

**KAYMA ÇERÇEVELERİNİN YER İVMESİ ALTINDA DİNAMİK
ANALİZİ**

Meryem BÖCEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2011

ANKARA

Meryem BÖCEK tarafından hazırlanan KAYMA ÇERÇEVELERİNİN YER İVMESİ ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP


Tez danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı


.....

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi


.....

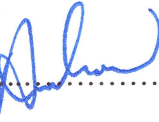
Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi üniversitesi


.....

Yrd. Doç. Dr. Alper BÜYÜKKARAGÖZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

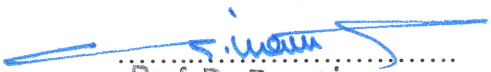

.....

Tarih: 15 / 06 / 2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü ✓


.....
Prof. Dr. Recai İNAM
Enstitü Müdür Yardımcısı

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.



Meryem BÖCEK

**KAYMA ÇERÇEVELERİNİN YER İVMESİ
ALTINDA DİNAMİK ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Meryem BÖCEK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2011**

ÖZET

Bu tez kapsamında yer ivmesi etkisindeki 2 boyutlu çerçeve sistemlerin dinamik analizleri yapılmıştır. Öncelikle, yer hareketlerinin denklemleri çıkarılmış bu denklemlerin sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesiyle söz konusu hareketlerin çerçeveler üzerindeki dinamik etkileri analiz edilmiştir. Sistemin frekansları ve mod şekilleri hesaplanmış, her katın zamana bağlı yer değiştirme, hız ve ivme fonksiyonlarının hesaplanmasında mod süperpozisyonu kullanılmıştır. Sisteme ait kuvvetler ve dinamik gerilmeler hesaplanmış ve yer ivme fonksiyonuna ile sisteme ait değişkenler parametre alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Dinamik hesaplamalar için MATLAB yazılımı ile bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bilim Kodu :911.1.144

Anahtar Kelimeler :Dinamik Analiz, Kayma Çerçeveleri, Newmark Metodu

Sayfa Adedi :92

Tez Yöneticisi :Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

**DYNAMIC ANALYSIS OF SHEAR FRAMES
SUBJECTED TO GROUND MOTION
(M. Sc. Thesis)**

Meryem BÖCEK

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2011

ABSTRACT

In this thesis, dynamic analysis of two dimensional frames subjected to ground motion was performed. Dynamic effects on frames induced by ground excitement were analyzed, first by deriving the equations of motion, then solving them by numerical methods. Frequencies and mode shapes were calculated and the mode superposition method was used to determine displacements, velocities and accelerations at each storey level as functions of time. Those kinematic variables and dynamic stresses are computed and their dependence on ground motion parameters are discussed. The computations were made by a MATLAB program.

Science Code : 911.1.144

Key Words : Dynamic Analysis, Shear Frames, Newmark Method

Page Number : 92

Adviser : Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca sabrı, değerli katkı ve yardımlarıyla her aőamada beni yönlendiren ve cesaretlendiren Hocam Prof. Dr. Tekin GÜLTOP' a, yardımları için Hocam Yrd. Doç. Dr. Bahadır ALYAVUZ' a, yüksek lisans tezim boyunca “Yurt İçi Yüksek Lisans Burs Programı” kapsamında destek veren TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na, destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, yardımları için arkadaşım Gazi Üniversitesi Araştırma Görevlisi Özge BİCAN' a ve tüm arkadaşlarıma teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TİTREŞİM TEORİSİ	6
2.1. Matematik Modelin Kurulması	6
2.2. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler	7
2.3. Serbest Titreşim.....	9
2.3.1. Sönümsüz serbest titreşim	9
2.3.2. Sönümlü serbest titreşim.....	11
2.4. Zorlanmış Titreşim.....	12
2.4.1. Sönümsüz zorlanmış titreşim.....	13
2.4.2. Sönümlü zorlanmış titreşim	15
2.5. Newmark İvme Metodu	18
2.6. Newmark Metodu ile Tek Serbestlik Dereceli Sistem Örnek Çözümü	23
2.7. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler.....	27
2.8. Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Sönümsüz Serbest Titreşim Hareket Denkleminin Çözümü	30

Sayfa

2.9. Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Sönümsüz Zorlanmış Hareket Denkleminin Çözümü.....	32
2.10. Sistemde Oluşan Dinamik Gerilmelerin Hesabı.....	37
2.11. Sönümsüz Yer İvmesi Etkisinde Çok Serbestlik Dereceli Sistem İçin Örnek.....	38
3. DİNAMİK ANALİZ İÇİN MATLAB İLE BİR PROGRAM.....	43
3.1. Programın Kullanımı ve Algoritması.....	43
3.2. Programda Kullanılan Kısaltmalar Sabitler ve Değişkenler	44
3.3. Akış Şeması.....	45
3.4. Program Adımlarının Açıklaması	50
3.5. MATLAB Programı ile Örnek Çözümü.....	62
3.6. SAP2000 ile Karşılaştırma	67
4. ÇOK KATLI ÇERÇEVE SİSTEMLERDE DEĞİŞKEN PARAMETRELER İLE MATLAB UYGULAMALARI	74
4.1. Yer İvmesi Fonksiyonu Değişkenleri.....	74
4.1.1. Genlik, \ddot{u}_0	74
4.1.2. Açısal frekans, $\bar{\omega}$	77
4.2. Sistem Değişkenleri.....	80
4.2.1. Kolon atalet momenti, I	80
4.2.2. Kat sayısı, n.....	85
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	90
ÖZGEÇMİŞ	92

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Newmark doğrusal ivme metodu ile yer ivmesi etkisinde tek serbestlik dereceli bir sistemin yer değiştirme, hız ve ivme değerleri.....	25
Çizelge 4.1. Kiriş. Kolon Elemanlara Ait Çatlamış Kesit Rijitlikleri (FEMA 356).....	84

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Bir kayma çerçevesinin basitleştirilmiş mekanik (matematik) modeli.....	6
Şekil 2.2. Kirişleri ve döşemeleri rijit olan çok serbestlikli sistemde yanal yer değiştirme	7
Şekil 2.3. İdealize edilmiş tek serbestlik dereceli sistem.....	7
Şekil 2.4. Newmark metodu ortalama ve doğrusal ivme grafikleri	19
Şekil 2.5. Newmark metoduyla çözüm için verilmiş tek serbestlik dereceli sistem.....	23
Şekil 2.6. Sisteme etkiyen yer ivmesinin zamana bağlı grafiği ($t=1,4$ s).....	24
Şekil 2.7. Yer ivmesinin oluşturduğu, sistemin zamana bağlı yer değiştirme grafiği.....	26
Şekil 2.8. Yer ivmesinin oluşturduğu, sistemin zamana bağlı hız grafiği.....	26
Şekil 2.9. Yer ivmesinin oluşturduğu, sistemin zamana bağlı ivme grafiği	27
Şekil 2.10. Bileşenlerine ayrılmış çok serbestlikli sistemin matematik modeli.....	28
Şekil 2.11. Çok serbestlikli sönümsüz zorlanmış titreşim etkisindeki n katlı sistem.....	32
Şekil 2.12. Çok serbestlikli sönümsüz yer ivmesi etkisindeki n katlı sistem.....	33
Şekil 2.13 Sisteme ait dinamik kuvvetler.....	37
Şekil 2.14. 4 katlı çerçeve sistem modeli.....	38
Şekil 2.15. Yer ivme fonksiyonu.....	39
Şekil 3.1. MATLAB da yazılan program akış şeması	45
Şekil 3.2. Sinüs fonksiyonu program çıktısı	65
Şekil 3.2. $t=4$ ile $t=12$ saniyeleri için sistem deformasyon görünümü.....	65
Şekil 3.3. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyonun program çıktısı	66
Şekil 3.4. Sabit fonksiyonun program çıktısı.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 3.5. Matematik model ve SAP2000 görünüşü	67
Şekil 3.6. Sabit fonksiyon data girişi	68
Şekil 3.7. Sinüs fonksiyon data girişi.....	68
Şekil 3.8. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyon data girişi.....	69
Şekil 3.9. Yer ivmesi (sabit fonksiyon) etkisinde sistem görünümü	69
Şekil 3.10. Yer ivmesi (sinüs fonksiyon) etkisinde sistem görünümü.....	70
Şekil 3.11. Yer ivmesi (lineer artan ve/veya azalan fonksiyon) etkisinde sistem görünümü.....	70
Şekil 3.12. Sinüs fonksiyonunun MATLAB - SAP2000 karşılaştırması.....	71
Şekil 3.13. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyonunun MATLAB - SAP2000 karşılaştırması.....	72
Şekil 3.14. Sabit fonksiyonunun MATLAB - SAP2000 karşılaştırması	72
Şekil 3.15. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyonunun karşılaştırması	73
Şekil 4.1. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği	75
Şekil 4.2. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği	75
Şekil 4.3. 1. Kat kesme kuvveti değişim grafiği	76
Şekil 4.4. 4. Kat kesme kuvveti değişim grafiği	77
Şekil 4.5. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği	78
Şekil 4.6. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği	78
Şekil 4.7. 1. Kat kesme kuvveti değişim grafiği	79
Şekil 4.8. 4. Kat kesme kuvveti değişim grafiği	80
Şekil 4.9. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği	81
Şekil 4.10. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği	81
Şekil 4.11. 1. Kat gerilme değişim grafiği	82

Şekil	Sayfa
Şekil 4.12. 4. Kat gerilme değişim grafiği	83
Şekil 4.13. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği	85
Şekil 4.14. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği	86
Şekil 4.15. 1.Kat hız değişim grafiği	87
Şekil 4.16. 4. Kat hız değişim grafiği	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
c	Sönüm katsayısı
f_n	Frekans (Hz. $1s^{-1}$)
f_i	Atalet kuvveti
\tilde{f}_I	Atalet kuvvet vektörü
f_s	Sönüm kuvveti
\tilde{f}_s	Sönüm kuvvet vektörü
f_y	Yay kuvveti
\tilde{f}_y	Yay kuvvet vektörü
k	Rijitlik katsayısı
K	Sistem rijitlik matrisi
m	Kütle
M	Sistem kütle matrisi
$P(t)$	Zamana bağlı kuvvet fonksiyonu
$\overline{P(t)}$	Kuvvet vektörü
$P_{eff}(t)$	Yer ivmesinin oluşturduğu kuvvet
S_A	İvme spektrumu
S_D	Yer değiştirme spektrumu
S_V	Hız spektrumu
T	Periyot (s.)
u	Yer değiştirme
\dot{u}	Hız
\ddot{u}	İvme
u_t	Yer ivmesinden dolayı sistemdeki toplam yerdeğiştirme
$u(t)$	Yer değiştirme fonksiyonu

Simgeler**Açıklama** \ddot{u}_g

Yer ivmesi

 V_t

Kat hizasında oluşan toplam kesme kuvveti

 $\bar{\omega}$

Etkiyen kuvvet frekansı

 ω_D

Sönümlü hareket doğal frekansı

 γ, β

Newmark metodu sabitleri

 ξ

Sönüm oranı

 Φ

Modal matris

Kısaltmalar**Açıklama****DBYBDY**Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında
Yönetmelik/2007**FEMA**

Federal Emergency Management Agency

1. GİRİŞ

Deprem, dünyada ve ülkemizde binaların göçmesi veya ağır hasarı sonucu binlerce insanın ölümüne neden olan, gerçekleşmesi her an olası bir felakettir. Bu yüzden deprem esnasında yapıların nasıl davrandığını bilmek ve yapıları bu davranış esaslarına göre tasarlamak deprem mühendisliği açısından oldukça önemli bir konudur [Baran ve ark., 2007][Sollogoub, 2006].

Deprem sırasında meydana gelen yer hareketi, yerkabuğunda meydana gelmiş gerilme yığılmalarının veya deformasyon enerjisi birikimlerinin jeolojik fay hatlarında meydana gelen ani kaymalarla serbest kalmaları sonucu ortaya çıkan sismik dalgalar tarafından oluşturulur. Yerkabuğunda fay hatları boyunca biriken deformasyon potansiyel enerjisinin boşalması sonunda oluşan kuvvetli yer hareketinin karmaşık olması nedeniyle, basit matematiksel fonksiyonlarla formüle edilmesi zordur [Cook, 1989].

Deprem hareketi, yerkabuğunun titreşimlerine neden olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Yapısal analizlerde genellikle temeller ankastre kabul edilerek çözüm yapılmakta ve temellerde yer değiştirme ve dönme olmadığı kabul edilmektedir. Gerçekte ise, temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Yapılara etkileyen deprem gibi dinamik bir yükleme durumunda, yapı ve zemin birlikte hareket etmekte bu sırada da birbirlerinin davranışını etkilemektedirler [Karabörk, 2009].

Dinamik problem, y dalga yayını ya da yapı dinamiği problemi olarak ikiye ayrılır. Yapı dinamiği problemleri de genelde ikiye ayrılır. Birincisinde, mod şekillerine karşılık gelen titreşim frekanslarını aramakta ve böylece titreşim frekansı ile etkinin frekansını karşılaştırmaktadır. İkincisinde, yapının mesnet hareketlerini veya önceden belirli yük altında yapının zamanla değişen hareketleri incelenir. Buna yapı dinamiğinde, “Dinamik Davranış Analizi (Dynamic Response Analysis veya Time History Analysis)” denir.

Dinamik yüklemenin pek çok çeşidi, zeminlerde ve yapılarda titreşimli hareket oluşturabilir. Zeminlerin ve yapıların dinamik tepkisiyle ilgili problemleri çözmek için, dinamik yüklemelerin formüle edilmesi gerekir. Titreşim hareketi periyodik ve periyodik olmayan hareket olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Periyodik hareketler zaman içinde belirli aralıklarla tekrarlanan hareketlerdir. Periyodik hareketin en basit şekli, zaman içinde yer değiştirmenin sinüsoidal olarak değiştiği basit harmonik harekettir [Clough ve Penzien, 1975].

Titreşim hareketi sırasında, sistemde eylemsizlik kuvvetleri meydana gelir. Yapıda sönüm ve azalım mekanizmaları, dinamik hareket sırasında açığa çıkar ve göz önüne alınması gerekir. Titreşen dinamik sistemler üç temel öğeden oluşurlar. Kinetik enerjinin depolandığı kütle, potansiyel enerjinin depolandığı ve sistemi denge konumuna getirici kuvvetleri temsil eden ve elastik yapı sistemini idealize eden yay ve iç sürtünmelerden, eşdeğer viskoziteden, diğer enerji yutucu özelliklerinden oluşarak titreşim genliğini azaltıcı yönde etki eden sönümleyiciler [Erdik ve Yüzügüllü, 1980]

Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları, her bir yapı için karakteristik özelliğe sahip dinamik parametreler kullanılarak belirlenmektedir. Bu parametreler yapının mevcut yapısal özelliklerine, malzeme özelliklerine, sınır şartlarına bağlı olarak elde edilmektedir. Bilindiği gibi, herhangi bir etkiden dolayı titreşen bir sistemin doğal frekansı ile etkinin frekansı uyuşacak olursa, yani birbirine yakın olursa “Rezonans” olayı meydana gelir. Rezonans olayı neticesinde çok büyük salınımlara maruz kalan yapı fonksiyonunu kısmen ya da tamamen kaybedebilir. Bu nedenle sadece sistemin kütle ve rijitliklerinin dağılımına bağlı olan frekanslarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır [Fenkli, 2001].

Bu çalışmadaki hedef, çerçevelere etki eden deprem yüklerinin dinamik analiz yöntemi ile çözülmesi ve sisteme ait parametrelerin değiştirilerek etkilerinin incelenmesidir. Öncelikle sistemin dinamik analizi yapılarak uygulama örnekleri çözülecek ve parametreler çerçevesinde sistemdeki değişimleri incelenecektir. Yapının dinamik yüklere göre hesabının amacı da, benzer şekilde, yapıya gelebilecek

dinamik etkileri emniyetli bir şekilde karşılaması, böylece olası hasarın, dolayısıyla, mal ve can kayıplarının en aza indirilmesidir.

İkinci bölümde titreşim teorisi incelenmiştir. Dinamik hesap için yapılan matematik modelde kütleleri kat hizalarında toplandığı, kat döşemelerinin ve kirişlerin kolonlara göre sonsuz rijit olduğu ve her kat için kuvvet doğrultusunda hareketin olduğu kabul edilmiştir. Bu bölümde tek serbestlik dereceli (SDOF) ve çok serbestlik dereceli sistemlerin (MDOF) çeşitli durumları, bunların sönümlü ve sönümsüz, serbest ve zorlanmış titreşim hareketleri olarak incelenmiş ve hareket denklemleri çözülmüştür. Serbest titreşim hareketinin çözümünden sistemin açısal frekansları ve mod şekilleri bulunmuştur. İkinci bölümün sonunda çok serbestlik dereceli bir çerçeve sisteminin, yer ivmesi etkisinde sönümsüz zorlanmış titreşim hareketinin çözümü yapılmış, mod şekilleri ve açısal frekansları bulunmuş, mod süperpozisyonu yöntemi ile her kata ait yer değiştirme fonksiyonları elde edilmiştir. İkinci bir yöntem olarak Newmark İvme Metodu'ndan bahsedilmiş ve tek serbestlikli bir sistem için örnek çözümü yapılmıştır.

Üçüncü bölümde de MATLAB yazılım programı kullanılarak düzlem çerçeveler için dinamik çözüm yapan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program ile matematik modelinin kurulduğu bir sistem için sisteme ait elastisite modülü, kat sayısı, kat yükseklikleri, kolon atalet momentleri, kat kütleleri, yapıya etki eden yer ivme fonksiyon türü ve elde edilecek grafikler için gerekli zamanların verildiği bir yapının her katın yer değiştirme, hız, ivme, kat kesme kuvveti, moment, gerilme diyagramlarının çizilmesi ve sistemin herhangi bir zamana ait deformasyon halinin görünüşü elde edilmektedir. Üçüncü bölümün sonunda MATLAB programının sonuçları, SAP2000 programında yapılan model sonuçları ile karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Aynı zamanda yazılan programın son kısmında bulunan Newmark metodunun da bir uygulaması ve karşılaştırması yapılmıştır.

Son bölümde ise bir sisteme etki eden yer ivme fonksiyon değişkenleri ve sistem değişkenleri karşılaştırma parametresi olarak kullanılmış sistem üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Önceki Çalışmalar

[Korkmaz ve Kayhan, 2008] çalışmasında, en büyük bina yer değiştirmesi açısından, kapasite spektrumu yöntemi, yer değiştirme katsayısı yöntemi, deprem yönetmeliği 2007'de öngörülen elastik yöntem ve zaman tanım alanında dinamik analiz yöntemi ele alınarak örnek betonarme bir yapı üzerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

[Bayraktar ve Türker, 2005] çalışmasında, tek açıklıklı ve üç katlı bir düzlem çerçevenin deneysel ve teorik modal analizi yapılmıştır. Ölçüm için içi boş dikdörtgen kesitli elemanlar kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model üzerinde gerekli ölçümler yapılmış ve dinamik karakteristikler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların teorik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılması yapılarak yöntemin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

[Civalek ve Çatal, 2002] çalışmasında, çeşitli mesnet şartlarına sahip bir ve iki boyutlu yapıların serbest titreşim analizi için sayısal çözümü genelleştirilmiş diferansiyel quadrature yöntemiyle elde edilmiştir. Sayısal uygulamalarda elastik kirişler, plaklar ve tek serbestlik dereceli sistemler göz önüne alınmıştır. Farklı ağ nokta sayıları için sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut diğer sayısal metod sonuçları ve analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sunulan metod yapıların dinamik analizi için yeter doğrulukta sonuçlar vermiştir.

[Karabörk, 2009] çalışmasında, zemin özelliklerinin deprem etkisindeki betonarme yapıların dinamik davranışına olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla aynı plan ve rijitliğe sahip üç, altı ve on katlı yapı modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin yumuşak ve sert olmak üzere iki farklı zemin türü için, üç farklı deprem yükü altındaki davranışları incelenmiştir. Analizler SAP2000 programı yardımıyla zaman tanım alanı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çözümleme sonucunda farklı modeller için elde edilen yer değiştirmeler, iç kuvvetler ve periyot değerleri karşılaştırılmıştır.

[Fenkli, 2001] çalışmasında, dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan uzamsal (spatial) çelik uzay yapıların deprem etkisi altında bu tip yapıların hareketinin zamanla değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında ele alınan yapıların, dinamik davranışlarının incelenmesinin amacı ise, yapıların deprem etkisi altında hareketinin zamanla değişimi incelenmiş, böylece hız, yer değiştirme, ivme gibi dinamik büyüklüklerinin yapı geometrisindeki değişim ile ilişkilerini tespit edilmiştir.

[Özkan ve Muratoğlu, 2004] çalışmasında, yapı tasarımında amaç, deprem esnasında can kaybının olmamasını sağlamaktır. Bir yapı ömrü içerisinde; çok sık oluşabilecek hafif şiddetli depremlerde hiç hasar görmemelidir, orta şiddetli depremlerde taşıyıcı sistem hasar görmemelidir, şiddetli depremlerde ise taşıyıcı sistem zarar görebilir ancak yapı kesinlikle göçmemelidir. Yapılara gelebilecek deprem kuvvetleri, zemin sınıfına, bölge deprem ivmelerine ve yapı türüne bağlı olarak değişir. Bununla beraber 1997 yılında yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), I. Bölgede 0,40g, II. Bölgede 0,30g, III. Bölgede 0,20g, IV. Bölgede ise 0,10g minimum ivme düzeyini belirtmektedir. Ancak 1999 yılında yaşamış olduğumuz depremlerde belirtilen ivme düzeyleri aşılmıştır. Bu çalışmada sabit yerel zemin sınıfına sahip, 4 ve 8 katlı konut yapıları kullanılmıştır. Bu yapılara etki eden deprem ivme düzeyleri 0,05g den 0,80g'e kadar 0,05 artırım ile ele alınmış ve bu ivme düzeylerinin yapıda meydana getirdiği yatay deprem kuvvetleri incelenmiştir.

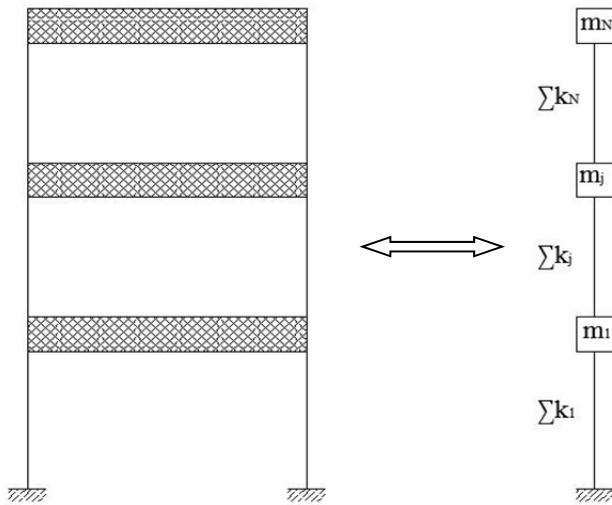
2. TİTREŞİM TEORİSİ

2.1. Matematik Modelin Kurulması

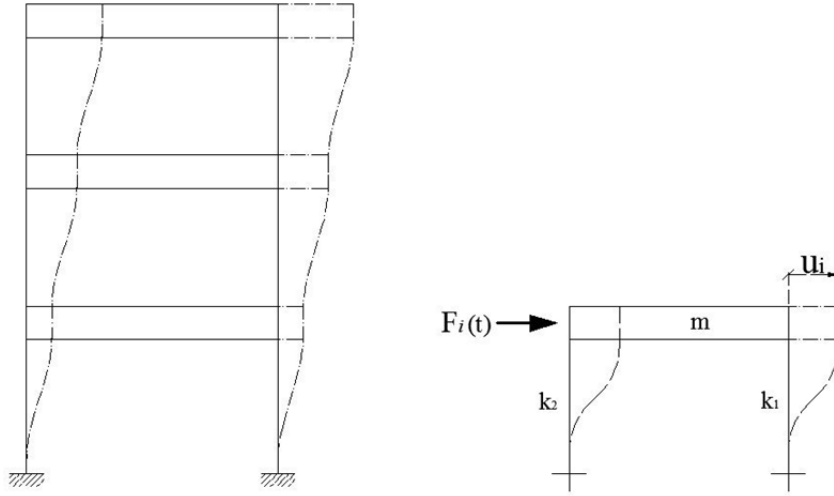
Statik çözümlemede olduğu gibi, dinamik çözümlemede de en önemli adım ele alınan problemin Matematik Modeli nin kurulmasıdır. Bu modelde, yapıya ait yer değiştirmelerin hesabında başarılı sonuç alabilmek için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan basitleştirilmiş model, toplanmış kütle modelidir. Modelin dayandığı kabuller şunlardır:

1. Yapının toplam kütlesi kat seviyelerinde yoğunlaşmış olması,
2. Döşeme ve kirişlerin, kolonlara göre sonsuz rijitlikte olması ve
3. Yapının yanal deformasyonu kolonlardaki aksenal kuvvetten bağımsız olmasıdır.

Bu kabulleri tipik bir yapı probleminde uyguladığımızda, serbestlik derecesi sonsuz sayıdaki sistemde serbestlik derecesi sayısı, kat sayısına indirgenmektedir. Bir yapının titreşim durumundaki konumunun belirlenmesi için gerekli olan parametre sayısı Serbestlik Derecesi olarak isimlendirilir.



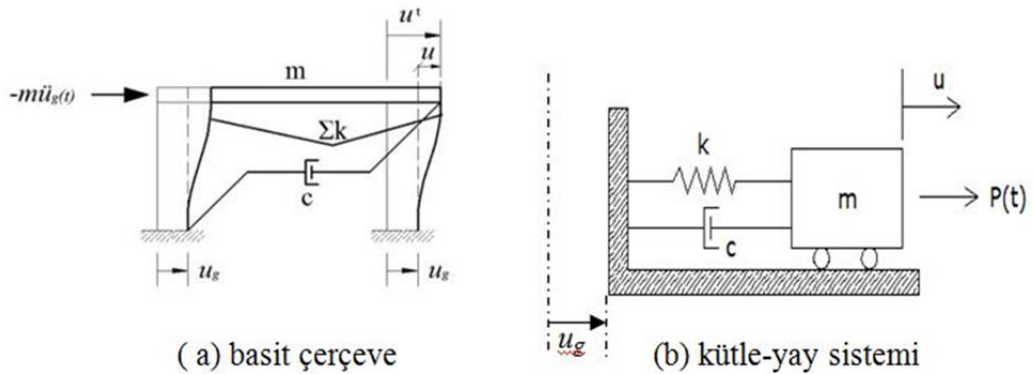
Şekil 2.1. Bir kayma çerçevesinin basitleştirilmiş mekanik (matematik) modeli



Şekil 2.2. Kirişleri ve döşemeleri rijit olan çok serbestlikli sistemde yanal yer değiştirme

2.2. Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, tek bir geometrik koordinat ile tanımlanabiliyorsa, tek serbestlik dereceli sistem olarak isimlendirilir. Böyle bir sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi için sistemin hareket denkleminin yazılmasına gerek vardır. Hareket denklemi sisteme etki eden kuvvetlere atalet kuvvetinin de eklenmesiyle, dinamik kuvvetler dengesi olarak yazılabilir. Tek serbestlik dereceli sistemlerin dinamik davranışı tek bir hareket denklemi ile belirlenebilir. Genel tek serbestlik dereceli sistem tek katlı bir çerçeve veya kütle-yay sistemi ile idealleştirilir (Şekil 2.3.) [Celep ve Kumbasar, 1992].



Şekil 2.3. İdealize edilmiş tek serbestlik dereceli sistem

İdealleştirilmiş sistemde, m rijit kütlesi, k elastik yayına ve c sönümüne tek bir yönde hareket yapacak şekilde bağlanmıştır. Dinamik davranışın, sisteme etkiyen ve zamana bağlı $p(t)$ dış kuvveti ve $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesinin oluşturduğu yer hareketi sonucu dinamik kuvvet dengesi,

$$f_I + f_s + f_y = P(t)$$


olarak yazılır. Denklemdeki f_I atalet, f_s sönüm ve f_y yay kuvvetlerinin

$$f_I = m\ddot{u}_t \quad , \quad f_s = c\dot{u} \quad , \quad f_y = ku$$

şekildeki gibi eşitlikleri yazılabilir. Tek serbestlik dereceli sistemlerde yay sabiti k , sistemin kolonlarının yatay rijitlikleri toplamıdır. Sistemde yatay elemanların rijitlikleri sonsuz kabul edilirse, (i) nci kolonunun yatay rijitliği aşağıdaki şekilde bulunur [Çatal, 2002].

$$k_i = \frac{12EI_i}{h_i^3} \quad (2.1)$$

Toplam yer değiştirme u_t , sistemin bağıl (göreceli) yer değiştirmesi u ve yer hareketinin oluşturduğu yer değiştirmesi u_g ' nin toplamından oluşmaktadır.

$$u_t = u + u_g \quad (2.2)$$

Atalet kuvveti sistemin toplam ivmesine bağlı iken, elastik yay ve sönüm sistemin bağıl yer değiştirme ve hızından elde edilmektedir. Kuvvetler dengesi sonucu hareket denklemi,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g + p(t) \quad (2.3)$$

şeklinde yazılır. Görüldüğü gibi yer ivmesinin etkisi dış kuvvete benzer durumda

gerçekleşmektedir. İşaretinin eksi olması, eşdeğer dış kuvvet etkisinin yer hareketi ivmesine zıt yönde gerçekleştiğini göstermektedir. Yer hareketi sonucu ortaya çıkan etkili eşdeğer kuvvet sistemi ile hareket denklemi,

$$m \ddot{u}(t) + c \dot{u}(t) + k u(t) = p_{eff}(t) + p(t) \quad (2.4)$$

şekildeki gibi yazılabilir.

2.3. Serbest Titreşim

2.3.1. Sönümsüz serbest titreşim

Tek serbestlik dereceli sistemin davranışı hareket denkleminin çözümüyle ortaya çıkar. Sönümsüz ve dış etkilerin olmadığı durumda,

$$m \ddot{u} + k u = 0 \quad (2.5)$$

hareket denklemi elde edilir. Böyle bir sistem, başlangıç sınır koşulları doğrultusunda bir titreşim hareketi yapar. Hareket denklemi çözüm için pratik amaçlar doğrultusunda,

$$\ddot{u} + \omega^2 u = 0 \quad (2.6)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Denkleminde yer alan $\omega = \sqrt{k/m}$, doğal frekans olarak adlandırılır. Titreşim hareketlerinde, hareketin kendini bir kere tekrar eden durum için geçen süre Periyot ve birim zamanda yapılan periyodik hareket sayısı Frekans olarak adlandırılır. Periyot için kullanılan zaman birimi saniye iken frekans için kullanılan birim hertz (Hz, $1s^{-1}$) kullanılır.

Titreşim hareketi,

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (2.7)$$

periyoduyla ve

$$f_n = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.8)$$

frekansıyla meydana gelir. Dış bir zorlama olmadığı ve sönüm olmadığı için hareket Sönümsüz Serbest Titreşim Hareketi olarak tanımlanır. Hareket denkleminin sonucu olan yer değiştirme fonksiyonu $u(t)$, lineer homojen denklemi sabit katsayılar yöntemi ile çözümlendiğinde,

$$u = Ae^{st} \quad , \quad A, s = \text{sabitler} \quad (2.9)$$

$$ms^2 + k = 0$$

$$s_{1,2} = \pm\sqrt{-k/m} = \pm i\sqrt{k/m} = \pm i\omega$$

$$u(t) = A_1 e^{i\omega t} + A_2 e^{-i\omega t} \quad (2.10)$$

elde edilen trigonometrik hareket denkleminin euler açılımı uygulanarak çözüm bulunur.

$$e^{\pm i(\omega t)} = \cos \omega t \pm i \sin \omega t \quad (2.11)$$

$$u(t) = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t \quad (2.12)$$

$$C_1 = A_1 + A_2 \quad , \quad C_2 = i(A_1 - A_2)$$

Hareket denkleminin başlangıç koşulları $u_{T=T_0} = u_0$ ve $\dot{u}_{T=T_0} = \dot{u}_0$ ise,

$$C_1 = u_0 \cos \omega t_0 - \frac{\dot{u}_0}{\omega} \sin \omega t_0$$

$$C_2 = u_0 \sin \omega t_0 + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \cos \omega t_0$$

aşağıdaki yer değiştirme ve hız denklemleri elde edilir [Fertis, 1973].

$$u(t) = u_0 \cos \omega(t - t_0) + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \sin \omega(t - t_0) \quad (2.13)$$

$$\dot{u}(t) = -u_0 \omega \sin \omega(t - t_0) + \dot{u}_0 \cos \omega(t - t_0) \quad (2.14)$$

2.3.2. Sönümlü serbest titreşim

Sisteme etkiyen bir dış zorlama olmadığı, sistemde sönüm mevcut ve hareket bir titreşim hareketi ise Sönümlü Serbest Titreşim Hareketi meydana gelir. Sönümden açıklanmak istenen enerjinin kaybolması sürtünme, ısı oluşumu, hava direnci ve ya diğer fiziksel mekanizmalardan ileri gelebilir. Bu nedenle serbest titreşim etkisi zamanla azalacaktır. Genel çözüm yerine değişik çözümlerin elde edilmesi ile hareket denkleminin,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad (2.15)$$

“m” kütlesine oranı ile hareket denklemi

$$\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2 u = 0 \quad (2.16)$$

şeklinde de yazılabilir. Denkleminde yer alan ξ ,

$$\xi = \frac{c}{2m\omega} = \frac{c}{c_{cr}}$$

sönüm oranı olarak isimlendirilir. Sönüm nedeniyle bu tür hareketin genliği sürekli azalır ve sönümlü hareket yapan sistemin doğal dairesel frekansı,

$$\omega_D = \omega\sqrt{1 - \xi^2}$$

sönümsüz sistemin dairesel frekansından daha küçüktür. [Celep ve Kumbasar, 1992]

Diferansiyel titreşim hareket denklemi (2.15) çözümlendiğinde, hareket denkleminin çözümü için yapılan,

$$u = Ce^{st} \quad , \quad C \text{ \& } s = \text{sabit}$$

kabulü, s için

$$ms^2 + cs + k = 0 \quad (2.17)$$

$$s_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \sqrt{(c/2m)^2 - k/m}$$

karakteristik denklemine ve çözüme götürür.

$$u(t) = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t} \quad (2.18)$$

$$s_{1,2} = \omega(-\xi \pm i\sqrt{1 - \xi^2})$$

$$u(t) = e^{-\xi\omega t}(A_1 e^{i\omega_D t} + A_2 e^{-i\omega_D t}) \quad (2.19)$$

$$u(t) = e^{-\xi\omega t}(A_1 \cos \omega_D t + A_2 \sin \omega_D t) \quad (2.20)$$

$$A_1 = u_0 \quad A_2 = \frac{\dot{u}_0 + \xi\omega u_0}{\omega_D}$$

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left[\left(\frac{\dot{u}_0 + \xi\omega u_0}{\omega_D} \right) \sin \omega_D t + u_0 \cos \omega_D t \right] \quad (2.21)$$

yer değiştirme fonksiyonu elde edilir [Fertis, 1973].

2.4. Zorlanmış Titreşim

Sistemdeki titreşim, bir dış statik ya da dinamik yüklemeye oluşuyorsa bu tür titreşim Zorlanmış Titreşim olarak adlandırılır. Dinamik yüklemeye çok sayıda değişik kaynaktan ileri gelebilir ve periyodik ya periyodik olmayan karakterde olabilir. Etkiyen dinamik yüklemeye periyodik ise, hem kendi frekansı hem de etkiyen yüklemenin frekansında titreşim eğilimi gösterir. Eğer bu iki frekans birbirine eşit olursa, titreşim hareketinin genliği sürekli büyür ve Rezonans olayı gerçekleşir. Yapı dinamiğindeki problemler için harmonik yüklemeye tepki çok önemlidir. Zorlanmış

titreşimin de serbest titreşimde olduğu gibi sönümsüz ve sönümlü olarak iki türü bulunmaktadır [Celep ve Kumbasar, 1992][Kramer, 2003].

2.4.1. Sönümsüz zorlanmış titreşim

$F(t) = F \sin \bar{\omega}t$, şeklindeki basit harmonik yüklemeye maruz kalan sönümsüz sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi olur:

$$m\ddot{u} + ku = F(t) \quad (2.22)$$

Bu hareket denkleminin genel çözümü,

$$u(t) = u_c(t) + u_p(t) \quad (2.23)$$

tamamlayıcı çözüm $u_c(t)$ (Eş. 2.22 nin sağ tarafının sıfır olduğu homojen durum) ile özel çözümün $u_p(t)$ [Eş. 2.22 nin sağ tarafını sağlaması gereken çözüm] toplamı şeklinde sağlanır. Homojen denklem,

$$m\ddot{u} + ku = 0$$

şeklindedir ve tamamlayıcı çözüm de basit olarak sönümlemesiz serbest titreşim probleminin çözümüdür:

$$u_c(t) = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t$$

Tepkinin homojen olarak tanımlanan kısmı, sistemin başlangıç şartlarından meydana gelir ve sönümsüz doğal frekanstaki basit harmonik salınımı ifade eder. Özel çözüm tepkinin dış yüklemesinden dolayı oluşan kısmı tanımlar ve tepkinin bu kısmının harmonik yüklemeye aynı formda ve fazda olduğu kabul edilebilir; böylece

$$u_p(t) = U \sin \bar{\omega}t \quad (2.24)$$

olur. Denklemdeki U harmonik tepkinin genliğidir. Eş. 2.24, Eş. 2.22 de yerine yazılırsa

$$-m\bar{\omega}^2 U + kU = F \quad (2.25)$$

$$U = \frac{F}{k - m\bar{\omega}^2} \quad , \quad U = \frac{F}{k} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2}$$

çözümü elde edilir. Homojen ve özel çözüm ifadelerinin birleştirilip hareket denkleminin genel çözümü,

$$u(t) = C_1 \cos \omega t + C_2 \sin \omega t + \frac{F}{k} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2} \sin \bar{\omega} t \quad (2.26)$$

$$\dot{u}(t) = -C_1 \omega \sin \omega t + C_2 \omega \cos \omega t + \frac{F\bar{\omega}}{k} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2} \cos \bar{\omega} t \quad (2.27)$$

sistem için başlangıç sınır koşulları $U_{T=T_0} = U_0$ ve $\dot{U}_{T=T_0} = \dot{U}_0$ için

$$C_1 = u_0 \quad , \quad C_2 = \frac{\dot{u}_0}{\omega} - \frac{F\bar{\omega}}{k\omega} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2}$$

$$u(t) = u_0 \cos \omega t + \left[\frac{\dot{u}_0}{\omega} - \frac{F\bar{\omega}}{k\omega} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2} \right] \sin \omega t + \frac{F}{k} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2} \sin \bar{\omega} t \quad (2.28)$$

$$\dot{u}(t) = -u_0 \omega \sin \omega t + \left[\frac{\dot{u}_0}{\omega} - \frac{F\bar{\omega}}{k\omega} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2} \right] \omega \cos \omega t + \frac{F\bar{\omega}}{k} \frac{1}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2} \cos \bar{\omega} t \quad (2.29)$$

şeklinde ifade edilebilir [Kramer, 2003].

2.4.2. Sönümlü zorlanmış titreşim

$F(t) = F \sin \bar{\omega}t$ şeklindeki basit harmonik yüklemeye maruz kalan sönümlü sistemin hareket denklemi:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = F(t) \quad (2.30)$$

m ile bölümdükten sonra, Eş. 2.30

$$\ddot{u} + 2\xi\omega \dot{u} + \omega^2 u = \frac{F}{m} \sin \bar{\omega}t$$

yeniden yazılabilir. Homojen çözüm Eş. 2.19 da ifade edilen sönümlü serbest titreşim tepkisini temsil eder.

$$u_c(t) = e^{-\xi\omega t} [A_1 \cos(\omega\sqrt{\xi^2 - 1})t + A_2 \sin(\omega\sqrt{\xi^2 - 1})t] \quad (2.31)$$

Dış yük etkisindeki harmonik özel çözüm ise,

$$u_p(t) = U \sin(\bar{\omega}t - \phi) \quad (2.32)$$

$$U = \frac{F}{[(k - m\bar{\omega}^2)^2 - (c\bar{\omega})^2]^{\frac{1}{2}}}, \quad \tan \phi = \frac{c\bar{\omega}}{k - m\bar{\omega}^2} = \frac{2\xi\bar{\omega}/\omega}{1 - (\bar{\omega}/\omega)^2}$$

şeklinde elde edilir. Sistemin genel hareket denklemi

$$u(t) = e^{-\xi\omega t} [A_1 \cos(\omega\sqrt{\xi^2 - 1})t + A_2 \sin(\omega\sqrt{\xi^2 - 1})t] + \frac{F/k}{\left[\left[1 - (\bar{\omega}/\omega)^2 \right]^2 - (2\xi\bar{\omega}/\omega)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \sin(\bar{\omega}t - \phi) \quad (2.33)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Yüklerin hepsi harmonik ya da periyodik değildir. Sistemlerin genel yükleme şartlarına tepkisini belirlemek için hareket denkleminin genel çözümü gereklidir [Kramer, 2003]. Genel zorlanmış titreşim hareket denklemleri yazılmak istendiğinde, $T=0$ ile $T=t$ zaman aralığında $F(t)$ etkisindeki sönümsüz hareket denklemi,

$$u_p(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t F(T) \sin \omega(t - T) dT \quad (2.34)$$

$$u(t) = u_0 \cos \omega t + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \sin \omega t + \frac{1}{m\omega} \int_0^t F(T) \sin \omega(t - T) dT \quad (2.35)$$

şeklinde ifade edilir. Etkiyen kuvvet fonksiyonu yer ivmesi olacak olursa sistemde sönümsüz zorlanmış titreşim hareket denklemi,

$$m\ddot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.36)$$

$$u_p(t) = \frac{1}{\omega} \int_0^t \ddot{u}_g(t) e^{-\xi\omega(t-T)} \sin \omega(t - T) dt \quad (2.37)$$

$$u(t) = u_0 \cos \omega t + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \sin \omega t + \frac{1}{\omega} \int_0^t -\ddot{u}_g(t) \sin \omega(t - T) dt \quad (2.38)$$

şeklinde yazılır. Ancak sönümlü hareket denklemi ise çözüm için gerekli sınır koşulları $u_c(0) = u_0$ ve $\dot{u}_c(0) = \dot{u}_0$ ile A_1 ve A_2 katsayıları hesaplanır ve

$$u_c(t) = e^{-\xi\omega t} (A_1 \cos \omega_D t + A_2 \sin \omega_D t) \quad (2.39)$$

$$A_1 = u_0 \quad A_2 = \frac{\dot{u}_0 + \xi\omega u_0}{\omega_D}$$

$$u_c(t) = e^{-\xi\omega t} \left[u_0 \cos \omega_D t + \left(\frac{\dot{u}_0 + \xi\omega u_0}{\omega_D} \right) \sin \omega_D t \right] \quad (2.40)$$

$$u_p(t) = \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t F(T) e^{-\xi\omega(t-T)} \sin \omega_D(t - T) dt \quad (2.41)$$

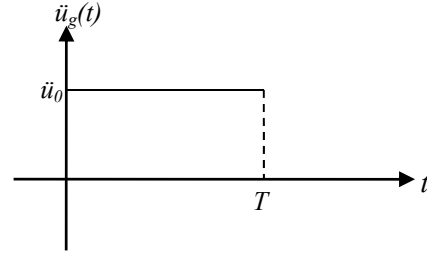
$$u(t) = e^{-\xi\omega t} \left[u_0 \cos \omega_D t + \left(\frac{\dot{u}_0 + \xi\omega u_0}{\omega_D} \right) \sin \omega_D t \right] + \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t F(T) e^{-\xi\omega(t-T)} \sin \omega_D(t - T) dt \quad (2.42)$$

Eş. 2.42 hareket denklemi elde edilir [Fertis,1973].

Genel ifade edilmiş hareket denkleminde, periyodik yada periyodik olmayan yer ivmesi fonksiyonlarının türüne göre sönümsüz titreşim hareket denklemleri diferansiyel denklem çözümü ile elde edilmiştir. Bazı yer ivme fonksiyonları için,

Sabit titreşim ivme fonksiyon

$$\ddot{u}_g(t) = \begin{cases} \ddot{u}_0, & 0 < t \leq T \\ 0, & t > T \end{cases}$$

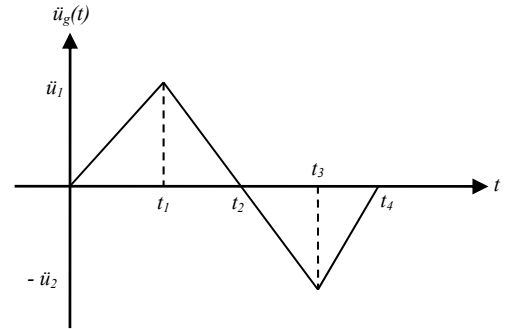


$$u(t) = \frac{\ddot{u}_0}{\omega^2} (1 - \cos \omega t), \quad t \leq T$$

$$u(t) = u_{t=T} \cos \omega(t - T) + \frac{\dot{u}_{t=T}}{\omega} \sin \omega(t - T), \quad t \geq T \quad (2.43)$$

Lineer artan ve/veya azalan titreşim ivme fonksiyon

$$\ddot{u}_g(t) = \begin{cases} \ddot{u}_1 \frac{t}{t_1}, & 0 < t \leq t_1 \\ \ddot{u}_1 \frac{t_2 - t}{t_2 - t_1}, & t_1 \leq t \leq t_2 \\ \ddot{u}_2 \frac{t_2 - t}{t_3 - t_2}, & t_2 \leq t \leq t_3 \\ \ddot{u}_2 \frac{t - t_4}{t_4 - t_3}, & t_3 \leq t \leq t_4 \\ 0, & t_4 \leq t \end{cases}$$



$$u(t) = \frac{\ddot{u}_1}{\omega^2} \left(\frac{t}{t_1} - \frac{\sin \omega t}{\omega t_1} \right), \quad t \leq t_1$$

$$u(t) = \left(u_{t_1} - \frac{\ddot{u}_1}{\omega^2} \right) \cos[\omega(t - t_1)] + \left(\dot{u}_{t_1} + \frac{\ddot{u}_1}{\omega^2(t_2 - t_1)} \right) \frac{\sin[\omega(t - t_1)]}{\omega} + \frac{\ddot{u}_1}{\omega^2} \frac{t_2 - t}{t_2 - t_1}, \quad t_1 \leq t \leq t_2$$

$$u(t) = u_{t_2} \cos[\omega(t - t_2)] + \left(\dot{u}_{t_2} + \frac{\ddot{u}_2}{\omega^2(t_3 - t_2)} \right) \frac{\sin[\omega(t - t_2)]}{\omega} + \frac{\ddot{u}_2}{\omega^2} \frac{t_2 - t}{t_3 - t_2}, \quad t_2 \leq t \leq t_3$$

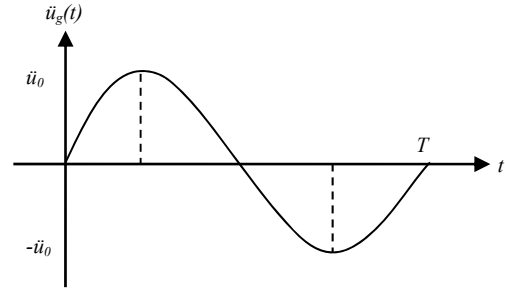
$$u(t) = \left(u_{t_3} - \frac{\ddot{u}_2}{\omega^2} \right) \cos[\omega(t - t_3)] + \left(\dot{u}_{t_3} - \frac{\ddot{u}_2}{\omega^2(t_4 - t_3)} \right) \frac{\sin[\omega(t - t_3)]}{\omega} + \frac{\ddot{u}_2}{\omega^2} \frac{t - t_4}{t_4 - t_3}, \quad t_3 \leq t \leq t_4$$

$$u(t) = u_{t_4} \cos[\omega(t - t_4)] + \frac{\dot{u}_{t_4}}{\omega} \sin[\omega(t - t_4)], \quad t_4 \leq t \quad (2.44)$$

Harmonik titreşim ivme fonksiyon

$$\ddot{u}_g(t) = \begin{cases} \ddot{u}_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T} * t\right), & 0 < t \leq T \\ 0, & t > T \end{cases}$$

$$a = \frac{2\pi}{T},$$



$$u(t) = \frac{\ddot{u}_0}{\omega^2 - a^2} \left(\sin at - \frac{a}{\omega} \sin \omega t \right), \quad t \leq T$$

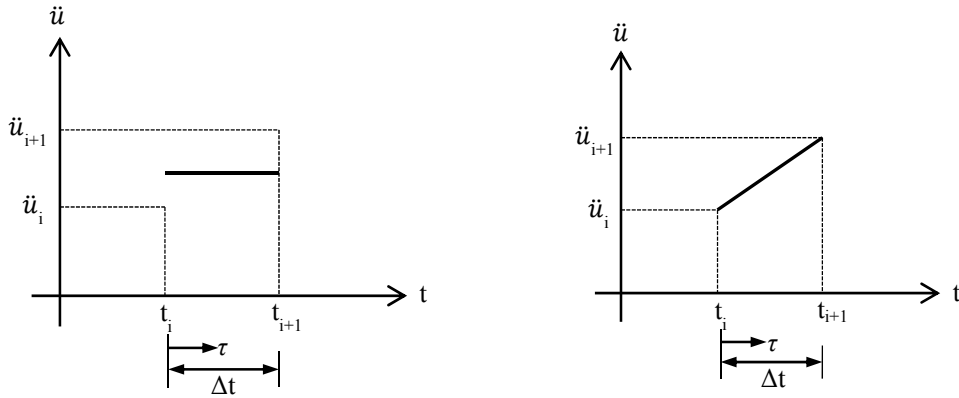
$$u(t) = u_{t=T} \cos[\omega(t - T)] + \frac{\dot{u}_{t=T}}{\omega} \sin[\omega(t - T)], \quad T \leq t \quad (2.45)$$

titreşim hareket denklemleri şeklinde yazılır.

2.5. Newmark İvme Metodu

Bir titreşim diferansiyel denkleminin çözümü, başlangıç şartları, zorlama kuvveti gibi çeşitli parametrelere bağlıdır. Fonksiyon zamana bağlı basit bir trigonometrik fonksiyon olarak tanımlanabiliyorsa, titreşim denklemini kolayca çözülebilir. Aksi halde çözümü çok zor ve uzundur. Bu nedenle hareket denkleminin sayısal bir çözümü olan Newmark İvme Metodu pratik bir yoldur [Çevikbaş, 1998].

Bu metotta, dinamik zorlama hareketinin zamana bağlı açık bir fonksiyon olarak verilmesine gerek yoktur. Belirli zaman aralıklarındaki değerlerinin bilinmesi yeterlidir [Gültop, 1996].



Şekil 2.4. Newmark metodu ortalama ve doğrusal ivme grafikleri

İvme için yapılacak kabulle, yer değiştirmedeki artım Newmark'ın ortalama ya da doğrusal ivme metoduyla hesaplanabilir. Ortalama ivme metodunda küçük zaman aralıklarında ivme değişimi için yaklaşım yapılarak sabit ortalama bir değer kabul edilirken, doğrusal ivme metodu ise küçük zaman aralıklarında ivmenin doğrusal değiştiği kabulünü esas alır. Zaman adımının küçülmesi ile sonuçlarda hassasiyet artarken bir sınırdan sonra küçülmesi ise kararlılığı bozar. Yaklaşık olarak periyodun onda birinden küçük zaman aralıkları kullanılır. Her zaman aralığında yer değiştirme, hız ve ivme değerleri değişimleri hesaplanır. Bu aralıktaki değişim değerleri bir önceki değerlerine eklenir ve yeni hız, ivme, yer değiştirme değerlerine ulaşılır. Birim zaman artımıyla oluşan her yeni zaman değerleri için tekrarlaması olmayan bu işlemler ile sisteme ait yer değiştirme, hız ve ivme değerleri bulunmuş olur [Üner, 2006].

Doğrusal ivme metodunda herhangi bir τ zamanında ivme değeri (Şekil2.4),

$$\ddot{u}(\tau) = \ddot{u}_i + \frac{\tau}{\Delta t} (\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (2.46)$$

şeklinde yazılırken, hız ifadesi ise ivme denkleminin integralinden

$$\dot{u}(\tau) = \dot{u}_i + \ddot{u}_i \tau + \frac{\tau^2}{2\Delta t} (\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (2.47)$$

elde edilebilir. $\tau = \Delta t$ değeri için hız denklemi

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \frac{\Delta t}{2} (\ddot{u}_{i+1} + \ddot{u}_i) \quad (2.48)$$

τ zamanına ait yer değiştirme denklemi de aynı şekilde hız denkleminin integralinden Eş.2.49 ve $\tau = \Delta t$ değeri için Eş.2.50 denklemleri elde edilmektedir.

$$u(\tau) = u_i + \dot{u}_i \tau + \ddot{u}_i \frac{\tau^2}{2} + \frac{\tau^3}{6\Delta t} (\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (2.49)$$

$$u_{i+1} = u_i + \dot{u}_i \Delta t + \ddot{u}_i \Delta t^2 \left(\frac{\ddot{u}_{i+1}}{6} + \frac{\ddot{u}_i}{3} \right) \quad (2.50)$$

Δt birim zaman değişimine karşılık gelen ivme, hız, yer değiştirme ve etkiyen kuvvet değerlerinde oluşan değişimler

$$\Delta u_i \equiv u_{i+1} - u_i, \quad \Delta \dot{u}_i \equiv \dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i, \quad \Delta \ddot{u}_i \equiv \ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i \quad (2.51)$$

$$\Delta p_i \equiv p_{i+1} - p_i \quad (2.52)$$

şeklinde ifade edildiğinde, Eş.2.47 ve Eş.2.50 denklemleri

$$\Delta \dot{u}_i = (\Delta t) \ddot{u}_i + (\gamma \Delta t) \Delta \ddot{u}_i, \quad \Delta u_i = (\Delta t) \dot{u}_i + \ddot{u}_i \frac{(\Delta t)^2}{2} + \beta (\Delta t)^2 \Delta \ddot{u}_i \quad (2.53)$$

yeni halini alır. Eş.2.53 de yer alan her iki denklemin ortak çözümünden ivme değişimi,

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \dot{u}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_i \quad (2.54)$$

şekildeki gibi elde edilir. Eş.2.53 ve Eş.2.54 denklemlerinde yer alan γ ve β katsayıları Newmark metodunun temel denklemlerinin bileşenleridir. İvme kabulü ile γ ve β katsayıları için

ortalama ivme kabulünde $\gamma = 1/2$ ve $\beta = 1/4$,

doğrusal ivme kabulünde ise $\gamma = 1/2$ ve $\beta = 1/6$ değerlerini alarak hesap yapılır.

Tek serbestlik dereceli sisteme ait hareket denklemi, herhangi bir birim artım zaman için

$$m\Delta \ddot{u}_i + c\Delta \dot{u}_i + k\Delta u_i = \Delta p_i \quad (2.55)$$

şeklinde yazılabilir. İvme, hız, yer değiştirme ve etkin kuvvet değerlerinde oluşan değişimler Eş.2.55 de yerine yazıldığında

$$\begin{aligned} - \left(\frac{m}{\beta(\Delta t)} + \frac{c\gamma}{\beta} \right) \dot{u}_i - \left\{ \frac{m}{2\beta} + c\Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \right\} \ddot{u}_i \\ + \left(\frac{m}{\beta(\Delta t)^2} + \frac{c\gamma}{\beta(\Delta t)} + k \right) \Delta u_i = \Delta p_i \end{aligned} \quad (2.56)$$

denklemini elde edilir. Eş.2.56 da \dot{u}_i ' nin katsayısı

$$\frac{m}{\beta(\Delta t)} + \frac{c\gamma}{\beta} = a \quad (2.57)$$

\ddot{u}_i ' nin katsayısı

$$\frac{m}{2\beta} + c\Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) = b \quad (2.58)$$

ve Δu_i ' nin katsayısı ise

$$\frac{m}{\beta(\Delta t)^2} + \frac{c\gamma}{\beta(\Delta t)} + k = \hat{k} \quad , \quad (2.59)$$

olarak adlandırıldığında hareket denklemi yeni şeklini alır ve

$$\hat{k} \Delta u_i = \Delta p_i + a \dot{u}_i + b \ddot{u}_i \quad (2.60)$$

$$\hat{k} \Delta u_i = \widehat{\Delta p}_i \quad (2.61)$$

denklemleri elde edilir. Eş.2.60 da yer alan \hat{k} efektif rijitliği, $\widehat{\Delta p}_i$ ise efektif yükü temsil etmektedir.

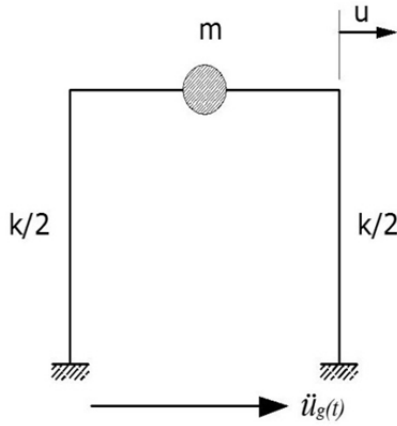
Newmark metodunun doğrusal sistemler için program adımları

1. İvme kabulü,
 - a. ortalama ivme metodu $\gamma = 1/2$ ve $\beta = 1/4$,
 - b. doğrusal ivme metodu $\gamma = 1/2$ ve $\beta = 1/6$.
2. Sınır şartlarına bağlı olarak katsayıların hesaplanması
 - a. $\ddot{u}_0 = \frac{p_0 - c\dot{u}_0 - ku_0}{m}$,
 - b. Birim zaman, Δt artımı,
 - c. $\hat{k} = k + \frac{c\gamma}{\beta(\Delta t)} + \frac{m}{\beta(\Delta t)^2}$,
 - d. $a = \frac{m}{\beta(\Delta t)} + \frac{c\gamma}{\beta}$ ve $b = \frac{m}{2\beta} + c\Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right)$.
3. Her zaman adımı için hesaplamalar
 - a. $\widehat{\Delta p}_i = \Delta p_i + a\dot{u}_i + b\ddot{u}_i$,
 - b. $\Delta u_i = \frac{\widehat{\Delta p}_i}{\hat{k}}$,
 - c. $\Delta \dot{u}_i = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \Delta u_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{u}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{u}_i$,
 - d. $\Delta \ddot{u}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \dot{u}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{u}_i$,

$$e. \quad u_{i+1} = u_i + \Delta u_i, \quad \dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \Delta \dot{u}_i, \quad \ddot{u}_{i+1} = \ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i.$$

4. Hesaplama devam edebilmek için 3. maddede i olan ifadelerde $i+1$ şeklinde değiştirilerek programın akıcılığı sağlanır [Chopra, 2001].

2.6. Newmark Metodu ile Tek Serbestlik Dereceli Sistem Örnek Çözümü



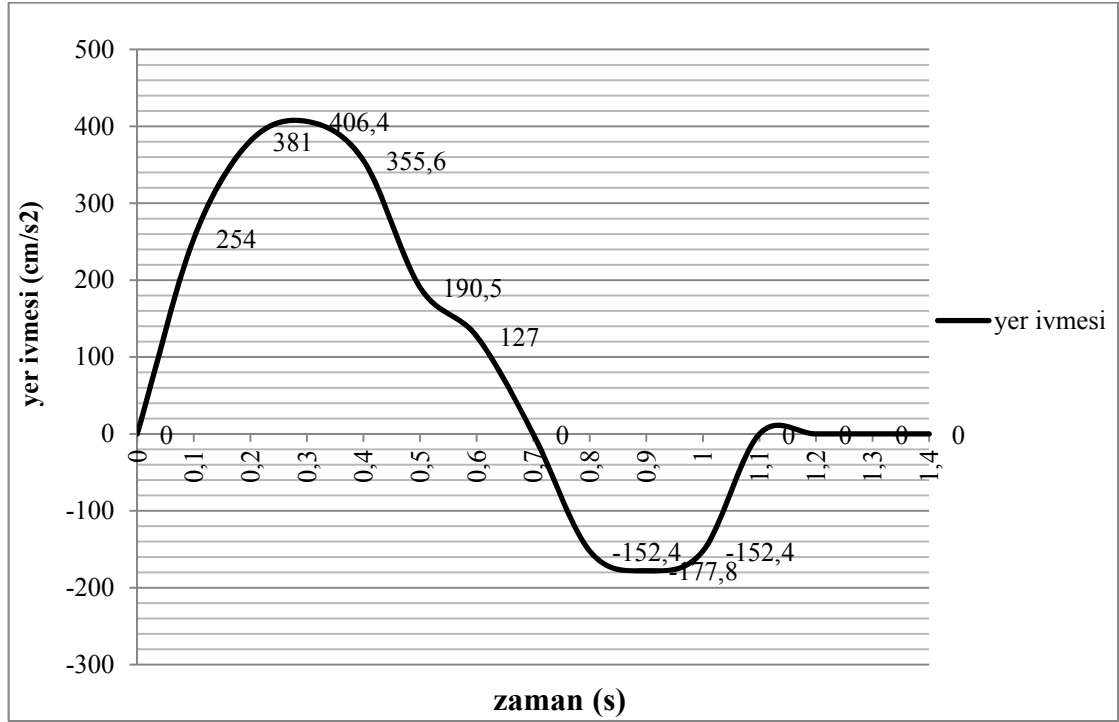
Şekil 2.5. Newmark metoduyla çözüm için verilmiş tek serbestlik dereceli sistem

Şekil 2.5' de verilen tek açıklıklı ve tek katlı sisteme ait veriler:

Kat hizasında yoğunlaşmış kütle : $m = 0,9 \text{ t s}^2/\text{cm}$,

Kat hizasındaki toplam rijitlik : $k = 35,75 \text{ t/cm}$,

Sisteme ait sönüm katsayısı : $c = 0$



Şekil 2.6. Sisteme etkiyen yer ivmesinin zamana bağlı grafiği (t=1,4 s)

Verileri verilmiş olan sistemin Şekil 2.6.' da verilmiş $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesi etkisinde, yatay doğrultudaki yer değiştirmesinin, $\Delta t = 0,1$ sn aralıklarla Newmark doğrusal ivme metoduyla hesaplanması ve yer değiştirme, hız, ivme grafiklerinin çizdirilmesi. Başlangıç sınır şartları, $u_0 = 0$ ve $\dot{u}_0 = 0$ [Paz ve Leigh, 2004].

Çözüm

İvme kabulü : doğrusal ivme metodu, $\gamma = 1/2$ ve $\beta = 1/4$

$$\ddot{u}_0 = \frac{p_0 - c\dot{u}_0 - ku_0}{m} = 0$$

$$\Delta t = 0,1$$

$$\hat{k} = k + \frac{c\gamma}{\beta(\Delta t)} + \frac{m}{\beta(\Delta t)^2} = 35,75 + \frac{0}{1/6(0,1)} + \frac{0,9}{1/6(0,1)^2} = 575,75 \text{ t/cm}$$

$$a = \frac{6m}{(\Delta t)} + 3c = 54 \quad \text{ve} \quad b = 3m + c \frac{\Delta t}{2} = 2,7$$

Her zaman adımına karşılık gelen hesaplamalar,

$$\widehat{\Delta p}_i = \Delta p_i + a\dot{u}_i + b\ddot{u}_i = -90 + 54\dot{u}_i + 2,7\ddot{u}_i = -90$$

$$\Delta u_i = \frac{\widehat{\Delta p}_i}{\widehat{k}} = \frac{-90}{575,75} = -0,16 \text{ cm}$$

$$\Delta \dot{u}_i = \frac{3}{(\Delta t)} \Delta u_i - 3\dot{u}_i - \Delta t \frac{1}{2} \ddot{u}_i = -4,69 \text{ cm/s}$$

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{6}{(\Delta t)^2} \Delta u_i - \frac{6}{(\Delta t)} \dot{u}_i - 3\ddot{u}_i = -93,79 \text{ cm}^2/\text{s},$$

$$u_{i+1} = u_i + \Delta u_i = -0,16 \text{ cm},$$

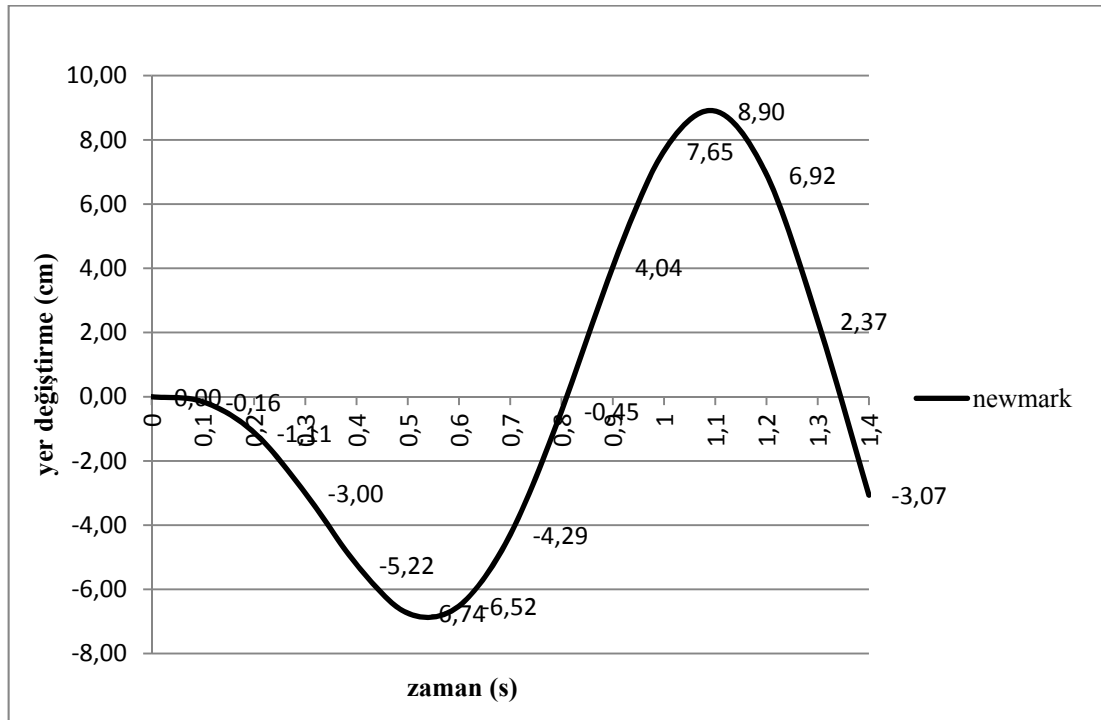
$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + \Delta \dot{u}_i = -4,69 \text{ cm/s}$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \ddot{u}_i + \Delta \ddot{u}_i = -93,79 \text{ cm}^2/\text{s}$$

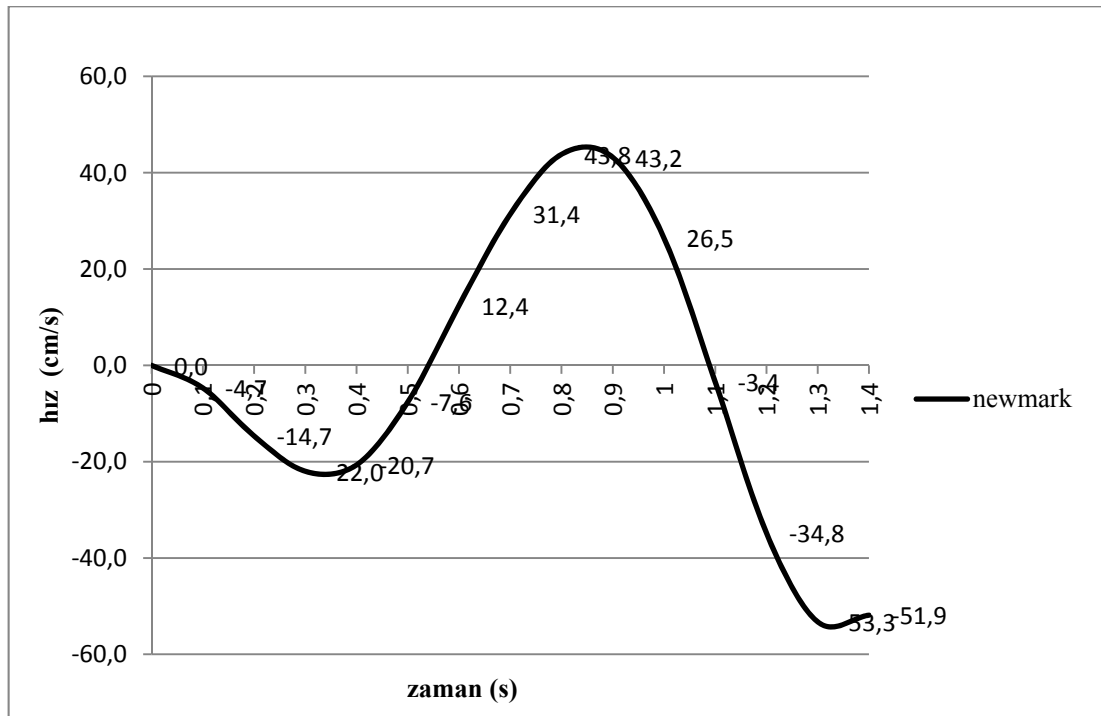
şeklinde tamamlanır ve bir sonraki adım için gerekli değerler elde edilmiş olur. Diğer adımlarda bu şekilde aynen tekrar edilir.

Çizelge 2.1. Newmark doğrusal ivme metodu ile yer ivmesi etkisinde tek serbestlik dereceli bir sistemin yer değiştirme, hız ve ivme değerleri

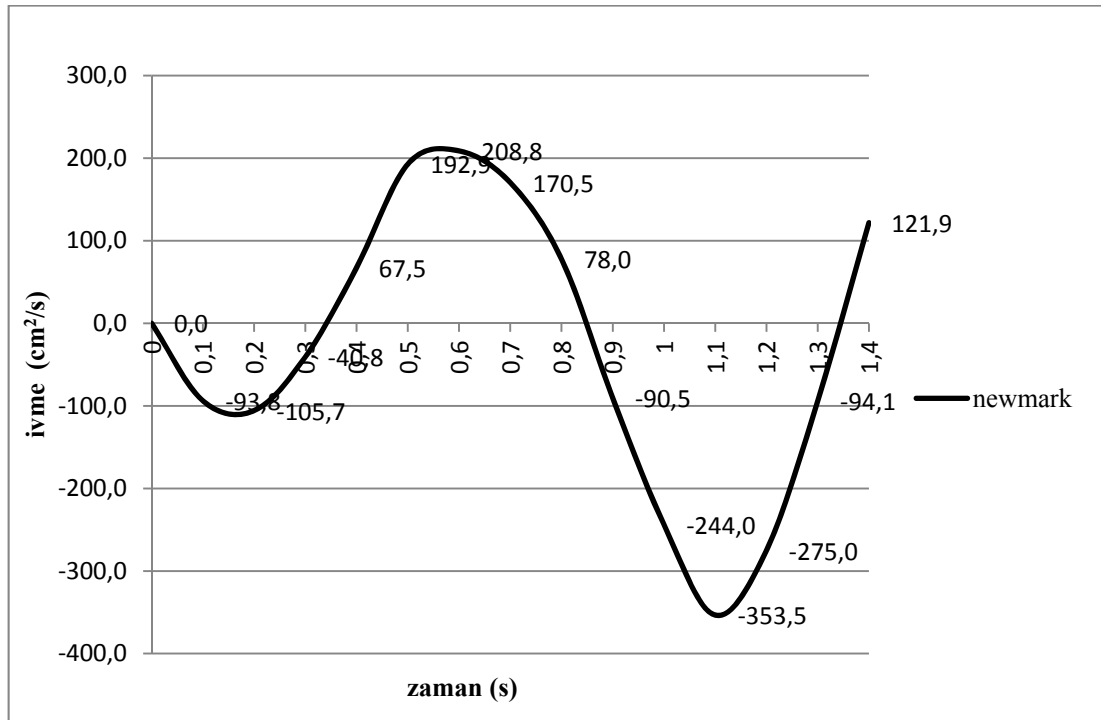
t	$\ddot{u}_g(t)$	$-m\ddot{u}_g(t)$	Δp_i	$\widehat{\Delta p}_i$	Δu_i	$\Delta \dot{u}_i$	$\Delta \ddot{u}_i$	u_i	\dot{u}_i	\ddot{u}_i
0	0	0	-90	-90	-0,2	-4,7	-93,8	0,0	0,0	0,0
0,1	254	-90	-45	-551,5	-1,0	-10,0	-12,0	-0,2	-4,7	-93,8
0,2	381	-135	-9	1086,5	-1,9	-7,3	65,0	-1,1	-14,7	-105,7
0,3	406,4	-144	18	1279,7	-2,2	1,3	108,3	-3,0	-22,0	-40,8
0,4	355,6	-126	58,5	-874,7	-1,5	13,0	125,3	-5,2	-20,7	67,5
0,5	190,5	-67,5	22,5	130,7	0,2	20,1	16,0	-6,7	-7,6	192,9
0,6	127	-45	45	1280,9	2,2	19,0	-38,4	-6,5	12,4	208,8
0,7	0	0	54	2210,4	3,8	12,4	-92,5	-4,3	31,4	170,5
0,8	-152,4	54	9	2586,4	4,5	-0,6	-168,4	-0,5	43,8	78,0
0,9	-177,8	63	-9	2079,8	3,6	-16,7	-153,5	4,0	43,2	-90,5
1	-152,4	54	-54	717,4	1,2	-29,9	-109,5	7,7	26,5	-244,0
1,1	0	0	0	1137,3	-2,0	-31,4	78,5	8,9	-3,4	-353,5
1,2	0	0	0	2622,3	-4,6	-18,5	180,9	6,9	-34,8	-275,0
1,3	0	0	0	3130,3	-5,4	1,4	216,0	2,4	-53,3	-94,1
1,4	0	0	0	2472,1	-4,3	20,7	170,6	-3,1	-51,9	121,9



şekil 2.7. Yer ivmesinin oluşturduğu, sistemin zamana bağlı yer değiştirme grafiği



şekil 2.8. Yer ivmesinin oluşturduğu, sistemin zamana bağlı hız grafiği



Şekil 2.9. Yer ivmesinin oluşturduğu, sistemin zamana bağlı ivme grafiği

2.7. Çok Serbestlik Dereceli Sistemler

Bir sistemin hareket halinde bulunduğu konum, eğer birden fazla parametrenin verilmesi ile belirlenebiliyorsa, bu tür sistem Çok Serbestlik Dereceli Sistem olarak adlandırılır. Böyle bir sistem, serbestlik derecesi kadar bağımsız hareket türüne sahiptir. Tek serbestlik dereceli sistemin dinamik davranışı tek bir diferansiyel denklemlerle ifade edilirken, çok serbestlik dereceli sistemde birden fazla serbest yer değiştirmenin bulunması ve bununla beraber yer değiştirmeyi temsil eden diferansiyel denklem sayısındaki artış miktarı kadar denklemlerle ifade edilebilir. Hareket denklemleri, tek serbestlik hareket denkleminin genelleştirilmesi olarak yazılabilir.

$$\tilde{\mathbf{f}}_I + \tilde{\mathbf{f}}_s + \tilde{\mathbf{f}}_y = \tilde{\mathbf{P}}(\mathbf{t}) \quad (2.62)$$

Genelleştirme yapıldığında kuvvet bileşenleri,

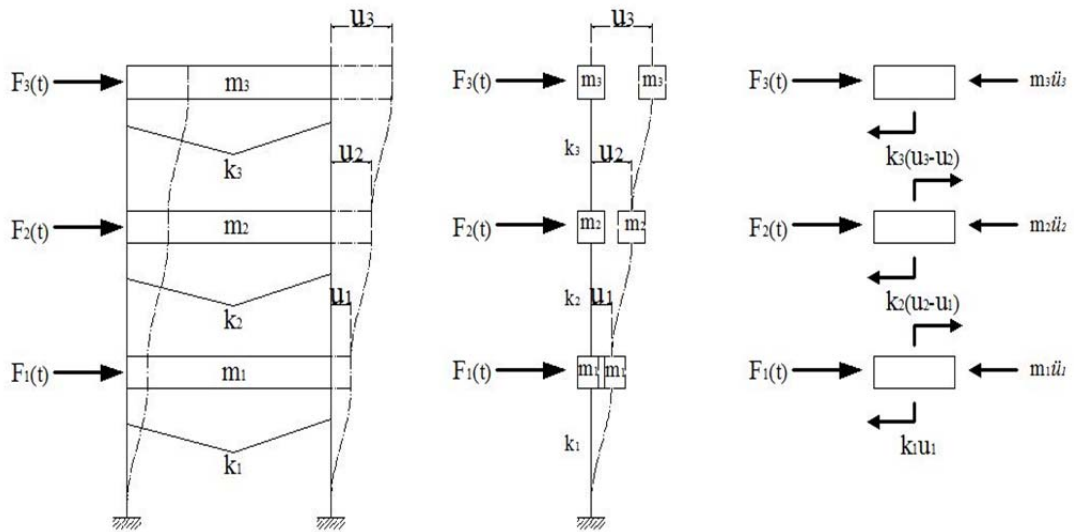
$$f_{li} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \ddot{u}_j, \quad f_{Si} = \sum_{j=1}^n c_{ij} \dot{u}_j, \quad f_{Yi} = \sum_{j=1}^n k_{ij} u_j$$

Şeklinde ifade edilir. Toplam sembolündeki “n” sistemin serbestlik derecesini ve u_j ise “j” noktasındaki yer değiştirmeyi gösterir. Sonuç olarak sistemin hareket denklemleri

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (2.63)$$

olarak ortaya çıkar. Burada $[M]$, $[C]$ ve $[K]$; kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, $\{u\}$ ise yer değiştirme vektörünü göstermektedir. [Celep ve Kumbasar, 1992]

3 katlı bir yapı için kütle ve rijitlik matrisleri elde edilecek olursa,



Şekil 2.10. Bileşenlerine ayrılmış çok serbestlikli sistemin matematik modeli

her kat için kuvvet dengesi eşitliklerini yazdığımızda aşağıdaki eşitlikleri elde ederiz.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{u}_1 + k_1 u_1 - k_2 (u_2 - u_1) - F_1(t) &= 0 \\ m_2 \ddot{u}_2 + k_2 (u_2 - u_1) - k_3 (u_3 - u_2) - F_2(t) &= 0 \\ m_3 \ddot{u}_3 + k_3 (u_3 - u_2) - F_3(t) &= 0 \end{aligned} \quad (2.64)$$

Bu denklem takımını matris formunda yazmaya çalışırsak,

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}$$

$$\{\ddot{u}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \end{Bmatrix}, \quad \{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix}, \quad \{F\} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ F_3(t) \end{Bmatrix}$$

yukarıdaki matris formlarını elde ederiz. Genelleştirilmiş kütle, sönüm ve yay matrisleri aşağıdaki gibi elde edilebilir,

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{N-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_N \end{bmatrix} \quad (2.65)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & c_{N-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & c_N \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_{N-1} + k_N & -k_N \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_N & k_N \end{bmatrix} \quad (2.67)$$

$$\{\ddot{u}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \ddot{u}_3 \\ \dots \\ \ddot{u}_{N-1} \\ \ddot{u}_N \end{Bmatrix}, \quad \{\dot{u}\} = \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \dot{u}_3 \\ \dots \\ \dot{u}_{N-1} \\ \dot{u}_N \end{Bmatrix}, \quad \{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_{N-1} \\ u_N \end{Bmatrix}$$

ve hareket denklemi

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (2.68)$$

şeklinde ifade edilir [Paz ve Leigh, 2004].

2.8. Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçevelerin Sönümsüz Serbest Titreşim Hareket Denkleminin Çözümü

Tek serbestlik dereceli sistemlerde olduğu gibi, sönümsüz ve dış yüksüz olan sistem genel çözümün elde edilmesi için ayrı olarak çözülmektedir. Sönümsüz serbest titreşim, çok serbestlik dereceli bir sistemde,

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (2.69)$$

Eş. 2.69 ile belirlenir. Çözüm için çok serbestlik dereceli sistemin (i) nci katının titreşimi basit harmonik hareket olarak tanımlanırsa, (i) nci katın hız, yer değiştirme ve ivme fonksiyonları

$$u_i = \phi_i \sin(\omega t + \theta), \quad i=1,2,\dots,n$$

(vektör olarak gösterimi),

$$\{u\} = \{\phi\} \sin(\omega t + \theta) , \quad (2.70)$$

elde edilir ve Eş. 2.69 da yerine yazılırsa,

$$\begin{aligned} \dot{u}_i &= \omega \phi_i \cos(\omega t + \theta) , & \ddot{u}_i &= -\omega^2 \phi_i \sin(\omega t + \theta) \\ [-\omega^2 [M] + [K]]\{\phi\} \sin(\omega t + \theta) &= \{0\} \end{aligned} \quad (2.71)$$

denklemini elde edilir. Denkleminde yer alan $\sin(\omega t + \theta)$ parantez katsayısı sıfırdan farklı olduğundan denklem sadeleştirilir,

$$[[K] - \omega^2 [M]]\{\phi\} = \{0\} \quad (2.72)$$

ve homojen lineer denklem sistemi elde edilir. Eş. 2.72 denklem sistemi matematikte Özdeğerler Problemi olarak bilinmektedir. Bu sistemin sıfırdan farklı çözümü ancak katsayılar matrisinin determinantının sıfır olması ile mümkündür. Denklem çözümünden sistemin serbestlik sayısı kadar; $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ ile gösterilen Serbest Titreşim Frekansı elde edilir. $\omega = \omega_i$ şeklinde elde edilen her titreşim frekansı için elde edilen ϕ_i özvektörüne seçilen ω_i 'ye karşı gelen Serbest titreşim Mod Şekli denir. Her sistemin serbestlik derecesi kadar mod şekli vardır. Her mod için oluşan ϕ_i vektörünün elemanlarından birinci elemanı esas alınarak diğerleri ona bağlı şekilde normalize edilir. Modların kolonlara yerleştirilmesiyle oluşan

$$[\Phi] = \left[\begin{array}{c} \left(\begin{array}{c} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \dots \\ \phi_{n-1} \\ \phi_n \end{array} \right) \\ \left(\begin{array}{c} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \dots \\ \phi_{n-1} \\ \phi_n \end{array} \right) \\ \dots \\ \left(\begin{array}{c} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \dots \\ \phi_{n-1} \\ \phi_n \end{array} \right) \end{array} \right] = \left[\begin{array}{cccc} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{1(n-1)} & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{2(n-1)} & \phi_{2n} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \dots & \phi_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \phi_{(n-1)1} & \phi_{(n-1)2} & \phi_{(n-1)(n-1)} & \phi_{(n-1)n} \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \phi_{n(n-1)} & \phi_{nn} \end{array} \right]$$

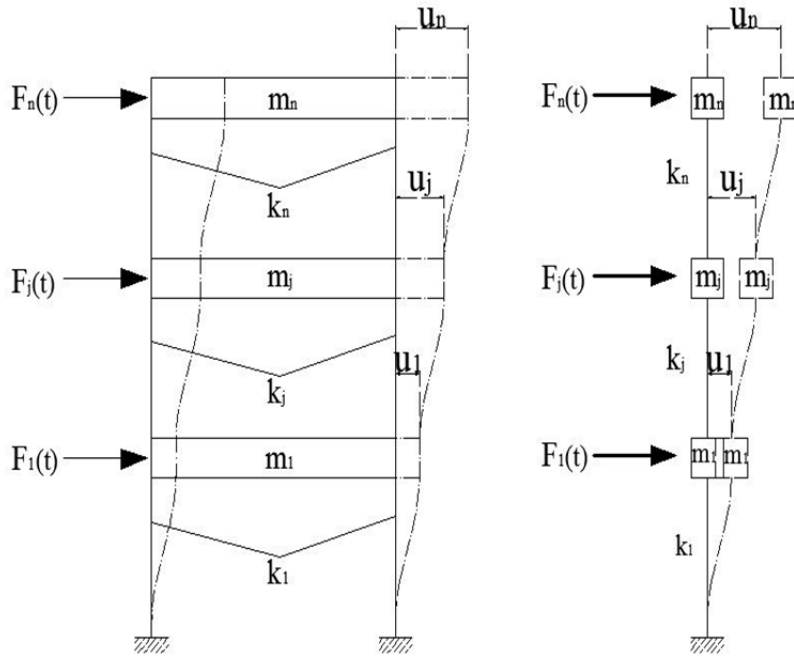
$\uparrow \quad \quad \uparrow \quad \quad \uparrow$
 $\omega_1 \quad \quad \omega_2 \quad \quad \dots \quad \quad \omega_n$

kare matrisine sistemin Modal Matrisi denir [Celep ve Kumbasar,1992].

2.9. Çok Serbestlik Dereceli Elastik Çerçeveselerin Sönümsüz Zorlanmış Hareket Denkleminin Çözümü

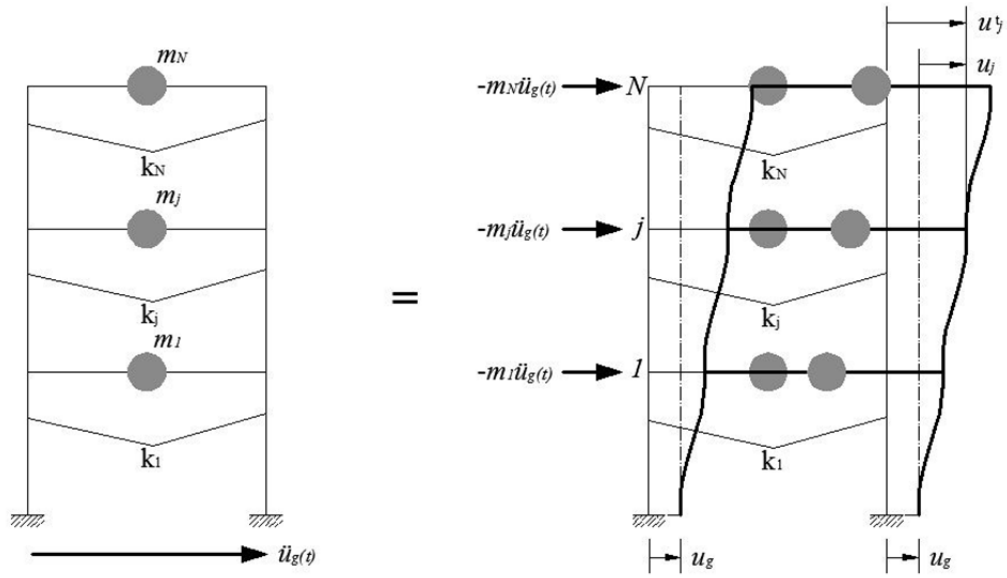
Çok serbestlik dereceli sistemin zorlanmış titreşimi kabuller doğrultusunda,
 $[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\}$

denklemini ifade edilir. Yer değiştirme vektörü $u(t)$ 'nin çözümü için yaygın olarak Modların Süperpozisyonu Yöntemi uygulanır. Sistem öncelikle serbest titreşim gibi çözümlenerek sistemin titreşim frekansları ve bunlara karşı gelen mod vektörleri bulunur. Daha sonra zorlanmış davranışı ele alınarak çözüm vektörünün mod vektörlerin uygun katsayılarla çarpılıp toplanmasından elde edilir [Celep ve Kumbasar, 1992].



Şekil 2.11. Çok serbestlikli sönümsüz zorlanmış titreşim etkisindeki n katlı sistem

Sisteme etki eden dış kuvvet değil de yer ivmesi olacak olursa denklemdeki “ $\{F(t)\}$ ”
 “ $-[M]\{1\}\ddot{u}_g(t)$ ” olarak değiştir ve çözümde bir değişiklik olmaz.



Şekil 2.12. Çok serbestlikli sönümsüz yer ivmesi etkisindeki n katlı sistem

N katlı bir yapı için yer ivmesi etkisinde sistemin titreşim hareket denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m_1 \ddot{u}_1 + k_1(u_1 - u_g) - k_2(u_2 - u_1) = 0$$

$$m_2 \ddot{u}_2 + k_2(u_2 - u_1) - k_3(u_3 - u_2) = 0$$

...

...

$$m_{N-1} \ddot{u}_{N-1} + k_{N-1}(u_{N-1} - u_{N-2}) - k_N(u_N - u_{N-1}) = 0$$

$$m_N \ddot{u}_N + k_N(u_N - u_{N-1}) = 0 \quad (2.73)$$

Sistemde oluşan yer değiştirme, yapı ve zemin yer değiştirmesinin toplamı olarak yazılırsa,

$$u_{ri} = u_i - u_s \quad , \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

zemin değiştirmesinden dolayı oluşan kuvvet, sisteme etkiyen bir dış kuvvet gibi eşitliğin diğer tarafına yazılır ve hareket denklemleri çözülür.

$$\begin{aligned}
m_1 \ddot{u}_{r1} + k_1 u_{r1} - k_2 (u_{r2} - u_{r1}) &= -m_1 \ddot{u}_g \\
m_2 \ddot{u}_{r2} + k_2 (u_{r2} - u_{r1}) - k_3 (u_{r3} - u_{r2}) &= -m_2 \ddot{u}_g \\
&\dots \\
&\dots \\
m_{N-1} \ddot{u}_{rN-1} + k_{N-1} (u_{rN-1} - u_{rN-2}) - k_N (u_{rN} - u_{rN-1}) &= -m_{N-1} \ddot{u}_g \\
m_N \ddot{u}_{rN} + k_N (u_{rN} - u_{rN-1}) &= -m_N \ddot{u}_g
\end{aligned} \tag{2.74}$$

$$\ddot{u}_g = \ddot{u}_g(t)$$

Yapının her katı için ayrı ayrı yazılmış lineer homojen denklem sistemi matris formatına dönüştürülürse,

$$[M]\{\ddot{u}_r\} + [K]\{u_r\} = -[M]\{1\}\ddot{u}_g(t) \tag{2.75}$$

titreşim hareket denkleminin en genel hali elde edilir. Eş. 2.75 da yer alan $\{u_r\}$ yer değiştirme ve $\{\ddot{u}_r\}$ ivme vektörleri zemin hareketinin etkisinde oluşan dış kuvvetin oluşturduğu vektörlerdir. Her titreşim modundaki tepki diğer modlardaki tepkiden bağımsız olarak belirlenebilir. Yer değiştirmeler

$$\{u_r\} = [\Phi]\{z\} \tag{2.76}$$

mod şekli ile modal genliğin çarpımı olarak ifade edilebilir. $[\Phi]$ mod matrisi,

$$[[K] - \omega^2 [M]]\{\phi\} = \{0\}$$

ifadesinin özdeğerler problem çözümüdür. Eş. 2.76, Eş. 2.75 hareket denkleminde yerine yazılırsa,

$$[M][\Phi]\{\ddot{z}\} + [K][\Phi]\{z\} = -[M]\{1\}\ddot{u}_g(t) \tag{2.77}$$

hareket denkleminin yeni hali elde edilir. Ancak elde edilen yeni denklemin çözümü

için normal modların ortogonallik özelliğinden yararlanılmaktadır. Normal mod genel sistem için,

$$\phi_{ij} = \frac{\Phi_{ij}}{\sqrt{\{\Phi\}_i^T [M] \{\Phi\}_j}} \quad (2.78)$$

eğer sistem diagonal kütle matrisine sahipse,

$$\phi_{ij} = \frac{\Phi_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n m_k \Phi_{kj}^2}} \quad (2.79)$$

ifadesiyle elde edilir. Normalize edilmiş birim vektörler için ortogonallik şartı, kütle matrisi için,

$$\{\Phi\}_i^T [M] \{\Phi\}_j = \begin{cases} 1, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (2.80)$$

rijitlik matrisi için

$$\{\Phi\}_i^T [K] \{\Phi\}_j = \begin{cases} 0, & i \neq j \\ \omega_i^2, & i = j \end{cases} \quad (2.81)$$

şeklinde elde edildi. Bu ortogonallik özelliği ile çözüm için hareket denklemi

$$\{\Phi\}_i^T [M] [\Phi] \{\ddot{z}\} + \{\Phi\}_i^T [K] [\Phi] \{z\} = -\{\Phi\}_i^T [M] \{1\} \ddot{u}_g(t) \quad (2.82)$$

i'nci modal vektörün transpozesi (devriği) ile çarpılır.

$$\{\Phi\}_i^T [M] [\Phi] = 1$$

$$\{\Phi\}_i^T [K] [\Phi] = \omega_i^2$$

eşitlikleri ile

$$\ddot{z}_i + w_i^2 z_i = \Gamma_i \ddot{u}_g(t) \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (2.83)$$

titreşim hareket denkleminin yeni formasyonu elde edilir. Eş. 2.83 deki “ Γ_i ” katılım faktörü diagonal kütle matris sistemi için

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{ji}}{\sum_{j=1}^N m_j \phi_{ji}^2}$$

ya da genelleştirilmiş özvektörler ile

$$\Gamma_i = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{ji} \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad (2.84)$$

şeklinde de ifade edilebilir. Sistem yer değiştirme vektörü

$$u_i(t) = \sum_{j=1}^n \phi_{ij} z_j(t) \quad (2.85)$$

şeklinde toplam vektörü olarak elde edilir.

Maksimum yer değiştirme ve ivme değerlerini hesaplamak için birçok metot bulunmaktadır. Bunlardan biri SRSS metodudur.

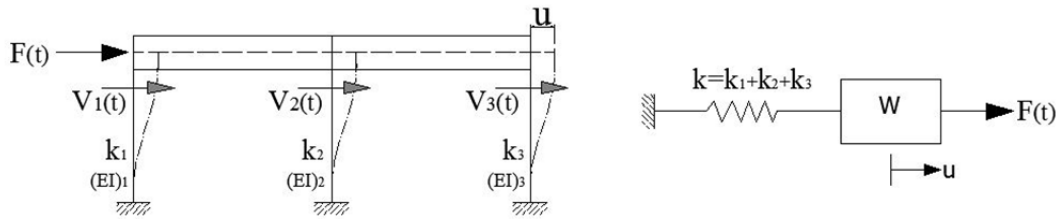
$$u_{\max} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\Gamma_j \phi_{ij} S_{Dj})^2} \quad (2.86)$$

$$\ddot{u}_{\max} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (\Gamma_j \phi_{ij} S_{Aj})^2} \quad (2.87)$$

j 'nci modu için denklemlerdeki S_{Dj} ve S_{Aj} yalancı hız tepki spektrumundan yer değiştirme spektrum değerleri alınarak hesap edilir [Paz ve Leigh, 2004].

2.10. Sistemde Oluşan Dinamik Gerilmelerin Hesabı

Sistemin hareket denkleminin çözümü ile elde edilen yer değiştirmelerin bulunmasıyla kuvvetler, gerilmeler ve ilgi konusu diğer parametreler hesaplanabilir [Kramer, 2003].



Şekil 2.13 Sisteme ait dinamik kuvvetler

Şekil 2.13 deki tek katlı sistemde yer alan kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri hesaplanmak istendiğinde, kata etki eden toplam kesme kuvveti

$$V_T = ku \quad (2.88)$$

ifadesi ile elde edilebilir. Katın bileşenleri olan kolonlara ait kesme kuvveti kolonların rijitlikleri doğrultusunda pay edilir.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 = k_1u + k_2u + k_3u \quad (2.89)$$

i 'nci kolondaki kesme kuvveti etkisinde oluşan eğilme momenti ve gerilme değerleri

$$M_i = V_i \frac{L_i}{2} \quad (2.90)$$

$$\sigma_i = M_i \frac{y}{I_i} \quad (2.91)$$

ifadelerinden elde edilmektedir.

Çok katlı bir yapıdaki i 'nci katın j 'inci kolonuna ait kesme kuvveti, eğilme momenti

ve gerilme değerleri için Eş.2.89, Eş.2.90 ve Eş.2.91 ifadeleri

$$V_{i,T} = \sum_j k_i (u_i - u_{i-1}) \quad (2.92)$$

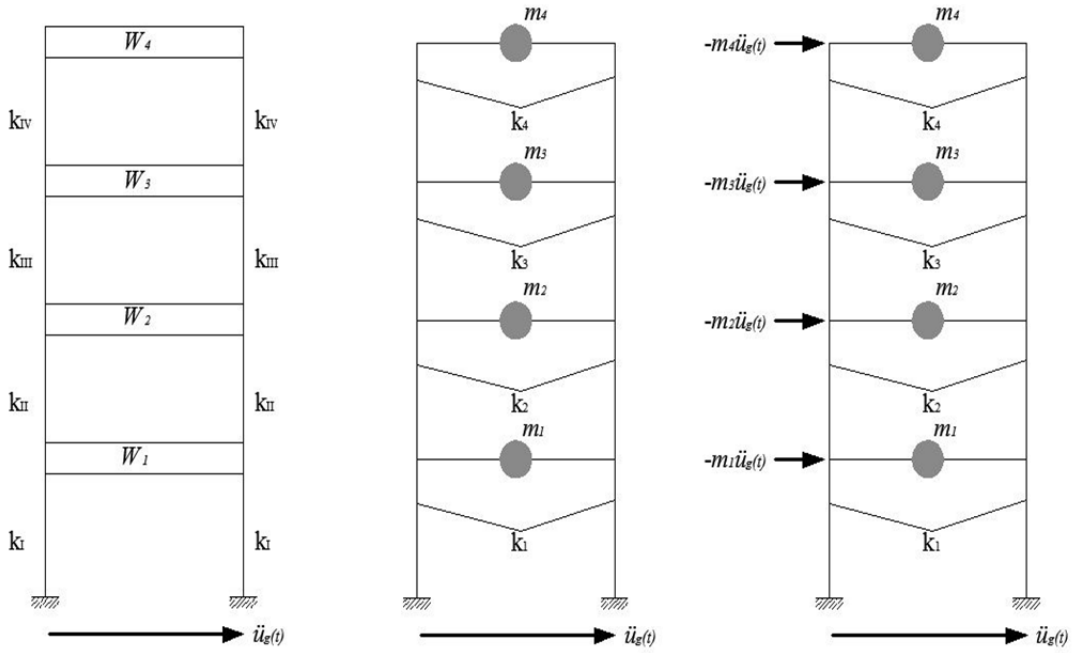
$$V_{i,T} = V_{i,1} + V_{i,2} + V_{i,3} \dots = k_{i,1}u + k_{i,2}u + k_{i,3}u \dots \quad (2.93)$$

$$M_{i,j} = V_{i,j} \frac{L_{i,j}}{2} \quad (2.94)$$

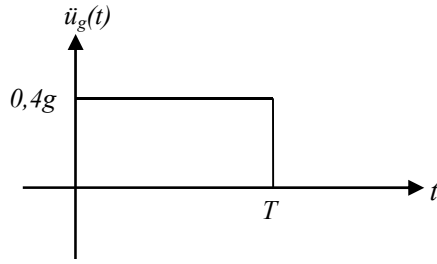
$$\sigma_{i,j} = M_{i,j} \frac{y}{I_{i,j}} \quad (2.95)$$

şekildeki gibi genelleştirilerek elde edilebilir.

2.11. Sönümsüz Yer İvmesi Etkisinde Çok Serbestlik Dereceli Sistem İçin Örnek



Şekil 2.14. 4 katlı çerçeve sistem modeli



Şekil 2.15. Yer ivme fonksiyonu

Sistem verileri:

Elastisite Modülü: $2,8 \times 10^6 \text{ t/m}^2$

Kolon kesiti: 30x50 (cm)

Kat yükseklikleri : [3.5, 3.0, 3.0, 3.0] (m)

Ağırlıklar : [12, 10, 10, 8] (ton)

Çözüm

Kolonların atalet momentleri hesaplanırsa sabit kesit:

$$I_c = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,3 \times 0,5^3}{12} = 0,003125$$

Her katın rijitliği için her kolon rijitliği:

$$k_I = \frac{12EI}{l^3} = \frac{12 \times 2,8 \times 10^6 \times 0,003125}{3,5^3} = 2448,98 \text{ t/m}$$

$$k_{II} = k_{III} = k_{IV} = \frac{12EI}{l^3} = \frac{12 \times 2,8 \times 10^6 \times 0,003125}{3,0^3} = 3888,89 \text{ t/m}$$

Kat rijitlikleri:

$$k_1 = n \times k_I = 2 \times k_I = 4897,96 \text{ t/m} \quad , \quad n = \text{kattaki kolon sayısı}$$

$$k_2 = k_3 = k_4 = n \times k_{II} = 2 \times k_{II} = 7777,78 \text{ t/m}$$

Eş. 2.67 ile sistem rijitlik matrisi,

$$\begin{aligned}
[K] &= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \\
&= 10^4 \begin{bmatrix} 1,2574 & -0,7716 & 0 & 0 \\ -0,7716 & 1,5431 & -0,7716 & 0 \\ 0 & -0,7716 & 1,5431 & -0,7716 \\ 0 & 0 & -0,7716 & 0,7716 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Eş.2.65 ile sistem kütle matrisi için kat ağırlıkları g yerçekimi ivmesine oranlanır.

$$m_1 = \frac{W_1}{g} = 1,2232 \text{ t.s}^2/\text{m}, \quad m_2 = m_3 = \frac{W_2}{g} = 1,0194, \quad m_4 = \frac{W_4}{g} = 0,8155$$

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,2232 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,0194 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,0194 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8155 \end{bmatrix}$$

Sistem de her kat için yazılmış homojen lineer hareket denklemlerinden

$$[[K] - \omega^2[M]]\{\phi\} = \{0\}$$

denklem takımının çözümünden sistemin özdeğerlerinden açısal frekans ve özvektörlerinden mod şekilleri elde edilir.

Özdeğerler:

$$\omega^2 = 10^4 \begin{bmatrix} 0,0770 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6453 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,6453 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,6341 \end{bmatrix}$$

$$\omega = 10^4 \begin{bmatrix} 0,0028 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0081 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0128 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,0163 \end{bmatrix}$$

Özvektörler:

$$[\emptyset] = \begin{bmatrix} -0,3097 & 0,6406 & 0,5044 & -0,2383 \\ -0,4669 & 0,3887 & -0,4937 & 0,6067 \\ -0,5767 & -0,1946 & -0,4186 & -0,6598 \\ -0,6278 & -0,6120 & 0,5665 & 0,3698 \end{bmatrix}$$

1'nci elemana göre normalize edilmiş özvektörler:

$$[\phi] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1,5077 & 0,6067 & -0,9788 & -2,5464 \\ 1,8620 & -0,3038 & -0,8299 & 2,7690 \\ 2,0269 & -0,9553 & 1,1230 & -1,5520 \end{bmatrix}$$

Genelleştirilmiş özvektörler

$$\emptyset_{ij} = \frac{\phi_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n m_k \phi_{kj}^2}}$$

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 0,3097 & 0,6406 & 0,5044 & 0,2383 \\ 0,4669 & 0,3887 & -0,4937 & -0,6067 \\ 0,5767 & -0,1946 & -0,4186 & 0,6598 \\ 0,6278 & -0,6120 & 0,5665 & -0,3698 \end{bmatrix}$$

Genelleştirilmiş özvektörler ile sistem etken faktörü, $\Gamma_i = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{ji}$

$$\Gamma_1 = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j1} = -1,9547$$

$$\Gamma_2 = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j2} = -0,4824$$

$$\Gamma_3 = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j3} = -0,1490$$

$$\Gamma_4 = \sum_{j=1}^N m_j \phi_{j4} = -0,0440$$

Sistem titreşim denklemi

$$\ddot{z}_i + w_i^2 z_i = \Gamma_i \ddot{u}_g(t) \quad (i=1, 2, \dots, N)$$

$$\ddot{z}_1 + 0,0770 \times 10^4 z_1 = -1,9547 \times 0,4 x g$$

$$\ddot{z}_2 + 0,6453 \times 10^4 z_2 = -0,4824 \times 0,4 x g$$

$$\ddot{z}_3 + 1,6453 \times 10^4 z_3 = -0,1490 \times 0,4 \text{ xg}$$

$$\ddot{z}_4 + 2,6341 \times 10^4 z_4 = -0,0440 \times 0,4 \text{ xg}$$

Etkiyen yer ivme fonksiyonunun da ivmenin değiştiği durumdan öncesi ve sonrası olmak üzere titreşim hareket denklemi ikiye ayrılır. $t \leq T$ durumu için Eş. 2.12 kullanılarak başlangıç sınır şartları $u_0 = \dot{u}_0 = 0$ ile diferansiyel denklemi çözümlenir.

$$z_1(t) = \frac{-1,9547 \times 0,4 \text{ xg}}{0,0770 \times 10^4} (1 - \cos(0,0028 \times 10^4 t))$$

$$z_2(t) = \frac{-0,4824 \times 0,4 \text{ xg}}{0,6453 \times 10^4} (1 - \cos(0,0081 \times 10^4 t))$$

$$z_3(t) = \frac{-0,1490 \times 0,4 \text{ xg}}{1,6453 \times 10^4} (1 - \cos(0,0128 \times 10^4 t))$$

$$z_4(t) = \frac{-0,0440 \times 0,4 \text{ xg}}{2,6341 \times 10^4} (1 - \cos(0,0163 \times 10^4 t))$$

ve mod süperpozisyon yöntemi ile sistemdeki her katın yer değiştirme fonksiyonları elde edilir.

$$u_1(t) = -3,08 \times 10^{-3} (1 - \cos 27,74t) - 1,88 \times 10^{-4} (1 - \cos 80,33t) -$$

$$1,79 \times 10^{-5} (1 - \cos 128,27t) - 1,56 \times 10^{-6} (1 - \cos 162,30t)$$

$$u_2(t) = -4,65 \times 10^{-3} (1 - \cos 27,74t) - 1,14 \times 10^{-4} (1 - \cos 80,33t) +$$

$$1,75 \times 10^{-5} (1 - \cos 128,27t) + 3,97 \times 10^{-6} (1 - \cos 162,30t)$$

$$u_3(t) = -5,74 \times 10^{-3} (1 - \cos 27,74t) + 0,57 \times 10^{-4} (1 - \cos 80,33t) +$$

$$1,49 \times 10^{-5} (1 - \cos 128,27t) - 4,32 \times 10^{-6} (1 - \cos 162,30t)$$

$$u_4(t) = -6,25 \times 10^{-3} (1 - \cos 27,74t) + 1,79 \times 10^{-4} (1 - \cos 80,33t) -$$

$$2,01 \times 10^{-5} (1 - \cos 128,27t) + 2,42 \times 10^{-6} (1 - \cos 162,30t)$$

$t \geq T$ durumu için $u_0 = u_{t=T}$, $\dot{u}_0 = \dot{u}_{t=T}$ başlangıç sınır koşulları ile kat yer değiştirme fonksiyonları aşağıdaki gibi elde edilir.

$$u(t) = u_{t=T} \cos \omega(t - T) + \frac{\dot{u}_{t=T}}{\omega} \sin \omega(t - T)$$

3. DİNAMİK ANALİZ İÇİN MATLAB İLE BİR PROGRAM

3.1. Programın Kullanımı ve Algoritması

MATLAB®, temel olarak nümerik hesaplama, grafiksel veri gösterimi ve programlamayı içeren teknik ve bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa sahip bir yazılımdır. MATLAB programının tipik kullanım alanları: Matematik and hesaplama işlemleri / Algoritma geliştirme / Modelleme, simülasyon (benzetim) ve öntipleme / Veri analizi ve görsel efektlerle destekli gösterim / Bilimsel ve mühendislik grafikleri / Uygulama Geliştirme şeklinde özetlenebilir. MATLAB, komut temelli bir programdır. MATLAB’da yazılan program work klasörüne program uzantısı ‘.m’ olarak kaydedilir. Kullanılacak program açıldıktan sonra pencerede “run” komutu ya da işlem satırında program adı komut olarak yazıldıktan çalışan program doğrultusunda istenen bilgiler girilir. Seçenekler ile analiz sonuçlarına aynı pencereden ulaşılır ve grafikler program formatında yazıldığı gibi elde edilir [Uzunoğlu, Kızıl ve Onar, 2003]. Hazırlanan programda,

1. Kısım

- ✓ Sistem rijitlik matrisi oluşturuluyor.
- ✓ Sistem kütle matrisi oluşturuluyor.
- ✓ Sistemin mod şekilleri ve doğal frekansları bulunuyor.
- ✓ Mod şekilleri normalize edilip genelleştirilmiş mod matrisi oluşturuluyor.
- ✓ Sistem katkı oranları bulunuyor.

2. Kısım

- ✓ Sisteme etki eden zamana bağlı zorlama titreşim ivme fonksiyonunun tipi belirlenip, istenen değerler giriliyor.
- ✓ Belirlenen ivme fonksiyonuna ait t zamana bağlı yer değiştirme, hız ve ivme fonksiyonları elde edilerek, istenen zaman aralığındaki ve Δt artışı oranıyla sistemin her bir katı için ayrı ayrı bu fonksiyonlar çizdiriliyor.

3. Kısım

✓ İstenen bir açıklık için çerçeve sistem deformasyonu $t=0$ ve istenen herhangi bir t zamanı için birbiriyle karşılaştırma yapacak şekilde çizdiriliyor.

4. Kısım

✓ Deformasyon fonksiyonu kullanılarak sistem kat kesme kuvvet, moment ve gerilme değerlerinin t zamana bağlı grafikleri her bir kat için ayrı ayrı çizdiriliyor.

5. Kısım

✓ Çerçeve sistemin her bir katı için yer değiştirme, hız, ivme, kesme kuvveti, moment ve gerilme grafikleri aynı pencerede çizdiriliyor.

6. Kısım

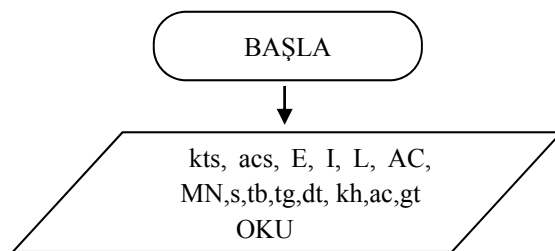
✓ Newmark doğrusal ivme metodu ile çok serbestlik dereceli sistemler için zamana bağlı yer ivme dataları etkisinde çerçeve sistemin her katına ait yer değiştirme, hız ve ivme değerleri hesaplanıyor.

3.2. Programda Kullanılan Kısaltmalar Sabitler ve Değişkenler

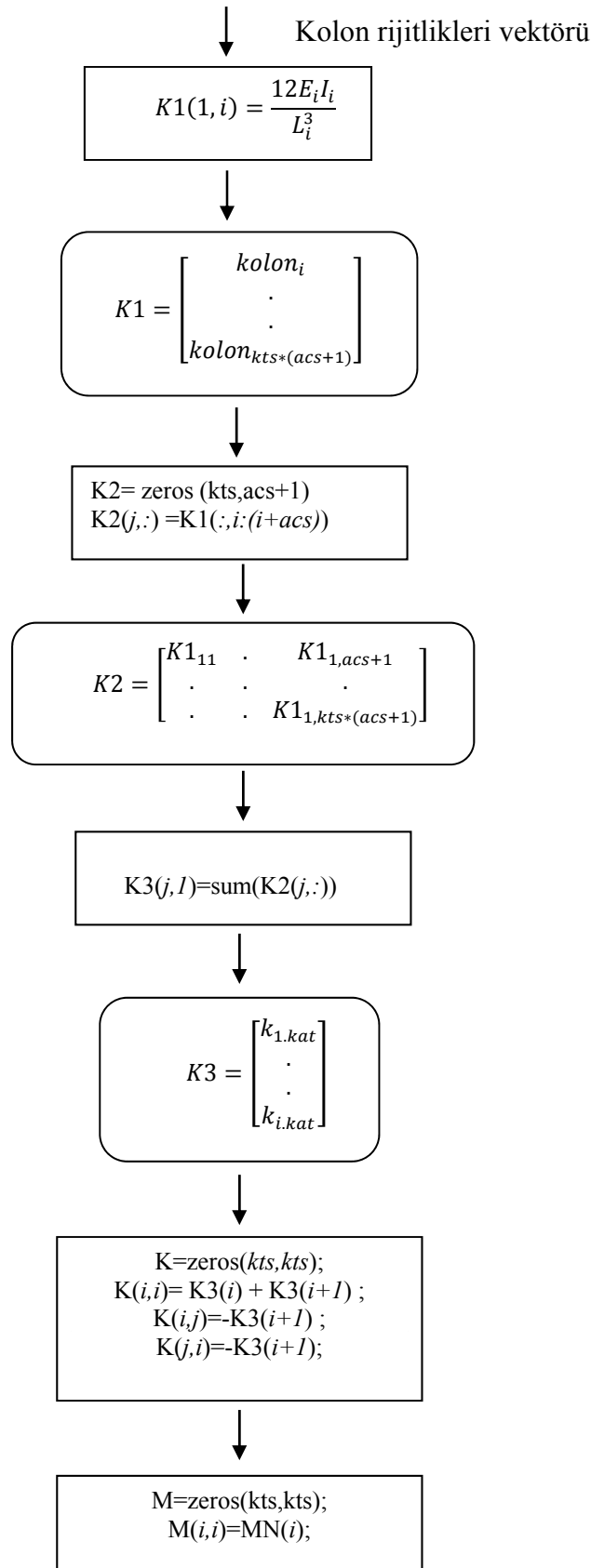
AC	: 1. Kat açıklık mesafeleri vektörü
D	: Öz değer (doğal frekans) matrisi
E	: Kolonların elastisite modül vektörü
I	: Kolonların atalet momenti vektörü
K	: Sistem rijitlik matrisi
K1	: Kolon rijitlikleri vektörü
K2	: Kat kolonları rijitlikleri vektörü
K3	: Kat rijitlikleri vektörü
K_s	: Etkin rijitlik matrisi (Newmark metodu)
K_t	: etkin rijitlik matrisinin tersi (Newmark metodu)
L	: Kat yükseklikleri vektörü
M	: Sistem kütle matrisi
MN	: Kütle vektörü

- M_s : Sistem zamana göre hesaplanmış kat moment matrisi
 M_t : Kütlesinin tersi(Newmark metodu)
 RF : Sistem katkı oranları
 S_s : Sistem zamana göre hesaplanmış kat gerilme matrisi
 U_g : Etkiyen yer ivmesinin zamana bağlı data vektörü (Newmark metodu)
 U_r : Sistem Yer değiştirme matrisi
 V_s : Sistem zamana göre hesaplanmış kat kesme kuvvet matrisi
 ac : Deformasyon çizimi için gerekli herhangi bir açıklık mesafesi
 acs : Çerçeveadaki açıklık sayısı
 ddU_r : Sistem İvme matrisi
 dt : Δt , birim zaman
 dU_r : Sistem Hız matrisi
 gt : Deformasyon çizimi için gerekli, istenen t zamanı
 kh : Deprem yönüne paralel kolon kesit yüksekliği
 kts : Çerçeveadaki kat sayısı
 s : 1-3 arasında bir tam değer (sisteme etki eden zorlama titreşim ivme fonksiyon çeşidi)
 tb : Sistem ivme fonksiyon uygulama başlangıç zamanı
 tg : Sistem ivme fonksiyon uygulama bitiş zamanı
 v : Öz vektör (sistem mod şekilleri)
 vgn : Genelleştirilmiş öz vektör (sistem mod şekilleri)
 $vnorm$: Normalleştirilmiş öz vektör (sistem mod şekilleri)
 z : Sistem kat kesme kuvveti, moment, gerilme diyagramları için gerekli kolon numarası

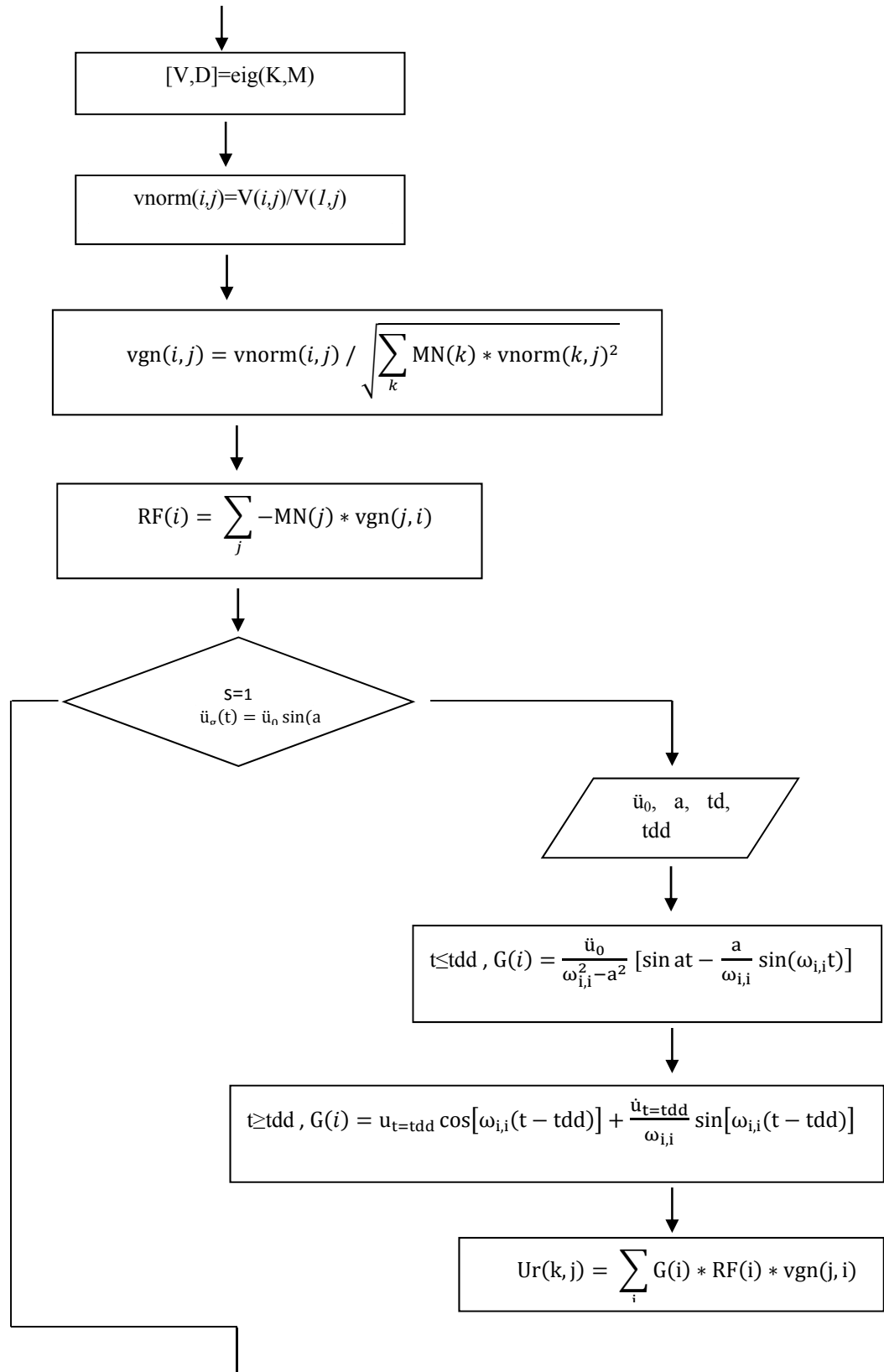
3.3. Akış Şeması



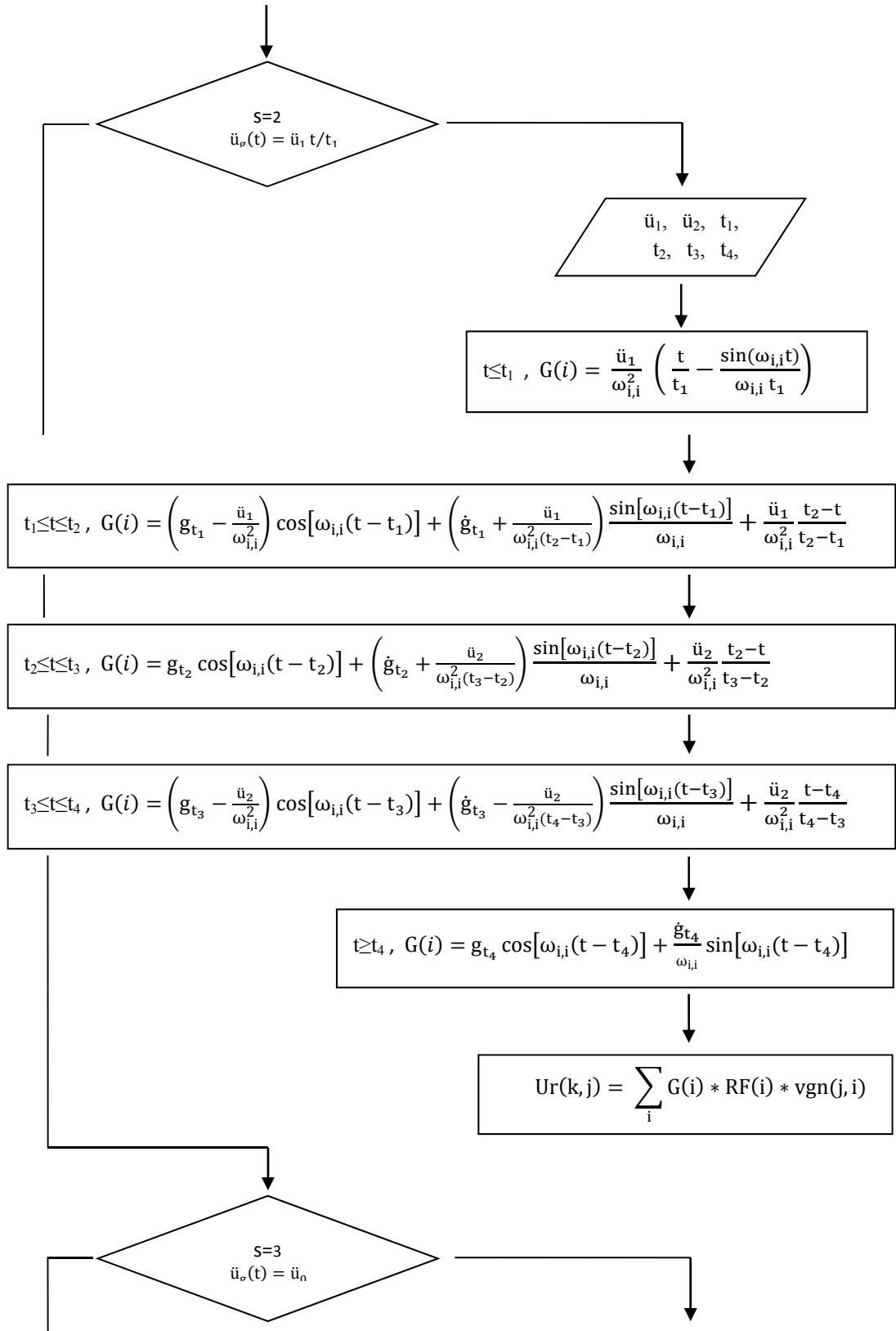
Şekil 3.1. MATLAB da yazılan program akış şeması



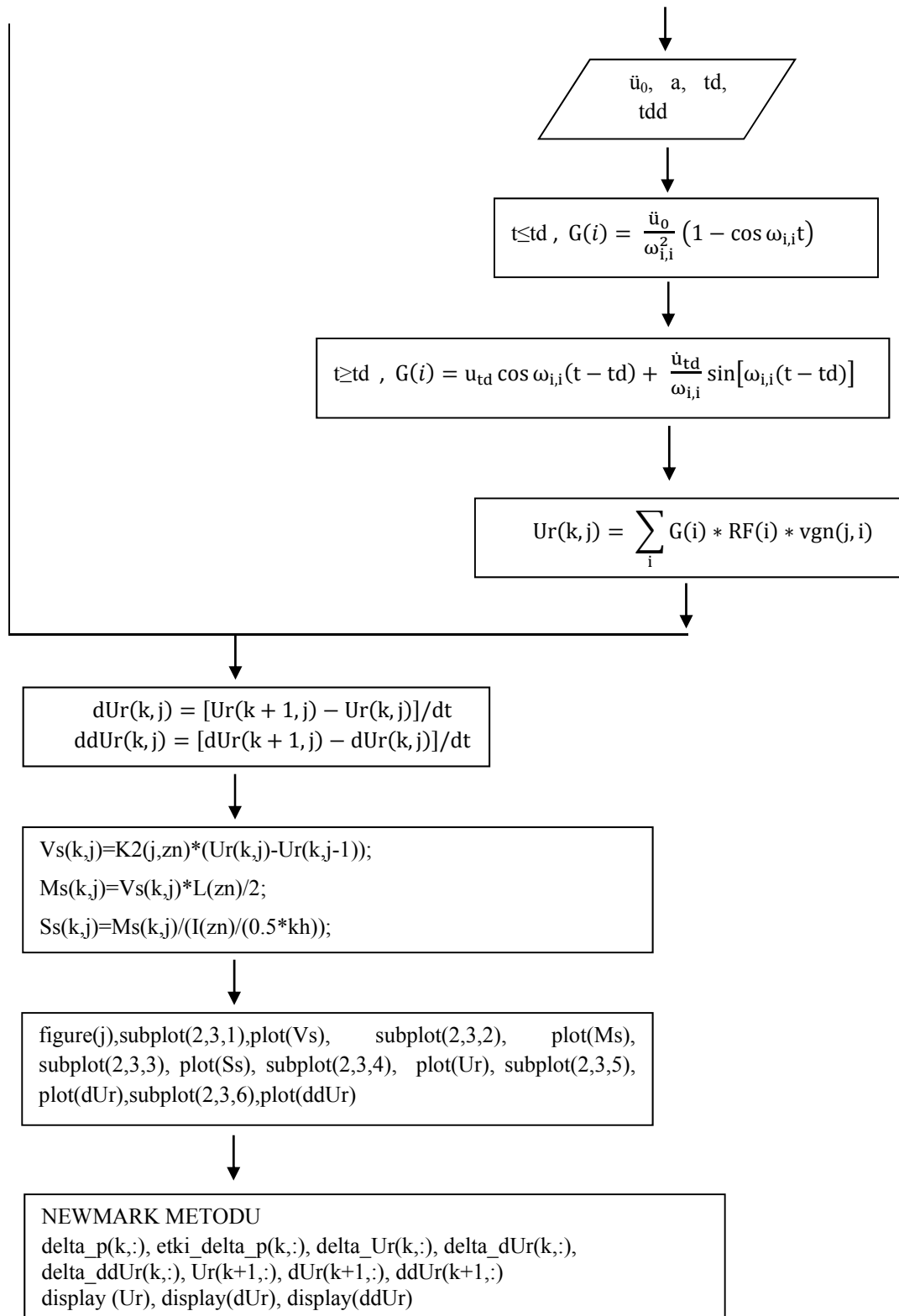
Şekil 3.1. (Devam) MATLAB da yazılan program akış şeması



Şekil 3.1. (Devam) MATLAB da yazılan program akış şeması



Şekil 3.1. (Devam) MATLAB da yazılan program akış şeması



Şekil 3.1. (Devam) MATLAB da yazılan program akış şeması

3.4. Program Adımlarının Açıklaması

“K1” vektörü, sisteme ait kolonların rijitliklerinin yer aldığı satır vektörüdür. Tek satırdan ve sistemdeki toplam kolon sayısı yani bir kattaki kolon sayısı ile kat adedinin çarpımı kadar sütundan oluşur. Bir kattaki kolon sayısı ise açıklık sayısının bir fazlasıdır. “zeros” komutu aynı değerli bir matris oluşturmak, bazı işlemlerde yardımcı bir araç olarak fonksiyon işletimini hızlandırmak için kullanılır. “K1” vektörü için önce istenilen boyutta sıfır vektörü oluşturulur ve daha sonra hesaplanan değerler bu vektör üzerine yazdırılır.

```
K1=zeros(1,kts*(acs+1))
```

Çerçeve sisteme ait kolonların rijitliklerini hesaplayarak kurulan “for” döngüsü ile kolon rijitlikleri “K1” vektörü oluşturulur. Bu döngü ile ilk kolondan son kolona kadar her bir kolonun rijitliği “K1” vektörüne sırayla yazdırılır.

```
for i=1:kts*(acs+1)
K1(1,i)=12*E(i)*I(i) / L(i)^3
end
```

“K2” matrisi, satırları katları gösteren ve satırlarda soldan sağa olacak şekilde sırayla o kata ait kolonların rijitliklerini bulunduğu matristir. Matrisin boyutları oluşturulurken, satır değeri sistem kat sayısı, sütun değerini ise bir kattaki kolon sayısı belirlemektedir. Matris de değerlerin oluşturulması için öncelikle “K2” sıfır matrisi oluşturulur.

```
K2= zeros(kts,acs+1)
```

“K3” her kata ait kolon rijitliklerinin toplamının olduğu vektördür. Kat sayısının değeri kadar satırdan oluşan sütun vektörüdür. “K3” vektöründe değerlerin yazılabilmesi için sıfır vektörünün oluşturulması gerekmektedir.

```
K3= zeros(kts,1)
```

“for” döngülerinde, “K2” ve “K3” matrislerinin elemanları hesaplanıp yazılır. “K1” kolon rijitlikleri matrisinde bir kattaki kolon adedi kadar elemanlara ayrılarak bu bölümdeki değerler “K2” matrisine satır olarak yerleştirilir., “K2” matrisinin her bir satırı kendi içinde toplanarak kat rijitliklerini içeren “K3” sütun vektörü haline gelir.

```
i=1;
for j=1:kts
K2(j,:)=K1(:,i:(i+acs));
i=i+acs+1
K3(j,1)=sum(K2(j,:));
end
```

“K” sistem rijitlik matrisidir. Tanımlanma şekli gereği “K3” matrisine etkisiz bir sıfır elemanı eklenir. Sistem rijitlik “K” matrisi için döngü oluşturulur.

```
K3=[K3;0]
K=zeros(kts,kts);
j=2;
for i=1:kts
K(i,i)= K3(i) + K3(i+1) ;
K(i,j)=-K3(i+1) ;
K(j,i)=-K3(i+1);
j=j+1
end
```

Sistemin serbestlik derecesi kadar satır, sütuna sahip olan sistem kütle matrisi oluşturulur [Üner, 2006].

```
M=zeros(kts,kts);
for i=1:kts
```

```
M(i,i)=MN(i);
end
```

Sistemin karakteristik özelliklerini belirleyen serbest titreşim hareket denkleminin çözümü olan serbestlik derecesi kadar öz değerleri ve öz vektörleri bulunur. Öz değerler, modlara karşılık gelen doğal açısal frekanslardır. Öz vektörler ise sisteme ait mod görünümünü gösteren vektörlerdir. Öz vektörler “for” döngüsü ile normalize edilir.

```
[V,D]=eig(K3,M)
vnorm=zeros(kts,kts);
for j=1:kts;
    for i=1:kts;
        vnorm(i,j)=V(i,j)/V(1,j);
    end
end
```

Normalize edilmiş özvektörler, Eş. 2.78 de verildiği gibi genelleştirilmiş özvektör matrisi hesaplanır.

```
vgn=zeros(kts,kts);
for j=1:kts;
    for i=1:kts;
        top=0;
        for k=1:kts;
            tp=MN(k)*(vnorm(k,j)^2);
            top=top+tp;
        end
        vgn(i,j)=vnorm(i,j)/top^0.5;
    end
end
```

Sistem yer değiştirme fonksiyonu için modlara göre sistemin katkı oranları olan “ Γ ” değerleri, Eş. 2.84 de verildiği şekilde hesaplanır. Sisteme ait dış yüklerden bağımsız değişkenler bu hesapla tamamlanır.

```
RF=zeros(kts,1);
for i=1:kts;
    tpl=0;
    for j=1:kts;
        tpm=-MN(j)*vgn(j,i);
        tpl=tpl+tpm;
    end
    RF(i)=tpl;
end
```

Programın bu kısmında dış yükler değişkeni ile sisteme ait yer değiştirme, hız ve ivme grafiklerini elde etmek için yapılmış bir dizi işlem bulunmaktadır. Öncelikle diyagramlar için birim zaman aralığına sahip gerekli adım sayısı “tas” değeri hesap edilir.

```
tas=((tg-tb)/dt)+1;
```

Sisteme ait yer değiştirme, hız ve ivme değerlerinin yazdırılabilmesi için öncelikle satır değeri zamana bağlı adım sayısı, sütun değeri sistem kat sayısı olacak şekilde sıfır matrisleri oluşturulur.

```
Ur=zeros(tas,kts);
dUr=zeros(tas,kts);
ddUr=zeros(tas,kts);
```

Programın bu kısmında seçilen fonksiyon türüne göre her kata ait $t+dt$ zamanına bağlı yatay yer değiştirmeleri hesaplar. $s=1$ olması durumunda Eş.2.45 de verilen sinüs fonksiyon, $s=2$ olması durumunda Eş. 2.44 deki lineer artan ve/veya azalan

fonksiyon ve $s=3$ olması durumunda ise Eş. 2.43 deki sabit fonksiyon olarak etkimektedir.

```

for j=1:kts;
    G=zeros(kts,1);
    t=tb;
    if s==1;
        display('üg=Po*sin(a*t)')
        for k=1:tas;
            sm=0;
            if t<=tdd;
                for i=1:kts;
                    G(i)=Po/(D(i,i)^2-a^2)*(-a/D(i,i)*sin(D(i,i)*t)+sin(a*t));
                    A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
                    sm=sm+A;
                end
            elseif t>=tdd;
                for i=1:kts;
                    G(i)=Po/(D(i,i)^2-a^2)*((-
a/D(i,i)*sin(D(i,i)*tdd)+sin(a*tdd))*cos(D(i,i)*(t-tdd))+a/D(i,i)*(cos(a*tdd)-
cos(D(i,i)*tdd))*sin(D(i,i)*(t-tdd)));
                    A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
                    sm=sm+A;
                end
            end
            t=t+dt;
            Ur(k,j)=sm;
        end
    elseif s==2;
        for k=1:tas;
            sm=0;
            if t<=td1;

```

```

%display('üg=P1*t/td1')
for i=1:kts;
G(i)=(P1/(D(i,i)^2))*((t/td1)-(sin(D(i,i)*t)/(D(i,i)*td1)));
A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
sm=sm+A;
end
elseif t>=td1 && t<=td2
% display('üg=(P1+P2)*(td2-t)/(td3-td1)')
Gtd1 =zeros(kts,1);
G_td1=zeros(kts,1);
for i=1:kts;
Gtd1(i)=P1/(D(i,i)^2)*(1-sin(D(i,i)*td1)/(D(i,i)*td1));
G_td1(i)=P1/(D(i,i)^2)*(1/td1-cos(D(i,i)*td1)/(D(i,i)*td1));
G(i)=(Gtd1(i)-(P1/(D(i,i)^2)))*cos(D(i,i)*(t-
td1)))+(G_td1(i)+(P1/((D(i,i)^2)*(td2-td1))))*(sin(D(i,i)*(t-
td1)))/D(i,i)+(P1/(D(i,i)^2))*((td2-t)/(td2-td1));
A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
sm=sm+A;
end
elseif t>=td2 && t<=td3
% display('üg=P2*(td2-t)/(td3-td2)')
Gtd2 =zeros(kts,1);
G_td2=zeros(kts,1);
for i=1:kts;
Gtd2(i)=(Gtd1(i)-(P1/(D(i,i)^2)))*cos(D(i,i)*(td2-
td1)))+(G_td1(i)+(P1/((D(i,i)^2)*(td2-td1))))*(sin(D(i,i)*(td2-td1)))/D(i,i);
G_td2(i)=-((Gtd1(i)-(P1/(D(i,i)^2)))*D(i,i)*sin(D(i,i)*(td2-
td1)))+(G_td1(i)+(P1/((D(i,i)^2)*(td2-td1))))*(cos(D(i,i)*(td2-td1)))/D(i,i)-
P1/((D(i,i)^2)*(td2-td1)));
G(i)=Gtd2(i)*cos(D(i,i)*(t-td2)))+(G_td2(i)+P2/((D(i,i)^2)*(td3-
td2)))*sin(D(i,i)*(t-td2))/D(i,i)+P2/(D(i,i)^2)*(td2-t)/(td3-td2);
A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);

```

```

        sm=sm+A;
    end
elseif t>=td3 && t<=td4
    % display('üg=P2*(t-td4)/(td4-td3)')
    Gtd3 =zeros(kts,1);
    G_td3=zeros(kts,1);
    for i=1:kts;
        Gtd3(i)=Gtd2(i)*cos(D(i,i)*(td3-td2))+(G_td2(i)+P2/((D(i,i)^2)*(td3-
td2)))*sin(D(i,i)*(td3-td2))/D(i,i)-P2/(D(i,i)^2);
        G_td3(i)=(G_td2(i)+P2/((D(i,i)^2)*(td3-td2)))*cos(D(i,i)*(td3-td2))-
D(i,i)*Gtd2(i)*sin(D(i,i)*(td3-td2))-P2/((D(i,i)^2)*(td3-td2));
        G(i)=(Gtd3(i)+P2/(D(i,i)^2))*cos(D(i,i)*(t-td3))+(G_td3(i)-
P2/((D(i,i)^2)*(td4-td3)))*sin(D(i,i)*(t-td3))/D(i,i)+P2/(D(i,i)^2)*(t-td4)/(td4-td3);
        A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
        sm=sm+A;
    end
    % display(G)
elseif t>td4;
    %display('üg=0 ')
    Gtd4 =zeros(kts,1);
    G_td4=zeros(kts,1);
    for i=1:kts;
        Gtd4(i)=(Gtd3(i)+P2/(D(i,i)^2))*cos(D(i,i)*(td4-td3))+(G_td3(i)-
P2/((D(i,i)^2)*(td4-td3)))*sin(D(i,i)*(td4-td3))/D(i,i);
        G_td4(i)=-D(i,i)*(Gtd3(i)+P2/(D(i,i)^2))*sin(D(i,i)*(td4-td3))+(G_td3(i)-
P2/((D(i,i)^2)*(td4-td3)))*cos(D(i,i)*(td4-td3))+P2/(D(i,i)^2)/(td4-td3);
        G(i)=Gtd4(i)*cos(D(i,i)*(t-td4))+G_td4(i)/D(i,i)*sin(D(i,i)*(t-td4));
        A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
        sm=sm+A;
    end
end
end
t=t+dt;

```

```

    Ur(k,j)=sm;
end
elseif s==3;
display('üg=Po')
for k=1:tas;
    sm=0;
    if t<=td;
        for i=1:kts;
            G(i)=(Po/D(i,i)^2)*(1-cos(D(i,i)*t));
            A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
            sm=sm+A;
        end
    elseif t>=td;
        for i=1:kts;
            G(i)=(Po/D(i,i)^2)*((1-cos(D(i,i)*td))*cos(D(i,i)*(t-
            td))+sin(D(i,i)*td)*sin(D(i,i)*(t-td)));
            A=vgn(j,i)*RF(i)*G(i);
            sm=sm+A;
        end
    end
    t=t+dt;
    Ur(k,j)=sm;
end
end
end

```

Modlara göre yatay hareketlerin hesaplanarak süperpozisyon edilmesiyle elde edilen yer değiştirmelerin, geri fark yöntemiyle sisteme ait hız “dUr” ve hız değerlerinden de aynı yöntemle ivme “ddUr” değerleri hesaplanmaktadır.

```

for k=1:tas-1;
    dUr(k,j)= (Ur(k+1,j)-Ur(k,j))/dt;
end

```

```

for k=1:tas-1;
    ddUr(k,j)= (dUr(k+1,j)-dUr(k,j))/dt;
end

```

Sistemin her bir katına ait yer değiştirme, hız ve ivme grafiklerini içeren kat sayısı kadar pencere olacak şekilde görsel olarak yansıtılması yapılmaktadır.

```

x=tb:dt:tg;
figure(j),subplot(1,3,1),plot(x,Ur(:,j)),title('Ur(deplasman)'),subplot(1,3,2),plot(x,dUr
(:,j)),title('dUr(hız)'),subplot(1,3,3),plot(x,ddUr(:,j)),title('ddUr(ivme)');
end

```

Kat kolonlarının kesme kuvveti, moment ve gerilme değerleri hesaplanır.

```

for k=1:tas;
    zn=z;
    Vs(k,1)=K3(1,1)*Ur(k,1)/(acs+1);
    Ms(k,1)=Vs(k,1)*L(zn)/2;
    Ss(k,1)=Ms(k,1)/(I(zn)/(0.5*kh));
    for j=2:kts;
        Vs(k,j)=K2(j,zn)*(Ur(k,j)-Ur(k,j-1));
        Ms(k,j)=Vs(k,j)*L(zn)/2;
        Ss(k,j)=Ms(k,j)/(I(zn)/(0.5*kh));
        zn=zn+acs+1;
    end
end
end

```

Belirlenen başlangıç, bitiş zamanı ve istenen kolona göre sistem kat kesme kuvveti, moment ve gerilme grafikleri elde edilmektedir.

```

for j=1:kts;
x=tb:dt:tg;

```

```

figure(j), subplot(1,3,1), plot(x,Vs(:,j),'b.-'), title('Vs(kesme kuvveti)'), subplot(1,3,2),
plot(x,Ms(:,j),'b<-'), title('Ms(moment)'), subplot(1,3,3), plot(x,Ss(:,j),'r*-' ),
title('Ss(gerilme)')
end

```

Programın bu kısmında ise sisteme ait hesaplanan yer değiştirme, hız, ivme, kesme kuvveti, moment ve gerilme diyagramlarının her kat için ayrı ayrı görsel olarak yansımaları yapılmaktadır.

```

for j=1:kts;
x=tb:dt:tg;
figure(j),subplot(2,3,1),plot(x,Vs(:,j),'b.-'),title('Vs(kesme
kuvveti)'),subplot(2,3,2),plot(x,Ms(:,j),'b<-'), title('Ms(moment)'), subplot(2,3,3),
plot(x,Ss(:,j),'r*-' ), title('Ss(gerilme)'),subplot(2,3,4), plot(x,Ur(:,j)),
title('Ur(deplasman m)'), subplot(2,3,5), plot(x,dUr(:,j)), title('dUr(hız m/s)'),
subplot(2,3,6), plot(x,ddUr(:,j)), title('ddUr(ivme m/s2)');
end

```

Programın son kısmında istenen herhangi bir “t” zamanına ait sistemin başlangıç durumuna göre yer değiştirme değerlerinin 100 kat artırılarak deformasyon görünümünü elde edilmektedir.

```

y=0;
o=1;
gt=gt/0.01+1;
x1=0;
x2=0;
for j=1:kts;
line([0,0],[y,y+L(o)],'Color','r','LineWidth',4);
line([0,ac],[y+L(o),y+L(o)],'Color','r','LineWidth',4);
line([ac,ac],[y,y+L(o)],'Color','r','LineWidth',4);
x1=x1+Ur(gt,j)*100;

```

```

line ([x2,x1],[y,y+L(o)'],'LineWidth',2);
line ([ac+x2,ac+x1],[y,y+L(o)'],'LineWidth',2);
x2=x2+Ur(gt,j)*100;
line ([x1,ac+x1],[y+L(o),y+L(o)'],'LineWidth',2);
y=y+L(o);
o=o+acs+1;
end

```

Newmark doğrusal metoduyla sisteme etkiyen yer ivmesi sonucunda oluşan yer değiştirme, hız ve ivme değerleri hesaplanmakta ve isteğe göre grafikleri çizdirilmektedir. Başlangıç olarak sistemle ilgili bazı verilerin girilmesi gerekmektedir.

```

% Sönüm etkisi olmayan çok serbestlik dereceli sistemler için newmark
% doğrusal ivme metodu gama=1/2, beta=1/6
kts = input ('Kat sayısını giriniz : ');
K = input ('Sistem rijitlik matrisini giriniz : ');
M = input ('Sistem kütle matrisini giriniz : ');
tb = input ('verilen yer ivmesi fonksiyonuna ait deplasman,hız,ivme grafikleri için geçerli olan t başlangıç değerini giriniz. tb= ');
tg = input ('verilen yer ivmesi fonksiyonuna ait deplasman,hız,ivme grafikleri için geçerli olan t bitiş değerini giriniz. tg= ');
dt = input ('verilen yer ivmesi fonksiyonuna ait deplasman,hız,ivme grafikleri için geçerli olan birim t değişimin değerini giriniz. dt= ');
Uo = input ('sistemin başlangıç yer değiştirmesi T=0 anındaki değerini giriniz. = ');
dUo = input ('sistemin başlangıç hız T=0 anındaki değerini giriniz. = ');
Ug = input ('sisteme etkiyecek yer ivme datalarını giriniz.[ug1 ug2 ug3 ... ugn]şeklinde yada workspace kısmına Ug adında dosya açarak = ');

```

Sistem verileri girildikten sonra programda hesaplanacak her bir vektörün ya da matrisin boyutları oluşturuluyor.

```

tas=((tg-tb)/dt)+1;

```

```

Ur=zeros(tas,kts);
%ug=zeros(tas,1);
delta_ug=zeros(tas,kts);
delta_Ur=zeros(tas,kts);
delta_dUr=zeros(tas,kts);
delta_ddUr=zeros(tas,kts);
delta_p=zeros(tas,kts);
etki_delta_p=zeros(tas,kts);
dUr=zeros(tas,kts);
ddUr=zeros(tas,kts);

```

Newmark metodu için sabit olarak nitelendirilen katsayıların hesaplaması yapılmaktadır.

```

K_s=zeros(kts,kts);
Ur(1,:)=Ur(1,)+Uo;
dUr(1,:)=dUr(1,)+dUo;
K_s=K+(6/(dt^2))*M;
M_t=inv(M);
K_t=inv(K_s);
display(K_s);
ddUr(1,:)=Ug(1)*ones(1,kts)-(M_t*K*(Ur(1,:)))';
t=tb;

```

Hesaplanan katsayılar sonrasında her bir zaman adımı için sistem döngüsü oluşturulmuştur. Bu döngüde her zaman adımına karşılık yer değiştirme, hız, ivme ve etkiyen kuvvet vektörleri oluşturulmaktadır.

```

for k=1:tas-1;
    delta_ug(k,:)=(Ug(k+1)-Ug(k))*ones(1,kts);
    %delta_ug(k,:)=(Po*(sin(a*(t+dt))-sin(a*t)))*ones(1,kts); Sinüs
    %Fonksiyonu için gerekli satır...

```

```

delta_p(k,:)=(-M*delta_ug(k,:))';
etkin_delta_p(k,:)=delta_p(k,:)+(M*(6/dt)*dUr(k,:))'+(M*3*ddUr(k,:))';
delta_Ur(k,:)=(K_t*etki_delta_p(k,:))';
delta_dUr(k,:)=(3/dt)*delta_Ur(k,:)-3*dUr(k,:)-(dt/2)*ddUr(k,:);
delta_ddUr(k,:)=(6/(dt^2))*delta_Ur(k,:)-6/dt*dUr(k,:)-3*ddUr(k,:);
Ur(k+1,:)=Ur(k,:)+delta_Ur(k,:);
dUr(k+1,:)=dUr(k,:)+delta_dUr(k,:);
ddUr(k+1,:)=ddUr(k,:)+delta_ddUr(k,:);
t=t+dt;
end

```

3.5. MATLAB Programı ile Örnek Çözümü

Kat sayısını giriniz : 4

Açıklık sayısını giriniz : 1

Soldan başlayarak önce birinci katın kolonları sonra sırasıyla diğer katların kolonları olmak üzere her bir kolon için elastisite modülünü (t/m^2) cinsinden giriniz. =

[$2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$ $2,8 \times 10^6$]

Aynı sırayla her bir kolon için atalet momentini (m^4) cinsinden giriniz. =

[0,003125 0,003125 0,003125 0,003125 0,003125 0,003125 0,003125 0,003125]

Aynı sırayla her bir kolonun boyunu (m) cinsinden giriniz. =

[3,5 3,5 3,0 3,0 3,0 3,0 3,0 3,0]

Soldan başlayarak önce birinci katın kolonları arası açıklık mesafelerini(m) giriniz. =

[4 4 4 4 4 4 4]

Her katın toplam kütesini giriniz (ton/g(ivme- m/s^2 -)) olarak giriniz. = [1,2232

1,0194 1,0194 0,8155]

Yer ivmesi fonksiyonu sinüs eğrisi ise 1 e bas, üçgensel fonksiyon ise 2 ye bas, sabit fonksiyon ise 3 e bas

Verilen yer ivmesi fonksiyonuna ait deplasman, hız, ivme grafikleri için geçerli olan t başlangıç değerini giriniz. ($t_b=0$ s)

Verilen yer ivmesi fonksiyonuna ait deplasman, hız, ivme grafikleri için geçerli olan t bitiş değerini giriniz. ($t_g=20$ s)

Verilen yer ivmesi fonksiyonuna ait deplasman, hız, ivme grafikleri için geçerli olan birim t değişim değerini giriniz. (dt=0,01 s)

Soldan başlayarak her bir kolonun atalet momentine karşılık gelecek şekilde deprem yönüne paralel yöndeki kesit yüksekliğini (h) giriniz. =

[0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5 0,5]

Yapının herhangi bir açıklık mesafesini(m) giriniz. (AC=4)

Yapının istenilen herhangi bir t zamanındaki deformasyon görünümü için t süresini giriniz. (gt=4-12 s)

Program sonuçları:

K =

1.0e+004 *

1.2574	-0.7716	0	0
-0.7716	1.5431	-0.7716	0
0	-0.7716	1.5431	-0.7716
0	0	-0.7716	0.7716

M =

1.2232	0	0	0
0	1.0194	0	0
0	0	1.0194	0
0	0	0	0.8155

w =

27.7465	0	0	0
0	80.3281	0	0
0	0	128.2699	0
0	0	0	162.2988

vnorm =

1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.5077	0.6067	-0.9788	-2.5464
1.8620	-0.3038	-0.8299	2.7690
2.0269	-0.9553	1.1230	-1.5520

vgn =

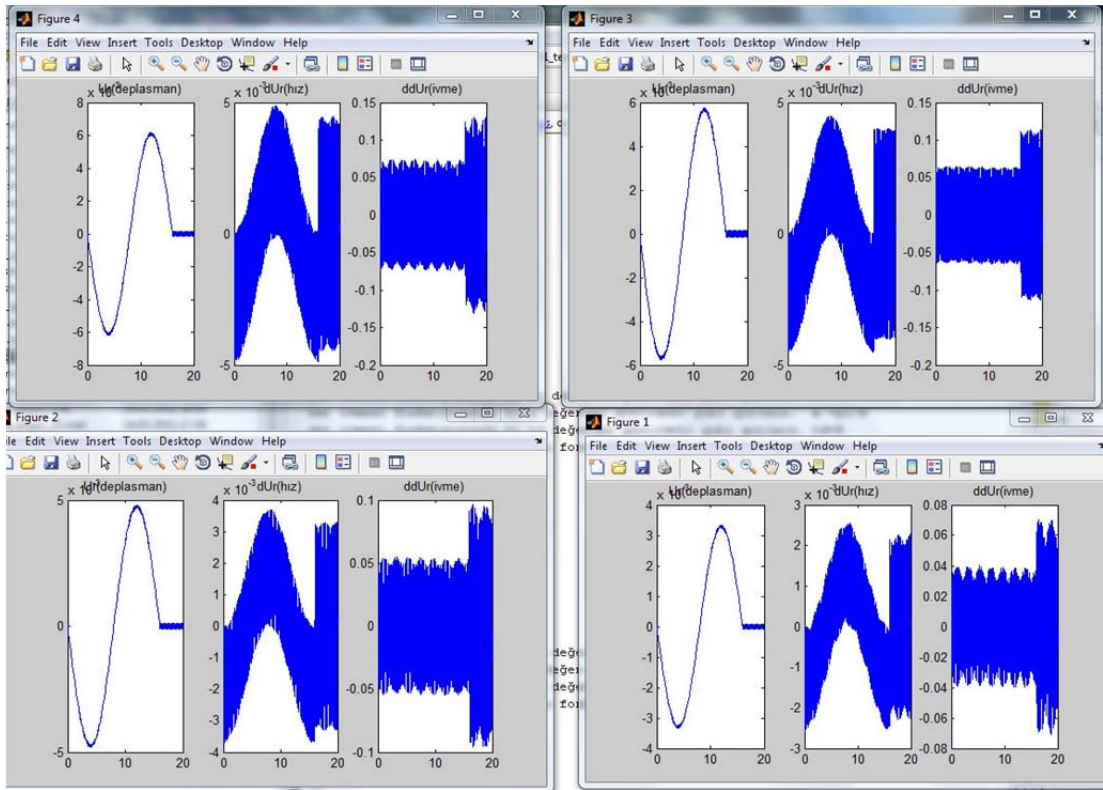
0.3097	0.6406	0.5044	0.2383
0.4669	0.3887	-0.4937	-0.6067
0.5767	-0.1946	-0.4186	0.6598
0.6278	-0.6120	0.5665	-0.3698

RF =

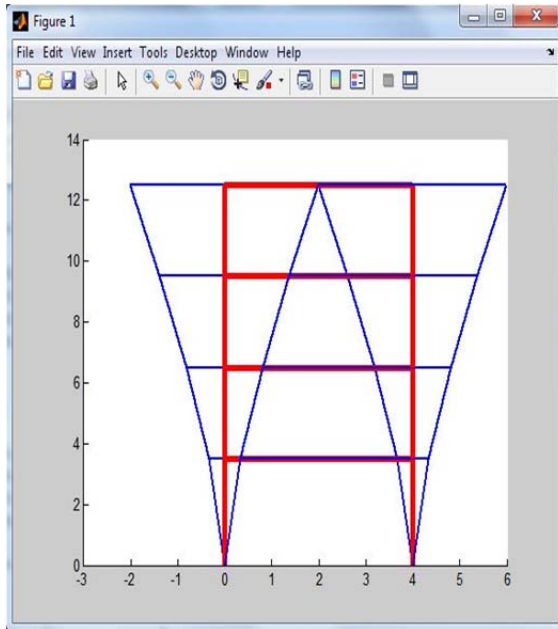
-1.9547
-0.4824
-0.1490
-0.0440

Yer ivme fonksiyon kodu,

s=1 ise $\ddot{u}_0 = 0.4 * g$ ve $\bar{\omega} = \frac{2\pi}{16}$, T = 16s dataları için program çıktısı Şekil 3.2

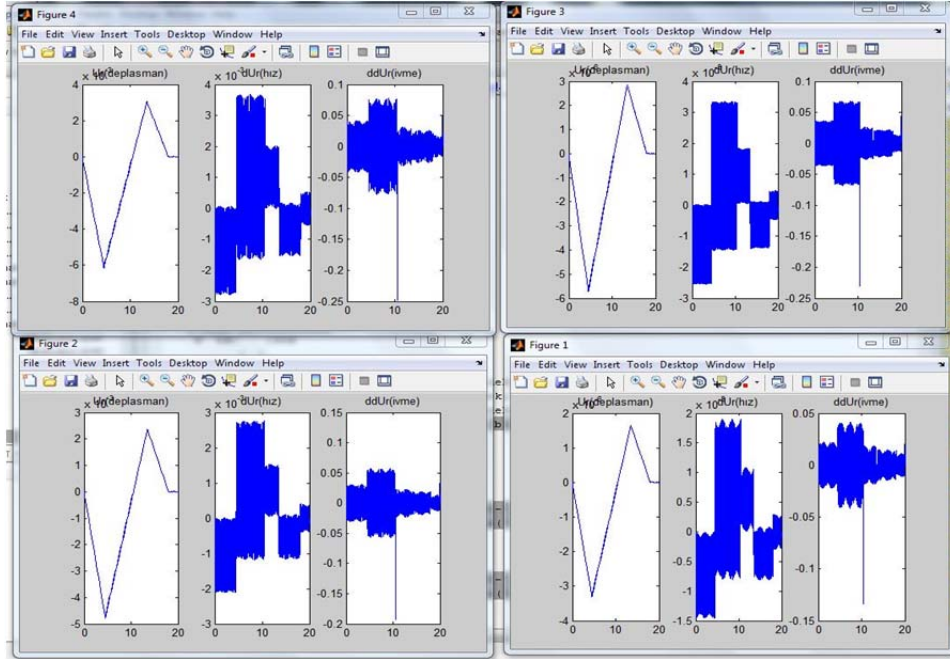


Şekil 3.2. Sinüs fonksiyonu program çıktısı



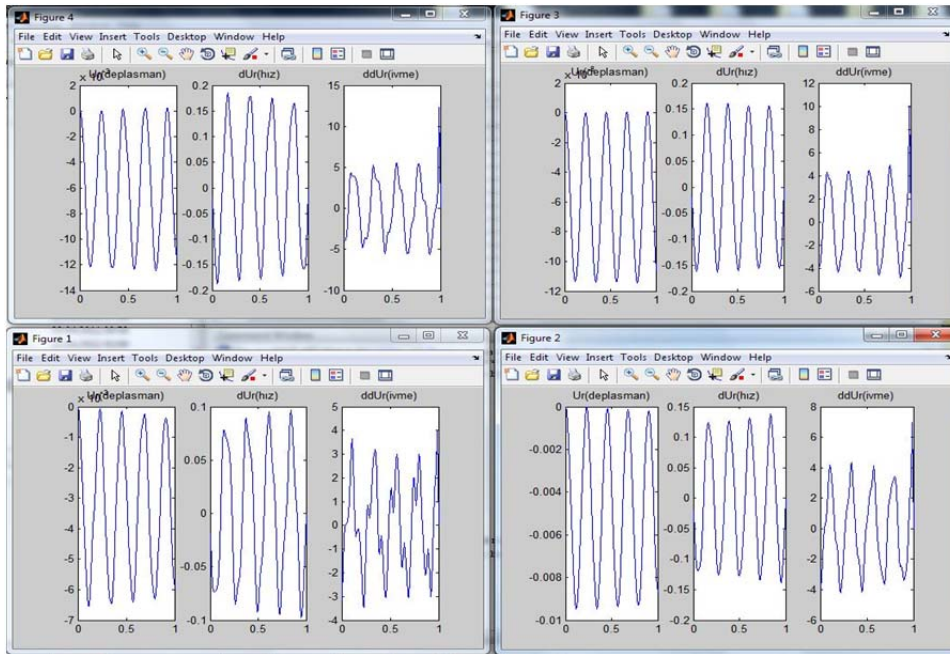
Şekil 3.3. $t=4$ ile $t=12$ saniyeleri için sistem deformasyon görünümü

eğer $s=2$ ise $\ddot{u}_1 = 0.4 * g$, $\ddot{u}_2 = 0.2 * g$ ve $t_1 = 4,5$ s, $t_2 = 10,5$ s, $t_3 = 13,5$ s, $t_4 = 18$ s dataları için program çıktısı Şekil 3.4.



Şekil 3.4. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyonun program çıktısı

ve $s=3$ ise $\ddot{u}_0 = 0.4 * g$ datası için program çıktısı Şekil 3.5. deki gibi olur.

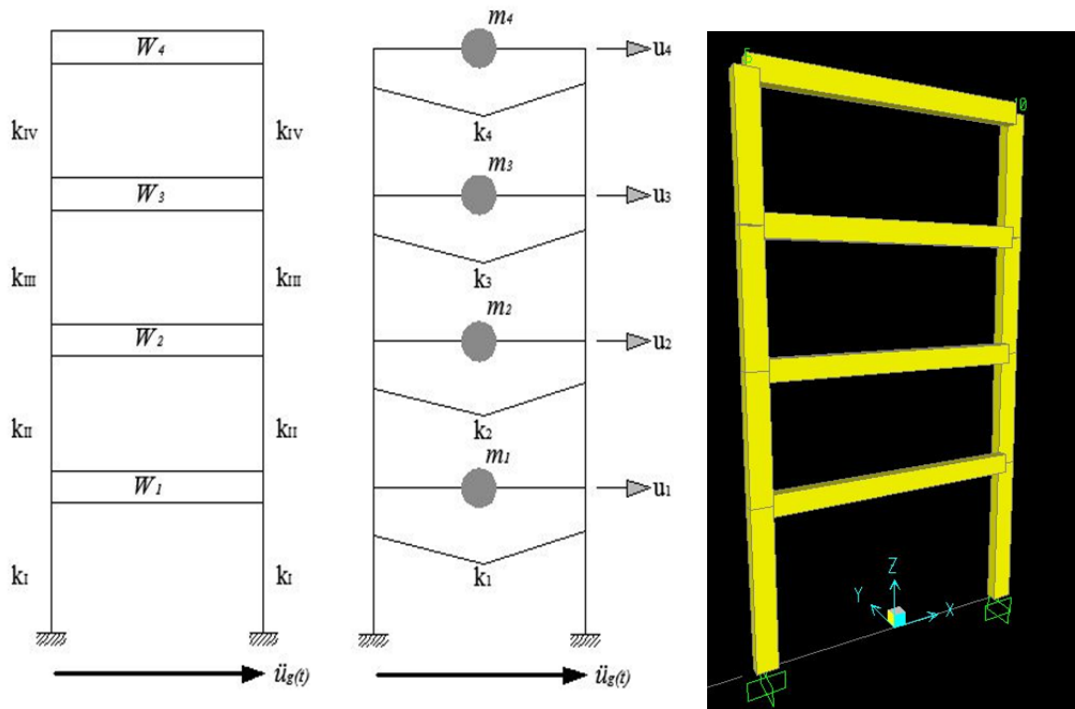


Şekil 3.5. Sabit fonksiyonun program çıktısı

3.6. SAP2000 ile Karşılaştırma

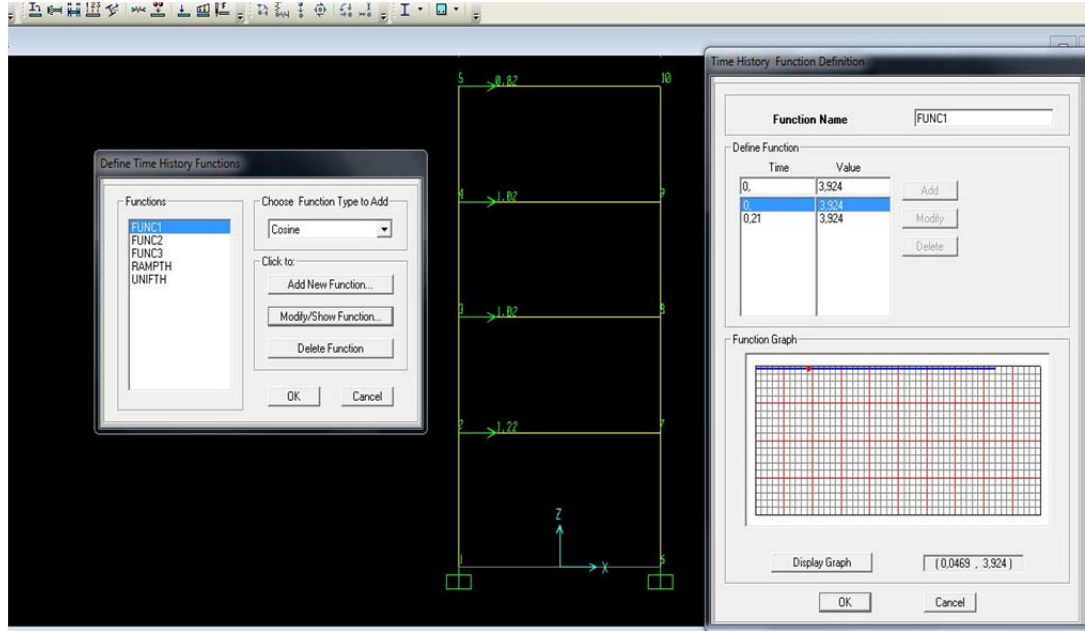
Bölüm (2.11)'de çözülen örneğin SAP2000 hazır programında modellemesi yapılarak MATLAB programında yazılmış program ile karşılaştırmaları yapılmaktadır. Sap2000 modellemesi için programda kullanılmış sistem dataları aşağıda verilmiştir.

Elastisite modülü	: $2,8 \times 10^6$ (t/m ²)
Kolon kesiti	: 30x50 (cm)
Kat yükseklikleri	: [3,5 3,0 3,0 3,0] (m)
Kat ağırlıkları (W)	: [12 10 10 8] ton
Kat kütleleri (m)	: [1,22 1,02 1,02 0,82] t.s ² /m

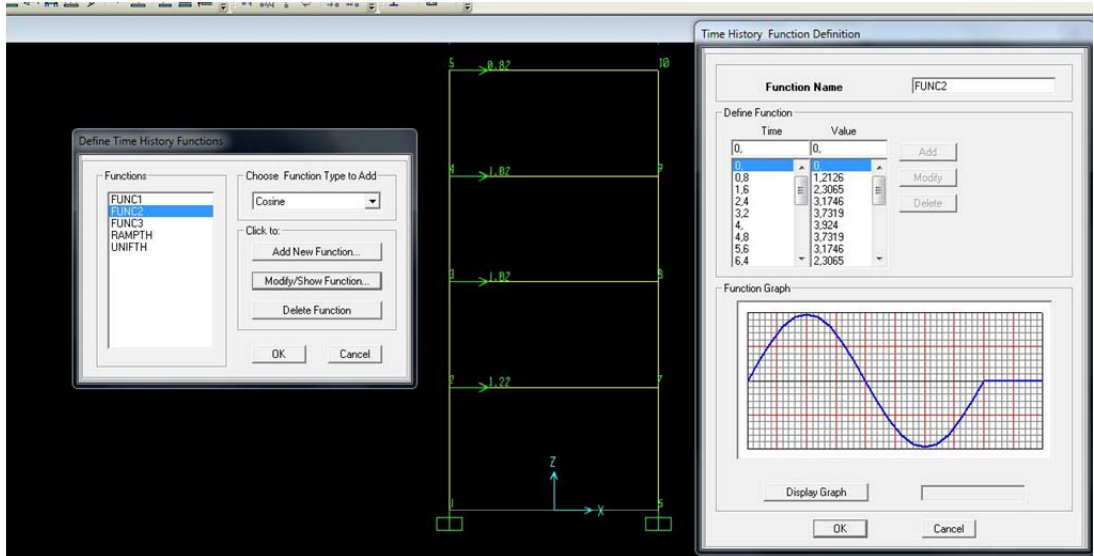


Şekil 3.6. Matematik model ve SAP2000 görünüşü

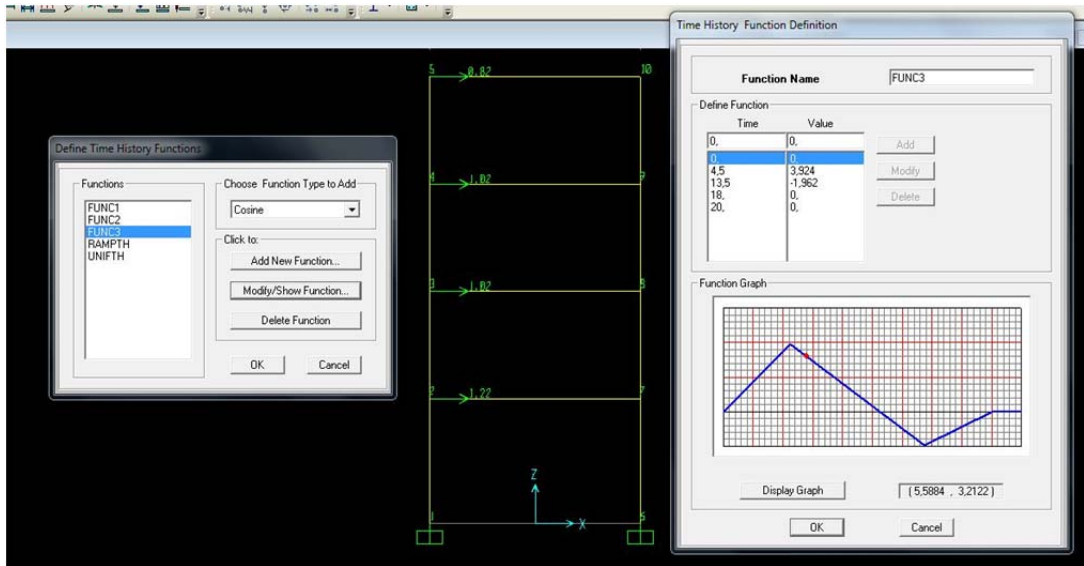
Etki eden yer ivmesi fonksiyonları “SAP2000” data girişlerinde “Time History Functions” ;



Şekil 3.7. Sabit fonksiyon data girişi

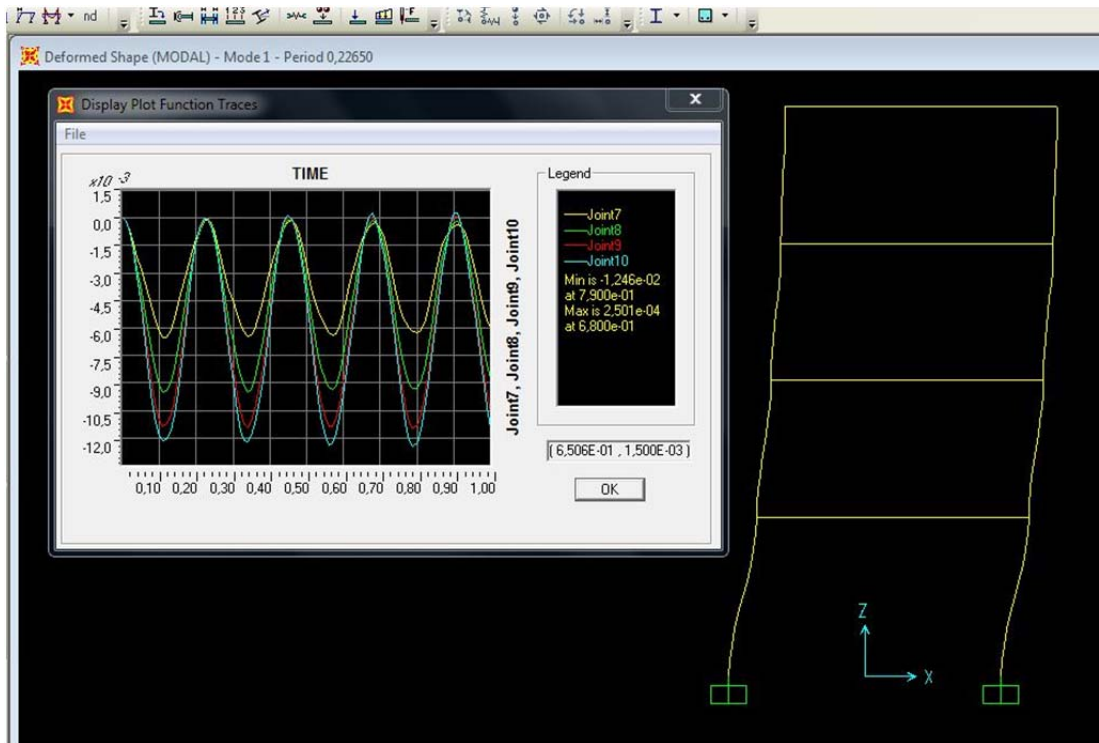


Şekil 3.8. Sinüs fonksiyon data girişi

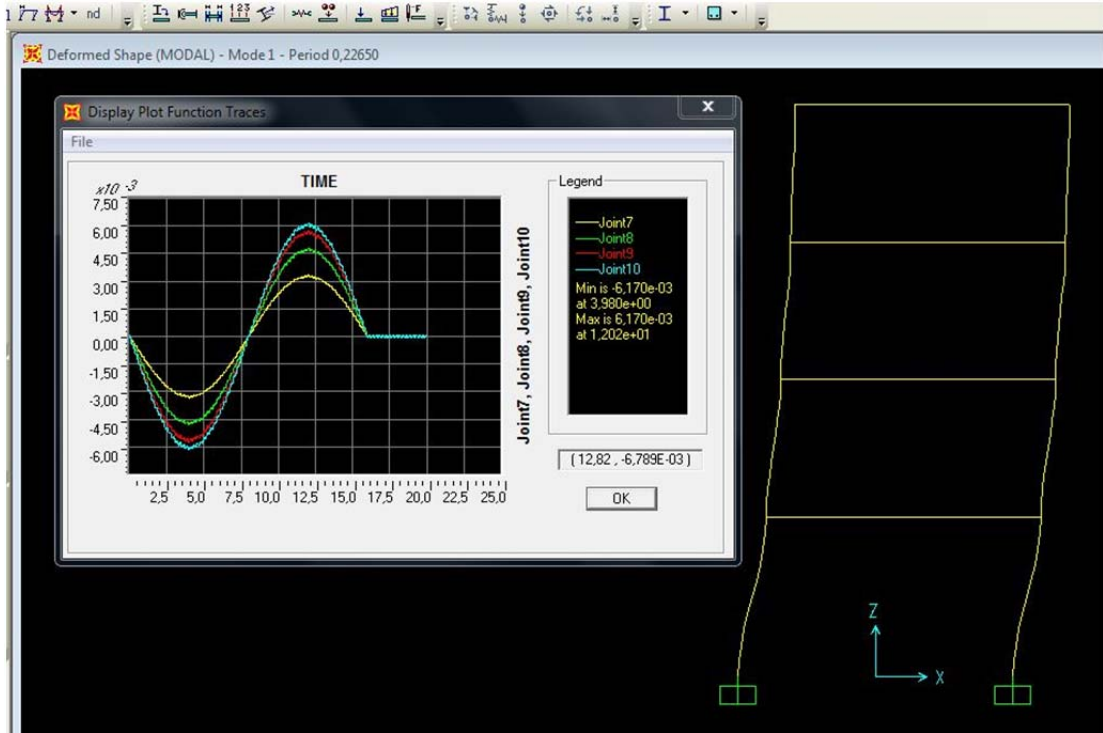


Şekil 3.9. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyon data girişi

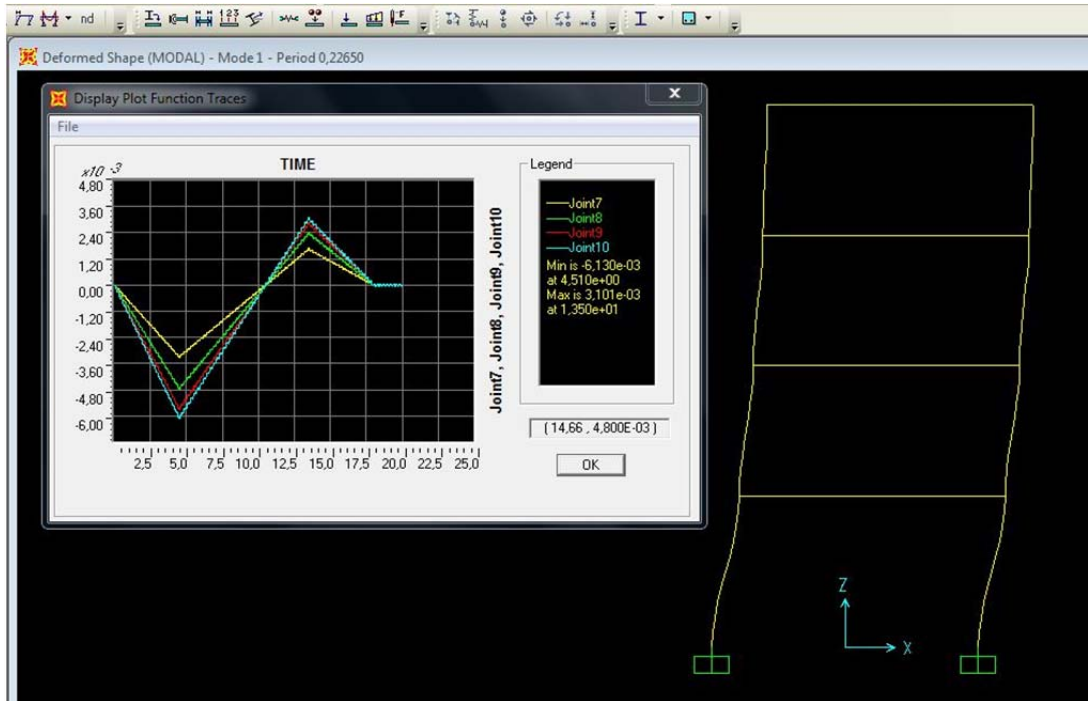
penceresinde kullanılacak fonksiyonların grafikleri oluşturulur. Programda modal analiz yapıldıktan sonra elde edilen yer değiştirme grafikleri ve sistem deformasyon şekilleri aşağıdaki gibi olmuştur.



Şekil 3.10. Yer ivmesi (sabit fonksiyon) etkisinde sistem görünümü

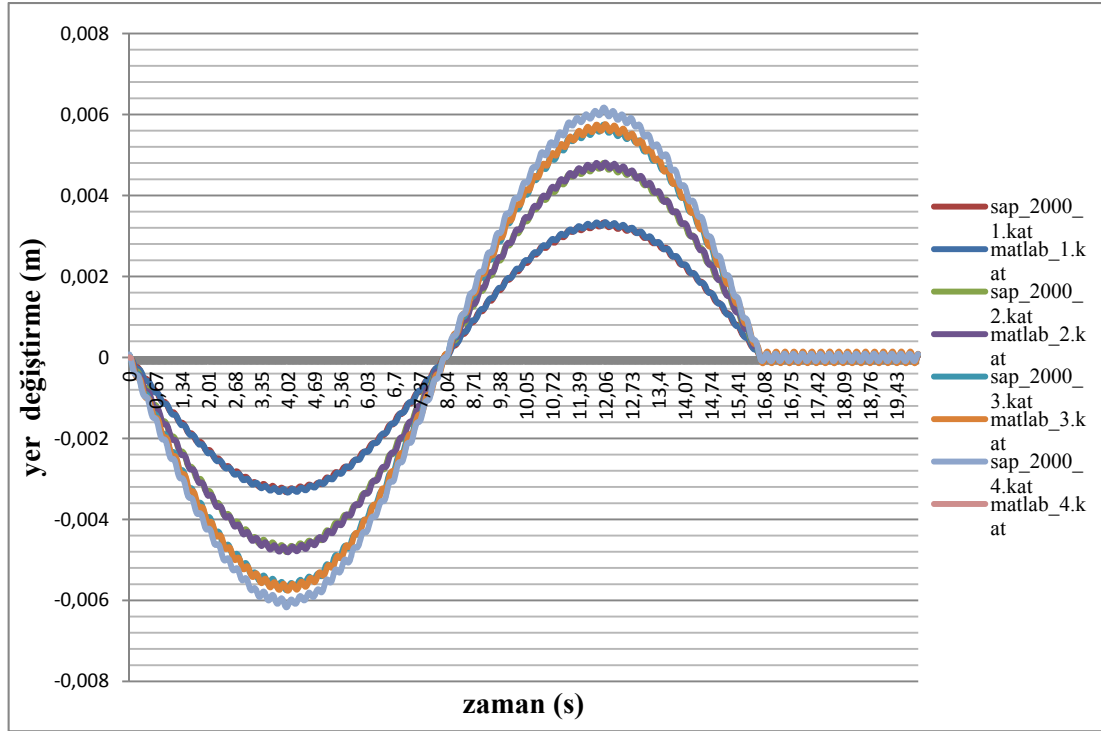


Şekil 3.11. Yer ivmesi (sinüs fonksiyon) etkisinde sistem görünümü

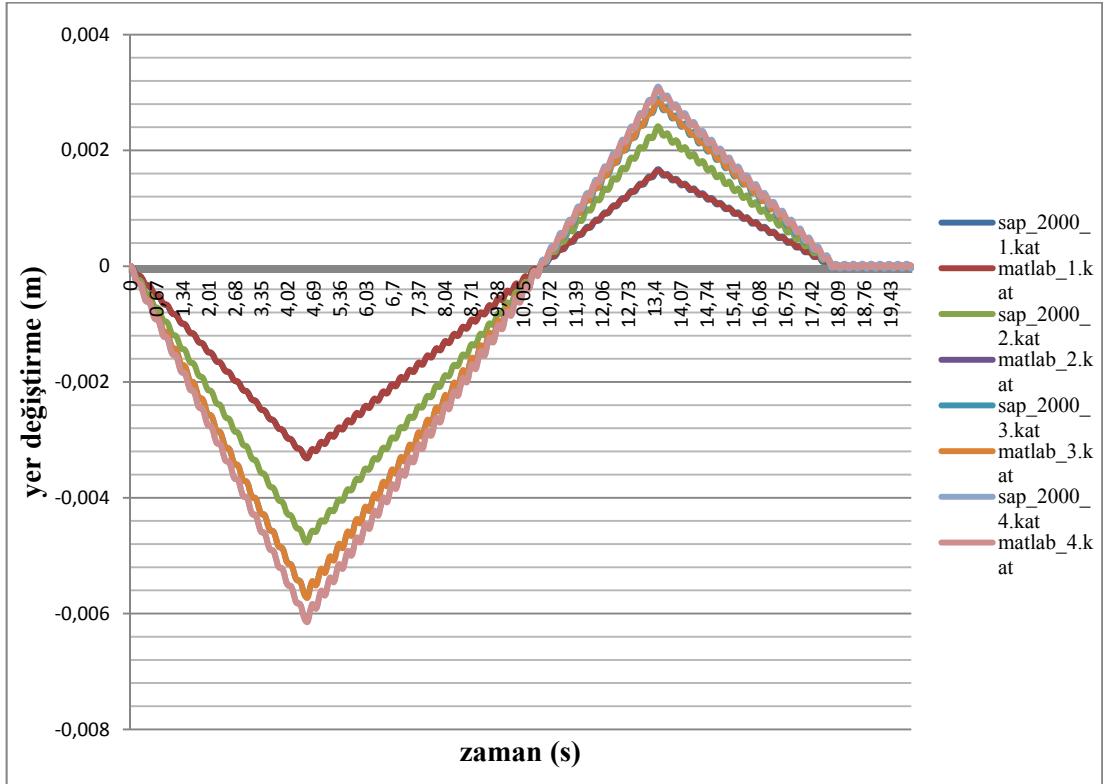


Şekil 3.12. Yer ivmesi (lineer artan ve/veya azalan fonksiyon) etkisinde sistem görünümü

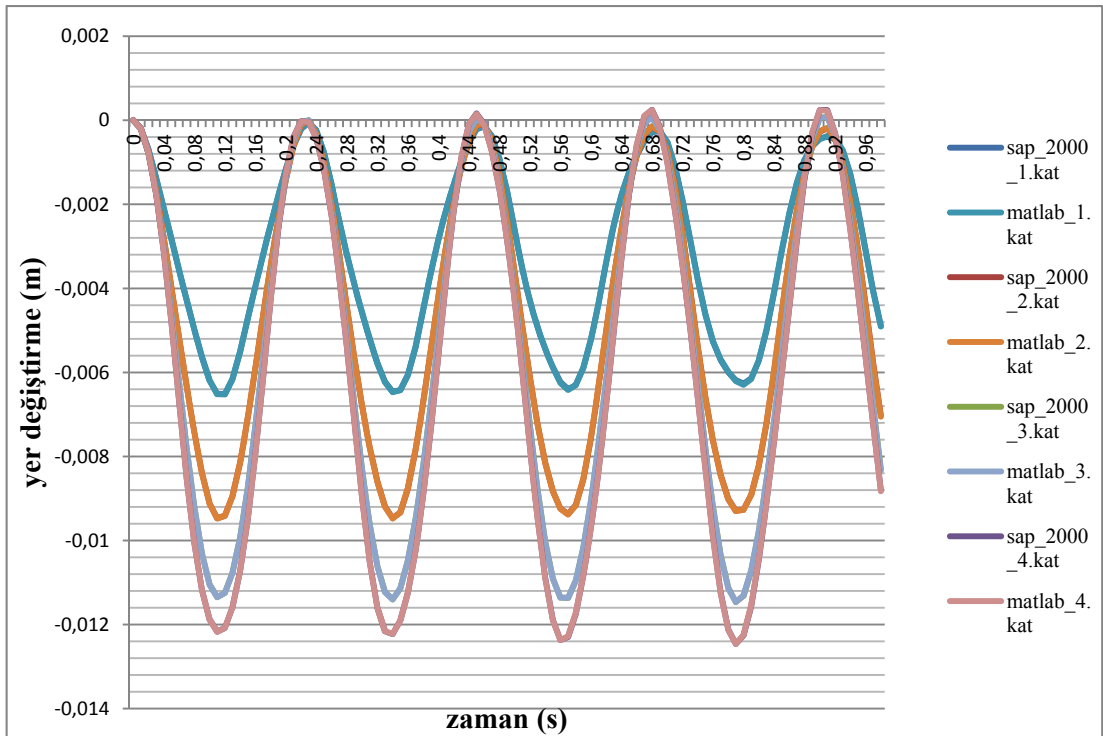
SAP2000 programı ile elde edilen sonuçları MATLAB programında yazılan yazılımda elde edilen sonuçlarla karşılaştırdığımızda yazılımın doğruya yakın değerler elde ettiği aşağıdaki grafiklerde gözlemlenmektedir.



şekil 3.13. Sinüs fonksiyonunun MATLAB - SAP2000 karşılaştırması



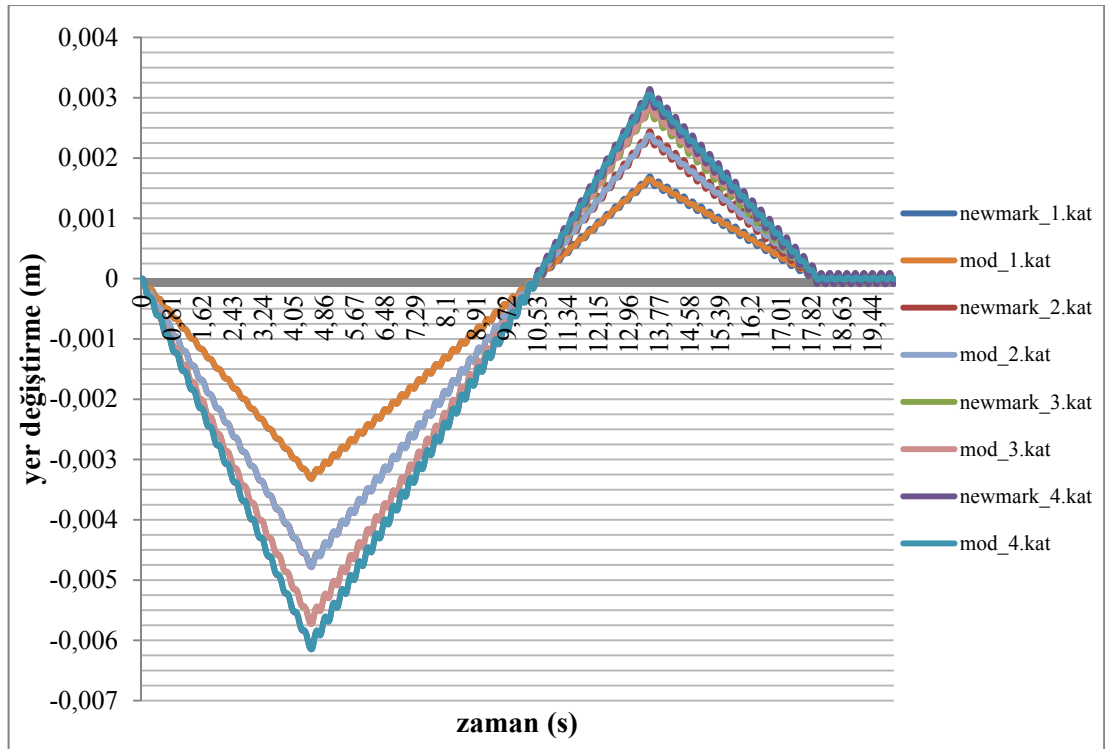
şekil 3.14. Linear artan ve/veya azalan fonksiyonunun MATLAB - SAP2000 karşılaştırması



şekil 3.15. Sabit fonksiyonun MATLAB - SAP2000 karşılaştırması

Newmark Metodu Karşılaştırması

Genel hareket denkleminde etkiyen yer ivmesinin doğrusal olmadığı, mod süperpozisyonunun uygulanamadığı durumlarda yaygın bir yöntem olan Newmark metodu kullanılmaktadır. MATLAB programı kullanılarak yazılan programın son aşamasında Newmark metodunu içeren bir çözüm söz konusudur. Lineer artan ve/veya azalan yer ivme fonksiyonu için mod süperpozisyonu ve newmark yöntemlerini uygulayıp karşılaştırdığımızda Şekil 3.16. grafiğini elde etmekteyiz. Şekil 3.16. da etkiyen yer ivmesi denkleminin yazılabilir bir fonksiyon olması ya da olmaması durumunda adım adım doğrusal çözüm uygulayan Newmark metodunun kullanım kolaylığını göstermektedir.



Şekil 3.16. Lineer artan ve/veya azalan fonksiyonun karşılaştırması

4. ÇOK KATLI ÇERÇEVE SİSTEMLERDE DEĞİŞKEN PARAMETRELER İLE MATLAB UYGULAMALARI

Çok katlı yapılarda yer ivmesi etkisinde oluşan değişimleri bazı parametreler doğrultusunda çeşitli yönlerden karşılaştırmaları yapılmıştır. Bu parametreler binaya etki eden yer ivmesinin değişkenleri ve sistem değişkenleri olarak ele alınmıştır. Yer ivmesi değişkenleri olarak etkiyen ivme fonksiyon periyodu ve ivme büyüklüğü olarak sınıflanabilir. Sistem değişkenleri ise sistem kat sayısı ve kolon kesiti (atalet momenti) karşılaştırmalarda parametre olarak ele alınmıştır. Üzerinde çalışılan sistem 4 katlı, tek açıklıklı ve 4 serbestlik derecesine sahip bir çerçeve olarak alınmıştır. Sistemde etkiyen dış kuvvet, yer ivmesi olarak basit harmonik sinüs fonksiyonu kullanılmıştır.

$$m\ddot{u} + k u = -m\ddot{u}_g(t)$$

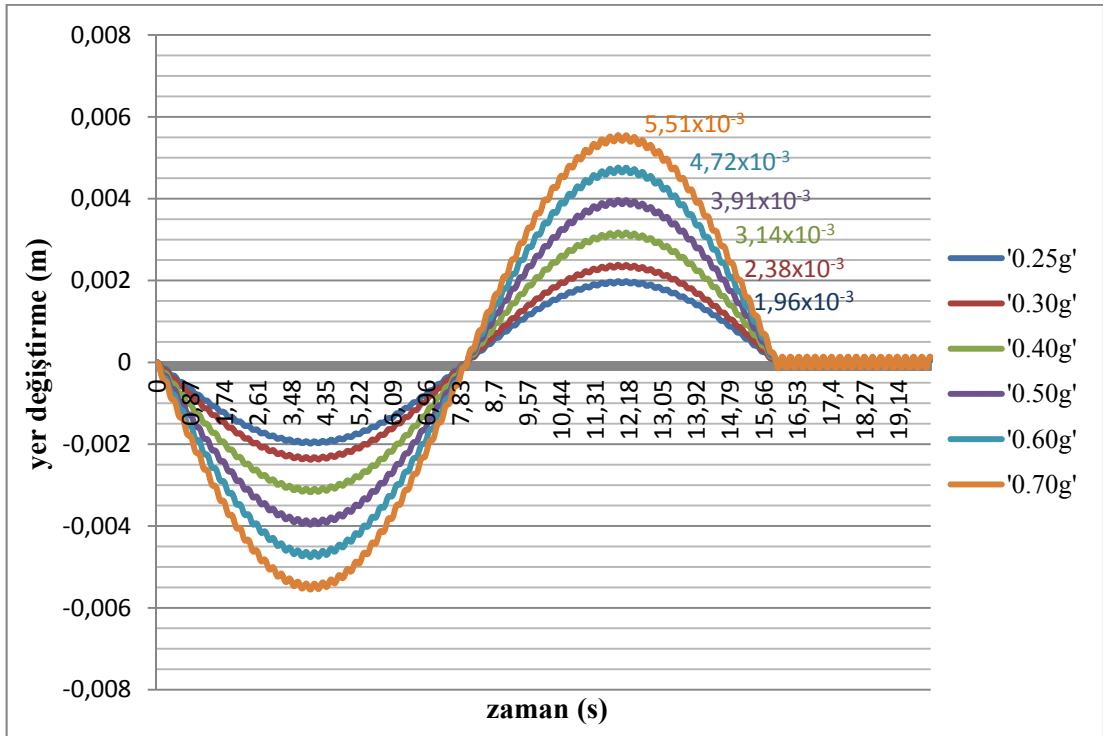
$$\ddot{u}_g(t) = \ddot{u}_0 \sin \bar{\omega} t$$

4.1. Yer İvmesi Fonksiyonu Değişkenleri

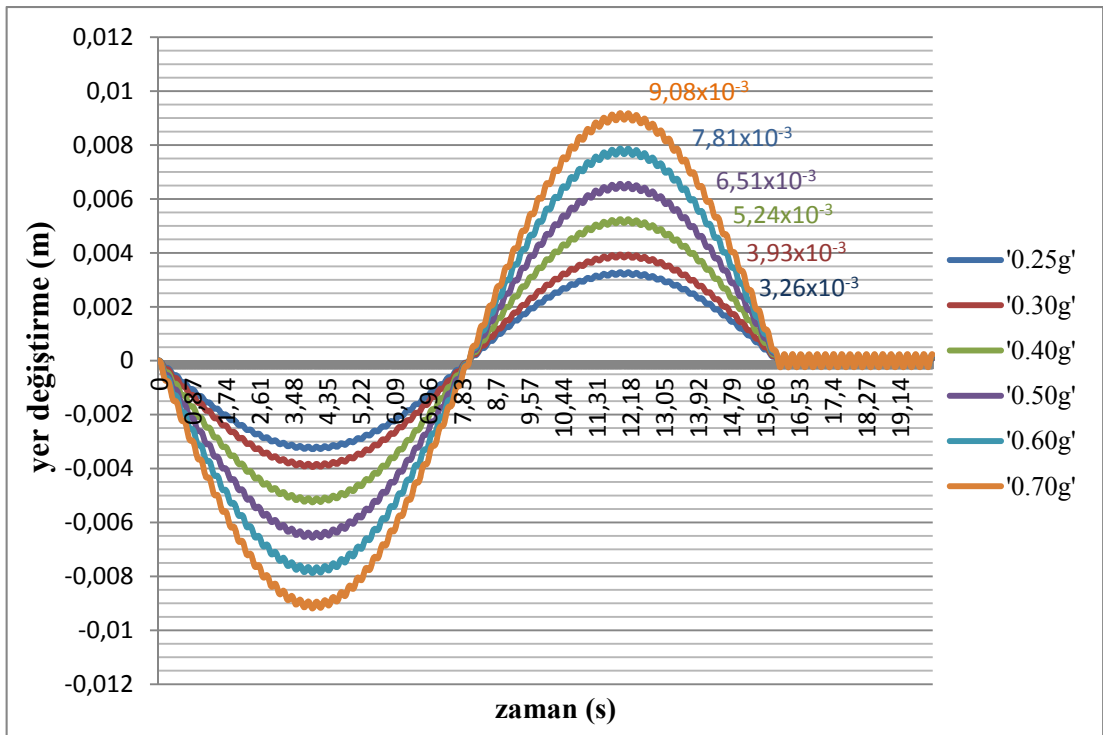
Yapıda oluşan yer değiştirmeler için etkiyen kuvvetin karakteristik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bu karakteristik özellikler sinüs fonksiyonu için genlik \ddot{u}_0 ve açısal frekans $\bar{\omega}$ katsayılarıdır. Bu katsayıların yer değiştirme üzerindeki etkilerini inceleyebilmek için parametre olarak kullanılmıştır. Sistemde yapısal bir değişiklik olmadığından sistemin periyodu 0,21 s olarak kalmıştır.

4.1.1. Genlik, \ddot{u}_0

Yer ivme fonksiyonunun karakteristik özelliği olan \ddot{u}_0 , Eş. 2.36 dan yararlanarak etkiyen yer ivmesinin yapıdaki yer değiştirmelerde etkin olduğunu göstermektedir. Yer ivme titreşim hareketi sinüs fonksiyonu olan 4 katlı bir yapıya ait kat yer değiştirme ve kesme kuvvetindeki genlik değişiminin etkisi aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.

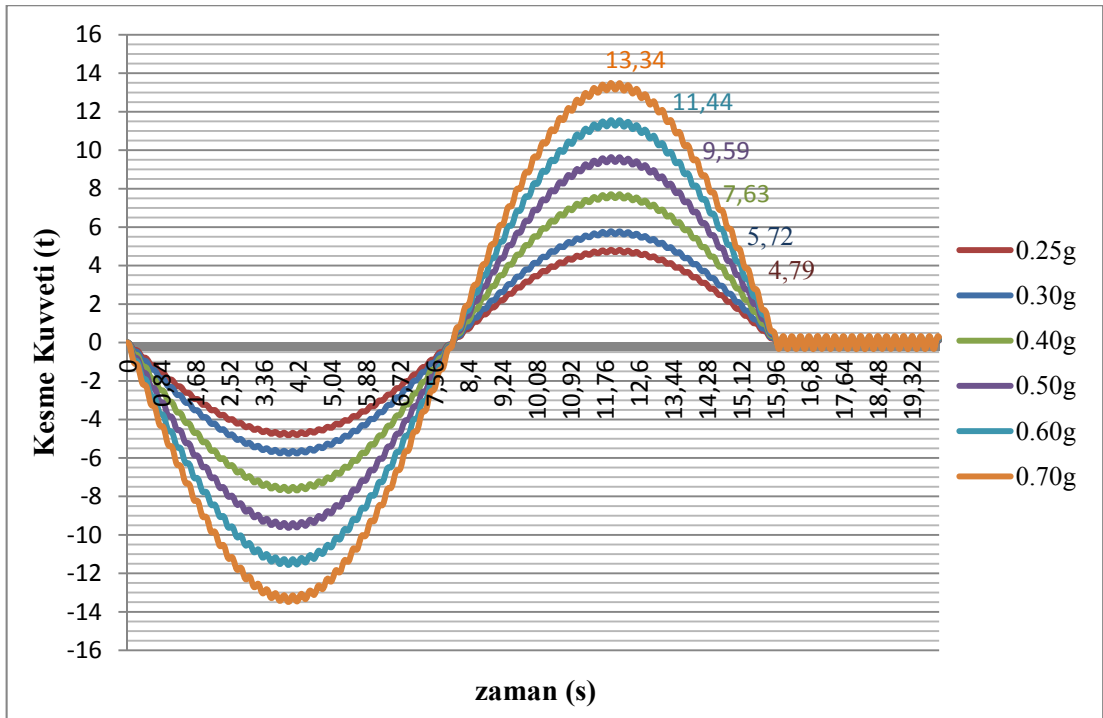


Şekil 4.1. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği

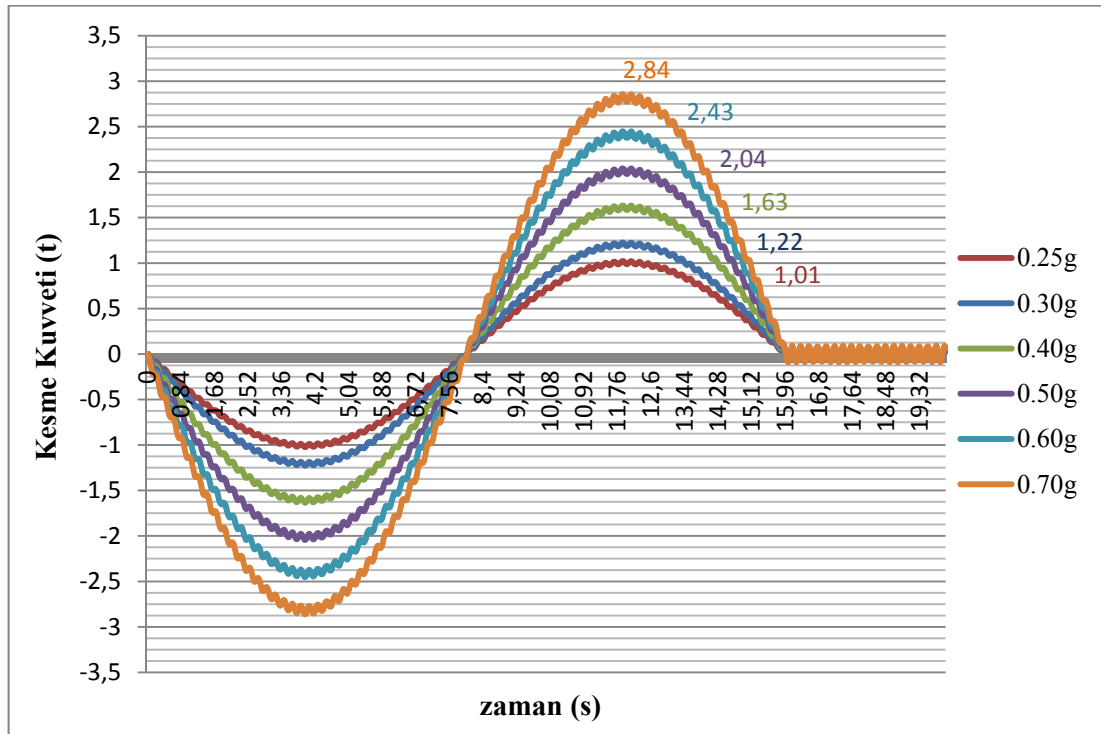


Şekil 4.2. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği

Şekil 4.2. ve Şekil 4.1. grafiklerinde yer ivme fonksiyonunun \ddot{u}_0 , genliğinin değişimi incelendiğinde, \ddot{u}_0 arttıkça yapıdaki yer değiştirmenin de arttığı görülmektedir. Bunun nedeni yapıya etki eden yer ivmesinin büyümesi Eş. 2.36 da eşitliğin sağ tarafındaki kuvvetin büyümesine ve katta oluşacak yer değiştirmeleri artmasına neden olmaktadır. Örneğin 4. kata ait yerdeğiştirme grafiğinde 0,25g için oluşan yer değiştirme 3,26 mm iken bu değer 0,50g için 6,51mm olarak hesaplanmıştır. Oluşan değerler karşılaştırıldığında yer ivmesindeki 2 kat artış yer değiştirmede de aynı oranda artışa neden olmuştur. Sisteme etkiyen yer ivmesi ya da dinamik titreşim genliği ne kadar büyük olursa referans katın yer değiştirmesi de lineer olarak artmaktadır.



Şekil 4.3. 1. Kat kesme kuvveti değişim grafiği

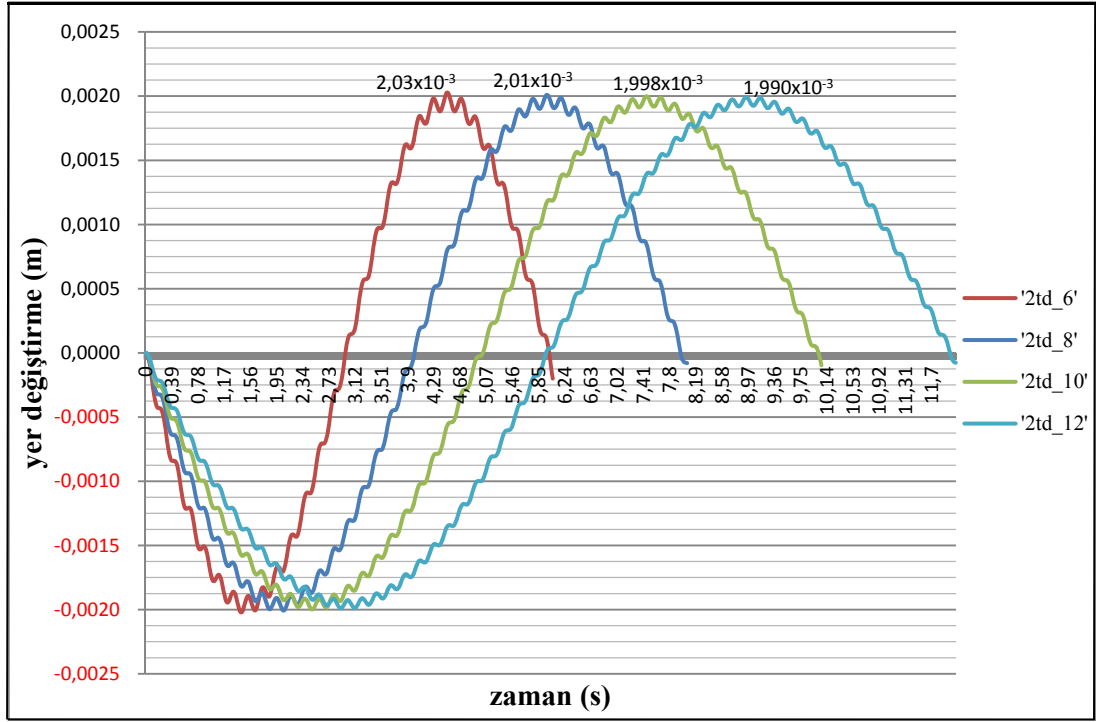


Şekil 4.4. 4. Kat kesme kuvveti değişim grafiği

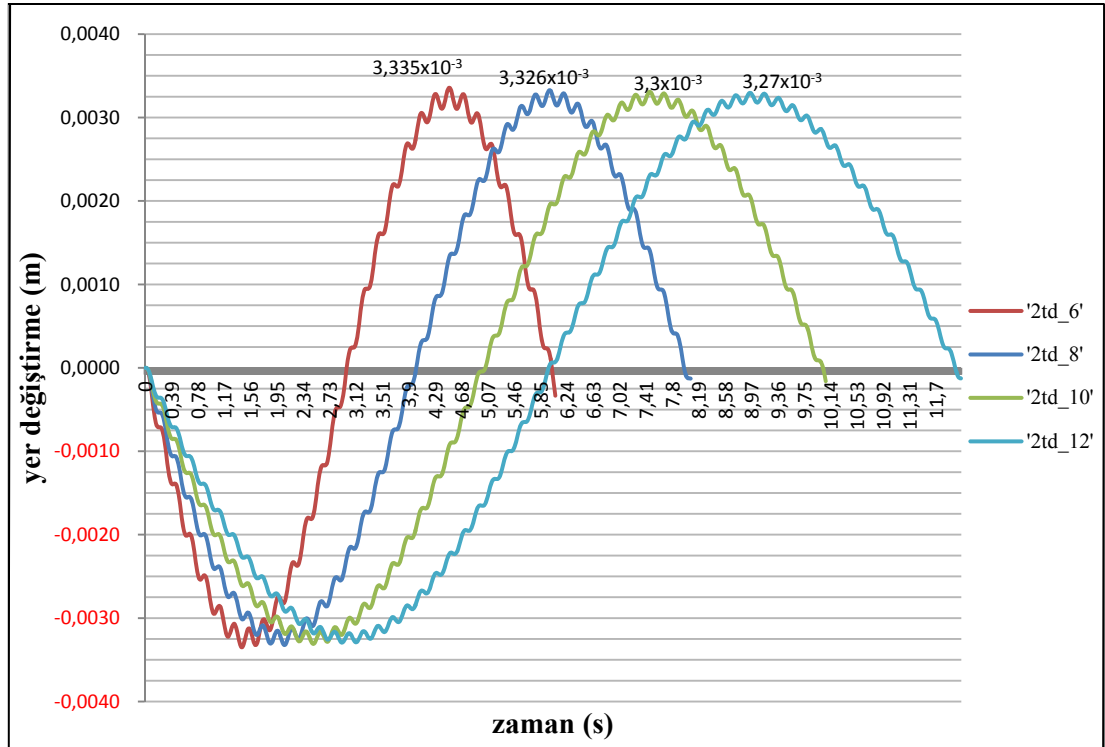
Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. grafiklerinde yer ivme fonksiyonunun \ddot{u}_0 , genliğinin değişimi incelendiğinde, \ddot{u}_0 arttıkça yapıdaki yer değiştirmenin artması, bundan dolayı da katta oluşan kesme kuvvetinin arttığı görülmektedir.

4.1.2. Açısal frekans, $\bar{\omega}$

Yer ivme fonksiyonuna ait karakteristik özelliği olan ivme frekansı $\bar{\omega}$, Eş. 2.7 den yararlanarak etkiyen yer ivmesinin periyoduna bağlıdır. Bu da yapıdaki yer değiştirmelerde etkin olduğunu göstermektedir. Yer ivme hareketi sinüs fonksiyonu olan 4 katlı bir yapıya ait kat yer değiştirme ve kesme kuvvetindeki periyot değişiminin etkisi aşağıda grafiklerde gösterilmektedir. Grafiklerde bulunan 2td nitelendirmesi, etkiyen fonksiyonun periyodunu göstermektedir. Periyot değişimleri 6, 8, 10 ve 12 s olarak değerlendirilmiş ve yapının periyodu ise 0,21 s hesaplanmıştır.

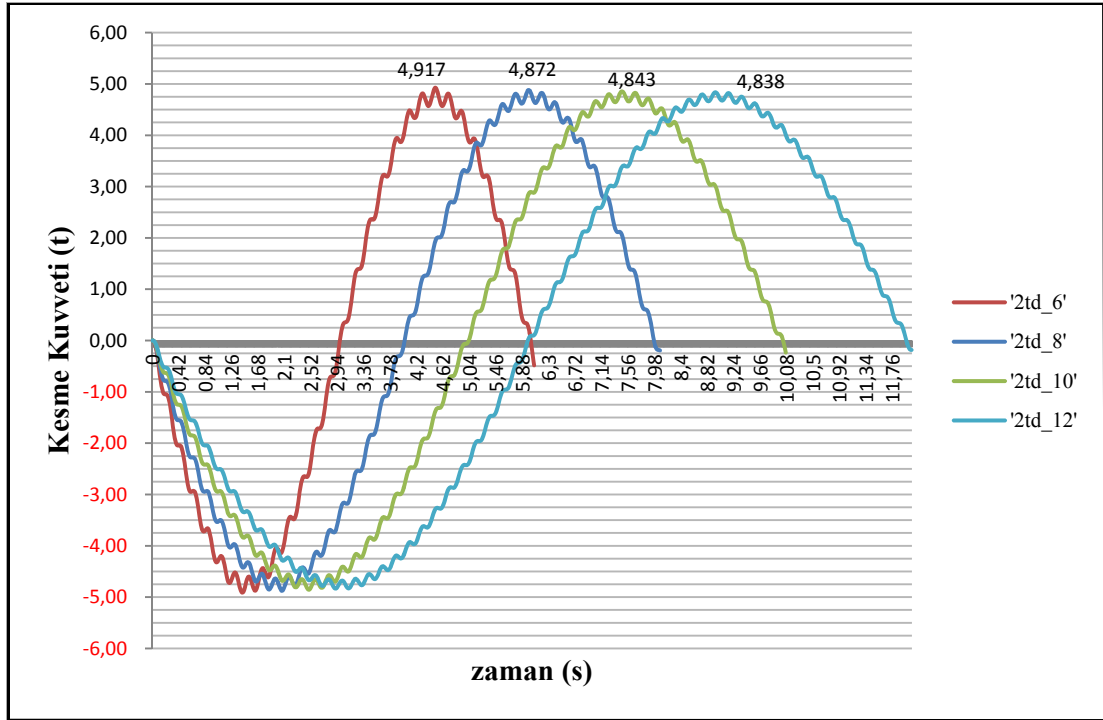


Şekil 4.5. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği

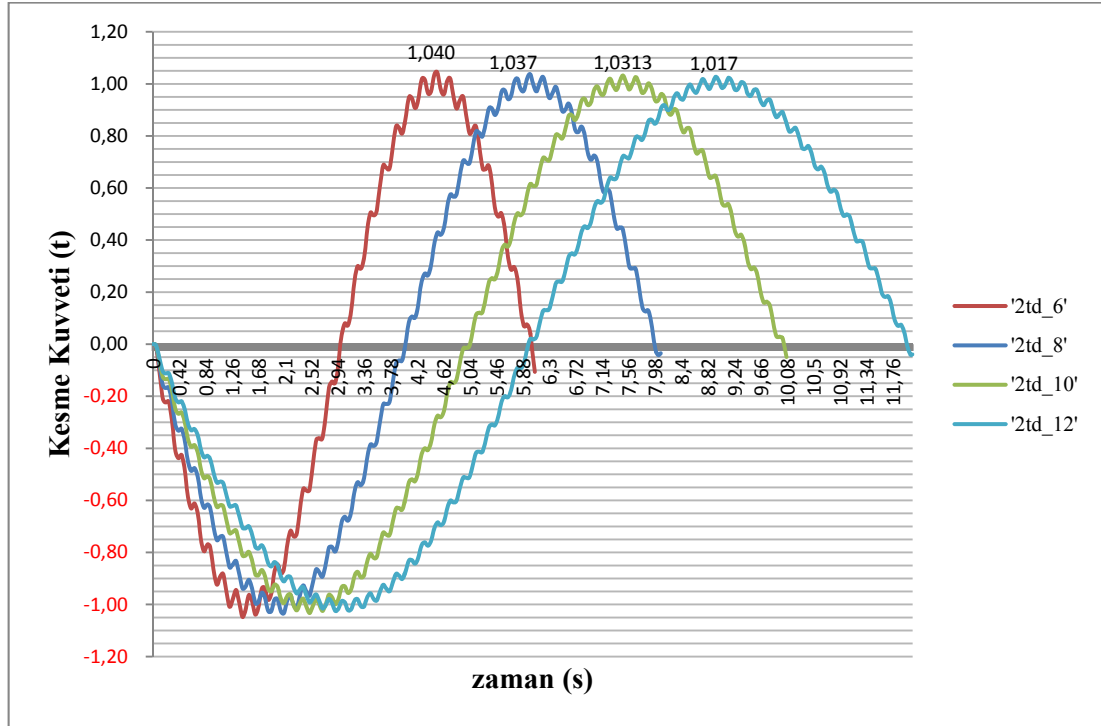


Şekil 4.6. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği

Şekil 4.5. ve Şekil 4.6. grafiklerinde yer ivme fonksiyonunun T, periyodundaki değişimi incelendiğinde ivme için periyodu tamamlama süresi arttıkça yapıdaki yer değiştirme de minimum değerlerde de olsa azalma görülmektedir. Çok katlı sistemlerde ise bu yer değiştirme farkı azımsanmayacak değerlerde olmaktadır. Sisteme etkiyen yer ivmesinin dinamik titreşim periyodundaki artış sisteme ait yanal deformasyonda azalışa neden olmakta ve kolonların karşıladığı kesme kuvveti büyüklüğünü de azaltmaktadır.



Şekil 4.7. 1. Kat kesme kuvveti değişim grafiği



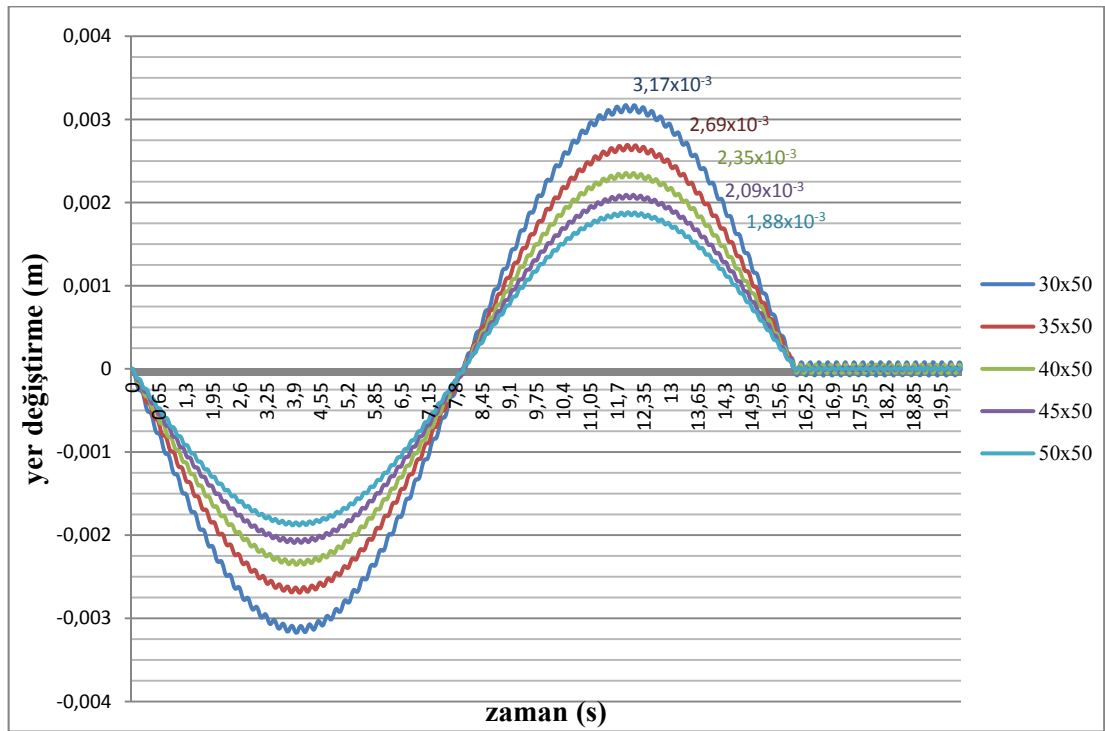
Şekil 4.8. 4. Kat kesme kuvveti değişim grafiği

4.2. Sistem Değişkenleri

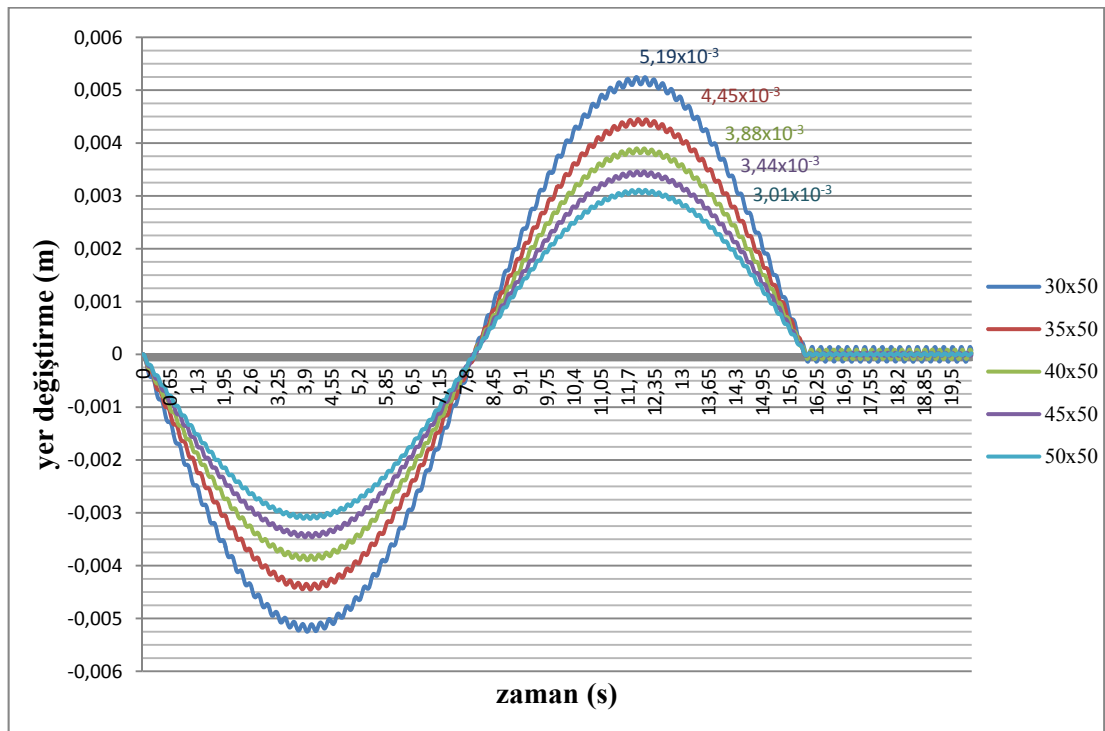
Yapıların dinamik yükler etkisindeki davranışları, her bir yapı için karakteristik özelliğe sahip dinamik parametreler kullanılarak belirlenmektedir. Bu parametreler yapının mevcut yapısal özelliklerine, malzeme özelliklerine, sınır şartlarına bağlı olarak elde edilmektedir. Bu başlık altında sistemin yapısal özelliklerinden kolon atalet momenti ve sistem kat sayısı parametre olarak kullanılmıştır.

4.2.1. Kolon atalet momenti, I

Yapıların taşıyıcı elemanlarının başında gelen kolonlar, yapıya gelen yatay kuvvetleri karşılamaktadırlar. Eş. 2.1 in bir parçası olan kolon atalet momenti kolon kesitinin fonksiyonudur. Yer ivme titreşim hareketi sinüs fonksiyonu olan 4 katlı bir yapıya ait kat yer değiştirme ve gerilme değerlerindeki kolon kesitinin genişliği değişiminin etkisi aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.

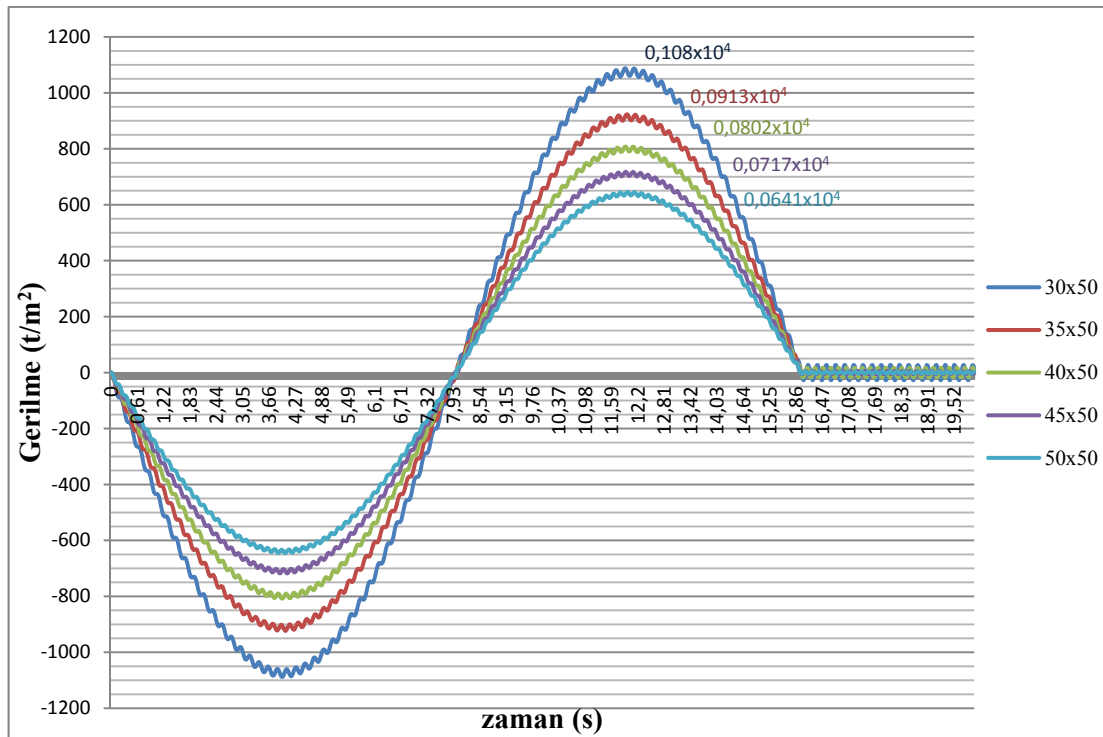


Şekil 4.9. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği

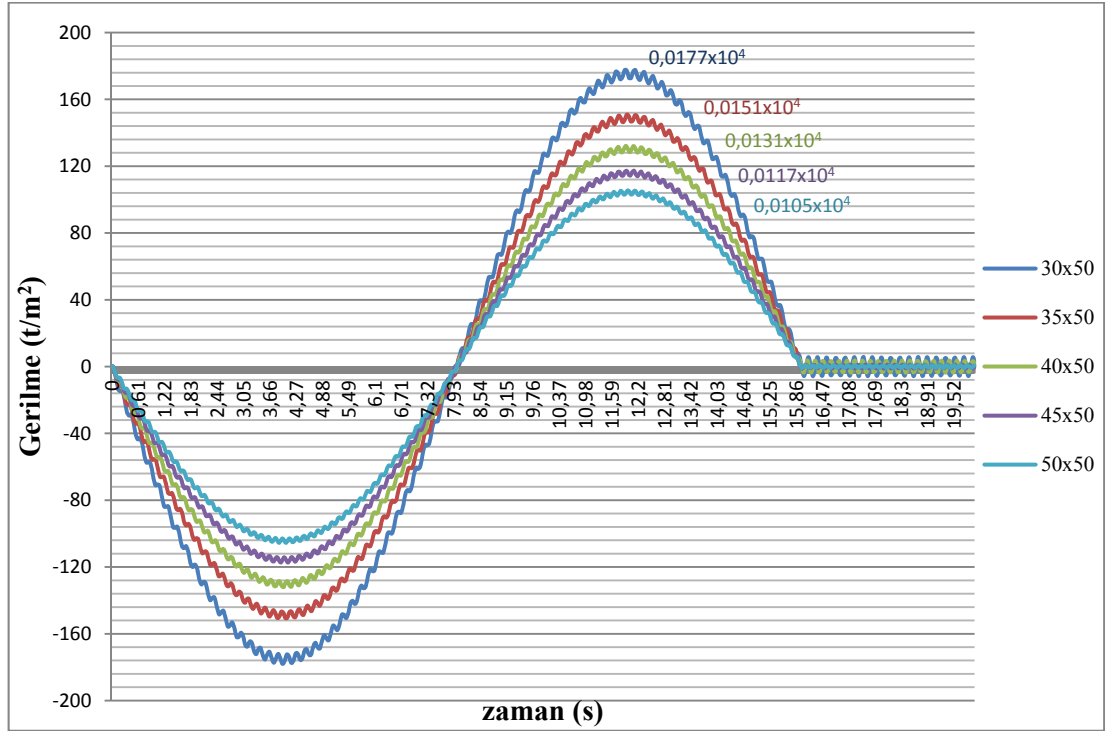


Şekil 4.10. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği

Şekil 4.9. ve Şekil 4.10. grafiklerinde kolon kesitindeki değişimin yer değiştirme üzerindeki etkisi görülmektedir. Datalarda kolon kesit yüksekliği sabit tutulmuş genişliği üzerinde değişim yapılmıştır. Eş. 2.6 da ifade edilen rijitlik kolon atalet momentiyile doğru orantılıdır. Atalet momenti de kolon genişliği ile doğru orantılıdır. Kolon genişliği arttıkça atalet momenti lineer artmakta, artan atalet momenti ile kolonun rijitliği de lineer artmaktadır. Rijitlik ifadesini sistemin 1birim deformasyon yapabilmesi için gerekli kuvvet olarak açıklarsak, grafikler de görüldüğü gibi rijitlik arttıkça sabit kuvvet altında sistem daha az yanal öteleme yapmaktadır. 4 .kata ait yer değiştirme grafiğinden örnekleme yapıldığında 30x50 kesite sahip kolonun rijitliğine 3k dediğimizde 50x50 kesit 5k olarak tanımlanır. Bu tanımlama doğrultusunda etkiyen yatay kuvvet sabit olduğunda oluşan yatay yer değiştirmeler 3k için 5.19mm iken 5k için 3.01 mm olduğu görülmektedir. $F=ku$ denkleminde bu durum sağlanmaktadır. Ancak atalet momentinin hesabında kullanılan kesit yüksekliğini baz alarak değiştirmiş olsaydık grafikte oluşan değerler birinci dereceden değil kesit yüksekliğinin üçüncü dereceden kuvveti ile orantılı olacaktı.



Şekil 4.11. 1. Kat gerilme değişim grafiği



Şekil 4.12. 4. Kat gerilme değişim grafiği

Yapıya etki eden yer ivmesi sonucunda kolonlarda kesme kuvvetleri, momentler ve gerilmeler oluşmaktadır. Oluşan bu kuvvetler Eş.2.92, Eş.2.93, Eş.2.94 ve Eş.2.95 ifadelerinden hesaplanabilir. Gerilme eşitliğinden de görüldüğü gibi, gerilme kolon atalet momenti ile ters orantılıdır. Yukarıdaki grafiklerde de atalet momentinin artması ile gerilmenin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda kesitteki değişimin yapının periyodu ile ilişkisine baktığımızda kesit arttıkça doğal frekansının arttığını periyodunun ise azaldığını görmekteyiz. Örneğin, 30x50 kesit kolonlara sahip sistemin frekansı $29,66 \text{ s}^{-1}$ iken 40x50' de frekans $34,39 \text{ s}^{-1}$ ve 50x50 kesitli sistemin frekansı $38,45 \text{ s}^{-1}$ olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistemin rijitliği arttıkça daha az yer değiştirme yaparken bu işlemi de daha kısa sürede gerçekleştiriyor.

Yapı parametresi olan atalet momentinin sistemdeki bir diğer önemli yeri ise eğilme etkisindeki kolonlarda oluşan çatlama kesite ait etkin kesit atalet moment değeridir. Çatlama kesit atalet momenti, sistemin en çok aksenal kuvveti alan ve eğilmeye maruz kalan kolonlarında karşımıza çıkmaktadır. DBYBHY-2007 yönetmeliğinde etkin eğilme rijitliği olarak tanımlanan çatlama kesit atalet moment değerinin

bağıntısı, kesin bir hesap yapılmadığında kolonlarda çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliği $(EI)_e$

$N_D / (A_c f_{cm}) \leq 0,10$ olması durumunda: $(EI)_e = 0,40 (EI)_o$

$N_D / (A_c f_{cm}) \geq 0,40$ olması durumunda: $(EI)_e = 0,80 (EI)_o$

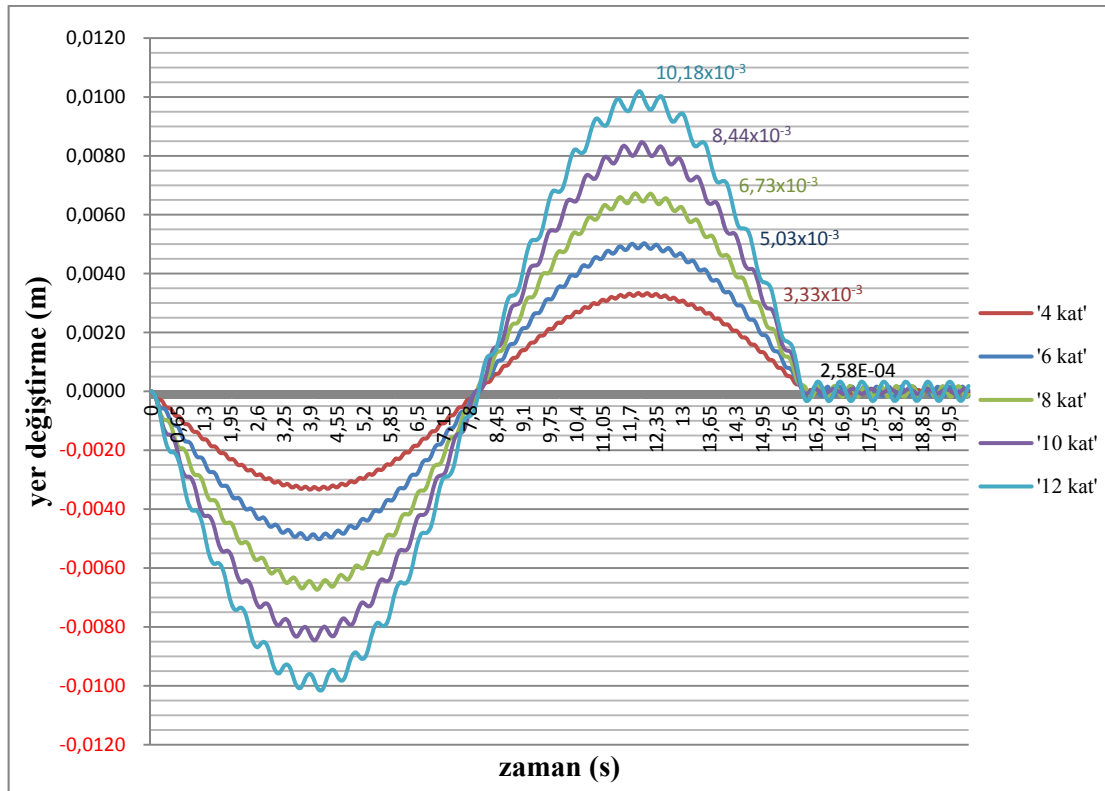
şeklinde hesaplanır. Eksenel basınç kuvveti N_D ' nin ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yöntemi yapılabilmektedir. Yatay yük etkisi altında yer değiştirmeler yaklaşık olarak $1,25 (\approx 1/0,80) \sim 2,50 (\approx 1/0,40)$ çözümde brüt kesit kullanımına göre artar. Bunun gibi eğilme rijitliği değişimi sistemin periyodunu $1,12 (\approx \sqrt{1,25}) \sim 1,58 (\approx \sqrt{2,50})$ katı arasında arttırır. Deprem kuvveti değişmeyeceği için, yer değiştirmeler $1,25 \sim 2,50$ oranı ile artar. Buna karşılık spektrum eğrisinin azalan kolunda deprem kuvveti $0,91 (\approx 1/1,12^{0,8}) \sim 0,69 (\approx 1/1,58^{0,8})$ oranı ile azalırken, yer değiştirmeler $1,14 (\approx 1,25 \times 0,91) \sim 1,73 (\approx 2,50 \times 0,89)$ oranı ile artar. Çatlama kesit rijitliğinin göz önüne alınmasının daha gerçekçi olduğu için muhtemelen bu kavramın yeni tasarımı yapılan binalara da yaygınlaşarak kullanacağı beklenebilir (FEMA273, 1997; FEMA356, 1997). Kolon ve kiriş elemanlara ait çatlama kesit rijitlikleri için FEMA 356'da önerilen değerler Çizelge 4.1.' de verilmiştir (FEMA356, 2000).

Çizelge 4.1. Kiriş. Kolon Elemanlara Ait Çatlama Kesit Rijitlikleri (FEMA 356)

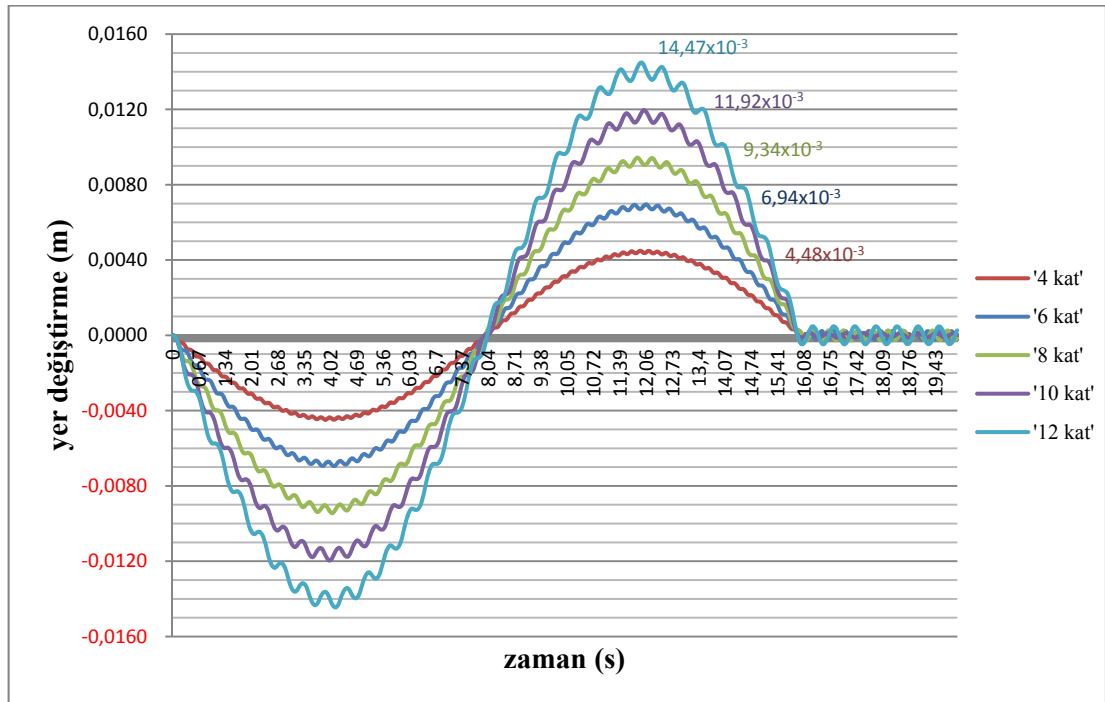
Eleman Tipi	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği	Eksenel Rijitliği
Tasarım düşey yüklerinden dolayı eksenel basınç kuvveti $\geq 0,5A_g f_{ck}$ olan kolonlar	$0,7E_c I_g$	$0,4E_c A_w$	$E_c A_g$
Tasarım düşey yüklerinden dolayı eksenel basınç kuvveti $< 0,3A_g f_{ck}$ olan veya eksenel kuvveti çekme olan kolonlar	$0,5E_c I_g$	$0,4E_c A_w$	$E_s A_s$

4.2.2. Kat sayısı, n

Yapıların bir diğer karakteristik yapısal özelliği ise kat sayısıdır. Bu başlık altında farklı kat sayılarına sahip yapılarda ortak katlardaki yer değiştirmeler ve hız değişimlerinde kat sayısının etkisi aşağıdaki grafiklerde gösterilmektedir.



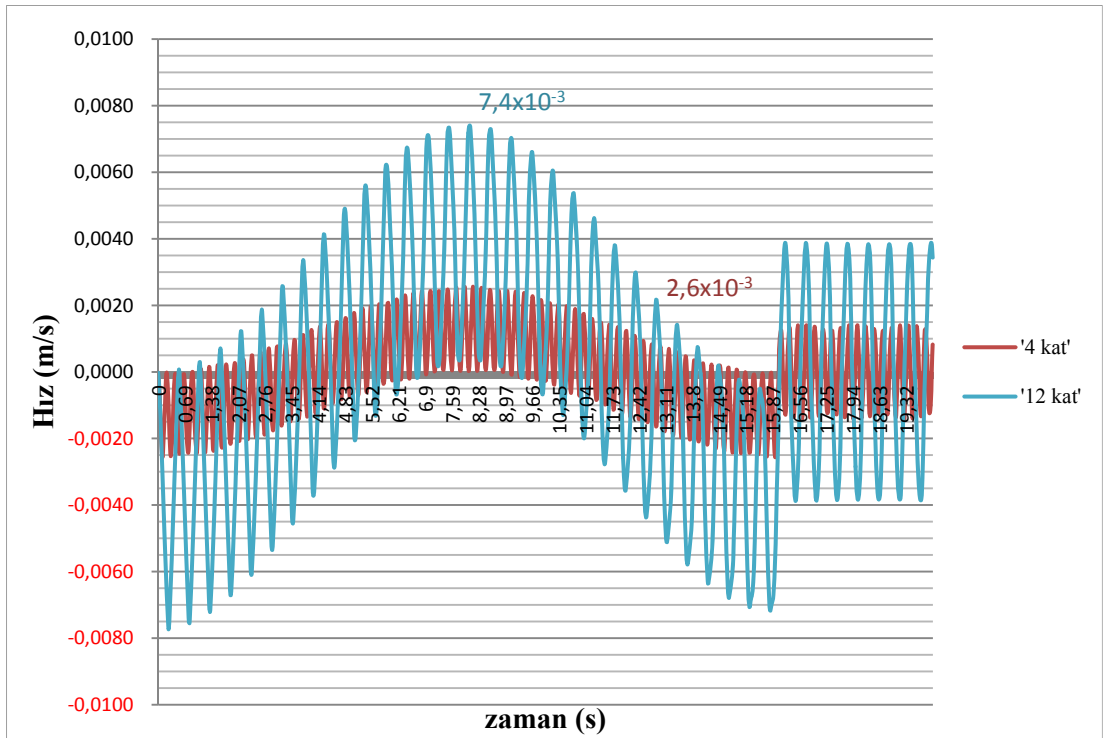
Şekil 4.13. 1. Kat yer değiştirme değişim grafiği



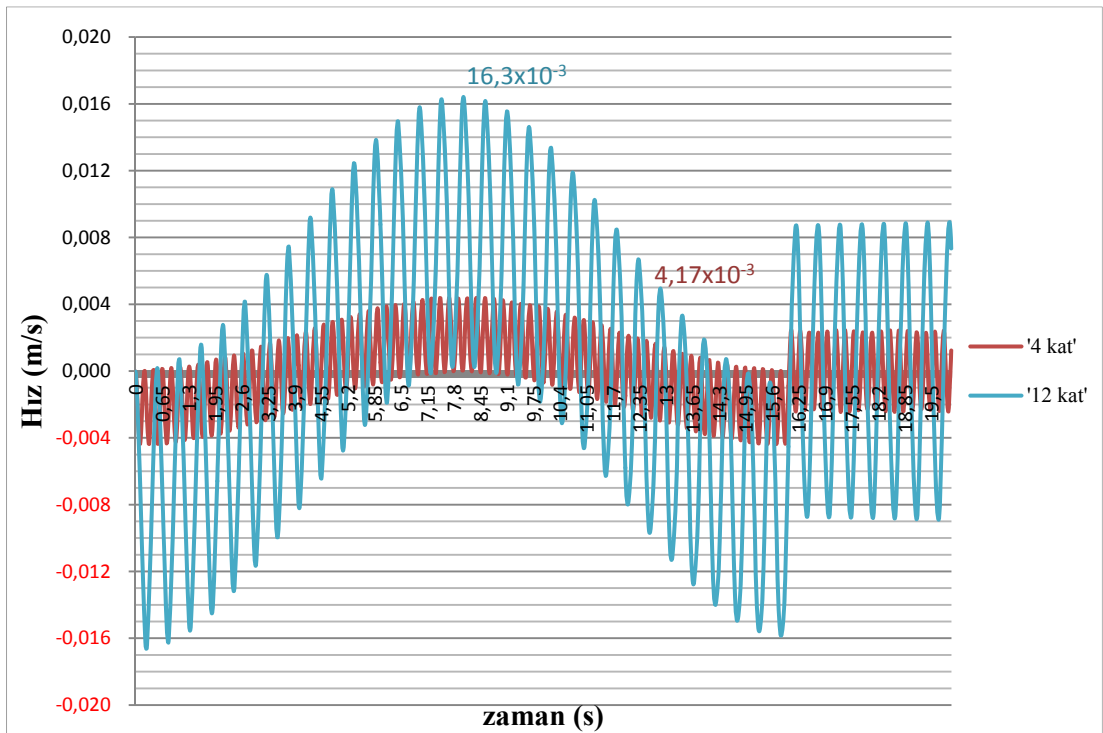
Şekil 4.14. 4. Kat yer değiştirme değişim grafiği

Şekil 4.13. ve Şekil 4.14. grafiklerinde kat sayısındaki değişimin yer değiştirme üzerindeki etkisi görülmektedir. Grafiklerde kat sayısı arttıkça referans katın yer değiştirmesinde artış görülmektedir. Bunun nedeni yer ivmesi etkisinde her kata etkiyen yatay kuvvet $m_{iü_g}(t)$, kat sayısı ile bağlı olarak toplamda yapıya etkiyen yatay kuvveti arttırmaktadır. Yapıya etkiyen kuvvet arttıkça Eş. 2.36 ya bağlı olarak katlardaki yer değiştirmenin artmasına neden olmaktadır. Şekil 4.13 1. kat yer değiştirme grafiğini incelediğimizde yer değiştirmeler arasında sabit bir oran görmekteyiz. 4 katlı yapıdaki 1. katın yer değiştirmesiyle 8 katlı yapıdaki yer değiştirmeyi oranladığımızda bulduğumuz değer, 6 katlı yapı ile 12 katlı yapıdaki 1. kat yer değiştirmelerini oranladığımızda bulduğumuz değerle aynı çıkmaktadır.

Kat sayısındaki artışı sistemin periyodu için değerlendirmek istediğimizde karşımıza kat sayısının artmasıyla sistemin periyodunun arttığı çıkmaktadır. Örneğin grafiklerde yer alan katlara karşılık gelen değerler, 4 katlı sistemin periyodu 0,22 s, 8 katlı 0,38 ve 12 katlı sistemin periyodu ise 0,54 s olarak hesaplanmıştır. Kat sayısı arttıkça sistemin yer değiştirmesi artarken, artan yer değiştirmeyi tamamlama süresi olan periyodunda arttığı görülmektedir..



Şekil 4.15. 1.Kat hız değişim grafiği



Şekil 4.16. 4. Kat hız değişim grafiği

Şekil 4.15. ve Şekil 4.16. grafiklerinde kat sayısındaki değişimin kat hızı üzerindeki etkisi görölmektedir. Grafiklerde kat sayısı arttıkça referans kata ait, yer değiştirmenin türevi olan, hızın değerinde ve genliğinde artış görölmektedir. Referans kattaki yer değiştirmesinin artması o katın hızına ait periyodunun ve genliğinin artmasına neden olmaktadır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, deprem kuvveti etkisinde taşıyıcı elemanlarda oluşan yer değiştirme, kesme kuvveti ve gerilme hesapları için dinamik çözüm yapılmıştır. MATLAB yazılım programı ile modellenmiş ve SAP2000 programı ile modelleme karşılaştırılmıştır. Çalışmanın son kısmında deprem durumunda yapıya etki eden yer ivmesi ve yapıya ait değişkenler parametre olarak kullanılmış ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda aşağıdaki tespitler yapılabilir.

- Yer ivmesinin parametreleri olan genlik ve açısal frekans için bu değerler arttıkça ivme fonksiyonunun değerini artırmakta, bununla beraber sisteme etkiyen yatay kuvveti arttırmakta ve yer değiştirmelerin de artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda yapıya etki eden kuvvetin artması ile sistemdeki kolonlara gelen kesme kuvvetlerini ve gerilme değerlerini de arttırmaktadırlar. Yapısal parametre olmadıklarından sistemin periyodu üzerinde bir etkileri söz konusu olmamıştır.
- Kolon atalet momenti ve kat sayısındaki artış ise yapısal parametre olduklarından sistemin hem periyodunu hem de davranışını etkilemektedirler. Atalet momenti arttıkça sistem rijit davranmakta, sistemin yer değiştirmeleri ve periyodu da azalmaktadır. Ancak yapının kat sayısı arttıkça sistemde oluşacak yanal ötelenmenin artması ve periyodunun da aynı şekilde artmasına neden olmaktadır. Yer değiştirmelerin artması sistemin depreme dayanıklılığına da negatif yönde etkilemektedir.

KAYNAKLAR

- 1) Atımtay, E., “Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Cilt 1, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 170-195, 316-336 (2000).
- 2) Ay, Z., “Uzamsal Çelik Uzay Yapıların Serbest Titreşimlerinin ve İmpulsive Yükler Altında Dinamik Davranışlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 123, (1993).
- 3) Baran, T., Tanrıku, A. K., Dündar, C., Tanrıku, A. H., “Deney ve Eğitim Amaçlı Mekanik, Tek Eksenli Bir Sarsma Tablasının İmalatı ve Performansının Araştırılması”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 605-616, 2007.
- 4) Celep, Z., Kumbasar, N., “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, *Sema Matbaacılık*, İstanbul, 84-87, (2000).
- 5) Celep, Z., Kumbasar, N., “Örneklerle Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş”, *Sema Matbaacılık*, İstanbul, 11-16, 18-20, 65-69, 99, (1992).
- 6) Civalek, Ö., Çatal, H. H., “Genelleştirilmiş Diferansiyel Quadrature Yöntemiyle Bir Ve İki Boyutlu Düzlem Yapıların Dinamik Analizi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 417 - 2002/1, 39-46, (2002).
- 7) Chopra, A. K., “Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering, Second Edition”, *Prentice Hall*, New Jersey, 174-178, (2001).
- 8) Clough, W. R., Penzien, J., “Dynamics of Structures”, *McGraw-Hill*, 1-9, (1975).
- 9) Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha, M.E., “Concepts and Applications of Finite Element Analysis”, *John Wiley & Sons, inc.*, New York, 395-409, (1989).
- 10) Çatal, H. H., “Yapı ve Deprem Mühendisliğinde Matris Yöntemler”, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, 229-301, (2002).
- 11) Çevikbaş, Ş., “Elastoplastik Zeminlerde Konsol Kirişlerin Dinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 34-37, (1998).
- 12) Erdik, M., Yüzügüllü, Ö. , “Deprem Mühendisliği Açısından Yapı Dinamiğine Giriş”, *İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Ankara, 1-10, (1980).

- 13) Fenkli, M., “Uzamsal Çelik Uzay Yapıların Deprem Etkisi Altında Dinamik Davranışı”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 10-12, (2001).
- 14) Fertis, D. G., “Dynamics and Vibration of Structures”, *John Wiley & Sons*, New York, 16-21, 51-53, (1973)
- 15) Gültop, T., “Yapıların Burulmalı titreşim Problemlerinin Enerji Formülasyonu ve Sayısal Çözümü”, *II. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı*, Trabzon, 373-382, (1996).
- 16) Karabörk, T., “Yapı-Zemin Etkileşimi Dikkate Alınarak Betonarme Yapıların Doğrusal Olmayan 3 Boyutlu Dinamik Analizi”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5 (1): 25-36, (2009).
- 17) Korkmaz, A., Kayhan, A. H., “Yer Değiştirme Esaslı Yöntemlerin Elastik ve Zaman Tanım Alanında Dinamik Analiz Yöntemleriyle Karşılaştırılması”, *Univ J Sci*, 9(1): 7-13, (2008).
- 18) Kramer, S. L., “Geoteknik Deprem Mühendisliği”, Kayabalı, K., *Fersa Matbaacılık*, Ankara, 603-605, 634, (2003).
- 19) Özkan, Ö., Muratoğlu, Ö., “Farklı Deprem İvmelerinin Bina Yatay Yüklerine Etkisi”, *TEKNOLOJİ*, 7(3): 497-506, (2004).
- 20) Paz, M., Leigh, W., “Structural Dynamics Theory and Computation, Fifth Edition, Updated with SAP2000”, *Springer*, 198-199, 206-208, 231-242, (2004).
- 21) Sollogoub P., “Seismic Testing”, Advanced Course On Advanced Earthquake Engineering Analysis, Pecker, A., *CISM, Udine*, Italy, 182-183, (2006).
- 22) Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ö. Ç., “Her Yönü ile MATLAB”, *Türkmen Kitabevi*, İstanbul, II-V, (2003).
- 23) Üner, A., “Düzlem Çerçeve Yapıların Dinamik Yükler Altında Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 43, 76-85, (2006).
- 24) Yüksel, İ., “Matlab ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü”, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa, 26-80, (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :BÖCEK, Meryem
 Uyuğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :05.10.1984 Ankara
 Medeni hali :Bekar
 Telefon :0 (312) 582 32 55
 Faks :0 (312)
 e-mail :meryembocek@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi /İnşaat Müh. Bölümü	2008
Lise	Aydınlıkevler Süper Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-2011	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Resim, Bilgisayar teknolojileri, Spor faaliyetleri