

**BETONARME YAPILARIN DEPREM ALTINDAKİ
DAVRANIŞINA DÖŞEME MODELLEMELERİNİN ETKİSİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

707345

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Ömer YALÇIN
(501981065)**

101345

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Necmettin GÜNDÜZ *[Signature]* **20.07.01**
Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Melike ALTAN** *[Signature]* **20.07.01**
Prof.Dr. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.) *[Signature]* **13.08.2001**

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, yapı sistemlerinin hesabında döşemeler için yapılan sonsuz rijit kabulünün, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen çözümle karşılaştırılması incelenmiştir.

Bu çalışma sırasında değerli katkıları için Doç. Dr A. Necmettin Gündüz'e, Yüksek Lisans çalışmam sırasında her türlü desteklerini esirgemeyen İnş. Yük. Müh. İrfan Balıoğlu'na ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2001

Ömer Yalçın



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışmada İzlenen Yol	2
2. YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK HESABINA GENEL BİR BAKIŞ	5
2.1. Dinamik Denge	5
2.2. Deprem Hareketi	5
2.3. Modal Analiz	8
2.4. Mod Süperpozisyonu	12
3. DÖŞEMELERİN SONSUZ RİJİT KABUL EDİLEREK MODELLENMESİ	16
3.1. Kütle ve Rijitlik Özellikleri	16
3.2. Döşeme Diyaframlarının Modellenmesi	18
4. DÖŞEME ESNEKLİĞİNİN GÖZ ÖNÜNE ALINARAK MODELLENMESİ	23
4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	23
4.2. Kabuk Sonlu Elemanların Birim Kuvvet ve Gerilme Bileşenleri	27
5. SONSUZ RİJİT MODELLE ESNEK MODELİN KARŞILAŞTIRILMASI	32
5.1. Yapıların Analizinin Rijit veya Esnek Döşeme Kabulüne Göre Hesabı	32
5.2. Konu İle İlgili Yapılmış Araştırmalar	33
6. SAYISAL ÖRNEKLER	38
6.1. Örnek 1	38
6.1.1. Yapı Özellikleri	38
6.1.2. Uygulanan Metot	39
6.1.3. Tek Katlı Modeller İçin Çözümler	41
6.1.4. 2, 4 ve 8 katlı Modeller İçin Çözümler	44
6.1.5. İvme Spektrumları	46
6.2. Örnek 2	49
6.2.1. Referans Sistem ve Grupların Tanıtılması	49
6.2.2. Referans Sistem Çözümleri	55
6.2.3. Grup 1 Çözümleri	61
6.2.4. Grup 2 Çözümleri	67
6.2.5. Grup 3 Çözümleri	73

6.2.6. Eşdeğer Statik Yöntemi Taban Kesme Kuvvetleri	81
6.2.7. Düzlem İçi Gerilmeler ve Kiriş Normal Kuvvetleri	83
6.2.8. Kiriş ve Kolon Rijitlikleri Oranının Diyafram Davranışına Etkisi	86
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	87
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	95



KISALTMALAR

ED	: Elastik döşeme modeline göre elde edilen çözüm veya değer
RD	: Sonsuz rijit döşeme kabulüne göre elde edilen çözüm veya değer
BS30	: Beton sınıfı 30
TS-500	: Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları
SPECX,SPECY	: X,Y Yönleri dinamik deprem hesabı
ERZX,ERZY	: Erzincan depremi ivme kaydına göre yapılan dinamik hesap
ESX,ESY	: Eşdeğer Statik Yöntem X ve Y Yönü deprem hesabı
MPa	: Mega Paskal
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
Z2	: Zemin cinsi 2
c.m	: Kütle merkezi
SRSS	: Karelerinin toplamının karekökü yöntemi
CQC	: Tam karesel birleştirme yöntemi
K-G	: Kuzey-Güney

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 6.1 :Modellere Ait Periyotların Karşılaştırılması	41
Tablo 6.2 :Modellere Ait İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması	43
Tablo 6.3 :Grup 1 Çözümleri	53
Tablo 6.4 :Grup 2 Çözümleri	53
Tablo 6.5 :Grup 3 Çözümleri	53
Tablo 6.6 :Referans Çözüm Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri	56
Tablo 6.7 :Grup 1.1 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri	62
Tablo 6.8 :Grup 1.2 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri	64
Tablo 6.9 :Grup 3.1 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri	76
Tablo 6.10 :Grup 3.2 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri	77
Tablo 6.11 :Grup 3.3 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri	78
Tablo 6.12 :Döşemeli Model Deprem Hesap Yönteminin Karşılaştırılması	82
Tablo 6.13 :Diyafram Model Deprem Hesap Yönteminin Karşılaştırılması	82
Tablo 6.14 :Örnek 2 Çözümleri Döşeme Kuvvet ve Gerilmeleri	85
Tablo 6.15 :Örnek 2 Çözümleri Kiriş Normal Kuvvetleri	85
Tablo 6.16 :Kiriş Rijitliklerinin Diyafram Davranışına Etkisi	86

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 :Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Yerdeğiştirme Bileşenleri ve Serbest Cisim Diyagramı	6
Şekil 2.2 :Birinci Mod Şeklinin Doğrusal Olması	12
Şekil 3.1 :Tekil Kütleye Ait Atalet Momenti Parametreleri	17
Şekil 3.2 :Rijit Diyafram Olarak Çalışan Döşemede Burulma Düzensizliği Parametreleri	17
Şekil 3.3 :Sonsuz Rijit Döşemeli Sistemde Öteleme ve Dönme Bileşenleri	19
Şekil 3.4 :Kütle Merkezi İle Koordinat Sisteminin Üst Üste Düşmesi Durumu	21
Şekil 3.5 :Kütle Merkezi İle Koordinat Sisteminin Üst Üste Düşmemesi Durumu	22
Şekil 4.1 :Düzlem İçi Levha Etkileri ve Deformasyonları	24
Şekil 4.2 :Plak Eğilme Etkileri ve Deformasyonları	24
Şekil 4.3 :Kabuk Elemanda Eksen Takımı	28
Şekil 4.4 :Kabuk Eleman Gerilme Bileşenleri	29
Şekil 4.5 :Plak ve Levha Bileşenlerine Ait Gerilme Örnekleri	30
Şekil 5.1 :Döşeme Esnekliğinin Planda Uzun ve Perdeli Yapılarda Rolü	33
Şekil 6.1 :Örnek 1 Sistem Planı ve Kesitleri	38
Şekil 6.2 :Döşemelerin Ağlara Bölünmesi ve Kütlenin Tanımlanması	39
Şekil 6.3 :Rijit Diyafram Modelinde Kütle Dağılımı	40
Şekil 6.4 :Tek Katlı Esnek Döşemeli Modelde Şekil Değiştirme Formu	42
Şekil 6.5 :8 Katlı Esnek Döşemeli Modelde Şekil Değiştirme Formu	44
Şekil 6.6 :Tek Katlı Model Y Yönü Dinamik Deprem Hesabı Kolon Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	44
Şekil 6.7 :4 Katlı Model Y Yönü Dinamik Deprem Hesabı Kolon Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	45
Şekil 6.8 :8 Katlı Model Y Yönü Dinamik Deprem Hesabı Kolon Kuvvetlerinin Karşılaştırılması	45
Şekil 6.9 :Katlara Dinamik Hesap Sonucu Etkiyen Toplam Deprem Kuvvetleri	45
Şekil 6.10 :Tek Katlı Model Elastik İvme Spektrumu	47
Şekil 6.11 :2 Katlı Model 2. Kat Elastik İvme Spektrumu	47
Şekil 6.12 :8 Katlı Model 1. Kat Elastik İvme Spektrumu	48
Şekil 6.13 :8 Katlı Model 8. Kat Elastik İvme Spektrumu	48
Şekil 6.14 :Örnek 2 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	50
Şekil 6.15 :Örnek 2 Tipik Normal Kat Kalıp Planı ve Sistem Kesiti	51
Şekil 6.16 :Bodrum Katlarda Sonlu Eleman Ağı	54
Şekil 6.17 :Üst Katlarda Sonlu Eleman Ağı	54
Şekil 6.18 :Döşemeli Modelde Y Yönü Hakim Mod Şekli	57
Şekil 6.19 :Diyafram Modelde Y Yönü Hakim Mod Şekli	57

Şekil 6.20	:Referans Çözüm Y Yönü Toplam Kesme Kuvvetleri	58
Şekil 6.21	:Referans Çözüm Y Yönü Toplam Dış Kolon Kesme Kuvvetleri	59
Şekil 6.22	:Referans Çözüm Y Yönü Toplam İç Kolon Kesme Kuvvetleri	60
Şekil 6.23	:Referans Çözüm Y Yönü Toplam Kesme Kuvvetleri Oranı	60
Şekil 6.24	:Grup 1.1 Örneği Düşey Kesiti	61
Şekil 6.25	:Grup 1.2 Örneği Düşey Kesiti	61
Şekil 6.26	:Grup 1.1 Çözümü Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri	63
Şekil 6.27	:Grup 1.1 Çözümü Y Yönü Kolon Kesme Kuvvetleri Oranı	63
Şekil 6.28	:Grup 1.2 Çözümü Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri	65
Şekil 6.29	:Grup 1.2 Çözümü Y Yönü Kolon Kesme Kuvvetleri Oranı	65
Şekil 6.30	:Grup 2.1 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	66
Şekil 6.31	:İç Perdeli Sistemde Döşemede Sonlu Eleman Ağı	67
Şekil 6.32	:Grup 2.2 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	68
Şekil 6.33	:Grup 2.3 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	69
Şekil 6.34	:Grup 2 Çözümleri Y Yönü Kolon Kesme Kuvvetleri Oranları	70
Şekil 6.35	:Grup 2 Çözümleri Y Yönü İç Perde Kesme Kuvvetleri Oranları	70
Şekil 6.36	:Grup 2 Çözümleri Y Yönü İç Kolon Kesme Kuvvetleri Oranları	71
Şekil 6.37	:Grup 2 Çözümleri Y Yönü Dış Kolon Kesme Kuvveti Oranları	71
Şekil 6.38	:Grup 3.1 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	72
Şekil 6.39	:Grup 3.2 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	74
Şekil 6.40	:Grup 3.3 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı	75
Şekil 6.41	:Grup 3 Çözümleri X Yönü Kolon Kesme Kuvvetleri Oranları	79
Şekil 6.42	:Grup 3 Çözümleri Y Yönü Kolon Kesme Kuvvetleri Oranları	79
Şekil 6.43	:Grup 3 Çözümleri X Yönü İç Perde Kesme Kuvvetleri Oranları	80
Şekil 6.44	:Grup 3 Çözümleri Y Yönü İç Perde Kesme Kuvvetleri Oranları	80

SEMBOL LİSTESİ

m	: Kütle, döşeme için uzun kenarın kısa kenara oranı
t	: Zaman
c	: Sönüm, sönüm katsayısı
k	: Rijitlik
u	: Yerdeğiştirme
$u^t(t)$	: Herhangi bir t anındaki toplam (mutlak) yerdeğiştirme
$u(t)$	: Herhangi bir t anındaki bağıl yerdeğiştirme
$u_g(t)$	: Herhangi bir t anındaki yer hareketi
$\dot{u}(t)$	: Herhangi bir t anındaki hız
$\ddot{u}(t)$	: Herhangi bir t anındaki ivme
f_i	: Atalet kuvveti
f_D	: Sönüm kuvveti
$f_s(t)$	: Elastik geri çekme kuvveti
ω	: Açısal frekans
β	: Sönüm oranı, Burulma düzensizliği katsayısı
β_n	: n . moda ait sönüm oranı
s	: Kuvvetli deprem hareketinin süresi
ρ_{mn}	: CQC Yönteminde m . ve n . modlar arası çapraz korelasyon katsayısı
ω_D	: Kritik sönüm açısal frekansı
S_d, S_v, S_a	: Yerdeğiştirme, Hız ve İvme spektrumları
M	: Kütle matrisi
C	: Sönüm matrisi, Dinamik hesap taban kesme kuvveti katsayısı
C_{min}	: Eşdeğer statik yöntem taban kesme kuvveti katsayısı
K	: Rijitlik matrisi
1	: Bütün elemanları 1'e eşit olan vektör
$\tilde{[]}$	: Modal matris
Φ, Φ_i	: Mod, herhangi bir mod bileşeni
ψ	: Faz açısı
$p(t)$	: Dinamik dış yük
Ω	: Açısal frekans matrisi
$F(t)$	: Yatay yük fonksiyonu
$Y, \dot{Y}, \ddot{Y}$	: Genelleştirilmiş koordinat, hız ve ivme
f_n, f_m	: n . ve m . moda ait mukabele büyüklüğü
α_n	: Modal katılım çarpanı
$u_j(t)$	: j . kattaki modal yerdeğiştirme bileşeni
$u_{jn}(t)$	: n . modun j . kattaki modal yerdeğiştirme bileşenine katkısı
r_{mn}	: m . mod açısal frekansının n . mod frekansına oranı
$\bar{V}_{on}$	: n . moddan gelen maksimum taban kesme kuvveti
g	: Yerçekimi ivmesi
h, h_j	: Yapı yüksekliği, j . katın yüksekliği
I_M	: Kütle atalet momenti
I_{CM}, I_{MO}	: Kütle merkezine ve O eksenine göre kütle atalet momentleri

dm	: Birim kütle
r	: Kütle merkezinin dönme eksenine uzaklığı
$(\Delta_i)_{maks}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{min}$	: Binanın i'inci katındaki minimum görelî kat ötelemesi
ρ	: Birim kütlenin dönme eksenine uzaklığı
L	: Açısal momentum
$\delta_x, \delta_y, \theta_z$	: En genel halde herhangi bir noktadaki elemana ait öteleme ve dönme yerdeğiştirmeleri
u, v, θ	: Sonsuz rijit durumda kata ait öteleme ve dönme yerdeğiştirmeleri
$\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$	: Açısal yerdeğiştirme, hız ve ivme bileşenleri
u_i, v_i, θ_{zi}	: Levha sonlu elemanda herhangi bir i noktası için x ve y yönü öteleme ile z eksenî etrafında dönme bileşeni
U_i, V_i, M_{zi}	: Levha sonlu elemanda herhangi bir i noktası için x ve y yönü düğüm kuvvetleri ile z eksenî etrafındaki moment
$\theta_{xi}, \theta_{yi}, w_i$	: Plak sonlu elemanda herhangi bir i noktası için x ve y eksenleri etrafında dönme ile z eksenî doğrultusundaki çökme bileşeni
M_{xi}, M_{yi}, W_i	: Plak sonlu elemanda herhangi bir i noktası için x ve y eksenleri etrafındaki düğüm eğilme momentleri ile z doğrultusunda düğüm kuvveti
$[K^p], [K^b]$	: Levha ve plak elemanlar için eleman rijitlik matrisleri
$\{F^p\}, \{F^b\}$	: Levha ve plak elemanlar için düğüm kuvvetleri matrisleri
$\{q^p\}, \{q^b\}$	: Levha ve plak elemanlar için eleman yerdeğiştirme matrisleri
t_m, t_b	: Levha ve plak elemana ait kalınlıklar
A_0	: Deprem bölgesine göre beklenen maksimum zemin ivmesi
a_{maks}	: Bir deprem kaydında ölçülen maksimum zemin ivmesi
T_A, T_B	: Spektrum köře periyotları
R	: Yapı davranış katsayısı
V_{xRD}, V_{xED}	: X Yönü için rijit dölşeme kabulü ve elastik dölşeme kabulü ile elde edilen kesme kuvvetleri
V_{yRD}, V_{yED}	: Y Yönü için rijit dölşeme kabulü ve elastik dölşeme kabulü ile elde edilen kesme kuvvetleri
I_x, I_y	: X ve Y eksenlerine göre atalet momentleri
h_f	: Dölşeme kalınlığı
α_s	: Dölşemede sürekli kenar uzunlukları toplamının kenar uzunlukları toplamına oranı
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
γ	: Betonun birim hacim ağırlığı
I_{bn}	: Dölşemenin kısa doğrultuda serbest hesap açıklığı
A_c	: Kolonun enkesit alanı
N_{dmaks}	: Kolonların boyutlamasında göz önüne alınan artırılmış normal kuvvet değeri
n	: Hareketli yük azaltma katsayısı
F_{11}, F_{22}, F_{12}	: Levha elemanda birim uzunluk için verilen kuvvet değeri
M_{11}, M_{22}, M_{12}	: Plak elemanda birim uzunluk için verilen moment değeri
S_{11}, S_{22}, S_{12}	: Kabuk elemanda birim uzunluk için verilen gerilme değeri
V_{13}, V_{23}	: Plak elemanda birim uzunluk için verilen kesme kuvveti değeri

BETONARME YAPILARIN DEPREM ALTINDAKİ DAVRANIŞINA DÖŞEME MODELLEMELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, betonarme yapıların deprem etkilerinin hesabı için yapılan analizinde, döşeme davranışının etkisi incelenmiştir.

Döşemeler uygulamada çoğunlukla kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edilirler. Bu kabul sayesinde, yatay deprem titreşimleri altında, her kat için iki adet düzlem içi öteleme ve bir adet de düzleme dik bir eksen etrafında dönme bileşeni olmak üzere toplam üç dinamik serbestlik derecesi almak mümkün olmaktadır. Sistem çözümünde bilinmeyen sayısını önemli derecede azaltan bu kabul, rijitlik dağılımı düzensizlikleri ile planda düzensizlikler içermeyen yapılar için yeterli bir kabuldür.

Plandaki boyutlarının oranı büyük yapılar, perdeli tek veya birkaç katlı alçak binalar, rijit bodrum perdeleri içeren ve üst katlarda planda daralarak geri çekme düzensizliği gösteren yapılar için döşemelerin esnek davranışını da sisteme katan bir model kurulması daha gerçekçi bir yaklaşımdır.

Yedi bölüm halinde sunulan çalışmanın birinci bölümünde çalışmanın amacı ve kapsamı belirtilmiştir.

İkinci bölümde yapı sistemlerinin dinamik hesabı temel kavramlar ve kabuller tanıtılarak incelenmiştir. Bu bölümün amacı yapı sistemlerinin dinamik karakteristiklerinin tanıtılmasıdır.

Üçüncü bölümde kütle ve rijitlik özellikleri ile döşeme diyaframlarının modellenmesi incelenmiştir. Döşemeleri kendi düzlemleri içinde yeterince rijit olan binalar için, dinamik analiz için yapılan basitleştirmeler sonucu sistem serbestlik derecesi azaltılır.

Dördüncü bölümde döşemelerin sonlu elemanlarla modellenerek sisteme katılması üzerinde durulmuştur. Döşemelerin yerdeğiştirme ve kesit tesirlerinin levha ve plak bileşenleri tanımlanmış ve bu bileşenlerin tümünü içeren kabuk eleman tanıtılmıştır. Söz konusu kabuk eleman, dörtgen sonlu eleman olup her düğümde üçü plak, üçü de levha elemandan gelen altı serbestlik derecesine sahiptir.

Beşinci bölümde rijit diyafram kabulü ile döşemelerin üçüncü bölümde açıklanan sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesinin, sistemin dinamik karakteristikleri ve yatay yük taşıyıcı elemanlar arasındaki kuvvet dağılımında oluşturduğu farklar incelenmiştir. Bu bölümün sonunda konu ile ilgili çeşitli kaynaklarda yayınlanan araştırmalar hakkında bir inceleme verilmiştir.

Altıncı bölümde, önceki bölümlerde sunulan iki model arasındaki farkların karşılaştırılması için sayısal örnekler sunulmuştur.

Birinci örnekte, plandaki boyutlarının oranı büyük olan perde ve çerçevelerden oluşan simetrik bir sistem, perdelerin iki dış uçta bulunması hali için, rijit diyafram ve

esnek döşemeli model olarak tek katlıdan başlayarak çeşitli sayıda kat adedi için çözümlere karşılaştırılmıştır. Bu örnekte perde rijitliklerinin döşeme ile karşılaştırılabilir mertebelerde olduğu alçak binalarda, rijit diyafram kabulünün gerçek davranışa göre mühendisi daha güvensiz durumda bırakacak sonuçlar verdiği görülmüştür.

İkinci örnekte rijit bodrum perdeli ve geri çekme düzensizliği içeren simetrik 11 katlı bir yapı çeşitli karşılaştırma kriterleri için gruplara ayrılarak çözülmüştür. Grup 1'deki örneklerde geri çekme kotunun düşeydeki konumunun sistem davranışına etkisi incelenmiştir. Söz konusu örnekler, geri çekme kotunun karşılaştırma yapılan örneğe göre aşağı ve yukarı çekilmesi durumları için türetilmiştir. Grup 2'deki örneklerde rijit bodrum perdelerinin olmaması, rijit bodrum perdesinin olması ve çekirdek perdenin bulunması ve hem rijit bodrum çevre perdesi hem de çekirdek perdesinin sisteme simetriyi bozmadan katılması halinde dinamik davranışları nasıl etkilediği incelenmiştir. Grup 3'deki örneklerde sistemde burulma yaratacak oluşumların bulunması halinde sistemin dinamik deprem etkileri halinde nasıl davranacağı incelenmiştir. Önceki örneklerde diğer parametreleri etkilememesi için sistemler burulma etkisi yaratmayacak şekilde seçilmiştir.

İkinci örneğin sonunda deprem yüklerinin hesabı için kullanılan yöntemlerden olan eşdeğer statik yöntemden elde edilen taban kesme kuvveti katsayıların, dinamik hesaptan elde edilenlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Söz konusu örneğin sonunda, giriş rijitliklerinin referans örnekteki göre daha fazla olması ve daha az olması durumları halinde sonsuz rijit çözüm ve esnek döşeme modelleri arasındaki farkları inceleyen bir çalışma da sunulmuştur.

Yedinci bölümde yapılan inceleme ve örnekler sonucu elde edilen sonuçlar özetlenerek açıklanmıştır.

THE EFFECT OF SLAB MODELLING OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS UNDER EARTHQUAKE EXCITATION

SUMMARY

In this study, modelings of floor slabs of multistory buildings under the seismic loads are investigated.

In the seismic analysis of buildings, floor slabs are generally assumed to be infinitely rigid in their own planes. This assumption leads to a reduction of degrees of freedom. With this assumption every floor can be represented by three degrees of freedom, two in plane translation and one rotational component normal to the plane. This approach is adequate for systems with a regular configuration in plan and a regular distribution of stiffness.

However, buildings with great aspect ratios in plan, low-rise buildings with shear walls, and buildings with rigid basements and setback irregularity, perform different behavior under seismic effects, as the floor flexibility takes an important role in the dynamic characteristics. A more detailed model should be established in order to take into account the flexibility of the floor slabs in such systems.

This study is composed of seven chapters. First chapter is an introduction to the subject where general aims and the concepts are given.

In the second chapter, basic concepts and assumptions in the structural dynamics are introduced.

In the third chapter, modeling of mass and stiffness properties and floor diaphragms are examined. In the systems with floor slabs having sufficient stiffness in their own planes, freedom reduction techniques may be applied. The method of static condensation is discussed in this chapter.

In the fourth chapter, the contribution of floor stiffness to the system by using finite elements method is introduced. A flat shell finite element is obtained by superposing plate bending and membrane components. A four-node quadrilateral shell element with six degrees of freedom per node, combining three degrees of freedom from plate and the other three from the membrane element, is used to model the floor slabs.

In the fifth chapter, comparisons of the rigid floor assumption and the finite element method presented in the third chapter are mentioned. Differences between the dynamic characteristics and the distribution of the dynamic inertial forces between the lateral load resisting elements, are presented. Besides, published articles in the literature about the subject, are resumued.

Sixth chapter consists of two numerical examples, in which the results obtained from the two methods -mentioned in the previous sections-, are compared.

In the first example, a building with a great aspect ratio is examined. The sample building was chosen symmetrical in both directions, and with shear walls in the

exterior facades. The sample was modeled for both rigid diaphragm assumption and finite element method. Once the one-story models were obtained, replications of the same configurations for two, four and eight stories were achieved. By analyzing the systems in this example, it was concluded that the rigid floor assumption gives inadequate results for the type of low-rise buildings with shear walls, having an in plane stiffness of floor slabs comparable with the stiffness of the shear walls.

In the second example, an 11 story symmetrical building with rigid basement floors and setback irregularity was studied. The sample was categorized into three groups for different types of comparison criteria. In Group 1 samples, the location of the setback level in the vertical elevation was examined for different levels. The main sample was reproduced for the setback levels above and below the reference structure's level. In Group 2 samples, the case of replacement of the surrounding shear walls in the basement with the frame elements, the case of existing a core shear wall and the case of existing both surrounding shear walls in the basement stories and core wall for all stories, were examined satisfying the symmetry condition. In Group 3 examples, torsion was introduced and the effects of torsion on the dynamics of the structures were analyzed and compared.

A comparison of base shear coefficients obtained from equivalent static force method and modal dynamic analysis is presented at the end of the second example. Adding to this comparison, the effect of the rigidities of the beams on the behavior of the infinitely rigid floor and flexible floor models, is examined by introducing new systems replicated from the reference system.

In chapter seven a combination of the conclusions of the examples and researches are presented.

1. GİRİŞ

Bilgisayarın yapı sistemlerinin çözümünde kullanılmaya başladığı ilk zamanlarda bilgisayar kapasitelerinin yetersiz oluşu programcıları bilinmeyen sayısı bakımından mümkün olduğunca ekonomik çözümler yapmaya zorlamıştır. Bu ise sistemin davranışının iyi bir biçimde anlaşılmasını ve gerçek çözümden uzak kalmayacak basitleştirmeler yapılmasını gerektirmiştir. Bu kabullere örnek olarak perdelerin sonlu elemanlar yerine çubuk elemanlarla idealleştirilmesi, kolonlarda eksenel şekil değiştirmelerin terk edilmesi, döşemelerin kendi düzlemlerinde sonsuz rijit kabul edilmesi, bununla ilgili olarak kirişlerde normal kuvvetlerin ihmal edilmesi gibi bir takım kabuller verilebilir. Bu kabuller uygulamada en çok karşılaşılan yapı sistemleri için geliştirilmiştir ve geçerlilikleri kanıtlanmıştır. [1-4]

Günümüzde bilgisayar kapasitelerinin artması ile birlikte çok daha detaylı çözümler yapılabilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemindeki ilerlemeler de bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gerçekleşmiştir. Buna karşın yukarıda belirtilen kabullerin bir çoğu halen kullanılmaktadır. Sistem açısından bir takım belirsizlikler ve düzensizlikler içeren yapılarda söz konusu kabullerin geçerliliği tartışılır hale gelir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, betonarme yapılarda döşemelerin esnek davranışının sistem çözümünde sonlu elemanlarla modellenmesi ile döşemelerin sonsuz rijit davrandığı kabul edilerek elde edilen çözümle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada lineer elastik hesap yöntemi kullanılmıştır. Kapsam, plandaki boyutlarının oranı büyük olan yapılar ve geri çekme düzensizliği gösteren rijit bodrum perdeli betonarme yapılar ile sınırlı tutulmuştur.

Bunun yanında, tüm incelemeler deprem etkileri için yapılmış olup bu etkilerin zati ve hareketli yüklemeden gelen etkilerle çeşitli kombinasyonlarla birleştirilmesiyle elde edilen maksimum etkilere göre boyutlaması yoluna gidilmemiştir.

Deprem hareketinin yalnızca yatayda etkidiği varsayılmış ve düşeyde meydana gelebilecek bir titreşim hareketi gözönüne alınmamıştır. Karşılaştırma kriteri olarak yapı sistemlerinin statik ve dinamik deprem etkileri altında davranışı ile bu etkilerden dolayı meydana gelen iç kuvvetlerin yatay yük taşıyıcı elemanlarda dağılımı alınmıştır.

Yukarıda sözü edilen tipte yapılar, döşeme davranışının göz önüne alınmasını gerektirebilecek tipte yapılardır. Özellikle planda geniş bir alana oturmasına rağmen üst kısımlarda daralan yapılarda esnek üst kısım ile rijit alt kısmın birleştiği yerde büyük döşeme içi kuvvetler doğar. Bu kuvvetler döşemelerin esnekliğinin payına göre, kolon ve perdelerde meydana gelebilecek eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinin dağılımı ile yerdeğiştirmeleri önemli ölçüde etkilerler. Bunun yanında, döşemenin esnekliğinin ihmal edildiği rijit diyafram modelinde kirişlerde terk edilen normal kuvvet değerleri önemli mertebelere yükselebilir. Ayrıca, değişen dinamik karakteristiklere göre yapıya etkiyen toplam taban kesme kuvveti de değişiklikler gösterebilir. Her iki model arasındaki tüm bu farkların mertebesinin bilinmesi, sonsuz rijit varsayımı ile elde edilen klasik çözümün kullanılması halinde bile elde edilen sonuçların daha gerçekçi değerlendirilmesi için yardımcı olabilir.

Bu çalışmada esas olarak döşemelerin sonlu elemanlar ile modellenmesinin zorunluluğuna veya gerekliliğine işaret etmekten çok, uygulamada çok daha pratik olan sonsuz rijit kabulüne dayanan çözümün, elde edilecek sonuçlar doğrultusunda daha etkin biçimde kullanılması üzerinde durulacaktır.

1.2 Çalışmada İzlenen Yol

Çalışmada izlenen yol şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Yapı sistemlerinin dinamik hesabı ile ilgili temel tanımların yapılması ve hesapta izlenen yöntemlerin tanıtılması.
- Eşdeğer statik yöntem ile modal analiz yönteminin incelenmesi ve mod katkılarının birleştirilmesi için kullanılan yöntemlerle ilgili bir inceleme.
- Kütle ve rijitlik özelliklerinin incelenmesi.
- Döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit varsayılarak modellenmesi ve durumda kütlelerin rijit cisim hareketinden elde edilen yerdeğiştirme ve dönme bileşenlerinin incelenmesi.

- Sonlu elemanlar yönteminin döşemelerin modellenmesi için kullanılması. Plak ve levha eleman tanımları ve bu eleman tiplerine göre gerilme bileşenlerinin tanımlanması.
- Yapı sistemlerinin yatay yüklere göre hesabında döşemelerin rijit diyafram modeli ile sonlu elemanlarla modellenmesi karşılaştırılması. Her iki model arasındaki çözümlerin arsasındaki farkların belirgin olduğu durumların tanıtılması. Söz konusu karşılaştırmalarla ilgili daha önce yapılan çalışmalara genel bir bakış.
- Sayısal örneklerle, incelemesi yapılan iki modele ait karşılaştırmalar yapılarak sonuçların elde edilmesi.

Sayısal örnekler betonarme yapılarda rijit diyafram modeli ile döşemeli modelin arasındaki farkların en belirgin olduğu iki durum için verilmiştir. Söz konusu durumlar yukarıda da belirtilen plandaki boyutları oranı büyük olan yapılar ile geri çekme düzensizliği gösteren yapılardır.

Örnekler kat adedi, toprak perdeleri ve iç perdelerin bulunup bulunmaması, burulma etkileri yaratacak şekilde simetriyi bozan bir konfigürasyon olup olmaması ve benzer durumlar için pek çok defa türetilerek çözülmüştür. Böylelikle her bir durumun yaratacağı etkinin diğerlerinden bağımsız bir biçimde gözlenmesi amaçlanmıştır.

Söz edilen örnekler, çok sayıda durum için yukarıda belirtilen prensiplere göre türetildiği için her bir çözüm için taşıyıcı sistem boyutlaması ve sistem statik hesabı ile ilgili ayrıntılara girilmemiştir. Bunun yerine incelenen parametreye göre elde edilen sonuçlar, tablo veya grafikler halinde karşılaştırılmıştır.

Seçilen boyutlarda TS-500 [5] ve A.B.Y.Y.H.Y 1998 [6]'da uyulması gereken tasarım ve boyutlama kriterlerine uyulmuştur, ancak boyutlarda mümkün olduğunca az tip kullanılarak profesyonel bir projede karşılaşılan ayrıntılardan uzak durulmuştur.

Döşemelerin modellenmesinde hem levha eleman hem de plak elemana ait bileşenleri içeren kabuk(shell) dörtgen sonlu elemanlar kullanılmıştır. Bu tür bir sonlu elemanın her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi bulunmaktadır. Kütleler düğüm noktalarında toplanmıştır. Böylelikle atalet kuvvetleri bu düğümlerde oluşmuş ve taşıyıcı elemanlara aktarılmıştır.

Dinamik hesap sonucunda kolon, perde ve kiriş gibi yapısal elemanlarda elde edilen iç kuvvetler, bu elemanlara bağlı düğümlerde elde edilen yerdeğiştirmelere bağlıdır.

Sonlu eleman modelinde oluşturulan ağ ne kadar küçük elemanlardan oluşursa elde edilen sonuçlar o kadar gerçekçi ve yeterlidir.

Problem boyutunun pratik sınırları aşmasını engellemek için büyük elemanlar seçilmesi zorunlu olabilir. Bu durumda dahi, yerdeğiştirme ve yerdeğiştirmelerden elde edilen çerçeve elemanların kesit tesirleri ile genel olarak sistemin dinamik karakteristikleri için iyi bir yaklaşıklık sağlanabilmektedir. Bu, gerek bu çalışmada, gerekse beşinci bölümde sunulacak olan konuyla ilgili yapılmış çalışmalarda elde edilmiş bir sonuçtur. Yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler için çoğu zaman yeterli olan “kaba” bir ağ, döşemedeki gerilme alanını temsil etmek için çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden seçilen sonlu elemanların, döşemelerde ortaya çıkacak gerilme değerlerini kesin bir biçimde elde etmekten çok, sistemin genel davranışını tanımaya ve dinamik etkiler altında meydana gelen atalet kuvvetlerinin yapısal elemanlarda dağılımını elde etmeye yönelik olduğu bilinmelidir.



2. YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK HESABINA GENEL BİR BAKIŞ

Bu bölümde yapı sistemlerinin dinamik hesabında kullanılan temel kavramlar ve tanımlar verilecektir.

2.1 Dinamik Denge

Yerdeğiştirme metoduna dayanan analizde kullanılan statik denge aşağıdaki biçimdedir.

$$p = k.u \quad (2.1)$$

Burada p uygulanan kuvvet, k rijitlik, ve u da nihai yerdeğiştirmedir. Eğer statik olarak etkiyen p kuvveti zamana bağlı olarak yazılırsa:

$$p(t) = m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) \quad (2.2)$$

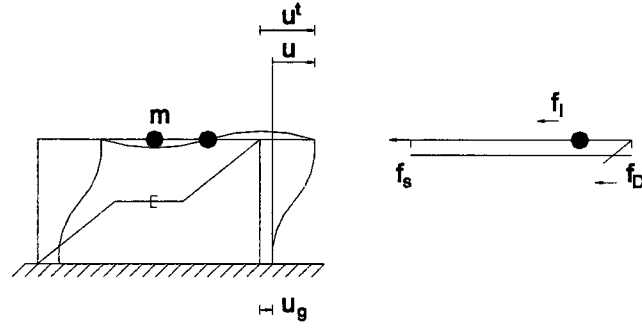
Burada m kütleyi, c de sönümü göstermekte olup, yerdeğiştirme ile hız ve ivme arasındaki bağıntı nokta türev ile gösterilmiştir.

2.2 Deprem Hareketi

Deprem bölgelerinde, yapı dinamiğinin mühendisi ilgilendiren temel problemi yapı temelinin deprem etkisi altındaki hareketidir. Şekil 2.1 de tek serbestlik dereceli sistem göz önüne alınmıştır. Yer hareketi u_g , kütlenin toplam (veya mutlak) yerdeğiştirmesi u^t ve yer ile kütle arasındaki bağıl yerdeğiştirme u olmak üzere herhangi bir t anındaki yerdeğiştirmeler ,

$$u^t(t) = u(t) + u_g(t) \quad (2.3)$$

bağıntısı ile verilir.



Şekil 2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Yerdeğiştirme Bileşenleri ve Serbest Cisim Diyagramı

Şekil 2.1 de gösterilen tek serbestlik dereceli sistemdeki dinamik bileşenler şunlardır:

f_I : atalet kuvveti = $m \ddot{u}$

f_D :sönüm kuvveti = $c \dot{u}$

$f_s(t)$:elastik geri çekme kuvveti = $k \cdot u$

$p(t)$:zamana bağlı uygulanan kuvvet

Serbest cisim diyagramına etkiyen bu kuvvetler her t anında aşağıdaki dengeyi sağlamalıdır:

$$f_I + f_D + f_s - p(t) = 0 \quad (2.4)$$

Denklem (2.3) denklem (2.2) de yerine konulursa

$$m \ddot{u} + c \dot{u} + ku = -m \ddot{u}_g(t) \quad (2.5)$$

elde edilir. Bu ifade $\omega = \sqrt{k/m}$ doğal titreşim periyodu, $\beta = c/2m\omega$ sönüm oranı, c sönüm katsayısı olmak üzere;

$$\ddot{u}(t) + 2\beta\omega\dot{u}(t) + \omega^2 u(t) = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.6)$$

biçiminde yazılabilir. Bu ifadenin zamana göre çözümü Duhamel ya da süperpozisyon integrali adı verilen

$$u(t) = \frac{1}{\omega\sqrt{1-\beta^2}} \int_0^t [\ddot{u}_g(\tau) e^{-\omega\beta(t-\tau)} \sin \omega\sqrt{1-\beta^2}(t-\tau)] d\tau \quad (2.7)$$

çözümü verir. Burada τ yardımcı değişkendir. Bu ifadeye göre yerdeğiştirme spektrumunun elde edilmesi için sisteme ait deprem giriş kaydı yani ivme zaman geçmişi, deprem enerjisinin yutulmasının bir göstergesi olan sönüm oranı ve sisteme ait doğal titreşim periyodu bilinmelidir. [7]

Denklemler (2.6) ile verilen denklemin çözümü için çeşitli yöntemler vardır. En çok uygulanan yöntemler Fourier Dönüşümü Yöntemi ve Doğrudan Doğruya İntegrasyon Yöntemleri'dir. Fourier Dönüşümü Yöntemi ivme kaydının tamamen matematiksel bir ifadeye benzeştirilmesine dayanan yaklaşık ancak etkin bir yöntemidir. Doğrudan Doğruya İntegrasyon Metodu günümüzde bilgisayarların artan kapasiteleri ile çok rahatça uygulanabilen bir yöntemdir. [8]

Yapıların tasarımı açısından mukabelelerin zamana göre değişiminden çok, ivme ve hız mukabelelerinin ne kadar olduğu gibi, mukabelelerin en büyük değerleri önemlidir. Deprem sırasında, tek kütle sisteminin maksimum bağıl yerdeğiştirmesini S_d ile gösterirsek denklem (2.7)'e göre $\omega_D = \omega\sqrt{1-\beta^2}$ kısaltması ile

$$S_d = \frac{1}{\omega_D} \left| \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\omega\beta(t-\tau)} \sin \omega_D(t-\tau) d\tau \right|_{\text{maks}} \quad (2.8)$$

Yerdeğiştirme spektrumunun 1. türevinden hız , 2. türevinden ivmeye ait spektrum mukabeleleri elde edilir.

$$S_v = \left| \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\omega\beta(t-\tau)} \left[\cos \omega_D(t-\tau) - \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin \omega_D(t-\tau) \right] d\tau \right|_{\text{maks}} \quad (2.9)$$

$$S_a = \omega_D \left| \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\omega\beta(t-\tau)} \left[\left(1 - \frac{\beta^2}{1-\beta^2} \right) \sin \omega_D(t-\tau) + \frac{2\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \cos \omega_D(t-\tau) \right] d\tau \right|_{\text{maks}} \quad (2.10)$$

Giriş bilgisi olarak yer hareketinin $\ddot{u}_g(t)$ ivme zaman geçmişi verilince yukarıdaki büyüklükler β ile ω 'nın fonksiyonu olurlar. Burada $S_d(\beta, T)$, $S_v(\beta, T)$ ve $S_a(\beta, T)$ fonksiyonlarını β 'yı parametre kabul ederek sönümsüz doğal periyoda göre çizersek sırası ile bağıl hız mukabele spektrumu ve bağıl ivme spektrumlarını elde ederiz. Genel olarak bunlara deprem mukabele spektrumları da denir.

Mukabele spektrumu basit tek kütleli bir sistemle ilgili bir kavram olmakla birlikte çok serbestlik dereceli sistemler –mod denilen- basit tek kütle sistemi titreşim bileşenlerine ayrılabilir. Mukabele spektrumuna göre her bir bileşenin mukabelesi bulunduğundan sonra bunların tekrar birleştirilmesi ile karışık modelin mukabelesini elde etmek mümkündür. Bu analiz yöntemine modal analiz denir.

2.3 Modal Analiz

Bir sistemin sinematik serbestlik derecesi, bağımsız yerdeğiştirme bileşenlerinin sayısı, dinamik serbestlik derecesi ise bağımsız atalet kuvvetlerinin sayısı olarak tanımlanabilir. [9]

Bir sistemin özel modları, dış etkisiz bir sistemde sıfırdan farklı yerdeğiştirme durumlarıdır. Bu yerdeğiştirme bileşenlerinden bağımsız olanlarının sayısı sistemin dinamik derecesine eşittir. Özel vektörler kendilerine ait yerdeğiştirme bileşenlerinin oranlarıyla tanımlanırlar. Özel bir modda, yerdeğiştirme bileşenlerinin karelerinin ilgili kütleler ile çarpımlarının toplamı birbirine eşitlenerek bulunan yerdeğiştirme değerleri normleştirilmiş bir özel vektörü belirler.

Denklemler (2.5) 'de tek serbestlik dereceli sistem için verilen denklem çok serbestlik dereceli sistemler için matris formunda genelleştirilirse:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{1}_g(t) \quad (2.11)$$

M, K ve C sırasıyla kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri, $\ddot{1}_g$ bütün elemanları 1'e eşit bir vektör, u da yerdeğiştirme matrisidir. Temel problem yerdeğiştirme matrisinin bulunmasıdır. İç kuvvetler ve diğer mukabele büyüklükleri, yerdeğiştirme mukabelesinden elde edilebilir.

Kütle, hesapta gözönüne alınan düşey yükler ile hareketli yüklerin yapının kullanım amacına göre yönetmeliklerde verilen belli bir azaltma katsayısı ile çarpımından elde edilen ağırlığın yerçekimi ivmesine bölünmesiyle elde edilir. Yapı boyunca yayılı olan kütle, kolon giriş perde ve benzeri yapısal elemanları bağlayan düğümlerde toplanmış varsayılır ve bu düğüm noktalarına atanır. Söz konusu yapısal elemanların geometrik özellikleri ile malzeme karakteristiklerinden rijitlik matrisi elde edilir. Sönüm matrisi ise, sönümün yapısal ve yapısal olmayan elemanların sürtünmesindeki belirsizlikler ve malzemedeki belirsizliklerden ötürü doğrudan elde edilememektedir. Bunun yerine birebir ölçekli modellerde yapılan ölçümlerden çeşitli malzemeler için elde edilen ve kabul görmüş sönüm oranları modal sönüm oranı olarak sisteme empoze edilir. [10]

Bir sistemin dinamik davranışı doğal titreşim frekansları ω_n ve titreşimin modları ϕ_n ($n=1$ den N 'e, N serbestlik dereceli bir sistem için) ile tanımlanan titreşim karakteristiklerine bağlıdır.

Modal matris $[T]$ ile gösterilirse

$$[T] = [\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n] \quad (2.12)$$

ile verilir.

Sönümsüz durum için denklem (2.11)

$$M\ddot{u} + Ku = 0 \quad (2.13)$$

bağıntısı geçerlidir. Serbest titreşimin basit harmonik olduğu varsayımı ile

$$u(t) = \phi \sin(\omega t + \psi) \quad (2.14)$$

burada ψ faz açısıdır. Denklem (2.14) denklem (2.13)'de yerine konulursa :

$$KT = \Omega^2 MT \quad (2.15)$$

elde edilir.

Burada Ω^2 matrisi aşağıdaki formda verilir:

$$\Omega^2 = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & . & . & 0 \\ . & \omega_2^2 & . & . \\ . & . & . & . \\ 0 & . & . & \omega_n^2 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Denklem (2.14) ile bulunan $u(t)$ fonksiyonu ve yatay rijitlik matrisi kullanılarak eşdeğer yatay yük fonksiyonu $F(t)$ elde edilir:

$$F(t) = Ku(t) \quad (2.17)$$

Modal analiz lineer elastik davranış kabulüne dayanır ve bu sayede belli sayıda modal mukabelenin süperpozisyonu gerçekleştirilebilir. Bu modelin uygulanabilirliği, bir çok bina için kabul edilen küçük orandaki sönüm değerleri için hareket denkleminin ayrıştırılmasına dayanır. Bu sayede her doğal titreşim modunun mukabelesi diğerlerinden bağımsız olarak hesaplanabilir. [2,4,10]

N katlı bir bina için her katta göz önüne alınan deprem doğrultusu boyunca bir öteleme serbestlik derecesi alınacak olursa denklem (2.11)

$$\ddot{Y}_n + 2\beta_n \omega_n \dot{Y}_n + \omega_n^2 Y_n = -\frac{L_n}{M_n} \ddot{u}_g(t) \quad (2.18)$$

biçiminde yazılabilir. Burada

$$L_n = \sum_{j=1}^n m_j \phi_{jn} \quad (2.19)$$

ve modal kütle;

$$M_n = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn}^2 \quad (2.20)$$

ile verilir. m_j j. katın kütlesidir.

L_n ve M_n arasında α modal katılma çarpanı

$$\alpha_n = \frac{L_n}{M_n} \quad (2.21)$$

ile ifade edilir.

j. kattaki modal yerdeğiştirme $u_j(t)$ olmak üzere n. modun $u_j(t)$ ye katkısı $u_{jn}(t)$ dir. $u_{jn}(t)$ ile genelleştirilmiş koordinat arasında

$$u_{jn}(t) = Y_n(t)\phi_{jn} \quad (2.22)$$

bağıntısı vardır.

Kat kesme kuvvetleri ve momentlere geçmek için denklem (2.15) ve denklem (2.18)'den yararlanılarak n. mod için $P_n(t)$ dinamik kuvveti:

$$P_n(t) = Ku_n(t) = K\phi_n Y_n(t) = \omega^2 M\phi_n Y_n(t) \quad (2.23)$$

olarak ifade edilir.

Modal analizde her bir titreşim modu tek serbestlik dereceli bir sistemden elde edildiği için o moda ait maksimum mukabele doğrudan doğruya tasarım deprem spektrumundan elde edilebilir. Deprem mukabele spektrumları arasındaki bağıntı n. moddaki maksimum büyükler cinsinden

$$S_{an} = \omega_n S_{vn} = \omega_n^2 S_{dn} \quad (2.24)$$

ile verilir. n. moddan gelen maksimum taban kesme kuvveti $\bar{V}_{0n}$ denklem (2.19) ve denklem (2.23)'den yararlanarak

$$\bar{V}_{0n} = \sum_{j=1}^N \bar{P}_{jn} = \alpha_n S_{an} \sum_{j=1}^N m_j \phi_{jn} = \alpha_n L_n S_{an} = \frac{L_n^2}{M_n} S_{an} \quad (2.25)$$

biçiminde yazılır.

Modal analizde deprem kuvvetlerinin hesabında kullanılan bu bağıntı, düzenli yapılar için yalnızca birinci modun alınması ile eşdeğer statik yöntem olarak bilinen

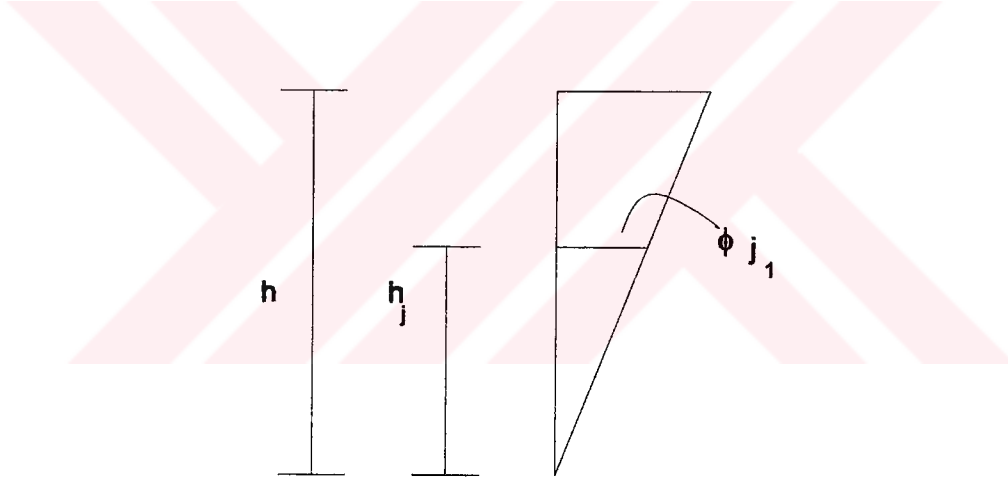
biçimi alır. Birinci mod şeklinin doğru şeklinde olduğu varsayımı ile şekil (2.2)'de görüldüğü gibi

$$\phi_{j1} = \frac{h_j}{h} \quad (2.26)$$

yazılır ve denklem (2.25)'de yerine konulursa

$$\bar{V}_{01} = \frac{S_{a1}}{g} \frac{\left(\sum_{j=1}^N w_j \frac{h_j}{h} \right)^2}{\sum_{j=1}^N w_j \left(\frac{h_j}{h} \right)^2} \quad (2.27)$$

Eşdeğer statik yöntem birinci modun hakim mod olduğu yapısal düzensizlik içermeyen yapılar için iyi sonuçlar verir.



Şekil 2.2 Birinci Mod Şeklinin Doğrusal Olması

2.4 Mod Süperpozisyonu

Uygulamada, yüksek binaların dinamik deprem yükleri hesabında çoğunlukla modal analiz yöntemi kullanılmaktadır. Mod katkılarının birleşmesi(süperpozisyonu) olarak bilinen yöntemde her bir moddan gelen iç kuvvetler uygun bir istatistiksel yöntemle birleştirilerek ortaya çıkması en olası deprem kuvveti elde edilir.

Maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için birkaç yöntem vardır. Bunlardan birisi, bütün modlara ait maksimum değerlerin aynı anda ortaya çıktığını varsayan ve buna göre bu değerleri mutlak büyüklükleriyle toplama yöntemidir.

Diğer bir yöntem modal maksimumların karelerinin toplamının kareköklerini(SRSS) alma yöntemidir. Bu yöntem en çok kullanılan ve uygulaması kolay bir yöntemdir. Modların istatistiksel olarak bağımsız olduğunu varsayan bu yöntem özdeş veya birbirine yakın periyoda sahip olmayan yapılarda iyi sonuç verir. Birbirine yakın periyotlar için bir kriter A.B.Y.Y.H.Y' de tüm modlar için gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait oranın 0.80 değerinden küçük olması olarak verilmiştir.

Yukarıdaki şartın sağlanmaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme(CQC) Yöntemi'nin kullanılması gerekmektedir. [2]

Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları için bütün titreşim modları için betonarme yapılar için %5 olarak alınmalıdır.

Karelerin toplamının kare kökü yöntemine maksimum modal katkılar;

$$F \cong \sqrt{\sum_{n=1}^N f_n^2} \quad (2.28)$$

denklemleri ile verilir. Burada f_n n. moda ait kuvvet bileşenidir. Denklem (2.28) Tam Karesel Birleştirme Yöntemi'ne göre

$$F \cong \sqrt{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N f_m \cdot \rho_{mn} \cdot f_n} \quad (2.29)$$

biçiminde yazılır. ρ_{mn} ile çapraz korelasyon katsayıları ifade edilmektedir. Bu ifadede eşitliğin sağında $m=n$ olan terimler bir arada yazılır ve birinci toplamın dışına çıkarılacak olursa aşağıdaki formda yazılabilir:

$$F \cong \sqrt{\sum_{n=1}^N f_n^2 + \underbrace{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N f_m \cdot \rho_{mn} \cdot f_n}_{n \neq m}} \quad (2.30)$$

Denklem (2.28) ile Denklem (2.30) karşılaştırılırsa CQC yönteminin, SRSS yönteminin genel hali olduğu ve sönüme bağlı elde edilen korelasyon katsayılarıyla herhangi iki mod bileşeninden gelen katkıları arasında da bir istatistiksel bağıntı kurulduğu görülebilir. Sönüm oranı sıfır ise bu iki yöntemden elde edilen sonuçlar, Denklem (2.30)'da $n \neq m$ terimleri için ρ_{mn} katsayıları sıfıra eşit olacağından, özdeş olacaktır. [2]

Korelasyon katsayılarının hesabı için değişik yöntemler sunulmuştur. 1971'de N. M. Newmark ve E. Rosenblueth tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\rho_{mn} = \frac{1}{1 + \epsilon_{mn}^2} \quad (2.31)$$

$$\epsilon_{mn} = \frac{\omega_m \sqrt{1 - \beta_1^2} - \omega_n \sqrt{1 - \beta_n^2}}{\beta'_m \omega_m + \beta'_n \omega_n}, \beta'_n = \beta_n + \frac{2}{\omega_n s} \quad (2.32)$$

Burada s ile kuvvetli deprem hareketinin süresi ifade edilmekte olup bu değer bütün modlar için yeterince uzun bir süre olduğu için ve bütün modlar için sönüm oranı eşit alınırsa $\beta'_n = \beta_n = \beta$ değeri kullanılabilir.

Ayrıca $r_{mn} = \omega_m / \omega_n$ yazılır ve denklem (2.32)'de yerine yazılırsa:

$$\rho_{mn} = \frac{\beta^2 (1 + r_{mn})^2}{(1 - r_{mn})^2 + 4\beta^2 r_{mn}} \quad (2.33)$$

elde edilir

Çapraz korelasyon katsayıları için diğer bir formül Der Kiureghian tarafından

$$\rho_{mn} = \frac{8\beta^2 (1 + r_{mn}) r_{mn}^{3/2}}{(1 - r_{mn}^2)^2 + 4\beta^2 r_{mn} (1 + r_{mn})^2} \quad (2.34)$$

ifadesi ile verilmiştir.

Modal analiz lineer elastik sistemler için geliştirilmiş matematiksel bir metot olup sistemde elastik ötesi davranışın beklendiği durumlar için yöntemin güvenilirliğinin de kaybolduğunun bilinmesi gerekir. Bunun yanında mod katkılarının birleştirilmesi

ile elde edilen sayısal değerler, kısa süreli darbe etkili deprem hareketlerinde sönüme ait yukarıda yapılan kabullerin geçersiz hale gelmesinden dolayı geçerliliklerini kaybetmektedirler.

Deprem yönetmeliklerinde, düzensiz yapılar, belli bir yüksekliğin üzerindeki yapılar ile deprem riski açısından önemli bölgelerdeki yapıların yatay yüklere göre hesabında mod süperpozisyonu ile dinamik hesap yapılması bir zorunluluktur. Ancak, yapıya etkitilen toplam taban kesme kuvveti belirlenirken, birinci modun spektrum değerine karşı gelen bir taban kesme kuvveti hesaplanır ve dinamik hesaptan bulunan değerle karşılaştırılır. Dinamik hesaptan elde edilen değer büyükse elde edilen değer ve çözüm aynı kalır. Eşdeğer statik deprem hesabına dayalı metottan elde edilen taban kesme kuvveti büyükse, taban kesme kuvveti katsayısı o oranda artırılarak hesap tekrarlanır. Böylelikle deprem kuvvetlerinin dağılımı açısından dinamik hesabın öngördüğü dağılım uygulanırken, yapıya uygulanan toplam deprem kuvveti hesaplanırken eşdeğer statik deprem yöntemi uygulanmış olur.

Dinamik hesap çeşitli düzensizlik kriterleri için bir yaptırım olarak deprem yönetmeliklerinde yer aldığı halde, araştırmalar eşdeğer statik yöntemin çoğu halde daha elverişsiz değerler verdiğini göstermektedir. Bu konu ile ilgili bir çalışma Bölüm 6.2.6'da yer almaktadır.

3. DÖŞEMELERİN SONSUZ RİJİT KABUL EDİLEREK MODELLENMESİ

3.1 Kütle ve Rijitlik Özellikleri

Yapı sistemleri için çoğunlukla, yapının zemine göre bağıl yerdeğiştiğinden doğan öteleme göz önüne alınır. Bu durumda kütle, yapının toplam ağırlığının yerçekimi ivmesine bölünmesinden bulunur. Ancak dönme bileşeninin belirgin olduğu durumlar da ortaya çıkabilir. Bu duruma örnek olarak, bir döşemenin simetrik olmayan etkilerden doğan kütle merkezindeki moment nedeniyle düşey eksen etrafında dönmesi gösterilebilir. [11]

Newton'un 2. hareket yasasına göre açısal momentumun zamana oranla değişimi momente eşittir. Şekil 3.1'de gösterilen kütle parçası göz önüne alındığında açısal momentum;

$$L = rm\dot{u}(t) = mr^2 \frac{d\theta}{dt} \quad (3.1)$$

yazılır. Buradan M momenti, açısal momentumun zamana göre türevi alınarak

$$M = \frac{dL}{dt} = I_M \ddot{\theta} \quad (3.2)$$

olarak türetilir.

Burada I ;

$$I_M = mr^2 = \text{kütle atalet momenti} \quad (3.3)$$

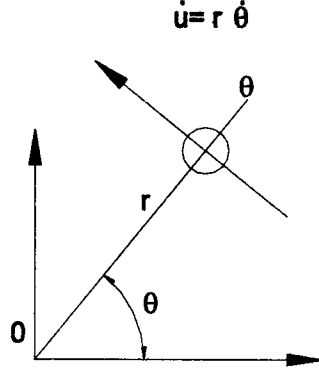
ile verilir.

Rijit bir cisim için kütle atalet momenti, Denklem (3.1) 'deki formüle göre rijit cismi oluşturan kütle parçacıkları üzerinden toplam olarak ifade edilir. Bu ise integral formunda

$$I_M = \int \rho^2 dm \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

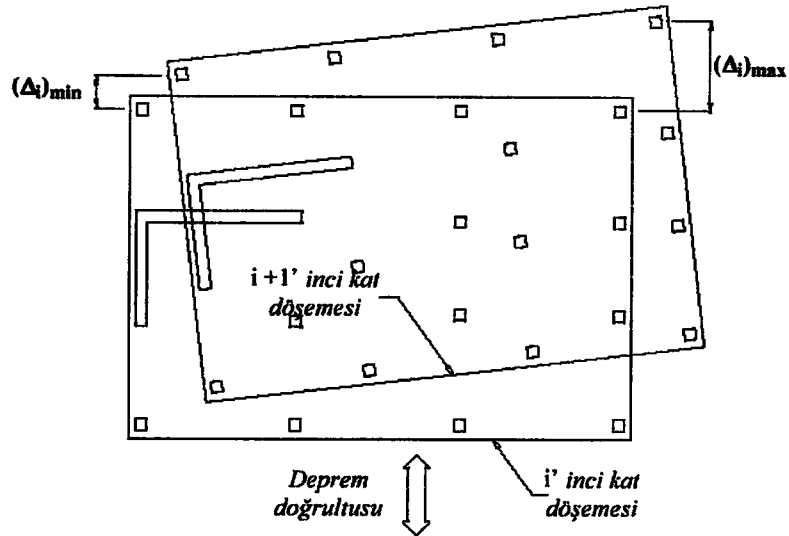
ρ ile birim dm kütlelerinin dönme eksenine olan uzaklığı ifade edilmektedir.



Şekil 3.1 Tekil Kütleye Ait Atalet Momenti Parametreleri

Dinamik hesapta rijit cisim atalet kuvvetlerinin, kütle merkezinde toplanmış kütle ve kütle atalet momenti olarak kabul edilmeleri önemli bir kabuldür. [11]

Şekil (3.2)'de kat düzleminde sonsuz rijit döşemenin deprem etkisi altında belli bir eksen etrafında dönmesiyle çeşitli noktaların dönme merkezine uzaklıklarına göre farklı öteleme yapmaları sonucu kat düzleminin ötelenmesi ve dönmesi görülmektedir.



Şekil 3.2 Rijit Diyafram Olarak Çalışan Döşemde Burulma Düzensizliği Parametreleri

3.2 Döşeme Diyaframlarının Modellenmesi

Döşemeleri kendi düzlemleri içinde yeterince rijit olan binalar için, dinamik analiz aşağıdaki basitleştirmelere dayanır:

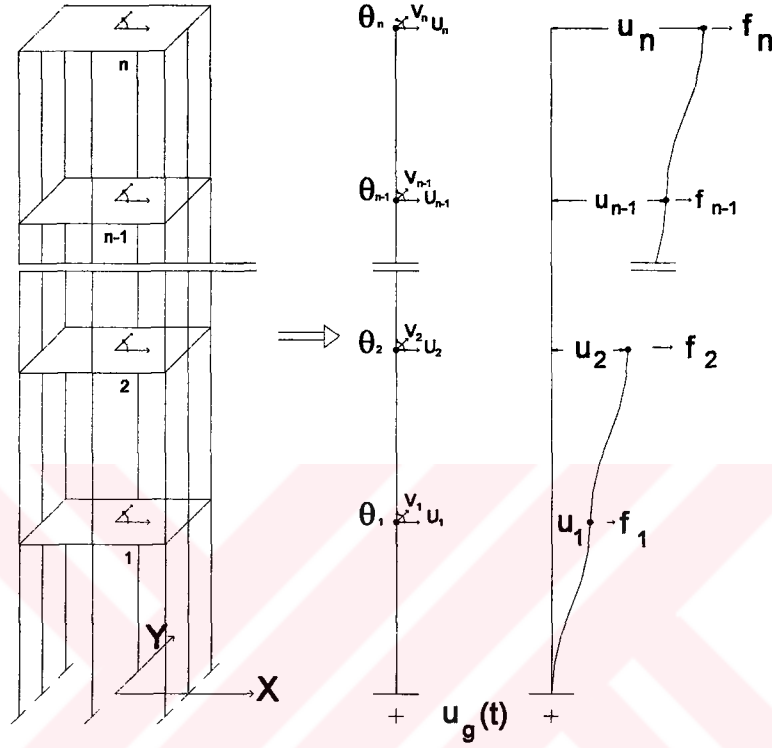
1. Döşemeler kendi düzlemleri içinde rijittirler ve ikisi yatay öteleme ve biri de düşey eksen etrafında dönme olmak üzere 3 serbestlik derecesine sahiptir.
2. Bina kütleleri ve kütle atalet momentleri kat döşemelerinde karşı gelen serbestlik derecelerinde toplanmıştır.
3. Deprem hareketinin düşey bileşeni ihmal edilmiştir.
4. Düğüm hareketinin, düşey eksen doğrultusundaki ötelemesine karşı gelen atalet kuvvetleri ile yatay eksenler etrafındaki dönme bileşenine karşı gelen atalet momentleri çok küçük mertebededirler ve ihmal edilirler. Bu sebeple bunlara karşı gelen serbestlik dereceleri dinamik modelden çıkarılırlar.

Tipik olarak döşemeler rijit mesnetler üzerinde düşünülürler ve düşey yükleri alan ve düşey yükleri zemine aktaran çerçeve ve/veya perde sisteminden ayrı olarak düşey etkilere göre analiz edilir ve dizayn edilirler. [1,10]

Sismik etkiler altında döşemeler iç etkilerin yatay taşıyıcı sisteme meydana gelen iç kuvvetlerin aktarılması bakımından önemli bir rol oynarlar. Bu görevi yapabilmeleri için mesnetlendikleri kolon, perde ve kirişlere monolitik olarak bağlanmaları ve sismik etkilerde elastik limitte kalacak yeterlilikte dayanıma sahip olmaları gerekir.

Döşemelerin düzlem içi rijitlikleri uygun şekilde göz önüne alınmalı ve yapının sismik analizinde kurulan modele katılmalıdır. Döşemeler genel olarak tamamen rijit diyafram olarak kabul edilir ve o şekilde modellenirler. Bunu gerçekleştirmenin en etkin yolu, her kat düzleminde ikisi düzlem içinde ötelenme biri de düzleme dik dönme bileşeni olmak üzere toplam 3 serbestlik derecesi olan ve “master” düğüm olarak anılan ilave bir düğüm tanımlamaktır. Bu “master” düğüm sistemin plandaki merkezine mümkün olduğunca yakın seçilmelidir ve tercihen diğer elemanlar arasında fiziksel bağlantı oluşturan döşeme düğümlerinden biriyle üst üste düşmemelidir. Döşemenin bütün düğümlerinin 3'er serbestlik dereceleri (burada “slave” düğümler olarak anılacak), 3x3 lük rijit cisim hareketini temsil eden dönüşüm matrisi vasıtası ile “master” düğümünün 3 serbestlik derecesi bağlantılandırılır. Eğer döşeme yatay ise, bütün bu “master” ve “slave” düğümler global eksen takımına bağlı olarak ifade edilebilir. Bu sayede “slave” serbestlik dereceleri global

denklemlere göre kısaltılabilirler ve yalnızca “master” düğümün serbestlik dereceleri kalır. Eğer döşeme düzlemi global eksene göre belli bir açıda ise, uygun dönme dönüşümleri kullanılarak düzlem içi ötelemeler ile buna dik dönme arasındaki kinematik düğüm bağımlılıkların serbestlik dereceleri arasında doğrusal düğüm bağımlılıkları biçiminde tanımlanabilirler.



Şekil 3.3 Sonsuz Rijit Döşemeli Sistemde Öteleme ve Dönme Bileşenleri

Simetrik olmayan binaların statik analiz ve boyutlanması için kullanılan 6 serbestlik dereceli modeller aynı zamanda 3 bileşenli deprem hareketine maruz kalan binaların dinamik analizi için de kullanılabilir. Ancak uygulamada binaların büyük bir çoğunluğu kat başına 3 serbestlik derecesi ile yukarıda tarif edilen şekilde idealleştirilmektedir. Şekil 3.3’de idealleştirilen sistemde her katta iki öteleme ve bir dönme bileşeni alınmaktadır. Bunun yanında birçok yönetmeliğin öngördüğü şekilde depremin yatay düzlemdeki iki bileşenine göre analiz edilmektedir. Depremi düşey bileşeninin etkisi, zati ve hareketli yüklere göre hesaptan elde edilen güvenlik sınırlarının içinde kabul edilmektedir. Bu kabullere göre, dinamik hesapta kullanılan indirgenmiş rijitlik matrisi, sistemin rijitlik matrisinin, birçok dinamik serbestlik derecesinin ortadan kaldırıldığı statik ve kinematik kondensasyonlarla düzenlenmesiyle elde edilir. Ancak yatay rijitlik matrisinin elde edilmesi ve iç

kuvvetlerin düzenlenmesi bütün statik serbestlik derecelerini içeren tam modele dayandırılarak yapılır.

Statik kondensasyon, statik veya dinamik probleminden serbestlik derecelerini ortadan kaldırmak için kullanılan genel bir yöntemdir. Deprem hali için dış yük, düğüm noktalarının ivmeleri ile karşı gelen kütle veya kütle atalet momentlerinin çarpımıdır. Yatay düzlemdeki yatay öteleme hareketleri ile karşılaştırıldığında, düğüm noktalarının dönme ivmelerinden doğan momentler ihmal edilebilir ve karşı gelen serbestlikler dinamik modelden çıkartılabilir. [1]

Statik kondensasyon büyük modellerin alt sistemlere bölünerek modellemesinde kullanılır. Böylelikle modeldeki serbestlik dereceleri, alt sistemleri birbirine bağlayan noktalardaki serbestlikler olarak indirgenir. [1]

Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de döşemeleri kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olan sistemler için yerdeğiştirme bileşenleri görülmektedir. Kat kütle merkezindeki yerdeğiştirmeler u, v ve θ olarak ifade edilebilmektedir. Kat düzlemi içerisinde herhangi bir noktanın koordinatı (x, y) ile verilirse aşağıdaki bağıntılar yardımıyla bu noktalardaki yerdeğiştirmelere geçilebilir.

$$\delta_x = u + x\theta \quad (3.5)$$

$$\delta_y = v - y\theta \quad (3.6)$$

$$\theta_z = \theta \quad (3.7)$$

Burada verilen δ_x, δ_y ve θ_z yerdeğiştirmeleri kat düzlemi üzerindeki herhangi bir noktaya ait yerdeğiştirmelerdir. Bu bileşenler eleman rijitlik matrisinde yer alırlar. Eleman rijitlik matrisinde herhangi bir düğüme ait en genel haldeki 6 serbestlik derecesi $\delta_x, \delta_y, \delta_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ ile ifade edilir.

Sistem rijitlik matrisinde bu değerlerin her bir eleman için birbirinden bağımsız yerdeğiştirmeler olarak verilmesi en genel çözümdür. Bu durumda katların bir diyafram hareketi yapma koşulu verilmemiş olduğu gibi problemin boyutu bilinmeyenlerin sayısı açısından büyüktür. Rijit diyaframın sağlanması gereken ve Denklem(3.5), Denklem(3.6) ve Denklem(3.7)'de verilen ifadeler yerlerine yazılırsa sistem rijitlik matrisi $u, v, \delta_z, \theta_x, \theta_y, \theta$ ifadeleri türünden yazılabilir. u, v ve θ kat

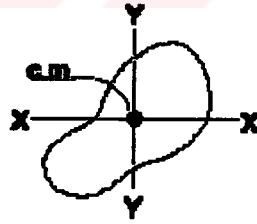
ötelemeleri ile kat dönmesi olduğu için tüm kat için aynı olduğundan ve her bir düğüm için hesaplanması gerekmediğinden problemin boyutu önemli ölçüde küçülür.

Uygulamada, kullanılan programın özelliğine göre rijit diyafram modeli “master” düğüm ataması ile otomatik olarak kurulabilir. Eğer söz konusu indirgeme otomatik olarak yapılamıyorsa “master” düğümler, eksenel rijitliği çok büyük olan fiktif çubuklarla kat düzleminde bulunan kolon kiriş birleşim yerlerindeki düğümlere bağlanarak da döşemenin kendi düzleminde sonsuz rijit olması koşulu yerine getirilebilir.

Döşemelerin kendi düzlemlerinde sonsuz rijit kabul edilmesi yukarıda belirtilen indirgemelerin yapılmasının yanı sıra kütle parametresinin de sisteme atanması sırasında yapılan kısaltmalar bakımından da problemin boyutunu azaltıcı bir kabuldür. Bu sayede kat kütlesi “master” düğüm üzerinde toplanmış kabul edilir. Kütle atalet momenti denklem (3.4) de verilen ifadeden hareketle en genel halde

$$I_M = \frac{m.(I_x + I_y)}{A} \quad (3.8)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada I_x ve I_y Şekil 3.4’de gösterilen kütle merkezi c.m. ile gösterilen sistemde X-X ve Y-Y eksenlerine göre atalet momentleridir.



Şekil 3.4 Kütle Merkezi ile Koordinat Sisteminin Üst Üste Düşmesi Durumu

Böylelikle bir kat için göz önüne alınan üçüncü serbestlik olan kat düzlemine dik bir eksen etrafındaki dönme bileşeni de sisteme katılmış olur.

Plandaki boyutları b ve d olan dikdörtgen olan yapılar için denklem (3.8) ifadesi kısaca

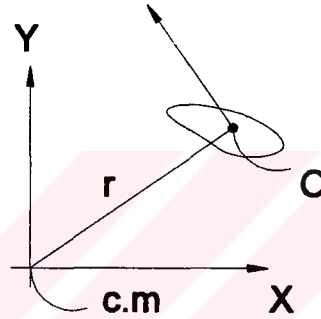
$$I_M = \frac{m.(b^2 + d^2)}{12} \quad (3.9)$$

olarak yazılabilir. [8,12]

Kütle merkezi ile sistemde kullanılan eksen takımı Şekil 3.5'deki gibi üst üste düşmüyorsa

$$I_{Mcm} = I_{MO} + m.r^2 \quad (3.10)$$

ifadesi ile eksen dönüşümü yapılır.



Şekil 3.5 Kütle Merkezi İle Koordinat Sisteminin Üst Üste Düşmemesi Durumu

Kütle ve kütle atalet momentleri tüm kat üzerinde bir bütün olarak düşünülüp tek seferde hesaplanabileceği gibi elemanların birleşim yerlerindeki düğüm noktalarında toplandığı varsayılan nokta kütlelerin bileşkesi olarak da ele alınabilir. Bu düğümlerin kendi düzlemlerine dik bir eksen etrafında dönme bileşeni ve bu bileşene karşı gelen kütle atalet momentleri küçük mertebelerde olup çoğunlukla ihmal edilirler. Bu durumda Şekil 3.5'de esas itibarıyla tekil bir nokta kütleyi ifade etmek için verilen çizimden yararlanarak herhangi bir i noktasında toplandığı varsayılan m_i tekil kütlesinin kütle atalet momentine katkısı $m_i(X_i - X_m)^2 + m_i(Y_i - Y_m)^2$ bağıntısı ile hesaplanır.

4. DÖŞEME ESNEKLİĞİNİN GÖZ ÖNÜNE ALINARAK MODELLENMESİ

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Yapı sistemlerinin hesabında genel olarak, taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişler, çubuk eleman olarak modellenirler. Çubuk elemanlar esas itibarıyla 6 serbestlik derecesi olan 2 düğüm noktasından oluşurlar. Böylelikle bu elemanlar eğilme, kesme, burulma ve normal kuvvet aktarabilen elemanlar olarak düşünürler. Ancak hesapta yapılan bazı varsayımlar gereği bu bileşenlerden birkaçı terk edilebilir. Örneğin döşemelerin sonsuz rijit varsayılması durumunda kirişlerde normal kuvvetler terk edilmiş olur.

Perde ve döşemeler uygun eğilme ve kayma rijitlikleri atanarak çubuk eleman olarak modellenenilseler de daha gerçekçi bir modelleme için dörtgen sonlu elemanlar kullanılması gerekmektedir.

Sonlu eleman yönteminde birim yerdeğiştirme ve yükleme matrisleri, kolaylık sağlamak amacıyla, eleman içinde iç kuvvet veya yerdeğiştirme alanları içinde yapılan bazı kabuller ile yaklaşık olarak tayin edilir. Ancak bu alanların seçiminde elemanların iç bölgelerinden başka, çevreleri boyunca ayrıtlar üzerinde de denge ve uygunluk şartlarını sağlamak gerekir. Bundan başka, eleman boyutları sonsuz küçüğe giderken, iç kuvvet veya yerdeğiştirme alanları için yapılan kabullere göre bulunan çözümün, klasik elastisite teorisi çözümüne gitmesi istenir. [13-15]

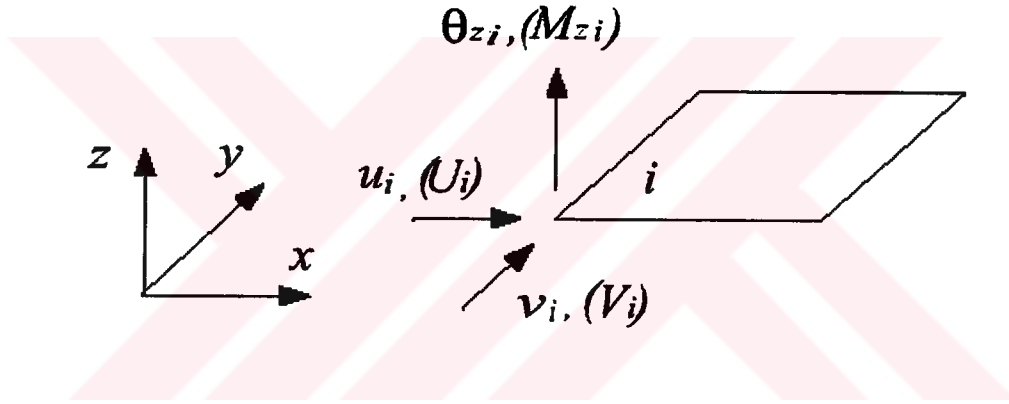
Eleman boyutunu küçülterek eleman sayısı artırıldığında yaklaşık çözüm gerçek çözüme yaklaşır ve eleman boyutlarının birbirine yakın olması denklem takımının stabilitesini artırmakla birlikte problemin hacmi artar.

Elemanların kenarlarında yayılı durumdaki iç kuvvetler ya da yerdeğiştirmeler, düğüm noktalarında toplanmış varsayılır.

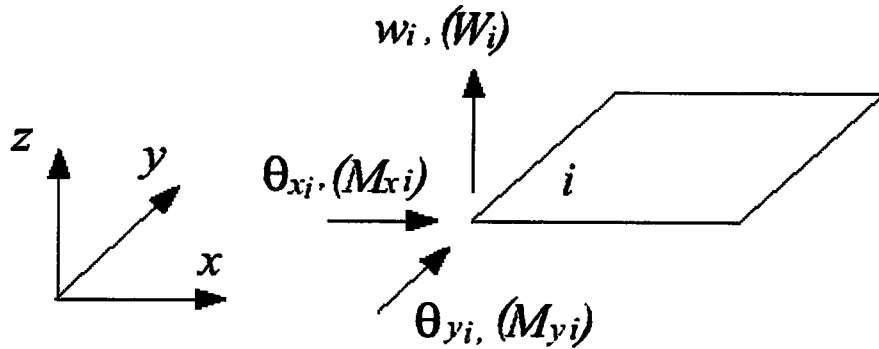
Eleman içindeki yerdeğiştirme bileşenlerinin, uç yerdeğiştirmesine bağlı ifadelerini elde etmek amacıyla, önce yerdeğiştirme bileşenleri için koordinatlara bağlı fonksiyonlar seçilir. İnterpolasyon veya şekil fonksiyonu adı verilen bu fonksiyon yalnızca tanımlandığı bölge için geçerlidir. Eleman tipine bağlı olarak seçilen şekil

fonksiyonları, elemandaki şekil değiştirmeleri düğüm noktası bilinmeyenlerine bağlar. Şekil değiştirme fonksiyonu genel olarak polinom formunda olup, polinomun terim sayısının uç yerdeğiştirme sayısına eşit olması gerekmektedir. Bir elemanda göz önüne alınan yerdeğiştirme bileşeni ne kadar fazla ise, şekil fonksiyonunun derecesi de o kadar yüksektir. Şekil fonksiyonunun derecesinin yüksek olması, hatanın az olmasına neden olacaktır.

Genel olarak, döşemeler sonlu elemanlar ile modellenirken düzlem içi kuvvetler için levha eleman, düzleme dik kuvvetler için plak eleman olarak modellenirler. Ancak düğüm noktaları için sınır şartları sağlamak için yeterli sayıda serbestliğin tutulmadığı durumlarda yalnızca levha veya yalnızca plak davranışı göz önüne almak bir takım hataları doğurur. Bu yüzden her iki eleman tipinin birleşimi olan kabuk elemanlarla modelleme daha gerçekçi bir yaklaşımdır. [13]



Şekil 4.1 Düzlem İçi Levha Etkileri ve Deformasyonları



Şekil 4.2 Plak Eğilme Etkileri ve Deformasyonları

Bu çalışmada kullanılan programda [16], kabuk tipi dörtgen sonlu elemanlar kullanılarak döşeme ve perdeler modellenmiştir. Bir kabuk eleman plak eğilme ve levha bileşenlerinin süperpoze edilmesiyle elde edilir. Klasik kabuk eleman her düğümde 5 serbestlik derecesi içerir. Bunlar düzlem içi ve düzleme dik ötelemeler olan u, v, w ile iki düzlem içi dönme bileşeni olan θ_x ve θ_y serbestlik dereceleri. Ancak kullanılan programda, düzleme dik bir altıncı serbestlik olarak, düzleme dik θ_z dönmesi de dörtgen kabuk sonlu eleman formülüne katılmıştır. Böylelikle klasik kabuk elemanlar için kolonların döşemeyle birleştiği yerlerde, burulmadan doğan dönme bileşenleri için uyumsuzluklar ortadan kaldırılmıştır. [13]

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de söz konusu kabuk eleman için levha ve eğilmeli plak davranışları için serbestlik dereceleri ve bunlara karşı gelen iç kuvvetler, eleman üzerinde tipik bir i noktası için tanımlanmıştır.

Levha eleman düzlemi içinde iki öteleme ile bu düzleme dik dönme serbestliğine sahipken, plak elemanın ise iki yönde eğilme ile düzleme dik çökme serbestliği vardır.

$[K^p]$ eleman rijitlik matrisi, $\{f^p\}$ düğüm kuvvetleri ve $\{q^p\}$ eleman yerdeğiştirme matrisi olmak üzere iç kuvvet ile yerdeğiştirmeler arasında aşağıdaki bağıntı geçerlidir:

$$\{f^p\} = [K^p] \cdot \{q^p\} \quad (4.1)$$

Burada p üst indisi ile levha özelliklerini tanımlayan düzlem içi şekil değişimleri tanımlanmaktadır. 4 elemanlı dikdörtgen sonlu eleman için aşağıdaki bağıntılar geçerlidir:

$$\{q_i^p\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \end{Bmatrix}, i=1,2,3,4 \quad (4.2)$$

$$\{f_i^p\} = \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix}, i=1,2,3,4 \quad (4.3)$$

Yukarıdaki formülde u ve v yerdeğiştirme bileşenleri ile her i noktasında düzlem içi şekil değiştirme ayrı olarak ifade edilmektedir.

Benzer biçimde, eğilme etkileri göz önüne alındığında, şekil değiştirme formu, her noktada z yönünde w çökmesi ile θ_x ve θ_y dönme bileşenleri cinsinden ifade edilebilir.

Buna göre;

$$\{f^b\} = [K^b] \cdot \{q^b\} \quad (4.4)$$

$$\{q_i^b\} = \begin{Bmatrix} w_i \\ \theta_{xi} \\ \theta_{yi} \end{Bmatrix}, i=1,2,3,4 \quad (4.5)$$

$$\{f_i^b\} = \begin{Bmatrix} W_i \\ M_{xi} \\ M_{yi} \end{Bmatrix}, i=1,2,3,4 \quad (4.6)$$

bağıntıları geçerlidir. İfadelerdeki b üst indisi ile plak elemana ait eğilme etkileri tanımlanmaktadır. Dikkat edilirse kabuk eleman için verilen bu klasik formülasyonda, levha elemana ait θ_z bileşeni düğüm noktalarının deformasyonu için bir parametre olarak bulunmamaktadır. Kullanılan programda bu dönme parametresi fiktif bir M_z çifti tanıtılarak ve denklem (4.10)'da gösterildiği gibi rijitlik matrisinde gerekli yerlere 0 yazılarak sisteme katılmıştır. Birleştirilmiş düğüm yerdeğiştirmeleri böylelikle;

$$\{q_i\} = \{u_i, v_i, w_i, \theta_{xi}, \theta_{yi}, \theta_{zi}\}^T = \{< q_i^p >, < q_i^b >, \theta_{zi}\}^T \quad (4.7)$$

olarak verilir.

$< q_i^p >, < q_i^b >, < f_i^p >, < f_i^b >$ ifadeleri yukarıdaki denklemlerde tanımlanmıştır.

Düzlem kabuk eleman için böylelikle iç kuvvet yerdeğiştirme bağıntısı aşağıdaki biçimde yazılabilir;

$$\{f\} = [K] \{q\} \quad (4.8)$$

Bu bağıntıdaki levha ve plak bileşenlerine ait alt rijitlik matrisleri $r \times s$ 'lik genel rijitlik matrisinde aşağıdaki biçimde tanımlanabilir;

$$[K^p] = [K_{rs}^p] \text{ ve } [K^b] = [K_{rs}^b] \quad (4.9)$$

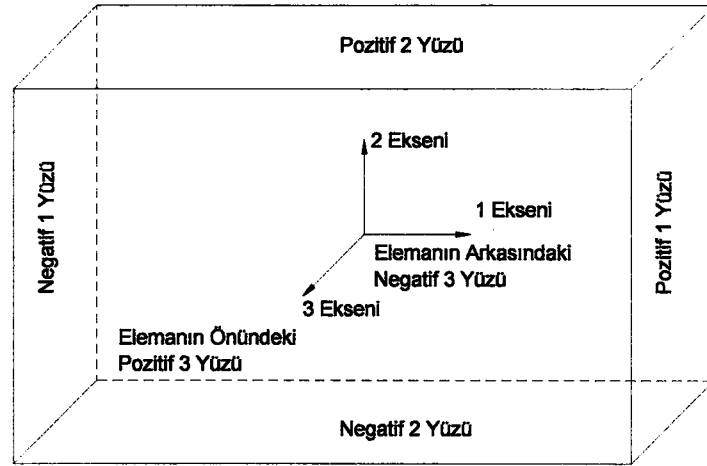
Son olarak bu ifadeler $[K_{rs}]$ rijitlik matrisinde aşağıdaki biçimde ifade edilir;

$$[K_{rs}] = \begin{bmatrix} K_{rs}^p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & & & 0 \\ 0 & 0 & K_{rs}^b & & 0 \\ 0 & 0 & & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

4.2 Kabuk Sonlu Elemanların Birim Kuvvet ve Gerilme Bileşenleri

Döşemelerin deprem hesabında modellendiği sonlu eleman çözümünün, klasik rijit diyafram kabulünden elde edilen çözümden farkları, deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlar arasında paylaşımı bakımından detaylı biçimde incelenmiştir.

İki model arasında incelenmesi gereken diğer bir özellik, döşemelerde sonlu eleman çözümünden elde edilen gerilmelerin malzemenin karakteristik çekme dayanımına ne ölçüde yaklaştığı ve aştığıdır. Benzer biçimde kirişlerde sonsuz rijit çözüm için terk edilen normal kuvvetlerin, kirişlerde döşeme içi kuvvetlerle birlikte normal kuvveti de öngören sonlu eleman çözümünde ne mertebelerde olduğuna da dikkat edilmelidir.



Şekil 4.3 Kabuk Elemanda Eksen Takımı

Kullanılan programda döşemeler ve perdelerin modellenmesi için kullanılan kabuk (shell) elemanlar daha önce de üzerinde durulduğu gibi iki farklı sonlu elemanın birleşiminden oluşmaktadır. Bunlar, levha eleman için düzlem içi kuvvetler ve düzleme dik bir eksen etrafında burulma momentidir. Plak eleman için ise düzlem eksenleri etrafındaki dönmeye karşı gelen momentler ile düzleme dik çökmeyi ifade eden düşey kuvvettir. Kabuk eleman iç kuvvetleri için birim uzunluk için elde edilen kuvvet ve moment büyüklükleri aşağıdaki gibidir. [8,12]

F_{11} : Şekil 4.3'te gösterildiği gibi pozitif 1 ve negatif 1 yüzü olarak tanımlanan yüzler boyunca, yüzeyin orta noktasında birim uzunluk için elde edilen kuvvetlerdir.

F_{22} : Aynı şekilde pozitif ve negatif 2 yüzleri boyunca yüzeyin orta noktasında birim uzunluk için elde edilen kuvvetlerdir.

F_{12} : Pozitif ve Negatif 1 yüzleri içinde 2 doğrultusunda ve Pozitif ve Negatif 2 yüzleri içinde 1 doğrultusunda söz konusu yüzeylerin ortasında birim uzunluk için verilen kesme kuvvetleridir.

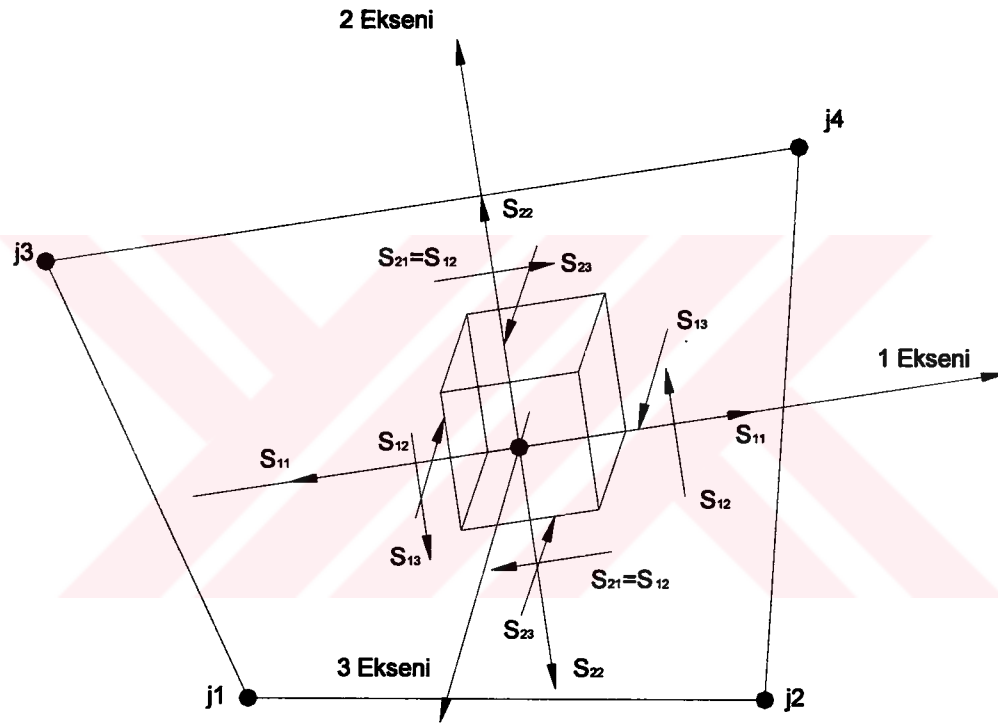
M_{11} : Pozitif ve negatif 1 yüzlerinde söz konusu yüzeylerin ortalarından birim uzunluk için etkiyen ve 2 eksen etrafında döndüren momenttir.

M_{22} : Pozitif ve negatif 2 yüzlerinde söz konusu yüzeylerin ortalarından birim uzunluk için etkiyen ve 1 eksen etrafında döndüren momentidir.

M_{12} : Pozitif ve negatif 1 yüzlerinde söz konusu yüzeylerin ortalarından birim uzunluk için etkiyen ve 1 eksenini etrafında döndüren burulma momenti ile Pozitif ve negatif 2 yüzlerinde söz konusu yüzeylerin ortalarından birim uzunluk için etkiyen ve 2 eksenini etrafında döndüren burulma momentidir.

V_{13} : 3 eksenini doğrultusunda pozitif ve negatif 1 yüzleri içinde yüzeylerin orta noktasında birim uzunluk için etkiyen düzlem dışı kesme kuvveti değeridir.

V_{23} : 3 eksenini doğrultusunda pozitif ve negatif 2 yüzleri içinde yüzeylerin orta noktasında birim uzunluk için etkiyen düzlem dışı kesme kuvveti değeridir.

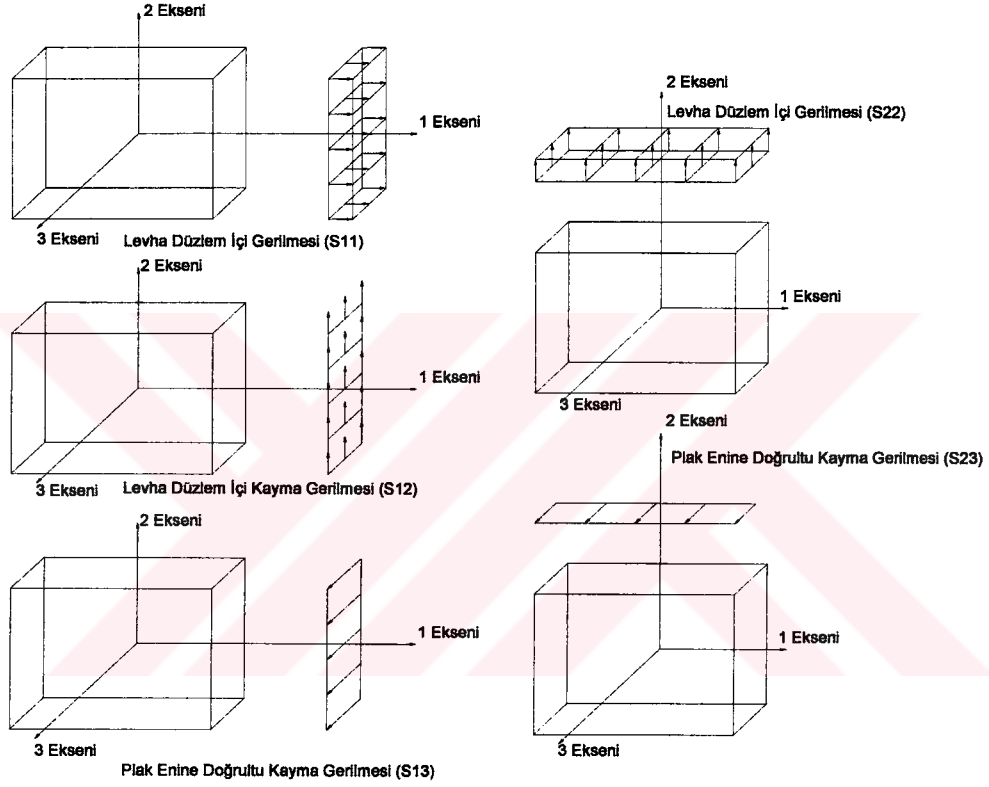


Şekil 4.4 Kabuk Eleman Gerilme Bileşenleri

Yukarıda tanımlanan bu bileşenlerin dışında M_{maks} , M_{min} , F_{maks} , ve V_{maks} olarak tanımlanan ve asal eksenler doğrultusundaki minimum ve maksimum kesit tesirlerinin yine eleman orta yüzünde ve birim uzunluk için verilen bileşenleri de vardır. Bu gerilmeler Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu bileşenlerden yararlanarak kabuk eleman için gerilmelerin elde edilmesi mümkündür. Bu bileşenlerden levha elemana ait olanlar düzlem içi gerilmeleri olan S_{11} , S_{22} gerilmeleri ile levha kayma gerilmeleri S_{12} 'dir. Plak elemana ait olanlar ise enine doğrultuda kayma gerilmeleri S_{13} ve S_{23} 'tür.

Kabuk eleman için levha davranışını temsil eden düzlem içi F_{11} ve F_{22} kuvvetleri ile plak davranışını temsil eden M_{11} ve M_{22} momentleri kullanılan program sonucunda elde edilen verilerdir. Bu kuvvet ve momentler söz konusu sonlu elemanın birim uzunluğu için elde edilen değerlerdir. Bu veriler kullanılarak S_{11} ve S_{22} gerilme değerlerine geçilebilir.

Şekil 4.5'te çeşitli gerilme durumları için yukarıdaki denklemlerle birlikte verilen gerilmeler örneklenmiştir.



Şekil 4.5 Plak ve Levha Bileşenlerine Ait Gerilme Örnekleri

t_m levha eleman için kalınlık, t_b eğilme davranışını temsil eden plak eleman kalınlığı olmak üzere S_{11} ve S_{22} değerleri aşağıdaki bağıntılar aracılığıyla elde edilir:

$$S_{11} = \frac{F_{11}}{t_m} - \frac{12M_{11}}{t_b^3} x_3 \quad (4.11)$$

$$S_{22} = \frac{F_{22}}{t_m} - \frac{12M_{22}}{t_b^3} x_3 \quad (4.12)$$

$$S_{12} = \frac{F_{12}}{t_m} - \frac{12M_{12}}{t_b^3} x_3 \quad (4.13)$$

$$S_{13} = \frac{V_{13}}{t_b} x_3 \quad (4.14)$$

$$S_{23} = \frac{V_{23}}{t_b} x_3 \quad (4.15)$$

Burada x_3 mesafesi tarafsız eksen ile gerilmenin en fazla olduğu eleman dış yüzü arasındaki maksimum mesafedir.



5. SONSUZ RİJİT MODELLE ESNEK MODELİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 Yapıların Analizinin Rijit veya Esnek Döşeme Kabulüne Göre Hesabı

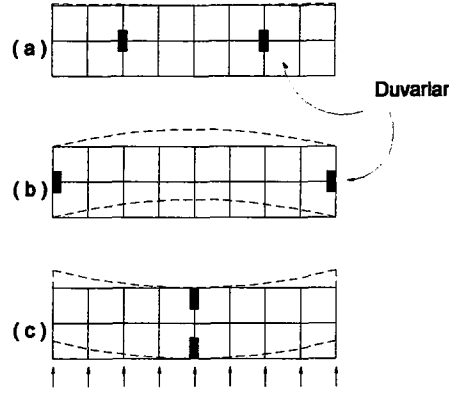
Binaların dinamik analizinde döşemeleri kendi düzlemleri içinde rijit almak genel bir kabuldür. Bu yararlı kabul kat düzlemlerindeki rijit cisim hareketini ifade eder. Böylelikle yatay deprem yükleri analizi için gerekli bilinmeyenler her kat düzlemi için iki ötelenme ve bir dönme bileşeni olmak üzere üçe indirgenir. Bu bir çok bina için geçerli bir yöntemdir.

Ancak öyle durumlar vardır ki döşeme diyaframları rijit olarak kabul edilemez. Bu tür yapılara örnek olarak çok rijit düşey yük taşıyıcı elemanlara sahip asansör çekirdek perdeli binalar, planda düzensiz ve büyük boşluklu döşemeli binalar gösterilebilir. Sözü edilen durumlarda döşemenin düzlem içi rijitliğini sisteme tanıtmak için kat başına ilave serbestlik derecelerini içeren daha detaylı bir model gerekebilir.

Döşeme diyaframlarının esnekliği, binanın rijit kabul ile elde edilen dinamik özelliklerini birkaç şekilde değiştirebilir. Öncelikle rijit diyafram kabulü ile bulunan doğal titreşim periyotları, mod şekilleri ve modların katılım payları gerçek durumda bulunanlardan belirgin bir biçimde farklı olabilir. Bu durum, yapıya etkiyen yatay yükün büyüklüğünü ve taşıyıcı elemanlardaki dağılımını etkileyecektir.

Döşemenin düzlem içi esnekliği, uygulanan yatay yükün çerçeve ve perdeler arasında dağıtılmasını da etkileyecektir. Örneğin geleneksel rijit diyafram kabulü ile yapılan analizde, perde ve çerçevelerin toplam yatay yükü rijitlikleri oranında paylaştıkları varsayılır. Ancak esnek bir diyafram yükü değişik bir biçimde dağıtabilir. Bu durum, bazı çerçevelerin beklenenden daha fazla yatay yük alması ile sonuçlanabilir.

Diğer bir sakınca da, belirgin esnekliğinin gözlemlendiği diyaframlarda deformasyon sonucu ilave burulma momentleri doğabilmesidir. Söz konusu yapının, plandaki boyutlarının oranının büyük olması, kütle ve rijitlik dağılımının planda ve yükseklik boyunca düzensizlikler göstermesi durumunda bu etkiler daha belirgin hale gelmektedir. Şekil 5.1'de bu durum perde duvarın sistemde bulunabileceği çeşitli yerler için örneklenmiştir.



Şekil 5.1 Döşeme Esnekliğinin Planda Uzun ve Perdeli Yapılarda Rolü

5.2 Konu İle İlgili Yapılmış Araştırmalar

Döşeme rijitliği, yatay yükün bu yükü karşılayacak taşıyıcı elamanlara dağıtılmasında önemli rol oynar. Döşeme rijitliğini göz önüne almak için çeşitli modeller geliştirilmiştir. [14]

Karadoğan F. [17], döşemeleri düzlemleri içinde sonsuz rijit sayılmayan üç boyutlu yapı sistemlerinin yatay yüklere göre hesabı için alt sistem kavramının kullanıldığı iki çözüm önermiştir. Bunlardan birincisi, düzlem alt sistemlerin yerdeğiştirme yöntemleri ile hesabını, ikincisi ise uygun seçilmiş alt sistemlerin kuvvet yöntemi ile hesabını içermektedir. Ayrıca üç boyutlu yapı sistemlerinin serbest titreşim hesabı için bir yol önerilmiştir. Kayma rijitlikleri de dikkate alınarak çubuk elemanlarla idealleştirilmiş döşeme elemanlarına ve levha ile plak probleminin birlikte alındığı sonlu elaman çözümüne de yer verilmiştir.

Saffarini S., Qudaimat M. [18], betonarme yapılarda düzlem içi deformasyonların etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada döşemeler ortotropik malzemeden oluşan 8 düğüm noktalı kabuk eleman olarak alınmıştır. Rijit döşeme kabulü ile gerçek döşeme davranışı arasındaki farklar bir hata fonksiyonu olarak elde edilmiştir. İncelemede plandaki boyut oranları çok büyük olan yapılarda döşeme kalınlığı, düşey taşıyıcıların rijitlik dağılımı ve kat adedi gibi parametreler bu hata sınırını belirlemede kullanılmıştır. Sonuç olarak az katlı, perdeli ve planda boy/en oranı çok büyük olan yapılarda hata oranının %50 den büyük olduğu, bu oranlar daha makul seviyelere düştükçe hatanın ihmal edilebilecek mertebelere düştüğü görülmüştür.

Ju S.H. ve Lin M.C. [19], benzer ancak daha kapsamlı bir çalışma yapmışlar ve perdesiz yapılarda düzensizlik olsa bile hata oranının çok düşük mertebelerde olduğu sonucuna varmışlardır.

Colunga A.T. ve Abrams D. P. [20], ahşap döşeme sistemlerinin konstrüksiyon gereği ince olmalarından dolayı diyafram esnekliğinin çok daha fazla belirleyici olduğunu gösteren bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında bu tür yapıların rijit kabule göre elde edilenlerden çok daha fazla ivme ve iç kuvvete maruz kaldıklarını göstermişlerdir. Rijit diyafram ve esnek döşeme olmak üzere iki farklı şekilde modelledikleri örneklerinde, döşemeli modelin her mod periyodunda daha yüksek değerler verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Şenel Ş.M. , Kaplan H. ve Atımtay E. [21], yatay diyafram düzensizlikleri üzerine yaptıkları çalışmada döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu sistemlerde, kolonların yanal ötelemelerinin eşit olduğu ancak düzlem içi esnekliğe sahip modelde farklı kolon ötelemeleri ve buna bağlı olarak farklı kesme kuvvetlerinin ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Kolonlarda ortaya çıkan bu durum için bir büyütme katsayısı tanımlamışlar ve bu katsayının yapının yüksekliğinin plandaki boyuna oranına bağlı olduğunu sayısal uygulamalar ile göstermişlerdir. Böylelikle yüksekliği az olan yapılarda bu katsayısının büyük olması sonucu her iki model arasındaki fark önemli sonuçlar doğurabilmektedir.

Jain S.K. ve Mandal U.K. [22], Y şeklindeki binaların döşemelerin esnek alınması durumundaki davranışlarının sistemin dinamik özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında sonlu elemanlar yerine matematiksel bir model geliştirmişler ve döşemeler eğilme kirişleri, perdeler kayma kirişleri olarak idealleştirilmişlerdir. Hareket denklemleri yanında perde ve döşemeler için sınır koşullarına bağlı denklem takımının çözülmesi sonucu sistemin doğal titreşim periyodu, mod şekilleri ve deprem yüklerinin dağılımı incelenmiştir. Sonuç olarak Y şeklindeki yapının kollarındaki enine ve boyuna rijitlik eşit dağıtılmadığı zaman tüm modların düzlem içi şekil değiştirmeleri içerdiği, her iki kolun yaklaşık olarak eşit rijitlikte olacak şekilde tasarlandığında ise döşeme şekil değiştirmelerini içeren modların üniform yer hareketinden etkilenmedikleri görülmüştür. Ayrıca döşeme esnekliğinin yapı periyotlarını ve taban kesme kuvvetini belirgin bir şekilde etkilemediğini ancak kesme kuvvetinin taşıyıcı elemanlar arasındaki dağılımını etkilediği sonucuna varmışlardır.

Jain S.K. ve U.K. ve Jennings P. [23,] planda ince ve uzun yapılarda esnek döşeme davranışını lineer elastik bir hesap yöntemiyle modellemişlerdir. Önerilen yöntemde özellikle az katlı perdeli yapılarda, perdelerin yükseklik/genişlik oranının az olmasından dolayı kayma kirişi olarak idealleştirilmektedir. Perdeler arasında uzanan ve açıklık/genişlik oranı büyük olan döşeme ise tipik bir eğilme kirişidir. Çalışmalarında, enine doğrultudaki kayma şekil değiştirmeleri ve burulma etkilerini ihmal edilerek her iki tip kiriş için hareketin denklemi tek bir koordinat ekseninde yazmışlardır. Sınır şartlarından da yararlanarak sistemin sönümsüz doğal frekansları için transandantal karakteristik denklemini elde edilerek çözülmüştür. Geliştirdikleri yöntem bilinmeyen sayısının az olduğu yapılar için uygulanabilir niteliktedir.

Çakıroğlu A. [9], rijit bodrum perdeli yapıların deprem hesabı üzerine bir inceleme yapmıştır. Özellikle perde ve çekirdek türünden taşıyıcı elemanlı sistemlerde bodrum kat döşemelerinin ve çevre perdelerinin düzlemleri içinde rijit kabul edilmesinin geçersizliğine işaret edilmiştir. Bu tür yapılarda kolonlar ile perdelerin aldıkları kuvvetlerin dağılımı da döşeme rijitliğinin göz önüne alınıp alınmamasına göre farklılıklar göstermektedir. Çalışmada, kayma rijitliklerinin, betonun lineer olmayan etkiler altındaki davranışını ve düzlem içi esnekliğin ifade edilebilmesi için esas değer yarisına ve dörtte birine indirilerek çözüldüğü durumlar incelenmiştir. Sonuç olarak, lineer hesap modelinin kullanıldığı ancak döşemelerin davranışının gerçekçi bir biçimde modellenmesinin istendiği durumlarda malzemenin kayma modülünün yarı değerinin kullanılması önerilmiştir.

P. F. Martin ve E. Alvarez ve E. S. Diaz [24], çok katlı yapıların modal analizde mod şekilleri ve yerdeğiştirmelerini karşılaştırdıkları çalışmalarında döşemenin sistem statik hesabında modellenmediği durumlarda rijit diyafram kabulünün sistem davranışını iyi temsil ettiğini sonucuna ulaşmışlardır. Buna karşılık rijit diyafram modelinin üst katlarda daha küçük yerdeğiştirmeler ve küçük kesit tesirleri verdiğini göstermişlerdir. İki ve üç boyutlu sistemler için yapılan çalışmada döşemelerin sonsuz rijit kabulünün geçerli olabilmesi için kirişlerinin yeterince rijit olması gerektiği de belirtilmiştir.

Doudoumis I.N. ve Athanatopoulou A. M. [25], betonarme yüksek binalarda döşemenin diyafram etkisinin 2 boyutlu sonlu elemanlarla modellenmesiyle ilgili bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında dinamik deprem yüklerinden doğan atalet kuvvetlerinin sonlu elemanlar ağında kullanılan ve kütlelerin toplandığı düğüm noktalarına dağıtılabileceği ileri sürülmüştür. Söz konusu çalışmada, kolon, perde ve kiriş gibi yapısal elemanlardaki iç kuvvetlerinin, döşemelerin büyük parçalara

bölünmesiyle elde edilen bir sonlu eleman ağında bile detaylı bir ağdan elde edilen sonuçlara yaklaştığı ve problemin boyutunu büyütmeyen bu “kaba” ağın yeterli olduğu sayısal örneklerle gösterilmiştir. Bu durum ise, söz konusu elemanlardaki iç kuvvetlerin yalnızca bu elemanların bağlandıkları noktalardaki yerdeğişimlere bağlı olmasına ve sonlu elemanlar yönteminde rijitliğe dayalı modellerde yerdeğişimlerin gerilmelerden çok daha iyi yakınsamasına dayanmaktadır. Bu yüzden çoğu zaman döşemedeki gerilme alanını tanımlamakta çoğu zaman yetersiz olan “kaba” bir ağ yerdeğiştirme ve bu yerdeğişimlere bağlı olan çerçeve elemanlardaki iç kuvvetlerin bulunması için yeterli olabilmektedir. Ancak bu durumda bile kullanılan ağ, yapısal elemanlardaki birleşim noktalarını göz önüne alacak şekilde seçilmelidir. Söz konusu çalışmada plandaki boyutları büyük olan yapılar ile planda L,T ve U biçimli düzensiz yapılar için döşemedeki boşlukları da göz önüne alan sayısal örnekler verilmiştir.

Lopez A.O, Eeri M. ve Raven E. [26], planda düzensiz yapıların deprem davranışlarının belirlenmesinde döşeme esnekliğinin modellenmesinin gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Döşemelerin düzlem gerilme sonlu elemanlar ve rijit diyafram olarak iki farklı şekilde modellendiği çalışmalarında, esnek döşemede limit bir durum olarak elastisite modülü betonunkine eşit, kayma modülü betonunkinin 1/100’üne eşit bir malzeme tanımlamışlardır. Sonuç olarak, esnek döşemeli modelde kolonlar için birbirinden farklı yatay ötelemeler buldukları halde rijit diyafram çözümünde göz önüne alınan deprem doğrultusunda birbirine eşit ötelemeler elde etmişlerdir.

Öztorun N.K, Çıtıptıoğlu E. ve Akkaş N. [27], taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan sistemlerin sonlu elemanlarla modeli için bir yöntem ve program geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sonlu eleman her noktada 6 serbestlik dereceli özel bir dikdörtgen sonlu elemandır. Düzlem içi kayma gerilmelerinin ihmal edildiği bu sonlu elemanda köşeler rijit kabul edilmiştir. Böylelikle aynı noktaya bağlanan kenarların dönmeleri eşit alınmıştır. Söz konusu sonlu eleman kullanılarak yapılan analizlerde döşeme esnekliğinin perdelerdeki kesme kuvveti dağılımını önemli ölçüde değiştirdiği sonucuna varmışlardır. En fazla farkın üst katlar ile en alt katta olduğunu öne sürmüşlerdir. Rijit diyafram modelinde göz önüne alınmayan düzlem içi gerilmelerin kritik değerler alabileceğini ve bu gerilme değerlerinin elde edildiği perde ile döşeme birleşim yerlerinin dikkatli olarak detaylandırılması gerektiğine işaret etmişlerdir.

Unemori A.L, Roesset J.M ve Becker J.M [28], “cross wall” sistemlerle ilgili bir inceleme yapmışlardır. Prekast döşemeli, yerinde dökme betonlu yapılar ve yığma

yapılarda perdelerin rijitliğinin döşemeninki ile yaklaşık olarak aynı mertebede olduğunu belirtmişlerdir. Döşeme esnekliğinin yatay yük taşıyıcı elemanlarda kuvvet dağılımını önemli ölçüde değiştirdiğinin inceledikleri çalışmalarında plak ve levha elemanın birleşiminden oluşan ve her noktada 6 serbestlik derecesi olan bir sonlu eleman kullanmışlardır. Sonuç olarak perdelerdeki kuvvetler bakımından her iki modelin yüksek yapılarda iyi bir yaklaşıklık gösterdiği belirtilmiş, 5 ve daha az katlı yapılarda kesme kuvvetleri arasındaki farkların %40 mertebelerine ulaştığına dikkat çekilmiştir.

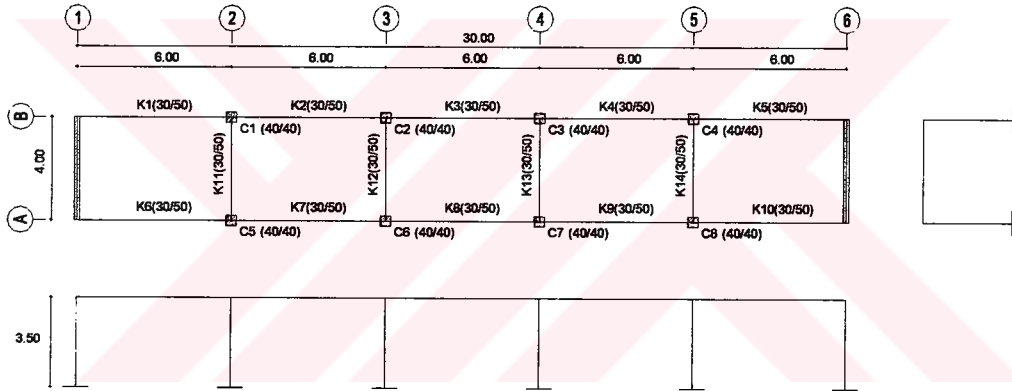
Kunnath K.S., Panahshahi N., ve Reinhorn A.M. [29] döşeme esnekliğinin elastik hesap yöntemleri ile modellenmesinin yanı sıra betonda elastik sınır aşıldıktan sonra lineer olmayan şekil değiştirmelerin de göz önüne alındığı bir yöntem geliştirmişlerdir. Çalışmalarında döşeme esnekliğinin modellenmesin planda düzensizlikler ile düşey ekseninde kütle ve rijitlik dağılımının düzensiz olduğu yapılarda ön plana çıktığını vurgulamışlardır. Düşeyde düzensizlik gösteren yapı türlerine örnek olarak ise "setback" (geri çekme düzensizliği) yapılar ile "cross wall" sistemleri vermişlerdir. Elastik olmayan davranışı, deneysel yollarla elde edilmiş histeri eğrilerine dayalı bir takım parametreler sayesinde elde edilen "eğilme" ve "kayma" yayları ile sisteme adapte etmişlerdir. Sonuç olarak elastik olmayan davranışın, rijit ve elastik döşeme kabulünden elde edilenlerden çok daha fazla yerdeğiştirme öngördüğünü göstermişlerdir. Döşemelerin sonlu elemanlarla ve elastik olarak modellenmesi, rijit diyafram olarak modellenmesi ile elastik olmayan şekil değiştirmelere göre modellenmesi arasında bir çözüm olmaktadır.

Bu çalışmada, plandaki boyutları oranı büyük plan yapılar ile rijit bodrumlu ve geri çekme düzensizliği olan yapıların dinamik deprem etkileri altında davranışını yakından inceleyen iki uygulama sunulmuştur. Her iki örnekte de elastik hesap yöntemi kullanılmıştır.

6. SAYISAL ÖRNEKLER

6.1 Örnek 1

Döşeme esnekliğinin sistem çözümünde modellenmesi, döşemelerin sonsuz rijit kabul edildiği çözüme göre bir takım farkları da beraberinde getirir. Bu farkların en belirgin olarak ortaya çıktığı durum, plandaki boyutlarının oranı büyük olan ve kat adedi az olan yapılardır. Örnek 1'de bu tür yapılar ile ilgili bir sayısal uygulama yapılacaktır. Örneklerin çözümünde SAP2000N (Computers and Structures, Inc.) programı kullanılmıştır. [16]



Şekil 6.1 Örnek 1 Sistem Planı ve Kesitleri

6.1.1 Yapı Özellikleri

Şekil 6.1'de planı verilen örnek sistemin planda X doğrultusunda 6'şar metrelik 5 açıklıktan, Y yönünde ise 4 metrelik tek açıklıktan oluşmaktadır. Kolon boyutları 0.40x0.40 m, kenardaki perdelerin kalınlığı 0.25 metre alınmıştır.

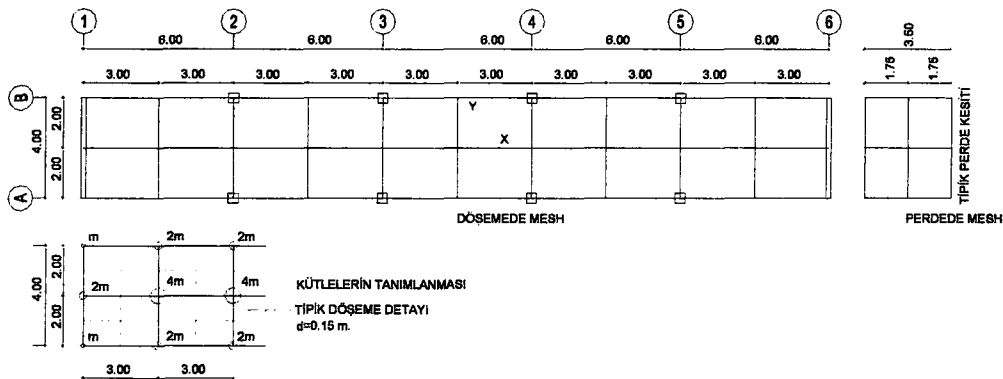
Kiriş boyutları 0.30x0.50 m, döşeme kalınlığı da 0.15 m seçilmiştir. Bu sistem referans çözüm olarak alınacak ve bu sistemden kat adedi, perdelerin plandaki konumu ve kalınlığı gibi parametrelere göre türetilen sistemlerde de sonuçlar tartışılacaktır.

Sistem, rijit diyafram kabulüne dayanan model ve döşeme esnekliğini hesaba katan model olmak üzere iki farklı model olarak kurulmuştur. Birinci modelde kolon ve kirişler ÇUBUK(FRAME) eleman, perdeler ise KABUK(SHELL) eleman kullanılarak tanımlanmıştır. İkinci modelde ise yukarıda belirtilen elemanların yanı sıra döşemeyi tanımlamak için yine KABUK eleman kullanılmıştır. KABUK elemanlar, sonlu elemanlar yönteminin yeterli yaklaşıklıkla kullanılması için mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir. Şekil 6.2'den de görüldüğü gibi 0.15 metrelik döşeme plakları 3x2 metrelik ağ elemanlara bölünmüştür.

6.1.2 Uygulanan Metot

Ağ büyüklüğünün yapının özel periyotları, kesit tesirleri ve deplasmanları gibi özelliklerinin belirlenmesinde yeterli olduğu, ağın daha da genişletilerek elde edilmiş diğer bir çözümle karşılaştırılarak görülmüştür. Perdelerin döşemeye birleştiği noktalarda düğüm noktalarının birlikte hareketini tanımlamak ve sistemi sonlu elemanlar modelinin gerektirdiği biçimde modellemek için perdeler de Şekil 6.2' ve Şekil 6.3'de gösterildiği gibi ağlara bölünmüştür. Kirişlerin de döşemeye hareketini sağlamak için, kirişler, ağ elemanlarının kirişle kesiştiği noktalardan bölünmüşlerdir.

Modeller arasında dinamik özelliklerin karşılaştırılabilmesi için kütleler aynı tutulmuştur. Kullanılan program, düğüm noktalarına kütle atanmaması durumunda bile, kütleli elemanların geometrik boyutları ve birim hacim ağırlığından otomatik olarak hesaplamaktadır. Bu durumun yarattığı sakınca, malzemenin birim hacim ağırlığı 0 alınarak kütlelerin Şekil 6.2'de gösterildiği gibi düğüm noktalarına atanması ile giderilmiştir.



Şekil 6.2 Döşemelerin Ağlara Bölünmesi ve Kütlelerin Tanımlanması

Kat ağırlığı, betonun birim hacim ağırlığı $\gamma=25 \text{ kN/m}^3$, hareketli yükü 5 kN/m^2 ve hareketli yük azaltma katsayısı $n=0.30$ için hesaplandığı takdirde, kat ağırlığının $W=1000 \text{ kN}$ alınabileceği görülmüştür. Kütlenin kat düzleminde toplandığı ve düzgün yayılı olarak dağıldığı varsayılarak:

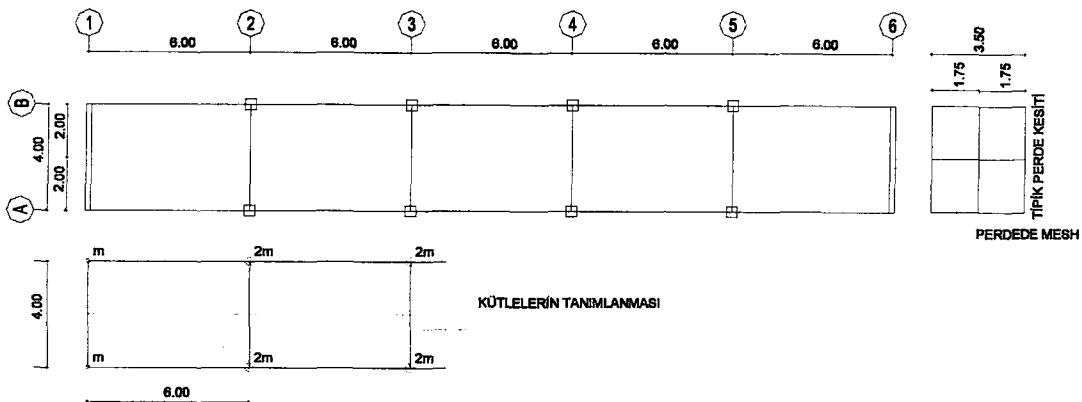
4 adet m kütlesi	4 m
20 adet 2m kütlesi	40 m
9 adet 4m kütlesi	36 m
	$\Sigma M_1 = 80 \text{ m}$

Buna göre $m=1.25 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ bulunmuş ve düğümlere atanmıştır.

Rijit diyafram modelinde ise kütle dağılımı Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Perde ağından doğan orta düğümler göz ardı edilerek m ve 2m kütleleri toplam 12 düğüme dağıtılmış ve $\Sigma M_2 = 20 \text{ m}$ den $m=5.00 \text{ kN.s}^2/\text{m}$ elde edilerek düğümlere atanmıştır.

Yapının söz konusu iki modele göre deprem davranışları yönetmelikte belirtilen eşdeğer statik deprem yüklemesinin yanı sıra mod süperpozisyonu ve zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile incelenmiştir. İnceleme yöntemi elastik hesap yöntemine dayanmaktadır.

Elastik deprem yüklerini azaltma katsayısı 4, deprem derecesi 1. derece deprem bölgesi seçilmiş ve $A_0=0.40g$ alınmıştır. Spektrum karakteristik periyotları zemin sınıfı Z2 için $T_A=0.15 \text{ s}$. $T_B=0.40 \text{ s}$. alınmıştır.



Şekil 6.3 Rijit Diyafram Modelinde Kütle Dağılımı

6.1.3 Tek Katlı Modeller İçin Çözümler

Rijit diyafram modelinde bir kat iki öteleme ve bir dönme bileşeni ile temsil edilmektedir. Deprem hareketinin yalnızca yatay bileşenleri göz önüne alındığından, her iki modelde de düşey titreşim yoktur. Yatay titreşim serbestlik adedi rijit diyafram modeli için yukarıda belirtilen 3 serbestlikten ibarettir. Bu serbestliklere karşı gelen mod adedi de 3'tür. Tüm modlar alındığı için efektif kütlelerin %100'ü alınmıştır.

Döşemeli modelde ise efektif kütlelerin %90 şartını sağlayacak şekilde yeterli dinamik serbestlik derecesi seçilmeye çalışılmıştır. Sonuçta 3 mod alınınca göz önüne alınan modal kütlelerin toplam efektif kütlelerin; X yönü için %99.99, ve Y yönü için %80.29 'u olduğu görülmüş ve 6 mod alınmıştır. Bu durumda Y yönünde toplam efektif kütlelerin %92.8 'ine ulaşılmasına rağmen, daha da düşük modların katkısını da temsil etmek için 9 mod alınmış ve böylelikle her iki yön için de %98.74 gibi bir değere ulaşılmıştır.

Maksimum mod katkılarının hesabında Tam Karesel Birleştirme (CQC) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında kullanılan çapraz korelasyon katsayılarının hesabında yönetmelik uyarınca, bütün modlar için %5 sönüm oranı alınmıştır. Sonuçlar Tablo 6.1'de özetlenmiştir. R.D ile rijit diyafram çözümü, E.D ile döşemeli esnek çözüm ifade edilmektedir.

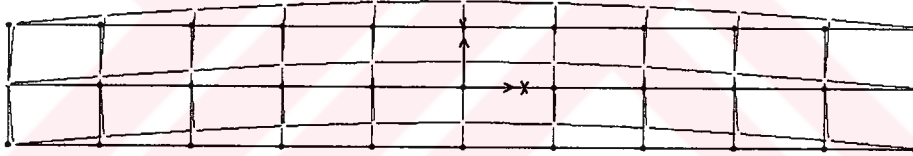
Tablo 6.1 Modellere Ait Periyotların Karşılaştırılması

MOD	Periyot (s)		Modal Kütle Katılım Yüzdesi			
			X YÖNÜ		Y YÖNÜ	
	R.D	E.D	R.D	E.D	R.D	E.D
1	0.166	0.161	100,00	100,00	0,00	0,00
2	0.035	0.112	0,00	0,00	100,00	80,30
3	0.022	0.042	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-	0.024	-	0,00	-	12,70
5	-	0.022	-	0,00	-	0,00
6	-	0.016	-	0,00	-	0,00
7	-	0.013	-	0,00	-	5,74
8	-	0.011	-	0,00	-	0,00
9	-	0.011	-	0,00	-	0,00

Görüldüğü gibi X yönü için birinci mod periyodu geçerlidir ve bu yön her iki model de aynı çözümü vermektedir. Y yönü için ise rijit diyafram kabulü, esnek döşemeli çözüme göre çok daha düşük periyotlu bir çözüm getirmektedir. Bu durumun nedeni, rijit diyaframlı modelde sistemin Y yönünde bütün düğümlerde eşit ötelenme yapması, döşemeli modelde ise döşemenin orta kolonların bulunduğu bölümde, perdelerdeki bölüme göre çok daha fazla yerdeğiştirme meydana gelmesidir. Bu durum Şekil 6.4'de açık olarak görülmektedir.

Sistemde simetriden dolayı burulma olmadığı için burulmaya ait modların katkıları her iki çözümde de sıfırdır.

Dinamik hesap sonucu mod birleştirme yöntemi ile bulunan en muhtemel taban kesme kuvvetleri X yönü için $V_{xRD}=V_{xED}=250$ kN olarak bulunmuştur. Y yönünde, periyotlarla spektrum katsayıları arasındaki bağıntıdan da beklendiği gibi R.D çözümü $V_{YRD}=134.75$ kN, E.D çözümü için $V_{xED}=171.44$ kN taban kesme kuvvetleri bulunmuştur. Bu iki çözüm arasında Y yönündeki taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında R.D çözümünü %22 oranında az bir değer verdiği görülmüştür.



Şekil 6.4 Tek Katlı Esnek Döşemeli Modelde Şekil Değiştirme Formu

Eşdeğer statik yükleme için dinamik hesapta bulunan kuvvetler her iki modelde de kolon kiriş birleşim yerlerindeki düğümlere eşit olarak dağıtılarak bu kuvvetlerin kolon ve perdeler arasında nasıl paylaşıldığı incelenmiştir.

Taban kesme kuvvetinin kolon ve perdeler arasında paylaşımı Tablo 6.2'de verilmiştir. SPECX ve SPECY ile dinamik hesaba ait X ve Y yönleri kesme kuvvetleri, ESX ve ESY ile de eşdeğer statik hesaba ait kesme kuvvetleri ifade edilmektedir. ERZX ve ERZY ile de Erzincan 1992 depremine ait ivme kaydının K-G bileşenin her iki yönde kullanılmasıyla elde edilen taban kesme kuvvetlerinin maksimum ve minimumlarından mutlak değeri büyük olan ifade edilmektedir.

Tablo 6.2 Modellere Ait İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması

		PERDELER		KOLONLAR		TOPLAM		ORAN	
		$\Sigma F_{xp}(kN)$	$\Sigma F_{yp}(kN)$	$\Sigma F_{xk}(kN)$	$\Sigma F_{yk}(kN)$	$\Sigma F_x(kN)$	$\Sigma F_y(kN)$	$\Sigma F_{xp}/\Sigma F$	$\Sigma F_{yp}/\Sigma F$
E.D	SPECX	73,89	0,00	176,11	0,00	250,00	0,00	0,296	-
	ESX	-74,00	0,00	-176,00	0,00	-250,00	0,00	0,296	-
	ERZX	40,01	0,00	95,37	0,00	135,38	0,00	0,296	-
	SPECY	0,00	104,26	0,00	67,73	0,00	171,99	-	0,606
	ESY	0,00	-125,89	0,00	-45,11	0,00	-171,00	-	0,736
	ERZY	0,00	74,39	0,00	39,32	0,00	113,70	-	0,654
R.D	SPECX	68,62	0,00	181,38	0,00	250,00	0,00	0,274	-
	ESX	-68,62	0,00	-181,38	0,00	-250,00	0,00	0,274	-
	ERZX	37,64	0,00	99,50	0,00	137,15	0,00	0,274	-
	SPECY	0,00	130,77	0,00	3,98	0,00	134,75	-	0,970
	ESY	0,00	-131,01	0,00	-3,99	0,00	-135,00	-	0,970
	ERZY	0,00	96,21	0,00	2,93	0,00	99,14	-	0,970

Bu duruma göre Y yönü deprem hesabında rijit diyafram modeli, deprem hesabında kullanılan her üç yöntem için de iç kuvvetlerin paylaşımı açısından aynı sonucu vermektedir. Bu modele göre Y yönü deprem yüklerinin tamamına yakını perdeler tarafından karşılanmaktadır. Buna karşılık elastik döşemeli modelde, her üç yöntem için de farklı olmakla birlikte kolonlar perdeler göre çok daha fazla yatay yük almaktadır.

Yatay yükü üniform olarak kolon kiriş birleşim yerlerine dağıtan eşdeğer statik deprem yüklemesi, aynı kabule dayalı diyafram modele en yakın sonucu vermiştir.

Dinamik hesap sonucu kolonlar için en elverişsiz durumu vermiştir. Bu durumda perdeler deprem yüklerinin %60'ını alırken, Erzincan depremi için %65 gibi bir değer almıştır.

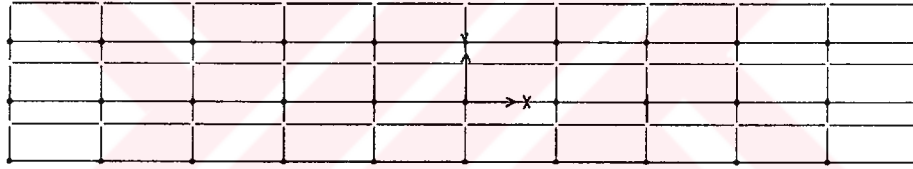
Zaman tanım alanındaki hesap yalnızca döşemeli modelde Y doğrultusu için Elcentro ve Dinar depremlerinin ivme kayıtlarına göre de çözülmüş ve perde taban kesme kuvvetleri için bu oranlar %64 ve %63 bulunmuştur.

6.1.4 2,4 ve 8 Katlı Modeller İçin Çözümler

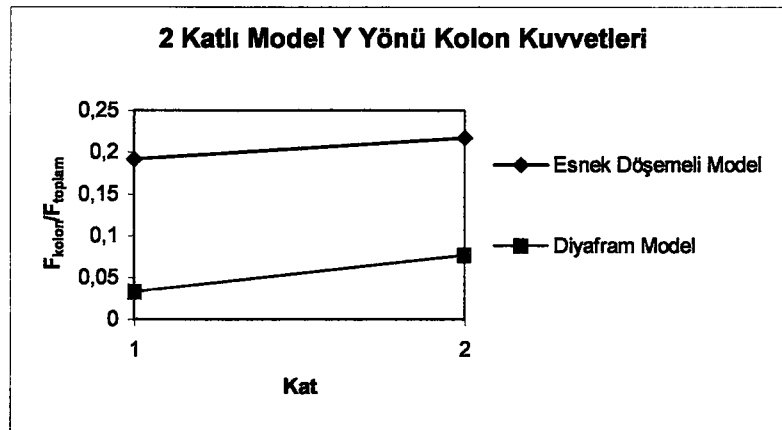
Kat adedi artıkça rijit diyafram modeli ile esnek döşemeli modellerin davranışları birbirine yaklaşır. Bu özelliğin örnek sistemde gösterilmesi amacıyla aynı kat planı korunmak suretiyle 2, 4 ve 8 kat için yeni modeller türetilmiş ve sonuçlar Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da grafikler halinde sunulmuştur. Bu çözümlerde eşdeğer statik deprem yükleri hesabı karşılaştırma kriteri olarak alınmamıştır.

Bu grafiklerden kat adedi arttıkça kolonların aldığı deprem kuvvetlerinin arttığı ve esnek döşemeli modelin her zaman daha büyük değerler verdiği görülmektedir. Ayrıca katlara etkiyen deprem yüklerinin en alt ve en üst kat hariç çok yakın değerler aldığı görülmektedir.

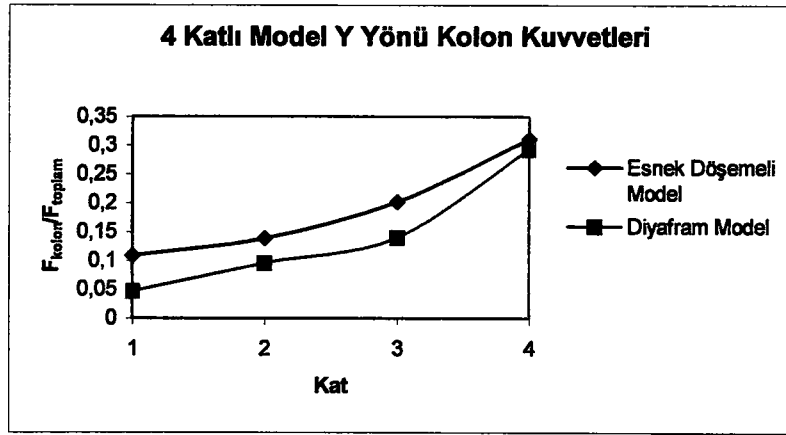
Şekil 6.5'de 8 katlı esnek döşeme modeline ait Y yönü dinamik deprem hesabı sonucu şekil değiştirme formu görülmektedir. Bu formun diyafram modelin öngördüğü şekil değiştirme formuna yakın olması da grafiklerle uyumlu bir sonuçtur.



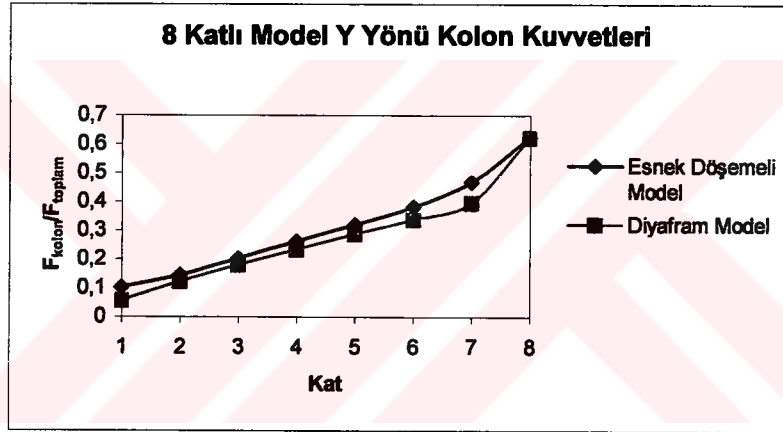
Şekil 6.5 8 Katlı Esnek Döşeme Modelinde Döşeme Şekil Değiştirme Formu



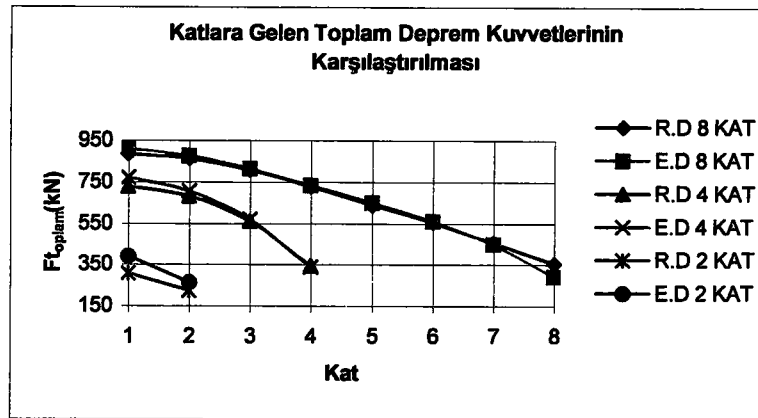
Şekil 6.6 Tek Katlı Model Y Yönü Dinamik Deprem Hesabı Toplam Kolon Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması



Şekil 6.7 4 Katlı Model Y Yönü Dinamik Deprem Hesabı Toplam Kolon Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması



Şekil 6.8 8 Katlı Model Y Yönü Dinamik Deprem Hesabı Toplam Kolon Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırması



Şekil 6.9 Katlara Dinamik Hesap Sonucu Etkiyen Toplam Deprem Kuvvetleri

6.1.5 İvme Spektrumları

Üzerinde durulan örnekte, diyafram döşemeli model ile döşeme elastikliğinin göz önüne alındığı modellerin yatay deprem etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Bu iki modele göre deprem davranışlarının karşılaştırılması amacıyla Erzincan K-G deprem kaydının betonarme yapılar için kabul edilen %5 sönüm oranına ait ivme spektrumları, yerçekimi ivmesi cinsinden grafikleri çizilmiştir.

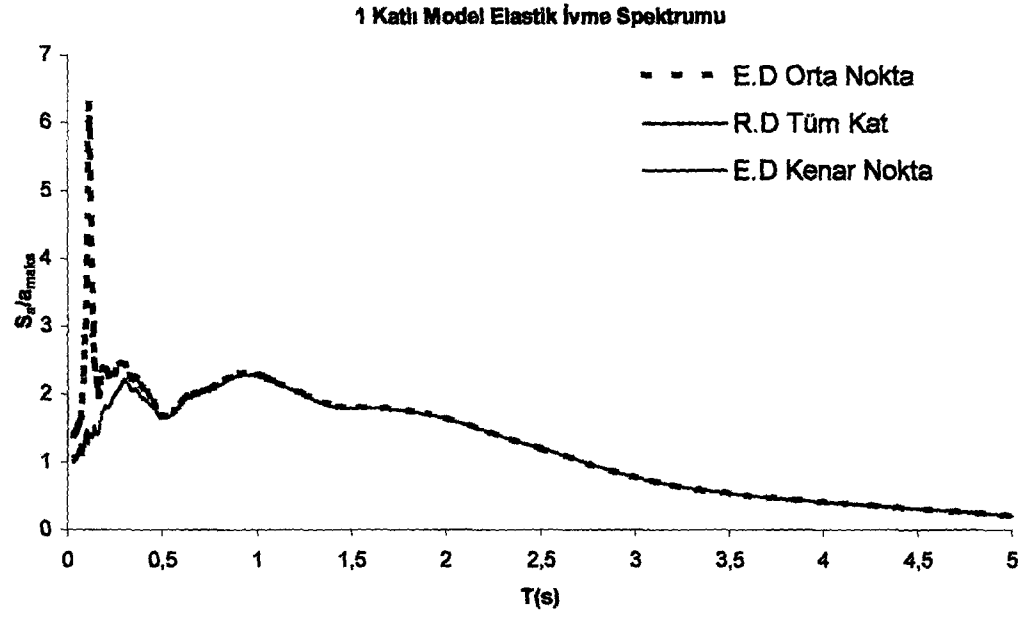
Şekil 6.10'da tek katlı modelin 1. kat döşemesi üzerinde B ve 3 akslarının kesiştiği düğüm noktasının S_a/a_{maks} elastik ivme spektrumu verilmiştir. Bu spektrum değerleri 0-5 s. aralığında 49 periyot değeri için hesaplanarak elastik ve diyafram döşemeli modeller için elde edilmiştir. Aynı grafikte yalnızca elastik döşemeli model için B ve 1 akslarının kesiştiği düğüm noktası için de elde edilen ivme spektrumuna yer verilmiştir.

Diyafram döşemeli modelde kat düzlemi içinde her nokta aynı ivmeye maruz kalırken, elastik döşemeli modelde orta noktalar kenarlara göre çok daha fazla ivmeye maruz kalmışlardır. Bu durum Şekil 6.11'de görüldüğü gibi, kat adedi artıkça ortadan kalkmaktadır.

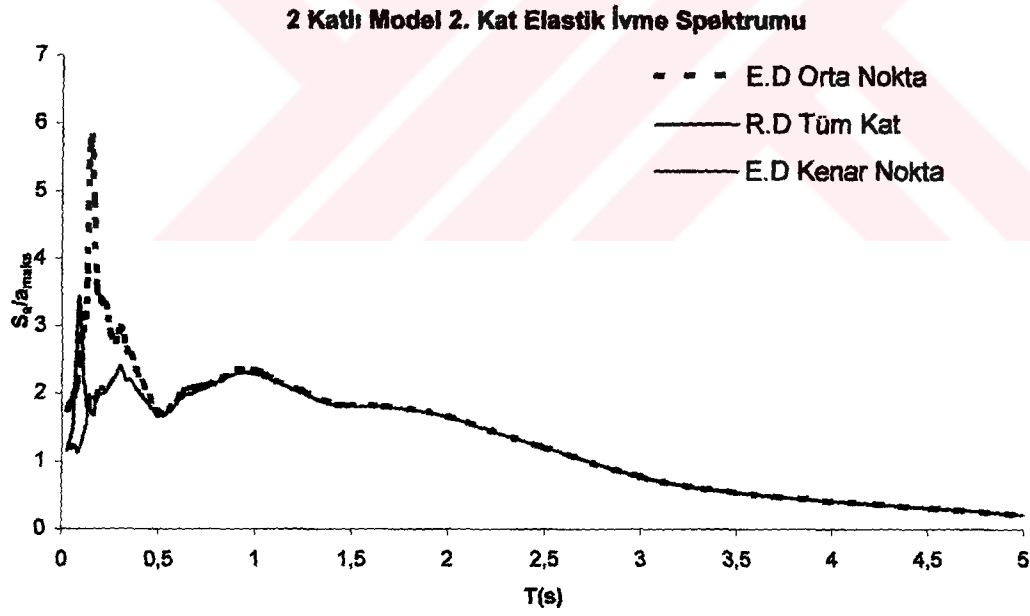
Şekil 6.13'de görüldüğü gibi 8 katlı örnekteki yapının en üst kat tavanın döşemeleri her iki modelde de yaklaşık olarak aynı maksimum ivmeye maruz kalmaktadır. Grafiklerden çıkarılacak bir başka sonuç da söz konusu iki model arasındaki farkların düşük mod periyotlarında ortaya çıkması ve sonuca katkılarının az olmasıdır.

Benzer olarak Şekil 6.12'de yine 8 katlı örneğin 1. katındaki noktalara ait ivme spektrum değerleri karşılaştırılmıştır. Bu grafikten, kat adedinin fazla olduğu durumlarda bile, alt katlardaki deprem karşılık spektrumunun seçilen modele göre önemli farklar ortaya çıkarabileceği anlaşılmaktadır.

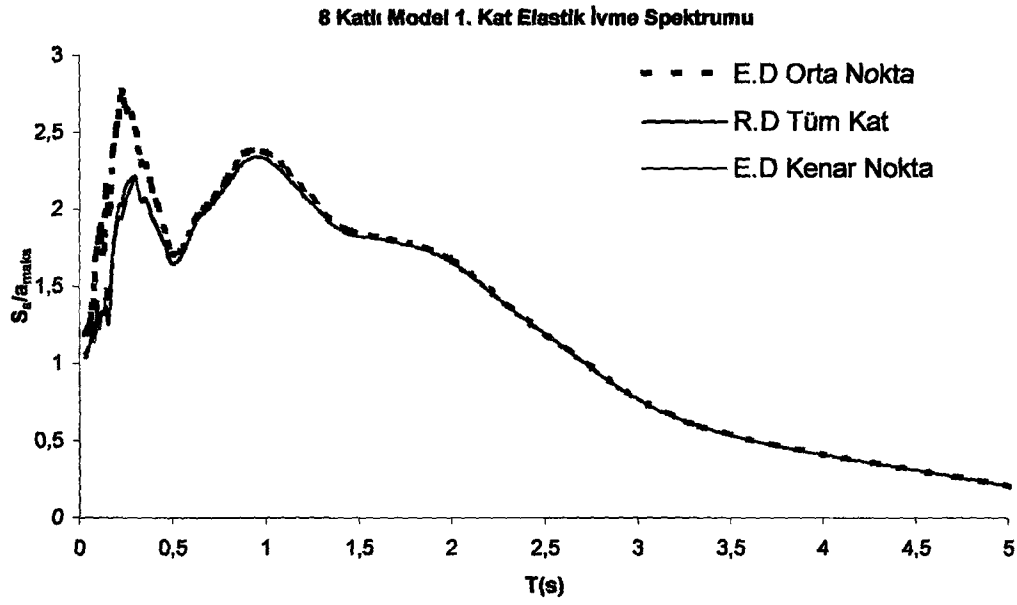
Genel olarak da tüm çözümlerde elastik döşemeli modelin diyafram modele göre daha elverişsiz değerler verdiği ve hesapta gözönüne alınması gerektiği söylenebilir.



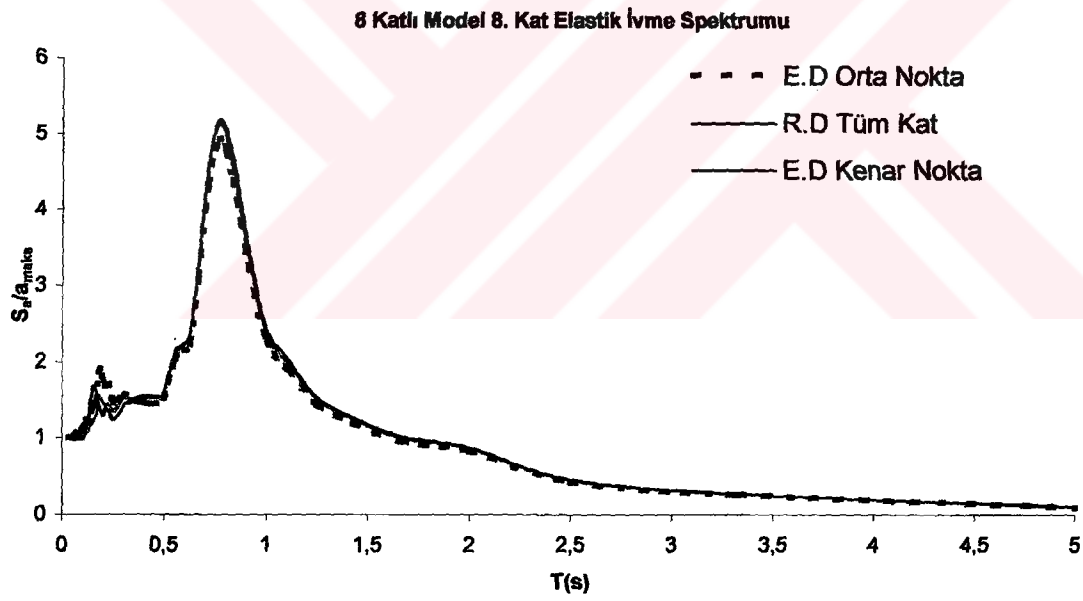
Şekil 6.10 1 Katlı Model Elastik İvme Spektrumu



Şekil 6.11 2 Katlı Model 2. Kat Elastik İvme Spektrumu



Şekil 6.12 8 Katlı Model 1. Kat Elastik İvme Spektrumu



Şekil 6.13 8 Katlı Model 8. Kat Elastik İvme Spektrumu

6.2 Örnek 2

Rijit bodrumlu yapılar uygulamada en çok karşılaşılan bina türüdür. Temelden itibaren 4 kat boyunca rijit toprak perdeleri ile çevrili yapıda, üst katlarda planda daralma olmakta ve perdeler kalkmaktadır. Böylelikle rijitlik ve kütle yayılımı bina boyunca ani değişiklik gösteren bir durum elde edilmektedir. Genel olarak "Geri Çekme Düzensizliği" olarak adlandırılan bu durum belirli bir kattan aşağıya doğru bina genişliğinin belirli bir oranda artması olarak tanımlanmaktadır. 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nde Madde 6.3.1 de "B2-Düşey Geometrik Süreksizlik" başlığı altında verilmiş ve gözönüne alınan deprem doğrultusunda, taşıyıcı sistemin herhangi bir katındaki uzunluğunun bir üstteki taşıyıcı sistem uzunluğundan en az %50 fazla olması durumu olarak tanımlanmıştır.

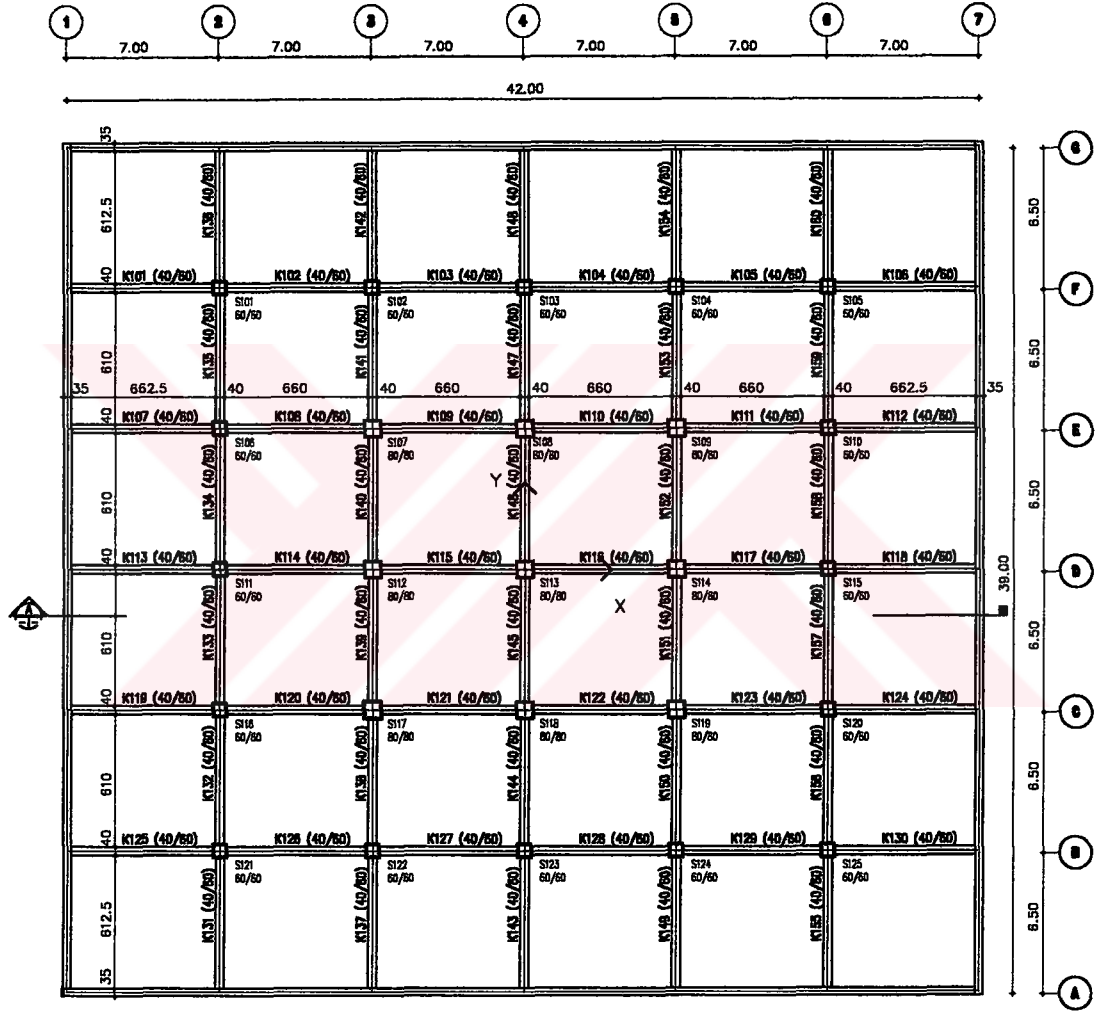
6.2.1 Referans Sistem ve Grupların Tanıtılması

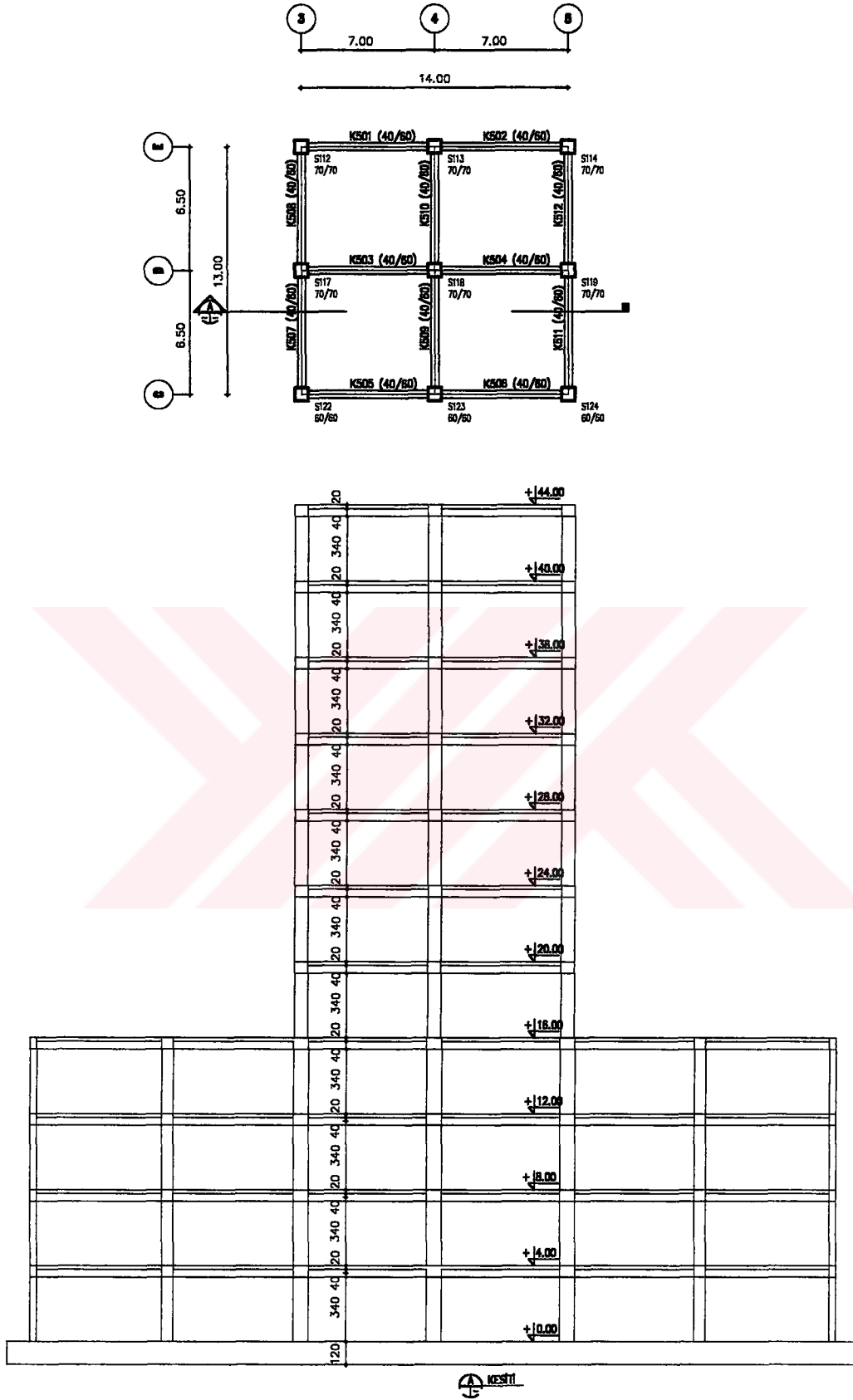
Yukarıda sözü edilen düzensizliğe sahip yapılarda döşemelerin sonlu elamanlarla modellenmesi ile döşemelerin kendi düzlemleri içerisinde sonsuz rijit olduğunu varsayan klasik yöntemle çözümünün karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu türde bir yapının dinamik özellikleri ve deprem yüklerinin yatay yük taşıyıcı elemanlar arasındaki dağılımı incelenmiştir. Bu amaçla Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'de tipik kat kalıp planları ve boy kesiti verilen bir yapı seçilmiştir. Rijit bodrum perdeleri olan ve bu perdelerin bittiği katta planda ani daralarak geri çekme düzensizliği gösteren bu örnek referans sistem (esas örnek) olarak adlandırılmıştır. Bu esas örnekten elde edilen diğer çözümler Grup 1, Grup 2 ve Grup 3 olarak adlandırılmıştır. Bu tiplere ait özellikler ise Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5'de verilmiştir.

Grup 1'deki örneklerde geri çekme kotunun düşeydeki konumunun sistem davranışına etkisi incelenmiştir. Söz konusu örnekler, geri çekme kotunun referans sisteme göre aşağı ve yukarı çekilmesi durumları için türetilmiştir.

Grup 2'deki örneklerde binada rijit bodrum perdelerinin olmaması, rijit bodrum perdesinin olması ve çekirdek perdenin bulunması ve hem rijit toprak perdesi hem de çekirdek perdesinin sisteme simetriyi bozmadan katılması halinde dinamik davranışları nasıl etkilediği incelenmiştir.

Grup 3'deki örneklerde sistemde burulma yaratacak etki bulunması halinde sistemin dinamik deprem etkileri halinde nasıl davranacağı incelenmiştir.





Şekil 6.15 Örnek 2 Referans Çözüm Tipik Normal Kat Kalıp Planı ve Sistem Kesiti

Geri çekme etkisinin incelenmesi için seçilen 11 katlı rijit bodrumlu yapının iki tip kat kalıp planı ve X ekseninden geçen tipik sistem kesiti Şekil 6.15'de verilmiştir. Tipik kesit Y doğrultusu için de geçerlidir. Sistem burulma etkileri oluşmayacak şekilde her iki yönde simetrik. Burulma etkisinin oluşturulduğu asimetrik örnek Grup 3'de incelenecektir. Kat yüksekliği tüm yapı boyunca sabit ve 4.00 m olarak alınmıştır. X doğrultusunda tipik açıklık 7.00, Y doğrultusunda ise 6.50 m olarak alınmıştır.

Tipik kiriş boyutu olarak 40/60 alınmıştır. Kolon boyutları ise üç tiptir. Birinci tip kolonlar geri çekme kotu olan +16.00 kotuna kadar devam eden dış kolonlar olup 60/60 seçilmiştir. Geri çekme kotundan itibaren yukarıda devam eden bölümün bu kota kadar olan kolonları 80/80, bu kottan sonrakiler ise 70/70 olarak seçilmiştir. Perde kalınlığı için seçilen 0.35 m boyutu Türk deprem yönetmeliğinde perde kalınlığı için minimum şartları sağlamaktadır. Döşeme kalınlığı için seçilen 0.20 m TS-500 Şubat 2000'de çift doğrultuda çalışan döşemeler için verilen

$$h_f \geq \frac{l_{sn}}{15 + \frac{20}{m}} \left(1 - \frac{\alpha_s}{4} \right) \text{ ve } h_f \geq 80 \text{ mm} \quad (6.1)$$

koşulunu sağlamaktadır. Seçilen kiriş yüksekliği Türk Deprem Yönetmeliği'nde sünelik düzeyi yüksek kirişler için verilen "kiriş yüksekliği döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den az olamaz" şartını sağlamaktadır.

Kolonların boyutlanmasında yine deprem yönetmeliğinde kolonların sağlaması gereken

$$A_c \geq N_{dmaks} / (0.50 f_{ck}) \quad (6.2)$$

şartını sağlamaktadır. Zati ağırlık için tüm sistemde 7 kN/m² ile kirişlerin zati ağırlığı alınmıştır. Hareketli yük için ise bodrum katlarında 5 kN/m² , üst katlarda 3.5 kN/m² değerleri alınmıştır. f_{ck} değeri 30 MPA alınmıştır.

Hareketli yük azaltma katsayısı için bodrum katlarda $n=0.60$, üst katlarda $n=0.30$ alınarak bodrum katlar için $W_{n1}=25000$ kN üst katlar için ise $W_{n2}=2000$ kN değerleri hesaplanarak önceki örnekte olduğu gibi düğüm noktalarına uygun şekilde atanmıştır.

Tablo 6.3 Grup 1 Çözümleri

Grup 1 Çözümleri	Referans Çözüm	Grup 1.1	Grup 1.2
Dış Perde	Var	Var	Var
İç Perde	Yok	Yok	Yok
Bodrum/Normal Kat	4+7	2+9	8+3
Burulma Etkileri	Yok	Yok	Yok

Tablo 6.4 Grup 2 Çözümleri

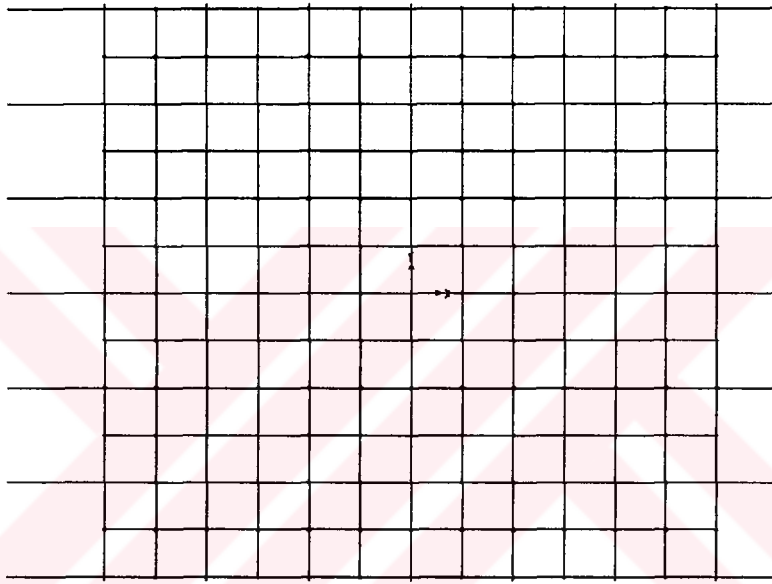
Grup 2 Çözümleri	Grup 2.1	Grup 2.2	Grup 2.3
Dış Perde	Yok	Yok	Var
İç Perde	Yok	Var	Var
Bodrum/Normal Kat	4+7	4+7	4+7
Burulma Etkileri	Yok	Yok	Yok

Tablo 6.5 Grup 3 Çözümleri

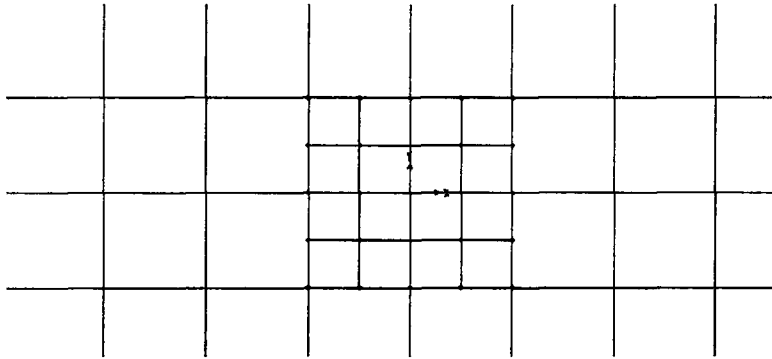
Grup 3 Çözümleri	Grup 3.1	Grup 3.2	Grup 3.3
Dış Perde	Var	Var	Var
İç Perde	Yok	Var	Var
Bodrum/Normal Kat	4+7	4+7	4+7
Burulma Etkileri	Dış Perdede	Dış Perdede	Dış + İç Perdede

Sistem sonsuz rijit ve esnek döşemeli olarak iki ayrı model olarak modellenmiştir. Döşemeli modelde sonlu eleman ağı Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterildiği gibi 3.50x3.25 m’lik parçalara bölünmüştür. Sonlu elemanlar hem perdeler hem de döşemeler için plak ve levha davranışın her ikisini de içeren kabuk elemanlar olarak alınmıştır.

Perdeler de döşemelere bağlandıkları yerlerden ağırlara bölünmüştür. İlk örnekte olduğu gibi kiriş elemanlar, döşemelerin ağırlara ayrılması sonucu sisteme tanıtılan yeni düğüm noktaları ile aynı uygunluk koşullarını sağlamak için bu düğümlerle kesiştiği yerlerden bölünmüştür.



Şekil 6.16 Bodrum Katlarda Sonlu Eleman Ağı



Şekil 6.17 Üst Katlarda Sonlu Eleman Ağı

Her iki model için yalnızca dinamik deprem hesabı yapılmış olup düşey yüklere ile düşey ve yatay yüklerin kombinasyonuna en elverişsiz duruma göre betonarme hesap inceleme dışı bırakılmıştır.

Sistemin elastik ötesi davranışı elastik deprem kuvvetinin süneklik katsayısına bölünmesi ile göz önüne alınmıştır. Elastik deprem yüklerini azaltma katsayısı 6 seçilmiştir. Maksimum tasarım deprem ivmesi 0.40 g olarak alınmıştır. Zemin sınıfı olarak önceki örnekteki gibi Z2 zemin cinsi seçilmiştir. Buna göre spektrum karakteristik değerleri $T_A=0.15$ s., $T_B=0.40$ s. alınmıştır.

6.2.2 Referans Sistem Çözümleri

Rijit döşemeli modelde her katta iki öteleme ve bir dönme olmak üzere toplam üç serbestlik derecesini temsil eden üç mod alınmıştır. Efektif modal kütlenin tümünün göz önüne alınabilmesi için 11 katlı yapının 33 modu hesaba katılmıştır. Döşemeli modelde ise 33 mod için modal efektif kütlenin toplam modal kütlenin %96 sı olduğu görülmüştür. Bu oranın %100 'e yaklaşması için bu model için 60 mod alınarak hesap tekrarlanmıştır ancak dinamik hesap sonuçları Tablo 6.6'da gösterildiği gibi ilk 33 mod için yapılmıştır.

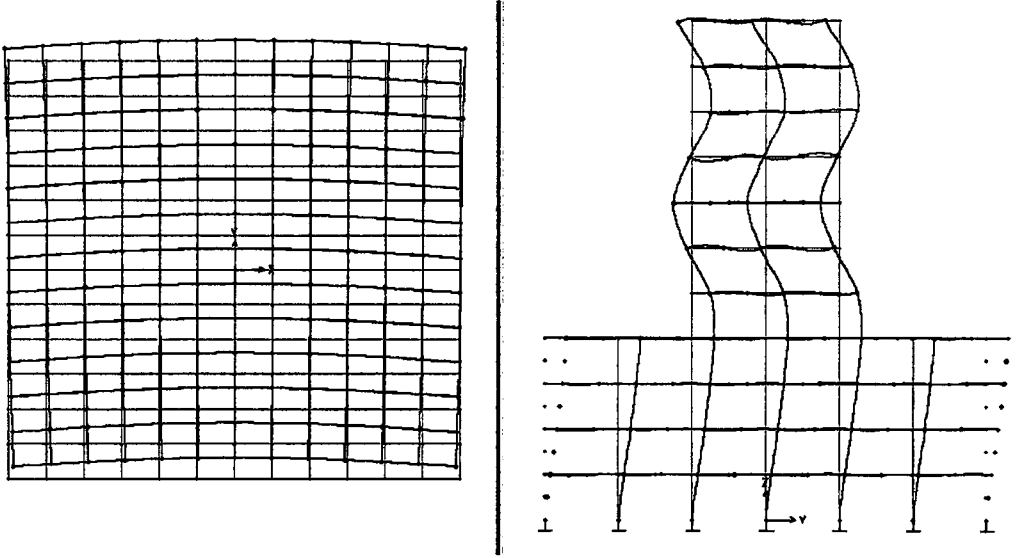
Sonuçlar mod periyotları ile efektif modal kütlenin katılım oranları için karşılaştırılarak tablo halinde sunulmuştur. Simetrik modların katkısının 0 olduğu görülen tablo incelendiğinde ilk 9 periyot değeri için rijit diyafram modelinin daha büyük değerler verdiği görülür. Bu durum döşemelerin eğilme şekil değiştirmelerinin de gözönüne alınması sonucu daha rijit bir sistemin oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ancak bu periyotlara karşı gelen modal kütlelerin toplamdaki payı %15 mertebesinde olup sistemin asıl davranışını belirleyen hakim modlar rijit diyafram model için 12. ve 13., döşemeli model için 10. ve 11. periyotlardır. Bu periyotlar karşılaştırıldığında döşemeli modelin daha esnek bir çözüm verdiği görülür. Bu durum söz konusu modlarda ortaya çıkan atalet kuvvetlerinde de görülmektedir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir fark da döşemeli modelde kısa doğrultuda, Y yönünde modal katılım yüzdesi X yönüne göre daha büyükken, rijit diyafram modeli için tam tersi bir durumun olmasıdır. Bu ise döşeme açıklıkları arasındaki küçük farkların bile incelenen iki model arasında modal kütlelerin katılım yüzdelelerini nasıl değiştirebileceğini göstermesi bakımından ilginç bir sonuçtur.

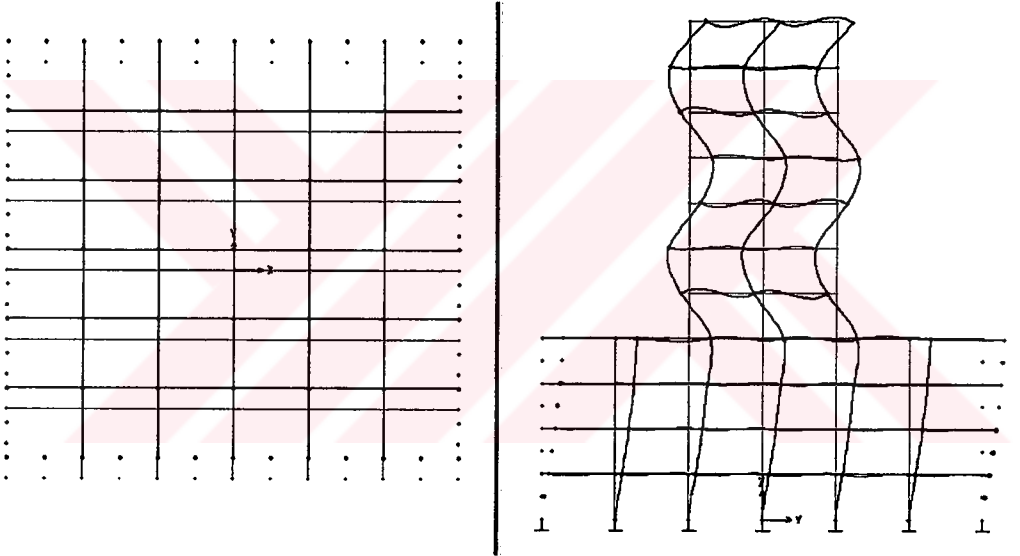
Tablodan elde edilen bir başka sonuç da simetrik modların diyafram modelde burulma modu, döşemeli modelde ise döşemenin kendi düzlemi içinde şekil değiştirmesi olarak belirmesi ve bunların modal katılım yüzdelerinin 0 olmasıdır.

Tablo 6.6 Referans Çözüm Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri

MOD	Rijit Diyafram Modeli			Döşemeli Model		
	Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi		Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi	
		X Yönü	Y Yönü		X Yönü	Y Yönü
1	1,176	10,102	0,000	1,086	10,357	0,000
2	1,152	0,000	10,138	1,066	0,000	10,434
3	0,912	0,000	0,000	0,758	0,000	0,000
4	0,358	1,657	0,000	0,334	1,933	0,000
5	0,351	0,000	1,710	0,328	0,000	2,087
6	0,285	0,000	0,000	0,239	0,000	0,000
7	0,188	1,233	0,000	0,180	2,371	0,000
8	0,185	0,000	1,372	0,177	0,000	3,292
9	0,153	0,000	0,000	0,131	0,000	0,000
10	0,117	5,886	0,000	0,130	0,000	62,937
11	0,117	0,000	10,824	0,124	57,018	0,000
12	0,104	0,000	64,235	0,111	13,522	0,000
13	0,100	69,203	0,000	0,111	0,000	6,051
14	0,097	0,000	0,000	0,084	0,000	0,000
15	0,079	0,986	0,000	0,080	0,000	2,694
16	0,079	0,000	0,682	0,080	1,434	0,000
17	0,068	0,000	0,000	0,074	0,000	5,953
18	0,063	0,000	0,000	0,070	7,084	0,000
19	0,060	0,107	0,000	0,064	0,000	0,000
20	0,060	0,000	0,096	0,063	0,000	1,650
21	0,051	0,000	0,000	0,061	0,893	0,000
22	0,050	0,023	0,000	0,059	0,000	0,743
23	0,050	0,000	0,023	0,059	0,000	0,000
24	0,043	0,000	0,000	0,058	1,561	0,000
25	0,036	0,000	8,540	0,053	0,000	0,742
26	0,034	8,449	0,000	0,052	0,428	0,000
27	0,023	0,000	1,981	0,051	0,000	0,014
28	0,022	0,000	0,000	0,051	0,337	0,000
29	0,022	1,961	0,000	0,046	0,000	0,000
30	0,018	0,000	0,400	0,045	0,000	0,000
31	0,017	0,393	0,000	0,042	0,000	0,000
32	0,014	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000
33	0,012	0,000	0,000	0,040	0,000	0,000



Şekil 6.18 Döşemeli Model Y Yönü Hakim Mod Şekli

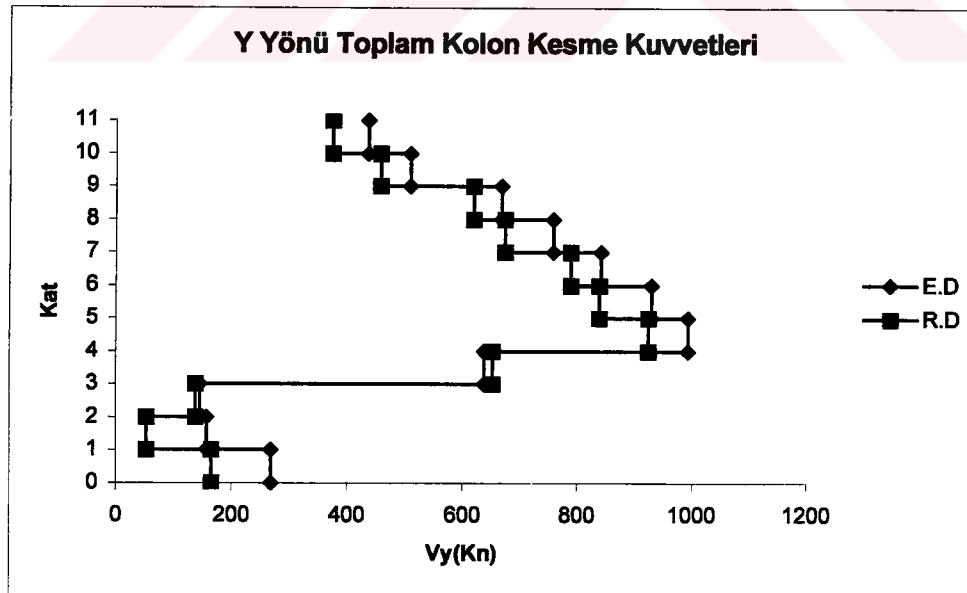


Şekil 6.19 Diyafram Model Y Yönü Hakim Mod Şekli

Şekil 6.18 ve Şekil 6.19'da Y yönü için hakim mod şekilleri planda geri çekme kotunun başladığı +16.00 kotu, kesitte de $Y=0$ ekseninden geçen kesit için verilmiştir. Döşemeli modeldeki 10. moda karşılık gelen 0.130 s., diyafram model için de 12. moda karşılık gelen 0.104 s.'dir. Bu mod şekillerinden döşemenin düzlem içi şekil değiştirmeleri ve bu şekil değiştirmelerin üst katlardaki mod şeklini nasıl değiştirdiği görülmektedir. Bunun yanında en büyük atalet kuvvetlerinin bodrum katlara ait modların katılımından oluştuğu ve bu modların dikkate alınmasının gerekliliği de ortaya çıkmaktadır.

Maksimum mod katkılarının hesabında önceki örnekte olduğu gibi Tam Karesel Birleştirme (CQC) yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemin uygulanmasında kullanılan çapraz korelasyon katsayılarının hesabında yönetmelik uyarınca, bütün modlar için %5 sönüm oranı alınmıştır. Sonuç olarak elde edilen taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında döşemeli modelde en muhtemel taban kesme kuvvetleri X yönü için $V_{xED}=11033$ kN, $V_{xRD}=10959$ kN , Y yönü için de benzer şekilde $V_{yED}=11538$ kN, $V_{yRD}=10926$ kN olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar periyotlardaki farkların spektral ordinatlara yansımından kaynaklanmaktadır ve bu sonuca döşemelerin düzlem içi simetrik şekil değiştirmelerinin katkısının olmadığı da düşünülürse aradaki farkın önemli olmadığı söylenebilir. Ancak iç kuvvetlerin dağılımı incelendiğinde bu halde bile, bu iki model arasında özellikle bodrum katlarda önemli farkların ortaya çıkabileceği görülmektedir.

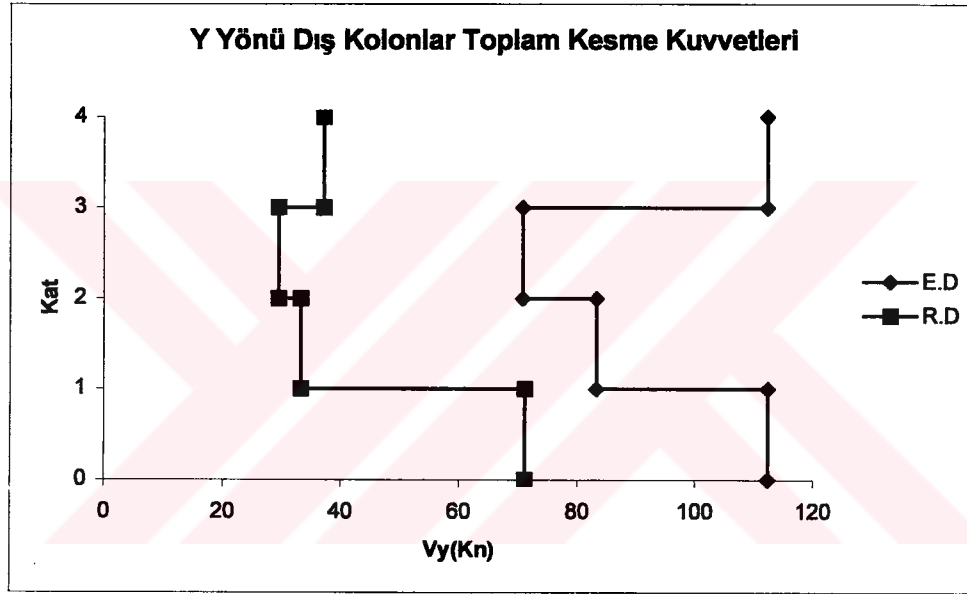
Şekil 6.20'de Y yönü dinamik deprem hesabı sonucundan elde edilen, kolonların aldığı toplam kesme kuvvetlerinin katlar boyunca değişimi görülmektedir. Sonuçta sunulan kesit tesirleri, hesapta kullanılan programın deprem yüklerini dinamik dış etki değil de meydana gelmesi en olası atalet kuvveti olarak hesaplanmasından dolayı pozitif işaretlidir. Bu yüzden sonuçlar değerlendirilirken kesit tesirinin işareti yerine mutlak değerlerinin gözönüne alındığı bilinmelidir. Her iki modelde de aynı ilkeden yararlanıldığı için sonuçlar bir değerlendirme kriteri olarak kabul edilebilir.



Şekil 6.20 Referans Çözüm Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri

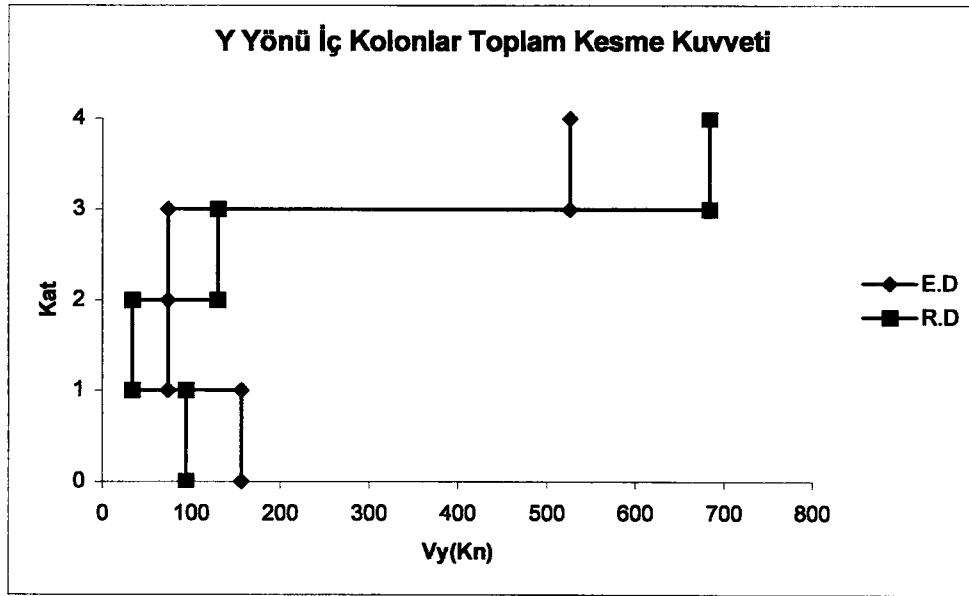
Buna göre özellikle bodrum katlarda iki modelin öngördüğü toplam kat kolon kesme kuvvetlerinin farklı olduğu söylenebilir. Geri çekme kotu olan +16.00 kotu için toplam kesme kuvvetleri değeri yakın olsa bile kuvvetlerin kolonlar arası dağılımının farklı olduğuna dikkat edilmelidir. Birinci bodrum kat için döşemeli modelden elde edilen toplam kesme kuvveti rijit diyafram modelinkinden elde edilen değer yaklaşık olarak 1.60 katıdır. İkinci bodrum kat için ise bu oran 2.90 olarak elde edilmiştir.

Şekil 6.21'de +16.00 kotuna kadar devam eden dış kolonların Y yönü deprem hesabı sonucu elde edilen kat toplam kesme kuvvetleri görülmektedir. Karşılaştırılması yapılan bu iki model arasındaki en büyük fark dış kolonların aldığı kuvvetlerde kendini göstermektedir.



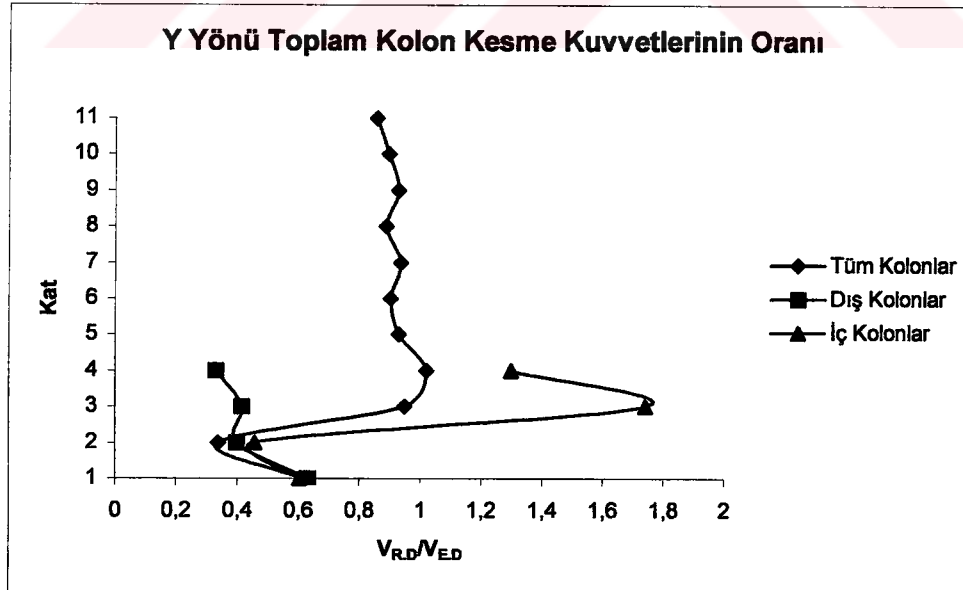
Şekil 6.21 Referans Çözüm Y Yönü Toplam Dış Kolon Kesme Kuvvetleri

Şekil 6.22'de tüm yapı boyunca devam eden iç kolonların bodrum katlarda Y yönü deprem hesabı sonucu elde edilen kat toplam kesme kuvvetleri görülmektedir. Bu kolonların kesme kuvvetleri incelendiğinde, diyafram modelin geri çekme kotu ile onun bir altındaki katta döşemeli modele göre daha yüksek değer verdiği görülmektedir. Şekil 6.21 ve Şekil 6.22 bir arada değerlendirildiğinde, geri çekme kotundaki yatay yüklerin iç kolonlar ve dış kolonlar arasındaki paylaşımının döşemeli modelde daha düzgün olduğu sonucu elde edilir. Bu ise, üst katlardan gelen deprem yüklerinin bodrum katlara aktarılmasının döşemeli modelde daha gerçekçi yapılması anlamına gelir.



Şekil 6.22 Referans Çözüm Y Yönü Toplam İç Kolon Kesme Kuvvetleri

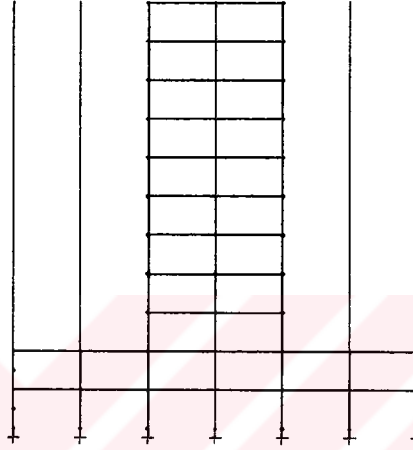
Kolonların toplam kat kesme kuvvetlerinin rijit diyafram ile esnek döşemeli model için karşılaştırılması son olarak $V_{R.D} / V_{E.D}$ oranının değişimi olarak tüm kolonlar ile bodrum katlar için yukarıda incelenen dış kolon ve iç kolon kategorilerinde incelenerek Şekil 6.23'de verilmiştir. Bu grafikten rijit diyafram kabulünün özellikle bodrum katlar için geçersizliği ortaya çıkmaktadır.



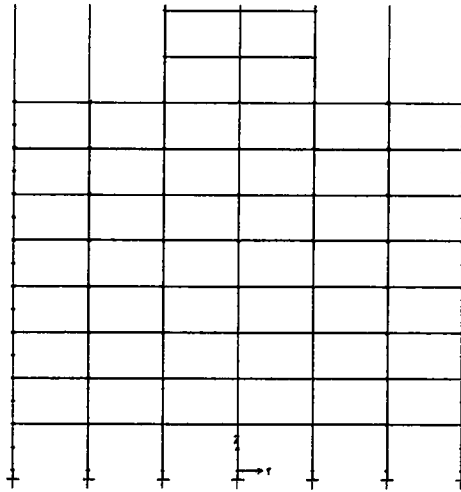
Şekil 6.23 Referans Çözüm Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri Oranı

6.2.3 Grup 1 Çözümleri

İncelemesi yapılan esas örnekten yararlanarak geri çekmenin düşeydeki konumunu incelemek amacıyla Şekil 6.24 ve Şekil 6.25'de düşey kesitleri verilen Grup 1 örnekleri elde edilmiştir. Verilen kesitler incelendiğinde ana örnekte $7/4$ olan geri çekme kotunun üstündeki kısmının altındaki kısma oranının, toplam bina yüksekliği ve tipik kat planları korunarak $9/2$ ve $3/8$ olacak şekilde düzenlendiği anlaşılr.



Şekil 6.24 Grup 1.1 Örneği Düşey Kesiti



Şekil 6.25 Grup 1.2 Örneği Düşey Kesiti

Şekil 6.25'de verilen Grup 1.2'te bodrum kat 8 kattan oluştuğu için, dış kolonların da iç kolonlarla aynı boyuta getirilerek $A_c \geq 0.50N_{dmaks} / f_{ck}$ koşulunu sağlamasına dikkat edilmiştir.

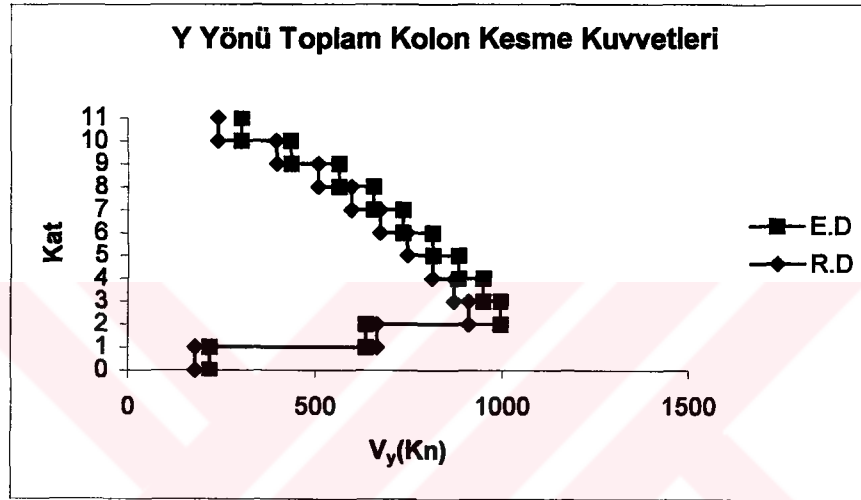
Tablo 6.7'de Grup 1.1 için sunulan modal katılım yüzdelerinden, geri çekme kotu aşağı çekildiğinde, etkin modun ilk örneğe göre daha az katkıya sahip olduğu ve etkin modun çok daha ileriki bir mod şekli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 6.7 Grup 1.1 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri

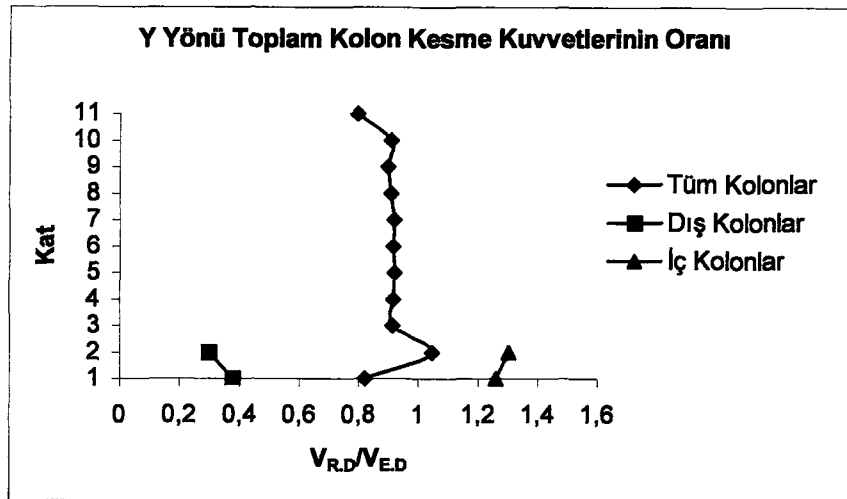
MOD	Rijit Diyafram Modeli			Döşemeli Model		
	Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi		Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi	
		X yönü	Y yönü		X yönü	Y yönü
1	1,526	21,317	0,000	1,404	21,626	0,000
2	1,493	0,000	21,334	1,376	0,000	21,676
3	1,180	0,000	0,000	0,978	0,000	0,000
4	0,476	2,879	0,000	0,442	3,074	0,000
5	0,466	0,000	2,913	0,433	0,000	3,170
6	0,376	0,000	0,000	0,314	0,000	0,000
7	0,258	1,216	0,000	0,242	1,470	0,000
8	0,253	0,000	1,223	0,238	0,000	1,564
9	0,209	0,000	0,000	0,176	0,000	0,000
10	0,164	0,807	0,000	0,158	1,363	0,000
11	0,162	0,000	0,826	0,156	0,000	1,616
12	0,135	0,000	0,000	0,115	0,000	0,000
13	0,114	0,689	0,000	0,112	2,639	0,000
14	0,113	0,000	0,733	0,111	0,000	4,234
15	0,095	0,000	0,000	0,090	0,000	43,158
16	0,085	0,813	0,000	0,087	28,778	0,000
17	0,084	0,000	0,940	0,082	0,000	0,000
18	0,071	0,000	0,000	0,081	0,000	11,967
19	0,066	1,682	0,000	0,080	28,243	0,000
20	0,066	0,000	2,503	0,066	0,000	1,913
21	0,057	0,000	52,015	0,066	2,147	0,000
22	0,056	0,000	0,000	0,062	0,000	0,000
23	0,056	24,703	0,000	0,059	0,000	3,945
24	0,054	0,000	12,594	0,057	2,951	0,000
25	0,054	40,772	0,000	0,055	0,000	0,362
26	0,049	0,544	0,000	0,055	1,709	0,000
27	0,049	0,000	0,282	0,050	0,000	0,003
28	0,047	0,000	0,000	0,050	0,015	0,000
29	0,042	0,000	0,000	0,050	0,000	0,000
30	0,036	0,000	0,000	0,044	0,000	0,000
31	0,021	0,000	4,638	0,042	0,000	0,000
32	0,021	4,579	0,000	0,042	0,000	0,000
33	0,014	0,000	0,000	0,040	0,000	0,000

Bu durumda esnek döşemeli modeldeki mod periyotları, ilk modele göre, daha yüksek modlardan itibaren rijit diyafram modeline ait periyotlardan büyük olmaya başlamaktadır.

Kolonların aldıkları kesme kuvvetleri incelendiğinde ilk örnekteki benzer bir kuvvet dağılımı görülmektedir. Planda daralmanın olduğu kat ve bu katın altındaki kattaki kuvvet dağılımı modeller arasında farklılıklar gösterirken, ara katlarda birbirine yakın sonuçlar elde edilmekte, son katta ise rijit diyafram modelinden bulunan çözümün, döşemeli modelden elde edilen değerden %20 eksik olduğu görülmektedir.



Şekil 6.26 Grup 1.1 Çözümü Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri



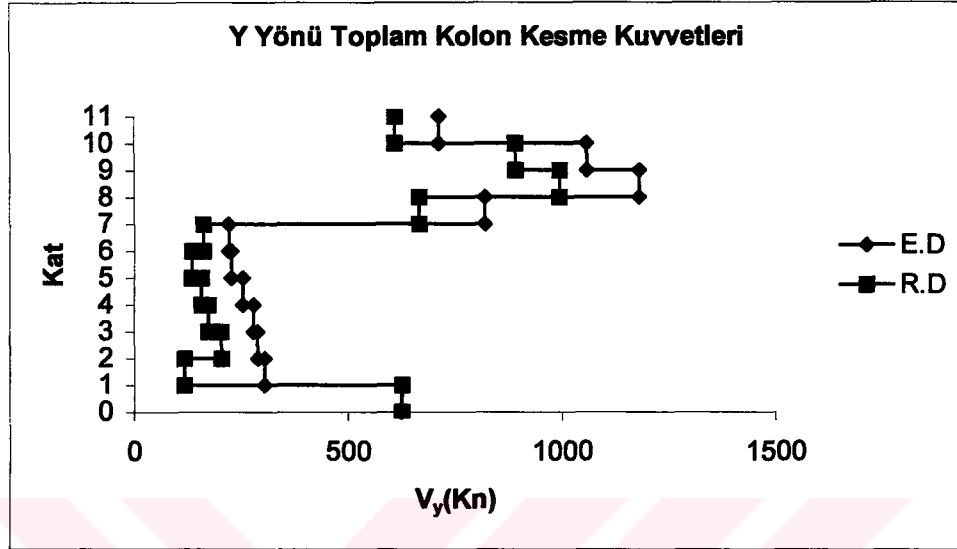
Şekil 6.27 Grup 1.1 Çözümü Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri Oranı

Benzer irdelemeler 8 bodrum kat ile 3 normal katın bulunduğu Grup 1.2 üzerinde yapıldığında mod şekilleri ve modal katılım paylarının birbirine yaklaştığı görülmektedir. Tablo 6.8'de görüldüğü gibi her iki modelde de 4. ve 5. periyotlar hakim periyotlardır ve ilk 11 modda göz önüne alınan her iki deprem yönünde efektif kütlelerin %92'si karşılanmaktadır. Etkin modda esnek döşeme modelinin periyodu aradaki fark az olsa da rijit diyafram modelinden elde edilen periyottan büyüktür.

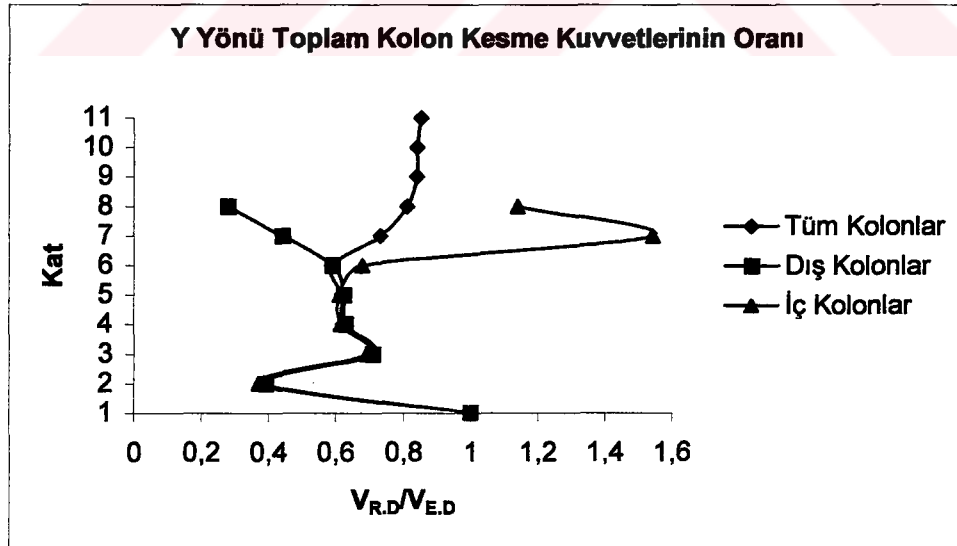
Tablo 6.8 Grup 1.2 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri

MOD	Rijit Diyafram Modeli			Döşemeli Model		
	Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi		Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi	
		X yönü	Y yönü		X yönü	Y yönü
1	0,482	4,040	0,000	0,454	4,823	0,000
2	0,473	0,000	4,358	0,447	0,000	5,421
3	0,381	0,000	0,000	0,320	0,000	0,000
4	0,212	0,000	77,736	0,226	0,000	75,012
5	0,203	78,129	0,000	0,215	76,067	0,000
6	0,128	0,746	0,000	0,125	1,192	0,000
7	0,126	0,000	0,628	0,125	0,000	1,522
8	0,120	0,000	0,000	0,111	0,000	0,000
9	0,106	0,000	0,000	0,100	0,000	10,141
10	0,070	0,000	11,037	0,094	10,228	0,000
11	0,067	10,490	0,000	0,091	0,000	0,000
12	0,061	0,747	0,000	0,078	0,000	2,947
13	0,061	0,000	0,340	0,073	2,892	0,000
14	0,053	0,000	0,000	0,069	0,000	1,311
15	0,040	0,000	0,000	0,066	1,134	0,000
16	0,040	0,000	3,265	0,063	0,000	0,602
17	0,039	3,240	0,000	0,062	0,550	0,000
18	0,029	0,000	1,439	0,060	0,000	0,453
19	0,028	1,426	0,000	0,058	0,661	0,000
20	0,025	0,000	0,000	0,055	0,000	0,513
21	0,023	0,000	0,692	0,053	0,521	0,000
22	0,023	0,685	0,000	0,051	0,000	0,312
23	0,020	0,000	0,333	0,050	0,000	0,000
24	0,019	0,329	0,000	0,049	0,305	0,000
25	0,018	0,000	0,000	0,048	0,000	0,096
26	0,018	0,000	0,137	0,048	0,000	0,002
27	0,017	0,135	0,000	0,046	0,000	0,000
28	0,017	0,000	0,034	0,046	0,097	0,000
29	0,016	0,033	0,000	0,043	0,000	0,000
30	0,015	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000
31	0,013	0,000	0,000	0,042	0,000	0,000
32	0,012	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000
33	0,011	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000

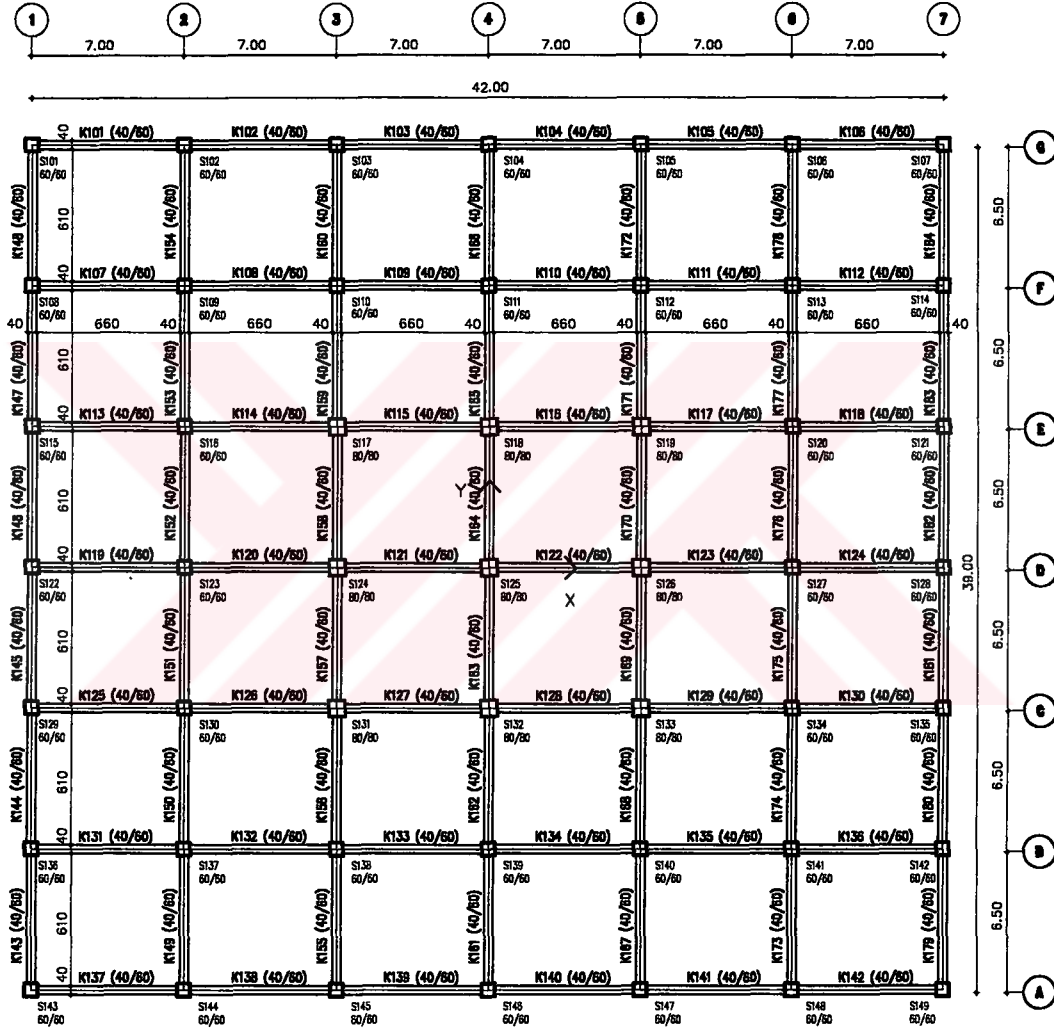
Kolonların kesme kuvvetleri ile bu kuvvetlerin iki model için oranı ise Şekil 6.28 ile Şekil 6.29'de verilmiştir. Bu grafiklerden çıkarılan sonuç, ara katlarda düzenli bir kuvvet dağılımı olsa bile, ilk katlar ile geri çekme kotuna yakın katlarda iki model arasında iç ve dış kolonların kuvvet dağılımında büyük farklar elde edilmesidir.



Şekil 6.28 Grup 1.2 Çözümü Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetleri



Şekil 6.29 Grup 1.2 Çözümü Y Yönü Toplam Kolon Kesme Kuvvetlerinin Oranı



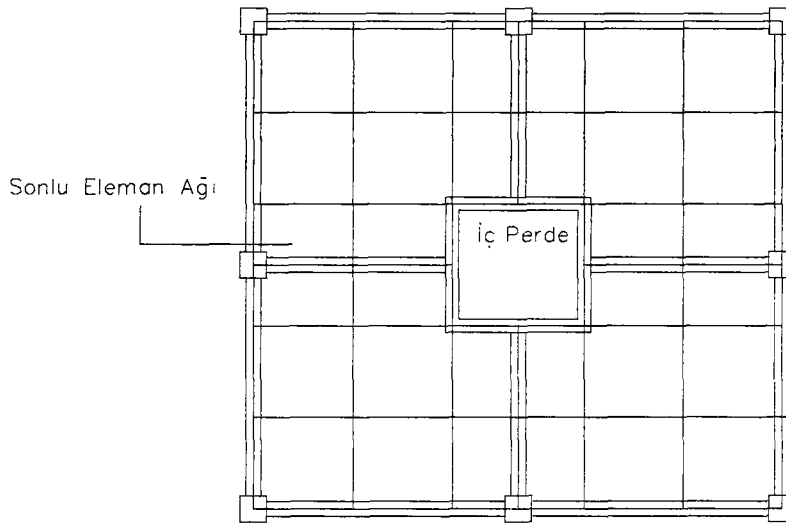
Şekil 6.30 Grup 2.1 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı

6.2.4 Grup 2 Çözümleri

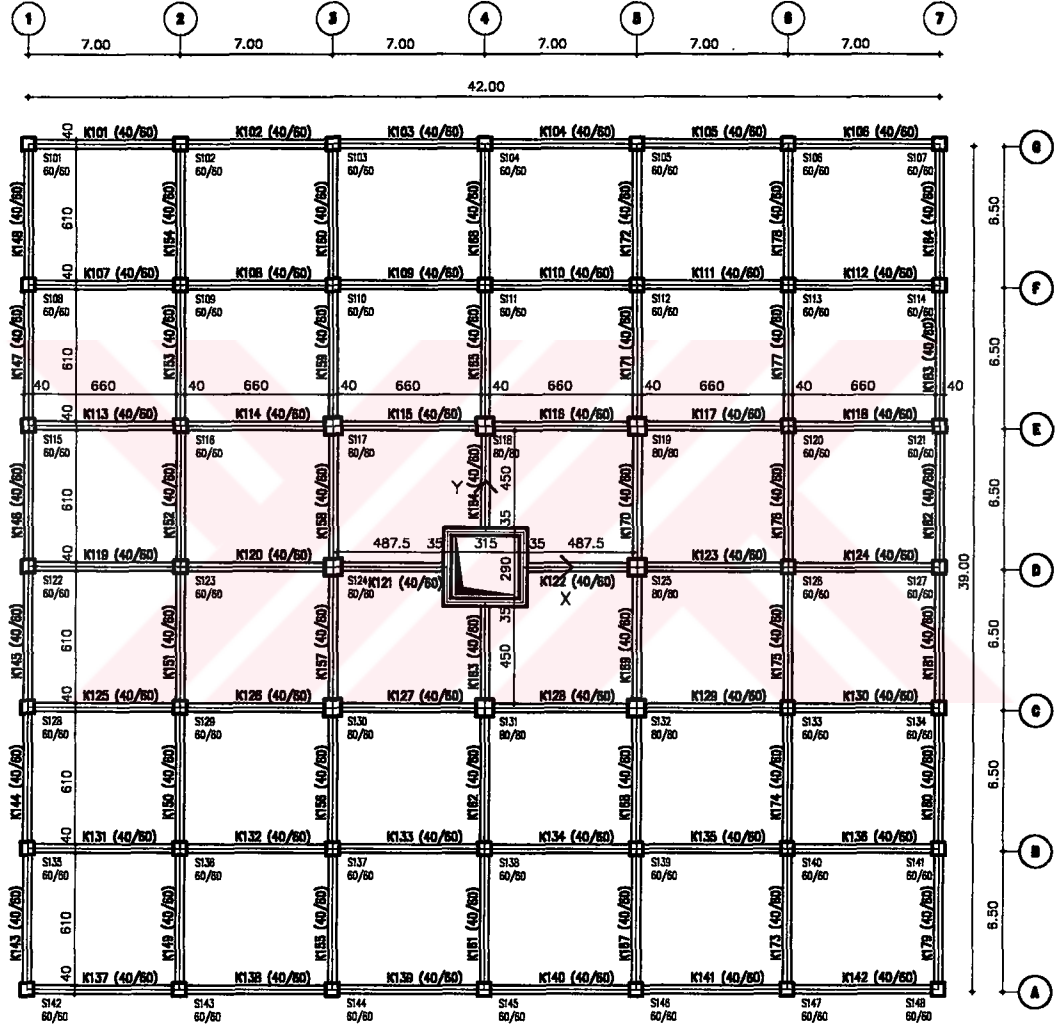
Grup 2 örneklerinde, rijit bodrum perdesi ve çekirdek perdesinin olmaması, rijit bodrum perdesi olmadan çekirdek perdesinin bulunması ve hem rijit toprak perdesi hem de çekirdek perdesinin sisteme simetriyi bozmadan katılması halinde dinamik davranışların nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu amaçla elde edilen sistemlerde, esas sisteme göre başta kütle olmak üzere tüm özellikler aynı kalmıştır. Geri çekme kotu aynı kalarak 4 bodrum üzerinde 7 normal kat olmak üzere 11 katlı yapı esas alınmıştır.

Grup 2.1 örneği bodrum kat kalıp planı Şekil 6.30'de verilmiştir. Bodrum perdelerinin yerine kolonlar getirilerek sistemin tamamen çerçevelerden oluşması sağlanmıştır.

Sonlu eleman modelinde döşemelerin iç perde ile kesişim noktaları da dikkate alınarak Şekil 6.31 'de görüldüğü gibi daha sık ve detaylı bir ağ kullanılmıştır. Bu durum kütlelerin düğüm noktalarına atanmasında da dikkate alınmıştır. Şekil 6.32'de bodrum katlar için tipik kalıp planı verilen Grup2.2 örneğinde, Grup 2.1 örneğinden farklı olarak 0.35 m kalınlığında bir çekirdek perde sisteme eklenmiştir. Bu perde, etrafındaki 8 kolonla birlikte referans örnekte olduğu gibi son bodrum kattan itibaren 7 normal kat olarak devam etmektedir. Şekil 6.33'de de Grup 2.3 örneğine ait tipik bodrum kat planı verilmiştir. Bu örnekte ise sistemde hem çekirdek perdelerinin hem de esas örnekte olduğu gibi bodrum kenar perdelerinin bir arada bulunması hali alınmıştır.



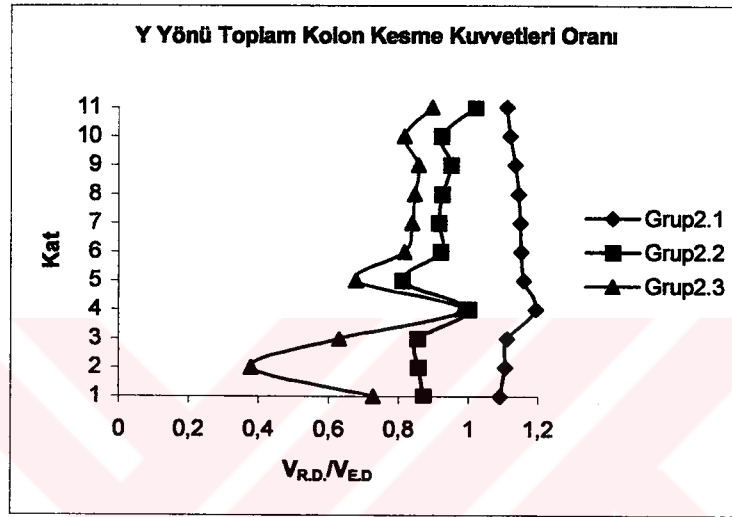
Şekil 6.31 İç Perdeli Sistemde Döşemedeki Sonlu Eleman Ağı



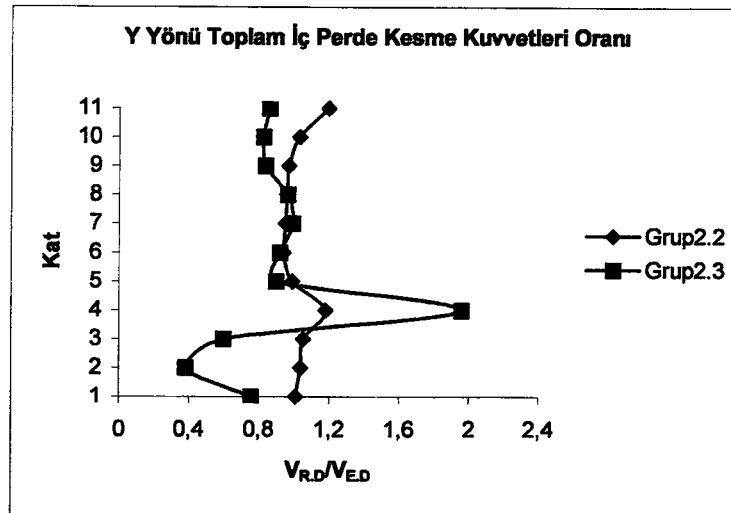
Şekil 6.32 Grup 2.2 Tipik Bodrum Kat Kalıp Planı

Grup 2 örneklerinin karşılaştırılması, Y yönü dinamik deprem hesabından elde edilen toplam kesme kuvvetlerinin, her ikisi için oranlanmasıyla elde edilen grafiklerle sunulmuştur.

Karşılaştırmalar tüm örneklerdeki toplam kolon kesme kuvvetleri (Şekil 6.34), toplam dış kolon kesme kuvvetleri (Şekil 6.36), toplam iç kolon kesme kuvvetleri (Şekil 6.37) ile çekirdek perde bulunan Grup 2.2 ve Grup 2.3 örnekleri için çekirdek perde kesme kuvvetleri (Şekil 6.35) için yapılmıştır.



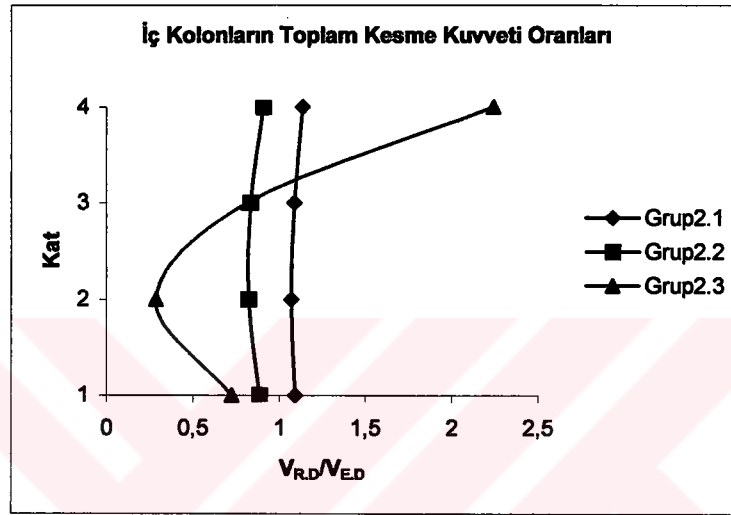
Şekil 6.34 Grup 2 Çözümleri Y Yönü Kolon Kesme Kuvvetleri Oranı



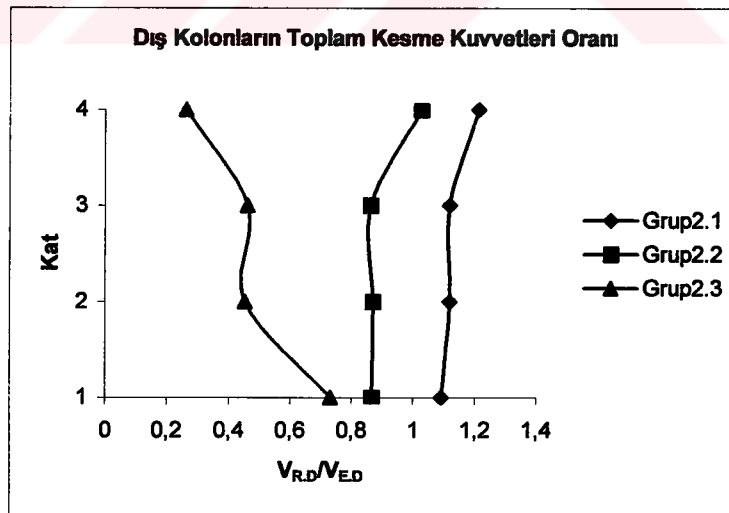
Şekil 6.35 Grup 2 Çözümleri Y Yönü İç Perde Kesme Kuvvetleri Oranları

Grafiklerden incelendiğinde varılan en önemli sonuç, bodrum katlarda toprak perdelerinin bulunması durumunda bu katlarda iç kolon ve dış kolonların aldıkları kesme kuvveti oranlarının -Grup 1'deki örneklerde de olduğu gibi- birbirinden çok farklı olmasıdır.

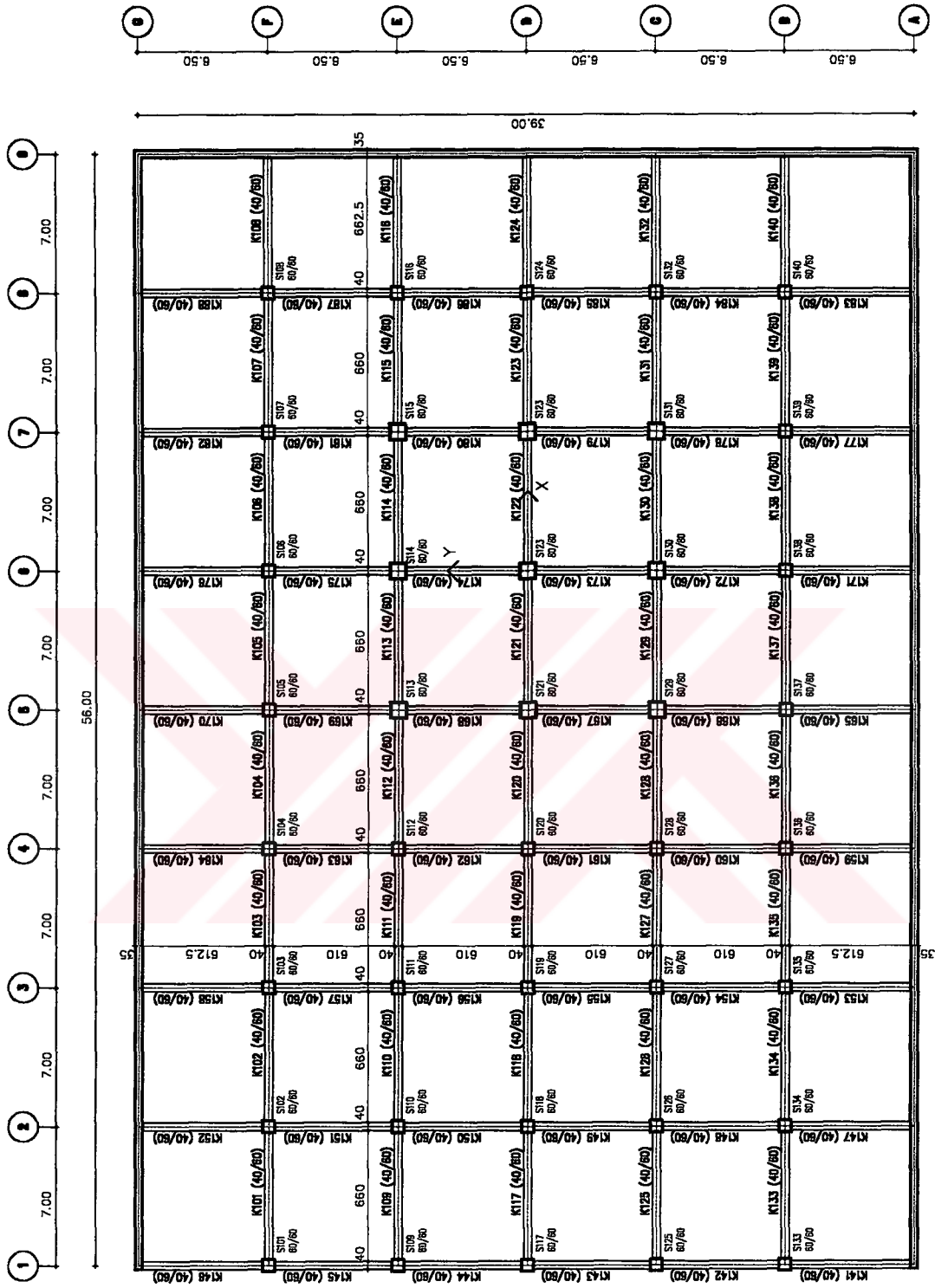
Grup 2.1 deki yalnızca çerçevelerden oluşturulmuş sistemde, rijit diyafram modelinin diğer sistemlerin tersine daha elverişsiz sonuç vermesi ve kesme kuvveti oranlarının tüm durumlar için 1'den büyük olması da önemli bir sonuçtur.



Şekil 6.36 Grup 2 Çözümleri Y Yönü Toplam İç Kolon Toplam Kesme Kuvvetleri Oranı



Şekil 6.37 Grup 2 Çözümleri Y Yönü Dış Kolon Toplam Kesme Kuvvetleri Oranları



Şekil 6.38 Grup 3.1 Tipik Bodrum Kat Planı

6.2.5 Grup 3 Çözümleri

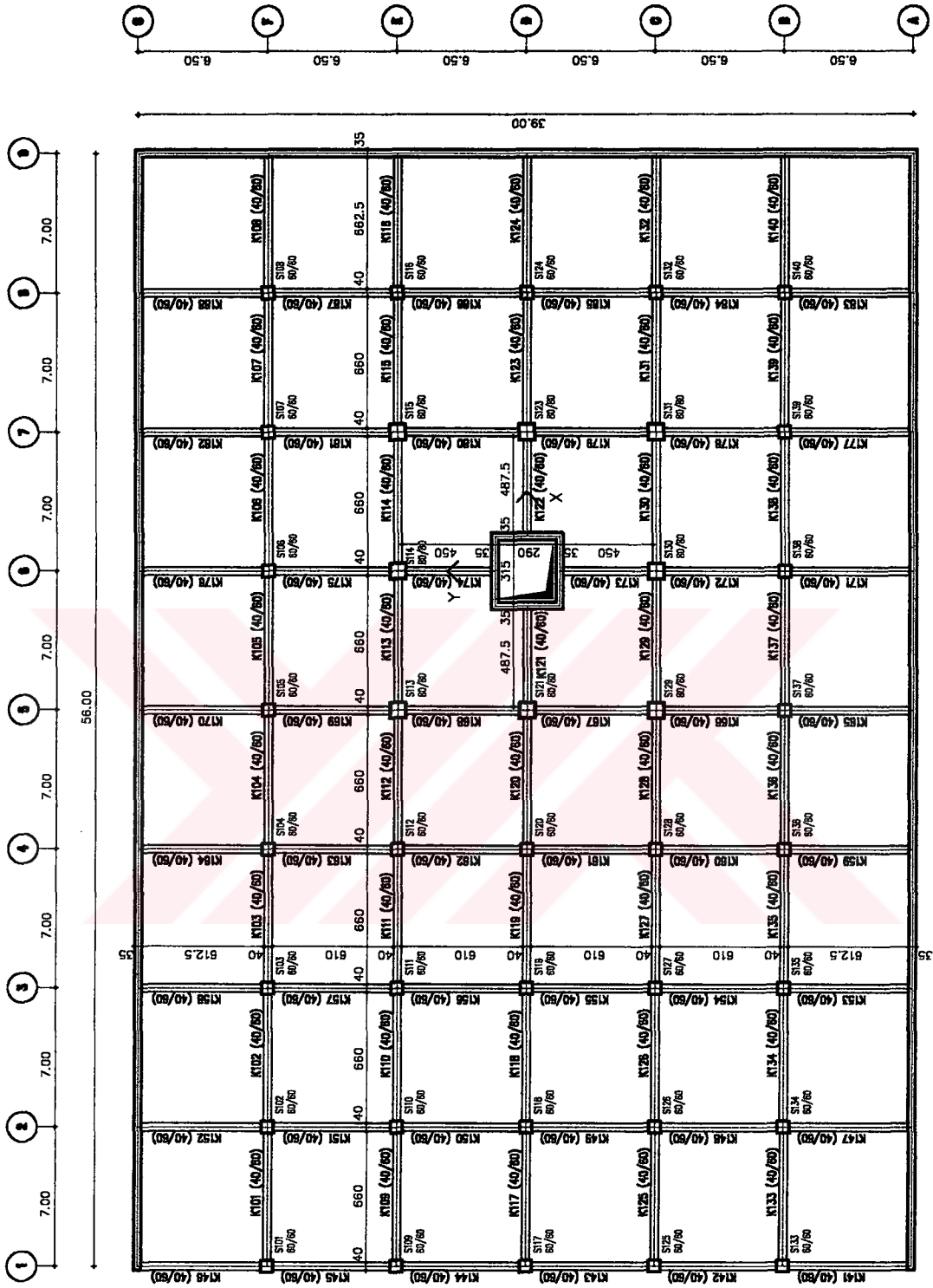
Grup 3 örneklerinde, sistemde burulma düzensizliğinin sistemde çeşitli mertebelerde bulunması durumları için incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla 4 bodrum ve 7 normal kata sahip esas örnek, üç ayrı alt örnek olarak türetilmiştir. Bu türetme yapılırken bodrum katlar Şekil 6.38'de görüldüğü gibi X yönünde 2 aks genişletilmiş ve genişletilen bölümün sonunda Y yönünde bulunan tamamen toprak perdesi kaldırılmıştır. Uygulamada bu tür durumlar, mimaride garaj olarak düşünülen bodrum kata yan cepheden giriş açılması amacıyla dış perdenin kısmen ya da tamamen ortadan kaldırılmasıyla elde edilmektedir. Grup 3.1 örneği bu şekilde elde edilen sistemdir. Böylelikle bodrum perdelerinin plandaki dağılımı bakımından Y yönü deprem hesabında burulmaya müsait bir sistem oluşturulmuştur. Ancak üst katlarda, önceki örneklerdeki gibi simetri korunmuştur.

Kolon, kiriş boyutları ve perde kalınlıkları Grup 1 ve Grup 2'dekilerle aynı tutulmak suretiyle karşılaştırma kriteri olarak incelenen özelliklerin sistem davranışına etkilerinin net bir biçimde gözlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında dinamik hesapta kullanılan deprem parametreleri de aynı tutulmuştur.

Grup 3.2 örneği ise Grup 3.1'de elde edilen sisteme Şekil 6.39'da görüldüğü gibi simetrik bir çekirdek perdesinin eklenmesiyle elde edilmiştir. Söz konusu perde, planda daralma meydana geldikten sonra üst katlarda devam eden bölüme simetrik olarak konulmuştur. Böylelikle üst katlar için simetri korunmuş ancak bodrum katlarda rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki mesafe artırılmıştır. Bu şekilde Grup 3.1'dekine göre daha elverişsiz bir durum elde edilmiştir.

Grup 3.3 örneği, Grup 3.2'deki sistemin Şekil 6.40'da verildiği gibi çekirdek perdesinin de burulma düzensizliği yaratacak şekilde değiştirilmesi ile elde edilen bir sistemdir. Bunun için perde her iki yönde boşluklu hale getirilmiş ve 35/100 boyutunda derin bağ kirişleri ile bağlanarak uygulamada asansör boşlukları etrafında sık kullanılan bir durum elde edilmiştir.

Grup 3 örneklerinde, genişleyen bodrum katlarında kat ağırlıkları $W_1=33333$ kN olarak hesaplanmıştır. Üst kısımlarda ise Grup 1 ve Grup 2 örneklerindeki ile aynı olarak $W_1=2000$ kN alınmıştır. Bu kriterlere göre sonsuz rijit model ve döşemeli modellerin her ikisi için bina toplam ağırlıkları $W=147333$ kN olarak alınmıştır.



Şekil 6.39 Grup 3.2 Tipik Bodrum Kat Planı

Karşılaştırma kriteri olarak yine periyotlar ve deprem yüklerinin düşey taşıyıcı elemanlar arasındaki dağılımı alınmıştır. Tablo 6.9 ve Tablo 6.10'da Grup 3.1 ve Grup 3.2 örneklerinin çözülmesi ile elde edilen periyot ve modal katılım yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 6.9 Grup 3.1 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri

MOD	Rijit Diyafram Modeli			Döşemeli Model		
	Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi		Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi	
		X yönü	Y yönü		X yönü	Y yönü
1	1,175	7,82	0,00	1,085	8,00	0,00
2	1,155	0,00	8,46	1,072	0,00	9,12
3	0,913	0,00	0,00	0,758	0,00	0,00
4	0,358	1,29	0,00	0,337	0,00	14,54
5	0,353	0,00	3,77	0,334	1,48	0,00
6	0,285	0,00	0,08	0,283	0,00	53,35
7	0,239	0,00	65,78	0,239	0,00	0,19
8	0,188	0,97	0,00	0,179	1,77	0,00
9	0,183	0,00	1,08	0,178	0,00	1,28
10	0,153	0,00	0,03	0,154	0,00	6,85
11	0,117	5,25	0,00	0,131	0,00	0,00
12	0,115	0,00	0,07	0,123	62,03	0,00
13	0,101	72,55	0,00	0,114	0,00	1,72
14	0,097	0,00	0,04	0,111	12,46	0,00
15	0,081	0,00	3,60	0,107	0,00	1,22
16	0,080	0,72	0,00	0,093	0,00	6,87
17	0,078	0,00	6,61	0,083	0,00	0,00
18	0,074	0,00	6,70	0,082	0,00	1,18
19	0,067	0,00	0,08	0,080	1,41	0,00
20	0,060	0,08	0,00	0,078	0,00	0,08
21	0,060	0,00	0,01	0,073	6,37	0,00
22	0,051	0,00	0,01	0,064	1,86	0,00
23	0,050	0,00	0,08	0,064	0,00	0,79
24	0,050	0,02	0,00	0,060	0,00	0,15
25	0,048	0,00	2,03	0,060	0,33	0,00
26	0,043	0,00	0,00	0,059	0,00	0,01
27	0,038	0,00	0,48	0,057	0,59	0,00
28	0,035	8,87	0,00	0,055	0,00	0,29
29	0,025	0,00	0,85	0,052	0,00	0,00
30	0,022	2,03	0,00	0,052	0,00	0,04
31	0,018	0,40	0,00	0,051	0,02	0,00
32	0,016	0,00	0,20	0,050	0,00	0,27
33	0,013	0,00	0,04	0,049	0,00	0,11

Tablo 6.10 Grup 3.2 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri

MOD	Rijit Diyafram Modeli			Döşemeli Model		
	Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi		Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi	
		X yönü	Y yönü		X yönü	Y yönü
1	0,661	0,00	10,58	0,665	0,00	13,18
2	0,631	7,69	0,00	0,625	8,39	0,00
3	0,406	0,00	0,02	0,340	0,00	0,27
4	0,235	0,00	66,59	0,277	0,00	61,54
5	0,135	0,00	0,01	0,152	0,00	5,40
6	0,133	0,00	1,35	0,145	24,64	0,00
7	0,133	14,45	0,00	0,127	0,00	4,37
8	0,098	65,78	0,00	0,116	0,00	0,00
9	0,081	0,00	0,37	0,112	52,28	0,00
10	0,076	0,00	5,12	0,098	0,00	1,43
11	0,074	0,00	11,96	0,091	0,00	8,09
12	0,057	0,00	0,02	0,077	0,00	0,81
13	0,055	0,00	0,13	0,072	0,00	0,01
14	0,053	0,77	0,00	0,069	7,58	0,00
15	0,045	0,00	2,12	0,063	0,00	1,38
16	0,044	0,00	0,01	0,058	1,85	0,00
17	0,036	0,00	0,00	0,056	0,54	0,00
18	0,035	0,00	0,52	0,055	0,00	0,54
19	0,035	7,60	0,00	0,053	0,00	0,04
20	0,033	0,00	0,00	0,052	0,50	0,00
21	0,032	0,00	0,00	0,051	0,00	0,22
22	0,031	1,24	0,00	0,051	0,05	0,00
23	0,025	0,00	0,86	0,049	0,00	1,33
24	0,024	0,00	0,06	0,048	0,00	0,05
25	0,023	0,15	0,00	0,047	0,28	0,00
26	0,021	1,91	0,00	0,044	0,36	0,00
27	0,020	0,00	0,00	0,043	0,00	0,22
28	0,019	0,02	0,00	0,041	0,00	0,02
29	0,018	0,00	0,00	0,040	0,19	0,00
30	0,017	0,38	0,00	0,039	0,00	0,24
31	0,017	0,02	0,00	0,038	0,57	0,00
32	0,016	0,00	0,22	0,037	0,00	0,00
33	0,013	0,00	0,04	0,036	0,00	0,03

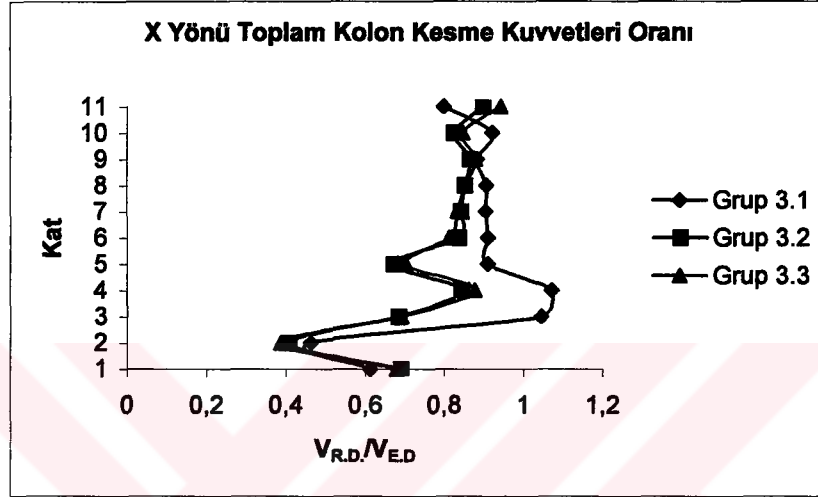
Tablolar incelendiğinde, sistemde burulma düzensizliğinin artmasıyla birlikte modal katılım yüzdesinin en fazla olduğu modun, daha yüksek periyotlu bir mod olduğu görülür. Bu durum simetri bozukluğunun daha fazla olduğu Y yönü için oldukça belirgindir. Böylelikle önceki örneklerde, döşemeli model için 10. moddan sonraki periyotların rijit diyafram modelinden elde edilenlerden fazla olması durumu ortadan kalkmış olmaktadır. Grup 3.3 örneğindeki sistemde döşemeli modelin periyotları

Tablo 6.11'da görüldüğü gibi 4. moddan itibaren rijit diyafram modelinden elde edilen periyotlardan büyüktür. Söz konusu ömekte X yönü için modal katılım yüzdesinin en fazla olduğu mod numarası 9 iken Y yönü için söz konusu mod 4. moddur.

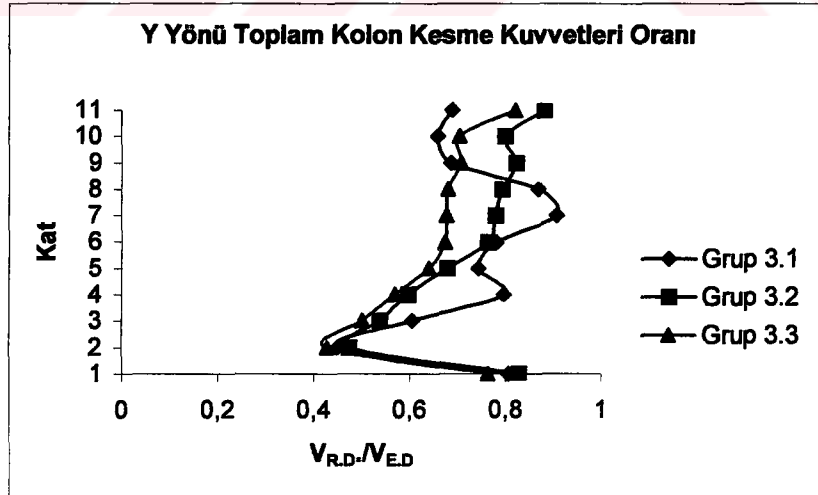
Tablo 6.11 Grup 3.3 Çözümü Periyot ve Modal Katılım Yüzdeleri

MOD	Rijit Diyafram Modeli			Döşemeli Model		
	Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi		Periyot(s)	Modal Katılım Yüzdesi	
		X yönü	Y yönü		X yönü	Y yönü
1	0,854	0,32	2,65	0,749	0,01	9,48
2	0,769	6,19	1,65	0,731	7,55	0,17
3	0,676	1,05	5,49	0,590	0,52	2,21
4	0,263	0,04	8,34	0,286	0,00	62,46
5	0,236	0,05	58,81	0,213	0,31	1,69
6	0,184	3,17	0,96	0,185	4,57	0,69
7	0,147	1,16	0,66	0,154	1,99	3,91
8	0,138	0,26	0,23	0,137	1,83	4,17
9	0,102	73,50	0,00	0,119	62,09	0,00
10	0,087	0,02	0,24	0,114	4,76	0,34
11	0,080	1,52	1,66	0,101	0,06	2,00
12	0,076	0,86	6,65	0,092	0,25	6,93
13	0,074	0,14	8,78	0,083	3,02	0,59
14	0,063	0,17	0,00	0,078	0,03	0,84
15	0,060	0,00	0,03	0,073	0,13	0,03
16	0,047	0,04	1,62	0,070	4,89	0,18
17	0,046	0,04	0,01	0,066	1,31	0,45
18	0,045	0,20	0,50	0,059	0,92	0,58
19	0,040	0,16	0,09	0,059	1,11	0,31
20	0,039	0,01	0,00	0,053	0,61	0,00
21	0,036	0,01	0,46	0,052	0,00	0,12
22	0,034	8,19	0,00	0,052	0,01	0,13
23	0,031	0,37	0,00	0,051	0,00	0,10
24	0,029	0,06	0,01	0,051	0,01	0,43
25	0,025	0,00	0,82	0,049	0,07	0,33
26	0,025	0,02	0,05	0,048	0,03	0,45
27	0,024	0,04	0,01	0,047	0,10	0,00
28	0,022	1,13	0,00	0,045	0,01	0,18
29	0,021	0,82	0,00	0,044	0,23	0,01
30	0,021	0,05	0,00	0,043	0,04	0,00
31	0,017	0,41	0,00	0,041	0,14	0,00
32	0,016	0,00	0,21	0,040	0,00	0,07
33	0,013	0,00	0,04	0,040	0,00	0,22

Şekil 6.41 ve Şekil 6.42’de, X ve Y yönleri için deprem yüklemesinden dolayı kolonlarda meydana gelen kesme kuvvetleri verilmiştir. Grafikler karşılaştırıldığında rijit diyafram modelinin, X yönünde, geri çekme kotu ve onun bir kat aşağısındaki kat dışındaki bütün katlarda güvensiz tarafta kalan sonuçlar verdiği görülmektedir. Burulma düzensizliğinin en fazla olduğu Grup 3.3 çözümünde, bodrum katlar için diğer grup örneklerle benzer sonuçlar elde edilmesine rağmen üst katlarda belirgin farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

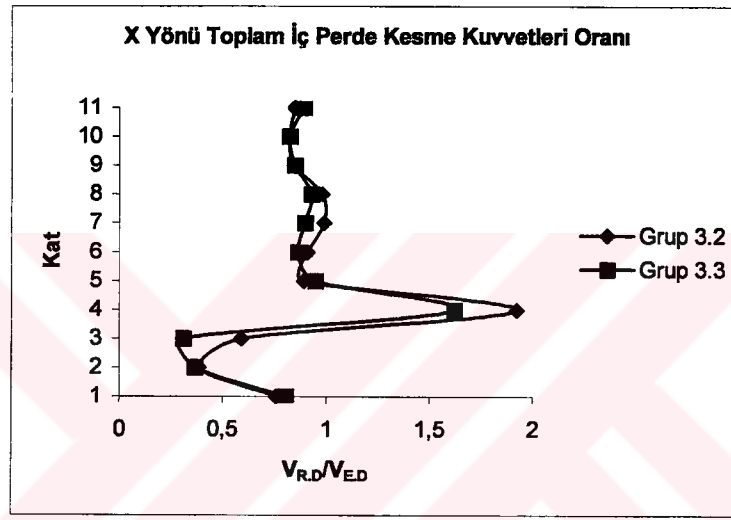


Şekil 6.41 Grup 3 Çözümleri X Yönü Kolon Kesme Kuvveti Oranları

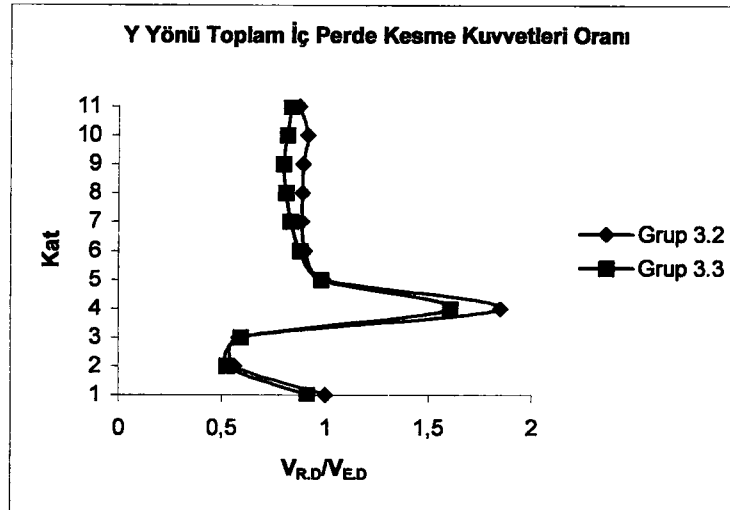


Şekil 6.42 Grup 3 Çözümleri Y Yönü Kolon Kesme Kuvveti Oranları

Şekil 6.43 ve Şekil 6.44'de, X ve Y yönleri için deprem yüklemesinden dolayı iç perdelerde meydana gelen kesme kuvvetlerinin rijit ve elastik döşemeli modeller için oranları verilmiştir. Grafikler karşılaştırıldığında rijit diyafram modelinden elde edilen çözümün, geri çekme kotunun bulunduğu yerdeki iç perde kesme kuvvetleri toplamı için verdiği değer, sonlu elemanlarla modellenerek elde edilen değer iki katı mertebesinde olduğu görülmektedir. Geri çekme kotunun altındaki kotlarda ise rijit diyafram modelinden elde edilen kesme kuvvetlerinin diğer modelden elde edilenin yarısı mertebesinde olduğu görülmektedir. Burulma etkilerinin artmasıyla, üst ve alt katlarda bu durumun daha belirgin olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 6.43 Grup 3 Çözümleri X Yönü İç Perde Kesme Kuvvetleri Oranları



Şekil 6.44 Grup 3 Çözümleri Y Yönü İç Perde Kesme Kuvvetleri Oranları

6.2.6 Eşdeğer Statik Hesap Yöntemi Taban Kesme Kuvvetleri

Önceki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenen Örnek 2'de iç kuvvetler mod süperpozisyonu ile hesaplanmıştır. Ancak uygulamada dinamik hesaptan elde edilen taban kesme kuvveti katsayısının, yönetmelik yöntemi ya da eşdeğer statik yöntem olarak bilinen yöntemden elde edilen taban kesme kuvveti katsayısıyla karşılaştırılması ve dinamik hesaptan elde edilen değerin gerekirse bir düzeltme faktörü ile artırılarak hesabın tekrarlanması istenir.

Geri çekme düzensizliği olan yapılarda dinamik hesap yöntemlerinin güvensizliği ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. [30-34]

A_0 etkin yer ivmesi katsayısı, $S(T)$ göz önüne alınan yöndeki birinci moda karşı gelen ve yerel zemin koşullarına göre bağlı olan spektrum katsayısı, I yapı önem katsayısı, R taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve W bina ağırlığı olmak üzere eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti) V_t aşağıdaki ifade ile verilir:

$$V_t = \frac{A_0 \cdot S(T) \cdot I}{R} \cdot W \quad (6.3)$$

Bu ifadede W 'nin önündeki çarpım minimum taban kesme kuvveti katsayısı olup C_{min} ile gösterilir. Benzer biçimde dinamik hesaptan bulunan taban kesme kuvveti, bina ağırlığına bölünerek C dinamik deprem yükü taban kesme kuvveti katsayısı elde edilir. C ile C_{min} arasında $\beta \cdot C \leq C_{min}$ bağıntısı olması istenir. β katsayısı, burulma düzensizliği, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği ve taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği gibi durumlar için 1.00 diğer durumlar için 0.90'dır.

Taban kesme kuvveti katsayısı, C_{min}/C oranının birden küçük değerleri için β , birden büyük değerleri için de $\beta \cdot C_{min}/C$ oranında artırılarak çözüm tekrarlanır. Tablo 6.12 ve Tablo 6.13'de tüm döşemeli ve rijit diyafram çözümleri için taban kesme kuvvetleri ve C_{min}/C oranları X ve Y yönleri deprem hesabı için verilmektedir.

Bu tablolardan anlaşıldığı gibi iç perdelerin bulunduğu sistemlerde dinamik hesaptan bulunan kesme kuvvetleri eşdeğer statik yöntemine göre daha düşük değerler vermektedir. Ayrıca döşemeli modelin öngördüğü düzeltme faktörleri diyafram modelin öngördüklerinden daha büyüktür. Bu durum düşük periyot değerleri için spektrum değerlerinin daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 6.12 Döşemeli Model Deprem Hesap Yönteminin Karşılaştırılması

Döşemeli	m	T _{1x}	S	T _{1y}	S	Eşdeğer Statik Y.		Dinamik Hesap		X	Y
Model	$\frac{kN.s^2}{m}$	s	Z ₂	s	Z ₂	V _x (kN)	V _y (kN)	V _x (kN)	V _y (kN)	C _{min} /C	C _{min} /C
orj çöz	11400	1,09	1,12	1,07	1,14	8520,4	8647,6	11106,0	11611,0	0,77	0,74
Grup 1.1	6800	1,40	0,92	1,38	0,93	4160,1	4208,3	4447,0	4551,0	0,94	0,92
Grup 1.2	20600	0,45	2,28	0,44	2,32	31246,0	31812,8	26414,0	26087,0	1,18	1,22
Grup 2.1	11400	1,25	1,00	1,23	1,02	7636,1	7735,3	6234,0	5410,0	1,22	1,43
Grup 2.2	11400	0,91	1,30	0,91	1,30	9843,9	9843,9	8317,0	8215,0	1,18	1,20
Grup 2.3	11400	0,64	1,72	0,63	1,74	13045,4	13210,8	9759,0	9847,0	1,34	1,34
Grup 3.1	14733	1,08	1,13	1,07	1,14	11093,0	11175,9	15277,0	14745,0	0,73	0,76
Grup 3.2	14733	0,66	1,67	0,63	1,74	16449,5	17073,2	13277,0	15604,0	1,24	1,09
Grup 3.3	14733	0,75	1,51	0,73	1,55	14850,4	15175,0	14772,0	15758,0	1,01	0,96

Tablo 6.13 Diyafram Model Deprem Hesap Yönteminin Karşılaştırılması

Diyafram	m	T _{1x}	S	T _{1y}	S	Eşdeğer Statik Y.		Dinamik Hesap		X	Y
Model	$\frac{kN.s^2}{m}$	s	Z ₂	s	Z ₂	V _x (kN)	V _y (kN)	V _x (kN)	V _y (kN)	C _{min} /C	C _{min} /C
orj çöz	11400	1,17	1,06	1,15	1,07	8051,1	8162,9	10968,0	10933,0	0,73	0,75
Grup 1.1	6800	1,53	0,85	1,49	0,87	3874,8	3957,8	4597,0	4635,0	0,84	0,85
Grup 1.2	20600	0,48	2,16	0,47	2,20	29673,7	30177,7	27023,0	26905,0	1,10	1,12
Grup 2.1	11400	1,37	0,93	1,33	0,96	7096,2	7266,4	5812,0	5910,0	1,22	1,23
Grup 2.2	11400	0,98	1,22	0,98	1,22	9277,3	9277,3	8005,0	7882,0	1,16	1,18
Grup 2.3	11400	0,65	1,70	0,63	1,74	12884,6	13210,8	10055,0	10243,0	1,28	1,29
Grup 3.1	14733	1,18	1,05	1,15	1,07	10334,3	10549,4	14840,0	16542,0	0,70	0,64
Grup 3.2	14733	0,66	1,67	0,63	1,74	16449,5	17073,2	13657,0	16750,0	1,20	1,02
Grup 3.3	14733	0,85	1,37	0,77	1,48	13435,5	14541,0	14806,0	15862,0	0,91	0,92

6.2.7 Düzlem İçi Gerilmeleri ve Kiriş Normal Kuvvetleri

Örnek 2'de döşeme modellemesinin geri çekme düzensizliği olan yapılarda, düzensizliğin türlerine göre deprem hesabında sistemin dinamik özellikleri ve düşey taşıyıcı elemanlarda kuvvet dağılımı incelenmiştir. Bu yöntemle elde edilen çözümler döşeme modellemesinin yapılmadığı ve döşemelerin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit kabul edildiği yöntemle karşılaştırılarak çeşitli sonuçlar elde edilmiştir.

Döşemelerin sonlu elemanlarla modellenmesi problemin boyutunu aşırı oranda artıran bir yöntemdir. Buna karşılık sonsuz rijit kabulü ile yapılan çözümden elde edilemeyecek detayları içerir. Bunlardan en önemlisi döşemedeki gerilmelerin betonun karakteristik dayanımlarını aşıp aşmadığının kontrol edilebilmesidir. Bunun yanında rijitliğin ani olarak değiştiği geri çekme seviyesindeki kirişlerde normal kuvvetin, kirişler için verilen sınıra ne ölçüde yaklaştığıdır.

Gerilme değerleri kabuk sonlu eleman için daha önce açıklandığı gibi levha ve plak bileşenlerini içerir. Çözüm sırasında sonlu elemanlar için seçilen boyutlar kontrol edilirken, her çözümde elde edilen periyot, yerdeğiştirme ve iç kuvvet değerleri bir önceki çözümden elde edilenlerle karşılaştırılarak ardışık çözümler yapılmıştır. Böylelikle yeterli yakınsaklık elde edildiğinde en son kullanılan boyut esas alınmıştır. Söz konusu elemanlar için iyi bir yakınsaklık elde edilmiştir. Ancak sonlu elemanlardaki gerilmeler için mertebeler arasında fazla fark olmamakla birlikte, daha az hassas bir yakınsaklık elde edilmiştir. Bu yüzden gerilmeler için elde edilen sayısal değerlerin diğer elemanlar için elde edilen değerlerden daha az güvenilir olduğu bilinmelidir. Bu durum özellikle gerilmelerin ani değişimler gösterdiği ve gerilme yığılmalarının olduğu bölgelerde geçerli bir durumdur.

Yukarıda üzerinde açıklamalar doğrultusunda, Örnek 2 adı altında çeşitli tipler için türetilip çözülen uygulama, döşemeli model için gerilmeler açısından yeniden gözden geçirilmiştir. Buna göre kullanılan malzeme olan BS 30 için karakteristik çekme dayanımı (f_{ctk}) 1.90 MPA (1900 kN/m²) olduğundan döşemede aşıp aşılmadığı kontrol edilen kritik gerilme değeri olarak bu değer alınmıştır.

Karşılaştırmalar birinci bodrum kat, geri çekme kotunun başladığı sonuncu bodrum kat ve üst normal katlardan döşeme gerilme değeri en büyük olan kat üzerinde yapılmıştır.

Döşeme sonlu elemanlarda birim uzunluğa gelen düzlem içi kuvvet ve moment ile gerilme değerleri Tablo 6.14'de verilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Levha eleman bileşenleri olan düzlem içi kuvvetler (F_{11} ve F_{22}) bodrum katlarda büyük değer almaktadır. Üst katlarda bu değerler daha küçük mertebelerde kalmaktadır. Bu durum, bodrum katlarda döşeme için düzlem içi deformasyonların etkin olması bakımından beklenen bir sonuçtur.
2. Plak eleman bileşenleri olan eğilme momentleri (M_{11} ve M_{22}) bodrum katlarda küçük değerler almakta iken üst katlarda büyük değerler almaktadır. Bu ise, üst katlarda plak davranışının daha etkin olması anlamına gelir. Bu sonuca mod periyotlarının döşemeli model için, üst katları ilgilendiren ilk değerlerinin diyafram modelden elde edilen değerlerden daha büyük olmasının plak rijitliğinden kaynaklandığının açıklaması ile varılmıştı.
3. Simetriden sapmalar oldukça gerilme değerleri artmaktadır. Özellikle çekirdek perdelerinin olduğu çözümlerde gerilme değerleri kritik sınırlara yaklaşmaktadır. Bu bölgeler için donatı detaylarında özel önlemler alınmalıdır. Sistemde burulma etkileri oluşturacak değişiklikler yapılarak türetilen Grup 3 örnekleri incelendiğinde, artan burulma etkileriyle birlikte döşemelerdeki levha elemanlara ait bileşenlerin en büyük değerlere ulaştığı görülmektedir.
4. Bütün çözümlerde döşemelerde düzlem içi kuvvetlerin en büyük değerleri, bodrum katların bittiği kot olan +16.00 kotu döşemelerinde elde edilmiştir.
5. Toprak perdelerinin yerine kolon ve kirişlerden teşkil edilen çerçeve sisteminin olduğu Grup 2.1 ve Grup 2.2 çözümlerinden plak ve levha eleman bileşenleri için elde edilen değerler incelendiğinde, bu tür yapılarda plak davranışının daha belirgin olduğu ve plak elemanlara ait moment değerlerinin en büyük değerleri aldığı görülmektedir.
6. Kirişlerde meydana gelen normal kuvvet değerleri Tablo 6.15'de verilmiştir. Tablodaki değerler her çözümde yapıda depremin X ve Y yönlerinde etkimesi halleri için meydana gelen en büyük normal kuvvetlerdir. Bu normal kuvvetler tüm çözümlerde üst yapının rijit bodrum katlara bağlandığı kot olan +16.00 kotunda, üste devam eden kısım ile planda genişlemenin başladığı kısmı birleştiren ilk kirişte elde edilen değerlerdir. Diğer kirişlerde elde edilen

normal kuvvetler bu değerlerin %20'si mertebesinde. Bu tablodan çekirdek perdelerinin bulunduğu sistemlerde, kirişlerde oluşan normal kuvvetlerin belirgin şekilde arttığı gözlenmektedir. Bunun yanında artan burulma etkileriyle birlikte bu değerler çok daha artmış ve en büyük değerler çekirdek perdesine saplanan ve bağ kirişi olarak çalışan kirişlerde oluşmuştur. Ancak en elverişsiz durumda bile normal kuvvetlerin kirişler için TS-500'de eğilme elemanları için verilen $N_d \leq 0.1f_{ck} \cdot A_c$ koşulunu sağlamaktadır.

Tablo 6.14 Örnek 2 Çözümleri Döşeme Kuvvet ve Gerilmeleri

			orj	Grup 2.1	Grup 2.2	Grup 2.3	Grup 3.1	Grup 3.2	Grup 3.3
+ 4.00 Kotu	SPECX	F ₁₁	8,0	9,0	78,8	24,9	10,5	33,9	34,0
		M ₁₁	1,0	19,4	14,1	1,2	1,1	1,3	2,9
		S ₁₁	150,1	2878,0	2051,0	195,6	152,1	239,0	425,0
	SPECY	F ₂₂	9,6	8,5	76,5	24,8	32,5	63,0	75,0
		M ₂₂	1,2	17,0	15,0	1,4	7,6	7,2	10,5
		S ₂₂	180,4	2540,0	2169,0	224,6	1098,0	1048,0	1615,0
+16.00 Kotu	SPECX	F ₁₁	21,3	32,8	151,0	159,3	27,8	215,8	205,0
		M ₁₁	5,0	14,9	21,0	5,4	4,8	6,3	7,8
		S ₁₁	840,0	2344,0	3486,0	1583,0	832,0	2002,0	1940,0
	SPECY	F ₂₂	21,4	26,6	152,0	158,0	46,9	204,0	213,0
		M ₂₂	5,1	11,7	21,0	5,7	7,6	8,7	13,8
		S ₂₂	870,0	1885,0	3521,0	1626,0	1276,0	2273,0	2550,0
+20.00 Kotu	SPECX	F ₁₁	15,2	11,7	33,1	22,2	15,7	25,0	42,0
		M ₁₁	18,5	35,1	24,3	11,0	18,5	11,5	21,4
		S ₁₁	2763,0	5163,0	3966,0	1648,0	2714,0	1764,0	3260,0
	SPECY	F ₂₂	13,7	9,6	30,7	22,5	14,0	40,0	50,2
		M ₂₂	19,8	29,1	27,8	12,0	25,0	15,0	30,0
		S ₂₂	2876,0	4300,0	4172,0	1800,0	3760,0	2275,0	4412,0

F₁₁, F₂₂:[kN/m] ; M₁₁,M₂₂:[kN.m/m] ; S₁₁,S₂₂:[kN/m²]

Tablo 6.15 Örnek 2 Çözümleri Kiriş Normal Kuvvetleri

		orj	Grup 2.1	Grup 2.2	Grup 2.3	Grup 3.1	Grup 3.2	Grup 3.3
SPECX	N(kN)	33,7	48,7	98,5	103,2	41,0	113,5	138,6
SPECY	N(kN)	33,1	39,5	91,2	94,7	43,2	85,9	100,6

6.2.8 Kiriş Rijitliklerinin Diyafram Davranışına Etkisi

Döşemelerin sonsuz rijit davrandığı varsayımı, Bölüm 5'te de belirtildiği gibi derin kirişlerden oluşan sistemler için daha geçerli bir yaklaşımdır. Çeşitli sebeplerden dolayı yassı kirişlerden oluşturulan sistemlerde döşemelerin sonsuz olduğu rijit varsayımı, kiriş rijitliklerinin yeteri kadar fazla olmaması nedeniyle geçersiz hale gelir. Bu durumu sayısal örnekle kanıtlamak için Örnek 2'deki referans sistem kullanılmıştır. Örnek 2'de referans sistemde tipik kiriş boyutu 40/60'dır. Söz konusu örnekten kiriş boyutları 60/40, 50/50, 40/80 ve 40/100 olan dört yeni çözüm türetilmiştir. Kolon ve perde boyutları aynı kalmıştır. Artan veya azalan kiriş boyutlarının kütle değişimine etkisi ihmal edilmiştir. Böylece tüm çözümlerde aynı kütle dağılımını korunmuştur.

Türetilen örnekler için elde edilen ilk periyotlar ve X yönü için eşdeğer statik yöntem taban kesme kuvveti katsayısının dinamik hesap kesme kuvveti katsayısına oranı rijit diyafram ve esnek döşeme modelleri için karşılaştırılarak Tablo 6.16'da verilmiştir.

Tablo 6.16 Kiriş Rijitliklerinin Diyafram Davranışına Etkisi

Kiriş Boyutu	Relatif Rijitlik	R.D T(s)	E.D T(s)	R.D C_{min}/C	E.D C_{min}/C
60/40	0,30 I	1,56	1,32	0,57	0,67
50/50	0,72 I	1,32	1,18	0,66	0,73
40/60	1,00 I	1,17	1,09	0,73	0,77
40/80	2,37 I	0,89	0,87	0,92	0,89
40/100	4,63 I	0,75	0,74	1,06	1,05

Sonuçlar incelendiğinde, katların kendi düzlemlerinde sonsuz rijit varsayılabilmesi için sistemdeki kirişlerin yeteri kadar rijit olması gerekir. Bu rijitliğin sağlanması için yönetmelikte kiriş yüksekliğinin döşeme kalınlığının en az üç katı olması şartı getirilmiştir. Tablodan, eşdeğer statik yöntem ile modal analizden elde edilen taban kesme kuvvetleri için bulunan oranların, derin kirişlerden oluşan sistemlerde birbirine yaklaştığı anlaşılmaktadır.

Yeteri kadar rijit kirişlere sahip olmayan sistemlerde artan yapı periyotları ile birlikte spektrum değerleri azalmaktadır.

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada betonarme yapılarda döşemelerin esnek davranışının sistem çözümünde sonlu elemanlarla modellenmesi ile döşemelerin sonsuz rijit davrandığı kabul edilerek elde edilen çözümle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada yapı sistemlerinin dinamik hesabında izlenen temel ilkeler üzerinde durulduktan sonra her iki model için yapılan kabuller açıklanmıştır. Söz konusu modeller arasındaki davranış bakımından farkların en fazla olduğu yapı türleri ile bu tür yapılar üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Üzerinde durulan yapı türlerinden plandaki boyutları oranı büyük olan yapılar ile geri çekme düzensizliği gösteren yapılar üzerinde birer sayısal örnek yapılarak sonuçlar çıkarılmıştır.

İncelemeler lineer elastik hesap yöntemiyle yapılmış olup elastik ötesi davranışı temsil etmek için elastik deprem yüklerinin taşıyıcı sistem davranış katsayısına bölünmesiyle elde edilen değerler kullanılmıştır. Ayrıca sayısal örneklerde betonarme hesap ve boyutlama ile ilgili detaya girilmemiş, sistemlerin yalnızca yatay deprem yükleri altındaki davranışları incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Rijit diyafram modelinde bir kat üzerinde, ikisi düzlem içi öteleme, biri de bu düzleme dik dönme bileşeni olmak üzere toplam üç serbestlik derecesi almak mümkündür. Böylelikle kat adedinin üç katı kadar mod sayısı alınarak tüm modların katkısı dolayısıyla efektif kütlelerin %100'ü alınmış olmaktadır.
- Katların sonlu elemanlarla modellendiği durumda efektif kütlelerin toplam modal kütlelerin belli bir yüzdesini geçmesi için rijit diyafram modelinde kullanılandan daha fazla modun gözönüne alınması gerekir.
- Plandaki boyutları oranı büyük olan yapılarda, döşemelerin sonsuz rijit olarak modellenmesi durumunda, perdelerin aldığı kesme kuvveti değerleri çerçevelerin aldığı kesme kuvvetlerinden çok daha büyüktür.
- Rijit diyafram modelinde kat düzlemi içindeki bütün noktalar depremin belli bir doğrultuda etkimesi durumunda eşit öteleme yaparlar. Döşeme esnekliğinin etkin olduğu durumlarda kolon uçlarındaki yerdeğiştirme ve ivme değerleri, perdelerin ucundaki değerlerden çok daha fazla olabilmektedir. Bu

durum, şiddetli deprem hareketlerine maruz kalan yapılarda, kolonların rijit diyafram kabulünden elde edilen bir çözümden çok daha fazla yatay kuvvete maruz kalabilmesi demektir.

- Döşeme esnekliği taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan sistemlerde önem kazanır. Döşeme rijitliğinin perde rijitliğine yakın olduğu az katlı binalarda her iki model arasındaki farklar artar. Bunun yanında, çok katlı yapılarda birinci kat döşemesindeki düğümlerde meydana gelebilecek ivmeler rijit diyafram modelinden elde edilen değerlerden daha yüksektir.
- Sonlu elemanlar yöntemi ile döşemeler modellenirken, elemanlar yeterince küçük seçilerek ağ oluşturulmalıdır. Yerdeğiştirme metoduna dayanan yöntemlerde, çerçeve elemanların ucundaki yerdeğiştirme ve iç kuvvetler için kaba bir ağ kullanılması yeterli olmaktadır. Ancak gerilmeleri tanımlamak için çok daha küçük elemanlardan oluşan sık bir ağ kullanılmalıdır.
- Geri çekme düzensizliği bulunan yapılarda geri çekme kotunun altındaki kolonların aldığı kesme kuvvetlerinin dağılımı bakımından sonlu elemanlar modeli ile sonsuz rijit model arasında büyük farklar oluşmaktadır. Geri çekme kotunun üzerinde devam eden kolonlar “iç kolonlar”, bu kota kadar devam eden kolonlar “dış kolonlar” olarak adlandırılırsa, bu iki kolon grubunun aldıkları kesme kuvveti oranları arasında söz konusu modellere göre farklı dağılımlar olmaktadır. Rijit diyafram modelinde iç kolonlar daha fazla kuvvet alırken döşemeli modelde dış kolonlarla iç kolonlar arasında daha dengeli bir paylaşım olmaktadır.
- Rijit bodrumlu yapılarda döşemelerin sonsuz rijit veya sonlu elemanlarla modellenmesi, modal analiz yöntemiyle incelendiğinde, üst katları ilgilendiren ilk mod periyotlarının sonsuz rijit çözümde daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Söz konusu bu ilk modlar sonlu elemanlar modelinde kabuk elemanın plak bileşenlerine karşı gelen modlardır. Daha ileriki modlar incelendiğinde, bodrum kat döşemelerinde levha eleman davranışının ön plana çıktığı görülmektedir. Mod süperpozisyonu ile en olası deprem kuvvetlerinin bulunması için CQC yöntemi kullanıldığında, efektif kütlelerin büyük bir kısmının, bodrum katlarda döşemenin düzlem içi deformasyonunu temsil eden bir moda ait olduğu görülür. Levha eleman davranışını temsil eden bu mod, sonsuz rijit çözümde efektif kütlelerin ait olduğu modla

karşılaştırıldığında daha yüksek bir değer vermekte olup daha esnek bir davranışı göstermektedir.

- Geri çekme düzensizliği gösteren yapılarda, geri çekme kotu toplam kat adedi ve yapı yüksekliği değişmemek kaydıyla geri çekme kotu aşağı çekildikçe düzlem içi deformasyonların belirlediği etkin modun çok daha ileriki bir mod şekli olarak ortaya çıktığı görülmektedir.
- Geri çekme kotu yukarı çekildiğinde etkin modun ilk modlara yaklaştığı görülmektedir. Böylelikle daha az sayıda mod göz önüne alınarak efektif kütlelerin %90'ının elde edilmesi mümkün olmaktadır. Sonsuz rijit çözüm ile döşemeli model arasındaki farklar, levha eleman bileşenlerinin daha belirgin olarak ortaya çıkması sonucu, artmaktadır.
- Geri çekme düzensizliğinin olduğu ancak rijit bodrum perdelerinin yerine kolonlardan oluşturulmuş bir sistemde döşemelerin düzlem içi deformasyonların diğer çözümlerdeki kadar etkili olmadığı görülmektedir. Bu durum, döşeme rijitliğinin düşey taşıyıcı elemanlara göre çok daha fazla olması sonucu gerçek bir sonsuz rijitlik sağlanması demektir. Böylelikle diğer çözümlerin aksine, rijit diyafram modeli sonsuz rijit çözüme göre daha elverişsiz kesit tesirleri vermektedir.
- Geri çekme düzensizliği olan yapılarda sonsuz rijit model ile esnek döşemeli model arasındaki farklar, esas itibarıyla planda daralmanın başladığı yer olan geri çekme kotunda ortaya çıkmaktadır. Sonlu elemanlar ile döşemelerin tamamının modellenmesinin mümkün olmadığı çok yüksek ve büyük yapılarda, bir ara çözüm olarak, yalnızca üst yapı ile rijit bodrum katın birleştiği kat döşemesinin modellenmesi önerilebilir. Böylelikle söz konusu kata ait kritik kirişlerde de normal kuvvetin elde edilmesi mümkün olabilecektir. Genel olarak, döşeme esnekliğinin önem kazandığı birinci kat döşemelerinin modellenmesi de yine bir ara çözüm olarak önerilebilir.
- Sistemde çekirdek perde olarak adlandırılan iç perdelerin bulunması durumunda her iki model arasındaki farklar belirgin olarak artmaktadır. En elverişsiz durum ise toprak perdeleri ile çekirdek perdelerinin bir arada bulunması durumunda elde edilmektedir. Çekirdek perdelerinin aldığı kesme kuvvetleri oranları karşılaştırıldığında, geri çekme kotu dışındaki bütün kotlarda sonlu elemanlar ile elde edilen çözümün daha büyük kesme kuvvetleri verdiği görülmektedir. Rijit diyafram modeli, perde olarak yalnızca

iç perdenin bulunduğu sistemde, geri çekmenin başladığı kotta döşemeli modele göre %20 mertebesinde fazla kesme kuvveti değeri vermektedir. Bu değer hem toprak perdeleri hem de iç perdenin bulunduğu sistemde %100'e kadar çıkabilmektedir.

- Bağ kirişli boşluklu çekirdek perdelerinin simetrik olmayan bir biçimde düzenlenmesiyle elde edilen sistemlerde ortaya çıkan burulma etkileri nedeniyle, döşemeli model ile rijit diyafram modelleri arasındaki farkların arttığı gözlenebilmektedir.
- Döşemelerde düzlem içi deformasyonlar sonucu oluşan gerilmeler ve kirişlerde oluşan normal kuvvetler, simetrik olmayan boşluklu bağ kirişli çekirdek perdeli yapılarda kritik değerler alabilmektedir. Bu tür bölgelerde oluşabilecek gerilme yığılmaları betonarme hesapta dikkate alınmalıdır.
- Kirişlerin yeteri kadar rijit durumlarda, sonsuz rijit çözüm ile sonlu elemanlar çözümü birbirine yaklaşmaktadır. Kiriş yüksekliğinin çeşitli nedenlerle azaltıldığı durumlarda iki çözüm arasındaki fark artmaktadır. Bu ise döşemelerin sonsuz rijit kabul edilebilmesi için kirişlerin yeteri rijitliğe sahip olması gerektiğini göstermektedir. Kiriş rijitlikleri çok büyük değerler aldığı anda her iki modelden elde edilen çözümler birbirine yaklaşmaktadır.
- Geri çekme düzensizliği olan yapılarda mod süperpozisyonu ile elde edilen taban kesme kuvvetleri çoğu durumda yeterli olmamaktadır. Dinamik hesaptan elde edilen taban kesme kuvveti katsayısı, eşdeğer statik yöntem ile elde edilen değerle karşılaştırılmalı, statik yöntemden elde edilen katsayı büyük ise o oranda artırılmalı ve hesap tekrarlanmalıdır. Yapılan örneklerde, döşemeli model için söz konusu artırma oranı daha büyük değerler almıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Anagnostopoulos, S.A., Beskos, D.E., 1997.** Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures, Computational Mechanics Publication, Southampton U.K
- [2] **Chopra, A.K. 1995.** Dynamics of Structures, Prentice Hall International, Inc, New Jersey
- [3] **Scarlat, A., 1996.** Approximate Methods in Structural Design, E&FN SPON Chapman & Hall, London
- [4] **Smith, B., Coull, A., 1991.** Tall Building Structures: Analysis and Design, Wiley, New York
- [5] **TS-500, 2000.** Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [6] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), 1998.** *İmar İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Ankara
- [7] **Ohsaki, Y., 1976.** Deprem Dalgasının Spektral Analizine Giriş, Kajima Institute Publishing Inc, IMO ISTANBUL 1991 Çev. İpek M.
- [8] **Wilson, E., Habibullah, A., 1997.** SAP2000-Integrated Structural Analysis & Design Software Analysis Reference, Computers and Structures Inc., Berkeley, California
- [9] **Çakıroğlu A., 1988.** Rijit Bodrumlu Yapıların Deprem Hesabı Üzerine , *Ulusal Mekanik Kongresi*, İTÜ, İstanbul.
- [10] **Pauley, T., Priestley, M.J.N, 1992.** Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, Inc, New York
- [11] **Naeim, F., 1989.** The Seismic Design Handbook, Van Nostrand Reinhold, New York
- [12] **Wilson, E., Habibullah, A., 1997.** ETABS-Three Dimensional Analysis of Building Structures Users Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley, California

- [13] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L 1991. The Finite Element Method, McGraw-Hill, London
- [14] Girgin, C., 1996. Bazı düzensizlikler içeren büyük yapı sistemlerinin yatay yüklere göre hesabı için bir yöntem, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Atabey, M.S., 1999. Planda düzensizlikler içeren yapılarda kat döşemelerinin deprem etkileri altındaki davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Wilson, E., Habibullah, A., 1997. SAP2000-Integrated Structural Analysis & Design Software, Computers and Structures Inc., Berkeley, California
- [17] Karadoğan F., Earthquake Analysis of 3D Structures With Flexible Floors, *Proc. of the Seventh World Conf. On Earthquake Engineering*, pp.261-267, Turkey, 1980
- [18] Saffarini, S.H., Quadimat, M.M., 1992, In plane Floor Deformations In RC Structures, *Journal of Structural Engineering*, **118-11**, 3089-3101
- [19] Ju, S.H., Lin, M.C., 1999, Comparison of Building Analyses Assuming Rigid or Flexible Floors , *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **125-1**, 25-31
- [20] Colunga, A.T., Abrams D.N., 1996, Seismic Behavior of Structures With Flexible Diaphragms, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **122-4** , 439-445
- [21] Şenel, Ş.M., Kaplan, H., Atımtay, E., 1998. Assessment of Lateral Diaphragm Irregularities, *Earthquake Spectra*, The Professional Journal of Earthquake Engineering, **14-3**, 393-406
- [22] Jain, S.,K., Mandal, U.,K., 1995, Dynamics of Building With Y-Shaped Plan and Flexible Floor Diaphragms, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **121-6**, 1004-1012
- [23] Jain, S.,K., Jennings, P.,C. 1985, Analytical Models For Low-Rise Buildings With Flexible Floor Diaphragms, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **13**, 225-241

- [24] **Martin, P.F., Alvarez E.R., Diaz E.S.**, A comparative study of the dynamic models of the multi-story buildings, *Earthquake Resistant Construction and Design, Second Conference Balkema Rotterdam, Netherlands*, 1994
- [25] **Doudoumis, I.N., Athanatopoulon A.N.**, Modeling of the floor diaphragm action of multi-story buildings With 2-D finite element models, *Seismic Design Practice into the Next Century Research and Application*, Balkema Rotterdam, Netherlands, 1998
- [26] **Lopez, A.O., Eeri, M., Raven, E.**, 1999, An Overall Evaluation of Irregular-Floor-Plan Shaped Buildings Located in Seismic Areas, *Earthquake Spectra*, The Professional Journal of Earthquake Engineering, **15-1**, 105-121
- [27] **Öztorun, N.K., Çırtıpioğlu, E., Akkaş, N.**, 1998, Three Dimensional Finite Analysis of Shear Wall Buildings, *Computers & Structures*, Pergamon, **68 (1998)**, 41-55
- [28] **Unemori, A.,L., Roesset, Becker, J.,M.**, 1980, Effect of Inplane Floor Slab Flexibility on the Response of Crosswall Building Systems, Reinforced Concrete Structures Subjected to Wind and Earthquake Forces, ACI Publications, Detroit, **SP-63**, 113-135
- [29] **Kunnath, S.,K., Panahshahi, N., Reinhorn, A.,M.**, 1991, Seismic Response of RC Buildings With Inelastic Floor Diaphragms, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **117-4**, 1218-1237
- [30] **Özmen, G., Pala, S., Yalçın,K.**, 1997. Çok Katlı Yapılarda Geri Çekme Düzensizliğinin Deprem Hesabına Etkisi, *4. Ulusal Deprem Kongresi*, İstanbul, Eylül, s.464-470
- [31] **Özmen, G., Pala, S., Gülay,G., Orakdöğen, E.** 1998. Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliğinin Deprem Hesabına Etkisi, *Türkiye Deprem Vakfı Yayınları*, TDV/TR **017-028**, İstanbul
- [32] **Özmen, G.**,2000. Deprem Yönetmeliklerinin Çeşitli Bakımlardan İncelenmesi, *Türkiye Deprem Vakfı Yayınları*, TDV/TR **033-55**, İstanbul

- [33] **Duan, X.,N., Chandler, A.M.**, 1995, Seismic Torsional Response and Design Procedures For A Class of Setback Frame Buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **24**, 761-777
- [34] **Bahram, M.,S., Moehle, J.P.**, 1990, Seismic Response and Design of Setback Buildings, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **116-5**, 1423-1439



ÖZGEÇMİŞ

Ömer Yalçın, 1976 yılında Ankara'da doğmuştur. İlköğrenimini Çankırı Aksu İlköğretim Okulu'nda tamamlamıştır. 1991 yılında Çankırı Anadolu Lisesi Orta Kısım, 1994 yılında Ankara Yüce Fen Lisesi'nden mezun olmuştur. Aynı yıl İ.T.Ü İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başlamıştır. 1998 yılında İnşaat Mühendisi unvanını almıştır. Aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Deprem Programında Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Yüksek Lisans öğrenimi boyunca halen çalışmakta olduğu Balkar Mühendislik'te proje mühendisi olarak görev almıştır.

