



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİSMİK ETKİ ALTINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ ile ÇOKLU AYARLI
KÜTLE SÖNÜMLEYİCİNİN ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Ömer ELSELUMİ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Aralık, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Ömer Elselumi tarafından, **Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ** danışmanlığında hazırlanan "**SİSMİK ETKİ ALTINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ ile ÇOKLU AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİNİN ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMASI**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **23/12/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ	<input checked="" type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Sinan MELİH	<input checked="" type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Hasan ÖZKAYNAK	<input checked="" type="checkbox"/>
	Beykent Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tezimi, sevgili babama, anneme, eşime, aileme ve değerli hocam Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ'a, bana verdikleri sonsuz destek ve ilham için ithaf ediyorum.

BÜTÇE DESTEKLERİ

SİSMİK ETKİ ALTINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ İLE ÇOKLU AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİNİN ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım sırasında bana ayırdığı zaman ve emek için danışmanım Prof. Dr. Gebrail Bekdaş'a teşekkür etmek istiyorum.

Ayrıca, desteği ve rehberliği için Pro. Dr. Sinan Melih Nigdeli'ye da teşekkür etmek istiyorum.

İnşaat Mühendisliği Fakültesi öğretim üyelerine teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak, aileme sonsuz sevgileri, cesaretlendirmeleri ve destekleri için teşekkür ediyorum.

Aralık 2024

Ömer ELSELUMİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	4
2.1. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.2. MATEMATİKSEL FORMÜLASYONLAR	8
2.2.1. Tek Serbestlik Derecesi Kavramı.....	8
2.2.2. Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemi (TMD).....	10
2.2.3. Ayarlı Kütle Sönümleyici ile Çok Katlı Bir Binanın Hareket Denklemi.....	13
2.2.4. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici ile Çok Katlı Bir Binanın Hareket Denklemi.....	14
2.2.5. Titreşim Enerjisi.....	17
2.2.6. Jaya Algoritması.....	18
3. YÖNTEM	20
3.1. YAPISAL BİNANIN TANIMI	20
3.2. BİRİNCİ DURUM: AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ (TMD)	22
3.2.1. Tasarım Değişkenleri ve Popülasyon Sayısının Değerlerin Tanımlanması.....	23
3.2.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması	23
3.2.3. Tasarım Kısıtlamalarının Tanımlanması.....	24
3.2.4. Simulink Analizi	24
3.3. İKİNCİ DURUM: ÇOKLU AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ (MTMD)	25
3.3.1. Tasarım Değişkenleri ve Popülasyon Sayısının Değerlerin Tanımlanması.....	26
3.3.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması	27
3.3.3. Tasarım Kısıtlamalarının Tanımlanması.....	27
3.3.4. Simulink Analizi	28
4. BULGULAR	29
4.1. BİRİNCİ DURUM: TMD İLE BİNA DURUMU	29
4.1.1. Sistemin Rijitlik, Kütle ve Sönüm Matrisleri.....	29
4.1.2. Katların Yer Değiştirmeleri.....	31
4.1.3. Titreşim Enerjisinin Dağılımı	32
4.2. İKİNCİ DURUM – A: MTMD SİSTEMİNE SAHİP BİNA.....	35

4.2.1. Sistemin Rijitlik, Kütle ve Sönüm Matrisleri.....	35
4.2.2. Katların Yer Değiş-tirmeleri.....	36
4.2.3. Titreşim Enerjisinin Dağı-lması	38
4.3. İKİNCİ DURUM – B: MTMD SİSTEMİNE SAHİP BİNA.....	39
4.3.1. Sistemin Rijitlik, Kütle ve Sönüm Matrisleri.....	39
4.3.2 Katların Yer Değiş-tirmeleri	41
4.3.3. Titreşim Enerjisinin Dağı-lması	42
4.4. TMD SİSTEMİNİN MTMD DURUM-A SİSTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI	44
4.4.1 Katların Yer Değiş-tirmeleri	44
4.4.2. Maksimum Yer Değiş-tirme Değerlerinin Karşı-lştırılması	44
4.4.3. Titreşim Enerjisinin Dağı-lması	45
4.5. TMD SİSTEMİNİN MTMD DURUM-B SİSTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI	46
4.5.1 Katların Yer Değiş-tirmeleri	46
4.5.2. Maksimum Yer Değiş-tirme Değerlerinin Karşı-lştırılması	46
4.5.3. Titreşim Enerjisinin Dağı-lması	47
4.6. MAKSİMUM YER DEĞİŞTİRMESİ VE KAT ÖTELENMESİ	48
5. TARTIŞMA.....	49
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	54
6.1. Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD) Sonucu.....	61
6.1.1. Katların Yer Değiş-tirmesi	61
6.1.2. Katların Toplam İvmesi	66
6.1.3. Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Yer Değiş-tirmesi ve İvmesi	71
6.2. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici (MTMD-A) Sonucu	72
6.2.1. Katların Yer Değiş-tirmesi	72
6.2.2. Katların Toplam İvmesi	77
6.2.3. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Yer Değiş-tirmesi	82
6.2.4. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin İvmesi.....	87
6.3. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici (MTMD-B) Sonucu	92
6.3.1. Katların Yer Değiş-tirmesi	92
6.3.2. Katların Toplam İvmesi	97
6.3.3. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Yer Değiş-tirmesi	102
6.3.4. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin İvmesi.....	107

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Tek serbestlik derece sistemi (SDOF).....	8
Şekil 2.2: Ayarlı kütle sönümleyici sistemi (TMD).....	10
Şekil 2.3: TMD ile çok katlı binanın Sistemi.....	13
Şekil 2.4: MTMD ile çok katlı binanın Sistemi.....	15
Şekil 2.5: Jaya algoritmasının akış şeması.....	19
Şekil 3.1: El-Centro Deprem İvmesi.....	21
Şekil 3.2: On katlı bina sistemi (Çoklu serbestlik derecesi).....	21
Şekil 3.3: TMD sistemine sahip on katlı bina.....	22
Şekil 3.4: TMD sistemine sahip on katlı bina için kullanılan Simulink.....	24
Şekil 3.5: MTMD sistemine sahip on katlı bina.....	25
Şekil 4.1: Sistem kütle matrisi, TMD Durumu.....	29
Şekil 4.2: Sistem rijitlik matrisi, TMD Durumu.....	30
Şekil 4.3: Sistem sönüm matrisi, TMD Durumu.....	30
Şekil 4.4: Sistem kütle matrisi, MTMD-A Durumu.....	35
Şekil 4.5: Sistem rijitlik matrisi, MTMD-A Durumu.....	35
Şekil 4.6: Sistem sönüm matrisi, MTMD-A Durumu.....	36
Şekil 4.7: Sistem kütle matrisi, MTMD-B Durumu.....	39
Şekil 4.8: Sistem rijitlik matrisi, MTMD-B Durumu.....	40
Şekil 4.9: Sistem sönüm matrisi, MTMD-B Durumu.....	40
Şekil 4.10: Maksimum yer değiştirmeleri.....	48
Şekil 4.11: Kat ötelenmesi.....	48

Şekil 6.1: Birinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu	61
Şekil 6.2: İkinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu	61
Şekil 6.3: Üçüncü katın yer değiştirmesi, TMD Durumu	62
Şekil 6.4: Dördüncü katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.....	62
Şekil 6.5: Beşinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.....	63
Şekil 6.6: Altıncı katın yer değiştirmesi, TMD Durumu	63
Şekil 6.7: Yedinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu	64
Şekil 6.8: Sekizinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.....	64
Şekil 6.9: Dokuzuncu katın yer değiştirmesi, TMD Durumu	65
Şekil 6.10: Onuncu katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.....	65
Şekil 6.11: Birinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu	66
Şekil 6.12: İkinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu	66
Şekil 6.13: Üçüncü katın toplam ivmesi, TMD Durumu	67
Şekil 6.14: Dördüncü katın toplam ivmesi, TMD Durumu	67
Şekil 6.15: Beşinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu	68
Şekil 6.16: Altıncı katın toplam ivmesi, TMD Durumu	68
Şekil 6.17: Yedinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu.....	69
Şekil 6.18: Sekizinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu	69
Şekil 6.19: Dokuzuncu katın toplam ivmesi, TMD Durumu.....	70
Şekil 6.20: Onuncu katın toplam ivmesi, TMD Durumu.....	70
Şekil 6.21: Ayarlı kütle sönümleyicinin yer değiştirmesi, TMD Durumu.....	71
Şekil 6.22: Ayarlı kütle sönümleyicinin toplam ivmesi, TMD Durumu.....	71
Şekil 6.23: Birinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	72
Şekil 6.24: İkinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu	72
Şekil 6.25: Üçüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu	73
Şekil 6.26: Dördüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	73
Şekil 6.27: Beşinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	74

Şekil 6.28: Altıncı katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	74
Şekil 6.29: Yedinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	75
Şekil 6.30: Sekizinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	75
Şekil 6.31: Dokuzuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	76
Şekil 6.32: Onuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	76
Şekil 6.33: Birinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	77
Şekil 6.34: İkinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	77
Şekil 6.35: Üçüncü katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	78
Şekil 6.36: Dördüncü katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	78
Şekil 6.37: Beşinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.....	79
Şekil 6.38: Altıncı katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	79
Şekil 6.39: Yedinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.....	80
Şekil 6.40: Sekizinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.....	80
Şekil 6.41: Dokuzuncu katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	81
Şekil 6.42: Onuncu katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.....	81
Şekil 6.43: Birinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	82
Şekil 6.44: İkinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	82
Şekil 6.45: Üçüncü katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	83
Şekil 6.46: Dördüncü katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	83
Şekil 6.47: Beşinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	84
Şekil 6.48: Altıncı katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	84
Şekil 6.49: Yedinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	85
Şekil 6.50: Sekizinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	85
Şekil 6.51: Dokuzuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.....	86
Şekil 6.52: Onuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.	86
Şekil 6.53: Birinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.....	87
Şekil 6.54: İkinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.....	87

Şekil 6.55: Üçüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	88
Şekil 6.56: Dördüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	88
Şekil 6.57: Beşinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	89
Şekil 6.58: Altıncı katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	89
Şekil 6.59: Yedinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	90
Şekil 6.60: Sekizinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	90
Şekil 6.61: Dokuzuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	91
Şekil 6.62: Onuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.	91
Şekil 6.63: Birinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	92
Şekil 6.64: İkinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	92
Şekil 6.65: Üçüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	93
Şekil 6.66: Dördüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	93
Şekil 6.67: Beşinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	94
Şekil 6.68: Altıncı katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	94
Şekil 6.69: Yedinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	95
Şekil 6.70: Sekizinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	95
Şekil 6.71: Dokuzuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	96
Şekil 6.72: Onuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	96
Şekil 6.73: Birinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	97
Şekil 6.74: İkinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	97
Şekil 6.75: Üçüncü katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	98
Şekil 6.76: Dördüncü katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	98
Şekil 6.77: Beşinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	99
Şekil 6.78: Altıncı katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	99
Şekil 6.79: Yedinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	100
Şekil 6.80: Sekizinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	100
Şekil 6.81: Dokuzuncu katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	101

Şekil 6.82: Onuncu katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	101
Şekil 6.83: Birinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	102
Şekil 6.84: İkinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	102
Şekil 6.85: Üçüncü katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	103
Şekil 6.86: Dördüncü katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	103
Şekil 6.87: Beşinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	104
Şekil 6.88: Altıncı katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	104
Şekil 6.89: Yedinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	105
Şekil 6.90: Sekizinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	105
Şekil 6.91: Dokuzuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	106
Şekil 6.92: Onuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.	106
Şekil 6.93: Birinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	107
Şekil 6.94: İkinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	107
Şekil 6.95: Üçüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	108
Şekil 6.96: Dördüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	108
Şekil 6.97: Beşinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	109
Şekil 6.98: Altıncı katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	109
Şekil 6.99: Yedinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	110
Şekil 6.100: Sekizinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	110
Şekil 6.101: Dokuzuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	111
Şekil 6.102: Onuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.	111

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Katların özellikleri.....	20
Tablo 4.1: Ayarlı kütle sönümleyicinin özellikleri.....	30
Tablo 4.2: TMD olmayan bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m).....	31
Tablo 4.3: TMD ile bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m).....	31
Tablo 4.4: Yer değiştirmede yüzdeler iyileşme, TMD durumu.....	32
Tablo 4.5: TMD olmayan bina için katların potansiyel enerjisi (J).....	32
Tablo 4.6: TMD olmayan bina için katların kinetik enerjisi (J).....	33
Tablo 4.7: TMD olmayan bina için katların toplam titreşim enerjisi (J).....	33
Tablo 4.8: TMD ile bina için katların potansiyel enerjisi (J).....	33
Tablo 4.9: TMD ile bina için katların kinetik enerjisi (J).....	34
Tablo 4.10: TMD ile bina için katların toplam titreşim enerjisi (J).....	34
Tablo 4.11: Titreşim enerji yüzdeler iyileşme, TMD durumu.....	34
Tablo 4.12: Çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin özellikleri, MTMD-A durumu.....	36
Tablo 4.13: MTMD-A ile bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m).....	37
Tablo 4.14: Yer değiştirmede yüzdeler iyileşme, MTMD-A durumu.....	37
Tablo 4.15: MTMD-A ile bina için katların potansiyel enerjisi (J).....	38
Tablo 4.16: MTMD-A ile bina için katların kinetik enerjisi (J).....	38
Tablo 4.17: MTMD-A ile bina için katların toplam titreşim enerjisi (J).....	38
Tablo 4.18: Titreşim enerji yüzdeler iyileşme, MTMD-A durumu.....	39
Tablo 4.19: Çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin özellikleri, MTMD-B durumu.....	41
Tablo 4.20: MTMD-B ile bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m).....	41
Tablo 4.21: Yer değiştirmede yüzdeler iyileşme, MTMD-B durumu.....	42

Tablo 4.22: MTMD-B ile bina için katların potansiyel enerjisi (J).....	42
Tablo 4.23: MTMD-B ile bina için katların kinetik enerjisi (J)	43
Tablo 4.24: MTMD-B ile bina için katların toplam titreşim enerjisi (J).....	43
Tablo 4.25: Titreşim enerji yüzdeler iyileşme, MTMD-B durumu	43
Tablo 4.26: TMD ile MTMD-A arasındaki yer değiştirmede yüzdeler iyileşme.....	44
Tablo 4.27: TMD ile MTMD-A arasındaki maksimum yer değiştirmede yüzdeler iyileşme.	45
Tablo 4.28: TMD ve MTMD-A arasındaki titreşim enerjisi dağılımındaki yüzdeler iyileşme	45
Tablo 4.29: TMD ile MTMD-B arasındaki yer değiştirmede yüzdeler iyileşme	46
Tablo 4.30: TMD ile MTMD-B arasındaki maksimum yer değiştirmede yüzdeler iyileşme .	47
Tablo 4.31: TMD ve MTMD-B arasındaki titreşim enerjisi dağılımındaki yüzdeler iyileşme	47
Tablo 5.1: Brandao ve Miguel Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD).....	49
Tablo 5.2: Brandao ve Miguel Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (MTMD-A)	50
Tablo 5.3: Brandao ve Miguel Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (MTMD-B)	50
Tablo 5.4: Kaveh ve diğ. Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD).....	51
Tablo 5.5: Bekdaş ve Melih Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD).....	52
Tablo 5.6: Lee ve diğ. Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD).....	53

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
$\ddot{x}(t)$: Kütlenin ivmesi
$\dot{x}(t)$: Kütlenin hızı
$x(t)$: Kütlenin yer değiştirmesi
$P(t)$: Sisteme uygulanan kuvvet
ω_n	: Doğal frekans
ζ	: Sönümleme Oranı
$[M]$: Kütle matrisi
$[C]$: Sönüm matrisi
$[K]$: Rijitlik matrisi
ω_d	: Ayarlı kütle sönümleyicinin kütlesi
k_d	: Ayarlı kütle sönümleyicinin rijitliği
c_d	: Ayarlı kütle sönümleyicinin sönümü
T_d	: Ayarlı kütle sönümleyicinin periyodu
μ	: Kütle oranı
\emptyset	: Özvektör
C_r	: Sönüm oranı
x_i	: Kat yer değiştirmesi

Kısaltmalar	Açıklama
TMD	: Ayarlı kütle sönümleyici
MTMD	: Çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin
KE	: Kinetik enerji
PE	: Potansiyel enerji
E_{total}	: Titreşim enerjisi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİSMİK ETKİ ALTINDA AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ İLE ÇOKLU AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİNİN ETKİSİNİN KARŞILAŞTIRMASI

Ömer ELSELUMİ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Danışman: Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

Son zamanlarda, ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) sismik uyarım nedeniyle oluşan bina titreşimlerini azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır. Başlangıçta, çalışmalar binanın tepesine ayarlı kütle sönümleyicilerin yerleştirilmesine odaklanmıştır. Ancak ayarlı kütle sönümleyicinin bazı dezavantajları vardır. Bu nedenle, çalışmalar yapının en yüksek noktasına yerleştirilen tek bir büyük kütle sönümleyici yerine, tüm katlara yerleştirilen daha küçük kütle sönümleyicilerin (MTMD) kullanılmasına odaklanmıştır. Çalışmanın amacı, ayarlı kütle sönümleyicilerin çoklu ayarlı kütle sönümleyiciyle karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırma, sismik uyarıma maruz kalan 10 katlı bir binanın titreşim enerjisini ve kat yer değiştirmesini azaltmada her sistemin etkisine odaklanmaktadır. Bina, El-Centro depremi olan sismik uyarıma maruz kalmaktadır. Bu çalışmada MATLAB ve Simulink programları kullanılmıştır. Ek olarak kütle sönümleyici parametrelerinin optimum çözümünü belirlemek için Jaya algoritması kullanılmıştır. Daha sonra üç durum incelenmiştir. İlk durum ayarlı kütle sönümleyici (TMD) sistemine sahip binadır. Ayarlı kütle sönümleyici onuncu kata bağlanmıştır. İkinci durum, çoklu ayarlı kütle sönümleyici (MTMD-A) sistemine sahip binadır. Ayarlı kütle sönümleyiciler her kata

bağlanmıştır, bu sönümleyicilerin kütleleri Jaya algoritması kullanılarak belirlenmiştir. Üçüncü durum ise çoklu ayarlı kütle sönümleyici (MTMD-B) sistemine sahip binadır, ancak sönümleyicilerin kütlesi 50.000 kg olarak belirlenmiştir. Titreşim enerjisi dağılımı ve kat yer değiştirme azaltma oranı açısından durumlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuçlara göre, her üç sistem de hem titreşim enerjisini hem de yer değiştirmeleri azaltmada oldukça etkilidir. TMD sistemi katlar yer değiştirmelerini %54 ve titreşim enerjisini %75 oranında azaltmıştır. MTMD-A sistemi katlar yer değiştirmelerini %76 ve titreşim enerjisini %93 oranında azaltmıştır. MTMD-B sistemi kat yer değiştirmelerini %35 ve titreşim enerjisini %33 oranında azaltmıştır. TMD ile MTMD-A karşılaştırıldığında, MTMD'nin katlar yer değiştirmelerini %60, titreşim enerjisini ise %95 oranında azaltmada TMD'den daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. TMD ile MTMD-B karşılaştırıldığında, TMD'nin yer değiştirmeleri %17, titreşim enerjisini ise %21 oranında azaltmada MTMD'den daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur. Bu çalışma, çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, MTMD'nin, binaların en yüksek noktasına yerleştirilen büyük kütle sönümleyici kullanmaktan daha pratik bir çözüm olduğunu kanıtlamaktadır |

Aralık 2024 , |115| sayfa.

Anahtar kelimeler: |Ayarlı kütle sönümleyici, çoklu ayarlı kütle sönümleyici, yer değiştirme, titreşim enerjisi, Jaya algoritması |

ABSTRACT

[M.Sc. THESIS]

[COMPARISON OF THE EFFECT OF A TUNED MASS DAMPER WITH A MULTI-TUNED MASS DAMPERS UNDER SEISMIC EXCITATION]

[Ömer ELSELUMİ]

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

[Supervisor: Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ]

Recently, tuned mass damper (TMD) has been proven to be effective in reducing building vibrations caused by seismic excitation. Initially, studies focused on installing tuned mass dampers at the top of the building. However, tuned mass damper has some disadvantages. Therefore, studies focused on using smaller mass dampers (MTMD) installed at all floors instead of a single large mass damper placed at the highest point of the structure. The aim of the study is to compare tuned mass damper with multiple tuned mass dampers. This comparison focuses on the effect of each system in reducing the vibration energy and floor displacement of a 10-story building subjected to seismic excitation. The building is subjected to seismic excitation, which is the El-Centro earthquake. MATLAB and Simulink programs are used in this study. In addition, Jaya algorithm is used to determine the optimum solution of mass damper parameters. Then, three cases are examined. The first case is the building with tuned mass damper (TMD) system. The tuned mass damper is connected to the tenth floor. The second case is the building with multiple tuned mass damper (MTMD-A) system. Tuned mass dampers are connected to each floor; the masses of these dampers are determined using Jaya algorithm.

The third case is the building with multiple tuned mass damper (MTMD-B) system, but the mass of the dampers is determined as 50,000 kg. Comparisons are made between the cases in terms of vibration energy distribution and floor displacement reduction ratio. According to the results, all three systems are quite effective in reducing both vibration energy and displacements. The TMD system reduced floor displacements by 54% and vibration energy by 75%. The MTMD-A system reduced floor displacements by 76% and vibration energy by 93%. The MTMD-B system reduced floor displacements by 35% and vibration energy by 33%. When comparing TMD with MTMD-A, it was found that MTMD outperformed TMD in reducing floor displacements by 60% and vibration energy by 95%. When comparing TMD with MTMD-B, it was found that TMD outperformed MTMD in reducing displacements by 17% and vibration energy by 21%. This study demonstrates the effectiveness of the multi-tuned mass damper. It also proves that MTMD is a more practical solution than using a large mass damper installed at the highest point of the building |

December 2024, |115| pages.

Keywords: | Tuned mass damper, multi-tuned mass damper, displacement, vibration energy, Jaya algorithm|

1. GİRİŞ

Binaların karşılaştığı en büyük zorluklardan biri, deprem ve rüzgâr gibi istenmeyen uyarılmalardan kaynaklanan zorunlu titreşimlere maruz kalmalarıdır. Özellikle yüksek katlı binalarda, incelik ve esneklik nedeniyle bu durum daha da tehlikeli hale gelmektedir (Choi ve diğ., 2015). Çoğu durumda, zorlanmış titreşimler temel yapı elemanlarında ciddi çökmelere yol açar ve sonuçta yapının tamamen çökmesine yol açmaktadır (Farshidianfar ve Soheili, 2013). Bu nedenle Yapı kontrolleri hem deprem hem de rüzgarlar tarafından üretilen titreşimi azaltmada önemli bir rol oynamaktadır (Spencer ve Nagarajaiah, 2003). Araştırmacılar, depremlerin ve rüzgarların yapılar üzerindeki etkisini azaltmak için, yapıların zorlanmış titreşimlere tepkisini azaltarak ve titreşimden kaynaklanan enerjiyi dağıtarak en uygun çözümleri bulmaya çalışmışlardır. Araştırmacılar yapının katlarına belirli bir kütle, rijitlik ve sönümleme özelliklerine sahip elemanlar eklemeye odaklanmışlardır. Bu elemanların temel görevi, titreşim enerjisini dağıtarak titreşimi kontrol etmektir. Bu türe pasif kontrollü titreşim denir ve diğer türler arasında en ünlüsüdür. Bu kavramı ilk kullanan kişi, titreşim enerjisini dağıtan bir cihaz icat ederek patentini alan Alman bilim adamı Frahm'dır (1911). Araştırmasının en önemli sonuçlarından biri, bu cihazın yalnızca yapının doğal frekansının uyarım frekansına yakın olması durumunda etkili olmasıdır. Daha sonra bu cihaz sönümleme elemanları kullanılarak modifiye edilmiş ve Ayarlı kütle sönümleyici oluşturulmuştur (Den Hartog ve diğ., 1928).

Ayarlı kütle sönümleyici (TMD) genellikle belirli kütle, rijitlik ve sönüm değerlerine sahiptir. Viskoelastik sönümleyiciler ise kinetik enerjiyi termal enerjiye dönüştürerek titreşimleri azaltmaktadır. Bu şekilde enerjiyi dağıtarak yapısal stabiliteyi arttırmaktadır. Ayarlı kütle sönümleyicinin performansını etkileyen parametrelerin belirlenmesi amacıyla yapılan araştırmalara göre frekans faktörlerinin ve sönüm oranının titreşim enerjisinin dağıtılmasında ve binaların uyarımlara tepkisinin azaltılmasında önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır (Sadek ve diğ., 1997). Ayarlı kütle sönümleyicinin etkili bir şekilde çalışabilmesi için sağlanması gereken önemli bir faktör daha vardır. Bu faktör kütle konumudur. TMD binanın en üst katında bulunmalıdır. Çünkü titreşim genliği en üst kattadır. 1980'lerden günümüze kadar dünyanın birçok yapısında uygulanmıştır.

Ayarlı kütle sönümleyicinin, yapıyı sönümleme ve etkilere karşı tepkisini azaltma konusunda etkili avantajları olmasına rağmen, göz ardı edilemeyecek dezavantajları da vardır. Bunların arasında, bu sistem sadece belirli bir titreşim modunun kontrolüne katkıda bulunur ve bu nedenle diğer modları için titreşimin kontrol edilmesinde etkili olmayabilir (Chin, 1996). Ayrıca sağlanması gereken kütlelerin çok büyük olması ve buna uygun bir yerin de sağlanması gerekir, kütlelerin büyüklüğü nedeniyle bakım zorlukları da vardır. Tüm bunlar, bir yandan farklı modlar için enerjiyi sönümlemede etkili, diğer yandan kurulumu ve bakımı kolay, ayarlı kütle sönümleyici prensibine benzer bir sistemin bulunmasına büyük ilgi duyulmasına yol açmıştır. Bu sistem çoklu ayarlı kütle sönümleyicidir. İlk kez 1970'li yıllarda Amerika'daki John Hancock binasında kullanılmıştır. Çalışmalar, çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin büyük etkinliğini ve yapının titreşimini sönümlemeye önemli katkısını kanıtlamıştır (Yamaguchi, 1993).

Ayarlı kütle sönümleyici sisteminin parametre değerlerinin ayarlanması çok önemlidir; bu, rijitliğin, kütlelerin ve sönümleme oranının optimal değerlerinin hesaplanmasında temsil edilmiştir. Bu parametreler için rastgele değerlerin benimsenmesi olumsuz ve istenmeyen sonuçlar verir ve yapının davranışını değiştirerek tüm katların titreşim genliğini artırabilmektedir. Bu nedenle optimal çözüm problemlerinde kullanılan algoritmalarından biri aracılığıyla hesaplanan optimal değerlerin benimsenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, sismik etkiye maruz kalan 10 katlı bir binada kat yer değiştirmelerini ve titreşim enerjisini azaltmada, ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ile çoklu ayarlı kütle sönümleyicileri (MTMD) karşılaştırmaktır. Bu amaçla 10 katlı bir bina incelenmiştir. Daha sonra üç ana durum incelenmiştir. İlk durum ayarlı kütle sönümleyicidir ve onuncu kata yerleştirilmiştir. İkinci durum çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerdir ve sönümleyiciler tüm katlara yerleştirilmiştir. Üçüncü durum çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerdir ve sönümleyiciler tüm katlara yerleştirilmiştir. Ancak bu durum ile bir önceki durum arasındaki fark sönümleyicilerin kütlelerinin 50000 kg olarak varsayılmış olmasıdır. Her kata bağlanan kütlelerin rijitlik ve sönüm oranı değerleri de JAYA algoritması kullanılarak hesaplanmış ve optimum çözüme ulaşılmıştır. Her durum için sismik etkiden kaynaklanan titreşim enerjisi ve kat yer değiştirmeleri hesaplanmıştır. Son olarak, önceki üç durum arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Bu çalışmanın önemi, ayarlı kütle sönümleyici ve çoklu ayarlı kütle sönümleyici kullanılarak yapısal binaların yapısal davranışını iyileştirmenin etkisinin bilinmesine odaklanmıştır. Ayrıca tasarımcılara ve mühendislere projeye ve spesifikasyonlarına göre en iyi seçeneği benimseme konusunda esneklik sağlamaktadır. Ayrıca bu çalışmanın sunduğu optimizasyon sonuçları, çalışmaya benzer veya yakın durumlar için alınması gereken ayarlı kütle sönümleyicinin özelliklerini de vermektedir.

Çalışma, El-Centro depreminden kaydedilen sismik etki için 10 katlı bir binanın sismik davranışını iyileştirmede ayarlı kütle ve çoklu kütle sönümleyicinin etkinliği ile sınırlıdır. Sonuçlar diğer sismik etkilere veya önemli ölçüde farklı özelliklere sahip bina yapılarına genellenmeyebilmektedir. Ayrıca çalışma, MATLAB simülasyonu kapsamında JAYA algoritması kullanılarak ayarlı kütle sönümleyici sisteminin parametrelerinin optimize edilmesine odaklanmaktadır.

Bu çalışma şu şekilde düzenlenmiştir: İkinci Bölümde, bu çalışmada benimsenen matematiksel denklemlere ek olarak, literatür incelemesini sunmaktadır. Üçüncü Bölümde, çalışmada kullanılan durumların ve özelliklerin kapsamlı bir tanımını sunmaktadır. Dördüncü ve Beşinci Bölümlerde, çalışmada bulunan sonuçları ve tartışmayı sunmaktadır. Altıncı Bölümde sunulan, çalışma hakkında sonuçlar ve önerilerdir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. LİTERATÜR TARAMASI

Binanın titreşim enerjisini sönmlemeye katkı sağlayan sönmleme sistemleri pasif sönmleyici, aktif sönmleyici ve yarı aktif sönmleyici olmak üzere üç tipte sınıflandırılabilir (Fisco ve Adeli, 2011). Ayarlı kütle sönmleyici pasif damper olarak kabul edilmektedir. Bu tip diğer türlere göre maliyetinin düşük olması nedeniyle dünyada yaygın olarak kullanılan damperlerden biridir. Ayarlı kütle sönmleyici üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Warburton (1980) ayarlı kütle sönmleyicinin parametrelerini ayarlamanın, titreşim uyarımına maruz kalan bir binanın sönmleme etkinliği üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayarlı kütle sönmleyicinin sönm oranı, rijitliği ve kütle değeri gibi parametrelerinin doğru ve dikkatli bir şekilde hesaplanmasının büyük önem taşıdığını göstermiştir. Parametrelerin rastgele değerler alması durumunda bunun bina için kötü ve felaket sonuçlara yol açacağını doğrulamıştır. Tsai ve Lin (1993) sönmülü bir birincil sistemin kararlı durum tepkisini azaltmak için ayarlı kütle sönmleyicinin frekansının ve sönmleme oranının optimal değerlerini bulmak için sayısal bir prosedür geliştirmiştir. Sonuçlarla, yüksek sönmlemeli sistemde ayarlı kütle sönmleyicinin etkinliğinin düşük olduğunu göstermiş ve sönmleme sistemine göre frekans ve sönm oranının ayarlanmasının gerekliliğini vurgulamıştır. Ayrıca ayarlı kütle sönmleyicisinin tasarlanması için gerekli araçları sağlanmasında belirgin formüllerin önemli olduğunu da açıklamıştır. Rana ve Soong (1998), ayarlı kütle sönmleyicilerinin (TMD) performans özelliklerini anlamak için parametrik bir çalışma sunmak üzere bir çalışma yapmışlardır. Sayısal ayarlamanın etkisini değerlendirmişler ve TMD performansını optimize etmek için kriterler geliştirmişlerdir. Gerçek sismik uyarımlar altında TMD etkinliğini değerlendirmek için El Centro ve Meksika deprem kayıtları kullanılarak zaman geçmişi analizi yürütülmüştür. Bu araştırma hem tek hem de çok modlu yapılar için TMD tasarımını ve etkinliğini iyileştirerek özellikle sismik mühendislikte titreşim kontrol yöntemlerinin ilerlemesine katkıda bulunmuştur. Park ve Reed (2001), özellikle sismik ve harmonik uyarımlar altında etkili titreşim kontrolü için dağıtılmış kütle sönmleyicilerinin tasarımı konusunda değerli bilgiler sağlayan bir çalışma hazırlamıştır. Zou ve Nayfeh (2004), sismik uyarım altında tek serbestlik dereceli (SDOF) ve çok serbestlik dereceli (MDOFD) bir

sistemin titreşimini sönmlemek için TMD kullanarak belirli bir sayısal yaklaşım önermiştir. Optimum çözümü kullanarak ayarlı kütle sönmleyici parametrelerini hesaplamıştır. Sonuçlara göre, TMD'nin titreşim sönmlemesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bulmuştur. Lee ve diğ. (2006) çok serbestlik dereceli yapılarda TMD tasarım parametrelerini optimize etmek için sağlam ve sistematik bir prosedür üzerinde çalışmıştır. İlgili doğrusal olmayan denklemleri etkili bir şekilde ele alan ve doğru çözümlere yakınsama sağlayan sayısal bir yöntem önermiştir. Bu sayede, birden fazla TMD cihazıyla yapıları simüle ederek yöntemin pratik uygulamasını ve dolayısıyla gerçek dünya senaryolarında uygulanabilirliğini ve etkinliğini doğrulamıştır. Marano ve diğ. (2007) sismik yüklere karşı yapısal tepkileri azaltmadaki etkinliklerini artırmak için ayarlı kütle sönmleyicinin tasarım parametrelerini optimize etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Yazarlar, sismik uyarım ve yapısal özelliklerle ilgili belirsizlikleri hesaba katan güvenilirliğe dayalı bir optimizasyon yaklaşımı önermektedir. Marano ve diğ. (2010), ayarlı kütle sönmleyicinin (TMD) etkinliğini değerlendirmek için tek serbestlik dereceli sistemi (SDOF) incelemişler ve kat yer değıştirmelerini veya kat ivmelerini en aza indirmek için optimum TMD parametrelerini elde etmek amacıyla geliştirilen iki kriteri kullanmışlardır. Salvi ve Rizzi (2016) doğrusal olmayan analiz algoritmasını kullanarak kütle sönmleyiciyi ayarlamak için optimizasyon formülleri üzerinde çalışmıştır. Bu sayede ayarlı kütle sönmleyicinin parametreleri için optimum değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışma, sismik uyarımdan kaynaklanan titreşimin sönmlemesinde büyük bir etkinlik göstermiştir, ancak dezavantajlarından biri, bu parametrelerin yalnızca referans uyarımlar için etkili olmasıdır. Miranda (2016) sismik uyarımdan kaynaklanan titreşimleri ayarlı kütle sönmleyicilerin binalar üzerindeki etkisini, iki serbestlik derecesinden oluşan basit bir mekanik sistemle karşılaştırarak incelemiştir. Sönmlemeyi etkileyen frekanslar, ayarlama ve diğer faktörler arasındaki ilişkiyi belirlemiştir. Bu sayede ana faktörleri inceleyerek TMD sisteminin etkili olmasını tespit etmiştir.

Birçok çalışma, çoklu ayarlı kütle sönmleyici, ayarlı kütle sönmleyiciyle karşılaştırıldığında binaların titreşimini sönmlemedeki etkinliğini açıklamıştır. Yamaguchi ve Harnpornchai (1993) çoklu ayarlı kütle sönmleyicilerin etkisini inceleyip ayarlı kütle sönmleyici (TMD) ile karşılaştırmıştır. Bu çalışma aracılığıyla, çok ayarlı kütle sönmleyicilerin (MTMD), ayarlı kütle sönmleyicilerden (TMD) binaların zorlanmış titreşimlerini sönmlemede daha verimli ve etkili kabul edildiğini doğrulamıştır. Çünkü çok ayarlı kütle sönmleyiciler (MTMD), geniş frekans aralıklarını kapsayabilir ve titreşimlerin

daha etkili bir şekilde sönümlenmesine neden olabilmektedir. Igusa ve Xu (1994), rüzgâr yüklerinden dolayı bir binanın titreşimini sönümlemede çok ayarlı kütle sönümleyicilerin etkinliğini incelemiştir. Optimum çözümü kullanarak parametrelerin kütlelerini tasarlamıştır, ardından sonuçları aynı bina için tek ayarlı kütle sönümleyici durumuyla karşılaştırmıştır. Sonuçlardan, çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin, ayarlı kütle sönümleyiciye göre daha etkili olduğu ve daha yüksek verime sahip olduğu bulunmuştur. Li ve Liu (2003), düzensiz yapılarda zemin ve yapı etkileşimini göz önünde bulundurarak ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ve çoklu ayarlı kütle sönümleyici (MTMD) sistemlerini karşılaştırmışlar ve sonuçlarına göre MTMD'nin etkinliğinin TMD'den daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Wang ve Lin (2005), sismik etkiden kaynaklanan titreşime maruz kalan düzensiz bir burulma yapısı üzerinde çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin etkisini incelemiştir. Sonuçlar, toprak etkileşiminin etkisi hesaba katıldığında çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin sönümleme enerjisinde tek ayarlı kütle sönümleyicilerden daha verimli olduğunu göstermiştir. Moon (2010), 60 katlı yüksek bir bina boyunca dikey olarak ayarlı kütle sönümleyicilerin dağılımını incelemiştir. Bu dağılımın titreşim enerjisini sönümleme üzerindeki etkisini tartışmıştır. Sonuçlardan enerjiyi sönümlemede büyük bir etkinlik olduğunu ve bu etkinliğin, tek ayarlı kütle sönümleyiciyi yüksek binanın en yüksek noktasına yerleştirme geleneksel durumundan daha az önemli olmadığını bulmuştur. Chen ve Wu (2016), ayarlı kütle sönümleyici ve çoklu ayarlı kütle sönümleyiciler üzerine yaptığı çalışmada, çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin, her iki durumda kütle değerleri eşit olsa bile, sönümleme enerjisindeki etkinliğinin, ayarlı kütle sönümleyicisine göre daha yüksek olduğunu doğrulamıştır. Brandao ve Miguel (2020), birden fazla sismik uyarıma maruz kalan bir çelik binayı incelemiştir. Daha sonra binayı üç farklı durumda incelemiştir. İlk durumda en üst kata ayarlı kütle sönümleyici yerleştirilmiştir. İkinci durumda tüm katlara yerleştirilmiş çoklu ayarlı kütle sönümleyiciler kullanılmıştır. Üçüncü durumda ise en üst kata yerleştirilmiş çoklu ayarlı kütle sönümleyiciler kullanılmıştır. Kütle sönümleyicilerin parametrelerini metasezgisel optimizasyon algoritmasıyla hesaplamıştır. Sonuçlara göre, tüm durumlar katların yer değiştirmelerini azaltmada iyi sonuçlar vermiştir.

Ayarlı kütle sönümleyici ve çoklu ayarlı kütle sönümleyiciler ayarlanmadan iyi bir performansa sahip değildir. Titreşim enerjisini sönümlemede iyi sonuçlar elde etmek için parametrelerin optimum değerlerini belirlemek çok önemlidir. Birçok araştırmacı, bu değerlerin nasıl belirleneceği konusunda birçok çalışma yürütmüş olup, araştırmacılar, optimum çözümleri hesapladıkları algoritma adı verilen çeşitli denklemler kullanmışlardır. Karmaşık

optimizasyon süreçlerinde matematiksel programlama ve algoritmaların oldukça etkili olduğu kanıtlanmıştır (Kaveh A, 2020). Bu algoritmalar araştırmacılar tarafından karmaşık problemleri çözmek için genel çözümler bulmak amacıyla geliştirilmiştir. Singh ve diğ. (2002), burulma bina sistemlerinin sismik uyarımlara karşı sismik tepkisini azaltmak için Genetik algoritmayı kullanarak ayarlı kütle sönümleyicilerinin optimum tasarımına ilişkin bir çalışma hazırlamıştır. Çalışma, ayarlı kütle sönümleyicilerinin optimum parametrelerini hesaplamada Genetik algoritma hakkında önemli bilgiler sağlamıştır. Frans ve Arfiadi (2015), hibrit kodlanmış genetik algoritmalar (HCGAs) kullanarak çok ayarlı kütle sönümleyicilerin parametrelerini belirlemek için bir çalışma hazırlamıştır. Ayrıca çalışma kütle sönümleyicilerin optimum konumunu belirlemeye odaklanmıştır. Bunun için üç farklı durumu incelemiştir, ilki 3 kattan oluşan bir bina, ikincisi 10 katlı ve üçüncüsü 40 katlı. Sonuçlar kütle sönümleyicilerin optimum değerlerini ve optimum konumunu belirledikten sonra titreşim enerjisini sönümlemede büyük bir etkinlik göstermiştir. Bekdaş ve diğ. (2017), 10 katlı bir binanın kütlelerini, periyodunu ve sönüm oranını hesaplamak için yeni Bat algoritmasını kullanmıştır. Daha sonra analitik yöntemler ve genetik algoritma gibi diğer yöntemleri kullanarak önceki parametreleri hesaplayıp önceki yöntemler arasındaki sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuçlar, yeni bat algoritmasının iyi bina davranışına yol açan iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Cetin ve Ayden (2019), ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) parametrelerini Transfer fonksiyonunu kullanarak hesaplamışlardır. Burada ayarlı kütle sönümleyicinin kütlelerini, sönümünü ve rijitliğini bu fonksiyonla hesaplamışlardır. Böylece sismik uyarımlardan kaynaklanan yer değiştirme ve ivme açısından yapının tepkisini azaltmışlardır. Sonuçlar, transfer fonksiyonunu kullanarak yapının tepkisini azaltmada büyük bir etkinlik göstermiştir. Kaveh ve diğ (2020), Novel kaotik optimizasyon algoritmasını (COA) kullanarak ayarlı kütle sönümleyicinin optimum parametrelerini belirlemiştir. Algoritma, 76 katlı bir beton binanın rüzgârın uyarılması altındaki tepkisini kontrol etmenin yanı sıra 10 katlı kesme çerçeveleri için test edilmiştir. Sonuçlar, ayarlı kütle sönümleyicinin optimum hesaplanması nedeniyle titreşim sönümlemede büyük bir etkinlik göstermiştir. Ozturk ve diğ. (2022), 10 katlı bir bina için ayarlı kütle sönümleyicilerin optimum parametrelerinin nasıl hesaplanacağını ve ayarlı kütle sönümleyicilerin optimum konumunun nasıl belirleneceğini tartışmıştır. Sonuçlar, önceki parametreler belirlenmişse ayarlı kütle sönümleyicilerin sönümlenmesinde büyük bir etkinlik göstermiştir.

2.2. MATEMATİKSEL FORMÜLASYONLAR

2.2.1. Tek Serbestlik Derecesi Kavramı

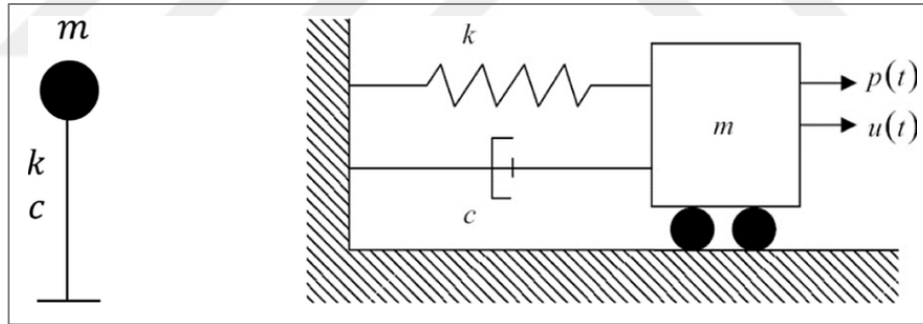
Bu sistem, dinamik titreşime maruz kalan bir cismin davranışını anlamak için dinamik çalışmada kullanılan en basit sistemlerden biri olarak kabul edilmiştir. Tek serbestlik derecesi sistemde, hareket bir yatay düzlemde izin verilip titreşime yol açan uyarılmalara maruz kalır (genellikle depremler ve rüzgarlarla ifade edilir). Bu sistem üç temel bileşenden oluşmaktadır:

Kütle: Sistemin kütesini temsil eder ve genellikle (m) sembolü ile ifade edilmiştir. Kütle, hareketteki değişimlere direnç göstermiştir.

Yaylı: Sistemin rijitliğini temsil eder ve genellikle (k) sembolü ile ifade edilmiştir.

Sönümleyici: Zamanla titreşim enerjisini dağıtan cihazı temsil eder ve genellikle (c) sembolü ile ifade edilmiştir.

Şekil 2.1'de tek serbestlik derecesine sahip temel sistemi göstermektedir:



Şekil 2.1: Tek serbestlik derece sistemi (SDOF).

Tek serbestlik derecesine sahip sistemin hareket denklemi, sisteme etki eden kuvvetlerin toplamının kütle ile ivmenin çarpımına eşit olduğunu belirten Newton'un ikinci yasasına dayanmıştır. Bir kütle (m), bir yay (k), bir sönümleyici (c) ve üzerine etki eden bir kuvvetten (F) oluşan tek serbestlik derecesine sahip bir sistemin temel denklemi aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = P(t) \quad (2.1)$$

Burada:

$\ddot{x}(t)$: Kütlenin ivmesi (yer değiştirmenin ikinci türevi).

$\dot{x}(t)$: Kütlenin hızı (yer değiştirmenin birinci türevi).

$x(t)$: Kütlenin yer değiştirmesi.

$P(t)$: Sisteme uygulanan kuvvet.

Yukarıdaki diferansiyel denklem, tek serbestlik dereceli sistemin davranışını yöneten denklemdir.

Harmonik bir kuvvet için:

$$P(t) = P_0 \cos \omega t \quad (2.2)$$

Bu durumda sistemin kararlı durum tepkisi şu şekilde yazılabilir:

$$x(t) = X(\omega) \cos(\omega t - \emptyset) \quad (2.3)$$

Burada:

\emptyset : Faz açısı

$X(\omega)$: Tepkinin genliği, aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$X(t) = \frac{F_0/m}{\sqrt{(\omega_n^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_n\omega)^2}} \quad (2.4)$$

Burada:

ω_n : Doğal frekans, aşağıdaki denklemle verilmiştir:

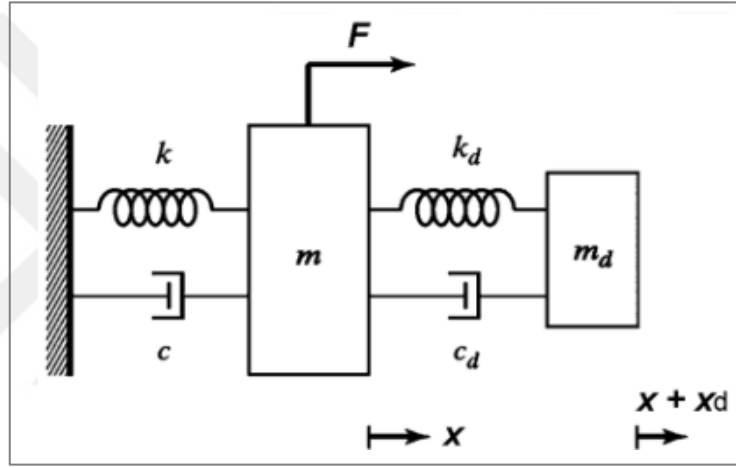
$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.5)$$

ζ : Sönümlenme Oranı, aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$\xi = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (2.6)$$

2.2.2. Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemi (TMD)

Ayarlı kütle sönümleyici, yapıların zorlanmış hareketlerinden kaynaklanan titreşimlerin genliğini azaltan bir cihazdır. Ayarlı kütle sönümleyici, frekansını yapının frekansına uyacak şekilde ayarlayarak çalışmaktadır. Bu durumda, ayarlı kütle sönümleyici titreşim enerjisini sönümleyerek titreşim kuvvetine zıt ve eşit bir kuvvet yaratır ve bu da titreşimi sönümlemeye yol açmaktadır. Ayarlı kütle sönümleyicinin dinamik davranışı, iki serbestlik derecesine sahip bir sistem için hareket denklemleriyle ifade edilmektedir. Şekil 2.2, ayarlı kütle sönümleyici sistemini göstermektedir:



Şekil 2.2: Ayarlı kütle sönümleyici sistemi (TMD).

Denklem, ayarlı kütle sönümleyicinin yer değiştirmesini, hızını ve ivmesini içermektedir. Sismik uyarım altında Tek Serbestlik Dereceli (SDOF) bir yapı ile ilişkili Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD) sisteminin hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$[M] \ddot{X} + [C] \dot{X} + [K] X = -[M] \ddot{X}_g \quad (2.7)$$

Burada:

\ddot{X} : İvme vektörü, \dot{X} : Hız vektörü, X : Yer değiştirme vektörü, \ddot{X}_g : Yer ivmesi.

$[M]$: Kütle matrisi, aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

Burada: m_1 : Yapının kütlesi, m_d : Ayarlı kütle sönümleyicinin kütlesidir.

$[C]$: Sönüm matrisi, aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_d \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Burada: c_1 : Yapının sönümlenmesi, c_d : Ayarlı kütle sönümleyicisinin sönümlenmesidir.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_d \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Burada: k_1 : Yapının rijitliği, k_d : Ayarlı kütle sönümleyicisinin rijitliğidir.

Denklem (2.7) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & 0 \\ 0 & c_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_d \end{Bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 \\ m_d \end{bmatrix} \ddot{X}_g \quad (2.11)$$

Ayarlı kütle sönümleyicinin işlevi, frekansın yapının frekansı ile tutarlı olacak şekilde ayarlanmasına bağlıdır. Ayarlı kütle sönümleyicinin özellikleri Den Hartog denklemlerine göre verilmiştir.

$$\omega_d = \sqrt{\frac{k_d}{m_d}} \quad (2.12)$$

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_d} \quad (2.13)$$

$$\mu = \frac{m_d}{m_1} \quad (2.14)$$

$$f_{opt} = \frac{\omega_d}{\omega_1} = \frac{1}{1+\mu} \quad (2.15)$$

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

$$\xi_{d,opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)}} \quad (2.17)$$

Ayarlı kütle sönümleyici sistemin (iki serbestlik derecesi) modlarını hesaplamak için, hareket denklemini özdeğer problemleri kullanarak modal formuna dönüştürmek gerekmektedir. İki serbestlik derecesine sahip bir sistem için sönümsüz hareket denklemi şudur:

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = 0 \quad (2.18)$$

Önceki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & 0 \\ 0 & k_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_d \end{Bmatrix} = 0 \quad (2.19)$$

Sistemin doğal frekanslarını ve mod şekillerini bulmak için özdeğer problemi aşağıdaki gibi çözülmelidir:

$$K\Phi = \omega^2 M\Phi \quad (2.20)$$

Burada: ω^2 : özdeğerdir, Φ : özvektördür.

Özdeğer denklemi, determinant denklemi kurularak çözülür:

$$\det(K - \omega^2 M) = 0 \quad (2.21)$$

Önceki denklem çözüldüğünde sistemin iki moduna karşılık gelen iki çözüm elde edilmektedir:

Birinci Mod: Bu modda, ana yapının ve ayarlı kütle sönümleyicinin hareketi aynı fazdadır, ancak kütle hareketi ana yapının hareketinden daha azdır.

İkinci mod: Bu modda, ayarlı kütle sönümleyici ana yapının hareketinden farklı bir fazdadır. Bu fazdaki kütle çok etkilidir. Ayrıca bu faz titreşim enerjisini sönümlemede çok önemlidir.

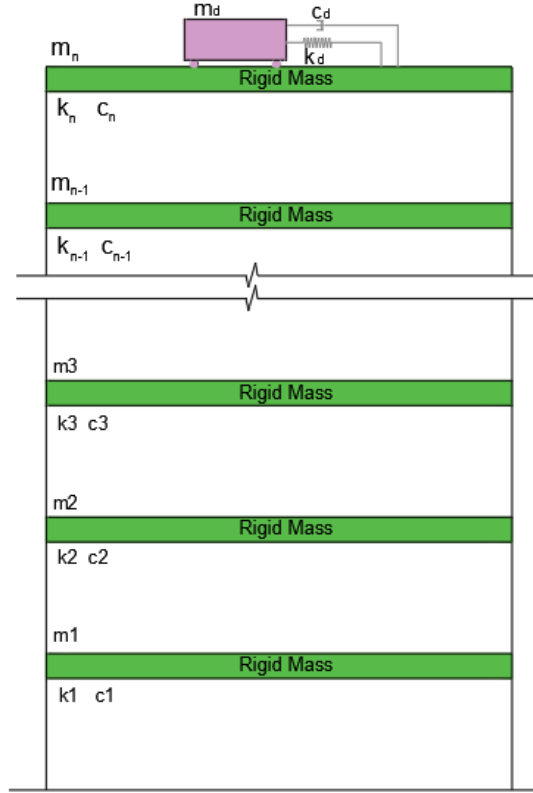
Mod şekilleri aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\Phi_1 = \begin{bmatrix} \Phi_{1s} \\ \Phi_{1t} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\Phi_2 = \begin{bmatrix} \Phi_{2s} \\ \Phi_{2t} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

2.2.3. Ayarlı Kütle Sönümleyici ile Çok Katlı Bir Binanın Hareket Denklemi

Bu sistemde, ayarlı kütle sönümleyici binanın en yüksek noktasına yerleştirilmektedir. Öte yandan, her katın bir serbestlik derecesine sahip olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca ayarlı kütle sönümleyicinin de bir serbestlik derecesi vardır. Dolayısıyla, bu sistem $(n + 1)$ serbestlik derecesinden oluşmaktadır. Şekil 2.3, ayarlı kütle sönümleyici sistemini göstermektedir:



Şekil 2.3: TMD ile çok katlı binanın Sistemi.

Önceki sistemin hareket denklemi denklem (2.7)'ye benzerdir.

Sistemin kütle matrisi diyagonal matristir. Bu matris aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{n-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & m_d \end{bmatrix} \quad (2.24)$$

Burada:

$m_1, m_2 \dots m_{n-1}, m_n$: Yapının katlarının kütleleridir.

m_d : Ayarlı kütle sönümleyicinin kütlesi.

Sistemin rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_{n-1} + k_n & -k_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & k_n + k_d & -k_d \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -k_d & k_d \end{bmatrix} \quad (2.25)$$

Burada:

$k_1, k_2 \dots k_{n-1}, k_n$: Yapının katlarının rijitlikleridir.

k_d : Ayarlı kütle sönümleyicinin rijitliği.

Sistemin sönüm matrisi aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & c_{n-1} + c_n & -c_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_n & c_n + c_d & -c_d \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -c_d & c_d \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

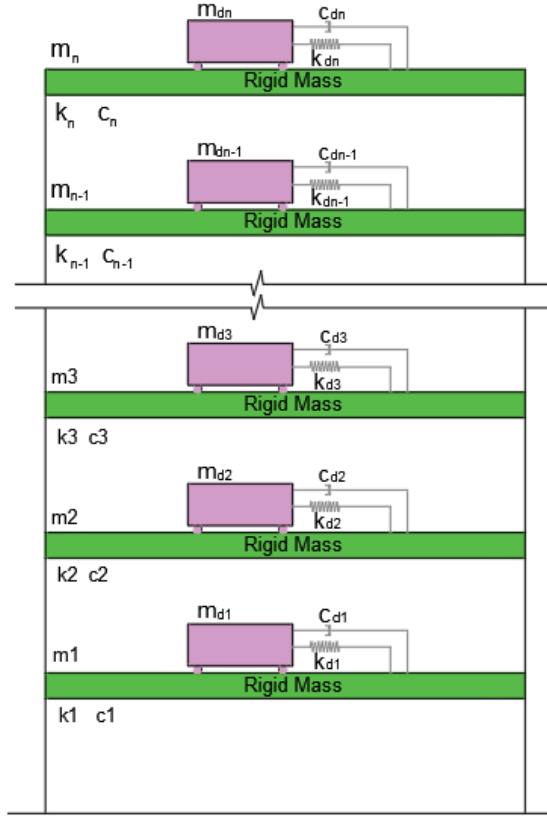
Burada:

$c_1, c_2 \dots c_{n-1}, c_n$: Yapının katlarının sönümleridir.

c_d : Ayarlı kütle sönümleyicisinin sönümüdür.

2.2.4. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici ile Çok Katlı Bir Binanın Hareket Denklemi

Çoklu ayarlı kütle sönümleyici (MTMD), her katın küçük bir kütle sönümleyiciye bağlı olması nedeniyle ayarlı kütle sönümleyiciden daha etkilidir. Bu sistem, sismik uyarımlardan kaynaklanan titreşimleri etkin bir şekilde sönümlemeye katkıda bulunmaktadır. Şekil 2.4, çoklu ayarlı kütle sönümleyici sistemini göstermektedir:



Şekil 2.4: MTMD ile çok katlı binanın Sistemi

Önceki sistemin hareket denklemi denklem (2.7)'ye benzerdir.

Sistemin kütle matrisi diyagonal matristir. Bu matris aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{n-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_n & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & m_{d1} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & m_{d2} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{d3} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & m_{dn-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_{dn} \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Burada:

$m_1, m_2, \dots, m_{n-1}, m_n$: Yapının katlarının kütleleridir.

$m_{d1}, m_{d2} \dots m_{dn-1}, m_{dn}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerinin kütleleridir.

Sistemin rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 + k_{d1} & -k_2 & \dots & 0 & -k_{d1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 + k_{d2} & \dots & 0 & 0 & -k_{d2} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & -k_{dn-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & k_{n-1} + k_n + k_d & -k_n & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_{d1} & 0 & \dots & -k_n & k_{d1} & 0 & \dots & 0 & -k_{dn} \\ 0 & -k_{d2} & \dots & 0 & 0 & k_{d2} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & -k_{dn-1} & 0 & 0 & \dots & k_{dn-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{dn} & 0 & \dots & 0 & k_{dn} \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Burada:

$k_1, k_2 \dots k_{n-1}, k_n$: Yapının katlarının kütleleridir.

$k_{d1}, k_{d2} \dots k_{dn-1}, k_{dn}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerinin rijitlikleridir.

Sistemin sönüm matrisi aşağıdaki gibi yazılmıştır:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 + c_{d1} & -c & \dots & 0 & -c_{d1} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -c & c_2 + c_3 + c_{d2} & \dots & 0 & 0 & -c_{d2} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & -c_{dn-1} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & c_{n-1} + c_n + c_d & -c_n & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -c_{d1} & 0 & \dots & -c_n & c_{d1} & 0 & \dots & 0 & -c_{dn} \\ 0 & -c_{d2} & \dots & 0 & 0 & c_{d2} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & -c_{dn-1} & 0 & 0 & \dots & c_{dn-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_{dn} & 0 & \dots & 0 & c_{dn} \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Burada:

$c_1, c_2 \dots c_{n-1}, c_n$: Yapının katlarının sönümleridir.

$c_{d1}, c_{d2} \dots c_{dn-1}, c_{dn}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerinin sönümleridir.

2.2.5. Titreşim Enerjisi

Titreşim enerjisi, bir katın belirli bir andaki kinetik enerjisi ile potansiyel enerjisinin toplamıdır. Bu durumda titreşim enerjisi şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$E_{total} = KE + PE = \frac{1}{2}(m_i \dot{u}_i^2 + k_i u_i^2) \quad (2.30)$$

Burada:

E_{total} : Titreşim enerjisi (J).

KE : Kinetik enerji (J)

PE : Potansiyel enerji (J)

Kinetik ve potansiyel enerji aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilmektedir:

$$KE = \frac{1}{2} m_i \dot{u}_i^2 \quad (2.31)$$

$$PE = \frac{1}{2} k_i u_i^2 \quad (2.32)$$

Burada:

m_i : Katın kütlesi (Kg).

\dot{u}_i : Önceki katın hızı (m/s).

k_i : Katın rijitliği (N/m).

u_i : Önceki katın yer değiştirmesi (m).

Bu durumda titreşim enerjisi şu şekilde yazılabilmektedir:

$$E_{total} = \frac{1}{2}(m_i \dot{u}_i^2 + k_i u_i^2) \quad (2.33)$$

2.2.6. Jaya Algoritması

Jaya algoritması yakın zamanda Rao tarafından (2016) önerilmiştir. En iyi çözümlere yaklaşip en kötü çözümlerden uzak durması nedeniyle için basit ama güçlü olarak kabul edilmektedir. Jaya denklemi, popülasyona bağlı olan ve kısıtlı ve kısıtlı olmayan çözümler için tasarlanmış bir optimizasyon denklemdir. Jaya denklemin aşamasında tasarım sabitler, tasarım değişkenler ve popülasyon sayısı tanımlanmalıdır. Daha sonra başlangıç çözüm matrisinin tasarım değişkenleri alt ve üst limitlerine göre rassal olarak belirlenmelidir. Bunun için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$m_d = m_{d \min} + rand(m_{d \max} - m_{d \min}) \quad (2.34)$$

$$T = T_{\min} + rand(T_{\max} - T_{\min}) \quad (2.35)$$

$$C_r = C_{r \min} + rand(C_{r \max} - C_{r \min}) \quad (2.36)$$

Burada:

m_d : Ayarlı kütle sönümleyicinin kütlesi,

T : Ayarlı kütle sönümleyicinin periyodu,

C_r : Sönüm orandır.

Jaya algoritmasının temel denklemi aşağıdaki gibidir:

$$X_{i,yeni} = X_{i,j} + r_1(X_{i,g \text{ eniyi}} - |X_{i,j}|) - r_2(X_{i,g \text{ enkötü}} - |X_{i,j}|) \quad (2.37)$$

Burada:

$X_{i,yeni}$: Tasarım değişkeninin güncellenmiş değeridir.

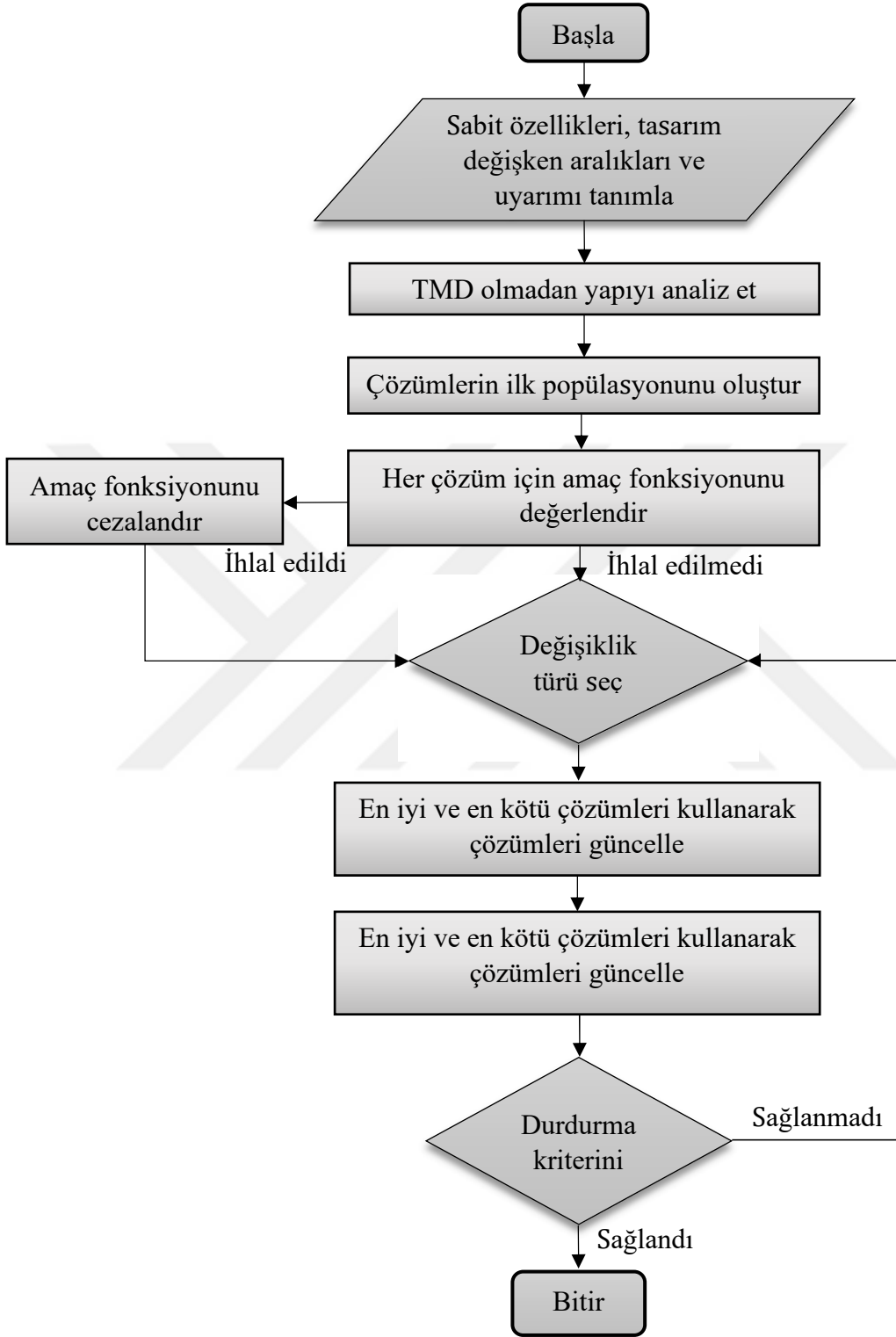
$X_{i,j}$: Tasarım değişkeninin geçerli değeridir.

$X_{i,g \text{ eniyi}}$: En iyi aday çözümün değişkeninin değeridir.

$X_{i,g \text{ enkötü}}$: En kötü aday çözümün değişkeninin değeridir.

r_1, r_2 : 0 ile 1 arasında rastgele sayılardır.

Şekil 2.5, Jaya algoritmasının akış şemasını göstermektedir:



Şekil 2.5: Jaya algoritmasının akış şeması.

3. YÖNTEM

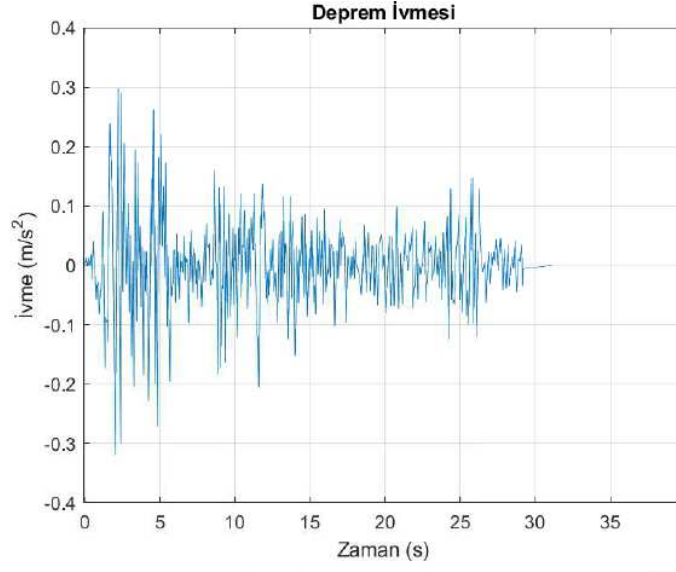
3.1. YAPISAL BİNANIN TANIMI

Bu çalışma, sismik uyarıma maruz kalan 10 katlı binanın davranışını, ilk durum için ayarlı kütle sönümleyici ve ikinci durum için çoklu ayarlı sönümleyici kullanarak iyileştirmeye odaklanmaktadır. MATLAB ve Simulink kullanılarak katların ivmesi, hızı ve yer değiştirmesi elde edilmiştir. Ayrıca kütle sönümleyicilerinin parametrelerini ayarlamak için Jaya algoritması kullanılmıştır. Binanın her katının kütle, rijitlik ve sönümleme katsayısı gibi belirli özellikleri vardır. Binadaki tüm katların sonsuz rijitliğe sahip olduğu kabul edilmiştir. Katların özellikleri tablo 3.1'e göre belirlenmektedir.

Tablo 3.1: Katların özellikleri

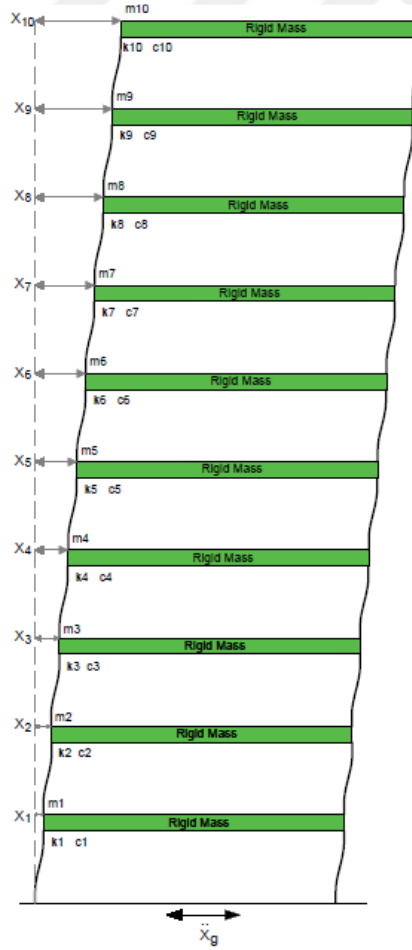
Kat No.	Kütle Kg	Rijitlik N/m	Sönüm Ns/m
1. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
2. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
3. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
4. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
5. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
6. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
7. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
8. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
9. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6
10. Kat	5×10^5	9×10^8	7×10^6

Bina El-Centro depremi olarak tanımlanan sismik uyarılmaya maruz kalmıştır. Şekil 3.1, El-Centro depreminin ivmesini göstermektedir:



Şekil 3.1: El-Centro Deprem İvmesi

Şekil 3.2, TMD sistemi olmayan on katlı binayı göstermektedir:



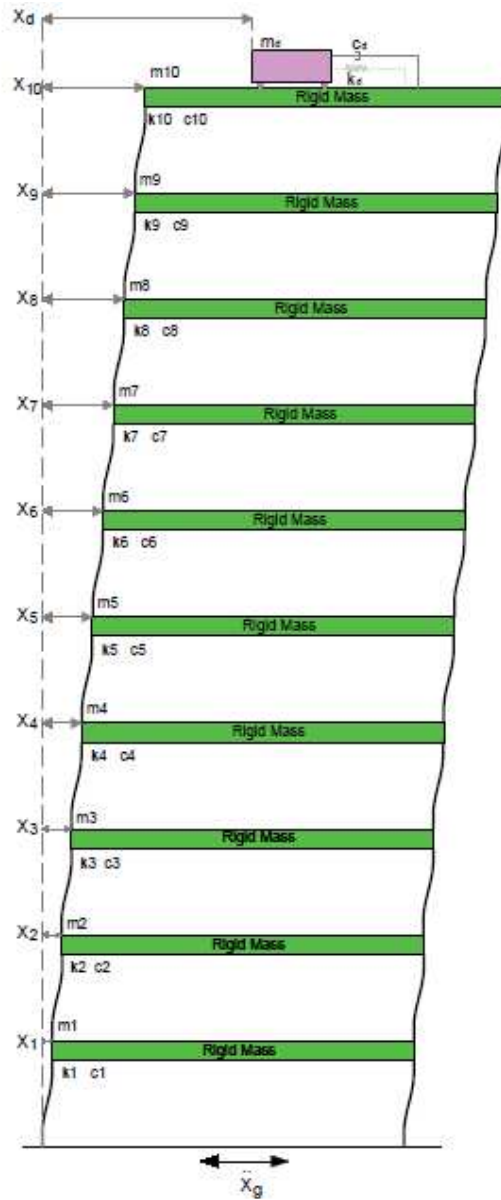
Şekil 3.2: On katlı bina sistemi (Çoklu serbestlik derecesi).

Önceki şekilden: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_{10}$: Katların yer değiştirmesi.

Bu bina, ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) ve çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin (MTMD) etkisini incelemek için benimsenmiştir.

3.2. BİRİNCİ DURUM: AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ (TMD)

Bu durumda onuncu kat ayarlı kütle sönümleyici ile bağlanmıştır. TMD bağlantısı nedeniyle bu sistemdeki serbestlik sayısı 11'dir. Kütle, rijitlik ve sönüm matrisinin satır ve sütunları 11×11 olmalıdır. Şekil 3.3, TMD sistemi ile on katlı binayı göstermektedir:



Şekil 3.3: TMD sistemine sahip on katlı bina.

Kat yer değiştirmeleri önceki resimde x_n sembolüyle gösterilmektedir. x_d ise ayarlı kütle sönümleyicinin yer değiştirmesini temsil etmektedir.

3.2.1. Tasarım Değişkenleri ve Popülasyon Sayısının Değerlerin Tanımlanması

Tasarım değişkenleri, kütle, periyot ve sönüm oranını içeren ayarlı kütle sönümleyicinin parametreleriyle ilişkilidir. Bu parametrelerin değerleri aşağıdakilere göre benimsenmiştir:

$$m_{d\ max} = 0.1 \times \left(\sum_{n=10}^{n=1} m_n \right) \quad (3.1)$$

$$m_{d\ min} = 0.005 \times \left(\sum_{n=10}^{n=1} m_n \right) \quad (3.2)$$

$$T_{max} = \frac{3\pi}{\omega_{min}} \quad (3.3)$$

$$T_{min} = \frac{0.25\pi}{\omega_{min}} \quad (3.4)$$

$$\mu_{max} = 0.5, \mu_{min} = 0.01$$

Burada:

m_d : Ayarlı kütle sönümleyicinin kütlesi (Kg).

m_n : Katların kütlesi (Kg), $n = 1,2,3 \dots 10$.

T : Ayarlı kütle sönümleyicinin periyodu (Sec).

μ : Sönüm oranı.

ω : Bina frekansı (Rad/sec).

$P_n = 20$: Popülasyon sayısı.

3.2.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması

Amaç fonksiyonu, katların yer değiştirmesini azaltmaktadır. Aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

$$f(X) = \max (|x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_9 \ x_{10}|).$$

Burada:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_9, x_{10}$: Katların yer değiştirmesi.

3.2.3. Tasarım Kısıtlamalarının Tanımlanması

Benimsenen tasarım kısıtlamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$g(x) = \frac{\max (|x_d - x_{10}|)_{with \ TMD}}{|x_{10}|_{without \ TMD}} \leq st_{max}$$

Burada:

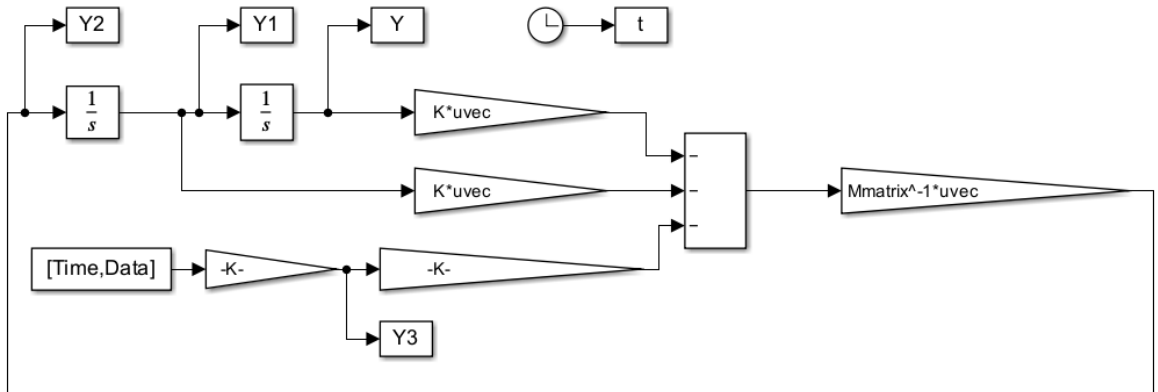
x_d : Ayarlı kütle sönümleyicinin yer değiştirmesi,

x_{10} : Onuncu katın yer değiştirmesi,

St_{max} : Tasarım kısıtlamasının maksimum sınırıdır ($St_{max} = 2$).

3.2.4. Simulink Analizi

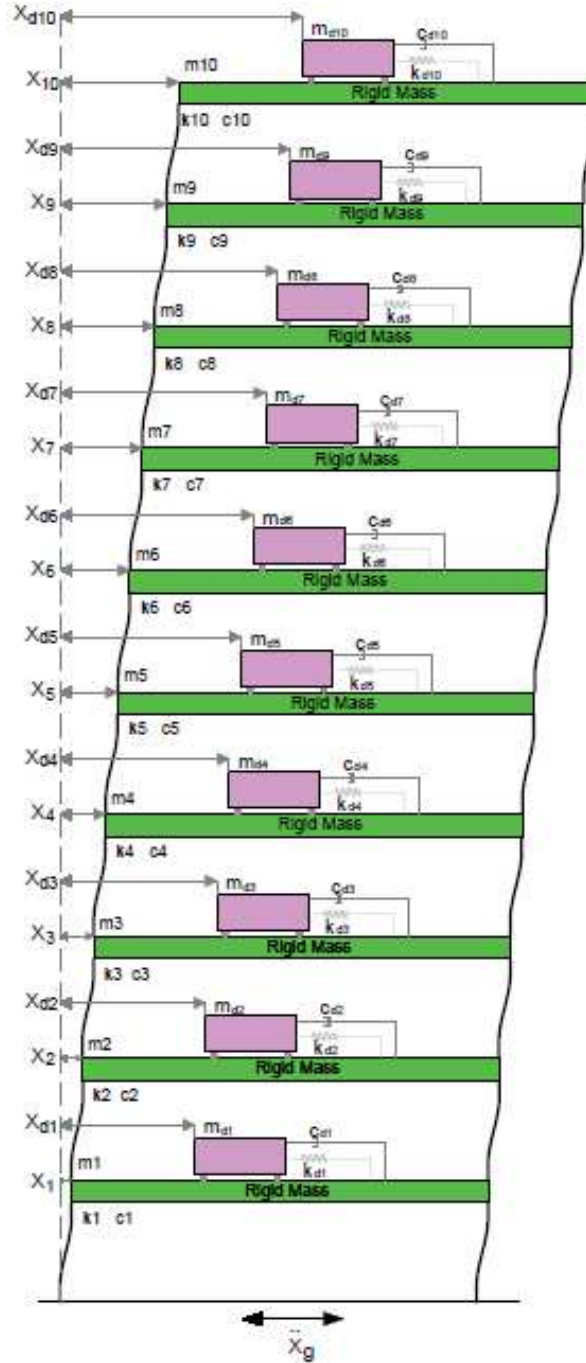
şekil 3.4'de kullanılan Simulink diyagramı göstermektedir:



şekil 3.4: TMD sistemine sahip on katlı bina için kullanılan Simulink.

3.3. İKİNCİ DURUM: ÇOKLU AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİ (MTMD)

Bu durum her kata küçük bir ayarlı kütle sönümleyici bağlanmasından oluşmaktadır. Her katın belirli rijitliğe, sönümlemeye ve kütleyle sahip ayarlı kütle sönümleyicisine bağlanması nedeniyle 20 serbestlik derecesinden oluşmaktadır. Kütle, rijitlik ve sönüm matrisinin satır ve sütunları 20×20 olmalıdır. Şekil 3.5, MTMD sistemi ile on katlı binayı göstermektedir:



Şekil 3.5: MTMD sistemine sahip on katlı bina.

Önceki şekilden:

$m_1, m_2, m_3, \dots, m_9, m_{10}$: Katların kütlesi.

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_9, c_{10}$: Katların sönümü.

$k_1, k_2, k_3, \dots, k_9, k_{10}$: Katların rijitliği.

$m_{d1}, m_{d2}, m_{d3}, \dots, m_{d9}, m_{d10}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerin kütlesi.

$c_{d1}, c_{d2}, c_{d3}, \dots, c_{d9}, c_{d10}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerin sönümü.

$k_{d1}, k_{d2}, k_{d3}, \dots, k_{d9}, k_{d10}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerin rijitliği.

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_9, x_{10}$: Katların yer değiştirmesi.

$x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}, \dots, x_{d9}, x_{d10}$: Ayarlı kütle sönümleyicilerin yer değiştirmesi.

3.3.1. Tasarım Değişkenleri ve Popülasyon Sayısının Değerlerin Tanımlanması

$$T_{max} = \frac{3\pi}{\omega_{min}}$$

$$T_{min} = \frac{0.5\pi}{\omega_{max}}$$

$$\mu_{max} = 0.5, \mu_{min} = 0.01$$

$$P_n = 20 : \text{Popülasyon sayısı.}$$

Burada:

T : Ayarlı kütle sönümleyicinin periyodu (Sec).

μ : Sönüm oranı.

ω : Bina frekansı (Rad/sec).

Ayarlı kütle sönümleyicilerin alt ve üst limit değerleri iki durum için incelenmiştir:

1. Durum A: Kütlelerin değişkenleri aşağıdaki gibidir:

$$m_{d \max} = 0.1 \times \left(\sum_{n=10}^{n=1} m_n \right)$$

$$m_{d \min} = 0.005 \times \left(\sum_{n=10}^{n=1} m_n \right)$$

2. Durum B: Sabit bir kütle değerinin kullanılmasıdır:

$$m_d = 50000 \text{ Kg}$$

3.3.2. Amaç Fonksiyonunun Tanımlanması

Amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir:

$$f(X) = \max (|x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_9 \ x_{10}|). \quad (3.5)$$

Burada:

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_9, x_{10}$: Katların yer değiştirmesi.

3.3.3. Tasarım Kısıtlamalarının Tanımlanması

Benimsenen tasarım kısıtlamaları aşağıdaki gibi tanımlanabilmektedir:

$$g(x) = \frac{\max (|x_{dn} - x_n|)_{with \ TMD}}{|x_n|_{without \ TMD}} \leq st_{\max} \quad (3.6)$$

Burada:

n : Kat numarası.

x_{dn} : n katta ayarlı kütle sönümleyicinin yer değiştirmesi,

x_n : n katta katın yer değiştirmesi,

St_{\max} : Tasarım kısıtlamasının maksimum sınırıdır ($St_{\max} = 2$).

3.3.4. Simulink Analizi

MTMD durumunda kullanılan Simulink, TMD durumunda kullanılanla aynıdır, dolayısıyla şekil 3-4 ile aynıdır.



4. BULGULAR

Bu çalışmada, onuncu kata ayarlı kütle sönümleyicisi eklendiğinde binanın davranışına odaklanmıştır. İkinci durumda her kata ayarlı kütle sönümleyicisi eklendiğinde davranışına odaklanılmıştır. MATLAB programı aracılığıyla katların ivme ve yer değiştirme grafikleri çizilmiştir, Ayrıca ayarlı kütle sönümleyicinin ivmeleri ve yer değiştirmeleri de bu bölümde gösterilmektedir. Daha sonra durumlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu bilgiler aracılığıyla, titreşim enerjisini sönümlemeye katkıda bulunan ayarlı kütle sönümleyicisinin etkisi anlaşılacaktır.

4.1. BİRİNCİ DURUM: TMD İLE BİNA DURUMU

4.1.1. Sistemin Rijitlik, Kütle ve Sönüm Matrisleri

MATLAB programından alınan sonuçlara göre sistem kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri aşağıdaki gibidir:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	500000	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	500000	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500000	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9963e+05

Şekil 4.1: Sistem kütle matrisi, TMD Durumu.

Kmatrix											
11x11 double											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1.8000e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8000e+09	-900000000	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-900000000	9.1215e+08	-1.2154e+07
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.2154e+07	1.2154e+07

Şekil 4.2: Sistem rijitlik matrisi, TMD Durumu.

Cmatrix											
11x11 double											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	14000000	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-7000000	14000000	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-7000000	14000000	-7000000	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-7000000	14000000	-7000000	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-7000000	14000000	-7000000	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-7000000	14000000	-7000000	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-7000000	14000000	-7000000	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-7000000	14000000	-7000000	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-7000000	14000000	-7000000	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-7000000	8.4559e+06	-1.4559e+06
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.4559e+06	1.4559e+06

Şekil 4.3: Sistem sönüm matrisi, TMD Durumu.

Ayarlı kütle sönümleyicinin ideal özellikleri, tablo 4.1’de gösterildiği gibi yukarıdaki matrislerden elde edilebilmektedir:

Tablo 4.1: Ayarlı kütle sönümleyicinin özellikleri

Kütle (m_d)	Rijitlik (k_d)	Sönüm (c_d)	Periyot	Sönüm oranı
Kg	N/m	Ns/m	Sec	
5×10^5	1.2145×10^7	7×10^6	1.2718	0.2955

4.1.2. Katların Yer Değiştirmeleri

Sonuçlar, herhangi bir sönüm sistemi olmayan binanın kat yer değiştirmelerine kıyasla kat yer değiştirmelerinde önemli iyileşme olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki tabloda tüm katlar için her 5 saniyedeki kat yer değiştirme değerleri gösterilmektedir:

Tablo 4.2: TMD olmayan bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	0.0273	0.0111	0.0027	0.0032	0.0018	0.0026
2. kat	0.0545	0.0212	0.0046	0.0061	0.0034	0.0054
3. kat	0.0806	0.0288	0.0107	0.0100	0.0059	0.0073
4. kat	0.1046	0.0376	0.0130	0.0134	0.0078	0.0103
5. kat	0.1253	0.0322	0.0169	0.0168	0.0101	0.0123
6. kat	0.1434	0.0487	0.0187	0.0197	0.0109	0.0144
7. kat	0.1594	0.0525	0.0212	0.0205	0.0127	0.0151
8. kat	0.1722	0.0580	0.0238	0.0234	0.0137	0.0172
9. kat	0.1816	0.0579	0.0250	0.0252	0.0162	0.0172
10. kat	0.1836	0.0600	0.0260	0.0257	0.0163	0.0178

Önceki tabloya göre tüm katlarda en büyük yer değiştirme değeri 5. saniyede, en büyük değer ise 0.1836 m ile onuncu kattadır.

Tablo 4.3: TMD ile bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	0.0104	0.0018	0.0025	0.0018	0.0009	0.0008
2. kat	0.0216	0.0031	0.0041	0.0037	0.0019	0.0014
3. kat	0.0326	0.0043	0.0057	0.0064	0.0034	0.0027
4. kat	0.0421	0.0049	0.0082	0.0083	0.0043	0.0052
5. kat	0.0503	0.0031	0.0095	0.0089	0.0058	0.0032
6. kat	0.0565	0.0021	0.0138	0.0101	0.0064	0.0051
7. kat	0.0661	0.0023	0.0146	0.0124	0.0075	0.0056
8. kat	0.0721	0.0024	0.0161	0.0148	0.0099	0.0062
9. kat	0.0759	0.0034	0.0186	0.0149	0.0086	0.0062
10. kat	0.0776	0.0040	0.0190	0.0171	0.0089	0.0069

Önceki tabloya göre en büyük yer değiştirme değeri beşinci saniyede onuncu kattadır. Yer değiştirme değeri 0.0776 m'dir.

Aşağıdaki tabloda, binaya TMD sisteminin eklenmesiyle yer değiştirmesinde meydana gelen iyileşmenin yüzdesi gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Yer değiştirmede yüzdelik iyileşme, TMD durumu

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	62 %	84 %	7 %	44 %	50 %	69 %	53 %
2. kat	60 %	85 %	11 %	39 %	44 %	74 %	52 %
3. kat	60 %	85 %	47 %	36 %	42 %	63 %	56 %
4. kat	60 %	87 %	37 %	38 %	45 %	50 %	53 %
5. kat	60 %	90 %	44 %	47 %	43 %	74 %	60 %
6. kat	61 %	96 %	26 %	49 %	41 %	65 %	56 %
7. kat	59 %	96 %	31 %	40 %	41 %	63 %	55 %
8. kat	58 %	96 %	32 %	37 %	28 %	64 %	53 %
9. kat	58 %	94 %	26 %	41 %	47 %	64 %	55 %
10. kat	58 %	93 %	27 %	33 %	45 %	61 %	53 %
Binadaki yer değiştirmenin iyileştirme ortalaması							54 %

Önceki tabloya göre katlar yer değiştirmelerindeki iyileştirme oranı %54'e ulaşmıştır.

4.1.3. Titreşim Enerjisinin Dağılımı

Binanın tüm katları için TMD'li ve TMD'siz kinetik ve potansiyel enerji hesaplanmıştır. Elde edilen enerji değerleri aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir:

Tablo 4.5: TMD olmayan bina için katların potansiyel enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	335381	55445	3281	4608	1458	3042
2. kat	1336613	202248	9522	16745	5202	13122
3. kat	2923362	373248	51521	45000	15665	23981
4. kat	4923522	636192	76050	80802	27378	47741
5. kat	7065041	466578	128525	127008	45905	68081
6. kat	9253602	1067261	157361	174641	53465	93312
7. kat	11433762	1240313	202248	189113	72581	102605
8. kat	13343778	1513800	254898	246402	84461	133128
9. kat	14840352	1508585	281250	285768	118098	133128
10. kat	15169032	1620000	304200	297221	119561	142578

Tablo 4.6: TMD olmayan bina için katların kinetik enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	6249	467	101	250	56	85
2. kat	23948	5134	726	853	344	315
3. kat	48378	11385	1471	2107	726	541
4. kat	76259	17305	2209	3221	1336	1116
5. kat	110058	22171	2601	4914	2338	1332
6. kat	148726	27308	2873	6989	2647	1798
7. kat	193292	30276	3528	9419	3770	2098
8. kat	237803	36960	3709	10609	3988	2167
9. kat	273948	43660	3147	12410	4830	2673
10. kat	295121	53430	3534	11621	4907	3003

Tablo 4.7: TMD olmayan bina için katların toplam titreşim enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	341629	55911	3382	4858	1514	3127
2. kat	1360560	207382	10248	17597	5546	13437
3. kat	2971740	384633	52991	47107	16391	24521
4. kat	4999781	653497	78259	84023	28714	48856
5. kat	7175099	488749	131126	131922	48242	69413
6. kat	9402328	1094568	160233	181629	56112	95110
7. kat	11627054	1270589	205776	198531	76350	104702
8. kat	13581581	1550760	258607	257011	88448	135295
9. kat	15114300	1552245	284397	298178	122928	135801
10. kat	15464153	1673430	307734	308841	124468	145581

Tablo 4.8: TMD ile bina için katların potansiyel enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	48672	1458	2813	1458	365	288
2. kat	209952	4325	7565	6161	1625	882
3. kat	478242	8321	14621	18432	5202	3281
4. kat	797585	10805	30258	31001	8321	12168
5. kat	1138541	4325	40613	35645	15138	4608
6. kat	1436513	1985	85698	45905	18432	11705
7. kat	1966145	2381	95922	69192	25313	14112
8. kat	2339285	2592	116645	98568	44105	17298
9. kat	2592365	5202	155682	99905	33282	17298
10. kat	2709792	7200	162450	131585	35645	21425

Tablo 4.9: TMD ile bina için katların kinetik enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	1509	61	85	27	4	5
2. kat	5944	306	230	125	298	4
3. kat	127	531	745	174	49	6
4. kat	20022	628	1112	361	224	16
5. kat	28798	402	1600	1246	437	53
6. kat	36538	426	1661	2252	469	88
7. kat	42560	467	2328	2139	732	77
8. kat	45008	543	2762	2798	729	42
9. kat	42333	740	2525	3919	524	94
10. kat	44479	853	2642	2900	1050	259

Tablo 4.10: TMD ile bina için katların toplam titreşim enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	50181	1519	2897	1485	369	293
2. kat	215896	4631	7794	6286	1922	886
3. kat	478369	8852	15366	18606	5251	3287
4. kat	817607	11432	31370	31362	8544	12184
5. kat	1167339	4727	42213	36891	15575	4661
6. kat	1473051	2411	87359	48156	18901	11793
7. kat	2008704	2847	98250	71331	26044	14189
8. kat	2384292	3135	119406	101366	44834	17340
9. kat	2634698	5942	158207	103823	33806	17392
10. kat	2754271	8053	165092	134484	36694	21684

Tablo 4.11: Titreşim enerji yüzdelik iyileşme, TMD durumu

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	85 %	97 %	14 %	68 %	75 %	91 %	72 %
2. kat	84 %	98 %	21 %	63 %	68 %	93 %	71 %
3. kat	84 %	98 %	72 %	59 %	67 %	86 %	78 %
4. kat	84 %	98 %	60 %	62 %	70 %	75 %	75 %
5. kat	84 %	99 %	68 %	72 %	67 %	93 %	81 %
6. kat	84 %	100 %	46 %	74 %	66 %	87 %	76 %
7. kat	83 %	100 %	53 %	63 %	65 %	86 %	75 %
8. kat	82 %	100 %	54 %	60 %	48 %	87 %	72 %
9. kat	83 %	100 %	45 %	65 %	72 %	87 %	75 %
10. kat	82 %	100 %	47 %	56 %	70 %	85 %	73 %
Binadaki dağılım titreşim enerjisinin ortalama iyileştirilmesi							75 %

Önceki tabloya göre TMD sistemli binanın enerji dağılıma oranı, sönümleme sistemi olmayan aynı binaya göre %75'e ulaşmıştır.

4.2. İKİNCİ DURUM – A: MTMD SİSTEMİNE SAHİP BİNA

4.2.1. Sistemin Rijitlik, Kütle ve Sönüm Matrisleri

MATLAB programından alınan sonuçlara göre sistem kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri aşağıdaki gibidir:

Mmatrix																			
20x20 double																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1750e+05	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0785e+05	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.1901e+05	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2055e+05	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.2765e+05	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3725e+05	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.4767e+05	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8239e+05	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7462e+05
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.9458e+05

Şekil 4.4: Sistem kütle matrisi, MTMD-A Durumu.

Kmatrix																			
20x20 double																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.8039e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.8869e+06	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-900000000	1.8037e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-3.7144e+06	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-900000000	1.8057e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-5.7010e+06	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-900000000	1.8057e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-5.7285e+06	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-900000000	1.8059e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-5.8553e+06	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-900000000	1.8060e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.0268e+06	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-900000000	1.8062e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.2131e+06	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8068e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.8335e+06	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8067e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.6947e+06
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-900000000	9.0705e+08	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.0513e+06
11	-3.8869e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8869e+06	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	-3.7144e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.7144e+06	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	-5.7010e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.7010e+06	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	-5.7285e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.7285e+06	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	-5.8553e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.8553e+06	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	-6.0268e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.0268e+06	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	-6.2131e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.2131e+06	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	-6.8335e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.8335e+06	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	-6.6947e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6.6947e+06
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7.0513e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	7.0513e+06

Şekil 4.5: Sistem rijitlik matrisi, MTMD-A Durumu.

Cmatrix %																			
20x20 double																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1.4868e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.6753e+05	0	0	0	0	0	0	0	0
-7000000	1.4844e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.4374e+05	0	0	0	0	0	0	0
0	-7000000	1.4963e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6254e+05	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-7000000	1.4911e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.1117e+05	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-7000000	1.4900e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.0003e+05	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-7000000	1.4927e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.2705e+05	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-7000000	1.4961e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6092e+05	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-7000000	1.5153e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.1527e+06	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-7000000	1.5054e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0541e+06	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-7000000	8.1869e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.1869e+06
-8.6753e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6753e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	-8.4374e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.4374e+05	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	-9.6254e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6254e+05	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-9.1117e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.1117e+05	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	-9.0003e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.0003e+05	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-9.2705e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2705e+05	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	-9.6092e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6092e+05	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	-1.1527e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1527e+06	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	-1.0541e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0541e+06	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.1869e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1869e+06

Şekil 4.6: Sistem sönüm matrisi, MTMD-A Durumu.

Çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin ideal özellikleri, Tablo 4.12’de gösterildiği gibi yukarıdaki matrislerden elde edilebilmektedir:

Tablo 4.12: Çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin özellikleri, MTMD-A durumu

Kat No.	Kütle (m_d) Kg	Rijitlik (k_d) N/m	Sönüm (c_d) Ns/m	Periyot Sec	Sönüm oranı
1. kat	217501	3.887×10^6	8.675×10^5	1.4863	0.4717
2. kat	207850	3.714×10^6	8.437×10^5	1.4863	0.4801
3. kat	319012	5.701×10^6	9.625×10^5	1.4863	0.3568
4. kat	320553	5.729×10^6	9.112×10^5	1.4863	0.3362
5. kat	327648	5.855×10^6	9.001×10^5	1.4863	0.3249
6. kat	337246	6.027×10^6	9.271×10^5	1.4863	0.3251
7. kat	347669	6.213×10^6	9.609×10^5	1.4863	0.3269
8. kat	382387	6.834×10^6	1.153×10^6	1.4863	0.3565
9. kat	374616	6.695×10^6	1.054×10^6	1.4863	0.3328
10. kat	394576	7.051×10^6	1.187×10^6	1.4863	0.3557

4.2.2. Katların Yer Değiştirmeleri

Tablo 5.11, MTMD-A durumunda katların yer değiştirmesini göstermektedir:

Tablo 4.13: MTMD-A ile bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	0.0046	0.0012	0.0006	0.0005	0.0023	0.0007
2. kat	0.0101	0.0013	0.0009	0.0015	0.0016	0.0015
3. kat	0.0146	0.002	0.0014	0.0022	0.0017	0.0023
4. kat	0.0194	0.0019	0.0016	0.0022	0.0027	0.0028
5. kat	0.0231	0.0013	0.0026	0.0043	0.0038	0.0036
6. kat	0.028	0.0016	0.0033	0.0046	0.0064	0.0041
7. kat	0.032	0.0024	0.0038	0.0044	0.0072	0.0046
8. kat	0.035	0.0029	0.0048	0.0042	0.0062	0.0051
9. kat	0.0362	0.0033	0.0044	0.0047	0.0081	0.0048
10. kat	0.0354	0.0032	0.0053	0.0053	0.0096	0.0053

Önceki tablonun tablo 4-2 ile karşılaştırılmasıyla, kat yer değiştirmelerinin iyileştirme oranı aşağıdaki tabloya göre belirlenebilmektedir:

Tablo 4.14: Yer değiştirmede yüzdelik iyileşme, MTMD-A durumu

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	83 %	89 %	78 %	84 %	28 %	73 %	63 %
2. kat	81 %	94 %	80 %	75 %	53 %	72 %	76 %
3. kat	82 %	93 %	87 %	78 %	71 %	68 %	80 %
4. kat	81 %	95 %	88 %	84 %	65 %	73 %	81 %
5. kat	82 %	96 %	85 %	74 %	62 %	71 %	78 %
6. kat	80 %	97 %	82 %	77 %	41 %	72 %	75 %
7. kat	80 %	95 %	82 %	79 %	43 %	70 %	75 %
8. kat	80 %	95 %	80 %	82 %	55 %	70 %	77 %
9. kat	80 %	94 %	82 %	81 %	50 %	72 %	77 %
10. kat	81 %	95 %	80 %	79 %	41 %	70 %	74 %
Binadaki yer değiştirmenin iyileştirme ortalaması							76 %

Önceki tabloya göre katlar yer değiştirmelerindeki iyileştirme oranı %76'e ulaşmıştır.

4.2.3. Titreşim Enerjisinin Dağılımı

Binanın tüm katları için MTMD'li kinetik ve potansiyel enerji hesaplanmıştır.

Tablo 4.15: MTMD-A ile bina için katların potansiyel enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	9522	221	162	113	2381	221
2. kat	45905	23981	365	1013	1152	1013
3. kat	95922	51521	882	2178	1301	2381
4. kat	169362	65885	1152	2178	3281	3528
5. kat	240125	76050	3042	8321	6498	5832
6. kat	352800	105341	4901	9522	18432	7565
7. kat	460800	33282	6498	8712	23328	9522
8. kat	551250	1013	10368	7938	17298	11705
9. kat	589698	21425	8712	9941	29525	10368
10. kat	563922	31001	12641	12641	41472	12641

Tablo 4.16: MTMD-A ile bina için katların kinetik enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	178	95	22	4	81	2
2. kat	467	289	19	176	32	5
3. kat	1296	443	298	55	93	39
4. kat	2061	486	210	58	359	19
5. kat	2490	571	374	155	1250	20
6. kat	1513	737	504	315	1828	17
7. kat	3097	949	305	970	1985	1
8. kat	3306	1303	477	1225	2252	53
9. kat	3364	1292	281	1296	37	110
10. kat	3813	1580	600	1351	3600	10

Tablo 4.17: MTMD-A ile bina için katların toplam titreşim enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	9700	743	184	117	2462	222
2. kat	46371	1050	383	1188	1184	1017
3. kat	97218	2243	1180	2233	1394	2420
4. kat	171423	2111	1362	2236	3640	3547
5. kat	242615	1332	3416	8476	7748	5852
6. kat	354313	1889	5405	9837	20260	7582
7. kat	463897	3541	6803	9682	25313	9523
8. kat	554556	5088	10845	9163	19550	11757
9. kat	593062	6193	8993	11237	29562	10478
10. kat	567735	6188	13241	13991	45072	12650

Önceki tablonun tablo 4-7 ile karşılaştırılmasıyla, dağılım titreşim enerjisinin iyileştirme oranı aşağıdaki tabloya göre belirlenebilmektedir:

Tablo 4.18: Titreşim enerji yüzdelik iyileşme, MTMD-A durumu

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	97 %	99 %	95 %	98 %	63 %	93 %	91 %
2. kat	97 %	99 %	96 %	94 %	78 %	92 %	93 %
3. kat	97 %	99 %	98 %	95 %	92 %	90 %	95 %
4. kat	97 %	100 %	98 %	97 %	88 %	93 %	95 %
5. kat	97 %	100 %	98 %	93 %	86 %	91 %	94 %
6. kat	96 %	100 %	97 %	95 %	65 %	92 %	91 %
7. kat	96 %	100 %	97 %	95 %	68 %	91 %	91 %
8. kat	96 %	100 %	96 %	97 %	79 %	91 %	93 %
9. kat	96 %	100 %	97 %	96 %	75 %	92 %	93 %
10. kat	96 %	100 %	96 %	96 %	65 %	91 %	90 %
Binadaki dağılım titreşim enerjisinin ortalama iyileştirilmesi							93 %

Önceki tabloya göre MTMD-A sistemli binanın enerji dağılıma oranı, MTMD sistemi olmayan aynı binaya göre %93'e ulaşmıştır.

4.3. İKİNCİ DURUM – B: MTMD SİSTEMİNE SAHİP BİNA

4.3.1. Sistemin Rijitlik, Kütle ve Sönüm Matrisleri

MATLAB programından alınan sonuçlara göre sistem kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri aşağıdaki gibidir:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50000

Şekil 4.7: Sistem kütle matrisi, MTMD-B Durumu.

Kmatrix																				
20x20 double																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.8016e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.6413e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-900000000	1.8016e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.5800e+06	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-900000000	1.8016e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-1.6437e+06	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-900000000	1.8019e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-1.8668e+06	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-900000000	1.8021e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-2.1002e+06	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-900000000	1.8021e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-2.0685e+06	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-900000000	1.8019e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-1.8660e+06	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8019e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-1.9238e+06	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8019e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-1.9058e+06	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-900000000	1.8019e+09	-900000000	0	0	0	0	0	0	0	-1.8685e+06	0
11	-1.6413e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6413e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	-1.5800e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.5800e+06	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	-1.6437e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.6437e+06	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	-1.8668e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8668e+06	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	-2.1002e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.1002e+06	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	-2.0685e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.0685e+06	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	-1.8660e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8660e+06	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	-1.9238e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9238e+06	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.9058e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.9058e+06	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.8685e+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8685e+06

Şekil 4.8: Sistem rijitlik matrisi, MTMD-B Durumu.

Cmatrix																				
20x20 double																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1.4111e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-1.1129e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-7000000	1.4093e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.2603e+04	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	-7000000	1.4097e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6502e+04	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	-7000000	1.4097e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.7266e+04	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	-7000000	1.4086e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.6188e+04	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	-7000000	1.4088e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-8.8030e+04	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	-7000000	1.4096e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6206e+04	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	-7000000	1.4096e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.5602e+04	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	-7000000	1.4097e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6644e+04	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	-7000000	1.4097e+07	-7000000	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.8033e+04
11	-1.1129e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.1129e+05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	-9.2603e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.2603e+04	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	-9.6502e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6502e+04	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	-9.7266e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.7266e+04	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	-8.6188e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.6188e+04	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	-8.8030e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8.8030e+04	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	-9.6206e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6206e+04	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	-9.5602e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.5602e+04	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.6644e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6644e+04	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.8033e+04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.8033e+04

Şekil 4.9: Sistem sönüm matrisi, MTMD-B Durumu.

Çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin ideal özellikleri, tablo 4.19'de gösterildiği gibi yukarıdaki matrislerden elde edilebilmektedir:

Tablo 4.19: Çoklu ayarlı kütle sönümleyicilerin özellikleri, MTMD-B durumu

Kat No.	Kütle (m_d) Kg	Rijitlik (k_d) N/m	Sönüm (c_d) Ns/m	Periyot Sec	Sönüm oranı
1. kat	5×10^4	1.641×10^6	1.113×10^5	1.0966	0.1942
2. kat	5×10^4	1.580×10^6	9.261×10^4	1.1177	0.1647
3. kat	5×10^4	1.644×10^6	9.650×10^4	1.0958	0.1683
4. kat	5×10^4	1.867×10^6	9.727×10^4	1.0282	0.1591
5. kat	5×10^4	2.101×10^6	8.619×10^4	0.9694	0.1329
6. kat	5×10^4	2.069×10^6	8.803×10^4	0.9768	0.1368
7. kat	5×10^4	1.866×10^6	9.621×10^4	1.0285	0.1574
8. kat	5×10^4	1.924×10^6	9.561×10^4	1.0129	0.1541
9. kat	5×10^4	1.906×10^6	9.665×10^4	1.0177	0.1565
10. kat	5×10^4	1.869×10^6	9.804×10^4	1.0278	0.1603

4.3.2. Katların Yer Değiştirmeleri

Tablo 4.20: MTMD-B ile bina için katların yer değiştirmeleri değerleri (m)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	0.0084	0.0023	0.0040	0.0007	0.0019	0.0010
2. kat	0.0179	0.0048	0.0085	0.0016	0.0041	0.0025
3. kat	0.0266	0.006	0.0126	0.0024	0.0057	0.004
4. kat	0.034	0.0089	0.0166	0.0036	0.0087	0.005
5. kat	0.0397	0.0091	0.0196	0.0026	0.0109	0.0055
6. kat	0.0463	0.0119	0.0235	0.0043	0.0188	0.0065
7. kat	0.051	0.0132	0.0262	0.0063	0.0219	0.0073
8. kat	0.0565	0.0157	0.0272	0.0067	0.0239	0.0084
9. kat	0.059	0.0183	0.0286	0.0063	0.0248	0.0081
10. kat	0.0589	0.0178	0.0300	0.0070	0.0162	0.0082

Önceki tablonun tablo 4-2 ile karşılaştırılmasıyla, kat yer değiştirmelerinin iyileştirme oranı aşağıdaki tabloya göre belirlenebilmektedir:

Tablo 4.21: Yer değiştirmede yzdelik iyileşme, MTMD-B durumu

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	69 %	79 %	-48 %	78 %	-6 %	62 %	39 %
2. kat	67 %	77 %	-85 %	74 %	-21 %	54 %	28 %
3. kat	67 %	79 %	-18 %	76 %	3 %	45 %	42 %
4. kat	67 %	76 %	-28 %	73 %	-12 %	51 %	38 %
5. kat	68 %	72 %	-16 %	85 %	-8 %	55 %	43 %
6. kat	68 %	76 %	-26 %	78 %	-72 %	55 %	30 %
7. kat	68 %	75 %	-24 %	69 %	-72 %	52 %	28 %
8. kat	67 %	73 %	-14 %	71 %	-74 %	51 %	29 %
9. kat	68 %	68 %	-14 %	75 %	-53 %	53 %	33 %
10. kat	68 %	70 %	-15 %	73 %	1 %	54 %	42 %
Binadaki yer değiştirmenin iyileştirme ortalaması							35 %

Önceki tablodaki eksi işareti, MTMD sistemi olmayan bina durumuyla karşılaştırıldığında MTMD-B durumunda yer değiştirmelerdeki artışı ifade etmektedir. Bu tabloya göre katlar yer değiştirmelerindeki iyileştirme oranı %35'e ulaşmıştır.

4.3.3. Titreşim Enerjisinin Dağılması

Tablo 4.22: MTMD-B ile bina için katların potansiyel enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	31752	2381	7200	221	1625	450
2. kat	144185	10368	32513	1152	7565	2813
3. kat	318402	16200	71442	2592	14621	7200
4. kat	520200	35645	124002	5832	34061	11250
5. kat	709241	37265	172872	3042	53465	13613
6. kat	964661	63725	248513	8321	159048	19013
7. kat	1170450	78408	308898	17861	215825	23981
8. kat	1436513	110921	332928	20201	257045	31752
9. kat	1566450	150701	368082	17861	276768	29525
10. kat	1561145	142578	405000	22050	118098	30258

Tablo 4.23: MTMD-B ile bina için katların kinetik enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	38	7	261	33	138	2
2. kat	112	1444	1089	132	650	38
3. kat	202	2465	2435	355	1395	119
4. kat	281	2804	4376	89	2581	142
5. kat	536	3863	6257	225	4225	221
6. kat	767	3900	7534	1656	5373	277
7. kat	1056	4631	9168	710	7319	261
8. kat	2435	4754	10537	2688	7098	396
9. kat	1218	1343	11892	3053	10171	447
10. kat	1560	2280	12466	2632	10650	511

Tablo 4.24: MTMD-B ile bina için katların toplam titreşim enerjisi (J)

Kat No.	Zaman (Saniye)					
	5	10	15	20	25	30
1. kat	31790	2388	7461	254	1763	452
2. kat	144297	11812	33602	1284	8215	2850
3. kat	318604	18665	73877	2947	16016	7319
4. kat	520481	38448	128378	5921	36641	11392
5. kat	709776	41127	179129	3267	57690	13833
6. kat	965428	67625	256047	9977	164421	19290
7. kat	1171506	83039	318066	18571	223143	24241
8. kat	1438948	115675	343465	22889	264143	32148
9. kat	1567668	152044	379974	20913	286939	29972
10. kat	1562705	144858	417466	24682	128748	30769

Önceki tablonun tablo 4-7 ile karşılaştırılmasıyla, dağılım titreşim enerjisinin iyileştirme oranı aşağıdaki tabloya göre belirlenebilmektedir:

Tablo 4.25: Titreşim enerji yüzdeler iyileşme, MTMD-B durumu

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	91 %	96 %	-121 %	95 %	-16 %	86 %	38 %
2. kat	89 %	94 %	-228 %	93 %	-48 %	79 %	13 %
3. kat	89 %	95 %	-39 %	94 %	2 %	70 %	52 %
4. kat	90 %	94 %	-64 %	93 %	-28 %	77 %	44 %
5. kat	90 %	92 %	-37 %	98 %	-20 %	80 %	51 %
6. kat	90 %	94 %	-60 %	95 %	-193 %	80 %	17 %
7. kat	90 %	93 %	-55 %	91 %	-192 %	77 %	17 %
8. kat	89 %	93 %	-33 %	91 %	-199 %	76 %	20 %
9. kat	90 %	90 %	-34 %	93 %	-133 %	78 %	31 %
10. kat	90 %	91 %	-36 %	92 %	-3 %	79 %	52 %
Binadaki dağılım titreşim enerjisinin ortalama iyileştirilmesi							33 %

Önceki tablodaki eksi işareti, MTMD sistemi olmayan bina durumuyla karşılaştırıldığında MTMD-B durumunda titreşim enerjisindeki artışı ifade etmektedir. Önceki tabloya göre MTMD-B sistemli binanın enerji dağılıma oranı, MTMD sistemi olmayan aynı binaya göre %33'e ulaşmıştır.

4.4. TMD SİSTEMİNİN MTMD DURUM-A SİSTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

4.4.1. Katların Yer Değiştirmeleri

Tablo 4-3 ve Tablo 4-13'ten iki durum arasındaki kat yer değiştirmeleri açısından fark hesaplanabilmektedir. Eksi işareti, TMD durumunda bir kattaki yer değiştirmelerin iyileştirme oranının MTMD'den fazla olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.26: TMD ile MTMD-A arasındaki yer değiştirmede yüzdelik iyileşme

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	77 %	40 %	123 %	113 %	-88 %	13 %	46 %
2. kat	73 %	82 %	128 %	85 %	17 %	-7 %	63 %
3. kat	76 %	73 %	121 %	98 %	67 %	16 %	75 %
4. kat	74 %	88 %	135 %	116 %	46 %	60 %	86 %
5. kat	74 %	82 %	114 %	70 %	42 %	-12 %	62 %
6. kat	67 %	27 %	123 %	75 %	0 %	22 %	52 %
7. kat	70 %	-4 %	117 %	95 %	4 %	20 %	50 %
8. kat	69 %	-19 %	108 %	112 %	46 %	19 %	56 %
9. kat	71 %	3 %	123 %	104 %	6 %	25 %	55 %
10. kat	75 %	22 %	113 %	105 %	-8 %	26 %	56 %
Binadaki yer değiştirmenin iyileştirme ortalaması							60 %

Yukarıdaki tabloya göre MTMD-A sistemi, TMD sistemine göre kat yer değiştirmelerinde %60 daha fazla iyileştirme sağlamaktadır.

4.4.2. Maksimum Yer Değiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

Bu karşılaştırma, iki durum arasındaki maksimum kat yer değiştirmelerindeki iyileşme yüzdesi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Aşağıdaki tabloda, yer değiştirmelerin meydana geldiği zamana bakılmaksızın her iki durum için her kattaki maksimum değerler dikkate alınmıştır.

Tablo 4.27: TMD ile MTMD-A arasındaki maksimum yer değiştirmede yzdelik iyileşme

Kat No.	Maksimum yer değiştirmesi		Ortalama
	TMD	MTMD	
1. kat	0.0131	0.0116	12 %
2. kat	0.0246	0.0225	8 %
3. kat	0.0367	0.0326	11 %
4. kat	0.0465	0.0414	11 %
5. kat	0.0533	0.0489	8 %
6. kat	0.0615	0.0551	10 %
7. kat	0.0676	0.0603	17 %
8. kat	0.0718	0.0641	11 %
9. kat	0.0752	0.0661	12 %
10. kat	0.0776	0.0701	9 %
İyileştirme ortalaması			11 %

Yukarıdaki tabloya göre MTMD-A sistemi, TMD sistemine göre maksimum kat yer değiştirmelerinde %11 daha fazla iyileştirme sağlamaktadır.

4.4.3. Titreşim Enerjisinin Dağılması

Tablo 4-10 ve Tablo 4-15'ten iki durum arasındaki kat titreşim enerjisi dağılımındaki fark hesaplanabilmektedir. Eksi işareti, TMD durumunda bir kattaki titreşim enerjisi dağılımının iyileştirme oranının MTMD-A durumundakinden daha büyük olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.28: TMD ve MTMD-A arasındaki titreşim enerjisi dağılımındaki yzdelik iyileşme

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	135 %	69 %	176 %	171 %	-148 %	27 %	72 %
2. kat	129 %	126 %	181 %	136 %	47 %	-14 %	101 %
3. kat	132 %	119 %	171 %	157 %	116 %	30 %	121 %
4. kat	131 %	138 %	183 %	173 %	81 %	110 %	136 %
5. kat	131 %	112 %	170 %	125 %	67 %	-23 %	97 %
6. kat	122 %	24 %	177 %	132 %	-7 %	43 %	82 %
7. kat	125 %	-22 %	174 %	152 %	3 %	39 %	79 %
8. kat	125 %	-47 %	167 %	167 %	79 %	38 %	88 %
9. kat	127 %	-4 %	178 %	161 %	13 %	50 %	87 %
10. kat	132 %	26 %	170 %	162 %	-20 %	53 %	87 %
Binadaki dağılım titreşim enerjisinin ortalama iyileştirilmesi							95 %

Yukarıdaki tabloya göre MTMD-A sistemi, TMD sistemine göre kat titreşim enerjisi dağılımında %95 daha fazla iyileştirme sağlamaktadır.

4.5. TMD SİSTEMİNİN MTMD DURUM-B SİSTEMİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

4.5.1. Katların Yer Değiştirmeleri

Aynı şekilde, Tablo 4-2 ve Tablo 4-21'den iki durum arasındaki kat yer değiştirmeleri açısından fark hesaplanabilmektedir. Eksi işareti, TMD durumunda bir kattaki yer değiştirmelerin iyileştirme oranının MTMD'den fazla olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.29: TMD ile MTMD-B arasındaki yer değiştirmede yüzdelik iyileşme

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	24 %	-22 %	-38 %	61 %	-53 %	-20 %	-8 %
2. kat	21 %	-35 %	-52 %	57 %	-54 %	-44 %	-18 %
3. kat	23 %	-28 %	-55 %	63 %	-40 %	-33 %	-12 %
4. kat	24 %	-45 %	-51 %	57 %	-51 %	4 %	-10 %
5. kat	27 %	-66 %	-52 %	71 %	-47 %	-42 %	-18 %
6. kat	22 %	-82 %	-41 %	57 %	-66 %	-22 %	-22 %
7. kat	30 %	-83 %	-44 %	49 %	-66 %	-23 %	-23 %
8. kat	28 %	-85 %	-41 %	55 %	-59 %	-26 %	-21 %
9. kat	29 %	-81 %	-35 %	58 %	-65 %	-23 %	-20 %
10. kat	32 %	-78 %	-37 %	59 %	-45 %	-16 %	-14 %
Binadaki yer değiştirmenin iyileştirme ortalaması							-17 %

Yukarıdaki tabloya göre TMD sistemi, MTMD-B sistemine göre kat yer değiştirmelerinde %17 daha fazla iyileştirme sağlamaktadır.

4.5.2. Maksimum Yer Değiştirme Değerlerinin Karşılaştırılması

Aşağıdaki tabloda, yer değiştirmelerin meydana geldiği zamana bakılmaksızın her iki durum için her kattaki maksimum değerler dikkate alınmıştır.

Tablo 4.30: TMD ile MTMD-B arasındaki maksimum yer değiştirmede yüzdelik iyileşme

Kat No.	Maksimum yer değiştirmesi		Ortalama
	TMD	MTMD	
1. kat	0.0131	0.0143	-9 %
2. kat	0.0246	0.0276	-12 %
3. kat	0.0367	0.0386	-5 %
4. kat	0.0465	0.0493	-6 %
5. kat	0.0533	0.0586	-10 %
6. kat	0.0615	0.0683	-11 %
7. kat	0.0676	0.0749	-11 %
8. kat	0.0718	0.0805	-12 %
9. kat	0.0752	0.0855	-14 %
10. kat	0.0776	0.0862	-11 %
İyileştirme ortalaması			-10 %

Yukarıdaki tabloya göre TMD sistemi, sistemine MTMD-B göre maksimum kat yer değiştirmelerinde %10 daha fazla iyileştirme sağlamaktadır.

4.5.3. Titreşim Enerjisinin Dağılımı

Tablo 4-10 ve Tablo 4-20'ten iki durum arasındaki kat titreşim enerjisi dağılımındaki fark hesaplanabilmektedir. Eksi işareti, TMD durumunda bir kattaki titreşim enerjisi dağılımının iyileştirme oranının MTMD-B durumundakinden daha büyük olduğunu göstermektedir.

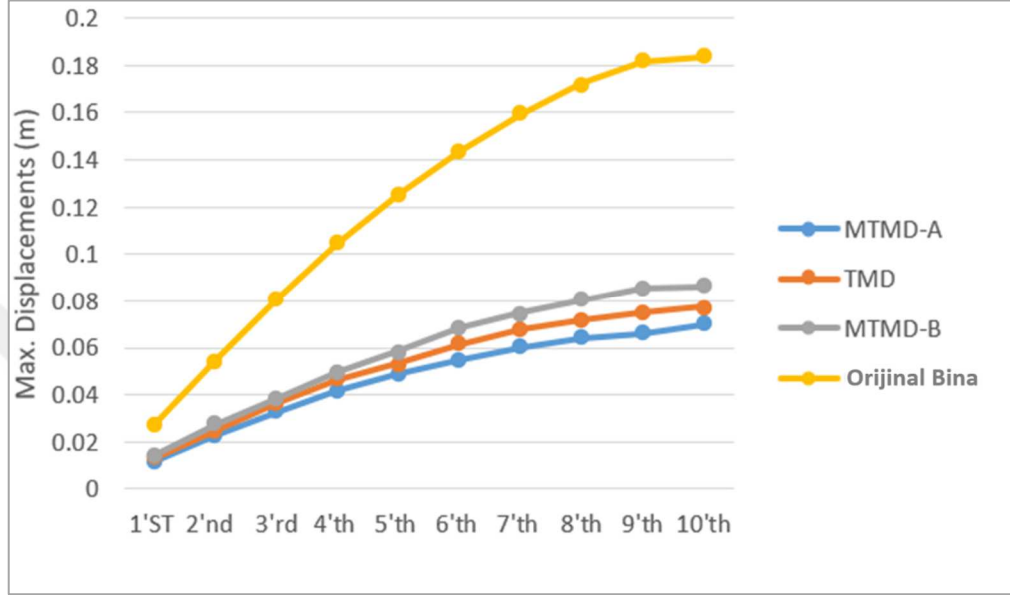
Tablo 4.31: TMD ve MTMD-B arasındaki titreşim enerjisi dağılımındaki yüzdelik iyileşme

Kat No.	Zaman (Saniye)						Ortalama
	5	10	15	20	25	30	
1. kat	58 %	-36 %	-61 %	83 %	-79 %	-35 %	-12 %
2. kat	50 %	-61 %	-77 %	80 %	-77 %	-69 %	-26 %
3. kat	50 %	-53 %	-79 %	84 %	-67 %	-55 %	-20 %
4. kat	57 %	-70 %	-76 %	81 %	-77 %	7 %	-13 %
5. kat	64 %	-89 %	-76 %	91 %	-73 %	-66 %	-25 %
6. kat	53 %	-96 %	-66 %	79 %	-89 %	-39 %	-26 %
7. kat	71 %	-97 %	-69 %	74 %	-88 %	-41 %	-25 %
8. kat	66 %	-97 %	-65 %	77 %	-83 %	-46 %	-25 %
9. kat	68 %	-96 %	-58 %	80 %	-88 %	-42 %	-23 %
10. kat	76 %	-94 %	-60 %	82 %	-71 %	-30 %	-16 %
Binadaki dağılım titreşim enerjisinin ortalama iyileştirilmesi							-21 %

Yukarıdaki tabloya göre TMD sistemi, MTMD-B sistemine göre kat titreşim enerjisi dağılımında %21 daha fazla iyileştirme sağlamaktadır.

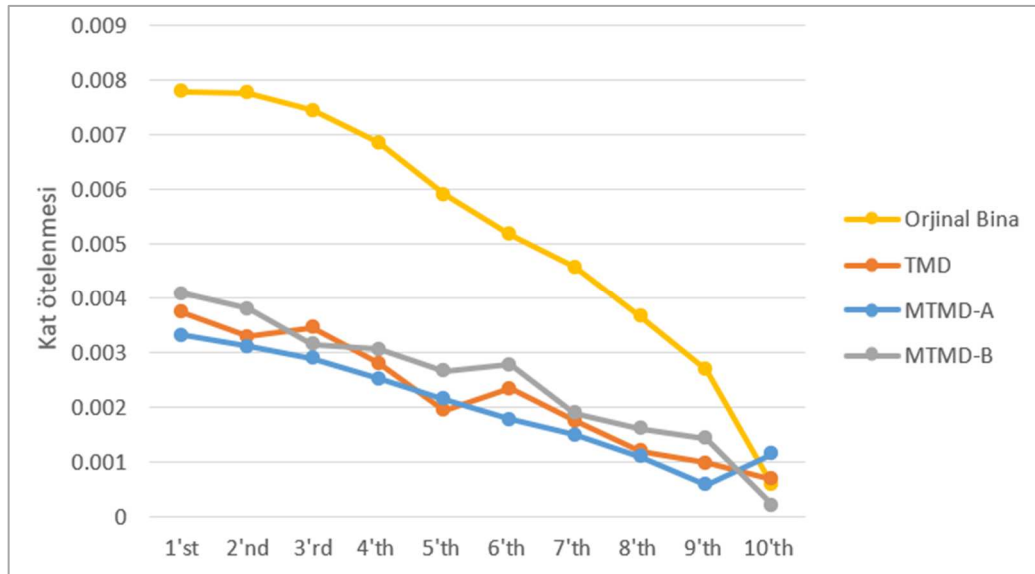
4.6. MAKSİMUM YER DEĞİŞTİRMESİ VE KAT ÖTELENMESİ

Bu bölümde, incelenen üç durum arasındaki karşılaştırma, maksimum yer değiştirme ve kat ötelenmesi değerleri açısından sunulmaktadır. Şekil 4-10 tüm durumlar için kat yer değiştirmelerinin maksimum değerlerini göstermektedir.



Şekil 4-10 Maksimum yer değiştirmeleri

Şekil 4-11 tüm durumlar için kat ötelenmesini göstermektedir (kat yüksekliğinin 3.5 m olduğu varsayılarak):



Şekil 4-11 Kat ötelenmesi

5. TARTIŞMA

Yapıların davranışını iyileştirme açısından ayarlı kütle sönümleyici ve çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin etkisine odaklanan birçok önceki çalışma vardır. Bu çalışmalardan biri Brandao ve Miguel (2020) tarafından yürütülmüştür. 10 katlı bir çelik binayı iki durumda incelemiştir. İlkinde ayarlı kütle sönümleyici onuncu kata yerleştirilmiştir. İkincisinde ise çoklu ayarlı kütle sönümleyiciler kullanılmıştır, sönümleyiciler her kata yerleştirilmiştir. Damperlerin optimum parametrelerini hesaplamak için Metasezgisel algoritması kullanmışlardır. Dört farklı sismik etki kullanmışlardır. Çalışmanın sonuçlarına göre, ilk durumda (TMD), tüm sismik etkiler için yer değiştirme açısından iyileştirme değerlerinin yüzdesi %35 ile %65 arasında değişirken, mevcut çalışmada iyileştirme yüzdesi %54'e ulaşmıştır. İkinci durumda (MTMD), tüm sismik etkiler için yer değiştirme açısından iyileştirme değerlerinin yüzdesi %35 ile %70 arasında değişirken, mevcut çalışmada MTMD-A durumu için iyileştirme yüzdesi %93'e, MTMD-B durumu için ise %35'e ulaşmıştır. Tablo 5.29'da yer değiştirme iyileştirmesi açısından TMD durumu için iki çalışma arasındaki farkları göstermektedir:

Tablo 5.1: Brandao ve Miguel Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD)

Kat No.	Brandao ve Miguel Çalışması				Mevcut Çalışma El-Centro
	Loma prieta	LA'Aquila	Canterbury	Artificial	
1. kat	50.75 %	59.38 %	47.22 %	64.96 %	53 %
2. kat	49.47 %	58.52 %	46.67 %	65.79 %	52 %
3. kat	49.49 %	57.55 %	45.77 %	66.06 %	56 %
4. kat	49.80 %	56.82 %	45.27 %	66.48 %	53 %
5. kat	50.17 %	56.53 %	44.29 %	66.82 %	60 %
6. kat	47.24 %	56.80 %	43.57 %	67.14 %	56 %
7. kat	42.84 %	57.24 %	42.67 %	67.46 %	55 %
8. kat	42.11 %	57.83 %	42.02 %	67.86 %	53 %
9. kat	41.57 %	57.44 %	41.58 %	68.22 %	55 %
10. kat	41.27 %	57.29 %	41.36 %	68.33 %	53 %
Ortalama	46.47 %	57.54 %	44.04 %	66.93 %	54 %

Tablo 5.30'da MTMD durumu için iki çalışma arasındaki farkları göstermektedir:

Tablo 5.2: Brandao ve Miguel Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (MTMD-A)

Kat No.	Brandao ve Miguel Çalışması				Mevcut Çalışma El-Centro
	Loma prieta	LA'Aquila	Canterbury	Artificial	
1. kat	50.75 %	62.50 %	48.61 %	67.52 %	63 %
2. kat	49.82 %	60.37 %	47.67 %	67.61 %	76 %
3. kat	49.75 %	59.64 %	46.95 %	67.74 %	80 %
4. kat	50.40 %	59.09 %	46.20 %	67.80 %	81 %
5. kat	51.03 %	58.93 %	45.37 %	67.99 %	78 %
6. kat	50.92 %	59.21 %	44.65 %	68.31 %	75 %
7. kat	46.63 %	59.70 %	43.89 %	68.72 %	75 %
8. kat	45.84 %	60.35 %	43.15 %	69.21 %	77 %
9. kat	45.17 %	61.20 %	42.43 %	69.65 %	77 %
10. kat	44.87 %	61.21 %	41.67 %	69.94 %	74 %
Ortalama	48.52%	60.22%	45.06%	68.45%	76 %

Tablo 5.3: Brandao ve Miguel Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (MTMD-B)

Kat No.	Brandao ve Miguel Çalışması				Mevcut Çalışma El-Centro
	Loma prieta	LA'Aquila	Canterbury	Artificial	
1. kat	50.75 %	62.50 %	48.61 %	67.52 %	39 %
2. kat	49.82 %	60.37 %	47.67 %	67.61 %	28 %
3. kat	49.75 %	59.64 %	46.95 %	67.74 %	42 %
4. kat	50.40 %	59.09 %	46.20 %	67.80 %	38 %
5. kat	51.03 %	58.93 %	45.37 %	67.99 %	43 %
6. kat	50.92 %	59.21 %	44.65 %	68.31 %	30 %
7. kat	46.63 %	59.70 %	43.89 %	68.72 %	28 %
8. kat	45.84 %	60.35 %	43.15 %	69.21 %	29 %
9. kat	45.17 %	61.20 %	42.43 %	69.65 %	33 %
10. kat	44.87 %	61.21 %	41.67 %	69.94 %	42 %
Ortalama	48.52%	60.22%	45.06%	68.45%	35 %

Önceki sonuçlara göre, tüm durumlar kat yer değiştirmelerini değerlerde küçük farklarla azaltmada büyük etkinlik göstermektedir, bu durum aşağıdaki nedenlerle açıklanabilir:

1. Bina özelliklerinde sertlik, kütle ve sönümlenme açısından fark vardır.
2. Binayı etkileyen sismik uyarılmada fark vardır.
3. Optimizasyon sürecinde kullanılan denklem algoritmasında fark vardır.

Kaveh ve diğ. (2020), 10 katlı bir binanın davranışını iyileştirmede ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) etkisini incelemiştir. Katlar özgül kütle, rijitliğe ve sönüme sahiptir. Sönümleyicinin optimum parametrelerini Novel Chaotic Optimizasyon Algoritması (COA) kullanarak hesaplamışlardır. El-Centro deprem etkisi binaya uygulamışlardır. Sonuçlar, kat yer değiştirmelerinde %38 iyileşme göstermişlerdir. Mevcut çalışmada TMD durumunda yer değiştirmelerdeki iyileşmenin değeri %54'e ulaşmıştır. Tablo 5.4'te, her kat için iki çalışmadaki iyileştirme yüzdelerini göstermektedir:

Tablo 5.4: Kaveh ve diğ. Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD)

Kat No.	Kaveh ve diğ. Çalışması	Mevcut Çalışma
	El-Centro	El-Centro
1. kat	38.71 %	53 %
2. kat	38.33 %	52 %
3. kat	37.93 %	56 %
4. kat	39.29 %	53 %
5. kat	38.35 %	60 %
6. kat	37.75 %	56 %
7. kat	37.35 %	55 %
8. kat	36.16 %	53 %
9. kat	35.33 %	55 %
10. kat	34.57 %	53 %
Ortalama	37.37 %	54 %

Bu çalışma yöntem açısından mevcut çalışma ile karşılaştırıldığında, farkın sönümleyicinin optimum parametrelerini hesaplamak için kullanılan denklem olduğu görülebilir. Mevcut çalışmada Jaya algoritması kullanılırken, Kaveh'in çalışmasında COA algoritması kullanılmıştır. Bina özellikleri sonuçları etkileyebilmesine rağmen, sonuçlar, COA algoritmasıyla karşılaştırıldığında katların yer değiştirmelerini azaltmak için TMD parametrelerinin hesaplanmasında JAYA algoritmasının etkisini göstermektedir.

Tablo 4.14'ü Tablo 5.4 ile karşılaştırdığımızda, çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin (MTMD) ayarlı kütle sönümleyiciden (TMD) daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülebilmektedir. MTMD kullanımı, yer değiştirme azaltımında %76 iyileştirme sağlamaktadır.

Bekdaş ve Melih (2014), 10 katlı bir binanın onuncu katına yerleştirilen ayarlı kütle sönümleyicinin (TMD) davranışını iyileştirme etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, tüm katlar

için özgül kütle, rijitlik ve sönüm uygulanmıştır. Sönümleyicinin optimum parametrelerini Harmony algoritması (HS) kullanarak hesaplamışlardır. El-Centro depreminin etkisini binaya uygulamışlardır. Sonuçlar kat yer değiştirmelerinde %47 iyileştirme olduğunu göstermiştir. Tablo 5.5'te Bekdaş ve Melih'in çalışması ile mevcut çalışma arasındaki iyileştirme yüzdeleri her kat için gösterilmektedir:

Tablo 5.5: Bekdaş ve Melih Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD)

Kat No.	Bekdaş ve Nigdeli Çalışması	Mevcut Çalışma
	El-Centro	El-Centro
1. kat	48.39 %	53 %
2. kat	48.33 %	52 %
3. kat	49.43 %	56 %
4. kat	49.11 %	53 %
5. kat	48.87 %	60 %
6. kat	48.34 %	56 %
7. kat	47.59 %	55 %
8. kat	46.89 %	53 %
9. kat	46.20 %	55 %
10. kat	45.74 %	53 %
Ortalama	47.88 %	54 %

Sonuçlar, kat yer değiştirmesi azaltma yüzdesi açısından iki çalışma arasında bir yakınsama olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni, bina özelliklerindeki fark ve damperin optimum parametrelerini hesaplamak için kullanılan algoritmadır.

Tablo 4.14'ü Tablo 5.5 ile karşılaştırdığımızda, çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin (MTMD) ayarlı kütle sönümleyiciden (TMD) daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülebilmektedir.

Lee ve diğ. (2006), frekans alanında yapısal tepki performans endeksini en aza indirerek ayarlı kütle sönümleyici (TMD) parametrelerinin optimum tasarımı için bir teori önermişlerdir. Bu amaçla 10 katlı bir binayı incelemişler ve El-Centro depremini yapıya uygulamışlardır. Kat yer değiştirmelerinin değerleri bu yöntemi kullanırken bir iyileşme göstermiştir. Ancak elde ettikleri sonuçlar mevcut çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırıldığında JAYA algoritmasının kat yer değiştirmelerini azaltma açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülebilmektedir. Tablo 5.6, Lee'nin çalışması ile mevcut çalışma arasındaki her kat için kat yer değiştirmelerini göstermektedir

Tablo 5.6: Lee ve diğ. Çalışması ile mevcut çalışmanın karşılaştırılması (TMD)

Kat No.	Lee ve diğ. Çalışması El-Centro	Mevcut Çalışma El-Centro
1. kat	0.020	0.0104
2. kat	0.039	0.0216
3. kat	0.057	0.0326
4. kat	0.073	0.0421
5. kat	0.087	0.0503
6. kat	0.099	0.0565
7. kat	0.108	0.0661
8. kat	0.117	0.0721
9. kat	0.123	0.0759
10. kat	0.126	0.0776

Tablo 4.13'ü Tablo 5.6 ile karşılaştırdığımızda, çoklu ayarlı kütle sönümleyicinin (MTMD) ayarlı kütle sönümleyiciden (TMD) daha yüksek verimliliğe sahip olduğu görülebilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 10 katlı bina için, El-Centro depremi adı verilen sismik uyarım altında, ayarlı kütle sönümleyici (TMD) ve çoklu ayarlı kütle sönümleyici (MTMD) sisteminin titreşim enerjisinin dağıtılması ve katların yer değiştirmelerinin azaltılması açısından etkinliği incelenmiştir. Binadaki her katın belirli bir rijitlik, kütle ve sönüm katsayısı vardır. Bina MATLAB ve Simulink programları kullanılarak analiz edilmiştir. Üç farklı durum incelenmiştir:

1. İlk durum, 10. kata bağlanan TMD sisteminin kullanılmasıdır. Jaya algoritması kullanılarak, TMD'nin kütle, rijitlik ve sönüm parametreleri hesaplanmıştır.
2. İkincisi, tüm katlara bağlanan MTMD sisteminin kullanılmasıdır. Jaya algoritması kullanılarak, MTMD'nin kütle, rijitlik ve sönüm parametreleri hesaplanmıştır. Bu duruma MTMD-A adı verilmiştir.
3. Üçüncüsü de MTMD sisteminin kullanılmasıdır, ancak bu durumda önceki durumdan fark, MTMD kütlelerinin 50.000 kg olarak belirlenmiştir. Kalan MTMD parametreleri Jaya algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Bu duruma MTMD-B adı verilmiştir.

Tüm önceki durumların sonuçları sönüm sistemi olmayan bina durumuyla karşılaştırılmıştır. Daha sonra sonuçlar her bir durum için ayrı ayrı TMD sistemi ve MTMD sistemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki önemli noktaları göstermektedir:

1. TMD sistemine sahip bina, sönüm sistemi olmayan binaya kıyasla büyük bir etkinlik göstermiştir. Katların yer değiştirmeleri %54 oranında azaltıp binanın titreşim enerjisini %75 oranında azaltmıştır. Öte yandan, sönüm sistemi olmayan bina 60. saniyeye kadar titreşimde kalırken, TMD sistemi olan bina sismik uyarım sona erdiğinde titreşmeyi bırakmıştır (30. saniyede).
2. MTMD-A sistemine sahip bina, aynı sönüm sistemi olmayan binaya kıyasla, kat yer değiştirme değerlerini azaltmada %76'ya eşit bir yüzdeye ulaşan çok yüksek bir verimlilik göstermiş ve titreşim enerjisinin dağıtılma yüzdesi ise %93'e ulaşmıştır.

- Sönüm sistemi olmayan bina 60. saniyeye kadar titreşimde kalırken, MTMD sistemli bina, sismik uyarım sona erdiğinde, yani 30. saniyede titreşimi durdurmuştur.
3. MTMD-B sistemine sahip binanın, önceki iki duruma kıyasla kat yer değiştirmelerini azaltma ve bina titreşim enerjisini dağıtma konusunda daha az etkili olduğu bulunmuştur. Sönüm sistemi olmayan bir bina ile karşılaştırıldığında, yer değiştirme azaltımı %35'e, titreşim enerjisi dağılım oranı ise %33'e ulaşmıştır. MTMD-B'de bina 40 saniyede titreşimi durdurmuştur.
 4. TMD ve MTMD-A durumları karşılaştırıldığında MTMD-A sisteminin TMD sistemine göre daha etkili olduğu görülmektedir. MTMD-A sistemi, kat yer değiştirmelerini %60 oranında azaltmada TMD sisteminden daha iyi performans göstermiştir. Ayrıca, enerji dağılımı açısından TMD sisteminden daha iyi performans göstererek %95'e ulaşmıştır. MTMD-A sistemi, TMD sistemindeki maksimum yer değiştirmelere kıyasla maksimum yer değiştirmeleri %11 oranında azaltmıştır. Her iki durumda bina 30 saniyede titreşimi durdurmuştur.
 5. TMD ve MTMD-B durumları karşılaştırıldığında TMD sisteminin MTMD-B sistemine göre daha etkili olduğu bulunmuştur. TMD sistemi, kat yer değiştirmelerini %17 oranında azaltmada MTMD-B sisteminden daha iyi performans göstermiştir. Enerji dağılımı açısından MTMD-B sisteminden daha iyi performans göstererek %21'e ulaşmıştır. TMD sistemi, MTMD-B sistemindeki maksimum yer değiştirmelere kıyasla maksimum yer değiştirmeleri %10 oranında azaltmıştır. Bina TMD durumunda 30. saniyede titreşimi durdururken, MTMD-B durumunda ise 40. saniyede titreşimi durdurmuştur.
 6. MTMD-A sistemi diğer sistemlere göre iyi sonuçlar vermesine rağmen, Jaya algoritması kullanılarak elde edilen sönümleyici kütlelerinin diğer sistemlerde kullanılan kütlelere göre çok büyük olması dezavantajına sahiptir. MTMD-A sisteminde tüm katlarda kullanılan toplam kütle 3.229.058 kg'dır. MTMD-B sisteminde tüm katlardaki toplam kütle 500.000 kg'dır. Bu değer TMD sisteminde kullanılan değerle aynıdır; yani onuncu katta 500.000 kg ağırlığında tek bir kütle vardır. Bunun için MTMD-A sisteminde sönümleyiciler kütlelerin ağırlığı TMD ve MTMD-B sistemlerine göre yaklaşık %85 daha fazladır. Bu sonuç MTMD-A sisteminin sonucunda bir kusur olarak kabul edilmektedir. Bu durum, MTMD-B sisteminin maliyet, montaj, bakım ve

kütle sönümleyicileri taşıyan yapı elemanlarının kesitleri açısından MTMD-A sistemine göre daha pratik ve uygulanabilir olmasını sağlamaktadır.

7. Bu çalışmada, MTMD sisteminin sismik uyarımlar altında genel olarak binaların davranışı üzerindeki etkisinin TMD sistemine kıyasla önemi vurgulanmıştır. Ancak, bu çalışmada elde edilen sonuçların yalnızca incelenen durumlarla sınırlı olduğu unutulmamalıdır.



KAYNAKLAR

Bekdaş G., Melih, S., and Yang, X. S., 2017, A novel bat algorithm based optimum tuning of mass dampers for improving the seismic safety of structures, *Engineering structures*, 159, 98-98.

Bekdaş G., and Melih, S., 2014, Optimization of Double Tuned Mass Dampers by using Harmony Search, *The twelfth international conference on computational structures technology*, 2 - 05 September 2014, Italy, Elsevier Ltd.

Brando, F. S., and Miguel, L. F. F., 2020, Vibration control in buildings under seismic excitation using optimized tuned mass dampers, *Fracture and integrity structure*, 14(54), 66-87.

Cetin, H., and Aydin, E., 2019, A new tuned mass damper design method based on transfer functions. *KSCE journal of civil engineering*, 2019, 23(10), 4463-80.

Choi, S.W., Seo, J.H., Lee, H.M., Kim, Y., and Park, H.S., 2015. Wind-induced response control model for high-rise buildings based on resizing method, *Journal of civil engineering and management*, 21, 239–247.

Chen, G., and Wu, J., 2001, Optimal placement of multiple tuned mass dampers for seismic structures. *Structural dynamics*, 127(9), 1054-62.

Chen, G., 1996, Multi-stage tuned mass damper, *Proceedings of 11th world conference on earthquake engineering*, 23-28 June 1996 Mexico, Elsevier Ltd, 978-0080428222.

Frahm, H., 1911, Device for damping of bodies. U.S. Patent No: 989,958.

Farshidianfar, A., and 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.

Fisco, N. R., and Adeli, H., 2001, Smart structures Part 1-active and semi-active control, *Scientia iranica*, 18(3), 275-284.

Igusa, T., and Xu, K., 1994, Vibration control using multiple tuned mass dampers, *Journal of sound and vibration*, 175(4), 491-503.

Kaveh, A., Javadi, S.M., and Moghanni, R. M., 2020, Reliability analysis via an Optimal Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy, *Emphasis on applications in civil engineering*, 64(2), 579-588.

Lee, C., Chen, Y., Chung, L., and Wang, Y., 2006, Optimal design theories and applications of tuned mass damper, *Engineering structures*, 28(1), 43-53

Li, C., and Liu, Y., 2003, Optimal multiple tuned mass dampers under the ground acceleration based on the uniform distribution of system parameters, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 32, 671-90.

Marano, G.C., Greco, R., and Chiaia, B., 2010, A comparison between different optimization criteria for tuned mass dampers design, *Journal of sound and vibration*, 329, 4880-90.

Marano, G.C., Greco, R., Trentadue, F., and Chiaia, B., 2007, Constrained reliability-based optimization of linear tuned mass dampers for seismic control, *International journal of solids and structures*, 44(22-23), 7370-7388.

Miranda, J., 2016, Discussion of system intrinsic parameters of tuned mass dampers used for seismic response reduction, *Structural control health*, 23(2), 349-68.

Moon, K., 2010, Vertically distributed multiple tuned mass dampers in tall buildings: performance analysis and preliminary design, *The structural design of tall and special buildings*, 19(3), 347-66.

Ormondroyd, J., and Den Hartog, J.P., 1928, The theory of dynamic vibration absorber, *Transactions of the American society of mechanical engineers*, 50, 9-22.

Ozturk, B., Cetin, H., and Aydin, E., 2022, Optimum vertical location and design of multiple tuned mass dampers under seismic excitations, *Structures*, 41, 1141-1136.

Park, J., and Reed, D., 2001 Analysis of uniformly and linearly distributed mass dampers under harmonic and earthquake excitation, *Engineering structures*, 23(7), 802-14.

Rana, R., and Soong, T.T., 1998, Parametric study and simplified design of tuned mass dampers, *Engineering structures*, 1998, 20(3), 193-204.

Rao, V. R., 2016, Jaya A simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems, *Growing science*, 7(1), 19-34.

Fransa, R., and Arfiadi, Y, 2015, Designing optimum locations and properties of MTMD systems, *Procedia engineering*, 125, 892-898.

Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A.W., and Chung, R.M., 1997, A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 26(6), 617-636.

Salvi, J., and Rizzi, E., 2016, Closed-form optimum tuning formulas for passive Tuned Mass Dampers under benchmark excitations, *Smart structure system*, 17(2), 231-56.

Singh, M.P., Singh, S., and Moreschi, L.M., 2002 Tuned mass dampers for response control of torsional buildings, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 31, 749-69.

Spencer, B. F., and Nagarajaiah S., 2003, State of the art of structural control, *Journal of structural engineering*, 129 (7), 845–856.

Tsai, H.C., and Lin, G.C., 1993, Optimum tuned-mass dampers for minimizing steady-state response of support-excited and damped systems, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 22 (11), 957-73.

Warburton, G.B., 1980, Optimum absorbers for simple systems, *Earthquake engineering and structural dynamics*, 8, 197-217.

Wang, J.F., and Lin, C.C., 2005, Seismic performance of multiple tuned mass dampers for soil–irregular building interaction systems, *International journal of solids and structures*, 42(20), 5536-5554.

Yamaguchi, H., and Harnpornchai, N., 1993, Fundamental characteristics of multiple tuned mass dampers for suppressing harmonically forced oscillation, *Earthquake engineering & structural dynamics*, 22(1), 51-62.

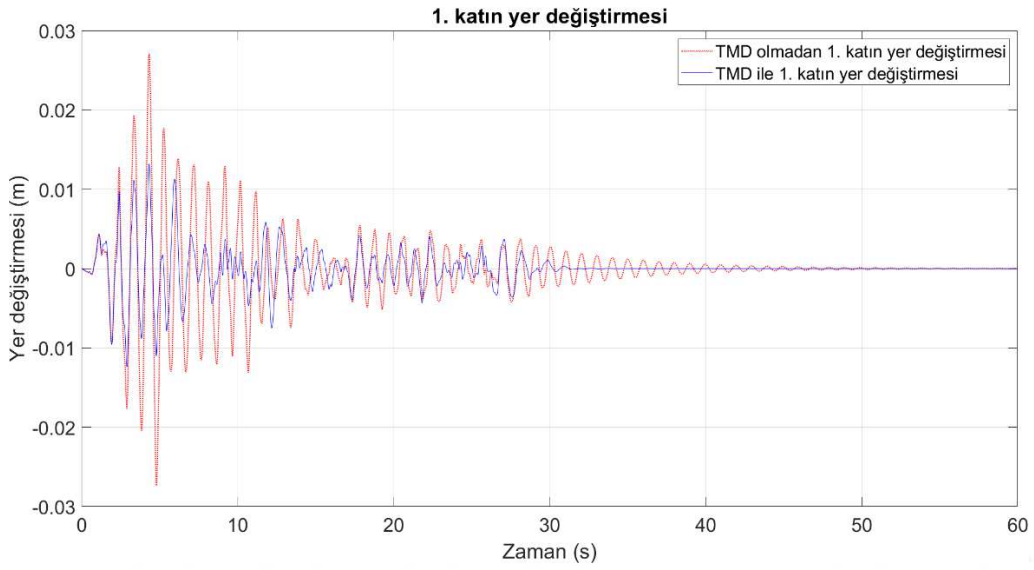
Zou, L., and Nayfeh, S.A., 2004, Minimax optimization of multi-degree-of-freedom tuned-mass dampers, *Journal of sound and vibration*, 272, 893-908.



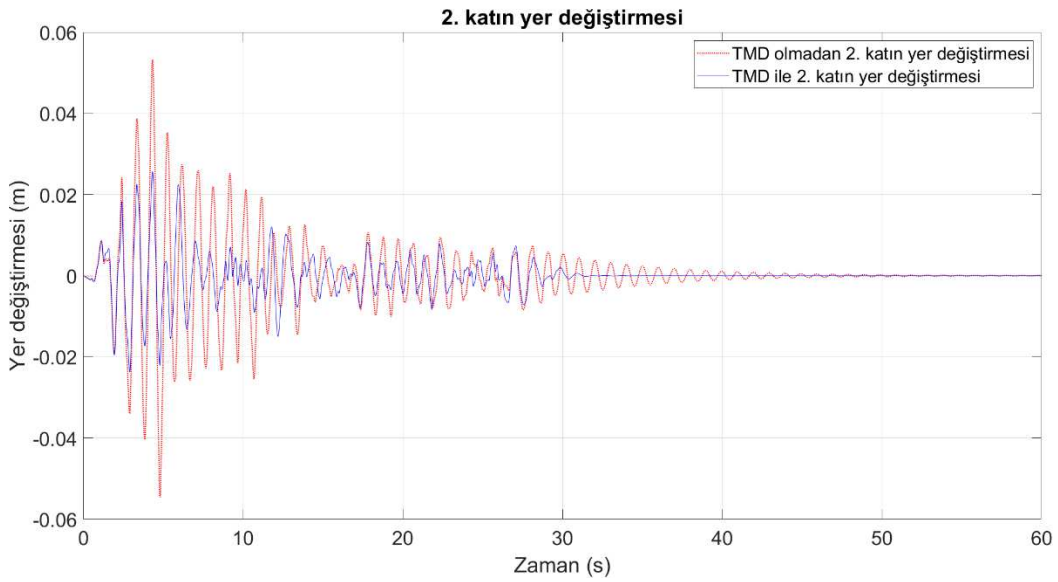
EKLER

6.1. Ayarlı Kütle Sönümleyici (TMD) Sonucu

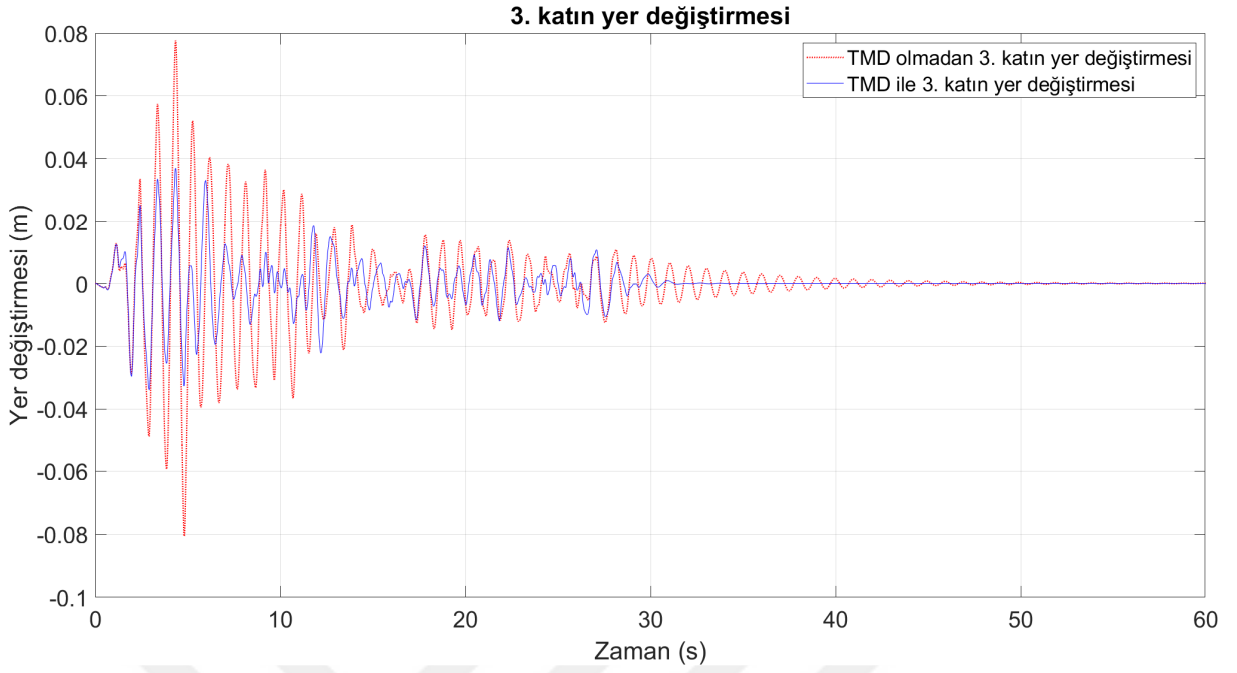
6.1.1. Katların Yer Değiştirmesi



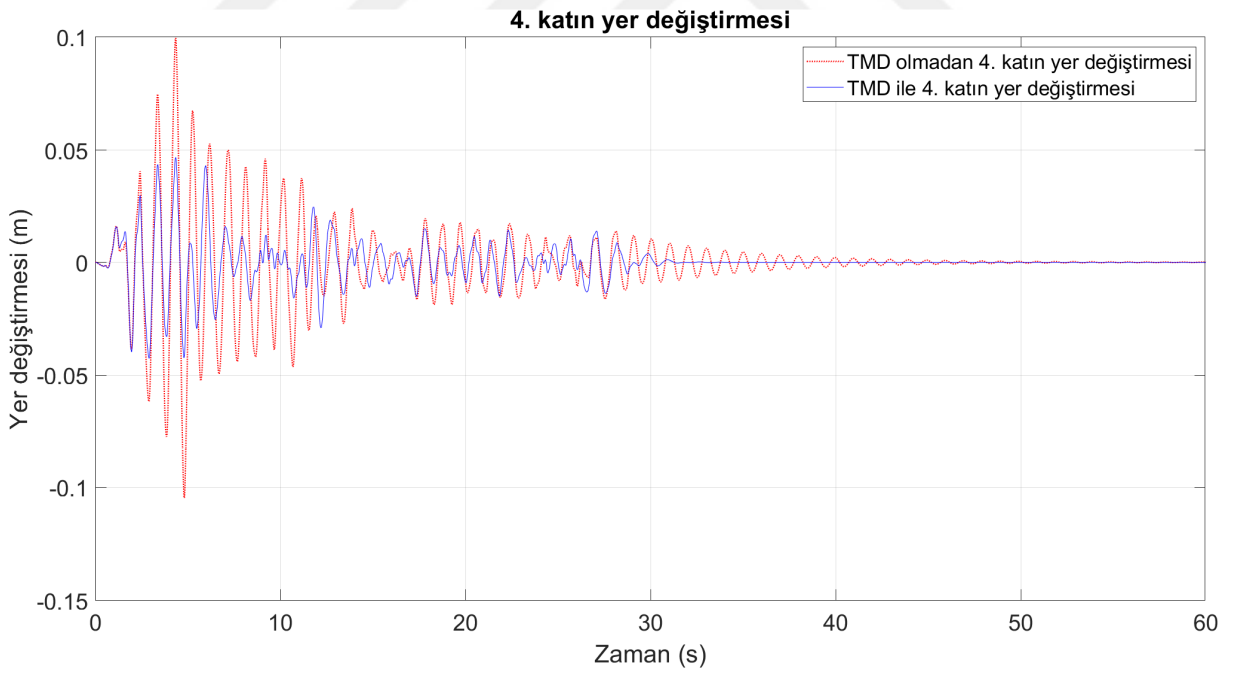
şekil 6.1: Birinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu



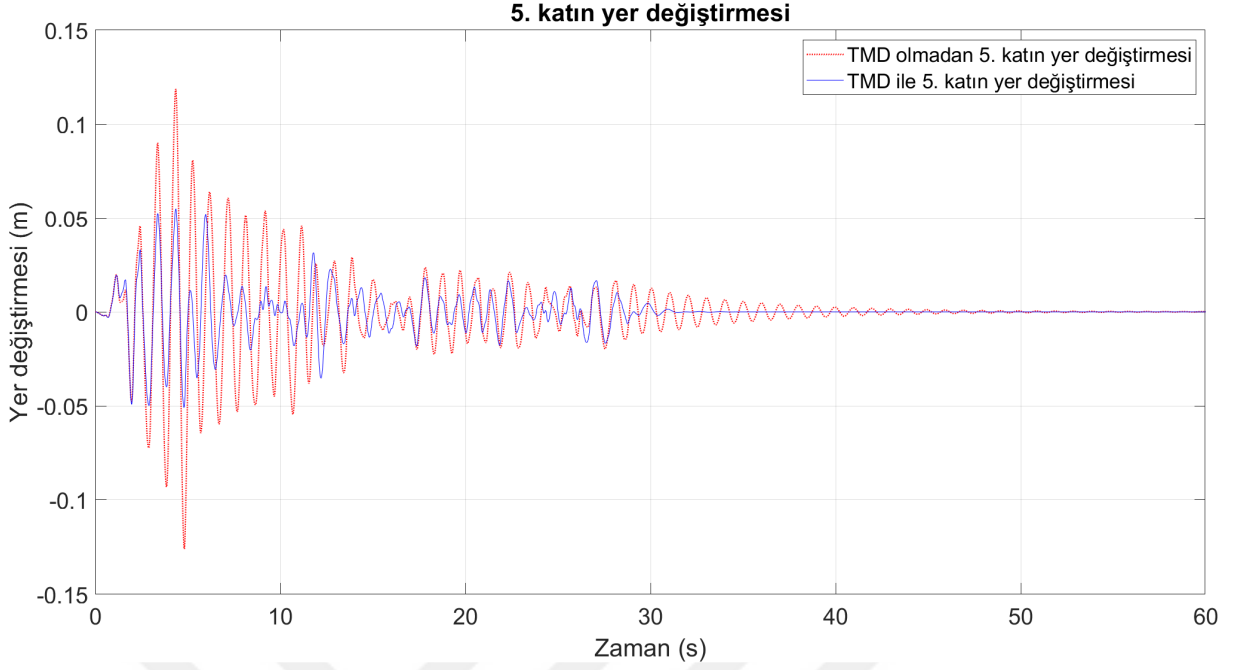
şekil 6.2: İkinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.



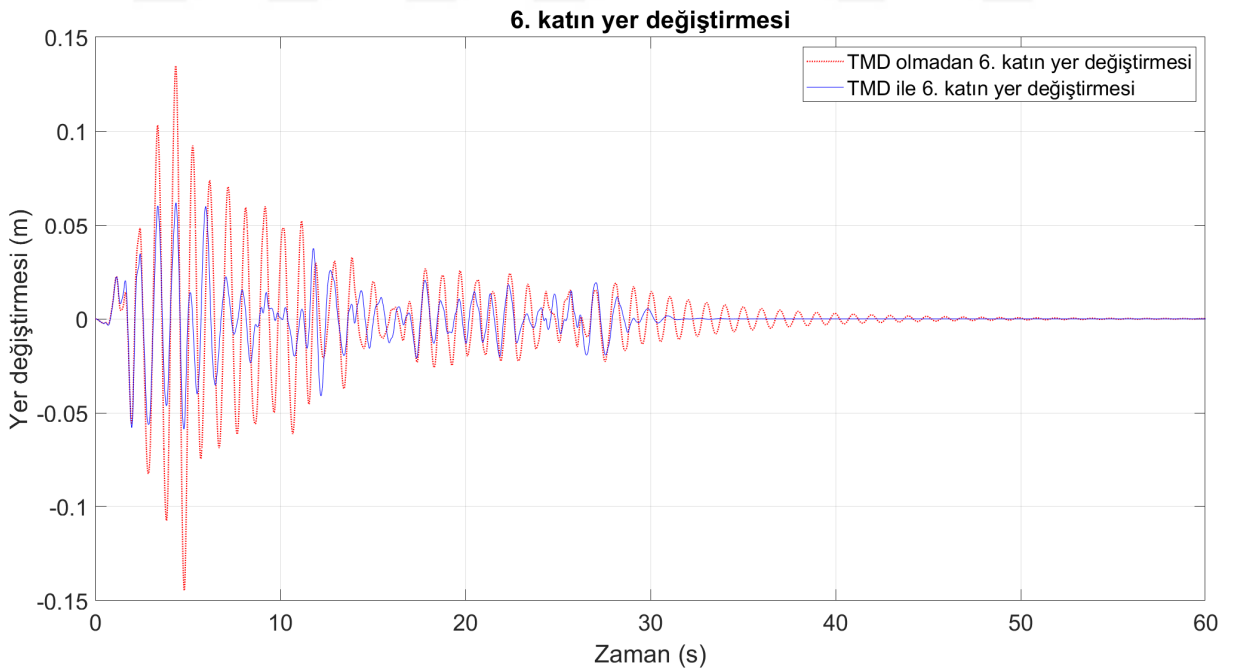
şekil 6.3: Üçüncü katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.



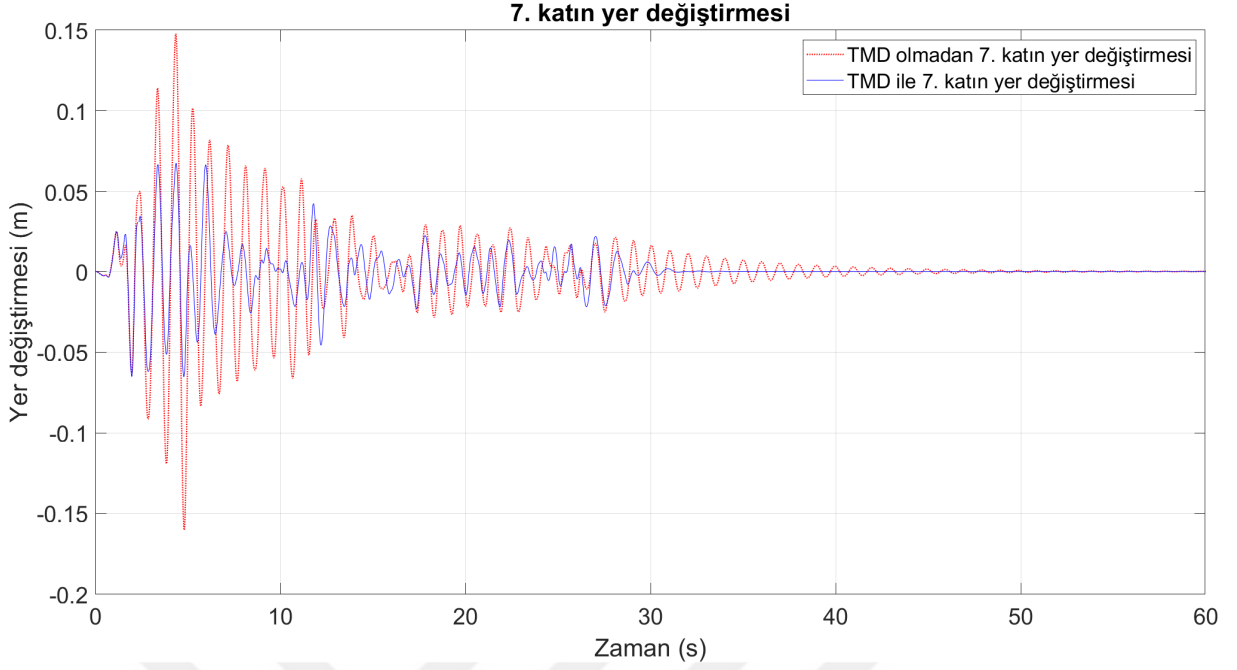
şekil 6.4: Dördüncü katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.



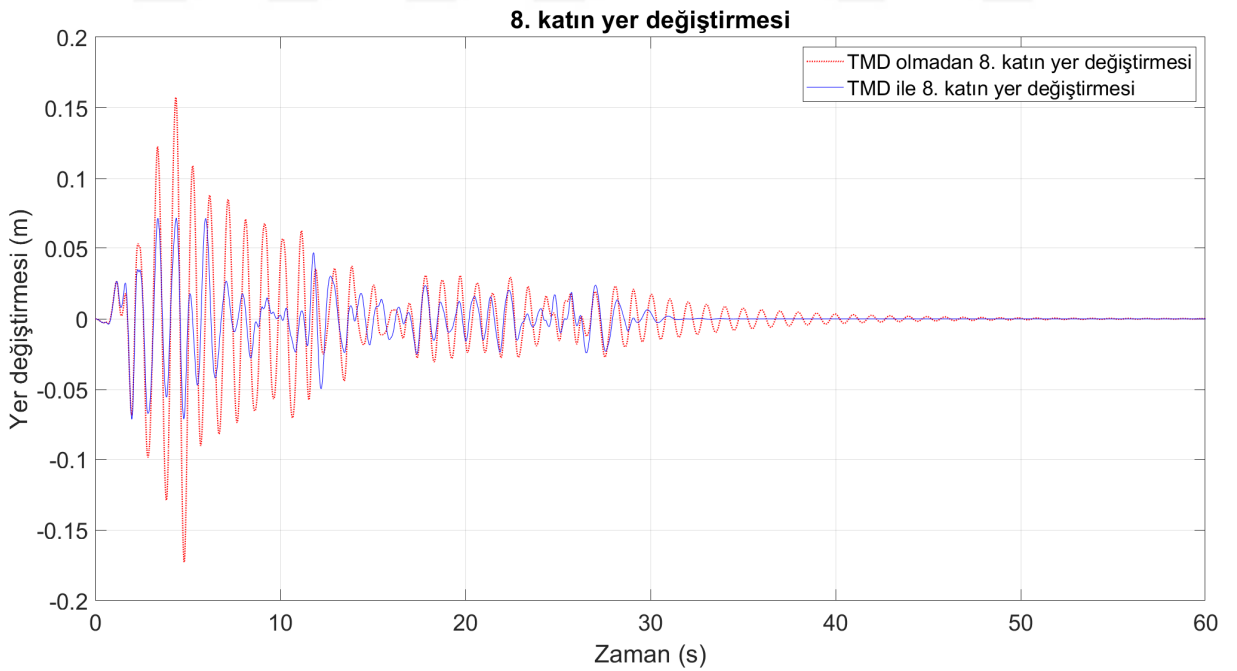
şekil 6.5: Beşinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.



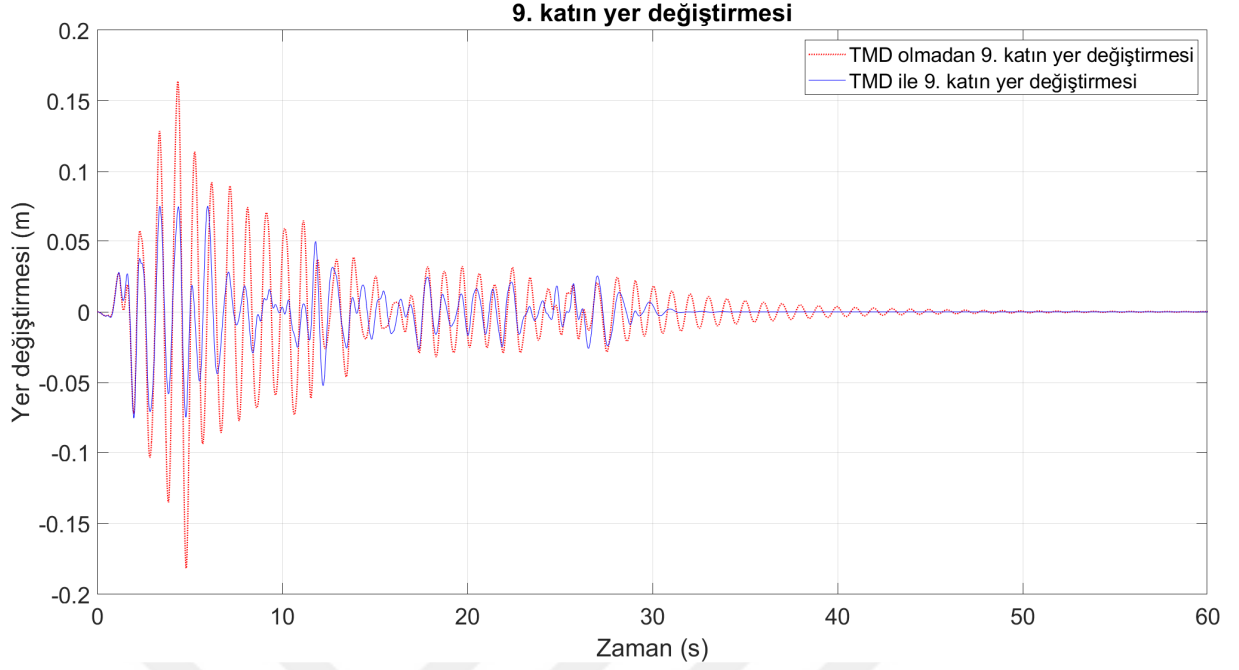
şekil 6.6: Altıncı katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.



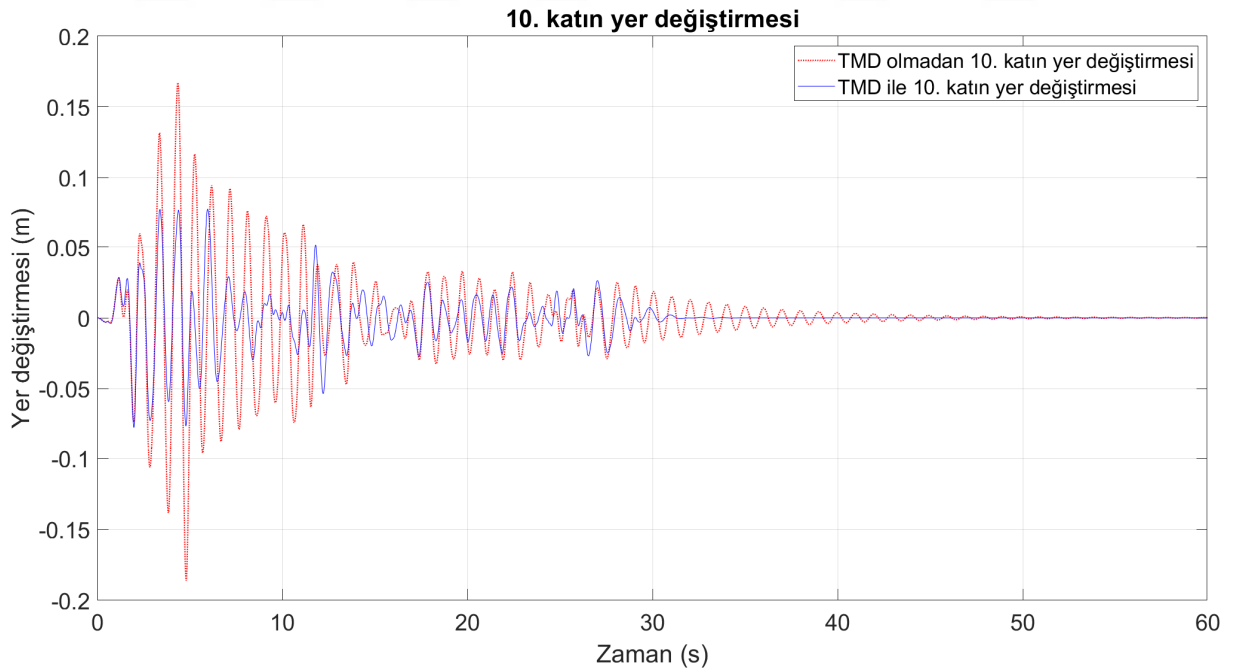
şekil 6.7: Yedinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.



şekil 6.8: Sekizinci katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.

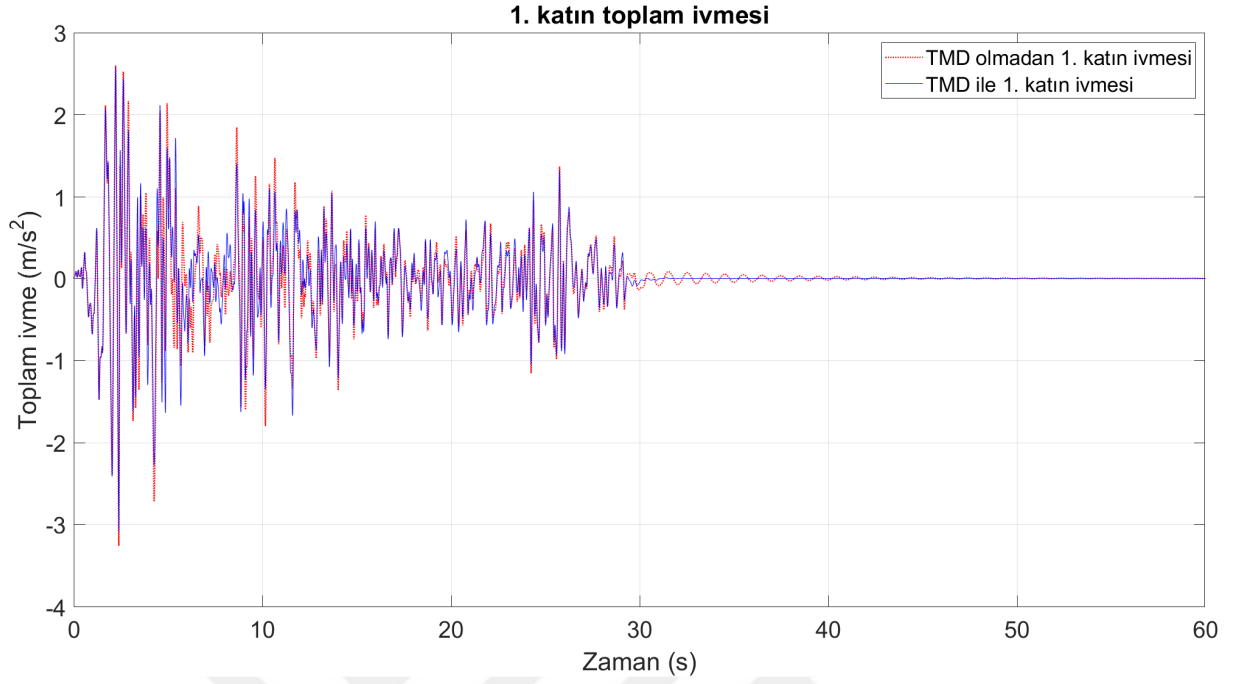


şekil 6.9: Dokuzuncu katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.

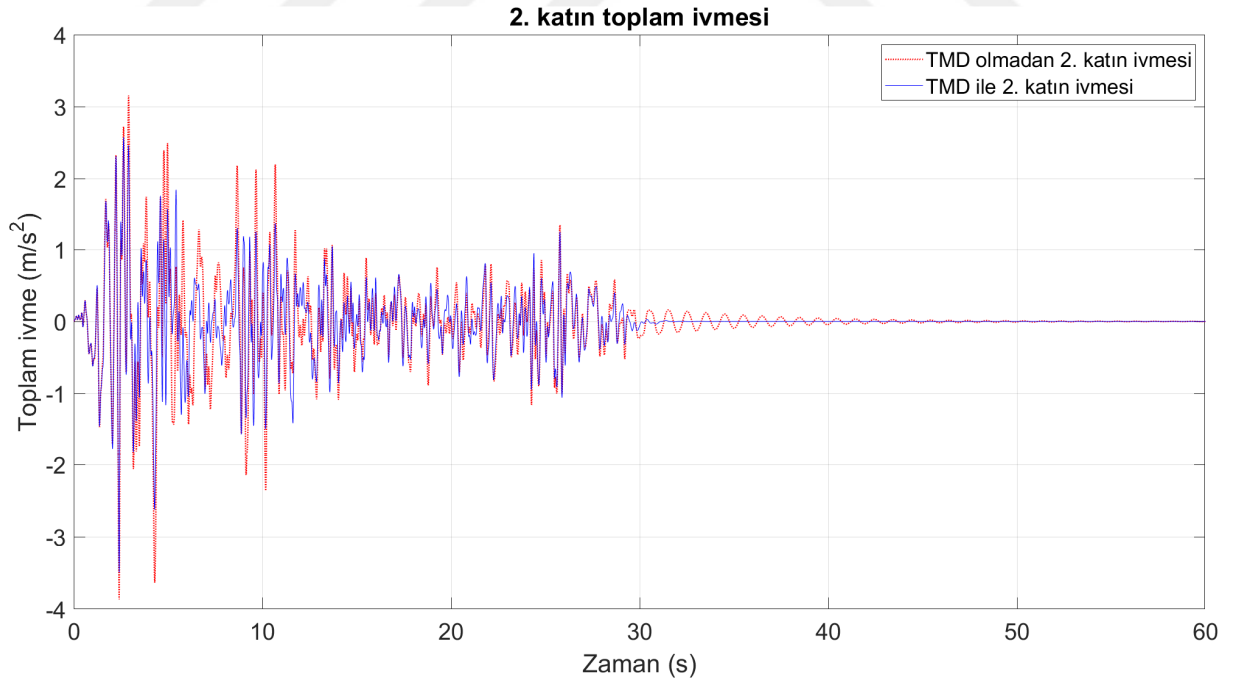


şekil 6.10: Onuncu katın yer değiştirmesi, TMD Durumu.

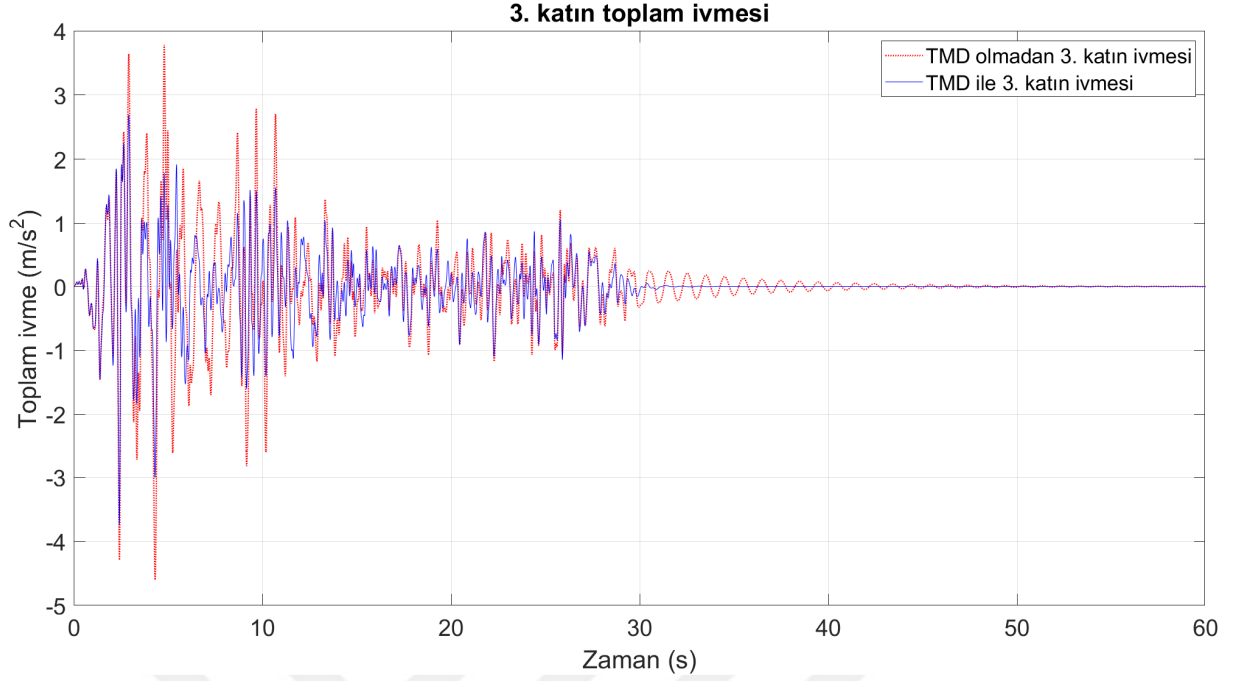
6.1.2. Katların Toplam İvmesi



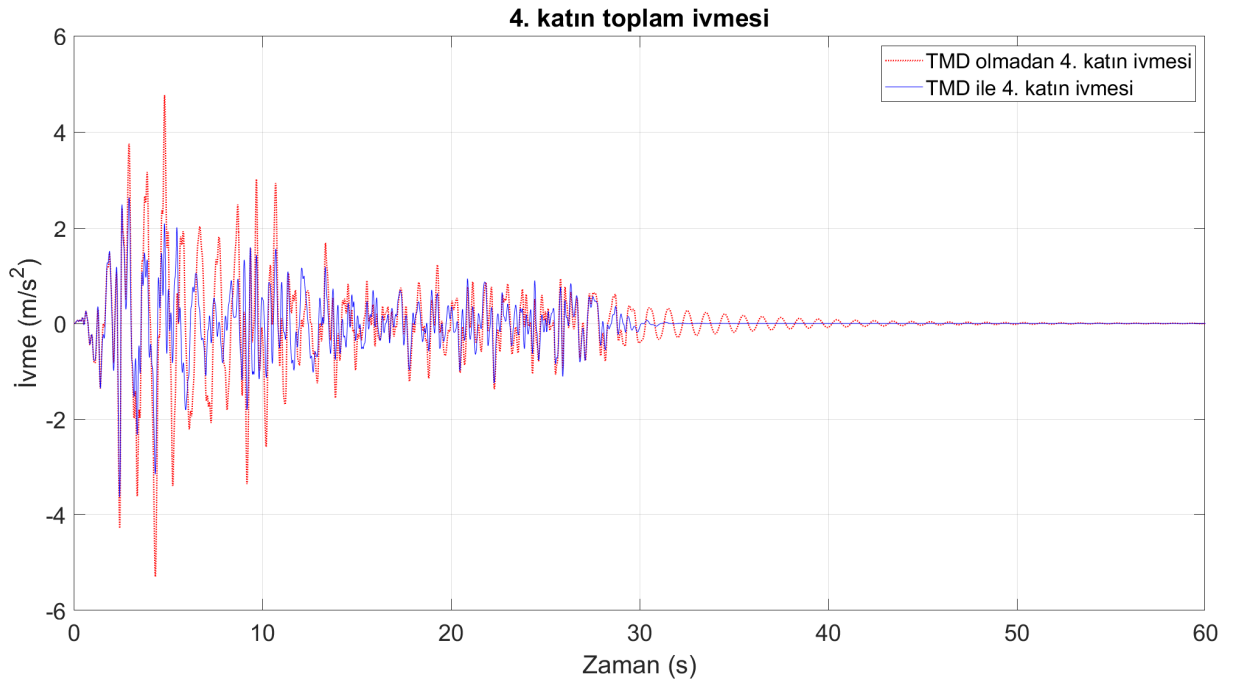
Şekil 6.11: Birinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



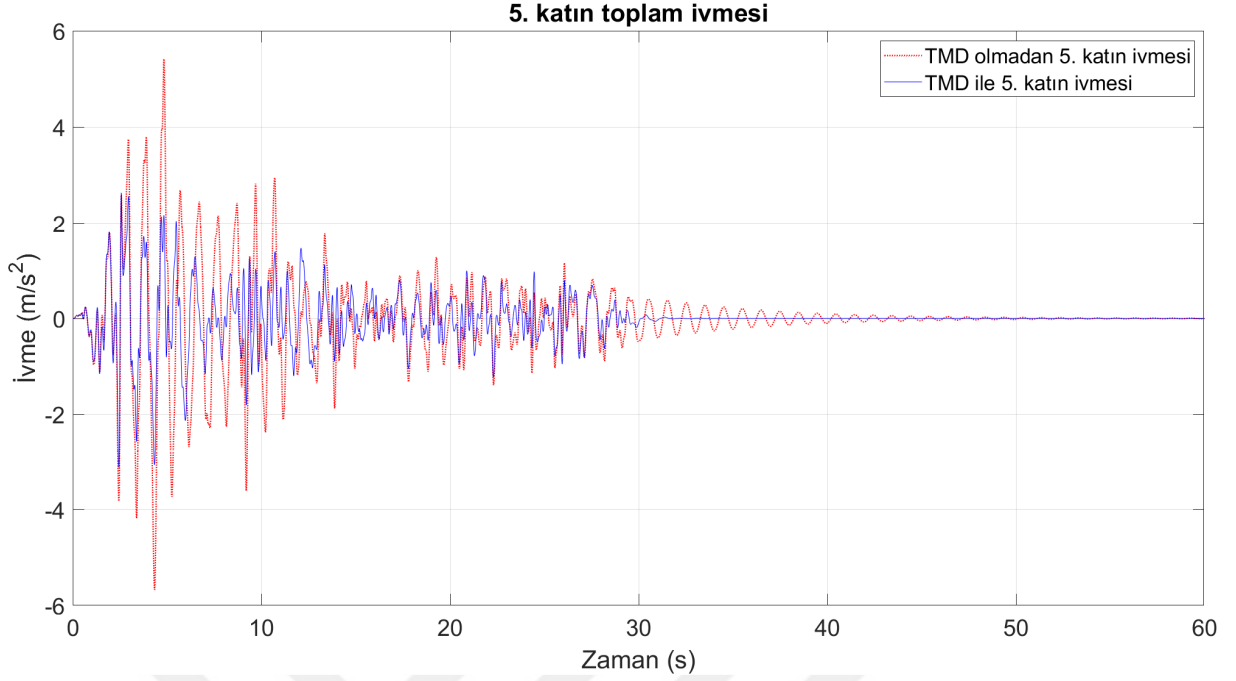
Şekil 6.12: İkinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



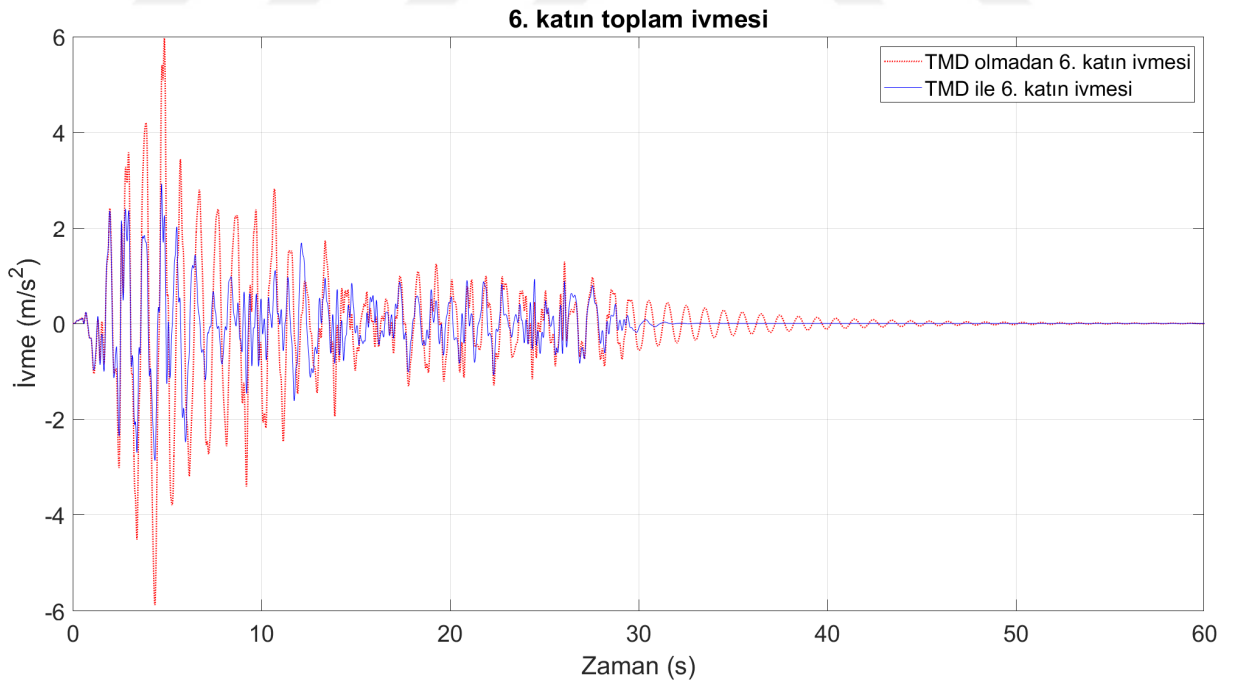
Şekil 6.13: Üçüncü katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



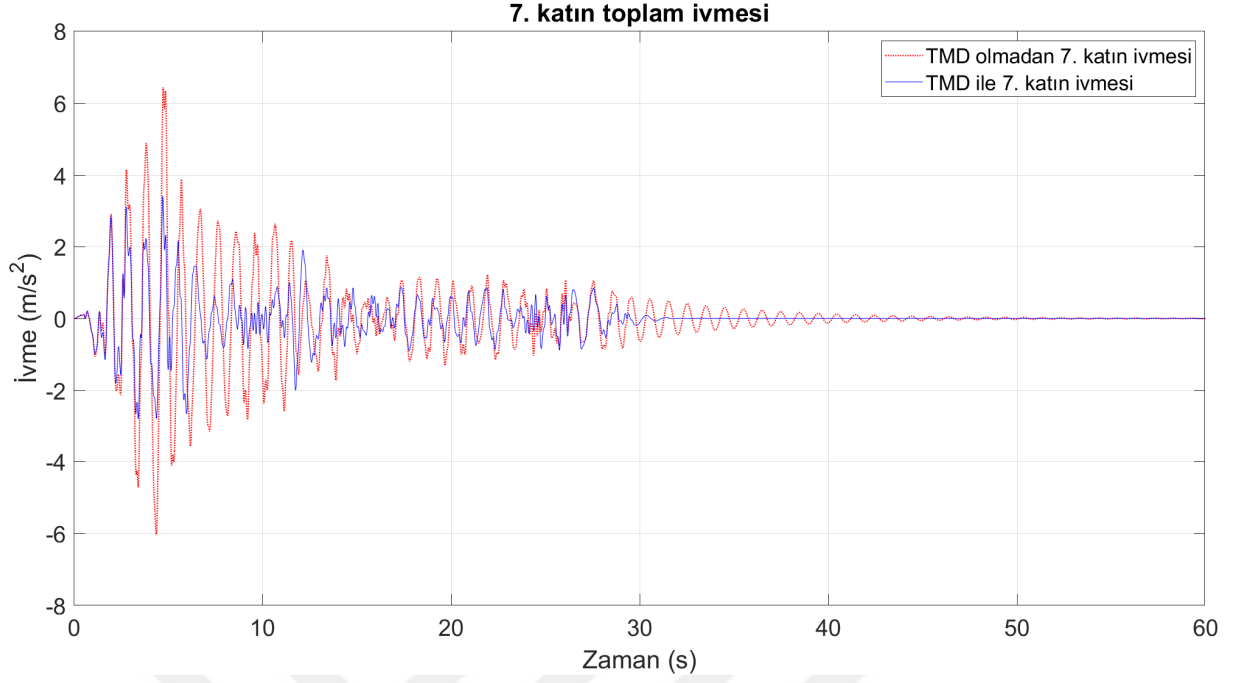
Şekil 6.14: Dördüncü katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



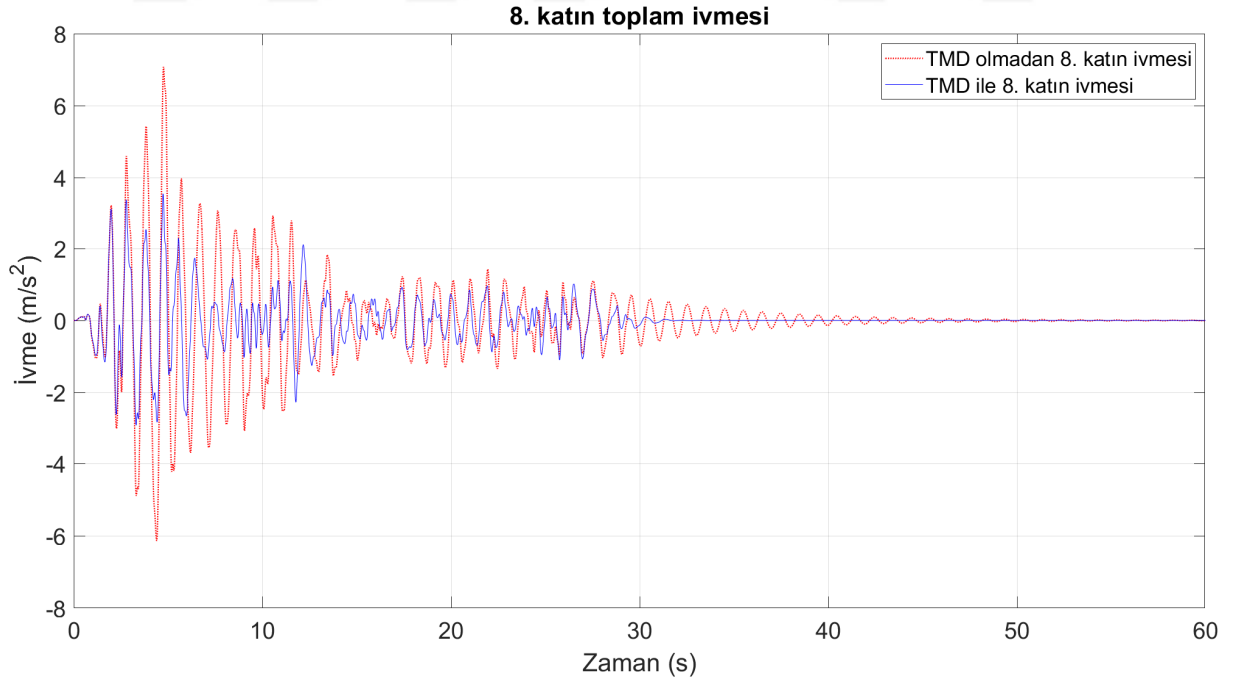
Şekil 6.15: Beşinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



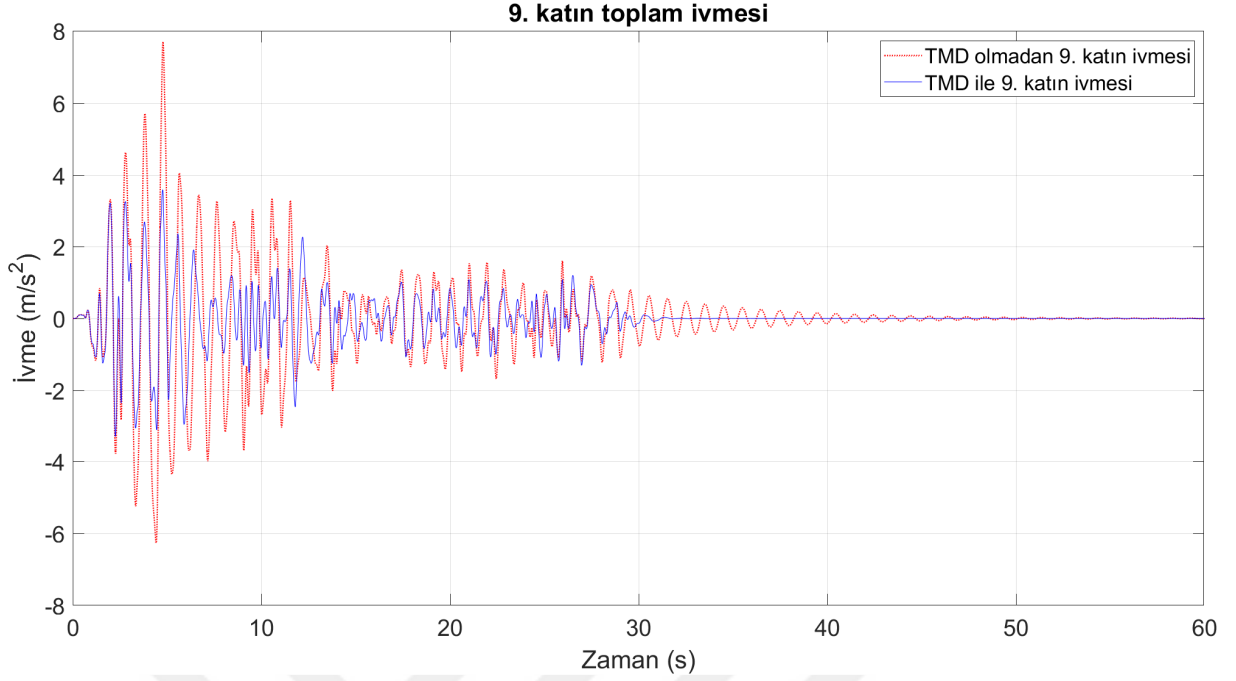
Şekil 6.16: Altıncı katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



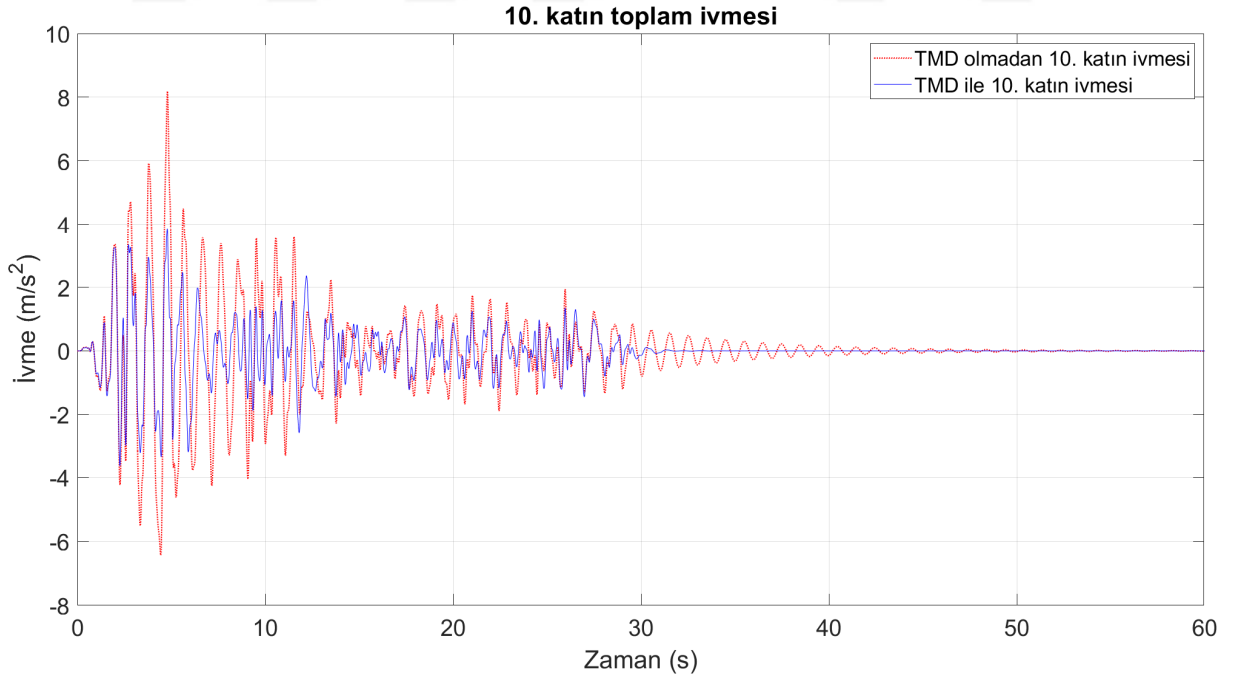
Şekil 6.17: Yedinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu.



Şekil 6.18: Sekizinci katın toplam ivmesi, TMD Durumu.

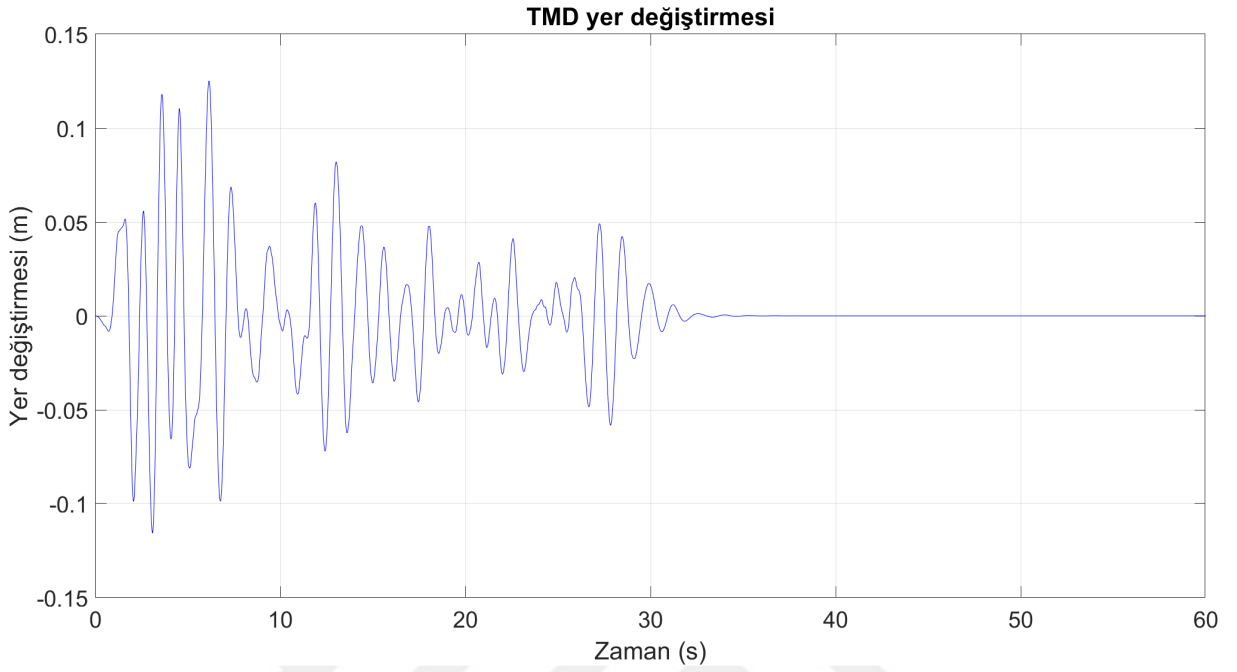


Şekil 6.19: Dokuzuncu katın toplam ivmesi, TMD Durumu.

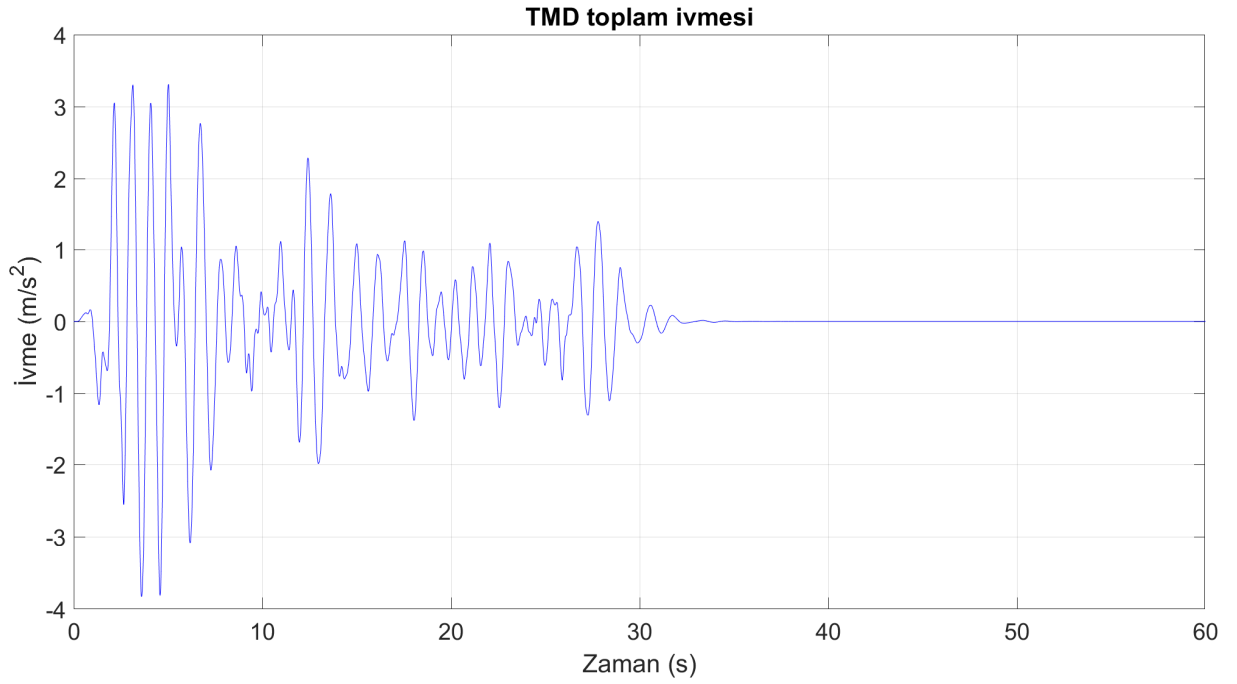


Şekil 6.20: Onuncu katın toplam ivmesi, TMD Durumu.

6.1.3. Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Yer Değiştirmesi ve İvmesi



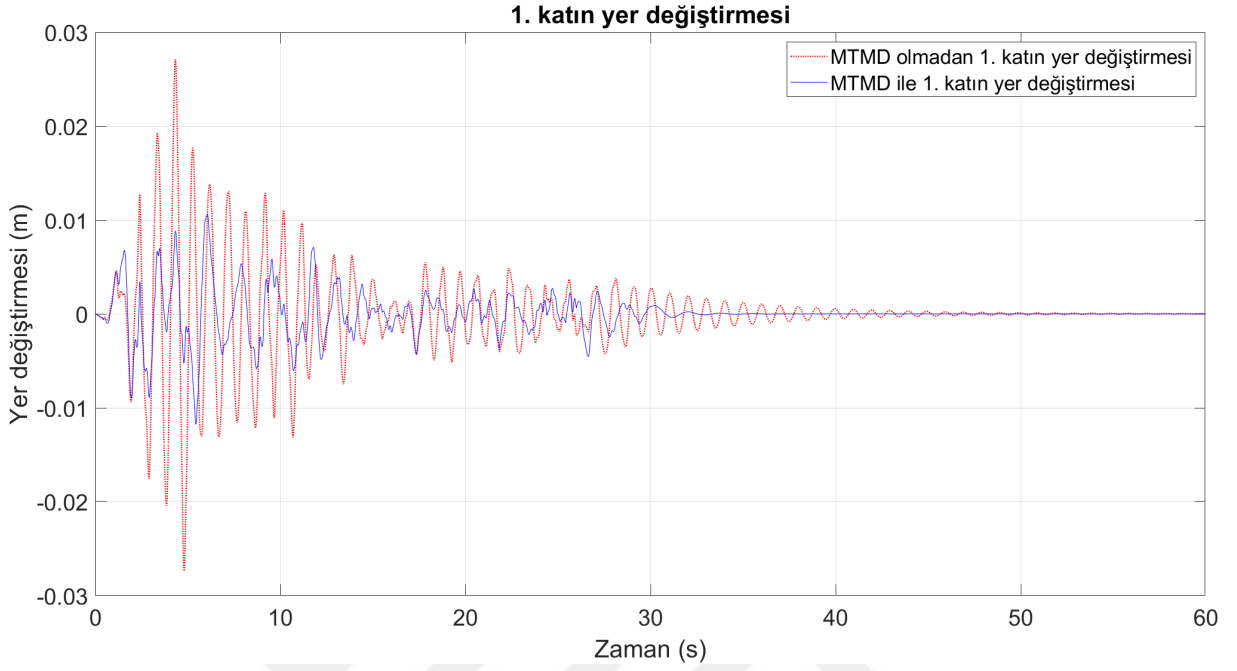
şekil 6.21: Ayarlı kütle sönümleyicinin yer değiştirmesi, TMD Durumu.



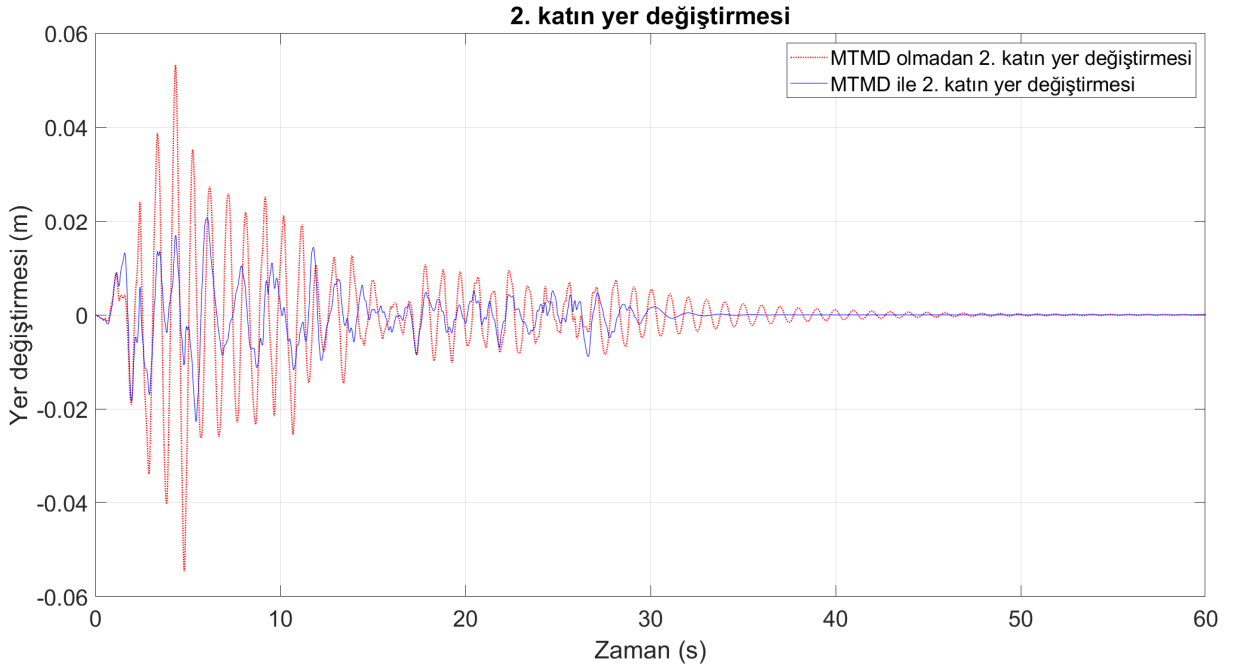
şekil 6.22: Ayarlı kütle sönümleyicinin toplam ivmesi, TMD Durumu.

6.2. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici (MTMD-A) Sonucu

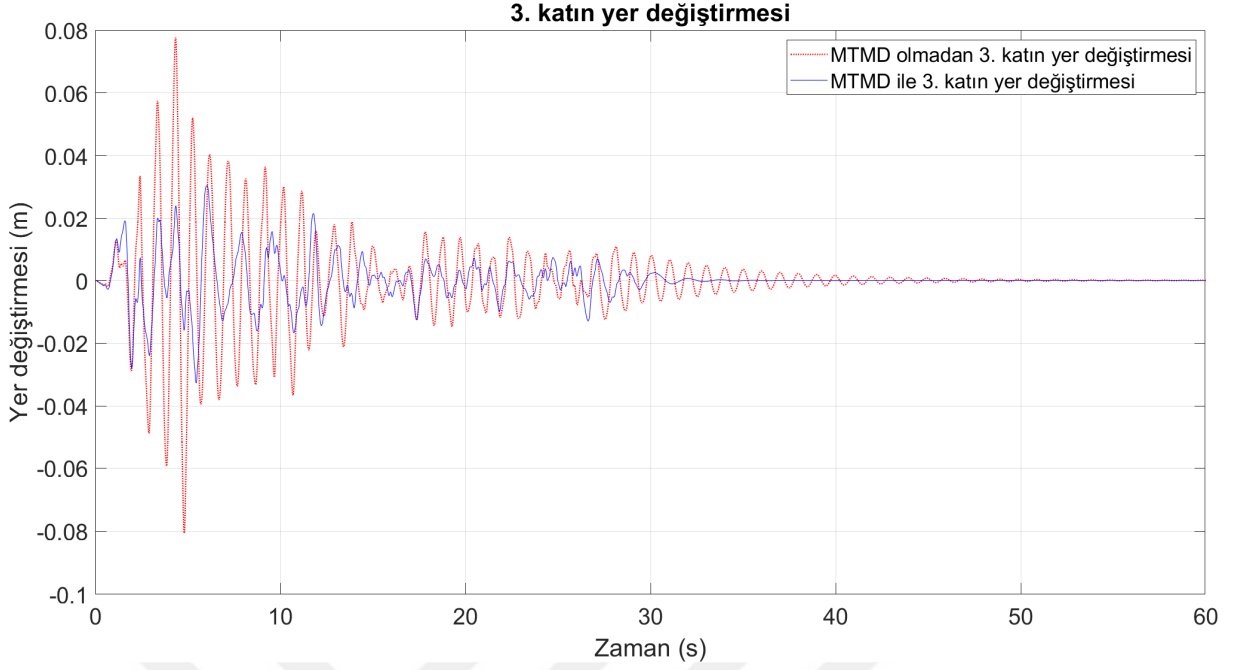
6.2.1. Katların Yer Değiştirmesi



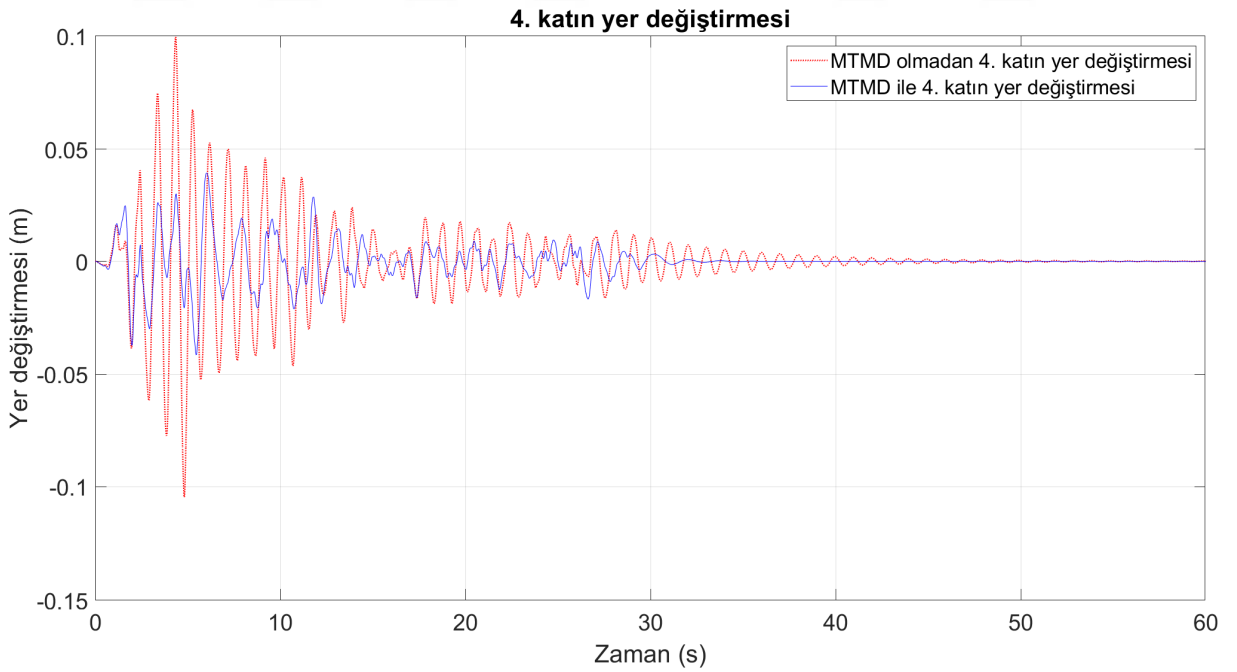
şekil 6.23: Birinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



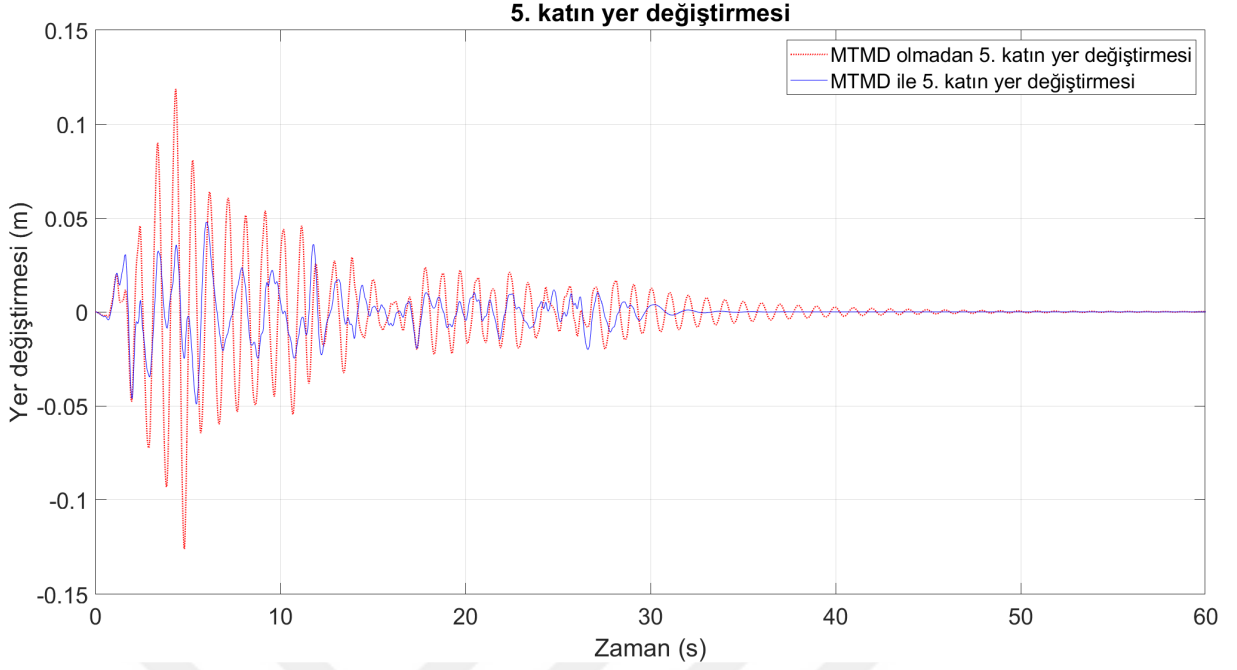
şekil 6.24: İkinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



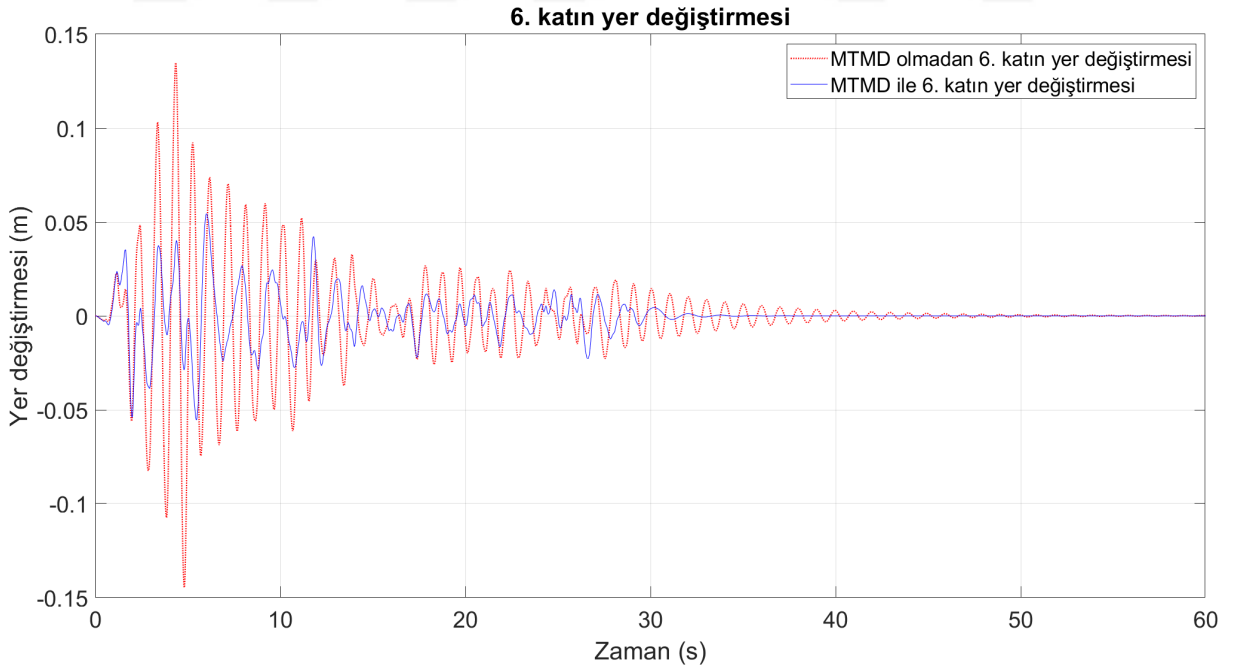
şekil 6.25: Üçüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



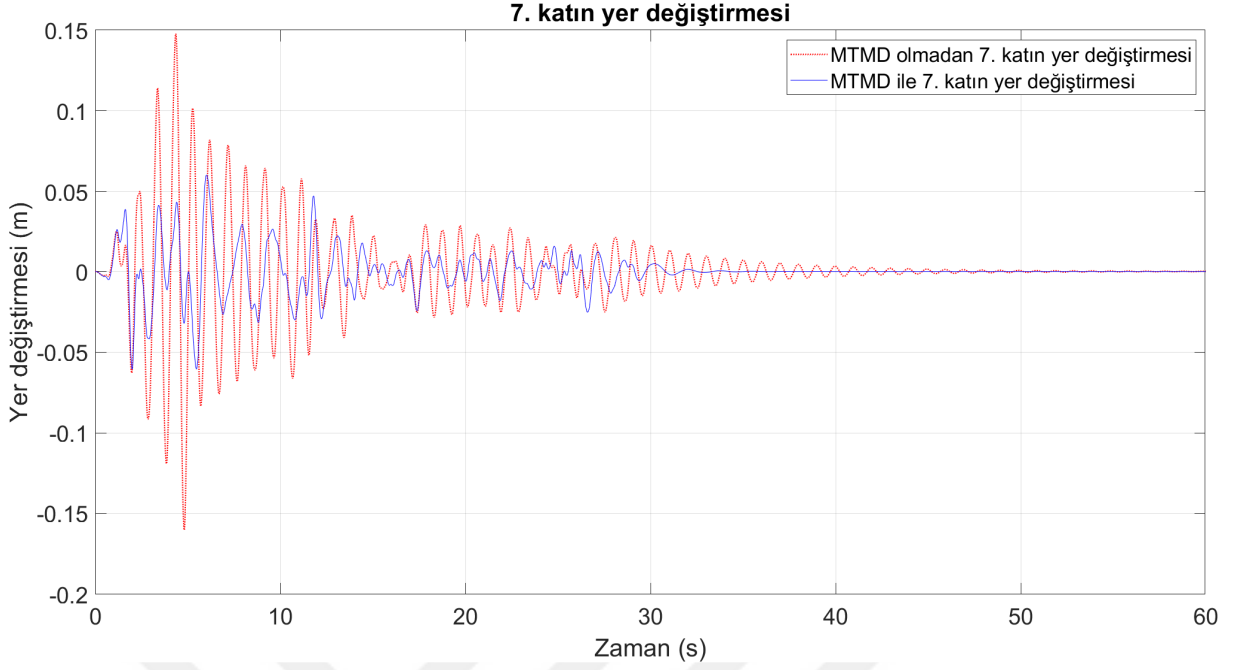
şekil 6.26: Dördüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



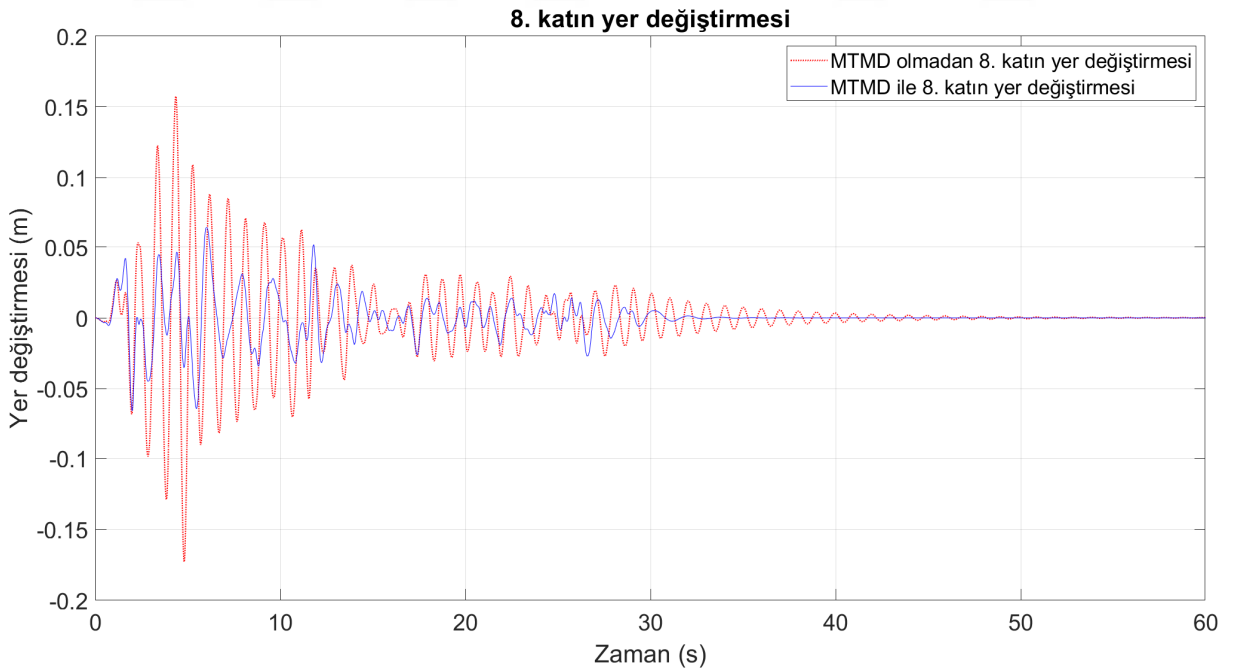
şekil 6.27: Beşinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



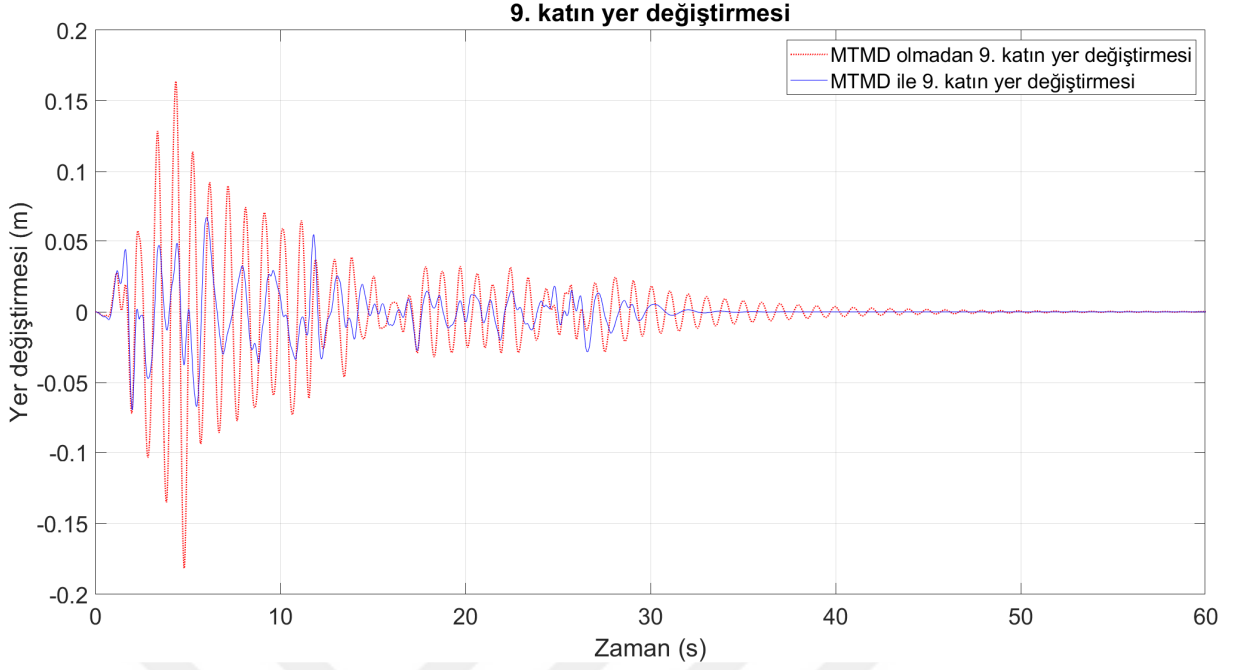
şekil 6.28: Altıncı katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



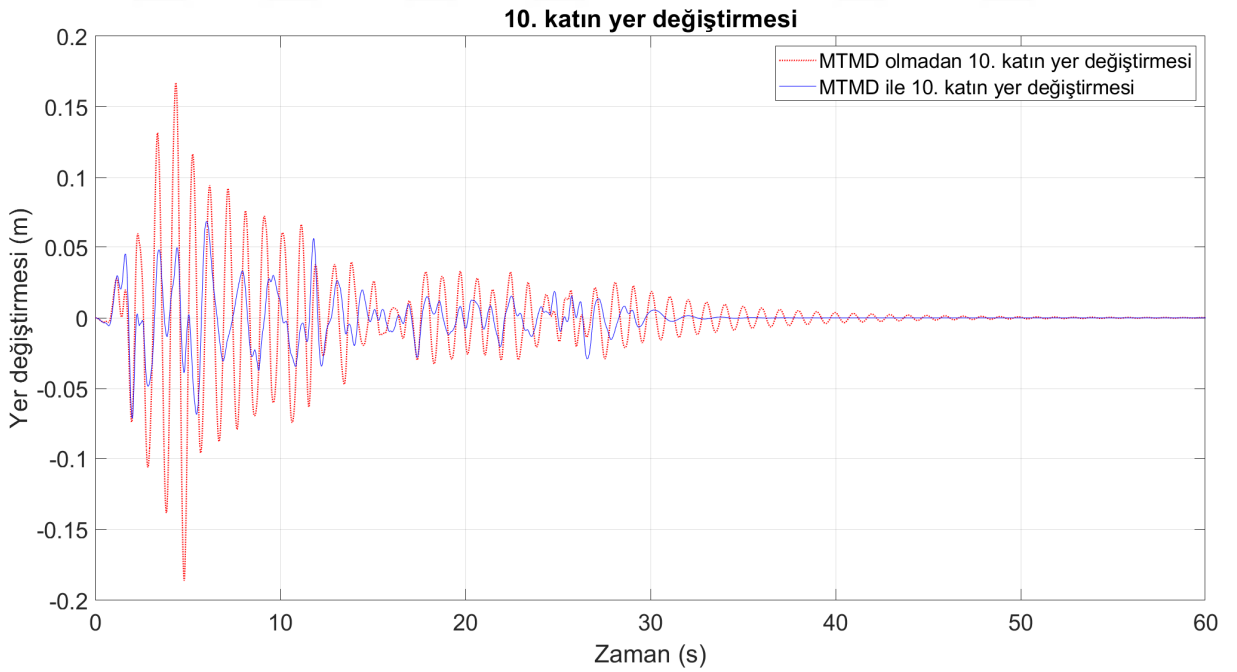
şekil 6.29: Yedinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



şekil 6.30: Sekizinci katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.

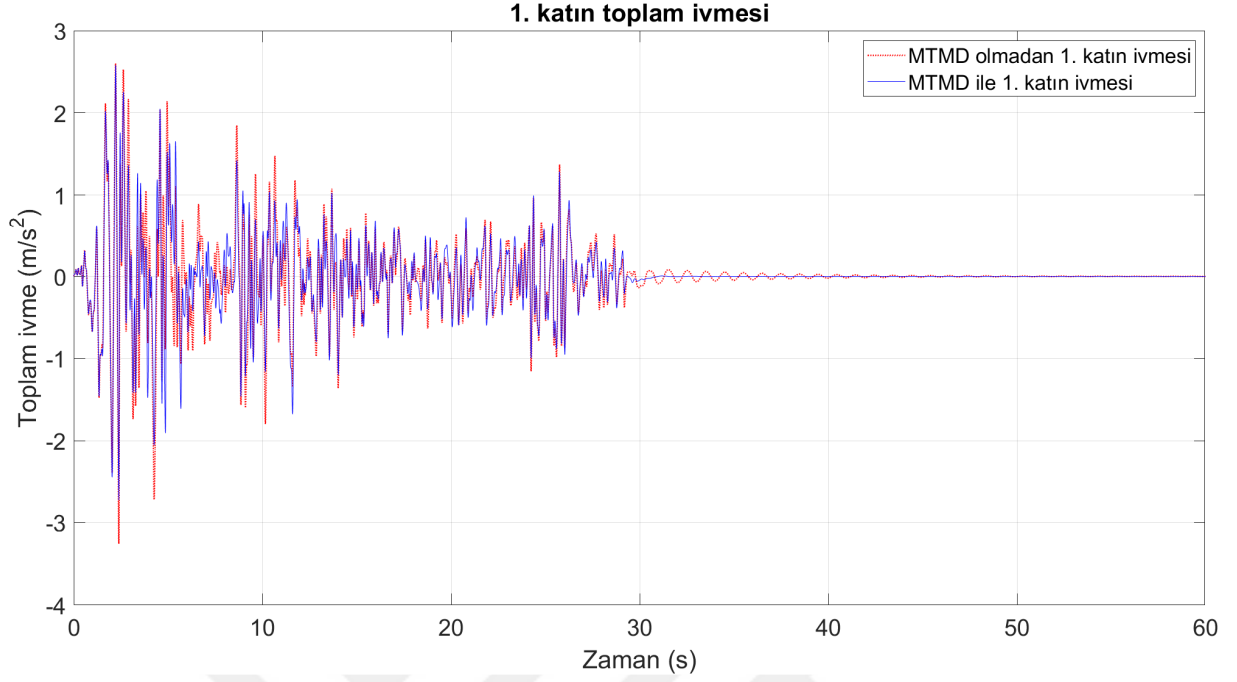


şekil 6.31: Dokuzuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.

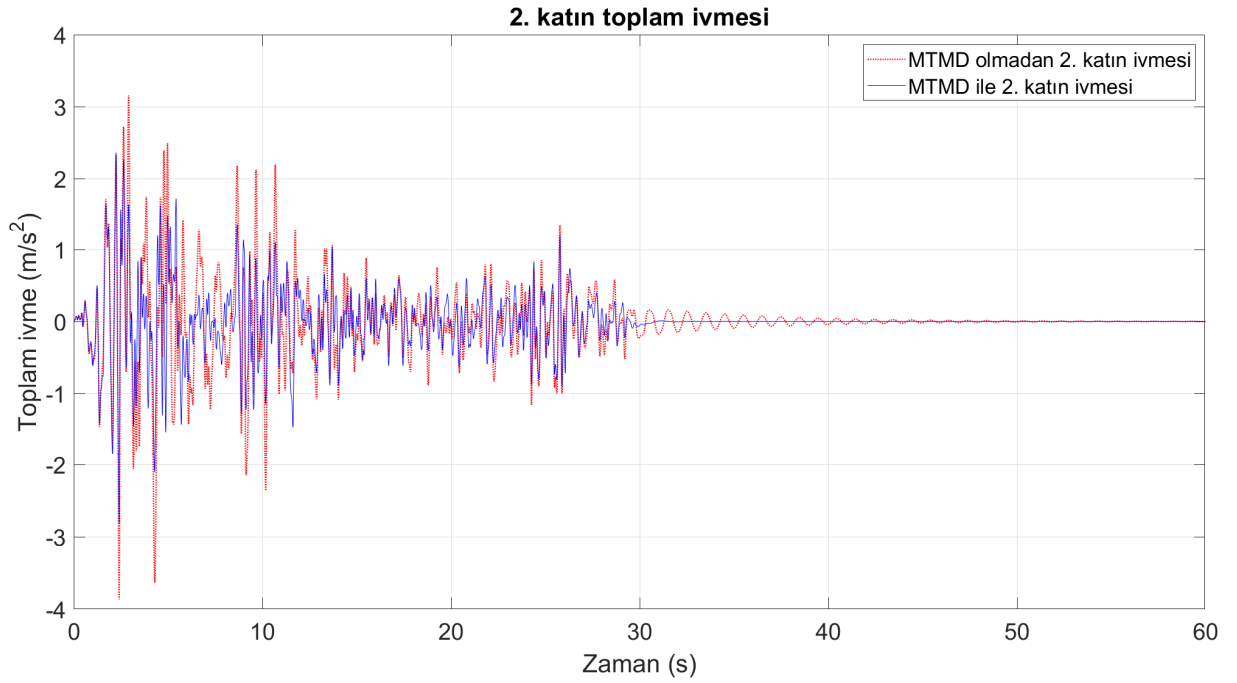


şekil 6.32: Onuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.

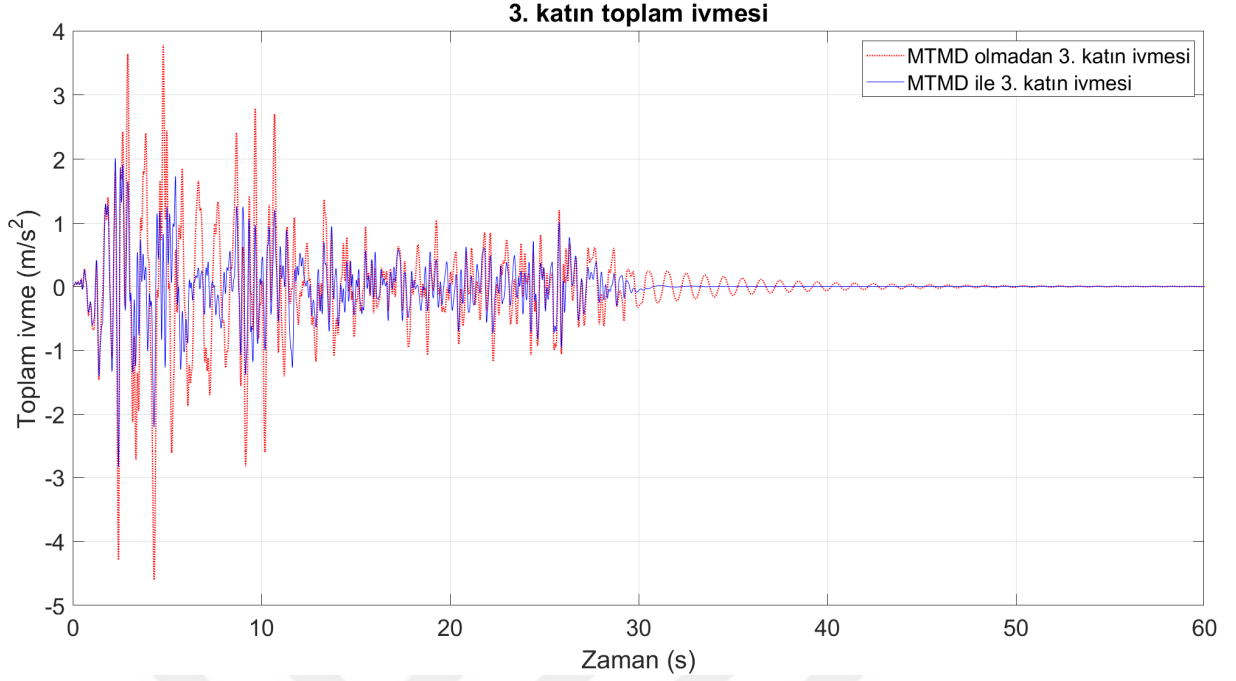
6.2.2. Katların Toplam İvmesi



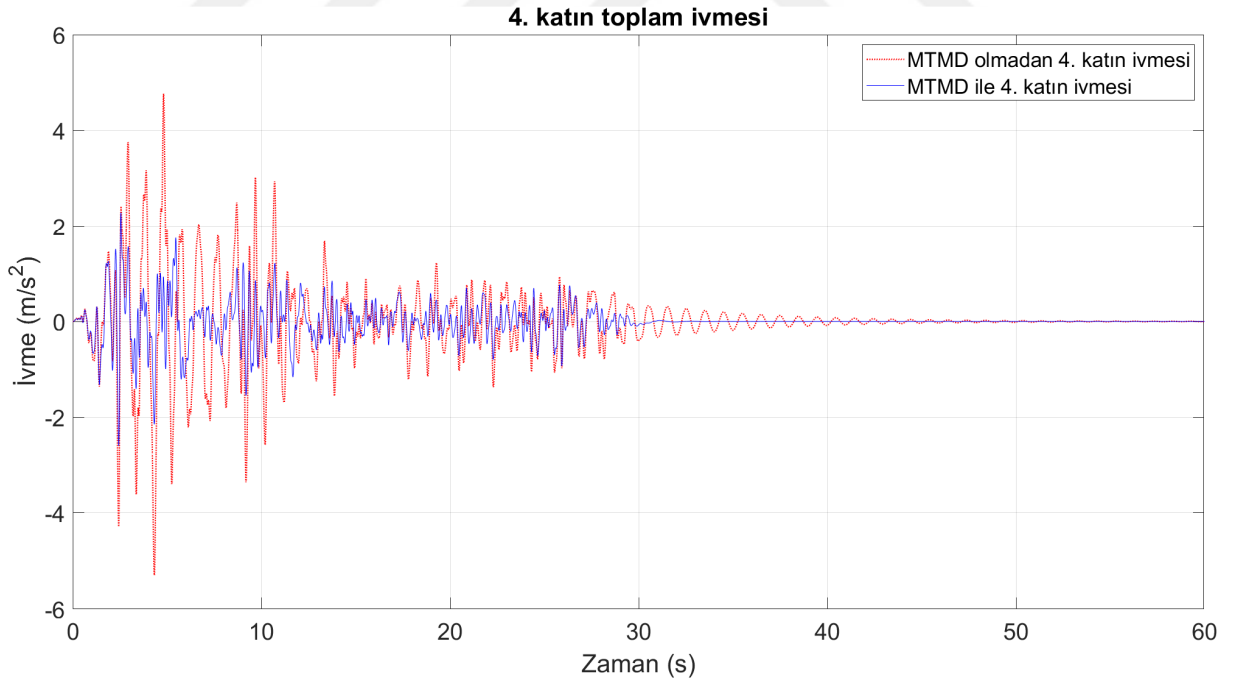
Şekil 6.33: Birinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



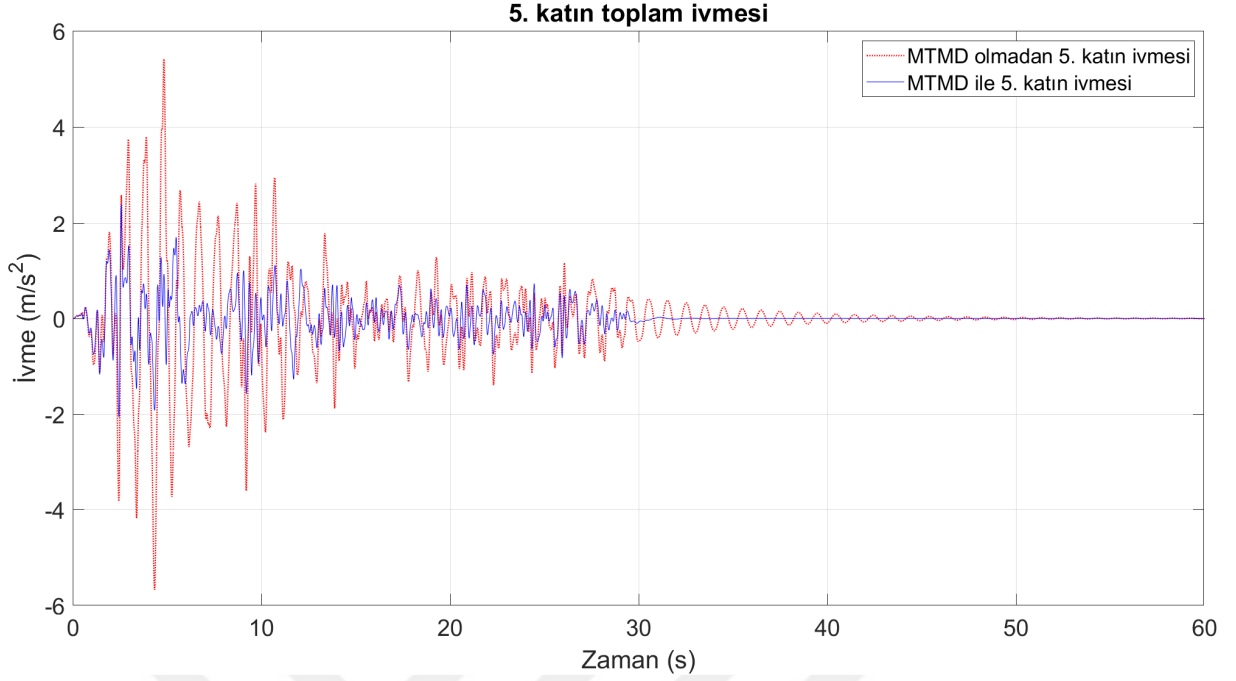
Şekil 6.34: İkinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



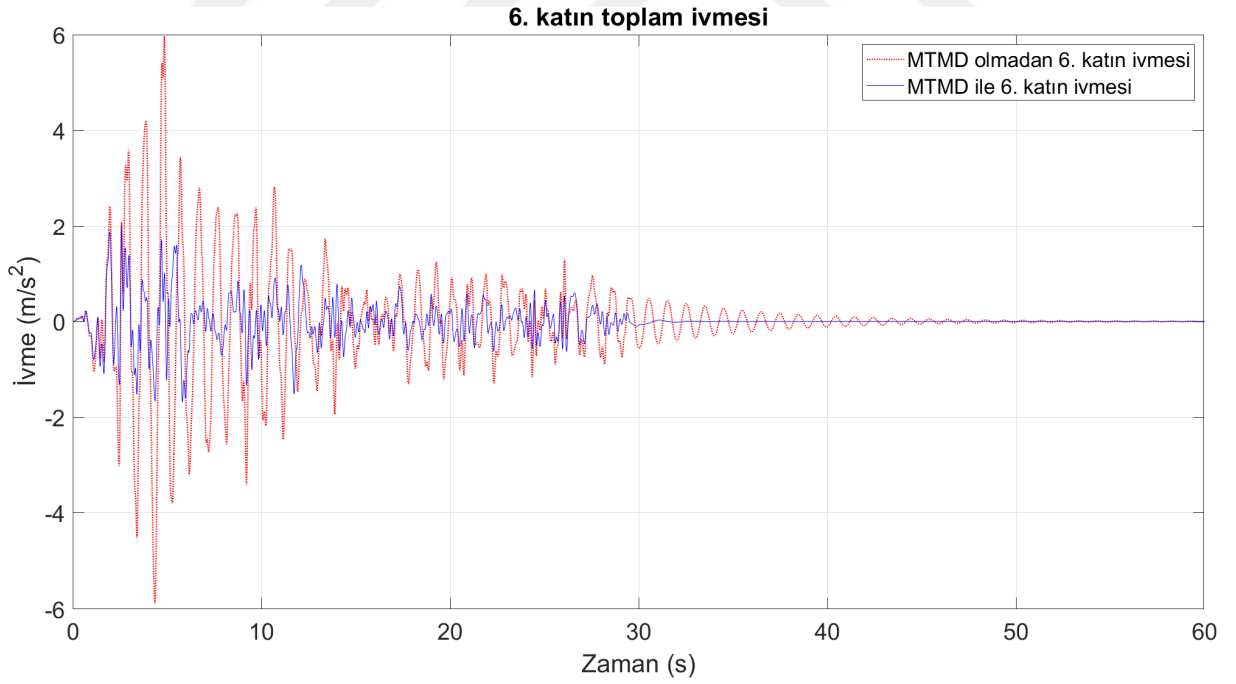
Şekil 6.35: Üçüncü katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



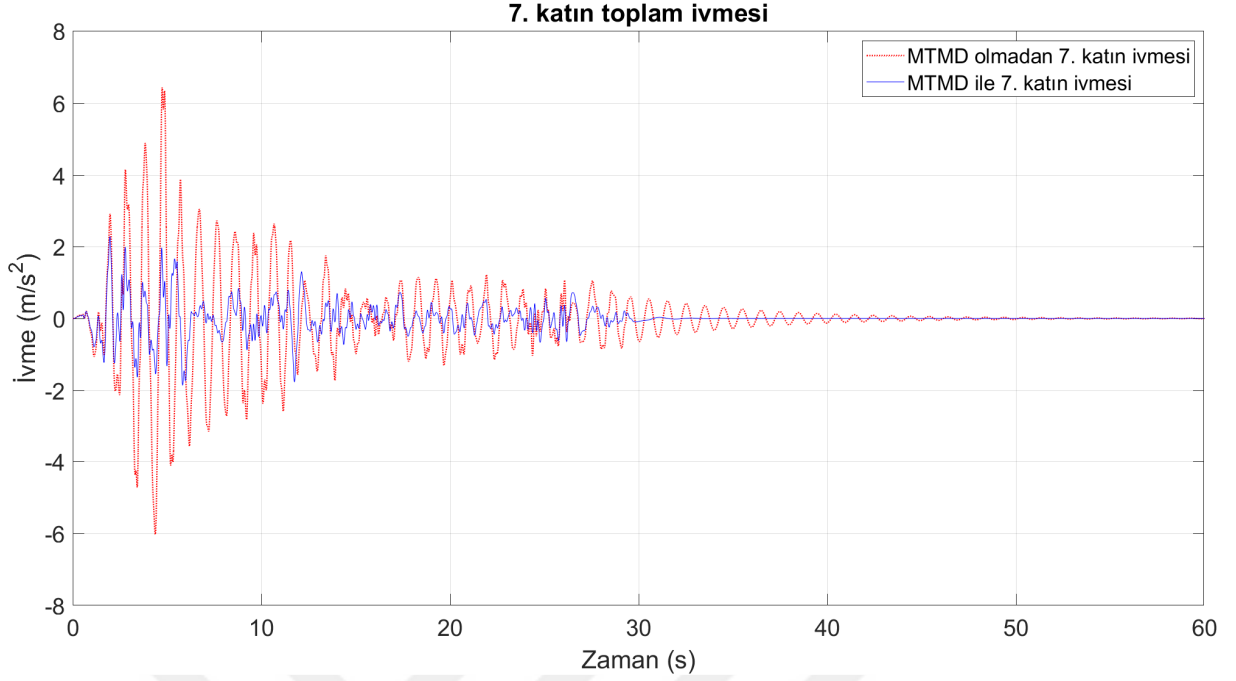
Şekil 6.36: Dördüncü katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



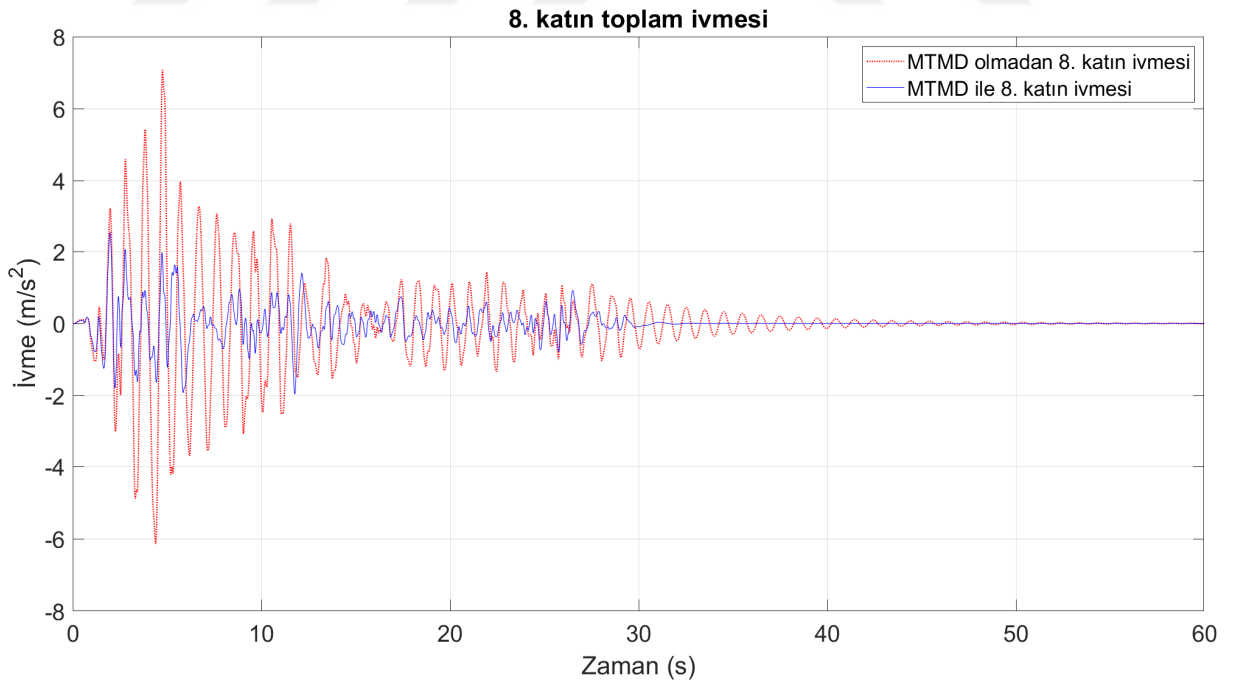
Şekil 6.37: Beşinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



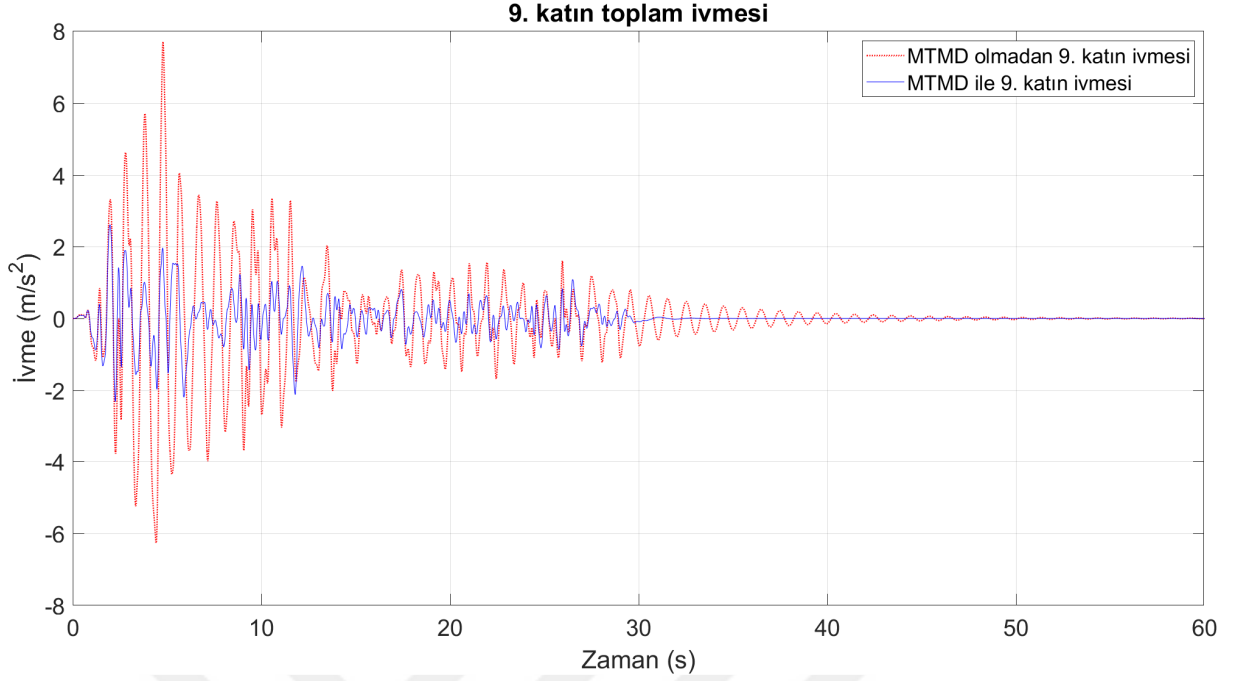
Şekil 6.38: Altıncı katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



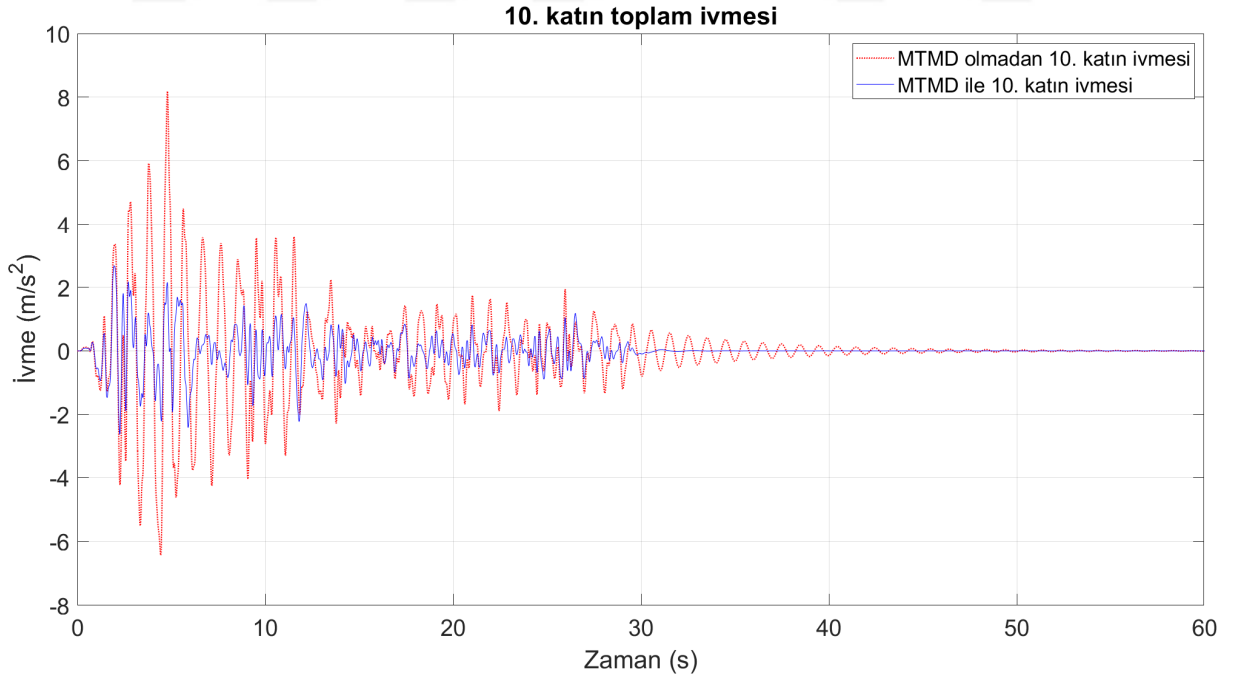
Şekil 6.39: Yedinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



Şekil 6.40: Sekizinci katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.

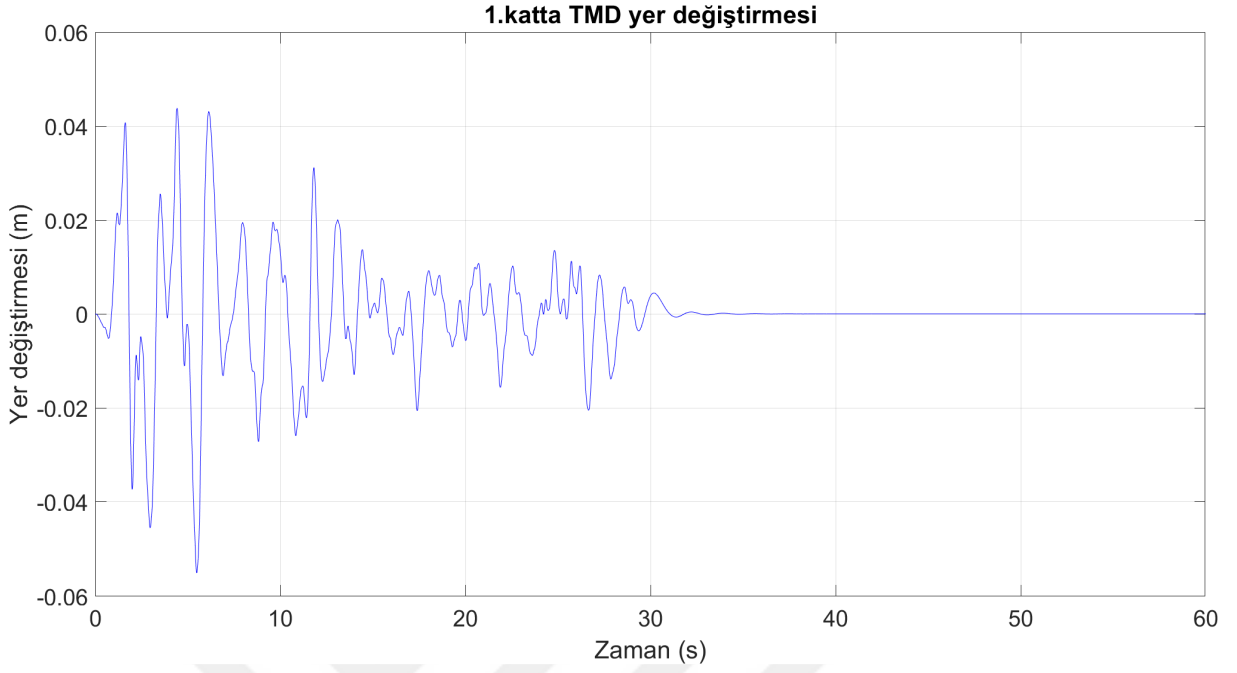


Şekil 6.41: Dokuzuncu katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.

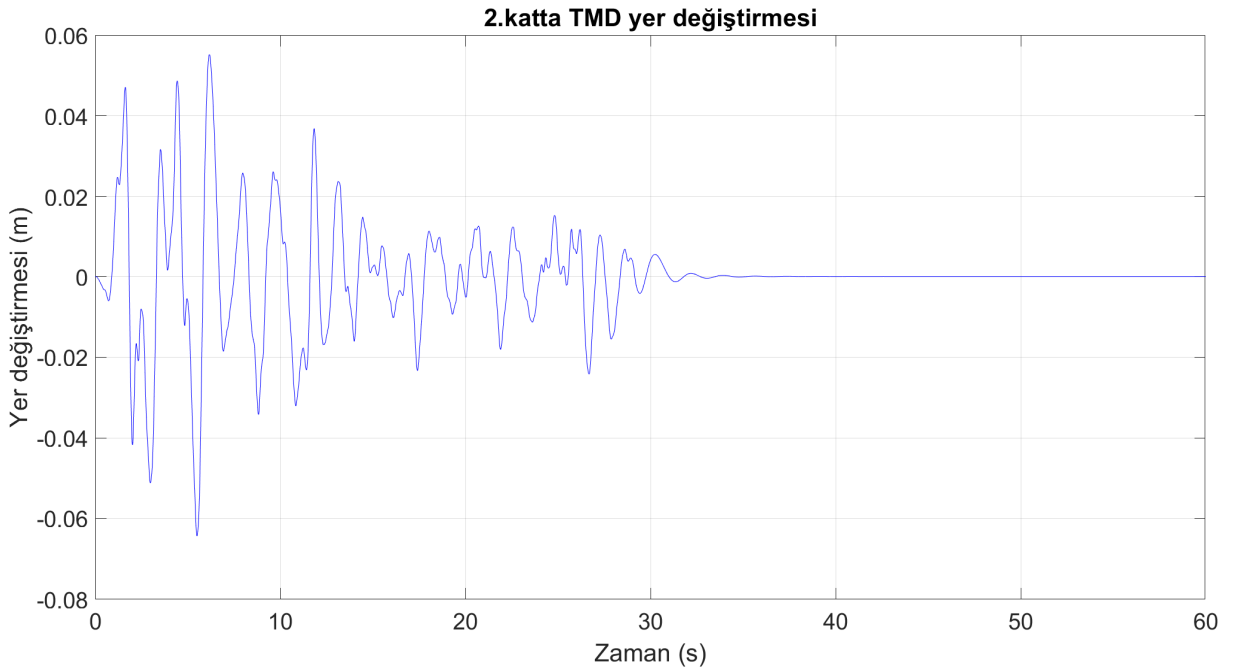


Şekil 6.42: Onuncu katın toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.

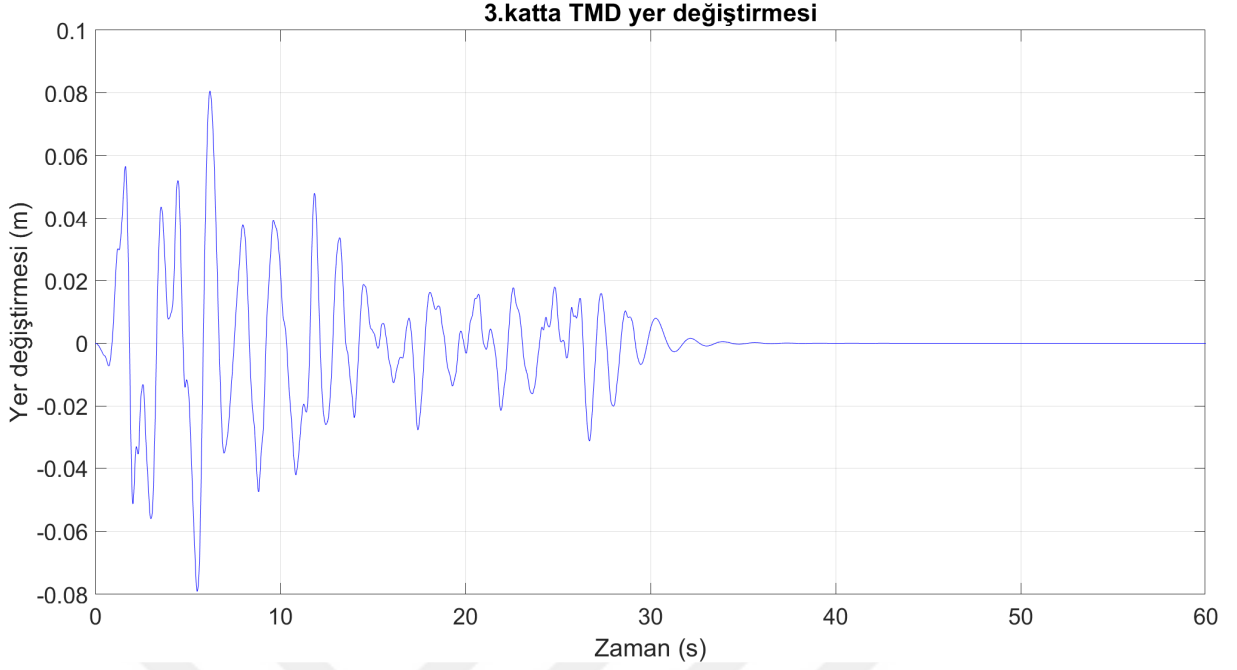
6.2.3. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Yer Değiştirmesi



şekil 6.43: Birinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



şekil 6.44: İkinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



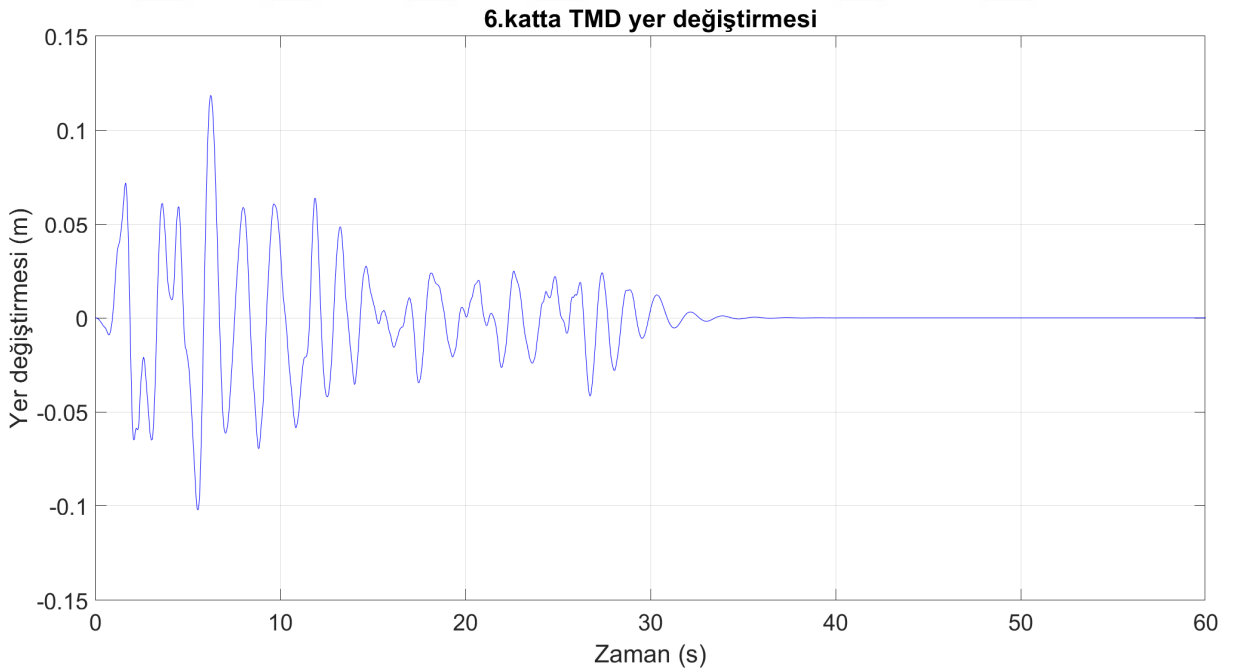
şekil 6.45: Üçüncü katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



şekil 6.46: Dördüncü katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



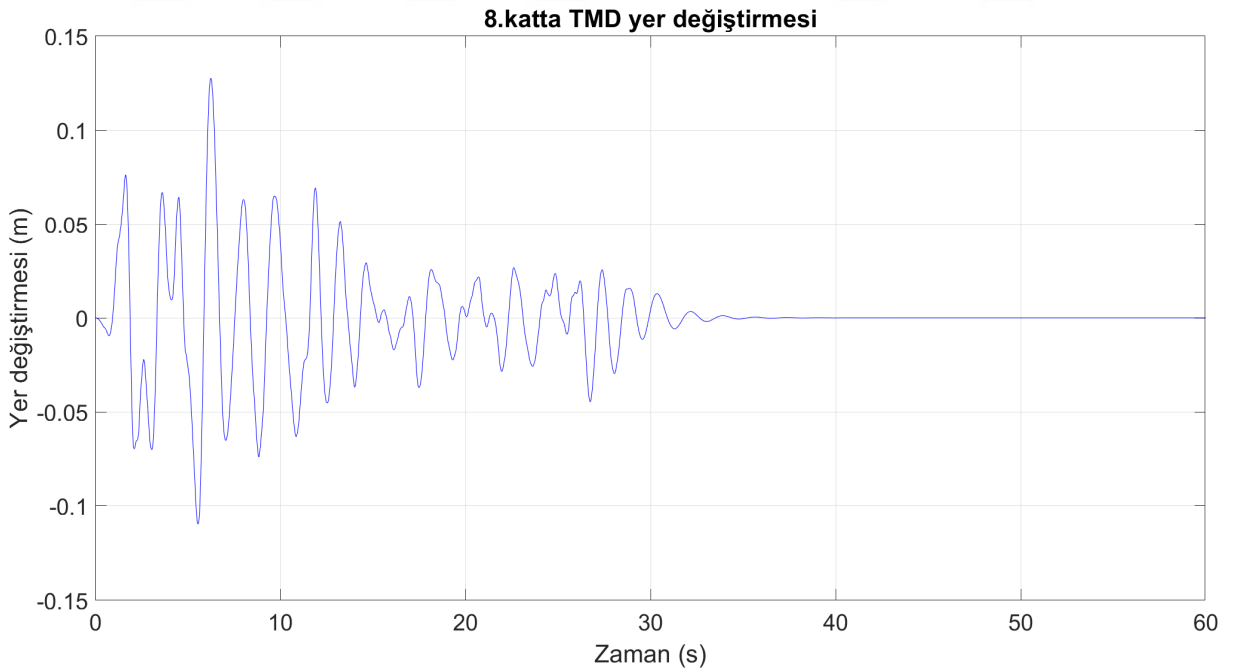
şekil 6.47: Beşinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



şekil 6.48: Altıncı katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



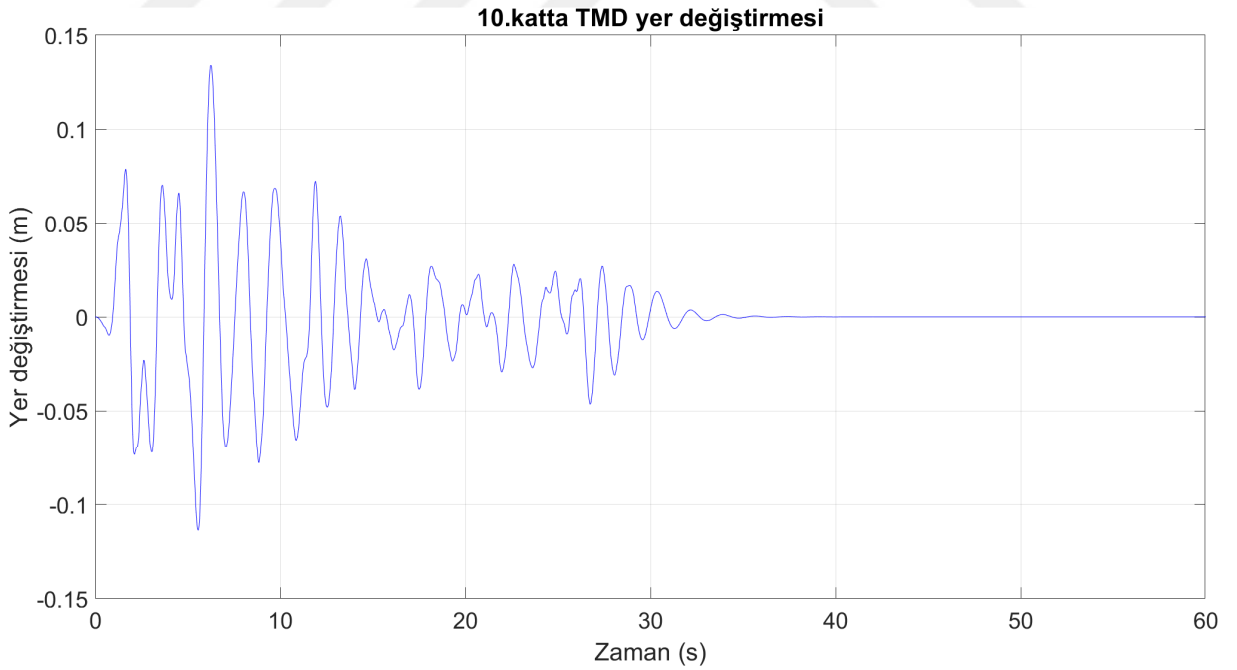
şekil 6.49: Yedinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.



şekil 6.50: Sekizinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.

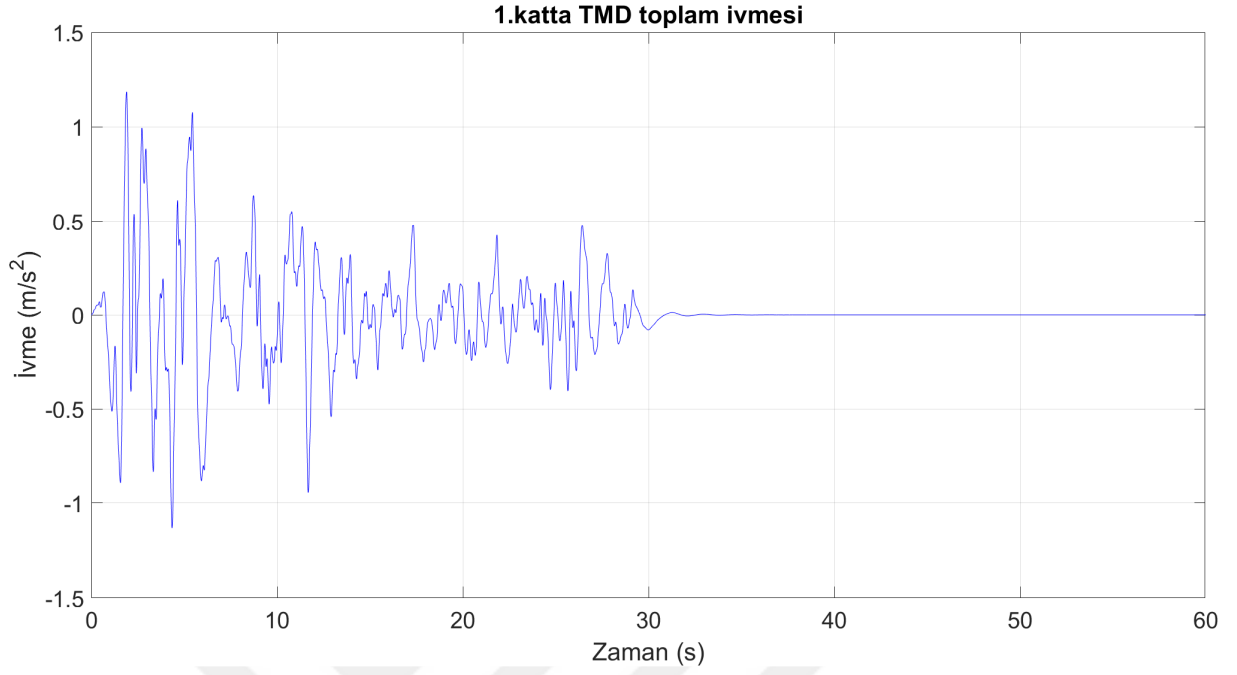


şekil 6.51: Dokuzuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.

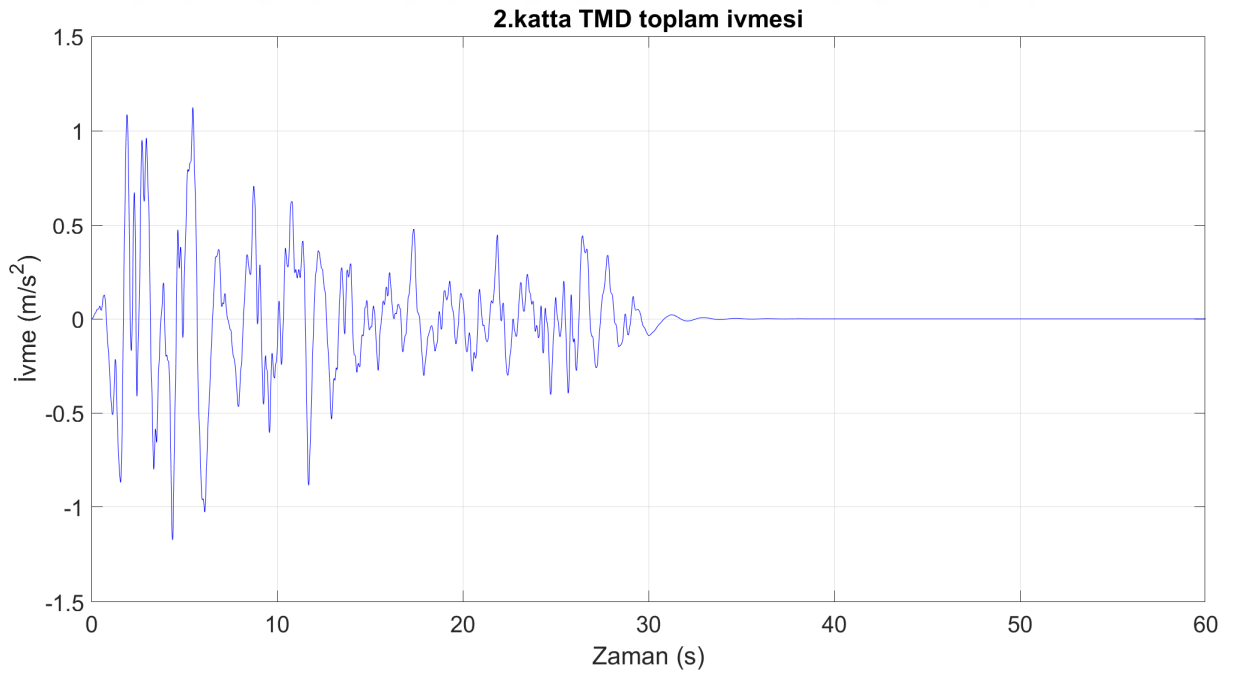


şekil 6.52: Onuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-A Durumu.

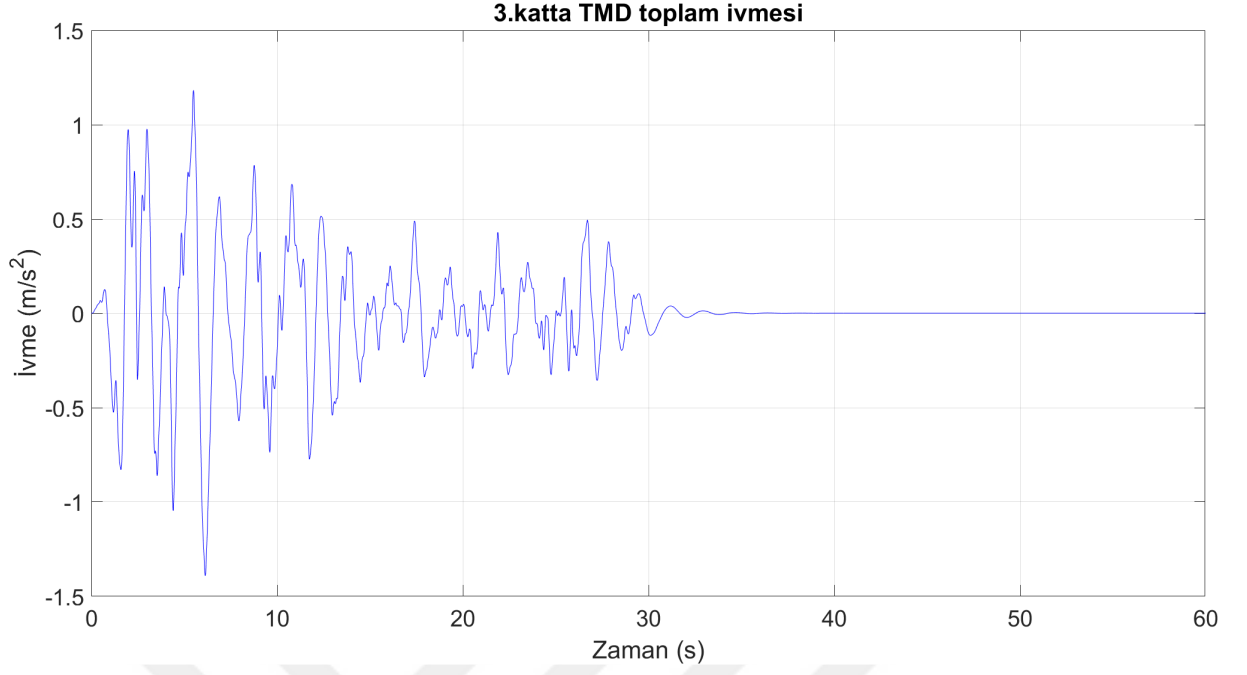
6.2.4. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin İvmesi



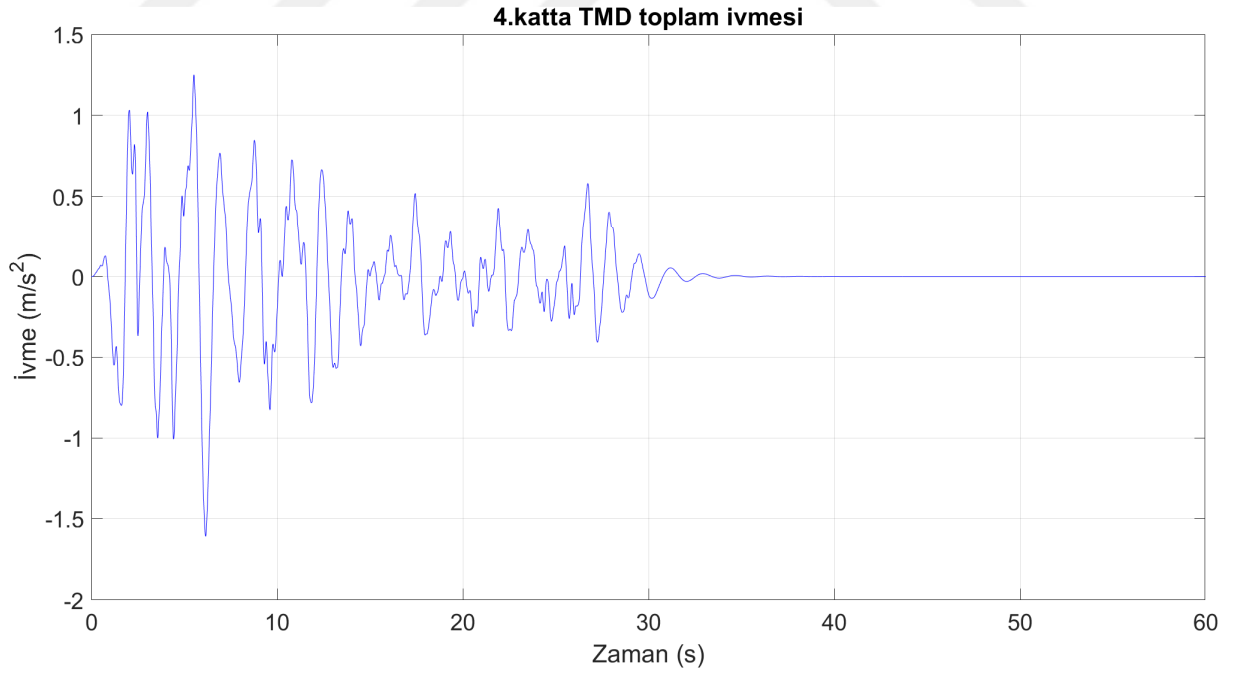
Şekil 6.53: Birinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



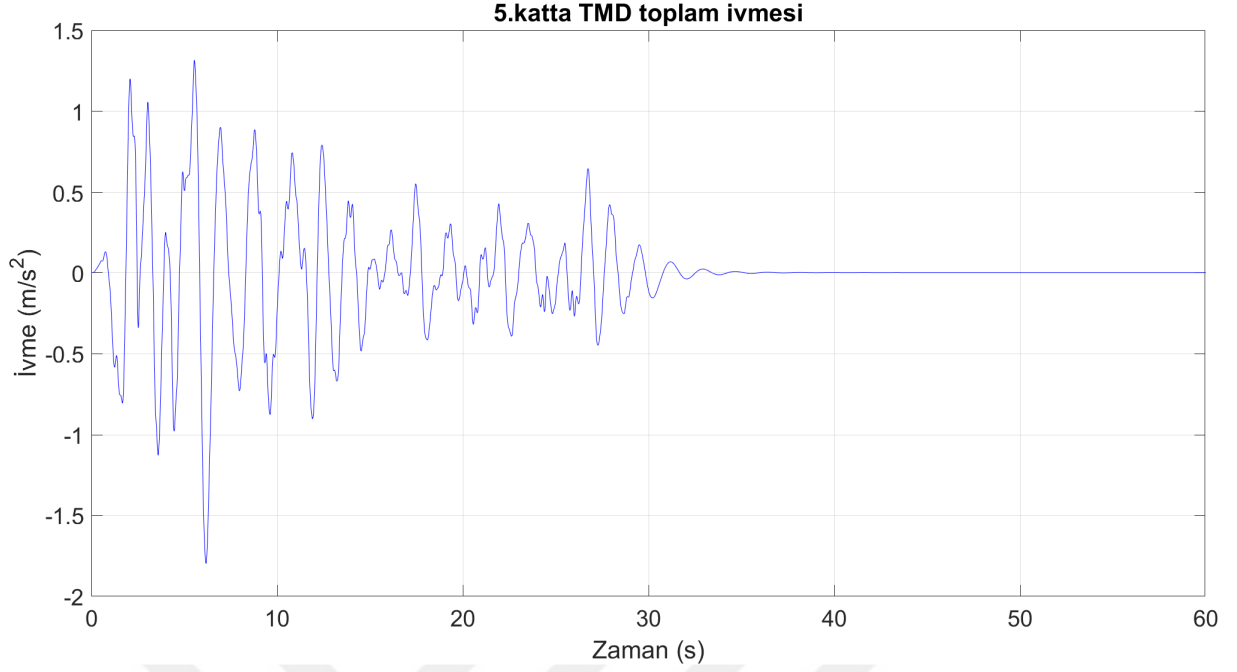
Şekil 6.54: İkinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



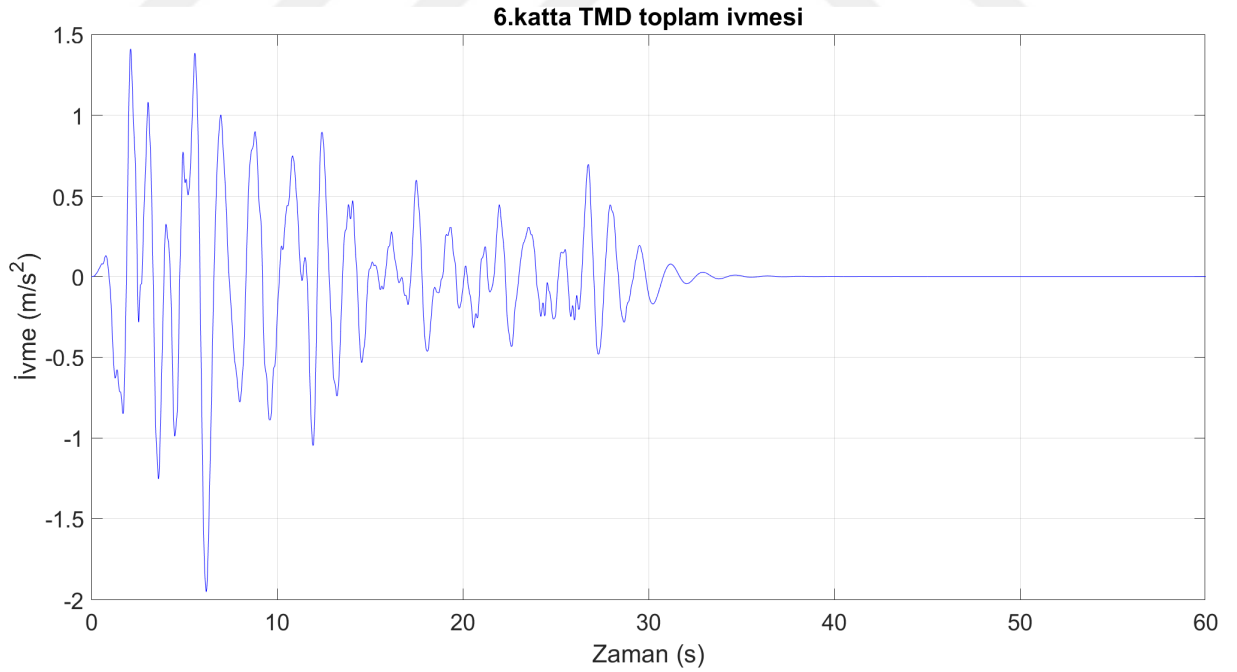
Şekil 6.55: Üçüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



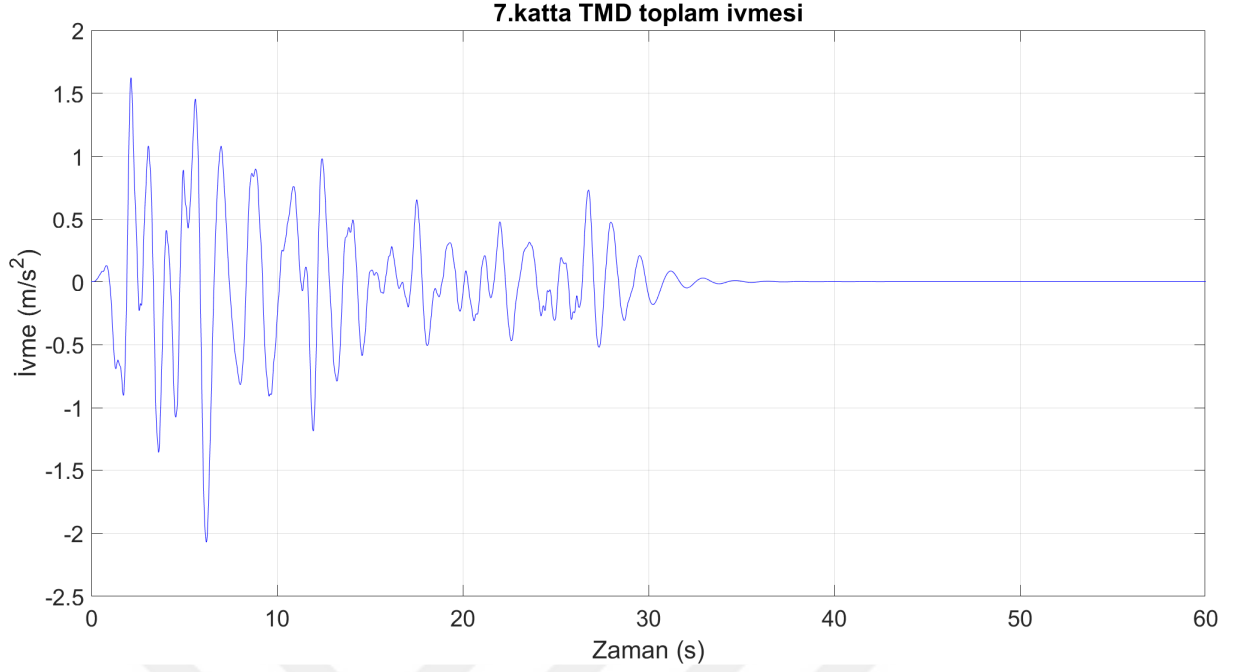
Şekil 6.56: Dördüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



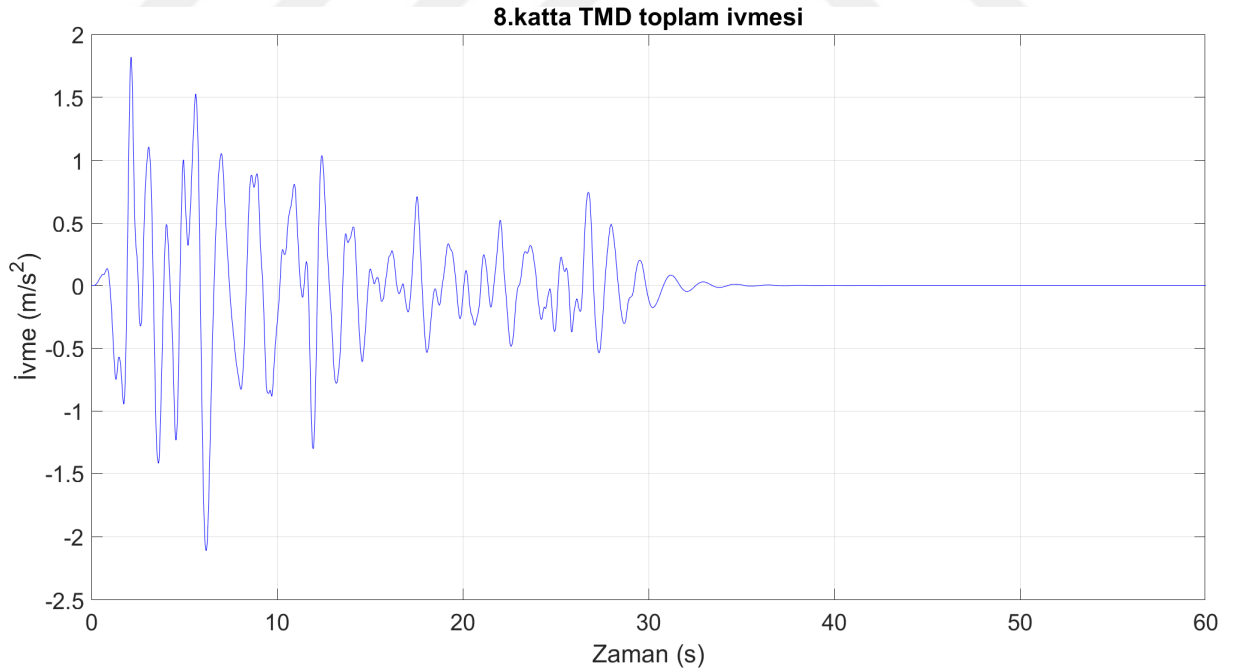
Şekil 6.57: Beşinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



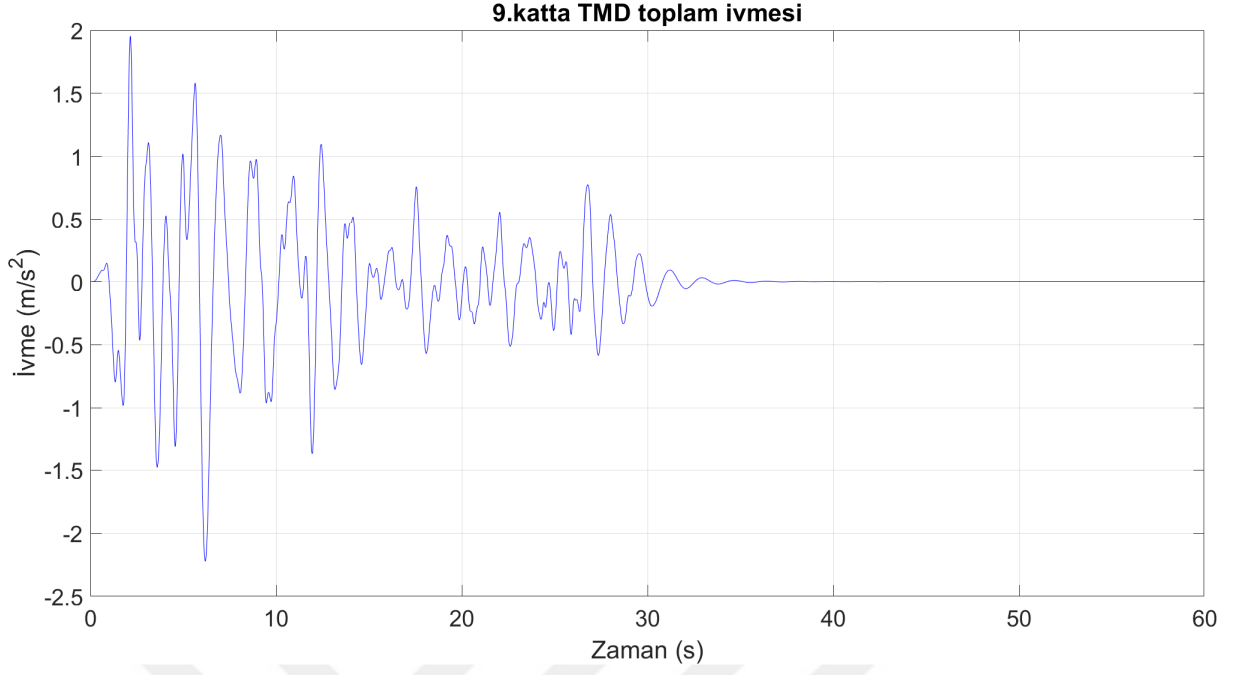
Şekil 6.58: Altıncı katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



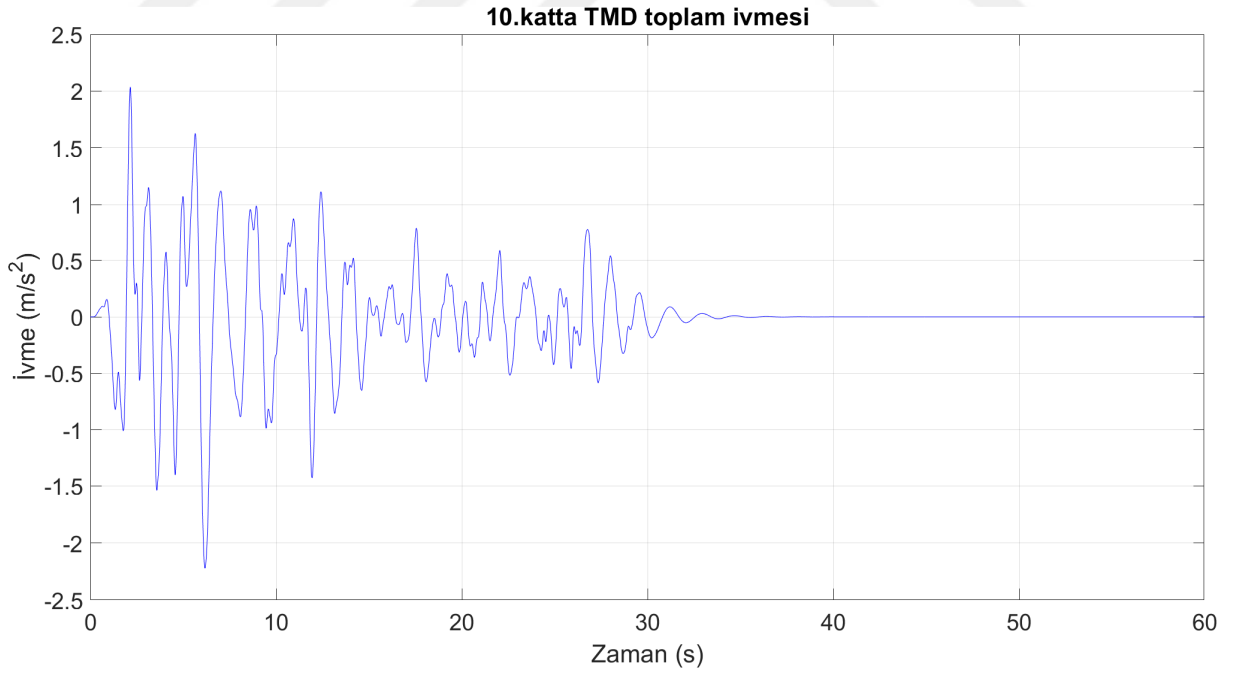
Şekil 6.59: Yedinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



Şekil 6.60: Sekizinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



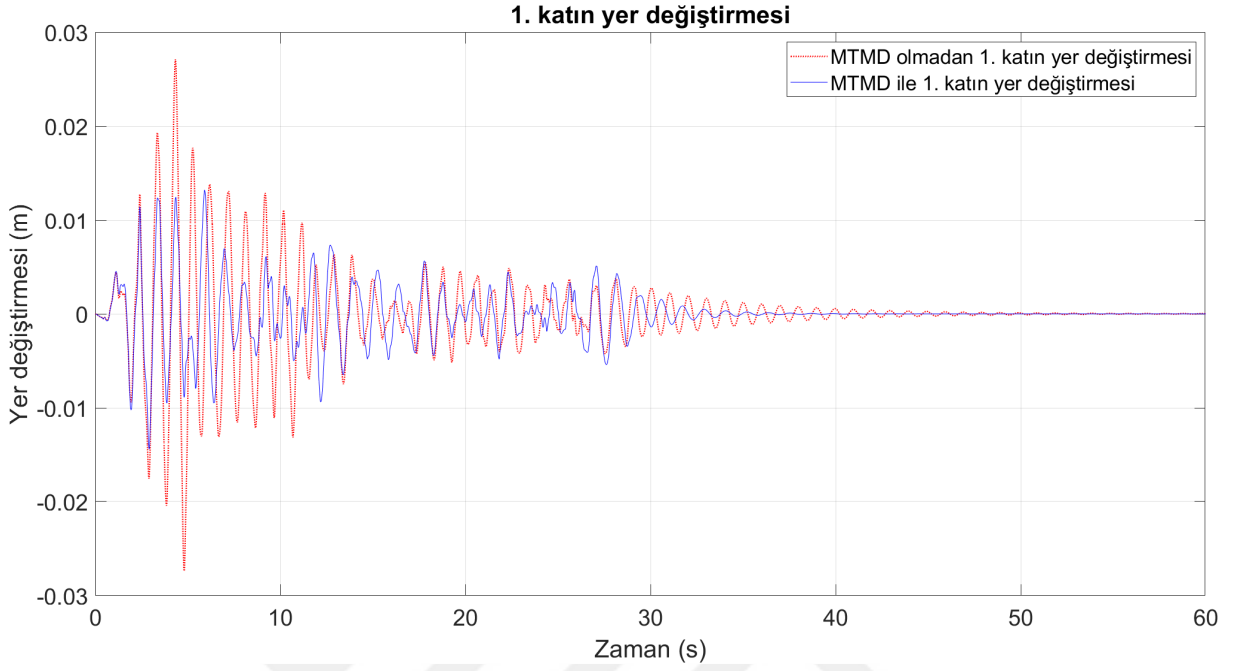
Şekil 6.61: Dokuzuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.



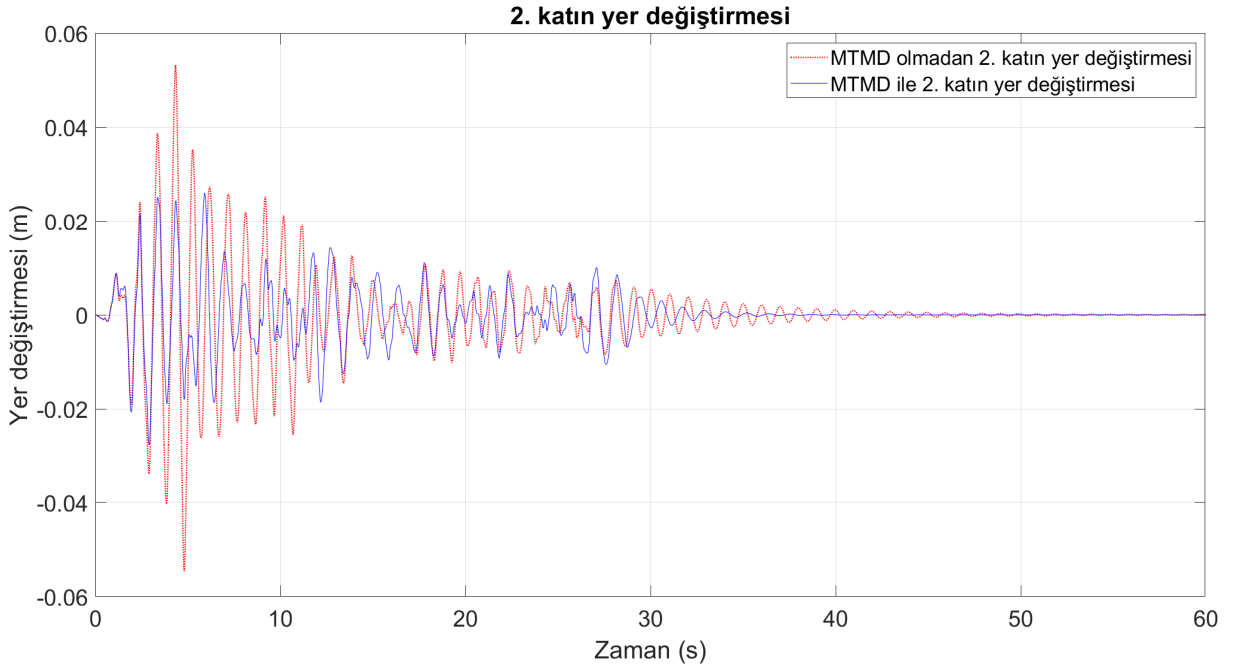
Şekil 6.62: Onuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-A Durumu.

6.3. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici (MTMD-B) Sonucu

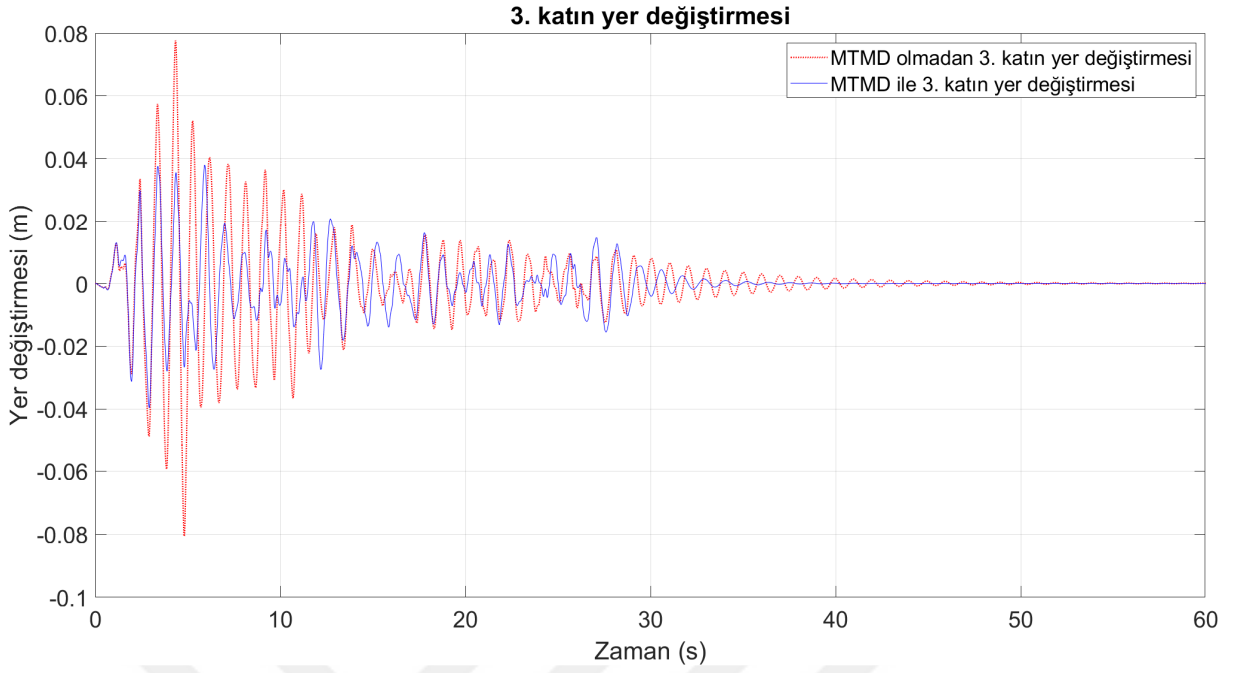
6.3.1. Katların Yer Değiştirmesi



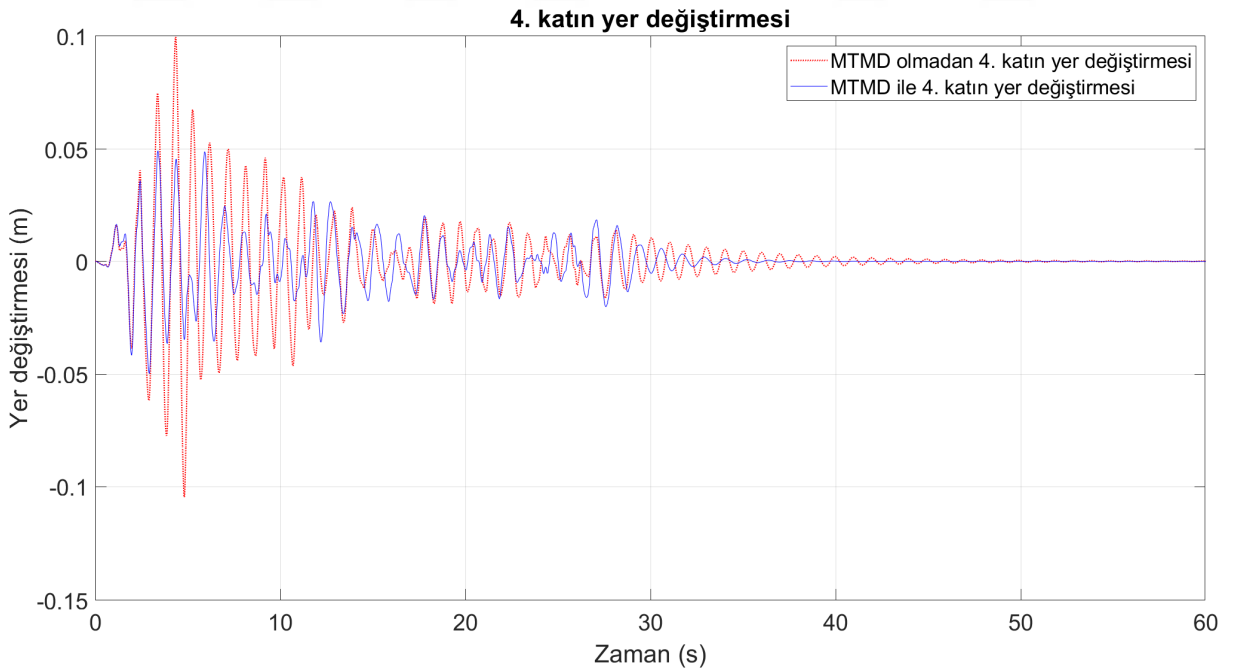
şekil 6.63: Birinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



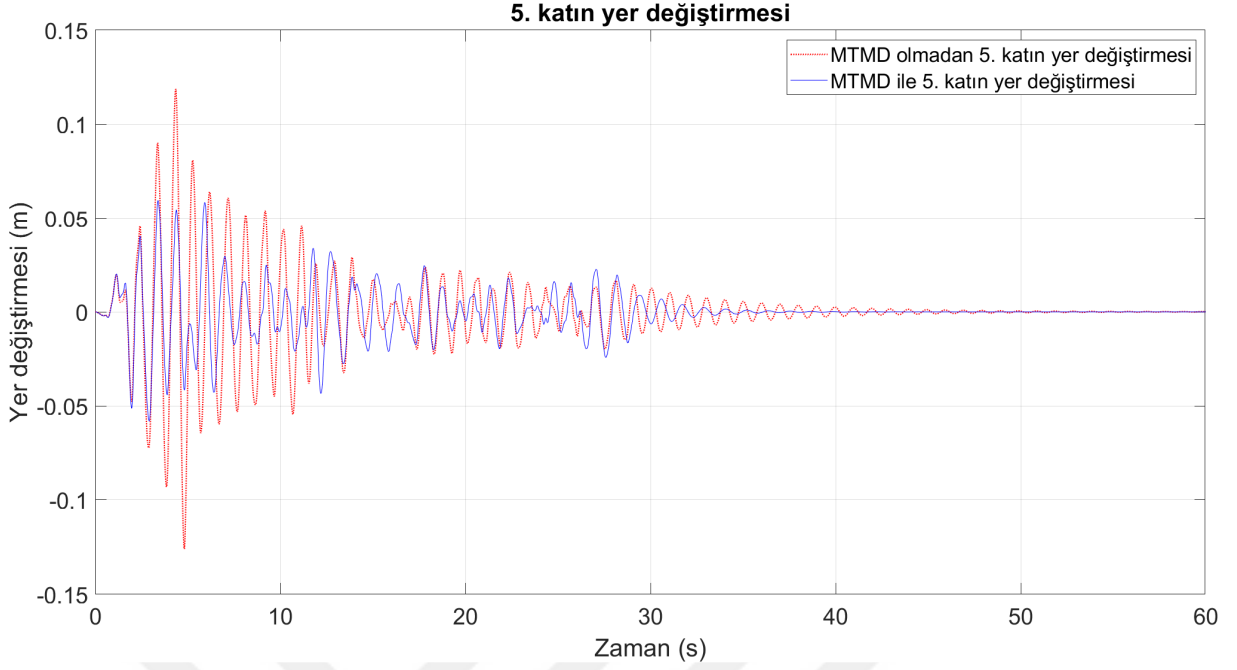
şekil 6.64: İkinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



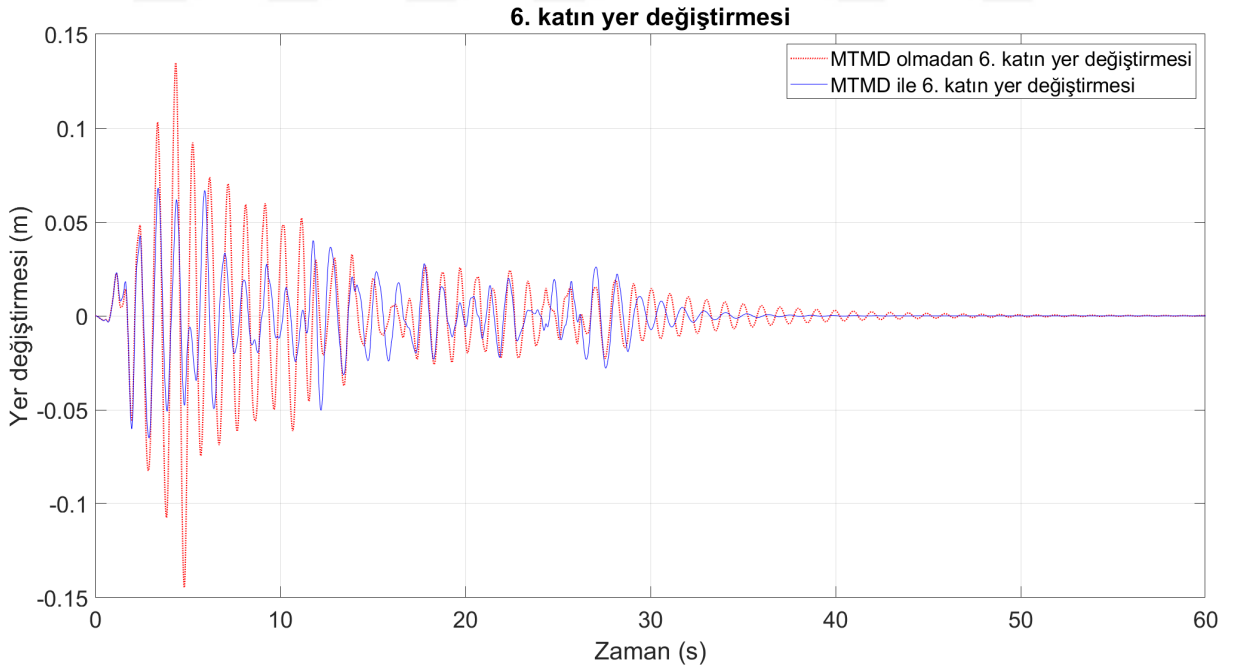
şekil 6.65: Üçüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



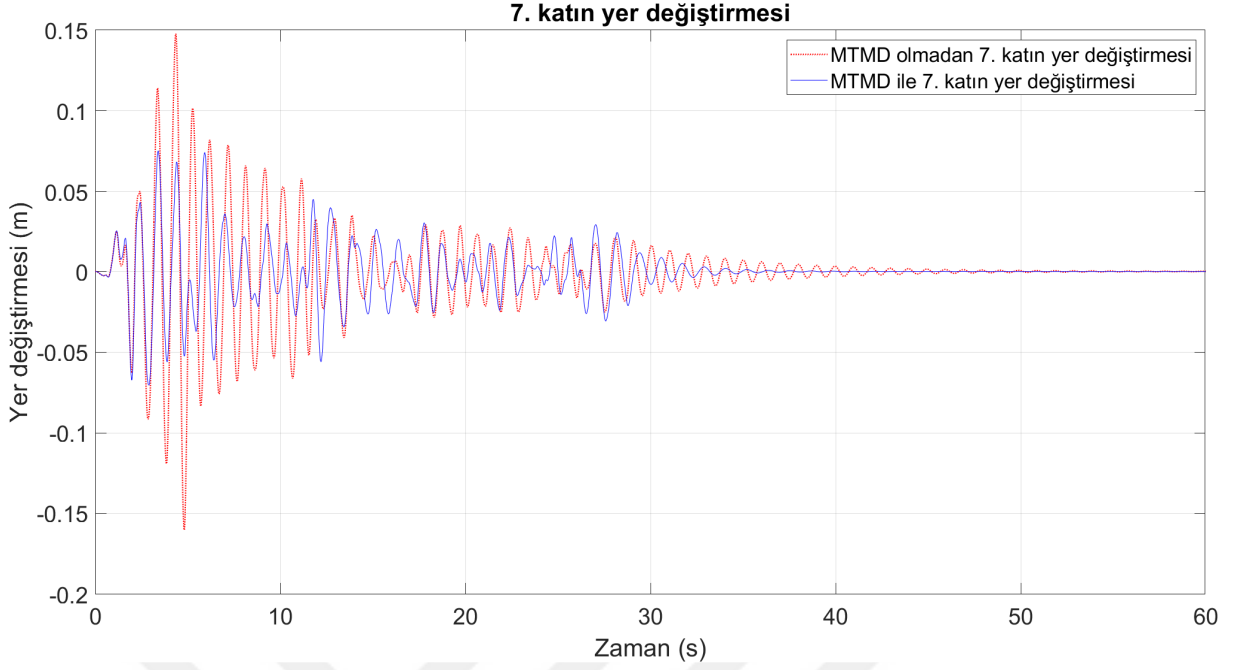
şekil 6.66: Dördüncü katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



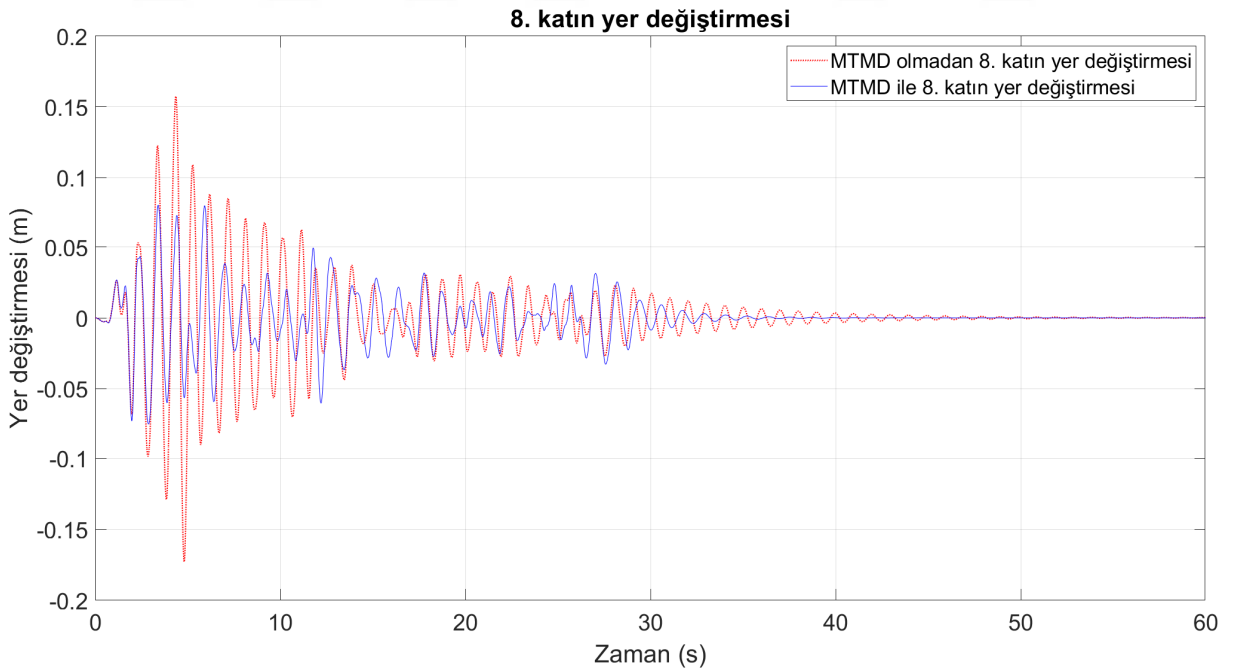
şekil 6.67: Beşinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



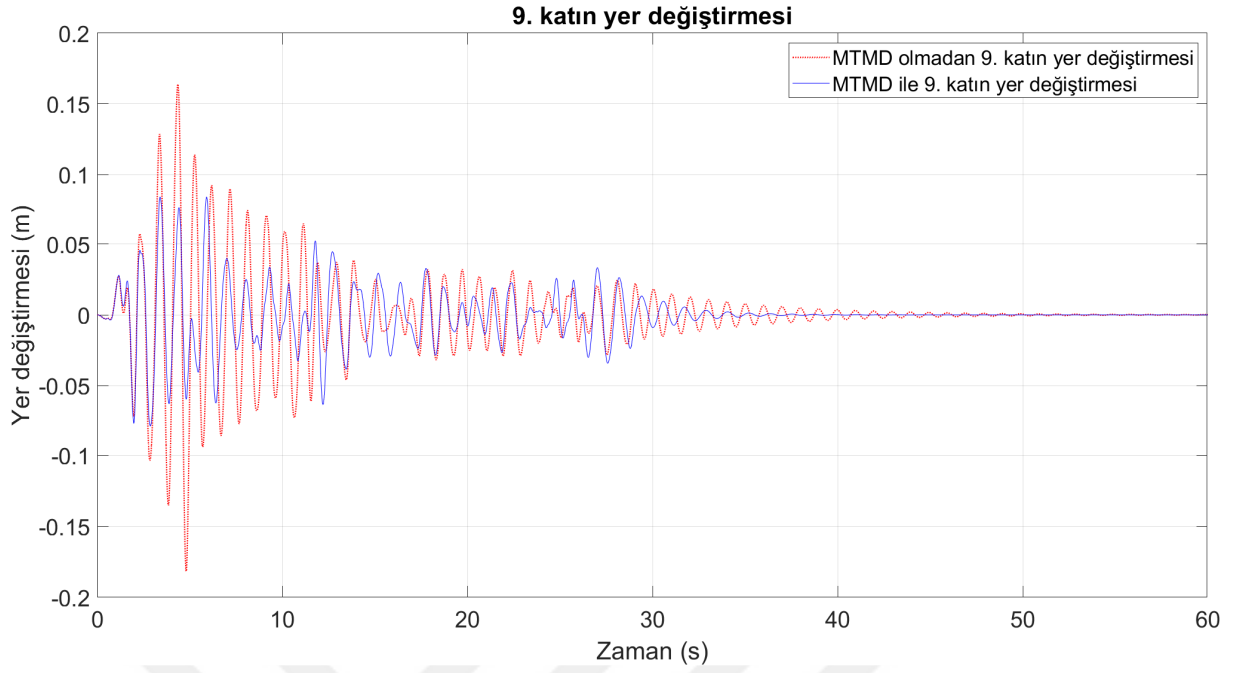
şekil 6.68: Altıncı katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



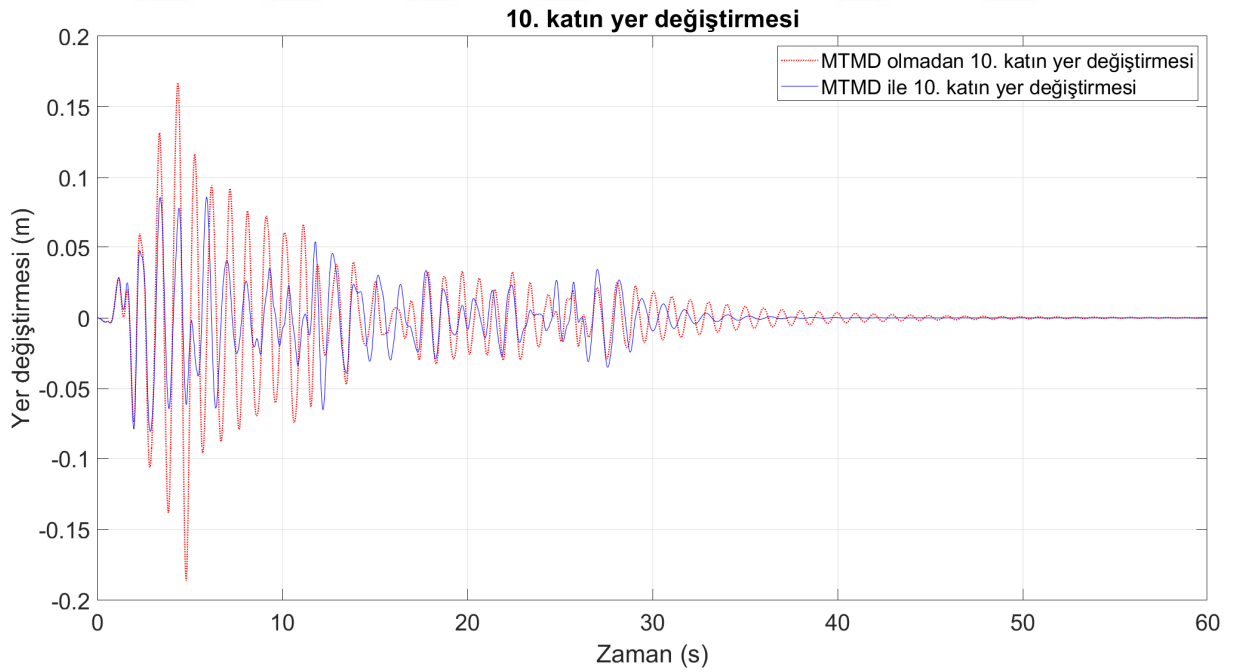
şekil 6.69: Yedinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



şekil 6.70: Sekizinci katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.

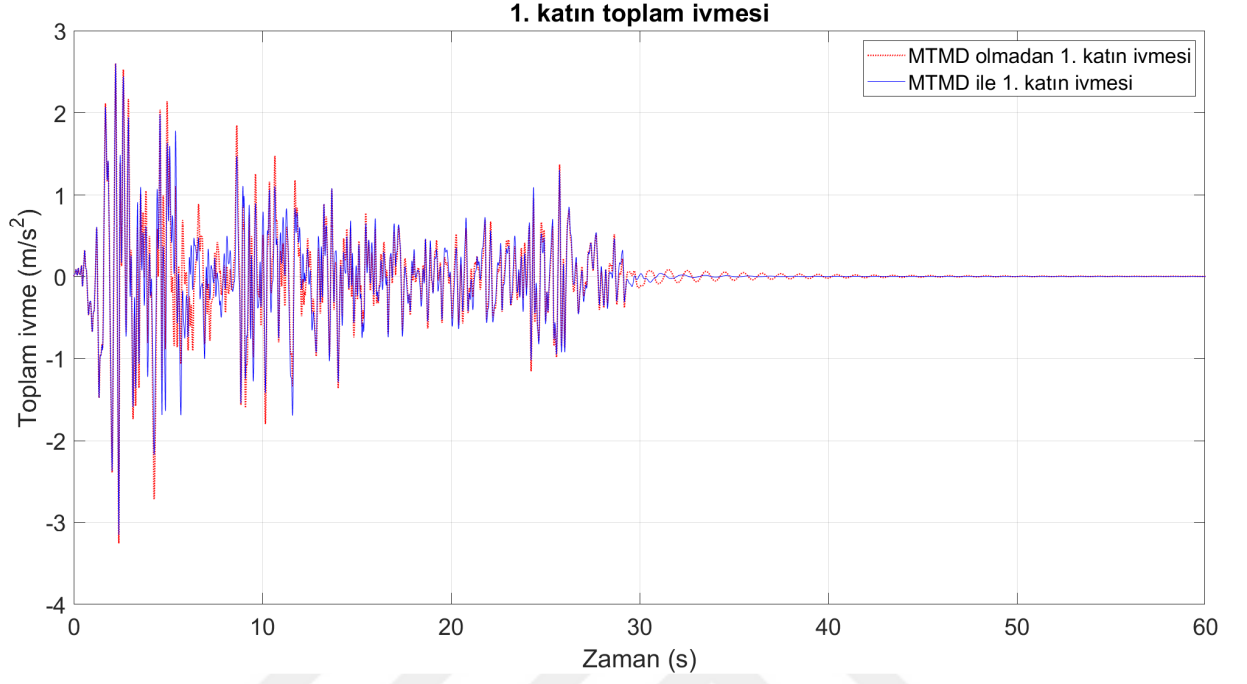


şekil 6.71: Dokuzuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.

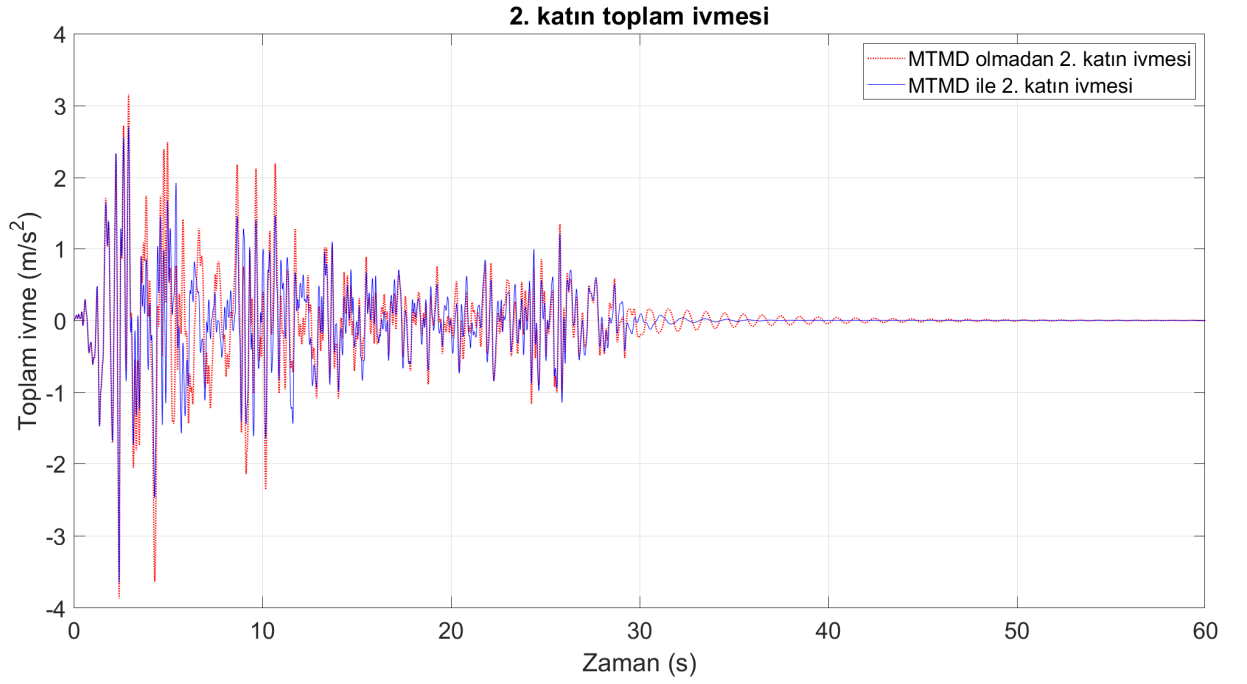


şekil 6.72: Onuncu katın yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.

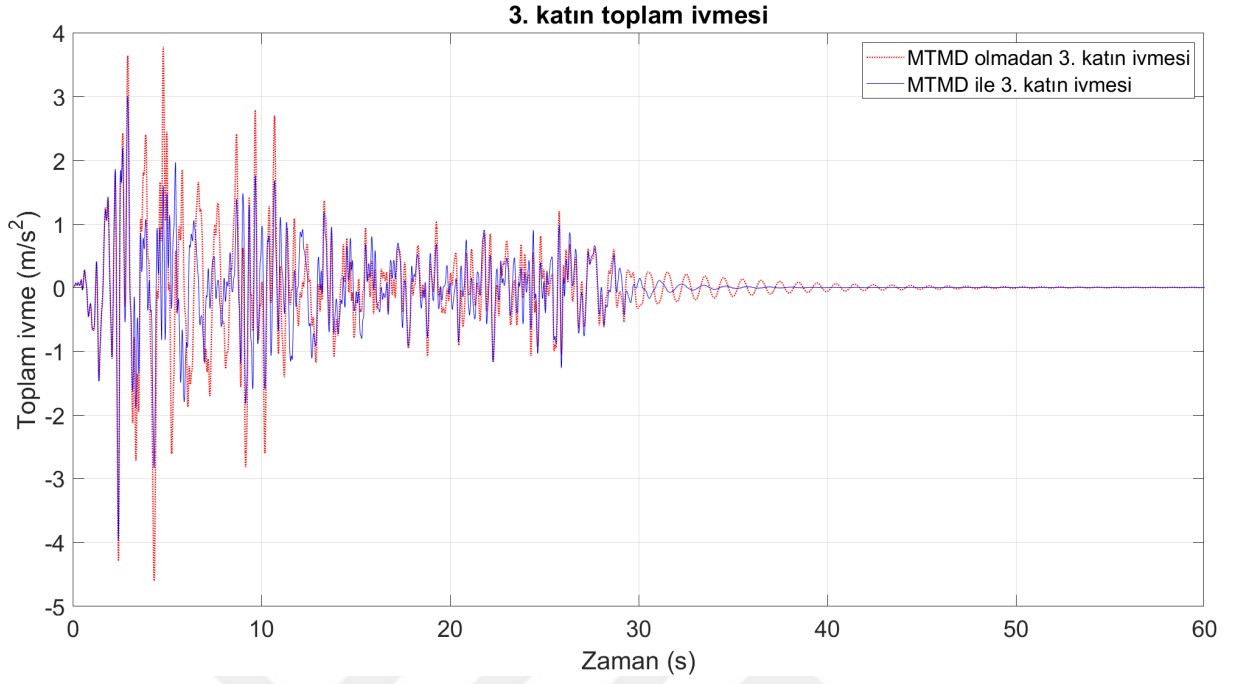
6.3.2. Katların Toplam İvmesi



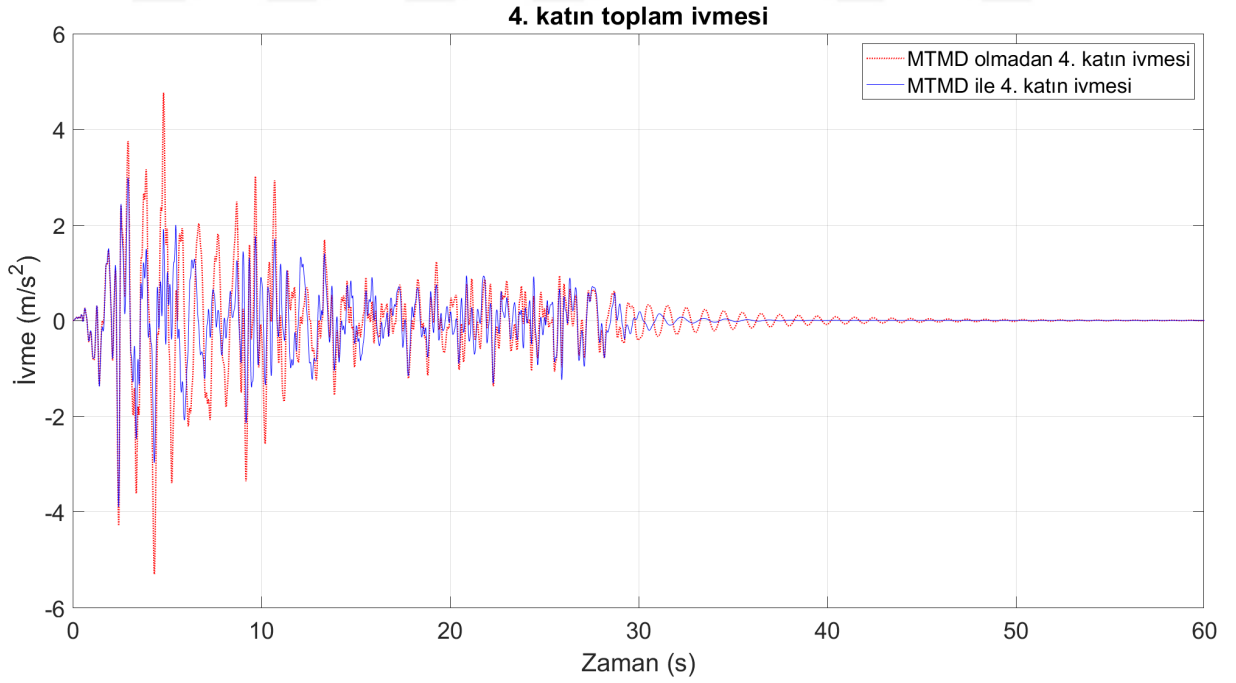
Şekil 6.73: Birinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



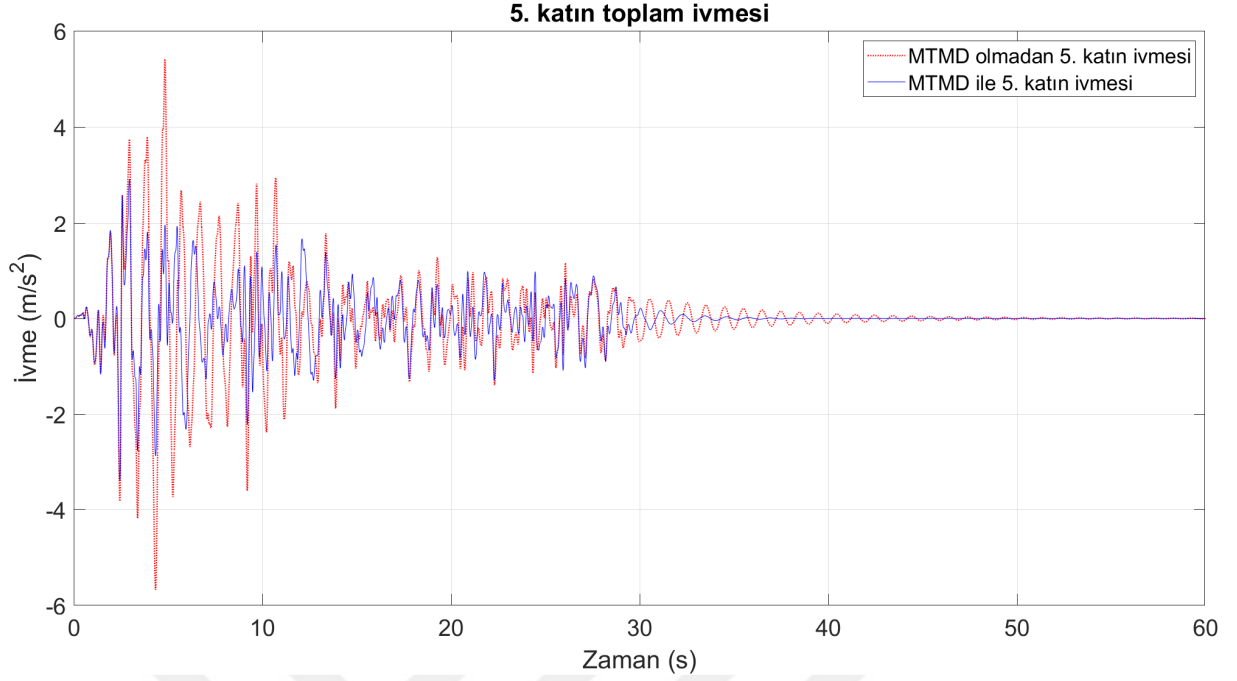
Şekil 6.74: İkinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



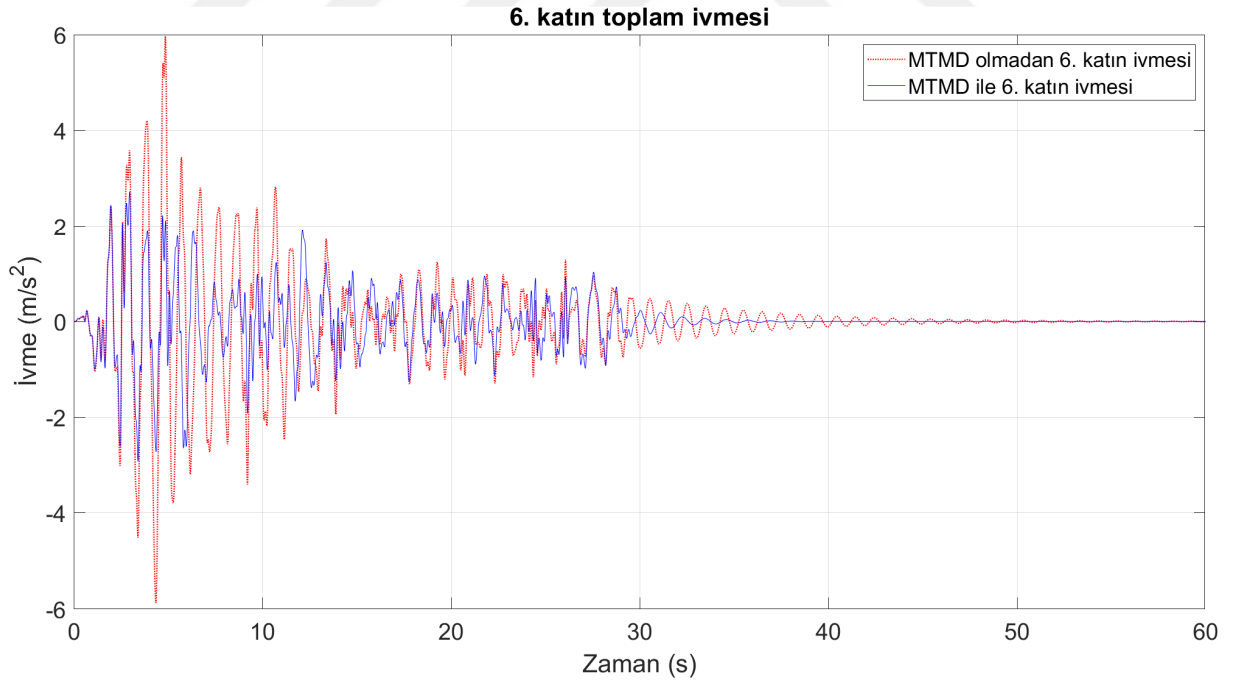
Şekil 6.75: Üçüncü katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



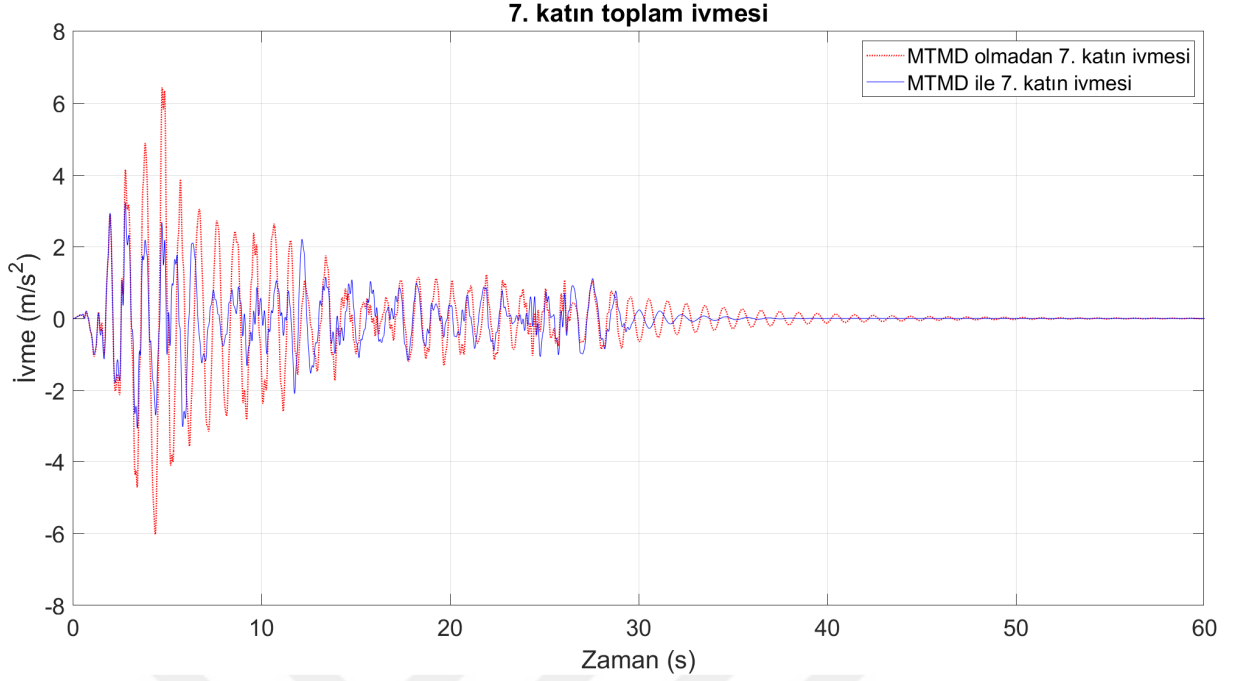
Şekil 6.76: Dördüncü katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



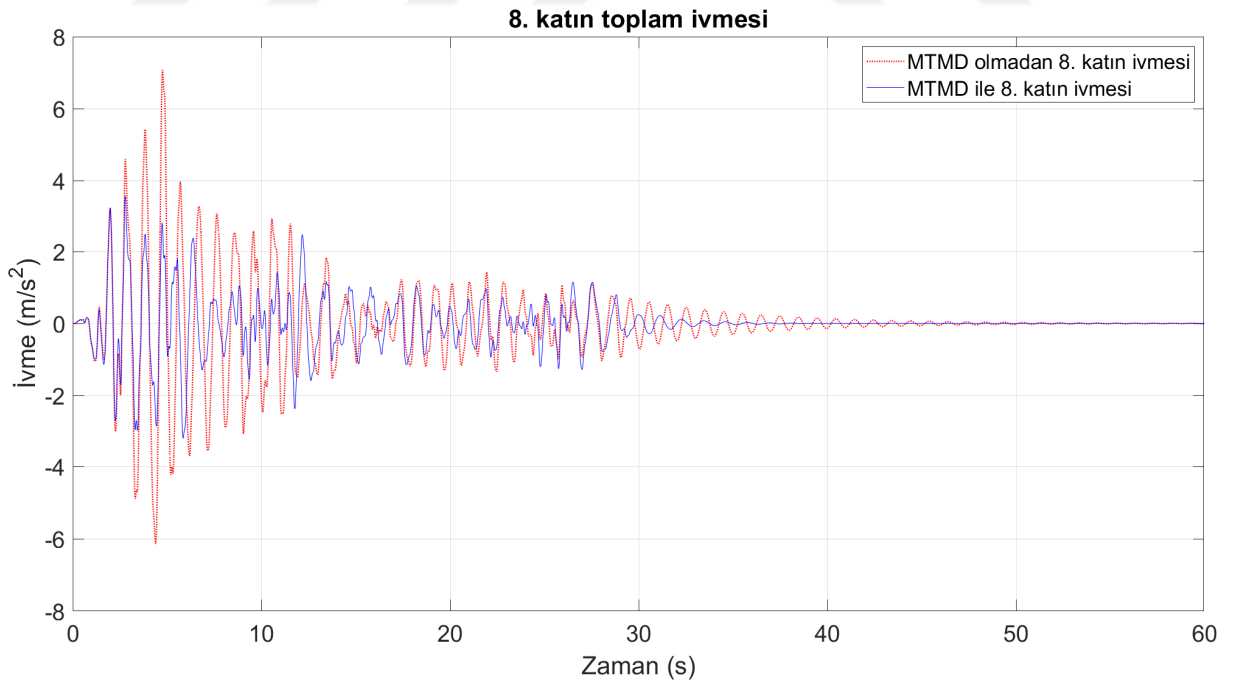
Şekil 6.77: Beşinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



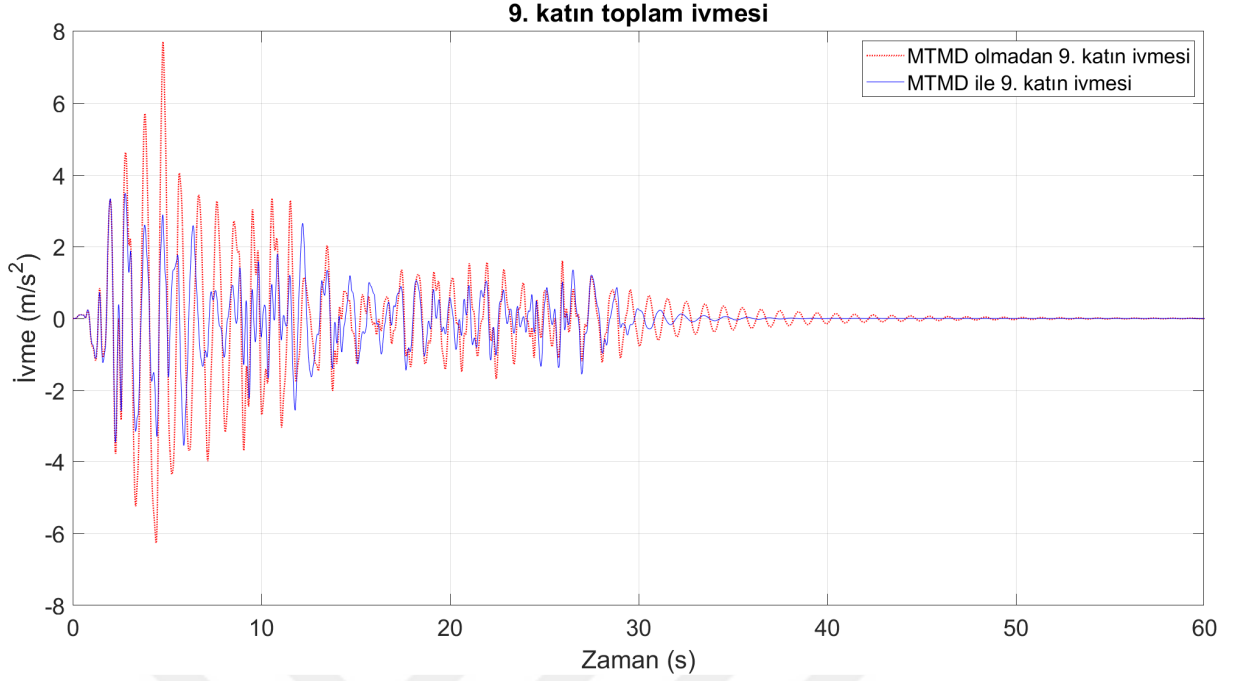
Şekil 6.78: Altıncı katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



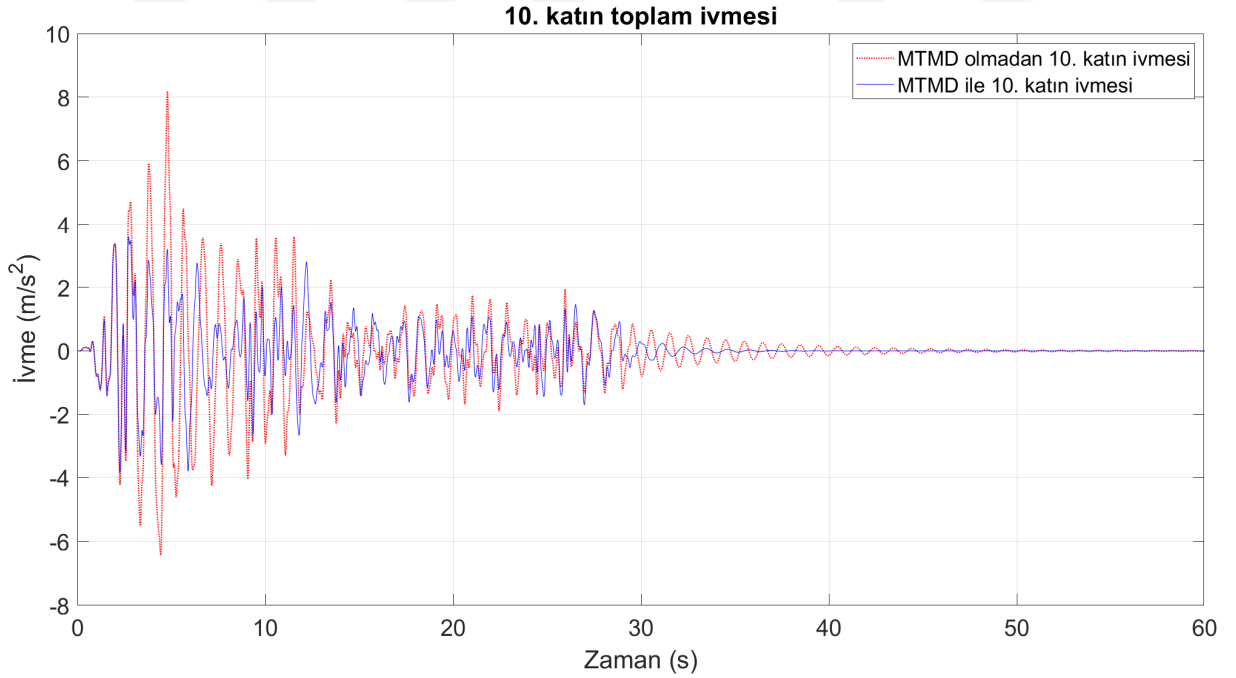
Şekil 6.79: Yedinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



Şekil 6.80: Sekizinci katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.

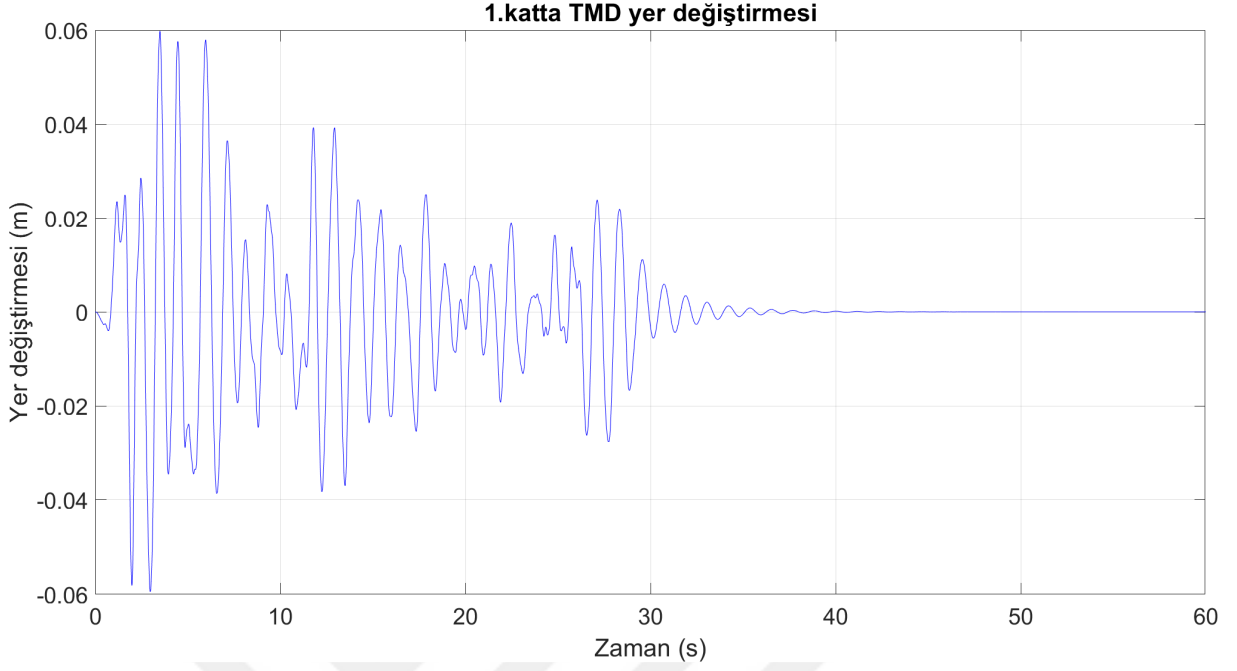


Şekil 6.81: Dokuzuncu katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



Şekil 6.82: Onuncu katın toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.

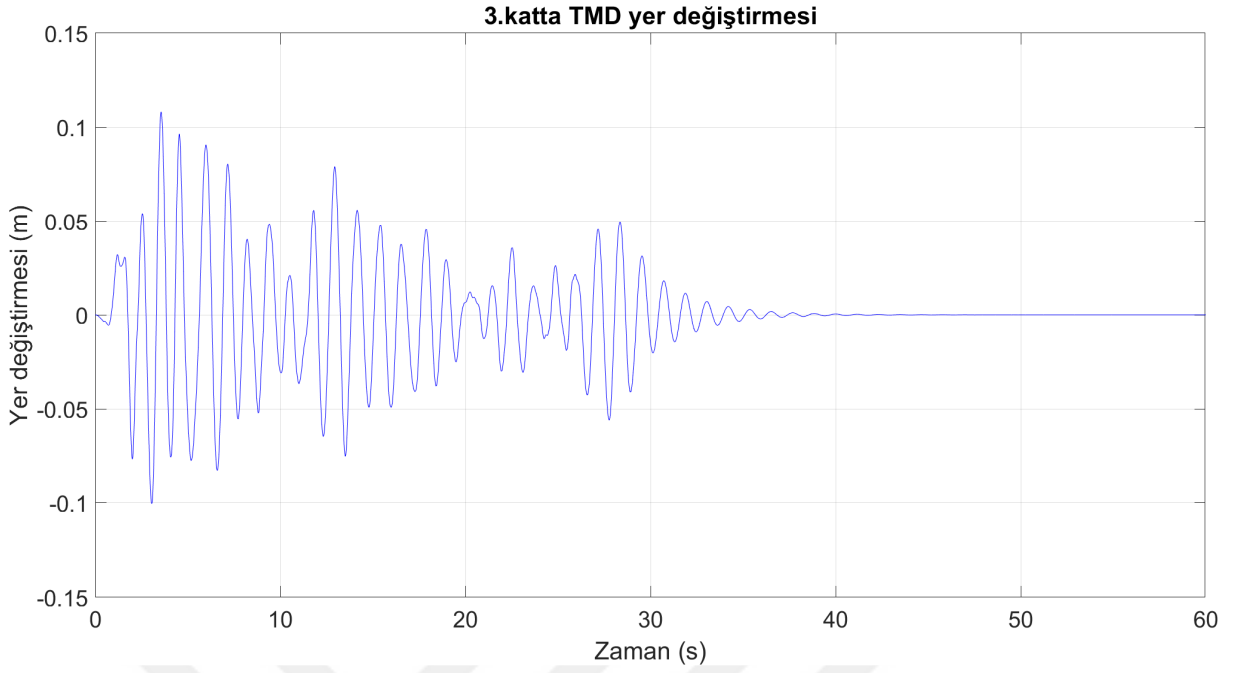
6.3.3. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin Yer Değiştirmesi



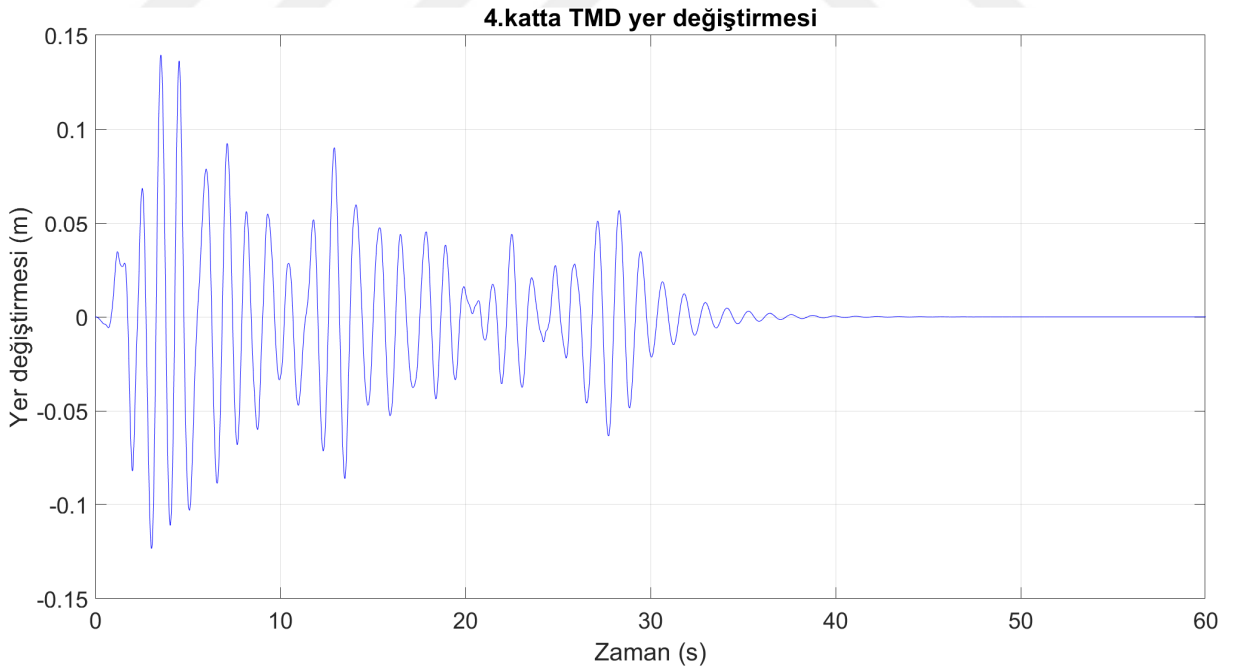
şekil 6.83: Birinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



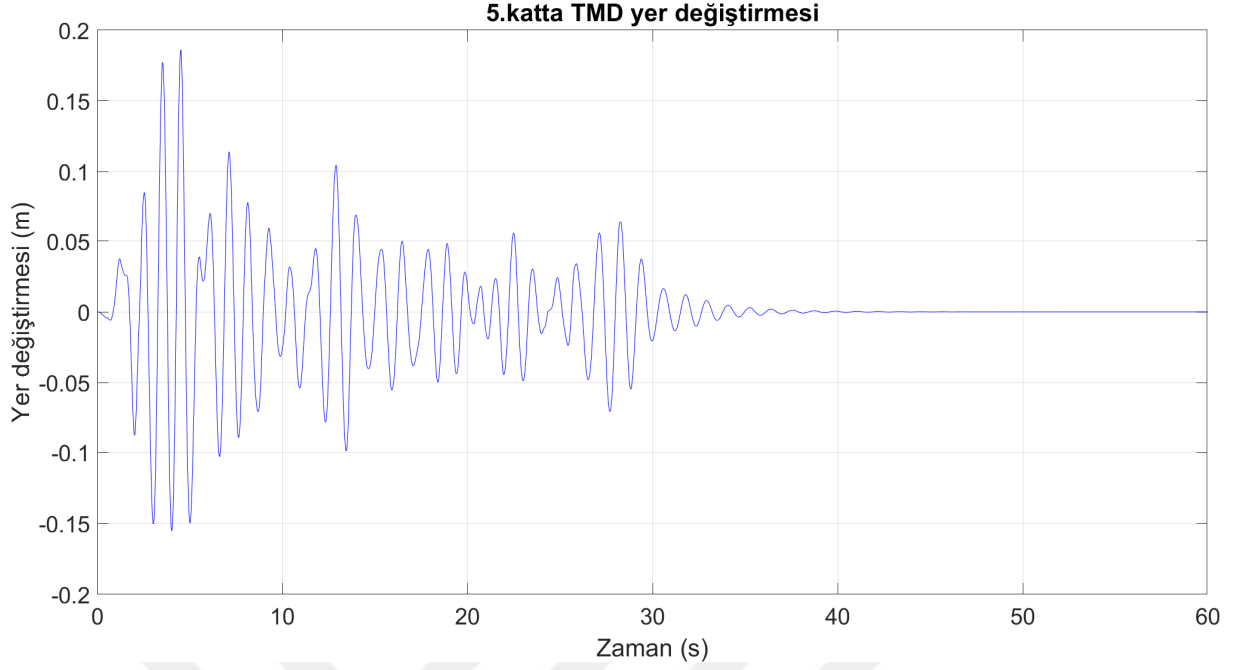
şekil 6.84: İkinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



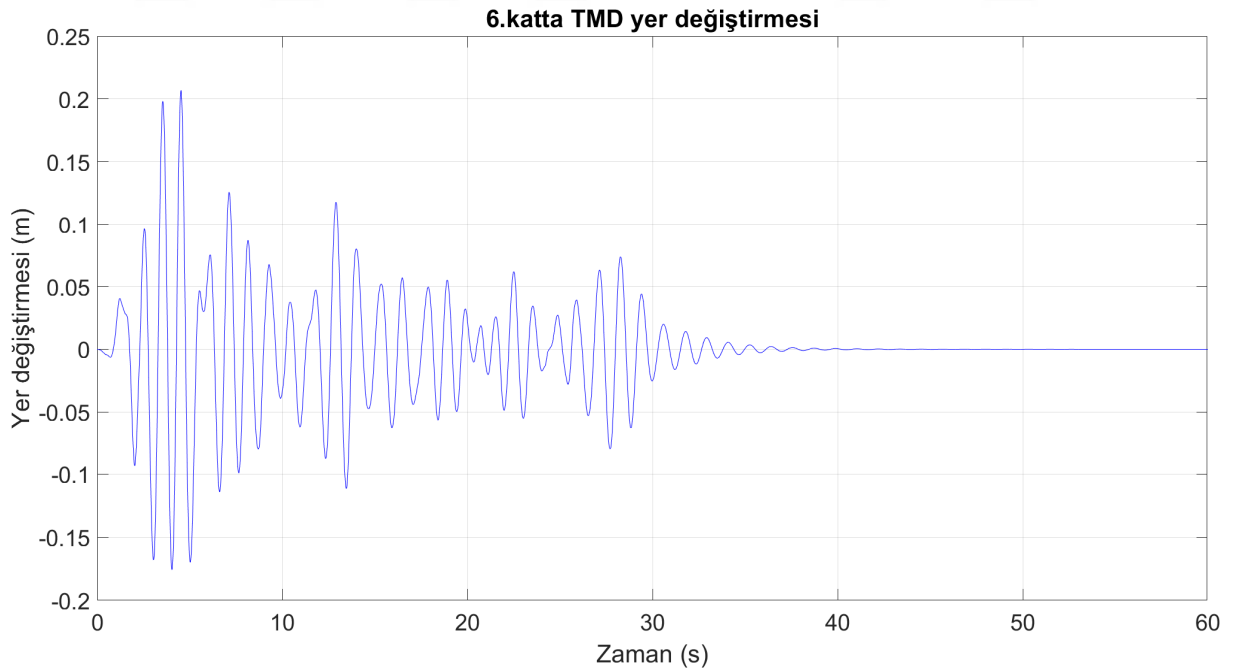
şekil 6.85: Üçüncü katta TMD yer değiştirilmesi, MTMD-B Durumu.



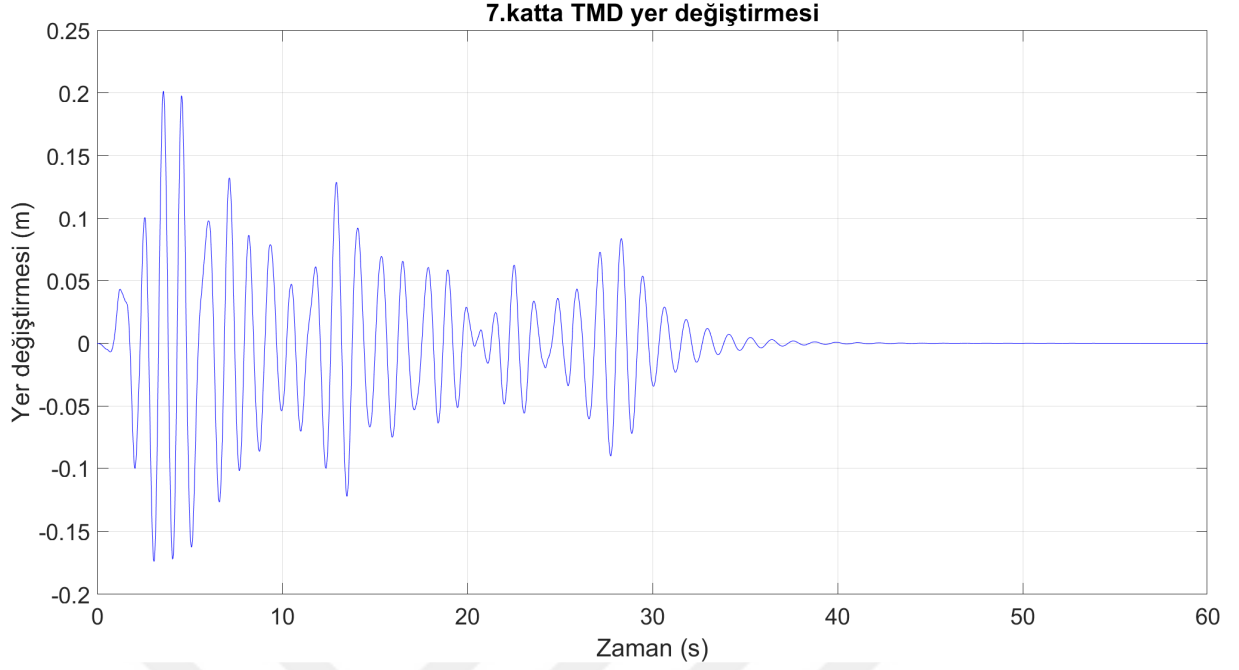
şekil 6.86: Dördüncü katta TMD yer değiştirilmesi, MTMD-B Durumu.



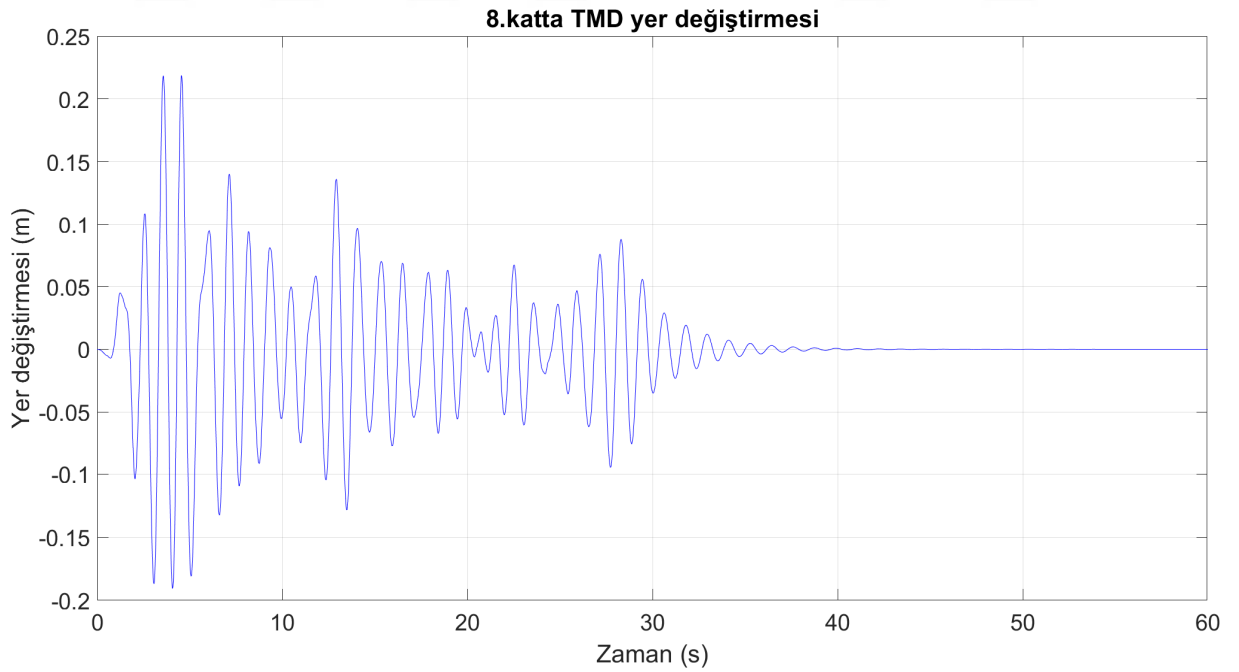
şekil 6.87: Beşinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



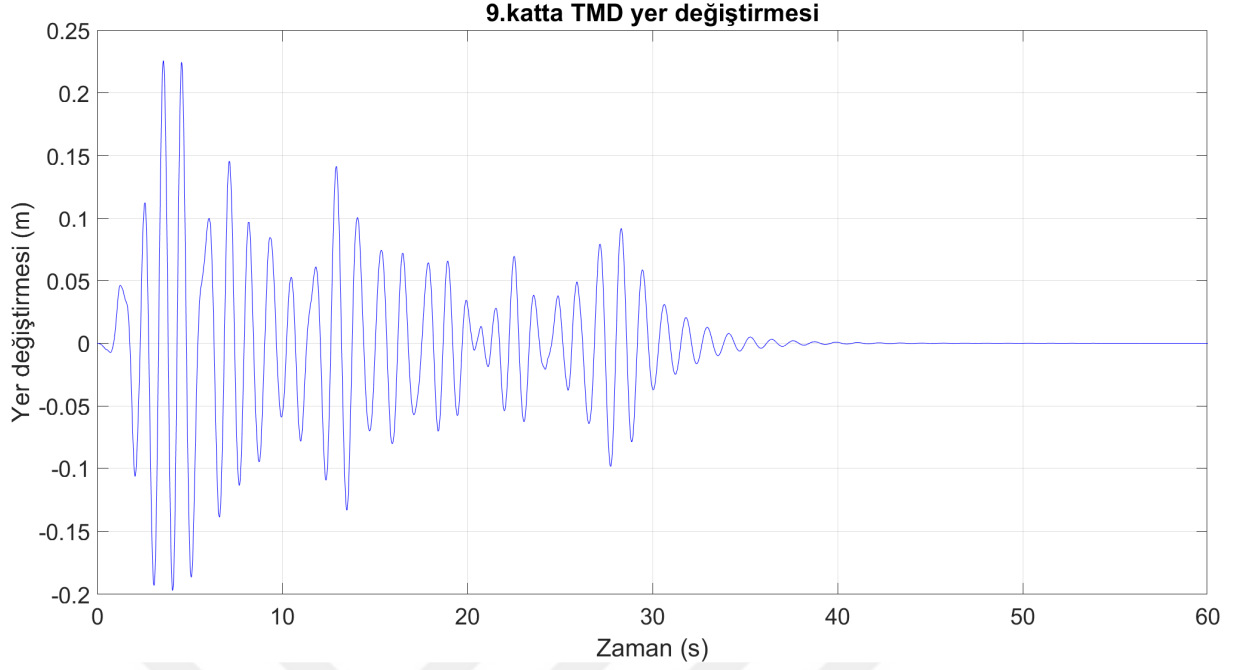
şekil 6.88: Altıncı katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



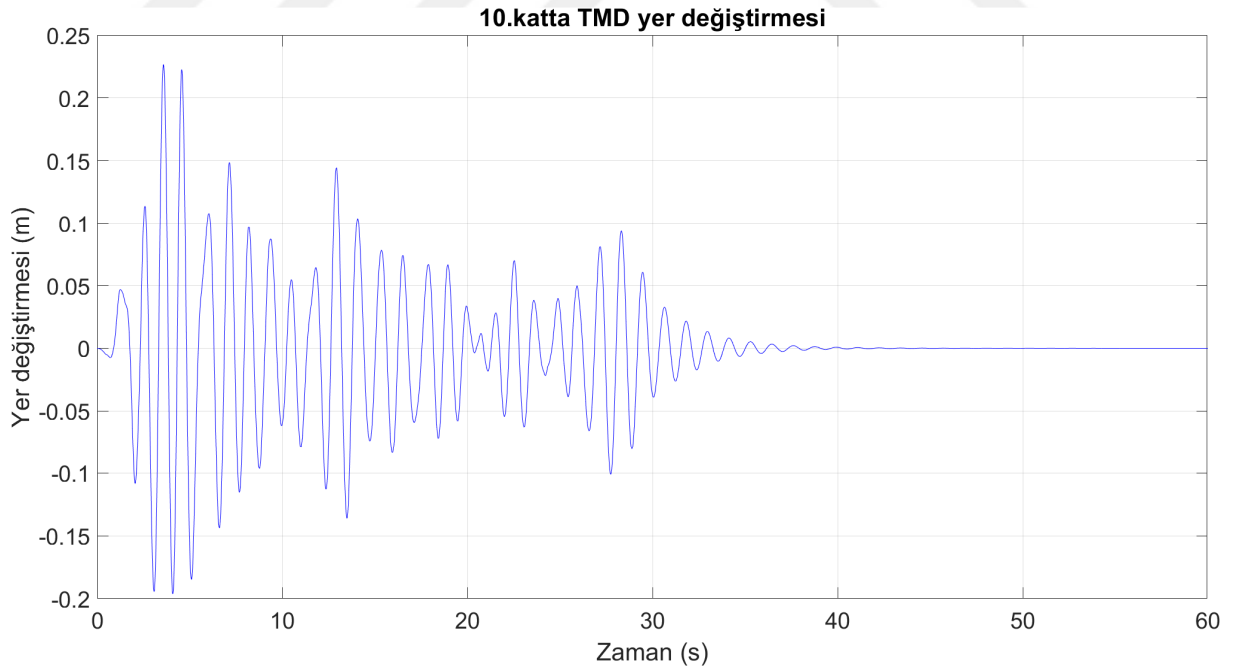
şekil 6.89: Yedinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.



şekil 6.90: Sekizinci katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.

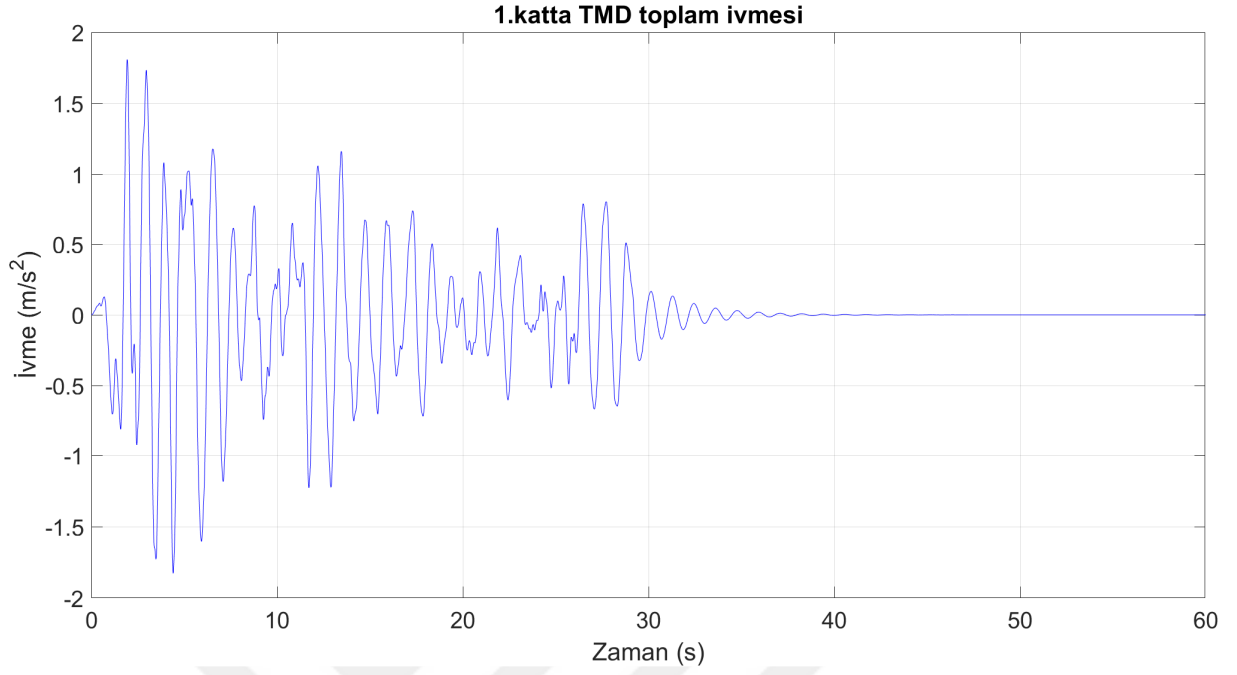


şekil 6.91: Dokuzuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.

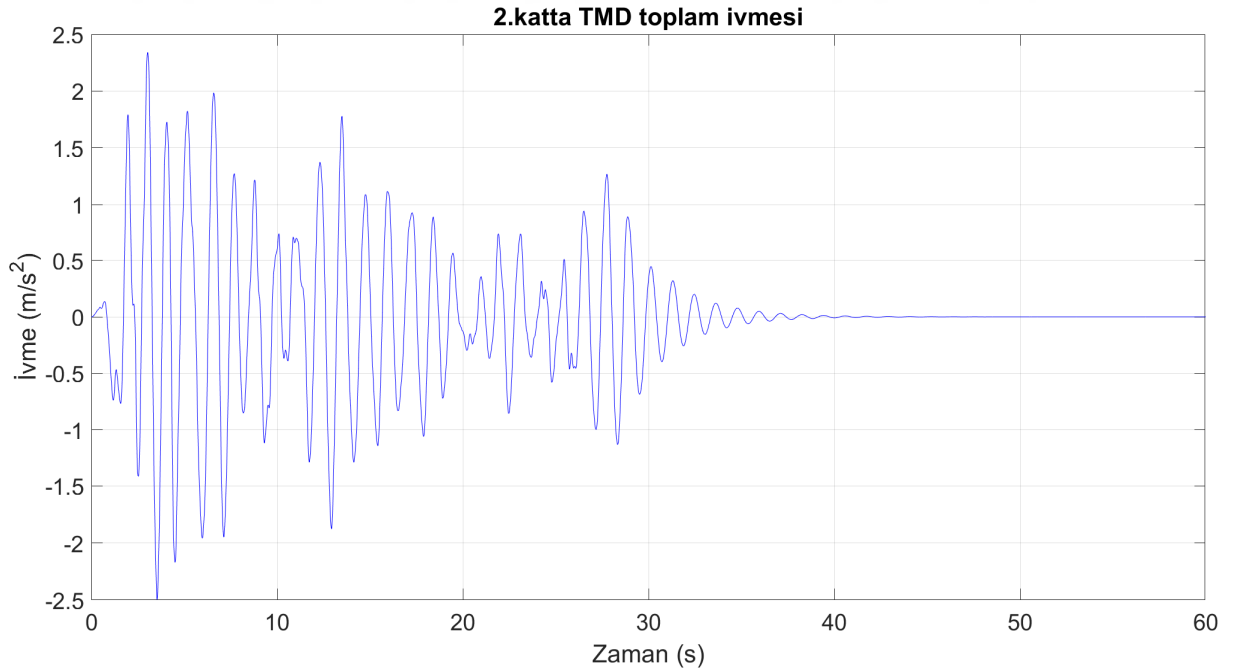


şekil 6.92: Onuncu katta TMD yer değiştirmesi, MTMD-B Durumu.

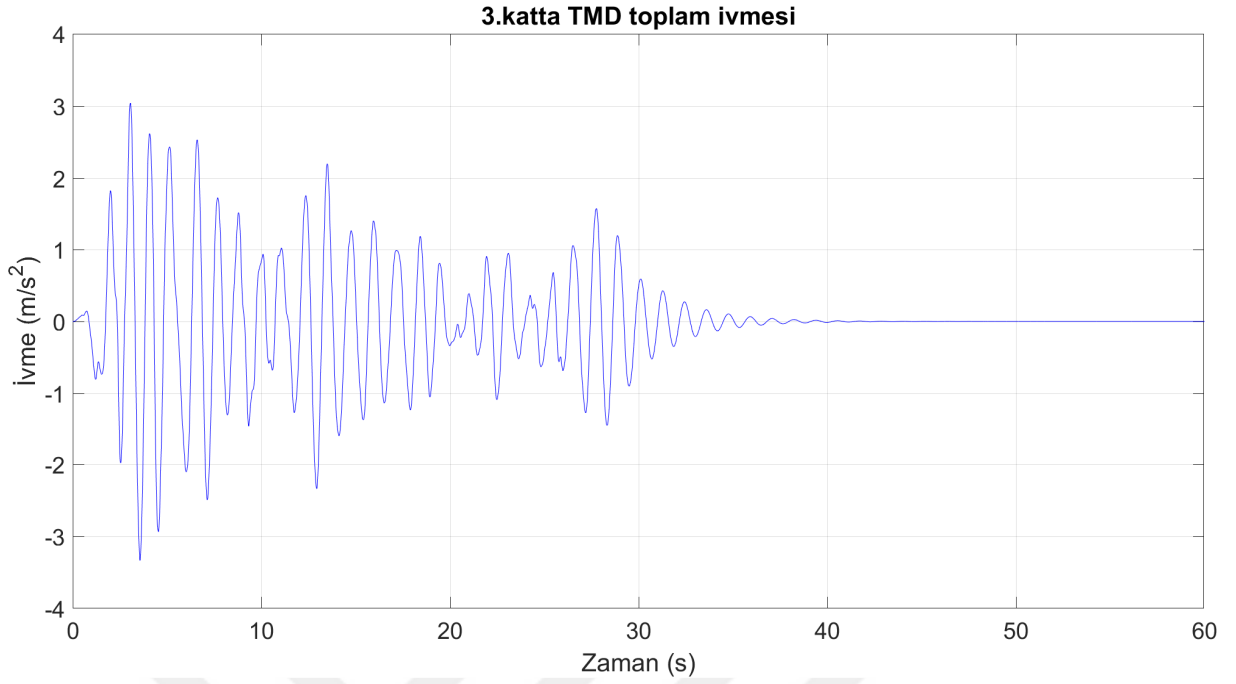
6.3.4. Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyicinin İvmesi



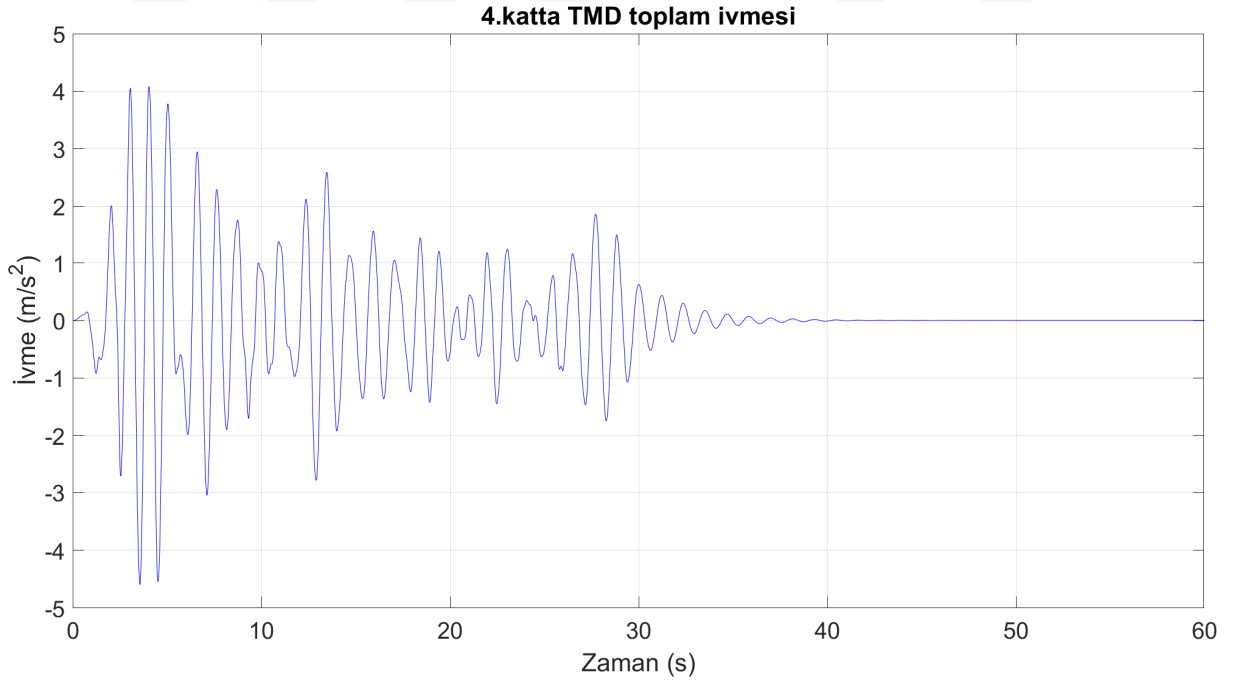
Şekil 6.93: Birinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



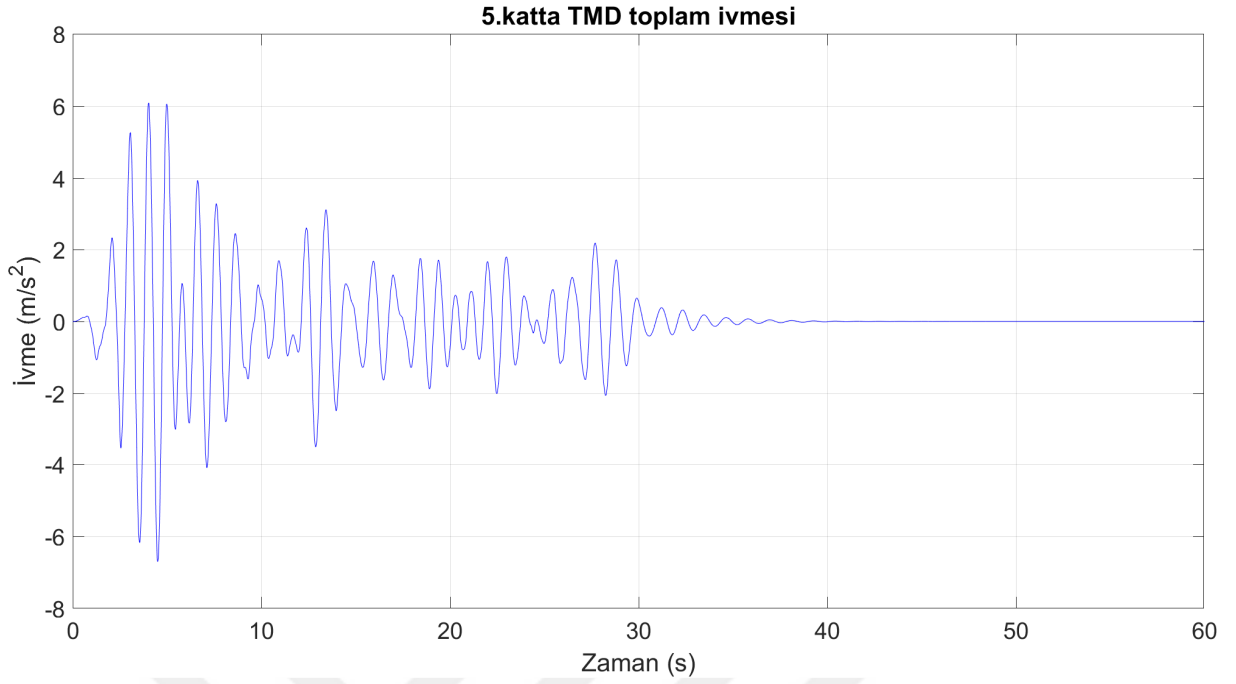
Şekil 6.94: İkinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



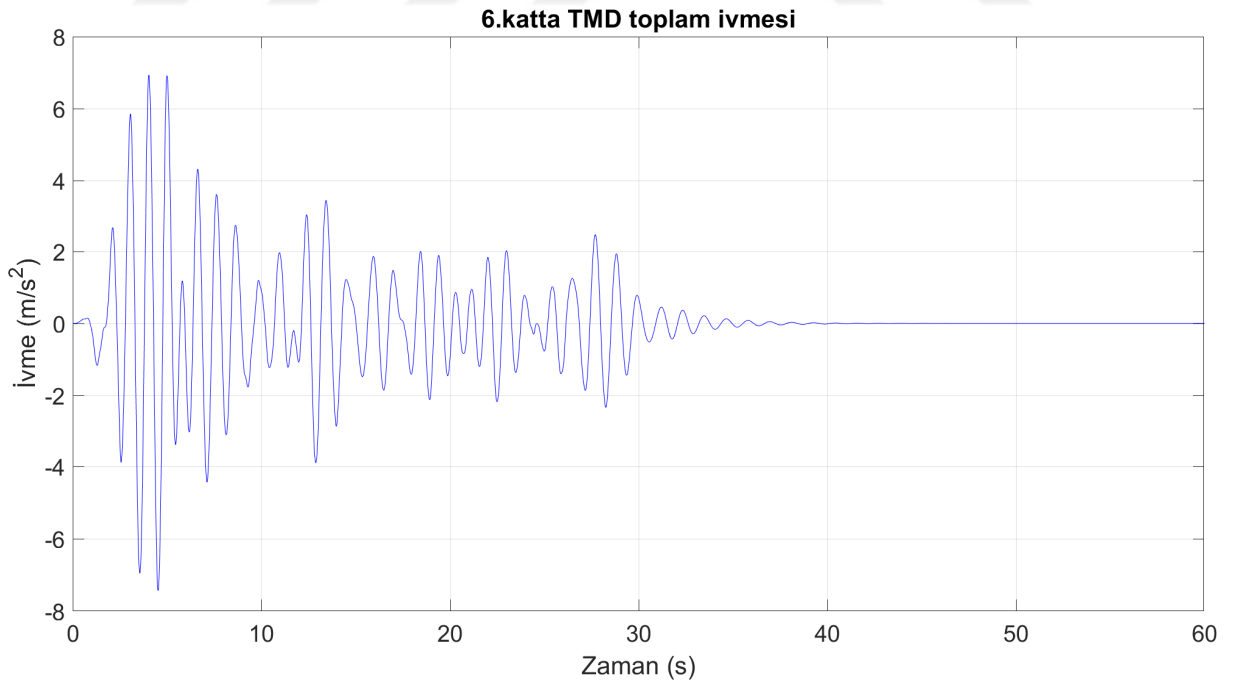
Şekil 6.95: Üçüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



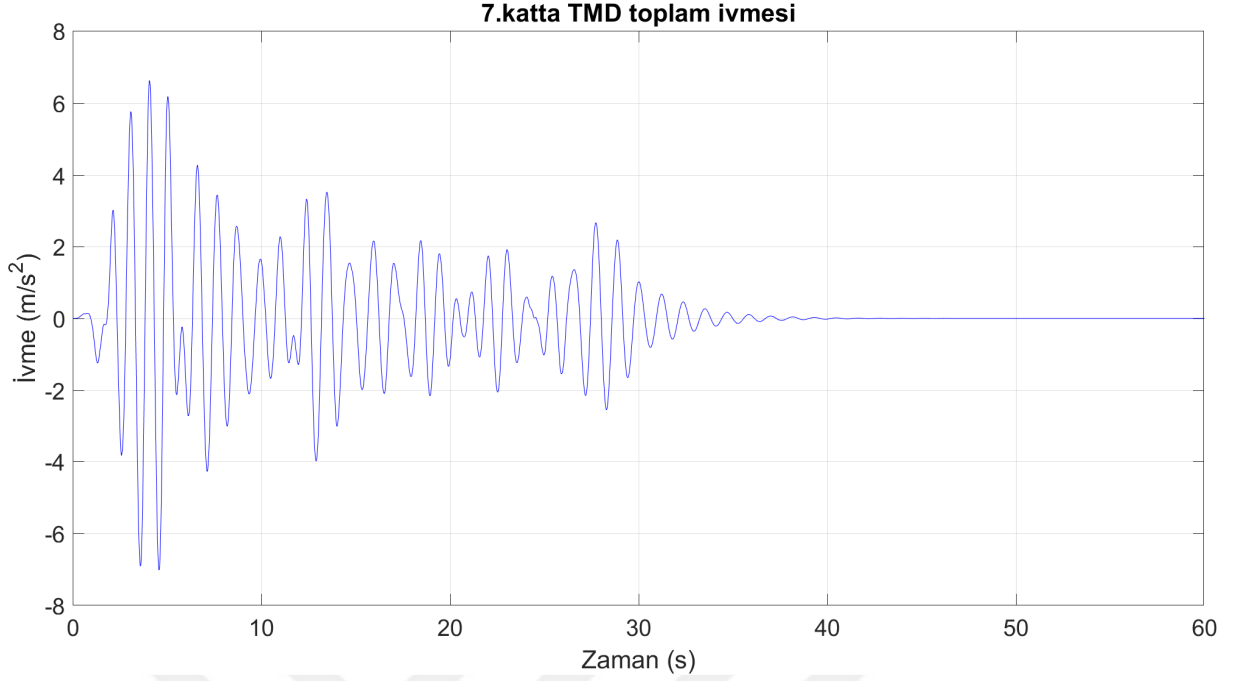
Şekil 6.96: Dördüncü katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



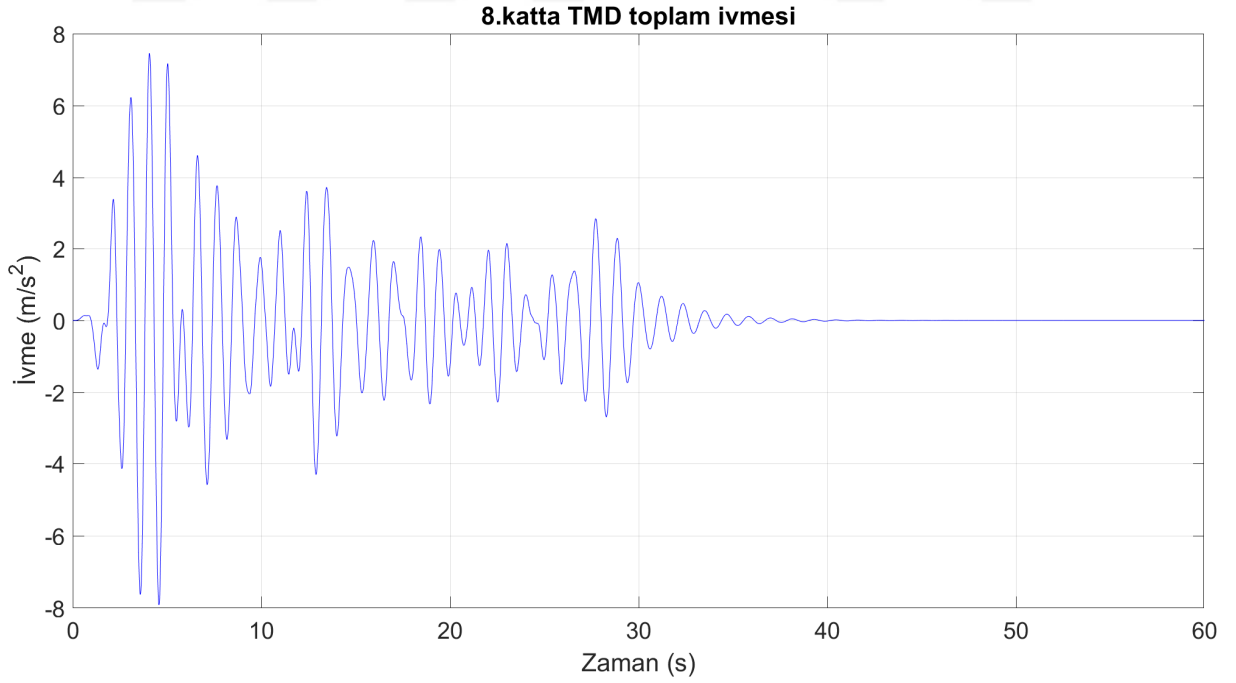
Şekil 6.97: Beşinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



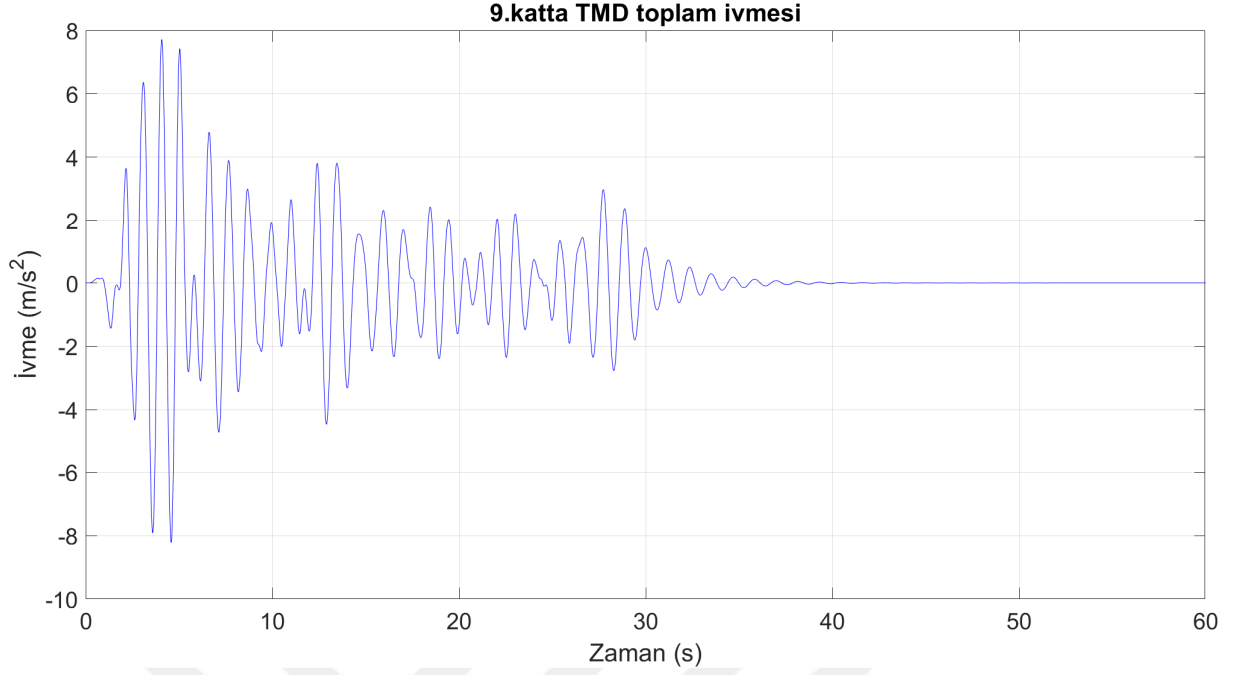
Şekil 6.98: Altıncı katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



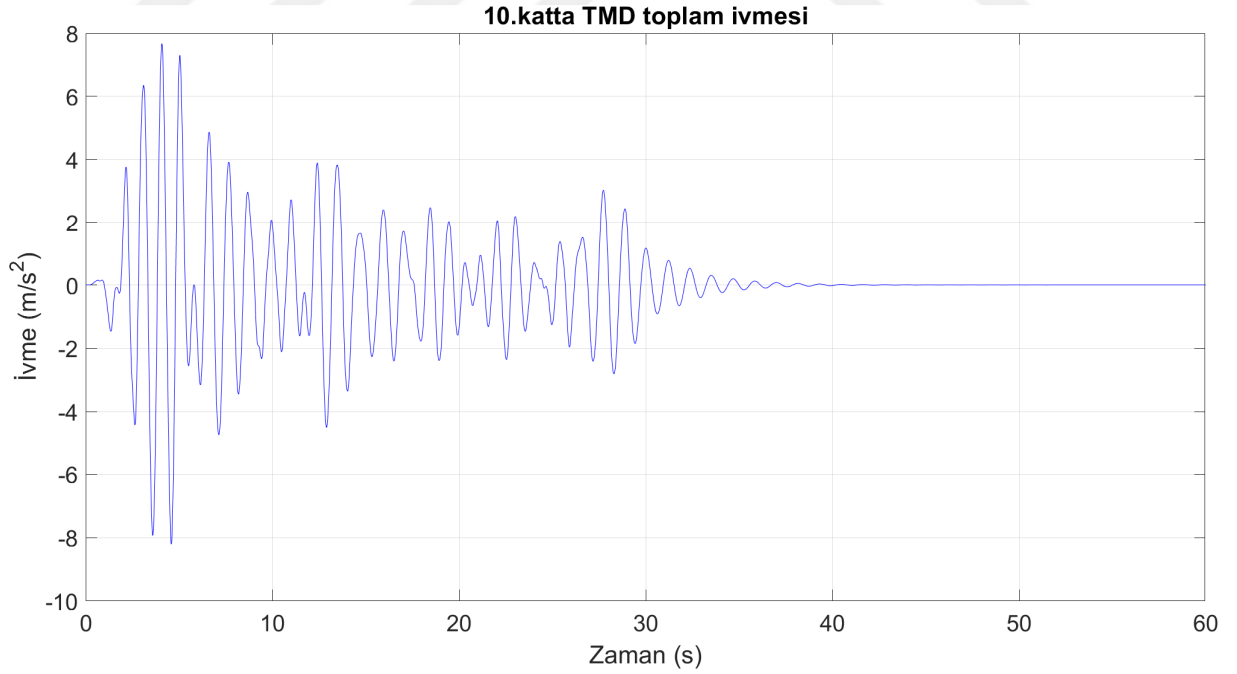
Şekil 6.99: Yedinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



Şekil 6.100: Sekizinci katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



Şekil 6.101: Dokuzuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.



Şekil 6.102: Onuncu katta TMD toplam ivmesi, MTMD-B Durumu.