119.55
3. Kat	370.28	0.3	111.08
2. Kat	370.28	0.3	111.08
1. Kat	370.28	0.3	111.08
Zemin Kat	370.28	0.3	111.08
1. Bodrum Kat	338.38	0.3	101.52
2. Bodrum Kat	494.56	0.3	148.37
TOPLAM			813.76

Bina toplam ağırlığı olan W, Denklem (5.1), kat ağırlıklarını ifade eden w_i Denklem (5.2) yardımı ile hesaplanabilir. Bu bağıntılarda, “g” zati yükleri, “q” ise hareketli yükleri ifade etmektedir. Hesaplanan ağırlıklar, Tablo 5.3’de gösterilmişlerdir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (5.1)$$

$$w_i = g_i + n.q_i \quad (5.2)$$

Tablo 5.3: Yapı Kat Ağırlıkları ve Kütleleri

Kat	$G_i \text{ (kN)}$	$n.Q_i \text{ (kN)}$	$w_i \text{ (kN)}$	$m_i \text{ (kNs}^2/\text{m)}$
4. Kat	2400.60	119.55	2520.15	256.90
3. Kat	2834.37	111.08	2945.45	300.25
2. Kat	2947.77	111.08	3058.85	311.81
1. Kat	2963.52	111.08	3074.60	313.41
Zemin Kat	3046.32	111.08	3157.40	321.85
1. Bodrum Kat	2848.98	101.52	2950.50	300.76
2. Bodrum Kat	4064.88	148.37	4213.25	429.49
W (Bina Toplam Ağırlığı)			21920.20	

5.4 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Yatay Kuvvetlerin Hesaplanması

Binanın tümüne etkiyen eşdeğer deprem yükü;

$$V_t = \frac{W \times A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \quad (5.3)$$

denklemi ile, $A(T_1)$ spektral ivme katsayısı ise Denklem (5.4) ile bulunabilir.

$$A(T) = A_0 \times I \times S(T) \quad (5.4)$$

Spektrum katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak; Denklem (5.5a), (5.5b) ve (5.5c)'den uygun olanı ile hesaplanabilir.

$$S(T) = 1 + 1.5 \times T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.5a)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (5.5b)$$

$$S(T) = 2.5 \times (T_B / T)^{0.8} \quad (T \geq T_B) \quad (5.5c)$$

İncelenen binanın 2. bodrum katı tamamen betonarme perdeler ile çevrilmiş olduğundan ve bodrum kat döşemeleri yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığından; D.B.Y.B.H.Y. (2007)'e göre, 2. bodrum kat rijit bodrum kat olarak kabul edilmiş ve diğer katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri ayrı ayrı hesaplanmışlardır. Yapı doğal titreşim periyotları (2. bodrum kat hariç), ETABS programında oluşturulan hesap modeli kullanılarak; x yönü için $T_{1x}=0.407$ sn ve y yönü için $T_{1y}=0.643$ sn olarak bulunmuşlardır. $T_A=0.15$ s, $T_B=0.40$ s olduğu için spektrum katsayısı Denklem (5.5c) kullanılarak hesaplanır. Hesaba katılmayan bodrum kat için, deprem yönetmeliği gereği, Spektrum Katsayısı $S(T)=1$ alınır. Spektral ivme katsayısı ise Denklem (5.4) ile hesaplanır.

$$S(T_{1x}) = 2.5 \times (0.40/0.407)^{0.8} = 2.466$$

$$S(T_{1y}) = 2.5 \times (0.40/0.643)^{0.8} = 1.710$$

$$A(T_{1x}) = A_0 \times I \times S(T) = 0.40 \times 1 \times 2.466 = 0.987$$

$$A(T_{1y}) = A_0 \times I \times S(T) = 0.40 \times 1 \times 1.710 = 0.684$$

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$, Denklem 5.6 ve 5.7 kullanılarak belirlenir.

Ayrı hesaplanan rijit bodrum katı için bu değer $R_a(T)=1.5$ olarak kabul edilir.

$$R_a(T) = 1.5(R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (5.6)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A \leq T) \quad (5.7)$$

$T_{1x}=0.407s$, $T_{1y}=0.643s$ ve $T_A=0.15s$ olduğundan Denklem 5.7 sağlanmış olur ve her iki deprem doğrultusu için $R_a(T)=R=4$ alınır.

Yapı 1. derece deprem bölgesinde olduğundan, her katta burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığından (ilerleyen bölümlerde sunulmuştur) ve toplam bina yüksekliği 25m'den az ($H_{bina} = 21.00$ m) olduğundan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulanabilir.

Toplam eşdeğer deprem yükü kuvveti Denklem (5.3) kullanılarak hesaplanır.

$$V_{tx} = \frac{17706.95 \times 0.987}{4} \geq 0.10 \times 0.40 \times 1 \times 17706.95 \Rightarrow 4369.19 \text{ kN} \geq 708.28 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = \frac{17706.95 \times 0.684}{4} \geq 0.10 \times 0.40 \times 1 \times 17706.95 \Rightarrow 3027.89 \text{ kN} \geq 708.28 \text{ kN}$$

Katlara etkiyen, eşdeğer deprem yüklerinin toplamı Denklem (5.8) ile, binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü Denklem (5.9) ile ve bina katlarına dağıtılacak eşdeğer deprem yükü Denklem (5.10) ile hesaplanmıştır. Rijit perdelerle çevrili bodrum kata etkiyen eşdeğer deprem yükü ise Denklem (5.11) ile bulunmuştur. Elde edilen değerler, Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 ile gösterilmiştir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (5.8)$$

$$\Delta F_N = 0.0075 \times N \times V_t \quad (5.9)$$

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (5.10)$$

$$F_{bk} = A_0 \times I \times w_{bk} / 1.5 \quad (5.11)$$

$$\Delta F_{Nx} = 0.0075 \times 6 \times 4369.19 = 196.61 \text{ kN}, \Delta F_{Ny} = 0.0075 \times 6 \times 3027.89 = 136.26 \text{ kN}$$

$$F_{ix} = (4369.19 - 196.61) \times (w_i H_i / \sum w_j H_j), F_{iy} = (3027.89 - 136.26) \times (w_i H_i / \sum w_j H_j)$$

$$F_{bk} = (0.4 \times 1 \times 4213.25) / 1.5 = 1123.53 \text{ kN olarak hesaplanmıştır.}$$

Tablo 5.4: Katlara x-x Doğrultusunda Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Kat	H _i (m)	w _i (kN)	w _i .H _i	F _{ix} (kN)
4. Kat	18	2520.15	45362.70	1236.68
3. Kat	15	2945.45	44181.75	1012.99
2. Kat	12	3058.85	36706.20	841.59
1. Kat	9	3074.60	27671.40	634.44
Zemin Kat	6	3157.40	18944.40	434.35
1. Bodrum Kat	3	2950.50	8851.50	202.95
2. Bodrum Kat		4213.25		1123.53
TOPLAM		21920.20	181987.95	5486.53

4. kata etkiyen eşdeğer deprem yükü için hesap aşağıdaki gibi yapılmıştır;

$$F_{ix} = (4369.19 - 196.61) * (w_i H_i / \sum w_j H_j) + 196.61 = 1040.07 + 196.61 = 1236.68 \text{ kN}$$

Tablo 5.5: Katlara y-y Doğrultusunda Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri

Kat	H _i (m)	w _i (kN)	w _i .H _i	F _{iy} (kN)
4. Kat	18	2520.15	45362.70	857.03
3. Kat	15	2945.45	44181.75	702.01
2. Kat	12	3058.85	36706.20	583.23
1. Kat	9	3074.60	27671.40	439.67
Zemin Kat	6	3157.40	18944.40	301.01
1. Bodrum Kat	3	2950.50	8851.50	140.64
2. Bodrum Kat		4213.25		1123.53
TOPLAM		21920.20	181987.95	4147.12

4. kata etkiyen eşdeğer deprem yükü için hesap aşağıdaki gibi yapılmıştır;

$$F_{iy} = (3027.89 - 136.26) * (w_i H_i / \sum w_j H_j) + 136.26 = 720.77 + 136.26 = 857.03 \text{ kN}$$

Modal analiz sonucunda elde edilen kat ötelenmeleri Tablo 5.6’da gösterilmişlerdir.

Tablo 5.6: Örnek Yapıya Ait Kat Ötelenmeleri

Kat	Φ_{xi} (m)	Φ_{yi} (m)
4. Kat	0.0302	0.0254
3. Kat	0.0240	0.0200
2. Kat	0.0183	0.0154
1. Kat	0.0127	0.0107
Zemin Kat	0.0076	0.0063
1. Bodrum Kat	0.0033	0.0029
2. Bodrum Kat	0.0003	0.0004

5.5 Düzensizliklerin Kontrolü

Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007 esasları doğrultusunda, binada bulunması muhtemel düzensizlikler, her iki deprem doğrultusunda ve her iki yön için incelenmiştir.

A1–Burulma Düzensizliği kontrolleri Tablo 5.7, Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve 5.10’da gösterilmişlerdir.

Tablo 5.7: +X Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat	d_{i-min} (m)	d_{i-max} (m)	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
4. Kat	0.035202	0.049726	0.007489	0.006905	1.119
3. Kat	0.029310	0.042237	0.008744	0.007544	1.159
2. Kat	0.022966	0.033493	0.009683	0.008107	1.194
1. Kat	0.016435	0.023810	0.009618	0.008081	1.190
Zemin Kat	0.009892	0.014192	0.008644	0.007237	1.194
1. Bodrum Kat	0.004062	0.005548	0.005258	0.004518	1.164
2. Bodrum Kat	0.000285	0.000290	0.000290	0.000283	1.009

Tablo 5.8: -X Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat	d_{i-min} (m)	d_{i-max} (m)	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
4. Kat	0.035110	0.045908	0.007052	0.0065120	1.083
3. Kat	0.029138	0.038856	0.008132	0.0072780	1.117
2. Kat	0.022714	0.030724	0.008917	0.0077645	1.148
1. Kat	0.016102	0.021807	0.008809	0.0075675	1.164
Zemin Kat	0.009776	0.012998	0.007877	0.0067460	1.168
1. Bodrum Kat	0.004161	0.005121	0.004793	0.0043255	1.108
2. Bodrum Kat	0.000303	0.000328	0.000328	0.0003155	1.040

Tablo 5.9: +Y Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat	d_{i-min} (m)	d_{i-max} (m)	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
4. Kat	0.042542	0.060210	0.008541	0.0077890	1.097
3. Kat	0.035505	0.051669	0.010369	0.0088190	1.179
2. Kat	0.028263	0.041273	0.011818	0.0099275	1.190
1. Kat	0.020226	0.029455	0.011925	0.0100285	1.189
Zemin Kat	0.012094	0.017530	0.010697	0.0089585	1.194
1. Bodrum Kat	0.004874	0.006833	0.005936	0.0050410	1.178
2. Bodrum Kat	0.000728	0.000897	0.000897	0.0008125	1.140

Tablo 5.10: -Y Doğrultusunda Burulma Düzensizliği Kontrolü

Kat	d_{i-min} (m)	d_{i-max} (m)	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}
4. Kat	0.043190	0.046842	0.007091	0.0073155	0.969
3. Kat	0.035650	0.039751	0.008315	0.0081195	1.024
2. Kat	0.027726	0.031436	0.009173	0.0086140	1.065
1. Kat	0.019671	0.022263	0.009094	0.0084255	1.079
Zemin Kat	0.011914	0.013169	0.007959	0.0073450	1.084
1. Bodrum Kat	0.005183	0.005210	0.004238	0.0043010	0.985
2. Bodrum Kat	0.000819	0.000972	0.000972	0.0008955	1.085

Binada, her iki ana doğrultuda da η_{bi} katsayısı 1.20 değerini aşmadığından, A-1 düzensizliği bulunmamaktadır.

A2–Döşeme Süreksizlikleri kontrolleri aşağıda yapılmıştır:

- I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3 (0.33)’ünden fazla olmaması durumu Tablo 5.11 ile gösterilmiştir.

Tablo 5.11: Kat Boşluk Alanları Toplamlarının Kat Brüt Alanlarına Oranları

Kat	Kat Alanı (m ²)	Boşluk Alanı (m ²)	Oran	Kontrol
4. Kat	276.50	11.61	0.042	TAMAM
3. Kat	199.00	11.61	0.058	TAMAM
2. Kat	199.00	11.61	0.058	TAMAM
1. Kat	199.00	11.61	0.058	TAMAM
Zemin Kat	167.50	11.61	0.069	TAMAM
1. Bodrum Kat	256.50	11.61	0.045	TAMAM
2. Bodrum Kat	256.50	11.61	0.045	TAMAM

- II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu bulunmamaktadır.
- III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu bulunmamaktadır.

A3–Planda Çıkıntılar Bulunması durumuna ilişkin süreksizlik kontrolleri için dikkat edilmesi gereken boyutta çıkıntı bulunan tek kat olan 2. Bodrum Kat incelenmiştir, (Tablo 5.12).

Tablo 5.12: 2. Bodrum Kat Planında Çıkıntı Yapan Kısımların İncelenmesi

x yönü kat planı uzunluğu (m)	y yönü kat planı uzunluğu (m)	x yönü çıkıntı uzunluğu (m)	y yönü çıkıntı uzunluğu (m)	x yönünde oran	y yönünde oran
21.70	14.00	10.85	3.25	0.50	0.23

Her iki yön için de çıkıntıların kat planına oranı %20'yi aştığından yapıda A-3 türü düzensizlik mevcuttur.

B-1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) kontrolü için, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının bir üst kattaki etkili kesme alanına oranının 0.80'den küçük olup olmadığı hesaplanır.

Örnek yapıda 2. bodrum kat, rijit perdelerle çevrili olduğundan, 1. bodrum katın etkili kesme oranından çok daha yüksek bir orana sahiptir. 1. bodrum kat ve üzerindeki katlarda ise, her iki deprem doğrultusu için, perde alanları değişmediğinden, duvar alanları aynı kabul edildiğinden ve kolon kesitlerindeki değişimler ihmal edilebilir düzeyde olduğundan yapıda B-1 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

B-2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) kontrolü, her iki deprem doğrultusunda ve her iki yön için, aşağıda verilen Tablo 5.13, Tablo 5.14, Tablo 5.15 ve Tablo 5.16'da yapılmıştır.

Tablo 5.13: +X Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü

Kat	h_i (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	
				$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
4. Kat	3.0	0.006905	0.002302		0.915308
3. Kat	3.0	0.007544	0.002515	1.095280	0.930792
2. Kat	3.0	0.008107	0.002702	1.074354	1.002970
1. Kat	3.0	0.008081	0.002694	0.997039	1.116915
Zemin Kat	3.0	0.007237	0.002412	0.895323	1.601594
1. Bodrum Kat	3.0	0.004518	0.001506	0.624378	16.02128
2. Bodrum Kat	3.0	0.000283	0.000094	0.062417	

Tablo 5.14: -X Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü

Kat	h_i (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	
				$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
4. Kat	3.0	0.006512	0.002170		0.894751
3. Kat	3.0	0.007278	0.002426	1.117629	0.937343
2. Kat	3.0	0.007764	0.002588	1.066845	1.029032
1. Kat	3.0	0.007567	0.002522	0.974628	1.121776
Zemin Kat	3.0	0.006746	0.002249	0.891444	1.559588
1. Bodrum Kat	3.0	0.004325	0.001442	0.641195	13.70998
2. Bodrum Kat	3.0	0.000315	0.000105	0.072940	

Tablo 5.15: +Y Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü

Kat	h_i (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	
				$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
4. Kat	3.0	0.007789	0.002596		0.883207
3. Kat	3.0	0.008819	0.002940	1.132238	0.888340
2. Kat	3.0	0.009927	0.003309	1.125695	0.989929
1. Kat	3.0	0.010028	0.003343	1.010174	1.119440
Zemin Kat	3.0	0.008958	0.002986	0.893304	1.777128
1. Bodrum Kat	3.0	0.005041	0.001680	0.562706	6.204308
2. Bodrum Kat	3.0	0.000812	0.000271	0.161178	

Tablo 5.16: -Y Yönü İçin Rijitlik Düzensizliği Kontrolü

Kat	h_i (m)	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	$(\Delta_i/h_i)_{ort}$ (m)	η_{ki}	
				$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{ort}$	$(\Delta_i/h_i)_{ort}/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})_{ort}$
4. Kat	3.0	0.007315	0.002438		0.900979
3. Kat	3.0	0.008119	0.002706	1.109904	0.942593
2. Kat	3.0	0.008614	0.002871	1.060903	1.022373
1. Kat	3.0	0.008425	0.002808	0.978117	1.147107
Zemin Kat	3.0	0.007345	0.002448	0.871758	1.707742
1. Bodrum Kat	3.0	0.004301	0.001434	0.585568	4.802903
2. Bodrum Kat	3.0	0.000895	0.000298	0.208207	

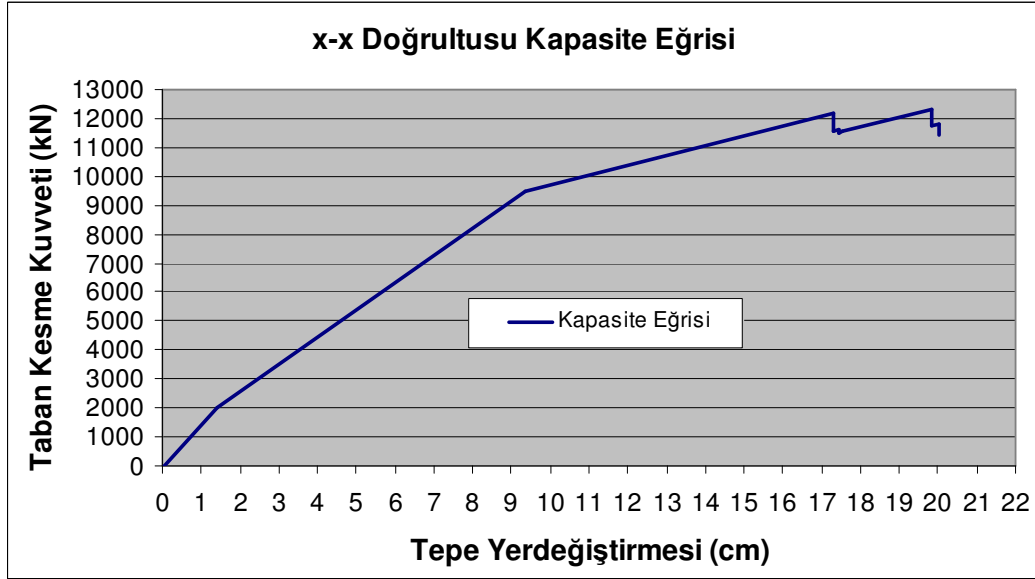
2. bodrum kat rijit perdelerle çevrili olduğundan, binada B-2 türü düzensizliğe neden olmaktadır.

Binanın köşe kolonlarından iki tanesinde guse oluşturulmuş olması ve üst katlardaki kolonların bu guselerin üzerine oturuyor olması nedeni ile yapıda B-3 türü (Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği) düşey düzensizlik mevcuttur.

5.6 ETABS Programı İle Yapılan Statik İtme Analizinin Sonuçları

5.6.1 Yapıda x-x Doğrultusu İçin Analiz Sonuçları

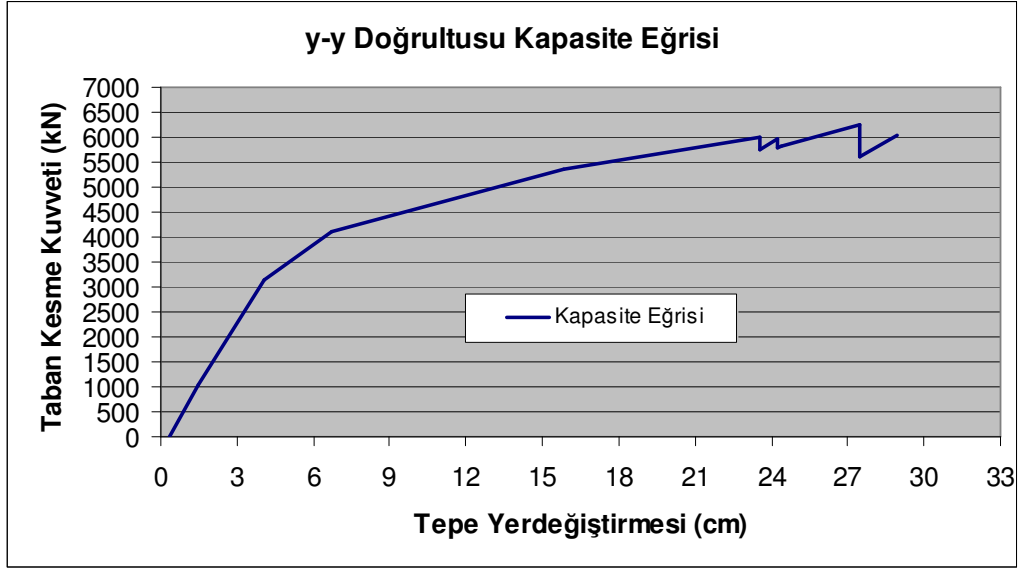
Sistemin ETABS programında analiz edilmesi sonucunda, Taban Kesme Kuvveti ile Tepe Yerdeğiştirmesi arasındaki ilişkiyi gösteren Kapasite Eğrisi elde edilmiştir, (şekil 5.2). x-x doğrultusu için taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 11456.14$ kN ve tepe yer değiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0.2002$ m olarak bulunmuştur. Yapının bu doğrultudaki yük parametresi (Binanın karşıladığı taban kesme kuvveti/Binaya etkiyen deprem yükü) $P_{göçme} = 2.622$ olarak hesaplanmıştır.



şekil 5.2: Yapının X-X Doğrultusundaki Kapasite Eğrisi

5.6.2 Yapıda y-y Doğrultusu İçin Analiz Sonuçları

Analiz sonucunda yapının y-y doğrultusu için elde edilen kapasite eğrisi şekil 5.3’de gösterilmiştir. Yapının bu doğrultudaki taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 6028.89$ kN, tepe yerdeğiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0.2891$ m ve yük parametresi $P_{göçme} = 1.991$ olarak hesaplanmıştır.



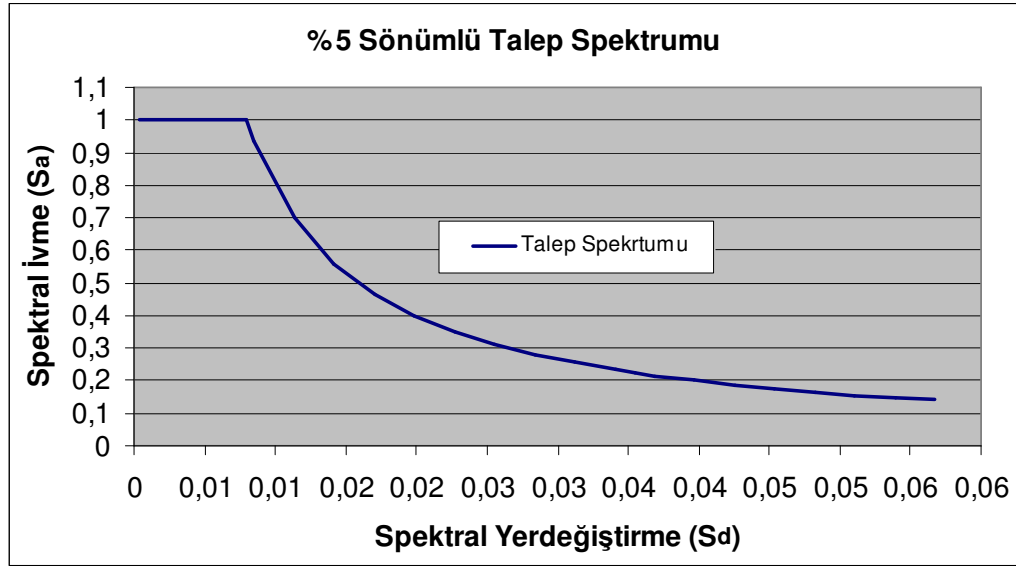
Şekil 5.3: Yapının Y-Y Doğrultusundaki Kapasite Eğrisi

5.7 Yapının Performans Noktalarının Kapasite Spektrumu Yöntemi İle Bulunması

Elde edilen kapasite eğrileri kullanılarak 4. Bölüm’de anlatılmış olan Yöntem A yardımıyla yapının performans noktası bulunacaktır.

5.7.1 Yapının x-x Doğrultusundaki Performans Noktasının Bulunması

Performans noktasının bulunmasında ilk adım olarak %5 sönümlü talep spektrumu oluşturulur, (Şekil 5.4). Bu spektrum yapının her iki deprem doğrultusu için değişmemektedir. Talep spektrumunun çizilebilmesi için gerekli olan ve Bölüm 4.3.3’de ayrıntılı olarak anlatılan parametrelerden uygun olanları seçilmişlerdir. Buna göre, yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu için Deprem Bölge Katsayısı $Z=0.4$, büyük bir deprem kaynağına olan mesafenin 15 km’den büyük olduğu varsayımından yola çıkılarak $N_A=1$ ve $N_V=1$, tasarım depremi etkisi için çözüm arandığından $E=1$ olarak seçilmiştir. Yerel zemin sınıfı ise S_C (çok sıkı zemin) olarak kabul edilmiştir. ZEN çarpanlarının 0.4 ve yerel zemin sınıfının S_C olması gözönünde bulundurularak; Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’den C_A parametresi 0.40 ve C_V parametresi 0.56 olarak okunur. Bu parametreler sayesinde %5 sönümlü talep spektrumu çizilir. Spektrum oluşturulurken periyot yerine spektral yerdeğiştirme değerleri $S_d = (S_a * T^2) / 4\pi^2$ formülü yardımıyla hesaplanarak yazılır. $T_S = C_V / (2.5 * C_A) = 0.56$ s ve $T_a = 0.2 * T_S = 0.112$ s olarak hesaplanır.

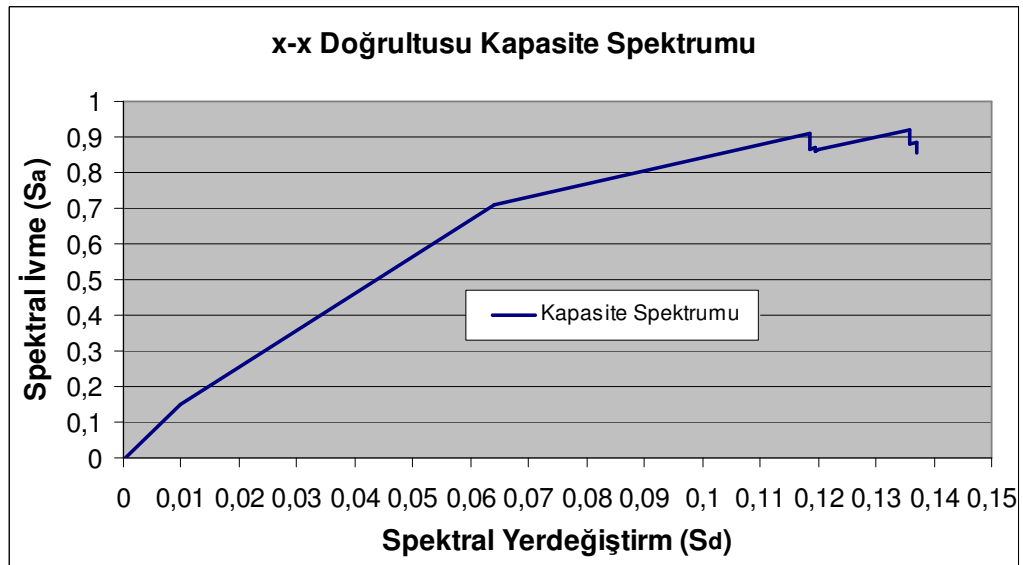


Şekil 5.4: %5 Sönümlü Talep Spektrumu

Kapasite eğrisi Bölüm 4.3.2’de anlatıldığı şekilde, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Denklem 4.3 ve 4.5 kullanılarak Γ_1 ve α_1 değerleri hesaplanır. Formüllerdeki Φ_{xi} değerleri, modal analiz sonucu ortaya çıkan, hesap yapılan yöne ait kat ötelenme değerleridir.

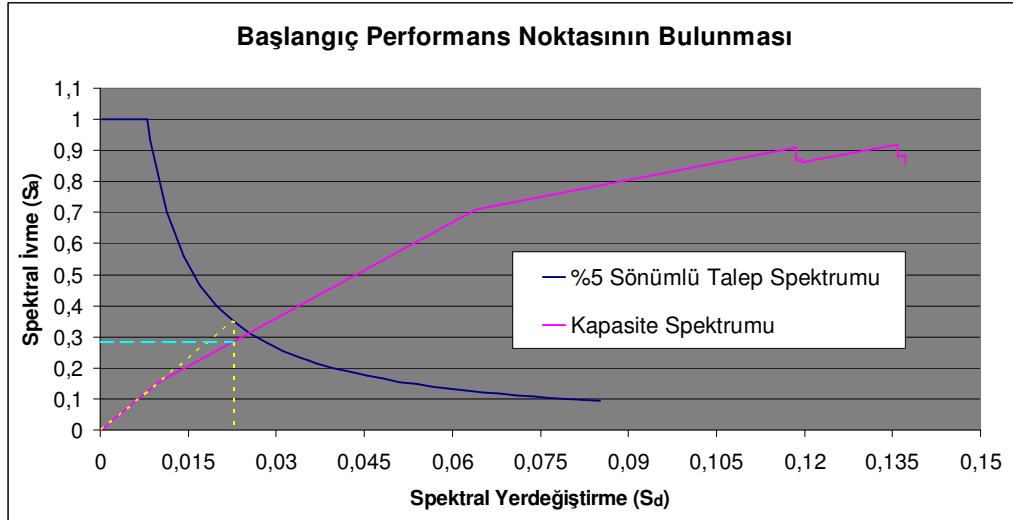
$\Gamma_1 = 48.31$ ve $\alpha_1 = 0.6101$ olarak hesaplanmıştır.

Denklem (4.6) ve (4.7) kullanılarak Taban Kesme Kuvveti-Tepe Yerdeğiştirmesi grafiği, yani kapasite eğrisi, Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme formatındaki Kapasite Spektrumuna Dönüştürülür, (Şekil 5.5).



Şekil 5.5: Yapının X-X Doğrultusundaki Kapasite Spektrumu

Talep ve kapasite spektrumları Şekil 5.6’da görüldüğü gibi aynı grafik üzerinde çizilmişlerdir. Kapasite spektrumunun doğrusal kısmı uzatılarak talep spektrumu eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bulunan noktadan kapasite spektrumunun üzerine dik bir doğru çizilerek bu noktanın izdüşümü bulunmuştur. Koordinatları $S_{api} = 0.2832$ ve $S_{dpi} = 0.0227$ olan bu nokta başlangıç performans noktası olarak kabul edilip işlemlere devam edilmiştir.

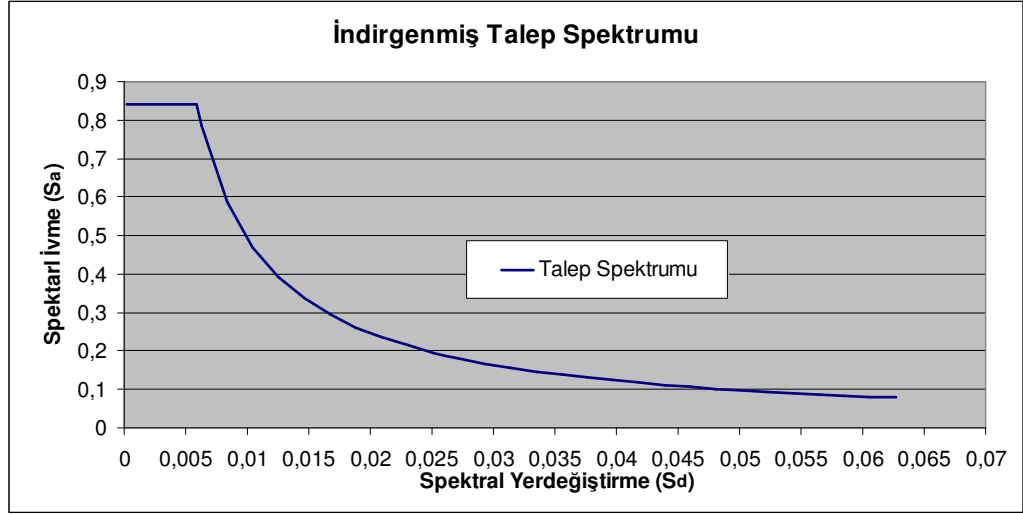


Şekil 5.6: X-X Doğrultusunda Başlangıç Performans Noktası

Bulunan başlangıç performans noktası ile kapasite spektrumunun doğrusal kısmından uzatılan doğru Bölüm 4.3.4’de anlatıldığı gibi kesiştirilir. Bu kesişim noktasının koordinatları ise $S_{ay} = 0.1497$ ve $S_{dy} = 0.0098$ dir.

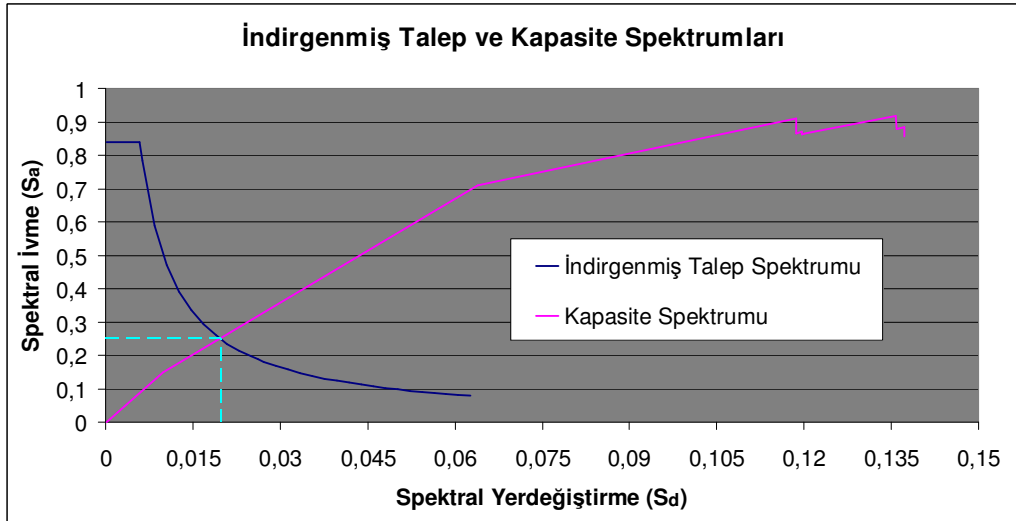
İndirgenmiş talep spektrumunu elde edebilmek için Bölüm 4.3.5’de anlatılan yol izlenir. Yapı davranış türü ve düzeltme katsayısı Tablo 4.6 ve Tablo 4.7 yardımıyla sırası ile Tip C ve $\kappa = 0.33$ olarak bulunur. Denklem 4.12 yardımıyla $\beta_{ef} = 0.07025$, Denklem 4.13 ve Denklem 4.14 kullanılarak da $SR_A = 0.8888$ ve $SR_V = 0.9156$ olarak hesaplanır. SR_A ve SR_V katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrumu indirgenir, (Şekil 5.7).

İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumu Şekil 5.8’de gösterildiği gibi birlikte çizilir ve kesiştikleri noktanın koordinatları, $S_{ap} = 0.270$ ve $S_{dp} = 0.02144$ olarak okunur. Bulunan bu noktanın performans noktası olarak kabul edilebilmesi için Bölüm 4.3.6.1.’de verilen $0.95 d_{pi} \leq d_p \leq 1.05 d_{pi}$ koşulunu sağlaması gerekmektedir.



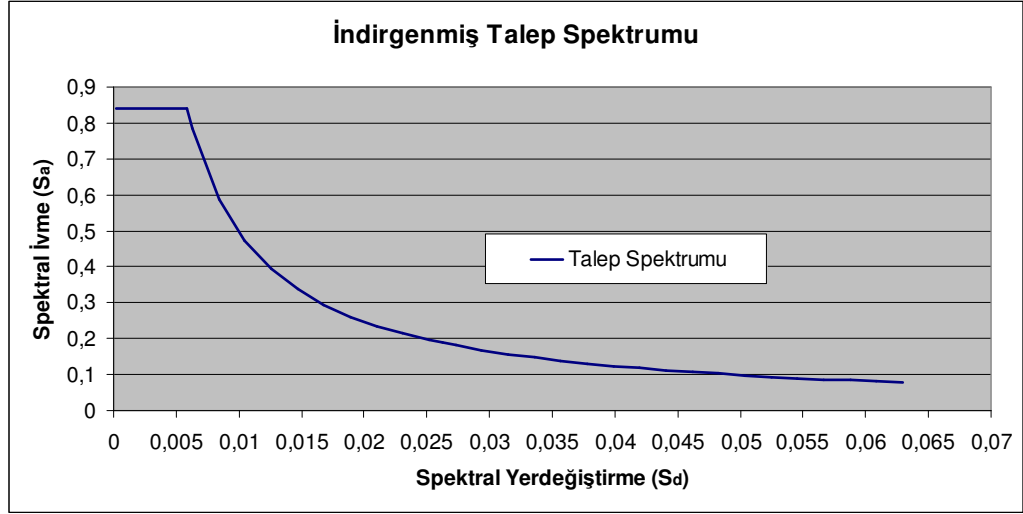
Şekil 5.7: İndirgenmiş Talep Spektrumu

$0.95 \cdot 0.0227 \leq 0.02144 \leq 1.05 \cdot 0.0227$ koşulu sağlanmadığından; bu kesişim noktası başlangıç performans noktası olarak kabul edilir ve iterasyon yapılarak yapının performans noktasını bulabilmek için işlemlere devam edilir.



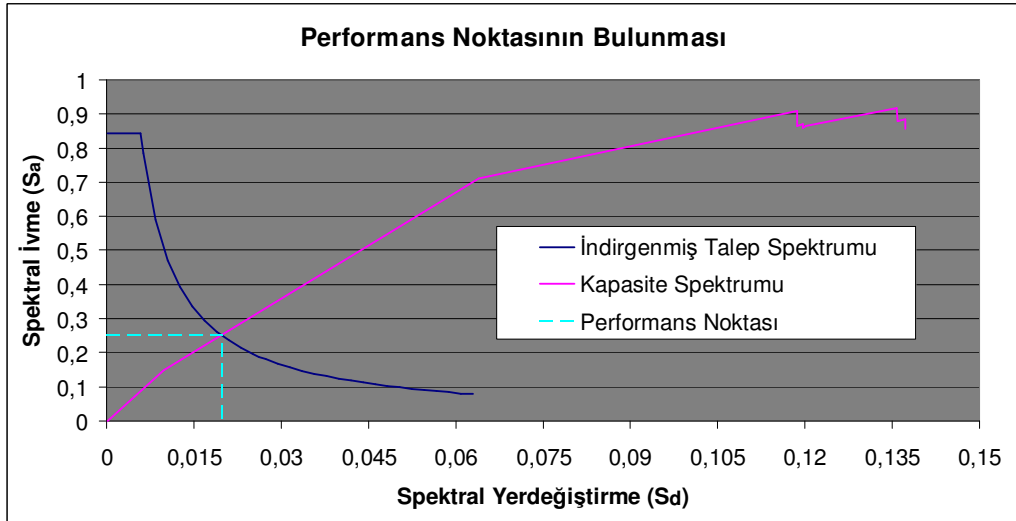
Şekil 5.8: X-X Doğrultusunda Hesap İçin İndirgenmiş Talep ve Kapasite Spektrumları

Yapılan hesaplar sonucunda yeni β_{ef} , SR_A ve SR_V değerleri, sırası ile 0.07028, 0.8887 ve 0.9155 olarak hesaplanır. SR_A ve SR_V katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrumu yeni değerine indirgenir, (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: İterasyon Sonrasında İndirgenmiş Talep Spektrumu

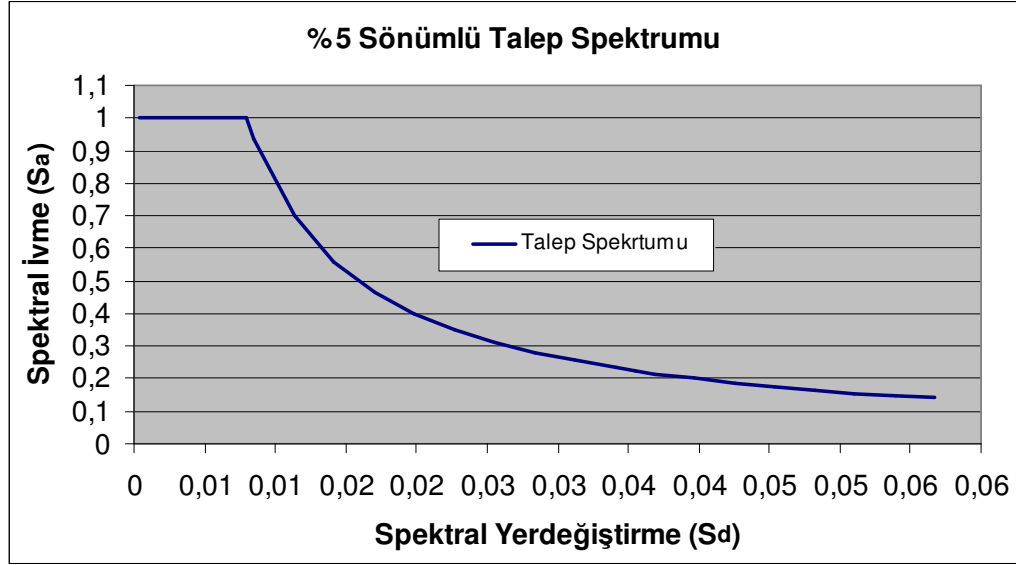
Yeniden indirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumu Şekil 5.10'da gösterildiği gibi üst üste çizilir ve kesiştikleri noktanın koordinatları, $S_{ap} = 0.2701$ ve $S_{dp} = 0.02145$ olarak okunur. Bu nokta $1.05 \cdot 0.02144 \geq 0.02145$ koşulunu sağladığından, yapının x-x doğrultusundaki performans noktası bulunmuş olur.



Şekil 5.10: Yapının X-X Doğrultusundaki Performans Noktası

5.7.2 Yapının y-y Doğrultusundaki Performans Noktasının Bulunması

Yapının bu doğrultudaki performans noktasının bulunmasında da ilk adım olarak %5 sönümlü talep spektrumu, Bölüm 5.6.1'de anlatıldığı şekilde elde edilir, (Şekil5.11).

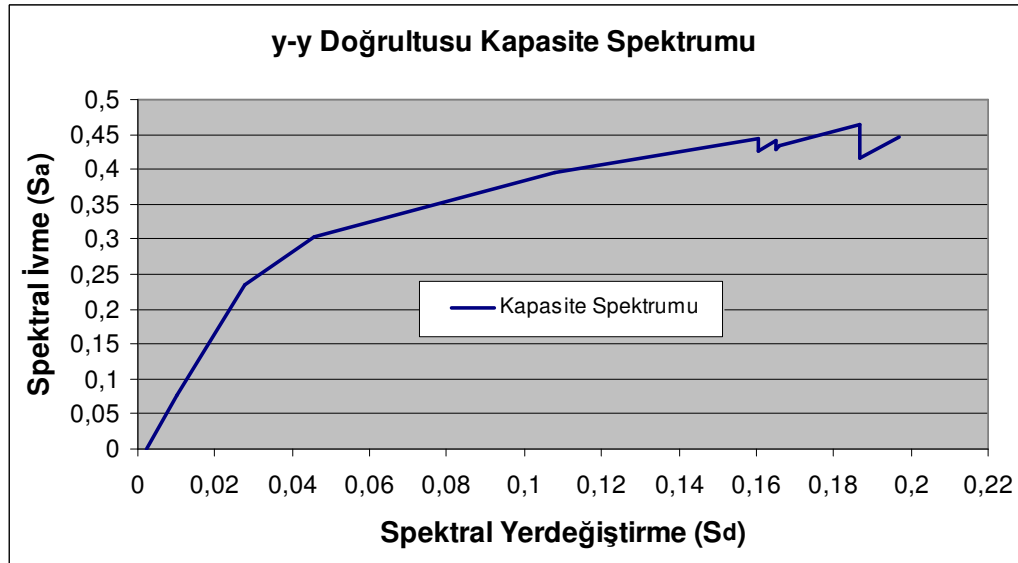


Şekil 5.11: %5 Sönümlü Talep Spektrumu

Yapının y-y doğrultusundaki kapasite eğrisi Bölüm 4.3.2’de anlatıldığı şekilde, kapasite spektrumuna dönüştürülür. Denklem 4.3 ve 4.5 kullanılarak Γ_1 ve α_1 değerleri hesaplanır. Formüllerdeki Φ_{yi} değerleri, modal analiz sonucu ortaya çıkan, hesap yapılan yöne ait kat ötelenme değerleridir.

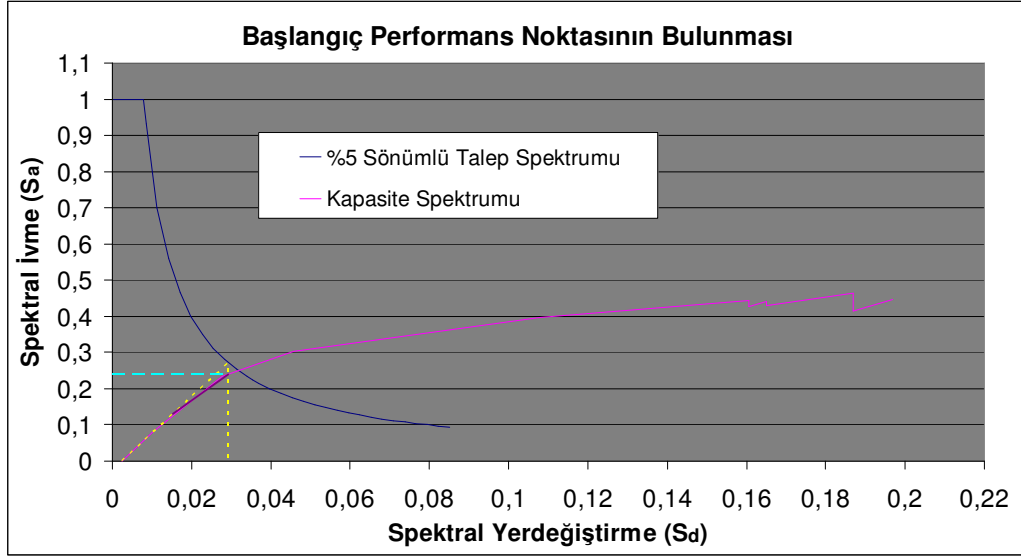
$\Gamma_1 = 57.80$ ve $\alpha_1 = 0.6146$ olarak hesaplanmışlardır.

Kapasite eğrisi, Denklem (4.6) ve (4.7) kullanılarak, Şekil5.12’de görülen, Spektral İvme-Spektral Yerdeğiştirme formatındaki Kapasite Spektrumuna Dönüştürülür.



Şekil 5.12: Yapının Y-Y Doğrultusundaki Kapasite Spektrumu

Talep ve kapasite spektrumları aynı grafik üzerinde çizildikten sonra, kapasite spektrumunun doğrusal kısmı uzatılarak talep spektrumu eğrisi ile kesiştirilmiştir. Bulunan noktadan kapasite spektrumunun üzerine dik bir doğru çizilerek bu noktanın izdüşümü bulunmuştur. Koordinatları $S_{api} = 0.2399$ ve $S_{dpi} = 0.02929$ olan bu nokta başlangıç performans noktasıdır, (Şekil 5.13).

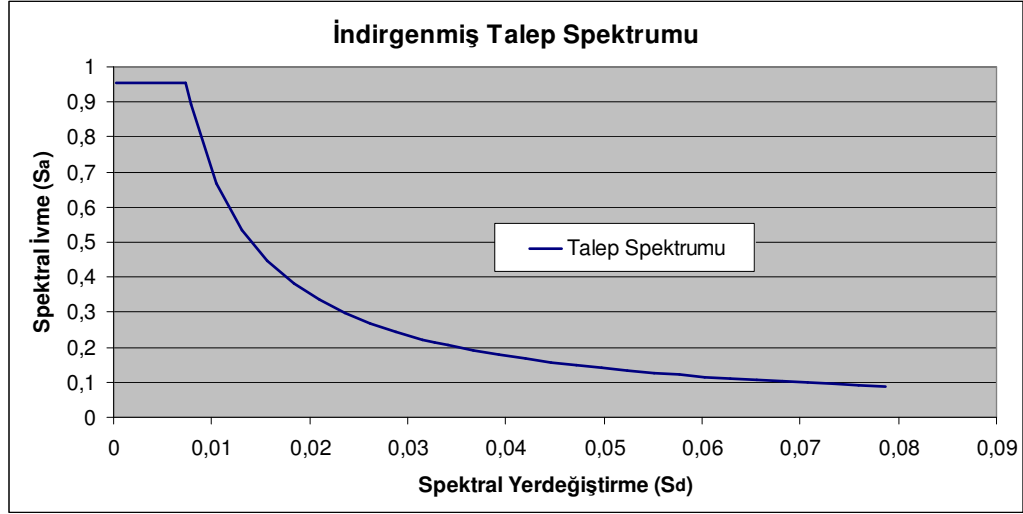


Şekil 5.13: Y-Y Doğrultusunda Başlangıç Performans Noktası

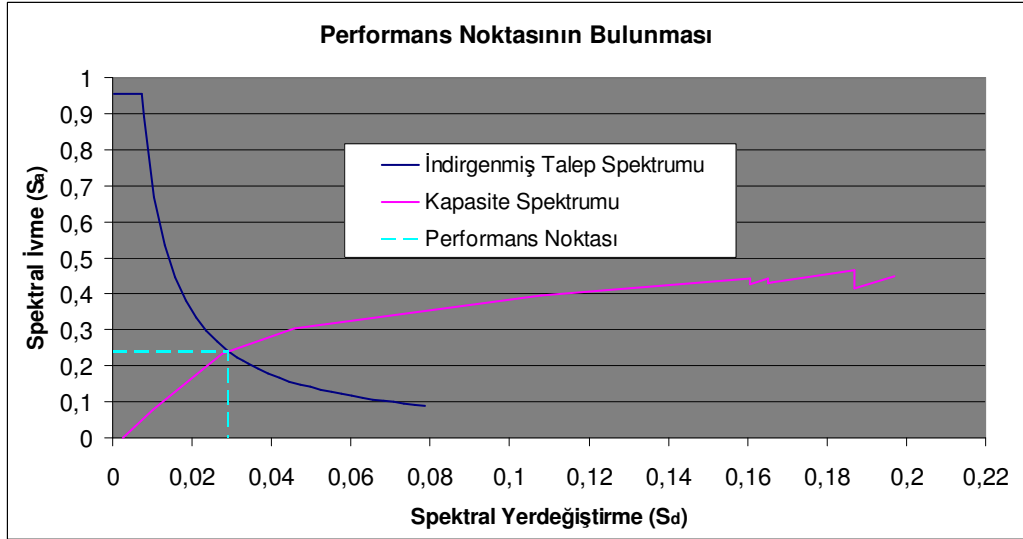
Bulunan başlangıç performans noktası ile kapasite spektrumunun doğrusal kısmından uzatılan doğru Bölüm 4.3.4’de anlatıldığı gibi kesiştirilir. Bu kesişim noktasının koordinatları $S_{ay} = 0.18$ ve $S_{dy} = 0.0226$ dır.

İndirgenmiş talep spektrumunu elde edebilmek için gerekli olan, yapı davranış türü Tablo 4.6’dan Tip C ve düzeltme katsayısı Tablo 4.7’den $\kappa = 0.33$ olarak okunur. Denklem 4.12, Denklem 4.13 ve Denklem 4.14 kullanılarak $\beta_{ef} = 0.05454$, $SR_A = 0.97004$ ve $SR_V = 0.97848$ olarak hesaplanır. SR_A ve SR_V katsayıları kullanılarak %5 sönümlü talep spektrumu indirgenir, (Şekil 5.14).

İndirgenmiş talep spektrumu ile kapasite spektrumu Şekil 5.15’de gösterildiği gibi üst üste çizilir ve kesiştikleri noktanın koordinatları, $S_{ap} = 0.2435$ ve $S_{dp} = 0.0302$ olarak okunur. Bu nokta $1.05 \cdot 0.02929 \geq 0.0302$ koşulunu sağladığından, yapının y-y doğrultusundaki performans noktası bulunmuş olur.



Şekil 5.14: İndirgenmiş Talep Spektrumu

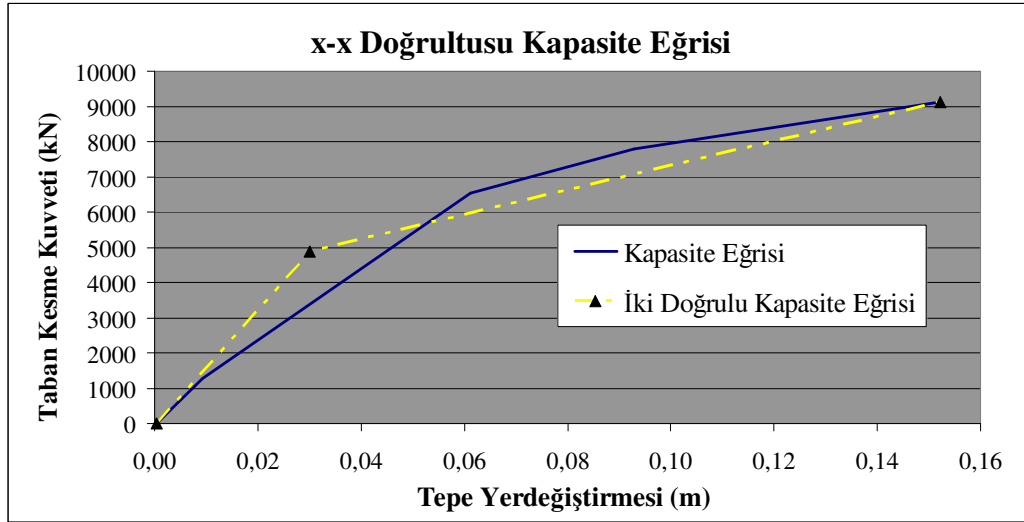


Şekil 5.15: Yapının Y-Y Doğrultusundaki Performans Noktası

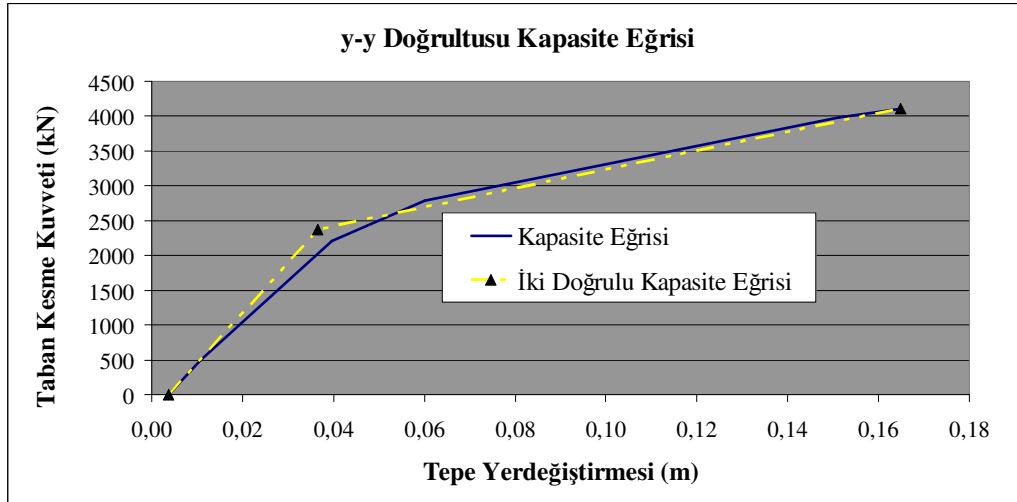
5.8 ETABS Programı İle D.B.Y.B.H.Y. 2007 Esaslarına Göre Yapılan Statik İtme Analizinin Sonuçları ve Yapının Performans Noktalarının Bulunması

ETABS programı kullanılarak modellenen yapının, artımsal itme analizi sonrasında her iki deprem doğrultusu için elde edilen ve tepe yerdeğiştirmesi ile taban kesme kuvveti arasındaki ilişkiyi gösteren kapasite eğrileri Şekil 5.16 ve Şekil 5.17’de görüldüğü gibidir.

Kapasite eğrileri Bölüm 4.2.1’de ayrıntılı olarak anlatılan yöntemler kullanılarak iki doğru hale getirilmiştir.



Şekil 5.16: X-X Doğrultusundaki Kapasite ve İki Doğrulu Kapasite Eğrileri



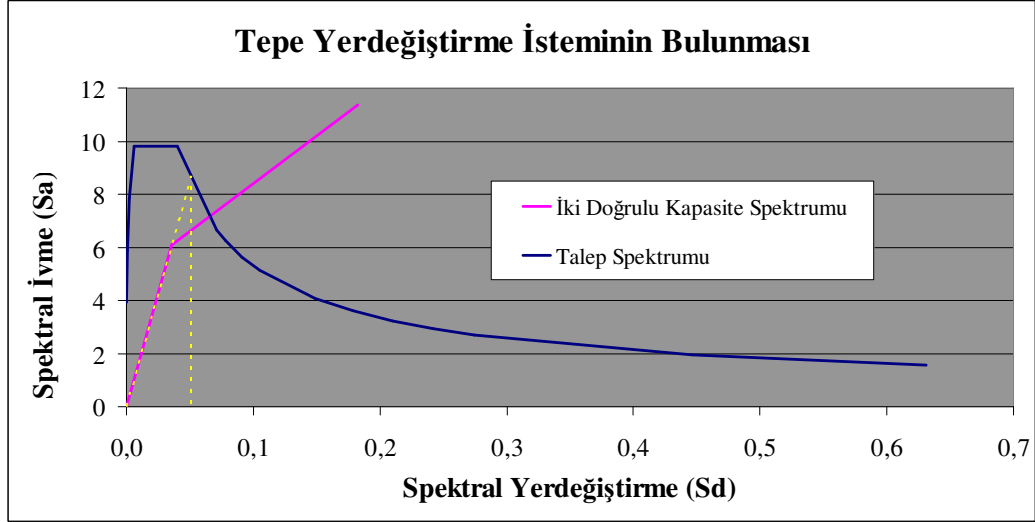
Şekil 5.17: Y-Y Doğrultusundaki Kapasite ve İki Doğrulu Kapasite Eğrileri

X-X doğrultusu için hesapta; Katkı Çarpanı $\Gamma_{x1}=27.65$, Tepe Noktası Mod Şekli Genliği $\Phi_{xN1}=0.0302$, Bina Kütlesi $\Sigma M=2234.47$ ton ve Etkin Kütle Katılım Oranı $\gamma_{x1}=0.3592$ olarak hesaplanmıştır.

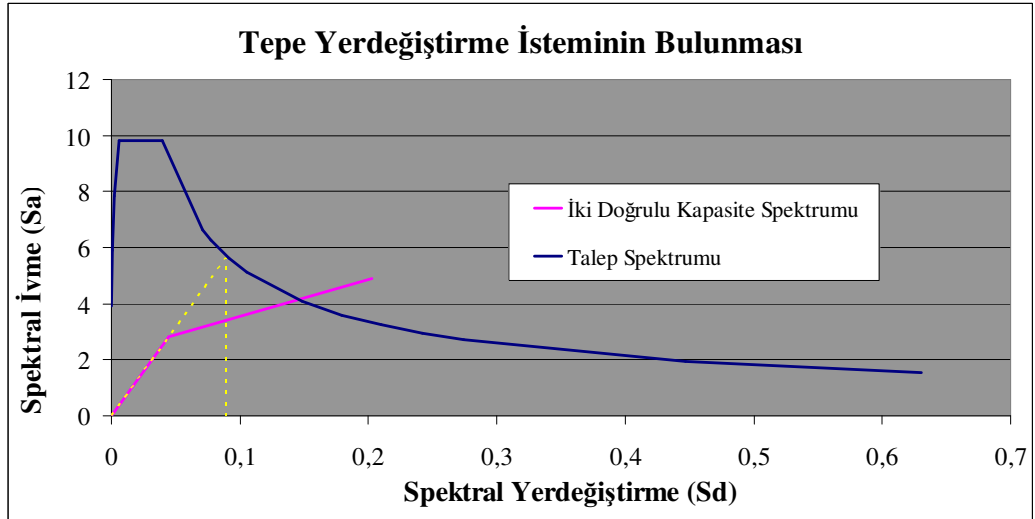
Y-Y doğrultusunda ise; Katkı Çarpanı $\Gamma_{y1}=28.28$, Tepe Noktası Mod Şekli Genliği $\Phi_{yN1}=0.0288$, Bina Kütlesi $\Sigma M=2234.47$ ton ve Etkin Kütle Katılım Oranı $\gamma_{y1}=0.3757$ olarak bulunmuştur.

Her iki yön için elde edilen kapasite eğrileri, Bölüm 4.2.1’de özetlenmiş olan D.B.Y.B.H.Y. 2007 esasları doğrultusunda ve yukarıda verilen parametreler kullanılarak modal kapasite diyagramlarına dönüştürölür. Deprem yönetmeliğinde tanımlanış olan talep spektrumu ile aynı grafik üzerinde çizilen modal kapasite

diyagramlarının doğrusal kısmı uzatılarak talep spektrumu ile kesiştirilir. Kesişim noktasının kapasite spektrumları üzerindeki izdüşümü S_{ae1} değerini vermektedir, (Şekil 5.18 ve Şekil 5.19).



Şekil 5.18: X-X Doğrultusundaki Tepe Yerdeğiştirme İstemi



Şekil 5.19: Y-Y Doğrultusundaki Tepe Yerdeğiştirme İstemi

Bölüm 4.2.1'de verilen bağıntılar yardımıyla, binanın her iki deprem doğrultusu için tepe yerdeğiştirmesi istemi aşağıda hesaplanmıştır.

X-X doğrultusu için:

Şekil 5.18 kullanılarak $S_{ae1}=8.66 \text{ m/s}^2$ okunur. $(\omega_1^{(1)})^2=169.68$ olarak hesaplanır ve $S_{de1}=0.05104$ olarak bulunur.

$T_1^{(1)}=0.4821s > T_B=0.4s$ olduğundan, $C_R=1$ alınır. Dolayısıyla $S_{di1}=0.05104*1=0.05104$ ve $d_1^{(p)}=S_{di1}=0.05104$ olarak hesaplanır.

Binanın x deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi $u_{xN1}^{(p)}=0.0426$ m olarak bulunur.

Y-Y doğrultusu için:

Şekil 5.19 kullanılarak $S_{ae1}=5.64$ m/s² okunur. $(\omega_1^{(1)})^2=63.33$ olarak hesaplanır ve $S_{de1}=0.08934$ olarak bulunur.

$T_1^{(1)}=0.7892s > T_B=0.4s$ olduğundan, $C_R=1$ alınır ve $S_{di1}=0.08934*1=0.08934$ ve $d_1^{(p)}=S_{di1}=0.08934$ olarak hesaplanır.

Binanın y deprem doğrultusundaki tepe yerdeğiştirme istemi $u_{yN1}^{(p)}=0.0728$ m olarak bulunur.

İtme analizleri binanın tepe yer değiştirme istem büyüklüklerine eşit olana kadar tekrarlanmalı ve bu değerlere karşılık gelen tüm istem büyüklükleri Bölüm 4.2.5 ve 4.2.6'da işlenen D.B.Y.B.H.Y. hükümlerine göre hesaplanmalıdır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 3.5'de ayrıntılı olarak incelenen deprem yönetmeliği esasları doğrultusunda değerlendirilerek bina performans düzeyi belirlenebilir.

Yapılan itme analizleri sonucunda ortaya çıkan görelî kat ötelemeleri, Bölüm 3.5'de verilen deprem yönetmeliği sınır koşulu gözönüne alınarak $((\delta_i)_{\max}/h_i \leq 0.02)$, her iki deprem doğrultusu için Tablo 5.17 ve Tablo 5.18'de gösterildiği şekilde incelenmiştir.

Tablo 5.17: X-X Doğrultusu İçin Görelî Kat Ötelemelerinin Kontrolü

Kat	h_i (m)	$(\delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$
4. Kat	3.0	0.007986	0.011
3. Kat	3.0	0.008884	0.012
2. Kat	3.0	0.009061	0.012
1. Kat	3.0	0.008999	0.012
Zemin Kat	3.0	0.008266	0.011
1. Bodrum Kat	3.0	0.007039	0.009
2. Bodrum Kat	3.0	0.000351	0.00005

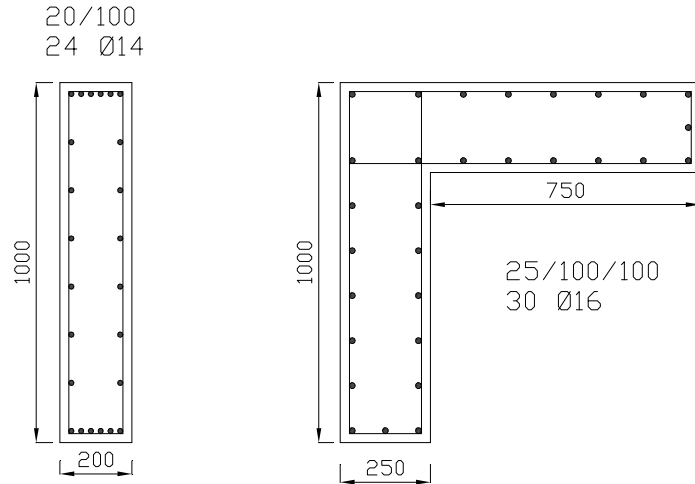
Tablo 5.18: Y-Y Doğrultusu İçin Göreli Kat Ötelemelerinin Kontrolü

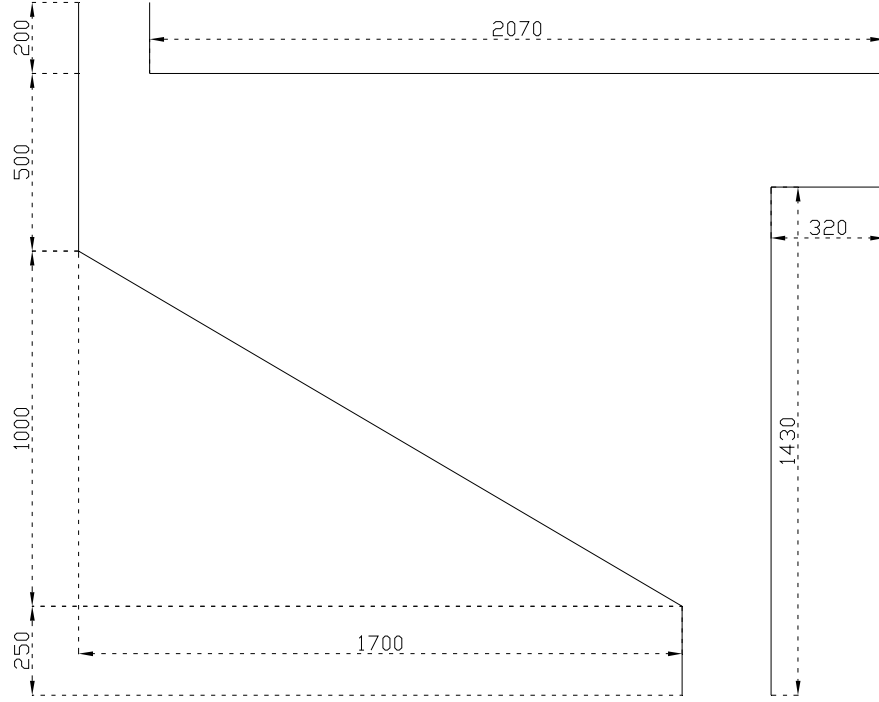
Kat	h_i (m)	$(\delta_i)_{\max}$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$
4. Kat	3.0	0.013120	0.017
3. Kat	3.0	0.012757	0.017
2. Kat	3.0	0.010312	0.014
1. Kat	3.0	0.011092	0.015
Zemin Kat	3.0	0.011922	0.016
1. Bodrum Kat	3.0	0.013784	0.018
2. Bodrum Kat	3.0	0.009960	0.013

Görelî kat ötelemelerinin kontrolü sonucunda, öteleme oranının “Can Güvenliğı” performans seviyesi için verilen 0.02 sınır değeri, her iki deprem doğrultusu için de, hiçbir katta aşmadığı görülmüştür.

5.9 İncelenen Yapıda Düzensizliğe Neden Olan Bir Guseli Kirişin Çubuk Model Yöntemi Kullanılarak Çözümlemesi

Sismik performansı irdelenen örnek konut binasında, düşey düzensizliğe neden olan uygulama köşe kolonların bir alt kat kolonlarına mesnetlenen guselerin uçlarına ötelenmesidir. Bu guseli kirişlerden, 1. bodrum kat hizasında 9-B ve 9-D aksları arasında yer alanı çubuk model yöntemi kullanılarak incelenmiş ve donatı düzeni elde edilerek Ek-A Tablo A.2’de verilen proje değeri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Şekil 5.20’de incelenen guseli kirişin, mesnetlendiğı “L” kesitli kolonun ve bir üst katta kirişin ucuna ötelenen kolonun kesitleri gösterilmiştir.

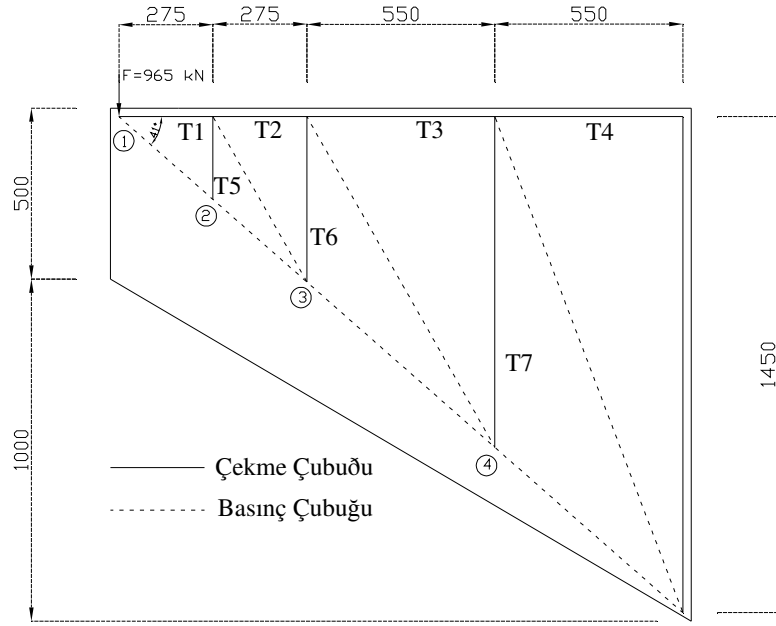




Şekil 5.20: Guseli Kiriş ve Mesnetlendiği Kolonlar

Çözümleme için oluşturulan çubuk model sistemi ve yüklemeler şekil 5.21’de gösterilmişlerdir. ETABS programında yapılan analiz sonucunda elde edilen kesit tesirlerinin oluşturduğu en elverişsiz durum için yükleme hesaplanmıştır. Düğüm noktalarında oluşturulan denge denklemleri ile yapılan hesaplamaların sonuç değerleri ve betonarme projedeki gerçek değerler ile karşılaştırılmaları Tablo 5.19’da gösterilmektedir.

Sonuçlar kontrol edildiğinde, boyuna donatı miktarının yeterli olduğu ve diyagonal beton basınç gerilmesinin de emniyetli sınırlar dahilinde kaldığı görülmektedir. Ancak hesaplamalar, enine donatının (etriye) ise yetersiz olduğu sonucunu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.21: Oluşturulan Çubuk Model

Tablo 5.19: Çubuk Modelin Sonuçları

Çubuk Adı	Gereken Donatı Alanı (mm ²)	Mevcut Donatı Alanı (mm ²)
T1	3010	4021
T2	3010	4021
T3	3010	4021
T4	3010	4021
T5	4807 (mm ² /m)	1507 (mm ² /m)
T7	4807 (mm ² /m)	2260 (mm ² /m)

$$T1 = T2 = T3 = T4 = 965 / \tan \theta_1 = 1098.40 \text{ kN}$$

$$A_{S1} = 1098.40 \cdot 1000 / 365 = 3010 \text{ mm}^2$$

$$T5 = T7 = V_{\max} = 965 \text{ kN}$$

$$a_{sw} = 965 \cdot 1000 / 365 / 0.55 = 4807 \text{ mm}^2$$

$$F_{c,\max} = 965 / \sin \theta = 1462.28 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = 1462.28 / 1 / 0.48 / \cos \theta = 4.06 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,emn} = (0.7 - 20/200) \cdot 13.3 = 7.98 \text{ MPa}$$

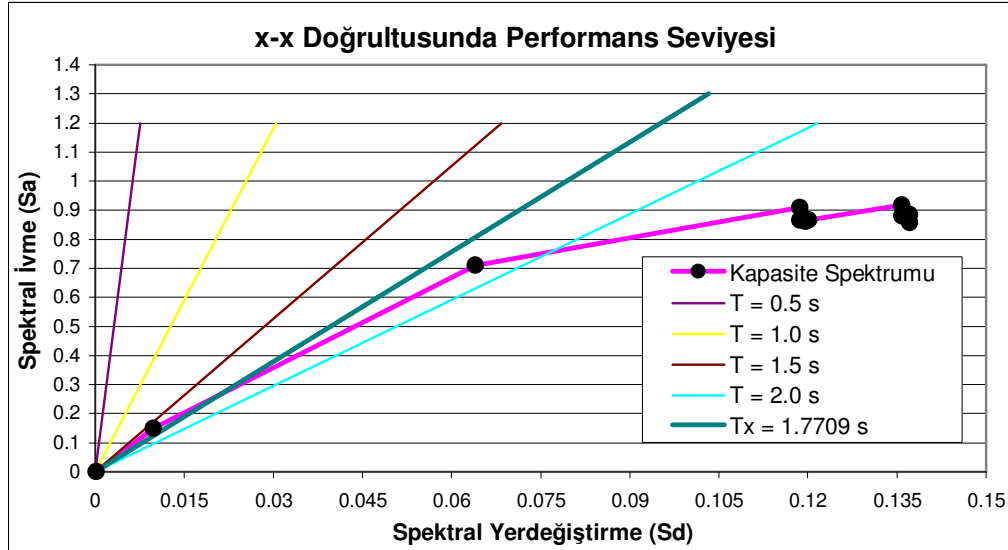
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

1975 deprem yönetmeliği esaslarına göre inşa edilmiş, hem A.B.Y.Y.H.Y. 1998 hem de D.B.Y.B.H.Y. 2007 hükümlerince yasaklanmış B3 türü düşey düzensizliğe sahip, taşıyıcı sistemi betonarme perde ve çerçevelerden oluşan, 7 katlı bir konut binasının deprem yükleri altındaki davranışı bu çalışmada ayrıntılı olarak incelenmiştir. 3. Bölüm’de özetlenmiş olan FEMA 356 ve D.B.Y.B.H.Y. 2007 yönetmeliklerinde Tasarım Depremi olarak verilen ve 50 yıllık sürede aşılma olasılığı %10 olan kuvvetli hareket, incelemeye esas yükleri oluşturacak deprem etki seviyesi olarak seçilmiştir.

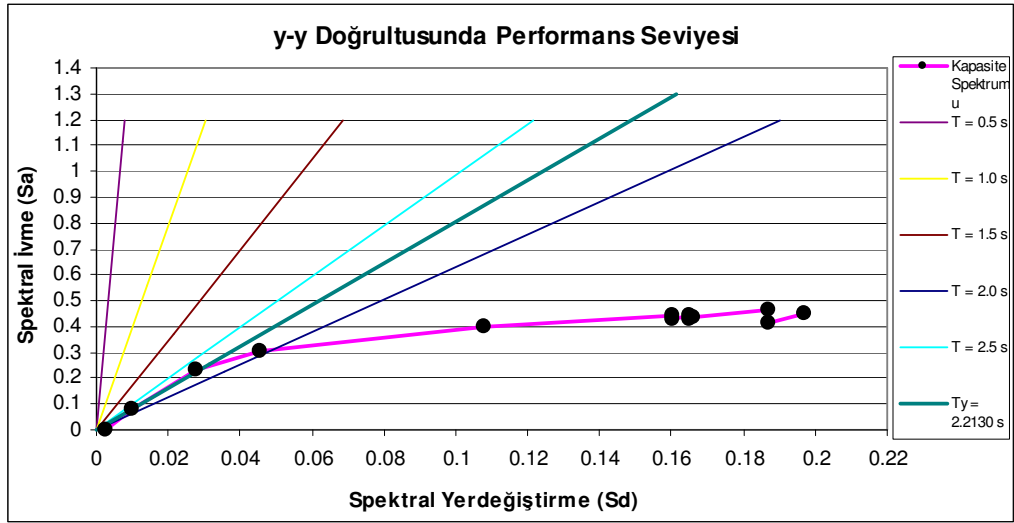
Çalışmaya konu olan yapının deprem güvenliği kontrolü, performansa dayalı tasarım yaklaşımı ile ele alınmış, hesaplamalarda elastik ötesi analiz yapma imkanı sağladığı için statik itme analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu analiz yöntemini kullanmaya uygun olduğundan çözümleme için ETABS (Extended 3D Analysis of Building Systems) programından yararlanılmıştır. Kapasite Spektrumu Yöntemi’ne göre performans seviyesi belirlenen bina, D.B.Y.B.H.Y. 2007 esasların göre de incelenmiştir. Sismik performansı irdelenen örnek binada düşey düzensizliğe neden olan kısa konsollardan bir tanesi düşey yükler ve deprem yükleri etkisi altında Çubuk Model Yöntemi kullanılarak boyutlandırılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen değerlerin binanın betonarme projesiyle uyumluluğu kontrol edilmiştir. Yapılan çalışmalar ve varılan sonuçlar aşağıda özetlenmişlerdir.

- ETABS programı kullanılarak yapılan statik itme analizi sonucunda, incelemesi yapılan konut binasında, x-x doğrultusu için göçmeye neden olan maksimum taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 11456.14$ kN, bu kuvvete karşı gelen yük parametresi $P_{göçme} = 2.622$ ve göçme anında meydana gelen tepe yer değiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0.2002$ m olarak bulunmuştur. Yapıda y-y doğrultusu için göçmeye neden olan maksimum taban kesme kuvveti $V_{göçme} = 6028.89$ kN, bu kuvvete karşı gelen yük parametresi $P_{göçme} = 1.991$ ve göçme anında meydana gelen tepe yer değiştirmesi $\Delta_{göçme} = 0.2891$ m olarak hesaplanmıştır.

- Elde edilen analiz sonuçları doğrultusunda performans hesabı yapılmıştır. Her iki deprem doğrultusu için ayrı ayrı yapılan hesaplamalarda statik itme analizi sonucunda elde edilen kapasite eğrisi kullanılmıştır. Yapının performans noktalarını hesaplanması aşamasında yapılan işlemler sonrasında kapasite eğrileri elde edilmiş, %5 sönümlü ve indirgenmiş talep spektrumları bulunmuş ve her iki doğrultu için performans noktası hesaplanmıştır. Yapıda x-x doğrultusu için etkin sönüm oranı $\beta_{ef} = 0.07028$ ve performans noktasının koordinatları $S_{ap} = 0.2701$ ve $S_{dp} = 0.02145$ olarak bulunmuştur. Diğer doğrultu için $\beta_{ef} = 0.05454$ ve performans noktasının koordinatları $S_{ap} = 0.2435$ ve $S_{dp} = 0.0302$ olarak hesaplanmıştır.
- Yapıda her iki doğrultu için bulunan performans noktalarının S_{ap} ve S_{dp} koordinatları kullanılarak, $T = 2\pi(S_d/S_a)^{(1/2)}$ formülünden yararlanılarak periyot değerleri hesaplanmıştır. Buna göre $T_x = 1.7578$ s ve $T_y = 2.1930$ s olarak bulunmuşlardır.
- Bulunan periyotlar Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi kapasite spektrum eğrileri ile kesiştirilmiştir. Yapının her iki deprem doğrultusu için de Can Güvenliği (Life Safety) performans seviyesini sağladığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.1: Yapının X-X Doğrultusu İçin Performans Seviyesi



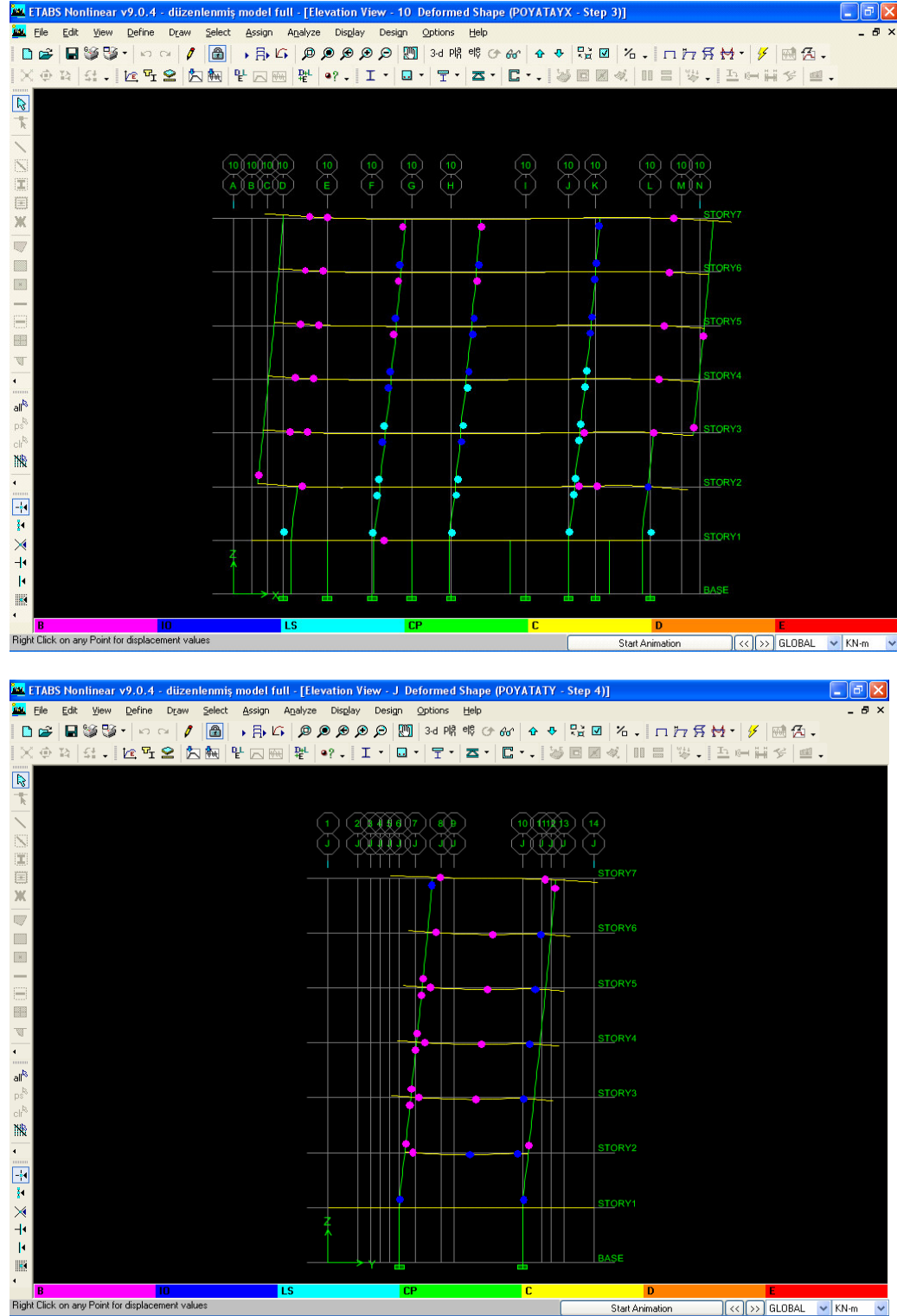
Şekil 6.2: Yapının Y-Y Doğrultusu için Performans Seviyesi

Bulunan bu seviyeler, Bina Performans Seviyelerini gösteren Tablo 6.1 yardımıyla yorumlanmıştır. Yapısal olmayan elemanların da Can Güvenliği (N-C) performans seviyesinde oldukları kabulü ile bina performans seviyesi, Can Güvenliği (3-C) performans seviyesi olarak bulunmuştur.

Tablo 6.1: Bina Performans Seviyeleri ve Performans Aralıkları

Bina Performans Seviyeleri						
Yapısal Olmayan Performans Seviyeleri	Yapısal Performans Seviyeleri					
	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Kontrollü Hasar Aralığı	S-3 Can Güvenliği	S-4 Sınırlı Güvenlik Aralığı	S-5 Göçmenin Önlenmesi	S-6 Performansın Gözönüne Alınmadığı
N-A Kullanıma Devam	1-A Kullanıma Devam	2-A	NR	NR	NR	NR
N-B Hemen Kullanım	1-B Hemen Kullanım	2-B	3-B	NR	NR	NR
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği	4-C	5-C	6-C
N-D Azaltılmış Hasar	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-E Performansın Göz Önüne Alınmadığı	NR	NR	3-E	4-E	5-E Göçmenin Önlenmesi	Uygulanamaz

Yapıya uygulanan itme analizinin, x-x doğrultusu için 3. adımı sonrasında “10” aksında ve y-y doğrultusu için 4. adımı sonrasında “J” aksında oluşan plastik mafsallar Şekil 6.3’de görülmektedir.



Şekil 6.3: Yapıda İtme Analizi Sonucunda Oluşan Plastik Mafsallar

İtme analizleri sonucunda yapı, Can Güvenliği performans seviyesini sağlayabilmişse de, eleman bazında daha detaylı bir çözümleme yapılarak, kesit hasar durumlarının belirlenmesi neticesinde daha gerçekçi bir sonuç elde edilebilecektir. Doğrusal olmayan analiz sonucunda çok sınırlı deformasyon yapan ve çok az hasar gören bir kısa konsol Çubuk Model Yöntemi ile boyutlandırıldığında etriyelerin yetersiz olduğu ortaya çıkmıştır.

Bu tür düşey düzensizliğe sahip yapılarda, analizler sonucunda gözlenen hasar seviyeleri çok düşük olsa da, taşıyıcı sistemin güçlendirilmesi ve yapısal düzensizliğin ortadan kaldırılması büyük önem taşımaktadır. Köşe kolona mesnetlenen guse nedeniyle oluşan ani rijitlik değişimi ve gusenin alt ucuyla köşe kolonun alt ucu arasında kalan kısmın kısa kolon gibi davranması nedeni ile ek kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Sonuç olarak;

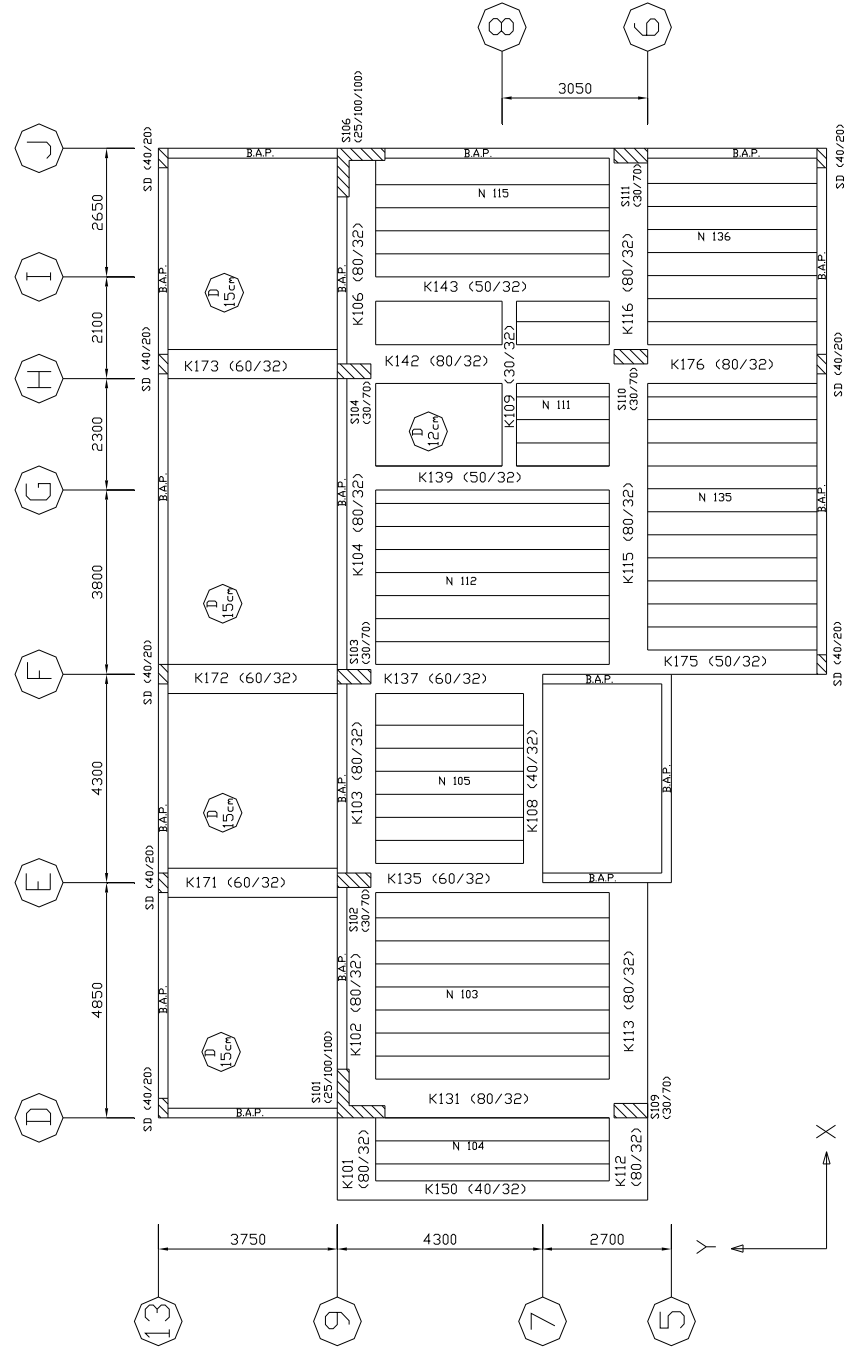
- Kolonların ötelenmesine neden olacak uygulamalardan mutlaka kaçınılmalıdır. Eğer kaçınılamıyorsa veya sistem bu tür bir düzensizliğe sahipse kolon, kiriş ve kısa konsolun birleşim noktasının uygulaması ve analizi özenle yapılmalıdır.
- Yapı modellerinin bazı detayları bilgisayar ortamına eskizsiz ve doğru bir şekilde aktarılamadığından statik ve dinamik çözümlemeler dikkatle incelenmelidir. Dinamik analiz sonuçları sayısal olarak çok etkileyici olsalar da özellikle düzensiz yapılar için öncelikli olarak eşdeğer statik çözümleme sonuçları gözönüne alınmalıdır.
- Sismik hareketin düşey bileşeni, kolonlara etkiyen eksenel yükü arttırma miktarı ihmal edilebilecek düzeyde olsa da, analize daha fazla modun dahil olmasını sağladığı için hesaba katılmalıdır (**Güler ve Altan, 2004**).

KAYNAKLAR

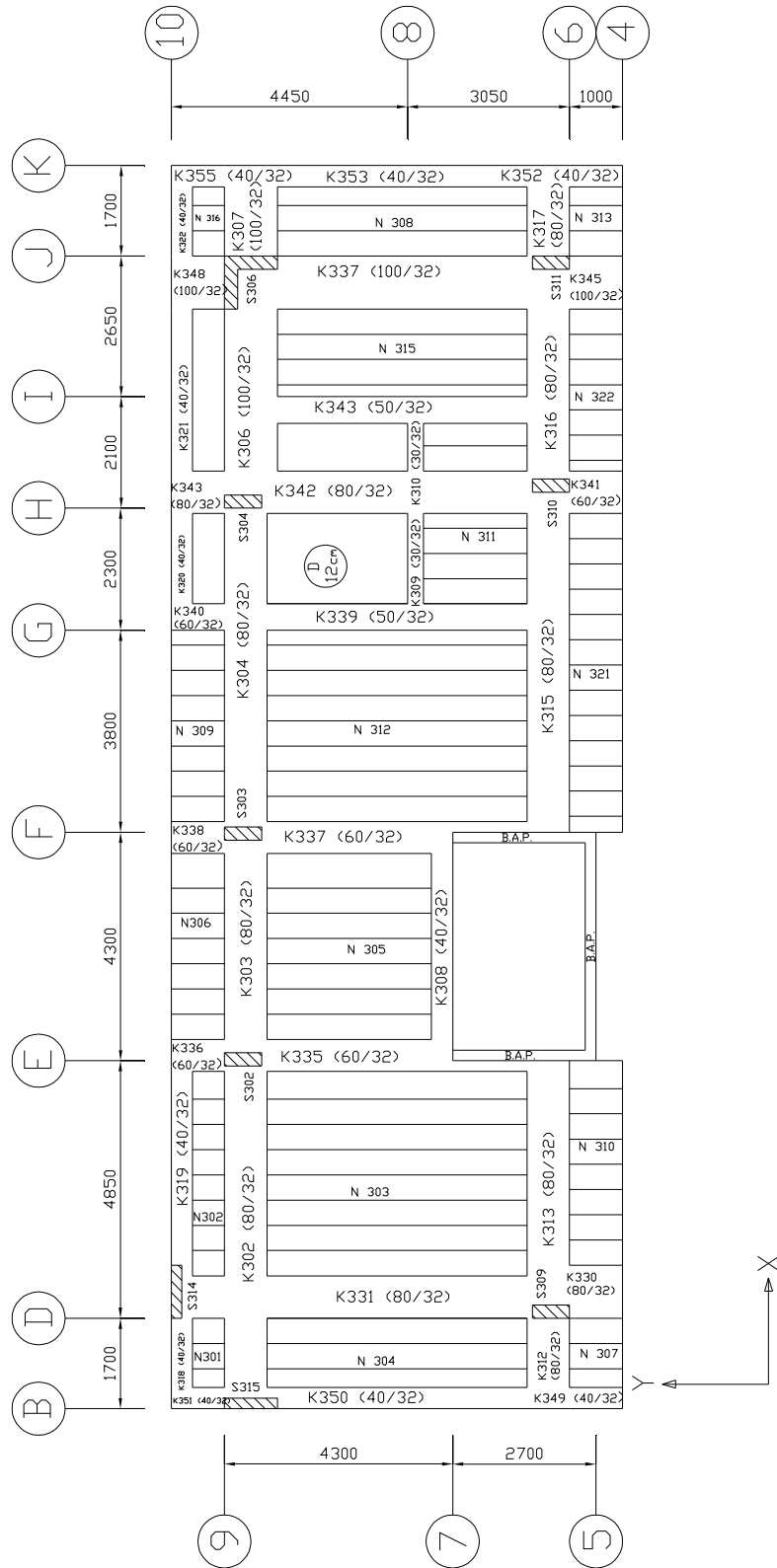
- Özden, K.**, 1992. Betonarme ve Ön Gerilmeli Betonda Davranış ve Hesap Modelleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2005. Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1997. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.
- ACI 318-02/318R-02**, 2002. Building code requirements for structural concrete and commentary, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan, USA.
- ATC-40**, 1996. Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, *Applied Technology Council*, V 1 Redwood City, California, USA.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik**, 2007. Bayındırlık Bakanlığı, Ankara.
- Eurocode 2**, 1991. Design of concrete structures-part 1: general rules and rules for buildings, *European Committee for Standardization*, Brussels, BELGIUM.
- FEMA 273**, 1997. Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, DC, USA.
- FEMA 356**, 2000. Prestandart and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, DC, USA.
- TS-498**, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS-500**, 2000. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- TS-9967**, 1992. Yapı elemanları taşıyıcı sistemler ve binalar-prefabrike betonarme ve öngerilmeli betondan-hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Can, D.**, 2005. Statik itme (pushover) yöntemi ile mevcut bir yapının güvenliğinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kartal, İ.Ö.**, 2005. Düşeyde düzensiz binaların performans yaklaşımıyla incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özer, E.**, 2007. 6 Mart 2007 Tarihinde Yürürlüğe Girecek Olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Meslek İçi Eğitim Programı*, 03-04 Şubat.
- Güler, K. ve Atlan, M.**, 2004. An Examination of Damages of Reinforced Concrete Consolated Buildings In Turkey Due To 17 August 1999 Kocaeli Earthquake, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- Altan, M. ve Taşkın, B.**, 2006. Betonarme Elemanlarda Davranış Modelleri Çubuk Modellerle Betonarme Taşıyıcıların Hesabına Giriş, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi 2005 Sonbahar Kış Dönemi Meslek İçi Eğitim Programı*, 28-29 Ocak.
- Hasgür, Z.**, 2004. Mühendislik Sismolojisi Ders Notları, İstanbul.
- Özmen, G. ve Orakdöğen, E. ve Darılmaz, K.**, 2005. Örneklerle ETABS, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Özmen, G. ve Orakdöğen, E. ve Darılmaz, K.**, 2005. Örneklerle SAP 2000-V8, Birsan Yayınevi, İstanbul.

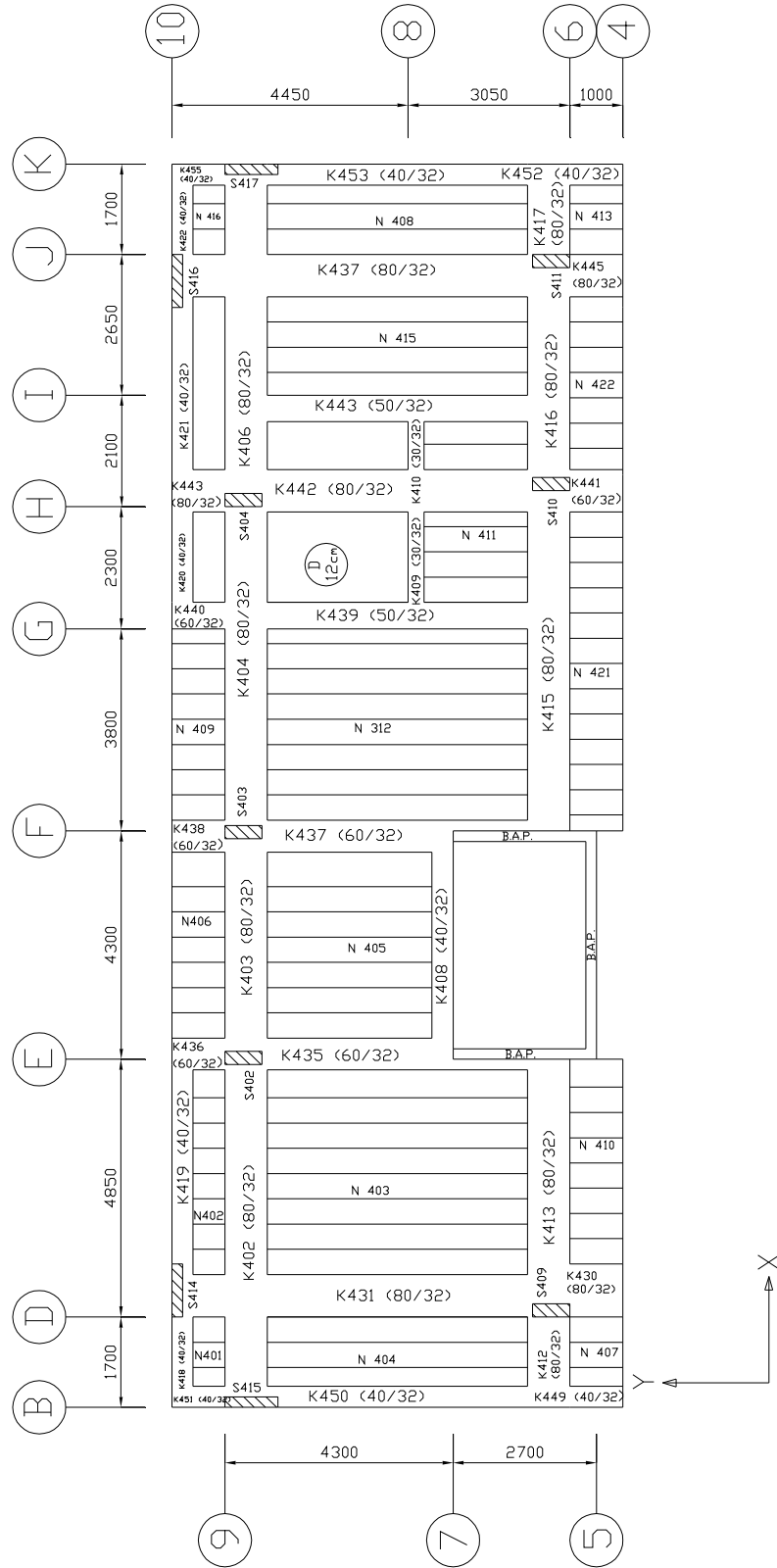
EK A



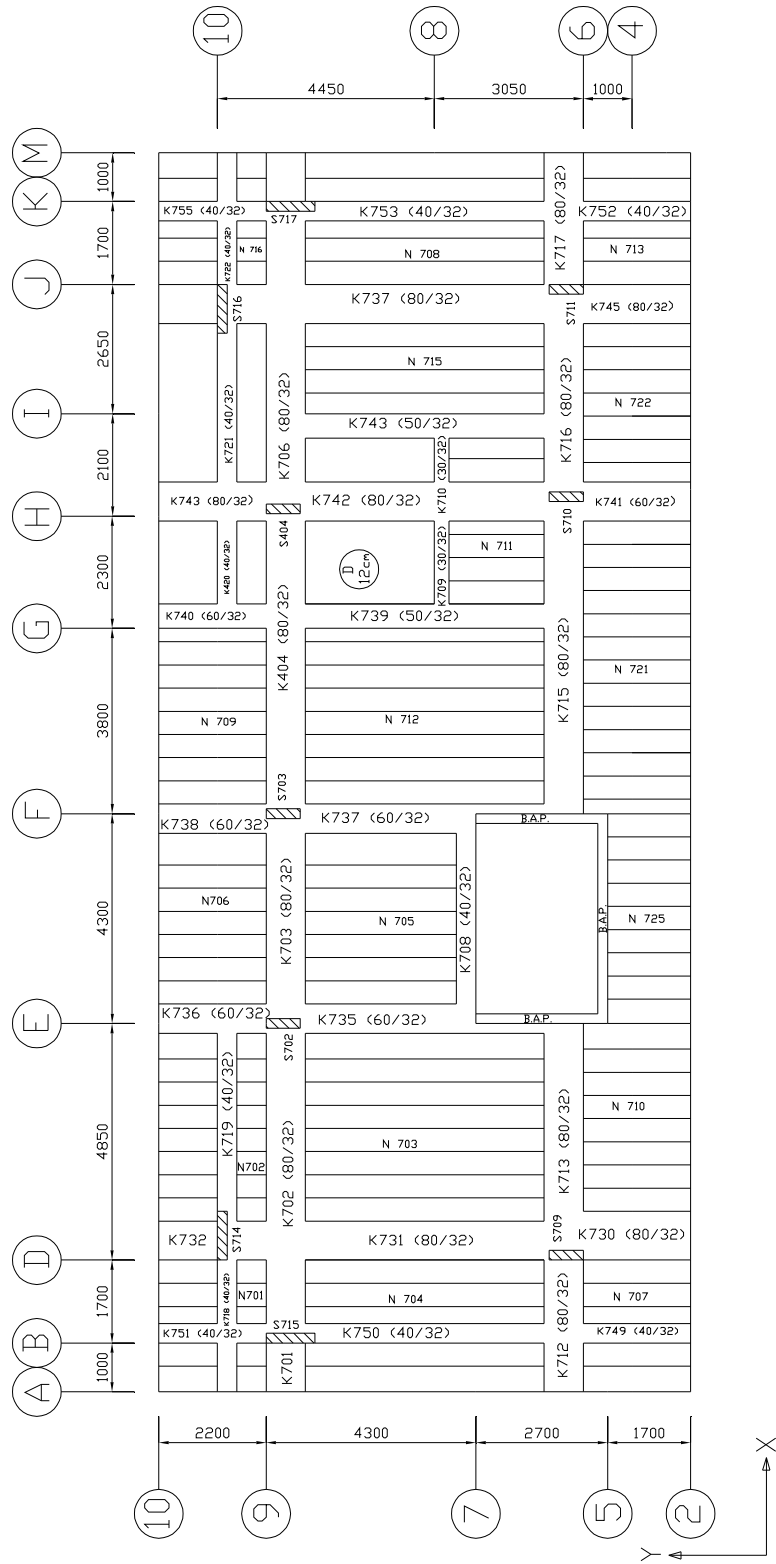
Şekil A.1: 2. Bodrum Kat Kalıp Planı



Şekil A.3: Zemin Kat Kalıp Planı



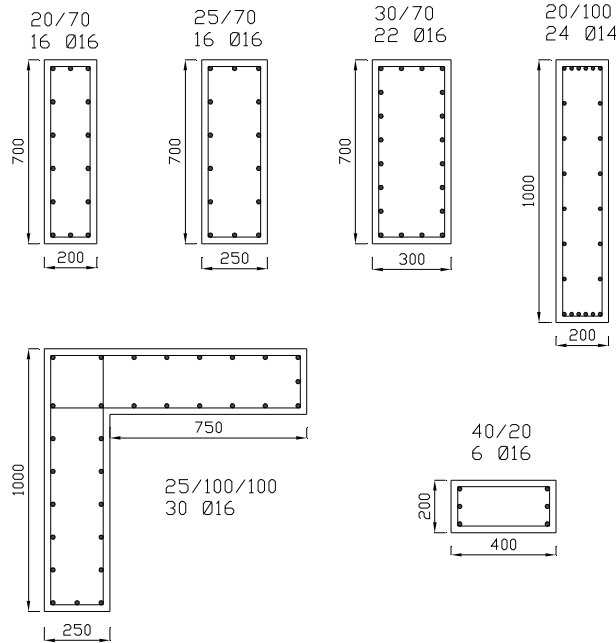
Şekil A.4: Normal Kat Kalıp Planı



Şekil A.5: 4. Normal Kat (Çatı Katı) Kalıp Planı

Tablo A.1: Kolon ve Perde Boyutları

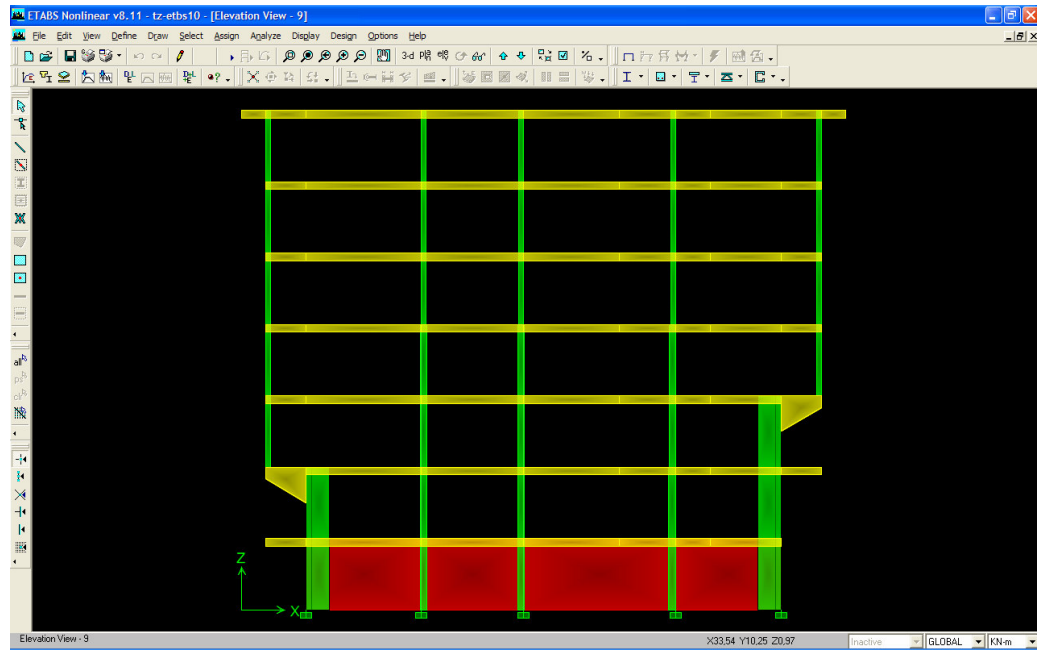
Kolon – Perde No	Boyut (cm)	Bulunduğu Kat
B.A.P. (Asansör Perdeleri)	20 / h_{kat}	Tüm Katlar
S.D.	40 / 20	2. Bodrum Kat
B.A.P. (Çevre Perdeleri)	20 / h_{kat}	
S101, S106	25 / 100 / 100	
S102, S103, S104, S109, S110, S111	30 / 70	
S201, S206	25 / 100 / 100	1. Bodrum Kat
S202, S203, S204, S209, S210, S211	30 / 70	
S314, S315	20 / 100	Zemin Kat
S306	25 / 100 / 100	
S302, S303, S304, S309, S310, S311	25 / 70	
S414, S415, S416, S417	20 / 100	1. Kat
S402, S403, S404, S409, S410, S411	25 / 70	
S514, S515, S516, S517	20 / 100	2. Kat
S502, S503, S504, S509, S510, S511	20 / 70	
S614, S615, S616, S617	20 / 100	3. Kat
S602, S603, S604, S609, S610, S611	20 / 70	
S714, S715, S716, S717	20 / 100	4. Kat
S702, S703, S704, S709, S710, S711	20 / 70	

**Şekil A.6: Kolon Kesitleri ve Donatı Yerleşimleri**

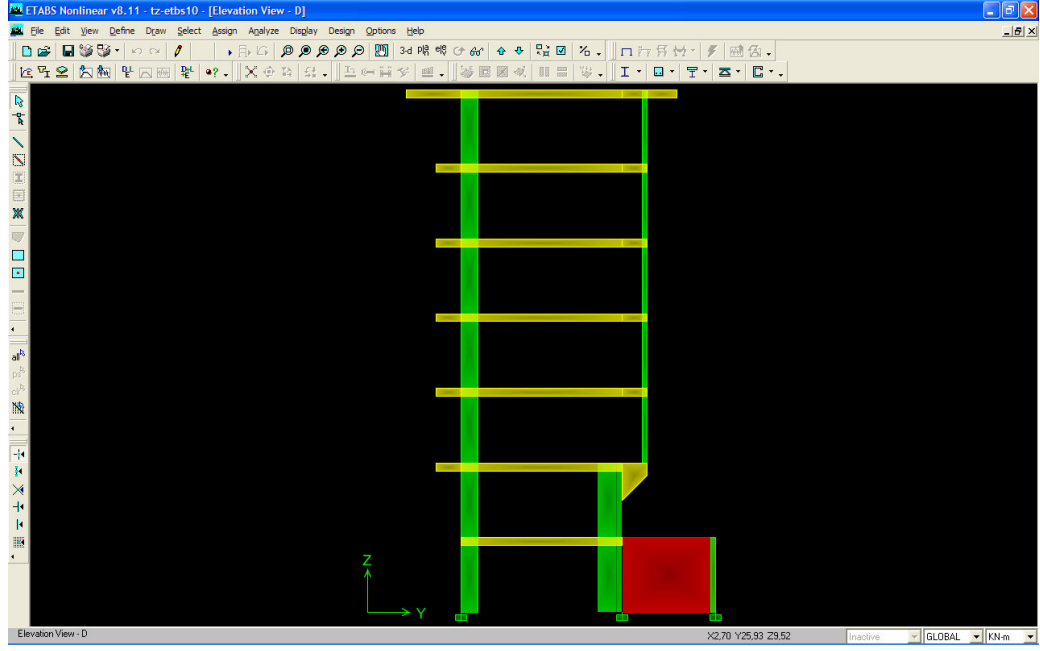
Tablo A.2: 1. Bodrum Kat Kiriş Boyutları ve Donatıları

Kiriş Numarası	Boyut (cm)	Sol Mesnet Donatısı		Sağ Mesnet Donatısı	
		Alt	Üst	Alt	Üst
K 201 (Guse)	100 / 32 (170)	26Ø16	20Ø16	36Ø16	20Ø16
K 202	100 / 32	6Ø16 (Gövde)			
K 203	80 / 32	36Ø16	20Ø16	6Ø16	10Ø16
K 204	80 / 32	5Ø16	6Ø16	5Ø16	6Ø16+4Ø16
K 206	80 / 32	5Ø16	10Ø16+4Ø16	5Ø16	10Ø16+2Ø16
K 207	80 / 32	5Ø16	7Ø16+2Ø16	5Ø16	7Ø16+5Ø16
K 208	80 / 32	5Ø16	7Ø16+5Ø16	5Ø16	7Ø16+5Ø16
K 209	40 / 32	3Ø14	4Ø14+2Ø14	3Ø14	4Ø14+2Ø14
K 210	30 / 32	2Ø14	2Ø14	2Ø14	2Ø14
K 212	30 / 32	2Ø14	2Ø14	2Ø14	2Ø14
K 213	80 / 32	5Ø14	5Ø14	5Ø14	5Ø14+3Ø14
K 215	80 / 32	5Ø14	5Ø14+3Ø14	5Ø14	5Ø14+3Ø14
K 216	80 / 32	5Ø14	5Ø14+5Ø16	5Ø14	5Ø14+5Ø16
K 217	80 / 32	5Ø14	5Ø14+5Ø16	5Ø14	5Ø14+2Ø14
K 218	80 / 32	5Ø14	5Ø14+2Ø14	5Ø14	5Ø14+2Ø14
K 219	40 / 32	3Ø14+4Ø16	4Ø14+1Ø16	3Ø14+1Ø16	3Ø14+3Ø16
K 230	40 / 32	3Ø14+1Ø16	3Ø14+3Ø16	3Ø14	3Ø14
K 231	100 / 32	6Ø16	12Ø16	6Ø16	12Ø16
K 232	100 / 32	6Ø16	12Ø16	6Ø16+6Ø16	12Ø16+6Ø16
K 235 (Guse)	100 / 32 (100)	6Ø16+6Ø16	12Ø16+6Ø16	18Ø16	18Ø16+6Ø16
K 236	60 / 32	6Ø16 (Gövde)			
K 237	60 / 32	4Ø14	4Ø14+1Ø16	4Ø14+3Ø16	4Ø14+1Ø16
K 238	60 / 32	4Ø14	4Ø14+1Ø16	4Ø14	4Ø14+1Ø16
K 239	60 / 32	4Ø14	4Ø14+1Ø16	4Ø14+3Ø16	4Ø14+1Ø16
K 240	60 / 32	4Ø14	4Ø14+1Ø16	4Ø14	4Ø14+1Ø16
K 242	50 / 32	4Ø16	3Ø14+5Ø16	3Ø14	3Ø14+5Ø16
K 243	50 / 32	3Ø14	3Ø14+5Ø16	3Ø14	3Ø14+5Ø16
K 245	80 / 32	5Ø14+1Ø14	8Ø14+3Ø16	5Ø14	8Ø14+5Ø16
K 246	50 / 32	3Ø16	3Ø16+3Ø14	3Ø14	3Ø16+3Ø14
K 248	60 / 32	8Ø14	4Ø14+1Ø14	8Ø14	4Ø14+1Ø14
K 249	60 / 32	4Ø14	4Ø14+1Ø14	4Ø14	4Ø14+2Ø14
K 250	60 / 32	4Ø14	4Ø14+2Ø14	4Ø14	4Ø14+2Ø14
K 251	40 / 32	3Ø14+1Ø14	3Ø14	3Ø14+4Ø16	3Ø14
N 201	40 / 32	3Ø14+1Ø14	3Ø14	3Ø14+9Ø16	3Ø14
	40 / 32	3Ø14	3Ø14+4Ø16	3Ø14	3Ø14+4Ø16
	15 / 32	2Ø12	2Ø10+2Ø12	2Ø12	2Ø10+2Ø12

N 202	15 / 32	2Ø12	2Ø10+2Ø12	2Ø12	2Ø10+2Ø12
N 203	15 / 32	2Ø12	2Ø10+2Ø12	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 204	15 / 32	2Ø12	2Ø10+2Ø12	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 205	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø12	2Ø12	2Ø10
N 206	15 / 32	2Ø12	2Ø10	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 207	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø12	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 208	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø14	2Ø12	2Ø10+1Ø14
N 209	15 / 32	2Ø12	2Ø10	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 210	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø12	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 211	15 / 32	2Ø12	2Ø10	2Ø12	2Ø10
N 212	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø12	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 213	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø14	2Ø12	2Ø10
N 215	15 / 32	2Ø12	2Ø10+1Ø12	2Ø12	2Ø10+1Ø12
N 216	15 / 32	2Ø12	2Ø10	2Ø12	2Ø10+1Ø14

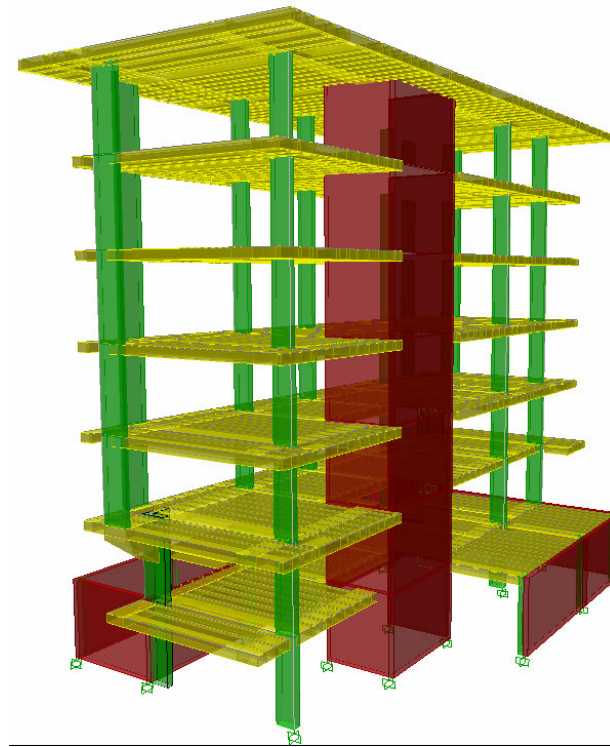


Şekil A.7: Örnek Yapıda 9-9 Aksı Kesit Görünüşü

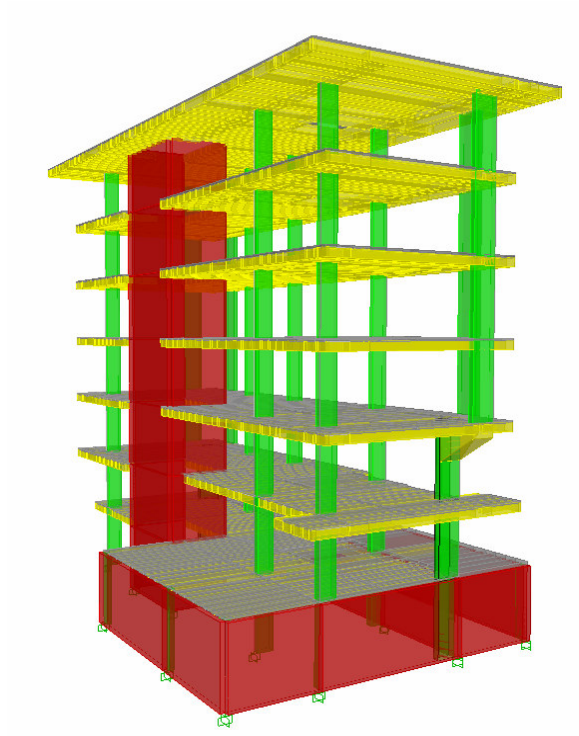


Şekil A.8: Örnek Yapıda D-D Aksı Kesit Görünüşü

a)



b)



Şekil A.9: Örnek Yapıya Ait Üç Boyutlu Hesap Modeli

ÖZGEÇMİŞ

Emre TURHAN, 1980 yılında Ankara’da doğmuştur. Orta ve lise eğitimini TED Ankara Koleji’nde tamamladıktan sonra, 1998 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başlamıştır. 2004 yılının Ocak ayında lisans eğitimini tamamlamış, aynı yılın Eylül ayında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Fakültesi Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programına girmeye hak kazanmıştır. 2006 yılının Ocak ayında yüksek lisans derslerini tamamlamış ve tez çalışmalarına başlamıştır.