



T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



## YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YAKIN FAY DEPREM HAREKETLERİ ETKİSİ ALTINDAKİ  
YAPILAR İÇİN KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN PERFORMANSI**

**Aikerim AYDIN**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**İnşaat Mühendisliği Programı**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Gebrail BEKDAŞ**

**Mayıs, 2016**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 16.05.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Jürisi**



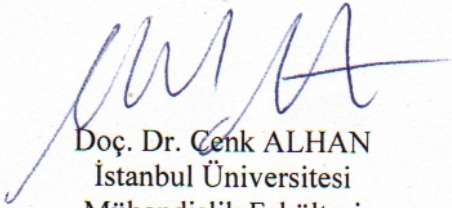
Doç. Dr. Gebrail BEKDAŞ (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



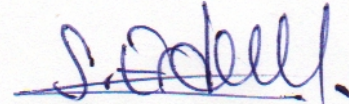
Prof. Dr. Yusuf Cengiz TOKLU  
Okan Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Cenk ALHAN  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Savaş ERDEM  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik



20.04.2016 tarihli resmi gazetede yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi'nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

## ÖNSÖZ

Yakın fay deprem hareketleri etkisi altındaki yapılar için kütle sönümleyicilerin performanslarının incelenmesini amaçladığımız tezimin her aşamasında derin bilgi ve deneyimiyle beni yönlendiren, bilgi, yardım ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Gebrail Bekdaş'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Dr. Sinan Melih Niğdeli'ye ve aileme destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Mayıs 2016

Aikerim AYDIN



# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ .....	viii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY .....	xiii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. TEZİN AMACI .....	2
1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
<b>2. GENEL KISIMLAR .....</b>	<b>12</b>
2.1. YAKIN FAY HAREKETİ .....	12
2.2. KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLİ KESME BİNALARININ HAREKET DENKLEMLERİ.....	15
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM .....</b>	<b>19</b>
3.1. ARMONİ ARAŞTIRMA ALGORİTMASI.....	21
3.2. ÖĞRETME ÖĞRENİM TABANLI OPTİMİZASYON.....	23
3.3. ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI.....	25
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>27</b>
4.1. ARMONİ ARAŞTIRMA ALGORİTMASI SONUÇLARI.....	28
4.2. ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI SONUÇLARI.....	30
4.3. ÖĞRETME ÖĞRENİM TABANLI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ SONUÇLARI.....	31
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>33</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>35</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>45</b>
EK.1 Bina 1'in son katının Durum 1 için yer değiştirme grafiği.....	45
EK.2 Bina 2'in son katının tüm durumlar için yer değiştirme grafiği .....	46
EK 3. Bina 3'ün son katının tüm durumlar için yer değiştirme grafiği. ....	47

EK 4. Bina 4'ün son katının Durum 1 için yer değiştirme grafiği.....	48
EK 5. Bina 1'in son katının Durum 2 ve 3 için yer değiştirme grafiği.....	49
EK 6. Bina 4'ün son katının Durum 2 ve 3 için yer değiştirme grafiği.....	50
EK 7. Bina 1'in son katının Durum 1 için toplam ivme grafiği.....	51
EK 8. Bina 2'nin son katının tüm durumlar için toplam ivme grafiği.....	52
EK 9. Bina 3'ün son katının tüm durumlar için toplam ivme grafiği.....	53
EK 10. Bina 4'ün son katının Durum 1 için toplam ivme grafiği.....	54
EK 11. Bina 1'in son katının Durum 2 ve 3 için toplam ivme grafiği.....	55
EK 12. Bina 4'in son katının Durum 2 ve 3 için toplam ivme grafiği.....	56
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>57</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 1.1: Berlin televizyon kulesi, Berlin.....	7
Şekil 1.2: LAX theme kulesi, Los Angeles [38].....	8
Şekil 1.3: Taipei 101 binası ve kullanılan kütle sönümleyicisi. ....	9
Şekil 2.1: Doğrultu ve sıçrama titreşimleri [18]. ....	14
Şekil 2.2: Kütle sönümleyicili kesme binası. ....	17

## TABLO LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Tablo 1.1:</b> Frekans ve sönüm oranı denklemleri. ....	10
<b>Tablo 2.1:</b> Sismik kaynak tipleri [63]. ....	13
<b>Tablo 4.1:</b> 10 katlı kesme binasının özellikleri. ....	27
<b>Tablo 4.2:</b> Armoni araştırma algoritması için optimum sonuçlar. ....	28
<b>Tablo 4.3:</b> Armoni Araştırma algoritması için maksimum sonuçlar. ....	29
<b>Tablo 4.4:</b> Çiçek tozlaşma algoritması için optimum sonuçlar. ....	30
<b>Tablo 4.5:</b> Çiçek tozlaşma algoritması için maksimum sonuçlar. ....	31
<b>Tablo 4.6:</b> Öğretme ve öğrenim optimizasyon yöntemi için optimum sonuçlar. ....	32
<b>Tablo 4.7:</b> Öğretme ve öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi için maksimum sonuçlar. ....	32



## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$a_g(t)$	: Yer ivmesi
$C$	: Yapının sönüm matrisi
$c_a$	: Kütle sönümleyicinin sönüm katsayısı
$c_i$	: $i$ 'inci katın sönüm katsayısı
$d_g(t)$	: Yerin yerdegistirmesi
$f$	: Amaç fonksiyonu
$f$	: Faz açısı
$K$	: Yapının rijitlik matrisi
$k_a$	: Kütle sönümleyicinin rijitlik katsayısı
$k_i$	: $i$ 'inci katın rijitlik katsayısı
$L_d$	: Levy uçuşu random fonksiyonu
$M$	: Yapının kütle matrisi
$m_d$	: Kütle sönümleyicinin kütlesi
$m_i$	: $i$ 'inci katın kütlesi
$M_x$	: Yapının $x$ yönünde kütle matrisi
$M_y$	: Yapının $y$ yönünde kütle matrisi
$n$	: Yakın fay denklemlerinde salınım sayısı
$SR$	: Kayma oranı
$t$	: Zaman
$TF_{n(w)}$	: $n$ kat ivme transfer fonksiyonu
$TF_{r\theta}$	: $r\theta$ yönünde transfer fonksiyonu
$TF_y$	: $y$ yönünde transfer fonksiyonu
$T_i$	: Yapının $i$ 'inci periyodu
$T_p$	: Yakın fay titreşiminin periyodu
$V$	: Birim vektör
$V_g(t)$	: Yer hızı
$v_{min}$	: Max birim vektör
$v_{min}$	: Min birim vektör

$V_p$	: Maksimum tepe yer hızı
$V_{yeni}$	: Yeni birim vektör
$\dot{x}(t)$	: Yapının hız vektörü
$\ddot{x}(t)$	: Yapının ivme vektörü
$x(t)$	: Yapının yerdegistirme vektörü
$\xi$	: Sönüm oranı
$M_w$	: Maksimum moment büyüklüğü
$\phi$	: Doğrultu açısı
$\omega_p$	: Yakın fay titreşiminin frekansı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>ABC</b>	: Artificial bee colony
<b>ACO</b>	: Ant colony optimization
<b>ER</b>	: Elektroeolojik
<b>FPA</b>	: Flower pollination algorithm
<b>GA</b>	: Genetic algorithm
<b>HMCR</b>	: Harmony memory considering rate
<b>HMS</b>	: Harmony memory search
<b>HS</b>	: Harmony search
<b>PAR</b>	: Pitchadjusting rate
<b>PID</b>	: Proportional integral derivative
<b>PSO:</b>	: Particle swarm optimization
<b>TF</b>	: Transfer fonksiyonu
<b>TLBO</b>	: Teaching learning based optimization
<b>TMD</b>	: Tuned mass dampers

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### YAKIN FAY DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ YAPILAR İÇİN KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLERİN PERFORMANSI

**Aikerim AYDIN**

**İstanbul Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Doç. Dr. Gebrail BEKDAŞ**

Yakın fay deprem hareketleri yüksek periyotlu ve genlikli darbe tipi titreşimler içermektedir. Bu titreşimlerin adları doğrultu ve sıçrama titreşimleridir. Bu titreşimler sonucunda yapılarda hasara neden olan etkiler oluşmaktadır. Bu çalışmanın amacı, bu titreşimlere göre optimum olarak ayarlanmış kütle sönümleyicisi özelliklerinin araştırıp, çeşitli periyotlu tek serbestlik dereceli ve çok katlı yapıları için titreşimlerin azalmasının sağlanmasıdır.

Bu çalışmada kullanılan optimizasyon yöntemleri, doğadan ilhamla geliştirilmiş ve metasezgisel algoritmalar olarak adlandırılan yöntemlerdir. Çalışma kapsamında armoni araştırma algoritması, öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi ve çiçek tozlaşma algoritması olmak üzere üç metasezgisel algoritma kullanılmıştır.

Optimizasyon sonucunda tasarım değişkenleri olan kütle sönümleyicisinin kütlesi, periyodu ve sönüm oranı bulunmaktadır. Optimizasyon işleminde üç adet amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Bu amaç fonksiyonları 1) maksimum yer değiştirme, 2) kütle sönümleyicisinin kollarının maksimum uzaması ve 3) ivme transfer fonksiyonu ile ilgili olup, algoritma içinde elemeler maksimum yer değiştirmeye göre yapılmaktadır.

Sayısal örnek olarak periyotları 1.5s, 2.0s ve 2.5s olan üç adet tek serbestlik dereceli sistem ve 10 katlı kesme binasının üstünde bulunan kütle sönümleyici için optimum değerler aranmıştır. Ayrıca, maksimum sönüm oranının 3 farklı durumu incelenmiştir. Optimizasyon esnasında 1.5s, 2.0s ve 2.5s periyotlu tepe hızı 200 m/s olan doğru ve sığrama titreşimleri kullanılmıştır.

Sonuç olarak, tüm algoritmalar optimum sonuçların bulunmasında etkilidir fakat sürü tabanlı algoritma olan öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi ve çiçek tozlaşma algoritmaları kesin sonuçların bulunmasında armoni araştırma algoritmasına göre üstündür.

Mayıs 2016, 71 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** yakın fay, metasezgisel algoritmalar, optimizasyon, ayarlı kütle sönümleyici



## **SUMMARY**

### **M.Sc. THESIS**

#### **PERFORMANCE OF TUNED MASS DAMPER FOR STRUCTURES UNDER NEAR-FAULT GROUND MOTIONS**

**Aikerim AYDIN**

**İstanbul University**

**Institute of Graduate Studies in Science and Engineering**

**Department of Civil Engineering**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ**

Near fault earthquake motions contain impulsive vibrations with long period and big amplitude. The names of these vibrations are directivity pulses and flint steps. As the results of these vibrations, the effects causing damages on structures are occurred. The aim of this study, is to reduce the vibrations of single degree of freedom structures with various periods and a 10 story shear building by investigating optimally tuned mass dampers for these types of vibrations.

The optimization methods used in this study are improved by inspired by nature and named as metaheuristic algorithms. In the study, 3 metaheuristic algorithms called harmony search algorithm, teaching learning based optimization and flower pollination algorithm are used.

At the end of the optimization, the design variables such as mass, period and damping ratio of mass damper are found. There are 3 objective functions in the optimization process. The functions are related with 1) maximum displacement, 2) maximum stroke of mass damper and 3) acceleration transfer function and the elimination are done according to maximum displacements.

As the numerical example, optimum values of mass dampers positioned on 3 single degree of freedom system with 1.5s, 2.0s and 2.5s period and a 10 story shear building are searched. Also, 3 different cases of maximum damping ratios are investigated. During the optimization process, directivity pulses and flint steps with 1.5s, 2.0s and 2.5s period and 200 m/s peak ground velocity are used.

As a conclusion, all algorithms are effective on finding the optimum results, but swarm based algorithm such as teaching learning based optimization and flower pollination algorithms are better in finding precise optimum solutions.

May 2016, 71 pages.

**Keywords:** near fault, metaheuristic algorithms, optimization, tuned mass dampers



## 1. GİRİŞ

Yapılar doğal etkiler (rüzgâr, deprem gibi) ve insanların oluşturduğu yapay etkilerin tesiri altında oluşan titreşimlerle yer değiştirmeye zorlanırlar. Günümüzde deprem etkisi altındaki yapılar için geliştirilen kontrol sistemleri bulunmaktadır ve bu tür sistemlerin tasarımında geçmiş deprem kayıtlarını ve bölge öngörülerine göre belirlenen yapay titreşimler kullanılmaktadır. Titreşim sönümleyen kontrol sistemleri dışarıdan tahrikli olacağı gibi, yapıya doğal olarak sönümleme kazandıran elemanlar eklemek ile de mümkündür. Temel olarak aktif ve pasif kontrol sistemleri kullanılarak yapıların titreşimlere karşı sönümlenmeleri sağlanmaktadır. Titreşimlerin harmonik olmayan hareketleri yapıları düzensiz aralıklarla hareket ettirir. Bu tip sistemlerde aktif ve pasif kontrol sistemleri ile oluşan yer değiştirmeler ve dolayısıyla kesit tesirleri azaltılabilir.

Aktif kontrol sistemlerinde yapıların hareketlerine göre anlık ölçümlerle sisteme girdi olarak yansıtılan titreşim değerlerine karşılık verilmektedir. Bu sistemler daha önceden belirlenen bir referans değeri kabul ederek, yapıda bu değer üzerinde dış etkenlerin titreşime neden olmasıyla devreye girmektedirler. Aynı zamanda kullanılan kontrolcü algoritmasına göre titreşimin verileri anlık olarak kontrol sinyaline dönüştürülerek yapının titreşiminin sönümlemesi sağlanır. Aktif kontrol sistemleri olan yapılarda klasik inşa elemanları olan kiriş, kolon, perde gibi elemanların deforme olmadan titreşim yüküne direnç gösterebilmelerini sağlamaktadır. Pasif kontrol sistemleri, mevcut yapılmış yapılarda daha çok kullanılmaktadır. Bu kontrol sistemleri mevcut yapıya sönümleme oranı çok daha fazla olan elemanlar eklenerek yapılabilmektedir. Örneğin, çelik çapraz kirişler ve kauçuk taban sönümleyicileri bu tür elemanlara örnek gösterilebilir.

Pasif kontrol sistemlerinin avantajı, yeni inşa edilen yapılarda aktif kontrol sistemi ile birlikte kullanıldığında yani karma kontrol sistemlerinde daha da artmaktadır. Yakın fay deprem hareketleri etkisi altındaki yapılar için kontrol sistemlerinin performansı, yakın fay hareketleri etkisiyle oluşan yüksek hızdaki düzensiz titreşimlerden dolayı daha da önem arz etmektedir. Tek başına aktif ya da pasif kontrol sistemleri kullanılması yeterli



olmayabilir. Aktif kontrol sistemlerinden aktif kütle sönümleyici sistemler anlık değişkenlere göre titreşim hareketini kararlı hale getirebilir, ancak hem dışardan tahrikli olması sebebiyle hem de fazla sönümleme ya da yükleme yapma durumunda, yapının stabilitesi bozulabilir. Aktif kontrol sistemlerinin uygulama bedelleri de pasif kontrol sistemlerine göre pahalıdır. Pasif kontrol sistemlerinin bilinen en önemli türü pasif kütle sönümleyicilerdir. Yarı aktif kontrol sistemleri de dışarıdan tahrikli sistemlerdir ancak elektrik kesintilerinde kendi güç kaynaklarıyla çalışabilir.

### **1.1. TEZİN AMACI**

Kütle sönümleyici sistemlerin gelişimi, performansı dış etkenlerin tesirlerine karşı incelenmiş ve yeni tespitlerle teknolojik olarak her gün yenilenmektedir. Depremlerin yıkıcı etkisini bir anda artırabilecek olan yakın fay hareketleri etkisinde olan yapıların kesit tesirleri oldukça artmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalarda kütle sönümleyicilerinin performansları özel olarak yakın fay hareketi etkisi altındaki depremler için yoğun bir şekilde incelenmemiştir.

Bu tezde, çeşitli metasezgisel yöntemler kullanılarak kütle sönümleyicilerinin optimum ayarlanması yakın fay yer hareketleri etkisinde incelemektedir.

### **1.2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Bu bölümde yapıların kontrolü ile ilgili çalışmalardan bahsedilmiştir. Bu çalışmaların bir kısmında yakın fay yer hareketleri dikkate alınmıştır. Bakioğlu ve Aldemir, Taylor serileri metodu ve Kalman filtreleme tekniklerinin kullanarak yakın gelecekte oluşacak depremleri önceden tahmin etmeye çalışan bir optimum kontrol algoritması geliştirmişlerdir [1].

Ribakov ve Gluck, elektroeolojik sıvı, ER (elektrik etkisi ile form değiştirebilen akıllı sıvı) ile çok katlı bir yapının aktif kontrol sistemini incelemişlerdir. Çeşitli katlardaki karkas yapıların optimum sönümleme ve minimum ER sistemi ile depremlere karşı sönümleme oranlarını sayısal analiz yöntemleriyle hesaplayıp, pasif kontrol sistemine göre kıyaslama yapmışlar [2].

Bakioğlu ve Aldemir, yakın gelecekte oluşacak deprem kayıtlarını tahmin ederek ikinci derece geliştirilmiş regülatör kontrolü ile bir sistemin stabilite derecesini araştırmışlar ve deprem tahmini ile stabilite derecesinin ilgisini belirtmişlerdir [3].

Spencer, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin yapılara etkilerini çeşitli kontrol algoritmaları kullanarak lineer olmayan yapılarda uygulanacak sönümlemenin maliyetlerini incelemiştir. ABD ve diğer ülkelerde olan bina modellerine uygulanan kontrol sistemlerinin fizibilite ve tecrübe edilmeleri ölçeklendirme ile test etmiştir, avantaj ve dezavantajlarını belirtmiştir [4].

Niğdeli ve Boduroğlu, tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli yapılarda aktif tendon kontrol sistemi ile deprem etkisini azaltmak için çalışma yapışlardır [5].

Miller ve diğerleri, çok büyük yapılarda konforlu ve güvenli bir şekilde titreşimi kontrol etmek için araştırma yapmışlardır. Simülasyon, elektronik ve analog testler ve tecrübeleriyle algoritmalar geliştirerek büyük yapıların önemli etkilere karşı deplasman hareketlerini ve fizibilitelerini belirtmişlerdir [6].

Jangid ve Kelly, pasif izolatörler ile yakın fay hareketi etkisi altındaki depremlerin tesirlerini azaltmak için yapıya müdahale edilecek konumların ve bu sistemin olumlu ve olumsuz olabilecek yanlarını incelemişlerdir [7].

Gözükızıl, ani optimal kapalı kontrol algoritmasını kullanarak deprem etkisindeki yapının kat yer değiştirmelerini üç adet örnek için kontrol etmiştir. Yapıların çok serbestlik dereceli ve deprem kuvveti bir doğrultuda idealize edilmiştir. Yapı kütlelerinin, rijitliğin ya da sönüm oranının artması ile oluşan yer değiştirmeler azalırken, uygulanan kontrol kuvvetinin de artmasına sebep olmuştur [8].

Karabay, farklı model, oran ve katlarda uygulanan kurşun/kauçuk içeren pasif kontrol sisteminin yapılar üzerindeki etkisini incelemiş ve 7 katlı bir yapının El Centro depremi altında elde edilen yer değiştirme verilerinin azalma miktarlarını hesaplayarak belirtmiştir [9].

Gluck, Reinborn, Levy ve Gluck, geri beslemeli aktif kontrol sistemlerin tüm durumların lineer kombinasyonu için pasif cihazların yeterli olmadığını belirtmiş ve çeşitli mühendislik yolları ile diyagonal olmayan etkileşimleri eleyen bir metot geliştirmişlerdir [10].

Constantinou ve Symans, vizkoz sıvı sönümleyicileri incelemiştir. Bir ve üç katlı çelik yapıların vizkoz sönümleyicili ve sönümleyicisiz deprem simülasyonunu yaparak, sıvının davranışının matematiksel modelini araştırmışlardır ve bulunan matematiksel model yüksek sönümleme kaydedilmiştir [11].

Yang, Akbarpour, ve Ghaemmaghami, yer hareketlerinin titreşimlerinden korunmak ve yapılardaki yer değiştirme hareketinin azaltılması için klasik optimum sistemini hazırlayan Riccati denklemlerinin tatminkar olmadığını belirtmişlerdir. Yapılara kolayca uygulanabilecek olan yeni açık çevrim ve kapalı çevrimli algoritmaları nümerik örneklerle tanıtmışlardır [12].

Aldemir, Bakioğlu ve Akhiev, kısa sürede gerçekleşebilecek olan depremlerin tahminlerine dayanan kapalı açık çevrimsel kontrol algoritmaları geliştirmişlerdir [13].

Lavan ve Levy, lineer hareketlerle sönümleme yapılacağını ön görülen çok katlı yapıların vizkoz sıvı içeren çapraz kiriş sönümleyiciler ile hareketinin minimize edilmesini incelemiştir. Kesme kuvvetine maruz olan iki katlı ve 10 katlı yapıyı endüstriyel karkaslar için yirmi deprem kaydı altında incelemiş ve sönümlemenin çok katlı yapıda hedeflenenden daha az olduğunu tespit etmişlerdir [14].

Jangid, doğrusal olmayan temel izolasyonu sistemli çok katlı yapılarda minimum ivme elde edilmesi için optimum sönüm üzerinde araştırmalar yapmıştır [15]. Jangid, çok katlı sürtünmeli sarkaç mesnetli binaları deprem hareketlerine karşı analizini yapmış ve incelemelerde bulunmuştur [16]. Jangid, yakın fay hareketleri altındaki çok katlı yapıların kurşun kauçuk izolasyonlarla pasif kontrolü sonucunda sönümleme ve yapıların kesme kuvvetine karşı davranışını araştırmıştır. Bu uygulama köprülerde de incelemiş ve tabliyelerin kesme yükü altında ivmesinin minimuma indiğini tespit etmiştir [17].

Niğdeli, aktif tendon kontrol sisteminin düzlemsel ve burulma düzensizliği olan uzay yapılarına etkisini yakın fay hareketi etkisi altındaki depremler için incelemiştir. Hareket denklemlerini Matlab ile modellemiş, A, B ve C olmak üzere üç durumda deprem etkisi altındaki yapılarda aktif tendon kontrol sisteminin başarılı ve uygulanabilir bir yöntem olduğunu belirtmiştir [18].

Önder, yakın fay etkisinin yapılarda neden olduğu büyük yer değişimlerinin sıvı sönümleyiciler kullanarak %21 ~ %33 arasında azaldığını, sismik izolatörlü köprü ve ankastre tabanlı bina üzerine uyguladığı viskoz sönümleyicilerle dört farklı şekilde çözmüş ve yapı davranışlarını incelemiştir [19].

Hasgür ve Umut, yakın fay hareketleri etkisi altındaki altı açıklıklı bir köprüye ve beş katlı bir binaya uygulanan sıvı sönümleyicilerin ve kurşun çekirdekli kauçuk izolatörlerin birlikte ve ayrı olmak üzere incelemiş ve yapıların davranışlarını karşılaştırmışlardır [20].

Pourzeynali, Lavasani ve Modarayi, bulanık mantık ve genetik algoritmaları birlikte kullanarak aktif kontrollü sönümleyicilerin uygulandığı yapılarda depreme karşı en iyi sönümlemenin hesaplamasını incelemiştir [21].

Pekgökgöz, yakın fay etkisinin sismik taban yalıtımlı yapıların yalıtım seviyesinde neden olduğu büyük yerdeğiştirmelerin, yarı aktif sönümleyiciler ve bulanık mantık yöntemi kullanılarak azaltılmasını amaçlamıştır [22].

Torunbalcı ve Özpalanlar, birçok örnek ele alarak, altı katlı bir yapının yerdeğiştirmesini, beş farklı yer hareketi altındaki tesirlere karşı ankastre temel, kauçuk sönümleyici içeren mesnet, sönümleme amaçlı olarak yapılan ilave kat ve viskoz sönümleyici içeren mesnet ile minimuma indirmeye çalışmışlardır [23].

Ali ve Ramaswamy, bulanık mantık algoritmasına sahip olan ve yarı aktif olarak çalışan manyetik reolojik sönümleyiciler ile üç katlı bir yapı için deprem etkisi altındaki tesirleri azaltırken, ayarlanabilir voltajı sayesinde titreşimin yumuşak bir geçişle diğer sönümleyicilere aktarılabilirdiğini savunmuşlardır [24].

Komodromos, Polycarpou, Papaloizou ve Phocas, deprem etkisi ile sismik izolatörlü yapıların çarpışması sonucunda orta katlarda ve en üst katta yarattığı kalıcı plastik deformasyonu ve çeşitli etkilerini birçok örnek üzerinde araştırmışlardır [25].

Güçlü, deprem etkilerine karşı kayma modlu ve orantı integral türev (proportional-

integral-derivative controller; PID) kontrollü yapılar üzerinde çalışmış, PID kontrol sistemlerinin yaygın olarak bilinmesi ve kullanılması ile yapıların deprem etkisindeyken titreşimlerinin kolayca azaltılabileceğini savunmuştur [26].

Güçlü ve Yazıcı, aktif kontrollü kütle sönümleyicili olan çok serbestlik dereceli bir yapı için bulanık mantık algoritması ile PID kontrol sisteminin tasarımını yapmışlardır. On beş katlı bir yapı için PID kontrol uygulanan yapının yerdeğiştirme ve ivme hesaplarını aktif kontrollü kütle sönümleyici sistemi kullanılarak ve kullanmadan yaparak sonuçları karşılaştırmıştır [27].

Fardadi, Jabbari ve Zareian, tekrar ayarlanabilir yarı aktif cihazların yer hareketlerini ve yapıların hasarlanmasını azaltabileceğini, buna karşın hassas yer hareketi parametrelerinin esaslı kaynaklarının az olmasının bu avantajı azaltabileceğini bildirmişlerdir. İki grupta 40 farklı yer hareketini inceleyerek maksimum ivmede %25, bağıl yer değiştirmede %60 civarında azalma hesaplamışlardır [28].

Chey, Chase, Mander ve Carr, bölümlenen üst katları pasif kütle sönümleyici olarak kullanmış ve ayrıca yapıda yarı aktif viskoz sönümleyici kullanarak, 10+2 ve 8+4 olarak modellenen çok katlı yapılarda pasif ve yarı aktif sönümleyici sistemlerin yer hareketlerine göre performansını değerlendirmişlerdir [29]. Chey, Chase, Mander ve Carr, 30 farklı deprem olasılığı yükü altında üst katları bölümlenerek ve pasif kütle sönümleyici olarak düşünülen yapılara ayarlanabilir yarı aktif sönümleyiciler de uygulanarak performanslarını tespit etmişlerdir [30].

Chey, Chase, Mander ve Carr, pasif ve yarı aktif viskoz sönümlemeli kütle sönümleyicileri içeren iki serbestlik dereceli sistemleri incelemiş ve araştırma sonuçlarına göre lineer olmayan yer hareketlerine karşı gerçek çok serbestlik dereceli yapıların tasarımının temel alınması gerektiğini savunmuşlardır [31].

Occhiuzzi, viskoz sönümleyici yapılar için modal sönümleme oranını, klasik olmayan sönümleme şemalarına göre ve bilinen diğer yöntemler için hesaplamıştır [32].

Takewaki ve Yoshitomi, düzlem çerçeve yapılar için optimum sönümleyici yerini bulmak için etkili ve sistematik bir prosedür önermişlerdir [33]. Takewaki, yer değiştirme ve ivmelenmenin kontrol edilmesi için, rijitlik ve sönümlemeye bağlı bir optimizasyon

yaklaşımı sunmuştur. İlk adım olarak belirli bir toplam rijitlik ve sönüm kapasitesi için optimum yapı dizaynı ile başlayıp, ikinci adım çeşitli kapasite setleri için optimizasyon yapmıştır [34]. Takewaki, yapının transfer fonksiyonunun minimize edilmesi için optimum sönümleyici yerleşimini incelemiştir. [35]. Lang ve Takewaki, çok serbestlik dereceli sistemlerin kontrolünde ilave lineer olmayan viskoz sönümleyicilerin tasarımının ve yerlerinin optimum belirlenmesi için çıkış frekansı tepki fonksiyonu konseptine dayanan bir yöntem geliştirmiştir. [36].

Kütle sönümleyicilerinin ilk hali Frahm [37] tarafından geliştirilmiş olup, tüm mekanik sistemlerin titreşimlerinin sönümlenmesinde kullanılmaktadır. Günümüzde kütle sönümleyiciler birçok yapıda kullanılmakta olup, bu yapılarda rüzgar, deprem gibi zamana bağlı dış etkilerin azaltılması amacıyla eklendiği bilinmektedir. Şekil 1.1’de kütle sönümleyicisi içeren Berlin Televizyon kulesi görülmektedir. Bu yapıya kütle sönümleyicisi rüzgar kaynaklı titreşimlerin azaltılması amacıyla sonradan eklenmiştir.

Kütle sönümleyiciler sismik güçlendirme amacıyla da kullanılmaktadır. Bu tür uygulamaya Los Angeles Havaalanında bulunan Lax Theme kulesi (Şekil 1.2) örnek olarak gösterilebilir [38].



**Şekil 1.1:** Berlin televizyon kulesi, Berlin.

Bu örneklere ek olarak dünyanın çeşitli bölgelerinde farklı amaçlar için kütle sönümleyicisi uygulamalarına rastlanmaktadır. Bunlar içerisinde Kanada Vancouver’da

sıvı kolon kütle sönümleyicilerinin kullanıldığı One Wall Centre, Çin Şanghay'da Shanghai World Financial Center ile Shanghai Tower, Hindistan Delhi'de 90m kotundan 50 ton ağırlıklı kütle sönümleyicinin kullanıldığı ATC Tower Delhi Airport, İran Tebriz'de World Trade Center ve Tahran'da Tehran International Tower, İrlanda Dublin'de rüzgar fırtınası esnasında aerodinamik stabilitenin sağlanması amacıyla kütle sönümleyicisinin kullanıldığı Dublin Spire, Japonya Honshu ve Shikoku arasında yer alan Akashi Kaikyo köprüsü, Tokyo Skytree ile Yokohama Landmark Tower, Rusya'da deniz sondajı platformu Sakhalin-I, Tayvan 660 ton ağırlığı ile dünyanın en büyük ve ağır kütle sönümleyicisinin kullanıldığı Taipei 101, Birleşik Arap Emirlikleri Dubai'de 11 adet kütle sönümleyici kullanılan Burj al-Arab, Amerika Birleşik Devletleri New York'ta Bloomberg Tower, 1977'de gökdelenlerde titreşimlerin engellenmesi amacıyla ilk kütle sönümleyicisi uygulamasının yapıldığı Citigroup Center, Random House Tower ile Trump World Tower, Philadelphia'da 1300 ton ağırlığında dünyanın en büyük sıvı kolon kütle sönümleyicinin kullanıldığı Comcast Center, Boston'da John Hancock Tower, San Francisco'da sıvı kütle sönümleyicilerinin ilk kez kullanıldığı One Rincon Hill South Tower, Chicago'da Park Tower ve Birleşik Krallıkta London Millennium Bridge, One Canada Square sayılabilir [39].

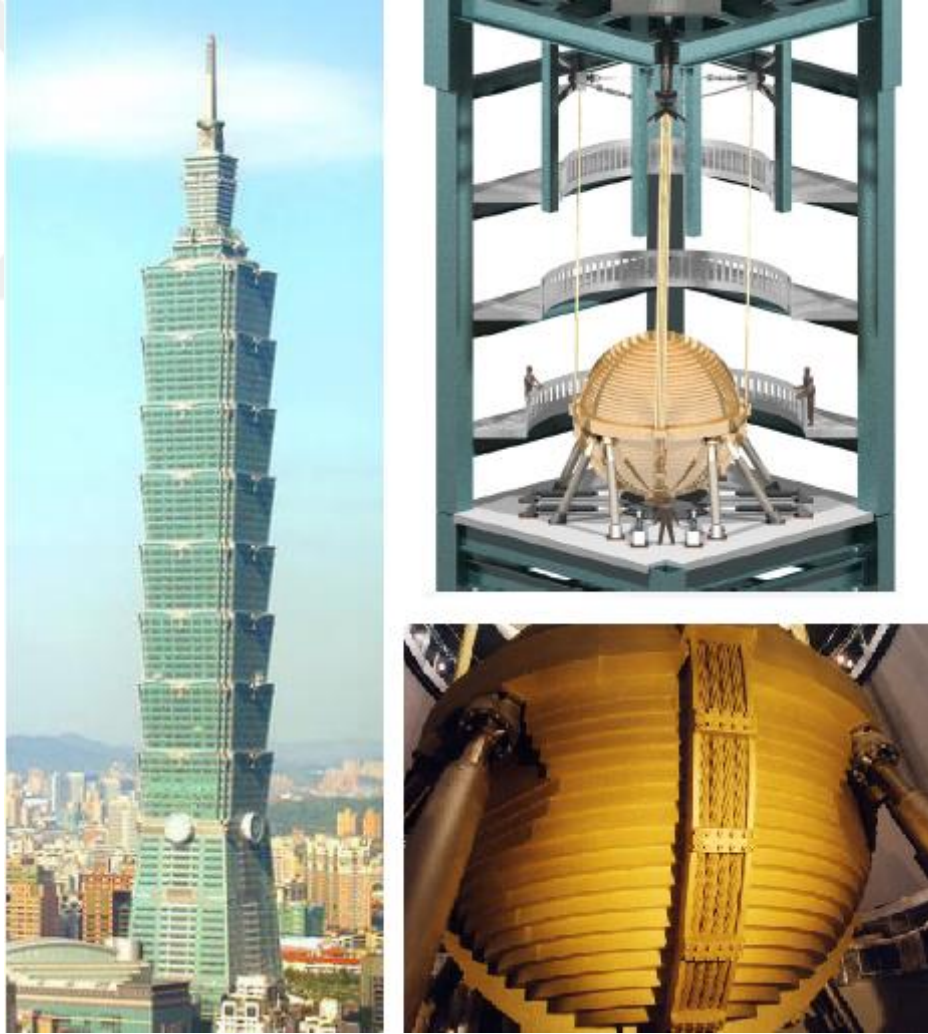


**Şekil 1.2:** LAX theme kulesi, Los Angeles [38].



Bu açıklanan yapılarda bulunan kütle sönümleyicileri Frahm tarafından geliştirilen icattan hem teknik hem de boyut yönünden çok farklılıklar içermektedir. Kütle sönümleyicilerin ilk hali sönüm içermemektedir ve bu nedenlerden dolayı deprem, rüzgar gibi değişik frekanslar içeren titreşimler için uygun olmamaktadır. Ormondroyd and Den Hartog [40] ilk sisteme sönümleyicileri eklenmesiyle kütle sönümleyicilerinin yapılar için kullanımı olası olmuştur.

Kütle sönümleyicilerinin yeterli derecede etkili olması ancak sönümleyici parametrelerinin doğru olarak (en uygun veya optimum) ayarlanması ile mümkündür. Optimum frekans oranı ( $f_{opt}$ ) ve sönüm oranı ( $\xi_{opt}$ ) ile ilgili çalışmalar yapılmış ve çeşitli denklemler önerilmiştir [41-45]. Bu denklemlerden bazıları Tablo 1.1'de sunulmuştur.



**Şekil 1.3:** Taipei 101 binası ve kullanılan kütle sönümleyicisi.

**Tablo 1.1:** Frekans ve sönüm oranı denklemleri.

Metot	$f_{opt} = \frac{w_{d,opt}}{w_s}$	$\xi_{d,opt} = \frac{c_{d,opt}}{2m_d w_{d,opt}}$
Den Hartog [41]	$\frac{1}{1+\mu}$	$\sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)}}$
Warburton [42]	$\frac{\sqrt{1-(\mu/2)}}{1+\mu}$	$\sqrt{\frac{\mu(1-\mu/4)}{4(1+\mu)(1-\mu/2)}}$
Sadek ve diğ. [43]	$\frac{1}{1+\mu} \left[ 1 - \xi \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}} \right]$	$\frac{\xi}{1+\mu} + \sqrt{\frac{\mu}{1+\mu}}$

Önerilen denklemlerde optimum değerler kütle sönümleyicisi ve yapının kütlelerinin oranına ( $\mu$ ) göre elde edilmektedir.

Tek serbestlik dereceli sistemler için elde edilen denklemler, Sadek ve diğ. [43] tarafından çok serbestlik dereceli sistemler için düzenlenebileceği belirtilmiş ancak elde edilen sonuçların yaklaşık değerler verdiği vurgulanmıştır. Bu denklemlerde ayrıca yapının sönüm oranında ( $\xi$ ) dikkate alınmaması analiz sonuçları üzerinde etkili olmaktadır.

Sönümün dikkate alınması durumunda optimum parametrelere ait denklemler elde edilememektedir. Sadek ve diğ. [43] tarafından önerilen denklemler nümerik iterasyonlar sonucunda elde edilen sonuçlar uygun en iyi denklemin elde edilmesi ile bulunmuş ve böylelikle sönüm oranı dikkate alınmıştır.

Sadek ve diğ. [43] tarafından önerilen yöntem ile elde edilen optimum kütle sönümleyicisi parametreleri yaklaşık sonuçlar vermektedir. Daha detaylı optimum kütle sönümleyicisi değerlerinin bulunması nümerik yöntemler ile yapılacak iteratif analizler ile mümkündür. Yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanılan nümerik yöntemler genellikle metasezgisel algoritmalar olduğu anlaşılmaktadır.

Doğal olay veya süreçlerin matematiksel olarak ifade edilmesi sonucu ortaya konulan metasezgisel algoritmalar, mühendislik problemlerinde optimum sonuçlara ulaşmakta sıklıkla başvurulmuş etkili yöntemlerdir. Kütle sönümleyicilerinin optimizasyonu problemlerinde metasezgisel algoritmalar kullanılarak yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan metasezgisel algoritmalarından bazıları parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization; PSO) [45-46], genetik

algoritma (genetic algorithm; GA) [47-51], biyonik algoritma (bionic algorithm) [52], armoni araştırma algoritması (harmony search algorithm; HS) [53-55], karınca kolonisi optimizasyonu (ant colony optimization; ACO) [56], yapay arı kolonisi optimizasyonu (artificial bee colony; ABC) [57], öğretme öğrenim tabanlı optimizasyon (teaching learning based optimization; TLBO) ve çiçek tozlaşma algoritması (flower pollination algorithm; FPA) [59] gösterilebilir.

Soto ve Adeli, son zamanlarda bilimsel dergilerde yayınlanan makalelerdeki ayarlı kütle sönümleyicisi çalışmalarının araştırmasını yapışlardır. Dört kategoride yaptıkları araştırmalarında pasif, sıvı sönümleyicili, aktif ve karma sistemleri incelemişlerdir [60].



## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. YAKIN FAY HAREKETİ

Deprem sırasında bir bölgedeki dinamik hareketin türünü etkileyen birçok etken içerisinde depremin büyüklüğünün yanı sıra o yerin topoğrafik özellikleri, jeolojik yapısı ve yakın fay etkisi altında olması gibi faktörler de göz önüne alınmalıdır.

Yakın fay hareketleri deprem kaydının ölçüldüğü yerin kırılan faya olan uzaklığından ve fayın kırılma yönünden etkilenen, kendine has bir karakteri olan kuvvetli yer hareketidir. Faya yakın bölgelerdeki kuvvetli yer hareketleri büyük ölçüde fay geometrisinden ve fay yırtılma yönünden etkilenmektedir. Uzak yer hareketlerine kıyasla yakın fay hareketleri yüksek hız ve genlikte, yüksek periyot karakterlerine sahiptir. Yakın fay etkisi altında oluşan depremlerin mertebesi büyük olur ve yüksek enerjiler içerirler, yüksek miktarda kalıcı yer değiştirmeye neden olurlar [62].

Fay kırığından çok daha uzakta kaydedilen kayıtlardan oldukça farklı karakterlere sahip olan bu yer hareketleri hız-zaman kaydının başında büyük tekil vurumlar oluşturur ve özellikle sismik kaynakların yakınlarında bulunan yapılar için hasar vericidir [61].

Deprem fayına yaklaşık olarak 10-15 km uzaklıkta bulunan bölgelerde yüksek dereceli depremlerin neden olduğu yer hareketleri yakın fay hareketler kapsamındadır [18].

Yakın fay deprem hareketlerinin tipik özellikleri kalıcı yer değiştirmeleri, yüksek tepe yer ivmeleri ve uzun periyotlu yüksek tepe yer hızlarıdır. Fay yakını kuvvetli deprem hareketlerinin etkisi yapılar üzerinde sıradan kayıtlara göre çok daha büyüktür. Bu hareketlerin yer değiştirme ya da süneklik taleplerine neden olması ile 1971 San Fernando depreminden sonra, Northridge 1994 ve Kobe 1995 depremlerinde görülen hasarlar, mühendislerin araştırmaları sonucunda yakın fay bölgesinde olan yapıların, bu bölgenin dışında olan yapılara oranla daha fazla hasar gördüğünü kanıtlamıştır. Son yıllarda özellikle ülkemizde meydana gelen Erzincan 1992, Kocaeli, Düzce 1999 depremlerindeki bazı kuvvetli hareket deprem kayıtları yakın fay hareketli depremlere örnek olmak üzere kaynaklarda gösterilmektedir [20].

Deprem mertebelerine göre sismik hareketler A, B ve C olacak şekilde üç farklı şekilde kabul edilmiştir. Yüksek mertebeli deprem oluşturabilecek büyük fayları içeren ve mertebesi yedi veya daha büyük olabilecek depremler A tipidir. Yüksek mertebeli deprem oluşturacak kadar özellikli fayları bulunmayan ve aktivitesi az olan faylarla oluşabilecek en fazla 6.5 büyüklüğünde depremlere C tipi denir. Bu iki depremlerin dışında kalan özellikteki depremlere B tipi denir. Deprem kaynağı tipine ve uzaklığına göre, A tipteki depremler yerin altından 15km mesafeye kadar yakın fay hareketi, B tipi depremler ise yerin altından 10km mesafeye kadar yakın fay hareketi sayılır [63].

**Tablo 2.1:** Sismik kaynak tipleri [63].

Sismik Kaynak Tipleri	Maksimum moment büyüklüğü $M_w$	Kayma oranı, SR (mm/yıl)
A	$M_w \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	$6.5 \leq M_w < 7$	$2 \leq SR < 5$
C	$M_w < 6.5$	$SR < 2$

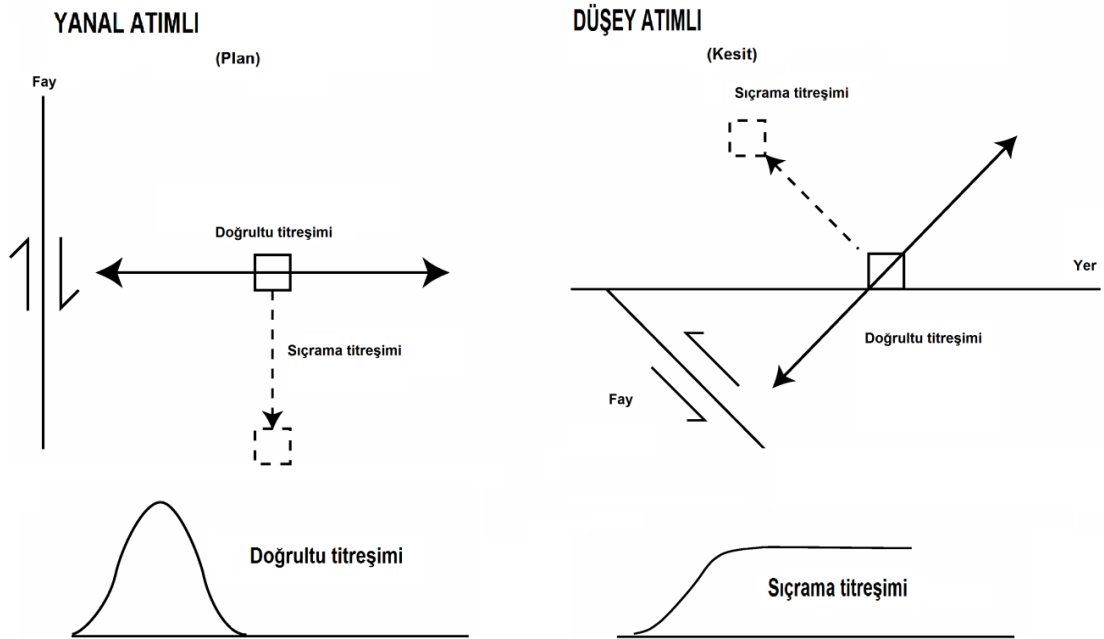
Yakın fay hareketleri etkisi iki tür titreşime sebep olmaktadır. Bunlar faya dik olan doğrultu titreşimleri ve faya paralel olan sıçrama titreşimleridir. Doğrultu titreşimleri büyük tepe hızı olan titreşimlerdir. Fayların normal bileşenlerinde olup kırılan fay kısa süreli ama büyük genlikli titreşim üretir. İleri doğrultu etkisi altındaki dik doğrultuda büyük ve önemli sıçrama titreşimi ise önemli hasara neden olabilecek, uzun periyotlu bir darbe etkisinin varlığını gösterecektir. Genellikle fayın kırılma hızı, kaynağa yakın olan zeminin kayma dalgası hızına yakın olduğu zaman geçerlidir. İleri yönlü titreşimlerin tersine bölgeden çıkan geri doğrultu titreşimi ve nötr titreşim uzun süreli ve az genlikli olur. Fay boyunca kalıcı yer değiştirmelerden sorumlu olan sıçrama titreşimi, yanıl atımlı faylarda fayın paralel bileşeninde, düşey atımlı faylarda fayın normal bileşeninde olur ve büyük tek yönlü hız titreşimleri meydana getirir [20].

Faydaki kırılma ve kaymanın doğrultu ve sıçrama titreşimleri ile belli bir bölgede olmakla beraber, kırılma ile kaymanın hızlarının birbirine çok yakın olması sismik enerjinin bölgeye çok kısa sürede ulaşmasına ve yüksek genlikli titreşimler oluşmasına neden olur. Bu tip titreşimlere de ileri doğrultulu titreşimler denilmektedir [18].

İleri yönlü titreşimlerde kırığın istasyona doğru ilerlemesi, faya dik bileşende uzun periyotlu enerjinin çoğalmasına, genliğin paralel bileşenden büyük olmasına ve daha kısa deprem süresine neden olmaktadır. İleri yönlenme etkilerinden etkilenen yakın fay hareketleri, deprem kayıtlarının başında hızı tekil titreşimlerle belirlenir ve darbe tipi tekil titreşimler içeren yakın fay yer hareketleri maksimum yer hızına sahiptir [61].

Güneş, Ulucan ve Erdoğan, deprem kayıtlarındaki yakın fay etkilerinin ileri ve öteleme yönlerindeki tespitlerine göre büyük atım periyotlu yer hareketlerinde, yapıların maksimum ivme yönünde hasar potansiyelinin daha yüksek olduğunu tespit etmiş, en hareketli yönlerin tespitinin önemli olduğunu bildirmişlerdir [64].

Şekil 2.1’de doğrultu ve sıçrama titreşimlerinin yerdeğiştirme grafikleri gösterilmiştir. Ayrıca yanal ve düşey atımlı faylara yönler gösterilmektedir.



**Şekil 2.1:** Doğrultu ve sıçrama titreşimleri [18].

Çeşitli çalışmalara da yakın fay hareketleri basitleştirilmiş [65-70]. Bu hareketlerden en çok kullanılanı Makris [66] tarafından geliştirilen dairesel dalga denklemleridir [71]. Bu çalışmada verilen Tip A denklemleri; Denklem (2.1)-(2.3) ve Tip B denklemleri ise Denklem (2.4)-(2.6) arasında verilmiştir. Bu denklemlerde  $a_g(t)$ ; yerin ivmesi,  $V_g(t)$ ; yerin hızı ve  $d_g(t)$  yerin yer değiştirmesi ifade etmektedir.  $V_p$ ,  $T_p$ ,  $\omega_p$  ve  $t$  sırasıyla tepe yer hızını, titreşim periyodunu, titreşim frekansını ve zamanı ifade etmektedir.

$$a_g(t) = \omega_p \frac{V_p}{2} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.1)$$

$$V_g(t) = \frac{V_p}{2} - \frac{V_p}{2} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.2)$$

$$d_g(t) = \frac{V_p}{2} t - \frac{V_p}{2\omega_p} \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.3)$$

$$a_g(t) = \omega_p V_p \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.4)$$

$$V_g(t) = V_p \sin(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.5)$$

$$d_g(t) = \frac{V_p}{\omega_p} - \frac{V_p}{\omega_p} \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (2.6)$$

Mevcut yakın fay deprem kayıtlarına göre tepe yer hızı ve periyot değerlerini ifade eden denklemler sunulmuştur. Somerville ve diğ. hem toprak hem kaya zeminler için periyot denklemleri önermişlerdir [72].

$$\text{Log}T_p = -2.02 + 0.346M_w \quad (2.7)$$

$$\text{Log}T_p = -3.17 + 0.5M_w \quad (2.8)$$

Cox ve Ashtord, doğrultu açısı ( $\phi$ ) ve depremin moment büyüklüğüne ( $M_w$ ) göre tepe yer hızı için Denklem (2.9)'u önermişlerdir.

$$\text{Log}(V_p) = 6.444 - 0.01870\phi - 5.022\text{Log}(M_w) \quad (2.9)$$

Verilen tepe yer hızı ve periyot denklemlerine göre, yakın fay denklemlerinin tepe yer hızlarının yaklaşık 200 m/s ve periyodun 2 s civarında olduğu anlaşılmaktadır.

## 2.2. KÜTLE SÖNÜMLEYİCİLİ KESME BİNALARININ HAREKET DENKLEMLERİ

Bu bölümde en üst katına pasif kütle sönmüleyicisi eklenmiş N katlı bir kesme binasını hareket denklemleri sunulmaktadır. Bir yapının birden fazla serbestlik derecesi ise ifade edilmesi için yapının birden fazla birbirine bağlı tek serbestlik dereceli sistem ile tanımlanabilir. Bu durumda her bir katın kütesinin tek bir noktada toplandığı kabulü ile



her katın bir serbestliği olduğu düşünülür. Bu sistemde kirişlerin hem aksenal hem eğilme rijitliklerinin sonsuz olduğu varsayımı ile her kat için hareket denklemi elde edilebilir. Bu tür yapılar kesme binası olarak adlandırıldılar.

Bu sistemler her ne kadar kesit tesirlerinin kritik kesitlerde tam olarak bilinmesi için yeterli olmasa da, yapı için uygun kütle sönümleyicisi özelliklerinin belirlenmesinde yapının etkin periyot değerlerinin büyük ölçüde benzerlik göstermesinden kullanılabilir ve mevcut çalışmalarda genellikle optimizasyonda süresinin uygulanabilir bir seviyeye indirilmesi için kullanılmaktadır [47, 53].

Şekil 2.2’de tepe noktasında  $m_d$  kütleli,  $k_d$  rijitlik sabiti ve  $c_d$  sönüm sabitli bir kütle sönümleyicisi bulunan N katlı ve serbestlik dereceli bir kesme binası gösterilmiştir. Bu N katlı yapıya kütle sönümleyicisinin yatay hareketinin serbestliği olan  $x_d$  eklendiğinde, yapı sistemi N+1 serbestlik dereceli olmaktadır.

Yapının hareket denklemi Denklem (2.10)’da tanımlandığı şekliyle sırasıyla kütle (M), sönüm (C) ve rijitlik (K) matrislerinin tüm serbestlikleri içeren ivme ( $\ddot{x}(t)$ ), hız ( $\dot{x}(t)$ ) ve yerdeğiştirme ( $x(t)$ ) vektörleri ile çarpılır. Bu çarpımların hepsi toplanarak deprem yükü olarak tanımlanan ve katların kütlesi ile orantılı kuvvetle çarpılmasıyla elde edilmektedir.

$$\mathbf{M}\ddot{x}(t) + \mathbf{C}\dot{x}(t) + \mathbf{K}x(t) = -\mathbf{M}\{1\}\ddot{x}_g(t) \quad (2.10)$$

Hareket denkleminde  $\{1\}$  tüm satırları 1 değerine eşit olan N+1 elemanlı bir vektörü temsil etmektedir. Yer hareketinden kaynaklanan yerin ivmesi  $\ddot{x}_g(t)$  ile gösterilmiştir. Zamana göre değişken olan değerler (t) ifadesi ile belirtilmiştir. M, K ve C matrisleri Denklem (2.11)-(2.13)’te verilmiştir.



Şekil 2.2’de kullanılan  $m_i$ ,  $c_i$  ve  $k_i$  terimleri sırasıyla  $i$ . katın kütlesi, sönüm sabiti ve rijitlik sabitlerini ifade etmektedir. İfadelerde kullanılan alt indisler katın serbestliğini göstermektedir. Temsili bir katın  $i$ . katın yerdeğiştirmesi ise  $x_i$  seombolü ile tanımlanmıştır. Bu durumda  $i=1,\dots,N$  için bu gösterimler geçerli olacaktır.

Ayarlanması amaçlanan kütle sönümleyicisi özellikleri  $m_d$ ,  $c_d$  ve  $k_d$  ile ifade edilmiştir. Sayısal örneklerde optimizasyon sonucunda elde edilen  $m_d$ ,  $T_d$  ve  $\xi_d$  ile gösterilen ifadeler ise kütle sönümleyicisinin kütlesi, periyodu ve sönüm oranıdır. Periyod ( $T_d$ ) ve sönüm oranı ( $\xi_d$ ) değerleri Denklem (2.15) ve (2.16) ile hesaplanabilir.

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{m_d}{k_d}} \quad (2.15)$$

$$\xi_d = \frac{c_d}{2m_d \sqrt{\frac{k_d}{m_d}}} \quad (2.16)$$

Yapının kat kütleleri ve rijitlikleri bu katta bulunan tüm elamanların toplam değeri olarak alınır. Sönüm oranı sönüm oranının kütle sönümleyicisi içermeyen yapıda her titreşim modu için aynı olduğu varsayımı ile Rayleigh sönümü olacak şekilde kütle ve rijitlik matrisine orantılı olarak tanımlanabilir.

Kesme binasının her serbestliğine karşılık genel hareket denklemleri birbirine bağımlı olduğu için bağımsız çözülemez. Modlara ayırarak her denklemin bağımsız olması sağlanabilir ancak bu durumda her titreşim modunda aynı miktarda sönüm olduğunda kesin sonucu vermektedir. Yapıda her ne kadar sönümün her mod için aynı olduğu varsayılsa da, kütle sönümleyicisinin eklenmesi ile her titreşim modunun benzer sönüm oranı olması durumu bozulmaktadır. Bundan dolayı optimizasyonda kullanılan analizlerde sistem modlara ayrılmadan modellenmiştir.

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Optimizasyon işleminde tasarım değişkenleri olan kütle sönümleyicisi özelliklerinin en uygun (optimum) değerleri aranmaktadır. Nümerik optimizasyonda sınırlar içerisinde rastgele değerler tanımlanmakta ve bu tanımlanan sayılara karşılık gelen değerler için amaç fonksiyonları hesaplanıp gerekli karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Optimizasyonun ilk aşamasında belirli bir sayıda rastgele tasarım değişkenlerine ait değerler belirlenip, bu değerler içeren vektörler bir matrisin içinde toplanmaktadır. Denklem (3.1)'de tasarım değişkenleri içeren vektör ( $v_i$ ) görülmektedir.

$$v_i = \begin{Bmatrix} m_{di} \\ T_{di} \\ \xi_{di} \end{Bmatrix} \quad i = 1, \dots, p \quad (3.1)$$

Bu vektörle Denklem (3.2)'de gösterilen V (çözüm matrisi) içerisinde saklanmakta ve kullanılan algoritmanın kurallarına bağlı olarak iterasyonlar süresince revize edilmektedir. Burada p değeri popülasyon olarak adlanmakta ve terimleri rasgele oluşturulan (Denklem 3.1) çözüm vektörlerin toplam sayısını belirtir.

$$V = [v_1 \quad v_2 \quad \dots \quad v_i \quad \dots \quad v_p] \quad (3.2)$$

Algoritma kurallarına göre yapılan revizyonlarda amaç fonksiyonları ele alınmaktadır. Optimizasyon çalışması kapsamında 3 adet amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

İlk amaç fonksiyonu Bölüm 2'de değinilmiş olan Makris [66] tarafından tanımlanan çeşitli periyotlu ve 200 m/s tepe hızlı doğrultu ve sıçrama titreşimleri altında elde edilmiş maksimum yerdeğiştirme değeridir. Bu değer kütle sönümleyicisi içeren kesme binası için Matlab ile geliştirilen ve nümerik hesaplamada 4. dereceden Runge-Kutta metodunu kullanan Simulink blok diyagramı ile zaman tanım alanında analiz edilmekte ve maksimum değer  $f_1(v)$  amaç fonksiyonu olarak kaydedilmektedir. Bu amaç fonksiyonu Denklem (3.3)'te gösterilmiştir.

$$f_1(v) = \max(|x_1 \ x_2 \ \dots \ x_i \ \dots \ x_N|) \leq x_{\max} \quad (3.3)$$

Çalışmada  $f_1(v)$  amaç fonksiyonunun belirlenen bir  $x_{\max}$  değerinin altında olması amaçlanmaktadır. Bu durumda optimizasyon işleminin iteratif süreci sona erdirilecektir.  $x_{\max}$  değeri olarak fiziksel olarak mümkün olmayan, örneğin kütle sönümleyicisi belirlenen çözüm alanında bu değere kadar indirmeyen bir sayı ile tanımlanabilir. Bu durumda belirli bir iterasyon sonucunda,  $x_{\max}$  değeri iteratif olarak arttırılacaktır. Tez çalışmadaki 0 olarak girilmiş ve dolayısıyla mümkün olan en küçük yerdeğiştirme değeri elde edilmiştir.

Ayrıca, kütle sönümleyicisini ekonomik olarak belirlenen çözüm alanında kısıtlanmanın yanında kütle sönümleyicinin kollarının yerdeğiştirme kabiliyeti de kısıtlıdır. Bu durum ikinci bir amaç fonksiyonu  $f_2(v)$  ile belirlenmiştir. Bu amaç fonksiyonu ile kütle sönümleyicinin en üst kata göre yerdeğiştirmesi, kütle sönümleyicisi içermeyen yapının en üst kat yerdeğiştirmesine göre normalleştirilmiş hali, istenilen bir  $st\_max$  değerine göre kıyaslanmaktadır. Denklem (3.4) ile bu amaç fonksiyonu belirtilmiştir.

$$f_2(v) = \frac{\max(|x_d - x_N|)_{TMD,li}}{|x_N|_{TMD,siz}} \leq st\_max \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'te kullanılan TMD,li ve TMD,siz alt indisleri sırasıyla kütle sönümleyicisi içeren ve içermeyen yapıları tanımlamaktadır. Algoritma kurallarına göre yapılacak kıyaslamalarda ilk önce Denklem (3.4), sağlanması durumunda Denklem (3.3) dikkate alınacaktır. Böylelikle son optimum sonuç  $f_2(v)$  ile belirtilen tasarım kısıtını sağlayacaktır.

Tez çalışmasının amacı olarak zaman tanım alanındaki maksimum değerlerin azalması hedeflenmektedir. Ancak, frekans tanım alanı sonuçları da dikkate alınmaktadır. Denklem (3.5) ile tanımlanan 3. Amaç fonksiyonu  $f_3(v)$  sadece optimizasyon işleminin durdurulması için kullanılmaktadır. Optimizasyon işleminin sonlandırılması ancak her üç amaç fonksiyonun sağlanması durumunda mümkün olmaktadır. Üçüncü amaç fonksiyonunda yapının frekans tanım alanı değerlerinin kütle sönümleyicisi eklenmesiyle yapısal sistemi daha elverişsiz bir duruma getirmesi engellenmektedir.

$$f_3(v) = \max(|TF_N(w)|)_{TMD,li} \leq \max(|TF_N(w)|)_{TMD,siz} \quad (3.5)$$

Üçüncü amaç fonksiyonunda, yapının en üst (N.kat) katının ivme transfer fonksiyonu  $TF_N(w)$  ile tanımlanmıştır. Transfer fonksiyonu Laplace dönüşümü yapılmış sistemin çıkış fonksiyonunun giriş fonksiyonunda oranıdır. Kullanılan transfer fonksiyonunda çıkış son katın ivmesi, giriş ise depremin ivmesi olarak tanımlanmıştır. Bu durumda her katın amaç fonksiyonunu veren  $TF(w)$  vektörü Denklem (3.6)'da gösterilmiştir.

$$TF(w) = \begin{bmatrix} TF_1(w) \\ TF_2(w) \\ \vdots \\ TF_i(w) \\ \vdots \\ TF_N(w) \\ TF_d(w) \end{bmatrix} = [-Mw^2 + Cwj + K]^{-1} Mw^2 \{1\} \quad (3.6)$$

Transfer fonksiyonunun sanal (j) içeren kısmı da bulunmaktadır. Bu değer in mutlak değeri olan transfer fonksiyonun genliği amaç fonksiyonunda kullanılmaktadır. Bu frekans değeri  $w$  ile gösterilmiş olup, yapının birinci derece doğal frekansına karşılık gelen değer de maksimum değer oluşmaktadır.

Tez çalışmasında üç metasezgisel algoritma kullanılmıştır. Bu algoritmalar armoni araştırma algoritması, öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon ve çiçek tozlaşma algoritmasıdır.

### 3.1. ARMONİ ARAŞTIRMA ALGORİTMASI

Armoni araştırma algoritması (harmony search algorithm; HS), bir müzisyenin dinleyicisini memnun etmek için çaba uğraştığı süreçten esinlenen bir süreçten esinlenen metasezgisel algoritmadır. Bu algoritma, Geem ve diğ. tarafından optimizasyon yöntemi olarak önerilmiştir [74].

Bir müzisyen rastgele notalar çalabilir. Sonra performansının devamında dinleyicinin beğendiği en iyi notalara benzeyen parçaları çalar. Bu sırada yeni besteler de çalarak, dinleyicinin en çok beğenisi kazanacak parçaları bulmaya uğraşır. Bu süreç bir mühendislik probleminin optimizasyonu ile benzerlik göstermektedir.

İnşaat mühendisliğinde çeşitli optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan armoni araştırma algoritması, uygulamalarına dair çalışmalar Yoo ve diğ. tarafından toplanmıştır [75]. Armoni araştırma algoritmasının kullanıldığı çalışmalar içerisinde betonarme yapı elemanları ve sistemlerinin maliyet optimizasyonu, kafes sistemlerinin ağırlık optimizasyonu, ızgara sistemlerin optimizasyonu, kafes sistemlerinin toplam minimum potansiyel enerji optimizasyonu ile analizi vb. yapı mühendisliği problemleri [76-89], beton karışım oranları, asfalt betonu yorulma ömrü tahmini gibi yapı malzemesi [90-92], su dağıtım şebekelerini ile buna bağlı çeşitli hidrolik problemleri [93-96], maliyet optimizasyonu ve yapım planlama problemleri [97-99] ve ayarlı kütle sönümleyicisi parametreleri optimizasyonu, sismik izolasyon sistemleri optimizasyonu gibi yapısal kontrol problemleri [53-55, 58, 100-101] başta olmak üzere inşaat mühendisliği kapsamında birçok alt bilim dalı ve bunlara ait problem bulunmaktadır.

Bu algoritmada rastgele olarak türetilmiş tasarım değişkenleri içeren hafıza sayısı adet (harmony memory size; HMS) armoni vektörlerden oluşan başlangıç armoni matrisi (initial matrix) türetilir. Bu işlemden hemen sonra algoritmanın kurallarına uyarınca yeni bir vektör oluşturulur. Bu yeni vektör, başlangıç matrisinde kayıtlı mevcut armoni vektörler ile amaç fonksiyonlarına göre karşılaştırılır. Yeni oluşturulan vektörün amaç fonksiyonunun mevcut vektörler içerisinde amaç fonksiyonu en kötü olan vektörden daha iyi olması durumunda, en kötü vektör başlangıç matrisinden silinerek yerine yeni oluşturulan vektör kaydedilir. Bu işlem sayesinde iterasyonlar süresince matris içerisinde kayıtlı olan vektörler iyileşmesi ve en iyi sonuca (optimum değerlere) yakınsama sağlanmış olur.

Algoritma kurallarına göre yeni vektör ( $v_{yeni}$ ) iki şekilde oluşturulabilir. Bunlardan ilki tüm çözüm alanı kullanılarak (başlangıç matrisindeki ilk vektörlerin oluşturulduğu şekilde) yeni değerler rastgele olarak oluşturulur (Denklem 3.7).

$$v_{yeni} = v_{min} + rand(0,1)(v_{max} - v_{min})$$

(3.7)

Denklem 3.7'da tanımlanan  $rand(0,1)$  değeri rastgele olarak 0 ve 1 arasında türetilen reel sayıyı karşılık gelmektedir.  $v_{min}$  ve  $v_{max}$  değerleri ise kullanıcı tarafından tanımlanan



tasarım değişkenlerinin minimum ve maksimum sınırlarını (çözüm alanı sınırlarını) ifade eder.

Yeni vektör oluşturmaın ikinci yolu ise, armoni matrisinde kayıtlı mevcut vektörlerde kullanımı esasına dayanmaktadır. Bu oluşum algoritmanın dinleyicinin beğeni kazanmış notlardan oluşan mevcut en iyi parçanın benzeri parçaların çalınması opsiyonu benzeşiminin optimizasyon algoritmasındaki matematiksel ifadesidir (Denklem 3.8).

$$v_{yeni} = v_k + rand(-1/2, 1/2)PAR(v_{max} - v_{min})$$

(3.8)

Denklemde kullanılan  $v_k$  çözüm matrisinden rastgele olarak seçilen mevcut vektörü,  $rand(-1/2, 1/2)$  ise  $-1/2$  ile  $1/2$  arasında rastgele üretilen reel sayıyı ifade etmektedir. Denklemde verilen ton ayarlama oranı olarak adlandırılan ve PAR (pitch adjusting rate) ile gösterilen değer, mevcut çözüm alanını küçülten bir 0 ile 1 arasında katsayıdır. Algoritmada tanımlanan bu sabit ile mevcut değerlerin etrafında ve değerlere yakın değişkenlerin türetilerek, en iyi sonuca yaklaşım hızının artırılması amaçlanmaktadır.

Yeni vektör oluşturmada kullanılabilir iki yolun hangisinin seçileceğine armoni belleğini dikkate alma oranı (harmony memory considering rate; HMCR) olarak tanımlanan ve kullanıcı tarafından tanımlanan değere göre karar verilir. Rastgele olarak 0 ve 1 arasında türetilen sayı tanımlanan orandan küçük olması durumunda yeni vektör Denklem (3.7), büyük ise Denklem (3.8)'e göre oluşturulmaktadır.

Yeni vektörün yalnızca Denklem (3.8) kullanılarak oluşturulması yaklaşım hızını arttırmasına karşın, lokal optimum değerlere takılma olasılığı ortaya çıkmaktadır. Yeni vektörün yalnızca Denklem (3.7) kullanılarak oluşturulması ise yaklaşım hızı dolayısıyla optimizasyon süresini uzatmakta ve optimum değere odaklanmayı zorlaştırmaktadır. Algoritmada tanımlanan armoni belleğini dikkate alma oranı ile her iki oluşum yolunun dikkate alınması ve bunun sonucunda global optimum değere hızlı ulaşılması amaçlanmıştır.

### 3.2. ÖĞRETME ÖĞRENİM TABANLI OPTİMİZASYON

Öğretme öğrenim tabanlı optimizasyon (teaching learning based optimization; TLBO), algoritması, 2011 yılında Rao ve diğ. [102] tarafından bir sınıfta öğrenim sürecinden

ilham alınarak geliştirilmiş bir metasezgisel algoritmadır. Algoritma diğerlerine metasezgisel yöntemlere kıyasla yeni olmasına rağmen makine, elektrik, robotik ve yapı mühendisliği gibi birçok bilim dalında ait optimizasyon problemlerinde kullanılmıştır [103-120].

Öğretme öğrenim tabanlı optimizasyon algoritmasında, diğer metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi ilk olarak başlangıç matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris, her tasarım değişkeninin kendi çözüm alanı sınırları içerisinde rastgele olarak türetilen değerlerini bulunduğu çözüm vektörlerinden oluşmaktadır. Çözüm vektörleri sayısı popülasyon sayısı olarak adlandırılan ve kullanıcı tarafından belirlenen bir tam sayı kadardır.

Bir sınıfta öğrenim sürecinde öğretmen ve öğrenci olmak üzere iki rol vardır. Bu rollerden öğretmen sınıfta konu ile ilgili bilgisi sınıftaki diğer topluluğa kıyasla daha ileri düzeyde olan şahıstır. Öğretmenin öğrenim sürecindeki rolü kendi bilgisini temelinde bilgisini paylaşması ve bu sayede sınıftaki öğrencilerin konu ile ilgili bilgilerini geliştirmek veya iyileştirmektir. Öğrenciler ise, öğretmen dışındaki diğer bilgi topluluğunu oluştururlar ve mevcut bilgisini (öğretmen vasıtasıyla ve diğer yollardan edindiği bilgisini) sınıf içerisinde veya dışındaki birbirleri ile etkileşim kurarak gerçekleştirdikleri çeşitli aktiviteler ile öğrenim sürecine katkıda bulunurlar.

Algoritmada başlangıç matrisi oluşturulduktan sonra mevcut vektörler birbirini takip eden ve ilham aldığı süreçle atfen öğretmen fazı ve öğrenci fazı olarak adlandırılan iki adım kullanılarak güncellenir. Öğretmen fazında, mevcut vektörler ( $v_{eski}$ ) matris içerisindeki amaç fonksiyonu bakımından en iyi vektör ( $v_{eni}$ ) ve mevcut vektörlerin aritmetik ortalaması ( $v_{ort}$ ) kullanılarak yeni vektörler ( $v_{yeni}$ ) elde edilir (Denklem 3.9).

$$v_{yeni} = v_{eski} + rand(0,1)(v_{eni} - T_F v_{ort})$$

(3.9)

Denklemde verilen  $rand(0,1)$  ifadesi 0 ile 1 arasında rastgele türetilmiş reel bir sayıyı tanımlamaktadır.  $T_F$  ise öğretim faktörü olarak adlandırılan ve 1 veya 2 değerini alan bir tamsayıdır (Denklem 3.10).

$$T_F = \text{round}[1 + \text{rand}(0,1)] \quad (3.10)$$

Adım sonunda her yeni ( $v_{\text{yeni}}$ ) vektörler ile mevcut vektörler ile amaç fonksiyonlarına bakılarak karşılaştırılır. Yeni vektörün mevcut olandan iyi olması durumunda, yeni vektör mevcut olanın yerine çözüm matrisine kaydedilir.

Öğrenci fazında ise mevcut vektörler ( $v_{\text{eski}}$ ) matris içerisinde rastgele seçilen mevcut iki vektör ( $v_i$  ve  $v_j$ ) kullanılarak yeni vektörler ( $v_{\text{yeni}}$ ) elde edilir (Denklem 3.11).

$$v_{\text{yeni}} = \begin{cases} v_{\text{eski}} + \text{rand}(0,1)(v_i - v_j); & f(v_i) > f(v_j) \\ v_{\text{eski}} + \text{rand}(0,1)(v_j - v_i); & f(v_i) < f(v_j) \end{cases} \quad (3.11)$$

Denklemde  $f(v_i)$  ve  $f(v_j)$  ilgili vektörlerin amaç fonksiyonu değerlerine karşılık gelmektedir. Adım sonunda öğretmen fazındakine benzer şekilde yeni ( $v_{\text{yeni}}$ ) ile mevcut vektörler karşılaştırılarak, yeni vektörün mevcut olandan daha iyi olması durumunda, yeni vektör mevcut olanın yerine çözüm matrisine yazılır.

### 3.3. ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI

Çiçek tozlaşma algoritması (flower pollination algorithm; FPA), Yang [121] tarafından çiçekli bitkilerin tozlaşması sürecinin yola çıkarak 2012 yılında geliştirdiği metasezgisel algoritmadır.

Diğer metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi çiçek tozlaşma algoritmasında ilk işlem rastgele oluşturulan tasarım değişkenlerini içeren vektörler türetilmesi ve bu vektörlerin başlangıç çözüm matrisine depolanmasıdır. Çözüm vektörlerinin sayısı çiçek tozlaşma algoritmasında toplam polen sayısı olarak adlandırılan ve kullanıcı tarafından belirlenen tam sayıya eşittir.

Başlangıç matrisinin oluşturulmasının ardından mevcut vektörlerin amaç fonksiyonları açısından iyileştirilmesini amaçlayan iteratif sürece geçilir. Armoni araştırma algoritmasında olduğu gibi bu işlem iki şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Bunlarda ilki genel arama (veya genel tozlaşma) olarak adlandırılır. Bu işlemin seçilmesi durumunda mevcut vektörle ( $v_{\text{eski}}$ ) matris içerisindeki amaç fonksiyonu bakımından en iyi vektör ( $v_{\text{eni}}$ ) arasında farka bağlı olarak tanımlanan ve Denklem (3.12) verilen ifade göre güncellenir.

$$v_{yeni} = v_{eski} + L_D (v_{eni} - v_{eski}) \quad (3.12)$$

Denklemden verilen  $L_D$  ifadesi Lévy uçuşu olarak adlandırılan  $rand(0,1)$  fonksiyonu bağlı olarak rastgele reel bir sayı üreten bir fonksiyonu ifade eder (Denklemler 3.12).

$$L_{D,f} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} rand(0,1)^{-1.5} e^{\frac{-1}{2rand(0,1)}} \quad (3.13)$$

Lokal arama (lokal tozlaşma) olarak adlandırılan ikinci yolda öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon algoritmasına öğrenci fazında yapılan işleme benzer şekilde yeni vektör ( $v_{yeni}$ ) mevcut vektör ( $v_{eski}$ ) ile çözüm matrisinde kayıtlı vektörler arasında rastgele seçilen iki vektör ( $v_i$  ve  $v_j$ ) kullanılarak elde edilir (Denklemler 3.14).

$$v_{yeni} = v_{eski} + rand(0,1)(v_i - v_j) \quad (3.14)$$

Global veya lokal arama seçeneklerinden hangisinin seçileceğine geçiş olasılığı (switch probability) olarak tanımlanan ve kullanıcı tarafından tanımlanan değere göre karar verilir. Rastgele olarak 0 ve 1 arasında türetilen sayı tanımlanan orandan küçük olması durumunda global, aksi durumda lokal arama seçeneği kullanılır.

Yeni vektörlerin üretilmesinin ardından yeni ve mevcut vektörler amaç fonksiyonlarına göre karşılaştırılır. Öğretim öğrenim algoritmasına benzer şekilde, yeni vektörün mevcut olandan iyi olması durumunda, yeni vektör mevcut olanın yerine çözüm matrisine kaydedilir.

#### 4. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında önerilen yöntem kullanılarak 3 adet tek serbestlik dereceli yapı ile 1 adet 10 katlı kesme binası incelenmiştir. Bu örnek yapılar 6 farklı yakın fay titreşiminin kritik olan kayıtları için incelenmiş ve optimum kütle sönümleyicisi özellikleri belirlenmiştir. Bu kayıtların 3 tanesi doğrultu titreşimi, 3 tanesi ise sıçrama titreşimi olmak üzere tepe yer hızları eşit olacak şekilde Makris [66] tarafından önerilen denklem ile elde edilmiştir. Tepe yer hızları 200 m/s olarak belirtilmiş ve yapı etkin periyotlarına uygun olacak şekilde 1.5s, 2.0s ve 2.5s periyoduna sahip darbe titreşimleri kullanılmıştır.

Optimizasyonda Denklem (3.4) ile tanımlanan amaç fonksiyonu  $st_{max}$  değeri 2 olarak alınmıştır. İncelenen tek serbestlik dereceli yapıların frekansları 1.5s, 2.0s ve 2.5s olarak seçilmiştir. Böylelikle kullanılan titreşimler ile aynı frekansta olduklarında rezonans durumundan dolayı daha çok etkilenecektir. Bu yapıların kütlesi 1kg olarak sembolik bir değer seçilmiş ve böylelikle kütle sönümleyicisinin kütlesi aynı zamanda kütle oranı olarak da ifade edilebilmektedir. Yapıların sönüm oranı %5 olacak şekilde sönüm katsayıları belirlenmiştir.

10 katlı kesme binasının özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. Bu yapının sönüm sabitleri, rijitlik değerlerine orantılı olarak elde edilmiş.

**Tablo 4.1:** 10 katlı kesme binasının özellikleri.

Kat (i)	$m_i$ (t)	$k_i$ (MN/m)	$c_i$ (MNs/m)
1-10	360	650	6.2

Çalışmada kütle sönümleyici özellikleri belirli çözüm alanları içerisinde aranmıştır. Kütle sönümleyicisinin kütlesinin alt ve üst limitleri yapının toplam kütlesinin %1’i ve %10’u arasında olacak şekilde tanımlanmıştır. 2 saniye periyotlu tek serbestlik dereceli yapı için maksimum yer değiştirmenin inmesinde basarım sağlanamadığından dolayı kütle

sönümleyicisi kütlesinin maksimum değeri bu yapı için %20 alınmıştır. Sönümleyicinin periyot değeri ise, yapıların etkin periyotunun 0.5 ve 1.5 katı olan aralıkta taranmıştır. Kütle sönümleyicisinin sönüm oranı alt limiti için %1 değeri kullanılmıştır. Sönüm oranının üst limiti için ise farklı durumlar incelenmiştir. Durum 1, 2 ve 3 olarak adlandırılan farklı limit değerlerine sahip örneklerde sönüm oranı için izin verilen üst limit değerleri sırasıyla %20, 30 ve 40 olarak tanımlanmıştır.

Kullanılan tüm algoritmalarda ilk önce oluşturulan vektör sayısı (popülasyon sayısı veya polen sayısı) 5 olarak alınmıştır. Böylelikle tüm algoritmalar eşit koşullar altında incelenmiş ve karşılaştırılması mümkün olmuştur. Bu bölümde verilen Çizelgelerde optimum kütle sönümleyicisi değerleri, amaç fonksiyonun değerleri (kütle sönümleyicisi içeren ve içermeyen yapılar için) ve optimum sonucun bulunduğu iterasyon sayıları sunulmuştur. Bu çizelgelerde periyodu 1.5s, 2.0s ve 2.5s olan tek serbestlik dereceli yapılar ve 10 katlı kesme binası sırasıyla Bina 1, 2, 3 ve 4 olarak ifade edilmiştir.

#### 4.1. ARMONİ ARAŞTIRMA ALGORİTMASI SONUÇLARI

Armoni araştırma algoritması kullanılarak elde edilen optimum sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Armoni araştırma algoritması için optimum sonuçlar.

Durum	Bina	$m_d$ (kg)	$T_d$ (s)	$\xi_d$
1	1	0.100	1.597	0.190
	2	0.198	1.955	0.068
	3	0.099	2.170	0.055
	4	359713	1.133	0.198
2	1	0.098	1.738	0.229
	2	0.195	1.967	0.064
	3	0.099	2.070	0.024
	4	358120	1.390	0.283
3	1	0.099	1.729	0.227
	2	0.200	1.956	0.067
	3	0.098	2.178	0.059
	4	350489	1.478	0.294

Sonuçlardan da görüldüğü gibi kütle sönümleyicisinin optimum kütlesi tanımlanan çözüm alanının maksimum sınıra oldukça yakın bulunmuştur. Durum 1 için elde edilen sonuçlarda, 1. ve 4. bina için sönüm değeri de maksimum sınıra yakındır. Optimum kütle sönümleyicisinin periyot değerleri yapıların periyot değerinin etrafından değerler almıştır. Durum 2 ve 3 için 1. ve 4. binanın optimum değerlerin değiştiği, diğer binaların optimum sönüm oranı değeri ilk durumun maksimum değeri olan 0.2'den düşük olduğundan önemli bir fark görülmektedir. Kütle sönümleyicisinin sönüm oranının değişmesiyle optimum periyot değerleri artış göstermiştir. Tablo 4.3'te ise tüm bina ve durumlar için armoni araştırma algoritması ile elde edilen optimum sonuçlar altında oluşan maksimum değerler verilmiştir.

**Tablo 4.3:** Armoni Araştırma algoritması için maksimum sonuçlar.

Durum	Bina	$f_1(v)$ (m)		Maks. İvme ( $m/s^2$ )		$f_3(v)$		$f_2(v)$	iterasyon
		kontROLSÜZ	kontrollü	kontROLSÜZ	kontrollü	kontROLSÜZ	kontrollü		
1	1	1.204	1.006	21.224	16.418	10.012	3.425	1.948	2184
	2	1.602	1.217	15.889	10.482	9.558	6.617	1.940	3304
	3	2.000	1.605	12.697	9.234	9.892	7.815	1.999	6373
	4	0.803	0.718	30.114	21.773	3.047	1.139	1.956	700
2	1	1.204	0.998	21.224	17.033	10.012	3.882	1.994	4097
	2	1.602	1.217	15.889	10.544	9.558	6.667	1.995	1335
	3	2.000	1.604	12.697	9.109	9.892	9.760	1.967	1035
	4	0.803	0.668	30.114	22.392	3.047	1.139	1.987	2280
3	1	1.204	0.997	21.224	16.950	10.012	3.816	1.988	2618
	2	1.602	1.216	15.889	10.459	9.558	6.701	1.937	4062
	3	2.000	1.606	12.697	9.256	9.892	7.687	1.997	2675
	4	0.803	0.666	30.114	22.721	3.047	1.139	1.993	2456

Bu değerlerin karşılaştırmak için kütle sönümleyicisi içermeyen kontROLSÜZ bina ve kütle sönümleyicisi içeren kontrollü binaya ait değerlerde çizelgede sunulmuştur. Bu değerlere ek olarak çizelgede maksimum ivme değerleri de bulunmaktadır. Metasezgisel algoritmaların önemli bir performans göstergesi olarak kabul edilen optimum değerlerin bulunduğu iterasyon sayıları da Tablo 4.3'te verilmiştir.

Sonuçlara göre maksimum yer değiştirme, ivme ve transfer fonksiyonu değerlerinde oldukça önemli bir azalma görülmektedir. Örnek olarak Durum 3 için, yer değiştirme

değerlerinde Bina 1, 2, 3 ve 4 için sırasıyla %17, 24, 20 ve 17 azalma gerçekleşmiştir. Ayrıca ikinci amaç fonksiyonu olan kütle sönümleyicisinin kollarının uzama kısıtı, üst sınıra yakın olması optimizasyon yönteminin başarılı olduğunu göstermektedir.

#### 4.2. ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI SONUÇLARI

Çiçek tozlaşma algoritması kullanılarak elde edilen optimum sonuçlar Tablo 4.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4:** Çiçek tozlaşma algoritması için optimum sonuçlar.

Durum	Bina	$m_d$ (kg)	$T_d$ (s)	$\xi_d$
1	1	0.100	1.653	0.200
	2	0.200	1.929	0.047
	3	0.100	2.150	0.047
	4	360000	1.156	0.200
2	1	0.100	1.753	0.231
	2	0.200	1.929	0.047
	3	0.100	2.071	0.018
	4	360000	1.484	0.300
3	1	0.100	1.753	0.231
	2	0.200	1.929	0.047
	3	0.100	2.071	0.018
	4	360000	1.484	0.290

Armoni araştırma algoritmasından farklı olarak kütle sönümleyicisinin, optimum kütle değeri, kütle için tanımlanan çözüm alanının maksimum sınırına (üst sınırına) eşit bulunmuştur. Aynı şekilde 1. ve 4. bina için Durum 1'de sönüm oranı maksimum değere eşittir. İlk durumda maksimum sönüm oranı sınırlarında kalan Bina 2 için tüm durum sonuçlarının aynı olması algoritmanın kesin sonuç bulmakta etkili olduğunun göstergesidir. Tablo 4.5'te verilen maksimum sonuçlar dikkate alındığında ise Bina 3 için de ilk amaç fonksiyonunda durumlar arasında çok az bir değişim olduğu anlaşılmaktadır.



**Tablo 4.5:** Çiçek tozlaşma algoritması için maksimum sonuçlar.

Durum	Bina	$f_1(v)$ (m)		Maks. İvme ( $m/s^2$ )		$f_3(v)$		$f_2(v)$	iterasyon
		kontrolsüz	kontrollü	kontrolsüz	kontrollü	kontrolsüz	kontrollü		
1	1	1.204	0.997	21.224	16.631	10.012	3.489	2.000	3465
	2	1.602	1.209	15.889	10.381	9.558	7.488	2.000	5045
	3	2.000	1.603	12.697	9.196	9.892	8.194	2.000	2620
	4	0.803	0.705	30.114	21.490	3.047	1.139	2.000	3060
2	1	1.204	0.994	21.224	17.014	10.012	3.909	2.000	4055
	2	1.602	1.209	15.889	10.381	9.558	7.488	2.000	4915
	3	2.000	1.601	12.697	9.085	9.892	9.892	2.000	7370
	4	0.803	0.666	30.114	22.641	3.047	1.139	1.963	1025
3	1	1.204	0.994	21.224	17.014	10.012	3.909	2.000	4020
	2	1.602	1.209	15.889	10.381	9.558	7.488	2.000	5090
	3	2.000	1.601	12.697	9.085	9.892	9.892	2.000	7290
	4	0.803	0.664	30.114	22.635	3.047	1.139	2.000	2865

Durum 3 için maksimum yer değiştirme Bina 1, 2, 3 ve 4 için sırasıyla %17, 25, 20 ve 17 azalmaktadır.

### 4.3. ÖĞRETME ÖĞRENİM TABANLI OPTİMİZASYON YÖNTEMİ SONUÇLARI

Öğretme öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi kullanılarak elde edilen optimum sonuçlar Tablo 4.6'da verilmiştir. Öğretme öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi sonuçları incelendiğinde çiçek tozlaşma algoritması sonuçlarına benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Çizelge 4.7'de verilen maksimum sonuçlara göre birinci amaç fonksiyonu olan en iyi değerlerin karşılaştırılmasında kullanılan maksimum yer değiştirmelerin azalmasının öğretme öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi ile gerçekleştiği görülmektedir.

**Tablo 4.6:** Öğretme ve öğrenim optimizasyon yöntemi için optimum sonuçlar.

Durum	Bina	$m_d$ (kg)	$T_d$ (s)	$\xi_d$
1	1	0.100	1.653	0.200
	2	0.200	1.929	0.047
	3	0.100	2.071	0.018
	4	360000	1.156	0.200
2	1	0.100	1.753	0.231
	2	0.200	1.929	0.047
	3	0.100	2.071	0.018
	4	360000	1.484	0.290
3	1	0.100	1.753	0.231
	2	0.200	1.929	0.047
	3	0.100	2.071	0.018
	4	360000	1.484	0.290

**Tablo 4.7:** Öğretme ve öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi için maksimum sonuçlar.

Durum	Bina	$f_1(v)$ (m)		Maks. İvme (m/s <sup>2</sup> )		$f_3(v)$		$f_2(v)$	iterasyon
		kontROLSÜZ	kontrollü	kontROLSÜZ	kontrollü	kontROLSÜZ	kontrollü		
1	1	1.204	0.997	21.224	16.631	10.012	3.489	2.000	4180
	2	1.602	1.209	15.889	10.381	9.558	7.488	2.000	4480
	3	2.000	1.601	12.697	9.085	9.892	9.892	2.000	4750
	4	0.803	0.705	30.114	21.490	3.047	1.139	2.000	3090
2	1	1.204	0.994	21.224	17.014	10.012	3.909	2.000	4130
	2	1.602	1.209	15.889	10.381	9.558	7.488	2.000	5160
	3	2.000	1.601	12.697	9.085	9.892	9.892	2.000	6850
	4	0.803	0.664	30.114	22.635	3.047	1.139	2.000	2290
3	1	1.204	0.994	21.224	17.014	10.012	3.909	2.000	4010
	2	1.602	1.209	15.889	10.381	9.558	7.488	2.000	4990
	3	2.000	1.601	12.697	9.085	9.892	9.892	2.000	6850
	4	0.803	0.664	30.114	22.635	3.047	1.139	2.000	2910

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tüm algoritmaların kullanımı ile bulunan optimum kütle sönümleyicisi değerlerine sahip kütle sönümleyicilerinin yapıların en üst katına yerleştirilmesiyle yakın fay etkisi ile oluşan titreşimlerin azalması sağlanabilmektedir. Değişik periyota sahip tek serbestlik dereceli yapıları ve 10 katlı kesme binasının zaman tanım alanında elde edilmiş olan son katının yer değiştirme ve ivme grafikleri Ekler kısmında sunulmuştur. Bu grafikler en iyi sonuçların elde edildiği öğretim öğrenme tabanlı optimizasyon yöntemi ile bulunan sonuçlara aittir.

EK 1’de Durum 1 için verilen 1.5 saniye periyotlu (Bina 1) yapının 6 yakın fay titreşimi için verilen yer değiştirme sonuçlarına göre 1.5 saniye periyotlu doğrultu titreşimi en kritik etkidir. Sıçrama titreşimleri altında optimum ayarlanan kütle sönümleyicilerinin etkili olmadığı ama bu tip titreşimlerin yapı üzerinde kritik olmadığı da görülmektedir. Ayrıca, Bina 1 için elde edilmiş grafiklerden kütle sönümleyicisinin maksimum değerinin azalmasına fayda göstermesinin yanında sönümün oldukça hızlı olmasını sağlamaktadır. Aynı durum 10 katlı kesme binası için de gözlenmektedir. Diğer binalar için elde edilen optimum sönüm oranı küçük olduğu için bu durum görülmemektedir.

Tüm yapı ve durumlar için kritik titreşim doğrultu titreşimleridir. Yapı periyoduna göre kritik doğrultu titreşiminin periyodu değişmektedir. Yapı ile yakın veya eşit periyotlu etkiler rezonans durumundan dolayı kritik olmaktadır.

Kullanılan üç metasezgisel algoritma karşılaştırılacak olursa, en iyi sonuçlar öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi ve çiçek tozlaşma algoritması ile bulunmuştur. Armoni araştırma algoritmasının başarımı diğerlerine göre çok düşük olmasa da öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon yöntemi ve çiçek tozlaşma algoritmalarının altında kalmaktadır. Ayrıca, sönüm oranı sınırları en dar olan Durum 1 için elde edilmiş sonuçlar, optimum sönüm oranının maksimum değerinin altında olmasından dolayı diğer durumlarda da benzer sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçların öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon

yöntemi ile tamamen aynı olması, bu yöntemin en kesin optimum sonucun bulunmasında diğerlerine göre üstün olduğunu göstermektedir.

Algoritmaların hesaplama kapasitesine sorgulamak için çalışmada optimum sonucun elde edildiği iterasyon sayıları da sunulmuştur. Bu değerler genellikle armoni araştırma algoritması için diğerlerine göre küçük değerlerdir. Bu durumun nedeni, armoni araştırma algoritmasının bireysel tabanlı, diğer algoritmaların ise sürü tabanlı olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, armoni araştırma algoritması için her iterasyonda tek bir vektör oluşturulmakta ve mevcut değerler ile karşılaştırılmaktadır. Halbuki, diğer algoritmalarda popülasyon sayısı kadar yeni vektörler oluşturulup, bu değerler ilgili mevcut değerler ile karşılaştırılmaktadır. Dolayısıyla her iterasyonda popülasyon sayısı kadar döngü yapılmaktadır. Ayrıca, öğretim öğrenim tabanlı optimizasyon yönteminde bir iterasyon içerisinde hem öğretmen hem de öğrenci fazları sırasıyla uygulandığından her iterasyon için çiçek tozlaşma algoritmasına göre 2 kat daha fazla işlem içermektedir.

Sürü tabanlı olan iki algoritmanın iterasyon sayılarının genelde fazla olmasının bir diğer nedeni de, bu algoritmaların daha kesin sonucu yaklaşmasından dolayı mevcut değerde az bir iyileşme olması durumunda bile en iyi sonucun bulunduğu iterasyon sayısının değişmesidir.

Sonuç olarak optimum olarak tasarlanmış kütle sönümleyicileri yakın fay titreşimleri etkisi altında oluşan titreşimlerin sönümlenmesinde oldukça etkilidir. Genel yüzde olarak maksimum yer değiştirmenin azalmasında her üç algortmada da benzer sonuçlar elde edilmiş olup, bu sonuçlar Bina 1, 2, 3 ve 4 için sırasıyla %17, 25, 20 ve 17 kadardır. Bu değerler bir yapısal kontrol uygulaması için çok fazla değildir. Yakın fay titreşimleri, yapı periyotlarına yakın periyotlu darbe tipi titreşimler içerdiğinden kütle sönümleyicilerinin etkisi kısıtlı kalmaktadır. Daha çok performanslı bir yapısal kontrol elde edilmesi için aktif kontrollü sistemlerin daha etkili olabileceğini düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Bakioglu, M., Aldemir, U., 2001, A New Numerical Algorithm for Sub-optimal Control of Earthquake Excited Linear Structures. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 50, 2601-2616.
- [2]. Ribakov, Y., Gluck, J., 1999, Active Control of MDOF Structures with Supplemental Electrorheological Fluid Dampers. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 143-156.
- [3]. Aldemir, U., Bakioglu, M., 2001, Active Structural Control Based on the Prediction and Degree of Stability. *Journal of Sound and Vibration*, 247, 561-576.
- [4]. Spencer Jr, B., F., 1992, Active Structural Control: Theory and Practice. *Journal of Engineering Mechanics*, 118(6), 1282-1283.
- [5]. Nigdeli, S., M., Boduroglu, M., H., 2010, Active Tendons for Seismic Control of Buildings. *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology*, 68, 1258-1265, Paris, France, 28-30 July.
- [6]. Miller, R., K., Masri, S., F., Dehghanyar, T., J., Caughey, T., K., 1988, Active Vibration Control of Large Civil Structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 114(9), 1542-1570.
- [7]. Jangid, R., S., Kelly, J., M., 2001, Base Isolation for Near-fault Motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 691-707.
- [8]. Gözükıızıl, B., B., 2000, Deprem Etkisi Altındaki Yapıların Aktif Kontrolü. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.*
- [9]. Karabay, M., 2002, Deprem Etkisindeki Yapılarda Uygulanan Kontrol Sistemleri ve Kurşun/Kauçuk Yatak Uygulamaları. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 101-109.
- [10]. Gluck, N., Reinhorn, A., M., Gluck, J., Levy, R., 1996, Design of Supplemental Dampers for Control of Structures. *Journal of Structural Engineering*, 122(12), 1394-1399.
- [11]. Constantinou, M., C., Symans M., D., 1992, Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers. *National Center For Earthquake Engineering Research, State University of NY at Buffalo.*

- [12]. Yang, J., N., Akbarpour, A., Ghaemmaghami, P., 1987, New Optimal Control Algorithms for Structural Control. *Journal of Engineering Mechanics*, 113(9), 1369-1386.
- [13]. Aldemir, U., Bakioglu, M., Akhiev, S., S., 2001, Optimal Control of Linear Buildings Under Seismic Excitations. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 835-851.
- [14]. Lavan, O., Levy, R., 2006, Optimal Design of Supplemental Viscous Dampers for Linear Framed Structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35, 337-356.
- [15]. Jangid, R., S., 1996, Optimum Damping in A Non-linear Base Isolation System. *Journal of Sound and Vibration*, 189(4), 477-487.
- [16]. Jangid, R., S., 2005, Optimum Friction Pendulum System for Near-fault Motions. *Engineering Structures*, 27, 349-359.
- [17]. Jangid, R., S., 2007, Optimum Lead-rubber Isolation Bearings for Near-fault Motions. *Engineering Structures*, 29, 2503-2513.
- [18]. Nigdeli, S., M., 2012, Yakın Fay Etkisi Altındaki Aktif Tendonlar İle Yanal Yer Değiştirme ve Burulma Kontrolü. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.*
- [19]. Önder, U., 2006, Yakın Fay Hareketinin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve İzolatör-Sıvı Sönümleyicilerle Deprem Dayanıklı Yapı Tasarımı. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.*
- [20]. Hasgür, Z., Umut, Ö., 2007, Yakın Fay Hareketli Depremlerin Yapılar Üzerindeki Etkisi ve Temel Ayırıcılı-sıvı Sönümleyicilerin Bu Yapılardaki Etkinliği. *Altıncı Ulusal Deprem Konferansı*, 305-316, İstanbul 16-20 Ekim.
- [21]. Pourzeynali, S., Lavasani, H., H., Modarayi, A., H., 2007, Active Control of High Rise Building Structures Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithms. *Engineering Structures*, 29, 346-357.
- [22]. Pekgökgöz, R., K., 2005, Deprem Yükleri Etkisi Altındaki Yapı Davranışlarının Yarı-Aktif Akışkanlı Sönümleyiciler ve Sismik Taban Yalıtım Sistemleri Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemi ile Kontrolü. *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.*
- [23]. Torunbalcı, N., Özpalanlar, G., 2008, Earthquake Response Analysis of Mid-Storey Buildings Isolated with Various Seismic Isolation Techniques. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing - China, 12-17 October.
- [24]. Ali, F., Ramaswamy, A., 2009, Optimal Fuzzy Logic Control for MDOF Structural Systems Using Evolutionary Algorithms. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 22, 407-419.

- [25]. Komodromos, P., Panayiotis, C., P., Loizos, P., Marios, C., P., 2007, Response of Seismically Isolated Buildings Considering POUNDINGS. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36, 1605-1622.
- [26]. Güçlü, R., 2005 Sliding Mode and PID Control of A Structural System Against Earthquake. *Mathematical and Computer Modelling*, 44, 210-217.
- [27]. Güçlü, R., Yazıcı, H., 2008 Vibration Control of A Structure with ATMD Against Earthquake Using Fuzzy Logic Controllers. *Journal of Sound and Vibration*, 318, 36-49.
- [28]. Fardadi, M., Jabbari, F., Zareian, F., 2016 Effectiveness of Resettable Energy Dissipating Devices in Seismic Response Modification of Elastic SDOF Systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 45, 2571-2588.
- [29]. Chey, M., Chase, J., G., Mander, J., B., Carr, A., J., 2010, Semi-active Tuned Mass Damper Building Systems: Application. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39, 69-89.
- [30]. Chey, M., Chase, J., G., Mander, J., B., Carr, A., J., 2008, Resettable Tuned Mass Damper and Its Application to Isolated Stories Building System. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing - China, 12-17 October.
- [31]. Chey, M., Chase, J., G., Mander, J., B., Carr, A., J., 2007, Design of Semi-Active Tuned Mass Damper Building Systems Using Resettable Devices. *8th Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Singapore, 5-7 December.
- [32]. Occiuzzi, A., 2009, Additional Viscous Dampers for Civil Structures: Analysis of Design Methods Based on Effective Evaluation of Modal Damping Ratios. *Engineering Structures*, 31, 1093-1101.
- [33]. Takewaki, I., Yoshitomi, S., 1998, Effects of Support Stiffnesses on Optimal Damper Placement for A Planar Building Frame. *The Structural Design of Tall Buildings*, 7, 323-336.
- [34]. Takewaki, I., 1999, Displacement-Acceleration Control via Stiffness-Damping Collaboration. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28, 1567-1585.
- [35]. Takewaki, I., 1997, Optimal Damper Placement for Minimum Transfer Functions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 1113-1124.
- [36]. Lang Z., Q., Guo, P., F., Takewaki, I., 2013, Output Frequency Response Function Based Design of Additional Nonlinear Viscous Dampers for Vibration Control of Multi-Degree-of-Freedom Systems. *Journal of Sound and Vibration*, 332, 4461-4481.
- [37]. Frahm, H., 1911, Device for damping of bodies. U.S. Patent No: 989,958.
- [38]. Miyamoto, H.K., Gilani, A.S.J., Gündoğdu, Y.Z., 2011, Innovative Seismic Retrofit of An Iconic Building. In: *Seventh National Conference on Earthquake*

*Engineering*, Istanbul, Turkey, 30 May - 3 June.

- [39]. *Tuned mass damper*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Tuned\\_mass\\_damper](https://en.wikipedia.org/wiki/Tuned_mass_damper), [Ziyaret tarihi: 17 Ocak 2017].
- [40]. Ormondroyd, J., Den Hartog, J. P., 1928, The Theory of Dynamic Vibration Absorber. *Transactions of The American Society of Mechanical Engineers*, 50, 9–22.
- [41]. Den Hartog, J. P., 1947, Mechanical Vibrations. *McGraw-Hill*, New York.
- [42]. Warburton, G.B., 1982, Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10, 381–401.
- [43]. Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A.W., Chung, R.M., 1997, A Method of Estimating The Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 617–635.
- [44]. Chang, C.C., 1999, Mass Dampers and Their Optimal Designs for Building Vibration Control. *Engineering Structures*, 21, 454-463.
- [45]. Leung, A.Y.T., Zhang, H., 2009, Particle Swarm Optimization of Tuned Mass Dampers. *Engineering Structures*, 31, 715-728.
- [46]. Leung, A.Y.T., Zhang, H., Cheng, C.C., Lee, Y.Y., 2008, Particle Swarm Optimization of TMD by Non-stationary Base Excitation During Earthquake. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 37, 1223-1246.
- [47]. Hadi, M.N.S., Arfiadi, Y., 1998, Optimum Design of Absorber for MDOF Structures. *Journal of Structural Engineering-ASCE*, 124, 1272–1280.
- [48]. Marano, G.C., Greco, R., Chiaia, B., 2010, A Comparison Between Different Optimization Criteria for Tuned Mass Dampers Design. *Journal of Sound and Vibration*, 329, 4880-4890.
- [49]. Singh, M.P., Singh, S., Moreschi, L.M., 2002, Tuned Mass Dampers for Response Control of Torsional Buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 749–769.
- [50]. Desu, N.B., Deb, S.K., Dutta, A., 2006, Coupled Tuned Mass Dampers for Control of Coupled Vibrations in Asymmetric Buildings. *Structural Control and Health Monitoring*, 13, 897–916.
- [51]. Pourzeynali, S., Lavasani, H.H., Modarayi, A.H., 2007, Active Control of High Rise Building Structures Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithms. *Engineering Structures*, 29, 346-357.
- [52]. Steinbuch, R., 2011, Bionic Optimization of the Earthquake Resistance of High Buildings by Tuned Mass Dampers. *Journal of Bionic Engineering*, 8, 335-344.



- [53]. Bekdaş, G., Nigdeli, S.M., 2011, Estimating Optimum Parameters of Tuned Mass Dampers using Harmony Search. *Engineering Structures*, 33, 2716-2723.
- [54]. Nigdeli, S. M., & Bekdas, G., 2013, Optimum Tuned Mass Damper Design for Preventing Brittle Fracture of RC Buildings. *Smart Structures and Systems*, 12(2), 137-155.
- [55]. Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M., 2017, Metaheuristic Based Optimization of Tuned Mass Dampers Under Earthquake Excitation by Considering Soil-structure Interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 443-461.
- [56]. Farshidianfar, A., & Soheili, S., 2013, Ant Colony Optimization of Tuned Mass Dampers for Earthquake Oscillations of High-rise Structures Including Soil-structure Interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 51, 14-22.
- [57]. Farshidianfar, A., & Soheili, S., 2013, ABC Optimization of TMD Parameters for Tall Buildings with Soil Structure Interaction. *Interaction and Multiscale Mechanics*, 6(4), 339-356.
- [58]. Nigdeli, S. M., & Bekdas, G., 2016, Tuning of Mass Dampers for Preventing Brittle Fracture by Employing Teaching Learning Based Optimization. *PAMM*, 16(1), 709-710.
- [59]. Nigdeli S.M., Bekdas G., Yang X.S., 2016, Optimum Tuning of Mass Dampers for Seismic Structures Using Flower Pollination Algorithm. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 1, 264-268.
- [60]. Soto, M., G., Adeli, H., 2013, Tuned Mass Dampers. *Arch Comp Methods Eng*, 20, 419-431.
- [61]. Şahin, M., F., 2011, Yakın Fay Depremleri Etkisindeki Konsol Kolonların Performansı. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü.*
- [62]. Ağdaşan, A., Çokgör, Ş., Celep, U., 2011, Yakın Fay Hareketi Altında Ağırlık Tipi Kıyı Duvarlarının Kayma Deplasmanlarının Tahmini. *7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 189-197, Trabzon, 21-23 Kasım.
- [63]. Nigdeli, S. M., 2012, Yakın Fay Etkisi Altındaki Yapılarda Aktif Tendonlar İle Yanal Yer Değiştirme ve Burulma Kontrolü, *Doctoral dissertation*, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [64]. Güneş, N., Ulucan, Z., Ç., Erdoğan, A., S., 2013, Yakın Fay Hareketlerinin Yön Etkisi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2, 21-33.
- [65]. Hall, J. F., Heaton, T. H., Halling, M. W., Wald, D. J., 1995, Near-Source Ground Motion and Its Effects on Flexible Buildings. *Earthquake Spectra*, 11, 569-605.

- [66]. Makris, N., 1997, Rigidity-Plasticity-Viscosity: Can Electrorheological Dampers Protect Base-Isolated Structures From Near-Source Ground Motions? *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 571-591.
- [67]. Makris, N., Chang, S., 2000, Effect of Viscoplastic and Friction Damping on The Responce of Seismic Isolated Structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 85-107.
- [68]. Alavi, B., Krawinkler, H., 2001, Effects of Near-Fault Ground Motions on Frame Structures. *Report 138, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, Stanford, California, USA.*
- [69]. Rodrigues-Marek, A., Bray, J. D., 2006, Seismic Site Responce for Near-Fault Forward Directivity Ground Motions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132, 1611-1620.
- [70]. Sasani, M., 2006, New Measure for Severity of Near-Source Seismic Ground Motion. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 132, 1997-2005.
- [71]. Jacobsen, L. S., Ayre, R. S., 1958, Engineering Vibrations. *Mc Graw-Hill Book Company, New York, USA.*
- [72]. Sommerville, P. G., 2003, Magnitude Scaling of The Near Fault Rupture Directivity Pulse. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137, 201–212.
- [73]. Cox, K. E., Ashford, S. A., 2002, Characterization of Large Velocity Pulses for Laboratory Testing. *Report 2002/22, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA.*
- [74]. Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V., 2001, A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *Simulation*, 76(2), 60-68.
- [75]. Yoo, D. G., Kim, J. H., & Geem, Z. W., 2014, Overview of Harmony Search algorithm and its applications in Civil Engineering. *Evolutionary Intelligence*, 7(1), 3-16.
- [76]. Saka, M.P., 2007, Optimum Geometry Design of Geodesic Domes Using Harmony Search Algorithm. *Adv. Struct. Eng.* 10(6), 595–606.
- [77]. Degertekin, S.O., 2008, Harmony Search Algorithm for Optimum Design of Steel Frame Structures: A Comparative Study with Other Optimization Methods. *Struct. Eng. Mech.* 29(4), 391-410.
- [78]. Saka, M.P., 2009, Optimum Design of Steel Sway Frames to BS5950 Using Harmony Search Algorithm. *J. Constr. Steel Res.* 65, 36-43 (2009).
- [79]. Hasancebi, O., 2009, Performance Evaluation of Metaheuristic Search Techniques in the Optimum Design of Real Size Pin Jointed Structures. *Comput. Struct.* 87, 284-302.

- [80]. Degertekin, S.O., Hayalioglu, M.S., Gorgun, H., 2009, Optimum Design of Geometrically Non-Linear Steel Frames with Semi-Rigid Connections Using a Harmony Search Algorithm. *Steel Compos. Struct.* 9(6), 535-555.
- [81]. Erdal, F., Saka, M.P., 2009, Harmony Search Based Algorithm for The Optimum Design of Grillage Systems to LRFD-AISC. *Struct. Multidiscip. O.* 38, 25-41.
- [82]. Hasancebi, O., Carbas, S., Dogan, E., Erdal, F., Saka, M.P., 2010, Comparison of Non-Deterministic Search Techniques in the Optimum Design of Real Size Steel Frames. *Comput. Struct.* 88(17-18), 1033-1048.
- [83]. Togan, V., Daloglu, A.T., Karadeniz, H., 2011, Optimization of Trusses Under Uncertainties with Harmony Search. *Struct. Eng. Mech.* 37(5), 543-560.
- [84]. Erdal, F., Dogan, E., Saka, M.P., 2011, Optimum Design of Cellular Beams Using Harmony Search And Particle Swarm Optimizers. *J. Constr. Steel Res.* 67(2), 237-247.
- [85]. Toklu, Y. C., Bekdaş, G., & Temur, R., 2013, Analysis of Trusses by Total Potential Optimization Method Coupled with harmony search. *Structural Engineering and Mechanics*, 45(2), 183-199.
- [86]. Toklu, Y. C., Y., Temür, R., & Bekdaş, G. 2015, Computation of Nonunique Solutions for Trusses Undergoing Large Deflections. *International Journal of Computational Methods*, 12(03), 1550022.
- [87]. Nigdeli, S. M., Bekdas, G., Kim, S., & Geem, Z. W., 2015, A Novel Harmony Search Based Optimization of Reinforced Concrete Biaxially Loaded Columns. *Structural Engineering and Mechanics*, 54(6), 1097-1109.
- [88]. Bekdas, G., 2014, Optimum Design of Axially Symmetric Cylindrical Reinforced Concrete Walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 51(3), 361-375.
- [89]. Bekdaş, G., 2015, Harmony Search Algorithm Approach for Optimum Design of Post-tensioned Axially Symmetric Cylindrical Reinforced Concrete Walls. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 164(1), 342-358.
- [90]. Lee, J-H., Yoon, Y. S., 2007, Modified Harmony Search Algorithm and Neural Networks for Concrete Mix Proportion Design. *ASCE Int. Workshop Comput. Civil Eng.* 23(1), 57-61.
- [91]. Suh, Y., Mun, S., Yeo, I., 2010, Fatigue Life Prediction of Asphalt Concrete Pavement Using A Harmony Search Algorithm. *KSCE J. Civil Eng.* 14(5), 725-730.
- [92]. Mun, S., Lee, S., 2011, Identification of Viscoelastic Functions for Hot-Mix Asphalt Mixtures Using a Modified Harmony Search Algorithm. *J. Comput. Civil Eng.* 25(2), 139-148.

- [93]. Geem, Z.W., 2009, Harmony Search Optimisation to the Pump-Included Water Distribution Network Design. *Civil Eng. Environ. Syst.* 26(3), 211-221.
- [94]. Baek, C.W., Jun, H.D., Kim, J.H., 2010, Development of a PDA Model for Water Distribution Systems Using Harmony Search Algorithm. *KSCE J. Civil Eng.* 14(4), 613-625.
- [95]. Geem, Z.W., Cho, Y. H., 2011, Optimal Design of Water Distribution Networks Using Parameter-Setting-Free Harmony Search for Two Major Parameters. *J. Water Res. Pl.-ASCE*, 137(4), 377-380.
- [96]. Geem, Z.W., 2011, Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Model Using Parameter-Setting-Free Harmony Search. *J. Hydrol. Eng.* 16(8), 684-688.
- [97]. Geem, Z.W., 2010, Multiobjective Optimization of Time-Cost Trade-Off Using Harmony Search. *J. Constr. Eng. M.-ASCE* 136(6), 711-716.
- [98]. Gholizadeh, R., Amiri, G.G., Mohebi, B., 2010, An Alternative Approach to A Harmony Search Algorithm for A Construction Site Layout Problem. *Can. J. Civil Eng.* 37(12), 1560-1571.
- [99]. Kaveh, A., Abadi, A., Shakouri, M., 2010, Cost Optimization of A Composite Floor System Using An Improved Harmony Search Algorithm. *J. Constr. Steel Res.* 66(5), 664-669.
- [100]. Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M., 2013, Mass Ratio Factor for Optimum Tuned Mass Damper Strategies. *International Journal of Mechanical Sciences*, 71, 68-84.
- [101]. Nigdeli, S. M., Bekdaş, G., & Alhan, C., 2014, Optimization of Seismic Isolation Systems via Harmony Search. *Engineering Optimization*, 46(11), 1553-1569.
- [102]. Rao, R. V., Savsani, V. J., & Vakharia, D. P., 2011, Teaching-learning-Based Optimization: A Novel Method for Constrained Mechanical Design Optimization Problems. *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315.
- [103]. Rao, R. V., & Patel, V., 2013, Multi-objective Optimization of Two Stage Thermoelectric Cooler Using A Modified Teaching-learning Based Optimization Algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(1), 430-445.
- [104]. Togan, V., 2013, Design of Pin Jointed Structures Using Teaching-learning Based Optimization. *Structural Engineering and Mechanics*, 47(2), 209-225.
- [105]. Azizipanah-Abarghooee, R., Niknam, T., Roosta, A., Malekpour, A. R., & Zare, M., 2012, Probabilistic Multiobjective Wind-thermal Economic Emission Dispatch Based on Point Estimated Method. *Energy*, 37(1), 322-335.

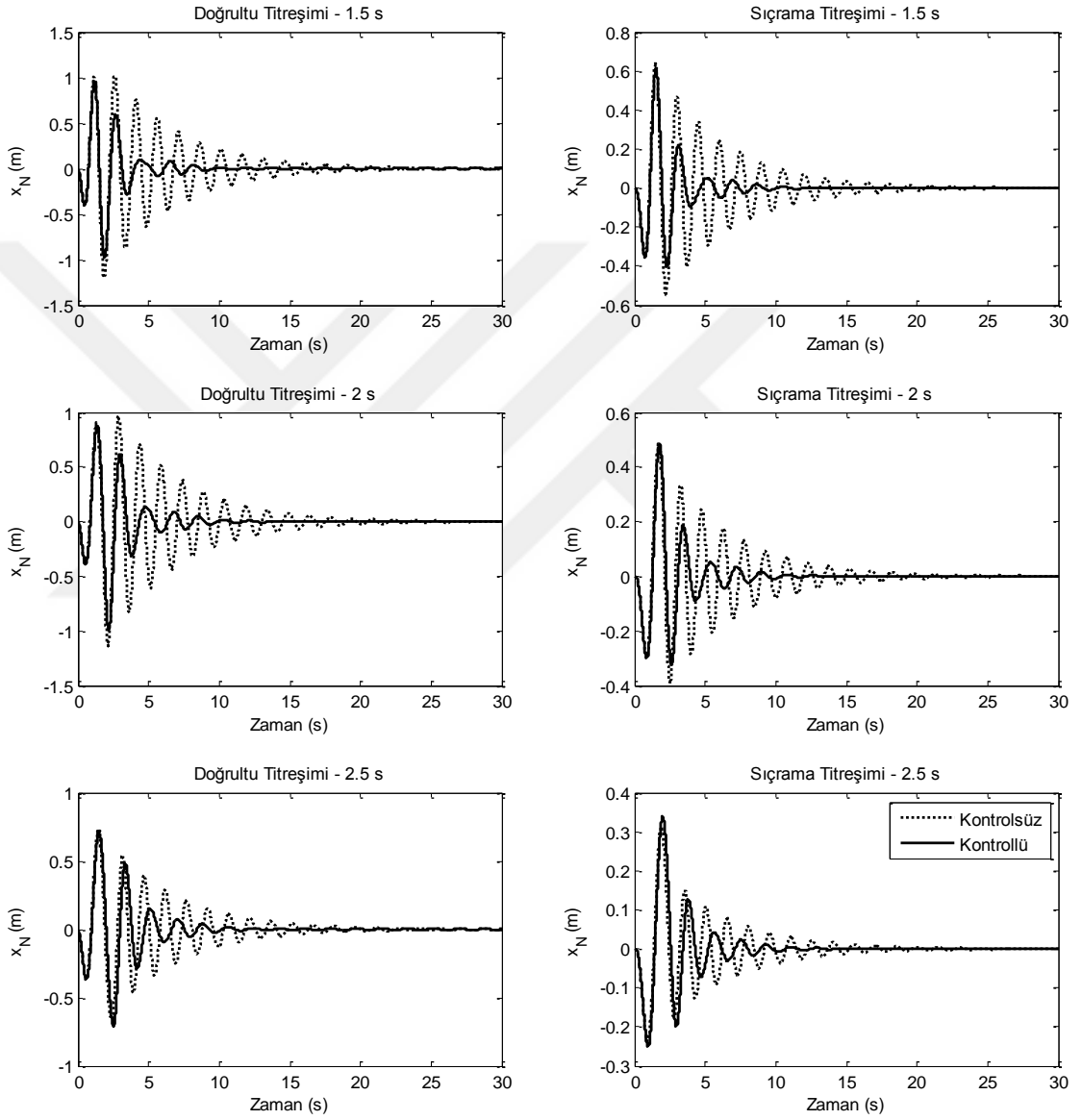
- [106]. Niknam, T., Reza Massrur, H., & Bahmani Firouzi, B., 2012, Stochastic Generation Scheduling Considering Wind Power Generators. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 4(6), 063119.
- [107]. Toğan, V., 2012, Design of Planar Steel Frames Using Teaching–learning Based Optimization. *Engineering Structures*, 34, 225-232.
- [108]. Dede, T., & Ayvaz, Y., 2013, Structural Optimization with Teaching-learning-Based Optimization Algorithm. *Structural Engineering and Mechanics*, 47(4), 495-511.
- [109]. Dede, T., 2013, Optimum Design of Grillage Structures to LRFD-AISC with Teaching-learning Based Optimization. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(5), 955-964.
- [110]. Degertekin, S. O., & Hayalioglu, M. S., 2013, Sizing Truss Structures Using Teaching-learning Based Optimization. *Computers & Structures*, 119, 177-188.
- [111]. Zou, F., Wang, L., Hei, X., Chen, D., & Wang, B., 2013, Multi-objective Optimization Using Teaching-learning Based Optimization Algorithm. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(4), 1291-1300.
- [112]. Camp, C. V., & Farshchin, M., 2014, Design of Space Trusses Using Modified Teaching–learning Based Optimization. *Engineering Structures*, 62, 87-97.
- [113]. Temur, R., & Bekdas, G., 2016, Teaching Learning Based Optimization for Design of Cantilever Retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 57(4), 763-783.
- [114]. Ghasemi, M., Ghavidel, S., Rahmani, S., Roosta, A., & Falah, H., 2014, A Novel Hybrid Algorithm of Imperialist Competitive Algorithm and Teaching Learning Algorithm for Optimal Power Flow Problem with Non-smooth Cost Functions. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 29, 54-69.
- [115]. Bouchekara, H. R. E. H., Abido, M. A., & Boucherma, M., 2014, Optimal Power Flow Using Teaching-learning Based Optimization Technique. *Electric Power Systems Research*, 114, 49-59.
- [116]. Ganguly, A., & Patel, S. K., 2014, A Teaching–learning Based Optimization Approach for Economic Design of X-bar Control Chart. *Applied Soft Computing*, 24, 643-653.
- [117]. Li, J. Q., Pan, Q. K., & Mao, K., 2015, A Discrete Teaching-learning Based Optimisation Algorithm for Realistic Flowshop Rescheduling Problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 37, 279-292.
- [118]. Lin, W., Yu, D. Y., Wang, S., Zhang, C., Zhang, S., Tian, H., ... & Liu, S., 2015, Multi-objective Teaching–learning Based Optimization Algorithm for Reducing Carbon Emissions and Operation Time in Turning Operations. *Engineering Optimization*, 47(7), 994-1007.

- [119]. Rao, R. V., & More, K. C., 2015, Optimal Design of The Heat Pipe Using TLBO (teaching–learning based optimization) Algorithm. *Energy*, 80, 535-544.
- [120]. Rao, R. V., & Waghmare, G., 2015, Design Optimization of Robot Grippers Using Teaching-learning Based Optimization Algorithm. *Advanced Robotics*, 29(6), 431-447.
- [121]. Yang, X. S., 2012, Flower Pollination Algorithm for Global Optimization. *International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation* (pp. 240-249), Springer Berlin Heidelberg.
- [122]. Singh, M. P., Singh, S., & Moreschi, L. M., 2002, Tuned Mass Dampers for Response Control of Torsional Buildings. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 31(4), 749-769.

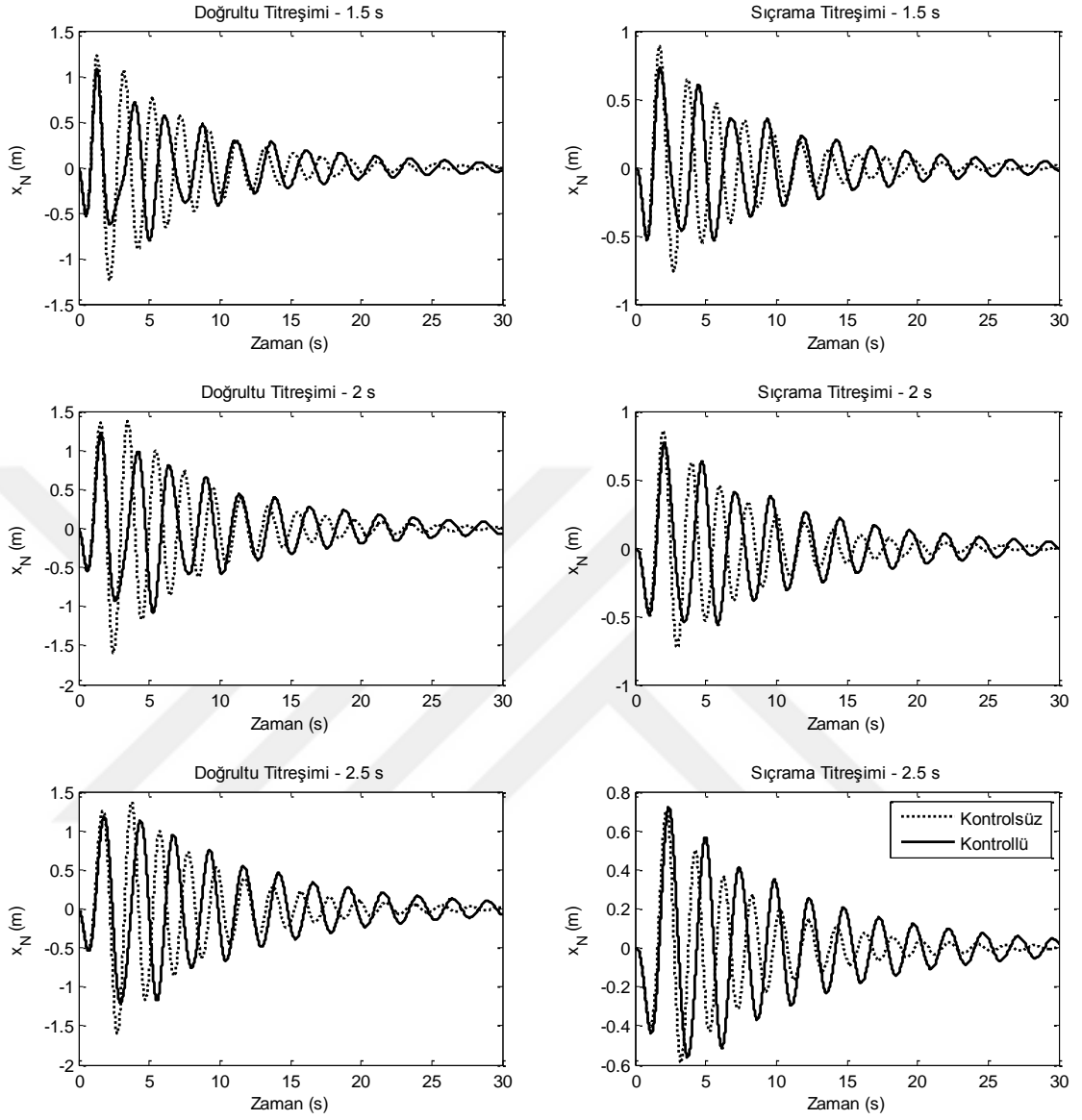


## EKLER

### EK.1 Bina 1'in son katının Durum 1 için yer değiştirme grafiği

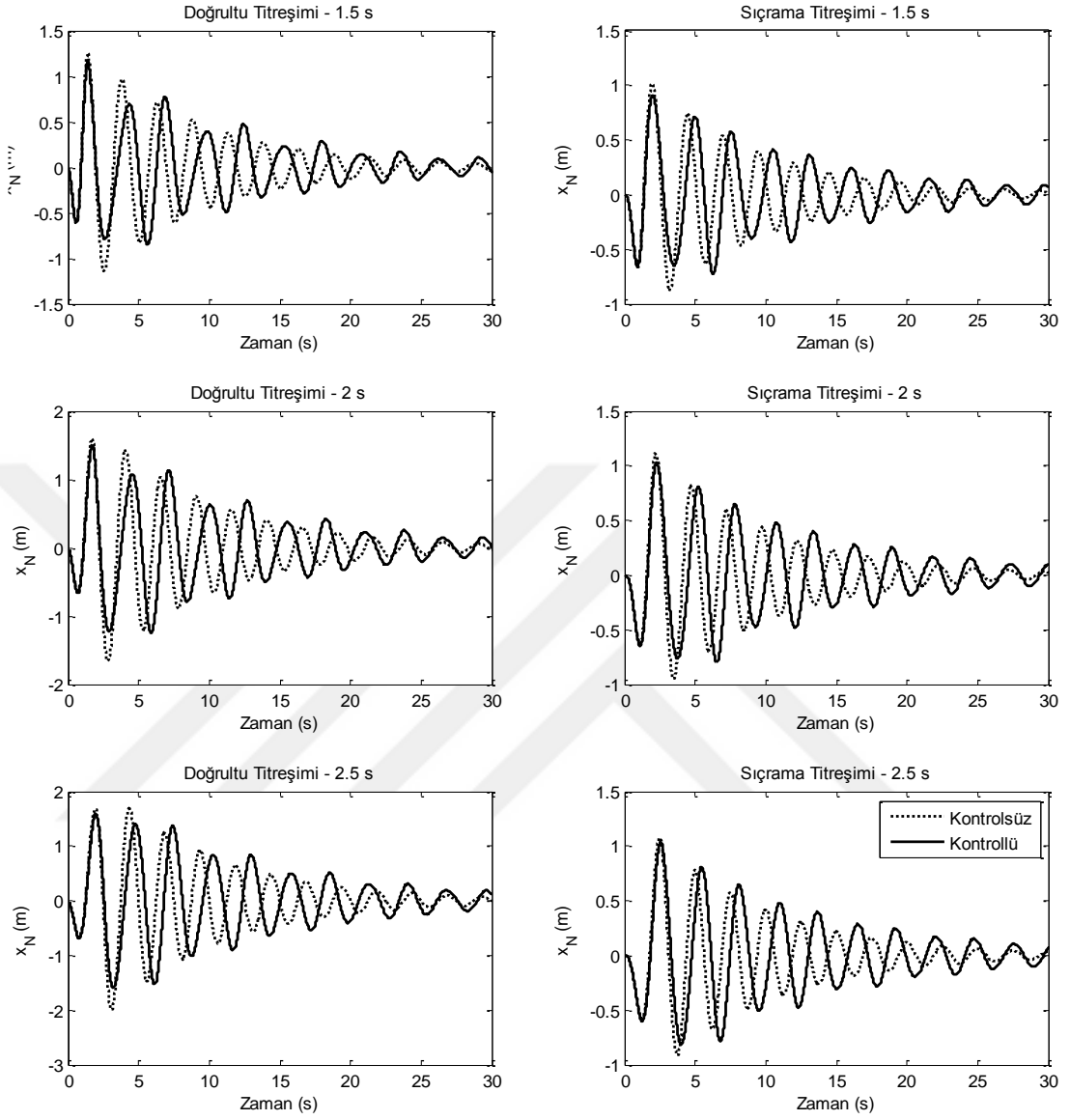


## EK.2 Bina 2'in son katının tüm durumlar için yer değiştirme grafiği

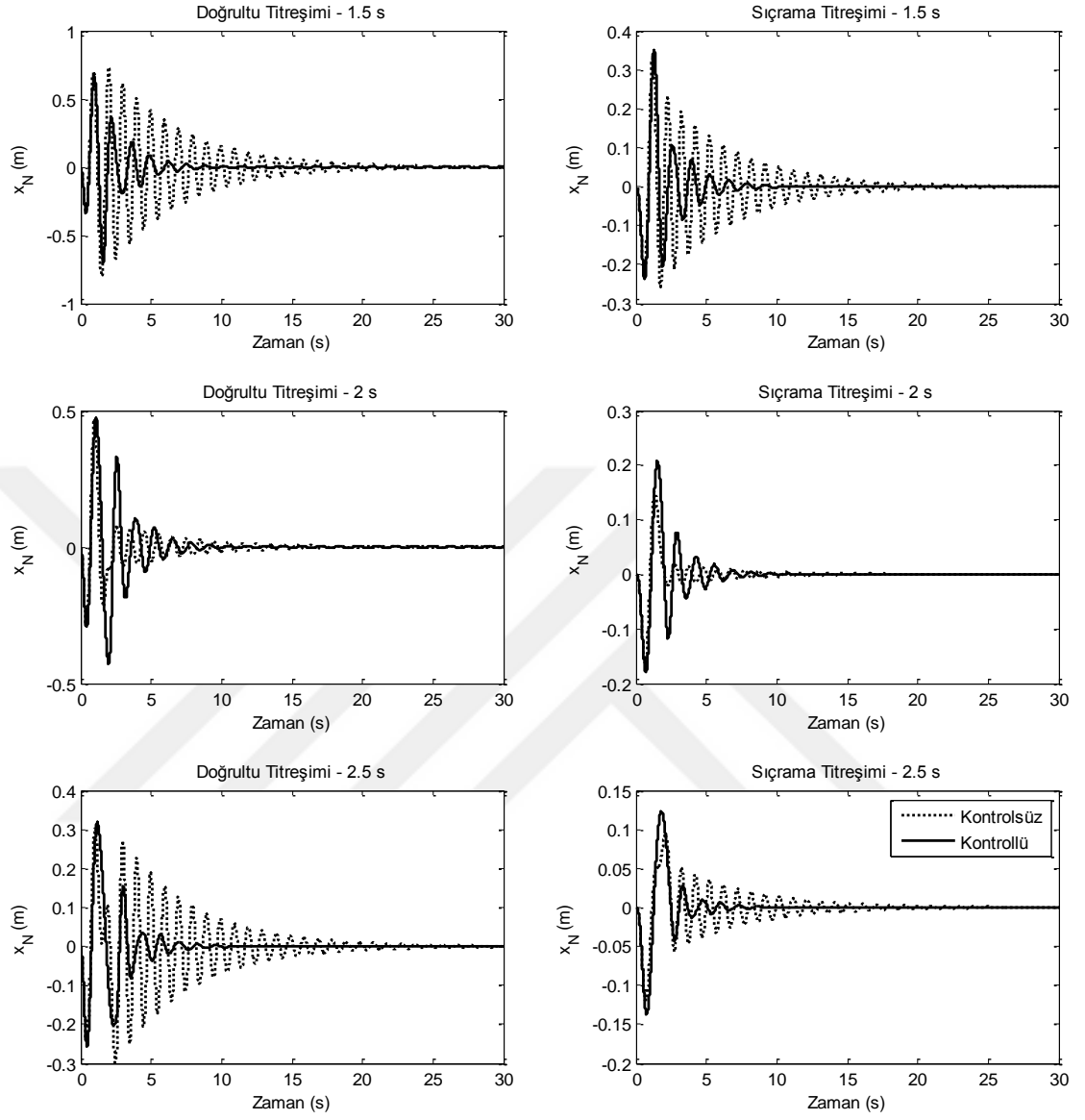




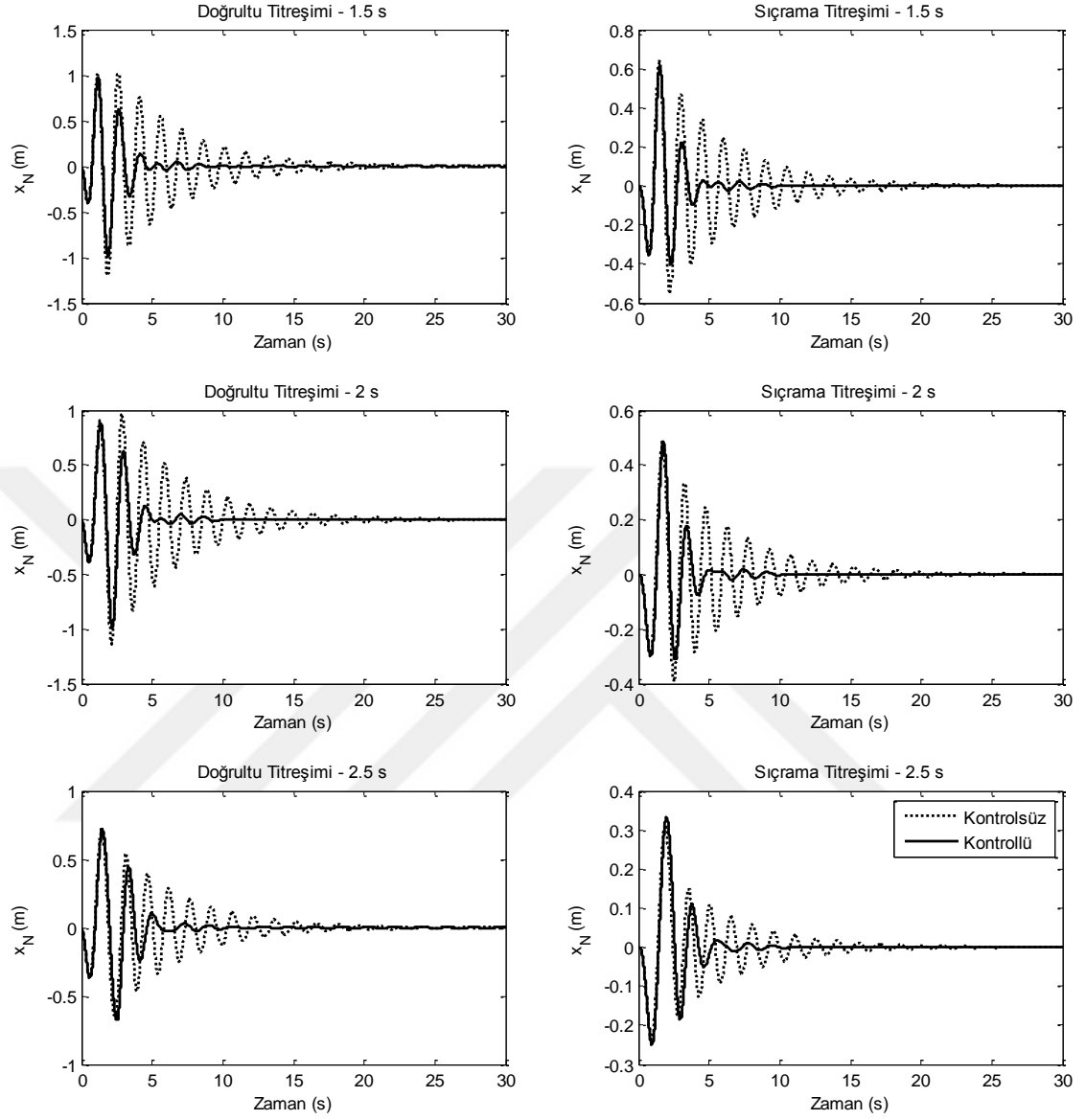
**EK 3.** Bina 3'ün son katının tüm durumlar için yer değıştirme grafiği.



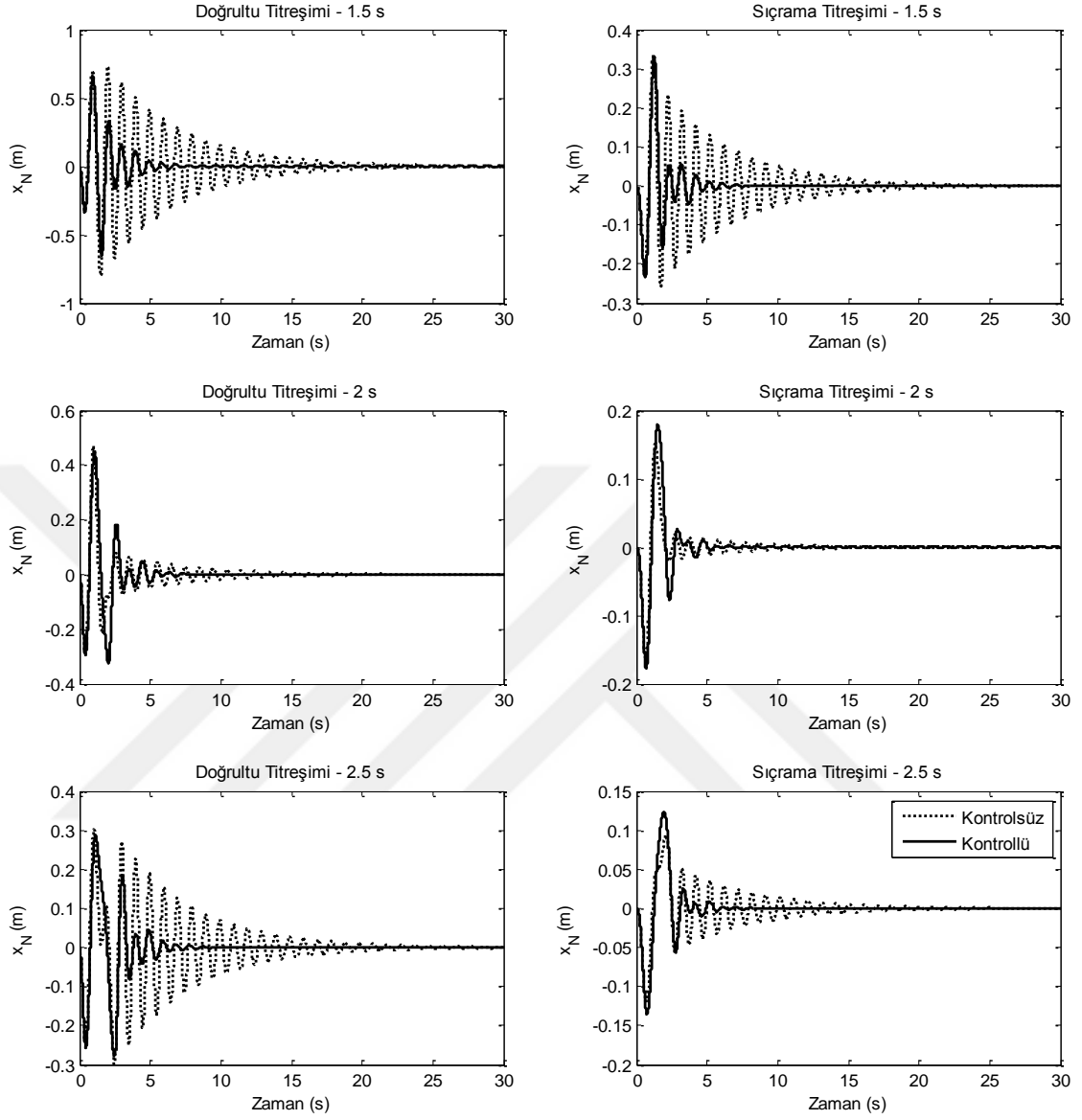
**EK 4.** Bina 4'ün son katının Durum 1 için yer değiştirme grafiği



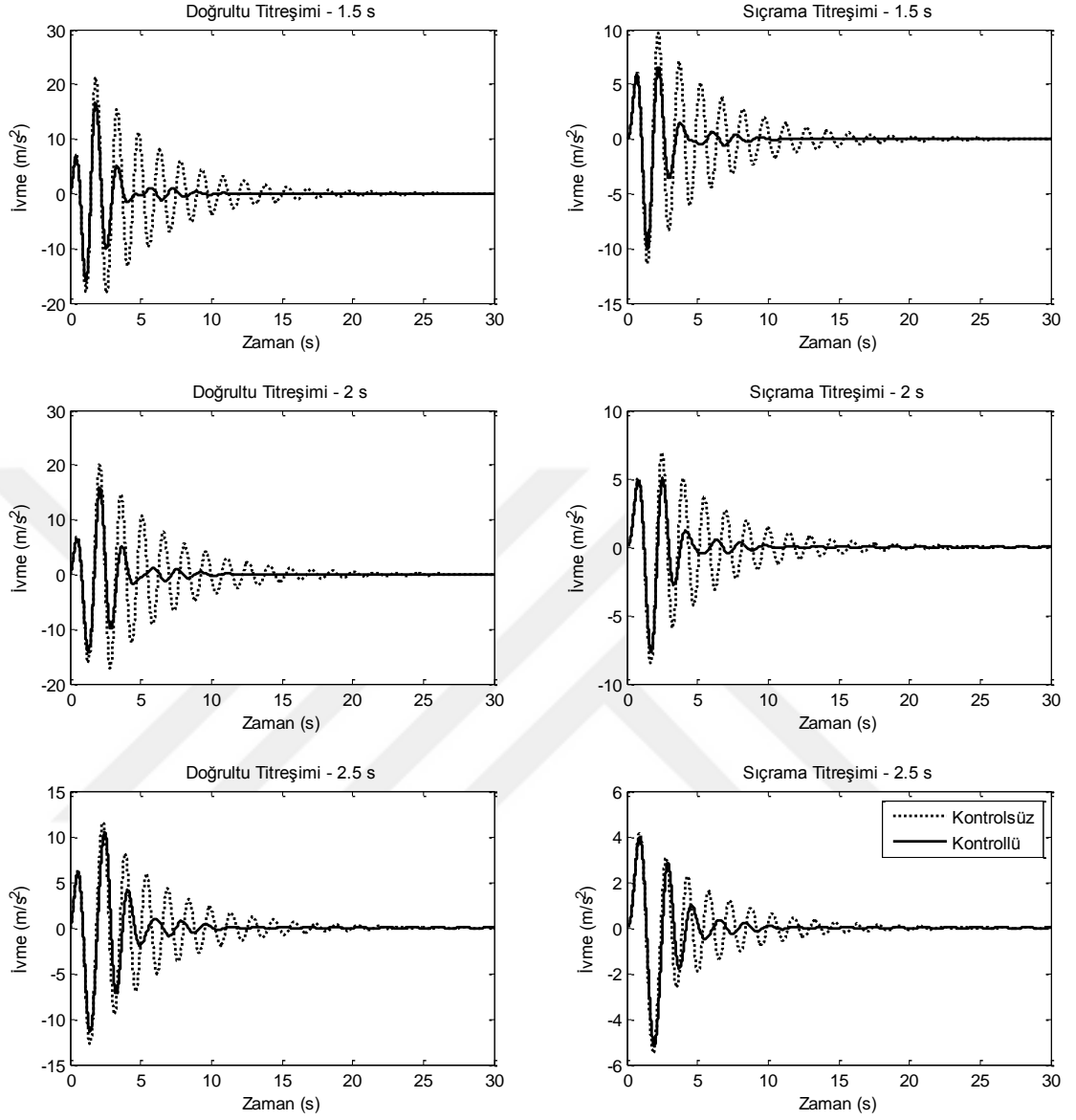
**EK 5.** Bina 1'in son katının Durum 2 ve 3 için yer değiştirme grafiği



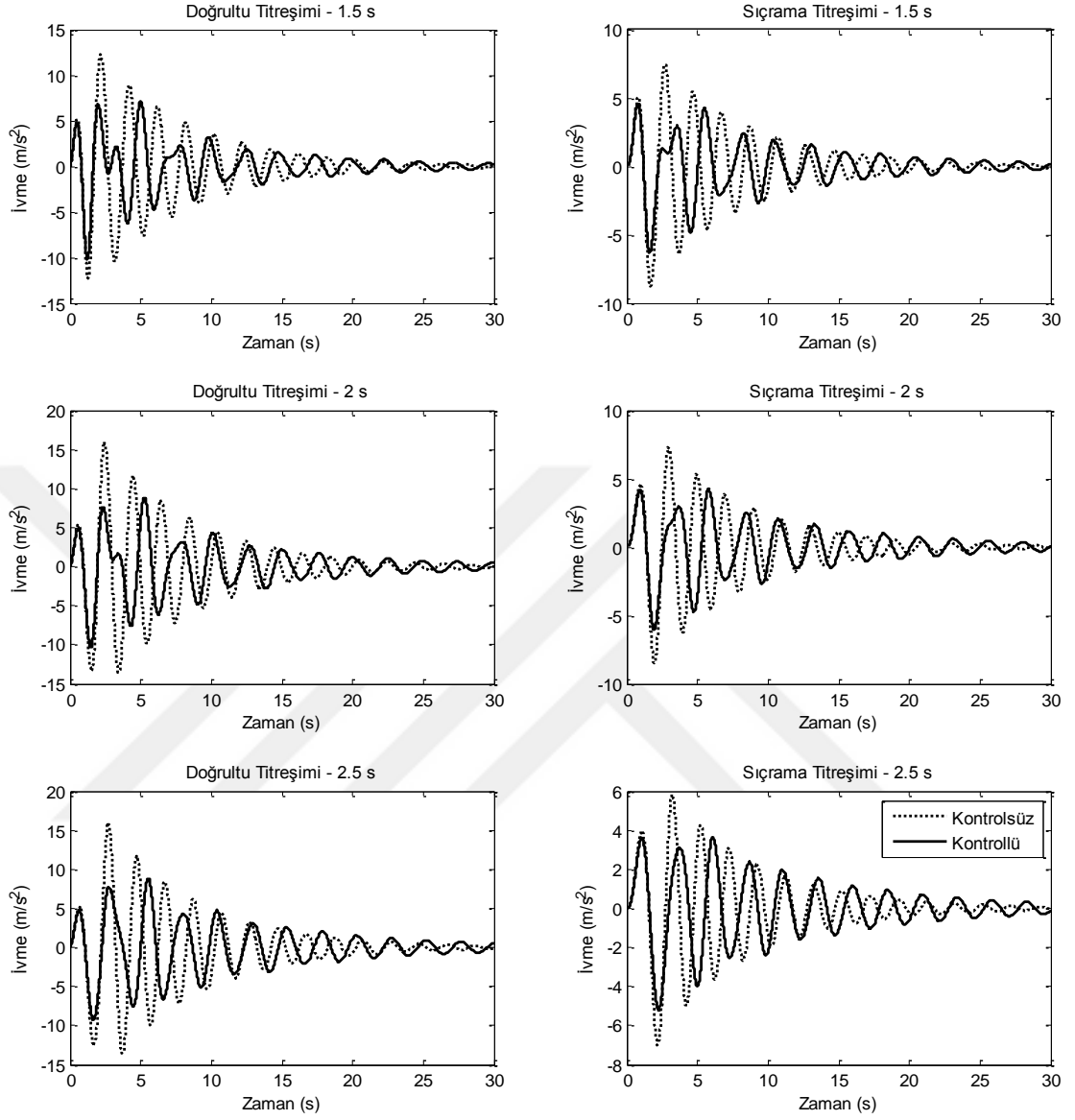
**EK 6.** Bina 4'ün son katının Durum 2 ve 3 için yer değiştirme grafiği



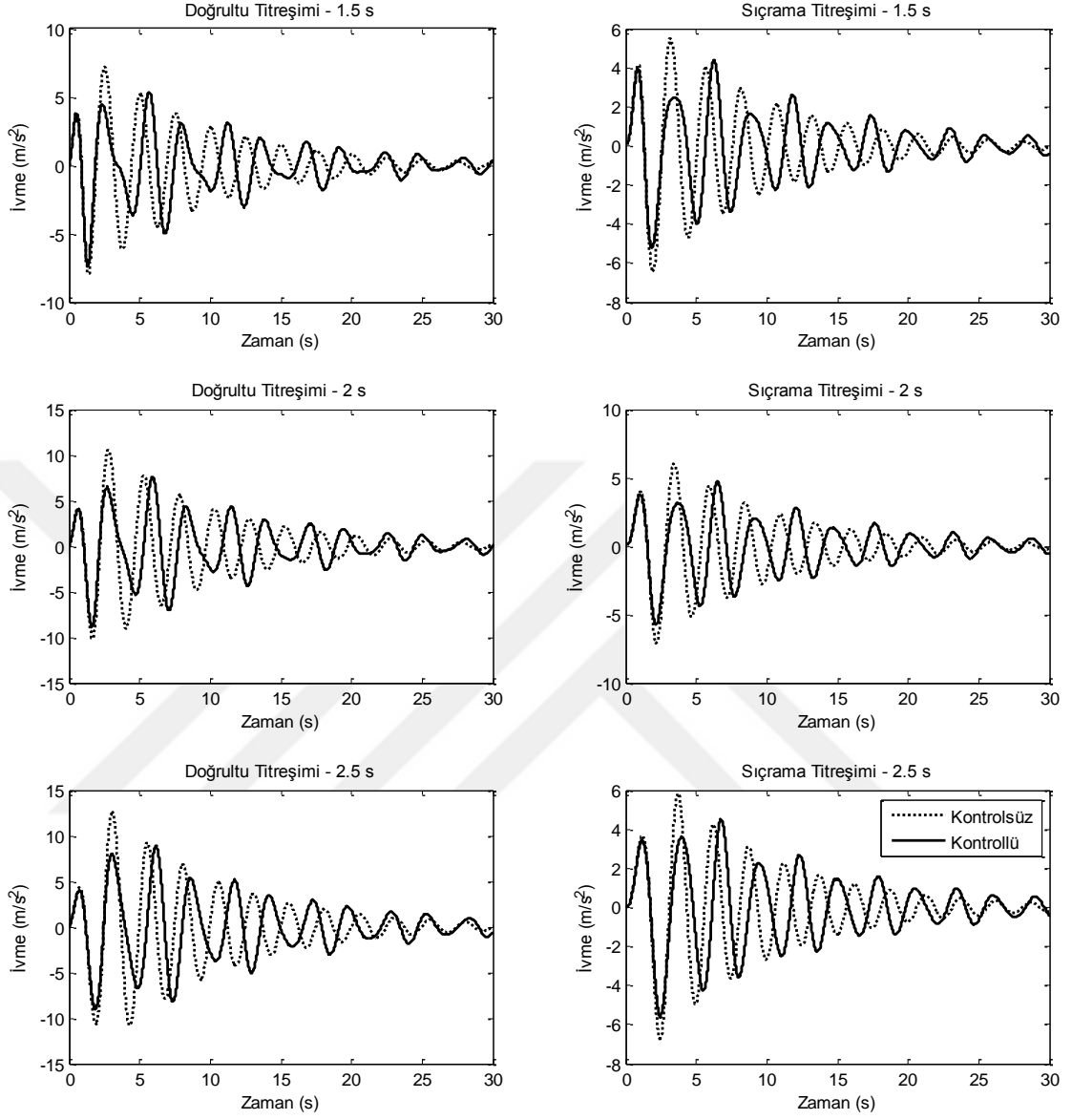
### EK 7. Bina 1'in son katının Durum 1 için toplam ivme grafiği

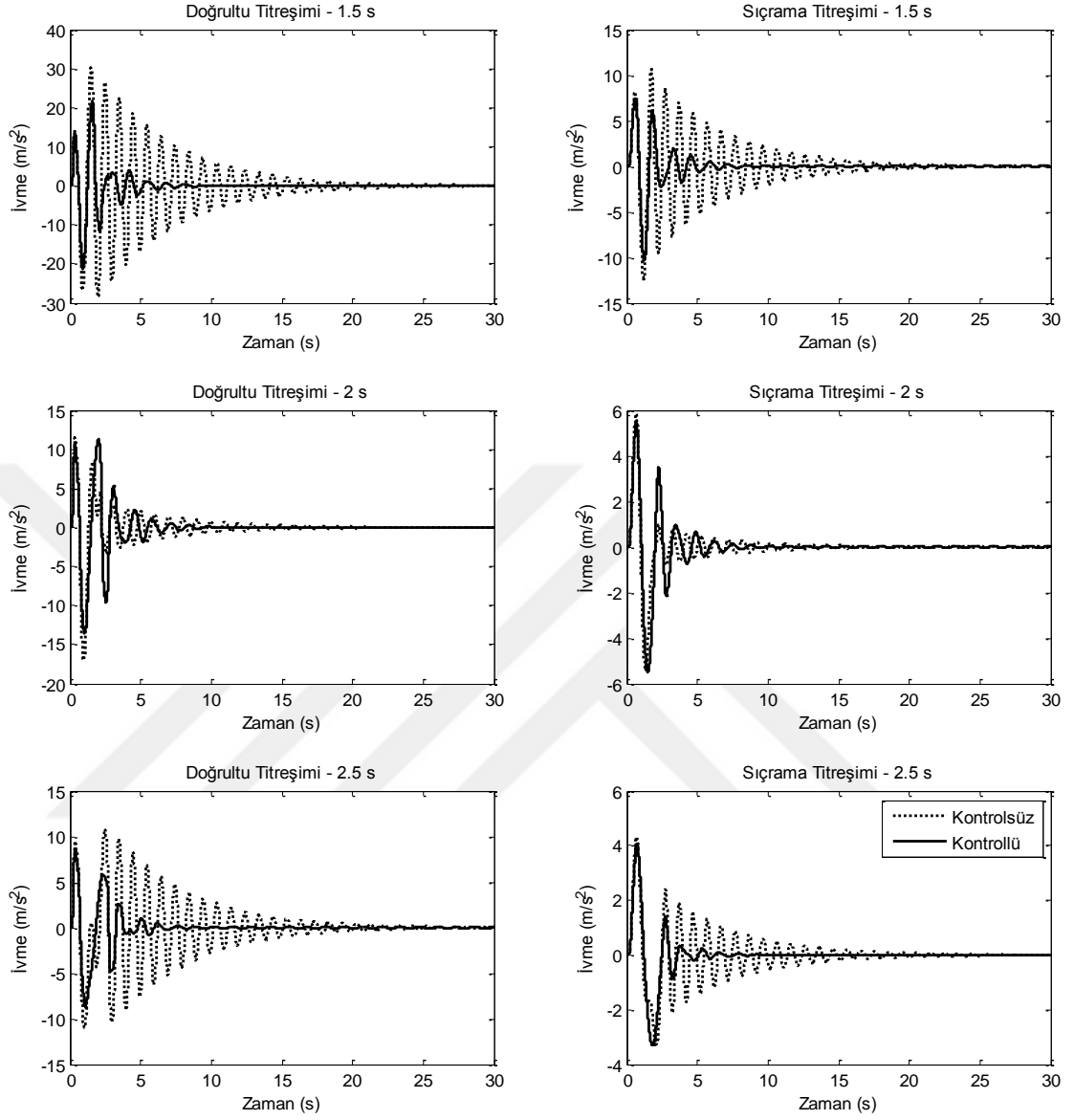


**EK 8.** Bina 2'nin son katının tüm durumlar için toplam ivme grafiği



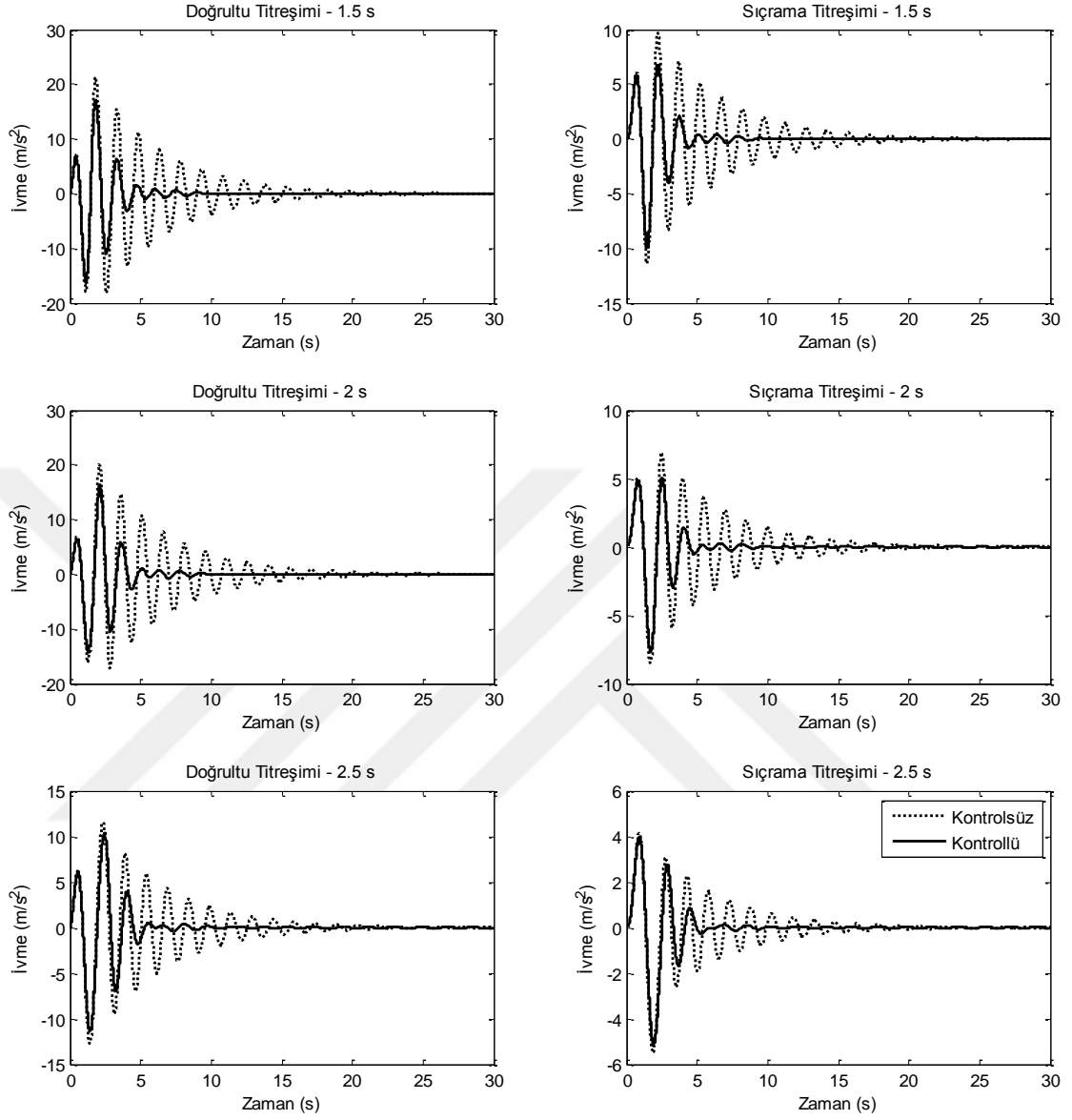
**EK 9.** Bina 3'ün son katının tüm durumlar için toplam ivme grafiği.



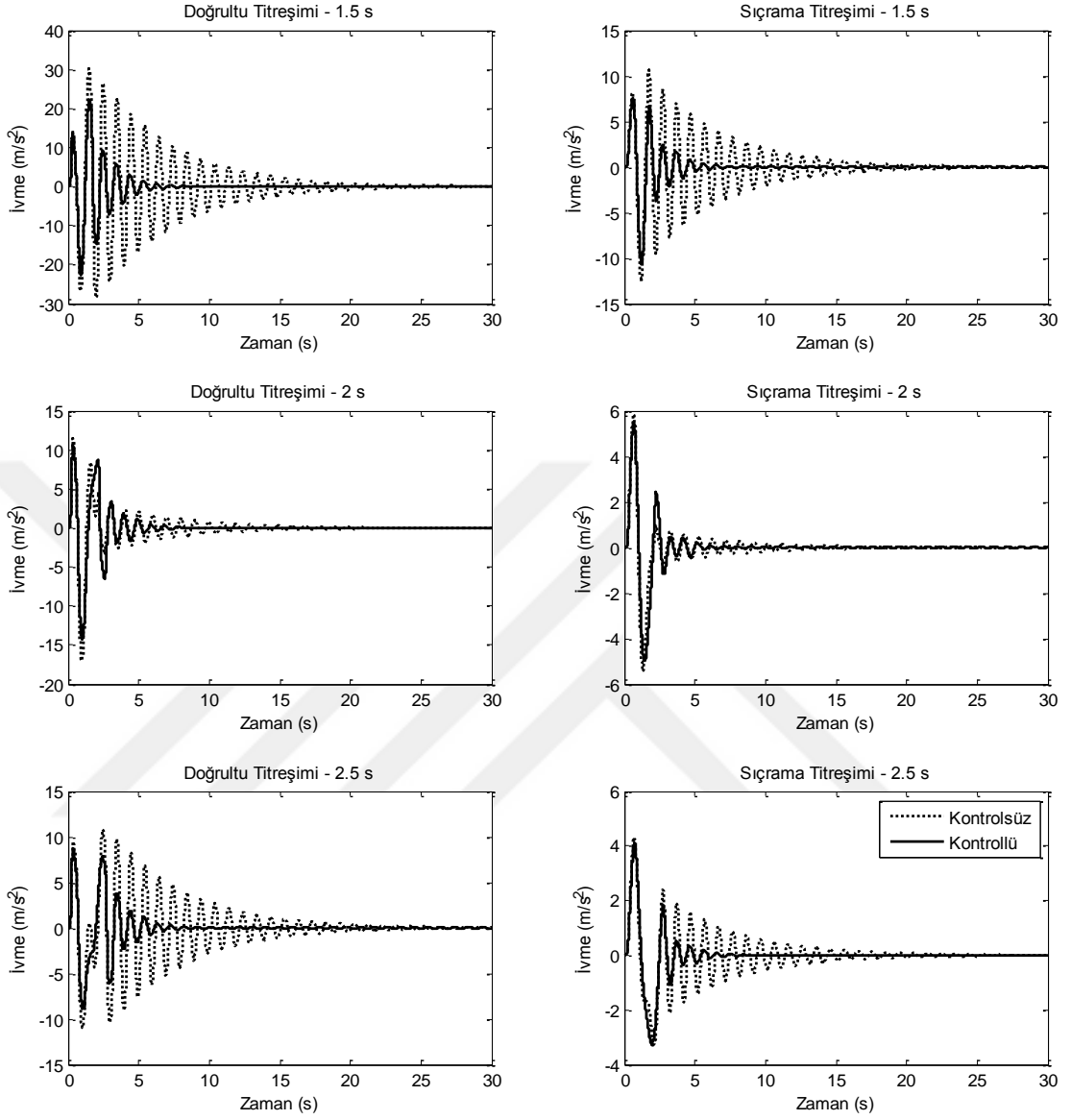
**EK 10.** Bina 4'ün son katının Durum 1 için toplam ivme grafiği.



**EK 11.** Bina 1'in son katının Durum 2 ve 3 için toplam ivme grafiği.



**EK 12.** Bina 4'in son katının Durum 2 ve 3 için toplam ivme grafiği.



## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Aikerim AYDIN
Doğum Yeri	Kazakistan
Doğum Tarihi	22.01.1990
Uyruğu	<input type="checkbox"/> T.C. <input checked="" type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90 545 979 0909
E-Posta Adresi	aykerimaydin@gmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karaganda Devlet Teknik Üniversitesi
Fakülte	İnşaat ve Mimarlık Fakültesi
Bölümü	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2012

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı
Mezuniyet Tarihi	2017