

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

# BURULMALI BAĞLAŞIK YAPI SİSTEMLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Abdullah Miraç DALDAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Erkan ÇELEBİ

Temmuz 2009

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BURULMALI BAĞLAŞIK YAPI SİSTEMLERİNİN  
DİNAMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

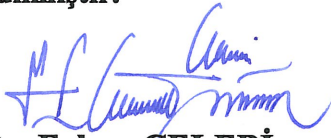
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş.Müh. Abdullah Miraç DALDAL**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

Bu tez 31 / 0.7 / 2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



**Doç. Dr. Erkan ÇELEBİ**

**Jüri Başkanı**



**Y. Doç. Dr. Mustafa  
KUTANİS**

**Üye**



**Doç. Dr. Seyhan FIRAT**

**Üye**

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli bilgi, birikim ve yardımlarını esirgemeyen, çalıőmalarımı her aőamada izleyip değerlendirerek yön veren ve her türlü desteği sağlayan hocam sayın Doç. Dr. Erkan ÇELEBİ'ye minnet ve őükranlarımı sunarım. Ayrıca çalıőmalarımnda bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen Arő. Gör. Osman KIRTEL hocama ve benden yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi Dilek MERCAN ERYILMAZ, Zeynep DERE YAMAN ve Elif ORAK BORU hocalarıma teőekkürlerimi sunarım. Bu çalışma sırasında bana her türlü kolaylığı sağlayan sayın iőverenim Önder PAKYÜREK'e ve çalışma arkadaşlarıma teőekkürlerimi sunarım. Eğitim-öğretim boyunca beni teővik eden, maddi ve manevi hiçbir őeyi esirgemeyen sevgili anne ve babam Sıddıka-Kadir DALDAL'a ve kardeőlerime desteklerinden dolayı teőekkürü bir borç bilirim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı.....	1
1.2. İlgili Çalışmalar.....	2
1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	5

## BÖLÜM 2.

SİNÜZOİDAL YANAL YÜKLERE MARUZ ÇOK KATLI BURULMALI BAĞLAŞIK YAPILARIN TİTREŞİMİ.....	6
2.1. Statik Genliğini Doğrusal Arttıran Sinüzoidal Yanal Yüklere Maruz Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Kararlı Titreşimlerinin İncelenmesi.....	6
2.1.1. Sönümsüz ve sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin harmonik yük altındaki dinamik davranışının incelenmesi.....	6
2.1.1.1 Sönümsüz tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin harmonik yük altındaki dinamik davranışının incelenmesi.....	6

2.1.1.2 Sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin harmonik yük altındaki dinamik davranışının incelenmesi.....	12
2.1.2. Sönümlü çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemin harmonik yük altındaki davranışının incelenmesi.....	18
2.2. Tek Katlı Uzay Çerçeve Sistemin Harmonik Yük Altındaki Burulmalı Bağlaşık Titreşiminin İncelenmesi.....	24
2.3. Çok Katlı Uzay Çerçeve Sistemin Harmonik Yük Altındaki Burulmalı Bağlaşık Titreşiminin İncelenmesi .....	40
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>YAPISAL MODEL VE SAYISAL UYGULAMALAR.....</b>	<b>51</b>
3.1. Tek Katlı Uzay Taşıyıcı Sistemin Serbest Titreşim Hareketinin Dış Merkezlik ve Çerçeve Rijitlik Değişimlerine Bağlı İncelenmesi.....	59
3.2. Üç Katlı Uzay Taşıyıcı Sistemin Serbest Titreşim Hareketinin Dış Merkezlik Değişimine Bağlı İncelenmesi.....	69
3.3. Sinüzoidal Tipte Yanal Yüke Maruz Tek Katlı Uzay Çerçeve Sistemin Zorlanmış Titreşiminin İncelenmesi.....	80
3.4. Statik Genliğini Doğrusal Arttıran Sinüzoidal Yanal Yüklere Maruz Üç Katlı Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Zorlanmış Titreşiminin İncelenmesi.....	100
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>112</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>116</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>118</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$C$	: Sönüm matrisi
$C_j$	: Genelleştirilmiş sönüm
$\mathcal{CSD}$	: Çok serbestlik dereceli sistem
$E$	: Elastisite Modülü
$f$	: Frekans
$h$	: Yapının kat yüksekliği
$Hz$	: Hertz
$I = m_\theta$	: Kütleli atalet dönme moment
$l_x$	: Rijit plağın x doğrultusundaki ölçüsü
$l_y$	: Rijit plağın y doğrultusundaki ölçüsü
$\mathbf{K}$	: Rijitlik matrisi
$K_j$	: Genelleştirilmiş kütle
$K_{XB}$	: B çerçevesinin x doğrultusunda çerçeve rijitliği
$K_{XC}$	: C çerçevesinin x doğrultusunda çerçeve rijitliği
$K_{YA}$	: A çerçevesinin y doğrultusunda çerçeve rijitliği
$m$	: Kütle
$\mathbf{M}$	: Kütle matrisi
$M_j$	: Genelleştirilmiş kütle
$\mathbf{P}$	: Kuvvet matrisi
$P_0$	: Dış yükün karakteristik büyüklüğü
$R$	: Dönme yarıçapı
$R_d$	: Dinamik büyültme çarpanı
$t$	: Zaman

$T$	: Periyot
TSD	: Tek serbestlik dereceli sistem
$u_{st}$	: Statik yerdeğiştirme
$u_x, u_y$	: x ve y doğrultularındaki öteleme yerdeğiştirmeleri
$u_\theta$	: Öteleme dönme yerdeğiştirmesi
$\omega$	: Yapının açısai frekans
$\omega$	: Dış yükün açısai frekansı
$\omega_D$	: Dış yükün açısai frekansı
$\xi$	: Sönüm Katsayısı
$\beta$	: Açısai frekans oranı
$\phi$	: Modal matrisi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Sönümsüz tek serbestlik dereceli (TSD) yapı modeli.....	6
Şekil 2.2.	Sönümsüz tek serbestlik dereceli (TSD) sistemde yapı davranışı.....	12
Şekil 2.3.	Sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) yapı modeli.....	13
Şekil 2.4.	Sönümlü çok katlı çok serbestlik dereceli (ÇSD) yapı .....	19
Şekil 2.5.	Kat çerçevesi yerleşim planı ve tek katlı çok serbestlik dereceli yapı modeli.....	25
Şekil 2.6.	İki doğrultuda simetrik olmayan katın rijitliklerinin belirlenmesi.....	27
Şekil 2.7.	Kat çerçevesi yerleşim planı.....	41
Şekil 2.8.	Çok serbestlik dereceli yapı modeli .....	41
Şekil 3.1.a.	Tek katlı çok serbestlik dereceli(ÇSD) yapı modeli.....	51
Şekil 3.1.b.	Üç katlı çok serbestlik dereceli(ÇSD) yapı modeli.....	51
Şekil 3.2.a.	Düzlem Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi.....	52
Şekil 3.2.b.	Uzay Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi.....	53
Şekil 3.3.	Kat çerçeve yerleşim planı ve rijitlik durumu.....	59
Şekil 3.4.	Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri ( $\alpha=1$ )....	62
Şekil 3.5.	Kat çerçeve yerleşim planı ve rijitlik durumu.....	63
Şekil 3.6.	Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri ( $\alpha=3$ )....	65
Şekil 3.7.	Kat çerçeve yerleşim planı ve rijitlik durumu.....	66
Şekil 3.8.	Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri( $\alpha=5$ )....	68
Şekil 3.9.	Kat çerçeve yerleşim planı ve rijitlik durumu.....	69
Şekil 3.10.	Dış merkezliğin $e=0$ olması durumunda oluşan mod biçimleri..	73
Şekil 3.11.	Dış merkezliğin $e=2$ m olması durumunda oluşan mod biçimleri.....	76



Şekil 3.12.	Dış merkezliğin $e=4$ m olması durumunda oluşan mod biçimleri.....	79
Şekil 3.13.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	80
Şekil 3.14.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	81
Şekil 3.15.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	81
Şekil 3.16.	Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	82
Şekil 3.17.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	82
Şekil 3.18.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	83
Şekil 3.19.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	83
Şekil 3.20.	Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	84
Şekil 3.21.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	85

Şekil 3.22.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	85
Şekil 3.24.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	86
Şekil 3.25.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	87
Şekil 3.26.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğebağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	87
Şekil 3.27.	Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişenboyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	89
Şekil 3.28.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	89
Şekil 3.29.	Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	90
Şekil 3.30.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	90
Şekil 3.31.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen frekansa göre dönme yerdeğiştirmesi değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	91
Şekil 3.32.	x-x doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün farklı açısai frekans değerleri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	92

Şekil 3.33.	x-x doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün farklı açısal frekans değerleri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	93
Şekil 3.34.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=15$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	93
Şekil 3.35.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=22$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	94
Şekil 3.36.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=32$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	94
Şekil 3.37.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=40$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	95
Şekil 3.38.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega= 15$ rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	96
Şekil 3.39.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega= 22$ rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	96
Şekil 3.40.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega= 32$ rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	97
Şekil 3.41.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega= 15$ rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	98
Şekil 3.42.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega= 22$ rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	98

Şekil 3.43.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=15$ rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	99
Şekil 3.45.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	101
Şekil 3.46.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirmesi değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ ).....	101
Şekil 3.47.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirmesi değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	102
Şekil 3.48.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirmesi değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ ).....	102
Şekil 3.49.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	103
Şekil 3.50.	Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirmesi değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ ).....	103
Şekil 3.51.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=5$ rd/sn açısai frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	105
Şekil 3.52.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=15$ rd/sn açısai frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	105
Şekil 3.53.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=12$ rd/sn açısai frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	106

Şekil 3.54.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=15$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	106
Şekil 3.55.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=12$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	107
Şekil 3.56.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=5$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	108
Şekil 3.57.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=15$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	108
Şekil 3.58.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=12$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	109
Şekil 3.59.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=5$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	109
Şekil 3.60.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=15$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	110
Şekil 3.61.	y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün $\omega=12$ rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi.....	110

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	$\alpha$ katsayısının değişiminde oluşan parametreler.....	54
Tablo 3.2.	Tek katlı yapının $\alpha=1$ için serbest titreşim parametreleri.....	55
Tablo 3.3.	Tek katlı yapının $\alpha=3$ için serbest titreşim parametreleri.....	56
Tablo 3.4.	Tek katlı yapının $\alpha=5$ için serbest titreşim parametreleri.....	57
Tablo 3.5.a	Üç katlı yapının $\alpha=1$ için serbest titreşim parametreleri.....	58
Tablo 3.1.b	Konsolidasyon deney verileri değerlendirmenin iki yöntemi.....	59

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Burulmalı bağlaşık yapı sistemleri, Dinamik büyütme faktörü

Bu çalışmada genliğinin doğrusal artıran sinüzoidal harmonik yük etkisi altındaki burulmalı bağlaşık çok katlı uzay çerçeve sistemlerin dinamik davranışı analitik olarak ele alınmıştır. Ayrıntılı parametrik araştırmalar ve sistematik hesaplamalar farklı kontrol parametrelerine bağlı yürütülerek burulma titreşimlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri geliştirilen matematik model üzerinde modal analiz yöntemi kullanılarak irdelenmiştir.

Dış yükün değişen açısal frekans değerlerine göre tek katlı ve çok katlı uzay yapı sistemlerinin zorlanmış titreşim davranışı, planda simetrik dağılım oluşturmayacak şekilde yerleştirilen farklı çerçeve rijitliklerine bağlı elde edilerek dinamik büyütme çarpanının sistem üzerindeki etkisinin değişimi incelenmiştir.

Dinamik büyütme çarpanının ve ona bağlı olarak yapı sisteminin farklı doğrultulardaki tepe yanal yerdeğiştirme ve burulma-dönme bileşenlerinin boyutsuzlaştırılmış dış yükün frekansına bağlı değişimi, özellikle sistemin rezonans durumu dikkate alınarak dış merkezliğin farklı değerleri için elde edilmiş ve karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

# **AN INVESTIGATION OF THE DYNAMIC BEHAVIOR OF THE TORSIONALLY COUPLED STRUCTURAL SYSTEMS**

## **SUMMARY**

**Key Words:** Torsionally coupled structural systems, Dynamics magnification factor

In this study, the dynamic response of the asymmetric torsionally coupled 3-dimensional multistory buildings under harmonic type of vertical sinusoidal loading increasing with its amplitudes linearly is considered analytically. In the improved mathematical model by using modal superposition method, a comprehensive parametric investigations and systematic calculations are accomplished with different controlling parameters to evaluate the effects of the torsional vibrations on the structural vertical response.

To obtain the forced vibration response for both single and multistory asymmetric structure models subjected to frequency dependent varied harmonic loading is analyzed and the effectiveness of the dynamic magnification factor on the dynamic behavior of the system depending on the stiffnesses of the lateral load resisting elements which are arranged so that the system has no symmetrical distribution in the plan, are also investigated.

The maximum values of translational and torsional displacement components of the floor deck for various structural eccentricities are obtained with respect to the frequency of the harmonic excitation applied. The comparison of the resulting response curves for corresponding parameters are presented.



# **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

## **1.1. Problemin Tanımı**

Artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte beraberinde insanoğlunun pek çok ihtiyaçları doğmuştur. Bu ihtiyaçlarının karşılanması için pek çok yapıların inşası gündeme gelmiştir. Giderek artan enerji ihtiyaçlarının karşılanması için nükleer güç santralleri ve barajlar, büyük açıklıkların geçilebilmesi için viyadükler, limanlar, köprüler, denizin ortasında kurulan petrol arama platformları ve özellikle artan nüfusun barınma ihtiyacı için yüksek yapılar giderek artan bir hızla yapılmaya başlanmıştır. Yeryüzünde insan eliyle ortaya çıkarılan büyük genlikli sarsıntılar ve patlamalardan veya deprem gibi yer hareketlerinden dolayı, yapıların oluşan titreşim oluşan titreşim parametreleriyle ne ölçüde etkileşime girdiğinin, analiz ve tasarım aşamasında gerçekçi bir şekilde hesaplanıp, yapıların dinamik yüklere göre emniyetli bir şekilde tasarlanmaları ve inşa edilmesi gerekmektedir. Özellikle deprem bölgelerinde inşa edilen tek ve çok katlı yapılarda yapı doğal açısız frekansı ile yapıya gelen deprem yüklerinin frekans değerlerinin birbirine yakın veya eşit olması durumunda çok büyük hasarlar meydana gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı yapı mühendisliği kütle ve rijitlik dağılımı düzgün olmaya binalar, planda taşıyıcı sistemi simetrik özelliği göstermeyen yapılar, burulma düzensizliği bulunan yapılar ve benzeri konularda uğraş ve çalışmalar yapmaktadır. Yakın zamanda meydana gelen depremlerde (1985 Mexico, 1989 Loma Prieta, 1992 Erzincan, 1995 Dinar, 1999 Marmara ve Düzce) yapıların dinamik davranışının deprem hasarları üzerinde çok önemli rolünün olduğunu göstermiştir. Dinamik dış yüklerin etkisi altındaki önemli yapı sistemlerinin davranışını daha iyi değerlendirmek ve bunun sonucunda oluşan yapı güvenliğini sağlayabilmek için sayısal çözüm yaklaşımlarında daha fazla bilinmeyen dikkate alınarak yapısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

Burulmalı bağlaşık yapı davranışı değişik şekillerde etkilenmektedir:

- 1) Yapıyı oluşturan taşıyıcı sistemlerin yanal ötelenme rijitlikleri sistemin periyot ve mod şekilleri gibi dinamik özelliklerinde önemli değişiklikler meydana getirir.
- 2) Yapının titreşim parametresini değiştiren en önemli bir faktörde yapının rijitliğe etki eden taşıyıcı sistem elemanlarının yerleşimi sonucunda oluşan dışmerkezliktir.

Burulmalı bağlaşık yapı sistemi dinamik davranışı 1 ve 2 de verilen olayların incelenmesi sonucunda ele alınır. Her iki durumda da yapının dinamik davranışı etkilenmektedir. Oluşan birçok depremlerde yapıların tasarlanmasında yapı rijitliğinin yapı üzerine gelen kuvveti ne oranda alacağı önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Ayrıca yapı sisteminin rijitliği sağlayan elemanların yerleşiminden oluşan dış merkezliğin gelen deprem kuvvetleri, yapının yaptığı yerdeğiştirmeyi ve burulmayı önemli bir şekilde etkilediği bilinmektedir. Dış frekans değerinin yapı sisteminin frekans değerine eşit veya yakın olduğu durumlarda yapı sistemi rezonansa girmektedir. Bu rezonans durumunda yapı çok büyük yerdeğiştirmeler ve dönmeler yapmaktadır. Yapının rezonansa girmesinde dış merkezliğin de büyük etkisi vardır.

## 1.2. İlgili Çalışmalar

Burulmalı bağlaşık yapıların dinamik analizi; yapıya etkiyen sinüzoidal harmonik dış yük, yapının rijitlik durumu ve yapıda meydana dış merkezliğe göre oluşan dinamik büyütme çarpanı, yanal yerdeğiştirme ve dönme yerdeğiştirmesi değerleri incelenmiştir.

Çağdaş deprem yönetmeliklerinde, en çok göz önüne alınan düzensizlik türü, “Planda burulma düzensizliği”dir ve bununla ilgili önemli hesap yöntemleri uygulanmaktadır [1]. Genel olarak uygulanan yol, burulma ile ilgili parametrelerin belirli değerleri aşması halinde “ek dış merkezliklerin arttırılarak yatay yük analizinin tekrarlanması, bu değerlerin daha da büyümesi halinde, “Dinamik Hesap” uygulanmasıdır. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik”

(ABYYHY)'te aynı yol benimsenmiş bulunmaktadır [2]. Planda burulma düzensizliği ile ilgili tek katlı yapılar üzerinde bir çok araştırma yapılmıştır [3-8]. Yapılan bazı araştırmalarda çok katlı çerçeve ve perdeli yapı tipleri için "Dinamik hesap yaptırımının gerçekçi olup olmadığı, dış merkezliğin olması durumunda arttırılmış dış merkezlik uygulaması yerine kenar akslarda rijitlikleri arttırmanın yararlı olup olmayacağı, burulma düzensizliği konusunda daha doğru sonuçlar elde etmek için yapı türlerini kapsayan daha geniş parametrik araştırmalar yapılması gerektiği incelenmiştir [9-11]. Yapılan parametrik çalışmalar ve geçmişte meydana gelen depremlerin etkileri üzerindeki araştırmalar, kütle ve rijitlik dağılımları simetriklik özelliği göstermeyen yapılarda, kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmemesinden dolayı kat döşemelerinin yanal ötelenme hareketi ile dönme hareketi arasında dinamik etkileşim olabileceğini göstermiştir [12-15]. Şimdiye kadar yapılan çeşitli çalışmalarda burulmalı bağlaşik çok katlı asimetrik yapıların elastik deprem davranışı, dinamik analizin standart metotları yerine geliştirilmiş çözüm yöntemleri kullanarak irdelenmiştir [16-18]. Statik yada dinamik yüklemeye maruz çok katlı çerçeve ve kesme duvarın üç boyutlu lineer yapısal analizi için bir yöntem ve bilgisayar programı geliştirilmiştir [19]. İki boyutlu çerçeve sistemlerin eşdeğer ve statik ve dinamik analiz yöntemleri irdelenmiş. Dinamik yükler etkisi altında analiz içinse önce serbest titreşim etkisi altında sistemin frekansları ve mod şekilleri hesaplanmıştır. Daha sonra sonuçlar modların süperpozisyonu yöntemiyle birleştirilmiştir. Bu çalışmada, yapıların deprem kuvveti altında taşıyıcı elemanlarında oluşan kuvvet ve deplasmanlarının hesabı için iki ayrı metot kullanılmıştır. Önce deprem yükü eşdeğeri bir statik yük olarak alınıp Muto metoduyla statik analiz yapılmış, daha sonra gerçek deprem spektrumları kullanılarak modal analiz yapılmıştır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik hesap esaslarında deprem yükünün hesabı için kullanılan  $R_a$  deprem yükünü azaltma katsayısının etkisi ile sistemlerin doğrusal elastik davranış gösterdiği kabul edilmektedir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik esaslarına göre bulunan kesme kuvveti değerleri, yer ivmeleri dikkate alınarak hesaplanan kesme kuvveti değerlerinden küçük çıkmaktadır. Bu durum yapının sünek davranışına bağlı olarak seçilen  $R$  katsayısından kaynaklanmaktadır. Çok fazla serbestlik derecesine sahip olan sistemlerde ilk modların katkısıyla yeterli yaklaşıklıkta çözüm elde edileceği anlaşılmıştır [20]. Çok katlı perde çerçeve

sistemlerinde yatay yükler etkisi altında oluşabilecek burulma düzensizliğine, taşıyıcı eleman rijitlikleriyle, yapı geometrisi ve perdelerine paralel aksların sayısının etkileri araştırılmıştır. Buradan, burulma düzensizliğinin hemen hemen sadece plandaki rijitlik dağılımının dengesiz olmasına bağlı olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca çeşitli yapı tipi grupları üzerinde yapılan incelemelerden, perdelerin iç akslarda olmaları durumunda, kenar akslarda olmaları durumuna göre, daha elverişsiz burulma düzensizliği katsayıları değerleri elde edilebileceği görülmüştür [21]. Elips, daire, L, T, üçgen, dikdörtgen ve kare şeklinde geometriye sahip bina modellerinin deprem davranışının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu modellerin yerdeğiştirme sonuçları, periyot sonuçları, taban kesme ve devrilme momenti sonuçları ve katlardaki burulma düzensizliği sonuçları araştırılmıştır. Bu araştırma sonucu incelendiğinde, yerdeğiştirme, periyot, taban kesme kuvveti ve taban devrilme momenti değerleri en düşük daire şeklindeki modelde en yüksek ise elips şeklindeki modelde bulunmuştur. Buradan şu sonuca karar verilmiştir; Deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde perde sistemler, değişik geometrideki planlardan ise, daire şeklindeki modeli tercih etmek en uygun çözümdür [22]. Deprem yönetmeliklerinin hemen hepsi asimetrik binaların eşdeğer statik yük ve dinamik analizlerinde burulma etkisi yapan ek dış merkezlik hesabını kapsamaktadır. Eşdeğer statik yük yönteminde ek dış merkezlik uygulama prosedürü basit ve açıktır, ayrıca çoğu bina analiz yazılımında standart olarak uygulanmaktadır. Ancak, ek dış merkezliğin dinamik analizlerdeki uygulaması şu iki yaklaşımla gerçekleştirilmektedir:

- 1) Kütle merkezinin her iki yönde gerekli miktarda kaydırılması. Bu durum sistemin global rijitlik matrisini değiştirir ve bundan dolayı doğal frekansın ve model parametrelerinin her eksantirisite durumu için yeniden hesaplanması gerekir.
- 2) Tüm dış merkezlik 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 önerilmiştir. Bu çalışmada Eşdeğer Deprem Yüğü yöntemiyle Çoklu-Modal Dışmerkezlik yöntemlerinin çok katlı binaların sonuçlarında paralellik göstermekte olduğunu ortaya koymaktadır. Düğüm noktaları yerdeğiştirmeleri ve eleman kesme kuvvetleri göz önüne alındığında kütle merkezinin kaydırma yöntemi, eşdeğer deprem yükü ve çoklu-modal dış merkezlik yöntemlerine uyumlu olmayan sonuçlar elde edilmiştir [23].

### 1.3. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma, sayısal ileri düzeyde uygulamalar için ve yapısal çözüm tekniklerini ve sonuçlarını doğru yorumlayabilmek için harmonik karakterde sinüzoidal dış yükler etkisi altında burulmalı bağlaşık yapı sisteminin dinamik davranışı, yapıyı oluşturan sistem davranışını etkileyen elemanların rijitlik durumu ve değişen sinüzoidal dış yüklere bağlı olarak incelenmiştir. Ayrıca ayrıntılı parametrik araştırmalar ve sistematik hesaplamalar farklı kontrol parametrelerine bağlı yürütülerek burulma titreşimlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri geliştirilen model üzerinde modal analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Burulmalı bağlaşık yapı sisteminin dinamik analizi problemini temsil eden model için farklı parametrelere bağlı sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçlardan yapı ve dış yük frekansına bağlı olarak periyot , açısal frekans, yerdeğiştirme genliği ve dönme genliği, dinamik büyütme çarpanı yanal yerdeğiştirme ve dönme yerdeğiştirmesi değerlerinin değişimleri incelenip grafik ve şekiller halinde sunulmuştur. Ayrıca;

- Yapının dinamik davranışını gösteren dinamik büyütme çarpanının dış merkezlik ve rijitlik durumuna ve dış yük frekansına bağlı değişimi
- Yapının yanal ve dönme yerdeğiştirmesi değerlerinin dış merkezlik ve rijitlik durumuna ve dış yük frekansına bağlı değişimi incelenmiş grafikler haline getirilerek yorumlanmıştır.

## BÖLÜM 2. SINÜZOİDAL YANAL YÜKLERE MARUZ ÇOK KATLI BURULMALI BAĞLAŞIK YAPILARIN TİTREŞİMİ

### 2.1. Statik Genliğini Doğrusal Arttıran Sinüzoidal Yanal Yüklere Maruz Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Kararlı Titreşimlerinin İncelenmesi

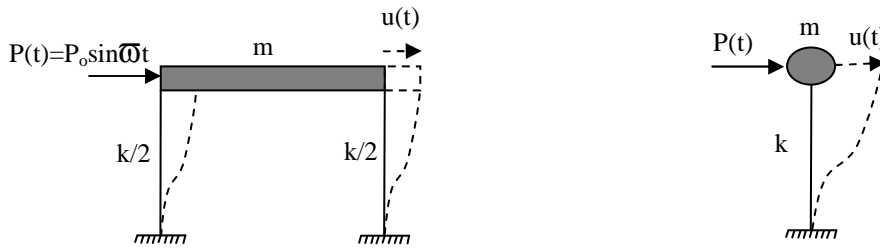
#### 2.1.1. Sönümsüz ve sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin harmonik yük altındaki dinamik davranışının incelenmesi

##### 2.1.1.1 Sönümsüz tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin harmonik yük altındaki dinamik davranışının incelenmesi

Tek serbestlik dereceli sönümsüz bir sistemin harmonik karakterde sinüzoidal bir dış yük etkisi altında zorlanmış titreşimi,

$$m \ddot{u}(t) + k u(t) = P_0 \sin \omega t \quad (2.1)$$

yönetici denklemi (hareket denklemi) ile verilir (Şekil 2.1). Burada  $\omega$  dış yükün açısal frekansını göstermektedir.



Şekil 2.1. Sönümsüz tek serbestlik dereceli (TSD) yapı modeli

Sistemin doğal açısal frekansı ;

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Sistemin hareket denkleminde statik yerdeğiştirme

$$u_{st} = \frac{P_o}{k} \quad (2.3)$$

olacak şekilde tanımlanarak düzenlenirse;

$$\ddot{u} + \frac{k}{m} u = \frac{P_o}{m} \sin\omega t \frac{\omega^2}{\omega^2} \quad (2.4a)$$

2. mertebeden sabit katsayılı homojen olmayan adi bir diferansiyel denklem elde edilir.

$$\ddot{u} + \omega^2 u = \omega^2 \frac{P_o}{k} \sin\omega t \quad (2.4b)$$

$$\ddot{u} + \omega^2 u = \omega^2 u_{st} \sin\omega t \quad (2.4c)$$

Elde edilen bu denklemin çözümü ise;

$$L(u) = \emptyset(t) \quad u(t) = u_h(t) + u_p(t) \quad (2.5a)$$

$$L(u_h) = 0 \quad u_h(t) = A \sin\omega t + B \cos\omega t \quad (\text{Homojen Çözüm}) \quad (2.5b)$$

$$L(u_p) = \emptyset(t) \quad u_p(t) = D \sin\omega t + E \cos\omega t \quad (\text{Özel Çözüm}) \quad (2.5c)$$

şeklinde yazılır. Yukarıda verilen denklemin (2.4c) özel çözümünün (2.5c) ilgili türevleri alınıp;

$$\dot{u}_p = D\omega \cos \omega t - E\omega \sin \omega t \quad (2.6a)$$

$$\ddot{u}_p = -D\omega^2 \sin \omega t - E\omega^2 \cos \omega t \quad (2.6b)$$

yönetici denkleminde yerine konulduğunda,

$$-D\omega^2 \sin \omega t - E\omega^2 \cos \omega t + \omega^2 D \sin \omega t + \omega^2 E \cos \omega t = \omega^2 u_{st} \sin \omega t \quad (2.7a)$$

$$-D\omega^2 + \omega^2 D = \omega^2 u_{st}; \quad D = \frac{\omega^2 u_{st}}{\omega^2 - \omega^2} \quad (2.7b)$$

$$-E\omega^2 + \omega^2 E = 0; \quad E = 0 \quad (2.7c)$$

ifadeleri elde edilir. İntegral çarpanları bulunduktan sonra özel çözüm fonksiyonu

$$u_p = \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2} u_{st} \sin \omega t \quad (2.8)$$

olarak yazılır. Aynı şekilde homojen çözüm (2.5b) verilen başlangıç koşullarına bağlı olarak ( $u(0) = u_o; \dot{u}(0) = \dot{u}_o$ ) ele alındığında;

$$u(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t + \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2} u_{st} \sin \omega t \quad (2.9)$$

$$B = u_o \quad (2.10a)$$

$$\dot{u}(t) = \omega A \cos \omega t - \omega B \sin \omega t + \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2} u_{st} \omega \cos \omega t \quad (2.10b)$$

$$\dot{u}_o = \omega A + \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega^2} u_{st} \omega \quad (2.10c)$$



$$A = \frac{\dot{u}_o}{\omega} - \frac{\omega^2}{\omega^2 - \bar{\omega}^2} u_{st} \bar{\omega} \quad (2.10d)$$

bulunur. Bu durumda genel çözüm;

$$u(t) = \frac{\dot{u}_o}{\omega} \sin \omega t - \frac{\frac{\bar{\omega}}{\omega^2 - \bar{\omega}^2}}{\omega^2} u_{st} \sin \omega t + u_o \cos \omega t + \frac{\omega^2}{\omega^2 - \bar{\omega}^2} u_{st} \sin \bar{\omega} t \quad (2.11)$$

şeklinde ifade edilir. Çözüm fonksiyonu;

$$u(t) = \frac{\dot{u}_o}{\omega} \sin \omega t + u_o \cos \omega t - \frac{\frac{\bar{\omega}}{1 - \frac{\bar{\omega}^2}{\omega^2}}}{\omega^2} u_{st} \sin \omega t + \frac{1}{1 - \frac{\bar{\omega}^2}{\omega^2}} u_{st} \sin \bar{\omega} t \quad (2.12)$$

$$\beta = \frac{\bar{\omega}}{\omega} \quad (2.13)$$

olacak şekilde tekrar düzenlenirse,

$$u(t) = \frac{\dot{u}_o}{\omega} \sin \omega t + u_o \cos \omega t - \frac{\beta}{1 - \beta^2} u_{st} \sin \omega t + \frac{1}{1 - \beta^2} u_{st} \sin \bar{\omega} t \quad (2.14)$$

elde edilir. Başlangıçta sükûnette olmayan harmonik yük etkisi altındaki tek serbestlik dereceli sönümsüz sistemin yanal yer değiştirme cinsinden göstereceği tepki bu çözüm fonksiyonu (2.14) ile ifade edilir. Çözüm iki kısımdan oluşmaktadır;

- Davranışın sistemin dış yükünün açılal frekansına ( $\omega$ ) sahip bir serbest titreşim kısmı,
- Zorlama frekansına ( $\bar{\omega}$ ) sahip zorlayıcı kısım

Hareketin sükûnetten başladığı kabul edilirse, başlangıç koşulları  $u(0) = \dot{u}(0) = 0$  olarak yazılabilir. Bu durumda genel çözüm;

$$u(t) = \frac{1}{1 - \beta^2} u_{st} (\sin \varpi t - \beta \sin \omega t) \quad (2.15)$$

olarak yazılır. Elastik kolonlardaki kesme kuvvetlerinin dolayısıyla eğilme momentlerinin,  $u(t)$  yerdeğiştirmesi ile orantılı olduğu düşünülerek,  $u(t)$  dinamik yerdeğiştirmenin,  $u_{st}$  statik yerdeğiştirmeye oranı Dinamik Büyütme Çarpanı ( $R_d$ ) olarak tarif edilir.

$$R_d = \frac{u(t)}{u_{st}} = \frac{\sin \varpi t - \beta \sin \omega t}{1 - \beta^2} \quad (2.16a)$$

$$u(t) = R_d u_{st} \quad (2.16b)$$

Çözümün incelenmesinden, davranışın sistemin  $\omega$  doğal frekansına sahip bir serbest titreşim kısmından ve  $\varpi$  zorlanma frekansına sahip bir zorlayıcı kısmından oluştuğu görülür (2.17).

$$(R_d)_{maks} = \mp \frac{1}{1 - \beta^2} = \mp \frac{1}{1 - \frac{\varpi^2}{\omega^2}} \quad (2.17)$$

- Dış yükün açısal frekansının ( $\varpi$ ) küçük olması durumunda, dış yük çok yavaş değişmektedir. Bu yavaş değişme sonucu dış yükün dinamik özellikleri çok azalmakta ve statik bir etki ortaya çıkmaktadır.

$$\varpi \cong 0 \implies (R_d)_{maks} = 1 \quad u(t)_{maks} = (DMF)_{maks} u_{st} = u_{st}$$

$$V(t)_{maks} = k u(t)_{maks} = k u_{st} = P_o$$

- Dış yükün açısal frekansının yapının frekansına eşit veya yakın olması yani  $\beta=1$  olması durumunda Rezonans olayı meydana gelir.  $(R_d)_{maks}$  ifadesinden de görüleceği gibi teorik olarak bu durumda sonsuz büyük yerdeğişirmeler elde edilir.

$$\bar{\omega} \cong \omega \quad (R_d)_{maks} = \text{Çok büyük} \quad u(t)_{maks} = \text{Çok büyük}$$

$$V(t)_{maks} = \text{Çok büyük}$$

- Dış yükün açısal frekansının büyük olması durumunda ise kütle atalet kuvveti tepki vermekte ve sistem neredeyse hareketsiz kalmaktadır.

$$\bar{\omega} \cong \text{Çok büyük} \quad (R_d)_{maks} \cong 0$$

Yukarıdaki genel hareket denklemi (2.14) kalıcı ve geçici titreşimleri göstermek üzere düzenlenirse;

$$u(t) = u_{geçici}(t) + u_{kalıcı}(t) \quad (2.18a)$$

$$u(t) = \left( \frac{\dot{u}_o}{\omega} - u_{st} \frac{\beta}{1-\beta^2} \right) \sin \omega t + u_o \cos \omega t + \frac{1}{1-\beta^2} u_{st} \sin \bar{\omega} t \quad (2.18b)$$

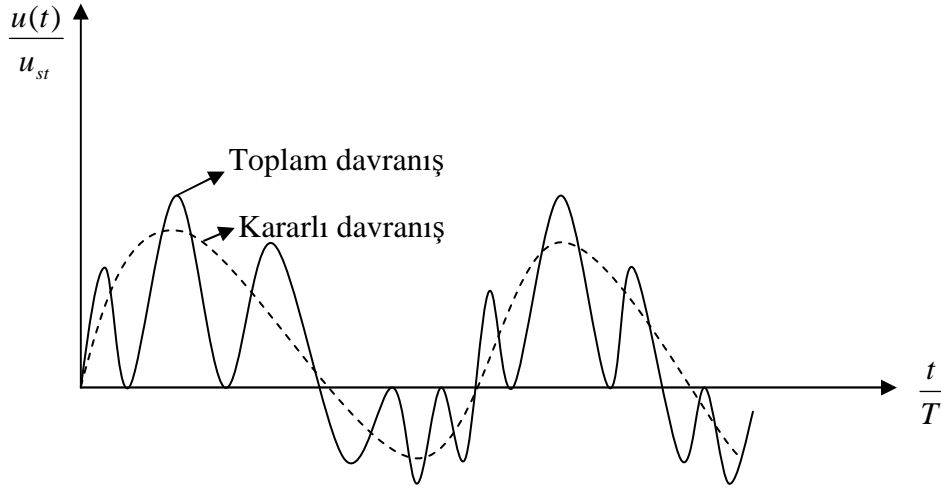
çözüm fonksiyonu elde edilir. Burada çözümün (2.18b) ilk parçasını sistemin doğal frekansından dolayı meydana gelen ve başlangıç koşullarına bağlı olan geçici titreşim (2.19) meydana getirir.

$$u_{geçici} = \left( \frac{\dot{u}_o}{\omega} - u_{st} \frac{\beta}{1-\beta^2} \right) \sin \omega t + u_o \cos \omega t \quad (2.19)$$

Çözümün ikinci parçasını ise dış yükün yani zorlayıcı kuvvetin frekansından meydana gelen ve başlangıç koşullarına bağlı olmayan kalıcı titreşim oluşturur.

$$u_{kalıcı} = \frac{1}{1-\beta^2} u_{st} \sin \bar{\omega} t \quad (2.20)$$

Tek serbestlik dereceli sönümsüz sistemin zorlanmış titreşimine ait çözüm fonksiyonun zamana bağlı değişimi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Sönümsüz tek serbestlik dereceli (TSD) sistemde yapı davranışı

Bilgisayar destekli sayısal analizde aşağıdaki kararlı davranışı gösteren çözüm fonksiyonu kullanılmıştır(2.21).

$$u(t) = \frac{1}{1 - \beta^2} u_{st} \sin \omega t \quad (2.21)$$

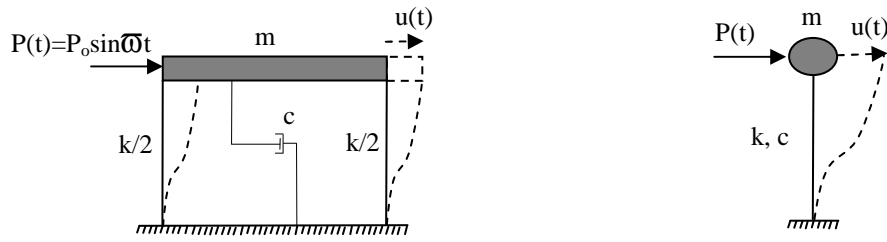
### 2.1.1.2 Sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) sistemin harmonik yük altındaki dinamik davranışının incelenmesi

Tek serbestlik dereceli sönümlü bir sistemin Şekil 2.3. de görüldüğü gibi harmonik karakterde sinüzoidal bir dış yük etkisi altındaki hareket denklemi;

$$m \ddot{u}(t) + c \dot{u}(t) + k u(t) = P_o \sin \omega t \quad (2.22)$$

denklemiyle yazılabilir. Yukarıdaki ifadeler tekrar düzenlendiğinde

$$\ddot{u} + \frac{c}{m} \dot{u} + \frac{k}{m} u = \frac{P_o}{m} \sin \omega t \quad (2.23)$$



Şekil 2.3. Sönümlü tek serbestlik dereceli (TSD) yapı modeli

$$\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2 u = \omega^2 u_{st} \sin\omega t \quad (2.24)$$

elde edilir. Burada  $\xi$  sönüm oranını,  $u_{st}$  statik yer değişirmeyi göstermektedir.

$$\xi = \frac{c}{2m\omega} \quad (2.25)$$

Sönümlü serbest titreşim açısal frekansı;

$$\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2} \quad (2.26)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Yönetici denklem 2. mertebeden sabit katsayılı homojen olmayan adi diferansiyel denklemdir. Bu tür denklemlerin genel çözümü,

$$L(u) = \emptyset(t) \quad u(t) = u_h(t) + u_p(t) \quad (2.27a)$$

şeklinde yazılabilir. Burada homojen çözüm;

$$L(u_h) = \emptyset(t) \quad u_h(t) = e^{-\xi\omega t} (A \sin \omega_D t + B \cos \omega_D t) \quad (2.27b)$$

üstel fonksiyona bağlı olarak yazılır. Özel çözümün genel yapısı dış yüke bağlı olarak;

$$L(u_p) = 0 \quad u_p(t) = D \sin \omega t + E \cos \omega t \quad (2.27c)$$

şeklinde ifade edilir. Özel çözümünün (2.27c) ilgili türevleri alınıp hareket denkleminde (2.24) yerine konulursa;

$$\dot{u}_p(t) = D\omega \cos \omega t - E\omega \sin \omega t \quad (2.28a)$$

$$\ddot{u}_p(t) = -D\omega^2 \sin \omega t - E\omega^2 \cos \omega t \quad (2.28b)$$

$$\begin{aligned} & -D\omega^2 \sin \omega t - E\omega^2 \cos \omega t + 2D\xi \omega \omega \cos \omega t - 2E\xi \omega \omega \sin \omega t + D\omega^2 \sin \omega t + E\omega^2 \cos \omega t \\ = & \dots \omega^2 u_{st} \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.29)$$

ifadesi elde edilir. Buradan integrasyon sabitlerinden E ve D aşağıdaki işlem adımlarıyla bulunur.

$$2D\xi \omega \omega - E\omega^2 + E\omega^2 = 0 \quad (2.30a)$$

$$E = -\frac{2\xi \omega \omega D}{\omega^2 - \omega^2} \quad (2.30b)$$

$$-D\omega^2 - 2E\xi \omega \omega + D\omega^2 = \omega^2 u_{st} \quad (2.30c)$$

$$-D\omega^2 + \frac{4\xi^2 \omega^2 \omega^2 D}{\omega^2 - \omega^2} + D\omega^2 = \omega^2 u_{st} \quad (2.30d)$$

$$D \left( \omega^2 - \omega^2 + \frac{4\xi^2 \omega^2 \omega^2}{\omega^2 - \omega^2} \right) = \omega^2 u_{st} \quad (2.30e)$$

$$D = \frac{\omega^2 u_{st}}{\omega^2 - \omega^2 + \frac{4\xi^2 \omega^2 \omega^2}{\omega^2 - \omega^2}} \quad (2.30f)$$

$$D = \frac{\omega^2 u_{st}}{\frac{(\omega^2 - \omega^2)^2 + (2\xi \omega \omega)^2}{\omega^2 - \omega^2}} \quad (2.30g)$$

Burada E ve D parametrelerinde  $\beta$  (2.11) yerine konulduğunda;

$$D = \frac{(1 - \beta^2)u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \quad (2.31a)$$

elde edilir. Bu İntegral sabitine bağlı olarak diğer çarpan

$$E = \frac{-2\xi\beta u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \quad (2.31b)$$

olur.

$$u_p(t) = \frac{(1 - \beta^2)u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \sin \bar{\omega}t - \frac{2\xi\beta u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \cos \bar{\omega}t \quad (2.32)$$

Özel çözüm yukarıda (2.32) gösterildiği şekilde yazılır. Hareket denkleminin genel çözümü ise;

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} (A \sin \omega_D t + B \cos \omega_D t) + \frac{u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \left( (1 - \beta^2) \sin \bar{\omega}t - 2\xi\beta \cos \bar{\omega}t \right) \quad (2.33)$$

şeklinde elde edilir.

Hareket denkleminin ( $u(0) = u_o$ ,  $\dot{u}(0) = \dot{u}_o$ ) başlangıç koşulları yerlerine yazılırsa çözüm fonksiyonundaki A ve B integral çarpanları elde edilir.

$$\dot{u}_p(t) = -\xi\omega e^{-\xi\omega t} (A \sin \omega_D t + B \cos \omega_D t) + e^{-\xi\omega t} (A \omega_D \cos \omega_D t - B \omega_D \sin \omega_D t) + \dots + \frac{u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \left( (1 - \beta^2) \bar{\omega} \cos \bar{\omega}t + 2\xi\beta \bar{\omega} \sin \bar{\omega}t \right) \quad (2.34a)$$

$$\dot{u}_o = -\xi\omega B + A \omega_D + \frac{(1 - \beta^2) \bar{\omega} u_{st}}{(1 - \beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \quad (2.34b)$$

$$A = \frac{\dot{u}_o}{\omega_D} + \frac{\xi\omega B}{\omega_D} - \frac{(1-\beta^2)\overline{\omega}u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \frac{1}{\omega_D} \quad (2.34c)$$

$$u_o = B - \frac{2\xi\beta u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \quad (2.34d)$$

$$B = u_o + \frac{2\xi\beta u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \quad (2.34e)$$

$$A = \frac{\dot{u}_o}{\omega_D} + \frac{u_o\xi\omega}{\omega_D} + \frac{2\xi^2\omega\beta u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \frac{1}{\omega_D} - \frac{(1-\beta^2)\overline{\omega}u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \frac{1}{\omega_D} \quad (2.26)$$

Başlangıçta sükûnette olmayan harmonik yük etkisi altındaki TSD sönümlü sistemin yanal yerdeğiştirme cinsinden göstereceği tepki kararlı titreşim olarak tanımlanmaktadır.

Elde edilen homojen ve özel çözümler genel çözümde birleştirilirse;

$$u(t) = u(t)_{\text{geçici}} + u(t)_{\text{kararlı}} \quad (2.27)$$

$$u(t)_{\text{geçici}} = u_1(t) + u_2(t) \quad (2.28)$$

$$u_1(t) = e^{-\xi\omega t} \left[ \left( \frac{\dot{u}_o}{\omega_D} + \frac{u_o\xi\omega}{\omega_D} + \frac{2\xi^2\omega\beta u_{st} - (1-\beta^2)\overline{\omega}u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \right) \sin \omega_D t \right] \quad (2.28a)$$

$$u_2(t) = e^{-\xi\omega t} \left[ \left( u_o + \frac{2\xi\beta u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \right) \cos \omega_D t \right] \quad (2.28b)$$

Geçici titreşimde çözümün ilk parçasının sistemin davranışına olan etkisi üstel fonksiyondan dolayı zamanla söner. Kararlı titreşim ise, dış yükü aynı frekansta olup, zamanla sönen bir titreşim değildir.



$$u(t)_{\text{kararlı}} = \frac{u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \left[ (1-\beta^2) \sin \omega t - 2\xi\beta \cos \omega t \right] \quad (2.29)$$

zamana bağlı kararlı yerdeğiştirme denklemi bulunur.

Hareketin sükûnetten başladığı kabul edilirse, başlangıç koşulları  $u(0) = \dot{u}(0) = 0$  olarak yazılabilir. Bu durumda genel çözüm;

$$u(t)_{\text{geçici}} = e^{-\xi\omega t} u_{st} \frac{\omega}{\omega_D} \left[ \frac{2\xi^2\beta - (1-\beta^2) \sin \omega_D t + 2\xi\beta \cos \omega_D t}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \right] \quad (2.30)$$

$$u(t)_{\text{kararlı}} = \frac{u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \left( (1-\beta^2) \sin \omega t - 2\xi\beta \cos \omega t \right) \quad (2.31)$$

Dinamik büyütme çarpanının  $R_d$  tarifinde kararlı titreşim (2.32) esas alındığından;

$$u(t) = \frac{u_{st}}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \left( (1-\beta^2) \sin \omega t - 2\xi\beta \cos \omega t \right) \quad (2.32)$$

buradan dinamik büyütme faktörü zamana bağlı olarak  $R_d(t)$ ,

$$R_d(t) = \frac{u(t)}{u_{st}} = \frac{(1-\beta^2) \sin \omega t - 2\xi\beta \cos \omega t}{(1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2} \quad (2.33)$$

$$u(t) = (R_d) u_{st} \quad (2.34)$$

olarak yazılır.

Dinamik büyütme faktörünün maksimum değeri,

$$(R_d)_{\text{maks}} = \left[ (1-\beta^2)^2 + (2\xi\beta)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.35)$$

ile ifade edilir.

- Küçük sönüm değerleri için, rezonans durumunda sonsuz büyük yerdeğişirmeler çıkmayacaktır.

- Tam rezonans durumunda ( $\beta=1$ ) ise  $(R_d)_{\text{maks}} = \frac{1}{2\xi}$  olarak elde edilir.

Tam rezonans  $\omega=\bar{\omega}$  ( $\beta = 1$ ) ve başlangıç koşullarının  $u(0) = \dot{u}(0) = 0$  olması durumunda genel çözüm;

$$u(t) = \frac{1}{2\xi} u_{\text{st}} \left[ e^{-\xi\omega t} \left( \frac{\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \sin \omega_D t + \cos \omega_D t \right) - \cos \bar{\omega} t \right] \quad (2.36)$$

olarak elde edilir.

Sönümün küçük olduğu kabul edilirse;

$$\sin \omega_D t = 0 \quad (2.37)$$

$$R_d(t) = \frac{1}{2\xi} (e^{-\xi\omega t} - 1) \cos \omega t \quad (2.38)$$

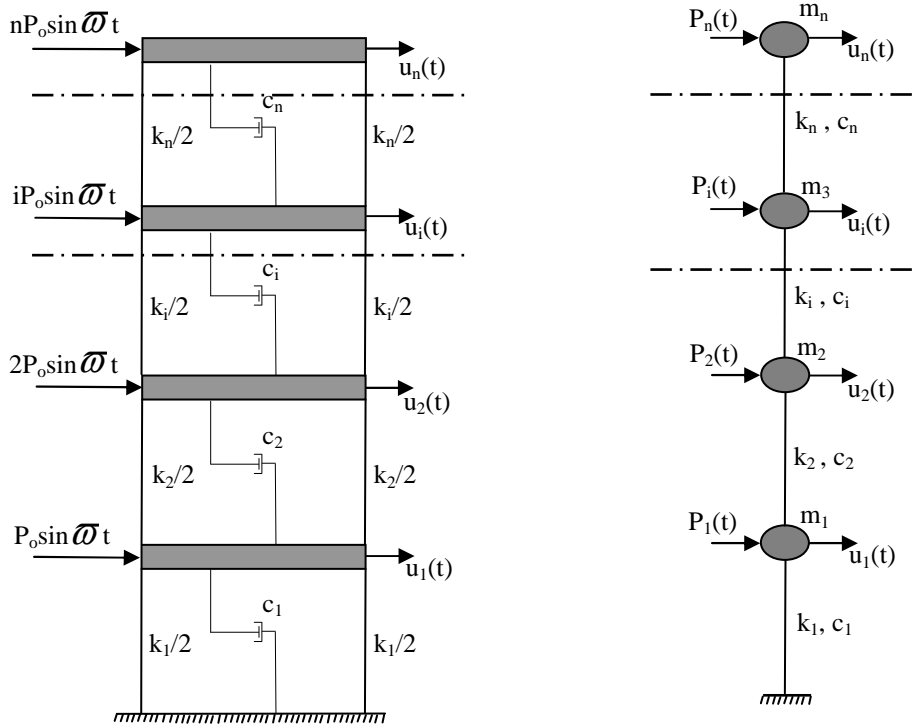
olarak yazılır.

### 2.1.2 Sönümlü çok serbestlik dereceli (ÇSD) sistemin harmonik yük altındaki davranışının incelenmesi

Çok serbestlik dereceli sistemin zorlanmış titreşimi;

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{P} \quad (2.39)$$

denklemleri ile gösterilir.



Şekil 2.4. Sönümlü çok katlı çok serbestlik dereceli (ÇSD) yapı modeli

Yukarıdaki denklemde (2.39) **M**, **C**, **K** matrisleri sırasıyla sistemin kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini göstermektedir.

$$\mathbf{u} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n \end{Bmatrix} \quad (2.40a)$$

yerdeğiştirme matrisi (2.40a) ile bulunmuştur.

$$\mathbf{P} = \begin{Bmatrix} P \sin \omega t \\ 2P \sin \omega t \\ \cdot \\ \cdot \\ n \sin \omega t \end{Bmatrix} \quad (2.40b)$$

dış yükün matrisi denklemi (2.40b) ile elde edilmiştir.

$$\mathbf{M} = \begin{Bmatrix} m_1 & & & \\ & m_2 & 0 & \\ & & \cdot & \\ & 0 & & \cdot \\ & & & & m_n \end{Bmatrix} \quad (2.40c)$$

kütle matrisi denklemleri (2.40c) ile bulunmaktadır.

$$\mathbf{K} = \begin{Bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \\ & -k_3 & \cdot & -k_n \\ 0 & & -k_n & k_n \end{Bmatrix} \quad (2.40d)$$

Modal analizde bütün modların katlar hizasındaki değerleri ile çarpıp toplayarak kat hizasında zamana bağlı yerdeğiştirmeler hesaplanmaktadır.

Aşağıda yerdeğiştirme matrisi verilmiştir. Burada n sistemin serbestlik derecesini,  $\phi$  ise serbest titreşim frekansına karşılık gelen mod vektörünü göstermektedir.

$$\mathbf{u} = \sum_{i=1}^n \phi_i q_i(t) = \phi \mathbf{q}(t) \quad (2.41)$$

Yerdeğiştirme (2.41) ifadesi ile elde edilir. Buna bağlı olarak;

$$\phi_j^T \mathbf{M} \phi_j \ddot{q}_j + \phi_j^T \mathbf{C} \phi_j \dot{q}_j + \phi_j^T \mathbf{K} \phi_j q_j = \phi_j^T \mathbf{P} \quad (2.42)$$

hareket denklemleri yazılır.

Genelleştirilmiş kütle, sönüm ve rijitlik değerleri aşağıdaki ifadelerden elde edilir. Çok serbestlik dereceli sönümlü sistemde mod biçimlerinin dikliği dikkate alındığında elde edilen denklem,

$$M_j = \phi_j^T \mathbf{M} \phi_j \ddot{q}_j \quad (\text{Genelleştirilmiş Kütle}) \quad (2.42a)$$

$$C_j = 2\xi_j \omega_j M_j \quad (\text{Genelleştirilmiş Sönüm}) \quad (2.42b)$$

$$\phi_j^T \mathbf{M} \phi_j = K_j ; \quad K_j = \omega_j^2 M_j \quad (\text{Genelleştirilmiş Rijitlik}) \quad (2.42c)$$

$$M \ddot{q}_j + 2\xi_j \omega_j M_j \dot{q}_j + \omega_j^2 M_j q_j = \phi_j^T \mathbf{P} = P_j \quad (2.43a)$$

$$\ddot{q}_j + 2\xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{\phi_j^T \mathbf{P}}{M_j} = \frac{P_j}{M_j} \quad (\text{Ayrık Denklem}) \quad (2.43b)$$

şeklindedir. Tüm modlar dikkate alındığında çok serbestlik dereceli sistemin bağlaşıklık olmayan denklemleri aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\begin{aligned} j = 1 & \quad \ddot{q}_1 + 2\xi_1 \omega_1 \dot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = \frac{\phi_1^T \mathbf{P}}{M_1} \\ j = 2 & \quad \ddot{q}_2 + 2\xi_2 \omega_2 \dot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = \frac{\phi_2^T \mathbf{P}}{M_2} \\ & \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ & \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ & \quad \cdot \quad \quad \quad \cdot \\ j = n & \quad \ddot{q}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = \frac{\phi_n^T \mathbf{P}}{M_n} \end{aligned} \quad (2.44)$$

Genelleştirilmiş yük:

$$\frac{P_j}{M_j} = \frac{\phi_j^T \mathbf{P}}{M_j} = \frac{P_0}{M_j} \left( \sum_{i=1}^n i \phi_{ij} \right) \sin \omega t = \alpha_j \sin \omega t \quad (2.45)$$

$$\alpha_j = \frac{P_0}{M_j} \left( \sum_{i=1}^n i \phi_{ij} \right) \quad (2.46)$$

Yapı sisteminden gelen dış etkiden dolayı genelleştirilmiş zorlama denklemi (2.47) ile bulunmaktadır.

$$j=1 \quad P_1 = \frac{\phi_1^T P}{M_1} = \frac{1}{M_1} \{ \phi_{11} P_0 \sin \omega t + \phi_{21} 2P_0 \sin \omega t + \dots + \phi_{n1} n P_0 \sin \omega t \} \quad (2.47)$$

$$P_1 = \frac{1}{M_1} P_0 \{ \phi_{11} + 2\phi_{21} + 3\phi_{31} + \dots + n\phi_{n1} \} \sin \omega t \quad (2.47a)$$

$$P_1 = \left( \frac{P_0}{M_1} \sum_{i=1}^n \phi_{i1} i \right) \sin \omega t \quad (2.48)$$

Sinüzoidal tipi dış yükü zorlanmış çok serbestlik dereceli sönümlü sistemin hareket denklemi genelleştirilmiş koordinatlara göre;

$$\ddot{q}_j + 2 \xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \left( \frac{P_0}{M_j} \sum_{i=1}^n i \phi_{ij} \right) \sin \omega t \quad (2.49)$$

şeklinde ifade edilir.

Tek serbestlik dereceli sönümlü sistemin hareket denklemi ile çok serbestlik dereceli sönümlü sistemin genelleştirilmiş koordinatlara göre yazılan ayrık denklemi karşılaştırıldığında, tek serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi,

$$\ddot{u} + 2 \xi \omega \dot{u} + \omega^2 u = \omega^2 u_{st} \sin \omega t \quad (2.50)$$

ile ifade edilirken, çok serbestlik dereceli sistemin genelleştirilmiş koordinatlara göre ayrık denklemi,

$$\ddot{q}_j + 2 \xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{P_0}{K_j} \omega_j^2 \left( \sum_{i=1}^n i \phi_{ij} \right) \sin \omega t \quad (2.51a)$$

$$\ddot{q}_j + 2 \xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{P_0}{M_j} \frac{\omega_j^2}{\omega_j^2} \left( \sum_{i=1}^n i \phi_{ij} \right) \sin \omega t \quad (2.51b)$$

ile gösterilmektedir. Burada aşağıdaki işlemler yapıldığında;

$$\alpha_j = \sum_{i=1}^n i \phi_{ij} \quad (2.51c)$$

$$u_{st} = \frac{P_0 a_j}{K_j} = \frac{P_j}{K_j} \quad (2.51d)$$

$$\ddot{q}_j + 2 \xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{P_0}{K_j} \omega_j^2 a_j \sin \omega t \quad (2.51e)$$

$$\ddot{q}_j + 2 \xi_j \omega_j \dot{q}_j + \omega_j^2 q_j = u_{stj} \omega_j^2 \sin \omega t \quad (2.51f)$$

denklem 2.51f' deki çok serbestlik dereceli sistemin genelleştirilmiş koordinatlara göre yazılmış ayrıklaştırılmış hareket denklemini elde edilir.

Başlangıçta sükûnette olan sistemin kararlı titreşimi sönümlü yapı için esas alındığında,

$$q_j(t) = \frac{u_{stj}}{(1-\beta_j^2)^2 + (2\xi_j\beta_j)^2} [(1-\beta_j^2)\sin\omega t - 2\xi_j\beta_j\cos\omega t] \quad (2.52)$$

$$\beta_j = \frac{\omega}{\omega_j} \quad (2.53)$$

bağıntısıyla elde edilir ve genelleştirilmiş koordinat denkleminde elde edilen  $\beta_j$  dış yük açısal frekansının  $j$ ' inci mod biçimine ait serbest titreşimin açısal frekanslarına oranı olmak üzere genelleştirilmiş dış yük;

$$P_j = \phi_j^T P = P_0 \sum_{i=1}^n i \phi_{ij}(t) \quad (2.54)$$

olarak gösterilir. Buna göre yerdeğiştirme,

$$\mathbf{u}(t) = \sum_{j=1}^n \phi_j q_j(t) \quad (2.55)$$

Başlangıçta sükunette olan sönümsüz sistemin kararlı titreşimi yapıda yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkılarının istatistiksel olarak birleştirilmesi SRSS yöntemiyle bulunur.

$$u(t)_{\text{SRSS}} = \sqrt{\left( \sum_{j=1}^n \phi_j q_j \right)^2} \quad (2.56)$$

elde edilir.

Başlangıçta sükûnette olan sönümsüz sistemin kararlı titreşimi ele alınırsa genelleştirilmiş koordinata göre,

$$q_j(t) = \frac{u_{stj}}{(1-\beta_j^2)^2} \sin \omega t \quad (2.57)$$

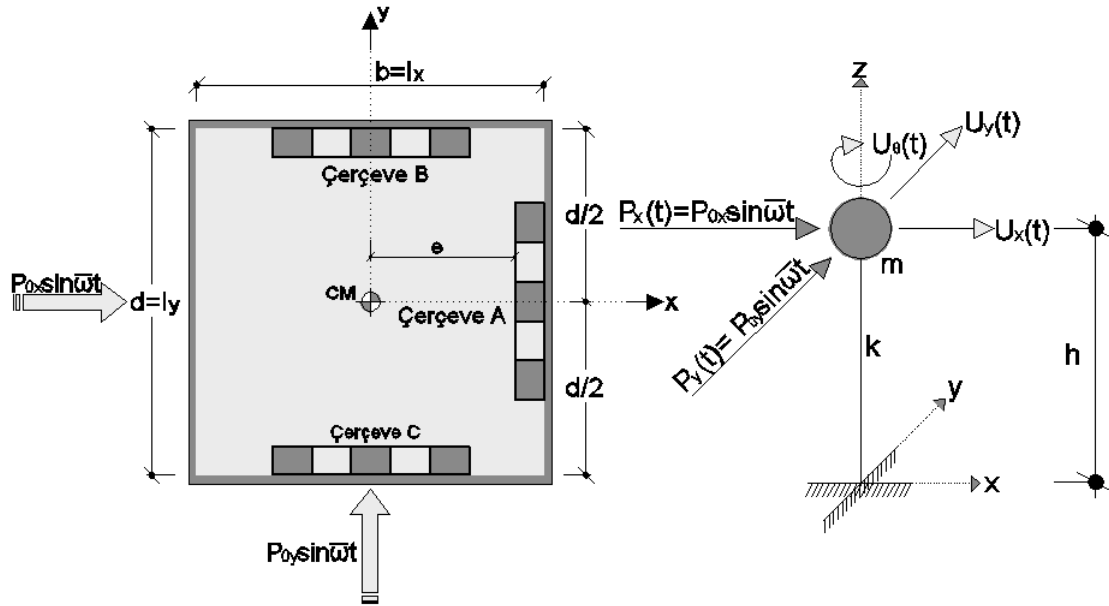
denklemleri yazılır.

## 2.2 Tek Katlı Uzay Çerçeve Sistemin Harmonik Yük Altındaki Burulmalı Bağlaşık Titreşiminin İncelenmesi

Bu çalışmada kullanılan yapı, zemine rijit bağlanan tek katlı bir çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Bu sistemde çerçeve tipi elemanlar, sistemi iki doğrultuda gösterecek şekilde döşeme asal eksenlerine paralel olarak düzenlenmiştir. Çerçeve kayma



çerçevesi olarak ele alınmıştır. Çerçevenin rijitlik dağılımları simetri özelliği göstermemesinden dolayı kütle ile rijitlik merkezleri arasındaki dış merkezlik 'e' nin değişimi önemlidir. Planda şekildeki gibi ele alınan ve boyutları b ve d ile gösterilen döşeme plağının, sonsuz rijit olduğu ve kolonlardan oluşan çerçevelerin üzerinde oturduğu varsayılmaktadır.



Şekil 2.5. Kat çerçevesi yerleşim planı ve tek katlı çok serbestlik dereceli yapı modeli

Sönümsüz tek serbestlik dereceli bir sistemin titreşim parametrelerinin bulunması için yer hareketi etkisindeki zorlanmış titreşim denkleminin çözülmesi gerekir.

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K} \mathbf{U} = \mathbf{P} \quad (2.58)$$

Sönümsüz sistemin serbest titreşim hareketi (2.58) denklemi ile yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} m_x & 0 & 0 \\ 0 & m_y & 0 \\ 0 & 0 & m_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{U}_x(t) \\ \ddot{U}_y(t) \\ \ddot{U}_\theta(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{x\theta} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{y\theta} \\ K_{\theta x} & K_{\theta y} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_x(t) \\ U_y(t) \\ U_\theta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_x(t) \\ P_y(t) \\ P_\theta(t) \end{bmatrix} \quad (2.59)$$

Yukarıdaki eşitsizlikte (2.59) de kütle, rijitlik, kuvvet ve yerdeğiştirme matrisleri sırasıyla  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{P}$  ve  $\mathbf{U}$  ile gösterildi. Yerdeğiştirme vektörünün bulunması için mod birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Mod Birleştirme Yöntemi, sistemin davranışının,

her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan cevabının ayrı ayrı elde edilmesinden sonra birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanmaktadır.

$$\mathbf{U}(t) = \begin{bmatrix} u_x(t) \\ u_y(t) \\ u_\theta(t) \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

Tek serbestlik dereceli sistemin x ve y eksenleri yönündeki yerdeğişimleri sırayla  $u_x$ ,  $u_y$  ve düşey eksen etrafındaki dönme ise  $u_\theta$  ile gösterilmiştir(2.60).

$$\mathbf{P}_x = \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{P}_y = \begin{bmatrix} 0 \\ P_0 \sin \omega t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.61)$$

Dış yükler geldiği doğrultuya göre  $\mathbf{P}_x$  ve  $\mathbf{P}_y$  kuvvet matrisleri (2.61) ile gösterilmiştir.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{x\theta} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{y\theta} \\ k_{\theta x} & k_{\theta y} & k_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (2.62)$$

Tek serbestlik dereceli sistemin rijitlik matrisi (2.62) ile tanımlanmaktadır.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_x & 0 & 0 \\ 0 & m_y & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \quad (2.63)$$

Tek ve çok katlı sistemlerde kütle matrisinde  $m_x$  ve  $m_y$ , değerleri eşittir.

$$I = m r^2 \quad (2.64a)$$

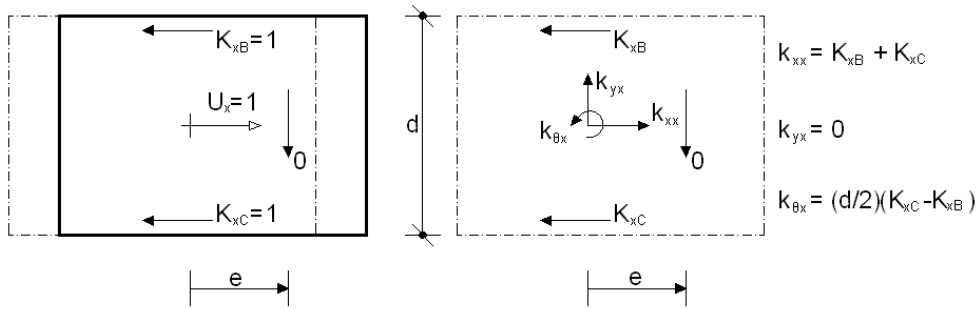
$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.64b)$$

$$I = m \frac{(I_x^2 + I_y^2)}{12} \quad (2.64c)$$

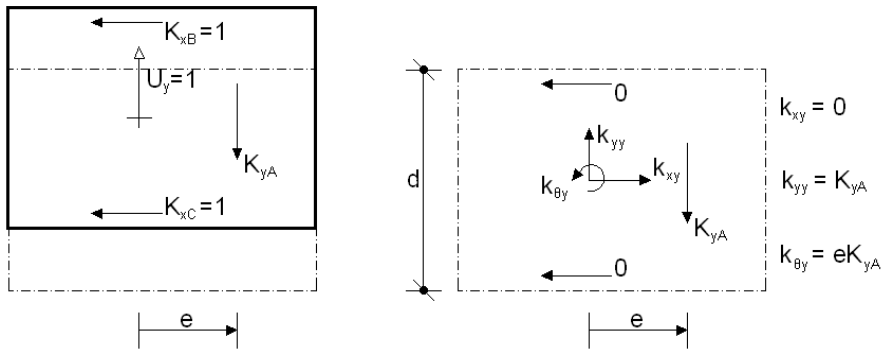
Yukarıdaki denklemlerde I kütleli atalet dönme momentini, m sistemin kütlelerini, A çerçeve sisteminin ilgili kat alanını,  $I_x$  ve  $I_y$  de çerçeve sisteminin boyutlarını göstermektedir. Kütleli atalet momenti (2.64) denklemleriyle elde edilmektedir.

İki doğrultuda simetrik olmayan tek katlı uzay çerçeve sistemin rijitlik terimleri şu şekilde hesaplanabilir;

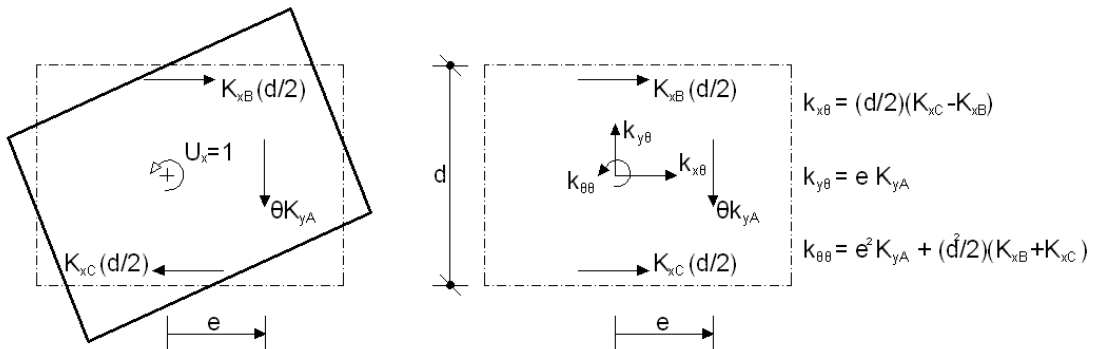
a)  $u_x = 1, u_y = u_\theta = 0$



b)  $u_x = 0, u_y = 1, u_\theta = 0$



c)  $u_x = u_y = 0, u_\theta = 1$



Şekil 2.6. İki doğrultuda simetrik olmayan katın rijitliklerinin belirlenmesi

Sistemin rijitlik matrisinde her bir kolondaki terimler, kat döşemelerine ait serbestlik dereceleri, diğerleri kilitli tutulurken, sırayla birim yerdeğiştirmelere göstereceği statik kuvvetler tepkisi ile bulunabilir.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{xB} + K_{xC} & 0 & (K_{xB} - K_{xC})\frac{d}{2} \\ 0 & K_{yA} & eK_{yA} \\ (K_{xB} - K_{xC})\frac{d}{2} & K_{yA}e & K_{yA}e^2 + (K_{xB} + K_{xC})\frac{d^2}{4} \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

İki doğrultuda simetriklik özelliği göstermeyen kat döşemesinin rijitliğe bağlı belirlenmesi bulunduğu çerçeve sistemlere göre şekil 2.7'de gösterilmiştir. Bu durumda tüm sistemi temsil eden rijitlik matrisi (2.64) bağıntısıyla verilmiştir.

$\mathbf{K}_{xC} = \mathbf{K}_{xB}$  ve dış merkezliğin  $e=0$  olması durumunda; ötelenme ve dönme arasındaki bağılaşıklık ortadan kalkar ve (2.65) denklemi ile gösterildiği gibi düzenlenebilir.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{xB} + K_{xC} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yA} & 0 \\ 0 & 0 & K_{yA}e^2 + (K_{xB} + K_{xC})\frac{d^2}{4} \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

Tek katlı çok serbestlik dereceli sistemde serbest titreşim frekansları (2.67) denkleminin çözümü sonucunda oluşan  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  ve  $\omega_\theta$  olarak açısal frekans değerleri bulunur. Serbest titreşim frekans denkleminin çözümünün olabilmesi için determinantının sıfır olması gerekmektedir.

$$(\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) \boldsymbol{\phi}_i = \mathbf{0} \quad (2.67)$$

$$\det(\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) = 0 \quad i=x, y, \theta \quad (2.68)$$

Tek katlı üç serbestlik dereceli yapı sisteminin periyodu ve frekansı, (2.69) ve (2.70) bağıntılarıyla bulunmaktadır.

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad (2.69)$$

$$f_i = \frac{1}{T_i} \quad (2.70)$$

Tek katlı ve çok serbestlik dereceli sistemin titreşim özellikleri  $T_n$ ,  $\omega_n$  ve  $f_n$  sistemin kütlelerine ve rijitliğine bağlı olduğu görülmektedir. Tek katlı yapı sistemimizin frekanslarına karşı gelen  $\phi_i$  modal matrisi ile yerdeğiştirme biçimlerini (2.67) denkleminle elde edilmektedir. Tek katlı çok serbestlik dereceli sönümsüz sistemin mod biçimleri  $\phi_x$ ,  $\phi_y$  ve  $\phi_\theta$ , açısal frekanslara bağlı olarak yukarıdaki bağıntıyla bulunmaktadır.

$$\omega_x \rightarrow \phi_x = \begin{bmatrix} \phi_{xx} \\ \phi_{yx} \\ \phi_{\theta x} \end{bmatrix} \quad (2.70a)$$

$$\omega_y \rightarrow \phi_y = \begin{bmatrix} \phi_{xy} \\ \phi_{yy} \\ \phi_{\theta y} \end{bmatrix} \quad (2.70b)$$

$$\omega_\theta \rightarrow \phi_\theta = \begin{bmatrix} \phi_{x\theta} \\ \phi_{y\theta} \\ \phi_{\theta\theta} \end{bmatrix} \quad (2.70c)$$

Tek ve çok katlı çok serbestlik dereceli yapı için (2.67) denklemi çözümlenirse ve en üst kat için bir birim atanırsa, diğer katların alacağı değerler en üst kat değerlerinin oranları şeklinde  $\phi$  modu bulunmuş olur.

Yerdeğiştirme vektörü tek katlı çok serbestlik dereceli sistemde bağlaşıklık olarak çözümlenmektedir. Zaman bağlı yerdeğiştirme vektörü modal matrisle geometrik koordinat vektörünün kombinasyonuna (2.71) bağıntısına eşittir.

$$\mathbf{U}(t) = \phi \mathbf{q}(t) \quad (2.71)$$

Tek katlı çok serbestlik dereceli sönümsüz sistemin mod biçimleri  $\phi_x$ ,  $\phi_y$  ve  $\phi_\theta$  tek matriste modal vektör olarak yazılabilir.

$$\phi = [\phi_x \phi_y \phi_\theta]_{3 \times 3} \quad (2.72)$$

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{U}}(t) + \mathbf{K} \mathbf{U}(t) = \mathbf{P}(t) \quad (2.73)$$

Sönümsüz serbest titreşim hareket denklemi (2.73) denklemiyle elde edilmektedir. Sönümsüz sistemin titreşim hareket denkleminde (2.71) denkleminde modal dönüşüm denklemi (2.73) denklemi yerine konulursa ortogonellik koşullarından yararlanılarak ayrıklaştırılır.

$$\mathbf{M} \phi \ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{K} \phi \mathbf{q} = \mathbf{P} \quad (2.74)$$

$$\phi_j^T \mathbf{M} \phi \ddot{\mathbf{q}} + \phi_j^T \mathbf{K} \phi \mathbf{q} = \phi_j^T \mathbf{P} \quad (2.75)$$

$\phi$  nin içinde yalnız bir tane  $\phi_j$  vardır.  $\phi_j^T$  nin  $\phi_j$  hariç diğer bütün vektörlerle çarpımı ortogonallik gereği sıfırdır. Denklem (2.74) de her iki taraftaki değerleri  $\phi_j^T$  ' ile çarpılırsa (2.75) denklemi ile sistem düzenlenmiştir.

$$\phi_j^T \mathbf{M} \phi_j \ddot{\mathbf{q}} + \phi_j^T \mathbf{K} \phi_j \mathbf{q} = \phi_j^T \mathbf{P} \quad (2.76)$$

Sistemin dinamik davranışını gösteren matris formundaki (2.76) denklem sistemi aşağıdaki tanımlamalar genelleştirilmiş kütle, genelleştirilmiş rijitlik ve genelleştirilmiş zorlama fonksiyonu kullanılarak ayırık duruma getirilmiştir.

$$\phi_j^T \mathbf{M} \phi_j = M_j \quad (2.77)$$

$$\phi_j^T \mathbf{K} \phi_j = K_j \quad (2.78)$$

$$\phi_j^T \mathbf{P} = P_j \quad (2.79)$$

Ayrıklaştırılan denklem düzenlenerek bağlaşıklık tek katlı çok serbestlik dereceli sistemin hareket denklemi elde edildi.

$$M_j \ddot{q}_j + K_j q_j = P_j \quad j=1,2,3\dots n \quad (2.80)$$

Bu hareket denkleminin eşitliğinin her iki tarafını genelleştirilmiş kütleyle bölünürse;

$$\omega_j^2 = \frac{K_j}{M_j} \quad (2.81)$$

Bağıntısı (2.80) denkleminde düzenlenerek (2.82) denklemi elde edilmiştir.

$$\ddot{q}_j + \frac{K_j}{M_j} q_j = \frac{P_j}{M_j} \quad (2.82)$$

$$q_j + \omega_j^2 q_j = \frac{P_j}{M_j} \frac{\omega_j^2}{\omega_j^2} \quad (2.83)$$

Yukarıdaki denklemde genelleştirilmiş koordinat fonksiyonuna ( $P_j$ ) yerine  $\phi_j^T \mathbf{P}$  yerleştirilerek düzenlenirse;

$$q_j + \omega_j^2 q_j = \frac{\phi_j^T \mathbf{P} \omega_j^2}{M_j \omega_j^2} \quad (2.84)$$

denklemini bulunmuştur.

$$q_j + \omega_j^2 q_j = \frac{\phi_j^T \mathbf{P} \omega_j^2}{K_j} \quad (2.85)$$

Üç serbestlik derecesine göre (2.85) denklemi düzenlenirse;

$$\ddot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = \frac{\boldsymbol{\phi}_1^T \mathbf{P} \omega_1^2}{K_1} \quad \ddot{q}_x + \omega_x^2 q_x = \frac{\boldsymbol{\phi}_x^T \mathbf{P} \omega_x^2}{K_x} \quad (2.82a)$$

$$\ddot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = \frac{\boldsymbol{\phi}_2^T \mathbf{P} \omega_2^2}{K_2} \quad \text{veya} \quad \ddot{q}_y + \omega_y^2 q_y = \frac{\boldsymbol{\phi}_y^T \mathbf{P} \omega_y^2}{K_y} \quad (2.82b)$$

$$\ddot{q}_3 + \omega_3^2 q_3 = \frac{\boldsymbol{\phi}_3^T \mathbf{P} \omega_3^2}{K_{13}} \quad \ddot{q}_\theta + \omega_\theta^2 q_\theta = \frac{\boldsymbol{\phi}_\theta^T \mathbf{P} \omega_\theta^2}{K_\theta} \quad (2.82c)$$

$j = 1, 2, 3$  veya  $j = x, y, \theta$  değerlerini (2.82a), (2.82b) ve (2.82c) denklemlerinde düzenlenerek genelleştirilmiş koordinatlar elde edilmiştir.

Genelleştirilmiş koordinat denklem takımlarından tek katlı yapı için üç serbestlik dereceli için  $K$  genelleştirilmiş rijitlik katsayısı bulunmuştur.

$$K_1 = K_x = \boldsymbol{\phi}_x^T \mathbf{K} \boldsymbol{\phi}_x \quad (2.83a)$$

$$K_2 = K_y = \boldsymbol{\phi}_y^T \mathbf{K} \boldsymbol{\phi}_y \quad (2.83b)$$

$$K_3 = K_\theta = \boldsymbol{\phi}_\theta^T \mathbf{K} \boldsymbol{\phi}_\theta \quad (2.83c)$$

Sinüzoidal dış yükün tek katlı sistemimize uygulanma doğrultusu tek katlı yapı sistemimizin dinamik büyütme çarpanı ve yerdeğiştirme dahil birçok parametrelerini değiştirmektedir. Buna göre yapı sistemi gelen sinüzoidal dış harmonik etkinin duruma göre incelenecektir.

**1. Özel Durum:** Dinamik dış etkinin sadece  $x$  doğrultusunda sinüzoidal harmonik yük olarak etkimesi durumunda,

$$\mathbf{P}_x = \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.84)$$



$P_x$  kuvvet matrisi (2.84) bağıntısıyla elde edilmiştir.

Yapı sisteminden gelen dış etkiden dolayı genelleştirilmiş zorlama denklemi (2.85a) ve (2.85b) denklemleriyle bulunmaktadır.

$$\phi_j^T \mathbf{P} = \phi_{1j} P_0 \sin \omega t \quad j = 1, 2, 3 \quad (2.85a)$$

$$\phi_j^T \mathbf{P} = \phi_{xj} P_0 \sin \omega t \quad j = x, y, \theta \quad (2.85b)$$

Mod vektörlerini kuvvet vektörüyle çarparak tek katlı üç serbestlik dereceli yapı sisteminde oluşan genelleştirilmiş zorlanma (2.86a), (2.86b) ve (2.86c) denklemleriyle elde edildi.

$$\phi_x^T \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \phi_{xx} & \phi_{yx} & \phi_{\theta x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \phi_{xx} P_0 \sin \omega t \quad (2.86a)$$

$$\phi_y^T \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \phi_{xy} & \phi_{yy} & \phi_{\theta y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \phi_{xy} P_0 \sin \omega t \quad (2.86b)$$

$$\phi_\theta^T \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \phi_{x\theta} & \phi_{y\theta} & \phi_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \phi_{x\theta} P_0 \sin \omega t \quad (2.86c)$$

Genelleştirilmiş koordinat denkleminde x doğrultusunda gelen sinüzoidal harmonik yükün ( $\mathbf{P}_x$ ) denklemde düzenlenirse;

$$\ddot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{\phi_{1j} P_0 \sin \omega t \omega_j^2}{K_j} \quad (2.87)$$

denklemini elde edildi.

$\frac{\phi_{xj} P_0}{K_j}$  değeri  $u_{stj}$  statik yer değiştirme katsayısı olarak tanımlanırsa;

$$u_{stj} = \frac{\phi_{xj} P_0}{K_j} \quad (2.88)$$

Genelleştirilmiş koordinat (2.87) denklemini  $u_{stj}$  katsayısına göre tekrar formüle edilirse;

$$\ddot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{u_{stj} \omega_j^2 \sin \omega t}{K_j} \quad (2.89)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler üç serbestlik derecesi için denklemler düzenlenirse;

$$\ddot{q}_x + \omega_x^2 q_x = u_{stx} \omega_x^2 \sin \omega t, \quad u_{stx} = \frac{\phi_{xx} P_0}{K_x} \quad (2.90a)$$

$$\ddot{q}_y + \omega_y^2 q_y = u_{sty} \omega_y^2 \sin \omega t, \quad u_{sty} = \frac{\phi_{xy} P_0}{K_y} \quad (2.90b)$$

$$\ddot{q}_\theta + \omega_\theta^2 q_\theta = u_{st\theta} \omega_\theta^2 \sin \omega t, \quad u_{st\theta} = \frac{\phi_{x\theta} P_0}{K_\theta} \quad (2.90c)$$

Genelleştirilmiş koordinatlara göre yazılan denklemlerde statik yerdeğişiklikler (2.90a), (2.90b) ve (2.90c) bağıntılarıyla verilmiştir.

**2. Özel Durum:** Dinamik dış etkinin sadece y doğrultusunda sinüzoidal harmonik yük olarak etkimesi durumunda,

$$\mathbf{P}_y = \begin{bmatrix} 0 \\ P_0 \sin \omega t \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.91)$$

$\mathbf{P}_y$  kuvvet matrisi (2.91) bağıntısıyla elde edilmiştir.

Yapı sisteminden gelen dış etkiden dolayı genelleştirilmiş zorlama denklemleri (2.92a) ve (2.92b) denklemleriyle bulunmaktadır.

$$\phi_j^T \mathbf{P} = \phi_{2j} P_0 \sin \omega t \quad j = 1, 2, 3 \quad (2.92a)$$

$$\phi_j^T \mathbf{P} = \phi_{yj} P_0 \sin \omega t \quad j = x, y, \theta \quad (2.92b)$$

Mod vektörlerini kuvvet vektörüyle çarparak tek katlı üç serbestlik dereceli yapı sisteminde oluşan genelleştirilmiş zorlanma (2.93a), (2.93b) ve (2.93c) denklemleriyle elde edildi.

$$\phi_x^T \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \phi_{xx} & \phi_{yx} & \phi_{\theta x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \phi_{yx} P_0 \sin \omega t \quad (2.93a)$$

$$\phi_y^T \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \phi_{xy} & \phi_{yy} & \phi_{\theta y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \phi_{yy} P_0 \sin \omega t \quad (2.93b)$$

$$\phi_\theta^T \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \phi_{x\theta} & \phi_{y\theta} & \phi_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \phi_{y\theta} P_0 \sin \omega t \quad (2.93c)$$

Genelleştirilmiş koordinat denkleminde x doğrultusunda gelen sinüzoidal harmonik yükün ( $\mathbf{P}_y$ ) denklemde düzenlenirse;

$$\ddot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{\phi_{2j} P_0 \sin \omega t \omega_j^2}{K_j} \quad (2.94)$$

denklemini elde edildi.

$\frac{\phi_{yj} P_0}{K_j}$  değeri  $u_{stj}$  statik yer değiştirme katsayısı olarak tanımlanırsa;

$$u_{stj} = \frac{\phi_{yj} P_0}{K_j} \quad (2.95)$$

Genelleştirilmiş koordinat (2.94) denklemini  $u_{stj}$  katsayısına göre tekrar formüle edilirse;

$$\ddot{q}_j + \omega_j^2 q_j = \frac{u_{stj}\omega_j^2 \sin \omega t}{K_j} \quad (2.96)$$

denklemini elde edilir. Bu denklem üç serbestlik derecesi için denklem düzenlenirse;

$$\ddot{q}_x + \omega_x^2 q_x = u_{stx}\omega_x^2 \sin \omega t, \quad u_{stx} = \frac{\phi_{yx}P_0}{K_x} \quad (2.97a)$$

$$\ddot{q}_y + \omega_y^2 q_y = u_{sty}\omega_y^2 \sin \omega t, \quad u_{sty} = \frac{\phi_{yy}P_0}{K_y} \quad (2.97b)$$

$$\ddot{q}_\theta + \omega_\theta^2 q_\theta = u_{st\theta}\omega_\theta^2 \sin \omega t, \quad u_{st\theta} = \frac{\phi_{y\theta}P_0}{K_\theta} \quad (2.97c)$$

Genelleştirilmiş koordinatlara göre yazılan denklemlerde statik yerdeğiştirmeler (2.97a), (2.97b) ve 2.97c) bağıntılarıyla verilmiştir.

Sönümsüz tek katlı sistemin harmonik karakterde sinüzoidal bir dış yük etkisi altındaki hareket denklemini;

$$m \ddot{u}(t) + k u(t) = P_0 \sin \omega t \quad (2.98)$$

şeklinde yazılır.

Hareketin sükûnetten başladığı kabul edilirse, başlangıç koşulları altında  $u(0) = \dot{u}(0) = 0$  olmak olarak yazılabilir. Bu durumda toplam çözüm frekanslar oranı olmak üzere ortaya çıkmaktadır. Elastik kolonlardaki kesme kuvvetlerinin dolayısıyla eğilme momentlerinin, yerdeğiştirmesi ile orantılı olduğu düşünülerek, dinamik yerdeğiştirmenin  $u(t)$  statik yerdeğiştirmeye ( $u_{st}$ ) oranı Dinamik Büyütme Çarpanı ( $R_d$ ) olarak tarif edilir.

$\ddot{q}_j + \omega_j^2 q_j = u_{stj} \omega_j^2 \sin \omega t$  genelleştirilmiş koordinatlara göre yazılan diferansiyel denkleminin başlangıç koşulları  $u(0) = \dot{u}(0) = 0$  altında genel çözümü;

Sinüzoidal harmonik yükün x doğrultusunda etki etmesi durumunda genelleştirilmiş koordinatlara göre kararlı titreşim çözüm fonksiyonları;

$$q_x(t) = \frac{1}{1 - \beta_x^2} u_{stx} \sin \omega t, \quad \beta_x = \frac{\omega}{\omega_x}, \quad u_{stx} = \frac{\phi_{xx} P_0}{K_x} \quad (2.99a)$$

$$q_y(t) = \frac{1}{1 - \beta_y^2} u_{sty} \sin \omega t, \quad \beta_y = \frac{\omega}{\omega_y}, \quad u_{sty} = \frac{\phi_{xy} P_0}{K_y} \quad (2.99b)$$

$$q_\theta(t) = \frac{1}{1 - \beta_\theta^2} u_{st\theta} \sin \omega t, \quad \beta_\theta = \frac{\omega}{\omega_\theta}, \quad u_{st\theta} = \frac{\phi_{x\theta} P_0}{K_\theta} \quad (2.99c)$$

şeklinde verilmiştir.

Sinüzoidal harmonik yükün y doğrultusunda etki etmesi durumunda genelleştirilmiş koordinatlara göre kararlı titreşim çözüm fonksiyonları;

$$q_x(t) = \frac{1}{1 - \beta_x^2} u_{stx} \sin \omega t, \quad \beta_x = \frac{\omega}{\omega_x}, \quad u_{stx} = \frac{\phi_{xx} P_0}{K_x} \quad (2.100a)$$

$$q_y(t) = \frac{1}{1 - \beta_y^2} u_{sty} \sin \omega t, \quad \beta_y = \frac{\omega}{\omega_y}, \quad u_{sty} = \frac{\phi_{xy} P_0}{K_y} \quad (2.100b)$$

$$q_\theta(t) = \frac{1}{1 - \beta_\theta^2} u_{st\theta} \sin \omega t, \quad \beta_\theta = \frac{\omega}{\omega_\theta}, \quad u_{st\theta} = \frac{\phi_{x\theta} P_0}{K_\theta} \quad (2.100c)$$

şeklinde yazılabilir.

$$\mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_x(t) \\ \mathbf{u}_y(t) \\ \mathbf{u}_\theta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{xx} & \phi_{xy} & \phi_{x\theta} \\ \phi_{yx} & \phi_{yy} & \phi_{y\theta} \\ \phi_{\theta x} & \phi_{\theta y} & \phi_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_x(t) \\ q_y(t) \\ q_\theta(t) \end{bmatrix} \quad (2.101)$$

yerdeğiştirme matrisi (2.101) denklemiyle elde edildi.

Yerdeğiştirme matris denkleminin ayrıştırılarak  $u_x$ ,  $u_y$  ve  $u_\theta$  yerdeğiştirmeleri (2.102a), (2.102b) ve (2.102c) denklemleriyle bulunmaktadır.

$$\mathbf{u}_x(\mathbf{t}) = \phi_{xx} q_x + \phi_{xy} q_y + \phi_{x\theta} q_\theta \quad (2.102a)$$

$$\mathbf{u}_y(\mathbf{t}) = \phi_{yx} q_x + \phi_{yy} q_y + \phi_{y\theta} q_\theta \quad (2.102b)$$

$$\mathbf{u}_\theta(\mathbf{t}) = \phi_{\theta x} q_x + \phi_{\theta y} q_y + \phi_{\theta\theta} q_\theta \quad (2.102c)$$

SRSS yöntemi kullanılarak  $u_x$ ,  $u_y$  ve  $u_\theta$  yer değiştirmeleri bulunmaktadır.

$$u_x^2(t) = (\phi_{xx} q_x)^2 + (\phi_{xy} q_y)^2 + (\phi_{x\theta} q_\theta)^2 \quad (2.103a)$$

$$u_y^2(t) = (\phi_{yx} q_x)^2 + (\phi_{yy} q_y)^2 + (\phi_{y\theta} q_\theta)^2 \quad (2.103b)$$

$$u_\theta^2(t) = (\phi_{\theta x} q_x)^2 + (\phi_{\theta y} q_y)^2 + (\phi_{\theta\theta} q_\theta)^2 \quad (2.103c)$$

Kararlı titreşim denklemleri (2.104a), (2.104b) ve (2.104c) ifadeleriyle bulunmaktadır.

$$u_x(t) = [\phi_{xx}(\frac{1}{1-\beta_x^2})u_{stx} + \phi_{xy}(\frac{1}{1-\beta_y^2})u_{sty} + \phi_{x\theta}(\frac{1}{1-\beta_\theta^2})u_{st\theta}] \sin\omega t \quad (2.104a)$$

$$u_y(t) = [\phi_{yx}(\frac{1}{1-\beta_x^2})u_{stx} + \phi_{yy}(\frac{1}{1-\beta_y^2})u_{sty} + \phi_{y\theta}(\frac{1}{1-\beta_\theta^2})u_{st\theta}] \sin\omega t \quad (2.104a)$$

$$u_\theta(t) = [\phi_{\theta x}(\frac{1}{1-\beta_x^2})u_{stx} + \phi_{\theta y}(\frac{1}{1-\beta_y^2})u_{sty} + \phi_{\theta\theta}(\frac{1}{1-\beta_\theta^2})u_{st\theta}] \sin\omega t \quad (2.104a)$$

$$\mathbf{K} \mathbf{U}_0 = \mathbf{P}_0 \quad (2.105)$$

Sinüzoidal harmonik dış yükün etkimesi durumuna göre yerdeğiştirme denklemi çözümlenirse;

$$\begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} & k_{x\theta} \\ k_{yx} & k_{yy} & k_{y\theta} \\ k_{\theta x} & k_{\theta y} & k_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{stx} \\ u_{sty} \\ u_{st\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ P_0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.106)$$

matris denklemi elde edilmektedir.

Dış sinüzoidal harmonik yükün x doğrultusunda etkimesi durumunda matris denklemi çözümlenerek statik yerdeğiştirme değerleri bulunur.

$$k_{xx}u_x(t) + k_{xy}u_y(t) + k_{x\theta}u_\theta(t) = P_0 \quad (2.107a)$$

$$k_{yx}u_x(t) + k_{yy}u_y(t) + k_{y\theta}u_\theta(t) = 0 \quad (2.107b)$$

$$k_{\theta x}u_x(t) + k_{\theta y}u_y(t) + k_{\theta\theta}u_\theta(t) = 0 \quad (2.107c)$$

Dış sinüzoidal harmonik yükün y doğrultusunda etkimesi durumunda matris denklemi çözümlenerek (2.108) elde edilmiştir ve bu denklemlerden yanal yerdeğiştirme değerleri bulunur.

$$k_{xx}u_x + k_{xy}u_y + k_{x\theta}u_\theta = 0 \quad (2.108a)$$

$$k_{yx}u_x + k_{yy}u_y + k_{y\theta}u_\theta = P_0 \quad (2.108b)$$

$$k_{\theta x}u_x + k_{\theta y}u_y + k_{\theta\theta}u_\theta = 0 \quad (2.108c)$$

Maksimum dinamik büyütme çarpanı  $(R_d)_{maks}$ ,  $u(t)$  dinamik yer değıştirmenin  $u_{st}$  statik yer değıştirmeye oranı olarak gösterilmektedir.

$$(R_{dx})_{maks} = \frac{u_x(t)_{maks}}{u_{xstatik}} \quad (2.109a)$$

$$(R_{dy})_{maks} = \frac{u_y(t)_{maks}}{u_{ystatik}} \quad (2.109b)$$

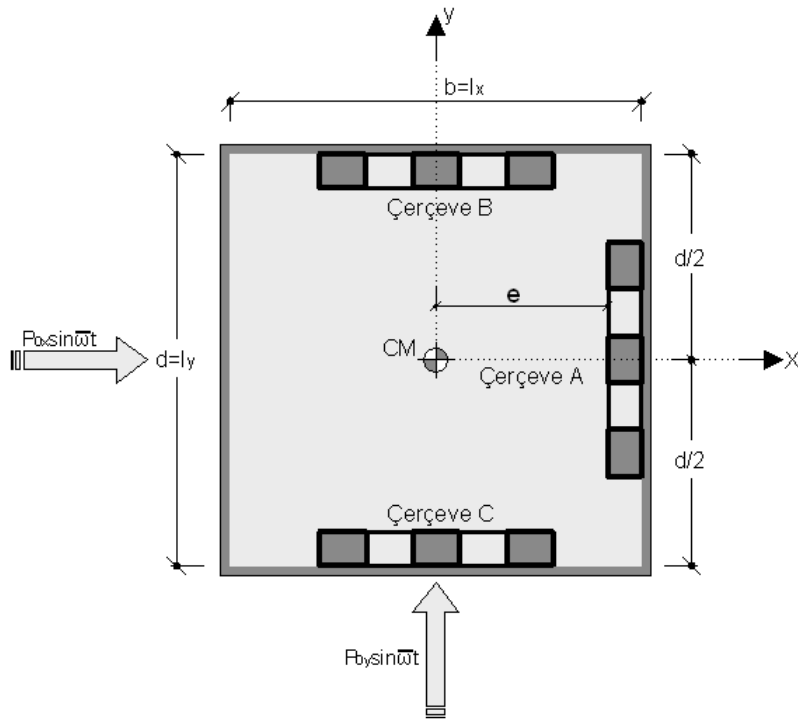
$$(R_{d\theta})_{maks} = \frac{u_\theta(t)_{maks}}{u_{\thetastatik}} \quad (2.109c)$$

Yukarıda verilen bağıntılarla  $x, y$  ve  $\theta$  modunda maksimum dinamik büyütme Çarpanı  $(R_d)_{maks}$  ifadeleri elde edilmiştir.

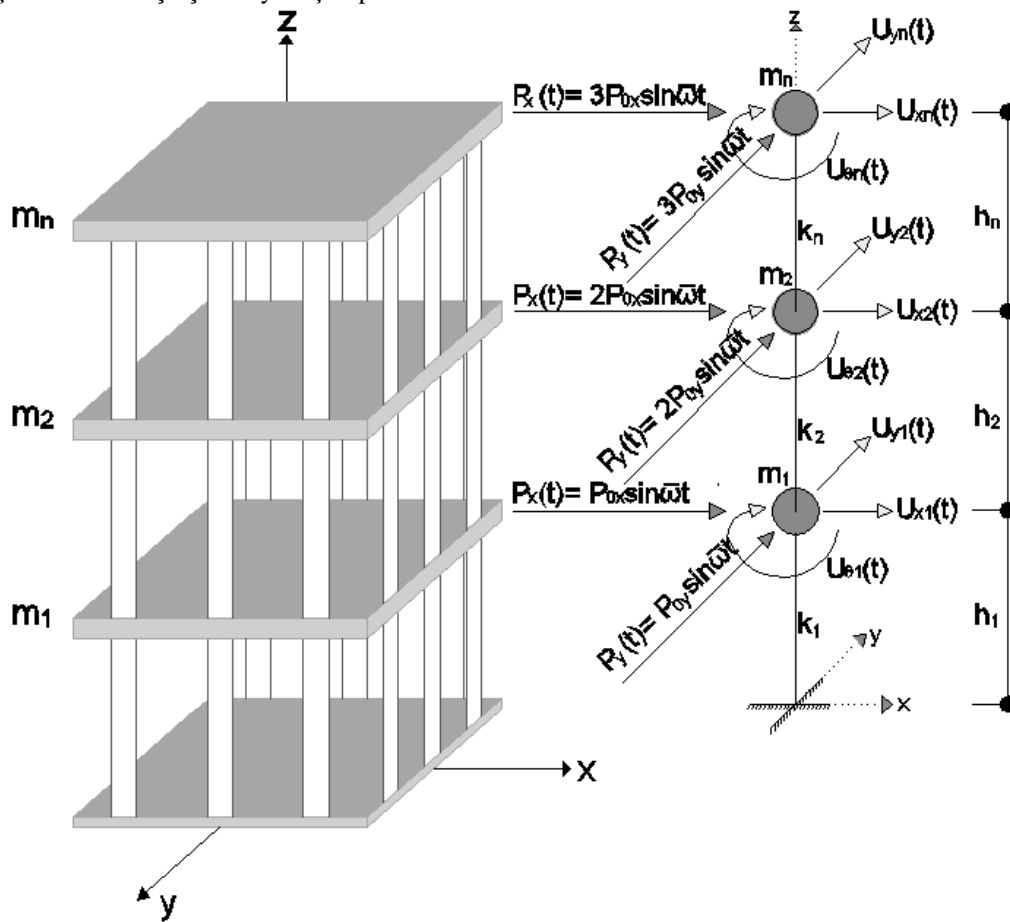
### **2.3. Çok Katlı Uzay Çerçeve Sistemin Harmonik Yük Altındaki Burulmalı Bağlaşık Titreşiminin İncelenmesi**

Bu çalışmada kullanılan yapı, zemine rijit bağlanan çok katlı bir çerçeve sisteminden oluşmaktadır. Yapısal simetri bozukluğunun, taşıyıcı sistemi oluşturan çerçeve elemanların rijitliklerinin veya kat kütlelerinin planda simetrik dağılmamasından ileri geldiği bilinmektedir. Bu çalışmada çerçeve tipi elemanlar, sistem iki doğrultuda simetri göstermeyecek şekilde döşeme asal eksenlerine paralel olarak düzenlenmiştir. Çerçeve kayma çerçevesi olarak ele alınmıştır. Çerçevelerin rijitlikleri ve rijitlik dağılımları simetri özelliği göstermemesinden dolayı dış merkezlik oluşmaktadır ve bu oluşan dış merkezlik tüm katlarda aynıdır. Planda şekildeki gibi ele alınan döşeme plağının, sonsuz rijit olduğu ve kolonlardan oluşan çerçevelerin üzerinde oturduğu varsayılmaktadır. Ayrıca yapı kütlelerinin planda düzgün dağıldığı, kat seviyelerinde toplandığı varsayılmıştır. Bundan dolayı kütle merkezi (CM), her katta, kat döşemesinin geometrik merkezi üzerine düşmektedir. Burada da çok katlı yapıların çoğunda olduğu gibi, söz konusu sistemde bütün katların kütle merkezlerinin aynı bir düşey eksen üzerinde bulunduğu varsayılmıştır.





Şekil 2.7. Kat çerçevesi yerleşim planı



Şekil 2.8. Çok serbestlik dereceli yapı modeli

Sönümsüz çok katlı uzay çerçeve sistemin zorlanmış titreşim hareketi;

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{K} \mathbf{U} = \mathbf{P} \quad (2.110)$$

denklemleri ile verilir. Bu denklemde kütle, rijitlik, kuvvet ve yer değiştirme matrisleri sırayla  $\mathbf{M}$ ,  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{P}$  ve  $\mathbf{U}$  ile gösterilmiştir. Yerdeğiştirme vektörü  $\mathbf{U}(t)$ ' nin çözümü için mod birleştirme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde önce sistemin sönümsüz serbest titreşimi ele alınır. Daha sonra sistemin zorlanmış davranışı ele alınarak, bu durumda çözüm vektörünün bileşenleri bulunmuştur.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{m}_x & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{m}_y & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{m}_\theta \end{bmatrix}_{3n \times 3n} \quad (2.111)$$

Kütle matrisi (2.112) bağıntısı ile elde edilir. Bu denklemde  $\mathbf{m}_x$ ,  $\mathbf{m}_y$   $N \times N$  mertebeden bir köşegen kütle alt matrisi;  $\mathbf{m}_\theta$ ,  $n \times n$  mertebeden ilgili eksene göre bir köşegen dönme atalet momenti alt matrisini göstermektedir.

$$\mathbf{m}_x = \mathbf{m}_y = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_n \end{bmatrix} \quad (2.112)$$

Kütle alt matrisleri (2.111) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$\mathbf{m}_\theta = \begin{bmatrix} m_1 r_1^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 r_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_n r_n^2 \end{bmatrix} \quad (2.113)$$

Dönme atalet momenti alt matrisi (2.113) bağıntısıyla gösterilmektedir. Bu matrisin açılımlarında  $r_n$  n. kat döşemesinin eylemsizlik yarıçapını ifade etmektedir.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{k}_{xx} & \mathbf{k}_{xy} & \mathbf{k}_{x\theta} \\ \mathbf{k}_{yx} & \mathbf{k}_{yy} & \mathbf{k}_{y\theta} \\ \mathbf{k}_{\theta x} & \mathbf{k}_{\theta y} & \mathbf{k}_{\theta\theta} \end{bmatrix}_{3n \times 3n} \quad (2.114)$$

Çok serbestlik dereceli sistemin rijitlik matrisi (2.114) bağıntısıyla elde edilmektedir.

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{xB} + \mathbf{K}_{xC} & \mathbf{0} & (\mathbf{K}_{xB} - \mathbf{K}_{xC}) \frac{d}{2} \\ \mathbf{0} & \mathbf{K}_{yA} & e\mathbf{K}_{yA} \\ (\mathbf{K}_{xB} - \mathbf{K}_{xC}) \frac{d}{2} & \mathbf{K}_{yA}e & \mathbf{K}_{yA}e^2 + (\mathbf{K}_{xB} + \mathbf{K}_{xC}) \frac{d^2}{4} \end{bmatrix} \quad (2.64)$$

İki doğrultuda simetrik özelliği göstermeyen kat döşemesinin rijitliğinin belirlenmesi bağlı bulunduğu çerçeve sistemlere göre şekil 2.7’de gösterilmiştir. Bu durumda tüm sistemi temsil eden rijitlik matrisi (2.64) bağıntısıyla verilmiştir. Sistemin rijitlik matrisinde her bir kolondaki terimler, kat döşemelerine ait serbestlik dereceleri, diğerleri kilitli tutulurken, sırayla birim yerdeğiştirmelere göstereceği statik kuvvetler tepkisi ile bulunabilir.

$$\mathbf{K}_{xB} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{x1} + \mathbf{K}_{x2} & -\mathbf{K}_{x2} & & & & & \\ -\mathbf{K}_{x2} & \mathbf{K}_{x2} + \mathbf{K}_{x3} & -\mathbf{K}_{x3} & & & & 0 \\ & -\mathbf{K}_{x3} & \cdot & & & & \\ & & -\mathbf{K}_{xi} & \mathbf{K}_{xi} + \mathbf{K}_{x(i+1)} & -\mathbf{K}_{x(i+1)} & & \\ & 0 & & & \cdot & & -\mathbf{K}_{xn} \\ & & & & -\mathbf{K}_{xn} & & \mathbf{K}_{xn} \end{bmatrix} \quad (2.115)$$

$$\mathbf{K}_{yA} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{y1} + \mathbf{K}_{y2} & -\mathbf{K}_{y2} & & & & & \\ -\mathbf{K}_{y2} & \mathbf{K}_{y2} + \mathbf{K}_{y3} & -\mathbf{K}_{y3} & & & & 0 \\ & -\mathbf{K}_{y3} & \cdot & & & & \\ & & -\mathbf{K}_{yi} & \mathbf{K}_{yi} + \mathbf{K}_{y(i+1)} & -\mathbf{K}_{y(i+1)} & & \\ & 0 & & & \cdot & & -\mathbf{K}_{yn} \\ & & & & -\mathbf{K}_{yN} & & \mathbf{K}_{yn} \end{bmatrix} \quad (2.116)$$

Rijitlik matrisleri Şekil 2.8. de gösterilen çerçeve planında B ve C çerçevelerinin x yönündeki öteleme rijitlik matrislerini  $\mathbf{K}_{xB} = \mathbf{K}_{xC}$  ve A çerçevesinin y yönündeki öteleme rijitlik matrisini  $\mathbf{K}_{yA}$  ile ifade edilmektedir. B ve C çerçevelerinin öteleme rijitlik alt matrisi (2.115) ile, y doğrultusundaki A çerçevesine ait rijitlik alt matrisi (2.116) ifadesiyle dikkate alınır.

$$\mathbf{U}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_x \\ \mathbf{u}_y \\ \mathbf{u}_\theta \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (2.117)$$

Yerdeğiştirme matrisi (2.117) bağıntısıyla gösterilmiştir.. Yerdeğiştirme matrisinin bileşenleri  $\mathbf{u}_x$ ,  $\mathbf{u}_y$  ve  $\mathbf{u}_\theta$  alt matrislerinden oluşmaktadır. Bunlar,

$$\mathbf{u}_x = \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{x2} \\ \vdots \\ u_{xn} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.118a)$$

$$\mathbf{u}_y = \begin{bmatrix} u_{y1} \\ u_{y2} \\ \vdots \\ u_{yn} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.118b)$$

$$\mathbf{u}_\theta = \begin{bmatrix} u_{\theta 1} \\ u_{\theta 2} \\ \vdots \\ u_{\theta n} \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.118c)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada alt simgelerden ilk indis yönü, ikincisi ise kat sayısını göstermektedir. Sisteme etki eden dinamik yük matrisi aşağıdaki bağıntıyla verilmiştir:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_x \\ \mathbf{P}_y \\ \mathbf{P}_\theta \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (2.119)$$

Bu matrisin bileşenleri, dinamik etki harmonik karakterde sinüzoidal olarak dikkate alındığında,

$$\mathbf{P}_x = \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 2P_0 \sin \omega t \\ \vdots \\ nP_0 \sin \omega t \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.120a)$$

$$\mathbf{P}_y = \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 2P_0 \sin \omega t \\ \vdots \\ nP_0 \sin \omega t \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.120b)$$

$$\mathbf{P}_\theta = \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 2P_0 \sin \omega t \\ \vdots \\ nP_0 \sin \omega t \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (2.120c)$$

şeklinde yazılmaktadır. Modal matrisin açılımı aşağıda verilen (2.121)

$$\boldsymbol{\phi} = \begin{bmatrix} \phi_1^x & \phi_2^x & \dots & \phi_{3n}^x \\ \phi_1^y & \phi_2^y & \dots & \phi_{3n}^y \\ \phi_1^\theta & \phi_2^\theta & \dots & \phi_{3nn}^\theta \end{bmatrix}_{3n \times 3n} \quad (2.121)$$

bağıntısı ile gösterilir.

Serbest titreşim denkleminin çözümü için mod birleştirme yöntemi uygulanmaktadır.

$$\mathbf{U}(t) = \boldsymbol{\phi} \mathbf{q}(t) \quad (2.122)$$

$$\mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} \phi_x \\ \phi_y \\ \phi_\theta \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^{3n} \boldsymbol{\phi}_k \mathbf{q}_k(t) \quad (2.123)$$

Burada gösterilen  $q_k(t)$  zamana bağlı fonksiyonlarına sistemin normal koordinatları denir. Bu katsayılar, mod şekillerinin çözümüne, zamana bağlı olarak değişen

katkılarını göstermektedir. Genellikle bu katkı karşı gelen titreşim frekansı arttıkça azalır. Bu sebeple, sayısal çözümlerde ilk birkaç modla hesap yapmak yeterli olabilmektedir.

$$\phi_k = \begin{bmatrix} \phi_k^x \\ \phi_k^y \\ \phi_k^\theta \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (2.124)$$

$\phi_k$  modal matrisi  $3 \times 1$  mertebeden alt matris düzenlenirse;

$$\phi_1^x = \begin{bmatrix} \phi_{x11} \\ \phi_{x21} \\ \vdots \\ \phi_{xn1} \end{bmatrix}_{3 \times 1}, \quad \phi_1^y = \begin{bmatrix} \phi_{y11} \\ \phi_{y21} \\ \vdots \\ \phi_{yn1} \end{bmatrix}_{3 \times 1}, \quad \phi_1^\theta = \begin{bmatrix} \phi_{\theta11} \\ \phi_{\theta21} \\ \vdots \\ \phi_{\theta n1} \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (2.125)$$

şeklinde elde edilir. Genel olarak  $\phi_k$  modal matrisi (2.126) bağıntısıyla bulunmaktadır.

$$\phi_1^j = \begin{bmatrix} \phi_{j11} \\ \phi_{j21} \\ \vdots \\ \phi_{jn1} \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (2.126)$$

Tek katlı yapı için elde edilen geliştirilmiş koordinat denklem takımlarının bulunuşu benzer şekilde çok katlı yapılar için de kullanılabilir.

$$\ddot{q}_k + \omega_k^2 q_k = \phi_k^T \mathbf{P} / M_k \quad (2.127)$$

Genelleştirilmiş koordinat denklemleri (2.127) denklemiyle elde dilmektedir.

**Özel Durum:** Dinamik dış etkinin sadece y doğrultusunda sinüzoidal harmonik yük olarak etkimesi durumunda;

Kuvvet matrisi (2.128) bağıntısıyla elde edilmiştir. Hareket denklemi (2.127) tekrar düzenlenirse;

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_y \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}_{3 \times 1} \quad (2.128)$$

$$\ddot{q}_k + \omega_k^2 q_k = \frac{\phi_k^{yT} \mathbf{P}_y}{M_k} \quad (2.129)$$

ifadesi elde edilir. Burada genelleştirilmiş kütle

$$M_k = \phi_k^{xT} \mathbf{m}_x \phi_k^x + \phi_k^{yT} \mathbf{m}_y \phi_k^y + \dots + \phi_k^{\theta T} \mathbf{m}_\theta \phi_k^\theta \quad (2.130)$$

şeklinde yazılır.

$$\ddot{q}_k + \omega_k^2 q_k = \frac{\phi_k^{yT} \mathbf{P}_y \omega_k^2}{K_k} \quad (2.131)$$

$$K_k = M_k \omega_k^2 \quad (2.132)$$

İfadesi genelleştirilmiş rijitlikle birlikte verilmiştir.

Mod vektörlerini kuvvet vektörüyle çarparak tek katlı üç serbestlik dereceli yapı sisteminde oluşan genelleştirilmiş zorlanma denklemleri;

$$\phi_k^{yT} \mathbf{P}_y = [\phi_{y1k} \quad \phi_{y1k} \quad \dots \quad \phi_{ynk}] \begin{bmatrix} P_0 \sin \omega t \\ 2P_0 \sin \omega t \\ \vdots \\ nP_0 \sin \omega t \end{bmatrix} \quad (2.133)$$

$$\phi_k^{\theta T} \mathbf{P}_y = (P_0 \phi_{y1k} + 2 P_0 \phi_{y2k} + \dots + nP_0 \phi_{ynk}) \sin \omega t \quad (2.134)$$

şeklinde yazılmaktadır.

$\frac{\phi_{yk} P_0}{K_k}$  değerine  $u_{stk}$  statik yer değiştirme katsayısı olarak tanımlanırsa;

$$u_{stk} = \frac{\phi_{yk} P_0}{K_k} \quad (2.135)$$

Genelleştirilmiş koordinat (2.131) denklemini  $u_{stj}$  katsayısına göre tekrar formüle edilirse;

$$\ddot{q}_k + \omega_k^2 q_k = u_{stk} \omega_k^2 \sin \omega t \quad (2.136)$$

denklemini elde edilir. Bu denklem çok serbestlik derecesi için denklem düzenlenirse;

$$\ddot{q}_1 + \omega_1^2 q_1 = u_{st1} \omega_1^2 \sin \omega t \quad (2.137a)$$

$$\ddot{q}_2 + \omega_2^2 q_2 = u_{st2} \omega_2^2 \sin \omega t \quad (2.137b)$$

$$\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array}$$

$$\ddot{q}_n + \omega_n^2 q_n = u_{stn} \omega_n^2 \sin \omega t \quad (2.137c)$$

Genelleştirilmiş koordinatlar (2.137a), (2.137b) ve 2.137c) denklem takımları elde edilir. Genelleştirilmiş koordinat denklemini düzenlenirse;

$$u_{stk} = \frac{(P_0 \phi_{y1k} + 2 P_0 \phi_{y2k} + \dots + nP_0 \phi_{ynk})}{K_k} \quad (2.138)$$

Statik yer değiştirme denklemini (2.138) elde edilir.

Özel durum: Üç katlı bir yapı modeli için statik yer değiştirmeler,



$$u_{st1} = \frac{(P_0 \phi_{y11} + 2 P_0 \phi_{y21} + 3P_0 \phi_{y31})}{K_1} \quad (2.139a)$$

$$u_{st2} = \frac{(P_0 \phi_{y12} + 2 P_0 \phi_{y22} + 3P_0 \phi_{y32})}{K_2} \quad (2.139b)$$

$$u_{st3} = \frac{(P_0 \phi_{y13} + 2 P_0 \phi_{y23} + 3P_0 \phi_{y33})}{K_3} \quad (2.139c)$$

şeklinde bulunur.

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_\theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_1^x \\ \phi_1^y \\ \phi_1^\theta \end{bmatrix} q_1(t) + \begin{bmatrix} \phi_2^x \\ \phi_2^y \\ \phi_2^\theta \end{bmatrix} q_2(t) + \dots + \begin{bmatrix} \phi_n^x \\ \phi_n^y \\ \phi_n^\theta \end{bmatrix} q_n(t) \quad (2.140)$$

yerdeğiştirme matrisi (2.140) denklemiyle elde edildi.

Yerdeğiştirme matris denkleminin ayrıklaştırılarak  $u_x$ ,  $u_y$  ve  $u_\theta$  yerdeğiştirmeleri (2.141a), (2.141b) ve (2.141c) denklemleriyle bulunmaktadır.

$$u_x^2 = \phi_1^x q_1 + \phi_2^x q_2 + \dots + \phi_n^x q_n = \begin{bmatrix} u_{x1} \\ u_{x1} \\ \vdots \\ u_{xn} \end{bmatrix} \quad (2.141a)$$

$$u_y^2 = \phi_1^y q_1 + \phi_2^y q_2 + \dots + \phi_n^y q_n = \begin{bmatrix} u_{y1} \\ u_{y1} \\ \vdots \\ u_{yn} \end{bmatrix} \quad (2.141b)$$

$$u_\theta^2 = \phi_1^\theta q_1 + \phi_2^\theta q_2 + \dots + \phi_n^\theta q_n = \begin{bmatrix} u_{\theta1} \\ u_{\theta1} \\ \vdots \\ u_{\theta n} \end{bmatrix} \quad (2.141c)$$

(2.150) denklemindeki matrisin açılması sonrasında,  $u_x$ ,  $u_y$  ve  $u_\theta$  yer değiştirmeleri (2.151a), (2.151b) ve (2.151c) ile bulunmaktadır.

SRSS yöntemi kullanılarak  $u_x$ ,  $u_y$  ve  $u_\theta$  yer değiştirmeleri bulunmaktadır.

$$\mathbf{u}_x^2 = (\phi_1^x q_1)^2 + (\phi_2^x q_2)^2 + \dots + (\phi_n^x q_n)^2 = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{x1} \\ \mathbf{u}_{x1} \\ \vdots \\ \mathbf{u}_{xn} \end{bmatrix} \quad (2.142a)$$

$$\mathbf{u}_y^2 = (\phi_1^y q_1)^2 + (\phi_2^y q_2)^2 + \dots + (\phi_n^y q_n)^2 = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{y1} \\ \mathbf{u}_{y1} \\ \vdots \\ \mathbf{u}_{yn} \end{bmatrix} \quad (2.142b)$$

$$\mathbf{u}_\theta^2 = (\phi_1^\theta q_1)^2 + (\phi_2^\theta q_2)^2 + \dots + (\phi_n^\theta q_n)^2 = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{\theta1} \\ \mathbf{u}_{\theta1} \\ \vdots \\ \mathbf{u}_{\theta n} \end{bmatrix} \quad (2.142c)$$

$$\mathbf{K} \mathbf{U}_0 = \mathbf{P}_0 \quad (2.143)$$

Sinüzoidal harmonik dış yükün etkimesi durumuna göre yerdeğiştirme denklemini çözümlenirse;

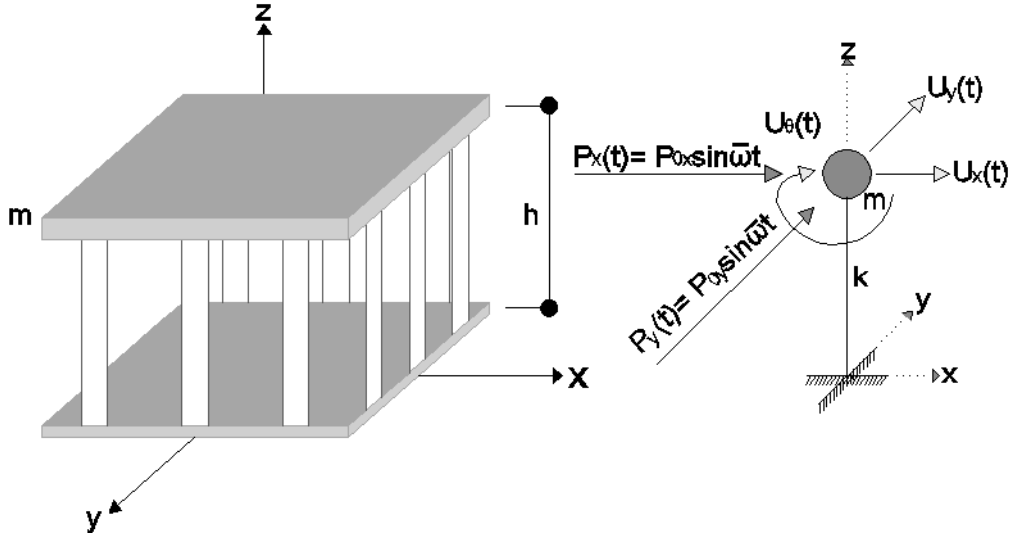
$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{k}_{xx} & \mathbf{k}_{xy} & \mathbf{k}_{x\theta} \\ \mathbf{k}_{yx} & \mathbf{k}_{yy} & \mathbf{k}_{y\theta} \\ \mathbf{k}_{\theta x} & \mathbf{k}_{\theta y} & \mathbf{k}_{\theta\theta} \end{bmatrix}_{3n \times 3n} \quad \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{stx} \\ \mathbf{u}_{sty} \\ \mathbf{u}_{st\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_x \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{P}_y \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad (2.144)$$

matris denklemini elde edilmektedir.

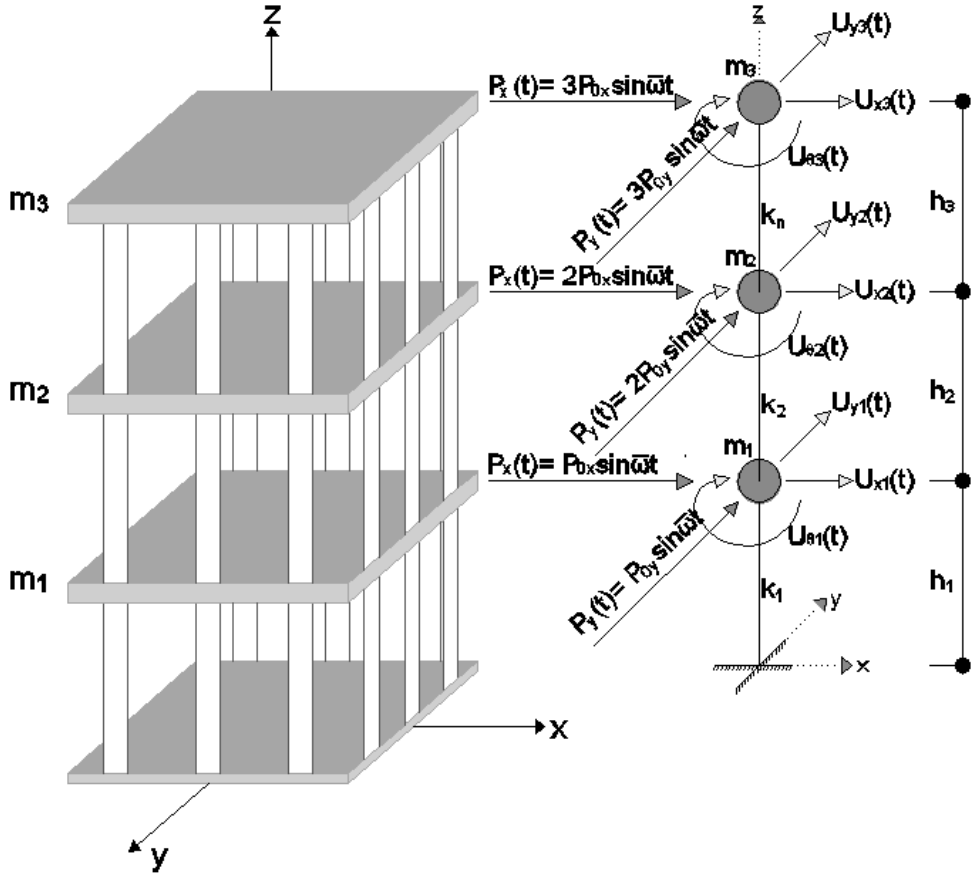
Dış sinüzoidal harmonik yükün x doğrultusunda etkimesi durumunda matris denklemini çözümlenerek statik yerdeğiştirme değerleri bulunur.

Maksimum dinamik büyütme çarpanı  $(R_d)_{maks}$  tek katlı yapılara benzer şekilde bulunmaktadır.

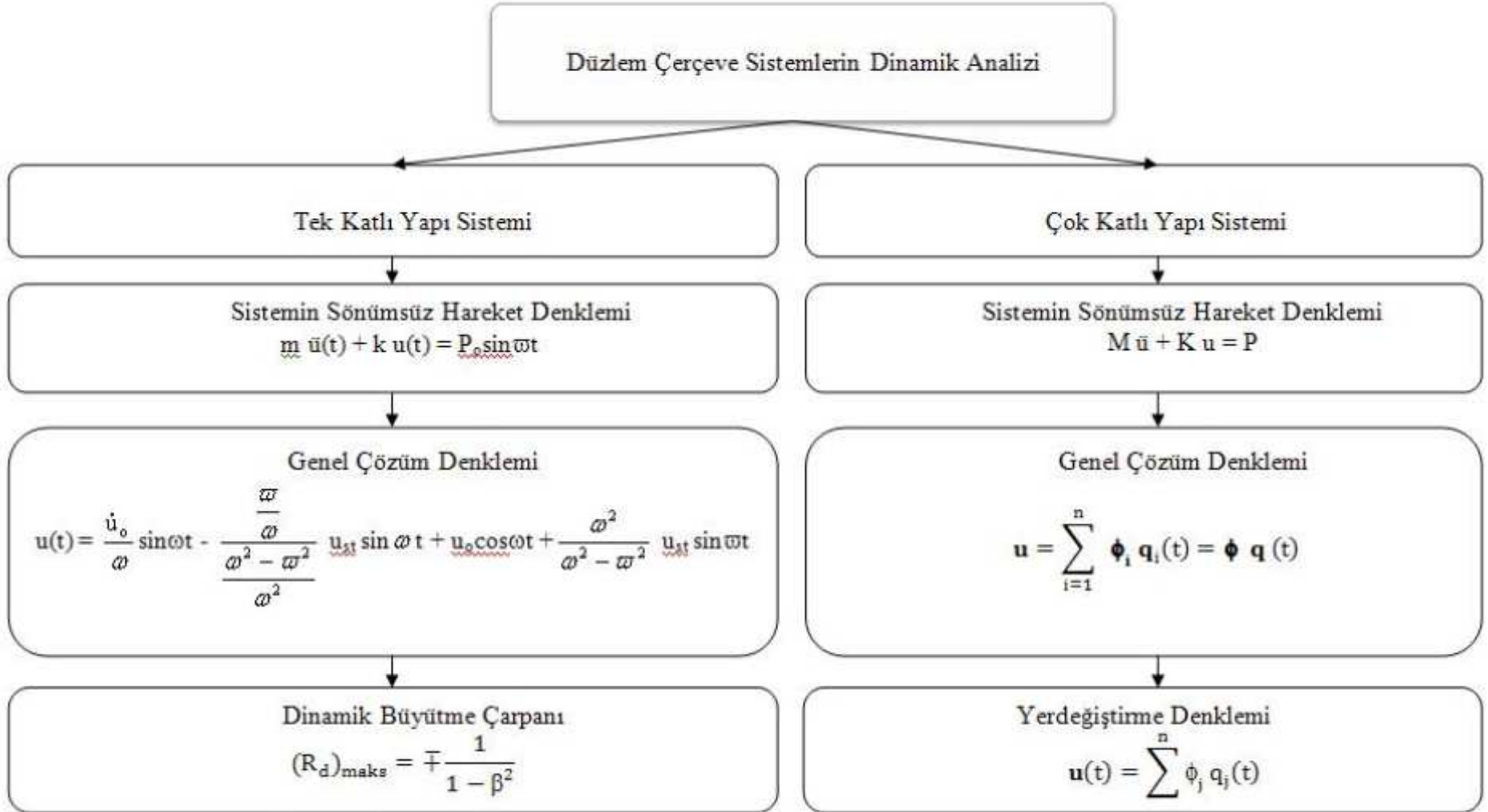
## BÖLÜM 3. YAPISAL MODEL VE SAYISAL UYGULAMALAR



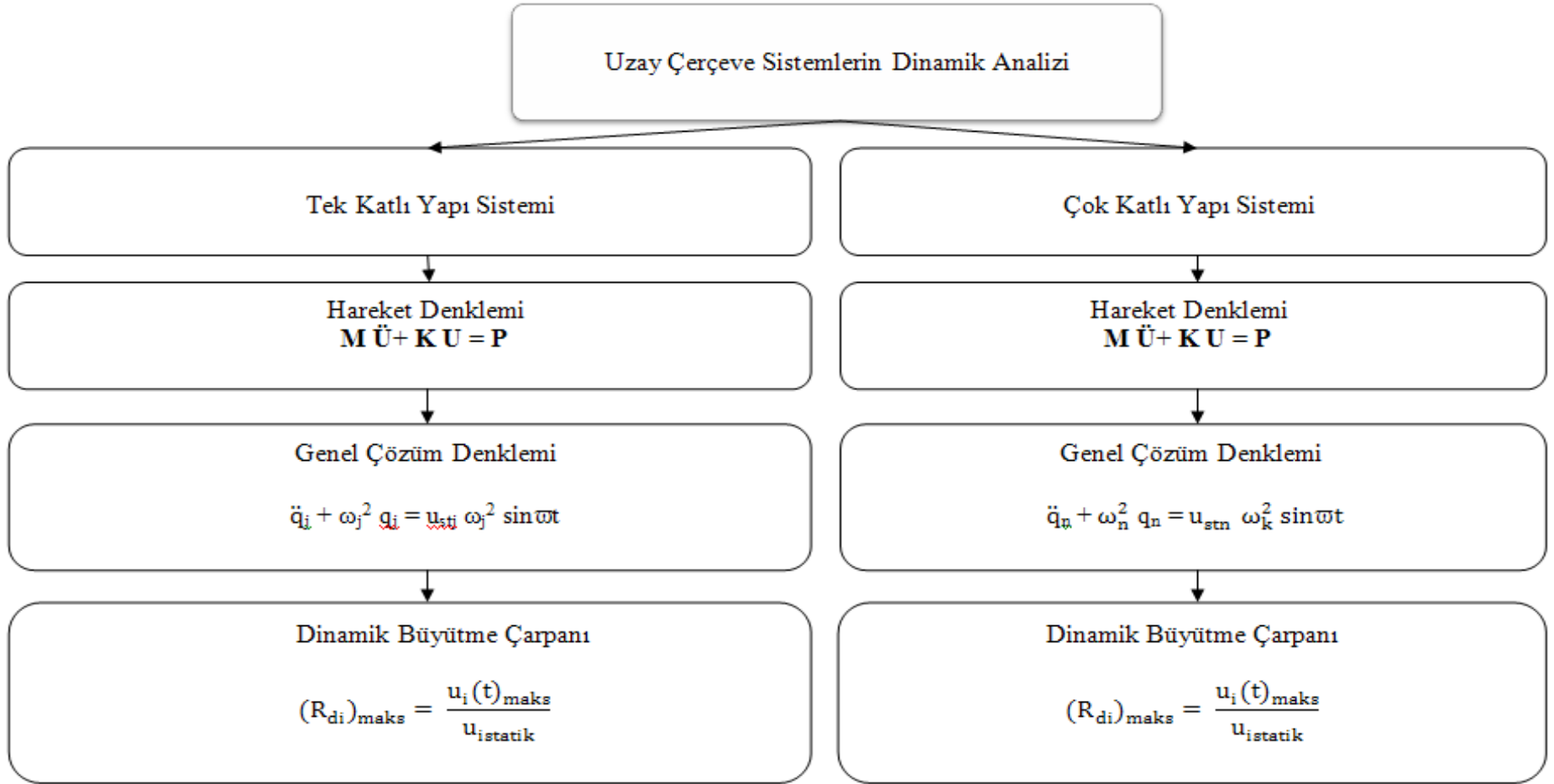
Şekil 3.1.a. Tek katlı çok serbestlik dereceli(ÇSD) yapı modeli



Şekil 3.1.b. Üç katlı çok serbestlik dereceli(ÇSD) yapı modeli



Şekil 3.2.a Düzlem Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi



Şekil 3.2.b. Uzay Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi

Bu çalışmada ilk olarak tek katlı uzay çerçeve sistem, sonrada üç katlı uzay sistemin harmonik yük etkisi altında dinamik davranışı ele alınmıştır. Her iki yapının dinamik davranışı farklı parametrelere bağlı olarak incelenmiştir. Kat çerçeve yerleşim planında x yönünde iki y yönünde bir çerçeve olan ve bu çerçevelerin rijit diyaframla bağlandığı ve bu rijit diyaframın (döşemenin) dinamik davranışı, kat seviyesinde x ve y doğrultusunda etki eden sinüzoidal harmonik dinamik yüke göre incelenmiş ve temel büyüklükler (periyot, kat yerdeğiştirmesi, mod şekilleri, dinamik büyütme çarpanı v.s.) sistem parametrelerine bağlı olarak bulunmuştur. Sayısal modelleme yapılırken çerçeve rijitlikleri  $k_{yA} = k_{xB} = k_{xC} = 26500$  kN/m olarak kullanılacak ve bu çerçeve rijitlikleri  $k_{yA} = \alpha k_{xB} = \alpha k_{xC}$  katsayılarla arttırılarak incelenecektir. Uzay çerçeve sisteminde  $m = 50$  t,  $r = 5$  m,  $P_0 = 1000$  kN,  $b = d = 12$  m ve  $h = 3$  m olarak verildiği yapının bu parametrelere bağlı olarak dışmerkezliğin  $e = 0, 0.5, 1, 2, 4$  m durumlarındaki değişimleri ve  $\alpha = 1, 3, 5$  rijitlik katsayılarındaki içine alan parametreler kullanılmıştır. Dinamik davranışı belirleyen dış yük parametreleri olarak dış yükün  $0 \leq f \leq 35$  Hz (frekans aralığı) ve  $\Delta f = 2.5$  Hz frekans adımında dikkate alınmıştır.

Tablo 3.1.  $\alpha$  katsayısının değişiminde oluşan parametreler

$\alpha$	Çerçeve	Rijitlik [kN/m]
1	$k_{yA}$	26500
	$k_{xB}$	26500
	$k_{xC}$	26500
3	$k_{yA}$	79500
	$k_{xB}$	26500
	$k_{xC}$	26500
5	$k_{yA}$	132500
	$k_{xB}$	26500
	$k_{xC}$	26500

Tablo 3.2’de gösterilen parametrelerde yapı sisteminin dış merkezliğin artması durumunda x modunda parametrelerinde bir değişiklik olmadığı, y modunda yapının açısal frekansının azaldığı ve periyodunun arttığı,  $\theta$  dönme modunda yapının açısal frekansının arttığı ve periyodunun azaldığı görülmüştür.

Tablo 3.2. Tek katlı yapının  $\alpha=1$  için serbest titreşim parametreleri

<b>e (m)</b>	<b>Mod</b>	<b><math>\omega</math> (rad/sn)</b>	<b>f (Hz)</b>	<b>T(sn)</b>
0	x	32.56	5.18	0.19
	y	23.02	3.66	0.27
	$\theta$	39.07	6.22	0.16
0.5	x	32.56	5.18	0.19
	y	22.96	3.66	0.27
	$\theta$	39.17	6.24	0.16
1	x	32.56	5.18	0.19
	y	22.78	3.63	0.28
	$\theta$	39.48	6.29	0.16
2	x	32.56	5.18	0.19
	y	22.13	3.52	0.28
	$\theta$	40.64	6.47	0.15
3	x	32.56	5.18	0.19
	y	21.22	3.38	0.29
	$\theta$	42.39	6.75	0.14
4	x	32.56	5.18	0.19
	y	20.17	3.31	0.31
	$\theta$	44.59	7.10	0.14

Tablo 3.3’de gösterilen parametrelerde yapı sisteminin dış merkezliğin artması durumunda x modunda parametrelerinde bir değişiklik olmadığı, y modunda yapının açısal frekansının azaldığı ve periyodunun arttığı,  $\theta$  dönme modunda yapının açısal frekansının arttığı ve periyodunun azaldığı görülmüştür.

Tablo 3.3. Tek katlı yapının  $\alpha=3$  için serbest titreşim parametreleri

e (m)	Mod	$\omega$ (rad/sn)	f (Hz)	T(sn)
0	x	32.56	5.18	0.19
	y	39.87	6.35	0.16
	$\theta$	39.07	6.22	0.16
0.5	x	32.56	5.18	0.19
	y	37.49	5.97	0.17
	$\theta$	41.56	6.61	0.15
1	x	32.56	5.18	0.19
	y	35.67	5.67	0.17
	$\theta$	43.68	6.95	0.14
2	x	32.56	5.18	0.19
	y	32.28	5.14	0.19
	$\theta$	48.25	7.68	0.13
3	x	32.56	5.18	0.19
	y	29.28	4.66	0.21
	$\theta$	53.21	8.47	0.12
4	x	32.56	5.18	0.19
	y	26.62	4.66	0.24
	$\theta$	58.53	8.47	0.11

Tablo 3.4’de gösterilen parametrelerde yapı sisteminin dış merkezliğin artması durumunda x modunda parametrelerinde bir değişiklik olmadığı, y modunda yapının açısal frekansının artmakta ve periyodunun azalmakta,  $\theta$  dönme modunda yapının açısal frekansının azalmakta ve periyodunun arttığı görülmüştür. Tek katlı yapıımızda  $\alpha=1$  durumuna göre sırayla  $\alpha=3$  ve  $\alpha=5$  durumlarında y doğrultusunda rijitlik arttırılmaktadır. Bu durumda dışmerkezliğin artması durumunda; x modunda parametrelerde bir değişiklik olmamaktadır.



Tablo 3.4. Tek katlı yapının  $\alpha=5$  için serbest titreşim parametreleri

e (m)	Mod	$\omega$ (rad/sn)	f (Hz)	T(sn)
0	x	32.56	5.18	0.19
	y	51.48	8.19	0.12
	$\theta$	39.07	6.22	0.16
0.5	x	32.56	5.18	0.19
	y	52,06	8,29	0,12
	$\theta$	38,63	6,15	0,16
1	x	32.56	5,18	0,19
	y	53,62	8,53	0,12
	$\theta$	37,50	5,97	0,17
2	x	32.56	5,18	0,19
	y	58,45	9,30	0,11
	$\theta$	34,41	5,48	0,18
3	x	32.56	5,18	0,19
	y	64,48	10,27	0,09
	$\theta$	31.19	4.97	0.20
4	x	32.56	5.18	0.19
	y	71.24	11.34	0.08
	$\theta$	28.23	4.49	0.22

Üç katlı yapının  $\alpha=1$  için serbest titreşim parametreleri Tablo 3.5.a. ve 3.5.b.'de gösterilmiştir. Burada ilk üç mod x doğrultusunun sonraki üç mod y doğrultusunun ve son üç moda da dönmenin  $\theta$  karakteristik değerlerinin göstermektedir. Burada en üst katın titreşim parametreleri incelendiğinde; x modunda, dışmerkezlik değeri arttıkça açısal frekans değeri artmakta ve buna karşı periyot değeri azalmaktadır. y modunda, dışmerkezlik değeri arttıkça açısal frekans değeri ve periyot değeri değişmemektedir.  $\theta$  modunda, dışmerkezlik değeri arttıkça açısal frekans değeri artmakta ve buna karşı periyot değeri azalmaktadır.

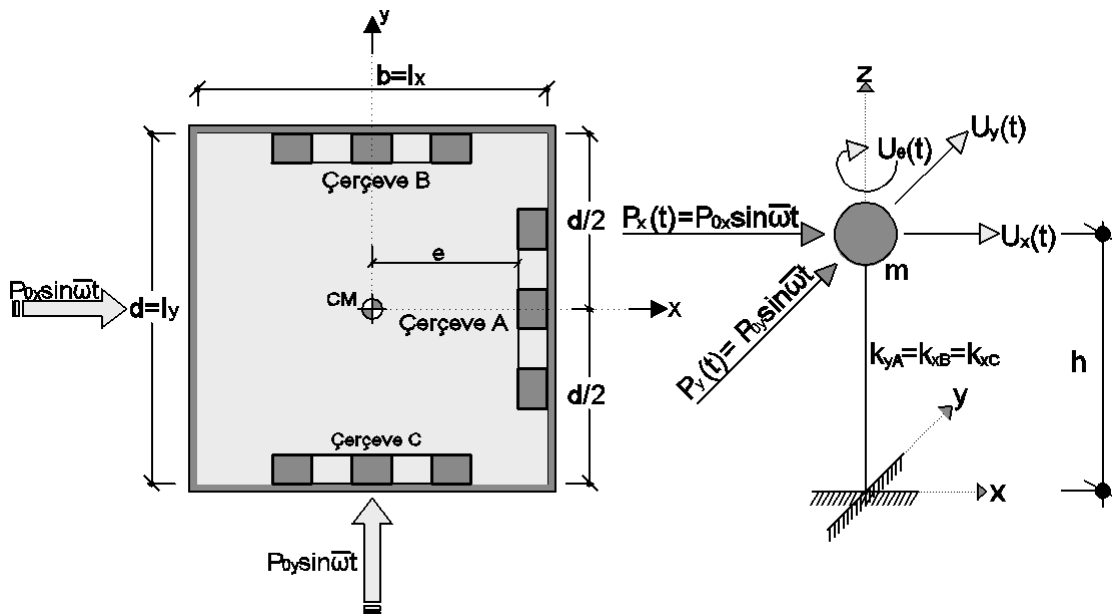
Tablo 3.5.a. Üç katlı yapının  $\alpha=1$  için serbest titreşim parametreleri

e (m)	Mod	$\omega$ (rad/sn)	f (Hz)	T(sn)
0	1	10.25	1.6305	0.61
	2	14.4895	2.3063	0.43
	3	17.3874	2.7670	0.36
	4	28.7076	4.5683	0.22
	5	40.5987	6.4599	0.15
	6	41.4837	6.6006	0.15
	7	48.7185	7.7580	0.13
	8	58.6668	9.3371	0.11
	9	70.4002	11.2108	0.09
0.5	1	10.2186	1.6271	0.61
	2	14.4895	2.3073	0.43
	3	17.4335	2.7762	0.36
	4	28.6318	4.5599	0.22
	5	40.5987	6.4641	0.15
	6	41.3741	6.5876	0.15
	7	48.8475	7.7760	0.13
	8	58.6668	9.3458	0.11
	9	70.5867	11.2360	0.09
1	1	10.14	1.61	0.62
	2	14.49	2.30	0.43
	3	17.57	2.79	0.36
	4	28.41	4.53	0.22
	5	40.59	6.46	0.15
	6	41.05	6.54	0.15
	7	49.23	7.84	0.13
	8	58.67	9.35	0.11
	9	71.13	11.33	0.09
2	1	9.85	1.57	0.64
	2	14.49	2.30	0.43
	3	18.08	2.88	0.35
	4	27.60	4.39	0.23
	5	39.88	6.35	0.16
	6	40.59	6.46	0.15
	7	50.67	8.07	0.12
	8	58.67	9.35	0.11
	9	73.22	11.66	0.09

Tablo 3.5.b. Üç katlı yapının  $\alpha=1$  için serbest titreşim parametreleri

3	1	9.44	1.50	0.67
	2	14.49	2.31	0.43
	3	18.86	3.01	0.33
	4	26.46	4.21	0.24
	5	38.23	6.09	0.16
	6	40.59	6.54	0.15
	7	52.86	8.4175	0.12
	8	58.67	9.3458	0.10
	9	76.39	12.1655	0.08
4	1	8.98	1.4292	0.69
	2	14.49	2.3073	0.43
	3	19.85	3.1606	0.31
	4	25.15	4.0048	0.25
	5	36.34	5.7870	0.17
	6	40.59	6.5359	0.15
	7	55.61	8.8574	0.11
	8	58.67	9.3458	0.11
	9	80.36	12.8041	0.08

### 3.1. Tek Katlı Uzay Taşıyıcı Sistemin Serbest Titreşim Hareketinin Dış Merkezlik ve Çerçeve Rijitlik Değişimlerine Bağlı İncelenmesi

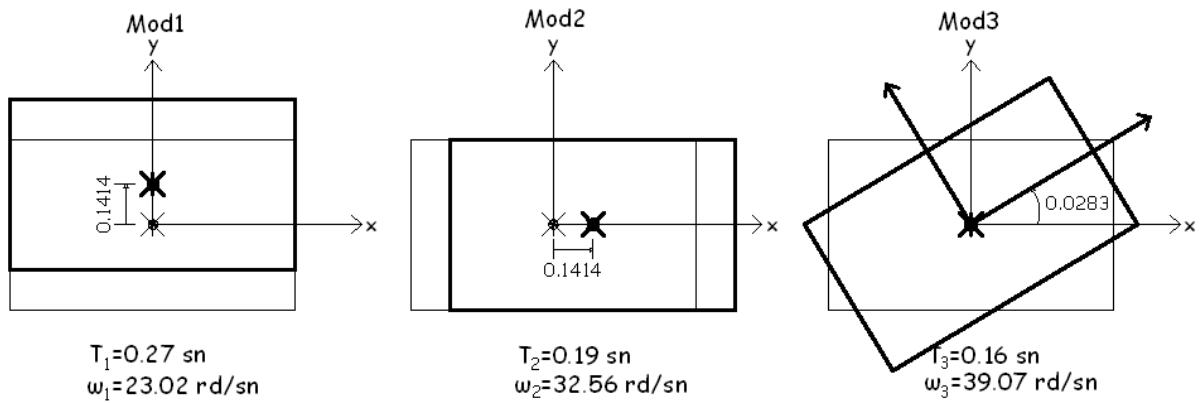


Şekil 3.3. Kat çerçeve yerleşim planı ve rijitlik durumu

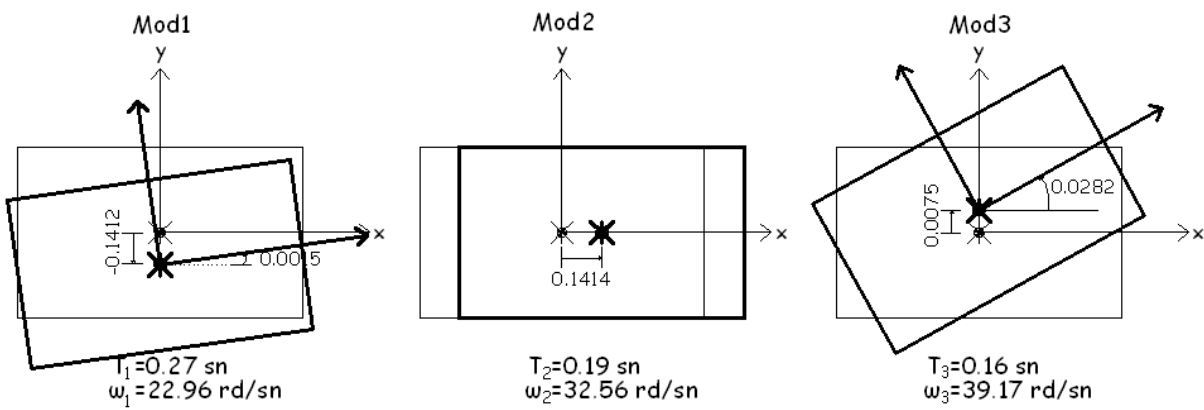
Tek katlı uzay çerçeve sistemimizin kat çerçeve planına bakıldığında x yönünde iki kat daha rijit olduğu görülmektedir. Sistemimiz dinamik analiz sonucunda üç tane mod oluşmakta ve bu oluşan mod biçimleri incelenmiştir. Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri ( $\alpha=1$ ) için;

- 1. modda dış merkezlik değeri artıkça mod biçiminde meydana gelen dönme genliği ve sistemin periyot değeri artmakta, y yönündeki yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri azalmaktadır.
- 2. modda dış merkezlik değeri artıkça dönme genliği meydana gelmemekte, x yönünde de yerdeğiştirme genliği sabit kalmakta ve sistemin periyot ve açısal frekans değerleri değişmemektedir.
- 3. modda dış merkezlik değeri artıkça dönme genliği ve sistem periyot değeri azalmakta, y yönünde yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri artmaktadır.

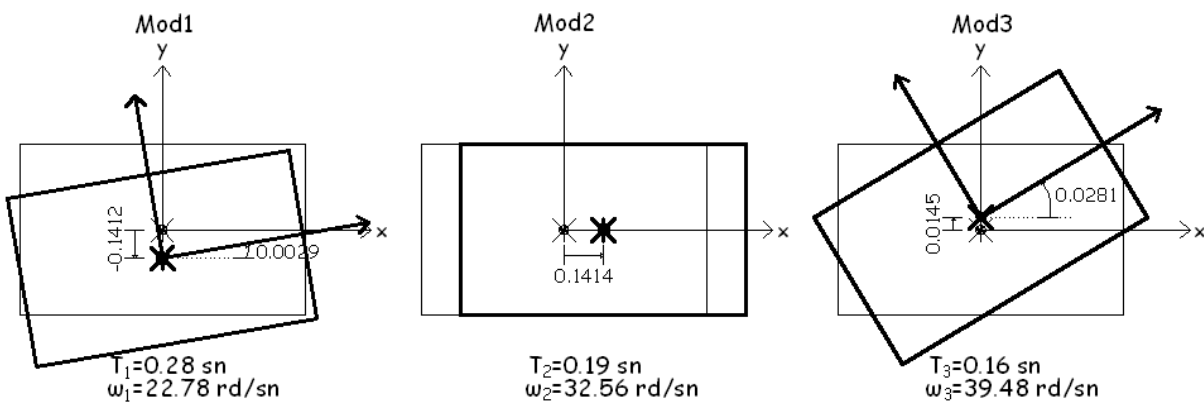
a)  $e = 0$  olması durumunda



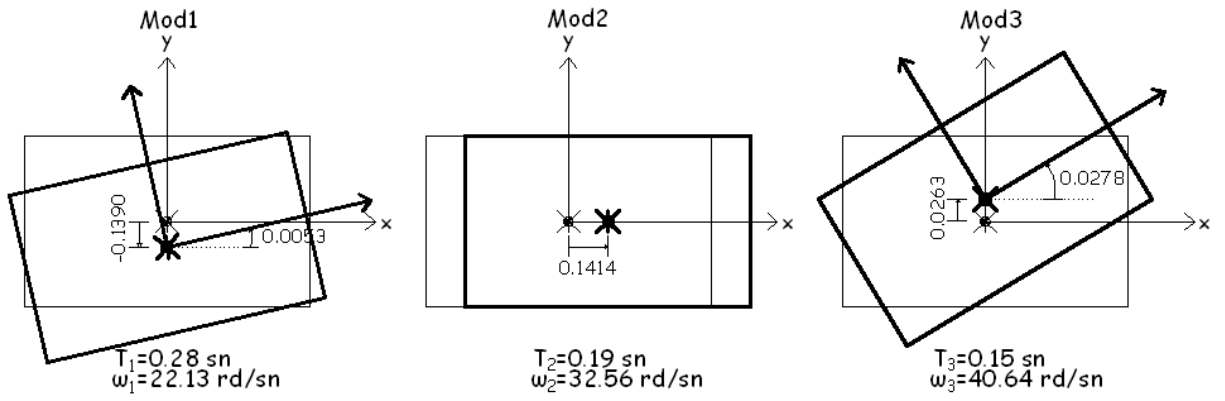
b)  $e = 0.5$  m olması durumunda



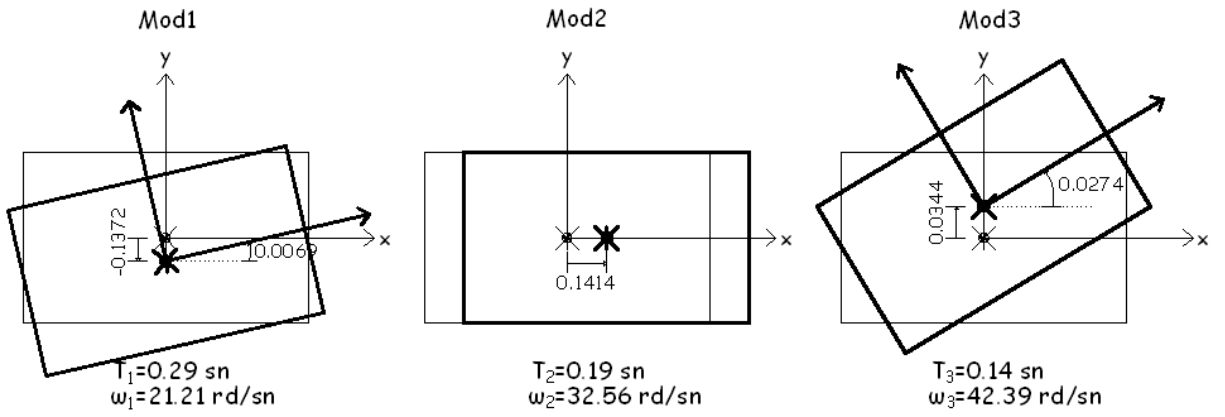
c)  $e = 1$  m olması durumunda



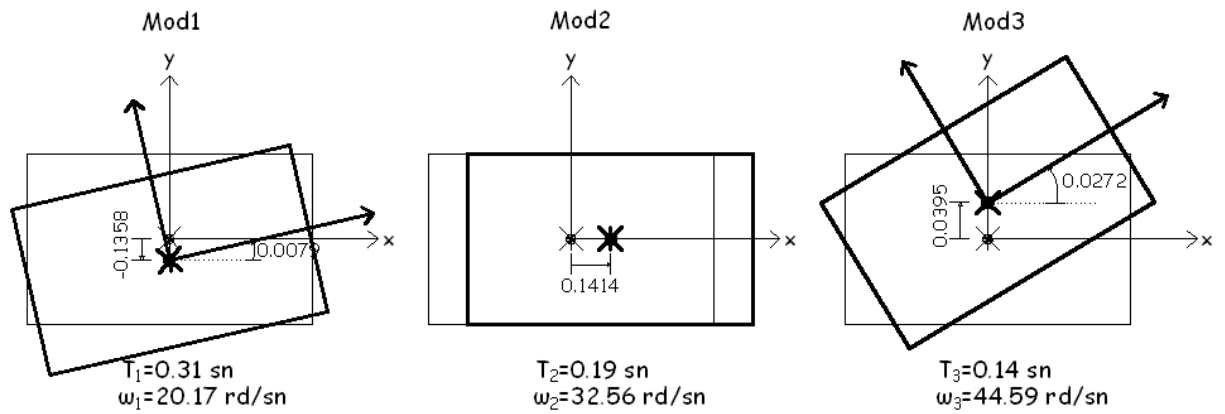
d)  $e = 2$  m olması durumunda



e)  $e = 3$  m olması durumunda



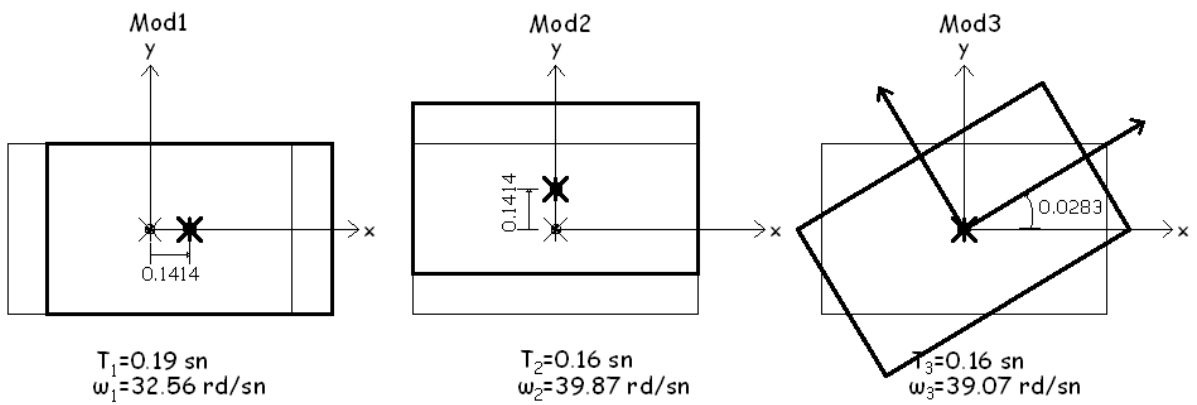
f)  $e = 4$  m olması durumunda



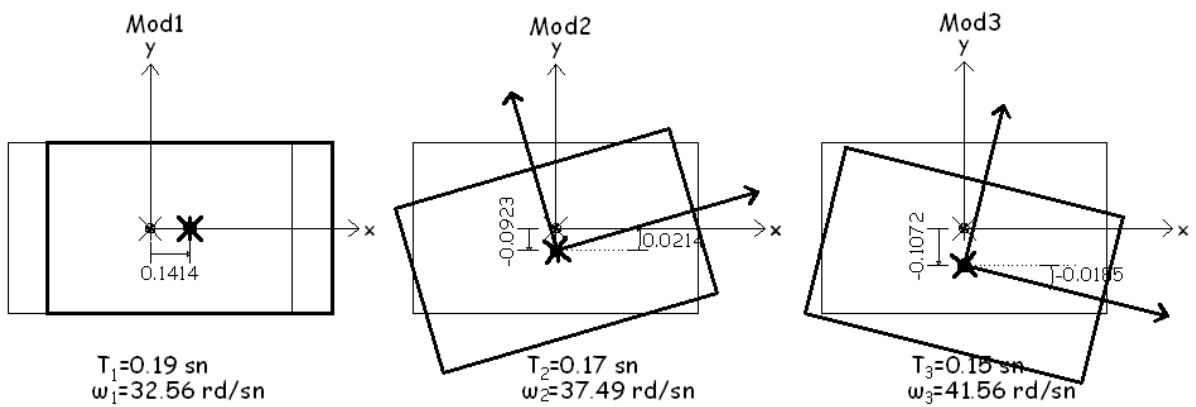
Şekil 3.4. Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri ( $\alpha=1$ )



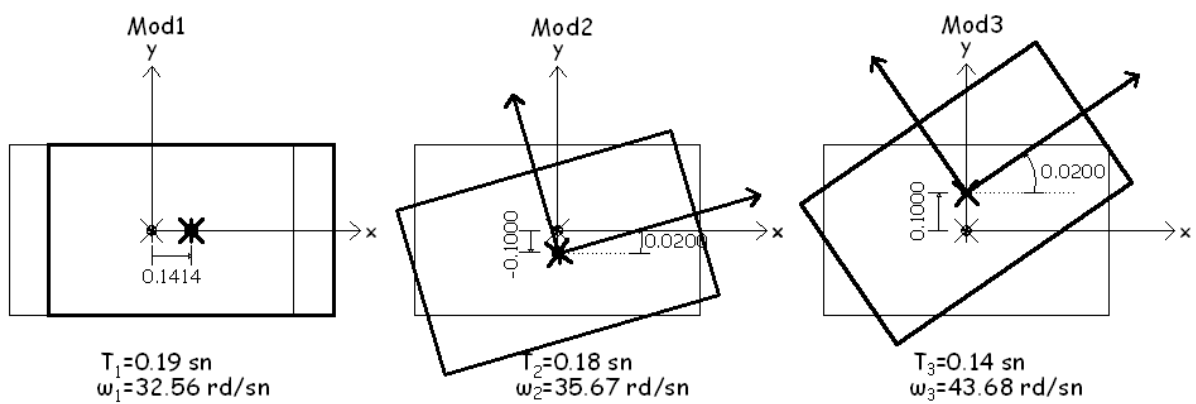
a)  $e = 0$  olması durumunda



b)  $e = 0.5$  m olması durumunda

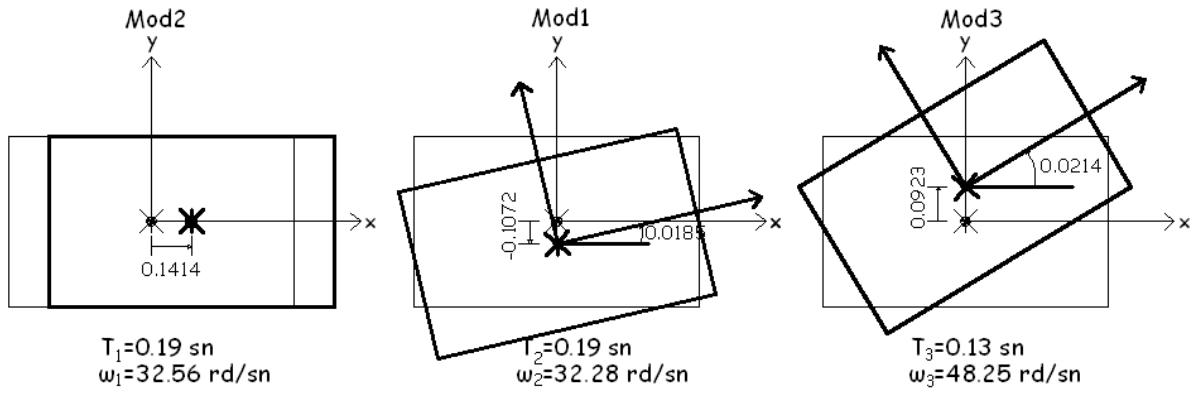


c)  $e = 1$  m olması durumunda

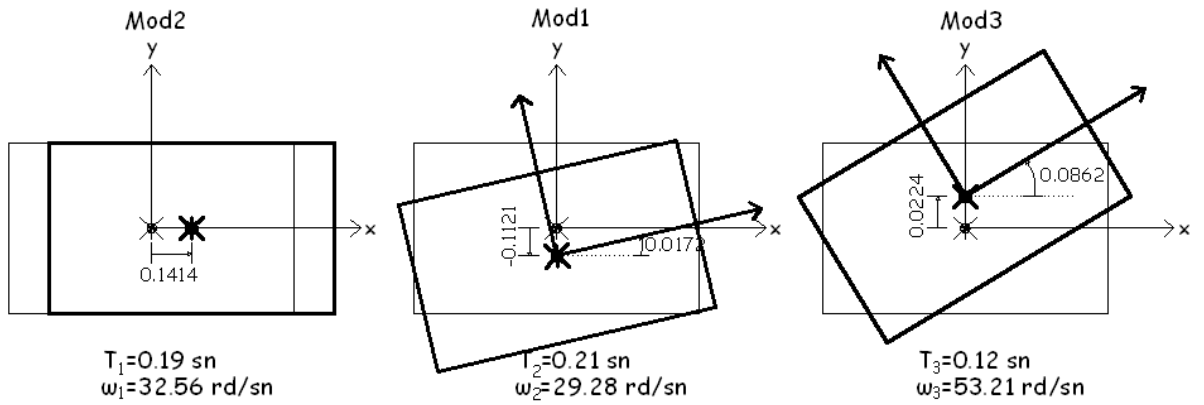




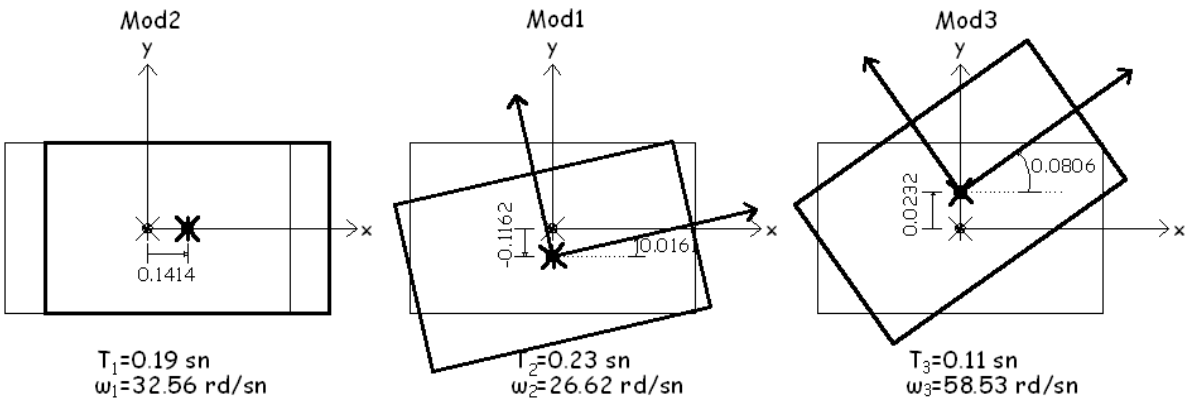
d)  $e = 2$  m olması durumunda



e)  $e = 3$  m olması durumunda



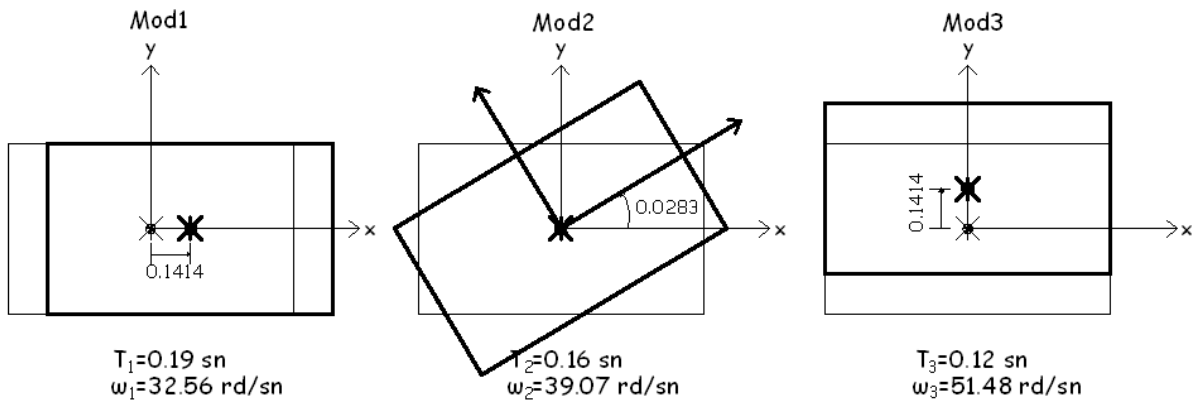
f)  $e = 4$  m olması durumunda



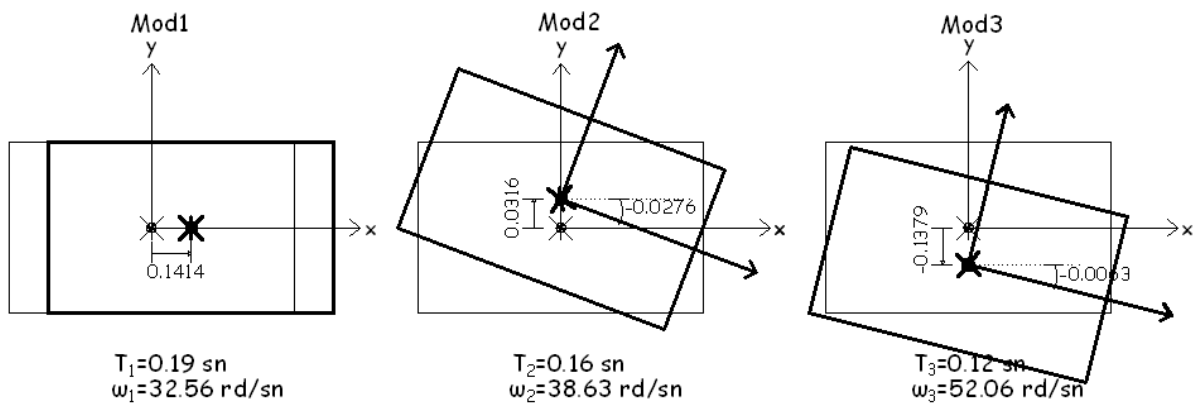
Şekil 3.6. Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri ( $\alpha=3$ )



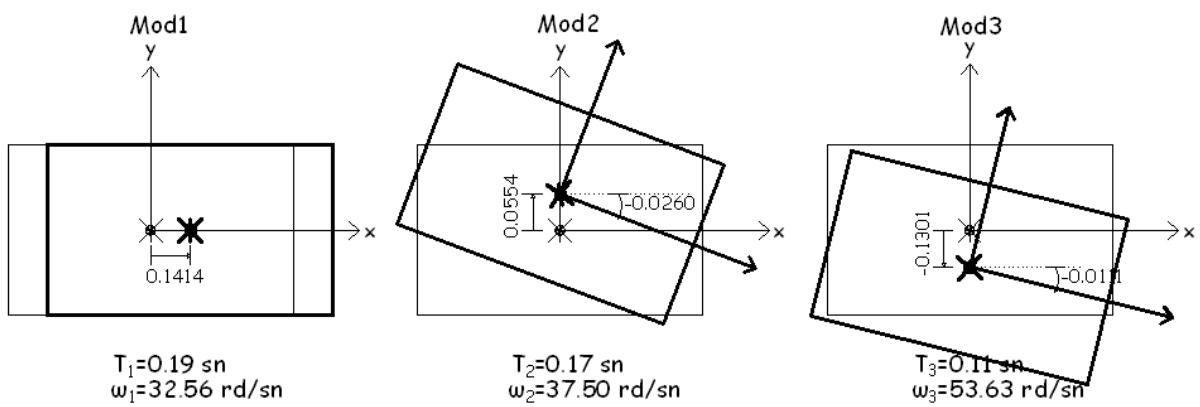
a)  $e = 0$  olması durumunda



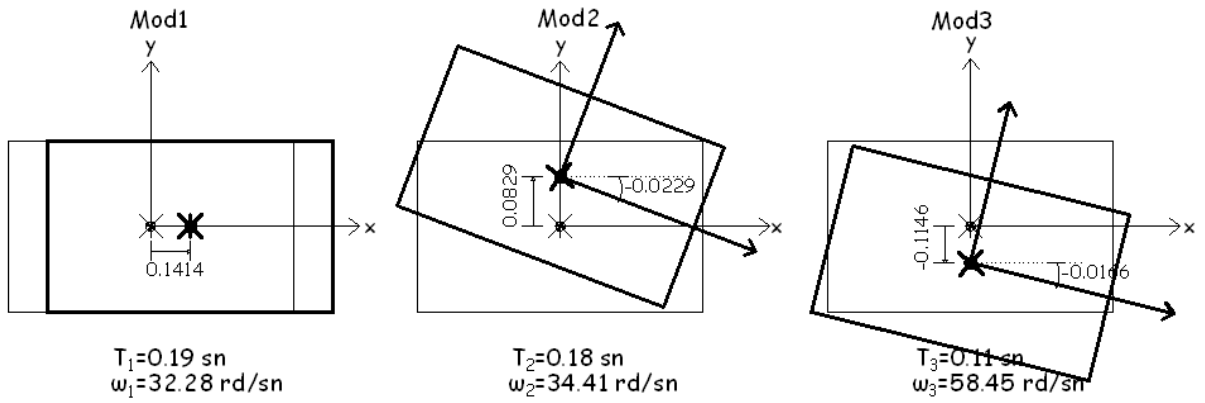
b)  $e = 0.5$  m olması durumunda



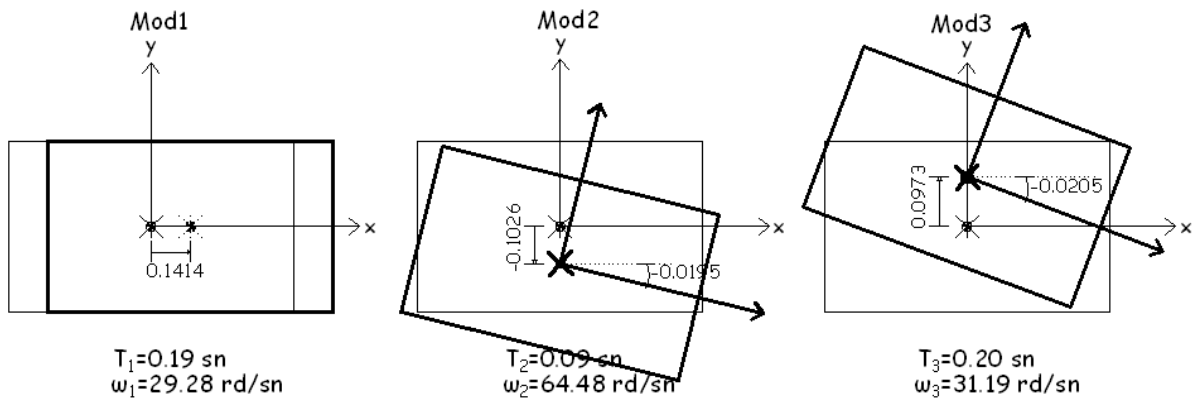
c)  $e = 1$  m olması durumunda



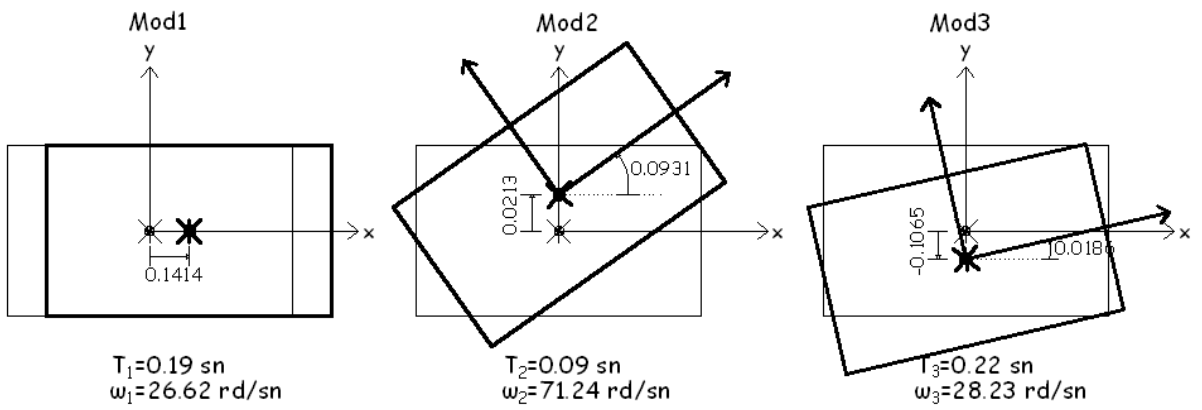
d)  $e = 2$  m olması durumunda



e)  $e = 3$  m olması durumunda

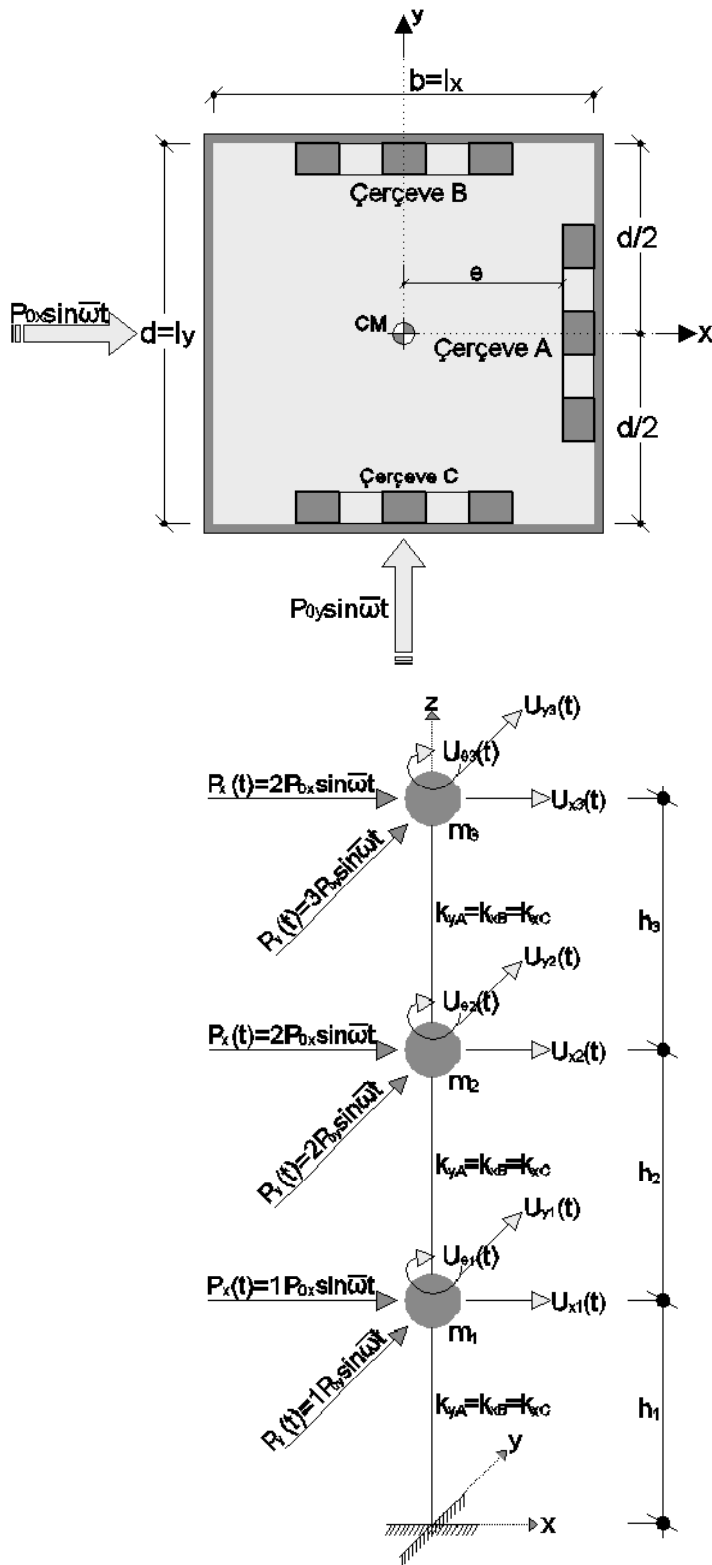


f)  $e = 4$  m olması durumunda



Şekil 3.8. Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri( $\alpha=5$ )

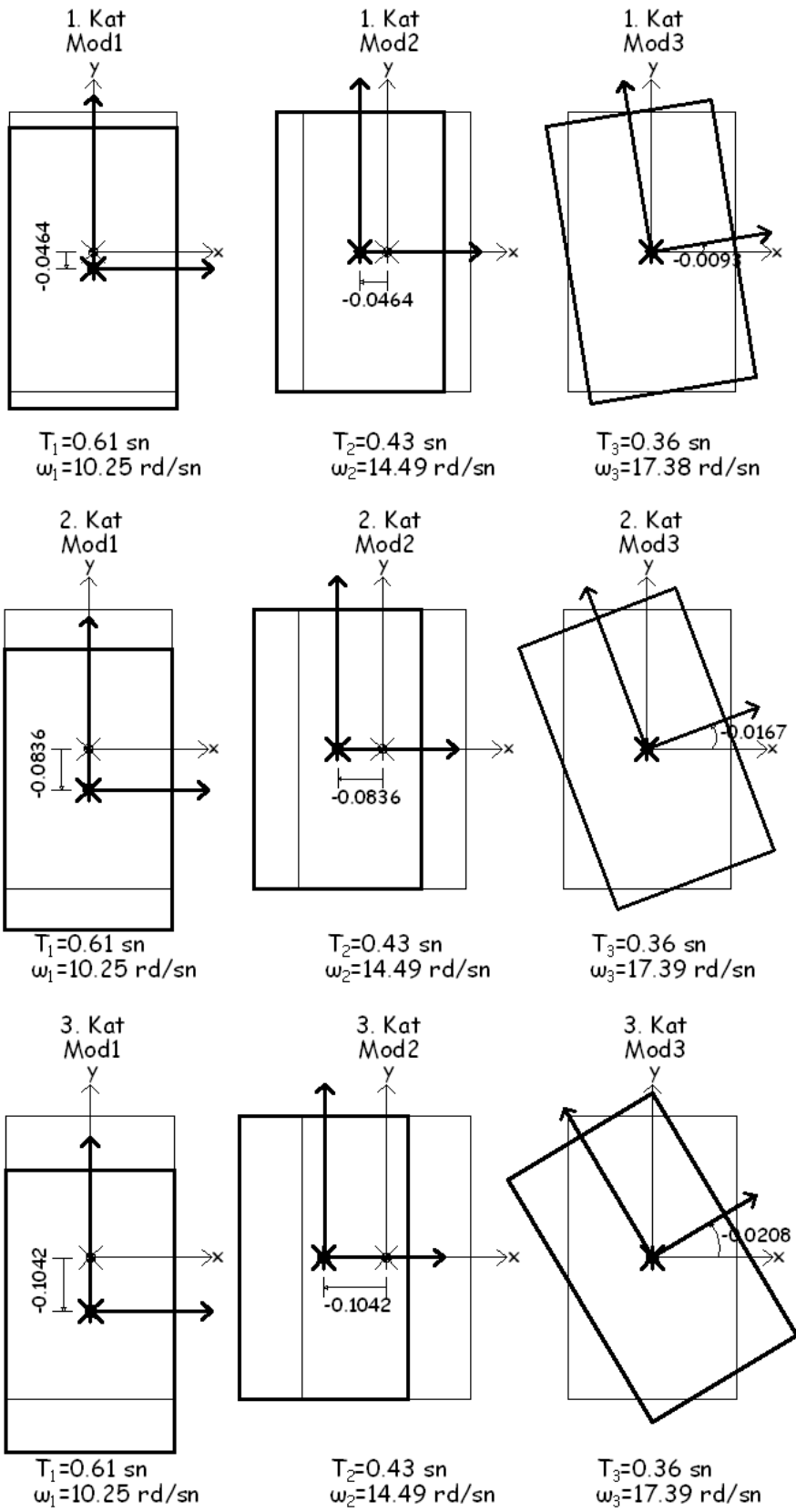
### 3.2. Üç Katlı Uzay Taşıyıcı Sistemin Serbest Titreşim Hareketinin Dış Merkezlik Değişimine Bağlı İncelenmesi



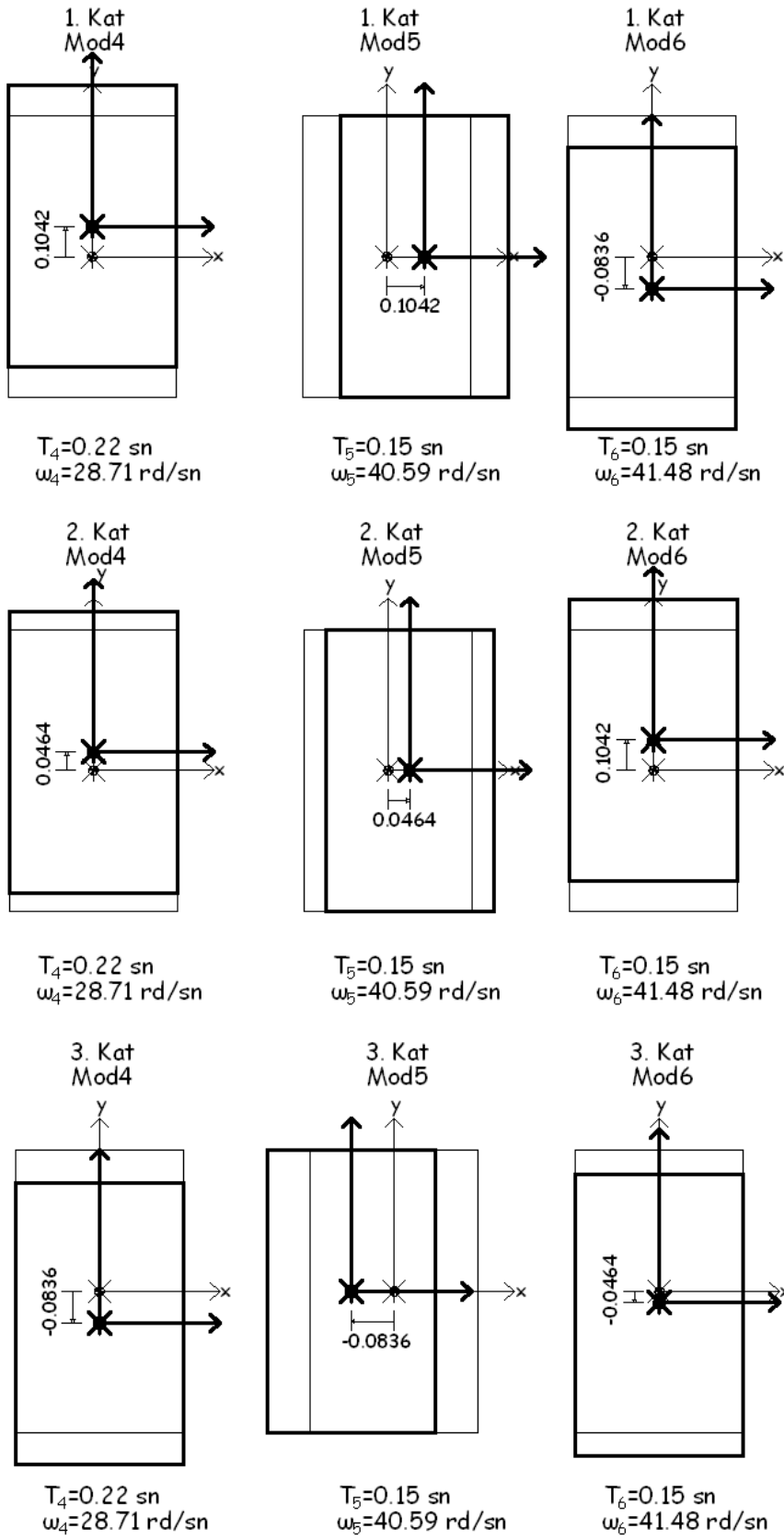
Şekil 3.9. Kat çerçeve yerleşim planı ve rijitlik durumu

Üç katlı uzay çerçeve sistemimizin kat çerçeve planına y yönünde daha rijit olduğu görülmektedir. Sistemimiz dinamik analiz sonucunda oluşan dokuz tane mod biçimlerinden etkili olduğu düşünülen ilk üç mod incelenmiştir. Dış merkezliğin değişimine göre oluşan mod biçimleri ( $\alpha=1$ ) için;

- 1. modda birinci kattan üst katlarda çıkıldığında y yönündeki yerdeğiştirme genliği ve dönme genliği artmaktadır. Dış merkezlik arttıkça katlarda yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans azalmakta, dönme genliği ve periyot değeri artmaktadır.
- 2. modda birinci kattan üst katlarda çıkıldığında x yönündeki yerdeğiştirme genliği değeri artmaktadır ve dönme genliği meydana gelmemektedir. Dış merkezlik arttıkça katlarda yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri değişmemektedir, dönme genliği meydana gelmekte ve periyot değeri azalmaktadır.
- 3. modda birinci kattan üst katlarda çıkıldığında y yönündeki yerdeğiştirme genliği ve dönme genliği artmaktadır. Dış merkezlik arttıkça katlarda yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans artmakta, dönme genliği ve periyot değeri azalmaktadır.

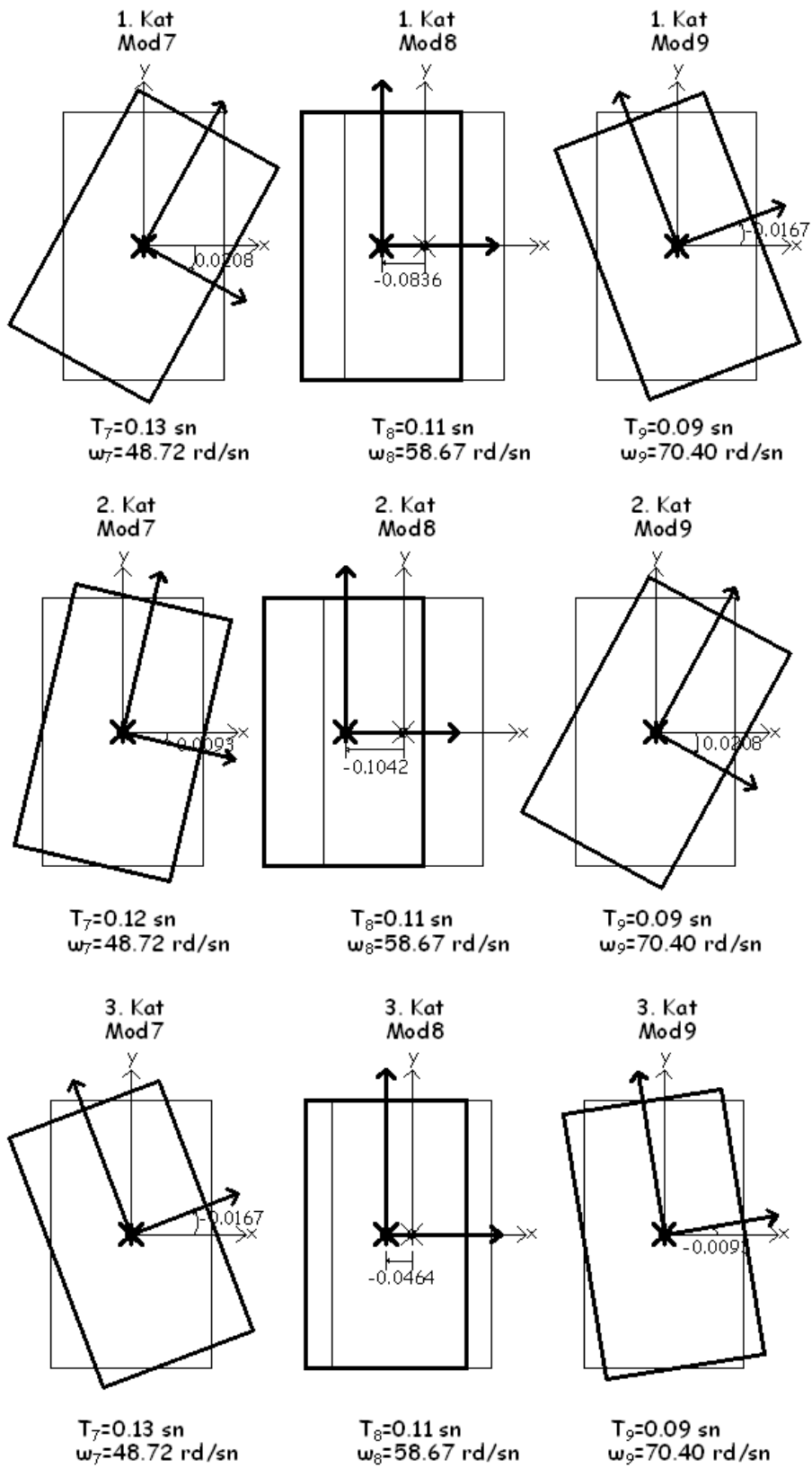


a) Katlara ait 1. 2. ve 3. mod biçimleri



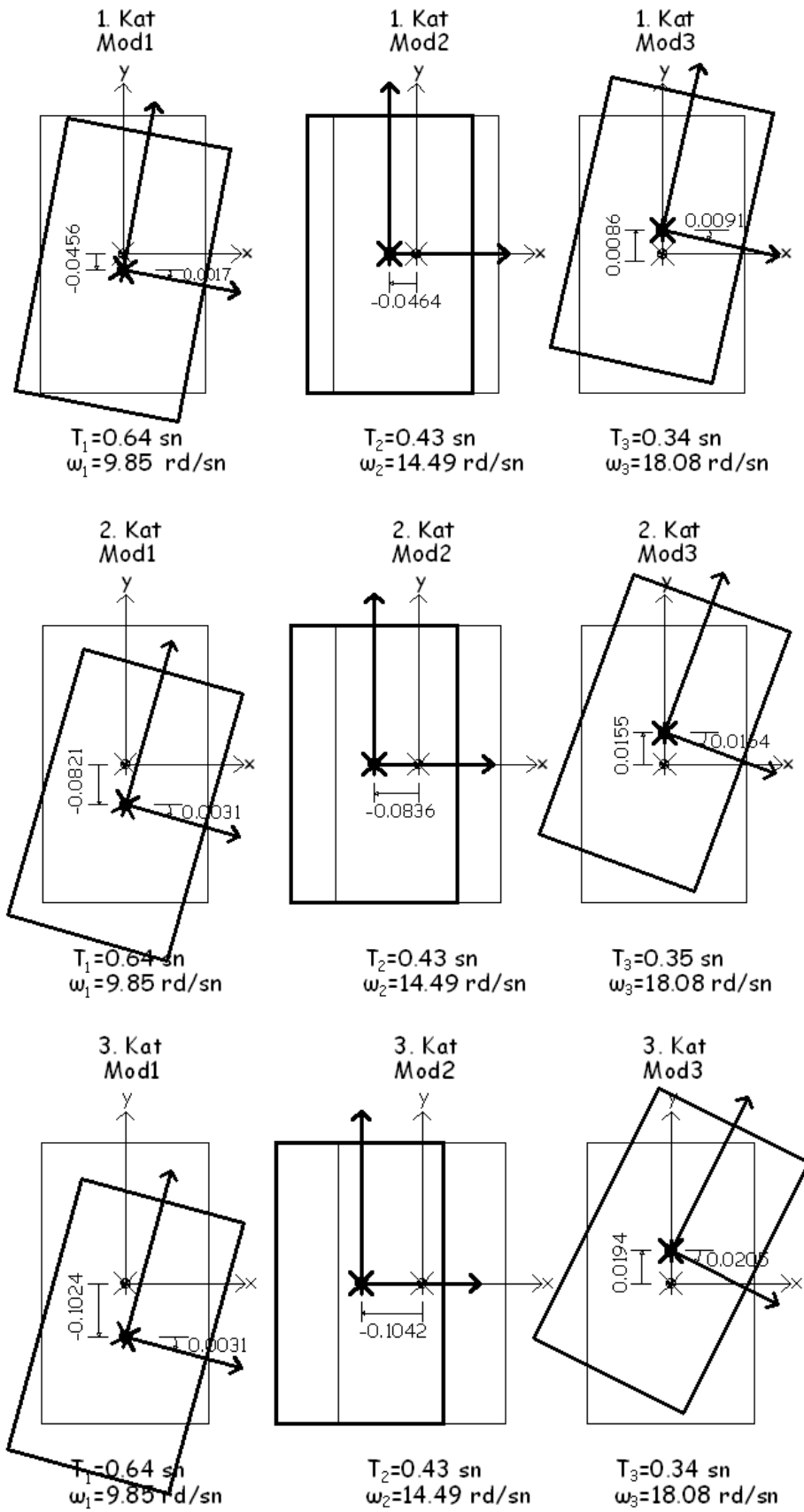
b) Katlara ait 4. 5. ve 6. mod biçimleri



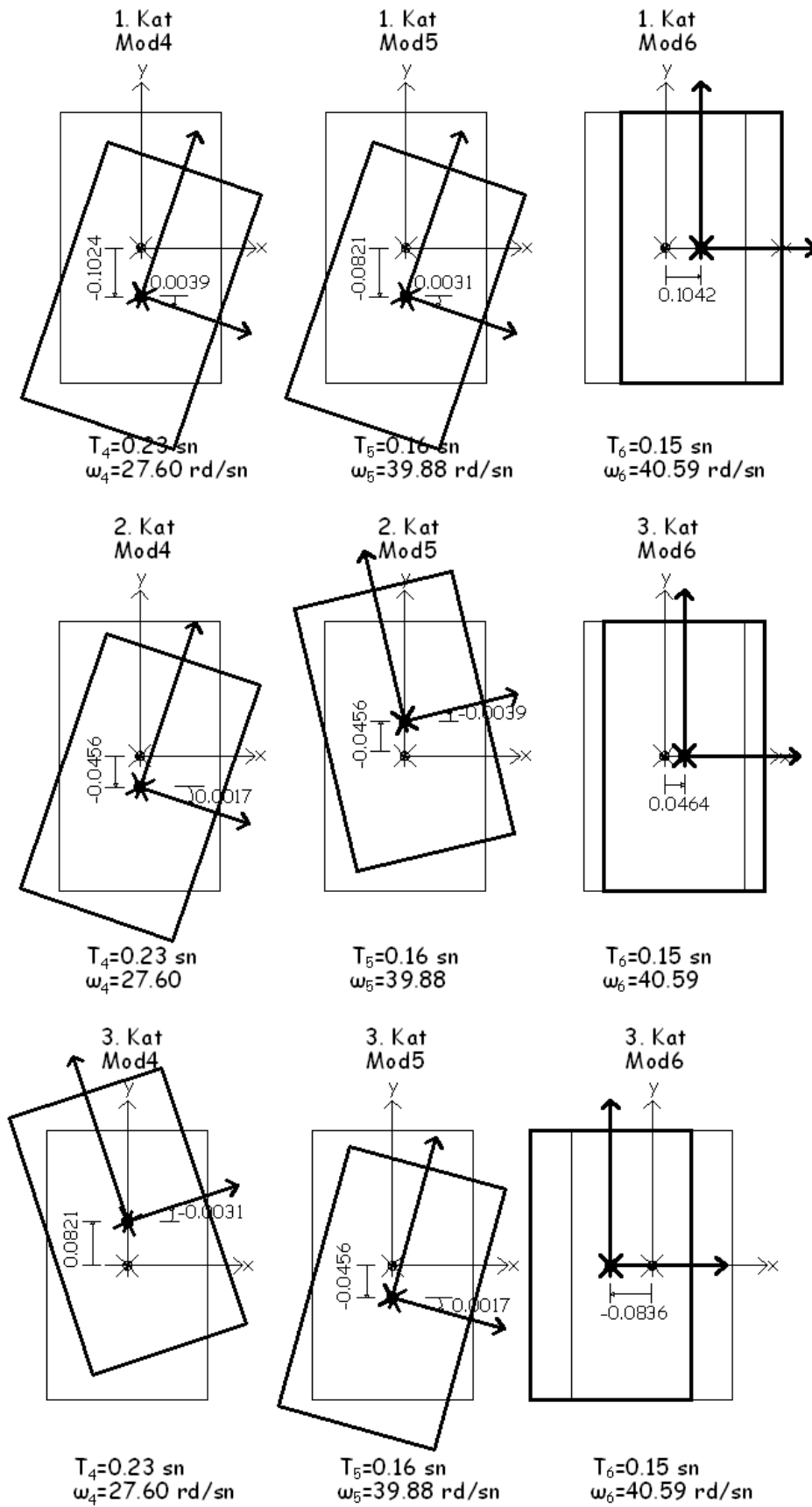


c) Katlara ait 4. 5. ve 6. mod biçimleri

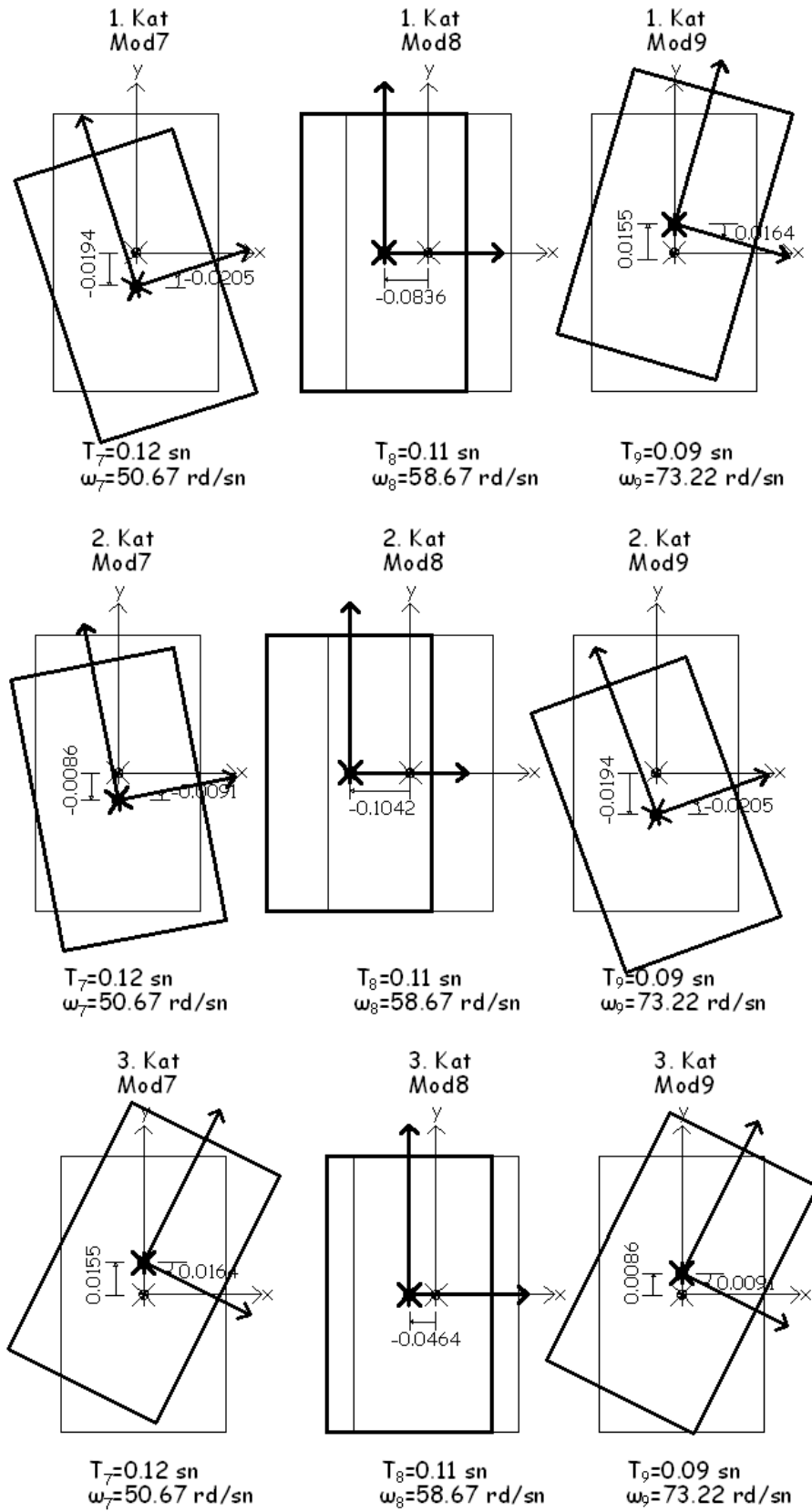
Şekil 3.10 Dış merkezliğin  $e=0$  olması durumunda oluşan mod biçimleri



a) Katlara ait 1. 2. ve 3. mod biçimleri

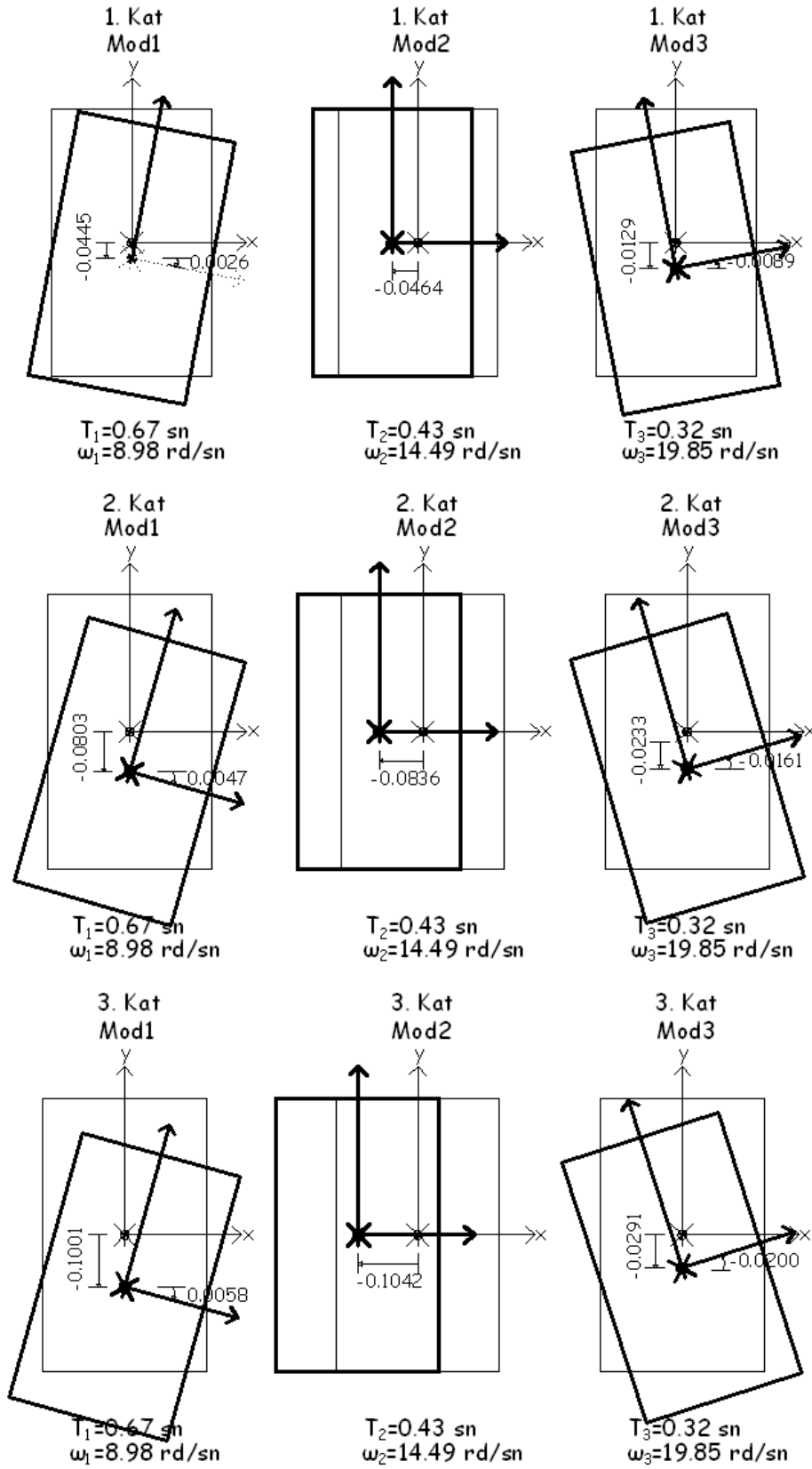


b) Katlara ait 4. 5. ve 6. mod biçimleri

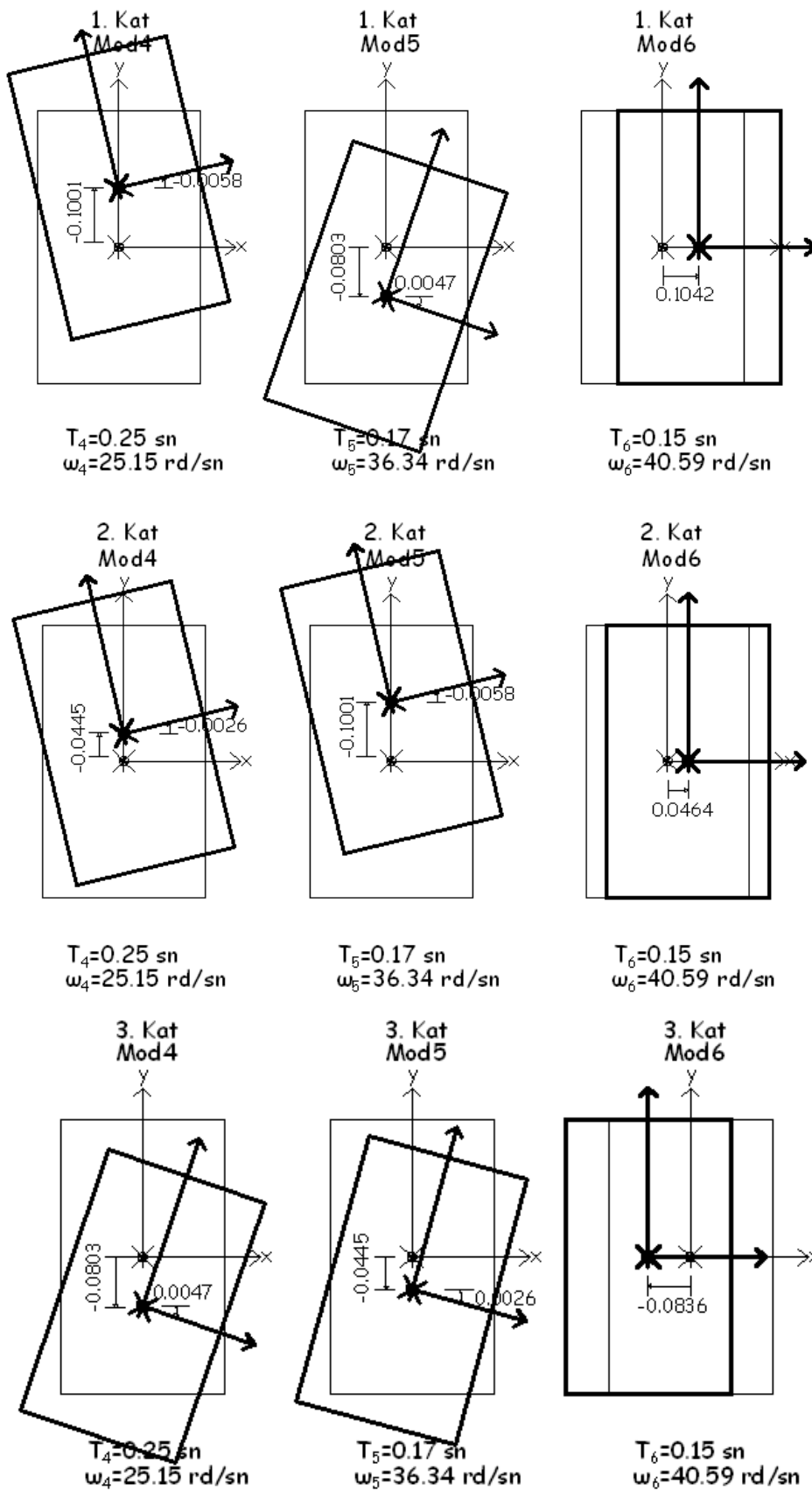


c) Katlara ait 7. 8. ve 9. mod biçimleri

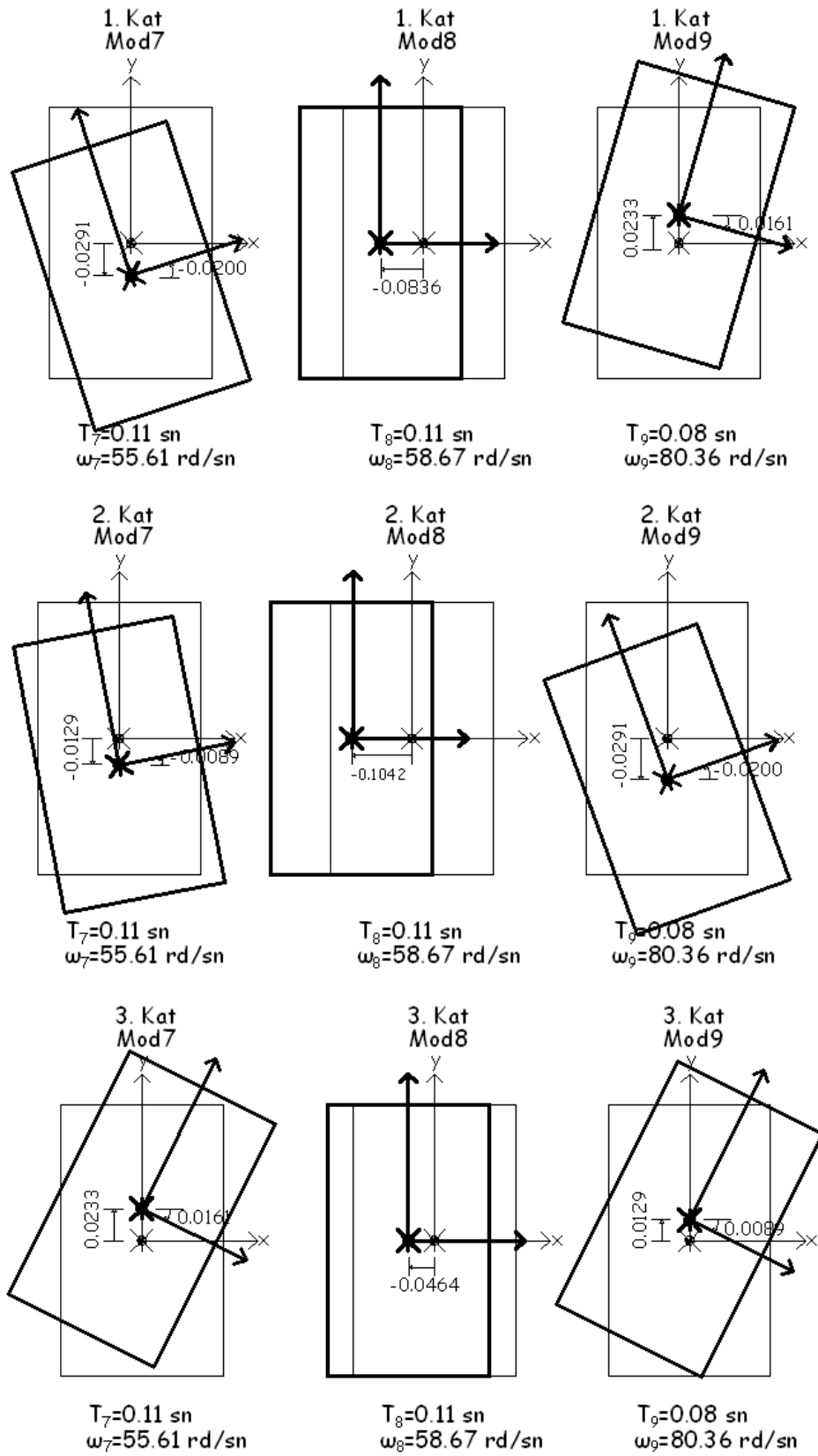
Şekil 3.11. Dış merkezliğin  $e=2$  m olması durumunda oluşan mod biçimleri



a) Katlara ait 1. 2. ve 3. mod biçimleri



b) Katlara ait 4. 5. ve 6. mod biçimleri

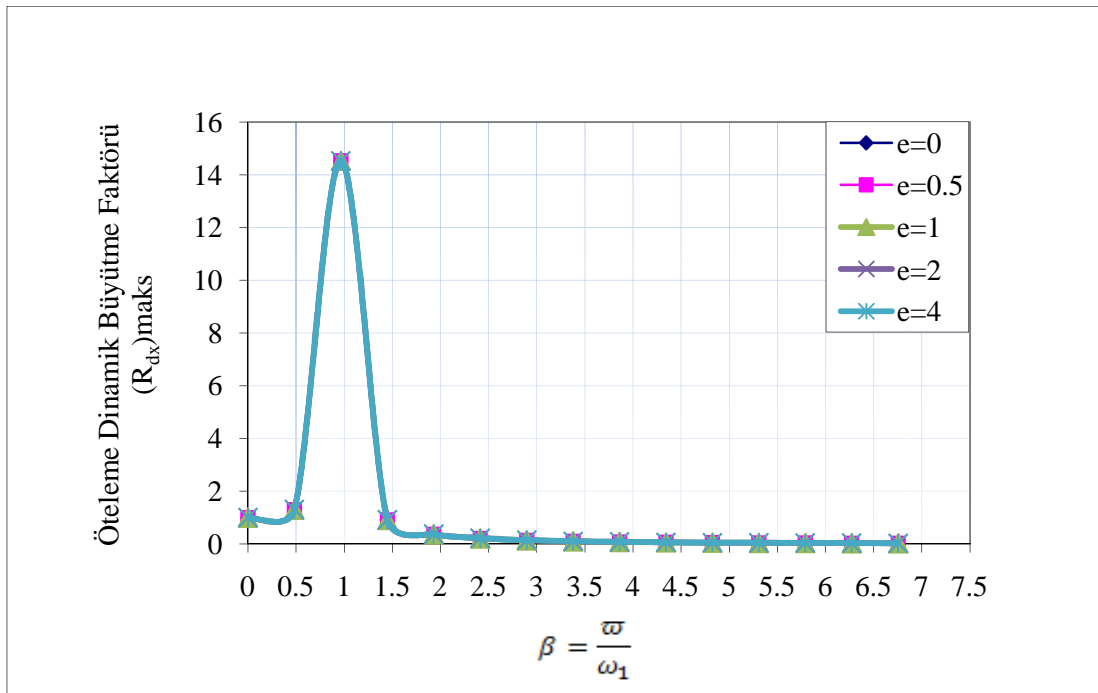


c) Katlara ait 7. 8. ve 9. mod biçimleri

Şekil 3.12. Dış merkezliğin  $e=4$  m olması durumunda oluşan mod biçimleri

### 3.3. Sinüzoidal Tipte Yanal Yüke Maruz Tek Katlı Uzay Çerçeve Sistemin Zorlanmış Titreşiminin İncelenmesi

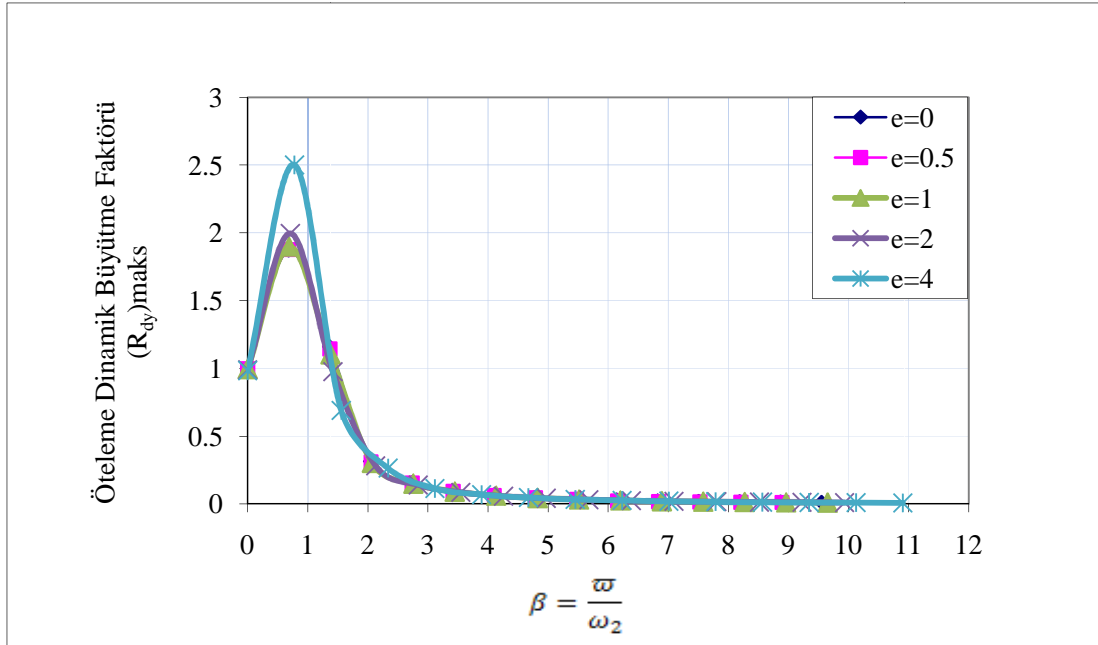
Tek katlı uzay çerçeve sistemin değişen dış merkezlik ve rijitlik oranları ( $\alpha$ ) için dinamik büyütme ve yanal yerdeğiştirme bileşenleri boyutsuz frekans parametrelerine bağlı değişimleri elde edilmiştir. Kuvvetin x ve y doğrultularına göre etki etmesi ayrıca yapısal çözümlerinde dikkate alınmıştır.



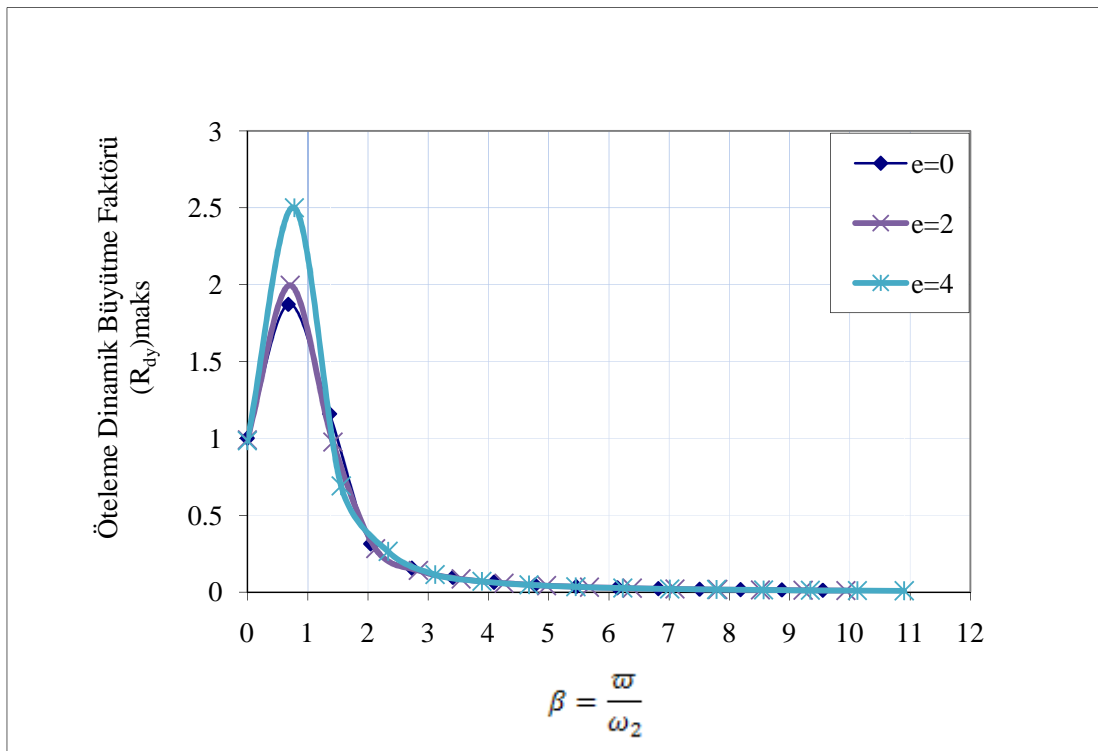
Şekil 3.13. Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )

Şekil 3.13'de Sinüsoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda  $(R_{dx})_{maks}$  dinamik büyütme faktörünün farklı dış merkezliklere göre kayda değer oranda değişmediği görülmektedir. Rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \approx 1$ ) durumunda dinamik büyütme faktörünün statik değeri yaklaşık olarak 15 kat büyüttüğü görülmüştür.

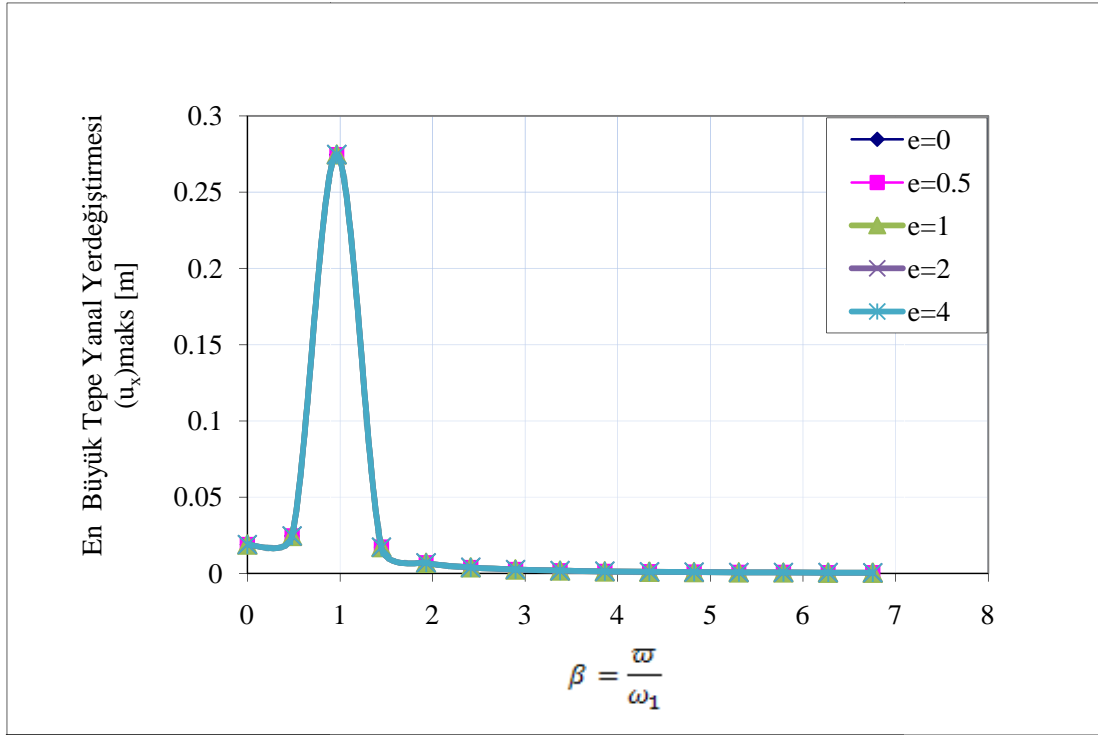




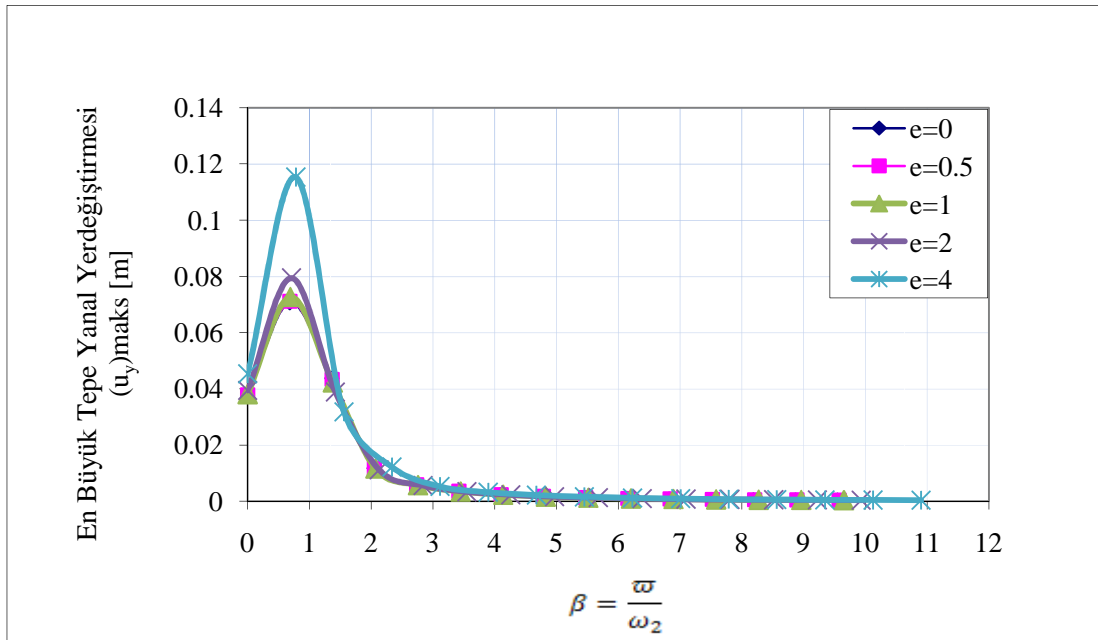
Şekil 3.14. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )



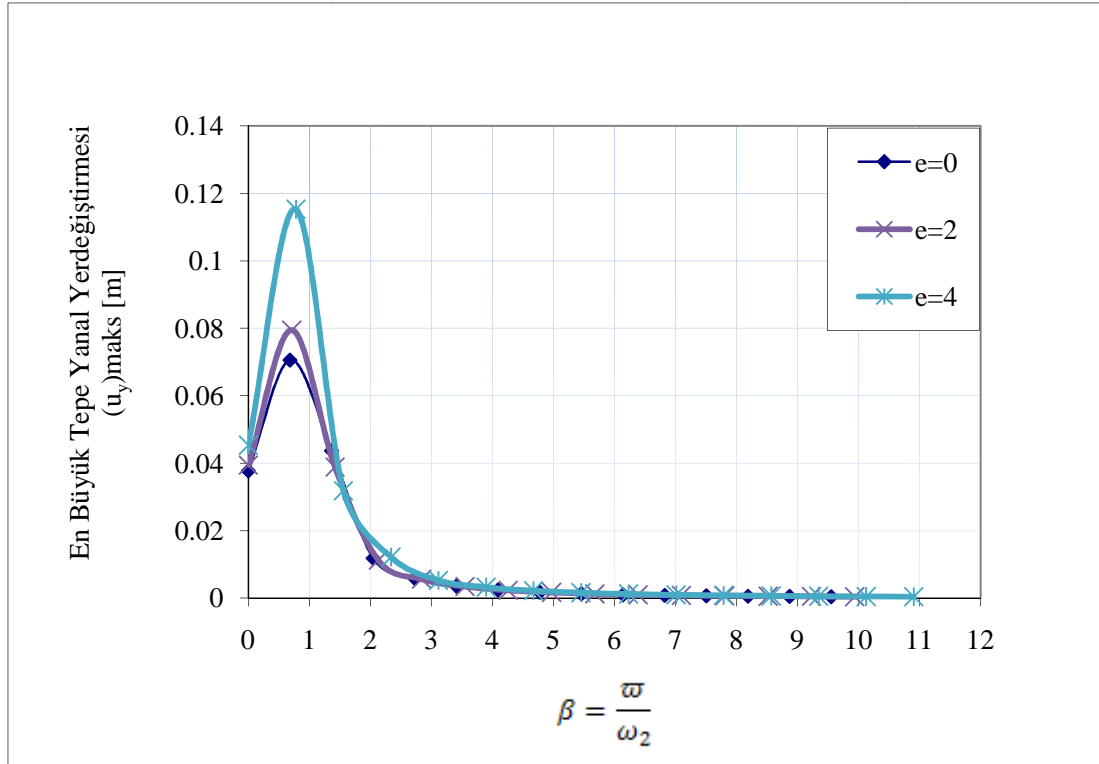
Şekil 3.15. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )



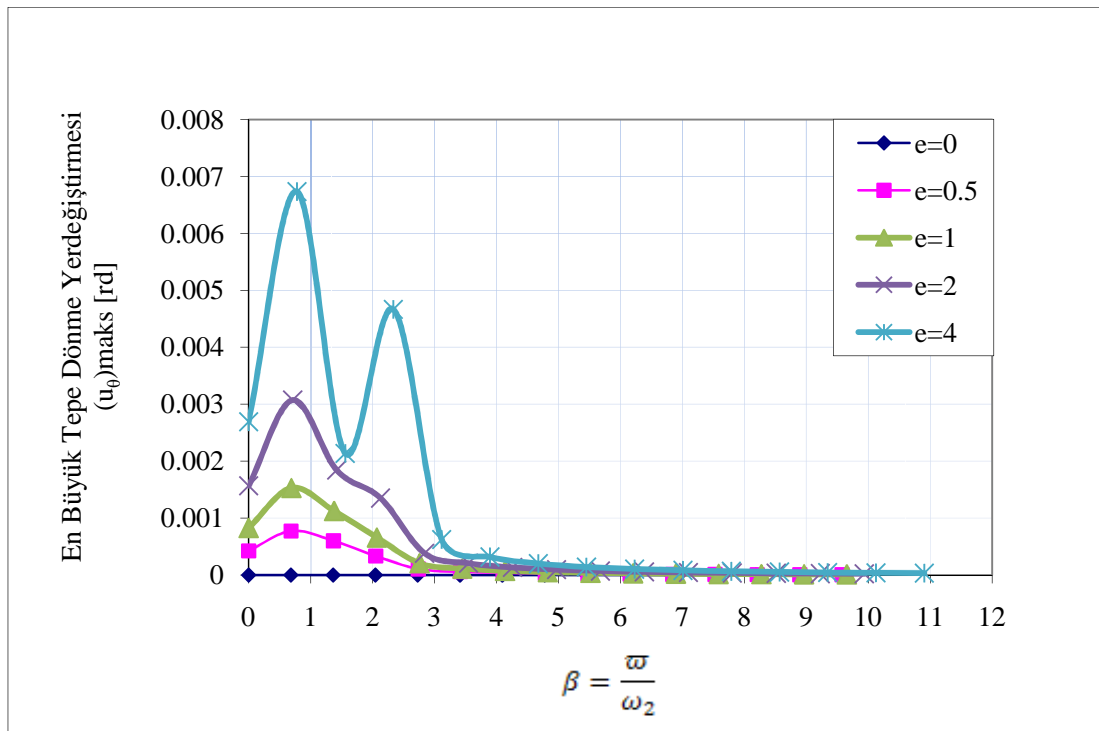
Şekil 3.16. Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )



Şekil 3.17. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )

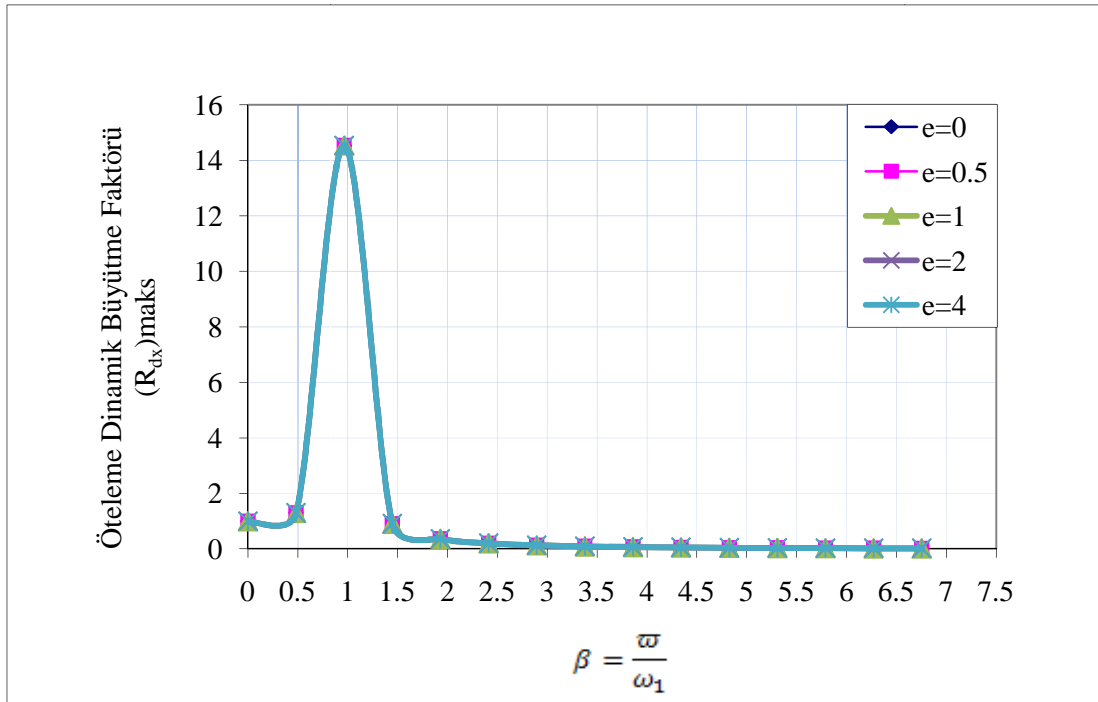


Şekil 3.18. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )

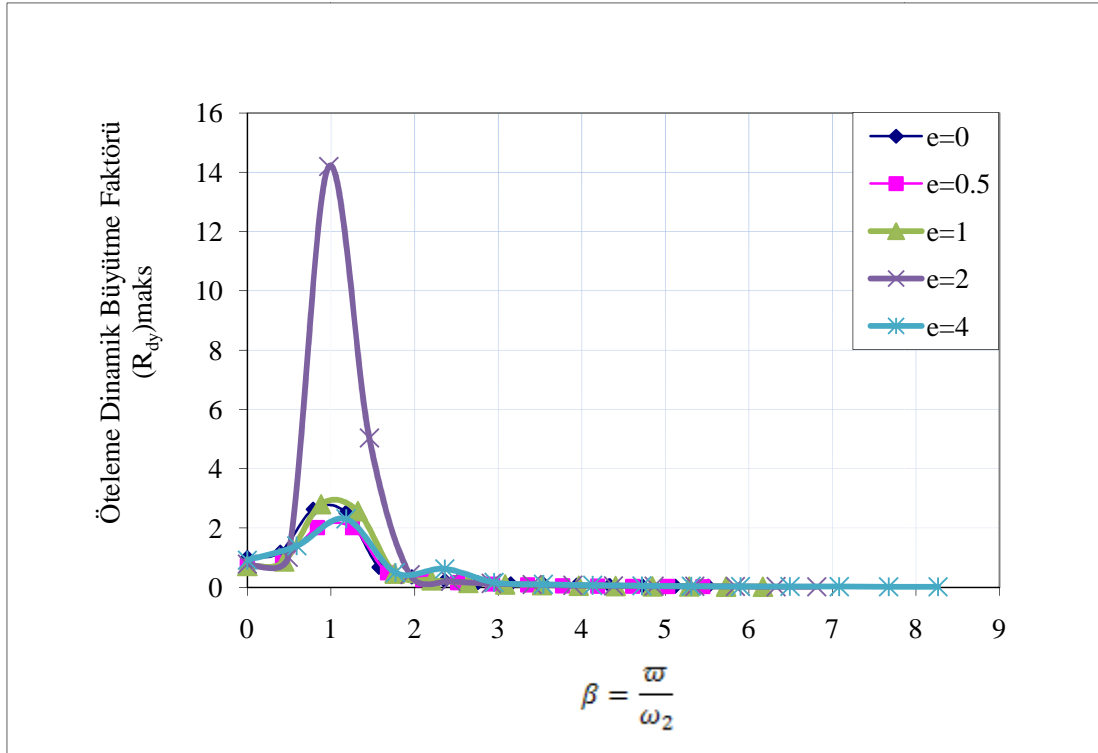


Şekil 3.19. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )

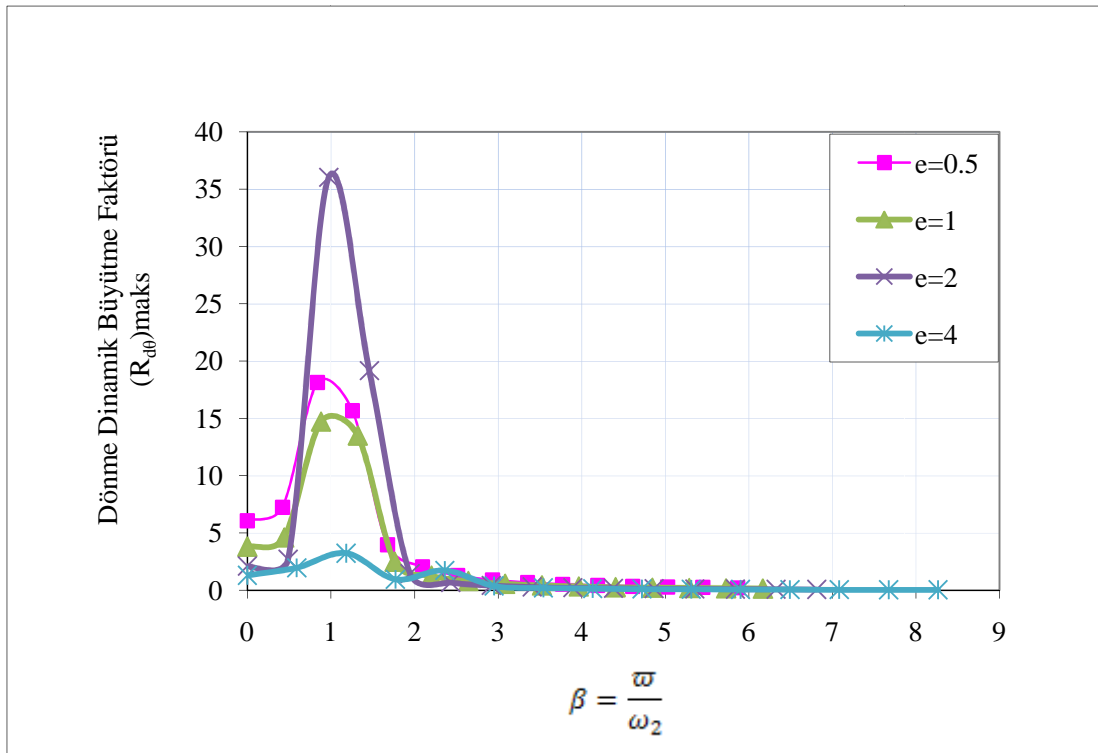
Şekil 3.14’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dış merkezlik değeri arttıkça sürece dinamik büyütme faktörünün  $(R_{dy})_{maks}$  arttığı görülmektedir. Rezonans değerine yaklaşıldığında ( $\beta \approx 1$ ) durumda, dinamik büyütme faktörü  $e=0$  olması durumunda 1.8 iken,  $e=4$  m olması durumunda 2.5 değerine ulaşmıştır. Şekil 3.16’da Sinüsodial yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda rezonans değerine yaklaşıldığında ( $\beta \approx 1$ ) durumda yanal yerdeğiştirme miktarı 0.03 m değerinden 0.27 m değerine kadar frekansa bağlı olarak 9 kat büyümüştür. Şekil 3.17’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda yanal yerdeğiştirme miktarı dış merkezliğe bağlı olarak 0.065m değerinden 0.195m değerine artmıştır. Şekil 3.19’da Sinüsodial yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dönme yerdeğiştirme miktarı dış merkezlik arttıkça yanal yerdeğiştirme miktarı artmaktadır. Rezonans değerine yaklaşıldığında ( $\beta \approx 1$ ) durumda, dönme yerdeğiştirme miktarı dış merkezliğe bağlı olarak  $e=0$  dan  $e=4$  m değerine getirildiğinde 8.5 kat artmaktadır.



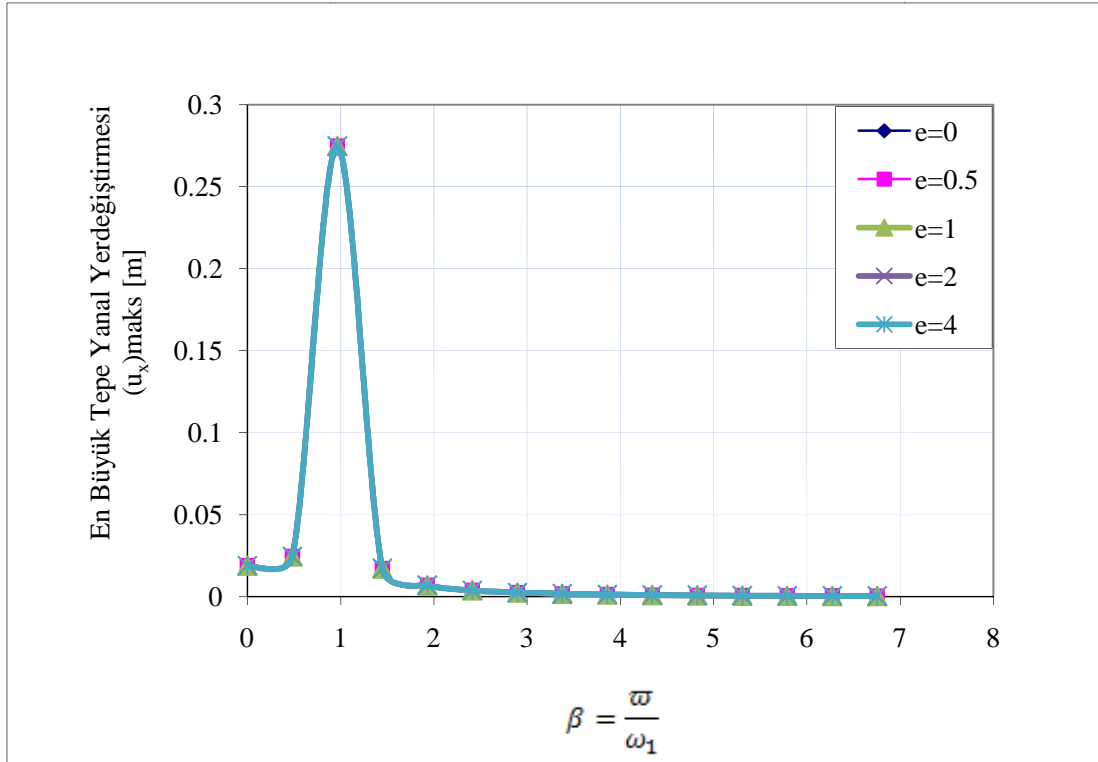
Şekil 3.20. Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



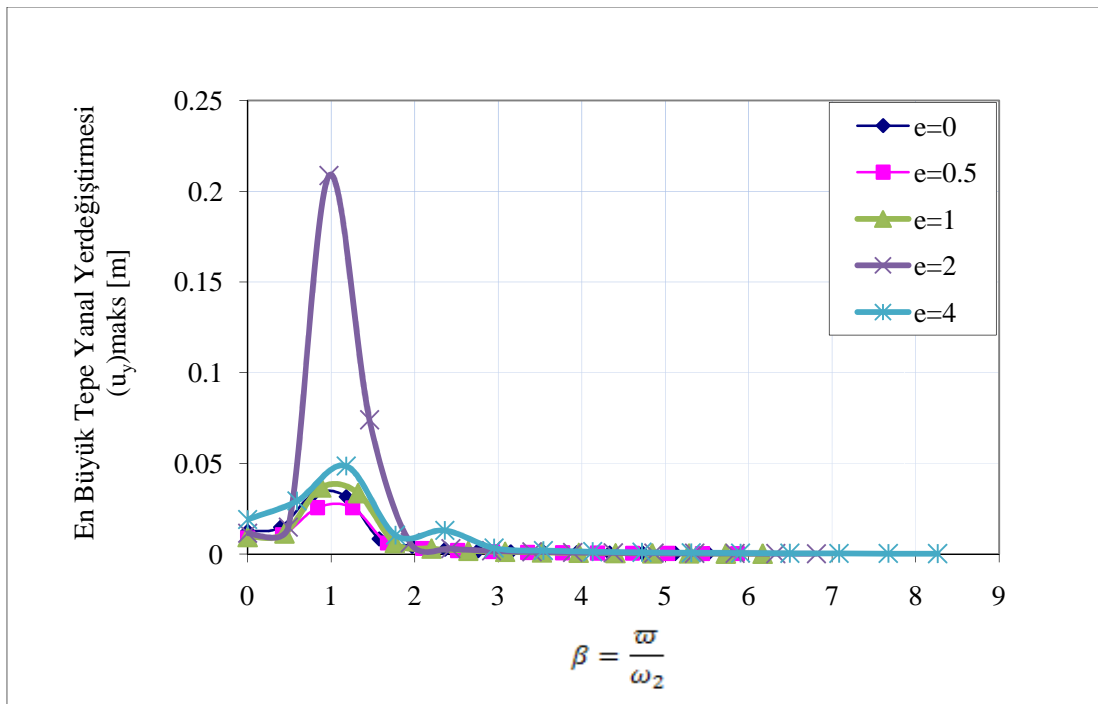
Şekil 3.21. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütmeye faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



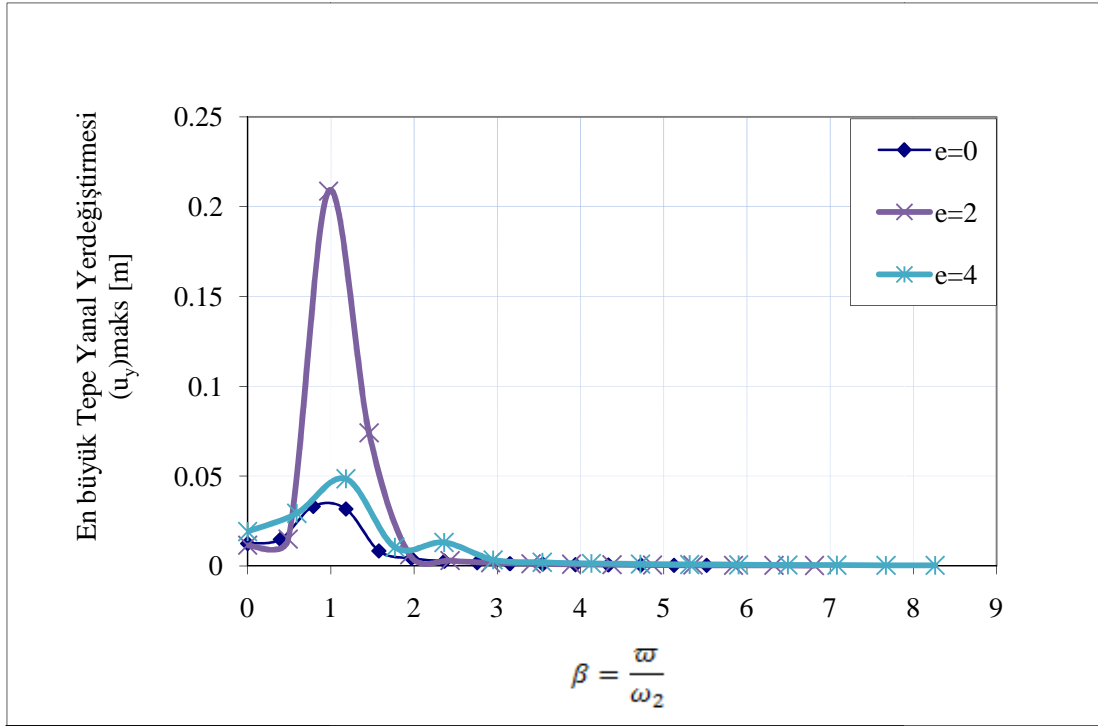
Şekil 3.22. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütmeye faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



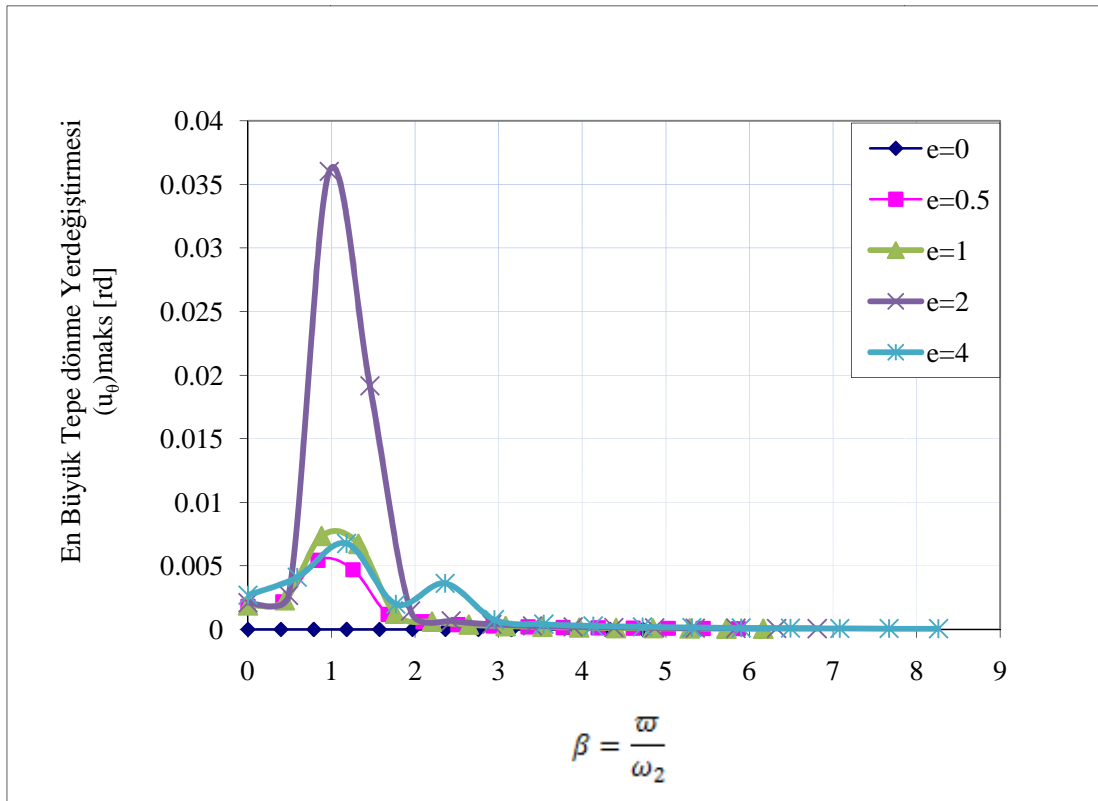
Şekil 3.23. Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



Şekil 3.24. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



Şekil 3.25. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanıl yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )

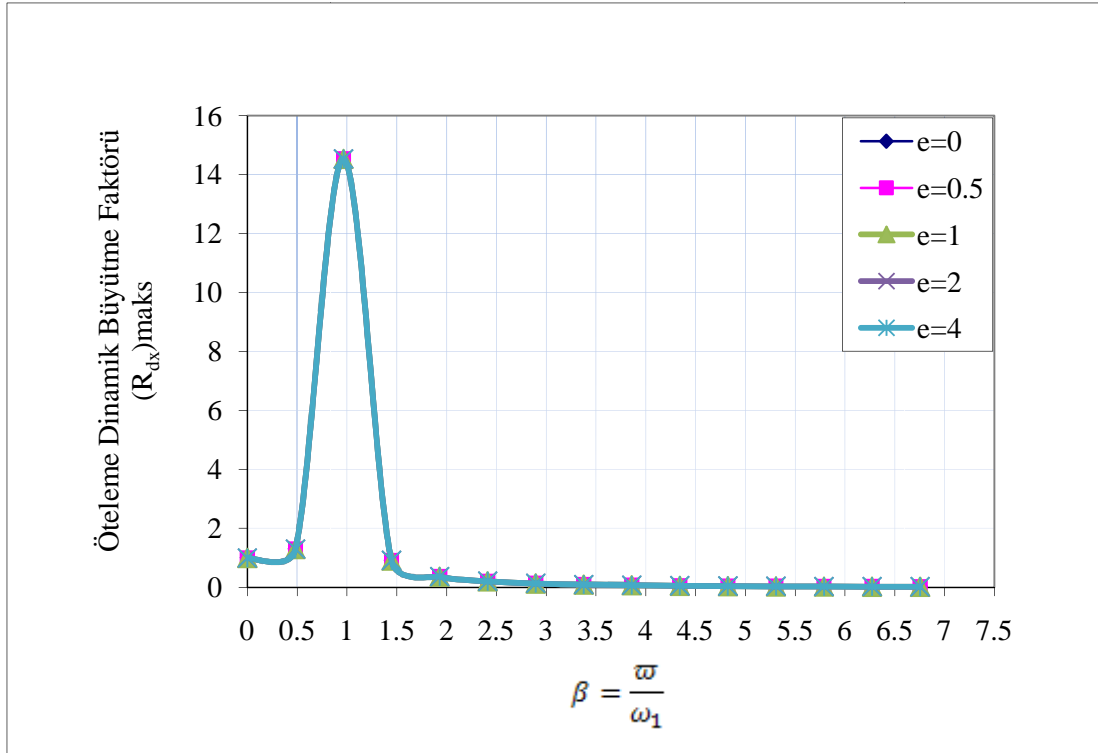


Şekil 3.26. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )

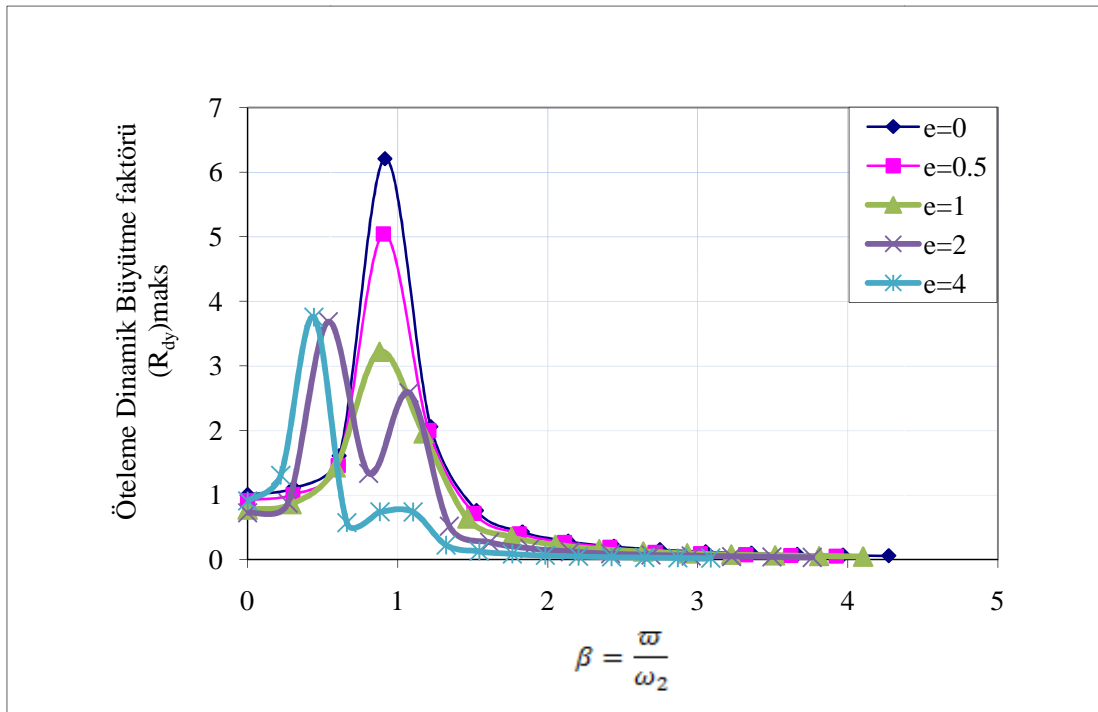
Tek katlı yapı sisteminin rijitliğinin  $K_{yA} = 3K_{xB}$  olması durumunda elde edilen grafikler incelendiğinde;

Şekil 3.20’de Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda  $(R_{dx})_{maks}$  dinamik büyütme faktörünün farklı dış merkezliklere göre kayda değer oranda değişmediği görülmektedir. Rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda, dinamik büyütme faktörünün statik değeri yaklaşık olarak 15 kat büyüttüğü görülmüştür. Şekil 3.21’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dış merkezlik  $e=0$  değerinden  $e=2$  m değerine arttığında dinamik büyütme faktörünün  $(R_{dy})_{maks}$  arttığı görülmektedir. Rezonans değerine ( $\beta \cong 1$ ) durumda  $e=2$  m değerinde yaklaşıldığı, dinamik büyütme faktörü  $e=0$  olması durumunda 2.6 iken,  $e=2$  m olması durumunda 14.2 değerine 5.45 kat artmıştır. Şekil 3.23’de sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda yanal yerdeğiştirme değeri frekansa bağlı olarak değişmektedir. Rezonans değerine yaklaştığında ( $\beta \cong 1$ ) yanal yerdeğiştirme miktarı 0.02 m değerinden 0.28 m değerine kadar frekansa bağlı olarak 14 kat artmaktadır. Şekil 3.24’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dış merkezlik  $e=0$  değerinden  $e=2$  m değerine arttığında yanal yerdeğiştirme değerinin arttığı görülmektedir. Rezonans değerine  $e=2$  m değerinde yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ), yanal yerdeğiştirme miktarı  $e=0$  olması durumunda 0.03m iken,  $e=2$  m olması durumunda 0.21m değerine 7 kat artmaktadır. Şekil 3.26’da Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dönme yerdeğiştirme miktarı dış merkezlik arttıkça değişmektedir. Rezonans değerine yaklaşıldığında ( $\beta \cong 1$ ), dönme yerdeğiştirme miktarı dış merkezliğe bağlı olarak  $e=0$  dan  $e=4$  m değerine getirildiğinde 5.5 kat artmaktadır.

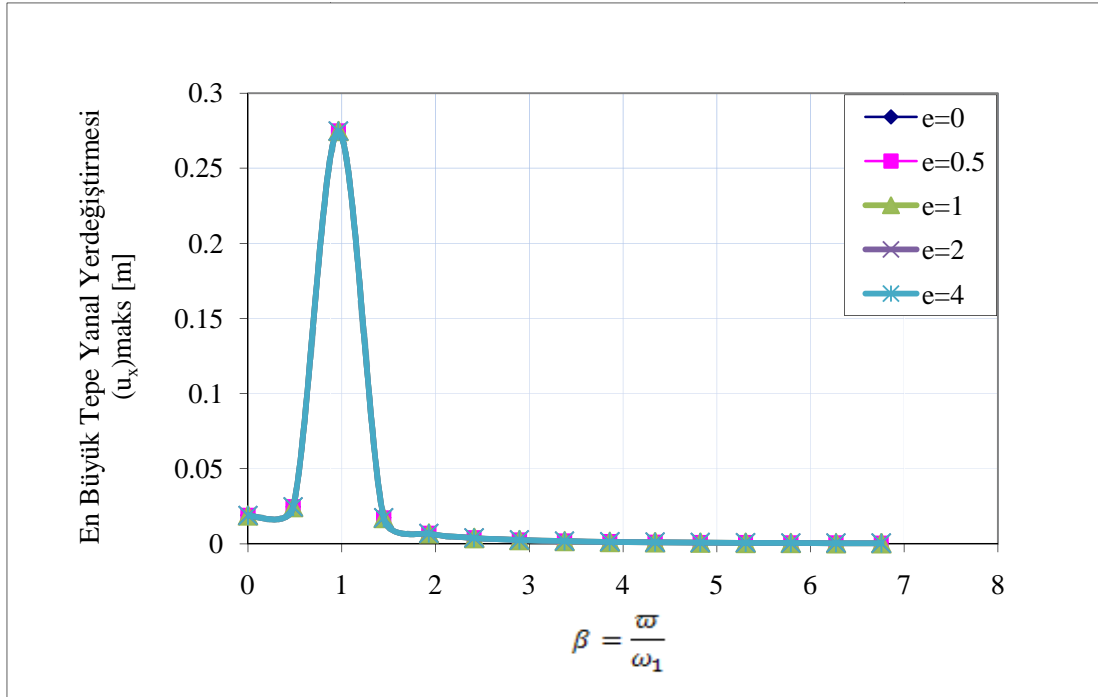




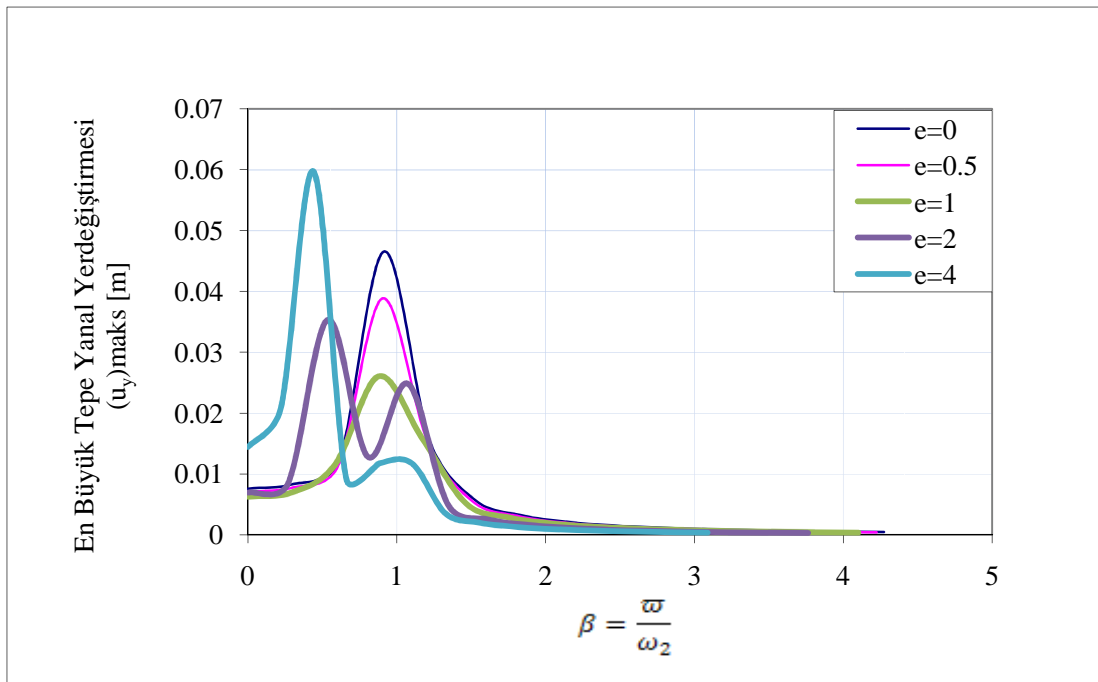
Şekil 3.27. Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )



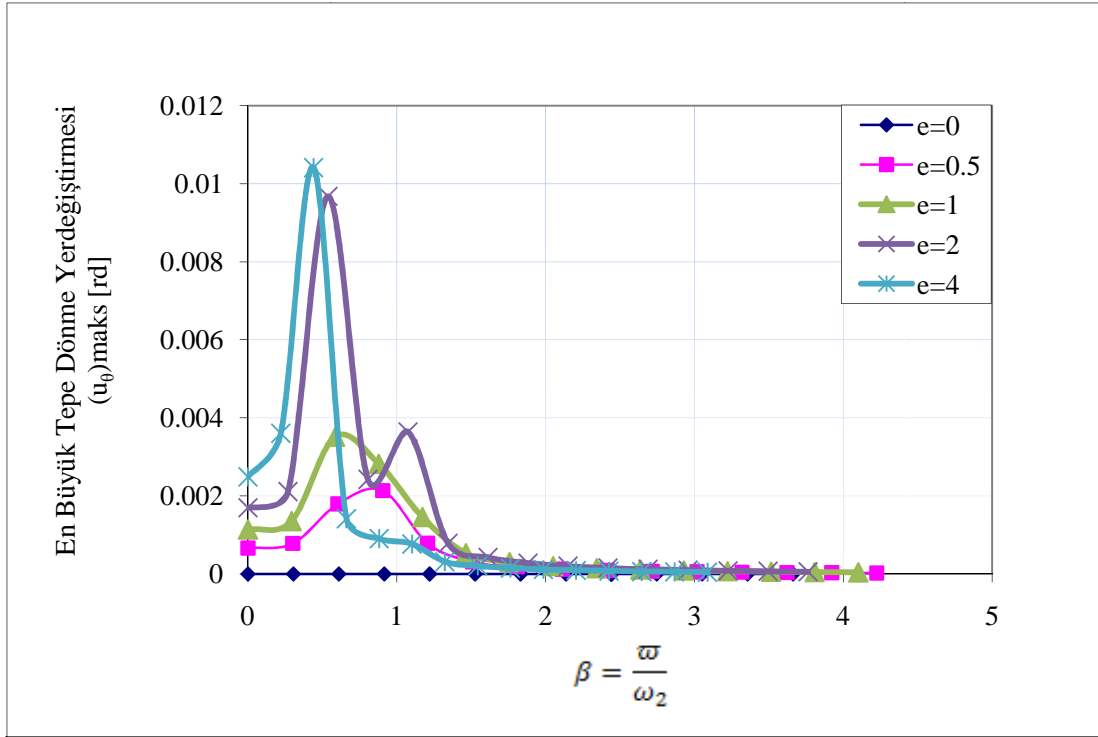
Şekil 3.28. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dinamik büyütme faktörünün dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )



Şekil 3.29. Sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )



Şekil 3.30. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )



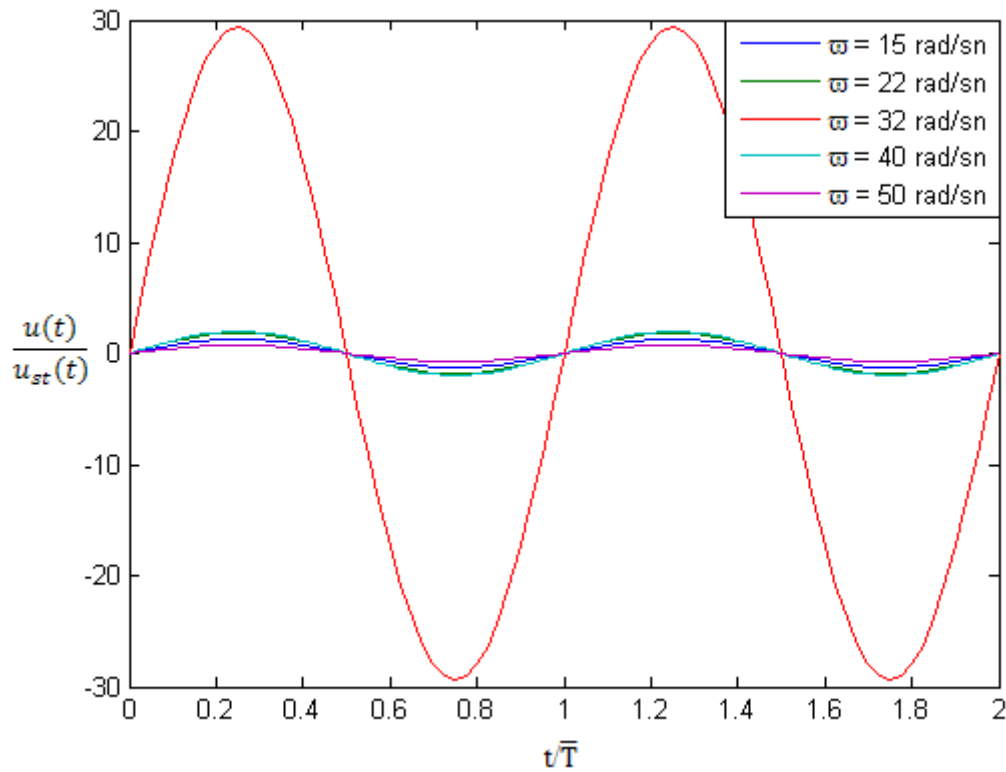
Şekil 3.31. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )

Tek katlı yapı sisteminin rijitliğinin  $K_{yA} = 5K_{xB}$  olması durumunda elde edilen grafikler incelendiğinde;

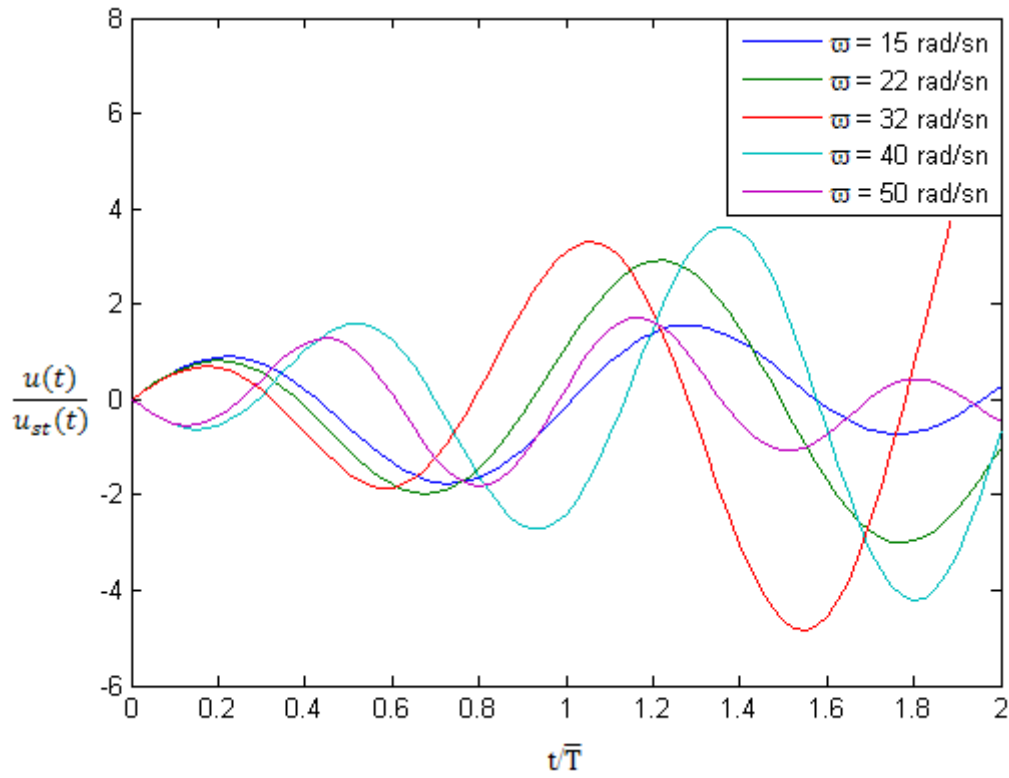
Şekil 3.27'de sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi halinde  $(R_x)_{maks}$  dinamik büyütme faktörünün farklı dış merkezliklere göre kayda değer oranda değişmediği görülmektedir. Rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \approx 1$ ) durumda dinamik büyütme faktörünün statik değeri yaklaşık olarak 15 kat büyüttüğü görülmüştür. Şekil 3.28'de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi halinde dış merkezlik  $e=0$  durumunda rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \approx 1$ ) için en büyük yanal yerdeğiştirme yapmaktadır.  $e=2$  m ve  $e=4$  m olması durumlarında iki tane maksimum yanal yerdeğiştirme yapmaktadır. Şekil 3.29'da sinüzoidal yükün x-x doğrultusunda etki etmesi halinde yanal yerdeğiştirme değeri frekansa bağlı olarak değişmektedir. Rezonans değerine yaklaştığında ( $\beta \approx 1$ ) durumda yanal yerdeğiştirme miktarı 0.02 m değerinden 0.28 m değerine kadar frekansa bağlı olarak 14 kat artmaktadır. Dış merkezliğin değişimi ile yanal yerdeğiştirme değerinde kayda değer bir değişiklik meydana gelmemektedir. Şekil 3.30'da sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dış merkezlik arttıkça yerdeğiştirme miktarının arttığı görülmektedir.

Şekil 3.31’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dönme yerdeğiştirme miktarı dış merkezlik arttıkça artmaktadır. Dış merkezliğin olmadığı durumda dönme yerdeğiştirmesi meydana gelmemektedir. Dışmerkezliğin  $e=0.5$  m’den  $e=4$  m’ye artması durumunda dönme yerdeğiştirmesi 4.5 kat artmaktadır.

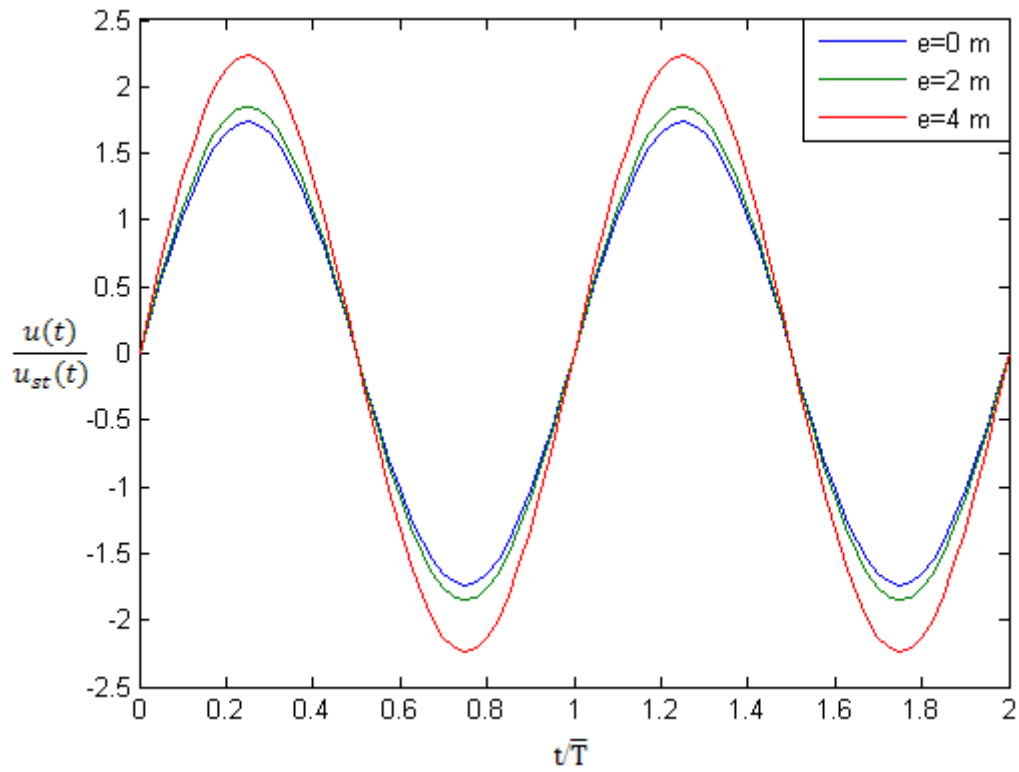
Tek katlı uzay çerçeve sistemin değişen dış merkezlik için elde edilen en büyük boyutsuz yanal yerdeğiştirmenin dış yükün farklı frekanslarına bağlı değişimi kalıcı ve geçici titreşim durumları için ayrı ayrı elde edilmiştir.



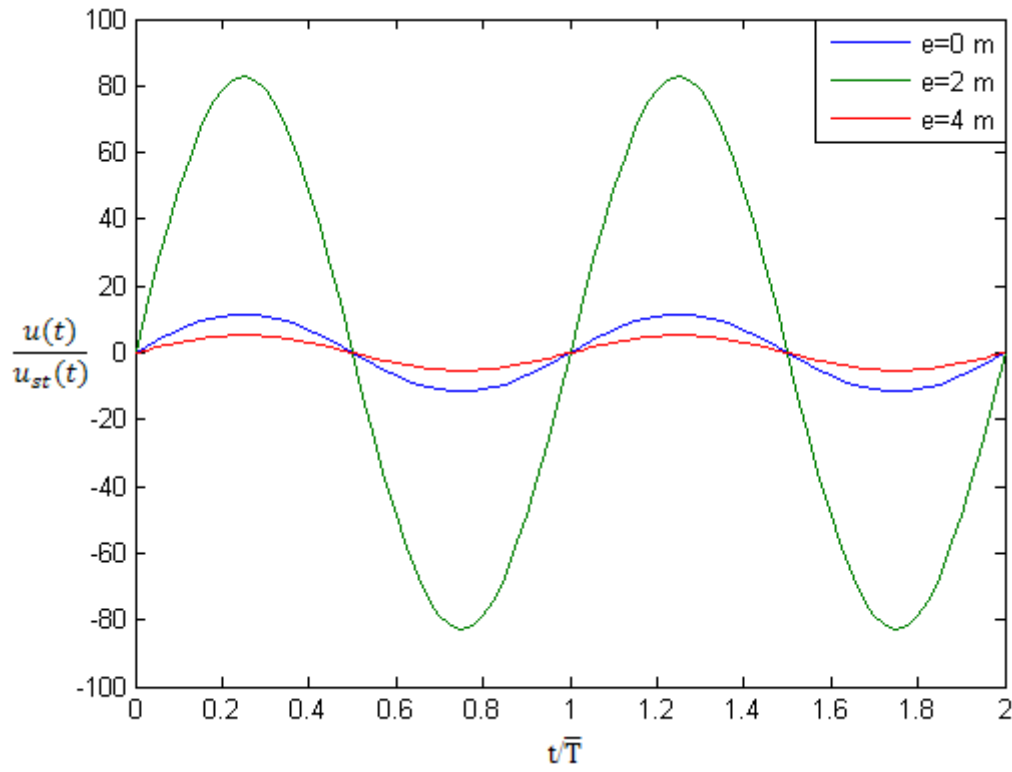
Şekil 3.32. x-x doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün farklı açısal frekans değerleri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



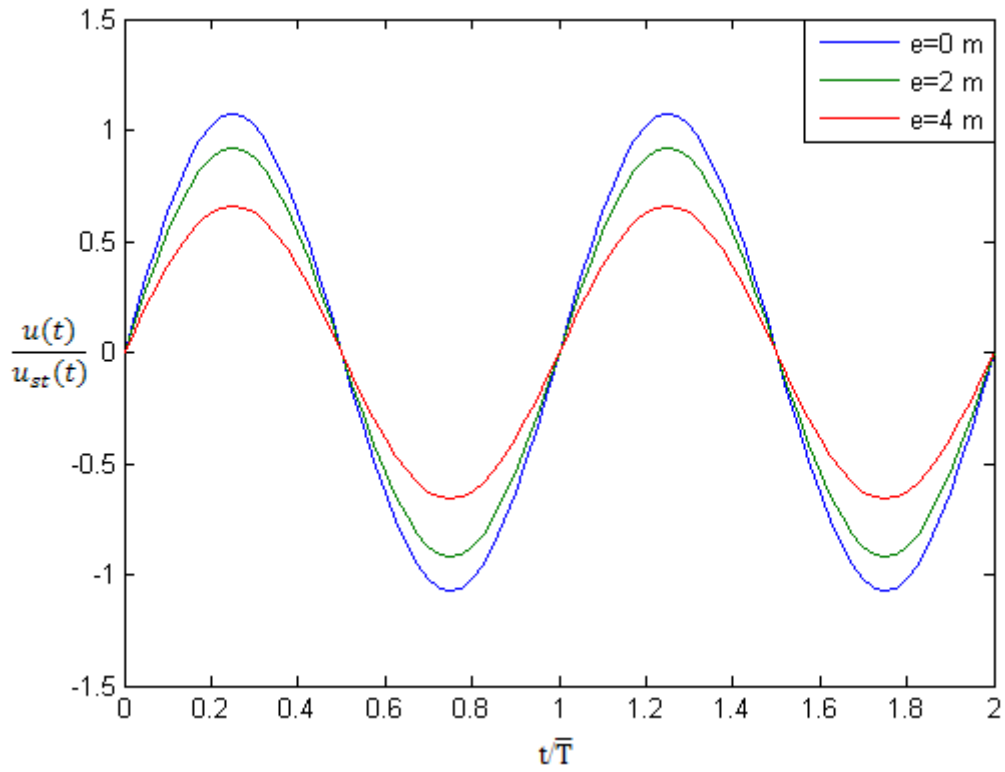
Şekil 3.33. x-x doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün farklı açısal frekans değerleri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



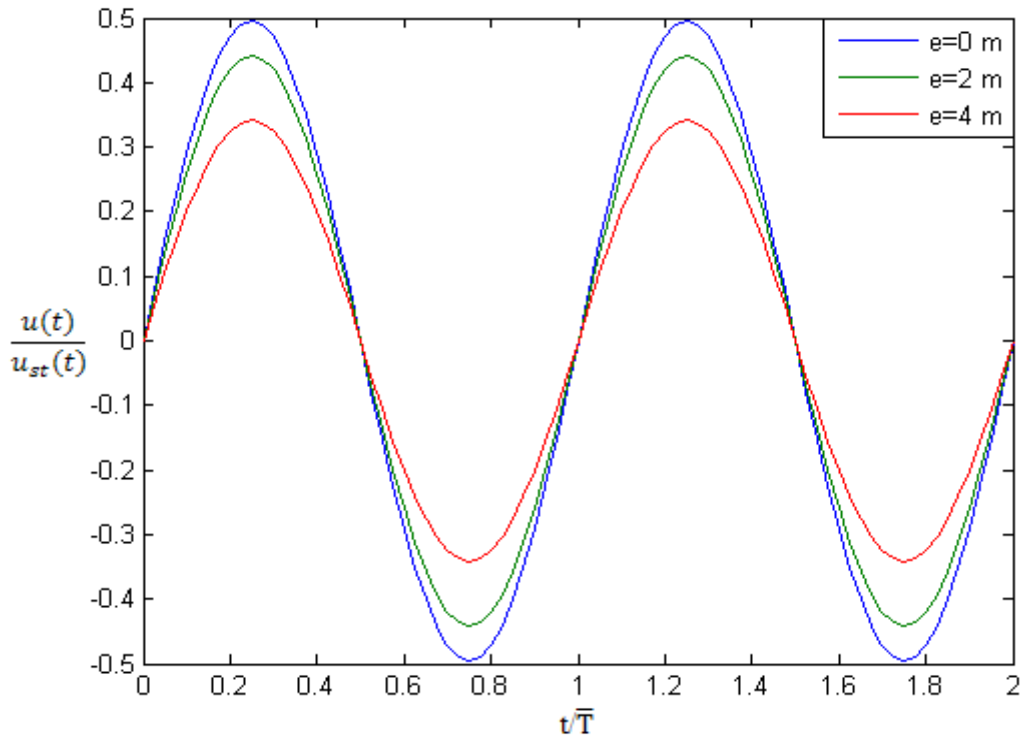
Şekil 3.34. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\varpi=15$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



Şekil 3.35. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=22$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



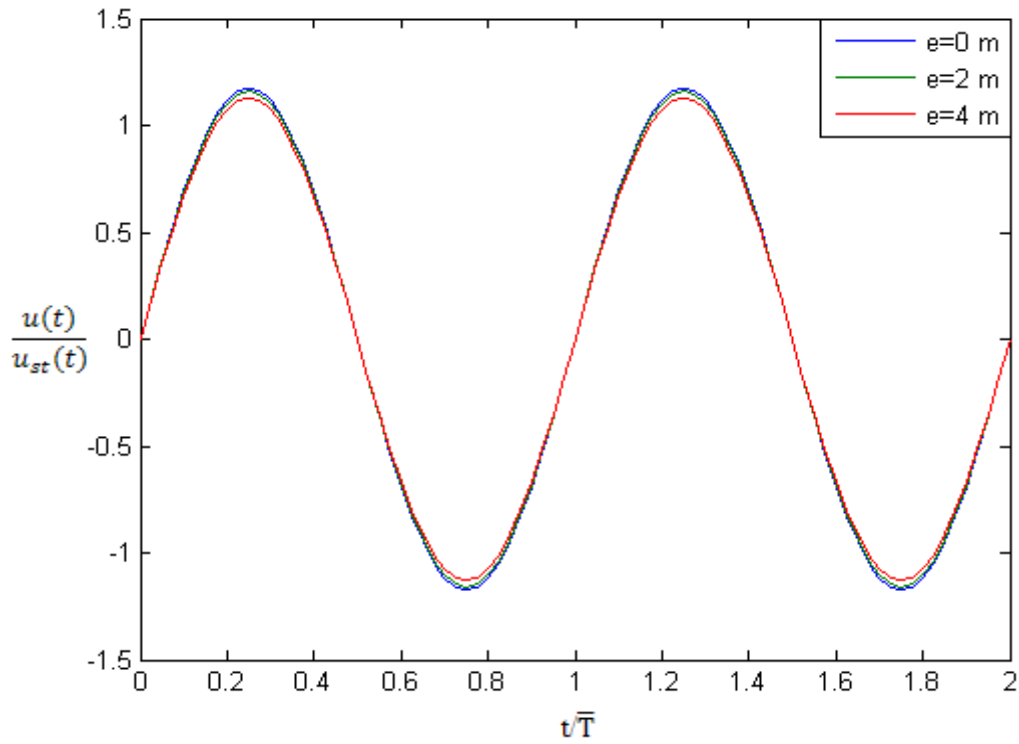
Şekil 3.36. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=32$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



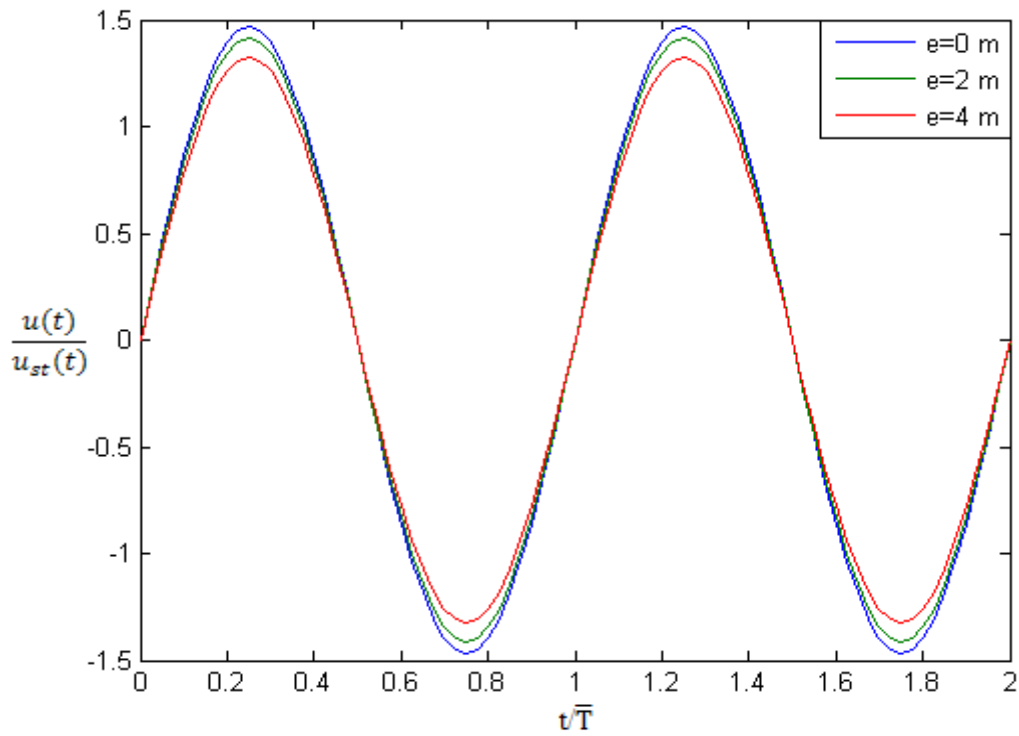
Şekil 3.37. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=40$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

Şekil 3.32'de x-x doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15, 22, 32, 40, 50$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zamana bağlı kalıcı titreşiminde  $\omega = 32$  rd/sn açısal frekans değerinde rezonans değerine yaklaşıldığında ( $\beta \approx 1$ ) durumda boyutsuz maksimum yanal yerdeğiştirme yapmaktadır. Şekil 3.33.'da x-x doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15, 22, 32, 40, 50$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında geçici titreşiminde  $\omega = 32$  rd/sn frekans değerinde rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \approx 1$ ) durumda boyutsuz maksimum yanal yerdeğiştirme yapmaktadır. Şekil 3.34'da y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15$  rd/sn açısal frekans değerinde ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşim yerdeğiştirme miktarları dış merkezlik arttıkça boyutsuz yanal yerdeğiştirme miktarı artmaktadır.  $e=4$  m olması durumunda 2.2 değerinde boyutsuz yanal yerdeğiştirme yapmaktadır. Şekil 3.35'de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 22$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşim rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \approx 1$ ) durumda en büyük boyutsuz yanal yerdeğiştirmeyi  $e=2$  m için yapmıştır. Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 32, 40$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşim  $e=0$  değerleri için

rezonans değerine yaklaştığı ( $\beta \approx 1$ ) durumda en büyük boyutsuz yanal yerdeğiştirmeleri yapmaktadır.

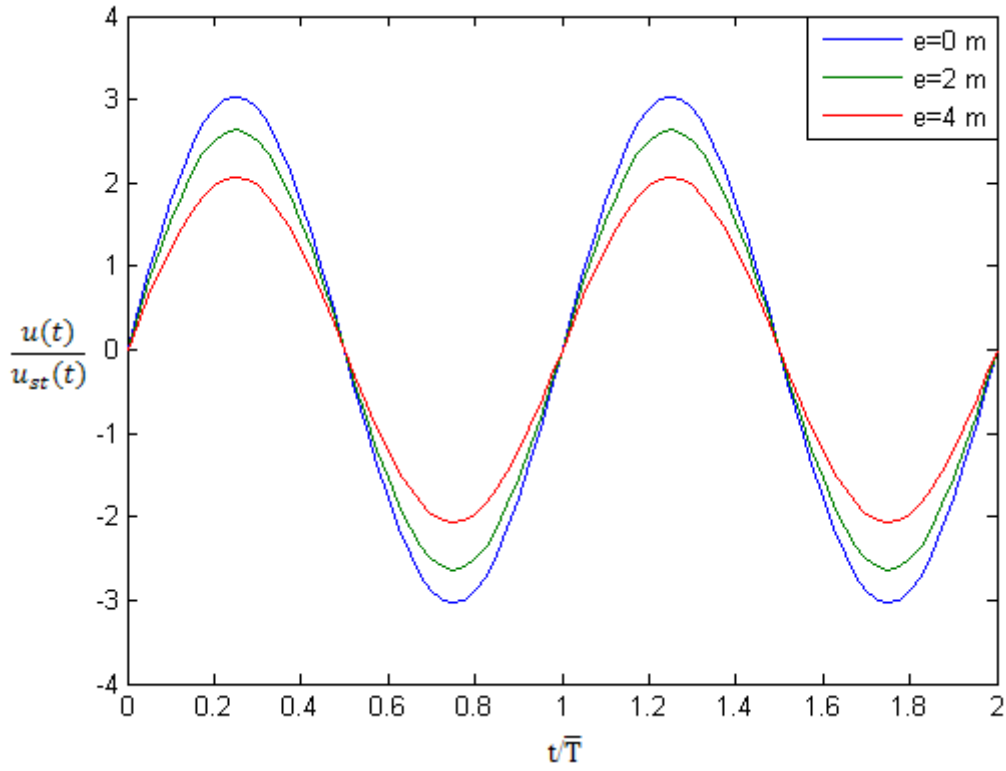


Şekil 3.38. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



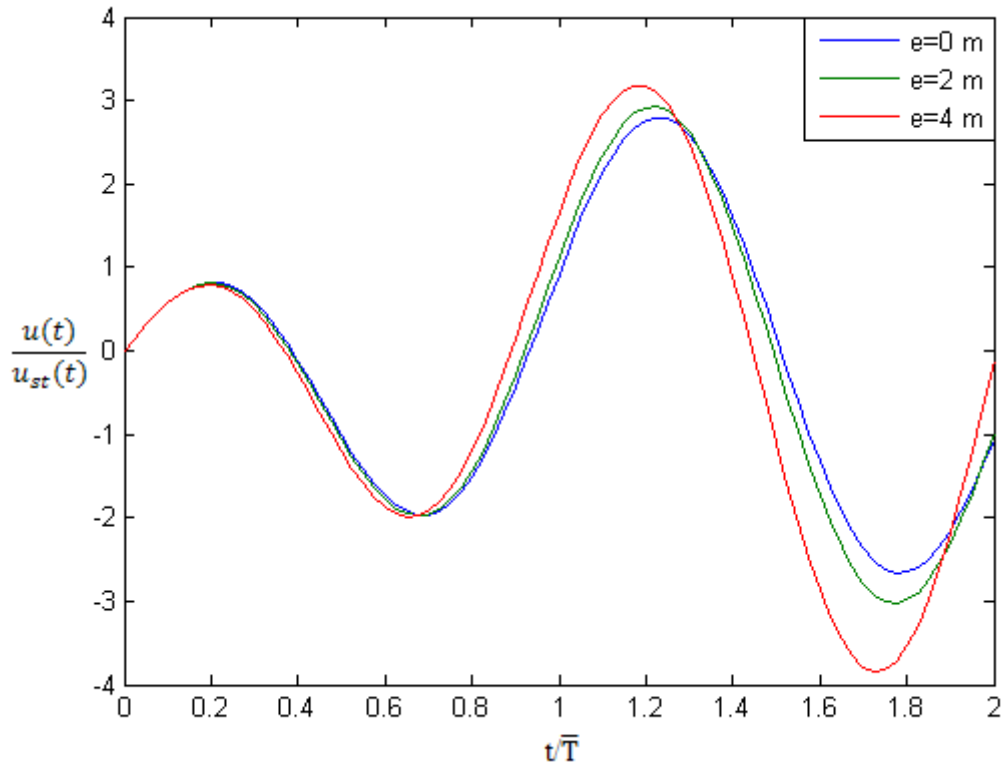
Şekil 3.39. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 22$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



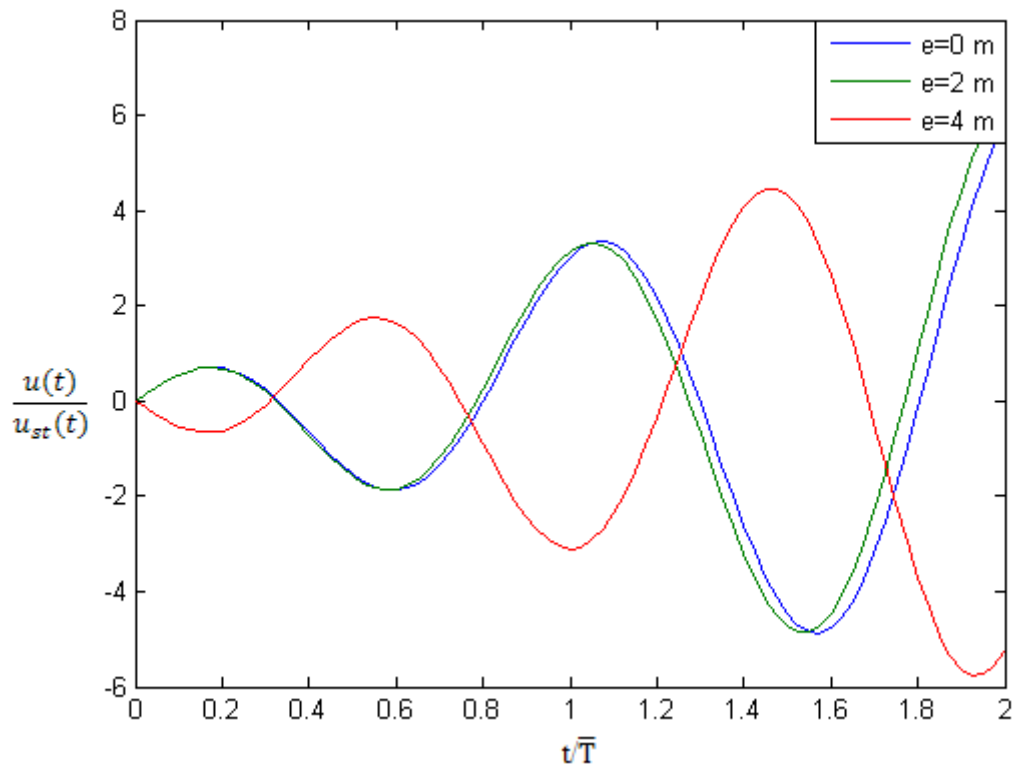


Şekil 3.40. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\bar{\omega} = 32$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

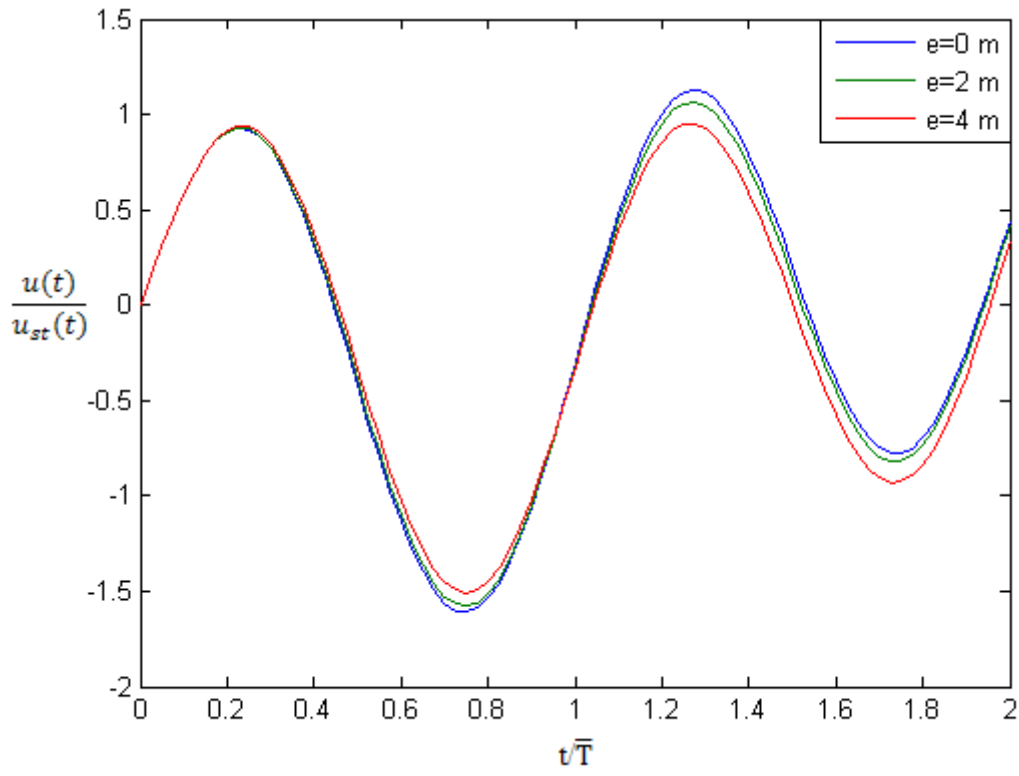
Şekil 3.38, Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'da y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün 15,22 ve 32 rd/sn açısal frekans değerlerinde ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşim  $e=0$  m durumundaki sistemin açısal frekansı rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \approx 1$ ) durumda en büyük boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi yapmaktadırlar.



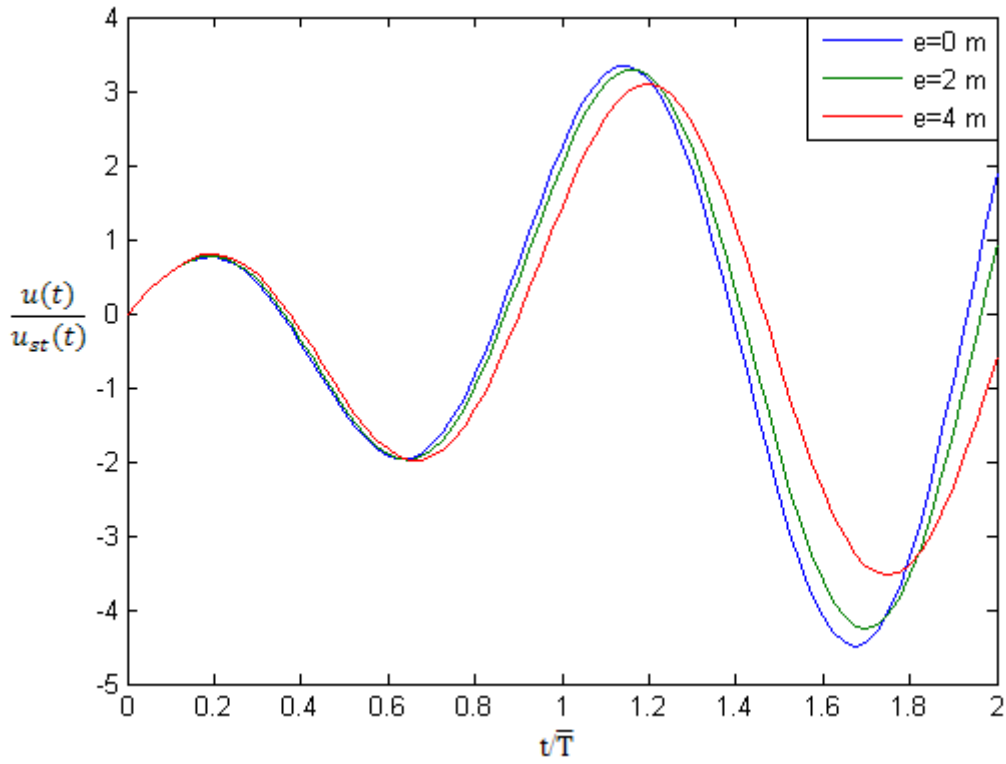
Şekil 3.41. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=15$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirilmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



Şekil 3.42. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=22$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirilmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



Şekil 3.43. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

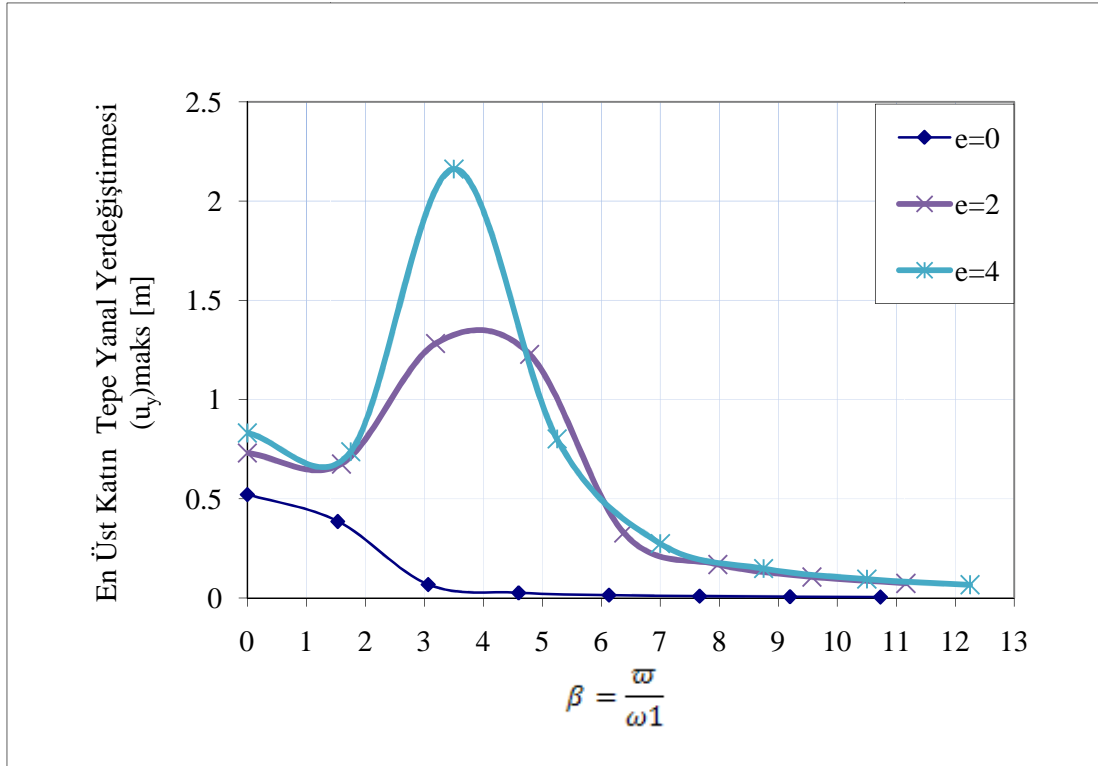


Şekil 3.44. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 22$  rd/sn için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

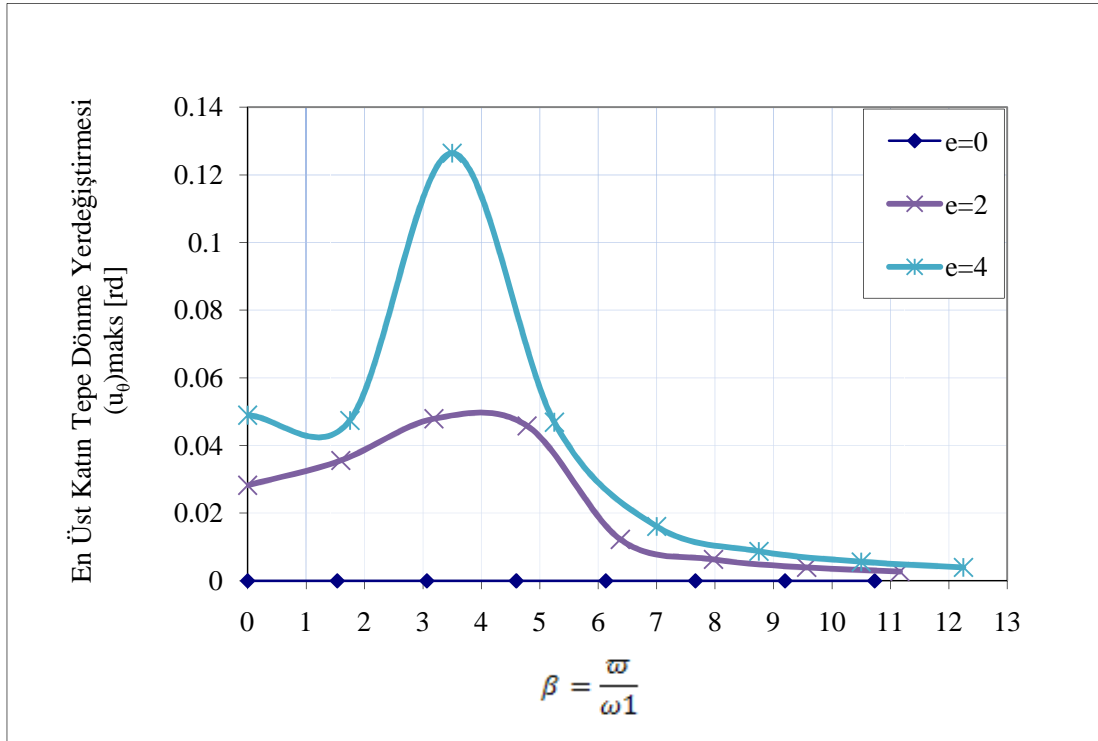
Şekil 3.41’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında geçici titreşim boyutsuz yerdeğiştirme değerleri dış merkezlik arttıkça artmaktadır. Şekil 3.42’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 22$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında geçici titreşim boyutsuz yerdeğiştirme değerleri dış merkezlik arttıkça artmaktadır. Şekil 3.43’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 15$  rd/sn açısal frekans değerinde ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşim  $e=0$  m durumundaki sistemin açısal frekansı rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda en büyük boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi yapmaktadır. Şekil 3.44’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 22$  rd/sn açısal frekans değerinde ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşim  $e=0$  m durumundaki sistemin açısal frekansı rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda en büyük boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi yapmaktadır.

### **3.4. Statik Genliğini Doğrusal Arttıran Sinüzoidal Yanal Yüklere Maruz Üç Katlı Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Zorlanmış Titreşiminin İncelenmesi**

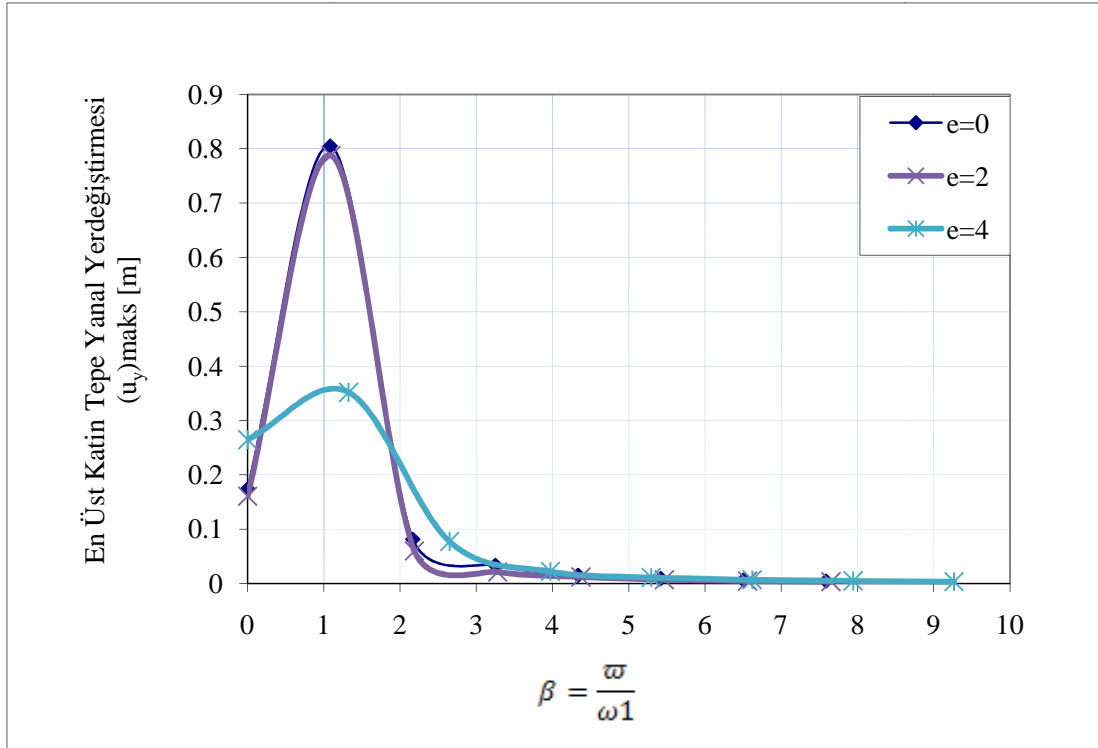
Üç katlı uzay çerçeve sistemin değişen dış merkezlik ve rijitlik oranları ( $\alpha$ ) için yanal yerdeğiştirme ve dönme yerdeğiştirmesi bileşenleri boyutsuz frekans parametrelerine bağlı değişimleri elde edilmiştir. Kuvvetin x ve y doğrultularına göre etki etmesi ayrıca yapısal çözümlerinde dikkate alınmıştır.



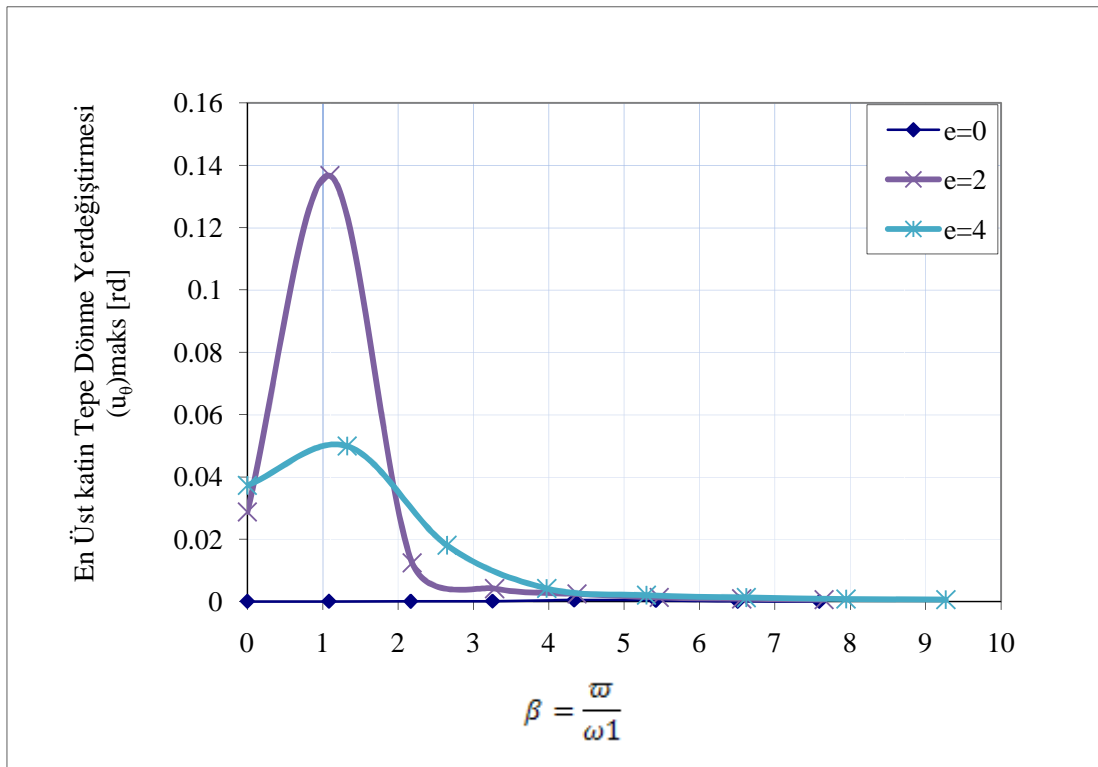
Şekil 3.45. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )



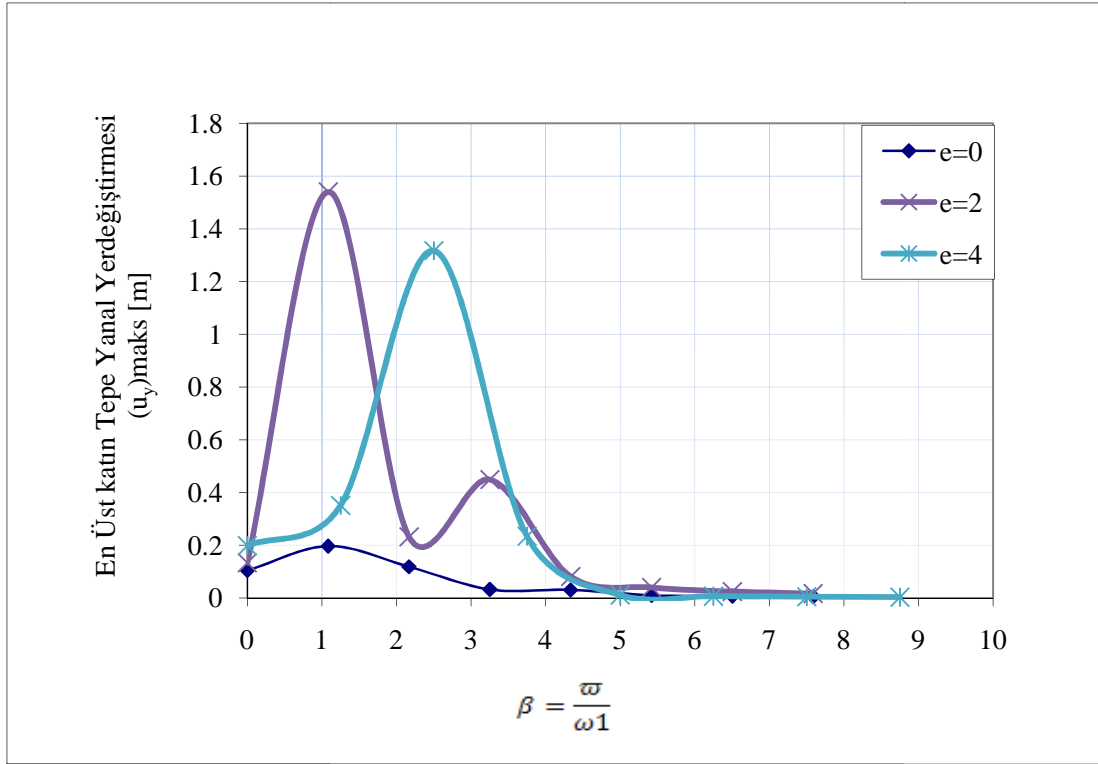
Şekil 3.46. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=1$ )



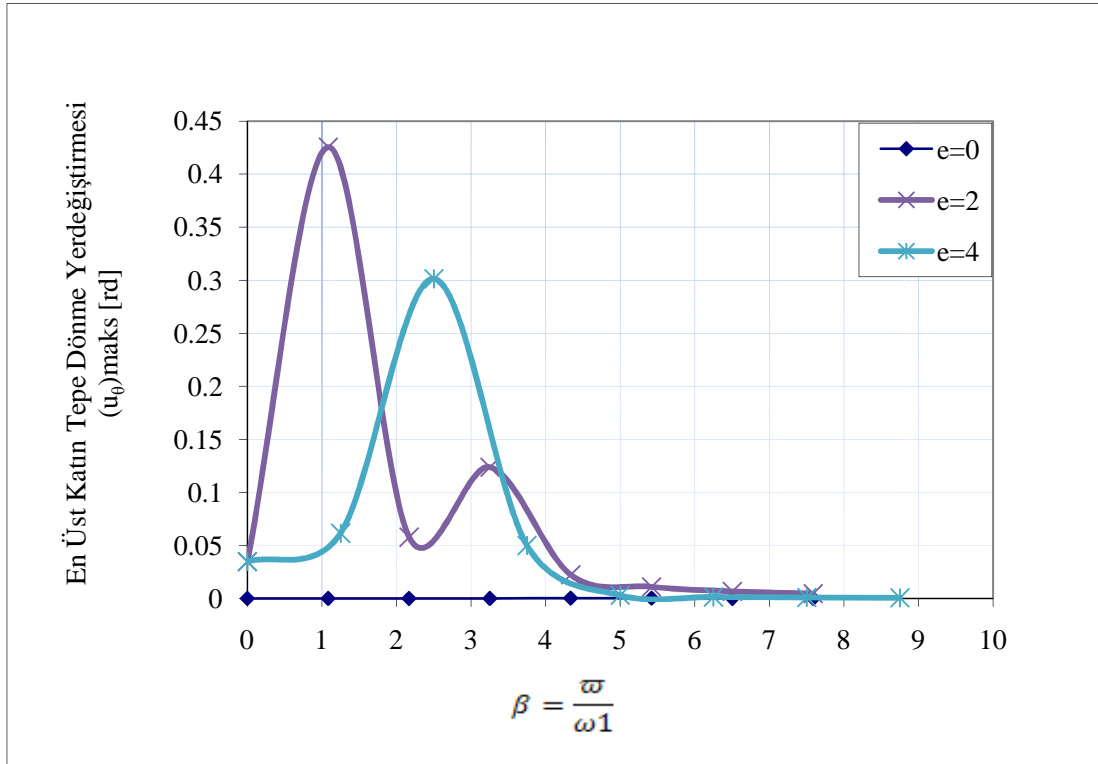
Şekil 3.47. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



Şekil 3.48. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=3$ )



Şekil 3.49. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre yanal yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )

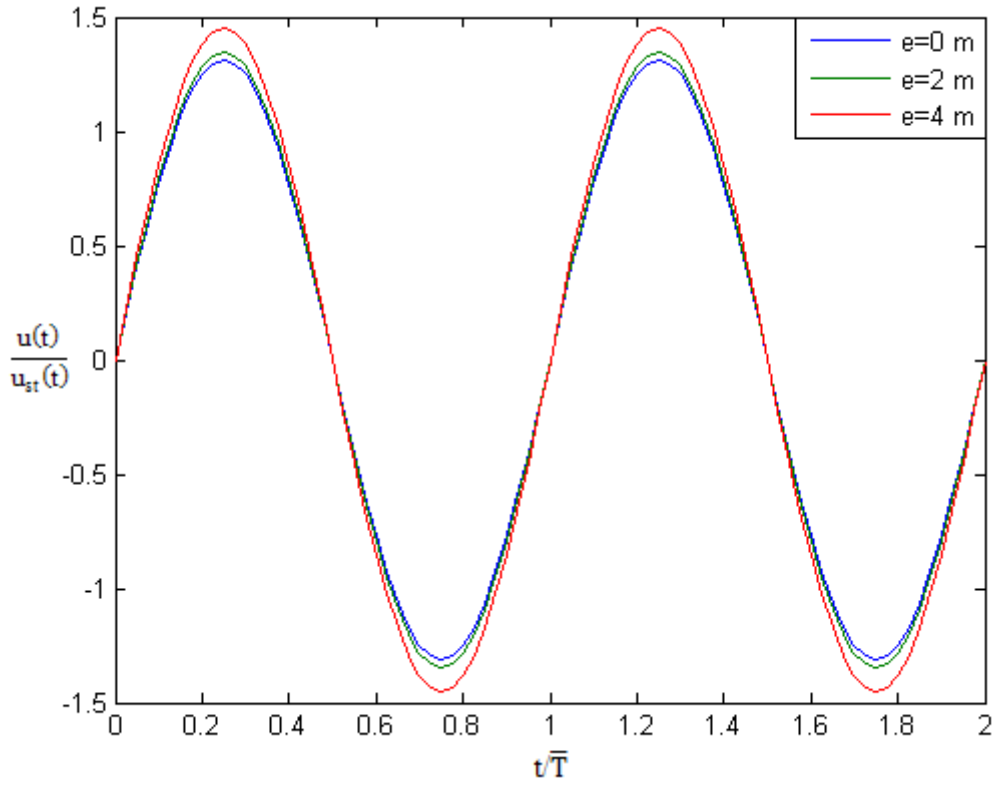


Şekil 3.50. Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda değişen boyutsuz frekansa göre dönme yerdeğiştirme değerinin dış merkezliğe bağlı değişimi ( $\alpha=5$ )

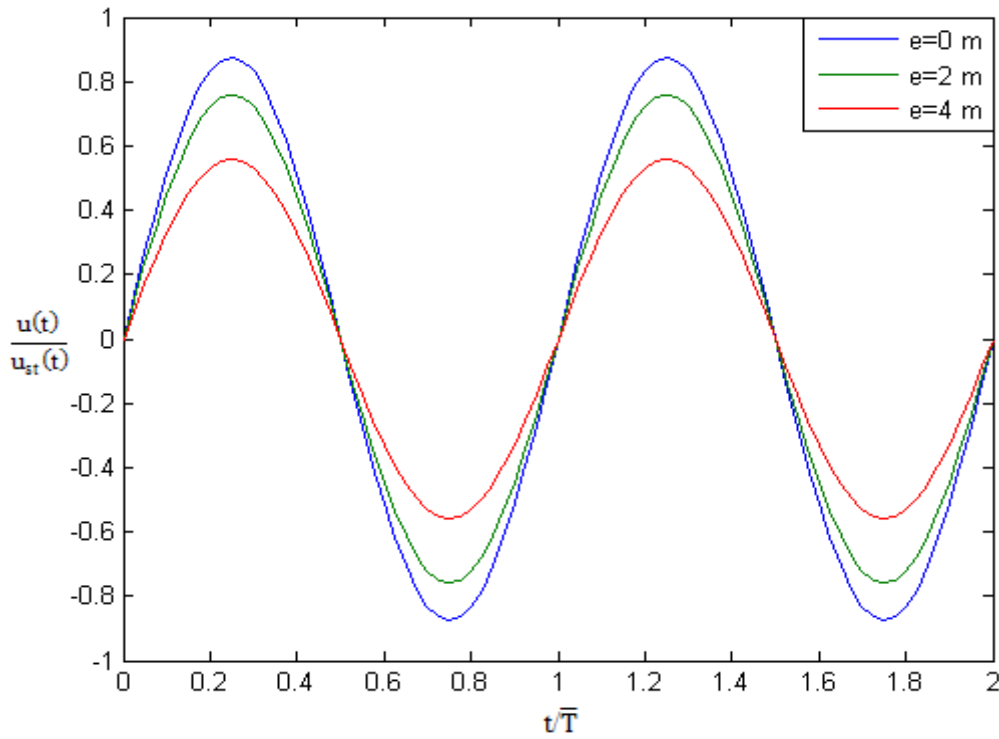
Şekil 3.45’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dış merkezlik  $e=2$  m değerinde 1.3 m ve  $e=4$  m değerinde 2.2 m yanal yerdeğiştirme değerinin 1.7 kat arttığı görülmektedir. Dış merkezliğin olmaması durumunda yanal yerdeğiştirme değeri frekansa bağlı olarak azalmaktadır. Şekil 3.46’da Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi ve dış merkezlik  $e=2$  m değerinden  $e=4$  m değerine arttığı durumda dönme yerdeğiştirme miktarı 2.5 kat artmaktadır. Dış merkezliğin olmaması durumunda yanal dönme yerdeğiştirmesi oluşmamaktadır. Şekil 3.47.’de sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi halinde rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik  $e=0$  değerinde 0.8 m  $e=2$  m değerinde 0.78 m ve  $e=4$  m değerinde 0.35 m yanal yerdeğiştirme yapmaktadır. Şekil 3.48’de Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi halinde dönme yerdeğiştirmesi rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik arttıkça  $e=2$  m değerinden  $e=4$  m değerine artması durumunda 2.65 kat azalmaktadır. Dış merkezliğin olmadığı durumda dönme yerdeğiştirmesi meydana gelmemektedir. Şekil 3.49’da sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi halinde rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik  $e=2$  m değerinde 1.54 m ve  $e=4$  m değerinde 1.32 m yanal yerdeğiştirme yapmaktadır. Dış merkezliğinin olmaması durumunda yanal yerdeğiştirme oluşmamaktadır. Şekil 3.50’de Sinüzoidal yükün y-y doğrultusunda etki etmesi durumunda dönme yerdeğiştirmesi rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik arttıkça  $e=2$  m değerinden  $e=4$  m değerine artması durumunda 1.4 kat azalmaktadır. Dış merkezliğin olmadığı durumda dönme yerdeğiştirmesi oluşmamaktadır.

Üç katlı uzay çerçeve sistemin değişen dış merkezlik için elde edilen en büyük yanal yerdeğiştirmenin dış yükün farklı frekanslarına bağlı değişimi kalıcı ve geçici titreşim durumları için ayrı ayrı elde edilmiştir.

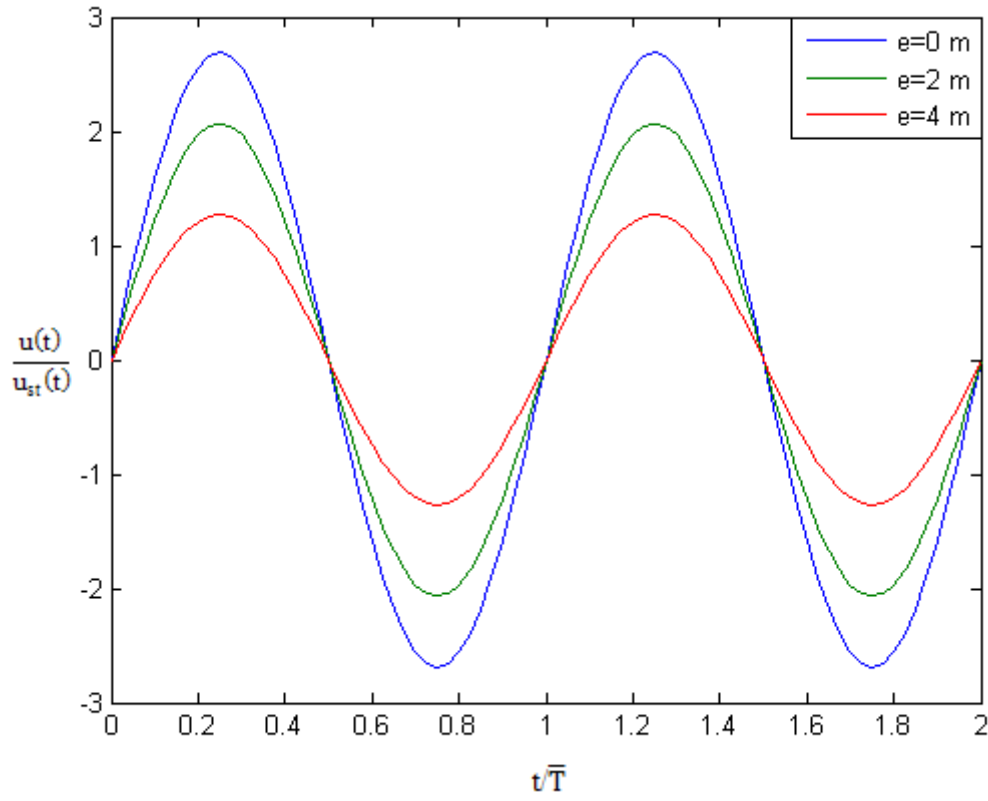




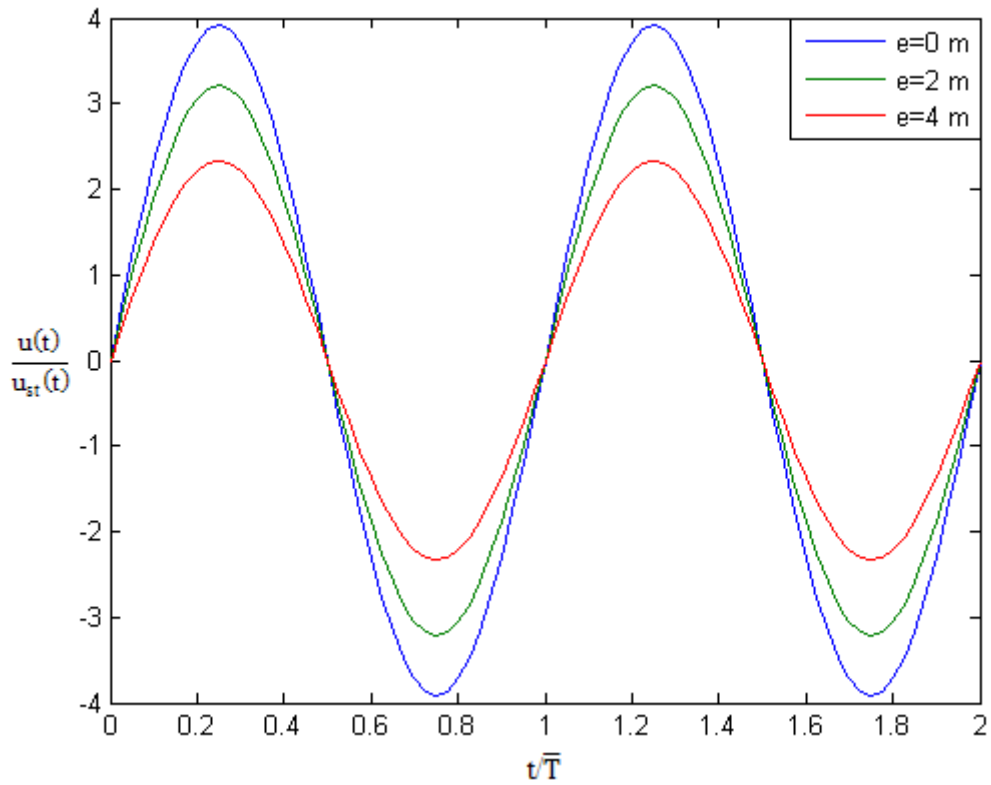
Şekil 3.51. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\varpi=5$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



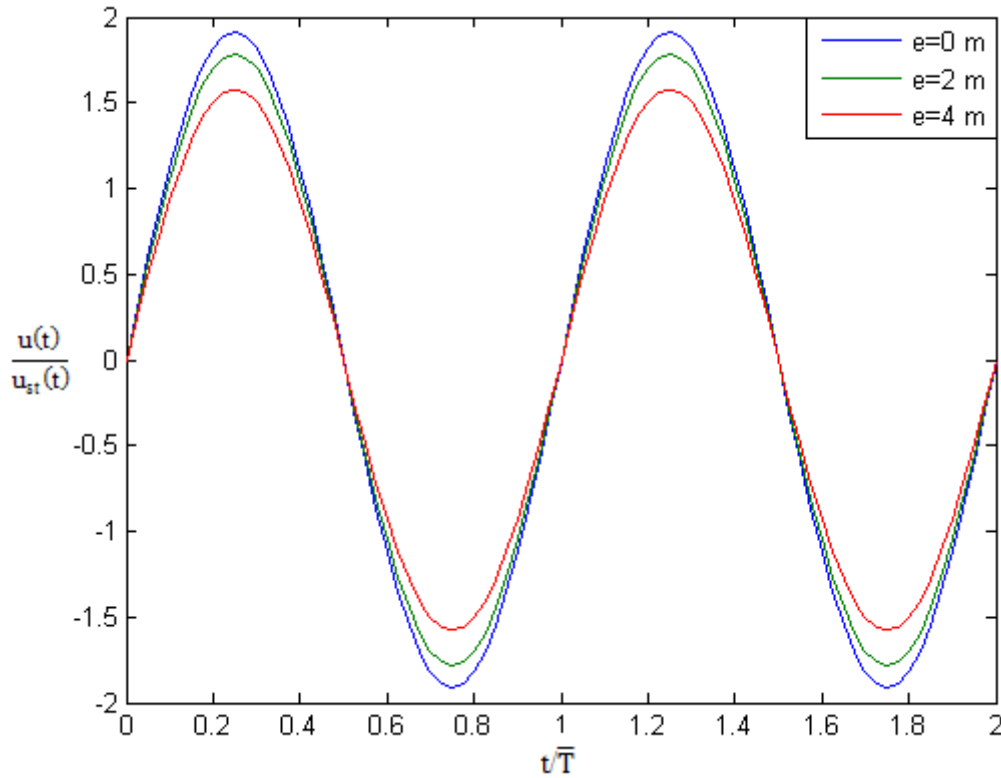
Şekil 3.52. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\varpi=15$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



Şekil 3.53. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\varpi=12$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

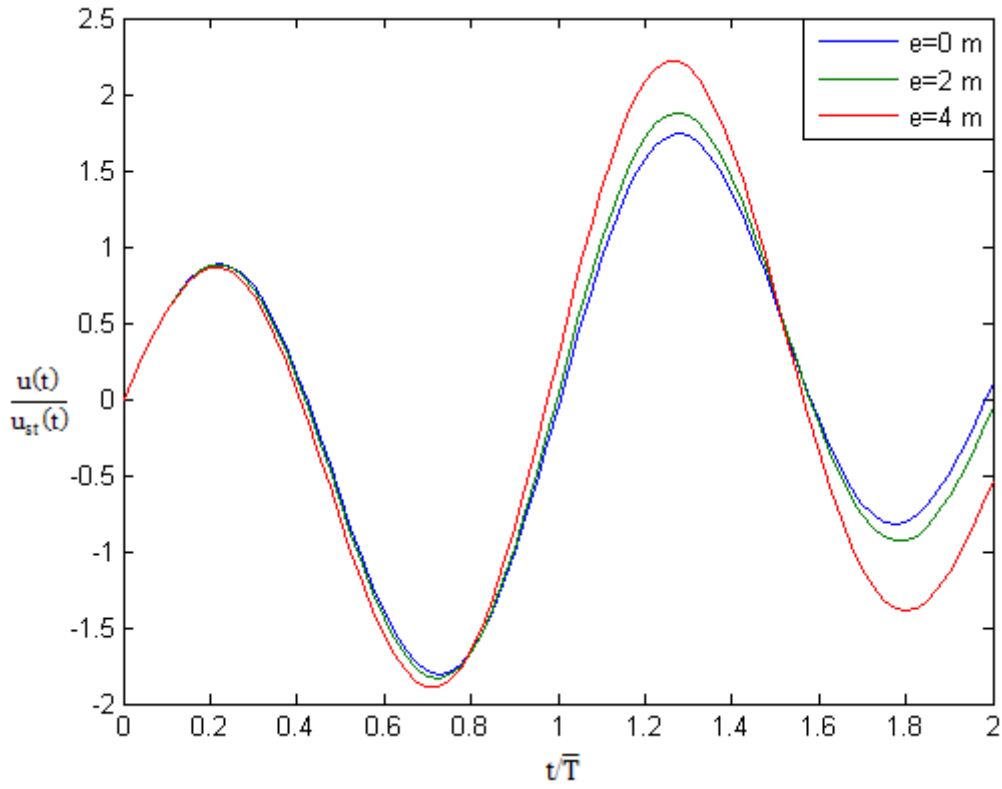


Şekil 3.54. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\varpi=15$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

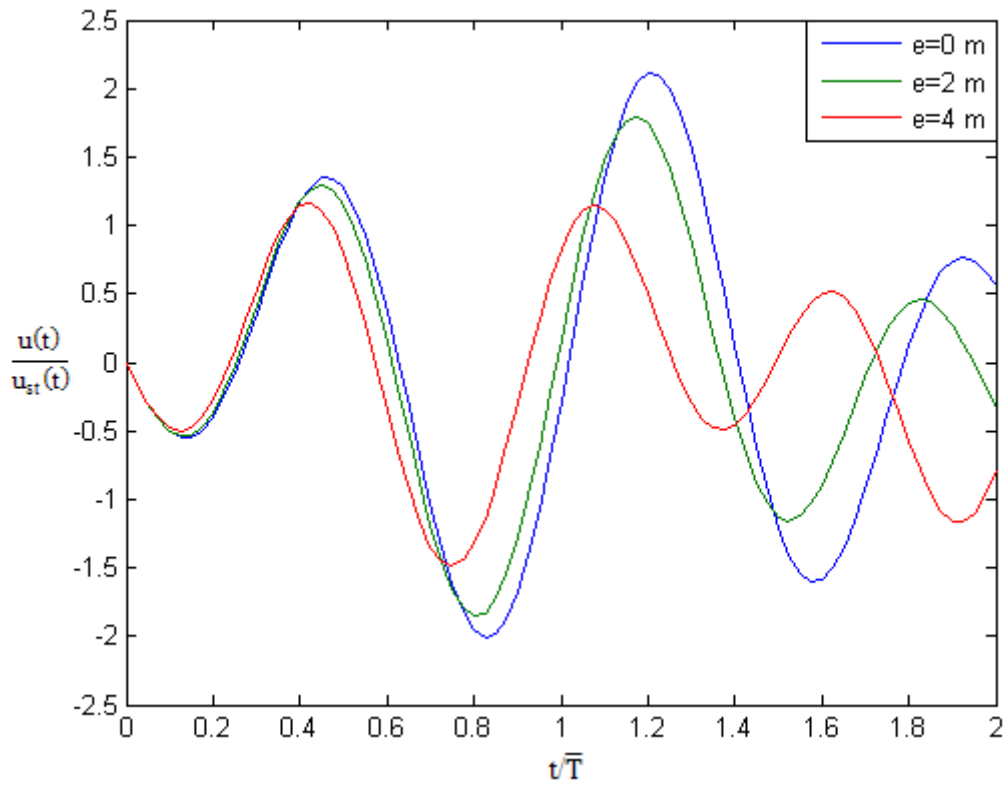


Şekil 3.55. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=12$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

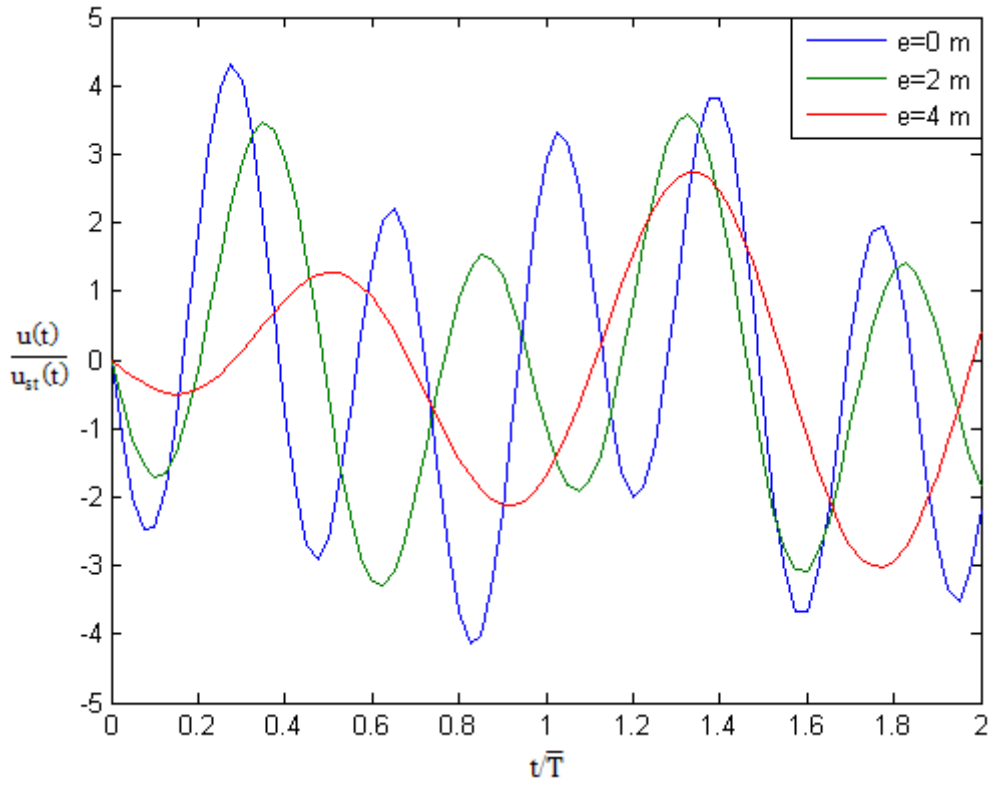
Şekil 3.51’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega =5$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında kalıcı titreşimde dış merkezlik boyutsuz yanal yerdeğiştirme değeri dış merkezlik arttıkça artmaktadır. Şekil 3.52 ve Şekil 3.53 ’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün 15 ve 12 rd/sn açısal frekans değeri ve boyutsuz zaman aralığında rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik  $e=0$ ’da maksimum boyutsuz yanal yerdeğiştirmeler yapmaktadırlar. Şekil 3.54 ve 3.55’de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega =15$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik  $e=0$ ’da maksimum boyutsuz yanal yerdeğiştirmeler yapmaktadır.



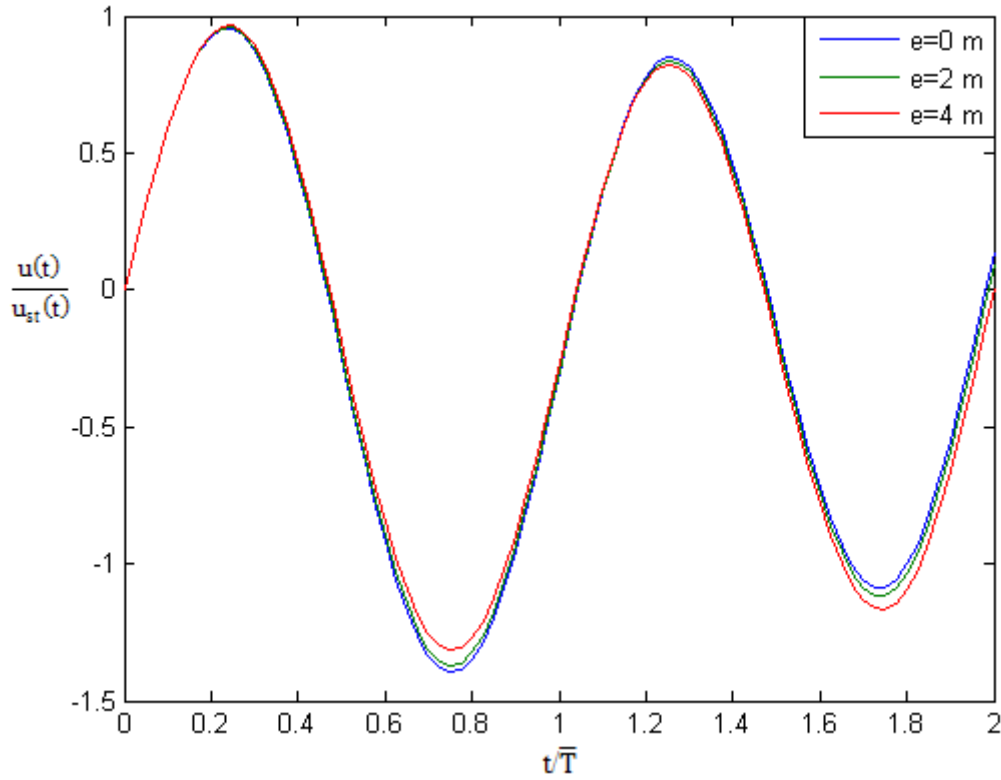
Şekil 3.56. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=5$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



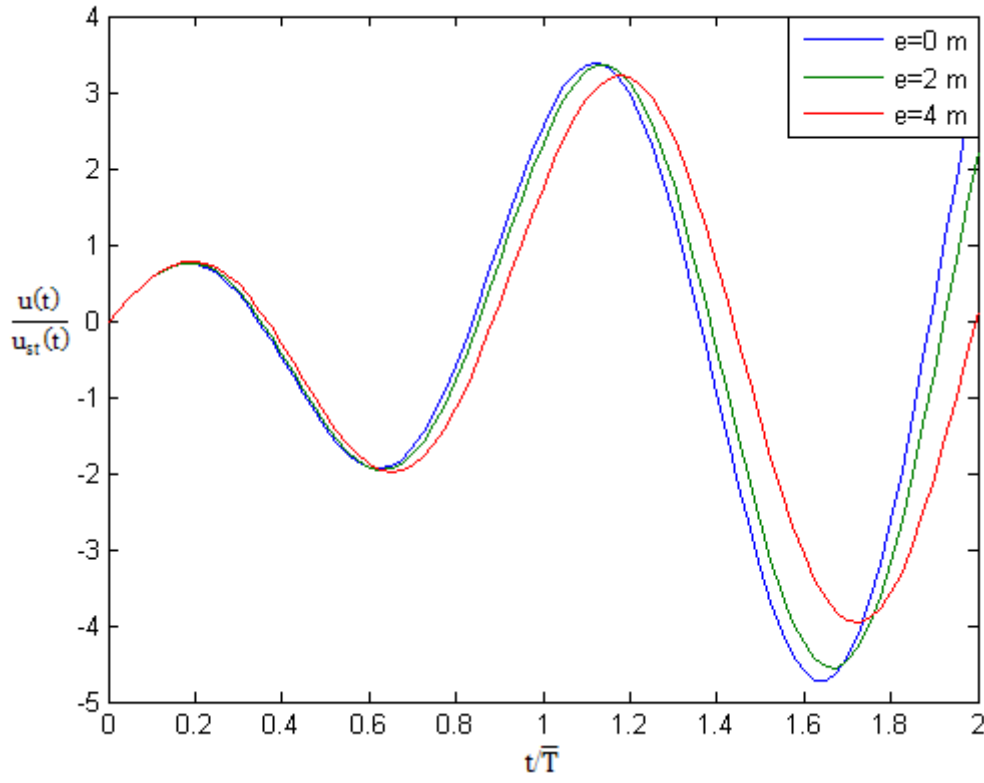
Şekil 3.57. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=15$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanal yerdeğiştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



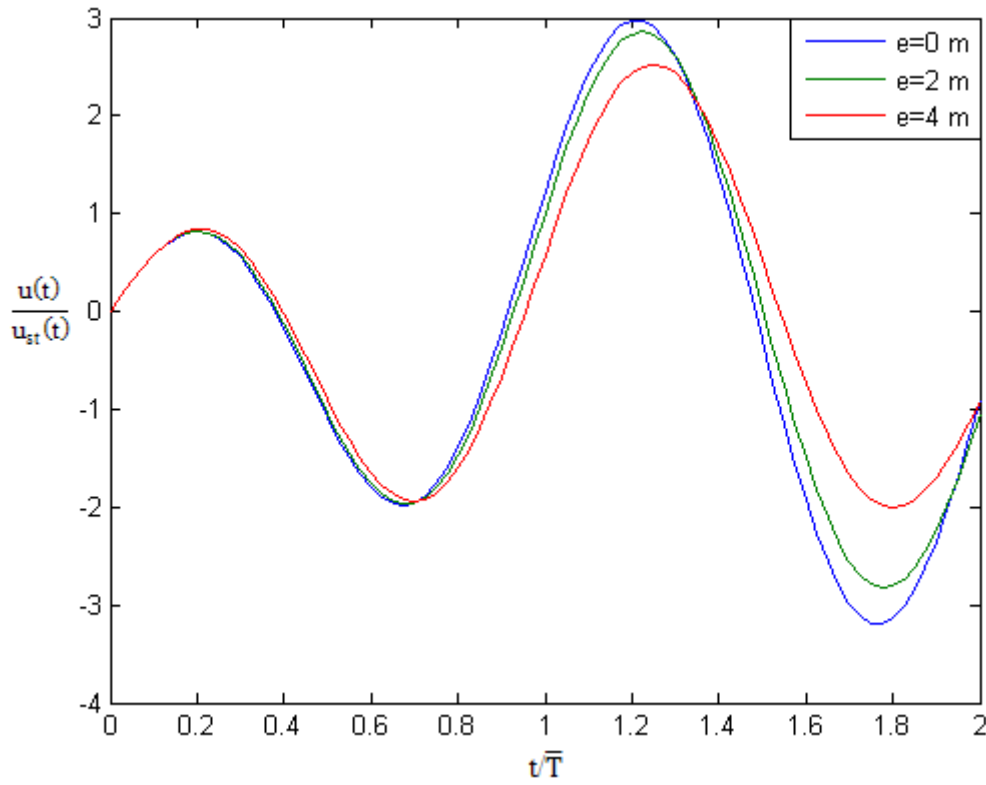
Şekil 3.58. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=12$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz yanıl yerdeğıştirmeye ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağılı değışimi



Şekil 3.59. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=5$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğıştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağılı değışimi



Şekil 3.60. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=15$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait kalıcı titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi



Şekil 3.61. y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega=12$  rd/sn açısal frekans değeri için boyutsuz dönme yerdeğiştirmesine ait geçici titreşiminin boyutsuz zamana bağlı değişimi

Şekil 3.56'de y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 5$  rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında geçici titreşim boyutsuz yerdeğiştirme değerleri dış merkezlik arttıkça artmaktadır. Şekil 3.57 ve Şekil 3.58'da y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün 15 rd/sn ve 12 rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında geçici titreşim rezonans değerlerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik  $e=0$ 'da maksimum boyutsuz yanal yerdeğiştirmeler yapmaktadır. Şekil 3.59 y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün  $\omega = 5$  rd/sn frekans değerinde boyutsuz zaman aralığında geçici titreşimde artan dışmerkezlik durumuna göre boyutsuz dönme yerdeğiştirmesinde kayda değer bir değişim oluşmamaktadır. Şekil 3.60 ve Şekil 3.61'da y-y doğrultusunda etki eden sinüzoidal yükün 15 rd/sn ve 12 rd/sn açısal frekans ve boyutsuz zaman aralığında geçici titreşim rezonans değerlerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dış merkezlik  $e=0$ 'da maksimum boyutsuz dönme yerdeğiştirmesi yapmaktadır.

## BÖLÜM 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Planda simetrik olmayan yapının burulmalı bağlaşık dinamik analizini inceleyerek dış merkezliğin dinamik büyütme çarpanı üzerindeki etkilerini görebilmek için yapıya kat seviyelerinde harmonik karakterde statik genliği doğrusal arttıran sinüzoidal dış yükler etki ettirilmiştir. Dış merkezliğin dinamik büyütme çarpanı üzerindeki etkilerini incelemek için tüm problemi temsil edebilecek uygun matematik modeller ve onun sayısal uygulamaları çeşitli kontrol parametrelerine bağlı ayrıntılı olarak sistematik araştırmalar yürütülerek ele alınmıştır. Dış yük frekansından bağımsız yapının oluşan titreşim parametreleri ele alınmıştır. Daha sonra dış yük frekansı ile etkileşim durumunda dinamik büyütme çarpanı, en büyük yanal yerdeğiştirme ve en büyük dönme yerdeğiştirmesi gibi temel dinamik büyüklüklerin farklı dış merkezlik değerleri ve yapı sistemini rijitliğinin değişimine göre dış yükün değişen frekans değerleri için elde edilmiştir. Değişen dış merkezliğin yapının dinamik özelliklerini nasıl değiştirdiği karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Yapı sistemin dış yükün frekansından bağımsız olarak oluşan titreşim parametreleri incelenmiş ve dış merkezliğin ve yapı sistem rijitliğinin değişimine göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sistemin rijitlik durumuna göre tek katlı uzay yapı sistemi ( $\alpha=1$ ) için;

- 1. modda dış merkezlik değeri arttıkça mod biçiminde meydana gelen dönme genliği ve sistemin periyot değeri artmakta, y yönündeki yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri azalmaktadır.
- 2. modda dış merkezlik değeri arttıkça dönme genliği meydana gelmemekte, x yönünde de yerdeğiştirme genliği sabit kalmakta ve sistemin periyot ve açısal frekans değerleri değişmemektedir.



- 3. modda dış merkezlik değeri artıkça dönme genliği ve sistem periyot değeri azalmakta, y yönünde yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri artmaktadır.

Sistemin rijitlik durumuna göre tek katlı yapı ( $\alpha=3$ ) için;

- 1. modda dış merkezlik değeri artıkça dönme genliği meydana gelmemekte, x yönünde de yerdeğiştirme genliği sabit kalmakta ve sistemin periyot ve açısal frekans değerleri değişmemektedir.
- 2. modda dış merkezlik değeri artıkça mod biçiminde meydana gelen y yönünde yerdeğiştirme genliği ve sistemin periyot değeri artmakta, dönme genliği ve açısal frekans değeri azalmaktadır.
- 3. modda dış merkezlik değeri artıkça dönme genliği ve sistem periyot değeri azalmakta, y yönünde yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri artmaktadır.

Sistemin rijitlik durumuna göre tek katlı yapı ( $\alpha=5$ ) için;

- 1. modda dış merkezlik değeri artıkça dönme genliği meydana gelmemekte, x yönünde de yerdeğiştirme genliği sabit kalmakta ve sistemin periyot ve açısal frekans değerleri değişmemektedir.
- 2. modda dış merkezlik değeri artıkça mod biçiminde meydana gelen y yönünde yerdeğiştirme genliği ve sistemin periyot değeri artmakta, dönme genliği ve açısal frekans değeri azalmaktadır.
- 3. modda ise dış merkezlik değeri artıkça y yönünde yerdeğiştirme genliği ve sistem periyot değeri azalmakta, dönme genliği ve açısal frekans değeri artmaktadır.

Genel olarak ( $\alpha=1$ ) x doğrultusunda sistemin daha rijit olması durumunda dış merkezlik artıkça hakim modda dönme genliği ve periyot değeri artmakta ve y yönünde yerdeğiştirme genliği azalmaktadır. ( $\alpha=3$ ) y doğrultusunda sistemin daha rijit olması durumunda dış merkezlik artıkça hakim modda dönme genliği meydana gelmemekte ve x yönünde de yerdeğiştirme genliği sabit kalmakta ve sistemin periyot değeri değişmemektedir. ( $\alpha=5$ ) y doğrultusunda sistemin daha rijit olması durumunda dış merkezlik artıkça hakim modda dönme genliği meydana gelmemekte

ve x yönünde de yerdeğiştirme genliği sabit kalmakta ve sistemin periyot değeri değışmemektedir.

Sistemin rijitlik durumuna göre üç katlı uzay yapı sistemi ele alındığında ( $\alpha=1$ );

- 1. modda birinci kattan üst katlarda çıkıldığında y yönündeki yerdeğiştirme genliği ve dönme genliği artmaktadır. Dış merkezlik arttıkça katlarda yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans azalmakta, dönme genliği ve periyot değeri artmaktadır.
- 2. modda birinci kattan üst katlarda çıkıldığında x yönündeki yerdeğiştirme genliği değeri artmaktadır ve dönme genliği meydana gelmemektedir. Dış merkezlik arttıkça katlarda yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans değeri artmaktadır, dönme genliği meydana gelmekte ve periyot değeri azalmaktadır.
- 3. modda birinci kattan üst katlarda çıkıldığında y yönündeki yerdeğiştirme genliği ve dönme genliği artmaktadır. Dış merkezlik arttıkça katlarda yerdeğiştirme genliği ve açısal frekans artmakta, dönme genliği ve periyot değeri azalmaktadır.

Yapı sistemine uygulanan dış sinüzoidal harmonik yükün yapı sistemi üzerinde oluşturduğu titreşim parametreleri incelenmiş ve şu sonuçlara varılmıştır;

Sönümsüz tek ve üç katlı uzay çerçeve sistemlerde dış merkezlik değeri arttıkça dinamik büyütme çarpanı, öteleme yanal yerdeğiştirme ve dönme yerdeğiştirme değerleri artmaktadır. Rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda, dinamik büyütme çarpanı, öteleme yanal yerdeğiştirme ve dönme yerdeğiştirme değerleri dış merkezliğin durumuna göre daha büyük değerler almaktadır. Burada dış yükün frekans değerinin durumu Rezonans değerine yaklaşıldığı ( $\beta \cong 1$ ) durumda dinamik büyütme çarpanı, öteleme yanal yerdeğiştirme ve dönme yerdeğiştirme değerleri üzerinde etkileyici rol aldığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

- [1] EARTHQUAKE RESISTANT REGULATIONS – A World list, International Association for Earthquake Engineering Tokyo 1996.
- [2] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Ağustos 1997.
- [3] CHANDLER, A. M., DUAN, X.N., Assessment of Some Factors Affecting the Performance of Asymmetric Code-Designed Buildings, Proceedings of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri, 1996.
- [4] DE STEFANO, M., FAELLA, G., RAMASCO, R., Responce of Code Designed Asymmetric Systems under Bidirectional Ground Motions, Proceedings of European Workshop on the behavior of Asymmetric and Set- Back Structures, Capri, 1996.
- [5] DUAN, X. N., CHANDLER, A. M., Optimised Design of Torsionally Unbalanced Structures under Seismic Loading, Proceeding of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri, 1996.
- [6] GHERSÌ, A., LAUDANÌ, F., P. ROSSÌ, P., Formulation of Design Eccentricity to Reduce Ductility Demand in Asymmetric Buildings, Proceedings of European Workshop on the Behavior of Asymmetric and Set-Back Structures, Capri, 1996.
- [7] DUAN, X. N., CHANDLER, A. M., Performance of Asymmetric Code-Designed Buildings for Serviceability and Ultimate Limit States, Earthquake Engineering and Structural Dynamic, Vol. 26, 1997.
- [8] DUAN, X. N., CHANDLER, A. M., An Optimised Procedure for Seismic Design of Torsionally Unbalanced Structures, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, 1997.
- [9] ÖZMEN, G., PALA, S., GÜLAY, G., ORAKDÖĞEN, E., Çok Katlı Yapılarda Yapısal Düzensizliklerin Deprem Hesabına Etkisi, Teknik Rapor No: TDV/TR 017-28, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, Kasım 1998, (TÜBİTAK – INTAG 546 No.lu araştırmanın kesin raporu)

- [10] ÇALIM, G., Çok Katlı Perdeli Çerçevesel Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tez Çalışması, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Haziran 1999.
- [11] BOĞA, H., Çok Katlı Betonarme Yapılarda Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tez Çalışması, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Haziran 2000.
- [12] BOZORGNIA, Y., TSO, W., Inelastic earthquake response of asymmetric structures, J. Struct. Engng., ASCE 112, 383-400, 1986.
- [13] TSICNIAS, T.G., HUTCHINSON, G.L., Evaluation of code requirement for the earthquake resistant design of torsionally coupled buildings, Proc. Inst. Civil Engrg., Part2, 71, 821-843, 1981.
- [14] HEJAL, R., CHOPRA, A.K., Earthquake response of torsionally coupled frame buildings, J. Struct. Engng., 115(4), 834-851, 1989.
- [15] CHANDLER A.M., HUTCHINSON, G.L., Torsional coupling effects in earthquake response of asymmetric buildings, engng. Struct., 8, 222-236, 1986.
- [16] HEJAL, R., CHOPRA, A.K., Earthquake analysis of a class of torsionally-coupled buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 118, 305-328, 1989.
- [17] KAN, C.L., CHOPRA, A.K., Elastic earthquake analysis of a class of torsionally-coupled multistorey buildings, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 5, 395-412, 1977.
- [18] KAN, C.L., CHOPRA, A.K., Elastic earthquake analysis of a class of torsionally-coupled buildings, Journal of the structural division, 103, April, 1977.
- [19] KELEŞOĞLU, Ö., Üç Boyutlu Yapı Sistemlerinin Statik Ve Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Ü. , Fen bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitim Ana Bilim Dalı, 1996.
- [20] ÜNER, A., Düzlem Çerçeve yapıların Dinamik Yükler altında Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazit Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [21] AKINCI, E., Depreme Dayanıklı Yapı tasarımında Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2005.
- [22] DÖNDÜREN, M., S., Planda Değişik Geometriye Sahip Çok Katlı Betonarme Yapıların Zaman-Tanım Aralığında Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Ü. , Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2003.

- [23] YASİN, M., FAJ-HJAN, MERCİMEK, H., JOSEPH KUBİN Binaların Dinamik Analizlerinde Modal Ek Dışmerkezlik Yönteminin Uygulanması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16-20 Ekim 2007.
- [24] CELEP, Z., KUMBASAR, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- [25] CELEP, Z., KUMBASAR, N., Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
- [26] ÇELEBİ, E., Yapı-Zemin Dinamik Etkileşim Ders Notları, SAÜ, 2006.
- [27] ÇELEBİ, E., Burulmalı Bağlaşık Çok Katlı Yapıların Deprem Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 1995.
- [28] ÇELEBİ, E., Planda Simetrik Olmayan Çok Katlı Yapıların Zeminle Dinamik Etkileşimi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2001.

## ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Miraç DALDAL, 09.05.1983 de Afyonkarahisar' da doğdu. İlk, Orta ve lise eğitimini Afyonkarahisar' da 1994 yılında Fatih İlkokulu, 1998 Özel Zafer Koleji ve 2001 yılında Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamladı. 2002 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmeye hak kazandı ve 1. Sınıfı burada okudu. Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde 2006 yılında tamamladı. 2006 yılında Mertaş Yapı Denetim Bünyesinde Ada Center Alışveriş merkezinde inşaat mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2006 yılında SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansa başladı. 2007 yılında Afyonkarahisar' da Paktaş Müh. İnş. Mlz. San. Tah. Tic. Ltd. Şti'de çalışmaya başladı ve halen aynı şirkette inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.