T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYARLI SIVI SÖNÜMLEYİCİLERİN YAPILAR İÇİN OPTİMİZASYONU

Ayla OCAK

DANIŞMAN
Doç. Dr.Gebrail BEKDAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2021

Bu çalışma, 8.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

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

Doç. Dr.Sinan Melih NİĞDELİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr.Serdar ÇARBAŞ
Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

ÖNSÖZ

Depremler ve rüzgarlar insan hayatı için önemli bir yere sahip olmakla birlikte yaşam kalitesinin olumsuz etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu sebepler yapı güvenliğini ve korunmasını gerekli kılarak güvenli yapıların oluşturulmasını elzem hale getirmektedir. Büyük bir kısmı deprem kuşağında yer alan ülkemiz için bilhassa depreme karşı yapıların kontrolünün sağlanması, toplumun refahı adına büyük önem arz etmektedir. Bu tez çalışmasında, yapı güvenliğini sağlamayı hedefleyen deprem ve rüzgâr gibi dinamik etkilerin kontrol altına alınmasında, dikkate değer etkileri olan bir sistem olarak, ayarlı sıvı sönümleyicilerinin tasarımı ve katkısı incelenmiştir. Tez çalışmalarımı gerçekleştirirken ve lisansüstü eğitim ve öğrenimim sırasında, her zaman destekçim olan, sabırla beni dinleyip problemlerime çözüm bulan, eğitim hayatımı şekillendirmemde öncü oldukları gibi insanlığa faydalı, geleceğe iz bırakabilecek birer nesil yetiştirip, bilgiyi paylaşmaktan asla geri durmayan ve iyi bir araştırmacı olma arzusunu bana aşılayan, kıymetli hocalarım Doç. Dr. Gebrail BEKDAŞ ve Doç. Dr. S. Melih NİĞDELİ'ye en içten dileklerimle teşekkür ederim. Araştırma süreci boyunca desteklerini ve şefkatini esirgemeyen aileme tüm samimiyetimle saygılarımı sunarım.

Temmuz 2021 Ayla OCAK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xii**
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **xivv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xixx**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **1**
2.1 YAPISAL KONTROL 3
2.2. KONTROL SİSTEMLERİ 3
2.3 KONTROL ÇEŞİTLERİ 4
2.3.1. Pasif Kontrol Sistemleri 4
2.3.1.1. Metalik Sönümleyiciler 5
2.3.1.2. Sürtünme Tipi Sönümleyiciler 6
2.3.1.3. Visko-Elastik Sönümleyiciler 7
2.3.1.4. Viskoz Sönümleyiciler 8
2.3.1.5. Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD) 9
2.3.1.6. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler (TLD) 10
2.4 TLD'LERİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 13
3. MALZEME VE YÖNTEM **18**
3.1. OPTİMİZASYON 18
3.1.1. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) 20
3.1.2. Armoni Arama Algoritması (HS) 24
3.1.3. Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA) 26
3.1.2. Jaya Algoritması (JA) 29
3.2. TLD OPTİMİZASYONUNUN TARİHSEL GELİŞİMİ VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 30
3.3. YAPILARIN DİNAMİK HAREKETİ 31

3.3.1. TLD Parametrelerinin Belirlenmesi Ve Hareket Denklemleri 32
4. BULGULAR 39
4.1. AYARLI SIVI SÖNÜMLEYİCİLERİN OPTİMUM TASARIMI 40
4.1.1. TLD Tasarım Parametreleri 41
4.1.2. TLD Tasarım Kısıtları 43
4.1.3. TLD Amaç Fonksiyonu 43
4.2. JAYA ALGORİTMASI (JA) OPTİMİZASYONU İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ 44
4.2.1. Jaya Algoritmasıyla TMD Parametrelerinin Elde Edilmesi ve TLD ile Karşılaştırılması 50
4.3. ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI (FPA) OPTİMİZASYONU İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ 53
4.4. ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI (HS) OPTİMİZASYONU İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ 57
4.5. ÖĞRETME-ÖĞRENME TABANLI OPTİMİZASYON (TLBO) İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ 61
4.6. JAYA OPTİMİZASYONU İLE 0.5 SANİYE PERİYOTLU YAPIDA OPTİMUM TLD VE TMD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ 66
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 73
KAYNAKLAR 78
EKLER 88
EK-1 JAYA Optimizasyonu**,** TLD maksimum deplasman sonuçları 888
EK-2 JAYA Optimizasyonu, TLD maksimum toplam ivme sonuçları 89
EK-3 JAYA Optimizasyonu, TLD ve TMD maksimum deplasman sonuçları 91
EK-4 JAYA Optimizasyonu, TLD ve TMD maksimum toplam ivme sonuçları 93
EK-5 JAYA Optimizasyonu, 0.5 sn periyotlu yapı için TLD maksimum deplasman sonuçları 94
EK-6 JAYA Optimizasyonu, 0.5 sn periyotlu yapı için TLD maksimum toplam ivme sonuçları 96
EK-7 JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su maksimum deplasman sonuçları 98
EK-8 JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su maksimum toplam ivme sonuçları 99
EK-9 JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Yağ maksimum deplasman sonuçları 101
EK-10 JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Yağ maksimum toplam ivme sonuçları 103

EK-11 JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Gliserin maksimum deplasman sonuçları.....104
EK-12 JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su maksimum toplam ivme sonuçları.....106
ÖZGEÇMİŞ.....108

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.: Sistemde Uyarı – Cevap İlişkisi (Okut, 2006) 4

Şekil 2.2.: Kontrol Çeşitleri 4

Şekil 2.3: Dikdörtgen levha tipi metalik sönümleyici (https://www.directindustry.com) 6

Şekil 2.4: Pall'ın geliştirdiği sürtünme tipi sönümleyici (Okut, 2006) 6

Şekil 2.5: Sürtünmeli sönümleyici uygulaması (https://www.semanticscholar.org) 7

Şekil 2.6: a) Visko-elastik sönümleyici b) Dünya Ticaret Merkezi c) Visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim yeri (https://tr.wikipedia.org) 8

Şekil 2.7: a) Viskoz Sıvı Sönümleyici (http://www.diva-portal.org) b) Viskoz Sıvı Sönümleyici kesiti (Constantinou, 1995) 9

Şekil 2.8: Ayarlı kütle sönümleyici çalışma prensibi (Yetişken, 2016) 10

Şekil 2.9: Taipei 101 binası ve kullanılan kütle sönümleyici (https://volkanatabey.com.tr) 10

Şekil 2.10: Çalkalanma Problemi için Mekanik Model (Housner, 1954) 11

Şekil 2.11: (a) Salınan Plaklı ve Çubuklu Sönümleyici, (b) Ayarlı Kollu Sıvı Sönümleyici (TLCD) (Soong ve Constantinau, 1994) 12

Şekil 3.1: Kambur Balinaların avlanırken oluşturduğu kabarcıklar (Mirjalili ve Lewis, 2016 ve https://www.youtube.com) 19

Şekil 3.2: TLBO Akış Diyagramı 21

Şekil 3.3: Çiçek Tozlaşma Algoritması Akış Diyagramı 29

Şekil 3.4: Yapı üzerine yerleştirilmiş TLD cihazı ve sıvı hareketi (https://openconstructionbuildingtechnologyjournal.com) 32

Şekil 3.5: Silindirik tank koordinatları ve serbest sıvı yüksekliği gösterimi (Sharma vd., 2019) 33

Şekil 3.6: (a) Yanal çalkalama sırasında silindirik tank (b) Sıvı dolu silindirik kaptaki yanal çalkalanmanın yay kütlesi modeli olarak gösterimi (Abramson, 1966) 34

Şekil 3.7: Tek katlı yapı için kullanılan TLD modeli. 37

Şekil 4.1: TLD tank modeli..... 41

Şekil 4.2: Jaya optimizasyonuyla TLD-Su 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 46

Şekil 4.3: Jaya optimizasyonuyla TLD-Su 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 46

Şekil 4.4: Jaya optimizasyonuyla TLD-Yağ 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 48

Şekil 4.5: Jaya optimizasyonuyla TLD-Yağ 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 48

Şekil 4.6: Jaya optimizasyonuyla TLD-Gliserin 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 50

Şekil 4.7: Jaya optimizasyonuyla TLD-Gliserin 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 50

Şekil 4.8: TMD Modeli. 51

Şekil 4.9: Jaya optimizasyonuyla TMD'nin 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 52

Şekil 4.10: Jaya optimizasyonuyla TMD'nin 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 53

Şekil 4.11: FPA optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 55

Şekil 4.12: FPA optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 55

Şekil 4.13: FPA optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 56

Şekil 4.14: FPA optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.....56

Şekil 4.15: FPA optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.....57

Şekil 4.16: FPA optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.....57

Şekil 4.17: HS optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 59

Şekil 4.18: HS optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 59

Şekil 4.19: HS optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 60

Şekil 4.20: HS optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 60

Şekil 4.21: HS optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 61

Şekil 4.22: HS optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 61

Şekil 4.23: TLBO optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 63

Şekil 4.24: TLBO optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 64

Şekil 4.25: TLBO optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 64

Şekil 4.26: TLBO optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 65

Şekil 4.27: TLBO optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 65

Şekil 4.28: TLBO optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 66

Şekil 4.29: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Su için 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 68

Şekil 4.30: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD Su için 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 69

Şekil 4.31: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Yağ için 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 69

Şekil 4.32: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Yağ için 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 70

Şekil 4.33: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Gliserin için 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği 70

Şekil 4.34: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Gliserin için 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği 71

Şekil 4.35: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TMD'nin 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.....71

Şekil 4.36: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TMD'nin 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.....72

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1: FEMA deprem kayıtları listesi 39

Tablo 4.2: TLD'de kullanılan sıvılara ait özellikleri (Bulian vd., 2010). 40

Tablo 4.3: TLD Tasarım Parametreleri 42

Tablo 4.4: TLD Tasarım Kısıtları. 43

Tablo 4.5: TLD'siz 1sn Periyotlu Yapı Parametreleri. 44

Tablo 4.6: TLD-Su Tasarım Parametreleri. 44

Tablo 4.7: TLD-Su Optimize Edilmiş Değerler. 45

Tablo 4.8: TLD-Yağ Tasarım Parametreleri. 46

Tablo 4.9: TLD-Yağ Optimize Edilmiş Değerler. 47

Tablo 4.10: TLD-Gliserin Tasarım Parametreleri. 48

Tablo 4.11: TLD-Gliserin Optimize Edilmiş Değerler 49

Tablo 4.12: TMD Denklemleri. 51

Tablo 4.13: TMD Tasarım parametreleri 51

Tablo 4.14: TMD Optimize edilmiş Değerleri. 52

Tablo 4.15: FPA ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri 53

Tablo 4.16: Çiçek Tozlaşma Algoritmasıyla (FPA) Optimize Edilmiş TLD Değerleri 54

Tablo 4.17: HS ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri. 58

Tablo 4.18: Armoni Arama Algoritmasıyla (HS) Optimize Edilmiş TLD Değerleri 58

Tablo 4.19: TLBO ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri. 62

Tablo 4.20: Öğretme-Öğrenme-Tabanlı Optimizasyon (TLBO) ile Optimize Edilmiş TLD Değerleri. 62

Tablo 4.21: TLD Tasarım Parametreleri (0.5 sn periyotlu yapı için). 66

Tablo 4.22: TLD Optimize edilmiş Değerler (0.5 sn periyotlu yapı için). 67

Tablo 4.23: TMD Tasarım Parametreleri (0.5 sn periyotlu yapı için). 67

Tablo 4.24: TMD Optimize edilmiş Değerleri (0.5 sn periyotlu yapı için). 68

Tablo 5.1: JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su, Yağ, Gliserin kritik deprem, maksimum deplasman ve toplam ivme sonuçları. 73

Tablo 5.2: JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su, Yağ, Gliserin ve TMD kritik deprem, maksimum deplasman ve toplam ivme sonuçları. 75

Tablo 5.3: JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su, Yağ, Gliserin kritik deprem, maksimum deplasman için ortalama ve standart sapma değerleri.. 75

Tablo 5.4: TLD-Su, Yağ, Gliserin ve TMD kritik deprem, maksimum deplasman ve toplam ivme sonuçları (0.5 saniye periyotlu yapı içi jaya optimizasyonu) 76

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

A : Rassal değerlerden oluşan başlangıç matrisi popülasyonu
C : Sönüm matrisi
c : Yapının Sönüm Katsayısı
c_d : Sönümleyici, sönüm katsayısı
c_s : TLD modelin çalkalanan sıvı sönüm katsayısı
C_1 : Çalkalanmanın sönüm katsayısı
f : Yapının sönümsüz ortamdaki frekansı
$Fark_T$: Eski ortalama ile öğretmene göre seçilen yeni ortalama arasındaki fark
Fx : Kaba gelecek bir uyarım sonucu oluşan yanal kuvvet
$f(X)$: Rassal değerlerin yerine konularak elde edildiği değerler vektörü
g : Yerçekimi ivmesi
h : Tanktaki sıvı üksekliği
K : Rijitlik matrisi
k : Yapı rijitlik katsayısı
k_s : TLD modelin çalkalanan sıvı yay rijitliği
k_d : Sönümleyici Rjirlik katsayısı
Kg : Kilogram
K_1 : Çalkalanan sıvının yay rijitliği
M : Kütle matrisi
m : Yapı kütlesi
m_d : Sönümleyici kütlesi
$M_{New,T}$: Yeni çözümlerin ortalaması
m_s : TLD modelin çalkalanan sıvı kütlesi
m_{st} : TLD tanktaki toplam sıvı kütlesi
M_{tank} : Tankın kütlesi
M_T : Popülasyonun ortalaması
m_{TLD} : TLD kütlesi
m_0 : Tanktaki pasif sıvı kütlesi

m_1 : Tanktaki aktif sıvı kütlesi

nf : Popülasyon/Çiçek sayısı

R : TLD tank yarıçapı

S : Saniye

Sp : Anahtar Olasılığı

T_d : Sönümleyicinin doğal periyodu

T_f : Öğretim faktörü

w : Yapının açısal frekansı

w_d : Sönümleyicinin doğal açısal frekansı

w_1 : Çalkalanan kütleye ait doğal frekans

x : Yapının yere göre yatay deplasmanı

X_{best} : Başlangıç çözüm matrisinde amaç fonksiyonunu minimum yapan değer

$X_{i,j}$: Tasarım değişkeni

X_k : Başlangıç çözüm matrisinden rastgele seçilen k. çözüm

X_{maks} : Tasarım değişkeni için üst limit

X_{min} : Tasarım değişkeni için alt limit

X_{New} : Tasarım değişkenine ait yeni değer

X_{Old} : Tasarım değişkenine ait eski değer

X_t : Başlangıç çözüm matrisinden rastgele seçilen t. çözüm

$\mathbf{X}_{\mathbf{teacher}}$: En iyi çözüm

X_{worst} : Başlangıç çözüm matrisinde amaç fonksiyonunu maksimum yapan değer

$\dot{x}$: Yapı hızı

$\ddot{x}$: Yapı ivmesi

$\ddot{x}_g$: Yer ivmesi

ζ : Sönüm oranı

ζ_s : TLD modelin sönüm oranı

ζ_1 : Tanktaki çalkalanma sonucu oluşan sönümleme oranı

μ : Kütle oranı

v : Kinematik viskozite

ρ : Yoğunluk

Kısaltmalar	Açıklama
ABC	: Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony)
ACO	: Karınca Koloni Optimizasyon (Ant Colony Optimization)
ALE	: Euler ve Lagrange yöntemlerinin birleşimidir
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi
FEMA	: Quantification of Building Seismic Performance Factors
FPA	: Çiçek Tozlaşma Algoritması (Flower Pollination Algorithm)
GA	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
HMCR	: Armoni hafızasındaki verileri dikkate alma oranı
HMS	: Armoni hafıza boyutu (Harmony Memory Size)
HS	: Armoni Arama Algoritması (Harmony Search Algorithm)
JA	: Jaya Algoritması (Jaya Algorithm)
KC	: Kulegan – Carpenter Sayısı
LCVA	: Sıvı Kolon Titreşim Emici
MDOF	: Çok serbestlik dereceli
MTLCD	: Çoklu Ayarlı Sıvı Kolon Sönümleyici
PAR	: Ton ayarlama oranı (Pitch Adjusting Rate)
PD	: Parçacık Sönümleyici
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
pTLCD	: Pasif Ayarlı Sıvı Kolon Sönümleyici
RTHS	: Gerçek Zamanlı Hibrit Simülasyonu
SA	: Benzetilmiş Tavlama Algoritması (Simulated Annealing Algorithm)
SDOF	: Tek Serbestlik Dereceli
SLT	: İstatistiksel Doğrusallaştırma Metodu
sTLCD	: Yarı aktif Ayarlanmış Sıvı Kolon Sönümleyici
TLBO	: Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization)
TLCBD	: Ayarlı Sıvı Kolon Bilye Sönümleyici (Tuned Lıquıd Column Ball Damper **)**
TLCD	: Ayarlı Sıvı Kolon Sönümleyici (Tuned Liquid Colomn Damper)
TLD	: Ayarlı Sıvı Sönümleyici (Tuned Lıquıd Damper)
TMD	: Ayarlı Kütle Sönümleyici (Tuned Mass Damper)
3DOF	: Üç serbestlik dereceli

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYARLI SIVI SÖNÜMLEYİCİLERİN YAPILAR İÇİN OPTİMİZASYONU

Ayla OCAK

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr.Gebrail BEKDAŞ

Bu tez çalışması, mühendislik yapılarının dinamik davranışlar altındaki sönüm kapasitelerinin, sıvı sistemler kullanılarak, Metasezgisel Algoritmalarla optimizasyonunu konu edinmektedir. Bu amaçla, 1saniye periyoda sahip tek katlı bir yapıya yerleştirilen ayarlı sıvı sönümleyicileri (TLD) için su, yağ ve gliserin sıvıları seçilerek, yapıya deprem uyarıları gönderilmiştir. Yapının bu uyarılar karşısında minimum deplasmanı göstermesi için, Jaya Algoritması, Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA), Armoni Arama Algoritması (HS) ve Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) yardımıyla TLD parametreleri optimum hale getirilerek, optimizasyon sonrası maksimum deplasman ile toplam ivme değerleri elde edilmiştir. Ayarlı sıvı sönümleyicilerin (TLD) deprem uyarıları altındaki performansı, pasif sönümleyici bir sistem olan ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD) ile, 1saniye ve 0.5 saniye periyotlu, tek katlı bir yapıda, Jaya Algoritması ile yapıdaki deplasmanı minimum düzeye indirecek şekilde optimize edilerek karşılaştırılmıştır.
Optimizasyon sonucu elde edilen veriler analiz edilerek TLD'lerin yapının tepkilerini en aza indiren değerler elde edilmiştir.

Temmuz 2021, 128 sayfa.

Anahtar kelimeler: ayarlı sıvı sönümleyici (TLD), sönüm, pasif sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyici (TMD), kontrol sistemleri, optimizasyon, metasezgisel algoritmalar, jaya algoritması, çiçek tozlaşma algoritması, öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon, armoni arama algoritması

SUMMARY

M.Sc. THESIS

OPTIMIZATION OF TUNED LIQUID DAMPERS FOR STRUCTURES

Ayla OCAK

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr.Gebrail BEKDAŞ

This thesis focuses on the optimization of the damping capacities of engineering structures under dynamic behavior with metaheuristic algorithms using fluid systems. For this purpose, water, oil and glycerin liquids were selected for the tuned liquid damper (TLD), which was placed in a single-storey structure with a 1-second period, and earthquake excitations were directed to the structure. For the structure to show the minimum displacement in the effect of these excitations, TLD parameters are optimized with the help of Jaya Algorithm, Flower Pollination Algorithm (FPA), Harmony Search Algorithm (HS) and Teaching-Learning Based Optimization (TLBO), and total acceleration and maximum displacement are obtained after optimization. The performance of tuned liquid dampers (TLD) under earthquake excitations has been compared with tuned mass dampers (TMD), a passive damping system, in a single-storey structure with 1 second and 0.5 second periods, optimizing with the help of Jaya Algorithm to minimize the displacement in the structure. By analyzing the data obtained as a result of the optimization, the results of TLDs with the best reducing effect on structural responses were determined.

July 2021, 128 pages.

Keywords: tuned liquid damper (TLD), damping, passive dampers, tuned mass damper (TMD), control systems, optimization, metaheuristic algorithms, jaya algorithm, flower pollination algorithm, teaching-learning based optimization algorithm,, harmony search algorithm.

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin en temel ihtiyacı olan barınma ihtiyacı, ilk çağlardan günümüze kadar gelişen teknoloji ile her zaman bir adım ileriye doğru taşınmış, gelişen ve değişen teknoloji ile, yapılar için tasarımın işlevselliğine dair beklentiler değişmiştir. Barınma ihtiyacıyla yapımına başlanan ilkel yapılar, yeni malzemelerin keşfi ile tasarımların değişmesine yol açmıştır. Kalıcılığı düşük ve zamanının malzeme şartlarıyla yapılan yapılar, antik Roma'da betonun kullanımına başlanmasıyla beraber bu tek tip tasarımı değiştirip, kalıcı sütunlar ve geniş açıklıklı yapı elemanlarının üretilebilmesini, dairesel yapılara geçişi, dolayısıyla tasarımdaki farklılıkları yaratmış ve yapıların günümüze değin ulaşmasına olanak sağlamıştır. Tarihsel bir evrim niteliğinde olan betonun kullanımı, betonun özelliklerine bakıldığında eksik kalan yönlerini tamamlamak adına çelik ile birleştirilmiş, betonarme yapılar ve benzeri sistemlerin geliştirilmesini, çok katlı yüksek binalar, geniş açıklıklı köprüler ve yüksek kulelerin inşa edilebilmesini sağlamıştır. Bu tür yapıların artması, barınma ihtiyacıyla başlayan bu gereksinimleri artık farklı bir boyuta taşımış ve yapılardan beklenen tasarım unsurları değişmiştir. Çok katlı yapıların artması, deprem ve rüzgâr gibi dinamik yüklerin, yapıları ve dolayısıyla bu yapıları kullanan insanların hayatını olumsuz yönde etkilemiş, bu tür dış etkenlerden izole edilme ve yapısal güvenlik ihtiyacını doğurmuştur. Bu doğrultuda yapı rijitliğini sağlamak için çeşitli kontrol sistemleri geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Kullanılan bu sistemler kendi içlerinde aktif ve pasif kontrol sistemleri olarak dallara ayrılmış, prensipte benzer mekanizmalarla, farklı malzeme kullanılarak tasarlanmıştır. Bu amaçla yapı kontrolü için dış yüklere karşı oluşan enerjiyi sönümlemek adına çeşitli sönümleyici cihazlar tasarlanmıştır. Malzemedeki bu çeşitlilik sönümleyici uygulanacak yapıda Optimizasyon işlemini gerekli kılmış, yapıya ait en uygun kesit, en düşük maliyet gibi tasarım kriterlerini optimum hale getirmek istenmiştir.

Günümüzde çoğunlukla inşaat mühendisliği ile ilgili optimizasyon işlemleri için Metasezgisel Algoritmaların kullanımına yer verilmiştir. Bu algoritma türü dünyadaki dengeyi sağlayan doğa olaylarından, hayvanların çeşitli içgüdüsel davranışlarından esinlenerek algoritmaları oluşturmaktadır. Metasezgisel algoritmalar doğanın kendine ait

döngüsündeki olayları kullanarak çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünü sağlamaktadır. Metasezgisel algoritmalardan bazıları; Armoni Arama Algoritması (Harmony Search, HS), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO), Tavlama Benzeşimi (Simulated Annealing, SA), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Ant Colony Optimization, ACO), Genetik Algoritma (Genetic Algorithm, GA), Yapay Arı Kolonisi (Artifical Bee Colony, ABC), Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (Teaching-Learning Based Optimization, TLBO), Jaya Algoritması (Jaya Algorithm, JA), Çiçek Tozlaşma Algoritması'dır. (Flower Pollination Algorithm, FPA).

Bu çalışmada pasif bir kontrol sistemi olan ayarlı sıvı sönümleyici sistemler incelenip, yapılar için optimizasyon işlemi sağlanmıştır. Optimizasyon uygulamasında, Jaya Algoritması (JA), Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO), Armoni Arama Algoritması (HS) ve Çiçek Tozlaşma Algoritmaları (FPA) kullanılmıştır.

Bu tez çalışması boyunca kullanılacak algoritmalara dair bilgilere 3. Bölümde yer verilmiştir. Seçilen algoritmalarla, sıvı sönümleyicilerin yapılar için optimizasyonundan elde edilen bulgular 4. Bölümde raporlanmış ve bu verilerden elde edilen sonuçların yorumlanması 5. Bölümde anlatılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

Bu bölümde tezin çalışma konusu olan Ayarlı Sıvı Sönümleyici Sistemlerin dahil olduğu kontrol sistemleri ve çeşitlerine dair uygulamalarda faydalanılan temel konular ile optimizasyona dair bilgiler aktarılmıştır.

2.1. YAPISAL KONTROL

Bir yapının dış etkenler tarafından maruz kalacağı her türlü dinamik yükün, yapıda yaratacağı etkiyi, yapıya inşa aşamasında eklenmiş veya sonradan eklenen elamanlar yardımıyla minimum düzeye indirerek yapı hareketinin istenilen seviyede tutulması işlemine yapısal kontrol denilmektedir. Yapıya eklenen elemanları kullanarak uygulayan ilk yapısal kontrol işlemini Japon imparatorluğuna yabancı danışman olarak hizmet vermiş, burada gerçekleşen depremler üzerine çalışmalar yaparak ilk yatay sarkaçlı sismografı icat etmiş olan İngiliz jeolog ve maden mühendisi John Milne 19.yy'ın sonlarına doğru gerçekleştirmiştir. Milne, ahşaptan yapılmış bir evi Japonya'da sık sık karşılaştığı depremlerin yapıda oluşturacağı hareketlenmeyi sönümlemek için metal bilyeler kullanmış ve evi bu bilyelerin üstüne yerleştirmiştir (Aldemir, 1999 ve Okut, 2006).

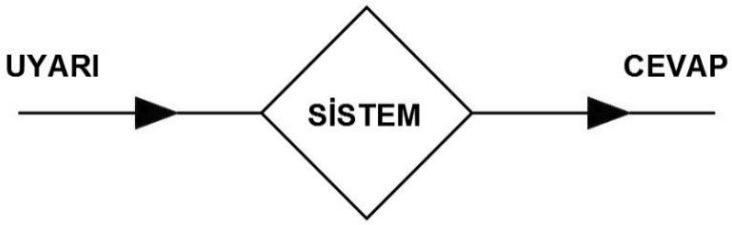
Bu ve bunun gibi geliştirilen akıllı kontrol elemanlarıyla ilgili ilk teorik altyapıyı 1972 senesinde J.P. Yao oluşturmuştur (Bakioğlu, 2005 ve Okut, 2006). Yao yazdığı bir yazıda mühendislik alanlarında kullanılan, kontrol için oluşturulan teorilerin yapılar için de uygulanabilir olduğunu anlatmış ve yazısında "Yapısal Kontrol" kavramına yer vermiştir.

Böylece "Yapısal Kontrol" kavramının kullanmasıyla beraber herkesçe benimsenmiş olan akıllı yapılar terimi kendini yapısal kontrole bırakmıştır. (Okut, 2006)

2.2. KONTROL SİSTEMLERİ

Latincede "birleşme", "oluşma" anlamlarına gelen ortak bir amacı gerçekleştirmek için bir araya getirilen elemanlar topluluğuna sistem adı verilmektedir. Basit bir deyişle sistemi ele aldığımızda kendisine uyarı verildiğinde tepki veren bir düzendir. Bunu deprem gibi dinamik

yükler altındaki bir yapıya indirgediğimizde, buradaki uyarı deprem, depremin etki ettiği yapı sistem, deprem sonucu oluşacak hareket de cevap olacaktır. Şematik olarak bakıldığında;

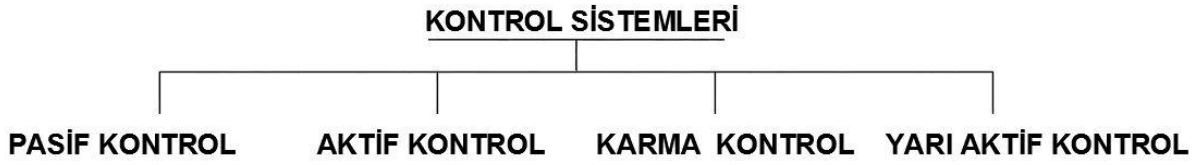


Şekil 2.1.: Sistemde Uyarı – Cevap İlişkisi (Okut, 2006).

Şekil 2.1 ile görülen sistemdeki uyarı, cevap bağıntısı herhangi bir müdahale olmaksızın oluşmaktadır. Bir sistemde cevabın sabit ya da verilen bir değerde kalması için gelen uyarılara yapılan müdahalelere kontrol adı verilir (Okut, 2006).

2.3. KONTROL ÇEŞİTLERİ

Yapılarda kontrol çeşitleri pasif, aktif, karma ve yarı aktif olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır. Şekil 2.2 ‘de Kontrol Çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2.: Kontrol Çeşitleri.

2.3.1. Pasif Kontrol Sistemleri

Herhangi bir dış enerjiye gereksinim duymadan sistemin kendi enerjisinin sönümlemede kullanıldığı kontrol sistemleridir. Pasif kontrol sistemleri, enerjinin korunumu yasasına dayanarak, yapıya etkiyen dış kuvvetlerin enerjisini toplar ve daha sonra sönümlemek için kullanırlar. Sönümleyici cihazlarda bir kütle ya da yay yardımıyla enerjiyi biriktirirler. Bu açıdan bakıldığında enerji olarak dışa bağımlı olmayışı bu sistemleri kendi kendine yetebilen sistemler olarak göstermektedir.

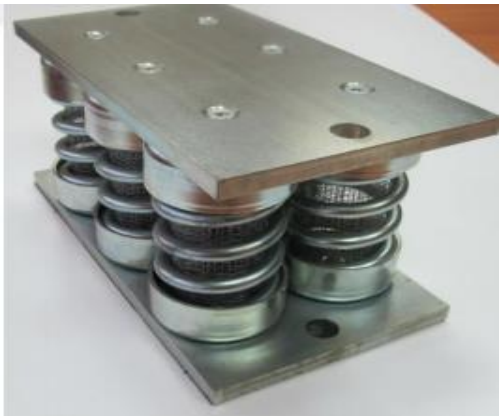
Yapıya etkiyen kuvvetlerin başlangıç enerjilerini sönümleyerek enerji yayılım isteğini düşürürler (Naimi,S. Ve Waheb, M. H., 2019). Yapının sönüm oranını, mekanik özellikler belirler ve bu oranın artması, yapıdaki titreşim genliğini düşürüp, oluşacak hasarı minimuma indirir (Öztürk, 2007).

Pasif Kontrol sistemlerini incelediğimizde dış kaynaklardan gelecek bir enerjiye ihtiyaç duymamaları, diğer kontrol sistemleri çeşitlerine oranla ekonomik olmaları ve tasarımları sonucu dinamik yükler altındaki yapılara en üst düzeyde izolasyon sağlamaları sayesinde onları diğer sistemlerden daha avantajlı kıldığı görülmektedir. Pasif kontrol sistemleri, pasif enerji sönümleyici ve taban (sismik) izolasyon sistemi olarak da bilinmektedir (Sansarcı, 2002).

Ayarlı kütle sönümleyici, ayarlı sıvı sönümleyici, metalik sönümleyici, viskoz akışkan sönümleyici ve viskoelastik sönümleyici pasif kontrol cihazlarının örnekleridir.

2.3.1.1. Metalik Sönümleyiciler

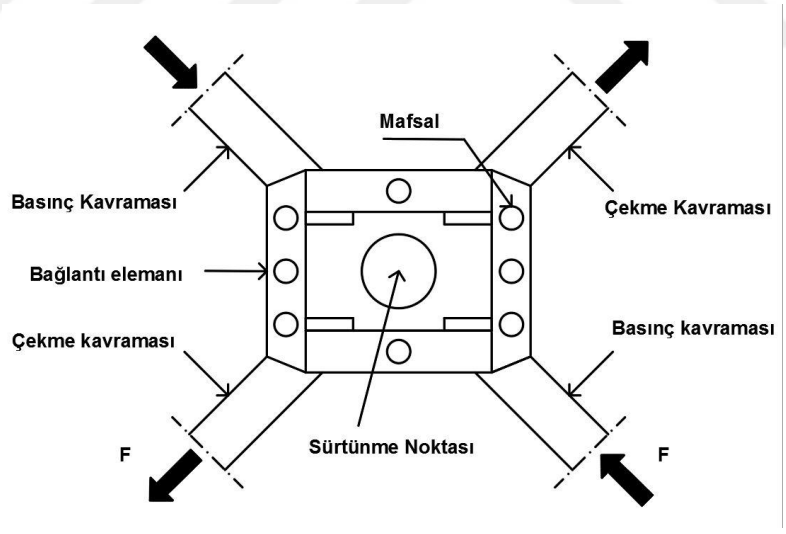
Metaller çelikten üretilirler ve yapısı gereği plastik deformasyona uğrarlar. Metalin bu akması ve deformasyonu göz önüne alınarak metalik sönümleyici sistemler geliştirilmiştir. Bu sönümleyiciler ile düzenlenen mekanizmalarda yaygın olarak üçgen şekilde, dikdörtgen ya da X şekline getirilen çelik levhalardan üretilmektedirler. X ve üçgensel levhalar şeklinde üretilmesinin başlıca sebebi akmanın üniform gerçekleşmesinin istenmesidir. Bu tür mekanizmalarda malzeme üzerinde oluşan gerilimin eşit bir şekilde dağılmasına dikkat edilmektedir. Metalik sönümleyici çeşidinin seçilmeden önce teorik olarak ve deneysel açıdan sönümleyici özelliklerinin uygun olup olmadığına bakılıp ve uygunluğu incelenmelidir. Çelik yapılarda bu tür sönümleyicilerin kullanımı diğer yapı çeşitlerine oranla daha elverişlidir (Yetişken, 2016). Şekil 2.3’te metalik sönümleyicilerin görünüşü verilmektedir.



Şekil 2.3: Dikdörtgen levha tipi metalik sönümleyici (https://www.directindustry.com).

2.3.1.2. Sürtünme Tipi Sönümleyiciler

Sürtünmeli cihazlar dinamik hareketler sonucu oluşan kinetik enerjiyi kullanıp ısıya çevirirler. Dinamik yükler yapıya geldiğinde, sürtünme bölgesinde gerilmekte olan malzeme kavrama, kayma sebebiyle sürüklenir. Bu sırada çapraz şekildeki kavramalardan bir başkası burkulur (Okut,2006). Şekil 2.4'te bundan yola çıkarak Pall tarafından geliştirilmiş sönümleyici örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Pall'ın geliştirdiği sürtünme tipi sönümleyici (Okut, 2006).

1982-1987 yıllarında Pall'ın ileriye sürdüğü sürtünme tipi sönümleyiciye ait uygulama Şekil 2.5'te gösterilmektedir (Soong ve Contantinou,1994).



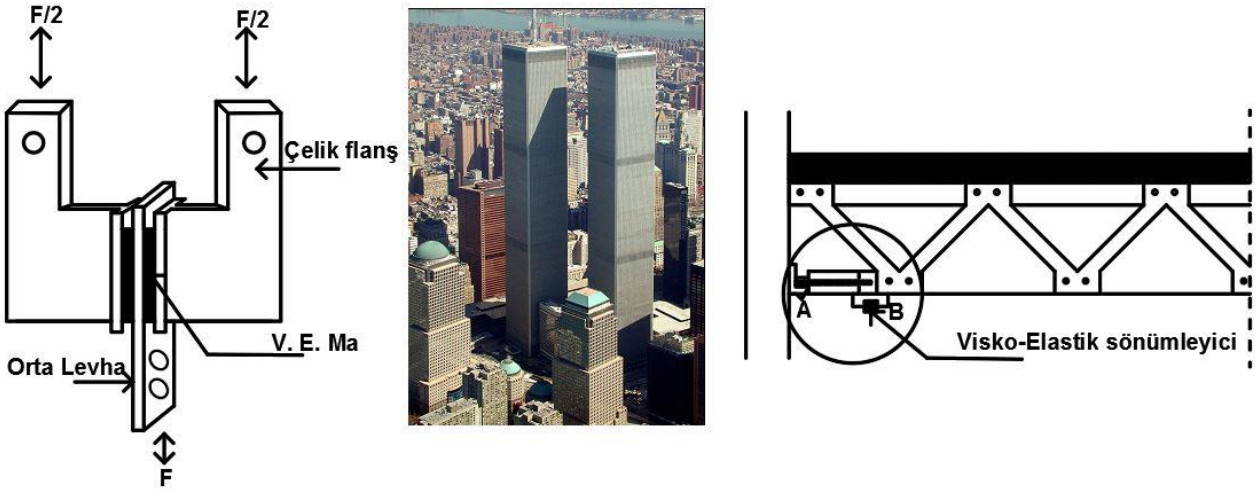
Şekil 2.5: Sürtünmeli sönümleyici uygulaması (https://www.semanticscholar.org).

Yapıya, merkezinde sönümleyici bulunmak kaydıyla X şeklindeki çelik çubuklara benzer olarak yerleştirilirler. Cihazın paslanma ihtimali düşünülerek kullanılacak malzemeye özen gösterilmeli ve karbon miktarı düşük oranlarda olan çelik malzemeden uzak durulmalıdır (Öztürk, 2007). Aksi halde sürtünmeli sönümleyicinin kontrol için amaçlanan ömrü kısalmaktadır.

2.3.1.3. Visko-Elastik Sönümleyiciler

Visko-elastik sönümleyiciler kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi prensibiyle hareket ederler. Bu cihazlar içerisinde kullanılan visko-elastik malzemenin, bir piston gibi hareket eden çelik levhalar yardımıyla kayma hareketinden sağlanan enerjiyi, sönüm enerjisine çevirerek sönümlemeyi amaçlarlar. 1980'li yıllardan bu yana çok katlı binalarda uygulanmış, sismik yüklerle ilgili uygulamalara dair çalışmalar ise 1990'lı yıllarda başlayıp, genellikle rüzgâr kaynaklı yükü sönümlemede etkili bir performans göstermişlerdir (Craig vd., 2002).

3M adlı şirketin uygulamaya geçirmesiyle kontrol cihazları listesinde yerini almış ve rüzgâr kaynaklı yapıdaki titreşim etkisini azaltmayı amaçlamışlardır. (Şahin, 1996). Visko-elastik sönümleyiciler ilk olarak 11 Eylül terör saldırıları sonucu yıkılan Dünya Ticaret Merkezi'ne ait ikiz kulelerinde 10.000 civarında kullanılmıştır (Aldemir ve Aydın, 2005). Şekil 2.6'da uygulamaya ait örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.6: a) Visko-elastik sönümleyici b) Dünya Ticaret Merkezi c) Visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim yeri (https://tr.wikipedia.org).

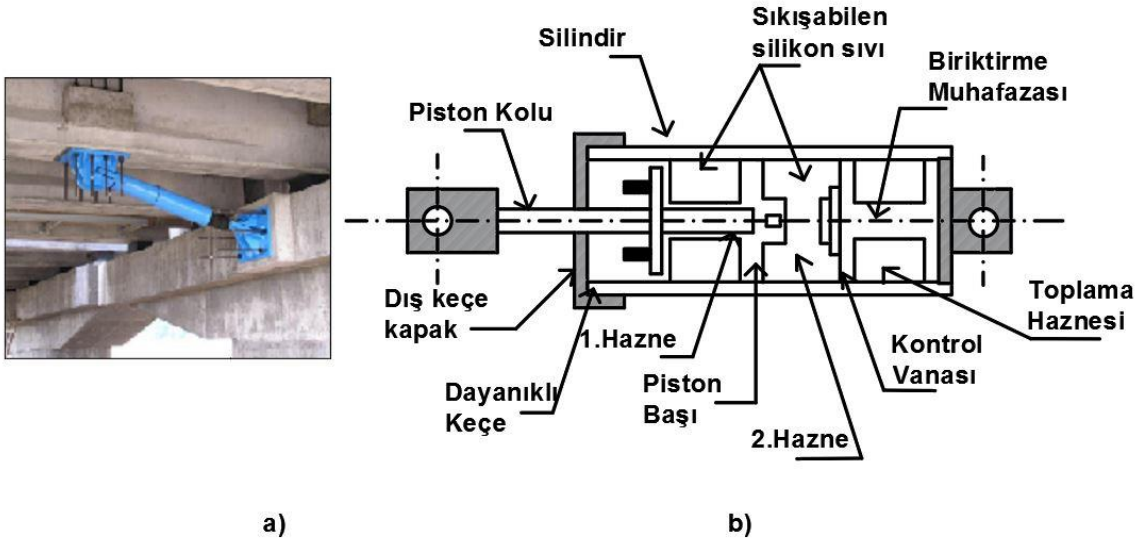
Bunun dışında World Center, The Number Two Union Square Building, Columbia Seafirst Building yapılarında yine rüzgâr kaynaklı titreşimi önlemek için kullanılmıştır.

Visko-elastik sönümleyiciler incelendiğinde çelik tasarlanmış yapılarda kullanımı daha basit olduğu görülmüş, bundan yola çıkarak Tayvan'da bulunan Taipei kentinde çelik tasarlanmış bir yapıya bu sönümleyici türü yerleştirilmiş 30 ^{0}C'ye ayarlanmış sıcaklık ve birbirinden farklı değerlerdeki depremler altındaki davranışı için deney yapılmıştır (Chang ve diğ., 1994 ve Okut, 2006). Sonuçlara bakıldığında yapıya bu tip sönümleyici uygulanması sönüm oranı üzerinde %12'ye varan artış sağlamıştır (Chang ve diğ., 1994 ve Okut, 2006).

2.3.1.4. Viskoz Sönümleyiciler

Viskoz sönümleyiciler visko-elastik sönümleyicilerle benzer bazı özelliklere sahiptirler. En önemli benzerliklerinden biri de çalışma prensiplerinin temelde aynı mantıkla ilerlemesidir. Burada visko-elastik sönümleyiciden farklı olarak kullanılan visko-elastik katı malzeme yerini viskoz akışkan malzemeye bırakır ve yine aynı şekilde çelik levhalar yerini bir pistonla değiştirir, viskoz madde ile piston arasında bir itme-çekme ilişkisi oluşturulur. Oluşan bu hareketten, mekanik bir enerji elde edilir. Bu enerji, ısı enerjisine çevrilerek yapının sönümlenmesi sağlanır. Bu tip sönümleyiciler, visko-elastik sönümleyicilerde de olduğu gibi kayma hareketinden doğan enerjiyi kullandıklarından hıza bağımlıdırlar.

Bu sönümleyiciler ilk olarak 1992 senesinde Constantinou'nun geliştirmesiyle uygulamaya konulmuş ve yapım aşamasında içerisine silikon yağı bulunan metal malzemeden üretilmiş silindir parça, çelikten yapılmış piston ve enerjiyi depolamak için de bir akümülatör kullanılmıştır (Okut, 2006). Viskoz sönümleyici ve kesiti şekil 2.7'de gösterilmiştir.



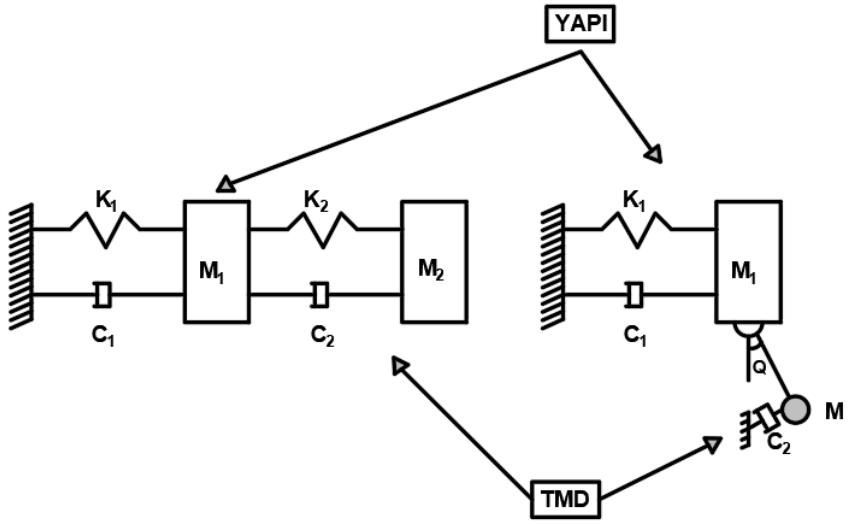
Şekil 2.7: a) Viskoz Sıvı Sönümleyici (http://www.diva-portal.org)

b) Viskoz Sıvı Sönümleyici kesiti (Constantinou, 1995).

2.3.1.5. Ayarlı Kütle Sönümleyiciler (TMD)

Ayarlı kütle sönümleyiciler, yapıya bağlanmış bir yay ve sönümleyici aracılığıyla bağlanmış kütleyi kullanarak yapıdaki titreşimlerin sönümlenmesini sağlarlar. Sönümleyicinin frekansı, yapının doğal frekansına en yakın değer seçilerek ayarlanmaktadır. Bu tür cihazlarda yay ve kütle arasında ayarlanmış frekansa bağlı olarak salınımlar gerçekleşir. Bu salınımdan kaynaklı oluşan faz farkı, karşıt yönlere sahip deplasmanların oluşmasına sebep olur ve bu zıt hareketten doğan sönümle yapının titreşim hareketi azaltılmış olur. TMD'ler bilinen en eski kontrol cihazları grubunda yer almaktadır. Titreşim kontrolü ifadesi, 1909 senesinde Frahm'ın 'dinamik titreşim sönümleyici olarak isimlendirdiği icadına değin uzanır. (Frahm, 1909 ve Waheb, 2018). Tasarım unsuru olarak mimaride kullanıma dahil edilmesi ise Mcnamara adlı araştırmacının 1977 yılında yayımladığı makalesine dayanır (McNamara, 1977 ve Chen ve Yang, 2018). Yapının kütlesi ile karşılaştırıldığında yapının sadece %1'i civarında kütlesi vardır (Öztürk, 2007). Şekil 2.8'de ayarlı kütle sönümleyicilerin çalışma prensibinin şematik

olarak çizimi ve Şekil 2.9'da yapımı 1999'da başlayıp 2004 yılında tamamlanmış olan Tayvan'da bulunan Taipei 101 binasına ait uygulama örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Ayarlı kütle sönümleyici çalışma prensibi (Yetişken, 2016).



Şekil 2.9: Taipei 101 Binası ve kullanılan kütle sönümleyici (https://volkanatabey.com.tr).

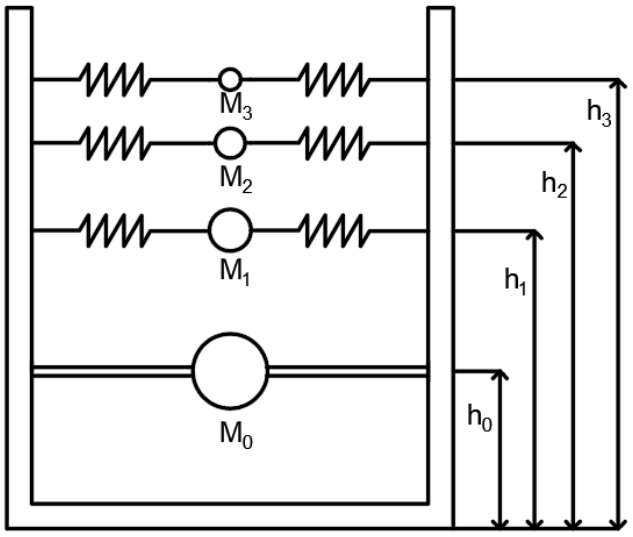
Ayarlı kütle sönümleyicilerin birçok uygulaması mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır; Amerika'da, 1975'te John Hancock Tower ve 1978'de City Corp Center, Kanada'da 1976'da Canadian National Tower, Japonya'da 1988'de Chiba Port Tower ve 1990'da Crystal Tower, İngiltere'de 2000'de London Millenium Bridge inşa edilmiştir (Okut, 2006).

2.3.1.6. Ayarlı Sıvı Sönümleyiciler (TLD)

Ayarlı sıvı sönümleyiciler, dinamik yük altındaki bir yapıda, içerisinde barındırdığı sıvının, yapının doğal frekansı göz önüne alınarak yapılan ayarlamalarla, sistem içerisinde hareketi sağlanarak, yapıda oluşan enerjinin sönümlenmesini amaçlayan cihazlardır. Bir başka tabirle

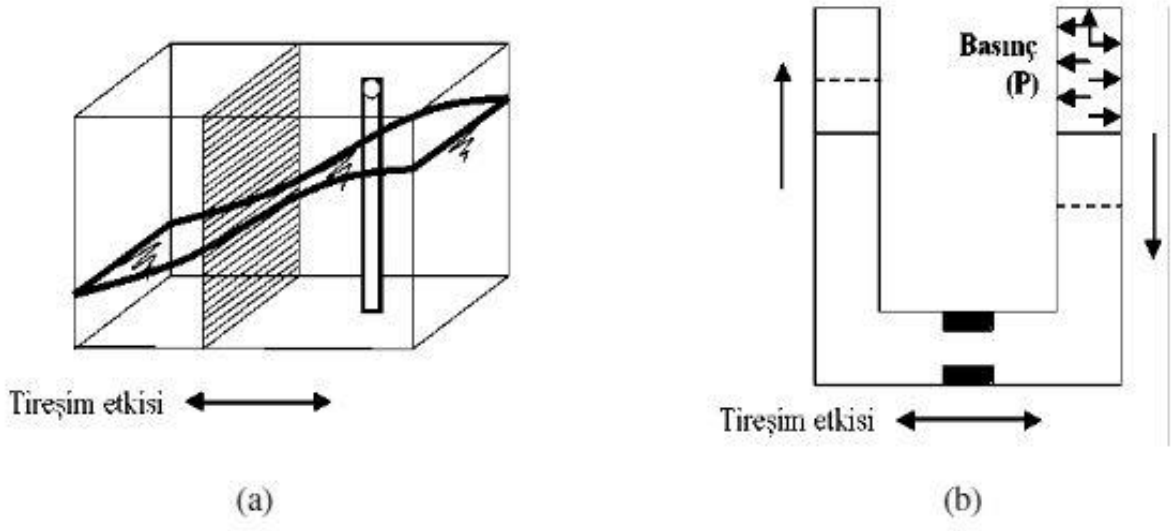
TLD, içerisi belli seviyede sıvı ile doldurulmuş kapların, yapıda oluşacak dinamik hareketlerden kaynaklı titreşimi absorbe etmede kullanıldığı sistemlerdir (Tait ve diğ., 2005). Ayarlı kütle sönümleyicisiyle benzer şekilde kullanılan kütlenin hareketi bu sönümü sağlamaktadır. Bu tip cihazlarda, kütle olarak sıvı kullanılmaktadır. İçerisinde bir de periyot ayarlayıcı bulundurmaktadır. Yapıya gelen rüzgâr ya da deprem benzeri dinamik yüklerin yapıda oluşturduğu salınım etkisi, salınım esnasında, önceden ayarlanmış olan doğal frekans kullanılarak, kütle yerine geçen sıvının, titreşim hareketine zıt yönde sistemde dolaştırılması sağlanıp, yapının enerjisini sönümlemeyi hedeflemektedir. Bu sıvı kütle, silindirik ya da dikdörtgen benzeri tanklarda muhafaza edilmektedir. Tankta sıvının hareketiyle dalgalanmalar oluşmaktadır. Dalgalanmaların yapısı ve boyutu, doğal titreşim periyodunu etkilemektedir.

Bu hareket esnasında tankta oluşan dalgalanmalar, sıvı yüksekliğine, tankın geometrisine, ebatlarına ve yerçekimi ivmesine göre doğal titreşim periyodunu belirlemektedir. Tankta oluşan çalkalanma ile ilgili olarak Housner mekanik bir model geliştirmiştir. Şekil 2.10'da yay ve ona bağlı kütlelerle bu mekanik model gösterilmektedir (Housner, 1954).



Şekil 2.10: Çalkalanma Problemi için Mekanik Model (Housner, 1954).

Ayarlı sıvı sönümleyici cihazlar iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan biri salınan sönümleyiciler diğeri ise ayarlı sıvı kollu (kolon) sönümleyicilerdir. Şekil 2.11'de şematik olarak salınan plaklı ve çubuklu sönümleyici ve ayarlı kollu sıvı sönümleyici gösterilmektedir.



Şekil 2.11: (a) Salınan Plaklı ve Çubuklu Sönümleyici, (b) Ayarlı Kollu Sıvı Sönümleyici (TLCD) (Soong ve Constantinau, 1994).

Salınan sönümleyicilerde sıvının bulunduğu kabın boyutlarına bağlı olarak titreşim periyodu ayarlanmakta, sönüm kapasitesini yükseltmek için ise kabın içerisindeki sıvıya çelik çubuklar veya bir plaka yerleştirilmektedir (Okut, 2006). Ayarlı sıvı kollu sönümleyicilerde (TLCD) ise U şeklindeki düzenekte sıvının hareketiyle hava basıncı oluşur ve tankta oluşan bu basınç değişimi yapının periyodunun ayarlanmasını sağlar.

Bu sönümleyicilerin temel prensibine bakıldığında kütle sönümleyicilerle benzer şekilde yapıda oluşan kinetik enerjiyi yok etmeye yönelik olduğu görülmektedir. Ayarlı sıvı sönümleyicilerin köprü, kule vb. yapılarda kullanımına dair veriler 1988 yılında Fuji ve Noji, 1989 yılında Yoneda, 1990 yılında Yeda ve 1991 yılında Wakahara tarafından keydedilmiştir. (Kajirna Corporation, 1991. Ve Hüsem, M. Ve Yozgat, E., 2005). 1989'da ayarlı sıvı sönümleyicinin bir türü olan Ayarlı kolon sıvı sönümleyicilere (TLCD) ait bir deney düzeneği kurulmuş ve bu düşünce ilk olarak Sakai vd.'nin çalışmalarıyla literatüre kazandırılmıştır (Yetişken, 2016). TLCD sönümleyiciler Japonya'da bulunan 1992'de yapımı tamamlanmış Shin Yokohoma Prince Otel ile bir başka farklı yapı grubu olan, yine 1992'de açılışı yapılmış Sakitama Köprüsü gibi halka yönelik yapılarda uygulanmaya başlanmıştır (Fujino ve Sun, 1993). Genel olarak TLD kontrol cihazlarına bakıldığında Japonya'da Narita Havalimanı'nda bulunan, kontrol için kullanılan kule gibi farklı yapılarda birçok örneklerini Japon mühendislerin sıklıkla kullandığı görülmüştür (Tamura ve diğ., 1992/ Crowley ve Porter, 2012).

Sıvı sönümleyicilerin bazı avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Basit bir düzeneğe sahip olduklarından ve kurulumları kolay olduğundan fazla bir maliyet gerektirmezler.

Bakım ve onarımları kolaydır.

Sadece yeni yapılara değil, eski yapılara da rahatlıkla yerleştirilebilirler.

Sistemdeki sıvı hareketi, basınç değişimi gibi unsurlarla sistemin frekansı kolayca ayarlanabilmektedir.

Dezavantajlarına bakıldığında;

Küçük hatalar verebilmektedir (durgun su seviyesi ölçülmesi gibi).

Daha büyük genlikteki güçlü titreşimlerde yetersiz kalabilmektedir (daha çok rüzgâr titreşimlerinde kullanılır).

Günümüzde birçok yapıda örnekleri görülmektedir. TLD uygulamalarına örnek olarak Japonya'da Nagasaki Airport Tower, Tokyo Sofitel Oteli, Yokohoma Marine Tower, Shin Yokohoma Prince Hotel, Sakitama Bridge, Narita Airport Control Tower, İngiltere'de Emley Moor Tower gibi yapılar verilebilir. Bunların dışında önemli yapılardan birine örnek de 2016'da açılışı yapılmış, İngiltere'de bulunan, dünyanın çapına oranla en ince ve uzun kulesi British Airways i360 yapısını gösterebiliriz. Sahil şeridinde olması ve çok fazla rüzgâr yüküne maruz kalmasına rağmen yapıya yerleştirilen TLD'ler bu titreşimlerin kontrol altında tutulmasını sağlamıştır.

2.4. TLD'LERİN TARİHSEL GELİŞİMİ VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Ayarlı sıvı sönümleyiciler ilk olarak gemilerde oluşan titreşimi kontrol altına almak için kullanılmıştır. (Hüsem, M. Ve Yozgat, E., 2005). 1950'li yıllarda gemilerdeki kullanımda aktif rol almış (Moiseyev, 1952 ve Jamalabadi, 2020), 1960'lı yıllarda uydu kontrolünde kullanılmış (Abramson, 1963 ve diğ. Jamalabadi, 2020), 1980'li yıllara gelindiğinde ise Bauer tarafından bu sistemlerin yapısal titreşimi önlemesi üzerine kullanılabileceği hakkında

araştırmalar yapılmıştır (Bauer, 1984 ve Jamalabadi, 2020). Bunların dışında günümüze değin yapılmış bazı çalışmalar hakkında aşağıda bilgi verilmiştir:

1997'de Modi ve Seto yaptıkları çalışmayı, o dönemde henüz birkaç araştırmacının çalkalanma sönümleyicisi ya da ayarlı sıvı sönümleyici olarak isimlendirdiği TLD'leri, rüzgârın sebep olduğu girdap şeklindeki salınımları kontrol etmek için sıvının çalkalanma enerjisini kullanarak tamamlamıştır (Modi ve Seto, 1997). Won ve diğ. ise rasgele seçilmiş sismik yükler altında SDOF ile MDOF yapıların kontrolü için farklı deprem verileri kullanarak ayarlı sıvı kolon sönümleyicilerin sönümlemedeki performansını araştırmıştır (Won ve diğ., 1997).

1998 yılına gelindiğinde Reed ve diğerleri, dikdörtgen tanklı TLD'leri, büyük genliğe sahip titreşimler için sayısal bir model oluşturup sallama masası yardımıyla incelemiş, deneysel sonuçlar elde etmiştir (Reed ve diğ., 1998).

Yamamoto ve Kawahara 90'lı yılların sonunda, Yokohoma Marine Tower'a ait salınımların TLD'ler ile sönümlenmesini ALE yöntemiyle analiz etmiştir (Yamamoto ve Kawahara, 1999).

Xue ve diğerleri, geniş açıklığa sahip köprülerde oluşan yalpalanma hareketini sönümlemede TLD'lerin etkisini harmonik uyarılar vererek incelemiştir (Xue ve diğ., 2000).

2001'de Yalla ve diğerleri, MDOF yapıya sahip bir sistemi yarı-aktife çevrilmiş TLCD bir cihazı kullanarak, optimal kontrol olarak isimlendirilmiş teoriyi kaynak edinip, rüzgâr uyarımı altındaki tepkisini araştırmıştır (Yalla ve diğ., 2001).

Li ve diğerleri, Sığ bir sıvıya sahip dikdörtgen tanklı TLD'ler için bir model oluşturup, kaplarda oluşacak dalga hareketi denklemlerini FEM yöntemiyle çözümüne dair öneride bulunmuştur (Li ve diğ., 2002).

2003'te Casciati ve diğerleri, silindirik ve dikdörtgensel sıvı tanklarına bir alternatif olarak konik kaplar kullanıp küçük genliklere sahip yapılar için bir SDOF modelini birkaç farklı uyarıma maruz bırakmış, silindirik TLD'leri ve konik yapıdaki TLD'lerin sönümlemeye etkisini karşılaştırıp, yine konik TLD'leri sallama masasında bulunan yük hücresine ekleyerek analiz etmiştir (Casciati ve diğ., 2003).

Shum ve Xu, 2004'te geniş açıklığa sahip bir köprüyü ele almış, MTLCD kullanarak, köprüye harmonik uyarımlar ile sabit bir şekilde rastgele uyarımlar vererek, yanal titreşim ile burulma titreşimini önlemeye yönelik bir çalışma yapmıştır (Shum ve Xu, 2004).

Felix ve diğerleri, ideal yapıya sahip olmayan bir uyarı geldiğinde, titreşim kontrolü için TLCD'lerin performansını simüle ederek analiz etmiştir (Felix ve diğ., 2005).

2006'da Lee ve diğerleri, TLD kullanımını bir başka noktaya çekmiş ve yüzen, etrafı açık, sabit olmayan bir deniz platformunda dalgaların oluşturduğu titreşimleri önlemek için TLCD'leri kullanmıştır (Lee ve diğ., 2006).

2007'de Taflanidis ve diğerleri, TLCD'leri ve LCVA'ları, SDOF ve MDOF yapıdaki sistemlerin deprem uyarımları sonucu oluşan titreşim kontrolünde, beyaz gürültü kullanılarak verilen uyarımlarda, sönümleme performanslarını, dayanıklılığı ile güvenilirliğini incelemiştir (Taflanidis ve diğ., 2007).

Wu ve diğerleri bir köprü tabliyesinde serbest titreşimin yanı sıra zorlamalı titreşimi de kullanarak TLCD cihazların rüzgâr kaynaklı hareket üzerine kontrolünü incelemiş (Wu ve diğ., 2008), Tait ise yüksek katlı yapılarda, TLD'lerin titreşim kontrolünde sönümleme etkisiyle ortama dağılan enerjiyi göz önünde bulunduran, doğrusal olan mekanik bir tasarım geliştirmiştir (Tait, 2008).

Samantaray, ön yüklemesi yapılmış pasif bir sıvı damper kullanarak matematiksel modeller elde etmiş ve sönümlemeye etkisini incelemiştir (Samantaray, 2009).

2010'da Love ve Tait, sinüzoidal olarak adlandırılan sallama masasını yardımıyla rasgele uyarımlar verilerek, bir genleşme metoduyla önerdiği TLD modellerini test etmiş ve sönüm performanslarını karşılaştırmıştır (Love ve Tait, 2010).

2011'de Lee ve Min, SDOF yapıda oluşacak rüzgâr kaynaklı titreşim hareketinde, iki yönlü TLCD'lerin, sallama masası yardımıyla sönüm kapasitelerini analiz etmiştir (Lee ve Min, 2011).

Crowley ve Porter, dikdörtgen tanklı TLD'ler için Çoklu ekran düzenlemesi yaparak, çeşitli uyarımlara maruz bırakılan TLD'lerin tepkisini inceleyip, salınım analizinde bulunmuş, daha

önce yapılmış olan bir çalışmayla sayısal tahminleri doğrulamak adına karşılaştırmıştır (Crowley ve Porter, 2012).

2013'te Hamelin ve diğerleri, Kulegan-Carpenter sayısına (KC) göre değişkenlik gösteren yeni bir çeşit TLD modellemiş, KC sayılarını değiştirerek sallama masası yardımıyla TLD'nin sönüm performansına etkisini araştırmıştır (Hamelin ve diğ., 2013).

Di Matteo ve diğerleri, yaptıkları bir çalışmada, TLCD'lerin kullanıldığı bir yapıya, rasgele dinamik yükler uygulayarak, SDOF yapının hareket denklemlerinden faydalanıp, TLCD'ye ait uygun parametreleri öneren istatistiksel bir doğrusallaştırma metodu (SLT) geliştirmişlerdir (Di Matteo ve diğ., 2014).

2015'te ise Di Matteo ve diğerleri, TLCD cihaz için bir hareket modeli geliştirmiş ve bir formülasyon önermiş daha sonra doğruluğunu test etmek için bu formülasyonu, U tipi tüplerde bir kısım deneylere tabi tutarak önerilen modelin ispatı üzerine çalışmıştır (Di Matteo ve diğ., 2015).

Sönmez ve diğerleri, sTLCD için yeni bir model önermiş ve kontrol algoritmaları geliştirmişlerdir. Bu modelde sTLCD ile önerilen algoritmaları analiz etmek için rasgele uyarımlar verilip performanslarını incelenmiş, TLCD kullanılmadan, sTLCD eklenilerek ve pTLCD uygulanmasıyla uyarıma verilen tepkileri araştırılmıştır (Sönmez ve diğ., 2016).

2017'de Ong ve diğerleri, deprem uyarımları karşısında yetersiz kalan yığma yapıları düşünerek, TLD ile uyumlu çalışacak yeni bir yapı malzemesi önermiş ve bu kombine sistemi çeşitli sayısal testlere tabi tutarak etkinliğini araştırmıştır (Ong ve diğ., 2017). Zhu ve diğerleri ise hibrit bir simülasyon olarak adlandırılan RTHS'yi kullanarak MDOF yapılardaki dinamik hareketin kontrolünde, sayıca fazla olan TLCD'lerin uygulanmasını tek tek inceleyip sönümlemeye katkısını araştırmıştır (Zhu ve diğ. 2017).

Chen ve Yang, Yapı titreşim kontrolü için TMD cihazı ile TLD'yi kullanarak hibrit bir sistem oluşturup bu sistemi TLD ve TMD olmadan boş tank ile, sadece TLD, sadece TMD ve TLD+TMD eklenerek 4 farklı deneysel model oluşturup sallama masası yardımıyla test etmiştir (Chen ve Yang, 2018).

Fu ve diğerleri, sismik yükler altındaki bir SDOF yapısını, Parçacık sönümleyici sistemler (PD) ile TLD'leri kullanarak sallama masasında teste tabi tutmuş, çeşitli algoritmalarla elde ettiği sönümleyici parametrelerinden yola çıkarak, sönüm kapasitelerini karşılaştırmıştır (Fu ve diğ., 2019).

2020'de Pandit ve Biswal geleneksel TLD uygulamasından uzaklaşarak sıvı tanklar için yeni bir şekil kullanıp 3 farklı gerçek deprem uyarımlar vermiş, bir MDOF yapısındaki sönüm etkisini incelemiştir. TLD parametrelerinde kütle ile beraber ayar oranıyla da değişiklikler yapıp titreşimi önlemedeki etkilerini araştırmışlardır (Pandit ve Biswal, 2020).

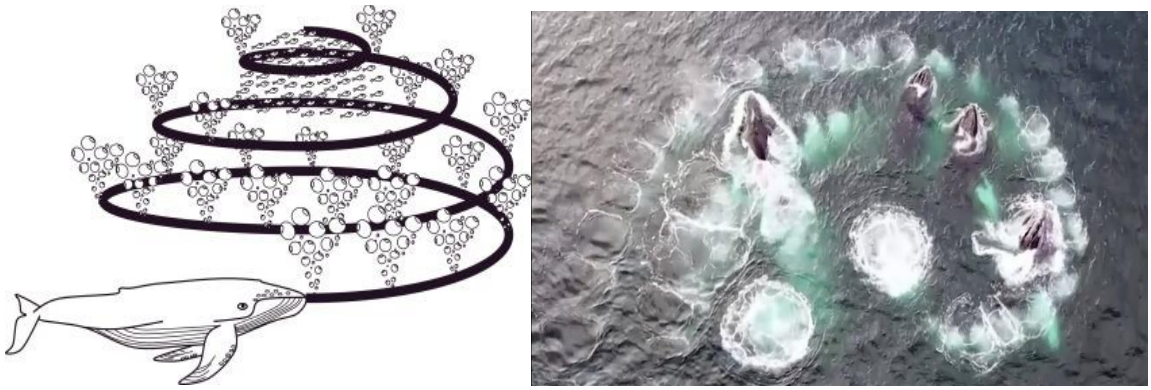
3. MALZEME VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında, Ayarlı sıvı sönümleyicilerin yapılar için tasarım optimizasyonu çalışmaları yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda Öğretme-Öğrenme Tabanlı optimizasyon, Jaya Algoritması, Armoni Arama Algoritması ve Çiçek Tozlaşma Algoritması kullanılarak optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.1. OPTİMİZASYON

Optimizasyon, herhangi bir problemin, bulunması istenen parametrelerinin, yapılan çalışma sonucu elde edilen veriler arasından, problemin amacına uygun olarak istenen minimum ya da maksimumum değerleri elde etme işlemidir. Bir problemin birden fazla çözümü olabilmektedir. Örneğin; herhangi bir A şehrinden B şehrine hava, kara ya da deniz yoluyla gitmek istediğinizde, sizi herhangi birini seçmenizde, diğerlerinden daha uygun olduğunu düşündüren bazı değerler vardır. Bu, gitmek istediğiniz şehre ulaşma süreniz, yolculuğunuz boyunca kullanacağınız güzergahlar ya da yolculuğunuzda uğrayabileceğiniz mola yerleri bile olabilir. Optimizasyon işlemi ise size bu ayırt edici özelliklere göre sınıflamalar yapar ve en kısa süreyi, en uygun güzergahı ya da en uygun mola yerlerini bulmayı hedefler. Buradan anlayacağımız üzere optimizasyon hayatın içindeki her türlü probleme uygulanabilir nitelikte geniş kapsamı olan bir işlemdir. Özellikle mühendislik alanında kullanımı oldukça fazladır. Gelişen teknoloji ve kaynakların tükenebilirliği göz önüne alındığında yapılan yapıların en düşük maliyetle ve en güvenli şekilde inşa edilebilmesi konusunda İnşaat Mühendisliği Dalı'nda da fazlasıyla kullanılmaktadır. Yapılar için en uygun maliyetin, işçiliğin, yapı güvenliğinin ve bunun gibi birçok tasarım kriterlerinin optimum hale getirilebilmesiyle, optimizasyon işlemi, İnşaat Mühendisliği alanında bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bunun için çeşitli algoritmalar kullanılıp problemler optimize edilmiştir. Bu algoritmalardan biri de Metasezgisel algoritmalardır. Özellikle son yıllarda Metasezgisel algoritmalarla çeşitli mühendislik problemlerine dair optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yang, 2010 yılında Metasezgisel algoritmaların mühendislik optimizasyonlarında kullanılmasına ilişkin bir kitap yazarak, Metasezgisel algoritmaların, optimizasyonda uygulanabileceği

problemlerden bahsetmiştir (Yang, 2010). Metasezgisel algoritmaları diğer algoritmalardan ayıran özellik, doğanın kendine ait döngüsünde bulunan olayları kullanarak problemleri çözmesidir. Sadece olayları değil aynı zamanda canlı yaşamındaki içgüdüsel davranışları da algoritmalara yansıtmaktadır. Örneğin; balina optimizasyonu algoritmasına baktığımızda, kambur balinaların avlanırken dönerek oluşturduğu spiral şeklindeki kabarcıkların yol haritası (Şekil 3.1), yapay arı algoritmasının bal arılarının besin aramak için oluşturduğu yiyecek arama modeli ya da yarasa algoritmasındaki yarasaların ekolokasyon denilen ses yankılanmasını kullanarak etrafındaki cisimlerin yerini tespit edebilmesi gibi davranışlar, doğadan esinlenerek Metasezgisel algoritmaların oluşmasını sağlamıştır.



Şekil 3.1: Kambur Balinaların avlanırken oluşturduğu kabarcıklar (Mirjalili ve Lewis, 2016 ve https://www.youtube.com).

Bazı Metasezgisel algoritma türlerine örnek olarak; 1975'de Holland'ın geliştirdiği, en sağlıklı ve güçlü olanın hayatta kalmasından esinlenen Genetik Algoritma (GA) (Holland, 1975), 1983'te Kirkpatrick ve diğerleri tarafından önerilen katı cisimlerdeki tavlamadan esinlenilen Tavlama Benzeşimi (SA) (Kirkpatrick, 1983), 1991'de ilk kez Dorigo tarafından kullanılan karıncaların yiyecek aramalarından esinlenen Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO), 1995'te Kennedy ve diğerlerinin önerdiği kuş, balık vb. canlıların sürü davranışlarından esinlenen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) (Kennedy ve diğ., 1995), 2001'de Geem ve diğerleri tarafından önerilen en iyi armonik melodiyi bulmayı hedefleyen Armoni Arama Algoritması (HS) (Geem ve diğ., 2001), 2005'de Karaboğa tarafından tanıtılan arıların yiyecek aramasından esinlenen Yapay Arı Kolonisi (ABC) (Karaboğa, 2005), 2011'de Rao ve diğerleri tarafından uygulanmaya başlanan, öğretmenin, öğrenci üzerinde etkisi ve diğer arkadaşlarıyla etkileşimlerini inceleyen Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) (Rao ve diğ., 2011), 2012'de Yang tarafından önerilen çiçek

tozlaşmasından esinlenen Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA) (Yang ve diğ., 2012), 2016'da Rao ve diğerlerinin önerdiği Jaya Algoritması (JA) (Rao ve diğ., 2016) gösterilebilir.

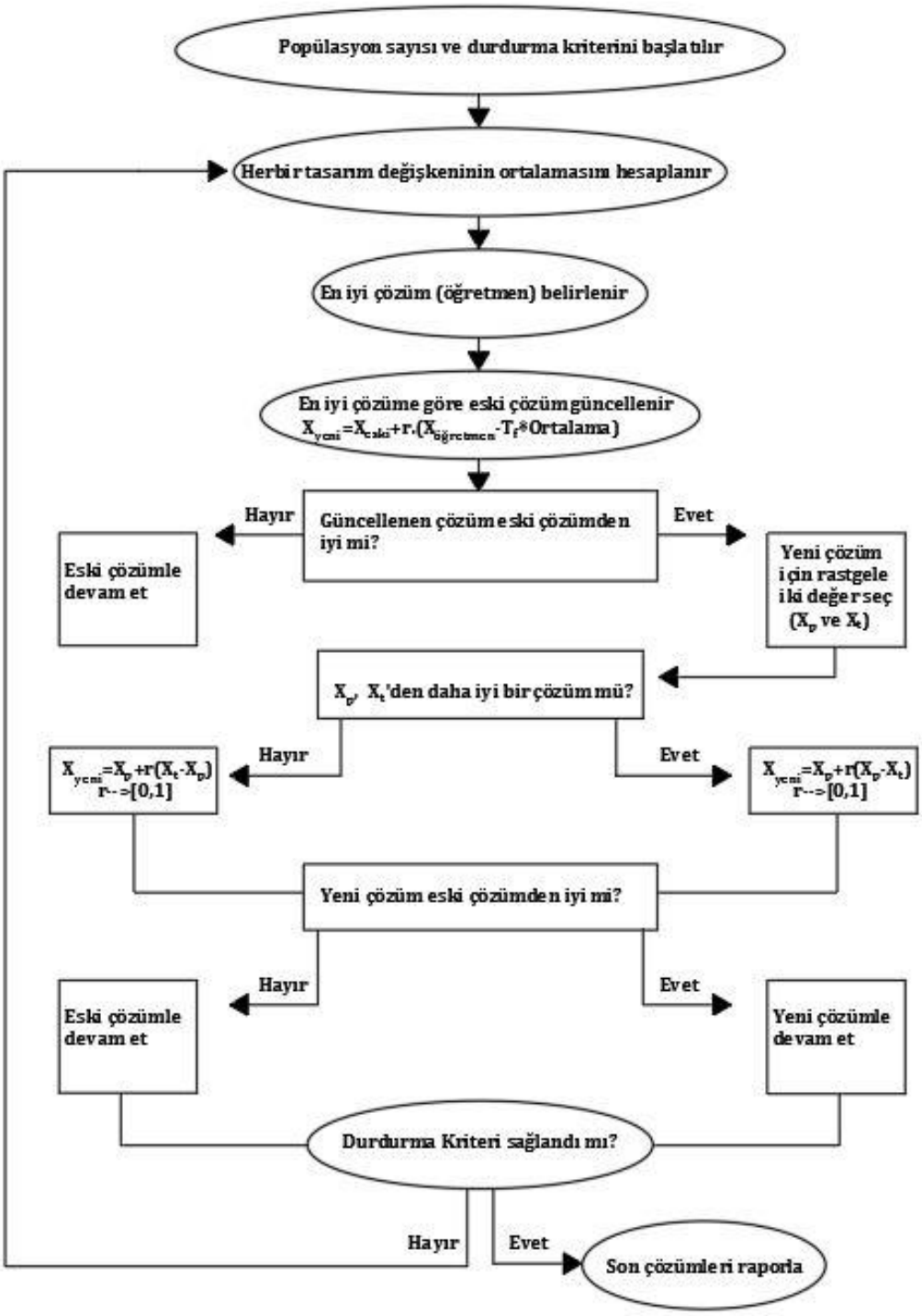
Bu tez çalışmasında optimizasyon işlemi için kullanılan algoritmalar aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO)

Popülasyonu baz alan aynı eğitim seviyesine sahip, sınıf ya da bir grup öğrencinin, 2 farklı eğitmen tarafından, eğitmen davranışları farklı olacak şekilde, yine aynı bilgilerin eğitim olarak görülmesine rağmen not dağılımlarında farklı sonuçların elde edilmesinden ilham alan algoritmadır. 2011 yılında Rao ve diğerleri tarafından öğretmeye dayalı matematiksel ifadeler kullanılarak bir model hazırlanmış ve optimizasyon yöntemi olarak literatüre kazandırılmıştır. Öğretmenlerin iyi öğretim vasıflarına sahip olmasının eğitimin olumlu sonuç vermesinde ve öğrencilerin anlamasında büyük rol oynadığı tespit edilmiştir (Temür ve Bekdaş, 2016). Buradaki eğitmen başarı seviyesi, not dağılımını ortalama olarak arttırılmasıyla değerlendirilir. Aynı konuların anlatıldığı fakat iki farklı sonucun elde edildiği bu algoritmada eğitim dışında, öğrencilerin kendi aralarında etkileşimde olup bilgilerini birbirleriyle paylaşmasının da ortalamanın artmasına katkısı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlardaki bu değişken durum öğretmenin öğretme yeteneğine ve öğrencilerin etkileşimine bağlanmıştır.

Mühendislik biliminde birçok alanda bu algoritmaya dair araştırmalar bulunmaktadır. Çeşitli İnşaat mühendisliği problemlerinde, TLBO algoritmasına başvurulmuştur. Yapı kontrolüyle ilgili Pasif sönümleyicilerin optimizasyonu sırasında TLBO'dan faydalanılan çalışmalar yapılmıştır (Niğdeli vd., 2015/Niğdeli vd., 2017/Bekdaş vd., 2017).

TLBO yöntemi en basit haliyle, öğretme ve öğrenme süreci olmak üzere iki süreçten oluşur (Rao ve diğ., 2011). Şekil 3.2'de TLBO'nun tanımlanmasına dair akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.2: TLBO Akış Diyagramı.

Optimizasyon işlemi çeşitli aşamalardan geçer. Öğretme-Öğrenme Tabanlı Algoritmayı 5 aşamada göstermek mümkündür. Aşağıda TLBO aşamaları hakkında bilgi verilmiştir:

1.Adım: TLBO aşamalarını incelediğimizde diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi ilk olarak tasarıma dair popülasyon (çözüm vektörü) sayısı, iterasyon sayısı, limit değer aralıklarını gösteren tasarım kısıtları, problemi maksimize ya da minimize eden amaç fonksiyonu gibi her türlü tasarım sabitleri sisteme bu aşamada tanıtılır.

$$X_j^{min} \leq X_j \leq X_j^{max} \quad j = 1,2,3,\dots,Tn \tag{3.1}$$

Burada j değeri 1'den Tn'e kadar olan tasarım değişken sayısını, Xj ise tasarım için kullanılan değişkenleri ifade eder.

2.Adım: Bu aşamada tasarım limit değerleri kullanılarak rassal Xj değerleri atanır ve bu rassal değişkenler bir matris haline getirilir. Oluşturulan rassal değerlerden oluşan başlangıç (A) matrisi popülasyonu ifade eder. Bu popülasyon (K matrisi) Denklem (3.2)'de şu şekilde gösterilir:

$$A = \begin{bmatrix} X_{1,1} & \cdots & X_{1,T} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{Pn,1} & \cdots & X_{Pn,T} \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

A matrisi içinde yazılan bu rassal değerlerin amaç fonksiyonunda yerine koyularak elde edilen değerler bir f(x) vektörü içinde saklanır.

$$f(X) = \begin{bmatrix} f(X_1) \\ f(X_2) \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ f(X_{Pn}) \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

3.Adım: Popülasyonun ortalaması hesaplanıp sütun halinde (M_T) Denklem (3.4)'deki gibi yazılır.

$$M_T = [m_1, m_2, \dots, m_T] \tag{3.4}$$

En iyi niteliklere sahip en bilgili kişi olarak öğretmenler gösterilir. Buradan yola çıkarak en iyi çözüme götüren denklem $X_{teacher}$ Denklem (3.5)'te gösterildiği şekilde tanımlanır. Daha öncesinde depoladığımız ve seçilen rassal değerleri amaç fonksiyonunda yerleştirerek elde

edilen sonuçlardan oluşan f(x) vektöründeki değerler arasından minimum olan değer bize $X_{teacher}$ 'ı verir.

$$X_{teacher}=X_{minf(x)} \tag{3.5}$$

Sonrasındaysa elde edilen bu değere ait ortalama Denklem (3.6)'da da görüldüğü üzere yeni işlemlerin tekrarı için araç görevi görecektir.

$$M_{New,T} = X_{teacher,T} \tag{3.6}$$

Eski ortalama ile öğretmene göre seçilen yeni ortalama arasındaki fark Denklem (3.7)'de gösterilmiştir. Değiştirilecek ortalamaya göre belirlenen öğretim faktörü (T_f) rassal olarak denklem (3.8)'e göre 1 ya da 2 olarak karar verilir. Bir diğer değişken olan r değeri [0,1] aralığında olan rastgele bir sayıdır.

$$Fark_T = r(M_{New,T} - T_f M_T) \tag{3.7}$$

$$T_f = round[1 + rand(0,1)\{2 - 1\}] \tag{3.8}$$

Denklem (3.7)'den bulduğumuz fark değerleri denklem (3.9)'da yeni çözümlerin güncellenmesi için eski çözümlere eklenir.

$$X_{New,T=}X_{Old,T+}Fark_T \tag{3.9}$$

Elde edilen X_{New} değerlerine bakıldığında eğer sonuçlar eski değerlerden daha iyiyse X_{New} değerleri yeni çözüm sayılır.

4.Adım: Bu aşama öğrenci etkileşimi olarak bahsettiğimiz aşamadır. 4. Adımda popülasyondaki öğrenci topluluğu, kendi içlerinde öğrendiklerini, diğer öğrencilerle paylaşımda bulunur. Bu paylaşım sonucu öğrencilerin bilgi birikiminde ilerleme de gerileme de görülebilir. Bunun gözlemleyebilmek için popülasyon içinden rassal olarak 2 öğrenci seçilir. Bu çözüm değerlerine X_p ve X_t değeri dersek; X_p, X_t'den daha iyi bir çözümse denklem (3.10), değilse denklem (3.11)'deki gibi yeni çözümler elde edilir.

$$r \rightarrow [0,1]$$

$$X_{New=}X_{P+}r(X_P - X_{T)} \tag{3.10}$$

$$X_{New=}X_{P+}r(X_T - X_P) \quad (3.11)$$

5.Adım: Bu adımda başlangıçta girilen iterasyon sayısına kadar işlem 3.adımdan itibaren tekrarlanır. Maksimum iterasyona ulaştığında ise sonlandırılır.

3.1.2. Armoni Arama Algoritması (HS)

Metasezgisel algoritmaların bir çeşidi olan armoni arama algoritması, müzikte kulağa hoş gelen en iyi armoniyi bulmak için Geem ve diğerleri tarafından geliştirilen bir algoritmadır (Geem ve diğ., 2001). Sezgisel algoritmaların temel prensibine uygun biçimde doğadaki sesler ve duyulardan esinlenilmesinin dışında yapay bir fenomen gibi hareket ederek en iyi armoniyi elde etmeyi amaçlar (Lee ve Geem, 2004/ Lee ve Geem, 2005/ Ayvaz ve diğ., 2007/ Mahdavi ve diğ., 2007). Bu amaç doğrultusunda, bir orkestra eşliğinde çalınan müzikte kullanılan notaları, geliştirdiği algoritma ile çeşitli denemeler yaparak optimum armoniye ulaştırır.

Üretilen bu yeni algoritmanın geniş bir çalışma alanı bulunmasının yanında, mühendislik ile ilgili problemlerin çözümünde gösterdiği uyumlu süreç, diğer dallardaki başarısı gibi mühendislik alanında da aranan bir çözüm yöntemi haline gelmesini sağlamıştır. İnşaat mühendisliği dalında ise özellikle yapı dinamiğinin kontrol edilmesi aşamasında kullanılan sönümleyicilerin optimizasyonunda, önemli rol almıştır. Yüksek katlı kulelerde bazı algoritmalara oranla daha iyi bir sönüm oranı elde edilebileceği gözlemlenmiştir (Zhang ve diğ., 2017). Çeşitli mühendislik problemlerinin çözümündeki etkisi, birçok çalışmayla incelenmiştir. (Bekdaş ve Niğdeli, 2011/ Togan ve diğ., 2011/ Erdal ve diğ., 2011/ Toklu ve diğ., 2013/ Niğdeli, Bekdaş ve diğ., 2014/ Bekdaş, 2015).

Armoni arama algoritmasında, istenen uyumun yakalanması için müzisyen, 3 farklı doğaçlama yapabilir (Koziel ve Yang, 2011).

i. Daha önce bilinen ve dinleyicilerin beğenisini kazanmış bir parçayı hafızasından çalabilir
ii. Duyulmuş bir müziğin melodisine benzeyen farklı bir müzik yapabilir
iii. Ya da bunlardan tamamen bağımsız yeni notalarla sıfırdan bir müzik besteleyebilir.

Müzisyenin alternatifleri bunlarken, armoni uyumunu yakalaması için bu algoritmada, mantık olarak 4 farklı adımı izlemesi gerekmektedir.

Adım 1: Başlangıçta herhangi bir armoni hafızaya alınır.

Adım 2: hafızaya alınan armoniden yeni bir armoni geliştirilir.

Adım 3: yeni elde edilen armoni uyumu minimum armoni uyumundan daha yüksekse, hafızadaki armoni, 2. Adımdaki yeni armoniyi kabul eder.

Adım 4: hafızadaki armoniden daha uyumlu hale gelene kadar bu işlem tekrarlanır. Durdurma işlemi için uyum her sağlanmadığında 2. Adım tekrarlanır.

Armoni arama algoritmasının optimizasyon sürecinde 3 farklı parametre belirlenmektedir. Bu parametrelerin belirlenmesinden önce problem tanımlanması, probleme ait veriler ve tasarım değişkenleri ile tasarım kısıtları girişi yapılmaktadır. Diğer optimizasyon problemlerinde olduğu gibi tasarım alt ve üst sınırlarının belirlenmesinden sonra bahsedilen HS parametreleri armoni hafıza boyutu (Harmony Memory Size, HMS), armoni hafızasındaki verileri dikkate alma oranı (Harmony Memory Considering Rate, HMCR) ve ton ayarlama oranı (Pitch Adjusting Rate, PAR) problemin türüne göre seçilmektedir.

Optimizasyon sürecinde öncelikle problemi tanımlanır ve tasarım değişkenleri ile bu değişkenlere ait alt ve üst limitler rassal olarak atanıp bir armoni vektörü oluşturulur. Rassal olarak oluşturulan bu vektör, armoni hafızası boyutu miktarınca tekrarlanır ve birden fazla armoni vektörlerinin oluşmasını sağlar. Oluşan her vektör başlangıçta elde edilen çözüm matrisine yazılır. Sonrasında oluşturulan bu vektörler, tasarım kısıtları e değişkenlerine uygun olacak şekilde problem çözümünde kullanılır ve başlangıçta tanımlanmış olan amaç fonksiyonu verilerini oluşturur. Bu veriler elde edilen her bir armoni vektörü için amaç fonksiyonu için oluşturulan vektörde depolanır. Bir sonraki aşamaysa, optimizasyon sürecinin başında belirlenmiş olan iterasyon sayısınca işlemlerin tekrarını içerir. İterasyon sürecinde de benzer şekilde yeni bir armoni vektörü meydana gelir. Bu yeni vektör başlangıçta oluşturulan armoni vektörü gibi rassal olarak üretilmektedir. Denklem 3.12'de armoni vektör oluşumu verilmiştir.

$$X_{new} = X_{min} + rand(0,1)(X_{max} - X_{min}) \tag{3.12}$$

Yeni vektörler başlangıçtaki rassal atanabileceği gibi ton ayarlama oranı yardımıyla da elde edilebilir. Yeni armoni vektörü, alt ve üst tasarım limitleri ile n. Armoni için rassal olarak -1/2

ile +1/2 arasında atama yapılarak da yapılabilir. Denklem 3.13'te rasgele atanmasına dair matematiksel ifadesi gösterilmektedir.

$$X_{new} = X_n + rand(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})\text{PAR}(X_{max} - X_{min}) \quad (3.13)$$

Yeni armoni vektörünün hangi denklemden elde edileceğine algoritma, armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR) ile karar verir. Bu aşamada iterasyonda üretilen rassal değerlere bakılır. Elde edilen değer HMCR sayısından az bir değer ise 3.12'deki denklem, fazla ise 3.13'teki denklem ile yeni armoni vektörü hesaplanır.

İterasyon işlemleri tekrarlanırken hesaplanan her yeni armoni vektörüne karşılık gelen amaç fonksiyonu değerleri bulunup, çözüm matrisindeki değerler ile karşılaştırılması yapılır. Ve çözüm matrisi son şeklini almış olur.

3.1.3. Çiçek Tozlaşma Algoritması (FPA)

Çiçek tozlaşma algoritması, Metasezgisel algoritmanın doğadan ilham alan bir çeşididir. Bu algoritma çiçeklerin sürekliliği için alışılagelen bir süreç olan tozlaşma sürecinden esinlenilerek algoritma haline getirilmiştir. Çiçeklerdeki tozlaşma incelendiğinde 2 farklı tozlaşma yöntemi olduğu görülmektedir. Bunlardan birinde çiçek kendi kendine tozlaşma sürecini gerçekleştirirken diğer yöntemde bir taşıyıcı ile polenlerin taşınması suretiyle bir tozlaşma söz konusu olmaktadır. Bu taşıyıcılara örnek olarak arılar ve kuşların Lévy uçuşu diye adlandırılan bir uçma davranışıyla tozlaşmaya yardım etmesi örnek verilebilir (Pavlyukevich, 2007). Yang ve diğ. tozlayıcıların bu davranışından ve tozlaşma sürecinden esinlenerek bunu bir algoritma haline getirmişlerdir (Yang ve diğ., 2012). Mühendislik alanında da optimizasyon sürecinde pek çok çalışmada kullanılmıştır (Niğdeli ve diğ., 2017/ Yucel ve diğ., 2019).

Tozlaşmaya dair kurallar 4 maddede özetlenmektedir.

i. Aynı tür olup, farklı bitkilerin çapraz tozlaşma ile çiçeklerindeki polenleri tozlayıcıların uzun adımlarla zıplaması ya da özel bir uçuş dağılımı olan Lévy uçuşuna uygun biçimde taşıması ile aktarımı gerçekleşir.
ii. Bir tozlayıcı olmaksızın kendi kendine çiçeğin tozlaşmasıdır. Yerel tozlaşma diye isimlendirilir.

iii. Çiçek sabitliği ile tozlaşmanın orantılı olduğu düşünülmektedir. Bu da tozlaşma sürecindeki önemli bir kriterdir.

iv. Yerel tozlaşma ile küresel tozlaşma olasılığı 0 ile 1 arasında değişen anahtarlama olasılığıyla kontrol edilir.

Bu kurallar tozlaşmada dikkate alınarak yapılan optimizasyon adımları aşağıdaki gibi ilerlemektedir.

1. **Adım:** optimizasyon problemi tanımlanır ve algoritmanın tasarım parametreleri ile alt ve üst limit değerleri atanır (Denklem 3.14).

$$X_{min} < X_{i,j} < X_{max} \qquad \begin{matrix} i = 1,2,\dots,nf \\ j = 1,2,\dots,n \end{matrix} \tag{3.14}$$

Burada n, değişken sayısını, nf çiçek ya da popülasyon sayısını X_{min} tasarım alt sınır değerini, X_{max} tasarım üst sınır değerini göstermektedir.

2. **Adım:** Problemin alt ve üst sınırları içerisinde Denklem 3.15'te gösterildiği şekilde rassal atamalar yapılır. Elde edilen değerler çözüm matrisinde toplanır. Çözüm matrisinde atanmış olarak bulunan her bir değer için problemin tasarım kısıtlarına olan uygunluğu incelenir ve uymayan değerler için diğer çözümlerden ayrılması adına göze çarpacak bir değer verilerek cezalandırma işlemi yapılır.

$$X_{i,j} = X_{min} + rand\,(X_{max} - X_{min}) \tag{3.15}$$

3. **Adım:** Çözüm matrisinden yeni çözümler elde etmek için iterasyon başlar ve işlemler tekrarlanır. Yeni optimum değerlerin elde edilmesinde, çiçek tozlaşma algoritması, global ve yerel arama süreci olan 2 yöntem sunar. Bunlardan hangisinin seçileceğinin kararını, arama değişimi ya da bir diğer adıyla anahtar olasılığı (sp) belirler. Rassal atanan sayıdan küçük olduğu durumda yerel, olmaması halinde ise global arama yöntemi uygulanır.

Arama değişimi lokal olması durumunda yeni çözümler için daha önce bir çözüm matrisinde depolanmış olan rassal atanmış değerlerden yine rassal olarak 2 çözüm (X_k, X_t) seçilerek, Denklem 3.16'da hesaplandığı şekilde yeni çözüm üretilir.

$$X_{new} = X_{i,j} + rand\,(0,1)(X_k - X_t) \tag{3.16}$$

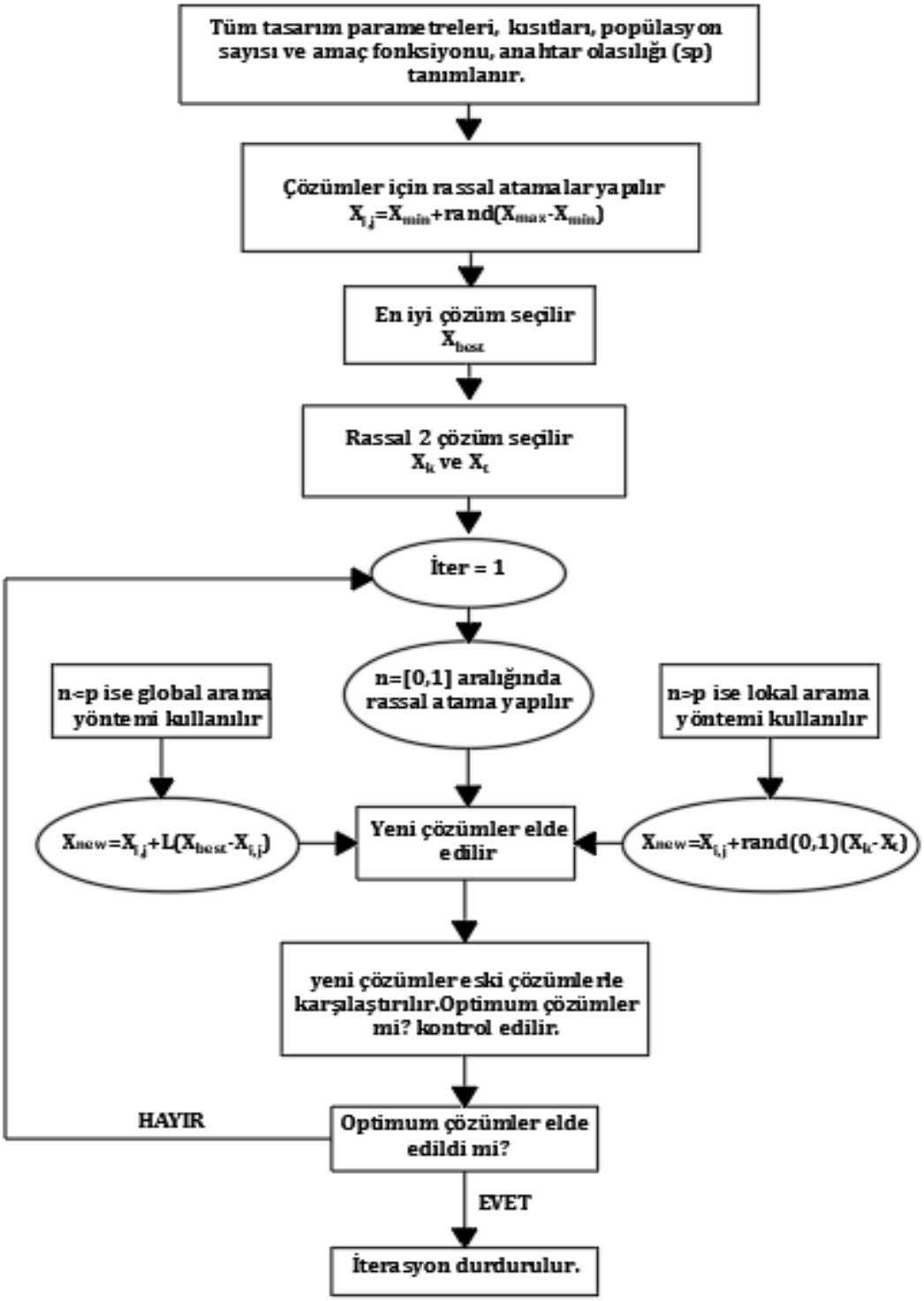
Arama değişimi global olması halinde, Lévy uçuşu ile ilgili Denklem 3.17'deki dağılımdan faydalanılarak, amaç fonksiyonu için optimum yeni çözümü veren ifade Denklem 3.18'de hesaplanmaktadır.

$$L = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \varepsilon^{-1.5} e^{\frac{1}{2\varepsilon}} \quad (3.17)$$

$$X_{new} = X_{i,j} + L(X_{best} - X_{i,j}) \quad (3.18)$$

4. **Adım:** İterasyon birer birer tekrarlanırken, tasarım kısıtları, yeni çözümlerin sınır değerlere uyup uymadığı kontrol edilir ve amaç fonksiyonları, her yeni çözüm için hesaplanıp, değerler güncel matrislere kaydedilir. Yeni çözümler, eski çözümlerle kıyaslanır. Daha iyi sonuç vermiş olan yeni çözümler kalırken, eski çözümlerden daha kötü sonuç veren çözümler değiştirilir. Tasarım kısıtlarına uymayan çözümlere de cezalandırma işlemi uygulanır. Yapılan karşılaştırmalarla matrisler güncellenip, optimize edilerek, son halini almış olur.
5. **Adım:** Yapılan işlemler, iterasyon sayısı kadar 3 ve 4. Adımlar tekrarlanır ve iterasyon bitiminde optimum sonuçlar elde edilmiş olur.

Çiçek Tozlaşma Algoritması için akış diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmektedir.



Şekil 3.3: Çiçek Tozlaşma Algoritması Akış Diyagramı.

3.1.4. Jaya Algoritması (JA)

Metasezgisel algoritmalar temelinde, doğadaki bir olayı ya da canlıların sergilediği bir davranışı kendine örnek alarak geliştirilen algoritmalardır. Fakat bu algoritmalar

incelendiğinde her biri için kullandığı olay ya da sürü davranışına özgü tasarımsal faktör olduğu görülür. Rao vd. 2011'de bu faktörün gerekmediği TLBO algoritmasını geliştirmiştir (Rao vd., 2011). Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon algoritmasının performansını göz önünde bulunduran Rao, benzer bir mantıktan yola çıkarak, 2016 yılında Jaya Algoritmasını tanıtmıştır (Rao, 2016). TLBO'dan farklı olarak (TLBO 2 aşamalıdır) 1 aşamadan oluşmaktadır. Bu da Jaya algoritmasını daha basit ve uygulanabilir kılmıştır. Diğer algoritmalara oranla avantajları arasında algoritmayı niteleyen parametre gerektirmemesi, daha az aşamadan oluşması, birkaç fonksiyonla optimum değerlere ulaşabilmesi gibi özellikler sayılabilir.

Jaya Algoritması çeşitli mühendislik dallarında uygulandığı gibi, inşaat mühendisliği dalında da önemli bir yere sahiptir. Kütle sönümleyicilerin optimizasyonunda kullanılmasının yanı sıra kafes kiriş tipi yapıların optimize edilmesi, iskelet yapıların boyut optimizasyonu, beton basınç dayanımının modellenmesi gibi farklı mühendislik problemlerinde de kullanılmıştır (Bekdaş vd., 2018/Öztürk, 2018/Bekdaş vd., 2019/Değertekin vd., 2021/Kaveh vd., 2021).

Jaya algoritması için öncelikle amaç fonksiyonu belirlenir. $X_{i,new}$ olarak gösterilen amaç fonksiyonu hesabı Denklem 3.19'da verilmiştir. Denklemde yer alan $X_{i,new}$, i. tasarım değişkeni için belirlenecek yeni değeri, $X_{i,j}$, i. tasarım değişkeninin j. Aday çözümünün başlangıç matrisindeki değeri, $X_{i,best}$, amaç fonksiyonu açısından en iyi olan çözüme ait i. Tasarım değişkeni değeri, $X_{i,worst}$, amaç fonksiyonu açısından en kötü olan çözümün yer aldığı vektördeki i. Tasarım değişkeni değerini ifade eder.

$$X_{i,new} = X_{i,j} + rand\left(X_{i,best} - \left|X_{i,j}\right|\right) - rand(X_{i,worst} - \left|X_{i,j}\right|) \tag{3.19}$$

3.2. TLD OPTİMİZASYONUNUN TARİHSEL GELİŞİMİ VE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Ayarlı sıvı sönümleyicilerin tasarımında, 90'lı yıllardan günümüze kadar gelinen süreçte birçok optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda gösterilmiştir.

Gao vd. 1997'de ayarlanmış sıvı kolon damper için parametrik optimizasyon yapmıştır (Gao vd., 1997).

2000’de Xue vd. yalpalamayı kontrol etmek için sönümsüz yapıda, Den Hartog’un çalışmasından faydalanarak, TLD parametre optimizasyonu gerçekleştirmiştir (Xue vd., 2000).

Taflanidis vd. 2005’te ayarlı sıvı kolon sönümleyicilerle Sıvı kolon titreşim emiciler için yapıyı beyaz gürültüye maruz bırakarak, titreşim kontrolüne olan etkilerini araştırmış, optimize edilmiş değerlerle bu iki tip sönümleyici performansını incelemiştir (Taflanidis vd., 2005).

2009’da Shum, harmonik titreşimi kontrol etmek için çalışmasında TLCD kullanıp, optimum parametre değerlerini geliştirmeyi hedeflemiştir (Shum, 2009).

Debbarma vd. 2010‘da Stokastik deprem yüküne maruz bir yapıda TLCD kullanarak, sönümleyici parametrelerini optimize edip, performansını incelemiştir (Debbarma vd., 2010).

Tanveer vd. 2020’de farklı yoğunluktaki sıvı ve bilye çeşitlerini kullanarak oluşturduğu TLCBD için malzeme optimizasyonu yapmıştır (Tanveer vd., 2020).

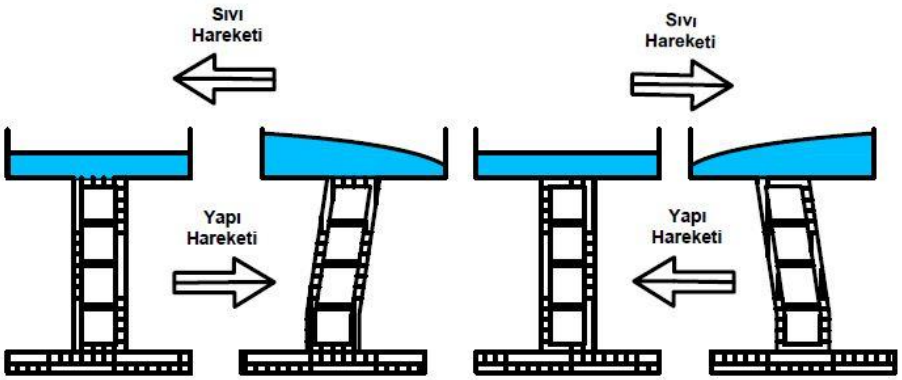
Mehrikan ve Altay Çok yönlü ayarlanmış sıvı kolon damperi (O-TLCD) modellemiş ve araştırma sonucunda optimizasyon yaklaşımı tavsiye etmiştir (Mehrikan ve Altay, 2020).

3.3. YAPILARIN DİNAMİK HAREKETİ

Yapı hareketlerinin oluşumu, mühendislik bilimi nazarında incelendiğinde deprem, rüzgâr vb. dış etmenler sonucu yapıda oluşan titreşim gibi dinamik etkilerin, yapı kullanıcıları ve diğer canlı yaşamları için en önemli unsur olduğu görülmektedir. Yaşam kalitesini düşüren ve yapının kullanımını olumsuz etkileyen bu faktörleri minimum düzeye indirmek için çeşitli cihazlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da yer verilen, maliyeti, bakım onarımı ve bilhassa eski yapılara da uygulanabilmesi gibi avantajların fazlaca olduğu ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD), yapıdaki dinamik hareketi sönümlemede aktif olarak rol almaktadır. Yapı hareketini sönümlemede optimum sönüm oranının elde edilmesi aşamasında TLD cihazlarına ait parametreler çeşitli hareket denklemleri ve çalkalanma problemiyle açıklanmaktadır. Tezin bu kısmında TLD’ye ait parametreler ve bu değerlerin belirlenmesi ile ilgili bilgi verilmektedir.

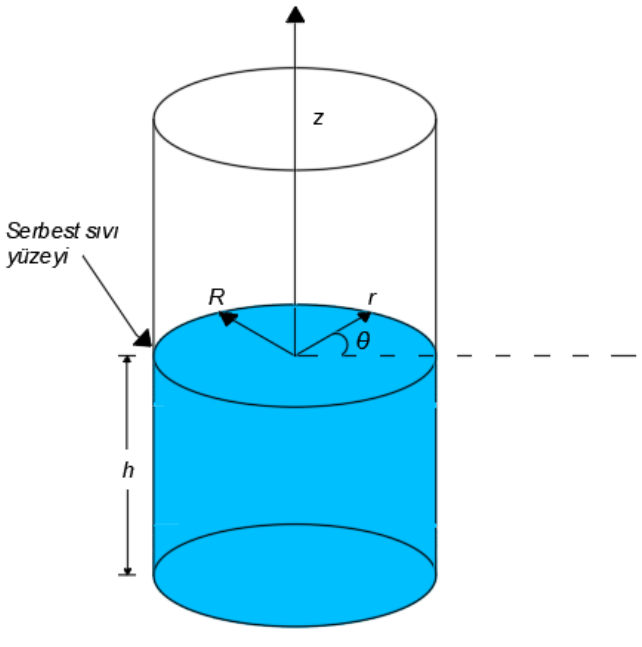
3.3.1. TLD Parametrelerinin Belirlenmesi ve Hareket Denklemleri

Bir sıvı sönümleyici incelendiğinde temelde, diğer sönümleme cihazlarıyla benzer şekilde oluşan hareketi sönümlemede bünyesinde bulundurduğu kütleyi kullanmaktadır. Burada bahsi geçen kütle, kullanılan TLD tankları içerisinde ayarlanan frekansta hareket etmesi öngörülen sıvı olmaktadır. Yine bu kütleyi istenilen hızda dolaştırabilmek için tanımlanan periyot, hız, ivme frekans vb. parametreler de kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında silindirik tabanlı TLD cihazlar için hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 3.4'te yapı üzerine eklenmiş TLD'yi ve sıvı hareketini gösteren şema gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Yapı üzerine yerleştirilmiş TLD cihazı ve sıvı hareketi (https://openconstructionbuildingtechnologyjournal.com).

Silindir tanklara sahip bir TLD cihaz için hareket denklemlerinin ifade edilmesine dair kullanılan bilgiler ve denklemler aşağıda verilmektedir. Şekil 3.5'te silindirik tank gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Silindirik tank koordinatları ve serbest sıvı yüksekliği gösterimi (Sharma vd., 2019).

Kütle (m) Yapının kütlesidir. TLD sıvı kütlesi için kütle oranı μ (su kütlesinin, yapı kütlesine oranı) ise literatürde %1 ile %4 arasında seçilmesi TLD performansı açısından önerilmiştir (Sun ve diğ., 1992 ve Yu ve diğ., 1999). Denklem (3.20)'de kütle oranı denklemi ifade edilmiştir.

$$\mu = \frac{m_{TLD}}{m} \cong \%1{\sim}4 \tag{3.20}$$

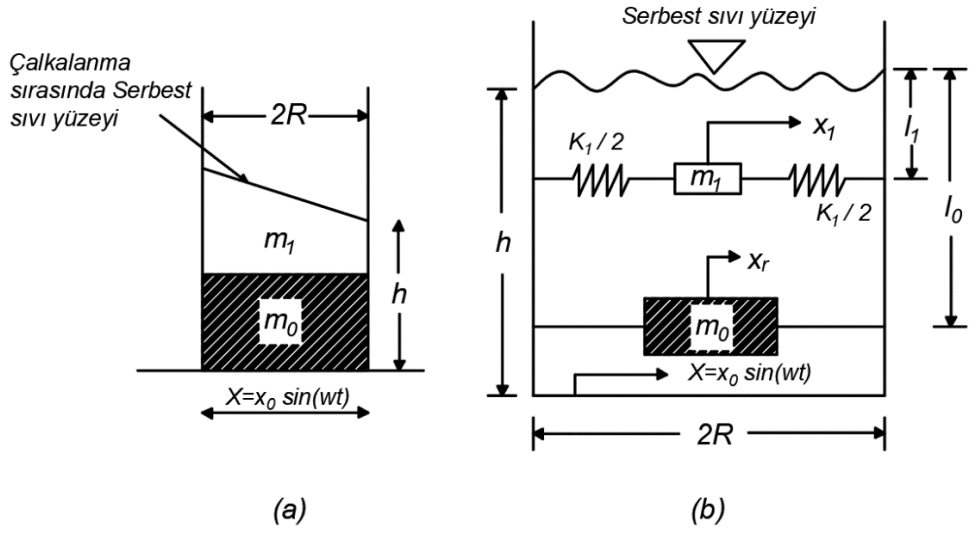
Doğal Açısal Frekans (ω, ω_d), Birim zamanda meydana gelen titreşimin değeridir. Denklem (3.21)'de yer alan w yapının açısal frekansını, Denklem 3.22'de verilen w_d ise TLD'nin doğal açısal frekansını göstermektedir. 3.22'de verilen denklem sadece sığ sular için geçerlidir

$(\frac{h}{2R} > 0.15)$ (Fujino ve diğ., 1992.)

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{3.21}$$

$$\omega_d = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g\pi}{2R}\tanh\left(\frac{\pi h}{2R}\right)} \tag{3.22}$$

Silindirik bir kaba gelen yanal uyarımlar sonucu oluşacak çalkalanma hareketi Şekil 3.6 (a)'da Abramson yay kütlesi ile oluşturduğu basit bir model ise Şekil 3.6 (b)'de gösterilmektedir (Abramson, 1966).



Şekil 3.6: (a) Yanal çalkalama sırasında silindirik tank (b) Sıvı dolu silindirik kaptaki yanal çalkalanmanın yay kütlesi modeli olarak gösterimi (Abramson, 1966).

Şekilde sönümlenin sıfır düşünülüp, model kütlenin baz alınmaktadır. Silindirik tank incelendiğinde, içerisinde iki farklı sıvı kütle ayrımı olduğu görülmektedir. Burada m_0 olarak ifade edilen kütle, çalkalanma esnasında pasif olduğu kabul edilen, hareket etmeyen kütleyi, m_1 ifadesi de çalkalanan ana sıvı kütlesini belirtmektedir. K_1, çalkalamaya dahil olan m_1 kütlesinin, çalkalanmaya ait yay rijitliğini, pasif sıvı kütlesi m_0 ve aktif sıvı kütlesi m_1 kütlelerinin serbest sıvı yüzeylerine olan uzaklığını ifade etmektedir. Tanktaki toplam sıvı kütlesi M, silindirik modele gelecek uyarılar X, uyarım sonucu oluşan tepkiler x_1 ve x_r ise gösterilmektedir (Abramson, 1966; Wu vd., 1998; Anderson vd., 2000; Yalla vd., 2001; Gradinscak vd., 2010; Goudarzi vd., 2012; Cavalagli vd., 2017).

Yapıda kullanılacak olan TLD sıvı kütlesi M parametresinin hesabı, Denklem (3.23)'de gösterilmiştir.

$$M = m_0 + m_1 \tag{3.23}$$

m_0= Tanktaki pasif sıvı kütlesi

m_1=Tanktaki aktif sıvı kütlesi

Tankta çalkalanan sıvıya ait hareket denklemi Denklem 3.24'teki gibidir,

$$m_1\ddot{x}_1 + K_1x_1 = m_1x_0\omega^2\sin(\omega t) \tag{3.24}$$

K_1 = Çalkalanan sıvının yay rijitliği

Çalkalanan kütleye ait doğal frekans aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır;

$$\omega_1^2 = \frac{K_1}{m_1} \tag{3.25}$$

Şekil 3.3'te gösterilen model dikkate alındığında, Kaba gelecek bir uyarım sonucu oluşan yanal kuvvet, $X = x_0\sin(\omega t)$ Rouf A. İbrahim'in çalışması referans alınarak Denklem 3.26te gösterildiği gibi hesaplanmaktadır (İbrahim, 2005).

$$Fx = Mx_0\omega^2\sin(\omega t)\left\{1 + \frac{m_1}{M}\left(\frac{\omega^2}{\omega_{11}^2-\omega^2}\right)\right\} \tag{3.26}$$

Denklem 3.27'teki ifade, lineerize hidrodinamik teorisine uyarlandığında yanal kuvvet Denklem 3.28'daki şekilde türetilir.

$$Fx = Mx_0\omega^2\sin(\omega t)\left\{1 + \left(\frac{2R\omega^2\tanh(\frac{1.84h}{R})}{4.4h(\omega_{11}^2-\omega^2)}\right)\right\} \tag{3.27}$$

Denklem 3.27 ve 3.28'da verilen bilgilerden yola çıkarak model kütlenin toplam sıvı kütlesine oranı şu şekildedir (İbrahim, 2005);

$$\frac{m_1}{M} = \frac{Rtanh(\frac{1.84h}{R})}{2.2h} \tag{3.28}$$

Model kütlenin rijitliği ile toplam sıvı kütlesi oranı Denklem 3.29'de gösterilmektedir.

$$\frac{K_1}{M} = \frac{g\left\{\tanh(\frac{1.84h}{R})\right\}^2}{1.19h} \tag{3.29}$$

Abramson ve diğerleri tarafından yapılan çalışmanın öncülük ettiği TLD tasarımı ve hesaplamalarda, tankta kullanılan sıvının bir kısmının çalkalanmaya katılırken bir kısmının pasif kalarak hareket etmediği varsayılmaktadır (Abramson, 1961). Bu çalışma baz alındığında, hareketli olan sıvı kütlesinin doğal frekansının pasif sıvı kütlesine oranla daha düşük bir frekansa sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.4'teki modelde aktif sıvı kütlesine ait

yay rijitliği ve kütle damperi sırasıyla K_1 ve C_1, pasif sıvı kütlesine ait yay rijitliği ve kütle damperi ise K_0 ve C_0 olarak ifade edilmektedir. Newton'un hareket kanunlarından yola çıkılarak yukarıdaki modele göre hareket denklemleri Denklem 3.30 ve 3.31'da gösterilmektedir.

$$m_0\ddot{x}_r + K_0(x_r - X) + C_0(\dot{x}_r - \dot{X}) - K_1(x_1 - x_r) - C_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_r) = 0 \quad (3.30)$$

$$m_1\ddot{x}_1 + K_1(x_1 - x_r) + C_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_r) = 0 \quad (3.31)$$

Denklem 3.30 ve 3.31 matris formunda yazılmak istenirse, aşağıda şekilde ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} m_0 & 0 \\ 0 & m_1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \ddot{X}_r \\ \ddot{X}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_0 + C_1 & -C_1 \\ -C_1 & C_1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \dot{X}_r \\ \dot{X}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_0 + K_1 & -K_1 \\ -K_1 & K_1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X_r \\ X_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_0 \\ m_1 \end{bmatrix}[\ddot{X}_g] \quad (3.32)$$

Yukarıdaki matris formundaki denklemde gösterilen $\ddot{X}_g$ yer ivmesini ifade etmektedir.

Yatay deplasman (x), Dinamik harekete tepki olarak yapıda meydana gelen ötelenme miktarıdır.

Hız ($\dot{x}$), Yapıda, Dinamik kuvvetlerin etkisi ile veya serbest titreşim sonucu oluşan hızdır.

İvme ($\ddot{x}$), Yapıda, Dinamik kuvvetlerin etkisi ile veya serbest titreşim sonucu oluşan ivmedir.

Hareket denkleminde geçen yay rijitliği K_1 ve aktif sıvı kütlesi m_1 yardımıyla çalkalanmanın sönüm katsayısı C_1 Denklem 3.33'teki gibi hesaplanabilmektedir.

$$C_1 = \zeta_1 \times 2\sqrt{m_1 K_1} \quad (3.33)$$

Burada ζ_1 tanktaki çalkalanma sonucu oluşan sönümleme oranını ifade etmektedir. Sönümleme oranı ζ_1, dairesel tabanlı silindirik bir tank için yapılan çeşitli çalışmalar ve yapılan deneyler sonucu ampirik tahminler ile literatürde yer almıştır (Chu, 1960; Mikishev vd., 1961; Bauer, 1962; Bauer, 1964; Abramson, 1966; Wu vd., 1998; Anderson vd., 2000; Yalla vd., 2001; İbrahim, 2005; Gradinscak vd., 2010; Goudarzi vd., 2012; Cavalagli vd., 2017). Denklem 3.34'te sıvının kinematik viskozitesi dikkate alınarak sönüm oranı hesaplanabilmektedir.

$$\zeta_1 = 4.98 v^{1/2} R^{-3/4} g^{-1/4} \left[1 + \frac{0.318}{\sinh\left(\frac{1.84h}{R}\right)} \frac{1-\frac{h}{R}}{\cosh\left(\frac{1.84h}{R}\right)}\right] \quad (3.34)$$

Aktif sıvı kütlesi m_0, tankın kütlesi ile pasif sıvı kütlesinin toplamından oluşur. m_0 hesabı Denklem 3.35'te yay rijitliği K_o 3.36'te gösterilmektedir.

$$m_0 = M_{tank} + M - m_1 \quad (3.35)$$

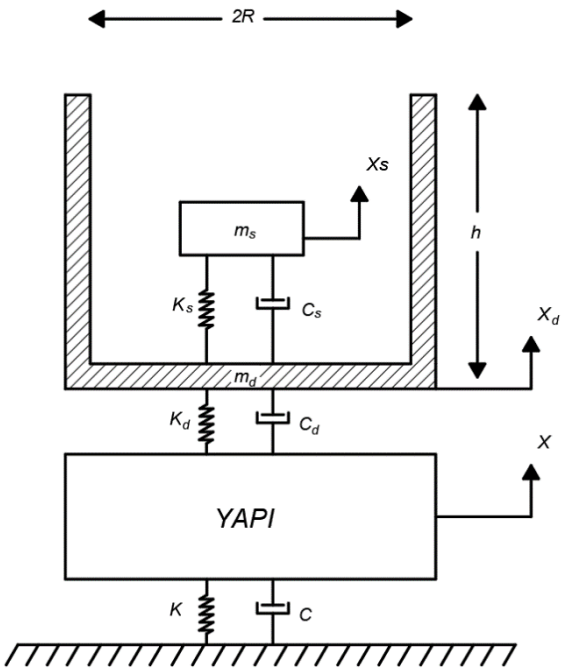
$$K_0 = m_0 (2\pi f_0)^2 \quad (3.36)$$

Periyot, yapının sönümsüz ortamda, bir defa titreşim hareketini yapabilmesi için geçen zamandır. Yukarıdaki denklemde kullanılan f_o yardımıyla yapıda TLD'nin doğal periyodu Denklem 3.37'teki gibi TLD'ye ait Sönüm katsayısı ise Denklem 3.38'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$T_d = \frac{1}{f_0} \quad (3.37)$$

$$C_0 = \zeta_1 \times 2\sqrt{m_0 K_0} \quad (3.38)$$

Bu tez çalışması kapsamında kullanılacak olan TLD modellemesi Şekil 3.7'de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Tek katlı yapı için kullanılan TLD modeli.

Bu modelde görülen silindirik tank, yapı üzerine bir yay ve kütle damperi kullanılarak yerleştirilmiştir. 3 serbestlik dereceli sisteme sahip yapı için kütle, rijitlik ve sönüm matrisi sırasıyla denklem 3.39-40 ve 41'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m_d & 0 \\ 0 & 0 & m_s \end{bmatrix} \tag{3.39}$$

$$\begin{bmatrix} K + K_d & -K & 0 \\ -K_d & K_d + K_s & -K_s \\ 0 & -K_s & K_s \end{bmatrix} \tag{3.40}$$

$$\begin{bmatrix} C + C_d & -C & 0 \\ -C_d & C_d + C_s & -C_s \\ 0 & -C_s & C_s \end{bmatrix} \tag{3.41}$$

En sade haliyle hareket denklemi Denklem 3.42'te verilmiştir.

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = [M]\{\ddot{X}_g\} \tag{3.42}$$

4. BULGULAR

Bu kısımda, Ayarlı sıvı sönümleyicilerin, daha önce kayıt altına alınmış bazı depremlere (FEMA) ait veriler kullanılarak, hareketin sönümlenmesindeki davranışı incelenmiştir. TLD performansını incelemek için öncelikle tek katlı, üç serbestlik dereceli (3DOF) bir yapıda 3 farklı sıvı cinsi optimize edilerek, sisteme uyarı olarak verilen deprem kaydı altındaki maksimum deplasmanları ve sistemde oluşan maksimum ivme değerleri elde edilmiş, farklı optimizasyon çeşitleri için karşılaştırmalar yapılmıştır.

Sıvı cinsi olarak yağ, su ve gliserin seçilerek, optimum TLD parametreleri için 3.Bölümde verilen denklemler yardımıyla, tasarım parametreleri hesaplanmıştır. Aşağıda, Tablo 4.1'de analiz için sisteme uygulanan deprem kayıtlarının listesi ve Tablo 4.2 'de kullanılan sıvılara ait özellikler gösterilmektedir.

Tablo 4.1: FEMA deprem kayıtları listesi.

Deprem No	Tarih	Deprem Adı	1.Bileşen	2.Bileşen
1	1994	Northridge	NORTHR/MUL009	NORTHR/MUL279
2	1994	Northridge	NORTHR/LOS000	NORTHR/LA270
3	1999	Duzce, Turkey	DUZCE/BOL0000	DUZCE/BOL090
4	1999	Hector Mine	HECTOR/HEC000	HECTOR/HEC090
5	1979	Imperial Valley	IMPVALL/H-DLT262	IMPVALL/H-DLT352
6	1979	Imperial Valley	IMPVALL/H-E11140	IMPVALL/H-E11230
7	1995	Kobe, Japan	KOBE/NIS000	KOBE/NIS090
8	1995	Kobe, Japan	KOBE/SHI000	KOBE/SHI090
9	1999	Kocaeli, Turkey	KOCAELI/DZC180	KOCAELI/DZC270
10	1999	Kocaeli, Turkey	KOCAELI/ARC000	KOCAELI/ARC090
11	1992	Landers	LANDERS/PLACE270	LANDERS/YER360
12	1992	Landers	LANDERS/CLW-LN	LANDERS/CLW-TR
13	1989	Loma Prieta	LOMAP/CAP000	LOMAP/CAP090
14	1989	Loma Prieta	LOMAP/G03000	LOMAP/G03090
15	1990	Manjil, Iran	MANJIL/ABBAR--L	MANJIL/ABBAR--T
16	1987	Superstition Hills	SUPERST/B-ICC000	SUPERST/B-ICC090
17	1987	Superstition Hills	SUPERST/B-POE270	SUPERST/B-POE360

Tablo 4.1 (devam): FEMA deprem kayıtları listesi.

18	1992	Cape Mendocino	CAPEMEND/RIO270	CAPEMEND/RIO360
19	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHICHI/CHY101-E	CHICHI/CHY101-N
20	1999	Chi-Chi, Taiwan	CHICHI/TCU045-E	CHICHI/TCU045-N
21	1971	San Fernando	SFERN/PEL090	SFERN/PEL180
22	1976	Friuli, Italy	FRIULI/A-TMZ000	FRIULI/A-TMZ270

Tablo 4.2: TLD'de kullanılan sıvılara ait özellikleri (Bulian vd., 2010).

	ρ	μ	v	Re	ρ
Su	998	8.94e-4	8.96e-7	97546	998
Yağ	900	0.045	5e-5	1748	900
Gliserin	1261	0.934	7.4e-4	118	1261

TLD sistemi, verilen 3 sıvı cinsi özellikleri kullanılarak Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon, Armoni Arama Algoritması, Çiçek Tozlaşma Algoritması ve Jaya Algoritmaları kullanılarak optimize edilmiştir.

Ayarlı sıvı sönümleyicilerin yapı sönümlemede veriminin araştırılması kapsamında, yine pasif bir sönümleme sistemi olan Ayarlı kütle sönümleyici (TMD) aynı yapı modelinde kullanılıp, TMD parametreleri optimize edilerek, TLD ile karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1. AYARLI SIVI SÖNÜMLEYİCİLERİN OPTİMUM TASARIMI

Ayarlı sıvı sönümleyiciler diğer pasif kontrol sistemleri gibi basit bir mekanik tasarıma sahiptir. Bir kütle ve yay yardımıyla enerjinin çevrimi sağlanıp, yapıdaki dinamizmin yönlendirilmesi hedeflenmektedir. Ayarlı sıvı sönümleyicilerde ise bu kütle tank ve sıvıyı ifade etmektedir. TLD tasarımında tankın boyutları malzeme cinsi, kütlesi ve kullanılan sıvının özellikleri, sönümü doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen faktörleri oluşturmaktadır. Ayarlı sıvı sönümleyici için seçilen sıvının daha az yoğun ya da daha fazla yoğun olması dahi, sönümlemedeki performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu yüzden TLD tasarlarken,

çalkalanmasından faydalanması planlanan sıvının akmaya karşı gösterdiği direncin, optimum olabilecek sıvının seçilmesinde önemli rol oynamaktadır.

4.1.1. TLD Tasarım Parametreleri

TLD tankları dairesel ya da dikdörtgen tabanlı olabilmektedir. Seçilen taban geometrisine göre optimize edilecek parametrelere de karar verilmiş olur. Bu tez çalışması kapsamında silindirik tanka sahip TLD için tasarım yapılmıştır.

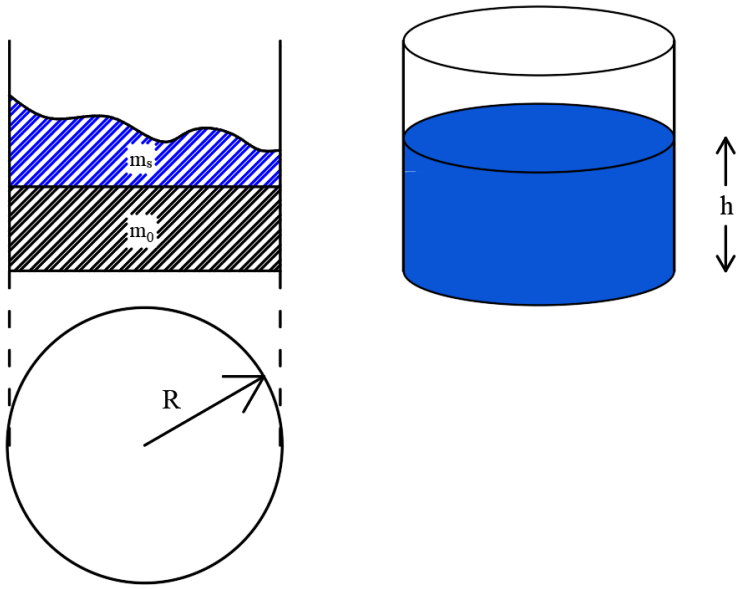
Ayarlı sıvı sönümleyicilerde tasarım yaparken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, tank içerisindeki sıvının kütlesidir. Aktif çalkalan sıvı kütlesi m_s, pasif hareketsiz sıvı kütlesi m_0 , boş tankın kütlesi m_{TANK} ve TLD toplam kütlesi m_{TLD} olmak üzere TLD için kütle tanımlaması yapılmaktadır. Tanktaki toplam sıvı kütlesi m_{st} olarak ifade edilmektedir. Denklem 4.1'de, toplam sıvı kütlesi, Denklem 4.2'de hareketsiz sıvı ve tankın kütlesi ile Denklem 4.3'te TLD toplam kütlesi hesabı gösterilmektedir.

$$m_{st} = m_0 + m_s \tag{4.1}$$

$$m_d = m_0 + m_{TANK} \tag{4.2}$$

$$m_{TLD} = m_0 + m_s + m_{TANK} \tag{4.3}$$

Şekil 4.1'de kullanılan silindirik tank modeli şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1: TLD tank modeli.

TLD optimizasyonu sonucunda 3.Bölümde yer alan denklemler yardımıyla hesaplanan tasarım parametreleri tablo 4.3'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3: TLD Tasarım Parametreleri.

Açıklama	**Tasarım Parametresi**
Yapının kütlesi	m
Aktif sıvı kütlesi	m_s
Pasif sıvı kütlesi	m_0
Toplam sıvı kütlesi	m_{st}
TLD Tankı boş kütlesi	m_{TANK}
TLD kütlesi	m_{TLD}
Boş tank + pasif sıvı kütlesi	m_d
Yerçekimi ivmesi	g
Kinematik viskozite	v
Yoğunluk	ρ
Yapı Rijitliği	k
Çalkalanan sıvı rijitliği	k_s
TLD rijitliği	k_d
Yapı Sönüm Katsayısı	c
Çalkalanmanın Sönüm Katsayısı	c_s
TLD Sönüm Katsayısı	c_d
Tanktaki sıvı yüksekliği	h
Tank yarıçapı	R
Sönüm Oranı	ζ
Çalkalanmanın Sönüm Oranı	ζ_s
TLD Periyodu	T_d
Yapının sönümsüz ortamda frekansı	f
Deplasman	x
İvme	$\ddot{x}$

4.1.2. TLD Tasarım Kısıtları

Bu kısımda, üç serbestlik dereceli ayarlı sıvı sönümleyici sistem, 100 tonluk, 1sn periyotlu %5 sönüme sahip bir yapının, en üst katına yerleştirilip su, yağ ve gliserin için optimum TLD parametreleri belirlenmiştir. TLD için minimum yükseklik ve tank yarıçapı 0.1m, maksimum 10 m seçilmiştir. TLD kütlesi yapının %5'i olarak belirlenmiştir. TLD periyodu, yapının periyodunun 0,5'i ile 1,5 katı arasında seçilen değerler için optimize edilmiştir. TLD tasarım optimizasyonunda tasarım kısıtlarından biri de silindirik tanka sahip TLD cihazlar için literatürde yer alan yükseklik ve çap arasındaki orandır. Fujino ve diğ. 1992'de yaptıkları çalışmada TLD tankında yükseklik ve taban uzunluğu arasında ($\frac{h}{2R} > 0.15$) bir oran önermişlerdir (Fujino ve diğ., 1992).

TLD optimizasyonu için kullanılan tasarım kısıtları Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4: TLD Tasarım Kısıtları.

Açıklama	**Tasarım Parametresi**
TLD kütlesi	Yapı kütlesinin %5 'i
Maksimum Yükseklik	10 m
Minimum Yükseklik	0.1 m
Maksimum Yarıçap	10 m
Minimum Yarıçap	0.1 m
TLD Periyodu	Yapı Periyodunun 0.5 ~ 1.5'i
Yüksekliğin çapa oranı	$\frac{h}{2R} > 0.15$
Sönüm Oranı	%1 ~ %50

Tablo 4.4'te belirtilen h tanktaki sıvı yüksekliğini, R tank yarıçapını ifade etmektedir.

4.1.3. TLD Amaç Fonksiyonu

Optimizasyon işleminde amaç fonksiyonu problemin cinsine göre farklılık göstermektedir. Ayarlı Sıvı Sönümleyicilerde bu fonksiyon, yapıya verilen uyarımlar altında yapının en üst katında oluşacak maksimum deplasmanı minimize etmeyi sağlayacak şekilde seçilmektedir. Sisteme yüklenen uyarıların yapıda meydana getirdiği maksimum yer değiştirme değerini en

uygun değere düşürmek için TLD parametreleri, çeşitli algoritmalarla optimize edilir. Böylece elde edilen TLD parametreleri yapının en üst katında oluşacak deplasmanı minimum düzeye indiren değişkenleri vermiş olur.

4.2. JAYA ALGORİTMASI (JA) OPTİMİZASYONU İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Ayarlı sıvı sönümleyicilerin optimizasyonunda çeşitli algoritmalarla amaç fonksiyonuna uygun TLD parametrelerini elde etmek mümkündür. Tezin 3.Bölümünde yer alan Jaya Algoritması denklemlerinden faydalanılarak 3 farklı sıvı cinsi için optimizasyon işlemi yapılmıştır. Jaya algoritması kolay uygulanabilirliği ve az sayıda denklem içermesi sebebiyle optimizasyonu uygulaması daha basit olan algoritmalardandır.

Jaya algoritması optimizasyonuyla içerisinde su, yağ ve gliserin kullanılan 3DOF sisteme sahip 3 farklı ayarlı sıvı sönümleyici modeli, 44 deprem verisi içeren FEMA deprem kayıtları uyarı olarak verilerek optimize edilmiştir. Tablo 4.5'te Yapıya ait kütle, yay rijitliği ve sönüm katsayısı değerleri 1 sn. periyotlu yapı için verilmiştir. Tablo 4.6'da Bölüm 3'te verilmiş olan TLD denklemleriyle hesaplanmış tasarım parametreleri Tablo 4.7'de TLD-Su için optimize edilmiş değerler, gösterilmektedir.

Tablo 4.5: TLD'siz 1sn Periyotlu Yapı Parametreleri.

Parametreler	**Değerler**
$\boldsymbol{m}$ (kg)	100000
$\boldsymbol{k}$ (N/m)	3947841.76
$\boldsymbol{c}$ (Ns/m)	62831.85

Tablo 4.6:TLD-Su Tasarım Parametreleri.

Parametreler	**Değerleri**
Yoğunluk (kg/m^3)	998
Kinematik Viskozite (m^2/s)	8.96x10^{-7}
Toplam sıvı kütlesi (kg)	4706.16
Aktif sıvı kütlesi (kg)	246.90

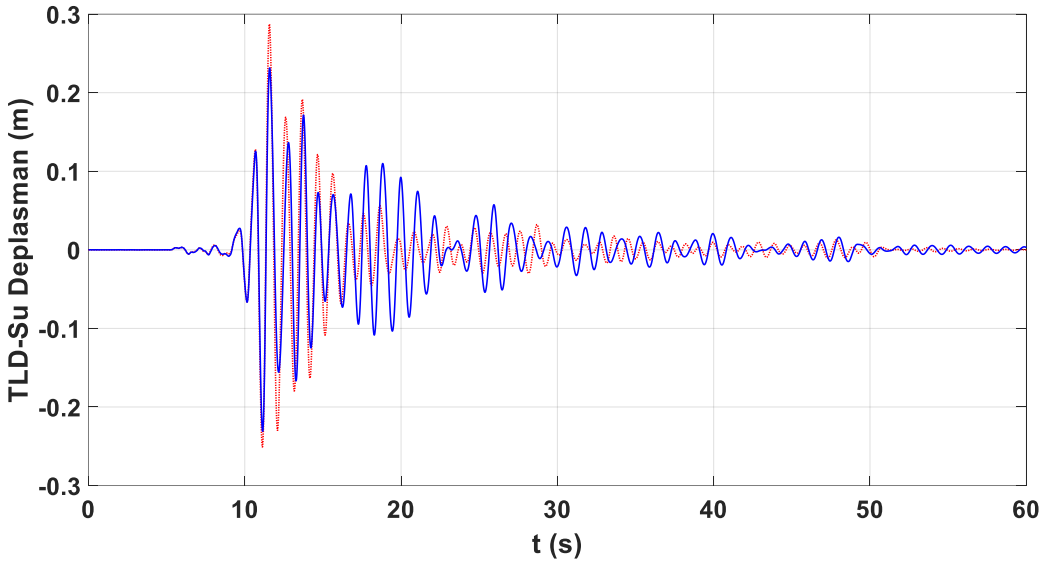
Tablo 4.6 (devam):TLD-Su Tasarım Parametreleri.

Çalkalanma rijitliği (N/m)	8029.84
Çalkalanma Sönüm oranı	0.0041
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	11.6273
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4753.10
TLD kütlesi (kg)	5000
TLD rijitliği (N/m)	236477.01
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	1741.59

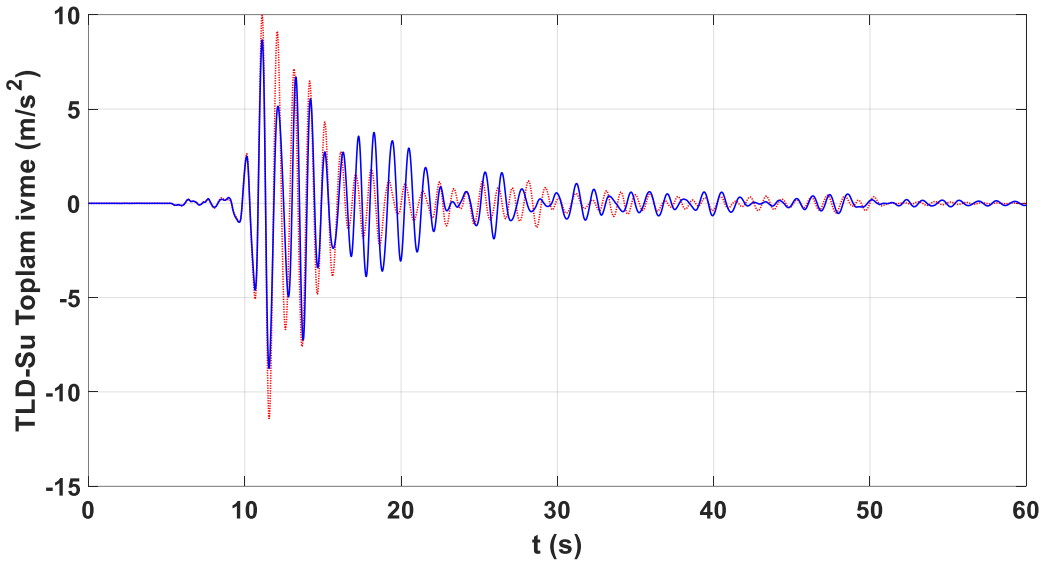
Tablo 4.7:TLD-Su Optimize Edilmiş Değerler.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**
$\boldsymbol{T_d}$ (s)	0.8903
$\boldsymbol{\zeta}$	0.0254
$\boldsymbol{R}$ (m)	0.5575
$\boldsymbol{h}$ (m)	4.6875

Optimize edilmiş değerlerin analizi incelendiğinde TLD-Su Jaya optimizasyonu için FEMA deprem kayıtları içinde maksimum deplasman değeri 6. Deprem kaydında gözlemlenmiştir. TLD-Su için 6.deprem kaydına ait deplasman grafiği Şekil 4.2'de toplam ivme grafiği Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



Şekil 4.2: Jaya optimizasyonuyla TLD-Su 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.3: Jaya optimizasyonuyla TLD-Su 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

Jaya optimizasyon işlemi Yağ ve Gliserin için de uygulanıp TLD-Yağ için tasarım parametreleri ve optimize edilmiş değerler Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'de gösterilmiştir.

Tablo 4.8:TLD-Yağ Tasarım Parametreleri.

Parametreler	**Değerleri**
Yoğunluk (kg/m^3)	900 kg/m^3
Kinematik Viskozite (m^2/s)	$5x10^{-5}$ m^2/s

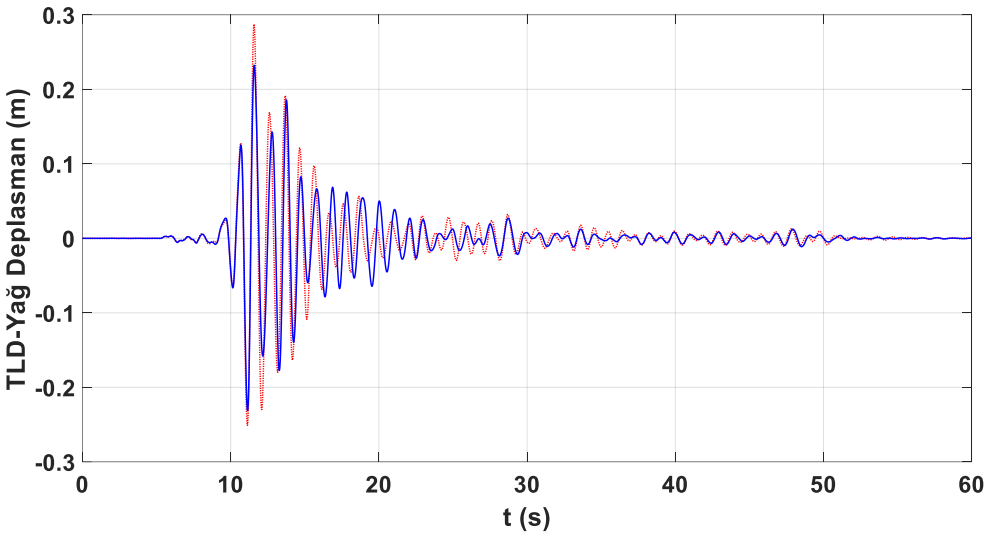
Tablo 4.8(devam):TLD-Yağ Tasarım Parametreleri.

Toplam sıvı kütlesi (kg)	4375.99
Aktif sıvı kütlesi (kg)	278.98
Çalkalanma rijitliği (N/m)	8416.02
Çalkalanma Sönüm oranı	0.0292
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	89.3408
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4721.02
TLD kütlesi (kg)	5000
TLD rijitliği (N/m)	237005.90
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	1374.30

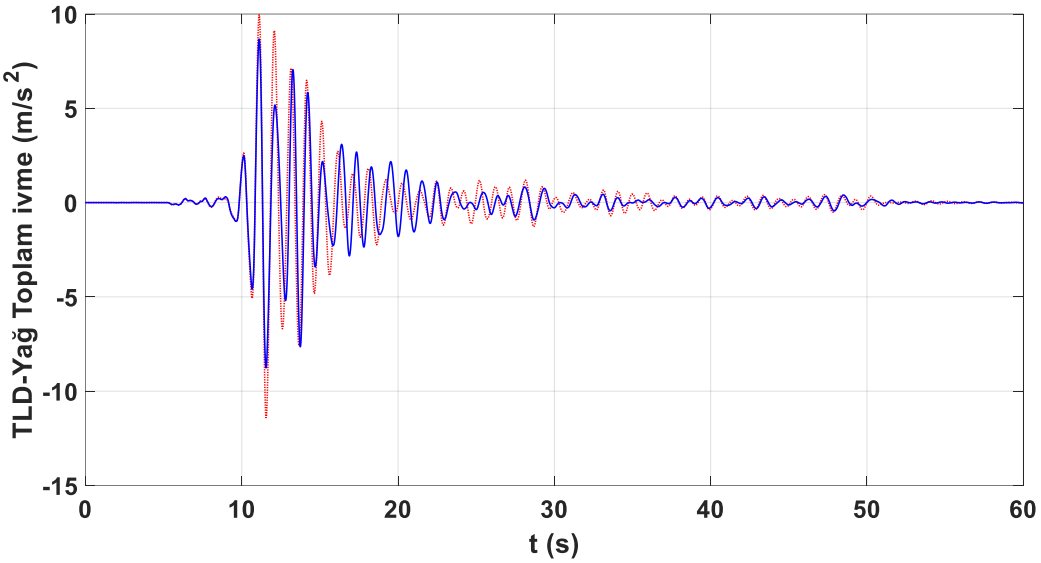
Tablo 4.9:TLD-Yağ Optimize Edilmiş Değerler.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**
$\boldsymbol{T_d}$ (s)	0.8863
$\boldsymbol{\zeta}$	0.0203
$\boldsymbol{R}$ (m)	0.6012
$\boldsymbol{h}$ (m)	4.0610

TLD-Yağ için yapılan Jaya optimizasyonunda elde edilen, kritik deprem olan 6.deprem kaydında oluşan deplasman ve toplam ivme değerleri sırasıyla Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmektedir.



Şekil 4.4: Jaya optimizasyonuyla TLD-Yağ 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.5: Jaya optimizasyonuyla TLD-Yağ 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

TLD-Gliserin için tasarım parametreleri ve Optimize edilmiş değerler Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'da gösterilmektedir.

Tablo 4.10:TLD-Gliserin Tasarım Parametreleri.

Parametreler	**Değerleri**
Yoğunluk (kg/m^3)	1261
Kinematik Viskozite (m^2/s)	7.4x10^{-4}
Toplam sıvı kütlesi (kg)	4229.31

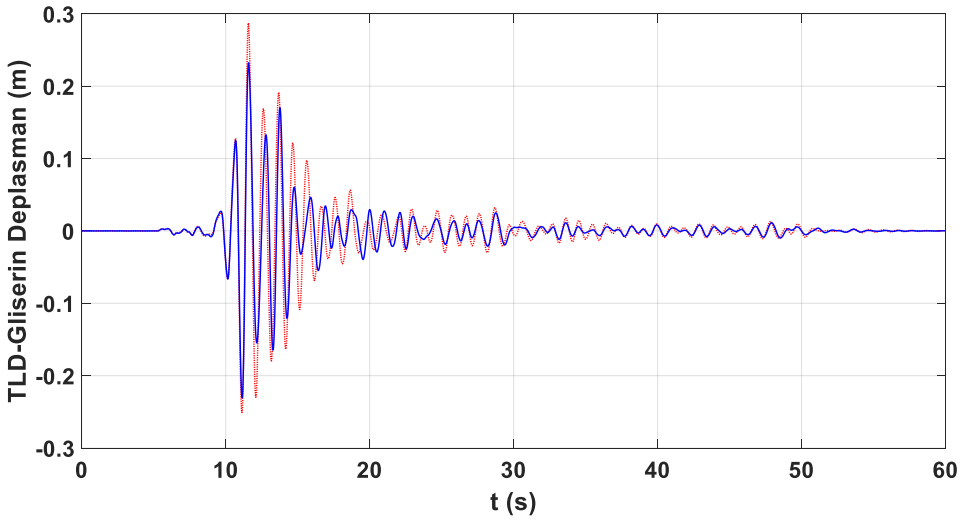
Tablo 4.10 (devam):TLD-Gliserin Tasarım Parametreleri.

Aktif sıvı kütlesi (kg)	432.23
Çalkalanma rijitliği (N/m)	12609.48
Çalkalanma Sönüm oranı	0.1094
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	510.6591
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4567.77
TLD kütlesi (kg)	5000
TLD rijitliği (N/m)	231398.87
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	650.2234

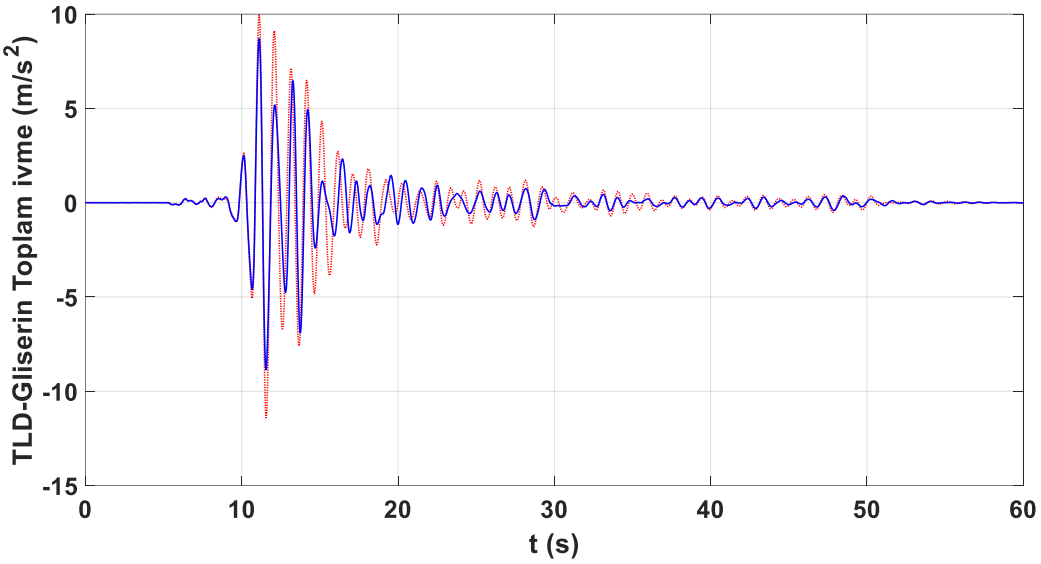
Tablo 4.11:TLD-Gliserin Optimize Edilmiş Değerler.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**
$\boldsymbol{T_d}$ (s)	0.8828
$\boldsymbol{\zeta}$	0.0100
$\boldsymbol{R}$ (m)	0.6215
$\boldsymbol{h}$ (m)	2.8559

TLD-Gliserin için yine maksimum deplasmanın gerçekleştiği 6. Deprem uyarıları için deplasman ve toplam ivme grafikleri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Jaya optimizasyonuyla TLD-Gliserin 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.

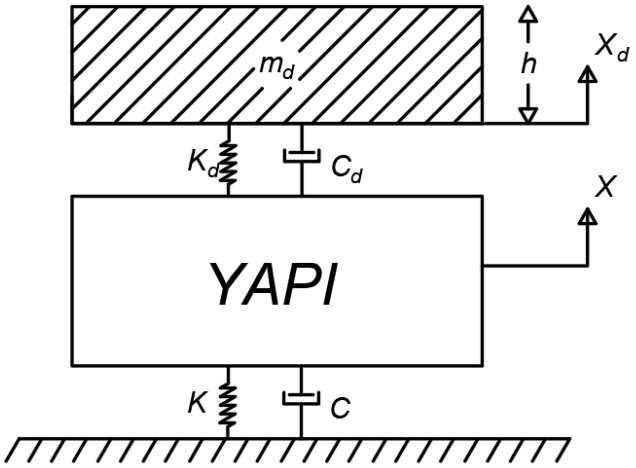


Şekil 4.7: Jaya optimizasyonuyla TLD- Gliserin 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

Jaya Optimizasyonuyla yapıya eklenmiş, su, yağ veya gliserin içeren TLD ile 1saniye periyotlu, herhangi bir sönümleyici kullanılmayan yapının, Fema deprem uyarıları altında gösterdikleri deplasman değerleri EK-1'de, toplam ivme değerleri Ek-2'de Tablo halinde gösterilmektedir.

4.2.1. Jaya Algoritmasıyla TMD Parametrelerinin Elde Edilmesi ve TLD ile Karşılaştırılması

Ayarlı sıvı sönümleyiciler, maliyet ve tasarımlarının basit mekanik bir sistemden oluşmaları ve dışardan bir enerjiye ihtiyaç duymamaları açısında, diğer sönümleyici çeşitleri arasında farkını göstermektedir. Ayarlı sıvı sönümleyicileri içinde olduğu pasif sönümleme sistemlerinden biri olan ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD) de benzer avantajlara sahiptir. Bu yüzden benzer bir sönümleyici sistem TMD ile 1saniye periyotlu yapı için Fema deprem uyarıları altında verdiği tepkiler için Jaya algoritmasında optimizasyon gerçekleştirilmiş ve TLD'nin kendi sönümleyici grubu içerisinde bir sönümleyiciyle performans farkı araştırılmıştır. TLD için geçerli olan tasarım kısıtları, sönüm oranı, kütle oranı gibi kısıtlar TMD'de de uygulanmıştır. TMD için kullanılmış model Şekil 4.8' de verilmiştir.



Şekil 4.8: TMD Modeli.

TMD tasarım parametrelerinin hesaplanmasında temel TMD denklemlerinden yararlanılmıştır. TMD Denklemleri Tablo 4.12'de belirtilmektedir.

Tablo 4.12: TMD Denklemleri.

Açıklama	**Denklem**
Doğal Açısal frekans (rad/s)	$w_s = \sqrt{\frac{k}{m}}$
Optimum Açısal Frekans (rad/s)	$\omega_d = \frac{2\pi}{T}$
TMD Rijitliği (N/m)	$k_d = {\omega_d}^2 m_d$
Sönüm Katsayısı (Ns/m)	$c_d = \xi_d.(2.m_d.w_d)$

TMD'nin tasarım parametreleri Tablo 4.13'te, optimize edilmiş değerleri Tablo 4.14'te verilmektedir.

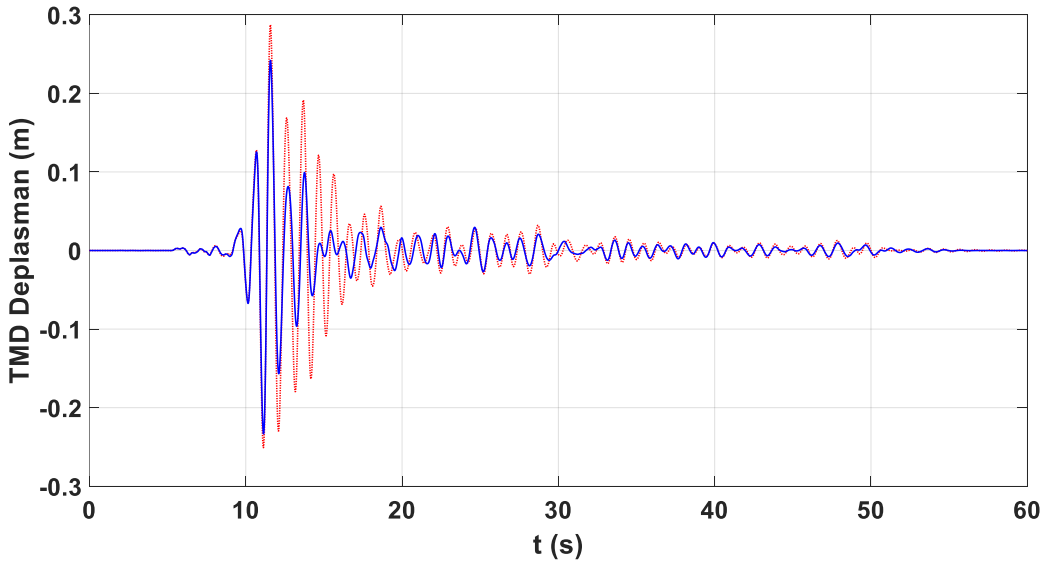
Tablo 4.13: TMD Tasarım parametreleri.

Parametreler	**Değerleri**
Doğal Açısal frekans (rad/s)	6.2832
Optimum Açısal Frekans (rad/s)	5.7334
TMD Rijitliği (N/m)	164356.88
TMD kütlesi (kg)	5000
Sönüm Katsayısı (Ns/m)	10004.71

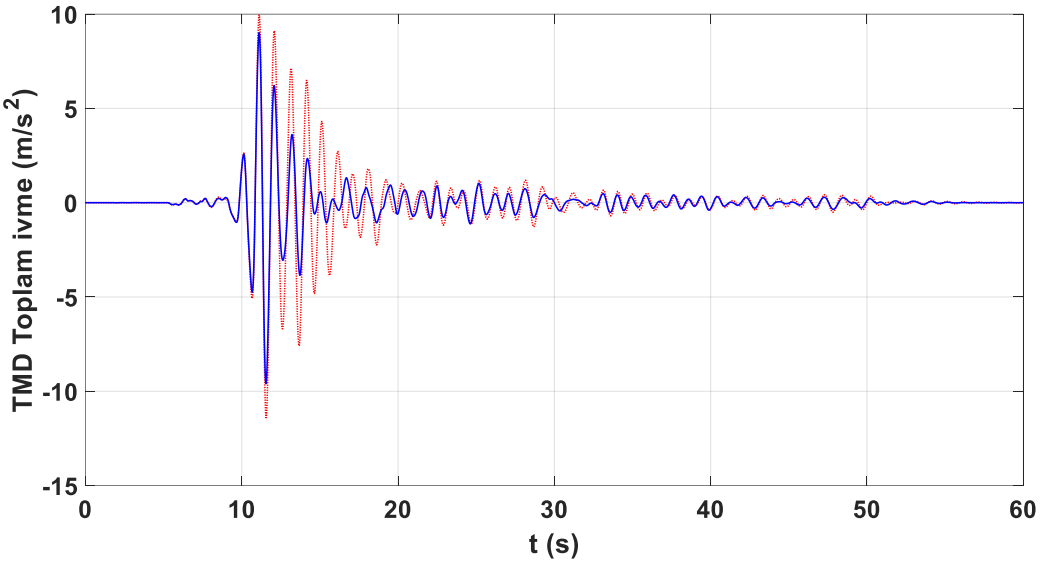
Tablo 4.14: TMD Optimize edilmiş Değerleri.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**
T (s)	1.0959 s
ζ	0.1745

Bir saniye periyotlu bir yapıda, TMD ve TLD'nin 3 farklı sıvı cinsi için yapı kontrolünde gösterdiği performans araştırılmış, yapıda gerçekleşen deplasman değerleri Ek-3'te, toplam ivme değerleri Ek-4'te verilmiştir. TMD için elde edilen kritik deprem olan 6. deprem kaydına ait deplasman ve toplam ivme grafikleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Jaya optimizasyonuyla TMD'nin 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.10: Jaya optimizasyonuyla TMD'nin 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

4.3. ÇİÇEK TOZLAŞMA ALGORİTMASI (FPA) OPTİMİZASYONU İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Çiçek Tozlaşma Algoritması, problemin çözümü için 2 yöntem sunmaktadır. Bu 2 yöntem global ve yerel arama sürecinden oluşmaktadır. Hangi yöntemin uygulanacağını, anahtar olasılığı olarak ifade edilen, probleme tanımlanan sp değeri belirlemektedir. Bu değer için getirilen sınırlar doğrultusunda problemin çözümünde lokal arama sürecinde Bölüm 3'te gösterilen Denklem 3.16, global arama sürecinde ise Lévy uçuşu denkleminden faydalanılan Denklem 3.18 denklemleri kullanılmakta ve yeni çözümler elde edilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında problem için sp değeri 0.5 alınmıştır.

Çiçek tozlaşma algoritmasıyla optimize edilen TLD değerleri, 3 farklı sıvı olarak su, yağ ve gliserin için Tablo 4.15'te hesaplanan TLD tasarım parametreleri, Tablo 4.16'da optimize edilmiş değerler gösterilmektedir.

Tablo 4.15: FPA ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri.

Açıklama	**TLD Parametreleri**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
Yoğunluk (kg/m^3)	998	900	1261
Kinematik Viskozite (m^2/s)	$8.96x10^{-7}$	$5x10^{-5}$	$7.4x10^{-4}$

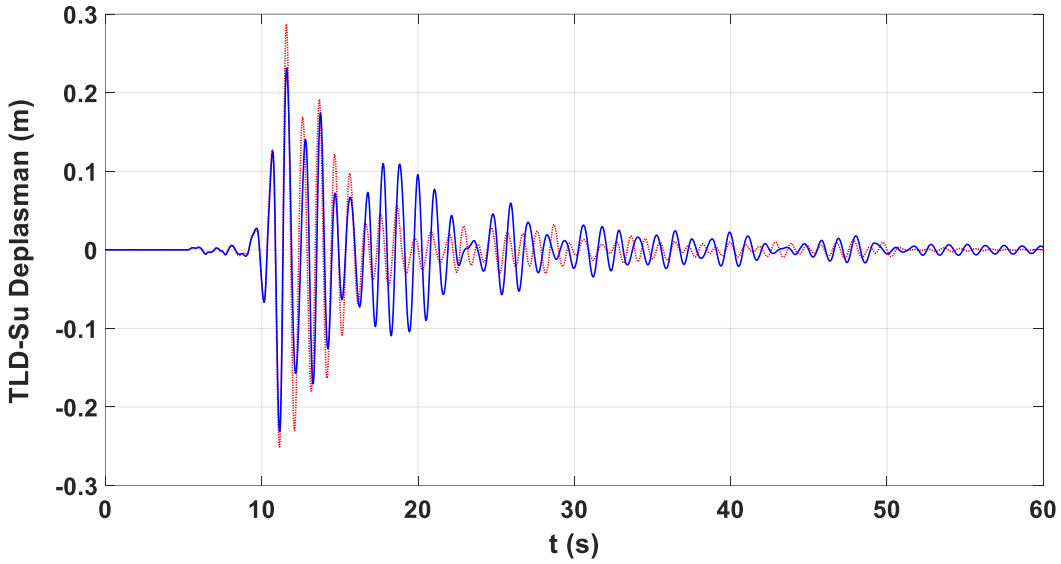
Tablo 4.15 (devam): FPA ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri.

Toplam sıvı kütlesi (kg)	4441.18	3032.14	3283.14
Aktif sıvı kütlesi (kg)	247.51	280.07	432.36
Çalkalanma rijitliği (N/m)	8043.09	8438.08	12611.79
Çalkalanma Sönüm oranı	0.0041	0.0291	0.1094
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	11.6441	89.5456	510.7370
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4752.49	4719.93	4567.64
TLD kütlesi (kg)	5000	5000	5000
TLD rijitliği (N/m)	239537.45	238423.10	231392.00
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	1417.78	1233.60	650.2050

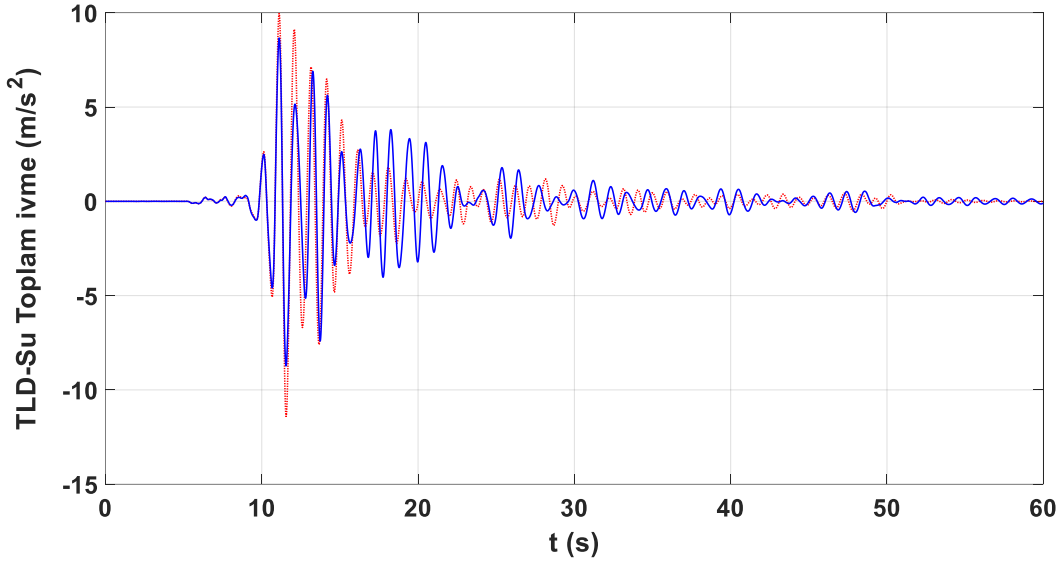
Tablo 4.16: Çiçek Tozlaşma Algoritmasıyla (FPA) Optimize Edilmiş TLD Değerleri.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
$\boldsymbol{T_d}$ (s)	0.8850	0.8840	0.8828
$\boldsymbol{\zeta}$	0.0210	0.0184	0.0100
$\boldsymbol{R}$ (m)	0.5579	0.6018	0.6215
$\boldsymbol{h}$ (m)	4.5505	2.9613	2.1453

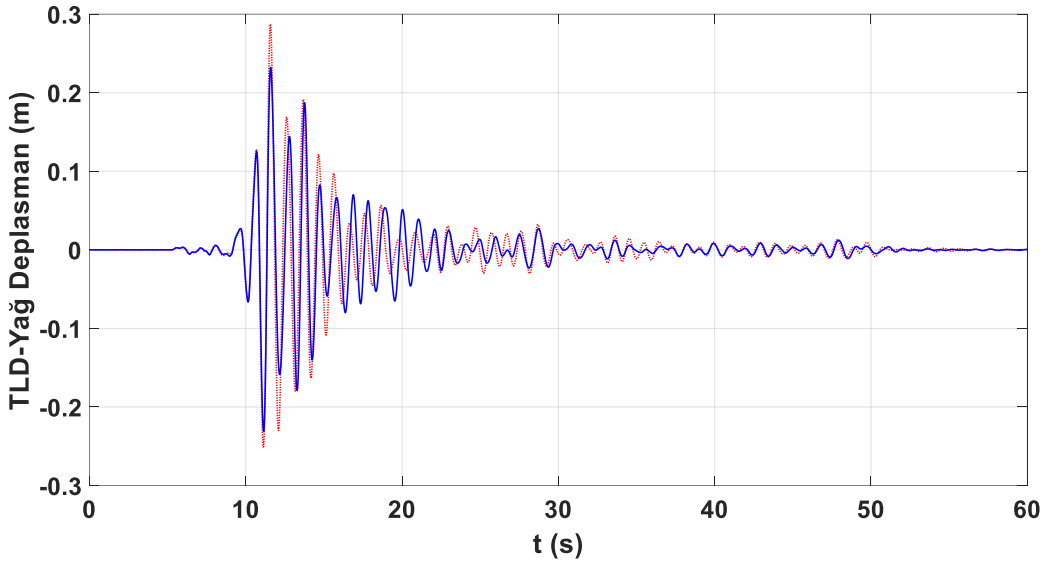
FPA optimizasyonu sonucu, maksimum deplasmanın oluştuğu depreme ait deplasman toplam ivme grafikleri su, yağ ve gliserin için sırasıyla Şekil 4.11-12, Şekil 4.13-14 ve Şekil 4.15-16'da gösterilmektedir.



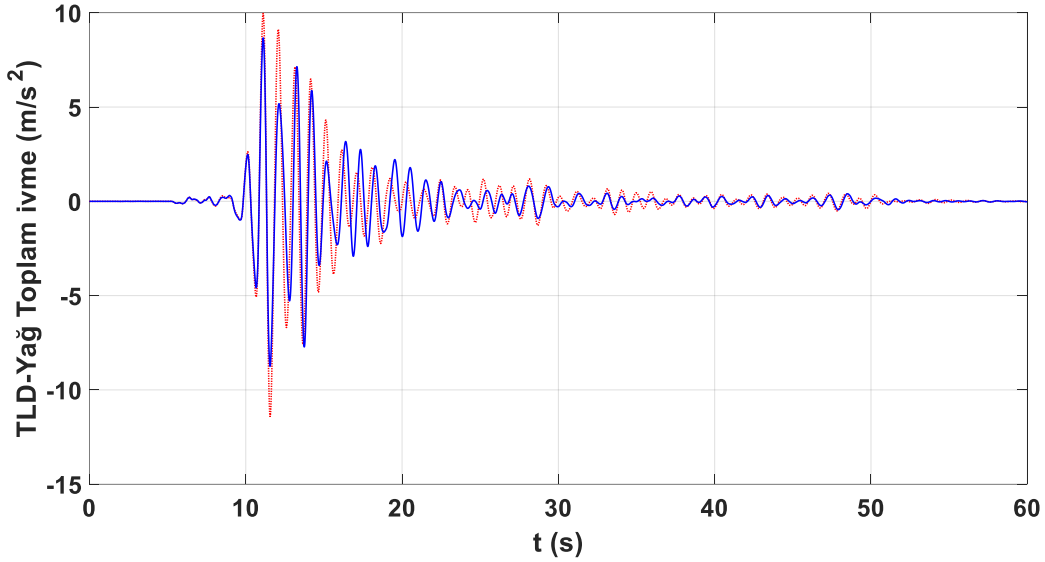
Şekil 4.11: FPA optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



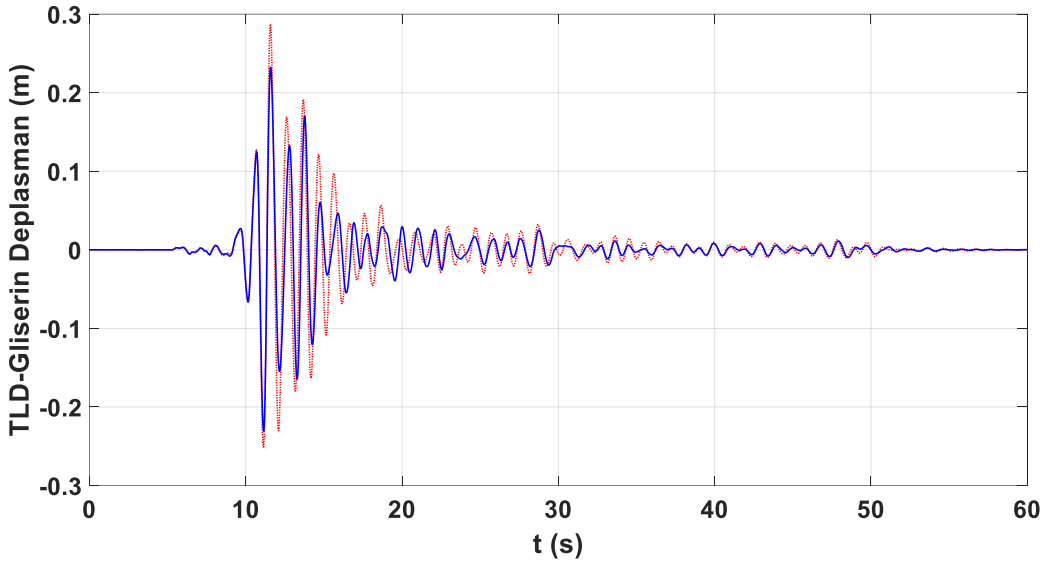
Şekil 4.12: FPA optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



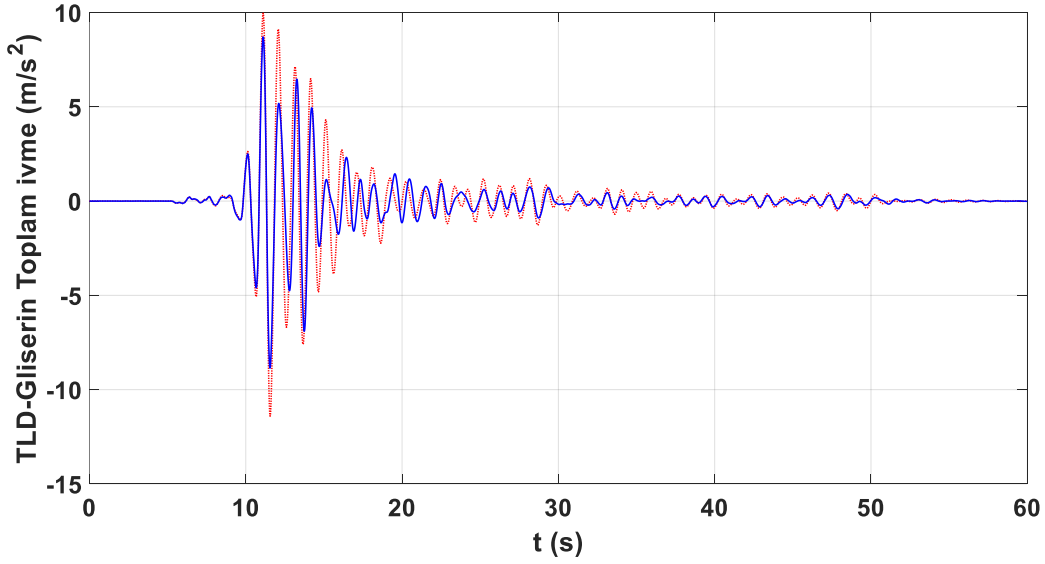
Şekil 4.13: FPA optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.14: FPA optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.15: FPA optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.16: FPA optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

4.4. ARMONİ ARAMA ALGORİTMASI (HS) OPTİMİZASYONU İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Armoni arama Algoritması, en iyi armoninin elde edilmesi için çeşitli armoni denemelerinde bulunur ve her yeni armoniyi hafızaya kaydeder. Optimum armoniyi elde etmek için ise armoni hafızası dikkate alma oranı (HMCR) ile Bölüm 3'te anlatılan Armoni arama

algoritması denklemlerinden faydalanmaktadır. HMCR değeriyle önceki armoni olarak ifade edilen değerleri karşılaştırır ve armoni vektör denklemini seçer. Bu çalışma kapsamında HMCR değeri 0.5 olarak alınmıştır. Sisteme tanımlanan iterasyon süreci tamamlanana kadar yeni armoniler oluşturmaya devam eder ve optimum armoniyi elde eder. Tablo 4.17'de TLD su, yağ ve gliserin için için hesaplanmış TLD parametreleri Tablo 4.18'de elde edilmiş optimum değerler verilmektedir.

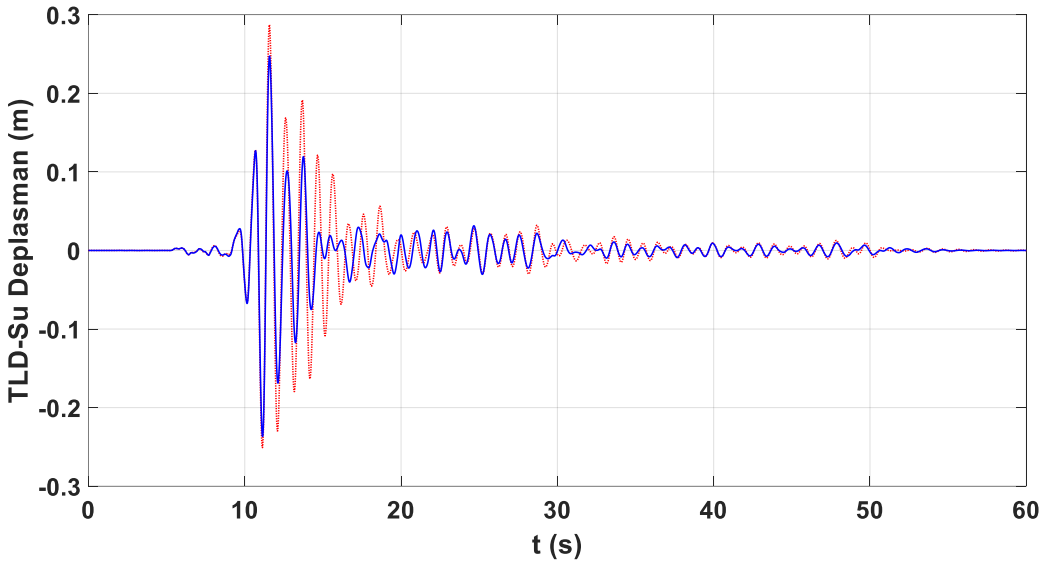
Tablo 4.17: HS ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri.

Açıklama	**TLD Parametreleri**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
Yoğunluk (kg/ m3)	998	900	1261
Kinematik Viskozite (m^2/s)	$8.96x10^{-7}$	$5x10^{-5}$	$7.4x10^{-4}$
Toplam sıvı kütlesi (kg)	535.84	187.68	2610.79
Aktif sıvı kütlesi (kg)	104.79	40.12	60.53
Çalkalanma rijitliği (N/m)	4532.64	2307.76	3400.44
Çalkalanma Sönüm oranı	0.0051	0.0473	0.1788
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	7.0481	28.7880	162.2235
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4895.21	4959.88	4939.47
TLD kütlesi (kg)	5000	5000	5000
TLD rijitliği (N/m)	170479.19	118863.99	177120.97
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	13883.61	19128.64	12059.48

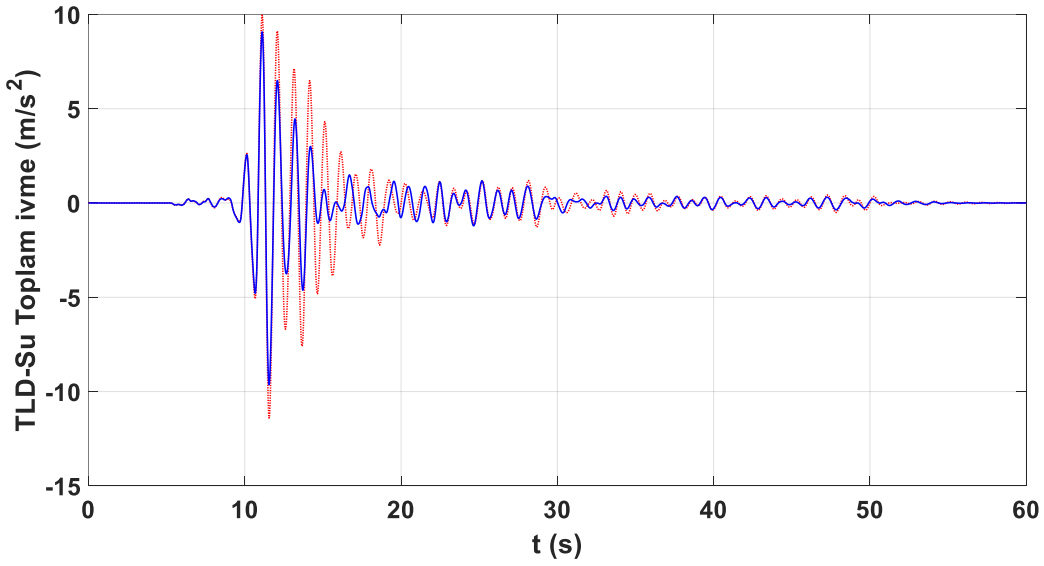
Tablo 4.18: Armoni Arama Algoritmasıyla (HS) Optimize Edilmiş TLD Değerleri.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
T_d (s)	1.0398 s	10812 s	1.0467 s
ζ	0.2329	02439	0.1948
R (m)	0.3938 m	0.2312 m	0.2312 m
h (m)	0.8160 m	6.2927 m	6.2927 m

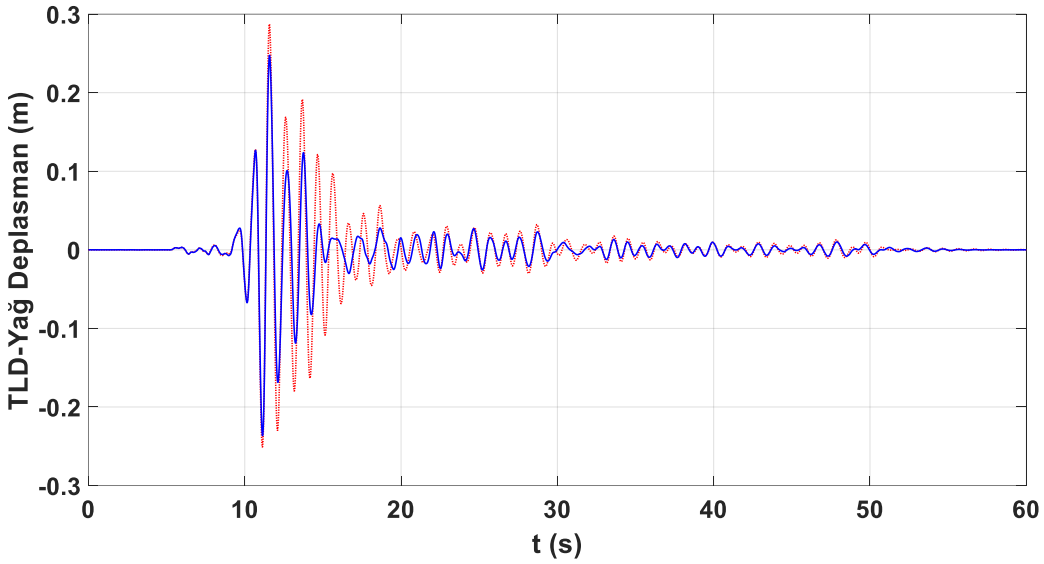
HS optimizasyonu sonucu, maksimum deplasmanın oluştuğu depreme ait deplasman, toplam ivme grafikleri su, yağ ve gliserin için sırasıyla Şekil 4.17-18, Şekil 4.19-20 ve Şekil 4.21-2'da gösterilmektedir.



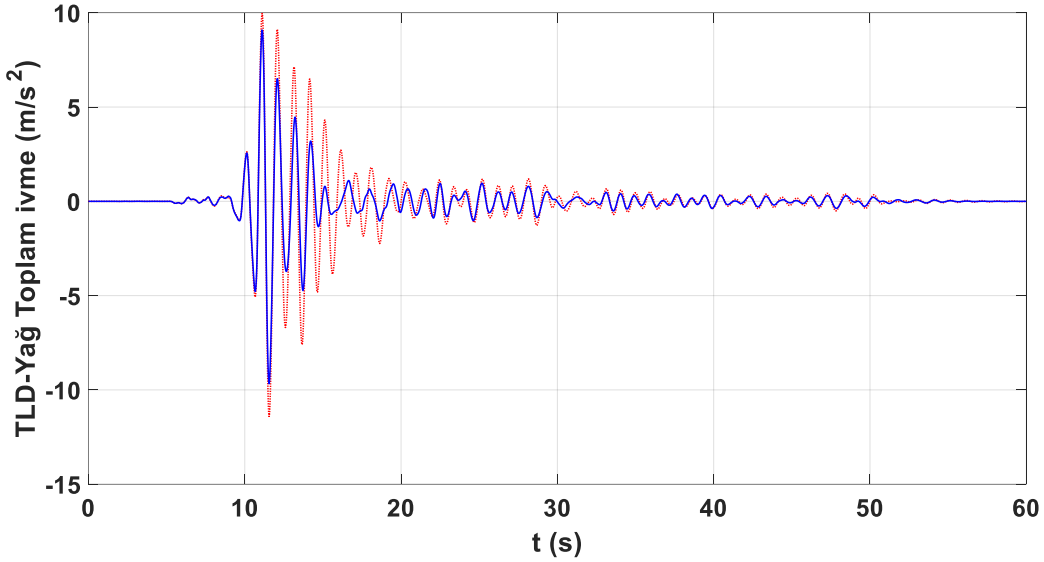
Şekil 4.17: HS optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



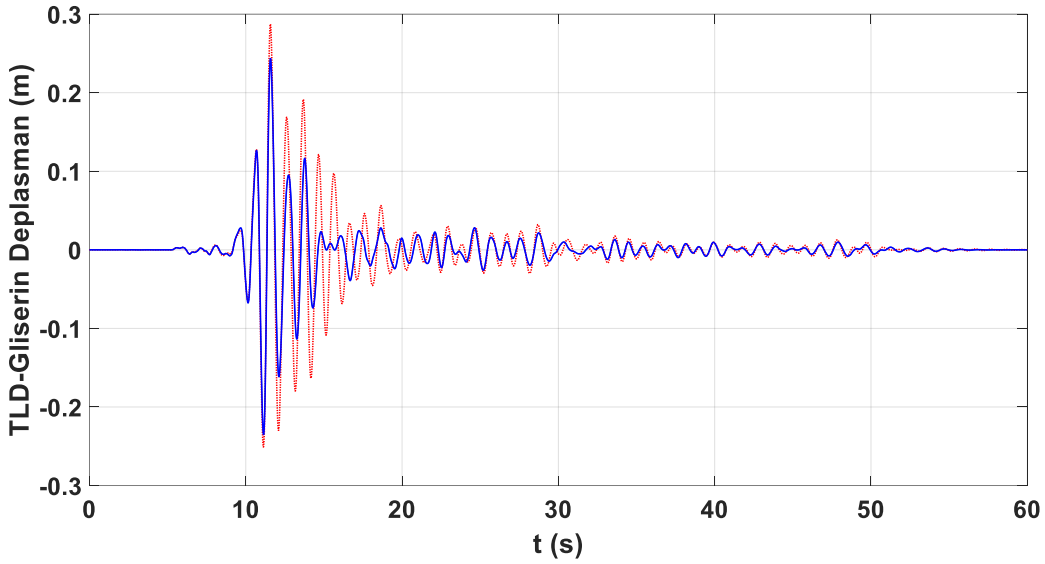
Şekil 4.18: HS optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



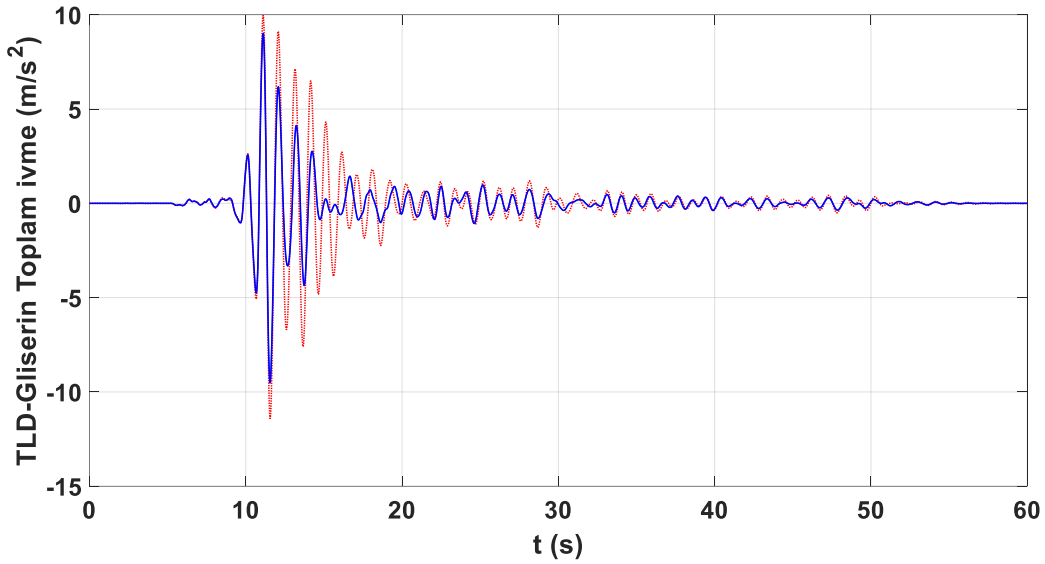
Şekil 4.19: HS optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.20: HS optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.21: HS optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.22: HS optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

4.5. ÖĞRETME-ÖĞRENME TABANLI OPTİMİZASYON (TLBO) İLE OPTİMUM TLD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

Öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon, bir sınıf popülasyonundaki, öğretmen ve öğrenci arasındaki uyum vb. durumların, öğretim üzerindeki etkisinden yola çıkılarak üretilmiş bir algoritmadır. Öğretme ve öğrenim olmak üzere iki aşamadan meydana gelmektedir. Rassal olarak atanmış olan çözümlerin ortalamaları elde edilerek öğretim faktörü adında (TF) bir

değişken hesaplanmaktadır. Bölüm 3'te gösterilen denklemler yardımıyla Öğretim faktörü hesaplanıp çözümler güncellenerek yeni çözümler türetilir. Öğretim ve öğrenmeden yola çıkan bu algoritma, popülasyondaki bireylerin bilgi birikimlerini, diğer popülasyon bireyleriyle paylaştıklarını ve olumlu ya da olumsuz bilgi biriktirdiklerini varsayar. Bir sonraki aşamada, bilgi paylaşımı sonrası yeni çözümler içerisinden rassal olarak iki çözüm seçer ve Bölüm 3'teki denklemler yardımıyla güncel çözümleri türetir. Güncel çözümlerin eski çözümlerle karşılaştırılması sonucunda ise optimum değerler elde edilir.

TLD su, yağ ve gliserin için de aynı aşamalar söz konusudur. Burada, diğer kullanılan algoritmalarla aynı şekilde, sönüm katsayısı, sönüm oranı, periyot, tank yarıçapı ve yüksekliği optimize edilmektedir. Tablo 4.19 ve Tablo 4.20'de 3 sıvı cinsi için hesaplanan TLD parametreleri ve TLD'nin optimize edilmiş değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.19: TLBO ile optimize edilmiş değerlerden hesaplanan TLD Parametreleri.

Açıklama	**TLD Parametreleri**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
Yoğunluk (kg/ m3)	998	900	1261
Kinematik Viskozite (m^2/s)	$8.96x10^{-7}$	$5x10^{-5}$	$7.4x10^{-4}$
Toplam sıvı kütlesi (kg)	2156.37	2958.39	3363.81
Aktif sıvı kütlesi (kg)	247.46	279.73	431.73
Çalkalanma rijitliği (N/m)	8041.96	8431.20	12599.56
Çalkalanma Sönüm oranı	0.0041	0.0291	0.1094
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	11.6427	89.4817	510.3045
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4752.54	4720.27	4568.27
TLD kütlesi (kg)	5000	5000	5000
TLD rijitliği (N/m)	238372.84	238794.83	231634.07
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	1538.6851	1148.9879	701.8031

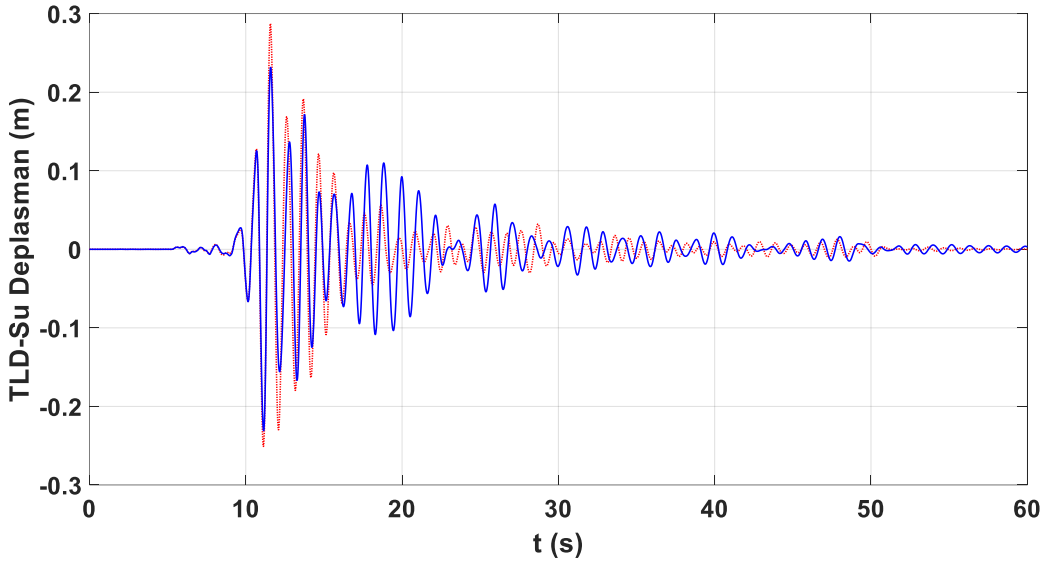
Tablo 4.20: Öğretme-Öğrenme-Tabanlı Optimizasyon (TLBO) ile Optimize Edilmiş TLD Değerleri.

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
T_d (s)	0.8902 s	0.8861 s	0.8828 s

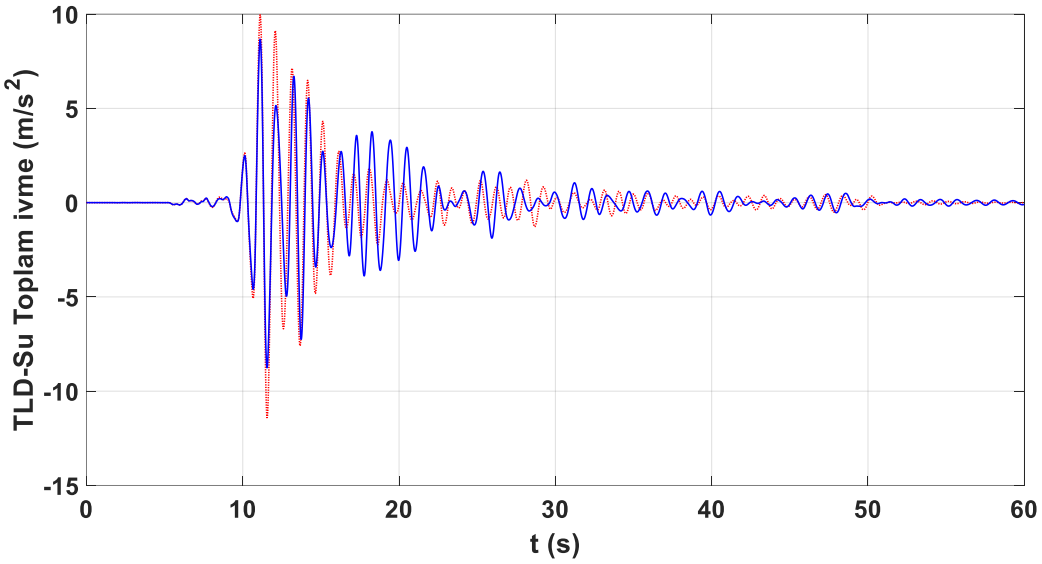
Tablo 4.20 (devam): Öğretme-Öğrenme-Tabanlı Optimizasyon (TLBO) ile Optimize Edilmiş TLD Değerleri.

ζ	0 0253	0.0203	0.0100
R (m)	0.5575 m	0.6010 m	0.6216 m
h (m)	3.2575 m	1.7788 m	2.7172 m

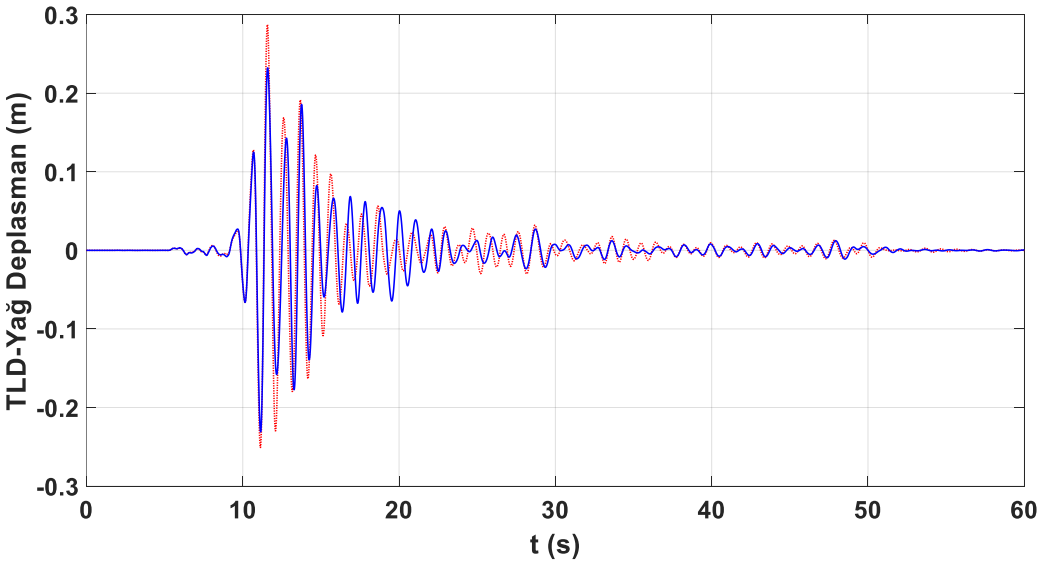
TLBO optimizasyonu sonucu, maksimum deplasmanın oluştuğu depreme ait deplasman toplam ivme grafikleri su, yağ ve gliserin için sırasıyla Şekil 4.23-24, Şekil 4.25-26 ve Şekil 4.27-28'da gösterilmektedir.



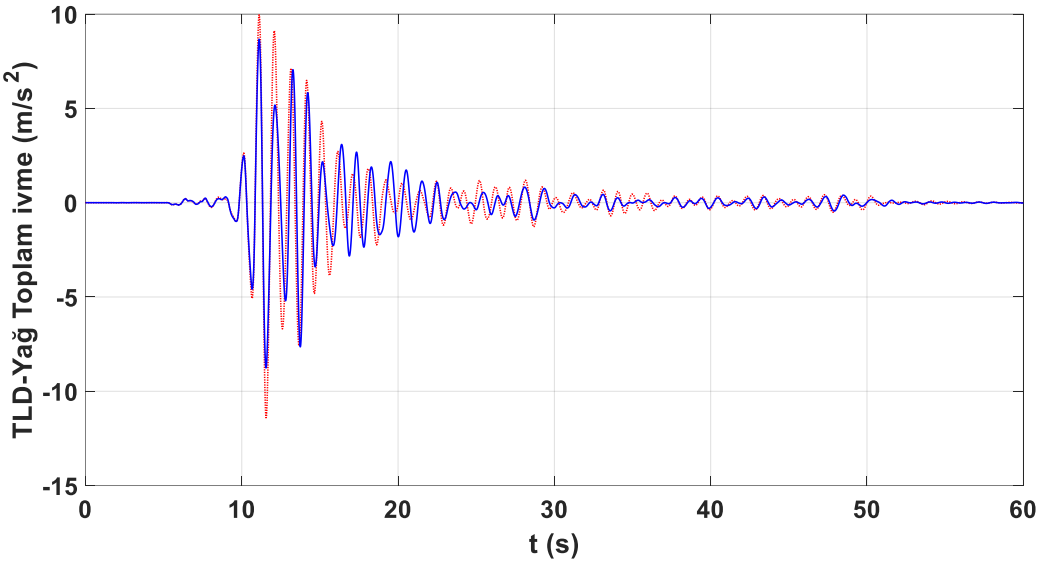
Şekil 4.23: TLBO optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



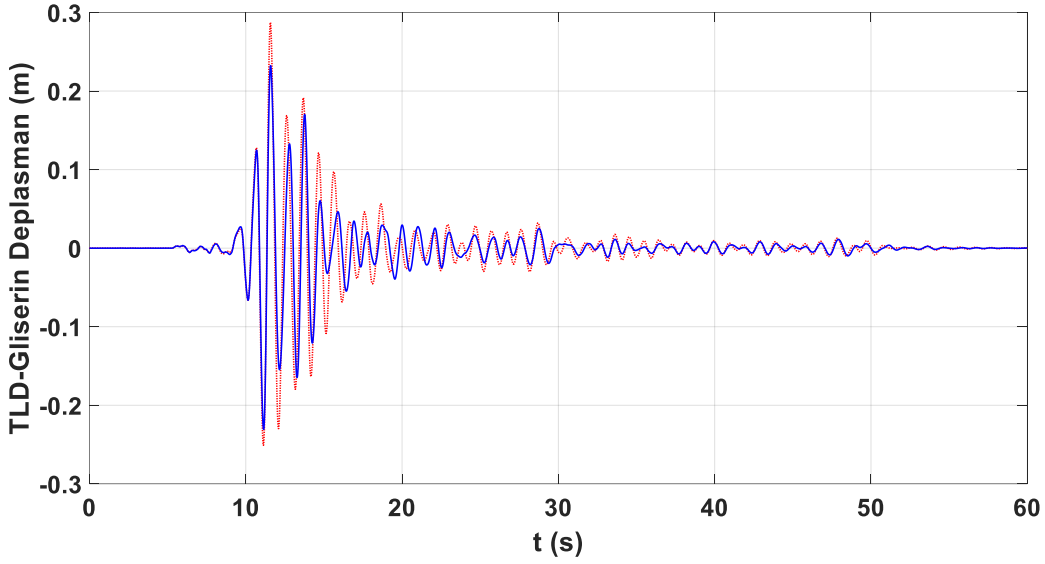
Şekil 4.24: TLBO optimizasyonuyla TLD-Su için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



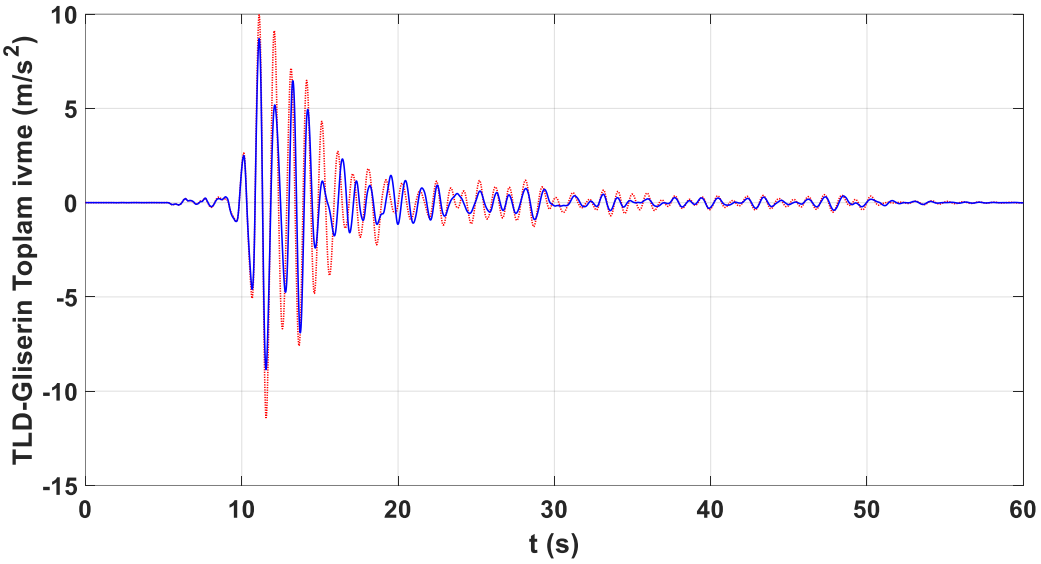
Şekil 4.25: TLBO optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.26: TLBO optimizasyonuyla TLD-Yağ için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.27: TLBO optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.28: TLBO optimizasyonuyla TLD-Gliserin için 6.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

4.6. JAYA OPTİMİZASYONU İLE 0.5 SANİYE PERİYOTLU YAPIDA OPTİMUM TLD VE TMD PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

TLD'lerin deprem uyarıları altındaki performansı, TMD ile karşılaştırılmak üzere daha önce 1 saniye periyotlu yapı için optimize edilmişti. Yapının doğal periyodunun sönümleyici cihaz performansını karşılaştırılmasındaki etkisini incelemek amacıyla, TLD ve TMD cihazda 0.5 saniye periyotlu yapı için Jaya optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen maksimum deplasman ve toplam ivme değerleri Ek-5 ve Ek-6'te verilmektedir.

TLD su, yağ ve gliserin için 0.5 saniye periyotlu yapıda hesaplanan tasarım parametreleri tablo 4.21'de, optimize edilmiş değerler Tablo 4.22'de, TMD'nin tasarım parametreleri Tablo 4.23'de, optimize edilmiş değerleri Tablo 4.24'de verilmektedir.

Tablo 4.21: TLD Tasarım Parametreleri (0.5 sn periyotlu yapı için).

Açıklama	**TLD Parametreleri**		
	SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**
Yoğunluk (kg/ m3)	998	900	1261
Kinematik Viskozite (m^2/s)	$8.96x10^{-7}$	$5x10^{-5}$	$7.4x10^{-4}$
Toplam sıvı kütlesi (kg)	613.84	251.67	436.37

Tablo 4.21(devam): TLD Tasarım Parametreleri (0.5 sn periyotlu yapı için).

Aktif sıvı kütlesi (kg)	3.97	4.73	13.11
Çalkalanma rijitliği (N/m)	511.4029	555.5097	1226.4382
Çalkalanma Sönüm oranı	0.0116	0.0808	0.2621
Çalkalanma Sönüm katsayısı (Ns/m)	1.0448	8.2830	66.4639
Tank kütlesi + Pasif sıvı kütlesi (kg)	4996.03	4995.27	4986.89
TLD kütlesi (kg)	5000	5000	5000
TLD rijitliği (N/m)	602115.50	6017979.76	601595.41
TLD sönüm katsayısı (Ns/m)	20978.05	21040.16	20973.14

Tablo 4.22: TLD Optimize edilmiş Değerler (0.5 sn periyotlu yapı için).

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**		
	TLD-SU	**TLD-YAĞ**	**TLD-GLİSERİN**
$\boldsymbol{T_d}$ (s)	0.5723	0.5724	0.5721
$\boldsymbol{\zeta}$	0.1912	0.1919	0.1915
$\boldsymbol{R}$ (m)	0.1407	0.1544	0.1935
$\boldsymbol{h}$ (m)	9.8900	2.7814	3.1950

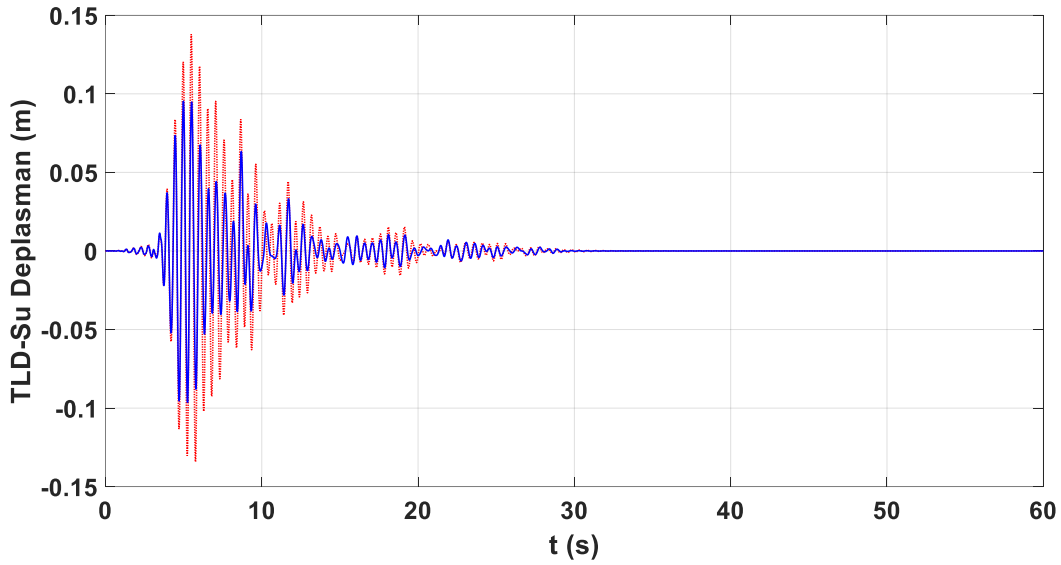
Tablo 4.23: TMD Tasarım parametreleri (0.5 sn periyotlu yapı için).

Parametreler	**Değerleri**
Doğal Açısal frekans (rad/s)	12.5664
Optimum Açısal Frekans (rad/s)	10.9597
TMD Rijitliği (N/m)	600573.07
Sönüm Katsayısı (Ns/m)	21206.98
TMD kütlesi (kg)	5000

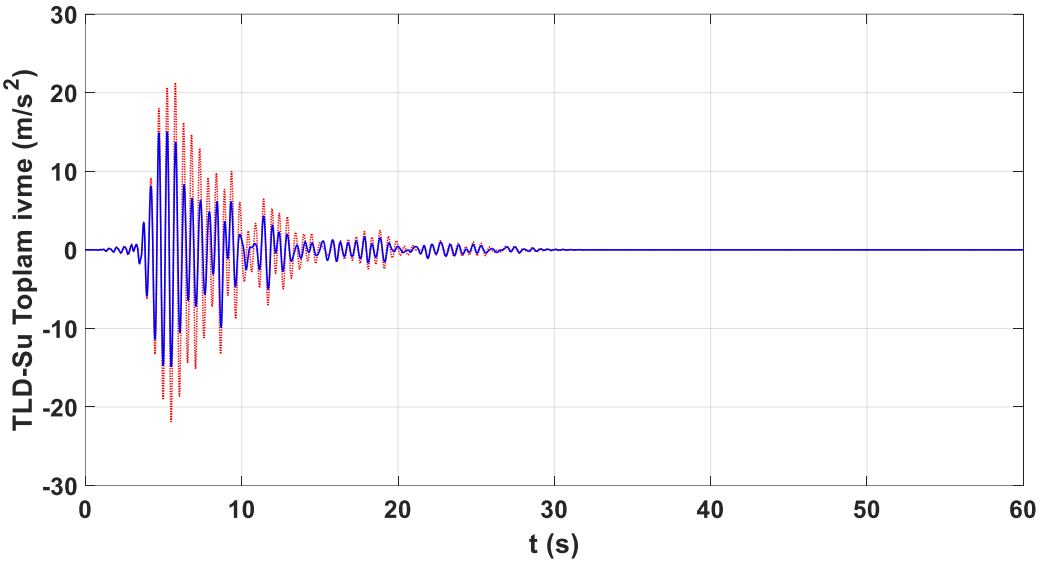
Tablo 4.24: TMD Optimize edilmiş Değerleri (0.5 sn periyotlu yapı için).

Değişkenler	**Optimize Edilmiş Değerler**
T (s)	0.5733 s
ζ	0.1935

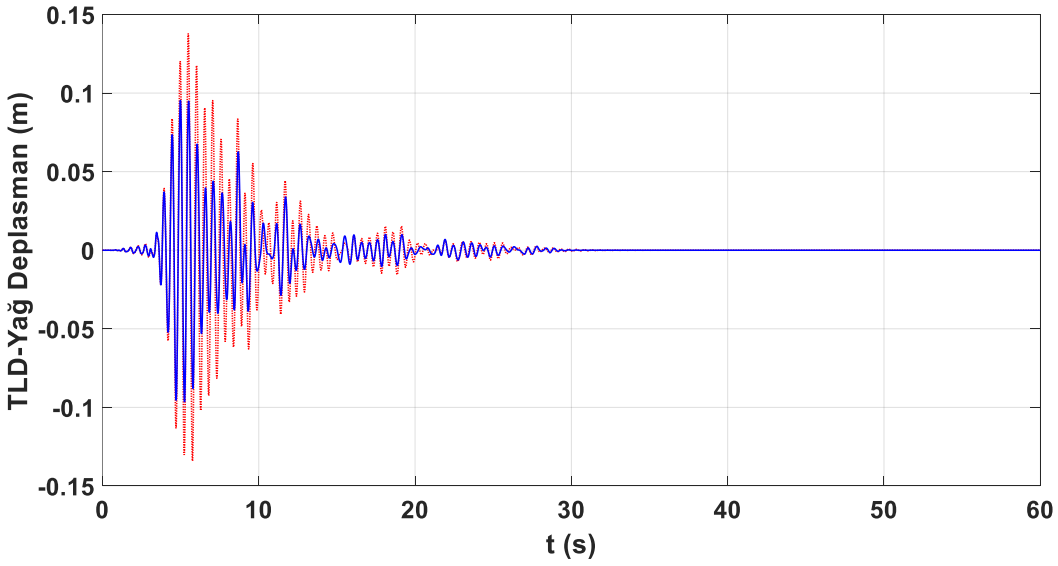
TLD-su, yağ, gliserin ve TMD için sırasıyla kritik depreme ait maksimum deplasman ve toplam ivme grafikleri Şekil 4.29-30, Şekil 4.31-32, Şekil 4.33-34, Şekil 4.35-36'da gösterilmektedir.



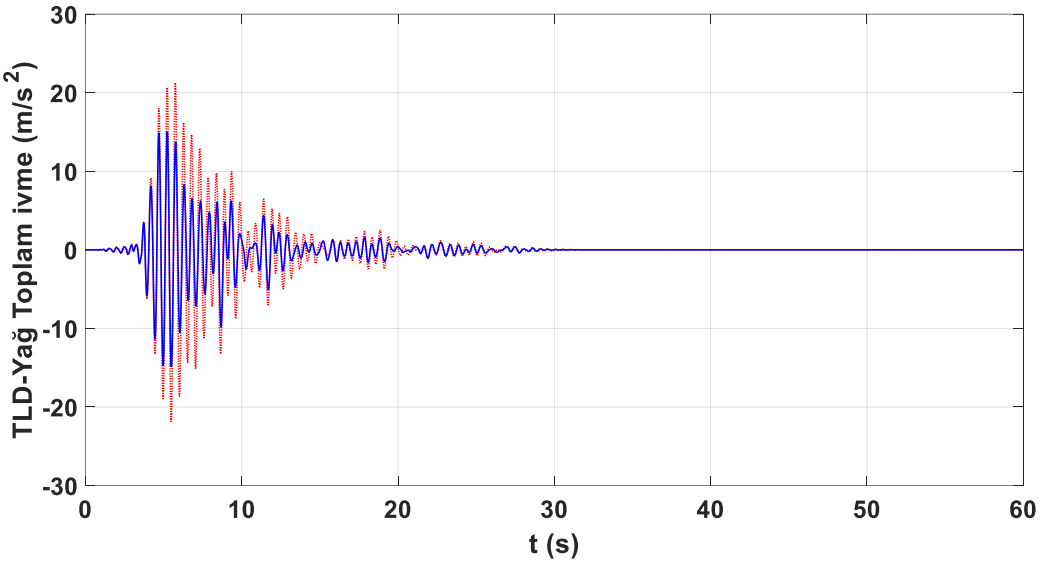
Şekil 4.29: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Su için 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



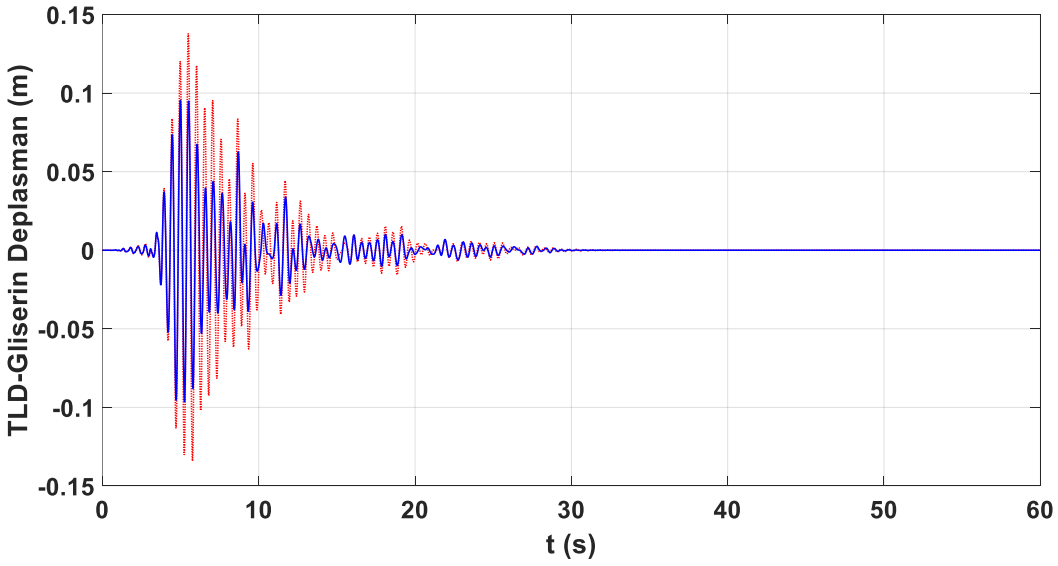
Şekil 4.30: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Su için 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



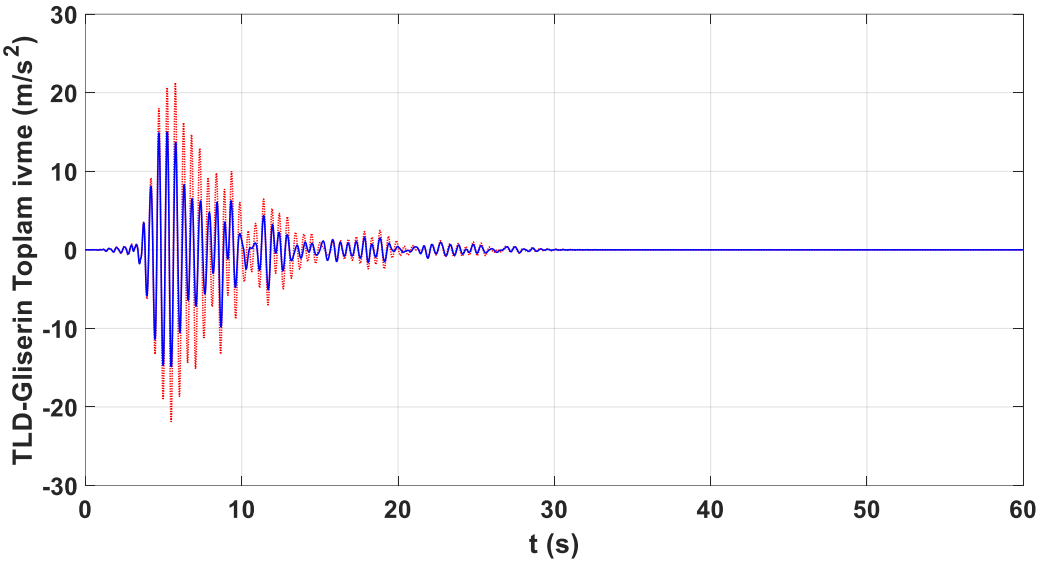
Şekil 4.31: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Yağ 2.deprem kaydı altında deplasman grafiği.



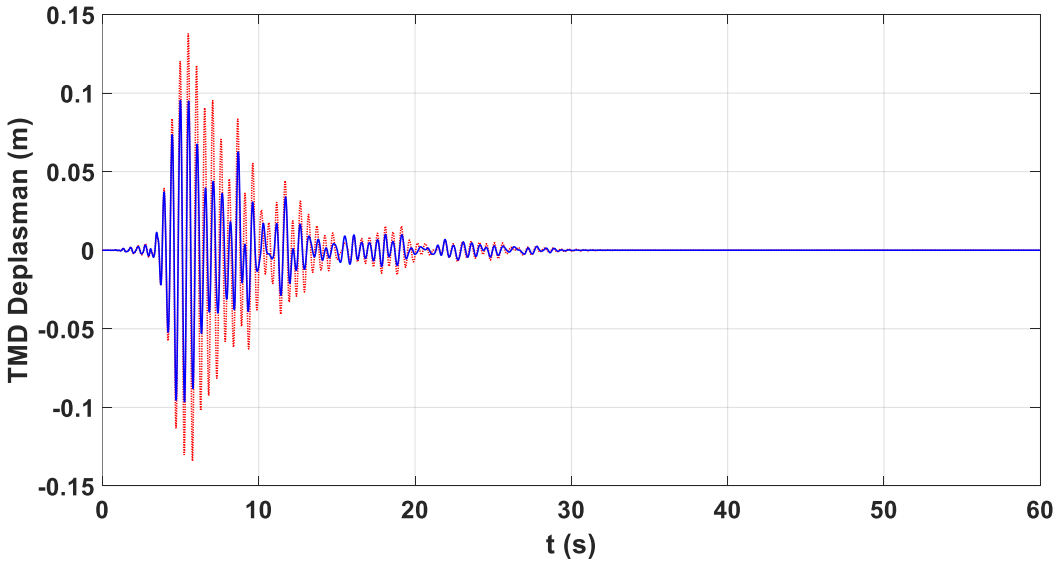
Şekil 4.32: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Yağ 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



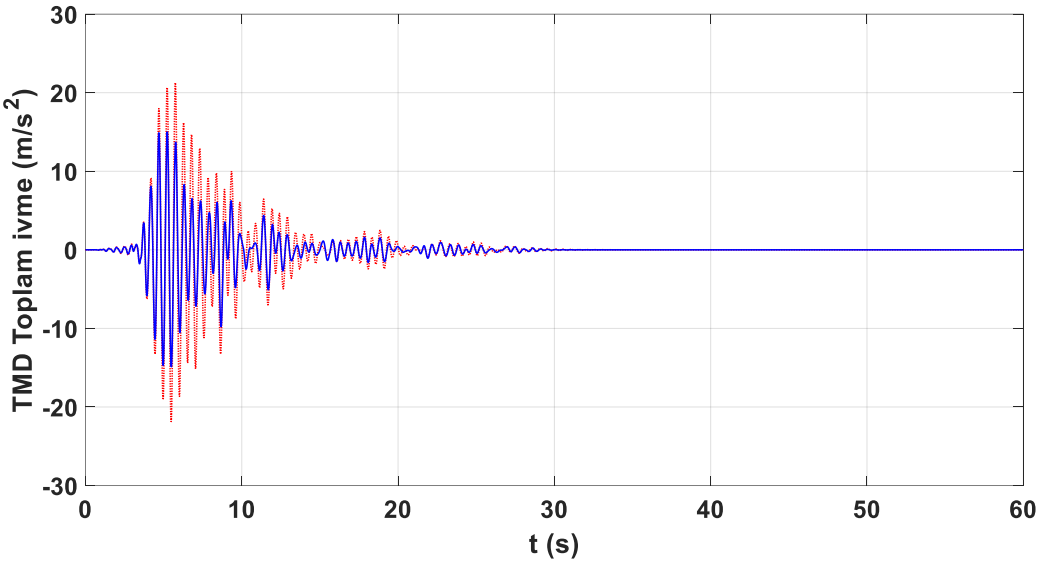
Şekil 4.33: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Gliserin 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.34: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TLD-Gliserin 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.



Şekil 4.35: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TMD'nin 2.deprem kaydı altında deplasman-zaman grafiği.



Şekil 4.36: Jaya optimizasyonuyla 0.5 sn periyotlu yapıda TMD'nin 2.deprem kaydı altında toplam ivme-zaman grafiği.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, pasif kontrol sistemlerinden biri olan ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD) incelenmiştir. Yapı kontrolündeki performansını değerlendirmek amacıyla tek katlı, 1 saniye periyotlu yapıda, 3 serbestlik dereceli bir TLD modeli tasarlanmıştır.

TLD cihazların, dinamik kuvvetler etkisindeki tepkisini gözlemlemek için yapıya 22 farklı depremden oluşan, FEMA deprem uyarıları gönderildi. Deprem uyarıları altındaki maksimum deplasman ve ivme değerlerini incelemek adına metasezgisel algoritmalar yardımıyla TLD modeli optimize edildi. Çeşitli mühendislik problemlerinde kullanılan Metasezgisel algoritmalardan, jaya algoritması, çiçek tozlaşma algoritması, armoni arama algoritması ve öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon yöntemleri modelin optimizasyonunda uygulandı. TLD modelini en verimli hale getirebilmek için, TLD'nin temel tasarım parametreleri periyot, sönüm oranı, tank yarıçapı ve yükseklik değerleri optimize edildi. TLD'ye uygun olabilecek 3 farklı sıvı çeşidi olarak, su, yağ ve gliserin için analizler gerçekleştirildi. Optimize edilen değerler sonucunda FEMA kayıtlarında, 1 saniye periyotlu yapı için maksimum deplasmanın gözlemlendiği değerin, 6. Deprem kaydında olduğu tespit edildi. Bu deprem kaydı için yapılan optimizasyonda su, yağ ve gliserin için elde edilen değerlerde, optimum sonucu Jaya, FPA ve TLBO algoritmaları için TLD-Su, HS algoritması için TLD-Gliserin vermektedir. Tablo 5.1' de TLD'siz Yapı ile TLD-su, yağ ve gliserin için 4 farklı optimizasyon ile elde edilen kritik depreme ait maksimum deplasman ve toplam ivme değerleri gösterilmektedir.

Tablo 5.1: JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su, Yağ, Gliserin kritik deprem, maksimum deplasman ve toplam ivme sonuçları.

ALGORİTMA	TLD'siz Yapı		TLD-SU		TLD-YAĞ		TLD-GLİSERİN	
	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme
JAYA	0.2873419	11.4077630	0.2314771	8.7560135	0.2322108	8.7630632	0.2323616	8.8551204
FPA			0.2314857	8.7254851	0.2322313	8.7506047	0.2323616	8.8551176
HS			0.2473086	9.6358656	0.2475240	9.6671260	0.2435246	9.5158512
TLBO			0.2314739	8.7552966	0.2322287	8.7626098	0.2323660	8.8553919

Tablo 5.1'de görüldüğü üzere sönümleyici olmadan yaklaşık 28 cm deplasmanın gözlemlendiği yapıda, optimum sonucu 23 cm ile küsurat farkı dikkate alındığında TLD-Su optimizasyonu sağlamıştır. Su'yu takip eden en iyi sonuç sırasıyla yağ ve gliserin olmuştur. Optimizasyon türlerine göre deplasman performansı karşılaştırıldığında ise deplasman açısından optimum sonucu veren algoritmalar TLD-Su için sırasıyla Jaya, TLBO, FPA ve HS, TLD-Yağ için Jaya, TLBO, FPA ve HS, TLD-Gliserin için FPA ve Jaya, TLBO ve HS algoritmaları vermektedir. Bu durumda armoni arama algoritmasına bakıldığında 3 sıvı cinsi için de optimum sonuca en uzak değeri verdiği görülmektedir.

Tablo 5.1'deki optimum deplasmanın elde edildiği jaya TLD-Su optimizasyon sonuçları incelendiğinde yapıdaki deplasmanı %19.44 civarı düşürürken, toplam ivme değerini %23.25 oranında azalttığı görülmektedir. Diğer TLD sıvı çeşitleri için kritik depremlerdeki optimum deplasmanın oluştuğu optimizasyon sonuçlarına bakıldığında, TLD-Yağ için deplasmanın %19.19, toplam ivmenin %23.18, TLD-Gliserin için deplasmanın %19.13, toplam ivmenin %22.38 civarında azalttığı tespit edilmiştir. Bu bilgiler ışığında, TLD'lerin optimizasyon işlemiyle, toplam ivmeyi düşürmede de etkili olduğu görülmektedir.

Analiz edilen verilere bakıldığında, Bölüm 4'de gösterilen, hesaplanmış TLD tasarım parametrelerinin, aynı deplasman değeri vermesine karşın bazı h ve R gibi optimize değerlerinde farklılıklar göstermektedir. Bu değerlerden yola çıkarak, aynı sıvı cinsleri için bile optimum deplasman ve maksimum ivme değerleri veren farklı optimize değerler olabileceği görülmektedir. Bu da TLD'nin tasarımı için farklı alternatifler sunabildiğinin göstergesidir.

TLD modelinin 1 saniye periyotlu yapıda, deplasmanı önemli derecede düşürdüğü tespit edilmiştir. Bir başka pasif sönümleyici cihaz ile performansını karşılaştırmak için tek katlı yapıda tasarlanan TMD modeli, Jaya optimizasyonuyla optimize edilmiştir. TMD tasarım parametrelerinden kütle, periyot ve sönümü optimize uygulanmıştır. Tablo 5.2'de 1 saniye periyotlu yapıda, TLD ve TMD deplasman ve maksimum toplam ivme değerleri gösterilmektedir.

Tablo 5.2: JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su, Yağ, Gliserin ve TMD kritik deprem, maksimum deplasman ve toplam ivme sonuçları.

ALGORİTMA	TLD-SU		TLD-YAĞ		TLD-GLİSERİN		TMD	
	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme
JAYA	0.2314771	8.7560135	0.2322108	8.7630632	0.2323616	8.8551204	0.2419431	9.5928832
FPA	0.2314857	8.7254851	0.2322313	8.7506047	0.2323616	8.8551176	-	
HS	0.2473086	9.6358656	0.2475240	9.6671260	0.2435246	9.5158512		
TLBO	0.2314739	8.7552966	0.2322287	8.7626098	0.2323660	8.8553919		

Tablo 5.2'ye bakıldığında, Jaya ile optimize edilen TLD ve TMD için 28 cm deplasmanın olduğu yapının hareketini TLD çeşitlerinin daha iyi sönümlediği tespit edilmiştir. TMD'nin deplasmanı yaklaşık 24 cm'ye, TLD sıvı cinslerinin ise ortalama 23 cm'ye düşürdüğü görülmektedir.

TLD-su, yağ ve gliserin sıvıları için yapılan 10 optimizasyonun sonuçlarına göre, uygulanan algoritmalar sonucu elde edilen kritik deprem altında oluşan deplasmanının, ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen değerler Tablo 5.3'te gösterilmektedir. Tablo 5.3'te görüldüğü gibi JAYA sonucunda elde edilen optimum değerler en düşük ortalamaya sahip olmakla beraber küçük standart sapma değerlerine sahiptir.

Tablo 5.3: JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-Su, Yağ, Gliserin kritik deprem, maksimum deplasman için ortalama ve standart sapma değerleri.

ALGORİTMA	TLD-SU		TLD-YAĞ		TLD-GLİSERİN	
	ORTALAMA	STANDART SAPMA	ORTALAMA	STANDART SAPMA	ORTALAMA	STANDART SAPMA
JAYA	0.2314769	0.0000006	0.2322203	0.0000006	0.2323657	0.0000000
FPA	0.2314853	0.0000000	0.2322228	0.0000000	0.2323673	0.0000051
HS	0.2473938	0.0000460	0.2475442	0.0000171	0.2435500	0.0000197
TLBO	0.2314804	0.0000034	0.2322241	0.0000027	0.2323692	0.0000096

Yapının doğal periyodunun, TLD ve TMD'nin sönüm kalitesi üzerindeki etkisini incelemek adına yapı periyodu, 0.5 saniyeye düşürülerek diğer örnekte en iyi algoritma olduğuna karar verilen Jaya algoritmasıyla optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'te verilmektedir.

Tablo 5.4: TLD-Su, Yağ, Gliserin ve TMD kritik deprem, maksimum deplasman ve toplam ivme sonuçları (0.5 saniye periyotlu yapı için jaya optimizasyonu).

	Deplasman	**Toplam İvme**
TLD'siz Yapı	0.1378310	21.8517889
TLD-SU	0.0963261	14.9894491
TLD-YAĞ	0.0963900	14.9979899
TLD-GLİSERİN	0.0964024	15.0025635
TMD	0.0964560	15.0101078

Tablo 5.3'e bakıldığında, yapının periyodu yarıya düşürüldüğünde, deplasmanın yaklaşık 13 cm olduğu görülmektedir. TMD ve TLD çok yakın sönüm sağlamalarına karşın, TLD-su, yağ ve gliserinin optimizasyonuyla TMD'den daha iyi sönüm sonuçları elde edilmektedir.

Ayarlı sıvı sönümleyicilerin yapılar için optimizasyonu ve sonuçların analiz edilmesi ile aşağıda ifade edilen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. TLD-su, yağ ve gliserin sıvıları kullanıldığında, yapıdaki deplasman %19 civarı düşürülmektedir.
2. TLD optimizasyonu sonucu optimum deplasman değerlerini birden fazla optimum parametrelerle elde edilebileceği görülmüştür. Bu da TLD'lerin tasarım seçeneklerinin genişletebileceğini ve uygulamada farklı alternatiflerin olduğunu göstermektedir.
3. Su, yağ ve gliserinin sönümlemedeki performansı karşılaştırıldığında, suyun daha verimli bir seçenek olduğu, TLD cihazlarda kullanılan sıvı çeşitliliğinin deplasmanı optimum seviyeye getirmedeki önemi anlaşılmıştır.
4. TLD optimizasyon sonuçları incelendiğinde, optimum deplasmanın görüldüğü TLD-Su optimizasyonu için, %19,44 'lük düşüşün yanı sıra, toplam ivme değerinde de yaklaşık %23,25'lik azalma görülmektedir. Bu oranlar TLD yağ ve gliserin için de su ile çok yakın değerlerde elde edilmiştir. Bu veriler dikkate alındığında, TLD'lerin toplam ivmeyi düşürmede etkili bir performansa sahip olduğu görülmektedir.
5. TLD optimizasyonunda, Jaya, FPA ve TLBO daha yakın sonuçlar verirken, HS algoritması optimum sonuçların elde edilmesinde, diğerlerine nazaran daha az etkili olduğu gözlemlenmiştir.
6. Jaya, FPA ve TLBO algoritmalarıyla optimize edilmiş değerlerde, birbirine yakın periyot, tank yarıçapı gibi sonuçlar elde edilirken, HS algoritmasında diğer 3

algoritmalarla elde edilen optimize edilmiş değerlerden daha farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu da Armoni arama algoritması optimizasyonu için tanımlanmış armoni hafıza dikkate alma oranının (HMCR), optimizasyon sürecinde etkin rol oynadığını ve değerin seçiminin optimum değere yaklaşımı etkilediğini göstermektedir.

7. TLD ve TMD cihazları karşılaştırıldığında, TLD'lerin çalışmada gösterilen modelde, 1 saniye ve 0.5 saniye periyotlu tek katlı yapı için daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.
8. TLD ve TMD optimizasyonlarında, yapı periyodunun 1sn olduğu durumda kritik depremde gösterdikleri maksimum deplasman için aralarında yaklaşık 1 cm'lik bir fark gözlemlenirken, yapı periyodu yarıya düşürüldüğünde, TMD'nin kritik depremde oluşan maksimum deplasmanının TLD ile çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Bu gözleme göre tasarlanan tek katlı yapı modeli için TLD'lerin TMD'ye kıyasla daha kuvvetli etki doğuracak titreşimlerde yetersiz kalabileceği anlaşılmıştır.

TLD'lerin optimizasyonu analiz edildiğinde, Metasezgisel algoritmaların etkili olduğu, kendi içlerinde de optimizasyon işleminde farklı verimliliklerde oldukları ve diğer yöntemler karşısında etkili performans gösterdikleri belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

Abramson, H.N., 1966. The Dynamics of Liquids in Moving Containers. Urbana University of Illinois, Web.

Abramson, H.N., Chu, W.H. & Ransleben Jr, G.E., 1961. Representation of fuel sloshing in cylindrical tanks by an equivalent mechanical model, *ARS Journal, 31*(12), 1697-1705.

Abramson, H. N., Chu, W. H. & Garza, L. R., 1963. Liquid sloshing in spherical tanks, *AIAA Journal, I(2),* 384-389.

Aldemir, Ü., 1999. Yapıların Optimal Kontrolü, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Aldemir, Ü., Aydın, E., 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 435-2005/1, 81.

Anderson, J., SEmercigil, S.E. and Turan, O.F., 2000. A standing-wave-type sloshing absorber to control transient oscillations, *Journal Sound Vibration, 232(5),* 839-856.

Ayvaz, M.T., Karahan, H. ve Gurarslan, G., 2007. Su dağıtım şebekelerinin armoni araştırması optimizasyon tekniği ile optimum tasarımı, 5. *Kentsel Altyapı Sempozyumu, Hatay*.

Bakioğlu, M., 2005. Yapılarda Aktif Pasif Kontrol Yöntemleri Ders Notları, İ.T.Ü.,İstanbul.

Bauer, H.F., 1962. Theory of Fluid Oscillations in Partially Filled Cylindrical Containers, Technical Report MTP-AERO-62-1, NASA-MSFC.

Bauer, H.F., 1964. Tables and graphs of zeros of cross product bessel functions, Math. Comput. 18(85), 128.

Bauer, H. F., 1984. Oscillations of immiscible liquids in a rectangular container: a new damper for excited structures, *Journal of Sound and Vibration, 93(1), 117-133.*

Bekdaş, G., 2015. Harmony search algorithm approach for optimum design of post-tensioned axially symmetric cylindrical reinforced concrete walls. *Journal of Optimization Theory and Applications, 164*(1), 342-358.

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

Bekdaş, G., Kayabekir, A.E., Niğdeli, S.M. and Toklu, Y.C., 2019. Transfer Function Amplitude Minimization for Structures with Tuned Mass Dampers Considering Soil-Structure Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 116:552-562.

Bekdaş, G., Niğdeli, S.M. and Aydın, A., 8-10 May 2017. Optimization of tuned Mass Damper for Multi-storey Structures by using Impulsive Motions, 2nd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE 2017), Cappadocia, Turkey.

Bekdaş, G., Ulusoy, S. and Niğdeli, S.M., 2018. Optimum Tuning of Mass Dampers by Impulsive Motions and Several Metaheuristic Methods 3rd International Conference on Civil and Enviromental Engineering (ICOCEE), 24-27 April 2018, İzmir, Turkey.

Bulian, G., Souto Iglesias, A., Delorme, L., & Botia Vera, E., 2010. Smoothed particle hydrodynamics (SPH) simulation of tuned liquid damper (TLD) with angular motion.

Casciati, F., De Stefano, A. and Matta, E., 2003. Simulating a conical tuned liquid damper. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *11*(5-6), 353-370.

Cavalagli, N., Biscarini, C., Facci, A.L., Ubertini, F. And Ubertini, S., 2017. Experimental and numerical analysis of energy dissipation in a sloshing absorber, *Journal Fluids Struct*., 68, 466-481.

Chang, K.C., Soong, T.T., Oh, S.T. and Lai M.T., 1994. Seismic behavior of steel frame with added viscoelastic dampers. *ASCE Journal of Structural Engineering.* 121(10). 1418-1426

Chen, B.F. and Yang, B.H., 2018. Experimental study of a hybrid TMD and TLD on structure motion reduction. *Ocean Engineering, 165*, 538-549.

Chu, W., 1960. Free surface condition for sloshing resulting from pitching and some sorrections, *ARS Journal, 30*(11), 1093-1094.

Craig, J.I., Goodno, B.J., Towashiraporn, P. Ve Park, J., 2002. Response Modification Applications for Essential Facilities, Mid-America Earthquake Center Project ST-4 Final Report, Atlanta, Georgia.

Crowley, S. and Porter, R., 2012. An analysis of screen arrangements for a tuned liquid damper. *Journal of fluids and structures, 34*, 291-309.

Debbarma, R., Chakraborty, S., & Ghosh, S.K., 2010. Optimum design of tuned liquid column dampers under stochastic earthquake load considering uncertain bounded system parameters. *International journal of mechanical sciences, 52*(10), 1385-1393.

Değertekin, S.O., Bayar, G.Y., & Lamberti, L., 2021. Parameter free Jaya Algorithm for truss sizing-layout optimization under natural frequency constraints. *Computer & Structures, 245*, 106461.

Den Hartog, J.P., 1947, *Mechanical vibrations,* 3rd ed., McGraw-Hill, New York, ISBN: 978-1443725361.

Di Matteo, A., Iacono, F.L., Navarra, G. and Pirrotta, A., 2014. Direct evaluation of the equivalent linear damping for TLCD systems in random vibration for pre-design purposes. *International Journal of Non-Linear Mechanics, 63*, 19-30.

Di Matteo, A., Iacono, F.L., Navarra, G. and Pirrotta, A., 2015. Innovative modelling of tuned liquid column damper motion. *Communications in Nonlinear Science and numarical Simulation, 23*(1-3), 229-244.

Erdal, F., Doğan, E. And Saka, M.P., 2011. Optimum design of cellular beams using harmony search and particle swarm optimizers. *Journal of Constractional Steel Research, 67*(2), 237-247.

Felix, J.L., Balthazar, J.M. and Brasıl, R.M., 2005. On tuned liquid column dampers mounted on a structural frame under a non-ideal excitation. *Journal of Sound and Vibration, 282*(3-5), 1285-1292.

FEMA P-695. Quantification of Building Seismic Performance Factors. Washington.

Frahm, H., 1909. "Device for Damping Vibration of Bodies" US Patent 989958.

Fu, B., Jiang, H. and Wu, T., 2019. Comparative studies of vibration control effects between structures with particle dampers and tuned liquid dampers using substructure shake table testing methods. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 121*, 421-435.

Fujino, Y., Sun, L.M., Pacheco, B.M., and Chaiseri, P., 1992. Tuned Liquid Damper (TLD) for Suppressing Horizontal Motion of Structures, *Journal of Engineering Mechanics,* v. 118, n. 10, pp. 2017-2030.

Fujino, Y. and Sun, L.M., 1993. Vibration control by multiple tuned liquid dampers (MTLDs). *Journal of Structural Engineering, 119*(12), 3482-3502.

Gao, H., Kwok, K.C.S., & Samali, B., 1997. Optimization of tuned liquid column dampers. *Engineering structures, 19*(6), 476-486.

Geem, Z. W., Kim, J. H., Loganathan, G. V., 2001, A new heuristic optimization algorithm: harmony search, *Simulation, 76*(2), 60-68.

Goudarzi, M.A. and Yazdi, S.R., 2012. Investigation of nonlinear sloshing effects in seismically excited tanks, Soil Dynamic Earthquake Engineering, 43, 355-365.

Gradinscak, M., Semercigil, S.E. and Turan, O.F., 2010. A sloshing absorber with a flexible container, in: T. Proulx (Ed.), Proceedings of the 28th IMAC, A Conference on Structural Dynamics, volüme 3 of Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series.

Hamelin, J.A., Love, J.S., Tait, M.J. and Wilson, J.C., 2013. Tuned liquid dampers with a Keulegan-Carpenter number-dependent screen drag coefficient. *Journal of Fluids and Structures*, *43*, 271-286.

Holland, J.H., 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Housner, G.W., 1954. Earthquake Pressure on Fluid Containers, Report, 81-95.

Hüsem, M. Ve Yozgat, E., 2005. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Kullanılabilinen Yapı Kontrol Sistemleri, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 20, 121

İbrahim, A.R., 2005. Liquid Sloshing Dynamics: Theory and Applications, Cambridge University Press.

Jamalabadi, M. Y. A. 2020. Frequency analysis and control of sloshing coupled by elastic walls and foundation with smoothed particle hydrodynamics method. *Journal of Sound and Vibration*, 115310.

Kajirna Corporation, 1991d. Minimizing tremars by Changing Building stiffness AVS Active Variable Stiffness System, Seismic Response Control Series, Technical Panıphlet, 91-65 E.

Karaboğa, D., 2005. *An idea based on honey bee swarm for numerical optimization* (Vol. 200, pp. 1-10). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department.

Kaveh, A., Hosseini, S.M., & Zaerreza, A., 2021. Improved Shuffled Jaya algorithm for sizing optimization of skeletal structures with discrete variables. In *Structures* (Vol. 29, pp 107-128). Elsevier.

Kennedy, J., Eberhart, R.C., 1995, Particle swarm optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks No. IV*, 27 November–1 December Perth, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 1942–1948.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., Vecchi, M.P., 1983, Optimization by simulated annealing, *Science*, 220 (4598), 671-680.

Koziel, S. And Yang, X.S. (eds), 2011. Computational optimization, methods and algorithms (vol. 356), Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin, ISBN: 978-3-642-20858-4.

Lee, H.H., Wong, S.H. and Lee, R.S., 2006. Response mitigation on the offshore floating platform system with tuned liquid column damper. *Ocean engineering*, *33*(8-9), 1118-1142.

Lee, H.H. and Min, K.W., 2011. Reducing acceleration response of a SDOF Structure with a bi-directional liquid damper. *Procedia Engineering*, *14*, 1237-1244.

Lee, K.S. and Geem, Z.W., 2004. A new structural optimization method based on the harmony search algorithm. *Computer & structures, 82*(9-10), 781-798.

Lee, K.S. and Geem, Z.W., 2005. A new meta-heuristic algorithm for continious engineering optimization: harmony search theory and practice. *Computer methods in applied mechanics and engineering, 194*(36-38), 3902-3933.

Li, S.J., Li, G.Q., Tang, J. And Li, Q.S., 2002. Shallow rectangular TLD for structures control implementation. *Applied Acoustics, 63*(10), 1125-1135

Love, J.S. and Tait, M.J., 2010. Nonlinear simulation of a tuned liquid damper with damping screens using a modal expansion technique. *Journal of Fluids and Structures, 26*(7-8), 1058-1077.

Mahdavi, M., Fesanghary, M. And Damangir, E., 2007. An improved harmony search algorithm for solving optimization problems. *Applied mathematics and computation, 188*(2), 1567-1579.

McNamara, R.J., 1977. Tuned mass dampers for buildings. *Journal of the Structural Division, 103*(9), 1785-1798.

Mehrkian, B. & Altay, O., 2020. Mathematical modelling and optimization scheme for omnidirectional tuned liquid column dampers. *Journal of Sound and Vibration, 484*, 115523.

Mikishev, G.N. and Dorozhkin, N.Y., 1961. An experimental investigation of free oscillations of liquid in containers, Izv Akad Nauk SSSR Otd Tekhn Nauk Mekh i Mashinostr (Russian) 4, 48-53.

Mirjalili, S. And Lewis, A., 2016. The whale optimization algorithm. Advences in Engineering Software, 95:51-67.

Modi, V.J. and Seto, M.L., 1997. Suppression of flow-induced oscillations using sloshing liquid dampers:analysis and experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 67,611-625.

Moiseyev, N.N.,1952. Dynamics of a ship having a liquid load. *Izv Akad Nauk SSSR Old Tekhn Naud, 7*, 27-45.

Naimi,S. Ve Waheb, M. H., 2019. Deprem Etkisindeki Yapıların Sismik Taban İzolasyonu ve Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemleri ile Karma Korunması, Erzincan Üniversitesi Erzincan University Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1), 499-516.

Niğdeli, S.M., Bekdaş, G. And Yang, X-S, 2017. Optimum Tuning of Mass Dampers by Using Harmony Search and Flower Pollination Algorithm In: Harmony Search Algorithm Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 514, Del Ser J. (eds) Springer, pp. 222-231.

Niğdeli, S.M. and Bekdaş, G., 2015 Teachin-Learning-Based Optimization for Estimating tuned Mass Damper Parameters, 3rd International Conference on Optimization Techniques in Engineering (OTENG' 15), 7-9 November, Rome, Italy.

Nigdeli, S.M., Bekdaş, G. And Alhan, C., 2014. Optimization of seismic isolation systems via harmony search. *Engineering optimization, 46*(11), 1553-1569.

Niğdeli, S.M., Bekdaş, G. And Aydın, A., 3-7 May 2017. Metaheuristic-based optimization of tuned mass dampers on a single degree of freedom structures subjected to near-fault vibrations, 3rd International Conference on Engineering and Natural Sciences (ICENS 20187), Budapest, Hungary.

Okut, 2006. Ayarlı Kütle Sönümleyicilerin Sismik Etkiler Altındaki Betonarme Yapılarda Performansının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Ong, P.P., Adnan, A., Kwork, K.C., Ma, C.K., Tiong, P.L.Y. and Behbahani, H.P., 2017. Dynamic simulation of unrestrained interlocking Tuned Liquid Damper blocks. *Construction and Building Materials, 144*, 586-597.

Öztürk, B.K., 2007. Yapısal Kontrol Sistemlerinin Değerlendirilmesi ve Taban İzolatörlerinin Betonarme bir Binaya Uygulamması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya

Öztürk, H.T., 2018. Beton Basınç Dayanımının Jaya ve Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (TLBO) Algoritmalarıyla Modellenmesi. *Journal of Investigations on Engineering and Technology, 1(2),* 24-29.

Pandit, A.R. and Biswal, K.C., 2020. Seismic control of multi degree of freedom structure outfitted with sloped bottom tuned liquid damper. *In Structures* (Vol. 25, pp. 229-240).

Pavlyukevich, I., 2007. Levy flights, non-local search and simulated annealing. *Journal of Computational Physics*, *226*(2), 1830-1844.

Rao, R.V., Savsani, V.J., Vakharia, D.P., 2011. Teaching-Learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. Comput Aided Des, 43:303-15

Rao, R., 2016, Jaya: a simple and new optimization algorithm for solving constrained and unconstrained optimization problems, *International journal of industrial engineering computations*, 7 (1), 19-34.

Reed, D., Yeh, H. and Gardarsson, S., 1998. Tuned Liquid dampers under large amplitude excitation. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamicd, 74,* 923-930.

Sakai, F., Takaeda, S., ve Tamaki, T., Nisan 1989. Tuned Liquid Column Damper-New Type Device for Suppression of Building Vibrations, Proceedings of Internal Conference on Highrise Buildings, Nanjing, China, 926-931.

Samantaray, A.K., 2009. Modelling and analysis of preloaded liquid spring/damper shock absorbers. *Simulation Modelling Practice and Theory, 17*(1), 309-325.

Sansarcı, E., 2002. Yapısal Kontrol Sistemleri ve Sıvı Sönümleyicilerin Yapılarda Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Sharma, V., Arun, C.O. and Krishna, I.P., 2019. Development and validation of a simple two degree freedom model for predicting maximum fundamental sloshing mode wave height in a cyclindrical tank. *Journal of Sound and Vibration, 461*, 114906.

Shum, K. and Xu, Y.L., 2004. Multiple tuned liquid column dampers for reducing coupled lateral and torsional vibration of structures. *Engineering structures, 26*(6), 745-758.

Shum, K. M., 2009. Closed form optimal solution of a tuned liquid column damper for suppressing harmonic vibration of structures. *Engineering Structures*, *31*(1), 84-92.

Soong, T.T. and Constantinou, M.C.,1994. Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer-Verlag, Vienna.

Sönmez, E., Nagarajaiah, S., Sun, C. And Basu, B., 2016. A study on semi-active Tuned Liquid Column Dampers (sTLCDs) for structural response reduction under random excitations. *Journal of Sound and Vibration, 362*, 1-15.

Sun, L.M., Fujino, Y., Pacheco, B.M. and Chaiseri, P., 1992. Modelling of tuned liquid damper (TLD). *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 43*(1-3), 1883-1894.

Şahin, M., 1996. Deprem Etkilerine Karşı Geliştirilen Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Taflanidis, A.A., Angelides, D.C., & MAnos, G.C., 2005. Optimal design and performance of liquid column mass dampers for rotational vibration control of structures under white noise excitation. *Engineering structures, 27*(4), 524-534.

Taflanidis, A.A., Beck, J.L. and Angelides, D.C., 2007. Robust reliability-based design of liquid column mass dampers under earthquake excitation using an analytical reliability approximation. *Engineering Structures*, *29*(12), 3525-3537.

Tait, M.J., 2008. Modelling and preliminary design of a structure-TLD system. *Engineering Structures, 30*(10), 2644-2655.

Tait, M.J., El Damatty, A.A., Isyumov, N. And Siddique, M.R., 2005. Numerical flow models to simulate tuned liquid dampers (TLD) with slat screens. *Journal of Fluids and Structures, 20*(8), 1007-1023.

Tamura, Y., Kousaka, R. and Modi, V.J., 1992. Practical application of nutation damper for suppressing wind-induced vibrations of airport towers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 43*(1-3), 1919-1930.

Tanveer, M., Usman, M., Khan, I.U., Farooq, S.H., Kasım 2020, Material Optimization of Tuned Liquid Column Ball Damper (TLCBD) for The Vibration Control of Multi-storey Structure Using Various Liquid and Ball Densities

Temür, R., Bekdaş, G., 2016. Teaching learning-based aptimization for design of cantilever retaining walls, *Structural engineering and mechanics,* 57(4), 763-783

Togan, V., Daloglu, A.T. and Karadeniz, H., 2011. Optimization of trusses under uncertainties with harmony search. *Structural engineering and mechanics: An international journal, 37*(5), 543-560.

Toklu, Y.C., Bekdaş, G. And Temur, R., 2013. Analysis of trusses by total potential optimization method coupled with harmony search. *Structural Engineering and Mechanics, 45*(2), 183-199.

Trevor, E.K, 2001. In-Structure Damping and Energy Dissipation, Holmes Consulting Group Ltd. New Zealand.

UMU, S.U., 2008. Minimaks Yaklaşımı ile Yapıların Titreşim Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Xue, S.D., Ko, J.M., & Xu, Y.L., 2000. Optimum parameters of tuned liquid column damper for suppressing pitching vibration of an undamped structure. Journal of sound and vibration, 235(4), 639-653.

Waheb, M.H., 2018. Deprem Etkisindeki Yapıların Sismik Taban İzolasyonu ve Çoklu Ayarlı Kütle Sönümleyici Sistemleri ile Karma Korunması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Aydın Üniveristesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Won, A.Y., Pires, J.A. and Haroun, M.A., 1997. Performance assessment of tuned liquid column dampers under random seismic loading. *International journal of non-linear mechanics,* 32(4), 745-758.

Wu, G., Ma, Q. And Taylor, R.E., 1998. Numerical simulation of sloshing waves in a 3d tank based on a finite element method, Appl. Ocean Res., 20(6), 337-355.

Wu, J.C., Wang, Y.P., Lee, C.L., Liao, P.H. and Chen, Y.H., 2008. Wind-induced interaction of a non-uniform tuned liquid column damper and a structure in pitching motion. *Engineering Structures*, *30*(12), 3555-3565.

Wue, S.D., Ko, J.M. and Xu, Y.L., 2000. Tuned liquid column damper for suppressing pitching motion of structures. *Engineering Structures, 22*(11), 1538-1551.

Yalla, S.K., 2001. Liquid Dampers for Mitigation of Structural Response: Theoretical Development and Experimental Validation, Thesis, University of Notre Dame, Web.

Yalla, S.K. and Kareem, A., 2001. Beat phenomenon in combined structure-liquid damper system, *Journal Engineering Struct., 23*(6), 622-630.

Yalla, S.K., Kareem, A. and Kantor, J.C., 2001. Semi-active tuned liquid column dampers for vibration control of structures. *Engineering Structures, 23*(11), 1469-1479.

Yamamoto, K. and Kawahara, M., 1999. Structural oscillation control using tuned liquid damper. *Computers & structures, 71*(4), 435-446.

Yang, X.S., 2010. Engineering optimization: an introduction with metaheuristic applications. John Wiley & Sons.

Yang, X. S., 2012, *Flower pollination algorithm for global optimization*, Lecture Notes in Computer Science, In**:** Durand-Lose, J., Jonoska, N., 27, Springer, London, 7445, 240-249.

Yetişken, A. (2016), Sıvı Sönümleyici Sistemlerin Yapıların Sönüm Kapasitelerine Etkisinin Sarsma Masası Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Yu, JK, Wakahara, T. And Reed, D.A., 1999. A non-linear numerical model of the tuned liquid damper. *Earthquake engineering & structural Dynamics, 28*(6), 671-686.

Yucel, M., Bekdaş, G., Nigdeli, S.M. and Sevgen, S., 2019. Estimation of optimum tuned mass damper parameters via machine learning. *Journal of Building Engineering, 26,* 100847.

Zhang, H.Y. and Zhang, L.J., 2017. Tuned mass damper system of high-rise intake towers optimized by improved harmony search algorithm. Engineering Structures, 138, 270-282.

Zhu, F., Wang, J.T., Jin, F. and Lu, L.Q., 2017. Real-time Hybrid simulation of full-scale tuned liquid column dampers to control multi-order modal responses of structures. *Engineering Structures, 138,* 74-90.

https://openconstructionbuildingtechnologyjournal.com/VOLUME/13/PAGE/289/ , [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

https://www.directindustry.com/prod/talleres-egana/product-16109-1552249.html,[Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

https://www.semanticscholar.org/paper/Dynamic-Response-of-Two-Adjacent-Structures-by-Shobhika/790b0ca4e955d16cc084a3acb731f29fa8feba6c , [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCnya_Ticaret_Merkezi, [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:722186/FULLTEXT01.pdf , [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

https://volkanatabey.com.tr/taipei-101-tuned-mass-damper-sonumleyici-kutle/,[Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

https://www.youtube.com/watch?v=3ZI7EOVf5qQ , [Ziyaret Tarihi: 10 Nisan 2021].

EKLER

EK-1. JAYA Optimizasyonu, TLD maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	MAKSİMUM DEPLASMAN				
	TLD'siz Yapı	TLD-SU	TLD-YAĞ	TLD-GLİSERİN	TLD-ORTALAMA
1	0.2533638	0.2131397	0.2088067	0.2081000	0.2100155
2	0.2335015	0.2092334	0.2083323	0.2118655	0.2098104
3	0.0940219	0.0782135	0.0772616	0.0785017	0.0779923
4	0.1574697	0.1359150	0.1361121	0.1332588	0.1350953
5	0.1785670	0.1376087	0.1377738	0.1379940	0.1377922
6	0.2873419	0.2314771	0.2322108	0.2323616	0.2320165
7	0.0877534	0.0965119	0.0975863	0.0956912	0.0965965
8	0.0925480	0.1067047	0.1069662	0.1055419	0.1064043
9	0.0652957	0.0486308	0.0482010	0.0489437	0.0485918
10	0.1196192	0.1094456	0.1075938	0.0983335	0.1051243
11	0.0600251	0.0546441	0.0548067	0.0546336	0.0546948
12	0.0561733	0.0668154	0.0676767	0.0665508	0.0670143
13	0.0759304	0.0604100	0.0618570	0.0675916	0.0632862
14	0.0713875	0.0752956	0.0728558	0.0706214	0.0729243
15	0.0826483	0.0826066	0.0826779	0.0857172	0.0836672
16	0.0563261	0.0680694	0.0596542	0.0570239	0.0615825
17	0.1079493	0.0968244	0.0969541	0.0964688	0.0967491
18	0.1513215	0.1483324	0.1484303	0.1462143	0.1476590
19	0.0279695	0.0248658	0.0241766	0.0238537	0.0242987
20	0.0277375	0.0206169	0.0202587	0.0206588	0.0205115
21	0.1241107	0.1186505	0.1127967	0.1092862	0.1135778
22	0.0808584	0.0775886	0.0769741	0.0743223	0.0762950

23	0.0490896	0.0386393	0.0378010	0.0401685	0.0388696
24	0.0905852	0.0957816	0.0907527	0.0926825	0.0930723
25	0.1131848	0.1317521	0.1332136	0.1281650	0.1310436
26	0.0691366	0.0688964	0.0629299	0.0634229	0.0650831
27	0.0662985	0.0601639	0.0551060	0.0532875	0.0561858
28	0.0935223	0.0967896	0.0969209	0.0966416	0.0967840
29	0.0879923	0.0745230	0.0762242	0.0752821	0.0753431
30	0.1349888	0.1243343	0.1235804	0.1242897	0.1240681
31	0.0765066	0.1024012	0.0993997	0.0978618	0.0998876
32	0.0612661	0.0664260	0.0639095	0.0633363	0.0645573
33	0.0811248	0.0822979	0.0720668	0.0741259	0.0761635
34	0.0852802	0.0567269	0.0618457	0.0622401	0.0602709
35	0.1337898	0.1209977	0.1227231	0.1210732	0.1215980
36	0.0962994	0.0930094	0.0937709	0.0914343	0.0927382
37	0.1208245	0.0881555	0.0973945	0.0943834	0.0933111
38	0.2357265	0.1659925	0.1669770	0.1673746	0.1667814
39	0.0741062	0.0732032	0.0696697	0.0620910	0.0683213
40	0.1077205	0.0947163	0.1000866	0.1009109	0.0985713
41	0.0610855	0.0517645	0.0517997	0.0514644	0.0516762
42	0.0383206	0.0256886	0.0260365	0.0253536	0.0256929
43	0.0613327	0.0537248	0.0538156	0.0534914	0.0536773
44	0.0733391	0.0716892	0.0727595	0.0706806	0.0717098

EK-2. JAYA Optimizasyonu, TLD maksimum toplam ivme sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM TOPLAM İVME**				
	TLD'siz Yapı	**TLD-SU**	**TLD-YAĞ**	**TLD-GLİSERİN**	**TLD-ORTALAMA**
1	10.0517449	7.1428586	7.0126495	7.1936398	7.1163826
2	9.2650352	7.5681598	7.5555849	7.7565597	7.6267681
3	3.7396604	2.9569516	2.9595770	2.9600470	2.9588585

4	6.2453033	5.2043705	5.1968812	5.1916015	5.1976177
5	7.0942065	5.2776172	5.2831853	5.3171469	5.2926498
6	11.4077630	8.7560135	8.7630632	8.8551204	8.7913990
7	3.4836616	3.6292111	3.6833473	3.6026487	3.6384024
8	3.6653714	3.9170188	3.9388470	3.8822834	3.9127164
9	2.5944782	1.8050772	1.9267610	1.9694777	1.9004386
10	4.7479077	4.1710324	4.0806193	3.7573384	4.0029967
11	2.3806697	1.9469768	1.9459593	1.9457634	1.9462332
12	2.2271447	2.5783272	2.6163383	2.5539290	2.5828648
13	3.0107353	2.4154502	2.5136751	2.7201847	2.5497700
14	2.8413431	2.8785529	2.8705574	2.8831264	2.8774122
15	3.2836983	3.0630621	3.0893246	3.2106861	3.1210242
16	2.2333943	2.3496244	2.2710299	2.2500825	2.2902456
17	4.2924557	3.6931164	3.6907147	3.6912002	3.6916771
18	6.0002535	5.3876093	5.3907675	5.3184220	5.3655996
19	1.1100981	0.9702212	0.9599988	0.9405997	0.9569399
20	1.1002682	0.8099540	0.8017030	0.8129284	0.8081951
21	4.9231845	4.1885191	3.9799244	3.9193038	4.0292491
22	3.2014957	2.8061707	2.7722606	2.6890062	2.7558125
23	1.9529394	1.4747723	1.5056299	1.5941583	1.5248535
24	3.5963322	3.6575110	3.5069884	3.6381632	3.6008875
25	4.4834672	5.1500907	5.1855968	4.9592336	5.0983070
26	2.7435031	2.6383881	2.6350882	2.6515743	2.6416835
27	2.6335990	2.2366965	2.1002865	2.1019994	2.1463275
28	3.7132776	3.6801445	3.6887916	3.6810808	3.6833390
29	3.4949606	3.0539985	3.0709741	3.0258536	3.0502754
30	5.3633225	4.7449507	4.7344338	4.7405870	4.7399905
31	3.0330161	3.8924006	3.8153812	3.7584532	3.8220783
32	2.4263088	2.3847261	2.3230247	2.2997278	2.3358262
33	3.2177668	3.1111861	2.7861061	2.7526939	2.8833287

34	3.3847208	2.0611834	2.2008559	2.2265855	2.1628749
35	5.3143702	4.5718025	4.6134432	4.5787402	4.5879953
36	3.8239994	3.4381721	3.4581936	3.3848835	3.4270831
37	4.7982425	3.3945566	3.5490236	3.4749731	3.4728511
38	9.3485885	6.1697632	6.2043197	6.2643432	6.2128087
39	2.9457885	2.8899494	2.7526403	2.4581140	2.7002346
40	4.2757299	3.6949456	3.8633097	3.8961018	3.8181190
41	2.4292617	1.8820833	1.8774880	1.8829508	1.8808407
42	1.5254275	0.9782555	0.9784026	0.9961355	0.9842645
43	2.4380088	2.0176022	2.0181822	2.0191670	2.0183171
44	2.9183458	2.8377407	2.8722177	2.8003562	2.8367715

EK-3. JAYA Optimizasyonu, TLD ve TMD maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM DEPLASMAN**				
	TLD'SİZ YAPI	**TLD**			**TMD**
		SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**	
1	0.2533638	0.2131397	0.2088067	0.2081000	0.2242296
2	0.2335015	0.2092334	0.2083323	0.2118655	0.2323247
3	0.0940219	0.0782135	0.0772616	0.0785017	0.0871946
4	0.1574697	0.1359150	0.1361121	0.1332588	0.1285117
5	0.1785670	0.1376087	0.1377738	0.1379940	0.1421131
6	0.2873419	0.2314771	0.2322108	0.2323616	0.2419431
7	0.0877534	0.0965119	0.0975863	0.0956912	0.0859615
8	0.0925480	0.1067047	0.1069662	0.1055419	0.0975742
9	0.0652957	0.0486308	0.0482010	0.0489437	0.0565630
10	0.1196192	0.1094456	0.1075938	0.0983335	0.0821569
11	0.0600251	0.0546441	0.0548067	0.0546336	0.0562725
12	0.0561733	0.0668154	0.0676767	0.0665508	0.0601477
13	0.0759304	0.0604100	0.0618570	0.0675916	0.0807374
14	0.0713875	0.0752956	0.0728558	0.0706214	0.0685257

15	0.0826483	0.0826066	0.0826779	0.0857172	0.0973563
16	0.0563261	0.0680694	0.0596542	0.0570239	0.0613164
17	0.1079493	0.0968244	0.0969541	0.0964688	0.0970796
18	0.1513215	0.1483324	0.1484303	0.1462143	0.1388540
19	0.0279695	0.0248658	0.0241766	0.0238537	0.0235102
20	0.0277375	0.0206169	0.0202587	0.0206588	0.0230889
21	0.1241107	0.1186505	0.1127967	0.1092862	0.1114710
22	0.0808584	0.0775886	0.0769741	0.0743223	0.0690544
23	0.0490896	0.0386393	0.0378010	0.0401685	0.0466418
24	0.0905852	0.0957816	0.0907527	0.0926825	0.1011753
25	0.1131848	0.1317521	0.1332136	0.1281650	0.1061448
26	0.0691366	0.0688964	0.0629299	0.0634229	0.0702113
27	0.0662985	0.0601639	0.0551060	0.0532875	0.0551307
28	0.0935223	0.0967896	0.0969209	0.0966416	0.0954792
29	0.0879923	0.0745230	0.0762242	0.0752821	0.0769123
30	0.1349888	0.1243343	0.1235804	0.1242897	0.1196022
31	0.0765066	0.1024012	0.0993997	0.0978618	0.0971447
32	0.0612661	0.0664260	0.0639095	0.0633363	0.0585175
33	0.0811248	0.0822979	0.0720668	0.0741259	0.0655617
34	0.0852802	0.0567269	0.0618457	0.0622401	0.0606253
35	0.1337898	0.1209977	0.1227231	0.1210732	0.1168584
36	0.0962994	0.0930094	0.0937709	0.0914343	0.0835767
37	0.1208245	0.0881555	0.0973945	0.0943834	0.0995459
38	0.2357265	0.1659925	0.1669770	0.1673746	0.1713531
39	0.0741062	0.0732032	0.0696697	0.0620910	0.0607846
40	0.1077205	0.0947163	0.1000866	0.1009109	0.1014109
41	0.0610855	0.0517645	0.0517997	0.0514644	0.0522331
42	0.0383206	0.0256886	0.0260365	0.0253536	0.0267808
43	0.0613327	0.0537248	0.0538156	0.0534914	0.0540646
44	0.0733391	0.0716892	0.0727595	0.0706806	0.0625160

EK-4. JAYA Optimizasyonu, TLD ve TMD maksimum toplam ivme sonuçları

DEPREM KAYIT NO	MAKSİMUM TOPLAM İVME				
	TLD'SİZ YAPI	TLD			TMD
		SU	YAĞ	GLİSERİN	
1	10.0517449	7.1428586	7.0126495	7.1936398	8.6368884
2	9.2650352	7.5681598	7.5555849	7.7565597	8.9317072
3	3.7396604	2.9569516	2.9595770	2.9600470	3.4315356
4	6.2453033	5.2043705	5.1968812	5.1916015	5.0458215
5	7.0942065	5.2776172	5.2831853	5.3171469	5.5807083
6	11.4077630	8.7560135	8.7630632	8.8551204	9.5928832
7	3.4836616	3.6292111	3.6833473	3.6026487	3.2078649
8	3.6653714	3.9170188	3.9388470	3.8822834	3.5717292
9	2.5944782	1.8050772	1.9267610	1.9694777	2.2886536
10	4.7479077	4.1710324	4.0806193	3.7573384	3.1526511
11	2.3806697	1.9469768	1.9459593	1.9457634	2.1106378
12	2.2271447	2.5783272	2.6163383	2.5539290	2.2450496
13	3.0107353	2.4154502	2.5136751	2.7201847	3.2050482
14	2.8413431	2.8785529	2.8705574	2.8831264	2.7509150
15	3.2836983	3.0630621	3.0893246	3.2106861	3.7436060
16	2.2333943	2.3496244	2.2710299	2.2500825	2.3314918
17	4.2924557	3.6931164	3.6907147	3.6912002	3.8031927
18	6.0002535	5.3876093	5.3907675	5.3184220	5.1345463
19	1.1100981	0.9702212	0.9599988	0.9405997	0.9077263
20	1.1002682	0.8099540	0.8017030	0.8129284	0.8827809
21	4.9231845	4.1885191	3.9799244	3.9193038	4.2168357
22	3.2014957	2.8061707	2.7722606	2.6890062	2.5963915
23	1.9529394	1.4747723	1.5056299	1.5941583	1.8124249
24	3.5963322	3.6575110	3.5069884	3.6381632	3.9127943
25	4.4834672	5.1500907	5.1855968	4.9592336	3.9318763
26	2.7435031	2.6383881	2.6350882	2.6515743	2.7046372

27	2.6335990	2.2366965	2.1002865	2.1019994	2.2269420
28	3.7132776	3.6801445	3.6887916	3.6810808	3.6358982
29	3.4949606	3.0539985	3.0709741	3.0258536	3.0784968
30	5.3633225	4.7449507	4.7344338	4.7405870	4.5743669
31	3.0330161	3.8924006	3.8153812	3.7584532	3.6413425
32	2.4263088	2.3847261	2.3230247	2.2997278	2.1359798
33	3.2177668	3.1111861	2.7861061	2.7526939	2.5304962
34	3.3847208	2.0611834	2.2008559	2.2265855	2.3662450
35	5.3143702	4.5718025	4.6134432	4.5787402	4.5168135
36	3.8239994	3.4381721	3.4581936	3.3848835	3.1845857
37	4.7982425	3.3945566	3.5490236	3.4749731	3.9916752
38	9.3485885	6.1697632	6.2043197	6.2643432	6.7528072
39	2.9457885	2.8899494	2.7526403	2.4581140	2.4621402
40	4.2757299	3.6949456	3.8633097	3.8961018	3.9377170
41	2.4292617	1.8820833	1.8774880	1.8829508	2.0240521
42	1.5254275	0.9782555	0.9784026	0.9961355	1.0775125
43	2.4380088	2.0176022	2.0181822	2.0191670	2.1079021
44	2.9183458	2.8377407	2.8722177	2.8003562	2.5103289

EK-5. JAYA Optimizasyonu, 0.5 sn periyotlu yapı için TLD ve TMD maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM DEPLASMAN**				
	TLD'SİZ YAPI	**TLD**			**TMD**
		SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**	
1	0.0774719	0.0605382	0.0604950	0.0604713	0.0604488
2	0.1378310	0.0963261	0.0963900	0.0964024	0.0964560
3	0.0619000	0.0547512	0.0547703	0.0547612	0.0548049
4	0.0703081	0.0608359	0.0608455	0.0608352	0.0608663
5	0.0995623	0.0754068	0.0754225	0.0754190	0.0754439
6	0.0814160	0.0757222	0.0757187	0.0757281	0.0757282

7	0.0253262	0.0224478	0.0224631	0.0224666	0.0224755
8	0.0886841	0.0551901	0.0549290	0.0549359	0.0549732
9	0.0421710	0.0364659	0.0364579	0.0364537	0.0364731
10	0.0384983	0.0352551	0.0353724	0.0353647	0.0353825
11	0.0330781	0.0273788	0.0273757	0.0273850	0.0273861
12	0.0485968	0.0385239	0.0385290	0.0385407	0.0385426
13	0.1261818	0.0963233	0.0963798	0.0964051	0.0964519
14	0.0676230	0.0593343	0.0593385	0.0593328	0.0593722
15	0.0399922	0.0332423	0.0332111	0.0331873	0.0332161
16	0.0369726	0.0335708	0.0335765	0.0335635	0.0335694
17	0.0409478	0.0377974	0.0377981	0.0377835	0.0377877
18	0.0416136	0.0381327	0.0381246	0.0381066	0.0381110
19	0.0132903	0.0116048	0.0116169	0.0116139	0.0116151
20	0.0109178	0.0113343	0.0113337	0.0113319	0.0113321
21	0.0339725	0.0264974	0.0264904	0.0264841	0.0264942
22	0.0272607	0.0209515	0.0209634	0.0209652	0.0209821
23	0.0464740	0.0332999	0.0332998	0.0333109	0.0333282
24	0.0690742	0.0675976	0.0676026	0.0675563	0.0675234
25	0.0499917	0.0411780	0.0412295	0.0412418	0.0412694
26	0.0531000	0.0430922	0.0430967	0.0430834	0.0431386
27	0.0660868	0.0518628	0.0518698	0.0518742	0.0518874
28	0.0435085	0.0331005	0.0331169	0.0331196	0.0331275
29	0.0395148	0.0362422	0.0362508	0.0362529	0.0362542
30	0.0589445	0.0441625	0.0441332	0.0441274	0.0441271
31	0.0388799	0.0380582	0.0380419	0.0380317	0.0380302
32	0.0355343	0.0291927	0.0291880	0.0291900	0.0291911
33	0.0657112	0.0546435	0.0546645	0.0546804	0.0546764
34	0.0378983	0.0343878	0.0343702	0.0343408	0.0343418
35	0.0489770	0.0412382	0.0412557	0.0412609	0.0412769
36	0.1087602	0.0953578	0.0953738	0.0953901	0.0954047

37	0.0288757	0.0247436	0.0247513	0.0247294	0.0247229
38	0.0614589	0.0491436	0.0491027	0.0491056	0.0491112
39	0.0808454	0.0721776	0.0721848	0.0721861	0.0722110
40	0.0554261	0.0553065	0.0553105	0.0553078	0.0553262
41	0.0187826	0.0160161	0.0160273	0.0160292	0.0160230
42	0.0184275	0.0141624	0.0141484	0.0141385	0.0141334
43	0.0452694	0.0275385	0.0275714	0.0275801	0.0276063
44	0.0638971	0.0537523	0.0537663	0.0537648	0.0537760

EK-6. JAYA Optimizasyonu, 0.5 sn periyotlu yapı için TLD ve TMD maksimum toplam ivme sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM TOPLAM İVME**				
	TLD'SİZ YAPI	**TLD**			**TMD**
		SU	**YAĞ**	**GLİSERİN**	
1	12.2818031	9.3535876	9.3474810	9.3453464	9.3429484
2	21.8517889	14.9894491	14.9979899	15.0025635	15.0101078
3	9.8137885	8.3101374	8.3319721	8.3406241	8.3418233
4	11.1490280	9.3251160	9.3267396	9.3274803	9.3307719
5	15.7927209	11.7236109	11.7255155	11.7270159	11.7289128
6	12.9134018	11.7275816	11.7265869	11.7283225	11.7278737
7	4.0148180	3.4594040	3.4614262	3.4622933	3.4632968
8	14.0780296	8.8498270	8.8168805	8.8204793	8.8262809
9	6.6949951	5.6381937	5.6377394	5.6385367	5.6406850
10	6.1036456	5.2442980	5.2604255	5.2604347	5.2619597
11	5.2525064	4.4456903	4.4447617	4.4464232	4.4456785
12	7.7122899	6.0930115	6.0932527	6.0951652	6.0951416
13	20.0364875	15.2864483	15.2932540	15.2997176	15.3056236
14	10.7355796	9.3230994	9.3233288	9.3252336	9.3284314
15	6.3372646	4.9925503	4.9901354	4.9888887	4.9931138
16	5.8692301	4.9693620	4.9705075	4.9693453	4.9694232

17	6.4964247	5.6747031	5.6750119	5.6735342	5.6734039
18	6.6002544	5.7231680	5.7227130	5.7209210	5.7216925
19	2.1078085	1.7847869	1.7857640	1.7856237	1.7857495
20	1.7321459	1.7218070	1.7216957	1.7215957	1.7214894
21	5.3845582	4.0517852	4.0511771	4.0510816	4.0518925
22	4.3247418	3.3064958	3.3085485	3.3096188	3.3116788
23	7.3794356	5.3706502	5.3711631	5.3735664	5.3757050
24	10.9691052	10.4539800	10.4491301	10.4437988	10.4379151
25	7.9275716	6.2790182	6.2863202	6.2891010	6.2933583
26	8.4215420	6.4751165	6.4785271	6.4796536	6.4869669
27	10.4988641	8.0692078	8.0701621	8.0717096	8.0726347
28	6.8999598	5.1406074	5.1426430	5.1437430	5.1451583
29	6.2827853	5.7420833	5.7426727	5.7434147	5.7427211
30	9.3455519	7.1195663	7.1139205	7.1140531	7.1130781
31	6.1722054	5.8592213	5.8564794	5.8555890	5.8552873
32	5.6377141	4.5975300	4.5971187	4.5983835	4.5990064
33	10.4335119	8.8039611	8.8034384	8.8062171	8.8045072
34	6.0202155	5.4478821	5.4420177	5.4393715	5.4384543
35	7.7746248	6.4096575	6.4118356	6.4134326	6.4150993
36	17.2677099	15.0419801	15.0432420	15.0469183	15.0469872
37	4.5834662	3.5682332	3.5684745	3.5657211	3.5636814
38	9.7426651	7.5494192	7.5452270	7.5463677	7.5477515
39	12.8272487	11.2343000	11.2358901	11.2378816	11.2395007
40	8.7902290	8.4043536	8.4050315	8.4055479	8.4072770
41	2.9782095	2.5026291	2.5035038	2.5035378	2.5023071
42	2.9258858	2.2362756	2.2341494	2.2332089	2.2322602
43	7.1829727	4.3378046	4.3434810	4.3469716	4.3513014
44	10.1355317	8.2511763	8.2528084	8.2535326	8.2540183

EK-7. JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-SU maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	MAKSİMUM DEPLASMAN					
	TLD'SİZ YAPI	TLD-SU				
		JAYA	FPA	HS	TLBO	ORTALAMA
1	0.2533638	0.2131397	0.2168280	0.2285346	0.2132022	0.2179261
2	0.2335015	0.2092334	0.2083699	0.2316580	0.2092122	0.2146184
3	0.0940219	0.0782135	0.0778104	0.0871721	0.0782040	0.0803500
4	0.1574697	0.1359150	0.1368171	0.1322434	0.1359325	0.1352270
5	0.1785670	0.1376087	0.1374379	0.1463610	0.1376047	0.1397531
6	0.2873419	0.2314771	0.2314857	0.2473086	0.2314739	0.2354363
7	0.0877534	0.0965119	0.0969415	0.0886961	0.0965219	0.0946679
8	0.0925480	0.1067047	0.1071119	0.0991415	0.1067136	0.1049179
9	0.0652957	0.0486308	0.0494982	0.0553530	0.0486480	0.0505325
10	0.1196192	0.1094456	0.1088416	0.0890979	0.1094339	0.1042048
11	0.0600251	0.0546441	0.0545315	0.0572977	0.0546414	0.0552787
12	0.0561733	0.0668154	0.0669759	0.0610946	0.0668201	0.0654265
13	0.0759304	0.0604100	0.0600804	0.0782301	0.0604031	0.0647809
14	0.0713875	0.0752956	0.0761947	0.0687807	0.0753122	0.0738958
15	0.0826483	0.0826066	0.0816253	0.0946399	0.0825868	0.0853647
16	0.0563261	0.0680694	0.0676410	0.0598328	0.0680671	0.0659026
17	0.1079493	0.0968244	0.0968590	0.0986816	0.0968244	0.0972974
18	0.1513215	0.1483324	0.1487254	0.1412782	0.1483404	0.1466691
19	0.0279695	0.0248658	0.0247206	0.0234314	0.0248638	0.0244704
20	0.0277375	0.0206169	0.0203816	0.0231363	0.0206128	0.0211869
21	0.1241107	0.1186505	0.1187645	0.1129653	0.1186537	0.1172585
22	0.0808584	0.0775886	0.0780053	0.0719782	0.0775966	0.0762922
23	0.0490896	0.0386393	0.0391876	0.0442262	0.0386566	0.0401774
24	0.0905852	0.0957816	0.0958211	0.0984377	0.0957832	0.0964559
25	0.1131848	0.1317521	0.1326246	0.1094291	0.1317713	0.1263943
26	0.0691366	0.0688964	0.0680628	0.0694918	0.0688906	0.0688354

27	0.0662985	0.0601639	0.0598306	0.0559148	0.0601605	0.0590175
28	0.0935223	0.0967896	0.0968141	0.0958066	0.0967903	0.0965502
29	0.0879923	0.0745230	0.0736014	0.0764307	0.0745047	0.0747650
30	0.1349888	0.1243343	0.1250580	0.1234469	0.1243506	0.1242975
31	0.0765066	0.1024012	0.1023965	0.0942213	0.1024029	0.1003555
32	0.0612661	0.0664260	0.0668382	0.0601478	0.0664363	0.0649621
33	0.0811248	0.0822979	0.0834956	0.0695078	0.0823205	0.0794055
34	0.0852802	0.0567269	0.0578617	0.0644675	0.0567474	0.0589509
35	0.1337898	0.1209977	0.1213013	0.1202859	0.1210028	0.1208969
36	0.0962994	0.0930094	0.0935855	0.0871711	0.0930203	0.0916966
37	0.1208245	0.0881555	0.0864679	0.1008638	0.0881138	0.0909003
38	0.2357265	0.1659925	0.1663557	0.1749375	0.1659970	0.1683207
39	0.0741062	0.0732032	0.0735424	0.0612433	0.0732119	0.0703002
40	0.1077205	0.0947163	0.0948303	0.1028836	0.0947166	0.0967867
41	0.0610855	0.0517645	0.0518787	0.0538501	0.0517658	0.0523148
42	0.0383206	0.0256886	0.0260778	0.0269624	0.0256959	0.0261062
43	0.0613327	0.0537248	0.0537411	0.0551858	0.0537247	0.0540941
44	0.0733391	0.0716892	0.0726797	0.0635105	0.0717082	0.0698000

EK-8. JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-SU maksimum toplam ivme sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM TOPLAM İVME**					
	TLD'SİZ YAPI	**TLD-SU**				
		JAYA	**FPA**	**HS**	**TLBO**	**ORTALAMA**
1	10.0517449	7.1428586	7.3079048	8.6645182	7.1452839	7.5651414
2	9.2650352	7.5681598	7.4839681	8.7992110	7.5663471	7.8544215
3	3.7396604	2.9569516	2.9589474	3.3991974	2.9570065	3.0680257
4	6.2453033	5.2043705	5.2551566	5.1436403	5.2052806	5.2021120
5	7.0942065	5.2776172	5.2608244	5.6546444	5.2772782	5.3675911
6	11.4077630	8.7560135	8.7254851	9.6358656	8.7552966	8.9681652
7	3.4836616	3.6292111	3.6480288	3.3150418	3.6296306	3.5554781

8	3.6653714	3.9170188	3.9361027	3.6548463	3.9174127	3.8563451
9	2.5944782	1.8050772	1.8374809	2.2092529	1.8043988	1.9140525
10	4.7479077	4.1710324	4.1427239	3.4367952	4.1705997	3.9802878
11	2.3806697	1.9469768	1.9345015	2.1388273	1.9467203	1.9917565
12	2.2271447	2.5783272	2.5885284	2.2853681	2.5785993	2.5077058
13	3.0107353	2.4154502	2.3970242	3.0557599	2.4150725	2.5708267
14	2.8413431	2.8785529	2.9308680	2.7330771	2.8795013	2.8554998
15	3.2836983	3.0630621	3.0015038	3.6092175	3.0618544	3.1839095
16	2.2333943	2.3496244	2.3811896	2.2503726	2.3493479	2.3326336
17	4.2924557	3.6931164	3.6882100	3.8307678	3.6929945	3.7262722
18	6.0002535	5.3876093	5.4011844	5.2413517	5.3878647	5.3545025
19	1.1100981	0.9702212	0.9633204	0.8947912	0.9701323	0.9496163
20	1.1002682	0.8099540	0.8017359	0.8825935	0.8098253	0.8260272
21	4.9231845	4.1885191	4.1890883	4.2699428	4.1885769	4.2090318
22	3.2014957	2.8061707	2.8227099	2.7019438	2.8064767	2.7843253
23	1.9529394	1.4747723	1.5123633	1.6975208	1.4758193	1.5401189
24	3.5963322	3.6575110	3.7121287	3.7961135	3.6587894	3.7061357
25	4.4834672	5.1500907	5.2050042	4.0849339	5.1512709	4.8978249
26	2.7435031	2.6383881	2.6366236	2.6441673	2.6383844	2.6393909
27	2.6335990	2.2366965	2.2134162	2.2221410	2.2364168	2.2271676
28	3.7132776	3.6801445	3.6808211	3.6380293	3.6801718	3.6697917
29	3.4949606	3.0539985	3.0108978	3.0171296	3.0532255	3.0338129
30	5.3633225	4.7449507	4.7776067	4.7089017	4.7456719	4.7442828
31	3.0330161	3.8924006	3.8982093	3.5243118	3.8925848	3.8018766
32	2.4263088	2.3847261	2.4022079	2.2134866	2.3851410	2.3463904
33	3.2177668	3.1111861	3.1741590	2.6248062	3.1123265	3.0056195
34	3.3847208	2.0611834	2.1168955	2.4971019	2.0621647	2.1843364
35	5.3143702	4.5718025	4.5841009	4.6008741	4.5720102	4.5821969
36	3.8239994	3.4381721	3.4596160	3.3114772	3.4385393	3.4119512
37	4.7982425	3.3945566	3.2940649	3.9439077	3.3923290	3.5062146

38	9.3485885	6.1697632	6.1675780	6.8140576	6.1695797	6.3302446
39	2.9457885	2.8899494	2.9128752	2.4577333	2.8905408	2.7877747
40	4.2757299	3.6949456	3.7009273	3.9568145	3.6949779	3.7619163
41	2.4292617	1.8820833	1.8802116	2.0684233	1.8820003	1.9281796
42	1.5254275	0.9782555	0.9755672	1.0999583	0.9781824	1.0079909
43	2.4380088	2.0176022	2.0134614	2.1277248	2.0175084	2.0440742
44	2.9183458	2.8377407	2.8885046	2.4796507	2.8386798	2.7611440

EK-9. JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-YAĞ maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM DEPLASMAN**					
	TLD'SİZ YAPI	**TLD-YAĞ**				
		JAYA	**FPA**	**HS**	**TLBO**	**ORTALAMA**
1	0.2533638	0.2088067	0.2104430	0.2266257	0.2089621	0.2137094
2	0.2335015	0.2083323	0.2078876	0.2316608	0.2083465	0.2140568
3	0.0940219	0.0772616	0.0770760	0.0871884	0.0772606	0.0796967
4	0.1574697	0.1361121	0.1365400	0.1319939	0.1361282	0.1351936
5	0.1785670	0.1377738	0.1376965	0.1462390	0.1377743	0.1398709
6	0.2873419	0.2322108	0.2322313	0.2475240	0.2322287	0.2360487
7	0.0877534	0.0975863	0.0977503	0.0885762	0.0975981	0.0953777
8	0.0925480	0.1069662	0.1071275	0.0987272	0.1069786	0.1049499
9	0.0652957	0.0482010	0.0485513	0.0537637	0.0482218	0.0496845
10	0.1196192	0.1075938	0.1076625	0.0872039	0.1075556	0.1025040
11	0.0600251	0.0548067	0.0547623	0.0573764	0.0548067	0.0554380
12	0.0561733	0.0676767	0.0677356	0.0612259	0.0676754	0.0660784
13	0.0759304	0.0618570	0.0616306	0.0774324	0.0618560	0.0656940
14	0.0713875	0.0728558	0.0732847	0.0689770	0.0728849	0.0720006
15	0.0826483	0.0826779	0.0821995	0.0942546	0.0826689	0.0854502
16	0.0563261	0.0596542	0.0598992	0.0595762	0.0596715	0.0597003
17	0.1079493	0.0969541	0.0969817	0.0987476	0.0969586	0.0974105

18	0.1513215	0.1484303	0.1486054	0.1409297	0.1484435	0.1466022
19	0.0279695	0.0241766	0.0240941	0.0238136	0.0241751	0.0240649
20	0.0277375	0.0202587	0.0202022	0.0227647	0.0202503	0.0208690
21	0.1241107	0.1127967	0.1128534	0.1116427	0.1128074	0.1125251
22	0.0808584	0.0769741	0.0771851	0.0716122	0.0769858	0.0756893
23	0.0490896	0.0378010	0.0377848	0.0436353	0.0378006	0.0392554
24	0.0905852	0.0907527	0.0906968	0.0961933	0.0907728	0.0921039
25	0.1131848	0.1332136	0.1336324	0.1102107	0.1332109	0.1275669
26	0.0691366	0.0629299	0.0628553	0.0698597	0.0629251	0.0646425
27	0.0662985	0.0551060	0.0549658	0.0560488	0.0550955	0.0553040
28	0.0935223	0.0969209	0.0969267	0.0957418	0.0969217	0.0966278
29	0.0879923	0.0762242	0.0758854	0.0776468	0.0761863	0.0764857
30	0.1349888	0.1235804	0.1238362	0.1229686	0.1235946	0.1234950
31	0.0765066	0.0993997	0.0993574	0.0943585	0.0994014	0.0981293
32	0.0612661	0.0639095	0.0640354	0.0598130	0.0639259	0.0629210
33	0.0811248	0.0720668	0.0726113	0.0680023	0.0720432	0.0711809
34	0.0852802	0.0618457	0.0624089	0.0629978	0.0618631	0.0622789
35	0.1337898	0.1227231	0.1228828	0.1206478	0.1227306	0.1222461
36	0.0962994	0.0937709	0.0940379	0.0871675	0.0937893	0.0921914
37	0.1208245	0.0973945	0.0970653	0.1026366	0.0973430	0.0986099
38	0.2357265	0.1669770	0.1671266	0.1742099	0.1670033	0.1688292
39	0.0741062	0.0696697	0.0698276	0.0614160	0.0696722	0.0676464
40	0.1077205	0.1000866	0.1001923	0.1023166	0.1000814	0.1006692
41	0.0610855	0.0517997	0.0518571	0.0537653	0.0518083	0.0523076
42	0.0383206	0.0260365	0.0262276	0.0268727	0.0260457	0.0262956
43	0.0613327	0.0538156	0.0538256	0.0552026	0.0538187	0.0541656
44	0.0733391	0.0727595	0.0732146	0.0633830	0.0727842	0.0705353

EK-10. JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-YAĞ maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	MAKSİMUM TOPLAM İVME					
	TLD'SİZ YAPI	TLD-YAĞ				
		JAYA	FPA	HS	TLBO	ORTALAMA
1	10.0517449	7.0126495	7.0865475	8.6439173	7.0202738	7.4408470
2	9.2650352	7.5555849	7.5172169	8.8498648	7.5546895	7.8693390
3	3.7396604	2.9595770	2.9606603	3.4013556	2.9594473	3.0702601
4	6.2453033	5.1968812	5.2201867	5.1156218	5.1983678	5.1827644
5	7.0942065	5.2831853	5.2758635	5.6538959	5.2827157	5.3739151
6	11.4077630	8.7630632	8.7506047	9.6671260	8.7626098	8.9858509
7	3.4836616	3.6833473	3.6916272	3.3229467	3.6835966	3.5953795
8	3.6653714	3.9388470	3.9470128	3.6464704	3.9393763	3.8679266
9	2.5944782	1.9267610	1.9149179	2.1414623	1.9257670	1.9772271
10	4.7479077	4.0806193	4.0823902	3.3191551	4.0793374	3.8903755
11	2.3806697	1.9459593	1.9406550	2.1457088	1.9456970	1.9945050
12	2.2271447	2.6163383	2.6207757	2.2951314	2.6161863	2.5371079
13	3.0107353	2.5136751	2.5035187	3.0460181	2.5132106	2.6441056
14	2.8413431	2.8705574	2.8745102	2.7420105	2.8706600	2.8394345
15	3.2836983	3.0893246	3.0605059	3.6196540	3.0881845	3.2144173
16	2.2333943	2.2710299	2.2638712	2.2570039	2.2701401	2.2655113
17	4.2924557	3.6907147	3.6889473	3.8379509	3.6906583	3.7270678
18	6.0002535	5.3907675	5.3970779	5.2373448	5.3912640	5.3541136
19	1.1100981	0.9599988	0.9567197	0.9171316	0.9596847	0.9483837
20	1.1002682	0.8017030	0.7979363	0.8699186	0.8013385	0.8177241
21	4.9231845	3.9799244	3.9794038	4.2145648	3.9802145	4.0385269
22	3.2014957	2.7722606	2.7805897	2.6842295	2.7727828	2.7524657
23	1.9529394	1.5056299	1.4876256	1.6944669	1.5032741	1.5477491
24	3.5963322	3.5069884	3.5061933	3.7179077	3.5078337	3.5597308
25	4.4834672	5.1855968	5.2119342	4.1058003	5.1859125	4.9223110

26	2.7435031	2.6350882	2.6339396	2.6736962	2.6349724	2.6444241
27	2.6335990	2.1002865	2.0996283	2.2322613	2.1002261	2.1331006
28	3.7132776	3.6887916	3.6890319	3.6417258	3.6887325	3.6770705
29	3.4949606	3.0709741	3.0534533	3.0651345	3.0691654	3.0646818
30	5.3633225	4.7344338	4.7473510	4.6813257	4.7347965	4.7244768
31	3.0330161	3.8153812	3.8166536	3.5496353	3.8154109	3.7492703
32	2.4263088	2.3230247	2.3292971	2.2011728	2.3235553	2.2942625
33	3.2177668	2.7861061	2.8146300	2.5550859	2.7857307	2.7353882
34	3.3847208	2.2008559	2.2274413	2.4157718	2.2021166	2.2615464
35	5.3143702	4.6134432	4.6179603	4.6257170	4.6134826	4.6176508
36	3.8239994	3.4581936	3.4684961	3.3147249	3.4589185	3.4250833
37	4.7982425	3.5490236	3.5177916	4.0324828	3.5469411	3.6615598
38	9.3485885	6.2043197	6.2035138	6.7726993	6.2049296	6.3463656
39	2.9457885	2.7526403	2.7627604	2.4528494	2.7526224	2.6802181
40	4.2757299	3.8633097	3.8683466	3.9417027	3.8632182	3.8841443
41	2.4292617	1.8774880	1.8769455	2.0677107	1.8776945	1.9249597
42	1.5254275	0.9784026	0.9772289	1.0827782	0.9784037	1.0042034
43	2.4380088	2.0181822	2.0165484	2.1334353	2.0181091	2.0465688
44	2.9183458	2.8722177	2.8957681	2.4786791	2.8735643	2.7800573

EK-11. JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-GLİSERİN maksimum deplasman sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM DEPLASMAN**					
	TLD'SİZ YAPI	**TLD-GLİSERİN**				
		JAYA	**FPA**	**HS**	**TLBO**	**ORTALAMA**
1	0.2533638	0.2081000	0.2080997	0.2236073	0.2081021	0.2119773
2	0.2335015	0.2118655	0.2118653	0.2322941	0.2118627	0.2169719
3	0.0940219	0.0785017	0.0785016	0.0861000	0.0785039	0.0804018
4	0.1574697	0.1332588	0.1332588	0.1291487	0.1332624	0.1322322
5	0.1785670	0.1379940	0.1379940	0.1426564	0.1379944	0.1391597

6	0.2873419	0.2323616	0.2323616	0.2435246	0.2323660	0.2351535
7	0.0877534	0.0956912	0.0956913	0.0897393	0.0956858	0.0942019
8	0.0925480	0.1055419	0.1055420	0.0999413	0.1055378	0.1041408
9	0.0652957	0.0489437	0.0489438	0.0527421	0.0489442	0.0498935
10	0.1196192	0.0983335	0.0983337	0.0823580	0.0983391	0.0943411
11	0.0600251	0.0546336	0.0546336	0.0567395	0.0546343	0.0551603
12	0.0561733	0.0665508	0.0665509	0.0620309	0.0665481	0.0654202
13	0.0759304	0.0675916	0.0675915	0.0792057	0.0675881	0.0704942
14	0.0713875	0.0706214	0.0706214	0.0689685	0.0706223	0.0702084
15	0.0826483	0.0857172	0.0857171	0.0965868	0.0857123	0.0884334
16	0.0563261	0.0570239	0.0570237	0.0608390	0.0570168	0.0579759
17	0.1079493	0.0964688	0.0964688	0.0977954	0.0964699	0.0968007
18	0.1513215	0.1462143	0.1462144	0.1413569	0.1462118	0.1449994
19	0.0279695	0.0238537	0.0238537	0.0242971	0.0238517	0.0239641
20	0.0277375	0.0206588	0.0206588	0.0221719	0.0206583	0.0210370
21	0.1241107	0.1092862	0.1092861	0.1102824	0.1092865	0.1095353
22	0.0808584	0.0743223	0.0743223	0.0702937	0.0743233	0.0733154
23	0.0490896	0.0401685	0.0401684	0.0462668	0.0401630	0.0416917
24	0.0905852	0.0926825	0.0926822	0.0983497	0.0926763	0.0940977
25	0.1131848	0.1281650	0.1281653	0.1095739	0.1281664	0.1235177
26	0.0691366	0.0634229	0.0634229	0.0708539	0.0634219	0.0652804
27	0.0662985	0.0532875	0.0532875	0.0551996	0.0532874	0.0537655
28	0.0935223	0.0966416	0.0966417	0.0960641	0.0966406	0.0964970
29	0.0879923	0.0752821	0.0752822	0.0762917	0.0752869	0.0755357
30	0.1349888	0.1242897	0.1242898	0.1211290	0.1242916	0.1235000
31	0.0765066	0.0978618	0.0978618	0.0967755	0.0978569	0.0975890
32	0.0612661	0.0633363	0.0633363	0.0601357	0.0633331	0.0625354
33	0.0811248	0.0741259	0.0741262	0.0679188	0.0741230	0.0725735
34	0.0852802	0.0622401	0.0622402	0.0607501	0.0622438	0.0618686
35	0.1337898	0.1210732	0.1210733	0.1193456	0.1210742	0.1206416

36	0.0962994	0.0914343	0.0914344	0.0864217	0.0914334	0.0901810
37	0.1208245	0.0943834	0.0943836	0.0991494	0.0943977	0.0955785
38	0.2357265	0.1673746	0.1673746	0.1730299	0.1673745	0.1687884
39	0.0741062	0.0620910	0.0620913	0.0595120	0.0620913	0.0614464
40	0.1077205	0.1009109	0.1009110	0.1021297	0.1009116	0.1012158
41	0.0610855	0.0514644	0.0514644	0.0528810	0.0514653	0.0518188
42	0.0383206	0.0253536	0.0253536	0.0266238	0.0253542	0.0256713
43	0.0613327	0.0534914	0.0534915	0.0546591	0.0534917	0.0537834
44	0.0733391	0.0706806	0.0706807	0.0622209	0.0706812	0.0685659

EK-12. JAYA, FPA, HS, TLBO Optimizasyonları, TLD-GLİSERİN maksimum toplam ivme sonuçları

DEPREM KAYIT NO	**MAKSİMUM TOPLAM İVME**					
	TLD'SİZ YAPI	**TLD-GLİSERİN**				
		JAYA	**FPA**	**HS**	**TLBO**	**ORTALAMA**
1	10.0517449	7.1936398	7.1936225	8.4928349	7.1939706	7.5185170
2	9.2650352	7.7565597	7.7565493	8.8646882	7.7565355	8.0335832
3	3.7396604	2.9600470	2.9600423	3.3704662	2.9601224	3.0626695
4	6.2453033	5.1916015	5.1916023	5.0259212	5.1917755	5.1502251
5	7.0942065	5.3171469	5.3171461	5.5515165	5.3171958	5.3757513
6	11.4077630	8.8551204	8.8551176	9.5158512	8.8553919	9.0203703
7	3.4836616	3.6026487	3.6026553	3.3301690	3.6025438	3.5345042
8	3.6653714	3.8822834	3.8822868	3.6598999	3.8821926	3.8266657
9	2.5944782	1.9694777	1.9694798	2.1228233	1.9694933	2.0078185
10	4.7479077	3.7573384	3.7573443	3.1231725	3.7575383	3.5988484
11	2.3806697	1.9457634	1.9457634	2.1131907	1.9458061	1.9876309
12	2.2271447	2.5539290	2.5539341	2.3141703	2.5538546	2.4939720
13	3.0107353	2.7201847	2.7201802	3.1299016	2.7200513	2.8225795
14	2.8413431	2.8831264	2.8831278	2.7534210	2.8831251	2.8507001
15	3.2836983	3.2106861	3.2106797	3.7091438	3.2105214	3.3352578

16	2.2333943	2.2500825	2.2500843	2.3078519	2.2499432	2.2644905
17	4.2924557	3.6912002	3.6912003	3.7979507	3.6912694	3.7179052
18	6.0002535	5.3184220	5.3184249	5.2143588	5.3183984	5.2924010
19	1.1100981	0.9405997	0.9406013	0.9309169	0.9405511	0.9381673
20	1.1002682	0.8129284	0.8129275	0.8523000	0.8128891	0.8227613
21	4.9231845	3.9193038	3.9192979	4.1424342	3.9193380	3.9750935
22	3.2014957	2.6890062	2.6890085	2.6145905	2.6890860	2.6704228
23	1.9529394	1.5941583	1.5941556	1.7980061	1.5939791	1.6450748
24	3.5963322	3.6381632	3.6381517	3.8053828	3.6379590	3.6799142
25	4.4834672	4.9592336	4.9592471	4.0587686	4.9592954	4.7341362
26	2.7435031	2.6515743	2.6515733	2.7069820	2.6515185	2.6654120
27	2.6335990	2.1019994	2.1019993	2.2027678	2.1020000	2.1271916
28	3.7132776	3.6810808	3.6810817	3.6478274	3.6810588	3.6727622
29	3.4949606	3.0258536	3.0258548	3.0329249	3.0259662	3.0276499
30	5.3633225	4.7405870	4.7405913	4.5984922	4.7406803	4.7050877
31	3.0330161	3.7584532	3.7584540	3.6405048	3.7582821	3.7289235
32	2.4263088	2.2997278	2.2997291	2.1872988	2.2996584	2.2716035
33	3.2177668	2.7526939	2.7527039	2.5859326	2.7526766	2.7110018
34	3.3847208	2.2265855	2.2265863	2.3212988	2.2267743	2.2503112
35	5.3143702	4.5787402	4.5787432	4.5577743	4.5787956	4.5735133
36	3.8239994	3.3848835	3.3848874	3.2578055	3.3849336	3.3531275
37	4.7982425	3.4749731	3.4749726	3.9223336	3.4754484	3.5869319
38	9.3485885	6.2643432	6.2643418	6.6504656	6.2644379	6.3608971
39	2.9457885	2.4581140	2.4581256	2.3975271	2.4581553	2.4429805
40	4.2757299	3.8961018	3.8961035	3.9356687	3.8961489	3.9060057
41	2.4292617	1.8829508	1.8829502	2.0257947	1.8830150	1.9186777
42	1.5254275	0.9961355	0.9961347	1.0575852	0.9961583	1.0115034
43	2.4380088	2.0191670	2.0191671	2.1076080	2.0192016	2.0412859
44	2.9183458	2.8003562	2.8003612	2.4810663	2.8004346	2.7205546