

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**A2 VE A3 YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİNİN ÇOK KATLI
YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Merva ERCÖMERT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ,2007

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**A2 VE A3 YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİNİN ÇOK KATLI
YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Merva ERCÖMERT

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez,/...../ 2007 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman :

Üye :

Üye :

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun /... / 2007 tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin önerilmesi, yönlendirilmesi ve tamamlanmasında büyük yardımlarını ve desteklerini gördüğüm danışman hocam Sayın Doç.Dr. Zülfü Çınar ULUCAN'a Sayın Prof.Dr. Yusuf CALAYIR 'a, Arş. Gör. Burak YÖN ve Arş. Gör. Kürşat Esat ALYAMAÇ' a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mühendislik hayatımın iyi bir seviyeye yükselmesini sağlayan bunun yanı sıra ahlak ve insanlık bakımından da önemli aşamalar kat etmemi sağlayan danışman hocama, diğer tüm bölüm hocalarıma ve desteğini hiç bir zaman esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLolar LİSTESİ.....	IV
SİMGELER LİSTESİ.....	V
KISALTMALAR	IX
ÖZET	X
ABSTRACT	XI
1.GİRİŞ	1
2.DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI	3
2.1 Yapı Tasarımının Amaçları.....	3
2.2 Yapıların Tasarımında Alınacak Yükler	4
2.2.1 Yüklerin Birleştirilmesi.....	4
2.3 Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.....	6
2.3.1 Deprem	6
2.3.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı.....	6
3.TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİ VE HESAP YÖNTEMLERİ	8
3.1 Taşıyıcı Sistem Seçimi.....	8
3.1.1 Taşıyıcı Sistem Çeşitleri.....	8
3.1.2 Taşıyıcı Sistem Bakımından Yapı Güvenliğinin Temel İlkeleri	9
3.1.3 Taşıyıcı Sistem Seçimine Etki Eden Faktörler	10
3.1.3.1 Mimari Sınırlamalar	10
3.1.3.2 Arazinin ve Zeminin Durumu	10
3.1.3.3 Yapım (İnşa) Süresi	10
3.1.3.4 Yapım Teknolojisi.....	10
3.1.3.5 Yapı Maliyeti	10
3.1.3.6 Deprem Durumu ve Yapının Davranışını Etkileyen Parametreler.....	11
3.2 Hesap Yöntemleri	13
3.2.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri	13
3.2.1.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	13
3.2.1.2 Mod Birleştirme Yöntemi	19
3.2.1.3 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi.....	21
3.2.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri	21
3.2.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	22

3.2.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi	22
3.2.2.3 Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi.....	29
4.YAPISAL DÜZENSİZLİKLER	30
4.1 A2 – Döşeme Süreksizlikleri	31
4.2 A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması	34
5. A2 VE A3 YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİNİN ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ ÜZERİNE SAYISAL UYGULAMALAR	35
5.1 Tasarlanan Taşıyıcı Model.....	35
5.2 Tasarlanan Yapının Boyutları ve Malzeme Özellikleri.....	37
5.3 Yükleme Kombinasyonu.....	37
5.4 Yapısal Düzensizliklerin Çözümlere Etkisi	38
5.4.1 A2 Döşeme Süreksizlik Düzensizliği.....	38
5.4.2 A3 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği	42
6.SONUÇLAR	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1 17 Ağustos depreminde yıkılan bir yapının görünümü
- Şekil 3.1 Döşemenin Rijit (a) ve Esnek (b) Diyafram olarak çalışması
- Şekil 3.2 Yapıların derzlerle çeşitli kısımlara ayrılması
- Şekil 3.3 Spektrum Katsayısı S
- Şekil 3.4 Bina katlarına etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğü
- Şekil 3.5 Spektral yerdeğiştirme – Spektral ivme diyagramı
- Şekil 4.1 A2 türü düzensizlik durumları
- Şekil 4.2 Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için deprem yüklerinin her katta uygulanacağı noktalar
- Şekil 4.3 Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin uygulanacağı noktalar
- Şekil 4.4 A3 türü düzensizlik durumu
- Şekil 5.1 Tasarlanan yapının kalıp planı
- Şekil 5.2 A2 Döşeme Süreksizlikleri Düzensizliğinin kalıp planı modelleri
- Şekil 5.3 A3 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliğinin kalıp planı modelleri

TABLÖLAR LİSTESİ

- Tablo 3.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceğı Binalar
- Tablo 3.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı A_0
- Tablo 3.3 Bina Önem Katsayısı I
- Tablo 3.4 Zemin Sınıfları için Spektrum Karakteristik Periyotları
- Tablo 3.5 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R
- Tablo 3.6 Hareketli Yüğü Katılım Katsayısı n
- Tablo 4.1 Planda Düzensizlik Durumları
- Tablo 4.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları
- Tablo 5.1 Yükleme Kombinasyonu
- Tablo 5.2 A2 Düzensizliğinin F8 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Yöntem)
- Tablo 5.3 A2 Düzensizliğinin F8 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Olmayan Yöntem)
- Tablo 5.4 A3 Düzensizliğinin F4 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Yöntem)
- Tablo 5.5 A3 Düzensizliğinin F4 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Olmayan Yöntem)

SİMGELER LİSTESİ

$A(T)$	: Spektral İvme Katsayısı
$A(T_r)$	: r ' inci doğal titreşim modu için spektral ivme katsayısı
A_i	: i ' inci katın alanı
A_o	: Etkin Yer İvmesi Katsayısı
$a_n^{(i)}$	: (i) 'inci itme adımı sonunda n 'inci moda ait modal ivme
a_{yn}	: n 'inci moda ait eşdeğer akma ivmesi
A_b	: Boşluk alanları toplamı
A	: Brüt kat alanı
B_B	: Mod birleştirme yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük
B_D	: B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer
C_{Rn}	: n 'inci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı
d_i	: Binanın i 'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
$d_n^{(i)}$	: (i) 'inci itme adımı sonunda n 'inci moda ait modal yerdeğiştirme
E	: Deprem kuvveti
EX	: x doğrultusundaki deprem kuvveti
EY	: y doğrultusundaki deprem kuvveti
$F^{(i)}$	: (i) 'inci itme adımına ait birikimli spektrum ölçek katsayısı
F_d	: Tasarım kuvveti
F_i	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
G	: Sabit yük
G_i	: Binanın i 'inci katındaki toplam sabit yük
g	: Yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$)
H	: Yatay toprak basıncı
H_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
H_i	: Binanın i 'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
h_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
I_{xg}	: Kat döşemesinin x_g eksenine etrafındaki atalet momenti
I_{yg}	: Kat döşemesinin y_g eksenine etrafındaki atalet momenti
m_i	: i ' inci katın kütlesi
$m\theta_i$	: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i 'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
M_r	: r 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle

- M_T : Toplam modal kütle
- M_{xr} : Göz önüne alınan x deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- M_{yr} : Göz önüne alınan y deprem doğrultusunda binanın r'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
- $M_{j,x}^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda, (j) plastik kesidinde x eksenini etrafında oluşan eğilme momenti
- $\bar{M}_{j,x}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında $\bar{\Delta F}^{(i)}=1$ alınarak yapılan doğrusal (lineer) mod birleştirme analizi sonucunda, (j) plastik kesidinde x eksenini etrafında hesaplanan eğilme momenti
- $M_{j,y}^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda, (j) plastik kesidinde y eksenini etrafında oluşan eğilme momenti
- $\bar{M}_{j,y}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında $\bar{\Delta F}^{(i)}=1$ alınarak yapılan doğrusal (lineer) mod birleştirme analizi sonucunda, (j) plastik kesitinde y eksenini etrafında hesaplanan eğilme momenti
- m_s : Herhangi bir (s) serbestlik derecesinin kütlesi
- $N_j^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda, (j) plastik kesitinde oluşan aksenal kuvvet
- $\bar{N}_j^{(i)}$: (i)'inci itme adımında $\bar{\Delta F}^{(i)}=1$ alınarak yapılan doğrusal (lineer) mod birleştirme analizi sonucunda, (j) plastik kesitinde hesaplanan aksenal kuvvet
- n : Hareketli yük katılım katsayısı
- Q : Hareketli yük
- Q_i : Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
- R_{yn} : n'inci moda ait Dayanım Azaltma Katsayısı
- R : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
- $R_a(T)$: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (s)
- $R_a(T_r)$: r' inci doğal titreşim modu için deprem yüğü azaltma katsayısı
- $r_j^{(i)}$: (i)'inci itme adımı sonunda, herhangi bir (j) noktasında veya kesitinde oluşan tipik yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme veya iç kuvvet
- $\bar{r}_j^{(i)}$: (i)'inci itme adımında $\bar{\Delta F}^{(i)}=1$ alınarak yapılan doğrusal (lineer) mod birleştirme analizi sonucunda, (j) noktasında veya kesitinde hesaplanan tipik yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme veya iç kuvvet
- $S(T)$: Spektrum Katsayısı
- $S_{aen}^{(1)}$: İtme analizinin ilk adımında n'inci moda ait doğrusal elastik spektral ivme
- $S_{den}^{(1)}$: İtme analizinin ilk adımında n'inci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme
- T : Bina doğal titreşim periyodu (s)
- T_1 : Binanın doğal titreşim periyodu (s)

- T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyotları (s)
- T_r, T_s : Binanın r'inci ve s'inci doğal titreşim periyotları (s)
- $T_n^{(1)}$: Başlangıçtaki (i=1) itme adımında n'inci titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu
- T : Büzülme, sıcaklık farkları, farklı mesnet çökmeleri gibi olaylardan meydana gelen yük etkileri
- W : Rüzgâr yükü
- W : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
- W_i : Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
- V_t : Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
- V_i : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etki eden kat kesme kuvveti
- V_{tB} : Mod Birleştirme Yöntemi'nde, gözönüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
- σ : Gerilme katsayısı
- σ_{em} : Emniyet gerilmesi
- η_{bi} : i'inci katta tanımlanan Burulma düzensizliği katsayısı
- η_{ci} : i'inci katta tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı
- η_{ki} : i'inci katta tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı
- Φ_{xir} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni
- Φ_{yir} : Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni
- $\Phi_{\theta ir}$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, r'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni
- $\alpha_{jk,x}$: (j) plastik kesidinde x eksenini etrafındaki momentle ilgili olarak (k)'ıncı akma düzlemini veya çizgisini tanımlayan katsayı
- $\alpha_{jk,y}$: (j) plastik kesidinde y eksenini etrafındaki momentle ilgili olarak (k)'ıncı akma düzlemini veya çizgisini tanımlayan katsayı
- β_{jk} : (j) plastik kesidindeki eksenel kuvvetle ilgili olarak (k)'ıncı akma düzlemini veya çizgisini tanımlayan katsayı
- $\Delta a_n^{(i)}$: (i)'inci itme adımında n'inci moda ait modal ivme artımı
- $\Delta d_n^{(i)}$: (i)'inci itme adımında n'inci moda ait modal yerdeğiştirme artımı
- $(\Delta_i)_{max}$: Binanın i'inci katındaki en büyük göreceli kat ötelenmesi
- $(\Delta_i)_{min}$: Binanın i'inci katındaki en küçük göreceli kat ötelenmesi
- $(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i'inci katındaki ortalama göreceli kat ötelenmesi

- ΔF_N : Binanın N'inci (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
- $\Delta \bar{F}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında artımsal spektrum ölçek katsayısı
- $\Delta f_{sn}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında n'inci doğal titreşim modu için sistemin herhangi bir (s) serbestlik derecesine etkiyen deprem yükünün artımı
- $\Delta u_{sn}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında n'inci doğal titreşim modu için sistemin herhangi bir (s) serbestlik derecesine ait yerdeğiştirme artımı
- $\Phi_{sn}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında, o adımdaki plastik kesit konfigürasyonu göz önüne alınarak belirlenen n'inci mod şeklinin (s) serbestlik derecesine ait genliği
- $\Gamma_{xn}^{(i)}$: (i)'inci itme adımında, x doğrultusundaki deprem için n'inci doğal titreşim moduna ait katkı çarpanı
- ω_B : Doğal Açısal Frekans
- $\omega_n^{(i)}$: (i)'inci itme adımında, o adımdaki plastik kesit konfigürasyonu göz önüne alınarak belirlenen n'inci titreşim moduna ait doğal açısal frekans
- $\omega_n^{(1)}$: Başlangıçtaki (i=1) itme adımında n'inci titreşim moduna ait doğal açısal frekans
- $\omega_n^{(p)}$: En sondaki (i=p) itme adımında n'inci titreşim moduna ait doğal açısal frekans
- β : Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı

KISALTMALAR

DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

A1 : Burulma Düzensizliği

A2 : Döşeme Süreksizlikleri

A3 : Planda Çıkıntılar Bulunması

B1 : Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)

B2 : Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

B3 : Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

CQC : Tam Karesel Birleştirme Kuralı

SRSS : Karelerin Toplamının Karekökü Kuralı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

A2 VE A3 YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİNİN ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ

Merva ERCÖMERT

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 49

Yakın zamana kadar deprem yönetmeliklerinde, deprem etkileri sadece “Eşdeğer Statik Yükler” ile ifade edilmiş olmasına rağmen günümüz şartlarıyla düzenlenen yeni deprem yönetmeliklerinde eşdeğer statik yüklemenin her tür yapı için güvenilir olmadığı belirtilmiş ve özellikle çeşitli türden düzensizlikleri olan yapılar için “Dinamik Hesap” zorunluluğu öngörülmüştür.

Bu çalışmada, plandaki A2 ve A3 türü yapısal düzensizliklerin çok katlı yapıların deprem davranışına etkisi ayrı ayrı ele alınarak irdelenmiş, deprem yönetmeliğinde yer alan söz konusu düzensizliklerle ilgili önlem ve yaptırımlar açıklanmıştır. Her iki düzensizlik durumunun da incelendiği tipik çok katlı yapılar seçilmiş, bu yapıların deprem hesabı lineer yöntemlerden biri olan Mod Birleştirme Yöntemi ve lineer olmayan yöntemlerden biri olan Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çözümler için SAP2000 Yapısal Analiz Programı kullanılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Yapısal Düzensizlikler, Çok Katlı Yapı, Deprem Yönetmeliği, Mod Birleştirme Yöntemi, Dinamik Hesap.

ABSTRACT

Masters Thesis

EFFECT OF STRUCTURAL IRREGULARITIES OF A2 AND A3 TO EARTHQUAKE BEHAVIOUR OF MULTI-STORY BUILDINGS

Merva ERCÖMERT

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

2007, Pages: 49

New earthquake regulation indicates that equivalent loading is not suitable for all structure types and Dynamic Analysis is needed for structures that have varied kind of irregularities, although earthquake effects in former earthquake regulation were only expressed with Equivalent Static Loading until the recent years.

In this study, the effect of A2 and A3 structural irregularities on earthquake behaviour of multi-story structures is investigated and preventions and sanctions in earthquake regulation related to irregularities are explained. Typical multi-story structures that have either irregularities are selected and earthquake analysis of these structures are performed with Linear Modal Superposition Method and Nonlinear Incremental Modal Superposition Method. The obtained results are compared with each other. SAP2000 Structure Analysis Program is used in analyses.

Keywords: Structural Irregularities, Multi-Story Buildings, Earthquake Regulation, Modal Superposition Method, Dynamic Analysis.

1.GİRİŞ

Deprem etkisi doğal afetlerin en önemlilerinden biridir. Meydana getirdiği etkiler yönünden de dikkate değer pek çok özelliği vardır. Bu nedenle bu etkinin incelenmesi ve depreme dayanıklı bina tasarımı da özel bir mühendislik yaklaşımı gerektirir. Deprem etkisinin en önemli özelliği, meydana gelen can kayıplarının hemen hemen hepsinin, insanlar tarafından inşa edilen yapıların davranışı ile ilgili olmasıdır. Deprem; toprak kaymaları, bina, köprü, baraj ve diğer yapılarda hasar ve göçmeler meydana getirerek can kaybına neden olur. Depremın diğer bir özelliği de, günümüzde kabul edilebilir önceden haber verme olanağının bulunmamasıdır. Gerçekte depremin oluş zamanı yeter doğrulukta tahmin edilerek haber verilebilse ve böylece insanların hayatı kurtarılabilse bile, yapıların yine deprem etkisine dayanıklı inşa edilmesi gerekir. Çünkü yapılarda meydana gelen hasar ve göçmeler toplumun ekonomisinde de önemli kayıplara neden olur. Genellikle toplumların hayat seviyesinin bir göstergesi de kullandıkları yapılarıdır. Bu nedenle deprem etkisinin anlaşılması ve doğurduğu kuvvetlerin karşılanması önemlidir.

Deprem etkisinin diğer bir özelliği de, şiddetinin yapının özelliklerine bağlı olmasıdır. Dolayısıyla bölgenin depremselliğine göre taşıyıcı sistem seçimi büyük önem taşımaktadır. Sadece düşey yükler dikkate alınarak seçilen taşıyıcı sistemler, deprem etkisi altında genellikle yetersiz kalmaktadır. Depreme dayanıklı betonarme yapı tasarımında yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanların gerek düşey gerekse depremde gelen yükleri nasıl taşıdıkları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Yük taşımanın üç boyutu vardır: 1- Elemanın kendi yükünü yeterli bir güvenlikle taşıması, 2- Mesnetleri ile taşıdığı yükü diğer elemanlara yeterli bir güvenlikle aktarması ve 3- Yük taşıma ve aktarma işlemlerinin “aşırı” sehim ve titreşim olmadan yapılması. Diğer önemli bir farklılık da, deprem etkisinin dinamik bir özelliğe sahip olmasıdır. Eşdeğer statik etki kabulleri yapılırsa da, depremin dinamik türden bir zorlama olduğu göz önünde tutulmalıdır. Taşıyıcı sistemde bazı küçük ayrıntılara özen göstermek, yapının deprem altındaki davranışında olumlu yönde önemli farklılıklara neden olabilir. Bu ise, deprem etkisi altında yapının davranışının incelenmesinin önemine işaret eder.

Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY), depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeniyle düzensiz yapıların tasarım ve uygulamasından kaçınılması önemle vurgulanmış düzenli yapılar teşvik edilmiştir. Buna karşılık davranışlarındaki olumsuzluk ve belirsizliklerden dolayı deprem kuvvetleri artırılarak ve ek boyutlama esasları ve konstrüktif kurallar getirilerek düzensiz yapıların dayanım düzeyi yükseltilmiş ve bunların seçiminden caydırma esas alınmıştır. Yapının deprem etkisi altında davranışının belirlenmesinde ve ilgili kesit etkilerinin bulunmasında yapının taşıyıcı sisteminin düzenli veya düzensiz olması önemli ölçüde etkilidir.

Bu ayırım, taşıyıcı sistemin yatay ve düşey kesitlerinin değerlendirilmesiyle yapılır.

Deprem Yönetmeliğinde (DBYBHY), düzensiz yapılar iki gruba ayrılmıştır. Bunlar:

Planda düzensiz olan yapılar: A1) Burulma Düzensizliği, A2) Döşeme Süreksizlik Düzensizliği, A3) Planda Çıkıntı Düzensizliği

Düşeyde düzensiz olan yapılar: B1) Dayanım (Zayıf Kat) Düzensizliği, B2) Rijitlik (Yumuşak Kat) Düzensizliği, B3) Süreksizlik Düzensizliği şeklindedir.

Sözü edilen bu düzensizlikler taşıyıcı sistemin davranışının belirlenmesi için daha fazla kabuller ve belirsizlik getirirken, taşıyıcı sistem elemanlarının daha fazla zorlanmasına sebep olur. Bu düzensizliklerin doğuracağı olumsuzlukları gidermek için özel hesaplar ve özel boyutlandırmalar yapmak gerekir [1-3].

İlerleyen bölümlerde, planda düzensiz olan yapılardan A2 ve A3 düzensizlikleri detaylı olarak ele alınarak, Deprem Yönetmeliğindeki (DBYBHY–2007) söz konusu düzensizlikler ile ilgili önlem ve yaptırımlar açıklanacaktır. Bu araştırmada tipik çok katlı bir yapı seçilip, her iki düzensizlik durumu aynı yapı üzerinde çeşitli açılardan ele alınarak ayrı ayrı analiz edilecektir. Yapıların deprem hesabı lineer yöntemlerden biri olan Mod Birleştirme Yöntemi ve lineer olmayan yöntemlerden biri olan Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacaktır. Lineer ve lineer olmayan yöntemlerle bulunan çözümler karşılaştırılacak, düzensizliklerin ve kullanılan yöntemlerin sonuçlara etkisi irdelenecektir. Tepki büyüklüğü olarak kesme kuvveti değerlendirilecektir. Çözümler için SAP2000 Yapısal Analiz Programı kullanılacaktır.

2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

2.1 Yapı Tasarımının Amaçları

Bir yapının tasarımı esnasında göz önüne alınan en önemli faktörler, emniyet ve ekonomidir. Bunların yanı sıra, estetik faktörü de ayrıca göz önüne alınmalıdır.

Emniyet faktörü değişik açılardan ele alınabilir. Basit olarak düşünersek, emniyet açısından iki temel kavram bulunmaktadır. Bunlar; a) emniyet katsayısı ve b) rijitliktir.

Bir cisim hareketsiz olduğu zaman dengededir. Denge durumunda bulunan bir yapı elemanı, üzerinde bulunan yüklere karşı bir tepki kuvveti (iç kuvvet), dolayısıyla bir iç gerilme oluşturur. Yapı elemanının üzerindeki yüklerin şiddeti arttıkça, iç gerilmenin düzeyinde de artış olur. Belirli bir seviyeden sonra artan yüklere karşı direnç göstermeyen yapı elemanı, kırılmak durumunda kalır. Yapı elemanı üzerine gelen yüklere karşı, emniyet faktörü nedeniyle, kırılmadan dayanmak durumundadır. Bundan dolayı, yük altında bulunan yapı elemanında oluşan iç gerilme belirli bir sınır değerinin altında olmalıdır. Bu sınır değeri inşaat mühendisliğinde **emniyet katsayısı** ($n=\sigma/\sigma_{em}$) olarak bilinmektedir. Emniyet katsayısı (n) daima 1'den büyük ve boyutsuz bir sayıdır. Yapı tasarımı emniyet katsayısı göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Bir diğer kavram ise **rijitlik**dir. Rijitlik, yapı elemanları için emniyet katsayısı gibi son derece önemli bir kavramdır. Yapı elemanlarının, üzerindeki yükleri emniyetli olarak taşıması yeterli değildir. Bunun yanı sıra, yüklerden dolayı aşırı sehimlerin (yapı elemanının şekil değiştirmesi) oluşmaması gereklidir. Aşırı sehim neticesinde, yapı elemanının kırılması söz konusu değilse de, kırılacakmış hissini vermesi güvenliği zedeleyici bir durumdur. Yapı elemanının aşırı sehim yapması arzulanan bir durum değildir. Bundan dolayı, yapı elemanlarını aşırı sehim yapmayacak şekilde, diğer bir anlatımla yeterli rijitlikte tasarlamak gereklidir.

Yapı elemanlarının **ekonomik** olması veya düşük maliyet ile inşa edilmesi de son derece önemlidir. Emniyetli olması açısından çok malzeme kullanmak veya büyük elemanlar tasarlamak, maliyeti çok yüksek düzeylere çekecektir. Bu nedenle emniyet faktörünü ekonomi faktörüyle birlikte düşünmek gereklidir. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi son 17 Ağustos depremi de bu faktörlerin önemini hatırlatırcasına bir sonuç ortaya koymuştur [4-6].



Şekil 2.1 17 Ağustos depreminde yıkılan bir yapının görünümü

2.2 Yapıların Tasarımında Alınacak Yükler

Emniyet kavramı genellikle mukavemet ve kullanılabilirlik olarak iki ana grupta toplanabilir. Başka bir deyişle üzerlerine gelebilecek yükler altında, yapılar hem mukavemetini kaybetmemeli, hem de kullanılabilir olmalıdır. Bu nedenle yapıların tasarımında dış yüklerin tesiri büyük önem kazanır [4,7].

Yapıların tasarımında göz önüne alınan yükler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

1. Ölü yükler (Zati veya kalıcı yükler)
2. Hareketli yükler (Kalıcı, kalıcı olmayan, insan, eşya, makine v.b.)
3. Kar ve yağmur yükleri
4. Rüzgâr yükleri (Basınç, emme)
5. Deprem yükleri
6. Toprak basıncı yükleri
7. Su basıncı yükleri
8. Dalga ve buz yükleri
9. İnfilak yükleri
10. Isı genleşme, rötre, çökme ve montaj yükleri
11. Hareketli köprü yükleri

2.2.1 Yüklerin Birleştirilmesi

Bir yapının projelendirilmesinde, yapıya etkiye ihtimali bulunan yüklerin dikkate alınmasında TS500’ de öngörülen yük birleşimleri kullanılmaktadır. TS500’ de öngörülen yük birleşimleri Tablo 2.1’ de verilmektedir. Bu tabloda;

G: Sabit yükü

Q: Hareketli yükü

W: Rüzgâr yükünü

E: Deprem yükünü

H: Yatay toprak basıncını

T: Büzülme, sıcaklık farkları, farklı mesnet çökmeleri gibi olaylardan meydana gelen yük etkilerini göstermektedir.

Tablo 2.1’ den görüldügü gibi, yapılan çözümlerlerin hepsinde kesit hesaplarında kullanılacak olan kesit etkisi hiçbir zaman temel yük birleşimine,

$$(F_d = 1,4 G + 1,6 Q) \quad (2.1)$$

göre hesaplanandan daha küçük olmamaktadır [7,8].

Tablo 2.1 Yapılan Hesaba Bağlı Olarak Dikkate Alınması Gereken Yük Birleşimleri

Yapılan Hesap	Dikkate alınacak yük birleşimleri
Düşey yüklere göre	$F_d = 1,4 G + 1,6 Q$ $F_d = G + 1,2 Q + 1,2 T$
Depreme göre	$F_d = 1,4 G + 1,6 Q$ $F_d = G + Q \pm E^*$ $F_d = G + 1,2 Q + 1,2 T$ $F_d = 0,9 G \pm E^*$
Rzgra göre	$F_d = 1,4 G + 1,6 Q$ $F_d = G + 1,3 Q \pm 1,3 W$ $F_d = G + 1,2 Q + 1,2 T$ $F_d = 0,9 G \pm 1,3 W$
Zemin itkisine göre	$F_d = 1,4 G + 1,6 Q$ $F_d = G + 1,6 Q \pm 1,6 H$ $F_d = G + 1,2 Q + 1,2 T$ $F_d = 0,9 G \pm 1,6 H$
Sıvı basıncına göre	Sıvı basıncı 1,4 ile çarpılarak içinde hareketli yük bulunan yukarıdaki tüm yük bileşimlerine eklenmektedir.
Deprem durumunda depremin her iki doğrultuda etkiyebileceğinden bu yük birleşimlerinde deprem yklemeēi için $\pm E_x$ ve $\pm E_y$ durumlarının da dikkate alınması gerekmektedir.	

2.3 Deprem ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

2.3.1 Deprem

Yerkabuğunun bir titreşimi olduğu için yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturan **deprem**, doğal afetlerin en önemlilerinden biridir. Depremlerin çok büyük bir bölümü, yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir [1]. Depremler yapıya yatay ve dinamik bir yük uygularlar. Deprem anında yapıların temellerinde ani ötelenme ve dönmeler olur. Temelin bu hareketlerine binanın üst yapısı (kolon, kiriş ve döşemeler) aynı anda ayak uyduramadığı için buralarda önemli zorlanmalar, hatta dağılmalar meydana gelebilir. Sonuç olarak her an değişen büyük kuvvetler özellikle deprem yönetmeliğine uygun olarak inşa edilmemiş binalar için çok tehlikelidir.

2.3.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Bir yapının tasarımı ve boyutlanması, genel olarak güç tükenmesi durumunda yeterli güvenliğin sağlanması ve kullanma durumunda kararlılık, çatlama ve yer değiştirme gibi öngörülen koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının iyi düzenlenmesi ve yeterli kalitede olması, diğeri ise, bu yapıda depremin oluşturmaya beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkla belirlenerek karşılanmasıdır. Yüklerin kısa yoldan zemine iletilmesi düşey yüklerde olduğu gibi burada da hedef alınmalıdır. Yapı elemanlarının dayanımlarını birbirlerine göre biraz farklı düzenleyerek kuvvetli bir depremde oluşacak göçme mekanizmasını kontrol etmek ve orta büyüklükteki bir depremde, deprem sonrası onarımları sınırlı tutmak mümkündür. Örneğin, sistemin ani göçmesini önlemek için kolonların güçlü ve kirişlerin bunlara göre daha zayıf düzenlenmesi yönetmeliklerde önerilmektedir. Modern yönetmeliklerin geliştirilmesinde binanın depreme dayanıklı tasarımında aşağıdaki tanımlar esas alınır:

- a. Hafif şiddetli bir depremde yapının mimari elemanlarında bazı çatlaklara müsaade edilirken, taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar meydana gelmemesi sağlanacaktır.
- b. Orta şiddetli bir depremde yapının taşıyıcı sisteminde hasara müsaade edilirken, bu hasarın taşıyıcı sistemin ekonomik boyutlarda onarım ve güçlendirme kabul edecek seviyede kalması sağlanacaktır.
- c. Şiddetli bir depremde ekonomik sınırlar içerisinde yapının onarım ve güçlendirilmesi beklenmemekte ise de, çok sayıda can kaybına sebep olabilecek yapının toptan göçmesinin önlenmesi sağlanacaktır.

Deprem yönetmeliklerinde belirli bir biçimde, bir yatay yük olarak tanımlanan deprem etkisini, statik özellikte olan yüklerle aynı türde hesaba katmak yanıltıcı olabilir. Deprem yükünün statik yüklerden çok farklı iki özelliği vardır:

- a. Depremi temsil etmek üzere alınan yatay kuvvetlerin karşı geldiği ivme değerleri elastik davranan bir yapının, söz konusu olabilecek şiddetli bir depremde maruz kalacağı ivmelerin $1/4 \sim 1/8$ i kadardır. Bu küçük ivmeler, elastik davranan bir yapının plastik şekil değiştirmelerle, yani belirli düzeydeki hasarlarla, göçmeden karşı koyacağı ivme düzeyini, temsil ederler.
- b. Deprem etkisi, yön değiştiren, dönüşümlü bir etkidir. Bu nedenle sadece bir doğrultuda etki eden yüklerden farklı olarak, bazı malzeme özelliklerinin değişmesine neden olabilir. Yapının söz konusu büyük ve iki yöndeki yer değiştirmelere dayanabilmesi ancak betonarme yapı elemanlarındaki iyi donatı detaylandırması ve yapım işçiliği ile mümkündür.

Sonuç olarak, depreme dayanıklı bir tasarımda şu noktalara dikkat edilmesi gerekir:

- a. Plan ve düşey kesitte yapı, mümkün olduğu kadar basit olmalıdır.
- b. Temel sağlam ve düzgün özellikli zemine oturmalıdır.
- c. Deprem etkisini taşıyacak elemanlar, planda burulma olmayacak şekilde düzenlenmelidir.
- d. Yapı elemanları gerekli yeterli dayanımları yanında sünek olmalıdırlar.
- e. Meydana gelen şekil değiştirmeler ve yer değiştirmeler güvenli zedelememeli ve kullanımı engellememelidir [1,9].

3. TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİ VE HESAP YÖNTEMLERİ

3.1 Taşıyıcı Sistem Seçimi

Betonarme bir yapının taşıyıcı sistemi, üzerine etkiyen yükleri ve kendi ağırlığını güvenli bir şekilde zemine aktarma görevini yerine getirebilmelidir. Bu ağır görevi nedeniyle, yapının iskeleti olarak da düşünülebilecek olan taşıyıcı sistemin seçimi ve tasarımı son derece önemli olmaktadır.

Yapıların tasarımı, mimari tasarım ve taşıyıcı sistem tasarımı olarak iki evreden oluşmaktadır. Bu nedenle, bazen yanlış bir şekilde konunun dışında gibi görülen, mimarlar da depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda bilgili olmak ve tasarımlarında bu konuya önem vermek durumundadır. İnşaat mühendisleri ise, mimari tasarımı dikkate alarak, yapı taşıyıcı sistemini, bilimin ışığında tekniğe ve özellikle de kendisinin uygulamakla yükümlü olduğu yönetmelik ve standartlara uygun olarak hesaplamak ve tasarlamak zorundadır. Dolayısıyla her mimari tasarım için teknik ve yönetmelikler açısından uygun bir taşıyıcı sistem bulunmayabilir. Bu durumda, mimari tasarımın yeniden düzenlenmesi gerekecektir. Böylesi istenmeyen ve zaman alıcı durumların ortadan kaldırılabilmesi ve her yönüyle uygun bir taşıyıcı sistem oluşturulabilmesi için mimarın, inşaat mühendisinin ve zeminle ilgili çeşitli disiplinlerdeki teknik elemanların birlikte çalışmaları ve bilgi alışverişinde bulunmaları zorunlu olmaktadır. Yaşadığımız depremlerden edindiğimiz acı gerçekler, maalesef bugüne kadar yapının bütün aşamalarında görev yapacak çeşitli disiplinlerdeki elemanlar arasındaki uyumu, tam sağlayamadığımızı göstermektedir [8,10].

3.1.1 Taşıyıcı Sistem Çeşitleri

Taşıyıcı sistem çeşitlerini aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

1. Geleneksel çerçeveli sistemler,
2. Perde duvarlı sistemler,
3. Eğik elemanlı çerçeveli sistemler,
4. Boşluklu perde duvarlı sistemler,
5. Perde duvarlı-çerçeveli sistemler,
6. Tüp sistemler,
7. Taban izolasyonlu sistemler.

3.1.2 Taşıyıcı Sistem Bakımından Yapı Güvenliğinin Temel İlkeleri

Yeterli Dayanım: Yeterli dayanımdan amaç, öncelikle taşıyıcı sistem elemanları, kendilerine etkileyen yük ya da yük etkileri nedeniyle oluşacak kesit etkilerini kırılmadan (taşıma gücünü aşmadan) taşıyabilmelidir.

Yeterli Rijitlik: Yapı için yeterli rijitlik;

- 1) İkinci mertebe momentlerini mümkün olduğunca küçültmek,
- 2) Sıkça oluşan depremlerde yani kullanılabilirlik sınır durumuna karşı gelen depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak,
- 3) Aletlerin çalışmasına engel olacak, insanları rahatsız edecek deformasyonları önlemek için gerekli olmaktadır. Yatay yükler etkisinde yapı rijitliğinin en önemli ölçütü toplam yerdeğiştirme yerine, bir katın alt kata göre yapmış olduğu göreceli ötelenme miktarıdır.

Yeterli Süneklik: Bir malzeme, bir kesit, bir eleman ya da bir yapının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme ve tekrarlı yükler etkisinde enerji tüketebilme özelliğine o malzemenin, kesitin, elemanın ya da yapının sünekliği denilmektedir. Yapı maliyetini azaltmak ve enerjinin bir kısmını plastik aşamada tüketmek amaçlanırsa, yapının sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Yeterli Kararlılık (Duraylılık,Stabilite): Yapı emniyeti için, sadece dayanımın dikkate alınması yeterli olmaz. Yapının denge konumunun da, yeterince kararlı olması gerekmektedir. Eğer sistem kararlı durumdan çok az bir miktarda olsa sapsa, yapı aniden göçer. Bu duruma kısaca stabilite kırılması da denilmektedir.

Yeterli Sönüm: Titreşim hareketi yapmak zorunda kalan yapılarda, enerjinin yutulması genellikle eşdeğer viskoz sönüm ile ifade edilmektedir. Yapıda kullanılan malzemenin sönüm özellikleri bilinse bile çelik yapıların birleşim bölgelerinde ve betonarme yapıların elemanlarında oluşan mikro çatlakların açılıp kapanması ile enerji açığa çıkması, bölme duvarı gibi yapısal olmayan elemanlar arasında sürtünme gibi sönümü etkileyen mekanizmaların meydana gelmesi gibi nedenlerle nihai sönümün hesaplanması mümkün değildir. Bu durumda, yukarıda belirtilen tüm hususları yaklaşık olarak dikkate alacak şekilde, bir modal sönüm oranı tanımlanmaktadır. Modal sönüm oranı, daha önce meydana gelen depremlerde elastik davranış gösteren yapılar için mevcut verilerden yararlanmak suretiyle yaklaşık olarak belirlenmektedir.

Yeterli Uyum: Betonarmeyi, diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özelliklerden biri de uyumdur. Uyum, fazla zorlanan bir lifin, kesitin ya da elemanın, zorlamaları komşu lif, kesit ya da elemana aktarabilme özelliğidir. Üç gruba ayrılır:

- 1) Liftten life uyum (Gerilme uyumu)
- 2) Kesitten kesite uyum (Moment uyumu veya Momentlerin yeniden dağılımı)
- 3) Elemandan elemana uyum(Kuvvet uyumu veya Kuvvetlerin yeniden dağılımı)[8,11].

3.1.3 Taşıyıcı Sistem Seçimine Etki Eden Faktörler

3.1.3.1 Mimari Sınırlamalar

Bir yapının mimari tasarımında başta yapının kullanım amacı olmak üzere kültürel değerler, estetik ve çevre ile uyumu gibi parametreler etkili olmaktadır. Mimari tasarımda geniş kullanım alanı sağlama düşüncesi, taşıyıcı sistem açısından son derece önemli olan, kolon ve perde kesit alanlarını küçültme yoluna sevk etmektedir. Bu da yapının, özellikle deprem davranışı açısından olumsuz bir durum ortaya çıkarmaktadır.

3.1.3.2 Arazinin ve Zeminin Durumu

Yapının üzerine inşa edileceği zeminin taşıma gücü, taşıyıcı sistem için seçilecek olan temel sistemi üzerinde birinci dereceden etkili olmaktadır. Zeminin Deprem Yönetmeliğine göre belirlenen özelliklerine ve dikkate alınacak deprem etkisine göre uygun taşıyıcı sistemin belirlenmesi gerekmektedir.

3.1.3.3 Yapım (İnşa) Süresi

İnşa süresi özellikle merkezi yerleşim bölgelerinde yapılacak yapıların taşıyıcı sistemini seçmede etkili olmaktadır. Bir yapının inşası süresince, şehir merkezindeki işlek bir caddedeki kaldırımın uzun süre kapatılması ya da daraltılması uygun olmayan bir durumdur.

3.1.3.4 Yapım Teknolojisi

Yapının taşıyıcı sistemini seçmede, inşasında kullanılacak olan teknik ekipmanlar etkili olduğu gibi, mevcut teknik elemanların seçilen taşıyıcı sistemle ilgili yeterli bilgi ve tecrübeye sahip olmaları da etkili olmaktadır.

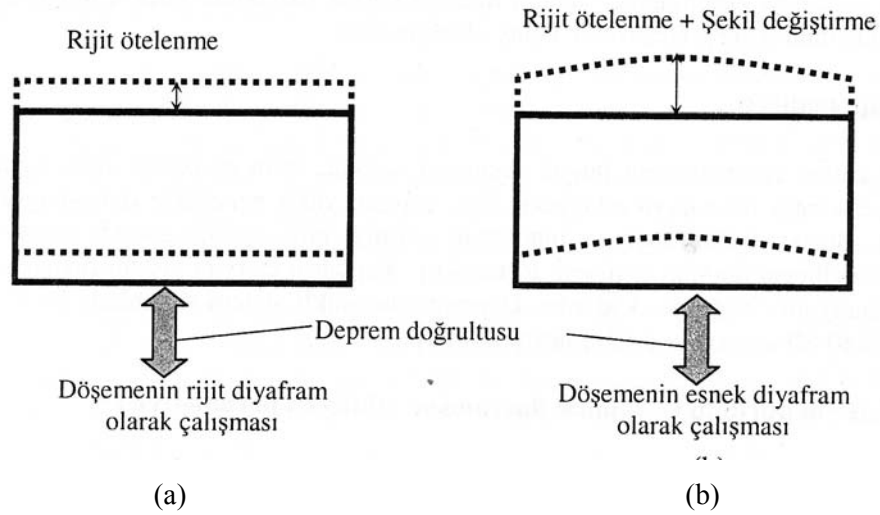
3.1.3.5 Yapı Maliyeti

Taşıyıcı sistem elemanlarının büyük seçilmesi halinde, hem malzeme daha fazla kullanılacak hem de yapıya etkiyecek olan deprem yükü genellikle daha büyük olacaktır. İşçiliği zor bir taşıyıcı sistemin seçilmesi de yapı maliyetini artıracaktır.

3.1.3.6 Deprem Durumu ve Yapının Davranışını Etkileyen Parametreler

Deprem Yönetmeliğinde düzensizlik durumları; planda ve düşeyde düzensizlik durumları olarak ikiye ayrılmış ve bunlardan mümkün olduğunca kaçınılması öngörülmüştür. Bu düzensizlik durumlarını da kapsayacak şekilde, depreme dayanıklı taşıyıcı sistem seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda açıklanmaktadır.

1) Döşeme sistemindeki boşluklar: Döşemelerin depremdeki görevi, yatay deprem yüklerini de düşey taşıyıcılara güvenli bir şekilde aktarmaktır. Yapılara depremden dolayı etkiyecek olan yükler ağırlıkla orantılı olduğundan ve yapı ağırlığının da büyük bir kısmı kat seviyelerinde toplandığından, döşemeler düzlemleri içinde etkiyen yatay kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır. Döşeme rijit ise, diğer bir deyişle rijit diyafram olarak çalışıyorsa yatay yükler altında kendi içinde deforme olmadan rijit bir kütle gibi öteleme hareketi yapacaktır(Şekil 3.1a). Döşeme esnekse, yani esnek diyafram olarak çalışıyorsa rijit ötelemenin yanında şekil değiştirme de yapacaktır (Şekil 3.1b). Bu durumda döşemeyi rijit diyafram olarak dikkate alıp yapılan hesaplar geçersiz olacaktır. Çünkü hesaplarda elemanların yatay yükleri rijitlikleri oranında paylaşacakları öngörülmüş olmasına rağmen, esnek durumda bazı elemanlar öngörülenden daha büyük kesme kuvvetlerinin etkisinde kalabilecektir. Döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmaları, kendisinden beklenen davranışı gösterebilmesi için istenen bir durumdur.

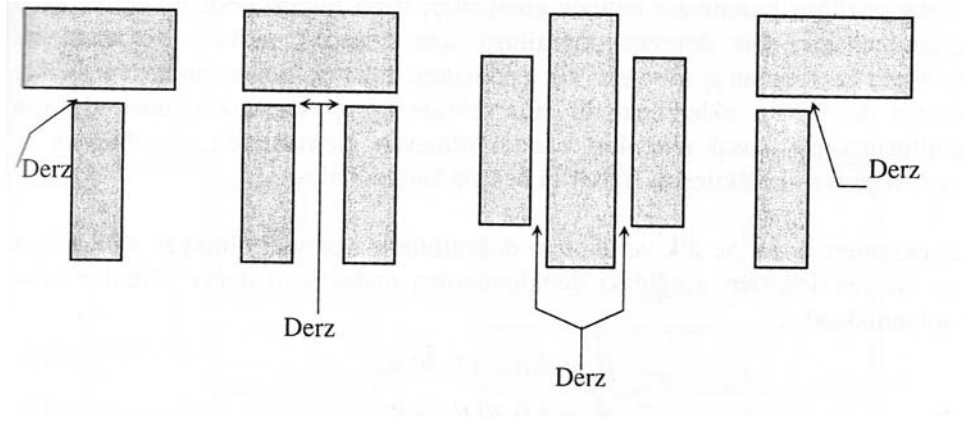


Şekil 3.1 Döşemenin Rijit (a) ve Esnek (b) Diyafram olarak çalışması

- 2) Perde duvarların plandaki konum ve düzeni
- 3) Yapının her iki doğrultudaki rijitliği
- 4) Burulma oluşması durumu

5) Planda çıkıntı durumu: Bina kat planlarında bitişik durumda büyük girinti ya da çıkıntıların bulunması istenmez. Bunun nedeni, eğer bu kısımlar birbirinden derzlerle ayrılmamışsa, geometri değişiminin olduğu kesitlerde aşırı zorlamaların meydana gelmesidir. Bu çalışmada asıl inceleme konularımızdan diğeri olan A3 türü ya da planda çıkıntı düzensizliği, aşırı zorlamaların meydana gelmesini önlemek amacıyla, Deprem Yönetmeliğinde tanımlanmaktadır. Deprem Yönetmeliğinde A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalar için birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanması koşulu getirilmiştir.

Yapının arazi durumu gibi nedenlerle kare ya da dikdörtgen gibi basit geometrilerde yapılamaması durumunda ya deprem yönetmeliğinde verilen boyutlarda ya da yapıyı yeterli genişliğe sahip derzlerle çeşitli kısımlara ayırmak gerekmektedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Yapıların derzlerle çeşitli kısımlara ayrılması

- 6) Elemanların ortagonal olmama durumu
- 7) Çerçevelerin sürekliliği
- 8) Zayıf kat oluşumu
- 9) Yumuşak kat oluşumu
- 10) Taşıyıcı düşey elemanların süreksizliği
- 11) Kısa kolon durumu
- 12) Kuvvetli giriş-zayıf kolon durumu
- 13) Bırakılacak derz miktarları
- 14) Yapılar arasında bırakılacak boşluk durumu
- 15) Düzensiz kütle dağılımı
- 16) Taşıyıcı olmayan elemanların ağırlığı [8,12]

3.2 Hesap Yöntemleri

Deprem Yönetmeliğinde binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler;

- 1) Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri
 - a) Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
 - b) Mod Birleştirme Yöntemi
 - c) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi
- 2) Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri
 - a) Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
 - b) Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
 - c) Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi

olarak belirtilmektedir.

3.2.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

3.2.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Bu yöntem taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği fazla olmayan binalar için ideal bir yöntemdir. Boyutlamada kapasite kavramının kullanılması, sünekliğin kontrollü bir şekilde ve istenilen yerlerde oluşmasının sağlanması ve istenmeyen güç tükenmesi şekillerinin önlenmesi koşulu ile bu yöntem daha karmaşık çözümlemelere ihtiyaç duyulmaksızın yaygın bir şekilde uygulanabilir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun her biri için, her bir katta, en büyük rölatif kat ötelemesinin aynı kattaki ortalama ötelemeye oranı olan Burulma Düzensizliği Katsayısının

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{ort}} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{((\Delta_i)_{\min} + (\Delta_i)_{\max})/2} \leq 2 \quad (3.1)$$

olması yanında aşağıdaki tablodaki koşulların sağlanması durumunda eşdeğer deprem yüğü yöntemi kullanılabilir [13] :

Tablo 3.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin Uygulanabileceğı Binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1,2	A1 türü burulma düzensizliğı olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağılayan binalar	$H_N \leq 25$ m
1,2	A1 türü burulma düzensizliğı olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağılayan ve ayrıca B2 türü düzensizliğı olmayan binalar	$H_N \leq 60$ m
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 75$ m

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin adımları:

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiğı kabul edilerek, taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur. Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlanmasında kullanılan Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü, taban kesme kuvveti olarak bilinir ve W toplam yapı ağırlığı olmak üzere,

$$V_i = W \frac{A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_o I W \quad (3.2)$$

şeklinde belirlenir. İfadedeki Spektral İvme Katsayısı

$$A(T_1) = A_o I S(T_1) \quad (3.3)$$

olarak verilmiştir.

Burada; A_o : Etkin Yer İvmesi Katsayısı, I : Bina Önem Katsayısı, S : Spektrum Katsayısı ve T_1 : Yapının Birinci Doğal Periyodunu göstermektedir.

Etkin yer ivmesi katsayısı, deprem tehlikesinin göz önüne alınan bölgedeki durumunu göstermekte olup, deprem bölgesine bağılı olarak Tablo 3.2 de verilmiştir. Bina önem katsayısı, yapının kullanılış amacına bağılı olarak belirlenir (Tablo 3.3).

Tablo 3.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı A_o

Deprem Bölgesi	1	2	3	4
A_o	0,40	0,30	0,20	0,10

Tablo 3.3 Bina Önem Katsayısı I

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye, bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksin, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
4. Diğer Binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1,0

Spektrum katsayısı, zemin ile yapının etkileşimini göstermekte olup,

$$S(T_1) = 1 + 1,5 \frac{T_1}{T_A} \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (3.4)$$

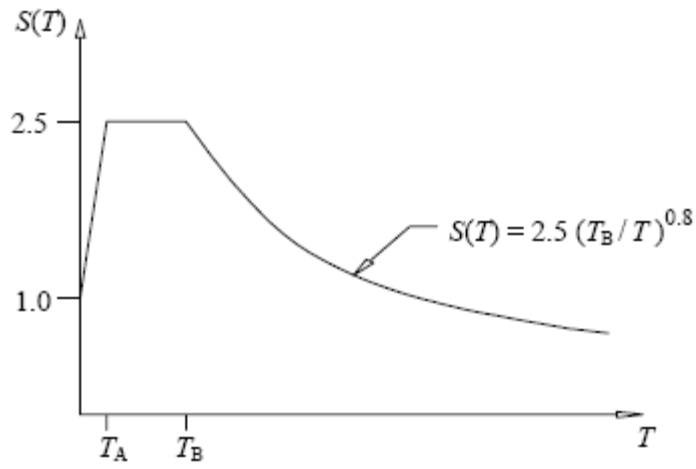
$$S(T_1) = 2,5 \quad (T_A < T_1 \leq T_B) \quad (3.5)$$

$$S(T_1) = 2,5 \left(\frac{T_B}{T_1} \right)^{0,8} \quad (T_B < T_1) \quad (3.6)$$

ifadesiyle verilmiştir. Burada T_A ve T_B Zemin Spektrum Karakteristik Periyotlarını gösterir (Tablo 3.4).

Tablo 3.4 Zemin Sınıfları için Spektrum Karakteristik Periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0,10	0,30
Z2	0,15	0,40
Z3	0,15	0,60
Z4	0,20	0,90



Şekil 3.3 Spektrum Katsayısı S

Şekil 3.3 de görüldüğü gibi spektrum katsayısı yumuşak zeminlerde (Z4) daha geniş periyot bölgesinde en büyük değerini alırken, sert zeminlerde (Z1) bu bölge daha dar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durum zemin büyütmesinin yumuşak zeminlerde daha geniş bölgede etkili olduğuna işaret etmektedir.

R_a , Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı olup, bunun kullanılmasıyla taşıyıcı sistemde doğrusal olmayan elastik ötesi davranış nedeniyle artan kapasite göz önüne alınmaktadır.

$$R_a = 1,5 + (R - 1,5) \frac{T_1}{T_A} \quad (0 \leq T_1 \leq T_A) \quad (3.7)$$

$$R_a = R \quad (T_A < T_1) \quad (3.8)$$

Tablo 3.5 de verilen R Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, T_1 Yapı Periyoduna ve T_A Zemin Spektrum Karakteristik Periyoduna bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 3.5 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
<u>Yerinde Dökme Betonarme Binalar</u>		
Deprem yükleri çerçevelerle taşınan binalar	4	8
Deprem yükleri bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşınan binalar	4	7
Deprem yükleri boşluksuz perdelerle taşınan binalar	4	6
Deprem yükleri çerçeveler ve perdelerle taşınan binalar	4	7

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde temel üstünden ölçülen bina toplam yüksekliğinin $H_N \leq 25$ m olması durumunda ve üçüncü ve dördüncü deprem bölgelerinde Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binalarda, binanın Birinci Doğal Periyodu T_1

$$T_1 \approx C_t H_N^{0,75} \quad C_t = 0,07 \text{ (0,05)} \quad \text{çerçeve (perdeli) binalarda} \quad (3.9)$$

olarak saniye biriminde hesap edilir. Diğer durumlarda yapının deprem hesabına esas olacak birinci doğal periyodu Rayleigh Yöntemi kullanılarak

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum (W_i d_i^2)}{\sum (g F_i d_i)}} \quad (3.10)$$

formülüyle daha gerçekçi olarak hesap edilir. Burada; F_i katlara etkiyen yatay kuvvet, d_i karşı gelen kat yerdeğiştirmesi, g yerçekimi ivmesi ve W_i kat ağırlığıdır.

Taban kesme kuvveti V_t nin hesaplanmasında kullanılacak W toplam yapı ağırlığı

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (3.11)$$

olup, taban kesme kuvvetine esas olan W_i kat ağırlıkları

$$W_i = G_i + n Q_i \quad (3.12)$$

olarak hesaplanacaktır. Burada; G_i ve Q_i söz konusu kattaki sabit ve hareketli yüklerin toplamıdır. Tasarıma esas olan depremin meydana gelmesi ile bütün alanlarda hareketli yükün

tam olarak bulunmasının beraberce ortaya çıkması ihtimalinin çok düşük olacağı düşünülerek, n gibi bir hareketli yük katılım katsayısı öngörülmüştür (Tablo 3.6).

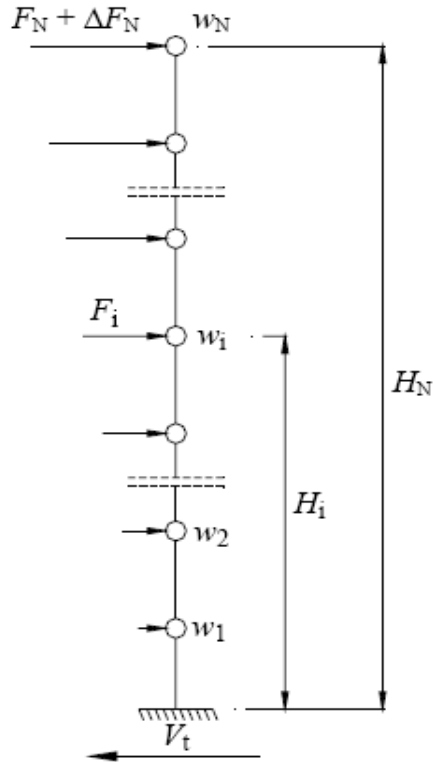
Tablo 3.6 Hareketli Yük Katılım Katsayısı n

Hareketli yük katılım katsayısı	n
Depolar	0,80
Okullar, öğrenci yurtları, spor tesisleri, sinema ve konser salonları, tiyatrolar, garaj, lokanta ve mağazalar	0,60
Özel konutlar, otel ve hastaneler, işyerleri	0,30

Doğrusal bir dağılışı esas alınırsa, yapının kat seviyelerine uygulanacak F_i yatay yükleri

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j H_j} \quad (3.13)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Burada, ΔF_N yapının en üst katına ek olarak uygulanacak yatay yük olup $\Delta F_N = 0,07 T_1 V_t \leq 0,20 V_t$ şeklinde hesaplanacaktır. Eğer binanın en üst katının temel seviyesinden yüksekliği $H_N \leq 25\text{m}$ ise, $\Delta F_N = 0$ alınabilir (Şekil 3.4) [13].



Şekil 3.4 Bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükü

3.2.1.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Mod birleştirme yönteminde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Yöntemin hesap tekniği tamamen elastik davranışa dayanmaktadır.

Deprem Yönetmeliğine göre binaların deprem hesaplarının üç boyutlu yapı sistemi olarak modellenmesi gerekmektedir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilir. Her katta iki yatay yerdeğiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme bağımsız yerdeğiştirme bileşenleri göz önüne alınacaktır [14].

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde yapının birinci modu esas alınır ve katlara etkileyen deprem kuvvetlerinin kat kütleleri ve katın temelden yüksekliği ile orantılı kabul edilir. Titreşim periyodunun hesabında ve deprem yükünün dağıtılmasında binanın kütleleri hesaba katıldığı için bu yöntem de yapının birinci serbestlik derecesini esas alan dinamik bir yöntem olarak da kabul edilebilir. Mod Birleştirme Yöntemi'nde toplam deprem kuvvetinin bulunmasında diğer titreşim periyotları ve mod şekilleri esas alınır. Bu yöntem çok serbestlik dereceli sistemlerin davranışını veren ifadelerin her mod şekli için ayrı ayrı değerlendirilmesi olarak da görülebilir [1].

Mod Birleştirme Yöntemi'nin adımları:

- Kütle atalet momentleri hesaplanır.

$$m\theta_i = (I_{xg} + I_{yg}) \frac{m_i}{A_i} \quad (3.14)$$

I_{xg} : Kat döşemesinin x_g eksenini etrafındaki atalet momenti

I_{yg} : Kat döşemesinin y_g eksenini etrafındaki atalet momenti

A_i : i' inci katın alanı

m_i : i' inci katın kütleleri

$m\theta_i$: Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti

Eylemsizlik momenti, $m\theta_i$ kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafında hesaplanmaktadır. Kat kütleleri, her katın kütle merkezinde ve ayrıca ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm \%5$ ' i kadar kaydırılması ile belirlenen kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanır.

Kat kütleleri, $\pm \%5$ kaydırılmış kütle merkezinde tanımlandıktan sonra üç boyutlu serbest titreşim analizi yapılarak titreşim periyot modları bulunur. Serbest titreşim analizi yapının dış yüksüz yapmış olduğu titreşim hareketidir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit

diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta birbirine dik doğrultuda iki yatay serbestlik derecesi ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik derecesi olduğu için bu aşamada (Kat Sayısı)×3 adet titreşim modunun hesaplanması önerilmektedir. Hesaplanan titreşim mod periyotları bir sonraki adımda etkin kütle oranlarının hesabında kullanılır.

- Etkin kütle oranları hesaplanır. Modal kütle ;

$$M_r = \{\Phi_r\}^T [M] \{\Phi_r\} \quad (3.15)$$

olup, mod vektörleri $M_r = 1$ olacak şekilde normalize edilirse her doğrultu ve her mod için etkin kütle oranları :

$$\frac{M_{xr}}{M_T} = \frac{[\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xir})]^2}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (3.16)$$

$$\frac{M_{yr}}{M_T} = \frac{[\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{yir})]^2}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (3.17)$$

$$\frac{M_{\theta r}}{M_T} = \frac{[\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{\theta ir})]^2}{\sum_{i=1}^N m_i} \quad (3.18)$$

şeklinde hesaplanır.

Her bir mod için hesaplanan etkin kütle oranları toplamı, hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90' ından daha az olamamalıdır. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütlesi, bina toplam kütlelerinin %5' inden büyük olan bütün titreşim modları incelenmelidir.

- Spektral ivme değerleri belirlenir. Herhangi bir r' inci mod için ivme spektrumu:

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r)g / R_a(T_r) \quad (3.19)$$

olmaktadır. Burada,

$A(T_r)$: r' inci doğal titreşim modu için spektral ivme katsayısı

$R_a(T_r)$: r' inci doğal titreşim modu için deprem yükü azaltma katsayısı

g : Yerçekimi ivmesidir.

Yapının spektrum analizi yapılarak deplasmanlar ve elemanlardaki iç kuvvet bileşenlerine her moddan gelen maksimum katkılar hesaplanır. Bulunan maksimum katkılar uygun bir birleştirme yöntemi ile birleştirilerek yapı deplasmanları ve eleman iç kuvvetleri bulunur.

Maksimum katkıların uygun bir birleştirme yöntemi ile birleştirilmesi için;

1) $T_s < T_r$ olmak üzere gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_s / T_r < 0,80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerinin Toplamının Kare Kökü (SRSS) uygulanabilir.

2) Yukarıdaki koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanır.

T_s, T_r : Binanın s'inci ve r'inci doğal titreşim periyotları (sn)

Hesaplanan iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri için alt sınır belirlenir. Bunun için Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan bina toplam deprem yükü (V_{tB}) ve Eşdeğer Deprem Yöntemi ile hesaplanan bina toplam deprem yükü (V_t) elde edilir. Aşağıda açıklanan β değerine göre $V_{tB} < \beta V_t$ olması durumunda Mod Birleştirme Yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri;

$$B_D = (\beta V_t / V_{tB}) B_B \quad (3.20)$$

formülü ile büyütülecektir. Burada;

B_D : Büyütülmüş yerdeğiştirme veya iç kuvvet,

B_B : Mod birleştirme yönteminde bulunan herhangi bir yerdeğiştirme veya iç kuvveti göstermektedir.

A1, B2, B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda $\beta = 0,90$, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta = 0,80$ alınacaktır.

Görelî kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolü yapılır [14].

3.2.1.3 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi

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

3.2.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

Deprem etkisi altında mevcut binaların yapısal performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme analizleri için kullanılacak doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin amacı, verilen bir deprem için sünek davranışa ilişkin plastik şekildeğiştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemlerinin hesaplanmasıdır. Daha sonra bu istem büyüklükleri, tanımlanmış bulunan şekildeğiştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirilmesi yapılacaktır.

Deprem yönetmeliğinde belirtilen doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri; Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında

Artımsal Hesap Yöntemi'dir. İlk iki yöntem, doğrusal olmayan deprem performansının belirlenmesi ve güçlendirme hesapları için temel alınan Artımsal İtme Analizi'nde kullanılacak olan yöntemlerdir[15-17].

3.2.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

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 analizinin yapılmasıdır. Analiz sırasında, her bir adımda taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanacaktır.

3.2.2.2 Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeteri sayıda titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan yer değiştirmelere veya onlarla uyumlu deprem yüklerine göre Mod Birleştirme Yöntemi'nin artımsal olarak uygulanmasıdır. Bu itme analizi sırasında ardışık iki plastik mafsall oluşumu arasındaki her bir itme adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile itme analizinin en önemli sakıncası, taşıyıcı sistemin deprem davranışının sadece birinci (deprem doğrultusunda hakim) doğal titreşim modundaki davranıştan ibaret olduğunun varsayılmasıdır. Bu nedenle yöntem, çok katlı olmayan ve deprem doğrultusuna göre planda simetrik veya simetriğe yakın olan binalarla sınırlıdır. Bu koşullara uymayan binalarda uygulanmak üzere birden fazla titreşim modunun gözönüne alındığı çok sayıda itme analizi yöntemi önerilmiş ise de, bu yöntemlerin büyük bölümü taşıyıcı sistemin global dayanım ve deformasyon kapasitelerinin belirlenmesi ile yetinmektedir. Tanımlanan belirli bir depremin etkisi altında performans değerlendirmesi için gerekli olan istem büyüklüklerini elde etmeyi amaçlayan yöntemlerin sayısı çok sınırlıdır. Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizinde, her bir plastik kesitin oluşumunda tüm modların katkıları göz önüne alınabilmekte; plastik dönmeler ile iç kuvvet istemleri, itme analizi dışında ek analizlere gerek kalmaksızın, doğrudan elde edilebilmektedir.

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile itme analizinde, ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında “adım adım doğrusal elastik” davranış esas alınır. Modal ölçeklendirme ile monotonik olarak arttırılan modal yerdeğiştirmeler gözönüne alınarak, her

adımında mod birleştirme kuralları'nın uygulandığı bir doğrusal (lineer) davranış spektrumu analizi gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde oluşan plastik kesit belirlenir; yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.[18,19]

Modal Ölçeklendirme; Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki herhangi bir (i)'inci *doğrusal* itme adımında, tipik bir n'inci doğal titreşim modu için taşıyıcı sistemin herhangi bir (s) serbestlik derecesine ait yerdeğiştirme artımı aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\Delta u_{sn}^{(i)} = \Phi_{sn}^{(i)} \Gamma_{xn}^{(i)} \Delta d_n^{(i)} \quad (3.21)$$

Denk.(3.21)'de yer alan ve (i)'inci itme adımında n'inci moddaki modal yerdeğiştirme artımı'nı temsil eden $\Delta d_n^{(i)}$ 'nin, bir önceki itme adımının sonundaki modal yerdeğiştirmeye eklenmesi ile, (i)'inci adım sonunda birikimli (kümülatif) modal yerdeğiştirme aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$d_n^{(i)} = d_n^{(i-1)} + \Delta d_n^{(i)} \quad (3.22)$$

Modların göreceli katkılarının gözönüne alınabilmesi için birikimli modal yerdeğiştirme, tek serbestlik dereceli sistemlere özgü eşit yerdeğiştirme kuralı'na göre, aynı moda birinci adımdaki (i=1) elastik spektral yerdeğiştirme $S_{den}^{(1)}$ ile orantılı olarak tanımlanır:

$$d_n^{(i)} = S_{den}^{(1)} \bar{F}^{(i)} \quad (3.23)$$

Burada $F^{(i)}$, (i)'inci itme adımında bütün modlar için sabit olduğu varsayılan birikimli spektrum ölçek katsayısı'nı göstermektedir. Denk.(3.21) ve Denk.(3.22)'nin sonucu olarak, n'inci moddaki modal yerdeğiştirme artımı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\Delta d_n^{(i)} = S_{den}^{(1)} \Delta \bar{F}^{(i)} \quad (3.24)$$

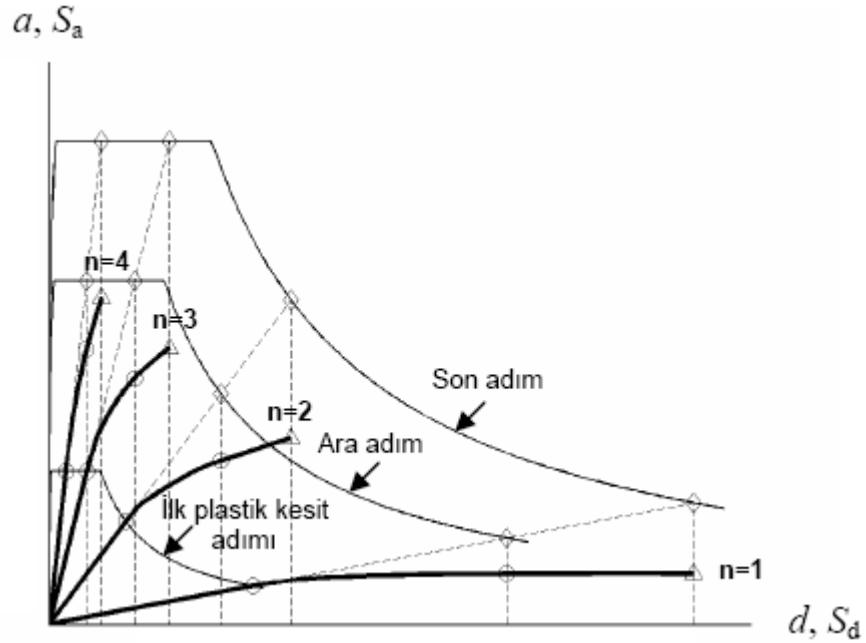
Burada $\Delta F^{(i)}$, yine (i)'inci adımda bütün modlar için sabit varsayılan artımsal spektrum ölçek katsayısı'dır. Böylece her bir itme adımındaki tüm modal yerdeğiştirme artımları, tek bir parametreye bağlı olarak ifade edilmiş olmaktadır. Artımsal ve birikimli spektrum ölçek katsayıları arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\bar{F}^{(i)} = \bar{F}^{(i-1)} + \Delta \bar{F}^{(i)} \leq 1 \quad (3.25)$$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan ve birinci itme adımı ($i=1$) için tanımlanan elastik spektral yerdeğiştirme $S_{den}^{(1)}$, elastik spektral ivmeden elde edilebilir:

$$S_{den}^{(1)} = \frac{S_{aen}^{(1)}}{(\omega_n^{(1)})^2} \quad (3.26)$$

Denk.(3.22) ve Denk.(3.23) ile verilen modal ölçeklendirme bağıntıları, yeni bir plastik kesitin oluştuğu her bir itme adımı sürecinde elastik spektral yerdeğiştirmenin monotonik olarak artırılmasına karşı gelmektedir. Diğer deyişle, spektral yerdeğiştirmeler bakımından deprem etkisi, sıfırdan başlayarak her bir itme adımında belirli bir miktarda büyütülmüş olmaktadır.



Şekil 3.5 Spektral yerdeğiştirme – Spektral ivme diyagramı

Denk.(3.26)'dan yararlanılarak “spektral yerdeğiştirme (S_d) – spektral ivme (S_a)” koordinatlarında çizilen davranış spektrumunun, sistemdeki ilk plastik kesitin oluştuğu doğrusal elastik birinci adım sonundaki ölçeklendirilmiş durumu ($\bar{F}^{(1)} \leq 1$) Şekil 3.5’de gösterilmiştir. Spektrumun daha sonraki herhangi bir (i)’inci ara adım sonundaki ölçeklendirilmiş durumu da ($\bar{F}^{(i)} \leq 1$) aynı şekilde görülmektedir. (p)’inci son itme adımı sonunda ise, eşit yerdeğiştirme kuralı uyarınca, elastik davranış spektrumunun kendisine varılmaktadır ($\bar{F}^{(p)} = 1$). “Modal yerdeğiştirme (d) – modal ivme (a)” koordinatları ile tanımlanan ve aşağıda elde edilecek olan

modal kapasite diyagramları da, gözönüne alınan tipik bir taşıyıcı sistemin ilk dört modu için, şematik olarak Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile İtme Analizi Algoritması; Yukarıda açıklanan modal ölçeklendirme işlemi esas alınarak, artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılacak itme analizinin ana adımları aşağıda özetlenmiştir:

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi’nin pratik uygulamasında, her bir (i)’inci itme adımında $\bar{\Delta F}^{(i)} = 1$ alınarak doğrusal bir Mod Birleştirme Analizi yapılır. Analizde, bir önceki adım sonundaki eksenel kuvvetler esas alınarak, ikinci mertebe etkileri hesaba katılabilir. Gözönüne alınacak mod sayısı, birinci itme adımındaki (i=1) modal büyüklükler esas alınarak belirlenir. Bu analizde;

(a) Denk.(3.21) ve Denk.(3.24)’e göre tipik n’inci mod için deprem verisi olarak birinci itme adımındaki (i=1) elastik spektral yerdeğiştirme $S_{den}^{(1)}$ gözönüne alınır. Bu giriş bilgisi, tüm itme adımlarında değişmeksizin aynen kullanılır.

(b) Bütün yerdeğiştirme, şekildeğiştirme ve iç kuvvet büyüklüklerine modal katkıların hesabı için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı kullanılır. Bu kuralın uygulanmasında kritik sönüm oranı bütün modlarda 0.05 olarak alınır.

Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki herhangi bir (i)’inci itme adımı sonunda, taşıyıcı sistemin herhangi bir (j) noktasında veya kesidinde oluşan herhangi bir yerdeğiştirmeyi, plastik şekildeğiştirmeyi veya iç kuvveti temsil eden tipik büyüklük $r_j^{(i)}$, bilinmeyen olarak sadece (i)’inci adıma ait artımsal ölçek katsayısı $\bar{\Delta F}^{(i)}$ cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$r_j^{(i)} = r_j^{(i-1)} + \bar{r}_j^{(i)} \bar{\Delta F}^{(i)} \quad (3.27)$$

Bu bağıntıya ilişkin tanımlar aşağıda verilmiştir:

(a) $\bar{r}_j^{(i)}$, $\bar{\Delta F}^{(i)} = 1$ alınarak (i)’inci itme adımında elde edilen doğrusal (lineer) mod birleştirme analizi sonucunda, (j) noktasında veya kesitinde hesaplanan tipik bir yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme veya iç kuvveti temsil etmektedir. Tam Karesel Birleştirme (CQC) modal birleştirme kuralının uygulanması nedeni ile işaretler kaybolduğundan; tipik yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme veya iç kuvvetin en büyük mutlak değerinin elde edildiği moddaki işaret esas alınır.

(b) $r_j^{(i)}$, (i)’inci itme adımı sonunda $\bar{\Delta F}^{(i)}$ ’in hesabından sonra elde edilecek olan tipik büyüklüğü temsil etmektedir. $r_j^{(i-1)}$ ise bir önceki (i-1)’inci itme adımı sonunda elde edilmiş olan büyüklüğü göstermektedir. Bu bağlamda birinci itme adımından (i=1) önceki sıfırıncı adım (i-

1=0), itme analizinden önce yapılması gereken düşey yük analizinden elde edilen tipik büyüklüğe karşı gelmektedir.

Her bir itme adımında Denk.(3.27)'de verilen genel bağıntı, kirişlerde her bir potansiyel plastik kesitteki eğilme momenti için, kolon ve perdelerde ise akma yüzeyinin koordinatlarını oluşturan iç kuvvetler için özel olarak yazılır. Üç boyutlu davranış durumunda iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet durumu için:

$$\begin{aligned} M_{j,x}^{(i)} &= M_{j,x}^{(i-1)} + \bar{M}_{j,x}^{(i)} \Delta F \\ M_{j,y}^{(i)} &= M_{j,y}^{(i-1)} + \bar{M}_{j,y}^{(i)} \Delta F \\ N_j^{(i)} &= N_j^{(i-1)} + \bar{N}_j^{(i)} \Delta F \end{aligned} \quad (3.28)$$

Genel olarak gözönüne alınan üç boyutlu davranış durumunda, (j) kesitinde doğrusallaştırılan akma yüzeylerinden herhangi birine karşı gelen (k)'ıncı düzlem parçasının analitik ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\alpha_{jk,x} M_{j,x} + \alpha_{jk,y} M_{j,y} + \beta_{jk} N_j = 1 \quad (3.29)$$

Denk.(3.28)'deki büyüklüklerin Denk.(3.29)'da yerine konulması ile (i)'nci adıma ait artımsal ölçek katsayısı, ardışık yaklaşıma gerek kalmaksızın, hesaplanır:

$$(\Delta F^{(i)})_{jk} = \frac{1 - \alpha_{jk,x} \bar{M}_{j,x}^{(i-1)} - \alpha_{jk,y} \bar{M}_{j,y}^{(i-1)} - \beta_{jk} \bar{N}_j^{(i-1)}}{\alpha_{jk,x} \bar{M}_{j,x}^{(i)} + \alpha_{jk,y} \bar{M}_{j,y}^{(i)} + \beta_{jk} \bar{N}_j^{(i)}} \quad (3.30)$$

Herhangi bir (j) potansiyel plastik kesitinde, bütün (k) akma yüzeyleri (çizgileri) için elde edilen $(\Delta F^{(i)})_{jk}$ değerlerinin pozitif olanlarının en küçüğü bulunduktan sonra, bunların da taşıyıcı sistemde hesaplanan en küçüğü, (i)'inci hesap adımı sonundaki $\Delta F^{(i)}$ artımsal ölçek katsayısı olarak elde edilir. Bu değere karşı gelen (j) kesiti ise, yeni oluşan plastik kesitin sistem içindeki yerini belirler.

(i)'inci itme adımında $\Delta F^{(i)}$ elde edildikten sonra;

(a) Birikimli spektrum ölçek katsayısı, $\bar{F}^{(i)}$, Denk.(3.25)'ten hesaplanır.

(b) Taşıyıcı sistemin herhangi bir (j) noktasında veya kesitinde oluşan herhangi bir tipik yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme veya iç kuvvet büyüklüğü, $r_j^{(i)}$, Denk. (3.27)'ye göre elde edilir.

(c) Gözönüne alınan tüm modlara ait modal yerdeğiştirme artımları Denk.(3.24)'ten hesaplanır. (i)'inci itme adımının sonundaki birikimli modal yerdeğiştirmeler ise Denk. (3.22) veya Denk.(3.23)'ten elde edilir.

(i)'inci adımda tüm modlara ait modal ivme artımları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\Delta a_n^{(i)} = (\omega_n^{(i)})^2 \Delta d_n^{(i)} \quad (3.31)$$

Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nin burada açıklanan formülasyonunda doğrudan kullanılmamakla birlikte, tanım olarak n'inci modda (s) serbestlik derecesine etkileyen modal deprem yükü artımı $\Delta f_{sn}^{(i)}$, modal ivme artımı $\Delta a_n^{(i)}$ 'ye bağlı olarak aşağıda verilmiştir:

$$\Delta f_{sn}^{(i)} = m_s \Phi_{sn}^{(i)} \Gamma_{xn}^{(i)} \Delta a_n^{(i)} \quad (3.32)$$

(i)'inci itme adımının sonundaki birikimli modal ivme değerleri ise aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$a_n^{(i)} = a_n^{(i-1)} + \Delta a_n^{(i)} \quad (3.33)$$

Yatay ekseninde modal yerdeğiştirmelerin, düşey ekseninde ise modal ivmelerin temsil edildiği tipik modal kapasite diyagramları Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Tanım olarak, n'inci moda ait tipik kapasite diyagramında ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki doğru parçasının eğimi, Denk.(3.30) uyarınca o adımda n'inci modun doğal açısal frekansının karesine, $(\omega_n^{(i)})^2$, diğer deyişle n'inci özdeğere eşittir. Plastik şekildeğiştirmelerin yaygınlaşması sonucunda, ikinci mertebe etkileri nedeni ile bazı modların özdeğerleri, dolayısıyla ilgili modal kapasite diyagramlarının eğimleri, belirli bir itme adımından sonra negatif değerler alabilirler. İkinci mertebe etkilerinin mod şekillerini değiştirebileceği dikkate alınmalıdır. Modal deprem istemi üzerindeki etkileri ise genellikle terk edilebilir düzeydedir.

Her bir itme adımının tamamlanmasından sonra, o adım sonunda oluşan plastik kesit gözönüne alınarak sistem rijitlik matrisinde gerekli değişiklikler yapılır ve yeni itme adımı için işlemlere başlanır[20,21].

İstem Büyüklüklerinin Belirlenmesi; Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi'nde modal yerdeğiştirmeler maksimum değerlerine bütün modlarda birlikte ulaşırlar. Her itme adımı sonunda Denk.(3.25) ile hesaplanan birikimli spektrum ölçek katsayısının, maksimum değer

olan birim değeri aşıp aşmadığı kontrol edilir. Aşmaması durumunda, analize yukarıda açıklandığı üzere devam edilir. Aşması durumunda ise;

(a) Varılan itme adımı son itme adımı olarak tanımlanarak (p) üst indisi ile temsil edilir. $i = p$ alınarak ve $\bar{F}^{(p)} = 1$ olduğu gözönünde tutularak, son adıma ait artımsal spektrum ölçek katsayısı Denk.(3.25)'ten hesaplanır:

$$\Delta \bar{F}^{(p)} = 1 - \bar{F}^{(p-1)} \quad (3.34)$$

(b) Ancak Denk.(3.24) ile tanımlanan n'inci moddaki modal yerdeğiştirmenin, son itme adımında aşağıdaki şekilde yeniden tanımlanması gereklidir:

$$\Delta d_n^{(p)} = C_{Rn} S_{den}^{(1)} \Delta \bar{F}^{(p)} \quad (3.35)$$

Herhangi bir modda $C_{Rn} > 1$ olması durumunda, deprem verisi olarak $S_{den}^{(1)}$ yerine $C_{Rn} S_{den}^{(1)}$ alınır ve Mod Birleştirme Yöntemi ile tipik büyüklüğe ait $\bar{r}_j^{(p)}$ değeri yeniden hesaplanır.

(c) Tipik yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme veya iç kuvvetin maksimum değeri, diğer deyişle tipik istem büyüklüğü Denk.(3.27)'ye göre elde edilir:

$$r_j^{(p)} = r_j^{(p-1)} + \bar{r}_j^{(p)} \Delta \bar{F}^{(p)} \quad (3.36)$$

Gözönüne alınan herhangi bir n'inci moda ait spektral yerdeğiştirme oranı C_{Rn} aşağıdaki şekilde hesaplanır:

(a) $T_n^{(1)} > T_B$ [veya $(\omega_n^{(1)})^2 < \omega_B^2$] koşulunun sağlanması durumunda $C_{Rn} = 1$ alınır.

(b) $T_n^{(1)} < T_B$ [veya $(\omega_n^{(1)})^2 > \omega_B^2$] olması durumunda ise C_{Rn} yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$\lambda_n^{(p)} = \frac{(\omega_n^{(p)})^2}{(\omega_n^{(1)})^2} \text{ olmak üzere;}$$

$$C_{Rn} = \frac{1 + (R_{yn} - 1) T_B / T_n^{(1)}}{R_{yn}} \geq 1 \quad (\lambda_n^{(p)} \leq 0,10)$$

$$C_{Rn} = \frac{1 + (R_{yn} - 1) T_B / T_n^{(1)}}{10 \lambda_n^{(p)} R_{yn}} \geq 1 \quad (\lambda_n^{(p)} > 0,10) \quad (3.37)$$

Bu bağıntıda R_{yn} , n'inci mod için çizilen iki doğrulu modal kapasite diyagramından elde edilen dayanım azaltma katsayısı'nı göstermektedir :

$$R_{yn} = \frac{S_{aen}^{(1)}}{a_{yn}} \quad (3.38)$$

Özel Durumlar; Taşıyıcı sistem davranışında sadece birinci (deprem doğrultusunda hakim) modun etkili olduğunun varsayılması durumunda, Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi ile ilgili olarak yukarıda yazılan tüm bağıntılar, hiçbir değişiklik yapılmaksızın, sadece hakim mod için yazılarak kullanılabilir. Bu özel durumda itme analizi, Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde yük dağılımının her bir itme adımında değişken olduğunun gözönüne alındığı tek modlu itme analizine indirgenmiş olmaktadır. Modal ölçeklendirmenin söz konusu olmadığı bu çözümde, en sondaki $i = p$ adımı öncesindeki diğer itme analizi adımlarında elde edilen büyüklükler, seçilen depremden bağımsızdır.

Taşıyıcı sistem davranışının doğrusal elastik olması durumunda Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi, doğrusal Mod Birleştirme Yöntemi'ne indirgenir. Kesitlerin akma yüzeylerinin fiktif olarak büyütülmesi ile, hiçbir kesitte plastik şekil değiştirme meydana gelmeden modal yer değiştirme istemine ulaşılacağından, bu durumda itme analizi sadece tek bir adımda sonuçlanacak ve Şekil 3.5'deki modal kapasite diyagramları birer doğru parçasından ibaret olacaktır [15,22,23].

3.2.2.3 Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi

Zaman Tanım Alanında Artımsal Hesap Yöntemi'nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin artımsal olarak adım adım entegre edilmesidir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır [17,24].

4. YAPISAL DÜZENSİZLİKLER

Deprem etkilerine göre hesap bakımından yapılar başlıca iki sınıfa ayrılır.

a) Taşıyıcı Sistemi Düzenli Yapılar: Taşıyıcı sistemleri döşeme ya da kirişler ile düşey kolonlardan oluşan, kolon ve perdeleri sürekli olarak temele kadar inen yapılara "Taşıyıcı sistemi düzenli yapılar" adı verilir.

b) Taşıyıcı Sistemi Düzensiz Yapılar: Yukarıdaki tanımın dışında kalan ve rijitlik ya da kütle yayılımı bakımından süreksizlikler ya da düzensiz yığılmalar gösteren yapılara "Taşıyıcı sistemi düzensiz yapılar" adı verilir [4].

Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (2007), depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken "düzensiz binaların" tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de açıklandığı gibi verilmiştir.

Tablo 4.1 Planda düzensizlik durumları

A – Planda Düzensizlik Durumları
A1 – Burulma Düzensizliği: Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumu. $[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1,2]$ Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dış merkezlik etkileri de gözönüne alınarak yapılacaktır.
A2 – Döşeme Süreksizlikleri: Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 4.1); I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu. II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu. III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu.
A3 – Planda Çıkıntılar Bulunması: Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'inden daha büyük olması durumu (Şekil 4.4).

Tablo 4.2 Düşey doğrultuda düzensizlik durumları

B – Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları
B1 – Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat): Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının, bir üst kattaki etkili kesme alanına oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı η_{ci}'nin 0,80'den küçük olması durumu. $[\eta_{ci} = (\Sigma A_e)_i / (\Sigma A_e)_{i+1} < 0,80]$ Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı: $\Sigma A_e = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15 \Sigma A_k$
B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat): Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki}'nin 1,5'tan fazla olması durumu. $[\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 1,5 \text{ veya } \eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 1,5]$ Görel kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de gözönüne alınarak yapılacaktır.
B3 – Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu.

4.1 A2 – Döşeme Süreksizlikleri

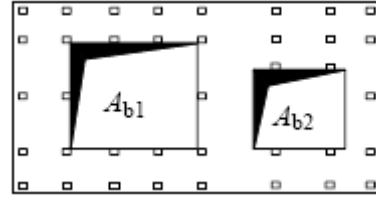
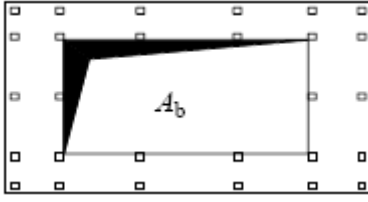
Bu çalışmada asıl inceleme konularımızdan biri olan A2 türü ya da döşeme süreksizlikleri olarak da adlandırılan düzensizlik döşemelerin görevini yerine getirebilmesi amacıyla Deprem Yönetmeliğinde tanımlanmaktadır. Yönetmelikte A2 – Döşeme Süreksizliği için üç durum belirtilmiştir. Bunlar:

Herhangi bir kattaki döşemede;

I – Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3' ünden fazla olması durumu.

II – Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu.

III – Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumudur.



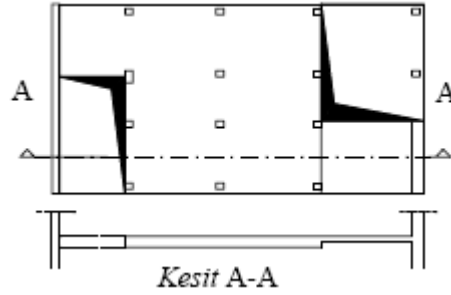
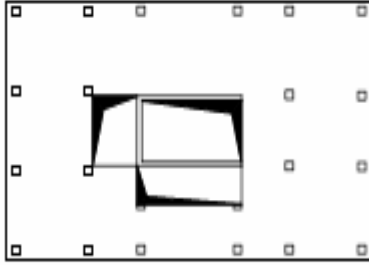
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu – I

$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II

A2 türü düzensizlik durumu – II ve III

Şekil 4.1 A2 türü düzensizlik durumları

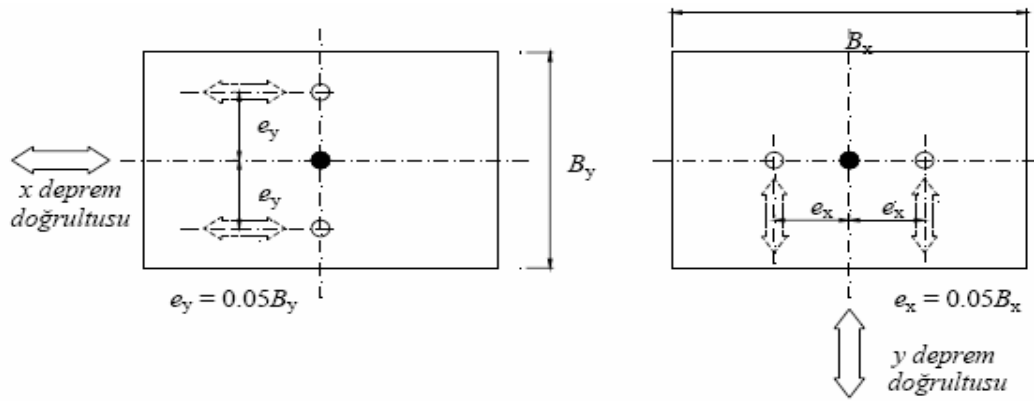
Bir bütün olarak deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin temel zeminine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, karalılık ve dayanım bulunmalıdır. Bu bağlamda döşeme sistemleri, deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenli aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır.

Yönetmelikte döşemeler rijit diyafram olarak kabul edilmektedir. Rijit diyafram modelinde döşemeler rijit kütle hareketi yapar yani döşemelerin şekil değiştirmedeği kabul edilmektedir. Betonarme çerçeveli yapıların yerinde dökme betonarme kiriş ve plaktan oluşan döşemelerin en/ boy oranları çok küçük değilse rijit bir diyafram gibi çalıştığı kabul edilebilir. En/boy oranı çok küçük olan ince dar ve uzun planlı yapılarda döşemelerin rijit diyafram olarak çalışmaları beklenmemelidir.

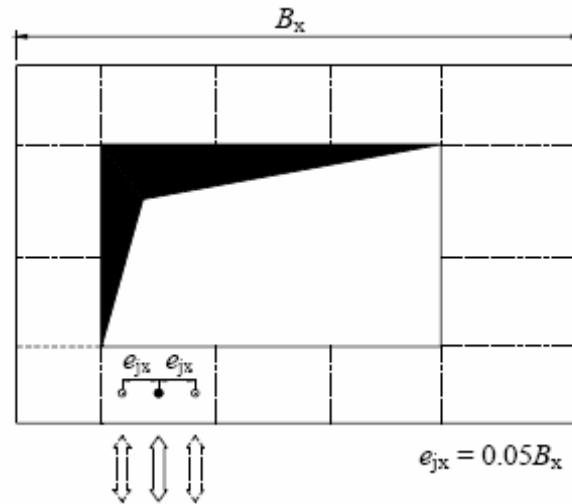
Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız yerdeğiştirme bileşenleri olarak gözönüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta

belirlenen eşdeğer deprem yükleri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm \%5$ 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanacaktır (Şekil 4.2).

A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekildeğişikliklerinin gözönüne alınmasını sağlayacak yeterlikte, bağımsız statik yer değiştirme bileşenin hesapta gözönüne alınması öngörülmektedir. Ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $\pm \%5$ 'i kadar kaydırılacaktır (Şekil 4.3).



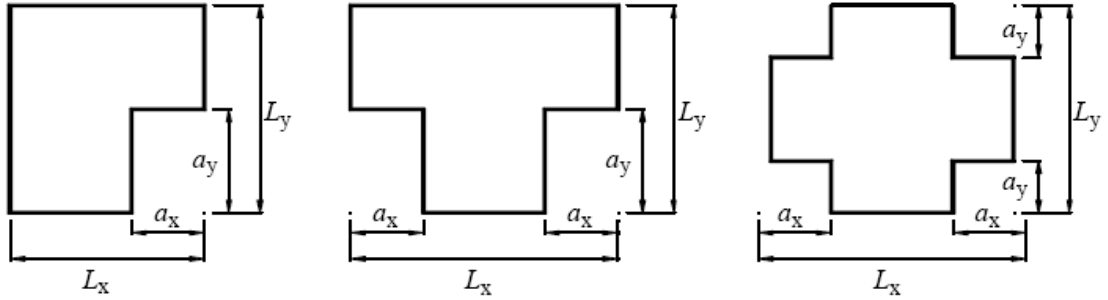
Şekil 4.2 Ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için deprem yüklerinin her katta uygulanacağı noktalar



Şekil 4.3 Ek dışmerkezlilik etkisinin hesaba katılabilmesi için her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin uygulanacağı noktalar

4.2 A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20' sinden daha büyük olması durumudur (Şekil 4.4). Deprem Yönetmeliğinde, A3 türü düzensizlik olarak nitelendirilen bu düzensizliğin bulunması halinde katlarda deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenle aktarılabilmesinin gösterilmesi önerilmektedir.



$$a_x > 0,20 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0,20 L_y$$

Şekil 4.4 A3 türü düzensizlik durumu

Yapının arazi durumu gibi nedenlerle kare ya da dikdörtgen gibi basit geometrilerde yapılamaması durumunda uygun düzenlenmiş derzler aracılığıyla yapı düzgün şekillere ayrılmalıdır.

Deprem Yönetmeliğine göre, A2 ve A3 türü düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması gerekmektedir [25,26].

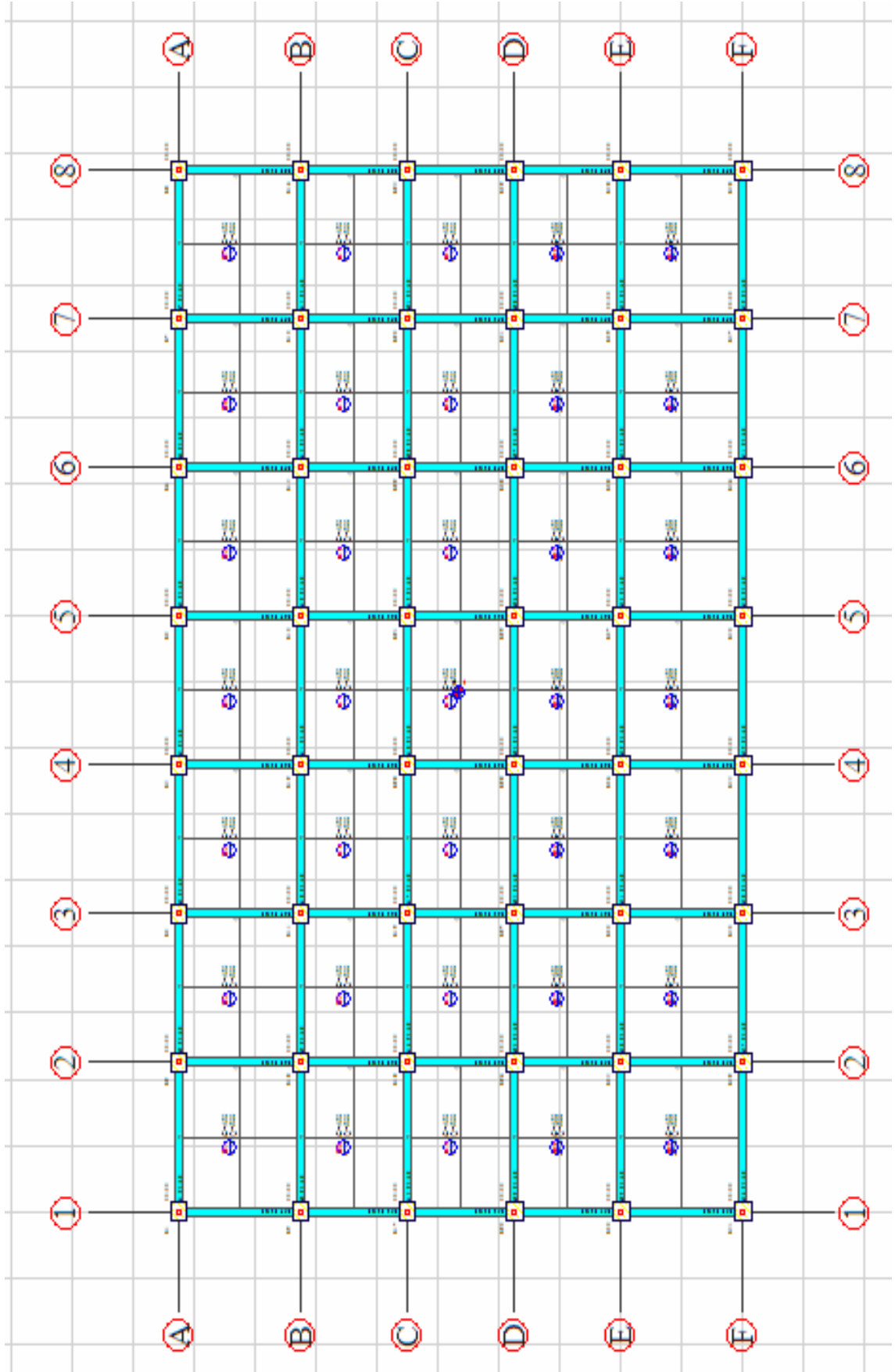
5. A2 VE A3 YAPISAL DÜZENSİZLİKLERİNİN ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ ÜZERİNE SAYISAL UYGULAMALAR

Sayısal uygulamalar kısmında tasarlanan üç boyutlu betonarme bir yapıda A2 ve A3 düzensizlikleri oluşturulmuştur. Daha sonra bu düzensizliklerin yapının taşıyıcı elemanlarında meydana gelen kesme kuvvetlerine etkisi doğrusal ve doğrusal olmayan çözümler elde edilerek incelenmiştir. Spektral analizin kullanıldığı doğrusal ve doğrusal olmayan çözümler, sırasıyla mod birleştirme ve artımsal mod birleştirme yöntemleriyle belirlenmiştir. Bu tez çalışmasında A2 ve A3 düzensizliklerinin karşılaştırılması için; 8 katlı, üç boyutlu bir betonarme sistem 2 düzenli durum ve 8 farklı düzensizlik durumu için ele alınmıştır.

Analizler sonucunda A2 düzensizlikleri için F8 kolonu, A3 düzensizlikleri için F4 kolonu seçilerek değerlendirme yapılmıştır. Ardından bu kolonlarda doğrusal ve doğrusal olmayan analizler neticesinde hem X deprem doğrultusu hem de Y deprem doğrultusunda elde edilen kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

5.1.Tasarlanan Taşıyıcı Model

Analizler için tasarlanan taşıyıcı modeller x yönünde yedi, y doğrultusunda dört açıklıklı olarak seçilmiştir. Sistemler zemin+ yedi katlı olarak seçilmiş ve kat yükseklikleri tüm katlarda 3,5 m olarak belirlenmiştir. Sistemin x yönündeki kiriş açıklıkları 4,5 m, y yönünde ise A-B ve E-F aksları arası 4 m, y yönündeki diğer akslar arası 3,5 m'dir. A2 ve A3 düzensizliklerine sahip sistemler x ve y yönünde doğrusal ve doğrusal olmayan deprem yüklemelerine maruz bırakılmıştır. Bu yüklemelerden sonra elde edilen sonuçlar taşıyıcı bir kolon için karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.1 Tasarlanan yapının kalıp planı

5.2 Tasarlanan Yapının Boyutları ve Malzeme Özellikleri

Şekil 5.1’de verilen yapının hesabında kullanılan boyutlar ve malzeme özellikleri;

Boyutlar

Döşeme Kalınlığı	: 12 cm
Kiriş Boyutları	: 25x60 cm
Kolon Boyutları	: ilk dört kat 55x55 cm, diğer katlar 45x45 cm
Kat Yüksekliği	: 3,5 m

Malzeme Özellikleri

Beton Sınıfı	: C25
Donatı	: S420

Deprem ve Zemin Özellikleri

Deprem Bölgesi	: 1. derece
Bina Önem Katsayısı	: I=1,5
Etkin Yer İvmesi	: $A_0=0,4$
Zemin Sınıfı	: Z2
Bilgi Düzeyi	: Kapsamlı
Zemin Emn. Gerilmesi	: 180 t/m^2
Seçilen mod Sayısı	:24

Yüklemeler

$G=450 \text{ kg/m}^2$
$Q=500 \text{ kg/m}^2$ (duvarlı)
$n=0,3$

5.3 Yükleme Kombinasyonu

Tablo 5.1’de sayısal uygulamalarda kullanılan yükleme kombinasyonuna ait özellikler verilmiştir.

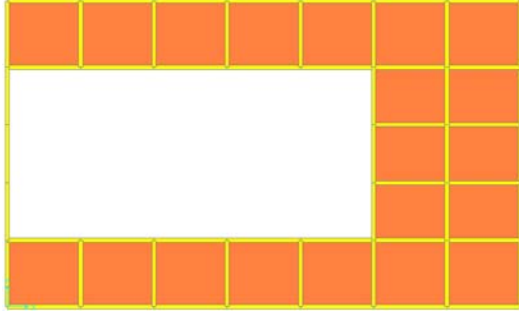
Tablo 5.1 Yükleme Kombinasyonu

	Kombinasyon Cinsi	Deprem Yüklemesi	Deprem Yüklemesi Katsayısı	Yükleme Kombinasyon Tipi
Doğrusal	G+Q+EX	SPEKTRUM X	+1	CQC
Doğrusal	G+Q+EY	SPEKTRUM Y	+1	CQC
Doğrusal Olmayan	PUSHX	MOD	+1	CQC
Doğrusal Olmayan	PUSHY	MOD	+1	CQC

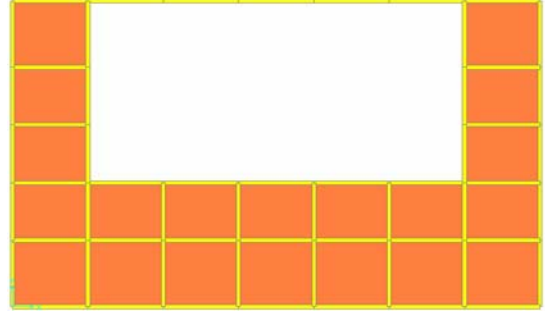
5.4 Yapısal Düzensizliklerin Çözümlere Etkisi

5.4.1 A2 Döşeme Süreksizlik Düzensizliği

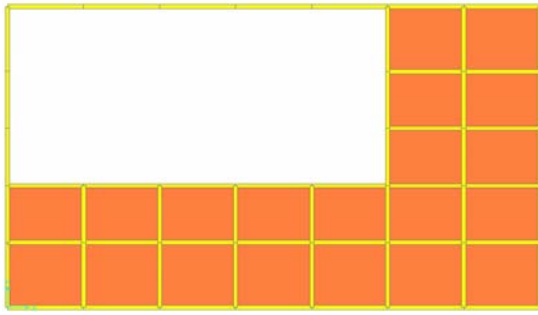
Bu düzensizliğin çözümlere etkisini incelemek üzere Şekil 5.2’de verilen beş yapı modeli seçilmiştir. İlk dört modeldeki boşluk alanları eşit olup sadece konumları farklıdır.



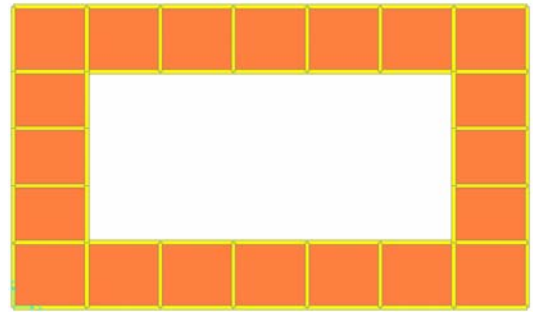
a) A2-1 modeli



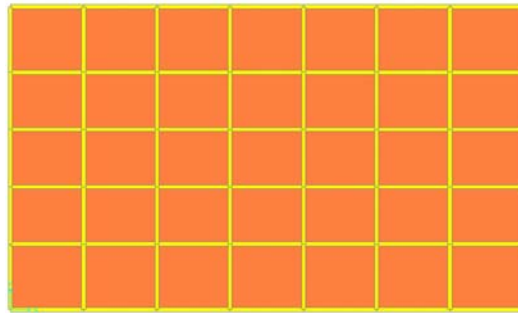
b) A2-2 modeli



c) A2-3 modeli



d) A2-4 modeli



e) Düzenli yapı modeli

Şekil 5.2 A2 Döşeme Süreksizliği Düzensizliğinin kalıp planı modelleri

Doğrusal yöntem kullanılarak seçilen yapı modellerindeki F8 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetleri için elde edilen çözümler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 A2 Düzensizliğinin F8 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Yöntem)

A2 Düzensizliği			Kesme Kuvveti (kN)				
Katlar	Kolon No	Yükleme Durumu	Düzenli Yapı	A2-1 Çözümü	A2-2 Çözümü	A2-3 Çözümü	A2-4 Çözümü
7	F8 (45/45)	G+Q+EX	15,9	15,3	16,0	16,1	15,3
		G+Q+EY	16,4	18,0	17,6	17,7	18,3
6	F8 (45/45)	G+Q+EX	29,1	27,3	28,7	28,9	27,2
		G+Q+EY	30,1	31,1	29,8	31,0	30,4
5	F8 (45/45)	G+Q+EX	38,1	36,1	37,6	38,1	35,7
		G+Q+EY	39,5	40,3	39,4	40,8	39,4
4	F8 (45/45)	G+Q+EX	48,4	45,1	47,2	47,8	44,7
		G+Q+EY	50,2	49,8	47,7	50,4	47,8
3	F8 (55/55)	G+Q+EX	44,2	43,5	44,9	45,4	43,2
		G+Q+EY	45,3	47,2	47,2	47,5	47,8
2	F8 (55/55)	G+Q+EX	55,1	52,6	54,7	55,2	52,3
		G+Q+EY	56,1	56,9	55,3	57,3	56,0
1	F8 (55/55)	G+Q+EX	59,7	57,5	59,3	60,2	56,8
		G+Q+EY	60,5	61,4	60,3	62,3	60,3
Zemin	F8 (55/55)	G+Q+EX	79,9	72,4	76,5	77,2	72,0
		G+Q+EY	81,8	78,9	73,1	79,8	73,5

X ve Y doğrultusunda F8 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin düzenli yapı ve seçilen dört farklı A2 düzensizliği durumları için pek değişmediği görülmüştür.

Doğrusal olmayan yöntem kullanılarak seçilen yapı modellerindeki F8 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetleri için elde edilen çözümler Tablo 5.3’de verilmiştir.

Tablo 5.3 A2 Düzensizliğinin F8 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Olmayan Yöntem)

A2 Düzensizliği			Kesme Kuvveti (kN)				
Katlar	Kolon No	Yükleme Durumu	Düzenli Yapı	A2-1 Çözümü	A2-2 Çözümü	A2-3 Çözümü	A2-4 Çözümü
7	F8 (45/45)	G+Q+EX	24,8	17,5	35,2	31,5	20,0
		G+Q+EY	19,8	33,4	31,4	32,8	38,6
6	F8 (45/45)	G+Q+EX	72,8	65,7	81,4	78,4	67,2
		G+Q+EY	66,4	74,5	69,9	76,3	78,6
5	F8 (45/45)	G+Q+EX	93,1	94,4	114,2	99,4	91,9
		G+Q+EY	95,7	97,6	98,3	109,6	103,5
4	F8 (45/45)	G+Q+EX	203,8	159,2	187,0	212,4	151,7
		G+Q+EY	176,1	164,2	145,2	178,9	160,2
3	F8 (55/55)	G+Q+EX	123,6	180,3	127,1	127,0	177,4
		G+Q+EY	174,7	126,5	128,3	125,6	131,6
2	F8 (55/55)	G+Q+EX	152,9	203,9	166,8	178,2	207,4
		G+Q+EY	213,4	162,5	162,4	173,0	186,5
1	F8 (55/55)	G+Q+EX	231,3	207,0	231,5	245,4	209,1
		G+Q+EY	230,2	203,1	204,9	207,6	215,0
Zemin	F8 (55/55)	G+Q+EX	251,9	206,6	235,1	236,8	192,1
		G+Q+EY	187,9	237,9	226,4	222,2	249,4

X doğrultusunda;

A2–1 modelinde F8 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin 2. ve 3. katlarda düzenli yapınınkinden daha büyük, diğer katlarda ise daha küçük değerler aldığı gözlenmiştir.

A2–2 modeli için yapılan karşılaştırmada ise düzensiz yapıdaki F8 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin zemin kat ve 4. katta düzenli yapıya göre daha küçük değerler aldığı gözlenmiştir.

A2-3 modeli için yapılan karşılaştırmada ise düzensiz yapıdaki F8 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin zemin kat hariç düzenli yapıdaki değerlerden daha büyük değerler aldığı belirlenmiştir.

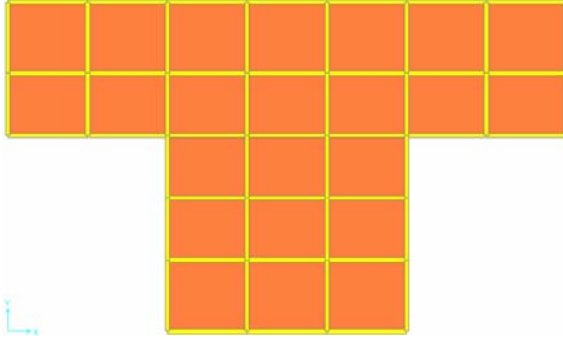
A2-4 modelinde ise F8 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin 2. ve 3. katlarda düzenli yapınınkinden daha büyük, diğer katlarda ise daha küçük değerler aldığı gözlenmiştir.

Y doğrultusunda;

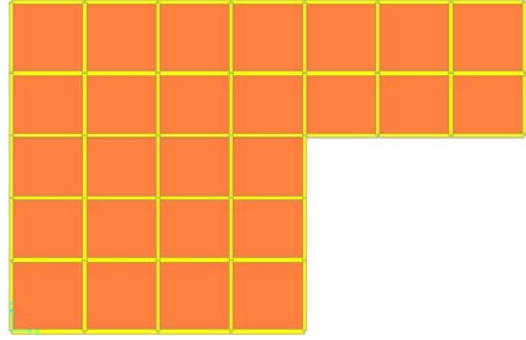
Tüm modeller için yapılan karşılaştırmada düzensiz yapılarda F8 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin zemin,5.6.7. katlarda düzenli yapıdaki değerlerden daha büyük değerler aldığı, 1.2.3.4. katlarda ise düzenli yapınınkinden daha küçük değerler aldığı gözlenmiştir.

5.4.2 A3 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliği

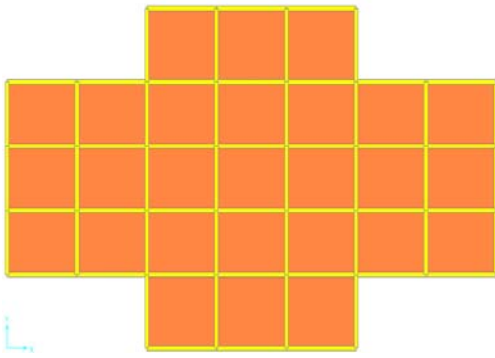
Bu düzensizliğin çözümlere etkisini incelemek üzere Şekil 5.3’de verilen beş farklı yapı modeli seçilmiştir.



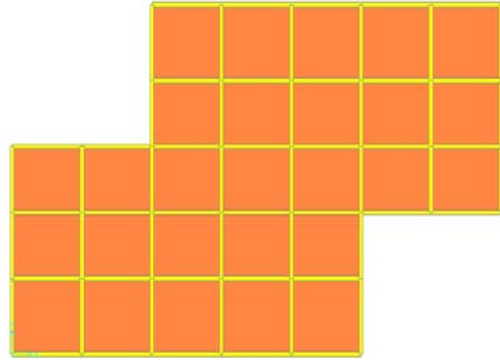
a) A3-1 modeli



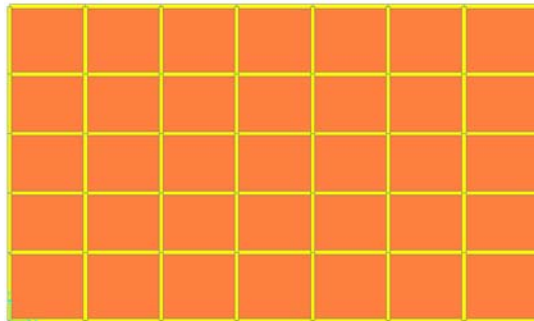
b) A3-2 modeli



c) A3-3 modeli



d) A3-4 modeli



e) Düzenli Yapı

Şekil 5.3 A3 Planda Çıkıntılar Bulunması Düzensizliğinin kalıp planı modelleri

Doğrusal yöntem kullanılarak seçilen yapı modellerindeki F4 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetleri için elde edilen çözümler Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4 A3 Düzensizliğinin F4 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Yöntem)

A3 Düzensizliği			Kesme Kuvveti (kN)				
Katlar	Kolon No	Yükleme Durumu	Düzenli Yapı	A3-1 Çözümü	A3-2 Çözümü	A3-3 Çözümü	A3-4 Çözümü
7	F4 (45/45)	G+Q+EX	26,5	18,9	19,1	18,0	18,2
		G+Q+EY	18,2	14,0	13,9	14,2	14,2
6	F4 (45/45)	G+Q+EX	46,2	32,4	32,4	31,0	30,9
		G+Q+EY	31,9	22,2	22,3	22,5	22,6
5	F4 (45/45)	G+Q+EX	61,8	43,3	43,4	41,6	41,2
		G+Q+EY	41,8	28,6	28,8	28,8	29,0
4	F4 (45/45)	G+Q+EX	72,4	50,1	50,2	48,4	47,9
		G+Q+EY	52,3	34,7	34,9	35,0	35,4
3	F4 (55/55)	G+Q+EX	85,6	60,2	60,9	57,7	57,4
		G+Q+EY	48,8	33,7	34,1	33,6	34,1
2	F4 (55/55)	G+Q+EX	93,9	65,3	65,9	62,9	62,5
		G+Q+EY	59,3	36,7	40,1	39,6	40,2
1	F4 (55/55)	G+Q+EX	101,7	70,9	71,5	68,4	67,4
		G+Q+EY	63,9	42,6	43,1	42,3	43,1
Zemin	F4 (55/55)	G+Q+EX	101,5	68,2	68,2	66,7	66,2
		G+Q+EY	83,5	53,4	53,6	53,6	54,4

X doğrultusunda F4 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin düzenli yapıda, dört farklı A3 düzensizlik durumuna göre ortalama 1,5-2 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Y doğrultusunda ise F4 kolonunda oluşan kat kesme kuvvetlerinin düzenli yapıda, dört farklı A3 düzensizlik durumuna göre ortalama 1-1,5 kat daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Doğrusal olmayan yöntem kullanılarak seçilen yapı modellerindeki F4 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetleri için elde edilen çözümler Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.5 A3 Düzensizliğinin F4 kolonunun X ve Y yönündeki kesme kuvvetlerine etkisi
(Doğrusal Olmayan Yöntem)

A3 Düzensizliği			Kesme Kuvveti (kN)				
Katlar	Kolon No	Yükleme Durumu	Düzenli Yapı	A3-1 Çözümü	A3-2 Çözümü	A3-3 Çözümü	A3-4 Çözümü
7	F4 (45/45)	G+Q+EX	67,2	54,6	61,7	63,0	70,3
		G+Q+EY	18,4	20,0	32,0	21,3	20,8
6	F4 (45/45)	G+Q+EX	126,1	112,9	118,6	122,5	128,7
		G+Q+EY	67,0	61,9	76,9	68,6	68,3
5	F4 (45/45)	G+Q+EX	187,7	171,6	177,0	193,0	191,4
		G+Q+EY	96,7	96,8	100,2	98,0	98,2
4	F4 (45/45)	G+Q+EX	212,2	204,0	206,6	210,9	216,4
		G+Q+EY	184,4	159,7	184,4	176,3	181,3
3	F4 (55/55)	G+Q+EX	287,1	259,5	270,0	289,7	280,3
		G+Q+EY	200,4	164,5	130,6	205,3	177,0
2	F4 (55/55)	G+Q+EX	295,7	281,6	283,3	297,3	289,6
		G+Q+EY	226,8	215,2	200,2	226,0	220,8
1	F4 (55/55)	G+Q+EX	304,5	295,7	294,4	306,6	298,3
		G+Q+EY	234,1	227,6	266,4	230,8	223,7
Zemin	F4 (55/55)	G+Q+EX	315,4	273,5	267,9	316,1	318,4
		G+Q+EY	239,7	216,1	264,5	234,3	216,7

X ve Y doğrultusunda F4 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin düzenli yapıda A3-1 ve A3-2 modelindeki yapılara göre ortalama 1-1,5 kat daha büyük değerler aldığı görülmüştür. F4 kolonundaki kat kesme kuvvetlerinin A3-3 ve A3-4 modellerinde ise düzenli yapıyla neredeyse eşit olduğu saptanmıştır.

6.SONUÇLAR

Binalardaki A2-A3 düzensizliklerinin etkisinin incelenmesi için oluşturulan bir betonarme yapı modeli üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan analizler yapılarak elde edilen değerlerin karşılaştırılması üzerine bir tez çalışması yapılmıştır. SAP2000 yapı analiz programında tasarlanan üç boyutlu betonarme yapının önce hiçbir düzensizlik durumu olmadan hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizi mod birleştirme yöntemi ile yapılmış ardından yapı deprem yönetmeliğimizde verilen A2 ve A3 düzensizlik durumlarına göre tekrar modellenmiştir. Bu düzensiz yapıların da ayrı ayrı analizleri yapılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçların değerlendirilmesine göre; yapıların rijitlikleri değiştirilmeyerek oluşturulan boşlukların yapının doğrusal yöntemle elde edilen deprem davranışını düzenli yapıya göre önemli oranda etkilemediği saptanmıştır. Doğrusal olmayan yöntemle yapılan analizlerde ise düzensiz yapıların deprem davranışları düzenli yapıya göre bazı katlarda belirli oranlarda farklılıklar göstermiştir. Buna göre yapıların düzensizlikleri değerlendirilirken doğrusal olmayan analizlerin mutlaka göz önüne alınması gerektiği bu çalışma neticesinde anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Celep Z.,Kumbasar N.,Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
2. Bayülke Nejat, Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, İMO, İzmir, 2001.
3. Özmen G., Orakdöğen E., Pala S., Gülay G., Deprem Yönetmeliklerindeki Yapısal 4. Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, TÜBİTAK Deprem Sempozyumu, Ankara, (1996).
4. Doç. Dr. Hüsnü Can, Çözümlü Örneklerle Yapı Statiği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
5. Celep Z.,Kumbasar N.,Yapı Dinamiği, Beta Dağıtım, İstanbul, 2001.
6. Chopra, A. K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, 2nd Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (2001).
7. Ulucan, Z.Ç. ve Demirel, B., Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı Bakımından 1975 Deprem Yönetmeliği ile 2006 Deprem Yönetmeliğinin Karşılaştırılması, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Fırat Üniversitesi, 130-135, Elazığ,2007.
8. Doğangün Adem, Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005.
9. Erdoğan, A.S. ve Ulucan, Z.Ç., Depreme Dayanıklı Betonarme Düşey Taşıyıcı Elemanların Optimum Boyutlandırılması, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni, Sayı 36,18-22 Ağustos 1991.
10. Applied Technology Council, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Report No. ATC-40, Redwood City, Calif., 1996.
11. Ulucan, Z.Ç. ve Atıç, D., Çok Katlı Yapılarda Kiriş-Kolon Rijitlik Oranının Yapının Deprem Davranışına Etkisi, 4.GAP Mühendislik Kongresi, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 986-990, Şanlıurfa, 06-08 Haziran 2002.
12. Sucuoğlu, H. ve Günay, M.S., Orta Yükseklikteki Betonarme Binalar İçin Basitleştirilmiş Deprem Dayanımı Değerlendirme Yöntemleri, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
13. Celep Z.,Kumbasar N., Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım,İstanbul, 2005.
14. Çağatay İsmail H., Güzeldağ Sena, Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları, Birsen Yayınevi, Adana, 2002.

15. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 2007.
16. Aydınoğlu, M.N., Fahjan, Y.M., A unified formulation of the piecewise exact method for inelastic seismic demand analysis including the P-delta effect. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 32, 871-890, 2003.
17. Chopra, A.K. and Goel, R.K., A modal pushover analysis procedure to estimate seismic demands for buildings. PEER Report 2001/03, Pacific Earthquake Engineering Center, University of California Berkeley, 2001.
18. Özer E., Orakdöğen E., Pala S., Girgin K., A Method of Load Increments for Nonlinear Analysis of R/C Space Frames and Application to Irregular Structures, *Proc. of European Workshop on the Behaviour of Asymmetric and Set-back Structures*, Capri, (1996).
19. American Society of Civil Engineers, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.
20. Aydınoğlu M. Nuray, Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (Arsa) Yöntemi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
21. Gupta, B. and Kunnath, S.K., Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures, *Earthquake Spectra* 16(2), 367-391, 2000.
22. Aydınoğlu, M.N., An Incremental Response Spectrum Analysis Procedure Based on Inelastic Spectral Displacements for Multi-Mode Seismic Performance Evaluation. *Bulletin of Earthquake Engineering* 1, 1-34, 2003.
23. Bracci, J. M., Kunnath, S. K., Reinhorn, A. M., Seismic Performance and Retrofit Evaluation for Reinforced Concrete Structures, ASCE, *Journal of Structural Engineering*, 123, 3-10, 1997.
24. Gupta, A. and Krawinkler, H., Seismic demands for performance evaluation of steel moment resisting frame structures. Report No.132, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California, 1999.
25. Building Seismic Safety Council, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C, 1997.
26. Girgin, K., Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için bir yük artımı yöntemi, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, 1996.

ÖZGEÇMİŞ

Merva ERCÖMERT, 1982 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlköğretim ve Lise tahsilini Elazığ'da tamamlamıştır. 2001 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiş ve 2005 yılında mezun olmuştur.

2005 yılında Fırat Üniversitesinin açmış olduğu Yüksek Lisans Sınavını kazanarak, İnşaat Mühendisliği Yapı Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans çalışması yapmaya hak kazanmıştır.