

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇOK KATLI
YAPILARIN DEPREM YÖNETMELİĞİ AÇISINDAN
İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Semih KURTULMUŞ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI ANALİZİ ve TASARIMI

OCAK 2005

**BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇOK KATLI
YAPILARIN DEPREM YÖNETMELİĞİ AÇISINDAN
İRDELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Semih KURTULMUŞ
(501031036)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2005**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Engin ORAKDÖĞEN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Günay ÖZMEN

Dr. Bilge DORAN (Y.T.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı Yapı Analizi ve Tasarımı Programında gerçekleştirilen bu yüksek lisans çalışmasında burulma düzensizliği olan çok katlı yapılar deprem yönetmeliğine göre irdelenmiştir.

Bu tez çalışması süresince düşünce ve bilgilerinden yararlandığım danışman hocam sayın Doç. Dr. Engin ORAKDÖĞEN ve sayın Prof. Dr. Günay Özmen'e teşekkür ederim.

Bütün yaşamım boyunca, bana her türlü maddi ve manevi desteği sağlayan biricik aileme de minnet ve şükranlarımı sunarım.

Ocak 2005

Semih KURTULMUŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3. Literatür Araştırması	3
2. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİK KOŞULLARI	4
2.1. Türk Deprem Yönetmeliği	4
2.1.1. Yapısal Düzensizlikler	4
2.1.1.1 Planda Düzensizlikler	4
2.1.1.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlikler	7
2.1.2. Burulma Düzensizliği	10
2.1.3. Dünya Deprem Yönetmeliklerinde Burulma Etkisi	15
3. DEPREM YÜKLERİ HESABI	17
3.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Genel İlkeler	17
3.2. Zemin Koşullarının Belirlenmesi	17
3.3. Elastik Deprem Yüklerinin Tanımlanması	18
3.4. Elastik Deprem Yüklerinin Azaltılması	21
3.4.1. Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı	21
3.4.2. Taşıyıcı Sistemlerin Sünelik Düzeyleri	21
3.4.2.1. Karma Taşıyıcı Sistemlere İlişkin Koşullar	23
3.5 Hesap Yöntemleri	23
3.5.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	23
3.5.1.1 Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi	24
3.5.1.2 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi	25
3.5.1.3 Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi	26
3.5.2 Mod Birleştirme Yöntemi	27
3.5.2.1. İvme Spektrumu	27
3.5.2.2 Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri	27
3.5.2.3 Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı	27
3.5.2.4. Mod Katkılarının Birleştirilmesi	28
3.5.2.5 Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri	28

4. SAYISAL ÖRNEKLER	29
4.1. Örnek Yapı Sistemleri ve Hesap Modeli	29
4.2 Örnek Yapı 1A	30
4.2.1 Kat Ağırlıkları	31
4.2.2 Eşdeğer Deprem Yükleri	33
4.2.3 α_M Kontrolü	34
4.2.4 Burulma Düzensizliği Katsayıları (η_{bi})	34
4.2.5 İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması	35
4.2.6 Yatay yüklerin karşılaştırılması	37
4.3 Örnek Yapı 1B	38
4.4 Örnek Yapı 1C	45
5. SONUÇLAR	52
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56

KISALTMALAR

ABYYHY97	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1997
UBC	: Uniform Building Code
EUROCODE8	: Earthquake Resistant Design of Structures
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Programme
SAP2000	: Structural Analysis Program, 2000

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Yerel Zemin Sınıfları.....	18
Tablo 3.2 Etkin Yer İvmesi Katsayısı.....	19
Tablo 3.3 Bina Önem Katsayıları.....	19
Tablo 3.4 Spektrum Karakteristik Periyotları.....	20
Tablo 3.5 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı.....	22
Tablo 3.6 Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar.....	24
Tablo 3.7 Hareketli Yük Katılım Katsayısı.....	25
Tablo 4.1 Örnek Yapılara Ait Kolon Boyutları.....	29
Tablo 4.2 Örnek Yapı 1A'ya ait Veriler.....	30
Tablo 4.3 Örnek 1A Kat Kütleleri.....	31
Tablo 4.4 Örnek 1A x Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri.....	33
Tablo 4.5 Örnek 1A y Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri.....	33
Tablo 4.6 Örnek 1A α_M Kontrolü.....	34
Tablo 4.7 Örnek 1A Burulma Düzensizliği Katsayıları.....	34
Tablo 4.8 Örnek 1A P1 Perdesi Uç Kuvvetleri.....	35
Tablo 4.9 Örnek 1A P2 Perdesi Uç Kuvvetleri.....	35
Tablo 4.10 Örnek 1A 6 Aksındaki Kirişlerin Momentleri.....	36
Tablo 4.11 Örnek 1A 6 Aksındaki Kirişlerin Kesme Kuvvetleri.....	36
Tablo 4.12 Örnek 1A Taban Kesme Kuvvetleri.....	37
Tablo 4.13 Örnek Yapı 1B'ye ait Veriler.....	38
Tablo 4.14 Örnek 1B Kat Kütleleri.....	38
Tablo 4.15 Örnek 1B x Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri.....	40
Tablo 4.16 Örnek 1B y Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri.....	40
Tablo 4.17 Örnek 1B α_M Kontrolü.....	41
Tablo 4.18 Örnek 1B Burulma Düzensizliği Katsayıları.....	41
Tablo 4.19 Örnek 1B P1 Perdesi Uç Kuvvetleri.....	42
Tablo 4.20 Örnek 1B P2 Perdesi Uç Kuvvetleri.....	42
Tablo 4.21 Örnek 1B 6 Aksındaki Kirişlerin Momentleri.....	43
Tablo 4.22 Örnek 1B 6 Aksındaki Kirişlerin Kesme Kuvvetleri.....	43
Tablo 4.23 Örnek 1B Taban Kesme Kuvvetleri.....	44
Tablo 4.24 Örnek Yapı 1C'ye ait Veriler.....	45
Tablo 4.25 Örnek 1C Kat Kütleleri.....	45
Tablo 4.26 Örnek 1C x Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri.....	47
Tablo 4.27 Örnek 1C y Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri.....	47
Tablo 4.28 Örnek 1C α_M Kontrolü.....	48
Tablo 4.29 Örnek 1C Burulma Düzensizliği Katsayıları.....	48
Tablo 4.30 Örnek 1C P1 Perdesi Uç Kuvvetleri.....	49
Tablo 4.31 Örnek 1C P2 Perdesi Uç Kuvvetleri.....	49
Tablo 4.32 Örnek 1C 6 Aksındaki Kirişlerin Momentleri.....	50
Tablo 4.33 Örnek 1C 6 Aksındaki Kirişlerin Kesme Kuvvetleri.....	50
Tablo 4.34 Örnek 1C Taban Kesme Kuvvetleri.....	51

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : A2 Türü Düzensizlikler	5
Şekil 2.2 : A3 Türü Düzensizlikler	6
Şekil 2.3 : A4 Türü Düzensizlik	7
Şekil 2.4 : Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği	9
Şekil 2.5 : Geometrik bakımdan düzensiz bir yapı	10
Şekil 2.6 : Rijitlik dağılımı bakımından düzensiz bir yapı	11
Şekil 2.7 : Geometri ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz bir yapı	11
Şekil 2.8 : Gizli burulma düzensizliği olan bir yapı	12
Şekil 2.9 : Burulma Düzensizliği	13
Şekil 2.10 : Kaydırılmış kütle merkezleri	14
Şekil 3.1 : İvme Spektrumu	21
Şekil 3.2 : d_{fi} kat yerdeğiştirmeleri	26
Şekil 4.1 : Örnek Yapı 1A	32
Şekil 4.2 : Örnek 1A Taban Kesme Kuvvetleri	37
Şekil 4.3 : Örnek Yapı 1B	39
Şekil 4.4 : Örnek 1B Taban Kesme Kuvvetleri	44
Şekil 4.5 : Örnek Yapı 1C	46
Şekil 4.6 : Örnek 1C Taban Kesme Kuvvetleri	51

BURULMA DÜZENSİZLİĞİ BULUNAN ÇOK KATLI YAPILARIN DEPREM YÖNETMELİĞİ AÇISINDAN İRDELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, burulma düzensizliğine sahip süneklik düzeyi karma olan çok katlı perde çerçeve türü yapılarda farklı analiz metodları sonucu bulunan iç kuvvetler karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar deprem yönetmeliğine göre irdelenmiştir.

Beş bölüm halinde sunulan çalışmanın birinci bölümünde konunun tanıtılması, konu ile ilgili çalışmaların gözden geçirilmesi, çalışmanın amacı ve kapsamı yer almaktadır.

İkinci bölümde, ABYYHY97’de burulma düzensizliğine sahip yapılar için öngörülen koşullar açıklanmıştır. Ayrıca bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde bu tür düzensizlik için önerilen hesap yöntemleri de açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde, deprem yönetmeliğinde yer alan deprem etkilerinin hesabında kullanılan yöntemler açıklanmış olup karma süneklik düzeyine sahip yapılar için uyulması gereken koşullar belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde, üç adet örnek yapının farklı metodlarla analizleri yapılmıştır. Yapıların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile analizi yapılarak iç kuvvetleri elde edilmiştir. Daha sonra kütlelerin kat kütle merkezinde toplandığı varsayımı ile burulma kütsüz ve burulma kütleli dinamik analizler sonucu iç kuvvetler bulunmuştur. Son olarak kütlelerin kolon başlarında toplandığı varsayılarak burulma kütleli tanımlanmadan yapıların dinamik analizi yapılarak iç kuvvetleri bulunmuştur. Dört farklı analiz sonucu bulunan iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında yönetmelikte öngörülen eşdeğer deprem yükü yöntemi ve burulma kütsüz dinamik analizde, burulma modunun katkısının hesaba dahil edilememesi dolayısıyla diğer analiz yöntemlerinde bulunan iç kuvvetlerin daha elverişsiz olduğu anlaşılmıştır.

Beşinci bölümde, bu çalışmada elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

THE EXAMINATION OF THE MULTI-STORY STRUCTURES THAT HAS TORSIONAL IRREGULARITY ACCORDING TO TURKISH EARTHQUAKE CODE

SUMMARY

In this study, the multi-story structures that has torsional irregularity are analyzed by different methods and the end forces are compared. The results are discussed according to Turkish Earthquake Code. The structures are wall-frame type and has mixed ductility level.

The thesis consists of five chapters.

In the first chapter, after introducing the subject, the results of literature survey is given and the scope and objectives of the study are explained.

In the second chapter, the conditions for the structures that has torsional irregularity at the Turkish Earthquake Code are explained. Also the proposals are given at some earthquake codes for the the structures that has torsional irregularity are explained.

The third chapter outlines to the explanation of computation of the earthquake loads.

In the fourth chapter, three sample structures are analysed with different methods. The analysis methods are; the Equivalent Seismic Load Method, Dynamic Analysis using Mode-Superposition Method without torsional mass, Dynamic Analysis using Mode-Superposition Method by defining torsional mass, Dynamic Analysis using Mode-Superposition Method by defining masses at the top of the columns. The end forces of the comparison of the results with the examples given, because of the absence of taking into consideration the torsional effects at the Equivalent Seismic Load Method and Mode-Superposition Method without torsional mass, the analysis results of the other methods are more inconvenient.

The fifth chapter covers the conclusions are obtained at this study.

1.GİRİŞ

1.1 Konu

Bir yapının tasarımı ve boyutlandırılması, genel olarak, göçme durumunda yeterli güvenilirliğin sağlanması ve kullanma yükleri altında çatlama ve yer değiştirme gibi koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Bu nedenle, yapının ömrü boyunca etkisi altında kalması söz konusu olan deprem yüklerine güvenlikle karşı koyabilmesi gerekmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı, yapının sık ve küçük şiddetli depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek küçük hasarlara; çok seyrek ve şiddetli depremleri, büyük hasarlarla, fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmadan taşıyabilmesi anlamına gelmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada deprem etkilerinden sadece biri olan, burulma etkisi ve burulma düzensizliği gösteren yapılar incelenecektir. Burulma düzensizliği gösteren binaların güvenli bir şekilde tasarlanabilmesi hakkında ve deprem yönetmeliklerinin getirmiş olduğu kurallar ışığında bu tür binaların hesap yöntemleri ile ilgili açıklamalar yapılacaktır.

Burulma düzensizliği binalarda çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bunların başında taşıyıcı sistemin rijitlik merkezinin binanın ağırlık merkezi ile çakışmaması gelmektedir. Ayrıca binanın şekil ve geometrisi de burulma etkisi meydana getirmektedir. En uygun çözüm çok katlı bina tasarımı yaparken burulma düzensizliği yaratacak etkileri ortadan kaldırmaktır. Fakat, binanın yapılacağı arsanın durumu, bazı mimari istekler ve buna benzer sebeplerden dolayı burulma etkisini ortadan kaldırmak mümkün olmamaktadır. Bu durumda binanın tasarımında ek hesaplar ve önlemler gerekmektedir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, taşıyıcı sistemi perde ve çerçevelerden oluşan, süneklik düzeyi karma olan çok katlı burulma düzensizliğine sahip yapıların deprem etkileri altındaki davranışını incelemek ve etkin burulma modunun sistem kesit tesirlerindeki katkısının mertebesini irdelemektir. Ayrıca ABYYHY97’de [1] verilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nde burulma modunun katkısının hesaba dahil edilememesi dolayısıyla, burulma modu etkin yapılarda deprem etkisinin eşdeğer statik yüklerle yeterince temsil edilip edilemediğinin araştırılması da bu çalışmanın kapsamı içerisindedir.

Çalışmada, burulma düzensizliği bulunan üç adet çok katlı yapı sistemi incelenmiştir. Çalışmada izlenen yol şu aşamalardan oluşmaktadır:

- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile yapıların her iki yönde deprem yüklerinin hesabı, α_m kontrolü, burulma düzensizliği katsayılarının bulunması ve ek dışmerkezliliklerin belirlenmesi.
- Mod Birleştirme Yöntemi ile yapıların dinamik analizlerinin yapılması; Yapıların dinamik analizleri yapılırken izlenen yollar aşağıda özetlenmiştir:
 - (a) – Kütlelerin kat kütle merkezinde toplandığı varsayımı ile burulma kütlesi göz önüne alınmadan yapının dinamik analizi.
 - (b) – Kütlelerin kat kütle merkezinde toplandığı varsayımı ile burulma kütlesi göz önüne alınarak yapının dinamik analizi.
 - (c) – Kütlelerin kolon başlarında toplandığı varsayımı ile burulma kütlesi göz önüne alınmadan yapının dinamik analizi.
- Farklı analizler sonucu bulunan kesit tesirlerinin karşılaştırılması, burulma kütlesinin hesaplara katkısının incelenmesi, dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırması.

1.3 Literatür Araştırması

Yapıların burulmalı hesabı oldukça karmaşık olduğu için ancak bazı kabullerle çözümler yapılabilen ve seçilen hesap yöntemine göre sonuçlarda farklılıklar olabilmektedir. Bu nedenle bu konu hakkında çeşitli incelemeler yapılmış ve burulma düzensizliğine sahip yapıların hesabında kullanılan yöntemlerin geçerliliği ile yönetmeliklerde yer alan yaptırımların gerçekçiliği ile ilgili araştırmalar yapılmıştır.

A. M. Chandler, X. N. Duan, A. Rutenberg, [2] burulmalı bir yapı üzerinde, Eurocode 8’de yer alan koşulları dikkate alarak inceleme yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda Eurocode 8’in önerdiği burulma ile ilgili koşulların yetersiz kaldığını savunmuşlar ve daha gerçekçi hesap yöntemlerinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca tek katlı yapılar için, optimum dışmerkezlilik hesabı ile ilgili bir yaklaşım önermişlerdir.

J. Eibl ve E. Keintzel, [3] Eurocode 8’de burulma etkilerinin gözönüne alınması ile ilgili öngörülen formülasyonu irdelenmişlerdir. Çalışmada söz konusu formülasyonun burulma düzensizliğine sahip yapılar için uygun olmadığı ve rijit uç elemanlardaki süneklik oranının gereksiz oranda arttığı belirtilmektedir. Bir, üç ve çok katlı perdeli ve çekirdekli yapılar için elde edilen sayısal sonuçlar irdelenerek yönetmelik koşullarının düzeltilmesi için öneriler verilmiştir.

G. Özmen, E. Orakdoğan, S. Pala ve G. Gülay [4] tarafından burulma düzensizliğine sahip değişik tipteki yapılarda eşdeğer deprem yükü yöntemi ile dinamik analiz sonucu bulunan iç kuvvetler karşılaştırılmıştır. İnceleme sonucu burulma düzensizliği katsayısının 2 değerine ulaşma olasılığının zayıf olduğu, bu nedenle dinamik hesap için konulan bu sınır değerin daha aşağıya çekilmesi önerilmiştir.

2. BURULMA DÜZENSİZLİĞİ İLE İLGİLİ YÖNETMELİK KOŞULLARI

Yönetmeliklerin pek çoğunda düzensiz yapılar için birtakım kısıtlamalar getirilmiştir. Bu bölümde öncelikle Türk Deprem yönetmeliğinde (ABYYHY97) [1] yer alan yapısal düzensizliklerin tanımı ve özellikle planda düzensiz yapılar için getirilen yaptırımlardan bahsedilecek ve ayrıca dünya yönetmeliklerinde burulma düzensizliği için uygulanan yaptırımlar kısaca açıklanacaktır.

2.1 Türk Deprem Yönetmeliği (ABYYHY97)

Yönetmelikte yapısal düzensizlik durumları ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Çeşitli düzensizlik durumları ve bunlarla ilgili yaptırımlar aşağıda açıklanmıştır.

2.1.1 Yapısal Düzensizlikler

2.1.1.1 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 durumudur.

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1,20 \quad (2.1)$$

$$(\Delta_i)_{\text{ort}} = 1/2 ((\Delta_i)_{\max} + (\Delta_i)_{\min}) \quad (2.2)$$

Denklem 2.1'de yer alan η_{bi} burulma düzensizliği katsayısını, $(\Delta_i)_{\max}$ ve $(\Delta_i)_{\min}$ ilgili kattaki maksimum ve minimum görelî kat ötelemesini, $(\Delta_i)_{\text{ort}}$ ise ilgili kattaki ortalama görelî kat ötelemesini göstermektedir.

(A2) – Döşeme Süreksizlikleri:

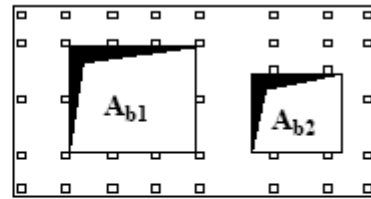
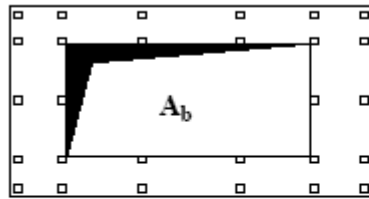
Herhangi bir kattaki döşemede, Şekil 2.1’de gösterilen süreksizliklerin olması durumudur.

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

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

III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması.

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 doğrulanmalıdır.



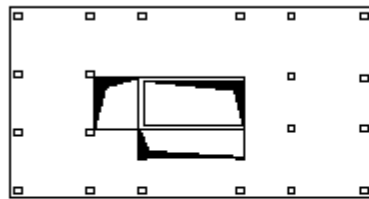
$$A_b = A_{b1} + A_{b2}$$

A2 türü düzensizlik durumu - I

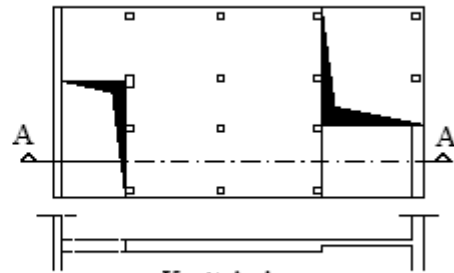
$$A_b / A > 1/3$$

A_b : Boşluk alanları toplamı

A : Brüt kat alanı



A2 türü düzensizlik durumu - II

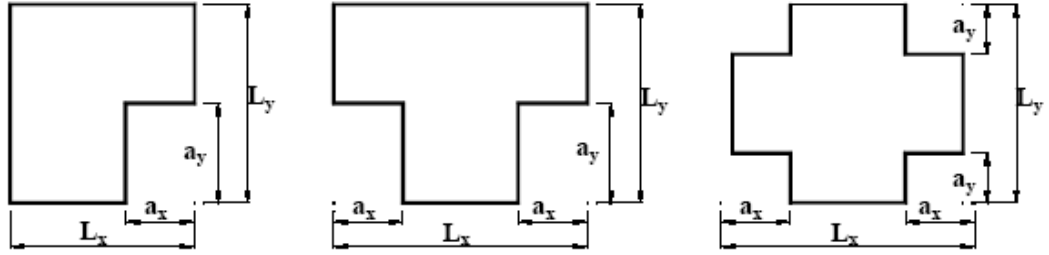


A2 türü düzensizlik durumu - II ve III

Şekil 2.1 A2 Türü Düzensizlikler

(A3) – Planda Çıkıntılar Bulunması:

Şekil 2.2’de gösterildiği gibi bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumudur.



A3 türü düzensizlik durumu:
 $a_x > 0.2 L_x$ ve aynı zamanda $a_y > 0.2 L_y$

Şekil 2.2 A3 Türü Düzensizlikler

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 doğrulanmalıdır.

(A4) – Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması Durumu:

Şekil 2.3’te gösterildiği gibi taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumudur..

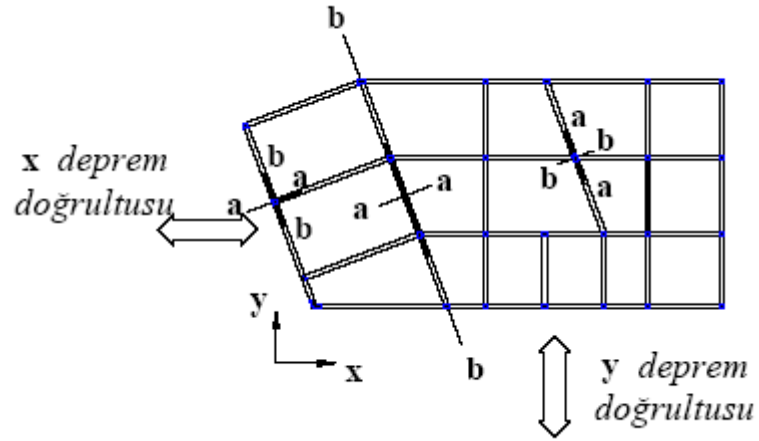
Bu tür düzensizliğin bulunduğu binalarda, taşıyıcı sistem elemanlarının asal eksen doğrultularındaki iç kuvvet büyüklüklerini bulmak için mod birleştirme yöntemi kullanılacaktır. Bu kuvvetler aşağıda verilen bağıntılara göre elde edilecektir:

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad (2.3a)$$

$$B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay} \quad (2.3b)$$

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

Denlem 2.3a’da yer alan, B_a taşıyıcı sistem elemanın a asal eksen doğrultusunda tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğünü, B_{ax} taşıyıcı sistem elemanın a asal eksen doğrultusunda, x eksen doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü, B_{ay} taşıyıcı sistem elemanın a asal eksen doğrultusunda, x eksenine dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğünü göstermektedir.



Şekil 2.3 A4 Türü Düzensizlik

2.1.1.2 Düşey Doğrultuda Düzensizlikler (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 durumudur.

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80 \quad (2.4)$$

Denklem 2.4’te yer alan $(\sum A_e)_i$ herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki etkili kesme alanını ifade etmektedir. Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (2.5)$$

Denklem 2.5’de yer alan, $\sum A_w$ herhangi bir kattaki kolon enkesiti alanlarını, $\sum A_g$ herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanların enkesit alanlarının toplamı, $\sum A_k$ ise herhangi bir katta göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının toplamını göstermektedir.

Bu tür düzensizliğin 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 Tablo 6.5’te verilen 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 arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ayrıca Dayanım Düzensizliği Katsayısı’nın 0.60 ile 0.80 arasında değiştiği katta yer alan bütün kolonların sarılma bölgesine konulan enine donatı, kolon orta bölgesinde de aynen devam ettirilecektir.

(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 durumudur.

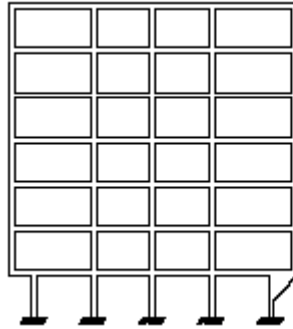
$$\eta_{ki} = (\Delta_i)_{\text{ort}} / (\Delta_{i+1})_{\text{ort}} > 1.5 \quad (2.6)$$

(B3) - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :

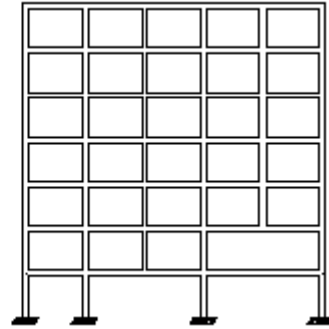
Şekil 2.4’te gösterildiği gibi taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu

Bu tür düzensizliğe sahip binalarda aşağıda verilen koşullara uyulacaktır.

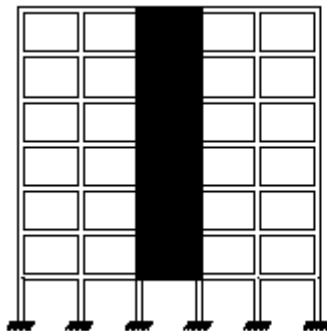
- Bütün deprem bölgelerinde, Şekil 2.4a’da gösterildiği gibi, kolonların binanın herhangi bir katında konsol kirişlerin veya alttaki kolonlarda oluşturulan guselerin üstüne veya ucuna oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.
- Şekil 2.4b’de gösterildiği gibi kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması 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.
- 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 sıklaştırması kolon orta bölgesine kadar aynen devam ettirilecektir. Şekil 2.4c’de bu durum gösterilmiştir.
- Şekil 2.4d’de gösterilen, perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



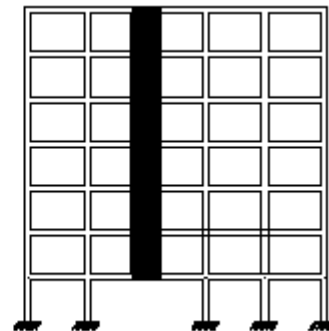
Şekil 2.4.a



Şekil 2.4.b



Şekil 2.4.c



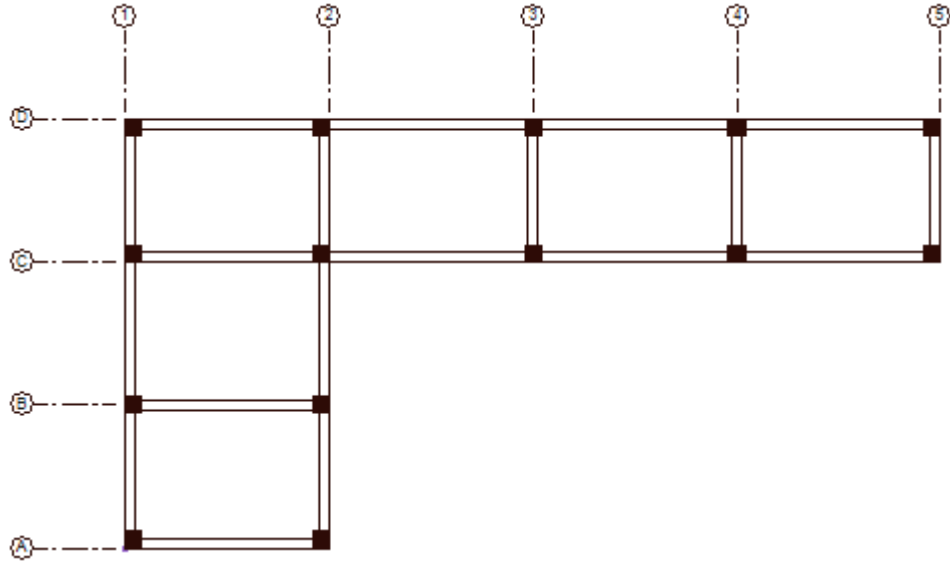
Şekil 2.4.d

2.1.2 Burulma Düzensizliği

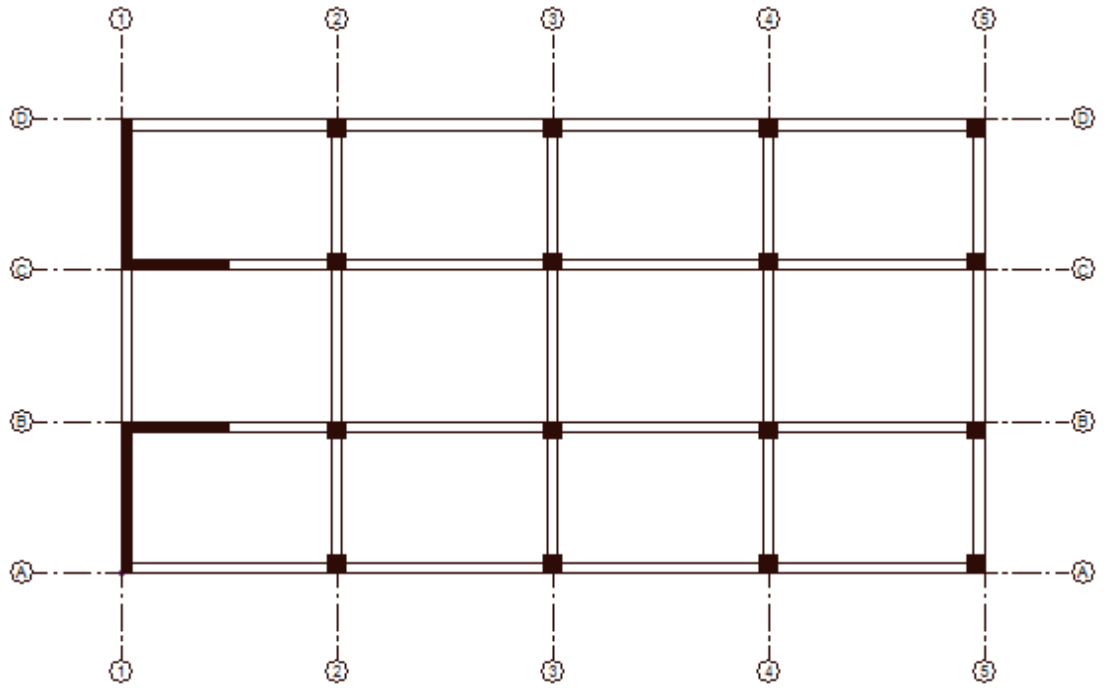
Yapı sistemlerinin yatay yük analizinde, yüklerin etkitildiği kat kütle merkezleri ile yatay yük taşıyan elemanların yatay rijitliklerinin geometrik merkezlerinin çakışmaması sonucu, yapı katlarının düşey eksen etrafında dönmeleri nedeniyle burulma etkileri meydana gelir. Yapıların burulması yatay yük taşıyan elemanlarda ek kesme kuvvetleri ve ek momentler doğmasına neden olur.

[5]'de yapılan incelemelere göre burulma düzensizliğine sahip yapıların 4 sınıfa ayrılabilirdiği gözlenmiştir:

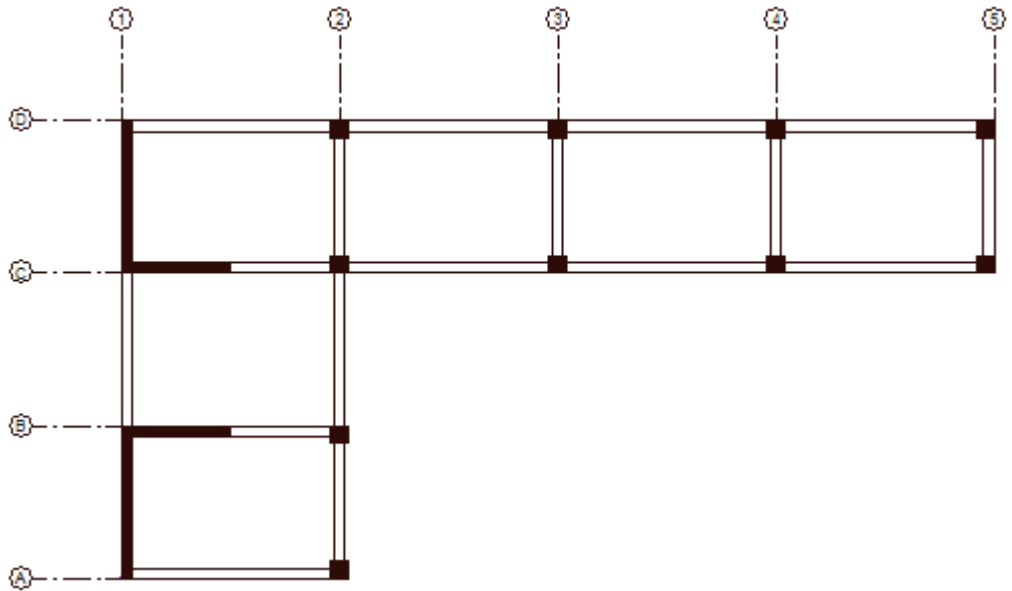
1. Geometrik bakımdan düzensiz olan yapılar.
2. Rijitlik dağılımı bakımından düzensiz olan yapılar.
3. Geometri ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz yapılar.
4. Gizli burulma düzensizliği olan yapılar.



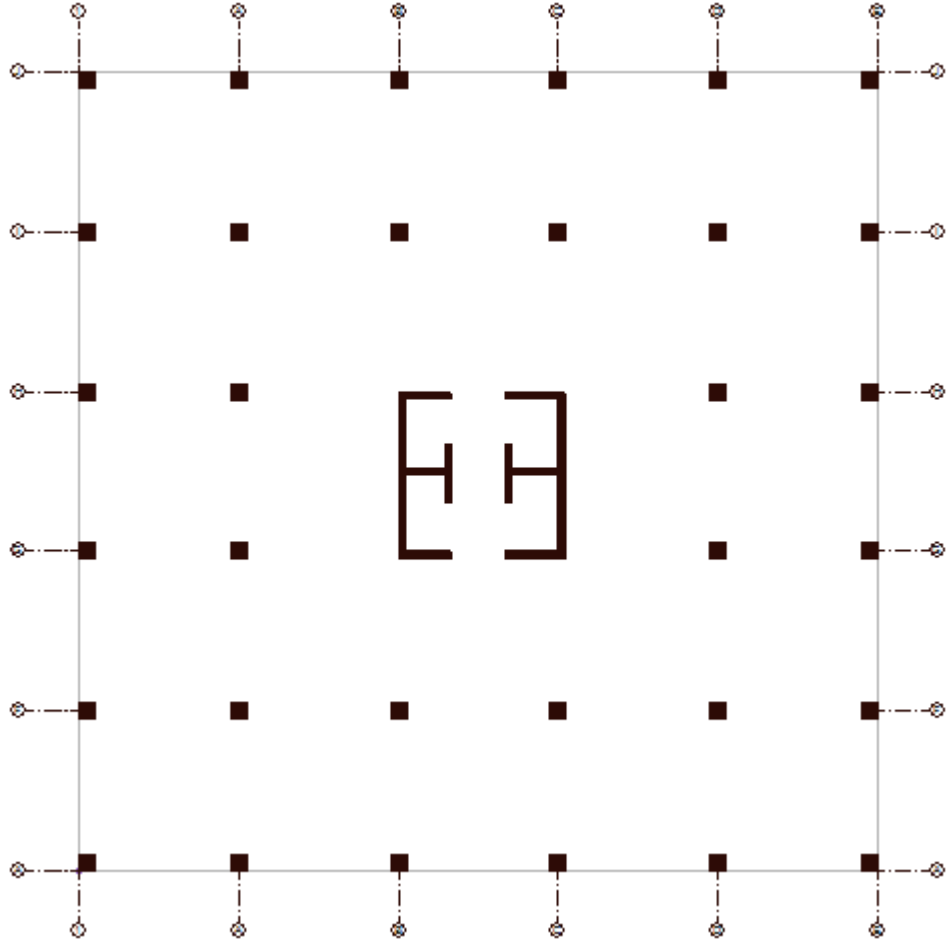
Şekil 2.5 Geometrik bakımdan düzensiz bir yapı



Şekil 2.6 Rijitlik dağılımı bakımından düzensiz bir yapı



Şekil 2.7 Geometri ve rijitlik dağılımı bakımından düzensiz bir yapı



Şekil 2.8 Gizli burulma düzensizliği olan bir yapı.

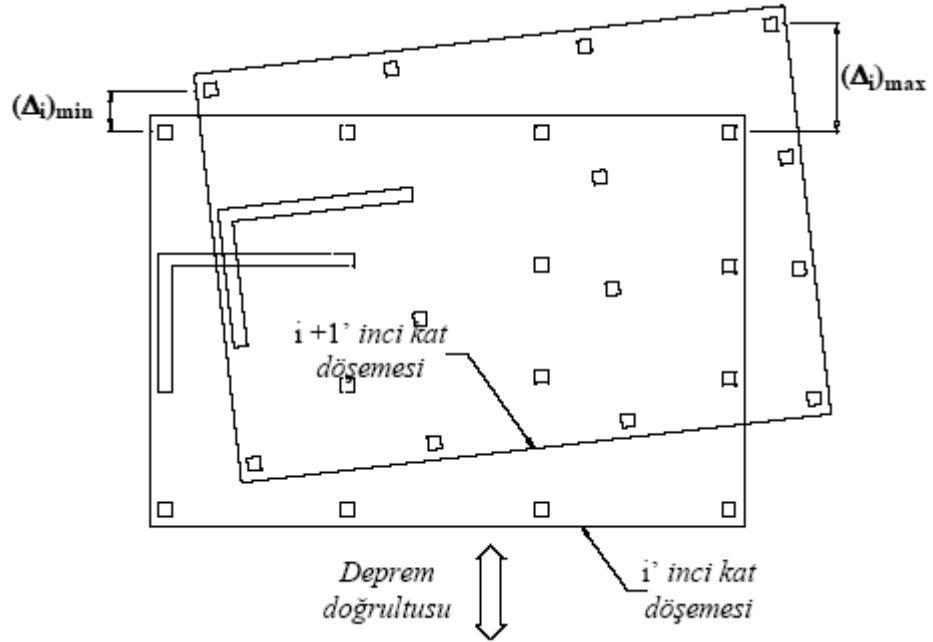
Burulma yapan planda düzensiz yapıların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile kat burulma momentlerinin hesaplanmasında iki ayrı yaklaşım ve bu yaklaşımlar doğrultusunda iki ayrı dışmerkezlik tanımı kullanılmaktadır.

- Birinci yaklaşımda, her katta yatay deprem yükü ile kat dış merkezliği çarpılarak meydana gelen tekil burulma momentleri bulunur. Herhangi bir katın burulma momenti, o katın üstündeki bütün katlardaki tekil burulma momentleri toplanarak hesaplanır. Bu yaklaşımda, kat dışmerkezliği o katın rijitlik merkezi ile yükün etkidiği kütle merkezi arasındaki uzaklıktır.

- İkinci yaklaşımda, herhangi bir katın burulma momenti doğrudan kat kesme kuvveti ile o seviyedeki dışmerkezlik çarpılarak bulunur. Bu yaklaşımda ise dışmerkezlik, kat kayma merkezi ile o katın üstündeki bütün yüklerin ağırlık merkezi arasındaki mesafe olarak tanımlanır.

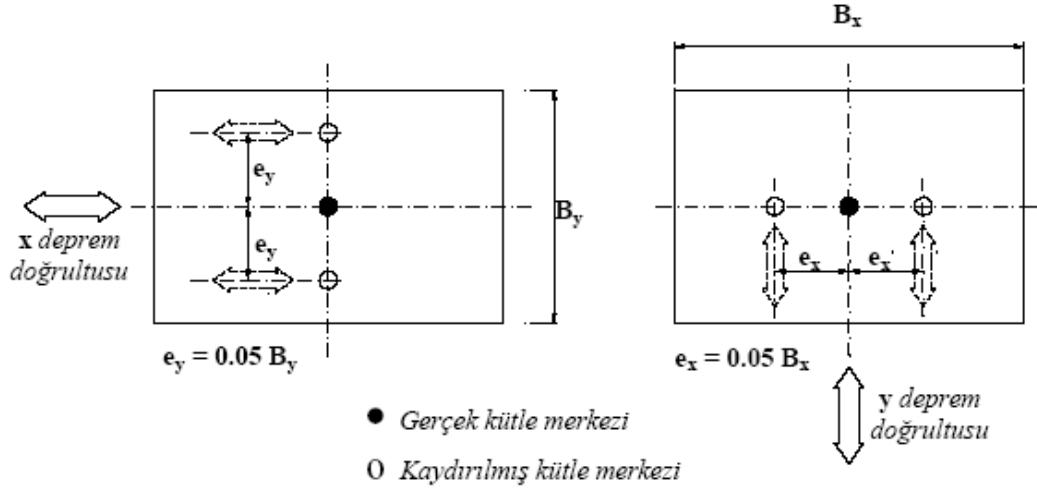
İki yaklaşım arasında elde edilen sonuçlar açısından bir fark olmamasına karşın tanımlanan dışmerkezlilikler tamamen farklıdır. Yönetmeliklerde de bu yaklaşımlara yönlendirme açısından farklar vardır. Avustralya, Mısır, İran, Yeni Zellanda, Almanya, Portekiz gibi ülkeler birinci yaklaşımı; Kanada, Yugoslavya, Arjantin, Peru, Şili gibi ülkeler ikinci yaklaşımı önermektedir. Amerika’da kullanılan UBC’de [6] ikinci yaklaşım, NEHRP’de [7] ikinci yaklaşım, Avrupa yönetmeliği Eurocode 8’de [8] ise birinci yaklaşım yer almaktadır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik 97’ye göre maksimum ve minumum görelî kat ötelemelerine bağılı olarak burulma düzensizliğı (η_{bi}) katsayısı hesaplanır. Döşemelerin kendi düzlemleri içerisinde sonsuz rijit çalıştığı kabul edilirse Şekil 2.9’teki gibi maksimum ve minumum ötelemeler yapının uç noktalarında oluşur.



Şekil 2.9 Burulma Düzensizliğı [$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{\text{ort}} > 1,20$]

Burulma düzensizliğı katsayısı η_{bi} hesaplanırken yatay yükler kaydırılmış kat kütle merkezlerine etki ettirilir. Kaydırılmış kütle merkezi gerçek kütle merkezinin göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik plandaki kat boyutunun $\pm \%5$ kadar kaydırılmasıyla bulunur.



Şekil 2.10 Kaydırılmış kütle merkezleri

Yönetmeliğe göre;

- Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 1,20 değerinden küçük ise, burulma etkilerinin yapı davranışına etkisi ihmal edilir.
- Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} 1,20 ile 2,0 değerleri arasında ise, yatay yükler arttırılmış ek dışmerkezliklere göre bulunan kütle merkezlerine uygulanır. Arttırılmış ek dışmerkezlikler %5 eksantriste değerinin denklem 2.7 ile verilen büyütme katsayısı ile çarpılması ile bulunur.

$$D_i = (\eta_{bi} / 1.2)^2 \quad (2.7)$$

Denklem 2.7’de yer alan D_i büyütme katsayısını göstermektedir.

- Burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} ‘nin 2’den büyük olması durumunda üç boyutlu dinamik hesap yapılmalıdır.

2.1.3 Dünya Deprem Yönetmeliklerinde Burulma Etkisi

- Amerika (U.B.C.)
UBC’de yer alan yaptırımlar ile ABYYHY97’deki yaptırımlar hemen hemen aynıdır. Yalnız dışmerkezliklerin hesabını görelî kat ötelemelerine göre değil mutlak kat ötelenmelerine göre yapılmasını öngörmektedir. Ayrıca $\eta_{bi} > 2$ ise döşemelerin rijit diyafram hareketi yapmadığı kabulü ile hesap yapılmaktadır.
- Eurocode 8
İki yöntem önerilmiştir. Kütle merkezini ek dışmerkezlik vererek kaydırmak yada iç kuvvetleri bir büyültme katsayısı ile arttırmak.
- NEHRP
Eksantristenin %10’u aşmaması istenmektedir. Planda Düzensiz yapılar için üç boyutlu analiz öngörmektedir.
- Kanada
Dinamik hesap önerilmektedir.
- İsviçre
Dışmerkezlik %20’den fazla ise üç boyutlu dinamik analiz yapılmasını şart koşulmaktadır.
- Meksika
%10’dan fazla dış merkezliğe izin verilmemektedir.
- Çin
Planda ve düşeyde düzensiz yapılar için dinamik hesap önerilmektedir.
- Bulgaristan
10 m’den yüksek planda düzensiz yapılar için dilatasyon yapılması istenmektedir.
- Avustralya
Burulma etkisini hesaba katmak için deprem yüklerinin %25 arttırılması önerilmektedir.
- Fransa:
Düzensizliğe sahip yapılarda özel hesap önerilmekte olup basitleştirilmiş yöntemlere izin verilmemektedir.

- Hindistan:
Burulmalı yapılar için üç boyutlu modal analiz önerilmektedir.
- Portekiz:
%15'ten büyük eksantristeye izin vermemektedir.
- Mısır:
Beş kattan daha yüksek burulmalı yapılarda modal analiz önerilmektedir.

4. SAYISAL ÖRNEKLER

4.1. Örnek Yapı Sistemleri ve Hesap Modeli

Tüm örneklerde binalar 10 katlı olup yükseklikleri 31 metredir. En alt katta kat yüksekliği 4 m. üst katlarda 3m.'dir. Yapılar ikinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Zemin sınıfı Z2 olarak seçilmiştir. Yapı önem katsayısı $I = 1$ olarak alınmıştır. Beton elastisite modülü $E = 30000000 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Perde kalınlıkları 25 cm. , kirişlerin boyutu 25x50 olarak seçilmiştir. Çevre kirişlerin üzerinde, en üst kat kirişleri hariç, 4 kN/m duvar yükü bulunmaktadır. Döşemeler 12 cm. kalınlığa sahip olup üzerindeki yükler ise; $g = 4,5 \text{ kN/m}^2$, $q = 2 \text{ kN/m}^2$ 'dir. En üst katta $q = 1 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Kolon boyutları ise Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Yapıların süneklik düzeyi karma olarak alınmıştır.

Tablo 4.1 Örnek Yapılara Ait Kolon Boyutları (cm×cm)

Kat	S1	S2	S3
10-9	30×30	30×30	30×30
8-7	30×30	30×40	40×40
6-5	30×40	30×45	45×45
4-3	30×45	30×55	45×60
2-1	30×55	30×70	45×70

Yapı sistemlerinin hesabında SAP2000 [9] Yapı Analizi Programı kullanılmıştır. Sayısal örneklerin hesabında izlenen yol:

- Her kata gelen eşdeğer deprem yükleri bulunarak, %5 dışmerkezliğe göre bulunan kaydırılmış kütle merkezlerine uygulanarak iç kuvvetler ve yer değiştirmeler hesaplanmıştır.
- Daha sonra α_M kontrolü yapılarak burulma düzensizliği katsayıları bulunmuştur.
- %5 dışmerkezlikler büyütme katsayısı ile çarpılarak arttırılmış ek dış merkezlikler hesaplanmıştır.

- Kütle merkezleri arttırılmış ek dışmerkezlilikler kadar kaydırılarak deprem yükleri etkililip bu yeni durum için iç kuvvetler tekrar hesaplanmıştır.
- Dinamik analiz Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılmıştır:
 - (a) Kütleler kat kütle merkezinde toplanmış. Burulma kütsesiz.
 - (b) Kütleler kat kütle merkezinde toplanmış. Burulma kütleli.
 - (c) Kütleler kolon başlarında toplanmış.

4.2 Örnek Yapı 1A

Örnek Yapı 1A'ya ait kat planı Şekil 4.1'de görölmektedir.Yapının karakteristikleri ve toplam deprem yükü Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Örnek Yapı 1A'ya ait Veriler

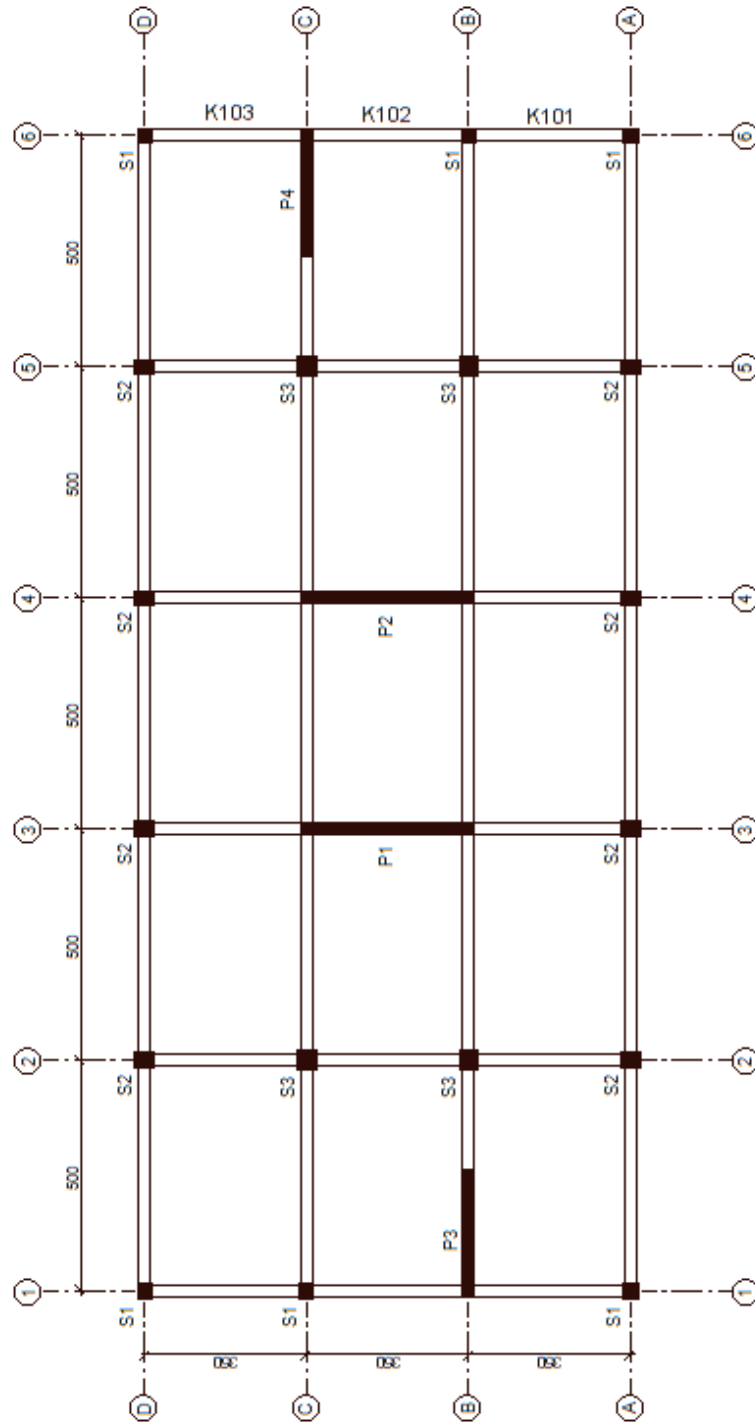
Yapı toplam yüksekliği	H_N (m)	31
Yapı önem katsayısı	I	1
Deprem bölgesi		2
Süneklik düzeyi	Karma	
Zemin sınıfı	Z2	
Spektrum karakteristik periyotları	T_A (sn)	0,15
	T_B (sn)	0,40
Spektrum katsayısı	$S(T)_x$	1,0951
	$S(T)_y$	1,2180
Spektral ivme katsayısı	$A(T)_x$	0,3285
	$A(T)_y$	0,3654
Etkin yer ivmesi	A_0	0,30
Eşdeğer deprem yükü	V_{t_x} (kN)	1130,26
	V_{t_y} (kN)	1257,11
Tepe kuvveti	ΔF_{N_x} (kN)	88,81
	ΔF_{N_y} (kN)	86,48
Katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü	$V_{tx} = V_{t_x} + \Delta F_{N_x}$	1219,07
	$V_{ty} = V_{t_y} + \Delta F_{N_y}$	1343,59

4.2.1 Kat Ağırlıkları

Örnek 1A'nın toplam yapı ağırlığı kat kütleleri ve kat burulma kütleleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3 Örnek 1A Kat kütleleri

Kat No	W	Mi	Mr
1	2698,19	275,04	16852,21
2	2518,69	256,75	15731,10
3	2464,69	251,24	15393,83
4	2464,69	251,24	15393,83
5	2419,69	246,66	15112,77
6	2419,69	246,66	15112,77
7	2384,44	243,06	14892,61
8	2384,44	243,06	14892,61
9	2345,44	239,09	14649,02
10	1982,69	202,11	12383,38
Toplam	24082,63		



Şekil 4.1 Örnek Yapı 1A

4.2.2 Eşdeğer Deprem Yükleri

Katlara gelen Eşdeğer Deprem Yükleri'nden x doğrultusundakiler Tablo 4.4'de, y doğrultusundakiler Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 Örnek 1A x Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri

i	Wi (kN)	Hi (m)	wi.Hi (kNm)	$\frac{V_t - \Delta F_N}{\sum w_i . H_i}$	Fx (kN)	Vt (kN)
10	1982,6875	31	61463,31	0,0027634	258,66	258,66
9	2345,4375	28	65672,25	0,0027634	181,48	440,14
8	2384,4375	25	59610,94	0,0027634	164,73	604,87
7	2384,4375	22	52457,63	0,0027634	144,96	749,84
6	2419,6875	19	45974,06	0,0027634	127,05	876,88
5	2419,6875	16	38715,00	0,0027634	106,99	983,87
4	2464,6875	13	32040,94	0,0027634	88,54	1072,41
3	2464,6875	10	24646,88	0,0027634	68,11	1140,52
2	2518,6875	7	17630,81	0,0027634	48,72	1189,24
1	2698,1875	4	10792,75	0,0027634	29,83	1219,07

Tablo 4.5 Örnek 1A y Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri

i	Wi (kN)	Hi (m)	wi.Hi (kNm)	$\frac{V_t - \Delta F_N}{\sum w_i . H_i}$	Fy (kN)	Vt (kN)
10	1982,69	31	61463,31	0,0030736	275,39	275,39
9	2345,44	28	65672,25	0,0030736	201,85	477,24
8	2384,44	25	59610,94	0,0030736	183,22	660,46
7	2384,44	22	52457,63	0,0030736	161,23	821,69
6	2419,69	19	45974,06	0,0030736	141,31	963,00
5	2419,69	16	38715,00	0,0030736	118,99	1081,99
4	2464,69	13	32040,94	0,0030736	98,48	1180,47
3	2464,69	10	24646,88	0,0030736	75,75	1256,23
2	2518,69	7	17630,81	0,0030736	54,19	1310,42
1	2698,19	4	10792,75	0,0030736	33,17	1343,59

Her kata gelen deprem yükleri %5 dışmerkezliğe göre kaydırılmış kütle merkezlerine etki ettirilip, bulunan sonuçlara göre α_M kontrolü yapılmıştır. Burulma düzensizliği katsayıları bulunarak arttırılmış ek dışmerkezlikler hesaplanmıştır. Tablo 4.6'da α_M kontrolü, Tablo 4.7'de burulma düzensizliği katsayıları ve arttırılmış ek dışmerkezlikler gösterilmiştir.

4.2.3 α_M Kontrolü

M : Perde deprem momenti (kNm)

M_k : Perdelerde; bağlı olduğu kirişlerin deprem momentlerinin toplamı (kNm)

M_d : Taban Devrilme Momenti (kNm)

Tablo 4.6 Örnek 1A α_M Kontrolü

Perde	M _x	M _{xk}	M _x +M _{xk}	M _y	M _{yk}	M _y +M _{yk}
P1	2574,98	1316,71	3891,69	15,92	617,65	633,57
P2	2672,82	1349,30	4022,12	44,35	1096,11	1140,46
P3	60,20	1964,22	2024,42	3088,03	1876,89	4964,92
P4	60,20	1966,43	2026,63	3750,36	2123,30	5873,66
Toplam			11964,86			12612,61

X Doğrultusunda :

$$\begin{aligned} M_d = \sum F_i \cdot h_i &= 258,66 \cdot 31 + 181,48 \cdot 28 + 164,73 \cdot 25 + 144,96 \cdot 22 + 127,05 \cdot 19 \\ &\quad + 106,99 \cdot 16 + 88,54 \cdot 13 + 68,11 \cdot 10 + 48,72 \cdot 7 + 29,07 \cdot 4 \\ &= 26825,62 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha_M = 11964,84 / 26825,62 = 0,45$$

Y Doğrultusunda :

$$\begin{aligned} M_d = \sum F_i \cdot h_i &= 275,39 \cdot 31 + 201,39 \cdot 28 + 183,22 \cdot 25 + 161,23 \cdot 22 + 141,31 \cdot 19 \\ &\quad + 118,99 \cdot 16 + 98,48 \cdot 13 + 75,75 \cdot 10 + 54,19 \cdot 7 + 33,17 \cdot 4 \\ &= 29455,06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha_M = 12612,61 / 29455,06 = 0,43$$

$$R = 4 + 3 \cdot \alpha_M = 4 + 3 \cdot 0,43 = 5,29 \text{ olmalı.}$$

Analiz sonuçları $R_{\text{eski}} / R_{\text{yeni}}$ oranıyla çarpılarak düzeltilmiştir.

$$R_{\text{eski}} / R_{\text{yeni}} = 7 / 5,29 = 1,323$$

4.2.4 Burulma Düzensizliği Katsayıları (η_{bi})

Tablo 4.7 Örnek 1A Burulma Düzensizliği Katsayıları

KAT	Δ_{imin} (m)	Δ_{imax} (m)	Δ_{iort} (m)	$\Delta_{imax}/\Delta_{iort}$	ϵ (%)
10	0,001985	0,002911	0,0024481	1,19	4,91
9	0,001888	0,003176	0,0025321	1,25	5,46
8	0,001948	0,003308	0,0026281	1,26	5,50
7	0,001974	0,003705	0,0028398	1,30	5,91
6	0,002010	0,003573	0,0027915	1,28	5,69
5	0,001952	0,003647	0,0027994	1,30	5,89
4	0,001817	0,003393	0,0026049	1,30	5,89
3	0,001581	0,003159	0,0023700	1,33	6,17
2	0,001210	0,002571	0,0018905	1,36	6,42
1	0,000705	0,002051	0,0013780	1,49	7,69

4.2.5 İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması

Tablo 4.8 Örnek 1A P1 Perdesi Uç Kuvvetleri

Kat No		Momentler (kNm)				Kesme Kuvvetleri (kN)			
		eşdeğer	a	b	c	eşdeğer	a	b	c
1	i	5016,98	4720,93	4720,91	4720,91	771,26	722,95	722,94	722,95
	j	1931,94	1885,3	1885,33	1885,32				
2	i	2471,60	2390,88	2390,91	2390,9	446,24	467,95	467,98	467,96
	j	1132,88	1148,86	1148,93	1148,91				
3	i	1824,77	1757,48	1757,51	1757,51	474,85	478,59	478,54	478,57
	j	400,23	779,79	779,59	779,71				
4	i	1143,53	1240,28	1240,2	1240,25	321,28	332,92	332,94	332,96
	j	179,68	854,22	854,18	854,21				
5	i	925,66	1173,17	1173,13	1173,09	398,75	379,49	379,51	379,45
	j	-270,60	901,74	901,93	901,78				
6	i	430,58	980,27	980,43	980,32	268,91	275,42	275,44	275,43
	j	-376,14	848,75	848,62	848,64				
7	i	275,66	870,38	870,2	870,26	314,35	316,18	316,17	316,17
	j	-667,38	809,53	809,34	809,43				
8	i	-84,92	634,76	634,48	634,62	185,30	227,51	227,31	227,38
	j	-640,81	672,93	673,03	672,88				
9	i	-151,57	412,26	412,74	412,46	177,07	217,14	217,3	217,21
	j	-682,78	660,46	660,43	660,38				
10	i	-292,52	304,69	304,64	304,64	5,82	63,72	63,71	63,75
	j	-309,99	308,94	308,95	308,95				

Tablo 4.9 Örnek 1A P2 Perdesi Uç Kuvvetleri

Kat No		Momentler (kNm)				Kesme Kuvvetleri (kN)			
		eşdeğer	a	b	c	eşdeğer	a	b	c
1	i	4030,21	4720,91	4720,9	4720,92	561,20	722,95	722,94	722,95
	j	1785,41	1885,33	1885,32	1885,32				
2	i	2224,95	2390,91	2390,9	2390,9	388,34	467,96	467,95	467,97
	j	1059,93	1148,91	1148,89	1148,89				
3	i	1640,63	1757,51	1757,51	1757,49	400,56	478,57	478,6	478,58
	j	438,95	779,71	779,82	779,7				
4	i	1071,81	1240,25	1240,31	1240,22	294,88	332,94	332,94	332,91
	j	187,17	854,22	854,29	854,24				
5	i	826,86	1173,15	1173,19	1173,18	335,30	379,49	379,49	379,53
	j	-179,04	901,78	901,6	901,81				
6	i	424,16	980,3	980,12	980,28	250,67	275,42	275,41	275,4
	j	-327,84	848,64	848,65	848,65				
7	i	233,48	870,25	870,24	870,26	247,83	316,17	316,14	316,14
	j	-510,02	809,44	809,56	809,36				
8	i	-6,82	634,63	634,82	634,61	160,55	227,41	227,45	227,42
	j	-488,46	672,99	672,93	672,93				
9	i	-60,40	412,52	412,45	412,48	149,79	217,2	217,2	217,2
	j	-509,79	660,42	660,4	660,36				
10	i	-161,56	304,68	304,64	304,61	39,39	63,76	63,73	63,75
	j	-279,73	308,95	308,95	308,95				

Tablo 4.10 Örnek 1A 6 Aksındaki Kirişlerin Momentleri

Kat No		K100			K101			K102		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	i	51.99	51.99	51.99	45.31	45.31	45.31	56.33	56.33	56.33
	j	58.61	58.60	58.61	47.02	47.02	47.02	47.42	47.42	47.42
2	i	61.00	61.00	61.00	63.24	63.24	63.24	69.19	69.19	69.19
	j	69.93	69.93	69.93	60.55	60.55	60.55	63.04	63.04	63.04
3	i	58.08	58.08	58.08	69.70	69.70	69.70	70.68	70.68	70.68
	j	70.10	70.11	70.10	62.07	62.08	62.07	66.93	66.93	66.93
4	i	55.15	55.15	55.15	73.05	73.05	73.05	69.18	69.18	69.18
	j	68.64	68.64	68.64	62.21	62.21	62.21	67.36	67.36	67.36
5	i	50.18	50.18	50.18	73.47	73.47	73.47	65.35	65.35	65.35
	j	64.99	64.99	64.99	59.47	59.47	59.47	65.38	65.38	65.38
6	i	37.03	37.03	37.03	70.40	70.39	70.39	54.48	54.48	54.48
	j	53.06	53.06	53.05	50.54	50.54	50.54	60.22	60.22	60.22
7	i	20.55	20.55	20.55	65.59	65.59	65.58	39.42	39.42	39.42
	j	37.33	37.33	37.33	38.92	38.92	38.92	52.87	52.87	52.87
8	i	20.34	20.34	20.34	61.76	61.76	61.77	37.03	37.03	37.03
	j	36.10	36.09	36.10	36.88	36.88	36.88	48.14	48.14	48.14
9	i	18.89	18.89	18.89	59.42	59.43	59.43	34.01	34.01	34.01
	j	34.18	34.18	34.18	34.86	34.86	34.87	44.97	44.97	44.97
10	i	6.64	6.64	6.64	39.45	39.45	39.45	17.16	17.16	17.16
	j	18.27	18.27	18.27	20.61	20.62	20.62	22.99	22.99	22.99

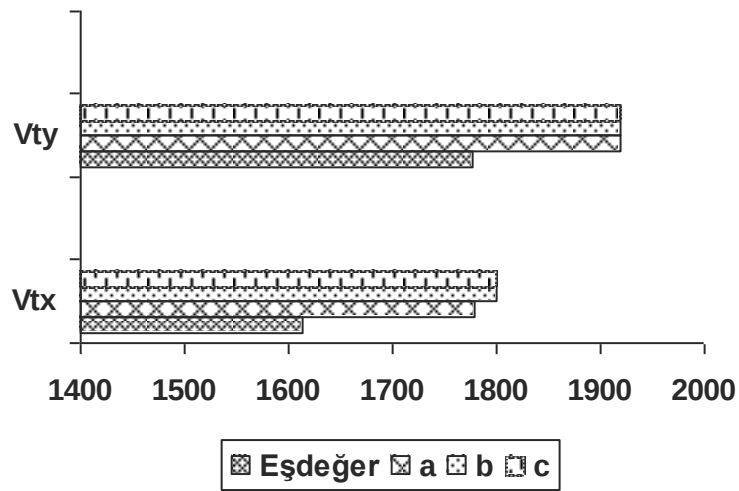
Tablo 4.11 Örnek 1A 6 Aksındaki Kirişlerin Kesme Kuvvetleri

Kat No		K100			K101			K102		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	i	31.60	31.60	31.60	26.38	26.38	26.38	29.64	29.64	29.64
	j	31.60	31.60	31.60	26.38	26.38	26.38	29.64	29.64	29.64
2	i	37.41	37.41	37.41	35.37	35.37	35.37	37.78	37.78	37.78
	j	37.41	37.41	37.41	35.37	35.37	35.37	37.78	37.78	37.78
3	i	36.63	36.63	36.62	37.65	37.65	37.65	39.32	39.32	39.32
	j	36.63	36.63	36.62	37.65	37.65	37.65	39.32	39.32	39.32
4	i	35.37	35.37	35.37	38.65	38.65	38.65	39.01	39.01	39.01
	j	35.37	35.37	35.37	38.65	38.65	38.65	39.01	39.01	39.01
5	i	32.91	32.91	32.91	37.98	37.98	37.98	37.35	37.35	37.35
	j	32.91	32.91	32.91	37.98	37.98	37.98	37.35	37.35	37.35
6	i	25.74	25.74	25.74	34.55	34.55	34.55	32.77	32.77	32.77
	j	25.74	25.74	25.74	34.55	34.55	34.55	32.77	32.77	32.77
7	i	16.53	16.53	16.53	29.86	29.86	29.86	26.37	26.37	26.37
	j	16.53	16.53	16.53	29.86	29.86	29.86	26.37	26.37	26.37
8	i	16.12	16.12	16.12	28.18	28.18	28.18	24.33	24.33	24.33
	j	16.12	16.12	16.12	28.18	28.18	28.18	24.33	24.33	24.33
9	i	15.16	15.16	15.16	26.94	26.94	26.94	22.56	22.57	22.57
	j	15.16	15.16	15.16	26.94	26.94	26.94	22.56	22.57	22.57
10	i	7.10	7.10	7.10	17.16	17.16	17.16	11.47	11.47	11.47
	j	7.10	7.10	7.10	17.16	17.16	17.16	11.47	11.47	11.47

4.2.6 Yatay yüklerin karşılaştırılması

Tablo 4.12 Örnek 1A Taban Kesme Kuvvetleri

	Vtx (kN)	Vty (kN)
eşdeğer	1612,83	1777,57
a	1778,08	1919,44
b	1800,38	1919,40
c	1800,40	1919,41



Şekil 4.2 Örnek 1A Taban Kesme Kuvvetleri

Şekil 4.2’de gösterildiği gibi en olumsuz sonuçlar her iki doğrultuda da dinamik analiz sonucu elde edilmiştir. Kütlelerin kat kütle merkezinde toplandığı burulma kütsüz dinamik analiz(a) ile burulma kütleli dinamik analiz(b) ve de kütlelerin kolon başlarında toplandığı burulma kütsüz dinamik analiz(c) sonucunda elde edilen taban kesme kuvvetleri her iki doğrultuda da birbirine çok yakın değerler almaktadır.

4.3 Örnek Yapı 1B

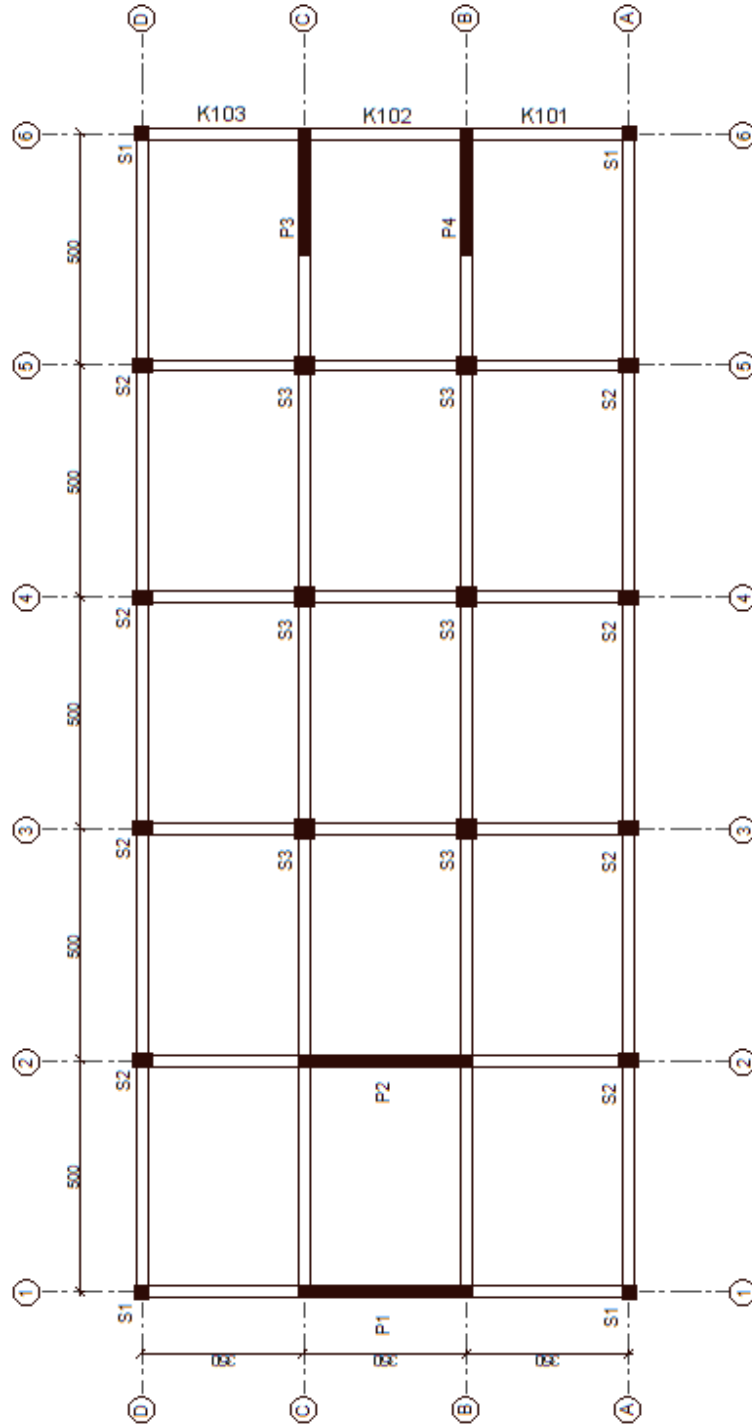
Tablo 4.13 Örnek Yapı 1B'ye ait Veriler

Yapı toplam yüksekliği	H_N (m)	31
Yapı önem katsayısı	I	1
Deprem bölgesi		2
Süneklik düzeyi	Karma	
Zemin sınıfı	Z2	
Spektrum karakteristik periyotları	T_A (sn)	0,15
	T_B (sn)	0,40
Spektrum katsayısı	$S(T)_x$	1,1007
	$S(T)_y$	1,1165
Spektral ivme katsayısı	$A(T)_x$	0,3302
	$A(T)_y$	0,3350
Etkin yer ivmesi	A_0	0,30
Eşdeğer deprem yükü	V_{t_x} (kN)	1137,31
	V_{t_y} (kN)	1153,63
Tepe kuvveti	ΔF_{N_x} (kN)	88,79
	ΔF_{N_y} (kN)	88,47
Katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü	$V_{tx} = V_{t_x} + \Delta F_{N_x}$	1226,10
	$V_{ty} = V_{t_y} + \Delta F_{N_y}$	1242,10

4.3.1 Kat Ağırlıkları :

Tablo 4.14 Örnek 1B Kat kütleleri

Kat No	W	Mi	Mr
1	2714,19	276,6756	16952,14
2	2527,19	257,6134	15784,19
3	2470,94	251,8795	15432,86
4	2470,94	251,8795	15432,86
5	2418,06	246,4896	15102,62
6	2418,06	246,4896	15102,62
7	2380,94	242,7051	14870,75
8	2380,94	242,7051	14870,75
9	2331,44	237,6593	14561,58
10	1996,69	203,5359	12470,82
Toplam:	24109,38		



Şekil 4.3 Örnek Yapı 1B

4.3.2 Eşdeğer Deprem Yükleri

Tablo 4.15 Örnek 1B x Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri

i	Wi (kN)	Hi (m)	wi.Hi (kNm)	$\frac{V_t - \Delta F_N}{\sum w_i . H_i}$	Fx (kN)	Vt (kN)
10	1996,69	31	61897,31	0,0027801	260,87	260,87
9	2331,44	28	65280,25	0,0027801	181,48	442,35
8	2380,94	25	59523,44	0,0027801	165,48	607,83
7	2380,94	22	52380,63	0,0027801	145,62	753,46
6	2418,06	19	45943,19	0,0027801	127,73	881,18
5	2418,06	16	38689,00	0,0027801	107,56	988,74
4	2470,94	13	32122,19	0,0027801	89,30	1078,04
3	2470,94	10	24709,38	0,0027801	68,69	1146,74
2	2527,19	7	17690,31	0,0027801	49,18	1195,92
1	2714,19	4	10856,75	0,0027801	30,18	1226,10

Tablo 4.16 Örnek 1B y Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri

i	Wi (kN)	Hi (m)	wi.Hi (kNm)	$\frac{V_t - \Delta F_N}{\sum w_i . H_i}$	Fy (kN)	Vt (kN)
10	1996,69	31	61897,31	0,0028200	263,02	263,02
9	2331,44	28	65280,25	0,0028200	184,09	447,11
8	2380,94	25	59523,44	0,0028200	167,85	614,96
7	2380,94	22	52380,63	0,0028200	147,71	762,67
6	2418,06	19	45943,19	0,0028200	129,56	892,23
5	2418,06	16	38689,00	0,0028200	109,10	1001,33
4	2470,94	13	32122,19	0,0028200	90,58	1091,92
3	2470,94	10	24709,38	0,0028200	69,68	1161,60
2	2527,19	7	17690,31	0,0028200	49,89	1211,48
1	2714,19	4	10856,75	0,0028200	30,62	1242,10

4.3.3 α_M Kontrolü

M : Perde deprem momenti (kNm)

M_k : Perdelerde; bağlı olduğu kirişlerin deprem momentlerinin toplamı (kNm)

M_d : Taban Devrilme Momenti (kNm)

Tablo 4.17 Örnek 1B α_M Kontrolü

Perde	M _x	M _{xk}	M _x +M _{xk}	M _y	M _{yk}	M _y +M _{yk}
P101	2618,86	1252,98	3871,84	73,06	1178,43	1251,49
P102	2562,41	1225,63	3788,04	73,06	1591,56	1664,62
P103	50,90	1152,23	1203,13	1638,10	1682,00	3320,10
P104	60,50	1918,03	1978,53	2897,45	1191,04	4088,49
Toplam			10841,54			10324,70

X Doğrultusunda :

$$\begin{aligned} M_d &= \sum F_i \cdot h_i = 260,87 \cdot 31 + 181,48 \cdot 28 + 165,48 \cdot 25 + 145,62 \cdot 22 + 127,73 \cdot 19 \\ &\quad + 107,56 \cdot 16 + 89,30 \cdot 13 + 68,69 \cdot 10 + 49,18 \cdot 7 + 30,18 \cdot 4 \\ &= 26969,80 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha_M = 10841,54 / 26969,80 = 0,40$$

Y Doğrultusunda :

$$\begin{aligned} M_d &= \sum F_i \cdot h_i = 263,02 \cdot 31 + 184,09 \cdot 28 + 167,85 \cdot 25 + 147,71 \cdot 22 + 129,56 \cdot 19 \\ &\quad + 109,10 \cdot 16 + 90,58 \cdot 13 + 69,68 \cdot 10 + 49,89 \cdot 7 + 30,62 \cdot 4 \\ &= 27907,39 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha_M = 10324,70 / 27307,39 = 0,40$$

$$R = 4 + 3 \cdot \alpha_M = 4 + 3 \cdot 0,40 = 5,2$$

Analiz sonuçları $R_{\text{eski}} / R_{\text{yeni}}$ oranıyla çarpılarak düzeltilmiştir.

$$R_{\text{eski}} / R_{\text{yeni}} = 7 / 5,2 = 1,346$$

4.3.4 Burulma Düzensizliği Katsayıları (η_{bi})

Tablo 4.18 Örnek 1B Burulma Düzensizliği Katsayıları

KAT	Δ_{min} (m)	Δ_{max} (m)	Δ_{iort} (m)	$\Delta_{\text{max}}/\Delta_{\text{iort}}$	ε (%)
10	0,00142	0,00296	0,002191	1,35	6,34
9	0,00139	0,00390	0,002645	1,48	7,56
8	0,00140	0,00417	0,002786	1,50	7,79
7	0,00136	0,00485	0,003105	1,56	8,46
6	0,00134	0,00471	0,003024	1,56	8,43
5	0,00125	0,00498	0,003114	1,60	8,88
4	0,00113	0,00457	0,002852	1,60	8,93
3	0,00092	0,00474	0,002828	1,68	9,74
2	0,00065	0,00423	0,002440	1,73	10,45
1	0,00027	0,00436	0,002314	1,88	12,32

4.3.5 İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması

Tablo 4.19 Örnek 1B P1 Perdesi Uç Kuvvetleri

Kat No		Momentler (kNm)				Kesme Kuvvetleri (kN)			
		eşdeğer	a	b	c	eşdeğer	a	b	c
1	i	2586,88	1295,34	3305,6	3739,07	215,58	120,56	481,83	531,37
	j	1724,57	1131,8	1584,08	1789,67				
2	i	1960,24	1242	1871,48	2120,26	278,43	170,82	321,34	362,75
	j	1124,94	759,03	1006,88	1131,48				
3	i	1469,07	934,59	1374,42	1556	263,95	156,36	313,43	355,04
	j	677,22	521,15	675,41	739,3				
4	i	1068,26	716,18	998,65	1119,85	252,61	165,4	254,62	288,5
	j	310,43	300,92	588,1	645,53				
5	i	720,17	478,76	818,56	916,2	218,19	126,03	244,71	278,61
	j	65,61	248,81	617,01	682,52				
6	i	467,72	368,86	706,01	785,38	196,21	121,85	195,13	221,19
	j	-120,91	204,62	590,27	663,86				
7	i	243,51	229,5	610,13	684,6	149,69	79,32	204,65	230,86
	j	-205,57	245,89	569,33	640,24				
8	i	100,16	240,37	478,78	534,33	139,57	85,49	164,37	185,75
	j	-318,53	226,35	514,14	581,28				
9	i	-32,96	163,55	337,37	376,94	69,49	37,27	142,72	160,46
	j	-241,44	232,6	503,96	558,51				
10	i	28,03	239,77	304,4	316,58	-81,96	106,02	91,75	90,63
	j	-217,84	131,23	216,65	245,52				

Tablo 4.20 Örnek 1B P2 Perdesi Uç Kuvvetleri

Kat No		Momentler (kNm)				Kesme Kuvvetleri (kN)			
		eşdeğer	a	b	c	eşdeğer	a	b	c
1	i	3993,36	3749,21	3171,89	3248,25	609,13	651,41	533,2	526,01
	j	1556,84	1191,93	1226,49	1341,32	609,13			
2	i	1986,56	1582,56	1544,25	1670,61	349,20	330,7	299,59	315,64
	j	938,97	724,6	788,66	861,94	349,20			
3	i	1490,66	1164,68	1164,04	1260,74	369,06	342,33	301,41	315,7
	j	383,49	515,48	577,07	613,94	369,06			
4	i	979,25	804,42	866,85	940,55	253,28	209,56	213,68	233,66
	j	219,40	592,93	559,32	575,82	253,28			
5	i	822,72	825,28	801,81	843,93	308,26	271,59	240,78	252,43
	j	-102,06	627,69	525,6	528,79	308,26			
6	i	474,26	691,59	641,89	664,79	229,68	193,63	189,98	204,01
	j	-214,79	625,09	474,43	471,42	229,68			
7	i	330,88	669,29	539,01	537,96	273,84	266,45	234,43	239,18
	j	-490,64	643,97	492,96	489,86	273,84			
8	i	4,31	491,57	354,11	340,98	139,91	139,22	136,36	144,99
	j	-415,41	507,16	419,41	423,24	139,91			
9	i	9,84	369,89	267,49	247,11	204,21	246,77	194,78	187,96
	j	-602,80	659	550,6	541,5	204,21			
10	i	-257,44	389,34	343,98	330,02	-4,97	66,93	91,17	93,33
	j	-272,35	213,16	206,14	220,22	-4,97			

Tablo 4.21 Örnek 1B 6 Aksındaki Kirişlerin Momentleri

Kat No		K100			K101			K102		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	i	118.05	116.08	111.30	117.12	117.86	113.34	145.44	144.28	138.50
	j	145.44	144.28	138.50	117.12	117.86	113.34	118.05	116.08	111.30
2	i	124.44	123.26	118.23	139.35	141.99	136.72	142.10	142.43	136.84
	j	142.10	142.43	136.84	139.35	141.99	136.72	124.44	123.26	118.23
3	i	114.91	114.35	109.70	141.95	145.80	140.54	127.24	128.45	123.49
	j	127.23	128.45	123.49	141.95	145.80	140.54	114.91	114.35	109.70
4	i	107.74	106.78	102.43	143.63	147.06	141.79	116.72	117.61	113.11
	j	116.72	117.61	113.11	143.63	147.06	141.79	107.74	106.78	102.43
5	i	104.07	101.43	97.18	147.26	148.73	143.24	110.60	109.53	105.20
	j	110.60	109.53	105.20	147.26	148.73	143.24	104.07	101.43	97.18
6	i	96.74	92.97	88.94	151.42	150.77	144.98	93.33	91.33	87.62
	j	93.33	91.33	87.62	151.42	150.77	144.98	96.74	92.97	88.94
7	i	82.42	78.55	75.06	148.62	147.02	141.26	67.61	65.53	62.78
	j	67.61	65.53	62.78	148.62	147.02	141.26	82.42	78.55	75.06
8	i	74.61	69.79	66.47	137.51	134.04	128.44	62.52	59.59	56.91
	j	62.52	59.59	56.91	137.51	134.04	128.44	74.60	69.79	66.47
9	i	58.50	54.04	51.14	116.12	112.39	107.24	48.84	46.05	43.73
	j	48.84	46.05	43.73	116.12	112.39	107.24	58.50	54.04	51.14
10	i	18.39	16.98	15.97	64.10	63.35	60.49	18.63	17.67	16.71
	j	18.63	17.67	16.71	64.10	63.35	60.49	18.39	16.98	15.97

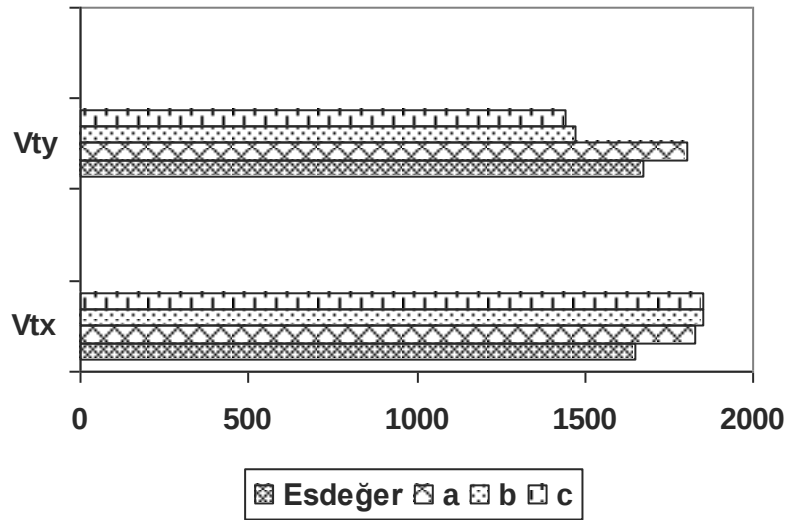
Tablo 4.22 Örnek 1B 6 Aksındaki Kirişlerin Kesme Kuvvetleri

Kat No		K100			K101			K102		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	i	75.28	74.39	71.37	66.93	67.35	64.77	75.28	74.39	71.37
	j	75.28	74.39	71.37	66.93	67.35	64.77	75.28	74.39	71.37
2	i	76.15	75.91	72.87	79.63	81.14	78.13	76.15	75.91	72.87
	j	76.15	75.91	72.87	79.63	81.14	78.13	76.15	75.91	72.87
3	i	69.18	69.37	66.62	81.11	83.31	80.31	69.18	69.37	66.62
	j	69.18	69.37	66.62	81.11	83.31	80.31	69.18	69.37	66.62
4	i	64.13	64.11	61.58	82.07	84.04	81.02	64.13	64.11	61.58
	j	64.13	64.11	61.58	82.07	84.04	81.02	64.13	64.11	61.58
5	i	61.33	60.27	57.82	84.15	84.99	81.85	61.33	60.27	57.82
	j	61.33	60.27	57.82	84.15	84.99	81.85	61.33	60.27	57.82
6	i	54.30	52.65	50.44	86.53	86.15	82.85	54.30	52.65	50.44
	j	54.30	52.65	50.44	86.53	86.15	82.85	54.30	52.65	50.44
7	i	42.87	41.16	39.38	84.93	84.01	80.72	42.87	41.16	39.38
	j	42.87	41.16	39.38	84.93	84.01	80.72	42.87	41.16	39.38
8	i	39.18	36.95	35.24	78.58	76.59	73.39	39.18	36.95	35.24
	j	39.18	36.95	35.24	78.58	76.59	73.39	39.18	36.95	35.24
9	i	30.66	28.58	27.09	66.36	64.23	61.28	30.66	28.58	27.09
	j	30.66	28.58	27.09	66.36	64.23	61.28	30.66	28.58	27.09
10	i	10.49	9.74	9.16	36.63	36.20	34.57	10.49	9.74	9.16
	j	10.49	9.74	9.16	36.63	36.20	34.57	10.49	9.74	9.16

4.3.6 Yatay yüklerin karşılaştırılması

Tablo 4.23 Örnek 1B Taban Kesme Kuvvetleri

	Vtx (kN)	Vty (kN)
eşdeğer	1650,33	1671,87
a	1827,85	1806,08
b	1850,96	1473,75
c	1850,94	1444,56



Şekil 4.4 Örnek 1B Taban Kesme Kuvvetleri

Şekil 4.4'te gösterildiği gibi en olumsuz sonuçlar “x” doğrultusunda burulma kütleli dinamik analiz(b) ile kütlelerin kolon başlarında tanımlandığı dinamik analiz(c) sonucunda elde edilmiştir. Her iki analiz sonucunda elde edilen değerler birbirine çok yakın çıkmıştır. Diğer doğrultuda ise en büyük taban kesme kuvveti burulma kütesiz dinamik analiz(a) sonucunda ortaya çıkmıştır.

4.4 Örnek Yapı 1C

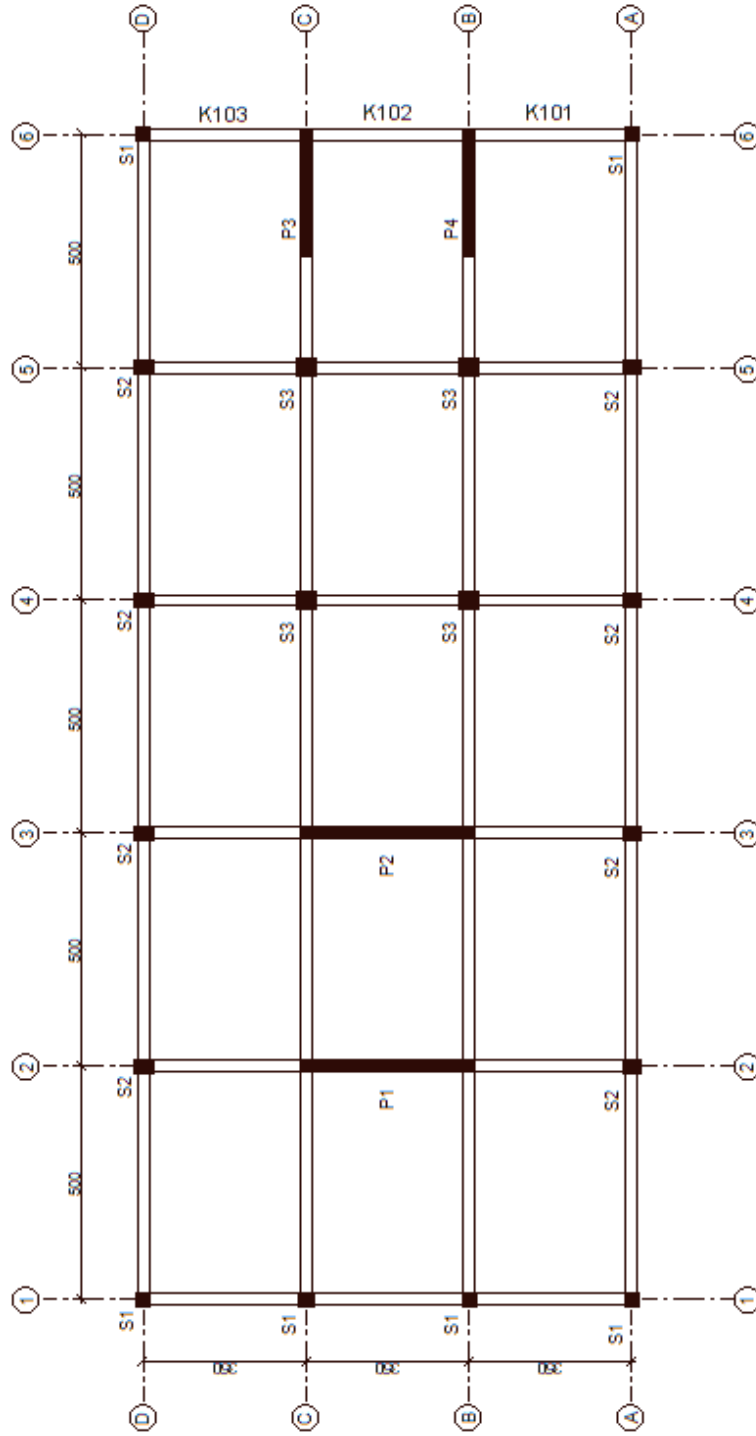
Tablo 4.24 Örnek Yapı 1C'ye ait Veriler

Yapı toplam yüksekliği	H_N (m)	31
Yapı önem katsayısı	I	1
Deprem bölgesi		2
Süneklik düzeyi	Karma	
Zemin sınıfı	Z2	
Spektrum karakteristik periyotları	T_A (sn)	0,15
	T_B (sn)	0,40
Spektrum katsayısı	$S(T)_x$	1,0345
	$S(T)_y$	1,1268
Spektral ivme katsayısı	$A(T)_x$	0,3104
	$A(T)_y$	0,3380
Etkin yer ivmesi	A_0	0,30
Eşdeğer deprem yükü	V_{t_x} (kN)	1067,72
	V_{t_y} (kN)	1162,99
Tepe kuvveti	ΔF_{N_x} (kN)	90,08
	ΔF_{N_y} (kN)	88,17
Katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü	$V_{t_x} = V_{t_x} + \Delta F_{N_x}$	1157,80
	$V_{t_y} = V_{t_y} + \Delta F_{N_y}$	1251,16

4.4.1 Kat Ağırlıkları

Tablo 4.25 Örnek 1C Kat kütleleri

Kat No	W	Mi	Mr
1	2698,19	275,04	16852,21
2	2518,69	256,75	15731,10
3	2464,69	251,24	15393,83
4	2464,69	251,24	15393,83
5	2419,69	246,66	15112,77
6	2419,69	246,66	15112,77
7	2384,44	243,06	14892,61
8	2384,44	243,06	14892,61
9	2345,44	239,09	14649,02
10	1982,69	202,11	12383,38
Toplam:	24082,63		



Şekil 4.5 Örnek Yapı 1C

4.4.2 Eşdeğer Deprem Yükleri

Tablo 4.26 Örnek 1C x Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri

i	w _i (kN)	H _i (m)	w _i .H _i (kNm)	$\frac{V_t - \Delta F_N}{\sum w_i . H_i}$	F _x (kN)	V _t (kN)
10	1982,69	31	61463,31	0,0026105	250,53	250,53
9	2345,44	28	65672,25	0,0026105	171,44	421,97
8	2384,44	25	59610,94	0,0026105	155,62	577,59
7	2384,44	22	52457,63	0,0026105	136,94	714,53
6	2419,69	19	45974,06	0,0026105	120,02	834,55
5	2419,69	16	38715,00	0,0026105	101,07	935,61
4	2464,69	13	32040,94	0,0026105	83,64	1019,26
3	2464,69	10	24646,88	0,0026105	64,34	1083,60
2	2518,69	7	17630,81	0,0026105	46,03	1129,63
1	2698,19	4	10792,75	0,0026105	28,17	1157,80

Tablo 4.27 Örnek 1C y Doğrultusundaki Eşdeğer Deprem Yükleri

i	w _i	H _i	w _i .H _i	$\frac{V_t - \Delta F_N}{\sum w_i . H_i}$	F _y	V _t
10	1982,69	31	61463,31	0,0028435	262,94	262,94
9	2345,44	28	65672,25	0,0028435	186,74	449,68
8	2384,44	25	59610,94	0,0028435	169,50	619,18
7	2384,44	22	52457,63	0,0028435	149,16	768,34
6	2419,69	19	45974,06	0,0028435	130,73	899,06
5	2419,69	16	38715,00	0,0028435	110,08	1009,15
4	2464,69	13	32040,94	0,0028435	91,11	1100,26
3	2464,69	10	24646,88	0,0028435	70,08	1170,34
2	2518,69	7	17630,81	0,0028435	50,13	1220,47
1	2698,19	4	10792,75	0,0028435	30,69	1251,16

4.4.3 α_M Kontrolü

M : Perde deprem momenti (kNm)

M_k : Perdelerde; bağlı olduğu kirişlerin deprem momentlerinin toplamı (kNm)

M_d : Taban Devrilme Momenti (kNm)

Tablo 4.28 Örnek 1C α_M Kontrolü

Perde	M _x	M _{xk}	M _x +M _{xk}	M _y	M _{yk}	M _y +M _{yk}
P101	2562,09	1235,82	3797,91	49,23	895,97	939,20
P102	2672,82	1201,32	3874,14	49,23	1385,73	1434,96
P103	56,80	1722,30	1779,1	3320,54	1841,45	5161,99
P104	57,93	1853,55	1911,48	2629,18	1865,63	4494,81
Toplam			11362,63			12030,96

X Doğrultusunda :

$$\begin{aligned} M_d = \sum F_i \cdot h_i &= 250,53 \cdot 31 + 171,44 \cdot 28 + 155,62 \cdot 25 + 136,94 \cdot 22 + 120,02 \cdot 19 \\ &\quad + 101,07 \cdot 16 + 83,64 \cdot 13 + 64,34 \cdot 10 + 46,03 \cdot 7 + 28,17 \cdot 4 \\ &= 25533,00 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha_M = 11362,63 / 25533,00 = 0,45$$

Y Doğrultusunda :

$$\begin{aligned} M_d = \sum F_i \cdot h_i &= 262,94 \cdot 31 + 186,74 \cdot 28 + 169,50 \cdot 25 + 149,16 \cdot 22 + 130,73 \cdot 19 \\ &\quad + 110,08 \cdot 16 + 91,11 \cdot 13 + 70,08 \cdot 10 + 50,13 \cdot 7 + 30,69 \cdot 4 \\ &= 27502,87 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\alpha_M = 12030,96 / 27502,87 = 0,44$$

$$R = 4 + 3 \cdot \alpha_M = 4 + 3 \cdot 0,44 = 5,32 \text{ olmalı.}$$

Analiz sonuçları $R_{\text{eski}} / R_{\text{yeni}}$ oranıyla çarpılarak düzeltilmiştir.

$$R_{\text{eski}} / R_{\text{yeni}} = 7 / 5,32 = 1,316$$

4.4.4 Burulma Düzensizliği Katsayıları (η_{bi})

Tablo 4.29 Örnek 1C Burulma Düzensizliği Katsayıları

KAT	Δ_{imin} (m)	Δ_{imax} (m)	Δ_{iort} (m)	$\Delta_{\text{imax}}/\Delta_{\text{iort}}$	ϵ (%)
10	0,001657	0,002632	0,0021444	1,23	5,23
9	0,001512	0,003290	0,0024010	1,37	6,52
8	0,001521	0,003553	0,0025372	1,40	6,81
7	0,001428	0,003948	0,0026879	1,47	7,49
6	0,001419	0,004080	0,0027491	1,48	7,65
5	0,001263	0,004343	0,0028031	1,55	8,33
4	0,001177	0,003977	0,0025767	1,54	8,27
3	0,000868	0,004006	0,0024370	1,64	9,38
2	0,000532	0,003531	0,0020313	1,74	10,49
1	0,000047	0,003489	0,0017679	1,97	13,52

4.4.5 İç Kuvvetlerin Karşılaştırılması

Tablo 4.30 Örnek1C P1 Perdesi Uç Kuvvetleri:

Kat No		Momentler (kNm)				Kesme Kuvvetleri (kN)			
		eşdeğer	a	b	c	eşdeğer	a	b	c
1	i	3733,08	2838,93	4335,11	4542,45	461,96	292,33	660,50	677,40
	j	1885,23	1714,37	1859,65	1953,40	461,96			
2	i	2304,57	2041,86	2322,42	2443,72	382,42	342,30	426,98	452,02
	j	1157,32	1058,47	1155,60	1225,94	382,42			
3	i	1730,61	1518,03	1741,54	1840,34	391,76	341,70	446,88	469,23
	j	555,34	603,87	723,84	805,59	391,76			
4	i	1193,82	1080,74	1230,44	1329,21	326,12	313,77	347,88	359,08
	j	215,47	430,91	702,28	806,20	326,12			
5	i	868,60	772,81	1050,74	1178,85	329,04	282,30	372,16	384,41
	j	-118,51	495,49	786,95	856,35	329,04			
6	i	502,21	583,67	848,25	977,19	274,54	241,01	282,32	301,77
	j	-321,41	540,55	785,80	835,73	274,54			
7	i	261,39	439,73	737,74	850,70	248,79	180,09	294,70	323,42
	j	-484,98	518,04	789,32	821,40	248,79			
8	i	41,37	361,01	568,29	634,11	190,77	155,89	225,35	256,35
	j	-530,95	458,34	717,34	747,14	190,77			
9	i	-79,45	247,13	415,27	434,12	126,67	97,00	177,09	201,11
	j	-459,47	174,24	643,85	673,26	126,67			
10	i	-85,45	144,84	341,21	322,99	72,30	105,47	94,31	89,05
	j	-302,35	248,31	296,06	328,36	72,30			

Tablo 4.31 Örnek1C P2 Perdesi Uç Kuvvetleri

Kat No		Momentler (kNm)				Kesme Kuvvetleri (kN)			
		eşdeğer	a	b	c	eşdeğer	a	b	c
1	i	4337,59	5303,36	4178,97	3913,81	665,00	895,00	696,57	625,32
	j	1677,58	1763,45	1539,82	1546,67	665,00			
2	i	2140,64	2321,16	1967,77	1950,59	381,82	468,12	380,76	375,57
	j	995,19	1030,57	945,30	974,66	381,82			
3	i	1588,41	1688,66	1459,06	1457,42	402,26	493,81	398,56	381,76
	j	381,63	623,39	593,93	673,81	402,26			
4	i	1019,59	1101,52	995,20	1052,62	266,54	315,65	276,82	263,59
	j	219,96	748,27	609,84	682,75	266,54			
5	i	863,64	1083,00	905,58	984,00	357,25	461,26	374,56	321,96
	j	-208,12	1024,36	807,80	677,66	357,25			
6	i	400,11	918,12	751,34	761,68	239,03	265,15	235,41	233,01
	j	-316,98	995,58	797,24	632,71	239,03			
7	i	248,50	873,77	695,22	644,04	269,82	308,43	244,41	261,58
	j	-560,94	887,51	727,61	644,64	269,82			
8	i	-55,63	607,77	527,26	472,75	148,18	190,12	156,33	169,70
	j	-500,18	690,41	572,96	537,61	148,18			
9	i	-73,58	388,23	372,05	330,28	178,08	235,60	187,93	187,62
	j	-607,83	793,43	611,27	583,01	178,08			
10	i	-266,94	458,97	377,13	325,98	0,02	72,31	95,27	82,13
	j	-268,48	262,08	225,42	243,67	0,02			

Tablo 4.32 Örnek1C 6 Aksındaki Kirişlerin Momentleri

Kat No		K100			K101			K102		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	i	107.07	103.14	77.36	107.37	107.99	80.73	132.12	129.73	97.23
	j	132.16	129.71	97.20	107.37	107.99	80.74	107.02	103.16	77.39
2	i	118.25	111.76	83.06	132.60	132.18	97.96	134.81	130.29	96.79
	j	134.86	130.26	96.76	132.59	132.19	97.96	118.19	111.79	83.09
3	i	113.06	105.97	77.80	138.36	137.82	101.27	124.79	120.10	88.12
	j	124.84	120.07	88.08	138.36	137.82	101.28	113.01	106.01	77.84
4	i	109.17	102.05	74.40	142.61	141.93	103.87	117.53	113.04	82.38
	j	117.56	113.00	82.34	142.61	141.94	103.87	109.13	102.10	74.43
5	i	101.70	95.35	70.62	141.80	141.45	104.67	107.19	103.57	76.63
	j	107.21	103.53	76.60	141.80	141.46	104.67	101.68	95.39	70.66
6	i	86.61	81.14	62.41	135.43	135.62	103.13	83.83	81.25	61.94
	j	83.84	81.22	61.91	135.43	135.63	103.14	86.60	81.18	62.44
7	i	71.12	65.49	52.01	129.44	128.56	99.71	58.11	55.56	43.72
	j	58.12	55.54	43.71	129.44	128.56	99.71	71.10	65.52	52.03
8	i	61.88	55.46	44.98	116.57	113.17	88.79	51.95	48.43	38.75
	j	51.96	48.42	38.73	116.57	113.17	88.79	61.87	55.48	45.00
9	i	48.37	42.80	35.38	98.93	94.36	74.35	40.40	37.11	30.06
	j	40.40	37.10	30.06	98.93	94.37	74.35	48.36	42.82	35.39
10	i	16.04	14.57	12.85	57.61	55.62	43.51	16.33	14.96	12.25
	j	16.34	14.95	12.24	57.61	55.62	43.51	16.03	14.58	12.85

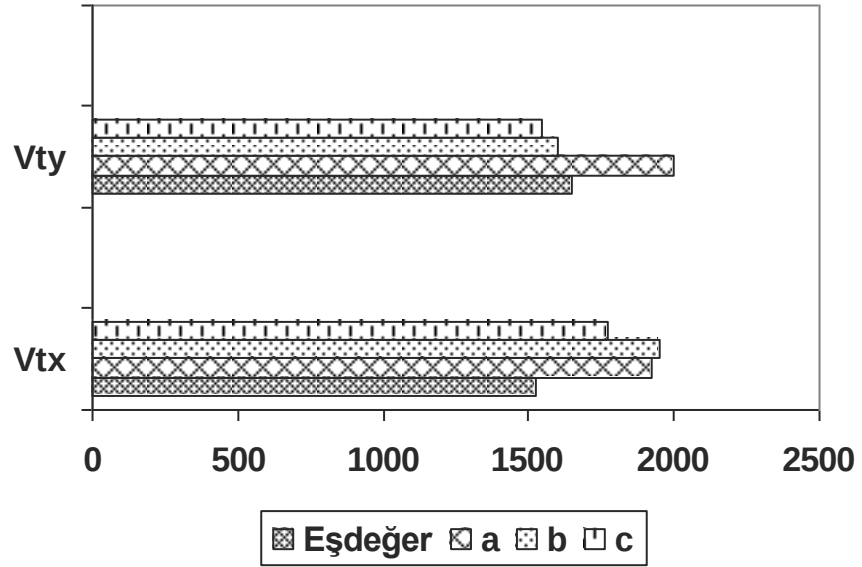
Tablo 4.33 Örnek1C 6 Aksındaki Kirişlerin Kesme Kuvvetleri :

Kat No		K100			K101			K102		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	i	68.35	66.52	49.87	61.35	61.71	46.13	68.33	66.54	49.88
	j	68.35	66.52	49.87	61.35	61.71	46.13	68.33	66.54	49.88
2	i	72.32	69.14	51.36	75.77	75.53	55.98	72.29	69.16	51.38
	j	72.32	69.14	51.36	75.77	75.53	55.98	72.29	69.16	51.38
3	i	67.97	64.57	47.38	79.06	78.75	57.87	67.94	64.59	47.40
	j	67.97	64.57	47.38	79.06	78.75	57.87	67.94	64.59	47.40
4	i	64.78	61.43	44.76	81.49	81.10	59.35	64.76	61.45	44.78
	j	64.78	61.43	44.76	81.49	81.10	59.35	64.76	61.45	44.78
5	i	59.69	56.81	42.04	81.03	80.83	59.81	59.68	56.83	42.06
	j	59.69	56.81	42.04	81.03	80.83	59.81	59.68	56.83	42.06
6	i	48.70	46.37	35.50	77.39	77.50	58.93	48.69	46.39	35.51
	j	48.70	46.37	35.50	77.39	77.50	58.93	48.69	46.39	35.51
7	i	36.92	34.57	27.33	73.97	73.46	56.98	36.92	34.58	27.34
	j	36.92	34.57	27.33	73.97	73.46	56.98	36.92	34.58	27.34
8	i	32.52	29.66	23.89	66.61	64.67	50.74	32.52	29.67	23.90
	j	32.52	29.66	23.89	66.61	64.67	50.74	32.52	29.67	23.90
9	i	25.36	22.80	18.66	56.53	53.92	42.48	25.36	22.81	18.67
	j	25.36	22.80	18.66	56.53	53.92	42.48	25.36	22.81	18.67
10	i	9.20	8.24	7.01	32.92	31.78	24.86	9.20	8.24	7.01
	j	9.20	8.24	7.01	32.92	31.78	24.86	9.20	8.24	7.01

4.4.6 Yatay yüklerin karşılaştırılması

Tablo 4.34 Örnek 1C Taban Kesme Kuvvetleri

	Vtx (kN)	Vty (kN)
eşdeğer	1523,67	1646,53
a	1922,93	1999,58
b	1950,91	1598,80
c	1774,64	1542,46



Şekil 4.6 Örnek 1C Taban Kesme Kuvvetleri

Şekil 4.6’da gösterildiği gibi en olumsuz sonuçlar “y” doğrultusunda burulma kütsesiz dinamik analizde, “x” doğrultusunda ise burulma kütsleli dinamik analizinde ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu bölümde burulma düzensizliği olan, çeşitli perde çerçeve türü çok katlı yapıların burulma kütleli, burulma kütsüz ve kütlelerin kolon başlarında toplanması durumunda yapılan dinamik analiz sonuçları ile ABYYHY97'ye göre hesapta göz önüne alınması önerilen arttırılmış dışmerkezliliklerin hesaba katıldığı eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Burulma rijitliklerinin yatay yerdeğiştirme rijitliklerine göre yeterince büyük olmaması dolayısıyla, burulma titreşimi periyodu yatay titreşim periyotlarından büyük olan yapılar “Burulma Modu Etkin Olan Yapılar” şeklinde adlandırılır. Burulma modu etkin olan yapıların deprem hesabında, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılması durumunda burulma modunun katkısı hesaba dahil edilememektedir. Bu çalışmada etkin burulma modunun sistem kesit tesirlerindeki katkısının mertebesini irdelenmiştir.

Sayısal incelemelerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1 – Örnek Yapı 1A ve 1B’de, eşdeğer deprem yükü yöntemi ve burulma kütsüz dinamik analizi sonucunda yapıların 1. modu x doğrultusunda çıkarken, burulma kütleli dinamik analiz ile kütlelerin kolon başlarında toplandığı durumda yapıların 1. modunun burulma modu olduğu gözlemlendi. Ayrıca Örnek Yapı 1C’de etkin burulma modu, sadece kütlelerin kolon başlarında toplanarak yapılan dinamik analiz gözlemlendi. Diğer yapıların aksine burulma kütleli dinamik analizde 1. mod x doğrultusunda çıkmıştır.

2 – Örnek Yapı 1A’da tüm dinamik analiz sonuçları aynı çıkarken, yapıların burulma kütleli dinamik analizi ile kütlelerin kolon başlarında toplanması durumunda yapılan analiz sonuçları incelendiğinde tüm örnek yapıların kesit tesirlerinin birbirine çok yakın olduğu görüldü.

3 – Yapının rijitliğinin yoğunlaştığı bölgeden uzak kirişlerde modal analiz sonuçları daha elverişsiz olurken, rijitliğin yoğun olduğu bölgelerdeki kirişlerde eşdeğer deprem yükleri sonuçları daha elverişsiz olmaktadır.

4– Yapının kütle merkezine yakın perdelerde, eşdeğer deprem yükleri sonucunda bulunan kesit tesirleri daha elverişsiz iken, kütle merkezine uzak akslardaki perdelerde modal analiz sonuçları daha elverişsizdir.

5 – Etkin burulma modunun kesit tesirlerine katkısı, perdelerin planda yerleşimine bağlı olarak değişmektedir. Planda kenarlara yakın perdelerde etkin burulma modunun kesit tesirlerine katkısı incelenen yapılarda %50 mertebesine ulaşmaktadır.

6 – Bu çalışmada incelenen yapı tiplerinde, ABYYHY97’de, “Dinamik Hesap” yaptırımı için öngörülen $\eta_{max} \geq 2$ koşuluna erişilemedi.

7 – İncelenen yapılardaki elemanların bazılarında eşdeğer deprem yükü metodu ile bulunan uç kuvvetler daha olumsuz iken bazılarında da dinamik analiz sonucu bulunan uç kuvvetler daha olumsuz çıkmıştır. Bu durum göz önünde bulundurularak boyutlandırmada farklı analizler sonucu bulunan en olumsuz koşullar dikkate alınabilir.

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

KAYNAKLAR

- [1] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1997. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- [2] **Chandler A. M. , Duan X. N. , Rutenberg A. ,** 1996. Evaluation and further Development of the EC8 Static Torsional, Proc. Of European Workshop on the Behaviour of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri.
- [3] **Eibl J. , Keintzel E. ,** 1996. The Approximate Analysis of Torsional Effects in Eurocode 8 Assumptions, Comparative Calculation and Proposals For Improvement Proc. Of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri.
- [4] **Özmen G. , Orakdöğen E. , Pala S. , Gülay G. ,** 1997. Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/TR 017–028, İstanbul.
- [5] **Özmen G. ,** 2001. Çok Katlı Yapılarda Burulma Düzensizliği, Türkiye Deprem Vakfı Yayınları, TDV/TR 036–61, İstanbul.
- [6] **U.B.C. ,** 1994. Uniform Building Code, Washington D.C.
- [7] **BSSC NEHRP. ,** 1994. Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings Part1 - Provisions, Part2 - Commentary, Building Seismic Safety Council National Earthquake Hazards Reduction Programme, Federal Emergency, Washington D.C.
- [8] **Eurocode8. ,** 1994. Earthquake Resistant Design of Structures.
- [9] **Wilson E.L. , Habibullah A. ,** 1992. Structural Analysis Program, SAP2000, Computers & Structures Inc., California.

- [10] **Özmen G.** , 1999. 1997 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarım Uygulamaları, İstanbul.
- [11] **Özmen G.** , 1972. Burulma Yapan Çok Katlı Yapıların Yatay Yüklere göre Hesabı, Teknik Rapor No:13 , İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Semih KURTULMUŞ, 1979 yılında İstanbul’da doğdu. Orta öğrenimini Burak Bora Anadolu Lisesi’nde 1997 yılında bitirdi. Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında mezun olduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Analizi ve Tasarımı bölümünde yüksek lisans programına başladı. Halen özel bir kuruluştaki İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.