

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

154349

**YAPILARDA BURULMA DÜZENSİZLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

İnşaat Müh. Onur ÇAMURCU

FBE İnşaat Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yard. Doç. Dr. Nilgün AKTAN

Prof. Dr. İbrahim EKİZ

Doç. Dr. Turgut ÖZTÖRK

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	* Sayfa
SİMGE LİSTESİ	i
ŞEKİL LİSTESİ	ii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iii
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Konuya Giriş	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.3 Konuyla İlgili Literatür Araştırması	2
2. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİK KOŞULLARI.....	4
2.1 Yapısal Düzensizlikler.....	4
2.1.1 Planda Düzensizlikler (A Türü).....	4
2.1.2 Düşey Doğrultudaki Düzensizlik Durumları (B Türü).....	7
2.2 Burulma Düzensizliği.....	10
3. BURULMALI YAPI HESAP YÖNTEMLERİ	13
3.1 Burulmalı Yapıların Yaklaşık Hesabı	13
3.2 Burulma Yapan Yapılarda Önerilen Yaklaşık Yöntem.....	13
3.3 Bilgisayar Programı ve Yapının Modellenmesi	19
4. DEPREM YÜKLERİNİN HESABI.....	21
4.1 Depreme Dayanıklı Bina Tasarımında Genel İlkeler	21
4.2 Zemin Koşullarının Belirlenmesi	21
4.3 Elastik Deprem Yükleri.....	22
4.4 Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması	25
4.5 Hesap Yöntemleri.....	27
4.5.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	27
4.5.2 Mod Birleştirme Yöntemi.....	31
5. SAYISAL ÖRNEKLER.....	33
5.1 Örnek Yapı Sistemlerinin Tanıtılması ve Hesap Düzeni	33
5.1.1 Örnek yapıların ortak özellikleri	33
5.1.2 Hesaplarda izlenen yol ve bilgisayar modeli.....	33
5.2 Sayısal Örnekler	34
5.2.1 Örnek1	34
5.2.2 Örnek1 Sonuçları.....	40
5.2.3 Örnek2	41
5.2.4 Örnek2 Sonuçları.....	47
5.2.5 Örnek3	48
5.2.6 Örnek3 Sonuçları.....	54

5.2.7	Örnek4	55
5.2.8	Örnek4 Sonuçları.....	61
5.2.9	Örnek5	62
5.2.10	Örnek5 Sonuçları.....	66
5.2.11	Örnek6	67
5.2.12	Örnek6 Sonuçları.....	73
5.2.13	Örnek7	74
5.2.14	Örnek7 Sonuçları.....	80
6.	SONUÇLAR.....	81
	KAYNAKLAR.....	83
	ÖZGEÇMİŞ.....	84



SİMGE LİSTESİ

A(T)	Spektral İvme Katsayısı
A _o	Etkin Yer İvmesi Katsayısı
B _a	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenine doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
B _{ax}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenine doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B _{ay}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenine doğrultusunda, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
D _i	Eşdeğer Deprem Yüklü Yönteminde burulma düzensizliği olan binalar için i'inci katta ± %5 ek dışmerkezliğe uygulanan büyütme katsayısı
d _{fi}	Binanın i'inci katında F _{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
d _i	Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
F _{fi}	Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkiyen fiktif yük
F _i	Eşdeğer Deprem Yüklü Yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
g _i	Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük
H _i	Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda i'inci katın zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen yüksekliği) [m]
H _N	Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yükseklik) [m]
h _i	Binanın i'inci katının kat yüksekliği
I	Bina Önem Katsayısı
m _i	Binanın i'inci katının kütlesi (m _i = w _i / g)
M _x	x yönü burulma momenti
M _y	y yönü burulma momenti
N	Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
n	Hareketli Yük Katılım Katsayısı
q _i	Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R _a (T)	Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı
S(T)	Spektrum Katsayısı
T	Bina doğal titreşim periyodu [s]
T ₁	Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T _A , T _B	Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
V _t	Eşdeğer Deprem Yüklü Yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
W	Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
w _i	Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
Δ _i	Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi
(Δ _i) _{max}	Binanın i'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
(Δ _i) _{ort}	Binanın i'inci katındaki ortalama görelî kat ötelemesi
ΔF _N	Binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
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

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 A2 Türü Düzensizlikler.....	5
Şekil 2.2 A3 Türü Düzensizlikler.....	6
Şekil 2.3 A4 Türü Düzensizlikler.....	7
Şekil 2.4 B3 Türü Düzensizlikler.....	9
Şekil 2.5 Rijitlik ve Kütle Merkezi	10
Şekil 2.6 Burulma Düzensizliği Durumu	11
Şekil 2.7 Kaydırılmış Kütle Merkezleri	12
Şekil 3.1 Kayma Çerçevesi	14
Şekil 3.2 Örnek Kat Planı.....	15
Şekil 3.3 Örnek Katın Görelî Yer Değıştirmeleri.....	15
Şekil 4.1 Spektrum Eğrisi.....	24
Şekil 4.2 d_{fi} Kat Yerdeğıştirmeleri	30
Şekil 5.1 Örnek1	35
Şekil 5.2 Örnek2.....	42
Şekil 5.3 Örnek3.....	49
Şekil 5.4 Örnek4.....	56
Şekil 5.5 Örnek5.....	63
Şekil 5.6 Örnek6.....	68
Şekil 5.7 Örnek7.....	75

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Yerel Zemin Sınıfları	22
Çizelge 4.2 Etkin Yer İvmesi Katsayıları.....	23
Çizelge 4.3 Bina Önem Katsayıları.....	23
Çizelge 4.4 Spektrum Karakteristik Periyotları	25
Çizelge 4.5 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.....	26
Çizelge 4.6 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi Uygulama Sınırları	27
Çizelge 4.7 Hareketli Yüğü Azaltma Katsayısı.....	28
Çizelge 5.1 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	34
Çizelge 5.2 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	34
Çizelge 5.3a X Yöğü Burulma Momentleri	36
Çizelge 5.3b Y Yöğü Burulma Momentleri	36
Çizelge 5.4a X Yöğü Kat Deplasmanları	36
Çizelge 5.4b Y Yöğü Kat Deplasmanları	36
Çizelge 5.5a X Yöğü Burulma Düzensizlikleri.....	37
Çizelge 5.5b Y Yöğü Burulma Düzensizlikleri.....	37
Çizelge 5.6a Art. Ek Dışmerkezlilikler	38
Çizelge 5.6b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yöğü Bur. Mom.	38
Çizelge 5.6c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yöğü Bur. Mom.	38
Çizelge 5.7 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	39
Çizelge 5.8 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	40
Çizelge 5.9 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	41
Çizelge 5.10 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	41
Çizelge 5.11a X Yöğü Burulma Momentleri	43
Çizelge 5.11b Y Yöğü Burulma Momentleri	43
Çizelge 5.12a X Yöğü Kat Deplasmanları	43
Çizelge 5.12b Y Yöğü Kat Deplasmanları	43
Çizelge 5.13a X Yöğü Burulma Düzensizlikleri.....	44
Çizelge 5.13b Y Yöğü Burulma Düzensizlikleri.....	44
Çizelge 5.14a Art. Ek Dışmerkezlilikler	45
Çizelge 5.14b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yöğü Bur. Mom.	45
Çizelge 5.14c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yöğü Bur. Mom.	45
Çizelge 5.15 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	46
Çizelge 5.16 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	47
Çizelge 5.17 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	48
Çizelge 5.18 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	48
Çizelge 5.19a X Yöğü Burulma Momentleri	50
Çizelge 5.19b Y Yöğü Burulma Momentleri	50
Çizelge 5.20a X Yöğü Kat Deplasmanları	50
Çizelge 5.20b Y Yöğü Kat Deplasmanları	50
Çizelge 5.21a X Yöğü Burulma Düzensizlikleri.....	51
Çizelge 5.21b Y Yöğü Burulma Düzensizlikleri.....	51
Çizelge 5.22a Art. Ek Dışmerkezlilikler	52
Çizelge 5.22b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yöğü Bur. Mom.	52
Çizelge 5.22c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yöğü Bur. Mom.	52
Çizelge 5.23 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	53
Çizelge 5.24 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	54
Çizelge 5.25 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	55
Çizelge 5.26 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	55
Çizelge 5.27a X Yöğü Burulma Momentleri	57

Çizelge 5.27b Y Yönü Burulma Momentleri	57
Çizelge 5.28a X Yönü Kat Deplasmanları	57
Çizelge 5.28b Y Yönü Kat Deplasmanları	57
Çizelge 5.29a X Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	58
Çizelge 5.29b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	58
Çizelge 5.30a Art. Ek Dışmerkezlilikler	59
Çizelge 5.30b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yönü Bur. Mom.	59
Çizelge 5.30c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yönü Bur. Mom.	59
Çizelge 5.31 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	60
Çizelge 5.32 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	61
Çizelge 5.33 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	62
Çizelge 5.34 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	62
Çizelge 5.35a X Yönü Burulma Momentleri	64
Çizelge 5.35b Y Yönü Burulma Momentleri	64
Çizelge 5.36a X Yönü Kat Deplasmanları	64
Çizelge 5.36b Y Yönü Kat Deplasmanları	64
Çizelge 5.37a X Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	65
Çizelge 5.37b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	65
Çizelge 5.38 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	67
Çizelge 5.39 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	67
Çizelge 5.40a X Yönü Burulma Momentleri	69
Çizelge 5.40b Y Yönü Burulma Momentleri	69
Çizelge 5.41a X Yönü Kat Deplasmanları	69
Çizelge 5.41b Y Yönü Kat Deplasmanları	69
Çizelge 5.42a X Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	70
Çizelge 5.42b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	70
Çizelge 5.43a Art. Ek Dışmerkezlilikler	71
Çizelge 5.43b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yönü Bur. Mom.	71
Çizelge 5.43c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yönü Bur. Mom.	71
Çizelge 5.44 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	72
Çizelge 5.45 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	73
Çizelge 5.46 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü.....	74
Çizelge 5.47 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yüğü.....	74
Çizelge 5.48a X Yönü Burulma Momentleri	76
Çizelge 5.48b Y Yönü Burulma Momentleri	76
Çizelge 5.49a X Yönü Kat Deplasmanları	76
Çizelge 5.49b Y Yönü Kat Deplasmanları	76
Çizelge 5.50a X Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	77
Çizelge 5.50b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri.....	77
Çizelge 5.51a Art. Ek Dışmerkezlilikler	78
Çizelge 5.51b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yönü Bur. Mom.	78
Çizelge 5.51c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yönü Bur. Mom.	78
Çizelge 5.52 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	79
Çizelge 5.53 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması	80

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak olarak hazırlanan bu çalışmada, geometrik bakımdan düzensiz olan bir yapının kalıp planı üzerinde değişik yerlere perdeler yerleştirilip, döşeme parçaları atılıp çeşitli örnekler yapılmıştır. Bu örnekler üzerinde burulma düzensizliği katsayısının ve iç kuvvetlerin değişimi incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında bana yardımcı olan hocalarım Yard. Doç. Dr. Nilgün AKTAN ve Prof. İbrahim EKİZ'e çok teşekkür ederim.



ÖZET

Yapıların plandaki düzensizlikleri yapının yatay yük altındaki davranışında büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada, geometrik bakımdan düzensiz olan Ambarlı İlköğretim Okulu binasının planı üzerinde perdeler yerleştirilip ve planda değişiklikler yapıp bu yapılar üzerinde burulma düzensizlikleri incelenmiştir. Burulma düzensizliği, herhangi bir katta, maksimum görelî yerdeğiştirmenin ortalama görelî yerdeğiştirmeye oranı olarak hesaplanan bir burulma düzensizliği katsayısına bağlı olarak tanımlanmaktadır. Aynı yapılarda %5 dışmerkezliğe ve arttırılmış dışmerkezliğe göre hesaplar yapılmış ve bu yapıların iç kuvvetlerindeki değişmeler deprem yönetmeliğine göre karşılaştırılmıştır. Sayısal hesaplamalardan çıkan sonuçlara göre kritik kiriş ve kolonlardaki artış ortalama %10 seviyesindedir.

Anahtar Kelimeler: Burulma düzensizliği, deprem yükleri, düzensiz yapılar.



ABSTRACT

Structural irregularities in the plane have very important role on the overall behaviour of the structures subjected to seismic loading. In this study, torsional irregularities are examined on the Ambarlı Primary School and framed sample structures with different structural wall configurations is chosen, and their behaviour under earthquake loading is investigated and discussed. Torsional irregularity is defined by means of the torsional irregularity coefficient, which is computed as the ratio of the maximum and average relative displacements at an individual story. The internal member forces are computed and compared in the solutions with 5% accidental eccentricity and with increased eccentricities, under seismic loading, according to TEC'97. Torsional amplification factors are introduced and calculated along the height of the buildings. The numerical solutions of the investigated buildings show that the maximum increase in the bending moments at the most critical beams and columns is about 10%.

Key words: Torsional irregularity, seismic loading, irregular structures.



1. GİRİŞ

1.1 Konuya Giriş

Binaların depreme dayanıklı yapı tasarımı, dünyada ve özellikle deprem yüzünden can ve mal kayıplarının yaşandığı ülkemizde oldukça önemlidir. Bu aşamada deprem hareketi karşısında yapının davranışını belirlemek ve uygun tedbirleri almak şarttır. Çağdaş deprem yönetmelikleri yapısal düzensizliğe sahip binaların deprem ve rüzgar gibi yatay yüklere göre analizinde bir takım esaslar öne sürerek, kısıtlamalar getirmişlerdir. Yapısal düzensizlikler düşey yüklere göre hesapta genellikle sorun çıkartmazken, yatay yüklere göre hesapta istenmeyen ve elverişsiz durumların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Burulma düzensizliği dünya deprem yönetmeliklerinde en çok göze çarpan yapısal düzensizliklerinden biridir. Yönetmelikler burulma düzensizliğine sahip yapılar için bir takım önlem ve yaptırımların uygulanmasını şart koşturmuştur. Genel olarak, burulma ile ilgili belirli değerlerin aşılması halinde hesaplanan dışmerkezlilik değerlerinin artırılması ve bu değerlerin daha da büyümesi halinde, dinamik analiz önerilmektedir. Yönetmeliklerde çoğunlukla burulma parametresi olarak (1.1) bağıntısı kullanılmaktadır.

$$\eta_b = \frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{ort}}} \quad (1.1)$$

Burada Δ_{\max} maksimum kat ötelemesini, Δ_{ort} ortalama kat ötelemesini, η_b ise burulma parametresini göstermektedir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan bir yapının burulma düzensizliği incelenmiş ve daha sonra aynı yapının perdeli ve çerçevesiz olarak tasarlanması durumunu incelemek üzere örnekler çözülmüştür. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'de (1.1) ifadesi ile verilen burulma parametresinin 1,20 değerini aşması halinde %5 ek dışmerkezlilik değeri büyütülerek (1.2) formülüyle hesaplanan ε artırılmış dışmerkezliliğine göre hesap yapılması istenmektedir.

$$\varepsilon = 0,05 \left(\frac{\eta_b}{1,2} \right)^2 \quad (1.2)$$

Herhangi bir katta η_b 'nin 2'yi aşması halinde ise dinamik hesap yapılması öngörülmektedir. Yalnız deprem yönetmeliğinde mutlak kat ötelemeleri yerine görelî kat ötelemeleri kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı perdeli çerçevesel yapı sistemlerinde burulma etkisinin parametrik olarak inceleyerek, incelenen sistemlerde %5 ek dışmerkezlik ile artırılmış ek dışmerkezliklere göre bulunan tasarıma esas olan iç kuvvetlerin hangi oranda değiştiğini saptamaktır. Bunun için perdeli ve çerçevesel binalar ele alınmış ve eşdeğer deprem yükü yöntemi ile deprem yüklerine göre hesabı yapılmıştır. Daha sonra perdelerin yerleri değiştirilmek ve bina boyutları arttırılmak suretiyle hesaplar tekrarlanmıştır.

1.3 Konu ile İlgili Literatür Araştırması

Yapıların burulmalı hesabı oldukça karmaşık olduğu için ancak bazı kabullerle çözümler yapılabilmekte ve seçilen hesap modeline göre sonuçlar değişebilmektedir. Bu nedenle hala araştırmacıların inceleme konusudur. Son yıllarda burulma düzensizliği ile ilgili çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların artması, burulma düzensizliğine sahip yapıların hesabında kullanılan geçerliliği ve yönetmeliklerde şart koşulan yaptırımların ne kadar gerçekçi olduğunun anlaşılması açısından büyük önem taşır.

A. M. Chandler, X. N. Duan ve A. Rutenberg Eurocode8'in burulmayla ilgili statik yükleme koşullarını, basitleştirilmiş asimetrik yapı modellerini kullanarak incelemiştir. Bu çalışma sonucunda Eurocode8'in önerdiği burulma ile ilgili statik yükleme koşullarının yetersiz kaldığı ve daha gerçekçi hesap yöntemlerinin kullanılması gerektiği savunulmuştur.

J. Eibl ve E. Keintzel tarafından yapılan çalışmada ise, Eurocode8 tarafından önerilen yaklaşık yöntem incelenmiştir. Yazarlar bu yöntemin burulma açısından rijit sistem kabulüne dayandığını, burulma açısından rijit olmayan sistemlerde yöntemin yetersiz kaldığını belirtmişlerdir. (Eibl J., 1996)

Benzer bir çalışma ise Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'deki burulmalı yapılar için verilen yaptırımların incelenmesi ile ilgili olarak G. Özmen, E. Orakdöğen, S. Pala ve G. Gülay tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada burulma düzensizliğine sahip değişik tipteki yapılarda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile dinamik analiz sonucu bulunan iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak incelen çoğu yapıda Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile bulunan iç kuvvetlerin daha büyük olduğu görülmüştür. (1.1) ifadesi ile verilen burulma parametresi η_b 'nin 2 değerine ulaşma olasılığının zayıf olduğu, bu nedenle dinamik hesap için konan bu değerlerin daha aşağıya çekilmesi gerekliliği önerilmiştir. (Özmen G., 1997)



2. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİK KOŞULLARI

Çeşitli deprem yönetmeliklerinde düzensiz yapılar için bir takım kısıtlamalar ve yaptırımlar getirilmiştir. Bu bölümde Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki yapısal düzensizlik tanımları ve özellikle planda düzensiz yapılar için getirilmiş olan yaptırımlar özetlenmiştir.

2.1 Yapısal Düzensizlikler

1997 yılına kadar 22 yıldır yürürlükte olan 1975 Yönetmeliğinde %5 ek dış merkezlik alınması koşulunun dışında, diğer yapısal düzensizlikler ile ilgili pek kayıt yoktur. Yeni yönetmelik çeşitli düzensizlikleri ayrıntılı olarak ele almıştır. Bu düzensizlikler aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

2.1.1 Planda Düzensizlikler (A Türü)

A1 - Burulma Düzensizliği

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı* η_{bi} 'nin 1.2'den büyük olması durumu.

$$[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1.2]$$

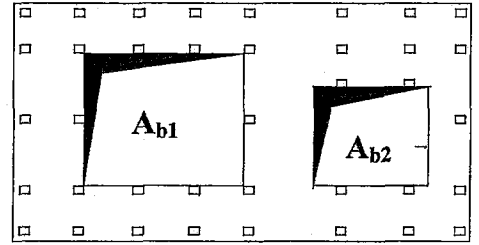
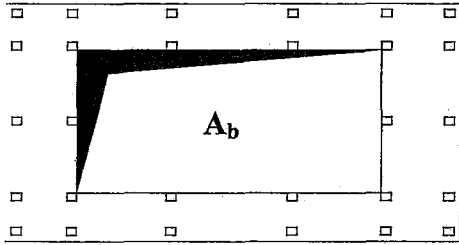
Burada η_{bi} Burulma Düzensizliği Katsayısını, $(\Delta_i)_{\max}$ ilgili kattaki maksimum görelî kat ötelemesini, $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ ise ilgili kattaki ortalama görelî kat ötelemesini ifade etmektedir.

A2 - Döşeme Süreksizlikleri

Herhangi bir kattaki döşemede (Şekil 2.1);

- I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,
- II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,
- III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu.

Bu tür düzensizliklerin bulunduğu binalarda, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarabildiği hesapla doğrulanacaktır.



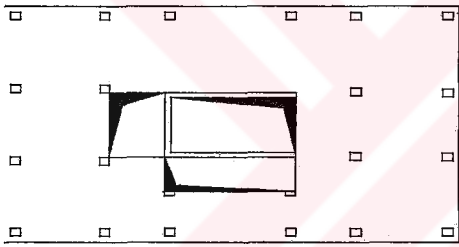
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu – I

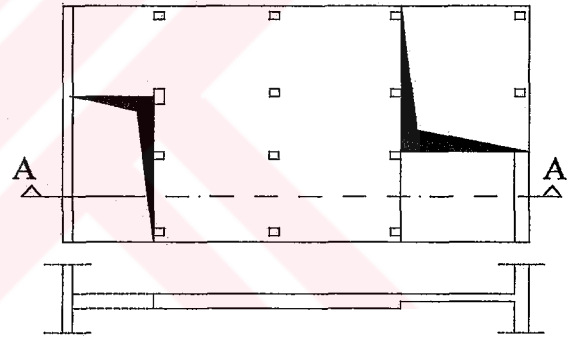
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II



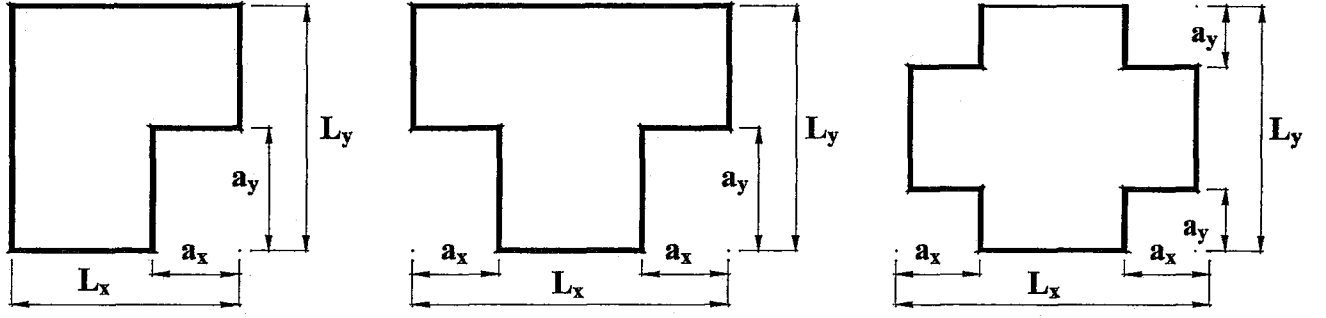
Kesit A-A

A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

Şekil 2.1 A2 Türü Düzensizlikler (ABYYHY,1998)

A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması

Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultudaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu (Şekil 2.2).



A3 türü düzensizlik durumu:

$$a_x > 0.2 L_x \text{ ve aynı zamanda } a_y > 0.2 L_y$$

Şekil 2.2 A3 Türü Düzensizlikler (ABYYHY,1998)

A4 - Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması

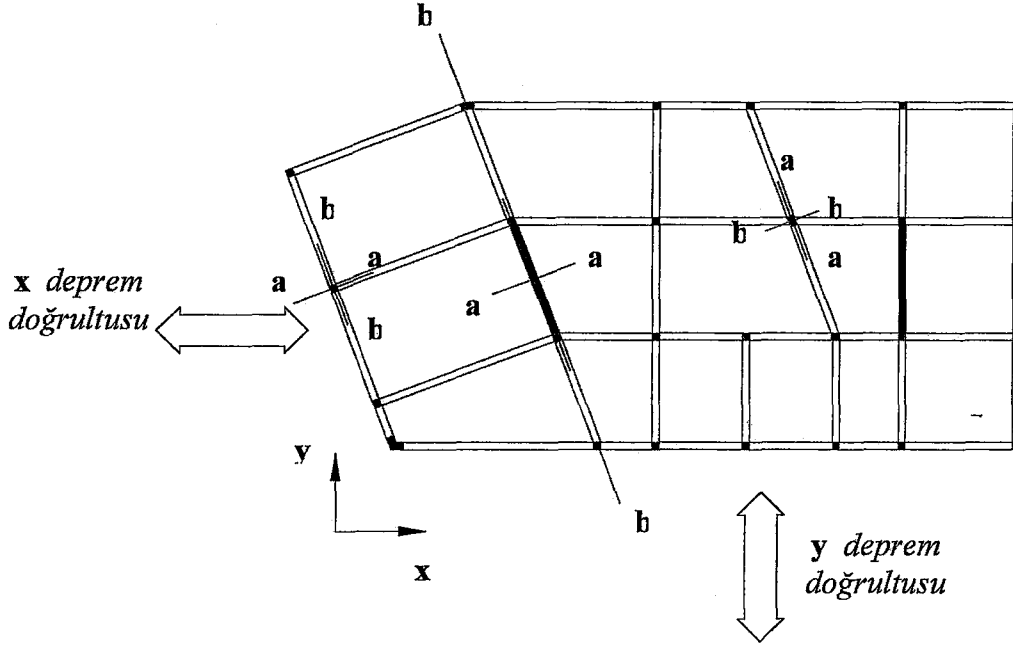
Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu (Şekil 2.3).

Bu tür düzensizliğin bulunduğu binalarda, elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler aşağıdaki formüllere göre elde edilecektir .

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad (2.1a)$$

$$B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay} \quad (2.1b)$$

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



Şekil 2.3 A4 Türü Düzensizlikler (ABYYHY,1998)

2.1.2 Düşey Doğrultudaki Düzensizlik Durumları (B Türü)

B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (*Zayıf Kat*)

Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki *etkili kesme alanı*'nın, bir üst kattaki *etkili kesme alanı*'na oranı olarak tanımlanan *Dayanım Düzensizliği Katsayısı* η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu.

$$[\eta_{ci} = (\sum A_{e})_i / (\sum A_{e})_{i+1} < 0.80] \quad (2.2)$$

Burada $(\sum A_{e})_i$ herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanını, *herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı*;

$$\sum A_{e} = \sum A_{w} + \sum A_{g} + 0.15 \sum A_{k} \quad (2.3)$$

(2.3) ifadesinde $\sum A_{g}$ herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamını, $\sum A_{k}$ herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar

alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamını, $\sum A_w$ herhangi bir katta, kolon enkesiti etkin gövde alanları A_w 'ların toplamını göstermektedir.

B1 türü düzensizliğinin bulunduğu binalarda, gözönüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmayacaktır. $0.60 \leq (\eta_{ci})_{\min} < 0.80$ aralığında olması durumunda 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. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. -

B2 – Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan *Rijitlik Düzensizliği Katsayısı* η_{ki} 'nin 1.5'tan fazla olması durumu

$$[\eta_{ki} = (\Delta_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1})_{\text{ort}} > 1.5] \quad (2.4)$$

Bu tür düzensizliğe sahip binalarda, bina yüksekliği 25m'den küçük ise Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemi, 25m'den büyük ise dinamik analiz yapılacaktır.

B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği

Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu (Şekil 2.4).

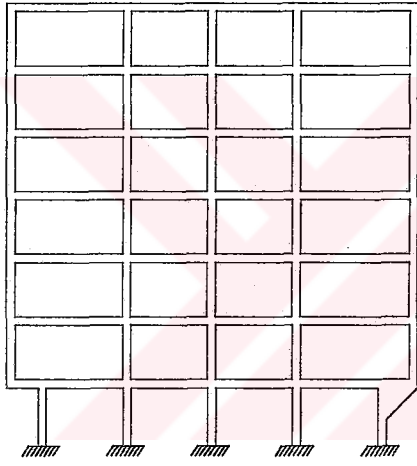
B3 türü düzensizliğin bulunduğu binalara ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir:

- Bütün deprem bölgelerinde, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 2.4a).
- Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına

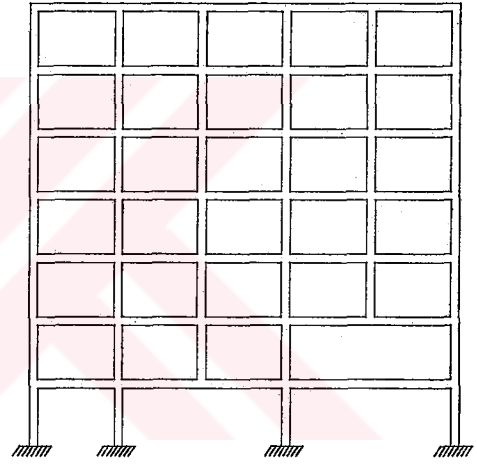
birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında arttırılacaktır (Şekil 2.4b).

- 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. Bu tür düzensizliğin bulunduğu betonarme binalarda ayrıca kolon sarılma bölgesine uygulanan etriye sıklaştırılması kolon orta bölgesinde de aynen devam ettirilecektir (Şekil 2.4c).

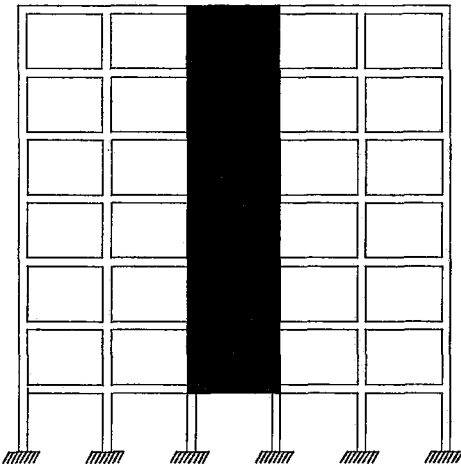
- Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez (Şekil 2.4d).



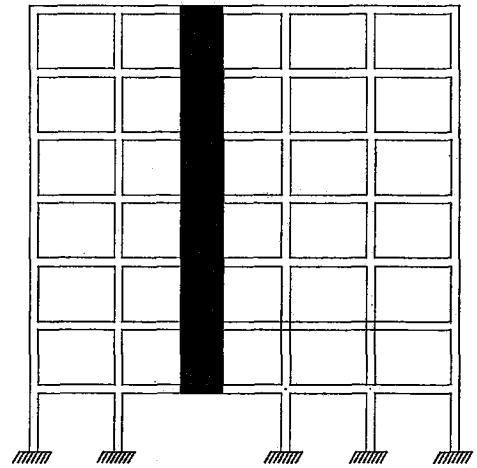
Şekil 2.4a



Şekil 2.4b



Şekil 2.4c



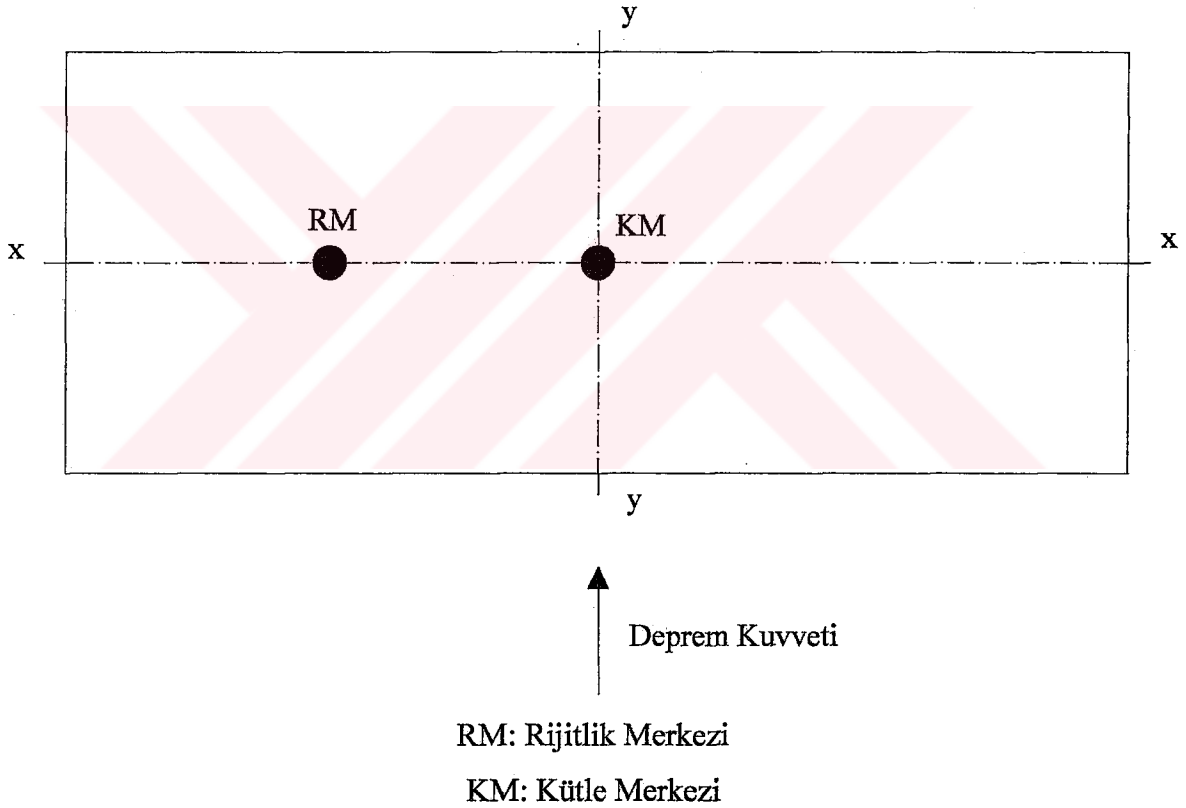
Şekil 2.4d

Şekil 2.4 B3 Türü Düzensizlikler (ABYYHY,1998)

2.2 Burulma Düzensizliği

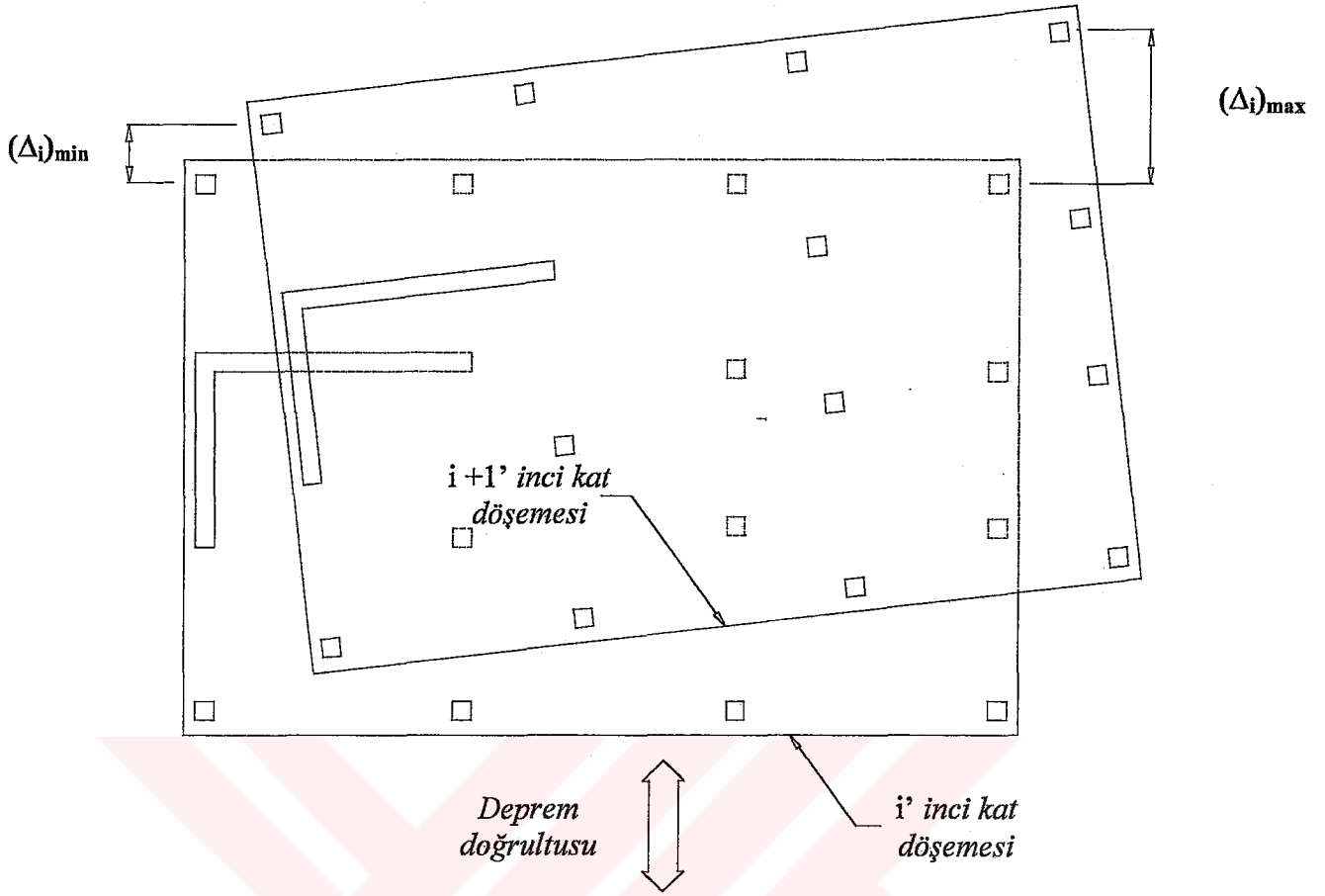
Sunulan tez çalışmasında burulma düzensizliğine sahip yapılar incelendiğinden, burulma düzensizliği ile ilgili olarak aşağıda daha geniş bilgi verilmiştir.

Kütle merkezi yapıyı oluşturan elemanların kütlelerinin toplandığı ve yapıya gelen kuvvetlerin etki ettiği kabul edilen nokta olarak tanımlanır. Rijitlik merkezi ise yapının taşıyıcı elemanlarında yapıya etkiyen yükler sonucu oluşan tepki kuvvetinin ortak yeri olarak ifade edilir. Burulma düzensizliğine sahip yapılarda yapının rijitlik merkezi ile kütle merkezinin çakışmama durumu olmasından dolayı, deprem, rüzgar gibi yatay yükler etki ettiği zaman yapı sisteminin düşey ekseninde burulma momentleri oluşur. Genelde yapı mühendisliği açısından pek istenmeyen bir durum olmasına karşın mimari ve diğer bazı şartlardan dolayı kaçınılmaz olabilmektedir. Bu durum Şekil 2.5'te izah edilmiştir.



Şekil 2.5 Rijitlik ve Kütle Merkezi

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'e göre maksimum ve minimum görelî kat ötelemelerinin karşılaştırılması ve bulunan sonuçlara göre değerlendirme yapılması istenmektedir. Şekil 2.6'da burulma düzensizliği durumu gösterilmiştir.



Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

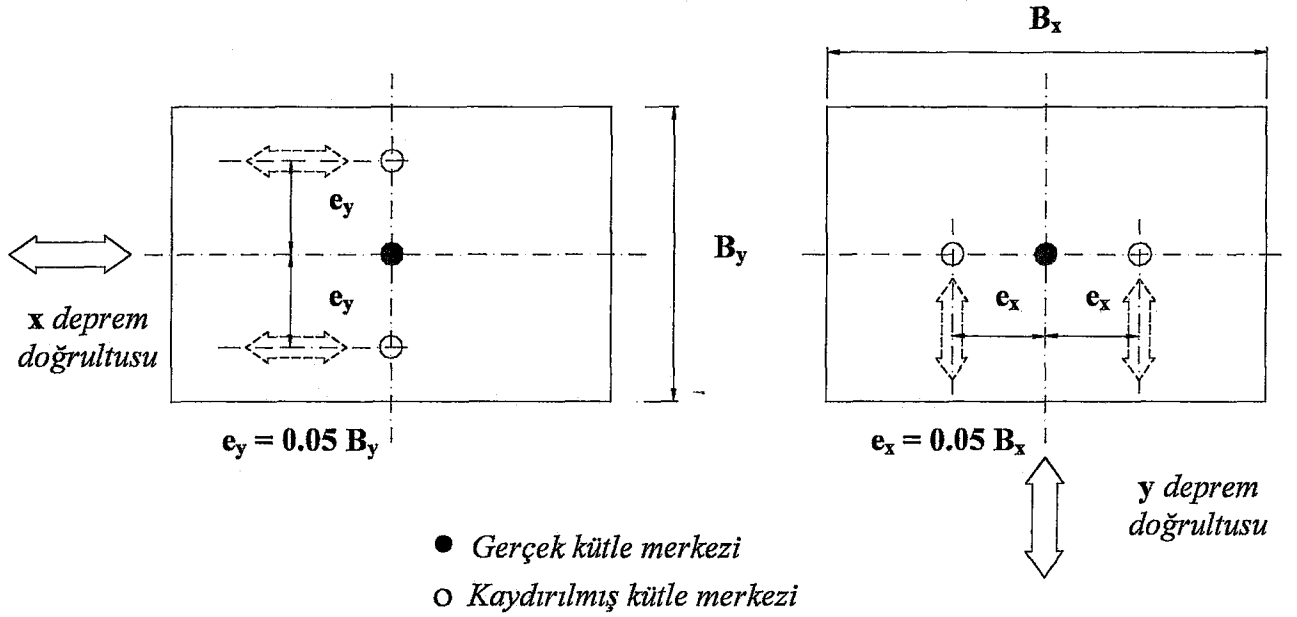
Burulma düzensizliği katsayısı :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$$

Burulma düzensizliği durumu : $\eta_{bi} > 1.2$

Şekil 2.6 Burulma Düzensizliği Durumu (ABYYHY,1998)

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} hesaplanırken yatay yükler kaydırılmış kütle merkezine tatbik ettirilir ve bu şekilde bulunan yer değiştirmeler ile her kattaki η_{bi} elde edilir. Kaydırılmış kütle merkezi gerçek kütle merkezinin gözönüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun %5 veya -%5'i kadar kaydırılması sonucu bulunur (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Kaydırılmış Kütle Merkezleri (ABYYHY,1998)

Yönetmelik koşullarına göre;

- Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den küçük çıkması durumunda burulma düzensizliğinin yapı davranışına önemli bir etkisinin olmadığı varsayılır.
- Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 1,2 ile 2,0 arasında olması durumunda, yatay yükler hesaplanan arttırılmış ek dışmerkezliklere göre bulunan kütle merkezlerine tatbik edilir ve elde edilen yeni iç kuvvetlerin tasarıma esas alınması öngörülür. Arttırılmış ek dışmerkezlikler %5 ek dışmerkezliklerin (2.5) bağıntısı ile verilen büyütme katsayısı (D_i) ile çarpılması ile bulunur.

$$D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2 \quad (2.5)$$

- Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin 2,0'den büyük olması durumunda, döşemelerin rijit diyafram hareketi yapmadığı kabul edilmeli ve bu durumda üç boyutlu dinamik hesap yapılması gerekmektedir.

3. BURULMALI YAPI HESAP YÖNTEMLERİ

Günümüzde sıkça rastladığımız yapıların yatay yüklere göre statik veya dinamik hesabında kullanılan yöntemler genel olarak iki ana grup altında toplamak mümkündür.

- 1- Yaklaşık Yöntemleri
- 2- Bilgisayar Programı ile Çözüm Yöntemleri

3.1 Burulmalı Yapıların Yaklaşık Hesabı

Burulma yapan yapıların hesabı için de, daha kesin yöntem olarak bilinen bilgisayar programı ile çözüm yanında, bir takım kabuller yapılarak yaklaşık yöntemlerle de çözüm yapılabilir. Bu ölümdede burulmalı yapılar için bazı genel tanımlar ve hesap kabulleri verildikten sonra uygulamada kullanılan yaklaşık yöntem ve tezde çözümü yapılan örneklerde yararlanılan SAP2000 bilgisayar programının giriş bilgileri ve hesap esasları açıklanacaktır.

3.2 Burulma Yapan Yapılarda Önerilen Yaklaşık Yöntem

Burulma yapan yapı sistemlerinin çözümü için;

Teknik Rapor 13'te önerilen yaklaşık yöntemin uygulanabilmesi için aşağıdaki kabullerin sağlanması gerekir.

Hesap Kabulleri

- 1- Malzemenin lineer elastik olduğu
 - 2- Kat döşemelerinin düzlemleri içinde sonsuz rijit oldukları
 - 3- Perdelere klasik çubuk teorisinin uygulanabildiği
 - 4- Taşıyıcı elemanlarda boy değişmelerinin ihmal edilebileceği
 - 5- Düşey taşıyıcı elemanların ortogonal oldukları
 - 6- Çeçevelerin kayma çerçevesi oldukları
- kabul edilmektedir.

Hesaplarda en geniş ölçüde basitliği sağlayan kabul çerçevelerin kayma çerçevesi (Şekil 3.1) oldukları kabulüdür. Bu kabul neticesinde her kata ait rölatif yatay deplasmanın kesme kuvveti ile orantılı oldukları ve o kattaki bütün kolonlarda aşağıda verilen (3.1) formülünün geçerli olduğu sonucuna varılır.

$$\delta = \frac{V}{D} \quad (3.1)$$

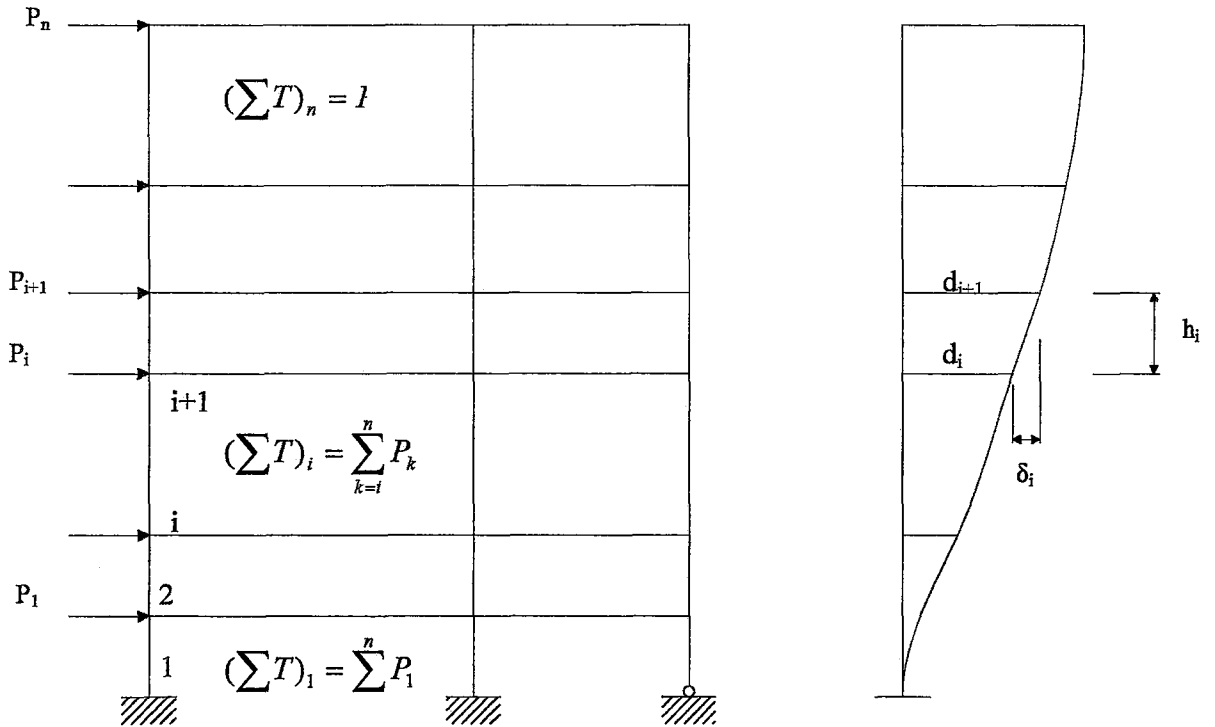
Burada δ kolon üst ucunun alt ucuna göre rölatif deplasmanını, V kolon kesme kuvvetini, D ise kolon rijitliğini (3.2) ile verilen formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$D = \frac{12EI}{h^3} k \quad 0 < k < 1 \quad (3.2)$$

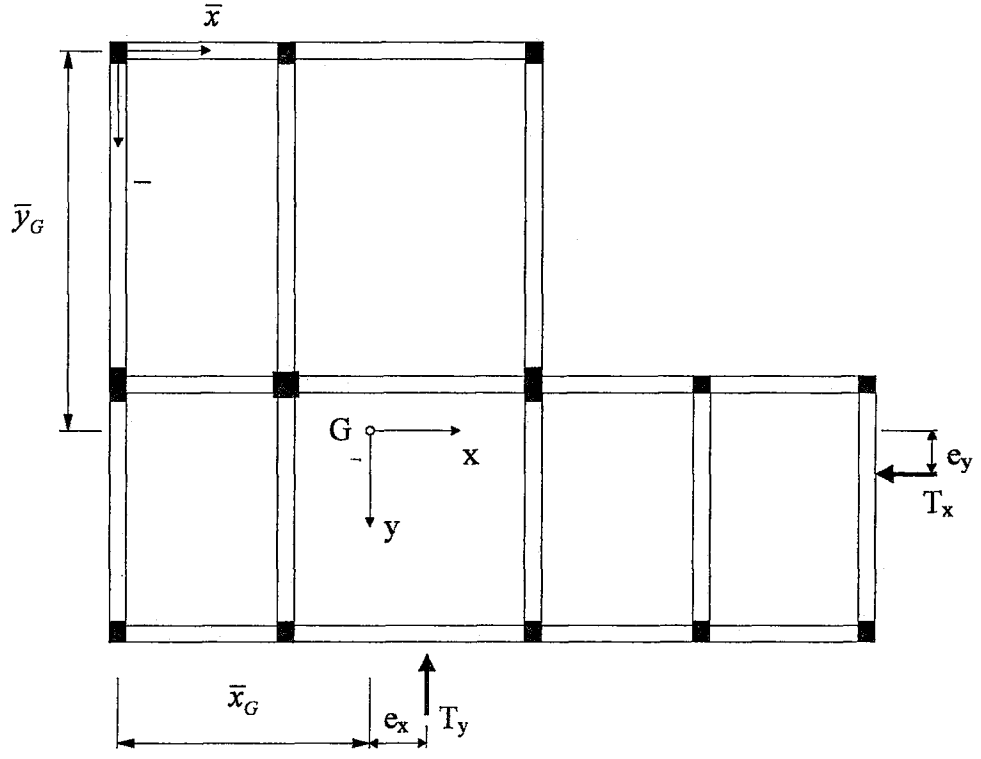
Burada EI kolon eğilme rijitliğini, h kat yüksekliğini, k ise kolonların iki ucunda birleşen çubukların moment sıfır noktalarının yerlerine ve komşu katların δ rölatif deplasmanlarının oranlarına bağlı olan değişken bir katsayıyı göstermektedir.

Hesap Esasları

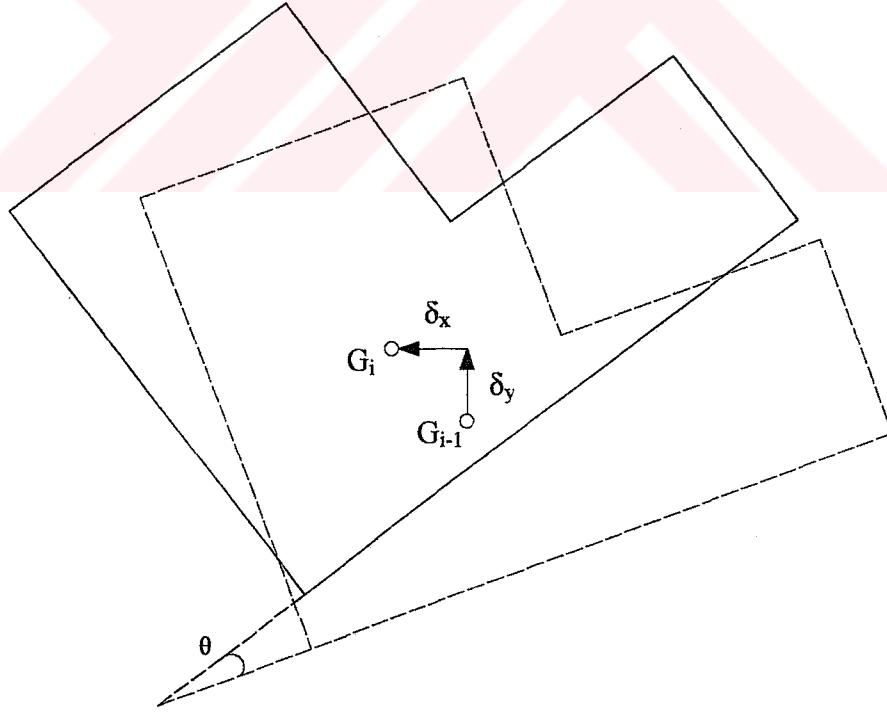
Yukarıda verilen kabullerin yapılabildiği ve burulma yapan bir yapının hesabında, herhangi bir kat döşemesinin altındaki döşemeye göre rölatif rijit cisim hareketi döşeme üzerindeki bir G noktasının 3 yerdeğiştirme bileşeni ile ifade edilebilir. Bu bileşenler Şekil (3.2) ve (3.3) ile gösterilen x doğrultusundaki δ_x rölatif ötelemesi, y doğrultusundaki δ_y rölatif ötelemesi ve döşeme üzerindeki herhangi bir doğrultunun θ dönmesidir.



Şekil 3.1 Kayma Çerçevesi



Şekil 3.2 Örnek Kat Planı



Şekil 3.3 Örnek Katın Görelî Yer Değişîrmeleri

Çerçevelerin kayma çerçevesi kabul edilmeleri durumunda, her kata ait denge denklemleri birbirinden bağımsızdır. Aşağıda gösterileceği gibi, G noktası uygun bir şekilde seçilerek, bir kata ait δ_x , δ_y ve θ deplasmanları da birbirinden bağımsız olarak hesaplanabilirler.

Bilinmeyenlerin tayininde kullanılacak denge denklemleri her kat için yazılacak olan formül (3.3) ifadeleri ile yazılan denge denklemleridir. Bu denklemlerin yazılmasında göz önüne alınan, katın üstünde kalan bütün dış yükler ile kata ait kolonların kesme kuvvetleri olacaktır.

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma X = 0 \\ \Sigma Y = 0 \\ \Sigma M = 0 \end{array} \right\} \quad (3.3)$$

Herhangi bir kat için birim yerdeğiştirme durumları ile dış yüklerin denge denklemlerine katkıları aşağıda belirtilmiştir.

$\delta_x = 1$ Durumu:

Yapının herhangi bir katının üstündeki döşemenin altındakine göre $\delta_x=1$ kadar rölatif öteleme yaptığı ve diğer yerdeğiştirme bileşenleri ile dış yüklerin sıfır olduğu düşünülürse (3.1) denkleminde, bu kattaki bütün kolonların x eksenı yönünde ve bu kolonların D_x rijitliklerine eşit değerde kesme kuvvetlerinin meydana geldiği görülür. Yapı çerçevelerinin birbirine dik doğrultuda oldukları kabul edildiğinden, bu durumda y yönünde kesme kuvveti meydana gelmektedir. Buradan x ve y yönünde toplam kuvvetler ile G noktası etrafında saat akrebi yönündeki toplam moment ifadeleri (3.4) ile belirtilmiştir.

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma X = \Sigma D_x \\ \Sigma Y = 0 \\ \Sigma M = -\Sigma y D_x \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Burada y kolonun ordinatını ve D_x kolonun x yönündeki rijitliğini temsil etmektedir.

$\delta_y = 1$ Durumu:

Yukardakine benzer şekilde, $\delta_y=1$ rölatif öteleme durumu için toplam kuvvetler ile toplam moment ifadeleri (3.5) ile verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= 0 \\ \Sigma Y &= \Sigma D_y \\ \Sigma M &= \Sigma x D_y \end{aligned} \right\} \quad (3.5)$$

Burada x kolonun absisini ve D_y kolonun y yönündeki rijitliğini temsil etmektedir.

$\theta = 1$ Durumu:

Üst kat döşemesinin alt kat döşemesine göre G noktası etrafında $\theta=1$ kadar rölatif dönme yaptığı düşünülürse kolonlarda x yönünde $-yD_x$, y yönünde ise xD_y şiddetinde kesme kuvvetleri meydana geldiği açıkça görülmektedir. Bu durum için toplam kuvvetler ve toplam moment ifadeleri (3.6) ile verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= -\Sigma y D_x \\ \Sigma Y &= \Sigma x D_y \\ \Sigma M &= \Sigma (y^2 D_x + x^2 D_y) \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

Dış Yükleme ($\delta_x=\delta_y=\theta=0$) Durumu:

Bu durumda bütün rölatif kat yerdeğiştirme bileşenlerinin sıfır olduğu ve yapıya sadece dış yüklerin etkidiği durum, gözönüne alınmıştır. Bu durumda toplam kuvvetler ve toplam moment ifadeleri de (3.7) ile verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} \Sigma X &= -\Sigma T_x \\ \Sigma Y &= -\Sigma T_y \\ \Sigma M &= e_y \Sigma T_x - e_x \Sigma T_y \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

(3.6) ile verilen ifade de ΣT_x ve ΣT_y , x ve y doğrultularındaki kat kesme kuvvetlerini, e_x ve e_y ise bunların G noktasına göre dışmerkezlilik uzaklıklarını göstermektedir.

Denge Denklemleri:

Göz önüne alınan kata ait $\Sigma X=0$, $\Sigma Y=0$ ve $\Sigma M=0$ denge denklemleri ile (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ifadeleri yardımıyla, aşağıda verilen (3.8), (3.9) formülleri de kullanılarak (3.10) ile verilen eşitliği yazabiliriz.

$$\Sigma D_{\theta} = \Sigma (y^2 D_x + x^2 D_y) \quad (3.8)$$

$$\Sigma M_t = e_x \Sigma T_y - e_y \Sigma T_x \quad (3.9)$$

$$\begin{bmatrix} \Sigma D_x & 0 & -\Sigma y D_x \\ 0 & \Sigma D_y & \Sigma x D_y \\ -\Sigma y D_x & \Sigma x D_y & \Sigma D_{\theta} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\Sigma T_x \\ -\Sigma T_y \\ -\Sigma M_t \end{bmatrix} = 0 \quad (3.10)$$

(3.9) ile matris formunda verilen denklem sisteminin çözümünde G noktasının yeri $\Sigma y D_x=0$ ve $\Sigma x D_y=0$ olacak şekilde seçilirse, bilinmeyen deplasmanlar birbirinden bağımsız olarak elde edilebilir. Elde edilen sonuçlar (3.11) ifadesi ile verilmiştir.

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= \frac{\Sigma T_x}{\Sigma D_x} \\ \delta_y &= \frac{\Sigma T_y}{\Sigma D_y} \\ \theta &= \frac{\Sigma M_t}{\Sigma D_{\theta}} \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

$\Sigma y D_x=0$ ve $\Sigma x D_y=0$ şartlarının sağlanması için G noktasının kolonlara ait D_x ve D_y değerlerinin ağırlık merkezi olarak seçilmesi yani G noktasının herhangi bir x ve y eksen takımına göre koordinatların (3.12) formülleri ile tayin edilmesi yeterlidir.

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_G &= \frac{\Sigma \bar{x} D_y}{\Sigma D_y} \\ \bar{y}_G &= \frac{\Sigma \bar{y} D_x}{\Sigma D_x} \end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

Koordinatları (3.12) ifadesi ile verilen G noktasına bu kata ait rijitlik merkezi denir. Burada rijitlik merkezinin dış yüklerden bağımsız olarak bulunabileceği görülmektedir. Bu durum çerçevelerin kayma çerçevesi olarak davrandığı kabulünden ileri gelmektedir.

Ancak gerçekte rijitlik merkezi koordinatlarının dış yüklere de bağlı olduğunu belirtmek gerekir.

Süperpozisyon:

Herhangi bir j kolonuna ait x ve y doğrultularındaki T_{jx} ve T_{jy} kesme kuvvetleri, birim deplasman durumlarındaki kesme kuvvetlerinin süperpozisyonu sonucunda bulunabilir. Bu kesme kuvvetleri aşağıda (3.13) ile verilen formüller yardımıyla hesaplanır.

$$\left. \begin{aligned} T_{jx} &= D_{jx}(\delta_x - y\theta) \\ T_{jy} &= D_{jy}(\delta_y + x\theta) \end{aligned} \right\} \quad (3.13)$$

Burada D_{jx} ve D_{jy} herhangi bir j kolonuna ait rijitliği göstermektedir.

Yukarıda anlatılan hesap yöntemlerindeki adımlar bilgisayar programı SAP2000 tarafından otomatik olarak icra edilmektedir. Böylece hesabı istenen yapı sisteminin direkt olarak iç kuvvetleri bulunmaktadır. Fakat taşıyıcı sistemin modellenmesi ve yatay yükler karşısındaki davranışının bilinmesi açısından bu bölümde anlatılan yaklaşık yöntemin hesap esaslarının iyi bir şekilde anlaşılması gereklidir.

3.3 Bilgisayar Programı ve Yapının Modellenmesi

Bilgisayar programı ile çözümde SAP2000 paket programı kullanılmıştır. Sonlu eleman formülasyonu ve sayısal çözüm tekniklerindeki gelişme ve detaylı araştırmaların programa uygulanması sonucunda SAP2000 bugünkü halini almıştır. SAP2000 yapı mühendisliği ve mekaniğinde dünya çapında iyi bir üne sahiptir.

Bu programı kullanarak çeşitli tipteki yapıların statik ve dinamik analizini yapmak mümkündür. Ayrıca eleman sayısı fazla ve buna bağlı olarak da bilinmeyen sayısı çok fazla olan, elle çözümü çok uzun ve yorucu olan yapı sistemlerinin hesabı kolayca yapılabilir.

Çeşitli yükleme durumlarına ait kombinasyonlar otomatik olarak elde edilebilir. Yapı sistemine ait model geometrisinin kontrolü ve sistemin yapısal davranışını irdelemek açısından modele ait şekil değiştirmiş ve şekil değiştirmemiş formlarını ekranda görüntülemek mümkündür.

Örneklerin SAP2000'e Tanıtılması

Tüm örneklerin üç boyutlu olarak çözülmesi istenmektedir. Bunun için düğüm noktalarına üç adet yerdeğiştirme ve üç adet dönme bileşeni olmak üzere toplam altı serbestlik derecesi verilmiştir. Ayrıca rijit kat döşemesi kabulü yapıldığından her katta Master Joint tanımı yapılmıştır.

Programa tüm düğüm noktaları tanıtıldıktan sonra kat kütleleri ilgili kattaki Master Joint'lere yerleştirilir. Bölüm 2.1.3'te anlatıldığı gibi Burulma Düzensizliği'ne sahip yapıların hesabında, deprem yükleri %5'lik dışmerkezliklere ve arttırılmış ek dışmerkezliklere göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir.

Kiriş, kolon ve perdelerin enkesit ve malzeme özellikleri girilir. Malzemenin lineer elastik davrandığı kabul edilmiştir. Elemanların enkesit özellikleri programa tanıtılırken doğrudan kesit boyutları girilebilir. Atalet momentleri ve diğer büyüklükler program tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

4. DEPREM YÜKLERİNİN HESABI

4.1 Depreme Dayanıklı Bina Tasarımında Genel İlkeler

Deprem yönetmeliğinin ana amacı deprem yükü etkisinde kalacak yapıların, bu etkiler altında dayanıklı bir şekilde davranış göstermesini sağlayacak şekilde tasarımını yapmaktır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında; hafif şiddetteki depremlerde yapının taşıyıcı sisteminde ve taşıyıcı olmayan sistem elemanlarında herhangi bir hasar oluşmaması, orta şiddetteki depremlerde taşıyıcı olmayan sistem elemanlarında hasarın onarabilir düzeyde olabilmesi fakat taşıyıcı sistemin zarar görmemesi, şiddetli depremlerde ise yapıda göçmenin önlenmesi ve can kaybının olmaması ana ilkelerdir.

Yukarıdaki paragrafta anlatılan şartların sağlanmasında deprem yüklerinin seçilmesi ve hesap yönteminin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Deprem yükleri zemin cinsi, deprem bölgesi, sistem rijitliği gibi birtakım parametrelere bağlı olarak ifade edilebilmektedir. Bu bölümde deprem yönetmeliğine göre yapıya etkimesi öngörülen deprem yüklerinin bulunması ve depreme göre hesap yöntemleri kısaca açıklanmıştır.

Yatay yükleri taşıyan yapının bir bütün olarak, taşıyıcı sisteminde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların tümünde, yatay yüklerin temel zeminine kadar sürekli ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlilikte rijitlik, kararlılık ve dayanım bulunmalıdır. Bu bağlamda, döşeme sistemlerinin ve diğer yatay elemanların deprem kuvvetlerini, yatay yük taşıyıcı sistem elemanlarına güvenli bir şekilde aktarımını sağlayacak yeterli rijitliğe ve dayanıma sahip olmaları gerekmektedir.

4.2 Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Yerel zemin koşullarının belirlenmesi için esas alınacak zemin grupları deprem yönetmeliğine göre dört ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- (A) grubu zemin sınıfına masif volkanik kayalar, ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar
- (B) grubu zemin sınıfına tuf ve anglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar

- (C) grubu zemin sınıfına yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar
- (D) grubu zemin sınıfına ise, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyon tabakalar

Deprem Yönetmeliği'ne ait Yerel Zemin Sınıfları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yerel Zemin Sınıfları (ABYYHY,1998)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve Tabaka Kalınlığı
Z1	(A) grubu zeminler, en üst tabaka kalınlığı 15m'ye eşit veya daha az olan (B) grubu zeminler
Z2	En üst tabaka kalınlığı 15m'den fazla (B) grubu zeminler ve en üst tabaka kalınlığı 15m'den az (C) grubu zeminler
Z3	En üst tabaka kalınlığı 15-50m arasında olan (C) grubu zeminler ve en üst tabaka kalınlığı 10m'ye eşit veya daha az olan (D) grubu zeminler
Z4	En üst tabaka kalınlığı 50m'den fazla (C) grubu zeminler ve en üst tabaka kalınlığı 10m'den fazla (D) grubu zeminler

4.3 Elastik Deprem Yükleri

Tasarım İvme Spektrumu'na karşı gelen ve deprem yer hareketinin belirlenmesi için esas alınan Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (4.1)$$

Burada $A(T)$ Spektral İvme Katsayısını, A_0 Etkin Yer İvme Katsayısını, I Bina Önem Katsayısını ve $S(T)$ ise Spektrum Katsayısını ifade etmektedir.

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0):

Deprem bölgelerine göre değişen Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0), Çizelge 4.2 ile tanımlanmıştır.

Çizelge 4.2 Etkin Yer İvmesi Katsayıları (ABYYHY,1998)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Bina Önem Katsayısı (I):

Bina Önem Katsayısı (I) binanın kullanım amacı veya türüne bağlı bir katsayıdır. Bu katsayının aldığı değerler Çizelge 4.3 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Bina Önem Katsayıları (ABYYHY,1998)

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurtlar, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<u>4. Diğer binalar</u> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

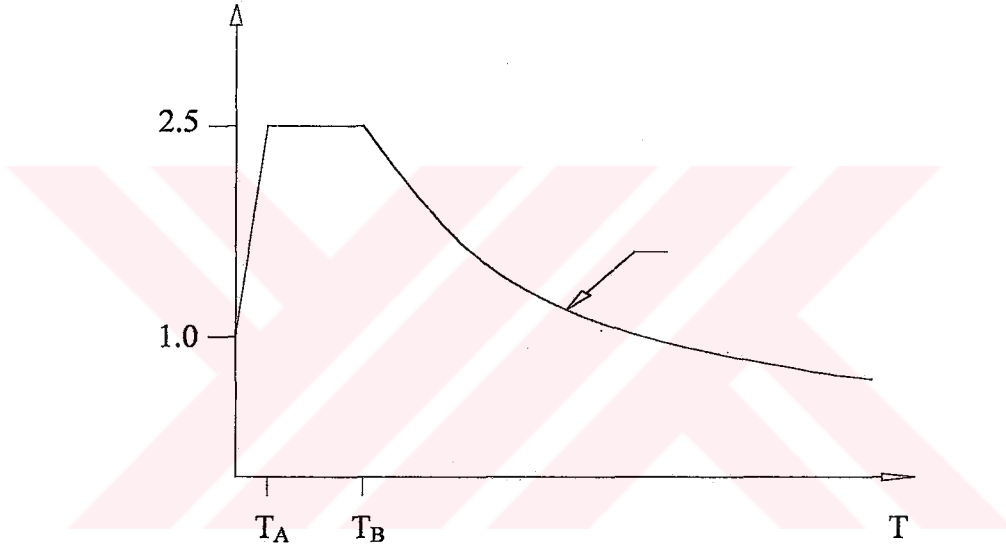
Spektrum Katsayısı (S(T)):

Spektrum Katsayısı S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T'ye bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanacaktır. (Şekil 4.1)

$$S(T) = 1 + 1.5 T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.2)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (4.3)$$

$$S(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (4.4)$$



Şekil 4.1 Spektrum Eğrisi (ABYYHY,1998)

(4.2), (4.3), (4.4) ifadelerindeki T saniye cinsinden bina doğal periyodunu, T_A ve T_B saniye cinsinden zemin gruplarına ve zemin sınıflarına bağlı olan Spektrum Karakteristik Periyotlarını göstermektedir. Spektrum Karakteristik Periyotlarını yerel zemin sınıflarına göre aldığı değerler Çizelge (4.4) ile verilmiştir.

Çizelge 4.4 Spektrum Karakteristik Periyotları (ABYYHY,1998)

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

4.4 Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması

Spektral İvme Katsayısı $A(T)$ 'ye göre belirlenecek elastik deprem yükleri, seçilen taşıyıcı sistemin kendine özgü elastik olmayan davranışı göz önüne alınarak bulunan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a) ile azaltılacak ve böylece Tasarım Deprem Yükleri hesaplanacaktır.

Tasarım deprem yüklerinin elde edilmesi için hesaplanan Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı R_a aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.5)$$

$$R_a(T) = R \quad (T > T_A) \quad (4.6)$$

Burada R_a Deprem Katsayısını, R Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısını göstermektedir.

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R , taşıyıcı sistem tipine ve sistemin süneklik düzeyine bağlıdır. R katsayısı deprem yönetmeliğinde yerinde dökme binalar, prefabrike betonarme binalar Çizelge halinde verilmiştir. (Çizelge 4.5)

Çizelge 4.5 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) (ABYYHY,1998)

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) Yerinde dökme betonarme binalar		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	4	7
(2) Prefabrike betonarme binalar		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.....	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	—	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	—	4
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	5
(3) Çelik binalar		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar.....		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	3	—
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perde durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	—
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perde durumu.....	4	7

4.5 Hesap Yöntemleri

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler; Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri'dir.

4.5.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi temel binanın sadece birinci doğal titreşim periyodu T_1 'den dolayı oluşan etkilerin hesaba katılması esasına dayanır. Uygulama sınırları Çizelge (4.6) ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulama sınırları (ABYYHY,1998)

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

Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün Belirlenmesi

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, tasarım deprem yükü olarak kullanılmak üzere binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yükünün (taban kesme kuvveti), tespit edilmesi gerekir. Toplam Eşdeğer Deprem Yükü V_t

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 I W \quad (4.7)$$

bağıntısı ile belirlenir. W binanın toplam ağırlığını, $A(T_1)$ ise binanın birinci doğal periyodu T_1 'e karşı gelen Spektral İvme Katsayısını göstermektedir.

Bina toplam ağırlığı W 'yi ise,

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (4.8)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada N kat adedini, w_i ise her bir katın ağırlığını göstermektedir.

(4.8) bağıntısındaki kat ağırlığını gösteren w_i değerleri (4.9) formülü yardımıyla hesaplanır.

$$w_i = g_i + n q_i \quad (4.9)$$

Bu ifadede g_i i'inci kata ait sabit yükleri, q_i i'inci kata ait hareketli yükleri, n ise Hareketli Yük Azaltma Katsayısını temsil etmektedir. n Hareketli Yük Azaltma Katsayısı binanın kullanım amacına bağlı bir katsayı olup aldığı değerler Çizelge (4.7) ile verilmiştir.

Çizelge 4.7 Hareketli Yük Azaltma Katsayısı (ABYYHY,1998)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Katlara Etkiyen Deprem Yüklerinin Bulunması

(4.7) ile hesaplanan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü, bina katlarına etkiyen tasarım deprem yüklerinin toplamı olarak (4.10) bağıntısı ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (4.10)$$

Burada F_i i'inci kata ait eşdeğer deprem yükünü, ΔF_N ise binanın en üst katına etkiyen ek deprem yükünü göstermektedir. ΔF_N (4.11)'de verilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (4.11)$$

25 m'den yüksek binaların tepesine etkitilen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N toplam yüksekliği 25 m'den az olan binalarda göz önüne alınmaz.

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında kalan kısmı N'inci kat dahil olmak üzere binanın tüm katlarına,

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (4.12)$$

ifadesi ile dağıtılır.

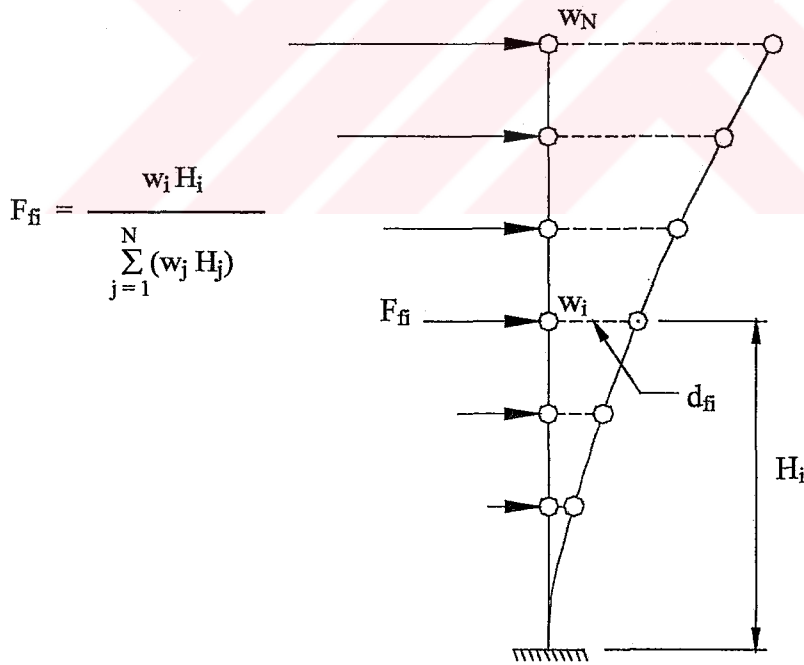
Eşdeğer deprem yükleri, Bölüm 2.1'de açıklandığı üzere, burulma etkilerinin göz önüne alınabilmesi amacıyla katların kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yükler olarak etki ettirilecektir. Yapı da ek burulma etkisi yoksa ($\eta_{bi} < 1,2$, Bölüm 2.1.1'de tanımlanan A1 türü burulma düzensizliği), kaydırılmış kütle merkezleri, gerçek kütle merkezinden deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5 ve -%5'i kadar uzaklıktaki noktalardır. $\eta_{bi} > 1,2$, Bölüm 2'de 2.5 ifadesi ile her kata ait arttırılmış ek dışmerkezlik değerleri hesaplanarak, deprem yükleri bu kaydırılmış kütle merkezlerine etkittirilir.

Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Yapının Birinci Doğal Periyodu Rayleigh Oranı adı verilen (4.13) ifadesi ile hesaplanır.

$$T_1 = 2\pi \left[\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right]^{1/2} \quad (4.13)$$

Burada m_i i'inci katın kütleini F_{fi} ise i'inci kata etkiyen fiktif yükü temsil etmekte olup (4.12) bağıntısında $(V_t - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer konularak elde edilebilir. Her bir katta fiktif yükler kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilerek, d_{fi} değerleri bu fiktif yüklerin etkisi altında oluşan kat yerdeğştirmeleri hesaplanır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 d_{fi} Kat Yerdeğştirmeleri (ABYYHY,1998)

4.5.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde yapıda oluşabilecek maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun herbiri için hesaplanan en büyük katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir.

Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Derecesi

Yapının kütlelerinin kat hizasında toplandığı varsayımı ile döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların, her bir katta kaydırılmış kütle merkezlerinin herbirinde birbirine dik iki yatay serbestlik derecesi ile düşey eksen etrafında dönme serbestliği dikkate alınacaktır.

İvme Spektrumu

Binanın her bir i 'inci titreşim modunda göz önüne alınacak İvme Spektrumu ordinatı denklem (4.14)'e göre belirlenir.

$$S_{pa}(T_r) = A(T_r)g / R_a(T_r) \quad (4.14)$$

Burada $S_{pa}(T_r)$ r 'inci doğal titreşim modu için İvme Spektrumu ordinatını, $A(T_r)$ r 'inci doğal titreşim modu için Spektral İvme Katsayısını, g Yerçekimi İvmesini, $R_a(T_r)$ ise r 'inci doğal titreşim moduna ait Deprem Yüklü Azaltma Katsayısını göstermektedir. r 'inci doğal titreşim moduna ait Spektral İvme Katsayısı $A(T_r)$ ve Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı $R_a(T_r)$ eşdeğer deprem yükü yönteminde açıklanan kurallara göre hesaplanır.

Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modunun Belirlenmesi

Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı (Y), göz önüne alınan birbirine dik deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin hiç bir zaman için %90'ından az olmaması kuralına göre belirlenecektir. Ayrıca gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkin kütlesi, bina toplam kütlelerinin %5'inden büyük olan titreşim modları da göz önüne alınacaktır.

Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatîksel olarak birleştirilebilmesi için, binanın s'inci doğal titreşim periyodu (T_s) ve r'inci doğal titreşim periyodu (T_r) gözönüne alınarak aşağıdaki yöntemlerden biri uygulanır.

$T_s < T_r$ ve $T_s / T_r < 0.80$ ise Karelerinin Toplamının Karekökü Yöntemi uygulanabilir. Yukarıda belirtilen koşulları sağlamayan durumlar için Tam Karesel Birleştirme Yöntemi (CQC) uygulanacaktır.

Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Alt Sınır Değerleri

Mod birleştirme yöntemine göre bulunan bina toplam deprem yükü V_{IB} 'nin, 4.5'te açıklanan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine göre hesaplanan bina toplam deprem yükü V_i 'ye oranı β 'nin 0.90'dan küçük olması durumunda tüm yerdeğiştirme ve iç kuvvetler (4.15) ile verilen k_1 katsayısıyla büyütülecektir.

$$k_1 = 0.90(1/\beta) \quad (4.15)$$

5. SAYISAL ÖRNEKLER

5.1 Örnek Yapı Sistemlerinin Tanıtılması ve Hesap Düzeni

Sunulan çalışmada sayısal çözüm için ilk olarak Ambarlı İlköğretim Okulu binası aynen alınarak Örnek1 elde edilmiştir. Örnek1'deki SZ08, SZ12, SZ15, SZ18, SZ21, SZ24, SZ27 isimli kolonların boyutları 30x50 olarak değiştirilip Örnek2 elde edilmiştir. Örnek1'deki plandan döşeme parçaları atılıp Örnek3 elde edilmiştir. Örnek1'deki SZ27 kolonu yerine 0,3x3m boyutlarında perde yerleştirilip Örnek4 elde edilmiştir. Örnek4'teki SZ02 kolonu yerine 0,3x3m boyutlarında bir perde daha yerleştirilip Örnek5 elde edilmiştir. Örnek1'deki SZ16 kolonu yerine 3x0,3m boyutlarında perde yerleştirilip Örnek6 elde edilmiştir. Örnek6'daki SZ14 kolonu yerine 3x0,3m boyutlarında bir perde daha yerleştirilip Örnek7 elde edilmiştir.

5.1.1 Örnek yapıların ortak özellikleri

Tüm örneklerde binanın yüksekliği 12,2m olmak üzere dört katlı alınmıştır. Kat yüksekliği tüm katlarda 3,05m'dir. Yapı 1. derece deprem bölgesinde olduğundan $A_0 = 0,4$ alınmıştır. Zemin sınıfı Z3 seçilmiştir. Yapı okul binası olduğundan Bina Önem Katsayısı $I = 1,4$, Hareketli Yük Katılım Katsayısı $n = 0,60$ olarak alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$ 'dir. Ayrıca binalarda BS20 betonu kullanılmıştır. Bu yüzden beton elastisite modülü olarak $E = 28500000 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Kirişlerin tümü 30x70cm boyutundadır.

5.1.2 Hesaplarda izlenen yol ve bilgisayar modeli

Yapı sistemleri deprem yükleri için önce %5 ek dışmerkezliğe göre çözülmüş ve buradan elde edilen sonuçlara göre, Bölüm 2.1'deki formül yardımıyla Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} bulunmuştur. Her kat için hesaplanan η_{bi} 'ler (2.5) ifadesinde yerine konularak arttırılmış dışmerkezlikler hesaplanır. Daha sonra arttırılmış dışmerkezliğe göre yapının hesabı tekrarlanarak, bulunan iç kuvvetler %5 ek dışmerkezliğe göre bulunan iç kuvvetler ile karşılaştırılmıştır.

5.2 Sayısal Örnekler

5.2.1 Örnek1

Örnek1'e ait yapının planı Şekil 5.1'de görülmektedir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.1 ile verilmiştir.

Çizelge 5.1 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

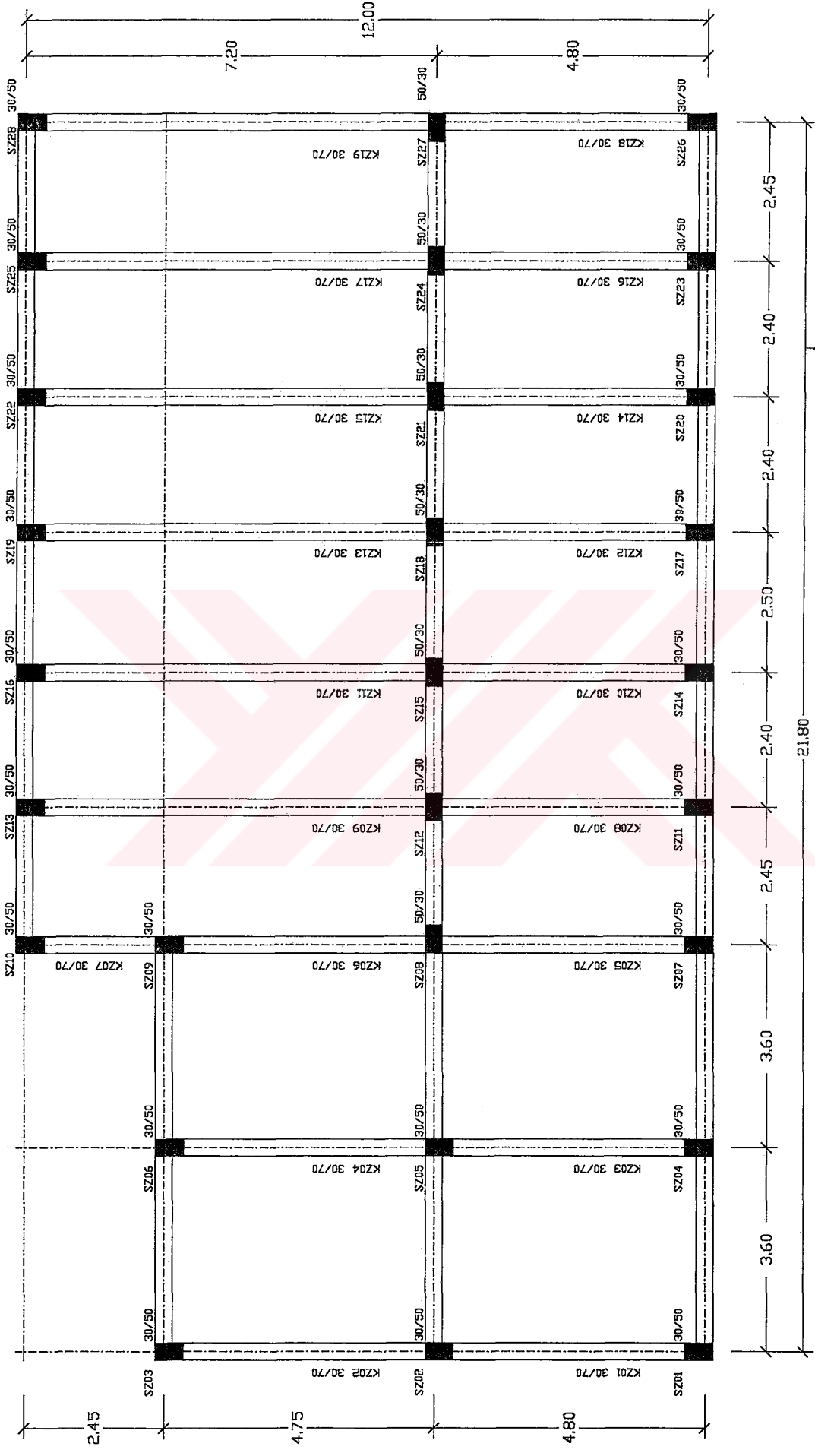
Bina deprem bölgesi	1	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_t(kN)$	4146,79
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek1'e ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i \cdot H_i$	$V_t / (W_i \cdot H_i)$	$F_i = W_i \cdot H_i \cdot V_t / (W_i \cdot H_i)$
3	3702,50	12,20	45170,44	0,04	1658,72
2	3702,50	9,15	33877,83	0,04	1244,04
1	3702,50	6,10	22585,22	0,04	829,36
Z	3702,50	3,05	11292,61	0,04	414,68

$$\Sigma=112926,10$$



Şekil 5.1 Örnek1

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.3'te, kat deplasmanları Çizelge 5.4'te, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot l_y$	M_x	$-0,05 \cdot l_y$	M_x
3	1658,72	0,60	995,23	-0,60	-995,23
2	1244,04	0,60	746,42	-0,60	-746,42
1	829,36	0,60	497,62	-0,60	-497,62
Z	414,68	0,60	248,81	-0,60	-248,81

Çizelge 5.3b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot l_x$	M_y	$-0,05 \cdot l_x$	M_y
3	1658,72	1,09	1808,00	-1,09	-1808,00
2	1244,04	1,09	1356,00	-1,09	-1356,00
1	829,36	1,09	904,00	-1,09	-904,00
Z	414,68	1,09	452,00	-1,09	-452,00

Çizelge 5.4a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02888	0,02752
2	0,02476	0,02362
1	0,01777	0,01697
Z	0,00891	0,00853

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03035	0,02659
2	0,02604	0,02280
1	0,01869	0,01637
Z	0,00936	0,00823

Çizelge 5.4b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03338	0,01671
2	0,02833	0,01406
1	0,01985	0,00978
Z	0,00914	0,00451

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02491	0,02468
2	0,02107	0,02089
1	0,01478	0,01456
Z	0,00694	0,00661

Çizelge 5.5a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00412	0,00390	0,00401	1,03
2	0,00699	0,00665	0,00682	1,02
1	0,00886	0,00844	0,00865	1,02
Z	0,00891	0,00853	0,00872	1,02
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00431	0,00379	0,00405	1,06
2	0,00735	0,00643	0,00689	1,07
1	0,00933	0,00814	0,00874	1,07
Z	0,00936	0,00823	0,00880	1,06

Çizelge 5.5b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00505	0,00265	0,00385	1,31
2	0,00848	0,00428	0,00638	1,33
1	0,01071	0,00527	0,00799	1,34
Z	0,00914	0,00451	0,00683	1,34
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00384	0,00379	0,00382	1,01
2	0,00629	0,00633	0,00631	1,00
1	0,00784	0,00795	0,00790	0,99
Z	0,00694	0,00661	0,00678	1,02

Burulma düzensizliği 1,2'den büyük çıktığı için arttırılmış dışmerkezlilere göre tekrar çözüm yapılır. Arttırılmış dışmerkezliler ve arttırılmış dış merkezliklere göre hesaplanmış burulma momentleri Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6a Art. Ek Dışmerkezliler

η_b	D_i	$\varepsilon (1,09*D_i)$	Yeni Ek Dış Merkezlik (%)
1,31	1,19	1,30	5,97
1,33	1,23	1,34	6,13
1,34	1,25	1,36	6,24
1,34	1,25	1,36	6,23

Çizelge 5.6b Art. Ek Dışmerkezlilere Göre X Yönü Bur. Mom.

kat	F_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x
3	1658,72	0,72	1189,11	-0,72	-1189,11
2	1244,04	0,74	915,74	-0,74	-915,74
1	829,36	0,75	620,89	-0,75	-620,89
Z	414,68	0,75	309,88	-0,75	-309,88

Çizelge 5.6c Art. Ek Dışmerkezlilere Göre Y Yönü Bur. Mom.

kat	F_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y
3	1658,72	1,30	2160,22	-1,30	-2160,22
2	1244,04	1,34	1663,60	-1,34	-1663,60
1	829,36	1,36	1127,96	-1,36	-1127,96
Z	414,68	1,36	562,94	-1,36	-562,94

%5 ek dışmerkezlilik ile arttırılmış ek dışmerkezliliğe göre yapılan hesapta bulunan iç kuvvetler Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de karşılaştırılmıştır. Burada yapı en çok y yönü deprem etkisinde zorlandığı için y yönü kiriş ve kolon momentleri karşılaştırılmıştır. Maksimum kiriş ve kolon momentleri zemin katta meydana gelmektedir. Bu kattaki kiriş ve kolon momentleri \pm %5 ek dışmerkezlilikler için M_S , arttırılmış ek dışmerkezlilik için M_A olarak belirtilmiştir. Çizelgelarda momentler aks düzeninde kiriş, kolon alt ve üst uçlarındaki momentler alt alta yazılarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.7’de iki dışmerkezlilik için zemin katta elde edilen kiriş uç moment değerleri ile bu değerlerin farkları gösterilmiştir.

Çizelge 5.7 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)
KZ01	370,92	381,59	2,88	KZ11	162,63	163,95	0,81
	258,06	264,30	2,42		370,40	372,94	0,69
KZ02	253,33	259,75	2,53	KZ12	440,80	445,77	1,13
	362,52	373,54	3,04		163,89	165,41	0,93
KZ03	411,45	420,31	2,15	KZ13	168,76	170,59	1,08
	277,71	283,42	2,06		394,10	398,87	1,21
KZ04	269,61	275,72	2,27	KZ14	466,11	474,08	1,71
	386,69	396,10	2,43		168,68	170,75	1,23
KZ05	404,17	409,07	1,21	KZ15	174,55	176,82	1,30
	222,51	224,65	0,96		416,05	422,99	1,67
KZ06	212,08	215,05	1,40	KZ16	492,85	503,57	2,18
	313,08	319,08	1,92		172,57	174,85	1,32
KZ07	375,50	382,05	1,74	KZ17	178,56	181,03	1,38
	480,70	482,80	0,44		436,97	445,91	2,05
KZ08	412,99	414,76	0,43	KZ18	453,06	464,48	2,52
	166,51	166,72	0,13		139,49	140,76	0,91
KZ09	158,97	159,87	0,57	KZ19	142,68	144,28	1,12
	346,06	346,71	0,19		387,54	396,61	2,34
KZ10	416,72	418,36	0,39				
	160,70	161,44	0,46				

Beklendiği gibi yeni ek dışmerkezlilikler için elde edilen tüm uç momentleri ±%5 ek dışmerkezliliklere göre bulunanlardan daha büyüktür ve kenarlara daha yakın olan akslar üzerinde bulunan kirişlerdeki farklar daha büyük olmaktadır. Çizelgenun incelenmesinden görüleceği gibi uç momentleri arasındaki farklar % 0,13 ile % 3,04 arasında değişmektedir.

En büyük kolon uç momentleri zemin katta meydana gelmektedir. İki dışmerkezlilik durumu için, zemin katta elde edilen değerler ile bu değerlerin farkları, Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)
SZ01	302,41	314,57	4,02	SZ15	144,00	144,67	0,47
	226,37	236,18	4,33		145,80	146,47	0,46
SZ02	345,60	359,45	4,01	SZ16	291,36	292,62	0,43
	317,96	331,36	4,21		195,37	196,01	0,33
SZ03	304,16	316,27	3,98	SZ17	321,74	325,90	1,29
	230,90	239,78	3,85		228,07	231,13	1,34
SZ04	302,21	310,21	2,65	SZ18	155,25	157,24	1,28
	229,21	235,58	2,78		157,65	159,70	1,30
SZ05	345,46	354,48	2,61	SZ19	313,53	317,53	1,28
	320,91	329,45	2,66		210,66	213,38	1,29
SZ06	307,89	315,85	2,59	SZ20	343,59	350,33	1,96
	241,21	247,53	2,62		243,97	248,90	2,02
SZ07	295,19	298,96	1,28	SZ21	166,01	169,28	1,97
	217,56	220,35	1,28		168,95	172,33	2,00
SZ08	133,45	135,21	1,32	SZ22	335,00	341,62	1,98
	129,20	130,97	1,37		225,75	230,45	2,08
SZ09	320,18	323,83	1,14	SZ23	365,07	374,39	2,55
	270,56	273,08	0,93		259,07	265,91	2,64
SZ10	297,02	301,66	1,56	SZ24	176,92	181,48	2,58
	221,45	226,06	2,08		180,54	185,30	2,64
SZ11	285,85	286,89	0,36	SZ25	356,54	365,78	2,59
	199,98	200,61	0,32		240,97	247,65	2,77
SZ12	137,97	138,55	0,42	SZ26	383,34	395,28	3,11
	139,21	139,85	0,46		266,73	275,45	3,27
SZ13	283,42	284,85	0,50	SZ27	190,08	196,06	3,15
	194,82	196,29	0,75		196,52	202,90	3,25
SZ14	298,71	300,20	0,50	SZ28	375,38	387,29	3,17
	210,94	212,09	0,55		249,85	258,51	3,47

Çizelge 5.8'in incelenmesinden de görüleceği gibi uç momentleri arasındaki farklar % 0,32 ile % 4,33 arasında değişmektedir.

5.2.2 Örnek1 Sonuçları

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin deprem yönetmeliğinde verilen dinamik analiz için sınır değer 2'ye ulaşmadığı görülmüştür. X yönü deprem analizinde burulma düzensizliği çıkmamıştır. Y yönü deprem analizinde +%5 dışmerkezlilik için burulma düzensizliği katsayısı 1,34 olarak bulunmuş, -%5 dışmerkezlilik için burulma düzensizliği çıkmamıştır.

5.2.3 Örnek2

Örnek2'ye ait yapının planı Şekil 5.2'de görülmektedir. Birinci örnekteki SZ08, SZ12, SZ15, SZ18, SZ21, SZ24, SZ27 isimli kolonların boyutları 30x50 olarak değiştirilip Örnek2 elde edilmiştir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.9 ile verilmiştir.

Çizelge 5.9 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

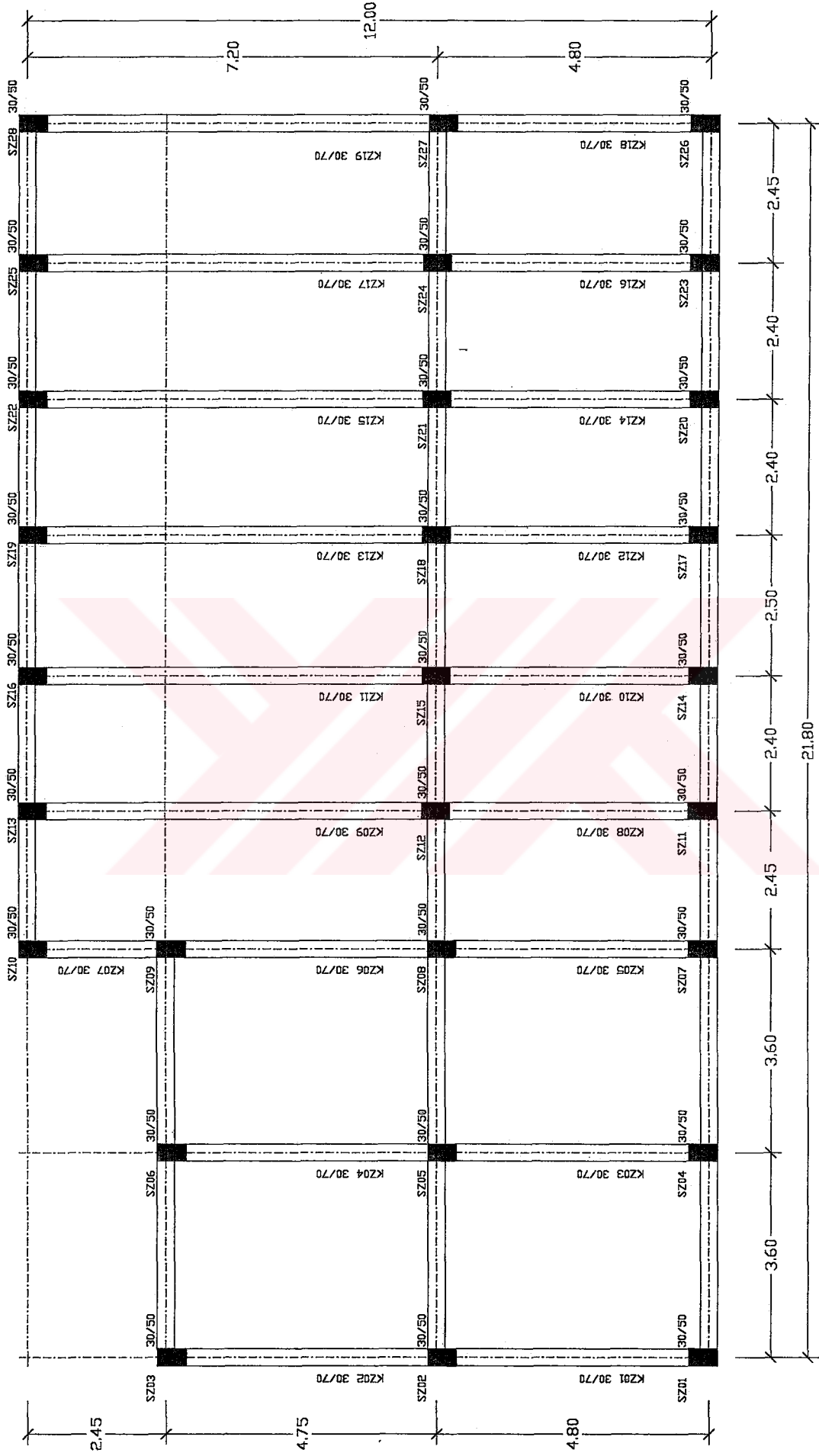
Bina deprem bölgesi	1	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_t(kN)$	4146,79
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek2'ye ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i \cdot H_i$	$V_t / (W_i \cdot H_i)$	$F_i = W_i \cdot H_i \cdot V_t / (W_i \cdot H_i)$
3	3702,50	12,20	45170,44	0,04	1658,72
2	3702,50	9,15	33877,83	0,04	1244,04
1	3702,50	6,10	22585,22	0,04	829,36
Z	3702,50	3,05	11292,61	0,04	414,68

$$\Sigma = 112926,10$$



Şekil 5.2 Ömek2

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.11'de, kat deplasmanları Çizelge 5.12'de, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.11a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot l_y$	M_x	$-0,05 \cdot l_y$	M_x
3	1658,72	0,60	995,23	-0,60	-995,23
2	1244,04	0,60	746,42	-0,60	-746,42
1	829,36	0,60	497,62	-0,60	-497,62
Z	414,68	0,60	248,81	-0,60	-248,81

Çizelge 5.11b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot l_x$	M_y	$-0,05 \cdot l_x$	M_y
3	1658,72	1,09	1808,00	-1,09	-1808,00
2	1244,04	1,09	1356,00	-1,09	-1356,00
1	829,36	1,09	904,00	-1,09	-904,00
Z	414,68	1,09	452,00	-1,09	-452,00

Çizelge 5.12a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03908	0,03716
2	0,03358	0,03196
1	0,02421	0,02306
Z	0,01229	0,01173

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03954	0,03701
2	0,03400	0,03182
1	0,02451	0,02295
Z	0,01244	0,01167

Çizelge 5.12b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02427	0,01535
2	0,02061	0,01296
1	0,01447	0,00904
Z	0,00678	0,00419

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02302	0,01727
2	0,01952	0,01462
1	0,01372	0,01021
Z	0,00648	0,00471

Çizelge 5.13a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00550	0,00520	0,00535	1,03
2	0,00937	0,00890	0,00914	1,03
1	0,01192	0,01133	0,01163	1,03
Z	0,01229	0,01173	0,01201	1,02
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00554	0,00519	0,00537	1,03
2	0,00949	0,00887	0,00918	1,03
1	0,01207	0,01128	0,01168	1,03
Z	0,01244	0,01167	0,01206	1,03

Çizelge 5.13b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00366	0,00239	0,00303	1,21
2	0,00614	0,00392	0,00503	1,22
1	0,00769	0,00485	0,00627	1,23
Z	0,00678	0,00419	0,00549	1,24
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00350	0,00265	0,00308	1,14
2	0,00580	0,00441	0,00511	1,14
1	0,00724	0,00550	0,00637	1,14
Z	0,00648	0,00471	0,00560	1,16

Burulma düzensizliği 1,2'den büyük çıktığı için arttırılmış dışmerkezlilere göre tekrar çözüm yapılır. Arttırılmış dışmerkezlilikler ve arttırılmış dış merkezliklere göre hesaplanmış burulma momentleri Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14a Art. Ek Dışmerkezlilikler

η_b	D_i	$\varepsilon (1,09*D_i)$	Yeni Ek Dış Merkezlik (%)
1,21	1,02	1,11	5,08
1,22	1,03	1,13	5,17
1,23	1,04	1,14	5,22
1,24	1,06	1,16	5,31

Çizelge 5.14b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yönü Bur. Mom.

kat	F_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x
3	1658,72	0,61	1011,75	-0,61	-1011,75
2	1244,04	0,62	772,37	-0,62	-772,37
1	829,36	0,63	519,82	-0,63	-519,82
Z	414,68	0,64	264,00	-0,64	-264,00

Çizelge 5.14c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yönü Bur. Mom.

kat	F_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y
3	1658,72	1,11	1838,01	-1,11	-1838,01
2	1244,04	1,13	1403,13	-1,13	-1403,13
1	829,36	1,14	944,33	-1,14	-944,33
Z	414,68	1,16	479,60	-1,16	-479,60

%5 ek dışmerkezlilik ile arttırılmış ek dışmerkezliliğe göre yapılan hesapta bulunan iç kuvvetler Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16'da karşılaştırılmıştır. Burada yapı en çok y yönü deprem etkisinde zorlandığı için y yönü kiriş ve kolon momentleri karşılaştırılmıştır. Maksimum kiriş ve kolon momentleri zemin katta meydana gelmektedir. Bu kattaki kiriş ve kolon momentleri \pm %5 ek dışmerkezlilikler için M_S , arttırılmış ek dışmerkezlilik için M_A olarak belirtilmiştir. Çizelgelarda momentler aks düzeninde kiriş, kolon alt ve üst uçlarındaki momentler alt alta yazılarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
KZ01	350,54	351,98	0,41	KZ11	239,43	239,62	0,08
	246,72	247,58	0,35		322,66	322,91	0,08
KZ02	242,69	243,57	0,36	KZ12	370,33	370,87	0,15
	343,35	344,83	0,43		273,13	273,52	0,14
KZ03	389,28	390,52	0,32	KZ13	249,51	249,89	0,15
	276,31	277,13	0,30		337,24	337,76	0,15
KZ04	269,15	270,01	0,32	KZ14	386,98	387,90	0,24
	368,36	369,67	0,36		284,46	285,07	0,21
KZ05	359,71	360,41	0,19	KZ15	259,10	259,64	0,21
	287,52	287,95	0,15		350,89	351,68	0,23
KZ06	273,97	274,52	0,20	KZ16	404,49	405,75	0,31
	282,86	283,71	0,30		295,74	296,53	0,27
KZ07	295,02	295,88	0,29	KZ17	267,95	268,63	0,25
	398,37	398,65	0,07		363,76	364,79	0,28
KZ08	359,05	359,36	0,09	KZ18	364,24	365,56	0,36
	261,99	262,12	0,05		259,43	260,17	0,29
KZ09	230,24	230,28	0,02	KZ19	227,86	228,47	0,27
	308,62	308,64	0,01		315,53	316,55	0,32
KZ10	353,88	353,99	0,03				
	262,00	262,13	0,05				

Çizelge 5.16 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
SZ01	281,92	283,58	0,59	SZ15	275,02	275,10	0,03
	210,74	212,09	0,64		247,33	247,40	0,03
SZ02	321,64	323,52	0,58	SZ16	238,91	238,97	0,03
	294,99	296,81	0,62		170,77	170,78	0,01
SZ03	283,44	285,10	0,59	SZ17	258,44	258,89	0,17
	213,97	215,31	0,63		194,48	194,83	0,18
SZ04	269,76	270,90	0,42	SZ18	289,87	290,36	0,17
	202,47	203,38	0,45		261,13	261,58	0,17
SZ05	306,29	307,56	0,41	SZ19	251,82	252,24	0,17
	279,93	281,53	0,57		180,43	180,75	0,18
SZ06	274,46	275,58	0,41	SZ20	270,95	271,73	0,29
	212,42	213,31	0,42		204,01	204,63	0,30
SZ07	261,40	262,01	0,23	SZ21	304,09	304,98	0,29
	202,23	202,72	0,24		274,31	275,14	0,30
SZ08	284,75	285,43	0,24	SZ22	264,28	265,05	0,29
	251,74	252,40	0,26		189,86	190,47	0,32
SZ09	281,78	282,36	0,21	SZ23	283,26	284,40	0,40
	245,44	245,88	0,18		213,14	214,04	0,42
SZ10	259,03	259,74	0,27	SZ24	318,42	319,71	0,41
	197,20	197,91	0,36		287,70	288,93	0,43
SZ11	248,19	248,43	0,10	SZ25	276,86	278,00	0,41
	186,11	186,30	0,10		199,57	200,47	0,45
SZ12	279,57	279,87	0,11	SZ26	294,74	296,23	0,51
	252,67	252,98	0,12		220,13	221,33	0,55
SZ13	245,01	245,31	0,12	SZ27	334,84	336,56	0,51
	179,39	179,69	0,17		305,18	306,85	0,55
SZ14	245,31	245,40	0,04	SZ28	289,03	290,53	0,52
	184,33	184,41	0,04		208,03	209,24	0,58

5.2.4 Örnek2 Sonuçları

X yönü deprem analizinde burulma düzensizliği çıkmamıştır. Y yönü deprem analizinde de Örnek1'e göre η_{bi} 1,34'ten 1,24'e düşmüştür. Bu düşme orta kolonların boyutlarındaki değişiminden kaynaklanmaktadır. Yeni ek dışmerkezliklere göre bulunan kiriş ve kolon momentleri ±%5'e göre bulunan momentlerden daha büyüktür; ancak bu farklar Örnek1'e göre daha düşüktür. Kiriş momentleri % 0,01 ile % 0,43 arasında, kolon momentleri ise % 0,01 ile % 0,64 arasında değişmektedir. Bu farklar kenar akslara gittikçe artmaktadır.

5.2.5 Örnek3

Örnek3'e ait yapının planı Şekil 5.3'de görülmektedir. Birinci örnekteki plandan döşeme parçaları atılıp Örnek3 elde edilmiştir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.17 ile verilmiştir.

Çizelge 5.17 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

Bina deprem-bölgesi	1	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_t(kN)$	3338,72
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek3'e ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.18 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i.H_i$	$V_t / (W_i.H_i)$	$F_i = W_i.H_i.V_t / (W_i.H_i)$
3	2981,00	12,20	36368,19	0,04	1335,49
2	2981,00	9,15	27276,14	0,04	1001,62
1	2981,00	6,10	18184,09	0,04	667,74
Z	2981,00	3,05	9092,05	0,04	333,87

90920,47

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.19'da, kat deplasmanları Çizelge 5.20'de, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.19a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot l_y$	M_x	$-0,05 \cdot l_y$	M_x
3	1335,49	0,60	801,29	-0,60	-801,29
2	1001,62	0,60	600,97	-0,60	-600,97
1	667,74	0,60	400,65	-0,60	-400,65
Z	333,87	0,60	200,32	-0,60	-200,32

Çizelge 5.19b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot l_x$	M_y	$-0,05 \cdot l_x$	M_y
3	1335,49	1,09	1455,68	-1,09	-1455,68
2	1001,62	1,09	1091,76	-1,09	-1091,76
1	667,74	1,09	727,84	-1,09	-727,84
Z	333,87	1,09	363,92	-1,09	-363,92

Çizelge 5.20a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02888	0,02752
2	0,02476	0,02362
1	0,01777	0,01697
Z	0,00891	0,00853

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03035	0,02659
2	0,02604	0,02280
1	0,01869	0,01637
Z	0,00936	0,00823

Çizelge 5.20b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,04232	0,01964
2	0,03434	0,01456
1	0,01841	0,00620
Z	0,00676	0,00180

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03932	0,02274
2	0,03340	0,01896
1	0,02341	0,01305
Z	0,01076	0,00592

Çizelge 5.21a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00412	0,00390	0,00401	1,03
2	0,00699	0,00665	0,00682	1,02
1	0,00886	0,00844	0,00865	1,02
Z	0,00891	0,00853	0,00872	1,02
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00574	0,00447	0,00511	1,12
2	0,00907	0,00756	0,00832	1,09
1	0,01106	0,00955	0,01031	1,07
Z	0,00952	0,00797	0,00875	1,09

Çizelge 5.21b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00798	0,00508	0,00653	1,22
2	0,01593	0,00836	0,01215	1,31
1	0,01165	0,00440	0,00803	1,45
Z	0,00676	0,00180	0,00428	1,58
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00592	0,00378	0,00485	1,22
2	0,00999	0,00591	0,00795	1,26
1	0,01265	0,00713	0,00989	1,28
Z	0,01076	0,00592	0,00834	1,29

Burulma düzensizliği 1,2'den büyük çıktığı için arttırılmış dışmerkezlilere göre tekrar çözüm yapılır. Arttırılmış dışmerkezlilikler ve arttırılmış dış merkezliklere göre hesaplanmış burulma momentleri Çizelge 5.22'de verilmiştir.

Çizelge 5.22a Art. Ek Dışmerkezlilikler

η_b	D_i	$\varepsilon (1,09*D_i)$	Yeni Ek Dış Merkezlik (%)
1,22	1,04	1,13	5,19
1,31	1,19	1,30	5,97
1,45	1,46	1,60	7,32
1,58	1,73	1,89	8,66

Çizelge 5.22b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yönü Bur. Mom.

kat	F_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x
3	1335,49	0,62	831,01	-0,62	-831,01
2	1001,62	0,72	718,00	-0,72	-718,00
1	667,74	0,88	586,35	-0,88	-586,35
Z	333,87	1,04	347,04	-1,04	-347,04

Çizelge 5.22c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yönü Bur. Mom.

kat	F_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y
3	1335,49	1,13	1509,67	-1,13	-1509,67
2	1001,62	1,30	1304,37	-1,30	-1304,37
1	667,74	1,60	1065,21	-1,60	-1065,21
Z	333,87	1,89	630,45	-1,89	-630,45

%5 ek dışmerkezlilik ile arttırılmış ek dışmerkezliliğe göre yapılan hesapta bulunan iç kuvvetler Çizelge 5.23 ve Çizelge 5.24'de karşılaştırılmıştır. Burada yapı en çok y yönü deprem etkisinde zorlandığı için y yönü kiriş ve kolon momentleri karşılaştırılmıştır. Maksimum kiriş ve kolon momentleri zemin katta meydana gelmektedir. Bu kattaki kiriş ve kolon momentleri \pm %5 ek dışmerkezlilikler için M_S , arttırılmış ek dışmerkezlilik için M_A olarak belirtilmiştir. Çizelgelarda momentler aks düzeninde kiriş, kolon alt ve üst uçlarındaki momentler alt alta yazılarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.23 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
KZ01	426,75	440,23	3,16	KZ08	184,69	186,78	1,13
	426,50	439,97	3,16		406,15	410,32	1,03
KZ02	459,03	471,11	2,63	KZ09	462,80	468,70	1,27
	452,90	464,87	2,64		177,14	178,75	0,91
KZ03	466,55	474,69	1,74	KZ10	184,10	186,24	1,16
	306,29	311,80	1,80		419,79	425,71	1,41
KZ04	437,02	441,30	0,98	KZ11	484,07	492,88	1,82
	260,06	262,77	1,04		177,80	179,55	0,98
KZ05	443,06	444,35	0,29	KZ12	184,64	186,75	1,14
	182,93	187,04	2,25		434,86	442,58	1,78
KZ06	170,22	192,54	13,11	KZ13	441,72	451,50	2,21
	366,57	396,76	8,24		143,95	144,75	0,56
KZ07	444,70	447,35	0,60	KZ14	147,20	148,39	0,81
	178,50	179,61	0,62		382,52	390,48	2,08

Çizelge 5.24 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
SZ01	347,17	363,34	4,66	SZ13	151,67	152,95	0,84
	271,39	285,24	5,10		152,92	154,20	0,84
SZ02	347,26	363,44	4,66	SZ14	305,79	308,29	0,82
	271,59	285,44	5,10		201,61	203,09	0,73
SZ03	340,47	351,77	3,32	SZ15	334,71	340,51	1,73
	269,73	279,23	3,52		236,91	241,40	1,90
SZ04	342,45	353,78	3,31	SZ16	161,20	163,92	1,69
	273,94	283,50	3,49		163,26	166,06	1,72
SZ05	314,63	320,87	1,98	SZ17	324,84	330,39	1,71
	227,45	232,25	2,11		215,98	219,93	1,83
SZ06	138,02	140,70	1,94	SZ18	353,14	361,88	2,47
	127,55	130,04	1,95		249,98	256,69	2,68
SZ07	310,05	313,25	1,03	SZ19	170,69	174,85	2,44
	226,28	228,72	1,08		173,51	177,86	2,51
SZ08	138,42	139,82	1,01	SZ20	343,63	352,21	2,50
	131,34	132,67	1,01		229,82	236,19	2,77
SZ09	295,12	295,21	0,03	SZ21	368,39	380,13	3,19
	202,97	206,62	1,80		255,78	264,74	3,50
SZ10	143,12	143,33	0,15	SZ22	182,14	187,87	3,15
	143,88	144,18	0,21		187,57	193,69	3,26
SZ11	294,05	294,94	0,30	SZ23	359,37	371,00	3,24
	200,71	202,24	0,76		236,64	245,39	3,70
SZ12	315,78	318,69	0,92				
	222,80	225,13	1,05				

5.2.6 Örnek3 Sonuçları

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin deprem yönetmeliğinde verilen dinamik analiz için sınır değer 2'ye ulaşmadığı görülmüştür. X yönü deprem analizinde burulma düzensizliği çıkmamıştır. Y yönü deprem analizinde +%5 dışmerkezlik için burulma düzensizliği katsayısı 1,58 olarak bulunmuş, -%5 dışmerkezlik için burulma düzensizliği katsayısı 1,29 çıkmıştır. Örnek3'te bina geometrik olarak çok düzensiz olduğundan kiriş ve kolon momentlerindeki farklar artmıştır. Kiriş uç momentleri % 0,29 ile % 13,11 arasında değişmektedir. Kolon uç momentleri ise % 0,03 ile % 5,10 arasında değişmektedir.

5.2.7 Örnek4

Örnek4'e ait yapının planı Şekil 5.4'te görülmektedir. Örnek1'den farklı olarak SZ27 kolonu yerine 0,3x3m boyutlarında perde yerleştirilmiştir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.25 ile verilmiştir.

Çizelge 5.25 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

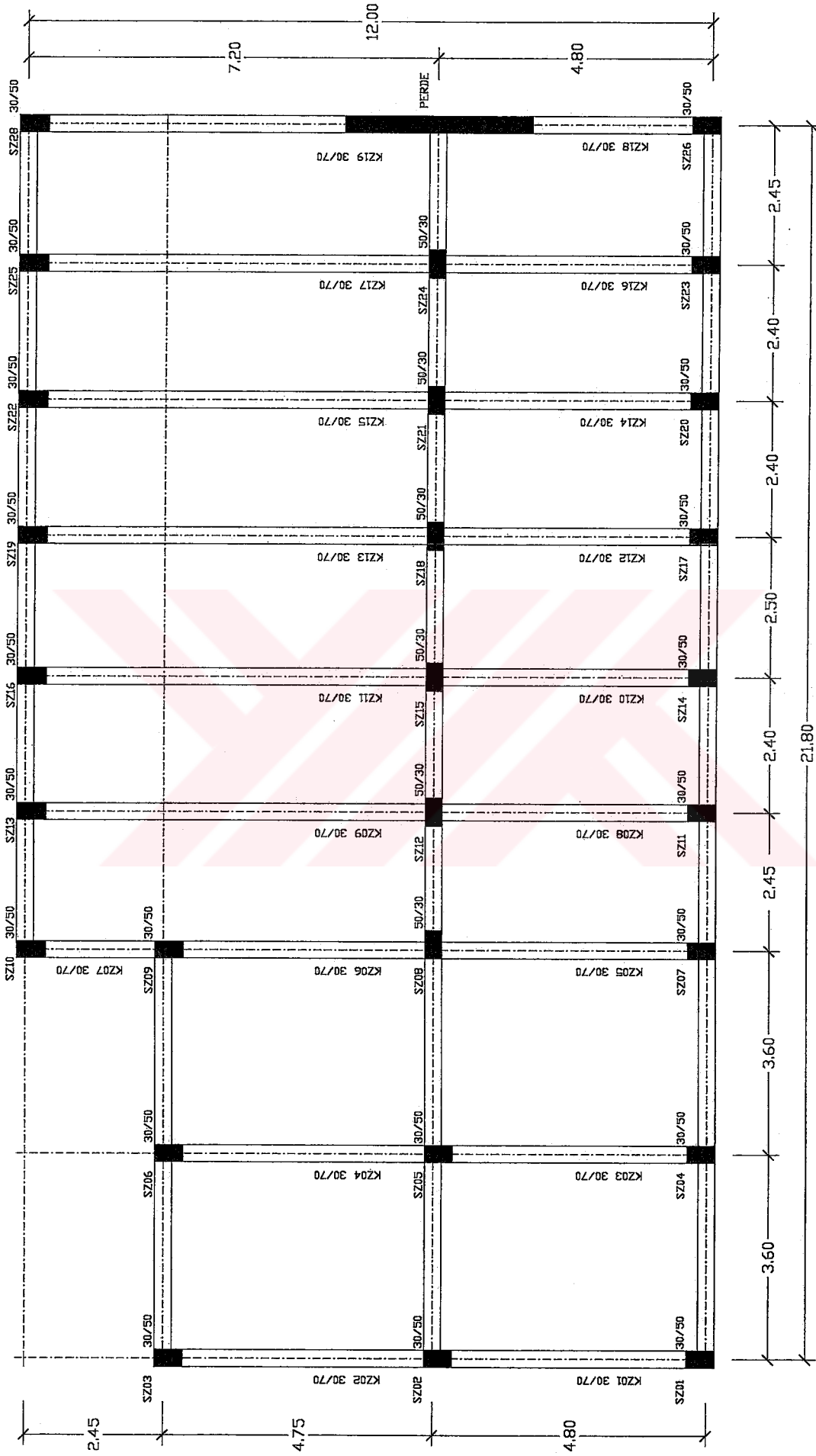
Bina deprem bölgesi	1	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_t(kN)$	4174,965
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek4'e ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.26'da verilmiştir.

Çizelge 5.26 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i \cdot H_i$	$V_t / (W_i \cdot H_i)$	$F_i = W_i \cdot H_i \cdot V_t / (W_i \cdot H_i)$
3	3727,65	12,20	45477,30	0,04	1669,99
2	3727,65	9,15	34107,97	0,04	1252,49
1	3727,65	6,10	22738,65	0,04	834,99
Z	3727,65	3,05	11369,32	0,04	417,50

113693,24



Şekil 5.4 Örnek4

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.27'de, kat deplasmanları Çizelge 5.28'de, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.29'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.27a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot l_y$	M_x	$-0,05 \cdot l_y$	M_x
3	1669,99	0,60	1001,99	-0,60	-1001,99
2	1252,49	0,60	751,49	-0,60	-751,49
1	834,99	0,60	501,00	-0,60	-501,00
Z	417,50	0,60	250,50	-0,60	-250,50

Çizelge 5.27b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot l_x$	M_y	$-0,05 \cdot l_x$	M_y
3	1669,99	1,09	1820,28	-1,09	-1820,28
2	1252,49	1,09	1365,21	-1,09	-1365,21
1	834,99	1,09	910,14	-1,09	-910,14
Z	417,50	1,09	455,07	-1,09	-455,07

Çizelge 5.28a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02881	0,02784
2	0,02474	0,02395
1	0,01778	0,01725
Z	0,00893	0,00870

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02974	0,02726
2	0,02552	0,02346
1	0,01832	0,01690
Z	0,00918	0,00854

Çizelge 5.28b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02106	0,01804
2	0,01804	0,01427
1	0,01282	0,00916
Z	0,00619	0,00357

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02805	0,01366
2	0,02395	0,01077
1	0,01697	0,00688
Z	0,00814	0,00264

Çizelge 5.29a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00407	0,00389	0,00398	1,02
2	0,00696	0,00670	0,00683	1,02
1	0,00885	0,00855	0,00870	1,02
Z	0,00893	0,00870	0,00882	1,01
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00422	0,00380	0,00401	1,05
2	0,00720	0,00656	0,00688	1,05
1	0,00914	0,00836	0,00875	1,04
Z	0,00918	0,00854	0,00886	1,04

Çizelge 5.29b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00302	0,00377	0,00340	0,89
2	0,00522	0,00511	0,00517	1,01
1	0,00663	0,00559	0,00611	1,09
Z	0,00619	0,00357	0,00488	1,27
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00410	0,00289	0,00350	1,17
2	0,00698	0,00389	0,00544	1,28
1	0,00883	0,00424	0,00654	1,35
Z	0,00814	0,00264	0,00539	1,51

Burulma düzensizliği 1,2'den büyük çıktığı için arttırılmış dışmerkezlilere göre tekrar çözüm yapılır. Arttırılmış dışmerkezliler ve arttırılmış dış merkezliklere göre hesaplanmış burulma momentleri Çizelge 5.30'da verilmiştir.

Çizelge 5.30a Art. Ek Dışmerkezliler

η_b	D_i	$\varepsilon (1,09 \cdot D_i)$	Yeni Ek Dış Merkezlik (%)
1,17	1,00	1,09	5,00
1,28	1,15	1,25	5,73
1,35	1,27	1,38	6,34
1,51	1,58	1,73	7,92

Çizelge 5.30b Art. Ek Dışmerkezlilere Göre X Yönü Bur. Mom.

kat	F_x	$\varepsilon (0,6 \cdot D_i)$	M_x	$\varepsilon (0,6 \cdot D_i)$	M_x
3	1669,99	0,60	1001,99	-0,60	-1001,99
2	1252,49	0,69	860,75	-0,69	-860,75
1	834,99	0,76	635,19	-0,76	-635,19
Z	417,50	0,95	396,75	-0,95	-396,75

Çizelge 5.30c Art. Ek Dışmerkezlilere Göre Y Yönü Bur. Mom.

kat	F_y	$\varepsilon (1,09 \cdot D_i)$	M_y	$\varepsilon (1,09 \cdot D_i)$	M_y
3	1669,99	1,09	1820,28	-1,09	-1820,28
2	1252,49	1,25	1563,69	-1,25	-1563,69
1	834,99	1,38	1153,92	-1,38	-1153,92
Z	417,50	1,73	720,76	-1,73	-720,76

%5 ek dışmerkezlilik ile arttırılmış ek dışmerkezliliğe göre yapılan hesapta bulunan iç kuvvetler Çizelge 5.31 ve Çizelge 5.32'de karşılaştırılmıştır. Burada yapı en çok y yönü deprem etkisinde zorlandığı için y yönü kiriş ve kolon momentleri karşılaştırılmıştır. Maksimum kiriş ve kolon momentleri zemin katta meydana gelmektedir. Bu kattaki kiriş ve kolon momentleri \pm %5 ek dışmerkezlilikler için M_s , arttırılmış ek dışmerkezlilik için M_A olarak belirtilmiştir. Çizelgelarda momentler aks düzeninde kiriş, kolon alt ve üst uçlarındaki momentler alt alta yazılarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.31 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
KZ01	400,34	406,04	1,42	KZ11	129,28	129,40	0,09
	268,39	271,86	1,29		269,66	269,78	0,04
KZ02	265,95	269,45	1,32	KZ12	300,81	301,03	0,07
	396,49	402,25	1,45		140,32	140,74	0,30
KZ03	418,31	423,55	1,25	KZ13	139,43	139,92	0,35
	280,78	284,15	1,20		273,38	273,85	0,17
KZ04	277,66	281,10	1,24	KZ14	305,86	307,49	0,53
	402,68	407,95	1,31		161,15	162,20	0,65
KZ05	377,77	381,48	0,98	KZ15	156,66	157,61	0,61
	206,94	208,71	0,86		280,41	281,88	0,52
KZ06	206,12	208,03	0,93	KZ16	321,16	324,23	0,96
	311,66	315,27	1,16		210,28	212,31	0,97
KZ07	363,94	368,44	1,24	KZ17	192,58	194,24	0,86
	418,53	421,66	0,75		286,97	289,36	0,83
KZ08	358,80	361,40	0,72	KZ18	203,44	205,42	0,97
	147,15	147,81	0,45		363,63	368,63	1,38
KZ09	125,75	125,89	0,11	KZ19	290,05	293,72	1,27
	282,05	283,26	0,43		169,44	170,60	0,68
KZ10	322,57	323,77	0,37				
	133,22	133,34	0,09				

Çizelge 5.32 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)
SZ01	359,54	366,25	1,87	SZ15	103,24	103,88	0,62
	276,12	281,61	1,99		103,89	104,57	0,65
SZ02	410,03	417,59	1,84	SZ16	209,22	210,66	0,69
	383,20	390,49	1,90		138,92	140,18	0,91
SZ03	360,50	367,20	1,86	SZ17	184,96	185,28	0,17
	278,14	283,62	1,97		125,15	125,48	0,26
SZ04	319,00	324,11	1,60	SZ18	89,55	89,69	0,16
	244,40	248,57	1,71		89,14	89,32	0,20
SZ05	363,47	369,18	1,57	SZ19	179,66	180,04	0,21
	338,70	344,15	1,61		113,91	114,36	0,40
SZ06	323,36	328,48	1,58	SZ20	168,17	168,83	0,39
	253,64	257,83	1,65		108,72	109,09	0,34
SZ07	272,36	275,80	1,26	SZ21	81,05	81,37	0,39
	199,73	202,45	1,36		78,53	78,82	0,37
SZ08	123,52	125,06	1,25	SZ22	161,28	161,90	0,38
	119,66	121,19	1,28		94,11	94,41	0,32
SZ09	292,33	295,83	1,20	SZ23	153,78	155,44	1,08
	242,08	244,93	1,18		95,44	96,55	1,16
SZ10	280,31	284,12	1,36	SZ24	71,40	72,15	1,05
	216,59	220,08	1,61		64,86	65,55	1,06
SZ11	237,95	240,28	0,98	SZ25	148,69	150,36	1,12
	163,68	165,44	1,08		84,64	85,79	1,36
SZ12	115,63	116,75	0,97	SZ26	176,53	179,99	1,96
	116,51	117,67	1,00		161,28	164,80	2,18
SZ13	238,59	241,08	1,04	PERDE	4119,12	4195,49	1,85
	165,03	167,14	1,28		1562,01	1573,77	0,75
SZ14	212,33	213,68	0,64	SZ28	178,26	181,88	2,03
	145,53	146,59	0,73		164,95	168,80	2,33

5.2.8 Örnek4 Sonuçları

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin deprem yönetmeliğinde verilen dinamik analiz için sınır değeri 2'ye ulaşmadığı görülmüştür. X yönü deprem analizinde burulma düzensizliği çıkmamıştır. Y yönü deprem analizinde +%5 dışmerkezlilik için burulma düzensizliği katsayısı 1,27 olarak bulunmuş, -%5 dışmerkezlilik için burulma düzensizliği 1,51 çıkmıştır. Örnek4'te binaya perde yerleştirilmesiyle rijitlik merkezinin yeri değişmiş ve düzensizlik -%5 dışmerkezlilik için daha büyük çıkmıştır. Kiriş momentlerindeki farklar % 0,04 ile % 1,45 arasında, kolonlarda ise % 0,16 ile % 2,33 arasında değişmektedir.

5.2.9 Örnek5

Örnek5'e ait yapının planı Şekil 5.5'te görülmektedir. Örnek4'teki plana ek olarak SZ02 kolonu yerine 0,3x3m boyutlarında perde yerleştirilmiştir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.33 ile verilmiştir.

Çizelge 5.33 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

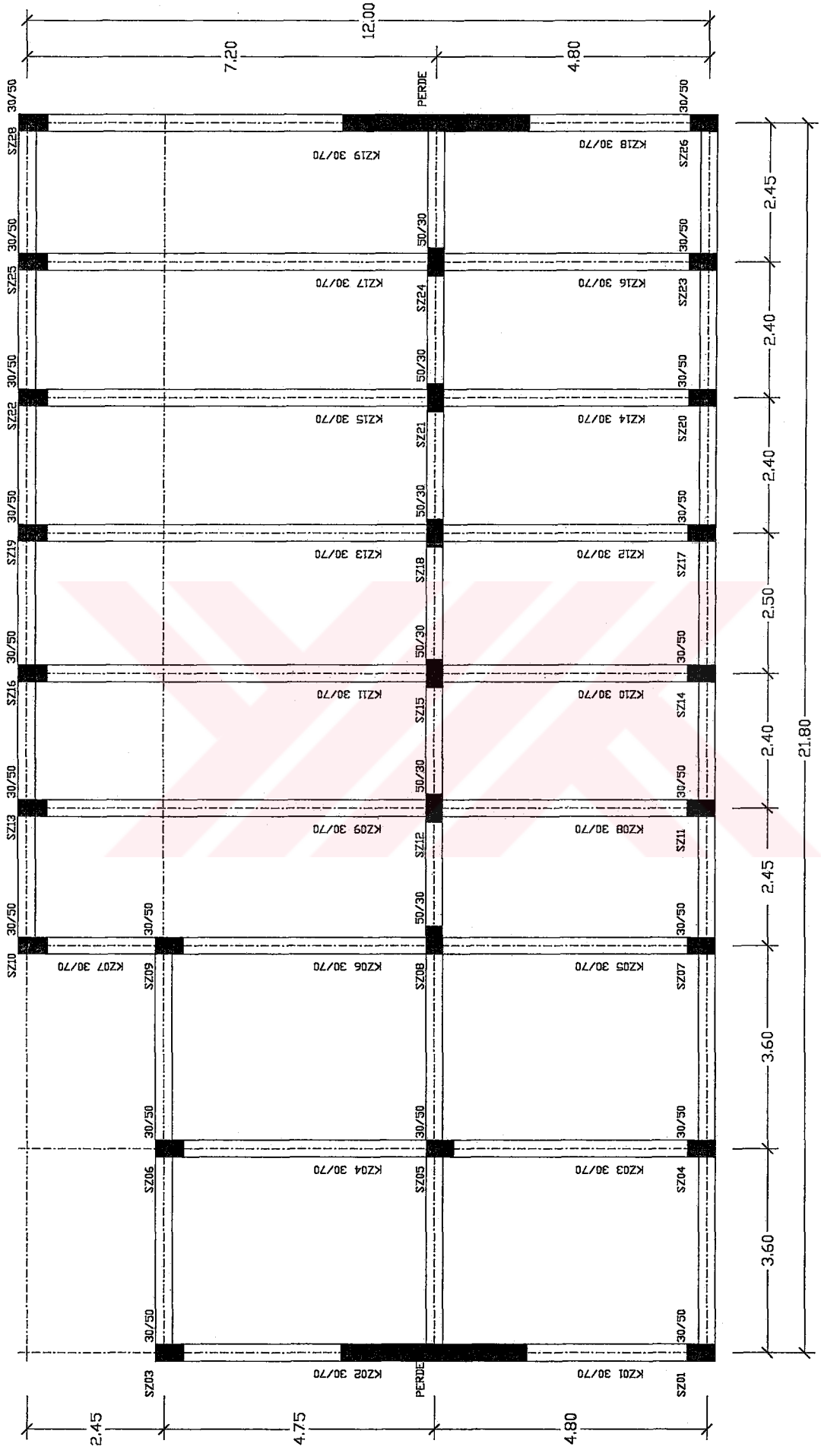
Bina deprem bölgesi	1	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_i(kN)$	4203,135
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek5'e ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.34'da verilmiştir.

Çizelge 5.34 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i \cdot H_i$	$V_f / (W_i \cdot H_i)$	$F_i = W_i \cdot H_i \cdot V_f / (W_i \cdot H_i)$
3	3752,80	12,20	45784,15	0,04	1681,25
2	3752,80	9,15	34338,11	0,04	1260,94
1	3752,80	6,10	22892,08	0,04	840,63
Z	3752,80	3,05	11446,04	0,04	420,31

114460,38



Şekil 5.5 Örneği

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.35'te, kat deplasmanları Çizelge 5.36'da, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.37'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.35a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot l_y$	M_x	$-0,05 \cdot l_y$	M_x
3	1681,25	0,60	1008,75	-0,60	-1008,75
2	1260,94	0,60	756,56	-0,60	-756,56
1	840,63	0,60	504,38	-0,60	-504,38
Z	420,31	0,60	252,19	-0,60	-252,19

Çizelge 5.35b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot l_x$	M_y	$-0,05 \cdot l_x$	M_y
3	1681,25	1,09	1832,57	-1,09	-1832,57
2	1260,94	1,09	1374,43	-1,09	-1374,43
1	840,63	1,09	916,28	-1,09	-916,28
Z	420,31	1,09	458,14	-1,09	-458,14

Çizelge 5.36a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02826	0,02759
2	0,02426	0,02373
1	0,01742	0,01708
Z	0,00872	0,00859

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02896	0,02715
2	0,02482	0,02338
1	0,01778	0,01685
Z	0,00887	0,00850

Çizelge 5.36b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,01911	0,01318
2	0,01524	0,01046
1	0,00988	0,00676
Z	0,00393	0,00269

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,01738	0,01509
2	0,01377	0,01205
1	0,00888	0,00783
Z	0,00352	0,00313

Çizelge 5.37a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00400	0,00386	0,00393	1,02
2	0,00684	0,00665	0,00675	1,01
1	0,00870	0,00849	0,00860	1,01
Z	0,00872	0,00859	0,00866	1,01
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00414	0,00377	0,00396	1,05
2	0,00704	0,00653	0,00679	1,04
1	0,00891	0,00835	0,00863	1,03
Z	0,00887	0,00850	0,00869	1,02

Çizelge 5.37b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00387	0,00272	0,00330	1,17
2	0,00536	0,00370	0,00453	1,18
1	0,00595	0,00407	0,00501	1,19
Z	0,00393	0,00269	0,00331	1,19
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_b
3	0,00361	0,00304	0,00333	1,09
2	0,00489	0,00422	0,00456	1,07
1	0,00536	0,00470	0,00503	1,07
Z	0,00352	0,00313	0,00333	1,06

Burulma düzensizliği 1,2'den küçük çıktığı için arttırılmış dışmerkezliğe göre çözmeye gerek yoktur.

5.2.10 Örnek5 Sonuçları

Burulma düzensizliği 1,2'den küçük çıkmıştır. Bina geometrik olarak düzensiz olsada rijitlik dağılımı bakımından daha düzenli olduğu için burulma düzensizliği çıkmamıştır.



5.2.11 Örnek6

Örnek6'ya ait yapının planı Şekil 5.6'da görülmektedir. Örnek1'den farklı olarak SZ16 kolonu yerine 3x0,3m boyutlarında perde yerleştirilmiştir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.38 ile verilmiştir.

Çizelge 5.38 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

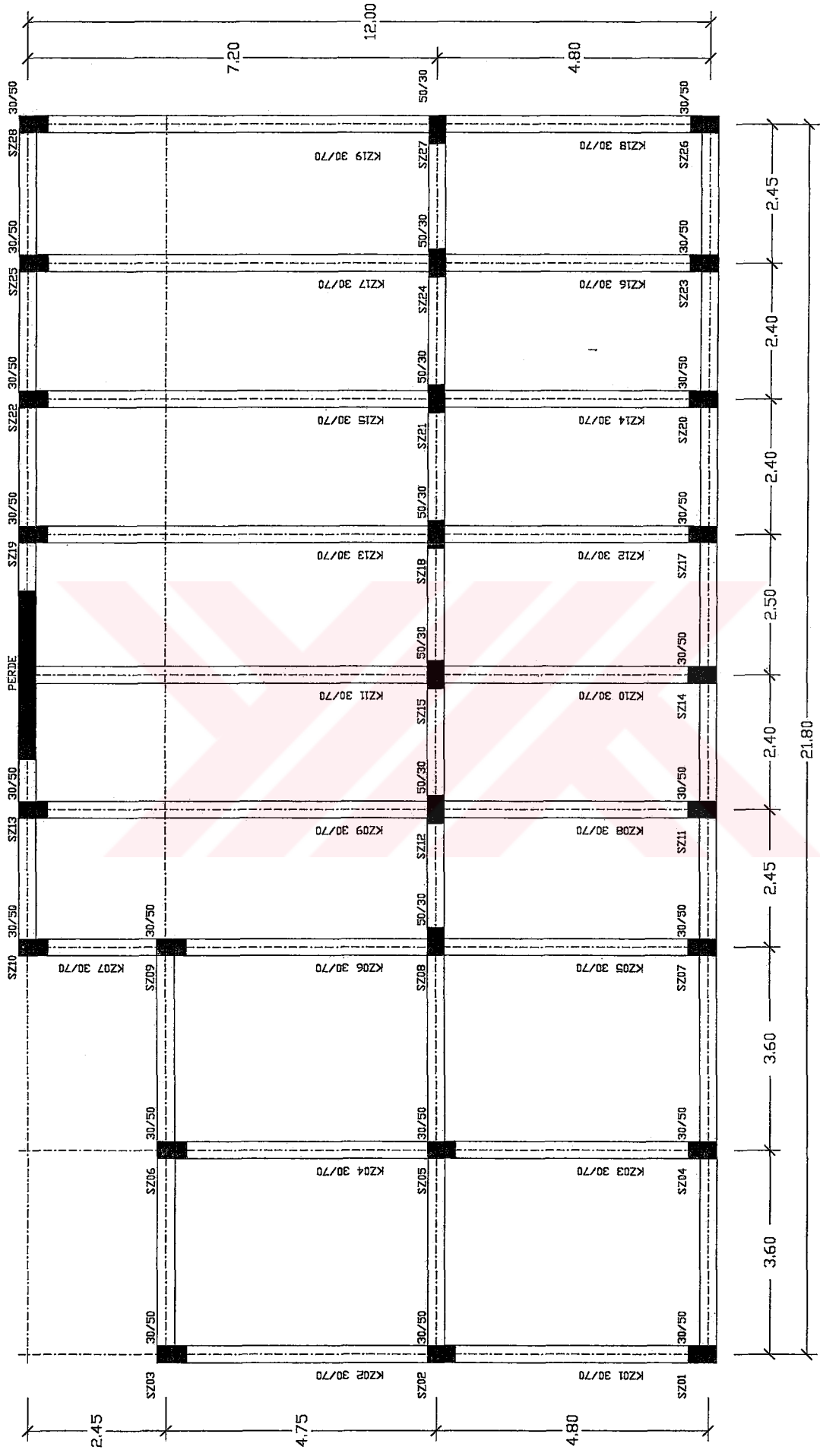
Bina deprem bölgesi	1 -	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_t(kN)$	4174,965
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek6'ya ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.39'da verilmiştir.

Çizelge 5.39 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i \cdot H_i$	$V_t / (W_i \cdot H_i)$	$F_i = W_i \cdot H_i \cdot V_t / (W_i \cdot H_i)$
3	3727,65	12,20	45477,30	0,04	1669,99
2	3727,65	9,15	34107,97	0,04	1252,49
1	3727,65	6,10	22738,65	0,04	834,99
Z	3727,65	3,05	11369,32	0,04	417,50

113693,24



Şekil 5.6 Örnek6

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.40'da, kat deplasmanları Çizelge 5.41'de, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.42'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.40a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot I_y$	M_x	$-0,05 \cdot I_y$	M_x
3	1669,99	0,60	1001,99	-0,60	-1001,99
2	1252,49	0,60	751,49	-0,60	-751,49
1	834,99	0,60	501,00	-0,60	-501,00
Z	417,50	0,60	250,50	-0,60	-250,50

Çizelge 5.40b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot I_x$	M_y	$-0,05 \cdot I_x$	M_y
3	1669,99	1,09	1820,28	-1,09	-1820,28
2	1252,49	1,09	1365,21	-1,09	-1365,21
1	834,99	1,09	910,14	-1,09	-910,14
Z	417,50	1,09	455,07	-1,09	-455,07

Çizelge 5.41a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02584	0,01869
2	0,02173	0,01499
1	0,01523	0,00986
Z	0,00720	0,00406

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02320	0,02057
2	0,01944	0,01649
1	0,01356	0,01084
Z	0,00636	0,00445

Çizelge 5.41b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03260	0,01785
2	0,02755	0,01515
1	0,01922	0,01063
Z	0,00880	0,00497

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02508	0,02492
2	0,02123	0,02110
1	0,01488	0,01472
Z	0,00697	0,00672

Çizelge 5.42a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00411	0,00370	0,00391	1,05
2	0,00650	0,00513	0,00582	1,12
1	0,00803	0,00580	0,00692	1,16
Z	0,00720	0,00406	0,00563	1,28
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00376	0,00408	0,00392	0,96
2	0,00588	0,00565	0,00577	1,02
1	0,00720	0,00639	0,00680	1,06
Z	0,00636	0,00445	0,00541	1,18

Çizelge 5.42b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00505	0,00270	0,00388	1,30
2	0,00833	0,00452	0,00643	1,30
1	0,01042	0,00566	0,00804	1,30
Z	0,00880	0,00497	0,00689	1,28
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00385	0,00382	0,00384	1,00
2	0,00635	0,00638	0,00637	1,00
1	0,00791	0,00800	0,00796	0,99
Z	0,00697	0,00672	0,00685	1,02

Burulma düzensizliği 1,2'den büyük çıktığı için arttırılmış dışmerkezlilere göre tekrar çözüm yapılır. Arttırılmış dışmerkezlilikler ve arttırılmış dış merkezliklere göre hesaplanmış burulma momentleri Çizelge 5.43'te verilmiştir.

Çizelge 5.43a Art. Ek Dışmerkezlilikler

η_b	D_i	$\epsilon (1,09*D_i)$	Yeni Ek Dış Merkezlik (%)
1,30	1,18	1,29	5,90
1,30	1,17	1,27	5,84
1,30	1,17	1,27	5,83
1,28	1,13	1,24	5,67

Çizelge 5.43b Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre X Yönü Bur. Mom.

kat	F_x	$\epsilon (0,6*D_i)$	M_x	$\epsilon (0,6*D_i)$	M_x
3	1669,99	0,71	1181,79	-0,71	-1181,79
2	1252,49	0,70	877,22	-0,70	-877,22
1	834,99	0,70	584,38	-0,70	-584,38
Z	417,50	0,68	284,18	-0,68	-284,18

Çizelge 5.43c Art. Ek Dışmerkezliliklere Göre Y Yönü Bur. Mom.

kat	F_y	$\epsilon (1,09*D_i)$	M_y	$\epsilon (1,09*D_i)$	M_y
3	1669,99	1,29	2146,92	-1,29	-2146,92
2	1252,49	1,27	1593,61	-1,27	-1593,61
1	834,99	1,27	1061,62	-1,27	-1061,62
Z	417,50	1,24	516,27	-1,24	-516,27

%5 ek dışmerkezlilik ile arttırılmış ek dışmerkezliliğe göre yapılan hesapta bulunan iç kuvvetler Çizelge 5.44 ve Çizelge 5.45'de karşılaştırılmıştır. Burada yapı en çok y yönü deprem etkisinde zorlandığı için y yönü kiriş ve kolon momentleri karşılaştırılmıştır. Maksimum kiriş ve kolon momentleri zemin katta meydana gelmektedir. Bu kattaki kiriş ve kolon momentleri $\pm\%5$ ek dışmerkezlilikler için M_S , arttırılmış ek dışmerkezlilik için M_A olarak belirtilmiştir. Çizelgelarda momentler aks düzeninde kiriş, kolon alt ve üst uçlarındaki momentler alt alta yazılarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.44 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
KZ01	370,92	381,59	2,88	KZ11	162,63	163,95	0,81
	258,06	264,30	2,42		370,40	372,94	0,69
KZ02	253,33	259,75	2,53	KZ12	440,80	445,77	1,13
	362,52	373,54	3,04		163,89	165,41	0,93
KZ03	411,45	420,31	2,15	KZ13	168,76	170,59	1,08
	277,71	283,42	2,06		394,10	398,87	1,21
KZ04	269,61	275,72	2,27	KZ14	466,11	474,08	1,71
	386,69	396,10	2,43		168,68	170,75	1,23
KZ05	404,17	409,07	1,21	KZ15	174,55	176,82	1,30
	222,51	224,65	0,96		416,05	422,99	1,67
KZ06	212,08	215,05	1,40	KZ16	492,85	503,57	2,18
	313,08	319,08	1,92		172,57	174,85	1,32
KZ07	375,50	382,05	1,74	KZ17	178,56	181,03	1,38
	480,70	482,80	0,44		436,97	445,91	2,05
KZ08	412,99	414,76	0,43	KZ18	453,06	464,48	2,52
	166,51	166,72	0,13		139,49	140,76	0,91
KZ09	158,97	159,87	0,57	KZ19	142,68	144,28	1,12
	346,06	346,71	0,19		387,54	396,61	2,34
KZ10	416,72	418,36	0,39				
	160,70	161,44	0,46				

Çizelge 5.45 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M_A (kNm)	Fark (%)
SZ01	302,41	314,57	4,02	SZ15	144,00	144,67	0,47
	226,37	236,18	4,33		145,80	146,47	0,46
SZ02	345,60	359,45	4,01	SZ16	291,36	292,62	0,43
	317,96	331,36	4,21		195,37	196,01	0,33
SZ03	304,16	316,27	3,98	SZ17	321,74	325,90	1,29
	230,90	239,78	3,85		228,07	231,13	1,34
SZ04	302,21	310,21	2,65	SZ18	155,25	157,24	1,28
	229,21	235,58	2,78		157,65	159,70	1,30
SZ05	345,46	354,48	2,61	SZ19	313,53	317,53	1,28
	320,91	329,45	2,66		210,66	213,38	1,29
SZ06	307,89	315,85	2,59	SZ20	343,59	350,33	1,96
	241,21	247,53	2,62		243,97	248,90	2,02
SZ07	295,19	298,96	1,28	SZ21	166,01	169,28	1,97
	217,56	220,35	1,28		168,95	172,33	2,00
SZ08	133,45	135,21	1,32	SZ22	335,00	341,62	1,98
	129,20	130,97	1,37		225,75	230,45	2,08
SZ09	320,18	323,83	1,14	SZ23	365,07	374,39	2,55
	270,56	273,08	0,93		259,07	265,91	2,64
SZ10	297,02	301,66	1,56	SZ24	176,92	181,48	2,58
	221,45	226,06	2,08		180,54	185,30	2,64
SZ11	285,85	286,89	0,36	SZ25	356,54	365,78	2,59
	199,98	200,61	0,32		240,97	247,65	2,77
SZ12	137,97	138,55	0,42	SZ26	383,34	395,28	3,11
	139,21	139,85	0,46		266,73	275,45	3,27
SZ13	283,42	284,85	0,50	SZ27	190,08	196,06	3,15
	194,82	196,29	0,75		196,52	202,90	3,25
SZ14	298,71	300,20	0,50	SZ28	375,38	387,29	3,17
	210,94	212,09	0,55		249,85	258,51	3,47

5.2.12 Örnek6 Sonuçları

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin deprem yönetmeliğinde verilen dinamik analiz için sınır değer 2'ye ulaşmadığı görülmüştür. Binaya X yönü doğrultusunda perde koyulduğu için X yönü deprem analizinde burulma düzensizliği +%5 dışmerkezlik 1,28 çıkmıştır. Y yönü deprem analizinde +%5 dışmerkezlik için burulma düzensizliği katsayısı 1,30 olarak bulunmuş, -%5 dışmerkezlik için burulma düzensizliği çıkmamıştır. Kiriş momentlerindeki farklar % 0,13 ile % 3,04 arasında, kolonlarda ise % 0,32 ile % 4,33 arasında değişmektedir.

5.2.13 Örnek7

Örnek7'ye ait yapının planı Şekil 5.7'de görülmektedir. Örnek6'daki plana ek olarak SZ14 kolonu yerine 3x0,3m boyutlarında perde yerleştirilmiştir. Binanın karakteristikleri ve toplam deprem yükü Çizelge 5.46 ile verilmiştir.

Çizelge 5.46 Toplam Eşdeğer Deprem Yükü

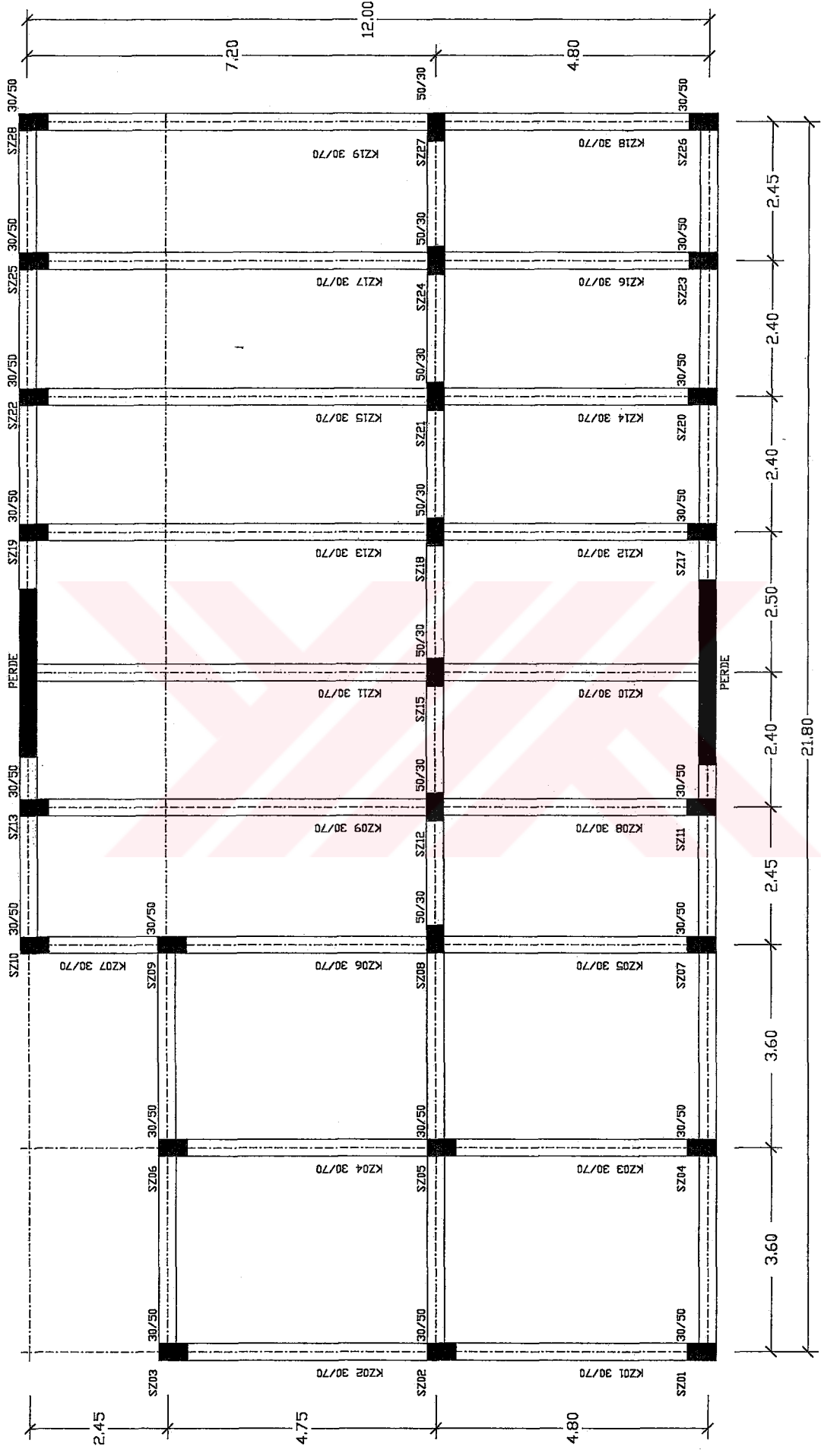
Bina deprem bölgesi	1	
Bina önem katsayısı	I	1,40
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	R	5,00
Yerel zemin sınıfı	Z3	
Spektrum karakteristik periyotları	$T_A(s)$	0,15
	$T_B(s)$	0,60
Etkin yer ivmesi katsayısı	A_0	0,40
Eşdeğer deprem yükü	$V_i(kN)$	4203,135
Binanın toplam yüksekliği	$H_N(m)$	12,20

Örnek7'ye ait kat ağırlıkları ve her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler Çizelge 5.47'de verilmiştir.

Çizelge 5.47 Katlara Gelen Eşdeğer Deprem Yükü

Kat	$W_i (kN)$	$H_i (m)$	$W_i \cdot H_i$	$V_t / (W_i \cdot H_i)$	$F_i = W_i \cdot H_i \cdot V_t / (W_i \cdot H_i)$
3	3752,80	12,20	45784,15	0,04	1681,25
2	3752,80	9,15	34338,11	0,04	1260,94
1	3752,80	6,10	22892,08	0,04	840,63
Z	3752,80	3,05	11446,04	0,04	420,31

114460,38



Şekil 5.7 ÖrneK7

Her kata gelen deprem yükleri F_i 'ler %5 ek dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilir. Bu yüklemelerden doğan burulma momentleri Çizelge 5.48'de, kat deplasmanları Çizelge 5.49'da, burulma düzensizlikleri Çizelge 5.50'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.48a X Yönü Burulma Momentleri

kat	F_x	$0,05 \cdot l_y$	M_x	$-0,05 \cdot l_y$	M_x
3	1681,25	0,60	1008,75	-0,60	-1008,75
2	1260,94	0,60	756,56	-0,60	-756,56
1	840,63	0,60	504,38	-0,60	-504,38
Z	420,31	0,60	252,19	-0,60	-252,19

Çizelge 5.48b Y Yönü Burulma Momentleri

kat	F_y	$0,05 \cdot l_x$	M_y	$-0,05 \cdot l_x$	M_y
3	1681,25	1,09	1832,57	-1,09	-1832,57
2	1260,94	1,09	1374,43	-1,09	-1374,43
1	840,63	1,09	916,28	-1,09	-916,28
Z	420,31	1,09	458,14	-1,09	-458,14

Çizelge 5.49a X Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,01935	0,01756
2	0,01558	0,01405
1	0,01029	0,00920
Z	0,00425	0,00374

Kat Deplasmanları (m) X Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,01971	0,01741
2	0,01582	0,01403
1	0,01040	0,00923
Z	0,00425	0,00379

Çizelge 5.49b Y Yönü Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (+0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,03270	0,01926
2	0,02754	0,01646
1	0,01913	0,01167
Z	0,00870	0,00559

Kat Deplasmanları (m) Y Yönü Deprem (-0,05)		
kat	$(d_i)_{max}$	$(d_i)_{min}$
3	0,02582	0,02569
2	0,02187	0,02176
1	0,01529	0,01527
Z	0,00715	0,00705

Çizelge 5.50a X Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00377	0,00351	0,00364	1,04
2	0,00529	0,00485	0,00507	1,04
1	0,00604	0,00546	0,00575	1,05
Z	0,00425	0,00374	0,00400	1,06
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00389	0,00338	0,00364	1,07
2	0,00542	0,00480	0,00511	1,06
1	0,00615	0,00544	0,00580	1,06
Z	0,00425	0,00379	0,00402	1,06

Çizelge 5.50b Y Yönü Burulma Düzensizlikleri

Burulma Düzensizlikleri (+0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00516	0,00280	0,00398	1,30
2	0,00841	0,00479	0,00660	1,27
1	0,01043	0,00608	0,00826	1,26
Z	0,00870	0,00559	0,00715	1,22
Burulma Düzensizlikleri (-0,05)				
kat	$(\Delta_i)_{max}$	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$	η_b
3	0,00395	0,00393	0,00394	1,00
2	0,00658	0,00649	0,00654	1,01
1	0,00814	0,00822	0,00818	1,00
Z	0,00715	0,00705	0,00710	1,01

Burulma düzensizliği 1,2'den büyük çıktığı için arttırılmış dışmerkezlilere göre tekrar çözüm yapılır. Arttırılmış dışmerkezliler ve arttırılmış dış merkezliklere göre hesaplanmış burulma momentleri Çizelge 5.51'de verilmiştir.

Çizelge 5.51a Art. Ek Dışmerkezliler

η_b	D_i	$\varepsilon (1,09*D_i)$	Yeni Ek Dış Merkezlik (%)
1,30	1,17	1,27	5,84
1,27	1,13	1,23	5,64
1,26	1,11	1,21	5,54
1,22	1,03	1,12	5,15

Çizelge 5.51b Art. Ek Dışmerkezlilere Göre X Yönü Bur. Mom.

kat	F_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x	$\varepsilon (0,6*D_i)$	M_x
3	1681,25	0,70	1177,48	-0,71	-1177,48
2	1260,94	0,68	853,08	-0,70	-853,08
1	840,63	0,67	559,15	-0,70	-559,15
Z	420,31	0,62	259,65	-0,68	-259,65

Çizelge 5.51c Art. Ek Dışmerkezlilere Göre Y Yönü Bur. Mom.

kat	F_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y	$\varepsilon (1,09*D_i)$	M_y
3	1681,25	1,27	2139,10	-1,29	-2139,10
2	1260,94	1,23	1549,75	-1,27	-1549,75
1	840,63	1,21	1015,79	-1,27	-1015,79
Z	420,31	1,12	471,71	-1,24	-471,71

%5 ek dışmerkezlilik ile arttırılmış ek dışmerkezliliğe göre yapılan hesapta bulunan iç kuvvetler Çizelge 5.52. ve Çizelge 5.53'te karşılaştırılmıştır. Burada yapı en çok y yönü deprem etkisinde zorlandığı için y yönü kiriş ve kolon momentleri karşılaştırılmıştır. Maksimum kiriş ve kolon momentleri zemin katta meydana gelmektedir. Bu kattaki kiriş ve kolon momentleri \pm %5 ek dışmerkezlilikler için M_s , arttırılmış ek dışmerkezlilik için M_A olarak belirtilmiştir. Çizelgelarda momentler aks düzeninde kiriş, kolon alt ve üst uçlarındaki momentler alt alta yazılarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.52 Zemin Kat Kiriş Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M _S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M _A (kNm)	Fark (%)	Kiriş no	±%5 Ek Dışmerkezlik için M _S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlik için M _A (kNm)	Fark (%)
KZ01	382,24	386,94	1,23	KZ11	198,21	198,90	0,35
	265,67	268,44	1,04		317,09	318,16	0,34
KZ02	261,15	264,01	1,10	KZ12	430,09	432,14	0,48
	374,20	379,08	1,30		153,71	154,12	0,27
KZ03	423,34	427,21	0,91	KZ13	159,33	159,98	0,41
	284,72	287,21	0,87		385,62	387,75	0,55
KZ04	277,13	279,85	0,98	KZ14	457,35	460,84	0,76
	399,23	403,39	1,04		160,70	161,52	0,51
KZ05	414,81	416,91	0,51	KZ15	167,37	168,34	0,58
	223,11	223,92	0,36		407,22	410,29	0,75
KZ06	214,04	215,30	0,59	KZ16	480,01	484,75	0,99
	324,38	327,08	0,83		167,17	168,13	0,57
KZ07	390,15	392,99	0,73	KZ17	173,29	174,38	0,63
	491,49	492,28	0,16		425,36	429,33	0,93
KZ08	416,65	417,28	0,15	KZ18	438,18	443,26	1,16
	166,84	167,01	0,10		137,43	137,97	0,39
KZ09	156,57	157,18	0,39	KZ19	140,17	140,90	0,52
	346,54	346,88	0,10		375,12	379,16	1,08
KZ10	345,30	345,88	0,17				
	212,36	212,80	0,21				

Çizelge 5.53 Zemin Kat Kolon Uç Momentlerinin Karşılaştırılması

Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)	Kolon no	±%5 Ek Dışmerkezlilik için M_S (kNm)	Yeni Ek Dışmerkezlilik için M_A (kNm)	Fark (%)
SZ01	311,36	315,96	1,48	SZ15	141,98	142,25	0,19
	232,94	236,50	1,53		136,78	137,03	0,18
SZ02	355,97	361,30	1,50	PERDE	146,59	146,83	0,16
	327,54	332,65	1,56		115,78	115,92	0,12
SZ03	313,06	317,63	1,46	SZ17	327,57	329,25	0,51
	236,55	240,04	1,48		236,88	238,15	0,54
SZ04	313,24	316,24	0,96	SZ18	157,41	158,25	0,53
	237,95	240,23	0,96		160,82	161,72	0,56
SZ05	358,06	361,51	0,96	SZ19	318,78	320,34	0,49
	333,00	336,23	0,97		218,23	219,26	0,47
SZ06	318,88	321,87	0,94	SZ20	339,03	341,61	0,76
	249,92	252,16	0,90		240,72	242,50	0,74
SZ07	307,86	309,25	0,45	SZ21	164,20	165,51	0,80
	227,57	228,54	0,43		167,51	168,88	0,82
SZ08	139,47	140,15	0,49	SZ22	330,90	333,44	0,77
	135,57	136,27	0,52		223,49	225,17	0,75
SZ09	332,97	334,30	0,40	SZ23	352,69	356,25	1,01
	280,83	281,66	0,30		249,25	251,69	0,98
SZ10	310,67	312,45	0,57	SZ24	171,34	173,15	1,06
	233,53	235,31	0,76		174,91	176,81	1,09
SZ11	301,63	302,04	0,14	SZ25	344,51	348,03	1,02
	215,06	215,38	0,15		231,88	234,26	1,03
SZ12	144,65	144,91	0,18	SZ26	363,16	367,70	1,25
	146,41	146,74	0,23		250,56	253,66	1,24
SZ13	299,11	299,67	0,19	SZ27	180,60	182,98	1,32
	209,72	210,34	0,30		186,50	189,05	1,37
PERDE	150,62	150,92	0,20	SZ28	355,47	360,01	1,28
	123,91	124,16	0,20		234,25	237,35	1,32

5.2.14 Örnek7 Sonuçları

Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 'nin deprem yönetmeliğinde verilen dinamik analiz için sınır değer 2'ye ulaşmadığı görülmüştür. X yönü deprem analizinde burulma düzensizliği çıkmamıştır. Y yönü deprem analizinde +%5 dışmerkezlilik için burulma düzensizliği katsayısı 1,30 olarak bulunmuş, -%5 dışmerkezlilik için burulma düzensizliği çıkmamıştır. Kiriş momentlerindeki farklar % 0,10 ile % 1,3 arasında, kolonlarda ise % 0,12 ile % 1,56 arasında değişmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu bölümde deprem yükü etkisindeki çeşitli perde çerçeve türü burulma düzensizliği ile ilgili parametrik inceleme konulu tez çalışması neticesinde elde edilen sonuçlar değerlendirilerek irdelenmiştir.

Bu tez çalışmasında incelenen Ambarlı İlköğretim binası üzerinde perde çerçeve yapı sistemlerinin yerleri ve boyutları değiştirilerek % 5 ek dışmerkezlilik etkisi altında daha sonra artırılmış ek dışmerkezlilik etkisi altında yapı elemanlarında oluşan iç kuvvet dağılımları incelenerek kiriş ve kolon moment değerlerindeki artış oranları araştırılmıştır. Ayrıca Ambarlı İlköğretim binasının burulma düzensizliğinin nasıl giderileceği de hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki sayısal incelemelerden elde edilen sonuçlar şunlardır.

- 1- Arttırılmış ek dışmerkezlilikler ile % 5 ek dışmerkezliliklere göre bulunan iç kuvvetlerin karşılaştırılmaları durumunda artışın kirişlerde % 15'i, kolonlarda ise % 5'i geçmediği görülmüştür. Kenar akslardan iç akslara doğru gidildiğinde farkların azaldığı görülmüştür.
- 2- Örnek3'teki yapının diğer örneklerdeki yapılardan geometrik bakımdan çok daha düzensiz olmasına rağmen burulma düzensizlik katsayısının 2,00 sınır değere ulaşmadığı görülmektedir.
- 3- Bu tür geometrik bakımdan düzensiz olan yapılarda taşıyıcı elemanlarında küçük boyut arttırmaları sonunda burulma düzensizliği geniş ölçüde giderilebilmektedir.
- 4- Asimetrik yapılarda, rijitlik bakımından büyük bir düzensizlik olmaması halinde, burulma düzensizliği katsayıları makul düzeylerde kalmaktadır.
- 5- Burulma düzensizliği bakımından rijitlik dağılımının geometriye oranla daha önemli bir faktör olduğu izlenimi edinilmektedir.
- 6- Burulma bakımından en elverişsiz nitelikteki yapılarda bile burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} deprem yönetmeliğinde eşdeğer deprem yükü uygulaması için sınır değer olarak belirtilen 2,00 değerinin altında kalmaktadır.

- 7- Burulma düzensizliği ile ilgili daha geniş araştırmalar yapılması, bu tür düzensizliğe sahip yapıların davranışını anlamakta ve gerçekçi hesap yöntemlerine ulaşılması açısından kaçınılmaz olmaktadır.



KAYNAKLAR

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1997 Deprem Yönetmeliği (1998 değişiklikleri ile birlikte). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara

Chandler A.M., Duan X.N., Rutenberg A., 1996. Evaluation and further Development of the EC8 Static Torsional, Proc. Of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri

Eibl J. Keintzel E., 1996. The Approximate Analysis of Torsional Effects in Eurocode8 Assumptions, Comparative Calculations and Proposals For Improvement Proc. Of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri

Özmen G., Orakdöğen E., Pala S., Gülay G., 1997. Çok Katlı Yapıların Deprem Hesabında Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi, Çok Katlı Yapıların Deprem Hesabına Etkisi, Tübitak Poje No: Intag546, İstanbul

International Associations for Earthquake Engineering, 1992. Earthquake Resistant Regulations, A World List, Tokyo

Celep Z., Kumbasar N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Özmen G., 1972. Burulma Yapan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı, Teknik Rapor No:13

Çakıroğlu A., Özmen G., 1973. Çerçeveler ve Boşluklu Perdelerden oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı, Teknik Rapor No:16.

Özmen G., 2001. Türkiye Deprem Vakfı, Aşırı Burulma Yapan Çok Katlı Yapılar, Teknik Rapor TDV/TR 039-68

Özmen G., Orakdöğen E., Darılmaz K., 2002. Örneklerle SAP2000

Çağatay İ.H., Güzeldağ S., 2002. Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.12.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise 1989-1996 Özel Kültür Lisesi

Lisans 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum

2003-Devam ediyor A Yapı Denetim A.Ş.

