

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÖRT NOKTASINDAN VİSKOELASTİK MESNETLİ RİJİT GÖVDELİ
BİR SİSTEMİN HARMONİK VE DARBE KUVVETLERİ ETKİSİ
ALTINDA OPTİMUM YAY ve SÖNÜM DEĞERİNİN TEORİK VE
DENEYSEL OLARAK BULUNMASI**

Makine Mühendisi Derya KARAKURT

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Kontrol Programında Hazırlanan
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR

İSTANBUL,2009

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Değerlendirmesi ve Modelleme Yaklaşımları.....	1
2. TİTREŞİM VE TEMEL KAVRAMLAR.....	3
2.1. Mekanik Titreşimler ve İnsan Üzerindeki Etkisi.....	3
2.1.1. Mekanik Sistemlerin Titreşimleri.....	3
2.1.2. Titreşimin Sınırları.....	5
2.1.3. Mekanik Titreşimlerin İnsan Üzerindeki Etkisi.....	7
2.2. Temel Kavramlar.....	10
2.2.1. Rezonans.....	10
2.2.2. Frekans.....	11
2.2.3. Tepki.....	12
2.2.4. Kararlı Rejim Durumu.....	12
2.2.5. Süreksiz Rejim Durumu.....	13
3. TİTREŞİM-KONTROL SİSTEMLERİ.....	14
3.1. Pasif Titreşim İzolasyonu.....	14
3.2. Aktif Titreşim Kontrolü.....	16
3.3. Yarı Aktif Titreşim Kontrolü.....	16
3.4. Ayarlanabilir Titreşim Kontrol Elemanları.....	17
4. TİTREŞİM KONTROL SİSTEMLERİNİN TASARIM VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	18
4.1. Titreşim Kontrol Tasarım Basamak ve Prosedürlerinin Özeti.....	18
4.1.1. Yan Yönlerdeki Sertlik.....	18
4.1.2. Çevresel Koşullar.....	18
4.1.3. Sönümleme Karakterleri.....	19
4.1.4. Ağırlık ve Boşluk Sınırlamaları.....	19
4.1.5. Dinamik Sertlik.....	19
5. TİTREŞİM YALITIMI.....	20
5.1. Kaynak yalıtımının amacı.....	20

5.2. Titreşim Yalıtımının Uygulanabilirliği.....	20
5.3. Bir Makineye Ait Yalıtım Sisteminin Seçimine İlişkin Bilgiler.....	21
5.3.1. Makine İmalatçısı Tarafından Sağlanacak Bilgiler	21
5.3.1.1. Makinenin Fiziksel Verileri	21
5.3.1.1.1. Makinenin Akış Şeması	21
5.3.1.1.2. Titreşim Uyarımı	22
5.3.1.1.3. Özel Kurallar.....	22
5.3.1.1.4. Elektriksel Özellikler.....	23
5.3.1.1.5. Mekanik Kararlılık İçin Özel Kurallar	23
5.3.1.2. Yalıtım Sisteminin Fiziksel Verileri.....	23
5.3.1.2.1. Genel Veriler.....	23
5.3.1.2.2. Dinamik Davranış.....	24
5.3.1.2.3. Dayanıklılık.....	24
5.3.1.2.4. Çevre Verileri	24
5.3.1.2.5. Bakım Verileri	25
5.3.2. Makine Üreticisine Kullanıcı Tarafından Sağlanması Gereken Bilgiler.....	25
5.3.2.1. Makineyi Çevreleyen Yapılara İlişkin Teknik Bilgiler.....	25
5.3.2.2. Çevreleyen Yapının Titreşim ve Şok Özellikleri.....	25
5.3.2.3. İklimle İlgili Çevre	26
5.4. Titreşim Yalıtımına Ait Elemanlar	26
5.4.1. Yaylar	26
5.4.1.1. Elastomer (esnek) Yaylar	26
5.4.1.2. Metal Yaylar	28
5.4.1.3. Hava Yayları	30
5.4.2. Damperler (Titreşim Engelleme Araçları)	30
5.4.3. Yaylar ve Damperlerin Birleşimleri	31
6. TİREŞİM İZOLASYON SİSTEMİ	33
6.1. Darbe Altındaki Titreşim İzolasyon Sistemi.....	33
6.2 Optimal İzolasyon Temel Problemleri.....	35
6.2.1 Optimizasyon Probleminin Genel Formülasyonu.....	35
6.3. İzolasyon Sistemlerinde Titreşimin Optimizasyonu.....	36
6.3.1. Şok ve Titreşim İzolasyonlarının Karakteristik Optimizasyonu (en iyilemesi).....	36
6.3.1.1. İzolasyon Sistemlerinin Yapısal ve Matematiksel Modelleri	37
7. PRESLERDE TİTREŞİM İZOLASYONU VE PRESİN MODELLENMESİ	39
7.1. Titreşim İzolasyonu	39

7.2. Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi.....	39
7.3. Presin Fiziksel Modeli.....	42
7.3.1. Fiziksel Özellikler.....	42
7.4. Presin Matematiksel Modeli.....	43
7.4.1. Zorlayıcı Kuvvetler.....	46
8. VİSKOELASTİK MESNETLİ TİTREŞİM SİSTEMİ VE SİSTEMİN MATEMATİKSEL MODELİ.....	47
8.1. Sistemin Matematiksel Modeli.....	47
8.2. Frekans Analizi ve Optimizasyon.....	57
8.2. Frekans Analizi.....	59
8.3. Analiz Sonuçları.....	61
9. HİSTERETİK SÖNÜMLEME SİSTEMİ VE MATEMATİKSEL MODELİ.....	72
9.1. Sistemin Matematiksel Modeli.....	72
9.2. Frekans Analizi.....	82
9.3. Analiz Sonuçları.....	89
10. VİSKOELATİK MESNETLİ SİSTEM DENEYSEL BİLGİLER VE SONUÇLAR.....	93
10.1. Deneysel Sistem Verileri.....	93
10.1.1. Rijitlik Katsayısı.....	94
10.1.2. Sönüm Katsayısı.....	94
10.1.3. Sinusoidal kuvvet ve darbe giriş fonksiyonlarının bir arada etkili olduğu durum için sistem cevapları.....	96
10.1.4. Darbe giriş fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları.....	101
10.1.5. Sinusoidal kuvvet fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları.....	107
11. HİSTERETİK SÖNÜMLEME SİSTEMİ DENEYSEL BİLGİLER VE SONUÇLAR.....	113
11.1. Deneysel Sistem Verileri.....	113
11.1.1. Rijitlik Katsayısı.....	114
11.1.2. Sönüm Katsayısı.....	116
11.1.3. Sinusoidal kuvvet ve darbe giriş fonksiyonlarının bir arada etkili olduğu durum için sistem cevapları.....	117
11.1.4. . Darbe giriş fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları.....	122
11.1.5. Sinusoidal kuvvet fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları.....	127
12. SONUÇLAR.....	134
KAYNAKLAR.....	135
EKLER.....	138
ÖZGEÇMİŞ.....	189

SİMGE LİSTESİ

A	: Titreşim genliği	[m]
$[C]$: nxn boyutunda sönüm matrisi	
c_1, c_2, c_3, c_4	: Sönüm katsayıları	[Ns/m]
E_k	: Toplam kinetik enerji	[N/m]
E_d	: Toplam sönüm enerjisi	[N/m]
E_p	: Toplam potansiyel enerji	[N/m]
F_d	: Uygulanan darbe kuvveti	[N]
F_v	: Uygulanan sinüsoidal kuvvet	[N]
f	: Frekans	[Hz]
J_{xx}	: x eksenindeki kütle atalet momenti	[kgm ²]
J_{zz}	: z eksenindeki kütle atalet momenti	[kgm ²]
K	: Hissetme yeğlinliği katsayısı	
$[K]$: nxn boyutunda rijitlik matrisi	
k_1, k_2, k_3, k_4	: Yay katsayıları	[N/m]
L_1, L_2, L_3, L_4	: İzolatörlerin ağırlık merkezine olan uzaklığı	[m]
L_p, L_{pp}	: Darbe noktasıyla ağırlık merkezine uzaklığı	[m]
L_x, L_y	: Sinüsoidal kuvvet uygulanma noktasının ağırlık merkezine uzaklığı	[m]
$[M]$: nxn boyutunda kütle matrisi	
m	: Pres gövdesinin kütlesi	[kg]
T	: Periyot	[s]
v_i	: Titreşim hızı	[m/s]
w	: Sistem doğal frekansı	[Hz]
w_n	: Zorlayıcı kuvvet frekansı	[Hz]
$x_1, \theta_{xx}, \theta_{zz}$: Titreşim hareketleri	[m]
η	: Malzeme sönüm katsayısı	

KISALTMA LİSTESİ

ARA	Aktif Rezonans Sönümleyici
DIN	Alman Standardı
ER	Elektro-Reolojik
MR	Manyeto-Reolojik
ISO	Uluslar arası Standartlar Organizasyonu
SA	Yarı Aktif Titreşim Kontrol Sistemi
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
VDI	Alman Mühendisler Birliği

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kuvvet Yalıtımı	4
Şekil 2.2 Hareket Yalıtımı	5
Şekil 2.3 İnsan Vücudunun Biomekanik Modeli	9
Şekil 2.4 $F(t)=F_0\sin\omega t$ Kuvveti Altındaki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistem	11
Şekil 2.5 Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistem İçin Cevap Eğrileri	11
Şekil 2.6 Dinamik Kuvvet Altındaki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistem	12
Şekil 2.7 Dinamik Kuvvet Altındaki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Genel Çözümü	13
Şekil 3.1 Aktif, Pasif ve SA Titreşim Kontrol Sistemi	14
Şekil 3.2 Sönümlü Sistem	15
Şekil 3.3 Pasif ve Aktif Sönüm Ayarları	16
Şekil 5.1 Esnek Yaylara Örnekler	27
Şekil 5.2 Metal Yaylar ve Karakteristikleri.....	28
Şekil 5.3 Helis Tipi Sıkıştırılmalı Yayların Yapımında Kullanılan tipik Yay Birimi	29
Şekil 5.4 Hava Yayları.....	30
Şekil 5.5 Bir Sürtünme ve Bir viskoz Damperinin Tasarımı.....	31
Şekil 5.6 Yaylar ve Damperlerin Birleşimi	32
Şekil 6.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Farklı Girişler İçin Zaman Cevapları	34
(a) Kare Giriş (b) Yarım Sinüs Giriş (c) Ters Sinüs Giriş	34
Şekil 6.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Farklı Girişler İçin Şok Spektrumu	35
(a) Kare Giriş (b) Yarım Sinüs Giriş (c) Ters Sinüs Giriş (d) Rampa Giriş.....	35
Şekil 6.3 İzolasyon Sistemi Şeması	38
Şekil 7.1 Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi.....	41
Şekil 7.2 Pres Modeli	42
Şekil 7.3 Pres Fiziksel Modeli.....	44
Şekil 8.1 Sistemin Fiziksel Modeli	48
Şekil 8.2 c ve k değerlerinin aynı anda değişimlerini gösteren grafik.....	58
Şekil 8.3 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	59
Şekil 8.4 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	60
Şekil 8.5 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme.....	61
Şekil 8.6 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme hızı	61

Şekil 8.7 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi.....	62
Şekil 8.8 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi hızı	62
Şekil 8.9 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi	63
Şekil 8.10 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi hızı	63
Şekil 8.11 Değişen yay katsayısı değerleri için zemine iletilen maksimum kuvvet cevapları.....	64
Şekil 8.12 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme.....	64
Şekil 8.13 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme hızı	65
Şekil 8.14 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi.....	65
Şekil 8.15 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi hızı	66
Şekil 8.16 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi	66
Şekil 8.17 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi hızı	67
Şekil 8.18 Değişen sönüm katsayısı değerleri için zemine iletilen maksimum kuvvet cevapları.	67
Şekil 8.19 Doğrusal yer değiştirme	68
Şekil 8.20 Doğrusal yer değiştirme hızı.....	68
Şekil 8.21 Kafa vurma hareketi.....	69
Şekil 8.22 Kafa vurma hareketi hızı.....	69
Şekil 8.23 Yalpalama hareketi.....	70
Şekil 8.24 Yalpalama hareketi hızı	70
Şekil 8.25 Giriş Fonksiyonu	71
Şekil 9.1 Histeretik Sönümlenme Sistemli Pres Fiziksel Modeli.....	72
Şekil 9.2 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları	82
Şekil 9.3 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	83
Şekil 9.4 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	84
Şekil 9.5 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	85
Şekil 9.6 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	86
Şekil 9.7 Değişen sönüm katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	87
Şekil 9.8 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları.....	88
Şekil 9.9 Doğrusal yer değiştirme	89
Şekil 9.10 Doğrusal yer değiştirme hızı.....	89
Şekil 9.11 Kafa vurma hareketi.....	90
Şekil 9.12 Kafa vurma hareketi hızı.....	90
Şekil 9.13 Yalpalama hareketi.....	91

Şekil 9.14 Yalpalama hareketi hızı	91
Şekil 9.15 Giriş fonksiyonu	92
Şekil 10.1 Viskoelastik Mesnetli Sistem Deney Düzeneği	93
Şekil 10.2 Serbest Titreşim Hareketi Grafiği	95
Şekil 10.3 Doğrusal yer değiştirme	96
Şekil 10.4 Doğrusal yer değiştirme hızı	96
Şekil 10.5 Kafa vurma hareketi	97
Şekil 10.6 Kafa vurma hareketi Hızı	97
Şekil 10.7 Yalpalama hareketi	98
Şekil 10.8 Yalpalama hareketi Hızı	98
Şekil 10.9 Giriş Fonksiyonu	99
Şekil 10.10 Genlik Frekans Değişimi	99
Şekil 10.11 Hız Frekans Değişimi	100
Şekil 10.12 İvme Frekans Değişimi	100
Şekil 10.13 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri	101
Şekil 10.14 Doğrusal yer değiştirme	101
Şekil 10.15 Doğrusal yer değiştirme Hızı	102
Şekil 10.16 Kafa vurma hareketi	102
Şekil 10.17 Kafa vurma hareketi Hızı	103
Şekil 10.18 Yalpalama hareketi	103
Şekil 10.19 Yalpalama hareketi Hızı	104
Şekil 10.20 Giriş Fonksiyonu	104
Şekil 10.21 Genlik Frekans Değişimi	105
Şekil 10.22 Hız Frekans Değişimi	105
Şekil 10.23 İvme Frekans Değişimi	106
Şekil 10.24 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri	106
Şekil 10.25 Doğrusal yer değiştirme	107
Şekil 10.26 Doğrusal yer değiştirme Hızı	107
Şekil 10.27 Kafa Vurma Hareketi	108
Şekil 10.28 Kafa Vurma Hareketi Hızı	108
Şekil 10.29 Yalpalama Hareketi	109
Şekil 10.30 Yalpalama Hareketi Hızı	109

Şekil 10.31 Giriş Fonksiyonu.....	110
Şekil 10.32 Genlik Frekans Değişimi.....	110
Şekil 10.33 Hız Frekans Değişimi.....	111
Şekil 10.34 İvme Frekans Değişimi.....	111
Şekil 10.35 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri.....	112
Şekil 11.1 Histeretik Sönümlenme Sistemi Deney Düzeneği.....	113
Şekil 11.2 Kuvvet – Genlik Değişim Grafiği.....	114
Şekil 11.3 Serbest Titreşim Hareketi Grafiği.....	116
Şekil 11.4 Doğrusal yer değiştirme.....	117
Şekil 11.5 Doğrusal yer değiştirme hızı.....	117
Şekil 11.6 Kafa vurma hareketi.....	118
Şekil 11.7 Kafa vurma hareketi hızı.....	118
Şekil 11.8 Yalpalama hareketi.....	119
Şekil 11.9 Yalpalama hareketi hızı.....	119
Şekil 11.10 Giriş Fonksiyonu.....	120
Şekil 11.14 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri.....	122
Şekil 11.15 Doğrusal yer değiştirme.....	122
Şekil 11.16 Doğrusal yer değiştirme hızı.....	123
Şekil 11.17 Kafa vurma hareketi.....	123
Şekil 11.18 Kafa vurma hareketi hızı.....	124
Şekil 11.19 Yalpalama hareketi.....	124
Şekil 11.20 Yalpalama hareketi hızı.....	125
Şekil 11.21 Giriş Fonksiyonu.....	125
Şekil 11.25 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri.....	127
Şekil 11.26 Doğrusal yer değiştirme.....	128
Şekil 11.27 Doğrusal yer değiştirme Hızı.....	128
Şekil 11.28 Kafa Vurma Hareketi.....	129
Şekil 11.29 Kafa Vurma Hareketi Hızı.....	129
Şekil 11.30 Yalpalama Hareketi.....	130
Şekil 11.31 Yalpalama Hareketi Hızı.....	130
Şekil 11.32 Giriş Fonksiyonu.....	131
Şekil 11.36 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri.....	133

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge2.1 DIN 4150 Bölüm'e göre binalarda kısa dönemli titreşimlerin ölçeklenmesinde izin verilen hız (v_i) değerleri	6
Çizelge 2.2 İzin verilen KB değerleri	6
Çizelge2.3 İnsan Vücudunun Duyarlı Olduğu Frekanslar.....	9
Çizelge2.4 Çeşitli K Değerleri İçin Hissetme Değerleri.....	10
Çizelge 8.1 Değişen sönüm ve yay katsayısı değerlerine karşılık zemine iletilen kuvvetin oranları	57
Çizelge11.1 Değişen Genlik Değerlerine Karşılık Uygulanan Yük Değerleri ve Bulunan Rijitlik Katsayıları	115
Çizelge11.2 Uygulanan Ortalama Yük Değerleri ve Bulunan Rijitlik Katsayısı.....	115

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya koyulmasında şahsıma yardımcı olan, her türlü bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Cihan DEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışma boyunca yardımını esirgemeyen; Arş. Gör. Şaban ÇETİN ve Arş. Gör. Özgür DEMİR'e, Şem Lastik San. Ve Tic. A.Ş.'ne, desteklerinden dolayı TÜBİTAK-BİDEB ekibine ve çalışma boyunca her zaman yanımda olup hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bir çok endüstriyel makinenin olduğu gibi, eksantrik preslerin problemlerinden biri de titreşimlerdir. Oluşan titreşimin çevreye iletilmemesi, üretimin hızlı ve hatasız olabilmesi için eksantrik preslerin titreşimlerinin izole edilmesi önemlidir. Bu çalışmada bir eksantrik presin maruz kaldığı zorlayıcı kuvvetler sonucu ortaya çıkan titreşim hareketleri incelenmiş; Düşey yöndeki hareket, kafa vurma hareketi, yalpalama hareketi ve zemine iletilen kuvvet göz önünde bulundurularak yay ve sönüm katsayıları optimize edilmiştir.

Ayrıca oluşturulan plak modelinin zorlanmış titreşimleri incelenmiştir. Bu amaçla kare plağın serbest titreşim karakteristikleri, sinüsoidal bir kuvvetle yüklenmesi ve darbe durumundaki zorlanmış titreşim davranışları incelenmiş, alınan ölçümler ve çizilen grafikler karşılaştırılmıştır. Viskoelastik sönümlenme ve histeretik sönümlenme çalışmada uygulanan pasif titreşim kontrolü yöntemleridir.

Anahtar Kelimeler: Titreşim, Titreşim İzolasyonu, Viskoelastik Sönümlenme, Histeretik Sönümlenme

ABSTRACT

Finding optimum spring and damper coefficient theoretical and experimental for the viscoelastic supported system which is under harmonic force and impuls force.

One of eccentric presses' problem is vibration like most of industrial machine. Vibration isolation is very important for qualified and fast production. In present study, forced vibration of viscoelastic point-supported elastic plates is analysed. Firstly, free and forced vibrations of steady state response to a sinusoidally varying force affecting at the center of a point-supported elastic plate of square shape is analyzed.

Also plate's forced vibration is analyzed. In this purpose, forced vibration characteristics under sinusoidal impact and impuls impact of square plate's vibration behaves are analyzed, analitic results and ampiric results are compared. In this study viscoelastic damping and histeretic damping are used as passive vibration method

Key Words: Vibration, Vibration isolation, Viscoelastic Damping, Histeretic Damping

1. GİRİŞ

Mekanik yapı ve sistemlerde hareketli parçalar sisteme zarar verebilecek yüksek genlikli titreşimlere neden olabilirler. Titreşimler makinelerdeki konforu azaltmanın ve gürültünün yanısıra sistem yapısına yorulma, aşınma ve kırılma gibi ciddi zararlar verebilirler. Bu zararların önlenmesi açısından oluşabilecek titreşimlerin önceden tahmini analizi ve önlenmesi tasarımın ilk aşamasından itibaren çok önemli bir adımdır. Özellikle sistemin doğal frekansı ile zorlayıcı kuvvet frekansının birbirine yaklaşması veya çakışması durumunda rezonans oluşacağı ve genlikler yükseleceği için yapılan analizler daha çok önem kazanır.

Bütün mekanik sistem ve yapılarda olduğu gibi eksantrik preslerde de titreşim ve gürültü operatöre ve üretilen parçaya zarar verdiği için istenmeyen bir durumdur. Bunun için eksantrik presin uygun izolasyon sistemine sahip olması gerekmektedir.

1.1. Literatür Değerlendirmesi ve Modelleme Yaklaşımları

Literatürde genel olarak eksantrik preslerin dinamik davranışlarının incelenmesinde iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlar analitik ve deneysel yöntemlerdir. Analitik yöntemde pres gövdesi rijit kabul edilir bununla birlikte pres kütlesi, yay ve damper birbirine bağlı ayırık kütlelerden oluşur. Bu sistem adi diferansiyel denklemlerle sistemin matematiksel modeli oluşturularak ifade edilebilir. Elastik gövdeli prese sonlu elemanlar yöntemi uygulanarak modal analiz yapılabilir veya deney düzeneği oluşturularak sisteme verilen harmonik kuvvet ve çekiçle oluşturulan darbe etkisi altında oluşan titreşim hareketleri düzenek üzerinden alınan ölçümlerle frekans domeninde görülebilir.

Yapılan en yakın çalışma Gürsoy (Gürsoy,2007) tarafından yapılan tez çalışmasıdır. Eksantrik preslerdeki titreşim hareketleri ve izolasyonu analitik olarak incelenmiştir. Sistemin matematik modeli oluşturularak titreşim analizleri yapılmış ve pasif titreşim izolasyonu üzerinde durulmuştur. Vizkoelastik titreşim izolasyon sistemi, histeretik sönümleme sistemi ve dinamik absorberin sisteme eklenmesi durumları incelenmiş histeretik sönümleme sisteminin en iyi sonuç verdiği görülmüştür. İzmirli (İzmirli,2000), dört noktasından mesnetli bir plağın titreşim

durumunu ve mod şekillerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiş, pasif titreşim izolasyonu uygulamış ve deney sistemi üzerinden aldığı ölçümlerle karşılaştırma yapmıştır. Sonuçların birbirine yakınsadığı deney sistemindeki mesnetlemeden kaynaklanan küçük farklar olduğu görülmüştür. Demir (Demir,2003), rijit kütle kullanarak 6x6 askeri taşıtların farklı serbestlik derecelerine ait modellerinin ani hareketlerini ve titreşimlerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiş, frekans analizlerini yapmıştır. Çiftkaya (Çiftkaya,1986), imalat makinalarındaki temel titreşim hareketlerini ve izolasyonunu incelemiş, pasif titreşim izolasyonu yöntemlerinden viskoelastik titreşim izolasyon sistemini kullanmıştır. Şiren (Şiren,1996), taşıt titreşimleri ve süspansiyon sistemleri üzerinde çalışmıştır. Bir yarı aktif süspansiyon sisteminin tasarımı ve analizini yapmıştır. Karayel (Karayel,1996) takım tezgahlarının titreşim hareketlerinin ve tasarım açısından yapı dinamiğinin tezgah parametrelerine etkisini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir.

Sanat eserlerinin sismik darbelere karşı pasif titreşim kontrolü konusunda çalışma yapan Calio (Calio ve Marletta,2003) rijit kütle yaklaşımını ve viskoelastik sönümleme sistemini kullanmıştır. Bakşiyev (Bakşiyev ve Ertaş,2003)' de yine aynı şekilde rijit kütle yaklaşımını kullanarak hareket iletim mekanizmaları ve lineer hareketleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Hahn (Hahn ve Neumann,1998) çalışmasında mekanik presin farklı modellerini kullanarak dinamik analizini ve simülasyonlarını yapmıştır. Viskoelastik nokta mesnetli plak çözümüne ilk olarak Yamada (Yamada ve Takahashi,1985) tarafından yapılmış olan çalışmada rastlanmıştır. Bu çalışmada elastik nokta mesnetli plakların serbest titreşim karakteristikleri mesnetlerin farklı konumları ve elastik yay katsayılarının değişimine bağlı olarak elde edilmiştir. Yine bu çalışmada zorlanmış titreşim durumunda viskoelastik nokta mesnetlerin yük iletim katsayısı yükün frekansına bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Altıntaş (Altıntaş,2003) tarafından yapılan çalışmada Kelvin-Voigt tipi viskoelastik nokta mesnetli elastik izotrop plakların zorlanmış titreşimleri incelenmiş analizlerde Kirchhoff-Love plak teorisi kullanılmıştır.

2. TİTREŞİM VE TEMEL KAVRAMLAR

2.1. Mekanik Titreşimler ve İnsan Üzerindeki Etkisi

2.1.1. Mekanik Sistemlerin Titreşimleri

Titreşim genel anlamda bir sistemin denge durumu etrafındaki dalgalanmaları olarak düşünülebilir. Bir çok makine parçası periyodik hareketler yapacak şekilde tasarlanırlar. Bu hareketler sırasında makinelerin çeşitli elemanlarına zamana göre değişen kuvvet ve momentler uygulanır. Bunun sonucunda titreşim ortaya çıkar. Titreşim esnasında oluşan dinamik kuvvetlerin genliklerinin büyük olması ise bazı makine parçalarının mukavemet sınırlarının ötesinde yüklenmesine ve kalıcı deformasyonlara sebep olabilir. Bu sebepten dolayı makinelerde titreşim olması genelde arzu edilmez.

Bir mekanik sistemin titreşimlerinin azaltılmasına yönelik çalışmaların tümüne, titreşim kontrolü adı verilir. Titreşim kontrolünün amaçlarından bazılarını şöyle sıralayabiliriz;

- Makinelerin bozulmasını, kırılmasını ya da aşınmasını önlemek,
- Makinenin işlevini daha iyi yerine getirmesini sağlamak,
- Titreşimin çevreye vereceği zararları azaltmak,
- Bakım gereksinimlerini ve harcamalarını azaltmak,
- Titreşimden dolayı makine bağlantılarına iletilen dinamik kuvvetleri azaltmak,
- Kullanıcıya daha sağlıklı bir çalışma ortamı hazırlamak.

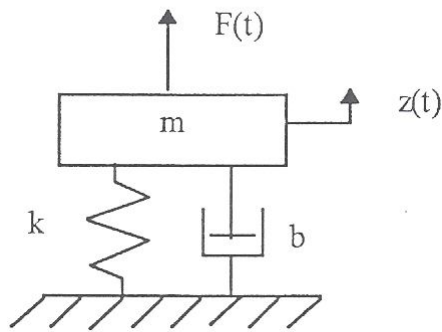
Titreşim kontrolünde üç temel yöntem düşünülebilir:

a) Titreşimin Kaynağında Kontrolü: Titreşim kontrolünde en etkili yöntem, titreşime sebep olan nedenlerin ortadan kaldırılması veya azaltılmasıdır. Titreşim açısından genelde kaynak, dönen dengesiz kütleler ya da hareketli parçalardır. Bu nedenle dengeleme, aşınan parçaların değiştirilmesi, tasarım değişikliği yaparak sarsma kuvveti yaratan parçaların yerine değişik bir sistem kullanılması, boşlukların azaltılması bu amaca yönelik olarak yapılabileceklerin başlıcalarıdır.

b) Titreşimin Yalıtımı: Titreşim kaynaktan yok edilemez ya da istenilen ölçüde azaltılamazsa, kaynağın titreşimi yaymaya uygun geniş yüzeyli parçalardan yalıtılması düşünülebilir. Titreşen bir sistemin ya da parçanın, bağlandığı zeminden yada sistemden yalıtılmasına titreşim yalıtımı adı verilir. Titreşim yalıtımı amacına göre iki grupta toplayabiliriz.

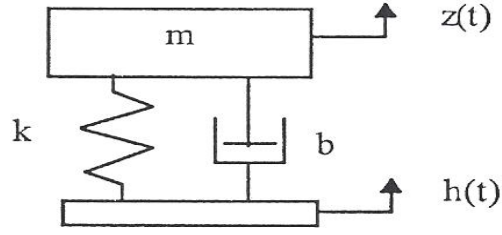
Kuvvet Yalıtımı: Kuvvet yalıtımındaki temel amaç, titreşen bir sistemin, bağlantı noktaları aracılığı ile bağlandığı zemine iletildiği kuvveti azaltmaktır. Bir makinenin titreşen bir kısmının makine gövdesi, şasi vb. ana bölümlerinden yalıtımı da, kuvvet yalıtımı ilkesine dayanır. Örneğin, bir otomobil motorunun gövdeden iyi yalıtılması, otomobil titreşimlerini azaltacaktır ki bu da hem otomobil içindeki gürültüyü azaltacak dolayısıyla konforu arttıracaktır.

Şekil 1.1' de bir titreşim sisteminin, tek serbestlik dereceli en basit modeli gösterilmiştir. Sistemin kütlesi üzerine $F(t)=F_0\sin(\omega t)$ şeklinde bir harmonik kuvvet uygulandığında, sistem bu kuvvet etkisiyle harmonik titreşimler yapacak ve sistemi zemine bağlayan elemanlarda harmonik olarak değişen bir kuvvet oluşacaktır. Bu kuvvet bağlantı elemanları ile temele iletilecektir.



Şekil 2.1 Kuvvet Yalıtımı (Şiren,1996)

Hareket Yalıtımı: Buradaki temel amaç, bir sistemi, titreşen bir tabandan ayırmaktır. Taşıtlarda kullanılan süspansiyon sistemleri, yol uyarılarından kaynaklanan titreşimlerin yalıtılmasına örnektir. Yalıtılan cismin titreşim genliğinin, zemin titreşimlerinin genliğine oranına hareket iletim oranı adı verilir.



Şekil 2.2 Hareket Yalıtımı (Şiren,1996)

c) Sönümlenmeyle Titreşim Genliğinin Azaltılması: Genel olarak bundan önceki iki yöntemin sonuç vermediği durumlarda düşünülebilir. Bazı durumlarda işin ekonomik yönü ya da uygulama kolaylığı göz önüne alınarak bu sıra değiştirilebilir. (Şiren,1996)

2.1.2. Titreşimin Sınırları

Yapılan araştırmalar ve yaşanan bazı olaylar neticesinde titreşimlerin binalar içinde zararlı olduğu kanısına varılmış ve DIN 4150 standardı yayınlanmıştır. Standardın ilk bölümünde titreşim seviyeleri, ikinci bölümünde tasarımcı kabulleri ve üçüncü bölümünde de titreşimlerin binaya verdiği zararların ölçekleri bulunmaktadır. Binalar için izin verilen temel titreşim değerleri Çizelge 2.1 de verilmiştir.

Çizelge 2.1 DIN 4150 Bölüm'e göre binalarda kısa dönemli titreşimlerin ölçülenmesinde izin verilen hız (v_i) değerleri (Gerb,2000)

		İzin verilen hız değerleri (v_i) (mm/s)			
Yapı Çeşitleri		Temel Bazlı Değerler			En Üst Tam Kata Göre Değerler
		Frekanslar			Tüm Frekanslar İçin
		<10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	
1	Endüstriyel tesislerde ve benzeri binalarda	20	20-40	40-50	40
2	Konutlar ve benzeri binalarda	5	5-15	15-20	15
3	Titreşime karşı duyarlı binalar (örnek olarak anıtlar ve tarihi eserler)	3	3-8	8-10	8

Yatay ve dikey olarak bütün odalar için ölçülen maksimum hız değerleri ve titreşim sinyalini veren ana frekans bize KB değerini verir.

Çizelge 2.2 İzin verilen KB değerleri (Gerb,2000)

Konum	Gündüz (KB)	Gece (KB)
Ağır sanayi bölgeleri	0.6	0.4
Hafif sanayi bölgeleri	0.4	0.2
Karışık alanlar	0.3	0.2
Konut alanları	0.2	0.15

Tekil durumlarda yüksek KB değerleri seçilebilir. Makinelerin titreşim ölçümleri yapılarak standartlara uygun olup olmadığı kontrol edilir, gerekiyorsa titreşim kontrolü yapılır. (Gerb,2000)

2.1.3. Mekanik Titreşimlerin İnsan Üzerindeki Etkisi

Demiryolu ve karayolu taşıtları, uçaklar, gemiler, endüstri ve tarımda kullanılan makineler konfora, çalışma verimliliğine ve bazı durumlarda sağlık ve emniyete mani olacak şekilde insanı mekanik titreşimlere maruz bırakırlar. Bu nedenle titreşimlerin insan üzerindeki etkileri ve insanın titreşimlere tepkisi çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. İlk araştırmalar, özellikle insanın çalışma çevresinde, titreşimlerin insan üzerindeki etkilerini ele almakta olup, uçak pilotları, ağır iş makineleri operatörleri ve el aletlerini kullanan operatörler üzerinde yapılmıştır. Günümüzdeki çalışmalar titreşimlerin değerlendirilmesini sağlayan uluslararası standartların oluşturulması ile ilgili olarak yürütülmektedir. (ISO 2631, VDI 2057) Genelde insan üzerinde etkili olan titreşimleri aşağıdaki gibi üç ana grupta toplamak mümkündür. İnsanın titreşimde kalma süreleri ISO 2631 standardında verilmiştir. Bu standarttaki titreşim ölçütleri, konfor, verimli çalışma ve sağlık için zararlı sınırlar olmak üzere üç grupta belirlenmiştir. Bu sınırlar titreşimin doğrultusuna, frekansına, efektif ivmesine ve süresine bağlıdır. Genelde insan üzerinde etkili olan titreşimleri aşağıdaki gibi üç ana grupta toplamak mümkündür.

- a) İnsan vücudunun tümüne aynı zamanda iletilen titreşimler: Bu durum vücut bir titreşim ortamı tarafından çevrelendiği zaman oluşur. Örnek olarak, hava içinde yüksek yoğunluklu bir sesin etkisi veya suya batmış bir insan vücudunun maruz kaldığı etkiler gösterilebilir.
- b) Ayakta duran bir insan, koltukta oturan bir insan da olduğu gibi vücuda temas noktalarından iletilen titreşimler: Bu tür titreşimler araçlarda, titreşen binalarda ve çalışan makinelerin yakınında oluşur. Bu tür titreşimlere tüm vücut titreşimleri adı verilir.
- c) Kol, bacak, baş gibi vücudun özel kısımlarına uygulanan titreşimler: Örnek olarak, elektrikli el aletleri kullananlar maruz kaldığı titreşimler verilebilir. Bu tür titreşimler el-kol titreşimleri olarak adlandırılır.

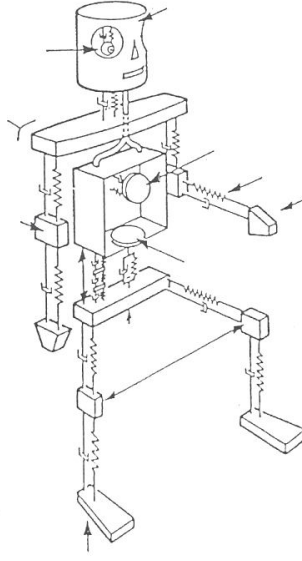
Tüm vücut titreşimleri ve el-kol titreşimleri mekanik olarak farklıdır ve bu yüzden ayrı ayrı incelenirler. Sürekli titreşimlere maruz kalan kişilerde kalıcı fiziksel zararlar, sinir sistemi bozuklukları, omurilik hastalıkları, yorgunluk, baş ağrısı, uykusuzluk ve adale ağrıları gibi etkiler belirlenmiştir.

Söz konusu taşıtlar olunca, problemin araç seyir emniyeti, yolcu ve sürücü konforu açısından tüm vücut titreşimlerine göre incelenmesi gereklidir. Bir makinenin mekanik titreşimleri makinenin hareketli parçaları tarafından üretilir. Her hareketli parça kendi hareketiyle ilgili belli bir frekansa sahiptir ve bu yüzden makine ile temasta olan insan vücuduna iletilen toplam titreşim aynı anda oluşan farklı frekanslı titreşimlerden oluşur. Bu durum, insan vücudu bütün titreşim frekanslarına karşı eşit duyarlılıkta olmadığı için göz önünde bulundurulması gerekli bir gerçektir. İnsan vücudunun bazı frekanslara karşı diğerlerinden neden daha duyarlı olduğunu anlamak için, insan vücudunu mekanik bir model olarak düşünmek faydalı olacaktır.

Aşağıdaki sebeplerden dolayı insan vücudunun titreşim davranışı karmaşıktır:

- a) Vücudun her parçası farklı frekans aralıklarında en yüksek duyarlılığa sahiptir.
- b) İnsan vücudu simetrik değildir.
- c) Farklı iki insan titreşimlere karşı aynı şekilde tepki göstermezler.

Bununla beraber insan vücudunun titreşimlere karşı davranışını simüle etmek için uygun biomekanik modeller geliştirilmiştir. Şekil 2.3 ' te insanın her bir uzvunun bir yay-kütle-sönüm elemanlarıyla ifade edildiği biomekanik modeli gösterilmiştir. İnsan vücudu oldukça yüksek sönüme sahip bir sistemdir. Diğer taraftan insan vücudu simetrik olmadığı için, vücudun, titreşimlere karşı davranışı ayrıca titreşimin uygulandığı yöne de bağlıdır. İnsan vücudunun değişik uzuvlarının rezonans frekans aralığı Çizelge 2.3 'de verilmiştir.



Şekil 2.3 İnsan Vücudunun Biomekanik Modeli (Şiren,1996)

Çizelge2.3 İnsan Vücudunun Duyarlı Olduğu Frekanslar (Şiren,1996)

Kafa Tası	20-30 Hz	Kol	5-10 Hz
Göz Bebeği	20-90 Hz	El	30-50 Hz
Omuz	4-5 Hz	Omurga	10-12 Hz
Göğüs Duvarı	50-100 Hz	Karın	4-8 Hz
Kalp	4-6 Hz	Bacaklar	2-20 Hz

Oturan veya ayakta duran bir insanın öz frekansı genellikle 4-6 Hz dir. Bu yüzden düşey doğrultuda insana intikal eden titreşimlerden 2-10 Hz arasında değişenler tehlikeli olmaktadır. Zira, omurilik, mide ve böbreklerin öz frekansları bu sınırlar arasındadır.

Titreşimlerin insan vücuduna etkisi bakımından 2057 sayılı VDI (Almanya) yönetmeliğine göre bir hissetme yeğinliği katsayısı tanımlanmıştır. K ile gösterilen bu katsayı titreşim büyüklükleri ile zorlanma arasındaki bir bağıntıdır. Frekans ve ivme ile hız veya titreşim gibi değerlere dayalı olarak

$$K = a \frac{d}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$$

denkleminde hesaplanır. (Şiren,1996)

Bu denklemde;

a = titreşim ivmesinin etkin değeri (m/s)

f = Titreşim frekansı (Hz)

f₀ = 10 Hz indirgeme frekansı

d = 18 m/s tir.

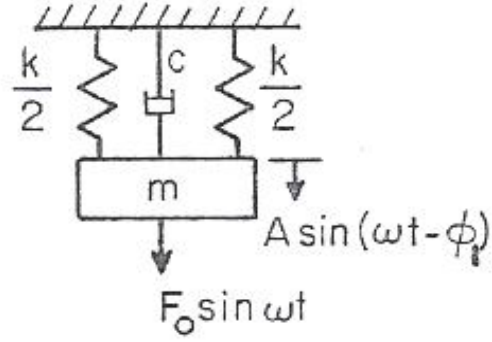
Çizelge2.4 Çeşitli K Değerleri İçin Hissetme Değerleri (Şiren,1996)

K degeri	Hissetme Durumu
0,10-0,25	Hissedilme baslangici
0,25-0,65	Hissedilme
0,65-1,65	Iyi hissedilir
1,60-4,00	Siddetli hissedilme
4,00-40,0	Cok siddetli hissedilme

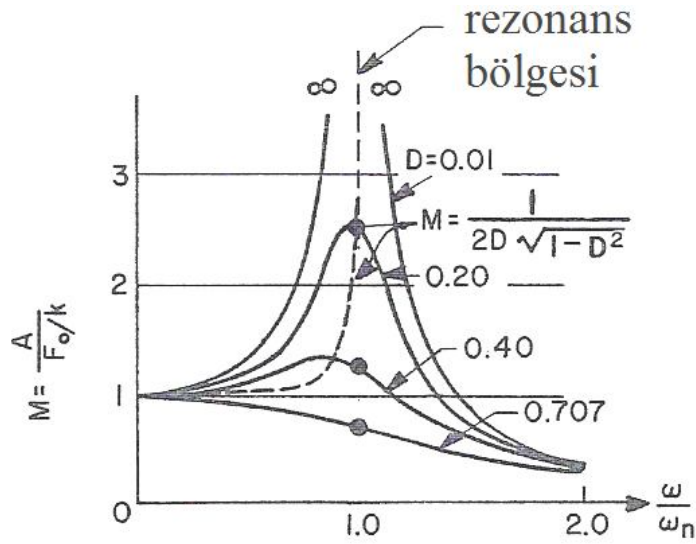
2.2. Temel Kavramlar

2.2.1. Rezonans

Tanım: Rezonans titreşim genliğinin (A) sonsuza gitmesi şeklinde açıklanabilir. Periyodik bir etki altında sistemde meydana gelen titreşimlerin frekansı (w) sistemin doğal frekansı (w_n) birbirine eşit olursa rezonans durumu olur. Örnek: Şekil 2.4 ve Şekil 2.5. Bu yüzden sönümlemenin olduğu her sistemde, titreşim genliği olan A' nın sonsuza yaklaştığı durumlarda rezonans durumu nadiren ortaya çıkar.



Şekil 2.4 $F(t)=F_0 \sin \omega t$ Kuvveti Altındaki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistem (Arya ve O'Neil ve Pincus,1979)



Şekil 2.5 Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistem İçin Cevap Eğrileri (Arya ve O'Neil ve Pincus,1979)

2.2.2. Frekans

Tanım: Sistemin denge durumu etrafında yaptığı salınımın birim zaman aralığında tekrarlanma sayısı frekanstır. Salınımın gerçekleştiği birim zamanda periyottur.

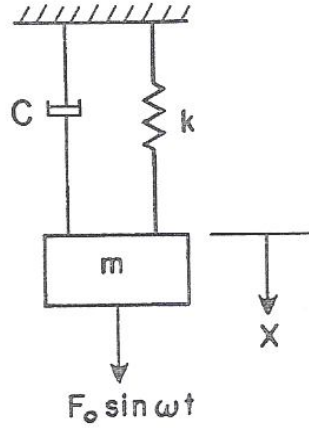
$$f = \frac{1}{T} \quad (2.1)$$

Frekans ve periyot arasındaki ilişki (2.1) denklemiyle açıklanabilir.

2.2.3. Tepki

Tanım: Fiziksel sisteme zorlayıcı kuvvet uygulanmasıyla zamana bağlı genlikler veya gerilmeler oluşur.

Örnek: $m \ddot{x} + C \dot{x} + kx = F_0 \sin \omega t$ Şekil 2.6' da gösterilen sistemin hareket denklemdir. Hareket denkleminin tüm genel çözümündeki $x(t)$ dinamik tepki olarak adlandırılır.

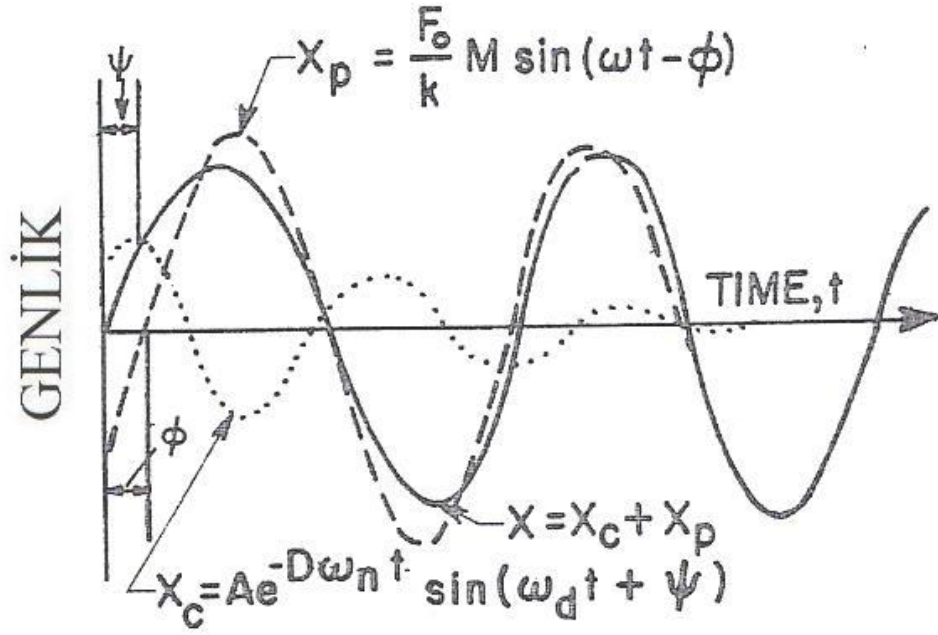


Şekil 2.6 Dinamik Kuvvet Altındaki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistem (Arya ve O'Neil ve Pincus,1979)

2.2.4. Kararlı Rejim Durumu

Tanım: Zorlayıcı kuvvet uygulandığı sürece fiziksel sistemin devam eden periyodik hareketi aynı frekansa sahiptir.

Örnek: sonraki gösterimler için Şekil 2.7



Şekil 2.7 Dinamik Kuvvet Altındaki Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemin Genel Çözümü (Arya ve O'Neil ve Pincus, 1979)

Genel çözüm $x(t) = x_p(t) + x_c(t)$

x_p = kararlı durum tepkisi

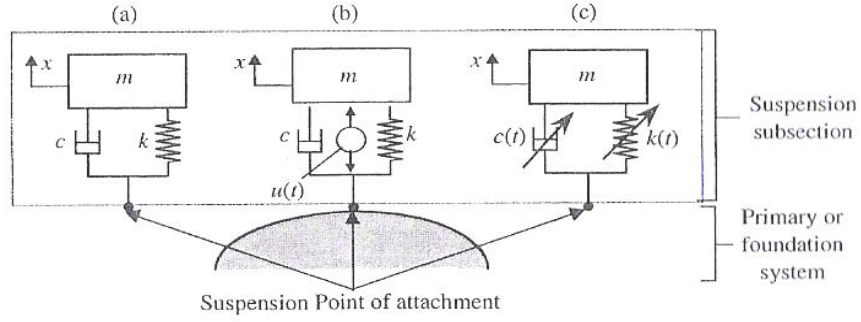
x_c = geçici çözüm

2.2.5. Süreksiz Rejim Durumu

Tanım: Bir serbest titreşim formu olup, sönümlenmenin varlığı yüzünden hızla kaybolur.

3. TİTREŞİM-KONTROL SİSTEMLERİ

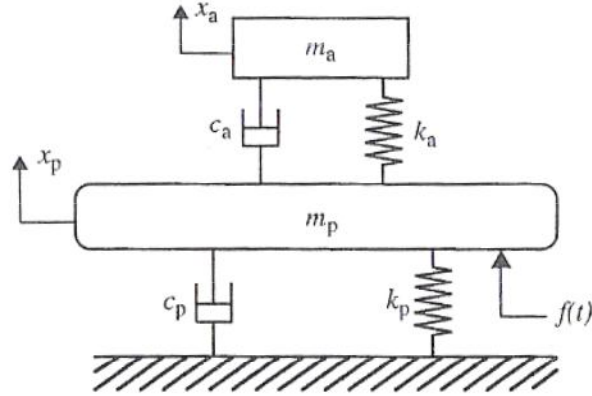
Titreşim kontrol sistemleri üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar pasif, aktif ve yarı aktif (SA) titreşim kontrol sistemleridir



Şekil 3.1 Aktif, Pasif ve SA Titreşim Kontrol Sistemi (Silva,2007)

3.1. Pasif Titreşim İzolasyonu

Pasif titreşim kontrolündeki; amaç titreşime neden olan sistemle titreşen sistem arasına uygun yalıtım malzemeleri koyularak titreşimin iletilmesini engellemektir. Pasif titreşim kontrolü iki farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan ilki, çalışmada da uygulama örneği olan, titreşimi temelinde izole ederek sisteme iletilmesini engellemektir. Preslerin, şahmerdanların vb. izolasyonu bu şekilde yapılmaktadır. Ancak kullanılan malzemenin rijitlik katsayısı arttıkça sönümlenmenin azalmasının yanı sıra çevreye ve sisteme iletilen kuvvetler çok artmaktadır. İkinci yöntem ise titreşimin kaynağında yalıtılmasıdır.



Şekil 3.2 Sönümlü Sistem (Silva,2007)

Hareket denklemleri;

$$m_a \ddot{x}_a(t) + c_a \dot{x}_a(t) + k_a x_a(t) = c_a \dot{x}_p(t) + k_a x_p(t) \quad (3.1)$$

$$m_p \ddot{x}_p(t) + (c_p + c_a) \dot{x}_p(t) + (k_p + k_a) x_p(t) - c_a \dot{x}_a(t) - k_a x_a(t) = f(t) \quad (3.2)$$

olarak gösterilmiştir. $x_p(t)$ ve $x_a(t)$ sırasıyla ilk ve sönümleyici yer değiştirmeler, $f(t)$ iç kuvvet ve geri kalan diğer parametreler Şekil 3.2’te gösterildiği gibi sönümleyicinin sertliğini k_a ve sönümlemeyi c_a içerir. Laplace domenindeki zorlayıcı kuvvet ve sistemin ilk yer değiştirmesi arasındaki transfer fonksiyonu

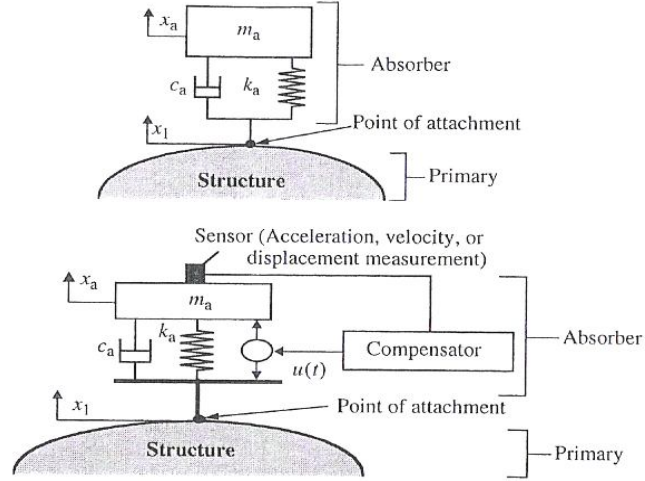
$$TF(s) = \frac{X_p(s)}{F(s)} = \left\{ \frac{m_a s^2 + c_a s + k_a}{H(s)} \right\} \quad (3.3)$$

olarak yazılır.

$$H(s) = \left\{ m_p s^2 + (c_p + c_a) s + k_p + k_a \right\} (m_a s^2 + c_a s + k_a) - (c_a s + k_a)^2 \quad (3.4)$$

$X_a(s)$, $X_p(s)$ ve $F(s)$ sırasıyla $x_a(t)$, $x_p(t)$ ve $f(t)$ ’nin Laplace dönüşümleridir.

3.2. Aktif Titreşim Kontrolü



Şekil 3.3 Pasif ve Aktif Sönüm Ayarları (Silva,2007)

Sönümleyicinin optimum parametreleriyle bile, belirsiz yapının genişbant bozukluklarının karşı karşıya geldiği yerde pasif sönümleme yapısal uygulamalarda belirgin sınırlamalara sahiptir. Bu sınırlamaları dengelemek için aktif titreşim süspansiyon şeması kullanılmıştır. Sonradan eklenen aktif kuvvetle birlikte, $u(t)$ sönümleyici temel bozukluğu daha duyarlı hale getirmek için farklı algoritmaları kullanırken kontrol edilmiştir. Ayarlanmış titreşim sönümleyicilerin uygulamalarından biri aktif rezonatör sönümleyicidir (ARA). ARA kavramı rötarlı rezonatörle yakından ilişkilidir. Sönümleyici bölümü de içinde bulunduran geri beslemesini kullanmak, rezonans durumu ortaya çıkarır. ARA'nın bir kere rezonans olması, bu frekansta mükemmel bir sönümleme yaratır.

3.3. Yarı Aktif Titreşim Kontrolü

Yarı aktif (SA) titreşim kontrol sistemleri bir çok uygulamaya izin vererek tamamiyle aktif sistemlerin performansı göz önünde bulundurarak elde edilebilir. SA süspansiyonun mantığı çok basittir: anlık hareket durumunda enerji kaybının değeri değişebilen veya kaydırılabilen sürekli ayarlanabilir elemanlarla aktif kuvvet üreticinin yerini değiştirmek.

3.4. Ayarlanabilir Titreşim Kontrol Elemanları

Ayarlanabilir titreşim kontrol elemanları genellikle değişken sönümleyici ve sertlik değerlerinden oluşur. Belirgin girişimler aygıtlar gibi çeşitli uygulamaların gelişimi ve gerçekleştirilmesi için adanmıştır. Bu gibi cihazlar için örnekler ER, MR, akışkan sönümleyiciler ve değişken orifis sönümleyiciler, kontrol edilebilir sürtünme destekleri, ve değişken sertlik ve eylemsizlik aygıtlarıdır.

4. TİTREŞİM KONTROL SİSTEMLERİNİN TASARIM VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu kısım titreşim kontrol sistem tasarımları ve gerçekleştirilmeleri için basit temel kavramları içerir. Bu sistemler titreşim sönümleyiciler ve titreşim kontrol sistemleri olarak iki kategoriye ayrılmıştır.

4.1. Titreşim Kontrol Tasarım Basamak ve Prosedürlerinin Özeti

Uygun titreşim kontrol sistemini seçmek için, öncelikle sistemin fiziksel özelliklerinin, çevresel koşulların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

4.1.1. Yan Yönlerdeki Sertlik

Yüklemenin oldukça fazla ve statik saptırmanın küçük olduğu durumlar için sıkıştırılarak oluşturulmuş malzemeler en uygun malzeme tipidir. Statik saptırmanın büyük olmadığı durumlarda küçük kuvvetler için kontrol tasarımı yapmak oldukça zordur. Genellikle, yüklemenin küçük olduğu yerde, makaslamaadaki yükü taşıyabilecek olan kauçuk yay kullanmak tercih edilebilir.

4.1.2. Çevresel Koşullar

Genellikle titreşim kontrol sistemlerini zor çevre koşullarına maruz bırakmak ortak bir durumdur. Özellikle askeri uygulamalarda, yüksek çevre sıcaklıkları ve buna ek olarak ozon, roket yakıtları ve bunun gibi maddeleri ışığa tutmayla karşılaşılabilir. Bu gibi çevresel koşullarda organik malzemeler metal malzemelere göre çevreye karşı daha duyarlıdır. Organik malzemelerin daha hafif ağırlık, daha küçük boyutlar, daha iyi sönümleme ve şok altında yüksek enerji depolayabilme kabiliyeti gibi yüksek mekanik özellikleri sebebiyle; sert koşullarda daha başarılı olan söz konusu organik malzemeler geliştirilmektedir.

4.1.3. Sönümlenme Karakterleri

Çoğu titreşim kontrol uygulamalarında, uyarımlar frekansların geniş bir bölümünü kapsar ve uygun sönümlenmeye hakim olmak için titreşim kontrol sistemine gerekli olan rasgele özelliklere sahip olabilir. Elastomerler metal yaylarla karşılaştırıldıklarında çok iyi sönümlenme özelliklerine sahip olurlar ve aynı zamanda yüksek frekanslarda ortaya çıkan devamlı dalgaların güçlüklerini ortadan kaldırır. Yüksek frekanslarda titreşimin izolasyonunu gerektiren titreşim kontrol uygulamalarında, eğer metal yaylar kullanılırsa, buna mahsus olarak metal yayla birlikte, aynı zamanda titreşimlerin sönümlenmelerinde bundan dolayı sönümlenme malzemesinin ilavesinde de sonuçlanan kauçuk bir yastık kullanılır.

4.1.4. Ağırlık ve Boşluk Sınırlamaları

Esnek malzemenin yük taşıma değeri, depolanacak olan enerjinin miktarı tarafından belirlenmiştir. Çoğu durumda titreşim genliği statik saptırmaya göre daha küçük oranlı olmaya yatkın olup, titreşim kontrol sisteminde işin yapılmış olabilmesi için malzemenin değeri malzemede depolanan enerjiyi eşitleyerek hesaplanmış olabilir.

4.1.5. Dinamik Sertlik

Kauçuk gibi organik malzemelerin durumunda, yay testinin, nerdeyse her zaman daha önceden devam eden titreşime göre daha düşük olduğu statik güç sapmasından belirlenen sertlik kullanılarak doğal frekans hesaplanır ve bizi dinamik modülün statik modülden daha önemli olduğu sonucuna götürür. Dinamik ve statik modül arasındaki oran genellikle bir ve iki arasındakile aynıdır. Birçok titreşim kontrol uygulamasında, ekipmanın direkt olarak titreşim kontrol sistemi(izolatör) üzerinde olduğu sonucuna varmak uygun değildir. Onun yerine izolatörün desteklediği ve betondan ya da ağır çelikten yapılmış olan ağır, sert bir blok kullanılmıştır.

5. TİTREŞİM YALITIMI

5.1. Kaynak yalıtımının amacı

Kaynak yalıtımının amacı, meydana gelecek titreşimden çevredeki yapıları korumaktır.

Bir kaynak yalıtım sistemi, aşağıdakiler için gerekli olabilir:

- Titreşim yapan makinelerin operatörlerinin güvenliği,
- Titreşim yapan makinelerin yanında bulunanların güvenliği,
- Titreşim oluşturucu donatımı bulunan binalardaki yapıların güvenliği,
- Binalardaki titreşim etkisine maruz kalabilecek insanların güvenliği,
- Yasa ile belirlenmiş titreşim sınır değerleri aşılması.

5.2. Titreşim Yalıtımının Uygulanabilirliği

Titreşimi azaltmaya ait ölçmelerin tasarımı sırasında ilave bir kaynak yalıtımı uygulanır. Bu da bir ölçme işlemi sırasında gerçekleştirilir. Bir titreşim kaynağının yalıtım sistemi, aşağıdakilere uygulanır:

- Titreşim yapan makinelerin tasarımı ve yerleştirilmesinde
- Binalarda bulunan titreşim yapan makinelerin yerleştirilmesi veya değişikliğe tabi tutulmasında

Titreşim olaylarının önceki analizi ile arka plan titreşim seviyelerinin analiz sonuçlarına da ihtiyaç duyulur. Makinenin çalışma devresine ilişkin yeterli bir zaman süresine ait gözlemler ve frekans analizi de önem taşımaktadır.

Titreşim ileten ve aktaran yapılara ait frekans tepki fonksiyonlarının analizi, yapıların en iyi biçimde karşılaştırılmasını kolaylaştıracak ve kaynağın baskın frekansları ile bu yapıların doğal frekansları arasındaki girişimleri önleyecek nitelikte olmalıdır. Arka plan titreşim seviyesinin tespiti, bunun altında yalıtıma gerek olmayan doğal titreşim seviyesini öğrenmek amacıyla yapılmalıdır.

5.3. Bir Makineye Ait Yalıtım Sisteminin Seçimine İlişkin Bilgiler

Uygun yalıtıcıları seçmek ve kaynak yalıtıcılarını doğru bir şekilde monte etmek için, makine imalatçıları, yalıtım tedarikçisi ve bu makinenin kullanıcısı arasında bilgi alış veriş gereklidir. Aşağıdaki paragraflar, tercih edilen bir makine yalıtım cinsi için, istenen ve makine yapımıcısı tarafından sağlanması gereken şartları belirtmektedir. Makine yapımıcısının aynı zamanda yalıtım sistemini de sağlaması durumunda, aşağıdaki maddelerde yer alan bilgilerden bazılarının uygun olmadığı görülebilir. Bununla beraber, bu bilgilerden bazıları, değiştirilecek parçaların sağlanması sırasında kullanılabileninden, talimatlar el kitabında yer almalıdır.

Yalıtım sisteminin seçiminde, sadece makinenin statik özelliklerinin değil, aynı zamanda dinamik özelliklerinin (değişkenliği) ve makineyi çevreleyen yapıların (ve daha başka kaynakların) dinamik özelliklerinin de dikkate alınması gerekir.

Mümkün olan en iyi çözümü elde etmek amacıyla titreşim yalıtım sistemini sağlayan kullanıcıdan her zaman için daha ayrıntılı bilgi istenmesinin gerekli olduğu unutulmamalıdır.

5.3.1. Makine İmalatçısı Tarafından Sağlanacak Bilgiler

Makinenin normal olarak kullanımını temin etmek için yapımıcı, aşağıdaki bilgilerden mümkün olan birçoğunu sağlamalıdır. Gerekliğinde yapımıcı, titreşim yalıtım sistemini sağlayanın desteğini de almalıdır.

5.3.1.1. Makinenin Fiziksel Verileri

5.3.1.1.1. Makinenin Akış Şeması

Bir makine akış şeması,

- Makinenin ana hatları ve yerleştirilmesi biçimi, uygun olduğu takdirde, makine imalatçısı tarafından uygun alt yapının tarifini,
- Bütün boyutlarını,
- Makinenin toplam kütlesi ve ağırlık merkezinin konumunu, eylemsizlik momenti de dahil olmak üzere,
- Makineyi güvenliğe alan özel bağlayıcılar ve civata vb.ne ait boyutları; bağlantılar, tıkaçlı

deliklerin konumları, toleranslar ve dikkate alınacak herhangi bir özel maddede şema üzerinde gösterilişini,

- Tercih edilen çevre şartlarına uyma şartları altında yalıtımı yapılacak birimin ağırlık merkezindeki kaynak ile karşılıklı üç düşey eksene göre tanıtımı ve yönünü,
- Düşey duruma göre normal makine konumu; başlıca şok ve titreşim yönü belirtilmelidir. Uygun yapısal bağlantı noktaları verilmelidir. Bu noktaların, ağırlık merkezi ve benzeri ile ilgili titreşim sisteminin sık sık tespitini, kapsamalıdır.

5.3.1.1.2. Titreşim Uyarımı

Makinelerin güvenilir biçimde tesis ve kullanımını sağlamak için, frekansın bir fonksiyonu veya geçmiş formu şeklinde, bir makinenin titreşim uyarımı gücü ve kuplajları gibi özellikleri de belirtilerek bir makinenin titreşim uyarımı ayrıntılı olarak tanıtılmalıdır.

Bunlara örnek olarak aşağıdakiler verilmiştir:

- Normal dairesel frekanslar ve kuplajlar,
- Dengelemeden sonraki artık dairesel frekanslar ve kuplajlar,
- Ters çevirme kütlelerinin sebep olduğu kuvvetler ve kuplajlar,
- Moment reaksiyon kuplajları,
- Gaz titreşim olaylarının genlikleri ve/veya frekansları,
- Aerodinamik olaylarının frekansları (mesela, fanlar için),
- Elektrikle çalışan makineler veya transformatörler ile ilgili elektromanyetik kuvvetler ve frekanslar.

5.3.1.1.3. Özel Kurallar

Cihaza özgü özel nitelikler makinenin tarifinde ve akış şemasında yer almalıdır.

Bu gibi özel nitelikler arasından bazıları aşağıda verilmiştir:

- Montaj sisteminin (tip, boy, sertlik vb.) mekanik tepkisini değiştirebilecek elektrik bağlayıcıları, tüpler veya borular,
- Dıştan uygulanan kuvvetler ve momentler,
- Gerekli olan giriş açıklıkları,

- Soğutulmuş hava akışı için gerekli olan en az açıklık; yalıtım işlemini ters yönde etkiyebilecek herhangi bir ısı yükselmesinin şema üzerinde gösterilmesi ve gerçekleşmesi gereken sıcaklık aralığı,
- Uygulanabildiği yerlerde, cihaz ve tesis arasında en büyük açıklık

5.3.1.1.4. Elektriksel Özellikler

Topraklama ve uygulanabilir kurallara ait şartlar, şema üzerinde ek bir not ile belirtilmelidir.

5.3.1.1.5. Mekanik Kararlılık İçin Özel Kurallar

Mekanik kararlılık için özel kurallar konulmalıdır. Mesela, ağırlık merkezi aşağısına veya dengelenmiş yan baskıların bulunduğu yere yerleştirilmiş yalıtım tertibatı tarafından yüksek veya değişken ağırlık merkezi bulunan bir teçhizatın desteklendiği yerde özel dikkat gösterilmelidir.

5.3.1.2. Yalıtım Sisteminin Fiziksel Verileri

5.3.1.2.1. Genel Veriler

Yalıtım sisteminin tedarikçisi, yalıtım sistemi özellikleri hakkında aşağıdaki bilgileri vermelidir:

- Yalıtım sisteminin tipi,
- Yalıtım sisteminin malzemeleri,
- Yalıtım sisteminin kütlesi,
- Dengeleme özellikleri,
- Yalıtımın eğilmeye karşı statik direnci,
- Çalışma şartlarında makineyi dışarıdan etkileyen kütle ile ilgili en büyük ve en az ağırlık (N),
- Yalıtımın ölçüleri ve konumu (mesela çizimi),
- Yükleme ve zamana göre yalıtıcıların yüzey akması.

5.3.1.2.2. Dinamik Davranış

Tedarikçi, dinamik yükleme ile ilgili olarak yalıtıcının değişim ve dönme yönünden dinamik davranışını tarif etmelidir. Yük - sapma verilerinin elde edildiği çevre şartları ve yükleme oranı tarif edilmeli ve toleransları verilmelidir. Bununla beraber, gerektiği yerde, tedarikçi bir seçenek olarak tamamen tarifi yapılmış bir deney merkezinde, ölçülen taşıma olasılığı özellikleri yardımıyla dinamik davranışı tarif edebilir. Dinamik davranış aşağıda verilen bilgi parametrelerindeki değişimlerle ilgili olabilir:

- Yükün fonksiyonu olarak rezonans frekansı,
- Genlik,
- Sıcaklık,
- Sönüm.

Tedarikçi uygulanabilir frekansları belirterek, başlıca üç yönde yalıtım sisteminin verim özelliklerini tarif etmelidir

5.3.1.2.3. Dayanıklılık

Tedarikçi, aşağıdaki gibi dayanıklılıkla ilgili bilgileri sağlamalıdır:

- Tekrarlamalı darbe şoklarıyla birleşik dayanma sınırını,
- Uygulanabildiği yerde, sürekli şekil değiştirmeye ilişkin bilgiler ve bu bilgilerin nasıl elde edildiğini,
- En düşük ve en yüksek sıcaklık dahil, belirtilen çevrelerdeki depolama sebebiyle yaşlanma etkilerini.

5.3.1.2.4. Çevre Verileri

Tedarikçi, uygun kullanımı sağlamak için yalıtıcı ile ilgili aşağıdaki bilgileri sağlamalıdır:

- Beyan değerindeki yük altındaki yalıtıcı bu sınırların dışında veya altında uygun şekilde görevini yapamayacak veya özelliklerde sürekli değişiklikler meydana getireceği şekilde üst ve alt sıcaklık sınırları,
- Yalıtıcının rutubet, su, tuz serpintisi, mantar, ozon, yağlar, yakıtlar, çürütücü buharlar, güneş

ışını vb. gibi faktörlerin yol açtığı paslanma veya bozulmaya karşı dayanma yeteneği,

- Kumlu ve tozlu bir ortamdaki gibi olumsuz şartlar altında görev yapma yeteneği,
- İzin verilen depolama çevresi.

5.3.1.2.5. Bakım Verileri

Tedarikçi herhangi bir bakım, periyodik denetim ve servis kuralları ile ilgili ayrıntılı bilgiler sağlamalıdır.

5.3.2. Makine Üreticisine Kullanıcı Tarafından Sağlanması Gereken Bilgiler

Makine imalatçısı makinenin çalışacağı çevre şartlarını çevreleyen yapıların özelliklerini bilerek üretim yapmalıdır.

5.3.2.1. Makineyi Çevreleyen Yapılara İlişkin Teknik Bilgiler

Teklif edilen sisteme ait teknik bilgilerin hiçbir yorumu gerektirmeyecek şekilde anlaşılması için gerekli bilgilerin kısa bir açıklaması verilmelidir.

Bu bilgiler aşağıdakilerden meydana gelmelidir:

- Makinenin monte edileceği yapının tipi (gemi, çelik yapı, betonarme yapı, elektrik santrali vb. gibi),
- Yapı içindeki yeri (makine dairesi, üst güvertenin altındaki güverte, çatı vb. gibi),
- Destekleyici yapı ile ilgili bilgiler (zemin şartları; mesela, zeminin taşıyabileceği yük, döşeme altı yeraltı suyunun seviyesi, destekleyici yapının doğal frekansları),
- Yalıtım etkinliği veya kullanıcının kabul kriteri (yakın çevre, örneğin yerleşim olan endüstri alanı; yakındaki makinelerin tipi, örneğin deney makineleri, delgi makineleri vb. gibi).

5.3.2.2. Çevreleyen Yapının Titreşim ve Şok Özellikleri

Makinenin tesisinden önce, çevreleyen yapının titreşim ve şok özellikleri, üç eksene göre değer farkı (yer değiştirme, hız ve ivme), uygun frekanslar ve bu durumun meydana geleceği süre ile tarif edilmelidir. Arka plan, spektrum analizi ve diğer tanımlayıcı parametreler de gereklidir.

5.3.2.3. İklimle İlgili Çevre

Kullanıcıya, uygulanabildiğinde, iklimle ilgili çevreye ait aşağıdaki bilgileri sağlamalıdır:

- Üst ve alt sıcaklık sınırları,
- Rutubet, su varlığı, kum ve toz, tuz serpintisi, ozon, yağlar, eriticiler vb. gibi. (Gürsoy,2007)

5.4. Titreşim Yalıtımına Ait Elemanlar

5.4.1. Yaylar

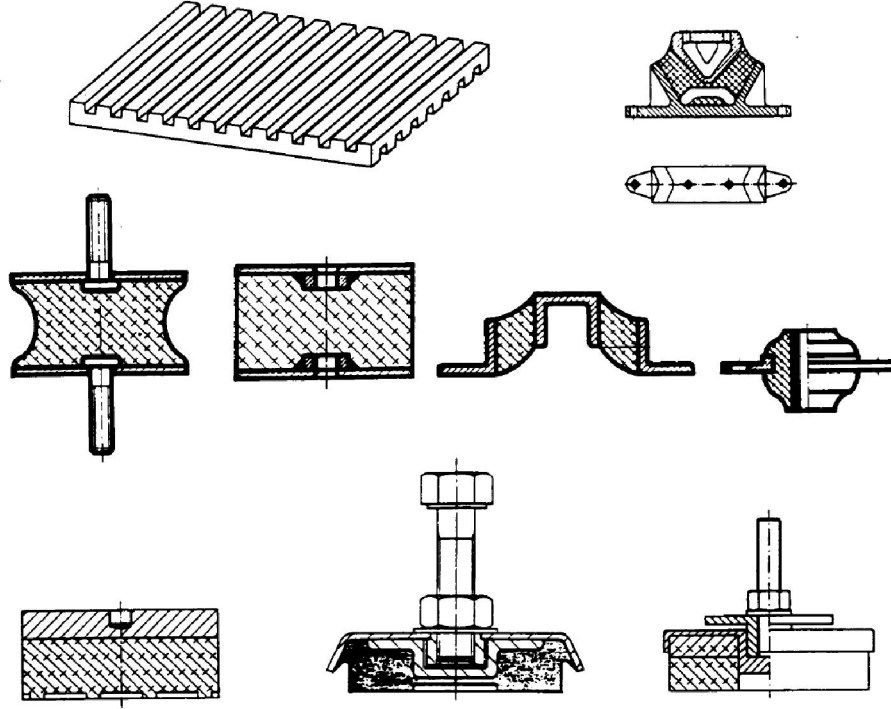
Yaylar, makineler için esnek titreşim yalıtımı destekleri sağlamak amacıyla kullanılır, bir başka deyişle bunlar birer yapı elemanı olup, esneklikle biçim değiştirirler. Her bir yay, belirli bir kütle ve yavaşlama belirtisi göstermedikçe, teorik anlamdaki kusursuz yaylar uygulamada gerçekleştirilemez. Bu standarda geçen frekans aralığındaki titreşimin hesabı için, yayın kütlesi ihmal edilebilir; yavaşlatma kuvvetle yay malzemesine bağlıdır.

5.4.1.1. Elastomer (esnek) Yaylar

Esnek olarak biçim değiştirebilmesi ve küçük Young modülü yüzünden elastomerler, uygun yay malzemesidir. Madeni yaylara oranla, elastomer yayların daha büyük maddesel yavaşlatması bulunmaktadır. Sertlik ve yavaşlatma gibi biçim değiştirme özellikleri, yayın biçimine olduğu kadar esas malzeme seçimi ve malzeme karışımının elemanlarına da bağlıdır. Bu özellikler sıcaklık gibi çevre şartlarından da etkilenmektedir. Uzun vadeli şekil değiştirme, kuvvet ve malzemenin bileşenlerine bağlıdır. Bu malzeme viskoelastik özelliklere sahiptir. Genellikle, elastomer yayların statik ve dinamik yavaşlatmaları farklıdır. Bu dinamik yavaşlatma, statik yavaşlatmadan daha büyüktür. Yalıtılmış sistemin doğal frekansları, sadece dinamik yavaşlatmada hesaplanmalıdır. Elastomerli yaylarla, 6 Hz ila 20 Hz' lik düşey doğal frekanslar sağlanır. Genelde, yük-sapma eğrisi doğrusal değildir; ancak, uygulamada işletme yükü için doğrusallaştırılır.

Aşağıdaki faktörler, elastomer yayların yük kapasitesi ve dayanıklılık açısından öncelik taşımaktadır:

- Malzeme ve malzeme alaşımı,
- Yayların tasarımı,
- Statik yük, dinamik yük,
- Titreşim sisteminin titreşim genliği ve frekansı.

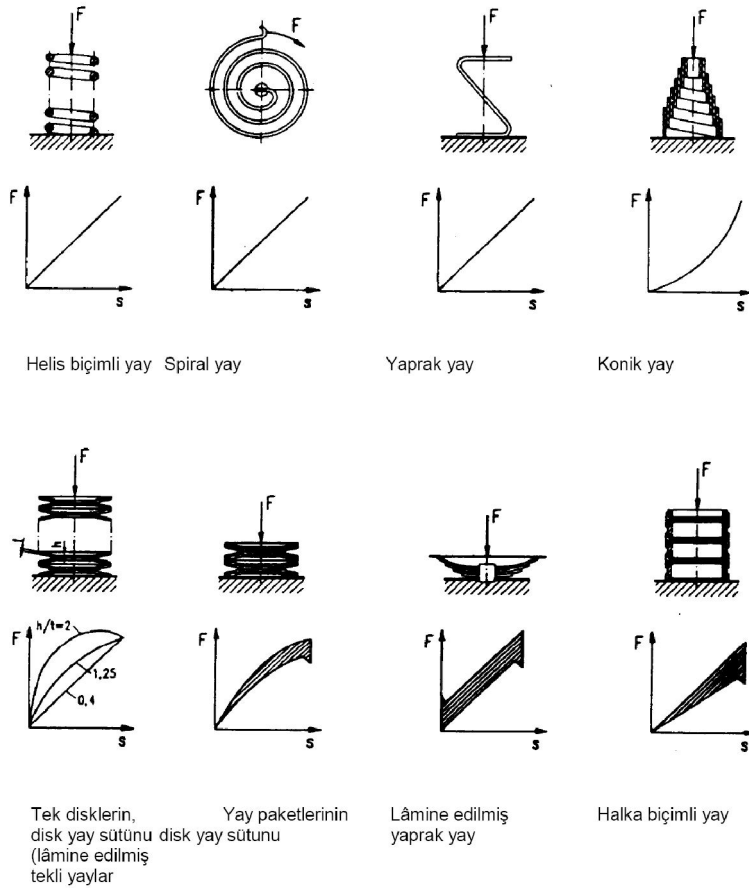


Şekil 5.1 Esnek Yaylara rnekler (TS 2776 EN 1299)

Bu yaylar, kendi esnek tasarımlarıyla madeni kısımlarla birleşme ve geniş lde muhtemel malzeme bileşimi sebebiyle geniş lde uygulama alanlarına adapte olabilirler. Elastomer yaylar, tek elemanlar veya yayılmış levhalar veyahut birbirinin içine geirilmış gruplar halinde de kullanılabilirler. Elastomer yayların ayrıntılı tasarımı yükleme cinsine (basınç gücü, kapama gücü, bükme momenti, kıvrırma momenti veya bileşimler dolayısıyla) göre tespit edilmektedir. Şekil 5.1, elastomer yayların kullanılması örneğini göstermektedir. Dağıtılmış baskı yükleri için, yayılmış levhalar veyahut birbirinin içine geirilmış gruplar halindeki yaylar yaygındır.

5.4.1.2. Metal Yaylar

Madeni yaylar, büyük sıcaklık farklılıklarına karşı duyarlı olmamasına rağmen, birçok organik maddeye de dayanıklıdır. Makinelerin titreşim yalıtımı için madeni yaylar kullanılmaktadır ve bunlar özellikle bu amaca yönelik olarak tel kordon, levha ve çubuk şeklinde tercihen yay çeliğinden yapılır. Madeni yayların statik ve dinamik dayanımı arasında fark bulunmamaktadır. Yayların tipine ve tasarımına bağlı olarak yük - sapma eğrisi, doğrusal ilerleyen veya genişleyen şekilde olabilir. Madeni yaylar ile 1,5 Hz ila 8Hz' lik düşey doğal frekanslar sağlanabilir. Madeni yaylar, büyük sapma farklılıklarında yüksek biçim bozukluğu enerjilerini depolama yeteneğine sahiptirler. Onların yay özellikleri yaşlanma ile değişmez. Şekil 5.2.de çeşitli madeni yay tipleri ve bunlara ait yük - sapma eğrilerinden örnekler verilmiştir.

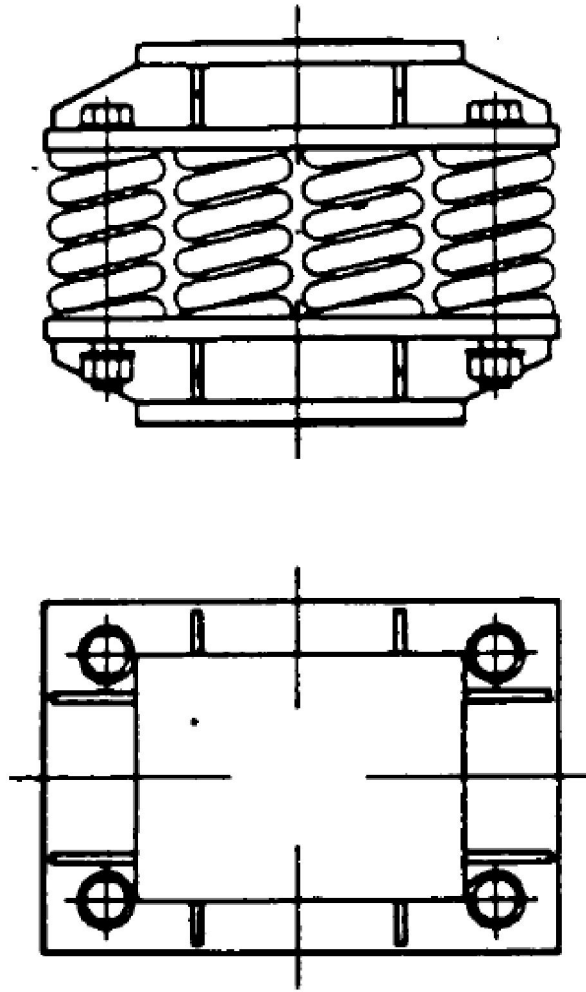


Şekil 5.2 Metal Yaylar ve Karakteristikleri (TS 2776 EN 1299)

Basınca çalışan helis biçimli yay, genellikle makinelerin titreşim yalıtımı için kullanılan

madeni bir yaydır. Doğrusal özellikleri (yük - sapma eğrisi) ve bütün eksenler için kullanışlı olan uygun esneme özellikli yayın geniş ölçüde kullanılması durumunda, bu tip yay, özellikle her türden makinelerin esnetme tertibatı ile uyum sağlar.

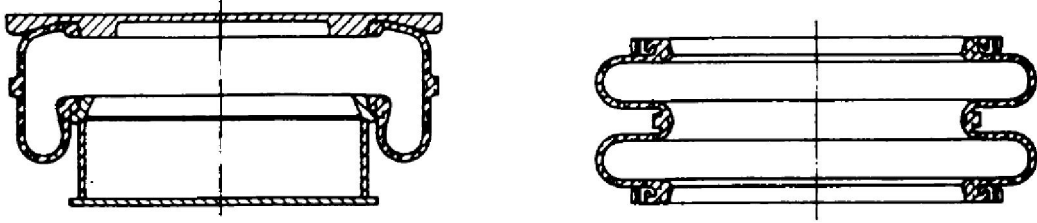
Şekil 5.3, tipik bir yay birimi örneğini göstermektedir. Bu tipten yay birimlerinin yük kapasitesi normal olarak bir kaç N' den yaklaşık olarak 1500 kN' ye kadar ulaşır. Basınca çalışan helis biçimli yayın çapraz veri veya yatay yay sabitesi, düşey yay sabitesine oranla, yay boyutlarının uygun bir seçimiyle geniş ölçüde değişebilir.



Şekil 5.3 Helis Tipi Sıkıştırılmalı Yayların Yapımında Kullanılan tipik Yay Birimi (TS 2776 EN 1299)

5.4.1.3. Hava Yayları

Prensipte, bir hava yayı elastiki yanlı bir kapalı gaz dolu hacimden ibarettir (bk. Şekil 5.4). Elastiki yanları saptırarak yükün yay sapmalarını değiştirmesi durumunda, bir basınç değişimi biçiminde sonuçlanan hacim değişimi meydana gelmektedir. Bu, silindirlerdeki pistonlarla olduğu kadar, üretimi yapılan çeşitli körük modelleri ile de ilgilidir. Hava yaylarının sapma özellikleri, etkili taraftan artırılan iç basınç ile dış basınç (mesela, bar) arasındaki basınç farkı ile dış yük arasındaki dengeye bağlı bulunmaktadır. Seviye kontrolü için hava yayları, idare edilemeyen ve idare edilebilir modeller olarak sağlanmaktadır. Patlama tehlikesini ortadan kaldırmak için yapımca basınç sınırını belirtmelidir.

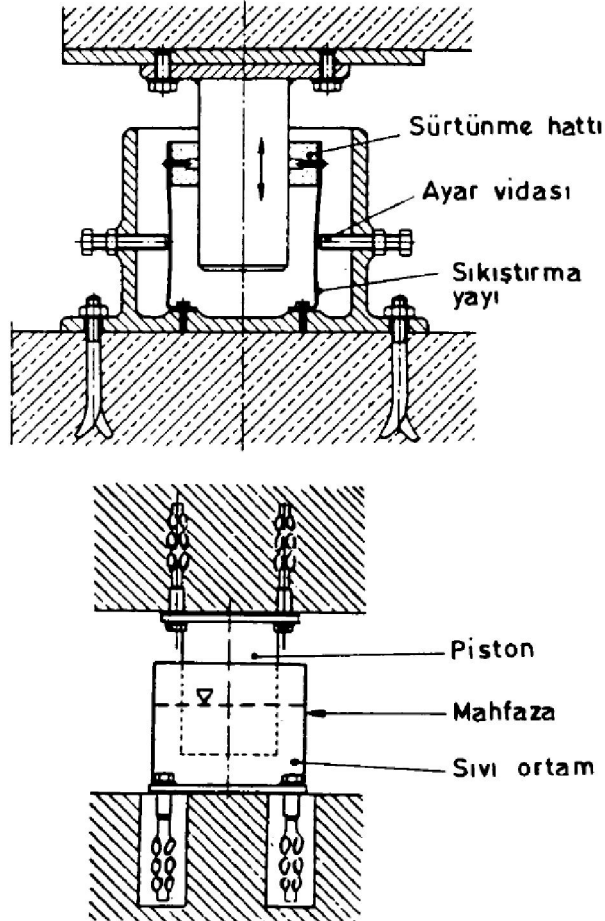


Şekil 5.4 Hava Yayları (TS 2776 EN 1299)

5.4.2. Damperler (Titreşim Engelleyici Araçlar)

Titreşim engelleyici araçlar, periyodik tahrik olayında veya şok veyahut tesadüfi tahrik olayında elastiki destekli sistemin, yankılamalarından geçmesi sırasındaki hareketi kısıtlamak için kullanılır. Bunlar, yay birimleri ile paralel olarak monte edilir ve mekanik enerjiyi ısıya dönüştürürler. Bunlar, sert gövdeler arasındaki yavaşlamayı değerlendiren titreşim engelleyici araçlar (sürtünme damperleri, bk. Şekil 5.5) ile sıvı veya gazlı ortamdaki enerji değişimini değerlendiren titreşim engelleyici araçlar (sıvı damperler, bk. Şekil 5.5) olarak ayrılırlar. Güç-hız özellikleri; hız, ilerleme, doğrusal veya gerileme olayından soyutlanabilir. Sürtünme damperlerinin kullanılması sırasında yapılan diğer ses problemleri riskine dikkat edilmelidir. Makinelerin titreşim yalıtımı için yay birimleri ile birlikte kullanılan en önemli damper tipleri, sıvı yapışkan damperlerdir. Yapışkan damperler özellikle alçak frekansta orta yükseklikteki frekanslara kadar olan büyük titreşim farkı için uygundur. Bunlar damper durumu, yavaşlatma ortamı ve pistondan ibarettir. Yavaşlatma ortamına dalmış piston damperin konumu tarafından

oluşturulan bir sınıra kadar bütün yönlerde (yatay ve düşey) hareket edebilir. Damper, serbestiyetin altı derecesinin tamamında titreşimi azaltma imkanına sahiptir.



Şekil 5.5 Bir Sürtünme ve Bir viskoz Damperinin Tasarımı (TS 2776 EN 1299)

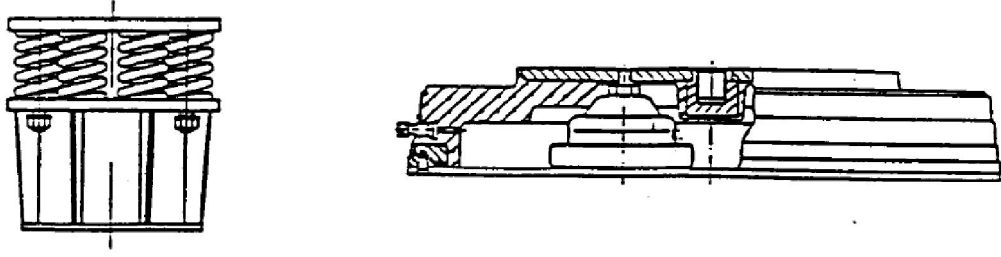
5.4.3. Yaylar ve Damperlerin Birleşimleri

Titreşim yalıtımı sisteminin önemli bir parçası olarak yavaşlatma - gerek maddi yavaşlatma biçiminde ve gerekse ayrı titreşim engelleyici araç biçiminde - gerekli bulunur (bk. Şekil 5.6):

- Yalıtım frekanslarından geçmesi sırasında titreşim farkı artımı, bütün olaylarda önlenmelidir,
- Çalışma şartları dengesiz güçlerin artmasına neden olabilecek sıra ile çalışan makineler için,
- Elektrik makineleri tarafından üretilen kısa devre dönme momenti geçici dalgaların

emilmesi için,

- Teknik ve ekonomik nedenlerden dolayı uygun olmayan tesisler üzerine esnek olarak monte edilmeleri gereken makine ve sistemlerin sabitleştirilmesi için,
- Şok nedeni titreşimin çabucak azalmasını emniyete almak için. [TS 2776 EN 1299]



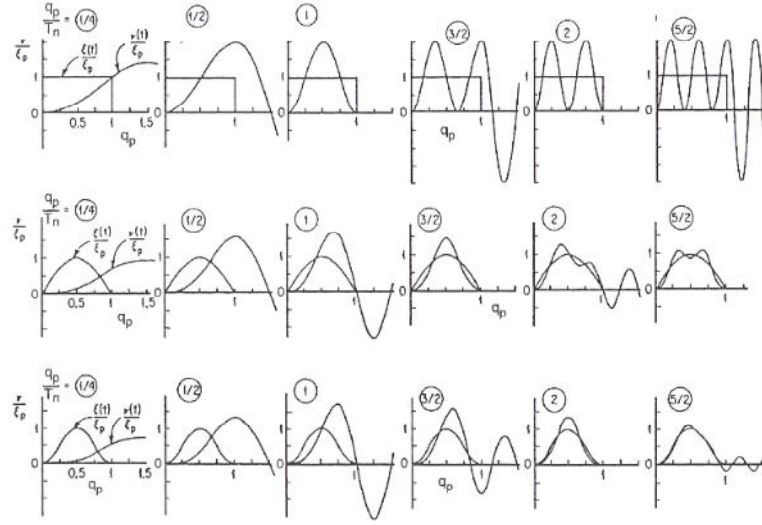
Şekil 5.6 Yaylar ve Damperlerin Birleşimi (TS 2776 EN 1299)

6. TİREŞİM İZOLASYON SİSTEMİ

6.1. Darbe Altındaki Titreşim İzolasyon Sistemi

Darbe altındaki izolasyon sistemlerinin verdiği tepkinin tespiti, izole objenin içinden ya da etkili bir izolasyon sisteminin tasarımında önemli olan temelden aktarımda sağlanmıştır. Birçok durumda darbe uyarımları daimi titreşim uyarımlarından çok daha tehlikelidir. Çoğunlukla, sistemin darbe karşısındaki tepkisini ölçmek daha zordur. Çünkü hareketlerin etkileşimi ve darbe tarafından harekete geçirilmiş sistemin serbest titreşimi düşünülmüş olmalıdır. Her özel durum için tepki hesaplanır; darbe altında izolasyon sistem tasarımı bunun yanı sıra ilk yaklaşım teknikleri gibi bazı kriterleri geliştirmek daha caziptir. Bu tasarımı tamamlamada şok spektrum ya da tepki spektrum yaklaşımı daha kullanışlıdır.

Tepki spektrumu, tepki sürecinde seçilmiş metodun grafiksel sunumu, dolayısıyla uyarım sürecindeki seçilmiş metottur. Şok spektrumu, darbe uyarımının seçilmiş parametresinin maksimum değere karşı olan tepkisindeki seçilmiş parametrenin maksimum değerinin oranını gösterir. Her ikisi de boyutsuz parametrenin çizim şekli olup, genellikle darbe uyarımındaki belirgin zaman ölçüsü ve tepkisel sistemin doğal periyodu arasındaki orandır. Genellikle darbe uyarımındaki belirgin zaman ölçüsü ve tepkisel sistem arasındaki oran her ikisi için de geçerlidir ve her ikisinin çizimi boyutsuz parametrelerin fonksiyonları şeklindedir. Bu açıklamalar bize titreşim kitaplarında anlatıldığı gibi tepki ve şok spektrumlarının frekans spektrumu olmadığını gösterir. Bununla birlikte bunlar tarihsel olarak literatürde geniş bir şekilde kullanılmıştır.

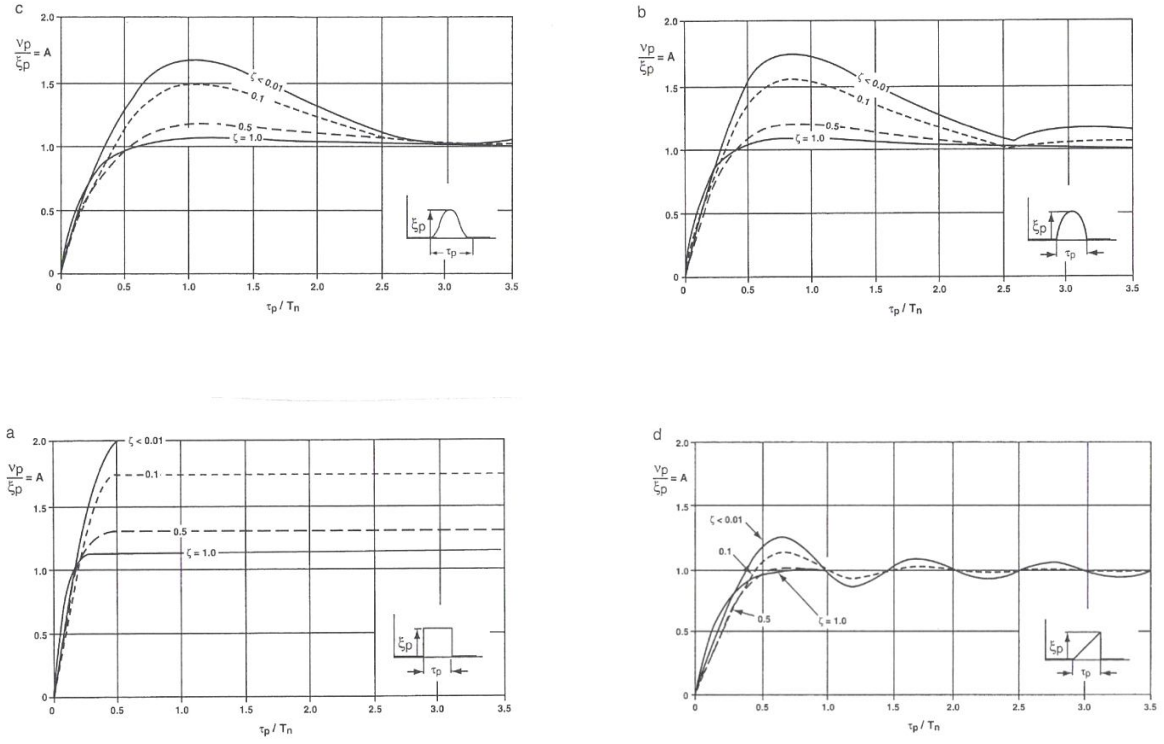


Şekil 6.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Farklı Girişler İçin Zaman Cevapları

(a) Kare Giriş (b) Yarım Sinüs Giriş (c) Ters Sinüs Giriş (Rivin,2003)

Şekil 6.1 bize sönümsüz tek serbestlik dereceli sistemin tepkisinin zamana göre değişimini vermektedir. [oranlı değerler $v(t) / \xi_p$; $v(t)$ izole edilmiş objenin tepkisinin anlık değeridir ve ξ_p tabandaki darbenin maksimum yüksekliğidir, boyutsuz zamanın fonksiyonu t / τ_p ve τ_p devam eden darbedir.] Şekil 6.1'deki çizimler kare, yarı sinüs ve ters sinüs darbeleri için ve izolasyon sisteminin devam eden darbesi τ_p ve doğal periyodu $T_n = 1 / f_n$ için verilmiştir.

Şekil 6.2'deki çizimler izolasyon sisteminde şok spektrumunu $A = v_p / \xi_p$ ve v_p tepkinin maksimum değerini, τ_p / T_n fonksiyonu ve sönümlemenin bazı değerleri için (sönümleme oranı ζ) gösterir. Şekil 6.2 (a), (b), (c), (d) kare, yarı sinüs, ters sinüs ver rampa darbeleri için şok spektrumunu gösterir.



Şekil 6.2 Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Farklı Girişler İçin Şok Spektrumu

(a) Kare Giriş (b) Yarım Sinüs Giriş (c) Ters Sinüs Giriş (d) Rampa Giriş (Rivin,2003)

6.2 Optimal İzolasyon Temel Problemleri

6.2.1 Optimizasyon Probleminin Genel Formülasyonu

Zaman aralığındaki izolasyonlarla birlikte sistem hareketine izin veren $t_0 \leq t \leq T$ eşitlik 6.1 formunun diferansiyel denklem sistemlerinde tanımlanmıştır.

$$\dot{x} = f(x, u, v, t) \quad (6.1)$$

$$\dot{x} = f(x, u(x, t), v(t), t), \quad t_0 \leq t \leq T \quad (6.2)$$

Burada x izolasyon sistemin değişken durumunun n -vektörüdür; $u(x, t)$ yalıtım sistemi (izolasyon karakteristiği) tarafından ortaya çıkarılan kontrol gücünü açıklayan zamanın ve değişken durumunun m -vektörü fonksiyonudur; $v(t)$ harici düzensizliğin zamanını açıklayan r -vektörüdür; $f(x, u, v, t)$ mekanik yapısı ve geometrik sistem tarafından saptanan belirtilmiş n -vektör fonksiyonudur; ve, $t_0 \geq 0$ ve $T > t_0$ sistem hareketi içinde tanımlanan zaman aralığı sınırlarını karakterize eder. Eğer bu aralık yukarda sınırlandırılmamışsa $T = +\infty$ olarak ayarlanır.

$u(x, t)$ izolasyon karakteristiklerinin geçerli kümesi ve olası harici düzensizlik kümesi, sırasıyla U ve V olarak simgelenmiştir. Pratik izolasyon sistemleri için, U kümesi uygulayıcı karakteristik $u(x, t)$ için elverişli tasarım konfigürasyonu baz alınmıştır, V kümesi, harici düzensizliğin tasarımcı bilgisiyle olduğu kadar sistemin işletim koşullarıyla da saptanmıştır.

$$x(t_0) = x_0 \quad (6.3)$$

$$J(u, v) = \max_{\lambda \in \Lambda} \max_{t \in [t_0, T]} \Phi(x_{u,v}(t), u(x_{u,v}(t)), v(t), t, \lambda) \quad (6.4)$$

$$J(u, v) = \max_{\lambda \in \Lambda} \int_{t_0}^T \Phi(x_{u,v}(t), u(x_{u,v}(t)), v(t), t, \lambda) \quad (6.5)$$

6.3. İzolasyon Sistemlerinde Titreşimin Optimizasyonu

6.3.1. şok ve Titreşim İzolasyonlarının Karakteristik Optimizasyonu (en iyilemesi)

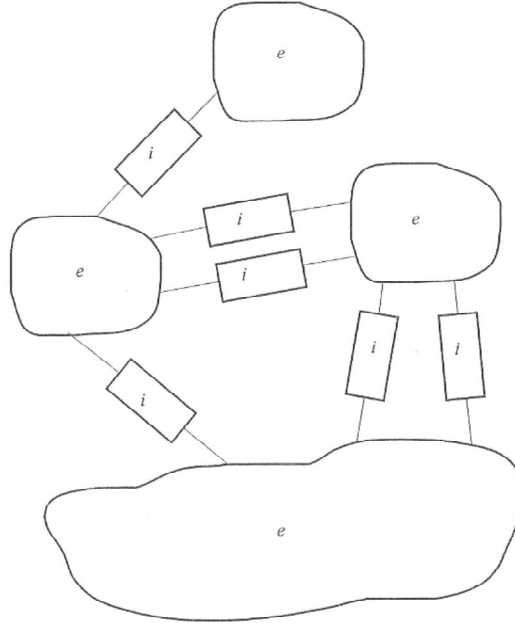
Modern mühendisliğin güncel problemleri, taşıma aracı kullanıcılarının ve yüklerinin şok ve titreşim etkilerinden korunmayı kapsar. Bu etki örneğin engebeli yolda hızla giden bir arabada ya da bir uçağın inişi sırasında meydana gelebilir.

şok etkisi özellikle çarpma anında yüksek olur. Bu durumda kullanıcının hayatta kalması, aracın şok yalıtımı donanımının etkinliğine bağlıdır. Bu yalıtım sistemine sahip olunması ihtiyacı, kullanıcı ve yükleri aşırı şok ve titreşim hareketinden korumak ve optimizasyonun matematiksel teorisinin gelişmesine katkı sağlamaktan doğar.

6.3.1.1. İzolasyon Sistemlerinin Yapısal ve Matematiksel Modelleri

İzolasyonlu sistemlerde, birbiriyle bağlantılı objeler izolatörlerle bir araya toplanmıştır. Bu objeler, izolasyon sistemlerinin elemanları olarak adlandırılabilir. Mühendislik cihazlarının sistem elemanlarıyla bağlantılı olduğunu yani birbirleriyle bağlantılı olarak hareket edebildiği izolatörler sayesinde anlaşılmaktadır. İzolatörler elemanların birbirleriyle olan etkileşimini kontrol etmeyi sağlar. Değişik branşlardaki mühendisliklerde ve endüstride, taşıma araçları (otomobiller, uçaklar ve lokomotifler), teknolojik donanımlar ve makina aletleri, ev ekipmanları (buzdolabı ve çamaşır makinası) vs. gibi izolasyon sistemleriyle ilgili makinalar ve mekanizmalar kullanılır. Bir otomobilin izolasyon sistemleriyle bağlantılı parçaları gövde, ön aks, arka aks vs. , engebeli bir yolda giderken oluşan titreşimi azaltmaya yarayan amortisör yayı, ya da çarpışma anında kullanıcıyı etkileyen çarpma gücünü azaltmaya yarayan bir cihaz olabilir. Bir çamaşır makinasının elemanları ise yaylı izolasyon araçlarıyla bağlantılı olan gövdesi, tamburu ve motorudur.

Mühendislik literatüründe izolasyon sistemlerinin elemanları genellikle temel ve yalıtılmış objeler olarak sınıflandırılırlar. Bu geleneksel sınıflandırma, genellikle değişik rollerdeki makina ve mekanizma öğeleriyle bunun yanısıra sistemin mutlak öğelerinin temel referans çatısı olmasına duyulan istekle bağlantılıdır. Örneğin, bir uçak ya da gemi için navigasyon donanımı tasarlarırken öncelikle geminin ya da uçağın gövdesinin göz önüne alınması, temel referans çatısının içindeki yalıtılmış cihazların hareketlerinin tanımlanması doğaldır. Eğer izolasyon sistemi, bir makina aleti ve takılı bir mekanizma kurulurken karışık bir eleman içeriyorsa, bu genellikle temelle ve diğer elemanların hareketlerinin karışık elemanla bağlantılı olmasıyla tanımlanır.



Şekil 6.3 İzolasyon Sistemi Şeması (Balandin ve Bolontik ve Pilkey,2001)

Şekil 6.3 İzolasyon sistemi; elemanları ve sırasıyla e ve i olarak gösterilen izolatörleri şematik olarak sunuyor.

Analizler ve optimizasyon amaçları için, izolasyon sistemlerinin davranışlarını açıklamaya yetecek matematiksel bir model olması önemlidir. Çoğu durumda, katı veya esnek gövde olan izolasyon sistem elemanlarının göz önünde tutulması yeterlidir. Bununla beraber bazı örneklerde daha karmaşık modeller gerekli olabilir.

7. PRESLERDE TİTREŞİM İZOLASYONU VE PRESİN MODELLENMESİ

7.1. Titreşim İzolasyonu

Preslerde titreşime neden olabilecek çok fazla mekanizma olduğu için farklı titreşim izolasyonu yöntemleri kullanılmaktadır. Dövme preslerde düşük hız ve yüksek kuvvette malzeme deformasyonu olur. Dövme preslerin avantajı titreşimlerin şahmerdanlara göre düşük olmasıdır. Şahmerdanlarla karşılaştırıldığında dövme presinin hız sınırını çözmek amacıyla pres mutlaka her stroku 0.05 ile 0.1 s hızlandırması gerekir. Hızlandırma fazında meydana gelen titreşimlerin dövme anında meydana gelen titreşimlerden daha yüksek olduğu yapılan deneylerde görülmüştür. Hızlandırma fazında meydana gelen titreşimler bazen toprak altı pres temelini doğal frekansıyla çakışabilir. Bu durumda çok katlı binalarda yatay titreşimler oluşmaktadır. Titreşim frekansının ana frekansı binanın yatay doğal frekansıyla aynı olursa çok ciddi sorunlar ortaya çıkmakta, yüksek katlarda yüksek katlarda yüksek titreşimler oluşmakta, hatt zemin katlarda bile fark edilebilmektedir. Dövme preslerde meydana gelen yüksek frekanslı titreşimler artçı bir geçirgenlik ile yüksek zemin sönümlemesine bağlı mesafeye bağlı olarak azalmaktadır.

Sistemin çalışma sırasındaki yatay genliklerini sınırlandırmak için yay destekli temeller kullanılmaktadır. Günümüzde çelik çerçeveler ile titreşim izolasyon sistemi zemin ile sistem arasında doğrudan kullanılmakta ve krank mili dönmesinde yeterli salınım kararlılığını sağlamaktadır. Çelik çerçeve kullanmak oldukça ekonomik olduğu için artık standart uygulama halini almıştır. Dizayn aşamasında salınım doğal frekansı periyodik tahrik frekansından yüksek olmalıdır. Sönümleme çok önemlidir.

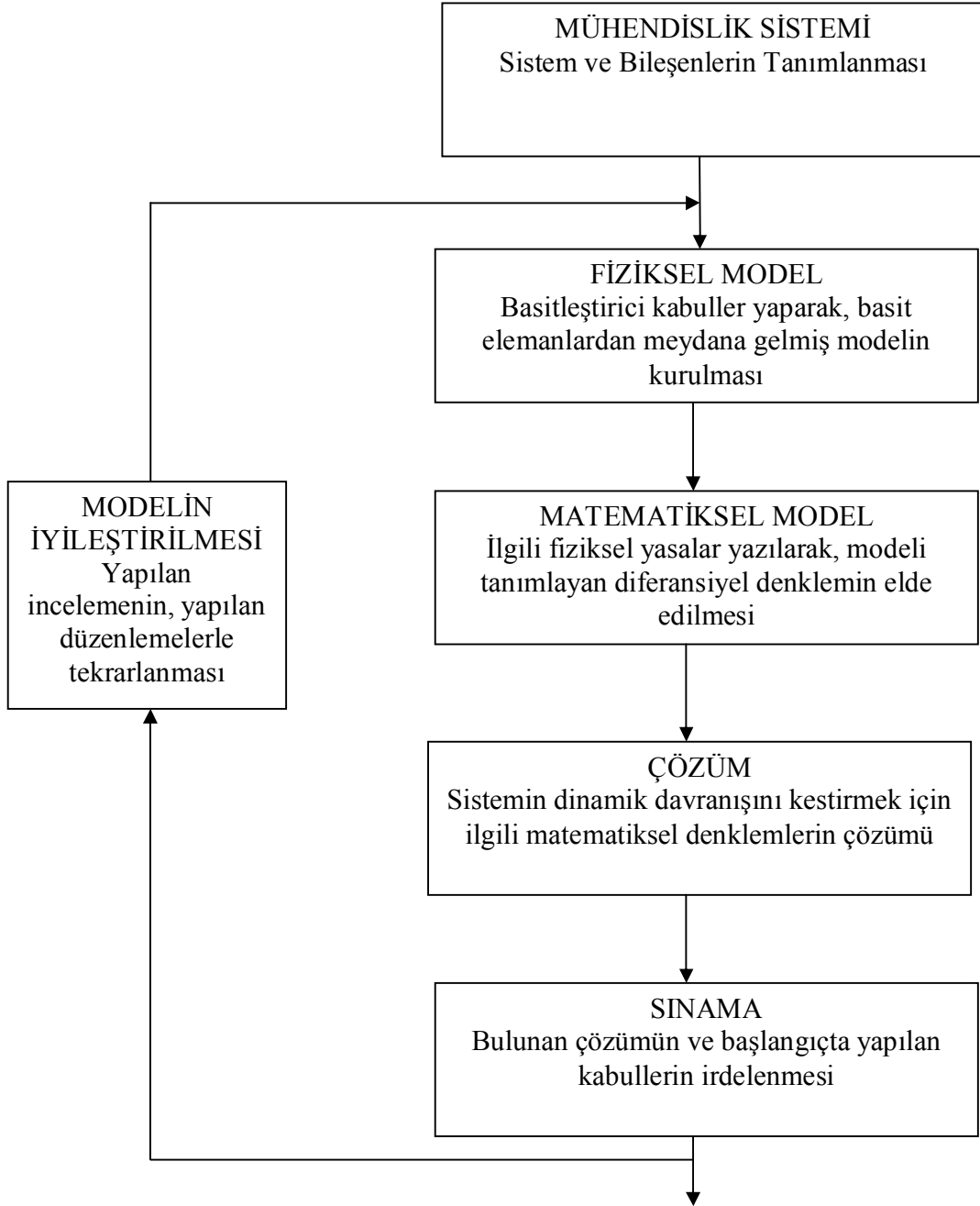
Vidalı preslerdeki cevap titreşimleri dövme preste meydana gelen titreşimlere benzer. Vidalı preslerde sadece yay desteklerle titreşim izolasyonu yapılmaktadır. Genellikle salınım ve dönel stabiliteyi arttırmak için yay elemanlar ile presin ayakları arasına çelik plakalar veya standart profil malzemedan yapılmış çelik çerçeveler kullanılır.

7.2. Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi

Dinamik sistemin çözülmesinde ilk adım onun modelini çıkarmaktır. Sisteme ait uygun bir matematiksel modelin elde edilmesi tüm çözümlene işleminin en önemli kısmıdır. Modellemede genellikle çok karmaşık bir mühendislik sisteminin uygun kabullerle ve pek çok

durumlarda idealize edilmiş elemanlardan oluşmuş olarak tasarlanan bir fiziksel model elde edilir. Fiziksel model tasarlandıktan sonra da temel fiziksel yasalar kullanılarak elemanların davranışlarını tanımlamaya genellikle doğrusal diferansiyel denklemler şeklinde bir matematiksel model elde edilir. Bir kez sisteme uygun bir matematiksel model tespit edildikten sonra bilinen matematiksel çözümler yöntemleri veya sayısal bilgisayar yardımıyla aranan çözümü bulmak mümkündür. Bu işlemin akış şeması Şekil 7.1' de verilmiştir. Elde edilen çözüm gerçek sistemi ne kadar çok yakından temsil edebiliyorsa tasarlanan model gerçek sisteme o kadar uygun demektir. Aksi takdirde başlangıçta yapılan kabuller tekrar gözden geçirilerek gerçeğe daha yakın bir model tasarlamak gerekir.

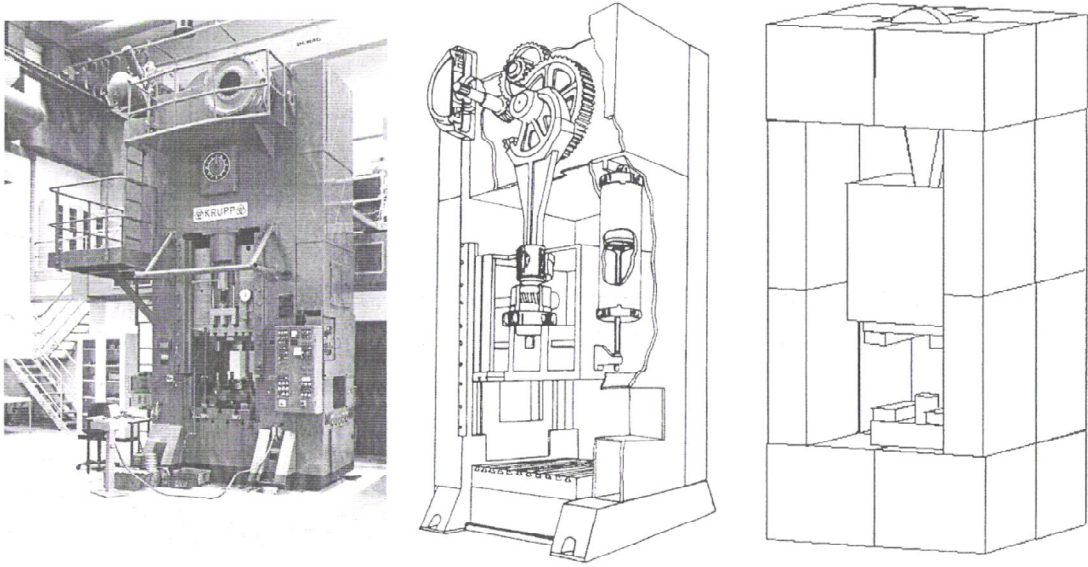
Bir modelin elde edilmesinde modelin basitliği ile çözümler sonuçlarının doğruluğu arasında bir uyum sağlanmalıdır. Sistem çözümlemesinde elde edilen sonuçlar yalnızca tasarlanan modelin verilen fiziksel sisteme yaklaşımı oranında geçerlidir. Basitleştirilmiş bir modelin elde edilmesinde ise genellikle sistemin belli fiziksel özelliklerinin ihmal edilmesi gerekir. Genelde, yeni bir problemin çözümünde, çözüm hakkında genel bir görüş elde etmek üzere başlangıçta sistemin basitleştirilmiş bir modelini tasarlamak daha uygun olabilir. Daha sonra da daha karmaşık bir çözümler için gerekli olan daha ayrıntılı bir matematiksel model kurulabilir.



Şekil 7.1 Mühendislik Sistemlerinin Modellenmesi (Şiren,1996)

Mekanik presler geniş ölçüde motor endüstrisinde araba gövde parçalarının sac şekillendirilmesinde kullanılır.

Mekanik preslerin çalışma performansı yataklardaki sürtünme etkisine ve radyal ve düşey yöndeki titreşim hareketlerine bağlıdır. Bu sakıncalı teorisi, statik ve dinamik davranışının deneysel analizi gerekir. etkileri daha iyi anlayabilmek ve uygun konstrüksiyonlarla giderebilmek amacıyla sistem



Şekil 7.2 Pres Modeli (Şiren,1996)

7.3. Presin Fiziksel Modeli

Presin fiziksel modeli dört köşesinden yay ve sönüm yerleştirilmiş olarak modellenmiştir.

7.3.1. Fiziksel Özellikler

$$m = 5906,927 \text{ kg}$$

$$J_{zz} = 13745,77 \text{ kgm}^2$$

$$J_{xx} = 46921,93 \text{ kgm}^2$$

$$L = 0,710355 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,33414 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,73657 \text{ m}$$

$$L_3 = 0,34304 \text{ m}$$

$$L_4=0,42767 \text{ m}$$

$$L_{\text{pres}}=0,201215 \text{ m}$$

$$LL_{\text{pres}}=0,042315 \text{ m}$$

$$L_x=0,78457 \text{ m}$$

$$L_y=0,042315 \text{ m}$$

7.4. Presin Matematiksel Modeli

Matematiksel modelin oluşturulmasında pres gövdesi ve zemin rijit, yay ve sönüm karakteristikleri lineer olarak kabul edilmiştir. Hareket denklemleri lagrange metodu yardımıyla oluşturulmuştur.

Lagrange metodu, sistemin enerji toplamlarının genelleştirilmiş koordinatlara göre türevinin alınması temeline dayanır.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial x_j} + \frac{\partial E_p}{\partial x_j} + \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_j} = Q_j$$

Ek : Toplam kinetik enerji

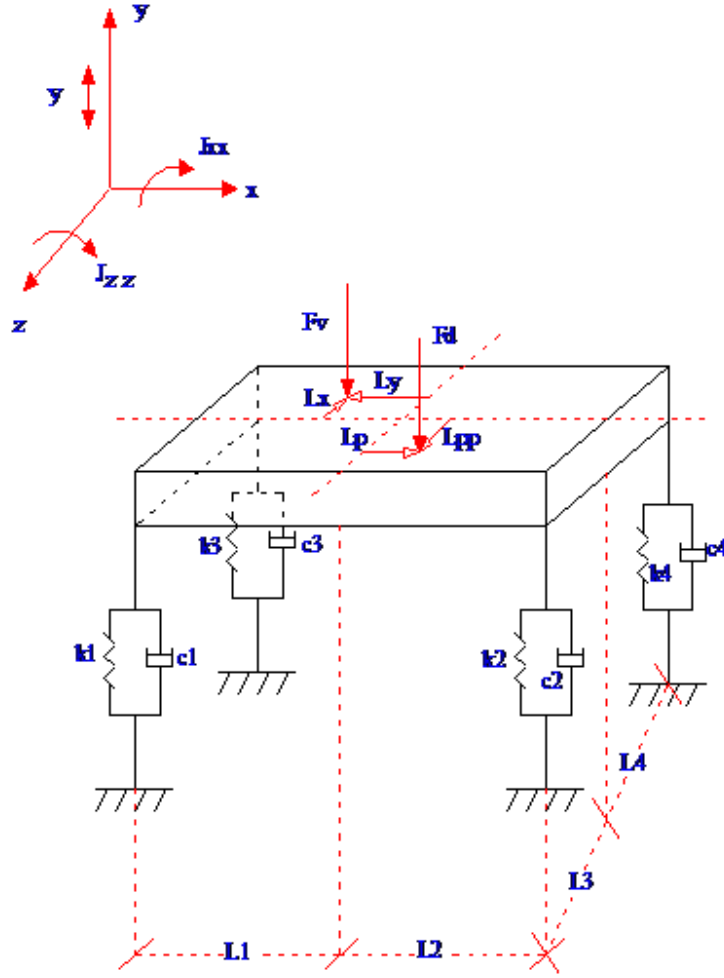
Ep : Toplam potansiyel enerji

ED : Toplam sönüm enerjisi

Qj : Genelleştirilmiş kuvvetler

Xj : Genelleştirilmiş koordinatlar

Uzayda serbestçe hareket eden bir cisim altı serbestlik derecesine sahiptir. Bunların üçü dönme üçü öteleme hareketleridir.



Şekil 7.3 Pres Fiziksel Modeli

- Öteleme hareketleri;
x-ekseni boyunca titreşim hareketi (ileri-geri)
y-ekseni boyunca titreşim hareketi (aşağı-yukarı)
z-ekseni boyunca titreşim hareketi(yana kayma)

- Dönme Hareketleri;

x-ekseni etrafında dönme (yalpa)

y-ekseni etrafında dönme (savrulma)

z-ekseni etrafında dönme (kafa vurma)

Pres gövdesinin sadece y eksenine doğrultusunda öteleme, x ve z eksenleri etrafında dönme hareketi yaptığı kabul edilmiştir.

Yapılan kabuller neticesinde pres titreşimi;

- Yay ve sönüm elemanlarının özelliklerine (katsayıları ve konumları)
- Sistemin özelliklerine (ağırlık ve büyüklük)
- Zorlayıcı kuvvetin özelliklerine (büyüklük ve etki noktası)

özelliklerine bağlıdır.

7.4.1. Zorlayıcı Kuvvetler

Presin çalışması ve darbe kuvvetleri zorlayıcı kuvvet olarak alınmıştır.

$$F_{darbe} = -40000N$$

$$F_{volan} = m_0 e \omega^2 \sin(\omega t)$$

$$n = 150 \text{ d/dk}$$

$$m_0 = 157,74 \text{ kg}$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi 150}{30} = 5\pi \text{ s}^{-1}$$

$$\omega = 2\pi f = 5\pi \Rightarrow f = 2,5 \text{ Hz}$$

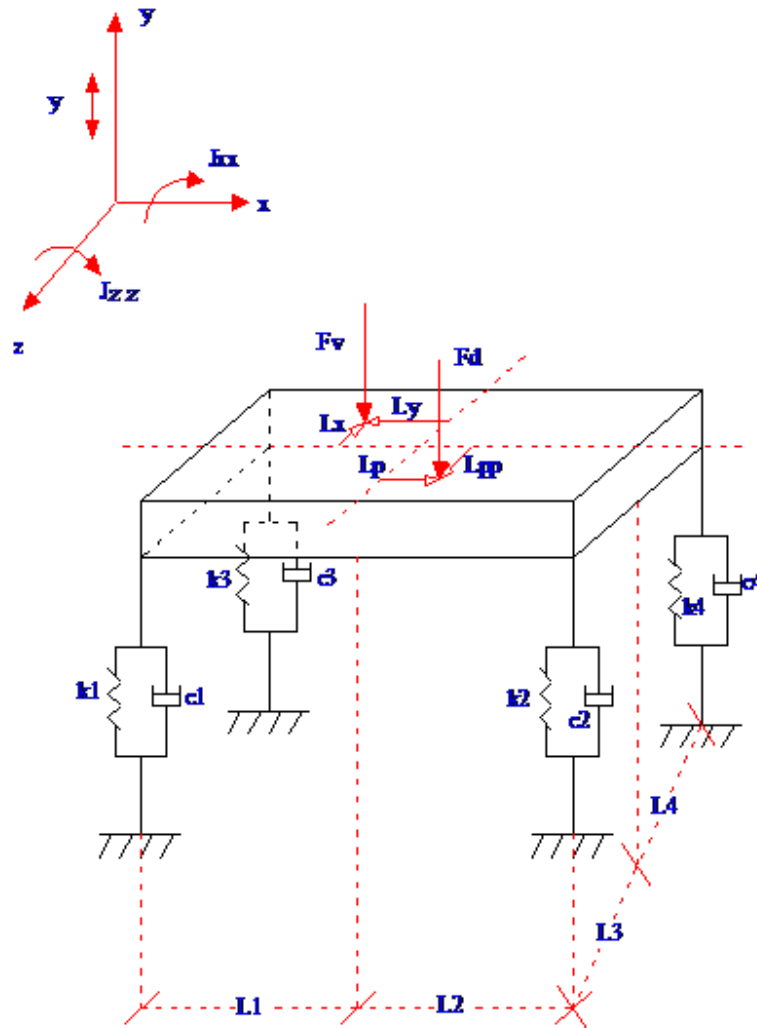
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ s}$$

8. VİSKOELASTİK MESNETLİ TİTREŞİM SİSTEMİ VE SİSTEMİN MATEMATİKSEL MODELİ

Mekanik sistemlerin bağlantı noktalarında viskoelastik malzemeler kullanılması tercih edilen titreşim izolasyonu yöntemlerindedir.

8.1. Sistemin Matematiksel Modeli

Viskoelastik bağlantı rijit yay ve sönüm elemanları kullanılarak Şekil 8.1' deki gibi yapılmıştır. Sistemde F_d ve F_v olarak adlandırılan iki farklı zorlayıcı kuvvet uygulanmıştır. F_d ani darbe kuvveti, F_v ise volanın çalışmasından kaynaklanan sinüsoidal bir kuvvet şeklinde modellenmiştir.



Şekil 8.1 Sistemin Fiziksel Modeli

Lagrange yöntemine göre;

Sistemdeki kinetik enerji:

$$E_K = \frac{1}{2} m \dot{y}^2 + \frac{1}{2} J_{xx} \dot{\theta}_{xx}^2 + \frac{1}{2} J_{zz} \dot{\theta}_{zz}^2 \quad (8.1)$$

Sistemdeki potansiyel enerji:

$$E_P = \frac{1}{2} k_1 [y - L_1 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}]^2 + \frac{1}{2} k_2 [y + L_2 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}]^2 \\ + \frac{1}{2} k_3 [y - L_1 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}]^2 + \frac{1}{2} k_4 [y + L_2 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}]^2 \quad (8.2)$$

Sistemdeki sönümleme enerjisi:

$$E_D = \frac{1}{2} c_1 [\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}]^2 + \frac{1}{2} c_2 [\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}]^2 \\ + \frac{1}{2} c_3 [\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}]^2 + \frac{1}{2} c_4 [\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}]^2 \quad (8.3)$$

Şeklinde yazılır.

Denklemlerin koordinatlara göre türevi alınarak;

Kinetik enerji denkleminden;

$$\frac{\partial E_k}{\partial y} = 0 \quad (8.4)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{zz}} = 0 \quad (8.5)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{xx}} = 0 \quad (8.6)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{y}} = m\dot{y} \quad (8.7)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_{zz}} = J_{zz}\ddot{\theta}_{zz} \quad (8.8)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_{xx}} = J_{xx}\ddot{\theta}_{xx} \quad (8.9)$$

2. dereceden türevler alınarak M matrisinin katsayıları belirlenir;

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{y}^2} = m \quad (8.10)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_{zz}^2} = J_{zz} \quad (8.11)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}_{xx}^2} = J_{xx} \quad (8.12)$$

İfadeleri elde edilir.

Potansiyel enerji denkleminde;

$$E_p = \frac{y^2}{2} [k_1 + k_2 + k_3 + k_4] + \frac{\theta_{zz}^2}{2} [-k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 - k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2] \\ + \frac{\theta_{xx}^2}{2} [-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2] \quad (8.13)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial y} = k_1(y - L_1\theta_{zz} - L_3\theta_{xx}) + k_2(y + L_2\theta_{zz} - L_3\theta_{xx}) \\ + k_3(y - L_1\theta_{zz} + L_4\theta_{xx}) + k_4(y + L_2\theta_{zz} + L_4\theta_{xx}) \quad (8.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_P}{\partial \theta_{zz}} &= -k_1 L_1 (y - L_1 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) + k_2 L_2 (y + L_2 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) \\ &\quad - k_3 L_1 (y - L_1 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) + k_4 L_2 (y + L_2 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) \end{aligned} \quad (8.15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_P}{\partial \theta_{xx}} &= -k_1 L_3 (y - L_1 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) - k_2 L_3 (y + L_2 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) \\ &\quad + k_3 L_4 (y - L_1 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) + k_4 L_4 (y + L_2 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) \end{aligned} \quad (8.16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_P}{\partial y} &= y(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \theta_{zz}(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2) \\ &\quad + \theta_{xx}(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4) \end{aligned} \quad (8.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_P}{\partial \theta_{zz}} &= y(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2) + \theta_{zz}(k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2) \\ &\quad + \theta_{xx}(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4) \end{aligned} \quad (8.18)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_P}{\partial \theta_{xx}} &= y(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4) + \theta_{zz}(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4) \\ &\quad + \partial \theta_{xx}(k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 + k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2) \end{aligned} \quad (8.19)$$

İfadeleri elde edilir.

Sönümlenme enerjisi denkleminde;

$$\begin{aligned} E_D &= \frac{\dot{y}^2}{2} [c_1 + c_2 + c_3 + c_4] + \frac{\dot{\theta}_{zz}^2}{2} [-c_1 L_1^2 + c_2 L_2^2 - c_3 L_1^2 + c_4 L_2^2] \\ &\quad + \frac{\dot{\theta}_{xx}^2}{2} [-c_1 L_3^2 + c_2 L_3^2 - c_3 L_4^2 + c_4 L_4^2] \end{aligned} \quad (8.20)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{y}} &= c_1 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) + c_2 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) \\ &\quad + c_3 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) + c_4 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) \end{aligned} \quad (8.21)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{\theta}_{zz}} &= -c_1 L_1 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) + c_2 L_2 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) \\ &- c_3 L_1 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) + c_4 L_2 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) \end{aligned} \quad (8.22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \dot{\theta}_{xx}} &= -c_1 L_3 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) - c_2 L_3 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) \\ &+ c_3 L_4 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) + c_4 L_4 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) \end{aligned} \quad (8.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial y} &= y(c_1 + c_2 + c_3 + c_4) + \theta_{zz} (-c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2) \\ &+ \theta_{xx} (-c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4) \end{aligned} \quad (8.24)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \theta_{zz}} &= y(-c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2) + \theta_{zz} (c_1 L_1^2 + c_2 L_2^2 + c_3 L_1^2 + c_4 L_2^2) \\ &+ \theta_{xx} (c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4) \end{aligned} \quad (8.25)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_D}{\partial \theta_{xx}} &= y(-c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4) + \theta_{zz} (c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4) \\ &+ \partial \theta_{xx} (c_1 L_3^2 + c_2 L_3^2 + c_3 L_4^2 + c_4 L_4^2) \end{aligned} \quad (8.26)$$

İfadeleri elde edilir.

Katsayılar yerlerine yazılarak matris oluşturulur.

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & J_{xx} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\theta}_{zz} \\ \ddot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_3 + c_4 & -c_1L_1 + c_2L_2 - c_3L_1 + c_4L_2 & -c_1L_3 - c_2L_3 + c_3L_4 + c_4L_4 \\ -c_1L_1 + c_2L_2 - c_3L_1 + c_4L_2 & c_1L_1^2 + c_2L_2^2 + c_3L_1^2 + c_4L_2^2 & c_1L_1L_3 - c_2L_2L_3 - c_3L_1L_4 + c_4L_2L_4 \\ -c_1L_3 - c_2L_3 + c_3L_4 + c_4L_4 & c_1L_1L_3 - c_2L_2L_3 - c_3L_1L_4 + c_4L_2L_4 & -c_1L_3^2 + c_2L_3^2 - c_3L_4^2 + c_4L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta}_{zz} \\ \dot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 & -k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2 & -k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4 \\ -k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2 & k_1L_1^2 + k_2L_2^2 + k_3L_1^2 + k_4L_2^2 & k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4 \\ -k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4 & k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4 & -k_1L_3^2 + k_2L_3^2 - k_3L_4^2 + k_4L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta_{zz} \\ \theta_{xx} \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -L_{pres} & -Lx \\ LL_{pres} & Ly \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{darbe} \\ F_{volan} \end{Bmatrix} \quad (8.27)$$

$$\begin{aligned} & m\ddot{y} + (c_1 + c_2 + c_3 + c_4)\dot{y} + (-c_1L_1 + c_2L_2 - c_3L_1 + c_4L_2)\dot{\theta}_{zz} + (-c_1L_3 - c_2L_3 + c_3L_4 + c_4L_4)\dot{\theta}_{xx} \\ & + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)y + (-k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2)\theta_{zz} + (-k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4)\theta_{xx} \\ & = F_{darbe} + F_{volan} \end{aligned} \quad (8.28)$$

$$\begin{aligned} & J_{zz}\ddot{\theta}_{zz} + (-c_1L_1 + c_2L_2 - c_3L_1 + c_4L_2)\dot{y} + (c_1L_1^2 + c_2L_2^2 + c_3L_1^2 + c_4L_2^2)\dot{\theta}_{zz} + (c_1L_1L_3 - c_2L_2L_3 - c_3L_1L_4 + c_4L_2L_4)\dot{\theta}_{xx} \\ & + (-k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2)y + (k_1L_1^2 + k_2L_2^2 + k_3L_1^2 + k_4L_2^2)\theta_{zz} + (k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4)\theta_{xx} \\ & = -L_{pres}F_{darbe} - LxF_{volan} \end{aligned} \quad (8.29)$$

$$\begin{aligned} & J_{xx}\ddot{\theta}_{xx} + (-c_1L_3 - c_2L_3 + c_3L_4 + c_4L_4)\dot{y} + (c_1L_1L_3 - c_2L_2L_3 - c_3L_1L_4 + c_4L_2L_4)\dot{\theta}_{zz} + (-c_1L_3^2 + c_2L_3^2 - c_3L_4^2 + c_4L_4^2)\dot{\theta}_{xx} \\ & + (-k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4)y + (k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4)\theta_{zz} + (-k_1L_3^2 + k_2L_3^2 - k_3L_4^2 + k_4L_4^2)\theta_{xx} \\ & = LL_{pres}F_{darbe} + LyF_{volan} \end{aligned} \quad (8.30)$$

Durum Uzayı Analizi

$$\ddot{y} = -\frac{1}{m} \left[(c_1 + c_2 + c_3 + c_4)\dot{y} + (-c_1L_1 + c_2L_2 - c_3L_1 + c_4L_2)\dot{\theta}_{zz} + (-c_1L_3 - c_2L_3 + c_3L_4 + c_4L_4)\dot{\theta}_{xx} \right] + \frac{F_{darbe} + F_{volan}}{m} \quad (8.31)$$

$$\ddot{\theta}_{zz} = -\frac{1}{J_{zz}} \left[(-c_1L_1 + c_2L_2 - c_3L_1 + c_4L_2)\dot{y} + (c_1L_1^2 + c_2L_2^2 + c_3L_1^2 + c_4L_2^2)\dot{\theta}_{zz} + (c_1L_1L_3 - c_2L_2L_3 - c_3L_1L_4 + c_4L_2L_4)\dot{\theta}_{xx} \right] + \frac{-L_{pres}F_{darbe} - LxF_{volan}}{J_{zz}} \quad (8.32)$$

$$\ddot{\theta}_{xx} = -\frac{1}{J_{xx}} \left[(-c_1L_3 - c_2L_3 + c_3L_4 + c_4L_4)\dot{y} + (c_1L_1L_3 - c_2L_2L_3 - c_3L_1L_4 + c_4L_2L_4)\dot{\theta}_{zz} + (-c_1L_3^2 + c_2L_3^2 - c_3L_4^2 + c_4L_4^2)\dot{\theta}_{xx} \right] + \frac{LL_{pres}F_{darbe} + LyF_{volan}}{J_{xx}} \quad (8.33)$$

$$\dot{y} = y_2$$

$$\dot{\theta}_{zz} = \theta_3$$

kabulleri yapılarak denklemler (8.40), (8.41) ve (8.42) 'deki gibi yazılır.

$$\begin{aligned} \dot{y}_2 = & -\frac{1}{m} \left[(c_1 + c_2 + c_3 + c_4) \dot{y} + (-c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2) \dot{\theta}_{zz} + (-c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4) \dot{\theta}_{xx} \right] \\ & + \left(\frac{F_{darbe} + F_{volan}}{m} \right) \end{aligned} \quad (8.34)$$

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_3 = & -\frac{1}{J_{zz}} \left[(-c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2) \dot{y} + (c_1 L_1^2 + c_2 L_2^2 + c_3 L_1^2 + c_4 L_2^2) \dot{\theta}_{zz} + (c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4) \dot{\theta}_{xx} \right] \\ & + \left(\frac{-L_{pres} F_{darbe} - Lx F_{volan}}{J_{zz}} \right) \end{aligned} \quad (8.35)$$

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_4 = & -\frac{1}{J_{xx}} \left[(-c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4) \dot{y} + (c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4) \dot{\theta}_{zz} + (-c_1 L_3^2 + c_2 L_3^2 - c_3 L_4^2 + c_4 L_4^2) \dot{\theta}_{xx} \right] \\ & + \left(\frac{LL_{pres} F_{darbe} + Ly F_{volan}}{J_{xx}} \right) \end{aligned} \quad (8.36)$$

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & J_{xx} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\theta}_{zz} \\ \ddot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_3 + c_4 & -c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2 & -c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4 \\ -c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2 & c_1 L_1^2 + c_2 L_2^2 + c_3 L_1^2 + c_4 L_2^2 & c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4 \\ -c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4 & c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4 & -c_1 L_3^2 + c_2 L_3^2 - c_3 L_4^2 + c_4 L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta}_{zz} \\ \dot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 & -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 \\ -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 \\ -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 & -k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta_{zz} \\ \theta_{xx} \end{Bmatrix} \\
& = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -L_{pres} & -Lx \\ LL_{pres} & Ly \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{darbe} \\ F_{volan} \end{Bmatrix} \tag{8.37}
\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta}_{zz} \\ \dot{\theta}_{xx} \\ \dot{y}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{-(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)}{m} & \frac{-(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)}{m} & \frac{-(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)}{m} \\ \frac{-(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)}{J_{zz}} & \frac{-(k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2)}{J_{zz}} & \frac{-(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)}{J_{zz}} \\ \frac{-(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)}{J_{xx}} & \frac{-(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)}{J_{xx}} & \frac{-(-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2)}{J_{xx}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ \frac{-(c_1 + c_2 + c_3 + c_4)}{m} & \frac{-(-c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2)}{m} & \frac{-(-c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4)}{m} \\ \frac{-(-c_1 L_1 + c_2 L_2 - c_3 L_1 + c_4 L_2)}{J_{zz}} & \frac{-(c_1 L_1^2 + c_2 L_2^2 + c_3 L_1^2 + c_4 L_2^2)}{J_{zz}} & \frac{-(c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4)}{J_{zz}} \\ \frac{-(-c_1 L_3 - c_2 L_3 + c_3 L_4 + c_4 L_4)}{J_{xx}} & \frac{-(c_1 L_1 L_3 - c_2 L_2 L_3 - c_3 L_1 L_4 + c_4 L_2 L_4)}{J_{xx}} & \frac{-(-c_1 L_3^2 + c_2 L_3^2 - c_3 L_4^2 + c_4 L_4^2)}{J_{xx}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta_{zz} \\ \theta_{xx} \\ y_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{-L_{pres}}{J_{zz}} & \frac{-Lx}{J_{zz}} \\ \frac{LL_{pres}}{J_{xx}} & \frac{Ly}{J_{xx}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{darbe} \\ F_{volan} \end{bmatrix}$$

(8.38)

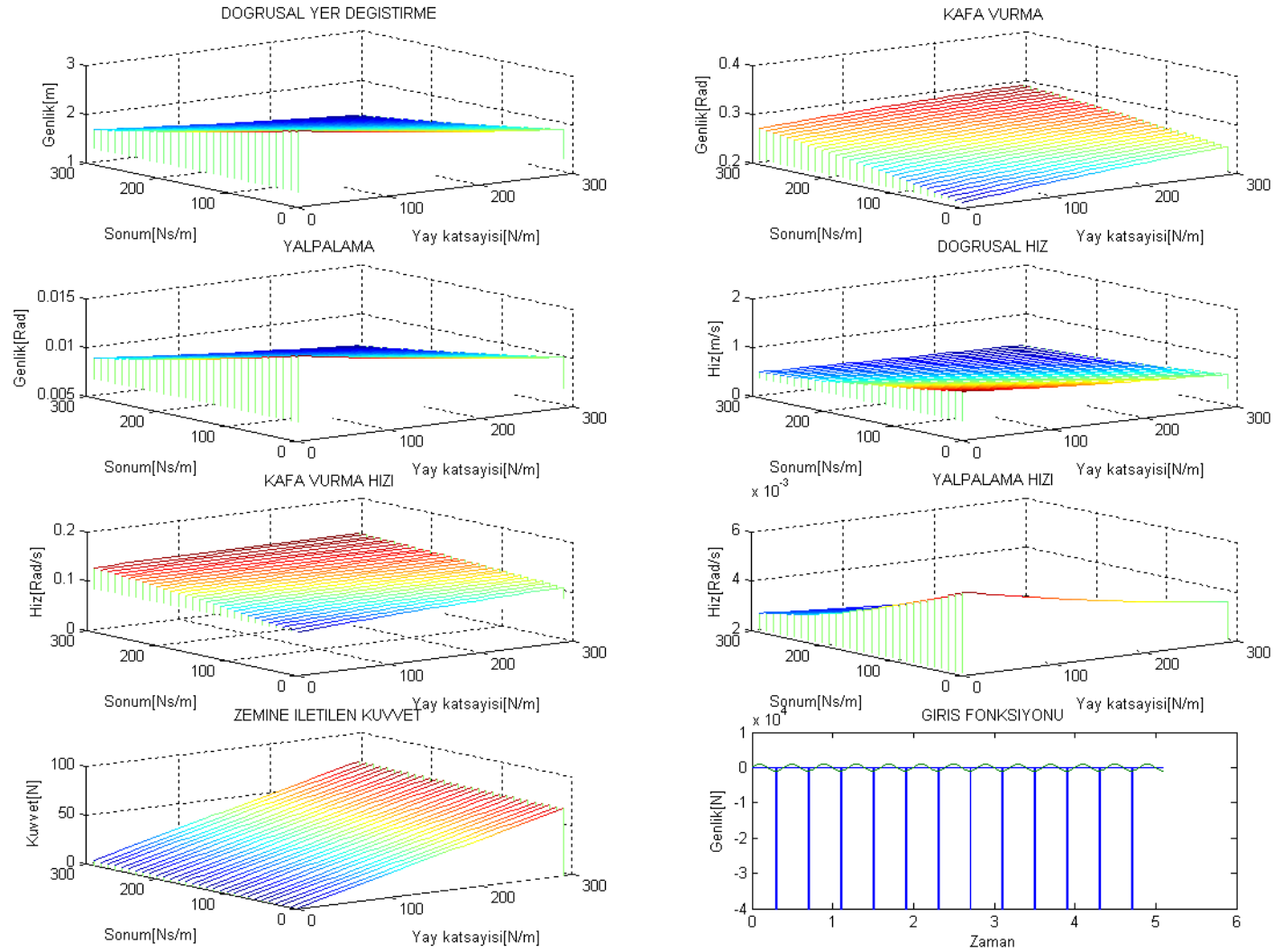
8.2. Frekans Analizi ve Optimizasyon

Prese uygulanan toplam kuvvetin %80 izole edilerek zemine iletilmesine izin verebiliriz (TSE2782). Bizim örneğimiz için izin verilebilecek maksimum kuvvet $F = 8194,40666$ N olarak bulunmuştur. Şekil 8.2 'deki grafikten yola çıkarak zemine iletilen kuvvete sönüm katsayısının (c) ve yay katsayısının (k) etkisinin oranlarını bulabiliriz.

Çizelge 8.1 Değişen sönüm ve yay katsayısı değerlerine karşılık zemine iletilen kuvvetin oranları

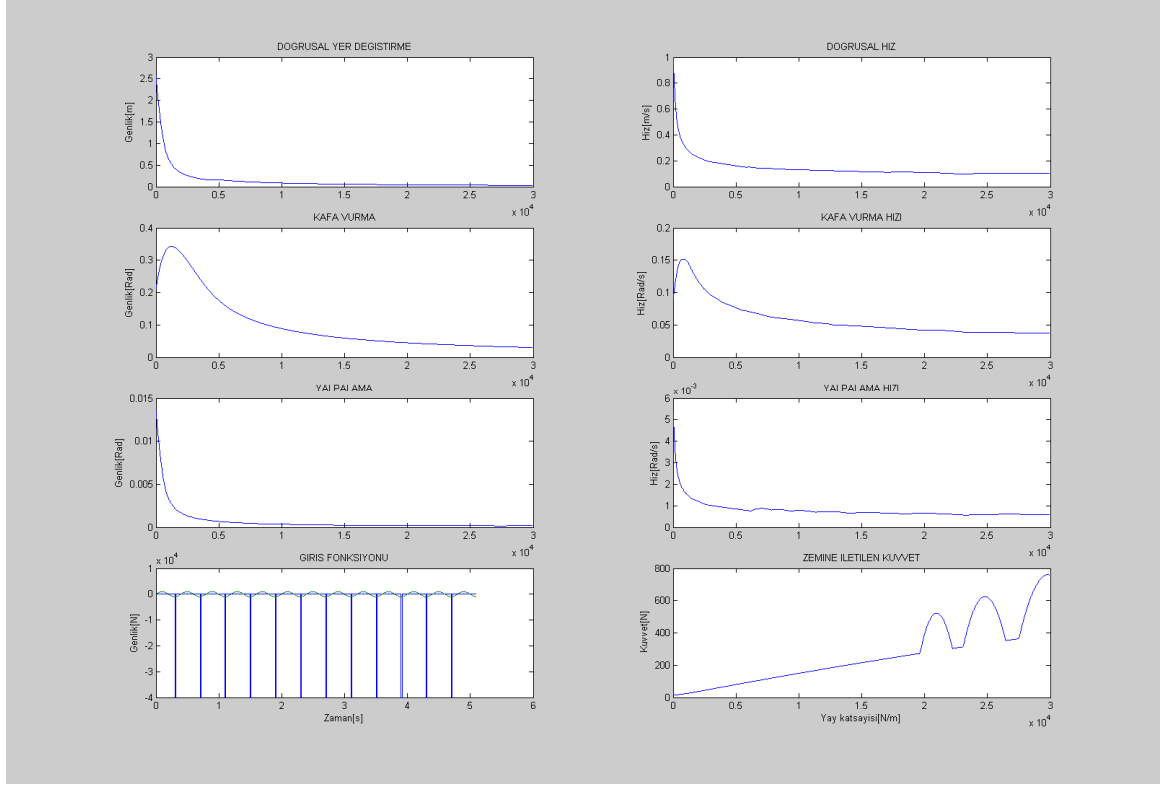
c (Şekil8.2) (k=1)	$F_{\max1}$	k (Şekil8.2) (c=1)	$F_{\max2}$	$\frac{F_{\max1}}{F_{\max2}}$
91	21.7	91	1.629	13.321
191	45.206	191	3.15	14.351
241	56.833	241	3.916	14.51
291	68.377	291	4.678	14.6167

Sönüm katsayısı (c) ve yay katsayısı (k) olarak aynı değerler kullanılarak her birinin tek başına zemine iletilen kuvvete etkisi; sönüm katsayısından (c) kaynaklanan zemine iletilecek maksimum kuvvet $F = 7654,94605$ N, yay katsayısından (k) kaynaklanan zemine iletilecek maksimum kuvvet $F = 539,4606$ N olarak bulunmuştur.



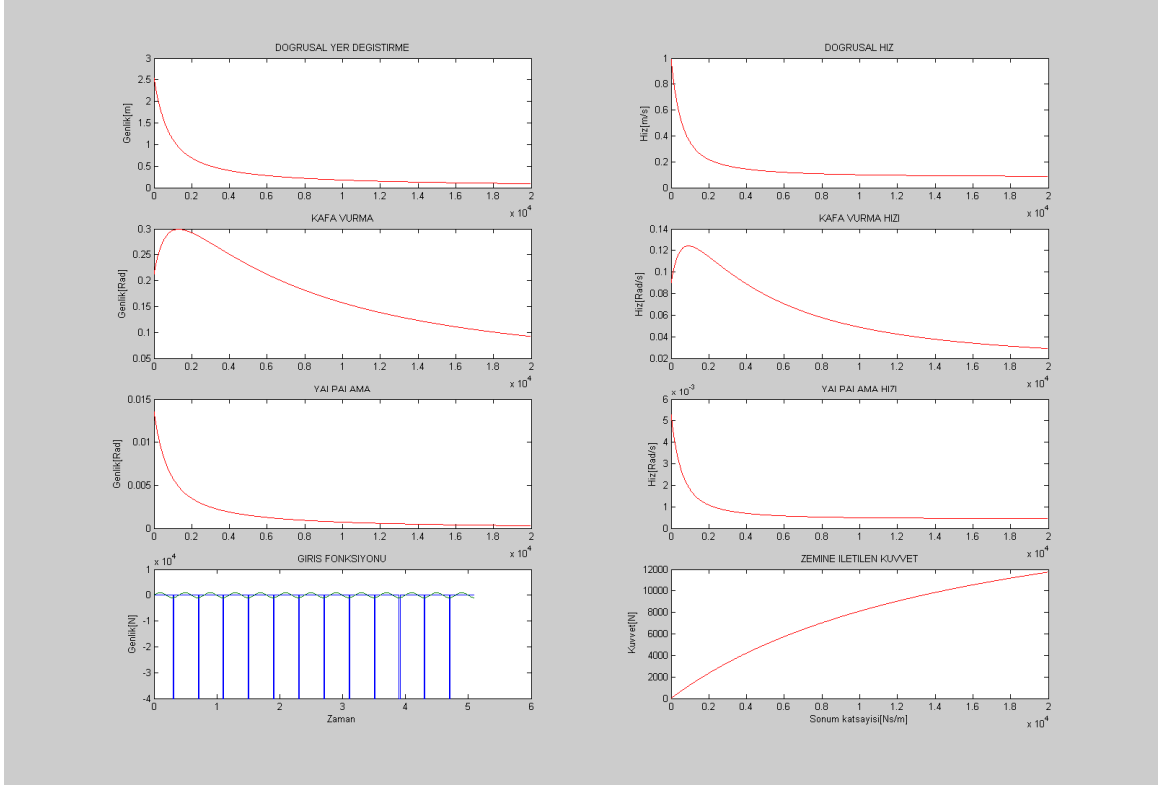
Şekil 8.2 c ve k değerlerinin aynı anda değişimlerini gösteren grafik

8.2. Frekans Analizi



Şekil 8.3 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları ($c=10$ Ns/m)

Sönüm katsayısının (c) etkisi minimuma indirilip yay katsayıları (k) değiştirildi ve $F=539,4606$ N'u sağlayan yay katsayısı (k) değeri $k=28081$ N/m olarak bulundu. Bulunan yay katsayısı ($k=28081$ N/m) kullanılarak sönüm katsayılarının değiştirildi ve zemine iletilebilecek maksimum kuvvet $F = 8194,40666$ N'a karşılık gelecek sönüm katsayısı (c) değeri $c=3441$ Ns/m olarak bulundu.



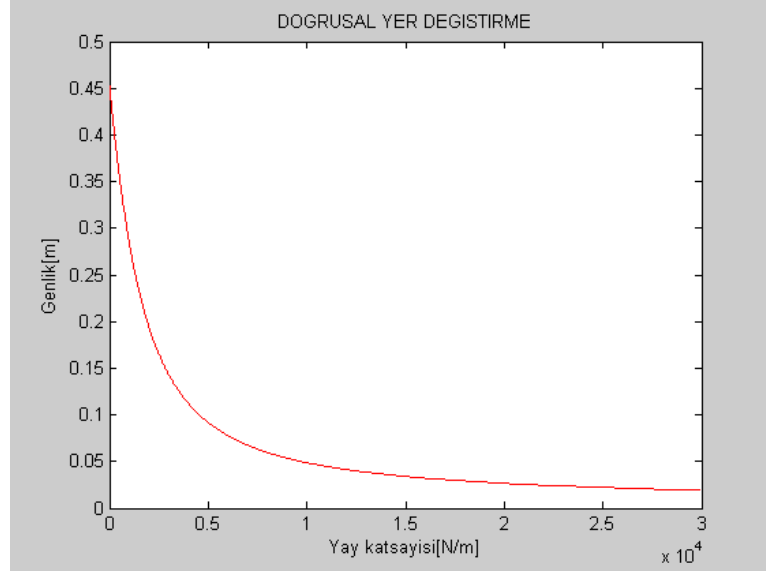
Şekil 8.4 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları (k=10 Ns/m)

Aynı işlem yay katsayısının (k) etkisi minimuma indirilip sönüm katsayıları (c) değiştirilerek $F=7654,94605\text{N}$ 'u sağlayan sönüm katsayısı değeri $c=9121\text{Ns/m}$ olarak bulundu. Bulunan sönüm katsayısı (c) kullanılarak yay katsayıları değiştirildi ve zemine iletilebilecek maksimum kuvvet $F = 8194,40666\text{ N}$ 'a karşılık gelecek yay katsayısı (k) değeri $k=2741\text{ N/m}$ olarak bulundu.

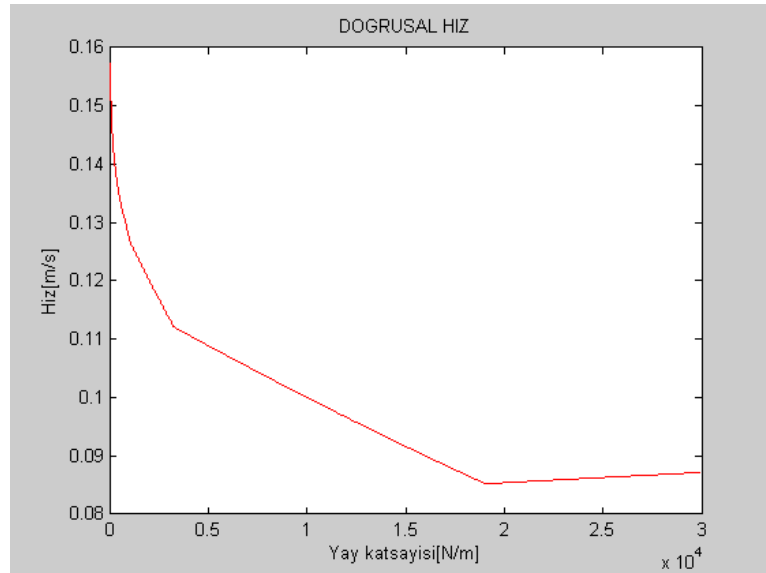
İki Şekilde bulunan değerler kullanılarak yapılan frekans analizinde yay katsayısı için $k=28081\text{ N/m}$ ve sönüm katsayısı için $c=3441\text{ Ns/m}$ değerlerinin en iyi sonuç olduğu görüldü.

8.3. Analiz Sonuçları

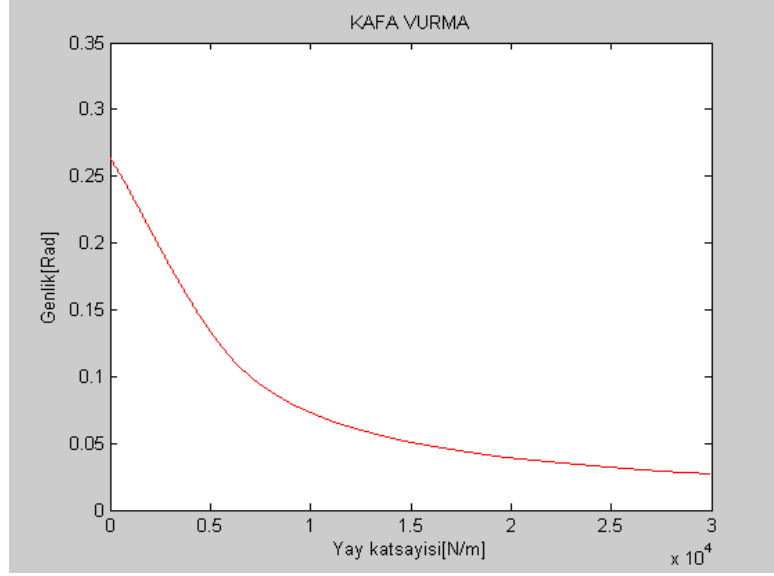
Zemine iletilen kuvvetin sınırlandırılması esasıyla bulunan sönüm katsayısı (c) değeri kullanılarak değişen yay katsayısı (k) değerleri için durum-uzay analizi yapılmış aşağıdaki grafikler bu çalışma neticesinde bulunmuştur.



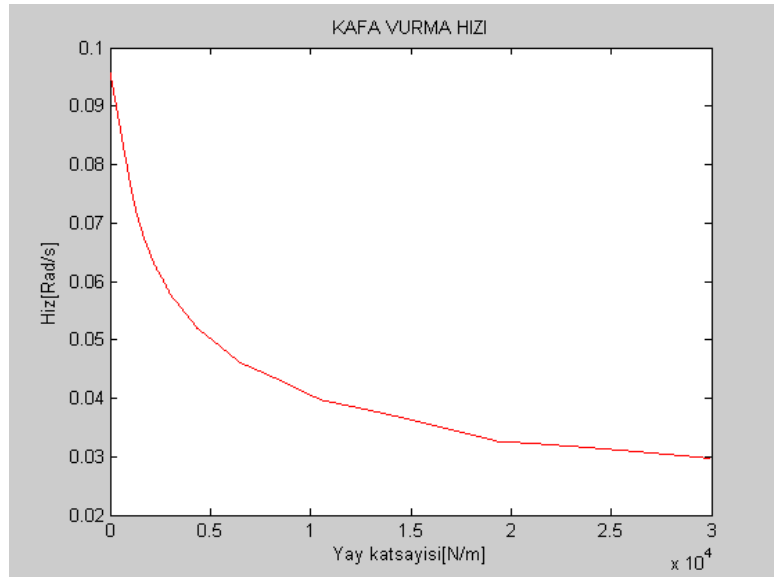
Şekil 8.5 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme (y doğrultusunda) cevapları ($c=3441$ Ns/m)



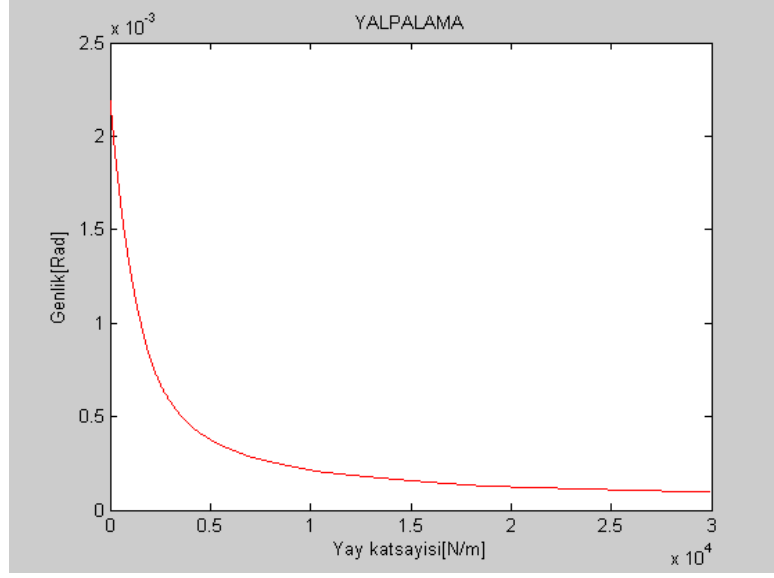
Şekil 8.6 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme hızı (y doğrultusunda) cevapları ($c=3441$ Ns/m)



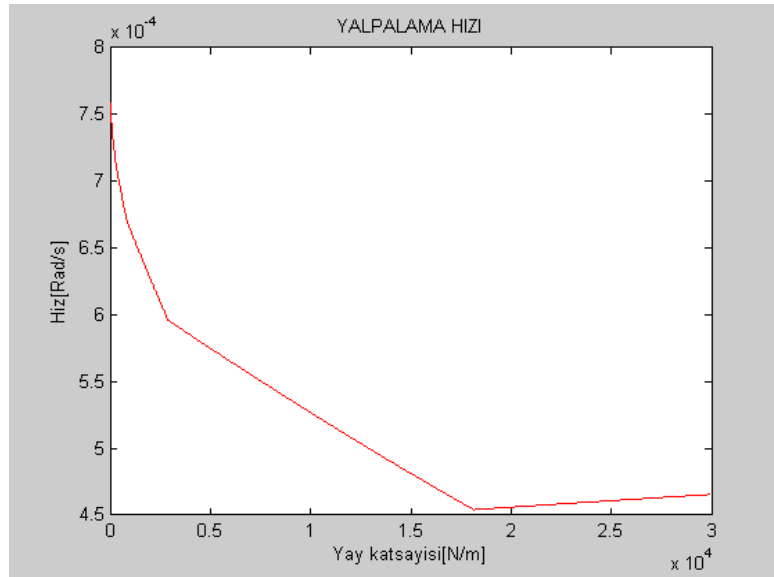
Şekil 8.7 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi (z etrafında) cevapları (c=3441 Ns/m)



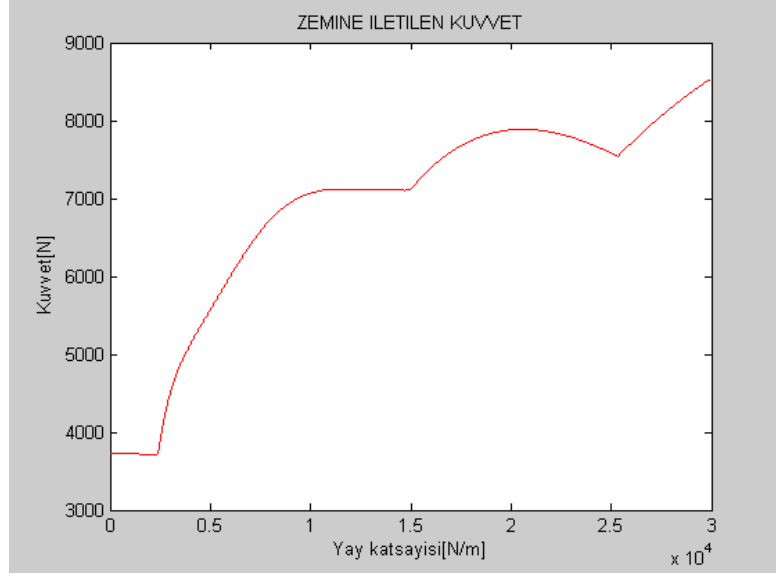
Şekil 8.8 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi hızı (z etrafında) cevapları (c=3441 Ns/m)



Şekil 8.9 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi (x etrafında) cevapları (c=3441 Ns/m)

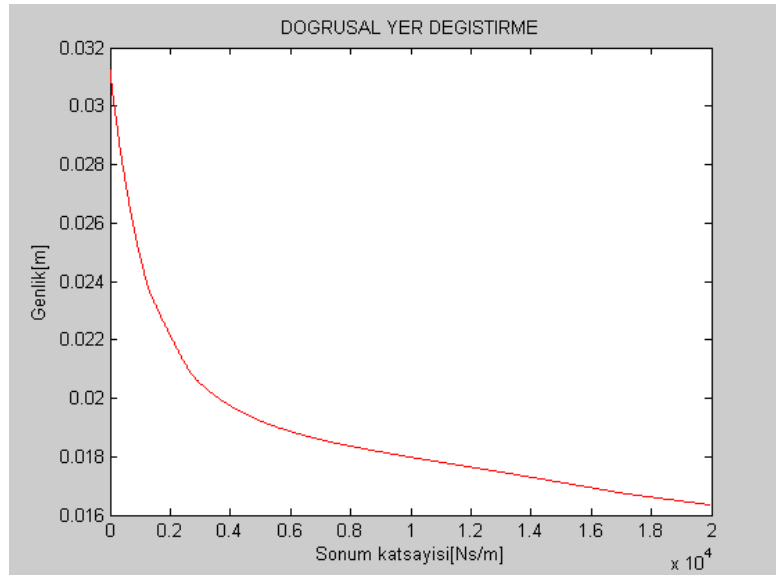


Şekil 8.10 Değişen yay katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi hızı (x etrafında) cevapları (c=3441 Ns/m)

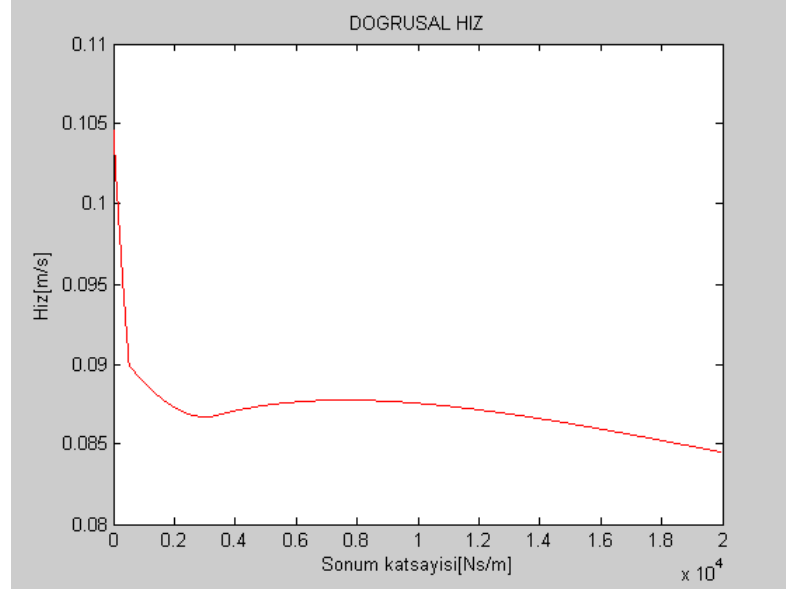


Şekil 8.11 Değişen yay katsayısı değerleri için zemine iletilen maksimum kuvvet cevapları (c=3441 Ns/m)

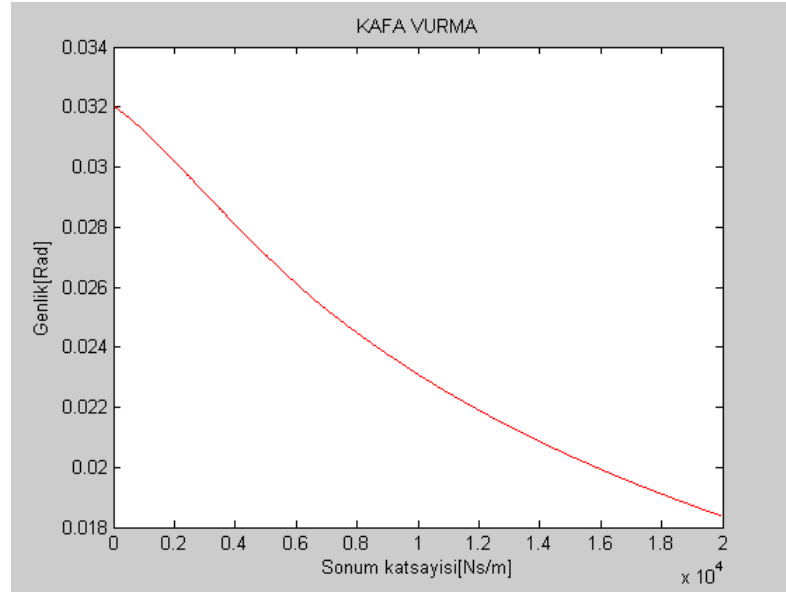
Yine aynı şekilde zemine iletilen kuvvetin sınırlandırılması esasıyla bulunan yay katsayısı (k) değeri kullanılarak değişen sönüm katsayısı (c) değerleri için durum-uzay analizi yapılmış aşağıdaki grafikler bu çalışma neticesinde bulunmuştur.



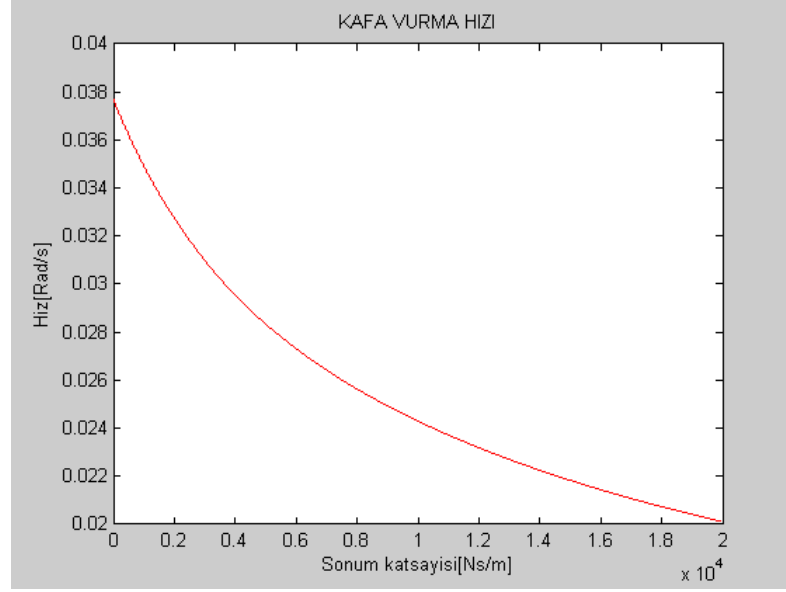
Şekil 8.12 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme (y doğrultusunda) cevapları (k=28081 N/m)



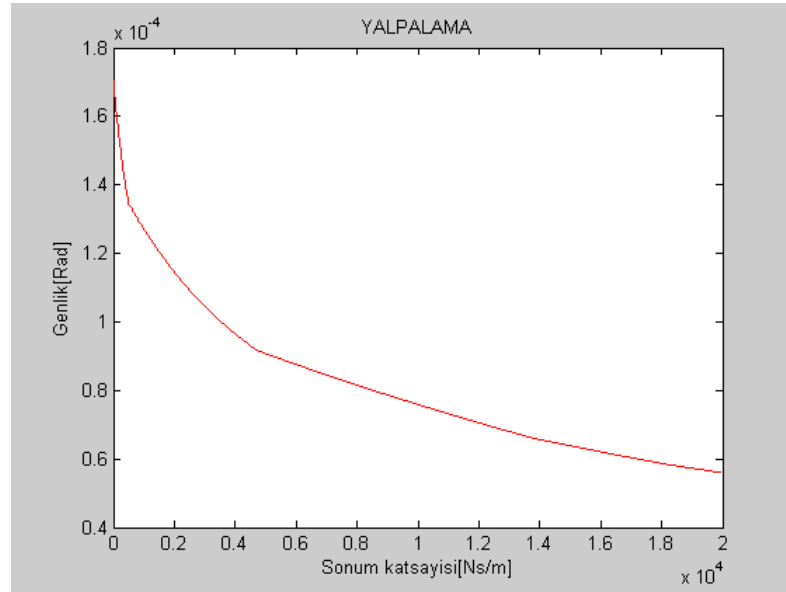
Şekil 8.13 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum doğrusal yer değiştirme hızı (y doğrultusunda) cevapları (k=28081 N/m)



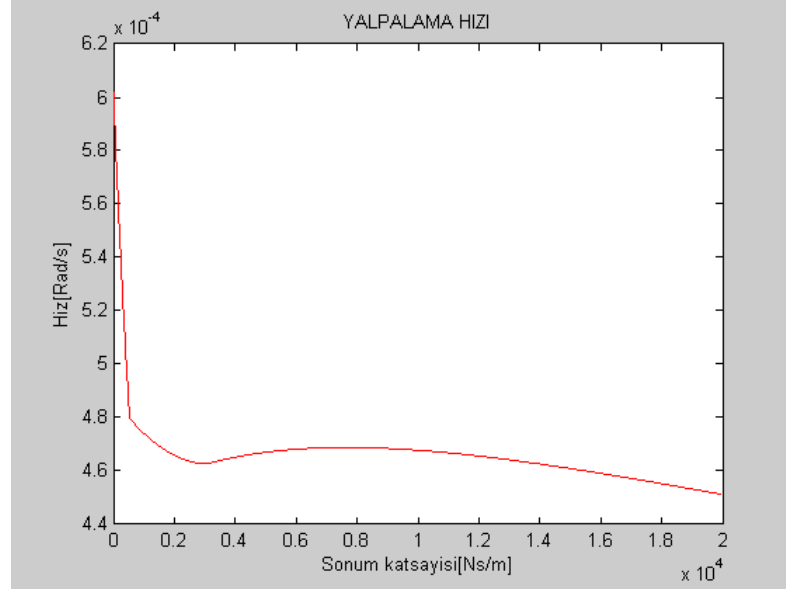
Şekil 8.14 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi (z etrafında) cevapları (k=28081 N/m)



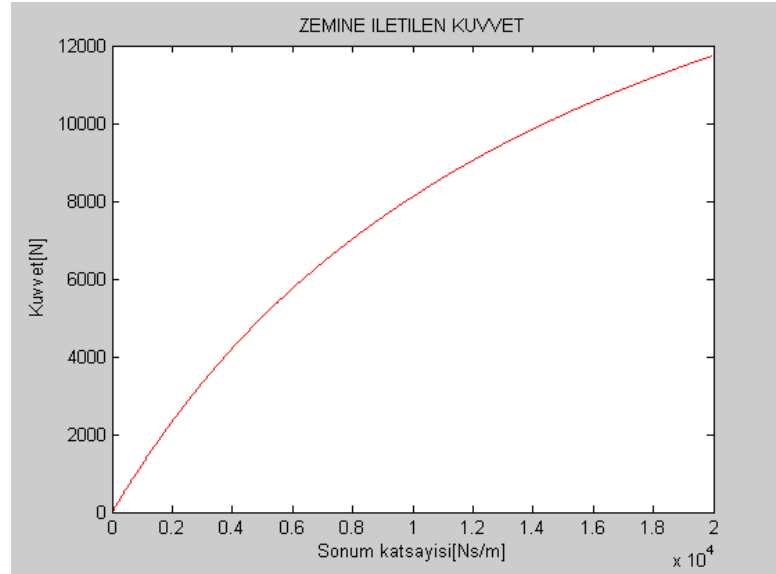
Şekil 8.15 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum kafa vurma hareketi hızı (z etrafında) cevapları (k=28081 N/m)



Şekil 8.16 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi (x etrafında) cevapları (k=28081 N/m)

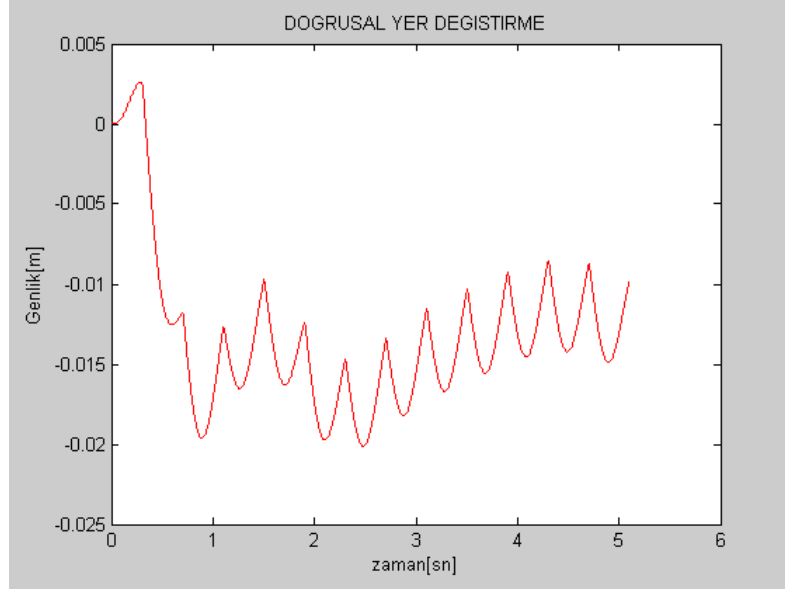


Şekil 8.17 Değişen sönüm katsayısı değerleri için maksimum yalpalama hareketi hızı (x etrafında) cevapları (k=28081 N/m)

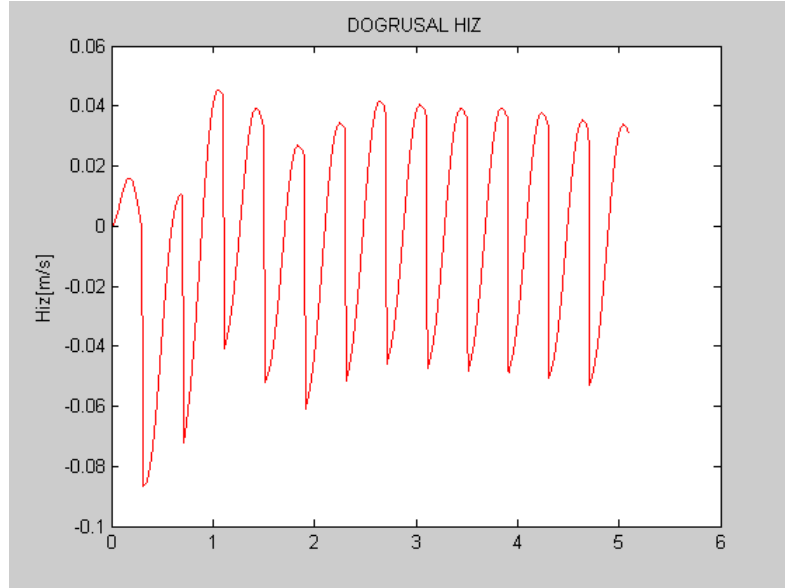


Şekil 8.18 Değişen sönüm katsayısı değerleri için zemine iletilen maksimum kuvvet cevapları (k=28081 N/m)

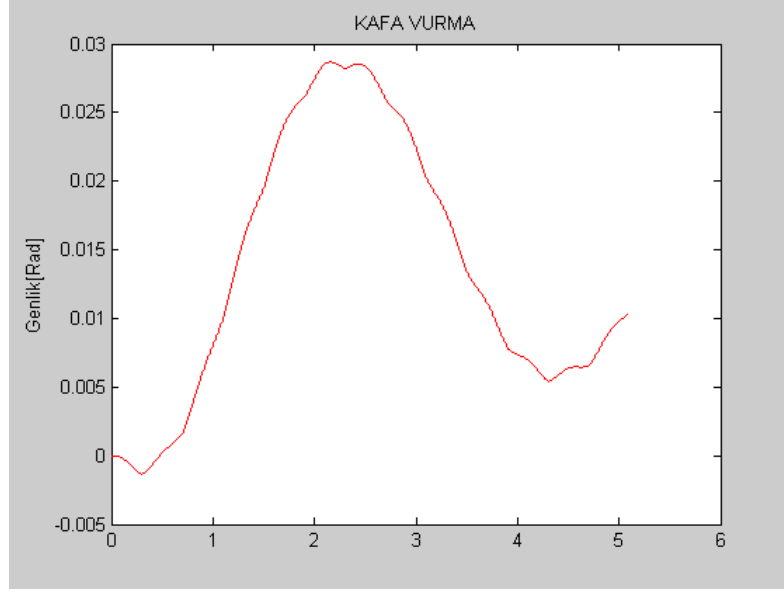
Elde edilen optimum yay katsayısı (k) ve sönüm katsayısı (c) değerleri kullanılarak durum-uzay analizi yapılmış aşağıdaki grafiklere ulaşılmıştır.



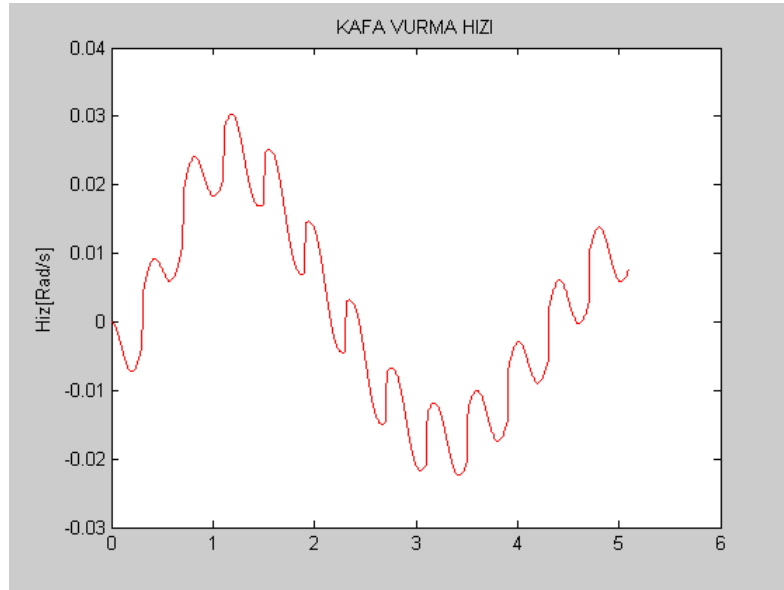
Şekil 8.19 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=28081\text{N/m}$ ve $c=3441\text{Ns/m}$)



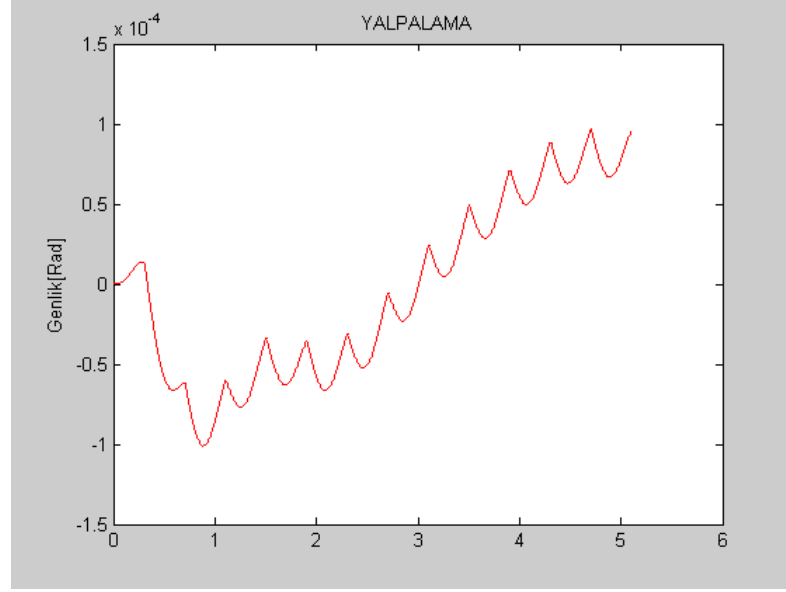
Şekil 8.20 Doğrusal yer değiştirme hızı
(y doğrultusunda) ($k=28081\text{N/m}$ ve $c=3441\text{Ns/m}$)



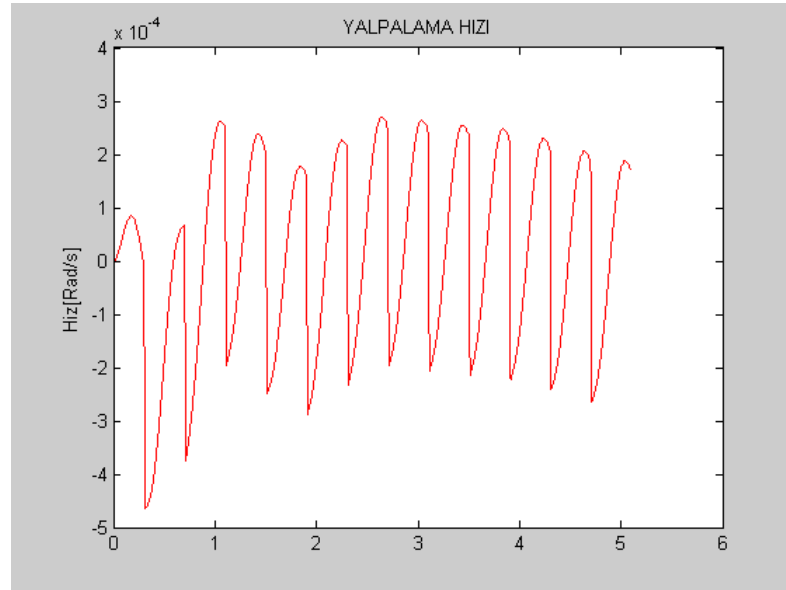
Şekil 8.21 Kafa vurma hareketi
(z etrafında) ($k=28081\text{N/m}$ ve $c=3441\text{Ns/m}$)



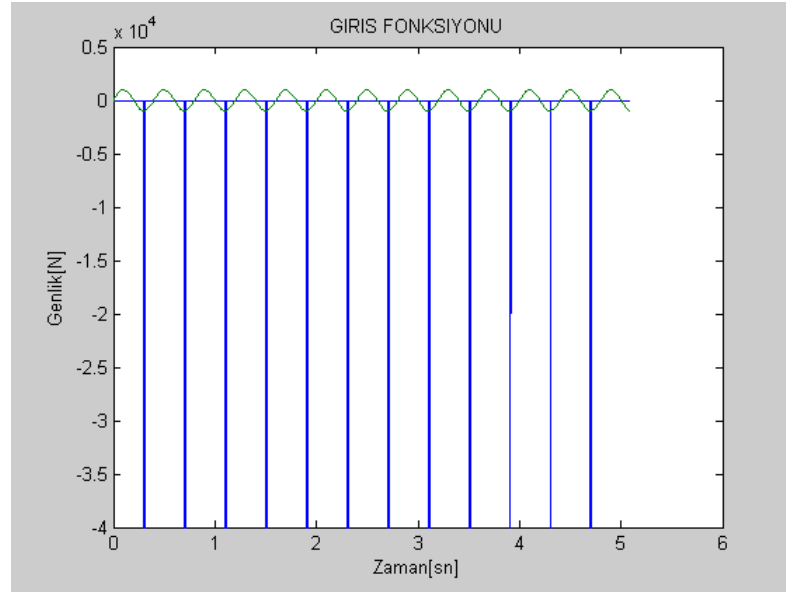
Şekil 8.22 Kafa vurma hareketi hızı
(z etrafında) ($k=28081\text{N/m}$ ve $c=3441\text{Ns/m}$)



Şekil 8.23 Yalpalama hareketi
(x etrafında) ($k=28081\text{N/m}$ ve $c=3441\text{Ns/m}$)



Şekil 8.24 Yalpalama hareketi hızı
(x etrafında) ($k=28081\text{N/m}$ ve $c=3441\text{Ns/m}$)



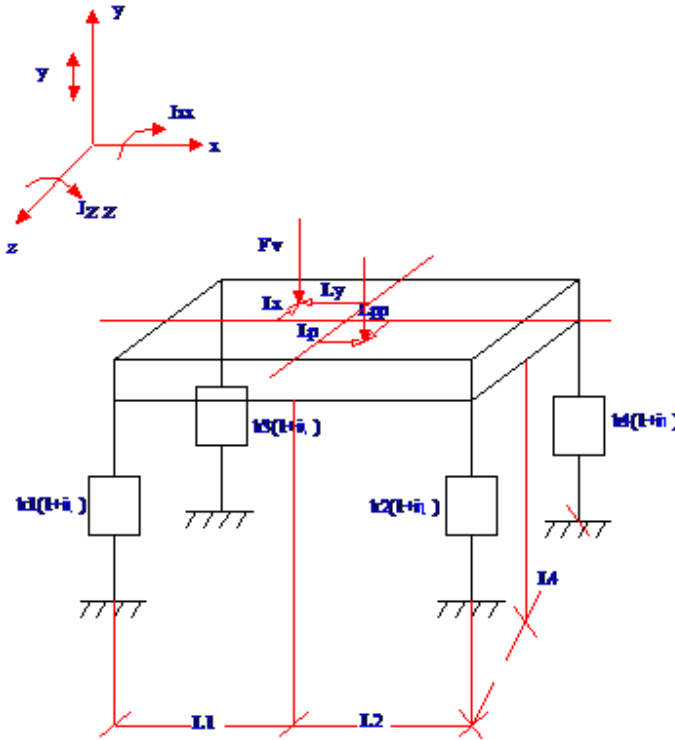
Şekil 8.25 Giriş Fonksiyonu

9. HİSTERETİK SÖNÜMLEME SİSTEMİ VE MATEMATİKSEL MODELİ

Histeretik sönümlenme sistemi özellikle pres, şahmerdan vb. ani darbe etkisi altında çalışan sistemlerde tercih edilen bir pasif zıolasyon şeklidir.

9.1. Sistemin Matematiksel Modeli

Histeretik sönümlenme sistemi kauçuk takozlar kullanılarak Şekil 9.1' deki gibi yapılmıştır. Sistemde F_d ve F_v olarak adlandırılan iki farklı zorlayıcı kuvvet uygulanmıştır. F_d ani darbe kuvveti, F_v ise volanın çalışmasından kaynaklanan sinüsoidal bir kuvvet şeklinde modellenmiştir.



Şekil 9.1 Histeretik Sönümlenme Sistemli Pres Fiziksel Modeli

$$k' = k(1+i\eta) \quad (9.1)$$

$$k' = k + ik\eta \quad (9.2)$$

$$c = \eta k \quad (9.3)$$

Lagrange yöntemine göre;

Sistemdeki kinetik enerji:

$$E_K = \frac{1}{2}m\dot{y}^2 + \frac{1}{2}J_{xx}\dot{\theta}_{xx}^2 + \frac{1}{2}J_{zz}\dot{\theta}_{zz}^2 \quad (9.4)$$

Sistemdeki potansiyel enerji:

$$E_P = \frac{1}{2}k_1[y - L_1\theta_{zz} - L_3\theta_{xx}]^2 + \frac{1}{2}k_2[y + L_2\theta_{zz} - L_3\theta_{xx}]^2 \\ + \frac{1}{2}k_3[y - L_1\theta_{zz} + L_4\theta_{xx}]^2 + \frac{1}{2}k_4[y + L_2\theta_{zz} + L_4\theta_{xx}]^2 \quad (9.5)$$

Sistemdeki sönümleme enerjisi:

$$E_D = \frac{1}{2}\eta k_1[\dot{y} - L_1\dot{\theta}_{zz} - L_3\dot{\theta}_{xx}]^2 + \frac{1}{2}\eta k_2[\dot{y} + L_2\dot{\theta}_{zz} - L_3\dot{\theta}_{xx}]^2 \\ + \frac{1}{2}\eta k_3[\dot{y} - L_1\dot{\theta}_{zz} + L_4\dot{\theta}_{xx}]^2 + \frac{1}{2}\eta k_4[\dot{y} + L_2\dot{\theta}_{zz} + L_4\dot{\theta}_{xx}]^2 \quad (9.6)$$

Şeklinde yazılır.

Denklemlerin koordinatlara göre türevi alınarak;

Kinetik enerji denkleminde;

$$\frac{\partial E_k}{\partial y} = 0 \quad (9.7)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{zz}} = 0 \quad (9.8)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{xx}} = 0 \quad (9.9)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{y}} = m\dot{y} \quad (9.10)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{zz}} = J_{zz} \ddot{\theta}_{zz} \quad (9.11)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{xx}} = J_{xx} \ddot{\theta}_{xx} \quad (9.12)$$

2. dereceden türevler alınarak M matrisinin katsayıları belirlenir;

$$\frac{\partial E_k}{\partial \dot{y}^2} = m \quad (9.13)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{zz}^2} = J_{zz} \quad (9.14)$$

$$\frac{\partial E_k}{\partial \theta_{xx}^2} = J_{xx} \quad (9.15)$$

İfadeleri elde edilir.

Potansiyel enerji denkleminde;

$$E_P = \frac{y^2}{2} [k_1 + k_2 + k_3 + k_4] + \frac{\theta_{zz}^2}{2} [-k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 - k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2] \\ + \frac{\theta_{xx}^2}{2} [-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2] \quad (9.16)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial y} = k_1 (y - L_1 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) + k_2 (y + L_2 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) \\ + k_3 (y - L_1 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) + k_4 (y + L_2 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) \quad (9.17)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial \theta_{zz}} = -k_1 L_1 (y - L_1 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) + k_2 L_2 (y + L_2 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) \\ - k_3 L_1 (y - L_1 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) + k_4 L_2 (y + L_2 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) \quad (9.18)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial \theta_{xx}} = -k_1 L_3 (y - L_1 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) - k_2 L_3 (y + L_2 \theta_{zz} - L_3 \theta_{xx}) \\ + k_3 L_4 (y - L_1 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) + k_4 L_4 (y + L_2 \theta_{zz} + L_4 \theta_{xx}) \quad (9.19)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial y} = y(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \theta_{zz} (-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2) \\ + \theta_{xx} (-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4) \quad (9.20)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial \theta_{zz}} = y(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2) + \theta_{zz} (k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2) \\ + \theta_{xx} (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4) \quad (9.21)$$

$$\frac{\partial E_P}{\partial \theta_{xx}} = y(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4) + \theta_{zz} (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4) \\ + \partial \theta_{xx} (k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 + k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2) \quad (9.22)$$

İfadeleri elde edilir.

Sönümlenme enerjisi denkleminde;

$$E_D = \frac{\dot{y}^2}{2} \eta [k_1 + k_2 + k_3 + k_4] + \frac{\dot{\theta}_{zz}^2}{2} \eta [-k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 - k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2] \\ + \frac{\dot{\theta}_{xx}^2}{2} \eta [-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2] \quad (9.23)$$

$$\frac{\partial E_D}{\partial \dot{y}} = \eta k_1 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) + \eta k_2 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) \\ + \eta k_3 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) + \eta k_4 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) \quad (9.24)$$

$$\frac{\partial E_D}{\partial \dot{\theta}_{zz}} = -\eta k_1 L_1 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) + \eta k_2 L_2 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) \\ - \eta k_3 L_1 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) + \eta k_4 L_2 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) \quad (9.25)$$

$$\frac{\partial E_D}{\partial \dot{\theta}_{xx}} = -\eta k_1 L_3 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) - \eta k_2 L_3 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} - L_3 \dot{\theta}_{xx}) \\ + \eta k_3 L_4 (\dot{y} - L_1 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) + \eta k_4 L_4 (\dot{y} + L_2 \dot{\theta}_{zz} + L_4 \dot{\theta}_{xx}) \quad (9.26)$$

$$\frac{\partial E_D}{\partial y} = \eta \left[y(k_1 + k_2 + k_3 + k_4) + \theta_{zz} (-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2) \right] \\ + \theta_{xx} (-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4) \quad (9.27)$$

$$\frac{\partial E_D}{\partial \theta_{zz}} = \eta \left[y(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2) + \theta_{zz} (k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2) \right] \\ + \theta_{xx} (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4) \quad (9.28)$$

$$\frac{\partial E_D}{\partial \theta_{xx}} = \eta \left[y(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4) + \theta_{zz} (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4) \right] \\ + \partial \theta_{xx} (k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 + k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2) \quad (9.29)$$

İfadeleri elde edilir.

Katsayılar yerlerine yazılarak matris oluşturulur.

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & J_{xx} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\theta}_{zz} \\ \ddot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} + \eta \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 & -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 \\ -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 \\ -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 & -k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta}_{zz} \\ \dot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 & -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 \\ -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 \\ -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 & -k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta_{zz} \\ \theta_{xx} \end{Bmatrix} \\
& = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -L_{pres} & -Lx \\ LL_{pres} & Ly \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{darbe} \\ F_{volan} \end{Bmatrix} \tag{9.30}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& m\ddot{y} + \eta(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)\dot{y} + \eta(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)\dot{\theta}_{xx} \\
& + (k_1 + k_2 + k_3 + k_4)y + (-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)\theta_{zz} + (-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)\theta_{xx} \\
& = F_{darbe} + F_{volan} \tag{9.31}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& J_{zz}\ddot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)\dot{y} + \eta(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)\dot{\theta}_{xx} \\
& + (-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)y + (k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2)\theta_{zz} + (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)\theta_{xx} \\
& = -L_{pres} F_{darbe} - Lx F_{volan} \tag{9.32}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& J_{xx}\ddot{\theta}_{xx} + \eta(k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)\dot{y} + \eta(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2)\dot{\theta}_{xx} \\
& + (k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)y + (k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)\theta_{zz} + (-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2)\theta_{xx} \\
& = LL_{pres} F_{darbe} + Ly F_{volan} \tag{9.33}
\end{aligned}$$

Durum Uzayı Analizi

$$\ddot{y} = -\frac{1}{m} \left[\eta(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)\dot{y} + \eta(-k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4)\dot{\theta}_{xx} \right] + \frac{F_{darbe} + F_{volan}}{m} \quad (9.34)$$

$$\ddot{\theta}_{zz} = -\frac{1}{J_{zz}} \left[\eta(-k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2)\dot{y} + \eta(k_1L_1^2 + k_2L_2^2 + k_3L_1^2 + k_4L_2^2)\dot{\theta}_{zz} + \eta(k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4)\dot{\theta}_{xx} \right] + \frac{-L_{pres}F_{darbe} - LxF_{volan}}{J_{zz}} \quad (9.35)$$

$$\ddot{\theta}_{xx} = -\frac{1}{J_{xx}} \left[\eta(-k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4)\dot{y} + \eta(k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1L_3^2 + k_2L_3^2 - k_3L_4^2 + k_4L_4^2)\dot{\theta}_{xx} \right] + \frac{LL_{pres}F_{darbe} + LyF_{volan}}{J_{xx}} \quad (9.36)$$

$$\dot{y} = y_2 \quad (9.37)$$

$$\dot{\theta}_{zz} = \theta_3 \quad (9.38)$$

kabulleri yapılarak denklemler (9.45), (9.46) ve (9.47)'deki gibi yazılır.

$$\dot{y}_2 = -\frac{1}{m} \left[\eta(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)\dot{y} + \eta(-k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4)\dot{\theta}_{xx} \right] + \left(\frac{F_{darbe} + F_{volan}}{m} \right) \quad (9.39)$$

$$\dot{\theta}_3 = -\frac{1}{J_{zz}} \left[\eta(-k_1L_1 + k_2L_2 - k_3L_1 + k_4L_2)\dot{y} + \eta(k_1L_1^2 + k_2L_2^2 + k_3L_1^2 + k_4L_2^2)\dot{\theta}_{zz} + \eta(k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4)\dot{\theta}_{xx} \right] + \left(\frac{-L_{pres}F_{darbe} - LxF_{volan}}{J_{zz}} \right) \quad (9.40)$$

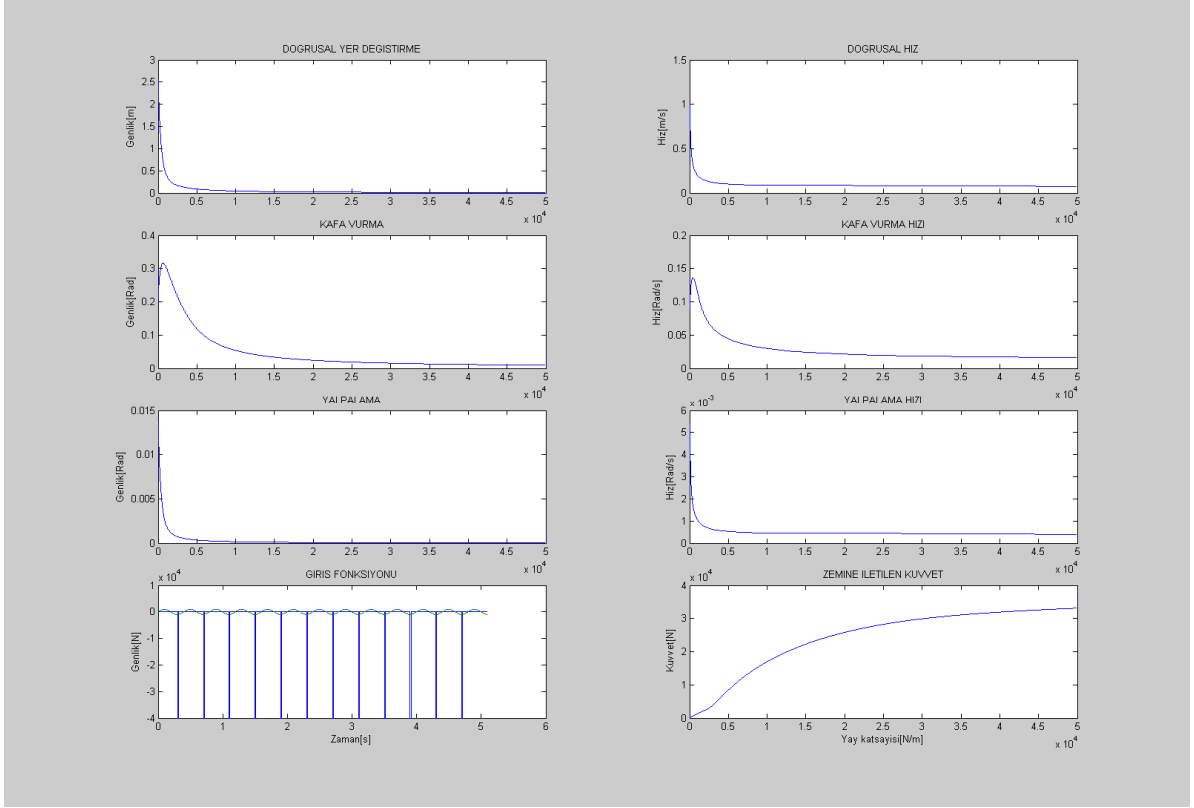
$$\dot{\theta}_4 = -\frac{1}{J_{xx}} \left[\eta(k_1L_3 - k_2L_3 + k_3L_4 + k_4L_4)\dot{y} + \eta(k_1L_1L_3 - k_2L_2L_3 - k_3L_1L_4 + k_4L_2L_4)\dot{\theta}_{zz} + \eta(-k_1L_3^2 + k_2L_3^2 - k_3L_4^2 + k_4L_4^2)\dot{\theta}_{xx} \right] + \left(\frac{LL_{pres}F_{darbe} + LyF_{volan}}{J_{xx}} \right) \quad (9.41)$$

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & J_{zz} & 0 \\ 0 & 0 & J_{xx} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\theta}_{zz} \\ \ddot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} + \eta \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 & -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 \\ -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 \\ -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 & -k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta}_{zz} \\ \dot{\theta}_{xx} \end{Bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_3 + k_4 & -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 \\ -k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2 & k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 \\ -k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4 & k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4 & -k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y \\ \theta_{zz} \\ \theta_{xx} \end{Bmatrix} \\
& = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -L_{pres} & -Lx \\ LL_{pres} & Ly \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{darbe} \\ F_{volan} \end{Bmatrix} \tag{9.42}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\theta}_{zz} \\ \dot{\theta}_{xx} \\ \dot{y}_2 \\ \dot{\theta}_3 \\ \dot{\theta}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -\frac{(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)}{m} & -\frac{(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)}{m} & -\frac{(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)}{m} \\ -\frac{(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)}{J_{zz}} & -\frac{(k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2)}{J_{zz}} & -\frac{(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)}{J_{zz}} \\ -\frac{(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)}{J_{xx}} & -\frac{(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)}{J_{xx}} & -\frac{(-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2)}{J_{xx}} \end{bmatrix} \\
& \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\frac{\eta(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)}{m} & -\frac{\eta(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)}{m} & -\frac{\eta(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)}{m} \\ -\frac{\eta(-k_1 L_1 + k_2 L_2 - k_3 L_1 + k_4 L_2)}{J_{zz}} & -\frac{\eta(k_1 L_1^2 + k_2 L_2^2 + k_3 L_1^2 + k_4 L_2^2)}{J_{zz}} & -\frac{\eta(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)}{J_{zz}} \\ -\frac{\eta(-k_1 L_3 - k_2 L_3 + k_3 L_4 + k_4 L_4)}{J_{xx}} & -\frac{\eta(k_1 L_1 L_3 - k_2 L_2 L_3 - k_3 L_1 L_4 + k_4 L_2 L_4)}{J_{xx}} & -\frac{\eta(-k_1 L_3^2 + k_2 L_3^2 - k_3 L_4^2 + k_4 L_4^2)}{J_{xx}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \theta_{zz} \\ \theta_{xx} \\ y_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{bmatrix} \\
& + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -\frac{L_{pres}}{J_{zz}} & -\frac{Lx}{J_{zz}} \\ \frac{LL_{pres}}{J_{xx}} & \frac{Ly}{J_{xx}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{darbe} \\ F_{volan} \end{bmatrix} \tag{9.43}
\end{aligned}$$

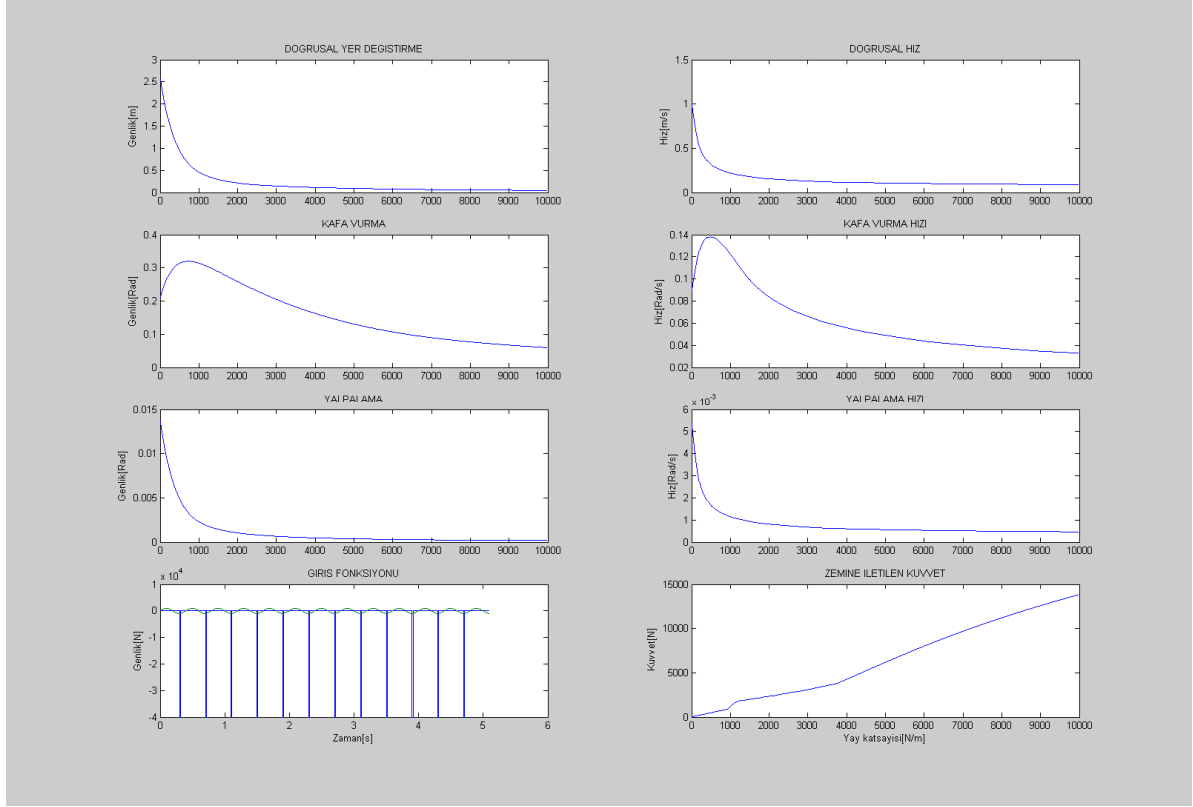
9.2. Frekans Analizi

Bizim örneğimiz için izin verilebilecek maksimum kuvvet $F = 8194,40666$ N olduğu daha önce bulunmuştu. Buradan yola çıkarak farklı sönüm ve yay katsayıları için frekans analizi yapıldı.



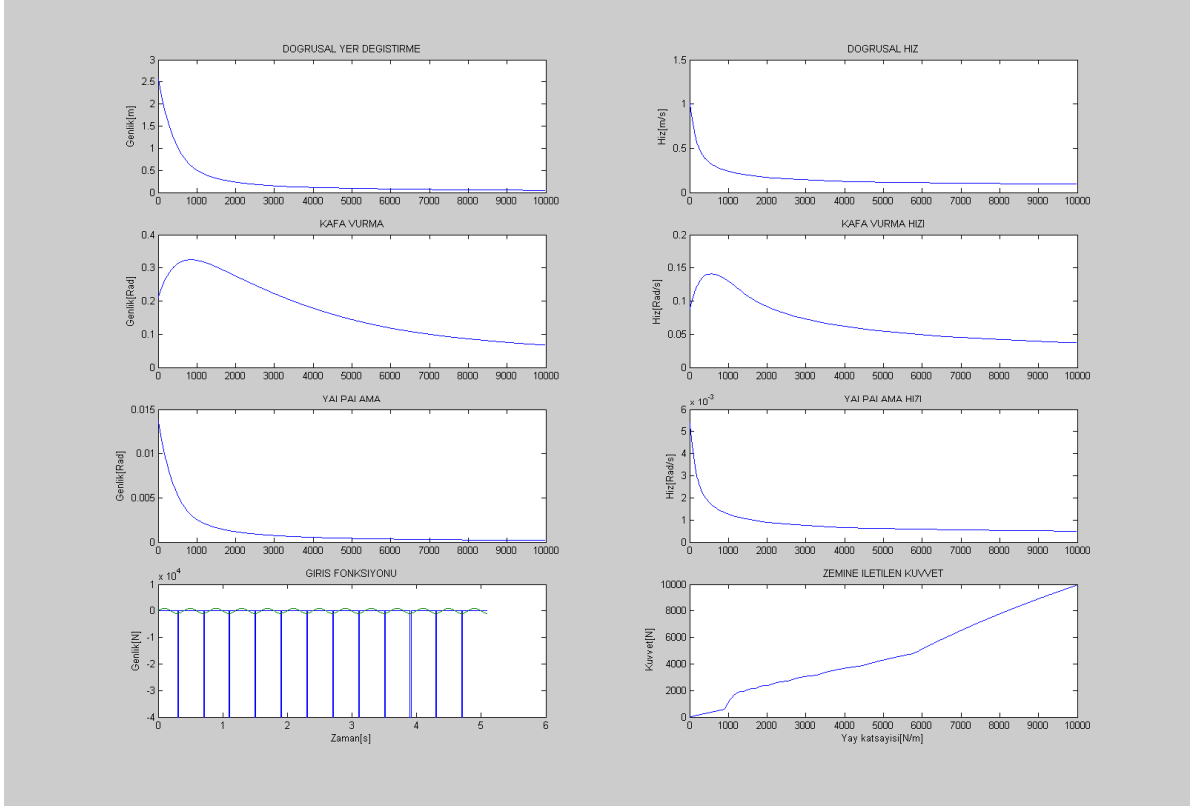
Şekil 9.2 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları $\eta = 1$

$\eta = 1$ kullanıldığında zemine iletilebilecek maksimum kuvveti istenilen sınırlar içinde tutabilecek yay katsayısı (k) değeri $k = 4921$ N/m olarak bulunur.



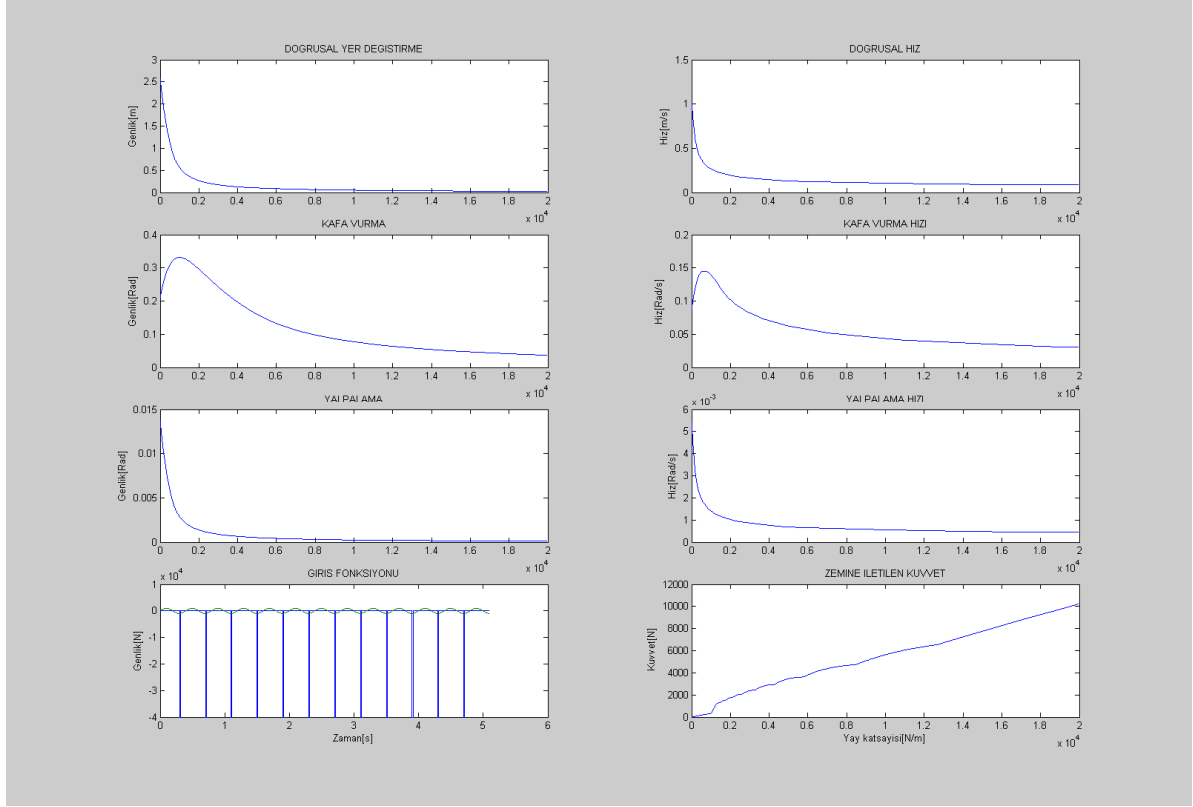
Şekil 9.3 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları $\eta = 0.75$

$\eta = 0.75$ kullanıldığında zemine iletilebilecek maksimum kuvveti istenilen sınırlar içinde tutabilecek yay katsayısı (k) değeri $k = 6101 \text{ N/m}$ olarak bulunur.



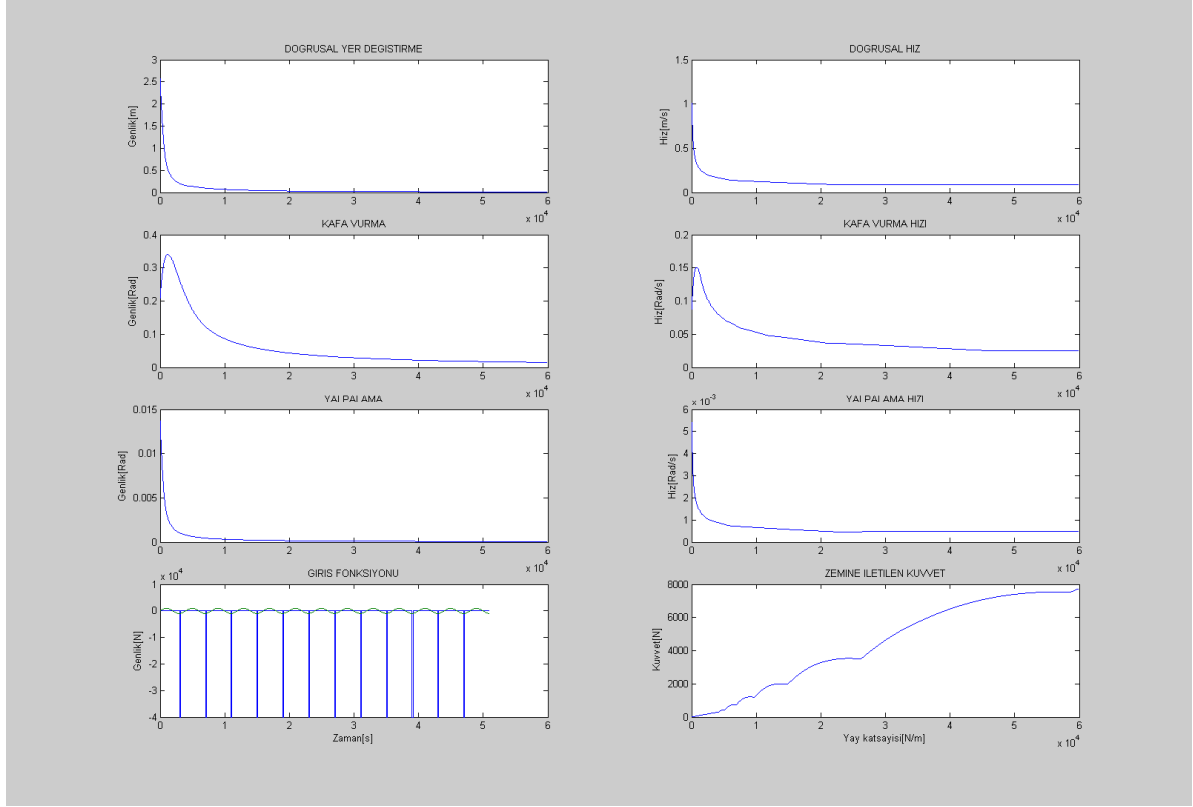
Şekil 9.4 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları $\eta = 0.5$

$\eta = 0.5$ kullanıldığında zemine iletilebilecek maksimum kuvveti istenilen sınırlar içinde tutabilecek yay katsayısı (k) değeri $k = 8351 \text{ N/m}$ olarak bulunur.



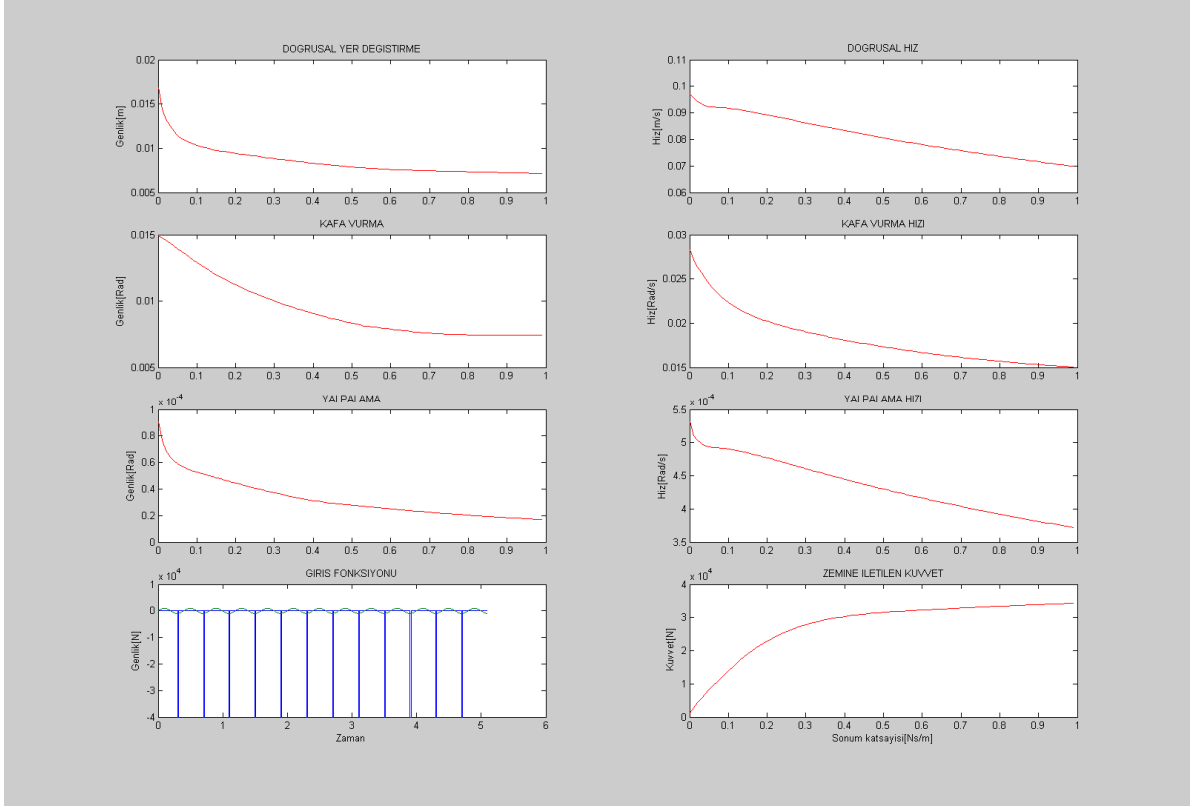
Şekil 9.5 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları $\eta = 0.25$

$\eta = 0.25$ kullanıldığında zemine iletilebilecek maksimum kuvveti istenilen sınırlar içinde tutabilecek yay katsayısı (k) değeri $k = 15851 \text{ N/m}$ olarak bulunur.

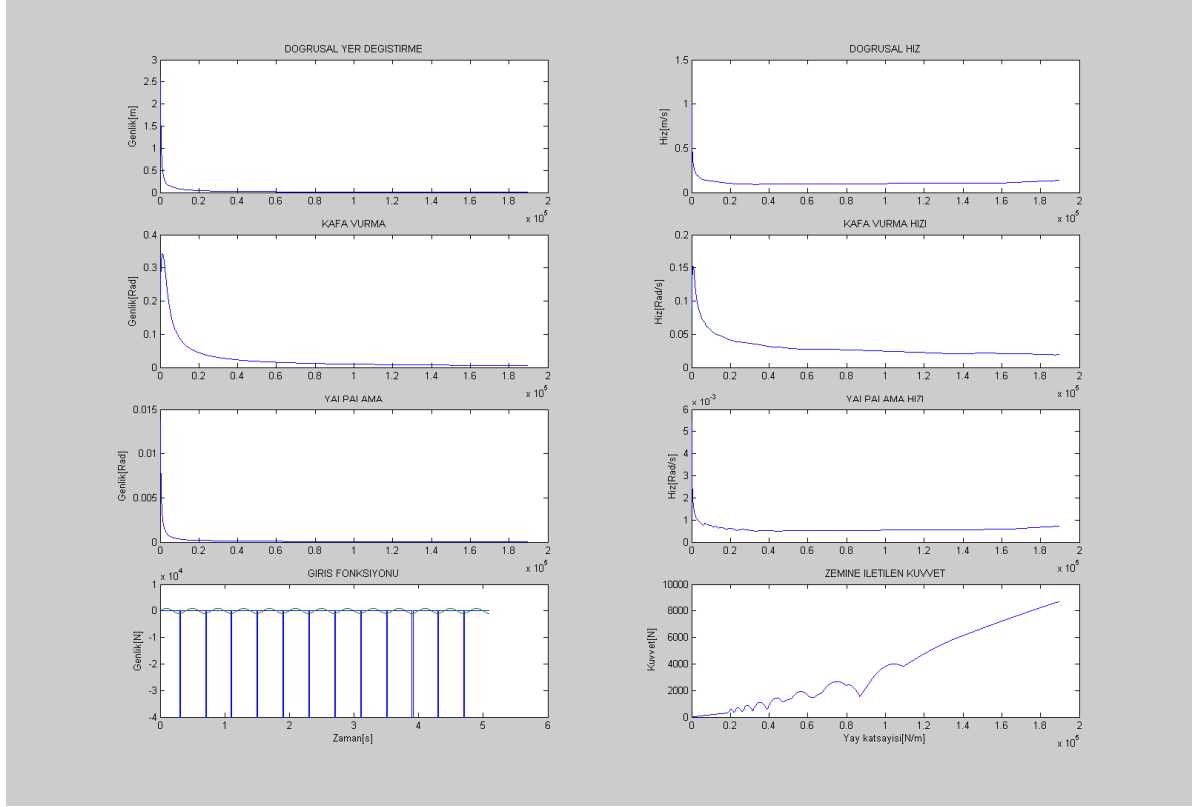


Şekil 9.6 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları $\eta = 0.05$

$\eta = 0.05$ kullanıldığında zemine iletilebilecek maksimum kuvveti istenilen sınırlar içinde tutabilecek yay katsayısı (k) değeri $k = 63200 \text{ N/m}$ olarak bulunur.



Şekil 9.7 Değişen sönüm katsayısı değerleri için sistem cevapları ($k=63200\text{N/m}$)

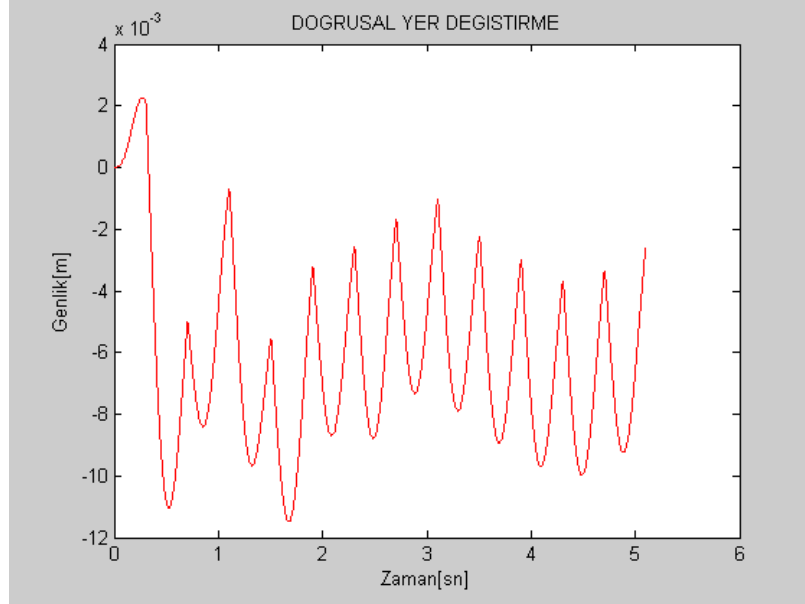


Şekil 9.8 Değişen yay katsayısı değerleri için sistem cevapları $\eta = 0.005$

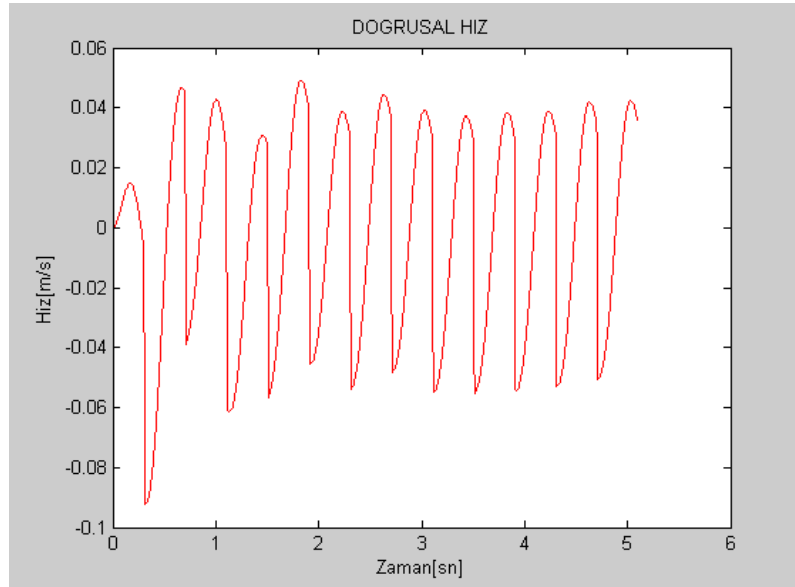
$\eta = 0.005$ kullanıldığında zemine iletilebilecek maksimum kuvveti istenilen sınırlar içinde tutabilecek yay katsayısı (k) değeri $k = 179191 \text{ N/m}$ olarak bulunur.

9.3. Analiz Sonuçları

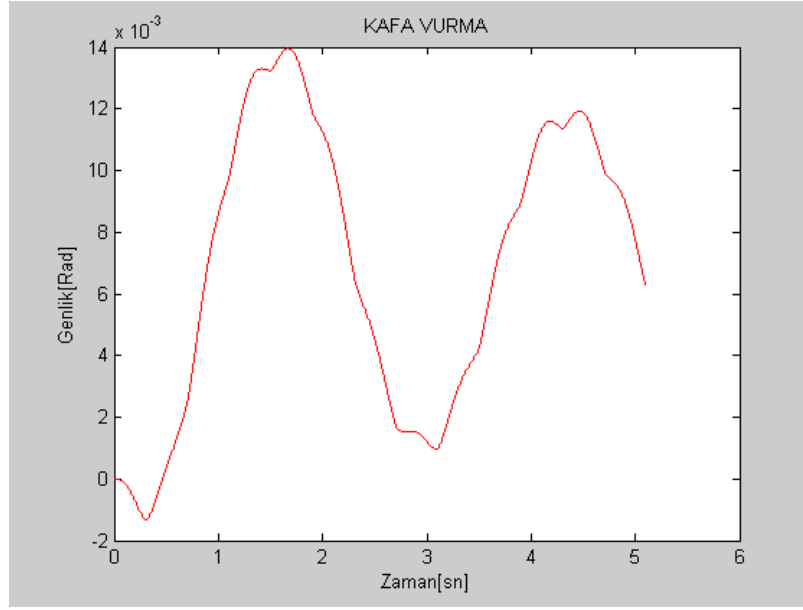
Bulunan bütün değerler için yapılan frekans analizinde sönüm katsayısı için $\eta = 0.05$ ve yay katsayısı için $k = 63200\text{N/m}$ değerlerinin en iyi sonuç olduğu görüldü. Bu değerler kullanılarak yapılan durum-uzay analizinde elde edilen grafikler şekillerdeki gibidir.



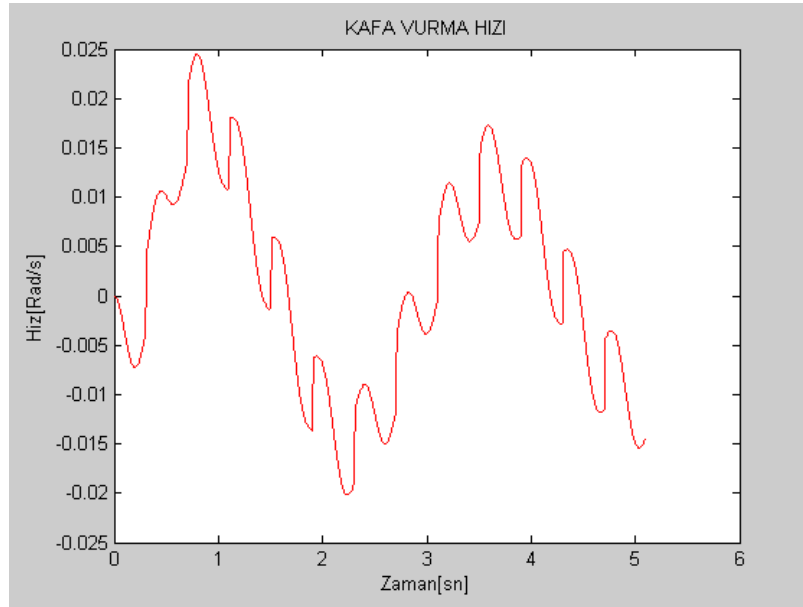
Şekil 9.9 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=63200\text{N/m}$ ve $\eta=0.05$)



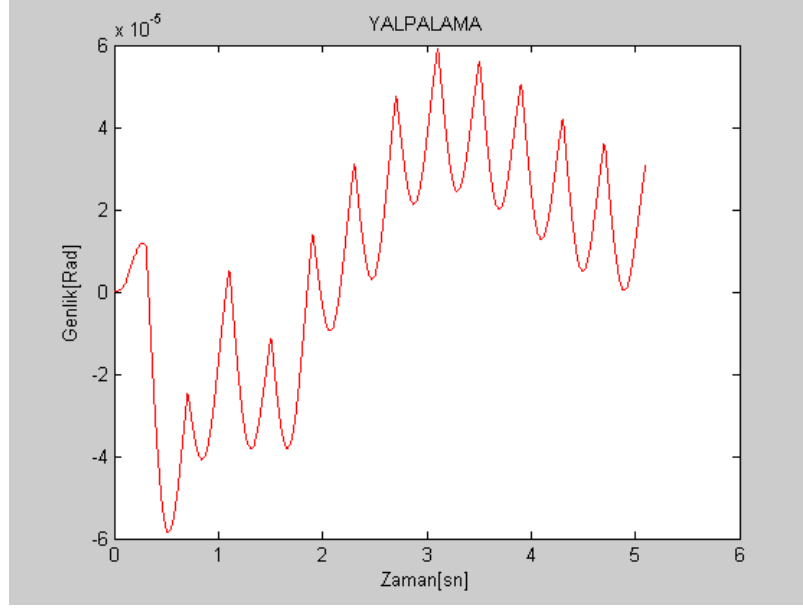
Şekil 9.10 Doğrusal yer değiştirme hızı
(y doğrultusunda) ($k=63200\text{N/m}$ ve $\eta=0.05$)



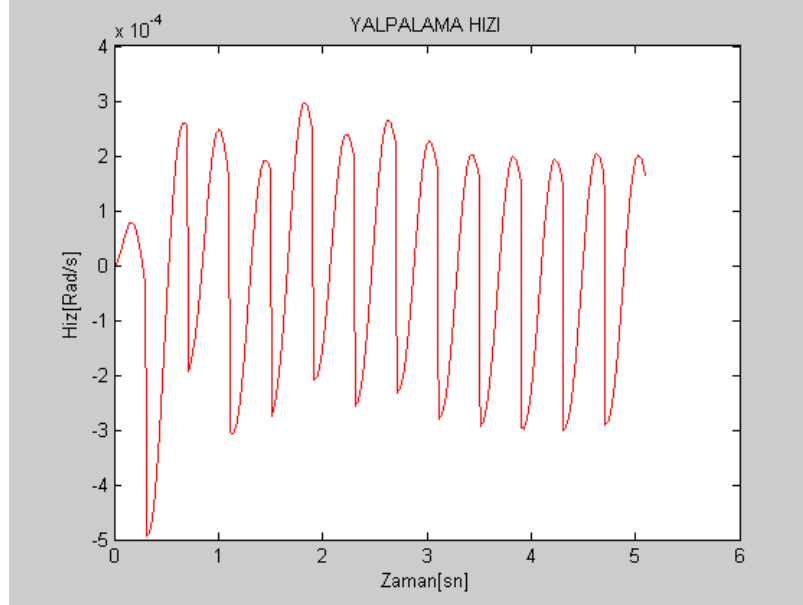
Şekil 9.11 Kafa vurma hareketi
(z etrafında) ($k=63200\text{N/m}$ ve $\eta=0.05$)



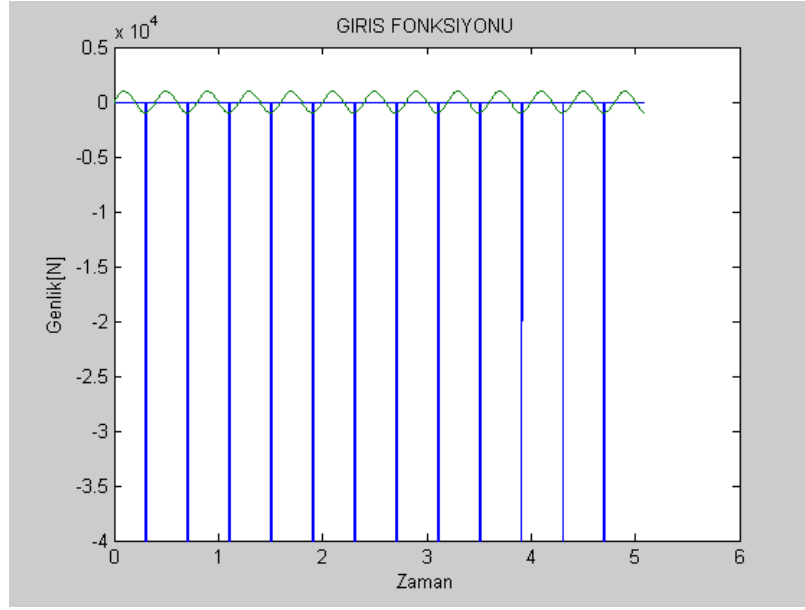
Şekil 9.12 Kafa vurma hareketi hızı
(z etrafında) ($k=63200\text{N/m}$ ve $\eta=0.05$)



Şekil 9.13 Yalpalama hareketi
(x etrafında) ($k=63200\text{N/m}$ ve $\eta=0.05$)



Şekil 9.14 Yalpalama hareketi hızı
(x etrafında) ($k=63200\text{N/m}$ ve $\eta=0.05$)



Şekil 9.15 Giriş fonksiyonu

10. VİSKOELATİK MESNETLİ SİSTEM DENEYSSEL BİLGİLER VE SONUÇLAR

Rijit plaka, rijit yay ve sönüm elemanları kullanılarak oluşturulan deney düzeneği Şekil 10.1' deki gibidir. Sisteme eklenen motor yardımıyla sinüsoidal kuvvet, çekiç ile de darbe kuvveti etkisi oluşturulmuştur.

10.1. Deneysel Sistem Verileri



Şekil 10.1 Viskoelastik Mesnetli Sistem Deney Düzeneği

$$m_{\text{plaka}} = \text{Plaka Kütlesi} = 5500,6 \text{ gr}$$

$$m_{\text{piston}} = \text{Piston Kütlesi} = 193,5 \text{ gr}$$

$$m_{\text{yay}} = \text{Yay Kütlesi} = 146,1 \text{ gr}$$

$$m = \text{Toplam Kütlev} = m_{\text{plaka}} + 4 \times m_{\text{piston}} + 4 \times m_{\text{yay}} = 6589 \text{ gr}$$

$$h = \text{Yükseklik} = 2,5 \text{ mm}$$

$$d = \text{Genişlik} = 500 \text{ mm}$$

$$w = \text{Genişlik} = 500 \text{ mm}$$

$$I_{zz} = \frac{1}{12} m (h^2 + d^2) = 0,14289 \text{ kgm}^2 \quad (10.1)$$

$$I_{xx} = \frac{1}{12} m (h^2 + w^2) = 0,14289 \text{ kgm}^2 \quad (10.2)$$

10.1.1. Rijitlik Katsayısı

Rijit kabul edilen yayların katsayıları (k) (10.3) eşitliği kullanılarak elde edilmiştir.

$$G = 80000 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 6$$

$$R = 40 \text{ mm}$$

$$d = 2.5 \text{ mm}$$

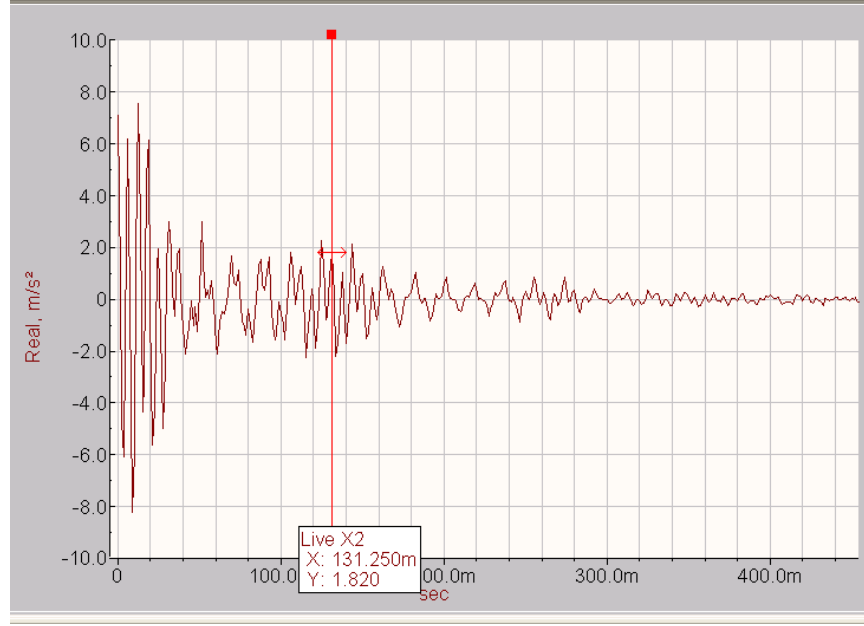
Serbest Titreşim Hareketi Grafiği

$$k = \frac{Gd^4}{64nR^3} \quad (10.3)$$

$$k = \frac{80000 \times 2,5^4}{64 \times 6 \times 40^3} = 0,12715 \text{ N/mm} = 127,15 \text{ N/m} \quad (10.4)$$

10.1.2. Sönüm Katsayısı

Sisteme kuvvet uygulanmasıyla elde edilen serbest titreşim hareketi grafiği ve (10.5) eşitliği yardımıyla sistemin sönüm katsayıları elde edilmiştir.



Şekil 10.2 Serbest Titreşim Hareketi Grafiği

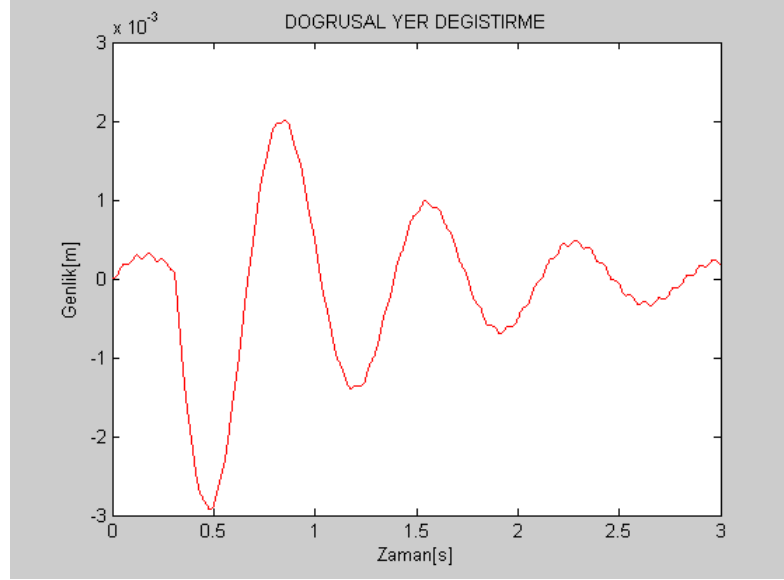
$$\xi = \frac{\frac{1}{3} \ln\left(\frac{7,8825}{3,7835}\right)}{2\pi} = 0,0292 \quad (10.5)$$

$$c_{kr} = 2\sqrt{k_{es}m} = 2\sqrt{508,6 \times 6,589} = 115,77 \text{Ns/m} \quad (10.6)$$

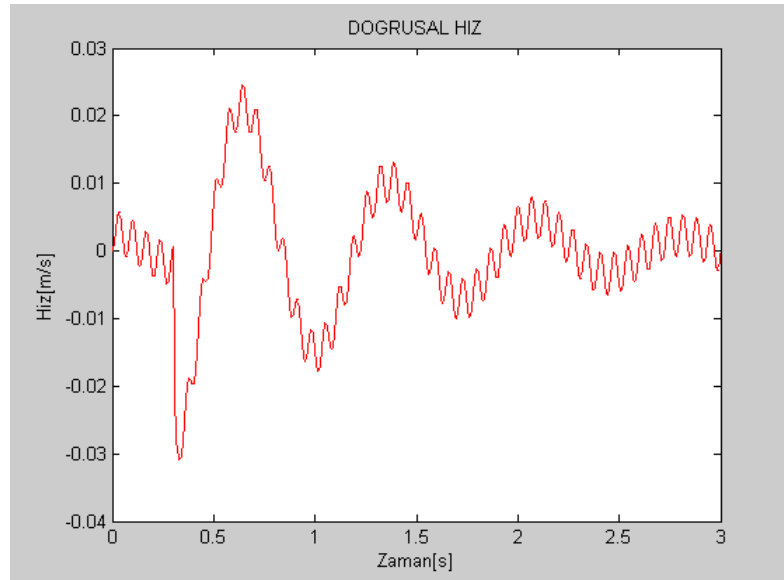
$$c = c_{kr}\xi = 115,77 \times 0,0292 = 3,38 \text{Ns/m} \quad (10.7)$$

10.1.3. Sinusoidal kuvvet ve darbe giriş fonksiyonlarının bir arada etkili olduğu durum için sistem cevapları

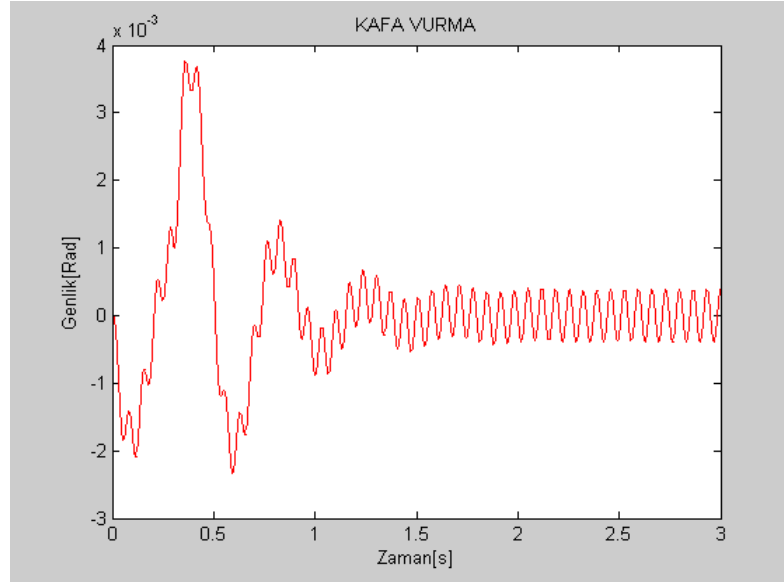
Motordan kaynaklanan F_v sinusoidal kuvveti ve çekiçle oluşturulan F_d darbe kuvveti etkisi altındaki sistemin durum-uzay analizi yapılarak elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



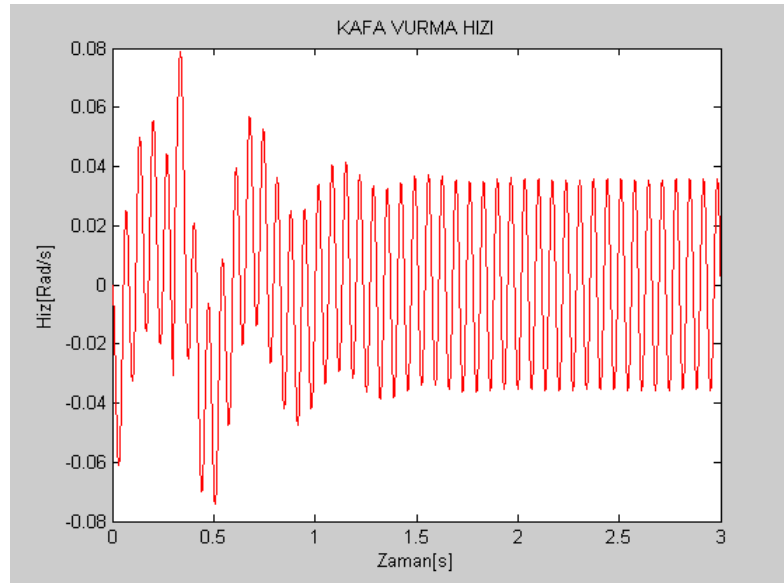
Şekil 10.3 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



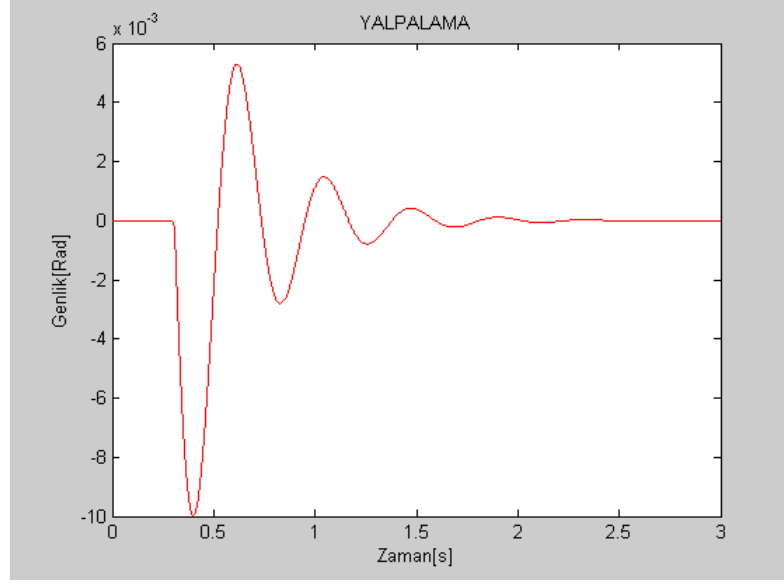
Şekil 10.4 Doğrusal yer değiştirme hızı
(y doğrultusunda) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



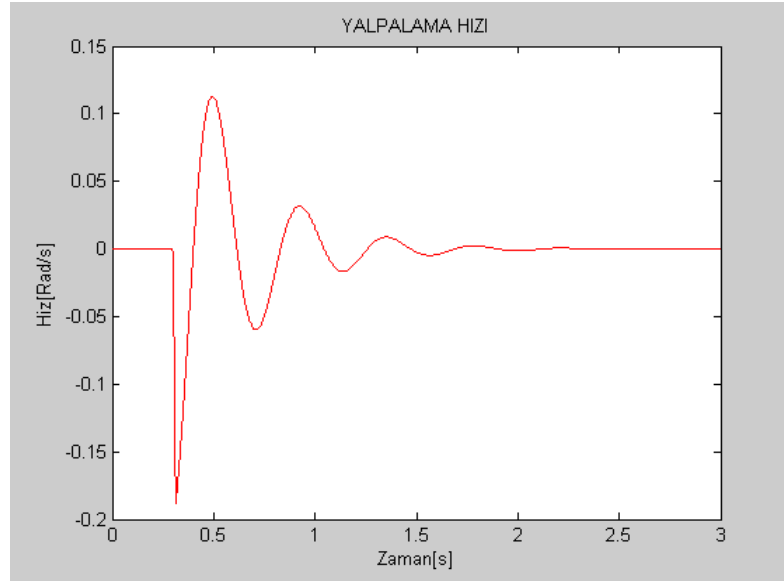
Şekil 10.5 Kafa vurma hareketi
(z etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



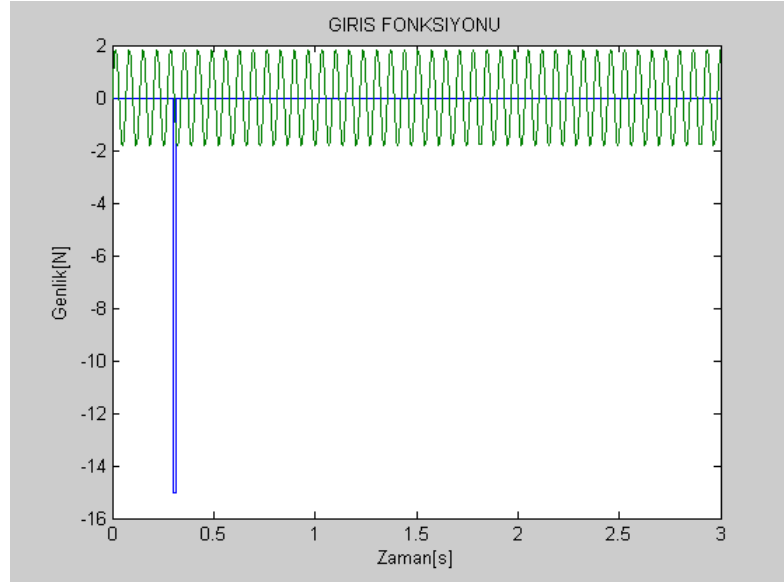
Şekil 10.6 Kafa vurma hareketi Hızı
(z etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



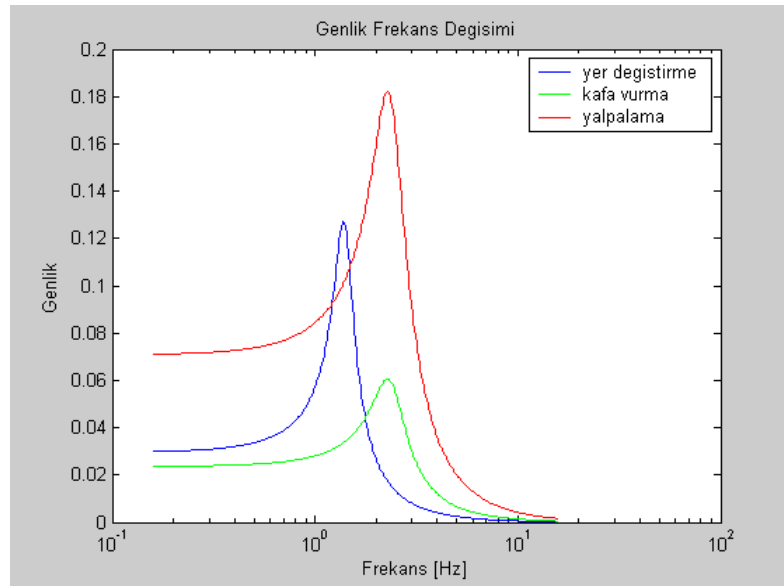
Şekil 10.7 Yalpalama hareketi
(x etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)

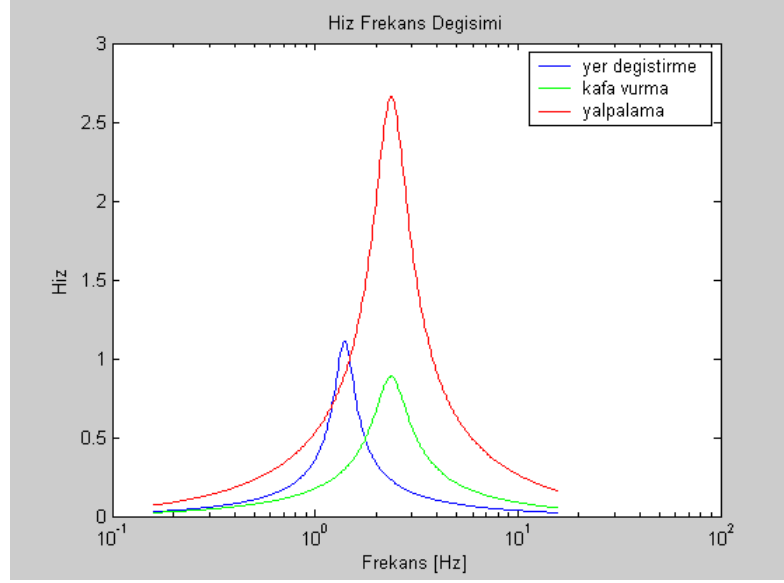


Şekil 10.8 Yalpalama hareketi Hızı
(x etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)

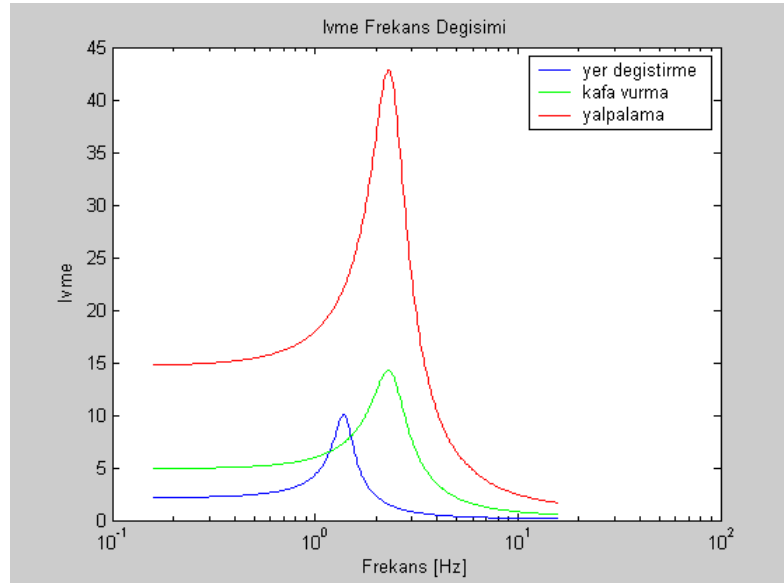


Şekil 10.9 Giriş Fonksiyonu

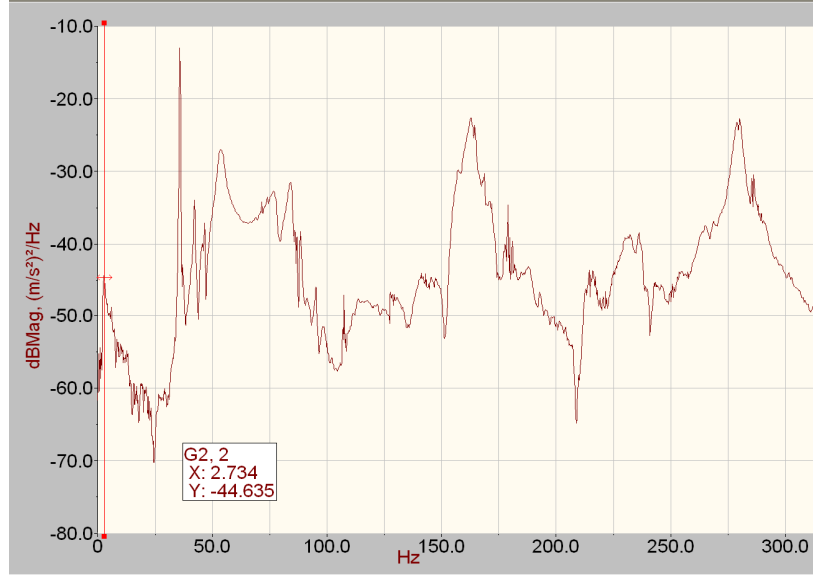
Şekil 10.10 Genlik Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



Şekil 10.11 Hız Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



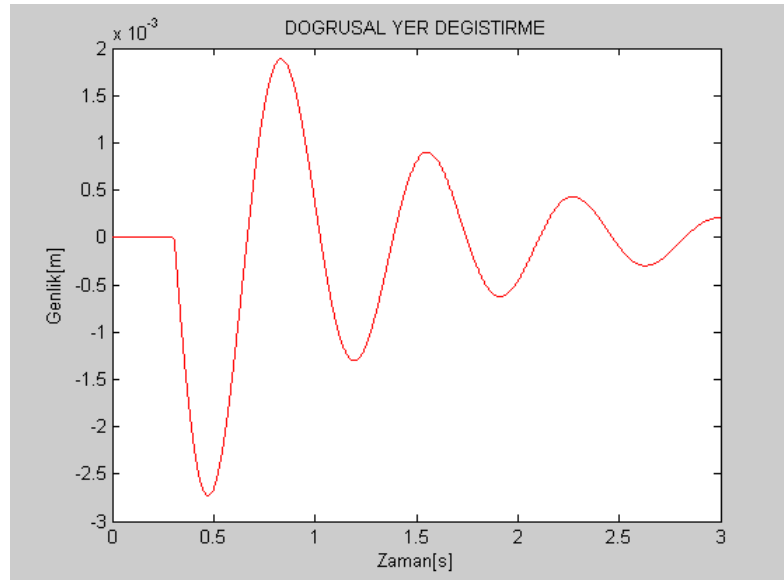
Şekil 10.12 İvme Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



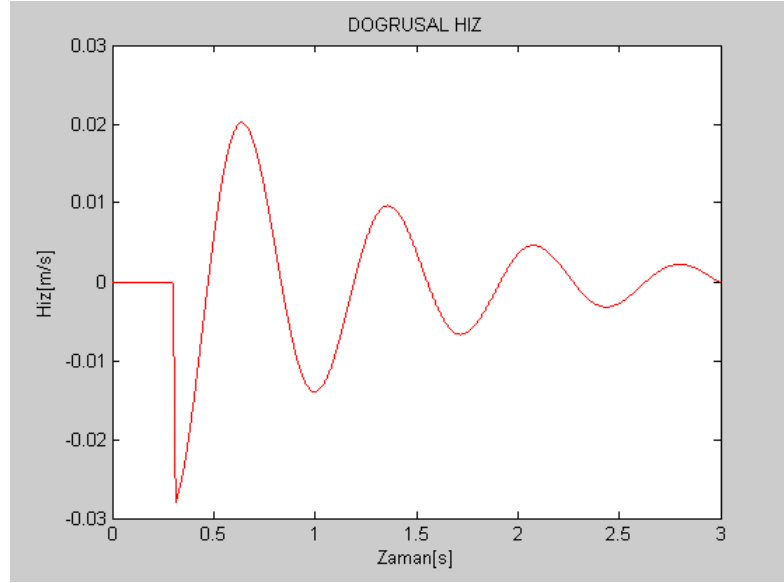
Şekil 10.13 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri

10.1.4. Darbe giriş fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları

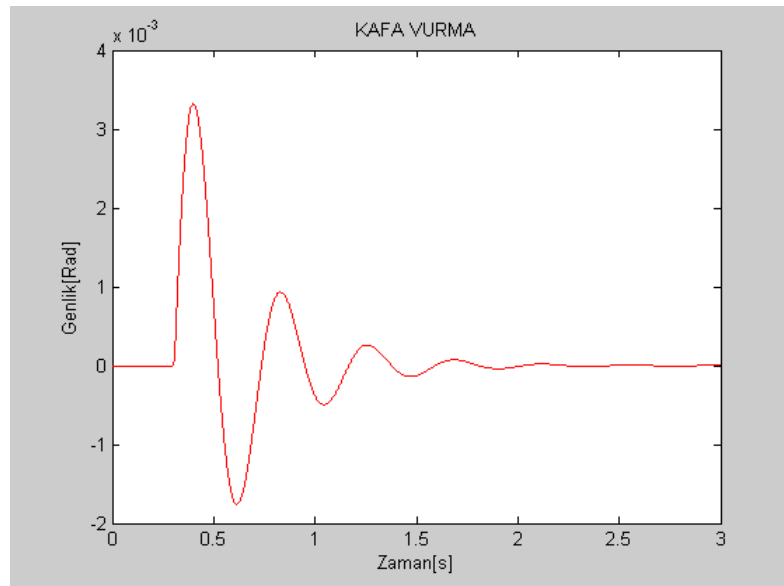
Çekiçle oluşturulan F_d darbe kuvveti etkisi altındaki sistemin durum-uzay analizi yapılarak elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



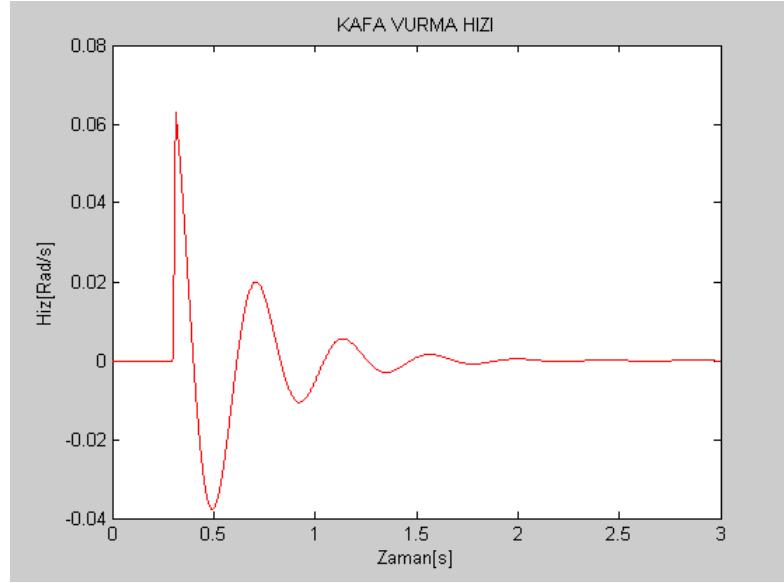
Şekil 10.14 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



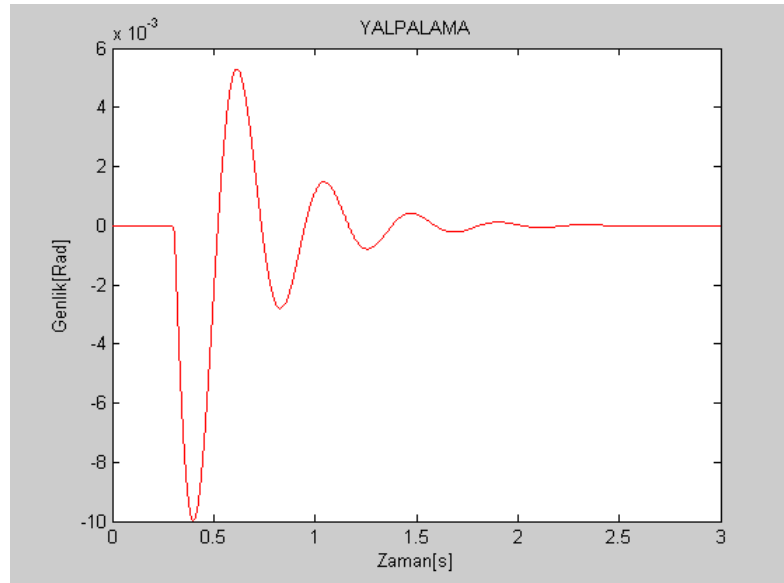
Şekil 10.15 Doğrusal yer değiştirme Hızı
(y doğrultusunda) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



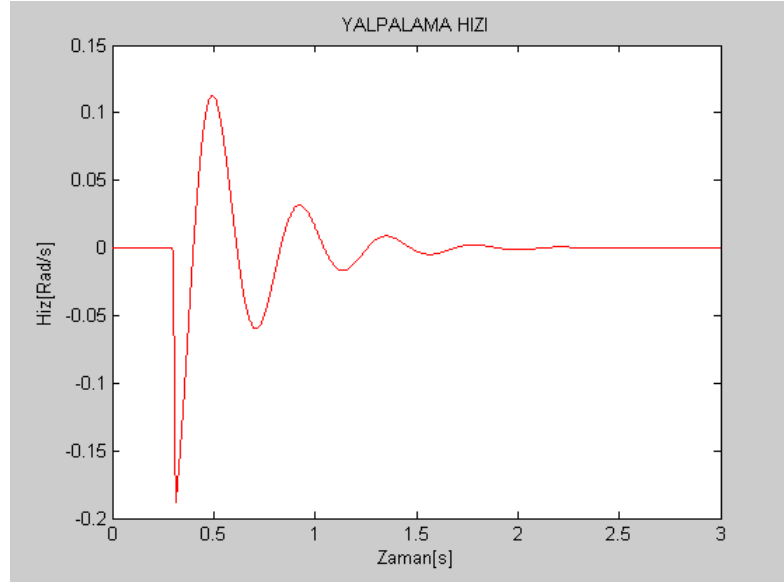
Şekil 10.16 Kafa vurma hareketi
(z etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



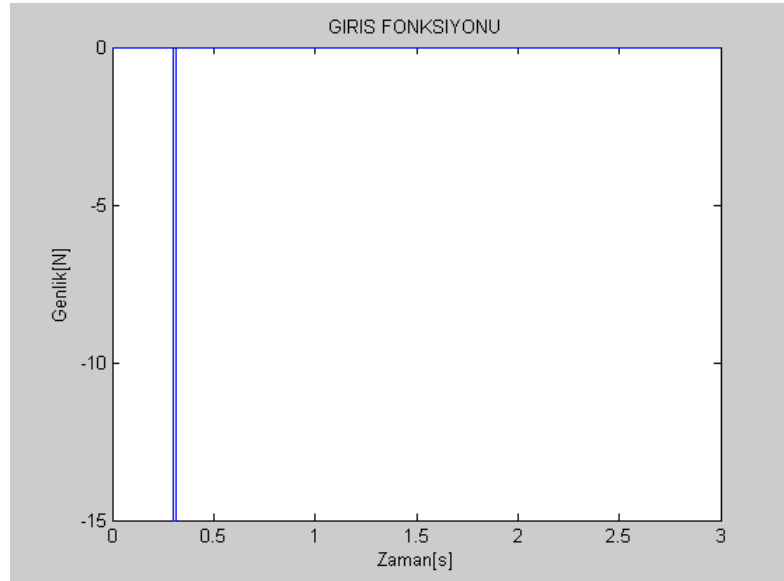
Şekil 10.17 Kafa vurma hareketi Hızı
(z etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



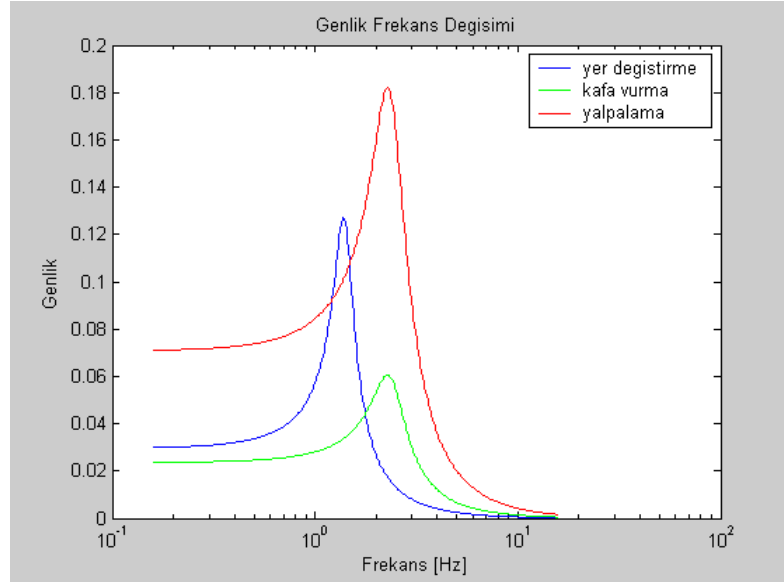
Şekil 10.18 Yalpalama hareketi
(x etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



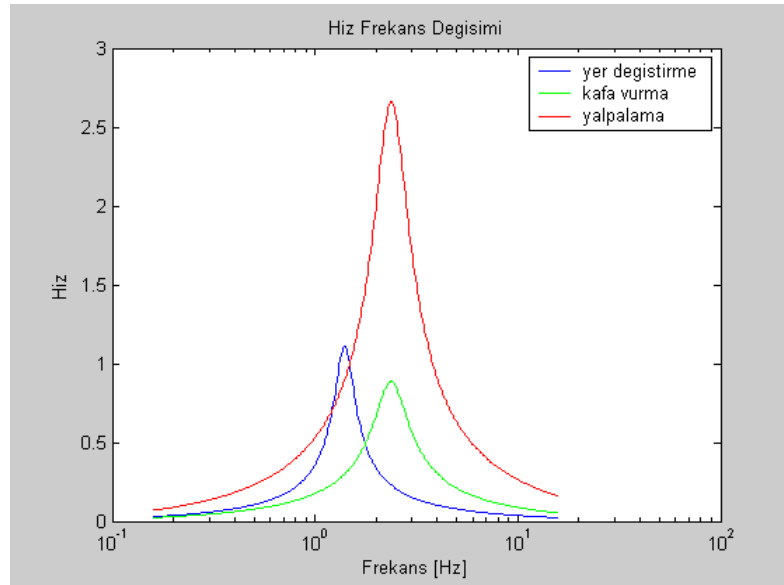
Şekil 10.19 Yalpalama hareketi Hızı
(x etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



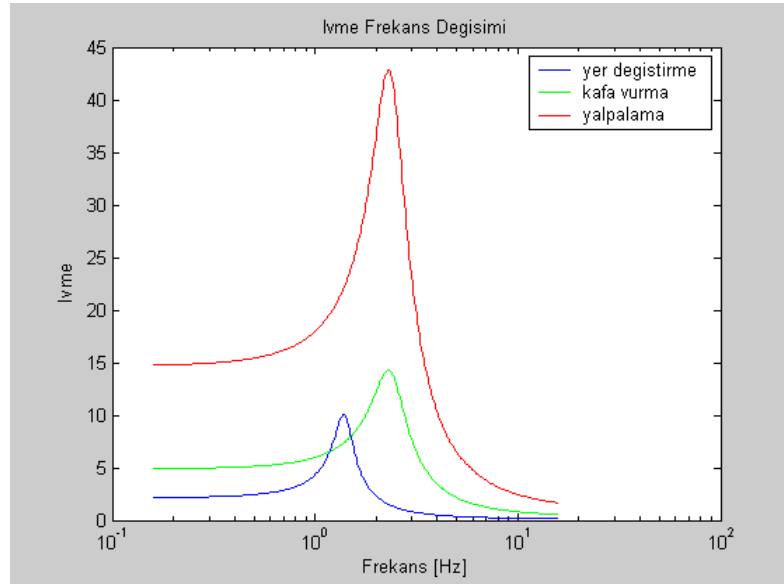
Şekil 10.20 Giriş Fonksiyonu



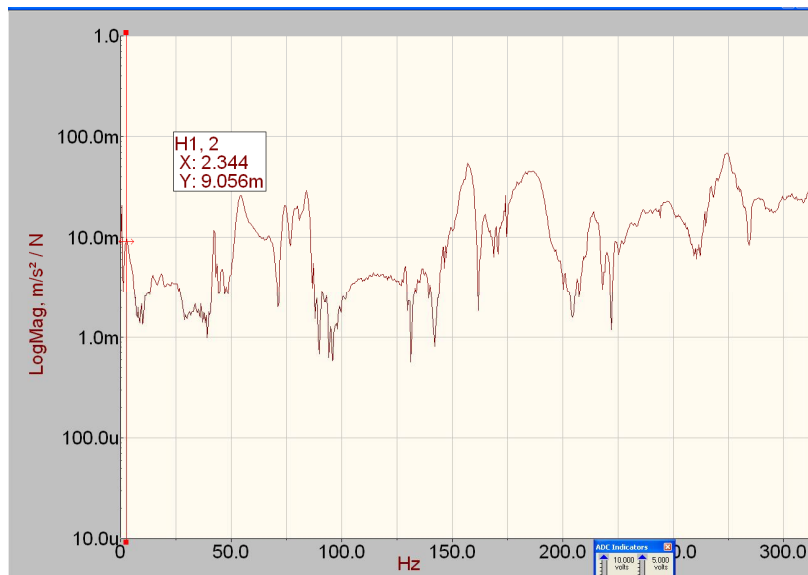
Şekil 10.21 Genlik Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



Şekil 10.22 Hız Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



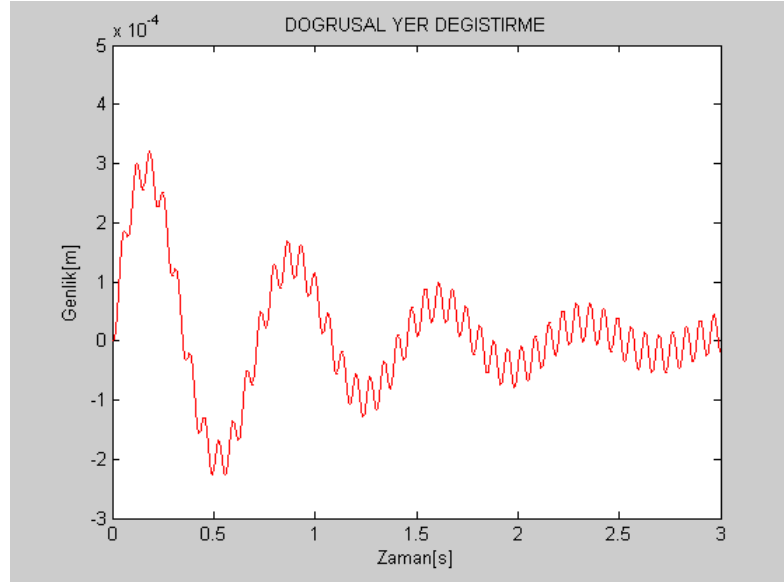
Şekil 10.23 İvme Frekans Değişimi ($k=127.15 \text{ N/m}$ ve $c=3.38 \text{ Ns/m}$)



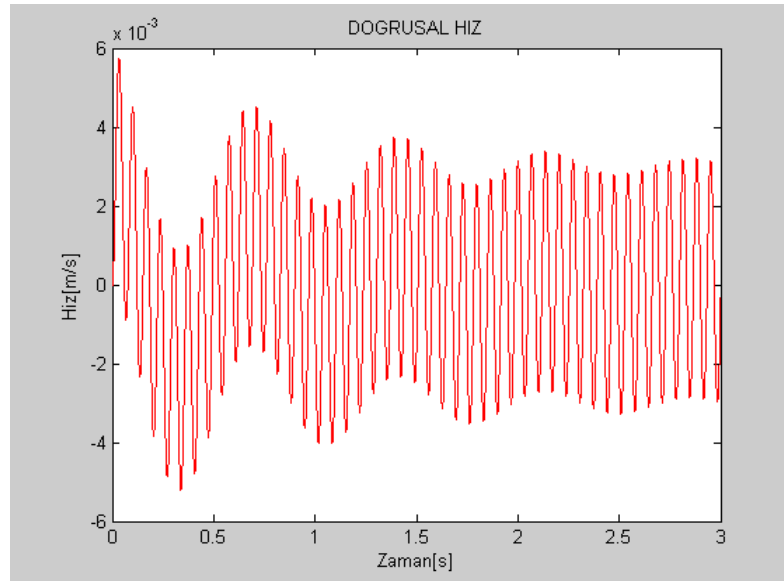
Şekil 10.24 Deneý düzeneğinden elde edilen frekans deęerleri

10.1.5. Sinüsoidal kuvvet fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları

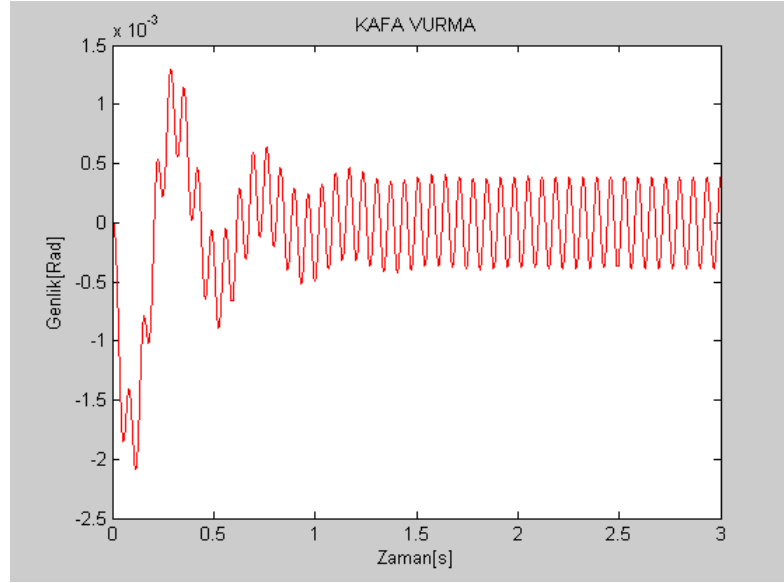
Motordan kaynaklanan F_v sinüsoidal kuvveti etkisi altındaki sistemin durum-uzay analizi yapılarak elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



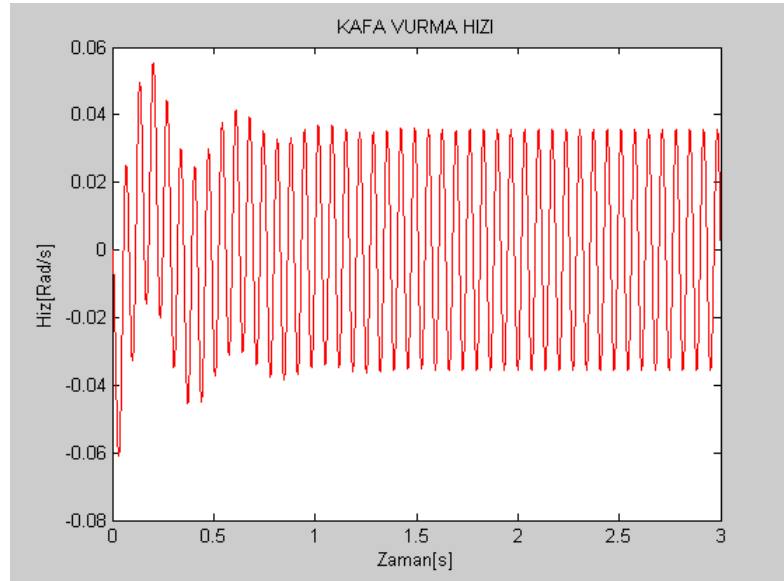
Şekil 10.25 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



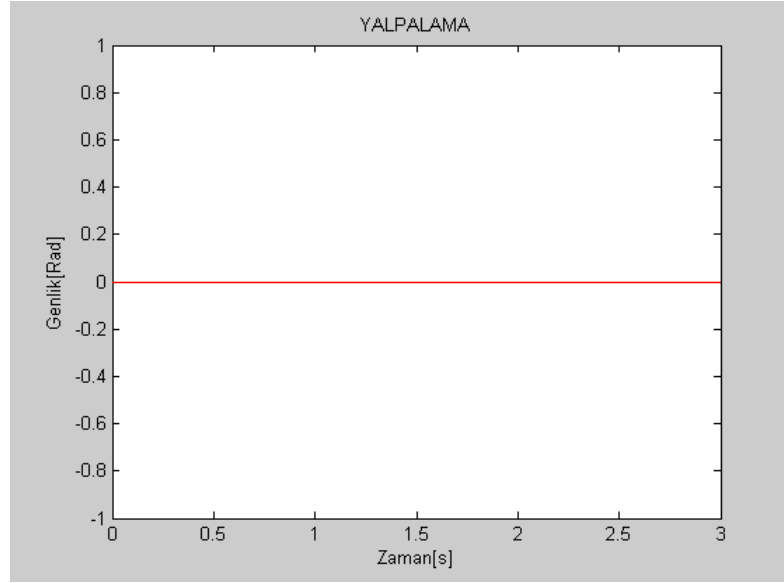
Şekil 10.26 Doğrusal yer değiştirme Hızı
(y doğrultusunda) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



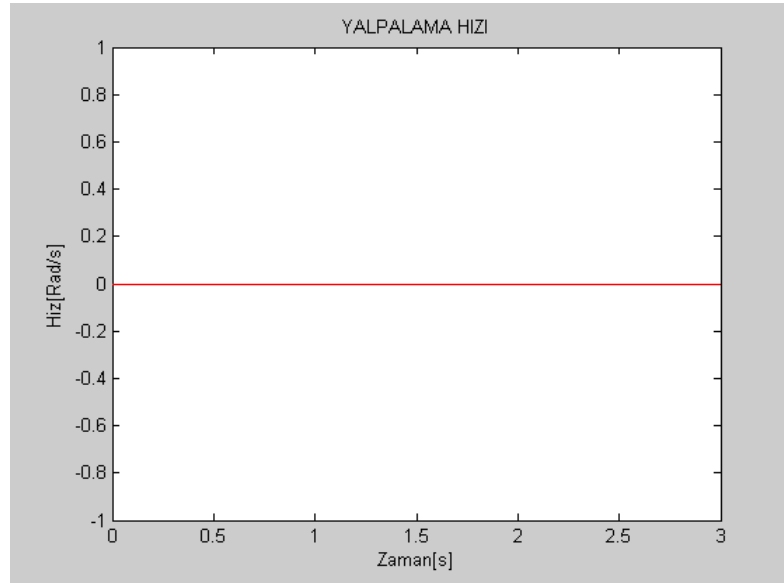
Şekil 10.27 Kafa Vurma Hareketi
(z etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



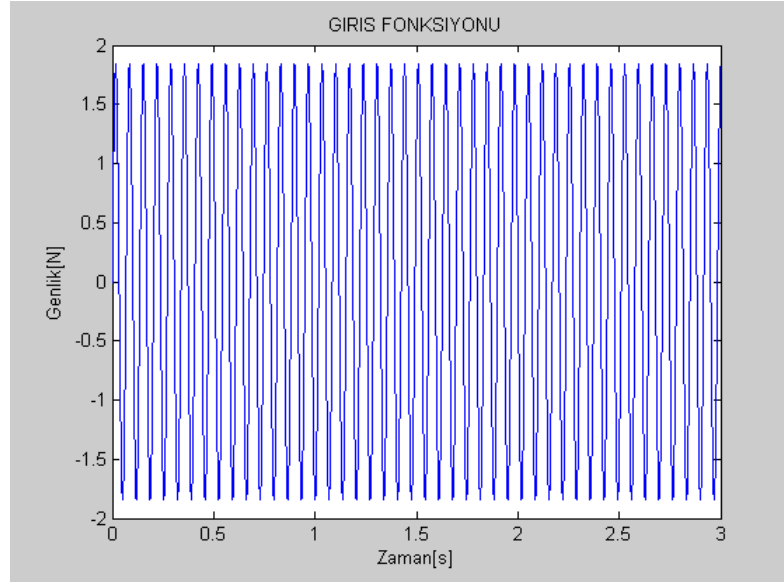
Şekil 10.28 Kafa Vurma Hareketi Hızı
(z etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



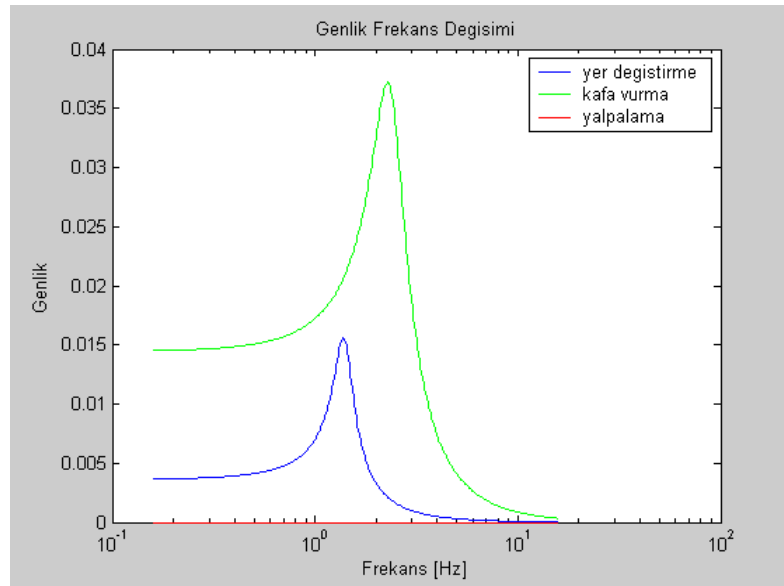
Şekil 10.29 Yalpalama Hareketi
(x etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)

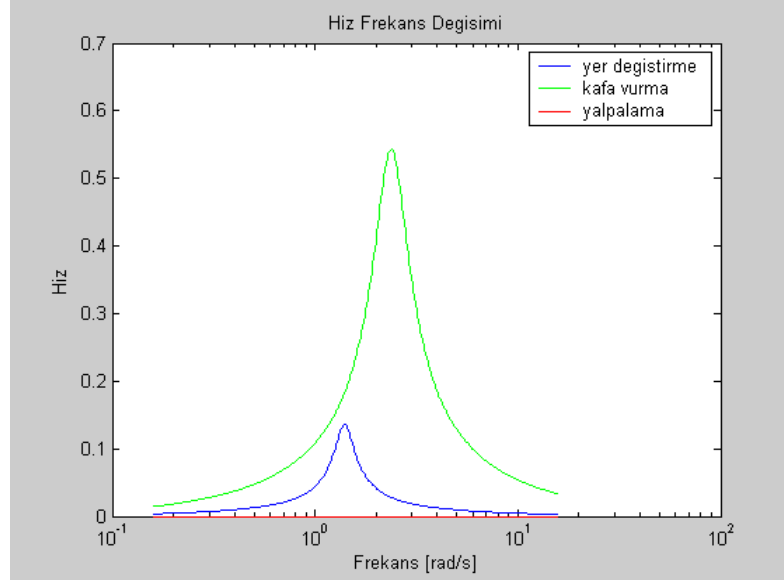


Şekil 10.30 Yalpalama Hareketi Hızı
(x etrafında) ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)

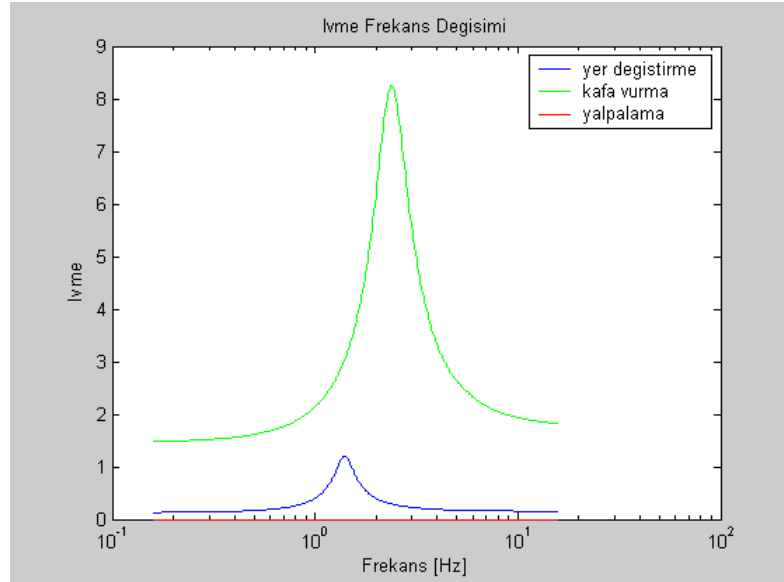


Şekil 10.31 Giriş Fonksiyonu

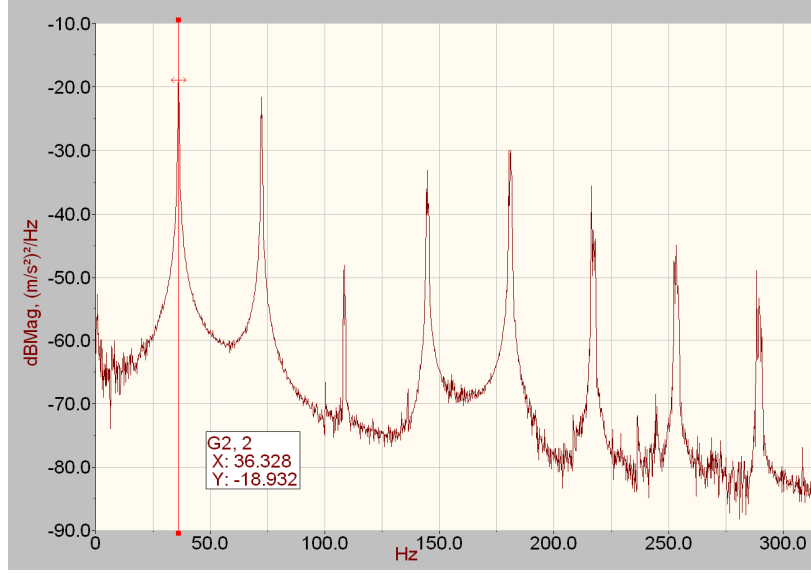
Şekil 10.32 Genlik Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



Şekil 10.33 Hız Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



Şekil 10.34 İvme Frekans Değişimi ($k=127.15$ N/m ve $c=3.38$ Ns/m)



Şekil 10.35 Deneş düzeneğinden elde edilen frekans değeri

11. HİSTERETİK SÖNÜMLEME SİSTEMİ DENEYSEL BİLGİLER VE SONUÇLAR

Rijit plaka ve kauçuk takoz kullanılarak oluşturulan deney düzeneği Şekil 11.1' deki gibidir. Sisteme eklenen motor yardımıyla sinüsoidal kuvvet, çekiç ile de darbe kuvveti etkisi oluşturulmuştur.

11.1. Deneysel Sistem Verileri



Şekil 11.1 Histeretik Sönümlleme Sistemi Deney Düzeneği

$$m_{\text{plaka}} = \text{Plaka Kütlesi} = 5500,6 \text{ gr}$$

$$m_{\text{kauçuk}} = \text{Kauçuk Kütlesi} = 407,04 \text{ gr}$$

$$m = \text{Toplam Kütle} = m_{\text{plaka}} + 4 \times m_{\text{kauçuk}} = 7128 \text{ gr}$$

$$h = \text{Yükseklik} = 2,5 \text{ mm}$$

$$d = \text{Genişlik} = 500 \text{ mm}$$

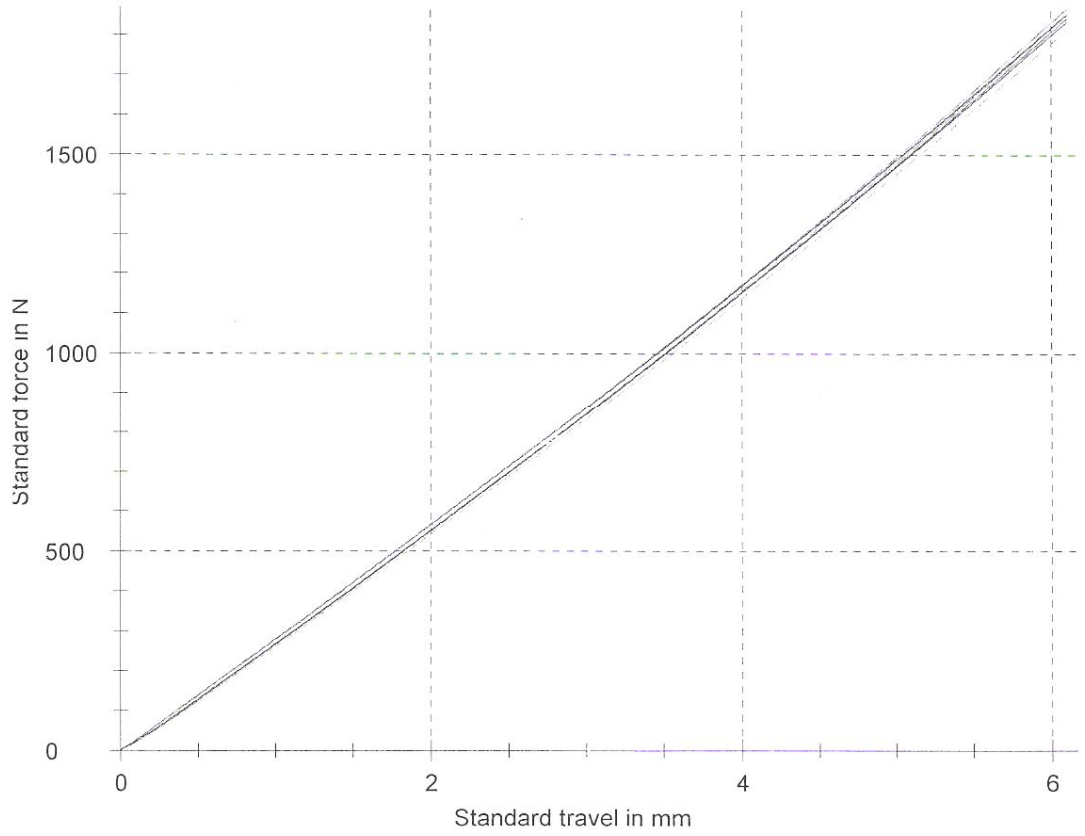
w= Genişlik = 500 mm

$$I_{zz} = \frac{1}{12} m(h^2 + d^2) = 0,15457 \text{ kgm}^2 \quad (11.1)$$

$$I_{xx} = \frac{1}{12} m(h^2 + w^2) = 0,15457 \text{ kgm}^2 \quad (11.2)$$

11.1.1. Rijitlik Katsayısı

Kuvvet – Genlik Değişim Grafiği



Şekil 11.2 Kuvvet – Genlik Değişim Grafiği

Çizelge11.1 Değişen Genlik Değerlerine Karşılık Uygulanan Yük Değerleri ve Bulunan Rijitlik Katsayıları

Nr	F(1mm)	F(2mm)	F(3mm)	F(4mm)	F(5mm)	F(6mm)	CH(1mm-6mm)
	N	N	N	N	N	N	N/mm
1	278,65	565,86	861,22	1168,41	1487,06	1819,07	308,08
2	278,37	566,1	561,22	1170,89	1492,89	1832,41	310,81
3	265,4	550,67	562,16	1151,36	1469,03	1799,81	306,88
4	266,65	552,33	844,7	1155,39	1477,39	1816,61	309,99
5	278,93	566,26	847,18	1167,83	1485,47	1817,78	307,77
6	280,36	567,68	860,77	1171,77	1493,05	1831,57	310,24
7	259,85	542,58	863,08	1136,33	1451,02	1779,21	303,87
8	268,25	553,09	833,7	1152,73	1472,35	1808,33	308,02

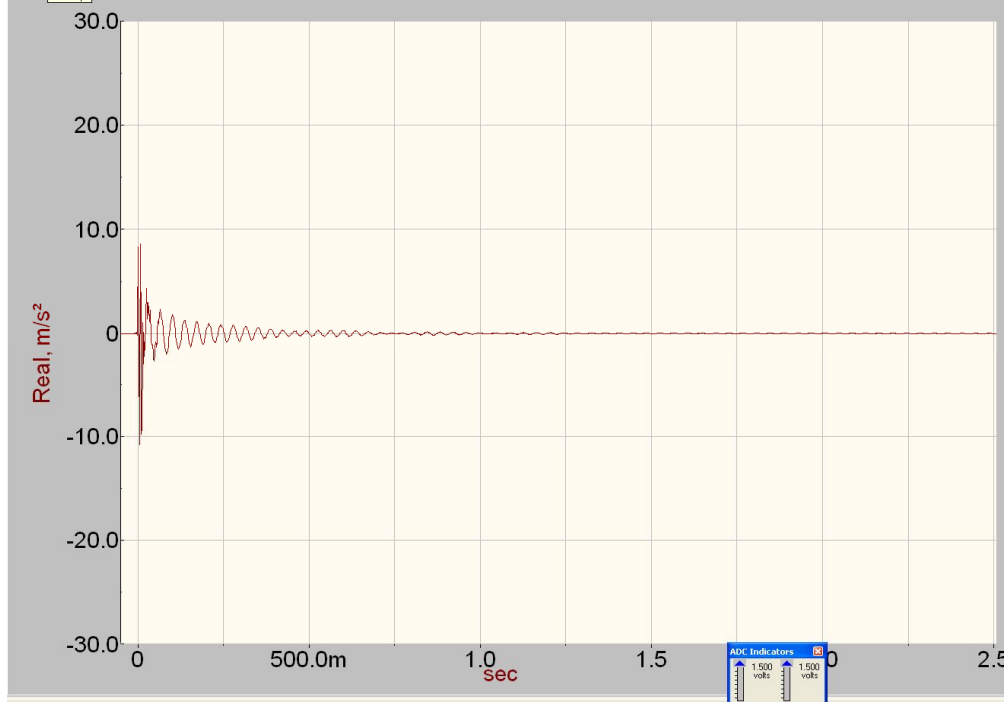
Çizelge11.2 Uygulanan Ortalama Yük Değerleri ve Bulunan Rijitlik Katsayısı

	F(1mm)	F(2mm)	F(3mm)	F(4mm)	F(5mm)	F(6mm)	CH(1mm-6mm)
	N	N	N	N	N	N	N/mm
X	272,06	558,07	852,42	1159,34	1478,53	1813,1	308,21

$$k = 308,21 \text{ N/mm} = 308,21 \times 10^3 \text{ N/m}$$

11.1.2. Sönüm Katsayısı

Sisteme kuvvet uygulanmasıyla elde edilen serbest titreşim hareketi grafiği ve (11.3) eşitliği yardımıyla sistemin sönüm katsayıları elde edilmiştir.



Şekil 11.3 Serbest Titreşim Hareketi Grafiği

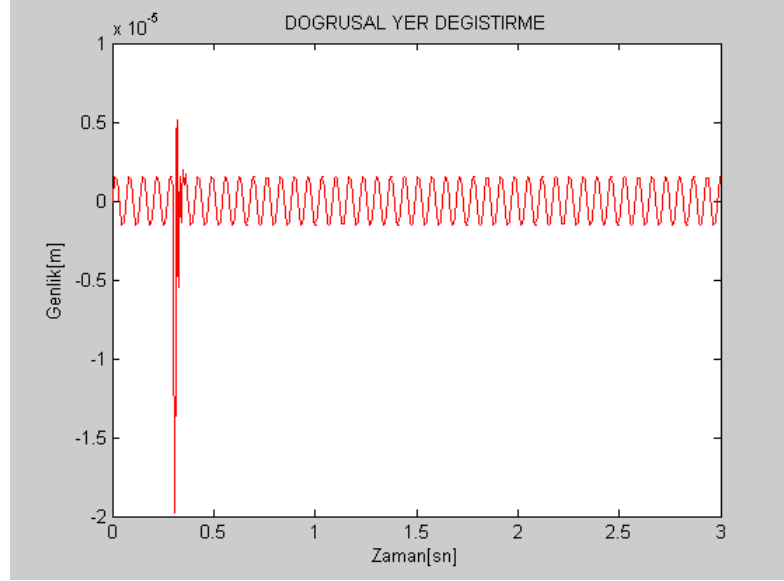
$$\xi = \frac{1}{3} \ln \left(\frac{2,306}{1,134} \right) = 0,0376 \quad (11.3)$$

$$c_{kr} = 2\sqrt{k_{eş}m} = 2\sqrt{1232840 \times 7,128} = 5928,8 \text{Ns} / m \quad (11.4)$$

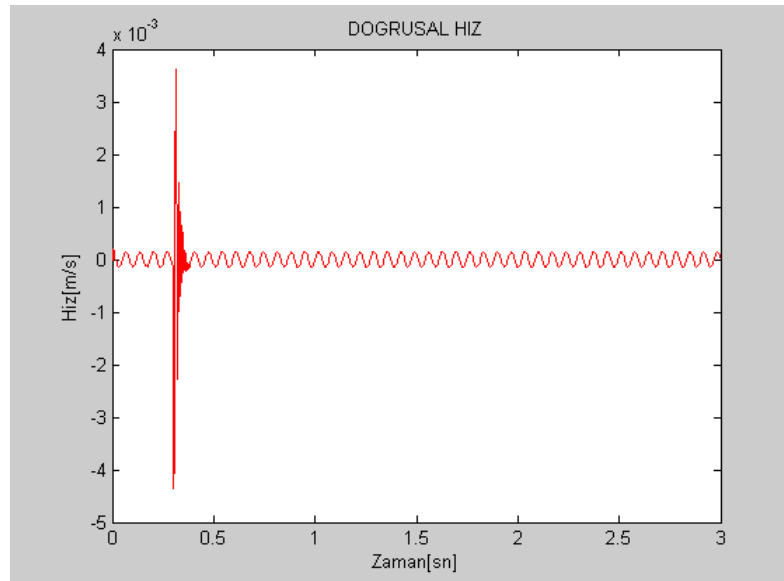
$$c = c_{kr}\xi = 5928,8 \times 0,0376 = 22292 \text{Ns/m} \quad (11.5)$$

11.1.3. Sinüsoidal kuvvet ve darbe giriş fonksiyonlarının bir arada etkili olduğu durum için sistem cevapları

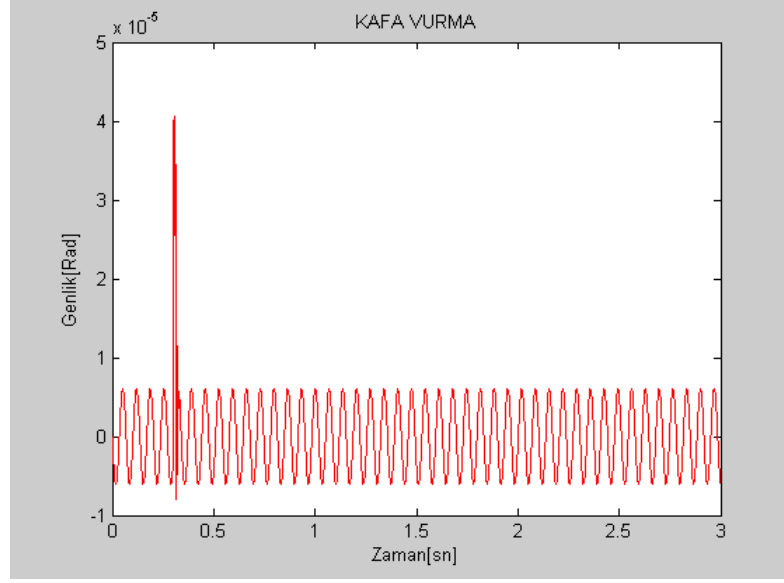
Motordan kaynaklanan F_v sinüsoidal kuvveti ve çekiçle oluşturulan F_d darbe kuvveti etkisi altındaki sistemin durum-uzay analizi yapılarak elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



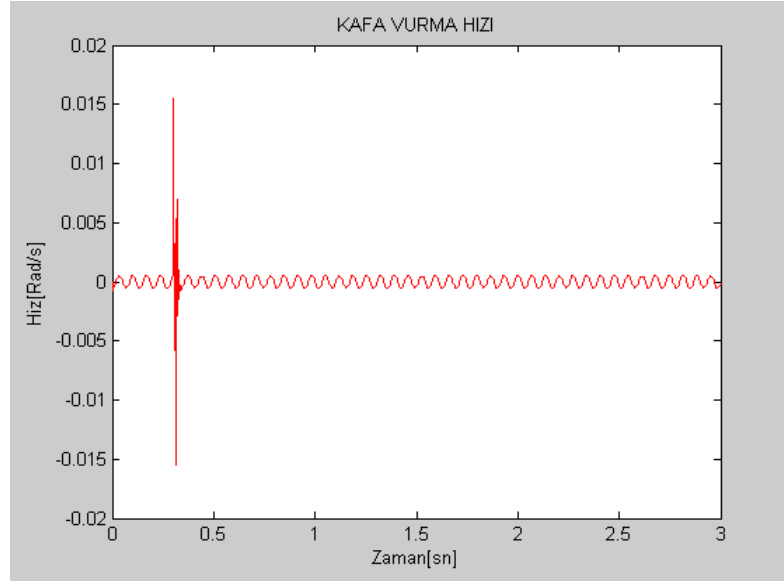
Şekil 11.4 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



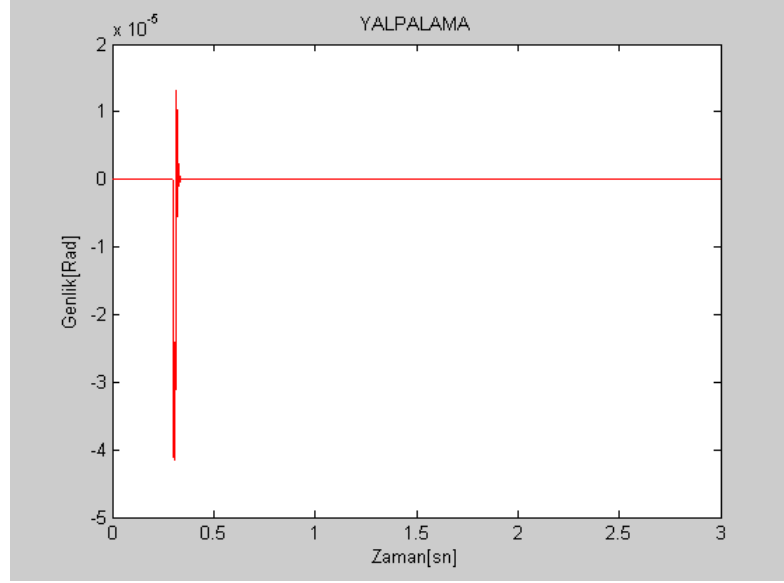
Şekil 11.5 Doğrusal yer değiştirme hızı
(y doğrultusunda) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



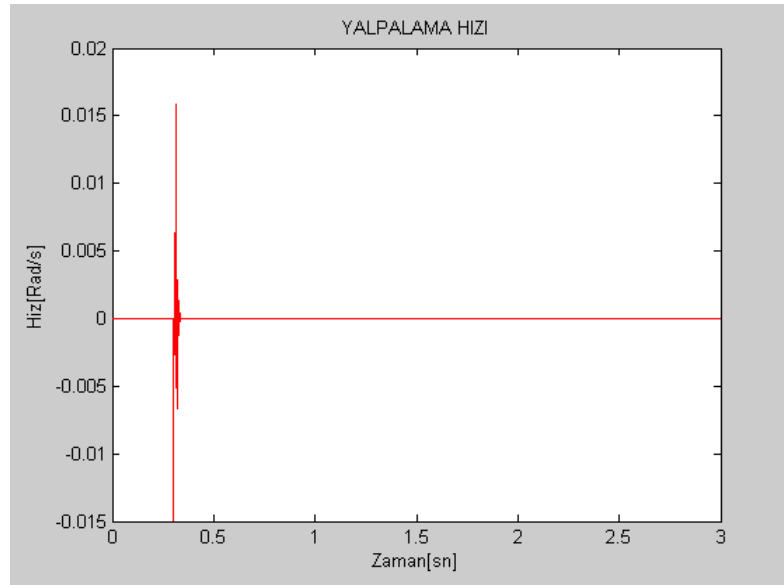
Şekil 11.6 Kafa vurma hareketi
(z etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



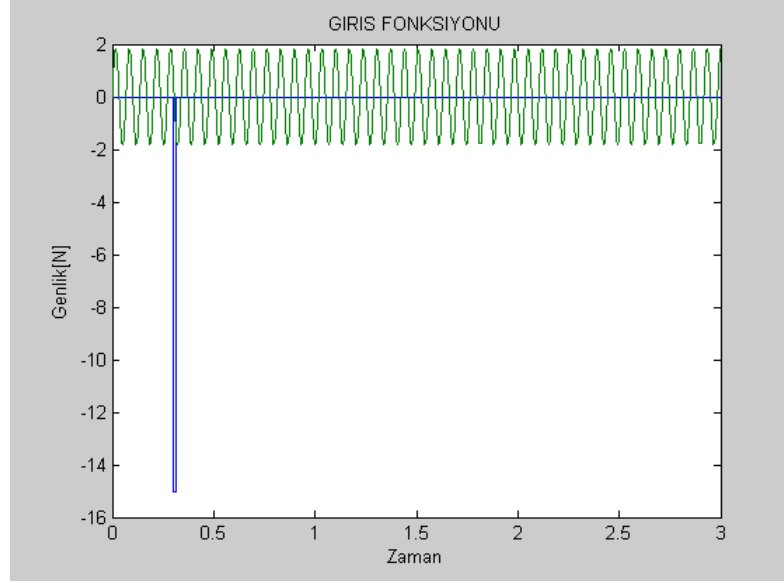
Şekil 11.7 Kafa vurma hareketi hızı
(z etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



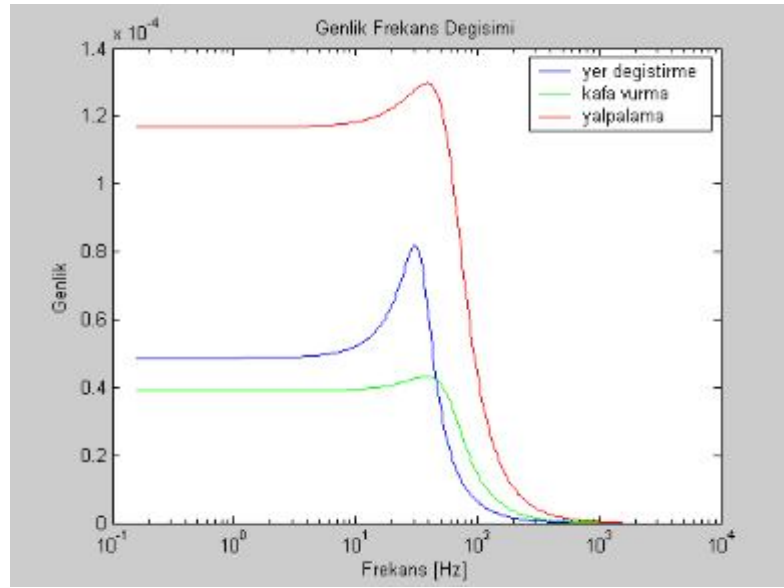
Şekil 11.8 Yalpalama hareketi
(x etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)

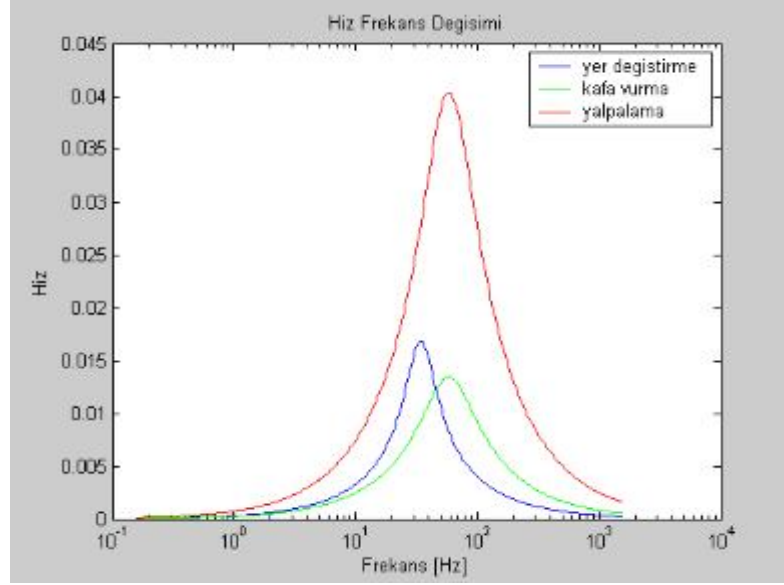


Şekil 11.9 Yalpalama hareketi hızı
(x etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)

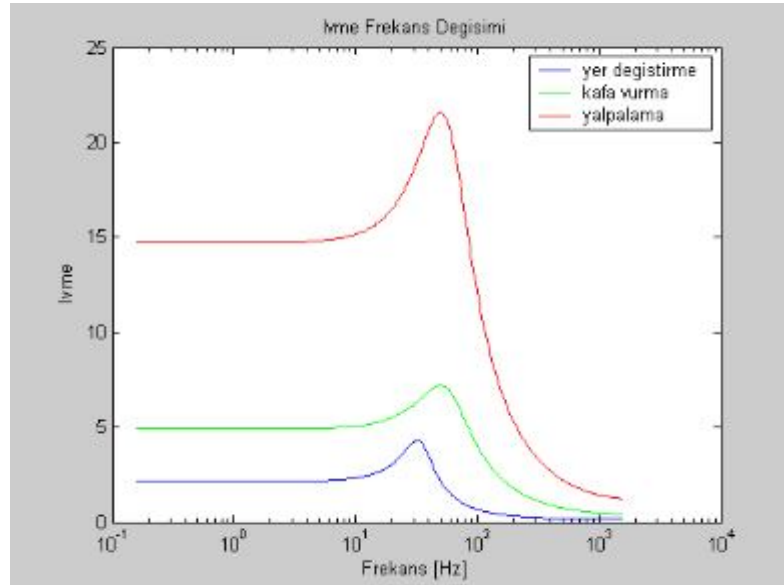


Şekil 11.10 Giriş Fonksiyonu

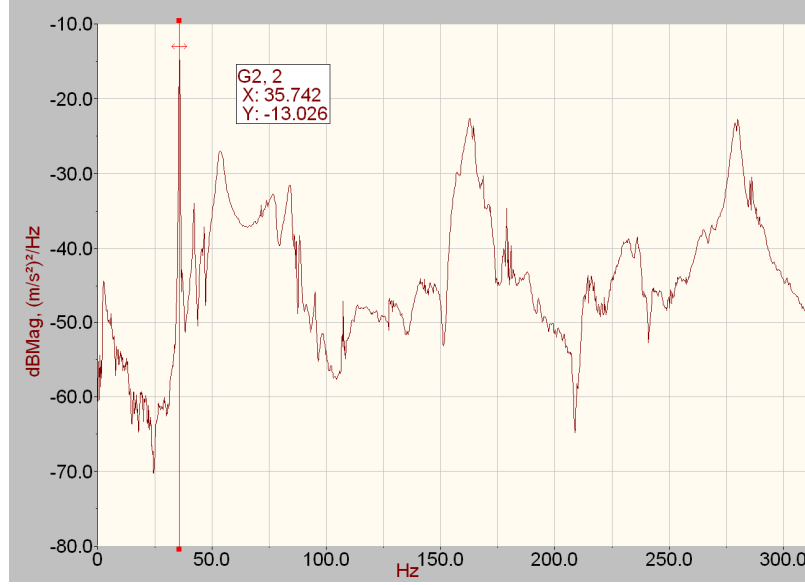
Şekil 11.11 Genlik Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



Şekil 11.12 Hız Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



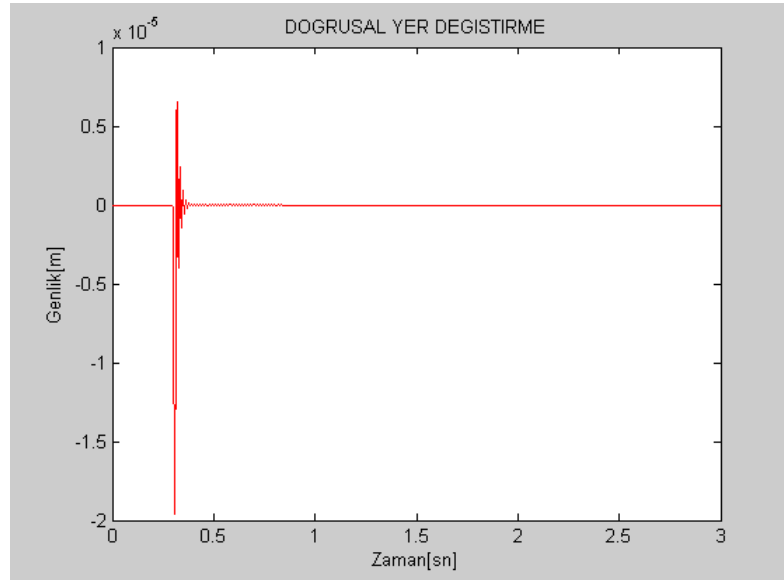
Şekil 11.13 İvme Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



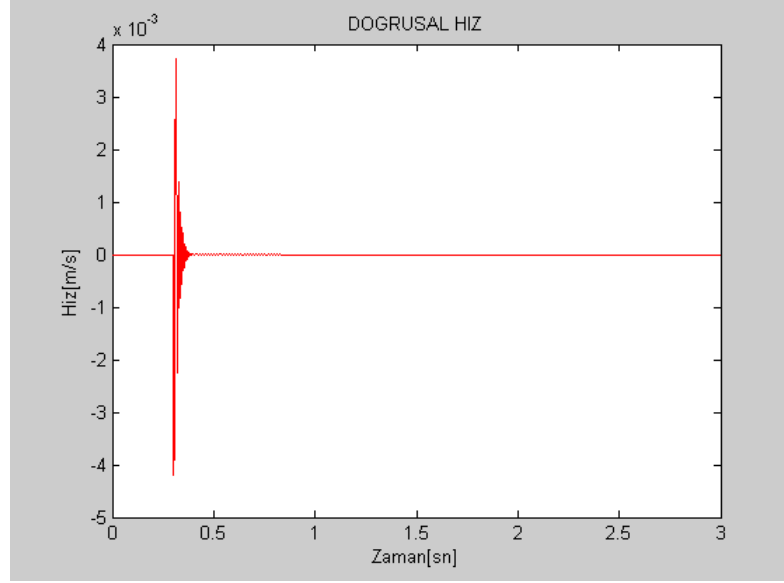
Şekil 11.14 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri

11.1.4. . Darbe giriş fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları

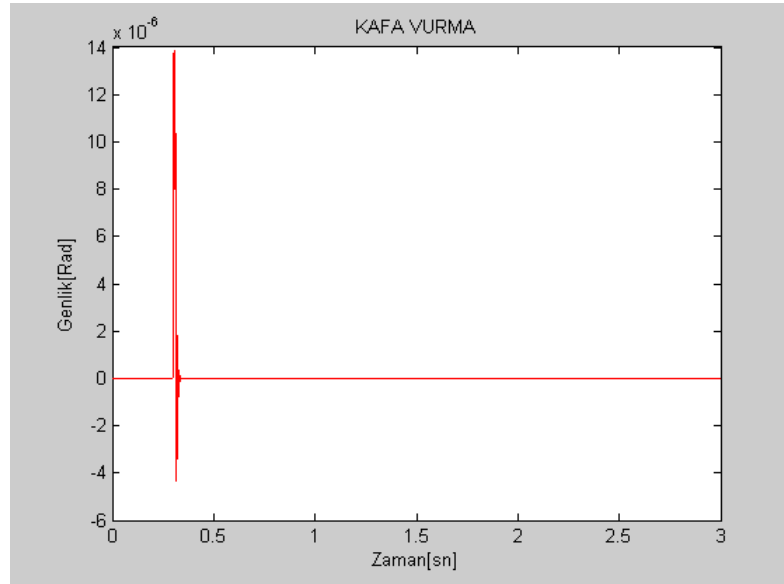
Çekiçle oluşturulan F_d darbe kuvveti etkisi altındaki sistemin durum-uzay analizi yapılarak elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



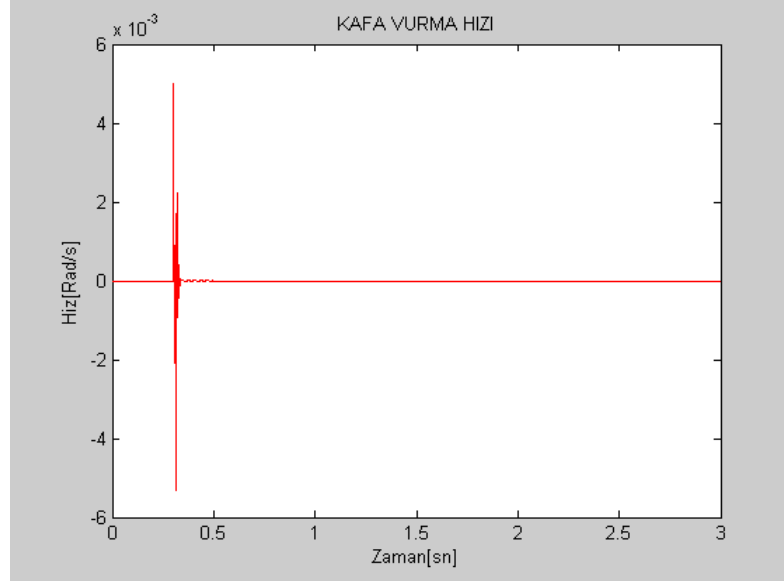
Şekil 11.15 Doğrusal yer değıştirme
(y doğrultusunda) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



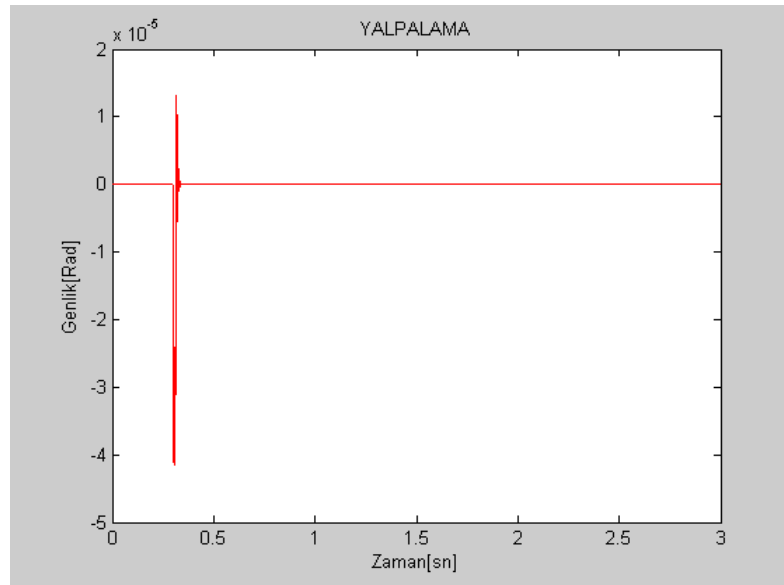
Şekil 11.16 Doğrusal yer değıştirme hızı
(y doğrultusunda) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



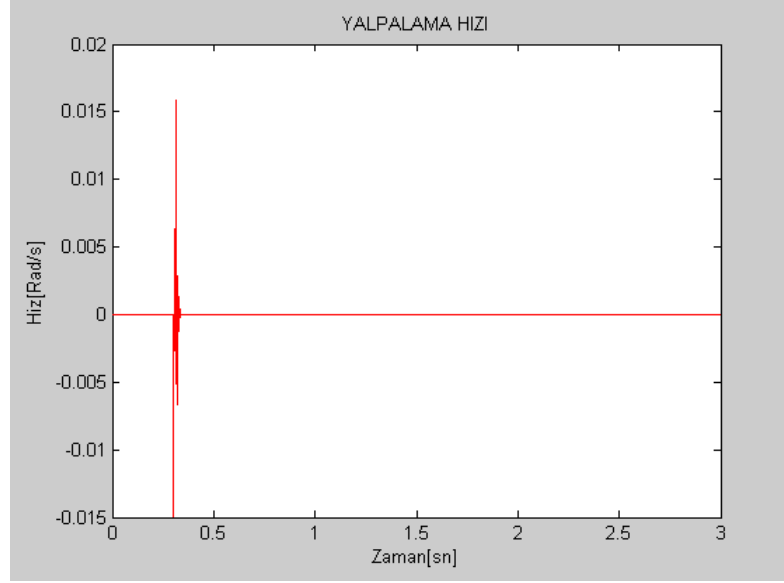
Şekil 11.17 Kafa vurma hareketi
(z etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



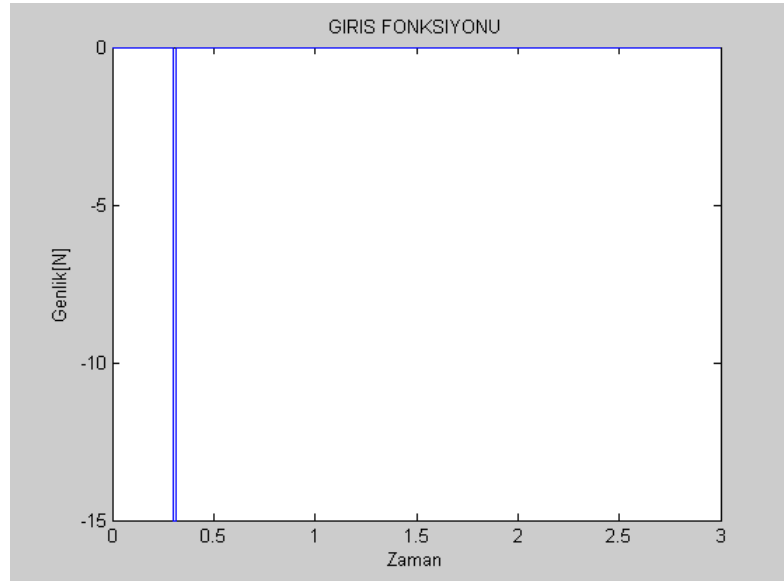
Şekil 11.18 Kafa vurma hareketi hızı
(z etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



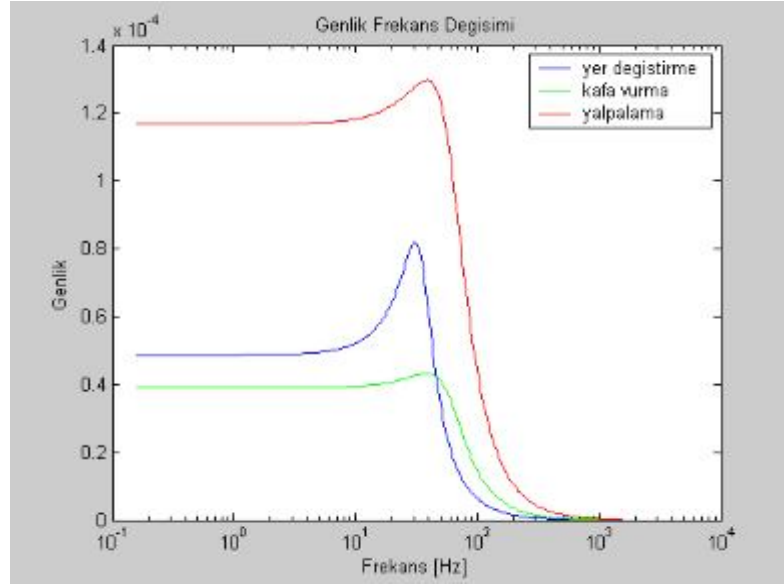
Şekil 11.19 Yalpalama hareketi
(x etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



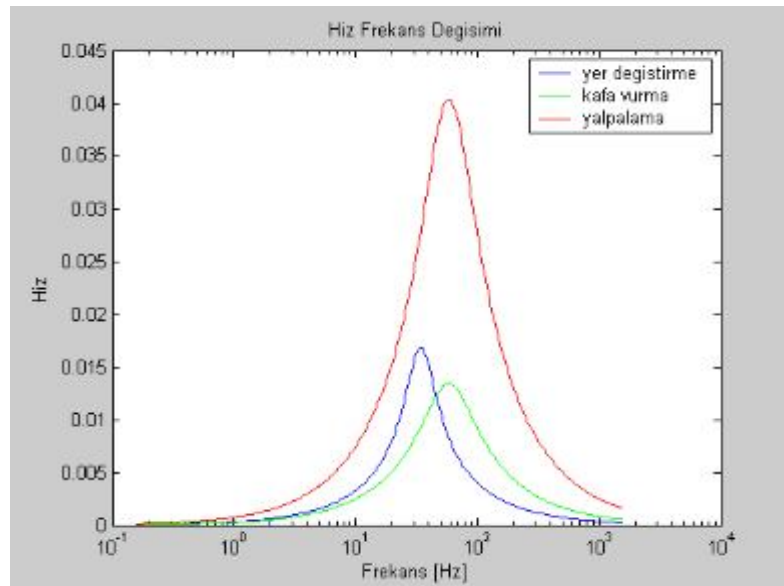
Şekil 11.20 Yalpalam hareketi hızı
(x etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



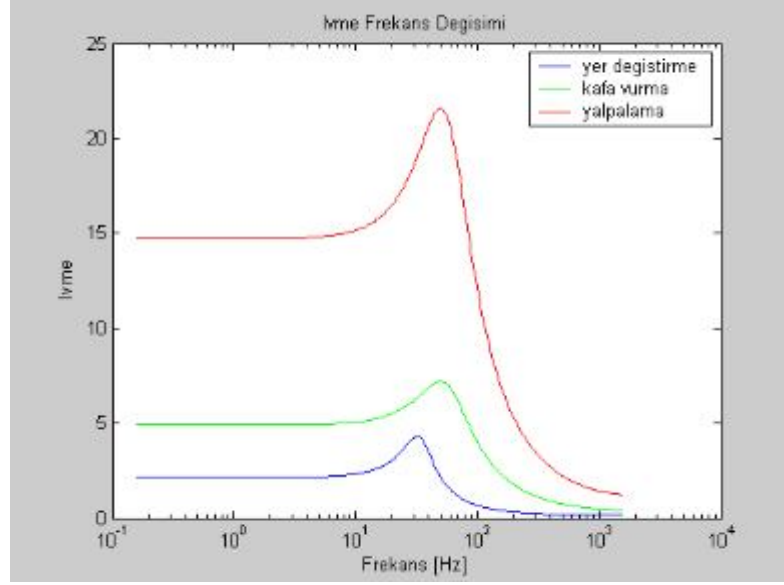
Şekil 11.21 Giriş Fonksiyonu



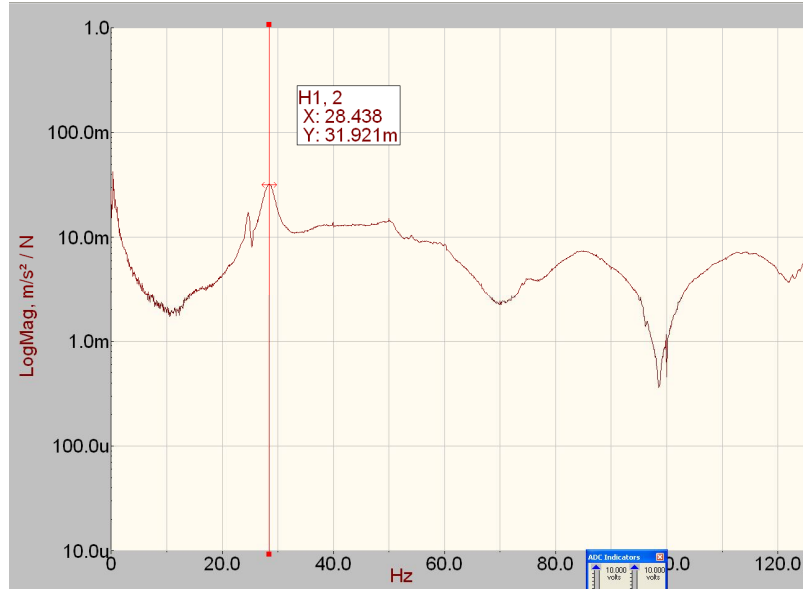
Şekil 11.22 Genlik Frekans Değişimi ($k=308.21 \times 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



Şekil 11.23 Hız Frekans Değişimi ($k=308.21 \times 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



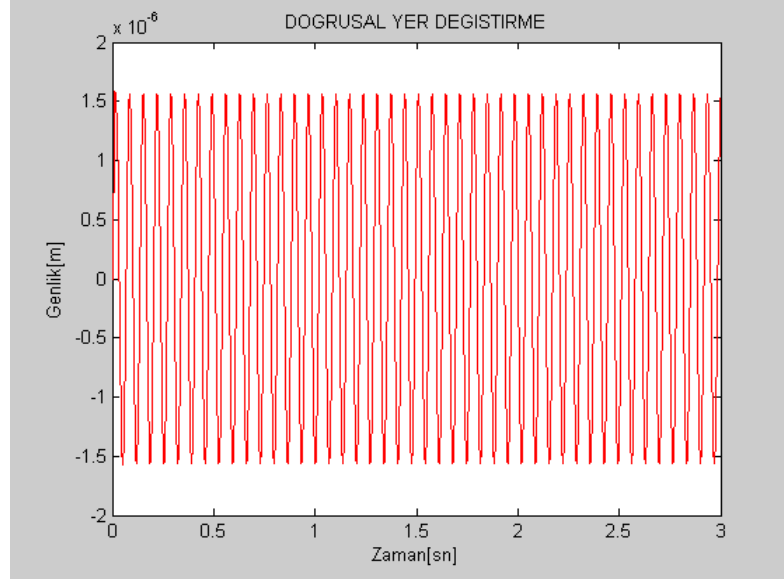
Şekil 11.24 İvme Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



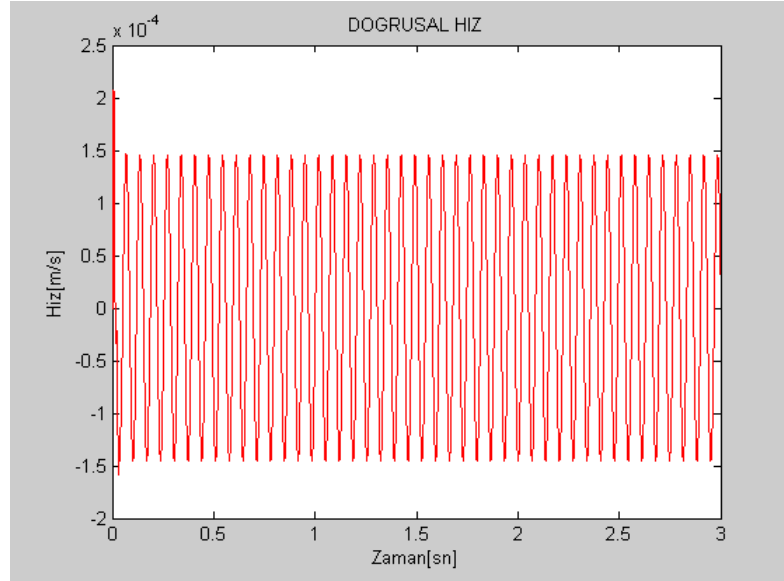
Şekil 11.25 Deneý düzeneğinden elde edilen frekans deęerleri

11.1.5. Sinusoidal kuvvet fonksiyonunun etkili olduğu durum için sistem cevapları

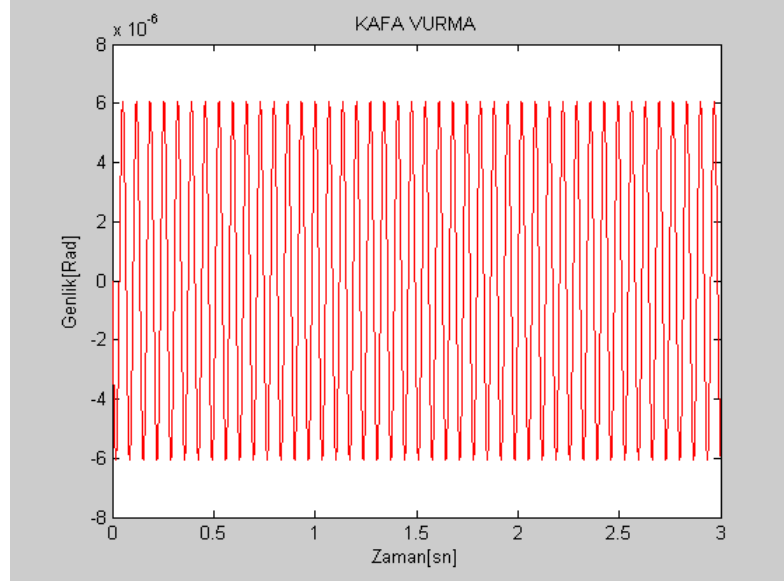
Motordan kaynaklanan F_v sinusoidal kuvveti etkisi altındaki sistemin durum-uzay analizi yapılarak elde edilen grafikler aşağıdaki gibidir.



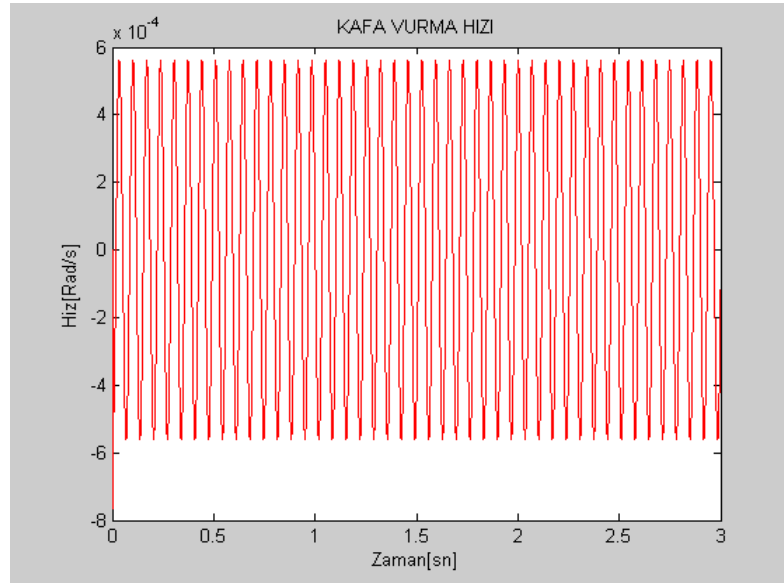
Şekil 11.26 Doğrusal yer değiştirme
(y doğrultusunda) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



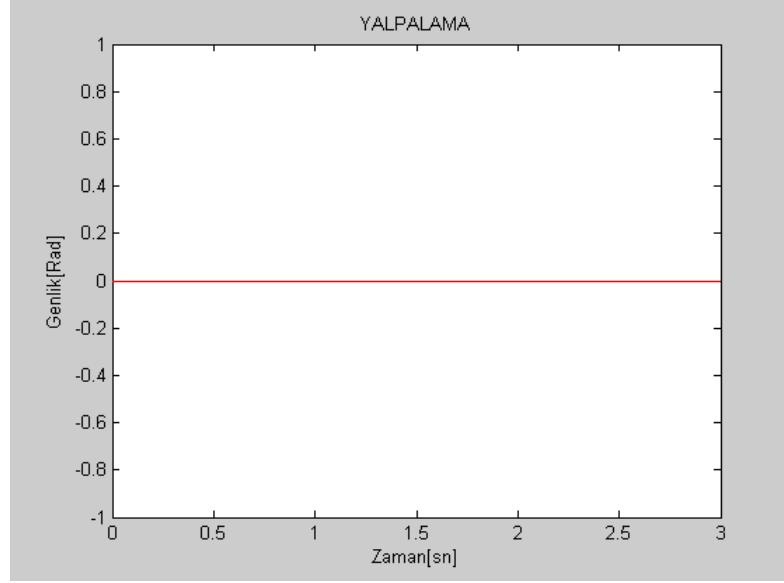
Şekil 11.27 Doğrusal yer değiştirme Hızı
(y doğrultusunda) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



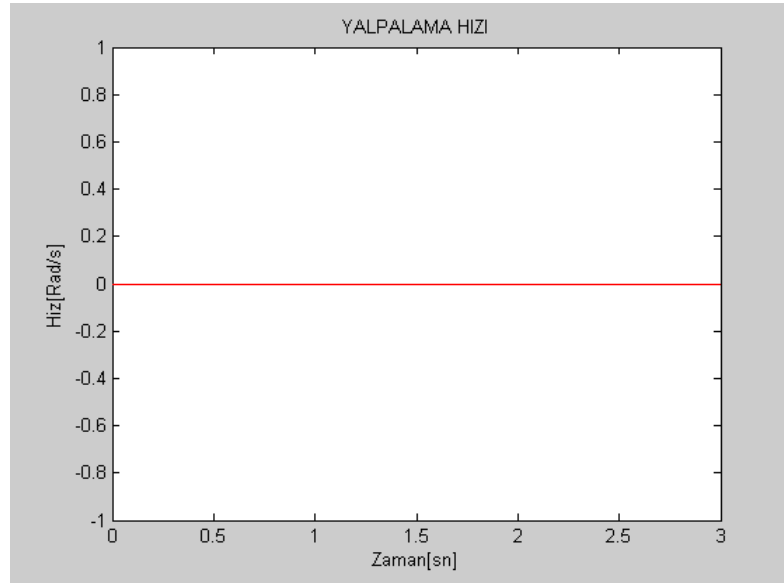
Şekil 11.28 Kafa Vurma Hareketi
(z etrafında) ($k=308.21 \times 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



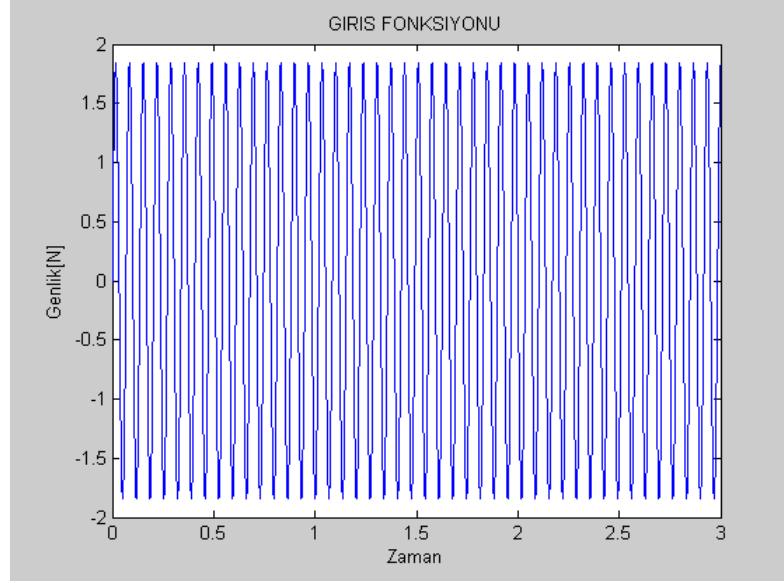
Şekil 11.29 Kafa Vurma Hareketi Hızı
(z etrafında) ($k=308.21 \times 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



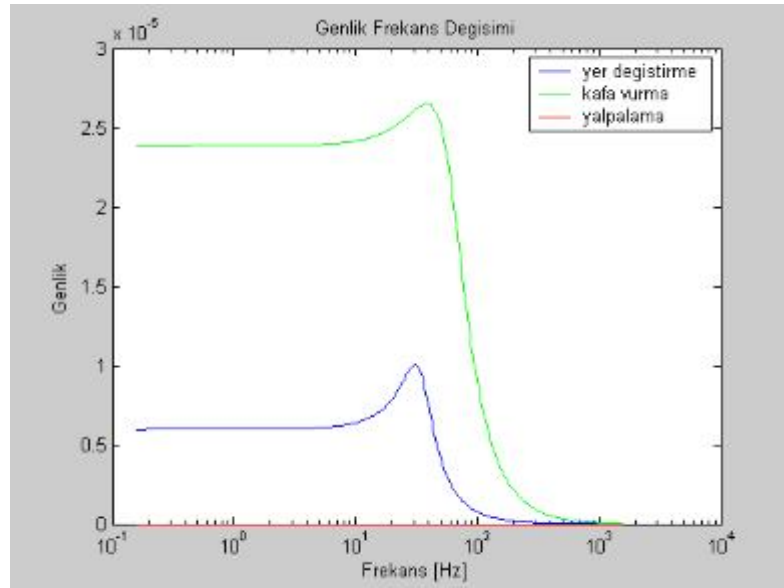
Şekil 11.30 Yalpalama Hareketi
(x etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)

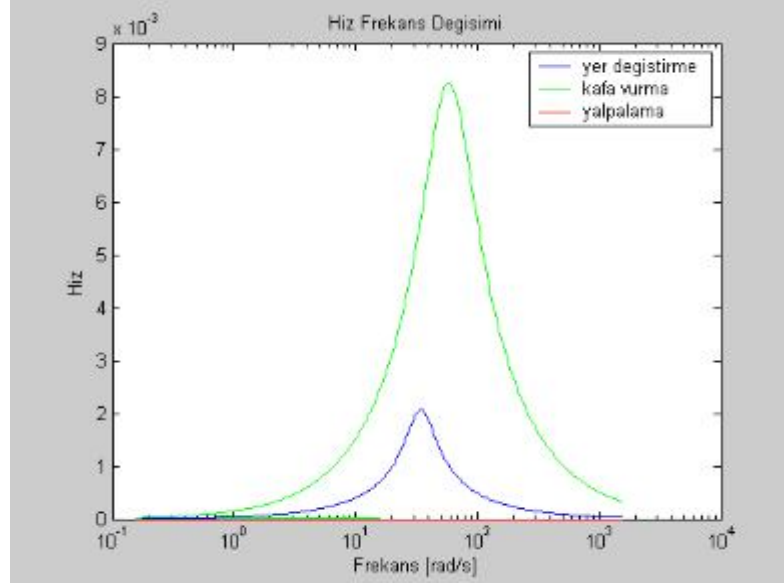


Şekil 11.31 Yalpalama Hareketi Hızı
(x etrafında) ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)

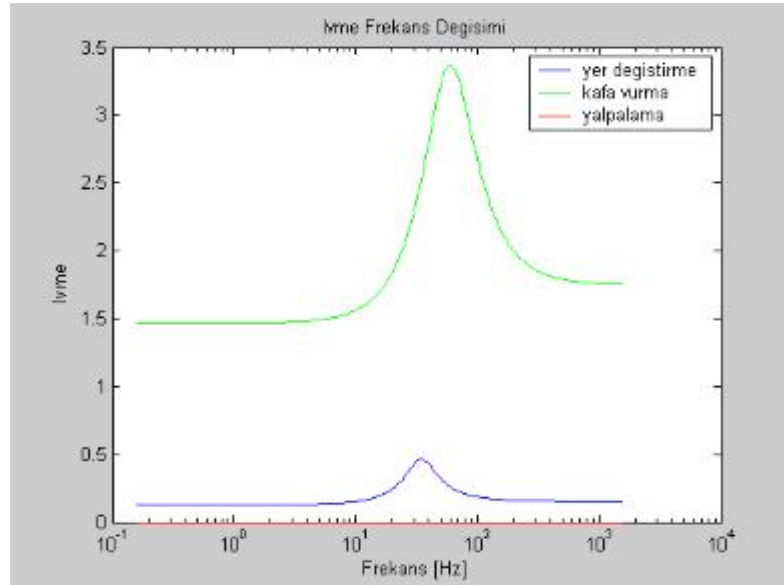


Şekil 11.32 Giriş Fonksiyonu

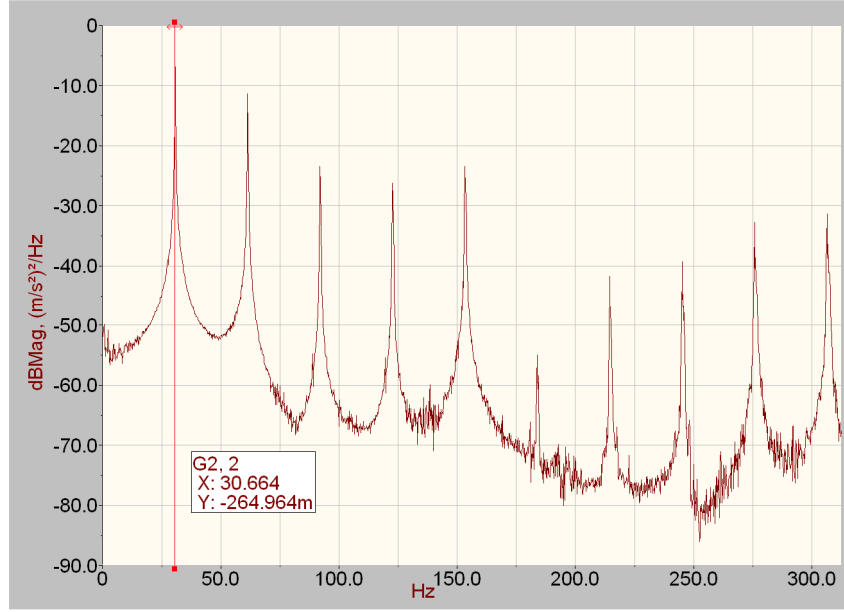
Şekil 11.33 Genlik Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



Şekil 11.34 Hız Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



Şekil 11.35 İvme Frekans Değişimi ($k=308.21 \cdot 10^3 \text{N/m}$ ve $c=222.92 \text{Ns/m}$)



Şekil 11.36 Deney düzeneğinden elde edilen frekans değerleri

12. SONUÇLAR

Tez çalışmasında dört noktadan viskoelastik mesnetli plağın titreşim hareketleri deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Nümerik inceleme MatlabR12 ticari yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Nümerik inceleme için yazılan program örnekleri ekte gösterilmiştir. Deneysel incelemede ise Dataphsys deney ekipmanları kullanılmıştır. Deneysel sistem verileri kullanılarak yine MatlabR12 yazılımında hazırlanan ve örnekleri ekte verilen programlarla nümerik sonuçlarda bulunmuş deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Genel itibariyle çalışmanın amacı gerçek hayatta sanayide sıkça kullanılan yüksek vuruş gücüne sahip eksantrik veya mekanik preslerin sebebiyet verdiği titreşimleri azaltırken zemine iletilen kuvveti de belli sınırlar içerisinde tutacak optimum yay ve sönüm katsayılarına ulaşmaktır. Laboratuvar ortamında incelenme yapabilmek için plak ve onu destekleyen yay ve sönüm elemanlarından oluşan deneysel model hazırlanmıştır. Bu model gerçek preslerin basitleştirilmiş bir örneğidir.

Nümerik olarak yapılan incelemede yay ve sönüm katsayılarının her birinin zemine iletilen kuvvete etkileri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda bulunan optimum yay ve sönüm katsayıları kullanılarak durum-uzay analizi yapılmıştır.

Deneysel olarak toplamda iki farklı izolasyon sistemi için 3 ayrı durum incelenmiştir. Bunlardan ilki viskoelastik sönümlenme sistemi için darbe kuvvetinin tek başına etkili olduğu durum, darbe ve sinüsoidal kuvvetin bir arada etkili olduğu durum ve sinüsoidal kuvvetin tek başına etkili olduğu durumdur. İkincisi ise histeretik izolasyon sistemi için darbe kuvvetinin tek başına etkili olduğu durum, darbe ve sinüsoidal kuvvetin bir arada etkili olduğu durum ve sinüsoidal kuvvetin tek başına etkili olduğu durumdur. Deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırıldığında frekans değerleri arasında farklar olduğu görülmektedir. Bunun sebebi çevresel koşullar, mesnetleme (cıvata, delik mesnetlemenin tam rijit olamaması vb.) ve pistonada oluşabilecek sürtünmelerdir.

Genel olarak çalışmaya bakıldığında deneysel ve nümerik çalışmanın sonucunda histeretik sönümlenmenin viskoelastik sönümlenmeden daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

Altıntaş, G., (2003) “Simetri Eksenleri Dışına Yerleştirilmiş Kelvin-Voigt Tipi Viskoelastik Nokta Mesnetli Plakların Zorlanmış Titreşimlerinin Analizi”, Ytüd 2003/4, Manisa

Arya S.C., O’Neil M.W., Pincus G., (1979), “Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines”, Gulf Publishing Company, Houston, Texas

Baker, J. K., (1975), “Vibration Isolation”, Oxford University Pres, Great John Wiley and Sons Ltd Britain

Bakşiyev I., Ertaş H.A. (2003), “Makinaların Güç ve Hareket İletim Mekanizmalarının Lineer Hareket Denklemleri”, 11. Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu Bildirisi

Balandin, D.V., Bolotnik N.N., Pilkey W.D.,(2001), “Optimal Protection From Impact, Shock, and Vibration”, Gordon and Breach Science Publishers, Netherlands

Calio I., Marletta M. (2003), “Passive Control of the Seismic Rocking Response of Art Objects”, Engineering Structures 25 (2003) 1009-1018

Crede, C. E., (1951), “Vibration and Shock Isolation”, John Wiley and Sons Ltd., New York

Çiftkaya M. A., (1986), “İmalat Makinalarında Temel Titreşimlerin İzolasyon Etüdü”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Demir, C., (2003), “Altı tahrikli (6x6) Askeri Bir Aracın Silah Atış Pozisyonlarında ve Arazide Seyir Halinde Dinamik Durumunun İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

Gerb GmbH, (2000), “Vibration Isolation Systems”, Gerb GmbH, 13407 Berlin, Germany

Gürsoy, D.D., (2007), “Bir Eksantrik Presin Pasif Titreşim Kontrolü Yöntemleri ile Titreşim İzolasyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul

Hahn, H., Neumann M., (1998), “Computer Simulation and Dynamic Analysis of A Mechanical Pres Based on Different Engineer Models”, Mathematical and Computers in Simultion 46 (1998) 559-574, Germany,

Haris, C. M., Crede, C. E., “Shock and Vibration Handbook”, McGraw-Hill Book Company, New York

Karayel D., (1996), “Takım Tezgahı Titreşimleri ve Tasarım Açısından Yapı Dinamiğinin Tezgah Parametrelerine Etkisi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

İzmirli, B., (200 “Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Mead, D. J., (1998), Passive Vibration Control”, John Wiley and Sons Ltd., West Sussex, England

Nashif, A.D., Jones, D. I. G., Henderson, J. P., "Vibration Damping", John Wiley and Sons Ltd., New York

Rivin, E.I., (2003), "Passive Vibration Isolation", Asme Pres, New York

Silva, C.W., (2007), "Vibration Damping, Control, and Design", Crc Pres, Boca Raton

Şiren, M. N., (1996), "Taşıt Titreşimleri ve Süspansiyon Sistemleri", Uludağ Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Bursa

Yamada G., Irie T., Takahashi M., (1985) "Determination Of The Steady State Response of Viscoelastically Point-Supported Rectangular", Journal of Sound Vibration, 102, 2, 285-295

İNTERNET KAYNAKLARI

www.sciencedirect.com

www.gerb.com

www.wikipedia.com

www.bksv.com

www.yok.gov.tr

EKLER

- Ek 1 Darbe Giriş Fonksiyonu
- Ek 2 Sinüsoidal Kuvvet Fonksiyonu
- Ek 3 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Yay Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi
- Ek 4 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Sönüm Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi
- Ek 5 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Yay ve Sönüm Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi
- Ek 6 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Durum Uzay Analizi
- Ek 7 Histeretik Sönümlenme Sisteminin Yay Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi
- Ek 8 Histeretik Sönümlenme Sisteminin Yay Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi
- Ek 9 Histeretik Sönümlenme Sisteminin Durum Uzay Analizi
- Ek 10 Deneysel Sistem Darbe Giriş Fonksiyonu
- Ek 11 Deneysel Sistem Sinüsoidal Kuvvet Fonksiyonu
- Ek 12 Deneysel Visköz Sönümlü Sistemde Darbe Giriş Fonksiyonunun Tek Başına Etkili Olduğu Durum İçin Durum Uzay Analizi
- Ek 13 Deneysel Viskoelastik Mesnetli Sistemde Darbe Giriş Fonksiyonunun Tek Başına Etkili Olduğu Durum İçin Genlik Frekans Analizi
- Ek 14 Deneysel Viskoelastik Mesnetli Sistemde Darbe Giriş Fonksiyonunun Tek Başına Etkili Olduğu Durum İçin Hız Frekans Analizi
- Ek 15 Deneysel Viskoelastik Mesnetli Sistemde Darbe Giriş Fonksiyonunun Tek Başına Etkili Olduğu Durum İçin İvme Frekans Analizi
- Ek 30 TSE' nin titreşimle ilgili yayınlanan standartları

Ek 1 Darbe Giriş Fonksiyonu

```
global u1
```

```
u1=[];
```

```
F=-40000;
```

```
zaman=0;
```

```
for t=0:0.0001:0.2999;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=0;
```

```
end
```

```
for t=0.3:0.0001:0.3124;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=F;
```

```
end
```

```
for t=0.3125:0.0001:0.6999;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=0;
```

```
end
```

```
for t=0.7:0.0001:0.7124;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=F;
```

```
end
```

```
for t=0.7125:0.0001:1.0999;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=0;
```

```
end
```

```
for t=1.1:0.0001:1.1124;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=1.1125:0.0001:1.4999;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end

for t=1.5:0.0001:1.5124;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=1.5125:0.0001:1.8999;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end

for t=1.9:0.0001:1.9124;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=1.9125:0.0001:2.2999;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end

for t=2.3:0.0001:2.3124;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=2.3125:0.0001:2.6999;
```

```
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end

for t=2.7:0.0001:2.7124;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=2.7125:0.0001:3.0999;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end

for t=3.1:0.0001:3.1124;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=3.1125:0.0001:3.4999;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end

for t=3.5:0.0001:3.5124;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=F;
end

for t=3.5125:0.0001:3.8999;
    zaman=zaman+1;
    u1(zaman,1)=0;
end
```

```
for t=3.9:0.0001:3.9124;  
    zaman=zaman+1;  
    u1(zaman,1)=F;  
end
```

```
for t=3.9125:0.0001:4.2999;  
    zaman=zaman+1;  
    u1(zaman,1)=0;  
end
```

```
for t=4.3:0.0001:4.3124;  
    zaman=zaman+1;  
    u1(zaman,1)=F;  
end
```

```
for t=4.3125:0.0001:4.6999;  
    zaman=zaman+1;  
    u1(zaman,1)=0;  
end
```

```
for t=4.7:0.0001:4.7124;  
    zaman=zaman+1;  
    u1(zaman,1)=F;  
end
```

```
for t=4.7125:0.0001:5.1;  
    zaman=zaman+1;  
    u1(zaman,1)=0;  
end
```

Ek 2 Sinüsoidal Kuvvet Fonksiyonu

```
u2=[];
pi=3.14;

zaman=0;
for t=0:0.0001:5.1;
    zaman=zaman+1

n=150;
    W=(pi*n)/30;

m=157.74;
e=0.025;

    u2(zaman,1)=m*e*(W^2)*sin(W*t);

end
```

Ek 3 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Yay Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi

```
m=5906.927;
```

```
Jzz=13745.77;
```

```
Jxx=46921.93;
```

```
L=0.710355;
```

```
L1=0.33414;
```

```
L2=0.73657;
```

```
L3=0.34304;
```

```
L4=0.42767;
```

```
Lpres=0.201215;
```

```
LLpres=0.042315;
```

```
Lx=0.78457;
```

```
Ly=0.042315;
```

```
Z=zeros(3);
```

```
I=eye(3);
```

```
t=0:0.0001:5.1;
```

```
M=[m 0 0;0 Jzz 0;0 0 Jxx];
```

```
sayk=0;
```

```
for k=1:10:30000;
```

```
    sayk=sayk+1
```

```
k1=k;
```

```
k2=k;
```

```
k3=k;
```

```
k4=k;
```

```

K1=[];
K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;
K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;
K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;
K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;
K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);
K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;
K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;
K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;
K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);

```

```
c=3441;
```

```
c1=c;
```

```
c2=c;
```

```
c3=c;
```

```
c4=c;
```

```
C1=[];
```

```
C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;
```

```
C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;
```

```
C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;
```

```
C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;
```

```
C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);
```

```
C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;
```

```
C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;
```

```
C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;
```

```
C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);
```

```
A=[Z I
```

```
    inv(M)*-K1 inv(M)*-C1];
```

```
Z1=zeros(3,12);
```

```
C=eye(6);
```

```
D=zeros(6,2);
```

```
B=[0 0;0 0;0 0;1/m 1/m;-Lpres/Jzz -Lx/Jzz;LLpres/Jxx Ly/Jxx];
```

```
sys=ss(A,B,C,D);
```

```
t=0:0.0001:5.1;
```

```
u=[[u1] [u2]];
```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-  
L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-  
L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5). *  
cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax(sayk,1)=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);
```

```
ydepo(sayk,1)=max(abs(y(:,1)));
```

```
ytzdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,2)));
```

```
ytxdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,3)));
```

```
yhizdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,4)));
```

```
ytzhizdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,5)));
```

```
ytxhizdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,6)));
```

```
clear A B C D
```

```
end
```

```
k=1:10:30000;
```

```
figure(1)
```

```
subplot(4,2,1),plot(k,ydepo(:,1),'r'),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')  
ylabel('Genlik[m]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,2),plot(k,yhizdepo(:,1),'r'),title('DOGRUSAL HIZ')  
ylabel('Hiz[m/s]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(k,ytzdepo(:,1),'r'),title('KAFA VURMA')  
ylabel('Genlik[Rad]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(k,ytzhizdepo(:,1),'r'),title('KAFA VURMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(k,ytxdepo(:,1),'r'),title('YALPALAMA')  
ylabel('Genlik[Rad]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(k,ytxhizdepo(:,1),'r'),title('YALPALAMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')  
xlabel('Zaman[s]'),ylabel('Genlik[N]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(k,Fmax,'r'),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')  
xlabel('Yay katsayisi[N/m]'),ylabel('Kuvvet[N]')
```

Ek 4 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Sönüm Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi

m=5906.927;

Jzz=13745.77;

Jxx=46921.93;

L=0.710355;

L1=0.33414;

L2=0.73657;

L3=0.34304;

L4=0.42767;

Lpres=0.201215;

LLpres=0.042315;

Lx=0.78457;

Ly=0.042315;

Z=zeros(3);

I=eye(3);

t=0:0.0001:5.1;

M=[m 0 0;

0 Jzz 0;

0 0 Jxx];

k=28081;

k1=k;

k2=k;

k3=k;

k4=k;

K1=[];

```

K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;
K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;
K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;
K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;
K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);
K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;
K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;
K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;
K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);

sayc=0;
for c=1:10:20000;
    sayc=sayc+1

c1=c;
c2=c;
c3=c;
c4=c;

C1=[];
C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;
C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;
C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;
C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;
C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);
C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;
C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;
C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;
C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);

A=[Z I
    inv(M)*-K1 inv(M)*-C1];
Z1=zeros(3,12);
C=eye(6);

```

```
D=zeros(6,2);
```

```
B=[0 0;0 0;0 0;1/m 1/m;-Lpres/Jzz -Lx/Jzz;LLpres/Jxx Ly/Jxx];
```

```
sys=ss(A,B,C,D);
```

```
t=0:0.0001:5.1;
```

```
u=[[u1] [u2]];
```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-  
L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-  
L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*  
cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax(sayc,1)=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);
```

```
ydepo(sayc,1)=max(abs(y(:,1)));
```

```
ytzdepo(sayc,1)=max(abs(y(:,2)));
```

```
ytxdepo(sayc,1)=max(abs(y(:,3)));
```

```
yhizdepo(sayc,1)=max(abs(y(:,4)));
```

```
ytzhizdepo(sayc,1)=max(abs(y(:,5)));
```

```
ytxhizdepo(sayc,1)=max(abs(y(:,6)));
```

```
clear A B C D
```

```
end
```

```
c=1:10:20000;
```

```
figure(1)
```

```
subplot(4,2,1),plot(c,ydepo(:,1),'r'),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')  
ylabel('Genlik[m']),xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]')
```

```
subplot(4,2,2),plot(c,yhizdepo(:,1),'r'),title('DOGRUSAL HIZ')  
ylabel('Hiz[m/s]'),xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(c,ytzdepo(:,1),'r'),title('KAFKA VURMA')  
ylabel('Genlik[Rad]'),xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(c,ytzhizdepo(:,1),'r'),title('KAFKA VURMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]'),xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(c,ytxdepo(:,1),'r'),title('YALPALAMA')  
ylabel('Genlik[Rad]'),xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(c,ytxhizdepo(:,1),'r'),title('YALPALAMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]'),xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')  
xlabel('Zaman'),ylabel('Genlik[N]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(c,Fmax,'r'),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')  
xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]'),ylabel('Kuvvet[N]')
```

Ek 5 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Yay ve Sönüm Katsayısına Göre Optimizasyonun
Frekans Analizi

m=5906.927;

Jzz=13745.77;

Jxx=46921.93;

L=0.710355;

L1=0.33414;

L2=0.73657;

L3=0.34304;

L4=0.42767;

Lpres=0.201215;

LLpres=0.042315;

Lx=0.78457;

Ly=0.042315;

Z=zeros(3);

I=eye(3);

t=0:0.0001:5.1;

M=[m 0 0;

0 Jzz 0;

0 0 Jxx];

sayk=0;

for k=1:10:300;

sayk=sayk+1

k1=k;

k2=k;

k3=k;

k4=k;

K1=[];

K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;

K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;

K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;

K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;

K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);

K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;

K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;

K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;

K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);

sayc=0;

for c=1:10:300;

 sayc=sayc+1

c1=c;

c2=c;

c3=c;

c4=c;

C1=[];

C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;

C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;

C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;

C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;

C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);

C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;

C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;

C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;

C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);

```

A=[Z I
    inv(M)*-K1 inv(M)*-C1];

Z1=zeros(3,12);
C=eye(6);
D=zeros(6,2);

B=[0 0;0 0;0 0;1/m 1/m;-Lpres/Jzz -Lx/Jzz;LLpres/Jxx Ly/Jxx];

sys=ss(A,B,C,D);

t=0:0.0001:5.1;

u=[[u1] [u2]];

[y,t]=lsim(sys,u,t);

Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));

Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-
L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-
L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));

Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));

Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*
cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));

Fmax(sayk,sayc,1)=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);

ydepo(sayk,sayc,1)=max(abs(y(:,1)));
ytzdepo(sayk,sayc,1)=max(abs(y(:,2)));

```

```

ytxdepo(sayk,sayc,1)=max(abs(y(:,3)));
yhizdepo(sayk,sayc,1)=max(abs(y(:,4)));
ytzhizdepo(sayk,sayc,1)=max(abs(y(:,5)));
ytxhizdepo(sayk,sayc,1)=max(abs(y(:,6)));

clear A B C D

end

end

k=1:10:300;

c=1:10:300;

figure(1)

subplot(4,2,1),waterfall(c,k,ydepo),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')
xlabel('Genlik[m']),ylabel('Sonum[Ns/m']),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')

subplot(4,2,2),waterfall(c,k,ytzdepo),title('KAF A VURMA')
xlabel('Genlik[Rad]'),ylabel('Sonum[Ns/m']),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')

subplot(4,2,3),waterfall(c,k,ytxdepo),title('YALPALAMA')
xlabel('Genlik[Rad]'),ylabel('Sonum[Ns/m']),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')

subplot(4,2,4),waterfall(c,k,yhizdepo),title('DOGRUSAL HIZ')
xlabel('Hiz[m/s]'),ylabel('Sonum[Ns/m']),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')

subplot(4,2,5),waterfall(c,k,ytzhizdepo),title('KAF A VURMA HIZI')
xlabel('Hiz[Rad/s]'),ylabel('Sonum[Ns/m']),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')

subplot(4,2,6),waterfall(c,k,ytxhizdepo),title('YALPALAMA HIZI')
xlabel('Hiz[Rad/s]'),ylabel('Sonum[Ns/m']),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')

```

```
subplot(4,2,7),waterfall(c,k,Fmax),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')  
,zlabel('Kuvvet[N]'),ylabel('Sonum[Ns/m]'),xlabel('Yay katsayisi[N/m]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')  
xlabel('Zaman'),ylabel('Genlik[N]')
```

Ek 6 Viskoelastik Mesnetli Sistemin Durum Uzay Analizi

m=5906.927;

Jzz=13745.77;

Jxx=46921.93;

L=0.710355;

L1=0.33414;

L2=0.73657;

L3=0.34304;

L4=0.42767;

Lpres=0.201215;

LLpres=0.042315;

Lx=0.78457;

Ly=0.042315;

Z=zeros(3);

I=eye(3);

M=[m 0 0;

0 Jzz 0;

0 0 Jxx];

k=28081;

k1=k;

k2=k;

k3=k;

k4=k;

$K1=[];$
 $K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;$
 $K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$
 $K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$
 $K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$
 $K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);$
 $K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$
 $K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$
 $K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$
 $K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);$

$c=3441;$

$c1=c;$

$c2=c;$

$c3=c;$

$c4=c;$

$C1=[];$

$C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;$

$C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$

$C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$

$C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$

$C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);$

$C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$

$C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$

$C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$

$C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);$

$A=[Z I$

$\text{inv}(M)*-K1 \text{inv}(M)*-C1];$

$Z1=\text{zeros}(3,12);$

$C=\text{eye}(6);$

```
D=zeros(6,2);
```

```
B=[0 0;0 0;0 0;1/m 1/m;-Lpres/Jzz -Lx/Jzz;LLpres/Jxx Ly/Jxx];
```

```
sys=ss(A,B,C,D);
```

```
t=0:0.0001:5.1;
```

```
u=[[u1] [u2]];
```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)-L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+c*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);
```

```
Fmax1=abs(Fmax);
```

```
F=max(Fmax1);
```

```
figure(1)
```

```
subplot(4,2,1),plot(t,y(:,1),'r'),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')  
ylabel('Genlik[m]')
```

```
subplot(4,2,2),plot(t,y(:,4),'r'),title('DOGRUSAL HIZ')  
ylabel('Hiz[m/s]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(t,y(:,2),'r'),title('KAFA VURMA')  
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(t,y(:,5),'r'),title('KAFA VURMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(t,y(:,3),'r'),title('YALPALAMA')  
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(t,y(:,6),'r'),title('YALPALAMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')  
xlabel('Zaman[s]'),ylabel('Genlik[N]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(t,Fmax),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')  
xlabel('Zaman[s]'),ylabel('Kuvvet[N]')
```

Ek 7 Histeretik Sönümleme Sisteminin Yay Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi

m=5906.927;

Jzz=13745.77;

Jxx=46921.93;

L=0.710355;

L1=0.33414;

L2=0.73657;

L3=0.34304;

L4=0.42767;

Lpres=0.201215;

LLpres=0.042315;

Lx=0.78457;

Ly=0.042315;

Z=zeros(3);

I=eye(3);

t=0:0.0001:5.1;

M=[m 0 0;

0 Jzz 0;

0 0 Jxx];

nu=0.05;

sayk=0;

for k=1:10:80000;

sayk=sayk+1

k1=k;

$k_2=k;$

$k_3=k;$

$k_4=k;$

$K_1=[];$

$K_1(1,1)=k_1+k_2+k_3+k_4;$

$K_1(1,2)=-k_1*L_1+k_2*L_2-k_3*L_1+k_4*L_2;$

$K_1(1,3)=-k_1*L_3-k_2*L_3+k_3*L_4+k_4*L_4;$

$K_1(2,1)=-k_1*L_1+k_2*L_2-k_3*L_1+k_4*L_2;$

$K_1(2,2)=k_1*(L_1^2)+k_2*(L_2^2)+k_3*(L_1^2)+k_4*(L_2^2);$

$K_1(2,3)=k_1*L_1*L_3-k_2*L_2*L_3-k_3*L_1*L_4+k_4*L_2*L_4;$

$K_1(3,1)=-k_1*L_3-k_2*L_3+k_3*L_4+k_4*L_4;$

$K_1(3,2)=k_1*L_1*L_3-k_2*L_2*L_3-k_3*L_1*L_4+k_4*L_2*L_4;$

$K_1(3,3)=k_1*(L_3^2)+k_2*(L_3^2)+k_3*(L_4^2)+k_4*(L_4^2);$

$K_b=K_1*(1+i*\nu);$

$K_c=\text{real}(K_b);$

$K_d=\text{imag}(K_b);$

$A=[Z \ I$

$\text{inv}(M)*-K_c \ \text{inv}(M)*-K_d];$

$Z_1=\text{zeros}(3,12);$

$C=\text{eye}(6);$

$D=\text{zeros}(6,2);$

$B=[0 \ 0;0 \ 0;0 \ 0;1/m \ 1/m;-L_{pres}/J_{zz} \ -L_x/J_{zz};L_{pres}/J_{xx} \ L_y/J_{xx}];$

$\text{sys}=\text{ss}(A,B,C,D);$

$t=0:0.0001:5.1;$

```
u=[[u1] [u2]];
```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-  
L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-  
L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)+L1*y(  
:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax(sayk,1)=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);
```

```
ydepo(sayk,1)=max(abs(y(:,1)));
```

```
ytzdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,2)));
```

```
ytxdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,3)));
```

```
yhizdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,4)));
```

```
ytzhizdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,5)));
```

```
ytxhizdepo(sayk,1)=max(abs(y(:,6)));
```

```
clear A B C D
```

```
end
```

```
k=1:10:80000;
```

```
figure(1)
```

```
subplot(4,2,1),plot(k,ydepo(:,1)),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')  
ylabel('Genlik[m]')
```

```
subplot(4,2,2),plot(k,yhizdepo(:,1)),title('DOGRUSAL HIZ')  
ylabel('Hiz[m/s]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(k,ytzdepo(:,1)),title('KAFA VURMA')  
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(k,ytzhizdepo(:,1)),title('KAFA VURMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(k,ytxdepo(:,1)),title('YALPALAMA')  
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(k,ytxhizdepo(:,1)),title('YALPALAMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')  
xlabel('Zaman[s]'),ylabel('Genlik[N]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(k,Fmax),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')  
xlabel('Yay katsayisi[N/m]'),ylabel('Kuvvet[N]')
```

Ek 8 Histeretik Sönümleme Sisteminin Yay Katsayısına Göre Optimizasyonun Frekans Analizi

m=5906.927;

Jzz=13745.77;

Jxx=46921.93;

L=0.710355;

L1=0.33414;

L2=0.73657;

L3=0.34304;

L4=0.42767;

Lpres=0.201215;

LLpres=0.042315;

Lx=0.78457;

Ly=0.042315;

Z=zeros(3);

I=eye(3);

t=0:0.0001:5.1;

M=[m 0 0;

0 Jzz 0;

0 0 Jxx];

k=63200;

k1=k;

k2=k;

$k_3=k$;

$k_4=k$;

$K_1=[]$;

$K_1(1,1)=k_1+k_2+k_3+k_4$;

$K_1(1,2)=-k_1*L_1+k_2*L_2-k_3*L_1+k_4*L_2$;

$K_1(1,3)=-k_1*L_3-k_2*L_3+k_3*L_4+k_4*L_4$;

$K_1(2,1)=-k_1*L_1+k_2*L_2-k_3*L_1+k_4*L_2$;

$K_1(2,2)=k_1*(L_1^2)+k_2*(L_2^2)+k_3*(L_1^2)+k_4*(L_2^2)$;

$K_1(2,3)=k_1*L_1*L_3-k_2*L_2*L_3-k_3*L_1*L_4+k_4*L_2*L_4$;

$K_1(3,1)=-k_1*L_3-k_2*L_3+k_3*L_4+k_4*L_4$;

$K_1(3,2)=k_1*L_1*L_3-k_2*L_2*L_3-k_3*L_1*L_4+k_4*L_2*L_4$;

$K_1(3,3)=k_1*(L_3^2)+k_2*(L_3^2)+k_3*(L_4^2)+k_4*(L_4^2)$;

saynu=0;

for nu=0.001:0.01:1;

 saynu=saynu+1

$K_b=K_1*(1+i*nu)$;

$K_c=\text{real}(K_b)$;

$K_d=\text{imag}(K_b)$;

$A=[Z \ I$

$\text{inv}(M)*-K_c \ \text{inv}(M)*-K_d]$;

$Z_1=\text{zeros}(3,12)$;

$C=\text{eye}(6)$;

$D=\text{zeros}(6,2)$;

$B=[0 \ 0;0 \ 0;0 \ 0;1/m \ 1/m;-L_{pres}/J_{zz} \ -L_x/J_{zz};LL_{pres}/J_{xx} \ L_y/J_{xx}]$;

sys=ss(A,B,C,D);

```
t=0:0.0001:5.1;
```

```
u=[[u1] [u2]];
```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-  
L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-  
L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)+L1*y(  
(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax(saynu,1)=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);
```

```
ydepo(saynu,1)=max(abs(y(:,1)));
```

```
ytzdepo(saynu,1)=max(abs(y(:,2)));
```

```
ytxdepo(saynu,1)=max(abs(y(:,3)));
```

```
yhizdepo(saynu,1)=max(abs(y(:,4)));
```

```
ytzhizdepo(saynu,1)=max(abs(y(:,5)));
```

```
ytxhizdepo(saynu,1)=max(abs(y(:,6)));
```

```
clear A B C D
```

```
end
```

```
nu=0.001:0.01:1;
```

figure(3)

```
subplot(4,2,1),plot(nu,ydepo(:,1),'r'),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')  
ylabel('Genlik[m'])
```

```
subplot(4,2,2),plot(nu,yhizdepo(:,1),'r'),title('DOGRUSAL HIZ')  
ylabel('Hiz[m/s]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(nu,ytzdepo(:,1),'r'),title('KAFA VURMA')  
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(nu,ytzhizdepo(:,1),'r'),title('KAFA VURMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(nu,ytxdepo(:,1),'r'),title('YALPALAMA')  
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(nu,ytxhizdepo(:,1),'r'),title('YALPALAMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')  
xlabel('Zaman'),ylabel('Genlik[N]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(nu,Fmax,'r'),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')  
xlabel('Sonum katsayisi[Ns/m]'),ylabel('Kuvvet[N]')
```

Ek 9 Histeretik Sönümleme Sisteminin Durum Uzay Analizi

m=5906.927;

Jzz=13745.77;

Jxx=46921.93;

L=0.710355;

L1=0.33414;

L2=0.73657;

L3=0.34304;

L4=0.42767;

Lpres=0.201215;

LLpres=0.042315;

Lx=0.78457;

Ly=0.042315;

Z=zeros(3);

I=eye(3);

t=0:0.0001:5.1;

M=[m 0 0;

0 Jzz 0;

0 0 Jxx];

k=63200;

k1=k;

k2=k;

k3=k;

k4=k;

```

K1=[];
K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;
K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;
K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;
K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;
K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);
K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;
K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;
K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;
K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);

nu=0.05;

Kb=K1*(1+i*nu);

Kc=real(Kb);

Kd=imag(Kb);

A=[Z I
    inv(M)*-Kc inv(M)*-Kd];

Z1=zeros(3,12);
C=eye(6);
D=zeros(6,2);

B=[0 0;0 0;0 0;1/m 1/m;-Lpres/Jzz -Lx/Jzz;LLpres/Jxx Ly/Jxx];

sys=ss(A,B,C,D);

t=0:0.0001:5.1;

u=[[u1] [u2]];

```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
Fmax1=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)-L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax2=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)-  
L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)+L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)-  
L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax3=k*(y(:,1)-L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)-  
L1*y(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax4=k*(y(:,1)+L1*sin((180*y(:,2))/pi)+L3*sin((180*y(:,3))/pi))+(nu*k)*W*(y(:,4)+L1*y(  
(:,5).*cos((180*y(:,2))/pi)+L3*y(:,6).*cos((180*y(:,3))/pi));
```

```
Fmax=max(Fmax1+Fmax2+Fmax3+Fmax4);
```

```
figure(1)
```

```
subplot(4,2,1),plot(t,y(:,1),'r'),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')  
ylabel('Genlik[m]'),xlabel('Zaman[sn]')
```

```
subplot(4,2,2),plot(t,y(:,4),'r'),title('DOGRUSAL HIZ')  
ylabel('Hiz[m/s]'),xlabel('Zaman[sn]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(t,y(:,2),'r'),title('KAFA VURMA')  
ylabel('Genlik[Rad]'),xlabel('Zaman[sn]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(t,y(:,5),'r'),title('KAFA VURMA HIZI')  
ylabel('Hiz[Rad/s]'),xlabel('Zaman[sn]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(t,y(:,3),'r'),title('YALPALAMA')
```

```
ylabel('Genlik[Rad]'),xlabel('Zaman[sn]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(t,y(:,6),'r'),title('YALPALAMA HIZI')
```

```
ylabel('Hiz[Rad/s]'),xlabel('Zaman[sn]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')
```

```
xlabel('Zaman'),ylabel('Genlik[N]')
```

```
subplot(4,2,8),plot(t,Fmax,'r'),title('ZEMINE ILETILEN KUVVET')
```

```
xlabel('zaman'),ylabel('Kuvvet[N]')
```

Ek 10 Deney Sistemi Darbe Giriş Fonksiyonu

```
global u1
```

```
u1=[];
```

```
F=-15;
```

```
zaman=0;
```

```
for t=0:0.0001:0.2999;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=0;
```

```
end
```

```
for t=0.3:0.0001:0.3124;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=F;
```

```
end
```

```
for t=0.3125:0.0001:10;
```

```
    zaman=zaman+1;
```

```
    u1(zaman,1)=0;
```

```
end
```

Ek 11 Deney Sistemi Sinüsoidal Kuvvet Fonksiyonu

```
global u2
global F2

u2=[];
pi=3.14;

zaman=0;
for t=0:0.0001:10;
    zaman=zaman+1

n=885;
    W=(pi*n)/30;

m=0.007142;
e=0.03;

F2=m*e*(W^2)*sin(W*t);

    u2(zaman,1)=F2;

end
```

Ek 12 Deneysel Viskoelastik Mesnetli Sistemde Sinusoidal Kuvvet ve Darbe Giriş
Fonksiyonlarının Bir Arada Etkili Olduğu Durum İçin Durum Uzay Analizi

$$m=6.589;$$

$$J_{zz}=0.14289;$$

$$J_{xx}=0.14289;$$

$$L_1=0.25;$$

$$L_2=0.25;$$

$$L_3=0.25;$$

$$L_4=0.25;$$

$$L_{pres}=0.05;$$

$$LL_{pres}=0.15;$$

$$x=0.25;$$

$$y=0;$$

$$Z=zeros(3);$$

$$I=eye(3);$$

$$M=[m \ 0 \ 0;$$

$$0 \ J_{zz} \ 0;$$

$$0 \ 0 \ J_{xx}];$$

$$k=127.15;$$

$$k_1=k;$$

$$k_2=k;$$

$$k_3=k;$$

$$k_4=k;$$

$$K_1=[];$$

$$K_1(1,1)=k_1+k_2+k_3+k_4;$$

$$K_1(1,2)=-k_1*L_1+k_2*L_2-k_3*L_1+k_4*L_2;$$

$$K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);$$

$$K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);$$

$$c=3.38;$$

$$c1=c;$$

$$c2=c;$$

$$c3=c;$$

$$c4=c;$$

$$C1=[];$$

$$C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;$$

$$C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);$$

$$C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);$$

$$A=[Z \ I$$

$$\quad \text{inv}(M)*-K1 \ \text{inv}(M)*-C1];$$

$$Z1=\text{zeros}(3,12);$$

$$C=\text{eye}(6);$$

$$D=\text{zeros}(6,2);$$

$$B=[0 \ 0;0 \ 0;0 \ 0;1/m \ 1/m;-Lpres/Jzz \ -x/Jzz;LLpres/Jxx \ y/Jxx];$$

```
sys=ss(A,B,C,D);
```

```
t=0:0.0001:10;
```

```
u=[[u1] [u2]];
```

```
[y,t]=lsim(sys,u,t);
```

```
a=diff(y)
```

```
hold on
```

```
figure(1)
```

```
subplot(4,2,1),plot(t,y(:,1),'r'),title('DOGRUSAL YER DEGISTIRME')
```

```
ylabel('Genlik[m]')
```

```
subplot(4,2,2),plot(t,y(:,4),'r'),title('DOGRUSAL HIZ')
```

```
ylabel('Hiz[m/s]')
```

```
subplot(4,2,3),plot(t,y(:,2),'r'),title('KAFKA VURMA')
```

```
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,4),plot(t,y(:,5),'r'),title('KAFKA VURMA HIZI')
```

```
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,5),plot(t,y(:,3),'r'),title('YALPALAMA')
```

```
ylabel('Genlik[Rad]')
```

```
subplot(4,2,6),plot(t,y(:,6),'r'),title('YALPALAMA HIZI')
```

```
ylabel('Hiz[Rad/s]')
```

```
subplot(4,2,7),plot(t,u),title('GIRIS FONKSIYONU')
```

```
xlabel('Zaman[s]'),ylabel('Genlik[N]')
```

Ek 13 Deneysel Viskoz Sönümlü Sistemde Sinusoidal Kuvvet ve Darbe Giriş
Fonksiyonlarının Bir Arada Etkili Olduğu Durum İçin Genlik Frekans Analizi

$$m=6.589;$$

$$J_{zz}=0.14289;$$

$$J_{xx}=0.14289;$$

$$L_1=0.25;$$

$$L_2=0.25;$$

$$L_3=0.25;$$

$$L_4=0.25;$$

$$L=L_4;$$

$$L_{pres}=0.05;$$

$$LL_{pres}=0.15;$$

$$L_x=0.25;$$

$$L_y=0;$$

$$F_d=15;$$

$$F_v=1.8384;$$

$$F=[F_d;F_v];$$

$$\pi=3.14;$$

$$k=127.15;$$

$$k_1=k;$$

$$k_2=k;$$

$$k_3=k;$$

$$k_4=k;$$

$$K1=[];$$

$$K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;$$

$$K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);$$

$$K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);$$

$$c=3.38;$$

$$c1=c;$$

$$c2=c;$$

$$c3=c;$$

$$c4=c;$$

$$C1=[];$$

$$C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;$$

$$C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);$$

$$C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);$$

$$A=[0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0$$

$$0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0$$

$$0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1$$

$$-(K1(1,1))/m\ -(K1(1,2))/m\ -(K1(1,3))/m\ -(C1(1,1))/m\ -(C1(1,2))/m\ -(C1(1,3))/m$$

$$-(K1(2,1))/Jzz\ -(K1(2,2))/Jzz\ -(K1(2,3))/Jzz\ -(C1(2,1))/Jzz\ -(C1(2,2))/Jzz\ -(C1(2,3))/Jzz$$

$$-(K1(3,1))/Jxx\ -(K1(3,2))/Jxx\ -(K1(3,3))/Jxx\ -(C1(3,1))/Jxx\ -(C1(3,2))/Jxx\ -(C1(3,3))/Jxx];$$

```

B=[0 0
    0 0
    0 0
    (Fd/m) (Fv/m)
    Fd*(-Lpres/Jzz) Fv*(-Lx/Jzz)
    Fd*(LLpres/Jxx) Fv*(Ly/Jxx)];

```

```

C=[-(K1(1,1))/m -(K1(1,2))/m -(K1(1,3))/m -(C1(1,1))/m -(C1(1,2))/m -(C1(1,3))/m
    -(K1(2,1))/Jzz -(K1(2,2))/Jzz -(K1(2,3))/Jzz -(C1(2,1))/Jzz -(C1(2,2))/Jzz -(C1(2,3))/Jzz
    -(K1(3,1))/Jxx -(K1(3,2))/Jxx -(K1(3,3))/Jxx -(C1(3,1))/Jxx -(C1(3,2))/Jxx -(C1(3,3))/Jxx];

```

```

D=[1/m
    -Lpres/Jzz
    LLpres/Jxx];

```

```

Cx=[1 0 0 0 0 0
    0 1 0 0 0 0
    0 0 1 0 0 0];

```

```

Dx=[0;0;0];

```

```

w = logspace(0,2,400);

```

```

[mag2,phase2] = bode(A,B,Cx,Dx,1,w);

```

```

semilogx((w/(2*pi)),mag2(:,1),'b',(w/(2*pi)),mag2(:,2),'g',(w/(2*pi)),mag2(:,3),'r')
title('Genlik Frekans Degisimi')
xlabel('Frekans [rad/s]'), ylabel('Genlik')
legend('yer degistirme','kafa vurma','yalpalama')
hold on

```

Ek 14 Deneysel Viskoz Sönümlü Sistemde Sinusoidal Kuvvet ve Darbe Giriş
Fonksiyonlarının Bir Arada Etkili Olduğu Durum İçin Hız Frekans Analizi

$$m=6.589;$$

$$J_{zz}=0.14289;$$

$$J_{xx}=0.14289;$$

$$L_1=0.25;$$

$$L_2=0.25;$$

$$L_3=0.25;$$

$$L_4=0.25;$$

$$L=L_4;$$

$$L_{pres}=0.05;$$

$$LL_{pres}=0.15;$$

$$L_x=0.25;$$

$$L_y=0;$$

$$F_d=15;$$

$$F_v=1.8384;$$

$$F=[F_d;F_v];$$

$$\pi=3.14;$$

$$k=127.15;$$

$$k_1=k;$$

$$k_2=k;$$

$$k_3=k;$$

$$k_4=k;$$

$$K1=[];$$

$$K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;$$

$$K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);$$

$$K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);$$

$$c=3.38;$$

$$c1=c;$$

$$c2=c;$$

$$c3=c;$$

$$c4=c;$$

$$C1=[];$$

$$C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;$$

$$C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);$$

$$C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);$$

$$A=[0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0$$

$$0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0$$

$$0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1$$

$$-(K1(1,1))/m -(K1(1,2))/m -(K1(1,3))/m -(C1(1,1))/m -(C1(1,2))/m -(C1(1,3))/m$$

$$-(K1(2,1))/Jzz -(K1(2,2))/Jzz -(K1(2,3))/Jzz -(C1(2,1))/Jzz -(C1(2,2))/Jzz -(C1(2,3))/Jzz$$

$$-(K1(3,1))/Jxx -(K1(3,2))/Jxx -(K1(3,3))/Jxx -(C1(3,1))/Jxx -(C1(3,2))/Jxx -(C1(3,3))/Jxx];$$

```

B=[0 0
    0 0
    0 0
    (Fd/m) (Fv/m)
    Fd*(-Lpres/Jzz) Fv*(-Lx/Jzz)
    Fd*(LLpres/Jxx) Fv*(Ly/Jxx)];

```

```

C=[-(K1(1,1))/m -(K1(1,2))/m -(K1(1,3))/m -(C1(1,1))/m -(C1(1,2))/m -(C1(1,3))/m
    -(K1(2,1))/Jzz -(K1(2,2))/Jzz -(K1(2,3))/Jzz -(C1(2,1))/Jzz -(C1(2,2))/Jzz -(C1(2,3))/Jzz
    -(K1(3,1))/Jxx -(K1(3,2))/Jxx -(K1(3,3))/Jxx -(C1(3,1))/Jxx -(C1(3,2))/Jxx -(C1(3,3))/Jxx];

```

```

D=[1/m
    -Lpres/Jzz
    LLpres/Jxx];

```

```

Cv=[0 0 0 1 0 0
     0 0 0 0 1 0
     0 0 0 0 0 1];

```

```

Dv=[0;0;0];

```

```

w = logspace(0,2,400);

```

```

f=w/2*pi;

```

```

[mag3,phase3] = bode(A,B,Cv,Dv,1,w);

```

```

semilogx((w/(2*pi)),mag(:,1),'b',(w/(2*pi)),mag3(:,2),'g',(w/(2*pi)),mag3(:,3),'r')
title('Hiz Frekans Degisimi')
xlabel('Frekans [rad/s]'), ylabel('Hiz')
legend('yer degistirme','kafa vurma','yalpalama')

```

Ek 15 Deneysel Viskoz Sönümlü Sistemde Sinusoidal Kuvvet ve Darbe Giriş
Fonksiyonlarının Bir Arada Etkili Olduğu Durum İçin İvme Frekans Analizi

$$m=6.589;$$

$$J_{zz}=0.14289;$$

$$J_{xx}=0.14289;$$

$$L_1=0.25;$$

$$L_2=0.25;$$

$$L_3=0.25;$$

$$L_4=0.25;$$

$$L=L_4;$$

$$L_{pres}=0.05;$$

$$LL_{pres}=0.15;$$

$$L_x=0.25;$$

$$L_y=0;$$

$$F_d=15;$$

$$F_v=1.8384;$$

$$F=[F_d;F_v];$$

$$\pi=3.14;$$

$$k=127.15;$$

$$k_1=k;$$

$$k_2=k;$$

$$k_3=k;$$

$$k_4=k;$$

$$K1=[];$$

$$K1(1,1)=k1+k2+k3+k4;$$

$$K1(1,2)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(1,3)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(2,1)=-k1*L1+k2*L2-k3*L1+k4*L2;$$

$$K1(2,2)=k1*(L1^2)+k2*(L2^2)+k3*(L1^2)+k4*(L2^2);$$

$$K1(2,3)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,1)=-k1*L3-k2*L3+k3*L4+k4*L4;$$

$$K1(3,2)=k1*L1*L3-k2*L2*L3-k3*L1*L4+k4*L2*L4;$$

$$K1(3,3)=k1*(L3^2)+k2*(L3^2)+k3*(L4^2)+k4*(L4^2);$$

$$c=3.38;$$

$$c1=c;$$

$$c2=c;$$

$$c3=c;$$

$$c4=c;$$

$$C1=[];$$

$$C1(1,1)=c1+c2+c3+c4;$$

$$C1(1,2)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(1,3)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(2,1)=-c1*L1+c2*L2-c3*L1+c4*L2;$$

$$C1(2,2)=c1*(L1^2)+c2*(L2^2)+c3*(L1^2)+c4*(L2^2);$$

$$C1(2,3)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,1)=-c1*L3-c2*L3+c3*L4+c4*L4;$$

$$C1(3,2)=c1*L1*L3-c2*L2*L3-c3*L1*L4+c4*L2*L4;$$

$$C1(3,3)=c1*(L3^2)+c2*(L3^2)+c3*(L4^2)+c4*(L4^2);$$

$$A=[0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0$$

$$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0$$

$$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1$$

$$-(K1(1,1))/m \ -(K1(1,2))/m \ -(K1(1,3))/m \ -(C1(1,1))/m \ -(C1(1,2))/m \ -(C1(1,3))/m$$

```

-(K1(2,1))/Jzz -(K1(2,2))/Jzz -(K1(2,3))/Jzz -(C1(2,1))/Jzz -(C1(2,2))/Jzz -(C1(2,3))/Jzz
-(K1(3,1))/Jxx -(K1(3,2))/Jxx -(K1(3,3))/Jxx -(C1(3,1))/Jxx -(C1(3,2))/Jxx -(C1(3,3))/Jxx];

```

```

B=[0 0
0 0
0 0
(Fd/m) (Fv/m)
Fd*(-Lpres/Jzz) Fv*(-Lx/Jzz)
Fd*(LLpres/Jxx) Fv*(Ly/Jxx)];

```

```

C=[-(K1(1,1))/m -(K1(1,2))/m -(K1(1,3))/m -(C1(1,1))/m -(C1(1,2))/m -(C1(1,3))/m
-(K1(2,1))/Jzz -(K1(2,2))/Jzz -(K1(2,3))/Jzz -(C1(2,1))/Jzz -(C1(2,2))/Jzz -(C1(2,3))/Jzz
-(K1(3,1))/Jxx -(K1(3,2))/Jxx -(K1(3,3))/Jxx -(C1(3,1))/Jxx -(C1(3,2))/Jxx -(C1(3,3))/Jxx];

```

```

D=[1/m
-Lpres/Jzz
LLpres/Jxx];

```

```

w = logspace(0,2,400);

```

```

[mag,phase] = bode(A,B,C,D,1,w);

```

```

semilogx((w/(2*pi)),mag(:,1),'b',(w/(2*pi)),mag(:,2),'g',(w/(2*pi)),mag(:,3),'r')

```

```

title('Ivme Frekans Degisimi')

```

```

xlabel('Frekans [rad/s]', ylabel('Ivme')

```

```

legend('yer degistirme','kafa vurma','yalpalama')

```

```

hold on

```

Ek 16 TSE' nin titreşimle ilgili yayınlanan standartları

TS 2774 Titreşim ve Şok - Terimler ve Tarifler

TS 2775 Tüm Vücutun Titreşim Etkisi Altında Kalma Durumunun Değerlendirilmesi İçin klavuz

TS 2776 Titreşim ve Şok - İzolatörler - Mekanik İzalasyon Özelliklerinin Belirlenmesi Esnek Sistemlerin Seçimi ve Kullanılması İçin Genel Kurallar

TS 2779 Titreşim ve Şok - Dönen ve Pistonlu Makinalarda Mekanik Titreşim, Titreşim Şiddeti Ölçme Cihazları İçin Aranılan Koşullar

TS 2782 Titreşim ve Şok - Çalıştırma Hızları 10-200 Devir/Saniye Olan Makinelerin Mekanik Titreşimi - Değerlendirme Standardlarını Belirtmek İçin Temel Esaslar

TS 2843 Titreşim ve Şok - Dengeleme - Terimler ve Tarifler

TS 2844 Titreşim ve Şok - Yerinde Dengeleme Cihazı Tanımlama ve Değerlendirme

TS 2873 Titreşim ve Şok - Dengeleme Makineleri Tanımlama ve Değerlendirme

TS 3879 Tarım Traktör ve Makineleri Sürücüsünü Etkileyen Titreşim Deneyleri

TS 3967 Titreşimler- Mil Yüksekliği 80 mm-400 mm Arasında Olan Bazı Döner Elektrik Makinalarının Mekanik Titreşimi- Titreşim Şiddetinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi

TS 7548 Hızları 10 Devir s-1-200 Devir s-1 Olan Döner Büyük Makinaların Mekanik Titreşimi - Kullanım Yerinde Titreşim Şiddetinin Ölçme ve Değerlendirme Kuralları

TSE CR 1030-1 El Kol Titreşimi-Titreşim Tehlikelerinin Azaltılması Prensipleri - Bölüm 1: Makinenin Tasarımı Vasıtasıyla Alınması Gereken Teknik Tedbirler

TS EN 60034-14 Döner Elektrik Makinaları - Bölüm 14: Mil Yüksekliği 56 Mm Ve Daha Yüksek Olan Bazı Makinalarda Mekanik Titreşim – Titreşimin Ölçülmesi, Değerlendirilmesi Ve Sınırları

TS EN 29052-1 Akustik-Dinamik Katılığın Tayini-Bölüm1 Meskenlerde Esnek Döşeme Altında Kullanılan Malzemeler

TS EN 1032 Mekanik titreşim-Titreşim emisyon değerinin belirlenmesi amacıyla hareketli makinaların deneye tabi tutulması 198

TS EN 60068-2-64 Çevre Şartlarına Dayanıklılık Deneyleri Bölüm 2:Deney Metotları Deney Fh:Titreşim, Gneş Bant Rastgele (Sayısal Kontrol) ve Klavuz

TS EN 60068-2-65 Çevre Şartlarına Dayanıklılık Deneyleri- Bölüm 2-65: Deney Metotları- Deney Fg: Titreşim Akustik Olarak Oluşan

TS EN 60994 Hidrolik Makinalarda Titreşim ve Vuruşların Saha Ölçmeleri İçin Klavuz

TS EN ISO 8041 Titreşime karşı insan tepkisi – Ölçme düzeneği

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	04.09.1983	
Doğum Yeri	Siverek	
Lise	1997-2000	Bursa Kız Lisesi
Lisans	2001-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programı