İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖŞEME SÜREKSİZLİĞİ OLAN B/A YAPI SİSTEMLERİNİN FARKLI BİLGİSAYAR MODELLERİ İLE ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mehmet Metin AYRANCI

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2004

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖŞEME SÜREKSİZLİĞİ OLAN B/A YAPI SİSTEMLERİNİN FARKLI BİLGİSAYAR MODELLERİ İLE ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mehmet Metin AYRANCI
(501021056)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Gülten GÜLAY

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Günay ÖZMEN (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Sumru PALA (İ.T.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Çalışmalarımda bilgi ve hoşgörü ile bana yol gösteren hocam ve tez danışmanım Doç.Dr.Gülten Gülay'a, değerli hocamız Prof.Dr.Günay Özmen Beye, eğitimimde katkıları bulunan tüm İ.T.Ü inşaat fakültesi öğretim ve araştırma görevlilerine, yetişmemde her türlü maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Nisan 2004 Mehmet Metin AYRANCI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **viii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xii**
SUMMARY **xiv**

1. GİRİŞ **1**
1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı 2
1.1.1 Depreme dayanıklı tasarımda dikkat edilmesi gerekli hususlar 3
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 5

2. TAŞIYICI SİSTEM DÜZENSİZLİKLERİ **7**
2.1 Planda Düzensiz Yapılar 7
2.1.1 Burulma düzensizliği durumu 7
2.1.2 Döşeme süreksizliği durumu 8
2.1.2.1 Çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerinde döşeme düzensizliği 9
2.1.3 Planda çıkıntılar bulunması 10
2.1.4 Taşıyıcı eleman eksenlerinin paralel olmaması durumu 10
2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları 11
2.2.1 Komşu katlar arası dayanım düzensizliği 11
2.2.2 Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği 12
2.2.3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği 12

3. DÖŞEMELERDE DİYAFRAM MODELLERİ **14**
3.1 Çeşitli Diyafram Modelleri 14
3.1.1 Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar 14
3.1.2 Kat döşemelerinin esnek diyafram olarak çalıştığı binalar 16
3.1.3 Kat döşemelerinin yarı rijit diyafram olarak çalıştığı binalar 16
3.1.4 Konuyla ilgili yapılmış çalışmalar 18

4. SAYISAL ÖRNEKLER **21**
4.1 İncelenen Yapıların Özellikleri 21
4.2 Hesaplarda İzlenen Yol 23
4.3 B1 Yapısı İçin Çözümler 25
4.3.1 B1.1 Çözümü 25
4.3.2 B1.2 Çözümü 28
4.3.3 B1.3 Çözümü 31

4.3.4 Kolonlardaki Uç Kuvvet Değişimlerinin Karşılaştırılması 34
4.3.4.1 X Doğrultusundaki Deprem için Çözümlerin İrdelenmesi 34
4.3.4.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Çözümlerin İrdelenmesi 36
4.3.5 Döşemelerdeki Gerilme Değerlerinin Karşılaştırılması 38
4.3.5.1 X Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması 38
4.3.5.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması 39
4.4 B2 Yapısı İçin Çözümler 40
4.4.1 B2.1 Çözümü 40
4.4.2 B2.2 Çözümü 42
4.4.3 B2.3 Çözümü 44
4.4.4 Kolonlardaki Uç Kuvvet Değişimlerinin Karşılaştırılması 46
4.4.4.1 X Doğrultusundaki Deprem İçin Çözümlerin İrdelenmesi 46
4.4.4.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Çözümlerin İrdelenmesi 48
4.4.5 Döşemelerdeki Gerilme Değerlerinin Karşılaştırılması 51
4.4.5.1 X Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması 52
4.4.5.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması 52

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 54

KAYNAKLAR 57

EKLER 59

ÖZGEÇMİŞ 70

KISALTMALAR

ABYYHY : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
CQC : Complete Quadratic Combination
SRSS : Square Root of the Sum of Squares

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1.	Nüfus, alan, endüstri merkezlerinin ve barajların deprem bölgelerine dağılımı	2
Tablo 2.1.	Dünya deprem yönetmeliklerindeki büyük döşeme boşluğu düzensizliği durumu ile ilgili sınırlamalar.....	9
Tablo 4.1.	Yapıda kolon ve perde kesitleri (cm×cm).....	23
Tablo 4.2.	Yapı ve model adlandırmaları.....	23
Tablo 4.3.	Kat ağırlıkları.....	25
Tablo 4.4.	B1.1 çözümünde deprem kuvvetleri ve ek burulma momentleri....	26
Tablo 4.5.	B1.1 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN).....	27
Tablo 4.6.	B1.2 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN).....	30
Tablo 4.7.	B1.3 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN).....	33
Tablo 4.8.	B1 yapısında Ex deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri.....	34
Tablo 4.9.	B1 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri.....	36
Tablo 4.10.	B1 yapısında Ey deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri.....	36
Tablo 4.11.	B1 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri	37
Tablo 4.12.	B1 yapısında 1.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerinde X yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlemiçi gerilme değerleri.	38
Tablo 4.13.	B1 yapısında 1.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerinde Y yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlemiçi gerilme değerleri.	39
Tablo 4.14.	B2.1 çözümünde deprem kuvvetleri ve ek burulma momentleri....	40
Tablo 4.15.	B2.1 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN).....	41
Tablo 4.16.	B2.2 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN).....	43
Tablo 4.17.	B2.3 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN).....	45
Tablo 4.18.	B2 yapısında Ex deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri.....	46
Tablo 4.19.	B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri	47
Tablo 4.20.	B2 yapısında X yönündeki deprem kuvvetlerinden oluşan P1 perdesine ait kat hizalarındaki kuvvet dağılımlarının değişimi.....	48
Tablo 4.21.	B2 yapısında Ey deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri.....	49
Tablo 4.22.	B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri.....	50

Tablo 4.23. B2 yapısında Y yönündeki deprem kuvvetlerinden oluşan P2 perdesine ait kat hizalarındaki kuvvet dağılımlarının değişimi..... 51
Tablo 4.24. B2 yapısında 6.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerindeki X yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlemiçi gerilme değerleri. 52
Tablo 4.25. B2 yapısında 6.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerindeki Y yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlemiçi gerilme değerleri. 53
Tablo 5.1. Yapı modellerinin X ve Y doğrultularındaki titreşim periyotları (sn)..... 54
Tablo A.1. B1 yapısı için A1, B2 düzensizlik durumları kontrolleri (m)..... 60
Tablo A.2. B1.2 modeli için modal katılım oranları..... 61
Tablo A.3. B1.3 modeli için modal katılım oranları..... 62
Tablo B.1. B2 yapısı için A1, B2 düzensizlik durumları kontrolleri (m)..... 65
Tablo B.2. B2.2 modeli için modal katılım oranları..... 66
Tablo B.3. B2.3 modeli için modal katılım oranları..... 67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	: A) Lineer elastik ve lineer elastik olmayan kuvvet-yer değiştirme bağıntısı, B) Betonarme elemanda moment-eğrilik eğrisi.....	4
Şekil 2.1	: Burulma düzensizliği durumu.....	8
Şekil 2.2	: Döşeme düzensizliği durumları.....	8
Şekil 2.3	: A3 türü düzensizlik durumu.....	10
Şekil 3.1	: Kütlelerin katların ağırlık merkezinde toplandığı kabul edilen yapı modeli.....	15
Şekil 3.2	: Çeşitli diyafram modelleri.....	16
Şekil 3.3	: Çeşitli perde yerleşimleri için döşeme davranışları.....	17
Şekil 3.4	: H, B değişimi ……..	19
Şekil 4.1	: Yapı planları.....	22
Şekil 4.2	: Kaydırılmış kütle merkezi.....	25
Şekil 4.3	: B1.2 çözümü için kütle modeli	28
Şekil 4.4	: Z2 Zemin sınıfı için elastik ivme spektrumu.....	28
Şekil 4.5	: B1.3 çözümü için kütle modeli.....	31
Şekil 4.6	: B1 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait eğilme momenti değişimleri.....	35
Şekil 4.7	: B1 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri.....	35
Şekil 4.8	: B1 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait eğilme momenti değişimleri.....	37
Şekil 4.9	: B1 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri.....	37
Şekil 4.10	: B1 yapısında döşemelerde gerilme bölgeleri adlandırmaları.....	38
Şekil 4.11	: B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait eğilme momenti değişimi.....	46
Şekil 4.12	: B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri.....	47
Şekil 4.13	: B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan P1 perdesine ait eğilme momenti değişimi.....	47
Şekil 4.14	: B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan P1 perdesine ait kesme kuvveti değişimleri.....	48
Şekil 4.15	: B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait eğilme momenti değişimi.....	49
Şekil 4.16	: B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri.....	49
Şekil 4.17	: B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan P2 perdesine ait eğilme momenti değişimi	50
Şekil 4.18	: B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan P2 perdesine ait kesme kuvveti değişimleri.....	50
Şekil 4.19	: B2 yapısında döşemelerde gerilme bölgeleri adlandırmaları.....	51
Şekil A.1	: B1 yapısı için modellerde X doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları.....	63
Şekil A.2	: B1 yapısı için modellerde Y doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları.....	64

Şekil B.1 : B2 yapısı için modellerde X doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları..... 68
Şekil B.2 : B2 yapısı için modellerde Y doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları..... 69

SEMBOL LİSTESİ

A : Kat alanı
A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı
a_x, a_y : Planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik doğrultudaki boyutları
ΣA_e : Kattaki etkili kesme alanının toplamı
ΣA_g : Kattaki göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
ΣA_k : Kattaki göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamı
ΣA_w : Kattaki kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı
B_a : Taşıyıcı sistem elemanının a asal ekseni doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
B_{ax} : Taşıyıcı sistem elemanının a asal ekseni doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_{ay} : Taşıyıcı sistem elemanının a asal ekseni doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_B : Mod birleştirme yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük
B_D : B_B büyüklüğüne ait büyütülmüş değer
Bi,j : İ no'lu yapıda j'inci model
b_{pi} : İ no'lu perdenin bulunduğu perde-döşeme birleşim bölgesi
b_{si} : İ no'lu kolonun bulunduğu kolon-döşeme birleşim bölgesi
Bx, By : Yapının plandaki boyutları
D_i : Eşdeğer deprem yükü yönteminde burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta ± %5 ek dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı
dM_{ij} : momentin i no'lu modeldeki değerlerinin j no'lu modeldeki değerine göre değişim yüzdesi
dT_{ij} : Kesme kuvvetinin i no'lu modeldeki değerlerinin j no'lu modeldeki değerine göre değişim yüzdesi
D_x, D_y : Kat rijitlikleri
e_x, e_y : Dışmerkezlik boyutları
f_{ctk} : Betonun karakteristik çekme dayanımı
h_f : Döşeme kalınlığı
I : Bina önem katsayısı
I_x, I_y : Kat döşemesinin düzlem içi eğilme rijitlikleri
L_x, L_y : Toplam plan boyutları
m : Kattaki düğüm noktası sayısı
$M_{Bj.i}$: Bj yapısındaki i no'lu modele ait moment değerini
m_i : İ'inci kat kütlesi
$M_{\theta i}$: Polar atalet momenti
n : Kat adedi
N_b : Esnek Diyafram kabulü yapılan yapıda bağımsız uç deplasman adedi
N_{bd} : Rijit diyafram kabulü yapılan yapıda bağımsız uç deplasmanları adedi
R_a : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
T_{1x}, T_{1y} : Yapının X ve Y doğrultularındaki 1. titreşim periyotları
$T_{Bj,i}$: Bj yapısındaki i nolu modele ait kesme kuvveti değerini

V_{tx}, V_{ty}	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
V_{tb}	: Mod birleştirme yönteminde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda modlara ait katkıların birleştirilmesi ile bulunan bina toplam deprem yükü (taban kesme kuvveti)
β	: Mod birleştirme yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı
$(\Delta_i)_{max}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum göreli kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{ort}$	: Binanın i'inci katındaki ortalama göreli kat ötelemesi
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki göreli kat ötelemesi
δ_x, δ_y, δ_z	: Öteleme hareketine karşı gelen deplasmanlar
η_{bi}	: i'inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ci}	: i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısı
η_{ki}	: i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
θ_x, θ_y, θ_z	: Dönme hareketine karşı gelen deplasmanlar

ÖZET

Taşıyıcı sisteminde düzensizlikler bulunan yapılarda, yönetmelikler hesap kuralları ve taşıyıcı sistem düzenlenmesinde çeşitli zorunluluklar getirmişlerdir. Bunlardan biri ülkemiz deprem yönetmeliği Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikte yer alan, A2-I olarak adlandırılan büyük döşeme boşluğu düzensizliği ile ilgilidir. Bu durum ABYYHY'de merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu olarak tanımlanmış ve bu tür düzensizliğe sahip yapılarda kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini sistemin düşey taşıyıcı elemanlarına güvenle aktarabildiğinin hesapla doğrulanması istenmiştir.

Tez kapsamında yapılan çalışmada ABYYHY'de A2-I olarak verilen plandaki büyük döşeme düzensizliği durumu için örnek yapı 3 ayrı yaklaşımla modellenmiş, bu modeller için deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Yönetmelikte verilen bu düzensizlik durumunun sınır değeri için perdeli ve perdesiz olmak üzere iki tip taşıyıcı sistem düzenlenmiştir. Bu yapı örnekleri üzerinde; kat kütlelerinin kütle merkezinde toplandığı kat döşemelerinin rijit diyafram çalıştığı birinci model, kütlelerin kolon uç noktalarında toplandığı esnek diyafram kabulü ile düzenlenen ikinci model ve de kütlelerin yayılı olduğu esnek diyafram kabulü ile düzenlenen üçüncü model ile deprem yükü etkisindeki yapının analizi yapılarak yönetmelikte verilen bu düzensizlik durumunun yeterliliği ve gerekliliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak deprem etkileri altında düşey taşıyıcı elemanlardaki kesme kuvveti ve momentler hesaplanarak, rijit diyafram modeline göre değişimleri araştırılmış, döşemelerde ise maksimum düzlem içi gerilmeler hesaplanarak betonun kritik çekme dayanımı ile karşılaştırılmıştır.

Tüm hesaplarda lineer-elastik sınırlar içinde kalınmış, depremin düşey doğrultudaki hareketi göz önüne alınmamıştır. Yapılan çözümlerde deprem etkileri için çözümleme yapılmış sabit ve hareketli yükler için hesap yapılmamıştır.

Sayısal örneklerden elde edilen sonuçlar neticesinde ABYYHY'de A2-I olarak tanımlanan düzensizlik durumu için oluşturulan 2 ayrı yapı 3 farklı modellemeyle incelenmiş, rijit ve esnek diyafram modelleri arasında kolon uç kuvvetleri ve döşeme gerilmeleri bakımından farklılıklar olduğu saptanmıştır.

Esnek diyafram modellerinde, yayılı kütleli modellerle kütlelerin kolon uç noktalarında toplandığı varsayımının yapıldığı modellerden elde edilen sonuçların yakın değerler aldığı, rijit diyafram kabulü ile oluşturulan modellerin ise esnek diyafram modelleri ile yapılan çözümlerden uzaklaştığı gözlemlenmiştir.

Tez çalışması şu kısımlardan oluşmaktadır:

- İlk bölümde depreme dayanıklı yapı tasarımı hakkında temel bilgiler verilerek çalışmanın amacı ve çalışmanın aşamaları açıklanmıştır.
- İkinci bölümde deprem yönetmeliğinde verilen düzensizlik durumları incelenmiş, diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki büyük döşeme boşluğu düzensizliği durumu hakkında araştırma yapılarak ülkeler bazında bilgi verilmiştir.

- Üçüncü bölümde döşemelerin rijit ve esnek diyafram modelleri hakkında araştırma yapılarak bilgiler verilmiş konu ile ilgili önceden yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.
- Sayısal inceleme olarak 2 Tip yapı örneği ele alınarak 3 ayrı bilgisayar modelleme yaklaşımlarıyla analizler yapılmış, kolon uç kuvvetleri ve döşemelerdeki düzlem içi gerilme değerleri bakımından karşılaştırmalar tablo ve şekillerle sunulmuştur.
- Son bölümde çalışmayla ilgili elde edilen sonuçlar verilmiş ve yorumlanmıştır.

ANALYSES AND COMPARISONS OF DIFFERENT COMPUTER MODELS OF R/C STRUCTURAL SYSTEMS WHICH HAVE DISCONTINUITY IRREGULARITIES ON THEIR SLABS

SUMMARY

Additional requirements have been put by regulations when defining irregular structural systems. One of the requirements that can be found on our Seismic Code is the A2-I type structural irregularity. This irregularity defined as follows “If the total area of the openings including those of stairs and elevator shafts exceeds 1/3 of the gross floor area, then it shall be verified by calculation in the first and second seismic zones that the floor systems are capable of transferring the seismic loads between vertical structural elements”.

In the scope of this thesis, two sample R/C structures having A2-I type irregularity defined in Turkish seismic Code (ABYYHY) are investigated, modeled and analyzed with three different mathematic modeling approaches. Two types of structural systems are selected, to investigate the models for the limit values of the irregularity. The structural system of the first building is made of frames; the second one’s structural system is made of frames and walls.

In these structural systems: on the first model storey masses are defined at the centre of mass of the plan of structure where the floor diaphragm is considered to be infinitely rigid in its own plane. On the second model the storey masses are considered to be gathered at the column-floor joints at story levels where the floor diaphragm is considered to be flexible. Finally on the third model storey masses are distributed on the elements where the floor diaphragm is considered to be flexible.

With the three types of models the differences between the rigid floor assumption and flexible floor assumption are investigated. The moment and shear forces are calculated on vertical load carrying elements for the comparison criterion. For the R/C slabs as a criterion the maximum in-plane stresses are compared with the minimum tensile stress of the concrete used in the structures.

Calculations done in the analysis of the structures are limited by the linear-elastic boundary limits. In all of the calculations the vertical movement of the structures due to the earthquakes are neglected, also the analysis does not contain static loads.

By the results of the numerical examples which are investigated in this study, flexible and rigid diaphragm assumptions differ from each other by considering vertical load carrying elements force distribution and floor stresses as criterions.

The results coming from the second models and the third models are close enough, but the results calculated from the first models, where rigid diaphragm assumption is made, differ from the flexible diaphragm models.

This study consists of these divisions:

- In the first chapter, some information is given about the earthquake resistant design concept and the purpose of the study is explained.

- In the second chapter, the irregularities given in the Turkish earthquake code are studied. The discontinuity irregularities on the floors which are in the regulations of other countries seismic codes are investigated.
- In the third chapter, the rigid and flexible diaphragm assumptions are studied. Afterwards the studies involved about this subject, which are found at library, summarized.
- Numerical examples are analyzed and the results are compared to each other.
- On the last chapter the conclusions and interpretations are given about the study.

1. GİRİŞ

Yapı mühendisinin amacı; yapının planlanan fonksiyonuna uygun olarak yapı-temel malzeme konfigürasyonunun seçimi; yapıya kullanım ömrü boyunca etkiyecek yüklerin belirlenerek, bu yükler için yapının ekonomik, güvenilir analizi ve boyutlandırması; yapılan işlemleri proje haline getirip detaylandırması ve imalatını programlayarak gerçekleştirmesi olarak tanımlanabilir.

Bütün bu proje, planlama ve imalat aşamalarında yaratıcılığın en çok kullanıldığı alan kuşkusuz yapı taşıyıcı sistem ve konfigürasyonunun seçilmesidir. Yönetmelikler bu süreçte yaratıcılığı kısıtlayabilir, bu kısım daha çok mühendisin ve mimarın yetenek, tecrübe ve bilgi birikimine bağlıdır. Taşıyıcı sistem seçimi aşamasında, yapının etkiyen yükler altındaki davranışı basit yaklaşımlarla değerlendirilmelidir. Oluşturulacak bu basit modellerle yapının davranışını anlamak daha kolay olacaktır. Daha sonraki aşamalarda bazı kabuller yardımıyla matematiksel modeller kurularak ayrıntılı çözümler yapılması mümkün olacaktır.

Tasarım ve yapım süreçlerine insan ve doğa faktörlerinin girdiği unutulmamalıdır. Yapı taşıyıcı siteminin seçimi, hesaplamalar ve uygulamadaki özen yapının kullanım ömrünü uzatacaktır.

Yapı planlanan işletim süresince dış etki ve yüklere maruz kalacaktır. Bu etkiler içinde en şiddetli ve yıkım etkisi en büyük olanlar kuşkusuz yer hareketleridir. Deprem hareketinin dünya ve yurdumuzda verdiği tahribatlar büyük boyutlardadır. Son yıllarda Yapı Mühendisliğinin bir alt dalı olarak Deprem Mühendisliği ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı konuları tüm dünyada ve ülkemizde daha büyük önem kazanmıştır. Ülkemizde inşa edilecek yapılar 1998 yılında yürürlüğe konan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe ABYYHY [1] göre deprem etkilerine karşı tasarlanmaktadır.

Bilindiği üzere ülkemizin % 96'sı deprem bölgesindedir [19]. Nüfusun ve ekonomik alt yapıyı oluşturan tesislerinin büyük kesiminin 3 ana fay zonu üzerinde toplandığı görülmektedir (Tablo 1.1), [3, 19]. Bunlar Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Ege bölgesindeki fay hatlarıdır.

Tablo 1.1 - Nüfus, alan, endüstri merkezlerinin ve barajların deprem bölgelerine dağılımı

Bölge	Muhtemel deprem şiddeti	Nüfus (%)	Alan (%)	Önemli Endüstri Merkezleri (%)	Barajlar (%)
I	I≥IX	22	14.8	24.7	10.4
II	I=VIII	29	28.4	48.8	20.8
III	I=VII	24	28.8	12.0	33.3
IV	I=VI	20	19.4	12.6	27.1
V	I≤V	5	8.6	1.7	8.4

1.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Deprem yükü dinamik bir yüktür. Yapıya etkiyen diğer sabit, hareketli, rüzgar ve sıcaklık değişimi gibi yüklerin dışında, yapının deprem etkisiyle oluşan yüklerle karşılaşma sıklığı ve olasılığı daha seyrektir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan yapı tasarım felsefesi ülkemizde de geçerlidir. Yapının küçük ve sık meydana gelen deprem etkilerinde doğrusal davranış göstermesi, orta şiddetteki yer hareketlerinde yapının lineer elastik sınırı pek aşmaması fakat meydana gelebilecek hasarların ufak ve onarılabilir düzeyde olması, büyük şiddetteki depremlerde ise toptan göçmenin engellenmesi ve can kaybının olmaması yönündedir [3, 4]. Bu çözümlerin ötesinde tüm deprem hareketlerine karşı yapının doğrusal davranış göstermesini beklemek ekonomik açıdan mümkün değildir.

Yapı elemanlarına etki eden deprem kuvvetleri ve iç kuvvetlerin hesaplanmasında çeşitli belirsizlikler vardır. Deprem yükünün dinamik bir yük olması nedeniyle yapının taşıyıcı sitemini ve malzemenin bu dinamik yük altında davranışı bilgisayarlar ve teknolojinin gelişmesiyle daha iyi anlaşılabilmektedir. Çoğu zaman yapılan kabuller de deneme yanılma yöntemiyle hatalardan ders alınarak değiştirilmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli adım ön projelendirme aşamasında taşıyıcı sistemin seçiminde yapılır. Sistem ne kadar basit olursa yapılan kabul sayısı azalır, deprem etkisindeki davranışı o daha kolay tahmin edilir ve sahaya aplikasyonu kolay olur. Dikkat edilirse orta şiddetteki depremler için yapının lineer elastik sınırın aşıldığı ve taşıyıcı sisteminde ufak, onarılabilir hasarlar olması beklendiği, büyük ve seyrek depremlerde ise toptan göçmenin ve can kaybının önlenmesi öngörülmüştü. Bu koşulların sağlanması için tasarımda süneklik ve kapasite kavramlarının iyi anlaşılması gerekmektedir.

1.1.1 Depreme Dayanıklı Tasarımda Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar

Depreme dayanıklı yapı tasarımında dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar şunlardır [3, 4]:

- Yapının geometrisi

Yapının basit düzenlenmesi depreme dayanıklılığının yüksek olmasını sağlar. Planda ve taşıyıcı sistemde her iki doğrultuda simetriye sahip olması ve yapının her iki doğrultuda da birbirine yakın rijitliğe sahip olması beklenir. Örnek olarak T, H, L, Y şeklindeki yapıların deprem etkileri bakımından olumsuz geometriye sahiptirler. Planda düzensiz yapılar burulma etkileriyle de karşılaşırlar, ayrıca döşemelerinde gerilme yığılmaları oluşabilir ve döşemelerin deprem yüklerini düşey taşıyıcı elemanlara aktarmasında çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Özellikle plandaki boyutu büyük yapılarda, temel boyunca değişik zemin formasyonları görülebilir bu da hesapta yapılan kabulleri artırabilir.

- Taşıyıcı sistemdeki elemanlarda süreklilik

Taşıyıcı elemanların yatay ve düşey doğrultuda sürekliliklerinin sağlanması yapının deprem davranışında önemli bir husustur. Kolon ve perde gibi düşey taşıyıcı elemanların bütün yapı boyunca sürekli olması ve yatay taşıyıcı elamanların birleşimlerinde dolaylı mesnetlenmelerden kaçınılması, yatay yüklerin daha sağlıklı olarak dağılması dolayısıyla depreme dayanıklılığın artmasına olumlu etki yapar.

- Rijitlik ve dayanım

Düşey ve yatay işletme yükleri etkisi altında, yapının yer değiştirmeleri lineer-elastik sınırlar içinde kalmalıdır. Yapılarda katlar arasındaki rijitlik ve dayanım farklılıklarına izin verilmemelidir. Bu düzensizlikler II. mertebe etkilerine yol açmakta ve deprem etkilerini büyütebilmektedir. Yapının yanal öteleme rijitliğinin belli sınırlar içinde tutulması gerekmektedir. Kullanım açısından bina alt katlarındaki duvarların yıkılmasıyla zemin kat rijitliğinin azaltılması olumsuz bir örnek olarak gösterilebilir.

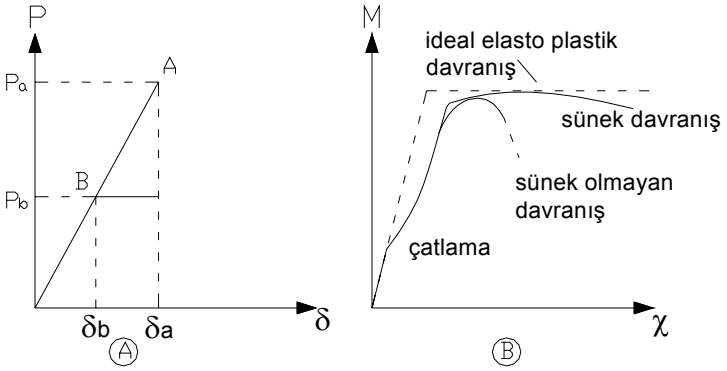
- Göçme modu

Yapı tasarımında gevrek göçme istenmez, başka bir deyişle yapıda ani (habersiz) göçme oluşması kesit boyutlandırması yapılırken dikkate alınmalıdır. Kapasite kavramı bu noktada devreye girer. Deprem etkilerinin hesabında lineer elastik sınır aşıldığı için düşey yük taşıyan kolon–perde gibi elemanlarda güç tükenmesi tercih edilmez. Güvenlik açısından kolonlar yerine kiriş uçlarında güç tükenmesi durumunun

oluşması istenir [1]. Bu nedenle kuvvetli kolon - zayıf kiriş tasarım felsefesi geliştirilmiştir. Ayrıca sünek güç tükenmesinin gevrek güç tükenmesinden önce olması beklenir, bu koşulun sağlanması için kolonların kesme kapasitelerinin eğilme kapasitelerinden fazla olması istenir.

- Süneklik

Süneklik, deprem etkileri altında yapıda lineer elastik sınır aşıldığında, yapı elemanlarında artan dış yükler için, yapı elemanının veya kesitin taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan, büyük şekil değiştirme yapması olarak tanımlanabilir. Sünek olarak tasarlanmış yapı elemanları deprem enerjisini sönümlendirerek ederek yapının deprem etkilerinin karşılanmasında ekonomik ve güvenilir çözümler sağlamaktadırlar.



Şekil 1.1 - A) Lineer elastik ve lineer elastik olmayan kuvvet-yer değiştirme eğrisi,
B) Betonarme elemanda moment-eğrilik eğrisi

İki tip süneklikten bahsetmek mümkündür: Yapı ve Kesit sünekliği.

- Yapı sünekliği deplasman sünekliği olarak adlandırılabilir ve yapıyı oluşturan elemanların sünekliğine bağlıdır. Kesitlerdeki lineer elastik sınırın aşılmasıyla oluşan dönmelerden dolayı sistem büyük deplasmanlar yapabilmektedir. Yatay yükler, bu yükleri taşıyan elemanların deplasmanlarıyla karşılaştırılır (Şekil 1.1-A). Yapı sisteminin lineer olmayan analizi yapılarak ardışık yaklaşım yöntemleriyle hesaplanabilir.
- Eleman yada kesit sünekliği, eleman bazında tanımlanan süneklik düzeyidir, dönme yada eğrilik sünekliği olarak adlandırılabilir. (Şekil 1.1-B)

Aynı boyutlardaki kesit için sünekliği etkileyen bazı unsurlar şunlardır:

- Çekme donatısının artması sünekliği azaltır
- Normal kuvvet artması sünekliği azaltır

- Kapalı etriye ve sargı donatısı sünekliği artırır.
- Basınç donatısı sünekliği artırır.

Sünek yapı sistemlerinde lineer elastik sınırın aşıldığı kesitlerde, belli geometrik sınırlamalar içinde, bu kesitler mafsallı düğüm noktaları varmış gibi davranış gösterir. Oluşan her yeni plastik mafsal, sistemin hiperstatiklik derecesini bir derece azalttığından dolayı süneklik düzeyi yüksek sistemler hiperstatiklik derecesi yüksek sistemler olarak düzenlenmelidirler.

Yapının servis ömrü boyunca deprem kuvvetlerinin etkisinde kalmasını öngörmek ve dolayısıyla bu kuvvetlere göre yapıyı lineer elastik olarak boyutlamak ekonomik olmaz. ABYYHY'te [1] deprem yüklerini yapının elastik ötesi davranışla taşıması öngörülmektedir. Fakat yapının elastik ötesi davranışında taşıyabileceği limit yükün hesaplanması oldukça zordur. Bunun yerine bazı kısıtlamalarla [1]'nolu kaynakta eşdeğer deprem yükü yönteminin kullanımına izin verilmiştir. Hesapla bulunan elastik deprem yükünün, yapının taşıyıcı sistemine bağlı olan R_a gibi bir deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılması, bu sayede yapının elastik ötesi taşıma kapasitesinden yararlanılması mümkün olmaktadır. Süneklik düzeyi yüksek sistemlerde R_a katsayısı daha büyüktür. ABYYHY'de [1] verilen kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşulu, kolonlardaki eksenel yükün kirişlere oranla daha fazla olması bu nedenle kirişlerin kolonlara göre daha sünek olmalarındandır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında taşıyıcı sistem düzensizlikleri, deprem güvenliği açısından en çok dikkat edilmesi gereken konular listesinin başında yer almaktadır. ABYYHY'de taşıyıcı sisteminde düzensizlikler bulunan yapılar için bazı kısıtlamalar ve hesap yükümlülükleri getirilmiştir. Bunlardan biri de döşemelerdeki büyük süreksizliklerle ilgilidir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

ABYYHY'de [1] A2-I olarak verilen plandaki büyük döşeme düzensizliği durumu için örnek yapı çeşitli modelleme yaklaşımlarıyla modellenmiş ve bu modeller için analizler gerçekleştirilmiştir. [1] no'lu kaynakta büyük döşeme boşluğu düzensizliği olarak tanımlanan A2-I düzensizliği durumunda kat döşemelerinin rijit diyafram davranış göstermeyebileceği belirtilmiştir. Bu durumda 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde yer alan yapılarda döşemelerin deprem yüklerini düşey yük taşıyan elemanlara güvenli bir şekilde aktarabildiğinin gösterilmesi istenmiştir. Çalışmada yönetmelikte verilen bu

düzensizlik durumunun sınır değeri için 2 tip yapı örneği üzerinde çeşitli modelleme yaklaşımlarıyla analiz yapılarak uygulanan modellerde yapılan kabullerin ve yönetmelikte verilen bu düzesizlik durumunun araştırılması amaçlanmıştır. Sunulan çalışmada bu düzensizlik durumu için rijit diyafram kabulü ile esnek diyafram kabulleriyle yapılan çözümler arasındaki farklılıklar üzerinde araştırma yapılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak deprem etkileri altında düşey taşıyıcı elemanlardaki kesme kuvveti ve momentler hesaplanarak, değişimleri araştırılmış, döşemelerde ise maksimum düzlem içi gerilmeler betonun kritik çekme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. Tüm hesaplarda lineer-elastik sınırlar içinde kalınmış, depremin düşey doğrultudaki hareketi göz önüne alınmamıştır. Yapılan çözümlerde sadece deprem etkileri için çözümleme yapılmış sabit ve hareketli yükler için hesap yapılmamıştır.

Tez çalışması şu kısımlardan oluşmaktadır:

- İlk bölümde depreme dayanıklı yapı tasarımı hakkında temel bilgiler verilerek çalışmanın amacı ve çalışmanın aşamaları tanıtılmıştır.
- İkinci bölümde deprem yönetmeliğinde verilen düzensizlik durumları incelenmiş, diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki büyük döşeme boşluğu düzensizliği durumu hakkında araştırma yapılarak ülkeler bazında bilgi verilmiştir.
- Üçüncü bölümde döşemelerin rijit ve esnek diyafram modelleri hakkında araştırma yapılarak bilgiler verilmiş, konu ile ilgili önceden yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.
- Sayısal inceleme olarak 2 Tip yapı örneği ele alınarak değişik bilgisayar modelleme yaklaşımlarıyla analizler yapılmış, kolon uç kuvvetleri ve döşemelerdeki düzlem içi gerilme değerleri bakımından karşılaştırmalar tablo ve şekillerle sunulmuştur.
- Son bölümde çalışmayla ilgili elde edilen sonuçlar verilmiş ve yorumlanmıştır.

2. TAŞIYICI SİSTEM DÜZENSİZLİKERİ

Bu bölümde 1. bölümde değinilen yapısal düzensizlik durumları ve tezin konusu olan döşeme düzensizliği durumuyla ilgili genel bilgiler verilecektir.

ABYYHY'de bina tipi yapıların taşıyıcı sistem düzensizliği durumları, planda ve düşey doğrultuda olmak üzere iki ana başlık altında incelenmiştir.

2.1 Planda Düzensiz Yapılar

2.1.1 Burulma Düzensizliği Durumu

Döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı varsayımının kabul edilebildiği yapılarda bir kattaki kolonların Dx ve Dy rijitliklerinin ağırlık merkezine o katın rijitlik merkezi denir. Kütle merkezi ise deprem kuvvetlerinin etkidiği kat kütlelerinin toplandığı varsayımının yapıldığı noktadır. Kütle merkezi ile kat rijitlik merkezlerinin çakışmaması durumunda her katta δ_x, δ_y yanal ötelemelerinin yanı sıra θ_z burulma hareketi de meydana gelir.

[1] no'lu kaynakta A1 türü yapısal düzensizlik olarak adlandırılan burulma düzensizliği şöyle tanımlanmıştır. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin $(\Delta_i)_{max}$, o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye $(\Delta_i)_{ort}$ oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı

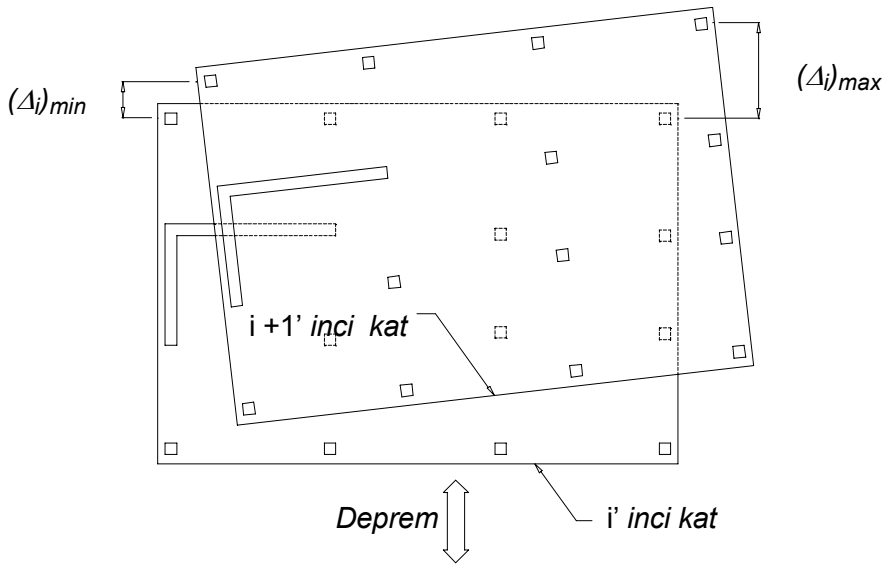
$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \qquad (2.1)$$

olması durumu burulma düzensizliği adı verilir (Şekil 2.1). Göreli kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak hesap edilecektir.

$1.2 < \eta_{bi} < 2$ olması durumunda ise katlara etkiyen eşdeğer deprem yükünün

$$Di = (\eta_{bi} / 2)^2 \qquad (2.2)$$

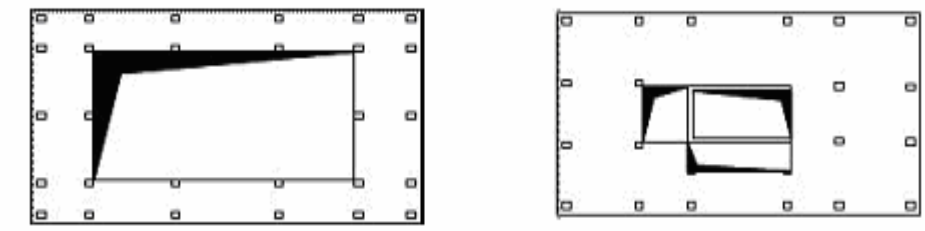
Di büyültme katsayısı ile artırılması, $\eta_{bi} > 2$ olması durumunda ise dinamik hesap zorunluluğu getirilmiştir.



Şekil 2.1 - Burulma düzensizliği durumu

2.1.2 Döşeme Süreksizliği Durumu

Yapılarda kütleler ağırlıklı olarak kat hizalarında yani döşemelerde toplanmıştır. Bu nedenle deprem etkilerinde oluşan atalet kuvvetlerinin döşemelerden kiriş, kolon, perde gibi taşıyıcı sistem elemanlarına sağlıklı bir biçimde iletilmesi gereklidir. Döşemelerde yer alan boşluklar, deprem kuvvetlerinin yapı elemanlarına iletilmelerini engellerler ve gerilme yığılmalarına neden olurlar (Şekil 2.2). [1] no'lu kaynakta A2 türü düzensizlik olarak tanımlanan döşeme düzensizliği durumu ile ilgili olarak şu maddeler vardır: Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumları, döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumları olarak tanımlanmıştır. Bu durumlarda ayrıntılı hesap yapılarak döşemenin yatay yükleri taşıyıcı sistem elemanlarına güvenli şekilde aktarabildiğinin gösterilmesi istenmiştir.



Şekil 2.2 - Döşeme düzensizliği durumları

2.1.2.1 Çeşitli Ülkelerin Deprem Yönetmeliklerinde Döşeme Düzensizliği

Bu bölümde dünya deprem yönetmeliklerinde yer alan büyük döşeme süreksizliği düzensizliği durumlarıyla ilgili bilgi verilecektir.

[5], [6] no'lu kaynaklardaki incelemelerden anlaşıldığı üzere döşeme boşluğu düzensizliği, gerek yerel gerekse döşemenin büyük bir kısmını kapsar olsun, bu tür düzensizlik içeren yapıların daha ayrıntılı hesap edilerek, bu yapıların döşemelerinin rijit diyafram tanımını sağlayıp sağlamadıklarının araştırılması istenmiştir. Tablo 2.1'de çeşitli ülkelerin deprem yönetmeliklerindeki, bizim yönetmeliğimizde A2-I düzensizliğine karşı gelen büyük döşeme süreksizliği düzensizlikleri ile ilgili bir karşılaştırma yapılmıştır. Tablo 2.1'de verilen boşluk oranlarının aşılması halinde deprem oluşumu açısından kritik coğrafyada yer alan çoğu ülke [20] yönetmeliklerinde dinamik hesap zorunluluğu getirilmiştir.

Tablo 2.1 - Dünya deprem yönetmeliklerindeki büyük döşeme boşluğu düzensizliği durumu ile ilgili sınırlamalar

Ülke	Kaynak		Ülke	Kaynak	
	[5]	[6]		[5]	[6]
Almanya	-	*	Japonya	-	-
A.B.D	50%	50%	Kanada	-	-
Arjantin	-	-	Kolombiya	-	50%
Arnavutluk	-	-	Kore	*	50%
Avustralya	-	-	Kosta Rica	-	-
Bulgaristan	-	-	Küba	-	-
Cezayir	-	15%	Meksika	20%	-
Çin	-	-	Mısır	-	-
Dominik Cumhuriyeti	15%	-	Makedonya	-	-
El Salvador	20%	-	Nepal	-	50%
Endonezya	25%	-	Nikaragua	-	-
Etiyopya	-	-	Norveç	Eurocode-8	-
Eurocode-8	*	*	Panama	-	50%
Filipinler	50%	-	Peru	-	-
Fransa	-	*	Portekiz	-	-
Hırvatistan	-	-	Romanya	-	-
Hindistan	-	-	Rusya	*	*
ISO3010	-	-	Slovenya	Eurocode-8	
İran	-	-	Şili	-	-
İspanya	*	*	Türkiye	33.33%	33.33%
İsrail	-	50%	Venezüella	-	20%
İsviçre	-	-	Yeni Zelanda	-	-
İtalya	*	*	Yunanistan	-	*

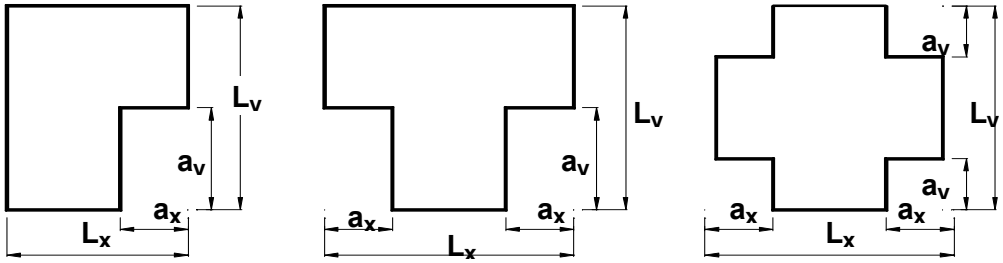
(-) yok, (*) anlaşılamıyor-eksik

2.1.3 Planda Çıkıntılar Bulunması

ABYYHY'de A3 tipi düzensizlik, bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de (a_x, a_v) binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının (L_x, L_v) %20'sinden daha büyük olması planda çıkıntı düzensizliği durumu olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.3, Denklem 2.3).

$$\frac{a_x}{L_x} \geq 0,2 \quad \text{ve} \quad \frac{a_v}{Lv} \geq 0,2 \tag{2.3}$$

Yönetmeliğe göre T, L, H, U, Y şeklindeki planda çıkıntıları bulunan yapılarda deprem kuvvetlerinin düşey taşıyıcı elemanlara güvenli bir şekilde aktarıldığı başka bir deyişle kat döşemelerinde rijit diyafram kabulünün sağlanabilirliği gösterilmeli yada planda çıkıntı olan kısımlar derzlerle ayrılmalıdırlar.



Şekil 2.3 - A3 türü düzensizlik durumu:

2.1.4 Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu

Bina tipi yapılarda taşıyıcı sistemler ortogonal akslar üzerinde düzenlenmiştir. Bu durumda deprem yükleri birbirine dik doğrultularda yapıya etkitilerek ayrı ayrı çözümleme yapılır, dolayısıyla kesit hesaplarında kullanılacak iç kuvvetler depremin her iki doğrultusu için ayrı ayrı hesap edilmiş olur. Bu sayede taşıyıcı elemanların kesit hesapları daha basit ve pratik olarak yapılabilmektedir.

Taşıyıcı sistemin ortogonal düzenlenmemesi yapıda burulma etkilerini ve elemanlarda depremin diğer doğrultusundan da gelen ek kesit tesirlerine göre hesaplanması zorunluluğunu getirir. [1]'de A4 tipi düzensizlik durumu olarak tanımlanan bu durum için şu önlem alınmıştır:

Tanımlanan A4 türü düzensizliğin bulunduğu binalarda, elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler denklem 2.4'e göre elde edilecektir. B_a a ekseni doğrultusunda tasarım kuvvetini, B_{ax} a asal ekseni doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü, B_{ay} ise a asal ekseni doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü ifade etmektedir.

$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30\, B_{ay}$ (2.4-a)

$B_a = \pm 0.30\, B_{ax} \pm B_{ay}$ (2.4-b)

Yukarıdaki işlemler, a ekseni ve buna dik b ekseni için, x ve y deprem doğrultuları göz önüne alınarak en elverişsiz sonucu verecek şekilde yapılacaktır.

2.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

2.2.1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği

ABYYHY'de B1 tipi düzensizlik olarak tanımlanan komşu katlar arası dayanım düzensizliği, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının $(\Sigma A_e)_i$, bir üst kattaki etkili kesme alanına $(\Sigma A_e)_{i+1}$ oranı olarak tanımlanan η_{ci} dayanım düzensizliği katsayısı

$$\eta_{ci} = \frac{(\sum A_e)_i}{(\sum A_e)_{i+1}} < 0.80 \qquad (2.5)$$

olması durumu olarak tanımlanmıştır.

Etkili kesme alanı (ΣA_e) ise denklem 2.6'da tanımlanmıştır. ΣA_w herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanlarının toplamı, ΣA_g herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı, ΣA_k ise herhangi bir kattaki göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kagir dolgu duvar alanlarının toplamı olarak tanımlanmıştır.

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \qquad (2.6)$$

ABYYHY'de B1 türü düzensizlikle ilgili şu açıklamalar yapılmıştır. Bu tür düzensizliğin bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci}'nin hesabında dolgu duvarları göz önüne alınmayacaktır.

$0.60 \le (\eta_{ci})_{min} < 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı, 1.25 $(\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.60$ olmayacaktır.

2.2.2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği

Deprem yükü yapılarda yapı yüksekliği boyunca yukarıya doğru artarak etkimektedir. Bunun sonucu olarak en üst kata en büyük yük etkir. Bu kuvvetler zemin kata doğru inildikçe toplanarak katlara etkiyen deprem etkileri bulunur. Bu durumda doğal olarak en fazla deprem etkisine en alt katlar maruz kalacaklardır. Bu nedenle alt katların yatay rijitlikleri üst katlara göre daha rijit olmalıdır. Bu koşul sağlanmadığında yanal deplasman artacak veyapıda II. mertebe etkileri doğacaktır. ABYYHY'de B2 tipi düzensizlik olarak tanımlanan bu düzensizlik şöyle açıklanmıştır:

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesinin $(\Delta_i)_{ort}$ bir üst kattaki ortalama göreli kat ötelemesine $(\Delta_{i+1})_{ort}$ oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 1.5'ten fazla olması durumudur.

$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1.5 \qquad (2.7)$$

Bu düzensizliğe sahip, 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde inşa edilen ve yüksekliği 25 m<h<60 m arasında olan yapılarda dinamik hesap zorunluluğu getirilmiştir.

2.2.3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne yada ucuna oturtulması, yada üst kattaki perdelerin bir alt kattaki kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu ABYYHY'de B3 tipi düzensizlik olarak tanımlanmıştır. Depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından yapının taşıyıcı sisteminin olabildiğince basit düzenlenmesi gerektiğini bölüm 1'de açıklanmıştı. Bu durum [1] no'lu kaynakta aşağıdaki maddelerde açıklanmıştır

- Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır.

- Üst kattaki perdenin her iki ucundan altta kolonlara oturtulması durumunda, bu kolonlarda düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 arttırılacaktır.
- Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

3. DÖŞEMELERDE DİYAFRAM MODELLERİ

Bu bölümde bina tipi yapılarda deprem hesabında yapılan; döşemelerin kendi kat düzlemleri içinde rijit cisim hareketi yaptıkları kabulü (rijit diyafram davranış), yarı rijit diyafram ve esnek diyafram kabulleri yapılarak modellenmesi konuları ve konuyla ilgili araştırmalar hakkında bilgiler verilecektir.

3.1 Çeşitli Diyafram Modelleri

Kat döşemeleri içinde oluşan düzlem içi kesme kuvvetlerinin, eğilme momentlerinin ve de yatay yükün yatay yük taşıyan elemanlardaki gerçek dağılımlarının bulunabilmesi için döşeme ve diğer elemanların bağıl rijitliklerini göz önüne alan 3 boyutlu hesap yapılmalıdır. Bu tip analiz 2. bölümde de belirtildiği gibi planda bazı tip düzensizlik durumları bulunan yapılarda [1] no'lu kaynak tarafından şart koşulmuştur.

Öte yandan planda düzensizlik durumları dışında kompozit ve de ahşap malzemeden yapılmış yapılarda döşemelerin rijit diyafram çalıştığı kabulü ile yapılmış olan çözümler gerçekçi olmayabileceği belirtilmiştir [8]. [8] no'lu kaynakta yatay yüklerin kat diyaframlarından yatay yük taşıyan elemanlara iletilmesinin bu elemanların bağıl rijitliklerine bağlı oldukları açıklanmış, döşeme diyaframları rijit, esnek ve de yarı rijit olmak üzere 3 sınıfa ayrılmıştır.

3.1.1 Kat Döşemelerinin Rijit Diyafram Olarak Çalıştığı Binalar

Yatay yük etkisindeki çok katlı bina tipi yapılarda, katların kendi düzlemi dışında hareket etmediği varsayımı ilk olarak 1970'li yıllarda Macleod ve Wilson tarafından ortaya konulmuştur [7]. Bilindiği gibi kütlelerin kat hizalarında yoğunlaşmasından dolayı deprem kuvveti büyük bölümüyle döşeme içine ve üstüne etkir. Bu deprem yükleri yatay döşemeler içinde yayılarak düşey taşıyıcılara aktarılır. Bu yük aktarımının etkin ve güvenli bir şekilde yapılabilmesi için döşemenin yeterli rijitlik ve dayanıma sahip olmalısı gerekmektedir, ancak bu koşullarda döşemelerin sonsuz rijit davrandığı varsayımı yapılabilir. Yapı analizinde bu yaklaşımın kullanılabilmesi için dinamik çözümlemede aşağıdaki basitleştirmeler yapılması gerekli olmuştur.

1) Döşemeler kendi düzlemleri içinde rijit cisim hareketi yaparlar.

Matematik modelde döşemenin ağırlık merkezi ana düğüm (Master Joint) noktası tanımlanmıştır. Bu düğüm noktasında döşemenin deprem yükleri etkisindeki hareketi için δ_x, δ_y yatay ötelemeleri ve döşeme düzlemine normal doğrultuda θ_z dönme hareketi serbest bırakılmıştır (Şekil 3.1). Döşeme içindeki diğer düğüm noktaları ikincil (slave) düğüm noktaları olarak adlandırılırlar. İkincil düğüm noktalarının kat döşemesi içindeki ötelenmeleri ana düğüm noktasına bağlı olarak hesaplanabilir. Fakat bu düğüm noktalarında δ_z, θ_x, θ_y düzlem dışı serbestliklerinin de tanımlanması gerekmektedir.

2) Bina kütleleri ve kütlesel atalet momentleri kat döşemelerinde toplanmıştır.

3) Depremin düşey hareketi ihmal edilmiştir.

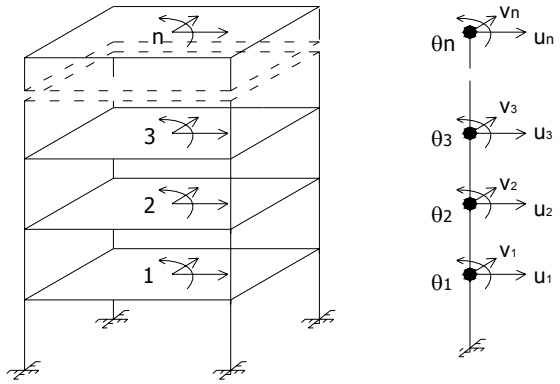
Bu basitleştirmelerle n kat'lı ve her katta m düğüm noktası olan bir yapı için dinamik hesapta N_{bd} bağımsız uç deplasmanları sayısı (3.1) bağıntısıyla bulunabilir.

$$N_{bd} = n \times (3 \times m + 3) = (3 \times m \times n) + (3n) \qquad (3.1)$$

Aynı yapı için rijit diyafram kabulü yapılmaz ise her düğüm noktasında 6 bağımsız uç deplasmanı tanımlanacak, toplam bilinmeyen N_b sayısı ise (3.2) bağıntısıyla hesaplanmalıdır.

$$N_b = 6 \times m \times n \qquad (3.2)$$

Örnek olarak tez çalışmasında çözülen 10 katlı yapı için : n = 10, m = 28, rijit diyafram tanımı ile bilinmeyen sayısı 870 olacakken, rijit diyafram tanımı kullanılmadığı takdirde bu sayı (3.2) bağıntısıyla 1680 olarak hesaplanacaktır.



Şekil 3.1 - Kütlelerin katların ağırlık merkezinde toplandığı kabul edilen yapı modeli

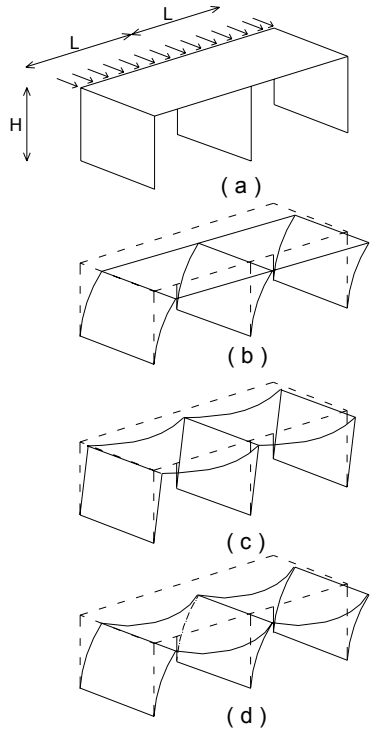
Kat döşemeleri rijit diyafram olarak çalışan yapılarda, döşeme diyaframı yatay yükleri yatay yük taşıyan elemanlara bu elemanların bağıl rijitlikleriyle orantılı dağıtır. Bu tip özellik gösteren yapılarda döşemelerin düzlem içi deplasmanları yatay yük taşıyan elamanların deplasmanları yanında ihmal edilebilecek düzeydedir (Şekil 3.2-a).

3.1.2 Kat Döşemelerinin Esnek Diyafram Olarak Çalıştığı Binalar

Kat döşemeleri esnek diyafram olarak davranış gösteren yapılarda, döşeme diyaframı yatay yükleri yatay yük taşıyan elemanlara bu elemanların bağıl rijitliklerinden bağımsız dağıtır (Şekil 3.2-b). Elastik diyafram birbirlerine bağlı sürekli kirişlerden oluşturulmuş bir ağ olarak modellenebilir [8, 9]. Kat döşemeleri esnek davranış gösteren modellerde döşeme diyaframlarının deplasmanları yatay yük taşıyan elemanlara göre daha büyük düzeydedir.

3.1.3 Kat Döşemelerinin Yarı Rijit Diyafram Olarak Çalıştığı Binalar

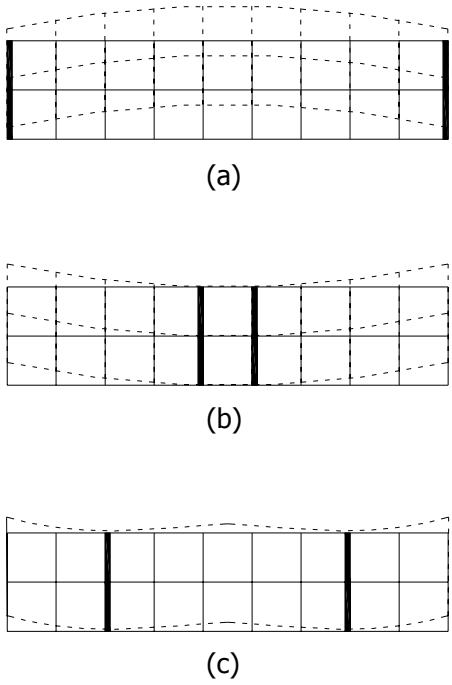
Döşeme deplasmanları ile yatay yük taşıyan elemanların deplasmanları birbirine yakın ise döşemeler yarı rijit davrandığı kabul edilebilir (Şekil 3.2-c). Bu durumda döşeme modelinin elastik mesnetlenmiş sürekli kiriş olarak düşünülmesi daha gerçekçidir [8, 9].



Şekil 3.2 - Çeşitli diyafram modelleri

Kat döşemelerinin rijit, esnek yada yarı rijit çalışmasına tek etken döşeme rijitliğini sağlayan döşeme kalınlığı ve malzeme özellikleri değildir. Bunun yanında kat yüksekliği H, kat adedi ve döşeme açıklığı da değiştirilerek parametrik çalışmalar yapılmış ve bu 3 durum arasında geçiş koşulları araştırılmıştır [8].

Deprem yükleri döşeme plağı düzlemine paralel doğrultuda etki yaparak ve plağı, çok derin ve ince bir kiriş gibi zorlaması beklenir. Etkin bir diyafram görevi için döşeme kendi düzlemi içinde etkiyen deprem yükü altında çok küçük bir sehim yapmalı, düzlem içi eğilme rijitliği büyük olmalıdır. Döşeme boşlukları bu rijitliği azaltır. Ayrıca plandaki en dış perdeler arasındaki uzaklığın perde yada yapı genişliğine oranı iki katı aştığında de bu etki (esnek diyafram davranış) artmaktadır [9].



Şekil 3.3 - Çeşitli perde yerleşimleri için döşeme davranışları

Planda bir boyutu diğer boyutuna göre daha uzun olan yapılarda perdeler yapının kenarlarına yerleştirildiği takdirde döşemenin yatay deplasman durumu Şekil 3.2-a deki gibi olacaktır. Perdeler iç kısma yerleştirildiğinde ise durum Şekil 3.2-b ‘deki gibi olacaktır. Şekil 3.2-c’de bu tür yapılar için perde yerleşiminin, döşemenin değişik noktalarındaki deplasman durumu bakımından en elverişli olduğu durumdur.

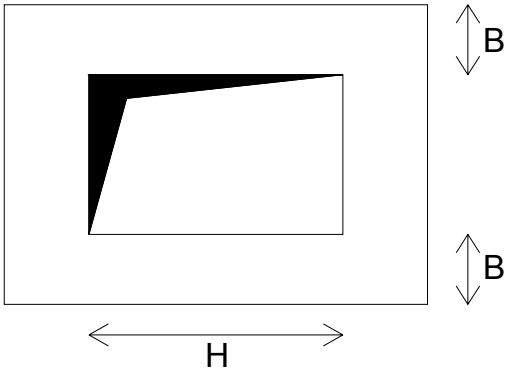
3.1.4 Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bina tipi yapılarda kat döşemelerindeki döşeme boşluğu düzensizliği durumuyla ilgili araştırma sayısı kısıtlıdır. Yapılan araştırmalar daha çok taşıyıcı sistemin değişik düzensizlik durumları için ve de farklı rijitliklerdeki yatay yük taşıyan elemanlarla oluşturulmuş sistemler için döşemelerin rijit diyafram olarak çalıştığı varsayımının araştırılması yönündedir.

Bu kısımda incelenen çalışmalarda daha çok döşeme boşluğu düzensizliği durumlarının da incelendiği araştırmalar ön planda tutularak araştırmacıların yaptığı çalışmalar hakkında bilgiler verilecektir.

Karadoğan, F., Pala, S. ve Karayel, V., [9], burulmaya maruz üç boyutlu tek katlı yapılarda yatay yük hesabı için döşemelerin düzlemleri içinde yaptıkları şekil değiştirmeleri ve büyük döşeme boşluklarının etkisini hesaba katan basit bir yöntem önermişlerdir. Yaptıkları çalışmada boşluk büyüklükleri, yatay yük taşıyıcı elemanların boşluklara göre konumlarının ve rijitliklerinin değiştirilerek, yapıya etkiyen yatay yükün yatay yük taşıyıcı elemanlara dağılımı, bu dağılıma döşemenin düzlem içi eğilme ve kayma rijitliklerinin etkisi parametrik olarak incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda büyük boşlukların 3 boyutlu burulan yapıların yatay yükler etkisindeki davranışını önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Bu durumlarda rijit diyafram kabulünün gerçekçi sayılmadığını göstermişleridir ve geliştirdikleri yöntemle bilinmeyen sayısını fazla arttırmadan uygulanabilecek eşdeğer mekanik bir model önermişlerdir.

Şenel, Ş.M., Kaplan, H. ve Atımtay, E., [10], [1]'de verilen döşeme boşluğu düzensizliği ve planda çıkıntılar bulunması düzensizlikleri (A2 ve A3 türü) durumları için, çeşitli yapıların yatay yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. Yaptıkları incelemede değişen yatay rijitlikler, ve Şekil 3.4' de görülen H/B oranı için kolon, perde gibi yatay yük taşıyan elemanlardaki yatay yükün dağılımını ve kat döşemelerinin kritik noktalarındaki deplasman değerlerini parametrik olarak incelemişlerdir. H/B oranının kritik değerler alması halinde kolonlardaki kesme kuvveti değerlerinin arttığını seçtikleri bilgisayar modelleri ile incelemişlerdir. Bu durumlarda yatay yük dağılımında artış olan kolonlarda kat diyaframından farklı yanal öteleme hareketleri gözlenmiştir.



Şekil 3.4 - H, B değişimi

Gülay, F.G., Şen, B. Ve Tuğa, P.T., [11], yaptıkları çalışmada ABYYHY'de A2-I olarak verilen büyük döşeme boşluğu düzensizliği durumu için parametrik bir araştırma yapmışlardır. Değişik yatay yük taşıyıcı eleman yerleşimine sahip, planda aynı boyutlardaki yapılar için analiz yapmışlardır. Analiz sonucunda, ardı ardına yer alan iki kat arasındaki kolonlarda oluşan kesme kuvveti farkı hesaplanmış, bu kuvvetler, sistemden bağımsız hale getirilerek kat döşemelerine etkitilmiş ve döşemelerde düzlem içi gerilme dağılımları elde dilmiştir. Yapılan araştırmada elde edilen en büyük döşeme çekme gerilmeleri betonun alabileceği kritik çekme gerilmesi ile kontrol edilmiştir. Gerilme değerlerinin bazı örnek yapılar için kritik değerleri aştığı bu sistemler için yapılan rijit diyafram kabulünün geçerliliğinin sorgulanması gerektiği vurgulanmıştır.

Saffarini, H.S., Qudaimat, M.M., [7], kat adedi, kat yüksekliği, döşeme tipi, planda düzensizlik durumları, döşeme boşluğu düzensizliği durumu, yatay yük taşıyıcı elemanların sayısı ve yerleşimlerini parametrik olarak değiştirerek çeşitli yapılar için rijit diyafram ve esnek diyafram kabullerini karşılaştırmışlardır. Araştırmalarında yatay taşıyıcı elemanların kesme kuvveti dağılımlarını ve yatay deplasmanları karşılaştırma kriteri olarak ele almışlardır. Araştırma sonucunda rijit ve esnek döşeme kabulü ile yapılan sonuçlar arasında bir hata formülasyonu geliştirilmiştir. İki kabul arasındaki hatanın daha çok yatay yük taşıyan elemanlarla döşeme diyaframının arasındaki rijitlik farkından meydana geldiği vurgulanmıştır.

Ju, H.S., Lin, M.C., [12], Planda çıkıntı düzensizliğine sahip T ve U tipi yapılarda rijit diyafram ve esnek diyafram kabulleri ile yapılan çözümlemeleri karşılaştırarak bir hata formülasyonu türetmişlerdir. İncelemelerinde kolon uç kuvvetlerini karşılaştırma kriteri olarak ele almışlardır. Araştırmada perde tipi elemanlara sahip olmayan düzenli veya düzensiz plana sahip yapılarda iki çözüm yaklaşımı arasındaki farkın ihmal edilebilecek düzeyde olduğu, fakat özellikle perde tipi elemanlara sahip

yapılarda bu iki çözüm arasında ihmal edilemeyecek düzeyde farklar olduğu bulunmuştur.

Acun, B., [13] , kat yükseklikleri, döşeme kalınlıkları, değişik perde yerleşimleri, döşeme boşlukları, planda girinti ve çıkıntılar bulunan değişik modeller üzerinde rijit diyafram ve esnek diyafram kabullerini karşılaştırmıştır. Değerlendirme kriteri olarak son kat döşemeleri üzerinde seçilen kritik düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler esas alınmıştır. Döşemede boşluk oranının artması durumunda iki model arasındaki sonuçların uzaklaştığı tespit edilmiştir.

Yalçın, Ö., [14], plandaki boyut oranları büyük olan yapılar ve geri çekme düzensizliği olan yapılar için rijit diyafram ve esnek diyafram çözümlerini karşılaştırmıştır. Kat adedi, perdelerin yerleşimi, perde kalınlıkları değiştirilerek örnek yapıların yatay yükler etkisindeki davranışı incelenmiştir. Yatay yük taşıyan elemanlardaki kesme kuvveti dağılımı, yapıların deprem etkisindeki dinamik davranışları sonuçları değerlendirmede esas alınmıştır. Esnek diyafram kabulü ile modellenen yapılarda kolon uç deplasmanlarının perde uç deplasmanlarından daha büyük değerler aldıkları, kolonların rijit diyafram kabulünden elde edilen çözümlerden çok daha fazla yatay kuvvete maruz kalabildikleri belirtilmiştir. Döşeme esnekliğinin az katlı perde ve çerçevelerden oluşan sistemlerde önem kazandığı, çok katlı yapılarda da birinci kat döşemeleri düğümlerinde meydana gelen ivmelerin rijit diyafram modelinden elde edilenlerden yüksek değerler aldıkları belirtilmiştir.

Atabey, M.S., [15] , planda büyük çıkıntılar bulunan yapı sistemleri için, döşemelerin deprem davranışları incelenmiştir. Çalışma yöntemi olarak [11] no'lu kaynakta yapılan çalışmaya benzer bir yol izlenmiştir. Kat döşemelerinde kiriş idealleştirilmesi yapılmış ve elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Farklı taşıyıcı sistem düzenleri için kat döşemelerindeki betonun kritik gerilme değerleri kontrol edilmiştir. Araştırma sonucu yalnız çerçevelerden oluşan yapı sistemlerinde döşemelerdeki düzlem içi gerilmelerin küçük değerlerde kaldığı, aynı tip yapılar için taşıyıcı sistemin perdeli olarak düzenlenmesi durumunda betonun kritik çekme dayanımının aşıldığı gözlenmiştir.

4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde tez kapsamında incelenen büyük döşeme boşluğu düzensizliğine sahip çerçeveli örnek bir yapı sistemi 3 ayrı bilgisayar modeli ile çözülerek incelenmiştir. Yapının plandaki özellikleri değişmeden yapının taşıyıcı sistemine perdeler eklenerek yeniden düzenlenmiş ve yine 3 ayrı modelleme ile çözüm yapılmıştır.

Bu iki durum için kat döşemelerinin rijit diyafram olarak davrandığı yaklaşımının geçerli olduğu ve bu yaklaşımın kullanılmadığı, kütlelerin kolon uçlarında toplandığı ve yayılı kütleli esnek diyafram çözümleri birbirleriyle karşılaştırılmışlardır.

4.1 İncelenen Yapıların Özellikleri

4.3'de incelenen yapı sistemi döşeme boşluk oranı 1/3'ten büyük olduğu için ABYYHY'de [1] tanımlanmış olan A2-I tipi büyük döşeme boşluğu düzensizliğine sahip yapı türü kapsamına girmektedir (Şekil 4.1). Çözümler için çerçeveli ve perde+ çerçeveli olmak üzere 2 tip taşıyıcı sistem seçilmiştir:

- Deprem yüklerinin, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler tarafından taşındığı 1. tip yapı (Şekil 4.1-a)
- Deprem yüklerinin, süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeveler + boşluksuz perdeler tarafından taşındığı 2. tip yapı (Şekil 4.1-b)

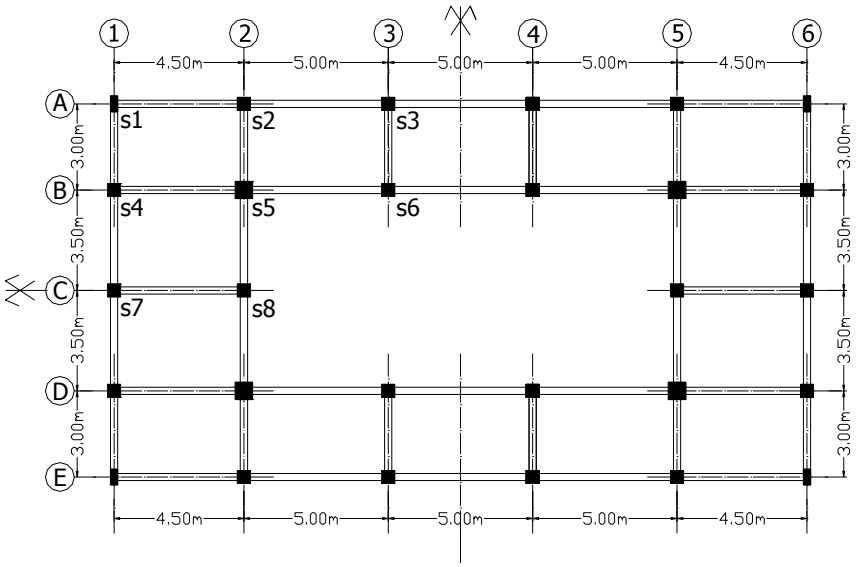
Yapıların Özellikleri:

Yapı zemin ve 9 normal kattan oluşmaktadır. Zemin kat 4 m, normal katlar 3 m yüksekliğindedir. Yapı yüksekliği boyunca katlara göre değişen kolon ve perde boyutları Tablo 4.1'de verilmiştir. Tüm kirişler 25 x 50 cm, döşemeler ise 12 cm kalınlığında kirişli plak döşeme olarak seçilmiştir. Döşemelere gelen yükler:

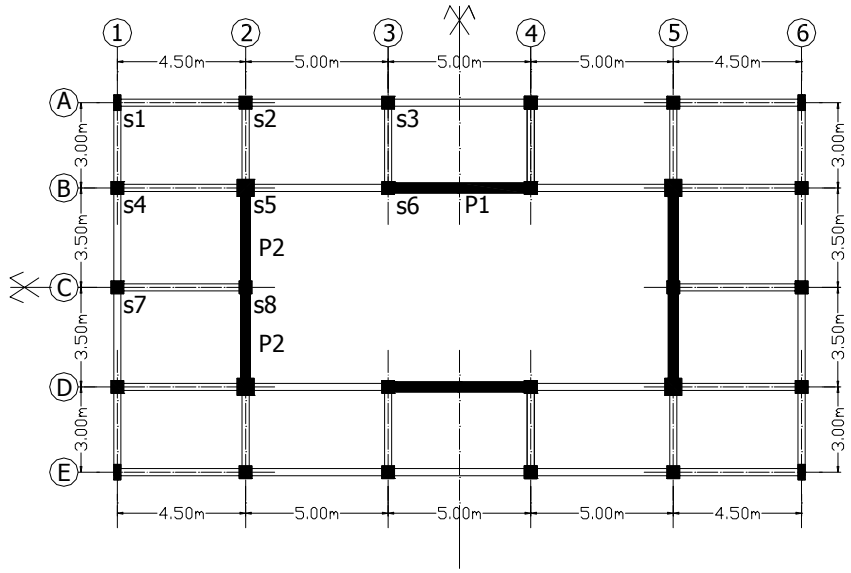
- g= 4.5 kN/m^2,
- q= 2.0 kN/m^2 (en üst katta q= 1.0 kN/m^2) olarak hesaplarda kullanılmışlardır.

Çerçeve ve boşluk etrafında 4 kN/m duvar yükü vardır. Yapı 2. derece deprem bölgesinde inşa edilmiştir (A_o = 0,30). Yapı önem katsayısı I = 1.0 alınmıştır. Yerel zemin sınıfı Z2'dir. Yapıda BS 25 sınıfı beton, BÇ–III cinsi çelik kullanılmıştır.

R_a taşıyıcı sistem katsayısı: 1. tip yapıda deprem yüklerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek çerçeveler tarafından taşınan yerinde dökme betonarme binalar için, 8, 2. tip yapıda deprem yüklerini tamamının süneklik düzeyi yüksek çerçeveler ve betonarme perdeler tarafından taşınan yerinde dökme betonarme binalar için, 7 alınmıştır. Döşeme boşluğu oranı $\frac{35}{104} > \frac{1}{3}$'tür.



(a)



(b)

Şekil 4.1 – Yapı planları

Tablo 4.1 – Yapıda kolon ve perde kesitleri (cm×cm)

Kat	S1	S2-S3-S4-S6-S7-S8	S5	P1	P2
10-9	25×35	40×40	45×45	20x500	20x350
8-7	25×35	40×40	45×45	20x500	20x350
6-5	25×40	40×40	45×45	20x500	20x350
4-3	25×45	45×45	50×50	20x500	20x350
2	25×55	45×45	60×60	25x500	25x350
1	25×55	45×45	60×60	35x500	35x350

4.2 Hesaplarda İzlenen Yol

İki örnek yapı için yapılan çözümler Tablo 4.2'de verilen sistematikle adlandırılmış, bundan sonraki bölümlerde bu adlandırma kullanılmıştır. 1. model rijit diyafram kabulü, 2. model kütlelerin kolon uç noktalarında toplandığı esnek diyafram kabulü ve son model yayılı kütleli esnek diyafram kabulleri göz önünde bulundurularak yapılarda modelleme yapılmıştır.

Tablo 4.2 – Yapı ve model adlandırmaları

Yapı Tipi	1. model	2. model	3. model
1. tip	B1.1	B1.2	B1.3
2. tip	B2.1	B2.2	B2.3

Tablo 4.2'de verilen modellemeler için yapılan çözümler lineer elastik sınırlar içinde kalmaktadır. Yapıların ön boyutlandırması [1, 2] no'lu kaynaklara uygun olarak yapılmıştır. Depremin her iki doğrultusu için çözümleme yapılmıştır. Düşey yükler için yapının analizi yapılmamış, sadece deprem etkilerinden oluşan kuvvetler için modeller birbirleriyle karşılaştırılmışlardır. Elde edilen sonuçlar her 3 model için kolon ve perdelerde oluşan kesme kuvvetleri ve momentler bakımından karşılaştırılmış, döşemelerde ise düzlem içi gerilmeleri betonun kritik çekme dayanımıyla karşılaştırılmışlardır. Hesaplarda Sap2000 [16] programı kullanılmıştır.

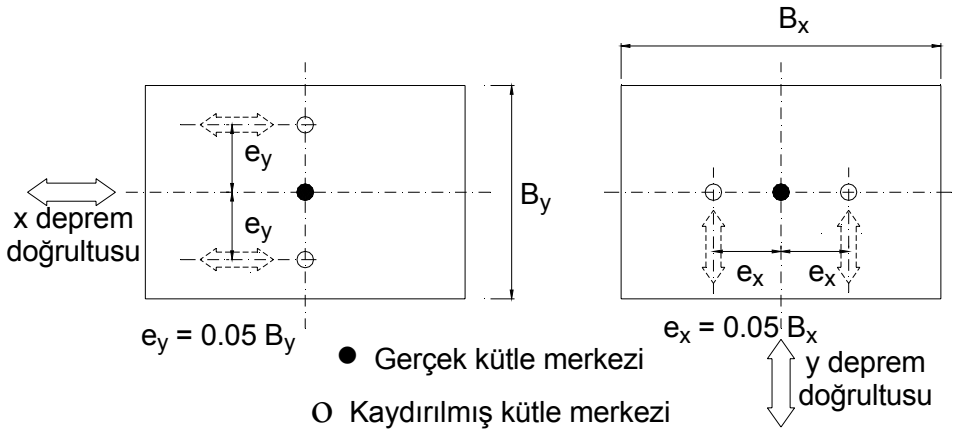
Döşeme kabuk elemanlar yardımıyla modellenmiş, böylece kirişlerin tablalı kiriş olarak modellenmelerine lüzum kalmamıştır. Döşeme modelleri yeterli sıklıkta ağlara bölünmüştür. Döşemelerin kabuk elemanlarla modellenmesindeki tercih sebebi bu elemanların hem düzlem içi levha rijitliğini (δ_x, δ_y, θ_z) hem de düzlem dışı plak rijitliklerini (θ_x, θ_y ,δ_z) bulundurması ve 3 boyutlu modellemeler için daha gerçekçi çözümler sağlamalarıdır [17].

Dinamik analizlerde, dinamik hesap modeli seçeneği olarak Ritz Vektörleriyle hesap seçilmiştir. Dinamik yükler etkisindeki sistemlerin çözümü için Ritz vektörleriyle çözümün, aynı sayıda serbestlik derecesi göze alınan sistemlerde, serbest titreşim mod şekillerinin baz olarak kullanılmasıyla yapılan çözümden (Eigen Vektörleri ile çözüm) daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir [17, 18]. Dinamik analizde tüm modeller için her katta 3 adet olmak üzere ilk 30 modun katkısı göz önüne alınmıştır.

1. modellerde deprem hesapları ABYYHY'de [1] açıklanan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle, 2. ve 3. modellerde ise deprem hesapları Mod Birleştirme Yöntemiyle yapılmıştır, sönüm oranı %5 alınmış ve mod katkılarının birleştirilmesi için CQC (tam karesel birleştirme) yöntemi kullanılmıştır. CQC yönteminin SRSS (karelerinin toplamının karekökü) yöntemine üstünlüğü [17, 18]'de şu şekilde açıklanmıştır:

Bir yapıdaki kuvvet veya deplasmanın pik değerini tahmin etmek için kullanılan en korunumlu (güvenli tarafta kalan) yöntem, modal davranış büyüklüklerinin mutlak değerlerinin toplamını kullanmaktır. Bu yaklaşım, bütün modlar için maksimum mod değerlerinin aynı anda oluştuğunu kabul eder. Bir diğer çok yaygın yaklaşım ise, deplasman veya kuvvetlerin değerlerini tahmin etmek için, maksimum mod değerlerinin karelerinin toplamının karekökünü kullanmaktır (SRSS). SRSS yöntemi, bütün maksimum mod değerlerinin istatistiksel olarak bağımsız olduklarını kabul eder. Çok sayıda frekansın hemen-hemen özdeş olduğu üç boyutlu yapılarda bu kabul doğrulanmaz. Nispeten yeni mod birleştirme yöntemi, Tam Kare Birleştirme (CQC) olup, bu yöntem 1981 de Wilson, Der Kiureghian ve Bayo tarafından yayınlanmıştır. CQC yöntemi mod katkılarını birleştirilirken, modal sönüm etkileri nedeniyle birbirine yakın değer alan modların istatiksel çiftleşmelerini göz önüne alır. CQC yönteminin, davranış spektrumunda terimlerin birbirine göre olan (bağıl) işaretlerini göz önüne alma yeteneği, SRSS yöntemindeki hataların giderilmesini sağlamıştır.

Ek dışmerkezlik etkileri, her kütle için etkiyen deprem doğrultularına dik yöndeki kat boyutunun %5 kaydırılması yerine bu dışmerkezlikten oluşan momentlerin kütlelerin bulunduğu düğüm noktalarına etkitilmesi yoluyla hesaplanmıştır (Şekil 4.2). Mod birleştirme yöntemiyle deprem hesabı yapılan 2. ve 3. modellemelerde ise ABYYHY'de [1] belirtildiği üzere katlardaki her kütleye etkiyen eşdeğer deprem yükleri hesaplanmış, bu kuvvetler için % 5 dışmerkezlikten oluşan momentler mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçlarla süperpoze edilmişlerdir.



Şekil 4.2 – Kaydırılmış kütle merkezi

4.3 B1 Yapısı İçin Çözümler

Bu bölüm 4.1' de özellikleri verilen 1. tipteki yapı için çözümler içermektedir.

4.3.1 B1.1 Çözümü

Çözümlerde deprem hareketinin düşey bileşeni ihmal edilmiştir. Yapının dinamik hesabında, rijit cisim hareketi yapan kat döşemesinin, kütle ve atalet kuvvetleri kat kütle merkezinde tanımlanmıştır. Bunun için kat kütle merkezlerinde "Master Joint" adı verilen düğüm noktaları tanımlanmış, bu düğüm noktalarına δ_x, δ_y serbestlikleri yönünde kat kütleleri eklenmiş, yapının düşey eksende yaptığı θ_z dönme hareketine karşı gelen rijitlik ise Denklem 4.1 ile verilen polar atalet momenti ile düğüm noktalarına eklenmiştir. Denklem 4.1'de m_i kat kütlesi, I_x, I_y kat döşemesinin düzlem içi eğilme rijitliklerini, A kat alanını vermektedir.

$$M_{\theta_i} = \frac{m_i(I_x + I_y)}{A} \tag{4.1}$$

Kat ağırlıkları Tablo 4.3 'de verilmiştir.

Tablo 4.3 - Kat ağırlıkları

Kat	g (kN)	q (kN)	W	m_i (kNs^2/m)	M_{θ_t}
10	1623,125	207	1685,225	171,786	6742,618
9	2258,625	414	2382,825	242,898	9533,729
8	2258,625	414	2382,825	242,898	9533,729
7	2258,625	414	2382,825	242,898	9533,729
6	2260,500	414	2384,700	243,089	9541,231
5	2262,375	414	2386,575	243,280	9548,733
4	2303,250	414	2427,450	247,446	9712,274
3	2344,125	414	2468,325	251,613	9875,816
2	2364,375	414	2488,575	253,677	9956,837
1	2460,125	414	2584,325	263,438	10339,934

Şekil 4.1-a'da kat planı verilen B1 yapısının Tablo 4.3'de verilen değerler için analizi yapılmış: X doğrultusundaki periyot T_{1x}=1,1406 sn, Y doğrultusundaki periyot T_{1y} =1,096 sn olarak hesaplanmıştır. Katlara etkiyen deprem yükleri Tablo 4.4 'de verilmiştir.

Tablo 4.4 – B1.1 çözümünde deprem kuvvetleri ve ek burulma momentleri

Kat	F_x (kN)	M_x (kNm)	F_y (kN)	M_y (kNm)
10	191,614	124,549	195,151	234,181
9	147,259	95,719	152,550	183,060
8	131,482	85,463	136,205	163,446
7	115,704	75,207	119,861	143,833
6	100,005	65,003	103,597	124,317
5	84,281	54,782	87,309	104,770
4	69,651	45,273	72,153	86,584
3	54,480	35,412	56,437	67,724
2	38,449	24,992	39,830	47,796
1	22,816	14,830	23,636	28,363

Bu çözüm modeli için X doğrultusundaki deprem için toplam deprem yükü: V_{tx} = 955,739 kN, Y doğrultusundaki deprem için toplam deprem yükü: V_{ty} = 986,728 kN olarak hesaplanmıştır.

Yapıda planda ve düşey doğrultudaki tüm düzensizlik durumları incelenmiş ve A2-I düzensizliği dışında diğer düzensizlik koşulları sağlanmıştır.

Yapıda A1 tipi planda düzensizlik durumu için kat ötelenmeleri kontrol edilmiş bütün katlar için $\eta_{bi} < 1.2$ koşulu sağlanmıştır. (Tablo A.1)

Yapıda B2 tipi düşeyde düzensizlik durumu için kat ötelenmeleri kontrol edilmiş bütün katlar için $\eta_{ki} < 1.5$ koşulu sağlanmıştır. (Tablo A.1)

Deprem yükleri etkisindeki yapıda B1.1 çözümüne ait kolon kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.5'de verilmiştir.

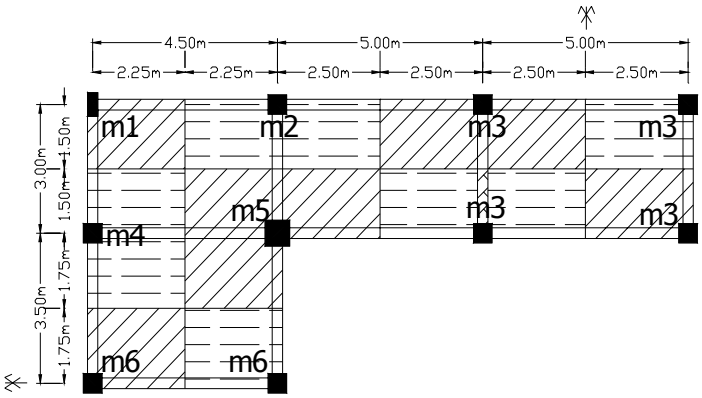
Tablo 4.5 – B1.1 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN)

Ex	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	2,701	1,923	9,257	7,474	13,296	10,389	2,836	3,117	10,441	9,287	14,794	11,474	1,525	2,225	1,510	2,250
9	5,782	3,986	17,805	13,075	21,519	15,500	10,194	8,306	21,957	16,904	23,138	16,579	9,060	7,600	9,033	7,567
8	8,595	5,836	25,656	18,171	29,572	20,770	16,329	12,158	32,356	23,561	31,449	22,033	15,201	11,445	15,215	11,455
7	10,835	7,355	32,739	22,700	36,538	25,258	21,957	15,712	41,700	29,467	38,607	26,646	20,917	15,040	20,946	15,057
6	14,298	9,670	38,904	26,627	42,427	29,011	26,543	18,597	49,381	34,316	44,650	30,496	25,597	17,979	25,666	18,019
5	16,603	11,059	43,250	29,573	46,282	31,662	31,726	21,676	57,067	39,000	48,359	33,102	31,049	21,209	31,084	21,241
4	16,966	11,268	48,978	33,531	52,906	36,249	32,676	22,438	61,294	41,455	55,061	37,786	31,696	21,717	31,903	21,822
3	17,920	12,045	53,827	35,996	56,836	38,115	38,608	25,790	57,819	41,005	59,172	39,615	37,731	25,245	37,683	25,274
2	22,133	14,561	54,469	35,693	57,844	37,825	39,286	25,579	67,715	50,044	61,293	39,943	37,109	24,318	36,040	23,755
1	18,826	8,565	75,840	30,705	76,772	31,417	73,233	28,202	209,405	73,349	78,994	32,603	73,984	28,179	73,612	27,895

Ey	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	3,282	2,411	3,623	3,234	-2,270	-0,895	13,734	10,155	17,750	13,811	-2,266	-0,878	21,348	15,683	26,437	19,325
9	7,160	5,040	10,632	8,136	5,909	5,078	21,201	14,839	28,092	20,217	5,901	5,067	27,798	19,195	33,208	22,803
8	10,741	7,349	16,580	11,900	12,329	9,117	28,457	19,598	38,269	26,825	12,334	9,120	35,165	24,071	41,264	28,176
7	12,701	8,820	22,147	15,390	18,546	13,005	35,256	23,885	47,398	32,566	18,556	13,011	41,340	28,049	47,969	32,495
6	19,535	13,462	26,188	17,885	23,212	15,892	40,636	27,306	53,917	36,622	23,232	15,904	45,766	30,839	52,781	35,533
5	22,270	14,817	31,029	20,783	29,281	19,510	44,063	29,726	60,292	40,577	29,292	19,520	48,096	32,551	54,579	37,048
4	24,237	15,953	32,396	21,654	30,341	20,071	51,168	34,448	65,763	43,726	30,379	20,091	55,778	37,727	62,715	42,641
3	24,244	16,422	38,322	24,843	37,244	24,126	55,143	36,201	61,678	42,436	37,235	24,131	57,597	38,116	64,878	42,835
2	31,214	21,155	38,337	24,329	36,272	23,077	55,354	35,613	72,138	51,286	36,066	22,969	54,576	35,526	65,157	42,026
1	56,979	21,922	63,181	25,304	66,471	26,192	64,007	27,397	179,779	65,715	66,399	26,137	63,514	27,021	70,070	30,566

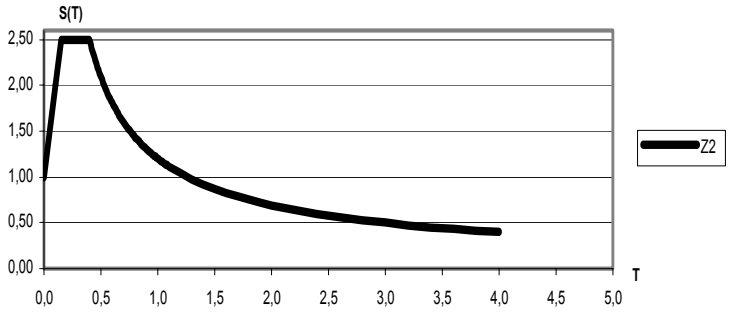
4.3.2 B1.2 Çözümü

Bu modellemede 4.3.1'deki çözümden farklı olarak kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalıştığı varsayımı terk edilmiştir. Yapılan çözümde kat kütlelerinin kattaki kolon uç noktalarında toplandığı varsayımı yapılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 – B1.2 çözümü için kütle modeli

Z2 zemin sınıfına ait elastik ivme spektrumu kullanılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 - Z2 Zemin sınıfı için elastik ivme spektrumu

Spektrum ölçek katsayısı

$$Ao \times g = 2{,}943 \tag{4.2}$$

Yük kombinezonu katsayısı

$$1/R_a = 0{,}125 \tag{4.3}$$

olarak dinamik hesapta kullanılmıştır.

Hesaplarda Ritz vektörleri kullanılmış, sönüm oranı %5 alınmış ve mod katkılarının birleştirilmesi için CQC (tam karesel birleştirme) yöntemi kullanılmıştır. Modal kütle katılım yüzdeleri eklerdedir. (Tablo A.2)

Bu modellemede yapının X doğrultusundaki periyodu T_{1x}=1,1406 sn, Y doğrultusundaki periyodu ise T_{1y} =1,096 sn olarak hesaplanmıştır.

Mod birleştirme yöntemiyle hesap edilen bina toplam deprem yükü V_{tB}, depremin her iki yönü için, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t ile karşılaştırılmıştır.

X yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 832,359 kN , V_t = 955. 739 kN olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan uç kuvvetleri ABYYHY'de [1] belirtildiği üzere denklem 4.4'ü sağlamalıdır. A1, B2, B3 düzensizliklerinin hiç biri yapıda bulunmadığı için, $\beta \cong 0.90$ değeri kullanılmıştır.

$$\frac{V_{tB}}{V_t} < \beta = 0.871 \qquad (4.4)$$

Denklem 4.4 göre β =0,871 < 0.9 olduğundan mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5 e göre artırılması gerekmektedir.

$$B_D = (\beta . \frac{V_t}{V_{tB}}) . B_B = 1.033 \qquad (4.5)$$

Y yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 851,263 kN , V_t = 986,584 kN olarak hesaplanmıştır. Denklem 4.4 kullanılarak β=0,863 olarak hesaplanmıştır. Mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5'e göre B_D = 1,043 ile artırılması gerekmektedir.

Ek dış merkezlik etkilerinin hesaba olan etkisi ABYYHY'de [1] belirtildiği gibi eşdeğer deprem yükü yöntemiyle her kütle için hesaplanmış, mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçlara eklenmiştir. B1.2 çözümüne ait kolon kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.6'de verilmiştir

.

Tablo 4.6 – B1.2 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN)

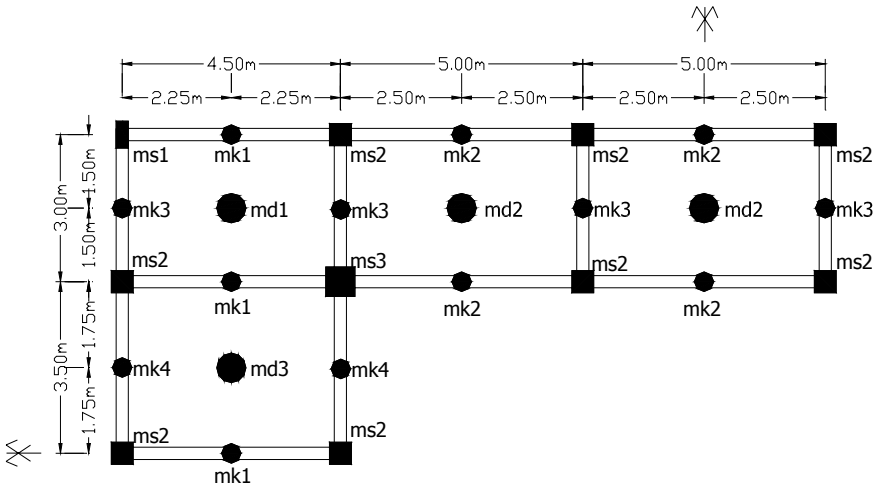
Ex	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	1,493	1,081	4,720	4,083	7,312	5,982	2,129	2,121	7,230	6,486	10,002	7,927	2,384	2,063	2,405	2,079
9	4,176	2,892	12,687	9,487	15,251	11,178	8,305	6,797	17,443	13,571	18,038	13,061	8,198	6,798	8,195	6,783
8	6,519	4,427	19,448	13,784	22,272	15,673	13,760	10,154	26,762	19,412	25,584	17,929	13,850	10,284	13,875	10,299
7	8,202	5,559	24,840	17,163	27,657	19,070	18,174	12,865	34,185	23,980	31,396	21,604	18,528	13,151	18,563	13,172
6	10,715	7,236	29,220	19,936	31,870	21,734	21,553	14,971	39,857	27,524	35,891	24,446	22,132	15,397	22,194	15,434
5	12,374	8,244	32,276	22,049	34,596	23,645	25,256	17,224	45,398	30,971	38,571	26,380	26,218	17,872	26,251	17,901
4	12,817	8,528	36,766	25,278	39,694	27,296	26,195	18,085	48,868	33,242	43,995	30,291	26,984	18,574	27,167	18,671
3	13,920	9,377	41,412	27,933	43,674	29,514	31,299	21,194	46,702	33,514	48,237	32,513	32,133	21,805	32,081	21,826
2	17,698	11,666	43,164	28,511	45,798	30,158	32,981	21,778	56,540	42,290	51,038	33,497	32,865	21,881	31,940	21,393
1	15,295	6,974	61,521	24,953	62,279	25,523	62,169	24,017	177,736	62,548	67,268	27,852	66,080	25,274	65,751	25,024

Ey	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	3,000	2,273	3,286	2,938	3,923	2,593	12,672	9,655	14,662	11,848	3,921	2,588	20,911	15,643	22,942	16,999
9	8,923	6,323	11,802	9,091	7,465	5,854	25,080	17,772	29,029	21,211	7,464	5,849	32,171	22,475	33,037	22,909
8	13,710	9,385	18,793	13,419	13,377	9,625	35,115	24,234	41,321	28,992	13,384	9,630	42,450	29,142	42,849	29,327
7	16,218	11,227	24,647	17,015	18,396	12,708	43,833	29,672	51,276	35,128	18,406	12,713	50,568	34,305	50,368	34,105
6	24,142	16,622	28,336	19,278	22,175	15,043	49,612	33,336	57,395	38,903	22,197	15,056	55,367	37,317	55,005	37,010
5	27,681	18,443	33,273	22,290	26,640	17,769	54,242	36,612	64,125	43,137	26,649	17,777	58,785	39,785	57,207	38,802
4	29,466	19,531	34,339	23,130	28,483	19,005	61,898	41,864	69,067	46,167	28,528	19,030	67,135	45,558	65,046	44,324
3	30,534	20,914	41,624	27,387	34,054	22,452	68,925	45,620	66,441	46,244	34,038	22,455	71,504	47,647	69,390	46,052
2	38,648	26,824	42,477	27,469	35,542	23,119	69,853	45,416	77,739	56,661	35,315	23,001	68,358	44,970	70,966	46,069
1	76,814	29,992	72,766	29,403	64,428	25,570	86,033	37,147	207,017	76,537	64,338	25,503	85,215	36,521	80,424	35,207

4.3.3 B1.3 Çözümü

Bu model için yapılan çözüm 4.3.2'de yapılan çözüme benzer olarak kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram çalıştığı varsayımı terk edilmiş, kat kütlelerinin her elemanda ayrı ayrı kat hizalarında toplandığı varsayımı yapılmıştır (Şekil 4.5).

Şekil 4.4 'deki elastik ivme spektrumu kullanılmıştır. Dinamik hesap parametreleri olarak denklem 4.2 ve 4.3 deki değerler kullanılmıştır. 4.3.2'de yapılan çözüme benzer olarak dinamik hesapta Ritz vektörleri kullanılmış, sönüm oranı %5 alınmış ve mod katkılarının birleştirilmesi için CQC (tam karesel birleştirme) yöntemi kullanılmıştır. Modal kütle katılım yüzdeleri eklerdedir. (Tablo A.3)



Şekil 4.5 – B1.3 çözümü için kütle modeli

Bu modellemede yapının X doğrultusundaki periyodu T_{1x}=1,1407 sn, Y doğrultusundaki periyodu ise T_{1y} =1,0962 sn olarak hesaplanmıştır.

Mod birleştirme yöntemiyle hesap edilen bina toplam deprem yükü V_{tB}, depremin her iki yönü için, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t ile karşılaştırılmıştır.

X yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 832,348 kN , V_t = 955. 672 kN olarak hesaplanmıştır.

Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan uç kuvvetleri ABYYHY'de [1] belirtildiği üzere denklem 4.4'ü sağlamalıdır. A1, B2, B3 düzensizliklerinin hiç biri yapıda bulunmadığı için, $\beta \cong 0.90$ değeri kullanılmıştır.

Denklem 4.4 göre β =0,871 < 0.9 olduğundan mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5 e göre B_D = 1,033 artırılması gerekmektedir.

Y yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 851,249 kN , V_t = 986,586 kN olarak hesaplanmıştır. Denklem 4.4 kullanılarak β=0,863 olarak hesaplanmıştır. Mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5'e göre B_D = 1,043 ile artırılması gerekmektedir.

Ek dış merkezlik etkilerinin hesaba olan etkisi ABYYHY'de [1] belirtildiği gibi eşdeğer deprem yükü yöntemiyle her kütle için hesaplanmış, mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçlara eklenmiştir.

B1.3 çözümüne ait kolon kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7 – B1.3 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN)

Ex	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	1,490	1,079	4,712	4,077	7,304	5,976	2,123	2,117	7,215	6,476	9,993	7,921	2,385	2,063	2,406	2,079
9	4,174	2,891	12,680	9,482	15,245	11,174	8,303	6,796	17,439	13,569	18,034	13,059	8,199	6,799	8,196	6,783
8	6,516	4,426	19,441	13,779	22,265	15,669	13,758	10,152	26,757	19,408	25,580	17,926	13,851	10,284	13,876	10,300
7	8,199	5,557	24,833	17,158	27,650	19,065	18,171	12,863	34,180	23,976	31,391	21,600	18,529	13,152	18,564	13,173
6	10,712	7,235	29,213	19,931	31,863	21,730	21,551	14,969	39,851	27,520	35,886	24,442	22,133	15,397	22,195	15,434
5	12,371	8,242	32,269	22,044	34,589	23,640	25,253	17,222	45,392	30,967	38,566	26,376	26,218	17,872	26,252	17,901
4	12,814	8,526	36,757	25,271	39,685	27,290	26,191	18,082	48,861	33,237	43,989	30,287	26,984	18,574	27,167	18,671
3	13,917	9,375	41,403	27,927	43,665	29,508	31,295	21,191	46,696	33,510	48,231	32,509	32,133	21,805	32,082	21,826
2	17,694	11,663	43,154	28,504	45,788	30,151	32,977	21,775	56,534	42,284	51,031	33,492	32,866	21,882	31,941	21,393
1	15,291	6,972	61,507	24,947	62,266	25,517	62,160	24,013	177,710	62,538	67,256	27,847	66,081	25,275	65,752	25,025

Ey	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	3,014	2,283	3,297	2,947	3,931	2,597	12,701	9,675	14,683	11,863	3,928	2,592	20,942	15,665	22,963	17,013
9	8,923	6,322	11,808	9,094	7,475	5,861	25,088	17,776	29,043	21,220	7,474	5,856	32,184	22,483	33,051	22,919
8	13,710	9,386	18,798	13,422	13,385	9,631	35,122	24,239	41,334	29,001	13,392	9,636	42,462	29,151	42,862	29,336
7	16,220	11,229	24,653	17,019	18,404	12,713	43,843	29,679	51,290	35,138	18,413	12,718	50,583	34,315	50,382	34,114
6	24,145	16,624	28,343	19,283	22,181	15,047	49,624	33,344	57,410	38,913	22,203	15,060	55,383	37,327	55,020	37,020
5	27,686	18,446	33,281	22,295	26,646	17,773	54,255	36,621	64,140	43,148	26,654	17,781	58,801	39,797	57,221	38,811
4	29,474	19,536	34,348	23,137	28,489	19,009	61,917	41,877	69,086	46,181	28,534	19,034	67,157	45,573	65,064	44,336
3	30,542	20,920	41,636	27,396	34,062	22,458	68,946	45,634	66,461	46,257	34,046	22,460	71,528	47,663	69,410	46,065
2	38,660	26,832	42,490	27,477	35,549	23,124	69,877	45,432	77,762	56,678	35,322	23,006	68,382	44,986	70,988	46,083
1	76,836	30,000	72,791	29,414	64,445	25,577	86,063	37,159	207,088	76,564	64,355	25,510	85,246	36,534	80,450	35,219

4.3.4 Kolonlardaki Uç Kuvvet Değişimlerinin Karşılaştırılması

B1.1, B1.2 çözümlerinden elde edilen sonuçlar B1.3 çözümünden elde edilen sonuçlarla kıyaslanacak, kolon uç kuvvetlerinin kat hizalarındaki değerlerinin katlar boyunca değişimleri tablo ve şekillerle sunulacaktır. Karşılaştırma yalnız X ve Y doğrultularında etkiyen yükleri için yapılmıştır. Yapının çift eksende simetrisi bulunduğu için kolon adlandırmaları Şekil 4.1 'ye göre yapılmış, yükleme simetrik olmadığı için elverişsiz iç kuvvet değerleri tüm yapıda kontrol edilmiş ve tablolara aktarılmıştır.

4.3.4.1 X Doğrultusundaki Deprem için Çözümlerin İrdelenmesi

Esnek diyafram kabulü ile yapılan B1.2 ve B1.3 çözümlerinden elde edilen sonuçlar rijit diyafram kabulü ile yapılan B1.1 çözümünden elde edilen sonuçlardan daha küçük değerler almışlardır. Çözümler arasındaki farkın; yapının dış akslarında bulunan kolonlar için, iç akslarda bulunan kolonlara göre daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo 4.8). Sonuçların karşılaştırılmasında tablolarda aşağıda verilen adlandırma kullanılacaktır. $M_{B1.i}$, ifadesi B1 örnek yapısındaki i no'lu modele ait moment değerini ifade etmektedir. $T_{B1.i}$ ifadesi B1 örnek yapısındaki i no'lu modele ait kesme kuvveti değerini, denklem 4.6 ve 4.7 de yer alan dM_{ij} ve dT_{ij} ifadeleri ise moment ve kesme kuvvetlerinin i no'lu modeldeki değerlerinin j no'lu modeldeki değerine göre değişimini ifade etmektedir.

$$dM_{ij} = \left(\frac{M_{B1.i} - M_{B1.j}}{M_{B1.j}} \right) * 100 \tag{4.6}$$

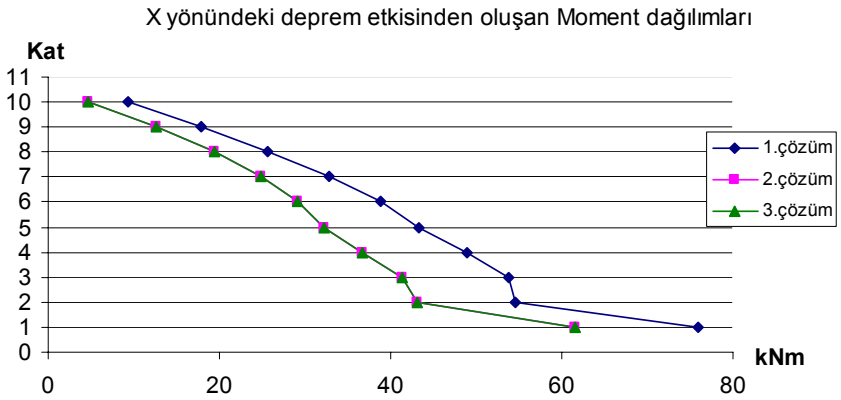
$$dT_{ij} = \left(\frac{T_{B1.i} - T_{B1.j}}{T_{B1.j}} \right) * 100 \tag{4.7}$$

Tablo 4.8 – B1 yapısında Ex deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri

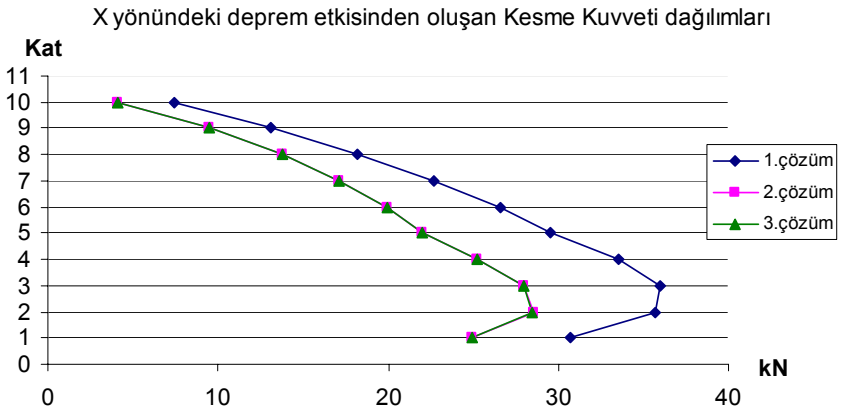
Kolon	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
S1	36,09	35,65	0,04	0,04
S2	38,07	36,30	0,04	0,04
S3	36,82	35,56	0,03	0,03
S4	22,98	24,21	0,04	0,03
S5	25,01	24,56	0,03	0,03
S6	25,75	25,13	0,02	0,02
S7	9,09	13,60	-0,01	0,00
S8	8,92	13,59	-0,01	0,00

Örnek olarak Şekil 4.6 ve 4.7 ’de S2 kolonuna ait kat hizalarındaki kesme kuvveti ve moment değişimleri gösterilmiştir.

Tablo 4.9’de S2 kolonuna ait çözümler arasındaki değişim ve tüm katlar için hesaplanan ağırlıklı ortalama görülmektedir. En fazla değişim son katta olmakla beraber B1.2 ve B1.3 çözümleri arasındaki fark B1.1 ve B1.3 çözümleri arasındaki farka oranla ihmal edilebilecek düzeyde olduğu gözükmektedir.



Şekil 4.6 – B1 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait eğilme momenti değişimleri



Şekil 4.7 - B1 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri

Tablo 4.9 – B1 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri

Kat	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
10	96,46	83,32	0,17	0,14
9	40,42	37,89	0,05	0,04
8	31,97	31,87	0,03	0,03
7	31,84	32,30	0,03	0,03
6	33,17	33,59	0,02	0,02
5	34,03	34,15	0,02	0,02
4	33,25	32,68	0,03	0,03
3	30,01	28,89	0,02	0,02
2	26,22	25,22	0,02	0,02
1	23,30	23,08	0,02	0,02
ortalama	38,07	36,30	0,04	0,04

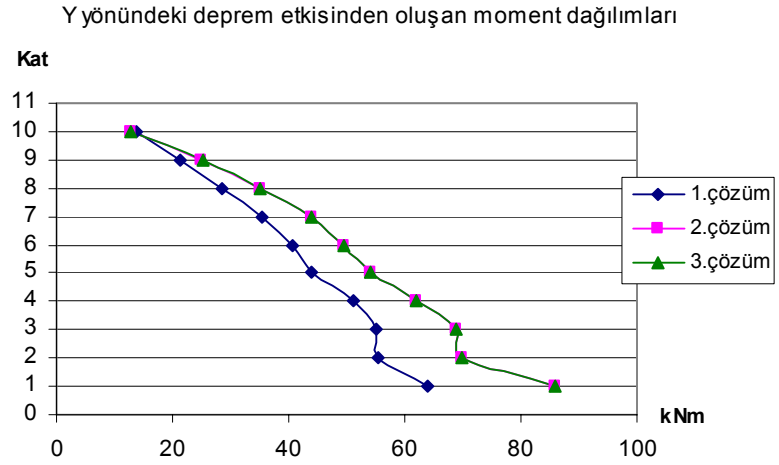
4.3.4.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Çözümlerin İrdelenmesi

Esnek diyafram kabulü ile yapılan B1.2 ve B1.3 çözümlerinden elde edilen sonuçlar rijit diyafram kabulü ile yapılan B1.3 çözümünden elde edilen sonuçlardan daha büyük değerler almışlardır. B1.1 modellemesinden elde edilen kolon iç kuvvetleriyle B1.3 modellemesinden elde edilenler karşılaştırıldığında S2, S5, S8 kolonlarındaki değişim diğer kolonlara göre daha az olmuştur (Tablo 4.10).

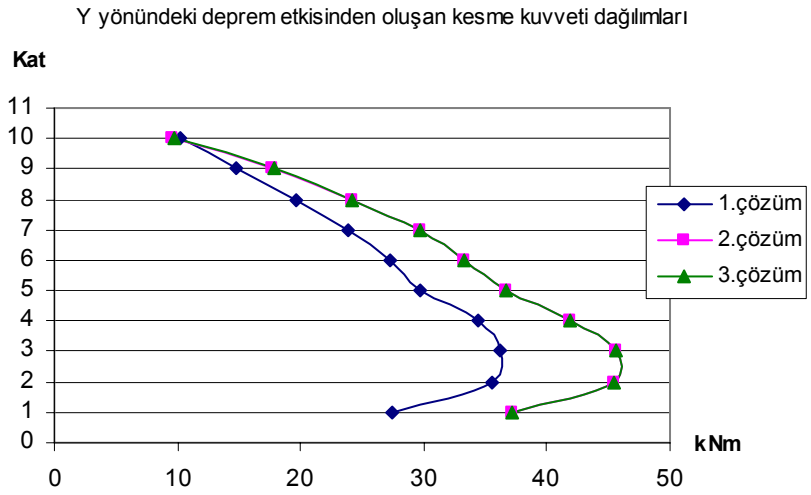
Tablo 4.10 - B1 yapısında Ey deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri

Kolon	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
S1	-17,64	-18,44	-0,06	-0,06
S2	-7,30	-7,69	-0,06	-0,05
S3	-15,03	-12,03	-0,06	-0,05
S4	-16,66	-17,35	-0,05	-0,05
S5	-4,19	-5,22	-0,04	-0,04
S6	-15,02	-11,97	-0,06	-0,05
S7	-16,48	-17,01	-0,04	-0,04
S8	-3,29	-3,70	-0,04	-0,04

Örnek olarak Şekil 4.8 ve 4.9 deki ’de S4 kolonuna ait kat hizalarındaki kesme kuvveti ve moment değişimleri gösterilmiştir. Tablo 4.11’de S2 kolonuna ait çözümler arasındaki değişim ve tüm katlar için hesaplanan ağırlıklı ortalama görülmektedir.



Şekil 4.8 – B1 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait eğilme momenti değişimleri



Şekil 4.9 - B1 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri

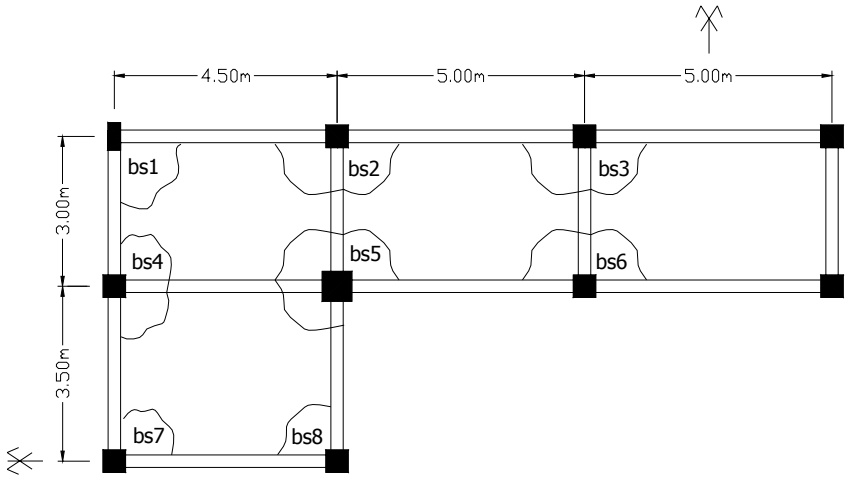
Tablo 4.11 - B1 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri

Kat	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
10	8,14	4,97	-0,23	-0,20
9	-15,49	-16,52	-0,03	-0,02
8	-18,98	-19,15	-0,02	-0,02
7	-19,59	-19,52	-0,02	-0,02
6	-18,11	-18,11	-0,02	-0,02
5	-18,79	-18,83	-0,02	-0,03
4	-17,36	-17,74	-0,03	-0,03
3	-20,02	-20,67	-0,03	-0,03
2	-20,78	-21,61	-0,03	-0,03
1	-25,63	-26,27	-0,03	-0,03
ortalama	-16,66	-17,35	-0,05	-0,05

4.3.5 Döşemelerdeki Gerilme Değerlerinin Karşılaştırılması

Depremin her iki doğrultusu için B1.1, B1.2, B1.3'de yapılan çözümlerden elde edilen döşemelerdeki düzlem içi gerilme değerleri ile betonun karakteristik çekme dayanımı karşılaştırılmışlardır. Yapıda kirişli plak döşemeler kullanılmıştır. Döşemelerde kullanılan beton cinsi ve döşeme kalınlığı aşağıda belirtilmiştir.

- BS-25 sınıfı beton için karakteristik çekme dayanımı f_{ctk} = 1,8 N/mm^2
- Döşeme kalınlığı h_f = 12 cm
- Döşemelerdeki gerilme bölgeleri Şekil 4.10'a göre adlandırılmıştır.



Şekil 4.10 – B1 yapısında döşemelerde gerilme bölgeleri adlandırmaları

4.3.5.1 X Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması

X doğrultusundaki hesap sonucunda döşemelerdeki en kritik gerilme değerleri 1. katta oluşmaktadır. Tablo 4.12'de kolonların döşemelerle birleştiği noktalardaki gerilme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.12 – B1 yapısında 1.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerinde X yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlem içi gerilme değerleri

Bölge	B1.1 N/mm^2	B1.2 N/mm^2	B1.3 N/mm^2
b_{S1}	1,06	1,075	1,07
b_{S2}	0,07	1,35	1,35
b_{S3}	0,66	1,46	1,47
b_{S4}	1,85	1,83	1,83
b_{S5}	0,76	1,76	1,76
b_{S6}	0,10	1,46	1,47
b_{S7}	1,79	1,70	1,71
b_{S8}	1,77	1,66	1,66

B1.1'de yapılan çözümleme sonucunda S4,S7 ve S8 kolonlarının bulunduğu bölgeler en çok zorlanan bölgeler olarak tespit edilmiştir. En kritik çekme gerilmesi değeri S4 kolonunun bulunduğu bölgede 1.85 N/mm^2 değerinde oluşmaktadır (Şekil A.1-a). B1.2'de yapılan çözümde B ve C akslarında yer alan (boşluk çevresinde ve kenarlarda yer alan) S4,S5,S7 ve S8 kolonlarında gerilme değeri kritik çekme gerilmesi değerine yaklaşmaktadır (Şekil A.1-b). B1.3'de yapılan çözümde ise gerilme yayılışının B1.2'dekine benzer özellikler göstermekle beraber daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil A.1-c). 3 çözüm arasında karşılaştırma yapıldığında, döşeme boşluğu çevresinde kolon-döşeme birleşimi bölgelerinde deprem doğrultusuna paralel kenarlarda B1.1 çözümün B1.2 ve B1.3 çözümden farklı gerilme değerleri aldığı gözlemlenmiştir.

4.3.5.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması

Y doğrultusundaki hesap sonucunda döşemelerdeki en kritik gerilme değerleri 1. katta oluştuğu gözlemlenmiştir. Tablo 4.13'de kolonların döşemelerle birleştiği noktalardaki gerilme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.13 - B1 yapısında 1.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerinde Y yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlemişi gerilme değerleri

Bölge	B1.1 N/mm^2	B1.2 N/mm^2	B1.3 N/mm^2
b_{S1}	2,35	2,301	2,29
b_{S2}	2,49	2,38	2,38
b_{S3}	2,11	1,96	1,96
b_{S4}	0,1	1,64	1,63
b_{S5}	1,04	2,2	2,23
b_{S6}	2,11	1,96	1,96
b_{S7}	0,001	1,82	1,82
b_{S8}	0,005	1,88	1,87

B1.1'de yapılan çözüm sonucunda S4,S5,S7 ve S8 kolonlarının bulunduğu bölgeler dışındaki tüm kolon-döşeme birleşim bölgelerinde betonun karakteristik çekme dayanımı değerinin aşıldığı görülmektedir (Şekil A.2-a). B1.2'de yapılan çözümde ise boşluk çevresinde ve boşluk doğrultusundaki kenarlarda yer alan bölgelerde gerilmeler yüksek değerler almıştır (Şekil A.2-b). B1.3'de yapılan çözümde ise gerilme yayılışının B1.2'dekine benzer özellikler göstermekle beraber daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil A.2-c). Üç modelin sonuçları karşılaştırıldığında doğrultusu boyunca boşluk tarafından sürekliliği engellenmeyen akslarda (1, 2) bulunan kolon-döşeme birleşim bölgelerinde B1.1 çözümünün B1.2 ve B1.3 çözümlerinden farklı gerilme değerleri aldığı gözlemlenmiştir.

4.4 B2 Yapısı İçin Çözümler

Bu bölüm 4.1' de özellikleri verilen 2. tipteki yapı için çözümler içermektedir

4.4.1 B2.1 Çözümü

Şekil 4.1-b 'de verilen sistem için yapılan çözüm 4.3.1'de Şekil 4.1-a 'daki sistem için yapılan çözümün benzeridir. Döşeme ve perdeler kabuk elemanlar yardımıyla modellenmiş ve yeterli sıklıkta ağlara bölünmüşlerdir.

Şekil 4.1-b 'de kat planı verilen B2 yapısının Tablo 4.3'de verilen değerler için analizi yapılmış: X doğrultusundaki periyot T_{1x}=0,6005 sn. , Y doğrultusundaki periyot T_{1y} =0,4339 sn. olarak hesaplanmıştır. X doğrultusundaki deprem için toplam deprem yükü 1824,852 kN, Y doğrultusundaki deprem için toplam deprem yükü 2366,608 kN olarak hesaplanmıştır. Bu titreşim periyotları doğrultusunda yapıya etkitilecek eşdeğer deprem yükleri Tablo 4.14'de verilmiştir.

Tablo 4.14 – B2.1 çözümünde deprem kuvvetleri ve ek burulma momentleri

Kat	F_x (kN)	M_x (kNm)	F_y (kN)	M_y (kNm)
10	305,915	198,844	372,753	447,303
9	292,724	190,271	384,248	461,098
8	261,361	169,884	343,079	411,695
7	229,997	149,498	301,909	362,291
6	198,790	129,214	260,945	313,134
5	167,534	108,897	219,916	263,899
4	138,453	89,994	181,742	218,090
3	108,295	70,392	142,156	170,587
2	76,429	49,679	100,325	120,390
1	45,354	29,480	59,535	71,441

Yapıda planda ve düşey doğrultudaki tüm düzensizlik durumları incelenmiş ve A2-I düzensizliği dışında diğer düzensizlik koşulları sağlanmıştır

Yapıda A1 tipi planda düzensizlik durumu için kat ötelenmeleri kontrol edilmiş bütün katlar için $\eta_{bi} < 1.2$ koşulu sağlanmıştır.

B2 tipi düşeyde düzensizlik durumu için kat ötelenmeleri kontrol edilmiş bütün katlar için $\eta_{ki} < 1.5$ koşulu sağlanmıştır (Tablo B.1).

B2.1 çözümüne ait kolon kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15 – B2.1 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN)

Ex	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		P1	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	13,792	11,514	32,519	23,689	27,641	19,943	8,972	6,149	11,399	4,704	20,744	15,556	19,995	14,807	45,423	35,309	544,9467	76,39148
9	12,925	9,667	30,719	20,489	26,735	17,916	9,198	6,154	13,017	6,755	19,476	13,060	19,042	12,824	41,944	29,403	559,6679	127,2378
8	14,383	10,887	32,708	22,019	28,735	19,328	9,825	6,554	14,407	7,976	21,384	14,469	20,801	14,071	45,238	32,135	204,5419	254,3959
7	15,320	11,318	33,933	22,687	30,151	20,153	10,135	6,784	15,810	9,141	22,688	15,186	22,064	14,776	46,948	32,989	496,8399	375,689
6	16,076	11,501	34,771	23,014	31,072	20,541	11,446	7,641	16,808	10,032	23,869	15,685	23,090	15,191	48,171	33,333	1508,308	481,6747
5	15,168	10,387	30,987	20,899	28,284	18,929	11,135	7,349	16,951	10,421	21,637	14,407	21,102	14,007	43,132	29,797	2867,93	594,8091
4	19,499	12,146	38,211	25,263	35,633	23,377	11,494	7,547	24,217	15,291	26,366	16,983	25,977	16,715	51,745	34,099	4370,877	638,7086
3	18,237	10,205	33,008	20,314	31,093	19,001	9,835	6,426	24,407	16,302	23,726	13,771	23,516	13,652	40,467	25,152	6249,764	751,6238
2	13,671	6,341	26,231	15,166	24,921	14,204	8,819	5,586	20,221	13,603	19,768	10,398	19,834	10,457	48,666	25,414	8428,712	825,5365
1	3,778	1,600	14,720	5,204	14,451	4,998	13,533	4,204	35,923	7,212	16,846	8,283	13,667	4,197	11,451	2,136	12014,15	944,2657

Ey	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		P2	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	-0,311	-0,360	27,000	19,834	12,479	9,156	7,744	5,424	9,301	6,852	17,148	12,179	16,625	11,757	18,252	21,763	194,6178	74,71205
9	1,551	3,350	25,192	16,545	12,339	8,209	7,736	5,151	9,341	6,261	16,785	11,178	16,425	10,945	20,258	24,729	99,63225	274,9657
8	2,904	5,865	27,255	18,143	13,785	9,189	8,331	5,531	10,500	7,026	17,884	11,920	17,490	11,660	22,624	28,053	852,0466	432,6501
7	4,115	7,920	28,265	18,729	14,847	9,780	8,082	5,455	11,402	7,484	18,489	12,254	18,385	12,134	24,911	31,301	2011,11	575,1341
6	5,109	9,414	28,908	19,016	15,692	10,165	10,785	7,217	12,056	7,739	18,682	12,261	18,904	12,378	26,529	33,744	3527,226	696,3415
5	5,584	10,037	25,186	17,053	14,450	9,450	9,668	6,330	11,420	7,213	16,890	11,190	17,113	11,354	26,621	34,360	5411,03	813,1018
4	7,972	12,390	30,051	20,127	18,060	11,479	11,523	7,399	14,841	9,036	21,408	13,951	21,691	14,140	33,181	40,945	7519,245	880,3032
3	9,811	14,180	23,772	15,038	15,761	9,149	9,223	5,732	13,376	7,406	17,989	11,028	18,519	11,338	31,450	39,468	9974,138	976,2365
2	9,743	14,129	18,287	10,924	12,509	6,694	10,149	5,829	9,421	4,639	13,634	7,922	14,355	8,390	38,930	45,835	12771,42	1048,653
1	7,215	2,256	9,882	3,984	9,165	3,065	8,398	3,185	46,884	44,811	7,572	1,662	8,207	3,039	11,425	12,070	17021,98	1119,535

4.4.2 B2.2 Çözümü

4.4.1'deki çözümden farklı olarak kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram çalıştığı varsayımı terk edilmiştir. Yapılan çözümde kat kütlelerinin kolon uç noktalarında toplandığı varsayımı yapılmıştır. Dinamik analiz Sap2000 [16] programıyla mod birleştirme yöntemiyle yapılmıştır. Z2 ye ait elastik ivme spektrumu kullanılmıştır (Şekil 4.4).

Spektrum ölçek katsayısı denklem 4.2'den Ao x g =2,943

Yük kombinezonu katsayısı denklem 4.3' den $1 / R_a$ =0,143 olarak hesaplanmıştır.

Hesaplarda Ritz vektörleri kullanılmış, sönüm oranı %5 alınmış ve mod katkılarının birleştirilmesi için CQC (tam karesel birleştirme) yöntemi kullanılmıştır. Modal kütle katılım yüzdeleri ektedir. (Tablo B.2)

Bu modellemede yapının X doğrultusundaki periyodu T_{1x}=0,6018 sn, Y doğrultusundaki periyodu ise T_{1y} =0,4353 sn olarak hesaplanmıştır.

Mod birleştirme yöntemiyle hesap edilen bina toplam deprem yükü V_{tB}, depremin her iki yönü için, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t ile karşılaştırılmıştır.

X yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 1353,924 kN , V_t = 1821,698 kN olarak hesaplanmıştır. Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan uç kuvvetleri [1]'de belirtildiği üzere denklem 4.4'ü sağlamalıdır. A1, B2, B3 düzensizliklerinin hiç biri yapıda bulunmadığı için, $\beta \cong 0.90$ değeri kullanılmıştır.

$\beta = 0{,}743 < 0.9$ olduğundan mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5 'e göre 1,211 ile artırılması gerekmektedir.

Y yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 1682,538 kN , V_t = 2360,517 kN

olarak hesaplanmıştır. Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan uç kuvvetleri [1]'de belirtildiği üzere denklem 4.4'ü sağlamalıdır. $\beta = 0{,}713 < 0.9$ olduğundan mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5 'e göre 1,262 ile artırılması gerekmektedir.

Ek dış merkezlik etkilerinin hesaba olan etkisi ABYYHY'de [1] belirtildiği gibi eşdeğer deprem yükü yöntemiyle her kütle için hesaplanmış, mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçlara eklenmiştir. B2.2 çözümüne ait kolon kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.16'de verilmiştir.

Tablo 4.16 – B2.2 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN)

Ex	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		P1	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	9,329	8,174	22,044	16,154	18,217	13,224	6,701	4,619	8,250	3,218	14,587	11,167	18,096	13,629	31,555	24,095	416,3419	76,07035
9	10,682	8,039	22,070	14,782	18,746	12,608	7,093	4,747	9,407	4,501	16,036	10,903	18,041	12,105	31,491	21,492	570,1617	155,3435
8	11,425	8,517	23,235	15,610	19,995	13,424	7,454	4,972	10,524	5,534	17,097	11,519	19,123	12,846	33,469	23,028	690,1527	263,6836
7	12,238	8,931	24,054	16,053	20,945	13,969	7,589	5,079	11,423	6,289	18,121	12,096	19,878	13,272	34,813	23,821	1023,853	353,4567
6	12,549	8,942	24,414	16,140	21,434	14,142	8,446	5,642	11,932	6,724	18,730	12,303	20,236	13,354	35,369	23,976	1671,091	432,3582
5	12,316	8,328	21,951	14,755	19,702	13,132	8,146	5,385	11,736	6,738	17,442	11,558	18,300	12,249	32,121	21,673	2647,983	518,544
4	14,798	9,144	26,415	17,413	24,315	15,887	8,233	5,412	16,298	9,440	20,172	12,949	21,333	13,958	37,393	24,194	3803,68	558,6448
3	14,519	8,075	23,143	14,210	21,506	13,094	7,064	4,622	15,684	9,342	18,759	10,930	19,059	11,377	30,203	18,446	5301,227	651,3484
2	10,083	4,776	17,853	10,282	16,872	9,550	6,202	3,943	12,528	7,005	14,917	7,838	15,186	8,267	33,948	17,505	7121,584	725,5342
1	2,732	1,173	10,567	3,770	10,303	3,579	10,689	3,528	27,405	5,434	11,596	5,246	11,482	3,683	9,556	1,901	10161,41	821,5593

Ey	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		P2	
Kat	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	0,595	1,232	29,466	21,719	16,194	11,773	9,836	6,910	14,436	10,830	23,246	16,600	21,821	15,511	17,848	19,739	323,9827	78,88367
9	2,336	4,937	28,449	18,760	16,571	10,987	10,534	7,045	14,478	9,928	24,202	16,196	23,044	15,432	20,551	23,722	432,1688	307,3789
8	4,031	8,086	30,672	20,414	17,985	11,926	11,321	7,527	15,573	10,596	25,640	17,117	24,436	16,317	23,419	27,797	927,1007	491,5977
7	5,517	10,632	31,864	21,118	18,939	12,508	11,086	7,491	16,324	11,000	26,606	17,668	25,828	17,077	25,878	31,219	1761,857	646,1567
6	6,787	12,618	32,406	21,332	19,528	12,820	14,592	9,787	16,653	11,116	26,568	17,496	26,261	17,239	27,239	33,128	2831,883	772,741
5	7,464	13,587	28,465	19,251	17,692	11,876	13,474	8,825	15,248	10,203	24,459	16,249	24,291	16,141	27,087	33,524	4124,496	892,1053
4	11,024	17,876	33,328	22,318	21,040	14,020	15,420	9,910	18,621	12,334	29,779	19,483	29,625	19,361	32,016	36,685	5554,798	958,1257
3	13,294	20,363	26,653	16,870	17,571	11,082	12,778	7,976	15,640	9,873	25,615	15,844	25,908	15,973	28,444	32,811	7198,792	1054,771
2	13,709	21,257	20,023	12,006	13,603	8,258	13,370	7,717	10,633	6,434	18,869	11,084	19,539	11,486	31,845	31,433	9067,081	1129,529
1	10,585	3,449	11,559	4,704	8,963	3,270	12,301	4,791	51,284	48,779	7,583	1,958	12,149	4,657	12,803	13,784	11882,33	1197,796

4.4.3 B2.3 Çözümü

4.4.2'de yapılan çözüme benzer olarak kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram çalıştığı varsayımı terk edilmiştir. Yapılan çözümde kat kütlelerinin her elemanda ayrı ayrı kat hizalarında toplandığı varsayımı yapılmıştır.

Şekil 4.4 'deki elastik ivme spektrumu kullanılmıştır. Dinamik hesap parametreleri olarak 4.4.2'de kullanılan parametreler kullanılmıştır. 4.4.2'de yapılan çözüme benzer olarak dinamik hesapta Ritz vektörleri kullanılmış, sönüm oranı %5 alınmış ve mod katkılarının birleştirilmesi için CQC (tam karesel birleştirme) yöntemi kullanılmıştır. Modal kütle katılım yüzdeleri ektedir. (Tablo B.3)

Bu modellemede yapının X doğrultusundaki periyodu T_{1x}=0,6019 sn, Y doğrultusundaki periyodu ise T_{1y} =0,4355 sn olarak hesaplanmıştır.

Mod birleştirme yöntemiyle hesap edilen bina toplam deprem yükü V_{tB}, depremin her iki yönü için, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan bina toplam deprem yükü V_t ile karşılaştırılmıştır.

X yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 1353,797 kN , V_t = 1821,456 kN olarak hesaplanmıştır. Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan uç kuvvetleri [1]'de belirtildiği üzere denklem 4.4'ü sağlamalıdır. A1, B2, B3 düzensizliklerinin hiç biri yapıda bulunmadığı için, $\beta \cong 0.90$ değeri kullanılmıştır.

$\beta = 0{,}743 < 0.9$ olduğundan mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5 'e göre 1,211 ile artırılması gerekmektedir.

Y yönündeki deprem için taban kesme kuvvetleri V_{tB} = 1682,65 kN , V_t = 2359,65 kN

olarak hesaplanmıştır.Bu durumda mod birleştirme yöntemiyle hesaplanan uç kuvvetleri [1]'de belirtildiği üzere denklem 4.4'ü sağlamalıdır. $\beta = 0{,}713 < 0.9$ olduğundan mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçların denklem 4.5 'e göre 1,262 ile artırılması gerekmektedir.

Ek dış merkezlik etkilerinin hesaba olan etkisi [1]'de belirtildiği gibi eşdeğer deprem yükü yöntemiyle her kütle için hesaplanmış, mod birleştirme yöntemiyle bulunan sonuçlara eklenmiştir. B2.3 çözümüne ait kolon kesme kuvveti ve moment değerleri Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17 – B2.3 yapı modeline X ve Y doğrultularında etkiyen depremden (Ex-Ey) dolayı oluşan kolon uç kuvvetleri (kNm-kN)

Kat	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		P1	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	9,421	8,323	22,023	16,143	18,185	13,202	6,692	4,612	8,482	3,533	14,586	11,165	18,080	13,612	32,125	25,076	416,1118	76,1049
9	10,757	8,167	22,068	14,782	18,743	12,608	7,095	4,749	9,601	4,773	16,033	10,901	18,043	12,110	31,945	22,286	569,934	155,3358
8	11,483	8,618	23,237	15,612	19,994	13,424	7,457	4,974	10,691	5,767	17,096	11,519	19,125	12,847	33,876	23,733	689,8042	263,6113
7	12,283	9,011	24,059	16,056	20,947	13,970	7,593	5,082	11,564	6,486	18,120	12,095	19,882	13,275	35,166	24,430	1023,339	353,3709
6	12,584	9,006	24,420	16,145	21,438	14,144	8,451	5,646	12,051	6,889	18,729	12,302	20,241	13,357	35,666	24,491	1670,399	432,2689
5	12,343	8,379	21,962	14,762	19,713	13,139	8,152	5,389	11,839	6,880	17,442	11,557	18,306	12,254	32,383	22,103	2647,133	518,4594
4	14,820	9,188	26,423	17,418	24,318	15,889	8,238	5,416	16,403	9,595	20,172	12,949	21,338	13,961	37,626	24,596	3802,331	558,4348
3	14,537	8,107	23,155	14,218	21,515	13,101	7,069	4,626	15,754	9,448	18,759	10,930	19,064	11,381	30,388	18,725	5299,163	651,0652
2	10,093	4,797	17,863	10,288	16,880	9,555	6,208	3,947	12,558	7,058	14,917	7,838	15,189	8,268	34,112	17,751	7118,397	725,1293
1	2,737	1,175	10,583	3,777	10,322	3,587	10,694	3,530	27,491	5,501	11,610	5,259	11,480	3,683	9,558	1,903	10155,46	820,8615

Kat	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7		S8		P2	
	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T	M	T
10	0,466	1,024	29,481	21,730	16,210	11,791	9,865	6,928	14,112	10,387	23,283	16,624	21,860	15,537	17,805	19,652	325,1039	79,02351
9	2,320	4,905	28,450	18,760	16,559	10,976	10,527	7,038	14,221	9,588	24,197	16,192	23,036	15,425	20,510	23,640	435,1236	307,6413
8	4,010	8,045	30,676	20,417	17,986	11,927	11,313	7,522	15,345	10,288	25,633	17,112	24,426	16,311	23,377	27,713	929,497	491,7436
7	5,495	10,589	31,867	21,120	18,940	12,509	11,079	7,486	16,128	10,734	26,596	17,662	25,816	17,069	25,836	31,135	1763,009	646,2446
6	6,766	12,577	32,410	21,335	19,533	12,822	14,582	9,781	16,491	10,890	26,558	17,489	26,249	17,231	27,199	33,047	2831,941	772,8141
5	7,445	13,555	28,468	19,253	17,689	11,874	13,463	8,818	15,099	10,010	24,445	16,240	24,275	16,130	27,041	33,438	4123,383	892,1997
4	11,007	17,849	33,338	22,325	21,054	14,031	15,412	9,905	18,489	12,143	29,772	19,478	29,615	19,355	31,981	36,614	5551,436	958,6171
3	13,285	20,348	26,661	16,876	17,580	11,087	12,769	7,970	15,538	9,733	25,604	15,836	25,895	15,964	28,419	32,765	7192,904	1055,385
2	13,711	21,260	20,031	12,012	13,614	8,265	13,362	7,711	10,578	6,355	18,862	11,079	19,530	11,480	31,837	31,410	9058,501	1130,315
1	10,571	3,443	11,565	4,706	8,961	3,269	12,291	4,786	51,310	48,804	7,565	1,945	12,140	4,653	12,813	13,796	11869,93	1198,733

4.4.4 Kolonlardaki Uç Kuvvet Değişimlerinin Karşılaştırılması

B2.1, B2.2 çözümlerinden elde edilen sonuçlar B2.3 çözümünden elde edilen sonuçlarla kıyaslanacak, kolon uç kuvvetlerinin kat hizalarındaki değerlerinin katlar boyunca değişimleri tablo ve şekillerle sunulacaktır. Karşılaştırma yalnız X ve Y doğrultularında etkiyen yükleri için yapılmıştır. Yapının çift eksende simetrisi bulunduğu için kolon adlandırmaları Şekil 4.1 'ye göre yapılmış, yükleme simetrik olmadığı için elverişsiz iç kuvvet değerleri tüm yapıda kontrol edilmiş ve tablolara aktarılmıştır.

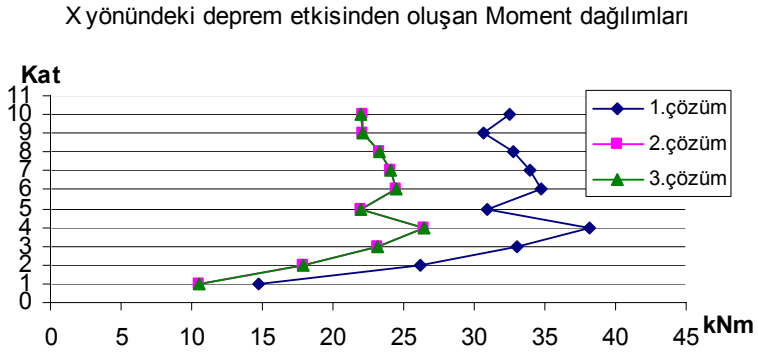
4.4.4.1 X Doğrultusundaki Deprem İçin Çözümlerin İrdelenmesi

Esnek diyafram kabulüyle yapılan B2.2 ve B2.3 çözümlerinden elde edilen kolon ve perde uç kuvvetleri rijit diyafram kabulüyle yapılan B2.1 çözümünden elde edilenlerden daha küçük değerler almışlardır (Tablo 4.18). Sonuçların karşılaştırılmasında tablolardaki adlandırmalarda bölüm 4.3.4.1'deki adlandırma kullanılacaktır.

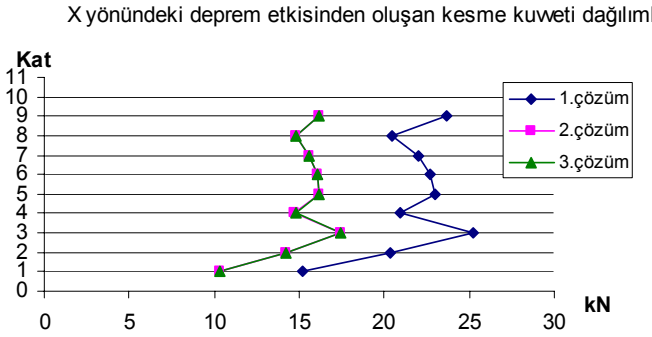
Tablo 4.18 – B2 yapısında Ex deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri

Kolon	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
S1	29,77	28,67	-0,36	-0,83
S2	42,52	42,49	-0,03	-0,04
S3	44,94	45,08	-0,02	-0,03
S4	34,83	33,88	-0,04	-0,04
S5	41,84	50,67	-1,10	-3,09
S6	30,03	30,97	-0,01	-0,02
S7	15,99	14,37	-0,01	-0,01
S8	34,12	34,25	-0,88	-2,16
P1	-2,44	6,99	0,044	0,027

Örnek olarak Şekil 4.11 ve 4.12 'de S2 kolonuna ait kat hizalarındaki kesme kuvveti ve moment değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.11 - B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait eğilme momenti değişimi

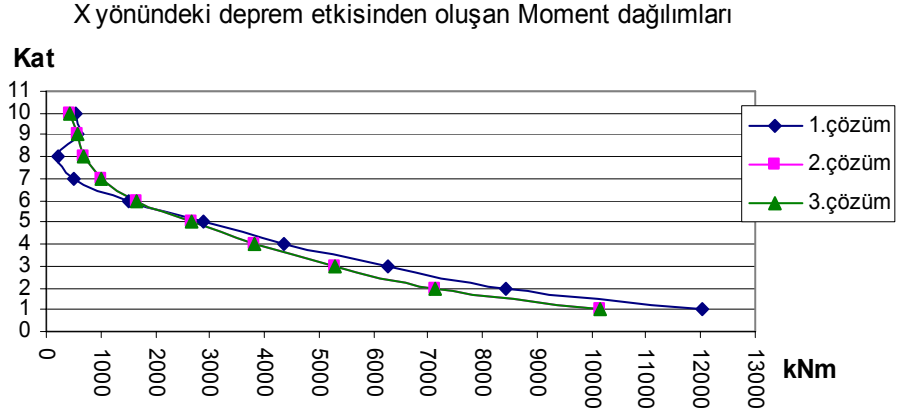


Şekil 4.12 – B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri

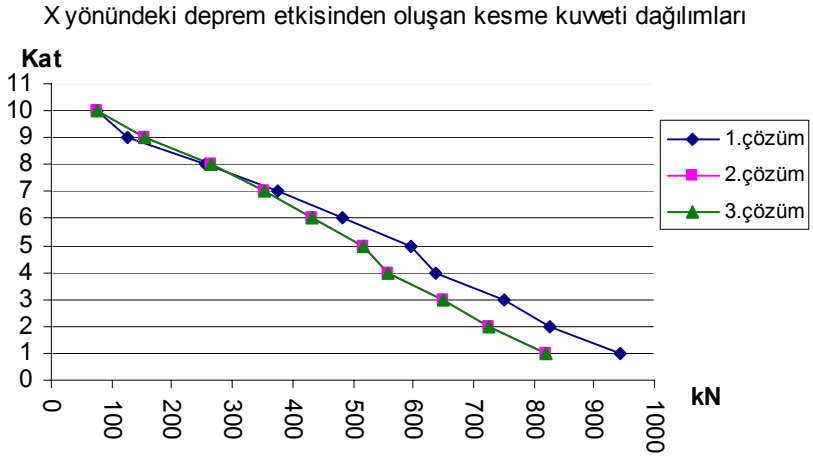
Tablo 4.19'de S2 kolonuna ait çözümler arasındaki değişim ve tüm katlar için hesaplanan ağırlıklı ortalama görülmektedir. En fazla değişim son katla olmakla beraber B2.2 ve B2.3 çözümleri arasındaki fark B2.1 ve B2.3 çözümleri arasındaki farkla oranla ihmal edilebilecek düzeyde olduğu görülmektedir. P1 perdesinin kat hizalarındaki kesme kuvveti moment diyagramları değişimi Tablo 4.20, Şekil 4.13 ve 4.14'de gösterilmiştir.

Tablo 4.19 - B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan S2 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri

Kat	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
10	47,66	46,75	0,09	0,07
9	39,20	38,61	0,01	0,00
8	40,76	41,04	-0,01	-0,01
7	41,04	41,30	-0,02	-0,02
6	42,39	42,55	-0,03	-0,03
5	41,09	41,57	-0,05	-0,05
4	44,61	45,04	-0,03	-0,03
3	42,55	42,87	-0,05	-0,06
2	46,84	47,41	-0,06	-0,06
1	39,09	37,78	-0,15	-0,18
ortalama	42,52	42,49	-0,03	-0,04



Şekil 4.13 - B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan P1 perdesine ait eğilme momenti değişimi



Şekil 4.14 - B2 yapısında X yönünde etkiyen depremden oluşan P1 perdesine ait kesme kuvveti değişimleri

Tablo 4.20 - B2 yapısında X yönündeki deprem kuvvetlerinden oluşan P1 perdesine ait kat hizalarındaki kuvvet dağılımlarının değişimi

Kat	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
10	30,962	0,377	0,055	-0,045
9	-1,801	-18,089	0,040	0,005
8	-70,348*	-3,496	0,051	0,027
7	-51,449*	6,316	0,050	0,024
6	-9,704	11,429	0,041	0,021
5	8,341	14,726	0,032	0,016
4	14,953	14,375	0,035	0,038
3	17,939	15,445	0,039	0,043
2	18,407	13,847	0,045	0,056
1	18,302	15,033	0,059	0,085
ortalama	-2,440	6,996	0,045	0,027

* Perde kuvvetleri için ortalama uç kuvvetlerin hesaplanmasında bazı katlardaki uç kuvvetlerin küçük değerler alması nedeniyle fark yüzdeleri büyük değerler alabilmektedir.

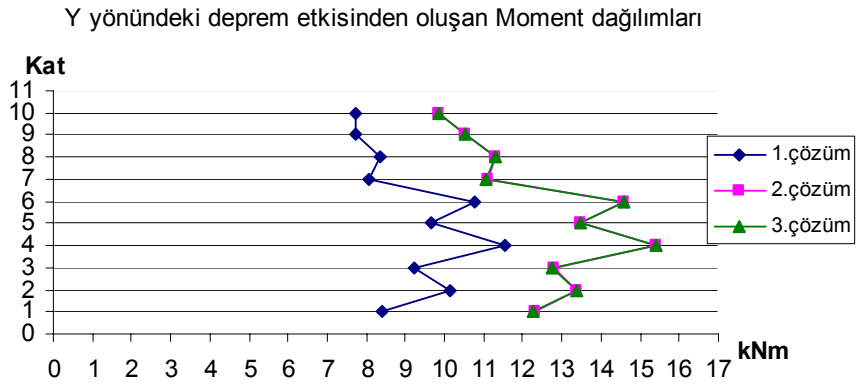
4.4.4.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Çözümlerin İrdelenmesi

Esnek Diyafram kabulüyle yapılan B2.2 ve B2.3 çözümlerinden elde edilen kolon ve perde uç kuvvetleri rijit diyafram kabulüyle yapılan B2.1 çözümünden elde edilenlerden daha büyük değerler almışlardır. Çözümler arasındaki fark 1 ve 3 akslarında yer alan kolonlarda daha fazladır (Tablo 4.21).

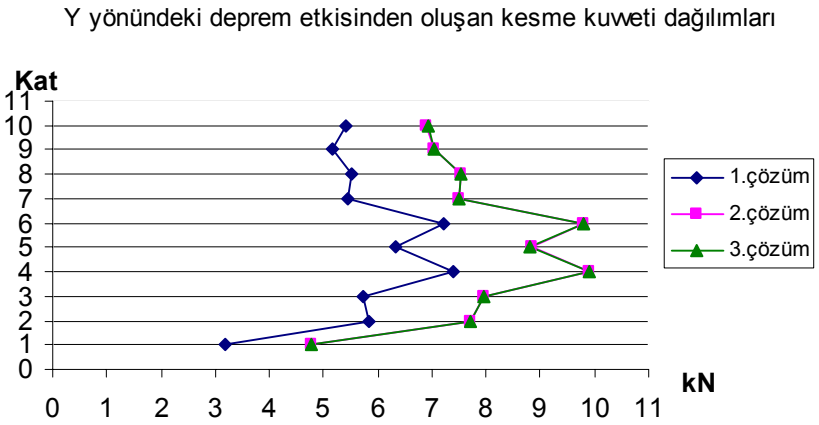
Tablo 4.21 - B2 yapısında Ey deprem yükünden dolayı ortalama kolon iç kuvvetlerinin değişim yüzdeleri

Kolon	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
S1	-41,64	-39,92	3,02	2,28
S2	-10,86	-11,04	-0,03	-0,03
S3	-16,19	-19,44	-0,02	-0,02
S4	-26,44	-26,78	0,03	0,04
S5	-23,37	-27,23	1,06	2,15
S6	-26,37	-28,14	0,04	0,08
S7	-28,15	-28,61	0,03	0,03
S8	1,63	8,77	0,13	0,22
P2	10,279	-8,7359	-0,0981	-0,0583

Kıyaslama imkanı olması açısından B2.3'de seçilen S4 kolonu örnek olarak alınmıştır. Tablo 4.22, Şekil 4.15 ve 4.16'de S4 kolonuna ait kat hizalarındaki kesme kuvveti ve moment değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.15 - B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait eğilme momenti değişimi

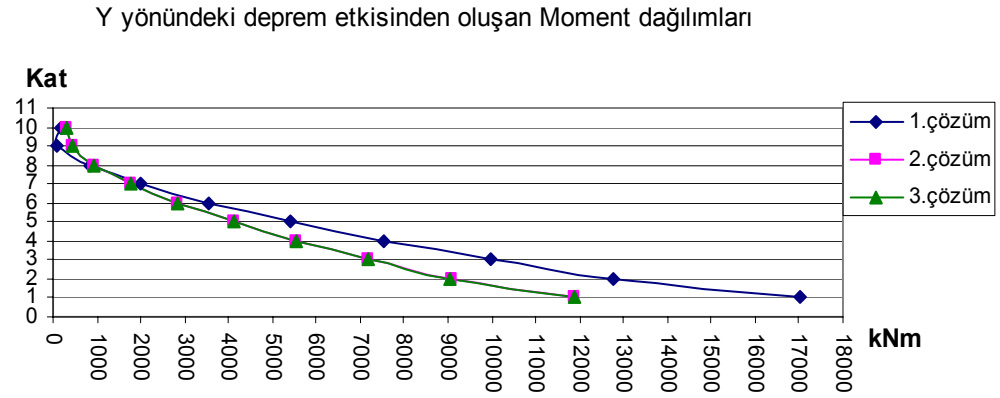


Şekil 4.16 - B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonuna ait kesme kuvveti değişimleri

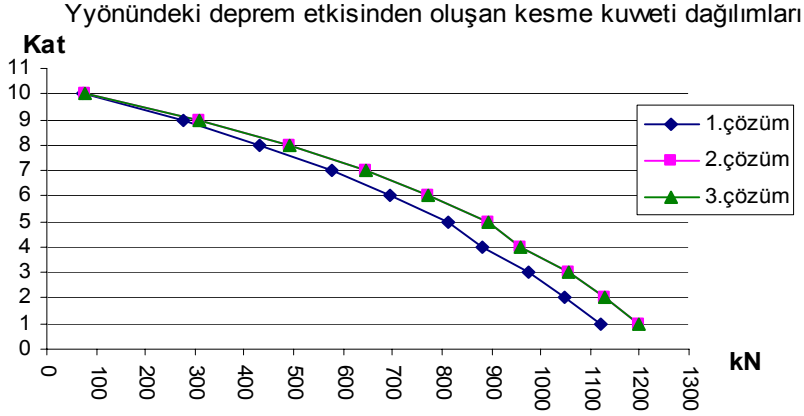
Tablo 4.22 - B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan S4 kolonunun kat hizalarındaki iç kuvvet değişimleri

Kat	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
10	-21,50	-21,72	-0,29	-0,26
9	-26,51	-26,81	0,07	0,09
8	-26,36	-26,46	0,07	0,07
7	-27,05	-27,13	0,07	0,07
6	-26,04	-26,21	0,06	0,06
5	-28,19	-28,22	0,08	0,08
4	-25,24	-25,30	0,05	0,05
3	-27,77	-28,08	0,07	0,07
2	-24,04	-24,41	0,06	0,07
1	-31,67	-33,45	0,08	0,10
ortalama	-26,44	-26,78	0,03	0,04

P2 perdesinin kat hizalarındaki kesme kuvveti moment diyagramları değişimi Tablo 4.23, Şekil 4.17 ve 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 - B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan P2 perdesine ait eğilme momenti değişimi



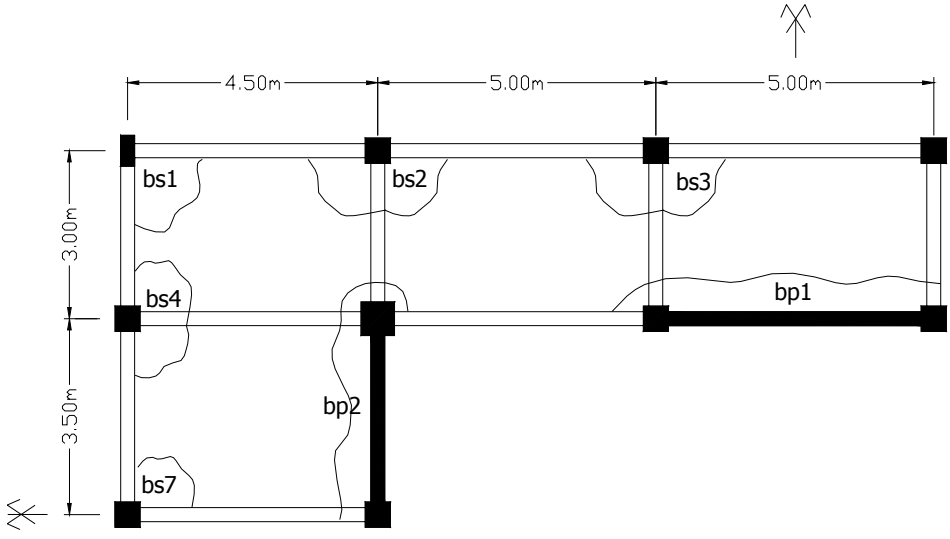
Şekil 4.18 - B2 yapısında Y yönünde etkiyen depremden oluşan P2 perdesine ait kesme kuvveti değişimleri

Tablo 4.23 – B2 yapısında Y yönündeki deprem kuvvetlerinden oluşan P2 perdesine ait kat hizalarındaki kuvvet dağılımlarının değişimi

Kat	dM_{13}	dT_{13}	dM_{23}	dT_{23}
10	-40,137	-5,456	-0,345	-0,177
9	-77,103	-10,621	-0,679	-0,085
8	-8,333	-12,017	-0,258	-0,030
7	14,073	-11,004	-0,065	-0,014
6	24,552	-9,895	-0,002	-0,009
5	31,228	-8,865	0,027	-0,011
4	35,447	-8,169	0,061	-0,051
3	38,666	-7,499	0,082	-0,058
2	40,988	-7,225	0,095	-0,070
1	43,404	-6,607	0,104	-0,078
ortalama	10,279	-8,736	-0,098	-0,058

4.4.5 Döşemelerdeki Gerilme Değerlerinin Karşılaştırılması

Depremin her iki doğrultusu için B2.1, B2.2, B2.3 çözümlerinden elde edilen döşemelerdeki düzlem içi gerilme değerleri ile betonun karakteristik çekme dayanımı karşılaştırılmışlardır. Döşeme ve malzeme özellikleri 4.2.5'deki gibidir. Döşemelerdeki gerilme bölgeleri Şekil 4.19'a göre adlandırılmıştır.



Şekil 4.19 – B2 yapısında döşemelerde gerilme bölgeleri adlandırmaları

4.4.5.1 X Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması

X doğrultusundaki hesap sonucunda döşemelerdeki en kritik gerilme değerleri 6. katta oluşmaktadır. Tablo 4.24'de kolon ve perdelerin döşemelerle birleştiği noktalardaki gerilme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.24 – B2 yapısında 6.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerindeki X yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlem içi gerilme değerleri

Kolon	1.çözüm N/mm^2	2.çözüm N/mm^2	3.çözüm N/mm^2
b_{S1}	0,613	0,6	0,532
b_{S2}	0,153	0,8	0,771
b_{S3}	0,04	0,72	0,701
b_{S4}	1,41	0,985	0,968
b_{S7}	1,095	0,897	0,879
b_{P1}	1,45	1,15	1,162
b_{P2}	1,395	1,293	1,296

B2.1'de yapılan çözüm sonucunda S4 kolunu ve P1, P2 perdelerinin bulunduğu bölgeler en çok zorlanan bölgeler olarak tespit edilmiştir. Döşemedeki en kritik çekme gerilmesi değeri P1 perdesinin bulunduğu yerde 1.45 N/mm^2 değerinde oluşmaktadır.(Şekil B.1-a)

B2.2'de yapılan çözümde B ve D akslarının bulunduğu bölgelerde gerilmeler yoğunlaşmaktadır.(Şekil B.1-b)

B2.3'de yapılan çözümde ise gerilme yayılışının B2.2'dekine benzer özellikler göstermekle beraber daha küçük değerler aldığı gözlenmiştir (Şekil B.1-c).

Üç çözüm arasında karşılaştırma yapıldığında 1 ve A akslarında yer alan kolon döşeme birleşim bölgelerinde B2.1 çözümünün B2.2 ve B2.3 çözümlerinden uzaklaştığı gözlenmiştir. Yapılan üç çözümde de betonun kritik çekme dayanımına ulaşılmamıştır.

4.4.5.2 Y Doğrultusundaki Deprem İçin Gerilmelerin Karşılaştırılması

Y doğrultusundaki deprem etkileri için yapılan hesap sonucunda döşemelerdeki en kritik gerilme değerleri 6. katta oluşmaktadır. Tablo 4.25'de kolon ve perdelerin döşemelerle birleştiği noktalardaki gerilme değerleri verilmiştir.

Tablo 4.25 - B2 yapısında 6.kattaki döşeme-kolon birleşim bölgelerindeki Y yönündeki deprem etkisinden oluşan düzlem içi gerilme değerleri

Kolon	1.çözüm N/mm^2	2.çözüm N/mm^2	3.çözüm N/mm^2
b_{S1}	0,81	0,767	0,72
b_{S2}	1,97	1,783	1,762
b_{S3}	0,787	1,087	1,07
b_{S4}	0,157	0,605	0,569
b_{S7}	0	0,617	0,605
b_{P1}	0,884	1,273	1,274
b_{P2}	1,872	1,454	1,44

B2.1'de yapılan çözüm sonucunda A ve B akslarındaki düşey taşıyıcı elemanların döşemelerle birleştiği bölgelerde kritik gerilme değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir. (Şekil B.2-a)

B2.2 ve B2.3'de yapılan çözümlerde ise B2.1'de yapılan çözüme benzer olarak boşluk çevresinde ve boşluk doğrultusundaki kenarlarda yer alan bölgelerde gerilmeler yüksek değerler almışlardır (Şekil B.2-b,c). Bu iki çözümde B2.1 çözümünün aksine betonun kritik çekme dayanımına ulaşılmamıştır.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapıların deprem etkileri için analizleri yapılırken hesabı basitleştirici kabullerden biri kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde rijit oldukları varsayımıdır. Yapılan bu kabul çoğu yapı örneği için yeterli doğrulukta sonuçlar vermesine rağmen, ABYYHY [1]'e göre, taşıyıcı sisteminde çeşitli düzensizlikler veya süreksizlikler bulunan yapılar için bu kabulün geçerliliğinin hesapla gösterilmesi gerekmektedir.

Çalışmada, döşemelerinde büyük döşeme boşluğu süreksizliği bulunan deprem etkisi altındaki betonarme yapı örneklerinin, rijit diyafram ve esnek diyafram kabulleri ile modellenip, bu modellerin birbirleriyle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Tez çalışmasında depreme dayanıklı yapı tasarımı, deprem yönetmeliğinde bulunan düzensizlik durumları ve döşeme diyaframının yatay yükler etkisi altında davranışı hakkında genel bilgiler verildikten sonra örnek yapılarda çözümlere geçilmiştir. Deprem etkileri altında incelenen yapıların çözümlerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

<u>Dinamik karakteristikler açısından örnekler incelendiğinde:</u>

- 1. tipteki yapı (B1) için incelenen 3 modelin 1. titreşim periyotları birbirlerine oldukça yakın değerler almışlardır. 2. tipteki yapıda (B2) elastik diyafram kabulü yapılan 2 modellemenin 1. titreşim periyotları birbirine oldukça yakın değerler almış, rijit diyafram kabulü yapılan modellemede ise bu iki değere %0,2 mertebesinde yaklaşılmıştır.
- Dinamik analiz açısından iki örnekte de modeller birbirine yakın dinamik karakter sergilemişlerdir.

Tablo 5.1 – Yapı modellerinin X ve Y doğrultularındaki titreşim periyotları (sn)

Yapı	B1			B2		
Model	1	2	3	1	2	3
T_{1x}	1,1406	1,1406	1,1407	0,6005	0,6018	0,6019
T_{1y}	1,096	1,096	1,096	0,4339	0,4353	0,4355

Düşey taşıyıcı elemanlardaki iç kuvvet dağılımları bakımından örnekler incelendiğinde:

- B1 ve B2 yapılarının modelleri, düşey taşıyıcı sistem elemanlarındaki iç kuvvet değişimi bakımından incelendiğinde, her iki sistemde depremin her iki doğrultusu için 2. ve 3. modellemeler arasındaki farkın bu iki modelleme ile 1. modelleme arasındaki farka oranla ihmal edilebilecek düzeyde olduğu gözlemlenmiştir. Çözümler arasındaki farkın; yapının dış akslarında bulunan kolonlar için, iç akslarda bulunan kolonlara göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.
- Döşemelerin rijit diyafram ve esnek diyafram kabulleriyle yapılan modeller birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, depremin her iki yönü için, ortalama kolon uç kuvvetleri dağılımlarında B1 yapısında % 38, B2 yapısında %50'lere varan farklılıklar gözlenmiştir. Perdeli yapıdaki farklılığın daha yüksek olması perde civarındaki gerilme birikimleri oluşması ile açıklanabilir.

Döşemelerdeki gerilmeler bakımından örnekler incelendiğinde:

- Esnek diyafram kabullerinde kütlelerin kolonların döşemelerle birleştiği bölgelerde toplandığı modelleme ile yayılı kütleli modelleme, kolon uç kuvvetleri ve döşeme gerilmeleri bakımında karşılaştırıldıklarında aralarındaki farkın ihmal edilebilecek mertebelerde oluştuğu gözlemlenmiştir.
- B1 yapısında X ve Y doğrultularındaki deprem etkilerinden oluşan döşeme gerilmeleri arasındaki fark B2 yapısındakinden fazla değerler almıştır. Bunda perde elemanların yerleşimi etkili olmuştur.
- B1 yapısı için döşemelerdeki düzlem içi gerilmeler betonun kritik çekme gerilmesiyle karşılaştırıldığında, en çok 1. kattaki döşemelerde bu değere yaklaşıldığı veya aşıldığı görülmektedir. 2. ve 3. modellemelerde döşeme gerilmelerinin birbirlerine yakın çıktığı, 1. modellemede boşluk çevresinde bu iki modellemeden farklı döşeme gerilme değerleri alabildiği gözlemlenmiştir.
- B2 yapısı için döşemelerdeki düzlem içi gerilmeler betonun kritik çekme gerilmesiyle karşılaştırıldığında, 6. kattaki döşemelerde gerilmelerin yüksek değerler aldığı görülmektedir. X doğrultusundaki deprem için betonun kritik çekme dayanımının aşılmadığı, Y doğrultusundaki deprem için ise bu değere yaklaşıldığı gözlemlenmiştir. 2. ve 3. modellemelerdeki döşeme gerilmelerinin birbirlerine oldukça

yakın değerler aldığı gözlemlenmiştir, 1. modellemede boşluk çevresindeki bazı bölgelerde diğer iki modellemeden farklı gerilme değerleri bulunmuştur.

- Döşemelerde döşeme-kolon/perde birleşim bölgelerinde her 3 modellemede de gerilme yığılmaları oluşmaktadır, fakat rijit diyafram kabulünde esnek diyafram kabullerinden farklı olarak gerilme yığılmaları yapının kenar akslarında yer alan düşey taşıyıcı elemanların bulunduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır.
- Sadece deprem etkileri için analiz yapıldığı unutulmamalıdır. Düşey yük etkileri ve bu yüklerin deprem yükleri ile elverişsiz kombinasyonları durumlarında döşemelerdeki düzlem içi gerilmelerinin daha büyük değerler alacağı açıktır.

Sonuç olarak:

Yönetmelikte A2-I düzensizliği olarak verilen büyük döşeme boşluğu düzensizliği durumunda dinamik hesap zorunluluğu getirilmesi şartının, tez kapsamında yapılan çalışmanın sınırları içinde geçerliliği doğrulanmıştır, ancak döşeme boşluğunun plandaki geometrisi, kat adedi, kat yüksekliği, döşeme ve yatay yük taşıyan elemanların bağıl rijitlikleri ve plandaki yerleşimleri parametrik olarak değiştirilerek ayrıca incelenmelidir. Yönetmelikte bu düzensizlik durumunun yapıda bulunması durumunda hesap yöntemiyle ilgili daha ayrıntılı bilgi verilmelidir.

Gün geçtikçe gelişen bilgisayar donanım ve yazılım teknolojileri çok fonksiyonel ve karmaşık yapı modellerinin analizlerinde mühendislerin üzerindeki hesap yükünü hafifletmiştir. Gelişen teknoloji sayesinde yapı analizlerinde hesabı hafifletici kabullerin kullanılması geçerliliğini yitirmeye başlamıştır. Daha gerçekçi çözümlerin elde edilmesi amacıyla tüm yapı modellerinde esnek diyafram kabulünün kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

[1] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY),** 1998. İmar İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.

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

[3] **Celep, Z. Ve Kumbasar, N.,** 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, *Beta Dağıtım,* İstanbul.

[4] **Paulay, T., Priestley, M.J.N.,** 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons, Inc, New York.

[5] **Regulations For Seismic Design – A World List,** 1996, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo.

[6] **Regulations For Seismic Design – A World List,** 2000, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo.

[7] **Saffarini, H.S., Qudaimat, M.M.,** 1992, In Plane Floor Deformations In RC Structures, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **118-11**, 3089-3101.

[8] **Naeim, F.,** 2001. The Seismic Design Handbook Second Edition, *Kluwer Academic Publishers Group*, AH Dordrecht.

[9] **Karadoğan, F., Pala, S. ve Karayel, V.,** 1991. Döşemelerinde Boşlukları Olan Yapıların Depreme Karşı Davranışı–I, *7. Ulusal Mekanik Kongresi,* Antalya, Türkiye s. 317-329.

[10] **Şenel, Ş.M., Kaplan, H. ve Atımtay, E.,** 1999, Assessment of Lateral Diaphragm Irregularities, *in Irregular Structures*, s 393-406, Eds. Karadoğan, F., Rutenberg A., İTU, İstanbul.

[11] **Gülay, F.G., Şen, B. Ve Tuğa, P.T.,** 2002, An Investigation On Behavior Of Slabs With Large Openings Under Earthquake Loading, Third European Workshop on the Seismic Behaviour of Irregular and Complex Structures, Florence, Italy, September 17-18.

[12] **Ju, H.S., Lin, M.C.,** 1999, Comparison of Building Analyses Assuming Rigid or Flexible Floors, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, **125-1**, 25-31.

[13] **Acun, B.,** 2002. Yatay yük altında bina döşemeleri için rijit diyafram modelinin uygunluğunun incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[14] **Yalçın, Ö.,** 2001, Betonarme yapıların deprem altındaki davranışına döşeme modellemelerinin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] **Atabey, M.S.,** 1999, Planda düzensiz yapılarda kat döşemelerinin deprem etkileri altındaki davranışı, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[16] **Wilson E.L., Habibullah, A.,** 1997, *Structural Analysis Program*, SAP2000, Computers & Structures Inc., California.

[17] **Wilson E.L., Habibullah, A.,** 1997, SAP2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Analysis Reference, *Computers and Structures, Inc*, California.

[18] **Wilson E.L.,** 2000, Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering, *Computers and Structures, Inc*, California.

[19] **T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı** , 1996. *Deprem Bölgeleri Haritası ,* Scale 1:8,000,000, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.

[20] **UN**, 1999. *Global Seismic Hazard Map,* Scale 1:35,000,000, Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), International Decade of Natural Disaster Reduction, http://www.seismo.ethz.ch/gshap/index.html.

EKLER

Tablo A.1 – B1 yapısı için A1, B2 düzensizlik durumları kontrolleri (m)

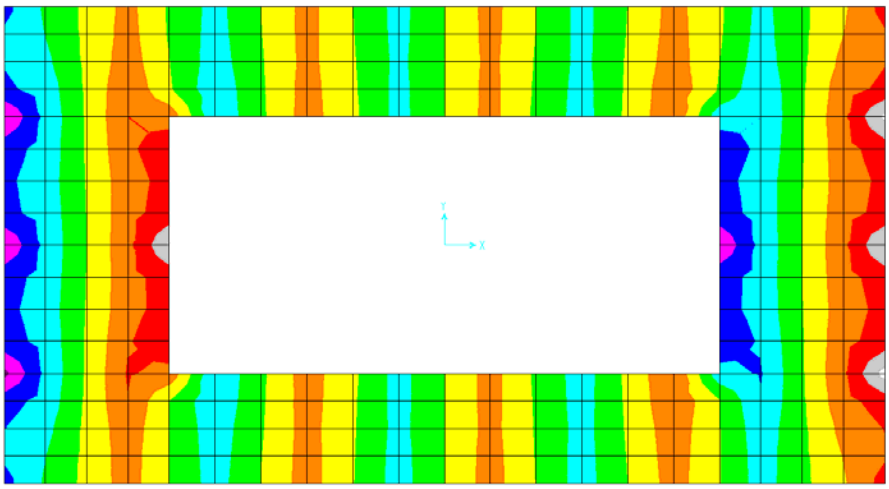
Kat	δ_{ex}		δ_{ey}		E_x		E_y		E_x	E_y
	Max	Min	Max	Min	Δ_{iort}	η_{bi}	Δ_{iort}	η_{bi}	η_{ki}	η_{ki}
1	0,0029	0,0027	0,0029	0,0021	0,0028	1,0409	0,0025	1,1541	0,5426	0,5407
2	0,0053	0,0049	0,0053	0,0040	0,0051	1,0397	0,0047	1,1494	0,6827	0,6704
3	0,0078	0,0072	0,0080	0,0059	0,0075	1,0395	0,0069	1,1459	0,7678	0,7544
4	0,0101	0,0094	0,0105	0,0079	0,0097	1,0395	0,0092	1,1431	0,7959	0,7822
5	0,0127	0,0118	0,0134	0,0101	0,0122	1,0396	0,0118	1,1412	0,8442	0,8307
6	0,0151	0,0139	0,0161	0,0122	0,0145	1,0397	0,0142	1,1393	0,8801	0,8659
7	0,0171	0,0158	0,0186	0,0141	0,0165	1,0399	0,0163	1,1376	0,9100	0,8959
8	0,0188	0,0174	0,0207	0,0158	0,0181	1,0400	0,0182	1,1358	0,9364	0,9217
9	0,0201	0,0186	0,0225	0,0171	0,0193	1,0401	0,0198	1,1339	0,9610	0,9447
10	0,0209	0,0193	0,0237	0,0182	0,0201	1,0401	0,0210	1,1316		

Tablo A.2 – B1.2 modeli için modal katılım oranları

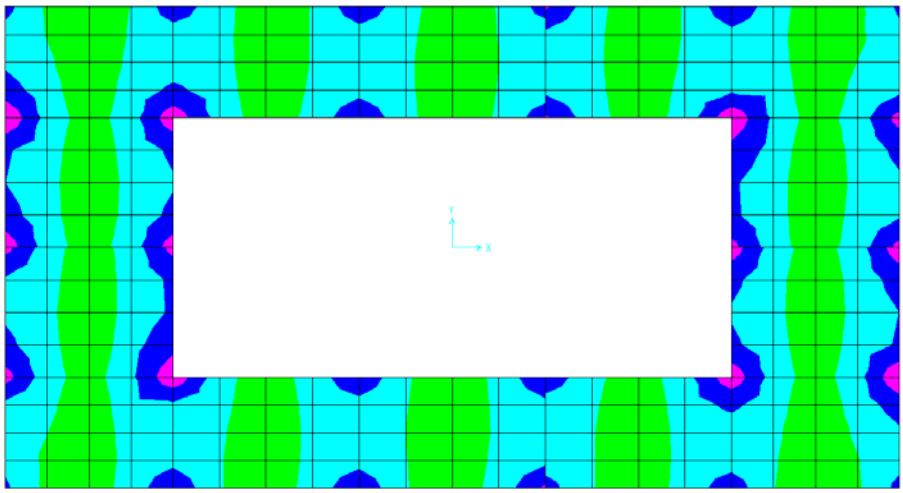
Mod	Periyot	U_x(%)	U_y(%)	Σx(%)	Σy(%)
1	1,1406	82,3523	0,0000	82,3523	0,0000
2	1,0962	0,0000	80,3990	82,3523	80,3990
3	1,0097	0,0000	0,0000	82,3523	80,3990
4	0,3859	11,1152	0,0000	93,4675	80,3990
5	0,3671	0,0000	13,0264	93,4675	93,4254
6	0,3460	0,0000	0,0000	93,4675	93,4254
7	0,2229	3,2616	0,0000	96,7291	93,4254
8	0,2075	0,0000	3,3994	96,7291	96,8247
9	0,2012	0,0000	0,0000	96,7291	96,8247
10	0,1529	1,5458	0,0000	98,2749	96,8247
11	0,1426	0,0000	1,5454	98,2749	98,3701
12	0,1155	0,8103	0,0000	99,0852	98,3701
13	0,1084	0,0000	0,7842	99,0852	99,1544
14	0,0913	0,3736	0,0000	99,4588	99,1544
15	0,0865	0,0000	0,3326	99,4588	99,4870
16	0,0750	0,2315	0,0000	99,6902	99,4870
17	0,0716	0,0000	0,2033	99,6902	99,6903
18	0,0653	0,1620	0,0000	99,8522	99,6903
19	0,0629	0,0000	0,1501	99,8522	99,8405
20	0,0595	0,0474	0,0000	99,8995	99,8405
21	0,0580	0,0000	0,0565	99,8995	99,8970
22	0,0509	0,1001	0,0000	99,9997	99,8970
23	0,0491	0,0000	0,0976	99,9997	99,9945
24	0,0417	0,0000	0,0030	99,9997	99,9976
25	0,0359	0,0000	0,0020	99,9997	99,9996
26	0,0261	0,0001	0,0000	99,9998	99,9996
27	0,0249	0,0000	0,0003	99,9998	99,9999
28	0,0207	0,0001	0,0000	99,9999	100,0000
29	0,0122	0,0000	0,0000	99,9999	100,0000
30	0,0105	0,0001	0,0000	100,0000	100,0000

Tablo A.3 – B1.3 modeli için modal katılım oranları

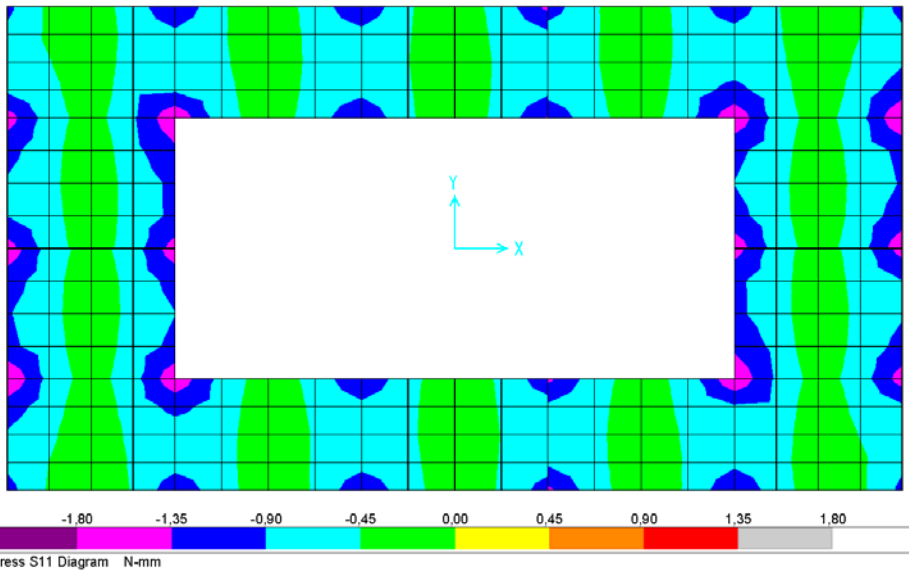
Mod	Periyot	U_x(%)	U_y(%)	Σx(%)	Σy(%)
1	1,1407	82,3524	0,0000	82,3524	0,0000
2	1,0962	0,0000	80,3981	82,3524	80,3981
3	0,9770	0,0000	0,0000	82,3524	80,3981
4	0,3860	11,1148	0,0000	93,4672	80,3981
5	0,3673	0,0000	13,0266	93,4672	93,4247
6	0,3351	0,0000	0,0000	93,4672	93,4247
7	0,2231	3,2613	0,0000	96,7285	93,4247
8	0,2079	0,0000	3,3994	96,7285	96,8240
9	0,1950	0,0000	0,0000	96,7285	96,8240
10	0,1531	1,5456	0,0000	98,2740	96,8240
11	0,1431	0,0000	1,5454	98,2740	98,3695
12	0,1158	0,8103	0,0000	99,0843	98,3695
13	0,1090	0,0000	0,7841	99,0843	99,1535
14	0,1026	0,0000	0,0000	99,0843	99,1535
15	0,0917	0,3737	0,0000	99,4579	99,1535
16	0,0872	0,0000	0,3327	99,4579	99,4862
17	0,0755	0,2314	0,0000	99,6894	99,4862
18	0,0725	0,0000	0,2037	99,6894	99,6899
19	0,0659	0,1622	0,0000	99,8516	99,6899
20	0,0637	0,0000	0,1639	99,8516	99,8538
21	0,0601	0,0476	0,0000	99,8992	99,8538
22	0,0576	0,0000	0,0493	99,8992	99,9031
23	0,0515	0,1007	0,0000	99,9998	99,9031
24	0,0500	0,0000	0,0910	99,9998	99,9941
25	0,0360	0,0000	0,0055	99,9998	99,9996
26	0,0263	0,0000	0,0000	99,9999	99,9996
27	0,0245	0,0000	0,0000	99,9999	99,9996
28	0,0161	0,0000	0,0002	99,9999	99,9998
29	0,0139	0,0000	0,0000	99,9999	99,9998
30	0,0059	0,0001	0,0000	100,0000	99,9998



a) B1.1

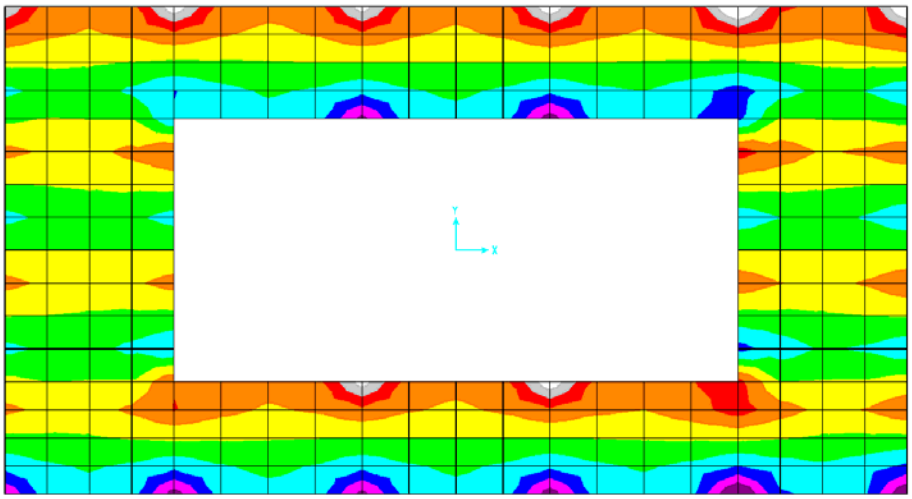


b) B1.2

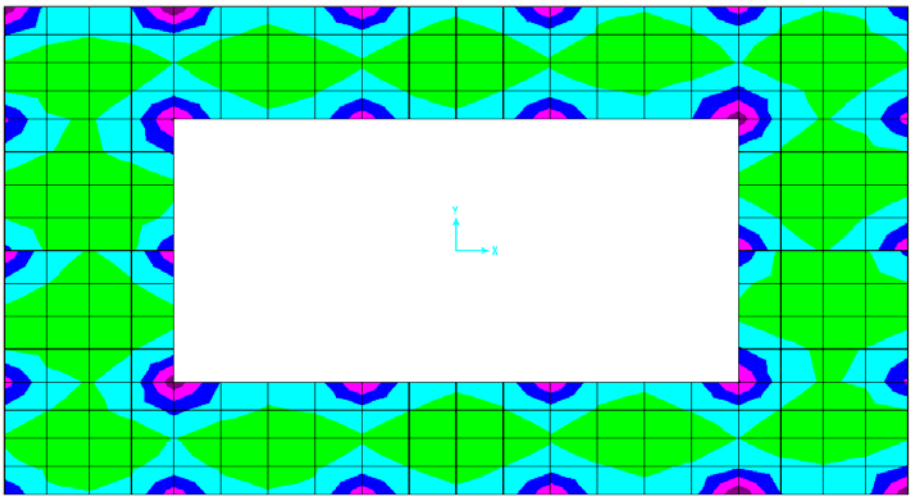


c) B1.3

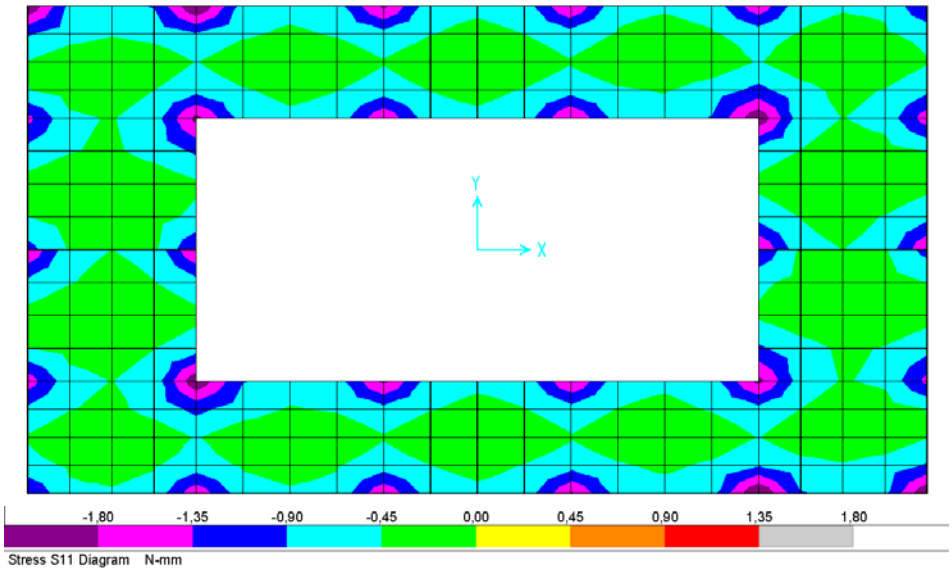
Şekil A.1- B1 yapısı için modellerde X doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları



a) B1.1



b) B1.2



c) B1.3

Şekil A.2- B1 yapısı için modellerde Y doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları

Tablo B.1 – B2 yapısı için A1, B2 düzensizlik durumları kontrolleri (m)

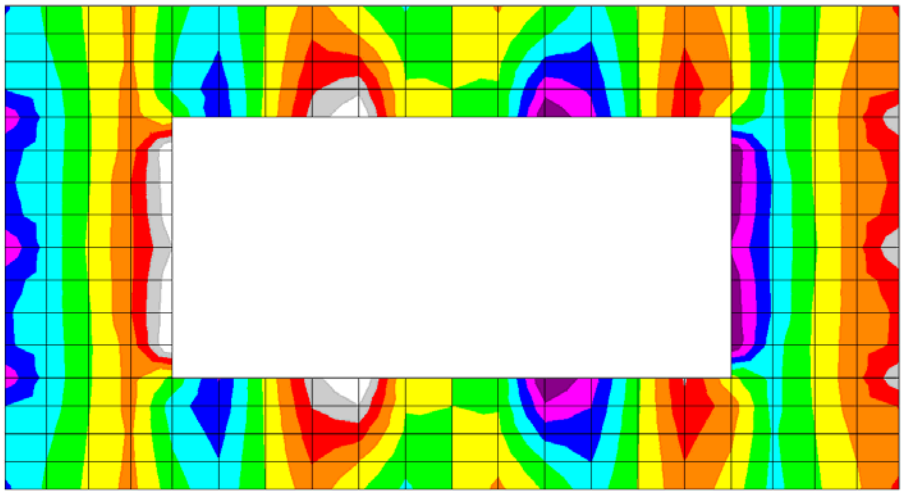
Kat	δ_{ex}		δ_{ey}		E_x		E_y		E_x	E_y
	Max	Min	Max	Min	Δ_{iort}	η_{bi}	Δ_{iort}	η_{bi}	η_{ki}	η_{ki}
1	0,0006	0,0006	0,0005	0,0003	0,0006	1,0080	0,0004	1,1928	0,3794	0,3936
2	0,0017	0,0016	0,0012	0,0008	0,0016	1,0064	0,0010	1,1901	0,5386	0,5390
3	0,0031	0,0030	0,0023	0,0016	0,0030	1,0061	0,0019	1,1877	0,6489	0,6427
4	0,0047	0,0047	0,0036	0,0024	0,0047	1,0061	0,0030	1,1854	0,7205	0,7125
5	0,0066	0,0065	0,0050	0,0034	0,0065	1,0062	0,0042	1,1836	0,7750	0,7658
6	0,0085	0,0083	0,0065	0,0045	0,0084	1,0063	0,0055	1,1819	0,8164	0,8068
7	0,0104	0,0102	0,0080	0,0056	0,0103	1,0064	0,0068	1,1802	0,8486	0,8391
8	0,0122	0,0120	0,0096	0,0067	0,0121	1,0066	0,0081	1,1787	0,8735	0,8646
9	0,0140	0,0138	0,0111	0,0077	0,0139	1,0067	0,0094	1,1772	0,8932	0,8852
10	0,0157	0,0154	0,0125	0,0087	0,0155	1,0068	0,0106	1,1758		

Tablo B.2 – B2.2 modeli için modal katılım oranları

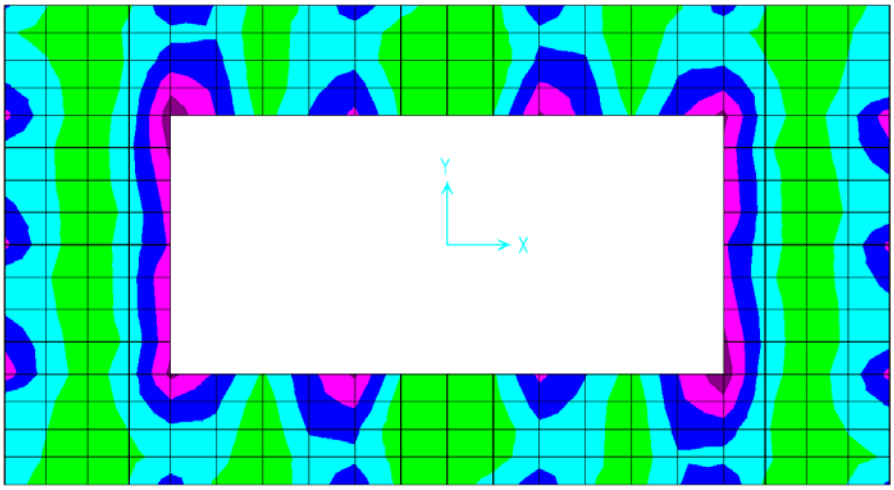
Mod	Periyot	U_x(%)	U_y(%)	Σx(%)	Σy(%)
1	0,6018	69,4038	0,0000	69,4038	0,0000
2	0,4867	0,0000	0,0000	69,4038	0,0000
3	0,4353	0,0000	68,0894	69,4038	68,0894
4	0,1540	18,0722	0,0000	87,4760	68,0894
5	0,1354	0,0000	0,0000	87,4760	68,0894
6	0,1115	0,0000	20,0852	87,4760	88,1746
7	0,0739	6,6198	0,0000	94,0958	88,1746
8	0,0598	0,0000	5,5233	94,0958	93,6979
9	0,0510	2,9134	0,0000	97,0092	93,6979
10	0,0491	0,0000	1,2741	97,0092	94,9720
11	0,0454	0,0000	0,3510	97,0092	95,3230
12	0,0430	0,0000	0,4512	97,0092	95,7741
13	0,0419	1,2677	0,0000	98,2769	95,7741
14	0,0405	0,0000	0,6520	98,2769	96,4261
15	0,0373	0,0062	0,7340	98,2831	97,1601
16	0,0373	0,5388	0,0092	98,8219	97,1693
17	0,0343	0,2729	0,0837	99,0949	97,2530
18	0,0341	0,0290	0,9385	99,1239	98,1915
19	0,0321	0,2020	0,0068	99,3259	98,1983
20	0,0303	0,0064	0,4901	99,3323	98,6884
21	0,0294	0,1801	0,0086	99,5124	98,6970
22	0,0238	0,0407	0,0941	99,5530	98,7910
23	0,0229	0,0738	0,1468	99,6269	98,9379
24	0,0212	0,1279	0,0420	99,7548	98,9798
25	0,0191	0,0023	0,6067	99,7571	99,5865
26	0,0148	0,0370	0,0871	99,7941	99,6736
27	0,0137	0,0295	0,1588	99,8236	99,8325
28	0,0118	0,0670	0,0109	99,8906	99,8433
29	0,0078	0,0373	0,1063	99,9278	99,9496
30	0,0076	0,0718	0,0464	99,9996	99,9960

Tablo B.3 – B2.3 modeli için modal katılım oranları

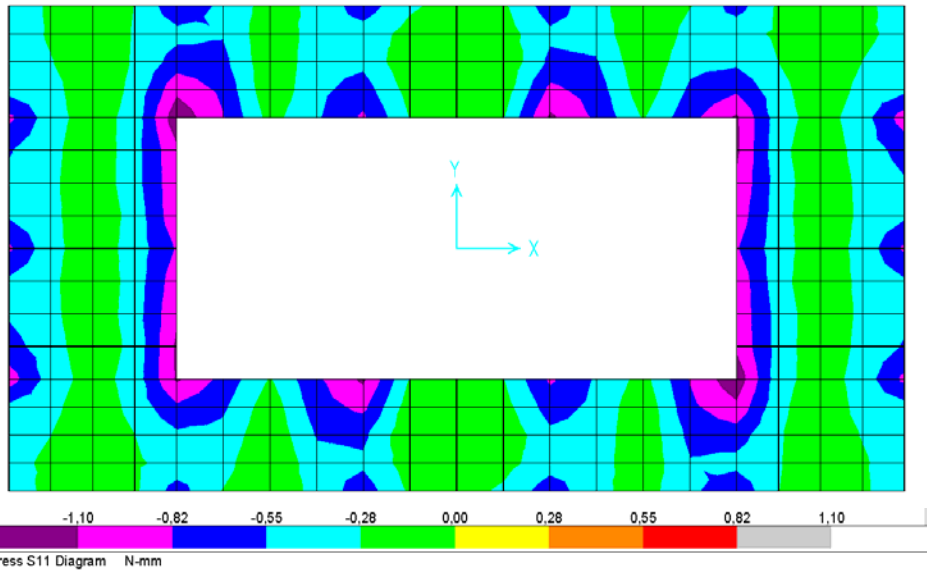
Mod	Periyot	U_x(%)	U_y(%)	Σx(%)	Σy(%)
1	0,6019	69,3982	0,0000	69,3982	0,0000
2	0,4705	0,0000	0,0000	69,3982	0,0000
3	0,4355	0,0000	68,0865	69,3982	68,0865
4	0,1542	18,0670	0,0000	87,4652	68,0865
5	0,1302	0,0000	0,0000	87,4652	68,0865
6	0,1121	0,0000	20,0848	87,4652	88,1713
7	0,0743	6,6192	0,0000	94,0844	88,1713
8	0,0604	0,0000	5,6786	94,0844	93,8498
9	0,0514	2,9185	0,0000	97,0029	93,8498
10	0,0491	0,0000	1,5743	97,0029	95,4241
11	0,0450	0,0000	0,5027	97,0029	95,9268
12	0,0424	1,2775	0,0000	98,2804	95,9268
13	0,0420	0,0000	0,3057	98,2804	96,2325
14	0,0391	0,0000	0,6468	98,2804	96,8793
15	0,0377	0,5552	0,0000	98,8356	96,8793
16	0,0360	0,0000	0,6898	98,8357	97,5691
17	0,0348	0,3089	0,0002	99,1446	97,5693
18	0,0327	0,0481	0,7701	99,1926	98,3393
19	0,0326	0,1654	0,2290	99,3580	98,5683
20	0,0300	0,1995	0,0018	99,5575	98,5701
21	0,0290	0,0003	0,5895	99,5578	99,1596
22	0,0242	0,0016	0,1237	99,5594	99,2832
23	0,0227	0,0938	0,0074	99,6533	99,2906
24	0,0207	0,1586	0,0054	99,8119	99,2960
25	0,0187	0,0014	0,5093	99,8133	99,8053
26	0,0165	0,0591	0,0062	99,8724	99,8115
27	0,0145	0,0019	0,0523	99,8743	99,8637
28	0,0115	0,0716	0,0001	99,9459	99,8638
29	0,0062	0,0001	0,1248	99,9460	99,9886
30	0,0051	0,0495	0,0001	99,9955	99,9887



a) B2.1

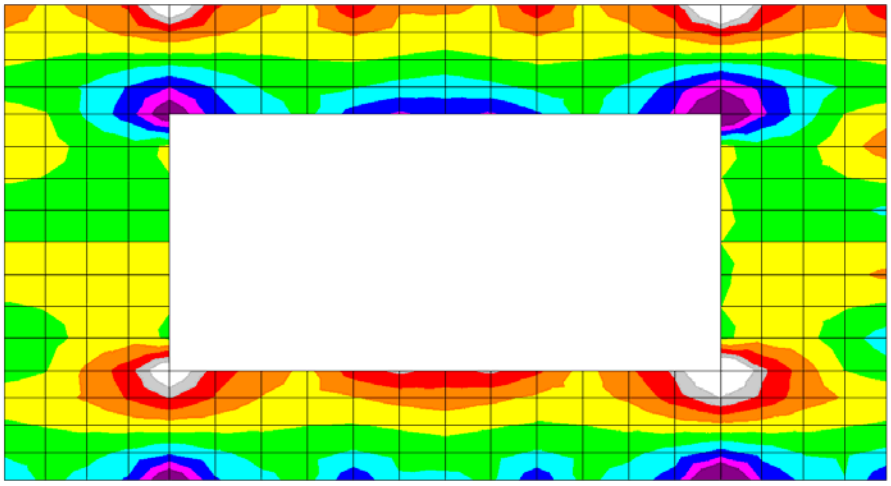


b) B2.2

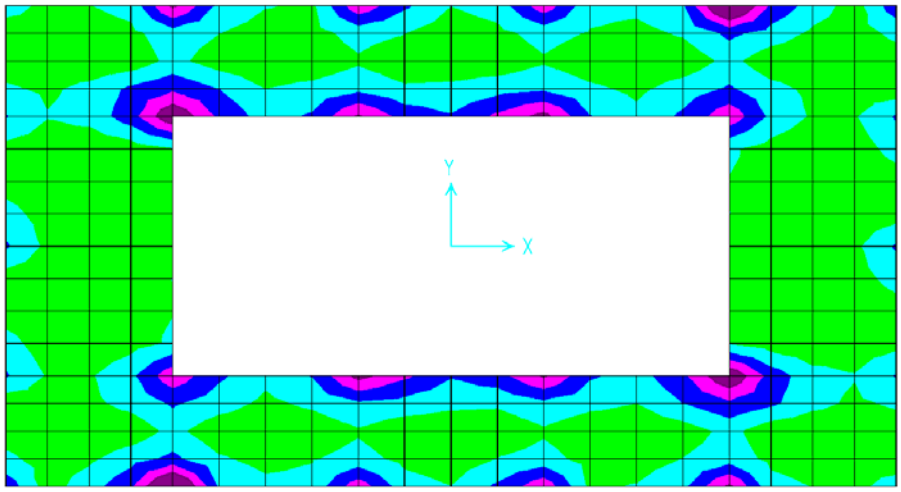


c) B2.3

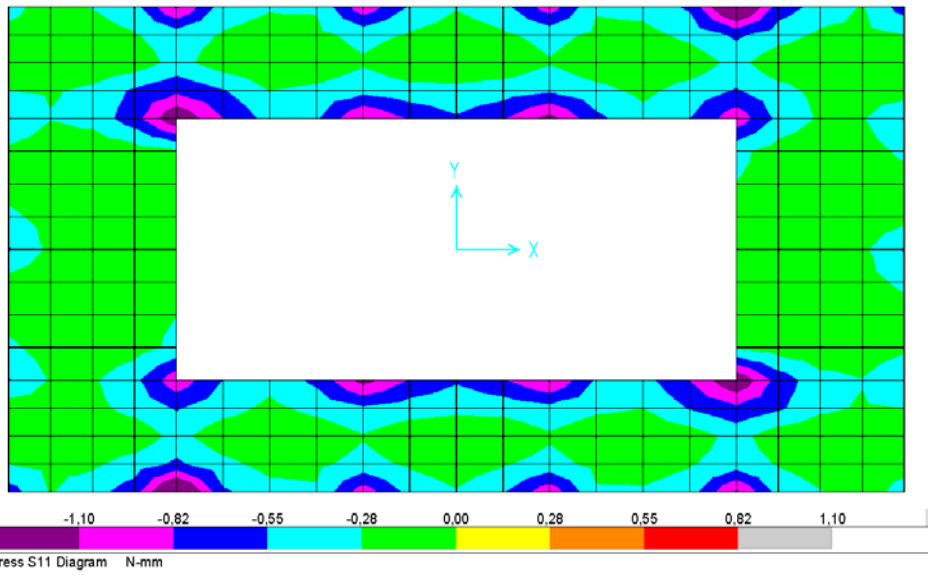
Şekil B.1- B2 yapısı için modellerde X doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları



a) B2.1



b) B2.2



c) B2.3

Şekil B.2 - B2 yapısı için modellerde Y doğrultusundaki deprem etkilerinden oluşan düzlem içi gerilme diyagramları

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Metin AYRANCI, 1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta okulu Fevziye Mektepleri Vakfı Özel Ayazağa Işık Lisesinde, liseyi Üsküdar Fen Lisesinde bitirdi. 1998 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı, 2002 yılında mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı.