



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNERTER AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN METASEZGİSEL
ALGORİTMALAR İLE OPTİMİZASYONU**

Yaren AYDIN

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Aralık, 2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Yaren AYDIN tarafından, **Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ** danışmanlığında hazırlanan "**İNERTER AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN METASEZGİSEL ALGORİTMALAR ile OPTİMİZASYONU**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **14/12/2023** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELİ İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ümit IŞIKDAĞ Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Enformatik Anabilim Dalı	<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Yaren AYDIN

Bu tezi her daim sabırla yanımda olan, her durumda sonsuz desteklerini her zaman hissettiğim
canım aileme ithaf ediyorum.

BÜTÇE DESTEKLERİ

İNERTER AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN METASEZGİSEL ALGORİTMALAR ile OPTİMİZASYONU

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü öğretimim boyunca her zaman yanımda olan, bilgi ve deneyimlerini her zaman aktararak bilimin yolunda ilerlememi sağlayan, tez çalışmamda ve her zaman destek olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Gebrail Bekdaş ve çalışmalarımnda her zaman destek olan, bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren kıymetli hocam Prof. Dr. Sinan Melih Nigdeli'ye en içten dileklerle teşekkür ederim. Annem Asiye Aydın, babam Ramazan Aydın ve ablam Aslıhan Cinel'e beni yetiştirdikleri, her zaman arkamda durdukları ve bana güç oldukları için teşekkür ederim. Tez çalışmamı ve diğer çalışmalarımı gerçekleştirmemde TÜBİTAK kurumuna, 2210-A Yurt İçi Genel Yüksek Lisans Burs Programı kapsamında sağlamış olduğu desteklerden dolayı teşekkür ederim.

Aralık 2023

Yaren AYDIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	iii
BÜTÇE DESTEKLERİ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	3
2.1. YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ ve SINIFLANDIRILMASI.....	3
3. YÖNTEM	20
3.1. UYARLANABİLİR ARMONİ ARAMA (ADAPTIVE HARMONY SEARCH - AHS)	26
3.2. TMDİ SİSTEMİ İÇİN HAREKET DENKLEMLERİ	30
3.3. OPTİMİZASYON PROBLEMİ	33
3.4. UYARLANABİLİR ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI ile OPTİMİZASYON	35
3.5. TMDİ SİSTEMİNİ MATLAB SİMULİNK ile BENZETİMİ	37
4. BULGULAR	41
4.1. AHS ALGORİTMASI OPTİMİZASYONU ile ELDE EDİLEN OPTİMUM SONUÇLAR.....	43
5. TARTIŞMA.....	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR.....	70
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI	81
ETİK KURUL İZİN YAZISI	82

KURUM İZİNİ YAZILARI.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	84



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Aktif kontrolün şematik diyagramı (Clarke, J ve diğ., 2009).	4
Şekil 2.2: Pasif kontrol sistemleri (El Ouni ve diğ., 2022).	6
Şekil 2.3: a) Burj Al Arab ve b) Yapının dışında bulunan ayarlı kütle sönümleyiciler ¹	7
Şekil 2.4: İnerter elemanın şematik çizimi (Marian ve Giaralis, 2013).	9
Şekil 2.5: 4 dişliye sahip, kremayer ve pinyonlu volan tabanlı bir eylemsizlik cihazının şematik gösterimi (Marian & Giaralis, 2017).	10
Şekil 2.6: TMDI ekli tek serbestlik dereceli yapı (Kaveh ve diğ., 2020).	10
Şekil 3.1: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar kampüsüne ulaşmak için alternatif yolları gösteren navigasyon uygulaması.	21
Şekil 3.2: a) Bal porsuğunun kardioid hareketi. b) Ters kare kanunu. (Majumdar ve diğ. 2023; Hashim ve diğ., 2022).	22
Şekil 3.3: Müzikte armoni (Dubey ve diğ., 2021).	25
Şekil 3.4: AHS akış şeması.	30
Şekil 3.5: TMDI ile donatılmış kesme tipi çerçeve kontrollü yapı.	31
Şekil 3.6: MATLAB/Simulink kısayolu.	37
Şekil 3.7: Kontrolsüz kesme binası modeline ait Matlab Simulink benzetimi.	39
Şekil 3.8: TMDI kontrollü kesme binasına ait MATLAB/Simulink benzetimi.	40
Şekil 4.1: a) En üst katına TMD konumlandırılan kesme binası b) En üst katına TMDI konumlandırılan kesme binası c) İnerter kuvvetinin 9. kata bağlandığı sistem d) İnerter kuvvetinin 5. kata bağlandığı sistem.	41
Şekil 4.2: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği (stmax=0.25 ve $\mu=0.02$).	46
Şekil 4.3: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği (stmax=0.25 ve $\mu=0.02$).	46
Şekil 4.4: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği (stmax=0.25 ve $\mu=0.05$).	48

Şekil 4.5: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.05$).....	49
Şekil 4.6: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$).....	51
Şekil 4.7: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$).....	51
Şekil 4.8: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.02$).....	53
Şekil 4.9: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.02$).....	54
Şekil 4.10: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$).....	56
Şekil 4.11: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$).....	56
Şekil 4.12: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=1$ ve $\mu=0.05$).....	58
Şekil 4.13: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=1$ ve $\mu=0.05$).....	59
Şekil 4.14: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=1.5$ ve $\mu=0.05$).....	61
Şekil 4.15: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=1.5$ ve $\mu=0.05$).....	61
Şekil 4.16: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=2$ ve $\mu=0.05$).....	63
Şekil 4.17: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=2$ ve $\mu=0.05$).....	64

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: TMDI sisteminin tasarım parametrelerinin limit değerleri.....	36
Tablo 3.2: Simulink blokları ve açıklamaları.....	38
Tablo 4.1: Kesme binasının özellikleri.....	41
Tablo 4.2: AHS algoritma parametreleri.....	42
Tablo 4.3: Kullanılan deprem kayıtlarının listesi (FEMA P-695, 2009).....	43
Tablo 4.4: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	44
Tablo 4.5: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	47
Tablo 4.6: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	49
Tablo 4.7: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	52
Tablo 4.8: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	54
Tablo 4.9: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	57
Tablo 4.10: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	59
Tablo 4.11: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.....	62
Tablo 5.1: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için deplasman ve toplam ivme değerleri.....	65

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
\mathbf{b}	: Atalet (İnerterin eylemsizliği)
\mathbf{C}	: Sönüm matrisi
c	: Yapının sönüm katsayısı
c_d	: Sönümleyicinin sönüm katsayısı
$\mathbf{F}(\mathbf{x})$: Amaç fonksiyonu
\mathbf{g}	: Yerçekimi ivmesi
\mathbf{K}	: Rijitlik matrisi
\mathbf{k}	: Yapı rijitlik katsayısı
k_d	: Sönümleyicinin rijitlik katsayısı
\mathbf{M}	: Kütle matrisi
\mathbf{m}	: Yapı kütlesi
m_d	: Sönümleyicinin kütlesi
m_f	: Volanın kütlesi
r_k	: Dişlinin yarıçapı
r_{pk}	: Dişliye denk gelen pinyonun yarıçapı
$stmax$: Sönümleyici sistemin kol uzaması limiti
T_{TMDI}	: TMDI'nın doğal periyodu
\mathbf{x}	: Yapının yere göre yatay deplasman
$x_{i,yeni}$: Yeni üretilen i . çözüm vektörünü,
$x_{i,min}$: Tasarım değişkenlerinin alt limit değeri
$x_{i,mak}$: Tasarım değişkenlerinin üst limit değeri
$\dot{\mathbf{x}}$: Yapının hızı
$\ddot{\mathbf{x}}$: Yapının ivmesi
\ddot{x}_g	: Yer ivmesi
\ddot{x}_1	: Terminal çıkış ivmesi
\ddot{x}_2	: Terminal giriş ivmesi
ξ	: Sönüm oranı
ξ_{tmdi}	: TMDI sisteminin sönüm oranı

γ_f : Volanın dönme yarıçapı
 γ_f : Volan pinyonunun yarıçapı

Kısaltmalar	Açıklama
2DOF	: İki Serbestlik Derecesi (Two Degree of Freedom)
5DOF	: Beş Serbestlik Derecesi (Five Degree of Freedom)
AHS	: Uyarlanabilir Armoni Arama Algoritması (Adaptive Harmony Search Algorithm)
BSCR	: Dikkate Alınan En İyi Çözüm Oranı (Best Solution Considering Rate)
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
HM	: Armoni Hafızası (Harmony Memory)
HMCR	: Armoni Hafızası Dikkate Alma Oranı (Harmony Memory Consideration Rate)
HMS	: Armoni Hafıza Boyutu (Harmony Memory Size)
HS	: Armoni Arama Algoritması (Harmony Search Algorithm)
IHS	: Geliştirilmiş Armoni Arama Algoritması (Improved Harmony Search Algorithm)
MDOF	: Çok Serbestlik Derecesi (Multi Degree of Freedom)
PAR	: Perde Ayarlama Oranı (Pitch Adjustment Rate)
SDOF	: Tek Serbestlik Derecesi (Single Degree of Freedom)
SSI	: Zemin-Yapı Etkileşimi (Soil-Structure Interaction)
TMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMDI)
TMDI	: İnerter Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMDI)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNERTER AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN METASEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE OPTİMİZASYONU

Yaren AYDIN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman : Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

Bu tez çalışmasında, mevcut uzak fay deprem kayıtları kullanılarak inerter ayarlı kütle sönümleyicilerin (TMDI) optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. İnerter ayarlı kütle sönümleyicinin (TMDI) optimum tasarımı, yapıya ve özelliklerine, tasarım amacına ve ayrıca deprem uyarımının frekans içeriğine bağlı olmaktadır. Uyarlanabilir Armoni Arama algoritması ile inerter ayarlı kütle sönümleyicisinin optimum parametreleri elde edilmiş ve yapının deprem yüküne karşı vereceği deplasman ve toplam ivme değerleri incelenerek TMDI sisteminin performansı değerlendirilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen veriler analiz edilmiş, geleneksel ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ile karşılaştırılmıştır. TMD ve TMDI sisteminin zaman tanım alanında analiz yapılmıştır. Sonuç olarak TMD ve TMDI sisteminin deplasmanı sırasıyla %21.87 ve %25.45, toplam ivmeyi ise sırasıyla %25.45 ve %19.59 oranında azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Aralık 2023 , 101. sayfa.

Anahtar kelimeler: Ayarlı kütle sönümleyici (TMD), İnerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI), Uyarlanabilir armoni arama algoritması, Pasif kontrol, Titreşim kontrolü, Optimum tasarım, Parametre optimizasyonu, Zaman tanım alanı

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

**[OPTIMIZATION OF TUNED MASS DAMPER INERTER VIA METHEURISTIC
ALGORITHMS]**

[Yaren AYDIN]

**İstanbul University-Cerrahpaşa
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
Civil Engineering Programme**

[Supervisor : Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ]

[In this thesis study, optimization of inert tuned mass dampers (TMDI) was carried out using existing remote fault earthquake records. The optimum design of an inert tuned mass damper (TMDI) depends on the structure and its properties, the design purpose, as well as the frequency content of the earthquake excitation. The optimum parameters of the inert tuned mass damper were obtained with the Adaptive Harmony Search algorithm, and the performance of the TMDI system was evaluated by examining the displacement and total acceleration values of the structure against the earthquake load. The data obtained as a result of the optimization was analyzed and compared with the traditional tuned mass damper (TMD). Analysis was performed in the time domain of the TMD and TMDI system. As a result, it was concluded that the TMD and TMDI systems reduced the displacement by 21.87% and 25.45%, respectively, and the total acceleration by 25.45% and 19.59%, respectively.]

December 2023, [101] pages.

Keywords: [Tuned mass damper (TMD), Inert tuned mass damper (TMDI), Adaptive harmony search algorithm, Passive control, Vibration control, Optimum design, Parameter optimization, Time domain]



1. GİRİŞ

Her geçen gün insan nüfusu artmaktadır ve buna ve sanayileşmeye bağlı olarak şehir sayısı, şehirlerde yaşayan insan yoğunluğu yükselmektedir. Bu durum şehirlerdeki yapılaşmayı etkilemektedir. Söz konusu şehirlerdeki yapıların tasarımında çeşitli etkenler mevcuttur. Bunlar içerisinde rüzgar ve deprem gibi belirlenmesi nispeten güç zamana bağlı yükler önemli bir rol oynamaktadır. Deprem bölgelerinde yapılaşmalar depreme daha dayanıklı yapıların inşa edilmesine yöneliktir. Rüzgar ve deprem gibi dinamik etkiler belirlenmesi nispeten güç ve zamana bağlıdır. Bu etkiler can kayıplarına ve ekonomik hasarlara, ekipman kayıplarına sebep olmaktadır. Bu etkilere karşı güvenliğin sağlanması amacıyla geçmişten günümüze çeşitli önlemler alınmış ve sebep olduğu hasarları azaltmak için zaman içerisinde farklı teknolojilerle çözümler geliştirilmiştir. Yapıların rüzgar, deprem gibi yüklerin etkisinden korumanın amaçlanması sonucunda yapılarda birçok kontrol uygulamaları geliştirilmiştir. Yapılardaki hasarı azaltmak için kontrol sistemlerinin kullanılması, yapıların rijitliğini ve sönümlemesini değiştirmenin yollarından biridir. Böylece tasarımı yapan mühendis, kontrol sistemleri kullanarak hasarın dağılımını belirleyerek en aza indirebilmektedir. Geçmişte tasarım, elastik olmayan deformasyona dayalı iken, günümüzde yapısal kontrolün özel bir önemi mevcuttur ve son yıllarda yapıların kontrolü konusunda birçok ilerleme kaydedilmiştir (Shafiee & Keyhani, 2018). Özellikle 20. yy'ın ikinci yarısında geliştirilen kontrol sistemleri bu önlemlerin önemli bir parçası haline gelmiştir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde çok sayıda uygulama örneklerine rastlanan kontrol sistemleri, kullanım amaçları da dikkate alındığında etkin sonuçların elde edilmesi ancak kontrol sistemlerini oluşturan parçalarının özelliklerinin uygun bir şekilde seçilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu amaçla kontrol sistemleri üzerine yapılan bilimsel çalışmalar 1920'li yıllarda başlamıştır (Den Hartog 1928). Çalışmalar bilgisayar teknolojisi ve buna bağlı iteratif yöntemlerin özellikle gelişmesiyle son 20-25 yılda oldukça hız kazanmıştır.

Son yıllarda, malzeme ve cihazlardaki teknolojik gelişmeler yapıların tasarımı ve inşasını da etkilemiştir. Yüksek binalar rüzgar ve deprem gibi titreşimlere daha duyarlıdır. Bu nedenle, titreşim kontrolü artık inşaat mühendisliğinde çok önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında da inerter ayarlı kütle sönümleyicinin (TMDI) optimum parametrelerinin

bulunması amaçlanmıştır. Optimum parametreler kullanılarak inerter ayarlı kütle sönümleyici optimum olarak ayarlanmış ve yapının dışarıdan maruz kaldığı yüklere karşı davranışı optimum seviyede tutulabilmiştir. Bu tezde konu olan inerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI) ile, sistemin fiziksel kütesini arttırmadan yeterince büyük bir eylemsizlik kuvveti sağlamak için cihazın potansiyeli güçlendirilmektedir.

Bu çalışmada Bölüm 2'de TMDI ve geçmişten günümüze TMDI ile ilgili yapılan çalışmalara ait özet bilgiler sunulmuştur. Kullanılan yöntem Bölüm 3'te verilmektedir. Bölüm 4, 10 katlı bir yapının farklı kontrol sistemi ve farklı kol uzaması durumları için bulguları içermektedir. Ayrıca yöntemin kapasitesini göstermek amacıyla 10 katlı bir yapı TMDI aracılığıyla optimize edilmiştir. Bölüm 5'te bulgular tartışılmış ve son olarak Bölüm 6'da sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ ve SINIFLANDIRILMASI

Yapısal titreşim, yapıların karşılaştığı en büyük sorunlardan biridir ve genellikle rüzgar, deprem, trafik veya ağır makine işlemleri gibi nedenlerden kaynaklanır. Yapısal titreşim sonucunda yapılarda ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir. Örneğin Takoma Köprüsü, rüzgar sebebiyle titreşimler sonucu yıkılmıştır. Çeşitli uyarımlar nedeniyle aşırı titreşim genlikleri oluştuğunda bile yapının güvenliğinin sağlanması için farklı kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Yapısal titreşimi kontrol etmek için kullanılan yöntemlerden biri binaya damper, izolatör gibi kontrol cihazları eklemektir. Yapısal kontrol sisteminin amacı, harici bir kontrol kuvveti ile deprem veya şiddetli rüzgarlardan kaynaklanan titreşimi azaltmak ve binanın yanal bütünlüğünü arttırmaktır (Kim& Yun, 2000). Bir yapısal kontrol sisteminin performansı, uyarım türü, yapısal özellikler, kontrol sisteminin tasarımı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Yi & Dyke, 2000).

Titreşim kontrolünün temel amacı, rezonansı, büyük genlikli salınımları ve kararsız titreşimleri önlemek ve ayrıca geçici titreşimlerin hızlı bir şekilde bastırılmasını sağlamaktır. Titreşim bastırma araştırmalarının bir sonucu olarak, her biri farklı bir teknik ile geliştirilen çok sayıda çeşitli sönümlenme sistemi geliştirilmiştir. Titreşim kontrol stratejilerinin dört kategorisi pasif, aktif, yarı aktif ve hibrittir (El Ouni, ve diğ., 2022).

Yapısal kontrol sistemleri, aktif, yarı aktif, karma (hibrid) ve pasif kontrol sistemlerinden oluşmaktadır. Aktif kontrol sistemi hem uyarılma hem de yapısal tepkileri ölçmek için sensörler ve istenmeyen titreşimleri kontrol etmek için aktüatörler kullanır. Kontrol kuvvetleri, yapının tepkisini ölçen sensörlerden gelen geri bildirim dayalı olarak geliştirilir. Yapısal yanıtın gelen geri bildirim, aktif kontrol sisteminin konumundan uzak yerlerde ölçülebilir (Symans & Constantinou, 1999). Yarı aktif bir kontrol sistemi tipik olarak çalışması için küçük bir harici güç kaynağı gerektirir ve kuvvetin büyüklüğünün harici bir güç kaynağı tarafından ayarlanabildiği kontrol kuvvetini geliştirmek için yapının hareketinden yararlanır (Symans & Constantinou, 1999). Hibrit aktüatörler, pasif cihazın sağlamlığı ile aktif cihazların yüksek performansını birleştirerek çoklu kontrol cihazlarının kullanılması ile hibrit sistem, pasif, aktif

kontrol sistemi önerilmiştir. Bunlardan en yaygınları Aktif Kütle Sönümleyici (AMD), Yapılar Arasında Karşılıklı İşlem Kullanan Aktif Bağlantılı Bina Kontrolü (CBC), Aktif Destek Sistemi (ABS), Aktif Tendon Kontrolü, Aktif Kontrol Algoritmaları'dır (El Ouni, ve diğ., 2022).

2.1.2. Yarı Aktif Kontrol Sistemleri

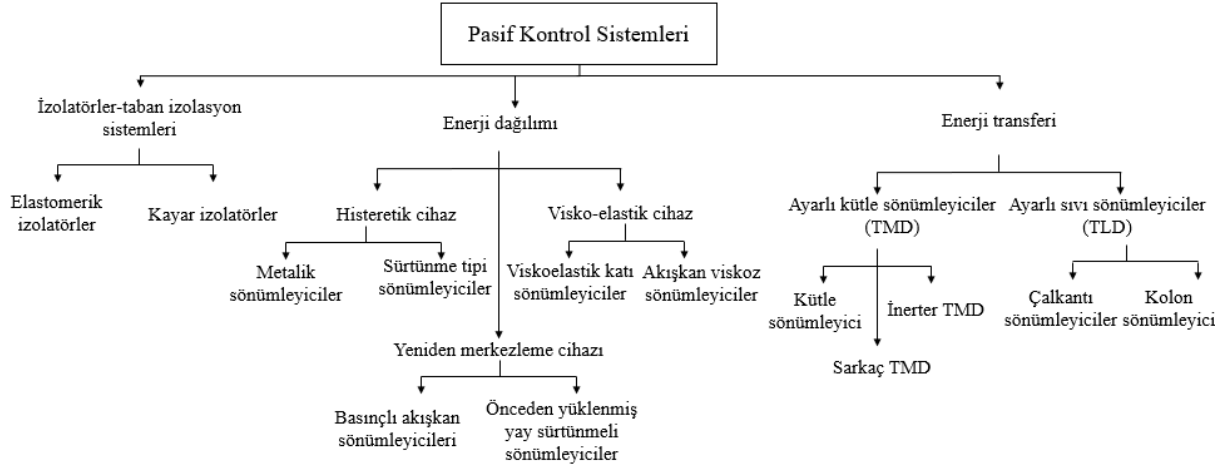
Aktif kontrolün yüksek maliyetini azaltmak için, ilk olarak Karnopp ve diğ. (1974) tarafından hem pasif hem de aktif sistemlerin en iyi özelliklerini birleştiren yarı aktif adı verilen yeni bir kontrol yöntemi tanıtılmıştır. Yarı aktif kontrol cihazları, minimum enerji ile aktif kontrol cihazlarının uyarlanabilirliğini sağlar ve yapının birincil güç kaynağının arızalanabileceği sismik olaylar sırasında çok önemli olan pil gücüyle çalışabilmektedir. Bu durum yarı aktif kontrol sistemlerinin son yıllarda ilgi çekici hale gelmesini sağlamıştır. Yarı aktif bir kontrol cihazı, sistem tepkilerini en iyi şekilde azaltmak için değiştirilebilecek niteliklere sahip olmasına rağmen kontrol edilen yapısal sisteme mekanik enerji sağlayamamaktadır (Symans ve Constantinou, 1999). Elektro-mekanik cihazlar, akıllı ayarlı kütle sönümleyiciler, ayarlı sıvı sönümleyiciler, kontrol edilebilir sürtünme cihazları, kontrol edilebilir sıvı sönümleyiciler ve kontrol edilebilir sertlik cihazları dahil olmak üzere birçok yarı aktif sistem mevcuttur (El Ouni, ve diğ., 2022).

2.1.3. Karma Kontrol Sistemleri

Bu kontrol sistemi, pasif ve aktif veya pasif ve yarı aktif kontrol sistemlerinin birleşiminden oluşmaktadır. Karma kontrol sistemleri ile yapısal titreşim kontrolü daha başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Farklı sistemlerin birleşiminden oluştuğu için eksikliklerin tamamlanması açısından daha avantajlıdır (Naimi ve Waheb, 2019).

2.1.4. Pasif Kontrol Sistemleri

Pasif kontrol sistemlerinin çalışma prensibi, yapı boyunca belirli yerlere mekanik cihazların yerleştirilmesinden veya herhangi bir enerji kaynağı olmadan yapı titreşimlerini kontrol eden sönümleme malzemelerinin eklenmesine dayanmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinin Şekil 2.2'de gösterildiği gibi çok sayıda türü bulunmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinin türlerine göre 3 grubu bulunmaktadır:



Şekil 2.2: Pasif kontrol sistemleri (El Ouni ve diğ., 2022).

Pasif kontrol, inşaat mühendisliğinde yaygın olarak uygulanmaktadır. En çok kullanılan pasif kontrol sistemleri şunlardır:

2.1.4.1 İzolatörler-Taban İzolasyon Sistemleri (Taban İzolasyon Sistemi)

Sismik izolasyon olarak da bilinen taban izolasyonun arkasındaki temel kavram, yapıyı veya yapı ana elemanlarını deprem kaynaklı zemin titreşimlerinden veya destek hareketlerinden ayıran cihazların montajıdır. Bu ayrıştırma sayesinde, sistemin esnekliği artırılır ve uygun sönümlenme sağlanarak elde edilir. Bu, kurşun içeren veya içermeyen lamine kauçuk (elastomerik) taşıyıcı taban izolatörü kullanılarak yapılabilir (Datta, 2003).

2.1.4.2 Enerji Dağılımı

Bu teknik, alçaktan orta yüksekliğe kadar olan yapılar için en pratik ve en çok kullanılan tekniklerden biridir. Histeretik cihaz olarak geçen sönümleyiciler deplasmanı kontrol eder, sertlik ve sönümlenme sağlar, düşük maliyetlidir fakat sisteme kuvvet etkilerle uygulanır. (Braz-César ve Barros, 2013). Visko-elastik cihazlar tipik olarak çelik plakalara bağlanmış katı bir viskoelastik kopolimerden oluşmaktadır. Enerji, viskoelastik malzemedeki büyük kayma gerilmeleri ile dağıtılır. Visko-elastik damperlerin uygulanması, viskoelastik malzemenin doğal depolama sertliği nedeniyle yapısal sertlikte küçük bir artışa neden olur. Avantajı ise enerjiyi yer hareketi seviyelerinde dağıtmasıdır (Charney ve Ibrahim, 2004).

2.1.4.3 Enerji Transferi

Bu yöntem, yapının belirli yerlerine damperlerin yerleştirilmesinden oluşmaktadır. Ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD'ler), yapıya bir sıvı kütlesi ve yay ile bağlı, pasif bir kontrol sistemidir. Sıvının yapının hareketine ters yönde hareket etmesi ile sismik yüklemeye karşı kontrol sağlarlar (Ocak ve diğ., 2022).

Ayarlı kütle sönümleyiciler, ilk olarak Hermann Frahm, gemi motorlarının tehlikeli titreşiminin gemi omurgası üzerindeki etkisini azaltmak için 1909'da TMD'lerle ilgili ilk çalışmayı gerçekleştirmiştir. İlk olarak Den Hartog tarafından 1934 yılında tanımlanan Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD), rezonans titreşimlerini kontrol etmek için yaygın olarak kullanılan bir pasif enerji sönümleyicidir. Birincil yapıya bağlı sönümlü bir serbestlik dereceli sönümleyici olması nedeniyle oldukça sönümlü iki serbestlik dereceli bir sistem ortaya çıkmaktadır. (Asami ve diğ., 2002). Çalışmalar ilerledikçe rijitliği ve sönümlenme terimini ayarlayarak kontrol performansını iyileştirmek için yaygın dinamik titreşim sönümleyicilerin kullanıldığı görülmüştür. Şekil 2.3'te Burj Al Arab yapısında bulunan ayarlı kütle sönümleyiciler gösterilmektedir. Bununla birlikte, atalet tabanlı dinamik titreşim sönümleyiciler sönümlenme performansını yalnızca geleneksel şekilde değil, aynı zamanda atalet terimlerini ayarlayarak da geliştirebilmektedir (Liu ve diğ., 2022).



Şekil 2.3: a) Burj Al Arab ve b) Yapının dışında bulunan ayarlı kütle sönümleyiciler¹.

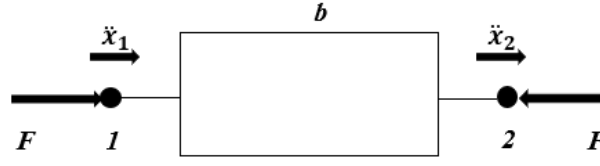
¹<https://www.youtube.com/watch?v=y10DpG8uiNc>

Bu tez çalışması kapsamında pasif kontrol sistemlerinin bir kolu olan İnerter Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMDI) incelenmiştir. Çalışmanın detayları verilmiş ve bu konuda geçmişten günümüze kadar yapılan önemli bilimsel çalışmalar ve içeriklerine ait özet bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

2.2. İNERTER AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ (TMDI)

Yaygın olarak kullanılan Ayarlı Kütle Sönümleyici'nin (TMD) titreşim azaltma performansı, büyük ölçüde ek kütle boyutuna göre belirlenmektedir. Ek kütle boyutunun büyümesi, TMD'nin daha iyi bir titreşim azaltma performansı göstermesini sağlamakta ancak ek kütle boyutu, yapısal alan ve imalat fiyatı tarafından kısıtlanmaktadır (Bian, Y. ve diğ., 2022). Bu nedenle, Smith tarafından 2002 yılında tanıtılan, bağımsız olarak hareket edebilen iki terminale sahip olan Şekil 2.4'te gösterildiği gibi terminallerinin göreceli ivmesiyle orantılı bir iç kuvvet geliştiren "inerter" kavramına yönelinmiştir. İnerter, doğrusal hareketi dönmeye dönüştürerek kütle arttırabilen mekanik bir elemandır. TMDI, klasik TMD'ye kıyasla gelişmiş performans elde etmek için, terminallerinin göreceli ivmesiyle orantılı direnç kuvvetleri geliştiren iki terminalli bir volan cihazı olan inerterin kütle amplifikasyon etkisinden yararlanmaktadır (Marian ve Giaralis, 2014). TMDI, TMD'nin titreşim bastırma yeteneklerini geliştirmek için eylemsizlik olarak adlandırılan kütle amplifikasyon özelliğinden yararlanan ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) bir çeşididir (Giaralis ve Taflanidis, 2015). İnerterin kütle büyütme etkisi ve negatif rijitlik etkisi sayesinde, enerji yayıcının performansı önemli ölçüde arttırabilmekte ve yapının titreşimini etkili bir şekilde kontrol edilebilmektedir (Bian, Y. ve diğ., 2022).

İnerterler ayrıca bir miktar fiziksel kütleye sahiptir. Örneğin, 700 kg eylemsizliğe sahip kremayer ve pinyon ataletinin fiziksel kütlesi 3.5 kg'dır (Papageorgiou, C ve diğ., 2009).



Şekil 2.4: İnerter elemanın şematik çizimi (Marian ve Giaralis, 2013).

Şekil 2.4'te \ddot{x}_1 ve \ddot{x}_2 iki terminaldeki ivmelerdir. b , inerterdir ve birimi kilogramdır (Marian ve Giaralis, 2013). 2002 yılında ortaya atılan inerter kavramı ilk olarak elektrik mühendisliği alanında araştırmalar için kullanılmasına rağmen, inerter kavramı Smith tarafından önerilmeden önce bile inerter ile dinamik titreşim sönümleyicilerin titreşim kontrol performansını iyileştirme uygulaması 1990'lara kadar dayanmaktadır (Arakaki ve diğ., 1999; Soong, 1998). Çünkü inşaat mühendisliği alanında aynı özelliklere sahip bilyalı vida düzenekleri, kremayer dişli, hidrolik ve viskoz tip atalet kapları vb. mekanik bileşenler elde etmek de mümkündür (Liu ve diğ., 2022). Bir inerter, yüksek görünür kütle oluşturma kapasitesine sahip iki uçlu bir volan cihazıdır ve başlangıçta Formula 1 yarış arabalarının süspansiyon sistemleri için geliştirilmiştir (Lazar ve diğ., 2014). Ataletin tanımına göre Denklem (2.1)'deki ilişki geçerli olmaktadır (Smith, 2002, Chuan ve diğ. 2011a).

$$F = b(\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) \quad (2.1)$$

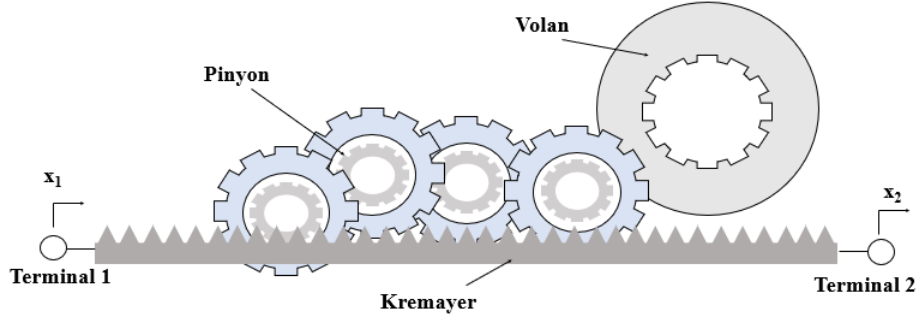
Denklem (2.1) ile verilen eşitlik; TMDI için eylemsiz cihazın terminallerinin göreceli ivmesiyle orantılı ürettiği eylemsizlik kuvveti Denklem (2.2) şeklinde yazılmaktadır.

$$F_{inertter} = b(\ddot{x}_{tmdi} - \ddot{x}_f) \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de \ddot{x}_{tmdi} , yardımcı salınan kütle için yanal yer değiştirmesinin ikinci türevini temsil eder, \ddot{x}_f inerterin yardımcı kütleyle bağladığı zeminin yanal yer değiştirmesinin ikinci türevini temsil etmektedir. Sonuç olarak, TMDI konfigürasyonunda inerter, birincil yapının kütleyle bağlı inerter kuvvetine katkıda bulunmaktadır (Abd-Elhamed ve Alkhatib, 2023).

n dişli aracılığıyla kremayer ve pinyona bağlanan bir volandan oluşan inerterin tipik bir mekanik şeması Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Kremayer², genellikle dairesel hareketi doğrusal harekete dönüştürmek için kullanılan çubuktur. Bu çubuğa geçen dairesel dişliye de pinyon denmektedir. Volan ise enerjiyi sağlamaktadır.

²<https://www.makinaegitimi.com/kremayer-disli-nedir-kremayer-dislinin-kullanim-alanlari/>

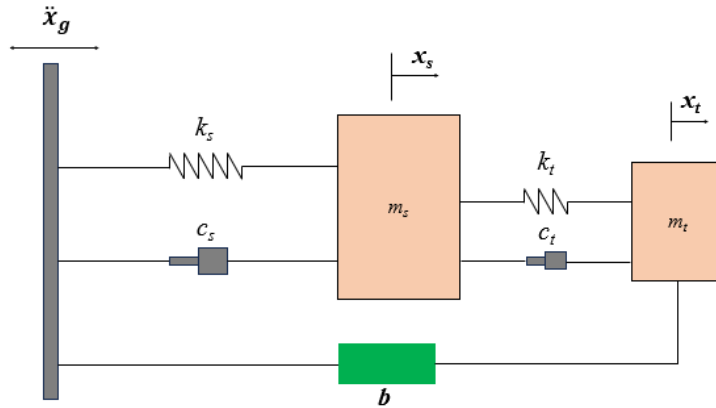


Şekil 2.5: 4 dişliye sahip, kremayer ve pinyonlu volan tabanlı bir eylemsizlik cihazının şematik gösterimi (Marian & Giaralis, 2017).

$$b = m_f \frac{\gamma_f^2}{\gamma_{pr}^2} \left(\prod_{k=1}^n \frac{r_k^2}{r_{pk}^2} \right) \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'te m_f ve γ_f sırasıyla dişlinin kütlesi ve dönme yarıçapıdır. γ_{pr} volan pinyonunun yarıçapıdır. r_k ve r_{pk} ($k=1,2,\dots,n$), kremayeri dişli pinyonuna bağlayan sırasıyla k'inci dişlinin ve ona karşılık gelen pinyonun yarıçaplarıdır (Marian ve Giaralis, 2017; Kaveh ve diğ. 2020).

TMD'nin kütlesini bir inerter aracılığıyla zemine bağlayan yeni bir titreşim sönümlenme konfigürasyonu ilk olarak Marian ve Giaralis tarafından 2014'te önerilmiş ve bu alete, buna "İnertler Ayarlı Kütle Sönümleyici" (Tuned Mass Damper Inerter -TMDI) adı verilmiştir. Bir TMDI içeren tek serbestlik dereceli (SDOF) bir yapının şematik çizimi ise Şekil 2.6'da gösterilmektedir.



Şekil 2.6: TMDI ekli tek serbestlik dereceli yapı (Kaveh ve diğ., 2020).

Şekil 2.3'te m_s , k_s ve c_s yapının kütesini, rijitliğini ve sönümünü temsil etmektedir. TMDI cihazı, TMD olarak adlandırılan bir yardımcı kütle (m_t), rijitlik (k_t) ve sönümleyiciden (c_t) ve eylemsizliği b olan bir inerter cihazından oluşur. İnerter cihazı, her iki terminal aracılığıyla toprak ile yardımcı kütle arasına bağlanır. İnerter cihazının hareketi, adil bir yaklaşımla, her iki terminal arasındaki göreceli ivmeyle orantılı bir reaksiyon üretmektedir. Bu orantı katsayısı İnerter veya görünür kütle olarak bilinmektedir ve genellikle eylemsiz maddenin gerçek kütesinin birçok katıdır. Birleşik sistem \ddot{x}_g yer ivmesi ile uyarılmaktadır. Yapının titreşimi TMD'nin rezonansa girmesine neden olmaktadır. TMD de sönümlenme yoluyla gelen enerjiyi daha da dağıtmaktadır. TMD sistemi doğal frekansı (w_{tmd}) ve sönüm oranı (ξ_{tmd}) parametreleri kullanılarak karakterize edilebilmektedir. Bu iki parametrenin ifade edilişi Denklem (2.4) ve Denklem (2.5) ile gösterilmektedir (Prakash ve Jangid, 2022.):

$$w_{tmd} = \sqrt{\frac{k_s}{m_s}} \quad (2.4)$$

$$\xi_{tmd} = \frac{c_s}{2m_s w_s} \quad (2.5)$$

TMDI sisteminin sönümlenme oranı ve doğal frekansı Denklem (2.6) ve Denklem (2.7) ifade edilmektedir.

$$\xi_{tmdi} = \frac{c_{tmdi}}{2(m_{tmdi}+b)w_{tmdi}} \quad (2.6)$$

$$w_{tmdi} = \sqrt{\frac{k_{tmdi}}{m_{tmdi}+b}} \quad (2.7)$$

Denklem (2.6)'da ξ_{tmdi} TMDI sisteminin sönümlenme oranı, m_{tmdi} TMDI sisteminin kütesi, w_{tmdi} TMDI sisteminin doğal frekansı, c_{tmdi} TMDI sisteminin sönüm katsayısıdır. Denklem (2.7)'de k_{tmdi} TMDI sisteminin rijitliğidir.

Tez kapsamında TMDI optimum parametreleri araştırılmaktadır ve bu bölümde literatürde bu konuda yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler sunulmuştur. Optimizasyon sonucu elde edilen veriler analiz edilip, karşılaştırılmış ve inerter ayarlı kütle sönümleyicilerin yapının deprem yüküne karşı vereceği tepkiyi en az seviyeye indirecek değerleri elde edilmiştir.

İnerter ayarlı kütle sönümleyiciler ilk olarak Marian ve Giaralis (2013) tarafından İki Uçlu Volan (TTF) cihazı olan "atalet" in klasik Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD) ile birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Böylece çalışmalarında sismik olarak uyarılmış binaların pasif titreşim kontrolü için yeni bir konfigürasyon önerilmiştir.

Marian ve Giaralis (2014), çalışmalarında Analitik kapalı form çözümleri türeterek inerterin önerilen TMDI konfigürasyonuna dahil edilmesinin yalnızca ana yapının titreşim kontrol performansını iyileştirmekle kalmadığını, aynı zamanda yardımcı yapının kütlelerini de azaltabileceğini kanıtlamıştır. İnerterin önerilen TMDI konfigürasyonuna dahil edilmesinin, hafif pasif titreşim kontrol çözümleri elde etmek için TMD titreşen kütlelerin bir kısmını değiştirebileceği veya belirli bir TMD kütleleri için klasik TMD'nin performansını iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır.

Giaralis ve Taflanidis (2015), tarafından TMDI sisteminin frekans, sönümleme oranı ve atalet özellikleri tasarım değişkenleri olarak ele almış ve 12 farklı topolojide düzenlenmiş bir TMDI ile donatılmış 10 katlı bir çerçeve yapısında, özellikle nispeten küçük ek bağlı kütle için TMDI sisteminin klasik TMD'ye göre gelişmiş performansa sahip olduğu gösterilmiştir.

Brzeski ve diğ. (2015), tarafından ayarlanmış bir kütle sönümleyicide geliştirilen hidrolik tipte bir inerter bir Duffing osilatörünün doğrusal olmayan tepkisini bastırmak için viskoz bir sönümleyici ile bir sarkaca bağlanmış ve bu yöntemin Duffing izolatörünün çatallanmalarını ortadan kaldırabileceği bulunmuştur.

Giaralis ve Marian, (2016), inerter ayarlı kütle sönümleyici sistemini (TMDI) beyaz gürültü uyarımına maruz kalan tek serbestlik dereceli (SDOF) bir sisteme uygulayarak optimum parametreler için kapalı formda bir çözüm elde etmişlerdir. Bu çalışma ile ayarlanmış kütle sönümleyici inerterinin klasik TMD'den daha sağlam ve etkili olduğu gösterilmiştir.

İnerter tabanlı sönümleyicilerin salınımlı birincil sistemden enerji toplama ve eşzamanlı titreşim bastırma potansiyelini araştıran Salvi ve Giaralis (2016), tarafından TMDI kavramına dayanılarak, enerji toplamanın TMD'nin inerter ve ikincil kütleleri arasında takılan bir elektromanyetik motor ünitesi tarafından sağlandığı, enerji toplama özellikli TMDI (EH-TMDI) fikri ortaya atılmıştır. Önerilen EH-TMDI, titreşim kontrolü ve enerji toplama amaçları arasındaki dengeyi gevşetmeye izin vermekte ve çift amaçlı bir optimizasyonu pratik olarak uygulanabilir, güvenilir bir görev haline getirmektedir. Ayrıca, Sun ve diğ. (2017), sismik

kontrol için inerte dayalı yeni bir bileşen dinamik titreşim soğurucu, yani elektromanyetik rezonant şönt ayarlı kütle sönümleyici inerter (ERS-TMDI) önermiş ve yapısal yer değiştirmenin ortalama karekök değerini azaltmak için H_2 ayar (tuning) yasalarını türetmiştir. Luo ve diğ. (2017), tarafından bina yapılarının rüzgar kaynaklı titreşim kontrolünü sağlamak ve enerji hasadı üzerine uygulama ile yeni bir elektromanyetik rezonant şönt ayarlı kütle sönümleyici inerteri (ERS-TMDI) önerilmiştir. Taipei 101 kulesinde sayısal bir vaka çalışması gerçekleştirerek, böyle bir cihazın klasik TMD'ye kıyasla titreşim tepe noktası %35 azaltılmış ve ortalama 132,32 W güç toplanmıştır.

Marian ve Giaralis (2017), harmonik olarak uyarılmış yapılarda TMDI sisteminin titreşim kontrolünü ve enerji dönüşümünü araştırmıştır. Sonuç olarak aynı ağırlıktaki TMD ve TMDI karşılaştırıldığında, TMDI sisteminin ana sistemin temel frekansına yakın titreşimi daha etkili bir şekilde bastırabildiği ve bozulma etkisine karşı daha güçlü sağlamlığa sahip olduğu bulunmuştur.

Giaralis ve Petrini (2017), TMDI sisteminin rijitlik, sönümleme ve inerter parametrelerini optimize ederek girdap dökülme etkilerine maruz kalan 74 katlı bir bina için standart bir sayısal optimizasyon araştırması gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak TMDI kullanılarak yapının öngörülen hizmet verebilirlik kriterlerini karşılamak için daha hafif bir yapı elde edebileceği bulunmuştur.

Siarni ve diğ. (2017) tarafından Michelangelo Buonarroti'nin ünlü heykelinin performansını iyileştirmek ve dış titreşimden korumak için beş serbestlik dereceli (5DOF) yapı modellenmiştir. Bu model kullanılarak, ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ve ayarlı kütle sönümleyici-atalet (TMDI) gibi cihazların bu yapının titreşim azaltmasındaki etkisi araştırılmıştır. TMDI sisteminin TMD'ye göre heykelin titreşimini azaltmada daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Pietrosanti ve diğ. (2017), tarafından yer değiştirme minimizasyonu, ivme minimizasyonu ve ikincil sistemde dağıtılan enerji ile toplam girdi enerjisi arasındaki oranın maksimizasyonu için deprem tabanı uyarımı dikkate alınarak optimum şekilde tasarlanan TMDI sisteminin, TMD'den daha üstün performans gösterdiğini ortaya konmuştur.

Giaralis ve Taflanidis (2018) doğrusal çok serbestlik dereceli (MDOF) yapıların sismik koruması için optimum bir TMDI tasarımını güvenilirlik kriterlerine göre (kat ivmeleri, katlar

arası kaymalar ve ekli kütle yer değiştirmesi) ele almışlardır. Sonuç olarak, TMDI sisteminin, aynı kütle/ağırlıktaki TMD'ye göre bina ve uyarma belirsizliklerine karşı gelişmiş yapısal performans ve sağlamlık elde ettiğine varılmıştır.

De Domenico ve Ricciardi (2018), deprem nedeniyle oluşan yer değiştirmenin yalıtım seviyesinde yoğunlaşmasından dolayı temel izolasyon sistemlerinin yer değiştirme talebini azaltmak için TMDI içeren gelişmiş bir taban izolasyon sistemi önermiştir. İzolasyon zeminine bir TMDI takılarak, TMDI'lerin temel yalıtımlı binaların yer değiştirmesini önemli ölçüde azaltılabileceği gösterilmiştir.

Ruiz ve diğ. (2018), risk bilgili bir TMDI optimizasyonunu inceleyerek, çoklu hedefleri (sistemin yaşam döngüsü maliyetleri, onarım maliyetleri, geri dnuş periyodu) göz önünde bulundurarak optimal bir tasarım önermiştir. şili, Santiago'da inşa edilen 21 katlı bir binayı içeren bir vaka çalışmasından elde edilen sonuçlar, optimum TMDI konfigürasyonlarının yaşam döngüsü ve onarım maliyetlerinde eř zamanlı azalma sağlayabildiğini göstermektedir. Çalışmada ayrıca TMDI konumunun performansı üzerinde önemli faydalar sağladığı gösterilmiştir.

Zhou ve diğ. (2019), inerterli seri çift ayarlı kütle sönümleyicinin (SDTMDI) topraklanmış tip (G-SDTMDI) ve yerleştirilmiş tip (I-SDTMDI) olmak üzere iki konfigürasyonunu incelemiştir: Topraklanmış inerterlerin titreşim kontrol etkisini daha belirgin hale getirdiği gösterilmiştir.

Xu ve diğ. (2019), uzun açıklıklı köprülerin istenmeyen girdap kaynaklı titreşimini (VIV), kontrol etmek için inerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI) gözlemlemiştir. Sonuçlara göre TMDI sisteminin geleneksel TMD sistemine kıyasla, köprü tabliyesinin girdap kaynaklı titreşim tepkilerini azaltmada daha başarılı performansa sahip olmaktadır.

Sarkar ve Fitzgerald (2020), direk tipi yüzer açık deniz rüzgar türbini (FOWT) kulelerinin titreşimlerini azaltmak için bir motor bölümüne TMDI monte etmiştir. TMDI kullanımının kule salınımını basit bir TMD sistemine göre daha yüksek bir oranda azaltıldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Lara-Valencia ve diğ. (2020), çoklu performans endeksleri üzerine kapsamlı bir arama süreci aracılığıyla optimum bir TMDI tasarımı üzerine çalışmıştır. Önerilen optimizasyon prosedürü

için geliştirdikleri sayısal örnekten elde edilen sonuçlar, kapsamlı arama optimizasyonuna dayalı olarak tasarlanan cihazların pik yer değiştirmeyi azalttığını göstermiştir.

Masnata ve diğ. (2020), sismik olarak tabandan izole edilmiş yapılarda bir temel izolasyon sistemi (BI) ile TMDI sistemini birleştirmişlerdir. Önerilen ve Yeni TMDI olarak adlandırılan bu yeni sistemin özellikle tarihi binalarda güçlü depremler sırasında tabandan izole edilmiş yapılarda yer değiştirmeleri azaltabileceği gösterilmiştir.

Pietrosanti ve diğ. (2020), geliştirilmiş bir 2DOF modeli ile çok serbestlik dereceli (MDOF) bir yapıya sahip bir Ayarlı Kütle Sönümleyici İnerteri'nin (TMDI) optimum tasarımını gerçekleştirmek metodoloji uygulamışlardır. Sonuç olarak TMDI sisteminin klasik TMD ile elde edilen performansları arttırdığı gösterilmiştir.

Weber ve diğ. (2020), TMDI ile donatılmış yüksek rüzgar uyarımlı binaların titreşim azaltmasını araştırmıştır. Çalışmada TMDI sisteminin toplam performansı, inerterin topraklandığı zeminin işlevine dayalı olarak değerlendirilmiş ve inerterin topraklandığı zeminin doğrudan TMDI performansı ile ilgili olduğu belirtilmiştir. En iyi performans inerterin zemine topraklandığında ulaşılmıştır.

Wang ve Giaralis (2021) üst kat yumuşatma yapılmış tipik bir çok katlı çekirdek çerçeve yapısının titreşime karşı korunması için bunu TMDI ile birleştirmiştir. Sonuç olarak, yerel kat yumuşatma işleminin (özellikle en üst kat), rüzgâr karşısında yüksek yapının titreşim azaltma performansını iyileştirilmiştir.

Patsialis ve diğ. (2021), çok katlı histeretik binalar için sönümleyici tabanlı titreşim sönümleyici (IVA) tasarım çerçevesi sunmuştur. Deprem tehlikesini modellemek için spektrum kayıtlı yer hareketlerini kullanan çerçeve 9 katlı histeretik bina için kullanan TMDI ve TID cihazları için sayısal olarak gösterilmektedir. Bu sayede yapısal performans ve inerter donanımlı sönümleyici kuvvetleri dengelenmiştir.

Wang ve Giaralis (2021), birincil yapının elastik ve kütle özelliklerinin TMDI sisteminin kontrol performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Harmonik ve beyaz gürültü uyarımları için optimum şekilde ayarlanmış TMDI parametreleri elde edilmiştir. Bu çalışma, dinamik yüklerde gelişmiş performans için optimum TMDI ayarlamasını birincil yapı tasarımıyla birleştirmenin yolunu açmaktadır ancak daha fazla analize ihtiyaç duyulmaktadır.

De Angelis ve diğ. (2021), yaya köprülerinde inerter ayarlı kütle sönümleyicinin (TMDI) optimal tasarımını incelemişlerdir. Frekans oranını ve sönümlenme faktörünü tasarım parametreleri olarak kabul ederek yaya köprüsünün azaltılmış dereceli modelledikleri çalışma tarafından TMDI yaya köprüleri için çok verimli bir kontrol sistemi haline getirilmiştir.

Guo ve Luo (2021), elektromanyetik rezonant şönt ayarlı kütle sönümleyici inertere (ERS-TMDI) sahip doğrusal olmayan bir osilatörün simetrik ve asimetrik periyodik tepkilerini incelemiştir. Simetrik ve asimetrik periyodik hareketlerin yarı analitik tahminlerini doğrulamak için kararlı periyodik hareketlerin sayısal simülasyonları sunulmuştur. Simetrik ve asimetrik periyodik hareketlerin frekans-genlik özellikleri, ERS-TMDI tasarımı için çok iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Su ve diğ. (2022) TMDI'daki atıl karmaşık bağımlılık özellikleri, kontrol performansını değerlendirmede ve inert tasarımında zorluklar getirmesi nedeniyle TMDI sisteminin kontrol performansının kapalı form çözümleri, bir filtre yaklaşımıyla elde edilir. Önerilen yaklaşım ile rüzgâr ve sismik kaynaklı tepkiler sırasıyla %60 ve %55'e kadar azaltmış ve TMDI sistemlerinin optimal parametrelerinin belirlenmesi için rehberlik sağlanmıştır.

Djerouni ve diğ. (2022), darbe benzeri yer hareketleri nedeniyle yapılarda oluşan titreşim ve yer değiştirmenin azaltılması için TMDI sisteminin performansını araştırmıştır. Zaman tanım alanında, yapısal yer değiştirmeyi en aza indirmek için Genetik Algoritma kullanmışlardır. Çalışmada, TMDI sistemlerinin darbe ile rezonansa girmemesine rağmen faya yakın yer hareketlerinin diğer frekans bileşenlerinden dolayı yüksek yer değiştirme yapan yapıların tepkisini kontrol etmede çok etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Liu ve diğ. (2022), çalışmalarında titreşim kontrolünü ve inerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI) iletim hatlarının optimum tasarımını araştırmıştır. Geleneksel TMD ile karşılaştırıldığında, TMDI ile görünür kütle oranındaki artışın iletim hattının kontrollü yer değiştirme tepkisi spektrumunun tepe değerleri yaklaşık %12 oranında azalttığı ve TMDI sisteminin, iletim hatları üzerinde daha iyi bir titreşim bastırma etkisine sahip olduğunu gösterilmektedir.

Wu ve diğ. (2022), TMDI sisteminin etkinliğini değerlendirmek için, tek serbestlik dereceli (SDOF) bir yapı ve TMDI sistemini birleştirmiştir. Çalışmada, klasik sabit nokta teorisinin eksikliklerini gidermek için, sayısal arama optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Sonuçlara

göre, TMDI sisteminin, birincil sistem için TMD'den daha iyi performans göstermiş ve yapıya daha fazla ilave sönümleme sağlanabilmiştir.

Liu ve diğ. (2022), harmonik uyarım altında iletim hattının titreşim bastırma performansını iyileştirmek için öteleme hareketini dönme hareketine dönüştürebilen yeni bir topraklanmamış TMDI önermiştir. Bu sistem ile artan modal koordinat farklılıklarıyla birlikte, TMDI sisteminin titreşim bastırma performansı önemli ölçüde artış göstermiştir. Bu da TMDI sisteminin iletim hattının yer değiştirme tepkisini etkili bir şekilde kontrol edebildiğini göstermektedir.

Weber ve diğ. (2022), TMDI sisteminin atalet kuvvetini artırmayı amaçlayan ve ek bir serbestlik derecesi üretmeyi amaçlayan iki farklı topoloji ile TMDI sistemini incelemiştir. Sonuç olarak, ilave bir serbestlik derecesine sahip TMDI sisteminin, eylemsizlik oranı çok küçük ayarlandığında ve TMDI parametreleri sayısal olarak optimize edildiğinde birincil yapının hafifletilmesini iyileştirebileceğine varılmıştır.

Bian ve diğ. (2022), yapının titreşimini kontrol etmek için yapılardaki dairesel kesitli elemanların titreşim kontrolü için tasarlanmış TMDI sisteminin optimum tasarımını araştırmıştır. Farklı optimizasyon şemalarından elde edilen sonuçlarda, TMD sisteminin yalnızca ek kütleyle etkili bir şekilde azaltmakla kalmayıp aynı zamanda daha iyi titreşim kontrol performansına ve sağlamlığına sahip olduğunu ulaşılmaktadır.

Araz (2022), binaların dinamik tepkileri ve TMDI sisteminin optimum parametreleri zemin-yapı etkileşimi (SSI) dikkate alındığında değişebildiğinden SSI etkilerini dikkate alarak deprem altındaki yüksek bir binanın maksimum yapısal tepkilerini azaltmada TMDI parametrelerinin optimizasyonu için bir metodoloji önermiştir. Sonuç olarak, SSI etkisinin ve atalet oranının, TMDI sisteminin optimum tasarımı ve etkinliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterilmiştir.

Li ve diğ. (2022), çalışmalarında ölçekli bir köprü modelinin girdap kaynaklı titreşimini (VIV) kontrol etmek için inerterin doğrusal olmama durumunun TMDI sisteminin kontrol verimliliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonuçlar, TMDI'nın kontrol verimliliğinin, eylemsiz doğrusal olmama durumunun, ideal bir doğrusal TMDI sisteminin kontrol verimliliğinden daha kötü olduğunu göstermiştir.

Chen ve diğ. (2022), çalışmalarında eşit modal sönümleme ilkesine dayanan topraklanmış TMDI sisteminin optimum tasarımı için bir dizi kapalı form formülü önermiştir. Önerilen kapalı formüllerin etkinliği, 10 katlı bir binanın hem frekans alanı hem de zaman tanım alanı (deprem yer hareketleri ile) analizleri yoluyla değerlendirilmiştir ve eşit modal sönümleme ilkesi ile önerilen tasarım formüllerinin, arka plan esnekliğini göz ardı eden geleneksel formüle kıyasla topraklanmış TMDI sisteminin üstün performansına yol açtığını göstermiştir.

Peng ve diğ. (2023), karmaşık etkin kütledeki Kramers-Kronig ilişkilerine dayalı olarak TMDI için önerdikleri birleşik bir tasarım fikrinde TMDI'nın performansını, geleneksel TMD'nin mevcut dinamik özellikleri ile birlikte incelemiştir. Sonuçlar, eşdeğer TMD'nin kütle oranı, fiziksel kütle oranından daha büyük olduğunda inerterin, TMD'nin kontrol performansını arttırdığını göstermiştir.

Zahedin Labaf ve diğ. (2023) silindirik sıvı depolama tanklarının sismik tepkisini azaltmak için TMDI ile birlikte taban izolasyon sisteminin (BIS) birleştirildiği hibrit kontrol sisteminin (HCS) kullanılmasını önermiş ve çok amaçlı optimizasyonunu incelemiştir. Optimum olarak tasarlanan HCS, geleneksel tasarıma kıyasla taban kesme, konvektif ve itme yer değiştirmelerini önemli ölçüde azaltmıştır.

Djerouni ve diğ. (2023), yer hareketi uyarımına maruz kalan bitişik yapılarda darbe azaltma için çalışmalarında üç yeni konfigürasyon önermiş ve TMDI ve ayarlanmış inerter sönümleyici (TID) olmak üzere iki farklı pasif cihaz kullanılmıştır. Önerilen konfigürasyonların etkinliğini göstermek için çok sayıda yer hareketi kaydı kullanılmış ve mevcut en iyi konfigürasyon ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, TMDI'lar veya TID'ler kullanılarak önerilen kuplajsız konfigürasyonların literatürdeki mevcut konfigürasyonlardan daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Rajana ve diğ. (2023) çalışmalarında 9 katlı çelik yapı kullanarak çok katlı binaların sismik tepki koruması için doğrusal olmayan viskoz sönümleyici (NVD) ile donatılmış TMDI sisteminin potansiyelini araştırmıştır. Sonuçlar, daha düşük bir sönüm (NVD) üssünün TMDI sisteminin darbesini ve eylemsizlik kuvvetini azalttığını göstermiştir.

Liang ve diğ. (2023), çalışmalarında farklı kurulum modlarında (TMDI-A ve TMDI-B) ayarlanmış bir kütle sönümleyici inerteri (TMDI) kullanan SIS'in sismik kontrol performansını incelemiştir. Sonuçlar, iki TMDI şemasının optimum performansının inertans-kütle oranının

artmasıyla önemli ölçüde artırılabilirliğini ve ayrıca izolasyon katmanı konumunun yükselmesiyle ve izolasyon katmanı düşük sönümlenme durumundayken iyileştirileceğini, ancak ayarlanmış kütle oranının artmasının TMDI-A ve TMDI-B'nin performansı üzerinde ters bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Fitzgerald ve diğ. (2023), yapısal dinamik modeller ve olasılıksal değerlendirme araçlarını kullanarak, yüzen açık deniz rüzgâr türbinleri (FOWT) kulelerinin TMDI ile donatılmasını incelemiştir. Sonuçlar, TMDI sisteminin FOWT kulelerinin yapısal güvenilirliğinde önemli artışlar sağladığını göstermiştir.

Zhang ve diğ. (2023), çalışmalarında iki sönümleyici montaj konumundaki esnek yapının rezonans olmayan tepkisini (arka plan esnekliği) temsil eden ve orijinal sistemin modal analizi ile elde edilen iki eşdeğer arka plan rijitlik katsayısına sahip yeni bir analog SDOF-TMDI modeli önermiştir. Sonuçlar, arka plan esnekliğini hesaba katan optimum frekans ayarlama formülünün, herhangi bir TMDI kurulum yapılandırmasıyla birincil yapının dengeli bir frekans yanıt eğrisine ve ayrıca esnek yapılarda klasik formülünden daha üstün TMDI titreşim kontrol performansı sağladığını göstermiştir.

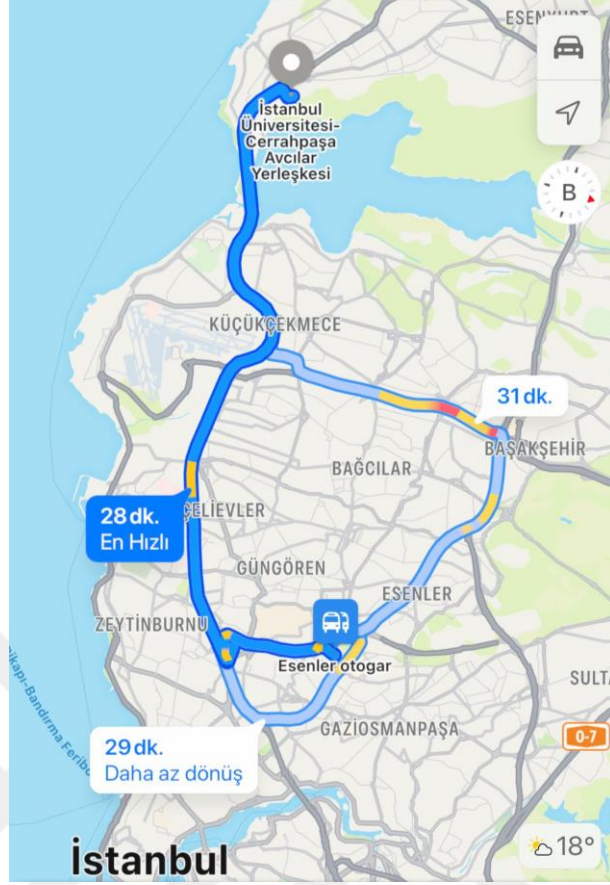
3. YÖNTEM

Yapıya, yapı içerisindeki canlılara, ekipmanlara ve çevreye verilecek zararların azaltılması üzerinde durulması gereken en önemli konulardan biridir. Özellikle zamana bağlı değişim gösteren deprem kuvvet yapıda önemli hasarlar oluşturduğundan yapılara farklı sistemler eklenmesine gereksinim duyulmaktadır. Pasif kontrol sistemlerinden biri olan inerter ayarlı kütle sönümleyicileri (TMDI) yapıda oluşan olumsuz tepkilerinin azaltılmasında kullanılan etkili sistemlerdir. Ancak TMDI sistemlerinin yapıda etkin bir biçimde çalışması için çeşitli parametreleri ayarlanarak sistem performansının en üst düzeyde olması ve deplasman, ivme gibi tepkilerin minimize edilmesi sağlanabilmektedir. Yapının TMDI ile hareket denklemleri MATLAB Simulink (2018) kullanılarak çözülmüştür.

İnerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI) için, en iyi performansı elde etmek amacıyla parametrelerinin uygun optimizasyonu gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, inerter ayarlı kütle sönümleyicilerin parametre optimizasyonu için, yapı dinamiğinden faydalanılmıştır.

Optimizasyon, insan varlığından beri var olan, mevcut çözümler arasında en iyi çözüme ulaşma sürecidir. Optimizasyon problemi ise birden fazla uygun çözümü olan problem demektir. Optimizasyon problemi genel olarak, tasarım değişkenleri, kısıtlamalar ve amaç fonksiyonundan oluşmaktadır. Karmaşık problemlerin hesabı için optimizasyon, mevcut yapay zekâ topluluğu tarafından en yoğun şekilde incelenen alanlardan biri haline gelmiştir.

Farkında olarak veya olmayarak gündelik hayatta da optimizasyon sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 3.1’de görülen otogardan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar kampüsüne ulaşmak için alternatif yolları gösteren navigasyon uygulaması optimizasyonun bir örneğidir. Farklı alternatif yollar gösterilerek en kısa zamanda ulaşılacak yol yan optimum yol gösterilmektedir.

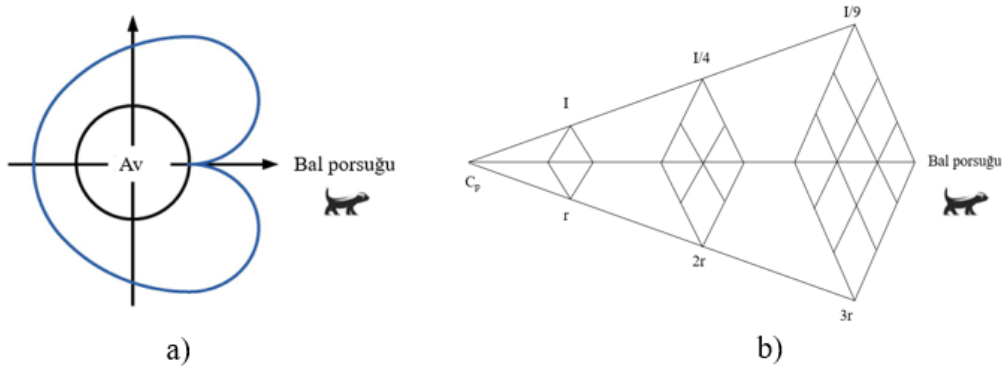


Şekil 3.1: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Avcılar kampüsüne ulaşmak için alternatif yolları gösteren navigasyon uygulaması.

Gerçek dünyadaki birçok problemin çözümü, sınırlamaları ve çeşitli değişkenleri nedeniyle karmaşık olmaktadır. Optimum tasarım değişkenlerinin tasarım kısıtlarının analizi üzerinde etkili olmasından dolayı mühendislik problemlerinin çözümü doğrudan hesaplanamamaktadır. Bu da, daha karmaşık hale gelen sayısal optimizasyon problemlerinin çözümü için yüksek verimli yöntemlere ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. Örneğin, mühendislikteki tasarım maliyeti sorunları genellikle çok sayıda mevcut çözümden optimumu bulma yöntemlerini gerektirmektedir (Hayyolalam ve Kazem, 2020). Doğrusal olmayan bir problemi çözenin en kolay yolu yinelemeli çözüm denemeleri kullanmaktır ancak bu süreç çok uzun olabilir. Bu nedenle aday tasarım değişkenlerinin rastgeleleştirilmesi ve seçilmesi, yinelemeli algoritmalar kullanan metodolojiler kullanılarak sistematik bir şekilde yapılmalıdır. Bu yinelemeli algoritmalar esas olarak metasezgisel yöntemlerdir. Metasezgisel yöntemlerin geliştirilmesi, optimum tasarım hedefi için aynı amacı taşıyan bir süreci içerir. Her sürecin sağlaması gereken hedefleri veya en aza indirecek veya en üst düzeye çıkaracak objektif işlevleri vardır (Bekdaş, 2020).

Metasezgisel algoritma, gradyan bilgisi gerektirmeme, güçlü arama kabiliyetine ve geniş uygulanabilirliğe sahip olma gibi avantajlara sahiptir (Tang ve diğ., 2021). Metasezgisel algoritmalarındaki optimizasyon süreci, problemin çözümü için belirli sayıda rastgele uygulanabilir çözümün başlatılmasını sağlayacak şekildedir. Daha sonra yinelemeli olarak bir süreçte aday çözümler algoritma kurallarına göre güncellenir ve geliştirilir. Algoritmanın adımları uygulandıktan sonra aday çözümler arasından en iyisi problemin çözümü olur.

Metasezgisel algoritmaların uygulama alanları çok fazladır. Bir yere gitmek için en kısa yolun bulunması, lojistik alanında malların teslimi için minimum maliyetin elde edilmesi, bir hastanede gece vardiyasının organize edilmesi sırasında işçilerin görevlere en uygun şekilde atanması, uçak mürettebatının optimum dağılımını minimum maliyetinin bulunması gibi işlemlerde uygulanabilmektedir. Aynı problemde metasezgisel algoritmalar, aday çözümlerin aranması ve güncellenmesi süreçlerinin birbirinden farklı olmasından dolayı farklı performans gösterebilmektedir. Bu nedenle optimizasyon problemlerine daha iyi çözümler bulabilmek için çok sayıda optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Literatürde doğadan ilham alan çok sayıda metasezgisel yöntem bulunmaktadır. Doğada da bal porsuğunun akıllı yiyecek arama davranışından (Hashim, F.A. ve diğ., 2022) ya da kısmen veya tamamen sıvıya batırılmış bir nesneye yukarı doğru uygulanan kaldırma kuvveti ilkesinden ilham alan optimizasyon algoritmaları (Hashim, F. A ve diğ., 2021) mevcuttur. Şekil 2.1’de bal porsuklarının konumlarının güncellendiği aşamalar mevcuttur. Kazma aşamasında bal porsuğu etrafı kazıp dolaşarak Şekil 3.2 (a)’da gösterildiği gibi kalp şeklini taklit eder. İkinci aşama olan bal arama aşamasında bal porsuğu Şekil 3.3 (b)’de gösterildiği gibi, Ters Kare Yasası’na uygunluk göstererek koku yoğunluğunun artması ile hızlanır (Hashim, F.A. ve diğ., 2022).



Şekil 3.2: a) Bal porsuğunun kardioid hareketi. b) Ters kare kanunu. (Majumdar ve diğ. 2023; Hashim ve diğ., 2022).

Metasezgisel terimi Glover (Glover, 1986) tarafından ortaya atılmıştır ve karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için iyi tanımlanmış bir algoritma sınıfını temsil etmektedir (Gharehchopogh, 2023). Son zamanlarda pek çok metasezgisel algoritma, zorlu problemlerin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır. Çok büyük boyutlardaki problemlerin optimum çözümüne kısa sürelerde ulaşabilmeleri, bu algoritmaların yaygın olarak kullanılmasının sebeplerinden biridir.

Metasezgisel algoritmalarda, bir optimizasyon problemi için en uygun çözümleri arama ve üretme tekniği keşif (global arama) ve sömürü (yerel arama) kavramlarına dayanmaktadır (Shayanfar ve Gharehchopogh, 2018). Sonuç olarak, her başarılı meta-sezgisel algoritma, keşif ve kullanım arasında denge kurar. Meta-sezgisel algoritmalar, üretim aşamasında yeni çözümler üretmek için keşiften yararlanmaktadır ve optimizasyon süreci ilerledikçe keşif azalmaktadır. Keşif süreci azaldıkça sömürü giderek artmaktadır (Abdollahzadeh ve diğ., 2022). Metasezgisel algoritmalar hafızayı kullanmakta ve optimal çözümleri bulmak için arama yapmaktadır.

Metasezgisel algoritmaların tasarımının arkasındaki ana kavram, diğer optimizasyon yöntemlerinin etkili olamadığı karmaşık optimizasyon problemlerini ele almaktır (Dhiman, ve Kumar, 2019). Metasezgisel yöntemlerin çoğu, bir arama aracı popülasyonunun (veya bireylerin), uygun bir çözüm alanı içinde farklı aday çözümleri keşfetmek için belirli kural dizilerini uyguladığı popülasyona dayalı arama şemalarını modellemektedir. Bu optimizasyon çerçeveleri, bireyler arasındaki etkileşim (farklı çözümler arasında bilgi alışverişini teşvik eden) ve yerel optimumlar takılmamak için popülasyonun çeşitlendirilmesi dahil olmak üzere çeşitli avantajlar sunar (Sörensen, 2015). Metasezgisel algoritmanın asıl amacı, algoritmanın özünü basitleştirmek ve onu insanların anlamasını kolaylaştırmak için daha sezgisel bir biçimde sunmaktır.

Sonuç olarak, son zamanlardaki çalışmalar, doğadan ve yasalardan esinlenen metasezgisel algoritmalar kullanarak problemlerin üstesinden gelinebildiğini göstermektedir. Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin doğası diğer yöntem türleri için uygun olmadığından metasezgiseller gelecekte de önemini koruyacaktır.

Bu çalışmada, 10 katlı bir üst yapının üç durum olarak incelenen TMDI sisteminin özellikleri, FEMA (FEMA P-695, 2009.) uzak fay kayıtları da dahil olmak üzere 44 deprem kaydı altında yapının titreşiminin azaltılması için optimize edilmiştir. Çalışmada, deplasman ve sönüm limitleri ile optimum bir sistemin sunulması amaçlanmıştır. Sismik veriler yapıya MATLAB Simulink (Matlab R2018a, 2018.) aracılığıyla uygulanmıştır. Optimizasyonda Uyarlanabilir Armoni Arama Algoritması (AHS) kullanılmış olup, HMCR ve PAR parametrelerine bir başlangıç değeri verilerek optimum algoritma parametreleri elde edilmiştir. Kritik deprem bileşeni kullanılarak, üç farklı durum için optimizasyon işlemi uygulanmıştır.

Mevcut metasezgisel algoritmalar her türlü optimizasyon problemini çözememektedir (Wolpert ve Macready, 1997). Her türlü optimizasyon problemini aynı anda çözebilecek mükemmel niteliklere sahip tek bir algoritmanın olmaması, devamlı olarak yeni optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle, mevcut yöntemlerle çözülemeyecek kadar karmaşık olan mevcut ve gelecekteki sorunları daha iyi çözmek için yeni veya geliştirilmiş optimizasyon algoritmalarına her zaman ihtiyaç duyulmaktadır (Gupta ve Deep, 2019).

Armoni Arama Algoritması (Harmony Search-HS), Geem ve arkadaşları (Geem ve diğ., 2001) tarafından 2001'de önerilmiştir. Armoni kulağa hoş gelen armonidir ve müziği oluşturan unsurlardan olan bir müzik terimidir. Müzisyenlerin amacı en güzel armoniyi çalmak iken (Şekil 3.3), HS algoritmasının amacı problemin amaç fonksiyonunu (maliyet, fayda veya verimlilik) optimize etmektir. Müzisyen, en güzel armoniyi bulmak için çalgıyı sürekli akort ederken optimizasyon algoritması gibi amaç fonksiyonunun değeri tarafından belirlenen çeşitli optimal durumları arar (Li ve diğ., 2020). Bu algoritma müzisyenlerin yeni armoni yaratma sürecini simüle etmektedir. HS, su dağıtım şebekesi tasarımı (Geem, 2006), ayarlanmış kütle sönümleyicilerin (TMD) optimum parametrelerinin tahmin edilmesi (Bekdaş ve Nigdeli, 2011), betonarme düzlem çerçevelerin optimum tasarımı (Akin ve Saka, 2015), farklı zemin özellikleri ve deprem yükleri kullanılarak betonarme istinat duvarlarının optimum tasarımı (Uray ve Çarbaş, 2021), ardgermeli beton silindirik duvarların optimum boyutlandırılması (Bekdaş ve diğ., 2023) gibi mühendislik problemlerinde başarıyla uygulanmıştır. HS'nin ana bileşenleri armoni hafıza boyutu (HMS), armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR), perde ayarlama oranı (PAR) ve durdurma kriteridir. Bu parametreler keşif ve sömürüden sorumludur.



Şekil 3.3: Müzikte armoni (Dubey ve diğ., 2021).

Armoni arama yöntemi kısaca beş adımda açıklanabilir. İlk adımda, amaç fonksiyonunu maksimize etmek veya minimize etmek için algoritma parametreleri başlatılır. Bu parametreler, her karar değişkeninde olası bir değer aralığı, armoni hafıza boyutu (HMS), armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR), perde ayarlama hızı (PAR) ve sonlandırma kriteridir. İkinci adımda, başlangıç armoni hafızası (HM) matrisi, HMS kadar rastgele oluşturulmuş amaç fonksiyonu çözüm vektörleri ile doldurulur. Daha sonra 3. adımda HS'nin özel kuralları uygulanarak yeni bir armoni vektörü üretilir. Bu vektör, mevcut bir HM vektörünün karşılık gelen elemanlarından oluşan bir setle veya rastgele oluşturulmuş yeni elemanlardan üretilebilir. Mevcut bir vektörün elemanları seçilirse elemanların değeri az miktarda değişebilir. 4. adımda yeni armoni vektörü HM'deki en kötü armoni vektöründen daha iyi ise yeni armoni HM'ye eklenir ve mevcut en kötü armoni HM'den çıkarılır. Adım 5'te sonlandırma kriteri sağlanırsa yineleme durdurulur ve en iyi çözüm çıktı olarak alınır. Değilse Adım 3 ve 4 tekrarlanır (Lee ve Geem, 2004).

Diğer metasezgisel arama yöntemlerine benzer şekilde HS, armoni hafıza boyutu (HMS), armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR), perde ayarlama oranı (PAR) gibi bazı ayarlama parametrelerini kullanmaktadır. Klasik HS uygulamasında ayar parametrelerine sabit değerler atanmaktadır. Parametreler probleme göre seçildiğinden HS algoritmasının verimliliği ayar parametre değerlerinden doğrudan etkilenmektedir. Son yıllarda yöntemin etkinliğini arttırmak amacıyla iyileştirilmiş/değiştirilmiş HS algoritmaları geliştirilmiştir (Degertekin, 2012). Bu nedenle HS algoritması için parametre belirlemeden bağımsız teknikler de geliştirilmiştir (Saka ve Hasançebi, 2009). HS, önerildiği zamandan bu yana, dünyanın her yerindeki bilim adamlarının çabalarıyla, algoritma parametreleri iyileştirilerek, yeni mekanizmalar ve stratejiler

sunularak, vb. optimizasyon problemlerinin uygulanmasında ve çözümünde iyi sonuçlar elde edilmiştir (Qin ve diğ., 2022). Sanatçının kesin olarak tamamlamadığı eserini dinleyicilerin görüşlerine göre değiştirerek eserine son halini vermesi gibidir. Örneğin, Kaveh ve Abadi (2010) kompozit zemin sisteminin maliyet optimizasyonu için geliştirilmiş bir armoni arama algoritması (Improved Harmony Search-IHS) geliştirdi. Kayabekir ve diğ, (2020), HS'nin parametrelerinin güncellenmiş versiyonu olan Modifiye Armoni Arama algoritması ile aktif ayarlı kütle sönümleyicilerin (ATMD'ler) optimizasyonunu gerçekleştirmiştir.

Saka ve Hasançebi (2009) çelik yapıların tasarım kodu optimizasyonu için uyarlanabilir bir armoni arama algoritması (Adaptive Harmony Search – AHS) önermişlerdir. Önerdikleri AHS, tasarım süreci boyunca elde edilen deneyime bağlı olarak HS'den farklı olarak armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR) ve perde ayarlama oranını (PAR) değerlerini otomatik olarak güncellemektedir. Bu teknikte armoni arama parametreleri, söz konusu tasarım probleminin değişen özellikleri dikkate alınarak algoritmanın kendisi tarafından dinamik olarak ayarlanmaktadır. Algoritmanın kendisi, tasarım sürecinden elde edilen HMCR ve PAR parametrelerini dikkate alarak armoni değerlerini otomatik olarak değiştirmektedir. Bu nedenle, bir tasarım alanının değişen özellikleri, en başarılı optimizasyon süreci için keşif ve sömürü arama arasında bir denge kurmak amacıyla algoritma tarafından otomatik olarak hesaba katılır. Son olarak, uyarlanabilir armoni arama algoritması, yeni bir tasarım problemi ele alındığında, armoni arama parametrelerinin farklı değerleriyle duyarlılık analizi yapılması zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Bu, algoritmayı daha genel hale getirmektedir ve büyük boyutlu gerçek dünya çelik yapılarının optimum tasarımına uygulanabilir hale getirir (Saka ve Hasançebi, 2009). Yakınsama kapasitesini arttırmak için problem optimizasyonuna armoni sağlamak amacıyla parametrelere bağımlılık azaltılmaya çalışılmıştır.

3.1. UYARLANABİLİR ARMONİ ARAMA (ADAPTIVE HARMONY SEARCH - AHS)

Armoni arama algoritmasında parametrelerin sabit olması arama süresince değişen koşullara armoni gösterememesine neden olduğundan geliştirilen algoritmalarından biri olan AHS, parametrelerin güncellenmesi hariç HS ile benzer genel çerçeveye sahiptir.

AHS, klasik HS ile benzer adımları bulunmakla birlikte sabit HMCR (armoni hafızası dikkate alma oranı, Harmony Memory Considering Rate) ve PAR (perde ayarlama oranı, Pitch

Adjusting Rate) yerine, her arama adımında güncellenen HMCR ve PAR değeri kullanılmaktadır.

HMCR ve PAR parametreleri AHS oluşturacak şekilde uyarlanmıştır. Öncelikle bu iki parametreye başlangıç değeri verilmiştir. Daha sonra bu başlangıç değerleri kullanılarak azaltılmıştır. Bu durumda PAR'ın azaltılmasıyla mevcut çözüm etrafında daha küçük bir aralıkta optimum sonuçlar aranır. HMCR'nin azalmasıyla yerel arama aşaması olan optimum en iyi çözüme yakınsama artmaktadır. Daha sonra bu azalan değerler içerisinde amaç fonksiyonu tarafından optimum tasarım faktörleri belirlenmektedir. Denklemler (3.1) ve Denklem (3.2), HMCR ve PAR üretim süreci denklemlerini göstermektedir.

$$HMCR = HMCR_{başlangıç} \left(1 - \frac{t}{mt}\right) \quad (3.1)$$

$$PAR = PAR_{başlangıç} \left(1 - \frac{t}{mt}\right) \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde mt maksimum yineleme sayısını, t ise yineleme sayısını temsil etmektedir. HMCR ve PAR başlangıç değerleri sırasıyla $HMCR_{başlangıç}$ ve $PAR_{başlangıç}$ olarak ifade edilir.

Bir müzisyen, mükemmel armoni bulunana kadar farklı tonları değiştirmeye çalışır. Daha sonra koleksiyon hafızada saklanır. Bir optimizasyon probleminde operatörler farklı değişikliklere uğrar; varyasyonun sonuçları olumlu ise, bunu hafızaya ekleyerek ve istenmeyen olanı çıkararak hafıza güncellenir. Müzik üretimi sırasında hafızadaki farklı tonlardan oluşan bir koleksiyondan saklanan tonlardan biri seçilir, saklananlardan birine daha yakın olan herhangi bir bitişik ton seçilir (perde ayarı) ya da standart kapsama giren herhangi bir ton seçilir (rastgele seçim) (Geem ve diğ., 2001).

HSA'nın ana bileşenleri armoni hafıza boyutu (HMS), armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR), perde ayarlama oranı (PAR) ve durdurma kriterleridir (yani doğaçlama sayısı (NI)). Bu parametreler keşif ve kullanımdan sorumludur.

3.1.1. Optimizasyon Probleminin ve Kontrol Parametrelerinin Başlatılması

İlk olarak, AHS'de kullanılacak parametreler atanır. HMS (armoni hafıza boyutu), HMCR (armoni hafızası dikkate alma oranı) ve PAR (perde ayarlama oranı) algoritma parametreleridir. Çözümü yapılacak probleme göre parametrelerin değerleri belirlenmektedir. Durdurma kriteri

(maxiter) tanımlanır. Tasarım değişkenleri ve bunlara ait alt ve üst limit aralıkları tanımlandıktan sonra diğer adıma geçilir.

3.1.2. Armoni Hafızasının Başlatılması

Armoni hafızası (HM) matrisi, önceden belirlenmiş bir arama alanı içerisinde rastgele oluşturulmaktadır. Daha önce tanımlanan HMS kadar tasarım değişkenini içeren çözüm vektörü oluşturulur ve çözüm adayları popülasyonunun boyutu, armoni hafıza boyutu (HMS) olur. Bu matris armoni vektörlerini (HV) içerir ve her tasarım değişkeni, tanımlanan çözüm aralıkları içerisinde rastgele seçilir. Buna göre HMS n değerinde ise belirtilen değerler arasında aşağıdaki gibi n adet rastgele çözüm adayları oluşturulmakta ve Denklem (3.3)'de gösterildiği gibi HM matrisinde saklanmaktadır. Burada her bir sütun bir tasarım değişkeninin temsil etmektedir.

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & f(x^1) \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & f(x^2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & f(x^{HMS}) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Amaç fonksiyonunun değeri, minimize edilecek fonksiyondaki HM matrisinin her satırının değiştirilmesiyle hesaplanır. Denklem (3.3)'te x_1 , x_2 tasarım değişkenlerini, $f(x)$ ise amaç fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$x_{i,yeni} = x_{i,min} + rand() \times (x_{i,mak} - x_{i,min}) \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te $x_{i,yeni}$ yeni üretilen i. çözüm vektörünü, $x_{i,min}$ ve $x_{i,mak}$ sırasıyla tasarım değişkenlerinin alt ve üst limit değerlerini, rand ise 0 ile 1 arasında rastgele bir sayıyı ifade etmektedir.

3.1.3. Yeni Bir Armoni Vektörü Oluşturma

Daha sonra HM kullanılarak yeni bir çözüm adayları oluşturulur. Yeni çözüm adayının armoni vektörleri Denklem (3.1)'de gösterilen oran (HMCR) dikkate alınarak armoni hafızasına göre belirlenir. Perde ayarlama oranı (PAR), mevcut çözümlerin etrafında yeni bir çözüm aramak amacıyla çözüm aralığını değiştirmek için kullanılır. PAR, HS'nin klasik formundaki perde genişliğine benzer şekilde kullanılır. Yeni çözüm vektörü iki şekilde oluşturulabilmektedir. Ya müzisyenin tamamen yeni notları denemesi gibi yeniden çözüm vektörü üretilir (Denklem 3.5) ya da müzisyenin mevcut notlar etrafında denemelerde bulunması gibi mevcut çözümlerden çözüm vektörü üretilir (Denklem 3.6). k, Denklem (3.7) ile tanımlanan rastgele seçilmiş mevcut

bir çözümdür. Bu çalışmada kullanılan HMCR ve PAR denklemi Denklem (3.1) ve (3.2)'de bulunabilir. Tasarım değişkenlerinin maksimum ve minimum aralıkları sırasıyla x_{min} ve x_{max} olarak gösterilmektedir.

$$x_{i,yeni} = x_{i,min} + rand() \times (x_{i,mak} - x_{i,min}) \text{ eğer } HMCR > r_1 \quad (3.5)$$

$$x_{i,yeni} = x_{i,k} + rand() \times PAR(x_{i,mak} - x_{i,min}) \text{ eğer } HMCR \leq r_1 \quad (3.6)$$

$$k = ceil(rand \times HMS) \quad (3.7)$$

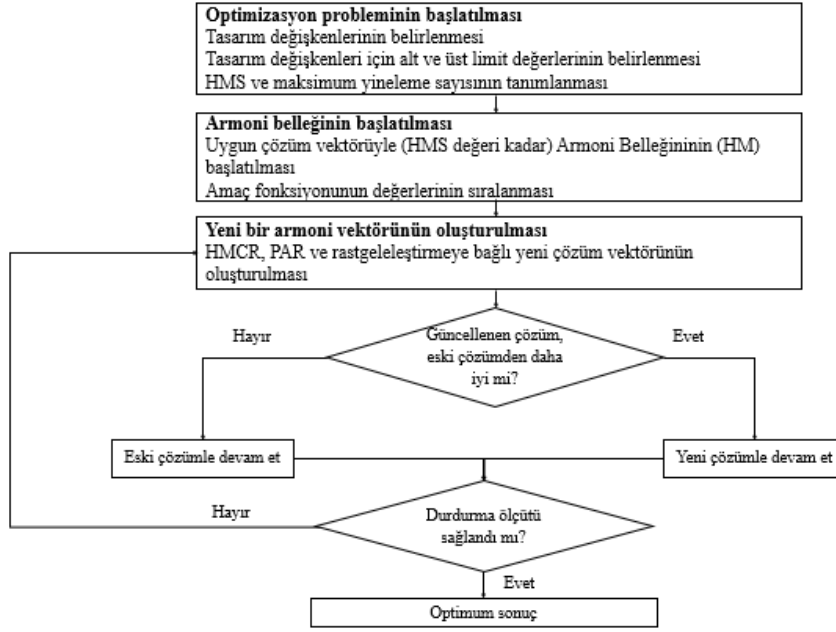
3.1.4. Armoni Hafızasının Güncellenmesi

Yeni oluşturulan armoni vektörünün amaç fonksiyonu, hafızada saklanan kayıtlı amaç fonksiyonu değerleriyle ile karşılaştırılır. Eğer mevcut amaç fonksiyonu öncekine göre daha kötüyse, hafızadaki en kötü amaç fonksiyonu değeri yeni oluşturulan armoni vektörü ile değiştirilir. Aksi takdirde yeni oluşturulan çözüm vektörü aynı kalır.

3.1.5. Arama İşleminin Değerlendirilmesi

3.1.3. ve 3.1.4. ile belirtilen yeni bir armoni vektörü oluşturma ve armoni hafızasının güncellenmesi adımları tanımlanan durdurma kriterine ulaşıncaya kadar tekrarlanır.

Şekil 3.4 AHS'nin akış şemasını göstermektedir. Mevcut çözümün seçimi için en iyi çözümün kullanılma olasılığını tanımlayan oran dikkate alınarak en iyi çözüm (BSCR) parametreleri tanımlanır. BSCR sayesinde algoritmayı mevcut en iyi çözümü kullanarak değiştirmek, sismik uyarılmaların rastgele titreşim davranışını içeren karmaşık titreşim probleminin çözülmesi için yardımcıdır (Kayabekir ve diğ., 2020).

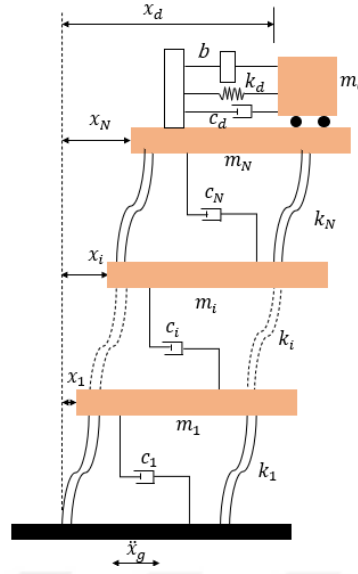


Şekil 3.4: AHS akış şeması.

3.2. TMDİ SİSTEMİ İÇİN HAREKET DENKLEMLERİ

Bu çalışmada, TMD ile 10. Katı ve TMDI ile 10. katı çeşitli inerter cihazı bağlantı durumlarına göre donatılmış 10 katlı kesme binasının sismik tasarımına yönelik bir yaklaşım önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda, yapının yer değiştirme tepkisinin ve ivme tepkisinin en aza indirilmesine dayalı olarak optimum TMDI parametreleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Tepkisi incelenecek yapı, sırasıyla m_s , k_s ve ξ_s kütle, rijitlik ve sönüm oranına sahip 10 serbestlik dereceli yapıdan oluşmaktadır. Yapısal tepkiyi bastırmak için birincil yapı, sırasıyla m_{tmd} , k_{tmd} ve ξ_{tmd} kütle, sertlik ve sönüm oranına sahip bir TMD ve m_{tmdi} , k_{tmdi} ve ξ_{tmdi} kütle, sertlik ve sönüm oranına sahip “ikincil yapı” olarak adlandırılan bir TMDI ile donatılmıştır.

Yapının hareket denklemi, TMDI aracılığıyla elde edilen kütle, rijitlik ve sönüm özellikleri kullanılarak matris formunda gösterilmiş ve MATLAB Simulink’te modellenmiştir. Her katın yanal hareketi için bir derece düşünüldüğünde, n katlı bir bina n derece ile tanımlanabilmektedir. TMDI’nin üstte uygulanmasıyla sistem, Şekil 3.5’te görüldüğü gibi $n + 1$ serbestlik dereceli bir sistem olmaktadır.



Şekil 3.5: TMDI ile donatılmış kesme tipi çerçeve kontrollü yapı (Nigdeli ve Bekdaş,2017).

TMDI ile donatılmış n-DOF yapısal sisteminin davranışını ifade eden hareket denklemleri, Şekil 3.5'te gösterilen şemadan çıkarılmıştır. Her kat seviyesindeki yer değiştirme x_i ile temsil edilirken, binanın her kat seviyesindeki rijitlik, sönüm ve kütle katsayıları sırasıyla k_i , c_i ve m_i olarak tanımlanır. Ayrıca, TMDI eylemi x_d ile temsil edilen ekstra bir DOF olarak tanımlanırken, sertlik, sönüm ve kütle parametreleri sırasıyla k_{tmdi} , c_{tmdi} ve m_{tmdi} olarak tanımlanır.

Deprem etkisi altındaki yapılarda en üst katta birinci mod şekli maksimum genliğe sahip olduğundan TMD'ler genellikle yapının en üst katına konumlandırılmaktadır. TMDI sistemi ile kontrol edilen N katlı kesme binanın hareket denklemleri Denklem (3.8)'deki gibi ifade edilmektedir. Hareket denklemi Denklem (3.8)'de gösterildiği gibi tek matris denklemi olarak ifade edilebilmektedir. Denklem (3.8)'de kütle (M), rijitlik (K) ve sönüm (C) matrisleri, her kat için zemine göre yer değiştirmelerinin ve TMDI (x_{tmdi}) dahil olmak üzere yer değiştirme vektörünün ($x(t)$) karşılık gelen türevi ile çarpılmaktadır. Kata gelen deprem kuvvetlerini; M ve depremlerden kaynaklanan yer ivmesi \ddot{X}_g olarak tanımlanan dış uyarılma ile çarpılarak tanımlamak için bir birim vektör [1] kullanılmaktadır. Vektörler üzerindeki (·) nokta operatörü, t zamanına göre türevi belirtmektedir. $x(t)$ ve $-M[1]\ddot{X}_g$ sırasıyla yere göre yer değiştirme ve yük vektörüdür. TMDI sisteminin parametreleri sırasıyla TMDI sisteminin kütlesi, rijitliği ve sönümü olan m_{tmdi} , k_{tmdi} ve c_{tmdi} olarak gösterilmiştir. Denklem (3.8)'in tüm matrisleri ve vektörleri Denklem (3.9), Denklem (3.10) ve Denklem (3.11)'de gösterilmiştir:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M[1]\ddot{X}_g \quad (3.8)$$

Denklem (3.9), Denklem (3.10) ve Denklem (3.11)'deki M, C ve K sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir ve şu şekilde ifade edilebilir:

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & \dots & 0 & 0 & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & M_{N-1} + b & 0 & -b \\ 0 & 0 & \dots & 0 & M_N & 0 \\ 0 & 0 & \dots & -b & 0 & M_{tmdi} + b \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

$$K = \begin{bmatrix} (K_1 + K_2) & -K_2 & \dots & \vdots \\ -K_2 & (K_2 + K_3) & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & K_N + K_{tmdi} & -K_{tmdi} \\ 0 & 0 & \dots & -K_{tmdi} & K_{tmdi} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

$$C = \begin{bmatrix} (C_1 + C_2) & -C_2 & \dots & \vdots \\ -C_2 & (C_2 + C_3) & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & C_N + C_{tmdi} & -C_{tmdi} \\ & & & -C_{tmdi} & C_{tmdi} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Denklem (3.9), Denklem (3.10) ve Denklem (3.11)'deki matrisler, kesme çerçeve yapılarına özgü üç köşegen rijitlik matrisleri olarak idealize edilmiştir. Denklem (3.12)'de yanıt vektörlerinin bileşenleri gösterilmektedir. Kütle sönümleyici üst katta konumlanırsa bile inerter cihaz farklı katlara bağlanabilir. Denklem (3.9)'da yer alan inerter katsayısı olarak gösterilen b değeri ilgili serbestliğe karşı gelen satır ve sütunlara eklenmelidir. Burada gösterilen durum en üst katın bir alt katına inerter bağlanması durumunu göstermektedir.

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{tmdi} \end{bmatrix}, \dot{X} = \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \vdots \\ \dot{X}_{tmdi} \end{bmatrix}, \ddot{X} = \begin{bmatrix} \ddot{X}_1 \\ \ddot{X}_2 \\ \vdots \\ \ddot{X}_{tmdi} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

3.3. OPTİMİZASYON PROBLEMİ

TMDI parametrelerinin optimizasyonuna yönelik AHS'yi araştırmak için on katlı bir kesme binası seçilmiştir. Binanın düzgün kütlesi 360 t, rijitliği 650 MN/m ve sönüm katsayısı her katta 6,2 MNs/m'dir. AHS kullanarak problemi analiz etmek için amaç fonksiyonu yapının en üst katının yer değiştirmesi olarak seçilmiştir. Yapısal tepki sismik uyarım altında MATLAB Simulink kullanılarak simüle edilmiş ve optimizasyon algoritması kullanılarak çözülmüştür. TMDI optimizasyon probleminde tasarım değişkenleri TMDI sisteminin kütlesi (m_{tmdi}), periyodu (T_{tmdi}), sönümü (c_{tmdi}) ve inerterdir (b). Kısıtlar için yazılan ifadelerde açık kısıtlar TMDI sisteminin kütle, rijitlik ve sönüm değeri olarak tanımlanmış olup, tasarım kısıtı TMDI'nin maksimum katlar arası öteleme (sönümleyici sistemin kol uzaması limiti) olarak ayarlanmıştır. Problemin başlangıç değerleri ve kısıt limitleri belirlendikten sonra MATLAB ile 44 farklı deprem kaydına bağlı olarak zemine göre maksimum kat deplasmanı hesaplanmış ve elde edilen maksimum tavan deplasmanı minimizasyon için amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Son olarak minimum üst yer değiştirme için optimum TMDI parametreleri elde edilmiştir.

TMDI ile optimizasyon probleminin Denklem (3.13) ile gösterildiği gibi dört tasarım değişkeni vardır. TMDI optimizasyon probleminde tasarım değişkenleri TMDI sisteminin kütlesi (m_{tmdi}), periyodu (T_{tmdi}), sönümü (c_{tmdi}) ve inerterdir (b). TMDI sisteminin periyodu (T_{tmdi}) ve sönüm oranı (ξ_{tmdi}) hesabı Denklem (3.14) ve (3.15)'te verilmiştir.

$$X = \{m_{tmdi} T_{tmdi} \xi_{tmdi} b\}^T \quad (3.13)$$

$$T_{tmdi} = 2\pi \sqrt{\frac{m_{tmdi}}{k_{tmdi}}} \quad (3.14)$$

$$\xi_{tmdi} = \frac{c_{tmdi}}{2(m_{tmdi}+b) \sqrt{\frac{m_{tmdi}}{k_{tmdi}}}} \quad (3.15)$$

Analiz için gerekli denklemlerden olan ve kodlarda yazılan yapının doğal açısal frekansı, TMDI sistemin doğal açısal frekansı, rijitlik hesabı sırasıyla Denklem (3.16), Denklem (3.17) ve Denklem (3.18) ile hesaplanmaktadır.

$$w_s = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (3.16)$$

$$w_{tmdi} = \sqrt{\frac{k_{tmdi}}{m_{tmdi}}} \quad (3.17)$$

$$k_{tmdi} = m_{tmdi} \times w_{d,opt}^2 \quad (3.18)$$

Kullanılan yöntemde optimizasyonun amacı yapının tepkisinin en aza indirilmesidir. Yanıt, TMDI'nin yerleştirildiği üst katın (x_N) yer değiştirmesidir. Amaç fonksiyonu, her iterasyonda ve popülasyonda rastgele oluşturulan tasarım değişkenlerinin değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. N katlı bir yapı için ilk amaç fonksiyonu amaç fonksiyonu Denklem (3.19) olarak formüle edilmiştir.

$$f(x) = \min (\max |X|) \quad (3.19)$$

Amaç fonksiyonu, TMDI'nin hareketini (yer değiştirmesini) sınırlandıracak bir fonksiyon (g_1) ile sınırlandırılmıştır. Denklem (3.20) olarak formüle edilmiştir. Denklem (3.20)'de, x_{tmdi} TMDI'nin bulunduğu katın maksimum deplasman değerini, x_N ise bir alt katını ifade etmektedir. Bu kısıt sayesinde kullanıcı tarafından belirlenmiş kol uzama limiti değeri (st_{max}) aşılmamaktadır. Denklem (3.20)'de, x_{tmdi} TMDI'nin bulunduğu katın maksimum deplasman değerini, x_n ise kontrol sisteminin bulunmadığı bir alt katını ifade etmektedir.

$$g_1 = \frac{\max (|x_{tmdi} - x_N|)_{TMDI'li}}{\max (|x_N|)_{TMDI'siz}} < st_{max} \quad (3.20)$$

st_{max} , TMDI'nin kol uzaması sınırlaması için kullanıcı tarafından girilen (tanımlanan) bir değerdir. Denklem (3.20)'de bu problem için kullanılan tek kısıtlamada kontrolsüz yapıya göre normalleştirme yapılmaktadır.

Bu tezde temel amaç depreme maruz kalan yapıların sismik titreşim kontrolü için optimum TMDI sisteminin tasarımını önermektir. Bu amaca ulaşmak için en üst katın deplasmanının maksimum mutlak değeri minimize edilerek (Denklem 3.20) TMDI sisteminin kütle, rijitlik, sönüm oranı ve inerter açısından optimum parametreleri belirlenmektedir. Böylece kontrol sistemi ile yapının deprem yüküne karşı vereceği tepkiyi en az seviyeye indirecek değerleri elde edilecektir.

3.4. UYARLANABİLİR ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI ile OPTİMİZASYON

Optimizasyonda ilk adım olarak algoritma parametreleri, tasarım sabitleri, tasarım değişkenlerinin aralıkları, deprem uyarımları ve kullanıcı tarafından girilen limit değerler tanımlanmaktadır. Bu optimizasyon probleminde tasarım sabitleri yapının kütle, sertlik ve sönüm değerleridir. Deprem uyarımlarının zamanına göre simülasyon süresi ve kol uzama oranı (stmax) kullanıcı tarafından girilen değerlerdir. Algoritmaya ait tasarım parametreleri armoni hafıza boyutu (Harmony Memory Size-HMS), armoni hafızası dikkate alma oranı (Initial Harmony Memory Considering Rate-HMCR), perde ayarlama oranı (Initial pitch adjusting rate-PAR), popülasyon numarası (population number-pn) ve dikkate alınan en iyi çözüm oranıdır (Best solution considering rate-BSCR).

Spesifik optimizasyon, seçilen deprem kayıt veri setinin karakterini, tasarım değişkenleri için tanımlanan bir aralık ve TMDI için yer değiştirme sınırlamalarını içermektedir. TMDI'nın optimum ayarında, üst katın yer değiştirmesi olarak alınan amaç fonksiyonunun değerini azaltacak dört farklı tasarım parametresi dikkate alınmıştır. Optimizasyon, TMDI sisteminin optimum kütle, optimum periyodunu, optimum sönümlenme oranını ve optimum b inerter değerini bulmayı amaçlamaktadır. TMDI sisteminin bu 4 özelliği tasarım değişkenleri olarak alınmıştır.

Tasarım değişkenlerinden biri olan TMDI'nın periyodunun (T_{tmdi}) aralığı yapınınkinin 0.5 ile 1.5 katı arasındadır (Denklem (3.21) ve Denklem (3.22)). TMDI'nın periyot değeri yapının kritik dönemine yakın civarlarda aralıklandırılmıştır.

$$T_{tmdi_{min}} = 0.5 \times T_n \quad (3.21)$$

$$T_{tmdi_{mak}} = 1.5 \times T_n \quad (3.22)$$

Denklem (3.21) ve Denklem (3.22)'de $T_{tmdi_{min}}$ ve $T_{tmdi_{mak}}$ TMDI periyotunun alt ve üst sınırlarıdır.

Metasezgisel tabanlı bir optimizasyon sürecinde tasarım sabitleri tanımlanmaktadır. Bu yöntemde deprem kayıt verileri ve tasarım değişkenlerinin aralıkları sabittir. Tasarım değişkenleri TMDI sisteminin fiziksel parametreleridir. Fiziksel parametrelerin aralıkları uygulamaya göre tanımlanmaktadır. TMDI sisteminin kütlesi yapının toplam kütesine göre bir oran ile tanımlanmıştır.

TMDI sisteminin inerteri (b) yapının kütlelerinin %1 ile %5'i arasındadır (Denklem (3.23) ve Denklem (3.24)).

$$b_{min} = 0.01 \times m_n \quad (3.23)$$

$$b_{mak} = 0.05 \times m_n \quad (3.24)$$

TMDI'nin sönüm oranının alt ve üst limitleri Denklem (3.25) ve Denklem (3.26)'te verilmiştir.

$$\xi_{min} = 0.01 \quad (3.25)$$

$$\xi_{mak} = 0.5 \quad (3.26)$$

Denklem (3.25) ve Denklem (3.26)'da ξ_{min} ve ξ_{max} TMDI sönümünün alt ve üst sınırlarıdır.

Tablo 3.1'de TMDI sisteminin tasarım parametrelerinin minimum ve maksimum değerleri mevcuttur.

Tablo 3.1: TMDI sisteminin tasarım parametrelerinin limit değerleri.

Parametre	Birim	Minimum ve maksimum değerler
Kütle	kg	$360 \leq m_{tmdi} \leq 180000$
Periyot	s	$0.4947 \leq T_{tmdi} \leq 1.4840$
Sönüm oranı	-	$0.01 \leq \xi_{tmdi} \leq 0.5$
İnerter	kg	$360 \leq b \leq 180000$

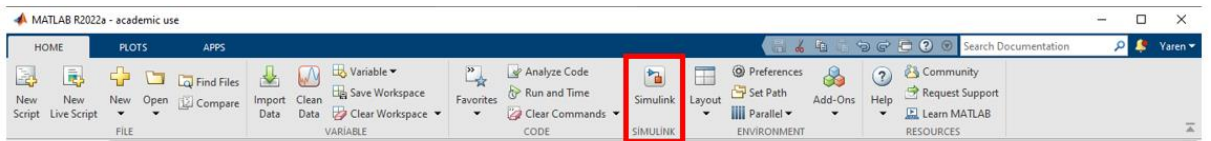
Bu tanımlamalardan daha sonra başlangıç çözüm matrisi oluşturulmaktadır. Bu başlangıç çözüm matrisi, tanımlanan aralıklar içerisinde seçilen tasarım değişkenlerinin çok sayıda aday değerini içermektedir. Bu değerlere göre optimizasyon amacını ve tasarım kısıtını hesaplamak amacıyla tüm uyarımlar için dinamik analizler yapılmaktadır. Tüm aday değişkenler ve sonuçlar popülasyon sayısı kadar saklanmaktadır. Daha sonra bu sonuçlar bir algoritmanın belirli kurallarına göre güncellenmektedir.

Kod ile yazılan ve amaçlanan fonksiyon, yapıya etki uygulandığında yapının en üst katında oluşacak maksimum yer değiştirmeyi en aza indirecek şekilde seçilmiştir. Sisteme etkileyen uyarıların yapıda meydana getirdiği maksimum yer değiştirme değerini azaltmak için TMDI parametreleri, AHS optimizasyon algoritması ile optimize edilmiştir. Böylece elde edilen TMDI parametreleri yapının en üst katında oluşacak yer değiştirmeyi en aza indiren değişkenleri verecektir.

Önceki basitleştirilmiş modelin doğruluğunu arttırmak ve TMDI parametrelerinin tasarımında yüksek verimliliğini korumak için, bu çalışmada, yüksek binaların rüzgardan kaynaklanan titreşim kontrolü için geliştirilmiş basitleştirilmiş bir modele dayanan yeni bir TMDI tasarım stratejisi tanıtılmaktadır. Yapının en üst katındaki yer değiştirme ve ivme tepkilerini en aza indirmek için TMDI parametreleri Uyarlanabilir Armoni Arama (Adaptive Harmony Search-AHS) kullanılarak optimize edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

3.5. TMDI SİSTEMİNİ MATLAB SİMULİNK ile BENZETİMİ

MATLAB/Simulink, denklemlere sahip sistemlerin modellenmesinde ve diğer sistemlerle birleştirilmesinde kullanışlıdır. MATLAB/Simulink kullanılarak kod yazmaya ihtiyaç duymadan birçok sistemin simülasyonu yapılabilmektedir. Simulink'e MATLAB'deki Simulink kısayol butonu kullanılarak ulaşılabilir (Şekil 3.6). Uzantısı Simulink Models (.slx) şeklindedir.




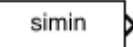
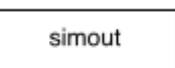


Şekil 3.6: MATLAB/Simulink kısayolu.

MATLAB/Simulink blokları ile yapılan simülasyon çalışmasında kontrolsüz ve kontrollü kesme binasına ait modeller önerilmiştir.

“Blank Model” ile boş bir model oluşturulmaktadır. Bloklara “Library Browser” butonundan ulaşılmaktadır. Simulink, birbirinden çok farklı amaçlar için kullanılabilen sayısız blok ve blok setlere sahiptir (Tablo 3.2).

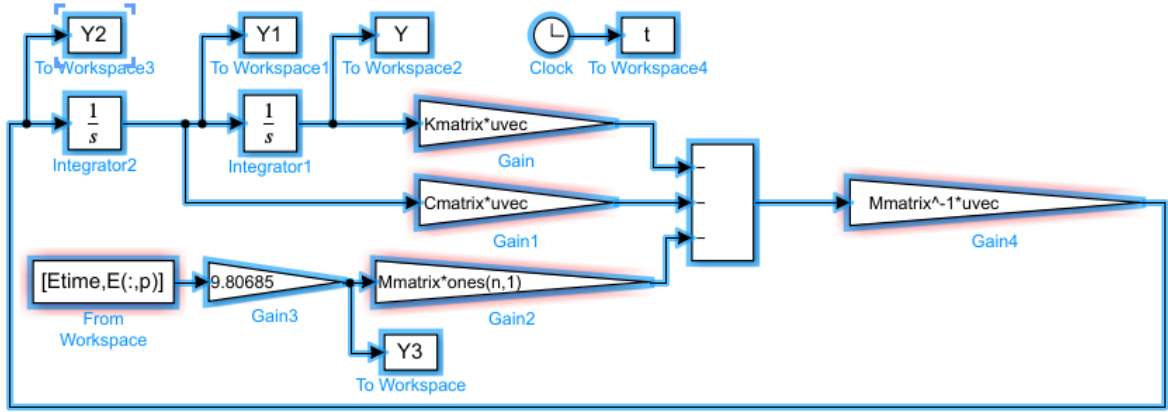
Tablo 3.2: Simulink blokları ve açıklamaları.

Simulink Blokları	Açıklama
 Integrator	“İntegratör bloğu” girişindeki değerin integralini alır.
 Gain	“Gain (kazanç) bloğu” girişindeki değeri, kazanç adı verilen bir sabitle çarpar.
 Add	“Add (toplam) bloğu”, girişleri ekler veya çıkarır.
 From Workspace	“From Workspace (Çalışma Alanından) bloğu”, MATLAB çalışma alanından bilgi alır.
 To Workspace	“To Workspace (Çalışma Uzayına) bloğu”, giriş verilerini MATLAB çalışma alanına bilgi gönderir.

Bu blok diyagramları kullanılarak hareket denkleminin (Denklemler 3.27) döngüsü Simulink’te modellenmiştir. Yapının tepkisi modelleneceği için tepkilerden biri seçilir. Bu çalışmada ivme tepkisi seçilmiş ve Denklem (3.27) modellenmiştir. İvmenin denkleminde hız ve yer değiştirme bulunmaktadır. Yani denklemde ivmenin 1. Ve 2. İntegrali mevcuttur. MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan kontrol sistemine giriş olarak ivme değeri (Denklemler 3.28) verilmiş, çıktı olarak yer değiştirme elde edilmiştir.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M[1]\ddot{X}_g \quad (3.27)$$

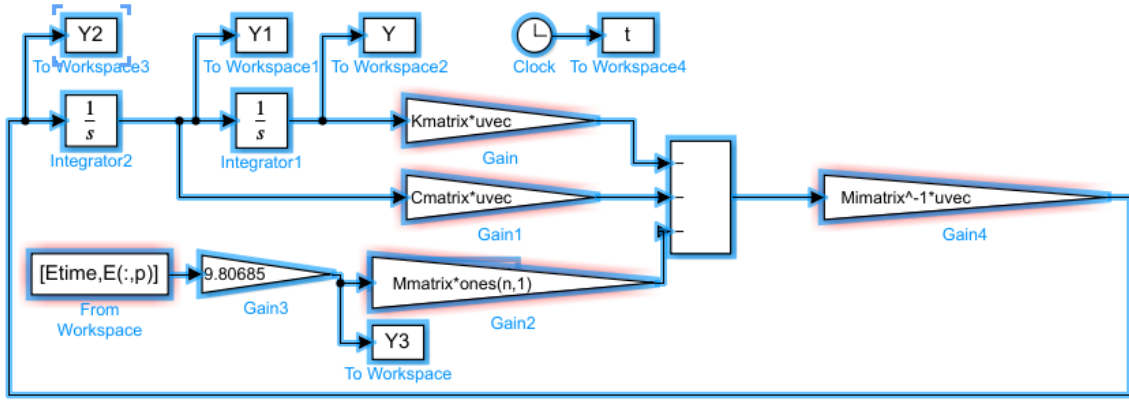
$$\ddot{x}(t) = \frac{-M[1]\ddot{X}_g - C\dot{x}(t) - Kx(t)}{M} \quad (3.28)$$



Şekil 3.7: Kontrolsüz kesme binası modeline ait Matlab/Simulink benzetimi.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi MATLAB/Simulink ortamında “Integrator” kullanılarak ivme girişi hıza ve yer değiştirmeye dönüştürülmektedir. Hıza “Gain” bloğu bağlanıp içerisine $\text{cmatrix} * \text{uvec}$ yazılarak “u” vektör olduğu belirtilmektedir. Böylece hız ve cmatrix çarpılır. Yer değiştirmeye “Gain” bloğu bağlanıp içerisine kmatrix yazıldığında yer değiştirme ve kmatrix çarpılır. Daha sonra denklemin geri kalanı için deprem datasına ihtiyaç duyulmaktadır. Daha önceden “Workspace”e tanımlanan deprem datası çağırılırken “From Workspace” bloğu kullanılmaktadır. Çağrılacak deprem datasının x (hangi vektöre kayıtlı ise) ve y (hangi vektöre kayıtlı ise) koordinatları yazılır. “Etime” depremin zamanını, “E(:,p)” depremin datasını belirtir. Bu deprem datası “g” cinsinde olduğu için, yer ivmesi ($g=9.80685 \text{ m/s}^2$) ile çarpılarak ivme ($\ddot{x}g(t)$) m/s^2 olarak elde edilmektedir. Daha sonra bu ifade şekilde Mmatrix ve ones (sadece 1’lerden oluşan vektör) olarak adlandırılan yapının kütle matrisi ($[M]$) ve birim vektör ($\{1\}$) ile çarpılarak hareket denkleminin (Denklem 3.28) sağ tarafındaki pay elde edilmiştir. Paydaki ifadeler toplanırken “Sum” bloğu kullanılır. Üçü de – işaretli olarak çıkarılacağı için “Sum” bloğa “---” yazılmıştır. Daha sonra M ile bölünmesi gerektiğinden, “Gain” bloğu kullanılarak $1/M$ ile çarpılmakta ve döngü kapanacak şekilde ivmeyle bağlanmaktadır. Blok diyagramı hazır haldedir. Ancak önemli olan bu blok diyagramından elde edilecek sonuçların “Workspace”e yazılmasıdır. İvmeye “To Workspace” bloğu bağlandığında yazım gerçekleşir.

Grafiklerin çizimi için zamanın kaydedilmesi lazımdır. Bunun için “Clock” bloğu kullanılır. “Clock” bloğu, simülasyonun yaptığı zamanı (t) türetir. Bu da “To Workspace” bloğuna bağlandığında her zaman aralığında t’yi verecektir.

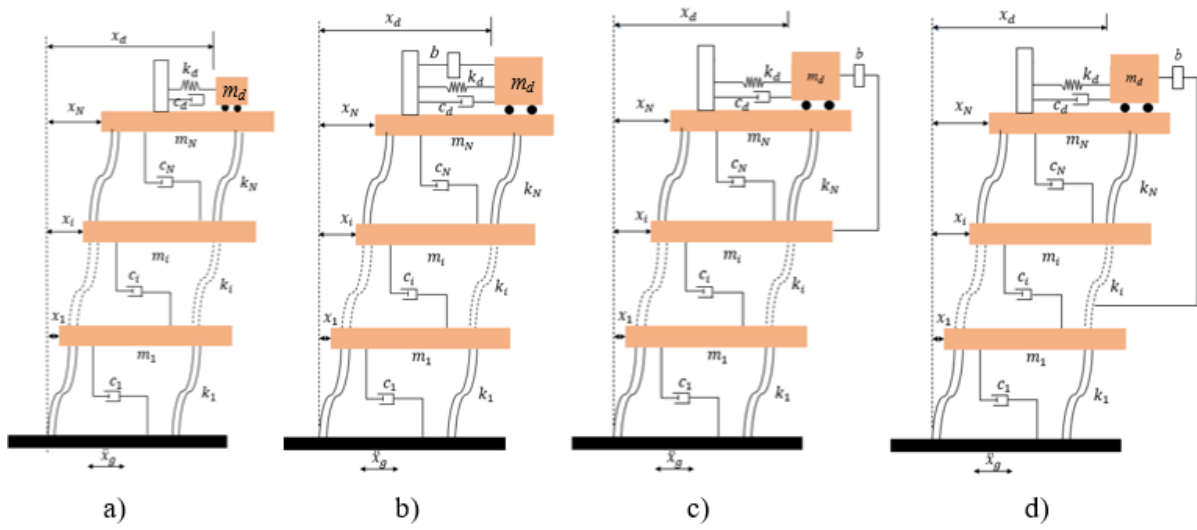


Şekil 3.8: TMDI kontrollü kesme binasına ait MATLAB/Simulink benzetimi.

TMDI eklendiğinde, denkleme b eklenmektedir. Bu durum Gain4'teki (Şekil 3.8) Mimatix ile ifade edilmektedir.

4. BULGULAR

İnertler ayarlı kütle sönümleyici sistemlerinin (TMDI) incelenmesi için, daha önce kayıt altına alınan (FEMA) 44 farklı deprem kaydı kullanılmış ve yapı 10 katlı olarak tasarlanmıştır. Çalışmada en üst katına TMD kondurulan kesme binası, en üst katına TMDI konumlandırılan kesme binası, 9. katına inerter bağlanan kesme binası ve 5. katına inerter bağlanan kesme binası olmak üzere 4 farklı durum için farklı kol uzama limiti ve farklı kütle oranı değerleriyle analizler gerçekleştirilmiştir. Analizi gerçekleştirilen kesme binası Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: a) En üst katına TMD konumlandırılan kesme binası b) En üst katına TMDI konumlandırılan kesme binası c) İnertler kuvvetinin 9. kata bağlandığı sistem d) İnertler kuvvetinin 5. kata bağlandığı sistem.

On katlı kesme binasının en üst ve en üstün bir alt katına konumlandırılan TMDI'nın optimum parametreleri, deplasman ve ivmeyi azaltma etkisi araştırılmış ve TMD ile karşılaştırılmıştır. Kesme binası her katta aynı özelliklere sahiptir. Binanın düzgün kütlesi 360 t, rijitliği 650 MN/m ve sönüm katsayısı her katta 6.2 MNs/m'dir. Kesme binasına ait özellikler Tablo 4.1'de yer almaktadır.

Tablo 4.1: Kesme binasının özellikleri.

Özellik	Değeri
Kat kütlesi (m_i)	360 ton
Kat rijitliği (k_i)	650 MN/m
Kat sönüm katsayısı (c_i)	6.2 MNs/m

Zaman tanım alanında analiz yapılırken geçmiş deprem kayıtları kullanılmış ve test edilmiştir. Kullanılan deprem kayıtları listesi Tablo 4.3'te verilmiştir. TMDI performansını incelemek için öncelikle 10 katlı bir yapıda, sisteme uyarı olarak verilen deprem kayıtları altındaki maksimum deplasmanları ve sistemde oluşan maksimum ivme değerleri elde edilmiş ve AHS kullanılmıştır. AHS algoritması kullanılarak yapılan analizler, Intel Core I7-5005U CPU @ 2.00 GHz (4 Çekirdek) PC ile gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar için MATLAB programı kullanılmış ve zaman tanım alanına göre oluşturulan sonuçlar elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan iterasyon sayısı 5000'dir. AHS algoritmasına ait parametreleri açıklama ve sayısal değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. BSCR %30 kullanılarak yerel optimum çözüme takılmanın önüne geçilmiştir.

Tablo 4.2: AHS algoritma parametreleri.

Sembol	Açıklama	Sayısal Değeri
HMS (harmony memory size)	Armoni hafıza boyutu	10
HMCR _{in} (Initial harmony memory considering rate)	Armoni hafızası dikkate alma oranı	0.5
PAR _{in} (Initial pitch adjusting rate)	Perde ayarlama oranı	0.05
pn (Population number)	Popülasyon numarası	10
BSCR (Best solution considering rate)	Dikkate alınan en iyi çözüm oranı	0.3

Optimizasyon işlemi sırasında çeşitli deprem kayıtları için amaç fonksiyonu hesaplanır. Maksimum olanlar, kritik olan dikkate alınarak yapılan iterasyonlarda amaç fonksiyonlarının ve eliminasyonların değeri olarak kabul edilir. Optimum sonuçların sağlamlığını doğrulamak için birden fazla uyarımın kullanılması gerekmektedir çünkü optimum çözüm, diğeri için etkili olmayan bir sonuç olabilir. Ayrıca deprem kayıtları kesin olarak tahmin edilemediği için performansın farklı uyarımlar kullanılarak doğrulanması gerekmektedir. Diğer bir faktör ise rastgele atanan aday tasarım değişkenleri için kritik uyarılmanın değişme olasılığıdır. Sistematik olmak adına, optimizasyonda Tablo 4.3 ile gösterilen uzak fay yer hareketi kayıtları kullanılmıştır (FEMA, 2009).

Tablo 4.3: Kullanılan deprem kayıtlarının listesi (FEMA P-695, 2009).

Tarih	Deprem Adı	Deprem Kayıt Numarası	Deprem Kaydı	Deprem Kayıt Numarası	Deprem Kaydı
1994	Northridge	1	NORTHR/MUL009	2	NORTHR/MUL279
1994	Northridge	3	NORTHR/LOS000	4	NORTHR/LA270
1999	Duzce, Turkey	5	DUZCE/BOL0000	6	DUZCE/BOL090
1999	Hector Mine	7	HECTOR/HEC000	8	HECTOR/HEC090
1979	Imperial Valley	9	IMPVALL/H-DLT262	10	IMPVALL/H-DLT352
1979	Imperial Valley	11	IMPVALL/H-E11140	12	IMPVALL/H-E11230
1995	Kobe, Japan	13	KOBE/NIS000	14	KOBE/NIS090
1995	Kobe, Japan	15	KOBE/SHI000	16	KOBE/SHI090
1999	Kocaeli, Turkey	17	KOCAELI/DZC180	18	KOCAELI/DZC270
1999	Kocaeli, Turkey	19	KOCAELI/ARC000	20	KOCAELI/ARC090
1992	Landers	21	LANDERS/PLACE270	22	LANDERS/YER360
1992	Landers	23	LANDERS/CLW-LN	24	LANDERS/CLW-TR
1989	Loma Prieta	25	LOMAP/CAP000	26	LOMAP/CAP090
1989	Loma Prieta	27	LOMAP/G03000	28	LOMAP/G03090
1990	Manjil, Iran	29	MANJIL/ABBAR-L	30	MANJIL/ABBAR-T
1987	Superstition Hills	31	SUPERST/B-ICC000	32	SUPERST/B-ICC090
1987	Superstition Hills	33	SUPERST/B-POE270	34	SUPERST/B-POE360
1992	Cape Mendocino	35	CAPEMEND/RIO270	36	CAPEMEND/RIO360
1999	Chi-Chi, Taiwan	37	CHICHI/CHY101-E	38	CHICHI/CHY101-N
1999	Chi-Chi, Taiwan	39	CHICHI/TCU045-E	40	CHICHI/TCU045-N
1971	San Fernando	41	SFERN/PEL090	42	SFERN/PEL180
1976	Friuli, Italy	43	FRIULI/A-TMZ000	44	FRIULI/A-TMZ270

4.1. AHS ALGORİTMASI OPTİMİZASYONU ile ELDE EDİLEN OPTİMUM SONUÇLAR

Armoni Arama (Harmony Search-HS) algoritmasında sabit olan HMCR ve PAR parametrelerinin Denklem (3.1) ve (3.2)'de verilen iterasyonlara bağlı olarak değiştirilmesiyle oluşturulan Uyarlanabilir Armoni Arama (Adaptive Harmony Search-AHS) algoritması ile optimum TMDI parametreleri elde edilmiş ve TMD ile elde edilen parametrelerle ve tepki

değerleri karşılaştırılmıştır. Optimizasyon işlemi 0.25,0.5,1.5 ve 2 olmak üzere farklı st_{max} ve 0.02, 0.05 olmak üzere farklı kütle oranı değerleri için yapılmıştır.

Durum 1, TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2, TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3, TMDI inerter kuvvetinin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4 ise TMDI inerter kuvvetinin yapının 5. katına bağlandığı durumu ifade etmektedir.

Tablo 4.4, $st_{max}=0.25$ ve %2 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.4: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=0.25$ $\mu=0.02$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	72000	37288.6073039003	38730.86058736275	71751.9516923782
T_d (s)	0.4979725139765081	0.883464285164850	0.8115090312520653	0.516352093370155
ξ_r	0.5	0.5	0.5	0.5
b (kg)	-	180000	180000	45343.9448259135
X (f(x)) (m)	0.4000	0.4088	0.4072	0.3920
X_2	0.2909	0.2812	0.3016	0.4380
a (m/s ²)	17.6827	18.9704	18.8578	17.7290

Tablo 4.4'teki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 0.25 olduğu ($st_{max}=0.25$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütesinin %2'si olduğu durum için ($\mu=0.02$) TMD sisteminin optimum kütlesi kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütesinin %2'si) eşit olduğu görülmektedir. TMDI için ise 10. kat ve 9. kat için de tanımlanan kütle alt limitine daha yakın değerdedir. 5. katta inerter kuvveti bulunduğu durumda ise sistemin kütesinin %2'sine oldukça yakındır. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sönüm oranı da dört durumda sönüm oranı için tanımlanan üst limit değerine eşittir.

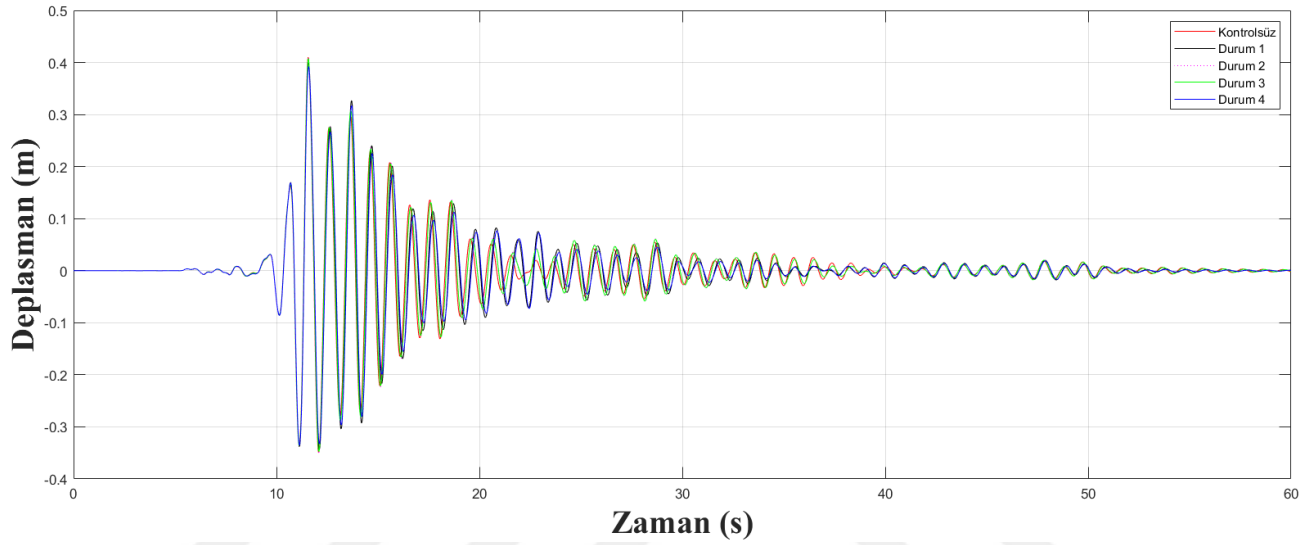
TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.4'ten TMDI sisteminin 10. ve 9. kata konumlandırılmasıyla, aynı b değerine ulaşıldığı görülmektedir. İnerterin 5. kata konumlandırılmasıyla daha düşük b değeri elde edilmiştir. Tablo 4.4'teki X_2 , TMD veya TMDI yer değiştirmesinin maksimum kontrolsüz deplasmanına

oranıdır. En az X2 değerine TMDI sisteminin 10. kata konumlandırıldığı durumda ulaşıldığı görülmektedir.

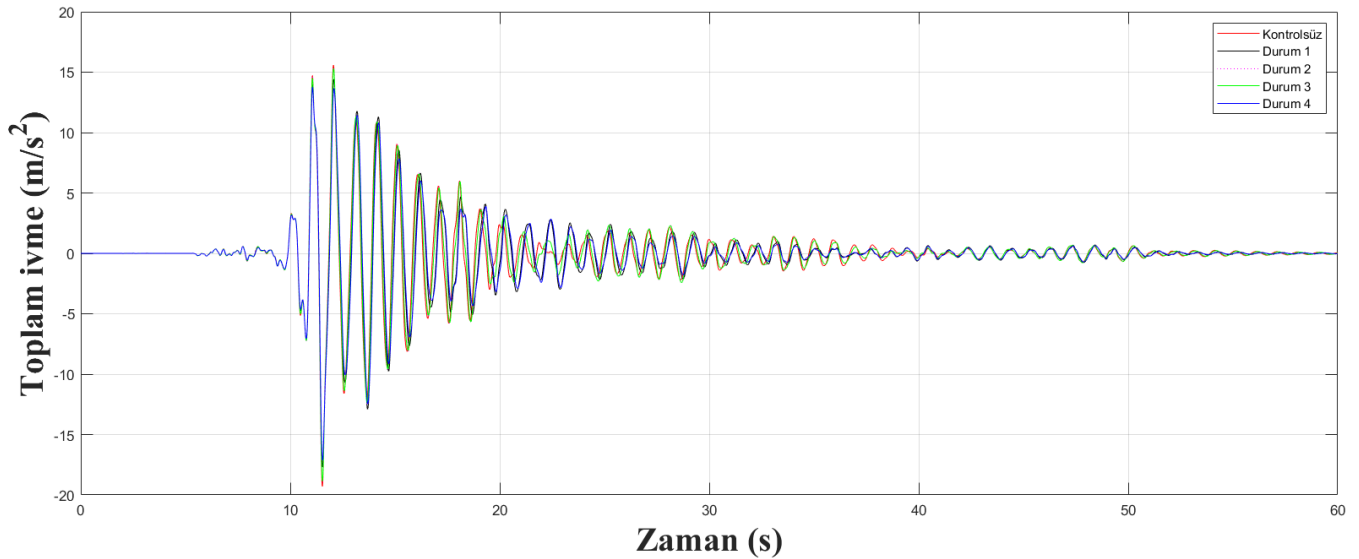
Bu optimizasyon probleminde amaç fonksiyonu en üst katın yer değiştirmesi olarak tanımlanmıştır. Optimizasyon süreci ile bu amaç fonksiyonu minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonları (X) bakımından değerlendirilmek istendiğinde en etkili deprem kaydına yani kritik deprem kaydına bakılması gerekmektedir. Çünkü kritik deprem yapıda en büyük yer değiştirmeye sebep olmaktadır. Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kaydıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirmesi 0.4101 m'dir. Tablo 4.3'te görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4000 m, 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4088 m, 9. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4072 m ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3920 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, 5. katta inerter kuvveti konumlandırılmasının daha iyi olmak üzere dört durumun da çok yakın yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Alt kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.3'te görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 17.6827 m/s^2 , 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.9704 m/s^2 , 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.8578 m/s^2 ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 17.7290 m/s^2 'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.4 incelendiğinde daha alt katlara inerter kuvveti bağlanmasının daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI inerter kuvvetinin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI inerter kuvvetinin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI inerter kuvvetinin yapının 5. katına bağlandığı) için ($\sigma_{\max}=0.25$ ve $\mu=0.02$) 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.2’de, toplam ivme grafiği Şekil 4.3’te gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($\sigma_{\max}=0.25$ ve $\mu=0.02$).



Şekil 4.3: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($\sigma_{\max}=0.25$ ve $\mu=0.02$).

Tablo 4.5, $st_{max}=0.25$ ve %5 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.5: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=0.25$ $\mu=0.05$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	180000	180000	180000	180000
T_d (s)	0.5010211721332638	0.5054543190540635	0.5002558546961654	0.517383519153744
ξ_r	0.5	0.5	0.5	0.5
b (kg)	-	88503.41498562827	64151.35500562034	51551.8910754145
X (f(x)) (m)	0.3840	0.3804	0.3813	0.3753
X_2	0.2625	0.2975	0.2877	0.3294
a (m/s ²)	15.4223	15.6488	15.4724	17.7387

Tablo 4.5'teki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 0.25 olduğu ($st_{max}=0.25$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütle oranının %5'i olduğu durum için ($\mu=0.05$) TMD, TMDI 10.kat, TMDI 9. kat ve TMDI 5. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütle oranının %5'i) eşit olduğu görülmektedir. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Sönüm oranı da dört durumda sönüm oranı için tanımlanan üst limit değerine eşittir.

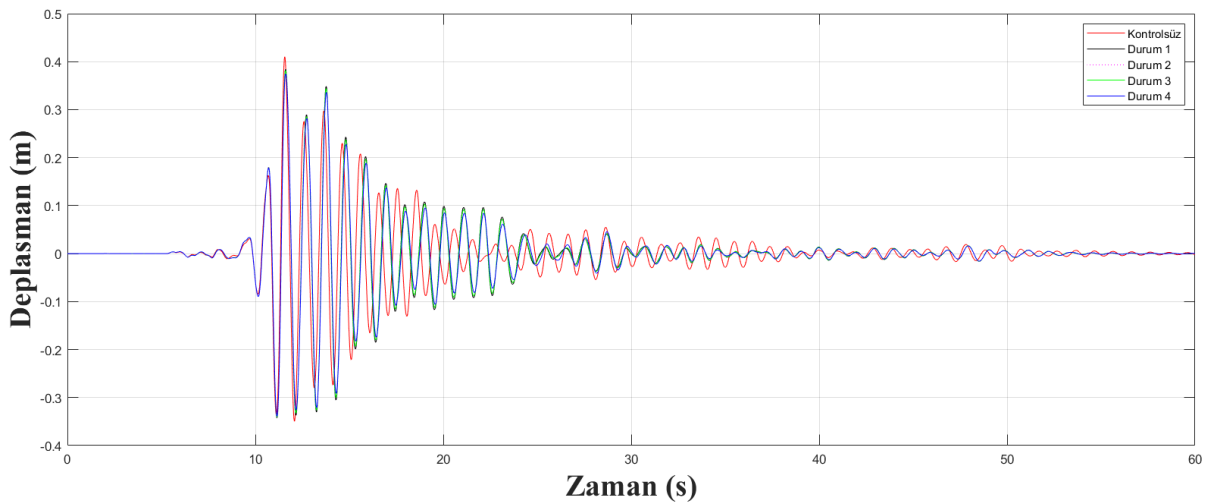
TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.5'ten 5. kata inerter konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.5'teki X_2 , TMD veya TMDI yer değiştirmesinin maksimum kontrolsüz deplasmanına oranıdır. En az X_2 değerine TMD sistemi kullanılarak ulaşıldığı görülmektedir.

Bu optimizasyon probleminde amaç fonksiyonu en üst katın yer değiştirmesi olarak tanımlanmıştır. Optimizasyon süreci ile bu amaç fonksiyonu minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonları (X) bakımından değerlendirilmek istendiğinde en etkili deprem kaydına yani kritik deprem kaydına bakılması gerekmektedir. Çünkü kritik deprem yapıda en büyük yer değiştirmeye sebep olmaktadır. Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirmesi 0.4101 m'dir. Tablo 4.4'te görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3840 m, 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3804, 9. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri

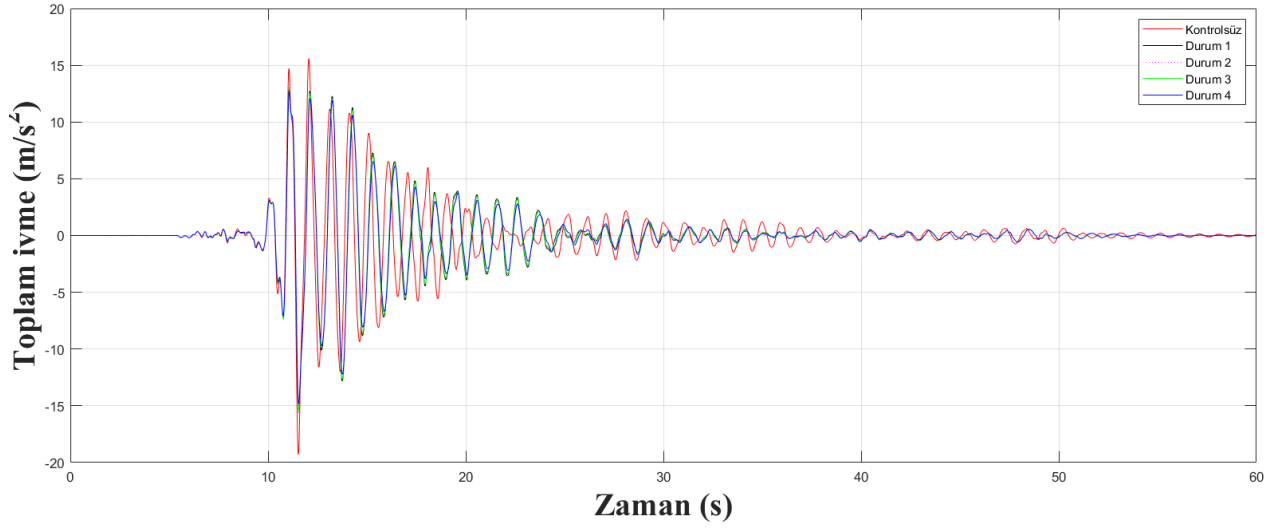
0.3813 m ve 5. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değıştirme değeri 0.3753 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, 5. katta inerter konumlandırılmasının daha iyi olmak üzere dört durumun da çok yakın yer değıştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Alt kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değıştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.5'te görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.4223 m/s^2 , 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.6488 m/s^2 , 9. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.4724 m/s^2 ve 5. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 17.7387 m/s^2 'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.5 incelendiğinde 9. kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin diğer konumlardan daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI sisteminin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI sisteminin yapının 5. katına bağlandığı) için ($\sigma_{\max}=0.25$ ve $\mu=0.05$) 6.deprem kaydına ait yer değıştirme grafiğı Şekil 4.4'te, toplam ivme grafiğı Şekil 4.5'te gösterilmektedir.



Şekil 4.4: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değıştirme grafiğı ($\sigma_{\max}=0.25$ ve $\mu=0.05$)



Şekil 4.5: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.05$).

Tablo 4.6, $st_{max}=0.5$ ve %1 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.6: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=0.5$ $\mu=0.01$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	36000	36000	36000	36000
T_d (s)	0.6575440578819998	0.600848448681120	0.592555983142854	1.48402144798392
ξ_r	0.5	0.5	0.5	0.5
b (kg)	-	48025.5273289191	39945.1144770580	180000
X (f(x)) (m)	0.4011	0.4022	0.4016	0.4069
X_2	0.5	0.5	0.5	0.5257
a (m/s ²)	18.3588	18.5947	18.5226	18.9299

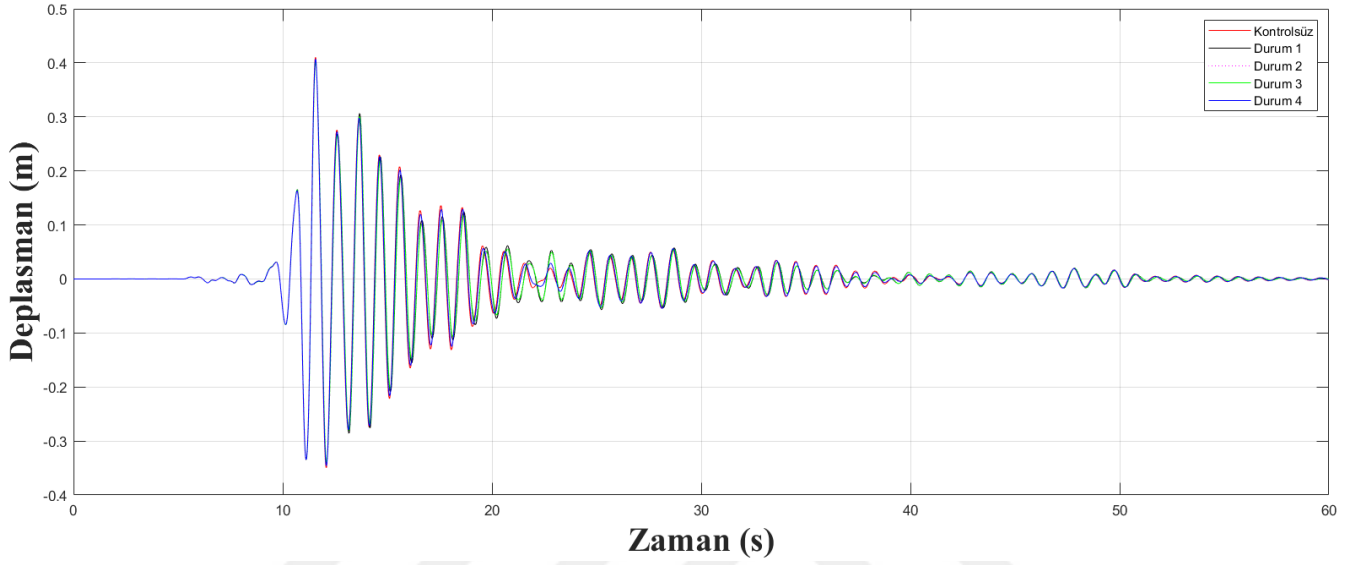
Tablo 4.6'daki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 0.5 olduğu ($st_{max}=0.5$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütesinin %1'i olduğu durum için ($\mu=0.01$) TMD, TMDI 10. kat, TMDI 9. kat ve TMDI 5. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütesinin %1'i) eşit olduğu görülmektedir. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu ancak 5. katta TMDI bulunması durumunda daha yüksek periyot değerine ulaşıldığı görülmektedir. Sönüm oranı da dört durumda sönüm oranı için tanımlanan üst limit değerine eşittir.

TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.6'dan 9. kata TMDI konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.6'daki X2, TMD veya TMDI yer değiştirmesinin maksimum kontrolsüz deplasmanına oranıdır. X2 değeri ilk üç durum için aynı değerde olup dördüncü durumda daha fazladır.

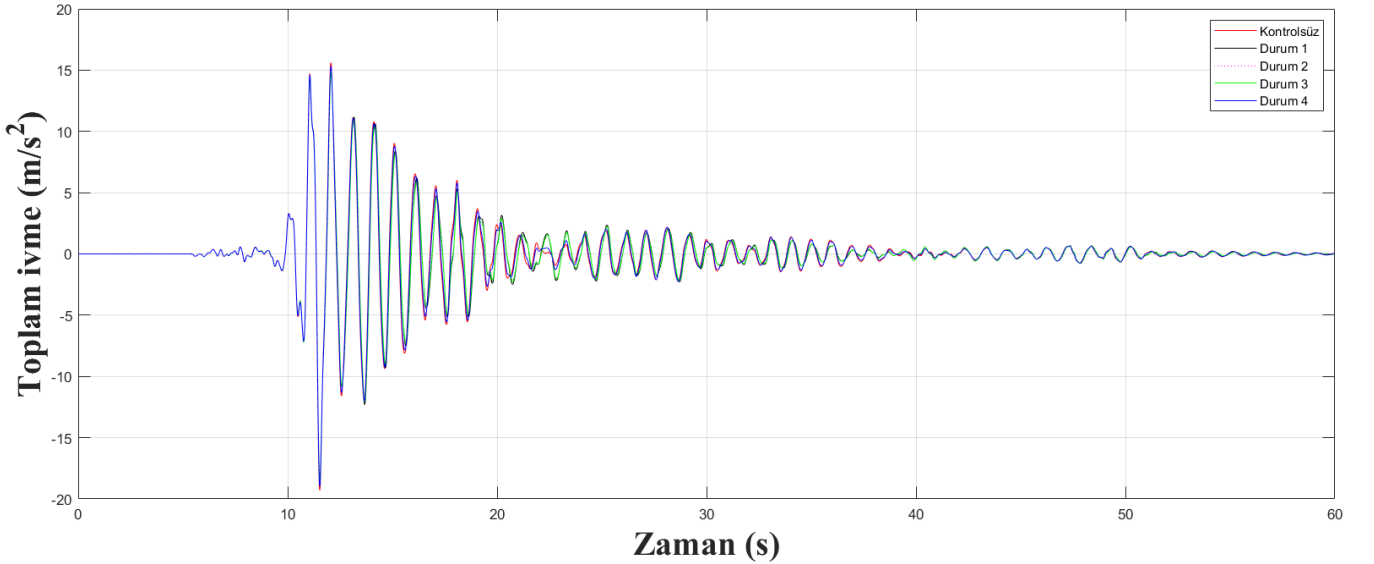
Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirmesi 0.4101 m'dir. Tablo 4.6'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4011 m, 10. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4022, 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4016 m ve 5. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.4069 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.6 incelendiğinde inerter kuvvetinin 9. kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.6'da görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.3588 m/s^2 , 10. Katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.5947 m/s^2 , 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.5226 m/s^2 ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.9299 m/s^2 düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.6 incelendiğinde 9. kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI inerter kuvvetinin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI inerter kuvvetinin yapının 5. katına bağlandığı) için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.6’da, toplam ivme grafiği Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$).



Şekil 4.7: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$).

Tablo 4.7, $st_{max}=0.5$ ve %2 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.7: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=0.5$ $\mu=0.02$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	72000	72000	72000	71743.8624196148
T_d (s)	0.673968567903167	0.6087253190435196	0.613900646299438	0.508992666865323
ξ_r	0.5	0.5	0.5	0.5
b (kg)	-	99682.33509705079	60486.8456989615	77657.3143468396
X (f(x)) (m)	0.3916	0.3940	0.3923	0.3864
X_2	0.5	0.5	0.4987	0.5095
a (m/s ²)	17.4484	18.0064	17.7186	17.7886

Tablo 4.7'deki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 0.5 olduğu ($st_{max}=0.5$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütle oranının %2'si olduğu durum için ($\mu=0.02$) TMD, TMDI 10. kat ve TMDI 9. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütle oranının %2'si) eşit olduğu görülmektedir. TMDI sisteminin 5. katta bulunduğu durumda ise sistemin kütle oranının %2'sine oldukça yakındır. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sönüm oranı da dört durumda sönüm oranı için tanımlanan üst limit değerine eşittir.

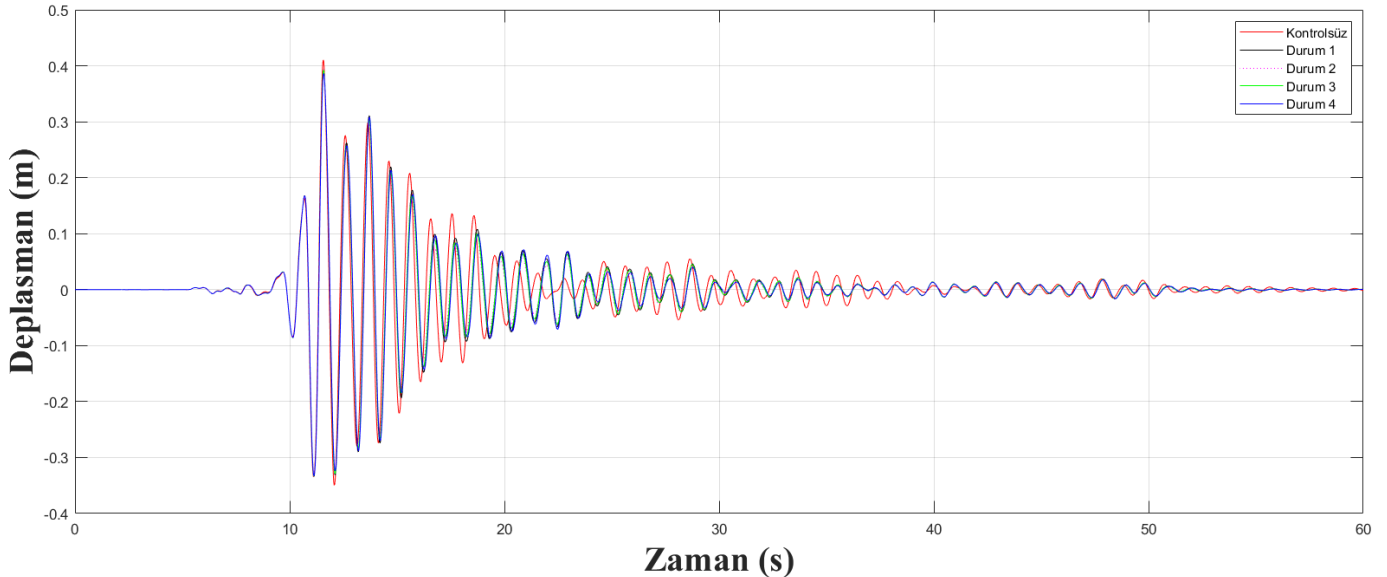
TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.7'den 9. kata TMDI konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.7'dan görüldüğü üzere X_2 değeri dört farklı durum için de birbirine çok yakındır.

Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirme değeri 0.4101 m'dir. Tablo 4.7'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3916 m, 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3940, 9. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3923 m ve 5. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3864 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, 5. Katta inerter konumlandırılmasının daha iyi olmak üzere dört durumun da çok yakın yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Alt kata inerter

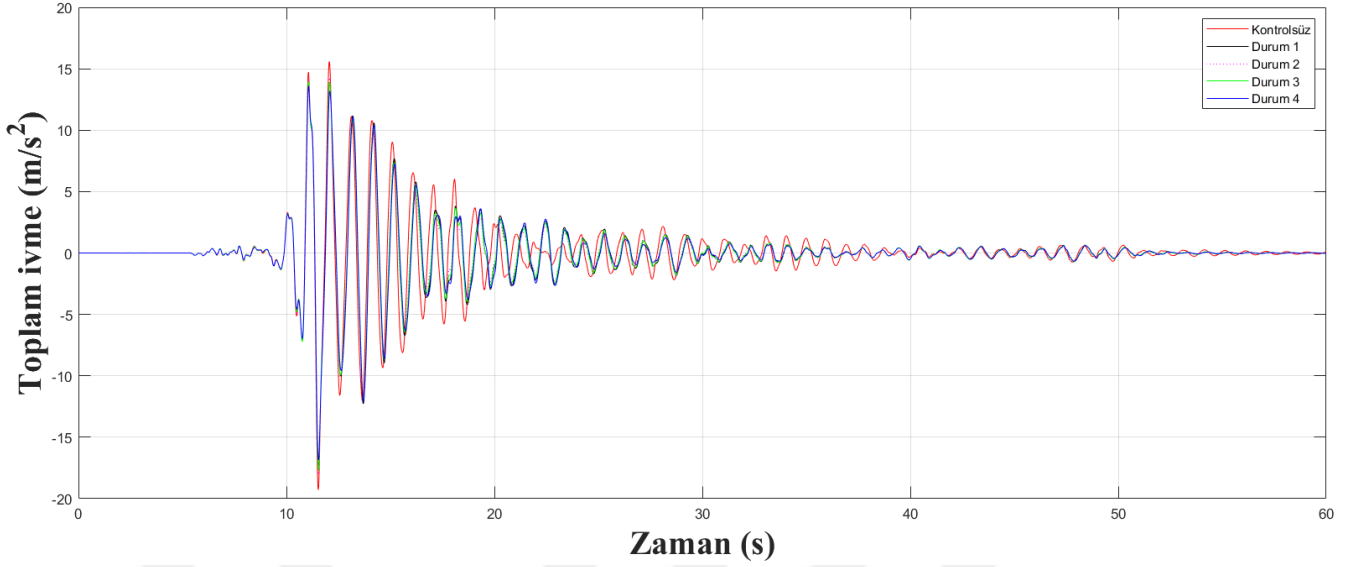
kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.7'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 17.4484 m/s^2 , 10. TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 18.0064 m/s^2 , 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 17.7186 m/s^2 ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 17.7886 m/s^2 düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.7 incelendiğinde 9. kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin diğer konumlardan daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI inerter kuvvetinin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI inerter kuvvetinin yapının 5. katına bağlandığı) için ($\text{stmax}=0.5$ ve $\mu=0.02$) 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.8'de, toplam ivme grafiği Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.8: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($\text{stmax}=0.5$ ve $\mu=0.02$).



Şekil 4.9: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.02$).

Tablo 4.8, $st_{max}=0.5$ ve %5 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.8: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=0.5$ $\mu=0.05$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	180000	180000	180000	180000
T_d (s)	0.730455619721575	0.6644447389493974	0.6783444138512326	0.552854361883391
ξ_r	0.5	0.5	0.5	0.5
b (kg)	-	180000	92935.85906964901	180000
X (f(x)) (m)	0.3588	0.3648	0.3609	0.3464
X_2	0.5	0.5	0.5	0.5
a (m/s²)	14.8592	15.9772	15.3387	15.5999

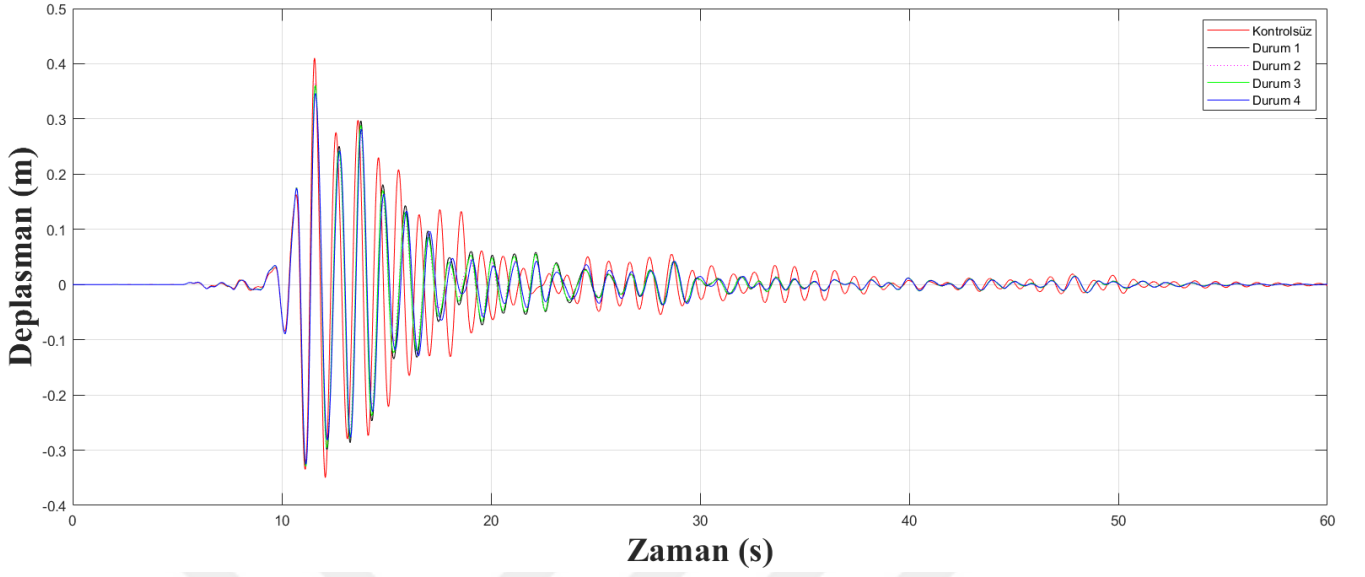
Tablo 4.8'deki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 0.5 olduğu ($st_{max}=0.5$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütesinin %5'i olduğu durum için ($\mu=0.05$) TMD, TMDI 10. kat, TMDI 9. kat ve TMDI 5. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütesinin %5'i) eşit olduğu görülmektedir. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Sönüm oranı da dört durumda sönüm oranı için tanımlanan üst limit değerine eşittir.

TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.8'den 9. kata TMDI konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.8'den X2 değerlerinin dört durum için eşit olduğu görülmektedir.

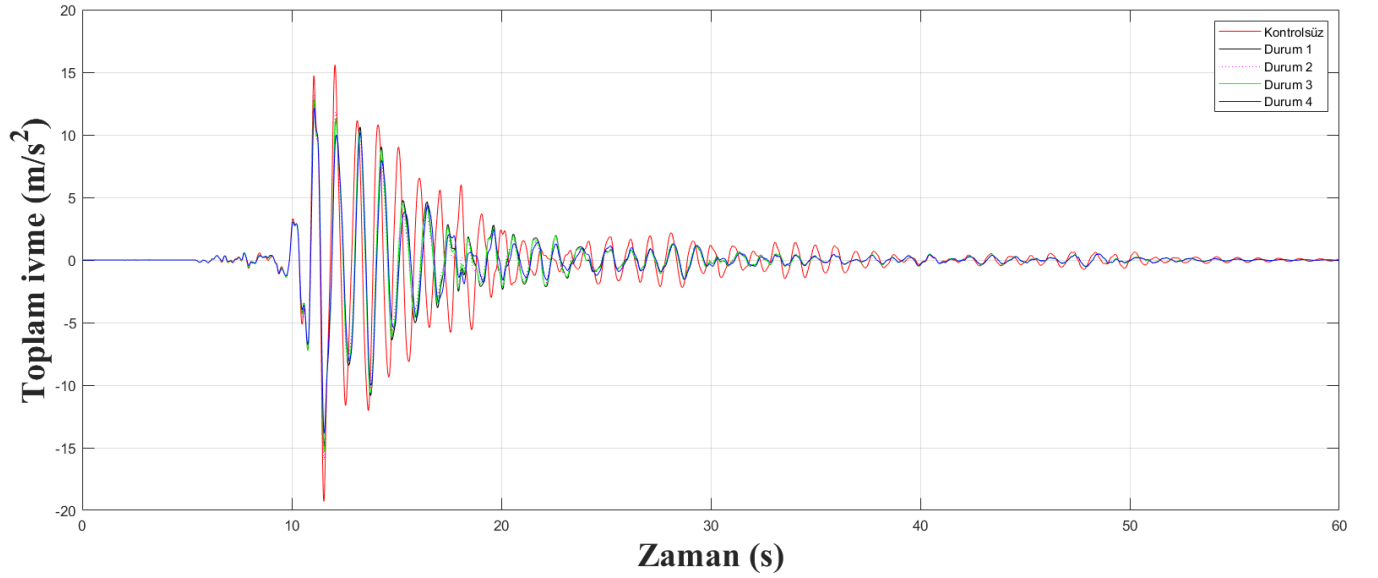
Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirme değeri 0.4101 m'dir. Tablo 4.8'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3588 m, 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3648, 9. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3609 m ve 5. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3464 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, 5. Katta inerter konumlandırılmasının daha iyi olmak üzere dört durumun da çok yakın yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Alt kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.8'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.8592 m/s^2 , 10. TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.9772 m/s^2 , 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.3387 m/s^2 ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.5999 m/s^2 'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.8 incelendiğinde alt katlara inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI inerter kuvvetinin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI inerter kuvvetinin yapının 5. katına bağlandığı) için ($\sigma_{\max}=0.5$ ve $\mu=0.05$) 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.10'da, toplam ivme grafiği Şekil 4.11'e gösterilmektedir.



Şekil 4.10: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$).



Şekil 4.11: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$).

Tablo 4.9, $st_{max}=1$ ve %5 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.9: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

Stmax=1 $\mu=0.05$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	180000	180000	180000	180000
T_d (s)	0.9303775120108436	0.8634531355012272	0.7782344620268925	0.698926322434149
ξ_r	0.2999760834771593	0.27271633948809226	0.227427168788638	0.254736941806189
b (kg)	-	60906.85137185289	98224.08774579607	180000
X (f(x)) (m)	0.3204	0.3292	0.3301	0.3057
X_2	1	1	1	0.9775
a (m/s²)	14.3745	15.1780	15.0344	15.5048

Tablo 4.9'deki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 1 olduğu ($st_{max}=1$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütlesinin %5'i olduğu durum için ($\mu=0.05$) TMD, TMDI 10. kat, TMDI 9. kat ve TMDI 5. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütlesinin %5'i) eşit olduğu görülmektedir. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük sönüm oranı değerine alt kata TMDI bağlanması ile ulaşılmıştır.

TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.9'dan 10. kata TMDI konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.9'dan X_2 değerlerinin ilk durum için eşit olduğu, dördüncü durumda ise daha az olduğu görülmektedir.

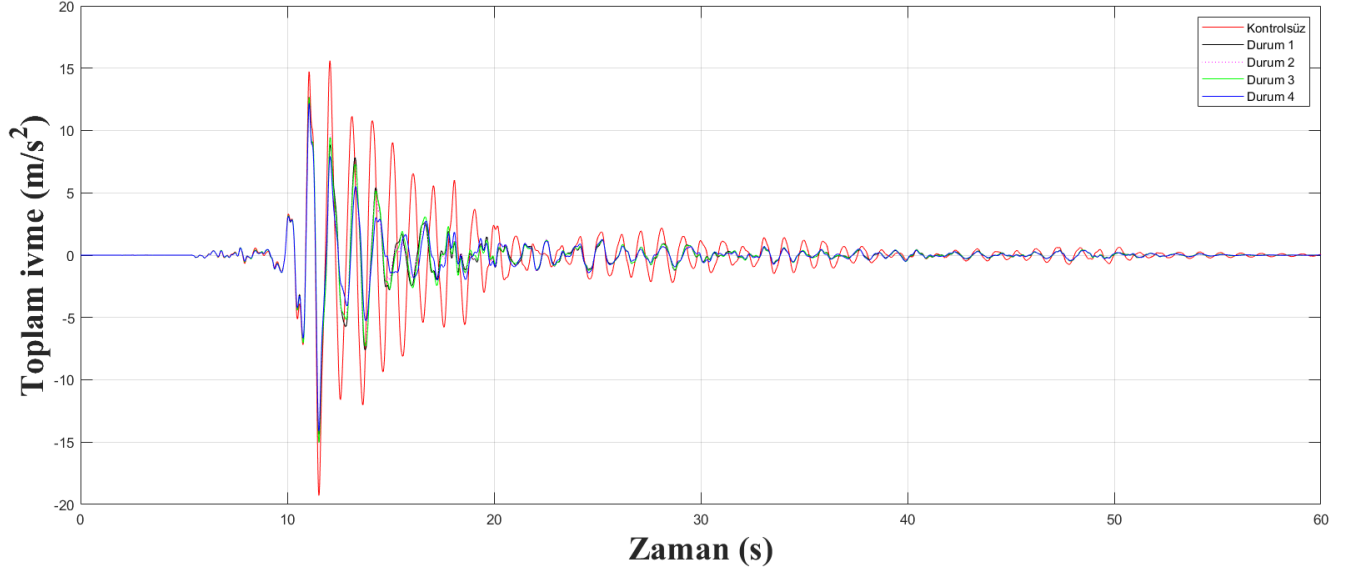
Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.9'daki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirmesi 0.4101 m'dir. Tablo 4.9'da görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3204 m, 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3292, 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3301 m ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3057 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, 5. katta inerter kuvveti konumlandırılmasının çok daha iyi yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Alt kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.9'da görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.3745 m/s^2 , 10. TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.1780 m/s^2 , 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.0344 m/s^2 ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 15.5048 m/s^2 'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.9 incelendiğinde 9. kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin diğer konumlardan daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI inerter kuvveti yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI inerter kuvveti yapının 5. katına bağlandığı) için ($\sigma_{\max}=1$ ve $\mu=0.05$) 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.12'de, toplam ivme grafiği Şekil 4.13'te gösterilmektedir.



Şekil 4.12: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($\sigma_{\max}=1$ ve $\mu=0.05$).



Şekil 4.13: KontROLSÜZ ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=1$ ve $\mu=0.05$).

Tablo 4.10, $st_{max}=1.5$ ve %5 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.10: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=1.5$ $\mu=0.05$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	180000	180000	180000	180000
T_d (s)	0.93956984417219	0.8992230103384915	0.8181815985481549	0.686264701115513
ξ_r	0.144702980913251	0.1649763662081306	0.09945453517001636	0.0658614847087300
b (kg)	-	49857.54496824875	52102.66674617581	137332.375714095
X (f(x)) (m)	0.2941	0.3096	0.3007	0.2906
X_2	1.498	1.3625	1.4626	1.4315
a (m/s ²)	13.7168	14.9429	14.0097	14.4273

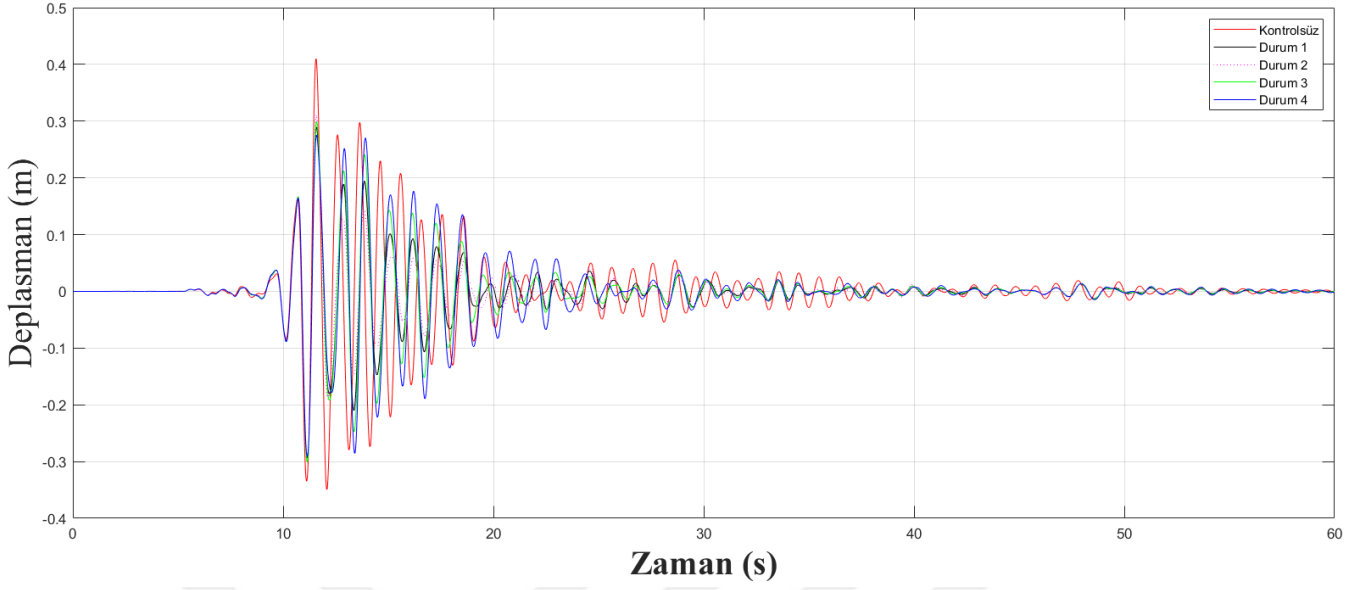
Tablo 4.10'daki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 1.5 olduğu ($st_{max}=1.5$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütesinin %5'i olduğu durum için ($\mu=0.05$) TMD, TMDI 10. kat, TMDI 9. kat ve TMDI 5. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütesinin %5'i) eşit olduğu görülmektedir. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük sönüm oranı değerine 5. kata inerter bağlanması ile ulaşılmıştır.

TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.10'dan 10. kata TMDI konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.10'den X2 değerlerinin dört durum için birbirine yakın olduğu görülmektedir.

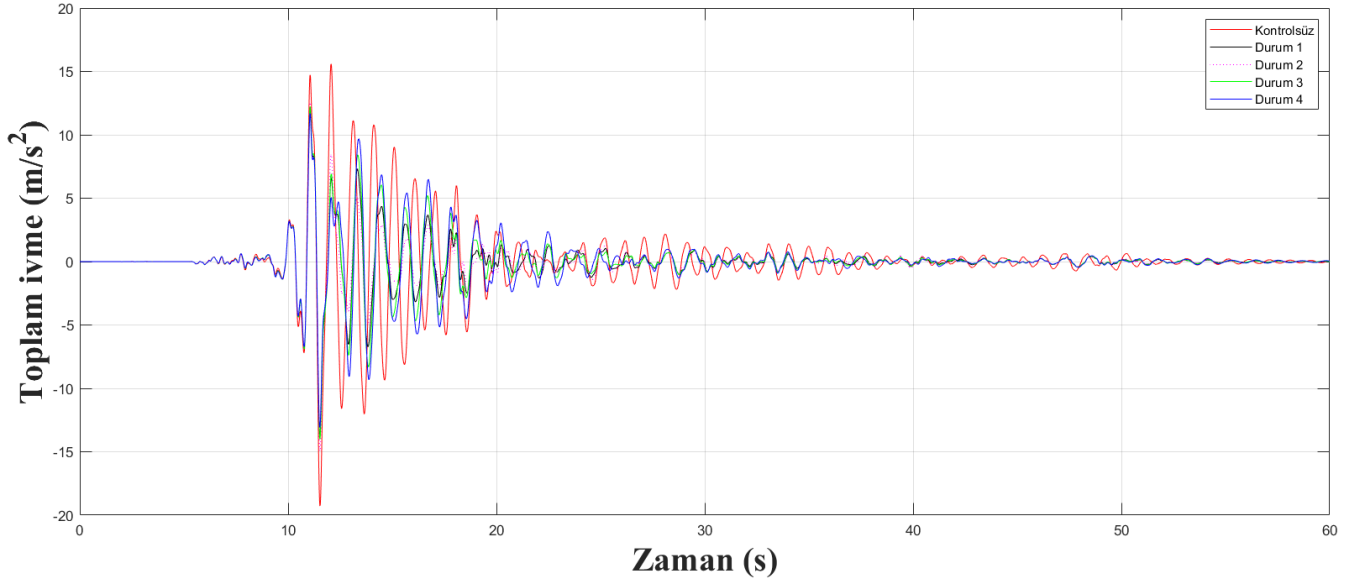
Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirme değeri 0.4101 m'dir. Tablo 4.10'da görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.2941 m, 10. kata TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3096, 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3007 m ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.2906 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, 5. Katta inerter kuvveti konumlandırılmasının çok daha iyi yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Alt kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.10'da görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 13.7168 m/s^2 , 10. TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.9429 m/s^2 , 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.0097 m/s^2 ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.4273 m/s^2 'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.10 incelendiğinde alt katlara inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI inerter kuvveti yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI inerter kuvveti yapının 5. katına bağlandığı) için ($\sigma_{max}=1.5$ ve $\mu=0.05$) 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.14'te, toplam ivme grafiği Şekil 4.15'te gösterilmektedir.



Şekil 4.14: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($st_{max}=1.5$ ve $\mu=0.05$).



Şekil 4.15: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=1.5$ ve $\mu=0.05$).

Tablo 4.11, $st_{max}=2$ ve %5 kütle oranı için TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçları göstermektedir.

Tablo 4.11: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için optimum sonuçlar.

$St_{max}=2$ $\mu=0.05$	Durum 1	Durum 2	Durum 3	Durum 4
M_d (kg)	180000	180000	180000	180000
T_d (s)	0.941308226448057	0.857292789900041	0.820434576766860	0.686264701115513
ξ_r	0.05945213926081633	0.11236777786341204	0.087999195606090	0.0658614847087300
b (kg)	-	39597.087520837995	50823.40806242680	137332.375714095
X (f((x)) (m)	0.2826	0.3015	0.3001	0.2906
X_2	1.9760	1.4938	1.5130	1.4315
a (m/s ²)	13.1070	14.1682	13.9298	14.4273

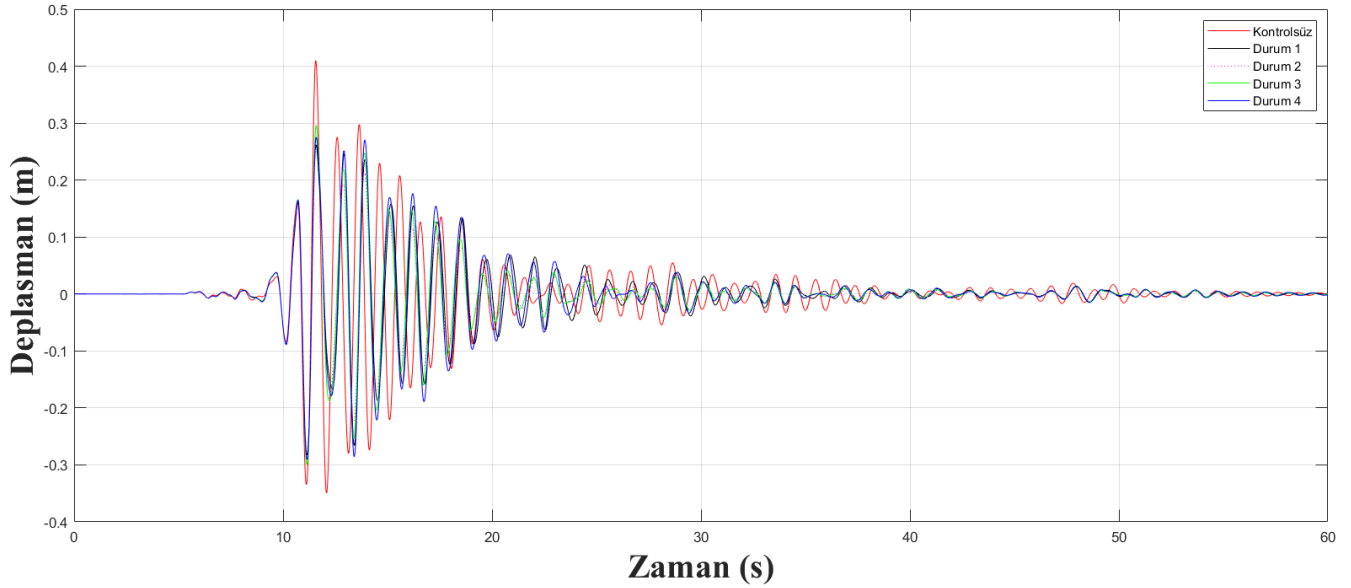
Tablo 4.11'deki sonuçlara göre, kol uzama limitinin 2 olduğu ($st_{max}=2$) ve maksimum sistem kütlesi, sistemin kütesinin %5'i olduğu durum için ($\mu=0.05$) TMD, TMDI 10. kat, TMDI 9. kat ve TMDI 5. kat için sisteminin optimum kütlesi aynı olmak üzere kütle için tanımlanan üst limit değerine (bina kütesinin %5'i) eşit olduğu görülmektedir. Dört farklı durum için optimum periyot değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En düşük sönüme 10. kata TMD konumlandırılması ile ulaşılmıştır.

TMDI alt veya üst katta inerter bulunması durumunda b değeri için karşılaştırıldığında, Tablo 4.11'den 10. kata TMDI konumlandırılmasıyla, daha düşük b değeri elde edildiği görülmektedir. Tablo 4.11 incelendiğinde en düşük X_2 değerine 5. kata inerter kuvveti bağlanması ile ulaşıldığı görülmektedir.

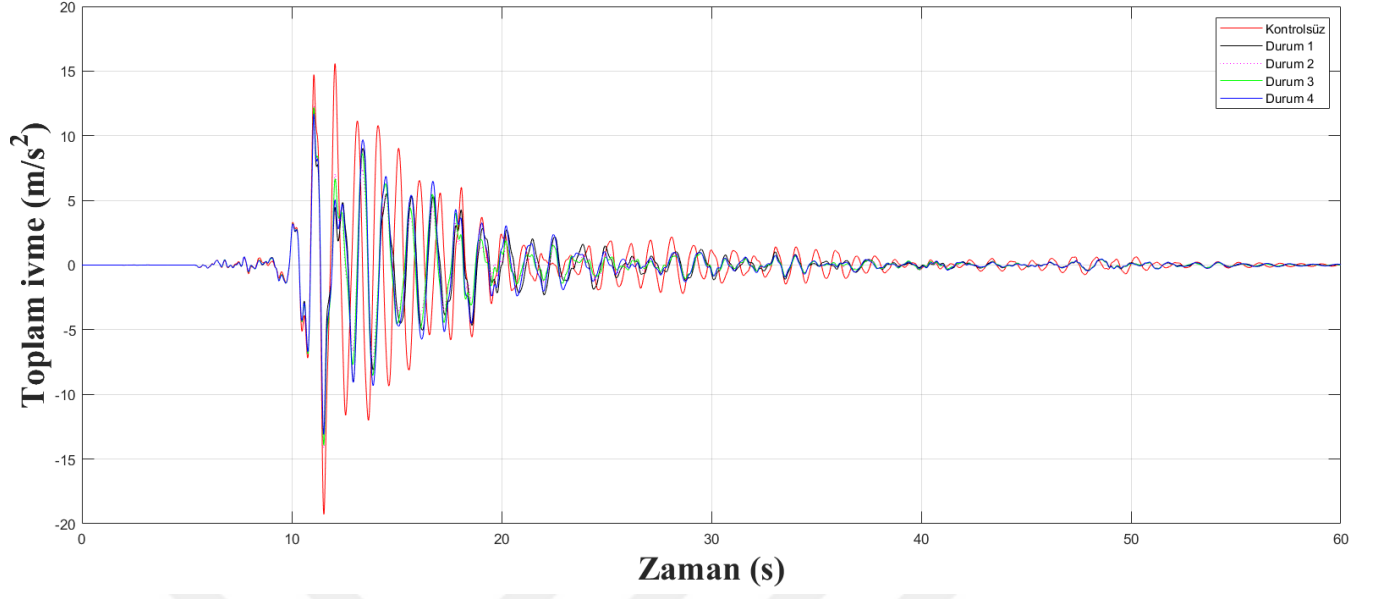
Optimizasyon sürecinde kritik deprem Tablo 4.2'deki 6. numaralı deprem kayıdır (DUZCE/BOL090). Kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat yer değiştirme değeri 0.4101 m'dir. Tablo 4.11'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.2826 m, 10. katta TMDI sistemi kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3015, 9. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.3001 m ve 5. katta inerter kuvveti kullanılarak en üst kat yer değiştirme değeri 0.2906 m'ye düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri amaç fonksiyonuna göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın yer değiştirme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.11 incelendiğinde 5. kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin üst kata konumlandırıldığından daha etkili yer değiştirme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

İvme azaltma etkisi karşılaştırılmak istendiğinde, kritik deprem kaydı altında kontrol sistemi bulunmayan binanın en üst kat ivmesi 19.2833 m/s^2 'dir. Tablo 4.11'de görüldüğü gibi TMD sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 13.1070 m/s^2 , 10. TMDI sistemi kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.1682 m/s^2 , 9. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 13.9298 m/s^2 ve 5. katta TMDI inerter kuvveti kullanılarak en üst kat ivme değeri 14.4273 m/s^2 düşürülmüştür. TMD ve TMDI sistemleri ivme azaltma performanslarına göre karşılaştırılmak istendiğinde, TMD daha iyi olmak üzere birbirlerine çok yakın ivme azaltma etkisi gösterdiği görülmektedir. Ancak Tablo 4.11 incelendiğinde 9. kata inerter kuvveti bağlandığında inerter kuvvetinin diğer konumlardan daha etkili ivme azaltma etkisi olduğu gözlemlenmektedir.

Kontrolsüz durum ve dört farklı durum (Durum 1-TMD sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 2-TMDI sisteminin yapının en üst katına (10.kat) bağlandığı, Durum 3-TMDI sisteminin yapının en üst katının bir alt katına (9.kat) bağlandığı, Durum 4-TMDI sisteminin yapının 5. katına bağlandığı) için ($\sigma_{\max}=2$ ve $\mu=0.05$) için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği Şekil 4.16'da, toplam ivme grafiği Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



Şekil 4.16: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait yer değiştirme grafiği ($\sigma_{\max}=2$ ve $\mu=0.05$).



Şekil 4.17: Kontrolsüz ve kontrollü kesme binası için 6.deprem kaydına ait ivme grafiği ($st_{max}=2$ ve $\mu=0.05$).

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, inerter ayarlı kütle sönümleyicilerin deprem yükleri altındaki optimizasyonu deprem kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Metasezgisel algoritmalar ile inerter ayarlı kütle sönümleyicisinin optimum tasarımı sonucu elde edilen veriler analiz edilmiş, karşılaştırılmış ve inerter ayarlı kütle sönümleyicilerin yapının deprem yüküne karşı vereceği tepkiyi en az seviyeye indirecek değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5.1: TMD ve farklı konumlardaki TMDI sistemi için deplasman ve toplam ivme değerleri.

	Kontrolsüz Yapı		Durum 1		Durum 2		Durum 3		Durum 4	
	Deplasman (m)	Toplam İvme (m/s ²)	Deplasman (m)	Toplam İvme (m/s ²)	Deplasman (m)	Toplam İvme (m/s ²)	Deplasman (m)	Toplam İvme (m/s ²)	Deplasman (m)	Toplam İvme (m/s ²)
stmax=0.25 μ=0.02	0.4101	19.2833	0.4000	17.6827	0.4088	18.9704	0.4072	18.8578	0.3920	17.7290
stmax=0.25 μ=0.05			0.3840	15.4223	0.3804	15.6488	0.3813	15.4724	0.3753	17.7387
stmax=0.5 μ=0.01			0.4011	18.3588	0.4022	18.5947	0.4016	18.5226	0.4069	18.9299
stmax=0.5 μ=0.02			0.3916	17.4484	0.3940	18.0064	0.3923	17.7186	0.3864	17.7886
stmax=0.5 μ=0.05			0.3588	14.8592	0.3648	15.9772	0.3609	15.3387	0.3464	15.5999
stmax=1 0.05			0.3204	14.3745	0.3292	15.1780	0.3301	15.0344	0.3057	15.5048
stmax=1.5 μ=0.05			0.2941	13.7168	0.3096	14.9429	0.3007	14.0097	0.2906	14.4273
stmax=2 ve 0.05			0.2826	13.1070	0.3015	14.1682	0.3001	13.9298	0.2906	14.4273

Bölüm 4'teki tablolardaki deplasman ve ivme değerlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan Tablo 5.1 incelendiğinde, kontrolsüz sistemde 0.4101 m olan deplasman değerini stmax=0.25 ve μ=0.02 için 0.4000 m'ye, stmax=0.25 ve μ=0.01 için 0.3840 m'ye, stmax=0.5 ve μ=0.01 için 0.4011 m'ye, stmax=0.5 ve μ=0.02 için 0.3916 m'ye, stmax=0.5 ve μ=0.05 için 0.3588 m'ye, stmax=1 μ=0.05 için 0.3204 m'ye, stmax=1.5 ve μ=0.05 için 0.2941 m'ye, stmax=2 ve μ=0.05 için 0.2826 m'ye indirilmesini sağlayan TMD sisteminin etkili performans gösterdiği

görülmektedir. Ancak TMDI inerter kuvvetinin 10. kata (Durum 2), 9. kata (Durum 3) ve 5. kata (Durum 4) bağlanması ile TMD sisteminin 10. kata bağlanması arasında deplasman azaltımı açısından çok büyük fark bulunmamaktadır. TMD ve TMDI sistemleri deplasman azaltmada benzer oranlarda etkilidir.

TMDI sistemi, inerterin bağlandığı kata göre deplasman azaltımı açısından kendi içerisinde karşılaştırıldığında, 5. kata inerter kuvveti bağlanması durumunun (Durum 4) daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Aynı zamanda normalleştirilmiş TMDI deplasmanı (X2) da genellikle Durum 4'te daha azdır.

En az deplasman ve toplam ivme azaltımı, TMDI sisteminin üst kata bağlandığı (Durum 2), st_{max} değerinin 0.25 olduğu ve kütle oranının %2 olduğu durumdadır. Deplasman ve toplam ivme değerinin en az azaltıldığı bu st_{max} ve kütle oranı değerlerinde, Durum 1 için deplasman azaltımı %2.46, Durum 2 için deplasman azaltımı %0.31, Durum 3 için deplasman azaltımı %0.70, Durum 4 için deplasman azaltımı %4.41'dir. Durum 1 için toplam ivme azaltımı %8.30, Durum 2 için toplam ivme azaltımı %1.62, Durum 3 için toplam ivme azaltımı %2.20, Durum 4 için toplam ivme azaltımı %8.06'dır.

En fazla deplasman ve toplam ivme azaltımı, TMD sisteminde (Durum 1) st_{max} değerinin 2 olduğu ve kütle oranının %5 olduğu durumdadır. Deplasman ve toplam ivme değerinin en fazla azaltıldığı bu st_{max} ve kütle oranı değerlerinde, Durum 1 için deplasman azaltımı %31.08, Durum 2 için deplasman azaltımı %26.48, Durum 3 için deplasman azaltımı %26.82, Durum 4 için deplasman azaltımı %29.13'tür. Durum 1 için toplam ivme azaltımı %32.02, Durum 2 için toplam ivme azaltımı %26.52, Durum 3 için toplam ivme azaltımı %27.76, Durum 4 için toplam ivme azaltımı %25.18'dir.

Kütle oranının değişimi incelenmek istendiğinde, Durum 2 için TMDI sisteminde aynı st_{max} değerinde ($st_{max}=0.25$) farklı kütle oranları incelenmiştir. $st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.02$ için 0.4088 m, $st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.01$ için 0.3804 m deplasman değerleri elde edilmiştir. $st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.02$ için 18.9704 m/s^2 , $st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.05$ için 15.6488 m/s^2 ivme değerleri elde edilmiştir. Durum 3 için TMDI sisteminde aynı st_{max} değerinde ($st_{max}=0.5$) farklı kütle oranları incelenmiştir. $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$ için 0.4016 m, $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.02$ için 0.3923 m ve $\mu=0.05$ için 0.3609 m deplasman değerleri elde edilmiştir. $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$ için 18.5226 m/s^2 , $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.02$ için 17.7186 m/s^2 , $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$ için 15.3387 m/s^2 ivme değerleri elde edilmiştir. Durum 4 için TMDI sisteminde aynı st_{max} değerinde ($st_{max}=0.5$) farklı kütle oranları incelenmiştir. $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.01$ için 0.4069 m, $st_{max}=0.5$

ve $\mu=0.02$ için 0.3864 m ve $\mu=0.05$ için 0.3464 m deplasman değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar, kütle oranının artmasının genellikle deplasman ve toplam ivmeyi azalttığına göstermiştir. Bekdaş ve Nigdeli (2018), çalışmalarında çözdükleri problemde amaç fonksiyonu değerinin %1 ile %40 arasında bir kütle oranı kullanılarak sırasıyla %20.5 ve %63.8 oranında azaltılması mümkün olduğunu göstermiştir.

Deplasman azaltımında, en iyi performansı $st_{max}=0.5$ - $\mu=0.01$ ve $st_{max}=2$ - $\mu=0.05$ hariç TMDI sisteminin 5. Kata konumlandırıldığı Durum 4 göstermiştir. Örneğin $st_{max}=1$ ve $\mu=0.05$ için test edilen yapı durumunda, TMDI sistemi ile maksimum üst kat deplasmanını %25.45 oranında azaltmak mümkün olurken, TMD %21.87 oranında etkilidir. TMD ve 5. kata bağlanan TMDI toplam ivmeyi sırasıyla %25.45 ve %19.59 oranında azaltmıştır.

Parametreler incelendiğinde, optimum TMDI kütesinin programa tanımlanan üst limit değerlerine ($\mu=0.01$ için 36000 kg, $\mu=0.02$ için 72000 kg, $\mu=0.05$ için 180000 kg) eşit olduğu görülmektedir. Optimum TMDI periyot değeri incelendiğinde st_{max} ve kütle oranına (μ) bağlı olarak st_{max} değeri arttıkça periyot değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin 10. kata bağlanmış inerter (Durum 2) için $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$ için 0.6644 s olan optimum TMDI periyodu, $st_{max}=2$ ve $\mu=0.05$ için 0.8572 s'dir. Optimum TMDI sönüm oranı ise periyodun aksine st_{max} arttıkça ters orantılı bir şekilde azalmıştır. Örneğin 10. kata bağlanmış inerter (Durum 2) için $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$ için 0.5000 s olan optimum TMDI sönüm oranı, $st_{max}=2$ ve $\mu=0.05$ için 0.1123'tür. Optimum inerter (b) değeri incelendiğinde, st_{max} arttıkça b değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Örneğin 10. kata bağlanmış inerter (Durum 2) için $st_{max}=0.5$ ve $\mu=0.05$ için 180000 kg olan optimum inerter değeri, $st_{max}=2$ ve $\mu=0.05$ için 39597.0875 kg'dır. Sönüm oranı ve inerter değerleri kol uzama limiti (st_{max}) ile ters orantılıdır. St_{max} arttıkça kol daha çok uzama gösterebileceğinden hareket kolaylaşmaktadır. TMD ve TMDI birbirine çok yakın performans göstermektedir.

X2 olarak adlandırılan ifade, TMD veya TMDI yer değiştirmesinin maksimum kontrolsüz deplasmanına oranıdır. St_{max} değerinin 0.25 olduğu durumlarda ($st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.02$, $st_{max}=0.25$ ve $\mu=0.05$) genellikle X2 değeri st_{max} limit değerini geçmiştir. Bu durumlarda kısıt değerleri aşılmış ve optimizasyon fiziksel olarak mümkün olan en küçük kol uzaması değerine incek şekilde optimize edilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kütle sönümleyici cihazlar deprem bölgelerindeki yüksek binalarda sıklıkla kullanılmakta ve yapıları dinamik uyarılardan etkili biçimde korumaktadır. İnerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI) sisteminin ortaya çıkışında, depremlerde etkili olabilmek için büyük bir kütleye ihtiyaç duyulması gibi hususlardan etkilenilmiştir. İnerter, cihazın gerçek kütlelerinden daha büyük bir sanal kütle oluşturabilmekte ve böylece gerçek kütle gereksinimini karşılayabilmektedir. TMD'nin, sismik olarak uyarılan sistemlerde TMD kütlelerini en aza indirmek için kütle yükselticisi görevi gören bir inerter cihazla birleştirilerek TMDI sistemi elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında, Uyarlanabilir Armoni Arama (Adaptive Harmony Search-AHS) optimizasyon algoritması kullanılarak inerter ayarlı kütle sönümleyici (TMDI) cihazıyla farklı katlarda donatılmış yapının ayrı iki durum sismik tepkilerini incelenmiş ve zaman tanım alanındaki performanslarını geleneksel TMD'nin performansı ile karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda TMDI sisteminin optimum fiziksel parametreleri de elde edilmiştir. Böylece inerter ayarlı kütle sönümleyicilerin yapının deprem yüküne karşı vereceği tepkiyi en az seviyeye indirecek değerleri elde edilmiştir.

Uzak fay kayıtları kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde TMD ve TMDI sistemleri birbirine çok yakın kontrol performansı sergilemektedir. TMDI kendi içerisinde incelendiğinde, inerterin alt katlara bağlandığı durumda, inerterin üst kata bağlandığı durumdan daha etkin kontrol performansı elde edilmiştir. TMD ve üç farklı durumu incelenen TMDI, birbirine yakın performanslar gösterdiğinden bina türü ve farklı deprem kaydı türleri için uygun olabilmektedirler. Sonuçlara göre TMDI sisteminin kritik uyarım altındaki yer değiştirmelerin azaltılmasında etkili olduğu açıkça görülmektedir. Her iki sistemin de avantaj ve dezavantajları olduğundan, TMD ve TMDI kullanımında yapısal durum incelenerek karar verilebilmektedir.

Sismik uyarılmaların rastgele titreşim davranışını içeren karmaşık titreşim probleminin çözülmesi için Uyarlanabilir Armoni Arama algoritmasında BSCR adı verilen bir olasılık kullanılmıştır. Mevcut en iyi çözümün kullanılma olasılığı %30 kullanılarak yerel optimum çözüme takılmanın önüne geçilmiştir. Uyarlanabilir Armoni Arama algoritması kullanılarak zaman tanım alanı analizine göre optimize edilen TMDı sismik yapılar için etkili ve uygulanabilir bir yaklaşımdır.

Bu tez çalışması sonucunda, TMD ve TMDI sistemlerinin kontrol etkinliğinin kütle oranına oldukça duyarlı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu kontrol sistemlerinin kontrol etkinliğinin artması için genellikle büyük bir kütle oranı (%2-%5) gerekmektedir. Aynı kütle oranına sahip olup kol uzaması limit değeri (st_{max}) arttıkça kontrol sistemlerinin performansının arttığı görülmüştür. Smith tarafından üretilen inerter, TMD'nin kütle oranını azaltmak için yeni olasılıkları ortaya çıkaran, doğrusal hareketi dönmeye dönüştürerek kütleyi artırabilen mekanik bir elemandır. Gelecekte, TMDI sisteminde kullanılan inerterin özellikleri değiştirilerek daha hafif bir şekilde kontrol sağlanabilir.



KAYNAKLAR

Abdollahzadeh, B., Gharehchopogh, F. S., Khodadadi, N., & Mirjalili, S. (2022). Mountain gazelle optimizer: A new nature-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *Advances in Engineering Software*, 174, 103282.

Akin, A., & Saka, M. P. (2015). Harmony search algorithm based optimum detailed design of reinforced concrete plane frames subject to ACI 318-05 provisions. *Computers & Structures*, 147, 79-95.

Arakaki, T.; Kuroda, H.; Arima, F.; Inoue, Y.; Baba, K. Development of seismic devices applied to ball screw: Part 1 Basic performance test of RD-series. *J. Technol. Des.* 1999, 5, 239–244. (In Japanese)

Araz, O. (2022). Optimization of tuned mass damper inerter for a high-rise building considering soil-structure interaction. *Archive of Applied Mechanics*, 92(10), 2951-2971.

Asami, T., Nishihara, O., & Baz, A. M. (2002). Analytical solutions to H_∞ and H_2 optimization of dynamic vibration absorbers attached to damped linear systems. *J. Vib. Acoust.*, 124(2), 284-295.

Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M. (2011). Estimating optimum parameters of tuned mass dampers using harmony search. *Engineering Structures*, 33(9), 2716-2723.

Bekdas, G., & Nigdeli, S. M. (2018). Mass ratio factor on optimum TMD design in frequency domain. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3.

Bekdaş, G., Cakiroglu, C., Kim, S., & Geem, Z. W. (2023). Optimal Dimensions of Post-Tensioned Concrete Cylindrical Walls Using Harmony Search and Ensemble Learning with SHAP. *Sustainability*, 15(10), 7890.

Bian, Y., Liu, X., Sun, Y., & Zhong, Y. (2022). Optimized Design of a Tuned Mass Damper Inerter (TMDI) Applied to Circular Section Members of Transmission Towers. *Buildings*, 12(8), 1154.

Brzeski, P., Pavlovskaia, E., Kapitaniak, T., & Perlikowski, P. (2015). The application of inerter in tuned mass absorber. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 70, 20-29.

Brzeski, P., Kapitaniak, T., & Perlikowski, P. (2015). Novel type of tuned mass damper with inerter which enables changes of inertance. *Journal of Sound and Vibration*, 349, 56-66.

Charney, F. A., & Ibrahim, Y. E. (2004, August). A new visco-plastic passive energy device. In *13th World Conference in Earthquake Engineering* (p. 118).

Chen, B., Zhang, Z., & Hua, X. (2022). Equal modal damping-based optimal design of a grounded tuned mass-damper-inerter for flexible structures. *Structural Control and Health Monitoring*, 29(12), e3106.

Chuan, L., Liang, M., Wang, Y. & Dong, Y. 2011a. Vibration suppression using two terminal flywheel. Part I: Modeling and Characterization, *Journal of Vibration and Control*, 18(8):1096-1105.

Clarke, J., Tesfamariam, S., & Yannacopoulos, S. (2009, March). Smart structures using shape memory alloys. In *Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2009* (Vol. 7292, pp. 49-59). SPIE.

Caicedo, D., Lara-Valencia, L., Blandon, J., & Graciano, C. (2021). Seismic response of high-rise buildings through metaheuristic-based optimization using tuned mass dampers and tuned mass dampers inerter. *Journal of Building Engineering*, 34, 101927.

Datta, T. K. (2003). A state-of-the-art review on active control of structures. *ISET Journal of earthquake technology*, 40(1), 1-17.

De Angelis, M., Petrini, F., & Pietrosanti, D. (2021). Optimal design of the ideal grounded tuned mass damper inerter for comfort performances improvement in footbridges with practical implementation considerations. *Structural Control and Health Monitoring*, 28(9), e2800.

De Domenico, D., & Ricciardi, G. (2018). An enhanced base isolation system equipped with optimal tuned mass damper inerter (TMDI). *Earthquake engineering & structural dynamics*, 47(5), 1169-1192.

- Degertekin, S. O. (2012). Improved harmony search algorithms for sizing optimization of truss structures. *Computers & Structures*, 92, 229-241.
- Dhiman, G., & Kumar, V. (2019). Seagull optimization algorithm: Theory and its applications for large-scale industrial engineering problems. *Knowledge-based systems*, 165, 169-196.
- Djerouni, S., Ounis, A., Elias, S., Abdeddaim, M., & Rupakhety, R. (2022, April). Optimization and performance assessment of tuned mass damper inerter systems for control of buildings subjected to pulse-like ground motions. In *Structures* (Vol. 38, pp. 139-156). Elsevier.
- Djerouni, S., Elias, S., Abdeddaim, M., & Domenico, D. D. (2023). Effectiveness of Optimal Shared Multiple Tuned Mass Damper Inerters for Pounding Mitigation of Adjacent Buildings. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 28(1), 04022063.
- Dubey, M., Kumar, V., Kaur, M., & Dao, T. P. (2021). A systematic review on harmony search algorithm: theory, literature, and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-22.
- El Ouni, M. H., Abdeddaim, M., Elias, S., & Kahla, N. B. (2022). Review of Vibration Control Strategies of High-Rise Buildings. *Sensors*, 22(21), 8581.
- FEMA P-695. Quantification of Building Seismic Performance Factors; US Department of Homeland Security, FEMA: Washington, DC, USA, 2009.
- Fitzgerald, B., McAuliffe, J., Baisthakur, S., & Sarkar, S. (2023). Enhancing the reliability of floating offshore wind turbine towers subjected to misaligned wind-wave loading using tuned mass damper inerters (TMDIs). *Renewable Energy*, 211, 522-538.
- Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, 76(2), 60-68.
- Geem, Z. W. (2006). Optimal cost design of water distribution networks using harmony search. *Engineering optimization*, 38(03), 259-277.
- Gharehchopogh, F. S. (2023). Quantum-inspired metaheuristic algorithms: comprehensive survey and classification. *Artificial Intelligence Review*, 56(6), 5479-5543.

Giariasis, A., & Taflanidis, A. A. (2015). Reliability-based design of tuned mass-damper-inerter (TMDI) equipped multi-storey frame buildings under seismic excitation.

Giariasis, A., & Marian, L. (2016, April). Use of inerter devices for weight reduction of tuned mass-dampers for seismic protection of multi-story building: the Tuned Mass-Damper-Interter (TMDI). In *Active and Passive Smart Structures and Integrated Systems 2016* (Vol. 9799, pp. 415-424). SPIE.

Giariasis, A., & Petrini, F. (2017). Wind-induced vibration mitigation in tall buildings using the tuned mass-damper-inerter. *Journal of Structural Engineering*, 143(9), 04017127.

Giariasis, A., & Petrini, F. (2017). Optimum design of the tuned mass-damper-inerter for serviceability limit state performance in wind-excited tall buildings. *Procedia engineering*, 199, 1773-1778.

Giariasis, A., & Taflanidis, A. A. (2018). Optimal tuned mass-damper-inerter (TMDI) design for seismically excited MDOF structures with model uncertainties based on reliability criteria. *Structural Control and Health Monitoring*, 25(2), e2082.

Glover, F. (1986). Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & operations research*, 13(5), 533-549.

Guo, C., & Luo, A. C. (2021). Symmetric and asymmetric periodic motions of a nonlinear oscillator with a tuned mass damper inerter. *The European Physical Journal Special Topics*, 230, 3533-3549.

Gupta, S., & Deep, K. (2019). A novel random walk grey wolf optimizer. *Swarm and evolutionary computation*, 44, 101-112.

Hashim, F. A., Hussain, K., Houssein, E. H., Mabrouk, M. S., & Al-Atabany, W. (2021). Archimedes optimization algorithm: a new metaheuristic algorithm for solving optimization problems. *Applied Intelligence*, 51, 1531-1551.

Hashim, F. A., Houssein, E. H., Hussain, K., Mabrouk, M. S., & Al-Atabany, W. (2022). Honey Badger Algorithm: New metaheuristic algorithm for solving optimization problems. *Mathematics and Computers in Simulation*, 192, 84-110.

- Hayyolalam, V., & Kazem, A. A. P. (2020). Black widow optimization algorithm: a novel meta-heuristic approach for solving engineering optimization problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103249.
- Karnopp, D., Crosby, M. J., & Harwood, R. A. (1974). Vibration control using semi-active force generators.
- Kaveh, A., & Abadi, A. S. M. (2010). Cost optimization of a composite floor system using an improved harmony search algorithm. *Journal of Constructional Steel Research*, 66(5), 664-669.
- Kaveh, A., Fahimi Farzam, M., Hojat Jalali, H., & Maroofiazar, R. (2020). Robust optimum design of a tuned mass damper inerter. *Acta Mechanica*, 231(9), 3871-3896.)
- Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., & Geem, Z. W. (2020). Optimum design of PID controlled active tuned mass damper via modified harmony search. *Applied Sciences*, 10(8), 2976.
- Khalatbarisoltani, A., Soleymani, M., & Khodadadi, M. (2019). Online control of an active seismic system via reinforcement learning. *Structural Control and Health Monitoring*, 26(3), e2298.
- Kim, S. B., & Yun, C. B. (2000). Sliding mode fuzzy control: Theory and verification on a benchmark structure. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 29(11), 1587-1608.
- Lazar, I. F., Neild, S. A., & Wagg, D. J. (2014). Design and performance analysis of inerter-based vibration control systems. In *Dynamics of Civil Structures, Volume 4: Proceedings of the 32nd IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics, 2014* (pp. 493-500). Springer International Publishing.
- Lazar, I. F., Neild, S. A., & Wagg, D. J. (2014). Inerter-based vibration suppression systems for laterally and base-excited structures. In *Proceedings of EUROODYN 2014* (pp. 1525-1530). Sheffield.
- Lazar, I. F., Neild, S. A., & Wagg, D. J. (2014). Using an inerter-based device for structural vibration suppression. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 43(8), 1129-1147.

- Lazar, I. F., Neild, S. A., & Wagg, D. J. (2016). Vibration suppression of cables using tuned inerter dampers. *Engineering Structures*, 122, 62-71.
- Lee, K. S., & Geem, Z. W. (2004). A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. *Computers & structures*, 82(9-10), 781-798.
- Liang, Q., Wei, J., & Li, L. (2023). Seismic Control of Story Isolation System Using Tuned Mass Damper Inerter. *Journal of Engineering Mechanics*, 149(3), 04022116.
- Liu, X., Yang, Y., Sun, Y., Zhong, Y., Zhou, L., Li, S., & Wu, C. (2022). Tuned-mass-damper-inerter performance evaluation and optimal design for transmission line under harmonic excitation. *Buildings*, 12(4), 435.
- Li, H., Liu, X., Huang, Z., Zeng, C., Zou, P., Chu, Z., & Yi, J. (2020). Newly emerging nature-inspired optimization-algorithm review, unified framework, evaluation, and behavioural parameter optimization. *IEEE Access*, 8, 72620-72649.
- Li, Z., Xu, K., Bi, K., Han, Q., & Du, X. (2022). Inerter Nonlinearity and Its Influence on Control Efficiency of TMDI for Suppressing Vortex-Induced Vibration of Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 27(11), 04022101.
- Liu, X., Li, S., Wu, C., Zhong, Y., & Bian, Y. (2022). Research on Vibration Control of Power Transmission Lines-TMDI Based on Colliding Bodies Optimization. *Buildings*, 12(12), 2200.
- Luo, Y., Sun, H., Wang, X., Zuo, L., & Chen, N. (2017). Wind induced vibration control and energy harvesting of electromagnetic resonant shunt tuned mass-damper-inerter for building structures. *Shock and Vibration*, 2017.
- Majumdar, P., Mitra, S., & Bhattacharya, D. (2023). Honey Badger algorithm using lens opposition based learning and local search algorithm. *Evolving Systems*, 1-26.
- Marian, L., & Giaralis, A. (2013, December). Optimal design of inerter devices combined with TMDs for vibration control of buildings exposed to stochastic seismic excitation. In *Safety, Reliability, Risk and Life-Cycle Performance of Structures and Infrastructures-Proceedings of the 11th International Conference on Structural Safety and Reliability, ICOSSAR 2013* (pp. 1025-1032). CRC Press.

Marian, L., & Giaralis, A. (2014). Optimal design of a novel tuned mass-damper-inerter (TMDI) passive vibration control configuration for stochastically support-excited structural systems. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 38, 156-164.

Marian, L., & Giaralis, A. (2017). The tuned mass-damper-inerter for harmonic vibrations suppression, attached mass reduction, and energy harvesting. *Smart structures and systems*, 19(6), 665-678.

Masnata, C., Di Matteo, A., Adam, C., & Pirrotta, A. (2020). Smart structures through nontraditional design of tuned mass damper inerter for higher control of base isolated systems. *Mechanics Research Communications*, 105, 103513.

Naimi, S., & Waheb, M. H. (2019). Deprem Etkisindeki Yapıların Sismik Taban İzolasyonu ve Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemleri ile Karma Korunması. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 12(1), 499-516.

Nakaminami, S., Kida, H., Ikago, K., & Inoue, N. (2017, January). Dynamic testing of a full-scale hydraulic inerter-damper for the seismic protection of civil structures. In *7th International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering, AESE 2017* (pp. 41-54). Eucentre.

Nigdeli, S. M. and Bekdaş, G., 2017, Tuning and position optimization of mass dampers for seismic structures, Harmony Search Algorithm, *Proceedings of the 3rd International Conference on Harmony Search Algorithm (ICHSA 2017)*, In: Del Ser, J. (ed.), Chapter 23, Springer, Singapore, 232-239.

Ocak, A., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., Kim, S., & Geem, Z. W. (2022). Optimization of tuned liquid damper including different liquids for lateral displacement control of single and multi-story structures. *Buildings*, 12(3), 377.

Papageorgiou, C., Houghton, N. E., & Smith, M. C. (2009). Experimental testing and analysis of inerter devices.

Patsialis, D., Taflanidis, A. A., & Giaralis, A. (2021). Tuned-mass-damper-inerter optimal design and performance assessment for multi-storey hysteretic buildings under seismic excitation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-36.

- Peng, S., Zhang, L., & Zhang, D. (2023). A unified method for parameter optimization and dynamic characteristics analysis of tuned mass damper inerter. *Journal of Vibration and Control*, 10775463221149226.
- Pietrosanti, D., De Angelis, M., & Basili, M. (2017). Optimal design and performance evaluation of systems with Tuned Mass Damper Inerter (TMDI). *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 46(8), 1367-1388.
- Pietrosanti, D., De Angelis, M., & Basili, M. (2020). A generalized 2-DOF model for optimal design of MDOF structures controlled by Tuned Mass Damper Inerter (TMDI). *International Journal of Mechanical Sciences*, 185, 105849.
- Prakash, S., & Jangid, R. S. (2022). Optimum parameters of tuned mass damper-inerter for damped structure under seismic excitation. *International Journal of Dynamics and Control*, 10(5), 1322-1336.
- Qin, F., Zain, A. M., & Zhou, K. Q. (2022). Harmony search algorithm and related variants: A systematic review. *Swarm and Evolutionary Computation*, 101126.
- Rajana, K., Wang, Z., & Giaralis, A. (2023). Optimal design and assessment of tuned mass damper inerter with nonlinear viscous damper in seismically excited multi-storey buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-31.
- Ruiz, R., Taflanidis, A. A., Giaralis, A., & Lopez-Garcia, D. (2018). Risk-informed optimization of the tuned mass-damper-inerter (TMDI) for the seismic protection of multi-storey building structures. *Engineering Structures*, 177, 836-850.
- Saka, M. P., & Hasançebi, O. (2009). Adaptive harmony search algorithm for design code optimization of steel structures. In *Harmony search algorithms for structural design optimization* (pp. 79-120). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Salvi, J., & Giaralis, A. (2016, September). Concept study of a novel energy harvesting-enabled tuned mass-damper-inerter (EH-TMDI) device for vibration control of harmonically-excited structures. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 744, No. 1, p. 012082). IOP Publishing.

- Sarkar, S., & Fitzgerald, B. (2020). Vibration control of spar-type floating offshore wind turbine towers using a tuned mass-damper-inerter. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(1), e2471.
- Shafiee, A. H., & Keyhani, A. (2018). Investigate the Active Control of tall Building against Earthquake by considering Fuzzy Logic. *Revista Publicando*, 5(16 (2)), 119-131.
- Shayanfar, H., & Gharehchopogh, F. S. (2018). Farmland fertility: A new metaheuristic algorithm for solving continuous optimization problems. *Applied Soft Computing*, 71, 728-746.
- Shinjo, T., Ikenaga, M., Ikago, K., & Inoue, N. (2015). Optimum response control of multi-degree-of-freedom seismic control system incorporated with concentratedly arranged tuned viscous mass dampers. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 80(715), 1393-1402.
- Siame, A., Cigada, A., Karimi, H. R., Zappa, E., & Sabbioni, E. (2017). Using inerter-based isolator for passive vibration control of Michelangelo's Rondanini Pietà. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 13372-13377.
- Su, N., Xia, Y., & Peng, S. (2022). Filter-based inerter location dependence analysis approach of Tuned mass damper inerter (TMDI) and optimal design. *Engineering Structures*, 250, 113459.
- Sun, H., Luo, Y., Wang, X., & Zuo, L. (2017). Seismic control of a SDOF structure through electromagnetic resonant shunt tuned mass-damper-inerter and the exact H2 optimal solutions. *Journal of Vibroengineering*, 19(3), 2063-2079.
- Smith, M.C. 2002. Synthesis of mechanical networks: The Inerter, *IEEE Transactions on Automatic Control*, 47(10): 1648-1662.
- Soong, T. State-of-the-art review: Active structural control in civil engineering. *Eng. Struct.* 1988, 10, 74–84.
- Sörensen, K. (2015). Metaheuristics—the metaphor exposed. *International Transactions in Operational Research*, 22(1), 3-18.

- Symans, M. D., & Constantinou, M. C. (1999). Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the-art review. *Engineering structures*, 21(6), 469-487.
- Tang, A. D., Han, T., Zhou, H., & Xie, L. (2021). An improved equilibrium optimizer with application in unmanned aerial vehicle path planning. *Sensors*, 21(5), 1814.
- Tiwari, N. D., Gogoi, A., Hazra, B., & Wang, Q. (2021). A shape memory alloy-tuned mass damper inerter system for passive control of linked-SDOF structural systems under seismic excitation. *Journal of Sound and Vibration*, 494, 115893.5
- The MathWorks, Matlab R2018a. Natick, MA. 2018.
- Uray, E. & Çarbaş, S. (2021). Dynamic loads and different soil characteristics examination on optimum design of cantilever retaining walls utilizing harmony search algorithm. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(4), 140-154.
- Wang, Z., & Giaralis, A. (2021). Top-story softening for enhanced mitigation of vortex shedding-induced vibrations in wind-excited tuned mass damper inerter-equipped tall buildings. *Journal of Structural Engineering*, 147(1), 04020283.
- Wang, Z., & Giaralis, A. (2021). Enhanced motion control performance of the tuned mass damper inerter through primary structure shaping. *Structural Control and Health Monitoring*, 28(8), e2756.
- Weber, F., Huber, P., Borchsenius, F., & Braun, C. (2020, December). Performance of TMDI for tall building damping. In *Actuators* (Vol. 9, No. 4, p. 139). MDPI.
- Weber, F., Borchsenius, F., Distl, J., & Braun, C. (2022). Performance of numerically optimized tuned mass damper with inerter (tmdi). *Applied Sciences*, 12(12), 6204.
- Wolpert, D. H., & Macready, W. G. (1997). No free lunch theorems for optimization. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 1(1), 67-82.
- Wu, X., Liu, X., Chen, J., Liu, K., & Pang, C. (2022). Parameter Optimization and Application for the Inerter-Based Tuned Type Dynamic Vibration Absorbers. *Buildings*, 12(6), 703.

- Xu, K., Bi, K., Han, Q., Li, X., & Du, X. (2019). Using tuned mass damper inerter to mitigate vortex-induced vibration of long-span bridges: Analytical study. *Engineering Structures*, 182, 101-111.
- Yao, J. T. (1972). Concept of structural control. *Journal of the Structural Division*, 98(7), 1567-1574.
- Yi, F., & Dyke, S. J. (2000, June). Structural control systems: performance assessment. In *Proceedings of the 2000 American Control Conference. ACC (IEEE Cat. No. 00CH36334) (Vol. 1, No. 6, pp. 14-18)*. IEEE.
- Yu, W., & Thenozhi, S. (2016). *Active structural control with stable fuzzy PID techniques*. Springer International Publishing.
- Zahedin Labaf, D., De Angelis, M., & Basili, M. (2023). Multi-objective optimal design and seismic assessment of an inerter-based hybrid control system for storage tanks. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21(3), 1481-1507.
- Zhang, S. Y., Jiang, J. Z., & Neild, S. (2016, September). Passive vibration suppression using inerters for a multi-storey building structure. In *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 744, No. 1, p. 012044)*. IOP Publishing.
- Zhang, Z., Chen, B., & Hua, X. (2023). Closed-form optimization of tuned mass-damper-inerter (TMDI) in flexible structures. *Journal of Building Engineering*, 72, 106554.
- Zhou, S., Huang, J., Yuan, Q., Ma, D., Peng, S., & Chesne, S. (2022). Optimal Design of Tuned Mass-Damper-Inerter for Structure with Uncertain-but-Bounded Parameter. *Buildings*, 12(6), 781.
- Zhou, S., Jean-Mistral, C., & Chesne, S. (2019). Influence of inerters on the vibration control effect of series double tuned mass dampers: Two layouts and analytical study. *Structural Control and Health Monitoring*, 26(10), e2414.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

4801220032-Yaren AYDIN

ORJİNALLIK RAPORU

%**8**

BENZERLİK ENDEKSİ

%**7**

İNTERNET KAYNAKLARI

%**3**

YAYINLAR

%**4**

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%3
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
3	www.mdpi.com İnternet Kaynağı	%1
4	ouci.dntb.gov.ua İnternet Kaynağı	<%1
5	nek.istanbul.edu.tr:4444 İnternet Kaynağı	<%1
6	www.engineeringscience.rs İnternet Kaynağı	<%1
7	ebin.pub İnternet Kaynağı	<%1
8	acikerisim.msgsu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
9	mail.easychair.org İnternet Kaynağı	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

- Etik Kurul izni gerekmektedir.
- Etik Kurul izni gerekmemektedir.

Yaren AYDIN



KURUM İZİNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

- Kurum izni gerekmektedir.
- Kurum izni gerekmemektedir.

Yaren AYDIN

