



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİR BİNA MODELİNİN TİTREŞİMLERİNİN DENEYSEL
ANALİZİ**

**Mak. Müh. Hasan Ömür ÖZER
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman
Prof.Dr. Nurkan YAĞIZ**

Haziran, 2008

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİR BİNA MODELİNİN TİTREŞİMLERİNİN DENEYSEL
ANALİZİ**

**Mak. Müh. Hasan Ömür ÖZER
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**


**Danışman
Prof.Dr. Nurkan YAĞIZ**

Haziran, 2008

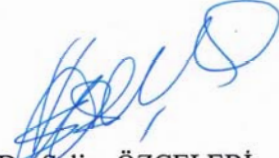
İSTANBUL

Bu çalışma 14/07/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Jürisi




Prof. Dr. Nurkan YAĞIZ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
(Tez Danışmanı)



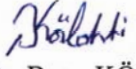
Prof. Dr. Salim ÖZÇELEBİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Ahmet SERTBAŞ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Erol UZAL
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



Yrd. Doç. Dr. Banu KÖRBAHTİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmalarım sırasında her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli hocam Prof.Dr.Nurkan YAĞIZ'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör. Yener TAŞKIN hocama, ve diğer tüm Makine Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tezi hazırlarken göstermiş olduğu üstün sabırdan dolayı eşime, desteklerini her zaman hissettiğim aileme, arkadaşlarımdan Araş.Gör.Alaattin Sayın'a, Teknisyen Ender Bilgi'ye teşekkür ederim.

Ayrıca tezime 2210 kodlu Yurtiçi Yüksek Lisans Burs Programı çerçevesinde destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na teşekkür ederim.

Haziran, 2008

HASAN ÖMÜR ÖZER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
TABLO LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	3
2.1. SÖNÜMLÜ SERBEST TİTREŞİM	5
2.2. LOGARİTMİK AZALMA.....	8
2.3. FOURIER YAKLAŞIMI.....	9
2.3.1. Sürekli Fourier Serileri	9
2.3.2. Fourier İntegrali ve Dönüşümü	10
2.3.3. Ayırık Fourier Dönüşüm (AFD)	11
2.3.4. Hızlı Fourier Dönüşüm (HFD).....	12
2.3.5. Güç Spektrumu	14
2.4. İVMEÖLÇER.....	15
2.4.1. Piezoelektrik Kavramı.....	16
3. MALZEME VE YÖNTEM	19
3.1. SİSTEM MALZEMESİ.....	19
3.2. KULLANILAN TİTREŞİM ÖLÇME EKİPMANLARI	19
3.2.1. PCMCIA Veri Toplama Kartı	20
3.2.2. PCB DÜŞÜK GENLİKLİ SİSMİK ICP İVMEÖLÇER	20
3.2.3. PCB DARBE ÇEKİCİ	20
3.3. MALZEMENİN YAY KATSAYISINI BULMAK İÇİN YAPILAN DENEY	21
3.3.1. Kolon Yüksekliğinde Yay Katsayısı Bulmak İçin Yapılan Deney... ..	21
3.3.2. Sistem Halinde Yay Katsayısı Bulmak İçin Yapılan Deney.....	25
3.4. MALZEMENİN SÖNÜM KATSAYISINI BULMAK İÇİN YAPILAN DENEY.....	25
3.4.1. Logaritmik Azalma (δ) Kavramından Yararlanma	25
3.4.2. İvmeölçerlerin Kolonlara Farklı Boylarda Bağlanması.....	25
3.5. BİR SERBESTLİK DERECELİ BİNA MODELİNİN KURULMASI ..	26
3.5.1. Bir serbestlik dereceli bina modeline ivmeölçerlerin bağlanması. ..	27
3.5.2. Bir serbestlik dereceli bina modeline başlangıç şartı verilmesi.....	27

3.5.3.	Bir serbestlik dereceli bina modeline başlangıç şartı verilmesi sonucu elde edilen dataların işlenme yöntemi.....	28
3.5.4.	Bir serbestlik dereceli bina modeline darbe çekiciyle impuls verilmesi.....	28
3.5.5.	Bir serbestlik dereceli bina modeline darbe çekiciyle impuls verilmesi sonucu elde edilen dataların işlenme yöntemi.....	29
3.5.6.	Bir serbestlik dereceli bina modelinin hareket denklemlerinin çıkarılması.....	30
3.6.	İKİ SERBESTLİK DERECELİ BİNA MODELİNİN KURULMASI ...	34
3.6.1.	İki serbestlik dereceli bina modelinin hareket denklemlerinin çıkarılması.....	35
3.7.	BİNA MODELİ ÜZERİNDE DİNAMİK SÖNÜMLEYİCİ TASARLANMASI	36
3.7.1.	Yay ve Sönüm Değerlerinin Frekans Eşitleme Yöntemi ile Bulunması.....	37
3.7.2.	Dinamik Sönümleyici Eklenmiş Bir Serbestlik Dereceli Bina Modelinin Hareket Denklemlerinin Çıkarılması	38
3.7.3.	Dinamik Sönümleyici Eklenmiş İki Serbestlik Dereceli Bina Modelinin Hareket Denklemlerinin Çıkarılması	40
3.8.	SİSTEM ÜZERİNDE YAPILAN KABULLER.....	42
4.	BULGULAR	43
4.1.	YAY KATSAYISI DENEY SONUÇLARI	43
4.1.1.	Kolon Yüksekliğinde Yapılan Yay Katsayısı Deney Sonuçları	43
4.1.2.	Sistemin Yay Katsayısını Bulmak İçin Yapılan Deney Sonuçları ...	45
4.1.3.	Yay Katsayısının Farklı Boylara Göre Değerlendirilmesi	46
4.1.4.	Kolonların Birarada Hareketi Esnasındaki Eşdeğer Yay Değeri....	48
4.1.5.	Serbest Titreşim Deneyleri Yapılarak Yay Katsayısının Elde Edilmesi	49
4.2.	SÖNÜM KATSAYISI DENEY SONUÇLARI.....	50
4.2.1.	Kolon Tam Boyunda Sönüm Katsayısının Elde Edilmesi.....	50
4.2.2.	Farklı Kolon Yüksekliklerinde Sönüm Katsayılarının Elde Edilmesi	52
4.2.3.	Serbest Titreşim Deneyleri Yapıldığında Sönüm Katsayısının Yorumlanması	55
4.3.	TEK KATLI BİNA MODELİNİN İVME VE FREKANS CEVAPLARININ ELDE EDİLMESİ.....	56
4.3.1.	Sisteme Başlangıç Şartı Verilerek Titreşim Oluşturulması	56
4.3.2.	Sisteme Darbe Çekiciyle İmpuls Verilerek Titreşim Oluşturulması.....	60
4.4.	İKİ KATLI BİNA MODELİNİN İVME VE FREKANS CEVAPLARIN ELDE EDİLMESİ	63
4.4.1.	Sisteme Başlangıç Şartı Verilerek Titreşim Oluşturulması	63
4.5.	TEK KATLI BİNA MODELİNE DİNAMİK SÖNÜMLEYİCİ EKLENMESİ.....	64
4.5.1.	Dinamik Sönümleyici Parametrelerinin Hesaplanması	64
4.5.2.	Dinamik Sönümleyici Uygulanmış Deney Sonuçları	66
4.6.	İKİ KATLI BİNA MODELİNE DİNAMİK SÖNÜMLEYİCİ EKLENMESİ.....	75
4.6.1	Frekans Eşitleme Metoduyla Bulunmuş Parametrelerle Yapılan Deneyler	75

4.6.2 Bilgisayar Programı Yardımıyla Uygun Kütle Değerinin Taranması.....	79
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	83
KAYNAKLAR.....	85
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	:Bir serbestlik dereceli sistem.....	5
Şekil 2.2	:Logaritmik azalma.....	8
Şekil 2.3	:Ayrık Fourier Dönüşümü	11
Şekil 2.4	:İvmeölçer yapısı	15
Şekil 2.5	:Tipik ivmeölçer bağlanması	16
Şekil 2.6	:Lineer deformasyona tabi tutulmuş malzeme	17
Şekil 3.1	:Deneyde kullanılan ekipmanlar	19
Şekil 3.2	:Ankastre bir çubukta moment diyagramı	22
Şekil 3.3	:Yer değiştirmeyi ölçmek için kurulan sistem.....	24
Şekil 3.4	:Yük uygulanması.....	24
Şekil 3.5	:İvmeölçer bağlanmış kolon	26
Şekil 3.6	:İvmeölçerin farklı yüksekliklerde bağlanması	26
Şekil 3.7	:Bir serbestlik dereceli bina modelinin fiziksel modeli.....	26
Şekil 3.8	:Kat üzerine ivmeölçerlerin bağlanması.....	27
Şekil 3.9	:Modelde kuvvet uygulama noktalarının gösterilmesi	27
Şekil 3.10	:Kata başlangıç deplasmanı verilmesi	28
Şekil 3.11	:Kata darbe çekiciyle vurularak titreşim başlatılması	29
Şekil 3.12	:Başlangıç şartı verilen deney düzeneğinin fiziksel modeli	30
Şekil 3.13	:Başlangıç şartı verilen sistemin blok diyagramı.....	32
Şekil 3.14	:Darbe çekici kullanılan deney düzeneğinin fiziksel modeli.....	32
Şekil 3.15	:Çekiç deneyindeki sistemin blok diyagramı	34
Şekil 3.16	:İki serbestlik dereceli deney düzeneğinin fiziksel modeli.....	34
Şekil 3.17	:Dinamik sönümleyici	37
Şekil 3.18	:Dinamik sönümleyici kullanılan bir serbestlik dereceli binanın fiziksel modeli	38
Şekil 3.19	:Dinamik sönümleyici kullanılan iki serbestlik dereceli binanın fiziksel modeli	40
Şekil 4.1	:Kuvvet-Uzama Grafiği	44
Şekil 4.2	:Kuvvet-uzama grafiğinde eğim	44
Şekil 4.3	:Yatay x yönü kuvvet-uzama grafiği	45
Şekil 4.4	:Yatay z yönü kuvvet-uzama grafiği	46
Şekil 4.5	:Yay katsayısının farklı yüksekliklerdeki değerleri.....	48
Şekil 4.6	:Yatay x yönünde yapılan serbest titreşim deneyi güç spektrumu	49
Şekil 4.7	:Kolonda yapılan deneyin güç spektrumu	51
Şekil 4.8	:Kolonda yapılan deneyin zaman cevabı	51
Şekil 4.9	:Sönüm katsayısının yüksekliğe bağlı değişimini gösteren grafik	54
Şekil 4.10	:Yatay x yönünde yapılan serbest titreşim deneyi zaman cevabı.....	55
Şekil 4.11	:a)Başlangıç şartı verilen durumda kat ivmelenmesi, b) Başlangıç şartı verilen durumda güç spektrumu	56

Şekil 4.12	:Farklı parametrelerle yapılan simülasyonlar a) sönüm katsayısı $c=10$ Ns/m, b) sönüm katsayısı $c=15$ Ns/m, c) sönüm katsayısı $c=21.3$ Ns/m	57
Şekil 4.13	:Deney sonuçlarının HFD'si alınmış grafikleri a) dB olarak gösterim, b) lineer gösterim.....	58
Şekil 4.14	:Güç spektrumlarının karşılaştırılması	59
Şekil 4.15	:a) Darbe çekici kuvvetinin zamanla değişimi, b) Darbe çekici ile darbe sonucu kat ivmelenmesi, c) Darbe çekici ile darbe sonucu elde edilen frekans cevabı	60
Şekil 4.16	:Farklı parametrelerle yapılan simülasyonlar a) sönüm katsayısı $c=10$ Ns/m, b) sönüm katsayısı $c=15$ Ns/m, c) sönüm katsayısı $c=21.3$ Ns/m	61
Şekil 4.17	:Farklı sönüm katsayıları yapılan simülasyonların frekans cevapları	62
Şekil 4.18	:İki serbestlik dereceli sistemin a) kat1 zaman cevabı, b) kat2 zaman cevabı, c) kat1 güç spektrumu, d) kat2 güç spektrumu,.....	63
Şekil 4.19	:İki serbestlik dereceli sistemde uygun parametrelerle yapılan simülasyonlar a) kat1 ivme-zaman grafiği, b) kat2 ivme-zaman grafiği	64
Şekil 4.20	:Kuvvet-uzama grafiği.....	65
Şekil 4.21	:Dinamik sönümleyici serbest titreşim deneyi zaman cevabı.....	65
Şekil 4.22	:Dinamik sönümleyici uygulanmamış durumda elde edilen grafikler a) simülasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) simülasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları.....	66
Şekil 4.23	:Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simülasyon zaman cevapları, b) simülasyon güç spektrumları.....	67
Şekil 4.24	:Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) deneysel zaman cevapları, b) deneysel güç spektrumları.....	68
Şekil 4.25	:Deneysel olarak dinamik sönümleyici uygulanmış durumun zaman cevabı.....	69
Şekil 4.26	:Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik sönümleyici uygulanması durumunda simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılması a) zaman cevapları, b) güç spektrumları.....	70
Şekil 4.27	:Farklı yay katsayısı ile güç spektrumu oluşturulması	70
Şekil 4.28	:Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:2.469$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simülasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simülasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum).....	71
Şekil 4.29	:Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:2.469$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simülasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simülasyon güç spektrumu karşılaştırılması.....	72
Şekil 4.30	:Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:2.469$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması	72
Şekil 4.31	:Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:3.489$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simülasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simülasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum).....	73

Şekil 4.32	:Farklı dinamik sönümleyici parametresi (m:3.489 kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a)simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.33	:Farklı dinamik sönümleyici parametresi (m:3.489 kg)uygulanması durumunda elde edilen grafikler a)deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması	74
Şekil 4.34	:İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırılmaları (ds kullanılmış durum).....	75
Şekil 4.35	:İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.36	:İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler, a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması	76
Şekil 4.37	:İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler (kat1) a)simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırılmaları (ds kullanılmış durum).....	77
Şekil 4.38	:İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler (kat1) a)simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.39	:İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler (kat1) a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması	78
Şekil 4.40	:Farklı kütle değerleri ile güç spektrumlarının ivme rezonans değerlerinin taranması	79
Şekil 4.41	:Farklı kütle ve yay katsayısı değerleri ile güç spektrumlarının ivme rezonans değerlerinin taranması	80
Şekil 4.42	:Dinamik sönümleyici parametresinin bilgisayar programı ile taranması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b)simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırılmaları (ds kullanılmış durum)	80
Şekil 4.43	:Dinamik sönümleyici parametresinin bilgisayar programı ile taranması durumunda elde edilen grafikler a)simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması.....	81
Şekil 4.44	:Dinamik sönümleyici parametresinin bilgisayar programı ile taranması durumunda elde edilen grafikler a)deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması.....	81

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1	:Yay katsayısı deney sonuçları	43
Tablo 4.2	:Yatay x yönü sistem yay katsayısı deney sonuçları	45
Tablo 4.3	:Yatay z yönü sistem yay katsayısı deney sonuçları	46
Tablo 4.4	:Farklı yüksekliklerde yay katsayısı değerleri	47
Tablo 4.5	:Farklı yüksekliklerde çubukların sönüm değerleri	52
Tablo 4.6	:Kuvvet-uzama değerleri	64
Tablo 4.7	:Dinamik sönümleyici parametreleri	66
Tablo 4.8	:Farklı dinamik sönümleyici parametreleri-1	71
Tablo 4.9	:Farklı dinamik sönümleyici parametreleri-2	73

SEMBOL LİSTESİ

a	: İvme [m/s^2]
AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
b	: Lineer sönüm katsayısı [$N.s/m$]
C	: Kapasitans değişimi
D	: Sönüm Terimi [Nm]
ds	: Dinamik Sönümleyici
E	: Elastisite modulu [N/m^2]
F	: Kuvvet [N]
g	: Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
I	: Atalet Momenti [m^4]
ln(x)	: Doğal logaritma
i	: Akım üretimi
K	: Kinetik Enerji [Nm]
k	: Lineer yay katsayısı [N/m]
m	: Kütle [kg]
P	: Potansiyel Enerji [Nm]
Q	: Genelleştirilmiş kuvvet [N]
q_i	: Sistemin bağımsız koordinatları
RMS	: Kareler Ortalamasının Karekökü
t	: Zaman [s]
x	: Lineer deplasman [m]
δ	: Logaritmik azalma
ε	: Dielektrik sabiti
ζ	: Sönüm faktörü
τ	: Periyot [s]
φ	: Faz açısı
ω_n	: Doğal frekans [Hz]
ω_d	: Sönümlü frekans [Hz]

ÖZET

BİR BİNA MODELİNİN TİTREŞİMLERİNİN DENEYSEL ANALİZİ

‘Bir Bina Modelinin Titreşimlerinin Deneysel Analizi’ isimli tez çalışmasında dış kaynaklı titreşimlerin etkisine maruz kalan binaların ve içerisinde yaşayan insanların korunmasına yönelik temel çalışmalar yapılmıştır.

Yapı sistemlerinde dış kaynaklı titreşimlerinin azaltılması konusundaki literatür taranarak çalışmalar özetlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların ışığında çelik sac ve kolonlardan oluşan bir bina modeli hazırlanmıştır. Modelde kullanılan malzemelerin özellikleri incelenmiştir. Mevcut bina modeli üzerinde başlangıç şartları tayin edilerek serbest titreşim deneyleri yapılmıştır. Yapılan serbest titreşim deneylerinin sonuçları yorumlanmış, deney şartlarını sağlayan bir simülasyon modeli kurulmuştur.

Dış kaynaklı titreşimlerinin etkisinin nasıl iyileştirilebileceği hususunda çalışmalar yapılmıştır. Model üzerinde hazırlanan bir dinamik sönümleyici üzerinde çalışılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ve modelin bilgisayar ortamında yapılan simülasyonları karşılaştırılmıştır. Dinamik sönümleyicinin titreşimlerin etkisi azalttığı görülmüştür. Kurulan simülasyon modelinin de deneysel sonuçlara yakın değerler vermesi deneyler ve simülasyonlar arasında uyum olduğunu göstermiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde dinamik sönümleyici kullanılan binaların deprem gibi dış etkenlere karşı direnç gösterdiği ve yapıları zararlı etkilerden koruyabileceği tespit edilmiştir.

SUMMARY

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF VIBRATIONS OF A BUILDING MODEL

In the thesis study that is named ‘Experimental Analysis of Vibrations of a Building Model’, fundamental work has been implemented to protect building structures that are exposed to external vibrations and people living in these buildings.

Literature on reducing vibrations on structural systems from an external source has been reviewed and summarized. A building model formed with steel sheets and steel columns has been prepared to conduct experiments. Material properties used in the model has been examined. After determining initial conditions on the building model free vibration experiments executed. Study on the results of these experiments has been directed to construct a simulation that represents experimental conditions.

Mitigating the effects of vibrations from an external source has been studied. A dynamic absorber that has been prepared on the building model has been studied. Results of the experiments and computer simulations has been compared in order to see the effect of dynamic absorber on vibrations. Results of simulation study that are close to experimental results show that experiments and simulation are in conformity.

In conclusion buildings with dynamic absorbers are resistant to external exposures like earthquakes and protect structures from hazardous effects of these exposures.

1. GİRİŞ

Binaların deprem, rüzgar ve taşıt kaynaklı titreşimlere maruz kalması rahatsız edici sonuçlar doğurabilir. Binaların ve içinde yaşayanların depremler, kuvvetli rüzgarlar ve diğer titreşim kaynaklarının olumsuz etkilerinden korunması önemlidir. 17 Ağustos 1999 tarihinde olan Marmara Depremi ve benzeri şiddetli yer sarsıntılarının dünya ölçeğinde yaptığı yıkıntı, yapı malzeme ve yöntemlerinin geliştirilmesinin yanı sıra, deprem karşısında binaların titreşim kontrolü konusundaki araştırmaları da hızlandırmıştır. Günümüzde bu titreşim kaynaklarının binalar üzerindeki olumsuz etkilerini azaltacak çalışmaların yapılmasının ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu nedenle binalar üzerindeki incelemeler yoğunlaştırılmış ve binaların titreşim analizlerinin yapılması yaygınlaşmıştır. Çeşitli metotlar ile bu titreşimlerin azaltılarak, titreşim kaynaklarının binalara verdiği olumsuz etkilerin azaltılması yoluna gidilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde günümüze kadar yapılmış olan dış kaynaklı titreşimlerinin etkisini azaltma konulu çalışmalar incelenerek, özetlenmiştir. Bu bölümde çalışmada kullanılan titreşim teorileri üzerinde durularak bunlar özetlenmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde deneylerde kullanılan sistemin malzemesi tanıtılmış, malzemenin özelliklerini belirlemede yapılan deneylerin metodolojisi anlatılmıştır. Yapılan deneylerin verilerini toplamada kullanılan bilgisayar ve ekipmanların özellikleri bu bölümde verilmiştir. Deney düzeneğinin kurulumu anlatılmış, resimler ile gösterilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan dinamik sönümleyicinin özellikleri bu bölümde verilmiş, sistemin hareket denklemleri çıkarılmıştır.

Dördüncü bölümde yapılan deneylerin sonuçları verilmiş, bu sonuçlar üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. Deneyler ve bilgisayar üzerinde oluşturulan simülasyonlar karşılaştırılmıştır. Model üzerinde uygulanan dinamik sönümleyicinin etkileri üzerinde durulmuştur.

Tezin son bölümünde model üzerinde yapılan deneyler ve simülasyonların sonuçları yorumlanacak, dinamik sönümleyici uygulanması durumunda sağlanan iyileştirmeler konusu üzerinde durulacaktır. Dinamik sönümleyici uygulaması sonucunda binalardaki titreşimlerin azaltılması hususunda görüşler bildirilecektir.

2. GENEL KISIMLAR

Rüzgar ve deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere maruz yapıların titreşim kontrolü, pasif ve aktif kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Pasif kontrol yöntemleri, herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymazlar. Taban izolasyon sistemleri ve pasif enerji sönümleyicileri gibi enerji yutan sistemleri içerirler (Soong vd., 1997).

Günümüzde yükselen eğilim olan binaların yüksekliklerin artması, yapılara gelen rüzgar ve deprem yüklerini arttırmakta, binaların daha çok risk altında olması sonucunu doğurmaktadır. Bu nedenle yapılardaki malzemenin dayanıklılığına güvenmek yerine bu dış etkilerin enerjisini sönümlenme yoluna gidilmektedir. Yapı sistemlerindeki aktif kontrol sistemlerinin gelişmesinin başlıca nedeni bu çevresel yüklerin etkisini azaltmaktır (Soong 1990, Housner ve Masri 1990,1993).

Sıklıkla kullanılan sismik koruma, yapının deplasmanının ve hızının ölçülüp geri beslemesiyle oluşturulan korumadır. Spencer (1991)'ın geliştirdiği ivme geri beslemeli kontrol stratejisinin deneysel bir uygulaması SUNY-Buffalo Ulusal Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nde 1995 yılında B.F:Spencer ve S.J.Dyke tarafından gerçekleştirilmiştir. Kullanılan H_2/LQG kontrol metodlarıyla üç katlı modelin üçüncü katında %68 oranında ivme ve deplasman değerlerinde azalma ile %55 oranında frekans cevabında genlik düşümü başarılmıştır (Spencer ve Dyke 1995).

Nishimura ve arkadaşları (1996) yaptıkları çalışmada ölçekli bir bina modelinin titreşim kontrolünü bodrum kata yerleştirilen kontrol mekanizması lineer motor ve μ sentezini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Deneylerde ve simulasyonlarda değişken olarak bodrum kat ve birinci kat değişkenleri kullanılmıştır.

Yağız ve diğ. (2001a) çok serbestlik dereceli yapıların deprem ve rüzgar kaynaklı titreşimlerini bastırmak amacıyla kayan kipli bir kontrol sistemi tasarlamışlardır. Model

belirsizlikler ve parametre değişikliklerine sahip olabileceği için, gürbüz niteliğe ve üstün performansa sahip olan kayan kipli kontrolcü kullanmışlardır.

Ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) temelleri, 1909 yılında Frahm tarafından mekanik titreşimlerin etkilerini azaltmak amacıyla ortaya konmuştur. İlerleyen yıllarda araştırmacılar için farklı titreşim kaynaklarının etkilerini kontrol etmek araştırma konusu olmuştur. Ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD), kütle, yay ve viskoz sönümleyicilerden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler binalarda kullanılarak istenmeyen titreşimlerin etkilerinden yapıları korumaktadırlar. Binanın rezonans değerindeki enerjisini sönümlemek amacıyla dinamik sönümleyicini parametreleri ayarlanır. Den Hartog (1956) bu cihazın çalışma prensibini kendi monografı ile ortaya koymuştur. Verdiği basit formüllerle harmonik bir girdiyle tahrik edilen bir serbestlik dereceli bir sistemin kontrol ederek, optimum kütle ve sönümleyici parametrelerini ayarlamıştır. Tsai ve Lin (1993) klasik formulasyonu eğri uydurma kullanarak sönümlü sistemlerde optimum parametre bulunacak şekilde geliştirmişlerdir.

Basit bir şekilde uygulanacağı yapıya monte edilmiş bir kütle, yay ve viskoz bir sönümleyiciden oluşan pasif ayarlı kütle sönümleyiciler (PTMD) 1971'den beri birçok yüksek yapıda kullanılmıştır. New-York'daki Citicorp Center, Boston'daki John Hancock Tower ve Japonya'daki Chiba Port Tower, Higashiyama Sky Tower bunlardan birkaçıdır. Yapıların dinamik cevaplarında yaptığı iyileştirmeler tutulan kayıtlar ile gösterilmiştir.

Dyke ve Jansen (1999) tek serbestlik dereceli bir modeli titreşim tablasıyla sarsarak, kütle ve yay ile kontrol etmeye çalışmışlardır. Değişik kütle oranlarında kütle-yay-sönümleyicinin hatalarını karşılaştırmışlardır.

Wong ve Chee (2004) deprem değerlerini kullanarak 6 katlı bir model üzerinde ayarlı kütle-sönümleyici kullanarak, farklı kütle oranlarında kinetik, potansiyel ve sönüm enerjilerinin değişimini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda TMD kullanarak sistem enerjilerini belli oranlarda azaltmayı başarmışlardır.

Aktif kontrol sistemleri, sistemde hazır bulundurulan dış enerji kaynakları kullanılarak yapıya daha önce belirlenen şekilde kontrol kuvvetlerinin uygulandığı sistemlerdir. Pasif kontrol sistemlerinin değişen dış etkilere karşı kendini adapte edebilme yeteneğinden yoksun olması ve taban izolasyonlarının verimli olarak genelde alçak binalara uygulanabilirliği, aktif kontrolün gerekliliğini ortaya çıkarmıştır (Soong vd., 1994, Singh ve Matheu, 1997).

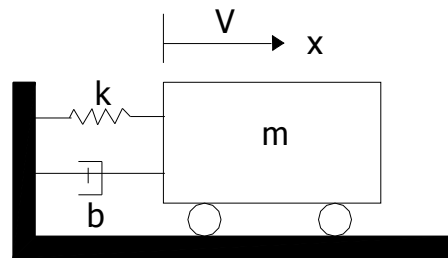
Aktif ayarlı kütle sönümleyiciler (ATMD) sıklıkla kontrol aracı olarak binalarda kullanılırlar. Li ve diğerlerine göre ATMD'lerin en büyük etkisi küçük kütlelerle binanın cevaplarını büyük ölçülerde azaltmasıdır.

Aktif kütle sönümleyiciler (AMD) yüksek oranlarda enerjiyi sönümlerler. Tahrik elemanı ile tahrik edilen kütle titreşimleri sönümler. Çalışma maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle ancak yüksek binalarda tercih edilirler. Elastik yataklar, servomotorlar ve hidrolik sistemlerin de ilave edilmesiyle oluşan hibrit kütle sönümleyiciler (HMD) hem aktif kütle sönümleyicilerin enerji sönümleme özelliğini hem de ayarlı kütle sönümleyicilerin titreşimi baskı altına alma özelliklerini kullanırlar (Inada Y, Ogawa Y, 1992).

Fukushima (1996), aktif ve pasif beraber kullanılan ayarlı kütle sönümleyici (APTMD) sistemini geliştirmiştir. Geliştirilen bu sistem 29 katlı bir binaya monte edilmiş ve binanın deplasmanı kontrolcunun etkisiyle kontrolcüsüz duruma göre 14 kat azalmıştır.

2.1. SÖNÜMLÜ SERBEST TİTREŞİM

Sönümlü serbest titreşimle ilgili temel kavramlar bir serbestlik dereceli sistem üzerinde açıklanacaktır.



Şekil 2.1: Bir serbestlik dereceli sistem

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0 \quad (2.1)$$

Denklem ikinci dereceden bir diferansiyel denklemdir.

Homojen çözümün bulunması ;

Çözüm olarak

$$x(t) = Ae^{st} \quad (2.2)$$

şçilir.

A ve s sabitler;

$$(ms^2 + bs + k)Ae^{st} = 0 \quad (2.3)$$

Ae^{st} ; terimi 0'a eşit olamayacağından

$$(ms^2 + bs + k) = 0 \quad (2.4)$$

olur. Bu denklem karakteristik denklem olarak anılır. Karakteristik denklemin kökleri

$$s_{1,2} = \frac{1}{2m}(-b \pm \sqrt{b^2 - 4mk}) \quad (2.5)$$

Homojen çözüm;

$$x_h = A_1e^{s_1t} + A_2e^{s_2t} \quad (2.6)$$

şeklinde olur. Burada A_1 ve A_2 sabitlerdir. Başlangıç şartlarına bağlı olarak çözümler.

$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$ denklemi m'e bölünürse ;

$$\omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad (2.7)$$

$$\omega_n = \frac{b}{m} \quad (2.8)$$

$$\zeta = \frac{b}{2\sqrt{km}} \quad (2.9)$$

sabitleri elde edilir.

ω_n : doğal frekans,

ζ : sönüm oranı olarak adlandırılır.

denklem yeniden düzenlenirse;

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = 0 \quad (2.10)$$

$$s^2 + 2\zeta\omega_ns + \omega_n^2 = 0 \quad (2.11)$$

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm \sqrt{\zeta^2 - 1}\omega_n \quad (2.12)$$

şekline gelir.

$\zeta < 1$ ise sistem az sönümlüdür. Kökler kompleks eşleniktir.

$$s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\sqrt{1 - \zeta^2}\omega_n \quad (2.13)$$

Sistemin sönümlü doğal frekansı

$$\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2}\omega_n \quad (2.14)$$

denklemlerle belirlenir.

kökler çözümde yerine koyulursa ;

$$x_h = e^{-\zeta\omega_n t} (A_1 e^{j\omega_d t} + A_2 e^{-j\omega_d t}) \quad (2.15)$$

ya da

$$x_h = e^{-\zeta\omega_n t} [(A_1 + A_2) \cos \omega_d t + j(A_1 - A_2) \sin \omega_d t] \quad (2.16)$$

düzenlemeler yapılırsa homojen çözüm;

$$x_h = e^{-\zeta\omega_n t} [A_1 \cos \omega_d t + A_2 \sin \omega_d t] \quad (2.17)$$

veya

$$x_h = A e^{-\zeta\omega_n t} (\sin \omega_d t + \phi) \quad (2.18)$$

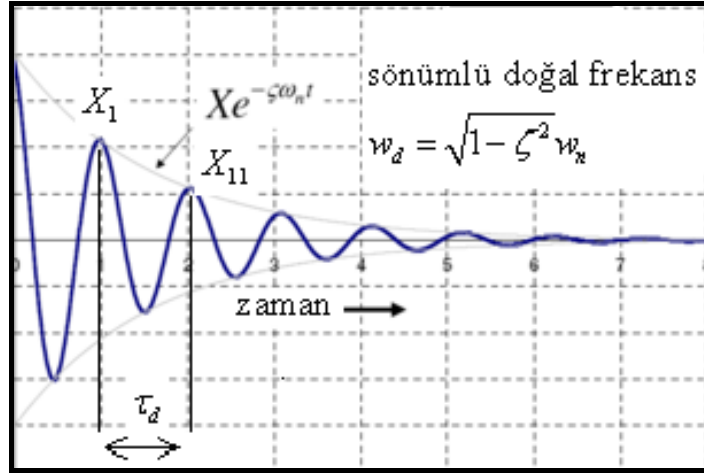
haline gelir. (TSE ve diğ., 1978)

2.2. LOGARİTMİK AZALMA

Bir sistemin sönüm özelliklerini tayin etmede kullanışlı yöntemlerden biri titreşim kaydındaki genliklerin azalma oranını ölçmektir. Logaritmik azalma (δ), birbirini izleyen genliklerin oranının doğal logaritması alınarak hesaplanır.

$$x = Xe^{-\zeta\omega_n t} (\sin \omega_d t + \phi) \quad (2.19)$$

Şekilde birbirini izleyen iki genliğin denklemi aşağıda yazılmıştır.



Şekil 2.2: Logaritmik azalma

$$X_1 = Xe^{-\zeta\omega_n t} \quad (2.20)$$

$$X_{11} = Xe^{-\zeta\omega_n (t+\tau_d)} \quad (2.21)$$

İki genliğin birbirine oranlanıp, doğal logaritması alınırsa;

$$\delta = \ln \frac{X_1}{X_{11}} \quad (2.22)$$

$$\delta = \ln \frac{Xe^{-\zeta\omega_n t}}{Xe^{-\zeta\omega_n (t+\tau_d)}} = \zeta\omega_n \tau_d \quad (2.23)$$

τ_d : burada sönümlü titreşim periyodudur.

$$\tau_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.24)$$

Logaritmik azalma ile sönüm oranı arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir.

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.25)$$

(Beards, 1996)

2.3. FOURIER YAKLAŞIMI

2.3.1. Sürekli Fourier Serileri

Fourier herhangi bir keyfi periyodik fonksiyonun frekansla harmonik bağlantılı bir sonsuz sinus serisiyle ifade edilebileceğini göstermiştir. Periyodu T olan bir fonksiyon için sürekli Fourier serisi aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos(\omega_0 t) + b_1 \sin(\omega_0 t) + a_2 \cos(2\omega_0 t) + b_2 \sin(2\omega_0 t) + \dots \quad (2.26)$$

veya daha genel formda;

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \sin(k\omega_0 t)] \quad (2.27)$$

Burada $\omega_0 = 2\pi / T$ olup esas frekans adını alır. $2\omega_0, 3\omega_0, \dots$, vb.gibi sabit katlarına harmonikler adı verilir.

Eşitliğin katsayıları;

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(k\omega_0 t) dt \quad (2.28)$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(k\omega_0 t) dt \quad (2.29)$$

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (2.30)$$

İntegralleri yardımıyla hesaplanabilir.

Fourier serileri trigonometrik formun yanı sıra, aşağıdaki üstel fonksiyonlar cinsinden de ifade edilebilir.

$$\tilde{c}_k = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) e^{ik\omega_0 t} dt \quad (2.31)$$

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{c}_k e^{ik\omega_0 t} \quad (2.32)$$

$$f(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \tilde{c}_k e^{ik\omega_0 t} \quad (2.33)$$

2.3.2. Fourier İntegrali ve Dönüşümü

Periyodik fonksiyonların spektrumunu elde etmek için Fourier serileri çok kullanışlı olmakla birlikte, kendisini düzenli olarak tekrarlamayan birçok dalga formu vardır. Örneğin bir şimşek sadece bir kez çakar (veya en azından yeniden çakıncaya kadar uzun bir zaman geçmesi gerekir.), ancak şimşek geniş bir frekans aralığında çalışan alıcılarda, örneğin televizyon, radyo ve kısa dalga alıcılarda girişime neden olur. Böyle bir kanıt, örneğin şimşek gibi tekrar etmeyen bir sinyalin sürekli frekans spektrumu oluşturduğunu göstermektedir. Periyodik bir fonksiyondan periyodik olmayana geçiş, periyodun sonsuza yaklaşması sağlanarak elde edilebilir.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(i\omega_0) e^{-i\omega_0 t} d\omega_0 \quad (2.34)$$

Buradaki katsayılar, aşağıda yazıldığı gibi frekans değişkeninin ω 'nin sürekli fonksiyonudur.

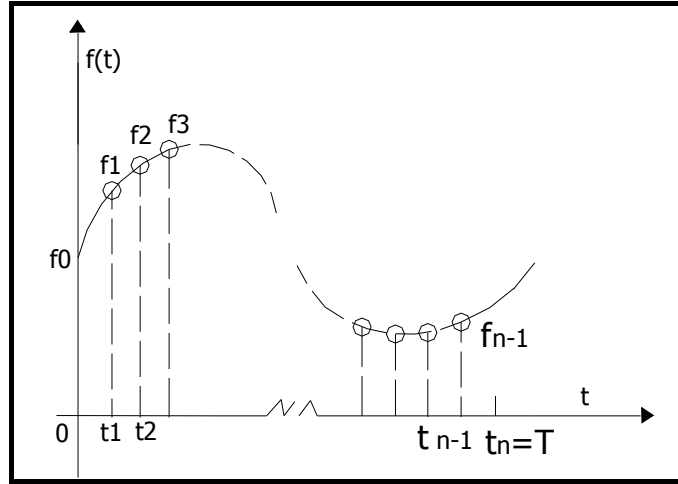
$$F(i\omega_0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega_0 t} dt \quad (2.35)$$

Yukarıda $F(i\omega_0)$ fonksiyonu $f(t)$ 'nin Fourier integrali diye adlandırılır. $F(i\omega_0)$ 'ye $f(t)$ 'nin Fourier dönüşümü, buna bağlı olarak da $f(t)$ 'ye de $F(i\omega_0)$ 'nin ters Fourier dönüşümü denir. Bu Fourier dönüşüm çifti aperiodyk bir sinyal için zaman ve frekans

bölgesi arasında ileri ve geri dönüşüm yapmaya olanak verir. Fourier serileri, sürekli ve periyodik bir zaman bölgesi fonksiyonunu ayırık frekanslarda genliği olan bir frekans bölgesi fonksiyonuna dönüştürür. Buna karşılık Fourier dönüşümü, sürekli bir zaman bölgesi fonksiyonunu sürekli bir frekans bölgesi fonksiyonuna dönüştürür.

2.3.3. Ayırık Fourier Dönüşüm (AFD)

Mühendislikte fonksiyonlar çoğunlukla ayırık değerlerin bir sonlu serisi olarak ifade edilir. Ayrıca veriler çoğunlukla ayırık bir formda toplanır veya ayırık bir forma dönüştürülür. 0'dan t'ye kadar bir aralık $\Delta t = T/N$ genişliğinde N adet eşit genişlikli alt aralığa bölünebilir. Altsimge n, örneklemin alındığı farklı zamanları göstermek için kullanılsın. Böylece f_n , sürekli fonksiyon $f(t)$ 'nin t_n anında alınan değerini gösterecektir.



Şekil 2.3: Ayırık Fourier Dönüşümü

Buradaki sistem için ayırık Fourier dönüşümü şöyle yazılabilir.

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-i\omega_0 n} \quad k = 0 \text{ dan } N-1 \text{ e kadar} \quad (2.36)$$

Ters Fourier dönüşümü ise;

$$f_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{i\omega_0 n} \quad k = 0 \text{ dan } N-1 \text{ e kadar} \quad (2.37)$$

Burada

$$\omega_0 = 2\pi / N \quad (2.38)$$

AFD'yi hesaplamak için N^2 adet kompleks işleme gerek vardır.

2.3.4. Hızlı Fourier Dönüşüm (HFD)

AFD'yi hesaplamak için N^2 adet işlem yapmak gerektiğinden hesaplama çok zahmetlidir. Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD), AFD'yi hızlı bir şekilde hesaplamak için geliştirilmiş bir algoritmadır. Hızı, işlem sayısını azaltmak için bir önceki hesap adımındaki sonuçları kullanmasından gelmektedir. Özellikle $N \log_2 N$ adet işlemle dönüşümü hesaplamak için trigonometrik fonksiyonların periyodikliği ve simetrisini kullanmaktadır. HFD'yi hesaplamak için algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmaların temelindeki görüş, N boyutundaki bir AFD'nin kolaylıkla daha küçük ardışık AFD'lere ayrıklaştırılabileceğidir.

Sade-Tukey Algoritması

Burada incelenen surum için N, 2 tabanlı bir üstel sayı olsun;

$$N = 2^m \quad (2.39)$$

Burada m, bir tamsayıdır. AFD genel olarak şu şekilde yazılır.

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} \quad k = 0 \text{ dan } N-1 \text{ e kadar} \quad (2.40)$$

$$\omega_0 = 2\pi / N \quad (2.41)$$

$$F_k = \sum_{n=0}^{N-1} f_n W^{nk} \quad (2.42)$$

şeklinde yazılır. Burada W kompleks değerli bir ağırlık fonksiyonudur.

$$W = e^{-i(2\pi/N)} \quad (2.43)$$

Şimdi örneği yarıya böldüğümüzü ve ilk ve son $N/2$ kadar noktayla ifade edelim.

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} + \sum_{n=N/2}^{N-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} \quad (2.44)$$

$m = n - N/2$ diye tanımlanırsa;

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f_n e^{-i(2\pi/N)nk} + \sum_{n=0}^{(N/2)-1} f_{m+N/2} e^{-i(2\pi/N)k(m+N/2)} \quad (2.45)$$

veya

$$F_k = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + e^{-i\pi k} f_{n+N/2}) e^{-i2\pi kn/N} \quad (2.46)$$

k ' nın çift değerleri için;

$$F_{2k} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + f_{n+N/2}) e^{-i2\pi kn/(N/2)} \quad (2.47)$$

k ' nın tek değerleri için;

$$F_{2k+1} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - f_{n+N/2}) e^{-i2\pi n/N} e^{-i2\pi kn/(N/2)} \quad (2.48)$$

$k = 0, 1, 2, \dots, (N/2) - 1$ için

Bu denklemler W 'ya bağlı olarak yazılırsa;

Çift değerler için;

$$F_{2k} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n + f_{n+N/2}) W^{2kn} \quad (2.49)$$

Tek değerler için;

$$F_{2k+1} = \sum_{n=0}^{(N/2)-1} (f_n - f_{n+N/2}) W^n W^{2kn} \quad (2.50)$$

Tek ve çift değerler için verilen bağıntılar $(N/2)$ uzunluğundaki

$$g_n = f_n + f_{n+N/2} \quad (2.51)$$

$$h_n = (f_n - f_{n+N/2})W^n \quad k = 0,1,2,\dots (N/2)-1 \text{ için} \quad (2.52)$$

Dönüşümlerine eşit alınabilir. Böylece doğrudan doğruya aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$\left. \begin{array}{l} F_{2k} = G_k \\ F_{2k+1} = H_k \end{array} \right\} k = 0,1,2,\dots (N/2)-1 \text{ için} \quad (2.53)$$

Sonuç olarak bir adet N noktalı hesaplama iki adet (N/2) noktalı hesaplamayla değiştirilmiştir.

2.3.5. Güç Spektrumu

HFD, yapıların ve mekanizmaların titreşim analizinden sinyal işlemeye kadar, çok sayıda mühendislik uygulamasına sahiptir. Genlik ve faz spektrumları görünüşte seçkisiz olan sinyallerin altındaki yapının ayrıklaştırılması için bir araç sunar. Aynı şekilde, güç spektrumu denen çok kullanışlı bir başka analizde Fourier dönüşümünden geliştirilebilir.

Güç spektrumu elektrik sistemlerinin verdiği güçlerin analizinden türetilir. Zaman bölgesindeki periyodik bir sinyalin gücü şöyle tanımlanabilir.

$$P = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(t) dt \quad (2.54)$$

Bu bilgiye bakmanın bir başka yolu, her bir frekans bileşeni yardımıyla gücü hesaplayarak frekans bölgesinde ifade etmektir. Bu bilgiler bir güç-frekans eğrisi çizilerek güç spektrumu olarak görüntülenebilir.

Eğer $f(t)$ 'in Fourier serisi

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} F_k e^{ik\omega_0 t} \quad (2.55)$$

ise aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f^2(t) dt = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |F_k|^2 \quad (2.56)$$

Buna göre $f(t)$ 'deki güç, Fourier katsayılarının kareleri yani her bir frekans bileşeniyle ilgili güçler toplanarak belirlenebilir.

Bu gösterim tekil reel harmoniğin $\pm k\omega_0$ 'daki frekans bileşenlerinin her ikisini de içerir. Pozitif ve negatif katsayıların eşit olduğu bilinmektedir. Bu nedenle $f_k(t)$ 'deki güç $f(t)$ 'nin reel harmoniği;

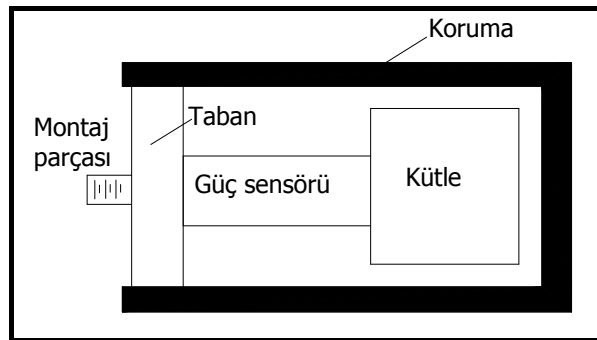
$$p_k = 2|F_k|^2 \quad (2.57)$$

olur. Güç spektrumu, frekansın bir fonksiyonu olarak p_k 'nin bir çizimidir.

(Chapra ve Canale, 2002)

2.4. İVMEÖLÇER

İvmeölçer güç sensörü üzerinde bulunan kütleyi kullanarak ivmelenmeyi ölçer. Sensör ivmelendiğinde kütlein atalet direnci güç sensörünü sapmaya zorlar. Sapmanın ölçülmesiyle ivmelenme hesaplanır. Güç sensörüne kütle konsol şeklinde bağlanmıştır. Sensörün dışı taban koruyucu ile kapatılmıştır. Küçük bir uç ile sisteme bağlanır. İvmeölçerler dinamik sensörlerdir. Genellikle 0.5 Hz ile 750 kHz arasındaki titreşimleri ölçmek için kullanılırlar.



Şekil 2.4: İvmeölçer yapısı

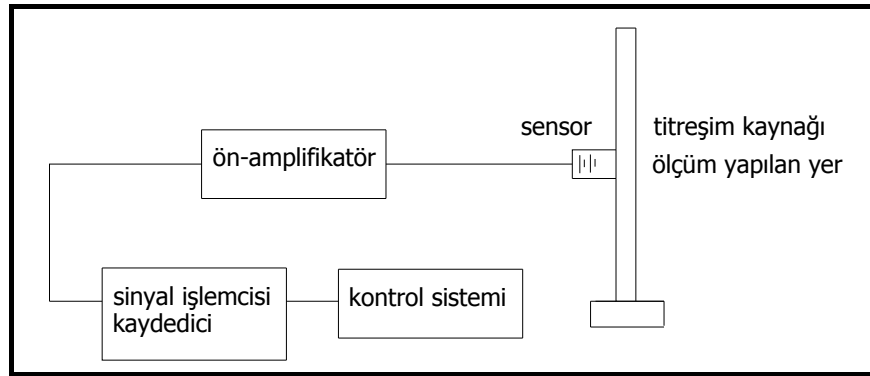
Güç sensörü sıklıkla küçük bir parça piezoelektrik malzemedir. Piezoelektrik tabanlı ivmeölçerlerin tipik parametreleri;

- -100°C' den 250°C çalışma aralığında olması,
- 1mV/g'dan 30 V/g aralığında hassasiyet ve doğal frekansın ¼'e kadar iyi çalışması olarak sıralanabilir.

İvmeölçer titreşim kaynağına monte edilir. İvmeölçer titreşim kaynağından elektrik gücüyle izole edilir. Ayrıca elektrik gürültüsünü azaltmak amacıyla amplifikatöre bağlanabilir. Titreşim kaynağının yüzeyine göre kablolar ayarlanır. Kabloların vurarak titreşim gürültüsü oluşturmamasına dikkat edilir. Her ivmeölçer birbirinden farklıdır fakat aşağıdaki genel uygulamalar esas alınabilir.

- Hatanın %12'den az olması için kontrol titreşimi, sinyalin 1/3'den az olmalıdır.
- İvmeölçerin kütlesi ölçülen kütlenin 1/10'dan az olmalıdır.
- Bu cihazlar shaker ile kalibre edilmelidir.

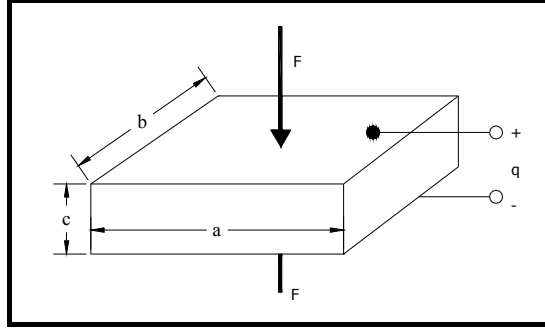
Ekipmanın kullanımı şekil 2.5'de gösterilmiştir. Sensörün test edilecek ekipmanın üzerine monte edilmesi gereklidir. Bir ön-amplifikatör, ivmenin potansiyel farkı üretmesinden oluşan şarjı çevirir. Bu potansiyel titreşim frekansların hesaplanmasının analizinde kullanılır.(Jack, 2004)



Şekil 2.5: Tipik ivmeölçer bağlanması

2.4.1. Piezoelektrik Kavramı

Piezoelektrik, kristal yapıdaki cisimlerin kendilerine dışarıdan uygulanan basınç miktarı ile orantılı olarak elektrik üretme özelliğine denir. İki ucundan basınç uygulanan kristal yapının yine bu iki ucu arasında potansiyel farkı ölçülebilir. Şekil 2.6'da lineer deformasyon uygulanan malzemede piezoelektrik etkilenme görülmektedir. Bu şarj kuvvet uygulanmasının bir fonksiyonudur.



Şekil 2.6: Lineer deformasyona tabi tutulmuş malzeme

$$C = \frac{\varepsilon a b}{c} \quad (2.58)$$

$$i = \varepsilon g \frac{d}{dt} F \quad (2.59)$$

- C : kapasitans değişimi
a, b, c : malzeme boyutları
 ε : dielektrik sabiti
i : akım üretimi
F : kuvvet
g : malzeme sabiti
E : elastisite modülü (Jack, 2004)

Bu kristaller güç sensörleri için kullanılır. Genelde ivmeölçerlerin aktif elemanı kurşun-Zirkon it-Titan (PZT) adında mükemmel piezoelektrik özelliklere sahip seramik maddeden oluşur. Özel olarak formüle edilmiş PZT istikrarlı bir performans ve uzun dönem sağlamlılığı sağlar. Kuvars maddelerle karşılaştırıldığında seramiklerin duyarlılığı 100 kat daha büyüktür. Ayrıca, düşük frekanslarda ve düşük ivmelerde piezoelektrik ivmeölçerler en iyi çözümdür. Kesin bir ivme ölçümü için en iyi çözüm olarak rahatlıkla tercih edilebilirler. Diğer tipteki algılayıcılara kıyasla piezoelektrik algılayıcıların önemli avantajları bulunur. Bu avantajlar;

- Gerçek anlamda geniş dinamik ölçüm aralığı
- Gürültüden çok düşük oranlarda etkilenme
- Hissedilemeyen ivme ölçümlerinde olduğu kadar sok ölçümlerinde de kullanışlı

- Dinamik aralıklarının üzerinde mükemmel doğrusallık
- Geniş frekans aralığı, yüksek frekanslarda bile ölçüm imkânı
- Yüksek duyarlılığa sahip olması
- Hareket eden parçası olmaması nedeniyle aşınma olmaması
- Çıkış sinyalinin entegrasyonu hız ve yer değişimi sağlaması

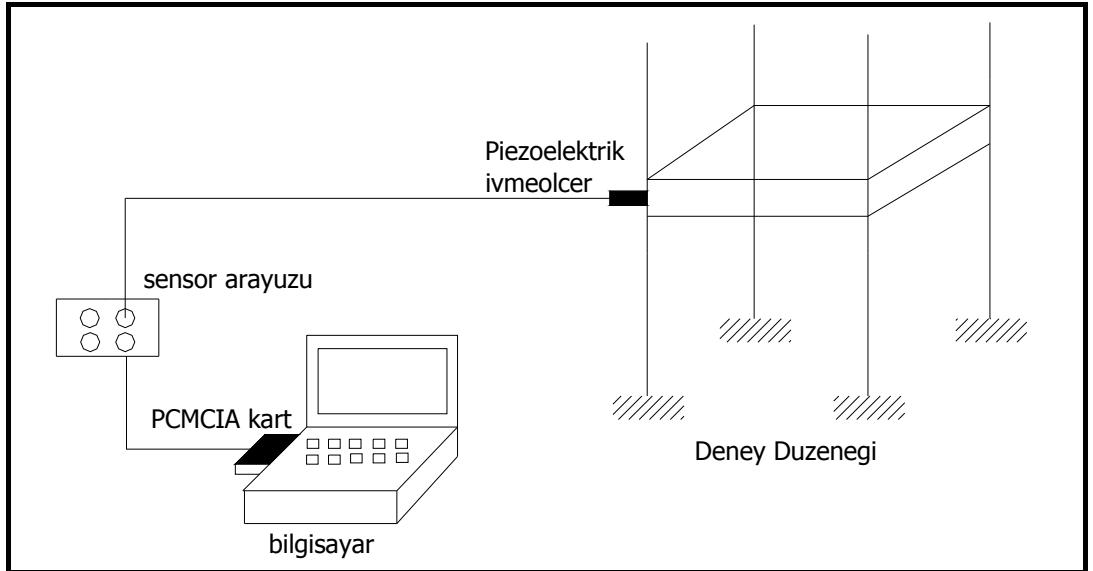
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. SİSTEM MALZEMESİ

Deney düzeneği, çelik raf ve dikme sütunlarından oluşmaktadır. Modelde katları oluşturacak sac plakalar 0.345 x 0.92 m boyutunda, kolonlar ise 0.035 x 0.035 m delikli sac profillerden oluşmaktadır. Dikmelerin ağırlığı 0.720 kg/m, rafların ağırlığı 2.400 kg'dır.

3.2. KULLANILAN TİTREŞİM ÖLÇME EKİPMANLARI

Deneylerde titreşim ölçme amacıyla birtakım ekipmanlar kullanılmıştır. Bu ekipmanlar piezoelektrik ivmeölçer, dijital sinyal işleme kartı, data toplama kartının takılacağı bilgisayar ve dijital sinyal işleme özelliği bulunan bir yazılımdır. Şekil 3.1'de anlatılan sistemin bir şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Deneyde kullanılan ekipmanlar

Şekil 3.1’de gösterilen ekipmanların özellikleri sırasıyla aşağıda anlatılmıştır.

3.2.1. PCMCIA Veri Toplama Kartı

Deneyleerde kullanılan PCMCIA veri toplama kartı, Predict/DLI marka AQ 204 isimli karttır. Özellikleri aşağıda sıralanmıştır.;

- Texas Instruments TMS320C51 Dijital Sinyal İşlemcisi(DSP) çalışma frekansı 40 mHz
- 4 16 bit delta-sigma Analog/Dijital çevirici
- 2 16 bit delta-sigma Dijital/Analog çevirici
- 4 inputta 41 kHz simultane örnekleme
- 76 dB’den büyük dinamik aralık
- Analog RC filtre ve 64.derece dijital FIR filtre

3.2.2. PCB DÜŞÜK GENLİKLİ SİSMİK İCP İVMEÖLÇER

Özellikleri

- Model 393B05
- Hassasiyet 10mV/g
- Frekans aralığı 0.5-750 Hz
- Genlik ± 0.5 gpk
- Çözünürlük 0.000004 grms
- Ağırlık 50 gr

3.2.3. PCB DARBE ÇEKİCİ

Deneyleerde PCB marka 086C03 model bir darbe çekici kullanılmıştır. Bu ekipmanın teknik özellikleri;

- Hassasiyet 2.25 mV/N(± 15 %)
- Ölçme Aralığı ± 2200 N pk
- Rezonans Frekansı ≥ 22 kHz
- Uyarım Voltajı 18-30 VDC
- Sabit akım uyarımı 2-20 mA
- Çekiç Kütlesi 0.16 kg

3.3. MALZEMENİN YAY KATSAYISINI BULMAK İÇİN YAPILAN DENEY

3.3.1. Kolon Yüksekliğinde Yay Katsayısı Bulmak İçin Yapılan Deney

Bu deneyde; ankastre bir çubuk üzerine yük uygulandığı zaman oluşan moment bağıntısından kuvvet-uzama arasındaki ilişkiye geçilmek istenmektedir.

Ankastre bir çubuğa kuvvet uygulandığı zaman oluşan uzama, moment metodu kullanarak,

$$y = -\frac{FL^3}{3EI} \quad (3.1)$$

şeklinde bulunmaktadır.

Çubuk yay gibi kabul edilirse kuvvet uygulandığı zaman uzama,

$$F = k(\Delta y) \rightarrow \Delta y = \frac{F}{k} \quad (3.2)$$

şeklinde olacaktır.

Denklem (3.1), yay kabulüne göre yazılırsa,

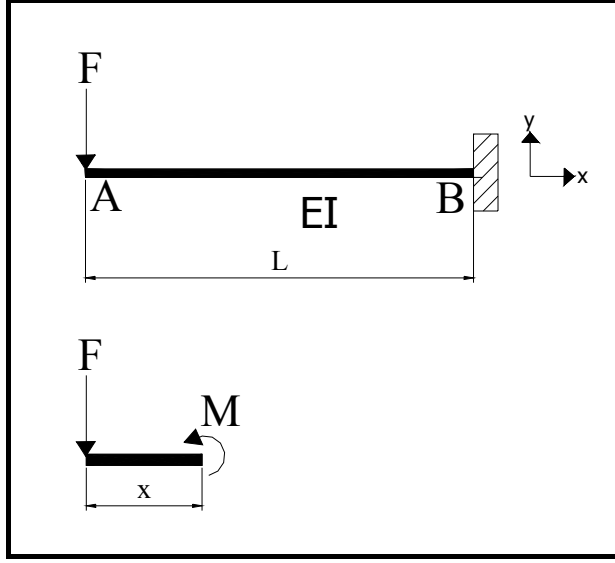
$$F = -\frac{3EI}{L^3}y \quad (3.3)$$

şeklinde olacaktır.

k katsayısının değerinin bu denklemden

$$k = \frac{3EI}{L^3} \quad (3.4)$$

olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2: Ankastre bir çubukta moment diyagramı

k katsayısı deneyde

$$k = \frac{F}{\Delta y} \quad (3.5)$$

denklemiyle;

F ve Δy değerleri ölçülerek bulunacaktır.

Elastik eğrinin denklemi;

Moment bulmak için Şekil 3.2'de çubuğu x uzaklığından keselim;

$$M + Fx = 0 \quad (3.6)$$

$$M = -Fx \quad (3.7)$$

elde edilir. EI sabitine bölerek integre edelim.

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M = -Fx \quad (3.8)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{-Fx}{EI} \quad (3.9)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{-Fx^2}{2EI} + c_1 \quad (3.10)$$

$$y = \frac{-Fx^3}{6EI} + c_1x + c_2 \quad (3.11)$$

Sınır şartları B ucu ankastre olduğundan $x = L$ için; $y = 0$ ve $\frac{dy}{dx} = 0$ olmalıdır. Bu sınır şartlar tatbik edilerek integral sabitleri çözülürse;

$$x = L, \quad \frac{dy}{dx} = 0 \quad (3.12)$$

$$0 = -\frac{FL^2}{2EI} + c_1 \quad (3.13)$$

$$c_1 = \frac{FL^2}{2EI} \quad (3.14)$$

$$x = L, \quad y = 0 \quad (3.15)$$

$$0 = \frac{-FL^3}{6EI} + \frac{FL^3}{2EI} + c_2 \quad (3.16)$$

$$c_2 = -\frac{FL^3}{3EI} \quad (3.17)$$

Elastik eğri denklemi;

$$y = -\frac{Fx^3}{6EI} + \frac{FL^2}{2EI}x - \frac{FL^3}{3EI} \quad (3.18)$$

olarak bulunur. (Özbek, 1980)

Elastik eğri denklemi, denklem (3.5) formunda yazılırsa yay katsayısı;

$$k = \frac{6EI}{(x^3 - 3L^2x + 2L^3)} \quad (3.19)$$

olarak bulunur.

Bu değerleri bulmak için duvara yapılan bir parça ile makara bağlantısı yapıldı. Misinaya bağlanan bir dinamometre ile düşeyde asılan yükün yatayda aynı değerde etki edip etmediği kontrol edildi.



Şekil 3.3: Yer değiştirmeyi ölçmek için kurulan sistem

Çubuğun üst noktasının yatayda yer değiştirmesi düşeyde koyulan bir cetvel yardımıyla yapıldı. Yük askısının altına bağlanan bir çubuk ile yük asıldığı zaman oluşan yer değiştirme okundu. Daha sonra yapılan hesaplamalarda dinamometrenin yük asıldığı zamanki uzaması, uzama miktarından çıkarıldı.

Yük asılarak yataydaki cetvelden okuma yapılarak veriler kaydedildi. Yükler 1 kg arttırılarak uzamalar kaydedildi.



Şekil 3.4: Yük uygulanması

Deneyler 10 kez tekrarlanarak, veriler kaydedildi. Mevcut veriler yardımıyla malzemenin yay katsayısına karar verildi.

3.3.2. Sistem Halinde Yay Katsayısı Bulmak İçin Yapılan Deney

Tek katlı bina modeli oluşturulup sistem olarak yay katsayısı değerinin ölçülmesi için makara sisteminden yararlanılmıştır. Kat olarak modellenen sac raf üzerine delik açılarak, yük bu noktadan her iki ekseninde tatbik edilmiştir. Uygulanan yük karşısında elde edilen yer değiştirmelerden hareketle sistemin yay katsayısına karar verilmiştir.

3.4. MALZEMENİN SÖNÜM KATSAYISINI BULMAK İÇİN YAPILAN DENEY

Malzemenin sönüm katsayısını bulmak için mevcut kolonlardan biri üzerinde ölçümler yapılmıştır. İvme ölçerler farklı yükseklerde bağlanılarak, kolonlara belirli şiddetlerde deplasman verildi. Elle verilen başlangıç değerleri ile titreşime maruz kalan kolonun ivme kayıtları arayüze sahip bir program ile bilgisayara aktarıldı.

Deneylelerden elde edilecek ivme kayıtlarının grafiklerinden logaritmik azalma yöntemi ile sönüm oranına, bu değerden de sönüm katsayısına geçilmesi hedeflenmiştir.

3.4.1. Logaritmik Azalma (δ) Kavramından Yararlanma

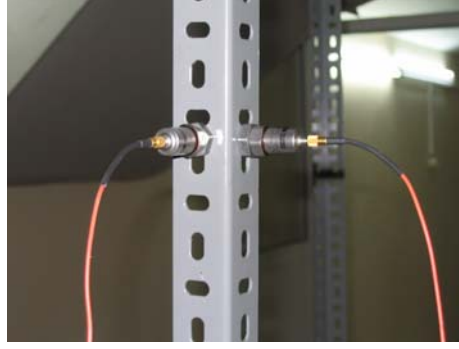
Deneylelerde direklerin ölçülen ivme kayıtlarından logaritmik azalma yöntemiyle (δ) oranına ulaşılabacaktır. Bu oran yardımıyla sönüm faktörü ζ bulunduğundan sonra

$$c = 2\zeta\sqrt{km} \quad (3.20)$$

denklemleri vasıtasıyla malzemenin mevcut boydaki sönüm katsayısı hesaplanmaktadır.

3.4.2. İvmeölçerlerin Kolonlara Farklı Boylarda Bağlanması

Şekil 3.5’de ivmeölçerlerin kolona nasıl bağlandığını görülmektedir. İvmeölçerler kolona ilk olarak tabandan 1.98 m yükseklikten bağlanmıştır. Ardından sönüm katsayısı ve boy arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak amacıyla dikmeler 0.20 m aralıklarla kesilerek farklı boylarda ivmeölçerler bağlanmıştır. Bu deney verileri de ayrı ayrı değerlendirilerek boy ve sönüm arasındaki ilişkinin grafiği elde edilmiştir.



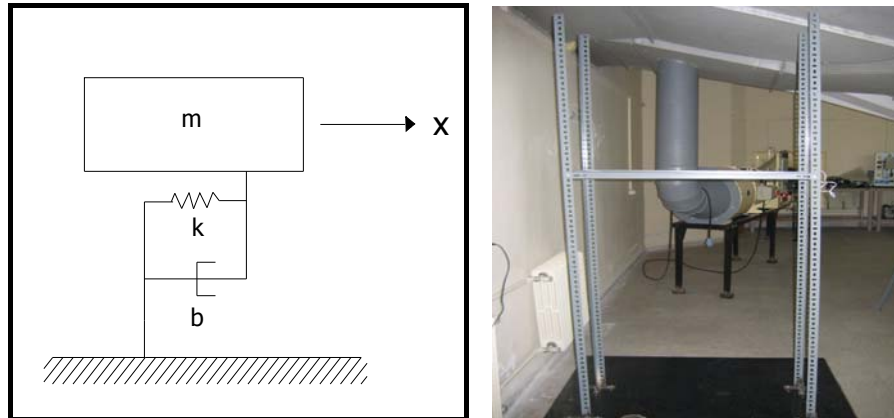
Şekil 3.5: İvmeölçer bağlanmış kolon



Şekil 3.6: İvmeölçerin farklı yüksekliklerde bağlanması

3.5. BİR SERBESTLİK DERECELİ BİNA MODELİNİN KURULMASI

Bir serbestlik dereceli bina modeli üzerinde serbest titreşim deneyi yapılacaktır. Bu nedenle 0.345 x 0.92 m boyutunda çelik sac kat, mevcut dikmelere kat yüksekliği 1.25 m yükseklikte monte edildi . Şekil 3.7’de sistemin bir resmi gösterilmektedir.

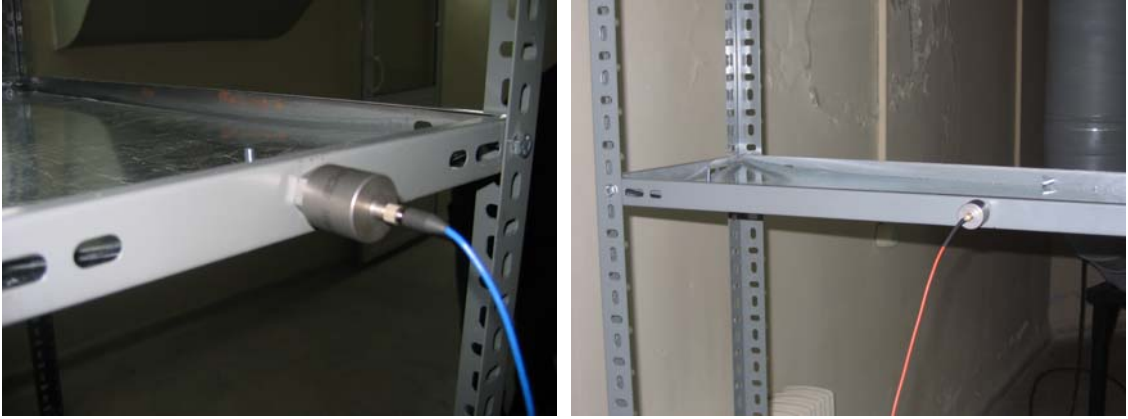


Şekil 3.7: Bir serbestlik dereceli bina modelinin fiziksel modeli

Kat ağırlığı olarak kullanılmak üzere sac levhalar kestirildi. Sac plakalar raf içine yayılı yük prensibine uyularak monte edildi.

3.5.1. Bir serbestlik dereceli bina modeline ivmeölçerlerin bağlanması

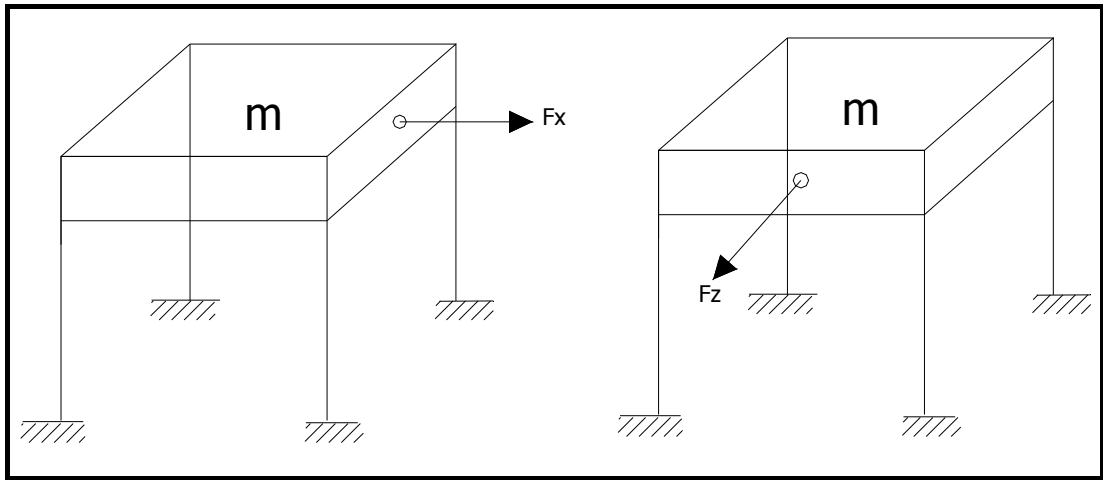
Kat üzerindeki ivmelenmeyi ölçmek için ivmeölçerler her iki ekseninde de bağlanılacaktır. Kat mesafesi her iki ekseninde ortalanarak ivmeölçerler bağlandı. Şekil 3.8’de kat üzerine her iki ekseninde bağlanmış ivmeölçerler görülmektedir.



Şekil 3.8: Kat üzerine ivmeölçerlerin bağlanması

3.5.2. Bir serbestlik dereceli bina modeline başlangıç şartı verilmesi

Kat üzerinde serbest titreşim deneyi yapmak amacıyla sisteme bir başlangıç şartı verilmesi gerekmektedir. Dinamometre ile kuvvet uygulanmış ve kat üzerine iple bağlanılmıştır. İp kesilerek, sistemin serbest titreşim hareketi yapması sağlanmıştır. Şekil 3.10’da başlangıç şartı verilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.9: Modelde kuvvet uygulama noktalarının gösterilmesi



Şekil 3.10: Kata başlangıç deplasmanı verilmesi

3.5.3. Bir serbestlik dereceli bina modeline başlangıç şartı verilmesi sonucu elde edilen dataların işleme yöntemi

Sisteme başlangıç şartı verilerek yapılan deneyde Signal AQ programı kullanılarak zaman ve frekans dataları alındı. Matlab programı kullanılarak zaman dataları işlemden geçirilerek işlendi. Sonuçta elde edilen değerler ve model oluşturularak simülasyon yapılması sonucunda elde edilen değerler grafiklerle gösterildi.

İşlem süreci :

Güç Spektrumu Hesaplanması (Auto Power Spectrum - APS);

1. Zaman dataları alındı.
2. Zaman dataları pencere değerleri ile çarpıldı.
3. Pencerelemiş zaman sinyalinin HFD'si alındı.
4. HFD'si alınmış sinyal kompleks eşleniği ile çarpıldı. Bu değer zamandaki pencere sayısı toplamına bölünerek karekökü alındı.

3.5.4. Bir serbestlik dereceli bina modeline darbe çekiciyle impuls verilmesi

Bir serbestlik dereceli bina modelinde serbest titreşim hareketin başlatılması için darbe çekiciyle sisteme giriş verilerek titreşim başlatıldı. Verilen kuvvet girişi ve sistem üzerindeki etkileri, bağlanan ivmeölçer yardımıyla ölçüldü. Şekil 3.11'de deney düzeneğine verilen darbe görülmektedir.



Şekil 3.11: Kata darbe çekiciyle vurularak titreşim başlatılması

3.5.5. Bir serbestlik dereceli bina modeline darbe çekiciyle impuls verilmesi sonucu elde edilen dataların işleme yöntemi

Sisteme darbe çekiciyle verilen girişten sonra sistemin giriş ve çıkıştaki zaman verileri alınarak işlem yapıldı.

Matlab’de yapılan işlem süreci;

Giriş ve çıkıştaki zaman sinyali SignalAQ programından alındı.

Giriş ve çıkıştaki zaman sinyalinin HFD’leri alınarak birbirine oranlandı. Bu sayede transfer fonksiyonu oluşturuldu.

$$TF = \frac{HFD(\text{Çıkış zaman datası})}{HFD(\text{Giriş zaman datası})}$$

Signal AQ’de yapılan işlem süreci;

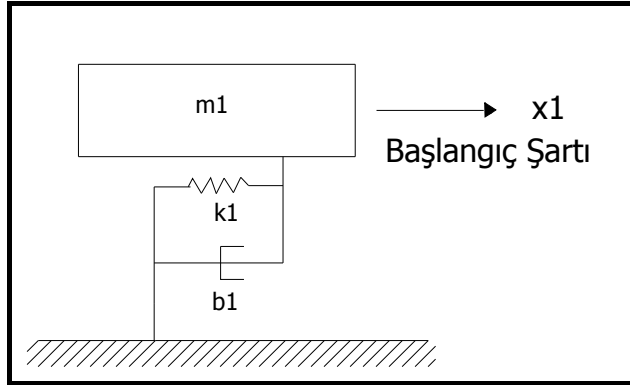
Giriş ve çıkıştaki frekans verileri SignalAQ programından alınarak oranlanıp, transfer fonksiyonu çizdirildi.

Matlab'de yapılan simulasyon;

Matlab'de elde edilen parametreler yardımıyla sistemden herhangi bir giriş karşısında alınan çıkışa karşılık gelen cevap TF elde edilerek Bode diyagramı çizildi.

3.5.6. Bir serbestlik dereceli bina modelinin hareket denklemlerinin çıkarılması

Şekil 3.12'de başlangıç şartı verilerek yapılan serbest titreşim deneyinde kullanılan bir serbestlik dereceli deney düzeneğinin fiziksel modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Başlangıç şartı verilen deney düzeneğinin fiziksel modeli

Bina modelinin hareket denklemleri, sistemin enerji denklemlerini kullanan Lagrange denklemleri yardımıyla elde edilmektedir. Lagrange denkleminin açık ifadesi:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left(\frac{\partial K}{\partial q_i} \right) + \left(\frac{\partial P}{\partial q_i} \right) + \left(\frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} \right) = Q_i \quad (3.21)$$

şeklindedir.

Burada :

K : Sistemin kinetik enerjisi

P : Sistemin potansiyel enerjisi

D : Sönüm terimi

Q_i : Dış kuvvet ve momentleri ($i = 1, 2, \dots, m$)

q_i : Sistemin bağımsız koordinatları ($i = 1, 2, \dots, n$)

göstermektedir.

Bir katlı bina modelinin kinetik enerji, potansiyel enerji ve sönüm terimini aşağıdaki gibi yazabiliriz.

Sistemin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 \quad (3.22)$$

Sistemin potansiyel enerjisi;

$$P = \frac{1}{2} k_1 (x_1)^2 \quad (3.23)$$

Sistemin sönümlenme enerjisi;

$$D = \frac{1}{2} b_1 (\dot{x}_1)^2 \quad (3.24)$$

Hareket denklemlerinin çıkarılması;

$$q_1 = x_1 \text{ ise } Q_1 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1 \quad (3.25)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1 \quad (3.26)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_1} = 0 \quad (3.27)$$

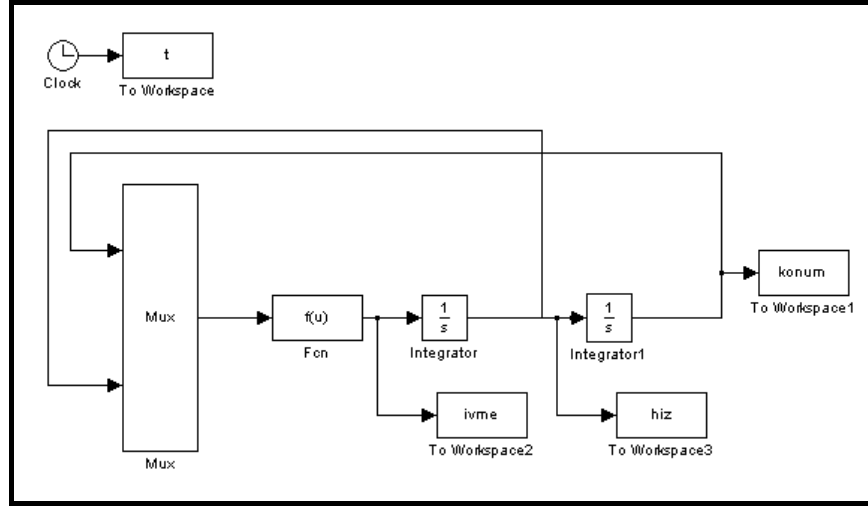
$$\frac{\partial P}{\partial x_1} = k_1 (x_1) \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_1} = b_1 (\dot{x}_1) \quad (3.29)$$

Birinci katın hareket denklemi;

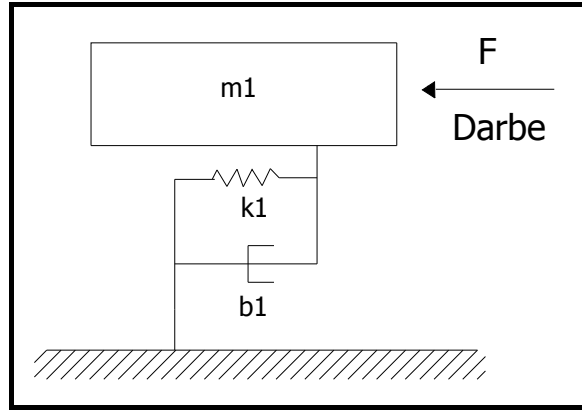
$$m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 = 0 \quad (3.30)$$

Şekil 3.13'da başlangıç şartı verilerek yapılan deneyin simülasyonlarında kullanılan blok diyagram gösterilmiştir.



Şekil 3.13: Başlangıç şartı verilen sistemin blok diyagramı

Şekil 3.14’de darbe çekici kullanılarak yapılan serbest titreşim deneyinde kullanılan bir serbestlik dereceli deney düzeneğinin fiziksel modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Darbe çekici kullanılan deney düzeneğinin fiziksel modeli

Sistemin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 \quad (3.31)$$

Sistemin potansiyel enerjisi;

$$P = \frac{1}{2} k_1 (x_1)^2 \quad (3.32)$$

Sistemin sönümleme enerjisi;

$$D = \frac{1}{2} b_1 (\dot{x}_1)^2 \quad (3.33)$$

Hareket denklemlerinin çıkarılması;

$$q_1 = x_1 \text{ ise } Q_1 = F$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1 \quad (3.34)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1 \quad (3.35)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_1} = 0 \quad (3.36)$$

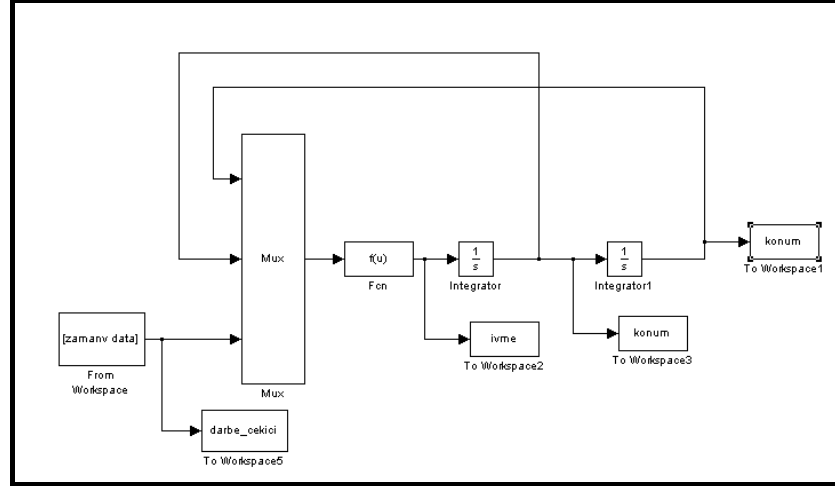
$$\frac{\partial P}{\partial x_1} = k_1 (x_1) \quad (3.37)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_1} = b_1 (\dot{x}_1) \quad (3.38)$$

Birinci katın hareket denklemleri;

$$m_1 \ddot{x}_1 + b_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 = F \quad (3.39)$$

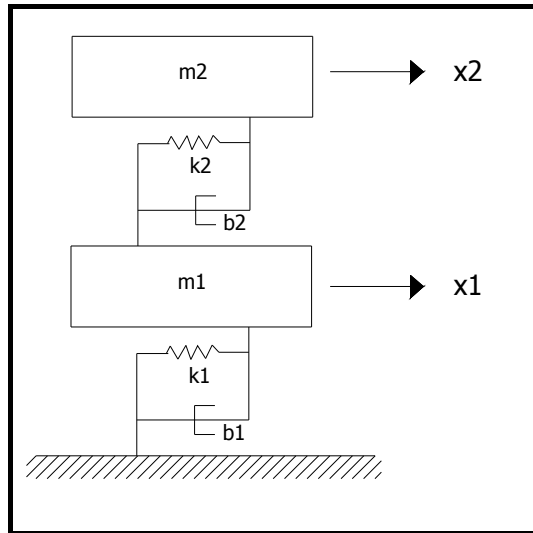
Şekil 3.15’de darbe çekici kullanılarak yapılan serbest titreşim deneyinin simülasyonlarında kullanılan blok diyagram gösterilmiştir



Şekil 3.15: Çekiç deneyindeki sistemin blok diyagramı

3.6. İKİ SERBESTLİK DERECELİ BİNA MODELİNİN KURULMASI

Bir serbestlik dereceli bina modeli kurulurken uyulan esaslara göre iki serbestlik dereceli bina modeli yapılarak, model üzerinde serbest titreşim deneyleri yapılmıştır. Şekil 3.16'da başlangıç şartı verilerek yapılan serbest titreşim deneyinde kullanılan iki serbestlik dereceli deney düzeneğinin fiziksel modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.16: İki serbestlik dereceli deney düzeneğinin fiziksel modeli

3.6.1. İki serbestlik dereceli bina modelinin hareket denklemlerinin çıkarılması

Sistemin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 \quad (3.40)$$

Sistemin potansiyel enerjisi;

$$P = \frac{1}{2} k_1 (x_1)^2 + \frac{1}{2} k_2 (x_2 - x_1)^2 \quad (3.41)$$

Sistemin sönümlenme enerjisi;

$$D = \frac{1}{2} b_1 (\dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 \quad (3.42)$$

Hareket denklemlerinin çıkarılması;

$$q_1 = x_1 \text{ ise } Q_1 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1 \quad (3.43)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1 \quad (3.44)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_1} = 0 \quad (3.45)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_1} = k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1) \quad (3.46)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_1} = b_1 (\dot{x}_1) - b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (3.47)$$

Birinci katın hareket denklemleri;

$$m_1 \ddot{x}_1 + (b_1 + b_2) \dot{x}_1 + (k_1 + k_2) x_1 - b_2 \dot{x}_2 - k_2 x_2 = 0 \quad (3.48)$$

$$q_2 = x_2 \text{ ise } Q_2 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_2} = m_2 \dot{x}_2 \quad (3.49)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2 \ddot{x}_2 \quad (3.50)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_2} = 0 \quad (3.51)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_2} = k_2 (x_2 - x_1) \quad (3.52)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_2} = b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (3.53)$$

İkinci katın hareket denklemi;

$$m_2 \ddot{x}_2 + b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2 (x_2 - x_1) = 0 \quad (3.54)$$

3.7. BİNA MODELİ ÜZERİNDE DİNAMİK SÖNÜMLEYİCİ TASARLANMASI

Model üzerinde oluşan titreşimlerin sönümlenmesi amacıyla dinamik sönümleyici tasarlanması yoluna gidilmiştir. Deneysel olarak kullanılacak bu dinamik sönümleyici sac bir kutu üzerine plastik tekerlekler eklenmesi yoluyla imal edilmiştir. Dinamik sönümleyici en üst kat üzerinde hareket edecek şekilde yerleştirilmiş ve kat üzerinde bir destek elemanı ile sınırlandırılmıştır. Şekil 3.17'de deneylerde kullanılacak dinamik sönümleyici gösterilmektedir.



Şekil 3.17: Dinamik sönümleyici

Yay sabiti bilinen bir yay vasıtasıyla bu destek elemanına bağlanan dinamik sönümleyici başlangıç şartı verilen sistem üzerinde hareket ederek titreşimleri sönümlemeye çalışmaktadır.

3.7.1. Yay ve Sönüm Değerlerinin Frekans Eşitleme Yöntemi ile Bulunması

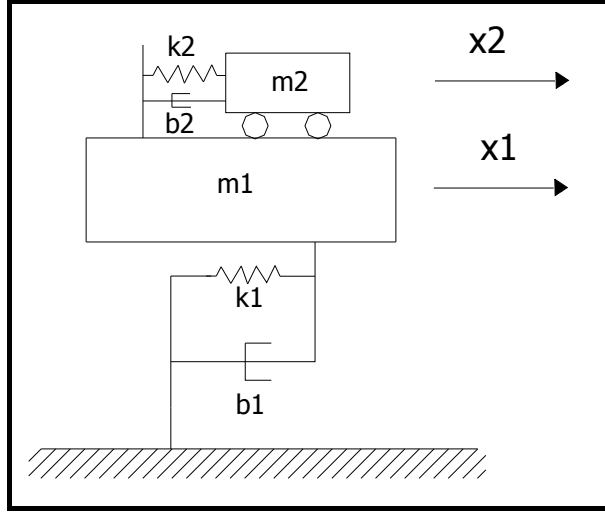
Bu yöntemdeki amaç dinamik sönümleyicinin doğal frekansını ana kütlein doğal frekansına eşitlemektir. Bu şekilde ana kütle ve dinamik sönümleyicinin aynı fazda çalışması sağlanacaktır. Ana kütle hareketinde herhangi bir rezonans olduğunda dinamik sönümleyicinin bu enerjiyi paylaşacağı sönümleyici öngörülmektedir.

$$\frac{\sqrt{\frac{k_a}{m_a}}}{\sqrt{\frac{K}{M}}} = 1 \quad (3.55)$$

Denklem 3.50'de görülen k_a, m_a parametreleri dinamik sönümleyici parametreleri, K ve M parametreleri ise dinamik sönümleyici uygulanacak katın parametreleridir.

3.7.2. Dinamik Sönümleyici Eklenmiş Bir Serbestlik Dereceli Bina Modelinin Hareket Denklemlerinin Çıkarılması

Şekil 3.18’de bir serbestlik dereceli model üzerinde dinamik sönümleyici kullanılarak yapılan deney düzeneğinin fiziksel modeli görülmektedir.



Şekil 3.18: Dinamik sönümleyici kullanılan bir serbestlik dereceli binanın fiziksel modeli

Sistemin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 \quad (3.56)$$

Sistemin potansiyel enerjisi;

$$P = \frac{1}{2} k_1 (x_1)^2 + \frac{1}{2} k_2 (x_2 - x_1)^2 \quad (3.57)$$

Sistemin sönümlenme enerjisi;

$$D = \frac{1}{2} b_1 (\dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 \quad (3.58)$$

Hareket denklemlerinin çıkarılması

$$q_1 = x_1 \text{ ise } Q_1 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1 \quad (3.59)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1 \quad (3.60)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_1} = 0 \quad (3.61)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_1} = k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1) \quad (3.62)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_1} = b_1 (\dot{x}_1) - b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (3.63)$$

Birinci katın hareket denklemi;

$$m_1 \ddot{x}_1 + \dot{x}_1 (b_1 + b_2) + x_1 (k_1 + k_2) - b_2 \dot{x}_2 - k_2 x_2 = 0 \quad (3.64)$$

$q_2 = x_2$ ise $Q_2 = 0$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_2} = m_2 \dot{x}_2 \quad (3.65)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2 \ddot{x}_2 \quad (3.66)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_2} = 0 \quad (3.67)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_2} = k_2 (x_2 - x_1) \quad (3.68)$$

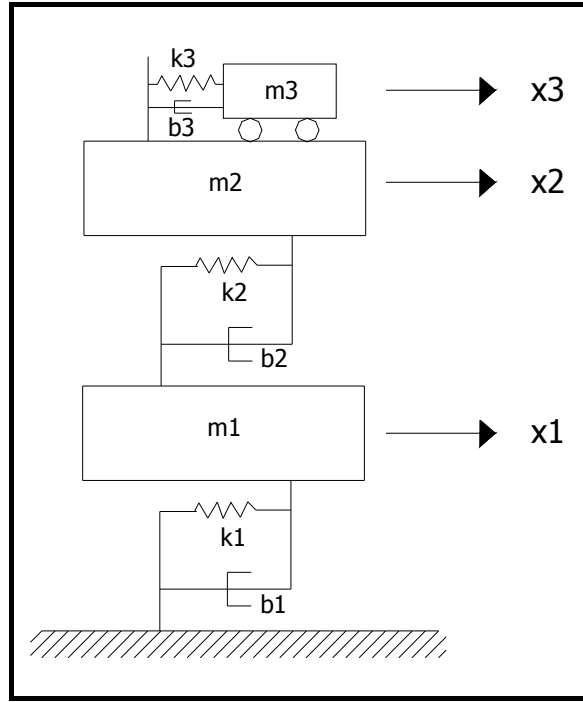
$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_2} = b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (3.69)$$

Dinamik sönümleyicinin hareket denklemi;

$$m_2 \ddot{x}_2 + b_2 \dot{x}_2 + k_2 x_2 - b_2 \dot{x}_1 - k_2 x_1 = 0 \quad (3.70)$$

3.7.3. Dinamik Sönümleyici Eklenmiş İki Serbestlik Dereceli Bina Modelinin Hareket Denklemlerinin Çıkarılması

Şekil 3.19'da iki serbestlik dereceli model üzerinde dinamik sönümleyici kullanılarak yapılan deney düzeneğinin fiziksel modeli görülmektedir.



Şekil 3.19: Dinamik sönümleyici kullanılan iki serbestlik dereceli binanın fiziksel modeli

Sistemin kinetik enerjisi;

$$K = \frac{1}{2} m_1 \dot{x}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{x}_3^2 \quad (3.71)$$

Sistemin potansiyel enerjisi;

$$P = \frac{1}{2} k_1 (x_1)^2 + \frac{1}{2} k_2 (x_2 - x_1)^2 + \frac{1}{2} k_3 (x_3 - x_2)^2 \quad (3.72)$$

Sistemin sönümlenme enerjisi;

$$D = \frac{1}{2} b_1 (\dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1)^2 + \frac{1}{2} b_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2)^2 \quad (3.73)$$

Hareket denklemlerinin çıkarılması;

$$q_1 = x_1 \text{ ise } Q_1 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} = m_1 \dot{x}_1 \quad (3.74)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_1} \right) = m_1 \ddot{x}_1 \quad (3.75)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_1} = 0 \quad (3.76)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_1} = k_1 x_1 - k_2 (x_2 - x_1) \quad (3.77)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_1} = b_1 (\dot{x}_1) - b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (3.78)$$

Birinci katın hareket denklemi;

$$m_1 \ddot{x}_1 + (b_1 + b_2) \dot{x}_1 + (k_1 + k_2) x_1 - b_2 \dot{x}_2 - k_2 x_2 = 0 \quad (3.79)$$

$$q_2 = x_2 \text{ ise } Q_2 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_2} = m_2 \dot{x}_2 \quad (3.80)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_2} \right) = m_2 \ddot{x}_2 \quad (3.81)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_2} = 0 \quad (3.82)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_2} = k_2 (x_2 - x_1) - k_3 (x_3 - x_2) \quad (3.83)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_2} = b_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - b_3 (\dot{x}_3 - \dot{x}_2) \quad (3.84)$$

İkinci katın hareket denklemi;

$$m_2\ddot{x}_2 + (b_2 + b_3)\dot{x}_2 + (k_2 + k_3)x_2 - b_2\dot{x}_1 - b_3\dot{x}_3 - k_2x_1 - k_3x_3 = 0 \quad (3.85)$$

$$q_3 = x_3 \text{ ise } Q_3 = 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_3} = m_3\dot{x}_3 \quad (3.86)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{x}_3} \right) = m_3\ddot{x}_3 \quad (3.87)$$

$$\frac{\partial K}{\partial x_3} = 0 \quad (3.88)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x_3} = k_3(x_3 - x_2) \quad (3.89)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \dot{x}_3} = b_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) \quad (3.90)$$

Dinamik sönümleyicinin hareket denklemi;

$$m_3\ddot{x}_3 + b_3(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + k_3(x_3 - x_2) = 0 \quad (3.91)$$

3.8. SİSTEM ÜZERİNDE YAPILAN KABULLER

- 1) Sistemin lineer bir sistem olduğu kabulü yapılmıştır.
- 2) Sistemin elastik bölgedeki davranışı incelenmiştir.
- 3) Serbest titreşim deneylerinin sonuçları incelenirken sistemin yatay yöndeki hareketi incelenmiştir.
- 4) Kolonların temel bağlantılarının ankastre olduğu kabulü yapılmıştır.
- 5) Dinamik sönümleyicinin tekerleklerinin sürtünmesi ihmal edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. YAY KATSAYISI DENEY SONUÇLARI

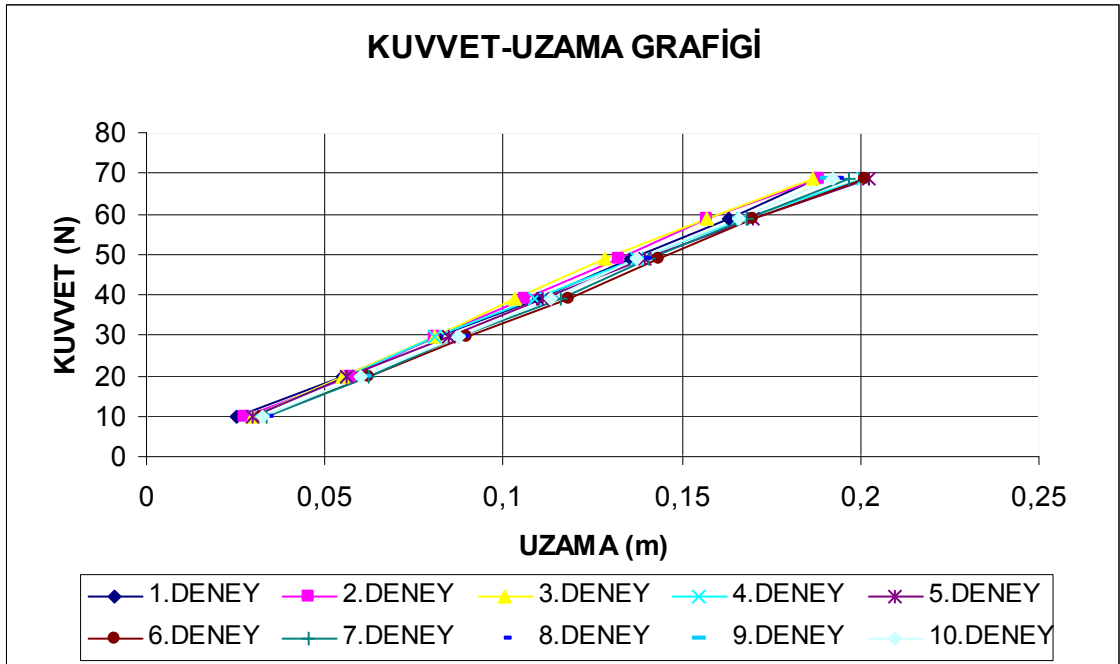
4.1.1. Kolon Yüksekliğinde Yapılan Yay Katsayısı Deney Sonuçları

Yay katsayısı deneyi sonuçları aşağıdaki Tablo 4.1’de verilmiştir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de resimleri görülen 10 deney sonucunda elde edilen sonuçlara göre grafikler çizilmiştir. Şekil 4.1’de yapılan bu deneyler sonucunda elde edilen kuvvet uzama grafiği gösterilmiştir;

Tablo 4.1: Yay katsayısı deney sonuçları

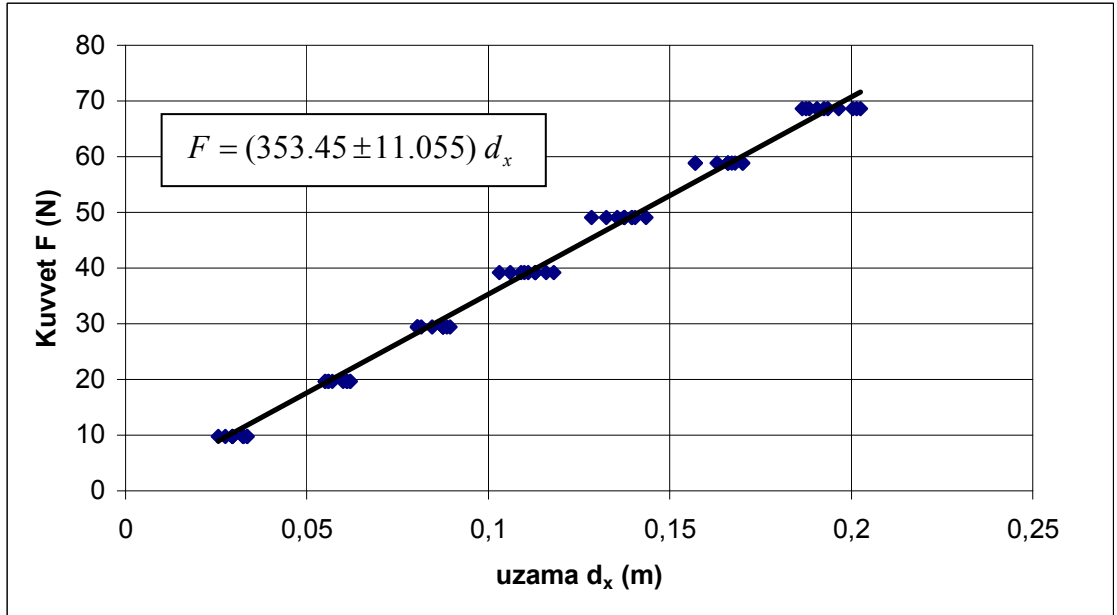
Uygulanan Kuvvet (N)	UZAMA (m)				
	1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney	5.Deney
9.81	0.0255	0.0275	0.0295	0.0295	0.0295
19.62	0.0550	0.0570	0.0550	0.0560	0.0560
29.43	0.0815	0.0805	0.0805	0.0805	0.0845
39.24	0.1100	0.1060	0.1030	0.1090	0.1110
49.05	0.1355	0.1325	0.1285	0.1375	0.1395
58.86	0.1630	0.1570	0.1570	0.1670	0.1700
68.67	0.1875	0.1885	0.1865	0.2005	0.2025

Uygulanan Kuvvet (N)	UZAMA (m)				
	6.Deney	7.Deney	8.Deney	9.Deney	10.Deney
9.81	0.0325	0.0335	0.0335	0.0325	0.0325
19.62	0.0620	0.0620	0.0610	0.0610	0.0600
29.43	0.0895	0.0875	0.0885	0.0875	0.0875
39.24	0.1180	0.1160	0.1130	0.1130	0.1130
49.05	0.1435	0.1405	0.1395	0.1375	0.1375
58.86	0.1700	0.1680	0.1660	0.1660	0.1660
68.67	0.2015	0.1965	0.1935	0.1905	0.1925



Şekil 4.1: Kuvvet-Uzama Grafiği

Malzemenin yay katsayısına Bölüm 3.3’de anlatılan deney metoduna göre, kuvvet-uzama eğrisinin eğiminden karar verilmiştir. Şekil 4.2’deki grafikten eğim 353.45 olarak okunmaktadır.



Şekil 4.2: Kuvvet-uzama grafiğinde eğim

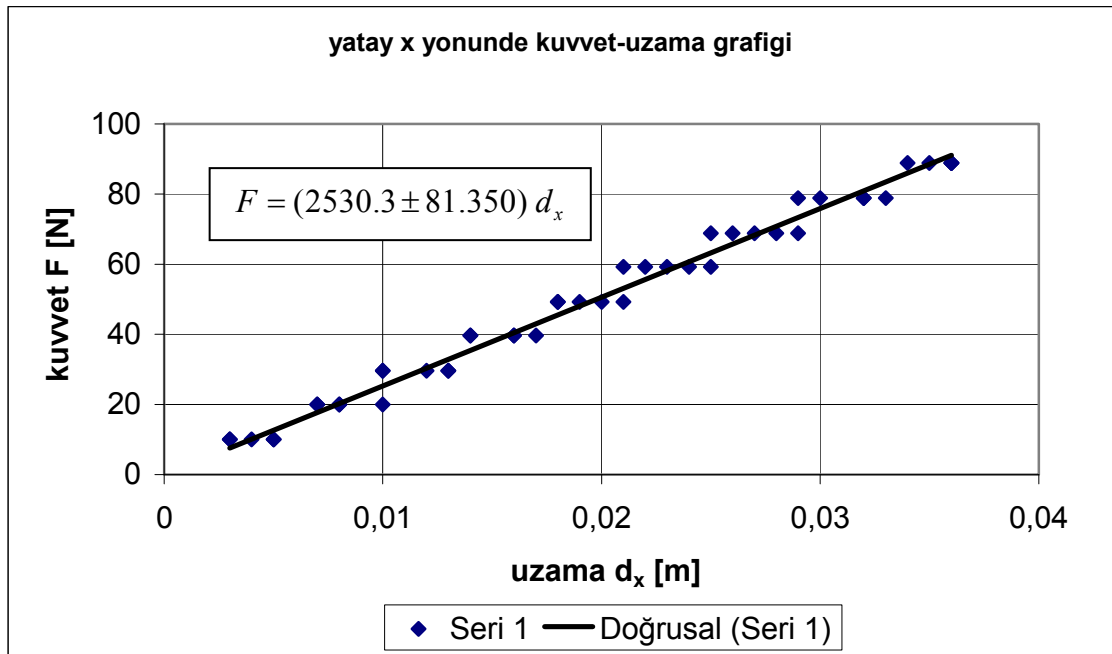
4.1.2. Sistemin Yay Katsayısını Bulmak İçin Yapılan Deney Sonuçları

Sistem olarak yatay x ve z eksenlerinde bulunan yay katsayısı deney sonuçları ve grafikleri aşağıda gösterilmiştir.

Yatay x yönünde sistem yay katsayısı değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yatay x yönü sistem yay katsayısı deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet (N)	UZAMA (m)				
	1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney	5.Deney
9.996	0.005	0.004	0.003	0.003	0.005
20.003	0.010	0.008	0.007	0.007	0.008
29.616	0.013	0.012	0.010	0.010	0.013
39.623	0.016	0.016	0.014	0.014	0.017
49.236	0.020	0.019	0.018	0.018	0.021
59.243	0.023	0.024	0.021	0.022	0.025
68.856	0.027	0.028	0.025	0.026	0.029
78.863	0.032	0.032	0.029	0.030	0.033
88.859	0.035	0.036	0.034	0.036	0.036



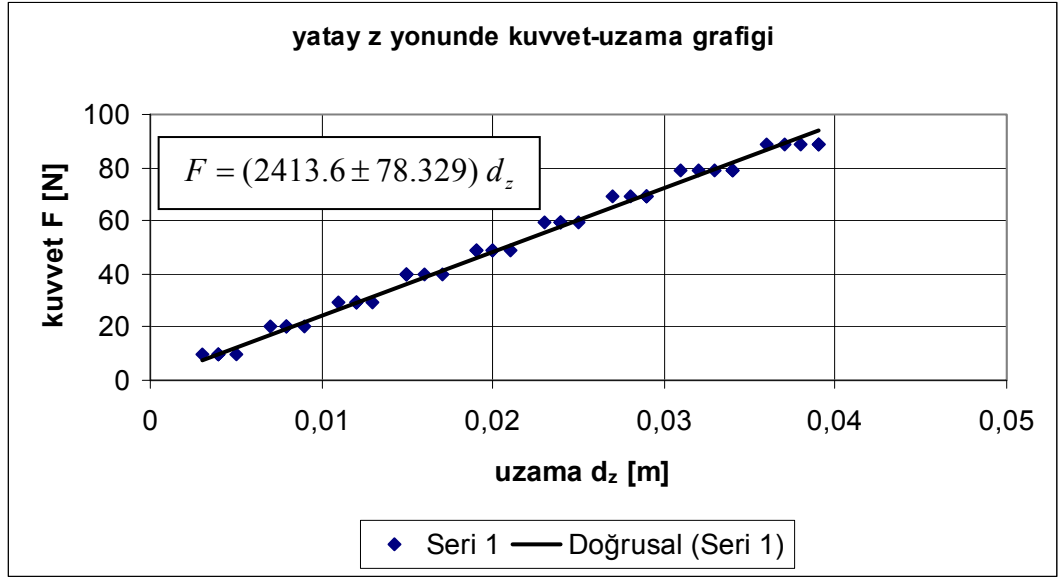
Şekil 4.3: Yatay x yönü kuvvet-uzama grafiği

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi yatay x yönünde yapılan kuvvet-uzama deneyinde yatay x yönünün yay katsayısı grafikten 2530.3 N/m olarak okunmaktadır.

Yatay z yönünde sistem yay katsayısı değerleri Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo 4.3: Yatay z yönü sistem yay katsayısı deney sonuçları

Uygulanan Kuvvet (N)	UZAMA (m)				
	1.Deney	2.Deney	3.Deney	4.Deney	5.Deney
9.996	0.004	0.005	0.003	0.004	0.004
20.003	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008
29.616	0.013	0.012	0.012	0.012	0.011
39.623	0.017	0.015	0.016	0.015	0.015
49.236	0.021	0.020	0.020	0.019	0.019
59.243	0.025	0.024	0.024	0.024	0.023
68.856	0.029	0.028	0.029	0.029	0.027
78.863	0.034	0.032	0.034	0.033	0.031
88.859	0.038	0.037	0.039	0.039	0.036



Şekil 4.4: Yatay z yönü kuvvet-uzama grafiği

Şekil 4.4’de görüldüğü gibi yatay z yönünde yapılan yük-uzama deneyinde yatay z yönünün yay katsayısı grafikten 2413.6 N/m olarak okunmaktadır.

4.1.3. Yay Katsayısının Farklı Boylara Göre Değerlendirilmesi

Bölüm 3.3’de yay katsayısının çubuğun boyuna bağlı olarak değiştiği gösterilmektedir. 1.98 m uzunluğundaki çubuk için deneysel olarak bulunan yay katsayısı 353.45 N/m.’dir. Deneysel olarak bulunan bu değerle hareketle 9.81 N kuvvet uygulanması

durumunda yer değiştirme miktarı (3.5) denklemi ile $y = 0.02775$ m olarak hesaplanmaktadır. Denklem (3.1) yardımıyla $F = 9.81$ N kuvvet ve $L = 1.98$ m yükseklik değerleri ile;

$$EI = -\frac{FL^3}{3y} \quad (4.1)$$

$EI = 914.539 \text{ Nm}^2$ olarak hesaplanır.

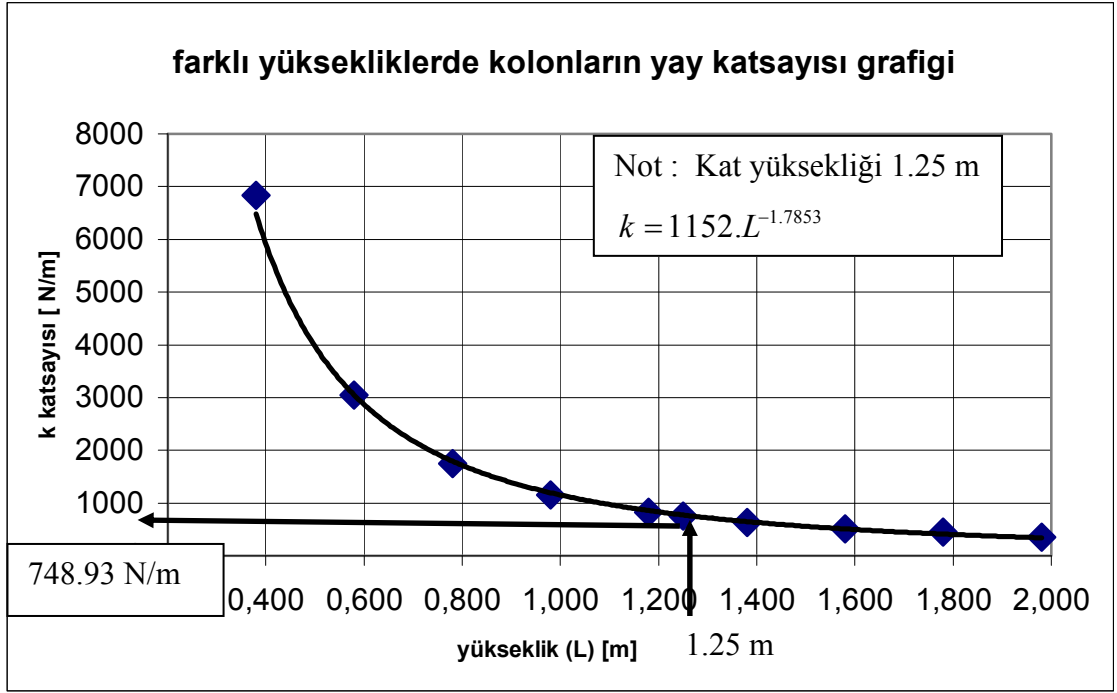
EI değeri deneysel olarak bulunmuştur. Diğer boylardaki yay katsayıları bu sabite bağlı olarak hesaplanacaktır. Elastik eğri denklemi olan denklem (3.18), hesaplanan deneysel EI sabitine göre yazılırsa aşağıdaki hale gelir;

$$y = -1.7875 \cdot 10^{-3} x^3 + 0.02102x - 0.02775 \quad (4.2)$$

Bu denklem yardımıyla diğer yüksekliklerde kuvvet tatbikiyle oluşan yer değiştirme miktarları hesaplatılmıştır. Bu değerler yardımıyla farklı boylardaki yay katsayısı değerlerine ulaşılmıştır. Değerler Tablo 4.4'de verilmiş, Şekil 4.5.'de grafik olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.4: Farklı yüksekliklerde yay katsayısı değerleri

YAY KATSAYISI DEğERLERİ		
BOY (L) [m]	Yer değiştirme miktarı [m]	Yay Katsayısı (k) [N/m]
1.980	0.02775	353.45
1.780	0.00236	443.71
1.580	0.01950	504.23
1.380	0.01550	631.99
1.250	0.01310	748.93
1.180	0.01190	828.06
0.980	0.00850	1152.1
0.780	0.00560	1748.2
0.580	0.00320	3043.8
0.380	0.00150	6835.8



Şekil 4.5: Yay katsayısının farklı yüksekliklerdeki değerleri

4.1.4. Kolonların Birarada Hareketi Esnasındaki Eşdeğer Yay Değeri

Elastik eğri denklemi kullanılarak farklı yüksekliklerde çubukların yay katsayıları hesaplanmıştır. Kat yüksekliği olan 1.25 m değerinde yay katsayısı 748.93 N/m olarak hesaplanmıştır. Katın kolonlarını oluşturacak dört adet çubuğun paralel yaylar olarak çalıştığı kabulüne göre;

Paralel olarak bağlanmış dört yayın eşdeğer yay katsayısı;

$$k_{es} = 4k \quad (4.3)$$

şeklinde bulunmaktadır.

$$k_{es(deneysel)} = 748,93 \times 4 = 2995.72 \text{ N / m}$$

olarak hesaplanmaktadır.

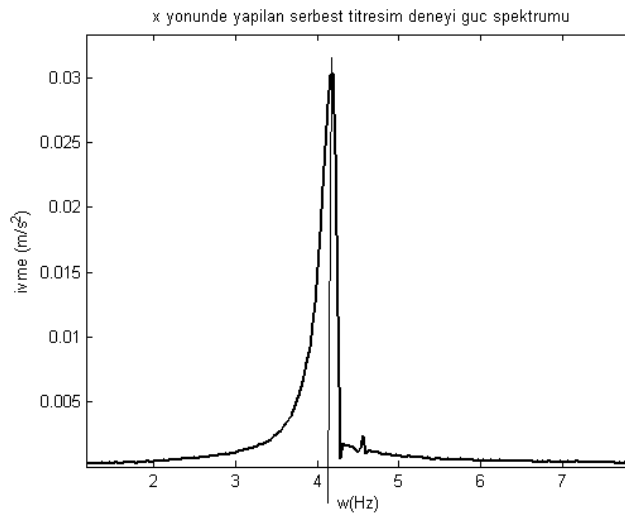
Çubuklar ve raf monte edilerek sistem haline getirilip yay katsayısı deneyleri yapılmış, yatay x yönünde 2530.3 N/m, yatay z yönünde 2413.6 N/m değerleri elde edilmiştir

Elastik eğri denkleminde bulunan eşdeğer yay katsayısı değeri ile sistem olarak deney yapılarak bulunan eşdeğer yay katsayısı değerleri birbirlerine yakın çıkmaktadır. Bu iki

değer arasında farkın, çubukların sistem olarak çalıştığına farklı rijitlik göstermesi ve malzemenin üzerinde bulunan deliklerin malzemenin iç yapısında düzensizliklere neden olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Yatay x ve yatay z yönlerinde sistem olarak ölçülen değerler birbirine yakındır.

4.1.5. Serbest Titreşim Deneyleri Yapılarak Yay Katsayısının Elde Edilmesi

Bir serbestlik dereceli sistem üzerinde serbest titreşim deneyi yapıldığında güç spektrumunda sistemin rezonans frekansı Şekil 4.6'da görüldüğü üzere 4.125 Hz olarak bulunmuştur.



Şekil 4.6: Yatay x yönünde yapılan serbest titreşim deneyi güç spektrumu

Sistemin doğal frekansı;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.4)$$

denkleminle hesaplanmaktadır.

Deneylerde kat ağırlığı 17.7 kg olarak kullanılmıştır. Bu değerden hareketle yay katsayısı ;

$$m = 17.7 \text{ kg};$$

$$\omega = \sqrt{k/m} \text{ yardımıyla};$$

$$\omega = 4.125 \text{ Hz} \text{ ise } k = 11890 \text{ N/m}$$

olarak hesaplanmaktadır.

Bölüm 4.1.4’de kolonların birarada hareket etmesiyle hesaplanan eşdeğer yay katsayısı değeri, elastik eğri denklemiyle 2995.72 N/m, bütün sistem olarak statik deplasman deneyinin yapılmasıyla 2530.3 N/m olarak bulunmuştur. Serbest titreşim deneyinden elde edilen güç spektumunda, birinci rezonans değerine bağlı olarak hesaplanan eşdeğer yay katsayısı değeri 11890 N/m olarak bulunmaktadır. Çubukların statik olarak ölçülen yay katsayısı değerleri ile dinamik olarak yapılan serbest titreşim deneylerinde hesaplanan eşdeğer yay katsayıları farklı bulunmaktadır. Çubukların bütün sistem olarak hareket etmesi durumunda ortaya çıkan sürekli ortam titreşimi yay katsayısı değerlerini değiştirmektedir. Çubukların sistem olarak birbirlerine etkileri ve sürekli ortam davranışına sahip olmaları bu sonucu doğurabilir. Bu bölümden sonra kurulacak olan simulasyon modelinde serbest titreşim deneyinden hareketle bulunan yay katsayısı değeri ($k=11890$ N/m) kullanılacaktır.

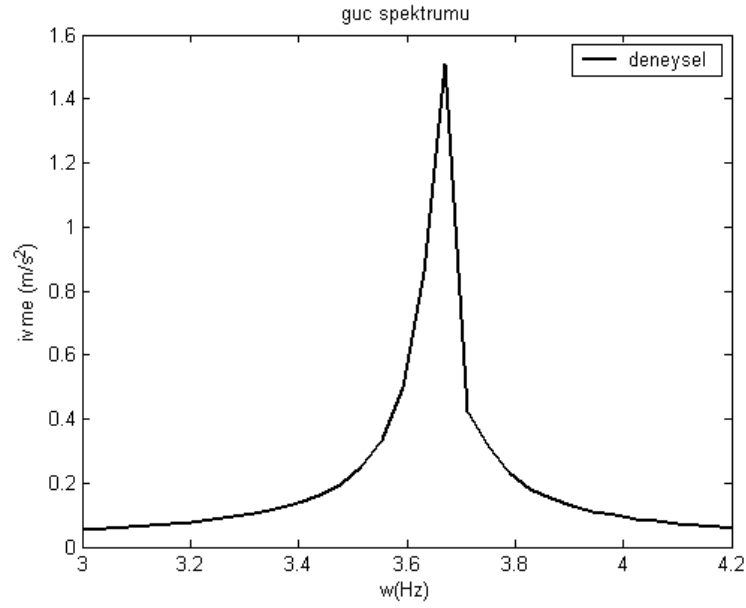
4.2. SÖNÜM KATSAYISI DENEY SONUÇLARI

Bölüm 3.4’de anlatılan sönüm katsayısı deneyi yöntemine göre kolonlar farklı boylarda kesilerek serbest titreşim deneyleri yapılmıştır. Farklı yüksekliklerdeki kolonların sönüm katsayılarının değişimi tayin edilmek istenmiştir.

4.2.1. Kolon Tam Boyunda Sönüm Katsayısının Elde Edilmesi

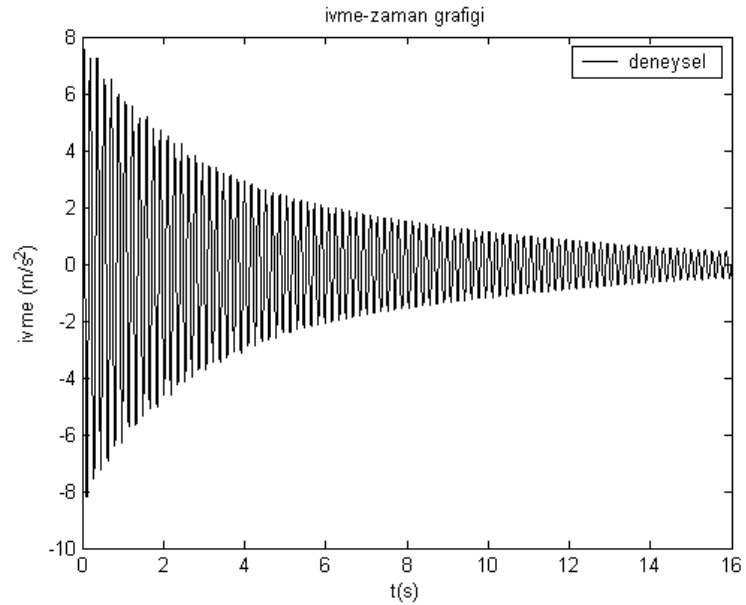
İvmeölçerler 1.98 m yükseklikte kolon profilinin her iki yanına bağlanmıştır. Verilen başlangıç şartı ile serbest titreşim deneyi yapılmıştır. Alınan zaman cevaplarından hareketle güç spektumunu bulunmuş, ivme-zaman grafiğinden logaritmik azalma oranı hesaplanmıştır.

Şekil 4.7’de 1.98 m kolon yüksekliğinde yapılan serbest titreşim deneyinin güç spektumunu görmekteyiz.



Şekil 4.7: Kolonda yapılan deneyin güç spektrumu

Şekilden ivme rezonans frekansı değeri 3.633 Hz olarak görülmektedir. Titreşimin periyodu 0.275 s olarak hesaplanır. Bu periyoda sahip titreşim ivme-zaman grafiğinde 20 periyot olarak işaretlenir ve değerleri alınırsa;



Şekil 4.8: Kolonda yapılan deneyin zaman cevabı

$$t_0 = 16.587 \text{ s} \quad a_0 = 1.186108 \text{ m / s}^2$$

$$t_{20} = 22.088 \text{ s} \quad a_{20} = 0.70138 \text{ m / s}^2$$

Logaritmik azalma oranı;

$$\delta = 0.0263$$

olarak hesaplanır.

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (4.5)$$

Denklem 4.5 yardımıyla sönüm oranı;

$$\zeta = 0.0042$$

olarak hesaplanır.

Çubuğun tam boyundaki kütle değeri ve yay katsayısı deneyinden bulunan değerler yardımıyla;

Sönüm katsayısı

$$c = 2\zeta\sqrt{km} = 0.6614 \text{ Ns} / \text{m}$$

olarak hesaplanır.

4.2.2. Farklı Kolon Yüksekliklerinde Sönüm Katsayılarının Elde Edilmesi

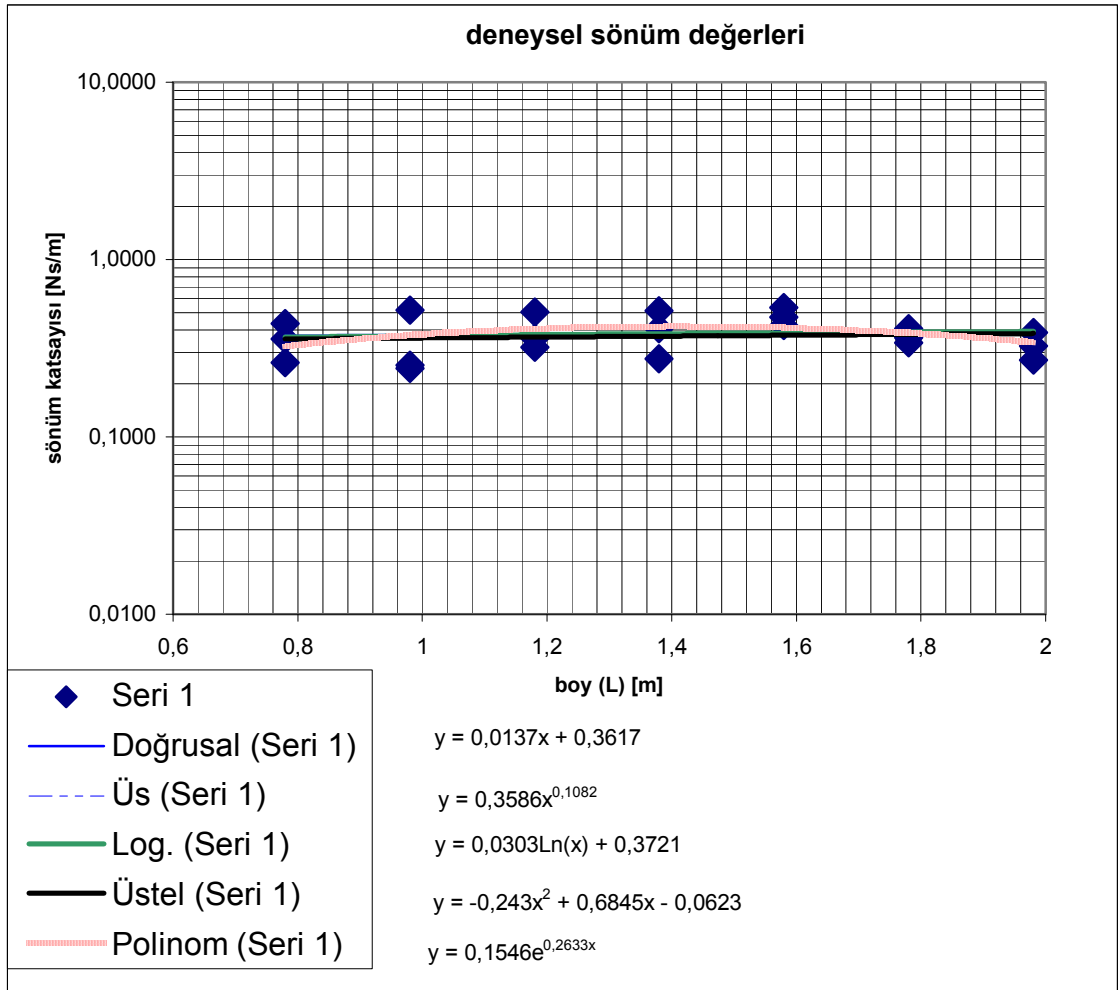
Bölüm 4.2.1’de yapılan hesaplamalar diğer kolon yükseklikleri için yapılmış bulunan sonuçlar Tablo 4.5’de gösterilmiştir. Her kolon yüksekliğinde üç adet ivme ölçümü yapılmıştır. Tabloda verilen sönüm katsayısı değerleri hesaplanırken, serbest titreşim deneylerinden bulunan ivme rezonans değerinden hesaplanan yay katsayısı değerleri kullanılmıştır.

Tablo 4.5: Farklı yüksekliklerde çubukların sönüm değerleri

BOY [m]	AĞIRLIK [kg]	frekans [Hz]	Deneyler	Okuma Periyodu	zaman [s]	ivme [m/s ²]	c katsayısı [Ns/m]	c katsayısı (ortalama) [Ns/m]
1.980	1.426	3.633	1.deney	20	16.587000	1.186108	0.2721	0.3290
					22.087500	0.701383		
			2.deney	20	16.680000	1.167880	0.3892	
					22.180000	0.550958		
			3.deney	20	16.375000	1.198645	0.3256	
					21.860000	0.639347		
1.780	1.282	4.375	1.deney	20	12.500000	0.908533	0.3641	0.3701
					17.050000	0.474653		

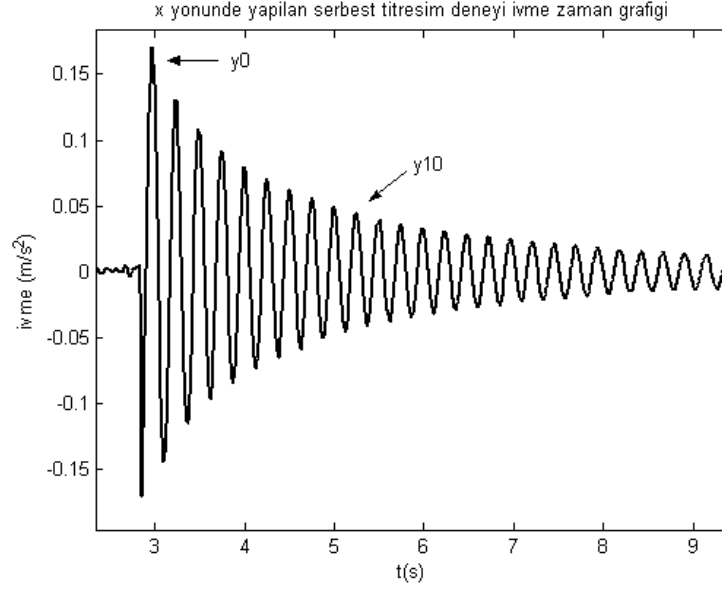
			2.deney	20	15.637000	0.516753	0.3380	
					20.175000	0.282865		
			3.deney	20	4.940000	3.230000	0.4082	
					9.510000	1.560000		
1.580	1.138	5.391	1.deney	20	10.925000	0.853257	0.5380	
					14.650000	0.354973		
			2.deney	20	5.375000	2.544812	0.4737	
					9.087501	1.175831		
			3.deney	20	10.030000	0.990951	0.4245	
					13.740000	0.496057		
1.380	0.994	6.758	1.deney	20	14.650000	0.617761	0.4083	
					17.610000	0.336400		
			2.deney	20	18.162000	0.514200	0.2753	
					21.113000	0.341300		
			3.deney	20	21.090000	0.310619	0.5140	
					24.050000	0.144525		
1.180	0.850	8.672	1.deney	20	19.590000	0.122684	0.5070	
					21.890000	0.061670		
			2.deney	20	17.613000	0.175900	0.3589	
					19.913000	0.108100		
			3.deney	20	18.513000	0.163000	0.3214	
					20.813000	0.105400		
0.980	0.706	11.641	1.deney	20	15.500000	0.216900	0.5200	
					17.210000	0.115200		
			2.deney	20	16.837500	0.225464	0.2428	
					18.560000	0.167800		
			3.deney	20	16.010000	0.254516	0.2546	
					17.730000	0.186722		
0.780	0.562	16.367	1.deney	100	4.400000	0.807830	0.4356	
					10.510000	0.075659		
			2.deney	30	5.700000	0.466894	0.2627	
					7.537000	0.304189		
			3.deney	100	6.450000	0.435400	0.3570	
					12.562000	0.062534		
0.580	0.418	26.250	1.deney	10	3.210000	1.744000	0.5329	
					3.590000	1.368000		
			2.deney	21	3.218750	2.813044	0.8789	

					4,015625	1.213114		
			3.deney	10	4,020000	1.108211	1.3722	
					4,400000	0.592979		
0.380	0.274	46.000	1.deney	7	0,408000	5.224224	2.4836	2.8935
					0,559000	2.620948		
			2.deney	7	0,347656	4.744731	3.2362	
					0,498047	1.931295		
			3.deney	7	0,449219	1.820036	2.9608	
					0,600586	0.799742		



Şekil 4.9: Sönüm katsayısının yüksekliğe bağlı değişimini gösteren grafik

4.2.3. Serbest Titreşim Deneyle Yapıldığında Sönüm Katsayısının Yorumlanması



Şekil 4.10: Yatay x yönünde yapılan serbest titreşim deneyi zaman cevabı

Bölüm 4.1.5'de bir serbestlik dereceli sistem üzerinde serbest titreşim deneyi yapıldığında eşdeğer yay katsayısının hesaplanması açıklanmıştır. Eşdeğer yay katsayısı birinci rezonans değerine bağlı olarak bulunmuş ve bu parametrenin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu parametreye bağlı olarak sönüm katsayısı hesaplanacak ve simulasyon modelinde bu değer kullanılacaktır. Sistem olarak yapılan serbest titreşim deneyinin ivme-zaman grafiğinden logaritmik azalma oranına bakılmış ve sönüm katsayısı hesaplanmıştır.

Sönüm katsayısı, Şekil 4.10'da görülen 10 periyot arasında ivme değerinin logaritmik azalmasından hareketle aşağıdaki değerlere bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$t_0 = 2.969 \text{ s} \quad a_0 = 1.668 \text{ m/s}^2$$

$$t_{10} = 5.508 \text{ s} \quad a_{10} = 0.388 \text{ m/s}^2$$

Logaritmik azalma;

$$\delta = 0.4158$$

$$\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}$$

Sönüm oranı;

$$\zeta = 0.0232$$

Sistem için bulunan sönüm katsayısı

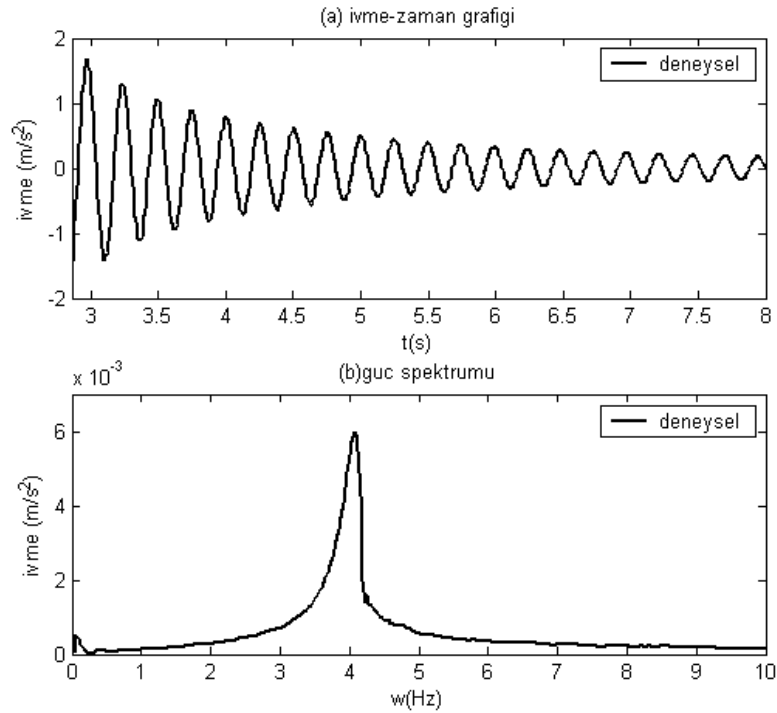
$$c = 2\zeta\sqrt{km} = 21.3 \text{ Ns/m} \text{ bulunur.}$$

Sönüm katsayısı değerleri için yapılan deney sonuçları ile serbest titreşim deneyinden bulunan yay katsayısına bağlı olarak hesaplanan sönüm katsayısı değerleri farklıdır. Bölüm 4.1.5’de açıklanan sürekli ortam titreşimine sahip olmaları sonucu bu durumu doğrular. Simulasyonlarda sönüm katsayısı olarak 21.3 Ns/m değeri kullanılacaktır.

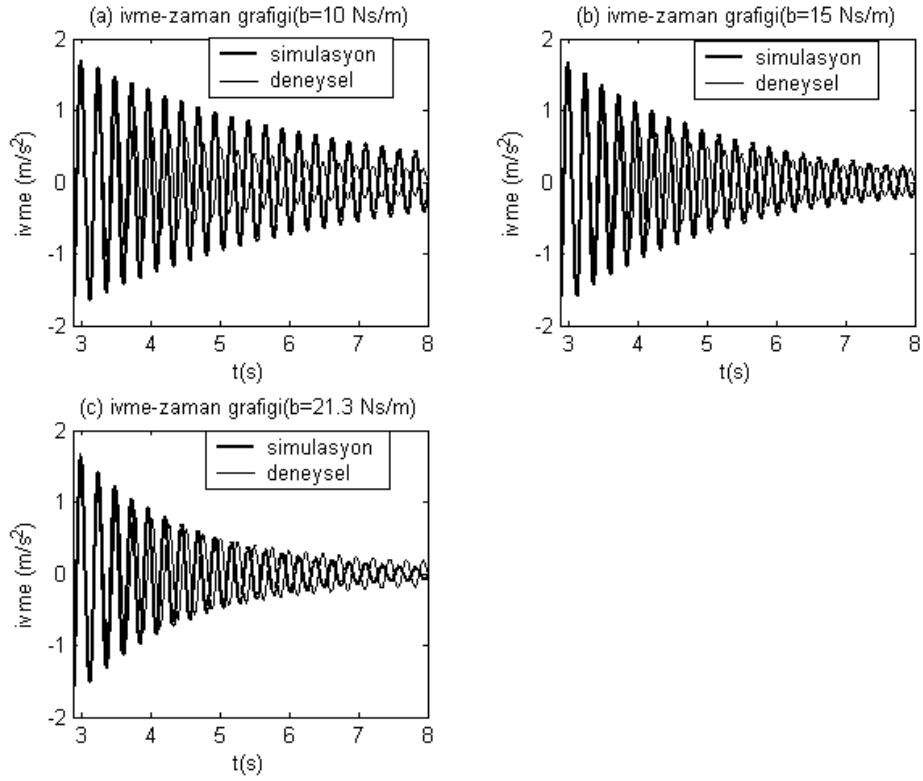
4.3. TEK KATLI BİNA MODELİNİN İVME VE FREKANS CEVAPLARININ ELDE EDİLMESİ

4.3.1. Sisteme Başlangıç Şartı Verilerek Titreşim Oluşturulması

Oluşturulan bir serbestlik dereceli bina modeline verilen başlangıç şartı ile titreşim oluşturulmuştur. Model üzerine bağlanan ivmeölçerler ile yatay x ve yatay z yönlerinde ivme ve frekans cevapları elde edildi. Şekil 4.11’de serbest titreşim deneyi sonucu yatay x yönünde elde edilen ivme ve frekans grafiklerini görmekteyiz.



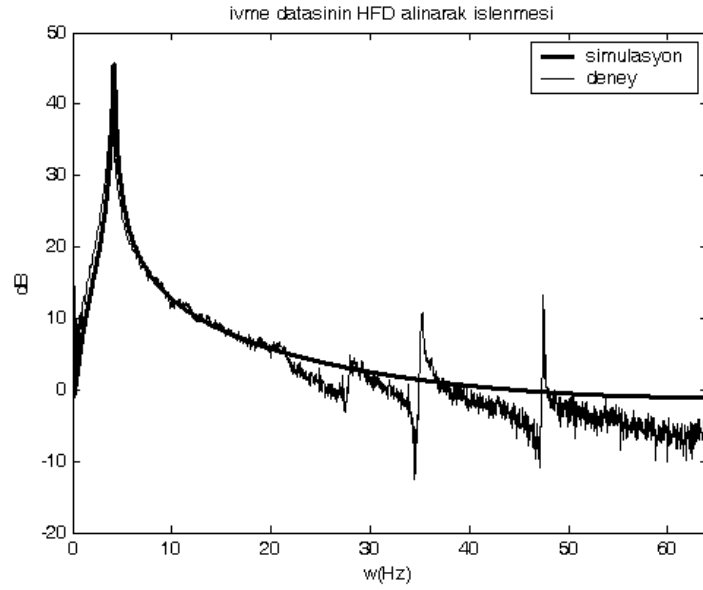
Şekil 4.11: a)Başlangıç şartı verilen durumda kat ivmelenmesi, b) Başlangıç şartı verilen durumda güç spektrumu



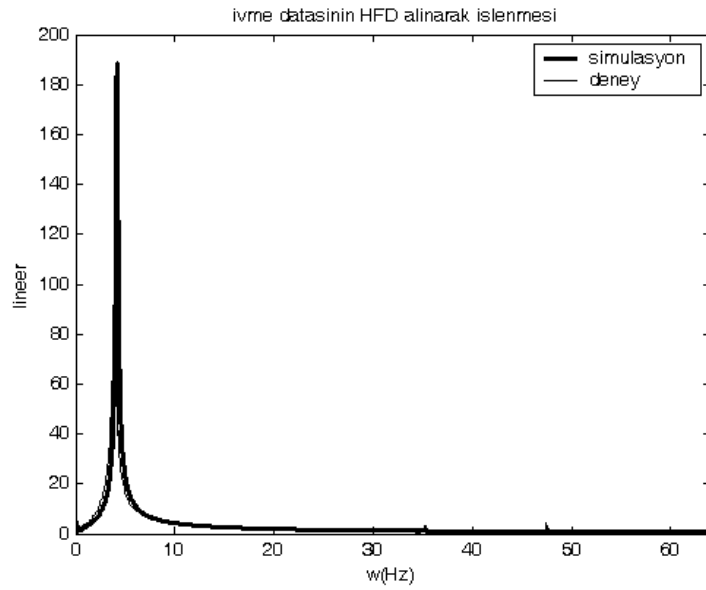
Şekil 4.12: Farklı parametrelerle yapılan simulasyonlar a) sönüm katsayısı $c=10$ Ns/m, b) sönüm katsayısı $c=15$ Ns/m, c) sönüm katsayısı $c=21.3$ Ns/m

Şekil 4.12’de simulasyon modeli ve serbest titreşim deneylerinden elde edilen zaman cevaplarının karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı sönüm katsayıları denenerak gerçekleştirilen simulasyonların, deney sonuçlarıyla olan uyumu kontrol edilmiştir. Serbest titreşim deneyinden ivme rezonans değerine bağlı olarak hesaplanan sönüm katsayısı simulasyonla uyum göstermektedir. Sönüm parametresi değiştirilip simulasyon yapıldığında deney sonuçlarından uzaklaşma olmaktadır. Sönüm katsayısı değeri olarak 21.3 Ns/m değeri seçilmiştir. Simulasyon parametreleri Ek B1’de verilmiştir. Bu sonuç kurulan simulasyon modelinin gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.

(a)



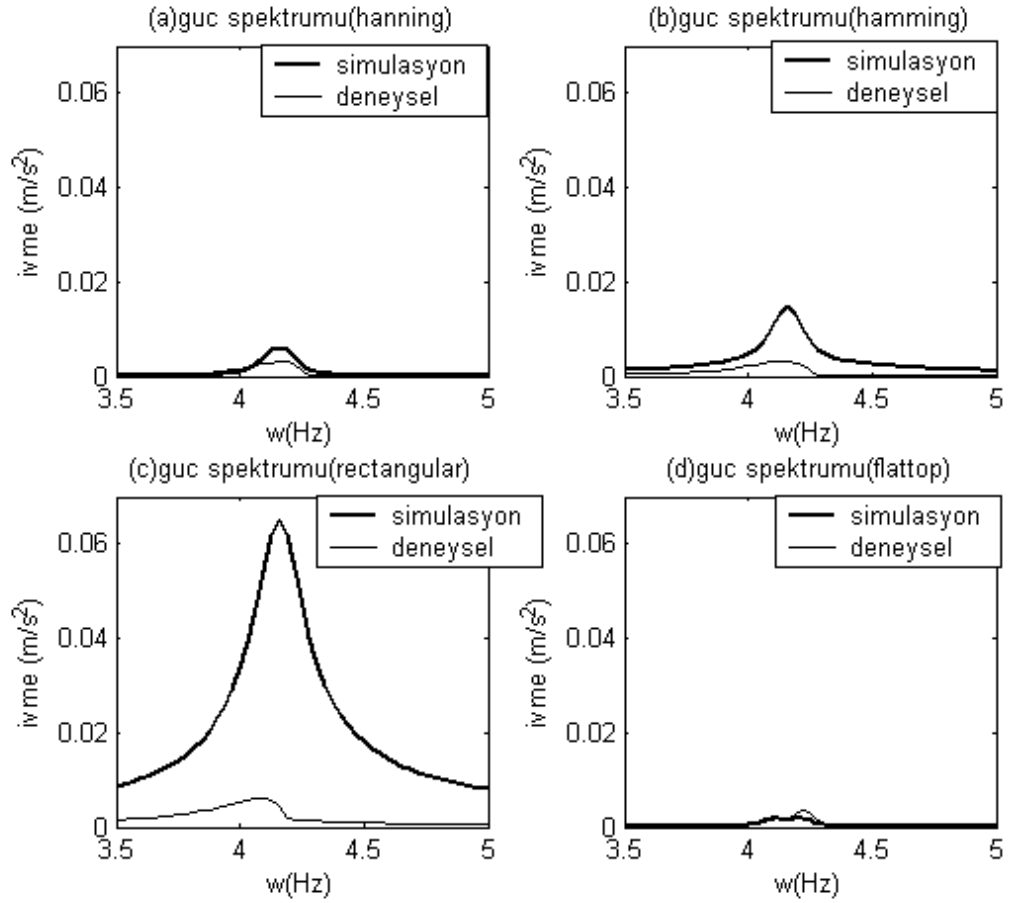
(b)



Şekil 4.13: Deney sonuçlarının HFD'si alınmış grafikleri a) dB olarak gösterim, b) lineer gösterim

Şekil 4.13'de, deneyler yapıldıktan sonra alınan ivme-zaman datalarının hızlı fourier dönümleri alınarak frekans cevapları elde edilmeye çalışılmıştır. Simulasyon modelinden alınan zaman dataların da dönümleri alınarak üst üste çizilmiştir. Her iki durumda da deney ve simulasyon sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

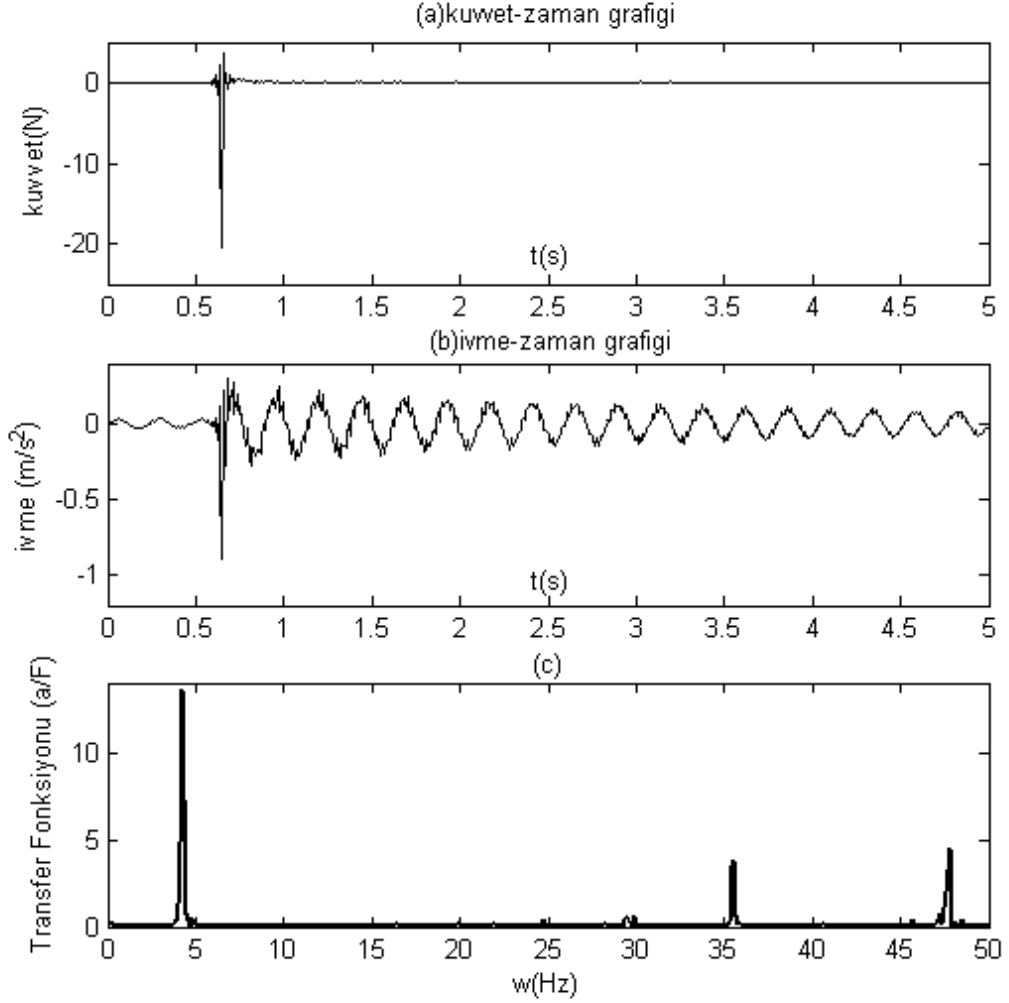
Şekil 4.14'de farklı güç spektrumları esaslarına göre çizilmiş grafikler bulunmaktadır. Çizilen bu grafiklerde simülasyon sonuçlarının ve deney sonuçlarının birbirlerine ne yakınlıkla olduğu gözlemlenmektedir. Farklı pencereleme metodlarıyla çizilen bu grafiklerde, güç spektrumlarında deneysel sonuçlarının fazla değişmediği, ancak simülasyonun genlik değerlerinin değişiklik gösterdiği gözlenmiştir.



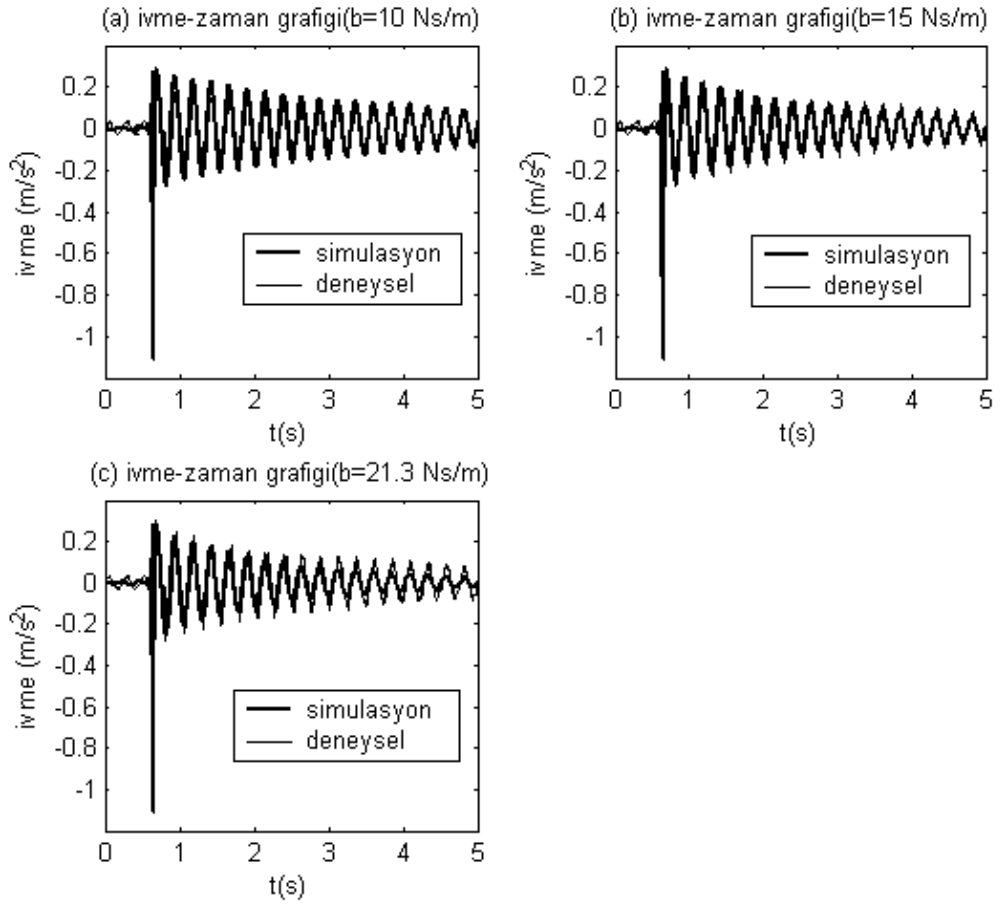
Şekil 4.14: Güç spektrumlarının karşılaştırılması

4.3.2. Sisteme Darbe Çekiciyle İmpuls Verilerek Titreşim Oluşturulması

Şekil 4.15’de bir serbestlik dereceli bina modeline darbe çekiciyle vurulmasıyla yapılan serbest titreşim deneyinin zaman ve frekans cevabı görülmektedir. Sisteme uygulanan F kuvvetinin zamanla değişimi de grafikten görülmektedir.

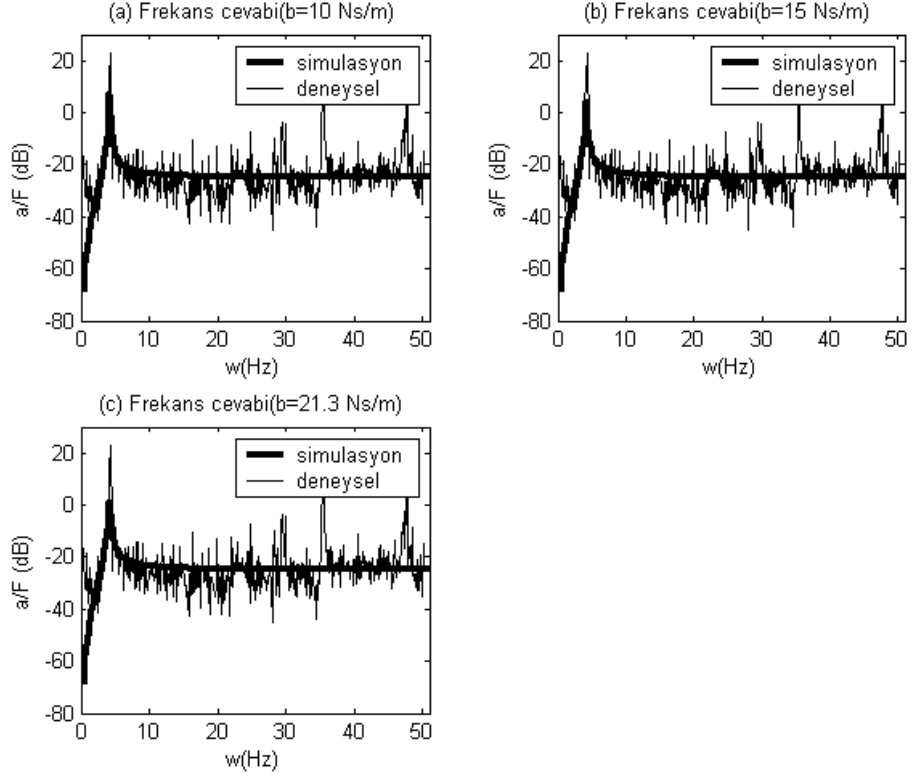


Şekil 4.15: a) Darbe çekici kuvvetinin zamanla değişimi, b) Darbe çekici ile darbe sonucu kat ivmelenmesi, c) Darbe çekici ile darbe sonucu elde edilen frekans cevabı



Şekil 4.16: Farklı parametrelerle yapılan simulasyonlar a) sönüm katsayısı $c=10$ Ns/m, b) sönüm katsayısı $c=15$ Ns/m, c) sönüm katsayısı $c=21.3$ Ns/m

Şekil 4.16'da üç farklı sönüm katsayısıyla çizdirilen ivme-zaman cevaplarında, simulasyon ve deney arasındaki uyum, Ek B1'de verilen parametrelerle yapılan simulasyonlarda görülmektedir. Bu parametreler serbest titreşim deneyindeki ivme rezonans değerinden hareketle hesaplanmaktadır. Çekiç deneyi ile simulasyonların uyum göstermesi parametrelerin doğruluğu açısından önemlidir.



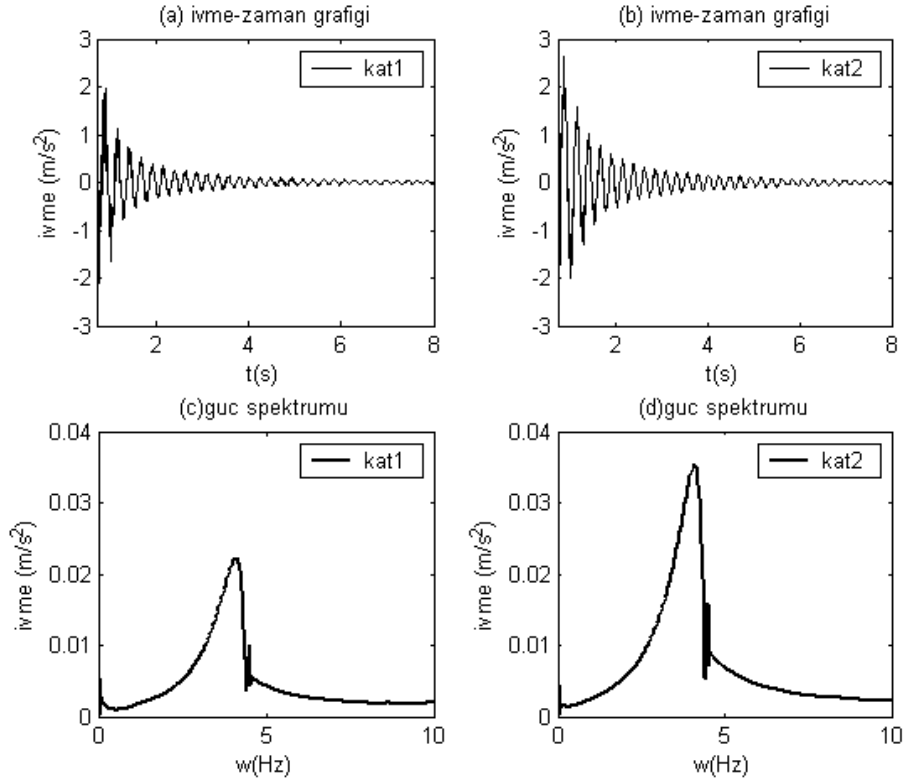
Şekil 4.17: Farklı sönüm katsayıları yapılan simülasyonların frekans cevapları

Şekil 4.17’de darbe çekiciyle başlatılmış serbest titreşim deneylerinin frekans cevapları görülmektedir. Grafiklerde transfer fonksiyonu çizilerek, oluşturulan simülasyon modeliyle karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen transfer fonksiyonu ile simülasyon modelinin transfer fonksiyonunun uyum sağladığı görülmektedir. Aradaki farklar deney ortamında gürültü bileşenlerinin de hesaba katılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Her iki durumun rezonans frekans değerleri birbirini karşılamaktadır. Sönüm parametresi değerleri değiştirilerek simülasyon yapıldığında simülasyonun rezonans genliği değişmektedir. Sönüm parametresi olarak seçilen 21.3 Ns/m değerinin uygun olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında Ek.B1’de verilen parametreler bir serbestlik dereceli model için kullanılacaktır.

4.4. İKİ KATLI BİNA MODELİNİN İVME VE FREKANS CEVAPLARIN ELDE EDİLMESİ

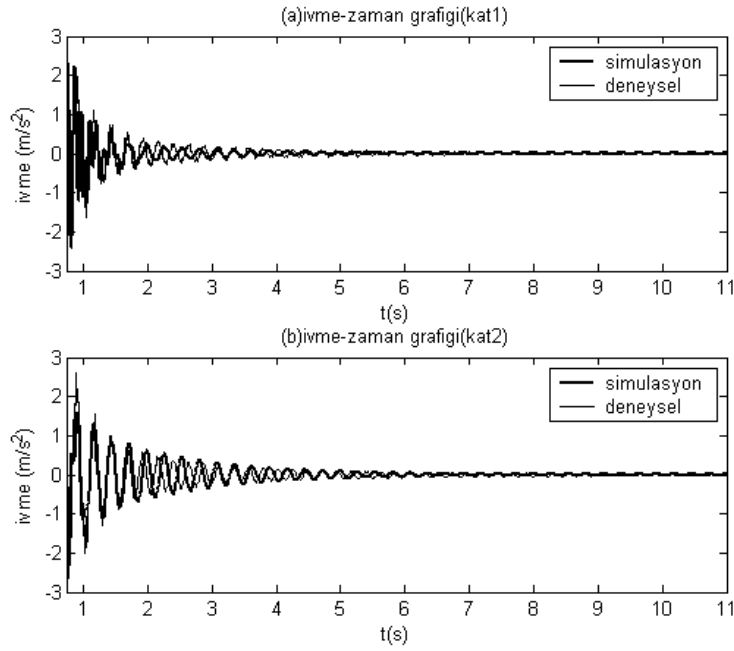
4.4.1. Sisteme Başlangıç Şartı Verilerek Titreşim Oluşturulması

Bir serbestlik dereceli modelde başlangıç şartı verilerek yapılan serbest titreşim deneyi, bina modeline bir kat daha ekleyerek oluşturulan iki serbestlik dereceli modelde de uygulanmıştır. Elde edilen zaman cevapları ve güç spektrumları Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.18: İki serbestlik dereceli sistemin a) kat1 zaman cevabı, b) kat2 zaman cevabı, c) kat1 güç spektrumu, d) kat2 güç spektrumu,

Oluşturulan simulasyon modelinde deneysel sonuçlara en iyi uyumu gösteren parametreler ile simulasyon yapılmış ve bu grafikler Şekil 4.19'da verilmiştir. Simulasyon parametreleri Ek B3'de verilmiştir.



Şekil 4.19: İki serbestlik dereceli sistemde uygun parametrelerle yapılan simulasyonlar a) kat1 ivme-zaman grafiği, b) kat2 ivme-zaman grafiği

4.5. TEK KATLI BİNA MODELİNE DİNAMİK SÖNÜMLEYİCİ EKLENMESİ

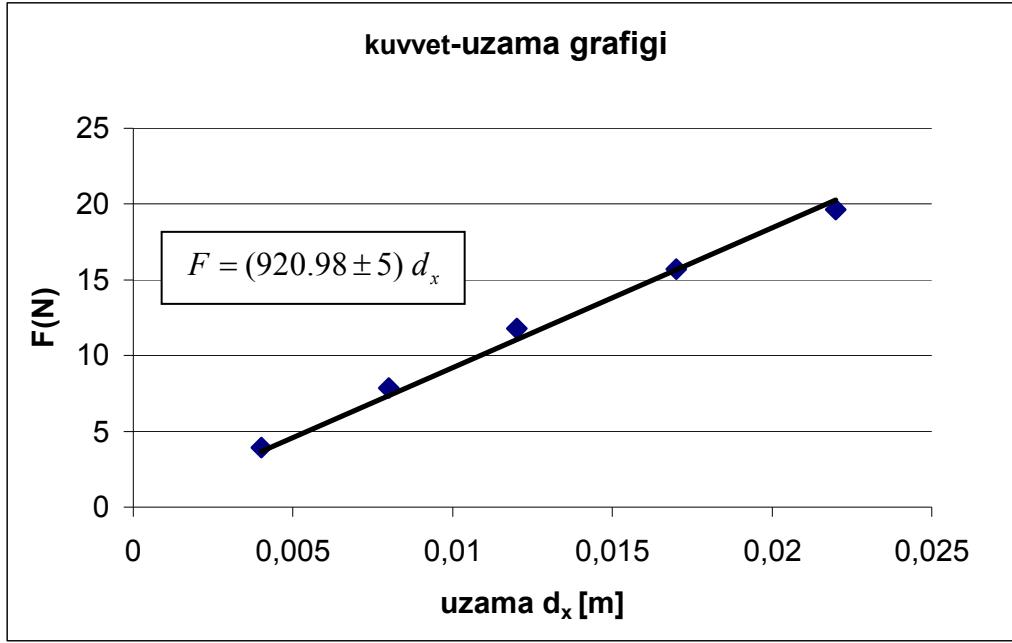
4.5.1. Dinamik Sönümleyici Parametrelerinin Hesaplanması

İmal edilen dinamik sönümleyicinin ağırlığı ölçülerek aşağıdaki Tablo 4.6'da verilmiştir. Mevcut yayların yay sabitleri deneysel olarak bulunarak ,bu sabite göre frekans eşitleme metoduyla kütle ayarlaması yolu kullanılmıştır.

Dinamik sönümleyicide kullanılacak yayın yay sabiti, kuvvet-uzama deneyi yapılarak bulunmuştur. Deneyin sonuçları Tablo 4.6'da verilmiştir.

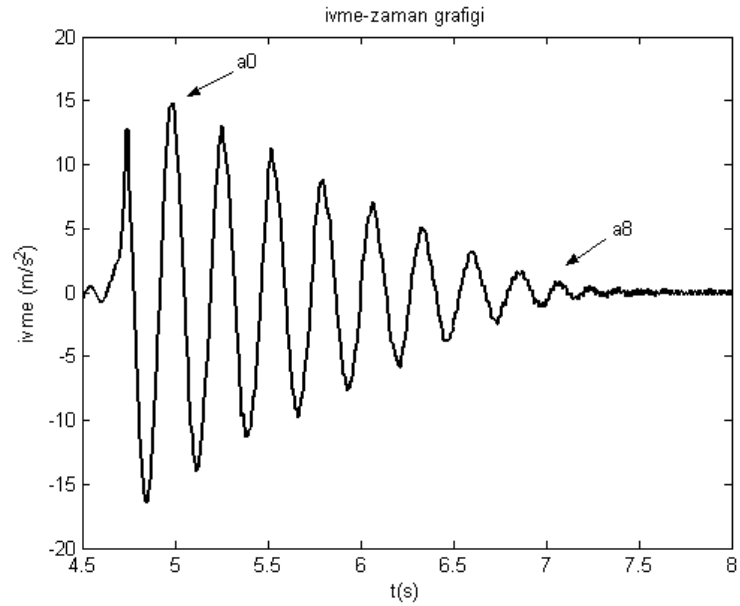
Tablo 4.6: Kuvvet-uzama değerleri

Kuvvet (N)	Okunan Değer (m)	Uzama (m)
0	0.035	
3.924	0.039	0.004
7.848	0.043	0.008
11.772	0.047	0.012
15.696	0.052	0.017
19.620	0.057	0.022



Şekil 4.20: Kuvvet-uzama grafiği

Kullanılacak yayın yay katsayısı deneysel olarak 920.98 N/m olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.21: Dinamik sönümleyici serbest titreşim deneyi zaman cevabı

Dinamik sönümleyicinin sönüm katsayısı; yapılan serbest titreşim deneyi sonucunda elde edilen ivme-zaman kaydından, 8 periyotluk bir aralık alınarak (Şekil 4.21) bu değerlerden hareketle logaritmik azalma yöntemiyle hesaplanmıştır.

$$t_0 = 4.977 \text{ s} \quad a_0 = 14.680 \text{ m/s}^2$$

$$t_8 = 7.0859 \text{ s} \quad a_{10} = 0.690 \text{ m/s}^2$$

$$\delta = 0.3822$$

$$\zeta = 0.0607$$

Sönüm katsayısı

$$c = 2\zeta\sqrt{km} = 4.3867 \text{ Ns/m}$$

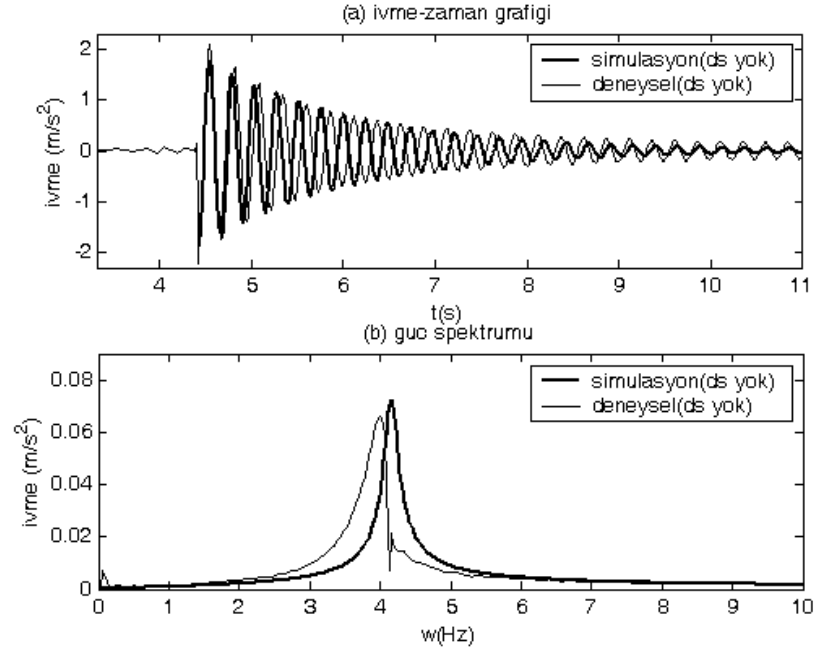
olarak bulunur.

Tablo 4.7: Dinamik sönümleyici parametreleri

Dinamik Sönümleyici Parametreleri	
Dinamik sönümleyici kütlesi	1.450 kg
Kullanılan yayın yay sabiti	920 N/m
Sistemin sönüm katsayısı	4.3867 Ns/m

4.5.2. Dinamik Sönümleyici Uygulanmış Deney Sonuçları

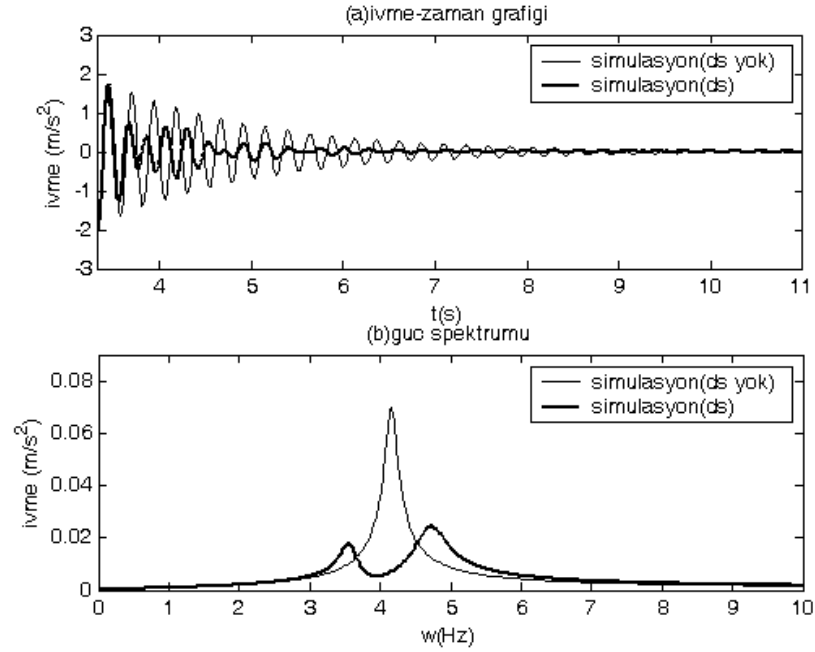
Frekans eşitleme metoduna göre parametreleri ayarlanmış dinamik sönümleyici ile serbest titreşim deneyleri yapılmış elde edilen grafikler Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



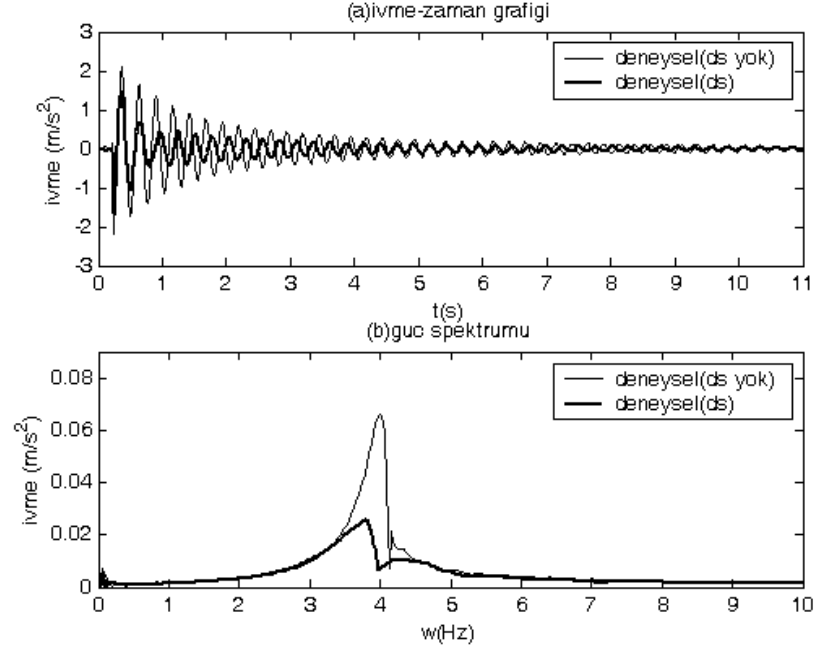
Şekil 4.22: Dinamik sönümleyici uygulanmamış durumda elde edilen grafikler a) simülasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) simülasyon-deney güç spektrumu karşılaştırılmaları

Şekil 4.22’de simulasyon ve deneylerin dinamik sönümleyici uygulaması yapılmadan önceki durumları karşılaştırılmıştır. Zaman cevaplarının ve güç spektrumlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Serbest titreşim deneylerinden geriye dönülerek hesaplanan parametrelerin modeli karşıladığı görülmektedir.

Şekil 4.23’de, Ek B3’de verilen parametrelerle simulasyon yapıldığı zaman dinamik sönümleyici etkisini simulasyon aracılığıyla görmekteyiz. Dinamik sönümleyici genliği düşürüp daha kısa zamanda titreşimi sönümlemeye yaramaktadır. Burada parametreler frekans eşitleme metoduyla bulunup simule edilmiştir.

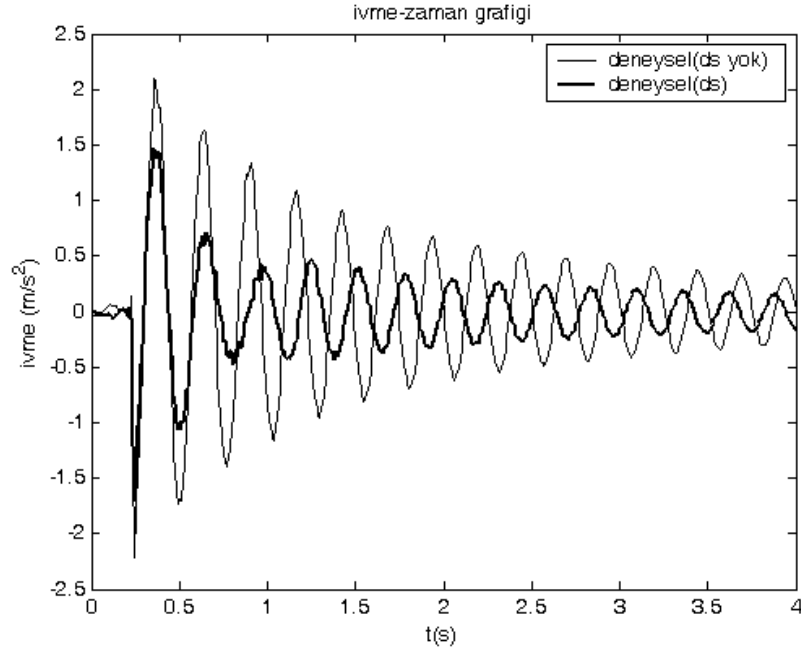


Şekil 4.23: Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon zaman cevapları, b) simulasyon güç spektrumları



Şekil 4.24: Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) deneysel zaman cevapları, b) deneysel güç spektrumları

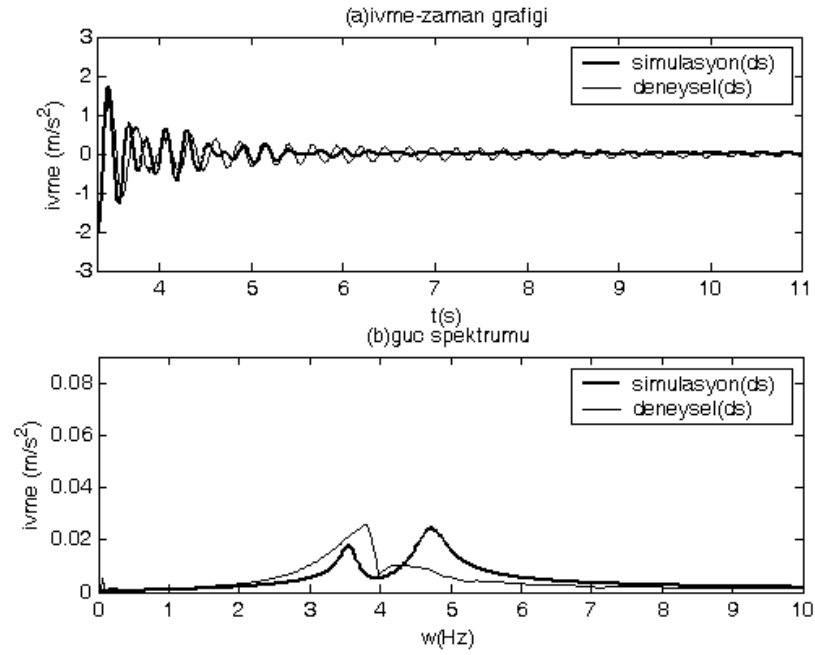
Şekil 4.24'de deneysel olarak bir katlı bina modeli üzerinde dinamik sönümleyici olan ve olmayan durumların zaman cevapları üst üste çizilmiştir. Dinamik sönümleyici uygulanmış durumda ivmenin genliğinin yüksek hızla düştüğü ve ardından bina modeliyle aynı hareketi yaptığı görülmektedir. Dinamik sönümleyici hareketin ilk saniyelerinde yüksek oranda enerji kullanarak ivmenin genliğini düşürmektedir. Yukarıdaki güç spektrumunda dinamik sönümleyici uygulanmayan durumdaki rezonans genliğinin, dinamik sönümleyici uygulanmasıyla %60 oranında düştüğü görülmektedir. Dinamik sönümleyicinin etkisi güç spektrumunda daha etkin olarak görülmektedir.



Şekil 4.25: Deneysel olarak dinamik sönümleyici uygulanmış durumun zaman cevabı

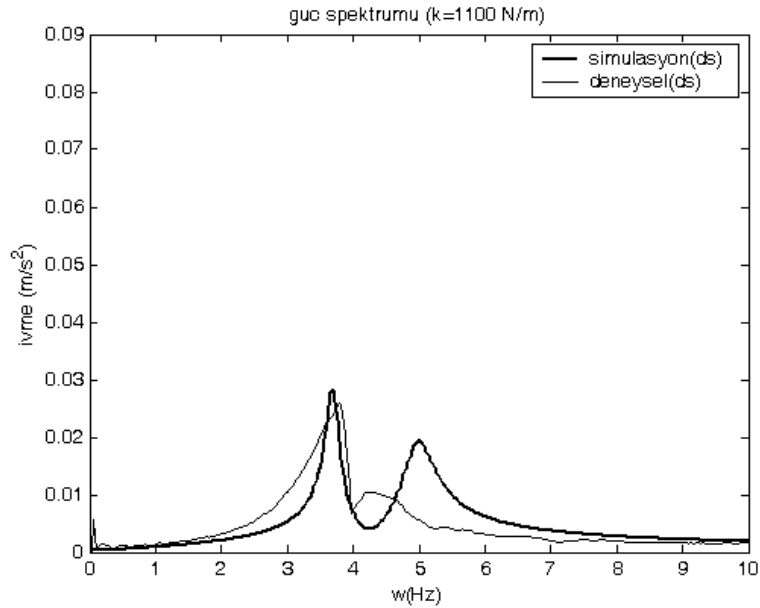
Deneysel olarak çizilen ivme-zaman grafiğın büyütölmüş hali alındığında dinamik sönümleyici uygulanan durumda ilk saniyelerde genlikte %30 ,ardından genlikte %50 düşme olmuştur. Dinamik sönümleyici ilk saniyelerde etkin bir biçimde ivmenin genliğini düşürmüş, ardından durarak binanın hareketine uymuştur.

Şekil 4.26'da dinamik sönümleyici eklenmiş modelin simülasyon ve deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Simülasyon modeli deneysel sonuçlara yakın gözökmektedir. Sönüm parametrelerin farkı, simülasyondaki titreşimin daha çabuk hızlı sönümlenmesini sağlamaktadır. İvmelenme başladığındaki genlik değerleri birbirine yakındır, ilk periyotların birbirini karşılamaları dinamik sönümleyicinin etkisinin ilk saniyelerde daha fazla olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.26: Tek serbestlik dereceli sistemde dinamik sönümleyici uygulanması durumunda simülasyon ve deney sonuçlarının karşılaştırılması a) zaman cevapları, b) güç spektrumları

Şekil 4.26 b'de görülen grafikte, ikinci rezonans değerinin birinci rezonans değerinin genliğinden daha yüksek çıkması, dinamik sönümleyicide kullanılan yayın deney esnasında daha yüksek katsayılı bir yay gibi davranmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle yay katsayısı değeri 1100 N/m alınıp simülasyon tekrar yapıldığında Şekil 4.27'de ikinci rezonans noktasının genliğinin düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.27: Farklı yay katsayısı ile güç spektrumu oluşturulması

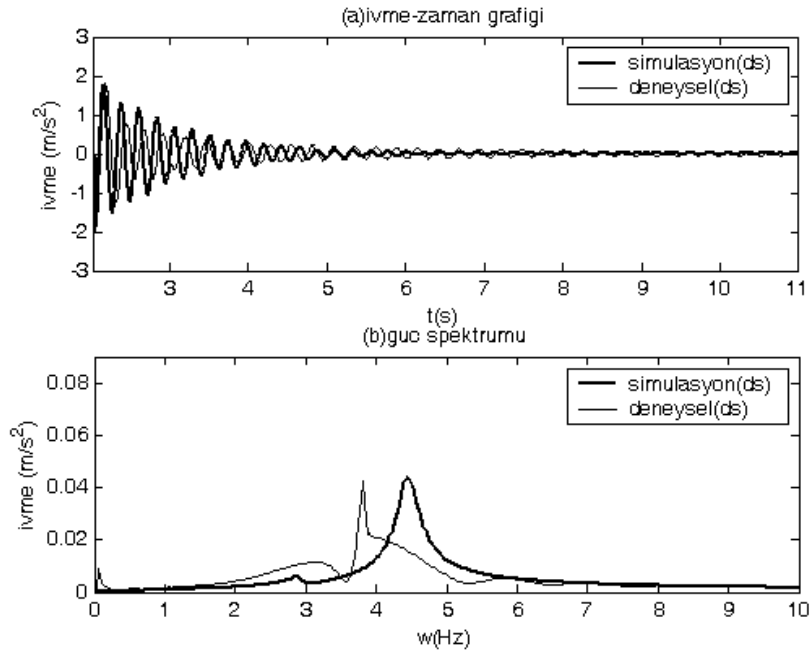
Farklı Dinamik Sönümleyici Parametreleriyle Yapılan Deneyler

Dinamik sönümleyici uygulamasında kütle değerleri değiştirilerek deneyler tekrarlanmış, farklı kütle değerlerine sahip dinamik sönümleyicilerin titreşimlerinin azaltılmasına etkisi gösterilmek istenmiştir.

Farklı Kütle Deney 1 :

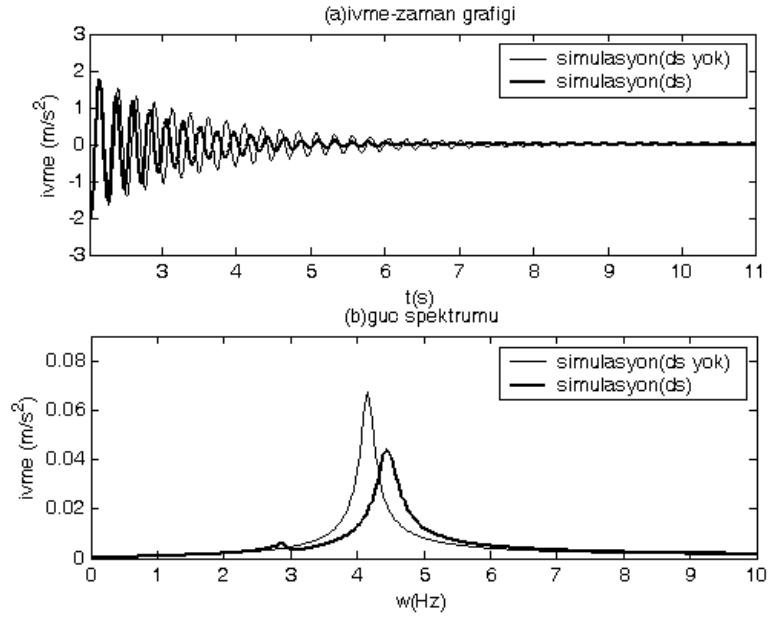
Tablo 4.8 : Farklı dinamik sönümleyici parametreleri-1

Kütle (m)	2.469 kg
Yay Katsayısı (k)	920 N/m



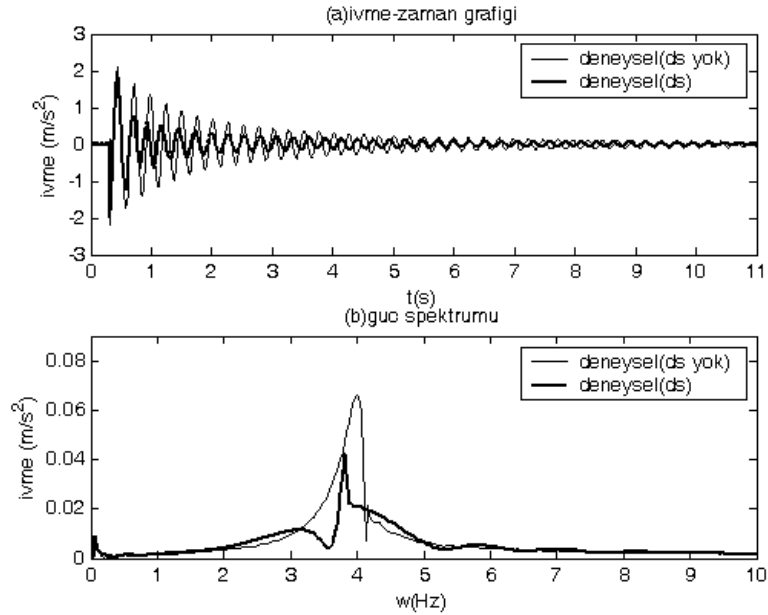
Şekil 4.28: Farklı dinamik sönümleyici parametresi (m:2.469 kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum)

Şekil 4.28'de simulasyon ve deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Kütle değerinin 1 kg artırılması simulasyon modeli ve deney arasındaki uyumu bozmuştur.



Şekil 4.29: Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:2.469$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması

Şekil 4.29'da simulasyon sonuçları görülmektedir. Güç spektrumunda genlik düşümü %35 oranında kalmaktadır. İvme-zaman cevabında ise genlikler dinamik sönümleyici kullanılmayan duruma çok yakındır.



Şekil 4.30: Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:2.469$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması

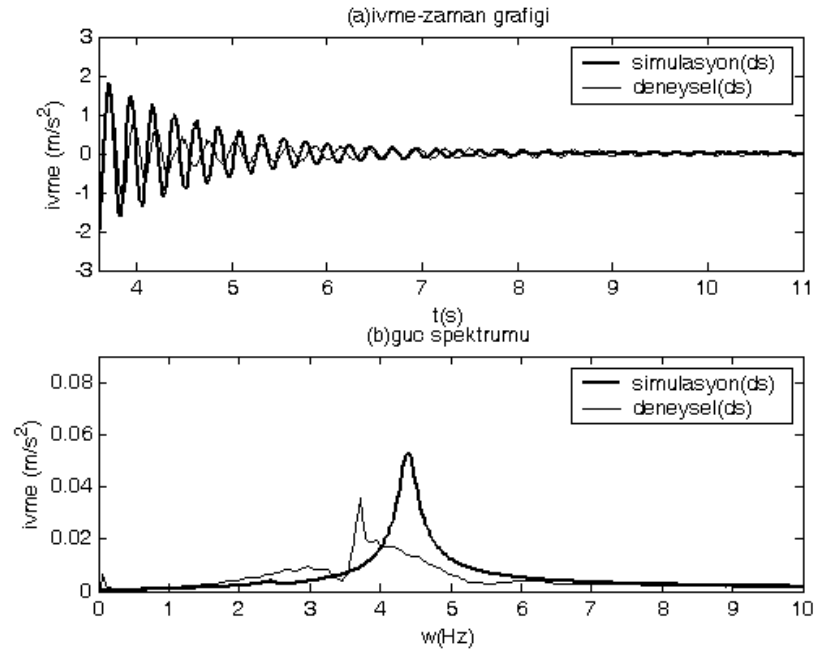
Şekil 4.30'da deneysel olarak bulunan değerler gösterilmiştir. İvme-zaman cevabında genlik düşümü %14, güç spektrumunda rezonans genliğinin düşümü %35 oranında kalmaktadır.

Farklı Kütle Deney 2 :

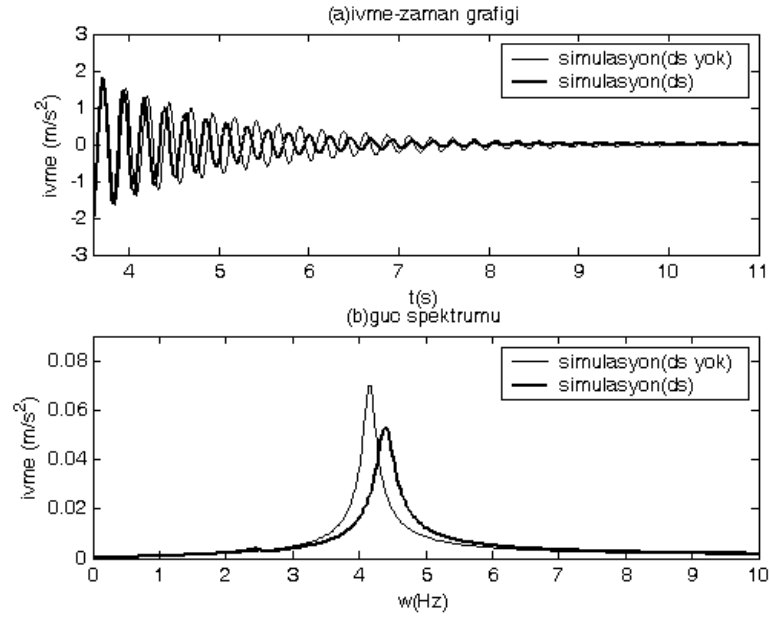
Tablo 4.9: Farklı dinamik sönümleyici parametreleri-2

Kütle (m)	3.489 kg
Yay Katsayısı (k)	920 N/m

Kütle değeri 3.489 kg'a getirilip başlangıç şartı verilerek serbest titreşim deneyi yapıldı. Şekil 4.31'da görülen simulasyon ve deneysel zaman cevaplarının karşılaştırılmasında farklı kütle değeri kullanılmasıyla simulasyon ve deney arasındaki uyumun kaybolduğu görülmektedir. Güç spektrumunda rezonans frekansı değerleri birbirini karşılamamaktadır.

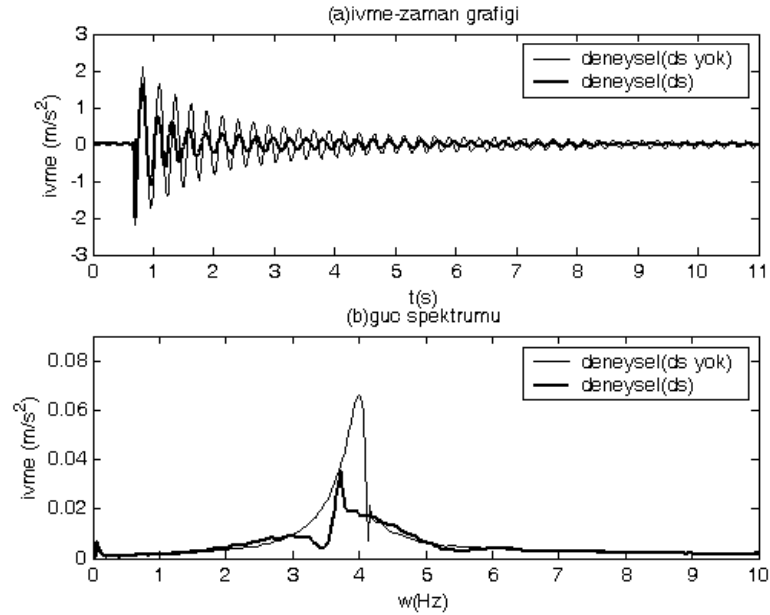


Şekil 4.31: Farklı dinamik sönümleyici parametresi (m:3.489 kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum)



Şekil 4.32: Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:3.489$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simülasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simülasyon güç spektrumu karşılaştırılması

Şekil 4.32'de görülen dinamik sönümleyici kullanılmış ve kullanılmamış durumların simülasyonlarının kıyaslanmasında genlik düşümününün %30 oranında kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.33: Farklı dinamik sönümleyici parametresi ($m:3.489$ kg) uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması

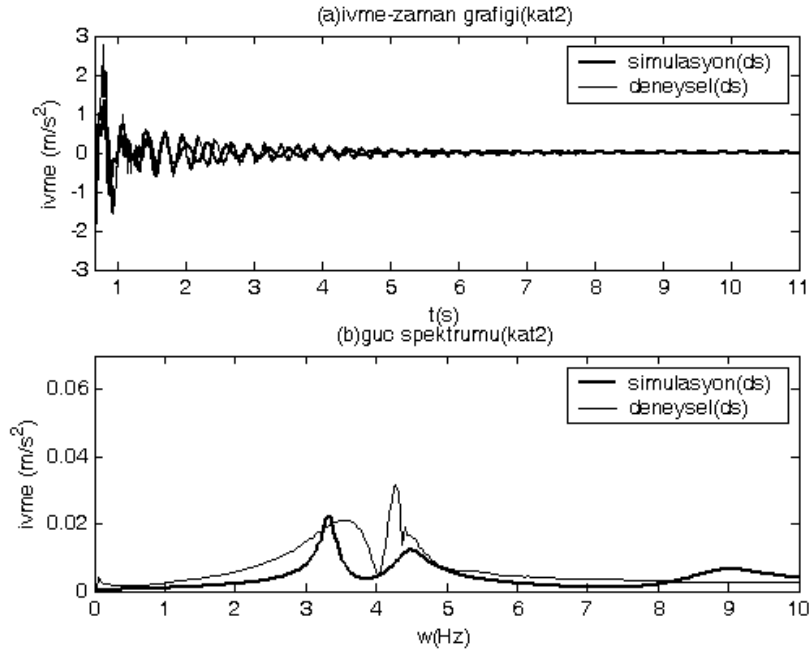
Şekil 4.33'de gösterilen deneysel grafiklerde titreşimin sahip olduğu en büyük genlik değeri dinamik sönümleyici uygulanması durumunda düşmemektedir. Güç spektrumunda ivmenin rezonans genliği %46 oranında düşmüştür.

Deney ve simulasyon sonuçlarının birbiriyle uyum sağladığı, en büyük genlik düşüm oranının yakalandığı dinamik sönümleyici parametreleri frekans eşitleme metoduyla bulunmuş parametrelerdir. Yapılan deneyler ile farklı kütlelerin titreşim azaltma performansının frekans eşitleme metoduna ulaşamadığı görülmüştür.

4.6. İKİ KATLI BİNA MODELİNE DİNAMİK SÖNÜMLEYİCİ EKLENMESİ

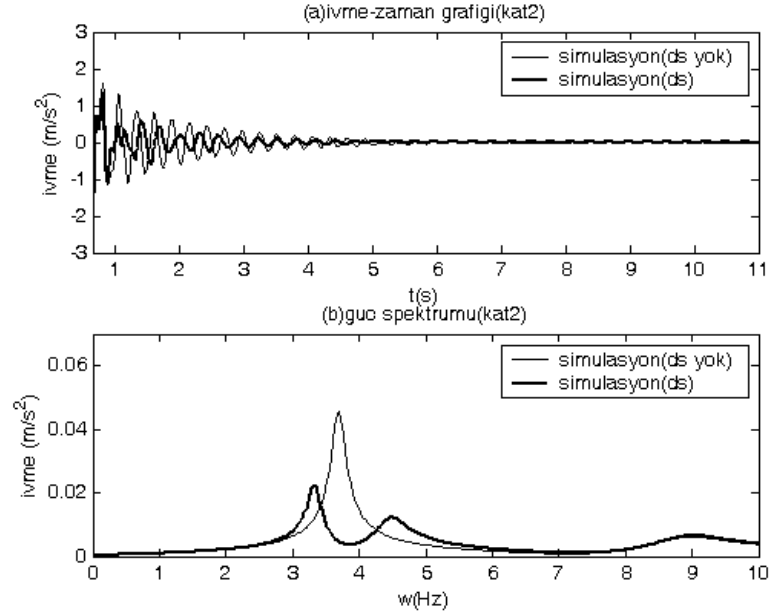
Bir serbestlik dereceli modelde dinamik sönümleyici kullanarak sağlanan gelişme sonucunda iki serbestlik dereceli modelde dinamik sönümleyici uygulamasına gidilmiştir. İkinci katın ivmesinde iyileşme sağlamak amacıyla bu katın parametrelerine göre ayarlanan dinamik sönümleyici parametreleri kullanılmıştır (Ek B4). Yapılan deneyler ve simulasyonlar sonucu elde edilen ikinci kat grafikleri aşağıda gösterilmiştir.

4.6.1 Frekans Eşitleme Metoduyla Bulunmuş Parametrelerle Yapılan Deneyler

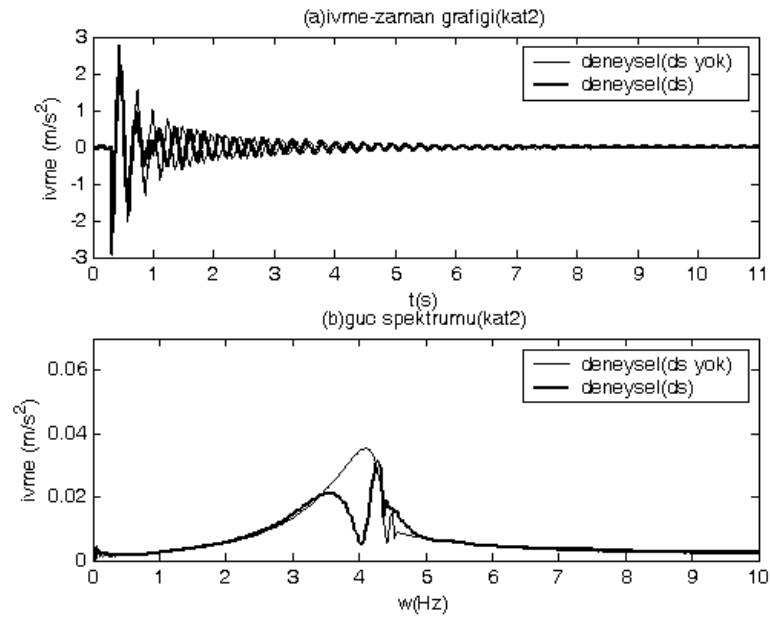


Şekil 4.34: İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum)

Şekil 4.34'de dinamik sönümleyici kullanılan ve kullanılmayan durumdaki deney ve simulasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Simulasyon ve deneylerin en iyi uyum gösterdiği parametreler iki serbestlik dereceli modelde denemeler sonucunda bulunmuş ve Ek B4'de verilmiştir.



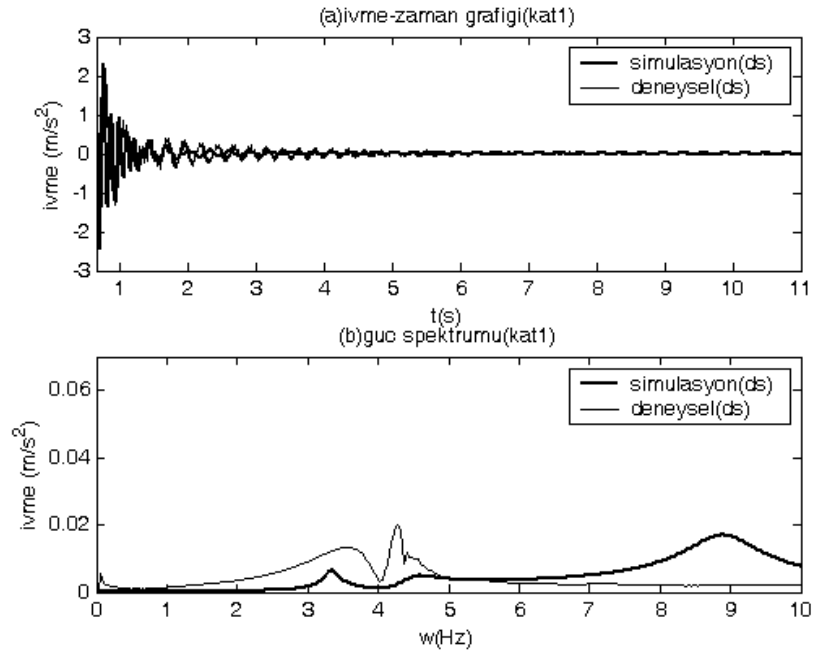
Şekil 4.35 : İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler a) simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması



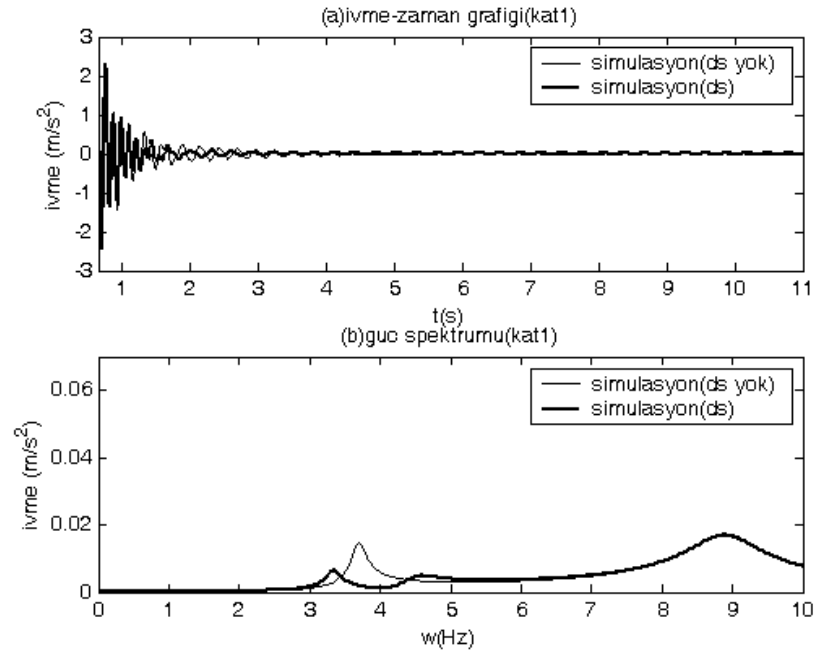
Şekil 4.36: İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler, a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması

Şekil 4.36’da deneysel sonuçlarının zaman cevaplarında görüldüğü üzere dinamik sönümleyicinin çok kısa süre hareket ettiği ve yeterli oranda sönümleme yapamadığı görülmektedir. Verilen başlangıç şartının yetersiz kalması ve devamlı bir girdinin sisteme verilememesi bu sonucu doğurabilir. Dinamik sönümleyici tarafından ilk 1.5 saniye süresinde yapılan düşük oranlı sönümlemeden sonra binanın hareketiyle aynı davranışı göstermiştir. Deneysel sonuçlardan birinci rezonans noktasının değeri 0.021 m/s^2 [RMS] olarak görülmektedir. Dinamik sönümleyici uygulanmamış deneydeki rezonans değeri 0.035 m/s^2 [RMS]’dir. Dinamik sönümleyicinin kullanılması durumunda güç spektrumunda ivmenin birinci rezonans değeri, uygulanmayan durumun % 60’ına düşmüştür. Böylece dinamik sönümleyici uygulaması sonucunda genlik düşümünde %40 oranında iyileşme sağlanmıştır. Bir serbestlik dereceli modelde sağlanan iyileşme iki serbestlik dereceli sistemde sağlanamamaktadır.

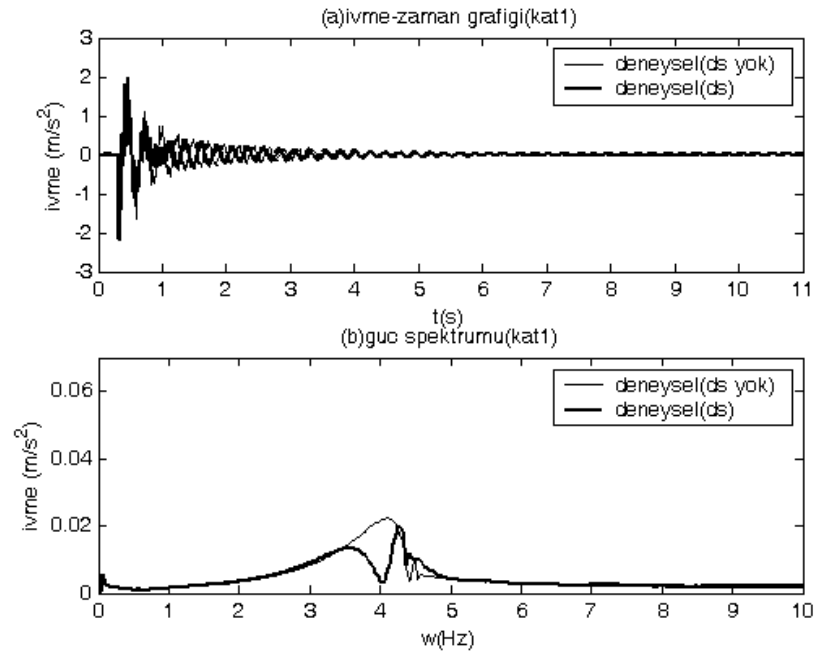
Birinci kat (kat 1) grafikleri



Şekil 4.37: İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler (kat1) a)simulasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simulasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum)



Şekil 4.38: İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler (kat1) a)simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması



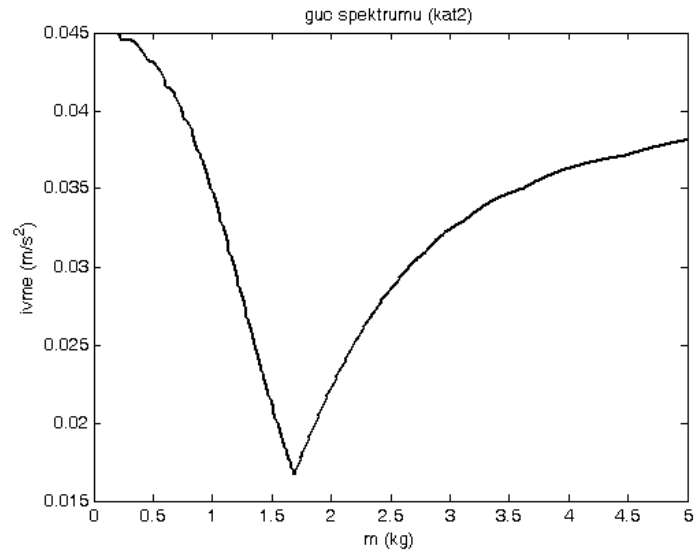
Şekil 4.39: İki serbestlik dereceli modele dinamik sönümleyici uygulanması durumunda elde edilen grafikler (kat1) a) deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması

Dinamik sönümleyici kullanılarak yapılan deneylerin birinci kat grafiklerinde, ikinci katta sağlanan iyileşmenin etkisi görülmektedir. Dinamik sönümleyici parametrelerinin, iyileşme sağlanması istenen üst kata göre ayarlanması simülasyon sonuçlarında uyum görülmemesi sonucunu doğurabilir.

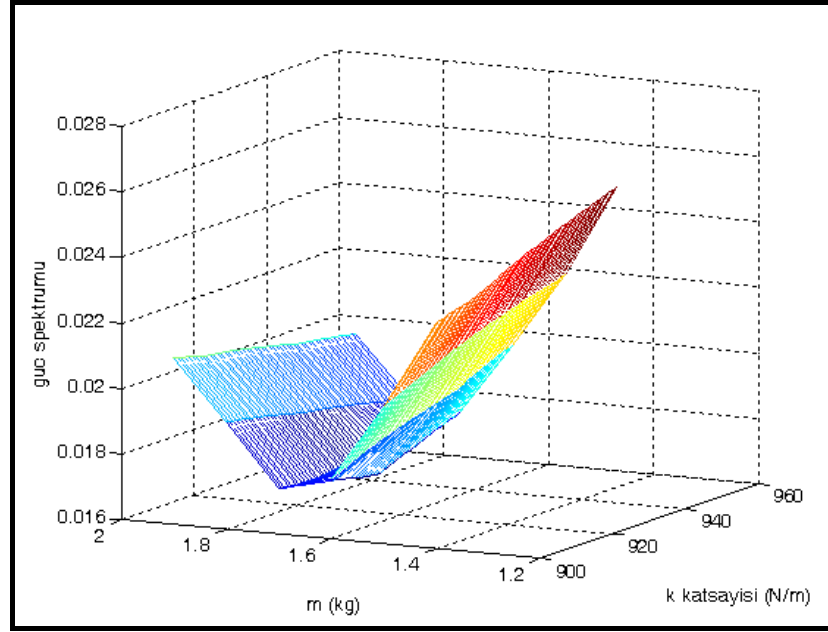
4.6.2 Bilgisayar Programı Yardımıyla Uygun Kütle Değerinin Taranması

Deneme yoluyla deneysel sonuçlara en yakın bulunan parametreler ile güç spektrumunu en düşük yapan değer bilgisayar programı ile tarandı.

Yay katsayısı (k) değeri sabit alınarak farklı kütlelerle yapılan simülasyonların sonucunda elde edilen güç spektrumlarının en büyük değerleri çizdirildi. Güç spektrumu değerinin en küçük olduğu yerdeki kütle değeri alındı.

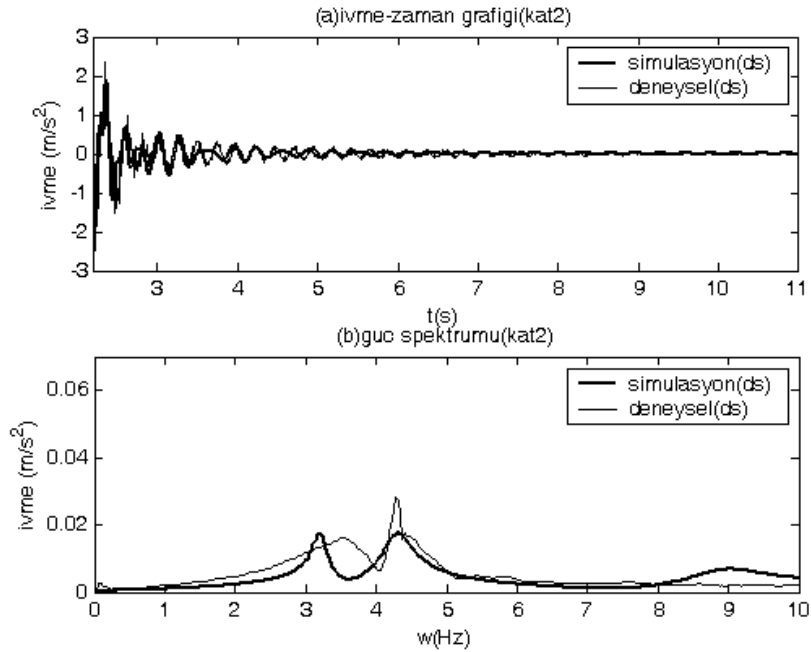


Şekil 4.40: Farklı kütle değerleri ile güç spektrumlarının ivme rezonans değerlerinin taranması

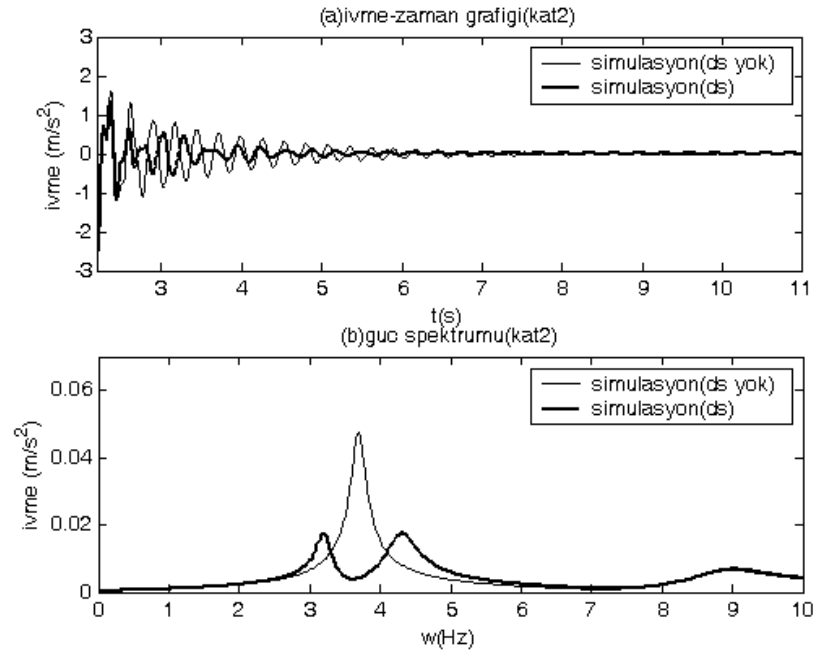


Şekil 4.41: Farklı kütle ve yay katsayısı değerleri ile güç spektrumlarının ivme rezonans değerlerinin taranması

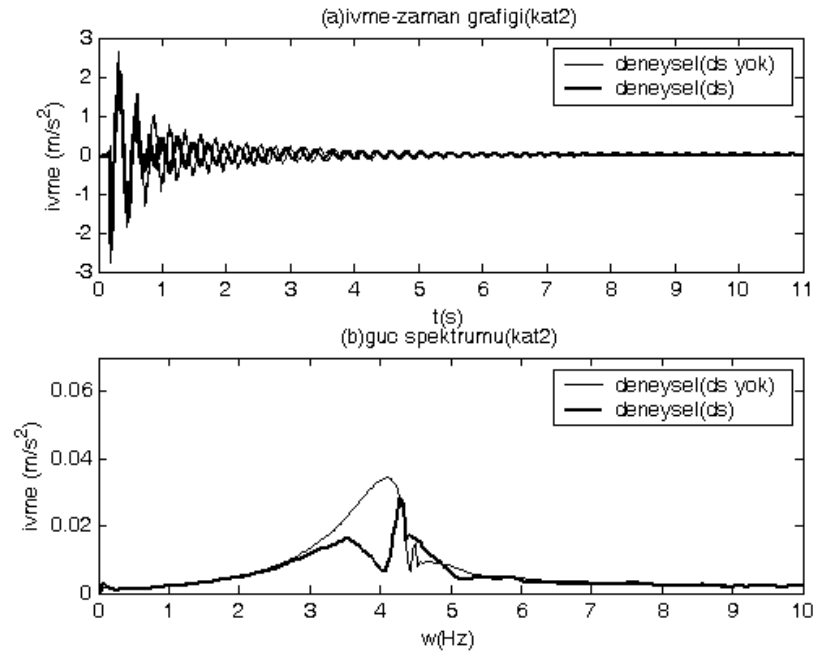
Güç spektrumu $m = 1.69$ kg değerinde en küçük değeri almaktadır. Bu kütle değeri ile deney ve simülasyon yapıldığında aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.42: Dinamik sönümleyici parametresinin bilgisayar programı ile taranması durumunda elde edilen grafikler a) simülasyon-deney zaman cevapları karşılaştırılması (ds kullanılmış durum), b) simülasyon-deney güç spektrumu karşılaştırmaları (ds kullanılmış durum)



Şekil 4.43: Dinamik sönümleyici parametresinin bilgisayar programı ile taranması durumunda elde edilen grafikler a)simulasyon zaman cevapları karşılaştırılması, b) simulasyon güç spektrumu karşılaştırılması



Şekil 4.44: Dinamik sönümleyici parametresinin bilgisayar programı ile taranması durumunda elde edilen grafikler a)deney zaman cevapları karşılaştırılması, b) deney güç spektrumu karşılaştırılması

Şekil 4.44'de görüldüğü üzere bilgisayar programı ile farklı kütle değerlerinin taranması ile bulunan kütle değeri ile deney ve simulasyon yapıldığında ivme-zaman grafiğinde

beklenen iyileşme görülmemektedir. Bir diğer kıyas olan güç spektrumu değerinde iyileşme görülmektedir. Deneysel sonuçlardan birinci rezonans noktasının değeri 0.016 m/s² [RMS] olarak görülmektedir. Dinamik sönümleyici uygulanmamış deneydeki rezonans değeri 0.034 m/s² [RMS]'dir. Sonuç olarak dinamik sönümleyicinin kütle değeri bilgisayar programı ile taranması durumunda güç spektrumunda % 53 oranında iyileşme sağlanmıştır. Halbuki bir önceki çalışmada ancak %40'lık bir iyileşmeye ulaşılabilmisti.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında binaların maruz kaldıkları titreşimlerin azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar laboratuvar ortamında oluşturulan bir bina modeli üzerinde uygulanmıştır. Sac malzemedен oluşturulan bina modeli üzerinde serbest titreşim deneyleri yapılmıştır. Piezoelektrik ivmeölçerler ve veri toplama kartları kullanılarak bu titreşimlerin zaman cevapları kaydedildi. Bu veriler işlenilerek zaman ve frekans bölgelerinde davranışları incelendi. Bilgisayar ortamında yapılan simülasyonlar ile yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırıldı.

Malzeme üzerinde yay ve sönüm katsayıları bulmak amacıyla deneyler yapılmıştır. Bulunan değerler ile simülasyonlar yapıldığında sonuçların farklılık gösterdiği görüldü. Bunun üzerine dinamik olarak yapılan serbest titreşim deneylerinden hareket edilerek hesaplanan parametreler kullanıldı. Bilgisayar ortamında simülasyonu yapılan model ile yapılan deneylerin sonuçlarının uyumlu olduğu ve böylece matematiksel modelin gerçeğe yakın sonuçlar verdiği görüldü.

Daha sonra titreşimlerin rahatsız edici etkilerini azaltmak amacıyla dinamik bir sönümleyici tasarlanması yoluna gidildi. Tasarlanan dinamik sönümleyici imal edilerek deneylerde kullanıldı. Bir serbestlik dereceli bina modelinde parametreleri ayarlanmış dinamik sönümleyicinin ivme genliklerini ilk saniyelerde %30, ardından %50 oranında düşürdüğü görülmüştür. Deneysel olarak dinamik sönümleyici kullanılan ve kullanılmamış durumların güç spektrumlarının karşılaştırıldığında en yüksek ivme genliğinin %60 oranında iyileştiği görüldü. Zaman cevaplarının deney ve simülasyon sonuçlarının uyum gösterdiği görüldü. Kütleler değiştirilip deneyler tekrarlandığında frekans eşitleme metoduyla ayarlanan parametrelerle yapılan deneylerin sonuçlarının titreşimlerin genliklerini daha fazla düşürdüğü gözlemlendi.

İki serbestlik dereceli bina modeli üzerinde yapılan deneyler ile ikinci kat ivmesi iyileştirilmeye çalışıldı. Dinamik sönümleyici kullanılarak, kullanılmayan duruma göre ivme genliği %'40 oranında azaltılarak iyileşme sağlanmıştır. En uygun kütle değeri bilgisayar programı ile taranmış, elde edilen optimum değer ile yapılan deney sonucu ivmenin genliği bu kez %53 oranında azaltılmıştır.

Bu çalışma sonucunda dinamik sönümleyici uygulanmasının binalarda dış kaynaklı titreşimlerin rahatsız edici özelliklerinden korunmada yararlı olacağı hususu tespit edildi. Daha ilerki çalışmalarda kurulan bina modelinin betonarme yapılması, uygulanan başlangıç şartı ile titreşim oluşturulmasının ilave edilecek bir titreşim kaynağı ile ilave edilerek zenginleştirilmesi ve dinamik sönümleyicinin aktif kontrolcülü tasarlanması önerilir.

KAYNAKLAR

BEARDS C.F., 1996, *Structural Vibration : Analysis and Damping*, John Wiley and Sons, New York, 0-340-64580-6

BRUEL, KJAER, 1982, *Measuring Vibration*, K.Larsen Son A/S

CHAPRA S C., CANALE R. P., 2002, *Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler*, McGraw-Hill Co., 975-8431-83-8

CULLEN T., FRANCISCO T., 2002, *SignalAQ Dynamic Signal Acquisiton & Analysis Software*, DLI Engineering

DYKE S.J., JANSEN L.M., 1999, Implications of Control-Structure Interaction in Scaled Structural Control System Testing, *Proceedings of the 1999 International Conference*, (1), 339-344.

FRAHM H., 1911, *Device for Damping Vibration of Bodies*, U.S. Patent No.989-958

FRANCIS S.TSE, IVAN E. MORSE, ROLLAND T.HINKLE, 1978, *Mechanical Vibrations*, Allyn and Bacon Inc.,Massachusetts, 0-205-05940-6

FUKUSHIMA I., KOBORI T., SAKAMOTO M., KOSHIKA N., NISHIMURA I., SASAKI K.,1996, Vibration Control of a Tall Building Using Active-Passive Composite Tuned Mass Damper, *Third International Conference on Motion and Vibration Control*, Chiba

HALL S.A., HOLOWENKO R.A., LAUGHLIN H.G., 1961, *Schaum's Outline of Machine Design*, McGraw-Hill Co., 0-07-025595-4

HARRIS Cyril M.,PIERSOL A.G., 1961, *Harris' shock and Vibration Handbook*, McGraw-Hill Co.,New York, 0-07-137081-1

HARTOG J.P., 1956, *Mechanical Vibrations*, McGraw-Hill Co.,New-York.

HOUSNER G.W., S.F.MASRI , Eds.1990, Proc.of the U.S.National Workshop on Structural Control Research, USC Publications No. M9013, University of South California

HOUSNER G.W., S.F.MASRI ,Eds.1993, Proc.of the Int Workshop on Structural Control Research, University of South California

INADA Y., OGAWA Y., FUJII K., 1992, Application of a Hybrid Mass Damper System to High-Rise Building, *Proceedings of the International Conference on Tall Building*, 71-78

JACK H., 2004, *Dynamic System Modeling and Control*, Massachusetts.

KANG J.S, PARK S.K., SHIN S., 2005, Structural System Identification in Time Domain Using Measured Acceleration, *Journal of Sound Vibration*, (288), 215-234.

KELLY S.Graham., 1993, *Fundamentals of Mechanical Vibrations*, McGraw-Hill Co., Singapore, 0-07-230092-2

LI QS, CAO H, LI GQ, LI SJ, LIU DK., 1999, Optimal Design of Wind-Induced Vibration Control of Tall Buildings and High-Rise Structures, *Wind Struct*, 69-83

LINS C.C, WANG J.F., 2001, Vibration Control Identification of Seismically Excited m.d.o.f. Structure-PTMD Systems, *Journal of Sound Vibration*, 240 (1), 87-115.

NISHIMURA H., OKHUBO Y., NONAMI K., 1996, Active Isolation Control for Multi-degree of Freedom Structural System, *Third International Conference on Motion And Vibration Control*, Chiba

NISHITANI A., INOUE Y. , 2001, Overview of the Application of Active/Semiactive Control to Building Structures in Japan, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (30), 1565-1574.

MATHWORKS, 1996, *MATLAB The Language of Technical Computing*, The Mathworks Inc., Natick, Mass

ÖZBEK T., 1980, *Mukavemet*, Birsen Yayınevi.,İstanbul.

SINGH M. P., MATHEU E.E. , 1997, Active and Semi-Active Control of Structures under Seismic Excitation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (26), 193-213.

SINGH M.P., SINGH S.S., MORESCHI L.M., 2002, Tuned-Mass Dampers for Response Control of Torsional Buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (31), 749-769.

SOONG T., 1990, *Active Structural Control Theory and Practice*, Longman Scientific and Technical, Essex

SOONG T. , DARGUSH G.F., 1997, *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley and Sons, New York.

SPENCER B.F., DYKE S.J., QUAST P., 1995, Experimental Verification of Acceleration Feedback Control Strategies for an Active Tendon System, *National Center for Earthquake Engineering Research Technical Report*, NCEER-94-0024, New-York

SUNG W.P., MATZEN V.C., SHIH M.H., 2004, Time Domain System Identification of Unknown Initial Conditions, *Journal of Zhejiang University Science*, (5-9), 1035-1044.

TROMBETTI T.L, CONTE J.P., 2001, New Insight into and Simplified Approach to Seismic Analysis of Torsionally Coupled One-Story, Elastic Systems, *Journal of Sound Vibration*, (286) , 265-312.

TSAI H.C., LIN G.C. , 1993, Optimum Tuned-Mass Dampers for Minimizing Steady-State Response of Support-Excited and Damped Systems, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (22), 957-973.

WONG K.K.F., CHEE Y.L., 2004, Energy Dissipation of Tuned Mass Dampers During Earthquake Excitations, *The Structural Design of Tall Buildings*, (13), 105-121.

YAĞIZ N., 2001, Sliding Mode Control of a Multi-Degree-of-Freedom Structural System with Active Tuned Mass Damper, *Tr.J. of Engineering and Environmental Science*, (25), 651-657

YAĞIZ N, GÜÇLÜ R., YÜKSEK İ., 2001, Aktif Kütle Sönümleyicili Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Depreme Karşı LQR Kontrolü, *Mühendis ve Makina Dergisi*, (498)

YAĞIZ N., 2003, Vibration control of a building with ATMD under earthquake Excitation, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, (8-1)

EKLER

EK A : DENEYLERDE KULLANILAN SAC PLAKALARIN AĞIRLIKLARI

Sac Ağırlıkları	Ağırlık [kg]	
raf	2.400	2. kat toplam ağırlığı 17.700 kg
1 numaralı sac	0.670	
2 numaralı sac	0.600	
3 numaralı sac	0.660	
4 numaralı sac	0.680	
5 numaralı sac	0.670	
6 numaralı sac	0.660	
7 numaralı sac	2.570	
8 numaralı sac	2.030	
9 numaralı sac	2.590	
10 numaralı sac	2.760	
lana 2. kat	1.340	
11 numaralı sac	2.620	1. kat toplam ağırlığı 18.600 kg
12 numaralı sac	2.810	
13 numaralı sac	2.640	
14 numaralı sac	2.250	
15 numaralı sac	2.270	
16 numaralı sac	2.770	
17 numaralı sac	1.420	
18 numaralı sac	1.370	
19 numaralı sac	1.330	
20 numaralı sac	1.410	
lana 1. kat	0.790	

EK B : SİMULASYONLARDA KULLANILAN PARAMETRELER**EK B1 : Bir Serbestlik Dereceli Sistem**

Başlangıç Şartı $x_0 = 0.0028$ m ;

Uygulanan Kuvvet $F_x = 54$ N

$m_1 = 17.7$ kg;

$k_1 = 11890$ N/m;

$b_1 = 21.3$ N.s/m;

EK B2 : Bir Serbestlik Dereceli Sistem Dinamik Sönümleyici Uygulanmış Durum

Başlangıç Şartı $x_0 = 0.0028$ m ;

Uygulanan Kuvvet $F_x = 54$ N

$m_1 = 17.7$ kg;

$k_1 = 11890$ N/m;

$b_1 = 21.3$ N.s/m;

tmd parametreleri

$m_2 = 1.45$ kg;

$k_2 = 920$ N/m;

$b_2 = 4.3867$ N.s/m;

EK B3 : İki Serbestlik Dereceli Sistem

Başlangıç Şartı $x_0 = 0.003$ m

Uygulanan Kuvvet $F_x = 93.2$ N

$m_1 = 18.3$ kg;

$k_1 = 38000$ N/m;

$b_1 = 70$ N.s/m;

$m_2 = 17.7$ kg;

$k_2 = 14000$ N/m;

$b_2 = 40$ N.s/m;

EK B4 : İki Serbestlik Dereceli Sistem Dinamik Sönümleyici Uygulanmış Durum

Başlangıç Şartı $x_0=0.003$ m

Uygulanan Kuvvet $F_x= 93.2$ N

$m_1=18.3$ kg;

$k_1=38000$ N/m;

$b_1=70$ N.s/m;

$m_2=17.7$ kg;

$k_2=14000$ N/m;

$b_2=40$ N.s/m;

tmd parametreleri

$m_3=1.450$ kg;

$k_3=920$ N/m;

$b_3=4.3867$ N.s/m;

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında İstanbul'da doğan Hasan Ömür ÖZER, lise öğrenimini Pertevniyal Lisesi'nde tamamladıktan sonra 2000 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 2002 yılında çift anadal programı ile Makine Mühendisliği eğitimine devam etti. 2005 yılında mezun olduktan sonra Makine Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İklimlendirme-Soğutma Programı'na araştırma görevlisi olarak atandı. Halen bu görevine devam etmektedir.