

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİMÜLASYON ÇEVİRİMİNDE DONANIM YÖNTEMİYLE
YARI AKTİF AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN
PERFORMANS ANALİZİ**

Hüseyin AGGÜMÜŞ

DOKTORA TEZİ
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Makine Teorisi ve Kontrol Programı

Danışman
Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ

Kasım, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SİMÜLASYON ÇEVİRİMİNDE DONANIM YÖNTEMİYLE YARI AKTİF
AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN PERFORMANS ANALİZİ**

Hüseyin AGGÜMÜŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 05.11.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Teorisi ve Kontrol Programı **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr.Öğr.Üyesi Muzaffer METİN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç.Dr. Yener TAŞKIN, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Doç.Dr. Hakan YAZICI, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Recep BURKAN, Üye
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Danışmanım Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Simülasyon Çevriminde Donanım Yöntemiyle Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Performans Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hüseyin AGGÜMÜŞ

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi ve birikimi ile bana destek olan danışman hocam Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ'ye, fikirlerinden istifade ettiğim sayın hocalarım Dr.Öğr.Üyesi Muzaffer METİN ve Doç.Dr. Yener TAŞKIN'a, deney setinin kurulum aşamasındaki katkılarından dolayı çalışma arkadaşım Dr.Öğr.Üyesi Mahmut PAKSOY'a ve değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi Tamer KEPÇELER'e, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Teorisi Sistem Dinamiği ve Kontrol Anabilim Dalı'ndaki çalışma arkadaşlarım ve hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Gerek tezim sırasında gerekse hayatımın diğer kısımlarında bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen özellikle annem ve babam olmak üzere tüm aileme, tez çalışmam sırasında zaman ayırmakta zorlandığım sevgili eşim ve biricik kızıma teşekkür ederim.

Hüseyin AGGÜMÜŞ

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	10
2 MODELLEME VE PARAMETRELER	12
2.1 Bina Modelinin Parametreleri ve Bozucu girişler	13
2.2 MR damperler	17
2.2.1 MR damperin Histerezis Karakteristiğinin Belirlenmesi	18
3 KONTROL TASARIMLARI	20
3.1 Dayanıklı Kontrol Tasarımı	20
3.1.1 Sistemi Tanımlama ve Model İndirgeme	20
3.1.2 H_{∞} Kontrol Dizaynı	22
3.1.3 Frekans Şekillendirme Filtrelerinin Seçimi	24
3.1.4 Kontrolcünün Yarı aktif Sisteme Uygulanması	25
3.2 Groundhook Kontrol Dizaynı	25
4 SİMÜLASYON ÇEVİRİMİNDE DONANIM YÖNTEMİYLE PERFORMANS ANALİZİ	27
4.1 Deney Düzenekinin Tanıtımı	27
4.2 Yapısal Sistem Cevap Analizi ve Bulgular	30

4.2.1	İncelenen Yarı aktif Kontrol Durumları	30
4.2.2	Yerdeğiştirme Cevapları	32
4.2.3	İvme Cevapları	46
4.2.4	Yerdeğiştirme PSD Cevapları	58
4.2.5	İvme PSD Cevapları	67
4.2.6	MR damper Kuvvet ve Gerilim Değerleri	77
4.3	Yapısal Sistem Performansı Değerlendirmeleri	83
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	86
	KAYNAKÇA	89
A	EK TABLOLAR	95
	TEZDEN ÜRETİLMİş YAYINLAR	102

SİMGE LİSTESİ

f_{opt}	Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Optimum Frekans Oranı
ξ_{opt}	Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Optimum Sönüm Oranı
W_d	Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Doğal Frekansı
M_d	Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Kütlesi
C_d	Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Sönümü
K_d	Ayarlı Kütle Sönümleyicisinin Rijitliği
d_i	Binanın Katları Arasındaki Rölatif Yerdeğiştirme
$\delta^{\max}$	Binaya Kontrol Uygulanmadığı Durumun Maksimum İvmesi
W_{ni}	Bina Modelinin Doğal Frekansları
M_i	Bina Modelinin Kat Kütleleri
C_i	Bina Modelinin Kat Sönümleri
K_i	Bina Modelinin Kat Rijitlikleri
h_i	Bina Modelinin Katları Arası Mesafe
W_T/W_M	Frekans Şekillendirme Filtreleri
z_1/z_2	Frekans Şekillendirme Filtrelerinin Çıkışları
$G(s)$	Genişletilmiş Sistem Yapısı
x_G	Genişletilmiş Sistem Yapısı Durum Vektörü
w	Giriş Tahrik
H_∞	H Sonsuz Kontrol
$S(s)$	Hassaslık Transfer Fonksiyonu
$\bar{\sigma}$	Hassaslık Transfer Fonksiyonu Maksimum Singüler Değeri
x_i	Katların Yerdeğiştirmeleri
P_r	İndirgenmiş Dereceli Sistem Modeli

A_r, B_r, C_r	İndirgenmiş Dereceli Sistemin Durum Uzayı Matrisleri
G_{zw}	Karışım Hassaslık Yapısının Transfer Fonksiyonu
x_K	Kontrolcünün Durum Vektörü
H_s	Kontrolcünün Yerini Gösteren Vektör
ω_{dm}	Kontrol Edilmeyen İlk Mod Frekansı
ξ_{dm}	Kontrol Edilmeyen İlk Mod Sönüm oranı
ω_{nm}	Kontrol Edilen Son Mod Frekansı
ξ_{nm}	Kontrol Edilen Son Mod Sönüm oranı
μ	Kütle Oranı
V_{max}	MR Dampere İletilen Maksimum Gerilim
V_{min}	MR Dampere İletilen Minimum Gerilim
G_{MR}	MR Damper Kontrol Kazancı
$f(t)$	MR Damper Kuvveti
$\dot{x}_v$	MR Damperin Sisteme Bağlandığı Yerin Hızı
Φ	Modal Dönüşüm Vektörü
N	Ölçüm Gürültüsü
C_y	Ölçüm Vektörü
γ	Pozitif Dizayn Parametresi
f_d	Sistem İçin Gerekli Kuvvet
f_c	Sistemden Ölçülen Kuvvet
y	Sistemin Cevap Ölçümü
$\dot{x}(t)$	Sistemin Hız Vektörü
$\ddot{x}(t)$	Sistemin İvme Vektörü
K	Sistemin Kontrol Kuvveti
u	Sistemin Kontrol Sinyali
η	Sistemin Modal Uzayı
J_i	Sistemin Performans İndeksleri
Δ	Sistemin Toplam Belirsizliği
$x(t)$	Sistemin Yerdeğiştirme Vektörü

$\ddot{x}_g(t)$	Tahrik İvme Giriş
P_f	Tam Dereceli Sistem Modeli
A_f, B_f, C_f	Tam Dereceli Sistemin Durum Uzayı Matrisleri
$T(s)$	Tamamlayıcı Hassaslık Transfer Fonksiyonu
M_s	Yapısal Sistemin Kütle Matrisi
K_s	Yapısal Sistemin Rijitlik Matrisi
L	Yapısal Sistemin Sismik Giriş Vektörü
C_s	Yapısal Sistemin Sönüm Matrisi
g	Yerçekim İvmesi

KISALTMA LİSTESİ

AAKS	Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi
AKS	Ayarlı Kütle Sönümleyicisi
ÇGÇÇ	Çok Girişli Çok Çıkışlı
ER	Elektroreolojik
FLC	Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control)
İDM	İndirgenmiş Dereceli Model
LQR	Lineer Karesel Düzenleyici (Linear Quadratic Regulator)
MR	Manyetoreolojik
PSD	Spektral Güç Yoğunluğu (Power Spectral Density)
SAPTMD	Yarı Aktif Sarkaç Tipi Ayarlı Kütle Sönümleyicisi (Semi Active Pendulum Tuned Mass Damper)
SÇD	Simülasyon Çevriminde Donanım
SMD	Yarı Aktif Kütle Sönümleyicisi (Semi Active Mass Damper)
SVA	Yarı Aktif Titreşim Sönümleyicisi (Semi active Vibration Absorber)
TDM	Tam Dereceli Model
YAKS	Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi
YAKSp	Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi Pasif
YAKSg	Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi Groundhook Kontrol
YAKSh _∞	Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi H _∞ Kontrol

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Bina modelleri a) kontrolün olmadığı durum b) AKS'li bina modeli c) YAKS'li bina modeli	12
Şekil 2.2	Bina modelinin mod şekilleri	14
Şekil 2.3	Tahrik-1 ve Tahrik-2'ye ait ivme ve PSD değeri	15
Şekil 2.4	Kocaeli, El-Centro, Northridge ve Erzincan Tahriklerine ait ivme ve PSD değeri	16
Şekil 2.5	MR sıvısına uygulanan manyetik alan ile partiküllerin sıralanması .	17
Şekil 2.6	MR damperin şematik modeli	17
Şekil 2.7	MR damperin karakteristiğini belirlemek için kullanılan test düzeneği	18
Şekil 2.8	MR damperin karakteristik eğrileri	19
Şekil 3.1	Genişletilmiş Sistem Yapısı	22
Şekil 3.2	Genel yarı aktif kontrol şeması	25
Şekil 3.3	Groundhook kontrol uygulaması	26
Şekil 4.1	Deney sisteminin genel görünüşü	28
Şekil 4.2	SÇD metodunun şeması	29
Şekil 4.3	Deney sistemi rölatif yerdeğiştirme hareketi	30
Şekil 4.4	Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları	32
Şekil 4.5	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	32
Şekil 4.6	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları	33
Şekil 4.7	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	33
Şekil 4.8	Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları	34
Şekil 4.9	Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	34
Şekil 4.10	Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları	35

Şekil 4.11 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	35
Şekil 4.12 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	36
Şekil 4.13 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları	37
Şekil 4.14 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları	37
Şekil 4.15 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	38
Şekil 4.16 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları	39
Şekil 4.17 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	39
Şekil 4.18 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları	40
Şekil 4.19 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	40
Şekil 4.20 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları	41
Şekil 4.21 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	42
Şekil 4.22 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları	42
Şekil 4.23 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	43
Şekil 4.24 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	43
Şekil 4.25 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları	44
Şekil 4.26 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları	44
Şekil 4.27 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri	45

Şekil 4.28 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları	46
Şekil 4.29 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	46
Şekil 4.30 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları	47
Şekil 4.31 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	47
Şekil 4.32 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları	48
Şekil 4.33 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	49
Şekil 4.34 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları	49
Şekil 4.35 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	50
Şekil 4.36 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları .	50
Şekil 4.37 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	51
Şekil 4.38 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları	51
Şekil 4.39 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri .	52
Şekil 4.40 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları	52
Şekil 4.41 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	53
Şekil 4.42 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları	53
Şekil 4.43 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri .	54
Şekil 4.44 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları	54
Şekil 4.45 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	55
Şekil 4.46 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları	55
Şekil 4.47 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri .	56
Şekil 4.48 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları	56
Şekil 4.49 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri	57
Şekil 4.50 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları	57

Şekil 4.51 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri .	58
Şekil 4.52 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	58
Şekil 4.53 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları	59
Şekil 4.54 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	59
Şekil 4.55 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları	60
Şekil 4.56 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	60
Şekil 4.57 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	61
Şekil 4.58 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	61
Şekil 4.59 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları	62
Şekil 4.60 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	62
Şekil 4.61 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları	63
Şekil 4.62 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri . . .	63
Şekil 4.63 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	64
Şekil 4.64 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri . . .	64
Şekil 4.65 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları	65
Şekil 4.66 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	65
Şekil 4.67 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları	66

Şekil 4.68 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri . . .	66
Şekil 4.69 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri	67
Şekil 4.70 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	67
Şekil 4.71 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları .	68
Şekil 4.72 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri . .	68
Şekil 4.73 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları .	69
Şekil 4.74 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	69
Şekil 4.75 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri . .	70
Şekil 4.76 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	70
Şekil 4.77 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları	71
Şekil 4.78 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	71
Şekil 4.79 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları	72
Şekil 4.80 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	72
Şekil 4.81 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	73
Şekil 4.82 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	73
Şekil 4.83 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları	74
Şekil 4.84 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	74
Şekil 4.85 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları	75

Şekil 4.86 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	75
Şekil 4.87 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri	76
Şekil 4.88 Tahrik-1 MR damper kuvvet ve gerilimleri	77
Şekil 4.89 Tahrik-2 MR damper kuvvet ve gerilimleri	78
Şekil 4.90 Kocaeli Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri	79
Şekil 4.91 El-Centro Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri	80
Şekil 4.92 Northridge Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri	81
Şekil 4.93 Erzincan Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri	82

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Bina modelinin frekansları ve sönüm oranları	13
Tablo 2.2	Kütle oranlarına göre AKS parametreleri	15
Tablo 2.3	Depremlere ait veriler	16
Tablo 2.4	MR damperin kuvvet değerleri	19
Tablo 4.1	SÇD metodunun uygulama adımları	30
Tablo 4.2	Uygulanan kontrol durumları	31
Tablo 4.3	Tahrik-1 MR damper kuvvetleri	77
Tablo 4.4	Tahrik-2 MR damper kuvvetleri	78
Tablo 4.5	Kocaeli Tahrik MR damper kuvvetleri	79
Tablo 4.6	El-Centro Tahrik MR damper kuvvetleri	80
Tablo 4.7	Northridge Tahrik MR damper kuvvetleri	81
Tablo 4.8	Erzincan Tahrik MR damper kuvvetleri	82
Tablo 4.9	Maksimum rölatif yerdeğiştirmeler	83
Tablo 4.10	Performans indeksleri	85
Tablo A.1	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları	95
Tablo A.2	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları	95
Tablo A.3	Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları	96
Tablo A.4	Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları	96
Tablo A.5	Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları . . .	96
Tablo A.6	Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları	96
Tablo A.7	El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları . . .	97
Tablo A.8	El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları	97

Tablo A.9	Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları . . .	97
Tablo A.10	Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları	97
Tablo A.11	Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları . . .	98
Tablo A.12	Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları	98
Tablo A.13	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları	98
Tablo A.14	Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları	98
Tablo A.15	Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları	99
Tablo A.16	Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları	99
Tablo A.17	Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları	99
Tablo A.18	Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları	99
Tablo A.19	El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları	100
Tablo A.20	El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları	100
Tablo A.21	Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları	100
Tablo A.22	Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları	100
Tablo A.23	Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları	101
Tablo A.24	Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları	101

Simülasyon Çevriminde Donanım Yöntemiyle Yarı Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Performans Analizi

Hüseyin AGGÜMÜŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Danışman: Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ

Yapısal sistemlerin kontrolü, geçmişten günümüze kadar önemi ve popülerliği artan bir çalışma konusudur. Gerek meydana gelen, gerekse daha meydana gelmemiş ve gelmesi kuvvetle beklenen deprem, kasırga gibi yıkıcı etkilere sahip doğal afetler, bu konunun daha da önemli bir hal almasına neden olmuştur. Bozucu girişler altındaki yapısal sistem cevapları, sayısal simülasyon çalışmaları ve deneysel çalışmalar olmak üzere, temel olarak iki şekilde incelenir. Deneysel çalışmalar gerçekçi araçlar olmalarına rağmen, gerek fiziksel kurulumlarındaki zorluklar gerekse yüksek maliyetleri, yapıların deneysel olarak incelenmesini zorlaştırmaktadır. İdeal koşullarda gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları ise, ölçüm gürültüleri ve zaman gecikmeleri gibi gerçek sistemlerde oluşabilecek problemleri içermez. Simülasyon çevriminde donanım (SÇD) yöntemi ile, hem sayısal simülasyon hem de deneysel çalışmaların avantajlarından faydalanmak mümkündür. Bu yöntemdeki temel fikir, sistem için kritik öneme sahip ve karmaşık mekanik özelliklerde olan sistem elemanları deneysel olarak test edilirken, diğer kısımlar da iyi yapılandırılmış bir matematik model kullanılarak test edilmesidir.

Bu tez çalışmasında gerek deneysel çalışmaların zorluklarının üstesinden gelmek, gerekse sayısal simülasyon sonuçlarından daha gerçekçi bulgular elde edebilmek için, SÇD metodu kullanılarak yapısal sistem cevapları incelenmiştir. Ayarlı kütle sönümleyicileri kolaylıkla yapısal sistemlere uygulanabilen kontrol cihazlarıdır. Aktif ve yarı aktif kontrol uygulamalarıyla performanslarını arttırmak mümkündür. Yarı aktif kontrol uygulamaları hem pasif hem de aktif sistemlerin avantajlarını içerirler. Bu sebeple, bu tez çalışmasında yapısal sistem cevaplarını analiz etmek için yarı aktif

ayarlı kütle sönümleyicisi (YAKS) kullanılmıştır. MR damperler YAKS’de yarı aktifliği sağlayan kontrol elemanı olarak kullanılmıştır. MR damperin, SÇD yöntemindeki donanım kısmı olarak düşünülmesi sebebiyle laboratuvar ortamında deneysel olarak kurgulanmıştır. Sistemin kalan kısımları ise sayısal simülasyonda modellenmiştir.

MR damperler iletilen gerilime göre sönüm miktarı değişebilen yarı aktif kontrol elemanlarıdır. Bu sebeple MR dampere iletilen gerilimin belirlenebilmesi amacıyla, karışım hassaslık yapısında ve model indirgeme tekniği kullanılarak dayanıklı H_{∞} kontrol dizayn edilmiştir. Groundhook kontrol algoritmasıyla da bu kontrolün performansı test edilmiştir. Yarı aktif sistemler, pasif sistemlerin güvenilirliğine sahiptir. Bu tez çalışmasındaki YAKS’nin güvenilirliği ile ilgili olarak, MR dampere gerilim gönderilmediği durumun sistem cevapları üzerine etkisi incelenmiştir. On serbestlik dereceli bir bina modeli üzerine uygulanan YAKS’nin sistem cevaplarını bastırma performansı, bina modelinin doğal frekanslarından üretilen tahrikler ve gerçek deprem verilerinin ölçeklendirilmesiyle elde edilen tahrikler etkisinde incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MR damper, yarı aktif yapısal kontrol, yarı aktif ayarlı kütle sönümleyicileri, simülasyon çevriminde donanım yöntemi

Performance Analysis of Semi Active Tuned Mass Dampers with Hardware in the Loop Simulation Method

Hüseyin AGGÜMÜŞ

Department of Mechanical Engineering
Doctor of Philosophy Thesis

Advisor: Prof.Dr.Rahmi GÜÇLÜ

Structural systems control is an increasingly important study subject from past to present. Natural disasters, both occurring and not occurring yet, and having devastating effects such as earthquakes and hurricanes, which have been expected to come, have made this issue even more critical. Structural system responses under disruptive inputs are investigated in two ways: numerical simulation studies and experimental studies. Although experimental studies are practical tools, both their physical installation difficulties and their high costs make it challenging to investigate structures experimentally. Simulation studies carried out under ideal conditions do not include problems that may occur in real systems such as measurement noises and time delays. With the Hardware In The Loop (HILS) method, it is possible to take advantage of both numerical simulation and experimental studies. The main idea in this method is those system elements that are critical to the system and have complex mechanical properties are tested experimentally, while other parts are tested using a well-structured mathematical model.

In this thesis, structural system responses were researched by using HILS method to overcome the difficulties of experimental studies and to obtain more realistic findings from numerical simulation results. Tuned mass dampers are control devices that can be easily applied to structural systems. It is possible to increase their performance with active and semi active control applications. semi active control applications include the advantages of both passive and active systems. Therefore, in this thesis, semi active tuned mass damper (YAKS) was used to analyze structural system responses.

MR dampers are used as the control element providing semi-activity in YAKS. Because the MR damper is considered as the hardware part in the HILS method, it has been experimentally setup in a laboratory environment. The remaining parts of the system are modeled in numerical simulation.

MR dampers are semi active control elements whose damping amount can vary according to the transmitted voltage. For this reason, robust H_∞ control is designed in order to determine the voltage transmitted to the MR damper, using mixed sensitivity structure and model reduction technique. The performance of this control has also been tested with the Groundhook control algorithm. semi active systems have the reliability of passive systems. Regarding the reliability of YAKS in this thesis, its effect on system responses when no voltage is sent to the MR damper has been investigated. The performance of suppressing the system responses of YAKS applied on a ten-degree building model was investigated in the effect of excitations obtained from the natural frequencies of the building model and by scaling real earthquake data.

Keywords: MR damper, semi active structural control, semi active tuned mass dampers, hardware in the loop simulation method

1 GİRİŞ

Dizayn edilen yapısal sistemler, genel olarak hem güvenlik hem de servis kolaylığı ile ilgili bir dizi gereksinimi karşılamalıdır. Güvenlik kavramı, yapının bozucu girişler altında göstermiş olduğu davranışı ile ilgilidir. Burada meydana gelebilecek olumsuz durumlar; yapının çökmesi, yapıda veya içindekilerde meydana gelebilecek büyük hasar, yaralanma ve can kayıplarıdır. Servis kolaylığı ise yapının ömrü boyunca meydana gelebilecek ılımlı yüklemelerin etkisinde işlevini yitirmemesidir. Yani yapı hasar görmemeli veya maruz kaldığı hasar ihmal edilebilir olmalıdır [1]. Hem güvenlik, hem de servis kolaylıklarını sağlamak için en etkili yöntemlerden olan yapısal sistem kontrolü, günümüzde popüler çalışma konularından birisidir. Yapıların harici bozuculara karşı savunmasız olması, meydana gelebilecek maddi kayıpların ve can kayıplarının olması durumu yapısal sistemlerin kontrolünün önemini ortaya koyar. Gerek kontrol algoritmalarının, gerekse teknolojinin hızlı bir şekilde gelişme kaydetmesiyle birlikte, deprem gibi yıkıcı etkilere sahip olan doğal afetler etkisindeki binaların vermiş olduğu tepkileri iyileştirme çalışmalarında, elde edilen başarılar büyük öneme sahiptir. Yapısal sistemlerin kontrolü çalışmalarının temeli, 1970'li yıllarda Yao tarafından yapılan çalışmaya dayanır [2]. Bu çalışmanın ardından günümüze kadar hem teknolojik anlamda hem de performans analizi anlamında önemli gelişmeler yaşanmış olup, teorik veya deneysel olarak birçok çalışma yapılmıştır.

Yapısal sistemlerin titreşim kontrolü çalışmalarında temel olarak aktif, pasif ve yarı-aktif olmak üzere üç farklı kontrol tekniği uygulanır. Bunlardan pasif kontrol yöntemleri, en basit ve uygulaması en kolay olmalarına rağmen performanslarının kısıtlı olmaları ve değişken koşullarda performanslarının düşmesi, araştırmaların diğer kontrol yöntemlerine kaymasına sebep olmuştur. Aktif kontrol uygulamaları, yüksek performans ve değişken koşullara uyum sağlama gibi avantajlara sahip olması sebebiyle ilgi çekici kontrol uygulamalarından olmuştur. Fakat, enerji kesintisi durumunda çalışmamaları ve yapıya dışarıdan enerji vermeleri nedeniyle yapının kararlılığı üzerindeki olumsuz etkiye sebep olabilme durumlarından dolayı bu kontrol

uygulamaları da güvenlik açısından risklidir [3, 4]. Yarı-aktif kontrol uygulamaları ise hem güvenlik hem de performans açısından ön plana çıkmaktadır. Performans bakımından pasif kontrolden daha iyi olmaları, güvenlik ve güç tüketimi bakımından da aktif kontrol uygulamalarından daha avantajlı bir konumda olmaları, yarı-aktif kontrol uygulamalarının tercih edilme sebepleridir. Ayrıca, doğal afetlerde enerji kesintilerinin yüksek bir ihtimal olması ve bu durumda pasif kontrol elemanı gibi davranması yarı-aktif kontrol uygulamalarının diğer avantajlarındanır.

Yarı-aktif sistemlerin ayarlı kütle sönümleyicileri, ayarlı sıvı sönümleyicileri, elektoreolojik (ER) damperler, manyetoreolojik (MR) damperler, sürtünme sönümleyicileri, rijitlik kontrol cihazı ve viskoz sıvı damperler gibi bir çok örneği vardır. Bunlardan ER ve MR damperleri diğer kontrol elemanlarından daha özel kılan şey, uygulanan manyetik alan ile içindeki sıvının viskozitesinin değiştirilebildiği hidrolik silindirler olmasıdır. Diğerlerini kontrol etmek için ise ya bir mekanizma yada açıp kapatma işlemi yapan bir valf kullanmak gereklidir. MR damperler yüksek akma dayanımları, geniş sıcaklık aralığında daha kararlı olmaları, düşük üretim maliyetleri, düşük güç gereksinimleri gibi ER damperlere olan üstünlüklerinden dolayı yapısal sistem kontrolünde daha çok tercih edilen yarı-aktif kontrol elemanlarıdır [5]. MR damperler, yapısal sistemlerde yalın olarak kullanılabildiği gibi aynı zamanda yarı-aktif ayarlı kütle sönümleyicilerinde (YAKS) yarı-aktifliği sağlayan kontrol elemanı olarak da kullanılabilir. Bu tez çalışmasında MR damperin bahsedilen avantajlarından dolayı MR damperli YAKS'nin performans analizi incelenecektir.

Bina titreşimlerinin incelenmesinde hem simülasyon çalışmalarının hem de deneysel çalışmaların avantaj ve dezavantajları vardır. Sayısal simülasyon çalışmalarında, yapısal sistemlerin performans analizini gerçekleştirmek kolaydır. Bununla birlikte ideal koşullar altında gerçekleştirilen sayısal simülasyon çalışmaları, gerçek sistemlerde oluşabilecek problemleri içermez. Bu nedenlerle, gerçeği tamamen yansıtmayabilirler. Deneysel çalışmaların bilimsel araştırmalarda önemi büyüktür. Fakat, yapısal sistemlerin deneysel olarak kurulumu ve çalıştırılmasındaki zorluklar da temel problemlerdendir. Ancak, son yıllarda hem simülasyon hem de deneysel çalışmaları birleştiren Simülasyon Çevriminde Donanım (SÇD) veya Gerçek Zamanlı Hibrit Simülasyon, olarak adlandırılan hibrit test yöntemleri uygulanmaktadır [6–8]. Bu yöntem ile kritik önemi olan sistem elemanları laboratuvar ortamında deneysel olarak kurulur, kalan kısımları ise bilgisayar simülasyonunda matematiksel olarak modellenir. Daha sonra deneysel kısım ile simülasyon kısmı eş zamanlı olarak çalıştırılarak sistem performansı analiz edilir.

Bina gibi büyük kütlelere ve boyutlara sahip sistemlerin laboratuvar ortamında deney setlerinin kurulması zor ve maliyetli bir iştir. Bina modeline eklenmiş

YAKS'nin performansının SÇD yöntemi ile incelenmesiyle, simülasyon çalışmalarına göre daha gerçekçi sonuçlar elde edilir. Ayrıca, mevcut sistemde SÇD metodunun uygulanmasında YAKS'nin farklı parametrelerde ve binanın farklı katlarına göre yerleşimlerine göre performans testi yapılabilmesi önemli avantajlarındanır. Dolayısıyla SÇD yöntemi ile yapılan çalışmaların simülasyon çalışmalarına göre daha gerçekçi sonuçlar alınması bakımından araştırmalarda kolaylıklar sağlamaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Yapılarda meydana gelen titreşimleri azaltmak için kolayca sisteme bağlanabilen AKS'ler basit, ucuz ve güvenilir kontrol cihazlarıdır. Uygulamaları 20. Yüzyıl başlarına dayanan AKS'lere, eski yapısal titreşim kontrol cihazları arasında olmasına rağmen son yıllarda da çalışmalarda ilgi duyulmaktadır. Parametreleri yapının kritik frekansına yeterince yakın seçilen AKS'ler kütle, yay ve sönüm elemanından oluşan bir pasif kontrol cihazıdır. Böylece, bu frekans uyarıldığında yapı yerine hareket ederek yapıyı rezonans titreşimlerinden korur.

Kütle sönümleyicileriyle titreşim kontrolü kavramı, Frahm'ın dinamik titreşim absorberi adı verilen titreşim kontrol cihazını icat ettiği 20. yüzyıl başlarına dayanır [9]. Bu absorberin bir sönüm elemanı olmadığından dolayı doğal frekansı, sistemi tahrik eden frekansa çok yakın olduğunda etkiliydi. Fakat, tahrik frekansı absorberin doğal frekansından sapması durumunda performansında keskin bir şekilde azalmaların yaşandığı gözlemlendi. Bu nedenle etkinlikleri sadece tahrik frekanslarının bilindiği durumlar için olduğu anlaşıldı [10]. Buradaki eksikliklerden kaynaklı problemlerin üstesinden gelebilmek için Ormondroyd ve Den Hartog [11], Frahm'ın absorberine bir miktar sönümleme uyguladılar. Eklenen bu sönüm ile birlikte değişen tahrik frekansında performans azalmasının daha az olduğunu ve rezonanstaki sistem cevabının da önemli ölçüde azaltılabileceğini ortaya koydular. Ayrıca, Den Hartog ana kütlede sönüm olmadığını varsayarak optimum AKS parametreleri için kapalı form ifadeleri türetmiştir [12]. Daha sonra Bishop ve Welbourn yaptıkları analizlerinde ana kütlede sönümlemesini dahil ederek çalışmalarını sürdürdüler [13]. Günümüze kadar, pasif kontrol elemanı olan AKS'lerin performanslarını arttırmak için bir çok optimizasyon metodunun yanı sıra birçok formülasyon türetilmiştir [12, 14–17].

AKS'ler yüksek binalar, kuleler, köprülerde gibi yapısal sistemlerde doğal ve insan yapımı yüklemelere karşı uygulanmıştır [18–20]. Ancak parametrelerin sabitliği performanslarının sınırlı olmasına neden olmaktadır. AKS'nin dar bir bastırma frekansında etkili olmaları, değişken frekanslı tahriklerde performanslarının azalması

gibi kısıtları vardır [21, 22]. Ayrıca, etkinliği optimum ayarlama frekansına ve sönüm parametresine bağlı olan AKS'lerin verimleri ayar bozulması ile de düşer. Ayar bozulması ise birincil yapının hasar görmesi/bozulması, veya optimum sönümlemenin belirlenmesindeki hatalar nedeniyle doğal frekanslarda meydana gelen değişikliklerdir [23].

AKS'nin hem dezavantajlarının üstesinden gelmek hem de performansını arttırmak için birincil yapı ile yardımcı kütle arasına bir aktüatör yerleştirilme fikri gelişmiştir. Burada amaç, harici bir güç kaynağı kullanılarak dizayn edilen bir aktif kontrol şemasıyla, AKS'yi tahrik eden kontrol kuvvetini üretmektir. Bu tür sönümleme cihazları, aktif ayarlı kütle sönümleyicileri (AAKS) olarak adlandırılır. AAKS'ler ilk olarak Morison ve Karnopp tarafından incelenmiştir [24]. Fakat, yapısal sistemlerdeki başlangıç çalışmaları Lund [25], Chang ve Soong [26] ve Udwadia ve Tabaie [27] tarafından yapılmıştır. Son 30 yıldır yoğun olarak çalışılan AAKS'lerin, sismik tahrik veya rüzgar yükü altına altında gerek simülasyon çalışmalarında [28–34], gerekse deneysel çalışmalarda [35–37] bütün durumlarda AKS'lerden daha yüksek performans gösterebileceği kanıtlanmıştır. AAKS'ler mümkün olan en iyi pasif AKS'den daha iyi performans gösterse de [38] kararlılık sorunları, güvenilirliği ve yüksek güç tüketimi bu kontrol cihazı ile ilgili duyulan önemli endişelerdir. Aktif kontrol edilen sistemlerin harici bir enerji kaynağına bağımlılığı ve özellikle depremler gibi doğal afetler esnasında yüksek bir ihtimal olan enerji kesintilerinde çalışmaması, bu konuda duyulan endişelerin haklılığını ortaya koyar. Ayrıca, aktüatör ve pompalara ihtiyaç duyan aktif kontrol sistemlerinin maliyetleri ve dikkatli bir şekilde bakım gereklilikleri de bu uygulamaların diğer zorlukları olarak karşımıza çıkar.

Aktif ve pasif kontrol uygulamalarının avantaj ve dezavantajları vardır. Bu iki kontrol sistemin olumlu özelliklerini içermek ve olumsuz özelliklerinin de üstesinden gelmek için de iyi bir alternatif olarak yarı-aktif kontrol uygulamaları düşünülebilir. Yarı-aktif kontrol cihazlarının aktif kontrolde olduğu gibi sisteme mekanik enerji vermemeleri ve enerji kesintisi durumunda pasif kontrol durumunu taklit edebilmeleri, güvenlik olarak önemli avantajlarıdır. Düşük enerji gereksinimleri, basit donanıma sahip olmaları, düşük işletme maliyetleri de uygulanabilirlik açısından diğer avantajlarındandır. Gerek AKS'lerin gerekse AAKS'lerin kısıtlamaları sebebiyle, hem pasif sistemlerin hem de aktif sistemlerin avantajlarını içeren, dezavantajlarının ise üstesinden gelen değişken sönümleme ve / veya sertlik özelliklerine sahip olabilen yarı-aktif kütle sönümleyicileri (YAKS) önemli bir alternatif olarak düşünülebilir.

YAKS'ler ilk olarak Hrovat arkadaşları tarafından [39] 1980'li yıllarda çalışılmasına rağmen günümüzde hala birçok araştırmacı tarafından ilgi gören bir konudur. YAKS'de kullanılan yarı-aktifliği sağlayan kontrol elemanları, sertlik kontrol cihazları, kontrol

edilebilir sıvı içeren damperler, sürtünme kontrol cihazları ve sıvı viskoz damperleri gibi farklı gruplara ayrılabilir. YAKS'ler de yarı-aktifliği sağlayan kontrol elemanı olarak rijitliğin kullanıldığı [23, 40–45], sönümün kullanıldığı [38, 46–51] birçok kontrol uygulaması vardır. Yapılan çalışmalar tatmin edici performans göstermesine rağmen, YAKS'nin sertliği ve/veya sönümünün kısa sürede değişmesi koşulu önemli bir konudur [38]. Yarı-aktifliği sağlayan kontrol elemanlarının, kısa sürede işlevini gerçekleştirememesi sistem performansının düşmesine neden olur. Bunun üstesinden gelebilmek için kullanılan kontrol elemanlarının uygulanan kontrol algoritmasıyla birlikte hızlı cevap verme özelliklerine sahip olması gereklidir. MR ve ER gibi kontrol edilebilir akışkanları barındıran sönüm elemanları bu konuda en etkili kontrol elemanları arasındadır.

Kontrol edilebilir akışkanları barındıran yarı-aktif elemanlar, yapısal sistemlerin titreşimlerini bastırmada yaygın olarak kullanılır. Bu akışkanları içeren sönüm elemanları 1950'li yılların öncesine dayanmasına rağmen, günümüzde de bu çalışmalar yoğun olarak sürdürülmektedir [4]. 1947 ve 1949 yıllarında elektriksel etkinin mekanik kuvvete dönüştürülmesi çalışmaları yürütülerek başarılı sonuçların elde edilmesi neticesinde bulunan metodun fiziksel temelleri atılmıştır [52, 53]. Yaklaşık olarak aynı zamanlara denk gelen, MR akışkanlar üzerindeki çalışmalarda bu akışkanın özellikleri elde edilerek, manyetize olabilen akışkan içeren kuvvet ve moment iletebilen bir cihazın çalışmaları yürütülmüştür [54, 55].

Keşifleri yaklaşık yarım yüzyıldan daha öncesine kadar dayanan MR ve ER sıvılar ancak son 30 yılda ticarileşmişlerdir. Düşük güç tüketimleri, ulaşabildikleri yüksek dinamik çalışma kabiliyeti, mekanik olarak basit olmaları, geniş çalışma sıcaklığı (-40 ile +150) aralıklarında işlevlerini yürütebildikleri, dış etkilere kaynaklanan kirlilik gibi sebeplerden dolayı herhangi bir bakıma ihtiyaç duymamaları MR damperlerin üstün özelliklerindendir [56]. Bu sebeplerden dolayı MR damperler, ER sönümleyicilere göre daha avantajlıdır.

Bu tez çalışmasında, ifade edilen üstün özelliklerinden dolayı, yapısal sistem kontrolünde kullanılan YAKS'de, yarı-aktifliği sağlayan kontrol elemanı olarak MR damper kullanılacaktır. Literatürde, MR damper içeren YAKS'ler ile ilgili birçok simülasyon çalışmaları vardır. Bunlar:

Aldemir (2003) tek serbestlik dereceli modele MR damperli YAKS'yi ekleyerek nedensel alt-optimal kontrol şemalarıyla farklı deprem tahrikleri altında sistemi tahrik ederek performans testi yapmıştır. Aynı zamanda farklı kütle oranlarında da YAKS'nin bütün durumlarda AKS'den daha iyi performans gösterdiğini ifade etmiştir [57].

Lin vd. (2005) farklı deprem tahrikleriyle 12 serbestlik dereceli bir binada MR

damperli YAKS'nin kontrol performansı incelenmiştir. Gerçekte olmayan sadece sayısal simülasyonda olan değişken sönümleme cihazı ile MR damperin kontrol performansını karşılaştırmışlardır. Ayrıca, MR dampere iletilen gerilimi belirlemek için Lineer Karesel Düzenleyici (Lineer Quadratik Regulator-LQR) kontrol ve Kırpılmış optimal kontrol dizayn ederek performans analizi gerçekleştirmişlerdir [58].

Tse vd. (2007) üç boyutlu titreşimlerin yanal-burulma modlarını içeren bir rüzgar enerjisi ile uyarılmış 1: 400 ölçekli bir model üzerinde her dikey yönde bir tane olmak üzere iki MR damper içeren iki yönlü YAKS kullanılmışlardır. MR damperler tarafından üretilen optimum kontrol kuvvetleri LQR kontrol ile elde etmişlerdir [59].

Weber vd. (2010) çalışmalarında, rijitliği ve sönümlemesi gerçek zamanlı olarak tek serbestlik dereceli bir hedef yapının değişen frekanslarına göre ayarlanabilen yeni bir adaptif YAKS sunmaktadırlar. Uyarlanabilir YAKS, ayarlanmış bir kütle, ayarlanmış bir pasif yay ve bir MR damperden oluşur. MR damper adaptif YAKS'nin, kontrollü sürtünme-viskoz sönümlemesini ve kontrollü sertliği taklit etmek için kullanılır. MR dampere iletilen gerilimi belirlemek için model tabanlı ileri beslemeli kontrol algoritması kullanılmışlardır [60].

Kang vd. (2011) bu çalışmada, rüzgar enerjisi ile uyarılmış 76 katlı bir binanın cevaplarının kontrolünde, değişken bir sönümleme cihazı ve bir MR damper kullanılarak YAKS'lerin etkinliği araştırılmıştır. MR damperin ürettiği kontrol kuvvetini uygun bir şekilde modüle etmek için Groundhook kontrol algoritması kullanılmışlardır [61].

Aly (2015) bu çalışmasında, yüksek katlı binalardaki rüzgarla ilgili problemleri çözmek için, iki yanal doğrultudaki davranışı farklı olan, hibrit ayarlanmış kütle ve manyetoreolojik (TM / MR) sönümleyicileri uygulamaları yapmıştır. Sistem için gerekli yarı-aktif kuvveti üretmek için Bang-Bang kontrolü uygulamıştır [62].

Kim ve Kang (2012) bu çalışmada, rüzgar enerjisi ile uyarılmış 76 katlı bir binanın cevaplarını azaltmak için MR damperli YAKS kullanılır. MR damperin ürettiği kontrol kuvveti için çok amaçlı bir optimal bulanık kontrol sistemi önerilmiştir. Karşılaştırmalı bir çalışma için Skyhook-Groundhook kontrol algoritmaları kullanılmıştır [63].

Kim (2016) çalışmasında bitişik binaların titreşim kontrolü için paylaşılan, her binaya MR damper ve yay ile bağlı YAKS önerdi. İki adet 8 katlı bina örnek yapı olarak kullanılmıştır. Her bir MR dampere iletilen gerilimleri belirlemek için çok girişli çok çıkışlı (ÇGÇÇ) bulanık mantık kontrolcüsü (FLC) geliştirilmiştir. Tahrik kuvveti olarak yapay bir yer hareketi kullanmıştır [64].

Bathaei vd. (2018) çalışmalarında, sismik tahrik altındaki 11 serbestlik dereceli bina modelinin cevaplarını iyileştirmek için kullandıkları MR damperli YAKS'nin etkisini, Tip-1 ve Tip-2 Bulanık Mantık kontrolörler kullanılarak incelemişlerdir [65].

Yapılan birçok sayısal çalışmada MR damperli YAKS'lerin performansları incelenmiş olup, sistem cevaplarını iyileştirmede başarılı sonuçlar elde edilmiştir. YAKS'ler ile ilgili yapılan simülasyon çalışmaların yanı sıra deneysel çalışmalar da vardır. Bu çalışmalar:

Setareh vd. (2007) bu çalışmalarında, MR damperli sarkaç tipi kütle sönümleyicisini (SAPTMD) insan etkileri dikkate alınarak, bina katlarının titreşimlerini kontrol etmek için kullanmışlardır. Yürüttükleri analitik ve deneysel çalışmaları, tek serbestlik dereceli modelde Groundhook kontrol ile yapmışlardır [66].

Lin vd. (2013) bu çalışmada, düşük ve orta katlı binalara odaklanan, MR damperler ile yarı-aktif kütle sönümleme sistemi (SMD) önerilmektedir. Deprem etkisi altındaki SMD'nin yarı-aktif kontrolü için LQR kontrol uygulanmıştır. Teorik analiz ve titreşim tablası testlerinden yapılan deneysel doğrulamalarla, yöntemin titreşim sönümleme kabiliyetini ortaya koymuşlardır [67].

Weber vd. (2016) çalışmalarında, harmonik tahrik kuvvetleri etkisindeki yapısal titreşimlerin azaltılması için, gerçek zamanlı bir MR damper temelli yarı-aktif bir titreşim sönümleyici (MR-SVA) konsepti tanımlamaktadırlar. MR damperin ürettiği kontrol kuvveti için, model tabanlı bir ileri beslemeli kontrol algoritması kullanarak MR-SVA'nın performansını sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir [68].

Literatür özetinde incelenen çalışmalar kısaca özetlenirse: Yapısal sistemlerde kullanılan MR damperli YAKS'ler, simülasyon çalışmaları [57–65] ve deneysel çalışmalar [66–68] olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmalar serbestlik derecesine göre çok serbestlik dereceli [58, 59, 61–65, 67] ve tek serbestlik dereceli [57, 60, 66, 68] sistemler olarak incelenmiştir. Sistem cevapları, deprem tahrikleri [57, 58, 65, 67], rüzgar tahrikleri [59, 61–63], yapay yer hareketi [64], harmonik tahrikler [60, 68], insan kaynaklı tahrikler [66] ile incelenmiştir. Ayrıca, YAKS'nin yapısal sistem cevaplarını iyileştirme performansı, Nedensel alt optimal kontrol [57], LQR kontrol [58, 59], Kırpılmış optimal kontrol [58], Model tabanlı ileri beslemeli kontrol [60], Groundhook kontrol [61, 63], Bang-bang kontrol [62], Skyhook kontrol [63], Bulanık Mantık kontrol [64, 65] yöntemleriyle incelenmiştir.

Literatür özetinde de açıkça görüldüğü gibi sayısal simülasyon çalışmalarının deneysel çalışmalara oranla çok fazla olması, deneysel sistem kurumanın zorluğunu ortaya koymakla birlikte, araştırmacıları alternatif bir yöntem aramaya yönlendirmiştir. Bu

amaçla, SÇD yöntemi kullanışlı bir yöntemdir. SÇD yöntemi yapısal sistemlerde binanın katlarına dışarıdan [69] ve içeriden [70] etki ettirilerek, sönümlü destekli çerçeve sistemleri (DBF) [71–73], avara demiri (outrigger) [74] sistemlerinde kullanılmıştır. AKS sistemleri ile ilgili olarak sadece pasif AKS’lerde [6] kullanılmasına rağmen, MR damperli YAKS’lerde henüz gerçekleştirilmiş bir çalışma yoktur.

Bu tez çalışmasında yapılacak araştırmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- On serbestlik dereceli bir binanın titreşimlerini incelemek için, YAKS’de yarı-aktifliği sağlayan sönüm elemanı olarak kullanılan MR damperin deneysel olarak kurulduğu ve sistemin kalan kısımlarının da bilgisayar simülasyonunda modellendiği çalışmalar yürütülecektir.
- Bu tezde, SÇD metoduyla ilk defa MR damperli YAKS’lerin performansları incelenecektir.
- Robust H_{∞} kontrolün MR damperli YAKS’ye uygulanmasıyla, bu kontrol metodunun sistem cevapları üzerine olumlu etkileri SÇD metoduyla gösterilecektir.
- Bu tezdeki yarı aktif sistemlerin güvenilirliği ile ilgili olarak, YAKS’deki kontrol elemanı olan MR damperin, gerilim gönderilmediği durumdaki performansı SÇD metoduyla incelenecektir.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, on serbestlik dereceli bir bina modeli üzerinde, MR damperin yarı-aktif kontrol elemanı olarak kullanıldığı YAKS’lerin kontrol performansının SÇD yöntemiyle araştırılmasıdır. MR damperler uygulanan gerilime göre sönüm miktarı değişebilen kontrol elemanlarıdır. Bu amaçla, iletilen gerilimi belirlemek için yerdeğiştirme tabanlı Groundhook kontrol ve dayanıklı H_{∞} kontrol metotlarıyla YAKS’lerin bina modelinin cevaplarını iyileştirme performansı incelenecektir.

Bozucu girişler altındaki yapısal sistem cevapları, sayısal simülasyonlar ve deneysel yöntemler olmak üzere, temel olarak iki yöntemle incelenir. Deneysel çalışmalarla gerçek sonuçlar elde edilebilmesine rağmen, gerek fiziksel kurulumdaki zorluklar gerekse yüksek maliyetler, yapıların deneysel olarak incelenmesindeki temel zorluklardandır. Sayısal simülasyon çalışmaları, ileri modelleme tekniklerinin yanında bilgisayarların donanımlarının gelişmesi ile birlikte deneysel çalışmalara iyi bir alternatif olarak çalışılmaktadır. Fakat, sayısal simülasyon çalışmalarında,

karmaşık mekanik davranışa sahip kontrol elemanlarını tamamen doğru bir şekilde üretebilen modellerin mevcut olmayışı, elde edilen verileri modelin başarısına göre gerçeklikten uzaklaştırır veya yakınlaştırır. Ayrıca, ideal koşullarda gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları ölçüm gürültüleri ve zaman gecikmeleri gibi gerçek sistemlerde oluşabilecek problemleri içermez. SÇD yöntemi ile bu temel iki yöntemin avantajlarından faydalanmak mümkündür. Bu yöntemdeki temel fikir, sistem için kritik öneme sahip ve karmaşık mekanik özelliklerde olan sistem elemanları deneysel olarak test edilirken, diğer kısımların da iyi yapılandırılmış bir matematik model kullanılarak test edilmesidir. Bu sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında gerek deneysel çalışmaların zorluklarının üstesinden gelmek, gerekse sayısal simülasyon sonuçlarından daha gerçekçi bulgular elde edebilmek için, özellikle sistem için kritik önem arz eden karmaşık mekanik özelliklere sahip kısımların deneysel olarak kurgulandığı ve deneysel sistemden elde edilen verilerin anlık olarak bilgisayar simülasyonunda kullanıldığı hibrit test metodu olan SÇD metodu ile yapısal sistem cevaplarının incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında binalarda titreşim kontrolünde kullanılan YAKS'lerde yarı-aktifliği sağlayan kontrol elemanı olarak kullanılan MR damperlerin, SÇD yöntemindeki donanım kısmı olarak düşünülmesi sebebiyle laboratuvar ortamında deneysel olarak kurgulanması amaçlanmaktadır. SÇD yönteminin uygulanabilmesi için, tahrik altındaki binada YAKS'nin yerleştirildiği kat ile YAKS arasında oluşan rölatif yerdeğiştirmenin deneysel olarak elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, deneysel kurgudaki titreşim tablası mekanizması ile elde edilen rölatif yerdeğiştirmeye bağlı olarak üretilen MR damper kuvvetinin, deney setindeki kuvvet sensörleri vasıtasıyla ölçülmesi ve bu verilerin anlık olarak simülasyonda kullanılması amaçlanmaktadır. Böylece, sistem için kritik önem arz eden MR damperin sayısal modeli yerine gerçeğinin kullanılmasıyla daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesi düşünülmektedir. Bu tez çalışmasının simülasyon bölümünde MATLAB-Simulink yazılımı kullanılmıştır. Ayrıca, deneysel kısım ile sayısal simülasyon kısmı arasında bağlantıyı sağlayan ara yüz olarak dSpace DS1103 kontrol kartı kullanılacaktır.

Literatür çalışmalarında edinilen bilgilere göre, dayanıklı H_{∞} kontrolün MR damperin yarı aktif kontrol elemanı olarak kullanıldığı YAKS'lere uygulanmasına henüz rastlanmamıştır. Kullanılan çok serbestlik dereceli bina modeli için YAKS'nin sistem cevaplarını iyileştirme çalışmalarında, karışım hassaslık yapısında ve model indirgeme tekniği kullanılarak dayanıklı H_{∞} kontrol dizaynı yapılmıştır. Ayrıca, bu kontrolün cevap performansının değerlendirilmesi için Groundhook kontrol algoritması tasarlanarak kontrol performanslarının incelenmesi, bu tezin amaçları arasındadır.

1.3 Hipotez

Yapısal sistemlerin kontrolü konusu her geçen gün daha da önemli bir hale gelmektedir. Dünyada ve özellikle yurdumuzda yaşanan ve yaşanması beklenen deprem gibi doğal afetlerin yapı ve içindekilere olan olumsuz etkileri, bu konunun önemine işaret eder. Yapısal sistemlere uygulanan yarı-aktif kontrol uygulamaları, aktif ve pasif kontrol uygulamalarının avantajlarını içerdiği ve dezavantajlarının da üstesinden geldiğinden dolayı, yapılan çalışmalarda ilgi odağı haline gelmiştir. Sayısal simülasyon olarak yapılan çalışmaların uygulanabilirliğinin ortaya koyulabilmesi için, deneysel olarak da doğrulanması gerekmektedir. Yoğunluklu olarak yapılan simülasyon çalışmaları ve çok kısıtlı sayıda yapılan deneysel çalışmalar ile yarı-aktif kontrolün yapısal sistemler üzerindeki olumlu etkileri kanıtlamıştır.

Simülasyon çalışmalarının deneysel çalışmalara göre çok fazla sayıda yapılması deneysel sistemlerin kurulumundaki zorluklara işaret eder. Bina gibi çok serbestlik dereceli yapısal sistemlerin boyutları, maliyetleri, kurulumdaki zorluklar, bu sistemlerin deneysel olarak çalışılmasındaki ilginin az olmasının temel nedenlerindendir. Fakat, simülasyon çalışmalarında da gerçek sistem koşulları oluşmadığından dolayı elde edilen sonuçlar tamamen gerçeği yansıtmaz. Bu sorunlar araştırmacıları alternatif yöntemler aramaya yönlendirmiştir. SÇD yöntemi bu konuda uygulanan önemli bir yöntemdir. Bu yöntemde, simülasyon sonuçlarından daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek amacıyla, sistem için kritik önemli ve modellenmesi zor olan karmaşık mekanik özelliğe sahip sistem elemanlarının deneysel olarak laboratuvar ortamında kurulmasıyla birlikte, modellemedeki zorlukların üstesinden gelinmiş olunur. Sistemin kalan kısımları ise, bilgisayar simülasyonunda modellenerek bu iki kısım eş zamanlı olarak çalıştırılır ve deneysel kısımdan anlık olarak okunan veriler simülasyona aktararak çalışmalar yürütülür. Böylece, büyük kütlelere ve maliyetlere sahip yapısal sistemlerin tamamının deneysel olarak kurulumuna gerek kalmaz. Çünkü sistemin en etkili parçasının deneysel olarak çalışması ve yapı üzerindeki etkisinin değerlendirmelerinde, simülasyon çalışmalarından daha gerçekçi ve deneysel çalışmalara da daha yakın sonuçlar elde edilebilir.

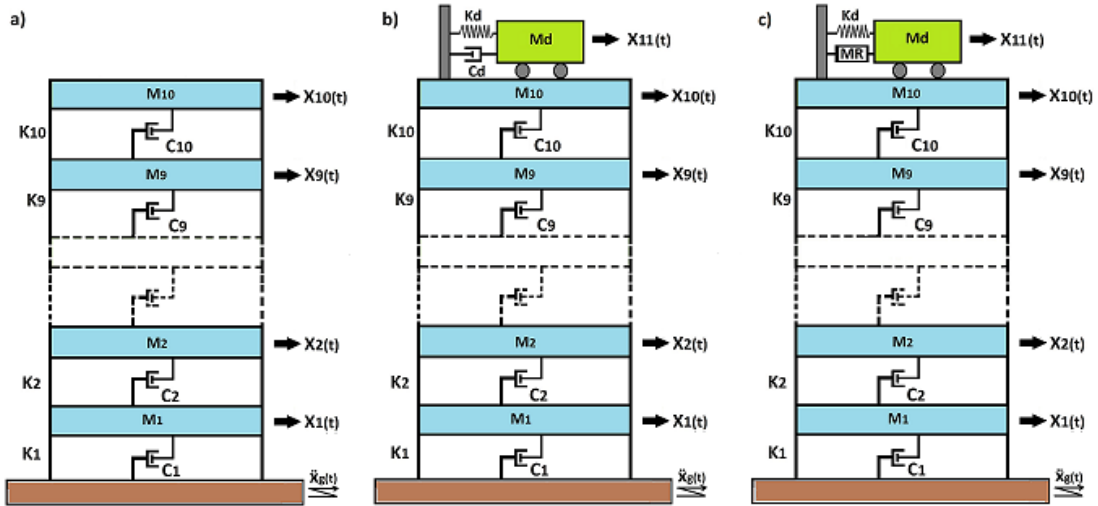
Bu tez çalışmasında, bir kısmının deneysel olarak laboratuvar ortamında kurularak, bir kısmının da bilgisayar ortamında modellenmesiyle elde edilen, çok serbestlik dereceli, YAKS ile kontrol edilen bir bina modeline ait cevapları deneysel olarak incelemeye ve kontrol etmeye imkan sağlayan SÇD yöntemi önerilmiştir. Ayrıca, SÇD yönteminde sistemin bir kısmının deneysel kurgulanması bir kısmının da bilgisayar ortamında modellenmesi durumu, araştırmaların daha esnek bir şekilde yapılmasına olanak sağlar. Yani mevcut sistem için değerlendirilecek olursa, model üzerinde yapılabilecek değişiklikler (örneğin bina parametreleri, YAKS parametreleri) ve

kontrol elemanlarının yerleşimi ile ilgili değişikliklerin kolayca yapılabilmesi de SÇD yönteminin önemli avantajlardandır. Ayrıca, aynı deney düzeneğinde farklı kontrol sistemlerinin de çalışabilmesi de bu yöntemin sağlamış olduğu kolaylıklardandır.

2

MODELLEME VE PARAMETRELER

Yapıları etkileyen tahrikler düşey, burulma ve yanal olmak üzere üç farklı şekildedir. Fakat, bu tez çalışmasında yapısal sistemi en çok etkileyen ve zararlı olabilecek en büyük etkinin yanal titreşimlerde meydana geldiği göz önünde bulundurularak, sistem cevapları yanal titreşimler etkisinde incelenmiştir. Bu tez çalışmasında incelenen kontrol durumları Şekil 2.1’de görülmektedir. Şekil 2.1a’da kontrolün olmadığı durum olan 10 serbestlik dereceli bina modeli, Şekil 2.1b’de pasif kontrolün olduğu durum olan AKS’nin eklendiği ve sistemin pasif olarak kontrol edildiği bina modeli görülmektedir. Şekil 2.1c’deki yarı aktif kontrol durumu ise AKS’nin sönüm elemanı çıkarılarak yerine MR damperin eklenmesi ile elde edilen YAKS’li bina modelidir. Pasif ve yarı aktif kontrol uygulanan bina modeline ait serbestlik derecesi 11’dir. $M_1 \dots M_{10}$ katların kütleleri, $C_1 \dots C_{10}$ katların sönüm değerleri, $K_1 \dots K_{10}$ katların rijitlikleridir. Ayrıca, M_d , C_d ve K_d sırasıyla AKS’nin kütle, sönüm ve rijitliğini ifade eder.



Şekil 2.1 Bina modelleri a) kontrolün olmadığı durum b) AKS’li bina modeli c) YAKS’li bina modeli

Yapısal sistemin en genel haldeki hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$M_s \ddot{x}(t) + C_s \dot{x}(t) + K_s x(t) = -H_s f(t) - M_s L \ddot{x}_g \quad (2.1)$$

Burada $f(t)$, MR damperin ürettiği sönümleme kuvveti, M_s , C_s ve $K_s \in \mathbb{R}^{11 \times 11}$ sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri olarak ifade edilir. $\ddot{x}(t)$, $\dot{x}(t)$ ve $x(t) \in \mathbb{R}^{11 \times 1}$ sırasıyla katların ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörleridir. H_s , kontrolcünün yerini gösteren vektör, L , sismik giriş vektörü, $\ddot{x}_g$, yer hareketinin ivmesidir. Yerdeğiştirme vektörü,

$$x = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 & x_5 & x_6 & x_7 & x_8 & x_9 & x_{10} & x_{11} \end{bmatrix}^T \quad (2.2)$$

sismik giriş vektörü,

$$L = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T \quad (2.3)$$

kontrolcünün yerini gösteren vektör

$$H_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}^T \quad (2.4)$$

şeklindedir.

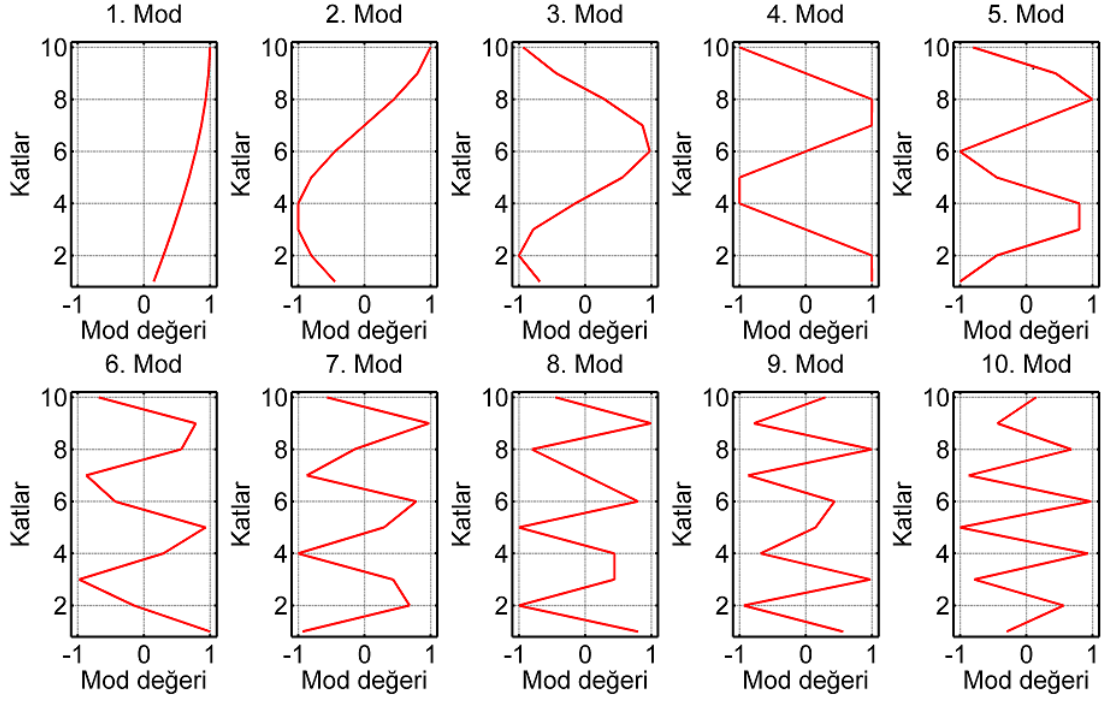
2.1 Bina Modelinin Parametreleri ve Bozucu girişler

Parametreler, literatürde bulunan 10 serbestlik dereceli bir bina modeline ait parametrelerin [75, 76] 1/5 ölçeklendirilmesiyle elde edilmiştir. Bina modelinin bütün katlarının kütleleri birbirine eşit ve 72t, bütün katların rijitlikleri eşit ve 13×10^7 N/m, bütün katların sönümleri birbirlerine eşit ve 1.24×10^6 Ns/m' dir.

Tablo 2.1 Bina modelinin frekansları ve sönüm oranları

Modlar	Frekans [Hz]	Sönüm Oranı
1. Mod	1.0108	0.3438
2. Mod	3.0097	0.5881
3. Mod	4.9414	0.1419
4. Mod	6.7628	0.2684
5. Mod	8.4331	0.2005
6. Mod	9.9149	0.2843
7. Mod	11.1753	0.3348
8. Mod	12.1861	0.3820
9. Mod	12.9247	0.3703
10. Mod	13.3745	0.4008

Bina modelinin frekansları ve sönüm oranları Tablo 2.1'de, mod şekilleri de Şekil 2.2'de görülmektedir. Bina modelinin doğal frekansları 1.0108 Hz ile 13.3745 Hz arasında değişmektedir.



Şekil 2.2 Bina modelinin mod şekilleri

Kütle sönümleyicisi parametreleri Warburton yaklaşımına göre hesaplanmıştır [14]. Bu yaklaşıma göre yapının optimum frekans oranı,

$$f_{opt} = \sqrt{\frac{1 - \mu/2}{1 + \mu}} \quad (2.5)$$

optimum sönüm oranı,

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{\mu(1 - \mu/4)}{4(1 + \mu)(1 - \mu/2)}} \quad (2.6)$$

şeklinde hesaplanır. Frekans ve sönüm oranlarının hesaplarından sonra, AKS parametreleri aşağıdaki ifadeler kullanılarak belirlenir.

$$m_d = \mu * M_{top} \quad (2.7)$$

$$W_d = f_{opt} * W_{n1} \quad (2.8)$$

$$k_d = m_d * W_d^2 \quad (2.9)$$

$$c_d = 2\xi_{opt} W_d * m_d \quad (2.10)$$

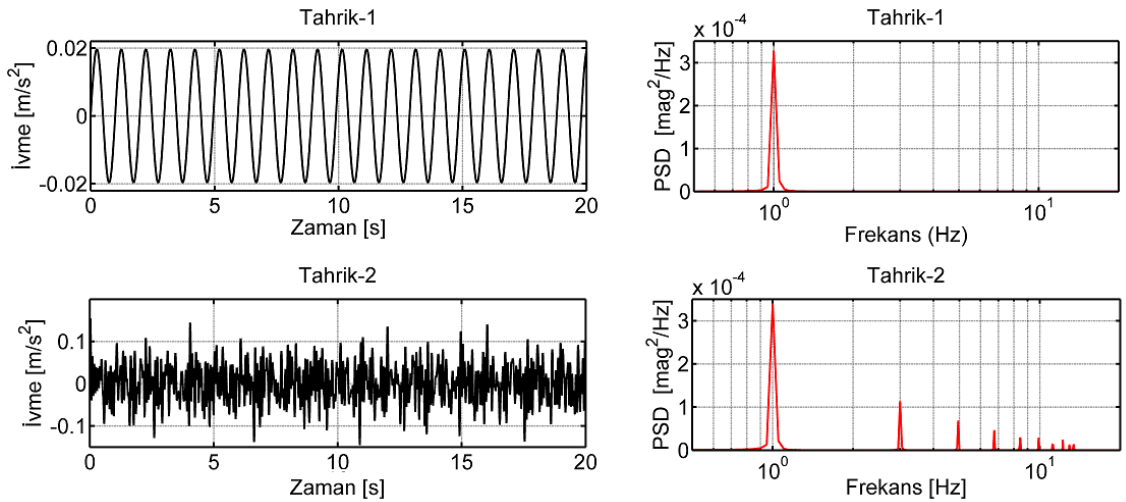
Burada, μ kütle oranını, M_{top} yapının toplam kütesini, W_d , m_d , k_d ve c_d sırasıyla

AKS'nin doğal frekans, kütle, rijitlik ve sönüm değerlerini göstermektedir. Kütle oranlarına göre hesaplanan AKS parametreleri Tablo 2.2'de gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Kütle oranlarına göre AKS parametreleri

Kütle oranları	Md [kg]	cd [Ns/m]	kd [N/m]
0.020	14400	12523	552662
0.025	18000	17363	682376
0.030	21600	22644	808868

Yapıların harici bozuculara karşı verdikleri tepkilerdeki en önemli etken sahip oldukları doğal frekanslardır. Bu frekansların düşük olduğu bölgeler yapı için riskin en fazla olduğu bölgelerdir [77]. Bu nedenle yapısal sistemin cevap performansı, ilk olarak kendi doğal frekanslarından oluşturulmuş iki farklı tahrik etkisinde incelenecektir. Bu tahrikler ve bu tahriklerin sahip olduğu frekans değerleri, Şekil 2.3'te gösterilen, sistemin 1. mod frekansından üretilen Tahrik-1 ve bütün modlarının frekanslarının toplamı ile elde edilen Tahrik-2'nin, zaman cevapları ve spektral güç yoğunlukları görülmektedir [78]. Tahriklere ait frekansları incelemek ve deney sonuçlarının frekans alanında değerlendirmesini yapmak için spektral güç yoğunlukları (PSD) kullanılır. Değişken enerjisinin frekansa bağlı olarak ifade edilmesini sağlayan PSD eğrilerindeki X ve Y eksenleri, sırasıyla frekans ve değişkenin bir frekansta aldığı değer karesinin o frekansa bölümü olarak ifade edilir. Tahrik-1 ve Tahrik-2 bozucu girişleri 20 saniye süresince ve $0.002 \cdot g$ genliğindedir. Burada g yerçekim ivmesidir. MR damperin hareket kapasitesi $\pm 35\text{mm}$ ' dir. Fakat, deney seti bağlantısı ve güvenlik tedbirleri de düşünüldüğünde bu strok yaklaşık olarak 25mm olmaktadır. Bu sebeple bozucu girişlerin genlikleri ve ölçeklendirilmesi strok sınırına göre belirlenmiştir.



Şekil 2.3 Tahrik-1 ve Tahrik-2'ye ait ivme ve PSD değeri

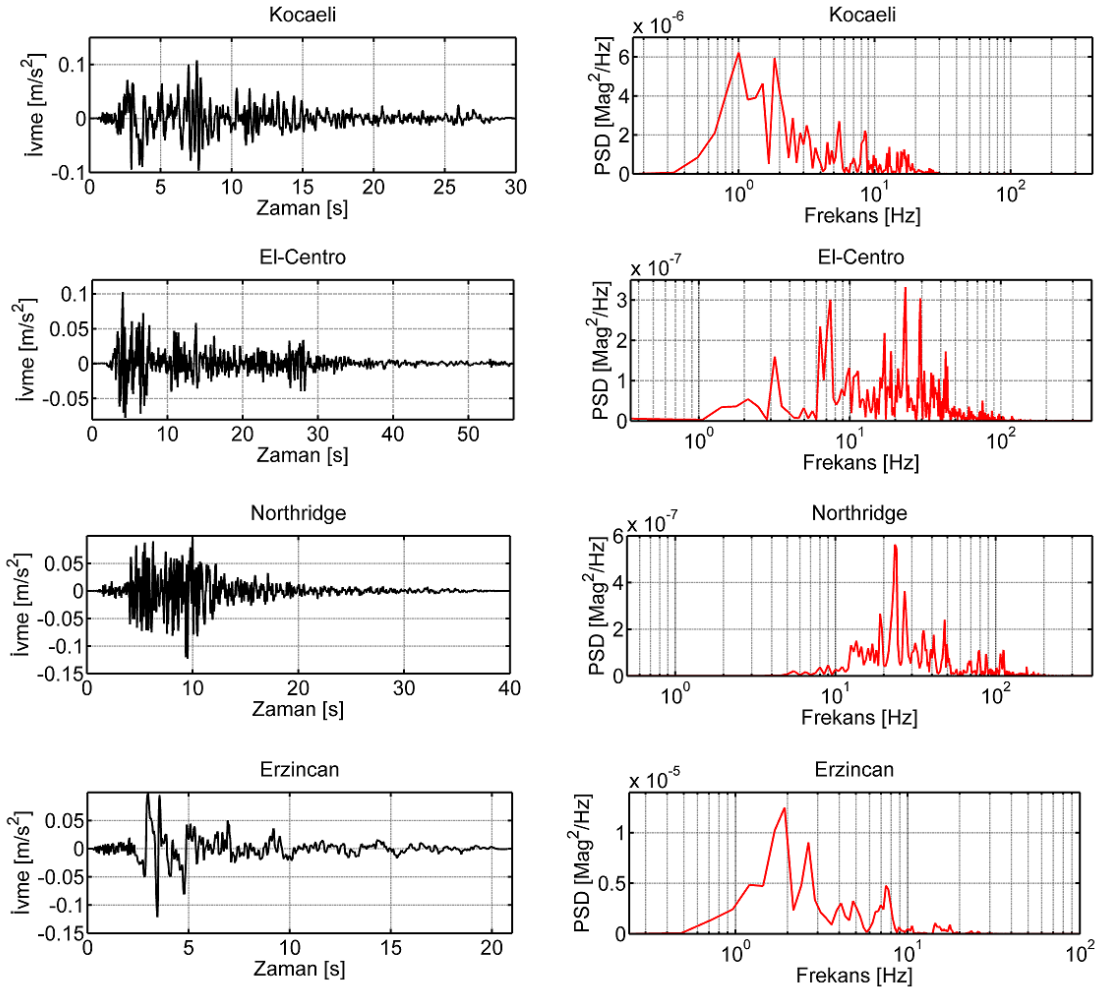
Bina modelinin doğal frekanslarından üretilmiş tahrikler dışındaki bozucular etkisinde

sistemin tepkisini araştırmak için Tablo 2.3'te özellikleri verilen Kocaeli, El-Centro, Northridge ve Erzincan depremlerine ait veriler kullanılmıştır.

Tablo 2.3 Depremlere ait veriler

Depremler	Tarih	şiddet M_w	Maksimum İvme m/s^2
Kocaeli	1999	7.6	2.1537
Northridge	1994	6.7	3.5153
Erzincan	1992	6.6	4.8610
El-Centro	1940	7.1	3.4286

Bu depremler, sınırlı hareket kapasitesine sahip olan deney sistemine uygun hale getirilmesi amacıyla ölçeklendirilmiştir. Elde edilen tahriklerin ivme ve PSD değerleri şekil 2.4'te verilmiştir.



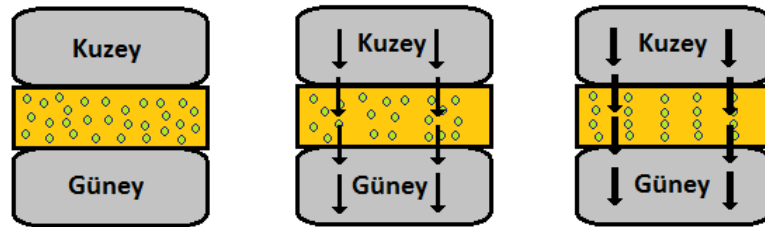
şekil 2.4 Kocaeli, El-Centro, Northridge ve Erzincan Tahriklerine ait ivme ve PSD değeri

Bu depremlere ait veriler, Kocaeli ve Erzincan Tahriklerine ait PSD değerlerinin düşük

frekans bölgesinde daha fazla olduğu, bina modelinin doğal frekanslarına yakın oldukları görülmektedir. El-Centro Tahrik durumundaki PSD değeri, düşük frekans bölgesinde diğer tahriklere nispeten daha az, yüksek frekans bölgesinde ise daha fazladır. Northridge Tahrik durumunda ise, PSD değeri yüksek frekans bölgesinde daha fazladır.

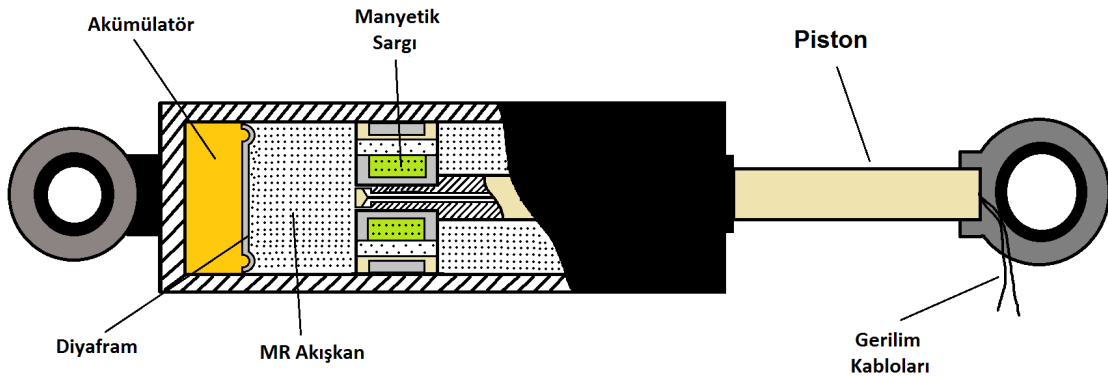
2.2 MR damperler

J. Rabinow tarafından [54] 1940'lı yılların sonlarında keşfedilen MR akışkanlar, kontrol edilebilir özelliğe sahiptir. MR akışkanlar su, yağ veya glikol gibi sıvıların içerisine yaklaşık olarak mikron boyutundaki manyetize edilebilen saf demir taneciklerin yerleştirilmesiyle elde edilir. MR akışkanın yaklaşık yüzde 30'u tanecikli yapıdan, kalan kısım ise sıvılardan oluşur [79].



Şekil 2.5 MR sıvısına uygulanan manyetik alan ile partiküllerin sıralanması

MR akışkanların viskoziteleri, uygulanan manyetik alan ile birlikte çok kısa sürelerde artar ve manyetik alanın ortadan kaldırılmasıyla da tekrar azalır. Şekil 2.5'te MR sıvısının hareketi görülmektedir. Manyetik alan uygulanmasıyla birlikte MR sıvısı içerisindeki partiküller zincir şeklinde dizilerek MR damperin hareket kabiliyetini azaltır. Bu şekilde sönüm miktarı değişmiş olur.



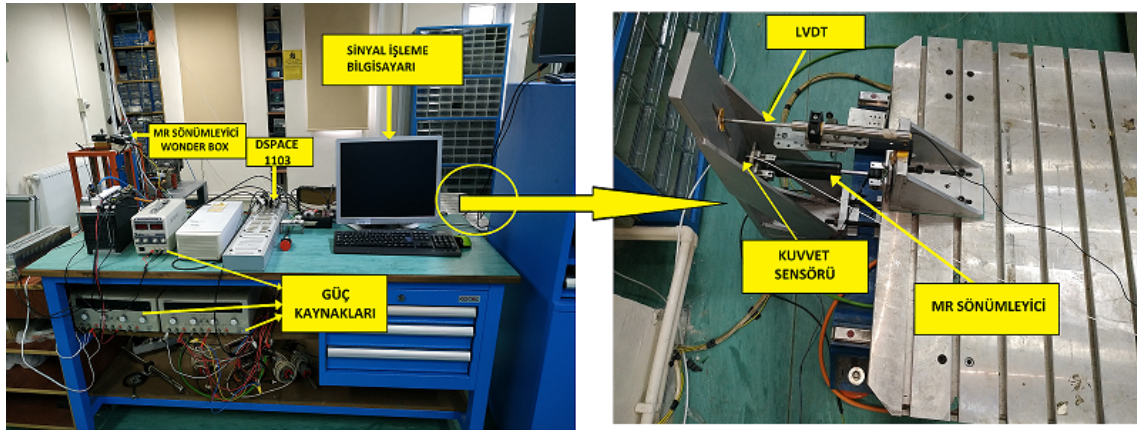
Şekil 2.6 MR damperin şematik modeli

Şematik modeli Şekil 2.6'da görülen MR damperlerin yapısı, bir hidrolik silindir

içerisine yerleştirilmiş MR akışkan, piston, akümülatör ve manyetik sargıdan oluşur. MR damperler, içerisinde bulunan manyetik sargı uçlarına uygulanan gerilim ile kuvvet üretirler. Uygulanan manyetik alanın miktarına göre bu kuvvet artar veya azalır. MR damperlerde manyetik alan, akü veya pil gibi düşük maliyetli, kolay temin edilebilecek basit bir güç kaynağı ile oluşturulabilir. Bu özelliğinden dolayı sistemlere etkiyen tahriklerde, olası bir enerji kesintisinin olması durumunda önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, MR damperlere enerji sağlanmasa bile pasif sönümleme elemanı gibi davranır. MR damperler, ucundaki harekete göre sınırlı miktarda kuvvet ürettiklerinden dolayı sisteme doğrudan enerji vermezler. Bu durum, sistemde kararsızlıklara neden olmaması bakımından önemli bir avantajdır [4]. MR damperlerin diğer bir önemli avantajı ise, piston dışında başka bir hareketli parçasının olmaması nedeniyle yapısında meydana gelebilecek sorunların minimum olmasıdır.

2.2.1 MR damperin Histerezis Karakteristiğinin Belirlenmesi

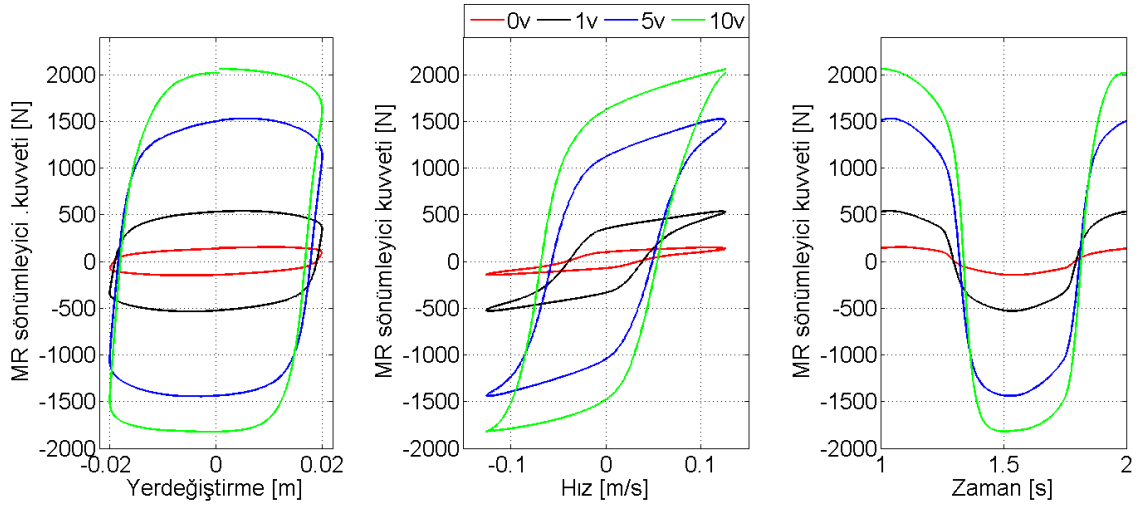
Şekil 2.5'te MR sıvıların uygulanan manyetik alan ile akış karakteristiğinin nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.7 MR damperin karakteristiğini belirlemek için kullanılan test düzeneği

Viskozite ve sıcaklık gibi etkenler, MR akışkanların içlerindeki partiküllerin etkileşimlerini etkileyerek MR damperin lineer olmayan histerezis karaktere sahip olmasına neden olur. Bu karakteri belirlemek için kullanılan deney düzeneği Şekil 2.7'de görülmektedir.

Bu tez çalışmasında Lord RD 8041-1 tipi MR damper kullanılmıştır. MR damperin iletilen gerilimlere bağlı olarak ürettiği kuvvet karakteristiğini belirlemek amacıyla, Yıldız Teknik Üniversitesi Titreşim Araştırmaları ve Kontrolü Laboratuvarı'nda deneyler yapılmıştır. 1 Hz ve 20mm'lik sinüzoidal girişe karşılık MR damperin kuvvet-yer değiştirme ve kuvvet-hız eğrileri Şekil 2.8'de görülmektedir. Tablo 2.4'te



Şekil 2.8 MR damperin karakteristik eğrileri

MR damperin 0v-10v arasında uygulanan gerilimlere karşı ürettiği maksimum kuvvet ve kuvvet RMS değerleri görülmektedir. MR damperin ürettiği maksimum kuvvetler gerilim uygulanmadığında 154.23 N ve 10v gerilim uygulandığında ise 2060 N olarak ölçülmüştür. Kuvvet RMS değeri ise gerilim uygulanmadığında 114.38 N ve 10v gerilim uygulandığında 1651.9 N'dur.

Tablo 2.4 MR damperin kuvvet değerleri

Gerilim [V]	Maksimum Kuvvet [N]	Kuvvet RMS değeri [N]
0	154.23	114.38
1	538.86	435.28
2	908.97	725.80
3	1211.88	960.67
4	1385.12	1133.37
5	1528.76	1243.41
6	1672.03	1334.21
7	1773.71	1415.65
8	1868.12	1479.39
9	1942.11	1555.61
10	2059.99	1651.90

3

KONTROL TASARIMLARI

Bu tez çalışmasında, yarı-aktif kontrol uygulamasındaki MR dampere gönderilen gerilimi belirlemek için iki farklı kontrol yöntemi kullanılacaktır. Bunlar; dayanıklı H_∞ kontrol ve yerdeğiştirme tabanlı Grundhook kontroldür.

3.1 Dayanıklı Kontrol Tasarımı

Gerçek sistemler ile matematiksel modeller arasında dış bozucular ve ölçüm gürültüsü gibi farklılıkların olması, kontrol sisteminde dayanıklılığın önemini ortaya koyar. Geribildirim kontrol mekanizmaları bozulma sinyalleri, gürültü etkisi, modellenmemiş sistem dinamikleri ve sistem parametresi varyasyonları gibi etkileri minimize etmek için yapılır [80]. Bu tez çalışmasında, indirgenmiş dereceli modele (İDM) dayalı dayanıklı kontrol dizaynı yapılarak, tam dereceli modele (TDM) uygulanacaktır.

3.1.1 Sistemi Tanımlama ve Model İndirgeme

Kontrol dizaynı, bir sistemin bütün modları dikkate alınarak yapılabilir. Çok katlı binalar, köprüler gibi yapısal sistemlerde meydana gelen titreşimlerde, düşük frekanslı modların katkısı yüksek frekanslı modlara kıyasla daha fazladır. Düşük frekanslı modların kontrolüyle, sistem titreşimleri büyük oranda bastırılabilir [81]. Bu nedenle yapısal sistem, ilk iki modu dikkate alınarak yapılan kontrol tasarımıyla kontrol edilebilir. Modellenen yapısal sisteme ait TDM'nin fiziksel koordinatları aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{x}_f = A_f x_f + B_f u \quad (3.1)$$

$$y_f = C_f x_f \quad (3.2)$$

$$A_f = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M_f^{-1}K_f & -M_f^{-1}C_f \end{bmatrix}, B_f = \begin{bmatrix} 0 \\ -M_f^{-1}F_f \end{bmatrix}, C_f = \begin{bmatrix} C_y & 0 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Burada C_y vektörü, geri besleme için ölçüm yerini temsil eder.

$$C_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

En genel halde sistem matrisi,

$$P_f(s) = \begin{bmatrix} A_f & B_f \\ C_f & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

olarak ifade edilir. Model indirgeme için, sistemin fiziksel uzaydan modal uzaya dönüştürülmesi gerekir. Fiziksel uzaydan modal uzaya geçiş, aşağıdaki operatör kullanılarak gerçekleştirilebilir.

$$\eta = \begin{bmatrix} \eta_1 & \eta_2 & \eta_3 & \eta_4 & \eta_5 & \eta_6 & \eta_7 & \eta_8 & \eta_9 & \eta_{10} & \eta_{11} \end{bmatrix}^T \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6)'daki dönüşüm vektörü kullanılarak, modal uzaydaki denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\ddot{\eta} + C_f \dot{\eta} + K_f \eta = H_f f \quad (3.7)$$

Burada $x = \Phi \eta$ ve $\Phi^T M_f \Phi = I$ olmak üzere C_f , K_f ve H_f matrisleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$C_f = \Phi^T C_s \Phi = \text{diag}[c_{11}, c_{22}, \dots, c_{ii}, \dots, c_{1010}, c_{1111}] \quad (3.8)$$

$$K_f = \Phi^T K_s \Phi = \text{diag}[\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_{11}], (\omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_{11}) \quad (3.9)$$

$$H_f = \Phi^T H_s = [H_1, H_2, \dots, H_i, \dots, H_{11}]^T \quad (3.10)$$

şeklindedir. Modal uzaya taşınan sistemde ilk iki mod, indirgenmiş sistem modelini oluşturur. İndirgenmiş modal formda sistem;

$$\eta_r = \begin{bmatrix} \eta_1 & \eta_2 \end{bmatrix}^T \quad (3.11)$$

olmak üzere,

$$\ddot{\eta}_r + C_r \dot{\eta}_r + K_r \eta_r = H_r f \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, $C_r = [c_{11}, c_{22}]$, $K_r = [\omega_1^2, \omega_2^2]$, $H_r = [H_1, H_2]^T$ şeklindedir.

$x = \Phi_{12} \eta_r$ olmak üzere, indirgenmiş formda durum uzayı denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\dot{x}_r = A_r x_r + B_r u \quad (3.13)$$

$$y_r = C_r x_r \quad (3.14)$$

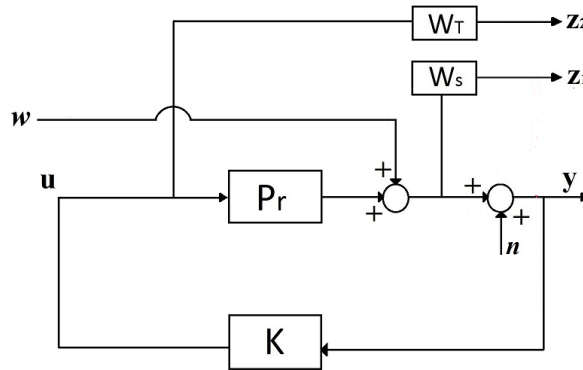
Son aşamada, indirgenmiş model kontrol tasarımı için fiziksel uzaya yeniden dönüştürüldüğünde, $\Phi_y = C_r \Phi_{12}$ olmak üzere, aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_r = \begin{bmatrix} A_r & B_r \\ C_r & 0 \end{bmatrix}, A_r = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -K_r & -C_r \end{bmatrix}, B_r = \begin{bmatrix} 0 \\ H_r \end{bmatrix}, C_r = \begin{bmatrix} \Phi_y & 0 \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

3.1.2 H_∞ Kontrol Dizaynı

Gerçek kontrol sistemleri belirsizlikler içerir. Bu belirsizlikler gürültü sinyalleri ve dinamik bozucu etkiler olarak iki kategoride analiz edilebilir. Dinamik bozucu etkiler, matematiksel model ile gerçek sistem dinamiği arasındaki farklardır [82]. Kontrol sisteminin performansını ve kararlılığını etkileyen bu modelleme hatalarının yanı sıra, sistemlerde modellenemeyen yüksek frekanslı dinamikler de önemli problemlerdir. Bu tez çalışmasında kullanılan yapısal sistem modelinde kütle, sönüm ve rijitlik nedeniyle bir değişiklik olmadığı varsayılarak parametrik belirsizlik dikkate alınmamıştır. Bu çalışmadaki belirsizliğin kaynağı, indirgenmiş modele bağlı yapısal olmayan belirsizliklerdir. Dikkate alınmayan yüksek frekansların neden olduğu belirsizliklerin sistem tepkisi üzerindeki olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır [78]. Bu şekilde ifade edilen belirsizlikler yapısal olmayan belirsizlikler olarak ifade edilir ve kontrol sisteminde Δ gibi tek bir blokta toplanabilir. Δ bilinmeyen bir transfer fonksiyonu olarak sistemin toplam belirsizliği olarak ifade edilir ve nominal model (indirgenmiş model) $P_r(s)$ ile gerçek sistem modeli $P_f(s)$ arasındaki fark olarak ifade edilir.

$$\Delta_t(s) = P_f(s) - P_r(s) \quad (3.16)$$



Şekil 3.1 Genişletilmiş Sistem Yapısı

Şekil 3.1’de genişletilmiş sistem yapısı görülmektedir. Burada P_r İDM sistem, w giriş tahrikidir. K , ölçülen y yanıtına göre kontrol sinyali u ’yu üreten kontrolördür. W_t ve W_s filtreleri, toplam belirsizlik ve sistem çıkış filtreleri, z_1 ve z_2 çıkışı, frekans ağırlıklı regüle edilmiş yanıt ve regüle edilmiş kontrol sinyali olarak ifade edilir. n , ölçüm gürültüsüdür. H_∞ kontrol tasarımının temel amacı, geri bildirim sisteminin belirsizliklere karşı dayanıklılığı ve kararlılığıdır. Şekil 3.1’deki kontrol sisteminin blok diyagramı dikkate alınarak, bu kontrol yapısındaki iki temel transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$S(s) = \frac{1}{I - P_r(s)K(s)} \quad (3.17)$$

$$T(s) = \frac{K(s)}{I - P_r(s)K(s)} \quad (3.18)$$

$T(s)$ tamamlayıcı hassaslık transfer fonksiyonu, $S(s)$ hassaslık transfer fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. $T(s)$ ve $\Delta_t(s)$ ’in kararlı olduğu varsayılarak, geri besleme sistemi, toplam belirsizlik için kontrol sistemindeki tüm belirsizliklere karşı sağlam ve kararlı olabilir.

$$|\Delta_t(j\omega)| \leq |W_t(j\omega)|, \quad \forall \omega \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.19)’deki koşulu karşılayan W_t filtresini kullanarak, w ’den z_2 ’ye olan norm şartı aşağıdaki gibi oluşturulabilir.

$$\|W_t T(s)\|_\infty < 1 \quad (3.20)$$

H_∞ kontrol tasarımındaki bir diğer hedef, geri besleme kontrol sisteminin performansını arttırmaktır. Bozucunun (w), çıktı (y) üzerindeki etkisinin azaltılması, sistemin tepki performansının iyileştirilmesiyle elde edilebilir. $\bar{\sigma}$ tekil değerini ifade etmek için bu problem, kapalı döngü sisteminin kararlılık durumuna bağlı olarak eşitlik (3.21)’in en aza indirilmesidir.

$$\|S(s)\|_\infty = \sup \bar{\sigma}[S(s)] \quad (3.21)$$

W_s filtresi kullanılarak w ile z_1 arasındaki norm şartı aşağıdaki gibi oluşturulabilir.

$$\|W_s S(s)\|_\infty < 1 \quad (3.22)$$

Uygulamalarda, yüksek frekans aralığındaki kontrol sistemlerinin hassasiyetleri düşük frekans aralığından daha yüksektir. Bu nedenle dayanıklı kararlılığı sağlayabilmek için, yüksek frekans bölgesindeki kontrol kazancının düşük olması, düşük frekans bölgesinde ise kontrol kazancının yüksek olması amaçlanmaktadır. Bu koşulları

birlikte yerine getirme sorunu, karışım hassaslık sorunu olarak ifade edilir. Bu tip kontrolör, karışım hassasiyet yapısında olan H_∞ kontrolcüdür [82]. Şekil 3.1'deki blok diyagram dikkate alınarak, w 'den z_1 ve z_2 'ye kapalı döngü transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir.

$$z_1 = W_s y \quad (3.23)$$

$$z_2 = W_t u \quad (3.24)$$

$$u = Ky \quad (3.25)$$

$$\frac{z_1}{w} = W_s(I + P_r K)^{-1} = W_s S \quad (3.26)$$

$$\frac{z_2}{w} = W_t K(I + P_r K)^{-1} = W_t T \quad (3.27)$$

$$G_{zw} = \begin{bmatrix} W_s S \\ W_t T \end{bmatrix} \text{ sistemi için karışım hassaslık } H_\infty = \left\| \begin{bmatrix} W_s S \\ W_t T \end{bmatrix} \right\|_\infty \text{ şeklinde sağlanır.}$$

$$\left\| \begin{bmatrix} W_s S \\ W_t T \end{bmatrix} \right\|_\infty < \gamma \quad (3.28)$$

Burada, γ dizayn parametresidir.

3.1.3 Frekans Şekillendirme Filtrelerinin Seçimi

H_∞ kontrolcü tasarımındaki bir diğer kritik adım, frekans şekillendirme filtrelerinin seçimidir. Genel olarak seçilen filtrelerin belirsizlikleri kapsamaları gerekir. Bu amaçla, seçilen filtrelerden W_s belirsizlik etkisinde kontrol sisteminin hassasiyetini azaltmak amacıyla sabit olarak seçilir. W_t filtresi ise aşağıdaki gibi seçilir.

$$W_t = k_w \frac{s^2 + 2\xi_{nm}\omega_{nm}^2 s + \omega_{nm}^2}{s^2 + 2\xi_{dm}\omega_{dm}^2 s + \omega_{dm}^2} \quad (3.29)$$

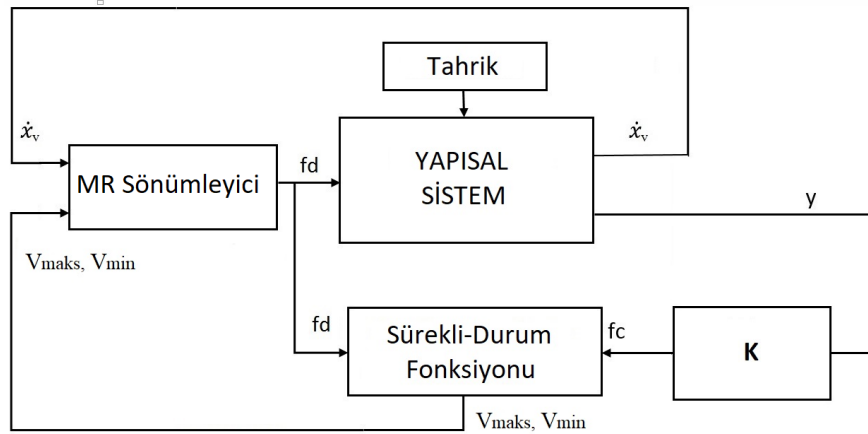
Burada, ω_{nm} ve ω_{dm} sırasıyla kontrol edilecek son mod ve kontrolün yapılmadığı ilk mod frekanslarıdır. Frekanslara benzer şekilde, ξ_{nm} and ξ_{dm} modların sönüm oranları olarak ifade edilir.

3.1.4 Kontrolcünün Yarı aktif Sisteme Uygulanması

Yarı aktif kontrol sisteminde, MR damperin gerekli kuvveti üretmesi için iletilen voltajın değiştirilmesi gerekir. Bu amaçla, sürekli durum fonksiyonu aşağıdaki gibi kullanılır [83].

$$\begin{aligned} \text{Eğer, } G_{MR}(f_c - f_d) \operatorname{sgn}(f_d) > V_{\max}, v &= V_{\max} \\ \text{veya, } G_{MR}(f_c - f_d) \operatorname{sgn}(f_d) < V_{\min}, v &= V_{\min} \\ \text{değilse, } v &= G_{MR}(f_c - f_d) \operatorname{sgn}(f_d) \end{aligned} \quad (3.30)$$

Burada $V_{\max}$ ve $V_{\min}$ sırasıyla MR dampere iletilen maksimum ve minimum gerilimi temsil eder. f_c sistem için gerekli olan kontrol kuvvetidir ve kontrolör tarafından hesaplanır. f_d , MR damper tarafından üretilen kuvvettir ve sistemden ölçülür. G_{MR} , MR damper kontrol kazancıdır. H_{∞} kontrolün sürekli durum algoritması ile yarı



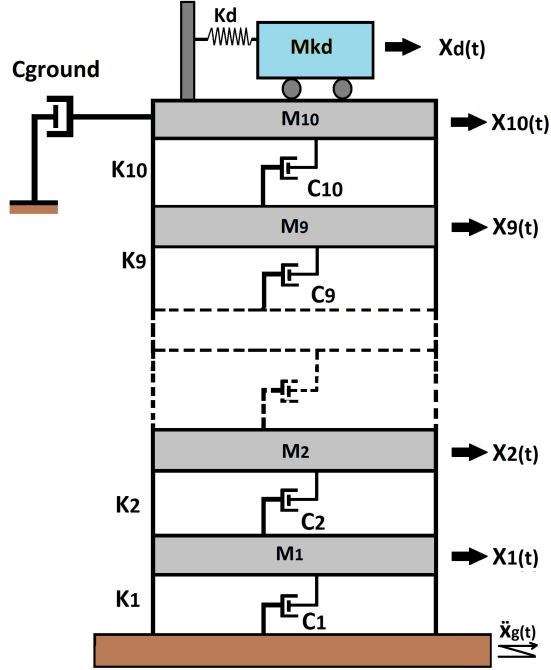
Şekil 3.2 Genel yarı aktif kontrol şeması

aktif sisteme uygulanması Şekil 3.2'de gösterilmektedir. K kontrolörünün ölçülen y yanıtına göre ürettiği kontrol kuvveti f_c ile sistemden ölçülen $\dot{x}_v$ (MR damperin sisteme bağlı olduğu katın hızı) hızına göre üretilen MR damper kuvveti f_d 'nin sürekli durum fonksiyonunda karşılaştırılmasıyla elde edilen gerilimler MR dampere iletilir. Daha sonra, bu gerilimlerle MR damper tarafından üretilen kuvvetler sisteme beslenir ve yarı aktif kontrol sağlanır.

3.2 Groundhook Kontrol Dizaynı

Şekil 3.3'de gösterilen Groundhook konfigürasyonu pratikte gerçekleştirilemez. Çünkü sönümleyici hareketsiz bir atalet çerçevesine sabitlenemediğinden dolayı, bu yarı aktif kontrol politikasının amacı, yapı ile toprak arasındaki pasif bir

sönümleyicinin ideal yapısal konfigürasyonunu taklit etmektir [63, 84]. Şekil 3.3'te rölatif hız, yapının hızının YAKS'nin hızından ($\dot{x}_{10} - \dot{x}_d$) çıkarılmasıyla elde edilir. Yerdeğiştirmeye dayalı Groundhook kontrol politikasında rölatif hız, x_{10} yerdeğiştirmesi kullanılarak tanımlanır. Groundhook kontrol algoritmasında, komut



Şekil 3.3 Groundhook kontrol uygulaması

gerilimi minimum ve maksimum seviye arasında değiştirilir ve aşağıdaki koşullara göre gerçekleştirilir:

$$V = \begin{cases} V_{max} & \text{Eğer } x_{10}(\dot{x}_{10} - \dot{x}_d) \leq 0 \\ V_{min} & \text{Eğer } x_{10}(\dot{x}_{10} - \dot{x}_d) > 0 \end{cases} \quad (3.31)$$

Eşitlik (3.31)'de görüldüğü gibi, Groundhook kontrolüne dayanan komut ile MR dampere gönderilen gerilim belirlenebilir. Bu basitlik nedeniyle bu kontrolör gerçek zamanlı kontrol için olumlu bir şekilde kullanılmış ve yapısal kontrolde başarıyla uygulanmıştır [63].

SİMÜLASYON ÇEVİRİMİNDE DONANIM YÖNTEMİYLE PERFORMANS ANALİZİ

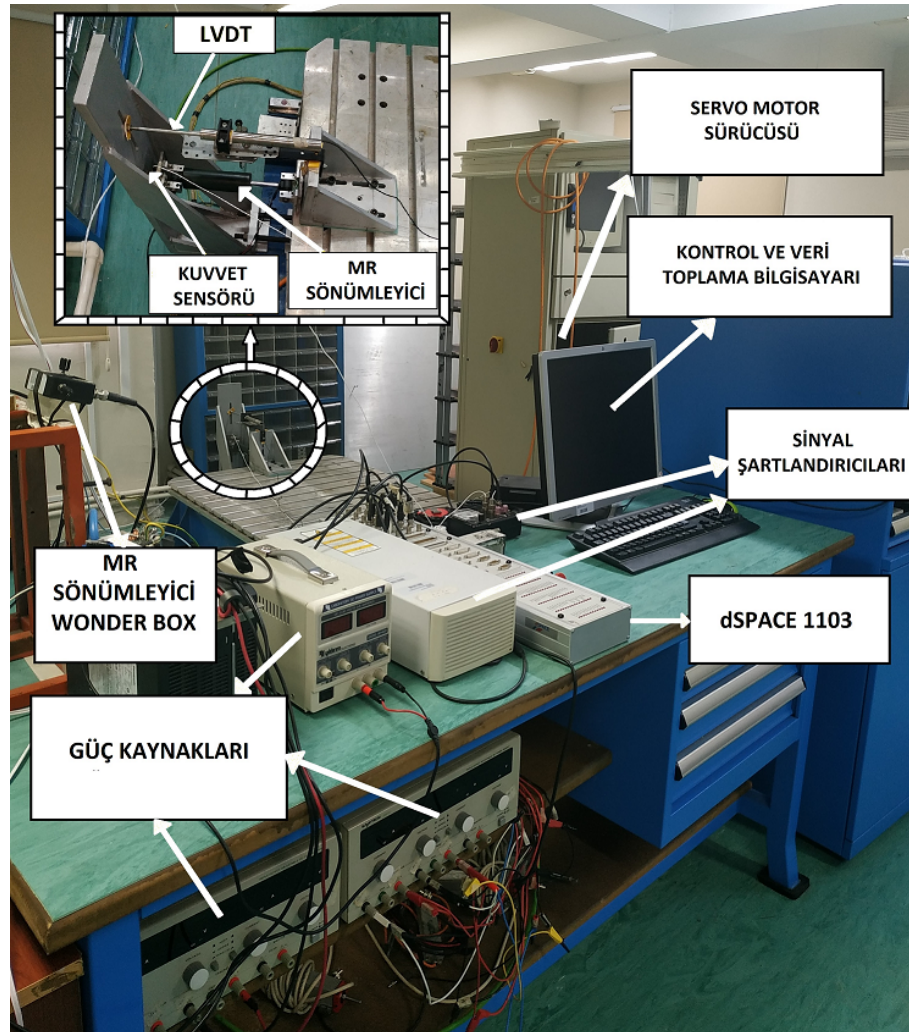
4.1 Deney Düzenekinin Tanıtımı

SÇD metodunun uygulamasındaki temel amaç, kontrol sisteminin belirli bir kısmının deneysel olarak kurulması, kalan kısımlarının da simülasyon olarak modellenmesiyle birlikte bu iki kısmın eş zamanlı olarak çalıştırılmasıdır. Bu tez çalışmasında, yapısal sistem kontrolü için kritik önem arzeden, binanın 10. katı ile YAKS arasına yerleştirilen MR damper deneysel olarak kurulmuş, sistemin kalan kısımları da sayısal simülasyon olarak modellenmiştir. SÇD yönteminin yazılım kısmındaki binanın matematiksel modeli ve kontrol algoritmaları Matlab-Simulink yazılımları ile elde edilmiştir. Şekil 4.1’de görülen deneysel kısım ise MR damper, sensörler ve bilgisayardan oluşmaktadır. Bu iki kısım arasındaki bağlantı dSpace ACE Kit 1103 ara yüzü ile gerçekleştirilir. SÇD yöntemiyle YAKS’nin kontrol performansını test etmek için, Yıldız Teknik Üniversitesi Titreşim Araştırmaları ve Kontrolü Laboratuvarında bulunan titreşim tablası kullanılmıştır. Tek eksenli olan bu mekanizma elektromekanik tahriklidir.

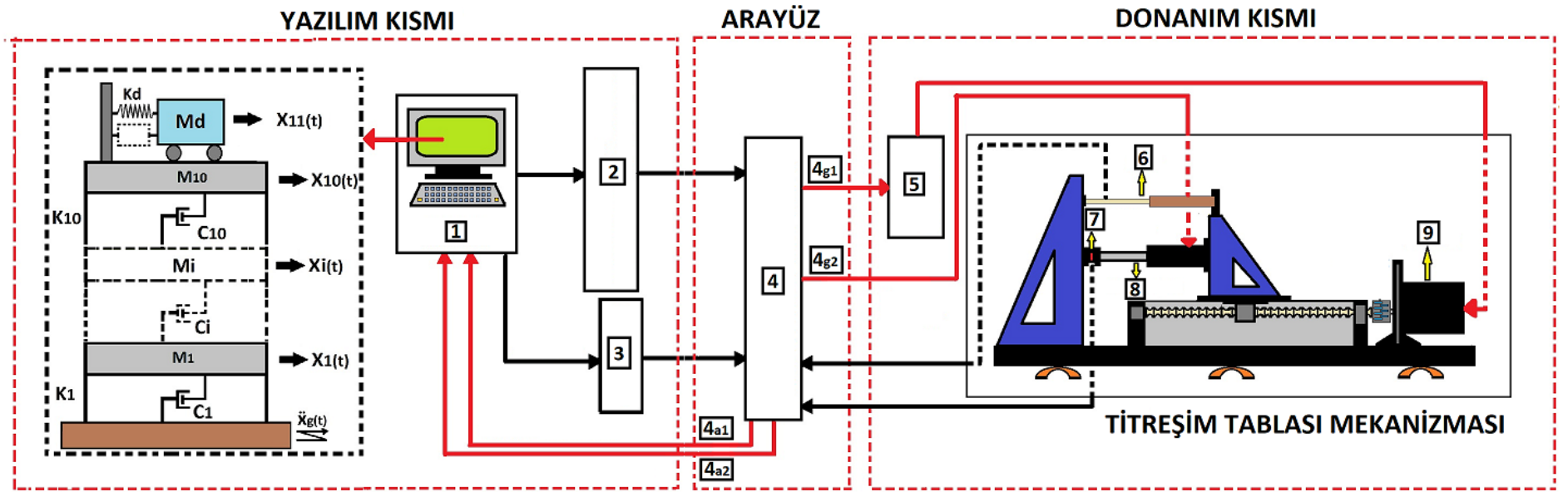
Titreşim tablası mekanizmasının ve ölçülen kuvvet değerlerinin simülasyona uygulanması, dSpace ACE Kit 1103 ara yüzü ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel kısımda, kuvvet ve rölatif yerdeğiştirme ölçülmektedir. Rölatif yerdeğiştirme ölçümlerinde, bir adet Amatek-solartron doğrusal değişken pozisyon sensörü (LVDT), kuvvet ölçümünde bir adet Dytran kuvvet sensörü kullanılmıştır. Bir adet RD- 8041-1 tipi MR damper kullanılmıştır. Kuvvet sensörünün ve LVDT’nin gerilim beslenmesi için ayarlanabilir güç kaynakları kullanılmıştır. Bir adet bilgisayar, dSpace ara yüzü ile haberleşerek veri işleme, kontrol ve titreşim tablasının sürülmesinde kullanılmıştır.

SÇD yönteminin uygulamasında dair şematik görünüm, Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Burada ilk olarak, Matlab-Simulink programıyla motor hareketi elde etmek amacıyla rölatif hız değerleri ve MR damperin sistem kontrolünde gerekli kuvveti üretebilmesi için gerekli gerilim değerleri, dSpace arayüzüne iletilir. Daha sonra titreşim tablasının hareket ettirilmesiyle MR damper bilgisayar simülasyonundaymış gibi hareket ettirilir.

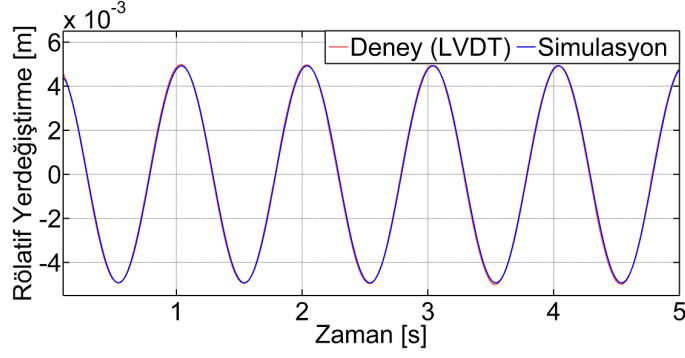
MR sönümleyicinin hareketiyle birlikte uç kısmına bağlı olan kuvvet sensörünün okuduğu değerler yine dSpace arayüzü aracılığıyla bilgisayar simülasyonuna iletilerek sistem kontrol edilmiş olur. SÇD metodu uygulaması bu şekilde devam eder.



Şekil 4.1 Deney sisteminin genel görünüşü



Şekil 4.2 SCD metodunun şeması



Şekil 4.3 Deney sistemi rölatif yerdeğiştirme hareketi

Tablo 4.1’de SÇD metodunun tüm bölümleri ile ilgili bileşenler verilmiştir. Deney setinin istenilen rölatif yer değiştirmeyi doğru bir şekilde yapıp yapmadığını kontrol etmek amacıyla, deney sistemine 1 Hz ve 20 mm’lik sinüzoidal giriş gönderilerek sonuçlar simülasyon verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.3’te titreşim tablası mekanizmasının istenilen hareketi yerine getirebildiği görülmektedir.

Tablo 4.1 SÇD metodunun uygulama adımları

Numara	Bileşen
1	Yazılım ve simülasyon
2	Hesaplanan Servo motor gerilimi
3	Kontrol gerilim
4	dSpace Arayüzü
4g1	Servo motro sürücüsüne iletilen gerilim sinyali
4g2	Kontrol gerilimi
4a1	Ölçülen relatif yerdeğiştirme
4a2	Ölçülen MR damper kuvveti
5	Servo Motor Sürücüsü
6	LVDT
7	Kuvvet sensörü
8	MR damper
9	Servo motor

4.2 Yapısal Sistem Cevap Analizi ve Bulgular

4.2.1 İncelenen Yarı aktif Kontrol Durumları

Şekil 2.1’deki bina modellerinde kullanılan MR dampere iletilen gerilim değerini belirlemek için, dayanıklı H_{∞} kontrol ile yerdeğiştirme tabanlı Groundhook kontrol algoritmaları dizayn edilerek YAKS’nin yapısal sistem cevaplarını iyileştirme performansı incelenmiştir. Kontrolör ile birlikte üretilen gerilim, deney setine bağlanan MR dampere gönderilecek ve buradan okunan kuvvet değeri, simülasyona

Tablo 4.2 Uygulanan kontrol durumları

Kontrol Durumları	Kısaltmalar
Pasif kütle sönümleyicisi	AKS
MR dampere gerilimin gönderilmediği durum	YAKSp
MR dampere Groundhook kontrol algoritmasının uygulanması	YAKSg
MR dampere H_{∞} kontrol algoritmasının uygulanması	YAKSh $_{\infty}$

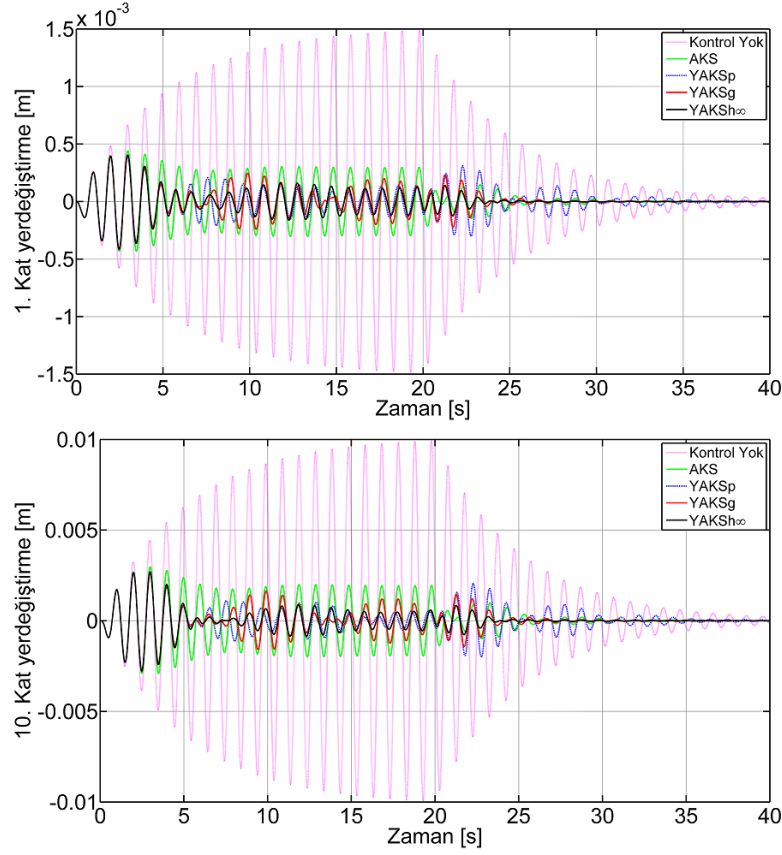
beslenecektir. YAKS'nin farklı kontrol durumları için kısaltmalar Tablo 4.2'de gösterilmektedir. YAKSh $_{\infty}$ sistemin cevaplarını en iyi bir şekilde bastırmak için uygulanmıştır. YAKSg, YAKSh $_{\infty}$ 'un performansını test etmek için uygulanmıştır. Yarı aktif sistemler pasif sistemlerin güvenilirliğine sahiptir. Bu bağlamda YAKSp'nin, MR dampere hiçbir gerilimin gönderilmediği durumda sistem cevaplarına nasıl etki edeceğini test etmek için uygulanmıştır. AKS ise genel olarak YAKS kontrol durumlarının performanslarını değerlendirmek için uygulanmıştır.

AKS ve YAKS'nin yapısal sistemdeki performans analizi, ilk önce kütle oranının 0.020 olduğu duruma göre, daha sonra da Tablo 2.2'de gösterilen tüm kütle oranlarına göre yapılacaktır. Kütle oranının 0.020 olarak alınması, bina modeli ile YAKS arasındaki maksimum rölatif yerdeğiştirmeye göre seçilmiştir. Bu yerdeğiştirme, deney setine bağlı olan MR damperin strok limitini aşmayacak şekilde ayarlanmıştır. AKS'lerde kütle oranının arttırılması ve buna bağlı olarak rijitlik ve sönüm parametrelerinin değişmesi nedeniyle hem pasif kontrol performansı artar hem de rölatif yerdeğiştirme azalır. YAKS'de de bu durumun nasıl değişeceğini incelemek için kütle oranını 0.030'a kadar arttırarak performans analizi gerçekleştirilecektir.

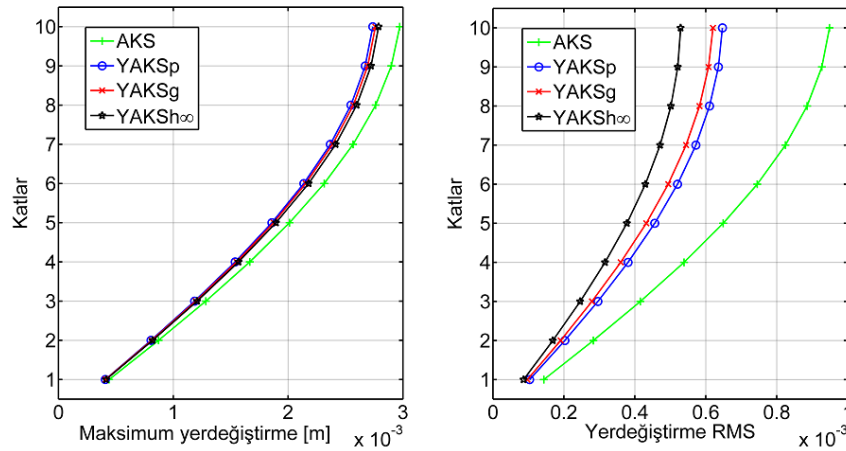
Sistem cevapları, Bölüm 2'de detaylı bir şekilde anlatılan bina modelinin doğal frekansından elde edilen tahrikler (Tahrik-1 ve Tahrik-2) ile deprem verilerinin ölçeklendirilmesiyle elde edilen (El-Centro, Kocaeli, Erzincan ve Northridge) tahrikler olmak üzere, altı farklı tahrik etkisinde incelenmiştir. Yapısal sisteme ait yerdeğiştirme cevapları, ivme cevapları, yerdeğiştirme PSD cevapları ve ivme PSD cevapları verilmiştir. Bütün kontrol uygulamalarında sistem cevapları, kütle oranının 0.020 olduğu durum için 1. kat ve 10. kata ait zaman cevapları, tüm katların maksimum cevapları ile RMS değerleri şeklinde ifade edilmiştir. İncelenen bütün kütle oranlarına göre ise 3 boyutlu eğriler çizdirilmiştir. Ayrıca, bütün kontrol durumlarının sistem cevaplarını azaltma oranları da, yüzde performans olarak gösterilmiştir.

4.2.2 Yerdeğiştirme Cevapları

Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının yerdeğiştirme cevapları Şekil 4.4'te, tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri ise Şekil 4.5'te görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.6'da kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.

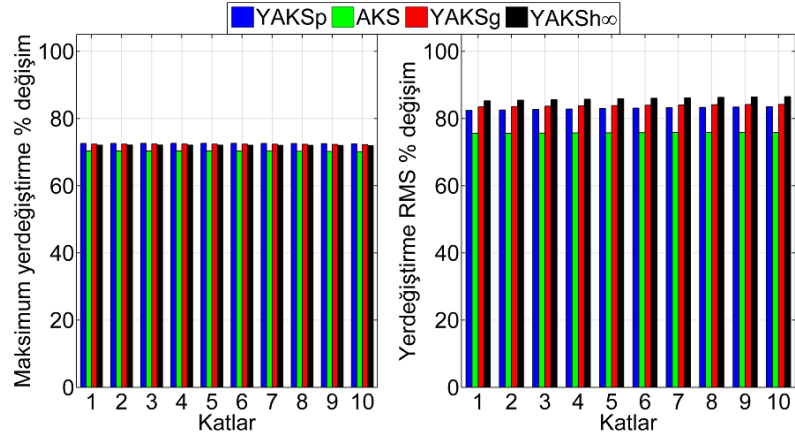


Şekil 4.4 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları

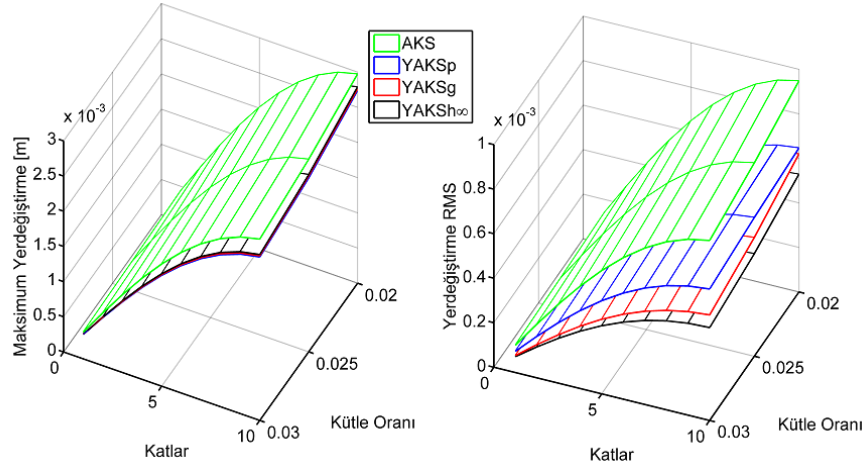


Şekil 4.5 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

Bütün kontrol durumları sistem cevaplarını başarılı bir şekilde bastırmıştır. YAKS kontrol durumlarının performansları AKS'den daha yüksektir. YAKS kontrol durumlarında maksimum yerdeğiştirme cevapları birbirlerine yakın olmasına rağmen, yerdeğiştirme RMS değerlerinde kontrol performansları daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, RMS değerlerinde YAKSh_∞, YAKSg'den daha iyi performans göstermiştir. Hiçbir gerilimin gönderilmediği durum olan YAKSp'nin de sistem cevaplarını bastırma performansı AKS'den yüksektir.



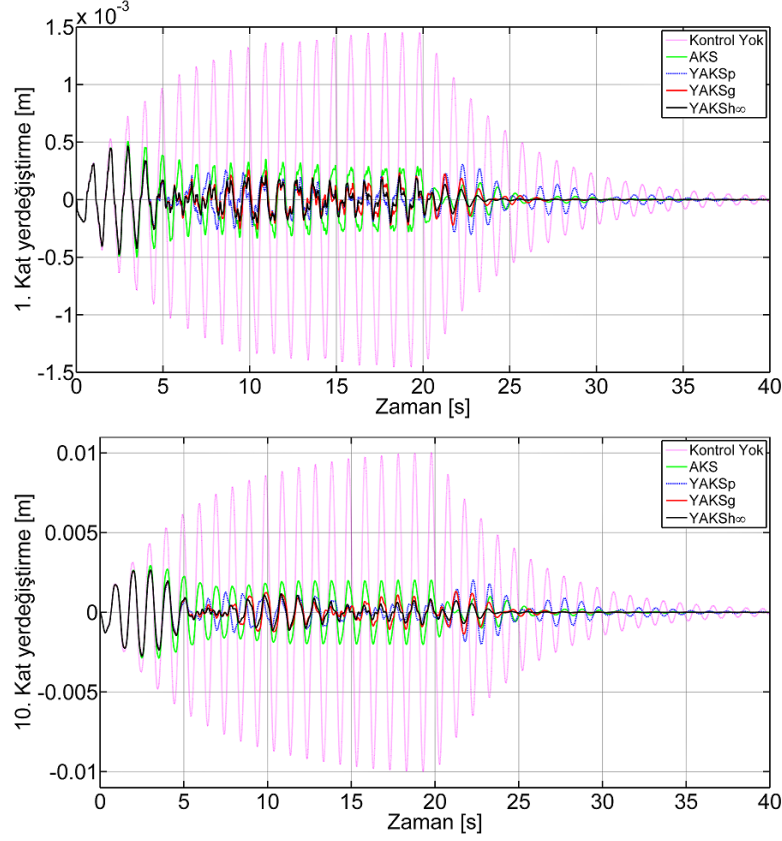
Şekil 4.6 Tahrir-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları



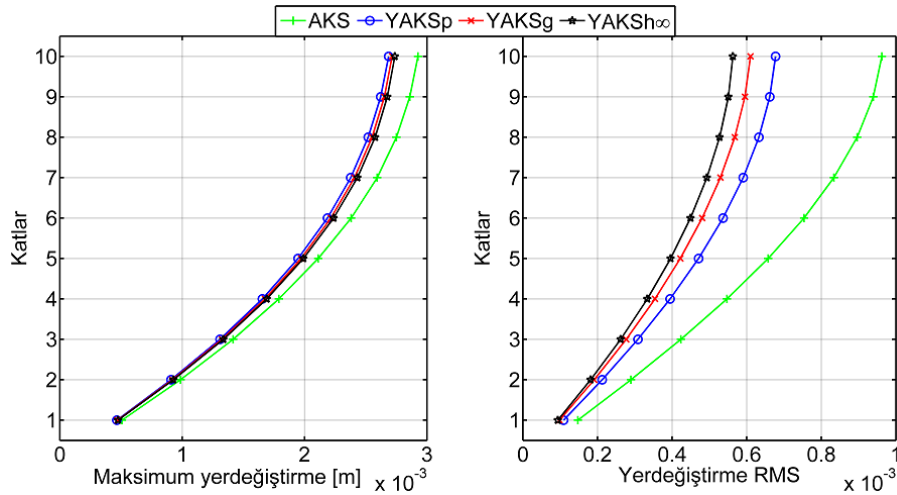
Şekil 4.7 Tahrir-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

Farklı kütle oranlarına göre sistem cevapları Şekil 4.7'de, bu cevaplara ait yüzde performanslar da Ek A'daki Tablo A.1 ve A.2'de verilmiştir. Kütle oranının artmasıyla AKS ve YAKS'nin kontrol performansının arttığı, bu artım miktarının ise en düşük ve en yüksek kütle oranlarında yalnızca %3 civarına olduğu görülmüştür. Bina modelinin bütün katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerlerinin yüzde performansları birbirlerine çok yakındır. Bütün kütle oranlarında en iyi performansı YAKSh_∞ göstermiştir.

Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının yerdeğiştirme cevapları şekil 4.8’de, tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri ise şekil 4.9’da görölmektedir. Ayrıca, şekil 4.10’da kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



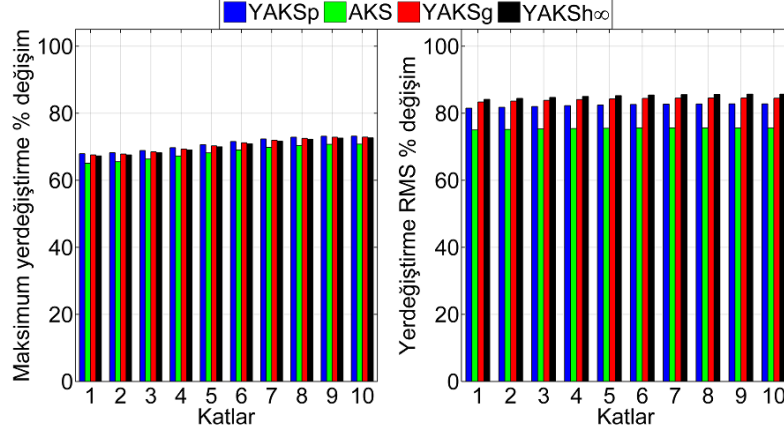
şekil 4.8 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları



şekil 4.9 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

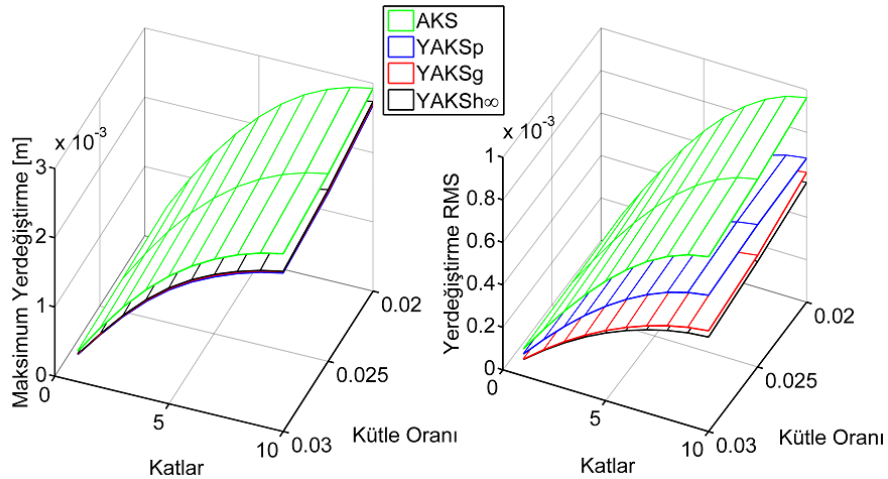
Tahrik-2’de 1. mod frekansı baskın frekans olarak ortaya çıkmıştır. Bu sebeple sistem Tahrik-1 durumuna benzer bir davranış göstermiştir. Bütün kontrol durumları sistem

cevaplarını başarılı bir şekilde bastırmıştır. Şekil 4.8’de 1. katın YAKS ve AKS kontrol durumlarının zaman cevaplarında Tahrik-1’den daha farklı bir cevap karakteristiğinin olduğu görülür. Bu durum ise sistemin, baskın frekans olan 1. mod frekansı dışındaki diğer modlarına ait frekansların etkisidir.



Şekil 4.10 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları

Tahrik-2’de de YAKS kontrol durumları AKS kontrolden daha etkili bir şekilde sistem cevaplarını bastırmıştır. Yine Tahrik-1’deki gibi YAKS kontrol durumlarında maksimum yerdeğiştirme cevapları birbirlerine yakın olmasına rağmen, yerdeğiştirme RMS değerlerinde kontrol performansları daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, RMS değerlerinde YAKSh ∞ , YAKSg’den daha iyi performans göstermiştir. Hiçbir gerilimin gönderilmediği durum olan YAKSp’nin de sistem cevaplarını bastırma performansı AKS’den yüksektir.



Şekil 4.11 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

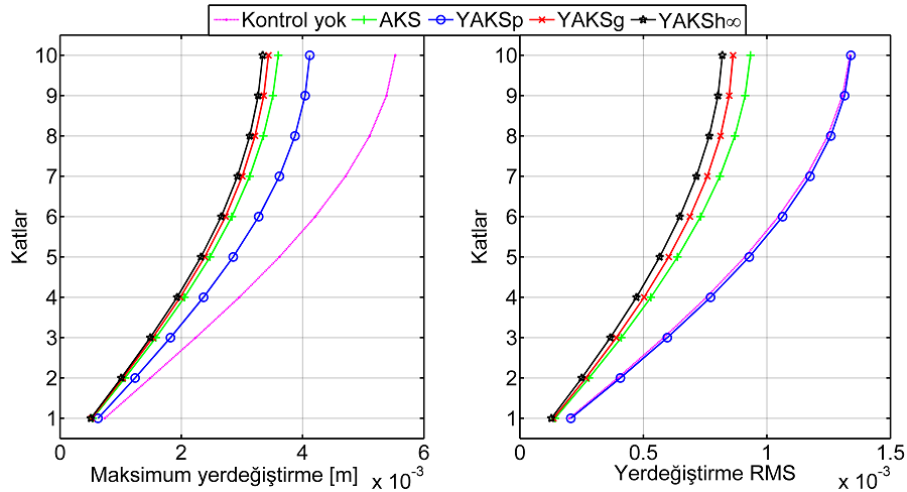
Farklı kütle oranlarına göre sistem cevapları Şekil 4.11’de, bu cevaplara ait yüzde performanslar da Tablo A.3 ve A.4’te verilmiştir. Tahrik-1’de olduğu gibi kütle oranının

artmasıyla birlikte AKS ve YAKS kontrol durumlarının performanslarının arttığı, bu artım miktarının ise %2 ile %5 arasında olduğu görülmüştür. Tahrik-1 etkisinden farklı olarak, katlar arasında performanslarda farklılıklar vardır. En düşük performans 1. katta, en yüksek performans ise 10. katta olduğu tespit edilmiştir. Kütle oranı arttıkça kontrol uygulamalarının performansları artmıştır. Bütün kütle oranlarında en iyi performansı $YAKSh_{\infty}$ göstermiştir.

Bina modelinin doğal frekanslarından üretilen Tahrik-1 ve Tahrik-2 etkisindeki yapısal sistemin yerdeğiştirmelerine ait YAKS ve AKS'nin göstermiş oldukları kontrol performansları birbirlerine yakındır. Tahrik-2'de bina modelinin 1. mod frekansı baskın frekans olarak ortaya çıkmış olup, diğer frekanslar ise Tahrik-1'den farklı olarak kontrol performanslarında düşüşe neden olmuştur.

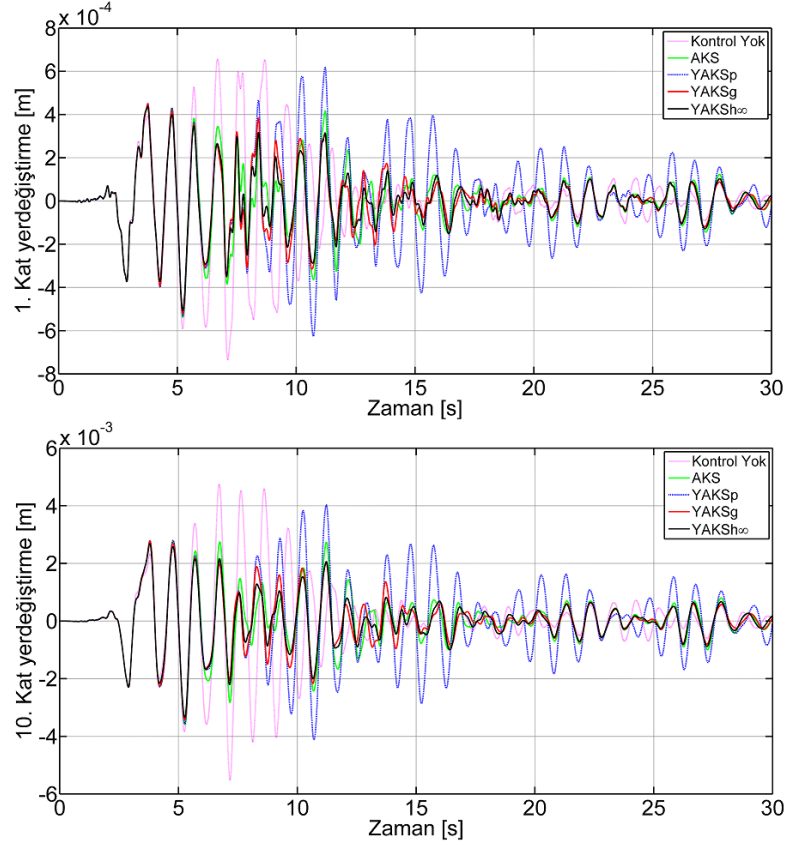
Tahrik-1 ve Tahrik-2 etkisinde 20 saniye süresince rezonans frekansında tahrik edilen sistemde MR damper sistem cevaplarını etkili bir şekilde bastırmıştır. Tahrik etkisi ortadan kalkınca, bina modelinin yerdeğiştirmeleri sıfıra giderken, tahrik etkisine uyum sağlayan MR damperin iç yapısından kaynaklanan anlık kilitlenmeler, bir miktar yerdeğiştirme genliklerini arttırmıştır. Bu artışın sistem cevaplarında önemli bir etkisi yoktur.

Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değeri Şekil 4.12'de, 1. kat ve 10. katının yerdeğiştirme cevapları Şekil 4.13'te görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.14'te kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



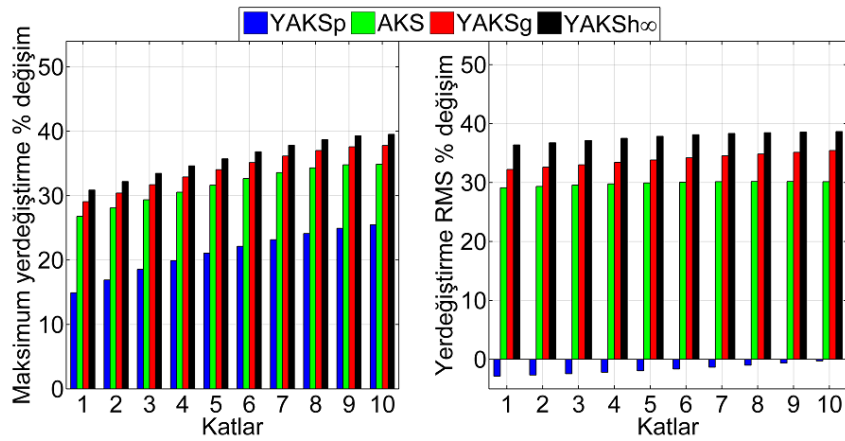
Şekil 4.12 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değeri

Bütün kontrol durumları sistem cevaplarını başarılı bir şekilde bastırmıştır. Fakat, YAKSp, sistemin RMS değeriinin iyileşmesine bir katkı sağlayamamıştır.



Şekil 4.13 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları

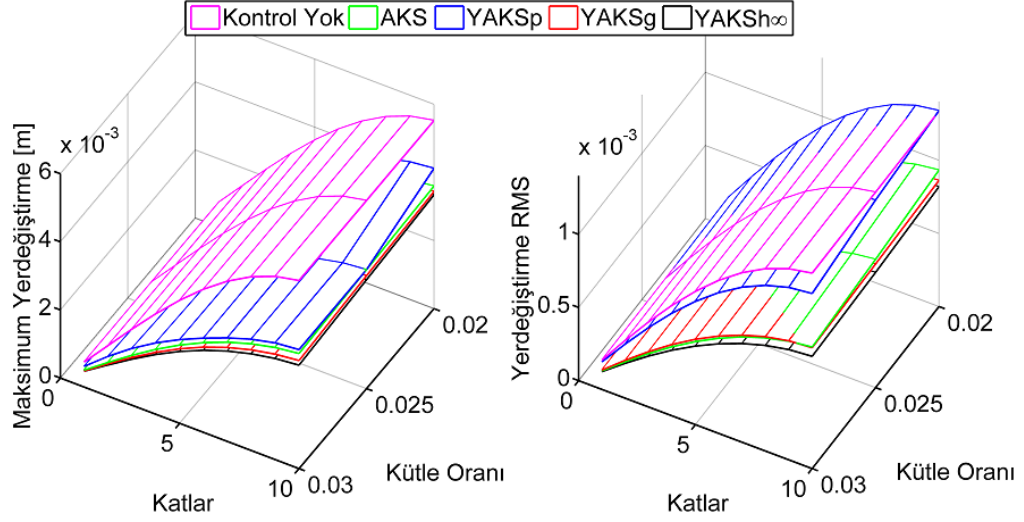
YAKSh_∞ ve YAKSg ise AKS'den daha etkili bir şekilde sistem cevaplarını bastırmıştır. Ayrıca, YAKSh_∞, YAKSg'den daha iyi performans göstermiştir. YAKSp'nin de kontrol performansı AKS'den daha düşüktür.



Şekil 4.14 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları

Kocaeli Tahrik etkisinde bütün kontrol durumlarında sistemin cevap performansları Şekil 4.14'te görülmektedir. Yapısal sistemin doğal frekanslarıyla üretilen tahriklere

oranla kontrol performansları %40-%50 civarında düşmüştür. YAKSp'nin RMS değerlerinde çok küçük bile olsa bir kötüleşme görülmüştür. Yüzde performanslarda yaklaşık olarak %40 ile en iyi performansı YAKSh_∞ göstermiştir.

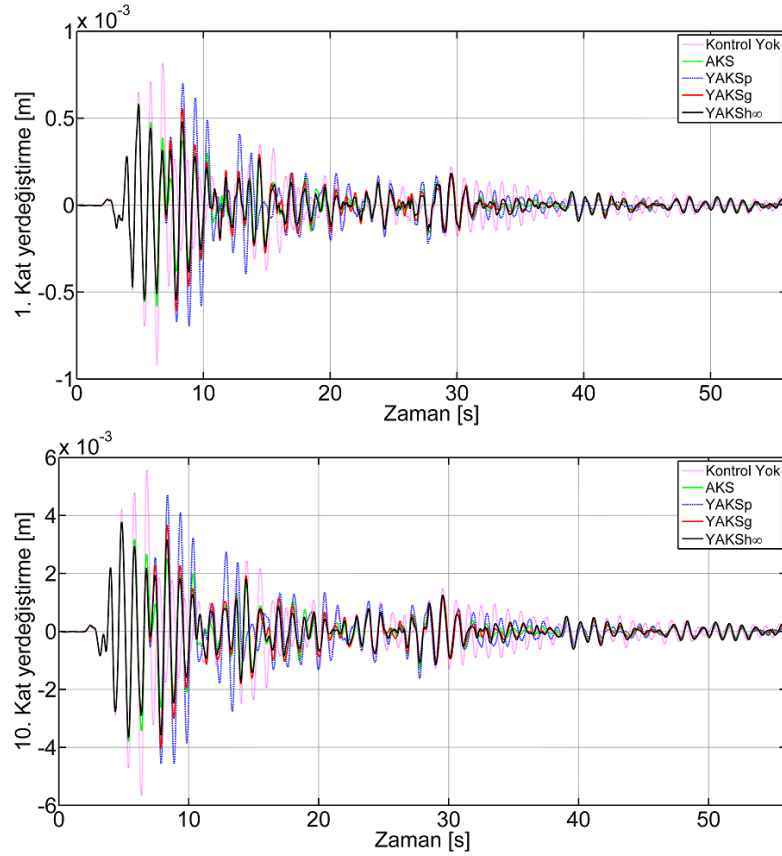


Şekil 4.15 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

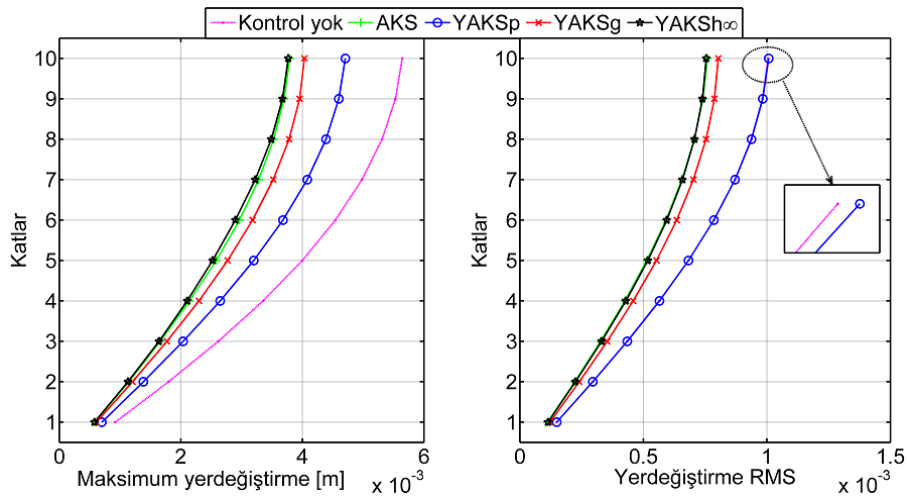
Şekil 4.15'te görülen farklı kütle oranlarına ait yerdeğiştirme cevaplarında da YAKSh_∞ en iyi performansı göstermiştir. YAKSp'nin kütle oranının arttıkça performansının arttığı diğer kontrol durumlarına göre daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Ayrıca, YAKSp'nin performansı AKS'den daha düşüktür. Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin YAKS ve AKS kontrol durumlarına ait farklı kütle oranlarındaki yüzde performanslar Tablo A.5 ve A.6'da görülmektedir. Bütün kütle oranlarında en iyi performansı YAKSh_∞ göstermiştir. Tahrik-1 ve Tahrik-2'de olduğu gibi kütle oranının artmasıyla birlikte sistem cevap performansının arttığı, bu artım miktarının ise en düşük ve en yüksek kütle oranları arasında %5 civarında olduğu görülmüştür.

Bina modelinin katları arasındaki yüzde performans miktarlarındaki farklılık Tahrik-1 ve Tahrik-2'den daha fazladır. Tahrik frekans aralığının artması sadece kontrol performansını düşürmemiş, aynı zamanda bina katları arasındaki performans miktarının daha değişken olmasına neden olmuştur. Örneğin 0.020 kütle oranında YAKSh_∞ kontrol durumu için bina modelinin 1. katının maksimum yerdeğiştirme performans yüzdesi %30.88 iken 10. katıninki ise %39.52'dir. Yani fark yaklaşık olarak %9'dur.

El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının yerdeğiştirme cevapları şekil 4.16'da, tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri ise şekil 4.17'de görölmektedir. Ayrıca, şekil 4.18'de kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.

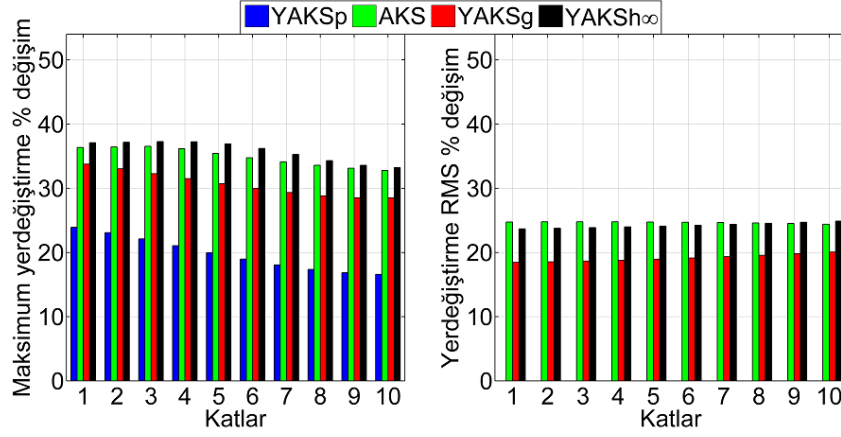


şekil 4.16 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları



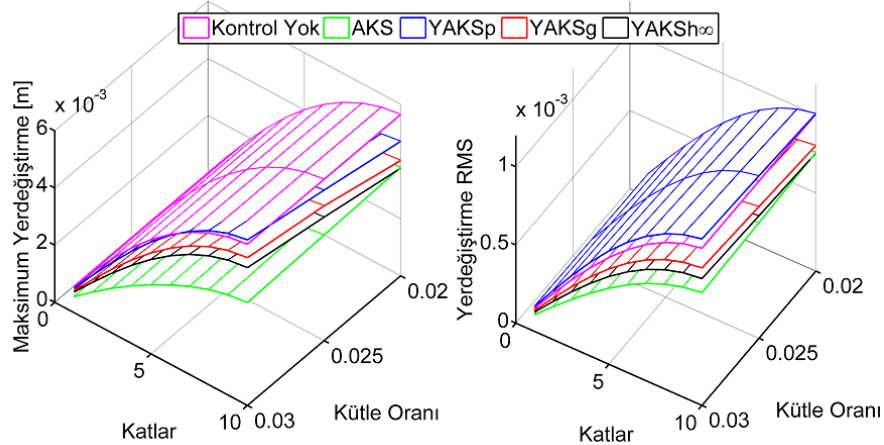
şekil 4.17 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

Bütün kontrol durumları sistem cevaplarını başarılı bir şekilde bastırmıştır. Birbirlerine yakın performans gösteren YAKSh ∞ ve AKS'nin bina modelinin maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerlerini, YAKSg'den daha etkili bir şekilde düşürmüşlerdir. YAKSp ise sistemin maksimum cevaplarında etkili iken, RMS değerlerinin iyileşmesine bir katkı sağlayamamıştır.



Şekil 4.18 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları

Şekil 4.18'de AKS ve YAKS kontrol durumlarının yüzde performansları görülmektedir. Kontrol durumlarının maksimum yerdeğiştirme performansı yerdeğiştirme RMS performansından daha yüksektir. Şekil 4.19'da görülen kütle oranının artması YAKS kontrol durumlarının performans artışına katkı sağlamamakla birlikte daha da kötüleştirmiştir. Fakat, AKS'de bu durum tam tersidir.

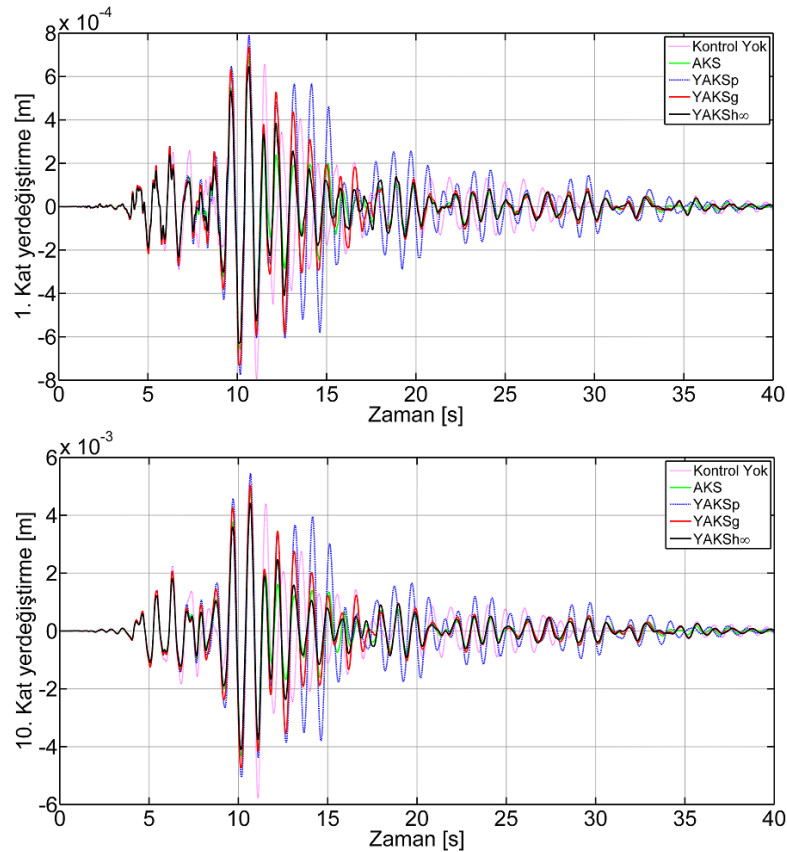


Şekil 4.19 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

El-Centro Tahrik etkisinde YAKS ve AKS kontrol durumlarına ait farklı kütle oranlarının yüzde performansları Tablo A.7 ve A.8'de görülmektedir. Önceki

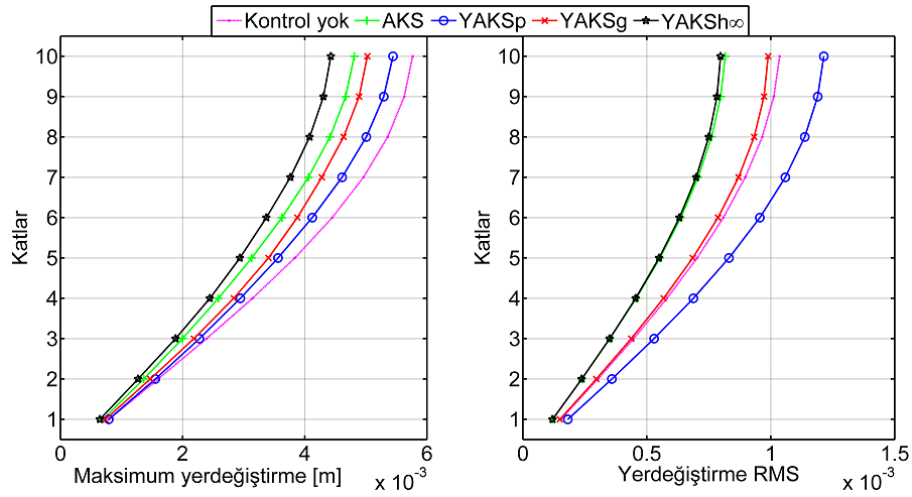
tahriklerin etkisinden farklı bir durum ortaya çıkmıştır. YAKS kontrol durumlarının hepsinde bütün kütle oranlarında sistem cevapları iyileşmesine rağmen, en düşük kütle oranında en yüksek performans elde edilmiştir. AKS’de ise bu durum tersidir. AKS’nin kütle oranı artışıyla performans artışı yaklaşık olarak % 4’tür. Bunun sebebi AKS ve YAKS kontrol durumlarındaki yay katsayısı etkisinin yapısal sistemin rezonans frekansından farklı frekanslardaki depremlerde etkisinin düşmesidir. Diğer bir sebebi olarak, AKS kontrol durumunda kütle oranına bağlı olarak hesaplanan sönüm parametresinin de artmasına rağmen, YAKS’de bütün kütle oranlarında kullanılan MR damperin sınırlı bir kuvvet üretmesi gösterilebilir. YAKSp kontrol durumu, maksimum yerdeğiştirmelerde 0.030 kütle oranında sistem cevaplarını iyileştirme performansına çok düşük bir katkı sağlarken, diğer kütle oranlarında ise performansı artmıştır. RMS değerlerine ise olumlu hiçbir etkisi olmamıştır.

Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının yerdeğiştirme cevapları Şekil 4.20’de, tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri ise Şekil 4.21’de görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.22’de kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



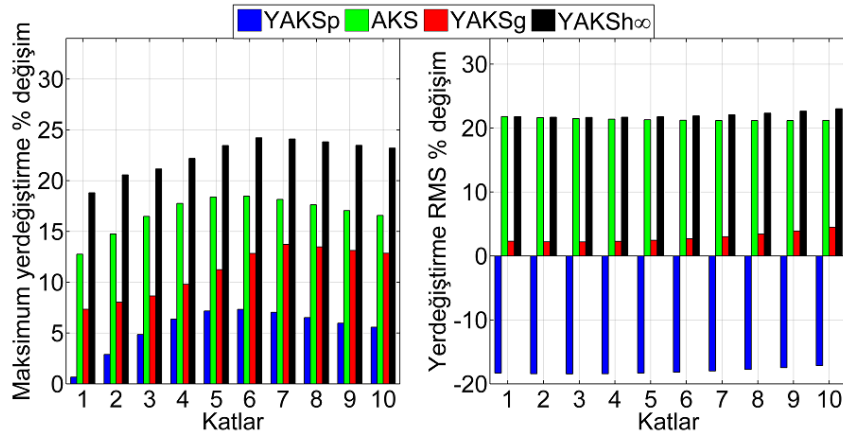
Şekil 4.20 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları

Bütün kontrol durumları sisteme ait maksimum yerdeğiştirme cevaplarını başarılı



Şekil 4.21 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

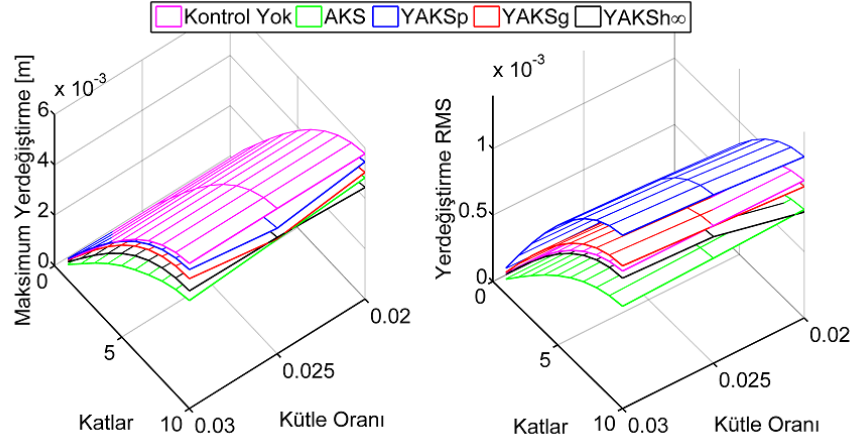
bir şekilde bastırmıştır. Yerdeğiştirme RMS değerlerinde ise sadece YAKSp kontrol durumunda bir kötüleşmenin olduğu Şekil 4.21’de açıkça görülmektedir. En iyi kontrol performansı YAKSh_∞ durumunda gerçekleşmiştir. Ayrıca, YAKSg’nin performansı ve AKS’nin performansından daha düşüktür.



Şekil 4.22 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları

Şekil 4.22’de, kontrol durumlarının yüzde performansı gösterilmektedir. Bütün kontrol durumlarının performansları El-Centro Tahrik durumundaki yüzde performanstan daha da düşmüştür. Northridge Tahrik durumunda da en yüksek performans YAKSh_∞ ile gerçekleşmiştir. Ayrıca, YAKSp’nin performansının en düşük olduğu tahrik durumudur.

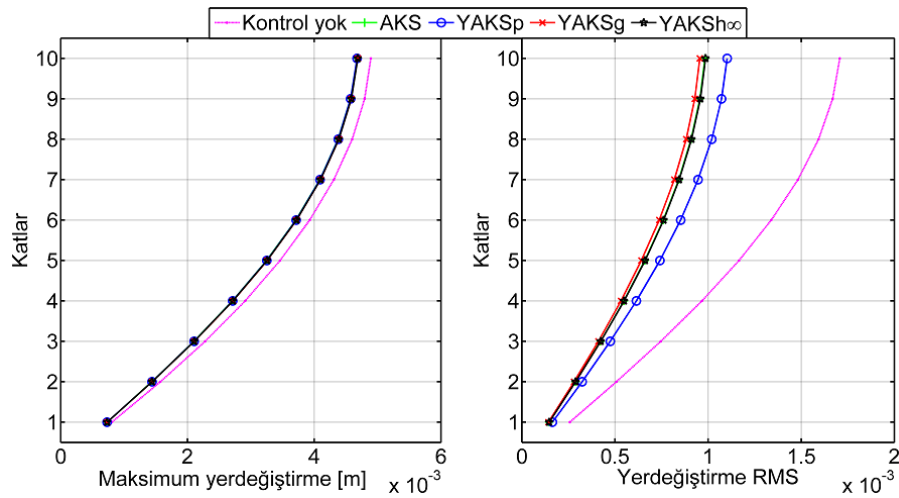
Şekil 4.23’te görülen kütle oranının artımı, AKS’nin performansını artırırken YAKS kontrol durumlarının performanslarını düşürmektedir. Northridge Tahrik etkisindeki sistemin YAKS ve AKS kontrol durumlarına ait farklı kütle oranlarının sistem



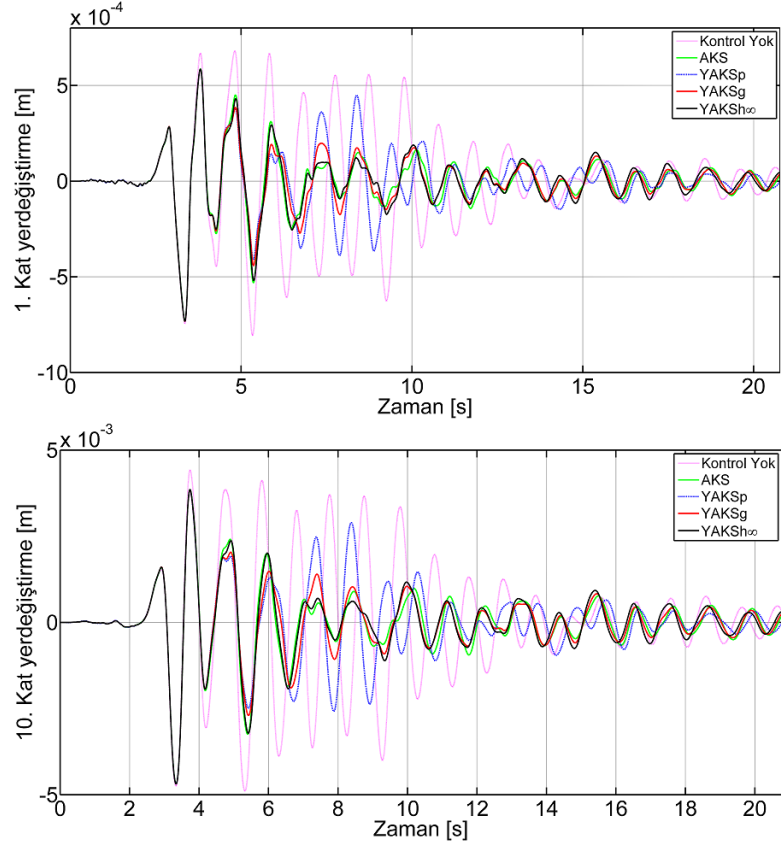
Şekil 4.23 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

cevap yüzde performansları Tablo A.9 ve A.10'da görülmektedir. El-Centro Tahrik durumundaki değerlendirmeler bu tahrik durumunda da geçerlidir. Fakat, buradaki bütün kütle oranlarında, özellikle maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları daha da düşüktür. AKS'nin kütle oranı artışıyla birlikte performans artış yüzdesinin diğer tahrik durumlarından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. YAKS kontrol durumlarında kütle oranı arttıkça performansın düştüğü görülmüştür. Aynı zamanda YAKSp'nin sistemin RMS değerlerinin iyileştirilmesine bir katkısı olmamıştır.

Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri Şekil 4.24'te, 1. kat ve 10. katının yerdeğiştirme cevapları Şekil 4.25'te görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.26'da kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.

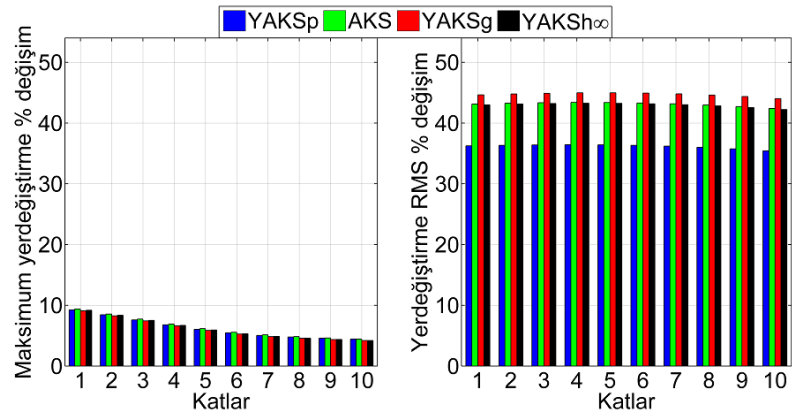


Şekil 4.24 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri



Şekil 4.25 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme cevapları

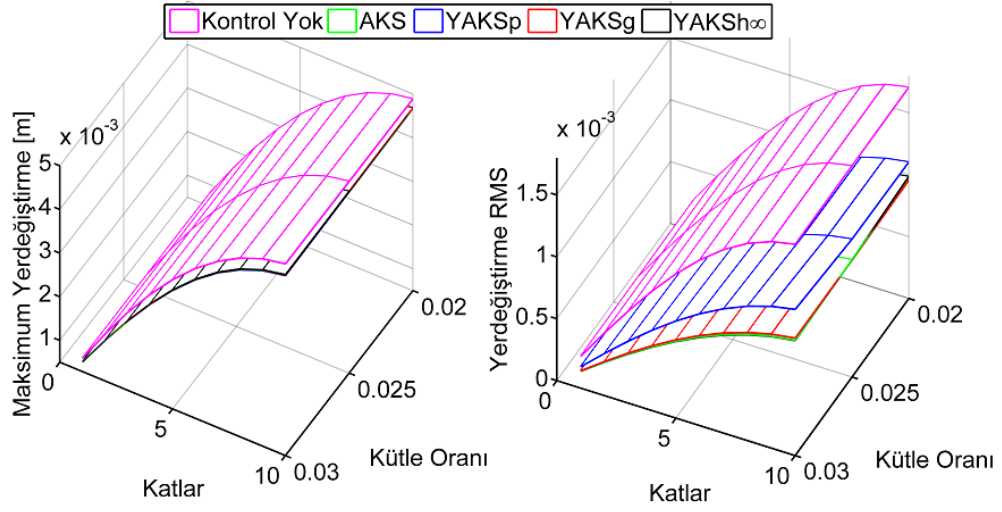
Bütün kontrol durumlarının sisteme ait maksimum yerdeğiştirme cevap performansları birbirlerine çok yakın ve önceki tahrik üç durumlarına göre en düşük seviyede, yerdeğiştirme RMS değerlerinde ise yüksek seviyededir. Bu tahrik durumunda, YAKSp'nin performansı önceki üç tahrik durumuna göre daha yüksektir. Şekil 4.26'da görülen yüzde performanslarda maksimum yerdeğiştirmelerin en yüksek



Şekil 4.26 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme yüzde performansları

değeri yaklaşık olarak %10'dur. Yüksek katlara doğru maksimum yerdeğiştirme yüzde

performansının düştüğü görülmektedir. RMS değerlerinin performansı yaklaşık olarak YAKSp’de %35, diğer kontrol durumlarında ise %45 seviyelerindedir.



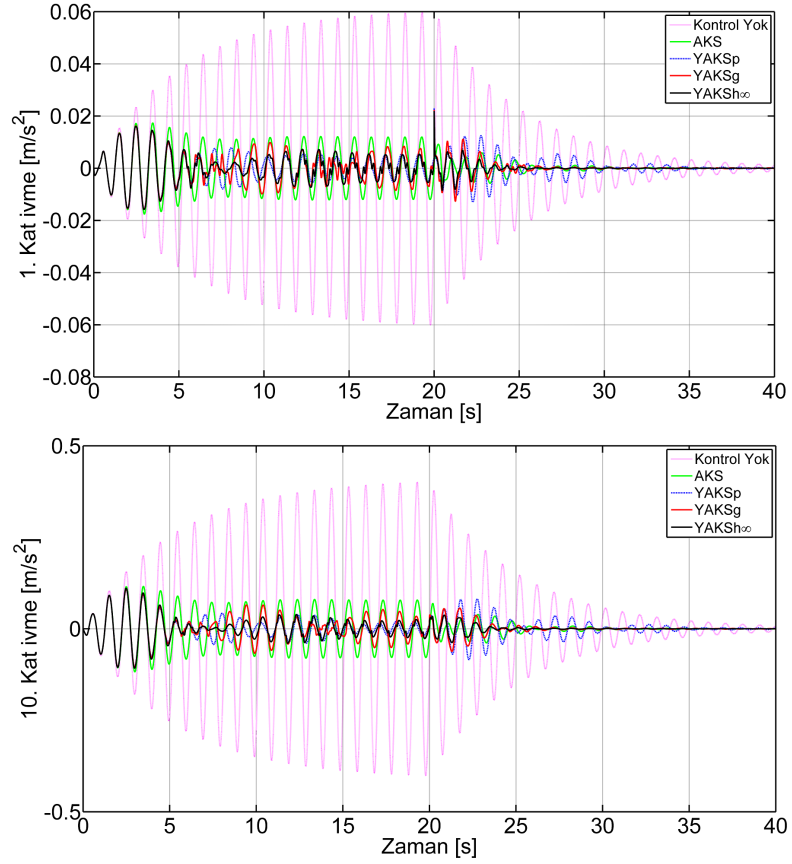
Şekil 4.27 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri

Şekil 4.27’de farklı kütle oranlarına ait yerdeğiştirme cevapları görülmektedir. YAKSp dışındaki tüm kontrol durumlarında, kütle oranı arttıkça kontrol performansının az da olsa artmıştır. Bunun sebebi ise, pasif MR dampere gerilim gönderilmediğinden dolayı ürettiği kuvvetin diğerlerine göre düşük ve sınırlı olmasıdır. Erzincan Tahrik etkisinde, YAKS ve AKS kontrol durumlarına ait farklı kütle oranlarının sistem cevap yüzde performansları Tablo A.11 ve A.12’de görülmektedir. AKS ve YAKS kontrol uygulamaları sistem cevaplarını iyileştirmiştir. Kütle oranı arttıkça az da olsa kontrol performansları artar. Maksimum yerdeğiştirmelerde en iyi performans %10 iken, yerdeğiştirme RMS değerlerinde ise en iyi performans %46’dır. Maksimum yerdeğiştirme cevaplarında kontrol performansları birbirlerine çok yakındır. Fakat, yerdeğiştirme RMS değerlerinde YAKSp’nin performansı en düşüktür, YAKSg’nin performansı ise en yüksektir.

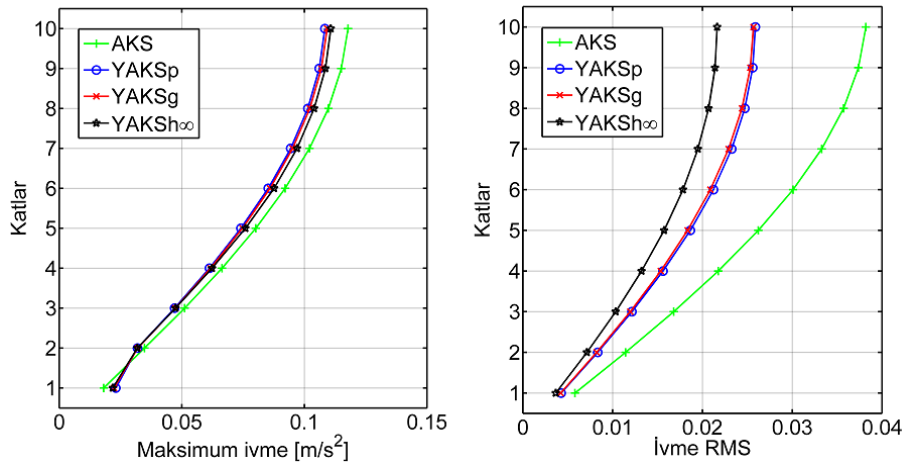
Genel olarak yerdeğiştirme cevaplarında bina modelinin frekanslarına yakın yoğunlukta olan tahriklerde (Tahrik-1, Tahrik-2, Kocaeli, Erzincan) YAKSh_∞ ve YAKSg’nin kontrol performansları AKS’den daha yüksektir. Daha geniş frekans aralığında olan tahriklerde ise (El-Centro ve Northridge) AKS, YAKSg’den daha iyi performans göstermiştir. Genel bir performans değerlendirmesi olarak, YAKSh_∞’nin tüm durumlarda diğer kontrol uygulamalarına göre daha başarılı olduğu söylenebilir. YAKSp kontrol durumu bazı tahriklerde (Kocaeli, El-Centro ve Northridge) sistemin yerdeğiştirme RMS değerlerini kötüleştirse de, maksimum yerdeğiştirmelerinin bastırılmasında etkili olmuştur.

4.2.3 İvme Cevapları

Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının ivme cevapları Şekil 4.28’de, tüm katların maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri ise Şekil 4.29’da görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.30’da kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.

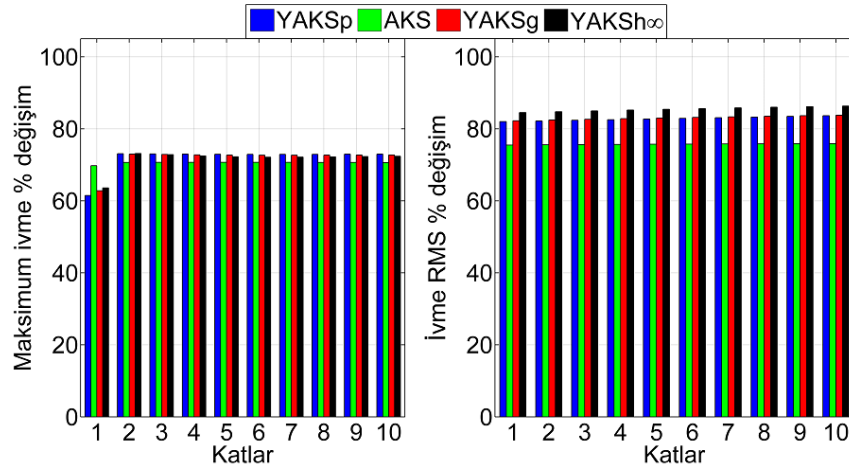


Şekil 4.28 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları

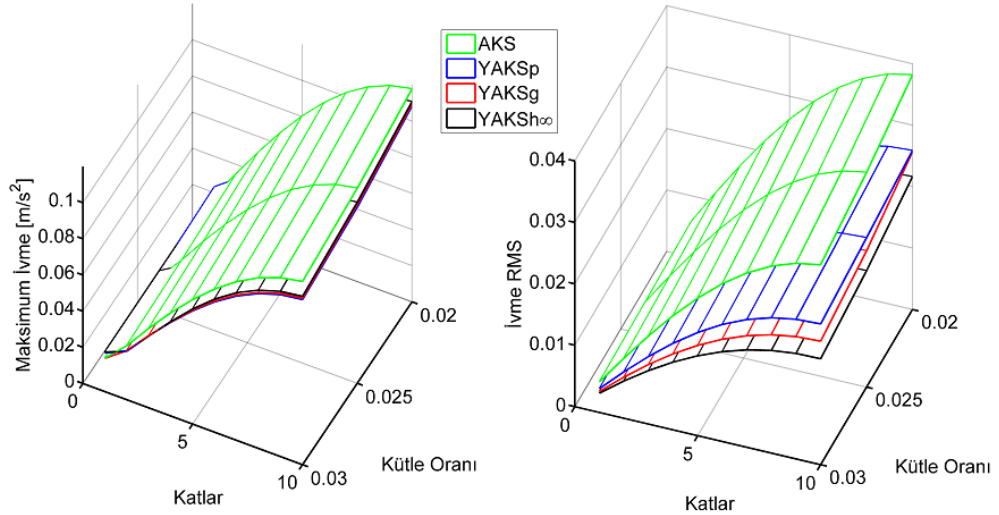


Şekil 4.29 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

YAKS kontrol durumlarında sistemin 1. katının ivme cevaplarında küçük bir pik oluşmuştur. Bu durum MR damperin içyapısından kaynaklanan ve iletilen gerilimlerin MR damperi anlık olarak kilitlemesi nedeniyle olabilecek bir durumdur. Bunun dışında sistem, yerdeğiştirme cevaplarına benzer davranış göstermiştir. Şekil 4.30'da kontrol uygulamalarının sistem ivme cevapları üzerindeki yüzde performansları görülmektedir. YAKS kontrol durumlarının performansları sadece 1. katta AKS'den düşük olmasına rağmen yine de %60 civarında yüksek bir değerdedir. İvme cevaplarında da, yerdeğiştirme cevaplarında olduğu gibi en iyi performansı YAKSh_∞ göstermiştir.



Şekil 4.30 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları

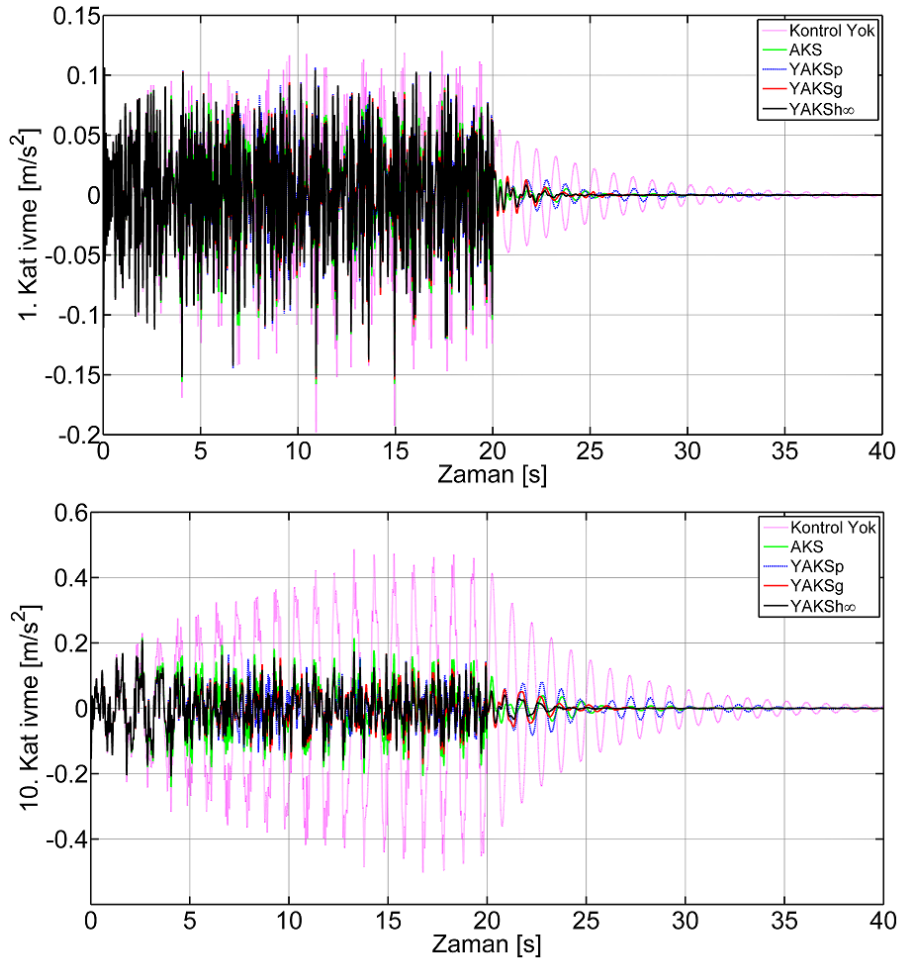


Şekil 4.31 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

Şekil 4.31'de, tüm katların tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri, Tablo A.13 ve A.14'te ise bu cevaplara ait yüzde performanslar görülmektedir. Kütle oranının artması kontrol performanslarını arttırmıştır. Fakat,

bu artış oranı maksimum %5 civarındadır. Bütün katların bütün kütle oranlarındaki ivme performans yüzdeleri oran olarak birbirlerine yakındır. Maksimum cevaplarda etkili kontrol uygulaması YAKSp, RMS değerlerinde ise YAKSh_∞'dur. YAKSp'nin etkisinin ivme cevaplarında da etkili olmasının nedeni, yay katsayısının daha baskın bir şekilde kontrol performansını etkilemesidir.

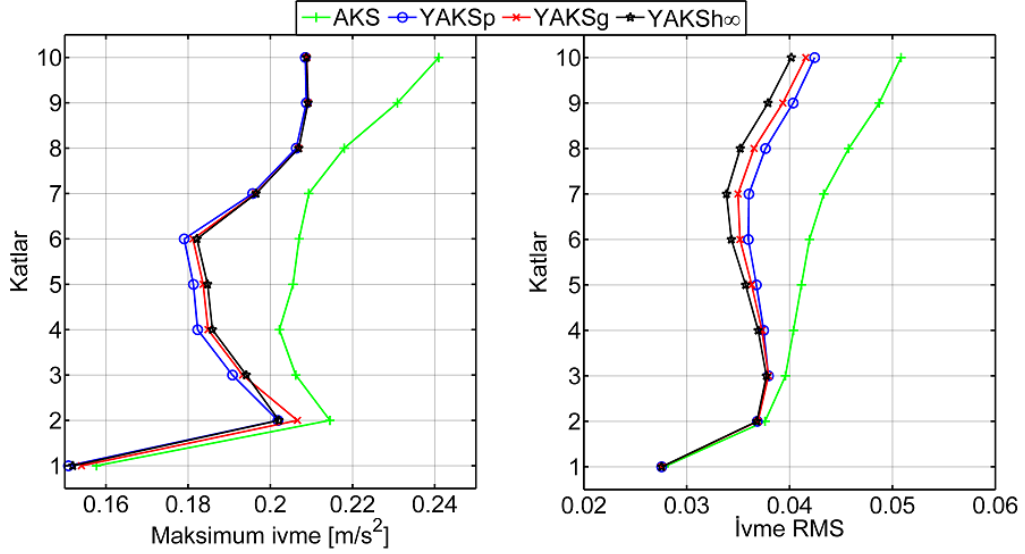
Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının ivme cevapları Şekil 4.32'de, tüm katların maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri ise Şekil 4.33'te görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.34'te kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



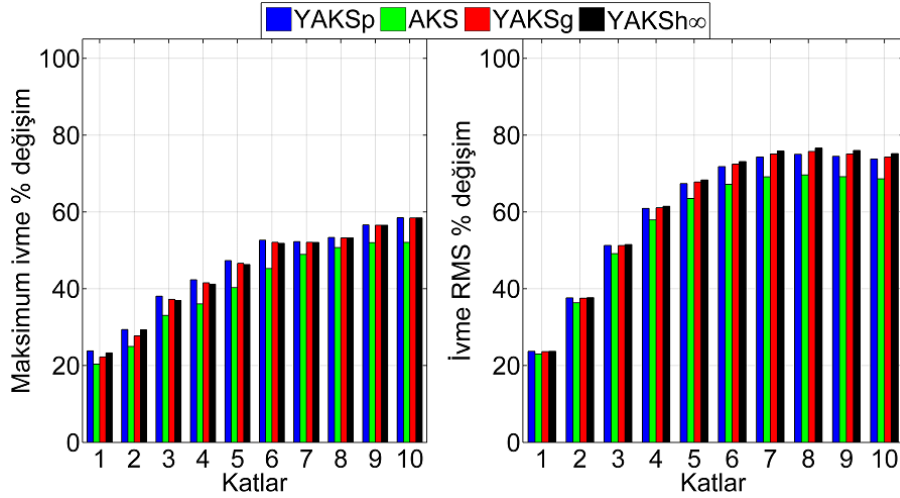
Şekil 4.32 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları

Sistemin yerdeğiştirme cevaplarında, Tahrik-2'ye ait 1. mod frekansı dışındaki frekansların etkisinin fazla olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat, ivme cevaplarında bu durumun tamamen farklı olduğu ortaya çıkmıştır. YAKS kontrol durumlarında sistemin maksimum ivme cevap performanslarının birbirlerine yakın olduğu, ivme RMS değerlerinde ise YAKSh_∞'un üst katlara doğru performansının diğer YAKS kontrol durumlarından daha başarılı bir performans sergilediği görülmektedir. Şekil

4.34'te, bina katlarının performans yüzdeleri arasında belirgin bir fark olduğu görülmektedir. Alt katlardan üst katlara doğru sistemin performans yüzdeleri artar. Ayrıca, YAKS kontrol durumları AKS'den daha etkilidir.

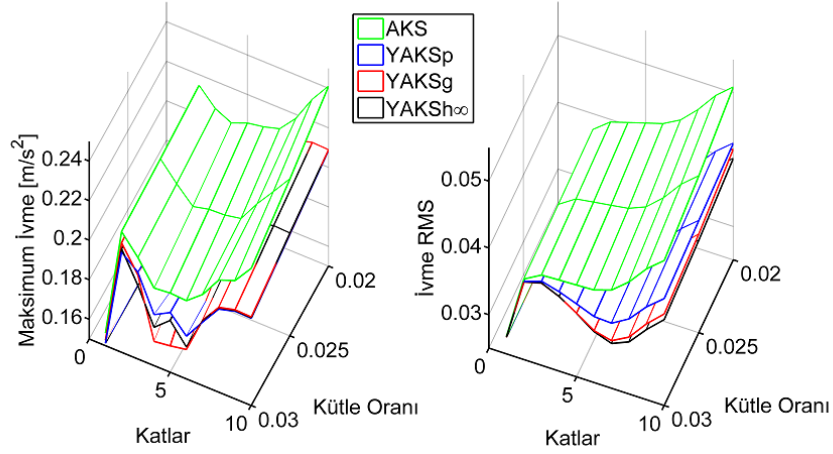


Şekil 4.33 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri



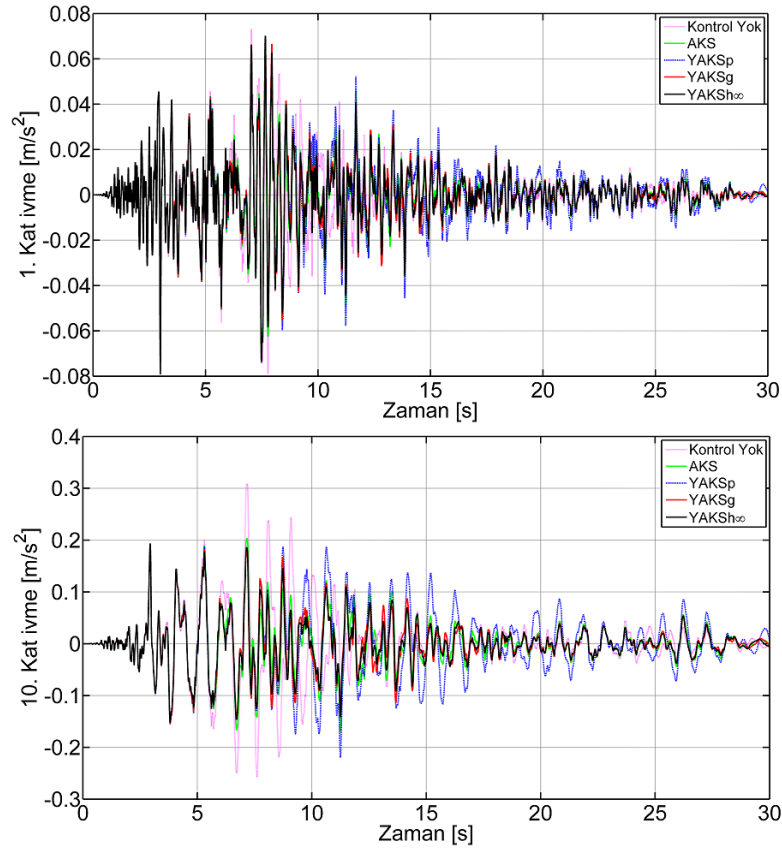
Şekil 4.34 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları

Şekil 4.35'te Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre cevapları verilmiştir. Bu cevaplara ait yüzde performanslar ise Tablo A.15 ve A.16'dadır. Bütün durumlarda YAKS kontrol durumları AKS'den daha etkilidir. Kütle oranının artmasının, AKS ve YAKS'lerin ivme cevaplarına etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Tüm kontrol durumlarında 1. kat ile 10. kat arasında performans yüzdeleri bakımından %30'dan daha yüksek fark vardır.



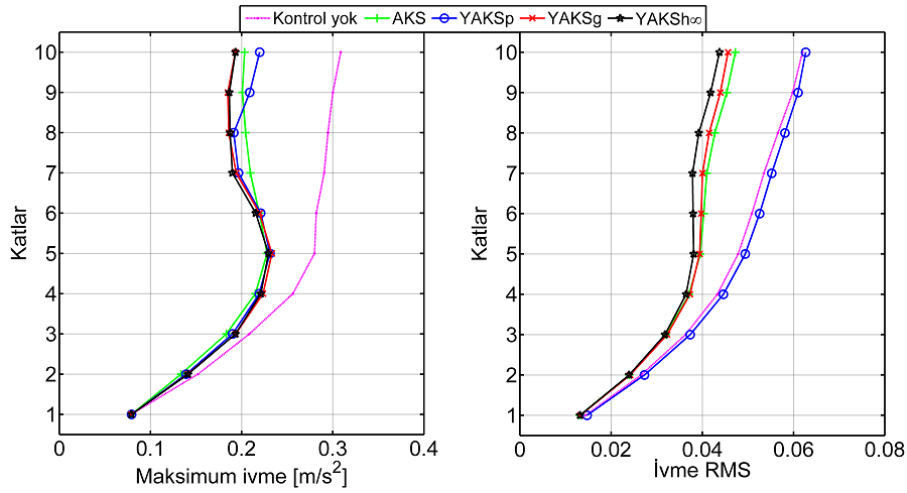
Şekil 4.35 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının ivme cevapları Şekil 4.36’da, tüm katların maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri ise Şekil 4.37’de görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.38’de kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



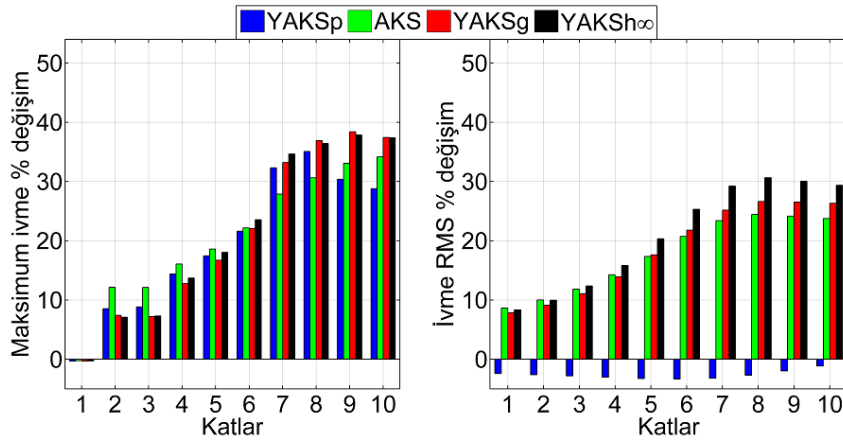
Şekil 4.36 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları

Sistemdeki kontrol uygulamalarının 1. katın ivme cevaplarının iyileşmesine bir katkısı



Şekil 4.37 Kocaeli Tahrir etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

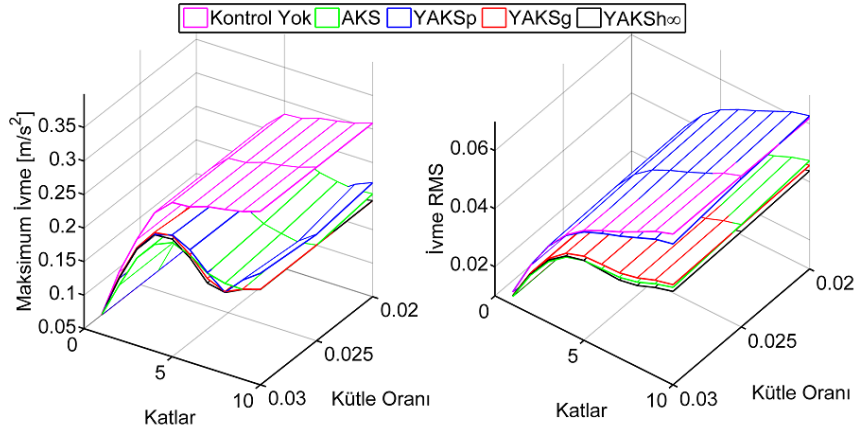
olmamıştır. Maksimum cevaplar için, alt katlarda AKS, YAKS'den daha iyi performans gösterirken üst katlara doğru tam tersi bir durum söz konusudur. RMS değerlerinde ise genel olarak YAKSh_∞ daha iyidir. Ayrıca, YAKSp sistem RMS değerlerine olumlu bir katkı sağlayamamıştır. Şekil 4.38'de sistemin tüm katlarına ait ivme cevaplarının



Şekil 4.38 Kocaeli Tahrir etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları

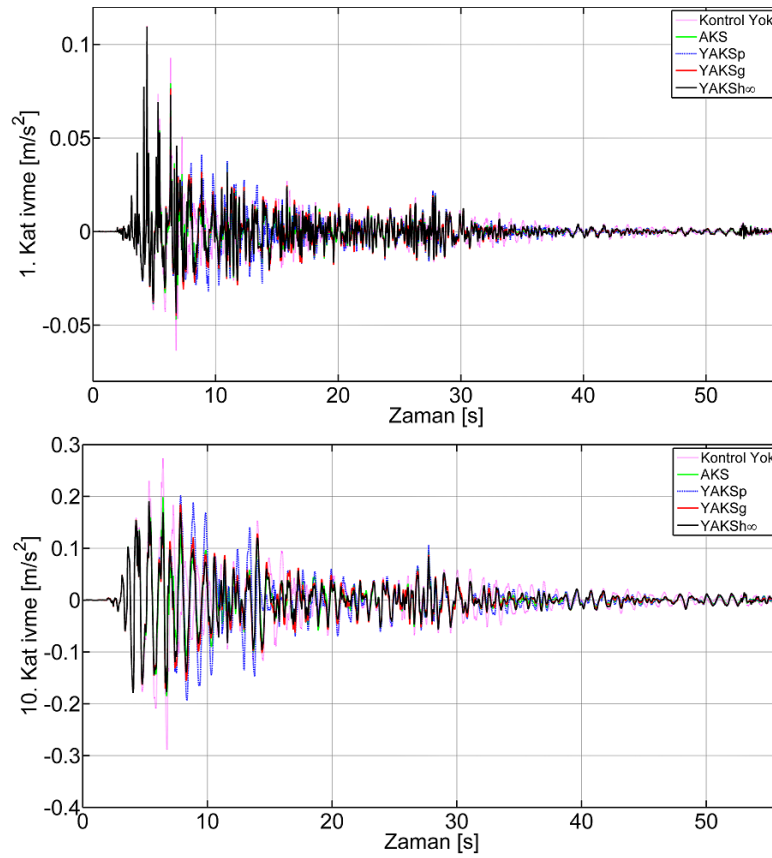
yüzde performansları görülmektedir. Genel olarak YAKSh_∞ ve YAKSg, AKS'den daha yüksek yüzde performanslar göstermişlerdir. Yüzde oran katlara göre farklılık göstermektedir. Maksimum cevap yüzdeleri RMS değerlerinin yüzdelerinden daha yüksektir. Şekil 4.39'da Kocaeli Tahrir etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme cevapları verilmiştir. Bu cevaplara ait yüzde performanslar ise Tablo A.17 ve A.18'dedir. Genel olarak YAKSh_∞ ve YAKSg'nin AKS'den daha etkili olduğu söylenebilir. Kütle oranının artmasının, YAKS'lerin ivme cevaplarına etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır. Fakat, AKS'nin en düşük kütle oranında performansı yaklaşık olarak %3 düşmüştür. Tüm kontrol durumlarında 1. kat ile 10. kat arasında

performans yüzdeleri bakımından %30'dan daha yüksek fark vardır.



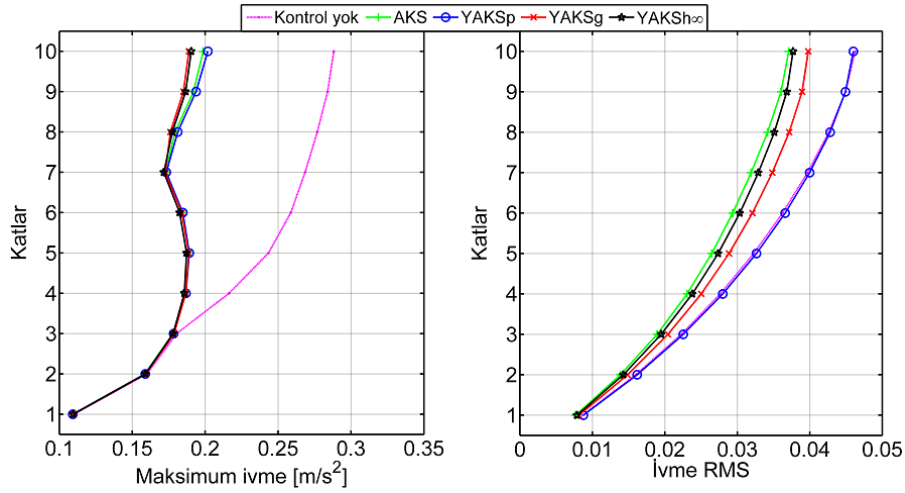
Şekil 4.39 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının ivme cevapları Şekil 4.40'da, tüm katların maksimum yerdeğiştirme cevapları ve yerdeğiştirme RMS değerleri ise Şekil 4.41'de görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.42'de kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.

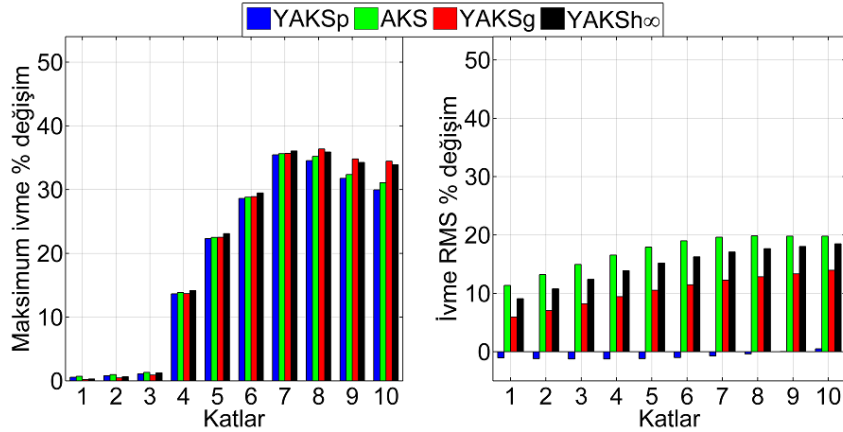


Şekil 4.40 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları

Maksimum ivme cevaplarında, sistemdeki kontrol uygulamalarının 1. kat, 2. kat ve 3. kat ivme cevaplarının iyileşmesindeki katkısı oldukça düşüktür. Üst katlara doğru YAKS ve AKS'nin etkileri artmıştır. YAKSh_∞ ve YAKSg, az bir farkla YAKSp ve AKS'den daha etkilidir. İvme RMS değerlerinde ise AKS en başarılıdır. YAKSp'nin sistemin RMS değerlerine kayda değer olumlu bir etkisi yoktur. Şekil 4.42'de tüm katların yüzde performansları görülmektedir. Maksimum ivme cevapları ilk üç katta en çok %1 civarındadır. Katlara göre yüzde değişim oranları farklıdır ve en düşük yüzde ile en yüksek yüzde arasında yaklaşık olarak %36 fark vardır.



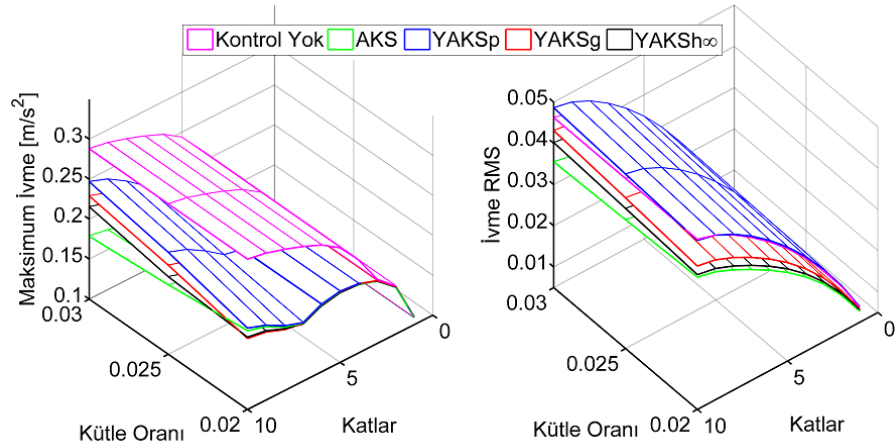
Şekil 4.41 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri



Şekil 4.42 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları

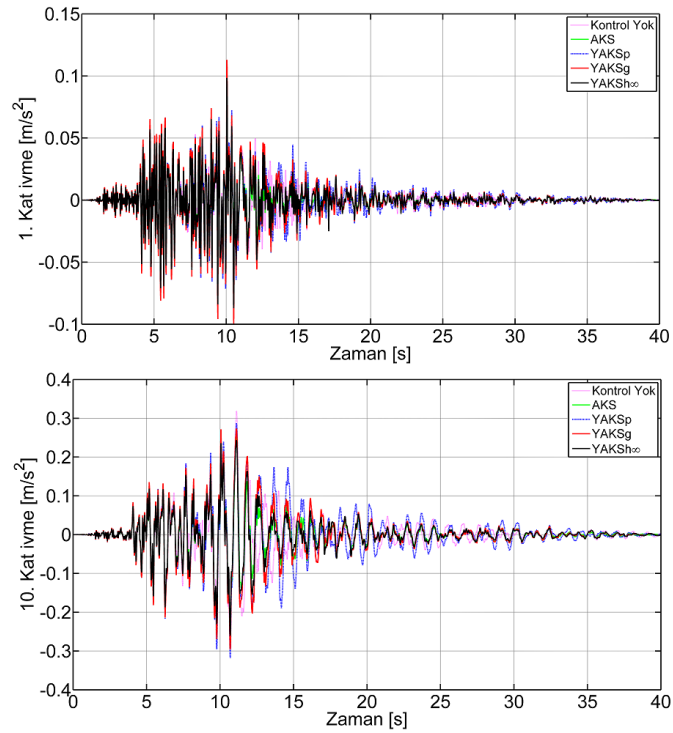
Şekil 4.43'te El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme cevapları verilmiştir. Bu cevaplara ait yüzde performanslar ise Tablo A.19 ve A.20'dedir. Kütle oranı arttıkça YAKS'lerin performanslarının düştüğü, AKS'nin performansının ise yükseldiği görülmektedir. YAKSp maksimum ivmelerde etkili olmasına rağmen ivme RMS değerlerinde başarılı değildir. YAKSh_∞ ise YAKSg den

daha başarılıdır.



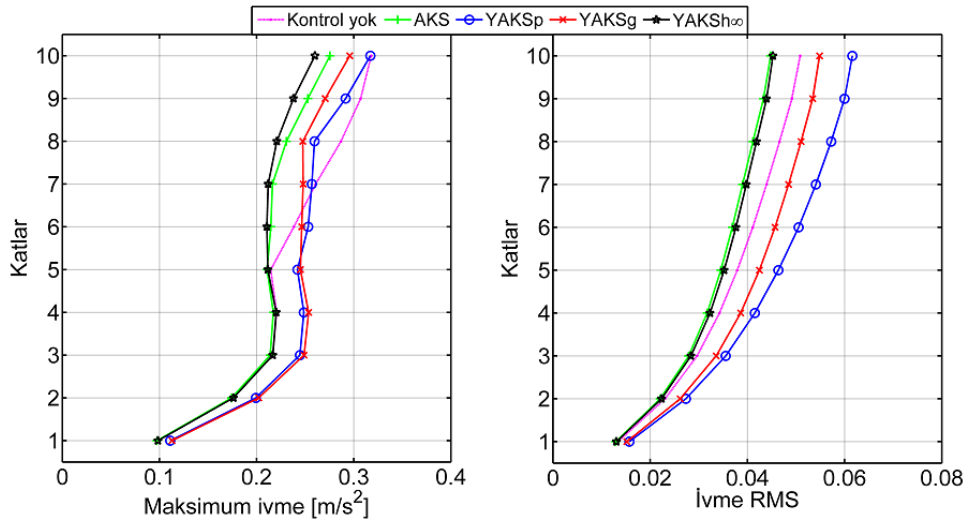
Şekil 4.43 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının ivme cevapları Şekil 4.44'te, tüm katların maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri ise Şekil 4.45'te görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.46'da kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



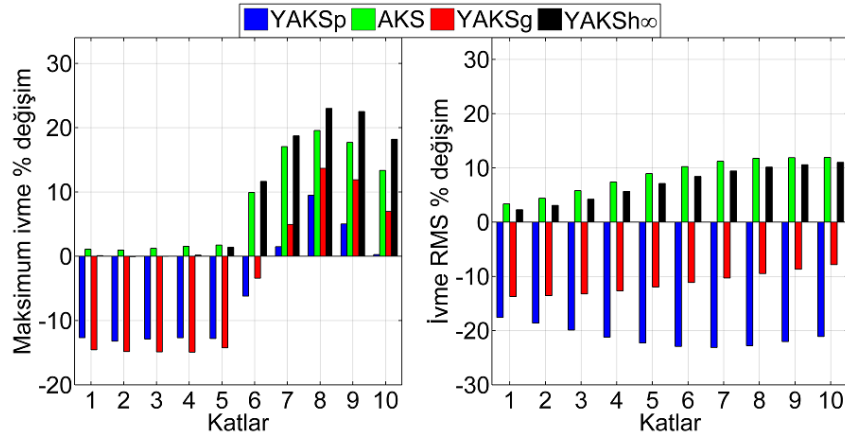
Şekil 4.44 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları

AKS ile YAKSh ∞ 'nin performansları birbirlerine yakın ve ivme cevaplarında etkisi düşen YAKSg ve YAKSp'den yüksektir. Şekil 4.46'da kontrol durumlarının yüzde



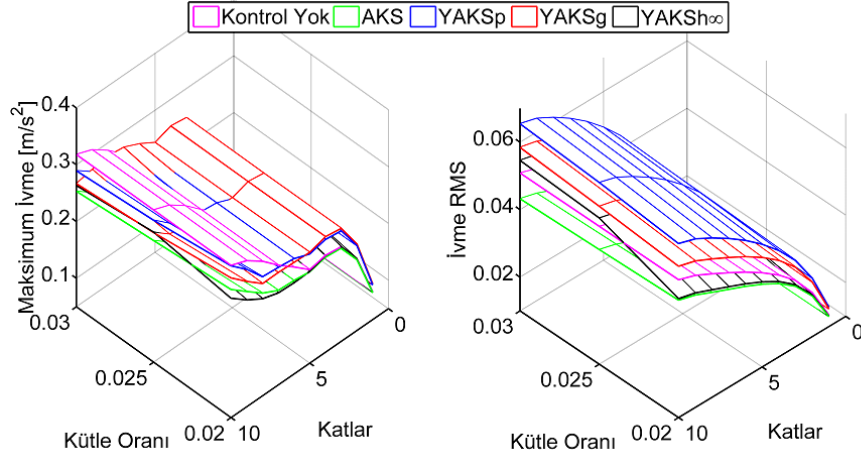
Şekil 4.45 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

performansları görülmektedir. Sistemin maksimum ivme cevaplarında YAKSg ve YAKSp %10'un üzerinde bozulmasına neden olmuştur. İvme RMS değerlerinde ise bütün katlarda bu performans düşüşü görülmektedir.



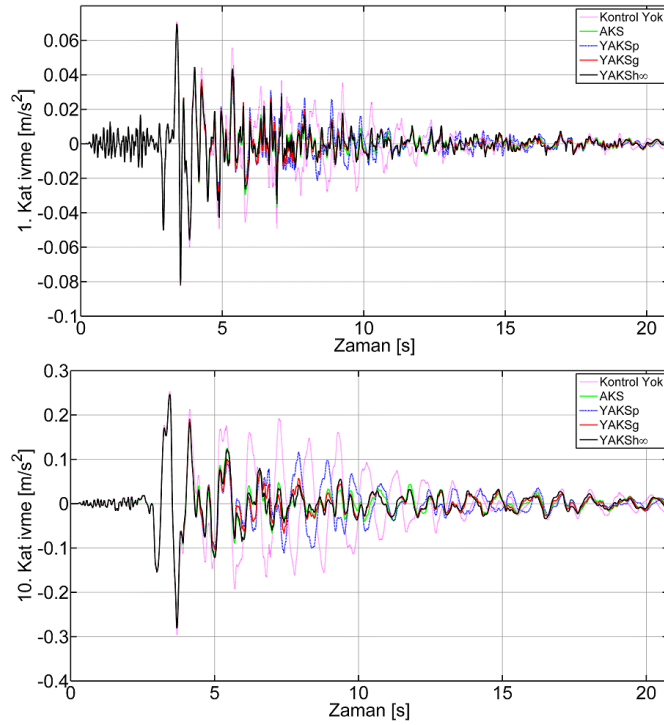
Şekil 4.46 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları

Şekil 4.47'de Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme cevapları verilmiştir. Bu cevaplara ait yüzde performanslar ise Tablo A.21 ve A.22'dedir. Kütle oranı arttıkça YAKS'lerin performanslarının düştüğü AKS'nin performansının ise yükseldiği görülmektedir. YAKS kontrol durumlarında kütle oranı arttıkça sistemin ivme cevaplarındaki bozulmaların da arttığı görülmekle birlikte, en düşük kütle oranında en iyi performans YAKSh_∞ ile elde edilmiştir.



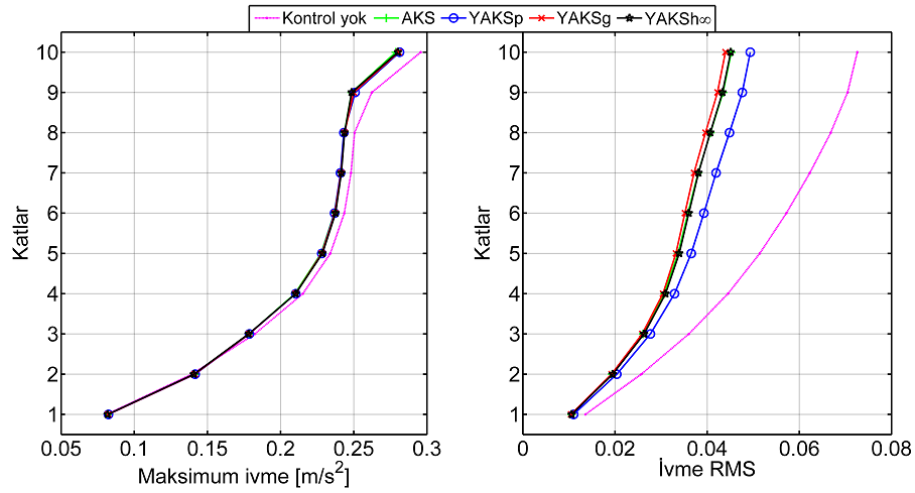
Şekil 4.47 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. katının ivme cevapları Şekil 4.48’de, tüm katların maksimum ivme ve ivme RMS değerleri ise Şekil 4.49’da görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4.50’de kontrol durumlarının yüzde performansları verilmiştir.



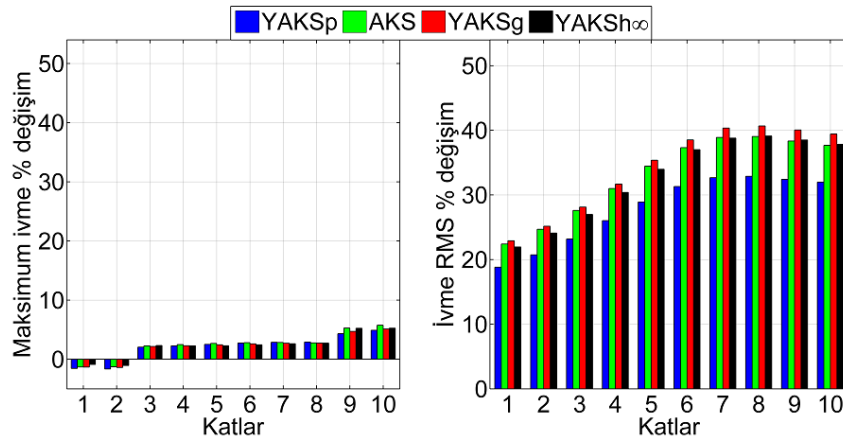
Şekil 4.48 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme cevapları

Bütün kontrol uygulamalarının sistemin maksimum ivme cevaplarını bastırma üzerine etkileri düşük ve performansları birbirlerine çok yakındır. İvme RMS değerlerinde ise YAKSg çok az bir farkla daha iyidir. Şekil 4.50’de sistemin ivme cevaplarına ait kontrol performans yüzdeleri görülmektedir.



Şekil 4.49 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

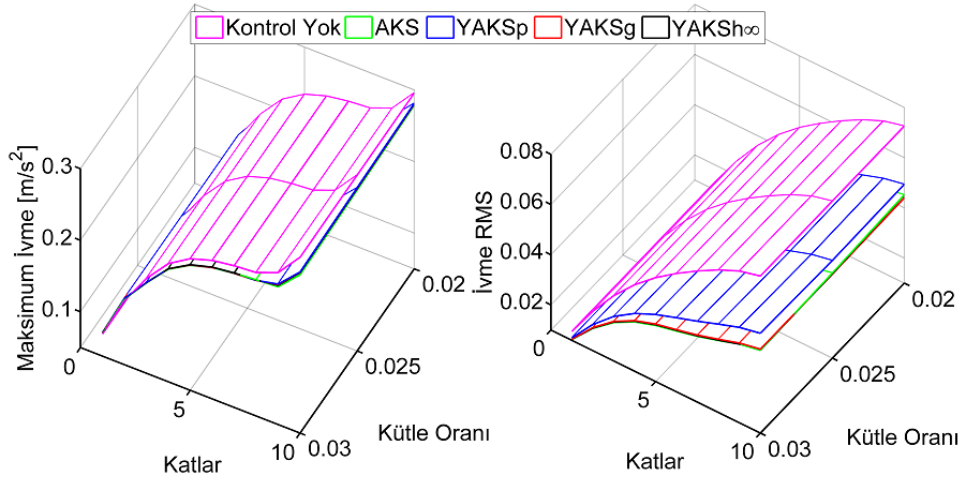
Kontrol uygulamalarının maksimum ivme cevaplarına etkisi düşük ve %10'un altındadır. İvme RMS değerlerinde ise kontrol performanslarının %40'lara kadar çıktığı görülmektedir.



Şekil 4.50 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme yüzde performansları

Şekil 4.50'de Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme cevapları verilmiştir. Bu cevaplara ait yüzde performanslar ise Tablo A.23 ve A.24'tedir. Kütle oranı arttıkça YAKS ve YAKS'nin performanslarının düşük bir yüzde oranla arttığı görülmektedir. Sistemin katlarının yüzde performansları farklıdır. Katlar arasında en düşük ile en yüksek performans yüzdeleri arasında maksimum ivme cevaplarında %9, ivme RMS değerlerinde ise %16 civarında fark vardır.

Genel olarak ivme cevaplarında, bina modelinin frekanslarına yakın yoğunlukta olan tahriklerde (Tahrik-1, Tahrik-2, Kocaeli, Erzincan) YAKSp dışındaki YAKS kontrol performanslarının YAKS'den daha etkili olduğu söylenebilir. Daha geniş frekans

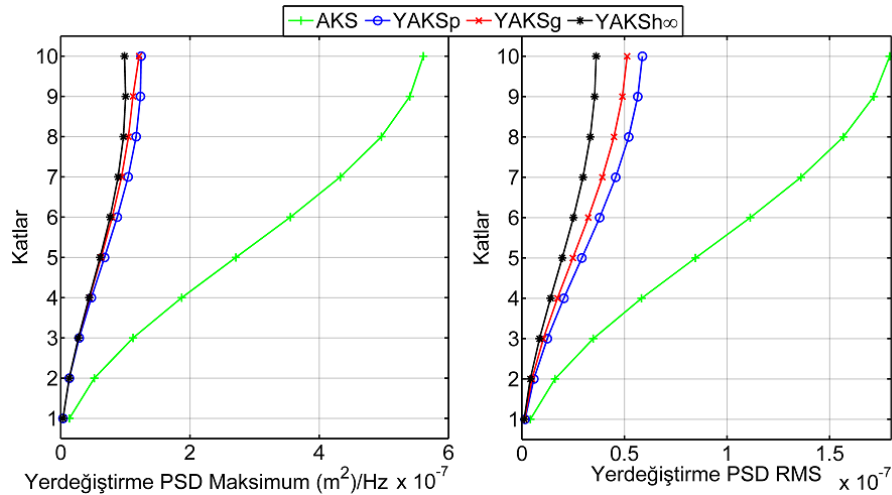


Şekil 4.51 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme cevapları ve ivme RMS değerleri

aralığında olan tahriklerde ise (El-Centro ve Northridge) YAKSg ve YAKSp'nin performansları düşmüştür. Fakat, en iyi performanslar YAKSh_∞ durumunda gerçekleşmiştir.

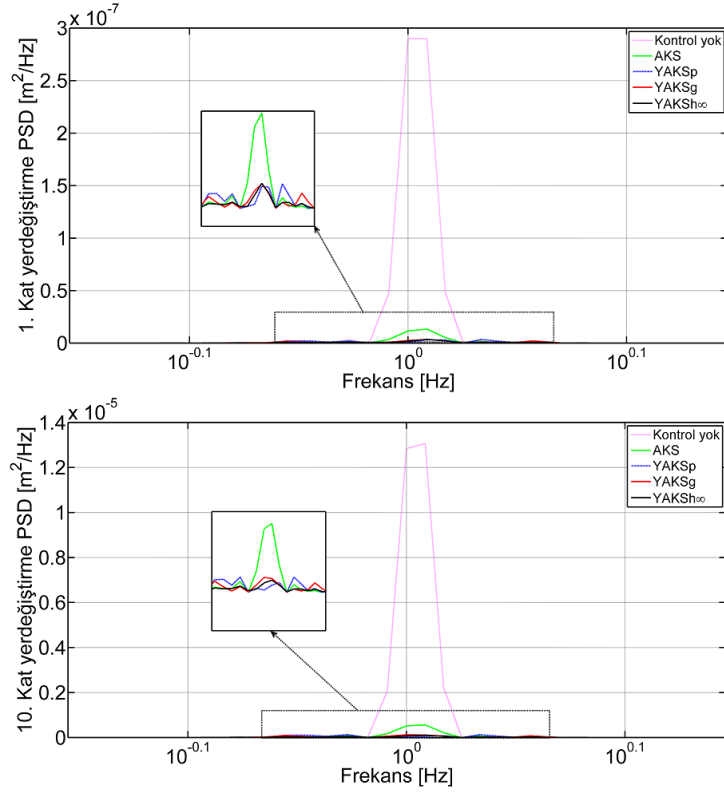
4.2.4 Yerdeğiştirme PSD Cevapları

Tahrik-1 etkisinde sisteme ait tüm katların yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ile PSD RMS değerleri Şekil 4.52'de, 1. kat ve 10. katın yerdeğiştirme PSD cevapları Şekil 4.53'te, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.54'tedir.



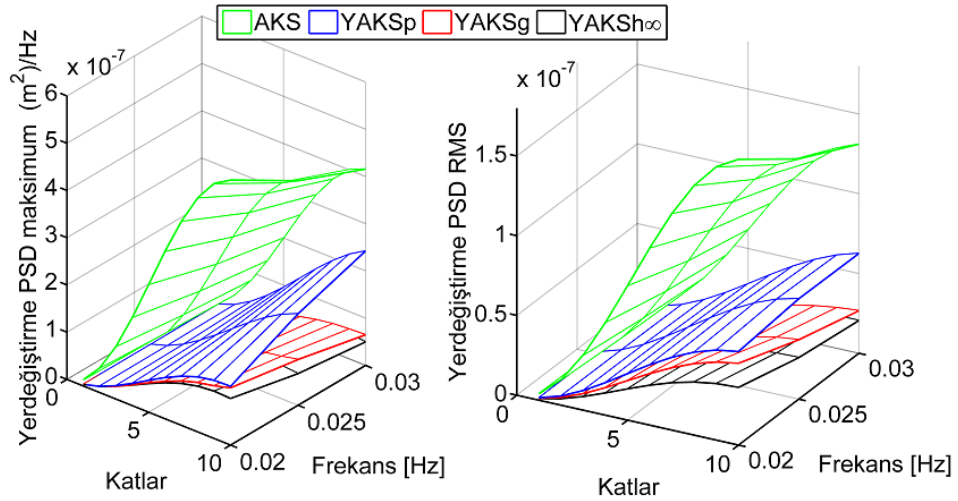
Şekil 4.52 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

Sistemin rezonans piklerini bastırmada, YAKS'nin AKS'den daha başarılı olduğu açıkça görülmektedir.



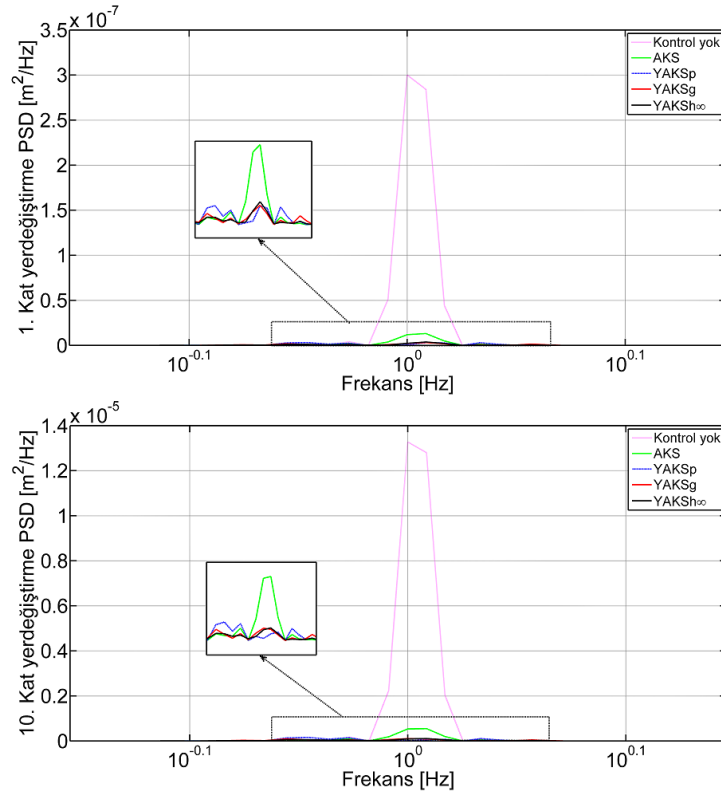
Şekil 4.53 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları

En etkili kontrol durumu $YAKSh_{\infty}$ 'dur. Kütle oranının artmasıyla YAKSp kontrol durumunun performansı düşmesine rağmen, AKS'den daha iyi performans göstermiştir.

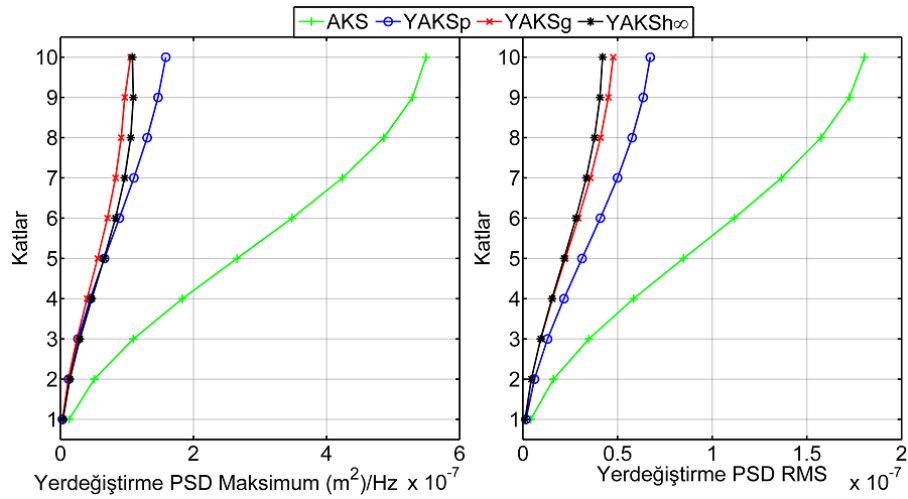


Şekil 4.54 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

Tahrik-2 etkisinde sisteme ait 1. kat ve 10. katın yerdeğiştirme PSD cevapları şekil 4.55'te, tüm katların yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ile PSD RMS değerleri şekil 4.56'da, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları şekil 4.57'dedir.

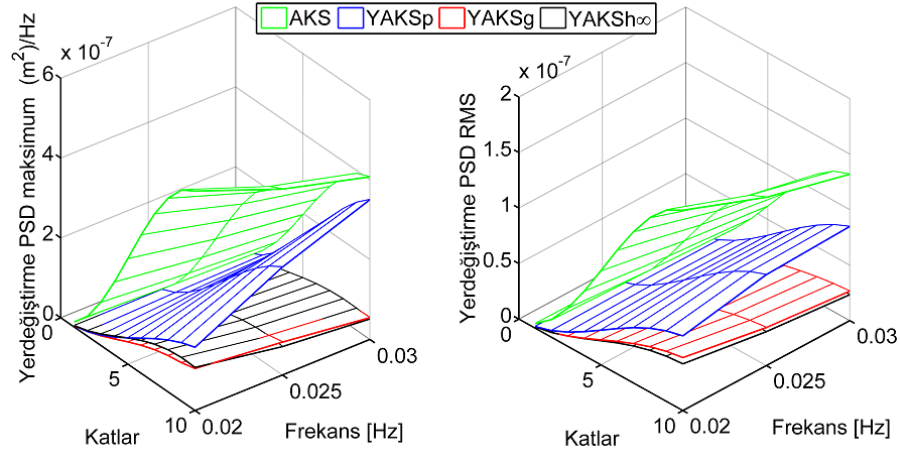


şekil 4.55 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları



şekil 4.56 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

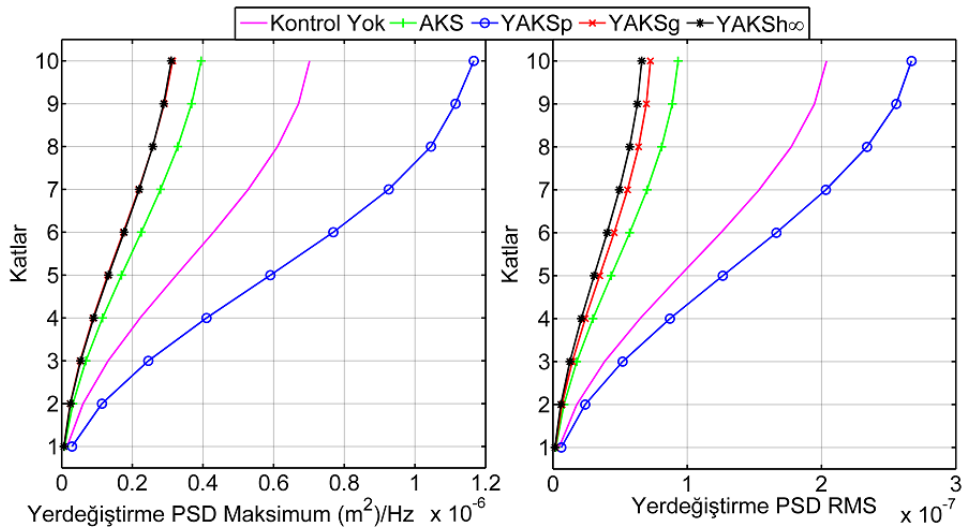
Sistem, Tahrik-1 etkisinde PSD cevaplarına benzer davranışı Tahrik-2 etkisinde de göstermiştir. Tahrik-1'den farklı olarak, Tahrik-2 etkisinde maksimum cevaplarda YAKSg ile YAKSh_∞ performansları birbirine daha yakındır.



Şekil 4.57 Tahirik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

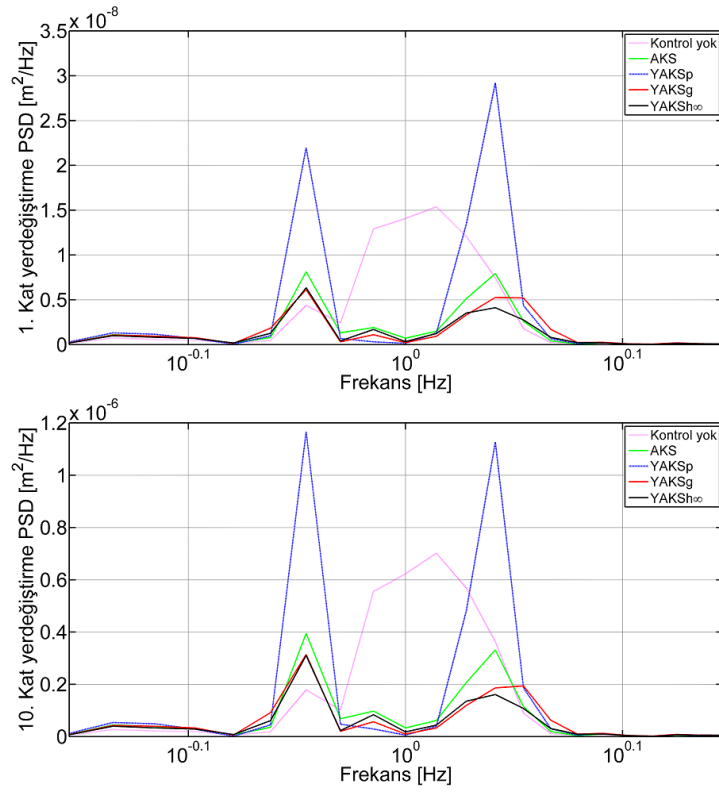
Şekil 4.57’de görülen tüm katların farklı kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS değerlerinde YAKS kontrol durumları tüm koşullarda AKS’den daha etkilidir. YAKSp, MR damperin gerilim gönderildiği durumlardan daha sınırlı kuvvet üretmesi nedeniyle kütle oranı arttıkça performansı düşmektedir.

Kocaeli Tahirik etkisindeki sisteme ait tüm katların yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ile PSD RMS değerleri Şekil 4.58’de, 1. kat ve 10. katın yerdeğiştirme PSD cevapları Şekil 4.59’da, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.60’tadır.



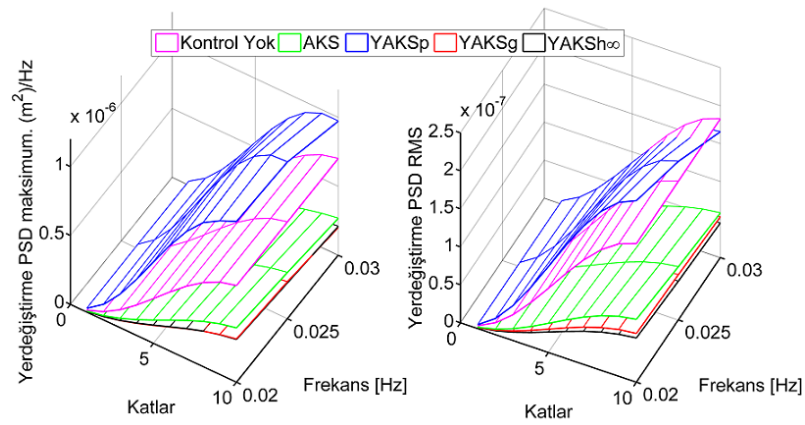
Şekil 4.58 Kocaeli Tahirik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

YAKSp dışındaki YAKS kontrol uygulamalarının performansları AKS’den daha yüksektir. YAKSh_∞, YAKSg ile yakın olmakla birlikte en iyi performansı



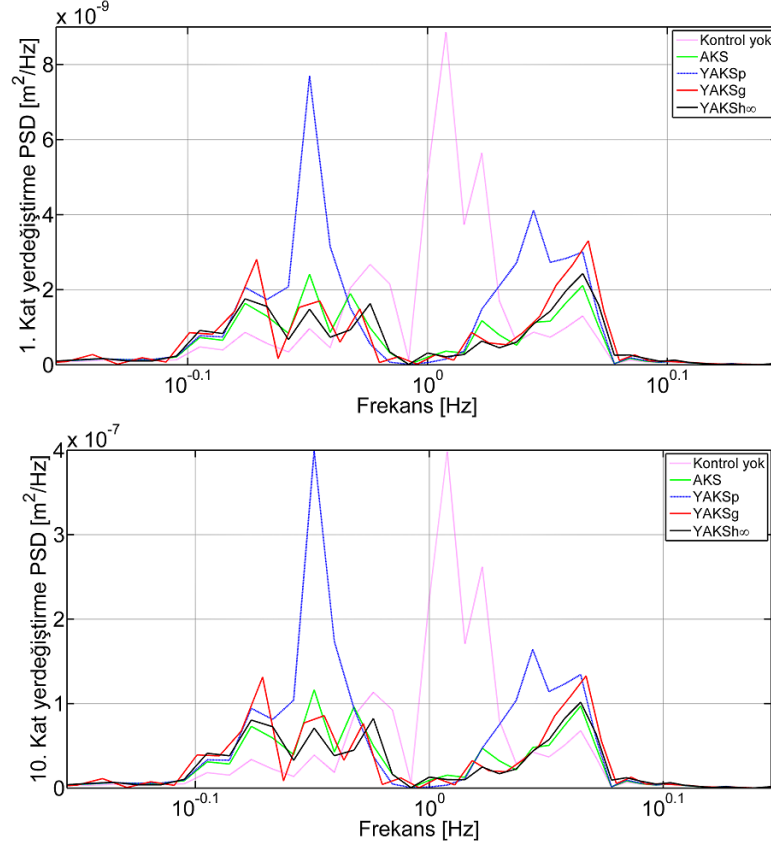
Şekil 4.59 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları

gerçekleştirmiştir. YAKSp ise sistemin yerdeğiştirme frekans cevaplarının kötüleşmesine neden olmuştur. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise, kütle oranının artması düşük bir miktarda olsa da yerdeğiştirme frekans cevaplarında olumlu bir etki sağlamıştır. Bütün kütle oranlarında kontrol uygulamaları arasında en yüksek performansı YAKSh_∞, en düşük performansı da YAKSp göstermiştir.

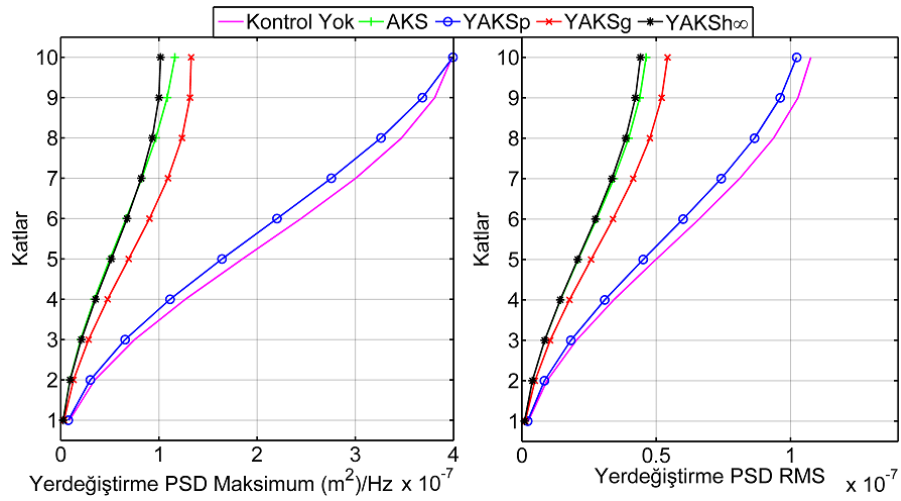


Şekil 4.60 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

El-Centro Tahrik etkisindeki sisteme ait 1. kat ve 10. katın yerdeğiştirme PSD cevapları şekil 4.61’de, tüm katların yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ile PSD RMS değerleri şekil 4.62’de, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları şekil 4.63’tedir.



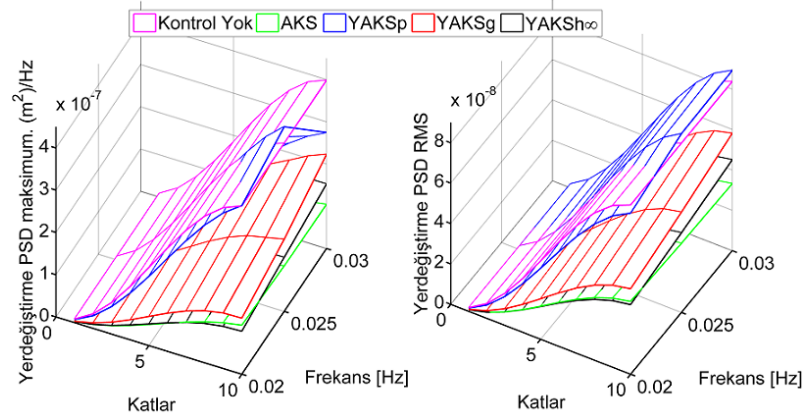
şekil 4.61 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları



şekil 4.62 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

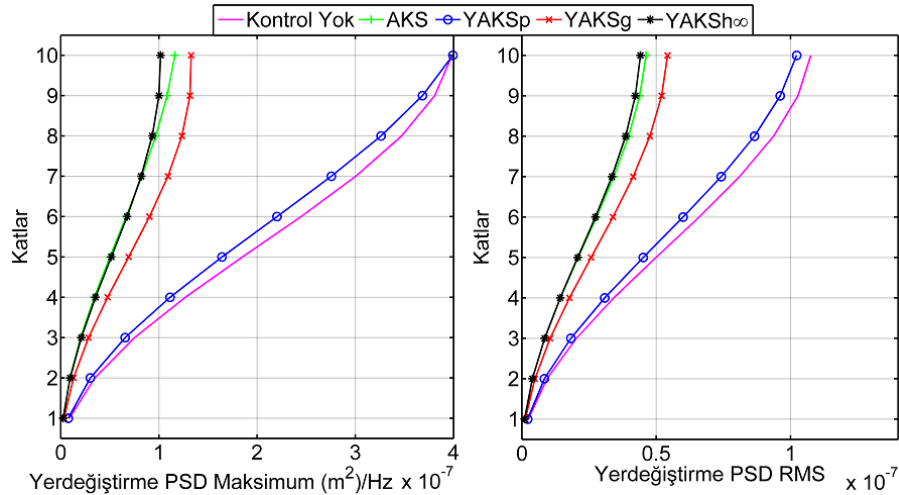
YAKSh_∞, AKS ile performansı yakın olmakla birlikte en iyi performansı

gerçekleştirmiştir. YAKSg'nin performansı AKS'den daha düşüktür. YAKSp'nin performansı ise en düşük düzeydedir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, YAKS kontrol durumlarında performansın düşmesine, AKS kontrol durumunda ise performansın artmasına neden olmuştur.



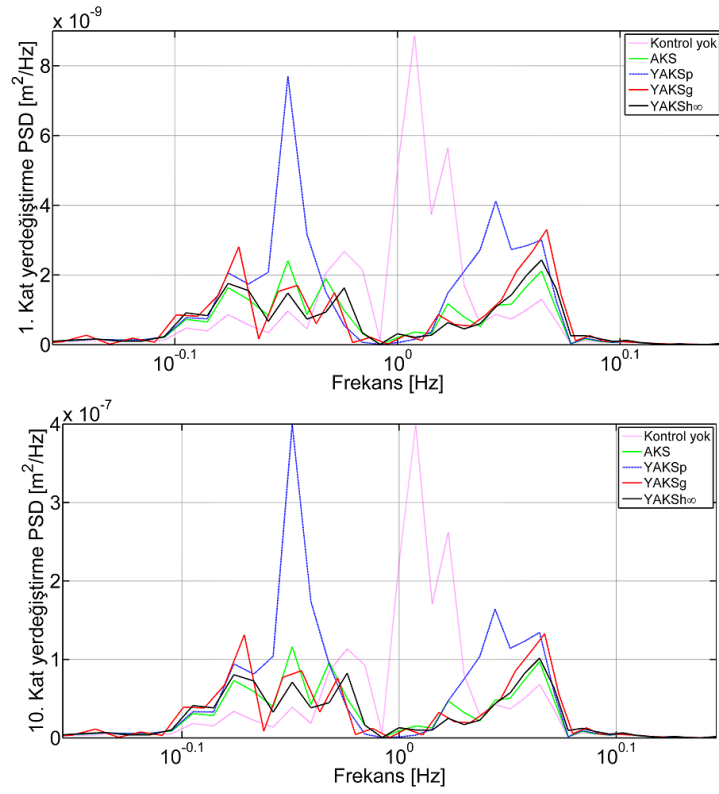
Şekil 4.63 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

Northridge Tahrik etkisindeki sisteme ait tüm katların yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ile PSD RMS değerleri Şekil 4.64'te, 1. kat ve 10. katın yerdeğiştirme PSD cevapları Şekil 4.65'te, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.66'dadır.



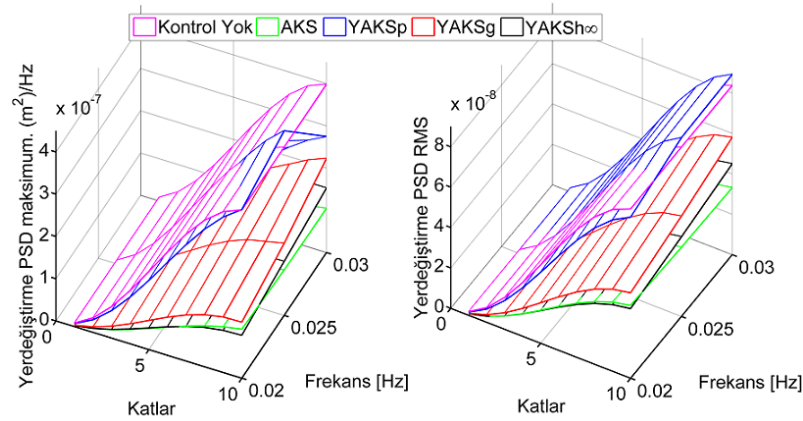
Şekil 4.64 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

YAKSh_∞ ile AKS'nin performansları birbirlerine yakın olmakla birlikte, maksimum cevaplarda ve RMS değerlerinde YAKSh_∞ az bir farkla daha iyidir. YAKSg'nin performansı AKS ve YAKSh_∞'dan daha düşüktür.



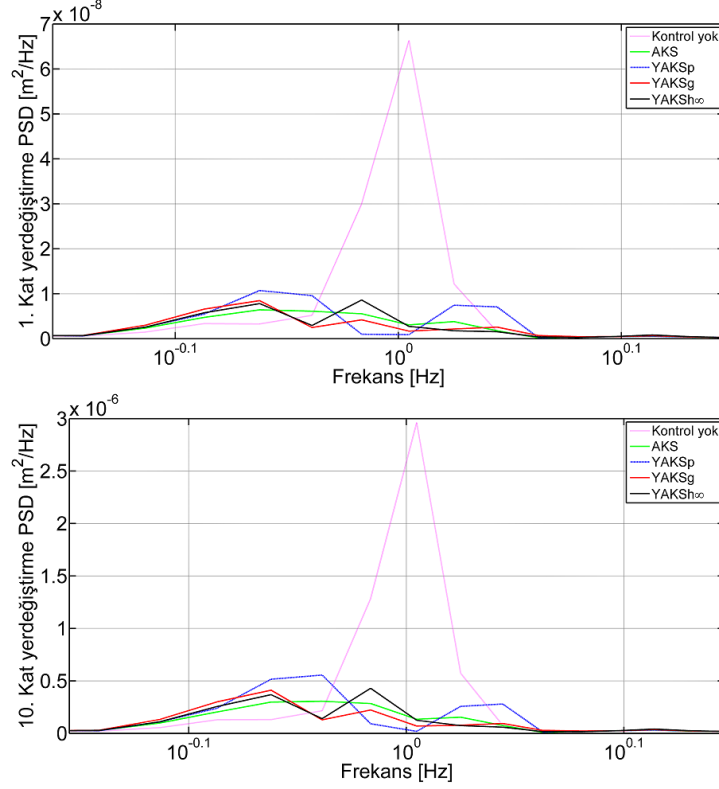
Şekil 4.65 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları

YAKSp'nin performansı sistem frekans cevaplarının kötüleşmesine neden olmuştur. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, YAKS kontrol durumlarında performansın düşmesine, AKS kontrol durumunda ise performansın artmasına neden olmuştur.

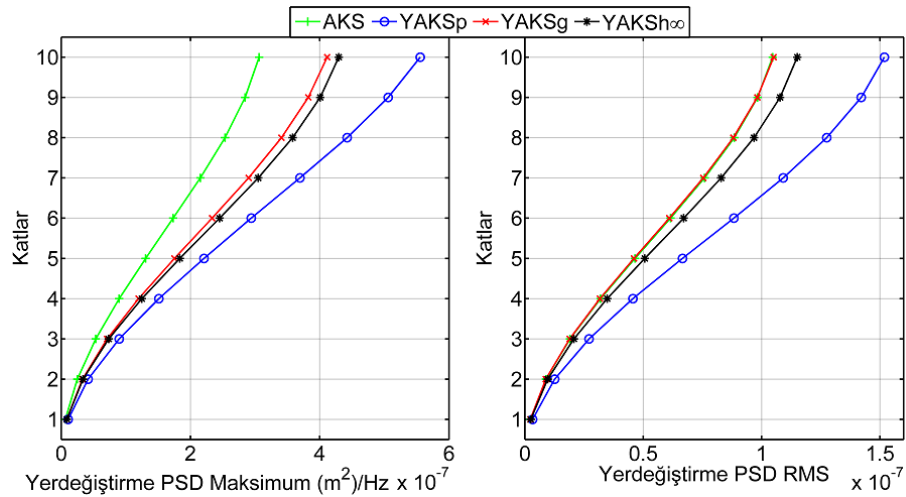


Şekil 4.66 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

Erzincan Tahrik etkisindeki sisteme ait 1. kat ve 10. katın yerdeğiştirme PSD cevapları şekil 4.67’de, tüm katların yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ile PSD RMS değerleri şekil 4.68’de, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları şekil 4.69’dadır.



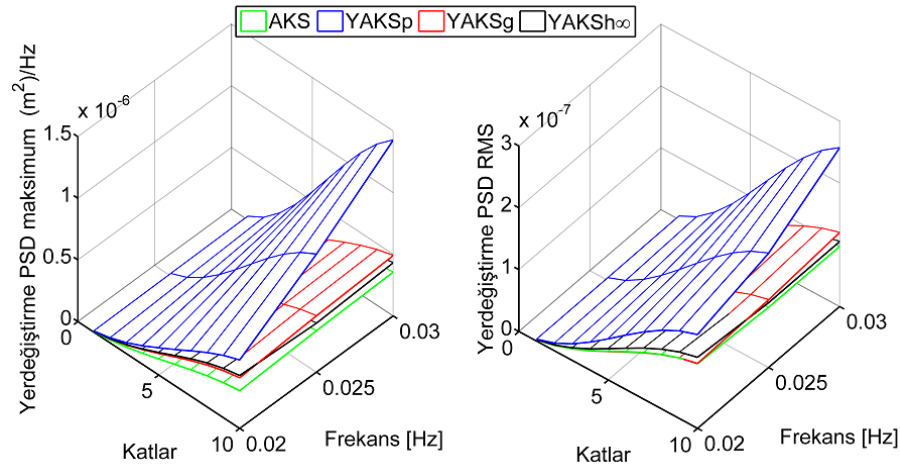
şekil 4.67 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat yerdeğiştirme PSD cevapları



şekil 4.68 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

Bütün kontrol durumlarının performansları yüksek ve birbirlerine yakındır.

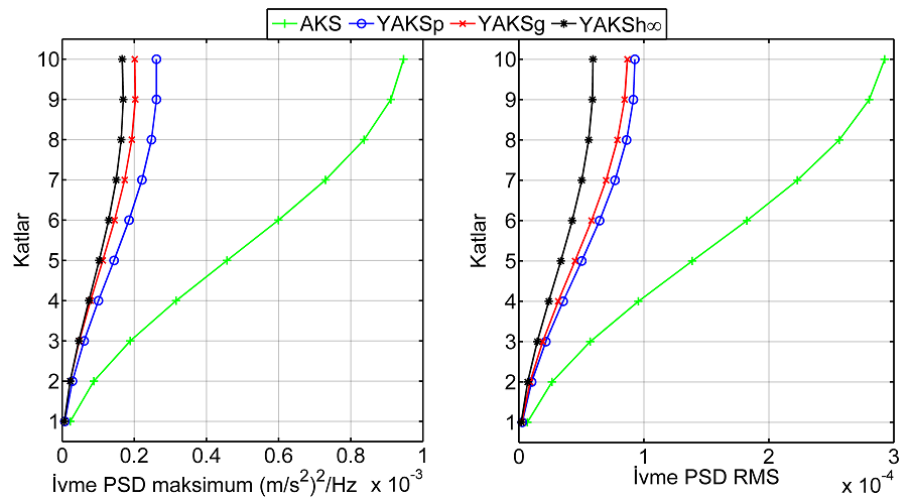
Maksimum cevaplarda AKS, RMS değerlerinde de YAKSg ile AKS YAKSh_∞'dan daha iyi performans göstermişlerdir. YAKSp ise en düşük performansa sahiptir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, YAKSp'nin belirgin olarak performansının düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, kütle oranı artışının diğer kontrol durumları performanslarına belirgin bir katkısı yoktur.



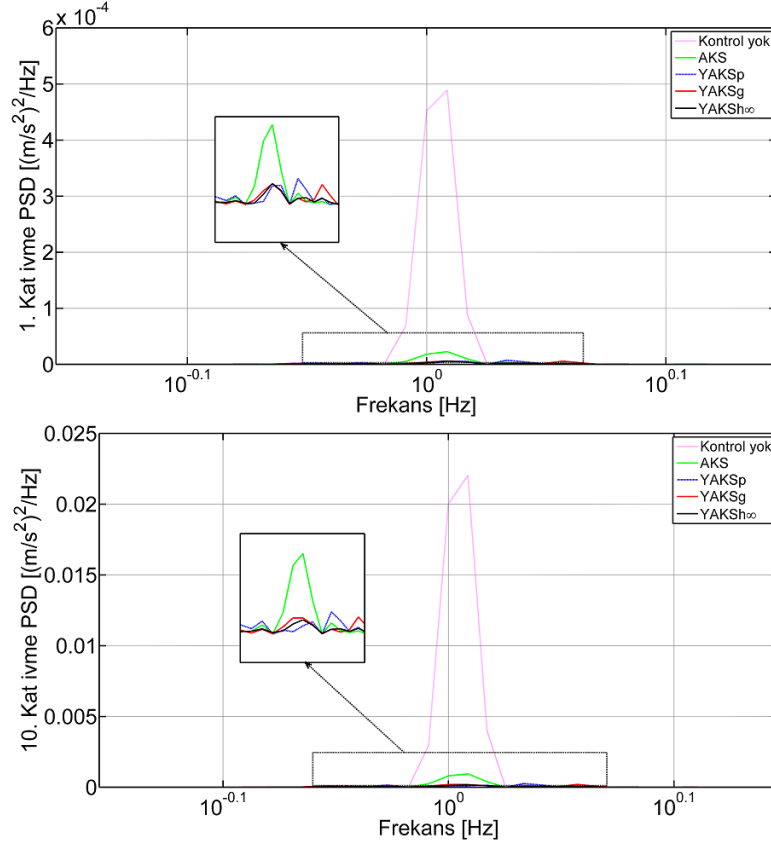
Şekil 4.69 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme PSD maksimum cevapları ve yerdeğiştirme PSD RMS değerleri

4.2.5 İvme PSD Cevapları

Tahrik-1 etkisindeki sisteme ait tüm katların ivme PSD maksimum cevapları ile ivme PSD RMS değerleri Şekil 4.70'te, 1. kat ve 10. katın ivme PSD cevapları Şekil 4.71'de, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.72'dedir.

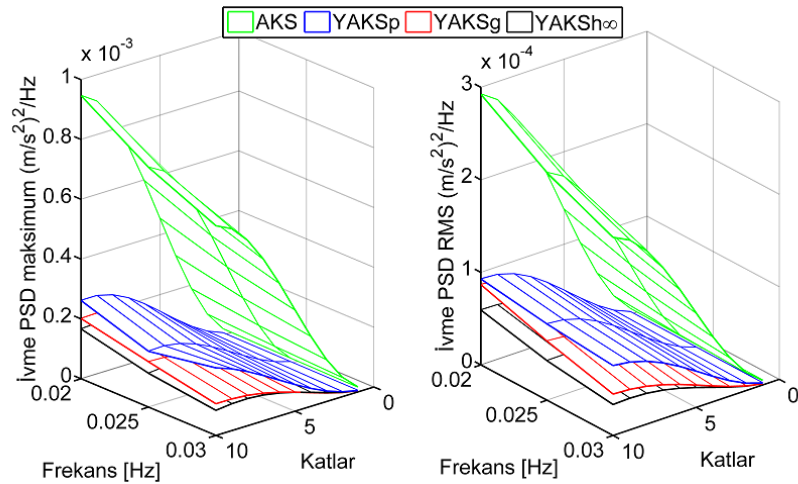


Şekil 4.70 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri



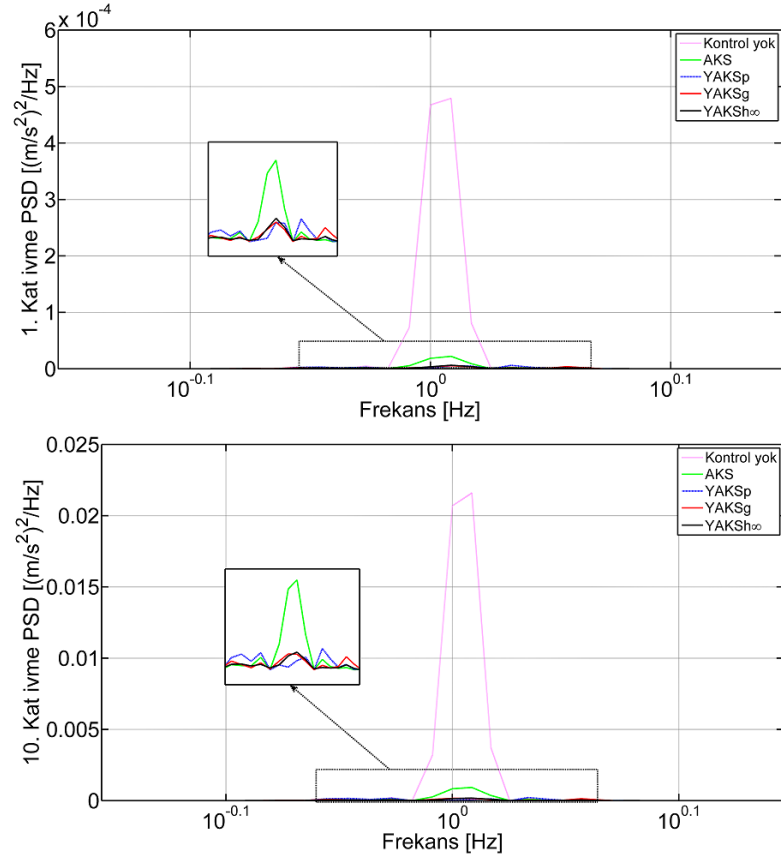
Şekil 4.71 Tahrik-1 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları

YAKS kontrol durumlarıyla, AKS'den daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sistemin katlarına ait maksimum cevaplarda en etkili kontrolün $YAKSh_{\infty}$ olduğu açıkça görülmektedir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, YAKSp'nin performansının düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, kütle oranı artışı diğer kontrol durumlarının performanslarını arttırmıştır.

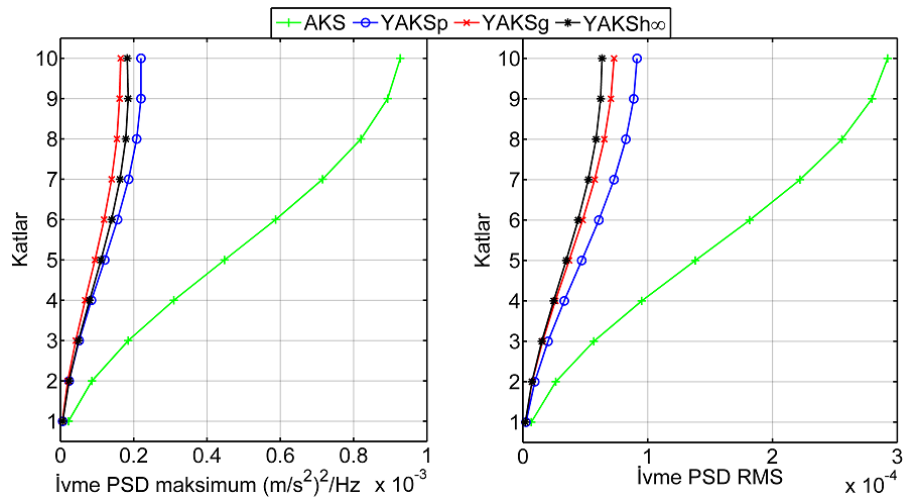


Şekil 4.72 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

Tahrik-2 etkisindeki sisteme ait 1. kat ve 10. katın ivme PSD cevapları Şekil 4.73'te, tüm katların ivme PSD maksimum cevapları ile ivme PSD RMS değerleri Şekil 4.74'te, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.75'tedir.



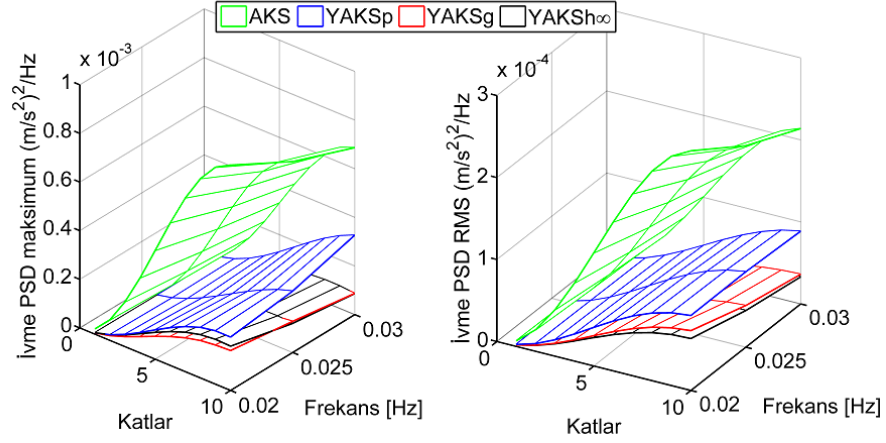
Şekil 4.73 Tahrik-2 etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları



Şekil 4.74 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

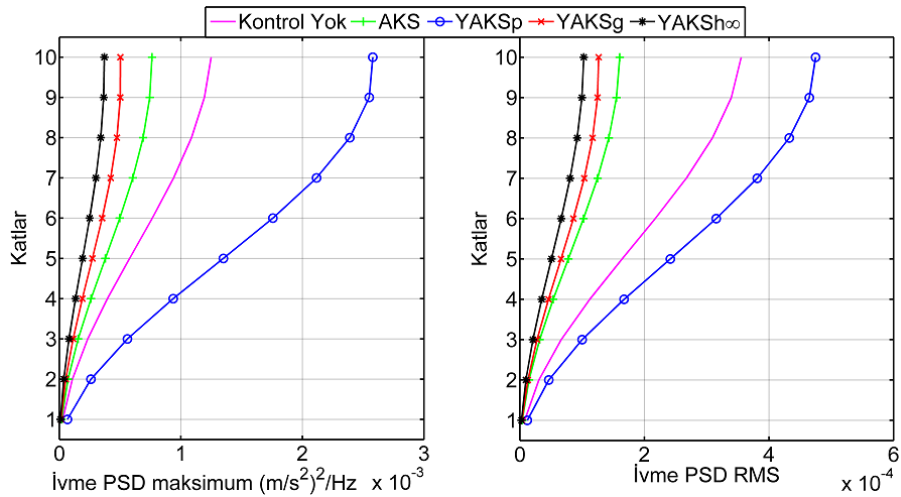
YAKS kontrol durumlarıyla, AKS kontrol durumundan daha başarılı sonuçlar elde

edilmiştir. Maksimum cevaplarda YAKSg, RMS değerlerinde ise YAKSh_∞ daha etkilidir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, Tahrik-1'deki gibi YAKSp'nin performansının düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, kütle oranı artışı diğer kontrol durumlarının performanslarını arttırmıştır.



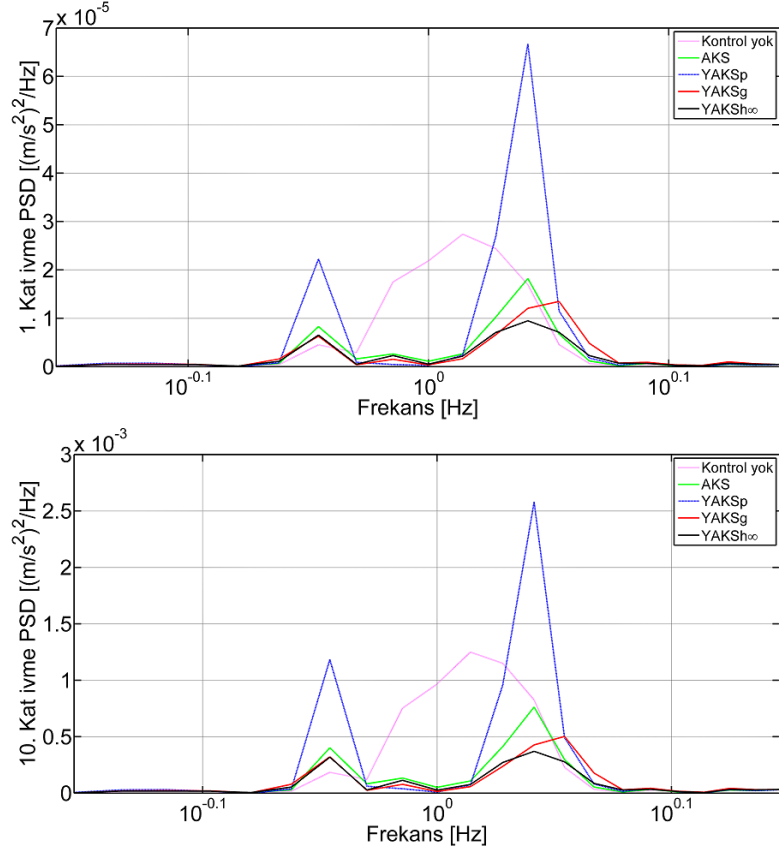
Şekil 4.75 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

Kocaeli Tahrik etkisindeki sisteme ait tüm katların ivme PSD maksimum cevapları ile ivme PSD RMS değerleri Şekil 4.76'da, 1. kat ve 10. katın ivme PSD cevapları Şekil 4.77'de, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.78'dedir.



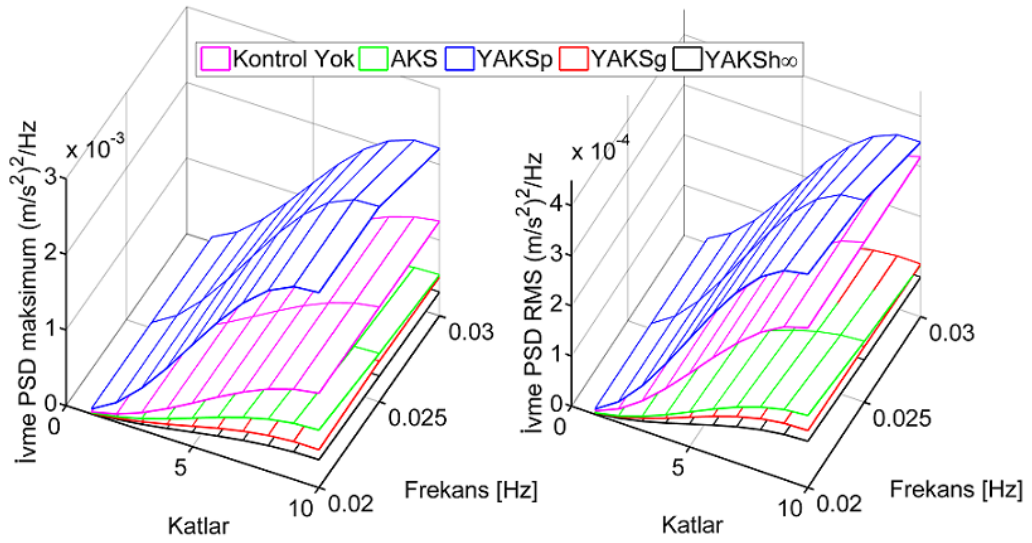
Şekil 4.76 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

YAKSp dışındaki YAKS kontrol durumlarıyla, AKS kontrol durumundan daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.



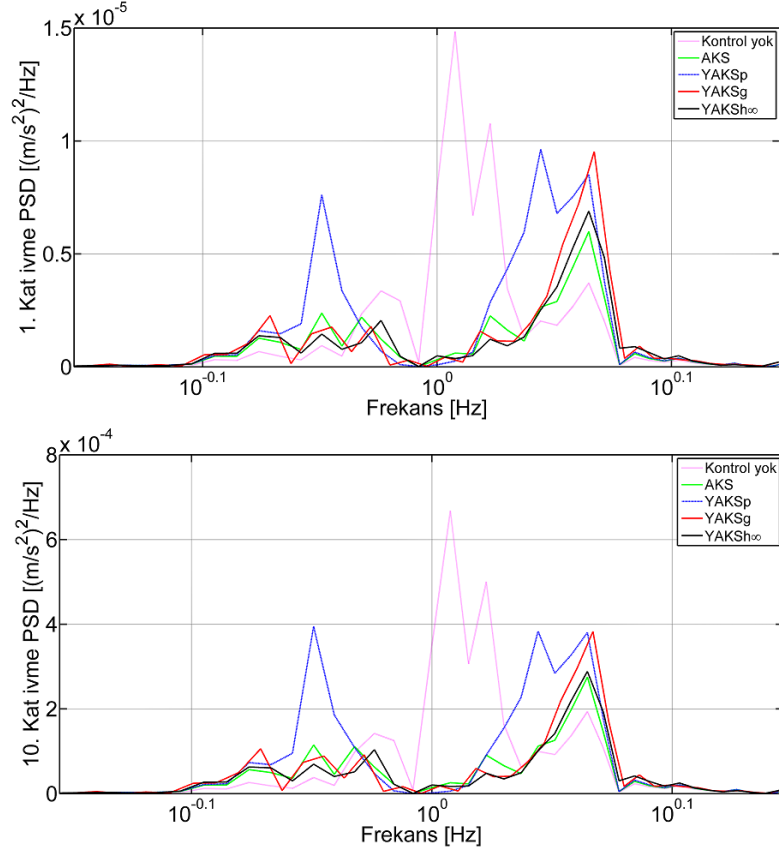
Şekil 4.77 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları

Maksimum cevaplarda ve RMS değerlerinde $YAKSh_{\infty}$ daha etkilidir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, tüm kontrol durumlarının performansını arttırmıştır.

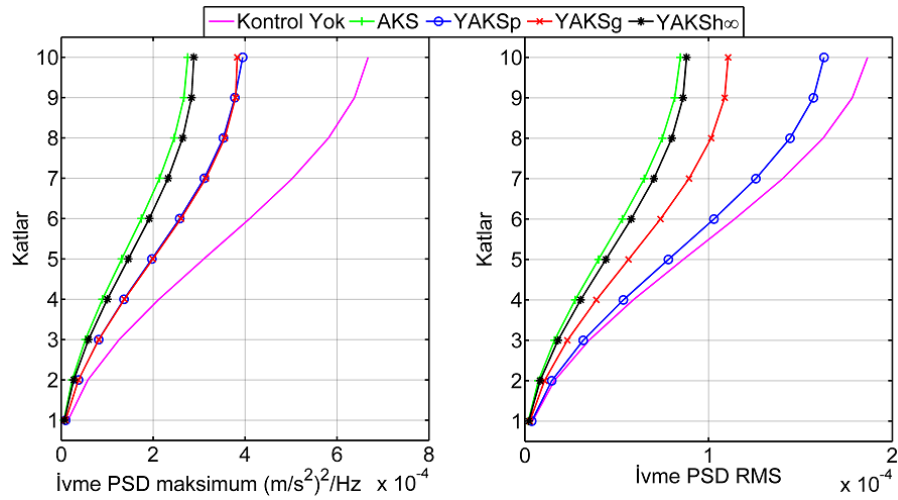


Şekil 4.78 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

El-Centro Tahrik etkisindeki sisteme ait 1. kat ve 10. katın ivme PSD cevapları Şekil 4.79'da, tüm katların ivme PSD maksimum cevapları ile ivme PSD RMS değerleri Şekil 4.80'de, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.81'dedir.



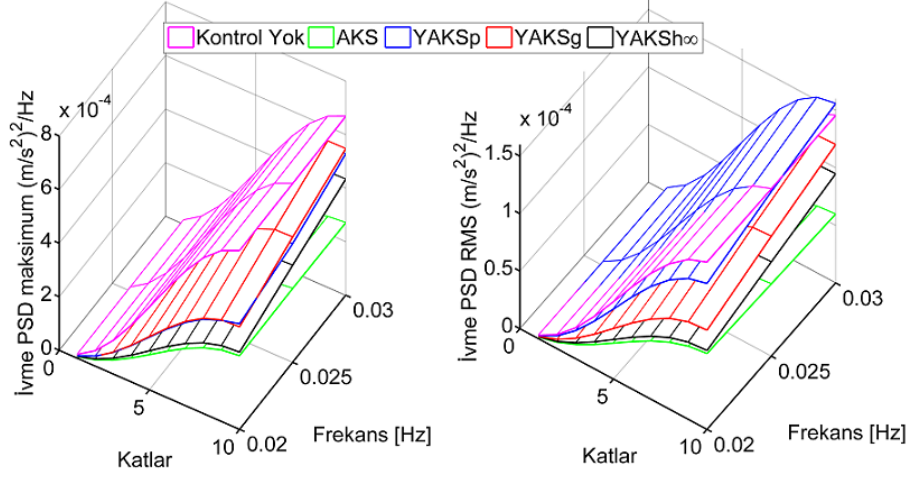
Şekil 4.79 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları



Şekil 4.80 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

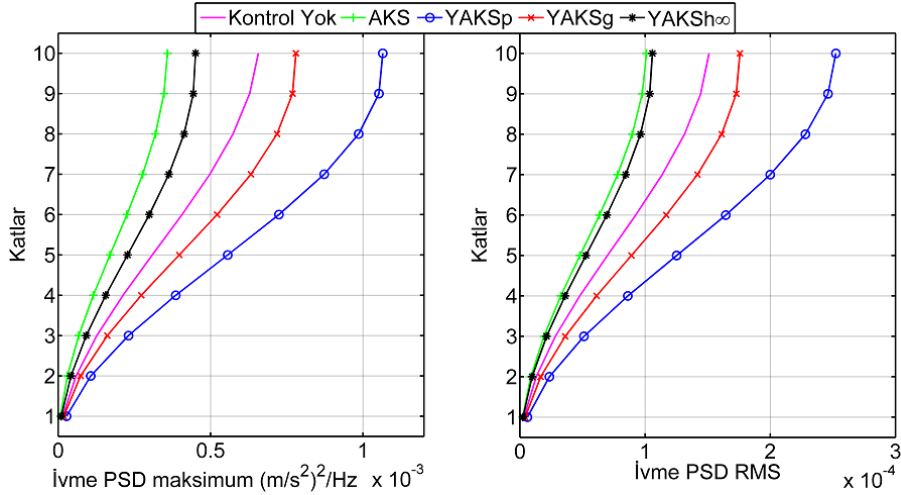
Genel olarak bütün kontrol durumları sistemin ivme PSD değerlerini düşürmüştür.

YAKSh_∞ ve AKS'nin performansları diğer iki kontrol durumundan daha yüksek olmakla birlikte, en etkili kontrol uygulaması AKS'dir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, AKS'nin performansını arttırmış ve YAKS kontrol durumlarının performansını düşürmüştür.



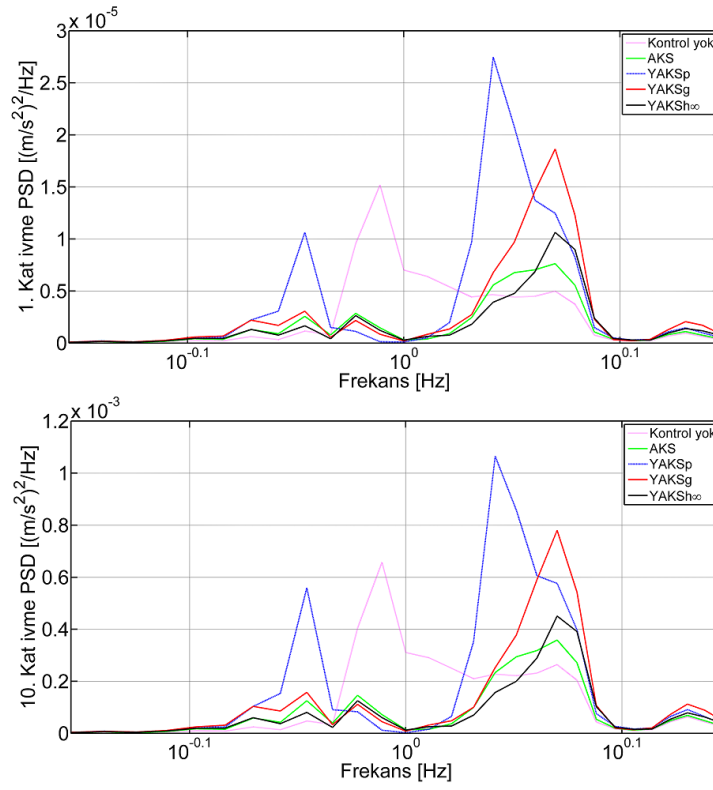
Şekil 4.81 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

Northridge Tahrik etkisindeki sisteme ait tüm katların ivme PSD maksimum cevapları ile ivme PSD RMS değerleri Şekil 4.82'de, 1. kat ve 10. katın ivme PSD cevapları Şekil 4.83'te, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.84'tedir.



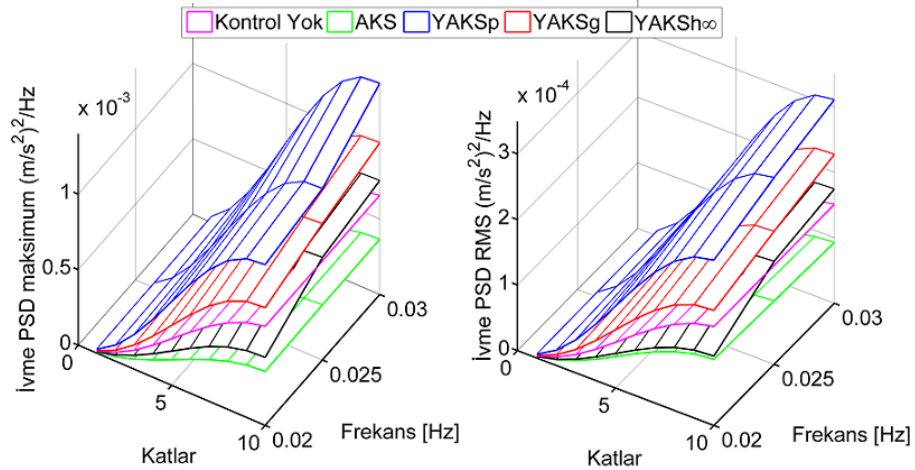
Şekil 4.82 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

YAKSg ve YAKSp kontrol durumlarının ivme PSD değerlerinde kötüleşmeler olmuştur. YAKSh_∞ ve AKS kontrol durumlarında ise sistem cevaplarında iyileşme gözlemlenmiştir.



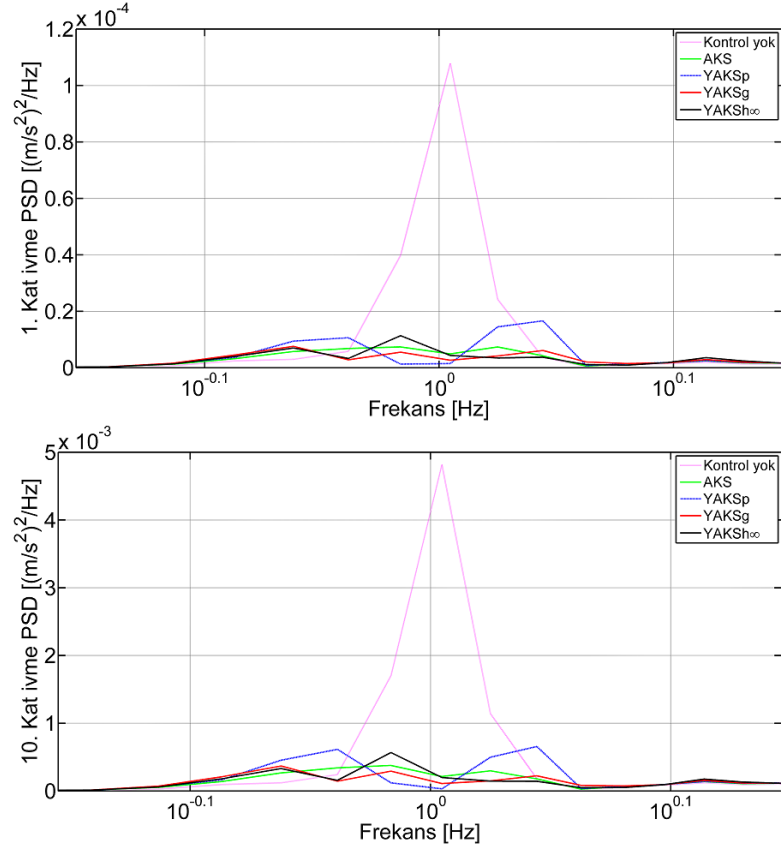
Şekil 4.83 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları

Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, en etkin olan AKS'nin performansını arttırmış ve YAKS kontrol durumlarının da performansını düşürmüştür.

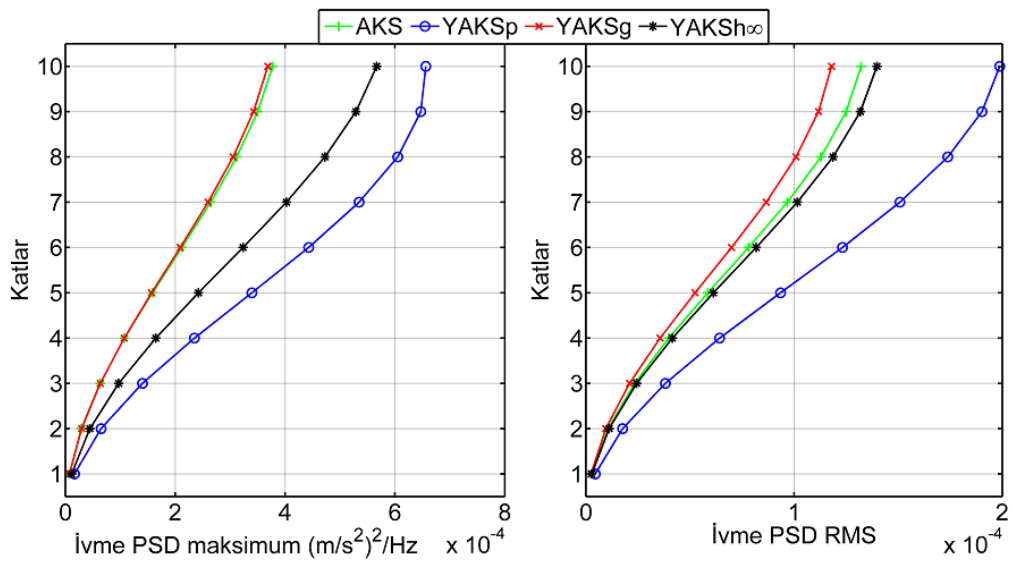


Şekil 4.84 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

Erzincan Tahrik etkisindeki sisteme ait 1. kat ve 10. katın ivme PSD cevapları Şekil 4.85'te, tüm katların ivme PSD maksimum cevapları ile ivme PSD RMS değerleri Şekil 4.86'da, farklı kütle oranlarına göre tüm katların PSD cevapları Şekil 4.87'dedir.

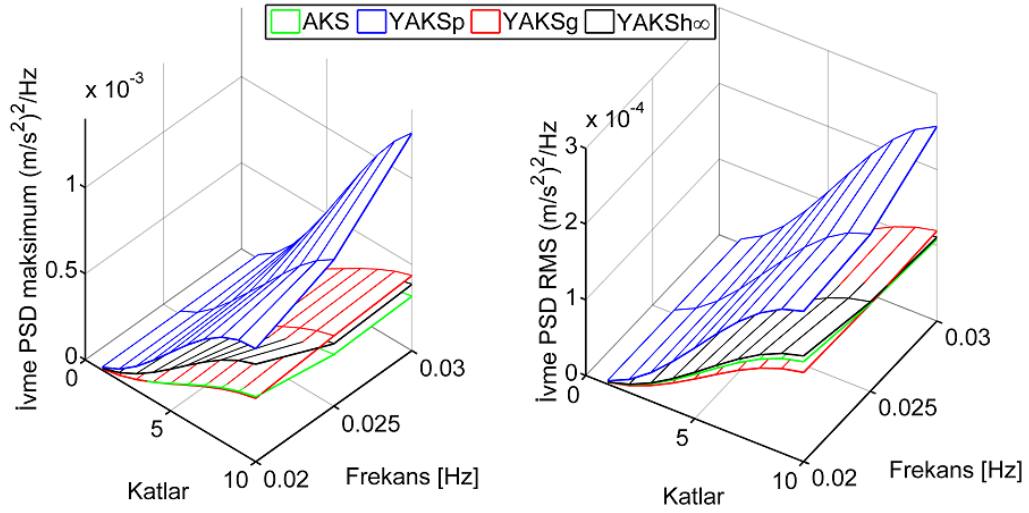


Şekil 4.85 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin 1. kat ve 10. kat ivme PSD cevapları



Şekil 4.86 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

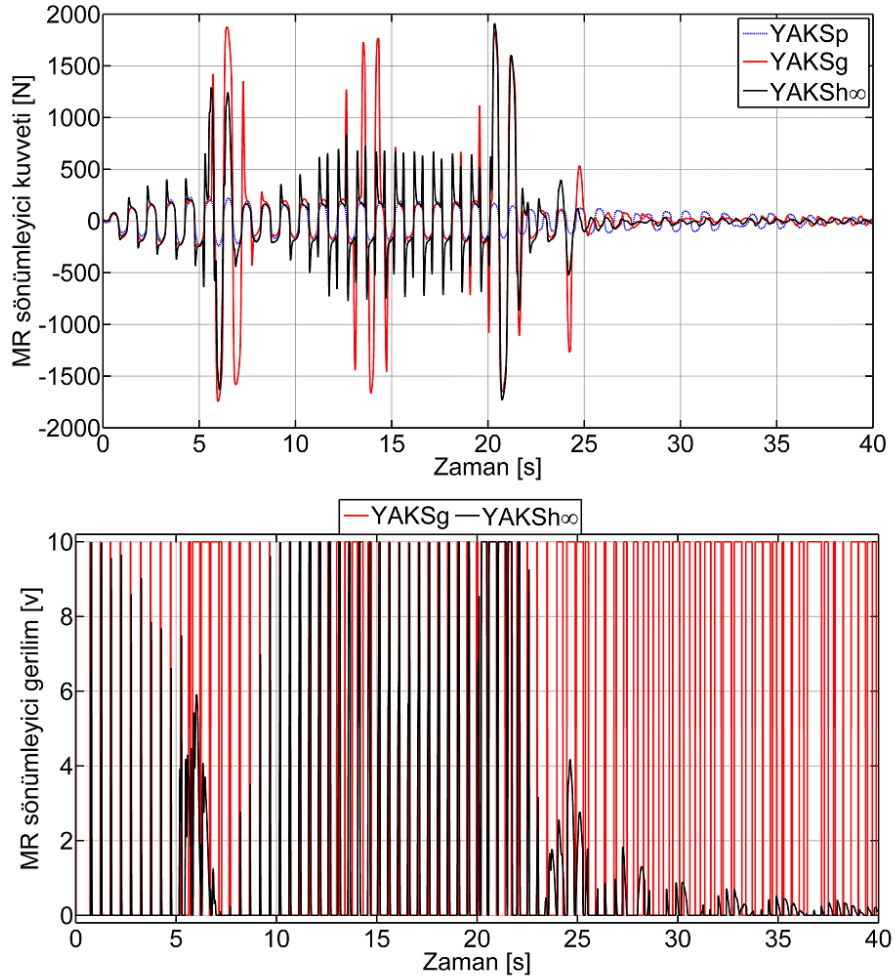
Bütün kontrol durumlarının performansları birbirlerine yakın ve sistem cevaplarında etkinlikleri yüksektir. YAKSg ve AKS'nin performansları diğer kontrol uygulamalarından az da olsa daha yüksektir. En iyi performansı YAKSg göstermiştir. Sistemin tüm katları ile farklı kütle oranlarının değerlendirilmesinde ise kütle oranının artması, YAKSp'nin performansını azaltırken diğer kontrol durumlarının performanslarını arttırmıştır.



Şekil 4.87 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme PSD maksimum cevapları ve ivme PSD RMS değerleri

4.2.6 MR damper Kuvvet ve Gerilim Değerleri

Tahrik-1 etkisindeki sistemde üretilen MR damper kuvvet ve gerilimleri Şekil 4.88’de, farklı kütle oranlarında ürettiği kuvvet ve gerilimler ise Tablo 4.3’te verilmiştir.



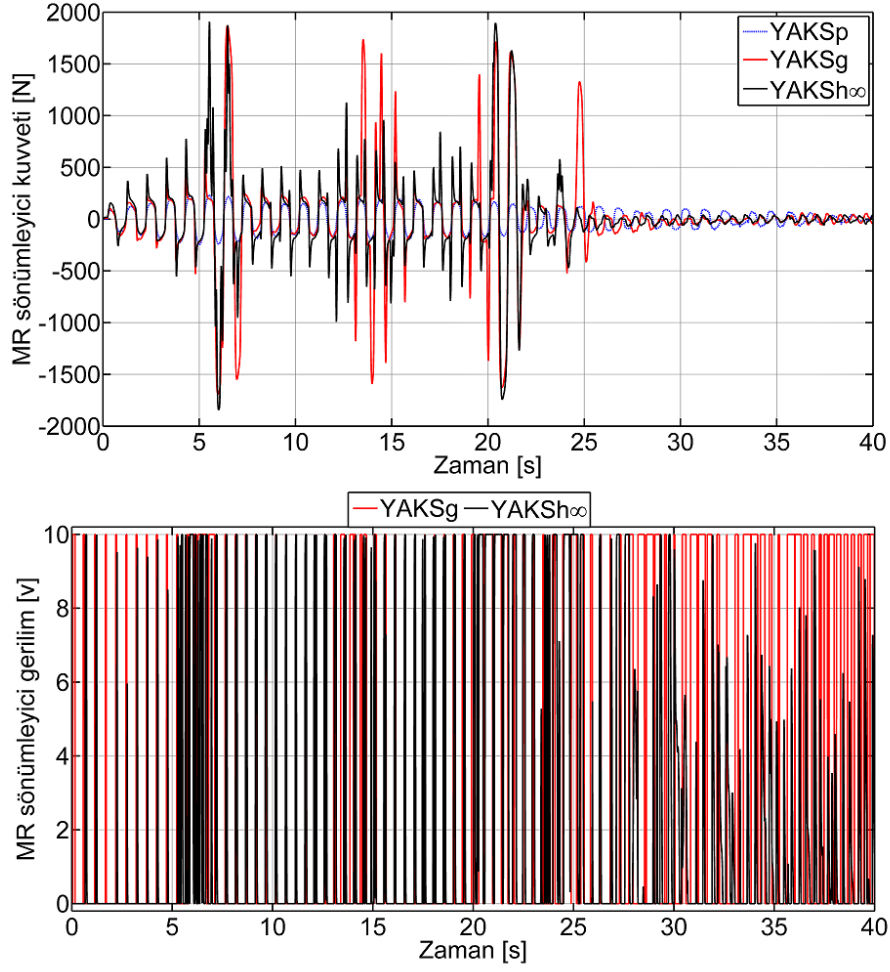
Şekil 4.88 Tahrik-1 MR damper kuvvet ve gerilimleri

YAKSh_∞ ve YAKSg durumlarında maksimum MR damper kuvvetlerin büyüklükleri farklı kütle oranlarına göre değişkenlik gösterirken RMS değerlerinde ise YAKSh_∞’de üretilen MR damper kuvveti daha düşüktür. MR dampere iletilen gerilimler de dikkate alındığında YAKSg’de iletilen gerilimin YAKSh_∞’a oranla çok daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 4.3 Tahrik-1 MR damper kuvvetleri

Kütle Oranları	Maksimum kuvvet [N]			Kuvvet RMS [N]			Gerilim RMS [V]	
	YAKSh _∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh _∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh _∞	YAKSg
0.020	1910.60	1875.34	245.59	328.51	424.50	104.17	2.52	6.05
0.025	1847.94	1938.22	202.96	348.74	446.51	93.39	3.57	6.26
0.030	1883.99	1858.95	198.58	359.30	459.06	92.06	4.06	6.19

Tahrik-2 etkisindeki sistemde üretilen MR damper kuvvet ve gerilimleri Şekil 4.89’da, farklı kütle oranlarında ürettiği kuvvet ve gerilimler ise Tablo 4.4’te verilmiştir.



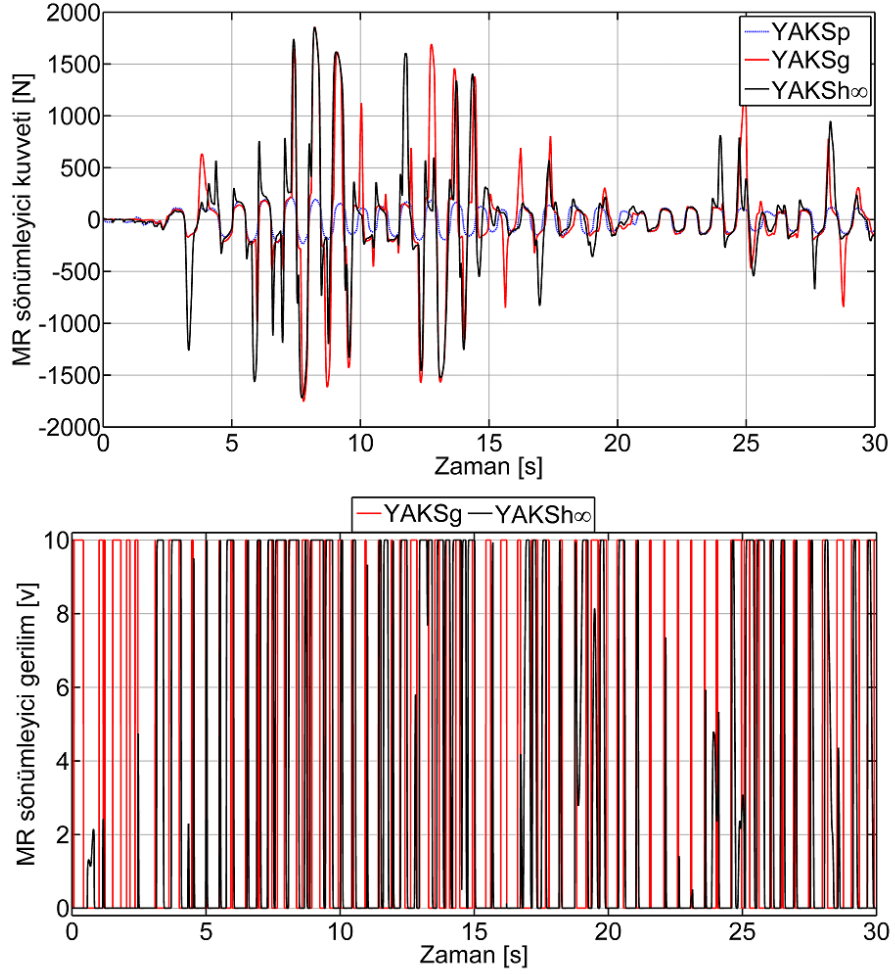
Şekil 4.89 Tahrik-2 MR damper kuvvet ve gerilimleri

Tahrik-1 etkisinde olduğu gibi YAKSh ∞ , YAKSg’den maksimum kuvvetlerde daha yüksek, kuvvet RMS değerlerinde ise daha düşük MR damper kuvveti üretilmiştir. MR dampere iletilen gerilimler de dikkate alındığında, YAKSg’de iletilen gerilimin YAKSh ∞ ’a oranla daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 4.4 Tahrik-2 MR damper kuvvetleri

Kütle Oranları	Maksimum kuvvet [N]			Kuvvet RMS [N]			Gerilim RMS [V]	
	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg
0.020	1906.78	1870.05	246.35	344.02	400.00	102.76	3.82	5.90
0.025	1886.71	1836.98	196.89	348.59	417.74	90.34	4.92	6.11
0.030	1821.12	1812.82	188.08	355.17	421.39	86.99	4.84	6.19

Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemde üretilen MR damper kuvvet ve gerilimleri Şekil 4.90'da, farklı kütle oranlarında ürettiği kuvvet ve gerilimler ise Tablo 4.5'te verilmiştir.



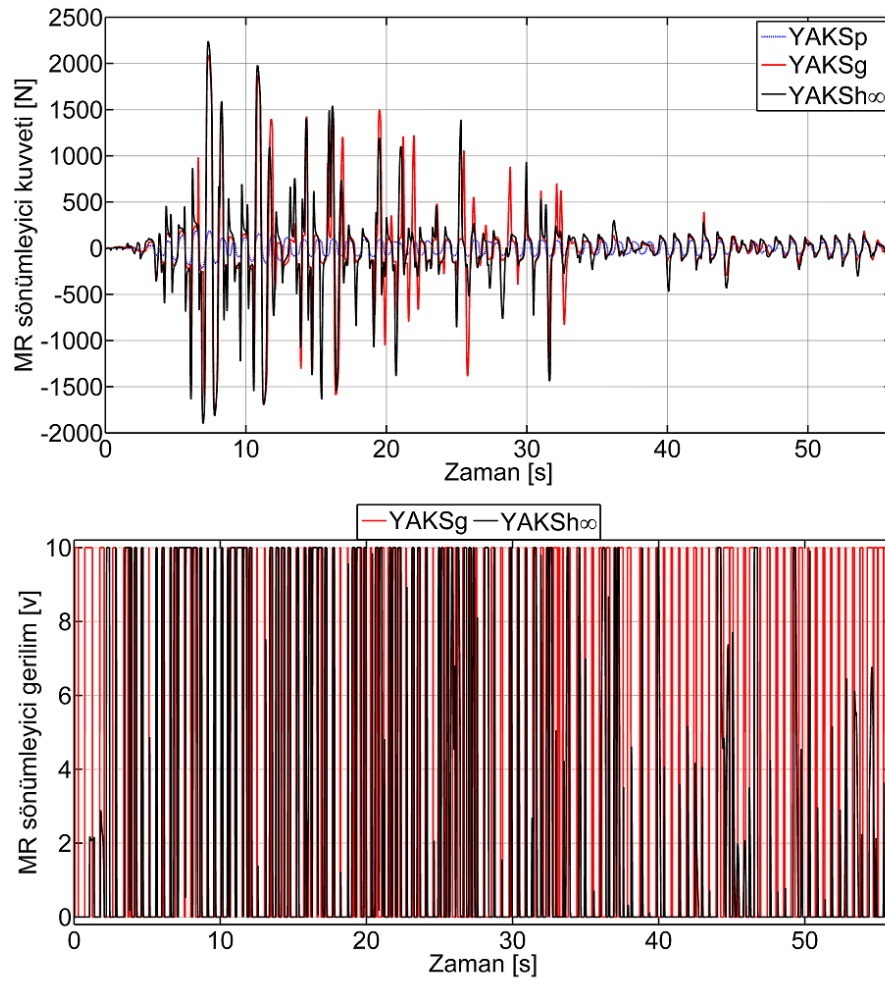
Şekil 4.90 Kocaeli Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri

YAKSh ∞ ve YAKSg durumlarında, maksimum MR damper kuvvetlerin büyüklükleri farklı kütle oranlarına göre değişkenlik gösterirken, RMS değerlerinde ise YAKSh ∞ 'da üretilen MR damper kuvveti daha yüksektir. MR dampere iletilen gerilimlerde, kütle oranı arttıkça YAKSh ∞ 'un ilettiği gerilim miktarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 4.5 Kocaeli Tahrik MR damper kuvvetleri

Kütle Oranları	Maksimum kuvvet [N]			Kuvvet RMS [N]			Gerilim RMS [V]	
	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg
0.020	1853.86	1856.84	231.27	493.61	472.03	112.87	5.20	5.36
0.025	1793.26	1765.57	206.07	509.21	478.20	104.75	5.91	5.48
0.030	1812.03	1774.63	193.58	515.48	482.23	98.83	6.34	5.70

El-Centro Tahrik etkisindeki sistemde üretilen MR damper kuvvet ve gerilimleri Şekil 4.91’de, farklı kütle oranlarında ürettiği kuvvet ve gerilimler ise Tablo 4.6’da verilmiştir.



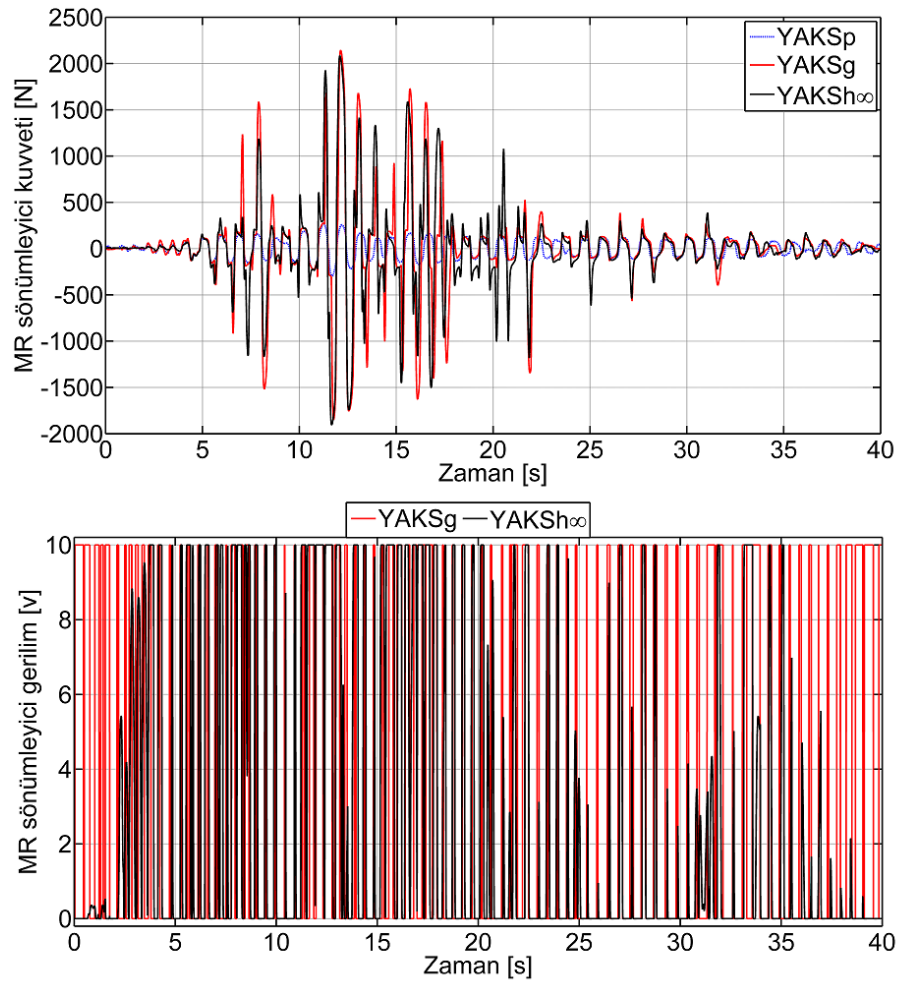
Şekil 4.91 El-Centro Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri

$YAKSh_{\infty}$, $YAKSg$ ’den maksimum kuvvetlerde ve kuvvet RMS değerlerinde daha yüksektir. MR dampere iletilen gerilimler de dikkate alındığında, artan kütle oranlarında $YAKSh_{\infty}$ ’de daha fazla gerilim iletilmiştir.

Tablo 4.6 El-Centro Tahrik MR damper kuvvetleri

Kütle Oranları	Maksimum kuvvet [N]			Kuvvet RMS [N]			Gerilim RMS [V]	
	$YAKSh_{\infty}$	$YAKSg$	$YAKSp$	$YAKSh_{\infty}$	$YAKSg$	$YAKSp$	$YAKSh_{\infty}$	$YAKSg$
0.020	2238.63	2086.73	214.61	453.33	419.85	71.65	4.81	5.49
0.025	2049.87	1987.17	192.73	470.42	441.70	72.95	5.78	5.67
0.030	1980.46	1941.19	179.44	477.65	451.15	69.53	6.21	5.85

Northridge Tahrik etkisindeki sistemde üretilen MR damper kuvvet ve gerilimleri Şekil 4.92’de, farklı kütle oranlarında ürettiği kuvvet ve gerilimler ise Tablo 4.7’de verilmiştir.



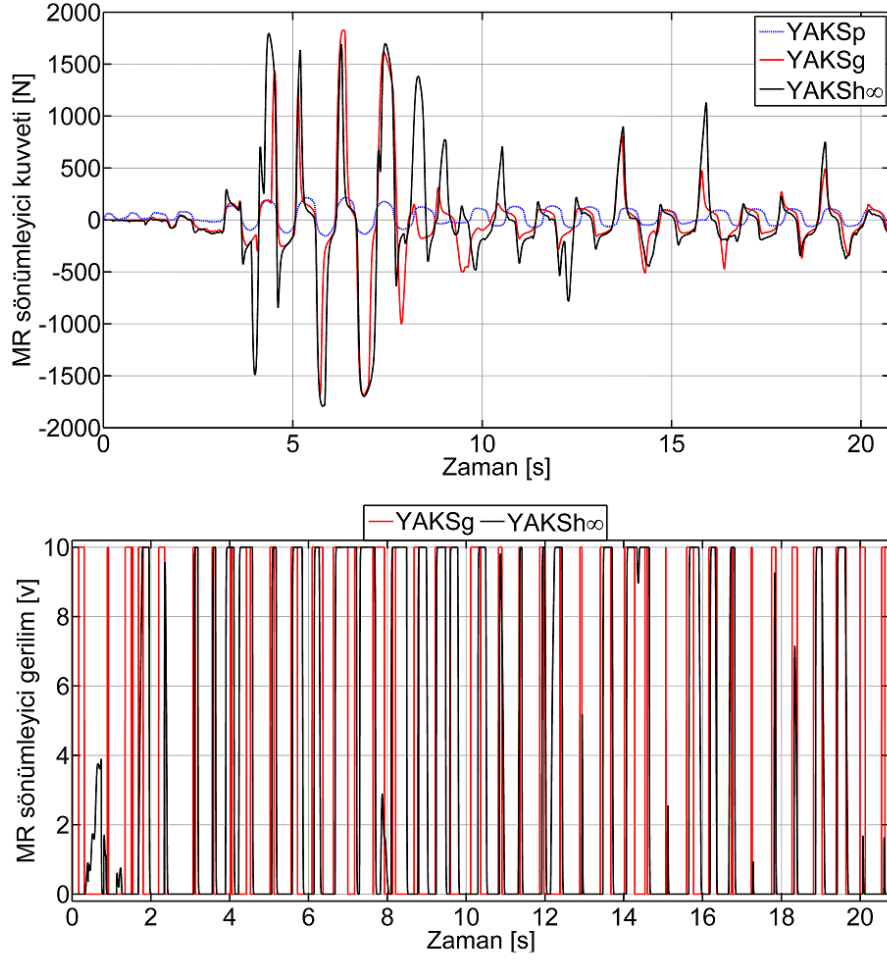
Şekil 4.92 Northridge Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri

YAKSh ∞ ve YAKSg durumlarında, maksimum MR damper kuvvetlerin büyüklükleri farklı kütle oranlarına göre değişkenlik gösterirken, RMS değerlerinde ise YAKSh ∞ ’da üretilen MR damper kuvveti daha yüksektir. MR dampere iletilen gerilimler de dikkate alındığında, artan kütle oranlarında YAKSh ∞ ’de daha fazla gerilim iletilmiştir.

Tablo 4.7 Northridge Tahrik MR damper kuvvetleri

Kütle Oranları	Maksimum kuvvet [N]			Kuvvet RMS [N]			Gerilim RMS [V]	
	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg
0.020	2084.14	2142.62	297.11	456.97	454.00	99.54	4.86	5.56
0.025	2039.40	1968.59	263.79	512.20	456.31	94.19	6.05	5.93
0.030	2066.82	1876.76	239.05	531.86	460.03	90.10	6.40	6.03

Erzincan Tahrik etkisindeki sistemde üretilen MR damper kuvvet ve gerilimleri Şekil 4.93'te, farklı kütle oranlarında ürettiği kuvvet ve gerilimler ise Tablo 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.93 Erzincan Tahrik MR damper kuvvet ve gerilimleri

YAKSh ∞ ve YAKSg durumlarında, maksimum MR damper kuvvetlerin büyüklükleri farklı kütle oranlarına göre değişkenlik gösterirken, RMS değerlerinde ise YAKSh ∞ 'da üretilen MR damper kuvveti daha yüksektir. MR dampere iletilen gerilimler de dikkate alındığında, bütün durumlarda YAKSh ∞ 'de daha fazla gerilim iletilmiştir.

Tablo 4.8 Erzincan Tahrik MR damper kuvvetleri

Kütle Oranları	Maksimum kuvvet [N]			Kuvvet RMS [N]			Gerilim RMS [V]	
	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg	YAKSp	YAKSh ∞	YAKSg
0.020	1795.35	1826.79	217.52	514.14	413.00	87.87	5.32	5.16
0.025	1794.53	1765.99	170.42	515.97	427.25	78.48	6.05	5.35
0.030	1765.84	1714.11	165.50	522.99	444.59	77.50	5.84	5.65

Tablo 4.9'daki tüm kontrol durumlarında rölatif değıştirmelerin artan kütle oranıyla azaldığı görölmektedir. Bütün tahrik durumlarında AKS'nin maksimum rölatif yerdeğıştirmesi YAKS kontrol durumlarından daha düşüktür. AKS sabit sönüm parametresine sahiptir ve bu parametre tahrik esnasında değışmez. $YAKSh_{\infty}$ ve $YAKSg$ 'nin sönüm parametresi, sistem tepkilerini iyileştirmek için MR damperinin ürettiğı kuvvete göre değışir. Bu nedenle, YAKS ile sistem yanıtları iyileşirken, rölatif yer değıştirme artabilir. Ayrıca, YAKS'ler arasında en düşük rölatif yerdeğıştirme $YAKSh_{\infty}$ 'dadır.

Tablo 4.9 Maksimum rölatif yerdeğıştirmeler

Tahrikler	Kütle oranları	AKS	YAKSp	YAKSg	$YAKSh_{\infty}$
Tahrik-1	0.020	0.01655	0.02534	0.02551	0.02499
	0.025	0.01374	0.02172	0.02132	0.02078
	0.030	0.01184	0.01828	0.01803	0.01743
Tahrik-2	0.020	0.01699	0.02580	0.02565	0.02543
	0.025	0.01423	0.02175	0.02162	0.02085
	0.030	0.01227	0.01896	0.01839	0.01808
Kocaeli	0.020	0.01419	0.02257	0.02163	0.01908
	0.025	0.01230	0.01975	0.01880	0.01655
	0.030	0.01107	0.01794	0.01685	0.01431
El-Centro	0.020	0.01698	0.02639	0.02511	0.02336
	0.025	0.01493	0.02341	0.02273	0.02216
	0.030	0.01319	0.02199	0.02023	0.01967
Northridge	0.020	0.01763	0.03046	0.02946	0.02348
	0.025	0.01599	0.02881	0.02873	0.02645
	0.030	0.01495	0.02701	0.02683	0.02459
Erzincan	0.020	0.01640	0.02237	0.02108	0.01808
	0.025	0.01455	0.02043	0.01855	0.01545
	0.030	0.01303	0.01847	0.01642	0.01502

4.3 Yapısal Sistem Performansı Değerlendirmeleri

Yapısal sistem kontrol performanslarını değerlendirmede, Ohtori vd. [85] tarafından oluşturulan performans indeksleri aşağıdaki gibi verilmiştir [82].

$$\begin{aligned}
 J_1 &= \max \left\{ \frac{\max_{t,i} \frac{|d_i(t)|}{h_i}}{\delta^{\max}} \right\}, \quad J_2 = \max \left\{ \frac{\max_{t,i} |\ddot{x}_{ai}(t)|}{\ddot{x}_a^{\max}} \right\} \\
 J_3 &= \max \left\{ \frac{\max_i \frac{||d_i(t)||}{h_i}}{||\delta^{\max}||} \right\}, \quad J_4 = \max \left\{ \frac{\max_i ||\ddot{x}_{ai}(t)||}{||\ddot{x}_a^{\max}||} \right\}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Burada $\delta^{\max}$, kontrolcüsüz durumdaki maksimum katlar arası yer değıştirme oranını, h_i , katlar arası mesafeyi, d_i , katlar arası yer değıştirmeyi, $\ddot{x}_a^{\max}$, kontrolcüsüz

durumdaki maksimum mutlak ivmeyi ifade eder. Katlar arası mesafeler eşit olduğunda, h_i ihmal edilebilir [79]. Performans indekslerinde hiçbir kontrol uygulamasının olmadığı durumla, AKS ve YAKS kontrol uygulamalarının olduğu durumlar oranlanmaktadır. Tablo 4.10'da SÇD yöntemi ile incelenen yapısal sistem performans indeksleri gösterilmektedir. Birinci performans indeksi (J_1) katlar arasındaki genliklerdeki maksimum değerleri, ikinci performans indeksi (J_2) ise ivmenin maksimum değerini esas almaktadır. Üçüncü (J_3) performans indeksi yer değiştirmenin normunun maksimum değerini, dördüncü (J_4) performans indeksi ise ivmenin normunun maksimum değerini ifade etmektedir. Performans indekslerinin 1'den küçük olması sistem yanıtlarının iyileştiği anlamına gelir.

J_1 ve J_3 performans indeksleri değerlendirmeleri: Tahrik-1 ve Tahrik-2 etkisinde YAKS kontrol durumlarının AKS'den daha iyi performans gösterdiği açıkça görülmektedir. Tahrik-2 etkisinde kontrol performansları yeterince yüksektir. Fakat, Tahrik-1 etkisinden daha düşüktür. YAKS kontrol durumlarında ise performans indekslerinden J_1 'de en iyi performansı YAKSp, J_3 'te ise en iyi performansı YAKSh $_{\infty}$ göstermiştir. Kocaeli ve El-Centro ve Northridge Tahriklerindeki performanslarda en iyi YAKSh $_{\infty}$ en düşük ise YAKSp'dir. Kocaeli Tahrik dışında YAKSg'nin performansı AKS'den daha düşüktür. Erzincan Tahrik etkisinde ise, bütün kontrol durumlarının performansları birbirlerine yakındır. Bütün tahrik durumlarında kütle oranı artımının sistem performansı üzerindeki etkisi düşüktür.

J_2 ve J_4 performans indeksleri değerlendirmeleri: Tahrik-1 etkisinde J_2 'de en iyi performansı AKS, J_4 'te ise YAKSh $_{\infty}$ göstermiştir. Tahrik-2 etkisinde J_2 'de YAKS kontrol durumları AKS'den daha etkili olmakla birlikte, J_4 'te bütün kontrol durumlarının performansları birbirlerine yakındır. Ayrıca, kütle oranı artışının kontrol performansına olumlu etkisi çok azdır. Kocaeli ve Erzincan Tahriklerde, J_2 bütün kontrol durumlarında 1'in üzerinde, J_4 ise 1'in altındadır. Ayrıca, Etkisi en düşük olan YAKSp dışındaki kontrol durumlarının performansları birbirine yakındır. El-Centro Tahrik etkisinde J_2 'de değerler birbirlerine çok yakındır. J_4 'te ise AKS'nin performansı YAKS'den daha iyidir. YAKSh $_{\infty}$, YAKSp ve YAKSg'den daha etkilidir. Northridge Tahrik etkisinde J_2 ve J_4 'te en etkili kontrol durumları AKS ile YAKSh $_{\infty}$ 'dur. YAKSp ile YAKSg'nin performansları düşmüştür. Kütle oranı artışının kontrol performansına etkisi düşük olmuştur.

Genel bir değerlendirme olarak bütün tahrikler dikkate alındığında, yerdeğiştirme cevaplarıyla ilgili indekslerde en iyi performansı YAKSh $_{\infty}$ 'nin gösterdiği kabul edilebilir. İvme cevaplarıyla ilgili indekslerde YAKSh $_{\infty}$, YAKS'ler arasında en etkilisidir. Mevcut koşullarda kütle oranı artışının kontrol performansına katkısı düşüktür.

Tablo 4.10 Performans indeksleri

Sistem Tahrikleri	Kütle Oranları	J ₁				J ₂				J ₃				J ₄			
		AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
Tahrik-1	0.020	0.2964	0.2740	0.2762	0.2790	0.3023	0.3849	0.3720	0.3641	0.2442	0.1760	0.1653	0.1471	0.2450	0.1798	0.1773	0.1549
	0.025	0.2722	0.2471	0.2505	0.2526	0.3057	0.3527	0.3204	0.3624	0.2241	0.1706	0.1439	0.1312	0.2250	0.1717	0.1569	0.1409
	0.030	0.2558	0.2328	0.2342	0.2358	0.3086	0.3562	0.3080	0.3644	0.2092	0.1629	0.1302	0.1220	0.2101	0.1641	0.1457	0.1331
Tahrik-2	0.020	0.3492	0.3205	0.3243	0.3271	0.7959	0.7614	0.7774	0.7668	0.2497	0.1848	0.1663	0.1586	0.7698	0.7629	0.7637	0.7629
	0.025	0.3229	0.2899	0.2945	0.2969	0.7930	0.7671	0.7835	0.7614	0.2301	0.1825	0.1456	0.1438	0.7667	0.7622	0.7626	0.7615
	0.030	0.3030	0.2696	0.2722	0.2737	0.7895	0.7633	0.7711	0.7643	0.2155	0.1757	0.1347	0.1325	0.7645	0.7613	0.7608	0.7613
Kocaeli	0.020	0.7144	0.8302	0.6922	0.6744	1.0023	1.0034	1.0031	1.0028	0.7087	1.0285	0.6778	0.6361	0.9137	1.0243	0.9215	0.9165
	0.025	0.6886	0.7266	0.6652	0.6458	1.0027	1.0043	1.0038	1.0040	0.6670	0.9931	0.6694	0.6189	0.9020	1.0172	0.9197	0.9137
	0.030	0.6614	0.8067	0.6341	0.6194	1.0030	1.0048	1.0046	1.0052	0.6333	0.9403	0.6606	0.6086	0.8928	1.0038	0.9174	0.9095
El-Centro	0.020	0.6363	0.7608	0.6623	0.6290	0.9928	0.9943	0.9978	0.9969	0.7524	1.0009	0.8194	0.7632	0.8864	1.0106	0.9451	0.9092
	0.025	0.6207	0.8412	0.7703	0.7100	0.9908	0.9942	0.9966	0.9957	0.7308	1.0327	0.8642	0.7965	0.8769	1.0328	0.9755	0.9299
	0.030	0.6055	0.9260	0.8417	0.7894	0.9887	0.9924	0.9954	0.9938	0.7130	1.0644	0.9065	0.8296	0.8685	1.0571	1.0020	0.9502
Northridge	0.020	0.8628	0.9824	0.9220	0.8030	0.9889	1.1267	1.1456	0.9989	0.7819	1.1832	0.9770	0.7821	0.9665	1.1758	1.1373	0.9771
	0.025	0.8122	0.9305	0.8913	0.8860	0.9866	1.1282	1.1452	1.1436	0.7591	1.2433	1.0308	0.9439	0.9627	1.1952	1.1536	1.1294
	0.030	0.7647	1.0491	0.9904	0.8906	0.9839	1.1338	1.1478	1.1440	0.7397	1.2872	1.0783	0.9805	0.9592	1.2106	1.1687	1.1414
Erzincan	0.020	0.9060	0.9074	0.9090	0.9081	1.0130	1.0155	1.0132	1.0088	0.5687	0.6376	0.5536	0.5699	0.7759	0.8117	0.7707	0.7805
	0.025	0.9019	0.9029	0.9046	0.9040	1.0157	1.0195	1.0175	1.0144	0.5480	0.6432	0.5446	0.5452	0.7659	0.8086	0.7679	0.7660
	0.030	0.8977	0.8976	0.8989	0.9000	1.0181	1.0235	1.0228	1.0185	0.5369	0.6736	0.5456	0.5335	0.7594	0.8134	0.7698	0.7624

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, YAKS'lerin yapısal titreşimleri bastırma performansları SÇD yöntemi ile araştırılmıştır. YAKS'de yarı aktifliği sağlayan kontrol elemanı olarak MR damper kullanılmıştır. SÇD yönteminin yazılım kısmı, bina modeli bilgisayar ve kontrol algoritmalarından, deney kısmı ise MR damper ve sensörlerden oluşmaktadır. MR dampere iletilen gerilimi belirlemek için dayanıklı H_{∞} kontrol tasarımı yapılmış ve Groundhook kontrol ile de bu kontrolcünün performansı test edilmiştir. Sistem performansı, bina modelinin doğal frekansından elde edilen tahrikler (Tahrik-1 ve Tahrik-2) ve deprem verilerinin ölçeklendirilmesiyle edilen (El-Centro, Kocaeli, Erzincan ve Northridge) tahrikler olmak üzere, altı farklı tahrik etkisinde incelenmiştir. İncelenen kontrol durumları; AKS, YAKSp, YAKSg, YAKSh $_{\infty}$ 'dur. AKS genel anlamda YAKS kontrol performanslarını test etmek için, YAKSg, YAKSh $_{\infty}$ 'un performansını değerlendirmek için sisteme uygulanmıştır. Ayrıca, yarı aktif kontrol uygulamalarının güvenilirliği hakkında bilgi edinmek için, MR dampere gerilim gönderilmediği durum olan YAKSp'nin sistem cevapları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Sisteme ait yerdeğiştirme ve ivme cevaplarında, genel olarak YAKS kontrol uygulamaları sistem cevaplarını başarılı bir şekilde bastırmıştır. Sistemin doğal frekanslarından üretilmiş tahrikler ile sistemin doğal frekanslarına yakın aralıktaki frekans yoğunluğuna sahip tahriklerde YAKSg ve YAKSh $_{\infty}$ 'un performansları birbirlerine yakındır. Daha geniş frekans aralığına sahip tahriklerde ise YAKSh $_{\infty}$ 'un performansı daha yüksektir. YAKS'ler arasında performansı en yüksek kontrol uygulaması YAKSh $_{\infty}$, en düşük kontrol uygulaması ise YAKSp'dir. YAKSp'nin bazı tahriklerde performansı oldukça düşük olmasına rağmen, genel olarak MR dampere gerilim gönderilmediği durumlarda düşük performanslı bir AKS gibi çalışması nedeniyle güvenilirlik bakımından da isabetli bir tercih olduğu söylenebilir. Ayrıca, AKS ile YAKSh $_{\infty}$ 'un performansları bazı tahriklerde birbirlerine yakın olsa da genel anlamda YAKSh $_{\infty}$ daha etkilidir.

Farklı frekanslardaki tahriklerin AKS'nin performansını düşürmesi, parametrelerinin sabit olması nedeniyle değişken şartlara uyumunun zor olmasından kaynaklanır.

YAKS kontrol durumlarının performanslarını düşürmesi ise; YAKSp'ye hiçbir gerilim gönderilmemesinden kaynaklı sınırlı sönüm kuvvetinin olması, YAKSg'de MR dampere iletilen gerilimin maksimum veya minimum olmasının kontrol performansını düşürmesi, YAKSh_∞ ise sürekli durum kontrol algoritmasındaki parametrelerin etkisi olarak değerlendirilebilir. Daha gelişmiş bir gerilim algoritmasıyla YAKSh_∞'un performansını arttırmak mümkündür. Burada sürekli durum kontrol algoritmasının kullanılma sebebi, tasarımının kolay olması, MR dampere iletilen gerilim değerlerinin maksimum-minimum değerler dışında da iletebilmesi ve sistemden sadece kuvvet ölçümü ile bunları gerçekleştirmesidir. Bütün kontrol durumları sistemin yerdeğiştirme cevaplarında etkili olmalarına rağmen, ivme cevaplarında performansları azalmıştır. YAKS'de bu durum MR dampere iletilen gerilimlerin anlık olarak kilitlenmelere sebep olabileceğinden kaynaklanır.

PSD eğrileri, sistem cevaplarının frekans alanı analizi için değerlendirilmiştir. Genel olarak yerdeğiştirme PSD analizleri, YAKSh_∞'un rezonans piklerini bastırmada diğer kontrol durumlarından daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur. Sadece Erzincan Tahrik durumunda YAKSh_∞ daha düşük performans göstermiştir. Buradaki etken, sürekli durum kontrol algoritmasının parametrelerinden kaynaklanmaktadır. Daha gelişmiş bir model kullanılarak YAKSh_∞'un kontrol performansı artırılabilir. İvme PSD analizlerinde de ivme zaman cevaplarındaki durumlar söz konusudur. YAKSh_∞ ve YAKSg kontrol uygulamasının performansı, yapısal sistemin frekanslarına yakın tahriklerde (Kocaeli ve Erzincan) birbirlerine yakındır. Daha geniş frekans aralığındaki tahriklerde (El-Centro ve Northridge) ise, YAKSh_∞'un kontrol performansı YAKSg'den daha yüksektir. Genel olarak YAKSh_∞, sistem yanıtlarını iyileştirmenin yanı sıra, AKS, YAKSg ve YAKSp kontrol uygulamalarından daha etkili bir performans göstermiştir.

Bu tez çalışmasında literatüre yapılan katkılar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bina gibi laboratuvar ortamında kurulması zor ve maliyetli olan sistemlerin, sayısal simülasyon sonuçlarından daha gerçekçi, deneysel sonuçlara daha yakın bulgular elde etmek amacıyla, simülasyon ve donanımların bir çevrimde birlikte kullanıldığı hibrit yöntem sunulmuştur.
- MR damperli YAKS'lerin performansları SÇD yöntemiyle ilk defa incelenerek, bu yöntemin başarılı bir şekilde kullanılabileceği gösterilmiştir.
- Önerilen yöntemde, sadece kontrol elemanının deneysel olarak kurulması, hem zaman hem de maliyet tasarrufu açısından büyük avantajlar sağlamıştır.
- Deney kısmında sadece kontrol elemanının olması, mevcut sistemde farklı parametrelerle çalışılabilmesi veya aynı kontrol elemanının kullanılabileceği

farklı sistemlerin de aynı deney setinde çalışılabilmesi, bilimsel çalışmalarda kolaylıklar sağlamaktadır.

- Robust H_{∞} kontrolün MR damperli YAKS'ye uygulanmasıyla, bu kontrol metodunun sistem cevapları üzerine olumlu etkileri SÇD yöntemiyle gösterilmiştir.
- Bu tez çalışmasındaki yarı aktif sistemlerin güvenilirliği ile ilgili olarak, YAKS'deki kontrol elemanı olan MR damperin gerilim gönderilmediği durumdaki performansı SÇD yöntemiyle incelenmiştir.

Sonuç olarak bu tezde, YAKS'nin on katlı bir binaya ait titreşimleri bastırma performansı, MR damperin deneysel olarak incelenmesine olanak tanıyan SÇD yöntemiyle incelenmiştir. Bu yöntemde çalışmalar, gerçek sistem elemanları ile bilgisayar simülasyonunun eş zamanlı olarak çalıştırılmasıyla yürütülmüştür. Böylece, saf simülasyon çalışmalarından daha gerçekçi, deneysel çalışmalara daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak YAKS, AKS'den daha iyi performans göstermesine rağmen bazı tahriklerde performansları birbirlerine yakındır. Bunun sebebi, yapısal sistem parametrelerinin deney setindeki kısıtlara göre seçilmesidir. Deney setindeki kısıtlamalar ve kullanılan algoritmalar geliştirilerek YAKS'nin performansı artırılabilir.

Mevcut koşullarda elde edilen bulgulara göre, YAKS'deki kütle oranı artışının etkisi, sisteme etki eden tahrik çeşidine göre farklılık gösterir. Kütle oranının artırılması, yapısal sistemin doğal frekanslarından elde edilen tahrikler (Tahrik-1 ve Tahrik-2) ile bu frekanslara yakın tahriklerde (Kocaeli ve Erzincan) YAKS'nin performansını arttırmış, daha geniş frekans aralığındaki tahriklerde (El Centro ve Northridge) ise performansını azaltmıştır. Bunun sebebi, YAKS'nin yay katsayısı etkisinin rezonans frekanslarında daha etkili olmasıdır. Daha geniş frekans aralıklarında olan tahriklerde ise yay katsayısı etkisi azalır ve kontrolün gerçekleşebilmesi için sönüm elemanın daha iyi performans göstermesi gereklidir. Fakat, MR damperin maksimum kuvvet kapasitesinin kısıtlı olması nedeniyle, mevcut sistemde kütle oranının artırılması, yeteri kadar sönüm kuvveti üretilmemesine neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı, YAKS'nin performansı düşer.

İleride yapılması planlanan çalışmalarda, YAKS'lerin asimetric binalar üzerindeki kontrol performansı incelenecektir.

- [1] J. J. Connor, *Structural Motion Control*. Pearson Education, Inc, 2003.
- [2] J. Yao, "Concept of structural control," *Journal of the Structural Division*, vol. 98, no. st 7, 1972.
- [3] B. Spencer, S. Dyke, M. K. Sain, "Magnetorheological dampers: A new approach to seismic protection of structures," in *Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control*, IEEE, vol. 1, 1996, pp. 676–681.
- [4] Ş. Çetin, "Mr sönümleyici ile yapıların titreşim kontrolü," Ph.D. dissertation, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [5] T. E. Saaed, G. Nikolakopoulos, J.-E. Jonasson, H. Hedlund, "A state-of-the-art review of structural control systems," *Journal of Vibration and Control*, vol. 21, no. 5, pp. 919–937, 2015.
- [6] M. Matsui, Y. Tamura, "Development of a hybrid vibration experiment system for determining wind-induced responses of buildings with tuned dampers," *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, vol. 96, no. 10-11, pp. 2033–2041, 2008.
- [7] B. M. Phillips, B. F. Spencer Jr, "Model-based feedforward-feedback actuator control for real-time hybrid simulation," *Journal of Structural Engineering*, vol. 139, no. 7, pp. 1205–1214, 2013.
- [8] M. Paksoy, M. Metin, "Nonlinear semi-active adaptive vibration control of a half vehicle model under unmeasured road input," *Journal of Vibration and Control*, vol. 25, no. 18, pp. 2453–2472, 2019.
- [9] H. Frahm, *Device for damping vibrations of bodies*. US Patent 989,958, Apr. 1911.
- [10] R. Rana, T. Soong, "Parametric study and simplified design of tuned mass dampers," *Engineering structures*, vol. 20, no. 3, pp. 193–204, 1998.
- [11] J. Ormondroyd, "The theory of the dynamic vibration absorber," *Trans., ASME, Applied Mechanics*, vol. 50, pp. 9–22, 1928.
- [12] J. Den Hartog, *M. Vibrations*, "Mcgraw-hill book co," New York, 1947.
- [13] R. Bishop, D. Welbourn, "The problem of the dynamic vibration absorber," *Engineering, London*, vol. 174, p. 769, 1952.
- [14] G. Warburton, "Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 10, no. 3, pp. 381–401, 1982.
- [15] F. Sadek, B. Mohraz, A. W. Taylor, R. M. Chung, "A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications," *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol. 26, no. 6, pp. 617–635, 1997.

- [16] A. Leung, H. Zhang, "Particle swarm optimization of tuned mass dampers," *Engineering Structures*, vol. 31, no. 3, pp. 715–728, 2009.
- [17] G. Bekdas, S. M. Nigdeli, "Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search," *Engineering Structures*, vol. 33, no. 9, pp. 2716–2723, 2011.
- [18] T. Soong, B. Spencer Jr, "Supplemental energy dissipation: State-of-the-art and state-of-the-practice," *Engineering structures*, vol. 24, no. 3, pp. 243–259, 2002.
- [19] C. Lin, J.-F. Wang, B. Chen, "Train-induced vibration control of high-speed railway bridges equipped with multiple tuned mass dampers," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 398–414, 2005.
- [20] S. Živanović, A. Pavic, P. Reynolds, "Vibration serviceability of footbridges under human-induced excitation: A literature review," *Journal of sound and vibration*, vol. 279, no. 1-2, pp. 1–74, 2005.
- [21] J. B. Hunt, J.-C. Nissen, "The broadband dynamic vibration absorber," *Journal of Sound Vibration*, vol. 83, pp. 573–578, 1982.
- [22] P. L. Walsh, J. Lamancusa, "A variable stiffness vibration absorber for minimization of transient vibrations," *Journal of sound and vibration*, vol. 158, no. 2, pp. 195–211, 1992.
- [23] S. Nagarajaiah, E. Sonmez, "Structures with semiactive variable stiffness single/multiple tuned mass dampers," *Journal of Structural Engineering*, vol. 133, no. 1, pp. 67–77, 2007.
- [24] D. Karnopp, J. Morison, "Comparison of optimized active and passive vibration absorber," in *Proceedings of the 14th Annual Joint Automatic Control Conference*, 1973, pp. 932–938.
- [25] R. Lund, "Active damping of large structures in winds," in *ASCE, Convention and Exposition*, Boston, 1979.
- [26] J. C. Chang, T. T. Soong, "Structural control using active tuned mass dampers," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, vol. 106, no. 6, pp. 1091–1098, 1980.
- [27] F. Udwadia, S. Tabaie, "Pulse control of single degree-of-freedom system," 1981.
- [28] Z.-Q. Qu, Y. Shi, H. Hua, "A reduced-order modeling technique for tall buildings with active tuned mass damper," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 30, no. 3, pp. 349–362, 2001.
- [29] C. Chang, H. T. Yang, "Control of buildings using active tuned mass dampers," *Journal of engineering mechanics*, vol. 121, no. 3, pp. 355–366, 1995.
- [30] C.-H. Loh, W.-Y. Chern, "Seismic effectiveness of active tuned mass dampers for the control of flexible structures," *Probabilistic engineering mechanics*, vol. 9, no. 4, pp. 225–234, 1994.
- [31] R. Guclu, A. Sertbas, "Evaluation of sliding mode and proportional-integral-derivative controlled structures with an active mass damper," *Journal of Vibration and Control*, vol. 11, no. 3, pp. 397–406, 2005.
- [32] R. Guclu, H. Yazici, "Vibration control of a structure with atmd against earthquake using fuzzy logic controllers," *Journal of Sound and Vibration*, vol. 318, no. 1-2, pp. 36–49, 2008.

- [33] R. Guclu, H. Yazici, "Seismic-vibration mitigation of a nonlinear structural system with an atmd through a fuzzy pid controller," *Nonlinear Dynamics*, vol. 58, no. 3, pp. 553–564, 2009.
- [34] R. Guclu, H. Yazici, "Self-tuning fuzzy logic control of a non-linear structural system with atmd against earthquake," *Nonlinear Dynamics*, vol. 56, no. 3, pp. 199–211, 2009.
- [35] M. Sakamoto, T. Kobori, T. Yamada, M. Takahashi, "Practical applications of active and hybrid response control systems and their verifications by earthquake and strong wind observations," in *Proc. 1st World Conf. on Struct. Control*, 1994, pp. 90–99.
- [36] A. Nishitani, Y. Inoue, "Overview of the application of active/semiactive control to building structures in japan," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 30, no. 11, pp. 1565–1574, 2001.
- [37] M. Yamamoto, S. Aizawa, M. Higashino, K. Toyama, "Practical applications of active mass dampers with hydraulic actuator," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 30, no. 11, pp. 1697–1717, 2001.
- [38] T. Pinkaew, Y. Fujino, "Effectiveness of semi-active tuned mass dampers under harmonic excitation," *Engineering Structures*, vol. 23, no. 7, pp. 850–856, 2001.
- [39] D. Hrovat, P. Barak, M. Rabins, "Semi-active versus passive or active tuned mass dampers for structural control," *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 109, no. 3, pp. 691–705, 1983.
- [40] N. Varadarajan, S. Nagarajaiah, "Wind response control of building with variable stiffness tuned mass damper using empirical mode decomposition/hilbert transform," *Journal of engineering mechanics*, vol. 130, no. 4, pp. 451–458, 2004.
- [41] S. Nagarajaiah, N. Varadarajan, "Short time fourier transform algorithm for wind response control of buildings with variable stiffness tmd," *Engineering Structures*, vol. 27, no. 3, pp. 431–441, 2005.
- [42] R. Collins, B. Basu, B. M. Broderick, "Bang-bang and semiactive control with variable stiffness tmds," *Journal of structural engineering*, vol. 134, no. 2, pp. 310–317, 2008.
- [43] S. Deshmukh, N. Chandiramani, "Lqr control of wind excited benchmark building using variable stiffness tuned mass damper," *Shock and Vibration*, vol. 2014, 2014.
- [44] G.-L. Lin, C.-C. Lin, B.-C. Chen, T.-T. Soong, "Vibration control performance of tuned mass dampers with resettable variable stiffness," *Engineering Structures*, vol. 83, pp. 187–197, 2015.
- [45] C. Sun, S. Nagarajaiah, "Study on semi-active tuned mass damper with variable damping and stiffness under seismic excitations," *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 21, no. 6, pp. 890–906, 2014.
- [46] C.-C. Lin, G.-L. Lin, J.-F. Wang, "Protection of seismic structures using semi-active friction tmd," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 39, no. 6, pp. 635–659, 2010.

- [47] C.-C. Lin, L.-Y. Lu, G.-L. Lin, T.-W. Yang, "Vibration control of seismic structures using semi-active friction multiple tuned mass dampers," *Engineering Structures*, vol. 32, no. 10, pp. 3404–3417, 2010.
- [48] G.-L. Lin, C.-C. Lin, L.-Y. Lu, Y.-B. Ho, "Experimental verification of seismic vibration control using a semi-active friction tuned mass damper," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 41, no. 4, pp. 813–830, 2012.
- [49] C. Pastia, S.-G. Luca, I. Toma, "Effect of semi-active tuned mass damper to control vibrations of a three-storey building," *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management*, vol. 1, p. 443, 2014.
- [50] D. Demetriou, N. Nikitas, "A novel hybrid semi-active mass damper configuration for structural applications," *Applied Sciences*, vol. 6, no. 12, p. 397, 2016.
- [51] D. Demetriou, N. Nikitas, K. D. Tsavdaridis, "Performance of fixed-parameter control algorithms on high-rise structures equipped with semi-active tuned mass dampers," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 25, no. 7, pp. 340–354, 2016.
- [52] W. M. Winslow, *Method and means for translating electrical impulses into mechanical force*, US Patent 2,417,850, Mar. 1947.
- [53] W. M. Winslow, "Induced fibration of suspensions," *Journal of applied physics*, vol. 20, no. 12, pp. 1137–1140, 1949.
- [54] J. Rabinow, "The magnetic fluid clutch," *Electrical Engineering*, vol. 67, no. 12, pp. 1167–1167, 1948.
- [55] R. Jacob, *Magnetic fluid torque and force transmitting device*, US Patent 2,575,360, Nov. 1951.
- [56] J. Carlson, K. D. Weiss, "A growing attraction to magnetic fluids," *Machine design*, vol. 66, no. 15, pp. 61–64, 1994.
- [57] U. Aldemir, "Optimal control of structures with semiactive-tuned mass dampers," *Journal of sound and vibration*, vol. 266, no. 4, pp. 847–874, 2003.
- [58] P. Lin, L. Chung, C. Loh, "Semiactive control of building structures with semiactive tuned mass damper," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 35–51, 2005.
- [59] K. Tse, K. Kwok, P. Hitchcock, B. Samali, M. Huang, "Vibration control of a wind-excited benchmark tall building with complex lateral-torsional modes of vibration," *Advances in Structural Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 283–304, 2007.
- [60] F. Weber, C. Boston, M. Maślanka, "An adaptive tuned mass damper based on the emulation of positive and negative stiffness with an mr damper," *Smart materials and structures*, vol. 20, no. 1, p. 015 012, 2010.
- [61] J. Kang, H.-S. Kim, D.-G. Lee, "Mitigation of wind response of a tall building using semi-active tuned mass dampers," *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, vol. 20, no. 5, pp. 552–565, 2011.
- [62] A. M. Aly, "Control of wind-induced motion in high-rise buildings with hybrid tm/mr dampers," *Wind and Structures*, vol. 21, no. 5, pp. 565–595, 2015.

- [63] H.-S. Kim, J.-W. Kang, "Semi-active fuzzy control of a wind-excited tall building using multi-objective genetic algorithm," *Engineering Structures*, vol. 41, pp. 242–257, 2012.
- [64] H.-S. Kim, "Seismic response control of adjacent buildings coupled by semi-active shared tmd," *International Journal of Steel Structures*, vol. 16, no. 2, pp. 647–656, 2016.
- [65] A. Bathaei, S. M. Zahrai, M. Ramezani, "Semi-active seismic control of an 11-dof building model with tmd+ mr damper using type-1 and-2 fuzzy algorithms," *Journal of Vibration and Control*, vol. 24, no. 13, pp. 2938–2953, 2018.
- [66] M. Setareh, J. K. Ritchey, T. M. Murray, J.-H. Koo, M. Ahmadian, "Semiactive tuned mass damper for floor vibration control," *Journal of structural engineering*, vol. 133, no. 2, pp. 242–250, 2007.
- [67] P.-Y. Lin, T.-K. Lin, J.-S. Hwang, *et al.*, "A semi-active mass damping system for low-and mid-rise buildings," *Earthq. Struct*, vol. 4, no. 1, pp. 63–84, 2013.
- [68] F. Weber, H. Distl, S. Fischer, C. Braun, "Mr damper controlled vibration absorber for enhanced mitigation of harmonic vibrations," in *Actuators*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol. 5, 2016, p. 27.
- [69] X. Gao, N. Castaneda, S. J. Dyke, "Experimental validation of a generalized procedure for mdof real-time hybrid simulation," *Journal of Engineering Mechanics*, vol. 140, no. 4, p. 04013006, 2014.
- [70] A. Friedman, S. Dyke, B. Phillips, "Over-driven control for large-scale mr dampers," *Smart materials and structures*, vol. 22, no. 4, p. 045001, 2013.
- [71] Y. Chae, J. M. Ricles, R. Sause, "Large-scale real-time hybrid simulation of a three-story steel frame building with magneto-rheological dampers," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 43, no. 13, pp. 1915–1933, 2014.
- [72] Y.-J. Cha, A. K. Agrawal, A. Friedman, B. Phillips, R. Ahn, B. Dong, S. J. Dyke, B. F. Spencer, J. Ricles, R. Christenson, "Performance validations of semiactive controllers on large-scale moment-resisting frame equipped with 200-kn mr damper using real-time hybrid simulations," *Journal of Structural Engineering*, vol. 140, no. 10, p. 04014066, 2014.
- [73] A. Friedman, S. J. Dyke, B. Phillips, R. Ahn, B. Dong, Y. Chae, N. Castaneda, Z. Jiang, J. Zhang, Y. Cha, *et al.*, "Large-scale real-time hybrid simulation for evaluation of advanced damping system performance," *Journal of Structural Engineering*, vol. 141, no. 6, p. 04014150, 2015.
- [74] T. Asai, C.-M. Chang, B. M. Phillips, B. Spencer Jr, "Real-time hybrid simulation of a smart outrigger damping system for high-rise buildings," *Engineering Structures*, vol. 57, pp. 177–188, 2013.
- [75] M. Singh, E. Matheu, L. Suarez, "Active and semi-active control of structures under seismic excitation," *Earthquake engineering & structural dynamics*, vol. 26, no. 2, pp. 193–213, 1997.
- [76] M. N. Hadi, Y. Arfiadi, "Optimum design of absorber for mdof structures," *Journal of Structural Engineering*, vol. 124, no. 11, pp. 1272–1280, 1998.

- [77] H. Aggümüş, R. Güçlü, “Yarı-aktif kütle sönümleyici kullanarak bina titreşimlerinin hibrit simülasyon yöntemiyle azaltılması,” 3. Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, Adana, Türkiye, 19–20 Haziran 2020, cilt.2, no.34, ss.391–397.
- [78] H. Aggumus, R. Guclu, “Robust h_{∞} control of stmnds used in structural systems by hardware in the loop simulation method,” in *Actuators*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol. 9, 2020, p. 55.
- [79] S. Cetin, E. Zergeroglu, S. Sivrioglu, I. Yuksek, “A new semiactive nonlinear adaptive controller for structures using mr damper: Design and experimental validation,” *Nonlinear Dynamics*, vol. 66, no. 4, pp. 731–743, 2011.
- [80] D.-W. Gu, P. H. Petkov, M. M. Konstantinov, “Robust stability and performance,” in *Robust Control Design with MATLAB®*, Springer, 2013, pp. 145–172.
- [81] S. Sivrioglu, N. Tanaka, I. Yuksek, “Acoustic power suppression of a panel structure using h output feedback control,” *Journal of Sound and Vibration*, vol. 249, no. 5, pp. 885–897, 2002.
- [82] H. Aggumus, S. Cetin, “Experimental investigation of semiactive robust control for structures with magnetorheological dampers,” *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol. 37, no. 2, pp. 216–234, 2018.
- [83] M. El-Kafafy, S. M. El-Demerdash, A.-A. M. Rabeih, “Automotive ride comfort control using mr fluid damper,” 2012.
- [84] J.-H. Koo, M. Ahmadian, M. Setareh, T. Murray, “In search of suitable control methods for semi-active tuned vibration absorbers,” *Journal of Vibration and Control*, vol. 10, no. 2, pp. 163–174, 2004.
- [85] Y. Ohtori, R. Christenson, B. Spencer Jr, S. Dyke, “Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings,” *Journal of engineering mechanics*, vol. 130, no. 4, pp. 366–385, 2004.

A

EK TABLOLAR

Tablo A.1 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	74.42	76.72	76.58	76.42	72.78	75.29	74.95	74.74	70.36	72.60	72.38	72.10
2	74.43	76.75	76.61	76.44	72.79	75.31	74.98	74.76	70.37	72.61	72.40	72.11
3	74.43	76.76	76.62	76.45	72.79	75.32	74.99	74.77	70.37	72.62	72.41	72.11
4	74.42	76.78	76.63	76.45	72.78	75.32	75.00	74.77	70.37	72.63	72.41	72.10
5	74.40	76.78	76.63	76.44	72.76	75.32	75.00	74.76	70.35	72.62	72.40	72.09
6	74.37	76.77	76.62	76.42	72.74	75.31	74.99	74.75	70.33	72.61	72.39	72.07
7	74.33	76.76	76.60	76.40	72.70	75.29	74.98	74.75	70.30	72.60	72.37	72.06
8	74.27	76.74	76.57	76.38	72.65	75.27	74.96	74.74	70.26	72.57	72.35	72.04
9	74.20	76.71	76.53	76.35	72.59	75.23	74.93	74.72	70.20	72.54	72.31	72.01
10	74.10	76.65	76.47	76.30	72.50	75.17	74.88	74.68	70.12	72.48	72.26	71.97

Tablo A.2 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	79.08	83.71	86.98	87.80	77.59	82.94	85.61	86.88	75.58	82.40	83.47	85.29
2	79.15	83.89	87.11	88.00	77.65	83.11	85.73	87.06	75.64	82.55	83.57	85.45
3	79.21	84.06	87.24	88.19	77.70	83.27	85.84	87.23	75.69	82.70	83.67	85.61
4	79.26	84.22	87.37	88.38	77.75	83.42	85.95	87.40	75.73	82.84	83.77	85.76
5	79.31	84.37	87.49	88.57	77.79	83.57	86.06	87.57	75.77	82.97	83.87	85.90
6	79.35	84.52	87.61	88.75	77.83	83.71	86.16	87.73	75.80	83.10	83.96	86.05
7	79.38	84.66	87.71	88.93	77.86	83.84	86.25	87.88	75.83	83.23	84.04	86.18
8	79.40	84.78	87.81	89.09	77.88	83.96	86.33	88.03	75.84	83.34	84.11	86.31
9	79.41	84.88	87.88	89.25	77.89	84.06	86.39	88.16	75.85	83.45	84.17	86.43
10	79.40	84.96	87.93	89.37	77.88	84.13	86.42	88.27	75.84	83.53	84.20	86.52

Tablo A.3 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	69.70	73.04	72.78	72.63	67.71	71.01	70.55	70.31	65.08	67.95	67.57	67.29
2	69.91	73.35	73.08	72.92	68.14	71.26	70.81	70.56	65.54	68.24	67.85	67.58
3	70.48	73.76	73.48	73.32	68.81	71.87	71.43	71.17	66.34	68.88	68.50	68.22
4	71.28	74.39	74.11	73.94	69.63	72.69	72.25	72.00	67.26	69.72	69.34	69.07
5	72.19	75.20	74.93	74.76	70.56	73.60	73.18	72.92	68.17	70.65	70.28	70.00
6	73.10	76.07	75.81	75.65	71.48	74.49	74.10	73.83	69.06	71.58	71.21	70.92
7	73.80	76.76	76.52	76.37	72.21	75.21	74.83	74.56	69.80	72.33	71.96	71.68
8	74.26	77.16	76.94	76.84	72.73	75.70	75.33	75.08	70.38	72.87	72.53	72.26
9	74.44	77.27	77.08	77.00	72.98	75.87	75.54	75.32	70.73	73.16	72.85	72.61
10	74.37	77.14	76.96	76.91	72.96	75.77	75.48	75.27	70.78	73.17	72.89	72.67

Tablo A.4 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	78.45	82.43	86.53	86.75	76.99	81.75	85.44	85.62	75.03	81.52	83.37	84.14
2	78.61	82.71	86.84	87.10	77.14	82.02	85.72	85.94	75.17	81.77	83.61	84.43
3	78.78	82.99	87.16	87.47	77.29	82.29	86.01	86.28	75.31	82.03	83.86	84.73
4	78.93	83.25	87.46	87.83	77.43	82.53	86.28	86.60	75.43	82.27	84.10	85.02
5	79.04	83.46	87.71	88.13	77.54	82.74	86.51	86.88	75.53	82.47	84.29	85.26
6	79.12	83.62	87.89	88.37	77.61	82.89	86.67	87.09	75.59	82.63	84.44	85.45
7	79.16	83.72	87.99	88.54	77.65	82.99	86.75	87.24	75.62	82.73	84.52	85.58
8	79.16	83.76	88.03	88.64	77.65	83.04	86.78	87.34	75.62	82.79	84.55	85.65
9	79.14	83.75	88.01	88.69	77.62	83.04	86.75	87.38	75.60	82.81	84.54	85.69
10	79.10	83.71	87.96	88.71	77.58	83.01	86.69	87.41	75.56	82.80	84.50	85.70

Tablo A.5 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	32.22	17.33	35.02	36.52	29.43	25.54	31.83	33.82	26.79	14.93	29.06	30.88
2	33.33	21.40	36.18	38.35	30.64	29.29	33.10	35.10	28.10	16.91	30.41	32.21
3	34.43	25.35	37.33	39.51	31.83	30.69	34.32	36.31	29.36	18.56	31.70	33.46
4	35.47	28.97	38.42	40.60	32.93	31.86	35.47	37.44	30.54	19.92	32.91	34.63
5	36.43	32.01	39.46	41.64	33.96	32.89	36.56	38.51	31.63	21.08	34.05	35.74
6	37.30	34.19	40.45	42.66	34.91	33.89	37.61	39.56	32.66	22.14	35.14	36.82
7	38.05	35.38	41.35	43.60	35.74	34.88	38.57	40.54	33.58	23.16	36.16	37.84
8	38.59	35.95	42.07	44.37	36.39	35.83	39.35	41.37	34.33	24.12	37.02	38.70
9	38.86	36.33	42.49	44.86	36.75	36.37	39.86	41.92	34.79	24.93	37.59	39.30
10	38.79	36.75	42.57	44.99	36.76	36.81	40.00	42.11	34.89	25.48	37.80	39.52

Tablo A.6 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	36.67	5.97	33.94	39.14	33.30	0.69	33.06	38.11	29.13	-2.85	32.22	36.39
2	36.96	6.29	34.42	39.61	33.56	0.93	33.49	38.54	29.35	-2.66	32.60	36.76
3	37.24	6.66	34.92	40.10	33.81	1.21	33.95	39.00	29.57	-2.44	33.01	37.15
4	37.50	7.07	35.44	40.60	34.04	1.52	34.42	39.45	29.78	-2.20	33.43	37.52
5	37.71	7.53	35.95	41.06	34.24	1.86	34.88	39.86	29.95	-1.93	33.83	37.85
6	37.85	8.02	36.44	41.46	34.37	2.24	35.31	40.21	30.08	-1.64	34.21	38.13
7	37.92	8.56	36.89	41.80	34.45	2.65	35.70	40.50	30.15	-1.32	34.54	38.33
8	37.93	9.14	37.31	42.08	34.46	3.09	36.07	40.73	30.18	-0.98	34.84	38.47
9	37.88	9.77	37.72	42.32	34.44	3.55	36.43	40.92	30.18	-0.63	35.13	38.57
10	37.80	10.44	38.15	42.56	34.38	4.04	36.80	41.10	30.16	-0.27	35.43	38.66

Tablo A.7 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	39.45	7.40	15.83	21.06	37.93	15.88	22.97	29.00	36.37	23.92	33.77	37.10
2	39.55	6.26	14.87	20.19	38.02	14.83	22.11	28.22	36.44	23.10	33.04	37.19
3	39.68	4.94	13.83	19.25	38.14	13.61	21.19	27.40	36.54	22.12	32.28	37.28
4	39.75	3.50	12.75	18.30	38.18	12.30	20.24	26.57	36.18	21.06	31.50	37.25
5	39.56	2.05	11.67	17.35	37.97	10.97	19.30	25.75	35.42	19.98	30.73	36.93
6	39.01	0.67	10.64	16.46	37.39	9.71	18.39	24.98	34.76	18.97	30.00	36.23
7	38.17	-0.55	9.73	15.65	36.53	8.59	17.58	24.28	34.14	18.08	29.34	35.27
8	37.29	-1.56	8.99	15.01	35.63	7.68	16.94	23.74	33.58	17.36	28.82	34.32
9	36.59	-2.28	8.53	14.62	34.92	7.03	16.54	23.42	33.13	16.85	28.52	33.59
10	36.20	-2.67	8.40	14.55	34.53	6.70	16.46	23.41	32.80	16.59	28.51	33.23

Tablo A.8 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	28.70	-6.44	9.80	17.04	26.92	-3.27	14.01	20.35	24.76	-0.09	18.46	23.68
2	28.73	-6.40	9.94	17.18	26.95	-3.25	14.12	20.46	24.77	-0.07	18.55	23.77
3	28.74	-6.34	10.12	17.35	26.95	-3.23	14.26	20.60	24.78	-0.05	18.67	23.88
4	28.74	-6.27	10.35	17.54	26.95	-3.20	14.45	20.75	24.77	-0.03	18.81	23.99
5	28.71	-6.19	10.63	17.77	26.92	-3.17	14.67	20.93	24.75	-0.01	18.96	24.12
6	28.66	-6.10	10.95	18.03	26.88	-3.14	14.93	21.13	24.71	0.00	19.15	24.25
7	28.58	-6.01	11.30	18.31	26.82	-3.13	15.22	21.35	24.66	-0.01	19.35	24.40
8	28.48	-5.95	11.70	18.62	26.74	-3.14	15.55	21.58	24.60	-0.03	19.57	24.55
9	28.36	-5.92	12.12	18.94	26.63	-3.19	15.90	21.83	24.51	-0.10	19.81	24.72
10	28.19	-5.95	12.55	19.27	26.50	-3.31	16.27	22.09	24.41	-0.22	20.07	24.90

Tablo A.9 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	22.68	-6.07	-0.14	10.03	17.87	5.92	10.15	11.48	12.76	0.67	7.35	18.81
2	24.27	-4.11	2.02	10.62	19.78	7.77	11.10	11.59	14.75	2.89	8.04	20.57
3	24.52	-2.22	2.70	11.34	21.44	9.55	11.83	12.45	16.49	4.87	8.65	21.16
4	25.19	-0.56	3.63	12.32	22.65	10.80	13.10	13.81	17.76	6.36	9.80	22.19
5	26.14	0.79	4.74	13.44	23.24	11.64	14.68	15.43	18.40	7.18	11.25	23.46
6	27.25	1.85	5.94	14.61	23.26	12.72	16.39	17.11	18.47	7.34	12.84	24.22
7	27.39	2.70	7.17	15.79	22.91	13.92	18.11	18.75	18.16	7.05	13.73	24.11
8	26.79	3.38	8.39	16.93	22.35	14.25	19.68	20.23	17.63	6.53	13.48	23.83
9	26.14	3.91	9.53	17.98	21.73	13.84	20.96	20.09	17.06	5.98	13.13	23.48
10	25.60	4.28	10.53	18.90	21.22	13.58	20.81	19.84	16.58	5.58	12.86	23.21

Tablo A.10 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	26.03	-28.72	-7.83	1.95	24.09	-24.33	-3.08	5.61	21.81	-18.32	2.30	21.79
2	25.88	-28.72	-7.81	1.96	23.93	-24.38	-3.11	5.58	21.63	-18.42	2.21	21.70
3	25.76	-28.63	-7.68	2.06	23.80	-24.35	-3.04	5.62	21.49	-18.45	2.21	21.67
4	25.68	-28.46	-7.44	2.25	23.70	-24.25	-2.88	5.73	21.38	-18.42	2.29	21.69
5	25.61	-28.21	-7.09	2.52	23.63	-24.08	-2.62	5.92	21.29	-18.33	2.45	21.77
6	25.57	-27.88	-6.64	2.88	23.58	-23.85	-2.26	6.19	21.23	-18.19	2.69	21.90
7	25.56	-27.48	-6.08	3.32	23.55	-23.55	-1.80	6.52	21.18	-17.99	3.01	22.08
8	25.56	-27.02	-5.41	3.85	23.55	-23.20	-1.25	6.94	21.17	-17.75	3.42	22.33
9	25.59	-26.51	-4.63	4.47	23.58	-22.81	-0.60	7.44	21.17	-17.47	3.91	22.64
10	25.65	-25.97	-3.75	5.18	23.62	-22.39	0.16	8.02	21.21	-17.17	4.50	23.02

Tablo A.11 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum yerdeğiştirme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	10.23	10.24	10.11	10.00	9.81	9.71	9.54	9.60	9.40	9.26	9.10	9.19
2	9.40	9.42	9.29	9.18	8.98	8.88	8.71	8.78	8.56	8.44	8.27	8.36
3	8.56	8.60	8.46	8.35	8.14	8.05	7.88	7.94	7.72	7.60	7.43	7.52
4	7.74	7.81	7.66	7.54	7.32	7.25	7.07	7.12	6.90	6.79	6.61	6.69
5	7.00	7.10	6.93	6.80	6.58	6.52	6.33	6.37	6.16	6.05	5.86	5.93
6	6.40	6.53	6.35	6.21	5.98	5.94	5.74	5.77	5.56	5.47	5.26	5.32
7	5.96	6.13	5.93	5.78	5.55	5.53	5.32	5.33	5.14	5.05	4.84	4.88
8	5.64	5.87	5.66	5.49	5.25	5.26	5.05	5.04	4.85	4.79	4.56	4.58
9	5.38	5.67	5.45	5.27	5.01	5.07	4.84	4.83	4.63	4.60	4.37	4.38
10	5.10	5.47	5.25	5.06	4.77	4.89	4.65	4.64	4.43	4.44	4.20	4.20

Tablo A.12 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre yerdeğiştirme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	46.31	32.64	45.44	46.65	45.20	35.68	45.54	45.48	43.13	36.24	44.64	43.01
2	46.45	32.74	45.58	46.77	45.33	35.80	45.68	45.60	43.25	36.33	44.79	43.13
3	46.55	32.78	45.67	46.85	45.43	35.88	45.79	45.68	43.34	36.40	44.90	43.21
4	46.60	32.76	45.71	46.88	45.47	35.91	45.84	45.71	43.38	36.42	44.97	43.25
5	46.58	32.66	45.69	46.85	45.46	35.89	45.83	45.69	43.37	36.40	44.98	43.24
6	46.49	32.49	45.59	46.75	45.38	35.81	45.76	45.59	43.30	36.33	44.93	43.17
7	46.32	32.22	45.41	46.57	45.24	35.65	45.61	45.43	43.16	36.20	44.80	43.03
8	46.08	31.86	45.15	46.31	45.02	35.42	45.38	45.19	42.97	36.01	44.61	42.82
9	45.77	31.38	44.80	45.97	44.75	35.11	45.08	44.89	42.71	35.76	44.36	42.55
10	45.39	30.76	44.35	45.55	44.40	34.71	44.69	44.50	42.40	35.43	44.03	42.22

Tablo A.13 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	74.42	76.72	76.58	76.42	72.78	75.29	74.95	74.74	70.36	72.60	72.38	72.10
2	74.43	76.75	76.61	76.44	72.79	75.31	74.98	74.76	70.37	72.61	72.40	72.11
3	74.43	76.76	76.62	76.45	72.79	75.32	74.99	74.77	70.37	72.62	72.41	72.11
4	74.42	76.78	76.63	76.45	72.78	75.32	75.00	74.77	70.37	72.63	72.41	72.10
5	74.40	76.78	76.63	76.44	72.76	75.32	75.00	74.76	70.35	72.62	72.40	72.09
6	74.37	76.77	76.62	76.42	72.74	75.31	74.99	74.75	70.33	72.61	72.39	72.07
7	74.33	76.76	76.60	76.40	72.70	75.29	74.98	74.75	70.30	72.60	72.37	72.06
8	74.27	76.74	76.57	76.38	72.65	75.27	74.96	74.74	70.26	72.57	72.35	72.04
9	74.20	76.71	76.53	76.35	72.59	75.23	74.93	74.72	70.20	72.54	72.31	72.01
10	74.10	76.65	76.47	76.30	72.50	75.17	74.88	74.68	70.12	72.48	72.26	71.97

Tablo A.14 Tahrik-1 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	78.45	82.43	86.53	86.75	76.99	81.75	85.44	85.62	75.03	81.52	83.37	84.14
2	78.61	82.71	86.84	87.10	77.14	82.02	85.72	85.94	75.17	81.77	83.61	84.43
3	78.78	82.99	87.16	87.47	77.29	82.29	86.01	86.28	75.31	82.03	83.86	84.73
4	78.93	83.25	87.46	87.83	77.43	82.53	86.28	86.60	75.43	82.27	84.10	85.02
5	79.04	83.46	87.71	88.13	77.54	82.74	86.51	86.88	75.53	82.47	84.29	85.26
6	79.12	83.62	87.89	88.37	77.61	82.89	86.67	87.09	75.59	82.63	84.44	85.45
7	79.16	83.72	87.99	88.54	77.65	82.99	86.75	87.24	75.62	82.73	84.52	85.58
8	79.16	83.76	88.03	88.64	77.65	83.04	86.78	87.34	75.62	82.79	84.55	85.65
9	79.14	83.75	88.01	88.69	77.62	83.04	86.75	87.38	75.60	82.81	84.54	85.69
10	79.10	83.71	87.96	88.71	77.58	83.01	86.69	87.41	75.56	82.80	84.50	85.70

Tablo A.15 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	21.05	23.67	22.89	23.57	20.70	23.29	21.65	23.86	20.41	23.86	22.26	23.32
2	26.16	29.80	28.18	29.22	25.67	30.45	26.52	29.57	24.99	29.41	27.76	29.33
3	34.62	37.05	37.49	39.21	33.98	37.97	35.35	39.60	33.07	38.07	37.27	36.98
4	40.14	44.41	48.68	46.44	38.27	46.86	44.39	45.18	36.06	42.34	41.55	41.21
5	44.77	47.64	52.54	48.80	42.72	47.91	45.45	47.86	40.29	47.33	46.64	46.33
6	49.87	54.62	56.40	56.07	47.77	54.66	52.92	54.66	45.27	52.66	52.09	51.84
7	52.18	55.58	55.35	55.39	51.43	53.95	53.75	53.66	48.95	52.28	52.10	52.07
8	53.27	56.59	56.40	56.46	52.54	55.00	54.85	54.78	50.74	53.38	53.25	53.24
9	56.41	59.63	59.48	59.54	54.40	58.15	58.03	57.97	52.03	56.64	56.54	56.55
10	56.35	61.38	61.24	61.32	54.38	59.96	59.86	59.82	52.07	58.52	58.46	58.47

Tablo A.16 Tahrik-2 etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	23.55	23.87	23.92	23.87	23.33	23.78	23.74	23.85	23.02	23.71	23.63	23.71
2	37.27	37.92	38.06	38.01	36.88	37.77	37.76	37.94	36.36	37.63	37.55	37.70
3	50.55	51.73	52.10	52.07	49.97	51.50	51.70	51.89	49.16	51.28	51.27	51.54
4	59.72	61.55	62.31	62.29	58.96	61.23	61.83	61.98	57.91	60.93	61.10	61.49
5	65.66	68.15	69.38	69.41	64.76	67.76	68.85	68.96	63.52	67.40	67.81	68.33
6	69.58	72.69	74.34	74.46	68.57	72.24	73.75	73.89	67.18	71.82	72.46	73.12
7	71.73	75.27	77.13	77.43	70.65	74.78	76.52	76.77	69.16	74.34	75.10	75.89
8	72.27	75.95	77.75	78.23	71.17	75.46	77.14	77.56	69.65	75.02	75.76	76.65
9	71.78	75.38	76.99	77.53	70.70	74.91	76.36	76.90	69.19	74.48	75.12	76.03
10	71.18	74.70	76.12	76.63	70.11	74.23	75.48	76.05	68.63	73.82	74.35	75.21

Tablo A.17 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	-0.30	-0.48	-0.46	-0.52	-0.27	-0.43	-0.38	-0.40	-0.23	-0.34	-0.31	-0.28
2	13.01	6.16	5.18	6.43	12.73	7.56	5.63	6.35	12.15	8.54	7.42	7.10
3	13.43	6.92	5.99	7.11	12.96	8.15	6.62	7.66	12.11	8.84	7.23	7.30
4	18.44	12.68	11.45	12.75	17.51	14.67	14.19	15.36	16.07	14.39	12.76	13.71
5	21.37	17.27	17.63	19.49	20.28	18.27	19.09	20.09	18.60	17.46	16.71	18.03
6	25.44	22.70	25.23	26.90	24.16	22.82	24.53	25.71	22.16	21.63	22.09	23.56
7	34.09	33.86	36.93	39.23	31.43	33.84	36.58	38.01	27.88	32.33	33.20	34.64
8	37.43	41.89	41.57	41.93	34.53	41.68	41.81	41.79	30.62	35.07	36.92	36.44
9	38.73	34.05	38.62	38.70	37.36	36.65	38.57	38.58	33.07	30.39	38.40	37.85
10	37.77	29.93	37.67	37.74	37.67	32.42	37.62	37.63	34.16	28.80	37.44	37.38

Tablo A.18 Kocaeli Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	10.72	-0.38	8.26	9.05	9.80	-1.72	8.03	8.63	8.63	-2.43	7.85	8.35
2	12.45	-0.21	9.69	10.71	11.37	-1.77	9.43	10.26	10.01	-2.62	9.15	9.97
3	14.70	0.06	11.73	13.18	13.43	-1.80	11.44	12.70	11.82	-2.82	11.08	12.38
4	17.74	0.45	14.64	16.77	16.20	-1.78	14.30	16.26	14.26	-3.05	13.89	15.83
5	21.62	1.02	18.50	21.53	19.73	-1.70	18.05	20.97	17.35	-3.26	17.63	20.34
6	25.88	1.78	22.82	26.81	23.60	-1.47	22.23	26.21	20.73	-3.36	21.79	25.31
7	29.29	2.67	26.38	31.04	26.68	-1.02	25.68	30.38	23.40	-3.21	25.17	29.22
8	30.62	3.59	28.02	32.72	27.88	-0.34	27.25	31.97	24.45	-2.72	26.63	30.64
9	30.22	4.49	28.13	32.35	27.53	0.49	27.30	31.50	24.16	-1.99	26.53	30.06
10	29.64	5.51	28.16	31.87	27.02	1.44	27.26	30.90	23.74	-1.15	26.32	29.36

Tablo A.19 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	1.13	0.76	0.46	0.62	0.92	0.58	0.34	0.43	0.72	0.57	0.22	0.31
2	1.56	1.08	0.79	1.03	1.27	0.84	0.63	0.78	0.99	0.80	0.47	0.66
3	2.10	1.51	1.33	1.68	1.71	1.19	1.12	1.36	1.34	1.12	0.92	1.27
4	14.70	14.12	14.12	14.54	14.27	13.77	13.89	14.20	13.85	13.65	13.68	14.16
5	23.45	22.90	23.01	23.50	22.98	22.50	22.76	23.14	22.52	22.32	22.53	23.10
6	29.84	29.09	29.45	29.98	29.32	28.86	29.15	29.56	28.81	28.62	28.90	29.48
7	36.75	23.23	30.05	34.43	36.19	29.63	35.67	36.27	35.63	35.46	35.70	36.07
8	39.46	19.13	25.65	30.17	38.38	25.79	31.60	36.58	35.21	34.56	36.38	35.90
9	38.40	16.07	22.13	26.77	36.44	22.83	28.24	33.24	32.37	31.77	34.81	34.27
10	37.99	14.30	20.48	25.17	35.15	21.02	26.57	31.63	31.08	29.97	34.47	33.91

Tablo A.20 El-Centro Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	13.15	-5.71	0.29	4.98	12.31	-3.28	2.93	7.01	11.36	-1.06	5.96	9.08
2	15.34	-6.49	0.51	5.89	14.34	-3.73	3.49	8.27	13.22	-1.19	7.05	10.77
3	17.38	-7.11	0.94	6.86	16.24	-4.07	4.23	9.53	14.95	-1.26	8.24	12.41
4	19.26	-7.55	1.49	7.85	17.99	-4.28	5.06	10.76	16.55	-1.26	9.43	13.90
5	20.89	-7.76	2.11	8.81	19.50	-4.36	5.91	11.88	17.93	-1.18	10.53	15.19
6	22.15	-7.71	2.83	9.72	20.67	-4.26	6.76	12.88	18.99	-1.01	11.48	16.27
7	22.94	-7.38	3.65	10.60	21.38	-3.98	7.60	13.74	19.63	-0.74	12.25	17.10
8	23.22	-6.78	4.59	11.44	21.64	-3.52	8.40	14.44	19.86	-0.39	12.85	17.66
9	23.19	-5.98	5.64	12.25	21.61	-2.94	9.22	15.05	19.81	0.03	13.35	18.04
10	23.21	-5.09	6.84	13.17	21.61	-2.29	10.19	15.75	19.80	0.50	13.96	18.49

Tablo A.21 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	1.61	-13.38	-14.78	-14.40	1.34	-12.82	-14.52	-14.36	1.11	-12.67	-14.56	0.11
2	1.84	-13.68	-14.82	-14.34	1.39	-13.27	-14.64	-14.37	0.97	-13.21	-14.83	-0.05
3	2.32	-13.39	-14.84	-14.26	1.75	-12.92	-14.65	-14.31	1.23	-12.88	-14.88	-0.01
4	3.12	-13.05	-14.70	-13.75	2.31	-12.62	-14.54	-13.88	1.54	-12.69	-14.92	0.19
5	4.12	-12.70	-13.32	-11.40	2.91	-12.49	-13.47	-11.88	1.75	-12.80	-14.24	1.40
6	11.27	-6.40	-9.09	-1.99	10.48	-6.38	-3.14	-0.38	9.93	-6.19	-3.41	11.65
7	18.62	-2.54	-4.69	2.49	17.72	1.46	4.77	7.78	17.06	1.50	4.96	18.74
8	28.84	5.32	3.56	10.30	24.48	15.67	12.65	18.31	19.56	9.50	13.69	23.00
9	24.75	12.65	11.28	17.65	21.34	10.45	16.66	17.23	17.70	5.03	11.90	22.51
10	20.32	8.98	16.07	17.13	16.96	5.72	12.54	12.26	13.37	0.27	6.96	18.21

Tablo A.22 Northridge Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	4.08	-21.06	-16.87	-14.14	3.73	-19.52	-15.36	-12.94	3.35	-17.58	-13.73	2.29
2	5.40	-23.10	-17.62	-14.05	4.93	-21.12	-15.68	-12.49	4.41	-18.61	-13.56	3.09
3	7.14	-25.60	-18.45	-13.72	6.51	-23.10	-15.98	-11.73	5.81	-19.89	-13.24	4.23
4	9.14	-28.17	-19.15	-13.10	8.32	-25.14	-16.14	-10.67	7.41	-21.22	-12.70	5.66
5	11.09	-30.26	-19.46	-12.29	10.07	-26.79	-16.01	-9.50	8.95	-22.28	-11.97	7.13
6	12.74	-31.56	-19.32	-11.41	11.55	-27.83	-15.59	-8.40	10.24	-22.93	-11.15	8.41
7	14.01	-32.04	-18.77	-10.48	12.68	-28.21	-14.91	-7.39	11.22	-23.11	-10.31	9.43
8	14.72	-31.59	-17.79	-9.49	13.31	-27.84	-14.00	-6.48	11.76	-22.80	-9.49	10.15
9	14.89	-30.31	-16.46	-8.48	13.46	-26.82	-12.91	-5.69	11.87	-22.03	-8.70	10.59
10	14.98	-28.73	-14.94	-7.38	13.53	-25.54	-11.68	-4.86	11.92	-21.09	-7.85	11.01

Tablo A.23 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre maksimum ivme yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	-1.81	-2.35	-2.28	-1.85	-1.57	-1.95	-1.75	-1.44	-1.30	-1.55	-1.32	-0.88
2	-1.76	-2.47	-2.44	-2.05	-1.53	-2.05	-1.85	-1.64	-1.28	-1.64	-1.39	-1.05
3	3.41	3.05	3.11	3.23	2.85	2.54	2.63	2.78	2.29	2.06	2.17	2.34
4	3.69	3.40	3.39	3.35	3.09	2.82	2.82	2.82	2.49	2.28	2.30	2.28
5	3.94	3.76	3.73	3.55	3.32	3.13	3.05	2.96	2.68	2.51	2.45	2.30
6	4.10	4.10	4.07	3.84	3.46	3.41	3.28	3.21	2.81	2.74	2.62	2.46
7	4.13	4.30	4.29	4.08	3.50	3.58	3.43	3.42	2.85	2.88	2.71	2.64
8	4.03	4.38	4.38	4.18	3.42	3.65	3.48	3.51	2.78	2.93	2.72	2.73
9	7.57	6.11	6.34	6.76	6.49	5.25	5.57	6.08	5.28	4.34	4.72	5.25
10	8.32	6.99	7.05	7.32	7.06	5.97	6.11	6.42	5.76	4.91	5.12	5.26

Tablo A.24 Erzincan Tahrik etkisindeki sistemin tüm katlarının tüm kütle oranlarına göre ivme RMS yüzde performansları

Bütün katlar	$\mu = 0.030$				$\mu = 0.025$				$\mu = 0.020$			
	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞	AKS	YAKSp	YAKSg	YAKSh _∞
1	24.06	18.66	23.02	23.76	23.41	19.14	23.21	23.40	22.41	18.83	22.93	21.95
2	26.52	20.55	25.38	26.10	25.80	21.09	25.56	25.63	24.69	20.74	25.17	24.11
3	29.65	22.95	28.48	29.12	28.85	23.58	28.63	28.54	27.61	23.19	28.14	26.98
4	33.30	25.74	32.15	32.70	32.41	26.48	32.26	32.03	31.01	26.03	31.69	30.41
5	37.03	28.55	35.97	36.43	36.05	29.42	36.01	35.69	34.47	28.92	35.39	33.98
6	40.13	30.86	39.18	39.63	39.07	31.86	39.16	38.84	37.32	31.31	38.52	37.01
7	41.87	32.16	41.04	41.54	40.76	33.27	41.01	40.70	38.91	32.68	40.36	38.80
8	42.06	32.34	41.35	41.91	40.93	33.50	41.34	41.04	39.06	32.89	40.68	39.13
9	41.32	31.86	40.71	41.31	40.19	33.05	40.73	40.43	38.34	32.42	40.06	38.50
10	40.64	31.42	40.11	40.73	39.52	32.64	40.13	39.83	37.68	31.99	39.44	37.84

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgileri: haggumus@yildiz.edu.tr

Makale

1. H. Aggumus, R. Guclu, “Robust h_{∞} control of stmnds used in structural systems by hardware in the loop simulation method,” in Actuators, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, vol. 9, 2020, p. 55.

Konferans Bildirisi

1. H. Aggümüş, R. Güçlü "Yarı-aktif kütle sönümleyici kullanarak bina titreşimlerinin hibrit simülasyon yöntemiyle azaltılması," 3. Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Sosyal Bilimlerde Güncel Gelişmeler Sempozyumu, Adana, Türkiye, 19-20 Haziran 2020, cilt.2, no.34, ss.391-397