

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

SİMETRİK VE ASİMETRİK BİNALARDA
MODAL EK DIŞMERKEZLİK
YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

HÜSNÜ MERCİMEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALİ

GEBZE

2010

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

SİMETRİK VE ASİMETRİK BİNALARDA
MODAL EK DIŞMERKEZLİK
YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Hüsnü MERCİMEK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Yasin FAHJAN

GEBZE
2010



YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY SAYFASI

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından tarihinde tez savunma sınavı yapılan'ın tez çalışması Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

G.Y.T.E. Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI: SİMETRİK VE ASİMETRİK BİNALARDA MODAL EK DİŞMERKEZLİK YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

YAZAR ADI: HÜSNÜ MERCİMEK

Çoğu yapı yönetmelikleri asimetrik binaların eşdeğer statik yük ve dinamik analizlerinde burulma etkisi yapan ek dışmerkezlik hesabını kapsamaktadır. Eşdeğer statik yük yönteminde ek dışmerkezlik uygulama prosedürü basit ve açıktır, ayrıca çoğu bina analiz yazılımlarında standart olarak uygulanmaktadır. Ancak, ek dışmerkezliğin dinamik analizlerdeki uygulaması şu iki yaklaşımla gerçekleştirilebilir: 1) Kütle merkezinin her iki yönde gerekli miktarda kaydırılması. Bu durum sistemin global rijitlik matrisini değiştirir ve bundan dolayı doğal frekansın ve modal parametrelerin her eksantirisite durumu için yeniden hesaplanması gerekir; 2) Tüm eksantirisite durumları için her bir katta meydana gelen momenti dikkate alarak statik analiz hesabı yapmak ve sonuçlarını dinamik analiz sonuçlarıyla birleştirmek.

Bu çalışmada, dinamik modal süperpozisyon tekniğindeki ek dışmerkezlik uygulamalarıyla ilgili olarak, ek dışmerkezliğin ayrı ayrı tüm mod şekilleri üzerindeki etkisinin hesaba katılabilmesi için global kuvvet vektörlerinin değiştirilmesine yönelik alternatif bir yöntem değerlendirilmiştir. Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği, IBC ve Eurocode'daki ek dışmerkezlik uygulamaları da incelenmiştir. Söz konusu yöntem, çok katlı simetrik ve asimetrik iki örnek binanın çözümünde uygulanmış ve sonuçlar adı geçen yönetmeliklerce önerilen yöntemlerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

SUMMARY

THESIS NAME: APPLICATION OF ALTERNATIVE PROCEDURE FOR ACCIDENTAL ECCENTRICITY IN DYNAMIC MODAL ANALYSES OF SYMMETRIC AND NON-SYMMETRIC BUILDINGS

AUTHOR'S NAME: HÜSNÜ MERCİMEK

Most building codes enforce the inclusion of accidental torsion in the equivalent static load and dynamic analyses of asymmetric buildings. The computations of accidental torsional moments in the equivalent static load procedure are straightforward and already implemented in most of building analysis tools. However, the application of accidental torsion in dynamic analysis can be performed in one of the following two basic approaches: 1) Shifting the centre of mass by the required amount of eccentricity in either direction. This will lead to change in global stiffness matrix of the system, therefore natural frequencies and modal parameters are needed to be computed for each eccentricity cases. 2) Run static analyses considering torques at each storey level to approximate accidental torsion for each eccentricity cases then combine the results with the dynamic load results.

In this study an alternative procedure, for the application of accidental torsion in dynamic modal superposition technique by modification of global force vectors to include the effect of accidental torsion for each modal shape separately, is evaluated. In the otherhand, the applications in Turkish code, IBC and EuroCode for accidental eccentricity are studied. The proposed method has been applied to symmetric and non-symmetric two sample multi-storey buildings and the results are compared with those obtained by using conventional approaches.

TEŞEKKÜR

Sonsuz emek ve sabrından, uzun lisans dönemimde bile benzerini göremediğim yakınlığından dolayı değerli tez danışman hocam Y. Doç. Dr. Yasin Fahjan’a, tavsiyeleri ve rehberliği için çok değerli hocam Doç. Dr. Bülent Akbaş’a teşekkürlerimi sunuyorum.

Biz nacizane öğrencilerine sağladığı modern ve dostane imkânlar nedeniyle Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilimdalı nezdinde Anabilimdalı Başkanı Prof. Dr. Bilge Siyahi’ye minnettarlığımı bildiriyorum.

Yüksek lisans dönemim boyunca yakın dostluğunu benden esirgemeyen sevgili arkadaşım Doğan Önder’e de müteşekkir olduğumu belirtmeyi gerekli görüyorum. Bu süreç O’nsuz bu kadar keyifli olamazdı.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİL DİZİNİ	viii
TABLO DİZİNİ	ix
SİMGELER	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	3
2.1 TÜRK DEPREM YÖNETMELİKLERİ	3
2.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde Rijit Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlilik Hesabı	4
2.1.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde Esnek Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlilik Hesabı	4
2.1.3 Mod Birleştirme Yönteminde Rijit Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlilik Hesabı	5
2.1.4 Mod Birleştirme Yönteminde Esnek Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlilik Hesabı	5
2.2 EUROCODE	6
2.3 INTERNATIONAL BUILDING CODE IBC [2003]	7
3. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİNDE DIŞMERKEZLİK MOMENTİNİN HESABI	8
4. DİNAMİK ANALİZLERDE DIŞMERKEZLİK MOMENTİNİN HESABI	11
5. DİNAMİK ANALİZLERDE ÇOKLU MODAL EK DIŞMERKEZLİK HESABI	15
6. TEORİK ESASLAR	17
7. EK DIŞMERKEZLİK ETKİSİNİN DİNAMİK MODAL ANALİZ YÖNTEMİNE GÖRE GÜNCELLENMESİ	20
8. SAYISAL UYGULAMALAR	22
8.1 YER DEĞİŞTİRMELER	24
8.2 SEÇİLEN KOLONLARDA KESME KUVVETLERİ	25
9. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	56

ŞEKİL DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 ABYYHY 1998 ve DBYBHY 2007’de yer alan ek dışmerkezlilik uygulama şeması	6
3.1 Eşdeğer statik yük yöntemi uygulama şeması	8
3.2 Eşdeğer statik yük yönteminde ek dışmerkezlilik - rijit diyafram uygulaması	9
3.3 Eşdeğer statik yük yönteminde ek dışmerkezlilik - esnek diyafram uygulaması	10
4.1 Dinamik Analizlerde Mod Birleştirme	11
4.2 Dinamik Analizlerde Rijitlik merkezi kaydırılması	12
4.3 Modal analizlerde ek dışmerkezlilik uygulama şeması	13
5.1 Önerilen yöntem için uygulama şeması	16
7.1 Belirlenen Titreşim Moduna göre Burulma Momentinin Güncellenmesi	21
8.1 Analizlerde Kullanılan Dizayn Tepki Spektrumu	26
8.2 Dört katlı asimetrik betonarme binanın kat planı	27
8.3 Dört katlı asimetrik betonarme binanın 3B görünümü	28
8.4 Asimetrik betonarme binanın 1.mod şekli, periyot:0.481	29
8.5 Asimetrik betonarme binanın 2.mod şekli, periyot:0.405	30
8.6 Asimetrik betonarme binanın 3.mod şekli, periyot:0.365	31
8.7 Asimetrik betonarme binanın 4.mod şekli, periyot:0.159	32
8.8 Asimetrik betonarme binanın 5.mod şekli, periyot:0.131	33
8.9 Asimetrik betonarme binanın 6.mod şekli, periyot:0.117	34
8.10 Dört katlı simetrik betonarme bina için kat planı	35
8.11 Dört katlı simetrik betonarme binanın 3B görünümü	36
8.12 Simetrik betonarme binanın 1. mod şekli, periyot:0.503	37
8.13 Simetrik betonarme binanın 2. mod şekli, periyot:0.440	38
8.14 Simetrik betonarme binanın 3. mod şekli, periyot:0.364	39
8.15 Simetrik betonarme binanın 4. mod şekli, periyot:0.164	40
8.16 Simetrik betonarme binanın 5. mod şekli, periyot:0.138	41
8.17 Simetrik betonarme binanın 6. mod şekli, periyot:0.104	42
8.18 Asimetrik binada yer değiştirme karşılaştırması için seçilen düğüm noktaları	44
8.19 Simetrik binada yer değiştirme karşılaştırması için seçilen düğüm noktaları	46
8.20 Asimetrik binada kesme kuvvetleri karşılaştırması için seçilen kolonlar	48
8.21 Simetrik binada kesme kuvvetleri karşılaştırması için seçilen kolonlar	51

TABLO DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Değişik Yönetmeliklerde ek dışmerkezlik katsayıları	2
8.1 Çerçevelerin modal periyotları ve kümülatif modal kütle katılım oranları	43
8.2 Asimetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+X)	45
8.3 Asimetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+Y)	45
8.4 Simetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+X)	47
8.5 Simetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+Y)	47
8.6 Asimetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+X)	49
8.7 Asimetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+Y)	50
8.8 Simetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+X)	52
8.9 Simetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+Y)	53

SİMGELER

$A(T)$	= Spektral İvme Katsayısı
A_o	= Etkin Yer İvmesi Katsayısı
b_i	= Binanın i^{nci} katının yer hareketi doğrultusuna normal plan boyunu
e_{si}	= KM ve RM arasındaki mesafe olarak tanımlanan doğal eksantirisite
f_e	= Yapısal çıkıntının, mimari elemanın, mekanik ve elektrik donanımının ağırlık merkezine etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_i	= Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nde i 'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
I	= Bina Önem Katsayısı
L_i	= Sismik harekete dik doğrultudaki kat planı boyu
M_n	= n 'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
M_{xn}	= Göz önüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n 'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
M_{yn}	= Göz önüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n 'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
$m_{\theta i}$	= Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalışması durumunda, binanın i 'inci katının kaydırılmamış kütle merkezinden geçen düşey eksene göre kütle eylemsizlik momenti
$S(T)$	= Spektrum Katsayısı
$S_{ae}(T)$	= Elastik spektral ivme [m/s^2]
T_1	= Binanın birinci doğal titreşim periyodu [s]
T_A, T_B	= Spektrum Karakteristik Periyotları [s]
T_m, T_n	= Binanın m 'inci ve n 'inci doğal titreşim periyotları [s]
Y	=dikkate alınan mod sayısı
$Z(t)$	= Modal koordinat vektörünü
Φ_n	= n^{inci} modun mod şekil vektörü

1. GİRİŞ

Mevcut çoğu yapı yönetmelikleri, tasarımcıdan, yapıda burulmaya sebep olan doğal ve ek dışmerkezliğin etkilerinin çözümde hesaba katılmasını istemektedir. Doğal dışmerkezlik genellikle, ayrı ayrı her bir kattaki kütle merkezi (KM) ve rijitlik merkezi (RM) arasındaki mesafe olarak tanımlanır. Ek dışmerkezlikse, yer hareketinin düşey eksenel dönme bileşeni, kütle, rijitlik ve elastisite modülünün gerçek ve hesaplanan değerleri arasındaki farkla, hareketli yüklerin elverişsiz dağılımının sonucu olarak ortaya çıkan bir etken olarak ifade edilir [Basu and Sudhir, 2004]. Yapı analizlerinde herhangi bir i^{nci} kat için dizayn dışmerkezlik “ e_{dj} ” genellikle aşağıdaki genel formla ifade edilir. [Goel and Chopra, 1993]

$$\begin{aligned} e_{dj} &= \alpha e_{si} + \beta b_i \\ e_{dj} &= \delta e_{si} - \beta b_i \end{aligned} \quad (1.1)$$

Formülde e_{dj} toplam burulma etkisini, e_{si} KM ve RM arasındaki mesafe olarak tanımlanan doğal eksantrisiteyi, b_i binanın i^{nci} katının yer hareketi doğrultusuna normal plan boyunu, α , β ve δ ise sabit katsayıları ifade etmektedir. DBYBHY [2007]’de $\alpha=1.0$, $\beta=0.05$ ve $\delta=1.0$ olan bu katsayı değerleri, ulusal ve uluslar arası yönetmeliklerce belirtilmektedir. (Tablo 1.1)

Tasarım uygulamalarında, şayet yönetmelikte $\alpha=\delta=1.0$ olarak belirtilmişse, burulma şartının uygulanması için, rijitlik merkezi (RM) hesaplanmayabilir. Böyle durumlarda rijit diyafram döşeme sistemli bir bina analizi, KM de dikkate alınarak, yatay dizayn kuvvetinin $\pm\beta b_i$ noktasında etki ettirilmesiyle hesaplanabilir. [Basu and Sudhir, 2004].

Tablo 1.1 Değişik Yönetmeliklerde ek dışmerkezlik katsayıları

Yönetmelikler	α	β	δ
<i>National Earthquake Hazards Reduction Program, NEHRP [1997]</i>	1.0	0.05	1.0
<i>International Building Code IBC [2003]</i>	1.0	0.05	1.0
<i>EuroCode 8 [2003]</i>	1.0	0.05	1.0
<i>DBYBHY [2007]</i>	1.0	0.05	1.0
<i>National Building Code of Canada NBCC [1995]</i>	1.5	0.1	0.5
<i>Mexico City Building Code MCBC [1995]</i>	1.5	0.1	1.0

2. LİTERATÜR

Literatürde, binaların dinamik analizlerinde ek dışmerkezlik hesabıyla ilgili pek çok çalışma yer almaktadır. Dönme sonucu meydana gelen burulma etkisinin izahında, ek dışmerkezlik konsepti ilk olarak Newmark [1969] tarafından önerilmiştir. Rosenblueth and Elorduy [1969] da, ileriki çalışmalara öncülük eden araştırmalarında, statik dışmerkezlik için büyütme faktörünü tanımladılar. İzleyen yıllarda da pek çok araştırmacı yönetmeliklerin burulmayla ilgili şartlarının yeterliliğini incelemek, değişiklik ve yeni adımlar önermek için rijit temelli yapıların dışmerkezleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. [Dempsey and Tso, 1982; Chandler and Duan, 1997; Anastassiadis et al 1998; Calderoni et al, 2002; De-la-Colina and Almeida, 2003; Stathopoulos and Anagnostopoulos, 2005; De la Llera and Chopra, 1995].

Tezcan and Alhan [2001] örnek binalar üzerindeki burulma etkisini incelediği ve ek dışmerkezliğin sünek yapılarda, daha büyük tasarım yüklerine neden olduğu, sünek olmayan yapılarda ise azaltıcı etkisi olduğu sonucuna vardığı bir çalışma yayınlamıştır. Gülay and Çalım [2003] burulma düzensizlikleriyle ilgili çalışmasında Türk Deprem Yönetmeliğine göre hesaplanan ek dışmerkezlikle artırılmış dışmerkezliğin, burulma düzensizliğine sahip örnek binaların iç yükleri üzerindeki etkisini incelemiştir.

Fahjan et al [2006] makalesinde çok serbestlik dereceli sistemlerin çok modlu hesabında ek dışmerkezliğin etkisini göz önüne alan, modal analiz yönteminde bir değişiklik önerdiği kapsamlı bir çalışma yayınlamıştır.

2.1 Türk Deprem Yönetmelikleri

Ek dışmerkezlik konusu eski ve yeni yönetmeliklerimizde genişçe yer bulmuştur. Yapı analiz çözümlerinde eşdeğer statik yük ve mod birleştirme gibi farklı yöntemler kullanılabildiğinden, her iki yöntem için de gerekli çözüm adımları belirtilmiştir. Yapı tabliyelerinin esnek veya rijit diyafram olması durumunda ek dışmerkezlik hesabı her iki yönetmelikte de yer almaktadır.

2.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde Rijit Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlik Hesabı

Eşdeğer statik yük yönteminde, rijit diyaframlı bir yapıda ek dışmerkezlik uygulaması için ‘Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY 1998)’ ve ‘Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)’de, eşdeğer deprem yükleri kat kütle merkezine ve ayrıca ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+5\%$ ’i ve -5% ’i kaydırılmış kütle merkezlerine tekil yatay yükler olarak uygulanacağı belirtilmektedir. Üçüncü bölümde bu yöntem detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2.1.2 Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde Esnek Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlik Hesabı

ABYYHY-1998, herhangi bir kattaki döşemede, merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının $1/3$ ’ünden fazla olması durumunu, deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumuyla döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumunu A2 döşeme süreksizliği olarak adlandırmaktadır. Buna göre eşdeğer statik yük yönteminde, esnek diyaframlı yani daha geniş bir ifadeyle A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta göz önüne alınacağı ve ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, **her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelerin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+5\%$ ’i ve -5% ’i kadar kaydırılacağı** belirtilmektedir.

Bu madde DBYBHY 2007’ye olduğu gibi aktarılmış olup, uygulamada herhangi bir değişiklik yoktur.

2.1.3 Mod Birleştirme Yönteminde Rijit Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlik Hesabı

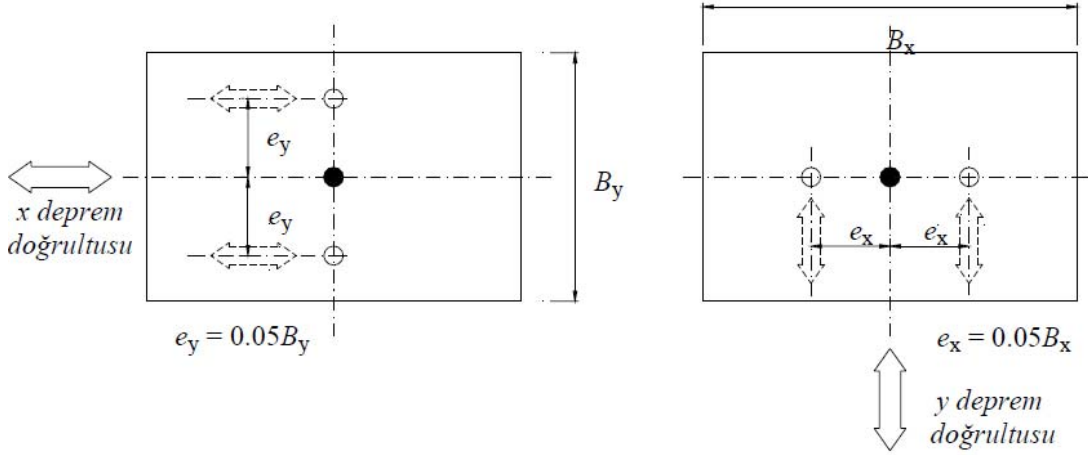
Yeni yönetmeliğe geçişte ek dışmerkezlikle ilgili en önemli değişiklik dinamik analizlerde ek dışmerkezlik hesabında olmuştur. **ABYYHY 1998**'de bu hesap, kat kütlelerinin $+ \%5$ ve $- \%5$ kaydırılmış kütle merkezlerinde tanımlanmasıyla yapılmaktadır. Ayrıca herhangi bir i 'inci katın kütle eylemsizlik momentinin, m_{0i} , kaydırılmamış kütle merkezi'nden geçen düşey eksen etrafında hesaplanacağı belirtilmektedir. 4'üncü bölümde anlatıldığı gibi, bu yöntemde tüm eksantirisite durumları için doğal frekansın ve modal parametrelerin ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir.

ABYYHY 1998'den farklı olarak **DBYBHY 2007**'de **modal deprem yükleri** ifadesi yer almaktadır. Her katta modal deprem yüklerinin, göz önüne alınan birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi için hesaplanacağı, ancak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+ \%5$ 'i ve $- \%5$ 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacağı belirtilmektedir. Modal deprem yüklerinin nasıl hesaplanacağına dair net bir ifade yer almamakla birlikte aslında bu yöntem Fahjan et al [2006] tarafından önerilen yöntemle paraleldir.

2.1.4 Mod Birleştirme Yönteminde Esnek Diyaframlı Yapılarda Ek Dışmerkezlik Hesabı

Son mevcut yönetmeliğimize geçişte, rijit diyaframlı yapılarda ek dışmerkezlik hesabına benzer biçimde, A2 başlığı altında tanımlanan döşeme süreksizliğinin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda ek dışmerkezlik hesabında bir değişiklik yer almaktadır. **ABYYHY 1998**, Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun $+ \%5$ 'i ve $- \%5$ 'i kadar kaydırılacak olan her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan '**tekil kütlelerden**' bahsederken, **DBYBHY 2007** aynı tanımda tekil kütlerler yerine, '**tekil kütlelere etkiyen modal deprem yükleri**' ifadesini kullanmıştır.

Ayrıca her iki yönetmelik de bu tür binalarda sadece ek dışmerkezlilik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklüklerinin Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemine göre de hesaplanabileceği ve bu büyüklüklerin, ek dışmerkezlilik etkisi göz önüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak yine iki yönetmelikte de yer alan mod katkılarının birleştirilmesi kurallarına göre birleştirilen büyüklüklere doğrudan ekleneceği belirtilmektedir.



Şekil 2.1 ABYYHY 1998 ve DBYBHY 2007'da yer alan ek dışmerkezlilik uygulama şeması

2.2 EUROCODE

Eurocode'da ek dışmerkezlilikle ilgili önce madde 4.3.2'de bir tanımlama yapılmıştır. Bu maddenin geleneksel yöntemlerden ve yönetmeliğimizden bir farkı yoktur. Bu tanımda, kütle merkezinin ve sismik hareketin uzamsal varyasyonlarının belirlenmesindeki belirsizliklerden dolayı, her katta hesaplanan kütle merkezi nominal yerinden her doğrultuda aşağıda belirtilen ek dışmerkezlilik kadar kaydırılarak hesaplanacağı belirtilmiştir.

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i \quad (2.1)$$

e_{ai} : kat kütlelerinin nominal konumundan her katta aynı doğrultuda kaydırılmış ek dışmerkezliliği

L_i : sismik harekete dik doğrultudaki kat planı boyu

EuroCode, modal analizlerde burulma etkisi hesabı için oldukça farklı bir yöntem önermektedir. Bu yöntemle göre, analizlerde uzamsal modellerin kullanıldığı durumlarda, ek dışmerkezlilik, burulma momentleri dizisinin (M_{ai}) oluşturduğu statik yüklemelerden elde edilen etkilerin kombinasyonlarıyla hesaplanabileceği ifade edilmektedir.

M_{ai} : her bir katın düşey eksenine etrafında etkimek üzere:

$$M_{ai} = e_{ai} \cdot F_i \quad (2.2)$$

M_{ai} her i 'nci katın düşey eksenine uygulanan burulma momenti; e_{ai} kat kütlelerinin nominal konumundan her katta aynı doğrultuda kaydırılmış ek dışmerkezliliği; F_i ilgili doğrultularda herhangi i 'nci kata etkiyen yatay kuvvet.

Bu formüle uygun olarak hesaplanan yüklemelerin etkileri pozitif ve negatif işaretleriyle birlikte (her katta aynı işaret olacak şekilde) hesaba katılması gerektiği vurgulanmaktadır.

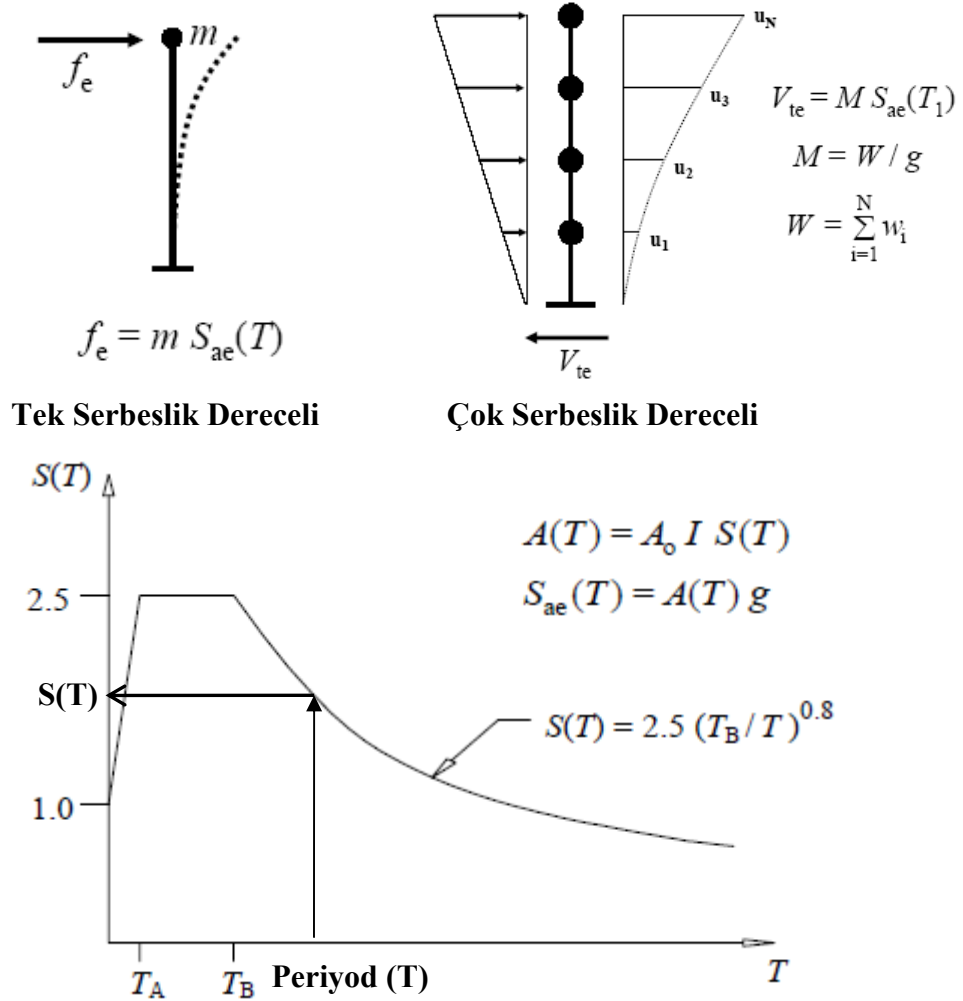
Görüldüğü üzere bu maddeye göre, modal analizde herhangi bir dışmerkezlilik hesabı yapılmaz. Ancak modal analizden ayrı olarak, yalnızca %5 kaydırma işlemi sonucu elde edilen momentin etki ettirilmesiyle yapılan bir statik analizden söz edilmektedir. Yani bu yöntemde her bir deprem yönü için bir modal bir de statik analiz yapmak gerekmektedir. Bu da her iki analizden elde edilen sonuçların $+S_x+M_x$, $+S_x-M_x$, $-S_x+M_x$, $-S_x-M_x$, $+S_y+M_y$, $+S_y-M_y$, $-S_y+M_y$, $-S_y-M_y$ şeklinde 8 ayrı kombinasyonla birleştirilmesi anlamına gelmektedir. 4'üncü bölümün 2'inci maddesinde bu yöntem Şekil 4.3 ile birlikte açıklanmaktadır.

2.3 International Building Code IBC [2003]

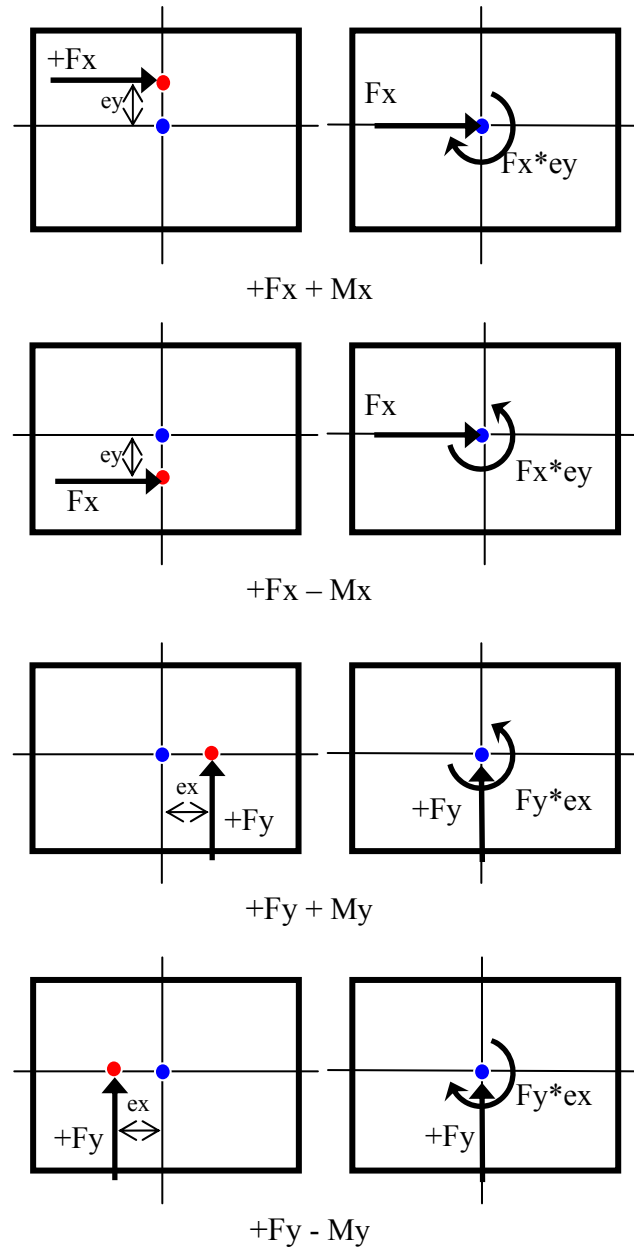
IBC 2003 ek dışmerkezlilik konusunda ASCE 5-05 Bölüm 12'ye atıfta bulunmaktadır. Burada da uygulama DBYYHY 2007'deki gibidir. Ancak modal analizlerde ek dışmerkezlilik hesabı için bir yöntem önerilmemektedir.

3. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİNDE DIŞMERKEZLİK MOMENTİNİN HESABI

Mevcut uygulamalarda, eşdeğer deprem yükü yönteminde dışmerkezlilik momentinin hesabı, yönetmeliklerin çoğunda yer almaktadır. Ek dışmerkezlilik, her kat için Şekil 3.1’de gösterildiği üzere hesaplanan eşdeğer statik yatay yükün kütle merkezinin (KM) e_{di} mesafesi kadar dışında etki ettirilmesiyle hesaplanmaktadır. Bu yöntem, her bir yatay deprem yönü için, iki statik analiz hesabı gerektirmektedir. Yani, Şekil 3.2’de gösterildiği üzere $+F_x+M_x$, $+F_x-M_x$, $-F_x+M_x$, $-F_x-M_x$, $+F_y+M_y$, $+F_y-M_y$, $-F_y+M_y$, $-F_y-M_y$ şeklinde 8 statik analiz yapılmak zorundadır.



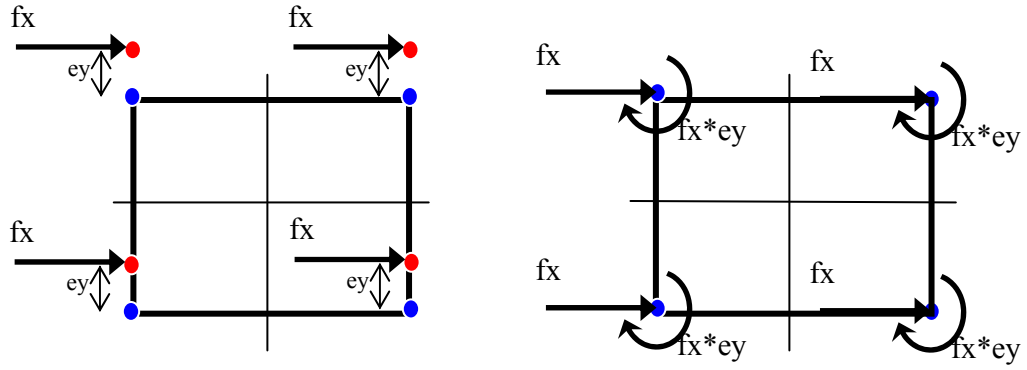
Şekil 3.1 Eşdeğer statik yük yöntemi uygulama şeması



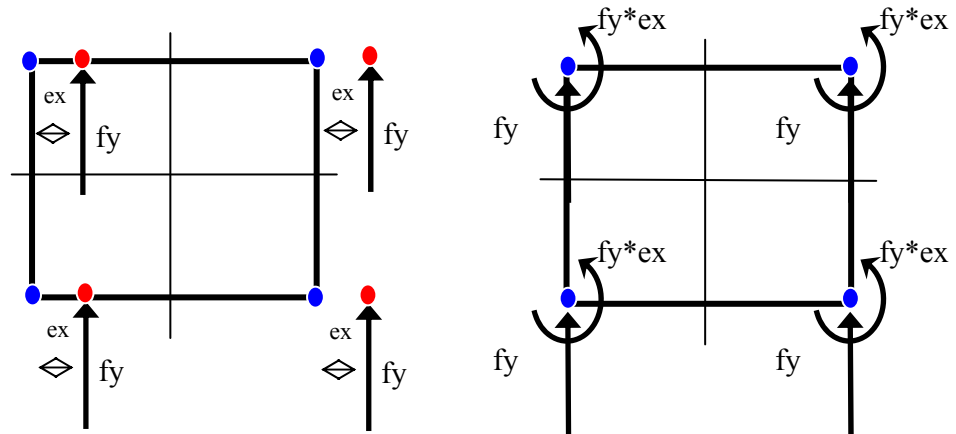
Şekil 3.2 Eşdeğer statik yük yönteminde ek dışmerkezlik - rijit diyafram uygulaması

Esnek diyaframlı yapılarda, yani DBYYHY 2007'e göre A2 döşeme süreksizliği düzensizliğine, rijit diyafram gibi hareket edemeyecek miktarda boşluğu olan kat döşemelerine sahip binalarda uygulama farklıdır. Bu tür yapılarda kesme kuvvetleri kat planı üzerindeki düğüm noktalarına dağıtıldığından, ek dışmerkezlilik, bu kesme kuvvetlerinin her bir düğüm noktasından deprem doğrultusuna dik yönde %5 kaydırılmasından elde edilen momentin de söz konusu düğüm noktalarına etki ettirilmesiyle hesaplanmaktadır. Her bir deprem doğrultusu için uygulamanın nasıl olacağı Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

+X deprem doğrultusu



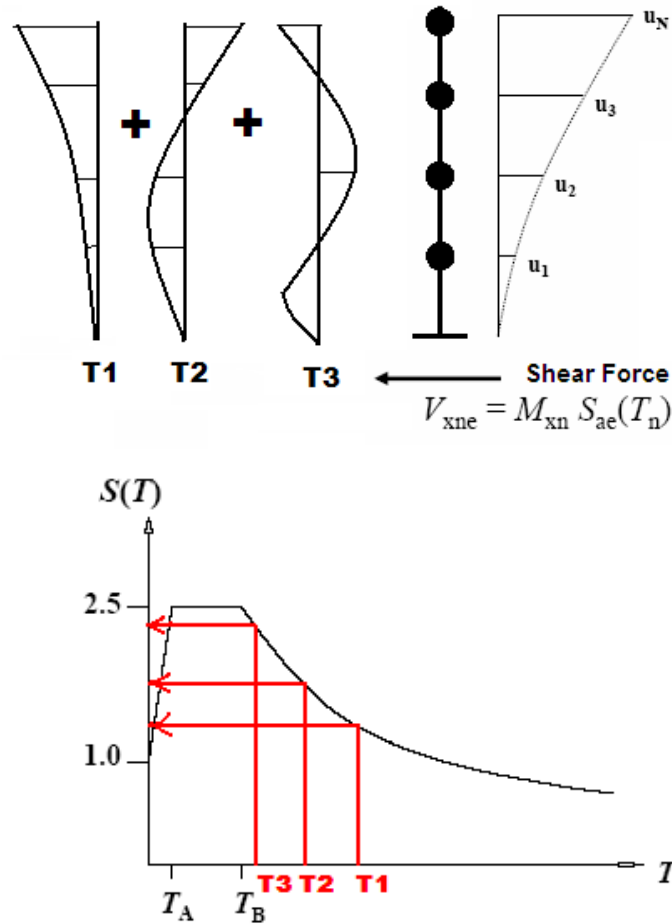
+Y deprem doğrultusu



Şekil 3.3 Eşdeğer statik yük yönteminde ek dışmerkezlilik - esnek diyafram uygulaması

4. DİNAMİK ANALİZLERDE DIŞMERKEZLİK MOMENTİNİN HESABI

Bu dinamik çözümleme yöntemi, sistemin davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan cevabının ayrı ayrı elde edilmesinden sonra birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanır (Şekil 4.1). Binalarda kütlelerin katlarda toplandığı kabul edilerek her kat için iki öteleme ve bir dönme hareketi esas alınır. Dönme hareketi nedeniyle katlarda kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmemesinin etkisi de hesaba katılmış olur. Yönetmeliklerde bu yöntemin önerildiği durumlarda bile, elde edilen sonuçların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ninkilerle karşılaştırılması daima öngörülür.



Şekil 4.1 Dinamik Analizlerde Mod Birleştirme

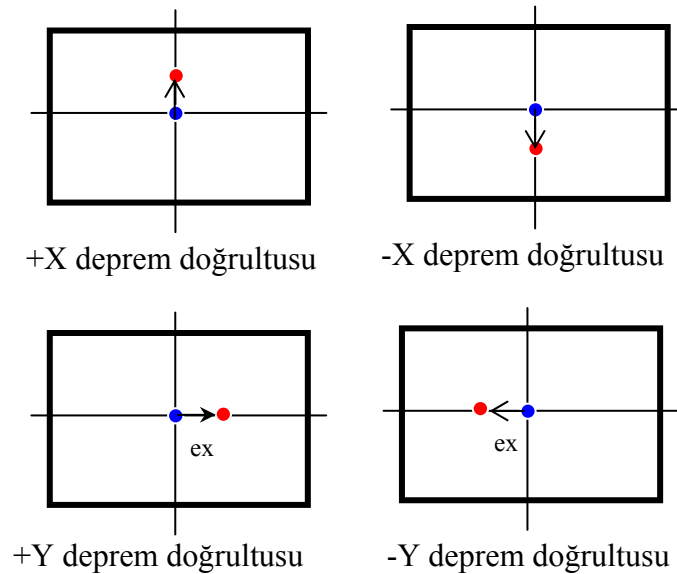
Mod birleştirme yönteminde, maksimum iç kuvvetler, yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve momentler, yapıda yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkılarının,

- Kareleri toplamının karekökü kuralı (SRSS)
- Tam karesel birleştirme (CQC) kuralı gibi istatistik yöntemlerle birleştirilmesi ile elde edilir.

Toplam etkin kütlein %80-90'ına ulaşınca kadar yeterli sayıda mod katkısı hesaba dahil edilir.

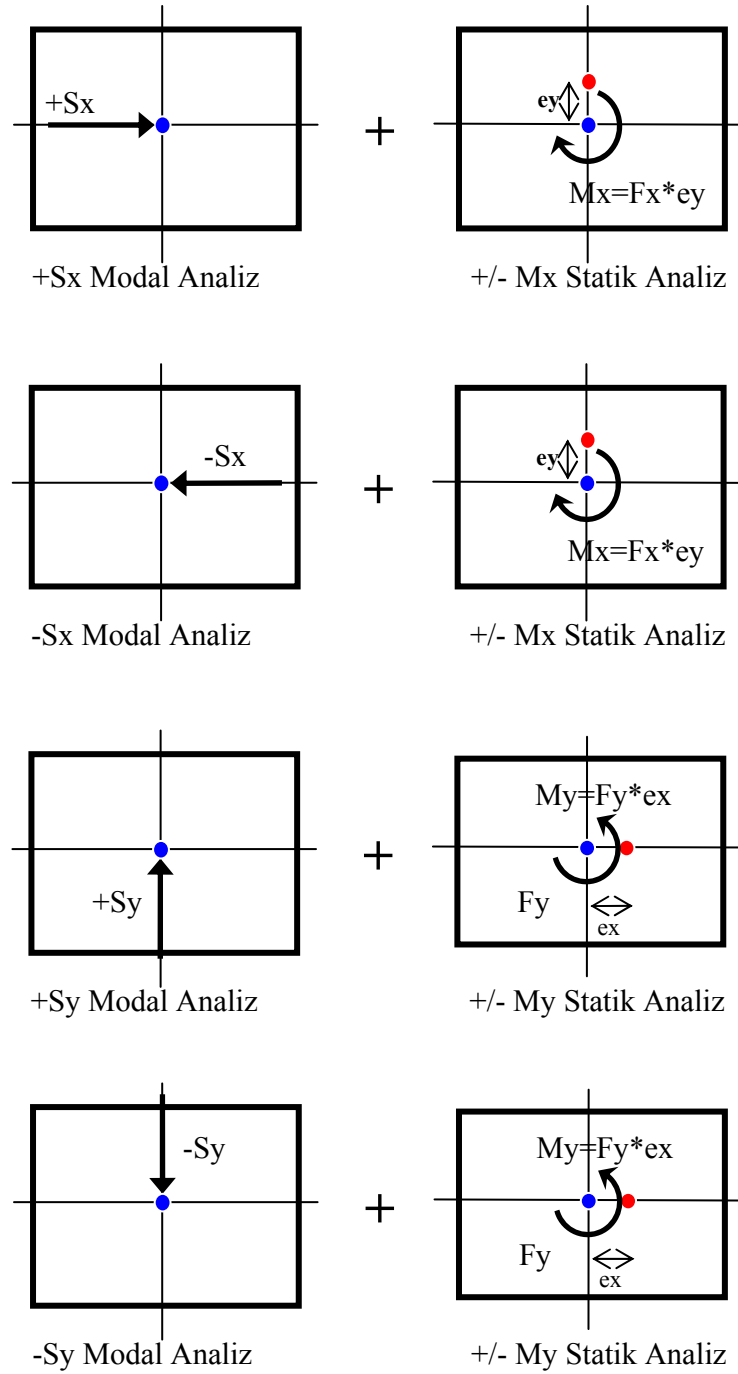
Dinamik analizlerde dış merkezlik hesabı aşağıdaki iki yaklaşımdan biriyle yapılabilir.

1. Kütle merkezini hesaplanan pozisyonundan, her katta, her iki yönde gerekli eksantirisite miktarı " e_{di} " kadar kaydırılması (Şekil 4.2). Bu çözüm sistemin global rijitlik merkezini değiştireceğinden, tüm eksantirisite durumları için doğal frekansın ve modal parametrelerin yeniden hesaplanması gerekir. Ayrıca çözüme ulaşmak için Şekil 5'deki gibi kütle merkezinin ek dışmerkezlik kadar kaydırıldığı dört ayrı model oluşturmak zorunludur.



Şekil 4.2 Dinamik Analizlerde Rijitlik merkezi kaydırılması

2. Tüm eksantisite durumları için her bir katta meydana gelen momenti dikkate alarak statik analiz hesabı yapılması ve sonuçlarını dinamik mod birleştirme analizi sonuçlarıyla birleştirmesi. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi her iki analizden elde edilen sonuçlar $+S_x+M_x$, $+S_x-M_x$, $-S_x+M_x$, $-S_x-M_x$, $+S_y+M_y$, $+S_y-M_y$, $-S_y+M_y$, $-S_y-M_y$ şeklinde 8 ayrı kombinsayonla birleştirilir.



Şekil 4.3 Modal analizlerde ek dışmerkezlilik uygulama şeması

Birinci metodun en olumsuz yanı, sistemin doğal karakteristiklerinin her bir eksantirisite durumu için kaçınılmaz biçimde değişmesidir. Bu yüzden metodun standart bina analiz yazılımlarından çoğunda uygulaması yoktur (Ref: SAP2000). Sonuç olarak her bir eksantirisite durumu için dört bağımsız hesabın süperpozesini elde etmek bir hayli çaba gerektiriyor.

Şunu da belirtmek gerekir ki, aynı ek dışmerkezlik etkisinde, hesap sonucu çıkan ötelemeler ve kuvvetler, statik ve dinamik analizlerde göz ardı edilmeyecek derecede kayda değer farklı sonuçlar vermektedir. [Lin et al, 2001]. Ayrıca statik analiz metodunda, ek dışmerkezlik etkisindeki burulmanın analitik sonuçları yeterince tutarlı değildir. [De la Llera and Chopra 1995].

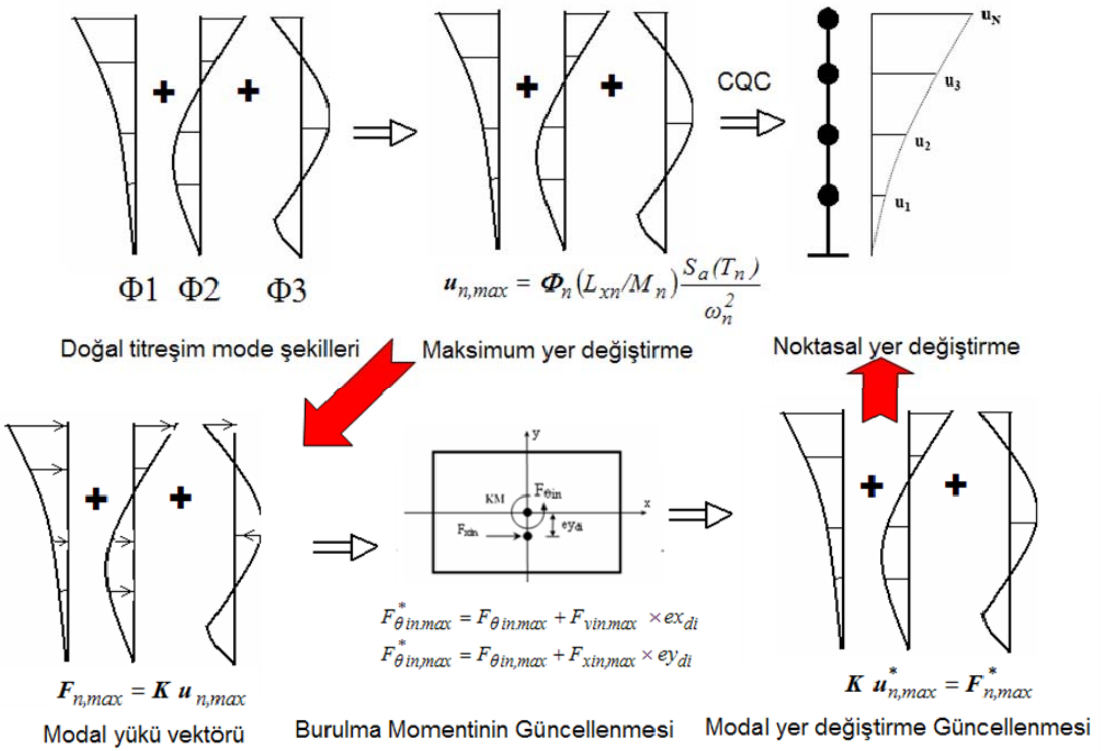
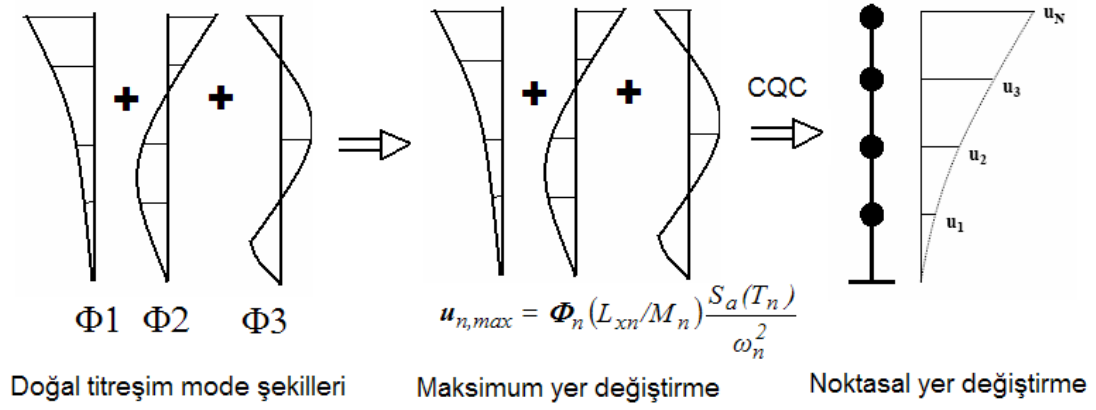
5. DİNAMİK ANALİZLERDE ÇOKLU MODAL EK DIŞMERKEZLİK HESABI

Fahjan et al [2006] makalesinde çok serbestlik dereceli sistemlerin çok modlu hesabında ek dışmerkezliğin etkisini göz önüne alan, modal analiz yönteminde bir değişiklik önermektedir. Metodoloji, her bir mod şekline ait global kuvvet vektörlerine ek dışmerkezliğin tatbikiyle, dinamik modal süperpozisyon tekniğini temel almaktadır. Bu nedenle ilk olarak, global yer değiştirme vektörleri her mod şekli için hesaplanır.

Sonra, global kütle matrisi, sistemin özdeğer vektörleri ve global yer değiştirme vektörleri kullanılarak bu sonuçlara karşılık gelen global kuvvet vektörleri hesaplanır. Her bir mod şekli için, global kuvvet vektörlerinin ek dışmerkezlik momentleri, her bir yönde gerekli dışmerkezlik miktarı kadar değiştirilerek güncellenir. Yine her bir mod şekli için her bir elemanın değiştirilmiş global yer değiştirme vektörlerinin statik analiz yapılır, sonra iç kuvvetlerinin hesaplanır. Noktasal yer değiştirmeler ve iç kuvvetler standart mod birleştirme teknikleri kullanılarak birleştirilebilir (Şekil 5.1).

Önerilen yöntem rijit ya da esnek diyaframlı tüm binalarda uygulanabilir ve yapı analiz programlarına da kolayca entegre edilebilir. En temel ifadelerle hesap beş adımla özetlenebilir.

- Her mod şekli için global yer değiştirme vektörlerinin hesaplanması.
- Modal Kuvvet vektörlerinin hesaplanması.
- Dışmerkezlik momentleri eklenerek modal kuvvet vektörlerinin güncellenmesi.
- Güncellenmiş modal kuvvet vektörleri kullanılarak statik analiz yapılması
- Mod birleştirme yöntemi ile tüm elemanların iç kuvvetlerinin hesaplanması



Şekil 5.1 Önerilen yöntem için uygulama şeması

6. TEORİK ESASLAR

Yer hareketi ivmesi etkisindeki bir sistemin hareket denklemi, $\ddot{u}_g(t)$

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = -MT_x\ddot{u}_g(t) \quad (6.1)$$

Burada M , C , K sırasıyla sisteme ait kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, u yer hareketiyle orantılı olarak, temel üstündeki noktasal yer değiştirmeyi ifade eder. $\dot{u}$ ve $\ddot{u}$ vektörleriyle gösterilen noktasal hız ve yer değiştirme, $\ddot{u}_g(t)$ yer hareketi ivmesinin x yönündeki bileşeninin oluşturduğu etki vektörüdür.

Doğal titreşim mode şekilleri, Φ_n ve buna karşılık gelen doğal frekanslar, ω_n , sistemin serbest titreşim özdeğer probleminin sonuçlarıdır.

$$K\Phi = \omega_n^2 M\Phi \quad (6.2)$$

Noktasal yer değiştirme vektörü, modal koordinat dönüşümünün zaman tanım aralığında uygulanmasıyla aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$u(t) = \Phi Z(t) = \sum_{n=1}^Y \Phi_n Z_n(t) \quad (6.3)$$

Bu denklemde $Z(t)$ modal koordinat vektörünü, Y dikkate alınan mod sayısını, Φ_n ve $Z_n(t)$ sırasıyla n^{inci} modun mod şekil vektörü ve mod koordinatını ifade eder. Sırasıyla noktasal hız ve ivmeler aşağıdaki gibi yazılabilir,

$$\dot{u}(t) = \sum_{n=1}^Y \Phi_n \dot{Z}_n(t) , \quad \ddot{u}(t) = \sum_{n=1}^Y \Phi_n \ddot{Z}_n(t) \quad (6.4)$$

Yukarıdaki dönüşüm formüllerinin Denklem (6.1)'de yerine konulduğunda ve mod şekillerinin ortogonal özellikleri dikkate alındığında, genelleştirilmiş modal yer değiştirmeler, $Z_n(t)$, için bir denklem dizisi elde edilebilir,

$$\ddot{Z}_n(t) + 2 \xi_n \omega_n \dot{Z}_n(t) + \omega_n^2 Z_n(t) = - \left(\frac{L_{xn}}{M_n} \right) \ddot{u}_{gx}(t) \quad (6.5)$$

Denklem (6.5)'de ξ_n n^{inci} moddaki sönüm oranıdır. L_{xn} ve M_n ise;

$$L_{xn} = \Phi_n^T M T_x = \sum_1^N (m_i \Phi_{xin}) \quad (6.6a)$$

$$M_n = \Phi_n^T M \Phi_n = \sum_1^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \Phi_{\theta in}^2) \quad (6.6b)$$

L_{xn}/M_n oranı “x doğrultusunda, n^{inci} modun katılım faktörü” olarak tanımlanan boyutsuz bir parametredir. Spektral tepki analizlerinde, r^{inci} modun maksimum modal koordinatı için, Denklem (6.2)'nin çözümü şu şekilde yazılabilir;

$$Z_{n,max} = (L_{xn}/M_n) \frac{S_a(T_n)}{\omega_n^2} \quad (6.7)$$

Formülde $S_a(T_n)$, n^{inci} mod için, yönetmelikteki dizayn spektrumundan elde edilen spektral ivmedir.

Denklem (6.1) kullanılarak x doğrultusundaki depremin etkisinde, n^{inci} mod için maksimum yer değiştirme aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$u_{n,max} = \Phi_n Z_{n,max} = \Phi_n (L_{xn}/M_n) \frac{S_a(T_n)}{\omega_n^2} \quad (6.8)$$

Sonuç olarak x doğrultusunda n^{inci} mod için deprem yükü vektörü;

$$F_{n,max} = K u_{n,max} \quad (6.9a)$$

Aynı denklem, Denklem (6.6) ve serbest titreşim kuralları kullanılarak aşağıdaki gibi de ifade edilebilir;

$$F_{n,\max} = \omega_n^2 M u_{n,\max} = M \Phi_n (L_{xn}/M_n) S_a (T_n) \quad (6.9b)$$

Benzer biçimde x ve y doğrultularında n^{inci} modda, yapının inci katına etkiyen kuvvetlerle, z eksenini etrafında etkiyen burulma momenti şu şekilde yazılabilir;

$$F_{xin,\max} = m_i \Phi_{xin} (L_{xn}/M_n) S_a (T_n) \quad (6.10a)$$

$$F_{yin,\max} = m_i \Phi_{yin} (L_{xn}/M_n) S_a (T_n) \quad (6.10b)$$

$$F_{\theta in,\max} = m_{\theta i} \Phi_{\theta in} (L_{xn}/M_n) S_a (T_n) \quad (6.10c)$$

7. EK DIŞMERKEZLİK ETKİSİNİN DİNAMİK MODAL ANALİZ YÖNTEMİNE GÖRE GÜNCELLENMESİ

Bir yapıda ek burulma momentinin sonuçlarının, yani yapının n^{inci} modunda, i^{nci} katında dikkate alınan ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, $F_{\theta in, max}$ güncellenir. $F_{xin, mx}$ ve $F_{yin, max}$ yüklerinin kütle merkezinden (KM) e_{di} mesafesi kadar dışarıda uygulanmasıyla ek burulma momenti hesaplanır.

$$F_{\theta in, max}^* = F_{\theta in, max} + F_{yin, max} \times e_{x_{di}} \quad (7.1a)$$

$$F_{\theta in, max}^* = F_{\theta in, max} + F_{xin, max} \times e_{y_{di}} \quad (7.1b)$$

Denklem 7.1a ve 7.1b'de $e_{x_{di}}$, $e_{y_{di}}$ sırasıyla i^{nci} katta x ve y doğrultularındaki dizayn eksantirisiteleridir. Denklem (6.9a) x doğrultusundaki dışmerkezlik durumları için burulma momenti modifikasyonunu, Denklem (6.9b) y doğrultusundaki dışmerkezliği ifade eder, (Şekil 7.1).

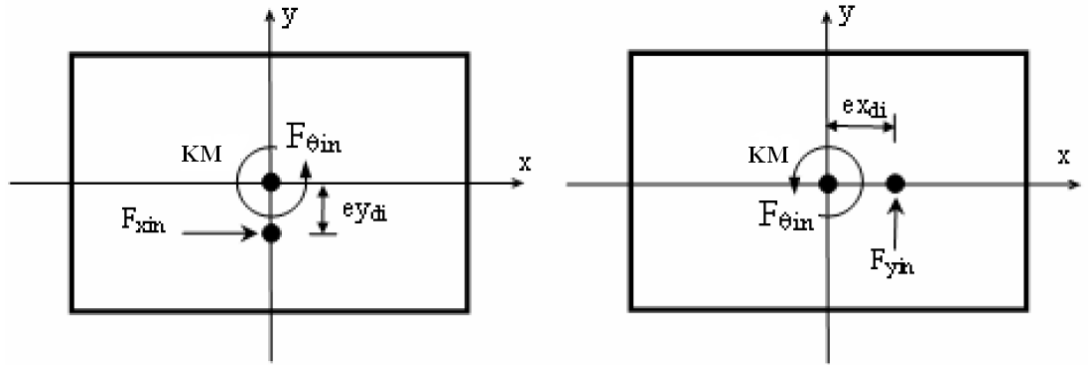
X doğrultusunda i^{nci} , n^{inci} mod için, güncellenmiş burulma momentleri, $F_{\theta in, max}^*$, Denklem (6.7)'de tanımlanan $F_{n, max}$ kuvvet vektörünün değiştirilmesi için kullanılır. Bundan dolayı göreceli dizayn eksantiristesinin etkileri, sonuç kuvvet vektörü $F_{n, max}^*$ 'a dahil edilmiş olacaktır.

Dışmerkezlik etkisinin hesaplanması için maksimum noktasal yer değiştirme $u_{n, max}$, aşağıdaki lineer sistem denkleminin çözülmesiyle güncellenir.

$$K u_{n, max}^* = F_{n, max}^* \quad (7.2)$$

Noktasal yer değiştirmeler ve iç kuvvet vektörlerinin maksimum tepki değerlerini hesaplamak için, her n^{inci} mod için güncellenmiş maksimum noktasal yer değiştirme, $u_{n, max}^*$, yönetmeliklerde önerildiği gibi doğrudan modal kombinasyon hesap adımlarında kullanılabilir.

Önerilen yönteme göre her n^{inci} mod için, gerekli eksenrisite durumlarında Denklem (7.2)'te verilen lineer sistem çözülmelidir. Her ne kadar bu yöntem rakamsal olarak karmaşık görünse de, aslında pratikte öyle değildir. Gauss'un yok etme metodu veya LU ayrıştırma gibi yöntemler kullanıldığında K matrisi için bir kere yok etme işlemi yapıldığında, her bir $F_{n,\text{max}}^*$ için yalnızca geri-hesaplama (back-substitution) işlemi yapmak yeterli olur. Bu da modifikasyon işlemini neredeyse tüm çok katlı bina yapıları için basit ve etkili yapar.



Şekil 7.1 Belirlenen Titreşim Moduna göre Burulma Momentinin Güncellenmesi

8. SAYISAL UYGULAMALAR

Önerilen yöntem Türkiye’de projesi ve uygulaması mevcut iki örnek binanın çözümünde uygulandı. Burulma etkisi üzerine yapılan çalışmalar için gerçek bina konfigürasyonlarının seçiminin önemi Stathopoulos and Anagnostopoulos [2005] tarafından vurgulandığı üzere, simetrik ve asimetrik dört katlı, çerçeveli, iki betonarme bina göz önüne alındı. İki binanın da tipik kat düzeni Şekil 8.2 ve Şekil 8.10’da gösterildiği gibidir.

Kolon ebatları planlarda gösterilmiş olup, her iki binada da 25x50; kiriş kesit ebatları 25x50, döşeme kalınlığı 12 cm alındı. Her bir binanın düşey taşıyıcı sistem kesitleri, bina yüksekliği boyunca sabit kabul edildi. Tüm binalarda, tipik kat yüksekliği 2.80 m alındı.

Örnek binaların üç boyutlu modellenmesinde, analizinde ve tasarımında Sap2000 [2009] ve Orion Probina [2006] yapısal tasarım yazılımlarından faydalanıldı. Birleşim noktalarında toplanmış Etkili Modal Kütle modelleri ve *Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı* ile birlikte 5% sönüm kullanıldı.

Modal periyotlar ve bu periyotlara ait yanal x, yanal y ve dönel z yönlerindeki (U_x , U_y , R_z) toplam kütle katılım oranları hesaplandı ve Tablo 8.1’de çizelge halinde verilmektedir. Sismik yükler, DBYBHY 2007’de belirtilen davranış spektrumu temel alınarak hesaplandı. Binalar 1. derecede deprem bölgesinde, Z3 zemin sınıfında kabul edildi ve bina önem katsayısı ‘1’ alındı.

Yönetmelikte de önerildiği üzere sisteme uygun olarak davranış katsayısı (R) ‘8’ alındı. Türk Deprem Yönetmeliği’ne göre spektrum katsayıları ve tasarım ivme spektrum eğrileri Şekil 8.1’de gösterilmektedir.

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir yön için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmaması şartına göre belirlendi. Mod süperpozisyon metodundan elde edilen tüm iç

kuvvetler ve yer deşiştirmeler, DBYBHY 2007, “2.8.5. Hesaplanan Büyüklüklere ilişkin Alt sınır Değerleri” maddesi koşuluna uygun olarak büyütüldü.

İki bina da iki yatay (x ve y doğrultularında) sismik yüklemeyle analiz edildi. Ek dışmerkezlik burulma etkisini içeren sismik yüklerin x ve y doğrultularında hesabı, dışmerkezliksiz (karşılaştırma amacıyla), Eurocode, Dinamik Kütle Kaydırma ve  oklu-Modal Dışmerkezlik yöntemlerinin her biriyle ayrı ayrı yapıldı.

Analiz yöntemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla,

- Her iki binada da 1. ve 4. kat sonuçları dikkate alındı.
- Yalnızca +X ve +Y deprem hareketleri sonuçları incelendi.
- Seçilen düğüm noktalarında maksimum yer değiştirmeler göz önüne alındı.
- Yine her bir katta seçilen kolonlara gelen kesme kuvvetleri değerlendirildi.

Maksimum yer değiştirme karşılaştırması amacıyla iki binanın da birinci ve dördüncü katlarında seçilen düğüm noktaları simetrik bina için şekil 8.18’de asimetrik bina içinse şekil 8.19’da gösterilmektedir.

Dışmerkezliksiz hesaplama, Eurocode ve Dinamik Kütle Merkezi Kaydırma Yöntemlerinin kullanıldığı hesaplar Sap2000 yazılımında, önerilen  oklu Modal Ek Dışmerkezlik Yöntemi hesabı ise Orion Probina yazılımında yapılmıştır.

Asimetrik bina için, dışmerkezliksiz hesaba ve diğer üç ek dışmerkezlik hesaplama yöntemlerine göre +X yönündeki yer değiştirme karşılaştırması Tablo 8.2’te +Y yönündeki ise Tablo 8.3’te verilmektedir. Simetrik bina içinse bu değerler Tablo 8.4 ve Tablo 8.5’de gösterilmektedir.

Kesme kuvvetleri değerlendirmesi için asimetrik binada şekil 8.20’de gösterilen C1, C2, C3, C4, C5 ve C6; simetrik binada şekil 8.21’de gösterilen C1, C2, C3, C4 ve C5 kolonları seçildi. Seçilen kolonlara her bir yöntemden gelen kesme

kuvvetleri asimetrik bina için Tablo 8.6 (+X) ve Tablo 8.7 (+X), simetrik bina için Tablo 8.8 (+X) ve Tablo 8.9 (+Y)'da gösterilmektedir.

8.1 Yer değiştirmeler

Asimetrik binada seçilen dűęüm noktalarında +X deprem yönünde U_x 'lerde %11'lik artışla, her iki katta da en fazla Eurocode yönteminde yer değiştirme meydana gelmiştir, (Tablo 8.2). Onu yaklaşık %9'la Dinamik KM Kaydırma takip etmiş, en az yer değiştirme ise %6 civarındaki artışla Çoklu Modal Dışmerkezlik yönteminde olmuştur.

Tablo 8.3'e göre +Y yönünde ek dışmerkezliğin üç yöntemde de U_y 'de yer değiştirmede azaltıcı bir etkisinin olduğunu görüyoruz. Eurocode ve Çoklu Modal Dışmerkezlik yöntemleri %7 civarı bir azalmaya neden olurken, Dinamik KM Kaydırmada iki katta ortalama % 3.5'luk bir azalıştan söz edilebilir. Buna karşın U_x 'lerde dikkate değer şekilde artışlar gözlemlenmektedir. Bu artışların yüksek değerlerde olması ek dışmerkezliksiz hesaptaki değerlerin oldukça düşük olmasına bağlanabilir.

Simetrik binada da +X deprem yönünde (Tablo 8.4), U_x 'lerdeki en düşük değişim yine Çoklu Modal Dışmerkezlikte olduğu gözlemlenmekle birlikte bu değer 4'üncü katta %8 civarındadır. Asimetrik binanın aksine bu yönde U_x 'lerdeki en büyük artış %18'le Dinamik KM Kaydırma yönteminde olmuştur. Eurocode ise %8.7 lik bir artışla Çoklu Modal Dışmerkezlik yöntemine yakın bir sonuç vermiştir.

Simetrik binanın da +Y yönündeki en büyük U_x ve U_y değerleri Dinamik KM Kaydırma analizinden elde edilmiştir, (Tablo 8.5). 1'inci katta %34 olan artış, 4'üncü katta %20 civarındadır.

Ek dışmerkezliksiz analize göre **simetrik binada**, depremin etki ettiği yöne dik doğrultuda herhangi bir yer değiştirme beklenmeyeceğinden bu değerler her iki tabloda da (Tablo 8.4, Tablo 8.5) "0" olarak gözükmemektedir. Ancak ek dışmerkezlikli hesap yöntemlerinden üçü arasında bu yönlerde en düşük yer değiştirmeler yine Çoklu Modal Dışmerkezlik yönteminde görölmektedir.

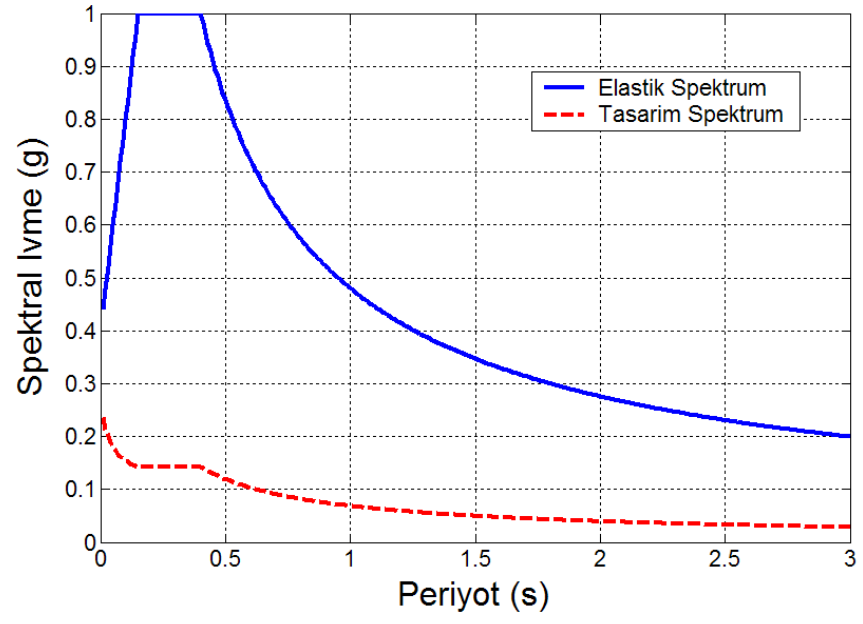
8.2 Seçilen Kolonlarda Kesme Kuvvetleri

Asimetrik binada seçilen C1, C2, C3, C4, C5, C6 kolonlarına **+X** deprem yönünde etkiyen **F_x** kesme kuvvetlerinde 1'inci katta C1 kolonunda %12.3'le Eurocode yönteminde, 4'üncü katta 13.8'lik artışla C3 kolonunda Dinamik KM Kaydırma yönteminde en fazla yer değiştirme meydana gelmiştir, (Tablo 8.6). Çoklu Modal Dışmerkezlik yönteminde F_x 'lerdeki en büyük değişim ise her iki katta da %6,5 civarında olmuştur. Buna karşı C4, C5, C6 kolonlarına etkiyen kesme kuvvetlerinde azalma meydana gelmiş, bunların içinde en fazla azalma, 1'inci katta C5 kolonunda %16.6'yla Dinamik KM Kaydırma yönteminde, 4'üncü katta 17.2'lik azalışla yine C5 kolonunda Dinamik KM Kaydırma'da gözlemlenmiştir.

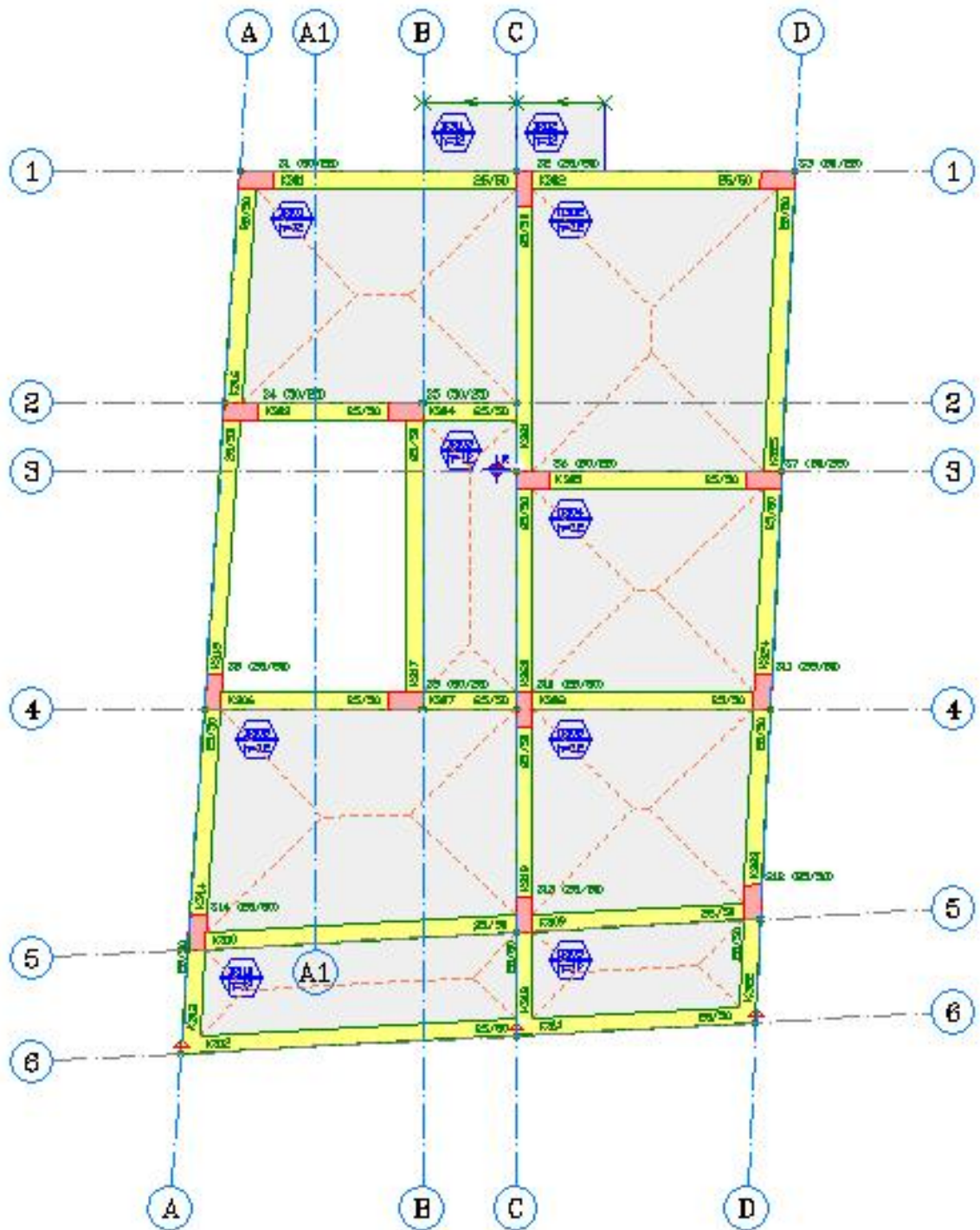
F_y kesme kuvvetlerinde ise 1'inci katta bütün kolonlarda bir azalma olmuştur. En fazla azalma 1'inci katta %17, 4'üncü katta 18'le Dinamik KM Kaydırma yönteminde C1'de görülmüştür.

Simetrik binada seçilen kolonlara **+X deprem yönünde** etkiyen **F_x** kesme kuvvetlerinde 1'inci katta %14.8, 4'üncü katta 21.3'lük artışla Dinamik KM Kaydırma yönteminde C1 kolonunda en fazla yer değiştirme meydana gelmiştir, (Tablo 8.8). Çoklu Modal Dışmerkezlik yönteminde F_x 'lerdeki en büyük artış ise C1 kolonunda 1'inci katta %7, 4'üncü katta %9.1 olmuştur. Eurocode yönteminde de en büyük artış ise C1 kolonunda meydana gelmiş ancak bu değerler 1'inci katta %7.8, 4'üncü katta %9.2 olmuştur. Simetrik binada Eurocode ve Çoklu Modal Dışmerkezlik yöntemlerinin bu yönde birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiğini görmekteyiz.

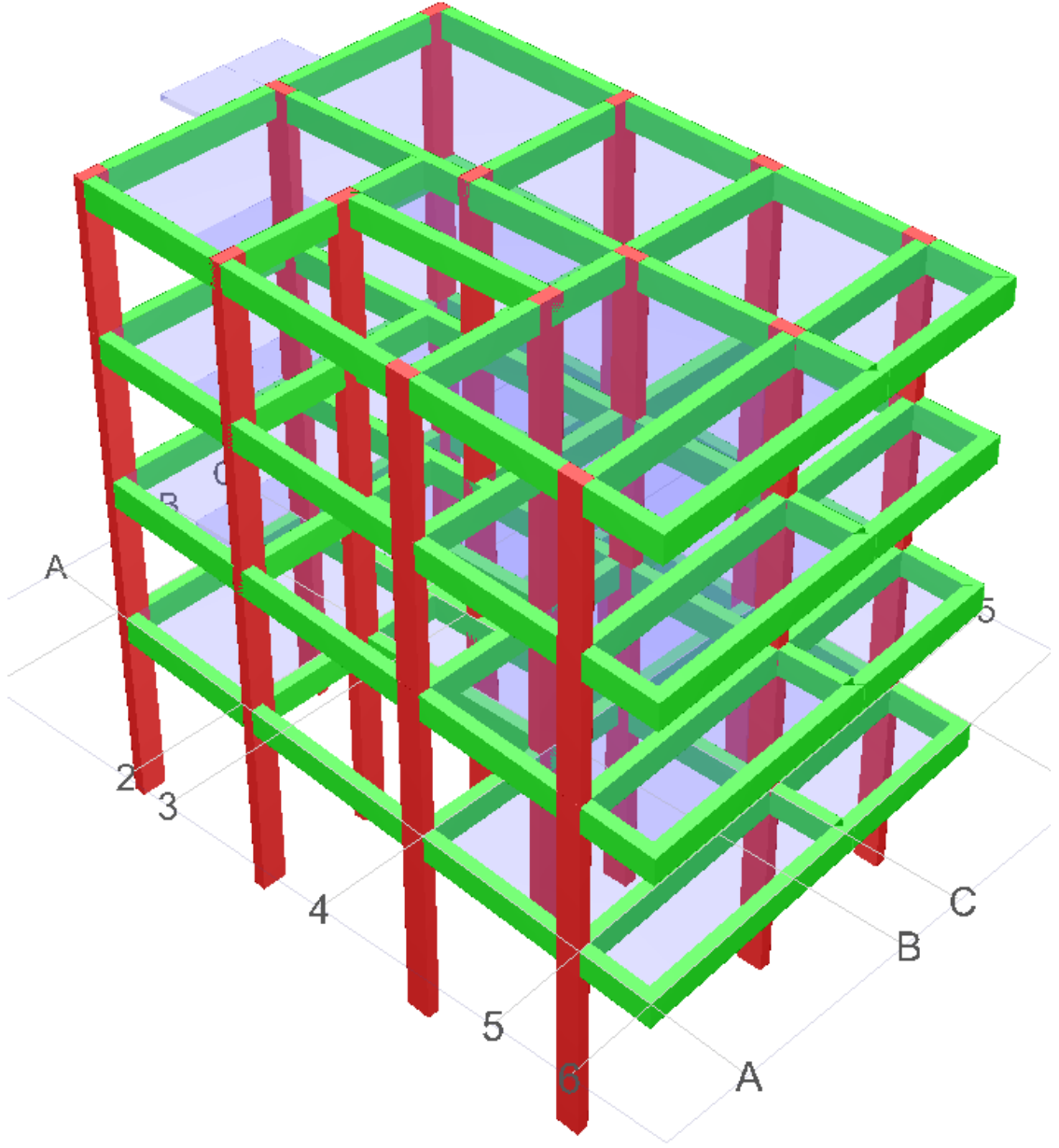
Aynı binada Tablo 8.9'da görüldüğü üzere, **+Y deprem yönünde** etkiyen **F_y** kesme kuvvetlerinde iki katta da, Eurocode ve Çoklu Modal Dışmerkezlik yöntemlerinden **+X** yönünde olduğu gibi benzer sonuçlar elde edilmiştir. İki yöntemde de kolonlara gelen kesme kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmekte olup, en fazla azalma 4.katta iki yöntemde de %14 civarıyla C4 kolonundadır. Buna karşın Dinamik KM Kaydırma yönteminin ilginç bir biçimde kolonlara gelen kesme kuvvetlerini arttırdığı görülüyor.



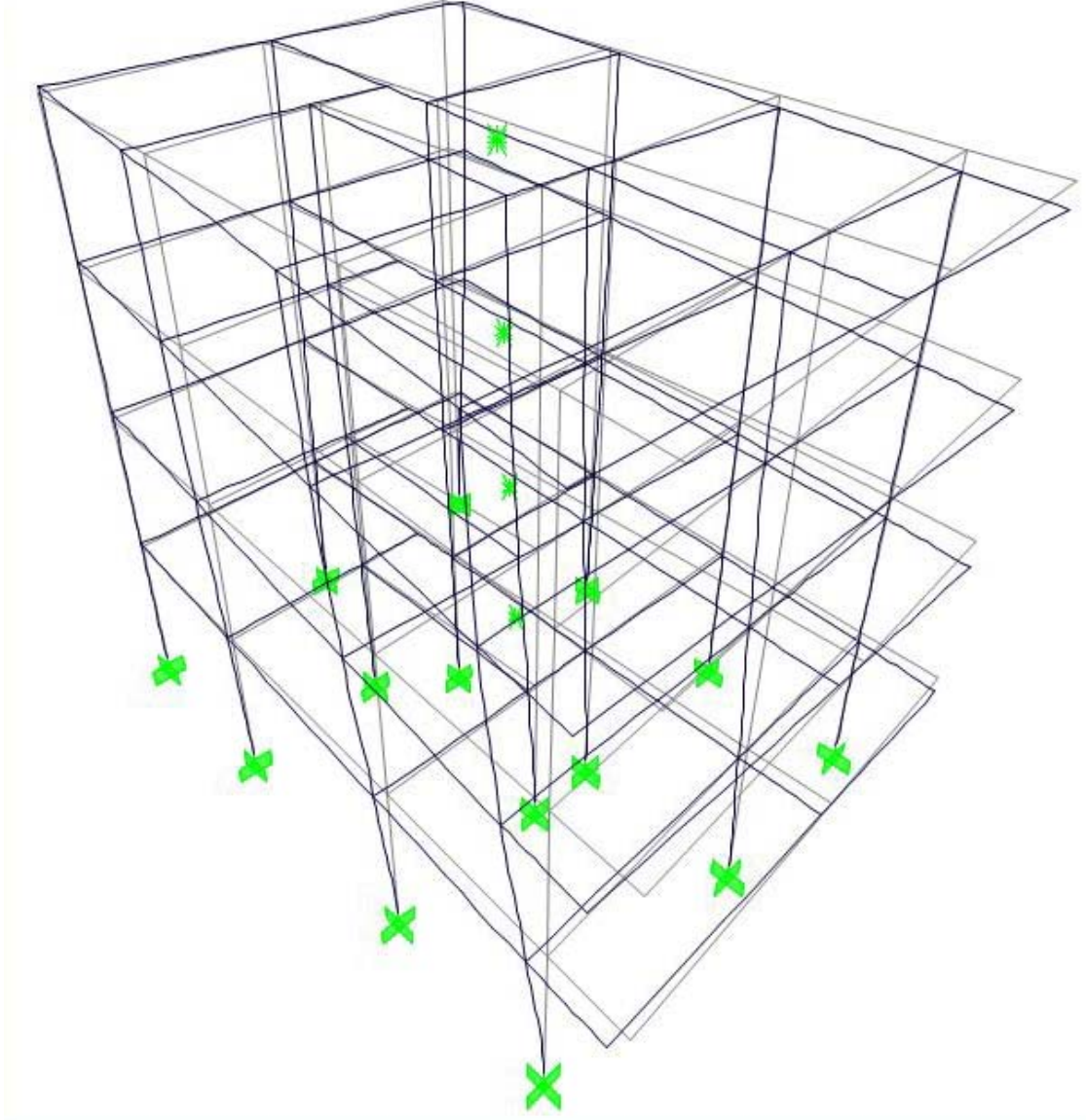
Şekil 8.1 Analizlerde Kullanılan Dizayn Tepki Spektrumu



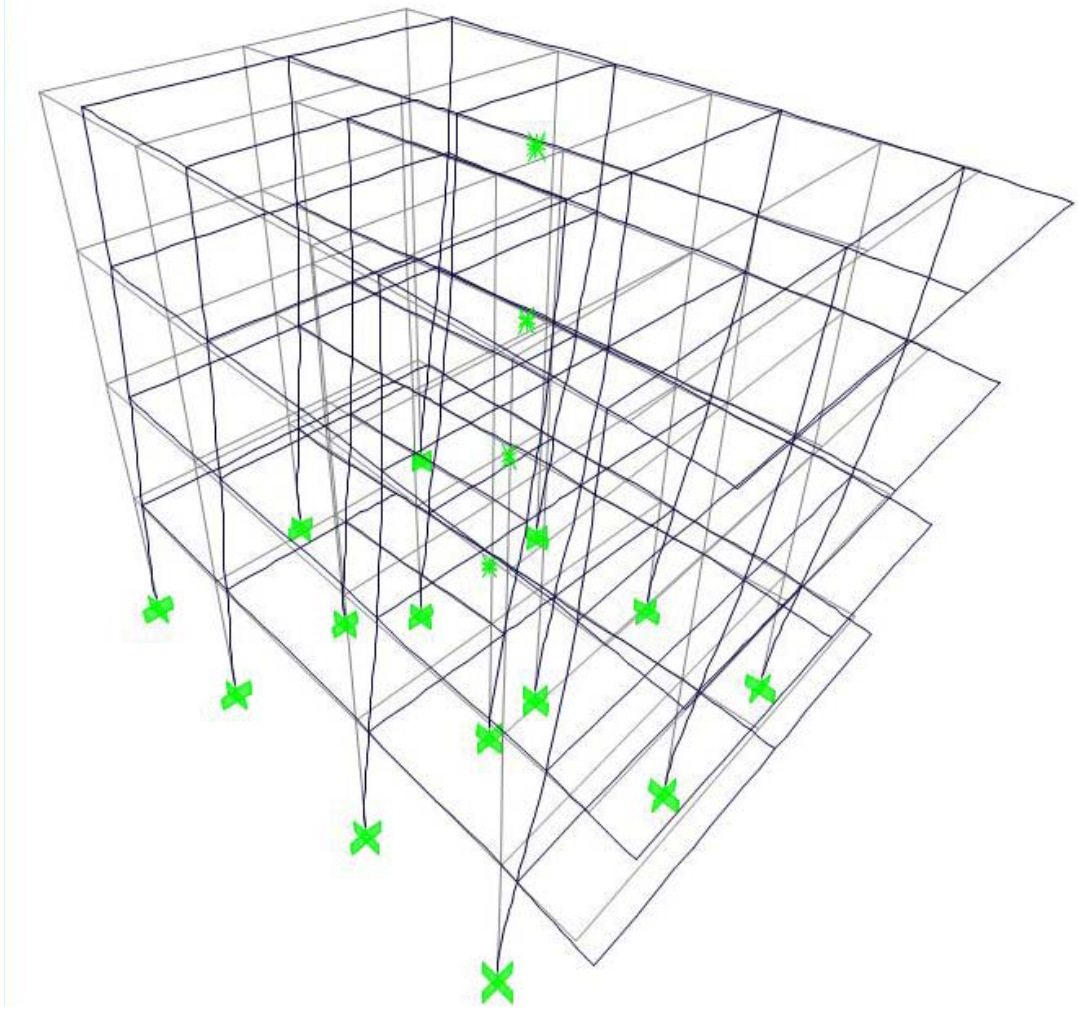
Şekil 8.2 Dört katlı asimetrik betonarme binanın kat planı



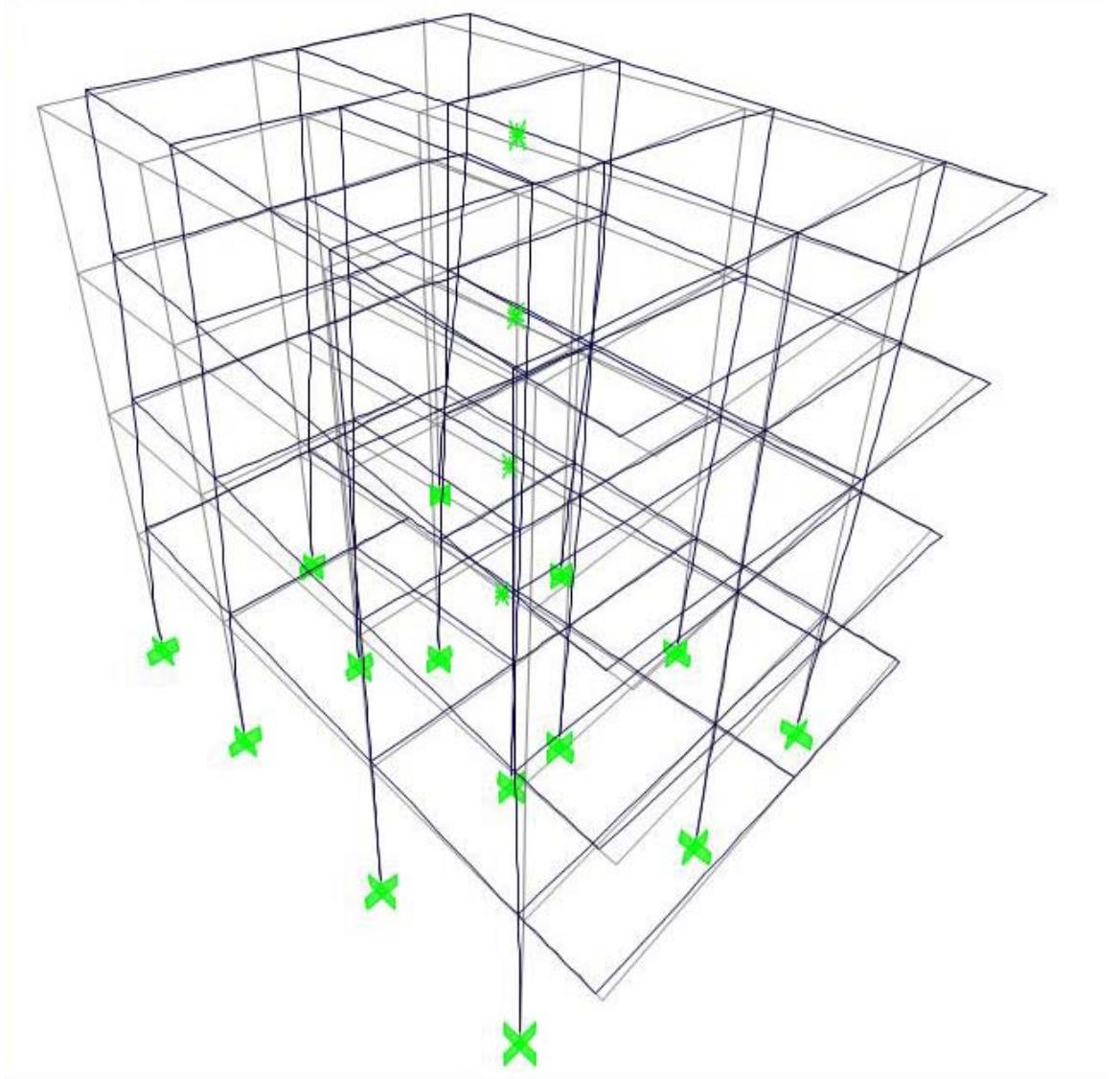
Şekil 8.3 Dört katlı asimetrik betonarme binanın 3B görünümü



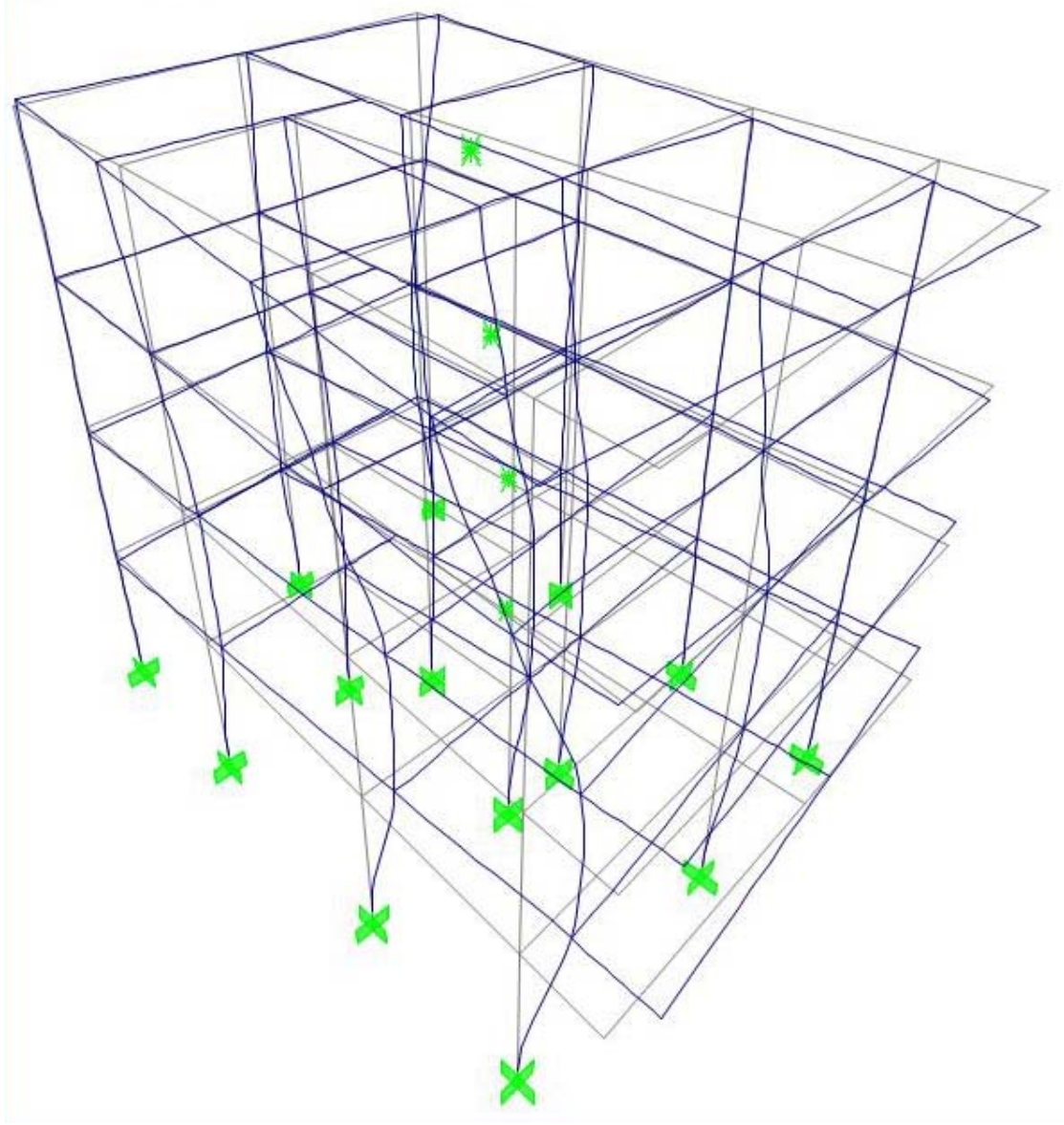
Şekil 8.4 Asimetrik betonarme binanın 1.mod şekli, periyot:0.481



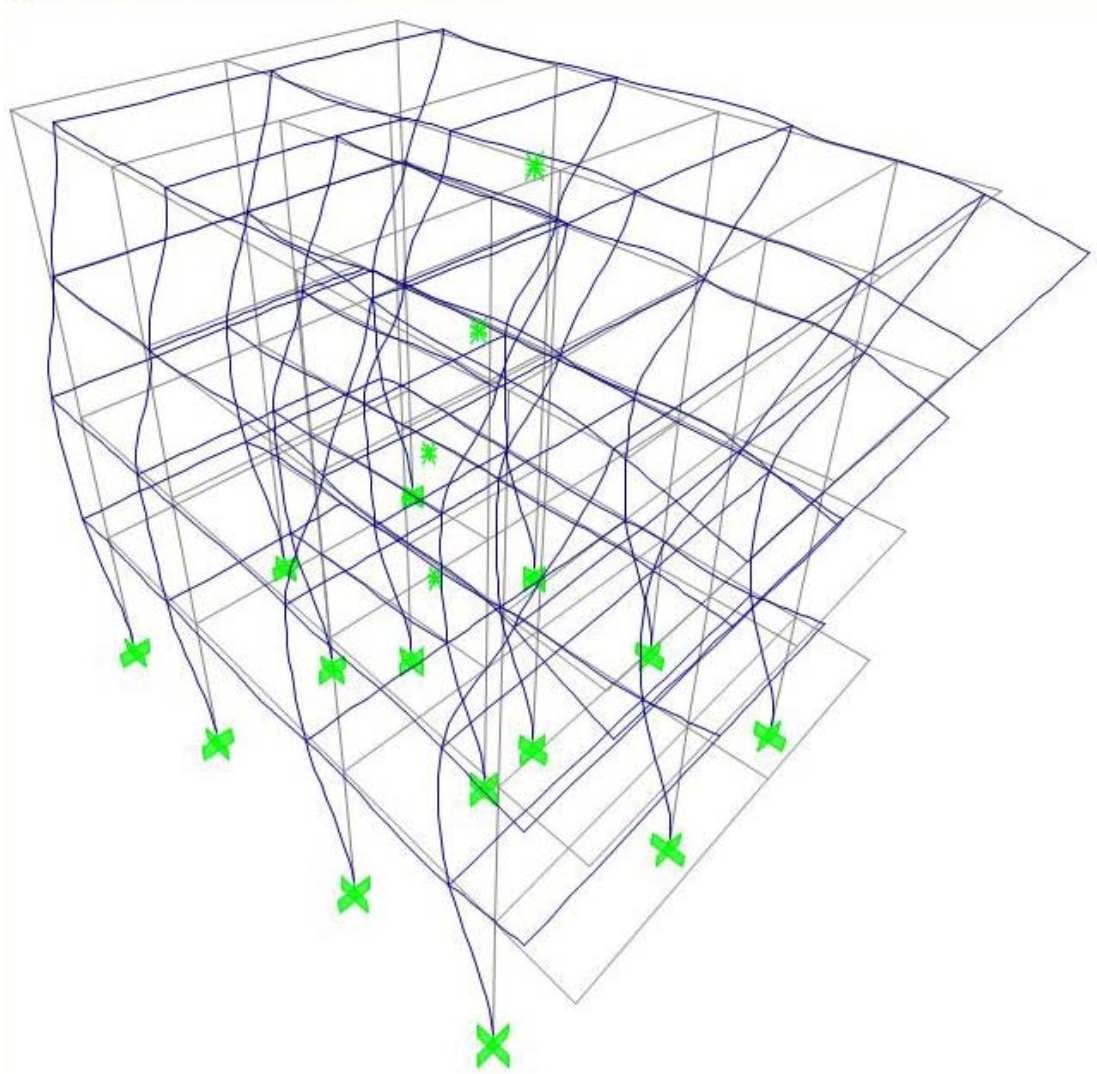
Şekil 8.5 Asimetrik betonarme binanın 2.mod şekli, periyot:0.405



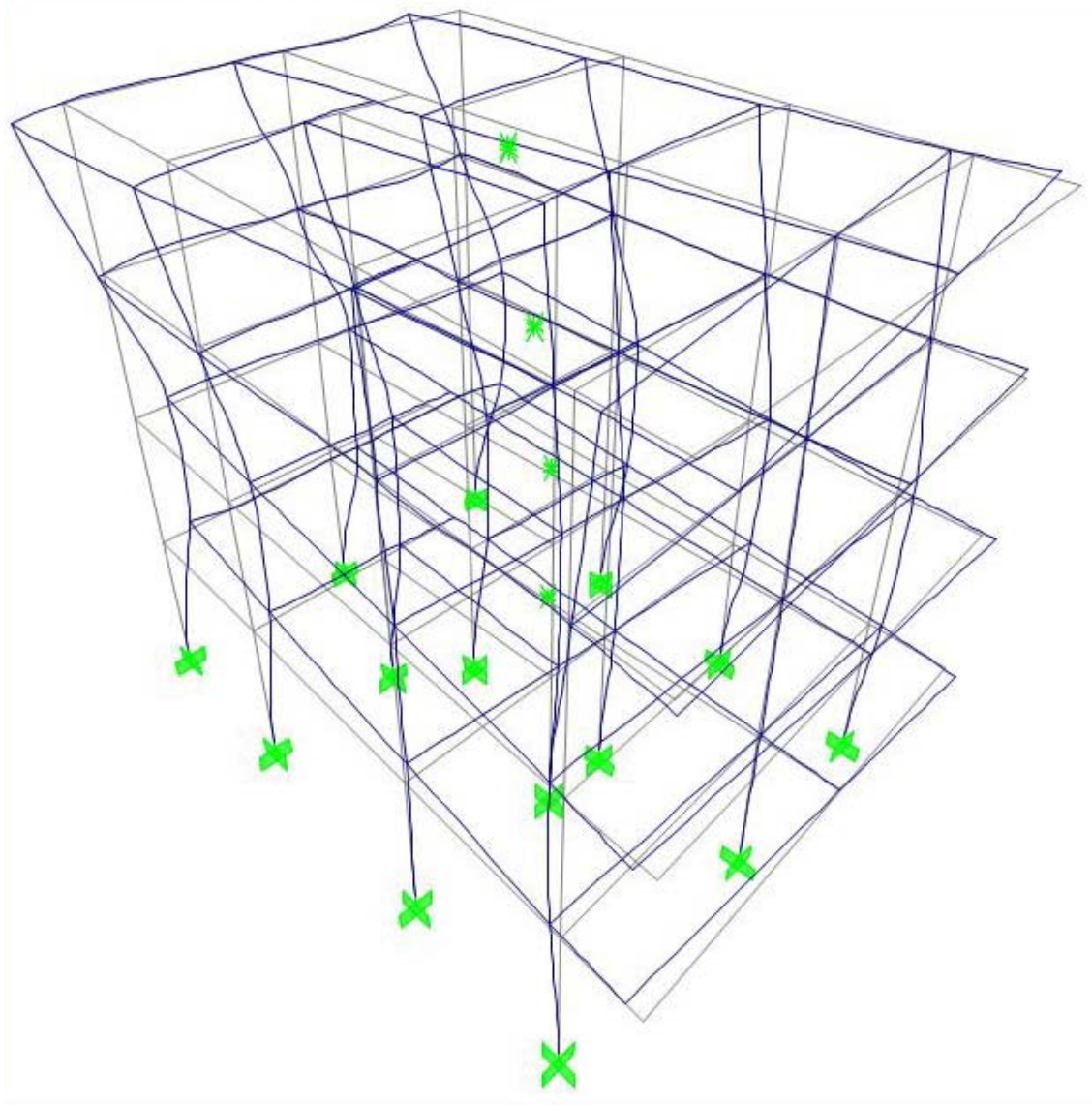
Şekil 8.6 Asimetrik betonarme binanın 3.mod şekli, periyot:0.365



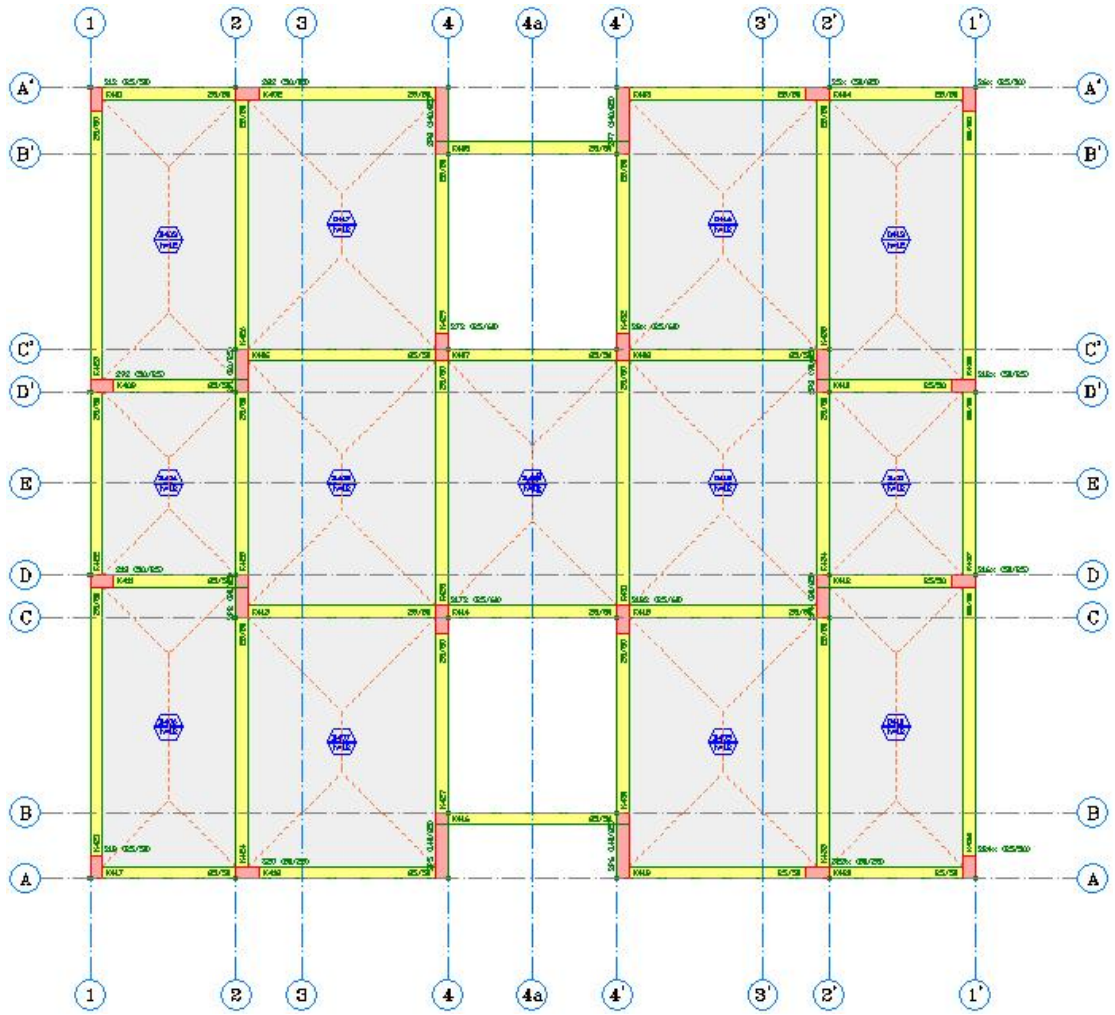
Şekil 8.7 Asimetrik betonarme binanın 4.mod şekli, periyot:0.159



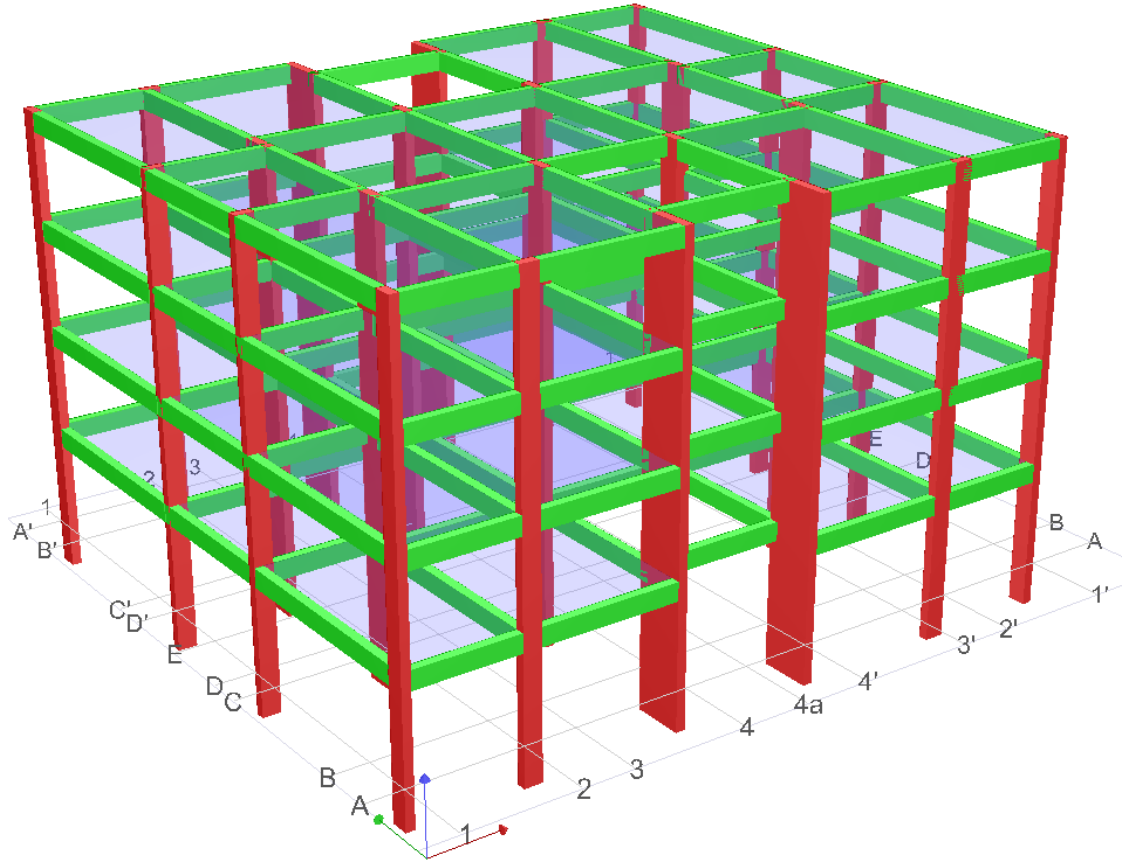
Şekil 8.8 Asimetrik betonarme binanın 5.mod şekli, periyot:0.131



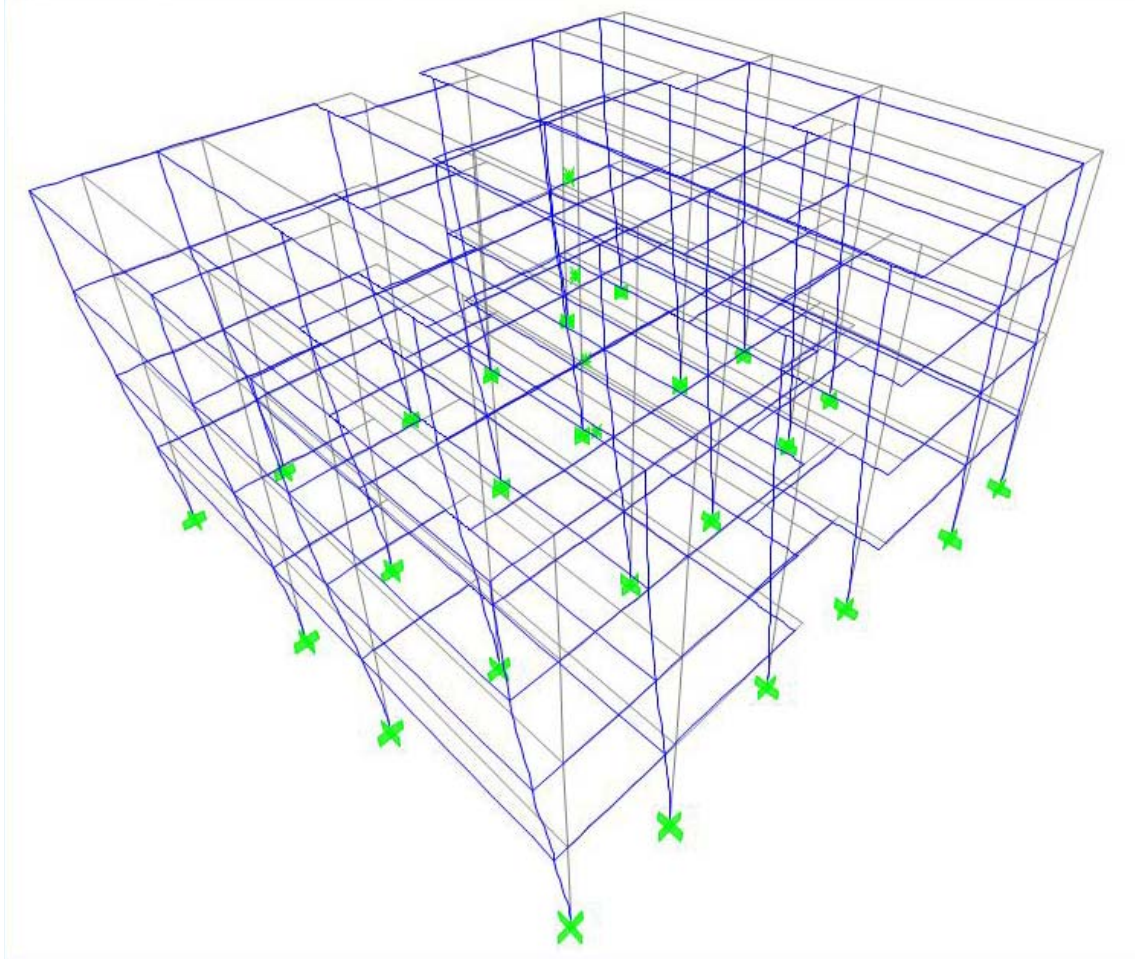
Şekil 8.9 Asimetrik betonarme binanın 6.mod şekli, periyot:0.117



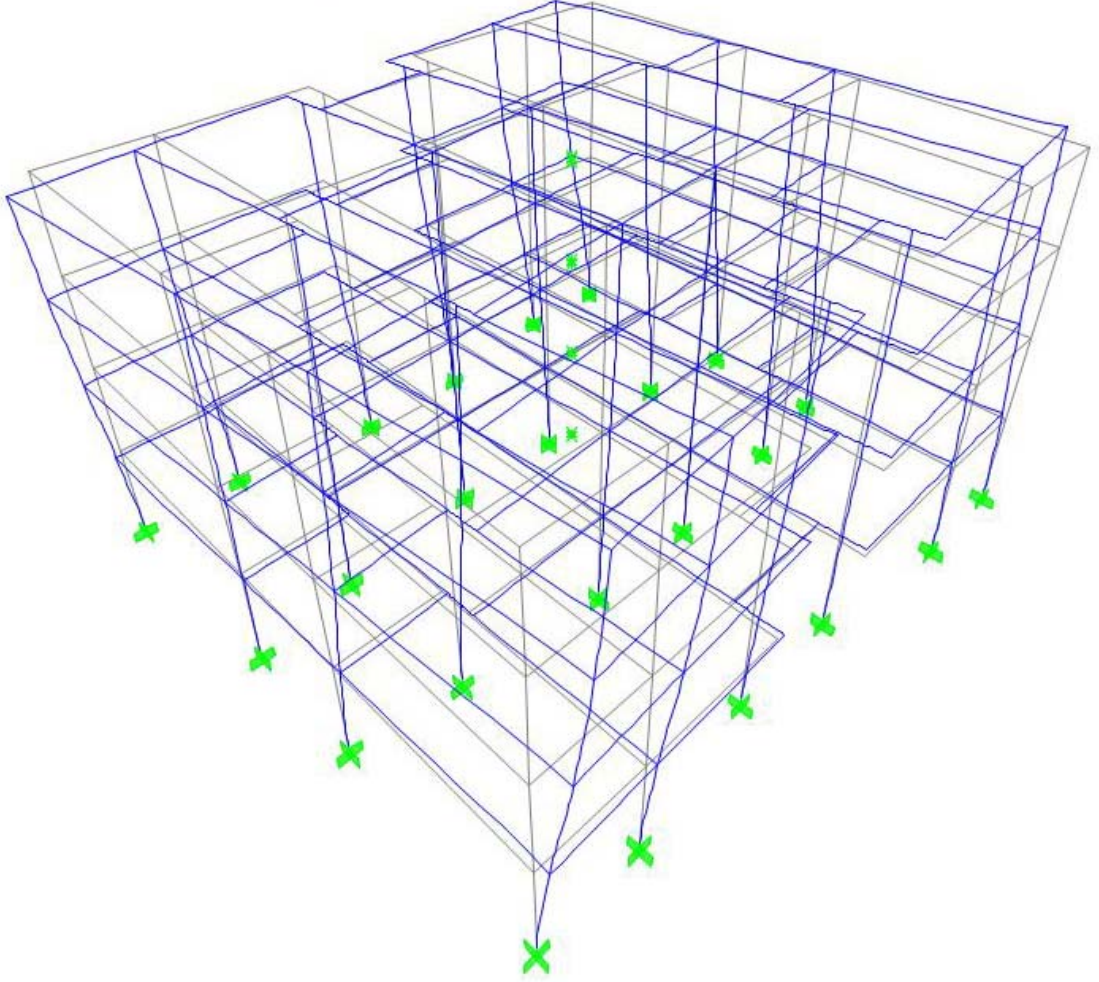
Şekil 8.10 Dört katlı simetrik betonarme bina için kat planı



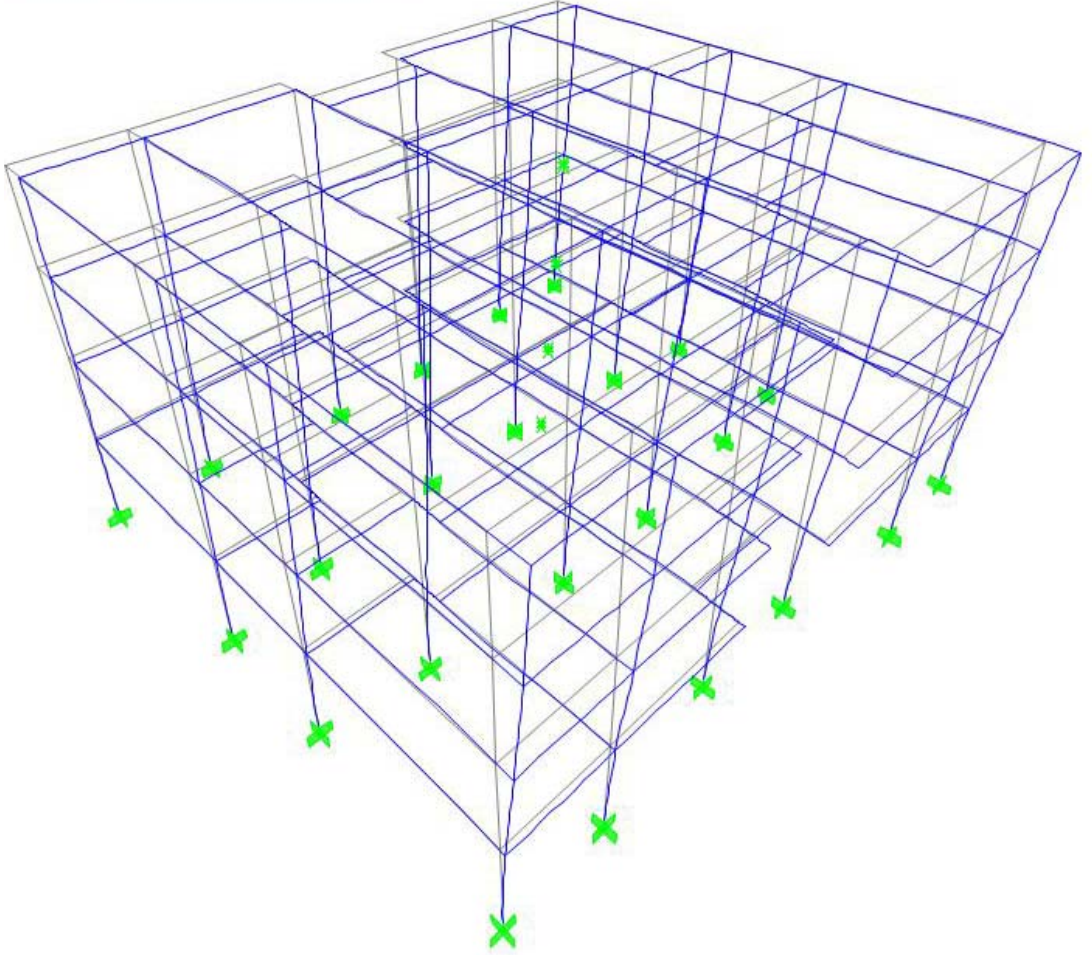
Şekil 8.11 Dört katlı simetrik betonarme binanın 3B görünümü



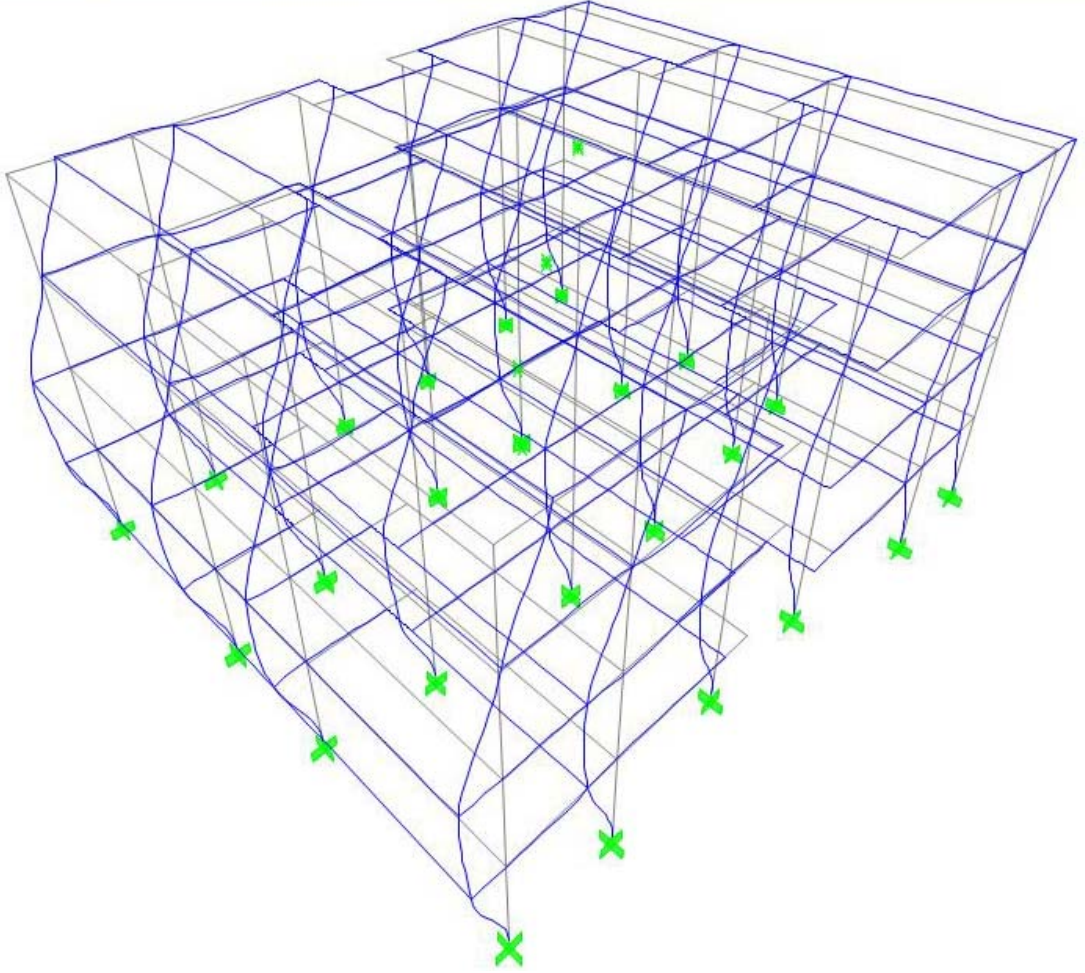
Şekil 8.12 Simetrik betonarme binanın 1. mod şekli, periyot:0.503



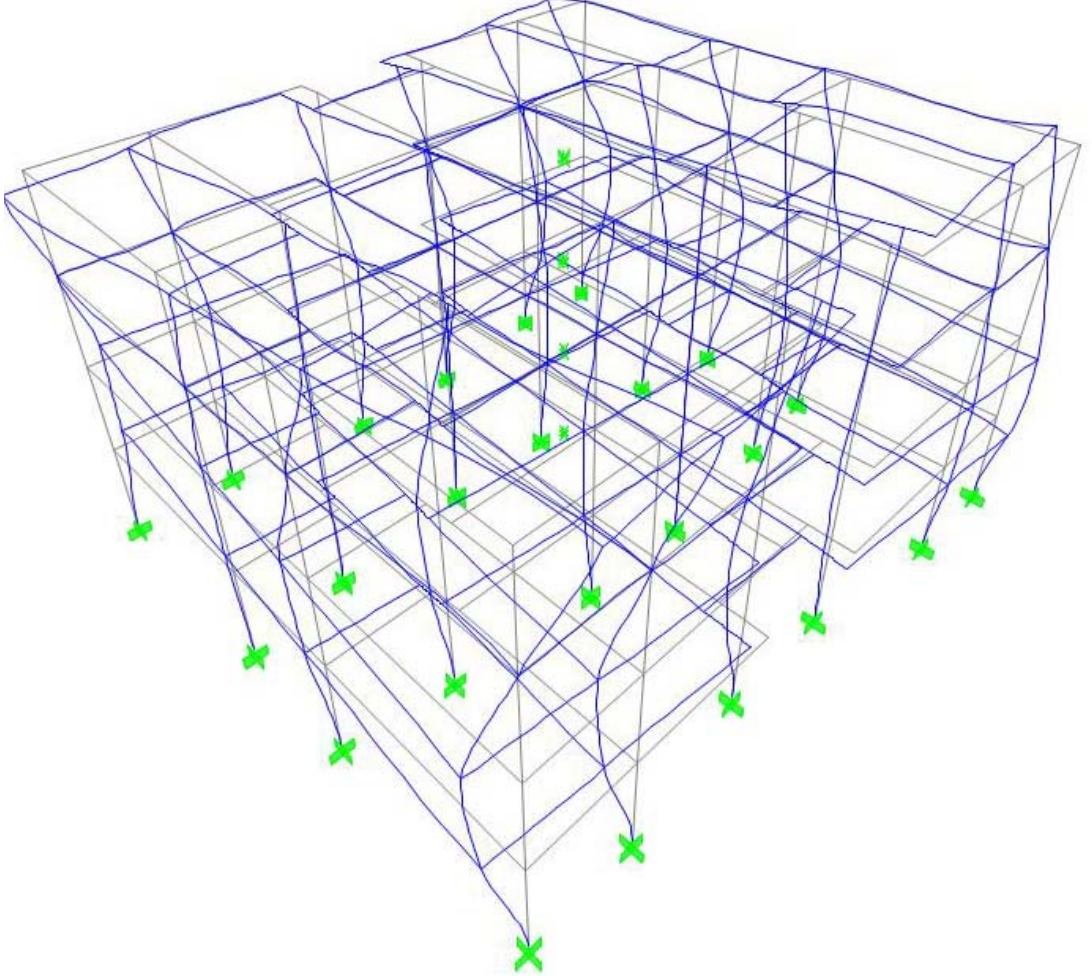
Şekil 8.13 Simetrik betonarme binanın 2. mod şekli, periyot:0.440



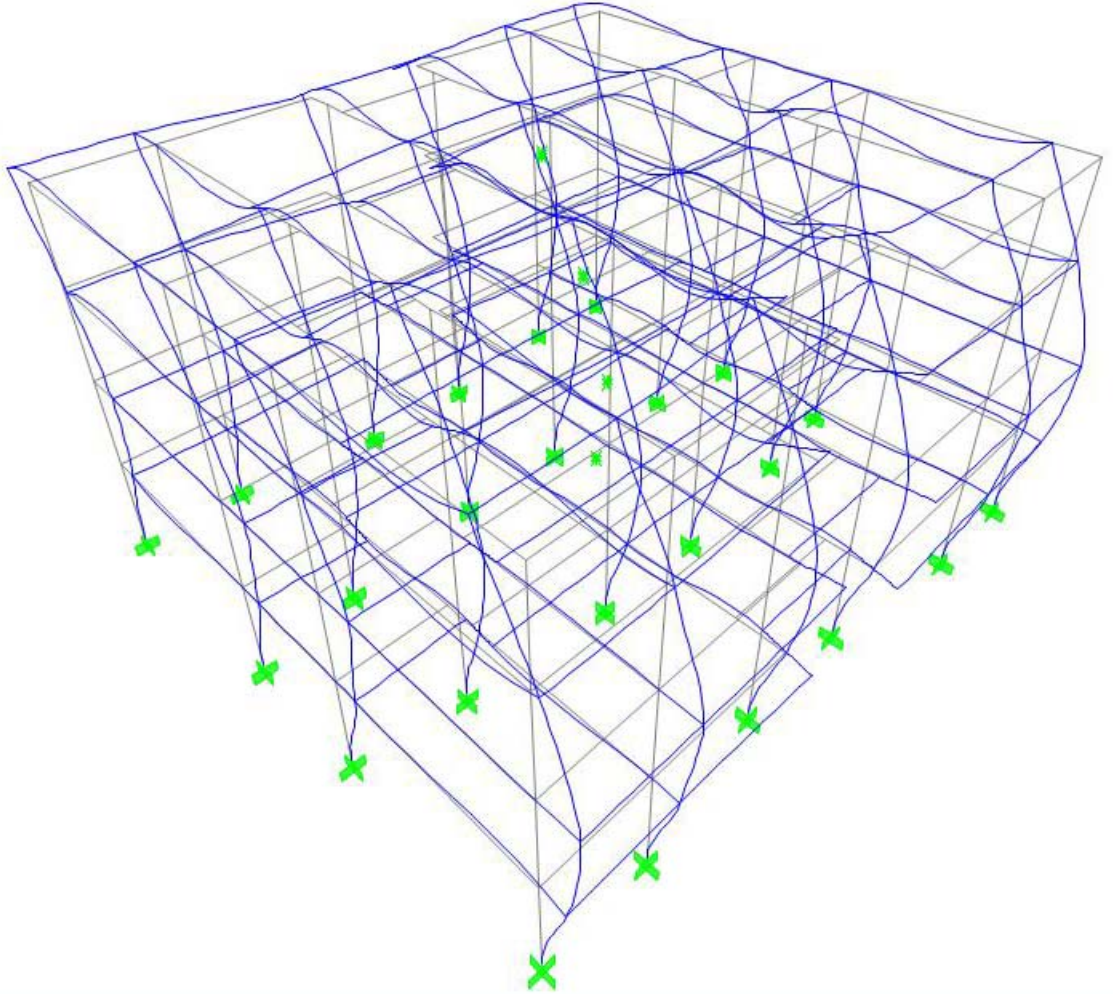
Şekil 8.14 Simetrik betonarme binanın 3. mod şekli, periyot:0.364



Şekil 8.15 Simetrik betonarme binanın 4. mod şekli, periyot:0.164



Şekil 8.16 Simetrik betonarme binanın 5. mod şekli, periyot:0.138

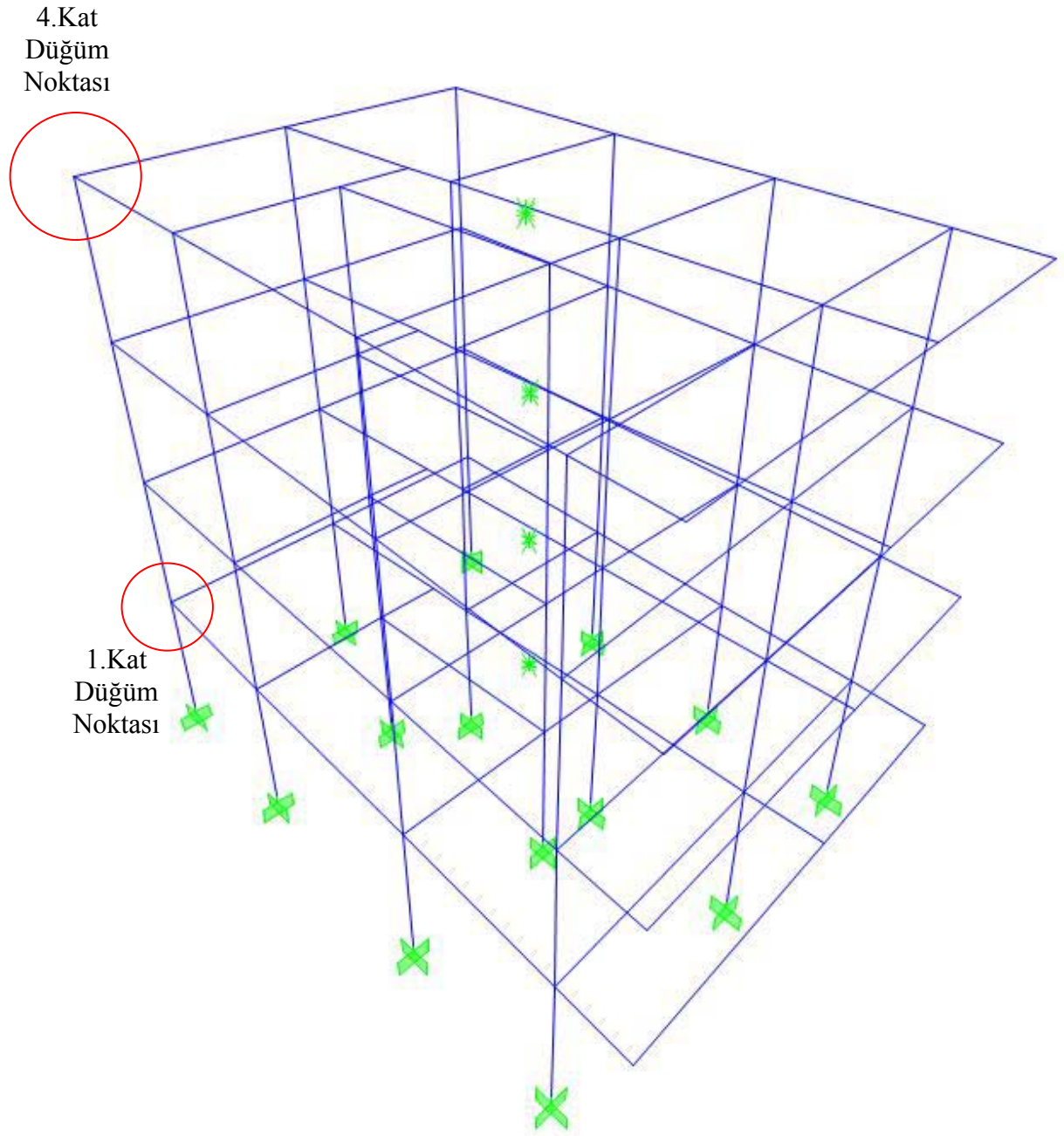


Şekil 8.17 Simetrik betonarme binanın 6. mod şekli, periyot:0.104

Tablo 8.1 Çerçevelerin modal periyotları ve kümülatif modal kütle katılım oranları

<i>Asimetrik Çerçeve</i>				
	Periyot	$\Sigma U_x\%$	$\Sigma U_y\%$	$\Sigma R_z\%$
1	0.482	36.28	0.01	50.56
2	0.405	36.35	85.51	50.68
3	0.365	85.77	85.70	86.05
4	0.159	90.10	85.70	91.36
5	0.132	90.12	96.03	91.38
6	0.118	96.22	96.05	96.10
7	0.097	97.37	96.06	97.84
8	0.078	97.37	99.17	97.84
9	0.075	97.69	99.17	98.16
10	0.069	99.49	99.18	99.53
11	0.059	99.50	100.00	99.53
12	0.051	100.00	100.00	100.00

<i>Simetrik Çerçeve</i>				
	Periyot	$\Sigma U_x\%$	$\Sigma U_y\%$	$\Sigma R_z\%$
1	0.503	85.54	0.00	0.00
2	0.440	85.54	0.00	83.76
3	0.364	85.54	79.16	83.76
4	0.164	95.85	79.16	83.76
5	0.138	95.85	79.16	94.77
6	0.104	95.85	93.00	94.77
7	0.097	99.11	93.00	94.77
8	0.078	99.11	93.00	98.78
9	0.072	100.00	93.00	98.78
10	0.055	100.00	93.00	100.00
11	0.051	100.00	98.40	100.00
12	0.034	100.00	100.00	100.00



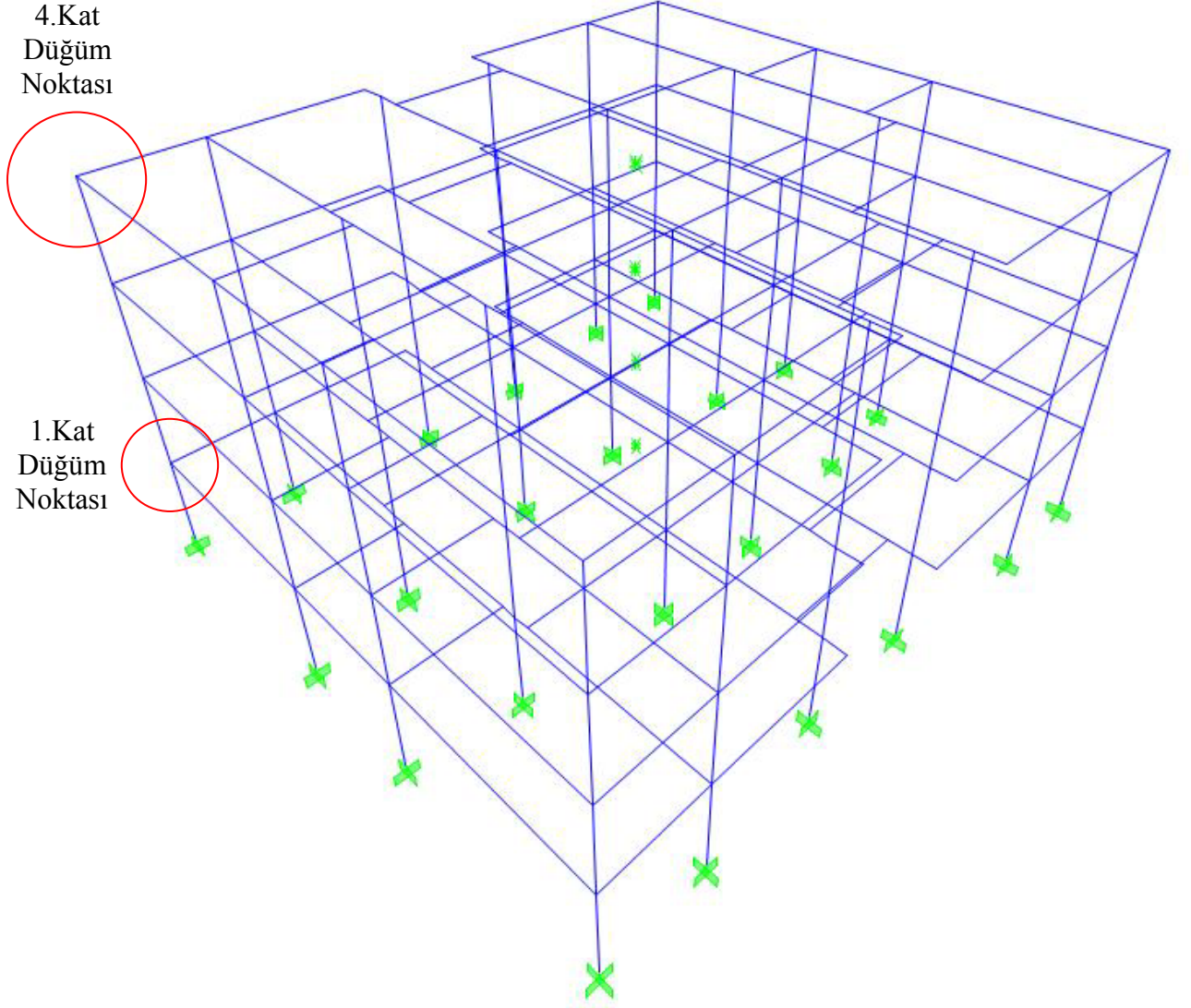
Şekil 8.18 Asimetrik binada yer değıştirme karşılaştırması için seçilen dğüm noktaları

Tablo 8.2 Asimetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+X)

<i>Bina</i>	Yerd. (m)	Dinamik (Dışmerkezliksiz)	Eurocode		Dinamik KM Kaydırma		Çoklu-Modal Dışmerkezlik	
		+X	+%5	%	+%5	%	+%5	%
1.kat	U _x	0.00176	0.00197	11.9	0.00191	8.5	0.00187	6.2
	U _y	0.00110	0.00126		0.00091		0.00108	
4.kat	U _x	0.00642	0.00715	11.4	0.00702	9.3	0.00683	6.4
	U _y	0.00377	0.00432		0.00316		0.00374	

Tablo 8.3 Asimetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+Y)

<i>Bina</i>	Yerd. (m)	Dinamik (Dışmerkezliksiz)	Eurocode		Dinamik KM Kaydırma		Çoklu-Modal Dışmerkezlik	
		+Y	+%5	%	+%5	%	+%5	%
1.kat	U _x	0.00013	0.00030		0.00067		0.00028	
	U _y	0.00183	0.00169	-7.7	0.00177	-3.3	0.00170	-7.1
4.kat	U _x	0.00046	0.00109		0.00244		0.00099	
	U _y	0.00654	0.00607	-7.2	0.00627	-4.1	0.00607	-7.2



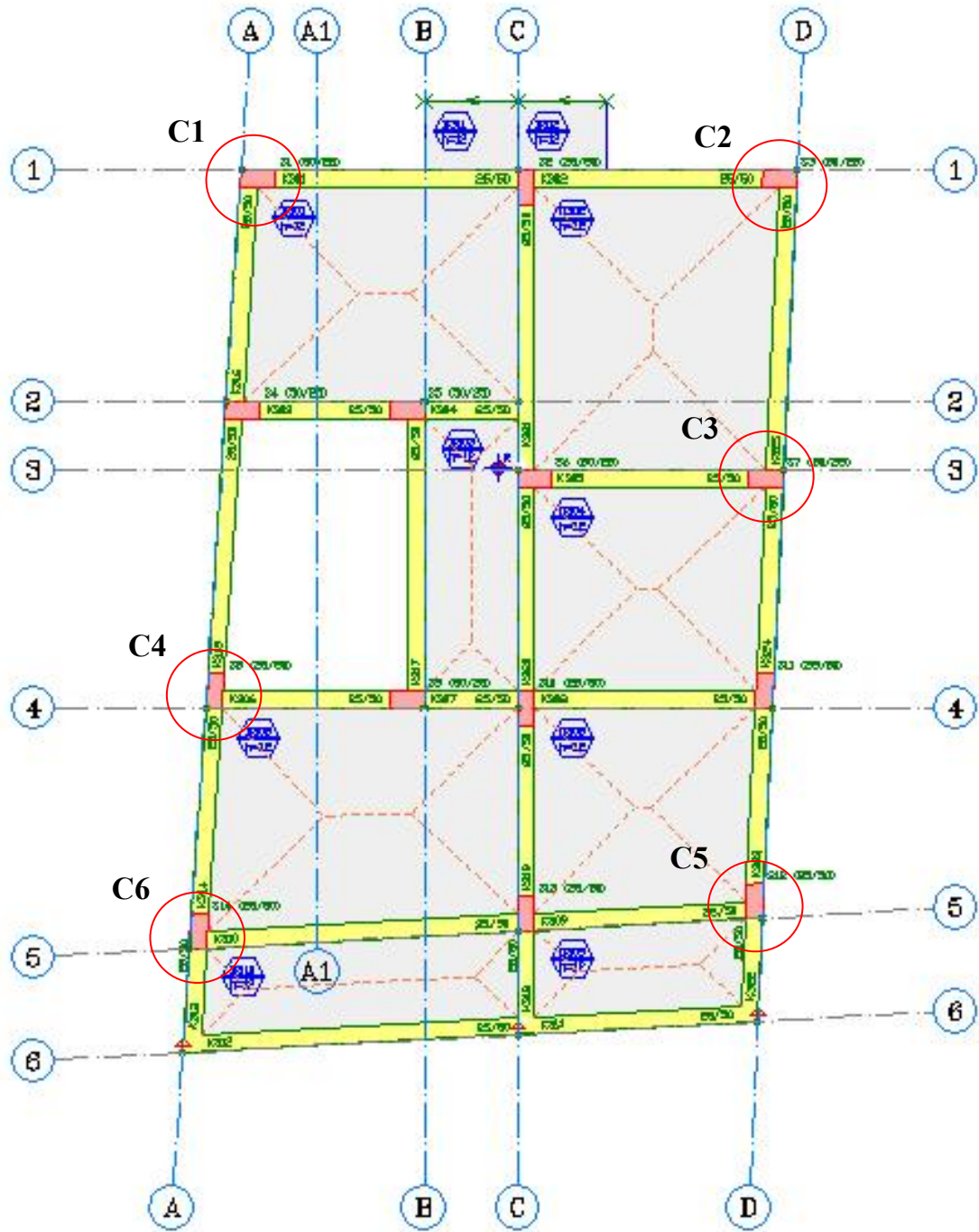
Şekil 8.19 Simetrik binada yer değiştirme karşılaştırması için seçilen düğüm noktaları

Tablo 8.4 Simetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+X)

<i>Bina</i>	Yerd. (m)	Dinamik (Dışmerkezliksiz)	Eurocode		Dinamik KM Kaydırma		Çoklu-Modal Dışmerkezlik	
		+X	+%5	%	+%5	%	+%5	%
<i>Simetrik Çerçeve 1.kat</i>	U _x	0.00282	0.00305	8.2	0.00325	15.2	0.00303	7.4
	U _y	0	0.00025		0.00086		0.00023	
<i>Simetrik Çerçeve 4.kat</i>	U _x	0.01021	0.01110	8.7	0.01205	18.0	0.01103	8.0
	U _y	0	0.00099		0.00350		0.00092	

Tablo 8.5 Simetrik Bina Maksimum yer değiştirmelerin karşılaştırılması (+Y)

<i>Bina</i>	Yerd. (m)	Dinamik (Dışmerkezliksiz)	Eurocode		Dinamik KM Kaydırma		Çoklu-Modal Dışmerkezlik	
		+Y	+%5	%	+%5	%	+%5	%
<i>Simetrik Çerçeve 1.kat</i>	U _x	0	0.00025		0.00066		0.00021	
	U _y	0.00103	0.00132	28.2	0.00138	34	0.00079	-23
<i>Simetrik Çerçeve 4.kat</i>	U _x	0	0.00102		0.00267		0.00089	
	U _y	0.00562	0.00676	20.3	0.00676	20.3	0.00462	-18



Şekil 8.20 Asimetrik binada kesme kuvvetleri karşılaştırması için seçilen kolonlar

Tablo 8.6 Asimetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+X)

		<i>Kesme Kuvveti (KN)</i>							
		1.kat				4. Kat			
	Kolon	Fx	%	Fy	%	Fx	%	Fy	%
Dinamik (Dışmerkezliksiz)	C1	4.172		1.202		0.793		0.361	
	C2	4.206		1.162		0.838		0.355	
	C3	4.100		1.679		0.941		0.689	
	C4	2.271		4.121		0.732		1.048	
	C5	2.827		3.016		0.827		0.513	
	C6	2.350		3.718		0.631		0.477	
Eurocode	C1	4.687	12.3	1.024	-14.8	0.873	10.1	0.313	-13.3
		3.658	-12.3	1.380	14.8	0.712	-10.2	0.410	13.6
	C2	4.718	12.2	1.343	15.6	0.914	9.1	0.406	14.4
		3.693	-12.2	0.981	-15.6	0.761	-9.2	0.303	-14.6
	C3	4.151	1.2	1.942	15.7	0.972	3.3	0.793	15.1
		4.048	-1.3	1.417	-15.6	0.910	-3.3	0.586	-14.9
	C4	2.114	-6.9	3.505	-14.9	0.704	-3.8	0.900	-14.1
		2.429	7.0	4.736	14.9	0.761	4.0	1.195	14.0
	C5	2.508	-11.3	3.497	15.9	0.735	-11.1	0.584	13.8
		3.146	11.3	2.536	-15.9	0.918	11.0	0.441	-14.0
	C6	2.096	-10.8	3.164	-14.9	0.567	-10.1	0.422	-11.5
		2.603	10.8	4.273	14.9	0.694	10.0	0.533	11.7
Dinamik KM Kaydırma	C1	4.514	8.2	0.998	-17.0	0.873	10.1	0.296	-18.0
	C2	4.567	8.6	0.912	-21.5	0.938	11.9	0.280	-21.1
	C3	4.564	11.3	1.325	-21.1	1.071	13.8	0.569	-17.4
	C4	2.157	-5.0	3.419	-17.0	0.748	2.2	0.972	-7.3
	C5	2.359	-16.6	2.396	-20.6	0.685	-17.2	0.439	-14.4
	C6	1.994	-15.1	3.053	-17.9	0.541	-14.3	0.479	0.4
Çoklu-Modal Dışmerkezlik	C1	4.439	6.4	1.185	-1.4	0.846	6.7	0.352	-2.5
	C2	4.476	6.4	1.132	-2.6	0.893	6.6	0.346	-2.5
	C3	4.141	1.0	1.642	-2.2	0.967	2.8	0.690	0.1
	C4	2.159	-4.9	4.067	-1.3	0.707	-3.4	1.081	3.1
	C5	2.655	-6.1	2.961	-1.8	0.776	-6.2	0.519	1.2
	C6	2.206	-6.1	3.652	-1.8	0.591	-6.3	0.503	5.5

Tablo 8.7 Asimetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+Y)

		<i>Kesme Kuvveti (KN)</i>							
		1.kat				4. Kat			
	Kolon	F _x	%	F _y	%	F _x	%	F _y	%
Dinamik (Dışmerkezliksiz)	C1	0.264		1.919		0.044		0.632	
	C2	0.273		1.842		0.056		0.611	
	C3	0.189		2.759		0.068		1.219	
	C4	0.165		5.977		0.189		1.628	
	C5	0.299		5.558		0.097		0.915	
	C6	0.333		4.978		0.152		0.862	
Eurocode	C1	0.710	168.9	1.764	-8.1	0.114	159.1	0.589	-6.8
		0.182	-31.1	2.073	8.0	0.026	-40.9	0.674	6.6
	C2	0.717	162.6	1.999	8.5	0.123	119.6	0.656	7.4
		0.171	-37.4	1.685	-8.5	0.011	-80.4	0.567	-7.2
	C3	0.234	23.8	2.987	8.3	0.095	39.7	1.310	7.5
		0.144	-23.8	2.531	-8.3	0.041	-39.7	1.129	-7.4
	C4	0.028	-83.0	5.444	-8.9	0.164	-13.2	1.500	-7.9
		0.301	82.4	6.511	8.9	0.214	13.2	1.757	7.9
	C5	0.022	-92.6	5.975	7.5	0.017	-82.5	0.977	6.8
		0.576	92.6	5.142	-7.5	0.176	81.4	0.852	-6.9
	C6	0.114	-65.8	4.498	-9.6	0.097	-36.2	0.814	-5.6
		0.553	66.1	5.459	9.7	0.207	36.2	0.911	5.7
Dinamik KM Kaydırma	C1	1.545	485.2	1.857	-3.2	0.287	552.3	0.617	-2.4
	C2	1.567	474.0	1.724	-6.4	0.288	414.3	0.570	-6.7
	C3	1.560	725.4	2.591	-6.1	0.384	464.7	1.167	-4.3
	C4	0.743	350.3	5.812	-2.8	0.222	17.5	1.497	-8.0
	C5	0.885	196.0	5.230	-5.9	0.260	168.0	0.878	-4.0
	C6	0.726	118.0	4.899	-1.6	0.201	32.2	0.774	-10
Çoklu-Modal Dışmerkezlik	C1	0.607	129.9	1.771	-7.7	0.099	125.0	0.586	-7.3
	C2	0.618	126.4	1.992	8.1	0.067	19.6	0.659	7.9
	C3	0.204	7.9	2.978	7.9	0.090	32.4	1.314	7.8
	C4	0.290	75.8	5.468	-8.5	0.215	13.8	1.491	-8.4
	C5	0.563	88.3	5.955	7.1	0.181	86.6	0.986	7.8
	C6	0.542	62.8	4.521	-9.2	0.210	38.2	0.803	-6.8

Tablo 8.8 Simetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+X)

		<i>Kesme Kuvveti(KN)</i>							
		1.kat				4. Kat			
	Kolon	Fx	%	Fy	%	Fx	%	Fy	%
Dinamik (Dışmerkezliksiz)	C1	3.401		0.002		1.139		0.008	
	C2	8.893		0.019		2.485		0.009	
	C3	4.006		0.004		1.687		0.047	
	C4	7.520		0.002		1.330		0.004	
	C5	4.227		0.831		1.527		0.600	
Eurocode	C1	3.665	7.8	0.480		1.244	9.2	0.083	
		3.136	-7.8	0.485		1.034	-9.2	0.099	
	C2	9.564	7.5	0.158		2.713	9.2	0.070	
		8.223	-7.5	0.195		2.256	-9.2	0.088	
	C3	4.117	2.8	0.207		1.745	3.4	0.022	
		3.895	-2.8	0.216		1.630	-3.4	0.116	
	C4	7.679	2.1	0.317		1.367	2.8	0.165	
		7.361	-2.1	0.320		1.294	-2.7	0.174	
	C5	4.336	2.6	2.227		1.580	3.5	0.779	
		4.117	-2.6	0.566		1.474	-3.5	0.421	
Dinamik KM Kaydırma	C1	3.903	14.8	1.624		1.382	21.3	0.337	
	C2	10.137	14.0	0.592		3.012	21.2	0.285	
	C3	4.063	1.4	0.720		1.752	3.9	0.228	
	C4	7.500	-0.3	1.088		1.365	2.6	0.618	
	C5	4.267	0.9	5.294		1.589	4.1	1.170	
Çoklu-Modal Dışmerkezlik	C1	3.640	7.0	0.429		1.243	9.1	0.085	
	C2	9.496	6.8	0.141		2.711	9.1	0.069	
	C3	4.106	2.5	0.194		1.743	3.3	0.027	
	C4	7.663	1.9	0.286		1.368	2.9	0.161	
	C5	4.326	2.3	2.079		1.578	3.3	0.787	

Tablo 8.9 Simetrik binada maksimum kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması (+Y)

Kesme Kuvveti (KN)									
	Kolon	1.kat				4. Kat			
		Fx	%	Fy	%	Fx	%	Fy	%
Dinamik (Dışmerkezliksiz)	C1	0.002		1.625		0.028		1.017	
	C2	0.158		1.029		0.245		1.105	
	C3	0.067		3.996		0.146		3.657	
	C4	0.161		1.250		0.106		1.408	
	C5	0.116		7.101		0.181		3.564	
Eurocode (+5%)	C1	0.308		1.064	-34.5	0.155		0.905	-11.0
		0.304		2.185	34.5	0.098		1.129	11.0
	C2	0.935		0.824	-19.9	0.521		1.010	-8.6
		0.618		1.233	19.8	0.031		1.200	8.6
	C3	0.195		3.751	-6.1	0.214		3.573	-2.3
		0.062		4.241	6.1	0.077		3.740	2.3
	C4	0.345		0.882	-29.4	0.151		1.207	-14.3
		0.023		1.617	29.4	0.062		1.610	14.3
	C5	0.242		8.721	22.8	0.244		3.790	6.3
		0.011		5.482	-22.8	0.118		3.339	-6.3
Dinamik KM Kaydırma (+5%)	C1	0.778		2.365	45.5	0.326		1.062	4.4
	C2	1.916		1.222	18.8	0.689		1.120	1.4
	C3	0.352		3.928	-1.7	0.254		3.447	-5.7
	C4	0.534		1.707	36.6	0.175		1.545	9.7
	C5	0.372		8.772	23.5	0.269		3.513	-1.4
Çoklu-Modal Dışmerkezlik (+5%)	C1	0.251		1.173	-27.8	0.151		0.904	-11.1
	C2	0.791		0.861	-16.3	0.513		1.015	-8.1
	C3	0.041		3.797	-5.0	0.082		3.575	-2.2
	C4	0.019		0.947	-24.2	0.061		1.218	-13.5
	C5	0.015		5.792	-18.4	0.122		3.323	-6.8

9. SONUÇ

Ek dışmerkezlilik etkisinin Eurocode, Dinamik KM (Kütle Merkezi) Kaydırma ve Fahjan et al (2006) tarafından önerilen Çoklu Modal Dışmerkezlilik yöntemlerine göre ek dışmerkezlilik hesaplama yöntemlerinin mevcut yaklaşımlarla hesabı özetlendi. Ayrıca simetrik ve asimetrik dört katlı iki farklı bina üzerindeki etkileri karşılaştırıldı. Ek dışmerkezliliğin seçilen düğüm noktalarındaki yer değiştirmeler ve seçilen kolonlarda kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin değerlendirilebilmesi için iki binanın da ayrıca ek dışmerkezlisiz deprem hesabı da yapıldı.

Dinamik KM Kaydırma yöntemi, şayet bu yöntemin entegre edildiği programlar kullanılmadığı takdirde, kütle merkezlerinin planda dört ayrı yerde ek dışmerkezlilik kadar kaydırıldığı tam dört ayrı yapı modelleme zorunluluğu olduğundan ve bu modellerin sonuçlarının birleştirilebilmesinin güçlüğünden dolayı pek de kullanışlı bir yöntem olmamaktadır.

Eurocode'a göre Sap2000 yazılımında yapılan hesaplarda, mod birleştirme işlemi sonrasında elde edilen verilerde (+/-) işaret kaybı olmaktadır. Bu yöntem gereği işaret kaybı olan dinamik analizle, ek dışmerkezliliğin hesap edildiği statik analiz sonuçlarının kombine edilmesi gerekmektedir. Ancak program işaret kaybından dolayı istenilen kombinasyonlarda, verilerin her iki işaret durumunu göz önüne alarak max ve min olmak üzere iki ayrı değer sunmaktadır. Karşılaştırma tablolarında Eurocode yönteminin, diğer yöntemlerden ayrı olarak iki çözüm değeri sunması bundandır, (Bkz: Tablo 8.6, Tablo 8.7, Tablo 8.8 ve Tablo 8.9). Bu durum bu yöntemin kullanılabilirliğini en azından bu yazılımda yetersiz kılmaktadır.

Asimetrik bina sonuçlarına baktığımızda Dinamik KM Kaydırma ve Eurocode yöntemleri kata ve deprem yönüne göre uç değerler verdikleri halde, Çoklu Modal Dışmerkezlilik yönteminin görece daha küçük yer değiştirme ve kesme kuvveti değerleri sunduğu görülmektedir. **Simetrik binada** ise Eurocode ve Çoklu Modal Dışmerkezlilik yöntemlerinden birbirlerine yakın sonuçlar elde edildiğini, Dinamik KM Kaydırma'nınsa diğerlerine göre yüksek sonuçlar verdiğini görmekteyiz. Bu

sonuçlara bakarak her iki binada da Çoklu Modal Dışmerkezlilik yönteminin daha stabil çözümler sunduğu söylenebilir.

Önerilen Çoklu Modal Dışmerkezlilik yöntemi, rijit ve esnek diyaframlı tüm bina sistemlerine uygulanabilir ve yapı analiz programlarına da kolayca entegre edilebilir.

Buna ek olarak bu yöntem, mevcut yöntemlere göre aşağıda belirtilen avantajlara sahip olduğu görülmüştür.

- Bu yöntemde tüm dış merkezlilik durumları için yalnızca bir özdeğer analizi yeterlidir.
- Her bir dışmerkezlilik durumu için daha kolay mod birleştirme yapılabilir.
- Eşdeğer Statik Deprem Yüğü ve Modal Dinamik Analizlerde kullanılan ek dışmerkezlilik için ortak bir yöntem önerilmiş olur.
- Analizlerde, dikkate alınan tüm mod şekilleri üzerindeki etkisi hesaba katılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Anastassiadis, K., Athanatopoulos, A., and Makarios, T. (1998), Equivalent Static Eccentricities in The Simplified Methods of Seismic Analysis of Buildings, *Earthquake Spectra*, 14, No 1, 1–34.
- Basu, D. and Sudhir, K. J. (2004), Seismic Analysis of Asymmetric Buildings with Flexible Floor Diaphragms, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 130, No 8, 1169–1176.
- Calderoni, B. , Antonino, D., Aurelio, G. and Zila, R. (2002), Static vs. Modal Analysis of Asymmetric Buildings: Effectiveness of Dynamic Eccentricity Formulations, *Earthquake Spectra*, 18, No 2, 219–231.
- Chandler, A.M. and Duan, X.N. (1997), Performance of Asymmetric Code-Designed Buildings For Serviceability and Ultimate Limit States, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*; 16, 717-735.
- De la Llera, J.C. and Chopra, A.K. (1995), Estimation of Accidental Torsion Effects for Seismic Design of Buildings. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 21, No 1, 102-114.
- De-la-Colina, J. and Almeida, C. (2003), Probabilistic Study on Accidental Torsion of Low-Rise Buildings, *Earthquake Spectra*, 19, No 1, 47–66.
- Dempsey, K.M. and Tso, W.K. (1982), An Alternative Path to Seismic Torsional Provisions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 1, No 1, 3–10.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY, (2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Ankara.

Eurocode-8, (2003), Design Provisions For Earthquake Resistance of Structures. European Committee for Standardization, ENV, 1998-1-1/2/3.

Fahjan, Y., Tuzun, C. and Kubin, J. (2006), An Alternative Procedure For Accidental Eccentricity In Dynamic Modal Analyses Of Buildings, *First European Conference On Earthquake Engineering And Seismology Geneva*, Paper Number: 1166

Goel, R. K. and Chopra, A. K. (1993), Seismic Code Analysis of Buildings Without Locating Centers of Rigidity, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 119, No 10, 3039–3055.

Gülay, F. G. and Çalım, G. (2003), A Comparative Study Of Torsionally Unbalanced Multi-Storey Structures Under Seismic Loading, *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 27 (2003) , 11 - 19, Tubitak

International Building Code, IBC, (2003), Chapter 16, Structural Design.

Lin, W.H., Chopra, A.K. and De la Llera, J.C. (2001), Accidental Torsion in Buildings: Analysis Versus Earthquake Motions. *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 127, No 5, 475-481.

Mexico City Building Code, MCBC (1995), Mexico City Building Code, Complementary Technical Norms For Earthquake Resistant Design.

National Building Code of Canada, NBCC, (1995), Associate Committee on the National Building Code, National Research Council of Canada, Quebec.

National Earthquake Hazards Reduction Program, NEHRP, (1997), NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations For New Buildings and Other Structures. Part I: Provisions, Report No. FEMA 302, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

- Newmark, N.M. (1969), Torsion in Symmetric Buildings. *Proceedings of the 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago de Chile.*
- Orion Building Design System, (2006), (Version 14) Software for Finite Element Analysis, Design and Detailing for Reinforce Concrete Buildings, Prota, Ankara, Turkey.
- Rosenblueth, E. and Elorduy, J. (1969), Response of Linear Systems to Certain Transient Disturbances, *Proceedings of the 4th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago de Chile.*
- Stathopoulos, K. G. and Anagnostopoulos, S. A. (2005), Inelastic Torsion of Multistory Buildings Under Earthquake Excitations, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 34, 1449–1465
- Tezcan, S. S. and Alhan C. (2001) Parametric Analysis Of Irregular Structures Under Seismic Loading According To The New Turkish Earthquake Code, *Engineering Structures*, 23 (2001) 600–609

ÖZGEÇMİŞ

İnşaat mühendisi Hüsni Mercimek 1982 yılında Zonguldak'da doğdu. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladığı yüksek öğrenimini 2005 yılında tamamladı. Yaklaşık 1 yıl özel sektörde proje mühendisliği yaptıktan sonra, 2 yıl kadar İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nde kontrol mühendisliği görevini yürüttü. 2007 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Şu anda Birleşik Devletler'de dil eğitimine devam etmektedir.